从校园到职场
CONG XIAOYUAN DAO ZHICHANG

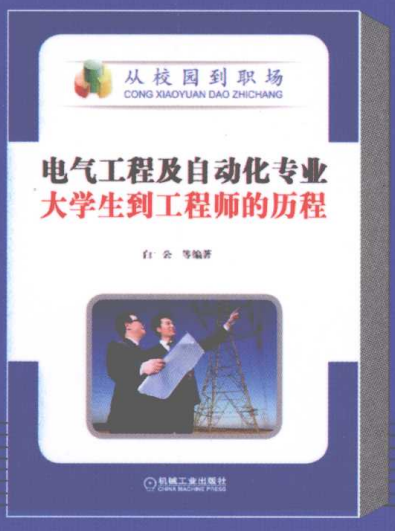
电气工程及自动化专业
大学生到工程师的历程

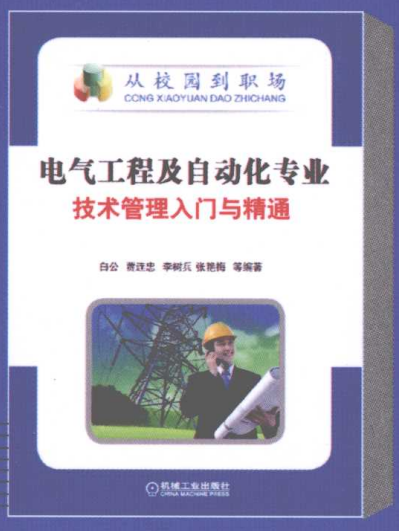
白　公　等编著

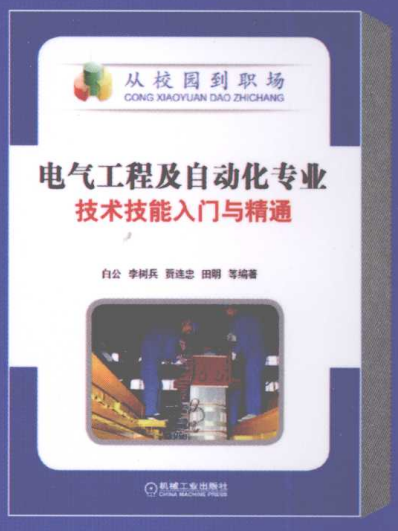


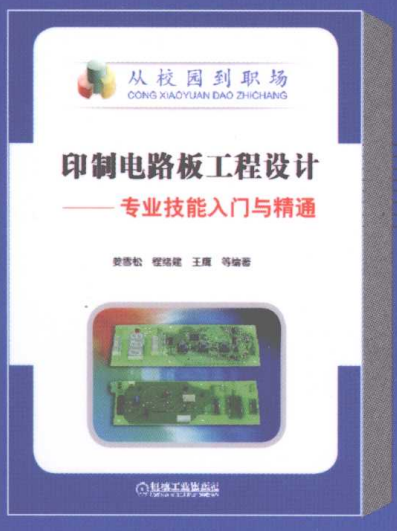
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

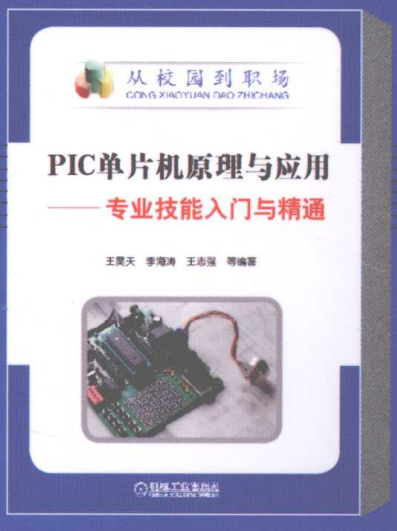
从校园到职场系列











上架指导：工业技术／电气工程

地址：北京市百万庄大街22号　　邮政编码：100037
电话服务　　网络服务
社服务中心：(010)88361066　　门户网：http://www.cmpbook.com
销 售 一 部：(010)68326294　　教材网：http://www.cmpedu.com
销 售 二 部：(010)88379649　　封面无防伪标均为盗版
读者服务部：(010)68993821

ISBN 978-7-111-29252-4
定价：29.00元

ISBN 978-7-111-29252-4
9 787111 292524 >

从校园到职场

电气工程及自动化专业大学生到工程师的历程

白　公　等编著

机械工业出版社

本书从目前国内电气工程及自动化工程的实际状况和需要出发，按照市场需求和就业规则以及工科院校学生就业的现状，结合作者多年从事电气工程及自动化工程的设计、安装、调试、运行、维护、检修及教学的经验和体会，详细论述了电气工程师的概念，并重点针对大学生就业直至取得工程师资格这一历程做出了指导。

全书共十一章，主要内容包括工程师的概念，大学生到工程师的历程，技术工人的职业位置及地位，正确认识技术工人这个群体，拜工人为师、向工人学习，立志电气工程事业，电气工程师应具备的技术技能及管理技能等。

本书可以作为电气工程及自动化专业刚刚参加工作的大学生尽快适应工作岗位要求的自学教材，也可作为工科院校、职业院校电气工程及自动化专业的实践教育教材。也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电气工程及自动化专业大学生到工程师的历程/白公等著. —北京：机械工业出版社，2010.1
（从校园到职场）
ISBN 978-7-111-29252-4

Ⅰ.电… Ⅱ.白… Ⅲ.①电气工程②自动化技术 Ⅳ.TM
TP

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 228368 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：牛新国 责任编辑：吕 潇 版式设计：霍永明
责任校对：魏俊云 责任印制：乔 宇
北京京丰印刷厂印刷
2010 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm×260mm · 13.5 印张 · 332 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-29252-4
定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销 售 一 部：（010）68326294
销 售 二 部：（010）88379649
读者服务部：（010）68993821

网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

本书的雏形是作者近几年在几所高等工科院校、职业技术院校及工科大学生论坛上关于“怎样成为一名真正的电气工程师”这一课题的讲座讲稿。目前，我国的高等教育已进入了大众化教育阶段，应用型人才成为本科教育培养的主体。应用型本科教育以专业型、职业型“工程师”为培养目标，以服务地方经济建设和适应行业需求为导向，针对我国的经济转型和产业结构调整急需培养大批高级应用型专门技术人才的现状，为了使更多愿意从事电气工程及自动化实践的大学生成为一名真正的电气工程师，应机械工业出版社之约，作者将讲稿几经整理修改而编写了本书，作为电气工程及自动化专业从校园到职场的实践教程，供工科院校电气专业的学生及刚参加工作的毕业生学习。希望读者通过本书得以对电气工程师及其应具备的职业技术技能（技术及管理两方面）有一个更为深刻、明确、精辟的认识和体会，知道在成为一名真正的电气工程师的道路上应该怎样去做，怎样去努力，怎样解开疑惑，怎样面对茫然以及怎样永远站在电工技术的最前沿。只有这样，并且只能这样才能成为一名真正合格的电气工程师，用你的智慧和才干，用你的技术及技能，用你的人格和炽热的心，为国家的电气工程及自动化工程事业做出贡献和业绩。

工科院校本科生一般从事五年技术工作即可申报工程师资格，经审批合格后可被评为工程师。然而这个工程师离担当起电气工程中的技术及管理重任恐怕还有一定的距离，这就要求他们继续在工程实践中不断锻炼，以便掌握更全面、更扎实的技术技能。在实践的过程中，他们要付出很多，关键是要向工人师傅学习，通过实践来学习。电气工程师是一个实践性很强的职业，没有实践经验或者经验不足，在工程现场呆上三天恐怕都是不可能的。

本书从电气工程及自动化工程实践出发，结合作者多年从事电气工程的设计、安装、调试、运行、维护、检修及教学经验和体会，详细讲述了工科院校本科生成为一名真正合格的电气工程师的全部历程，其中最关键的是要正确认识技术工人这个群体和怎样拜工人为师、向工人学习。脱离了这两点就难以成为一名合格的电气工程师。

近几年来，在工作中我发现了一个奇怪的现象，那就是在车间、现场、工地具备本科学历的工程师越来越少，一个大公司或一个大型工程、大车间中能提供现场技术服务的技术骨干大都是50岁上下的工程师或高级技师，几乎没有较为年轻的工程师，遇到技术难题或关键部件故障时，出谋划策或身临其境解决问题的总是那些上了年纪的老师傅们。是这些老师傅们不让年轻人崭露头角吗？非也！是这些老师傅们不相信年轻人的能力或嫉贤妒能吗？非也！而是因为现在严重缺乏这样的年轻工程师，在电气工程实践中，这是一个非常严重的问题。造成这样的现象的原因是多方面的。

作者在这里郑重地告诉电气工程及自动化专业的学生们，如果你不能长期深入现场积累实践经验，如果你不能拜工人为师、向工人学习，如果你怕苦、怕累、怕脏、怕险，那么在电气工程及自动化工程的领域里你将一事无成，除非你半路改行，寻求他路。

本书的编写目的，就是帮扶那些愿意从事电气工程及自动化专业现场技术服务、解决工程实践中疑难技术问题的本科毕业生在成为真正合格的工程师的道路上，对工程师这个职业

有一个全面正确的认识，然后让他们掌握在长期的工程实践中应当怎样积累实践经验，怎样向工人学习，怎样继续学习、不断提高，怎样立足基层、瞄准高端、永远站在电工技术的最前沿。

专家认为本书是一部社会科学、人文科学和电工科学技术相结合的好书，它将指导刚刚踏上工作岗位的本科生成长为一名名副其实的电气工程师，是引领电气工程及自动化专业毕业生走向成功的经典著作和得力助手。本书的编写人员主要由供电部门、安装单位、设计单位、监理单位、高等院校、职业院校具有丰富工程实践经验的高级工程师、教授、讲师、工人工程师、高级技师等技术人员组成，其中也有参加工作四五年的大学生。全书由教授级高级工程师白公（白玉岷）主编，参加编著的人员还有宋宏江、陈斌、刘洋、高英、张艳梅、田明、桂垣、董蓓蓓、武占斌、王振山、赵洪山、张璐、莫杰、田朋、谷文旗、李云鹏、刘晋虹、白永军、韩月英、赵颖捷、李志强、李树兵、贾连忠、高春明、赵玉春、闫静敏、武双有、张瑜军、王佩艳等。

本书共11章，分别是“电气工程及自动化概论”、“工程师的概念”，“大学生到工程师的历程”，“技术工人的职业位置及地位”，“正确认识技术工人这个群体”，“拜工人为师、向工人学习”，“立志电工事业、始终不渝”，“电气工程师应具备的技术技能”，“电气工程师应具备的管理技术”，“当你成为工程师以后”和“电气工程常用设备及材料简介”。

由于本书涉及专业门类较多，加之编者水平有限，书中不妥之处敬请广大读者及专家同行指证，不胜感谢。

白公

2009年10月于北京

目　录

前言

第一章　电气工程及自动化概论 …… 1

第一节　电气工程及自动化概述 …… 1

第二节　电气工程及自动化工程的保证条件 …… 7

第三节　电气工程及自动化工程形成的过程 …… 9

一、立项 …… 9

二、可行性研究及分析报告 …… 9

三、设计招标及实施 …… 9

四、工程项目的招投标 …… 10

五、工程项目的前期工作 …… 10

六、开工前的协调组织及准备工作 …… 10

七、电气工程及自动化工程项目的安装调试及试运行 …… 11

八、电气工程的竣（交）工及验收 …… 11

九、工程项目总结 …… 12

第四节　设计师在电气工程及自动化工程项目中的作用 …… 12

第五节　工程师在电气工程及自动化工程项目中的作用 …… 14

第六节　技术工人在电气工程及自动化工程项目中的作用 …… 15

第七节　设计师、工程师、技术工人之间的关系 …… 15

第八节　大学生怎样成为一名合格的工程师 …… 15

第九节　电气工程及自动化的发展前景及动向 …… 16

一、工厂自动化的发展动向及前景 …… 16

二、智能控制及仿真控制 …… 17

三、新型电工电子功能材料 …… 18

四、电气测量仪表和工业自动化仪表 …… 18

五、智能化开关设备 …… 18

六、工业与民用建筑 …… 19

七、电热应用 …… 19

八、通信及网络系统 …… 19

九、其他方面发展动向 …… 19

思考题 …… 19

第二章　工程师的概念 …… 20

第一节　工程师的定义 …… 20

一、丰富的实践经验 …… 20

二、扎实的理论基础 …… 21

三、科技成果转化及应用 …… 21

四、解决工程实践中的技术难题 …… 22

第二节　工程师的职业位置及地位 …… 23

一、工程师是一座桥梁 …… 23

二、工程师是一把金钥匙 …… 24

三、工程师是抢险队长 …… 24

四、工程师是工程项目的中流砥柱 …… 24

思考题 …… 25

第三章　大学生到工程师的历程 …… 26

第一节　长期深入基层，积累实践经验 …… 26

第二节　遵守职业规则，探索实践方法 …… 27

第三节　在实践中磨炼，提高综合能力 …… 29

第四节　继续学习不断完善，向科研型、专家型发展 …… 32

第五节　走上领导岗位，切勿脱离工程实践 …… 35

第六节　关注电气工程技术动向，永远站在最前列 …… 37

思考题 …… 37

第四章　技术工人的职业位置及地位 …… 38

第一节　技术工人是承载工程项目的基石 …… 38

第二节　技术工人是攻克工程项目实践中每个困难的勇士 …… 39

第三节　技术工人是和工程师共同浴血奋战的抢险队员和得力助手 …… 41

第四节 技术工人是创造财富、创造价值的主力军 …… 42
第五节 技术工人的现状 …… 43
思考题 …… 44
第五章 正确认识技术工人这个群体 …… 45
第一节 技术工人的概念 …… 45
一、高级电工 …… 45
二、高级维修电工 …… 46
第二节 工人是创造财富、创造价值的主体 …… 48
第三节 技术工人是传承技术技能的良师益友 …… 49
第四节 先进的科学技术和技术工人的技术技能是相辅相成的 …… 51
第五节 技术工人是工程项目实施的主力军 …… 51
第六节 技术工人与工程师的关系 …… 53
思考题 …… 54
第六章 拜工人为师、向工人学习 …… 55
第一节 与工人交朋友、和工人融为一体 …… 55
第二节 勤奋好学、杜绝浮躁 …… 56
第三节 做到严、管、勤 …… 57
第四节 学会观察、善于模仿 …… 58
第五节 学会总结、善于分析 …… 59
第六节 循序渐进、全面发展 …… 60
思考题 …… 62
第七章 立志电气工程事业、始终不渝 …… 63
第一节 热爱电气工程事业、规划人生职业历程 …… 63
一、热爱电气工程事业 …… 64
二、规划人生职业历程 …… 65
第二节 电气工程师职业道德行为总则 …… 66
第三节 在电气工程专业及其边缘学科拓展 …… 68
第四节 立足基层，瞄准高端，永远站在电气工程技术的前沿 …… 68
一、前述章节内容回顾 …… 68
二、立足基层，瞄准高端 …… 70
思考题 …… 71
第八章 电气工程师应具备的技术技能 …… 72
第一节 基本技术技能 …… 72
一、常用仪器仪表的使用 …… 72
二、电气工程项目读图 …… 73
三、电动机及控制 …… 74
四、电力变压器及控制保护 …… 78
五、常用电量计量仪表及接线 …… 79
六、常用电气设备、元器件、材料 …… 79
七、防雷接地技术 …… 84
八、相关技术技能 …… 89
第二节 通用技术技能 …… 91
一、通用技术技能的内容 …… 91
二、电气工程的设计 …… 91
三、电气工程设计程序与技术规则 …… 91
四、电气工程的安装调试 …… 101
五、电气工程安装调试技术规程 …… 102
六、电气工程交验程序要点 …… 105
第三节 电气系统安全运行技术 …… 108
一、保证电力系统及电气设备安全运行的条件 …… 108
二、保证电气系统安全运行采取的维护技术措施的要点 …… 109
三、电气系统安全运行技术主要内容 …… 109
第四节 电气工程安全技术 …… 110
一、电气安全管理措施和技术措施 …… 110
二、电气安全管理工作的中心内容 …… 110
三、保证电气安全的技术措施 …… 112
第五节 负荷估算及设备、元件、材料的选择 …… 113
一、负荷估算方法 …… 113
二、设备、元件、材料的选择 …… 113
第六节 控制系统的设计及实施 …… 115
一、继电器-接触器控制 …… 115
二、可编程序控制器控制 …… 118
三、单片机控制 …… 118
四、常用自动控制组件及装置 …… 119
第七节 电气工程技术开发及技术成果应用 …… 121
一、电气工程技术的开发 …… 121
二、新技术成果的应用 …… 122
第八节 解读电气工程技术疑难问题 …… 122
思考题 …… 128

第九章　电气工程师应具备的管理技术 …… 129
第一节　编制工程项目预算（或核算）及设备计划 …… 129
一、编制工程项目预算（或核算） …… 129
二、编制设备计划 …… 129
第二节　编制施工组织设计（方案） …… 129
一、编制依据 …… 130
二、现场情况调查资料 …… 130
三、编制原则 …… 130
四、编制程序 …… 131
第三节　组织工程实施及验收 …… 131
第四节　安全管理 …… 133
第五节　质量管理 …… 134
第六节　进度管理 …… 134
第七节　环境管理 …… 135
第八节　编制工程技术文件 …… 136
第九节　熟练掌握电气工程技术标准、规程、规范 …… 138
第十节　领导艺术及组织能力 …… 140
思考题 …… 142
第十章　当你成为工程师以后 …… 143
第一节　实践经验方面 …… 145
第二节　基础理论方面 …… 145
一、概率学 …… 146
二、人工神经网络 …… 146
三、信息融合技术 …… 146
四、人工智能技术 …… 148
五、智能控制技术 …… 149
六、仿真控制 MATLAB …… 150
第三节　科技成果转化方面 …… 151
第四节　解决技术难题方面 …… 152
一、变频器故障排除与维修 …… 153
二、ACS1000 变频器保护功能 …… 156
思考题 …… 159
第十一章　电气工程常用设备及材料简介 …… 160
思考题 …… 207
参考文献 …… 208

第一章　电气工程及自动化概论

在近200多年的历史上，人类进步和文明的发展都围绕着一个核心，这就是电及电气工程技术的进步和发展。从1800年第一台伏打电池出现，1872年西门子发明第一台转子发电机，1888年特斯拉发明第一台感应电动机，1891年第一条三相交流输电线路以及三相交流发电机，三相交流电动机和变压器的相继发明和使用，到1904年二极电子管、1906年三极电子管、1940年第一台模拟电子计算机、1943年第一台数字电子计算机、1948年晶体管、1954年晶闸管整流器、1958年第一块集成电路、1960年单片运算放大器、1971年第一块微处理器相继出现和大量生产，人类经历了电的发展和应用、电子管到大规模集成电路、运算放大器到计算机技术应用普及三大重要历程。如今，电气工程技术、计算机技术已经渗透到各个学科及领域，随着电子科学技术、通信技术、电子信息技术、自动化技术、控制工程技术、遥测遥控遥信技术、生物医学技术、生物电磁技术、超导电工技术、纳米电工技术、电力电子技术、传感器技术、机器人技术、机电一体化技术、信息工程技术的发展，电气技术、计算机技术在机械、化工、冶金、交通、通信、航天、建筑、信息、生物医学、农业、金融、商业、教育、科研、经贸等行业扮演起了越来越重要的角色。同时在国家经济、军事、政治、商务、外交以及人民生活当中起着举足轻重的作用，占据非常显赫的位置。电气化的程度已成为衡量一个国家、一个地区、一个城市是否发达和先进的标志之首，并且发挥着越来越大、越来越重要的作用，除了空气、阳光、水及大自然以外，电已是人类生产、生活、生存当中最不可缺少、最亲密无间的伙伴了。电的发展史，就是人类的近代史，是从实践中发展起来的。当今电工学及电工技术已成为一个基础学科，就像我们一直在学数学、物理、化学、英语、语文一样，是必须要掌握的。同时，电工学及电工技术又是一门实践性非常强的学科。从某种意义上来讲，无论你从事何种行业，如果你对电不了解，你将难以高人一等；假如你从事电气工程技术这个行业，却没有实践基础和实践经验，那么你在这个行业将难以立足，更难以做出惊天动地的业绩。

第一节　电气工程及自动化概述

电气工程及自动化专业应用广泛、技术含量丰富、就业环境开阔，是当代经济及政治生活中不可缺少的前沿学科，它涵盖了电的基础理论、电工学、电工技术、电气工程、电子信息技术、控制技术、控制工程、自动化仪表和传感器技术等分支学科，主要包括发电、电能传输、电能转换、控制技术、电能存储、电能利用等六大内容；其中控制技术（包括继电保护）是电气工程及自动化专业的核心，也是难点，更是个人才华展现的舞台，是一名优秀的电气工作人员必须掌握的技术和技能。

发电系统中，需要控制的量有很多，比如发电机的电流、电压、励磁、转速、温度、振动、定子转子间隙等，又比如锅炉系统的温度、压力、流量、水位、化学量分析，及其配套设备的各种机、电参量，升压系统的电流、电压、相位、周波、接地等，还有输电系统的各

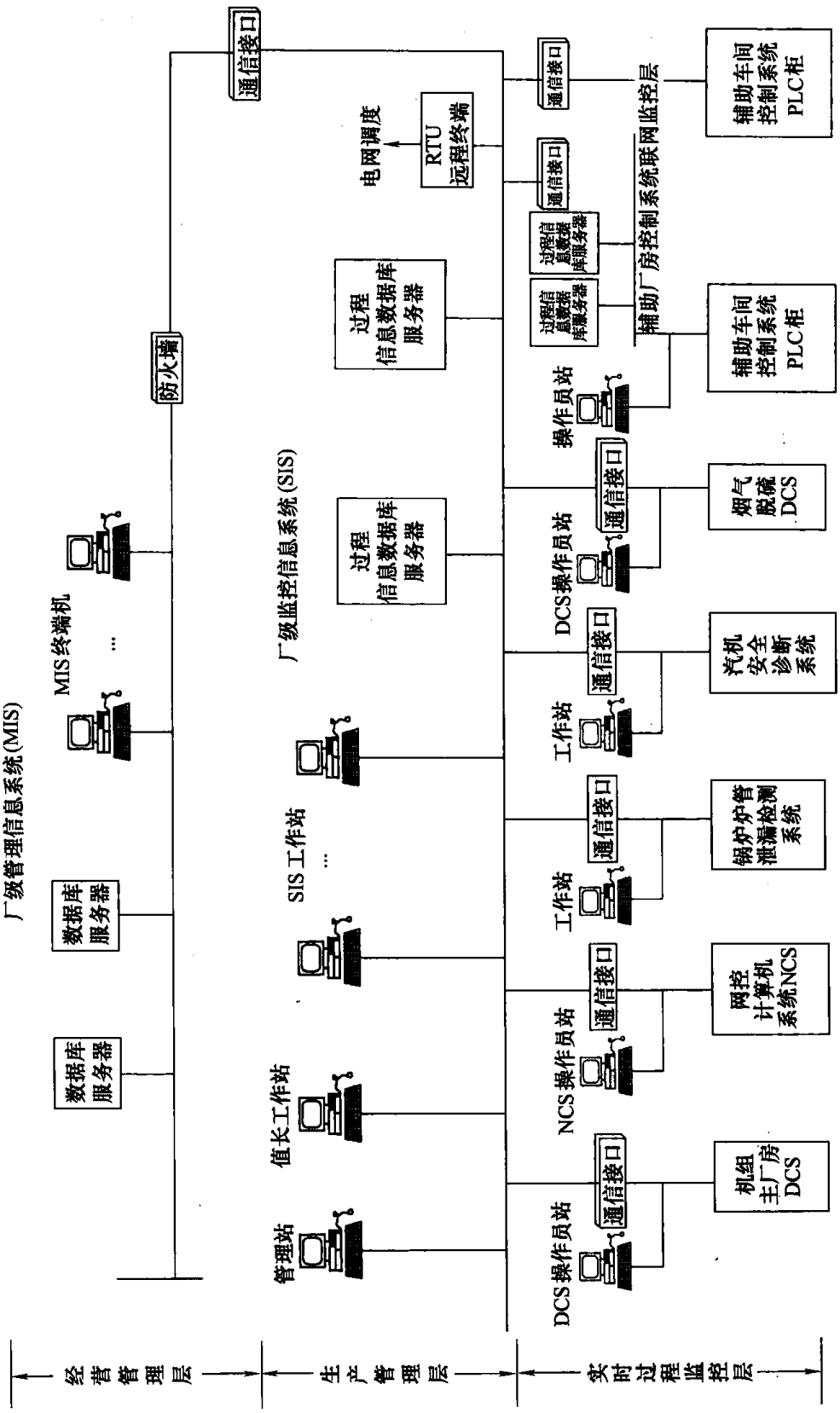


图 1-1 火电厂自动化系统网络结构示意图

种参量，生产管理系统、经营管理系统的数据采集、信息沟通、领导决策等均需引入监控信息管理系统，都需进行控制，这些控制及信息构成复杂、严密、准确、全面的控制系统，确保发电正常运行。

电能转换系统，主要包括对升压站、降压站、整流逆变站的各种电流、电压、相位、有功功率、无功功率、功率因数、周波、温度、振动、导通角等参数的控制，同样构成复杂的控制及继电保护系统。

电能传输系统，主要包括对电流、电压、功率因数、绝缘监察、接地电流等的监测和控制，系统较为简单。

电能存储系统，主要是整流逆变、电流电压、温度、气敏、绝缘监察、接地等的监测和控制，系统较为复杂。

电能利用系统的控制是最复杂的，由于电能利用的方式、效果、目的不同，控制系统也不尽相同，但是其控制参数几乎包含上述所有的参数，甚至还有未曾提及的参数，如某一工艺生产控制系统，控制参数多达百余种，控制系统相当复杂。

控制系统一般都与测量、检测、继电保护、联锁报警相连，传感器、信号变换装置、反馈装置、接口电路、隔离电路等应用得很多也很广，最后与计算机接口相连，构成完整的控制、保护、联锁、报警、功能计算及监测系统。

这里列出火电厂机组自动控制系统图，并将火电厂工艺系统主要检测项目列出，供读者参考（见图 1-1 ~ 图 1-3 和表 1-1）。由此可以看出，电气工程及自动化系统的功能齐全，博大精深。

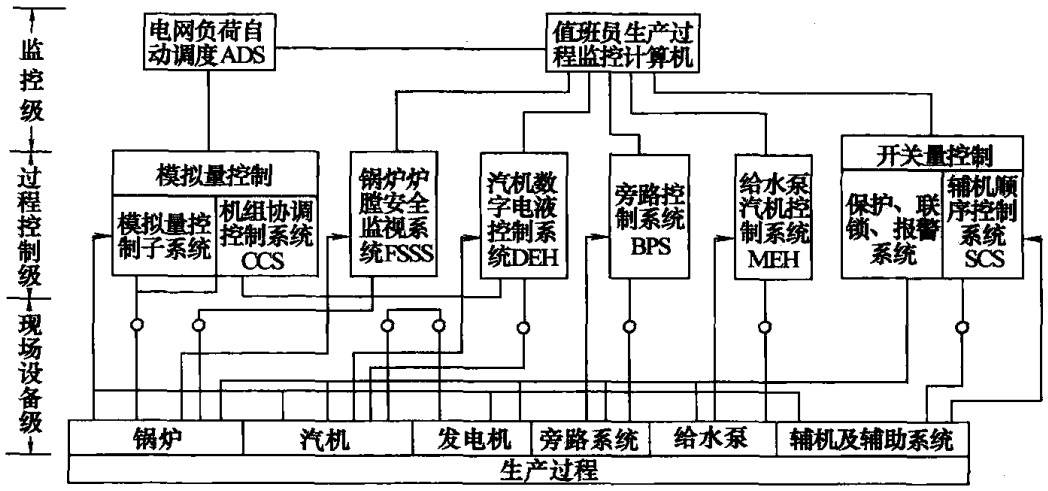


图 1-2　火电厂机组自动化控制系统示意图

电气工程及自动化在国民经济及人民生活中占有很重要的位置，因此就业环境很好，这个专业主要包括电气及电子产品设计、开发、制造，电气工程、自动化工程、仪表工程、通信工程、发电工程中相关的设计、安装、调试、运行、维护、修理、保养、电加工、电加热、电焊和静电技术应用及开发等。但是随着企业体制的改革和经济的发展，对就业者能力的要求越来越高，很多企业管理者对大学生的要求则是来了即能解决实际问题，不愿意将实习期放在企业。因此，对一名电气工程及自动化专业的大学生来讲，在大学四年中能够得到实践的锻炼尤为重要。

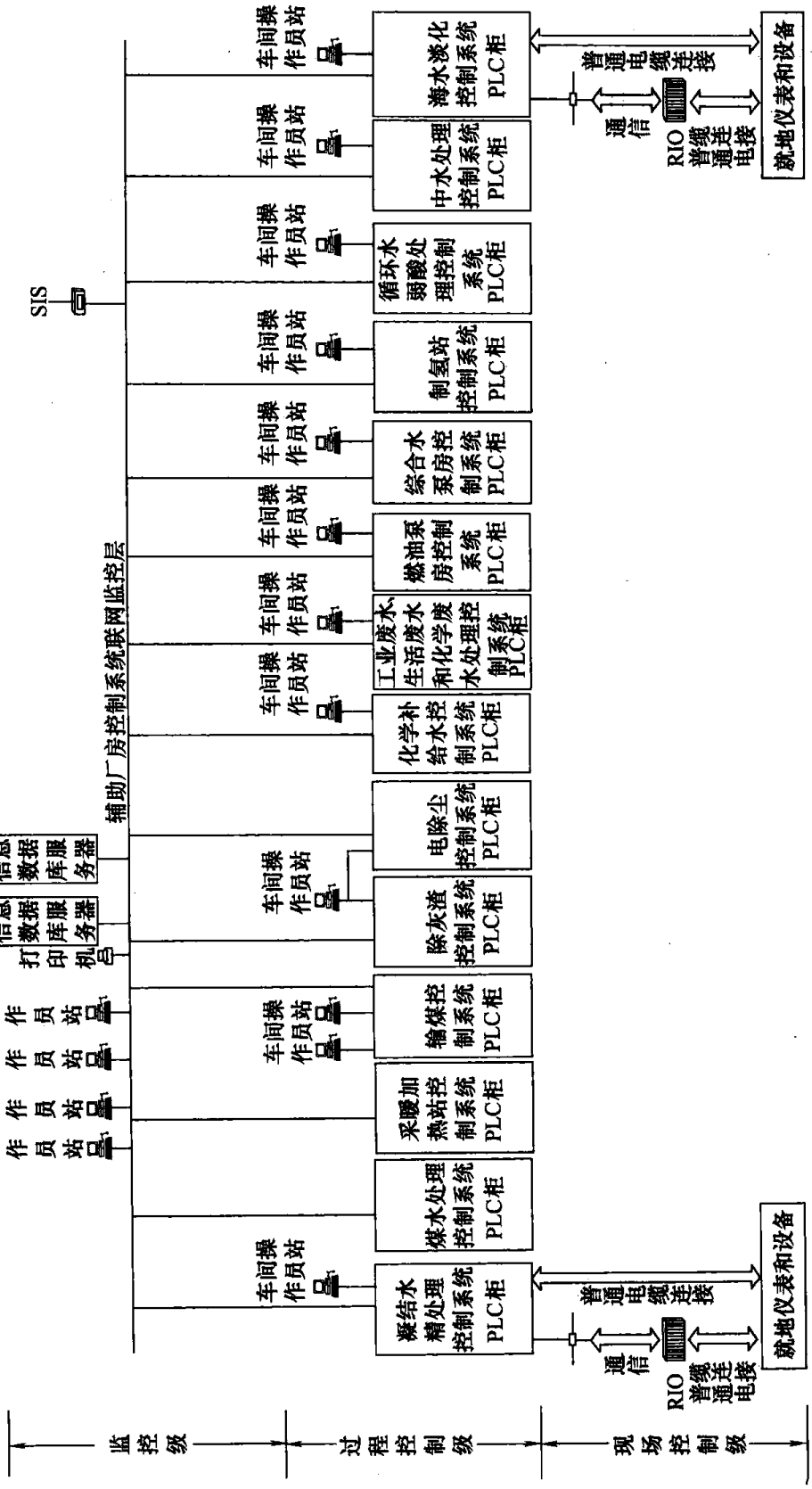


图 1-3 辅助系统(车间)控制系统网络示意图

表 1-1　火电厂工艺系统主要检测项目

系统	参数类别	检　测　项　目
空气系统	压力差压	送风机、一次风机出口风压，空预器入/出口一次风差压、后一次风压，一次风、二次风总压力，二次风箱/炉膛差压，炉膛/热一次风差压，风机润滑油压，轴流式风机喘振
	温度	送风机入口、出口风温，一次风机入口、出口风温，空预器出口一次风、二次风温，风机轴承温度，风机电动机线圈温度，回转式空气预热器轴承温度，风机油箱温度，暖风器入口、出口风温
	流量	送风总风量，一次风风量，流化风风量
	振动	风机轴承振动
	其他	回转式空气预热器停转、火灾
烟气系统	压力差压	炉膛压力或负压，空预器入口、出口、除尘器后烟压，引风机出口烟压，引风机润滑油压，烟道各段烟压，火检冷却风压力，循环流化床床压
	温度	炉膛各段烟温，排烟温度，汽包壁温，过热器、再热器管壁温度，引风机轴承及电机线圈温度，循环流化床床温
	成分分析	烟气含氧量，NO_x，SO_2，CO，CO_2，烟气浊度，飞灰含碳量
	振动	引风机轴承振动
	炉膛火焰	油燃烧器火焰，煤燃烧器火焰，全炉膛火焰
燃油制粉系统	压力差压	磨煤机入口、出口风压，粗粉分离器后风压，排粉机入口风压，供、回油压力，雾化蒸汽（空气）压力，吹扫气压力，中速磨密封风/磨煤机的差压，磨煤机上下磨碗差压，中速磨密封风风压，密封风/冷一次风差压，磨煤机润滑油压，双进双出钢球磨筒体压力
	温度	磨煤机入口风温，出口风粉混合物温度，粉仓温度，排粉机入出口风粉混合物温度，磨煤机轴承及电机线圈温度，磨油站油温，燃油温度
	料位	煤仓煤位，粉仓粉位，磨煤机油箱油位，双进双出钢球磨煤位
	流量	磨煤机入口风量，给煤量，供、回油流量，双进双出钢球磨旁路风量
蒸汽系统	压力差压	锅炉锅筒饱和蒸汽压力，各级过热器出口蒸汽压力，再热器进出口蒸汽压力。汽机进口主汽压力，调速汽门后汽压，调速级汽压，高压缸排汽压力，中压缸进汽压力，各段抽汽压力，排汽真空，轴封汽压力。高低压旁路减温器后蒸汽压力；给水泵汽机高、低压进汽压力，轴封汽压力；除氧器压力；辅汽联箱压力，磨煤机消防蒸汽压力，燃油伴热蒸汽压力
	温度	锅炉过热器、再热器减温器进出口汽温，过热器出口汽温，汽机主汽门前汽温，调速级汽温，高、低压缸排汽温度，各段抽汽温度，高缸排汽管及各段抽汽管上、下壁温度，再热器至中压缸进汽温度，轴封汽温度，旁路减温器后蒸汽温度，给水泵汽机进汽、排汽温度，暖风器入口、出口辅助蒸汽温度，辅汽联箱温度，燃油伴热蒸汽温度
	流量	主蒸汽流量，四段抽汽至辅汽联箱流量，冷再至辅汽联箱流量
凝结水系统	压力差压	凝结水泵进、出口压力，凝结水精处理装置前后差压，超临界机组起动疏水压力
	温度	凝汽器出口凝结水温度，各低压加热器出口水温，除氧器水箱水温，超临界机组起动疏水温度
	水位	凝汽器热井水位，除氧器水箱水位，高、低压加热器水位，疏水箱水位，汽机高压缸排汽管、各段抽汽管疏水罐水位
	流量	凝结水流量，凝结水再循环流量，补给水流量
给水系统	压力差压	给水前置泵、给水泵出口压力，锅炉给水压力，过热器、再热器减温水压力，给水泵润滑油压，密封水压，滤网差压，炉水循环泵进出口差压

（续）

系统	参数类别	检 测 项 目
给水系统	温度	给水泵入口温度，各高压加热器出口水温，至锅炉给水温度，直流锅炉中间点温度，给水泵冷油器进出口温度，电动给水泵耦合器轴承温度，润滑油温，电机线圈温度，轴承温度，密封水回水温度
	水位	锅炉锅筒水位，直流锅炉汽水分离器水位
	流量	给水泵入口流量，给水流量，过热器、再热器减温水流量，锅炉连排流量，炉水循环泵冷却水流量，超临界机组炉水循环泵出口流量
循环冷却水系统	压力差压	凝汽器进出、口循环水压力，循环水泵出口水压，开、闭式冷却水泵出口压力，冷却水压力
	温度	凝汽器进出、口循环水温度，循环水泵轴承温度，开、闭式冷却水温度
	水位	闭式冷却水水箱水位
汽轮机本体	压力	润滑油、调速油压力，顶轴油泵进口压力
	温度	润滑油温度，支持轴承、推力轴承温度，主汽门、缸体金属温度，导汽管壁温度，法兰螺栓温度，调速油回油温度，调速油箱油温
	油位	主油箱油位，调速油箱油位
	本体监视	汽机转速，轴向位移，转子偏心，汽缸膨胀、胀差，轴承振动，油动机行程
给水泵汽机本体	压力	润滑油、调速油、安全油压力
	温度	轴承、推力瓦温度，回油温度，冷油器进出口油温
	其他	转速，轴向位移，油箱油位
发电机	压力	氢气压力，密封油压，冷却水压，氢油压差，密封油泵差压
	温度	定子线圈及铁心温度，氢气或空气冷却器进出口冷却水温度，氢冷却器进出口氢气温度，密封油温度，冷却水温，轴承温度
	液位	冷却水箱水位，密封油箱油位，氢油分离箱油位
	流量	定子、转子冷却水流量
	分析	氢气纯度，定子进水导电度，离子交换器出口导电度
	其他	发电机检漏
其他系统	压力	抽气器入口水或气压，抽气器入口真空，射水泵出口压力，真空泵入口真空，出口压力
	水位	热交换器水位，汽-水分离器水位
汽水监督	电导率	炉水，饱和蒸汽，过热汽，再热汽，排污水，凝结水，补给水
	pH	补给水，省煤器入口给水，炉水
	溶氧	除氧器出口给水，省煤器入口给水
	硅酸根	饱和蒸汽，炉水
厂用电源系统	温度	主变压器、厂高变压器线圈温度，油温，冷却水温
	压力	冷却水循环泵出口压力，水轮机前后压力，管道系统总压力
	温度	直接空冷排汽装置出口排汽温度、凝结水温度，间接空冷凝汽器内温度、冷却水循环泵后的温度、水轮机后的水温、扇形段出口水温、冷却塔内空气温度、冷却塔外空气温度，冷却水循环泵、水轮机等电机线圈温度、轴承温度
	流量	扇形段入口排汽量，冷却水回水总管流量
	液位	凝结水箱水位，贮水箱水位，高位膨胀水箱水位

（续）

系统	参数类别	检　测　项　目
烟气脱硫系统FGD需测量的参数	温度	FGD入/出口烟气温度，GGH入口/出口烟气温度，GGH、增压风机轴承温度
	压力差压	FGD入口/出口烟气压力，增压风机出口压力，GGH入口/出口烟气压力，氧化风机出口压力，浆液循环泵出口压力
	流量	烟气流量，石灰石浆液流量，工艺水量，吸收塔入口氧化风流量，废水泵出口母管流量
	液位	吸收塔液位，石灰石浆液搅拌箱液位，废水箱液位，传动带冲洗水箱液位
	其他	石灰石浆液密度，吸收塔浆液的pH值，净烟气湿度
		FGD入口SO_2、O_2，FGD出口净烟气烟尘浓度、O_2、SO_2、NO_x、CO、CO_2
烟气脱硝系统SCR需测量的参数	温度	喷氨装置入口烟气温度，SCR出口烟气温度
	压力	喷氨装置入口烟气压力，SCR出口烟气压力
	液位	氨罐液位
	流量	喷氨格栅入口烟气流量，氨耗量
	其他	SCR入口/出口NO_x浓度，氨气/空气混合器出口氨浓度
燃气轮机还需测量	压力	压气机排气压力，燃气轮机/压气机洗涤水压力，燃气轮机排气压力等
	温度	燃气轮机排气温度，燃气轮机轮间温度
	其他	燃气轮机排气温度分散度

注：各个系统均有电量的测量，主要有电压、电流、有功、无功、各种模拟量及开关量。

电气工程及自动化有着广泛的发展前景，随着传感器技术、微机技术、机器人技术的普及和发展，随着风能发电、太阳能发电、核能发电、化学能及其他能源发电的开发和利用，电气工程及自动化必将有一个新的契机，这也是每个电气工作者发展的机遇。因此，无论是刚毕业的大学生，还是已经从事电气工程及自动化工作的电气工作者，都有着发展和创新的机遇。然而要想抓住这个机遇，就必须不断地去学习新技术、新工艺，去掌握新设备、新材料。只有这样，才能够立于不败之地。

第二节　电气工程及自动化工程的保证条件

电气工程及自动化工程的成败与否，主要取决于工程设计、设备、原材料的质量以及安装、调试、运行、维护、检修、修理、保养等几个环节。

（1）电气工程及自动化工程项目的设计必须由具有相当资质的设计单位进行，对于较大和较重要的工程，建设单位须到设计单位进行实地考察，设计单位应出具项目设计论证报告、设计方案和初步设计，经相关专家论证及评估后才能进行设计，以确保工程项目设计的质量。

（2）对于产品、材料的开发设计应有可行性试验报告和市场调研报告，投放市场前应通过准入制度考核，并有型式试验报告和产品质量合格报告，并经主管部门、质量监督部门、大型用户联合使用鉴定报告，必要时应有上一级或国家级主管部门介入，从源头上杜绝劣质产品的设计、研制及生产，以确保电气产品及材料的设计及生产、流通环节的质量。

（3）电气工程及自动化工程所用到的设备、原材料是决定工程项目的最重要条件，把好设备、原材料质量关，是电气工程及自动化工程的头等大事。电气工程及自动化工程对于

设备和原材料须实行三检制度。一是在采购时的检验，特别是对生产商、销售商的资质、信誉、业绩和服务的检验和考察；二是采购后的进厂进货检验，除了采购人员、保管人员之外，还应有专业人员参与进货检验，必要时，特别是对于大型、贵重的设备应进行实地通电试验和仪器检验，确保产品的质量；三是安装或使用时的检验，所有电气设备、原材料在安装或使用前应按规程、规范要求进行试验及检验，杜绝假冒伪劣产品混入工程项目。上述三检均应出具试验及检验报告。

（4）电气工程及自动化工程设备的安装是保证工程项目顺利进行的重要条件，除了按照规程、规范、标准和设计要求进行安装外，最重要的是在安装前要对设备、元件、材料进行测试和试验，确保安装的质量。在安装过程中根据实际需要，会用到吊装、运输、焊接、加工制作、钳工作业等作业程序，这些环节的质量都关系到工程的总体质量。因此，每道工序的质量检查都是非常重要的，要求做到事前控制，避免形成不合格后返工或返修，以确保工程质量。

（5）电气工程及自动化工程设备的调试是保证工程项目交验及正常运行的重要技术手段，除了按照规程、规范、标准对工程各个子项目进行调整试验外，更重要的是要对其可靠性、灵敏性、准确性、安全性和抗衰老性做出判断，以确保其正常运行，并能在非正常条件下自动做出响应，来保证系统安全运行。

（6）电气工程及自动化工程设备的正常运行是保证交付使用后系统工作最重要的因素。除了按照规定和运行规程进行监视、测量、调整、控制、记录外，更重要的是对系统的安全性、可靠性、灵敏性、准确性做出判断，并及时发现运行缺陷，为维护、保养、检修提供可靠的依据和线索。以上行为可统称为运行技术措施。

运行技术措施的科学性及普遍性是保证电力系统及电气设备安全运行的必要条件之一，是保证安全运行的关键手段。运行技术措施主要是要落实在“勤”、“严”、“管”三个字上。

1）勤就是对电气线路及电气设备的每一部分、每一参数勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤修。这里的勤是指按周期，只是各类设备周期不同而已。

除按周期进行清扫、检查、维护和修理外，还必须利用线路停电机会彻底清扫、检查、紧固及维护修理。

2）严就是在运行维护中及各类作业中，严格执行操作规程、试验标准、作业标准，并有严格的管理制度，现有各种规程、标准、制度100多种。

3）管是指用电管理机构及组织措施，这个机构应该是有权威性的，一般由电气专家和行政负责人组成，能解决处理有关设计、安装调试、运行维护及安全方面的难题，同时从上到下直至每个用电者应有一个强大的安全协作网，构成全社会管电、用电的安全系统，这是保证安全运行的社会基础。

（7）电气工程及自动化工程设备的维护保养是保证系统安全运行的重要技术手段，维护保养必须遵守维护保养技术规程，同时在确保维护保养的要点上下工夫，把故障、缺陷消灭在萌芽状态。同时应落实维护保养的“勤”、“严”、“管”。

（8）电气工程及自动化工程设备的周期检修是确保系统长期安全运行的基本技术手段。世界上任何人工制造的装置在使用或运行的过程中，随着时间的推移，都有一定的磨损。在维护保养中我们要消除一些容易发现而工作量较少的磨损，如螺母松动、润滑油不够、仪表

数据不准、导线或触头发热等。同时要记录设备的状态及工作量较大的修复项目，以方便周期性检修或更换。其中，周期的长短是按长期运行或使用经验而制定的，并不时地按设备实际运行状况而修订，以满足设备运行的需要。检修同安装一样，要编制施工组织设计并对设备进行检测和试验。

有关电气工程及自动化工程运行、维护、保养、检修等内容详见《电工安全技术365问》（白公编著，机械工业出版社）一书。

第三节　电气工程及自动化工程形成的过程

一个大中型的电气工程及自动化工程项目形成的过程是非常复杂的，涉及技术、商务、经济、法律及管理方面的内容。电气工程及自动化工程形成的过程一般要经过如下的程序。

一、立项

由建设单位或主管部门向上级提交项目建议书，阐述项目的重要性、必要性及其对经济发展的作用等，并提交项目评估报告。项目评估报告主要是评估项目投资、效益、工期、税金等，经专家及主管部门评审通过后正式立项。

二、可行性研究及分析报告

由第三方组织有关专家及有经验的技术人员对项目的必要性、可实现性和实际效果等进行详细的调查研究及分析，包括存在的风险、不确定因素等，为决策者做出正确的判断，减少或防止决策失误，确保项目决策正确，从而保证项目建成后的社会效益及投资效益。

可行性研究工作的5大步骤

1. 研究筹划　这一过程需要摸清投资主体的目标、能力和要求，了解项目的背景、范围、具体研究内容。根据可行性研究内容的需要，确定可行性研究小组成员，并制定研究计划。

2. 调查研究　包括市场调查，原材料、燃料动力调查，工艺技术设备调查，建厂地区、地址调查，资金筹措渠道调查，以及有关政策法规调查等内容。通过分析论证，研究项目建设的必要性。

3. 技术方案设计与优选　在调查研究的基础上，设计出可供选择的技术方案，并结合实际条件进行反复论证研究，会同委托单位明确方案选择的原则及择优标准。从可能的技术方案中推荐最优或次优方案，论证其技术上的可行性。

4. 项目评价　包括对所选方案进行财务评价和经济评价。通过盈利性分析、财务生存能力分析、费用效益分析、不确定性分析和风险分析，研究论证项目财务可接受性、经济合理性和社会适应性。

5. 编写可行性研究报告　在证明项目建设的必要性、技术上的可行性和经济上的合理性之后，即可编制可行性研究报告，推荐一个或几个项目建设可行性方案，提出结论性意见和重大措施建议，作为项目的决策依据。

三、设计招标及实施

（1）项目确定后首先是设计招标，并发布招标书。投标单位必须是具有相应设计资质且涵盖项目要素的设计单位，出示设计方案和标的，由评标委员会评出最佳设计单位中标。

（2）设计单位中标后首先应出具项目的初步设计和技术设计，由第三方组织有关专家及有经验的技术人员进行评审，提出相应的改进意见或建议，然后经建设单位技术部门认可

即可进行项目的施工图设计，并在规定时间出具施工图，报当地或上一级或专业工程建设审图办公室审核批准。审图办必须具备相应资质。

（3）将全套施工图交于建设单位。

四、工程项目的招投标

（1）建设单位发布招标书，并将施工图全部交于投标单位，并签订相应的协议。

（2）投标单位必须是具有相应施工资质且涵盖全部施工图要素的施工单位，按招标书要求编写技术标（施工组织设计）和商务标（工程项目标的），并在规定时间内将投标书送达招标单位。

（3）招标单位应委托第三方评标委员会评审。评标委员会由相关专家及有经验的技术人员组成，并按照公平、公正、公开的原则进行评标。评标委员会必须在招标书规定的时间内发布招标结果和中标单位。

五、工程项目的前期工作

中标的施工单位应进行以下工作，确保工程的质量、安全、环保、进度、投资及工程项目交验。

（1）工程设计及施工图审核会审；

（2）工程的施工组织设计编制；

（3）工程预算编制；

（4）施工材料计划清单；

（5）施工机具计划；

（6）施工人力计划及技术力量配备；

（7）设备清单及到货计划；

（8）质量计划；

（9）环境管理计划；

（10）安全管理方案；

（11）施工管理机构设置及技术人员配备；

（12）施工用的标准、规范、规程及图册；

（13）现场安装施工条件；

（14）现场应急预案及保险；

（15）沟通与策划（包括与建设单位、设计单位、监理单位、当地政府相关部门以及当地驻军、居民的沟通）；

（16）其他相关事宜。

六、开工前的协调组织及准备工作

（1）确定项目负责人和各类人员的职责；

（2）质量、环境、安全管理体系和施工管理体系的建立及实施计划；

（3）开工前的准备工作。

为了将工程做好，须详细阅读工程图样、设计说明和交底文件，建设单位相关要求，相关标准规范等内容。还可参考《电气工程安装及调试技术手册》、《怎样阅读电气工程图》和《电工安全技术365问》三本由机械工业出版社出版的图书中的相关内容。

七、电气工程及自动化工程项目的安装调试及试运行

安装调试及试运行是电气工程及自动化工程项目最后一个攻坚体系，在这个体系中，集中了技术工人、技术人员、工程师们的辛劳和智慧。安装调试一般有如下程序：

（1）进驻工地，按施工组织设计中的施工平面布置图进行临建、组织施工人员进场。

（2）对进场设备、原材料进行检测、检验。

（3）人员分配分工，进入安装阶段。

（4）跟踪安装过程进行质量检验、安全检验、环保检测，处理过程中存在的问题。

（5）对完工的分部、分项工程进行调试。

（6）对单位工程进行调试。

（7）按车间或子系统进行试送电，处理存在问题。

（8）系统全部送电，进入试运行。

（9）整理工程记录。

（10）竣（交）工验收。

（11）全面试车及试运行。

（12）正式运行。

八、电气工程的竣（交）工及验收

电气工程及自动化工程经过前期准备、安装、调试、送电及试运行后，已成为合格的产品，即可交付建设单位使用，这个交付的过程就是竣（交）工及验收。有些工程把送电及试运行与竣（交）工及验收合在一起进行，这是一种简易可行的、经常采用的办法。

1. 总体要求

（1）电气工程及自动化工程竣（交）工验收的竣（交）交工主体应是安装单位，验收主体应是建设单位，并由质量监督单位、监理单位监督。

（2）竣（交）工验收的电气工程必须具备规定的交付竣（交）工验收条件，包括合同条款，电气工程施工及验收规范等相关内容及条款。

（3）竣（交）工验收阶段一般应按下列程序依次进行：

1）竣（交）工验收准备，由安装单位进行。

2）编制竣（交）工验收计划，由安装单位按工程实际情况编制。

3）组织现场验收，由建设单位组织安装单位及相关部门参加。

4）进行竣（交）工结算，由建设单位、安装单位共同进行，由监理单位监督。

5）移交竣（交）工资料，由建设单位、安装单位、监理单位共同进行。

6）办理竣（交）工手续，由建设单位、安装单位、监理单位共同进行。

2. 竣（交）工验收准备

（1）项目经理应全面负责工程交付竣（交）工验收前的各项准备工作，建立竣（交）工收尾小组，编制项目竣（交）工收尾计划并限期完成。

（2）项目经理和技术负责人应对竣（交）工收尾计划执行情况进行检查，重要部位要做好检查记录。

（3）项目经理部应在完成施工项目竣（交）工收尾计划后，向企业报告，提交有关部门进行验收。实行分包的项目，分包人应按质量验收标准的规定检验工程质量，并将验收结论及资料交安装单位汇总。

（4）安装单位应在验收合格的基础上，向建设单位发出预约竣（交）工验收的通知书，说明拟交工项目的情况，商定有关竣（交）工验收事宜。

3. 竣（交）工及验收的主要内容及程序

竣（交）工及验收的主要内容及程序包括两点：一是在验收时对安装工程的质量检查、试验及试运行或试运转；二是交验竣（交）工资料及有关安装调试记录的技术文件（以下简称技术文件资料）。其目的就是检验竣（交）工的电气工程是否符合设计要求，且能否实现设计意图；安装工程质量是否符合国家或部颁的标准规范，调整试验项目及其结果是否符合国家或部颁规范要求；有关安装试验调整的记录、资料文件是否齐全，且是否符合国家或部颁规范的要求。

九、工程项目总结

（1）建设单位按项目评估报告进行总结，结合工程项目的全部实际过程进行对比、分析存在问题，写出总结报告，报上级主管部门。

（2）主管部门按可行性研究及分析报告组织专家、技术人员进行系统总结，找出评估的差距，积累经验，写出评估总结报告。

（3）设计单位按工程项目实施的全过程，以及安装调试及试运行的实际情况和设计方案、主要设备、控制精度等找出设计失误及差距，积累经验，写出设计总结报告。

（4）安装单位按照施工图样、施工组织设计、工程预算和决算、安装记录、质量记录、设备及原材料检验记录、安全检查记录、环保实施记录、现场施工组织、人、机、料、法、环及交工验收等因素进行全面总结，写出总结报告。归纳成功的经验、失败的教训，必要时应总结出安装调试及运行中的经典事例，作为今后承包、投标工程的重要资料，特别是对大型重点工程，必须写出全面、真实的总结。

第四节　设计师在电气工程及自动化工程项目中的作用

电气工程及自动化工程项目的设计在工程的全部过程中处于非常重要的地位，设计上的细微失误都会给工程带来重大的损失。因此，工程设计要进行招标，投标单位要进行工程的初步设计和技术设计，并由第三方组织专家进行评审，提出相应意见和建议。然后由建设单位技术部门认可后方可进行设计。当施工图设计完工后，还要经过当地或上一级专业工程建设审图机构审核。可以看出，工程设计是层层把关，关关严谨，不得有丝毫粗心和失误的环节，只有做到这样才能保证工程设计的技术和质量。

作为工程设计的设计师是工程项目设计的主体、基石、栋梁和神经，他们肩负重担、责任重大，在保证系统的先进性、稳定性、可靠性、灵敏性和安全性上起着举足轻重的作用。

（1）在工程项目的主体上确保技术的先进性，是电气工程及自动化工程的主流。在设计上采用先进技术、先进设备、先进材料是推动全社会技术进步的重要手段。任何先进的设备、技术、材料只有在工程实践中推广使用后才能证明它的先进性和实用性，然后才能进入真正的推广使用阶段。电气工程及自动化是前沿学科，随着社会的发展和技术的进步，电气工程及自动化技术已渗透到各个领域，其先进性代表着发展和技术。

设计方案的先进性是保证工程项目设计主体上先进的根本保证。因此，在确定设计方案时应参考国内外同类电气工程及自动化工程项目的设计图样，参考相关文献书籍，并对其进

行分析，汲取精华，去其糟粕。所谓汲取不是照搬硬套，而是由它激发你的创意，在其基础上创造出更为先进的方案或提供更为先进的思路，确保设计方案的先进性。而去其糟粕不是全部否定，而是由它提醒你不要走别人的老路，分析造成糟粕的原因，避免导致设计方案的落后和失败。

与此同时，设计方案的确定不能一味追求先进而忘记投资，往往过分追求豪华会造成糟粕，也就是说钱没有用在刀刃上。所谓先进是指功能上先进，设备上先进，技术上先进，材料上先进，而这些先进设备、技术和材料必须是经过实际检测和验证并确定了其先进性方可采用的。作为设计师，任何时候、任何情况下，都不能采用未经实际检测和验证的产品，更为重要的是千万不能去当别人的试验品，杜绝假冒伪劣产品进入电气工程及自动化工程，否则会毁掉你的设计生涯，甚至造成终生遗憾。

（2）在工程项目的主体上要确保系统的稳定性，这是电气工程及自动化工程的重要基础。除了上述先进的技术、设备、材料以及设计方案的先进外，还要解决它们之间接口和控制的问题，只有接口和控制的问题解决好了，设备才能稳定工作。所谓稳定工作就是在各种数值、参数、定值以及运行环境、条件、状态处于正常状态下，系统能长期无故障，无缺陷，精准地运行，这是电气工程及自动化工程最根本的要求，特别是对控制系统复杂，重要负荷、特殊环境条件下要求得更为严格。因此，在选择先进方案、先进设备和材料及确定接口和控制的具体结构和方法时，更要考虑到稳定性这一重要基本点。

（3）在工程项目的总体上确保系统的可靠性是电气工程及自动化工程的基本要求。可靠性就是在先进性、稳定性的基础上，系统设置的各种保护装置、报警系统、自动调节系统、自动控制系统、自动检测装置、安全保护自动装置、智能识别及控制系统等能够在系统各种数值、参数、定值以及运行环境、条件、状态处于非正常情况下也能够可靠地动作，或者可靠地按照设定的程序去进行保护、报警、调节、控制，将系统从非正常状态经控制或调节牵引到正常状态时系统又能自动恢复正常的运行状态。这是一个非常复杂的过程，除了常规的继电保护技术外，还要用到传感器技术、电子技术和电力电子技术、微机技术、通信技术、自动控制及调节技术、人工智能技术乃至机械手、机器人技术等。

可靠性及这些技术是电气工程及自动化工程的难点，也是最有魅力并激发人们工作乐趣的源泉。每一位设计师都应该在这方面下大力气，确保你设计的继电保护系统、报警系统、自动调节及控制系统、自动检测系统、安全保护系统、智能识别及控制系统等能够可靠动作，确保系统的安全运行。

（4）在工程项目可靠性的基础上要确保其灵敏性，是电气工程及自动化工程控制保护系统的基本要求。

灵敏性是建立在可靠性的基础上的，在设定的数值、时间、环境、条件之内应迅速动作。除了在设备、元件、材料的选用上满足设定的要求外，主要是数学模型的建立必须精确无误，线路设置必须合理，同时应有排除各种干扰的设置和措施，有拒绝误动作的设置和措施。因此，智能识别和控制系统在重要的电气工程及自动化工程中有很重要的位置和作用，一般在方案设计中通常采用数理统计的方法，把所有可能发生的、影响系统运行的条件、环境全部列出，逐一设立方案。有相关的条件或环境还要采用“与”、“或”、“与或”、“与非”、“或非”等数学模型去解决，确保万无一失，做到滴水不漏，这正是电气工程及自动化技术的魅力所在。说一句行话，数学必须学好，因为数学使人周密；说一句土话，你必须

身经百战，才能经验丰富。

（5）电气工程及自动化工程的安全性是工程中的重中之重。上述先进性、稳定性、可靠性、灵敏性是保证系统安全运行的基本要点，只要设计上能确保这四点，其余的则由安装、调试、运行、维护、保养、检修等程序去完成。由此可见，设计师在电气及自动化工程中的显赫位置和重要作用。所谓安全运行是指在正常条件下，系统能稳定工作，在非正常条件下，系统的保护及自动调节系统能及时工作，将非正常条件下的状态牵引到正常状态而稳定工作，使系统永远处于正常状态。这种安全运行是理想状态，在实际工程中是不存在的，电气系统总会发生一些故障，只要这些故障不影响系统的总体运行、不造成损失，基本上就是安全运行。

综上所述，设计师在电气工程及自动化工程的设计中承担着重大的责任，在有些环节起着决定性的作用。设计是电气工程及自动化工程先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性的先导。如果设计上在这五点存在缺陷，都有可能导致整个工程项目的失败，那将是非常惨痛的。因此，设计师要与时俱进，要不断地学习新技术、新工艺、新设备、新材料，提高自身技术素质，同时要经常深入工程现场，掌握第一手资料，验证设计成败与否，并向现场安装人员学习和探讨，进一步开阔思路，改进设计。只有这样，才会永远立足于不败之地，为电气工程及自动化工程做出更多的优秀设计。

第五节　工程师在电气工程及自动化工程项目中的作用

工程师在电气工程及自动化工程项目整个实施过程中起着决定成败的重要作用，他们是工程的中流砥柱、是桥梁、是金钥匙、是抢险队长；他们是工程指挥者、组织者、实施者；他们在工程中要传授技术、教授方法、解决难题、监督质量、掌握进度、保证安全、控制投资、交流沟通。这是本书的中心内容，这里简述一下其内涵。

（1）熟读和掌握工程设计图样和设计文件；

（2）编制施工组织设计并付诸实施；

（3）向施工人员技术交底、安全交底；

（4）把设计图样存在的缺陷、不足和问题反映给设计单位，双方达成共识，利于施工；

（5）解决工程中出现的技术难题和非技术性的难题；

（6）解决工程中出现的质量和安全及环保事故；

（7）投标阶段编制标书，直接参与投标活动；

（8）与建设单位、设计单位、兄弟单位、供货单位、地方政府团体、上级单位交流沟通；

（9）在管理层到作业层之间上下传达技术、管理、组织信息，并组织实施；

（10）对工程的实施全面监督、全面负责、统筹组织人、机、料、法、环等生产环节，确保质量、安全、进度、投资、环保。

作为工程师同样要与时俱进，要不断学习新技术、新工艺、新设备、新材料，扎根于施工现场，积累实践经验，逐渐在电工专业及其边缘学科拓展，立足于电工技术前沿，瞄准高端，在电气和自动化专业及其工程中发挥更大的作用，做出更大的贡献。

第六节　技术工人在电气工程及自动化工程项目中的作用

技术工人是电气工程及自动化工程的直接实施者，他们是电气工程及自动化工程的中坚力量，是创造价值、创造财富的主力军，是配合工程师工作的得力助手。他们是承载工程项目的基石，是攻克工程项目实践中困难的勇士，是抢险队员，他们在工程项目中功不可没。

技术工人在工程中要完成安装、调试、运行、维护、检修、试验、保养、修理等项目，每个项目的完成都必须遵守标准、规程、规范的要求，确保工程的质量；同时还要面对并处理工程出现的意想不到的复杂的故障、险情、事故等，这就要求他们具备精湛的技术技能、崇高的职业道德、临危不惧的心理素质以及处理复杂事物的能力和意志。

作为技术工人，更要与时俱进，学习新技术、新工艺、新设备、新材料，特别是与微机技术、电子技术、电力电子技术、传感器技术、自动检测技术、自动控制技术相关的“四新”产品及技术，通过不断深入学习和实践提高自己，以适应新形势、新技术的需要，因为越来越多的这方面技术已经融入到了电气工程及自动化工程各个环节的作业项目中。如果不加强这方面的学习和实践，或者忽视这方面的学习和实践，就会慢慢地被新形势下的新技术淘汰，这是现今无可争辩的事实。

第七节　设计师、工程师、技术工人之间的关系

通过前述分析可以明确的看出，设计师、工程师、技术工人之间的关系是互补的、相容的、密不可分的，三者在工程中的分工和位置不同，在电气工程与自动化工程中缺一不可。

（1）设计师要经常深入到工程现场了解情况，并向工程师、技术工人学习或共同探讨技术问题。同时工程师、技术工人要向他们反映设计上存在的缺陷或不足，以求合适的解决方法。

（2）工程师处于设计师和技术工人之间，他既是传递信息的桥梁，又是解决实践问题的纽带，既要把设计意图和自身领会教授给技术工人，又要组织、指挥技术工人完成工程项目；既要解决工程中的难题，又要把工程中出现的或技术工人反映上来的难点、疑点协同设计师商讨解决。

（3）技术工人是照设计意图和工程师的技术要求和技术交底施工的，施工中出现不可解决的问题要向工程师、设计师反映，在解决过程中，他们往往提出很多可操作、有价值的方法，他们丰富的实践经验是工程师、设计师们永远值得学习的地方。

设计师、工程师、技术工人在工程中的位置不同、起到的作用不同，其利益、效果不同，但目的是相同的；他们之间有合作，有监督，又有上下关系，既是三者鼎立，又是三者统一，这就是工程技术中的辩证法。

第八节　大学生怎样成为一名合格的工程师

成为一名合格的工程师相信是每个学子梦寐以求的事情。其实，成为一名工程师容易，

而成为一名真正合格的工程师却是很难的。这是本书的重点，要想成为一名真正合格的工程师，你必须能做到以下几点。

（1）具备电气专业本科学历，同时热爱这个岗位，并为之奋斗终身、始终不渝。

（2）长期深入基层，积累实践经验。

（3）遵守职业规则，探索实践方法和路子，做到不怕吃苦受累，甘当徒弟学生，虚心求教，不耻下问，学会模仿，学会总结。

（4）在实践中磨炼，提高综合能力，如干、讲、写、读图、画图及组织能力和解决难题的能力。

（5）继续学习，不断完善，永远追求新技术。

（6）学会领导艺术，永远立足基层。

（7）关注电工技术动向。

（8）学会防微杜渐。

（9）正确认识技术工人这个群体。

（10）拜工人为师，向工人学习。

一名大学生踏上工作岗位走向人生道路以后，不会是一帆风顺的，特别是在“名”和“利”上必须要经得住严峻的考验、有的人很容易成为一名工程师，其实他并不具备工程师的条件；而有的人确实具备工程师的各种条件，自身也付出了不懈的努力，但却不是工程师，这都不重要。重要的是你是否具备了一名工程师的能力、学识及胆识。

第九节　电气工程及自动化的发展前景及动向

电气工程及自动化有着广泛的发展前景，随着传感器技术、微机技术、机器人技术的普及和发展，随着风能发电、太阳能发电、核能发电、化学能及其他能源发电的开发和利用，电气工程及自动化工程必将有一个新的契机，这也是每个电气工作者发展的机遇。因此，无论是刚毕业的大学生，还是已经从事电气工程及自动化工作的电气工作者，都有着发展和创新的机遇。然而要想抓住这个契机就必须不断地去学习新技术、新工艺，去掌握新设备、新材料，只有这样，你才能够在这个发展的契机中立于不败之地。

纵观人类历史的发展和近20年来科技成果的层出不穷，无一不与电气自动化有着千丝万缕的联系。今后人类文明和科学技术的发展仍然也是必然要与电气自动化有着更为深层的紧密联系。更为准确地讲，只有电气工程及自动化技术发展了，进步了，人类文明及科学技术才能发展和进步。

电气工程及自动化的发展是全方位的、多方面的，主要有工厂自动化、电气设备及元件、通信系统、工业与民用建筑电气工程、自动控制系统以及在经济、国防、科研、教育等领域的应用等。以上讲到的几点仅是沧海一栗，请同学们为之不懈努力。

一、工厂自动化的发展动向及前景

工厂自动化的发展主要是建立在计算机技术及其推广应用方面，特别是机器人。机械手、智能控制等方面的硬件及软件系统。

（1）建立工厂自动化网络，主要是利用数据通信局域网把各个车间、生产线、供应系统之间连接起来，加上软件的支持，实现生产自动化。

（2）工厂自动化计算机，主要是建立在32位计算机应用的基础上，使制造管理功能与综合控制功能一体化，同时使计算机辅助设计和计算机辅助制造在线化。这样，机械设备、电气设备、辅助设备及其元件上将有很大的进步或改进。

（3）工厂自动化控制器将广泛应用，它是实现上述技术的基本元件，使更大范围的群控系统化和系统微型组件化。

（4）可编程序控制器、机器人控制器、数字控制器将进一步提高控制功能，进一步智能化，加强与工厂自动化控制器的在线功能。这样，低压电器、高压电器、电动机及动力装置将在结构和应用上有更大改进，特别是控制接口上会有很大的突破。

（5）计算机辅助设计软件将广泛应用，使分析系统、分析要求、评价工具的通用化、多元化大大改进，进一步促进模拟技术的应用，使上述软件系统与软件结合，提高控制功能，提高产品质量。

（6）生产管理软件将普及应用，软件将实现插件化和模块化，并利用简易语言使程序简化，大大方便人们的操作和使用，同时计算机将普及运用到各个岗位，将手工操作降到最低点，有力促进自动化生产体系。

（7）制造管理软件，与其他车间各个系统实现网络一体化和工厂自动化；与计算机辅助设计和计算机辅助制造实现在线化；建立使系统高效运转的调度软件，实现联网调度，提高效率；系统采用并推广使用简易语言、简化程序，提高工作效率。

（8）设备的综合控制将实现系统网络化，各种控制器与系统接口标准化，可与各种控制器进行数据通信；软件插件化和模块化；控制系统的控制语言将简化程序，便于应用。同时与生产管理软件相辅相成，实现生产、工艺、调度、供应自动化。

（9）设备的群控将扩充群控功能，群控的软件插件化和模块化，控制用语言简化程序，便于操作和应用。

（10）加强重要设备的控制及其与工厂自动化控制器的在线功能，重要设备的运行状态将按时提供数据，以供分析和查看。同时普及应用高级语言，扩充智能功能和控制功能。

（11）扩大无人搬运装置的应用，使搬运高速化，提高搬运定位精度，利用自动识别技术提高搬运和分类精度、减少人工体力劳动。

（12）扩大交流伺服机构的应用，实现控制高级化和控制装置小型化，适应特殊环境，扩大运用范围，如机器人、机械手、狭小空间、精密制造、无尘超净等环境。

（13）传感器技术，自动检测技术，自动控制技术，防火、防盗、防灾、防震技术的应用越来越广，工厂自动化实现智能化、智能控制。

（14）新型、先进、智能电气设备元件应用越来越多、与计算网络接口也越来越简单。

（15）由于上述动向的出现，必须加强电气技术人员、电气工人的技术技能培训，以适应科技发展的需要，确保工厂自动化的运行。

二、智能控制及仿真控制

随着计算机技术、传感器技术、自动控制技术的普及，智能控制及仿真控制将有很大的发展潜力。

（1）智能控制包括模糊控制和人工神经元网络非线性控制，都是建立在各种反馈系统上的控制。

模糊控制中的模糊化接口、推理机、解模糊接口及知识库是亟需普及和推广应用的部分。

人工神经元网络非线性控制可分为监督控制、直接逆控制、模型参考控制及预测控制。这些控制系统中的网络控制器、网络预测模型是亟需普及和推广应用的部分。

（2）仿真控制是建立在矩阵变换计算、多项式运算、微积分、线性及非线性方程、常微分方程、偏微分方程、插值与拟合、统计及优化的数学基础上的加以C语言的控制系统。仿真控制急需在开发、普及、推广上下工夫，特别是在与计算机系统接口以及解决元件简化、程序简便方面，其发展动向深不可测，是控制系统的尖端学科。

三、新型电工电子功能材料

电工材料是电气工程及自动化工程中最重要部分之一，它在发展、革新的征途上总是领先于其他学科。

（1）电气绝缘材料　包括绝缘涂料、绝缘胶、绝缘纸及薄膜、复合柔软绝缘（绝缘带、漆布、漆管、绝缘纸、云母片、纸、带等）、电工橡胶制品、电工塑料制品、层压制品、硬质云母板、绝缘陶瓷、玻璃及绝缘子等。

（2）半导体材料

（3）磁性材料

（4）光电功能材料　包括具有光电效应的光电材料、光敏二极管等，能把其他能量转变为光能的材料（发光二极管、荧光材料、激光器材料等），液晶、高电容率材料、驻极体以及敏感材料（压敏、热敏、力敏、湿敏、气敏、磁敏材料）等传感器材料。

（5）超导材料

（6）电工合金材料　包括电阻合金、电热合金、开关触头材料、熔体材料、热双金属材料、热电材料及热电偶等。

（7）导线、电缆、电磁线、通信电缆及光缆等材料。

四、电气测量仪表和工业自动化仪表

（1）电气测量仪表

（2）工业自动化仪表

五、智能化开关设备

开关设备智能化，包括低压开关设备、高压开关设备及其辅助装置能与计算机网络及自动化技术直接接口，保证自动控制系统畅通无阻。智能化开关设备的开关、应用、运行方面发展前景很大。

1. 智能开关设备的基本特点

1）现场参量处理数字化，不仅大大提高了测量和保护精度，减小了产品保持特性的分散性，而且可以通过软件改变处理算法，不需修改硬件结构设计，就可以实现不同的保护功能。

2）电气设备的多功能化，如作为数字化仪表，可以实时地显示要求的各种运行参数；可以根据工作现场的具体情况设置保护类型、保护特性和保护阈值；对运行状态进行分析和判断，完成监控对象要求的各种保护；真实记录并显示故障过程，以便用户进行事故分析；按用户要求保存运行的历史数据，编制并打印报表等。

3）电气设备的网络化，采用数字通信技术，组成电器智能化通信网络，完成信息的传输，实现网络化的管理、设备资源的共享。

4）真正实现分布式管理与控制，智能开关设备的监控单元能够完成对电气设备本身及

其监管对象要求的全部监控和保护，使现场设备具有完善的、独立的处理事故和完成不同操作的能力，可以组建成完全不同于集中控制或集散控制系统的分布式控制系统。

5）可以组成真正的全开放式系统，采用计算机通信网络中的分层模型建立起来的电气智能化通信网络，可以把不同生产厂商、不同类型但具有相同通信协议的智能电气互连，实现资源共享，不同产品可以互换，达到系统的最优组合。通过网络互连技术，还可以把不同地域、不同类型的电气智能化通信网络连接起来，实现全国乃至世界范围内的开放式系统。

2. 智能开关设备的一般组成结构

智能开关设备由一次电路中的开关电器元件和一个物理结构上相对独立的智能监控单元组成。开关设备一次元件应包含开关柜内所有安装在一次电路侧的电器元件，如电压互感器、电流互感器、隔离开关、执行电器（断路器、接触器、负荷开关）、接地开关等。

智能监控单元含有输入、中央处理与控制、输出、监测及通信等主要模块。实现智能电网及智能控制，进入数字化电网时代。

六、工业与民用建筑

（1）节能建筑发展潜力很大。

（2）火灾报警与消防联动装置亟待新产品开发。

（3）建筑物内网络、通信、电视亟待新产品开发。

（4）智能建筑，包括防盗报警、智能控制、电子巡更、停车场管理、门禁及对讲系统、楼宇设备控制监测系统，亟待新产品开发。

七、电热应用

主要包括电加工、电加热、电阻加热、电弧炉、感应炉、特殊电加热、电弧焊机、电阻焊机条焊接设备、静电加热技术，亟待新产品开发和推广应用。

八、通信及网络系统

通信及网络是现代科技发展的必然，是人们工作生活离不了的联络方式。有很多元件、接口装置及功能等亟待开发新产品并推广应用。

九、其他方面发展动向

电气工程及自动化总是领先并配合其他学科的发展，在今后将有更多的专业、学科与其配合，创造出更多的成果。在工程技术领域里，电气自动化永远是先锋官、排头兵。

同学们，电气工程及自动化工程的概论我们讲了九大内容，其实这还远远不够，这里只是概念地罗列了一些题目，更为深层的内容、意义及其内涵还需你们走上这个光荣的岗位后才能够充分了解。无论你在电气工程及自动化工程中处于哪种或哪几种位置，都必须时刻牢记，这是一个实践性极强的专业，是一个前景非常广阔的专业，是一个日新月异的专业。想在这个领域里做出辉煌的业绩和成就，一定要付出巨大的努力。

思 考 题

1. 谈谈你对电气工程及自动化工程的认识。
2. 保证电气工程及自动化工程的条件有哪些？
3. 在电气工程及自动化工程形成的过程中，你愿意在哪个位置工作？
4. 你想成为工程师吗？为什么？
5. 电气工程及自动化的发展前景及动向对你有何种启发和引导？

第二章　工程师的概念

在一般人们的心目中，工程师是一个被人尊敬而又非常神秘的职业。人们总会看到在生产施工现场工程师们指导生产，翻阅图样，解决技术难题；在会议室内工程师们为技术问题与别人争论而面红耳赤，为合理化建议在为别人耐心细致的讲述，为培养后备人才在做着激烈的动员工作；在午夜的灯光下，工程师们在绘制图样，在为生产出谋划策，在为产品的质量改进而呕心沥血；在双休日的教室里，工程师们在向青年工人们讲授着电子技术、微机原理、自动控制，讲授着电气工程及自动化的发展，讲授着新型电气控制设备的安装、调试及维修和运行。

这就是人们心目中的工程师，但是，工程师究竟是怎样的一个概念，它的定义是什么，恐怕到目前还没有一个准确的定义。不仿我们这里就给出一个定义，无论准确、完整与否，重要的是让人们更为深刻的知道工程师这个职业的内涵。

第一节　工程师的定义

所谓“师者，传道、授业、解惑也”（韩愈《师说》），那么在工程技术的范畴里，“师”就是传授道理、教授方法、解决难题的人，这三点没有做到，你就不会是工程技术范畴里的“师”。因此，我们把“具有丰富的实践经验并与扎实的理论基础相结合的、能够把科研或技术成果转化到实践工程中去应用或创造实用价值及财富的，并能够解决工程实践中技术/管理疑难问题的人”定义为工程师。

人们也许会说，你对工程师的理解太完美或者是太求全责备了。然而确确实实是这样，因为工程师这个群体担负着国家经济、科研、国防、教育等重大命脉装备和设施的设计、建设、运行、维护、保养、检修的责任；担负着将众多科研成果转化到工程实践中去并转化为生产力的责任；担负着使生产一线正常运行并解决技术/管理难题的责任；担负着产品质量的检验及产品质量的改进的责任；担负着培养年轻一代技术技能接班人的责任等等。可以看出他们肩上的担子实在是太重了，这也是工程师这个职业之所以被人尊敬的原因。在人们的心目中，他们便是学识、智慧、技巧、能力的化身，是解决工程实践中难题的技术高手。

一、丰富的实践经验

工程师的职责主要是为生产一线或工程现场服务的，生产现场的工艺、设备的正常运转、产品的质量、人员的组织、机具设备仪器仪表的使用、材料的检验、生产过程的安全保证以及安全设施的设置等，都是由工程师负责的。这些生产过程的正常运行和出现的问题都要反馈到工程师，并由工程师去解决处理。一种办法是派出得力的助手或是自己深信不疑的工人师傅去解决，这是由自己的生产技术管理经验决定的。另一种办法是自己亲自去解决，或是由助手和工人师傅同自己一块去解决，因为这些问题处理的难度较大，涉及的方面较多，这也是由自己的生产技术管理经验决定的。

因此，丰富的实践经验是工程师称职与否的第一个条件。

那么，实践经验是从哪里来的呢？

首先是自己在实践中磨炼、摸索、总结，在实践中学习或模仿别人，在实践中向有经验的人学习求教而得来的。当然，在实践中磨炼、摸索、学习、求教是一件不容易的事情，除了身体素质外，意志也是一项决定的因素。另外一个最主要的因素是能放下架子，虚心求教。只要能做到这点，实践经验就会丰富起来。

然后是阅读工程技术实践方面的书籍、文献、产品说明书，并能将其与工程实践对比。经过消化吸收后指出其哪些是较为先进的，哪些是经常用到的，各有什么优缺点等。

其次是悟性，悟性是天分，但悟性也是能在实践中逐步提高的。如果对这项工作，对深入实践有反感或兴趣不大，再有悟性恐怕也难以积累成丰富的实践经验。因此，热爱电工事业、热爱自动化，才是真正积累实践经验的动力。

二、扎实的理论基础

工程师的另一个职责是要解决工程设计中的一些问题及科技成果转化应用中的问题，经常要用到计算或其他基础理论方面的知识。特别是电机与拖动、自动控制理论及系统、机械设备控制技术、电子技术以及数学、物理学以及电工学中的一些课程，这些是在工作中要经常用到的知识。无论在大学时代这些课程学得好与坏，从走上工作岗位的第一天起你应重新拿起这些课本，认真地从头读起，同时去体会这些理论知识有何用途，并最好能结合实践写出你的心得，结合设计图样多问几个为什么，或者进行验算，审核设计中设备、元件、材料的选择正确与否。这样就可以把理论知识与实践有机地结合起来，也有利于自己理论知识的提高和巩固。只有这样你才能立足于不败之地。

理论知识的学习，特别是数学的学习，除了上述的一些用途之外，最重要的还是为你解决问题开阔了思路。同样的一个技术难题，你能提出多个解决方案，从不同的方面去合理解决，对解决过程中应注意的事项你能提出十几条，而一般人却只能想到一个或者几条，这就是在实践中加强理论学习表现出的优势。

大学里工科学生要学两年半的数学，而到了工作岗位后，除了少数从事尖端科研或理论研究的人之外，绝大多数的人在工作中最常用的只有加、减、乘、除、三角、几何、统计数学等。这时人们就产生了疑惑，微积分、线性代数、工程数学等究竟有什么用途呢？它们的用途就是前面说的为你开阔了思路，为你在工程实践中解决技术难题奠定了理论基础，为你在电气工程及自动化领域里永远站在最前列铺平了道路。数学使人周密就是这个道理。

因此，扎实的理论基础是工程师必备的条件，除了在大学里学习的知识以外，走上工作岗位后你还得继续学习理论知识，并在实践中验证，这样任何技术难题都会迎刃而解。

三、科技成果转化及应用

随着时代的进步和科学技术的发展，特别是计算机技术、智能技术的迅速发展，使电气工程技术走入了又一个高峰阶段。在这个时期内电气工程的新技术、新设备、新材料、新工艺层出不穷，令电气工程及自动化专业的工程师们面临着严峻的考验。这当中有些人不断努力进取，对“四新”研究、解剖、应用，一直站在电气工程技术的最前沿，把这些崭新的科技成果及时地转化和应用到工程中去，并对其使用、选择、维护、保养做出了详细的规则，同时他们又把这些新技术、新知识教会了一般的工人。这些工人师傅们不久又会把他们在工程中对“四新”的体会和经验反馈到工程师那里，这样几经反复，这些新技术得到了修正，得到了实践的考验，从而得到了迅速的发展，把整个电工技术引领到时代科学技术的

新高度。使智能技术、计算机技术、传感器技术、调速技术、通信技术及网络都融入到了电气设备及元件中，提高了自动控制的精度，提高了产品的质量，提高了自动化的程度，节约了人力、物力、财务和资源，工程师们在这个过程中起到了决定性的作用，这正是他们的另一个职责。

然而也有些人则对“四新”没有去钻研，一方面是因为他们基础理论差，实践经验少，另一方面是因为他们没有把电气工程技术当做自己的事业去做，最终在这技术突飞猛进的时代里落伍了。

一个科研成果要转化和应用到工程实践中去，是一个相当复杂的过程，而有些成绩经过实践的考验也被淘汰。例如，电力系统中电磁继电器继电保护之后的晶体管继电保护就因为技术和器件不稳定，流行了仅仅几年就退出了电工技术的舞台，取而代之的则是微机继电保护。再如软起动器、变频起动器的兴起取代了传统的电动机起动控制方法，使电动机拖动技术从复杂的控制系统中解脱出来，既减少了起动电流，又便于调速；既保护了电动机，又适用于自动控制，既简化了控制设备，又便于维护保养。

综上所述，工程师在科研成果的转化及应用中起着至关重要的作用，这也是他们施展才华的重要平台，有很多优秀的工程师就是在这个转化和应用的过程中崭露头角、独领风骚的。同样，科技成果的转化及应用也是工程师必备的条件，这在工程实践中是不容忽视的，每个工程师在转化及应用科技成果的过程中，业绩越多、成果越丰富，则在电工领域、电工工人群体中及其单位企业内威信就越高，同时科技成果的转化及应用也应成为工程师们不断进取、不懈追求的目标。

四、解决工程实践中的技术难题

前述三点我们都是围绕解决技术难题进行讲述的，这是工程师必备条件中的重中之重。通俗一点讲，工程师就是工程实践中的老师，设计人员解决不了的或者设计不合理的问题需要工程师解决，工程实施过程中的技术难题，工人解决不了的也需要工程师解决；科研成果转化过程中的一些难题仍然需要工程师解决，别人都可以说解决不了，但工程师绝对不能说出“解决不了”四个字。这里我们举一个很典型的例子。

低压开关柜中前后均能手动合闸、又能电动合闸的 WD 系列 3000A 的断路器是最常见的低压断路器，常作为低压总断路器或大型低压电动机控制的断路器，经过安装、试验均合格，但是就是合不上闸，一合闸就发生跳闸现象，就连空载合闸也同样如此。眼看面临送电试车，怎么办？派人从上闸口电源引入部分，下闸口输出到低压母线乃至母线各路送出部分节节测试检查，仍无法找到症结所在。这时人们都把目光集中到一名工程师的身上。他几经考虑后，果断地把断路器中的合闸电磁铁取下后，将其吸合行程调整缩短了 2mm，然后装好进行合闸试验，一举成功。其实这个道理很简单，因为吸合行程太大电磁铁吸力不足难以将其吸合，可是为什么那么多人都没有想到呢？同样人们又把赞许的目光集中到他的身上，甚至有的人在欢呼、在鼓掌，因为大家干了半年多的工程险些由于合不上闸而功亏一篑，成败在此一举啊！

什么是工程师？工程师就是在工程中解决各种难题的人，这样的例子太多了，我们在后续章节中还会引用一些事例。可以准确地讲，能否解决工程实践中的难题是衡量一名工程师是否合格的唯一标准。

能够解决实践中技术难题的本领并非一日所成，它是在前述三点的前提下，在实践中通过动脑、动手、虚心向工人求教、仔细观察而磨炼出来的，如果你能做到这些，那么你一定会在难题面前挺身而出，马到成功的。

值得指出的是，在工人队伍中有这样一个群体，他们技艺高超、身怀绝技，具有相当丰富的实践经验，电工工龄都在30年左右。他们的文化程度大都为高中，在企业是技术能手，有的是工人技师，有的是高级技师。这些人有的经过自学、函授、高教自考、旁听或其他方式使自己的文化程度普遍提高到相当于大学水平。只不过是在学习的过程中，基础课学得不多，而专业基础课和专业课却学得很多并且很深。他们在企业里同样是中坚力量，担任着项目经理或课题负责人，在上述的四条中，只有“扎实的理论基础”逊色一点，其他三条（特别是“丰富的实践经验”这条）均不比工程师差，我们把这部分人定义为工人工程师。其实他们在工程实践中也是履行着工程师的职责，干着工程师的工作，只不过是工人工程师这个称谓没有列入技术职称范围之内而已。

这是一股不容忽视的技术力量，在工程实践中，如果两者能够互补，那将是不可战胜的。作为刚刚踏上工作岗位的大学生们来讲，工人工程师是你们最好的学习榜样和老师，如果你能从他们身上学到技术技能的真谛，你便在工程师的道路上就迈出了决定性的一步。

前面我们对工程师的定义及其标准、职责进行了整体的描述，四个条件缺一不可，又紧密结合，相辅相成。这样就给大学毕业生指出了一个明确的目标和方向，在今后的工作历程中你还会有更深刻、更精辟的理解和认识。一定要记住，在电气工程及自动化的实践中，作为一名工程师，别人会的你必须会，别人知道的你必须知道；而别人不会的你要尽量多地会，别人不知道的你也要尽量多地知道，并且要为之奋斗。这样你在群众中的威信就会越来越高，能在现场指挥生产，能解决实际问题，你就会有发言权，你就能立足于电气工程现场，由你主持的工程就会质量越来越好，生产就会越来越安全，成本会越来越低，人心就会越来越齐，企业就会越来越发达。千军易得，一将难求就是这个道理。

同学们，既然你们选择了电气工程及自动化专业，既然你们又准备走上工程师这个岗位，你就应该真心实意、踏踏实实地在这个岗位上干下去，按以上四个条件严格要求自己，提高自己，充实自己，完善自己，相信你们不久一定会成为一名真正的电气工程师。

第二节　工程师的职业位置及地位

在电气工程及自动化工程实践中，工程师是连接设计师（包括科研人员）与工人之间的一座桥梁，是打开工程实践中每一个难题的金钥匙，是工程紧要关头第一个奋勇站出的抢险队长，是工程质量、安全、技术、管理、环境保护的中流砥柱。

工程师的职业位置及地位不是凭空想象出来的，也不是人们出于对工程师的仰慕而胡编乱造出来的，而是在工程实践中干出来的。其中最重要的一点就是职业道德和职业责任。人总是要有些精神的，特别是受过高等教育的人更是要有些精神和思想的。你们的缺点、短处乃至错误是由法律和道德来约束的，但在你喜爱的工作上、事业上绝不能有半点的马虎和过失，一就是一，二就是二，兢兢业业、恪尽职守、应该永远站在电气工程技术的最前沿，有条件时则应越过它的最高线。你就是技术技能的象征，在你的工作和事业上没有过不去的坎，这也正是人们对这个职业尊敬而又感到神秘的理由，如果你做不到这一点，那么你就不是一名真正合格的工程师，你就愧对工程师这个崇高而光荣的称号。

一、工程师是一座桥梁

电气工程及自动化专业现场工程师的工作，一是要把设计师、科学家、科研人员的设计

图样和设计文件经过阅读、理解、熟悉、消化后编制合适的制作、加工、安装、调试、试验方法、方案，以及工艺程序及要求、注意事项和有关质量、安全、进度、投资、环境保护、人员安排、材料设备等管理事宜；然后要向制作、加工、安装、调试人员进行技术交底、制定安全方案，指出关键部位、隐蔽部位、贵重设备元件等环节的制作、加工、安装、调试的技术要求和具体操作方法、注意事项等，并组织进行准备工作，为工程做好详细的安排。同时在上述的过程中把设计图样中存在的问题、缺陷、不足反映给设计部门，经过协商、沟通达成共识，由设计单位出具变更、追加或详细说明，以便更好地进行工程的实施。

二是在工程项目实施的过程中，要解决设计图样中出现的种种问题，并把实施人员发现的设计图样中无法由研制、加工、安装调试解决的缺陷和不足同样反映到设计部门。有时候设计部门不便出具书面文件，只做口头交代，还需工程师编制文件向实施人员交底。

在上述工程项目实施过程中，工程师就是一个信息加工、制作、传输的通道，就是一座桥梁，通过这座桥梁，设计师、科学家、科研人员的设计变成了现实；通过这座桥梁，工程项目实施人员体现了技术技能的价值，向国家、向用户交付了一项满意的工程。在这个过程中，工程师功不可没。

二、工程师是一把金钥匙

每一个工程项目从设计到研制施工、从研制施工到交验，直到整个工程项目完成的全过程中，工程师要解决很多大大小小的问题，包括现场实施人员不能解决的一些技术难题。他要与实施人员同在一个现场，出现难题立刻去解决。有的问题可能几句话就解决，而有的问题则可能几天几夜也解决不了，这时就体现了工程师的责任。工程师并非万能，有时还得组织攻关、科研，有时要花很大财力、物力和精力。但无论怎样，难题必须解决。现场实施人员把工程师当做了主心骨、金钥匙，有时还要解决一些非生产、非技术、非物质方面的问题，解决大家心理、情绪方面的问题。

这里我们把工程师形象地比喻为一把金钥匙，他能打开也必须打开每一把锁，当然他要付出很多很多，只有这样他才不愧对工程师这个称号。

三、工程师是抢险队长

任何一个工程项目的实施都有可能发生质量、安全、环保等方面的事故。为了保证不发生事故或者发生事故后能及时妥善处理的措施方案，工程师在前期准备及编制技术文件时应当已详细地制定了质量管理方案、安全管理方案、环保管理方案以及各种质量安全及环保保证措施和应急预案，尽量做到万无一失，天衣无缝，同样这里又要用上数学所赋予的严谨和周密。一旦事故发生便能启动预案，及时处理，将损失降到最低。这些措施、方案、预案在工程项目开始及实施的过程中都要向实施人员详细交底，并随时检查落实实施的状态，及时纠正过程中的不妥和缺陷，确保工程项目顺利进行。

当工程项目实施进展时，一旦由于各种错综复杂的原因发生了事故，第一个站出来的肯定是现场工程师，他将有条不紊地指挥大家妥善地处理事故，并及时采纳老工人、老师傅提出的意见和方法，将事故尽快处理，同时还要迅速制定恢复项目实施的程序、方案和措施。这是工程师的职业道德和责任，作为一名现场工程师必须做到这一点。

四、工程师是工程项目的中流砥柱

从以上分析可以看出现场工程师在工程项目实施过程中的职业位置及地位，而在实际操作过程中，工程师是从工程项目投标、中标阶段就开始履行他的职责了。

在投标阶段工程师们要按发标单位的标书文件的要求编制投标文件，一个是技术标，一个是项目造价标（标底）。其中技术标与“一”中所述的研制（施工）组织设计基本相同，不同的是在其中简化了关于实施过程中有关企业技术保密、关键设备和具体方法的内容，这部分内容将在投标单位进行实地考察时，也就是中标有绝对把握时才投出，这完全是为了企业的利益，也符合投招标的规范要求。实地考察时，招标单位通常要请与工程项目相关的专家同行，要详细询问关键部位的具体技术内容和操作、测试、试验方法，同时对实施过程中用到关键设备、仪器进行询问。作为工程师除了要熟练应对这些询问外，还必须从另一侧面详细讲述企业的技术实力，关键性问题一定要回答得准确无误，具体操作要领、注意事项等保密内容的回答要超出这些专家的想象，比他们考虑的结果还要周密细致。让专家们感到企业技术力量雄厚，技术人才济济，这样中标的机会就能牢牢地抓在我们手中。

在造价标底编制的过程中，预算人员要在工程师的指导下细心编制，并由两个人同时分别编制同一子项的预算，然后进行比对。同时要向他们详细交底，做到不漏项、不错项，不多算，不少算，这样就能准确地编制出一份预算标底，提供给企业经营主管部门。

中标后，工程师还要马不停蹄地继续工作，从详细编制施工组织设计，编制预算等一系列的准备工作一直到工程项目的竣工交验。

综上所述，在一个工程项目的投标、中标、开工准备、项目实施、交工验收的全过程中，工程师是一个最重要的角色，任何一个环节、任何一个过程、任何一个结论都与工程师的工作和能力密不可分，因此我们说工程师是工程项目保证质量、安全、技术、工期、投资、管理、环保的中流砥柱，是企业的中坚力量。

工程师的职业位置及地位仅用上述四点是难以讲述清楚的，因为其位置及地位是在工程实践中干出来的。当一座座工厂胜利竣工、送电试车成功、机器正常运转且发出轰鸣声音的时候，当一件件科研成果试制成功、即将投入批量生产而运用到国家经济发展各个脉络的时候，当一幢幢高楼大厦竣工营业的时候，除了欢呼跳跃、兴奋呐喊、红旗招展、彩球飞舞、鞭炮齐鸣外，我们应当想到这些成果中设计师、科学家、科研人员为之付出了多少智慧和灵感，工程师为之付出了多少心血和才华，工人师傅们为之付出了多少汗水和力量，特别是工程师在工程项目中起到的作用，是他们精心策划、指导生产、为质量、安全、工期、投资保驾护航，这才是工程师真正的职业位置及地位。

同学们，工程师就是这样的概念，当你走上工作岗位而为之不懈努力的时候，你应该立刻想到工程师的四个条件和四个职业位置及地位，并在工程实践中用它们来衡量自己、鞭策自己、考核自己、升华自己，那么，在成为一名合格的工程师的道路上，你已成功地走过了一半。

当然，在成为工程师的道路上，会有很多困难、很多坎坷、很多障碍、很多阻力，这都是对你的考验。除了你自身具备的学识、经验、运气和胆识外，最主要的就是你的意志品质，就像冲锋向前的战士一样，你应该做到永不退缩，勇往直前。

思 考 题

1. 工程师必备的四个条件是什么？怎样才能具备这四个条件？
2. 工程师是怎样的一种职业？它的职业位置及地位是什么？
3. 你怎样理解工程师的职业内涵？

第三章　大学生到工程师的历程

一个大学生毕业并走上工作岗位后，至少要经过15年的时间才能达到正高级工程师的申报年限的条件。按照国家关于申报工程师资格的相关规定，大学生毕业后工作一年即可申报助理工程师，助理工程师四年后即可申报工程师，工程师五年后即可申报高级工程师，高级工程师五年后即可申报正高级工程师。当然在每个级别的申报过程中，还有很多必备的条件，这些条件具备后经相应级别职称评委会评审通过，再由职称管理部门审核批准后即可获得相应的工程师称号。这个过程的详细说明如图3-1所示。

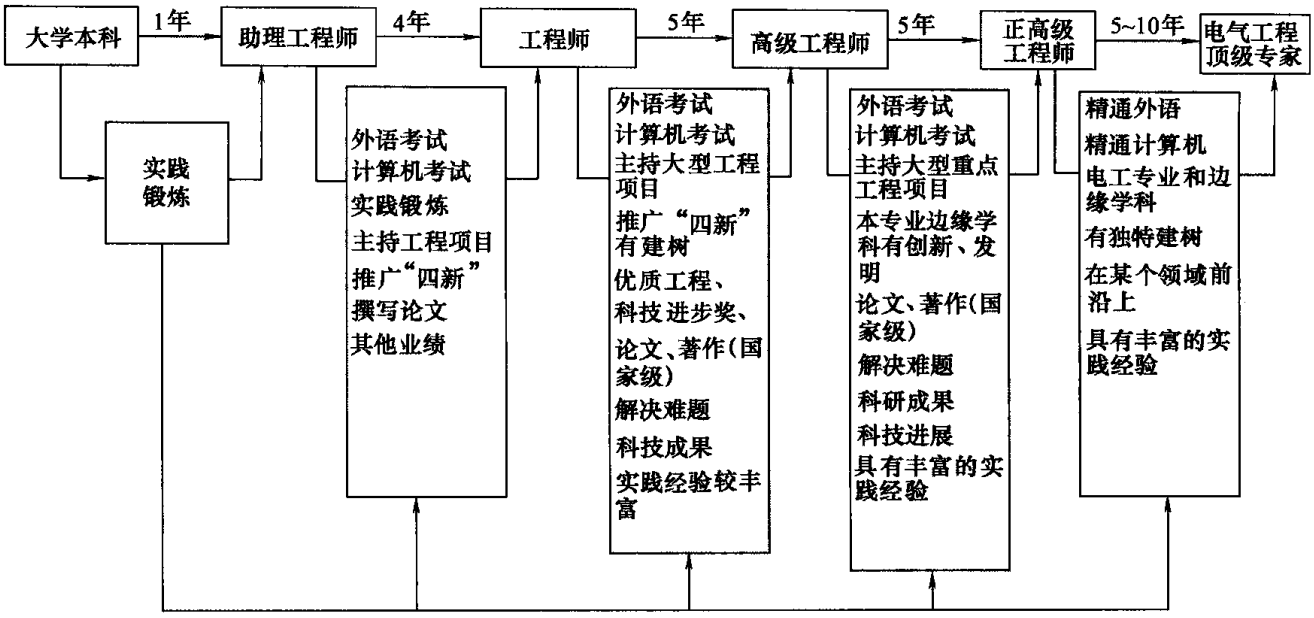


图3-1　工程师的成长历程

这个过程只是国家在职称管理上的一个形式，并且每一年都在逐步修订这些条件。而在工程实践中，有的工程师真是名符其实，真正具备了第一章中的两个四条，是企业的中坚力量；而有的则是徒有虚名，名不副实。

一个电气工程及自动化专业的大学生在走上工作岗位后，一直到工程师这个位置究竟要经过怎样的一个历程呢？除了时间与别人平等外，其余都要靠自己在工作实践去努力磨练和探索。

第一节　长期深入基层，积累实践经验

在工作实践的过程中，除应该掌握一般的技术技能和常用电工检测仪器仪表外，应具有如下实践经验及技术技能。

（1）电力变压器安装、调试、运行、维修的工艺程序、基本要求、使用的设备及仪器

仪表、注意事项以及变压器（包括电机）运输、吊装方面的工艺程序、基本要求、使用的设备及注意事项等。

（2）电机（包括电动机、发电机）安装调试、运行、维修的工艺程序、基本要求、使用的设备及仪器仪表、注意事项以及电机及其起动控制装置的故障处理方法、故障诊断及注意事项等。

（3）电力线路（包括电力电缆和架空线路）安装、调试、运行、维修的工艺程序、基本要求，使用的机械设备及仪器仪表、注意事项以及设备器材运输、吊装方面工艺程序、基本要求、使用的设备及注意事项等。

（4）变配电装置（包括室内、室外、高压、低压及二次电路）的安装、调试、运行、维修的工艺程序、基本要求，使用的机械设备及仪器仪表，注意事项以及设备运输吊装方面的工艺程序、基本要求、注意事项等。

（5）自动装置及自动控制设备（包括微机自控及监测系统）安装、调试、运行、维修的工艺程序、基本要求、使用的仪器仪表、注意事项，其中包括模拟动作试验。

（6）自动化仪表（包括智能仪表）及其配套装置安装调试、运行、维修的工艺程序、基本要求、使用的仪器仪表及试验装置、注意事项、仪表投入等。

（7）10kV 及以下变配电系统、架空及电缆线路、动力及照明、常用自控仪表及自动装置、弱电系统的设计、设备元件选型及指导施工。

（8）电气工程安全技术、常用防护措施、安全注意事项。

（9）电气工程试车、送电、试运行程序、要点、注意事项等。

（10）电气工程交验程序、要点、注意事项等。

（11）电气工程施工验收及监理规范等。

上述能力的具备要经过多年的实践和锻炼，除了能力外，还有意志品质的磨练以及怎样与工人师傅相处沟通与学习，这对你的事业是有着极大帮助的。在这十几年的时间里，除了工作和事业外，你要结婚成家，生儿育女，负担是很重的。所以一定要处理好家庭和事业的关系。等到了三十五、六岁你才去积累实践经验，恐怕为时已晚，大势已去，这样的遗憾是无法弥补的。如果你想成为一个名副其实的工程师，就必须处理好两者的关系，趁着青春年华，努力拼搏，你一定会成功的。

从一名大学毕业生到取得工程师的资格，进而成长为一名优秀的工程师，没有十几年的磨炼是出不来的。在这十几年的时间里，如果你走上管理或领导岗位，你还想成为一名真正的工程师，那么你必须在百忙之中到工程实践中去，把工作的重点还是放在工程实践中去。其实走上管理岗位是为你成为一名真正的工程师提供了一个绝好的机会，你可以在你未曾实践过的工程中去锻炼，关键是你怎样去对待。

这里我最真诚的告诫大家，实践经验是人一生最宝贵的财富，是永不枯竭、取之不尽的源泉，有了丰富的实践经验，你定会在电气工程及自动化这个领域有所作为、大展宏图。

第二节　遵守职业规则，探索实践方法

这里我们先讲一个真实的小故事，说的是一个大学生怎样成为一名焊接专家的。那是1968 年，华北某地要建一个中国最大的化工厂，因此有很多大学生被分配到这个地方，其

中有一个是天津大学毕业的，学的也是电气专业，但是他却被分配到机修车间当一名焊工。从上班那天开始，他不怕吃苦、不怕受累、不怕脏活，虚心向师傅学习，刻苦钻研焊接技术，甚至在下班后和休息日也在加班焊。他的行为深深的打动他的师傅，其实他师傅人称焊霸，他们这批人都是从全国各地抽调到这里的国内技术技能顶级高手，他们大都参加过玉门、大庆油田的建设，身经百战。一开始他对这些刚从学校出来的“白面书生”多少有些鄙夷，但是对这个徒弟他却是如获至宝、百般呵护、精心施教、传授看家技艺。这样一来，一个虚心学习，一个真心传授，如同父子、配合默契，在工地被传为佳话。

几年之后，这名小伙子就已经熟练的掌握了各种金属材料的焊接方法，成了年轻焊工里的佼佼者，由于他是学电气专业，除了焊接外，还虚心向电工师傅学习，掌握了各种焊接设备的修理和故障处理技术，一时成为全工地年轻人学习的榜样。

不久，工厂的一台重要设备坏了，更为难办的是这当中有一个100mm厚的铸铁反应锅底开裂，全工厂因此陷于半停产状态。这台设备是进口的，价值几百万，怎么办？找厂家？还是自己修？全厂上下束手无策，一筹莫展。这时，这名年轻人悄悄地跟师傅说：“咱们能不能把锅底焊好？”师傅说：“你疯了？那能焊吗？”他说：“师傅，我们是焊工，就焊接金属的，虽然厚了些，但工艺原理是一样的，我们试试吧！”师傅经过一番考虑，最终同意了他的建议，并开始悄悄地进行实验。几天之后，由他编写的一份焊接反应锅底工艺方案送到了厂技术部和厂办公室，全厂上下一片惊喜。方案中，焊接设备是他用几台电焊机改造而成的，焊把是他与师傅自制的。有不少人对这套方案的可行性持怀疑态度，最后厂长抱着弧注一掷的心情同意了该方案。

修补工作开始了，他和师傅整整七天七夜没合眼。一天早晨，大多数人还在睡梦之中，而聚合车间却一片欢呼声，设备修好了，反应锅底焊好了，陷于半停厂状态两个多月的工厂可以开工了。面对胜利和掌声他很冷静，把整个修补工作详细地写成一份报告，记录了焊接过程中的各种数据和工艺方法。通过实践他指出了焊接反应锅底工艺方案中某些方面的缺陷和不足，并制订了改进方案及其详细工艺过程，存入了设备档案。

这件事情之后，他被提升为机修车间主任，人称焊王。上世纪八十年代中叶，他调往一家国内知名的造船厂工作，任总工程师。

这个故事告诉我们，在工程技术的这个领域里，绝对不会一夜成名，更不会吃到天上掉下的馅饼，它有它的职业规则和探索实践的方法，只有付出、只有舍的，你才能得到，只有注重平时一点一滴的积累，才能在机会到来时紧紧抓住，到达技术技能的顶点。

从这个故事中我们可以总结出以下几个要点，这也是成为一名优秀工程师必备的素质。

（1）不怕吃苦，不怕受累，甘当徒弟，让工人师傅知道你是真的要学技术。工程实践不仅仅只是技术活，还有苦活、累活、脏活，加班加点，还有恶劣天气时为了抢工去干，还有可能让你值班、看门、守夜，这都是一种磨练，也是人生的一个阅历。放下架子，摆正位置，不辞劳苦，定会苦尽甘来，后来居上。

（2）虚心求教，不耻下问，甘当学生，自己不懂的、不会的就去请教别人，千万不能因怕丢面子而不懂装懂，杜绝不求甚解。请教时要注意细节，要等人家把话说完，有时别人说了一半，你就说行了、行了，知道啦，这是对别人的不尊敬，等下次再请教时则难以保证顺利进行。换个角度讲，其实你不懂装懂把事情干砸了才是真正的丢面子。虚心求教，不耻下问是人的一种美德，是进步的一个渠道。

（3）学会总结，善于分析。每天要把自己干过的或参与过的与技术技能相关的事物详细记录下来，程序、要点和注意事项要一字不漏。然后将这些小结分类整理，并不断完善，并且分析相同的项目为什么有很多不同，是在什么条件下产生的。这样一步一个台阶，一步一个脚印走下去，定会有惊人的收获。

（4）学会模仿，善于观察。工程中的事错综复杂，企业有竞标不上的工程项目，竞标上了也不一定会分配到你去干，也不会件件你都会参与，特别是一些细节或较为繁琐的部分，必须去探索或模仿。学会模仿，其实就是要学会“偷艺”，一是可与参与过的人沟通、交流，二是利用工余去现场观摩，然后进行总结，详细记录。在以后一旦有这样的项目轮到你的时候，你就能轻车熟路、水到渠成。

（5）对于企业外部的一些工程项目要学会观察，做到凡是与电气工程及自动化有关的工程项目，要想尽办法亲临现场，仔细观察。相同的项目别人是怎么干的，有何区别，然后对比，总结最好方法；没有干过的项目，一定要掌握详细的工艺方法，然后用文字写出模拟方案，为今后做好准备，做到心中有数。

（6）人的一生是一个不断学习、不断追求的过程，无论你走到何种地步都不要忘记、也不要放弃继续学习，特别是电气工程及自动化方面的新技术、新工艺、新设备、新材料层出不穷，一定且必须要跟上发展的步伐，去收集它、研究它、掌握它、运用它、推广它。同时还要帮助别人去运用它，真诚地去教会别人，特别是文化程度较低的人，不能表现出丝毫的怠慢，必须做到谦虚谨慎。

（7）在实践中学会对标准、规范的理解和应用，严格掌握尺度。电气工程及自动化专业涉及到的标准规范很多，在实践中要针对工程项目掌握哪些是保证项目，是必须做到的；哪些是一般项目，是应该做到的；都要做到心中有数，确保工程质量，特别是对设备、元件，材料方的要求，必须做到百分之百，不得有丝毫的疏漏。

（8）做到防微杜渐，你只要在你的职业生涯中、在对待每一个工程项目、每个技术技能，包括职业行为中的各条注意事项，真正做到防微杜渐，做到从头就按严格要求作起，那么就成功了一半。在工程实践当中，人们往往只注重大事情，而忽略了小事情，可一些质量、安全事故却总是发生在人们不太注意的地方。这是他们忘记了大事情中包含了很多小事情、复杂的事情是由很多简单的事情排列组合成的这个道理。

成功是每个人都向往的事情，成功的人所走过的道路也不尽相同。但是，每个成功的人都遵守职业规则、都去探索不同的工程实践的方法、都去为了自己的目标不懈地努力和拼搏。在这里有一句话要送给各位大学生朋友：凡事从小事做起、从简单做起、从基层做起、从基础做起，自然会水到渠成，瓜熟蒂落。正所谓“为者常成，行者常至”。

第三节　在实践中磨炼，提高综合能力

由第一章的内容可以看出，工程师就是具备综合能力、解决工程实践中难题的一个群体。一个工程师也许一生中不会干做什么惊天动地的大事，但是在他们身后却屹立着一座座现代化工厂、一幢幢高楼大厦、一条条电力线路，为国家建设和生活贡献着他们的智慧和力量。综合能力是衡量一个工程师又一个条件，当然综合能力也是在实践中磨练出来的，主要指工程技术中的干、讲、写、读、画和创新等几种。

（1）干，就是要能干、会干、干得好。这一点在前述内容中已经讲的很多了，也就是说凡是涉及到电气工程及自动化专业方向的工程项目要能干、会干且干得好。其中能干包括工程中涉及到的吊装、运输、钳工、焊工、测量工、混凝土基础工等多项非电专业的技术技能。当然，这些技术技能你不必要亲自干，主要是知道怎么干、用什么机械和设备仪器、注意事项、具体要求、工艺要点、规范要求等内容。会干是指除了正常的施工外，要会解决疑难问题（包括技术和管理两个方面），起到消防队长的作用。在技术问题上要有具体详细的方法，要列出1、2、3…条，并有面对意外情况的对策，要做到滴水不漏，万无一失。在管理上要注重用人，要把重点放在任用和培养年轻人上，做好新老交替，平稳衔接。人用对了，就不会有疑难问题。这样，工程项目就会干好，就会顺利交验。

（2）讲，就是要能讲、会讲、讲得好。讲的内容包括技术技能、管理规则、难题解答以及工程中诸多的事物，要善于给别人讲，要讲的清楚，讲的明白，讲的有效，讲的能解决问题。能讲就是要把别人想要知道的且是你已经掌握的东西讲给别人，以便要求他们按你的要求去做；会讲就是你讲的要行之有效，能解决问题，别人按其去做就能会做；讲得好，就是按你讲的去做，就能做好，就能一次试车成功，就能一次交验。讲，除了你掌握的技术技能外，还包括口才、逻辑性和说服力的问题。这些能力的具备是在工程实践中磨练出来的。你会讲，就会调动别人的积极性，问题就会化整为零，各个击破，既节约了工时，又显示了群众的威力。你只有两只手，不能什么事都得你亲自办，要学会动员群众。

（3）写，就是要能写、会写、写得好。写的内容包括施工（研制）组织设计、施工（研制）方案、机具计划、进度计划、人力资源计划、安全管理方案、环境管理方案、质量计划、应急预案、技术安全交底、工程项目预算书、维护保养检修计划、试车送电试运行方案（计划）、物资供应计划、工程项目交验方案、技术难题解决方案、安装调试运行维护技术规程及方法等技术文件。其中，能写就是能把上述技术文件用文字表达清楚，让别人一看就明白，实际上就是要写出具体详细的程序、步骤、方法和注意事项，人们按照技术文件就能去干、去做；会写就是使技术文件具有操作性、可行性、可读性和实用性，人们把你讲的那些技术技能和技术文件结合起来就能把工程项目完成；而写得好就是继能写、会写后，技术文件对工程项目有指导性，而不是一纸空文，人们读了要能“解渴”，即能解决实际问题，而不是纸上谈兵。

而实践中，人们往往对讲和写都有一种偏见，认为讲和写都是理论性的，这是一个极大的误区。讲和写都是从实践中总结、锤炼出来的晶华，是指导工程项目实施、保证安全、保证质量、保证进度的具体措施方法。否则，你写的技术文件就是废纸一张。

（4）读，就是能读图、会读图、读得好，任何一个工程项目都是用图样来表达的，图样就是设计师、科研人员与工程师、工人之间的一种语言。图读懂了、读对了，读出存在的问题和缺陷了，这项工程就完成了一半，因为施工组织设计、工程预算、工程实施都是以图为准的。因此，读图是工程项目中致关重要的一环。能读图就是能读懂设计部门出据的图样，找出关键部位与核心技术，即时能想到安装、研制，调整试验的方法；会读图就是在能读的基础上对其设备材料选择能进行核算，对其控制方法原理进行剖析；读得好就是在能读、会读的基础上能找出设计中存在的问题和缺陷、提出优化方案，包括节能、减排或减化工艺程序的技术方案，并协同设计部门修改设计等。

读图是工程师必备的技术技能，只有把读图做好了，才能进行工程的下一步，读图也是

设计的一个基础，只有会读图了，才会设计出更好的工程图样。从某种意义上讲，读图就是设计的实践，这一点很重要，有些人参加工作后就去搞设计，没有经过实践这个最重要过程，最后图样漏洞百出、错误连篇。如果你上岗后从事的是设计工作，那么你应该先去读图，先去实践，和从事安装、调试一样，先向老师傅们学习避免走弯路。

（5）画，就是要能画图、会画图、画得好。画图、设计与安装、研制、调试有根本的区别，画图设计主要是动脑，而安装、研制、调制则主要是动手，但动手的过程中又不乏去动脑。这两个动脑是不同的，主要是主攻的目标和方向不同。设计中的动脑主要是确定设计方案和设备、元件材料的计算以及设计的合理性、准确性、先进性；而安装、研制的动脑主要是如何保证工程项目的质量、安全、工期以及怎样解决工程实施过程中的技术问题和管理问题，同时这种动脑是穿插在动手过程之中的。

能画就是能对一般的电气工程或项目进行设计，会画则是能完成较大、较复杂的电气工程项目的设计，而画得好指除了能画、会画的内函外对具有科研价值、重点工程项目及对经济发展有重大影响的电气工程项目的设计。可以准确的讲，设计是工程师技术水平、技术能力最高的一种考核，但一个最好的设计是来源于工程实践的。

对于设计技术、能力的磨练和掌握有不同的形式，特别是非设计岗位的人来说要困难很多。

在设计岗位的人由于本身就从事设计工作，有着相应的工作环境和设备，只要虚心求教，刻苦努力，从小到大，从易到难，一步一步去做，并采用与安装调试技术技能一样方法，十年以后则可能会成为一名优秀的设计师。

然而在安装、研制岗位的人要想掌握设计技术技能就要困难得多了，但是并非无路可走。世界上只有想不到事情，而没有办不到的事情，这里可以告诉你几个方法。

如果你在一个工厂企业工作，那么你可以按照其实际线路、实际电气设备、各种用电装置进行模拟设计，先画平面布置图，并记录设备的容量，按其选配管线，按其实际功能画出控制方式或控制电路，并确定控制盘、框的位置及加工制作图样。这是第一手资料。

然后将各个平面图的容量相加，选取系数，按其确定线路方式及走向，确定线路截面及分支线路的排布方式及进户形式。

其后按上述图样确定变压器电压等级及容量，确定回路个数、配电方式，开关柜型号规格、继电保护方式等，然后画出配电系统图、平面图、二次回路、计量回路、保护方式、防雷接地。

最后写出设计说明、列出设备、材料表，经过计算确定设备、元件、材料的规格、型号及数量。

一切完备后与实际或原设计图样对比，找出差距，改进设计。就这样见一个，画一个，见两个，画两个，你不就成了设计师了吗！

如果你在安装或研制单位工作，也可以按上述的方法进行模拟设计，参考设备安装专业图样中电气设备、装置的容量，然后逐一进行设计。最后与设计图样对比，找出差距，然后改进，进一步提高自己。

在实际生活、工作或其他社会活动中，可以见到很多机械设备在运行，很多装置在工作。如，日常生活中的冰箱、自动洗衣机、空调器，商店及小型企业的自备发电机组，高层建筑中的电梯，码头的桥式起重机，建筑工地的提升机，生产车间的工艺设备、包括空调及

仪表设备、机床、天车等等。对这些设备装置先通过观察掌握其工作原理和运行方式，然后进行控制电路或控制柜的模拟设计，你完全可以把微机自控技术、传感器技术、电子技术引用到模拟设计中去。这样，举一反三，见一个，设计一个，同时收集这方面的资料、文献、书籍，写出心得和小节，并把电路进行分类或总结，几年后你定会成为一名优秀的设计师。

读到这里，难道你不想去试试?

我们中国的古代文化给后人留下了很多宝贵的财富，如，照猫画虎、后来居上、龟兔赛跑、别具匠心、持之以恒等名句都告诉我们，只要你去开发它、利用它，在实践中验证它，你就会发现“世上无难事，只怕有心人”是千真万确的真理。

（6）创新，没有创新，就没有发展。前面我们讲了干、讲、写、读、画，那是抛砖引玉，创新就靠你们啦，这里只是强调几点。

1）创新必须遵守科学的原则；

2）创新要立足于科学技术及技术技能的发展方面；

3）创新要量体裁衣，实事求是，脚踏实地；

4）创新要节约人力、物力、财力及能源；

5）创新要忌好高骛远、忌贪大求洋；

6）创新要忌一夜成名，忌一夜暴富。

第四节 继续学习不断完善，向科研型、专家型发展

科学技术是个永远无尽头的事情，只要你愿意去做，总有永远做不完，永远做不会的事情。特别是进入21世纪后，电气工程技术已经渗入到所有领域，尤其是微机技术、传感器技术、电子技术、遥感遥控技术、网络技术等现代电工技术的发展，如今已经很难找出一件与电不相干的事情。电同阳光、水、空气一样，是人类不可缺少的亲密伙伴，可以想象，如果真的没有了电，那将是一个怎样可怕而黑暗的世界。

如今，在电的这项技术里，还有很多很多技术难关没有攻破，我举一个最简单的例子，如果有一种自动震动装置安装在输电线路及杆塔上，根据落雪的情况自动震动，就不会出现2008年初南方雪灾中高压线被压至断裂的事件。就是这样一个没有被人想到事情，让我们损失了几千亿。

因此，年轻一代的电气工程师任重而道远啊。要继续学习，不断完善自己，向科研型、专家型人才发展，为电气工程事业做出更大贡献，才是你们的目标和方向。当然，这样事情的做成并非是一个简单过程，而是一个漫长、复杂并充满艰辛的过程。作为一名电气工程师一是要掌握巩固、完善现代电工技术，二是要学习或寻求新技术，三是要推广使用新技术，让电为人类更好地服务。

现代电工技术的内容很多，涉及其他专业、边缘学科的内容也很多。主要有电工材料及器材、电子技术及元器件、电力电子技术及元器件，微机网络技术及信息技术、自动化及仪器仪表、变压器及电机、开关设备及继电保护装置、自动控制及元件、电气传动及调速技术、机器人及传感器技术、通信技术及设备、发电技术及设备、电力系统安全运行技术、节电技术、弱电技术及应用、智能技术及应用、家电技术及应用等。

（1）电工材料及器材。电工材料是电气工程技术的主攻方向，也是引领电气工程技术

发展的排头兵，包括绝缘材料、半导体材料、导体材料及线缆、超导材料，光电功能材料、电工合金材料、通信电缆光缆、磁性材料及电工复合材料等。

（2）电子技术及元器件。电子技术是现代电气工程技术及其发展的基础，包括半导体元器件、基础电路、放大及运算电路、信号发生及处理电路、调制与解调电路、数字电路及逻辑元器件、数/模、模/数转换及器件、电子设备电源电路及装置等。

（3）电力电子技术及元器件。电力电子技术是电子技术与传统电工技术相结合的电工新技术，是电气工程技术发展的新阶梯，包括电力电子元器件、基础电路、驱动装置及保护、电力电子设备及装置、变频器、UPS（不间断电源）等。

（4）微机网络及信息技术。微机网络及信息技术是现代科学尖端技术的急先锋，包括电子计算机及其软件技术、可编程序控制器、数据库及应用、计算机信息技术及应用、信息处理技术及元件、人工智能及机器人技术、计算机网络技术及应用、计算机自动控制技术等。

（5）自动化仪器仪表。自动化仪器仪表是现代科学尖端技术的眼睛，是自动化、自动控制的基础，包括电量、磁量、温度、热量、压力、流量、成分分析、物位、机械量、环境参量等各种量、参数的测量、记录、分析、控制等。其中，控制元件、传感器、电子技术、微机及智能技术是新型仪器仪表的核心技术，亟待发展。

（6）电机及变压器。电机及变压器是电气工程技术的重中之重，特别是小型、微型、微特型电机及其应用也是电气工程技术中的尖端，是自动控制、机器人、机械手、人工智能技术中的关键部件，其驱动电路及模拟动作软件亟待开发。对于常用的电动机、变压器主要是控制、起动、保护电路及装置的应用，其中节电技术是关键技术，在工程实践中也应用的较少，是一个弱项。

（7）开关设备及继电保护装置。开关设备及继电保护装置是电气工程技术中的关键设备，随着技术的发展，这些设备逐步向小体积、大电流、多功能、智能化的方向发展，是取代传统设备的必然趋势，但维护、保养、运行技术没有及时跟上，这是推广、使用的缺憾。

（8）自动控制技术及元件。自动控制是电气工程技术中最尖端、最重要的技术，也是最难的技术。除了电工材料和器材外，所有的电气工程技术中都要用到自动控制技术，它是电气工程技术的核心。主要包括线性定时（LTI）控制、线性连续控制、非线性控制、最优控制、自适应控制、智能控制、控制系统 MATLAB、仿真技术预测控制和变结构控制等，并且逐步向智能化发展。自动控制技术及元件是数字化电网的基础，潜力无量。

（9）电气传动及调速技术。电气传动及调速技术与自动控制、电动机、开关设备是紧密相连、密不可分的重要技术，在各种产品的生产工艺系统、机器人、机械手、动力装置及其电气系统有着广泛的应用。包括电动机起动、控制、调速，直流调速、交流调速、伺服系统及控制，机械加工、冶金机械、起重运输机械、电梯控制、电动车辆、矿山机械、石油机械、船舶电气传动装置、化工机械等行业等。随着技术的进步发展，电气传动与微机技术接口向智能方向发展，有着不可估量的前景，是控制技术的一场革命。

（10）机器人及传感器技术。前面我们多次提到机械手、机器人和传感器，在科学技术迅速发展的今天，机械手、机器人已应用到多个领域。21 世纪将是机器人去代替人类从事劳动、工作——特别是艰苦、危险、劳累、繁琐的劳动——的新纪元。机器人、机械手、传感器技术涉及到机械、材料、化工、人体科学等多个专业，机电一体化、人机电一体化将是

新型、时尚学科，发展前景不可估量。

（11）通信技术、设备及信号传输技术。这个领域目前技术设备已日趋完善，涉及其他多个学科，从“嫦娥一号”的登月可以清楚地看到这一点，因此，推广和应用仍是主要工作。同时通信技术已与微机技术、网络技术结合在一起，是技术发展的潮流。主要包括模拟通信、数字通信、数据通信、通信网络、微波通信、卫星通信、光纤通信、移动通信、图像传输、广播与电视等，发展前景很大。

（12）发电技术及设备。发电技术及设备、特别是容量较大的火力、水力、核动力、风力、太阳能、化学能（电池）、海洋能、地热能、生物能、磁流体等发电技术及设备已很成熟，且专业性强，目前除了正确运用电能外，主要是节电技术和寻求新的电能来源。随着地球能源枯竭，寻求新的电能来源是21世纪迫在眉睫的事情。除了火力、水力核动力、风力发电外，其他发电容量偏小，有的还在试验阶段，均不能满足生产和经济发展的需要，因此节电技术就尤为重要了，据有关资料报导，40%的电能被浪费掉了，如果节电技术赶上去了，那将人类的大幸。

（13）节电技术。节电技术已经被“炒”了很多年了，但总是雷声大、雨点小，目前人们还不能正确认识这点，实施性非常薄弱。节电技术主要有电能管理和节电技术措施两点。电能管理除了硬性的条款规定外，要从提高人们认识和社会道德上下功夫，不然都是一纸空文。节电技术主要包括无功补偿、常用节电技术、节能建筑等几方面，但在推广和采用上几乎是凤毛麟角。举一个简单的例子，电焊机节电技术已有20多年了，但至今你在工厂、工地却难已找到一名带节电装置的电焊机。如果电焊机生产商在制造时就将一套成熟、可靠，耐用的节电装置与器身一体生产，用户不就节电了吗？然而目前还没有一件这样的产品问世，原因在哪里，不得而知。类似的问题很多，尤其是变压器空载节电技术，好像到今天也无人问津，标明的是节能变压器，其实与原来的没有什么大的不同。研究和推广节电技术大有可为。

（14）电力系统安全运行技术。传统的电力系统安全运行技术很成熟，但不能满足电力的发展，也逐渐不能适应技术进步的需求。将传统的安全运行技术与微机技术、传感器技术结合起来，寻求一种能预报运行状态的监测报警智能系统，将是安全运行技术的发展方向，其实这个系统并不复杂，这和在开始讲的那个最简单的例子一样，关键是要有人去想，有人去做，我认为每个电气工程师都应该想到这一点。安全运行技术包括管理措施和技术措施两个部分，详见本书第九章和《电工安全技术365问》（白公编著，机械工业出版社）一书。

（15）弱电技术及应用。弱电是相对于高电压、大电流的强电而言的，弱电信号的电压一般是mV级，电流是mA级，电流的性质一般是直流信号或脉动直流信号，有的弱电设备采用数字信号。这里的弱电技术主要指火灾自动报警及消防控制系统、通信广播系统、共用天线电视、闭路电视及工业电视、防盗报警系统、建筑物网络系统以及智能建筑中的安全防范系统、楼宇设备监测控制系统及综合布置系统。弱电技术与微机、传感器、仪表等系统结合，形成完善、安全、准确的弱电系统并且向智能型发展，前景广阔。

（16）智能技术及应用。智能技术是电气工程技术发展的必然潮流，在前述内容中多次提到智能技术，主要包括人工智能及机器人技术、自动化仪器仪表技术、开关设备及继电保护装置，自动控制、电气传动及调速技术、传感器技术、节电技术、弱电技术等。智能技术前景很大，前面举的两个例子都属智能范畴，21世纪将是智能技术的鼎盛时期，将会有更

多的智能产品问世，应用到各个领域中去。

（17）家电技术及应用。家电包括图像、摄像、音响、日用电器、电动车辆及其他手用小型电器。家电技术如今已经比较成熟，大多产品在节电上和智能上均有应用，今后在这两方面还会有很大发展和改进。值得注意的是家电产品的使用年限，由于更新较快，资源上浪费很大。

（18）其他工业用电设备。包括电火花、超声波、激光、电子束、离子束、等离子体弧电加工技术，电解和电镀技术，电加热技术及控制设备，电阻加热及控制设备，电弧炉和埋弧炉及感应炉，电焊设备及静电技术应用，特种加热设备的红外加热、介质加热、电子束、等离子和激光加热设备等。这些设备在工业生产中有着广泛的用途，应用中应注意设备的改进和节电技术的应用。

电、电的技术、电的设备、电的应用真是太广泛了，为每个从事这个专业的人提供了广阔的市场、繁多的机遇和各种平台，只要你热爱它、研究它、在实践中应用它，并为之不断的去努力、去钻研，你就会在这个领域里，有所发现、有所成绩、有所贡献，去体验人生的价值。

第五节　走上领导岗位，切勿脱离工程实践

大学生工作几年后走上领导岗位是自然的事情，也是事物的发展规律。无论你提升到何种职务，你必须要做到切勿脱离工程实践，除了做好你的本职工作外，其余的精力一定要放在工程实践上。一是不丢开自己喜爱的专业，可继续在工程实践中探索发展；二是可以体察民情、关心民意，掌握第一手信息，对企业、对工作都有极大的意义；三是在工程实践中，发现人才、重用人才、发现问题、解决问题，锻炼和加强自己的综合能力；四是保持良好的心态，能上能下，基点是永远立足于电气工程上。

走上领导岗位后你应该注意以下几点：

（1）学会用人。用人是最高的领导艺术，人用对了，事情就办成了，人用错了，事情就会办砸。所谓用人是用其长处，只要在某一方面有能力、有才华，你就让他去从事这方面的工作，至于他的缺点乃至错误由法律和道德去约束。对每一个人都要给他一个展示才华的平台，让他去体现他的价值。一旦每个人都能发挥他的才能，那么这个企业、这个部门、这个单位便是不可战胜的。小肚鸡肠、嫉贤妒能、心胸狭窄、任人唯亲，是领导艺术的大忌。其实每个人都想让领导重用，只不过是他没有遇上重用他的领导；每个人都有他的特点和优点，只不过是他没有展示的平台。当了领导不要怕别人超过自己，如果有人超过了你就说明你的企业要发展了。

当了领导之后，你应该让别人去办事，要放手、放权，你可以指导、教育，但不能干涉；你可以观察，当他有偏离规定的趋向时，你要及时提醒他，同样要做到防微杜渐；不要等事情办砸了才去纠偏。

当了领导之后，你要让下属由被动变主动去工作，你可以规定要求和结果，你可以观察他的过程，当过程中出现问题时你要帮助他解决，要给于他关怀。

当了领导之后，你要体谅下属，古今中外到目前还没有一个人是故意把事情办砸的。因此，要鼓励、要表扬，不要打击，不要批评，更不要挖苦和讽刺。

当了领导之后，要永远牢记千军易得，一将难求这个道理。要做到发现人才、重用人才，厚爱人才、提拔人才、交流人才、输送人才、培养人才，形成一个良好的人才链。

（2）关心群众。关心群众就是要关心他们的衣食住行、亲人子女。除了物质上的关心之外，最主要的还是心理上的关怀，要让你的下属知道你的心里有他，上班时和工作中是上下级关系，下班后休息时是朋友关系、兄弟关系，要让他能和你说心里话。群众的力量是万能的，他们可以扶持你，也可以拆你的台、凉你的场，毕竟你只有两只眼睛、两只耳朵。如果他们真心扶持你，你看到的、听到的就是真实的；如果他们要拆台凉场，你看到的、听到的很可能就是虚假的，你必须知道这个辩证关系。

（3）立足基层。一个企业、一个单位、一个部门一般由领导层、管理层和作业层组成，这是一个正的三角形，作业层是一个庞大的基础。出现问题、出现故障往往都是发生在作业层，而基层的工作做的越细，则问题故障就越少。当大家总是在办公室才能找到你的时候，则是出现问题或快要出现问题的时候。立足基层可以洞悉工程、参与工程，增加自己的实践经验和管理经验，特别是一些大型工程、新设备新技术的工程更要立足基层。立足基层可以体察民情、关心民意，掌握第一信息，即可解决问题，积累管理经验，提高自身的素质，有利于干群关系，有利于调动群众的积极性，更有利于生产，百利无害。但是大多数当了领导的人做不到这一点，我对国内最知名的且进入国际市场的一家电器集团的老总说过这样一句话："只要我不出差、只要我在厂内，每天至少有两个小时在车间，让工人师傅们知道我永远是他们中间的一员。"

（4）善于总结。当了领导以后要把每天的事、每星期的事、每月的事、每年的事按天、星期、月、年进行总结和分析。什么事成了、对了，成了的、对了的因素是什么（人、机、料、法、环）；什么事败了、错了，败了的、错了的原因是什么。这些因素、原因是在什么层次（领导层、管理层、基础作业层），然后分别采取相应的措施、对策或培训，若发生在领导层，自己要勇于承担责任，不要怨天尤人。并向人们道歉；若发生在管理层，要仔细分析原因，帮助责任人提高认识；若发生在作业层，要加强培训。然后对全体员工进行责任教育、岗位技能教育、事业心教育。在处理失败和错误的时候，一定要做到防微杜渐，下不为例。

（5）设计未来，当了领导之后要设计未来，想到如何发展，千万不能只看到成绩，听到掌声而高枕无忧，一定要做到做着今天的，想到明天的，谋划后天的，居安思危、平衡发展，杜绝贪大求洋、好高骛远，急功近利、好大喜功。发展要靠自身的优势，人的优势、设备的优势、地域的优势，发展要抓住机遇。发展就是发现人才、重用人才的大好时机，有了人才，有了机遇，你的企业就发展了。

（6）急流勇退，推出新人。这是考验每个身居领导岗位的人的八个字，也是他们难以做到的事情。其实，人的精力是无穷无尽的，但是精力旺盛的时间却是有限的，根据心理学专家测定，人的精力鼎盛时期一般为10年左右。所谓的急流勇退，不是退下来就无所事事了，而是要承担起扶持新人、指导新人的重任，起到桥梁的作用，承前启后、承上启下，把企业搞的更好，把事业推向一个新的起点，推向一个新的高峰。当你在领导岗位时，前几年要把精力全部投入到实践中去，抓重点、抓关键、解决重大问题，同时要设计企业的发展，发现人才，考验人才，重用人才；后几年要把精力全部放在企业的发展上去，当毕生的精力即将耗尽的时候，当企业蒸蒸日上、持续发展的时候急流勇退，推出新人，这时瓜熟蒂落、

水到渠成。扶持他、爱护他、指导他、纠正他，让企业再上一个台阶，再向前跨一大步，画好你职业生涯的圆满句号。

其实在领导岗位上还有很多值得注意的事，如淡泊名利、能上能下、能文能武、豁达大度、襟怀坦荡、将心比心、有备无患、平易近人、以身作则等，这里不再一一详述，你可在工作实践中去体会、去理解。

第六节　关注电气工程技术动向，永远站在最前列

作为一名电气工程师，无论是在什么岗位，你应关注电工技术动向，不断学习新技术，研究应用新设备，永远站在电工技术的最前列，只有这样你才无愧于电气工程师这个称号。

前述内容我们已多次提到电气工程技术的发展动向，这里小节一下。

（1）新材料、新器材将不断涌现并投放市场，对于新材料、新器材应研究其运用的新工艺，新规范及具体操作方法、注意事项。

（2）具有智能功能的电气设备将不断出现，如机器人、机械手、智能仪表、智能开关设备及继电保护装置、智能电气传动设备，智能通信技术、智能安全运行监控系统，智能弱电装置及元件，智能建筑、智能家电产品等，对新型的智能设备应研究开发其安装、调试、运行、维护、检修的工艺、规范、具体操作方法及注意事项等。

（3）电子技术、电力电子技术、微机网络及信息技术、自动化仪表技术、新型电机及变压器、自动控制元件设备、传感器技术、发电技术及设备等将有很大发展，对这些新技术应极力学习、转化、应用。

（4）节电技术、电气系统安全运行技术、电气设备运行规程必须跟上技术发展的需要，要与实际相结合。节电技术的推广和应用是当务之急。

（5）弱电技术、家电技术及产品将有很大发展，在使用、维护、保养方面需要很多的技术人员。

（6）其他工业用电设备也有更新发展，需密切关注。

电的历史和发展，就是人类的历史和发展，作为一名电气工程师，既是见证者，又是实践者，要担负起电的发展的重任。

同学们，从大学生到工程师就是这样一个历程，它要耗废你的青春年华，它要让你不停地努力进取，它要让你饱尝艰辛，它要让你担负起更大的责任，它又让你享受人生的欢乐，让你体验人生的价值，让你给人们带来光明，让你走在科技发展的最前沿。目前，我国的电气工程技术及事业处于最好的历史时期，在各个行业和专业中，电气工程基础最好，又遇到了国家经济腾飞、社会和谐发展这千载难逢的大好机遇，是能成为最先达到国际先进水平、最早和国际接轨的领域之一。作为一名电气工程师，任重而道远，光荣而艰苦，预祝大家在成为一名电气工程的道路上一帆风顺，马到成功。

思　考　题

1. 成为一名电气工程师要走过怎样的一个历程？
2. 在成为一名电气工程的历程中，你应该有哪些准备？

第四章　技术工人的职业位置及地位

在电气工程及自动化工程实践中，技术工人群体是一块庞大的基石，是承载工程项目质量、安全、技术的基石；技术工人是一批勇士，是攻克工程项目实践中每个困难的勇士；技术工人是抢险队员，是和工程师共同浴血奋战的抢险队员和得力助手；技术工人是创造价值、创造财富的主力军，是国家建设的主力军。

技术工人的职业位置及地位不是某些人凭空想象而制造出来的，而是他们在历史的长河中、在国家经济改革的大潮中干出来的，“神六”、“神七”、“嫦娥一号”、“鸟巢”、“长江三峡”、“青藏铁路”等等重大工程，无一不洒下技术工人辛勤的汗水，无一不记录着技术工人的天才智慧，无一不留下技术工人永不磨去的足迹，无一不展现当代技术工人的风采，他们任劳任怨、干当人梯、孜孜不倦、传授技术技能并与工程师密切配合、默默无闻的精神和品德将永远载入中国工人的史册。说句心里话，受苦受累的是他们、加班加点的是他们，风餐路宿的是他们、抢险排难的还是他们，真正是吃苦在前、享受在后、无私奉献、不亢不卑，真可谓“中国制造”的主力军。

第一节　技术工人是承载工程项目的基石

在施工现场、工地、车间我们可以看到工人师傅们在进行操作，如安装、调试、运行、维护、检修、试验、保养、修理等。

所谓安装，是指必须按照国家或部委的规程、规范、标准及设计要求，把电气设备、元器件及其线路固定在设定的位置或装置上并使其正常运行，安全使用并满足设计要求。所谓调试，是指必须满足规程、规范及标准的要求并用检测、试验仪器对安装前和安装后的电气设备、元器件及线路进行调整和试验，对其可靠性、灵敏性和抗衰老性做出准确的判断，保证其正常运行并能在非正常运行或使用条件下，确保退出运行或提供报警信号，以满足电气设备、元器件及线路安全运行。所谓运行，是指按照电气设备及线路运行规程和使用部门的规定、要求，对投入使用的电气设备及线路运行状态进行监视、调整、控制、记录、分析等一系列工作。所谓维护，是指按照运行规程和使用单位的要求对投入运行的电气设备、元器件及线路进行清扫、检查、巡视，以便发现缺陷、更换小型故障元器件、紧固接线端子和螺栓、消除隐患而进行的工作。所谓检修，是指按照运行规程和使用单位规定的周期或利用停电机会，对运行中的电气设备、元器件及线路按照运行规程的项目要求和运行中发现而不能修复的缺陷进行的检查和修理工作。所谓试验，是指按照标准和规程的要求，对电气系统进行的两种试验：一是检修过程中，对设备和线路进行的预防性试验，以便发现问题和缺陷，及时更换或修理；二是安装前对设备、元器件、导线、电缆等进行的试验，判断产品优劣并做出能否安装及运行的决定。所谓保养，一般指对运行中的设备及线路中替换下的小型部件进行的保养性修理，或停电检修时对一些部件进行的保养性修理，如，转动部位加油润滑、研磨触头、更换端子、更换设备的中小型部件及弹簧等。所谓修理，一般指对运行中损坏的

或者替换下来的设备元器件进行功能恢复性修理，或者更换其中部件的修理。

与此同时，在上述操作过程中，要面对和分析由于设计图样、设备本身、现场条件、原材料供应、操作时使用的机械设备、环境要求、安全措施、工艺要求等方面出现的问题，并与工程师合作，将这些技术难题一一妥善圆满解决，确保工程的质量、安全、进度和投资，为整个工程项目奠定雄厚、扎实、牢固的基础。

可以看出，技术工人在工程项目实施的过程中，首先是按国家相应的标准、规范、规程的要求进行正确的操作，同时还要处理整个过程中出现的种种问题，这些问题的解决同样要受到标准、规范、规程的约束，否则将出现不合格而影响工程项目进度和质量。

技术工人在工程项目中的每一步操作、对每个部件、每一道工序、每一个问题都有着相应的技术约束，加上他们精湛的技术技能、崇高的职业道德行为准则，精益求精、认真负责，保证了工程项目的质量和安全，是工程项目的基础，他们是承载工程项目的基石，在工程项目的全过程中功不可没。

第二节　技术工人是攻克工程项目实践中每个困难的勇士

电气工程及自动化工程项目实施的过程中，总要遇到一些困难，特别是施工环境恶劣、施工机具设备不足、工程中的“四新”较多、工程工期紧迫、工程项目实施单位技术力量较弱、设计变更较多或追加项目较多等错综复杂的原因，往往会造成很大的困难，便实施单位措手不及。

然而就是在这个时候，技术工人的智慧和能力往往会显现出来，他们会以惊人的技艺和高超过人的胆识使人们刮目相看、赞叹不已，这时候他们则是攻克困难的勇士，像冲锋在前的战士一样将困难一一踩在脚下。他们征服困难的绝技有时使工程师们叹为观止。

这里我们讲几个真实的小故事。

2005 年在华北最大风力发电场的工地上有一件使人人都感到震惊的事情。该风电场有两台主升压变压器，690/35000V、16000kVA，单台重量 160t，有两间房子大。生产厂家按照合同将其运到现场，本应将其直接卸到基座上，省时省工，两全齐美。但是因为土建工程进度较慢，变压器基座刚刚浇注完工仅仅两天，尚不具备承载变压器的条件。这样变压器只能卸在基座的旁边，卸车时用的是吊装风机塔筒的 400t 的起重吊车。就这样工程照常进行，站内、线路、风机发电机一一安装就序，只等主升压变压器安装就位了。然而这时站内设备已安装完毕、机房、配电间、办公楼已完工，就是有 400t 的起重机也无济于事，因为站内已没有停放起重机的位置了，何况风机、塔筒已吊装完毕，400t 的起重机已迁至北京鸟巢。竣工期临近，怎么吊装变压器已成了当务之急。

当工程师们为之着急而不知所措时，一位近 50 岁的老电工张师傅提出了一个方案，经过工程师和项目经理论证，认为可行，第二天就开始了准备工作，主要机具有道木、直径 300mm 长 10m 的抱杆、30t 的倒链、100t 的千斤顶、长 4m 的厚壁滚杠，以及钢丝绳、缆风绳等。

升压变压器正式吊装就位的那天人们都可以看到，在变压器的四周均匀布置了 8 根 10m 的抱杆，每杆头均有缆风绳并挂着一个 30t 的倒链，当 8 个人同时手拉倒链时，庞然大物的变压器则徐徐升起，当升高高度超过 2m 基础高度时则停止升高，这时人们在变压器升起的

位置上用道木搭起了与变压器基座等高的平台，并放置了滚杠，然后变压器徐徐地落在了滚杠上。这时人们用撬棍轻轻撬动器身底板，使变压器慢慢的移到了基座之上。这时人们又将四只千斤顶均匀放置于器身底部，四人同步手压千斤顶，变压器又微微升起10mm，这时人们迅速抽掉了滚杠，又同时将千斤顶卸压，变压器稳稳地落在了基座之上，这时人们举起右手伸出大姆指，高呼工人万岁的口号，在场的人无一不为之感动。说句大话，这和奥运会拿了金牌一样，空前无比，精采绝伦，这就是中国的技术工人，这就是攻克困难的勇士，这就是冲锋陷阵的战士。

2006年华北最大钢铁企业的110/35kV变电中心，一台刚刚安装好了的110kV、300A的SF6断路器出现了程序混乱故障，手动合闸时，自动不能拉闸；手动拉闸时，自动不能合闸；反之自动拉闸，手动不能合闸；自动合闸，手动不能拉闸。这时厂商代表语无伦次，只会说设备没问题；安装单位的项目经理更是急得焦头烂额，汗下如雨，因为他的得力工人已离开现场，调试单位的人员更是束手无策。顿时现场一片哗然。临近送电发生这样的故障还是第一次。这时，一个30多岁的青年工人，说了一句让我试试，并果断地打开了接线盒，用表进行了测试，然后回到控制中心，打开微机，进行了操作程序的校正，并输入英文程序进行扫描，不到一个小时屏幕显示“可以操作”。

这时他用布话机联络断路器旁的另一位年轻人，“进行手动合闸，正常!”，“手动拉闸，正常!”“进行自动合闸，正常!，自动拉闸，正常!”

“进行手动合闸，自动拉闸，正常!”

“进行手动拉闸，自动合闸，正常!”

“进行自动合闸，手动拉闸，正常!”

“进行自动拉闸，手动合闸，正常!”

正常了，正常了，人们异口同声地说。

一个工作了10几年的年轻电工，当着众多高人的面完成了并解决了令他们束手无策的难题，保证了送电的正常进行，这就是中国年轻工人的风采，挑战困难的年轻勇士。

2007年在华北坝上高原石油天然气输送管道安装现场，因为没有公用电源，电焊机是用柴油发电机组带动的，十几台机组带动几十台电焊机一字排开，机组间距1.5km，工期紧、任务大，气候也较为恶劣。然而就是这个时候，一台机组出现了故障，不能发电了。从下午4点钟到6点多，几个人寻找故障无结果，第二天怎么办?

晚饭后，一名机手和另外三个人向领导请示，决定连夜抢修，确保明天使用。这是一台进口十多年的老机组，技术资料也不全，修理用的备品备件也不全，修理难度较大，几个人就是靠着4只手电筒和4盏马蹄灯，一直干到晚上12点多仍无结果，所有的部件都检查过了，就是不能发电。这时一个人提出甩掉复杂的控制系统，能发电就行的办法，四人一致同意，又干了4个小时，临晨4点发电机开始发电了，并且也很稳定。当沉睡的人们被“唉”“唉”“唉”的声音惊醒来到机组旁时，发现四人已困卧草原、酣然大睡，盛夏的坝上晚上也很凉，露水已湿透了他们的衣服，为了不惊动他们，便给他们就地支起了帐篷，让这四位英雄、四位勇士美美地睡吧!

这就是英雄主义的精神，这就是集体主义的精神，为了草原的建设，为了西气东送，他们献出了青春，还有比这更精采的镜头吗?这样的故事太多了，他们感人、动人，准确地讲，他们是当代最可爱的人，这就是攻无不克、战无不胜的当代中国工人。

第三节　技术工人是和工程师共同浴血奋战的抢险队员和得力助手

前面我们讲到工程师是抢险队长，在工程项目发生质量、安全、环保等方面的事故时，他们会第一个站出来指挥正确妥善处理事故，而与之同时站出来积极配合工程师工作和抢险在前的则是技术工人，他们会提出相应的意见和方法，将事故尽快处理。

质量事故发生后，技术最好的技术工人一定会去亲自处理或者指导其他人去处理，他们从原材料、元器件、设备的质量、安装或修理工艺入手或出发，仔细分析事故的原因，然后制定新的工艺方法，最后将其处理完好，极力避免出现第二次不合格。当重大质量事故发生后，他们会同工程师起制定相应的整改方案，并出谋划策，提出合理化建议，然后积极组织并监督操作人员，将其处理好，并承担工艺方面的责任。

当电气安全事故发生后（以电气火灾事故为例），现场的技术工人一定会按以下程序和注意事项去处理，如图 4-1 所示。

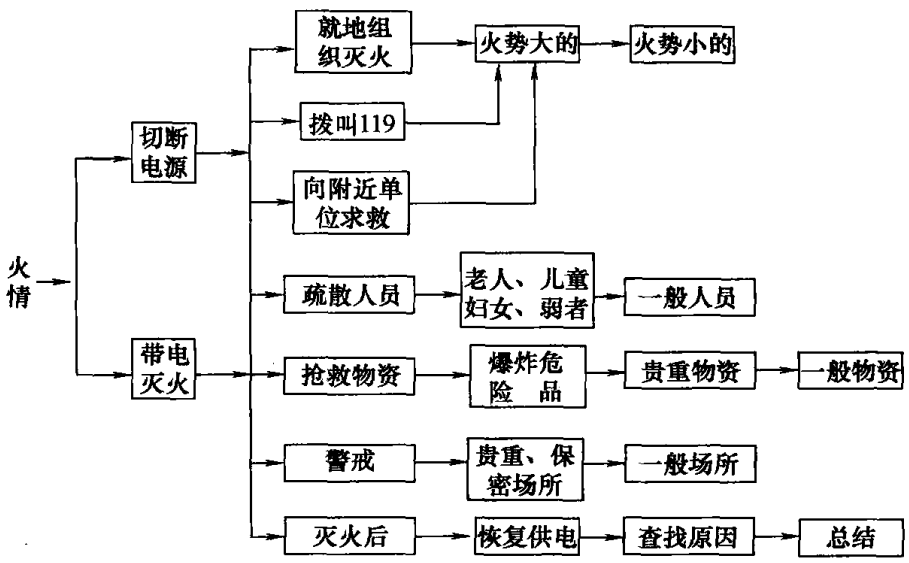


图 4-1　电气火灾消防灭火的程序和内容

（1）电气火灾发生后，电气设备可能是带电的，这对消防人员是非常危险的，可能会发生触电伤亡事故。因此，无论带电与否，电气火灾发生后，都必须先将电气设备的电源切断。

（2）电气设备本身有的是充油设备，如电力变压器、油断路器、电动机起动补偿器等，当火灾发生后，可能会发生喷油或爆炸，造成火焰蔓延，扩大火灾事故范围，这对消防人员也是非常危险的，可能会发生烧伤事故。因此，充油电气设备发生火灾时，如不能立即扑灭，应将油放进事故贮油池内。

（3）电气火灾事故的发生，可能是由于电气设备及线路本身故障而引起火灾，也可能是由外界原因而引起火灾。因此，必须加强电气设备及线路的巡视检查、维护检修工作及周

围环境的防火工作。但当电气火灾发生后，应及时关闭有关的门窗、通道，以免火灾事故的蔓延。

（4）电气火灾发生后，现场电气人员应沉着机警，指挥现场其他人员不要慌乱，一方面尽快切断电源；一方面用现场的灭火器具或其他可灭火的器材，按照火源的不同情况尽快灭火；另一方面要疏散在场的妇女、儿童、老人，组织有关人员抢救有关的财物，尽量减少损失（由此看来，平时的安全教育、消防器材的设置及使用、防火灭火措施是很重要的）。

（5）电气火灾发生后，如面积较大，必须做好警戒，封锁所有通道、路口，对出入人员要进行盘查询问，非消防人员禁止进入现场。

（6）电气火灾发生后，如果火势较大，现有灭火器材及人力难以扑灭时，应立即拨通火警电话“119”，说明地点、火情、联系方法或电话号码，同时应积极组织人力尽力扑救和疏散物资。

（7）消防人员进入现场后，火场的扑救工作由消防人员统一组织指挥，现场的电气工作人员及其他人员应听从指挥，主要是疏散物资、维持秩序、救护伤员等，千万不要乱拉消防水带、水枪或者持灭火器、消防桶冲入火场，以减少不必要的损失。

（8）如果火场上的房屋有倒塌的危险，或者变配电装置及电气设备或线路周围的贮罐、受压容器及扩散开来的可燃气体有爆炸危险的时候，警戒的范围要扩大，留在现场灭火的人员不宜太多，除消防人员外均应退到安全的区域。

（9）电气火灾被扑灭后，电气工作人员应及时清理现场、扑灭余火、恢复供电。恢复供电前必须进行一系列测试和试验，达不到标准要求时严禁合闸送电。

（10）电气火灾发生后，最忌讳的就是胡乱指挥，莽撞行事，逃离现场，推脱责任，互相埋怨，胡乱猜疑。

环境方面的事故种类很多，如塌方、煤气泄露、管道断裂、放射性物质泄露、暴雨、飓风、地震等，这些防灾技术技能应在平时进行学习和演练，一旦发生时要有秩有序地去应对，不能惊慌失措，这样定会将损失减少到最小。

技术工人从始至终都是与工程师共同欲血奋战的抢险队员，从某种意义上讲，技术工人是工程师的合作伙伴，他们之间是一种互补的关系，只有他们与工程师联手共同努力，才能把工程项目做的更好。

第四节　技术工人是创造财富、创造价值的主力军

工人是创造财富、创造价值的主体，而工人队伍中的技术工人则是这个主体中的主力军。技术工人在创造财富、创造价值的过程中，除了付出体力和血汗外，最主要是还要付出脑力和心血，特别是在那些技术含量高的产品，在工程项目中更是起着关键的作用。例如，试制或研制、测试或检验、寻找故障、排除故障、解决难题、审核图样、校正误差、系统试车、确定方案、设备元器件材料质量检验、技术攻关、安全设施设置、环境监测、计量检测、事故分析等等过程中技术工人是主流，他们往往决定着产品或工程项目的质量、工期和投资，决定着企业的生命线，决定着企业的亏或盈。但是，一些老板们却忽视了这一点，这正是他们屡屡失败的原因之一。这样的事例太多太多，限于篇幅，我们不再展开。

第五节　技术工人的现状

实践已经充分证明，技术工人群体是一块庞大的基石，技术工人是男士、是抢险队员，是创造价值、创造财富的主力军。

然而技术工人的现状是怎样的呢？在一些大企业、科研单位还好一点，而在一些中小企业却不容乐观，实质上这也是“技工荒”的原因，也是30万年薪也找不上一个好技工的原因。

（1）工资待遇偏低，在一般的企业里，没有职务的技术工人的工资和待遇只相当于企业中的一般管理人员，而且有的企业技术工人的工资是按日计的，当企业经营淡季时，他们没有工资，也就是说他们只能拿到全年的2/3、1/2甚至是1/3的工资。

（2）一些企业老板们在使用技术工人的事务上，用人朝前，不用朝后，甚至出现过河拆桥、卸磨杀驴的现象。一些技术精湛、经验丰富、特别是年龄偏大的技术工人被置于冷落的角落，但是在关键时刻还得把这样人请出来。

（3）一些企业老板们在使用技术工人的事务上采用短期行为，这一段需要电工时则招来电工，过一段需要钳工时则招来钳工，用完后仅留下个别技术工人，其余解雇。这样不连续的用人方式导致了工程质量下降、安全事故频发，然而当需要时又招不来技术熟练的技工，有时招来的则是滥竽充数。被解雇的技术工人一时找不到合适的工作，只好干其他工种，技术的不连续性又导致了花30万年薪也难以找到高级技工。

（4）一些企业老板们，不懂得对技工的培训和技能教育，只想冷手抓一个热馒头，关键时候没有人能干，只得去市场上临时招，结果招来的还不如本企业的。企业不愿意花钱培训，怕培养成了又飞了，形成了恶性循环。事实证明，市场上高精尖的技术工人只是凤毛麟角，他们在市场上的时间是有限的，而一个技术精湛的技术工人通常也不会沦落到市场。

（5）一些企业的老板们，在任用技术工人时，往往注重的是这个人如何如何，而不是他的技术如何如何，认人不认贤，这是一个极大的误区。一个企业的老板，你可以什么都不会，但你必须会用人，人用对了，你的企业也就兴旺了发达了。

（6）后继无人，这是一个严重的事实，也是一个危险的信号。目前在技术工人的队伍中，真正能挑大梁、担重任的仍然是那些50多岁的老技工，甚至在40多岁的技工中，出类拔萃的也已是寥寥无几，至于30岁以下的技工中，严格地讲没有几个够“技工”这个称谓。什么是“技工荒”？年轻人都不愿当工人，都想挣大钱、当老板，这才是真正的“技工荒”。即使是一些职业技术院校的毕业生到了工人队伍中，他们除了想挣大钱、想当老板外，专业上的技术技能也是参差不齐，担当重任、挑起大梁还需很长时间的实践和磨练。工人创造了这个世界，创造了财富，创造了价值，而年轻人却不愿意当工人，不愿意在工程项目实践中磨炼，这才是一个真正的危险的信号。

综上所述，上述原因挫伤了技术工人的自尊心和积极性，经商的、下岗的、转行的大有人在，同时也影响了那些愿意从事技术工人这个职业年轻人。怎样鼓励年轻人去当技术工人这是一个非常重要的课题，教育部门、劳动人事部门、企业老板乃至全社会都必须关注这个事情，并为之献计谋策，让我们早日脱离“技工荒”，早日回到“技工热”

中去，让技术工人这个群体真正成为基石、成为勇士、成为工程师的得力助手，成为国家建设的主力军。

思 考 题

1. 你怎样理解“技术工人是承载工程项目的基石”这个观点？
2. 举例说明“技术工人是攻克工程项目实践中每个困难的勇士”（以亲眼见到的为好）。
3. 技术工人为什么是工程师的得力助手？为什么是和工程师共同浴血奋战的抢险队员？
4. 怎样理解“技术工人是创造财富、创造价值的主力军”？
5. 你愿意当一名技术工人吗？为什么？
6. 你愿意当一名工人工程师吗？为什么？

第五章　正确认识技术工人这个群体

工人分技术工人（技工）和普通工人（普工）两种，其中，技工是指具有一定的技能技巧，并能正确使用相关器械工具及仪器仪表，能按照规范要求完成工程中某一具体实体项目的工人。在电气工程中常见的技工有电工（安装电工、调试电工、维修电工、运行电工）、焊工、钳工、起重工、混凝土工、仪表工、测量工、涂装工等。

实践已经证明，工人是创造财富的主体，技术工人是传承技术技能的良师益友，科研人员、工程师和技术工人相结合才是技术进步和发展主流，技术工人是工程项目实施的主力军。工程师和技术工人互补相容才能保证工程质量、安全、进度和投资，也是工程的必经之路。

第一节　技术工人的概念

当我们走进工厂、进入工地现场，可以看到电工在用仪表测量着电气设备，进行性能和质量的检验，有的电工在处理拖动风机的电动机不能起动的问题，有的电工在修理电动机，他们进行的劳作除了用体力和技术技能之外，还得用脑去进行判断、分析、计算，然后进行各种试验和测试。最终使电气设备能正常投入使用，使电动机能正常运转。他们和普通工人的区别就是在工作或作业的过程中，要用到一定的技术技能，最大的区别是他们除了体力劳动外，还要进行脑力劳动。那么，技术工人应具备哪些技术技能呢？

主要有三点，一是熟练掌握本工种的基本操作技能，顺利完成本工种的各种作业项目；二是有丰富的本工种安装、调试、制作、修理经验，能指导或辅导较低级别的技工顺利完成本工种的各种作业项目；三是解决本工种安装、调试、制作、维修及运行作业项目中的难题，确保该项目顺利完工或安全运行。

对于一名高级电工有哪些具体要求呢？（仅以机械行为为例）

一、高级电工

1. 技术要求

（1）一般35kV变、配电系统各种高、低压电气设备主要线路的匹配计算方法。

（2）各种高压电气设备预防性试验的方法和内容，试验设备、仪器、仪表的性能、使用方法和操作规程。

（3）常规电子电路的应用和故障排除方法。

（4）同步电机的构造、励磁方法和同步发电机与电网并列运行条件及操作方法。

（5）特种电炉（电弧炉、中频炉、离子氮化炉等）电气运行、维护和操作方法。

（6）直流电力拖动的基础知识。

（7）一般35kV变、配电系统微机控制、监测的基本原理和应用知识。

（8）一般35kV变、配电系统全部电气设备及附属设备的构造、性能、工作原理，安装、修理、试验的项目、内容、周期和标准。

（9）一般35kV变、配电系统各种继电保护、计量、监测仪表的二次接线及安装、调试和整定方法。

（10）一般35kV变、配电系统和各种高、低压电气设备的故障原因及处理方法。

（11）一般35kV变、配电设备和线路的防雷保护方式、继电保护方式的保护范围、效果及优缺点。

（12）线路自动重合闸装置的原理和作用。

（13）一般35kV变、配电系统的经济运行方式。

（14）全国供用电规则和企业合理用电导则。

2. 技能要求

（1）绘制一般35kV变、配电系统及附属设备全部二次接线图。

（2）按图装接、调试晶闸管整流电路，并用仪器、仪表分析、判断和排除故障。

（3）按图安装直流拖动系统的生产设备，并做必要的调整。

（4）调换10kV架空线路的转角杆和终端杆。

（5）敷设35kV以下电缆线路（包括制作电缆盒和电缆头）。

（6）用电缆探伤仪寻找地下电缆故障点，并组织抢修。

（7）根据一般35kV变、配电系统各种高、低压电气设备的运行现状，分析判断是否合理并提出改进措施。

（8）根据用电负荷选择变压器最佳运行容量。

（9）变、配电微机管理系统的使用。

（10）根据动力、照明线路施工图，提出材料预算和工时定额。

（11）一般厂用发电设备的安装、运行、操作、并网和故障的排除。

（12）应用推广新技术、新工艺、新设备、新材料。

3. 工作实例

（1）根据设计基础资料和有关数据，提出总变（总配）电所的设计构思和方案。

（2）定期对运行的变、配电设施进行高压预防性试验。

（3）组织施工总变（总配）电所的全套工程项目（高压开关柜的安装，油开关的调整，继电保护，计量、监测仪表，二次线路的安装、调整、整定，电缆盒的制作和各种高压预防性试验等）。

（4）编写一般35kV变、配电系统全部停、送电工作票，组织处理各种停电事故并进行抢修。

（5）评价一般35kV变、配电系统的特点，计算负荷，合理安排，降低电力系统的能耗，确定经济运行方式。

（6）75/20t桥式起重机电气大修工程。

（7）75kW直流电力拖动系统设备的安装调试。

二、高级维修电工

1. 技术要求

（1）晶体管测试仪和各类示波器的应用原理，接线和操作方法。

（2）电工理论知识和较复杂电路的计算知识。

（3）常用交、直流电机的起动力矩、电流、电压、转速等之间的关系。

（4）公差配合和机械图、电气图的绘制知识。

（5）常用各种电子元器件（包括集成电路、大功率模块等）的特性、原理、用途，各种电子线路的应用和故障检查及排除的知识。

（6）各种信号执行元件（光电开关、接近开关和信号耦合器等）的原理、特性和应用知识。

（7）位置移动数字显示系统（光栅、磁栅、感应同步器等）的原理、应用知识和调整方法。

（8）可编程序控制器的原理和应用知识。

（9）自动控制的原理和调整方法。

（10）各种复杂控制电路和自动调节系统的理论分析和调整方法。

（11）直流电动机的换向原理，换向器的制造工艺及装配方法。

（12）交、直流电动机和变压器、各种电器绕组的改绕与改接线的方法。

（13）各类特种电动机（一般电动机除外）的原理、构造、特种工艺和接线方法。

（14）各种交、直流无级调速电动机的原理、构造及调速比、精度、适用场合。

（15）根据实物绘制多速电动机定子绕组接线图的知识。

（16）各种电动机和变压器修理后的试验方法。

（17）数控设备和生产自动线的原理、配置和调整方法。

（18）各种电梯（包括交、直流控制和可编程序控制器控制）的原理、使用和调整方法。

（19）各种调速器电路原理和故障的排除方法。

（20）机械传动和液压传动方面的知识。

（21）国内、外先进电气技术的发展状况。

（22）微机应用基本知识。

2. 技能要求

（1）装接、使用示波器测试各点波形并照相。

（2）用晶体管特性测试仪测量各种二、三极管和晶闸管、大功率管，根据手册对照特性参数，鉴别其质量。

（3）选用可编程序控制器编制程序，改造继电器旧设备。

（4）装接直线感应同步器数显装置（数显表、定滑尺、放大器等）并进行误差调整。

（5）按图检查并排除 V5 系统直流电动机调速器的故障。

（6）按图检查并排除带有微机控制、大功率电子器件（如 GTR、MOSFET、VMOS、GBT 等）的各种调制器、变频器、斩波调速器和开关电源等装置的一般故障。

（7）根据生产工艺要求，绘制较复杂的电气控制原理图。

（8）看懂各种电动机、变压器的总装图。绘制特种电动机（一般电动机除外）的绕组展开图和接线图，并进行修理。

（9）安装、调整中、大型电动机。

（10）正确选用各种仪表，测量带有交磁电机扩大机及其控制线路的参数，作空载和负载试验，并根据线路的要求，调整补偿的程度。

（11）作转子动平衡试验。

（12）检查各种复杂设备（包括引进设备）的电气控制线路和大、中型电动机的故障，并排除之。分析电器设备产生故障或事故的原因。

（13）按图安装、调试数控机床和生产自动线的电气部分。

（14）组织和编制各种电动机、变压器、机床电器和其他生产设备电器的大修工艺和调试步骤和方案。

（15）编制车间电气设备的检修工艺并组织检修。

（16）根据大修的要求和修理项目，计算所用的材料和工时。

（17）应用推广新技术、新工艺、新设备、新材料。

3. 工作实例

（1）根据电动机、变压器和电器现有铁心，改绕并计算绕组匝数和线截面。

（2）装接直线感应同步器数显装置，并进行精度误差调整。

（3）检修 V5 直流电动机调速器，排除故障。

（4）检修开关磁阻电动机调速器（SRM），排除故障。

（5）检修带有可编程序控制器装置的电梯、控制线路、排除故障。

（6）安装、调整中、大型交流电动机及其控制线路。

（7）大修 125kW 起重机电动机的定、转子绕组。

（8）检查电弧炉、大功率电镀电源、高频炉、中频炉、离子氮化炉、大型车床、龙门刨床、仿形铣床等电气控制线路，排除故障。

（9）检修数控机床、加工中心和生产自动线，并排除故障。

（10）编制车间电气设备检修方案。

（11）完成相应复杂 程度的工程项目。

这就是技术工人的概念、凭心而论，一名电气工程师，一名在现场实践了十年的电气专业大学毕业生，对这些具体要求又能掌握多少呢？因此，在第一章我们引入了工人工程师的概念，告诉即将从事电气工作的年轻学生们，你们应该向他们学习，而且必须向他们学，只有这样你们才能真正踏上成为工程师的历程，并成长为一名真的电气工程师。除了职业的分工不同外，有时候或者在某一特定的场合下，技术工人与工程师没有多大的区别。在本人编著的《怎样度过大学生活》一书中介绍的中铁一局窦铁成就是这样一位工人工程师。

因此，工程师和技术工人要互补相容，只有这样才能保证工程的质量、安全、进度和投资。但是，由于种种的原因，在经济迅速发展的大潮中，发现了“技工荒”这样一个阻碍经济发展的疖症，并且在较短的时间还不能痊愈。要根治这个疖症除加快培养年轻的技术工人外，重要的是要提高他们的地位和待遇，要真正体现他们的价值。在 20 世纪 50～80 年代，当一名技术工人是一件非常荣耀的事情，而到了今天经济发展大潮中需要更多的技术工人的时候，为什么年轻人们不愿从事技术工人这个行业呢？这是一个值得深思、并须亟待解决的问题。

第二节　工人是创造财富、创造价值的主体

古今中外，创造财富、创造价值的主体是工人。他们将科学家、科研人员、设计师研究设计出来成果及图纸，在工程师的指导开发下消化吸收，理解设计意图、读懂图样，然后按

照图样的要求，在工程师的管理监督下，将其做成产品。同时在制作、安装、调试、试验的过程中，根据现场及装备的条件，提出相应的工艺程序和方法，并对图样中不宜制作、不宜安装、不宜调试的地方提出意见，并与工程师协商共同制定相应的措施，确保产品的功能和质量。

在将设计转化为产品的过程中，他们付出了很大的精力和体力，同时又付出了极大的脑力劳动。在过去的年代里，曾出现过很多很多技术工人的代表人物，如孟泰、王进喜、倪志福、尉风英等。

当人们住进新居，当人们使用家用电器，当人们使用手机电脑，当人们驾驶爱车，当人们享受美好生活的时候，你所用到的物品没有一件不是工人们双手制造出来的，他们创造了巨大的财富。就算在一些高精尖的前沿领域里也是这样，人造飞船、嫦娥一号、空中客车、几十万吨的轮船都是工人们制造出来的，不同的是他们使用的机具、设备、仪器、仪表与众不同而已。而科学家、科研人员不会去亲手劳作，只是进行监督、改进并提出要求，一些关键部件都是技术工人按照设计要求制作安装出来的，其中甚至有些技术难题往往连科研人员都束手无策、一筹莫展。这就是社会分工，科学家、科研人员、工程师有他们的人生价值，有他们展示才华的平台，而工人、特别是技术工人同样有他们的人生价值，并有更多展示才华的平台。

其实，电气工程及自动化专业的技术人员和我们前面说的正三角形一样，是由科学家、科研人员和工程师、技术工人组成的，技术工人是一个巨大的基础。在这个三角形里，一些技术工人经过努力，上升到工程师的位置；而一些工程师经过努力钻研会上升到科研人员的行列。反过来，一些科研人员也会下滑到工程师的位置，而有些工程师则会下滑到技术工人的行列，这在实际生活中是经常发生的事情。而科学家和工程师之间、工程师和技术工人之间究竟有多大的差距和区别呢？

其实，最大的差距和区别则是基础理论及文化知识的差距和区别。在工程实践中，技术工人这个群体则是用相当丰富的实践经验和高超的技术技能弥补了自己基础理论及文化知识的差距，能解决问题，他们就可能上升到工程师的位置；而工程师们的基础理论及文化知识却弥补不了自己实践经验和技术技能的缺憾，唯一的办法是到工程实践中探索锤炼，以便积累实践经验，特别是解决技术难题，那是一种非常实际的事情，会则灵，不会则不灵，没有任何余地。而科研人员与工程师之间也同样存在上述问题，因此，三者之间互补尤为重要，是绝不能缺少的重要环节。

这里面不存在谁高谁低的问题，只是社会分工的不同，承担的责任不同，从事工作的性质和形式不同。作为年轻的大学生们，无论你将来向哪个方面发展，实践经验永远是最重要的，解决技术难题是最现实的衡量水平高低的砝码，这和做教师这一行一样，学生提出的问题，你当下解决不了，你的尊严何在？你的威信何在？你的价值又何在呢？

工人是创造财富、创造价值的主体，他们中间蕴藏着巨大的技术能量和智慧，必须对他们有一个公正、正确的认识和待遇，让这些能量和智慧释放出来是我们经济发展的必要条件。

第三节　技术工人是传承技术技能的良师益友

技术工人是一个庞大的群体，在各行业、各部门都有一大批技术工人在对设备、线路、

工艺装置及人民生活的各种设施进行着安装、调试、运行、维护、修理等工作，支撑着行业及部门的正常运转。在他们中间有一大批技术技能高手，有着高深的技术技能。他们的技能是他们在长期的工作实践中，经过多年的磨练和积累并经过多次验证而铸就出来的，有些技能在任何书本上都是找不到的，这就是人们常说的诀窍，也称绝活、绝技。他们中间藏龙卧虎、人才济济，但是由多方的原因没有展显出来。

今年中央电视台报导了两个普通人出身而文化程度较低的技术技能高手，一个是中铁一局的窦铁成，从事电工工作29年，是工人电气专家；另一个是从事机器人研制三十年的机器人制造高手北京通县马务村的吴玉录。其实，他们是仅仅是沧海一粟，在实践中，在技术工人这个群体中高手云集，人才辈出。从他们的经历可以知道，他们都是长期在实践中探索、磨练出来的，在技术技能的道路上，不会出现、也绝不会出现一夜成名的人，因为技术技能是实实在在的，是对时间的积分。

由此看来，把技术工人的潜能释放出来是促进经济发展，推动技术进步的一条道路，是根治“技术荒”的一个良方，怎样才能把技术工人的潜能释放出来呢？

（1）让他们登上讲台，向学生、年青工人讲述技术技能及其诀窍，是最有效的办法，条件允许时将讲台搬到现场，边操作、边讲解，效果会更好。近几年各地开办了大量的职业院校，但由于师资、教材和实习场地及设备的原因，收效甚微，学生毕业还得去现场实习锻炼。如果这些院校能将这些技术技能高手请到学校的讲台上，那将是职业教育史上的一大幸事，于民、于国、于学生都是千好万利、美不胜收的事情。

（2）让他们著书立说（或者是把他们的技能变成文字），将自己的绝活写出来，更是一个绝好的办法。这件事看起来很难，因为具有写作能力的人毕竟较少，但是也有办法，就是给他们配一名具有写作能力的秘书，他口述，秘书记录并加工整理，当然秘书应该具有专业知识和技术能力，从古到今，有很多名家都是这样走过来的，如张仲景、李时珍、纪晓岚，他们记录了很多民间验方和动人的故事，至今流传，我们怎么做不到呢？如果让一个有专业知识的大学生去做这个秘书工作是再好不过得了，真正是互补双赢、两全其美。

（3）让他们带徒弟是最好的传承技术技能的方法，也是最能体现他们人生价值的一个平台。一个优秀的技工，在他状态最鼎盛的时候，给他配几个徒弟（一般不超过三名，可以是大学生，也可以是年轻的技工），并且订立师徒合同，约束双方。让他在退休之前，把他掌握的技术技能及高招全部且毫无保留的教会徒弟，同时徒弟又必须学会且能传授或发扬光大，这样一代一代传下去，做到高招技能永不失传，这样的企业、这样的单位、这样的部门将永远百战百胜，攻无不克。

（4）在这个技术技能传承工作上，各企业、各单位、各部门以及各级政府应给予优惠政策，极力鼓励技术能手、技能高手登上讲台、著书立说、带徒弟学生。让他们真正体验到他们在社会上的地位和价值，让他们毫无保留地把储存在脑海里的巨大能量释放出来，让他们的学生、徒弟在技术技能上真正的顶上去，在工程技术的道路上越走越宽广，越走越有力。有了这样的技术技能传递传统，还会有什么完不成的工程呢？这样老一代的技能高手就成为年轻一代的良师益友，在今后的道路上没有过不去的坎，没有攻克不了的难题。技术工人是传承技术技能的良师益友将是工程建设、科技发展道路上永恒的主题。

做不到上述4点，就会出现“技术荒”，目前有些企业30万年薪都很难找到满意的高级技工，这可是一个惨痛的、永远不能忘记的教训啊！

第四节　先进的科学技术和技术工人的技术技能是相辅相成的

科研成果、工程设计最终要转化为产品、转化为可实用型的装置或设置，在这个转化过程中，科研人员、工程师和技术工人是缺一不可的。转化过程中，三个环节的任何一个细微的部分都直接影响着产品的质量及其科研成果、工程设计的成功与否，忽略了任何一个环节最终都要导致项目的失败。因此，科研人员、工程师、技术工人相结合才是技术发展、技术进步的主流。

第五节　技术工人是工程项目实施的主力军

技术工人是工程项目实施的主力军，他们时时牢记的就是“质量在我手中，安全在我心中”，不畏困难、不怕劳苦、勤勤恳恳，直到工程竣工交验。在工程现场，我们可以看到他们总是奋战在工程的关键部分、重要部分和贵重设备上，确保工程顺利进行。

（1）他们在用水准仪、经纬仪进行测量，测量线路的路径、距离、杆体杆身的水平度和垂直度、导线的垂度以及众多的几何测量，保证设备和线路安装的稳固、准确且符合标准要求。

（2）他们在吊装变压器，特别是容量较大的变压器，这是一项难度较大的工作，尤其是现场条件受到限制或起重机械无能为力的时候，他们会用一些土办法，将变压器安全地安装在机座上，他们付出了很大的体力劳动和绝大的脑力劳动。

（3）他们在用专用的仪器、仪表对变压器进行测试，一方面是检验变压器出厂的质量，另一方面是检验变压器在运输、吊装过程中有无受到损害。测试项目共有十五项，就像医生给病人检查身体一样，这样才能保证变压器投入使用后安全运行。

（4）同样他们还要对电动机进行测试，共有十一个测试项目，为了保证电动机正常运行，测试完后还要进行通电试验，测试起动性能、转速、空载电流、振动、温升、噪声等项目。

（5）他们在室外安装断路器、隔离开关、互感器、避雷器等装置，同样要进行测试，特别是耐压试验、接触电阻、绝缘电阻、接地电阻、同步性、合分速度等参数，是确保安全运行的关键。

（6）他们在室内安装各种开关柜、控制柜、仪表柜、微机柜等，同样要进行测试，特别是柜的保护功能，记录功能以及二次回路部分要测试众多的项目，同时要进行模拟试验，确保动作的准确性和精确度，只有这样才能在运行中起到保护、记录的作用。

（7）他们在进行线路、电缆、二次回路的测试。对于线路和电缆主要是耐压试验、绝缘电阻和相序的测定。二次回路主要是接线的正确性、牢固性、确保功能实现。

（8）他们在处理运行中、试验中的故障，如电动机不能起动、断路器不能合闸、二次回路及装置不能正确动作、仪表不能正确显示和记录、母线发热、发电机不能发电、设备出现跳闸、照明设备不能正常照明、线路和电缆不能正常送电而引起跳闸、大型变电器在解体检修、大型电动机在修理或试验、电动机起动控制柜不能正常动作、工艺系统中电气装置动作不正确、自动装置出现故障、自动化仪表系统出现故障不能正确动作和显示、弱电系统出

现误报、误动现象、电梯不能正常运行、起重机出现电气故障不能正常作业、微机自动系统不能正常工作等等。

（9）有时在处理故障或修理电器时，没有备品备件，又急需使用设备，他们就动手制作，这样就要用到钳工、焊工技术，有时还要用到车工的技术，不顾疲劳、连夜赶制将设备修好，保证运行。

（10）有时电气系统发生故障，特别是值夜班时人手少、环境差，但又急需很快修好，他们便急中生智想出临时性的办法，暂时使设备能运行，等天亮后再做细精的处理，不耽误生产。

（11）有时兄弟单位电气出现故障修不好，经常来求援，派出去的都是顶尖的高手。尽管对其设备、环境不熟悉，故障也很离奇，但他们还是绞尽脑汁，使用浑身的绝技把故障处理好。

（12）有时候面对一些很细小、很平常的故障，大多数人还是手无对策，是他们及时处理，找到根源，排除故障，如此等等。

在正常的情况下，技术工人在安装、调试、运行、维护、运行、检修、修理等作业上，均采用一般方法和常用的器械和仪器仪表进行作业，对于外行人来说也看不出什么有多高的技艺。但是在特殊条件或极端困难条件下、在处理紧急、棘手故障时，在对大型设备或精密贵重设备安装调试时，在影响生产工艺系统运行的紧要关头，却能真正的显出技术高手们的英雄本色；当人们感到绝望、无所适从、无能为力时，总是他们勇敢地站出来，挑起重担、顶起大梁，把人们认为无法解决的问题和无法办到的事情，一件件干得很好，既没有影响工期，又没有出现质量或安全事故。这正是他们的可贵之处，也是他们长期立足于工程现场的资本，这是任何人无法比拟的。

技术工人是工程项目实施的主力军、顶梁柱，他们的绝技、他们的精神、他们完成的一个个项目，铁一样地摆在人们的面前，让人们永远铭记在心中。这里我再举一个很小的例子。

华北某地，一座大型钢铁企业的一个自动生产线正在紧张地进行安装。一台拖动鼓风机的大型电动机设计上采用的是直接起动，当即一台电工师傅提出这样起动不妥，应采用间接起动或软起动。而设计人员却说1800kVA的变压器与它仅有一墙之隔，绝对没问题。为了保险，这名电工师请来监理现场监督，把电动机仔细地进行了测试和试验，预防电动机存在质量问题引起不必要的纠纷，最终监理工程师在试验报告上签写了电动机合格的字样，一切按设计进行。

试车的那天，电工跟设计人员说，不要请更多的人来参加，我们先小试一下，没有问题再请他们来。现场只有设计人员、监理、操作人员和电工。试之前，电工又重复了自己的看法，设计人员仍坚持己见，只好赶快试车。电工让操作人员把风门关紧、按动起动按钮，由于负载太重，当起动到18s的时候，电动机内火光一闪，3000A的断路器即时跳闸，经查这台电动机某相局部线圈被烧毁。当下设计人员目瞪口呆、浑身发抖、面色苍白、汗流如水。片刻之后，他赶快央求电工看有什么急救办法。为了拯救这名设计人员的声誉，电工没有说什么题外之话，只说了一句，大家要保密，我们赶快连夜组织抢救。电工叫来了自己的徒弟，几个人拆开电动机，取出被烧毁的部分，然后重新绕制线圈，又嵌入线槽、接线、浸漆、烘干，另一个渠道赶快改变起动方法，将一台软起动柜搬到现场，整整用了48小时，

总算没有误了系统试车。在系统试车的前一个小时，风机电动机起动试车，一举成功，至今运行良好。设计人员无言可对，后悔啊！

最后，电工说，直接起动只适用于轻载或无载起动的小型电动机，容量大的、重载起动的电动机必须采用间接起动或软起动，与变压器容量之间仅存在系统总负荷与之匹配的问题。当然变压器容量小于电动机时，电动机是无法起动的。这样的事情不是第一次遇到了。

一个年轻电工刚刚走上工作岗位的时候，他确实是以体力劳动为主的。在这些劳作中，他经历了很多事情和事故，他总结了，分析了，动脑了，甚至是看书了，学习了，请教别人了，慢慢地聪明起来了，对电的认识也更透彻、更广泛，更有经验了，他成熟了。之后的劳作除了体力劳动之外，脑力劳动多了起来，当脑力劳动超过体力劳动时，他便成了高级技工、技师，乃至工人工程师了，这个过程也许经历了 20 几年的历程。对于搞工科的人来讲，经验是最宝贵的，也是最现实的。

第六节　技术工人与工程师的关系

在前述内容中，多次提到技术工人与工程师在工程项目实施过程中的关系，这里技术工人是工程项目实施的主体，是以体力劳动为主的，而工程师是工程项目的管理人员，这是社会的分工。然而在具体的过程中，有时候、或者是遇到具体问题的时候，他们是互补的、相容的。当技术工人遇到难题时，工程师会帮他分析、想办法，同样工程师遇到难题时，工人们也会出主意、想办法。这里我再讲几个小故事。

华北某地国内知名的造纸厂，新近安装了一台 100t/h 的全自动化的锅炉，试车时几乎没有一点问题，很顺利。但是工程师却发现，锅炉控制系统装设的氧分析仪不能正常工作，当即找到仪表安装人员了解情况，他们说表有问题，试验时就发现了，解决不了。工程师半信半疑，就将氧分析仪的全套图纸资料拿出来，进行分析，然后又到现场，从探测器、表头到中央控制室，几经反复查看，几乎找不到毛病，就是在他即将放弃的那一刻，他发现表头背部的接线端子盒上有两个端子是用红色外皮的精细导线连在一起的，而说明书上又未提及到这两个端子的作用。这时他又对仪表的内部线路结构图进行了分析，确定这两个端子封在一起是起保护作用的，预防在运输过程中损坏仪表。当即将这连线取掉，氧分析仪马上投入工作，几经调整进入了正常工作，工人们也学了一招。而后他针对这件事写了技术报告，反馈到厂家，厂家承认在说明书中未提及此事是他们的失误，对他表示感谢，后来他们成为了技术开发的伙伴。

同样是承担这个锅炉安装项目的公司，正在赶制一家电厂的贮油罐，工程很紧张，三班倒着干。一天晚上，15m 的铣边滚圆焊接机坏了，经电工一查发现是电动机的故障，但是过了三个多小时还没有修好，加工厂的厂长很着急。马上叫来了值班的电气工程师，结果他也是一筹莫展，束手无策。这时忽然想起了他的师傅，一名退休的老电工，立即打通了师傅的电话，电话中详细地介绍了故障的情况，师傅又提了几个问题，最后告诉他具体的办法，他边听边记。然后他和那个小电工一起动手，又过了三个多小时，终于把机器修好了。这是一台进口的综合加工设备，铣边、滚圆、焊接一次成型，控制电路复杂，全部数字控制，自动编程。就是这样一台设备，退休老电工能在电话中指导徒弟将它修好，可想而知他对设备多么熟悉，也说明他在退休前就对这台设备了如指掌。临晨，生产恢复了，厂长也长出了一口

气。事后当这位工程师要请他师傅吃饭时，他师傅说了一句意味深长的话："等你什么时候都会干了，不再请教我的时候再吃吧！"

在科学技术发展的道路上，科学家是领军人物，他们发现、发明、创造，总是走在别人的前面，把一件件新的技术含量高的成果研究出来，为人们造福，为社会进步发展做贡献。而工程师和技术工人们则是将这个成果变成具有实用价值、可操作、可工作的实体，使它运用到生产或人们生活当中去。这个成果的转换，工程师和技术工人付出了很大的劳动，作出了很大的贡献，并对成果也进行了积极的改进，进行了制造加工的工艺设计，这是不可埋没的功绩。

同学们，技术工人是创造财富、创造价值的主力军，他们是传承技术技能的良师益友，是工程项目实施的主力军，在科技成果转化的过程中，他们做出了卓越的贡献。因此，我们要正确认识技术工人这个群体。科学技术的发展，没有科学家不行，没有工程师同样不行，没有技术工人更不行，否则科研成果就是一纸空文，就是纸上谈兵。在你走上工作岗位之后第一件事就是向工人师傅学习，学习他们高超的技艺，学习他们对待技术工作严谨的态度，学习他们兢兢业业做事的崇高的职业道德。

思 考 题

1. 对工人这个群体你是怎样认识的？
2. 科学家、工程师和技术工人是怎样的一个关系？你是怎样理解这种关系的？
3. 你认为怎样才能把技术工人的潜能释放出来呢？你有怎样的体会？
4. 假如你是职业技术院校或工科院校电气专业的学生，你对高级电工的具体要求有何感想？

第六章　拜工人为师、向工人学习

前几章我们详细地讲述了工程师的概念、大学生到工程师的历程和正确认识工人这个群体三方面的内容。我们清楚地看到，从大学生到工程师是一个漫长的、艰苦的、需要付出更多代价和努力的历程，特别是要成为一名优秀的、合格工程师，还需要走更长的路，还需要付出更大的精力和智慧。尤其是在获取丰富的实践经验这项上恐怕是考验你能否成为一名工程师的主要关口，过了这一关，工程师的光环就要降临到你的头上了。有很多人在这方面表现的较为脆弱，吃不了苦、受不了累、经受不了环境带来的压力，享受不了放下架子向工人师傅学习的那种乐趣，最后徒有虚名。同学们，放下架子、去掉面子，勇敢地投入到火热的工程实践中去，拜工人为师，向工人学习，丰富自己的人生，增加自己职业生涯的阅历，最终你必定是一名真正的、优秀的、名副其实的工程师。

第一节　与工人交朋友、和工人融为一体

拜工人为师，向工人学习最重要的一点就是要与工人师傅交朋友，和工人融为一体，要让他们把你当做小兄弟，要让他们知道你是真心实意的想学习技术技能，只有这样的亲密关系你才有可能从他们的手中学到技术技能。千万不能有架子，觉得自己是大学生，看不起工人，这样你永远不会学到真正的技术技能，人们是最忌讳这点的，这里我们还是讲一个小故事。

事情发生在上世纪70年代，还是那个华北某地中国最大的化工厂，有一批是从上海来援建的工人，其中有个电工，姓王，技术高超，人称电王。这个人性情随和、爱开玩笑、平时大大咧咧。他最看不惯的就是那些自以为是、高高在上的有权势的人，所以在有的场合，只要有机会就要出这些人的洋相，逗得大家捧腹大笑。厂里自从分配来大学生后，让他带了一个徒弟，这个徒弟谨小慎微、唯命是从，他很满意，也真心实意地教他，他也进步很快。但是，有些大学生由于出身、家庭或者其他优越的条件等原因，没有把实践锻炼当回事，他很看不惯，渐渐的他便成了专挑这些大学生毛病的人，有时候还真让他们下不了台。有一次DDT车间的自动包装线坏了，他专让那些平时看不惯的学电气控制专业的大学生们去修，结果折腾了两天也没有结果。最后这些大学生们硬着头皮来求他，他说，你们早干什么去了，平时见面连个招呼都不打，你们牛，你们去修呀，找我干什么，我还有我的工作。时间不等人啊！最后这些学生央求他，说，师傅我们错了，今后绝不那样了，别让我们在这儿丢脸了。好说歹说，总算答应去修了。他带着他的徒弟和这些学生，边修边给他们讲，并让徒弟给他们做示范，不到两个小时，系统就正常工作了。

事后，他说，原来我就想治一治他们，煞煞他们的傲气，让他们今后好好学技术，没有别的用意。从此，那些大学生们见了他都给他作揖，总怕他挑毛病，并且也醒悟了，都去好好的学技术了。

工人师傅非常可爱，他们有他们那套教育人的方法，俗话说，打你一下还给你一个枣

吃。而我们呢？则应尊敬他们，学习他们，早一天把接力棒接过来，就早一天到达工程师技术技能水平的目的。

（1）放下架子，甘当徒弟，甘当学生。做到尊敬师傅，关系密切无间，帮助别人，取得工人师傅们的信任，让他知道你是要诚心诚意的学技术，不是来这里镀金作秀，让他们把你当成“哥们”，活要抢着干，不怕脏、不怕累，做到能吃苦。

（2）师徒双方做到互补，在文化上你要主动帮助他们看图、记录，也可以帮助他们的小孩复习功课，担当义务家教。在技术技能上要虚心求教，不懂的不会的要多学多问，千万不能盲目瞎干或不懂装懂，自己干完后要主动请师傅验收、挑毛病，然后积极改动，即使他们有时说得过分些，也要虚心接受。

（3）学习同行，看到同行在工作要仔细观察，吸纳不同风格的技术技能，取长补短。在技术技能上应与其他同龄人或不同年龄的人进行交流、沟通，进一步丰富自己。

（4）对待师傅、对待同行、对待有工作关系的所有人要以诚相待，一视同仁，不要亲近一部分，而疏远一部分。别人找到你有事要热情上心，力所能及。不要拉帮接派，你的目的是要在实践中学技术、学技能，要集所有人的技能之长。

（5）实践过程中要虚心求教，低调为人，自己会的、懂的同样要虚心接受，比较不同风格之间的优和劣、长和短，然后吸取精华，去其糟粕，让别人愿意同你交流，永远把自己推在风口浪尖上，采取温和态度，去掌握最先进、最成熟、最安全、最可靠、最便捷的技术技能，这是永远立足于电工行业的法宝。

（6）一定要办好师傅交给的每一件事、每一项工作，尽量做到天衣无缝、滴水不漏。要让师傅知道你是一个非常细心、非常敬业的人。在实践上养成良好的工作习惯，对于一名电气工程师非常重要。

当上述6点你都能做到的时候，也正是师傅完全信任你的时候，因为他有了一个好徒弟，这样他会把浑身技艺绝招都毫无保留的教会你、交给你，帮助你顺利的达到成为工程师这个目的。

第二节　勤奋好学、杜绝浮躁

（1）勤奋是取得成功最有力的保证，踏上工作岗位后应做到勤奋好学，除了本专业方面的技术技能外，要学习钻研与本专业相关的专业的知识，如吊装、大件运输、焊接、钳工制作、机械加工、涂装、测量及常用仪器使用，并应分别拜访这方面的工人师傅，虚心求教。同时应在实践的过程中，探索或发现某个专业方面的缺陷，用理论推导它，进而找到合理科学的办法。

（2）坚持不懈，始终如一是取得成功的精神支柱。在实践的过程中，不要因为受到一点挫折、受到一次失败或是受到不公正的待遇，或是不顺心的事情就心灰意冷或暴跳如雷，一定要正确对待，不要轻易放弃。因为你的目的是要在实践掌握技术技能，其他的事情都是无关紧要的，最重要的是你学到了没有。

（3）杜绝浮躁，脚踏实地，只有这样工人师傅才能知道并了解你是干事业的人，他们才会把你当成自家人，才会教你、才会帮助你。你要先当水手，后当船长。一夜成名、一夜暴富的思想已经害了不少年轻人，你要远离赌博、远离股票、远离抽奖，远离那些诱惑你的

捷径，兢兢业业、脚踏实地去学技术、学技能，在事业上勇往直前，直到顶点。天上有馅饼没有，准确地讲是有的，但是，馅饼的个数和想得到这馅饼的人的比例是千万分之一，乃至亿万分之一，如果每个人都懂得这个道理，那些馅饼的诱惑不是不攻自破吗？

（4）抵制诱惑、专心致志。抵制诱惑是一个人最大的优点，如果你能做到这一点，无论你从事什么专业，你一定最棒的。大学生走上工作岗位后，形形色色的精神的、物质的诱惑总在你周边盘旋，稍不留神你便会被卷进去，造成一生的遗憾。对于本职工作、对于技术技能的学习要做到专业致志，排除一切干扰，这时候一定要记住你的目的只有一个，掌握实践技术技能，为工程师做好一切准备。直到你已经掌握专业技术技能的真谛，师傅认为你达到他的要求后，你才可微微地短时间的松一口气，否则你必须一心一意地干下去，直到师傅满意。

（5）防微杜渐、循序渐进。这两个词是大家非常熟悉的，究竟做得怎么样、理解得怎么样，这里我们不必细问。但是，从踏上工作岗位后，从和师傅结识的那天起你必须做到。从小事做起，从第一件事做起，防止细微的失误和错误，逐渐地锻炼自己严谨、细微的职业作风，养成一个良好的工作习惯和职业特点。这样，今后你才能担当起大型工程项目实施的重任。

（6）注重过程，杜绝急于求成。对于师傅交给的每项工作要列出详细的工艺程序和要点及注意事项，要把重点放在过程上，把好工艺程序的每个要点，时刻牢记注意事项，把工艺过程干好，结果会水到渠成。往往有些人急于求成，不研究工艺过程，只贪图结果，最后酿成大错。这里我们再讲一个真实的故事。

还是那个华北国内最大的化工厂，有一台 6300kVA 35/0.22 的电解炉，是熔化石料的。电炉变压器的二次侧只有 220V，但二次侧的母线却是用宽 360mm 厚 24mm 的紫铜板做成的，母线成型后分三组，每组相与相之间用绝缘材料板绝缘。其中绝缘板在安装时应烘干，一般为 72h。当时负责这项工作的电工工长只图工程干的快没有进行烘干。等到送电时，一侧二次相与相短路，查了半天也没有结果。工程师把这名电工叫来，问他烘干没有？他吱吱唔唔地说烘了，工程师不相信，当即将二次母线拆开取出绝缘板，用表一侧绝缘为零，大怒之下立即把这名电工送交保卫处。后来几经返工，工期整整地误了一个多月。这就说明，这名电工只图干完活了事，没有注重过程，其中绝缘性能是电气工程中最重要的指标，任何时候都绝不能忽视的。

上述 6 点你都做到的时候，证明你成熟了，可以担起工程的重任了，师傅露出了微笑，同志们投过来了羡慕的眼光，领导也会送来掌声，因为他们又有了一个工程师的好苗子。

第三节　做到严、管、勤

这里的“严”就是要严格要求自己，处处用工程师的标准来衡量自己，在技术技能的学习上要严格，杜绝弄虚作假、不懂装懂。自己不懂的、不会的，一定要限期弄懂学会；自己懂的、会的一定要知道别人是怎样理解的、是怎样干的，博众家之长。

这里的“管”就是要服从管理，服从调配。别人不愿意干的、难干的、不好干的，只要与自己专业相关就要去干。越是难干的、不好干的越能锻炼自己、越能丰富自己的阅历，

越能增加自己的实践经验，同时也能锤炼自己的意志品质。坚强的意志品质是人生最宝贵的财富。

这里的“勤”就是勤劳、就是多干，年轻的时候，勤劳多干，积累经验，是你今后职业生涯的宝贵财富。只有这样，你成为工程师之后才能去解决工程实践中的技术难题，你才能去进行科技成果的转化及应用，你才能在工程项目承担桥梁般的荷载，你才能是一把金钥匙，你才能在紧要关头充当抢险队长，你才能是工程项目中的中流砥柱。

在你成为工程师之后，你的担子很重，只有年轻的时候，做到了严、管、勤，才能担起这副重担，才能无愧于工程师这个称号。在年轻的时候，在实践中锻炼的时候，受到点挫折、遇到点困难、甚至是不公正的待遇以及很多不顺心的事，这都是无关紧要的，也是正常的，这也是人生的必经之路。要把这些挫折、困难、不公正的待遇、不顺心的事，当做职业生涯中的考试、阶梯，及格了、上去了，你就成功了。

在实践过程中，千万要切记不要急于过早地进入管理岗位（如预算员、工程管理、办公室事务等），这样你会半途而废。如果确实需要，你进入管理岗位后除了你的本职工作外，你还要深入实践中去。特别是那些没干过的、不太熟悉的、有新设备或新技术新工艺的你一定不要错过，保持与技术工人的关系。虽然工作关系上远了，但是要心系实践、心系工程、心系技术、心系技能，让他们永远把你当做他们当中的一员。

实践经验是工程师的最大资本，有了实践经验，你便能解决技术难题，你便能进行科技成果转化和应用，这也是为什么工人工程师能长期在实践中落脚的根本原因，他们在工程项目实施中的地位和作用其他人是永远无法替代的。如果你继承了他们的传统优势，又有扎实的理论基础，那么你永远会站在专业技术及技能的最高点，这也是本书为什么总是强调实践经验的理由。毛主席曾对实践经验有过一段精辟绝伦的概述，他说，“在某种意义上来说，最聪明、最有才能的，是最有实践经验的战士”。人类的文明和进步，科学技术的发展也是这样走过来的。

第四节　学会观察、善于模仿

学会观察是摄取技术技能的最好途径，因此，你只要见到与专业有关的事物都要去仔细观察，如果能进行询问更好，然后进行详细记录，这样当以后一旦遇上这样的工程项目，你就不感到生疏。这里有一个小故事：

光缆虽说是存在的年头不少了，但真正使用还是近几年的事。那是在某市区首次辅设光缆时，我总看到一个人在电缆井口、在电杆旁边转来转去，还不时的与施工人员进行交谈。我很好奇、不自觉得也就加入到他的行列，后来我们还成了好朋友。原来他是一名退休的电气工程师，在他的那个年代还没有光缆，虽然退休了，遇上没经历过的事总是要去凑凑热闹，一方面丰富了自己的阅历，另一方面一旦有人问到也会知道，两全其美。

一名退休的老工程师仍然在孜孜不倦的学习，这是一个绝好的学习方法。

再一个就是善于模仿，观察了就得去模仿，干不成再去观察，反复几次，再难的事也成了。模仿不是低三下四，而是一种学习方法，模仿的过程也是创新的过程，因为经过模仿你可以知道哪些地方是对的，是应该保留的；哪些地方是不妥的，是应该改进的。

观察也好，模仿也好，其实都是非常简单的事情，关键是你愿意不愿意做，去做了，你

就成功了，没有去做就是半途而废了。

我的一个徒弟，自尊心很强，很爱面子。一次电动机坏了，需重新绕线修理，我知道他不会修，我偏让他修，我倒要看看他行不行。接受任务后，他在车间里憋了一天，第二天他打来电话说家里有事请两天假。第四天准时上班，下班的时候，我已看到他绕制好的线圈和拆为空壳的定子，我心里说，这小子有种。第五天我看他已经开始下线了，第六天，下班的时候，他已经开始空试电机了，还沾沾自喜的说，师傅修好了。我说还差一道工序呢？他便随口说，没有，人家就是这样干的。话音未落，自觉失言。我便说，老实说，这两天干什么去了。“师傅，我在电机修理部整整呆了两天，看人家修电机去了。”修理部人家是晚上烘干浸漆，当然没看到了，他只看了前面的工序。尔后，我又把烘干浸漆的事跟他讲了一遍，第二天就高高兴兴地干去了。无论怎样，他通过观察、模仿总算把那台电机修好了，这是很大的进步。作为年轻的学生，同样也应该这样，因为观察和模仿确实是学习技术技能最好的一个途径。

第五节　学会总结、善于分析

总结是件很容易的事，这和写日记一样，但是大多数人做不到这点，理由有两点，懒惰和没有志向。总结就是把每天从事过的、看到的、想到的与专业技术技能相关的事情记录下来，也可以画图表示，特别是程序、注意事项及用到的仪器仪表、设备等要详细记录。看到的是指其他人从事的技术技能方面的事，你看到后更要详细记录。

分析就是对这些记录进行分析，哪些是对的、哪些是好的、哪些错的、哪些更安全、哪些安全性差、哪些别人行而自己为什么不行，哪些自己行而别人不行、哪些是传统的、哪些是新颖的等等。每天就像看录像一样，一一过脑、一一判断、一一分析。这样你就会在工程师的道路上缩短时间，在实践经验上极大的丰富自己，这在你职业生涯中将是一大快事。

这里我们再讲一个小故事，说明怎样分析一些较复杂的控制系统。复杂的事情都是由简单的事情组成的，简单与简单的接口很重要，是分析事物的关键。前不久，我带着学生处理了一件40多年来未遇到的难题，提高了自己，也锻炼了学生。

国内某知名煤矿机械制造厂的一台德国进口机加工中心坏了，厂内组织技术人员修了一个月也没有结果且越修越坏，向制造商求救对方要十万美元，厂内顿时一片哗然，怎么办？对方是按出厂价10%索要费用的，并非不合理。这时我曾教过的也参加了他们修理队伍的一个学生向厂方建议，提出先请作为他老师的我看看。我接到这个长途电话后，也觉得难办，去、还是不去。不去也许这辈子连这台设备是什么模样也不知道，去了，处理不了至少也对其有了一个了解。不入虎穴，焉得虎子，最后我决定去，并且承诺一个月内修好，两万元酬金，修不好分文不取。就这样抱着试一试的心理去了，说句实话心里没底。

第一天，在我的学生的带领下，我手捧设备说明书和图样详细的观察了设备的每一部分，包括电脑控制台，并且详细地询问他们修理的经过和结果，同时作了记录，并在图上进行了标注，心里有了些底。但这设备很大，修理难度太大。

当天晚上便开始熟悉图样，把图样的十六大系进行详细的分解，分解到最后一层再也不能分解的基本单元电路为止，然后把这些基本电路一一列出，并确认它的功能，确认它的输入输出端子上的信号及其信号的性质、大小及功能。

第二步分析单元之间的接口及其电路，用上述同样方法，确认每台电机驱动的信号、来源。

第三步分析设备的工作原理及来龙去脉，并不时地去现场核实。

就这样一干就是十八天，当第十九天的时候，对设备已经滚瓜乱熟。这时按图样分析设备的结构，并在现场与设备核对，并按他们修理过程询问的记录，仔细分析。同时对设备操作师进行了非常详细的询问，这时我心里有底了。

第二十三天的时候，已经初步确定六个部位为故障点，又经过两天已经排除了四个。并对电脑上的程序进行了确认和修正。

第二十五天的时候，将最后一个故障排除了，这时我们请来了设备操作师，开始试车和调整，又排除了几个小而简单的故障。他当下说，比以前好用多了。

第二十六、二十七天，开动设备，将需要加工的实件运来进行正式开车加工，操作师很兴奋，质检员对加工后的机件也进行了检测，非常好，全是优质品。

第二十八天叫来车间主任和车间总工程师进行验收。第二十九天，叫来厂主管生产厂长、厂总工程师、总工艺师进行验收，大家非常兴奋，他们想不到事情终于仅仅用了29天就完成了，当下表示再追加8000元酬金算做奖励。当天晚上厂内一片欢腾，灯火通明，机加工中心开始工作了，上半年的任务没问题了。

其实，看其复杂、看其难度较大的项目，经过分解和分析便变得简单而容易了。这就叫在战略上藐视它，而在战术上重视它，这都归功于总结和分析这两大法宝。

对于一名工程师来讲，总结和分析是他战胜一切难题的法宝，因此，在工程实践中你必须学会它，这在今后的职业生涯道路上是非常有用的。

第六节　循序渐进、全面发展

作为一名刚踏上工作岗位的大学生，首先是要掌握本专业方面的技术技能，从简单学起，循序渐进，直到专业的最高点。当掌握本专业基本技术技能之后，则应拓展，向与本专业关连的专业方面发展。因为，电专业涉及的面很广，涉及的学科、专业也很多，这也是为什么我们总强调永远不脱离实践的原因，一般条件下，至少应在基层实践十年左右。纵使有了新的岗位，也不要脱离实践，这在前面已讲了许多。

电气工程及自动化专业需要学习的专业技术技能很多，这里我们将其目录列出，供大家在实践中参考。

（1）学习电气专业、自动化仪表专业等方面的标准、规范及规程，熟悉主要条款并在实践中应用。

（2）熟悉电工原材料、设备及市场行情，掌握名牌产品及厂家。

（3）掌握电气工程及自动化专业中安装、调试、运行、维护、检测、修理等项目的关键部位、重要部位及其工艺程序、主要要求等。

（4）掌握原材料、元件、设备的检验、试验的方法，用到的仪器仪表及其标准等。

（5）学会设计、画图和读图，主要有电气控制、电机控制、35kV及以下变配电装置、架空线路、动力电路、照明电路及弱电系统等。

（6）学会电气工程及自动化专业工程项目的工程预算理论，掌握常见项目的估算方法。

（7）编制专业方面的技术文件，如施工组织设计、施工方案、机具计划、人力计划、进步计划、电气设备维护保养计划、安全管理方案、质量计划及管理方案、环境管理方案、应急预案、设备吊装方案、电气作业工艺程序及要求、材料及设备供应计划、制作标书等。

（8）电气设备、元件、材料的估算及选择。

（9）电气系统安全运行技术。

（10）电气系统检修技术及电器修理。

（11）电气系统缺陷处理及事故处理。

（12）常见电气设备安装调试运行技术，主要有变配电装置、架空线路、低压动力电路及设备、照明电路及设备、锅炉电气装置、电梯电气装置、起重机械电气装置、自动化仪表及控制系统、弱电系统、空调系统电气装置、生产工艺系统自动装置等。

（13）电气工程及自动化专业在实践中的难点是控制系统，如电动机的控制、生产工艺的自动控制、变配电中的继电保护回路及微机控制系统。其中，电动机及其控制、变压器及其控制保护是重点。要用一切机会和可能充实这些方面的知识、技术和技能，这在职业生涯中有着很重要的作用和意义。

（14）电气系统中，缺陷处理、事故处理、电器修理是随机变化的，有时同样的条件下，出现的事故也不尽相同，特别是电动机、控制系统故障千变万化。要掌握这方面的技术技能必须长期深入实践、向工人师傅学习。我们不妨再讲一个小故事：一台低压2500A的断路器经检测所存数据正常，电动合闸拉闸也正常，但手动合闸、拉闸就是不行，有好多人来处理都没有效果。后来请了一位老电工，他看了半天也没办法，第二天他又来了，手里拿着一个给缝纫机加油的油壶，在断路器所有传动部位点了几滴缝纫机油，然后操作合闸手把晃动了几下，一合闸合上了，又一拉闸拉开了。这是电工技术吗？这是经验，经验就是最高超的技术，能解决问题就行。他笑着说，我也没谱，试着来嘛。这就是说，人们在处理过程中，只盯着电的方面，只在电的方面找毛病，没有拓开思路。

（15）电气工程试车、送电、试运行技术及其程序要点　电气工程试车、送电是非常重要的，但是往往容易被人们忽略，在这个阶段出现故障是最大的失误。因此，必须学会这方面的技术技能，做到万无一失，这就用到了数学知识，你要把所有的项目分得很细，使每个小项目都经过检测和试验证明没有问题才行。然后再检测和试验大项目。

这样从下往上一层一层地检测和试验，就能保证不会有问题，忽略了某一点，那点就可能有问题。

这里我们再讲一个故事，还是我们在本章第二节提到的那台6300kVA 35/0.22的电解炉。由于出现了相间绝缘板未烘干的事故，说明还有其他问题。那时建设单位也在催进度，安装单位电气工程师认为，不得急于投产，建议把所有项目彻底检测一次，以免发生更大事故，很多人不同意，工程师坚持说，我保留我的建议，谁不同意谁去送电、试车。结果谁也不敢去，最后单位决定由工程师去处理这个问题。工程师从单位挑选了10名优秀的电工师傅，携带检测试验用的仪器仪表，分成四组将35kV变电所、线路、电炉控制室，电炉变压器、直流屏、电动机及控制柜、电炉变压器控制柜以及各路导线电缆等等系统所有的与电炉相关的电气部分彻底地检测试验了一次，共发现十一处严重事故隐患，并亲自检测试验变压器及高低压侧的所有装置和高压柜，确保万无一失，将送电试车日推迟了一个月，在这个期间安排了昼夜保卫值班，这样就排除了其他人为因素。试车那天上午又将几处重要部位重测

了一次，测完后已近11：30，这时包括建设单位的负责人要急于送电。工程师说，已经快到吃饭的时候了，人心涣散，不宜送电，下午再说，同时安排了午间值班，以防不测。

下班上班后，又将重要部位测了一次，与上午数据相同，决定3：00正式送电试车。把人员和防护措施布置好后，谁也不愿意去监护变压器，他和徒弟说，没人去咱俩去，并下达了合闸的指令，顺利合闸，变压器及系统一切正常。建设单位负责人说，多亏某工了，不然真要出事了。工程师说，我心里有数，工期延误了，但工程保住了。

电气工程就是这样，必须做到万无一失，滴水不漏。如果当时不听工程师的，恐怕至少有两个人承担重大责任，甚至面临牢狱之灾。特别是高电压、大电流、容量大、控制系统复杂、设备贵重、机要部位必须要谨慎小心，不得听信别人，必要时必须亲自动手要做到心里有数，做到点点到位，这样才能泰然自若，百倍放心。

（16）电气工程交验。交验只是一个形式，只要上述条款做好了，资料齐备了，交验就没问题。交验主要是程序上要走对，该请的部门、该履行的手续、该准备的资料，国家规范上都有明细，一一对应即可。

同学们，向工人师傅学习的东西太多了，除了技术、技能、经验之外，他们那种对技术工作认真负责、精益求精、不怕困难、永不言败的精神和职业道德更需要你们去学习，技术、技能难学，而这精神更难学。

思 考 题

1. 你应该学习工人师傅的哪些方面？具体内容有哪些？
2. 你准备怎样向工人师傅学习？具体方式方法是什么？
3. 在成为一名工程师的实践道路上，你都做了哪些准备？你计划怎样做？

第七章　立志电气工程事业、始终不渝

在第二章我们已经讲到电同阳光、水、空气一样，是人类不可缺少的亲密伙伴，电的发展史，就是人类进步的发展史。因此，从事电气工程事业，无论是科学家、设计师，还是工程师、技术工人以及学电专业的年轻的朋友们，本身就是一种无尚的荣耀。年轻的朋友们，你们既然选择了电气工程及自动化专业，并为之付出了四年之久的青春年华，那么就应该立志电气工程事业，为之始终不渝。因为电气工程事业蕴含着人类发展的希望，牵连着国家经济的命脉和发展，同时电气工程事业有着无穷无尽的乐趣，有着永无止境的发展前景。准确地讲，到目前为止还没有一个学科或领域像电这样发展的迅速和前景远大，还找不出一个与电无关的学科和领域，而大多学科或领域却是向电靠拢，如机电一体化、微机普及与应用、智能技术等。电就像一个引领千军万马的统帅一样，引领着各个学科的发展，去为人类、为国家做出更多的贡献。作为一名学电专业的学生，能不为之自豪吗？能不觉得自身担负着重大的希望和重担吗？

第一节　热爱电气工程事业、规划人生职业历程

大学毕业了，走上工作岗位了，也拜工人为师了，也学了不少技术技能了，也许在事业上小有成效了，这都是顺理成章的事情。但是，还有一件重大的事情你应该去想，应该去做，这就是规划自己的人生职业历程，也就是一生中在事业上要干成哪几件事，事业上的路应该怎么走。

比如，有的人想当大老板，有的人想做工程师，有的人想当教授，而有的人想进政府机关，还有的人想出国，想当科学家，有的人则想在电这个行业里干出些名堂来，如此等等，这都是正常的。然而，在这里面唯独技术这一行是完全可以靠自己努力而取得成功的，除了技术这行外，其余的都是可遇不可求的。

专业技术技能的获得，在前述几章已经进行了详细的讲述，只要你对电气工程事业热爱，不怕苦、不怕累，放下架子，勇敢到实践中去，和工人师傅交朋友，虚心向工人师傅学习，在长期的实践中，不断总结、不断思考、不断探索、勤奋好学、脚踏实地、学会观察、善于模仿、循序渐进，防微杜渐，敢于接触新技术、新设备，敢于创新，永不脱离实践，经过十几年的磨练，你定会成为一名真正的高级工程师，你也定会站在电气工程技术的最前沿，或许还能引领电气工程技术的发展，成为专家型的工程师。著名诗人石祥有一感人肺腑的警世名句，“学之道在于苦，才之道在于勤”，只要你做到这两点，你一定会走在最前沿的。在这个过程中，你不用请客送礼，不用拉关系走后门，反而会有很多人慕名而来请教学习，解决复杂的技术问题。如果你能把你掌握的技术技能写成书、编成教材，更是一步登天，你会有成千上万的读者，你会有众多的学生；如果你能在实践中，针对某些技术难点，搞出发明创造，提出新的概念或理念，（这一点完全能做到，电的领域太大了，需要革新创造的东西很多，前面章节内已有明确论述）更是平步青云，一举成功，何乐而不为呢？只

要你努力、只要你勤奋，只要你永不脱离实践，只要你永远是工人师傅的兄弟，你一定会成功的。这样成功的事例举不胜举，前面内容我们也讲了很多例子。

一、热爱电气工程事业

热爱电气工程事业不仅是口号，而是实际行动，在你职业生涯里永远有这样一个坚定信念，永远有这样的行动，还有什么办不成的呢？当然，这样的一个历程中绝不会一帆风顺，你会遇到各式各样的困难和挫折，如何克服这些困难，如何打败这些挫折，则是考验你的关键。而往往有些人则是距成功只有一步之遥的时候，退缩了，造成了终生的遗憾。也就是说，对于事业的酷爱和追求，不是一时一事，而是一生一世的事情并为之努力，始终不渝。同时在这个漫长的过程中，你要付出，你要牺牲，但更多的则是收获、喜悦、荣耀和满足。我们再讲一个真实的故事。

我们一个同学高中的时候学习非常出色，特别是物理、数学和语文总是名列前茅，尤其是物理和语文总是年级第一名，他的作文写的非常好，在20世纪60年代他的作文《家乡美》就上过报纸。但是由于种种原因他没能上大学，而是怀着无比的复杂的心情踏上了艰苦的生活道路，当了一名工人，一当就是二十年。他几乎干遍了所有的技术工种，机工、钳工、电工、焊工、仪表工、测量工、起重工都干过，并且个个干的非常出色，在他居住的那个小城市里，家喻户晓、妇孺皆知。人们在工作上有什么难事都找他解决，他分文不取，他说，我这是为了学技术，解决的问题越多，经验越丰富。其实有些难活我也干不了，别人找来了我就干，边干、边学、边动脑，这样时间长了，也就没有什么难活了。

20世纪70年代中期，随着文革的结束，人们越来越重视技术，很多单位和部门都来请他讲课，培训工人，他更是得心应手，干得很欢。就这样他便走上了职业培训的道路，接触的人更多了，遇到的难题更面广了，技术技能，实践经验突飞猛进，简直是如鱼得水。就是在这个时期他先后解决了周边单位、部门、工厂、部队繁多的技术难题，极大地丰富了自己，人称万能工。厂里很多大学生都拜他为师，向他学习技术技能。

恢复高考后，他雄心未灭，准备考大学。但是当时单位已经离不了他，很多技术问题都等着他去解决，他忍痛割爱，又一次与上大学的机会擦肩而过。1979年中央电大开课了，白天除了干活外，他用从废品库里找来的经自己修好的录像机、录音机把电大的课程录下来，便利用晚上和业余时间开始自学大学课程，并参加自学考试，成绩门门优异。经过自己的努力，1984年他取得了自学自考大学本科毕业证书，同时他又攻读了北航研究生的全部课程。他说，我真正地体会到如虎添翼的内涵了。

在这时段里，他可以说是世界上最忙的人，厂内的技术问题要解决，读大学的时机不能耽误，同时还要在市总工会技术交流协会培训工人、讲课、辅导年轻的学生，但他没有倒下，挺过来了，并且越来越充实，在80年代学技术、学技能的高潮里，他是姣姣者。这时人们也不喊他万能工了，而是叫他教授。

1986年他成为市先进科技工作者，并取得了工程师的资格，同时真的当上了“教授”，被市内几所大学聘为客座教授，他讲的课有声有色、活灵活现，受到学生的欢迎，说听他的课解渴。

1991年他晋升为高级工程师，并开始著书立说，编写教材，到2000年共出版技术专著12本，教材8本，字数共达1500多万字。他的书实用性强，将他从事过的较大工程都写进去了，他怎么干的，怎么讲的他就怎么写，大受读者欢迎，为培养技能型人才开创了先河。

就是在这个时候，他人生的第二个障碍出现了，就是在晋升正高级工程师的时候，职改办的同志认为他学历较低，不是正规院校毕业，未批准他申报。其实他对正高工开始申报的时候倒觉得无所谓，但是，当他听到这些人说“不是正规院校毕业”的话时，倒激发了他的一个奇想：“既然你们说我不是正规院校毕业，那么我与你们正规院校毕业的比一比怎么样？第二天他带着他所有的证件材料来到了职改办，把材料整整的摊了三张桌子上，有他写的20几本书、各种工程技术奖励证书、聘书等共上百件。他对他们只说了两句话，第一句，从今天起我向全市和我一个专业的正规院校毕业的正高工、教授、研究员挑战，我们比一比，是骡子是马咱们遛一遛。第二句话，你们说我不够正高工申报条件，今天晚上我就坐车到省职改办，他们要说也不够申报条件，下午我就坐车到北京，中央职改办要说也不够，我立马回来当我的工人，联合国科教文组织我是没钱去。

工作人员赶快给他解释，说比肯定是比不过你，我们研究一下，过几天给你一个满意的答复。

三天之后，打来电话让他去正式申报，他开玩笑地说，要是不行，我立马去省职改办。年末他教授级高工正式批了下来。

这个同学就是用他长期于实践之中积累起来的丰富的实践经验和丰厚的工程业绩、技术专著赢得了所有人的仰慕之心，特别是那丰富的实践经验和1500多万字的专著，别人是无法比拟的。评委会的一位资深专家说，要想超越这样的人，你必须从20几岁做起，否则是不可能的。

无论你从事何种专业，也无论你干什么工作，实践经验是人生最宝贵的财富，是永不枯竭的资源。著明科学家、光学专家王大珩当初在英国留学时，有两个选择，一是去车间当实习生，二是去攻读博士，他毅然选择了前者，学到了很多玻璃器件的制作工艺方法和光学仪器方面的经验，后来成为中科院光学研究所和长春光学仪器厂的首席专家，为国家航空、航天、原子弹、人造卫星等工程做出了巨大贡献，他常说，没有那几年实习生的经历，恐怕我什么也做不成。

著明水利工程专家张光斗，在26岁的时候，因未对施工图样核对，出了工程质量事故。从此对所有工程的图样、设计、资料都要亲自审核，直到三峡大坝工程50多年无一事故，这就是实践经验。

因此，从学校走向职业道路，必须注重实践经验的积累，永不脱离实践，这是你成功的必经之路。

二、规划人生职业历程

人生职业历程在前六章中已经勾划出非常清晰的轮廓，职业生涯的路怎么走是每个学生必须面对的话题，在规划人生职业历程时要面对实际、量力而行，切勿好高骛远、漫无边际。

从毕业参加工作到助理工程师这一阶段主要是在实践中锻炼，与工人师傅交朋友，真正学到技术技能的真蒂，其实这个过程要延续到工程师、高级工程师或更远一点。

从助理工程师到工程师这一阶段，除了在实践上丰富自己外，要承担一些工程项目，无论是安装调试，还是研制研发，无论大小，无论难易，必须坚持向工人学习，向师傅学习，谦虚谨慎，戒骄戒躁，把项目做好，不得出现较大的缺陷或漏洞，除了锻炼和充实自己的实践能力外，还要培养自己的管理能力。同时应关注专业技术的发展动态和“四新”，有条件

的时候，要总结自己成功的经验和失败的教训，写出文字的东西，或以论文的形式发表，为今后发展奠定基础、储备资源。在有条件或机遇的时候，可以搞一些创新、技术改革或发明创造等，这样的机会不要去强求，要水到渠成，不要急于求成或贪大求洋。

从工程师到高级工程师这一阶段，除了在实践上继续丰富自己外，要承担一些较大的工程项目，一般应从做标书、标书答辩、施工（研制、设计、开发）组织设计开始，到开工准备、领导或指导施工（研制、设计、开发）、解决技术难题、试验调整、竣工交验等一条龙下来，系统地丰富和充实自己的实践经验和管理能力，极大地提高自己，确保工程项目完美无缺。同时在这阶段要熟练掌握编制各种工程项目的技术文件、掌握 ISO 标准的贯彻和实施；掌握专业技术发展动态和“四新”，在推广“四新”上要有建树；撰写科技论文或技术技能专著，并由国家级出版单位出版发行；在工程项目实施过程中应搞创新、发明或创造，在工程项目中担当重要职责，使工程项目获得“优质”以及“科技进步奖”。有条件的时候，可到院校、培训部门或单位进行讲学或解决技术难题，攻关等，与社会各界有较大的接触，开拓眼界，提高实践能力。但是宗旨还是要水到渠成，不得急于求成或贪大求洋。要以能力，实力取得同行、前辈、专家或领导的认可，保持谦虚谨慎、戒骄戒躁的作风。

从高级工程师到正高级工程师这一阶段，无论你的职位有何变化，应立足基层、继续探索实践、瞄准高端，站在电工专业的最前沿。在这个阶段要承担或参予一些大的重点工程项目，在设计、施工、研制、开发的不同阶段担当重任、攻克难题及技术难关，提出相应的技术课题，提出相应的技术结论，提出相应的技术措施和工艺方法，并使其形成文字或文件，确保工程项目顺利进行。

同时，在这个阶段应有拓展性的建树：

包括本专业以内及本专业边缘学科的“四新”推广及应用；本专业及边缘学科在内的综合性设计、施工研制、开发的科技论文或技术论著，创造极大的社会效益；还包括本专业边缘学科在内的科技发明、创造及创新且在国内有较大影响的成果，在本专业基础理论研究上结合实践经验有创新成果；在带学生、带徒弟上，基础理论与实践相结合有创新科技成果等。

在成为正高级工程师之后应继续向专家型发展，在上述成果上有新的内涵，有新的成果，有新的拓展。

在上述职业历程中，无论你在何种位置都应做到以下几方面：

（1）对实践经验永不放弃，永无止境，永远立足于基层和实践；

（2）对外语学习，只能加强，不得有丝毫的怠慢；

（3）对基础理论的学习，对“四新”的学习要永不松懈；

（4）对计算机及其技术的学习和实践要坚持，不断提高，不断进步。

无论职称高低，只要能保证上述四点，你一定能站在专业的最前沿，你也一定会成为一名优秀的电气工程师。

第二节　电气工程师职业道德行为总则

当你读到这里的时候，或许你即将成为一名电气工程师，或许你已是一位电气工程师，或许你对电工这个职业感兴趣，无论怎样，当你走上这个崇高的岗位，从事这个神圣的职

业，你应该成为电气工程师职业道德行为总则的典范。

（1）热爱电气工程师这个职业，有事业心，有责任心，为电气工程及自动化专业始终不渝。

（2）对技术精益求精，一丝不苟，在实践中不断学习进取，积累丰富的实践经验，提高技术技能，同时从理论上要不断提高自己，具备扎实的理论基础和分析问题的能力。

（3）关注电气工程技术发展动态，积极参与科技成果转化及应用工作，推广新技术、新工艺、新材料、新设备。

（4）解决工程项目中的技术难题是义不容辞的职责，练就一身过硬的技术技能，成为一把金钥匙，打开每一把技术难题之锁。

（5）甘当设计师与施工人员、制造人员之间的桥梁，传递信息，破译信息，确保工程项目的质量、安全、工期、投资，成为工程项目的中流砥柱。

（6）对电气工作认真负责，兢兢业业，对自己从事的电气工作必须做到准确无误，滴水不漏，天衣无缝，在工程的关键时刻能挺身而出，充当抢险队长。

（7）长期深入实践，虚心向工人师傅学习、向书本学习、向实践学习，做到不耻下问，探索研究新工艺、新方法。

（8）在职业生涯中，要善于发现人才、重用人才、厚爱人才、推举人才、培养人才。特别是工人队伍中的技术能手，要把他们做为工人工程师委以重任，加以重用。

（9）工作要身先士卒，一马当先。要做到干净利落、美观整洁。工作完毕后要清理现场，及时将遗留杂物清理干净，避免环境污染，杜绝妨碍他人或运行的事发生。

（10）任何时候、任何地点、任何情况，工作必须遵守安全操作规程，设置安全措施，确保设备、线路、人员的安全，时刻做到质量在手中，安全在心中。

（11）工程项目的安装、研制、修理、保养的过程要做到“严”，要严格要求，严格执行操作规程、试验标准、作业标准、质量标准、管理制度及各种规程、规范、标准，严禁粗制滥造。

（12）工程项目的运行维护必须做到“勤”，要防微杜渐，对电气设备、线路、元件的每一部分、每一参数要勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤紧、勤修，把事故、故障消灭在萌芽状态。科学合理制订巡检周期，确保系统安全运行。

（13）工程项目中用到的所有电气设备、元件、材料及其他辅件，使用前应认真核实其使用说明书、合格证、生产制造许可证、试验报告或型式试验报告，对于其质量有怀疑的及其贵重、关键、重要部件要全部进行测试和检验试验，杜绝假冒伪劣产品混入电气系统。

（14）凡是自己参与的工程项目，应建立相应的技术档案，记录相关数据和关键部位的内容，记录相应的具体责任人，做到心中有数，并按周期进行回访，掌握工程项目的动态，及时修正调整相关参数，为后续工程项目奠定良好的基础。

（15）对用户诚信为本、终身负责，通过回访或用户反馈意见，改进工作，提高技术水平。

（16）积极宣传指导节约用电技术和安全用电技术，制止用电当中的不当行为和错误作法。

（17）电气工程项目中，要节约每一米导线、每一颗螺钉、每一个垫片、每一团胶布，严禁大手大脚，杜绝铺张浪费。不得以任何形式将电气设备及其附件、材料、元件、工具、

电工配件赠予他人或归为己有。

（18）编制技术文件要切合实际，使其具有可操作性、实用性和指导性，杜绝空话、假话、套话。

（19）认真学习研究电气工程安全技术，并将其贯彻于安装、研制、调试、运行、维修中去，对用户、设备、线路、系统的安全运行负责。

（20）养成良好的工作习惯和学习习惯（包括实践的学习），惯于总结，善于分析。将工作中、生活中与专业有关的事物详细的记录下来，进行分析总结，去其糟粕，吸取精华，进一步提高和充实自己的技术技能和实践经验，为电气工程事业做出更大的贡献。

电气工程师职业道德行为总则只是一个衡量电气工程师职业道德和行为的导则，大家可以在实践中体会。同时一个良好的职业道德和行为也不是、也不可能在一时一事上体现出来，而是在长期的工作实践中，通过各种事态和反复思考、锤炼而渐渐形成的。无论这里对其论述的全面与否、正确与否都是无关紧要的，重要的是能够引导年轻的大学生们，在走上工程师这个岗位时，有个较为明确的职业道德行为总则，时时刻刻用其约束自己，衡量自己，在通向工程师的道路上一帆风顺，马到成功。

第三节 在电气工程专业及其边缘学科拓展

电气工程技术是现代科学技术的先锋，它引领了电气工程专业边缘学科的发展，如机电一体化，绝缘材料、导电材料、光纤材料、电子元器件制造、电器制造、新能源、智能产品、智能建筑、机器人、机械手、传感器制造、非电量测量技术、机械自动控制、液压控制技术等等。这些学科与电气工程技术有着错综复杂的关联，电气工程技术引领了它们的发展，而边缘学科的发展又促进了电气工程技术的发展和改革，相辅相成，共同发展，取得双赢。

作为电气工程师除了应在本专业发展和有所建树外，应在其边缘学科拓展，特别是这些边缘学科的制造业里更需要有对其产品使用上的一些信息和建议，这样不但能提高产品的质量，保证电气系统的安全运行，还能促进学科间的交流，促进新的、功能齐全的新产品问世，推动科技进步和社会发展。对于机电一体化、新能源、智能建筑、机器人、机械手、机械自动控制、液压控制技术、非电量测量技术等，电气工程师应涉入拓展，这些会给你又一个平台，展示你的才华和贡献。

第四节 立足基层，瞄准高端，永远站在电气工程技术的前沿

一、前述章节内容回顾

前述章节我们对工程师的概念、大学生到工程师的历程、正确认识技术工人这个群体、拜工人为师向工人学习和热爱电工事业等内容进行了详细的论述，这里我们小结一下：

1. 工程师的定义

丰富的实践经验、扎实的理论基础、科技成果转化及应用、解决工程实践中的技术难题。

2. 工程师的职业位置及地位

工程师是一座桥梁、工程师是一把金钥匙、工程师是抢险队长、工程师是工程项目的中

流砥柱。

3. 大学生到工程师的历程

长期深入基层，积累实践经验，遵守职业规则，探索实践方法，在实践中磨练、提高综合能力，继续学习不断完善、向科研型专家型发展，当你走上领导岗位、切勿脱离工程实践，关注电气工程技术动向、永远站在最前列。

4. 正确认识技术工人这个群体

技术工人的概念（熟练掌握本工种的基本操作技能，顺利完成本工程的各种作业项目；具有丰富的本工种安装、调试、制作、修理经验，能指导较低级别的技工顺利完成本工种的作业项目；解决本工种安装、调试、制作、维修及运行作业项目中的难题，确保该项目顺利完工或安全运行。）

工人是创造财富、创造价值的主体，技术工人是传承技术技能的良师益友，先进的科学技术和技术工人的技术技能是相辅相成的，技术工人是工程项目实施的主力军，技术工人与工程师的关系。

5. 拜工人为师、向工人学习

与工人交朋友、和工人融为一体，勤奋好学、杜绝浮躁，做到严、管、勤，学会观察、善于模仿，学会总结、善于分析，循序渐进，全面发展。

6. 立志电气工程事业、始终不渝

热爱电气工程事业，规划人生职业历程，工程师职业道德行为总则，在电气工程专业及其边缘学科拓展……。

第1点和第2点中，我们给出了工程师的定义及其地位，使同学们对工程师有一个正确和清楚的认识，进而有了一个明确的目标和发展方向。

第3~5点中，我们详细地讲述了大学生到工程师的历程，其中，正确认识技术工人这个群体和拜工人为师、向工人学习是最重要的内容。只有对技术工人有了正确认识，知道他们在科技发展道路上的重要作用和与工程师的关系，你才能拜他们为师，你才能向他们学习，同时也只有这样，你才能成为一名真材实料的工程师，才能真正担当起工程师的重任。但是，有很多学生不能做到这一点。

第6点，不管你是刚刚踏上工程师的这个历程或者是成为工程师以后，都应该热爱这个事业，规划职业生涯该怎么走、每个阶段该干什么，并用工程师职业道德行为总则约束自己。当你真正成为一名电气工程师时，你应在电气工程专业及其边缘学科里拓展，或者瞄准电气工程专业的高端，有所发明，有所创造，永远站在电气工程技术的前沿，这样你才无愧于电气工程师这个崇高称号。

在前述章节内容中，我们的主题是“技术工人是传承技术技能的良师益友”，重点强调突出的内容是以下十点，前八点你做到了，自然就要向专家型发展，向边缘拓展，就要瞄准高端，就会站在电气工程专业的最前沿。

（1）拜工人为师，向工人学习专业技术技能；

（2）立足基层，积累丰富的实践经验和技能；

（3）关注电气工程技术动态，不断学习进取，全面发展；

（4）科学家（设计师）与工程师、技术工人的关系；

（5）技术技能是一生最宝贵的财富和永不枯竭的资源；

（6）防微杜渐、循序渐进、抵制诱惑、杜绝浮躁；

（7）学会总结、善于分析、学会观察、善于模仿；

（8）复杂的事物是由简单的事物组成的，主要是接口问题；

（9）向科研型专家型发展，在电气工程专业边缘拓展；

（10）瞄准高端，永远站在电气工程专业的最前沿。

二、立足基层，瞄准高端

1. 立足基层

立足基层，积累丰富的实践经验是电气工程师一生的主题。随着技术的发展，大批的“四新”要拥向市场，要应用到各个领域，“四新”的推广、应用，包括运行维护有着很多实际问题，这些问题的解决将极大的充实自己。一方面把这些问题好的方面总结起来反馈到科研部门、生产厂家，使“四新”有更大的发展；另一方面把这些问题不好方面总结起来反馈到科研部门、生产厂家，使其“四新”在质量、功能方面得以有较大的改进和提高，更有利于“四新”的发展和运用。你的经验越丰富，你的发展就越大，几经反复自然要瞄准高端，瞄准前沿。

2. 瞄准高端

瞄准高端，站在前沿是电气工程师发展的必然，也是电气工程师责任。到目前为止，电气工程技术的发展，特别是自动控制、智能控制、传感器技术、计算机技术、机器人技术、电气传动、通信技术的发展已扩展到国民经济、国防科学等各个领域，有很多高端项目处在待开发状态，它不仅需要有相当丰富实践经验的工程师介入，而且更需要团队精神。这里给出工厂电气自动化的主要技术及其发展趋势一览表，供参考，见表7-1。

表7-1 工厂自动化的主要技术及其发展趋势

		主要技术	今后的发展趋势
计算机技术	硬件技术	工厂自动化网络	利用数据通信用局部地区网络把车间系统之间、生产线系统之间连接起来
		工厂自动化计算机	利用32位的计算机使制造管理功能和综合控制功能一体化 计算机辅助设计和计算机辅助制造在线化
		工厂自动化控制器	广范围的群控系统化；系统的微型组件化
		可编程序控制器 机器人控制器 数控	提高控制功能；进一步智能化；加强与工厂自动化控制器的在线功能
	软件技术	辅助设计的软件	分析要求，分析系统，评价工具的多用化和通用化；模拟技术的应用
		生产管理软件	软件的插件化和模块化；利用简易语言简化程序
		制造管理软件	与别的车间、系统的工厂自动化，网络的一体化；与计算机辅助设计和计算机辅助制造一起的在线化；建立为系统高效运转的调度软件；用简易语言简化程序
		设备的综合控制	与各控制器进行数据通信的标准化；软件的插件化和模块化；利用控制用的简易语言简化程序
		设备的群控	扩充群控功能；软件的插件化和模块化；利用控制用语言简化程序
		个别设备的控制	加强与工厂自动化控制器的在线功能；普及高级语言；扩充智能功能和控制功能
无人搬运装置			搬运高速化和提高定位精度；利用工作自动识别功能提高搬运和分类精度
交流伺服机构			控制高级化和控制装置小型化；适应特殊环境；扩大应用范围

同学们，我真诚地感谢大家选择了电气工程及自动化专业，在这个学科领域里有着无穷无尽、永远探索不完的奥秘和技术，每年都有一大批年轻的学子加入到这个队伍中来，作为一名退休的电气工程师来说，也感到无比的欣慰，这和奥运火炬一样，要永远传递下去。衷心地希望你们到实践中去，向工人学习，掌握过硬的实践技能，积累丰富的、特别是解决技术难题的经验，在实践中不断创新、不断提高，在理论上要极大的丰富自己，充实自己，瞄准高端，为电气工程事业始终不渝。我相信，十几年之后将会有一大批电气工程及自动化的高级领军人物出现，站在电气工程技术的最前沿。

思 考 题

1. 怎样规划你的职业生涯？在电气工程专业上你要走到哪一步？
2. 谈谈你对电气工程师职业道德行为总则的感受？在今后的职业生涯里你能做到哪几点？
3. 你对电气工程专业哪方面感兴趣？边缘学科哪些有兴趣？高端方面哪些有兴趣？准备怎么做？
4. 谈谈你对“技术工人是传承技术技能的良师益友”的感想和看法？

第八章　电气工程师应具备的技术技能

工程师是一种实践性很强的职业，他在工程中担负极为重要的角色，要传授道理、教授方法、解决难题，要与设计师探讨工程中很多决策性的技术问题，要与技术工人共同完成重要、关键、贵重设备的安装调试及检测修理等难题。同时还要负责工程质量、安全、进度、技术、环保、投资等工作。这些能力的具备除了要丰富的实践经验外，就是要具备相关的技术技能。技术技能必须要掌握三点：一是要会和懂；二是能监督他人操作；三是别人不懂的时候你还得教授方法于他们，使其掌握技术技能。

前述七章内容我们已经非常清楚地知道了电气工程师的概念、大学生到工程师的历程以及怎样向技术工人学习等方面的内容，这是每一个大学生到工程师的必经之路。那么，一名真正的电气工程师应具备哪些技术技能，这将是一个非常实际而又非常务实、但又是一些人不容易做到的或不曾想到的一些内容。电气工程师应具备的技术技能主要包括技术方面和管理方面两大内容。本章讲述技术技能。

技术方面主要有基本技术技能、通用技术技能、电气系统安全运行技术、电气工程安全技术、负荷估算及设备材料选择、控制系统的设计及实施、电气工程技术开发及新技术成果转化、解读电气工程技术疑难问题等八个部分。

第一节　基本技术技能

基本技术技能主要包括：常用工具及器械的正确使用，导线的连接，导线与设备端子的连接，常用电工安全用具及器械的正确使用，常用电工检修测试仪表的正确使用，钳工、焊工、测量工、起重工、吊装运输基本技能及器械工具的使用，管路敷设及穿线，杆塔作业基本要领，常用电气设备元件及测量计量仪表的安装接线，常用电工调整试验仪器仪表的使用及调整试验方法，常用机械设备安装要点，电气故障判断及处理方法，电气工程及自动化工程读图及制图等。

掌握这些基本操作技能的目的有 4 点：

（1）掌握电工工艺，并与工人打成一片，从中能学到更多有益的东西，使工人师傅不拿你当外人，是积累实践经验的基础和基本手段。

（2）促进管理工作，以判断工程或作业质量的优劣。

（3）有利于今后技术工作和管理工作的开展。

（4）有利于今后研发工作。

一、常用仪器仪表的使用

常用仪器仪表包括万用表、钳形表、绝缘电阻表、接地电阻表、电桥、场强仪、示波器、图示仪、电压比自动测试仪、继电保护校验仪、开关机械特性测试仪、局部放电测试仪、避雷器测试仪、接地网接地电阻测试仪、直流高压发生器、智能介质损耗测试仪、智能高压绝缘电阻表、直流数字电阻测试仪、电缆故障测试仪、双钳相位伏安表、自动 LCR 测

量仪、高压试验变压器、高电压升压器、大电流升流器等。

作为一名电气工程师，无论你从事电气工程中的研发、制造、安装、调试、运行、检修、维护等何种工作，常用仪器仪表的使用是非常重要的，其目的主要有四点：

（1）检验或测试电气产品、设备、元器件、材料的质量；

（2）检验或测试电气工程项目的安装、制造质量及其各种参数；

（3）调整和试验电气工程项目的各种参数、自动装置及动作等；

（4）大型、关键、重要、贵重、隐蔽设施的检验、测试、调整、试验必要时要亲自进行，确保万无一失。

二、电气工程项目读图

电气工程项目的图样很多，从某种意义上讲，图样决定着工程项目的命运，特别是原理图、数/模转换原理图、接口电路图、制作加工图、工程的平面布置图、接线图等尤为重要。

读图首先是要把图读懂，而更重要的是要读出图样中的缺陷和错误，以便通过正确的渠道去纠正或修改设计。但是，在工程实践中却不是这样。一些人过多的依赖图样、迷信图样，或者由于经验、技术的匮乏没有读出缺陷和错误而导致工程项目出现不同程度的损失，这里我们举几个简单例子。

1988 年某煤气站工程，电源容量为两台 10/0.4kV 800kVA 变压器，4 台 380V 240kW 加压机，原设计采用 DW10-1500 空气断路器直接起动。当时一工程师看过图后，觉得空压机直接起动有问题，应采用减压起动，便与另外一电气技术人员商讨，他也觉得直接起动有问题。这样，这个问题拿到了图样会审会上。当场设计人员一口认为没问题，说电源容量够，距离很近，能起动。工程只能按设计进行，但是等到试车时便出现了问题，一是起动时间太长，电动机发热，无法起动，如坚持起动就有烧电动机的可能，谁也不敢操作；二是一起动其他回路的接触器就掉闸，压降太大。这时建设单位找安装单位，安装单位说是设计原因，最后只能修改设计，改原设计为补偿起动。但是在原柜上加补偿器已没有空间，最后只能将自耦变压器装在地下的通道里。修改后的起动柜，起动时间 18s，一起就成功、对系统没任何影响，至今运行良好。

1987 年华北某电厂起动锅炉房炉排电动机为一台三速笼型电动机，在看控制原理图时，发现主电路接线有错误，照此接线安装电动机不会起动。图中主要错误是三条横向的三相回路与三条竖向的三相回路交叉连接处没有涂上圆点“✦”，导至主电路不能正确接通。通过建设单位找到原设计本人，当即承认图中有误，出据变更后进行安装接线，试车时电动机调速正常，运行良好。

1992 年某厂锅炉房 55kW 引风机电动机原设计为星角起动，读图时觉得不妥，建议改为减压补偿器起动。但原设计人认为没有改的必要，坚决不改，照图施工后勉强起动，有时很困难，起动时间长、电流大。交工后在系统试运行时，便出现接触器烧坏、起动困难、引起其他设备跳闸等故障，最后电动机线圈被烧。建设单位提出索赔，安装单位只能推到设计单位，设计单位不服，最终告到法院，对簿公堂，最终设计单位败诉，不但赔偿建设单位的损失，也失去了自己的市场和声誉。更换后的原型号原厂家同批 55kW 电动机采用 75kW 补偿器起动，一次起动成功，至今运行良好。

2005 年华北某风力发电工程，0.69/35kV 800kVA 升压变压器高压侧熔断器选择的不合适，安装人员建议增大两级额定电流并选择有风挡式的适合高原大风场所使用，但设计人员

坚持己见，结果在升压变压器投入时（正值冬季，风达6、7级）发生熔断器熔丝熔断及线间弧光短路，最后只得听从安装人员的建议。

可见，读图是电气工程中最重要的一步。图样是工程的依据，是指导人们安装的技术文件，同时，工程图样具有法律效力，任何违背图样的施工或误读而导致的损失对于安装人员来说要负法律责任。因此，对于电气安装人员要通过读图，熟悉图样，熟悉工程，正确安装，这是半点也不能含糊的，特别是对于初学者来说尤为重要，作为一名电气工作人员首先必须要作到的就是这一点，任何时候、任何情况、任何条件下是绝对不能违背的。

因此，无论你从事电气工程项目的哪个专业，你必须学会读图，其目的主要有13点：

（1）掌握工程项目的工程量及主要设备、元器件、材料，编制预算或造价。

（2）掌握工程项目的分项工程，编制施工（研制）组织设计或方案，布置质量、安全、进度、投资计划，掌握工程项目中的人、机、料、法、环等各个环节，进行技术交底、安全交底及各种注意事项（包括应急预案、安全方案、环境方案等），确保工程项目顺利进度。

（3）掌握关键部位、重要部位、贵重设备或元器件、隐蔽项目等的安装或研制技术、工艺及注意事项。

（4）掌握工程项目中的调试重点，布置调试方案、准备仪器仪表及调试人员。

（5）编制送电、试车、试运行方案及人力需求，确保一次成功。

（6）掌握运行及维护重点，确保安全运行。

（7）掌握检修重点，安排检修计划及人力需求，确保系统安全运行。

（8）掌握工程项目元器件、设备的修理重点，编制修理方案，准备材料、工具及人员。

（9）掌握故障处理方法，熟悉各个部位、设备、元器件、线路等处理时的轻重缓急，避免事故扩大。

（10）布置安全措施、环保措施。

（11）收集、整理工程项目资料，建立工程项目技术档案。

（12）布置工程项目交工验收。

（13）向用户阐述工程项目重点部位、运行方法及注意事项、调整试验方法及参数以及检修、修理、维护、安全、环保、故障处理等相关事宜，确保系统正常运行。

读图是工程项目中最重要的环节，是保证工程项目顺利进行以及检测、修理、安全、环保、故障处理、维护最重要的手段；也是提高技术技能、积累实践经验、向专家型发展的必经之路；同时又是通向研发、创新、通向高端技术的重要手段。如果你能把所有的与电有关的图样读懂，你必定是一流的电气专家。

三、电动机及控制

电动机是电气工程中最常用、最多、最重要的动力装置。容量从几十瓦到几百千瓦，电压等级从十几伏到十千伏，有直流和交流之分，控制系统复杂。特别是用在生产工艺系统中的电动机，与自动控制系统、传感器及检测装置、A/D以及D/A转换装置、微机装置有着错综复杂的关系，并与电动机的起动、调速、停机以及控制系统中的温度、压力、物位、流量、机械量、成分分析等参数联锁控制，完成生产工艺的要求。

因此，对电动机本身及其控制、起动及保护装置、线路设置、联锁装置等技术的掌握对于一名电气工程师来讲是尤为重要的，不懂电动机及其控制，在电气行业是难以立足的。

电动机及其控制要熟练掌握以下内容：

（1）电动机的结构及其内部线圈的接法，这对电动机控制、修理有极大的用途。

（2）电动机常用起动控制装置及其控制原理图，包括直接起动、星-角起动、串联电抗起动、自耦变压器起动、频敏变阻器起动、正反转起动及控制、软起动器起动及其控制、变频器起动及其控制等，包括电动机的保护及其保护装置。

（3）电动机的选择及其起动控制装置的选择，也就是（2）中各种起动控制装置都适合哪种电动机及其拖动的机械负载，这是一个非常重要的内容。

（4）电动机起动控制调速与生产工艺系统的接口及接口电路，包括与传感器、检测装置、A/D 及 D/A 转换装置、微机装置及自动控制系统的联锁电路。

（5）电动机的测试和试验，判定电动机的质量优劣及性能，主要包括：

1）力学性能的测试和试验，如转动惯量、振动、转动有无卡阻、声音是否正常等。

2）电气性能的测试和试验，如绝缘、转速、电流、直流电阻、空载特性、短路特性、转矩、效率、温升、电抗、电压波形、噪声、无线电干扰等。

（6）电动机及其起动控制装置、联锁装置的运行、维护、检修、修理、故障处理技术，这是衡量电气工程师水平高低最为实际的技术技能。

（7）直流电机的试验项目及要求

1）直流电机的试验项目，应包括下列内容：

①测量励磁绕组和电枢的绝缘电阻；

②测量励磁绕组的直流电阻；

③测量电枢整流片间的直流电阻；

④励磁绕组和电枢的交流耐压试验；

⑤测量励磁可变电阻器的直流电阻；

⑥测量励磁回路连同所有连接设备的绝缘电阻；

⑦励磁回路连同所有连接设备的交流耐压试验；

⑧检查电机绕组的极性及其连接的正确性；

⑨调整电机炭刷的中性位置；

⑩测录直流发电机的空载特性和以转子绕组为负载的励磁机负载特性曲线。

注：6000kW 以上同步发电机及调相机的励磁机，应按本条全部项目进行试验。其余直流电机按本条第①、②、⑤、⑥、⑧、⑨、⑩款进行。

2）测量励磁绕组和电枢的绝缘电阻值，不应低于 0.5MΩ。

3）测量励磁绕组的直流电阻值，与制造厂数值比较，其差值不应大于 2%。

4）测量电枢整流片间的直流电阻，应符合下列规定：

①对于叠绕组，可在整流片间测量；对于波绕组，测量时两整流片间的距离等于换向器节距；对于蛙式绕组，要根据其接线的实际情况来测量其叠绕组和波绕组的片间直流电阻。

②相互间的差值不应超过最小值的 10%，由于均压线或绕组结构而产生的有规律的变化时，可对各相应的片间进行比较判断。

5）励磁绕组对外壳和电枢绕组对轴的交流耐压试验电压，应为额定电压的 1.5 倍加 750V，并不应小于 1200V。

6）测量励磁可变电阻器的直流电阻值，与产品出厂数值比较，其差值不应超过 10%。调节过程中应接触良好，无开路现象，电阻值变化应有规律性。

7）测量励磁回路连同所有连接设备的绝缘电阻值不应低于0.5MΩ。

注：不包括励磁调节装置回路的绝缘电阻测量。

8）励磁回路连同所有连接设备的交流耐压试验电压值，应为1000V。

注：不包括励磁调节装置回路的交流耐压试验。

9）检查电机绕组的极性及其连接应正确。

10）调整电机炭刷的中性位置应正确，满足良好换向要求。

11）测录直流发电机的空载特性和以转子绕组为负载的励磁机负载特性曲线，与产品的出厂试验资料比较，应无明显差别。励磁机负载特性宜在同步发电机空载和短路试验时同时测录。

（8）交流电动机的试验项目及要求

1）交流电动机的试验项目，应包括下列内容：

①测量绕组的绝缘电阻和吸收比；

②测量绕组的直流电阻；

③定子绕组的直流耐压试验和泄漏电流测量；

④定子绕组的交流耐压试验；

⑤绕线转子电动机转子绕组的交流耐压试验；

⑥同步电动机转子绕组的交流耐压试验；

⑦测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘电阻；

⑧测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的直流电阻；

⑨测量电动机轴承的绝缘电阻；

⑩检查定子绕组极性及其连接的正确性；

⑪电动机空载转动检查和空载电流测量。

注：电压1000V以下，容量100kW以下的电动机，可按本条第①、⑦、⑩、⑪款进行试验。

2）测量绕组的绝缘电阻和吸收比，应符合下列规定：

①额定电压为1000V以下，常温下绝缘电阻值不应低于0.5MΩ；额定电压为1000V及以上，在运行温度时的绝缘电阻值，定子绕组不应低于每千伏1MΩ，转子绕组不应低于每千伏0.5MΩ；

②1000V及以上的电动机应测量吸收比。吸收比不应低于1.2，中性点可拆开的应分相测量。

注：a）进行交流耐压试验时，绕组的绝缘应满足本条第①、②款的要求。

b）交流耐压试验合格的电动机，当其绝缘电阻值在接近运行温度、环氧粉云母绝缘的电动机则在常温下不低于其额定电压每千伏1MΩ时，可以投入运行。但在投运前不应再拆开端盖进行内部作业。

3）测量绕组的直流电阻，应符合下述规定：

1000V以上或100kW以上的电动机各相绕组直流电阻值相互差别不应超过其最小值的2%，中性点未引出的电动机可测量线间直流电阻，其相互差别不应超过其最小值的1%。

4）定子绕组直流耐压试验和泄漏电流测量，应符合下述规定：

1000V以上及1000kW以上、中性点连线已引出至出线端子板的定子绕组应分相进行直

流耐压试验。试验电压为定子绕组额定电压的3倍。在规定的试验电压下，各相泄漏电流的值不应大于最小值的100%；当最大泄漏电流在20μA以下时，各相间应无明显差别。试验时的注意事项，应符合13）条的有关规定。

5）定子绕组的交流耐压试验电压，应符合表8-1的规定。

表8-1　电动机定子绕组交流耐压试验电压

额定电压/kV	3	6	10
试验电压/kV	5	10	16

6）绕线转子电动机的转子绕组交流耐压试验电压，应符合表8-2的规定。

表8-2　绕线转子电动机转子绕组交流耐压试验电压

转子工况	试验电压/V
不可逆的	$1.5U_k+750$
可逆的	$3.0U_k+750$

注：U_k为转子静止时，在定子绕组上施加额定电压，转子绕组开路时测得的电压。

7）同步电动机转子绕组的交流耐压试验电压值为额定励磁电压的7.5倍，且不应低于1200V，但不应高于出厂试验电压值的75%。

8）可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘电阻，当与回路一起测量时，绝缘电阻值不应低于0.5MΩ。

9）测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的直流电阻值，与产品出厂数值比较，其差值不应超过10%；调节过程中应接触良好，无开路现象，电阻值的变化应有规律性。

10）测量电动机轴承的绝缘电阻，当有油管路连接时，应在油管安装后，采用1000V绝缘电阻表测量，绝缘电阻值不应低于0.5MΩ。

11）检查定子绕组的极性及其连接应正确。中性点未引出者可不检查极性。

12）电动机空载转动检查的运行时间可为2h，并记录电动机的空载电流。当电动机与其机械部分的连接不易拆开时，可连在一起进行空载转动检查试验。

13）试验注意事项

①试验电压为电机额定电压的3倍。

②试验电压按每级0.5倍额定电压分阶段升高，每阶段停留1min，并记录泄漏电流；在规定的试验电压下，泄漏电流应符合下列规定：

a）各相泄漏电流的差别不应大于最小值的50%，当最大泄漏电流在20μA以下，各相间差值与出厂试验值比较不应有明显差别；

b）泄漏电流不应随时间延长而增大；

当不符合上述规定之一时，应找出原因，并将其消除。

③泄漏电流随电压不成比例地显著增长时，应及时分析。

④氢冷电机必须在充氢前或排氢后且含氢量在3%以下时进行试验，严禁在置换氢过程中进行试验。

水内冷电机试验时，宜采用低压屏蔽法。

四、电力变压器及控制保护

电力变压器是电气工程中的电源装置，是重要的电气设备。由于用途的不同，其结构也不尽相同，电压等级也不同，容量从 10kVA 到几 MVA。最常用的变压器电压等级为 10/0.4kV、35/10kV、35/0.4kV、110/35（10）kV，是工厂、企业、公共线路中常见的电源变压器。

电力变压器是静止设备，只向系统提供电源，其控制、保护装置较为复杂，特别是35kV 及以上的电力变压器更为复杂。电力变压器的控制一般由断路器控制，设置的保护主要有非电量保护（主要指气体、油温）、差动保护、后备保护（主要指过电流、负序电流、阻抗保护）、高压侧零序电流保护、过负荷保护、短路保护等。这些保护装置与断路器控制系统构成了复杂的二次接线并与微机接口，这部分内容是电力变压器及变配电所的核心技术。对于 10/0.4kV 的变压器控制和保护较为简单，控制一般由跌落式熔断器或柜式断路器构成，保护一般只设短路保护、有的也增设过负荷保护。

电力变压器及控制保护要掌握以下内容：

（1）变压器的结构及其内部线圈的接法。

（2）变压器一次控制装置及其二次接线，主要有跌落式熔断器、断路器（少油、SF_6、真空、磁吹等型式）、负荷开关、高压接触器、接地开关、隔离开关等，及与其配套的高压柜等。

（3）变压器二次控制装置及二次接线，主要有断路器、熔断器、刀开关、换转开关、接触器及与其配套的低压柜等。

（4）继电保护装置及其二次接线，主要有差动保护装置、电流保护装置、电压保护装置、方向保护装置、气体保护装置、微机型继电保护及自动化装置等。

（5）变压器及其控制保护装置的选择、运行、维护、检修、修理、故障排除等。

（6）变压器的测试和试验并判定其质量的优劣。

（7）变压器试验项目、试验方法、试验用仪器仪表及具体要求。这里列出电力变压器的试验项目，具体试验方法、试验用仪器仪表及具体要求详见《电气工程安装及调试技术手册》一书，因篇幅较大，不便细述。

①测量绕组连同套管的直流电阻；

②检查所有分接头的变压比；

③检查变压器的三相结线组别和单相变压器引出线的极性；

④测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数；

⑤测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $tg\delta$；

⑥测量绕组连同套管的直流泄漏电流；

⑦绕组连同套管的交流耐压试验；

⑧绕组连同套管的局部放电试验；

⑨测量与铁心绝缘的各紧固件及铁心接地线引出套管对外壳的绝缘电阻；

⑩非纯瓷套管的试验；

⑪绝缘油试验；

⑫有载调压切换装置的检查和试验；

⑬额定电压下的冲击合闸试验；

⑭检查相位；

⑮测量噪声。

五、常用电量计量仪表及接线

电量计量仪表主要有电流表、电压表、电能表、功率表、功率因数表和频率表。其中，电流表、电压表、电能表、功率因数表有交流、直流之分。电能表则分有功、无功两种，有单相、三相之分，结构上又有两元件、三元件之分。

电压表、电流表、电能表、功率因数表、频率表、功率表直接接入电路中较为简单，当高电压、大电流时必须经过互感器接入，接入时较为复杂。电能表的新型号表接线更为复杂。

电量仪表主要是由电流线圈和电压线圈构成，其接线规则是相同的，这就是电流线圈（导线较粗、匝数较少）必须串联在电路中，电压线圈（导线较细、匝数较多）必须并联在电路中。使用互感器时，电流互感器的一次是串联在电路中，二次直接与表的电流线圈连接；电压互感器的一次是并联在电路中，二次直接与表的电压线圈连接。

掌握电表的接线目的主要是监督操作人员是否接线正确，并及时纠正错误接线，避免发生事故或电表显示电量不正常。

六、常用电气设备、元器件、材料

常用电气设备包括变压器、电动机及其开关和保护设备，开关和保护设备又分高压、低压及保护继电器与继电保护装置。

元器件主要包括电子元器件和电力电子元器件，如，半导体器件、传感元件、运算放大及信号器件、转换元件、电源、驱动保护装置及变频器等。

材料主要包括绝缘材料、半导体材料、磁性材料、光电功能材料、超导和导体材料、电工合金材料、导线电缆、通信电缆及光缆、绝缘子及安装用的各种金工件（角钢支架、横担、螺栓、螺母等）和架空线路金具、混凝土电杆、铁塔等。

（1）高压开关设备的选择必须满足相应的条件：

1）高压断路器

①断路器的额定电压应大于或等于装置地点的额定电压。

②断路器的额定电流应大于或等于装置地点通过的计算电流 I_{30}，I_{30}一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。

③断路器的开断电流应大于或等于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$。$I_K^{(3)}$ 一般由设计给出或按规定的计算方法算出。

④断路器的极限通过电流（峰值）应大于或等于装置地点可能通过的短路冲击电流 $i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$。$i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$ 一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。

⑤断路器热稳定电流 I_t 的平方与热稳定试验时间 t 的乘积应大于或等于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$ 的平方与短路发热时间 t_{ima} 的乘积，即 $I_t^2 \cdot t \geqslant I_K^{(3)2} \cdot t_{ima}$。$t_{ima}$一般由设计给出或按规定的计算方法算出。

另外，断路器的选择还必须按安装地点的要求分别选用户内型、户外型、柱上型，同时还应满足当地的地理、气候、环境条件以及电源相数的需要。

2）高压负荷开关。基本同断路器，其中最大开断电流应不小于装置地点的最大负荷电流，而不是短路电流。

3）高压隔离开关。隔离开关只能切断电压，而不切断负荷电流，但能切断空载电流，因此必须满足额定电压、额定电流和热稳定度的条件，详见断路器的①、②、⑤三条。

（2）低压开关设备的选择应满足相应的条件：

1）低压断路器（俗称空开）的功能作用主要是用来接通和断开电气线路及电气设备（亦可带负荷操作），并具有短路保护、过负荷保护功能，兼作欠电压、失电压保护。低压断路器是一种结构复杂、性能优良的开关元件，能瞬时切断短路电流，能延时切断过负荷电流，可远距离操作，取代了交流接触器、热继电器、熔断器的组合开关电路，操作安全，使用方便。低压断路器选择应考虑的条件：

①低压断路器的额定电压应大于或等于装置点的额定电压。

②低压断路器的额定电流应大于或等于装置点的计算电流。

③低压断路器脱扣器的额定电流应大于或等于装置点的计算电流。

④低压断路器的极限通断能力应大于或等于装置点的最大短路电流。

⑤线路末端单相对地短路电流与断路器瞬时或短延时脱扣器整定电流之比应大于或等于1.25。

⑥低压断路器欠电压脱扣器额定电压应等于装置点的额定电压。

配电装置、电动机、照明及与其他相邻电器匹配用的低压断路器选择方法各有不同，选用时应注意。

当与熔断器配合使用，对于容量较小的低压断路器或者低压断路器的断流能力小于计算短路电流时，宜用熔断器串联在断路器的电源侧，以弥补低压断路器断流能力小的缺陷，也避免了选用较大断流能力低压断路器的费用。

2）接触器的功能主要是接通和断开有载负荷的，具有欠电压保护功能。选择条件与低压断路器的①、②、⑥相同。

3）刀开关有带速断装置和不带速断装置两种，带速断装置和装设熔断器的刀开关可接通和断开额定电流，熔断器切断短路电流；不带速断装置的只能切断电压，接通或断开负载的空载电流。选择方法同断路器的①、②条。

4）熔断器的功能作用主要是用来保护电气系统的短路。当系统的冲击负荷很小或为零时以及电气设备的容量较小或对保护要求不高时，宜兼作过载保护。

当被保护的线路或设备发生短路故障时，熔断器的熔体立即熔断，切断短路电流，保护了线路或设备。当被保护的线路或设备发生过载时，熔断器的熔体延时熔断，切断过载电流，但是由于各种型号规格的熔断器延时特性不一致，设备及线路的过载能力也不尽相同，使之延时特性与过载能力难以匹配。因此，一般熔断器只用作短路保护，而不用作过载保护。

熔断器的选择（包括其熔体的选择）应考虑以下几个条件：

①熔断器的电压等级必须大于或等于被保护线路或设备的电压等级。

②熔断器的额定电流应大于或等于所安装的熔体的额定电流。

③熔断器的类型应符合安装条件（室内或室外）及被保护设备和线路的技术要求。

④熔断器的分断电流必须满足安装地点短路电流计算值的需要。

⑤线路前后级的熔断器之间应有选择性的配合。

⑥熔体电流的选择则根据被保护装置的不同而选择方法不同。不同电气设备选用的熔丝其额定电流与电气设备的额定电流之比不同。

⑦为了保证熔断器在其保护范围内发生短路故障时能可靠熔断，熔体应满足下列条件：

$$I_{K\cdot\min}/I_N \geq 4 \tag{8-1}$$

式中　$I_{K\cdot\min}$——熔断器保护线路末端在系统最小运行方式下的单相短路电流（对中性点直接接地的系统）或两相短路电流（对中性点不接地系统）；对于保护降压变压器的高压熔断器为低压侧母线两相的短路电流折算到高压侧之值；

I_N——熔体额定电流。

5）低压继电器。

①电流继电器　瞬时动作的电流继电器可保护短路，延时动作的电流继电器可保护过载。电流继电器的调整实质是调节衔铁与铁心的距离，距离越大，动作的电流越大，动作时间越长；距离越小，动作电流越小，动作时间越短。

电流继电器亦可与电流互感器配合使用，不但可减小费用，还可避开继电器与大电流接触，为安全运行提供可靠条件。

②电压继电器　主要用于失电压或欠电压保护，各种起动器、低压断路器、接触器等低压电器的电压线圈均具有欠电压、失电压保护功能。

③时间继电器　时间继电器的种类很多，其原理也不尽相同，但共同点就是其得电后或失电后，时间继电器的触点不是立即动作，而是经过一定的时间后断开或闭合，这样与其他电器配合在一起，即可得到具有很多功能的电路，给电气控制和安全保护提供了很大的便利。

a）与电流继电器配合，组成电动机起动时起动冲击电流的过载不跳闸、运行中过载跳闸的自动控制电路。

b）用于电动机星—角起动电路中，自动完成星角切换。

c）用于其他需要延时控制的电路。

④中间继电器　中间继电器的功能作用主要是用来增加控制系统辅助触点的数量及容量，完成联锁、同步、信号、报警等功能。

⑤断相保护继电器　断相保护器的种类也很多，一种是利用三只磁环线圈作为检测元件，其输出经桥式整流接电压继电器。当系统正常运行且对称平衡时，其输出电压经整流后，继电器吸合工作。当系统有一相断相（即无电流），输出电压为零，继电器释放。该断相保护器可保护交流电动机或三相平衡负载的断相。

另一种利用负序电压原理，电动机运行正常时，负序电压过滤器没有输出电压，继电器不动作。当断相后，出现负序电压，继电器动作使电动机掉闸。

断相保护器一般只适用于负载平衡的系统。还有一种断相保护器是和热继电器做在一起的，如 JR16B—□/3D 等。

⑥漏电继电器的种类很多，主要功能是：当电路或电气装置绝缘不良，使带电部分与地接触，引起人身伤害、损坏设备以及发生火灾危险时，可将电源切断。

⑦温度继电器　测温元件可埋设在电气设备易发热的部位，当达到规定温度值时，继电器立即工作，其接点串接在电器的控制回路之中，即可将电源切断。可根据其控温范围及与被保护电气设备的最高温度相适应选择温度继电器。有的温度继电器可兼做过载保护。

⑧热继电器　与接触器配合，保护电动机过载，可调结过载电流值和延时时间。

⑨错相保护继电器　当规定相序接反时，保护系统不能起动，主要用于电梯或对相序要

求极高的用电场所。

低压继电器的选择依据主要是电源电压及保护要求，有电压线圈的继电器，其电压线圈的额定电压必须与电源电压相符。

6）电动机起动器，主要包括电磁起动器（直接起动）和间接起动的自耦减压起动器、Y-△起动器、电抗串联起动器、软起动器、变频起动器和频敏变阻起动器。

①电磁起动器仅适用10kW及以下小型电动机的起动，且变压器容量应满足电动机起动电流，7kW、10kW电动机应轻载起动。选用时，电磁起动器的额定电流应大于或等于电动机额定电流的2倍。

②自耦减压起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可把自耦变压器的抽头调到电压较高的抽头上。时间继电器的切换应在起动电流降至接近额定电流时或者转速达到额定转速的80%以上时动作。电动机起动时，应保证过负荷保护不动作。电动机起动时间过长或起动引起电动机温度升高很大时，应考虑减轻负荷起动，否则应更换起动转矩较大的电动机。选用自耦减压起动器时，自耦变压器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

③Y-△起动器仅适用于轻负荷起动且为三角形联结的笼型电动机，容量较大或重负荷起动的电动机不适于用Y-△起动器起动。时间继电器的切换及过负荷保护要求同自耦减压起动器。

④电阻或电抗串联起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可适当减小电阻或电抗。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。电阻或电抗串联起动器的设置必须考虑电阻或电抗的散热问题。

⑤频敏变阻起动器适用于绕线转子电动机的起动，时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。选用频敏变阻起动器时，频敏变阻器起动电机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

⑥变频式交流电动机起动器适合于交流电动机的起动，选用变频起动器时，变频起动器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

⑦起动器的选择应注意电源的容量，相数及保护方式。电源容量应大于该回路负载容量的需要。

（3）元器件。电气工程中常用的电子或电力电子元器件主要有容量较大的整流二极管和晶闸管，敏感应用元件的温敏二极管、磁敏二极管、力敏二极管、气敏二极管、光敏二极管、湿敏二极管，传感元件的光敏电阻、热敏电阻、磁敏电阻及压电元件，各种功能的集成电路板，如放大电路、运算电路、信号处理电路、信号发生电路、调制与解调电路D/A、A/D转换器等。

其中，整流二极管、晶闸管是在维修电力电子设备时常需更换的易损坏元器件，敏感元件、传感元件主要是用在设计自动检测和控制电路中，作为非电量的自动检测和控制元件，主要是光、温度、湿度、磁场、力或压力、位移、气体、声音等非电量的传感元件；集成电路板（也称模块）主要是配合检测和控制或维修中更换损坏元器件用。

选用电子或电力电子元件时要注意以下几点：

1）额定电压和额定电流必须与设计或原设备匹配。

2）敏感元件、传感元件的参数应与被测环境吻合。

3）集成电路板的功能应与检测电路匹配，两电路的电源应一致。

4）更换元器件时必须保证与电源电压的统一。

5）元器件选定后应进行检测，确保与原电路的一致性。检测应符合规范的要求。

6）禁止使用无铭牌的元器件。

7）元器件的散热条件应与使用环境相符。

8）元器件对磁场、电场的要求应与使用环境相符。

（4）电工材料。电气工程中使用的材料很多，主要有绝缘材料、导线电缆、通信电缆及光缆、绝缘子、金工件、金具、电杆及附件、铁塔及附件、管材、型钢、板材等。

1）绝缘材料。绝缘材料有气体的、液体的和固体的，主要是用来防止导电元件之间、不同电位之间、不同带电体之间导电的材料。绝缘材料是在允许电压下不导电的材料，不是绝对不导电的材料，在一定外加电场强度作用下或超过最高允许电压时，也会发生导电、极化、损耗及被击穿等过程；同时任何一种绝缘材料当长期承受允许电压使用时也会发生老化、变质或损坏。

选用绝缘材料时主要考虑以下几点：

①使用条件应与绝缘材料的状态相符；

②使用环境温度应与其耐热等级相符；

③被绝缘的电压应与其击穿强度相符。

2）导线、电缆及电磁线。导线有裸导线和有绝缘外护层的绝缘导线之分。裸导线主要用于架空线路上，绝缘导线主要用于低压配电系统，供照明、动力、信号、控制、仪表及设备用。电缆有高压和低压之分，芯数有一芯、二芯、三芯、四芯、五芯之分，其外层绝缘有十余种。

导线、电缆的线芯材质主要有铜、铝之分，裸导线为了加强其拉力，在其铝线芯内配以钢芯称之为钢芯铝绞线。

此外还有特殊用途的导线，如电磁线等，适用于不同场所的使用。

选用导线、电缆时主要考虑以下几点：

①导线、电缆的最大允许电流应大于负载的电流；

②导线、电缆的额定电压应大于负载的最高电压；

③导线、电缆敷设的环境温度应小于其长期使用的工作温度。

④导线、电缆的最大允许拉力（拉断力）应大于架设后最大实际拉力。

3）通信电缆及光缆。通信电缆主要用于电话、电视、电报、广播、数据、传真、电信信息等；光缆主要用于公共通信网和专业通信网的通信设备装置中，在电子信息网络中有很大用途。

选用通信电缆、光缆时主要考虑以下几点：

①线芯对数应满足需要；

②敷设环境应与其特征相符；

③架空敷设时最大允许拉力应大于架设后最大实际拉力。

光缆的敷设，必须使用专用的光缆展发器，并随时观测拉力计；光缆的连接必须使用光缆接线仪；光缆敷设使用的支持金属配件必须使用与其配套供应的元件。

4）绝缘子。绝缘子主要是支撑导线、母线及其他带电体的，起绝缘作用，其型号、规

格、使用环境很多，有高压、低压之分。

绝缘子的选用主要考虑以下几点：

①绝缘子额定电压应不小于带电体的最高电压；

②绝缘子额定弯曲破坏力应大于短路时合力的最大值；

③使用环境应适合绝缘子结构特点，污秽地区、海盐区、沙漠区应正确选用绝缘子伞裙和爬电距离。

5）其他材料。主要有金工件、金具、电杆铁塔及附件、管材、型钢、板材等，其规格、型号、用途众多，在电气工程安装、维修、修理上应用很多。

金工件主要指铁支架、预埋铁件等，制作时应注意几何尺寸和材质的质量。其他材料的选用必须注意其机械强度、材质、规格。

金具主要指架空线路中，杆头、塔顶结构使用的金具构件和材料，选用时应与结构配套；管材有钢管和塑料管之分，机械强度较高的地方应使用钢管，腐蚀性强的场所应使用塑料管；型钢有角钢、槽钢和工字钢，角钢主要用于支架，槽钢和工字钢主要用于设备底座及线缆桥架的支撑。

选择架空线路杆塔及附件时，主要考虑安装环境条件以及导线拉力等因素，环境条件主要有地质情况和气候条件，如风、雨、雪、气温、雷暴等。同时机械强度、杆塔基础、档距、垂度、避雷线、接地和接地电阻也是必须要考虑的因素。

七、防雷接地技术

接地与防雷是电气系统中最古老的保护措施。接地就是将电气设备的外壳和正常时不带电而事故情况下可能带电的金属部位与大地连接，即为接地；如果与零线连接则叫做接零；接零是接地的一种特殊方式，但系统零线必须可靠接地。防雷则是将雷电容易触击的部位直接与大地连接。

（1）接地技术　接地可分工作接地、保护接地、过电压保护接地（常用于变配电装置）、防静电接地（常用于易产生静电的场所）、屏蔽接地（常用于弱电装置）等五种。常见接地方式见图 8-1 和图 8-2。

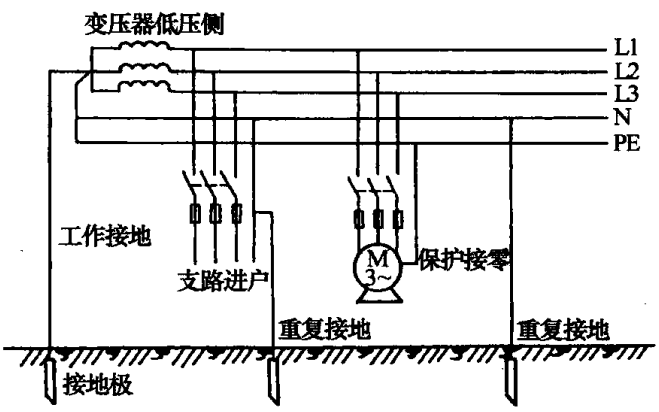


图 8-1　工作接地和重复接地

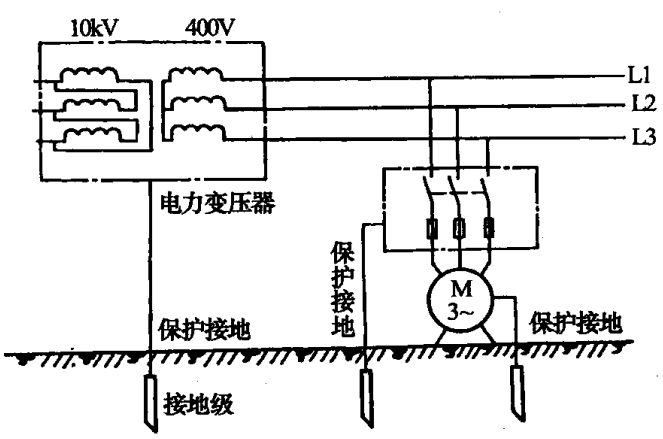


图 8-2　保护接地

1）电气设备接地的要求。

①电气设备一般应接地或接零，以保护人身和设备的安全。一般三相四线制供电的系统应采用保护接零，重复接地。但是由于三相负载不易平衡，零线会有电流，导致触电。因此推荐三相五线制，工作零线和保护零线（有时人们往往称其为地线）都应重复接地。三相三线供电系统的电气设备应采用保护接地。

三线制直流回路的中性线宜直接接地。

②不同用途、不同电压的电气设备，除另有规定者外，应使用一个总的接地体，接地电阻应符合其中最小值的要求。

③如因条件限制，接地有困难时，允许设置操作和维护电气设备用的绝缘台。其周围应尽量使操作人员没有偶然触及外物的可能。

④低压电网的中性点可直接接地或不接地。380/220V 低压电网的中性点应直接接地。中性点直接接地的低压电网，应装设能迅速自动切除接地短路故障的保护装置。

⑤中性点直接接地的低压电网中，电气设备的外壳应采用接零保护，中性点不接地的电网，电气设备的外壳应采用保护接地。由同一发电机、同一变压器或同一段母线供电的低压线路，不应同时采用接零和接地两种保护。在低压电网中，全部采用接零保护确有困难时，也可同时采用接零和接地两种保护方式，但不接零的电气设备或线段，应装设能自动切除接地故障的装置，一般为漏电保护装置。在城防、人防等潮湿场所或条件特别恶劣场所的电网，电气设备的外壳应采用保护接零。

⑥在中性点直接接地的低压电网中，除另有规定和移动式电气设备外，零线应在电源进户处重复接地。在架空线路的干线和分支线的终端及沿线每 1km 处，零线应重复接地。电缆和架空线在引入车间或大型建筑物入口处，零线应重复接地，或在屋内将零线与配电屏、控制屏的接地装置相连。高低压线路同杆架设时，在终端杆上，低压线路的零线应重复接地。中性点直接接地的低压电网中以及高低压同杆的电网中，钢筋混凝土杆的铁横担和金属杆应与零线连接，钢筋混凝土杆的钢筋应与零线连接。

2）接地保护的应用范围。

①在中性点不接地电网中，电气设备及其装置，除特殊规定要求外，均应采取接地保护，以防其漏电时对人体及设备构成危害。采用接地保护的电气设备及装置主要有：

a）电机、变压器、电器、开关、携带式或移动式用电设备的金属底座及外壳。

b）电气设备的传动装置。

c）互感器的二次绕组。

d）配电屏、控制柜（台）、保护屏及配电箱（柜）等的金属外壳或构架。

e）配电装置的金属构架、钢筋混凝土构架以及靠近带电部位的金属遮栏或围栏。

f）电缆接头盒、终端盒的金属外壳、电缆保护钢管以及电缆的金属护套、屏蔽层、金属支架等。

g）装避雷线的电力线路的杆塔。

h）非沥青地面的居民区内，无避雷线的小电流接地架空电力线路的金属杆塔或钢筋混凝土杆塔。

②电气设备的下列金属部分，除特殊规定要求外，可不接地。

a）在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内，交流额定电压 380V 及以下、直流额定电压 440V 及以下的电气设备外壳，但当维护人员可能同时触及电气设备外壳和接地物体时以及爆炸危险场所除外。

b）在干燥场所，交流额定电压 127V 及以下、直流额定电压 440V 及以下电气设备外壳，但爆炸危险场所除外。

c）安装在屏、柜、箱上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器的外壳以及当其发生

绝缘损坏时，在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座。

d）安装在已接地的金属构架上的设备，如穿墙套管，但应保证其底座与构架接触良好。爆炸危险场所除外。

e）额定电压220V及以下的蓄电池室内的金属支架。

f）与已接地的机床机座、底座之间有可靠电气接触的电动机和电器的金属外壳，但危险爆炸场所除外。

g）由工业企业区域内引出的铁路导轨。

h）木杆塔、木构架上绝缘子的金具横担。

如果电气设备在高处，作业人员必须登上木梯才能接近作业时，由于人体触及故障带电体的危险性较小，而人体同时触及带电体和电气设备外壳的可能性和危险性较大，一般不应采取保护接地措施。

3）接地装置的设置和具体要求。接地装置包括接地体和接地引线。接地体又分自然接地体与人工接地体两种，而接地引线则是与接地体可靠连接的导线，也称接地线。

接地装置的设置见图8-3。

各种电气装置要求的接地电阻值见表8-3。

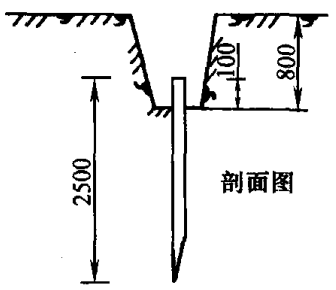


图8-3 垂直接地体的设置

表8-3 各种电气装置要求的接地电阻值

序号	电气装置名称	接地的电气装置特点	接地电阻要求/Ω
1	1kV以上大接地电流系统	仅用于该系统的接地装置	$R\leqslant\frac{2000}{I}$ 当$I>4000$A时 $R\leqslant0.5$①
2	1kV以上小接地电流系统	仅用于该系统共用的接地装置	$R\leqslant\frac{250}{I}$②
3		与1kV以下系统的接地装置	$R\leqslant\frac{120}{I}$③
4	1kV以下中性点直接接地和不接地的系统	与总容量在100kVA以上的发电机或变压器相连接的接地装置	$R\leqslant4$
5		上述(序号4)装置的重复接地	$R\leqslant10$
6		与总容量在100kVA及以下的发电机或变压器相连接的接地装置	$R\leqslant10$
7		上述(序号6)装置的重复接地	$R\leqslant30$
8	引入线上装有25A以下的熔断器的小容量线路电气设备	任何供电系统	$R\leqslant10$
9		高低压电气设备联合接地	$R\leqslant4$
10		电流、电压互感器二次线圈接地	$R\leqslant10$
11		电弧炉的接地	$R\leqslant4$
12		工业电子设备的接地	$R\leqslant10$
13	土壤电阻率大于500Ω·m的高土壤电阻率地区	1kV以下小接地短路电流系统的电气设备接地	$R\leqslant20$
14		发电厂和变电所接地装置	$R\leqslant10$
15		大接地短路电流系统发电厂和变电所装置	$R\leqslant5$

（续）

序　号	电气装置名称	接地的电气装置特点	接地电阻要求/Ω
16	无避雷线的架空线	小接地短路电流系统中水泥杆、金属杆	$R\leqslant30$
17		低压线路水泥杆、金属杆	$R\leqslant30$
18		零线重复接地	$R\leqslant10$
19		低压进户线绝缘子铁脚	$R\leqslant30$
20	建筑物	第一类防雷建筑物（防止直击雷）	$R\leqslant10$
21		同上（防止感应雷）	$R\leqslant5$
22		第二类防雷建筑物（防止直击雷）	$R\leqslant10$
23		第三类防雷建筑物（防止直击雷）	$R\leqslant30$
24		烟囱接地	$R\leqslant30$
25	防雷设备	保护变电所的户外独立避雷针	$R\leqslant25$
26		装设在变电所架空进线上的避雷针	$R\leqslant25$
27		装设在变电所与母线连接的架空进线上的管形避雷器（在电气上与旋转电机无联系者）	$R\leqslant10$
28		同上（但与旋转电机有电气联系者）	$R\leqslant5$

① I——流经接地装置的入地短路电流（A）。

②③ I——单相接地电容电流 I_c（A）

$$I_c=\frac{U(I_K+35l_1)}{350}$$

U——线路电压（V）；

l_k——架空线总长度（m）；

l_1——电缆总长度（m）。

4）保护接零及其要求。

①保护接零的条件。中性点直接接地的电网中，采用保护接零时，必须保证以下条件：

a）中性点直接可靠接地，接地电阻应不大于4Ω。

b）工作零线、保护零线应可靠重复接地，重复接地的接地电阻应不大于10Ω，重复接地的次数应不小于3次。

c）保护零线和工作零线不得装设熔断器或开关，必须具有足够的机械强度和热稳定性。

d）三相四线或五线供电线路的工作零线和保护零线的截面不得小于相应线路相线截面的1/2。

e）线路阻抗不宜太大，以便漏电时产生足够大的单相短路电流，使保护装置动作。因此，要求单相短路电流不得小于线路熔断器熔丝额定电流的4倍，或者不得小于线路中自动开关瞬时或短延时动作电流的1.25倍。

f）接零保护系统中，不允许电气设备采用接地保护。

②重复接地及其要求。采用保护接零后的零线负担很重，一方面要作为单相负荷电流的一个通路；另一方面又要保护电器，并要通过故障电流。因此要求零线的设置必须安全可靠，力学性能和电气性能必须良好。这样零线必须设置保护，这个保护就是设置重复接地。

重复接地有哪些作用呢?

在保护接零电网中，重复接地起着降低漏电电气设备对地电压，减弱零线断线触电的危险，缩小切除故障时间和改善防雷性能等方面的作用。

重复接地的设置与接地保护的设置基本相同，由接地体和接地线组成，具体要求见保护接地的内容。

重复接地可以从零线上重复接地，也可以从接零设备的金属外壳上接地。重复接地的接地电阻值一般不得大于4Ω，在电力变压器低压侧工作接地的接地电阻值不大于10Ω的条件下，每一重复接地的接地电阻值不得大于30Ω，但不得少于3处。

架空线路的干线和分支终端及其沿线的工作零线应在每隔1km处重复接地；电缆或架空线在引入车间或大型建筑物处，如距接地点超过50m，应将零线重复接地，或在室内将零线与配电屏、控制屏的接地装置可靠连接；高低压同杆架设时，在其终端杆上应将低压的工作零线重复接地；采用三相五线制的线路，工作零线和保护零线均应重复接地；低压电源进户处应将工作零线和保护零线重复接地。

用金属外皮作零线的低压电缆应重复接地；车间内部宜采用环路式重复接地，零线与接地装置至少有两处连接，进线点一处，对角处最远点一处。当周边超过400m时，应每200m有一处。

③接零保护的范围。接零保护的应用范围与接地保护的范围基本相同，见前述内容。

(2) 防雷技术及装置

防雷装置也称避雷装置，它的工作原理是先将雷电流引至本身而不先接触被保护物，然后再将雷电流引泄到大地中去，与大地中和。

防雷装置包括接闪器、引下线和接地装置三部分。其中接内器的作用是将雷电引至本身，接受雷电的侵入。因此，它必须装于被保护物的高处或被保护线路上；引下线的作用是将接闪器收到的雷电流引到大地去。因此，它的导电截面和机械强度必须能经受雷电流的流过；接地装置是为了引下线与大地有良好接触，它的设置与接地或接零设置的接地装置相同。

防雷装置主要有避雷针、避雷线（避雷网、避雷带）、避雷器和保护间隙等。

避雷针主要用来保护高耸孤立的建筑物或构筑物及其周围的设施，也常用来保护室外的变配电装置，如变电所、站；避雷线常与架空线路同杆塔架设，用来保护架空线路；避雷网主要用来保护平顶且面积较大的建筑物；避雷带一般常与避雷针、避雷网配合使用，用来保护高层建筑和立侧面，以避免受到侧雷击的侵害；避雷器是专用防雷设备，常与设备线路连接，用来保护线路、电气设备及其他电气设施，避免其过电压；保护间隙是一种简易的防雷装置，可以自制，主要是用来保护线路和电气设备的。但是，避雷装置必须与接地装置可靠连接，才能有防雷作用。

防雷系统的接地装置与接地系统的接地装置，在设置上基本相同，除接地系统的要求上，并应遵守以下规定：

1) 避雷针（带）与引下线之间的连接应采用焊接；避雷针（带）的引下线及接地装置使用的紧固件均应使用镀锌制品。当使用没有镀锌的螺栓时应采取防腐措施。

2) 建筑物上的防雷设施应采用多根引下线引下，根数由屋顶面积而定，同时应在各引下线距地面的1.5~1.8m处设置断接卡，断接卡应有保护措施。

3) 装有避雷针的金属筒体，当其厚度不小于4mm时，可作避雷线的引下线。筒体底部

应有两处与接地体连接，且应对称。

4）独立避雷针及其接地装置与道路或建筑物的出入口等的距离应大于3m。当小于3m时，应采用均压措施或铺设卵石或沥青地面。独立避雷针（线）应设置独立的集中接地装置。当有困难时，该接地装置可与接地网连接，但避雷针与主接地网的地下连接点至35kV及以下设备与主接地网的地下连接点，沿接地体的长度不得小于15m。独立避雷针的接地装置与接地网的地下距离不应小于3m。

5）配电装置的构架或屋顶上的避雷针应与接地网连接，并应在其附近装设集中接地装置。

6）建筑物顶上的其他金属物体应与避雷针或避雷网可靠连接，成为一个整体电气通路。

7）装有避雷针和避雷线的构架上的照明灯电源线，必须采用直埋于土壤中的带金属护层的电缆或将电线穿入金属管内。电缆的金属护层或金属管必须接地，且埋入土壤的长度不得小于10m，方可与配电装置的接地网相连或与电源线、低压配电装置相连接。

8）发电厂和变电所的避雷线在杆与杆或塔与塔的挡距内不应有接头。

9）防雷装置的接地电阻应符合表8-3中相应的要求，防雷接地的接地电阻值是按冲击接地电阻要求的，接地体的工频接地电阻与冲击接地电阻的比值见表8-4。

表8-4　接地体的工频接地电阻与冲击接地电阻的比值 R/R_{ch}

各种形式接地体中接地点至接地体最远端的长度/m	土壤电阻率 $\rho/\Omega\cdot m$				各种形式接地体中接地点至接地体最远端的长度/m	土壤电阻率 $\rho/\Omega\cdot m$			
	≤100	500	1000	≥2000		≤100	500	1000	≥2000
	比值 R/R_{ch}					比值 R/R_{ch}			
20	1	1.5	2	3	60	—	—	1.6	2.6
40	—	1.25	1.9	2.9	80	—	—	—	2.3

10）防雷装置的引下线若暗设其截面应大于明设规格的1～2个规格；若用钢绞线时截面应大于25mm^2；若用建筑物和构筑物的金属构架时，所有金属件之间必须成一电气通路；互相连接的避雷针、避雷网、避雷带或金属屋面的接地引下线，一般不得少于两根，间距不应大于表8-5中的数值。

表8-5　引下线之间的距离　（单位：m）

建筑物和构筑物类别	第一类	第二类	第三类
最大距离	18	24	30

11）接地体的规格应比接地系统的接地体大1～2个规格；接地体的连接线也应大1～2个规格。

八、相关技术技能

在电气工程的安装、调试、维修、修理及加工制作的工艺过程中，还要用到一些电工技术技能以外的相关技术技能，如，钳工制造加工技术、吊装运输技术、焊接技术、设备安装技术、测量技术、涂装技术等。

（1）钳工制造加工技术是利用切削工具和冷加工的方法把零件或材料加工制作成所要求的形状并将其装配到设备中去或用其将设备、元件或材料安装在要求的位置或基础上去。要熟悉制造加工的工艺、材料选用、质量判断以及制造加工过程中所需要的工具、设备等。

（2）吊装运输技术是利用吊装机具设备及车辆将被安装件安装或运到规定位置，过程中包括装车和卸车。要熟悉变压器、开关柜、大型重型电动机、杆塔、轴装导线电缆、开关设备等重量较大物件的装车、运输、卸车、吊装的工艺、机具选用、安全防护措施等方面的内容。主要有以下具体内容。

1）吊装运输相关工具、器具的使用；

2）绳索及器具的选择；

3）吊具的正确选择和使用；

4）地锚及设置；

5）滑车、滑轮及滑轮组；

6）常用吊装机具，主要有手拉葫芦、千斤顶、绞磨、卷扬机、人字架及三角架、抱杆、吊车等；

7）运输机具机及车辆，特别是长途大件的运输；

8）电气设备吊装、运输注意事项。

（3）焊接技术。主要是不同金属材料在加工制作过程中的焊接方法，能提出具体要求并进行质量检验，特别是金件构架、横担等承受机械力较大的加工件，从材料、焊接方法到成品验收要有一套完整的管理体系，确保加工质量。

（4）设备安装技术，包括：

1）基础检查及验收；

2）设备安装程序要点，包括：

①画线定位；

②复核地脚螺栓或埋注地脚螺栓；

③垫铁与基础的处理；

④设备开箱检查；

⑤设备的吊装、运输和就位；

⑥找平找正；

⑦二次灌浆；

⑧无垫铁安装工艺方法；

⑨试运转，包括各参数的测量。

（5）测量技术。主要是架空线路、电缆沟、设备安装等方面的测量及其测量仪器的选用等。

1）架空线路的测量、塔杆定位、路径测量、导线垂度测量等；

2）电缆沟走向、路径的测量；

3）设备安装找平找正的测量等。

（6）涂装技术。主要指对加工件、柜体、明设管路、架空线路横担或附件等金属构件防腐的油漆、喷漆等工艺技术。

1）涂装的工艺程序及要求；

2）漆料的选用；

3）防止污染环境的措施；

4）质量检验。

（7）对其他有关管道、搭设架子等技术也应有了解，以便工程中遇到后有心理准备。

第二节　通用技术技能

一、通用技术技能的内容

通用技术技能主要是掌握以下工程项目的设计、读图、安装、调试、检测、修理及故障处理等。

（1）照明设备及单相电气设备、线路；

（2）低压动力设备及低压配电室、线路（其中最主要的是三相异步电动机及其起动控制设备）；

（3）低压备用发电机组；

（4）高低压架空线路及电缆线路；

（5）10kV、35kV 变配电装置及变电所（其中最主要的是电力变压器及其控制保护装置）；

（6）防雷接地技术及装置；

（7）自动化仪表及自动装置；

（8）弱电系统（专指火灾报警、通信广播、有线电视、保安防盗、智能建筑、网络系统）；

（9）微电系统（专指由 CPU 控制的系统或装置）；

（10）特殊电气及自动化装置等。

二、电气工程的设计

电气工程师应对电气工程的设计掌握以下内容：

（1）电气工程设计程序技术规则；

（2）工业车间及生产工艺系统的动力、照明、生产工艺及电动机控制过程的设计；

（3）自动化仪表应用工程、过程控制的自动化仪表工程设计；

（4）35kV 及以下变配电所的设计；

（5）35kV 及以下架空线路的设计；

（6）建筑工程电气设计，包括动力、照明、控制、空调电气、电梯等；

（7）弱电系统的设计，包括火灾报警、通信广播、防盗保安、智能建筑弱电系统；

（8）编制工程概算；

（9）主要设备、元件及材料；

（10）工程现场服务、解决难题。

三、电气工程设计程序与技术规则

电气工程设计是一项复杂的系统工程，特别是工程项目较大、电压等级较高、控制系统复杂、强电和弱电交融、变压器及电动机容量较大、生产工艺复杂等原因或者是采用的新设备、新材料、新技术、新工艺较多时，更凸显其复杂和难度。

为了保证电气工程设计的质量和造价、保证环保节能、保证系统的功能和安全以及建成投入使用后的安全运行，从事电气工程设计的单位/个人必须遵守电气工程设计程序技术规则。

电气工程设计程序技术规则分三大内容。

（1）设计工作技术管理

1）电气工程设计必须符合现行国家标准规范的要求并按已批准的工程立项文件（或建设单位的委托合同）及投资预算/概算文件进行。

2）承接电气工程的设计单位必须是取得国家建设主管部门或省级建设主管部门核发的相应资质的单位；电力工程设计还必须取得国家电力主管部门和建设主管部门核发的相应资质许可证。无证设计、越级设计是违法行为。

3）电气工程设计、电力工程设计选用的所有产品（设备、材料、辅件等）的生产商必须是取得主管部门核发的生产制造许可证的单位，其产品应有型式试验报告或出厂检验试验报告、合格证、安装使用说明书，无证生产是违法行为。设计单位推荐使用的产品不得以任何形式强加于建设单位和安装单位。

4）设计单位对其选用的产品必须注明规格、型号，若有代用产品的应写明代用产品的规格，型号。

5）承接电气工程设计的单位中标或接到建设单位的委托书后应做好以下工作：

①组织相应的技术人员、设计人员审核或会审标书或委托书，提出意见和建议，并由总设计师汇总，以便确定设计方案。

②确定结构、土建、给排水、采暖通风、空调、电力、电气、自动化仪表、弱电、消防、装饰等专业的设计主要负责人，并由其组织设计小组，同时进行人员分工。人员的使用要注重其能力和工作态度，职业道德等。

③各设计小组负责人通过座谈，相互沟通，对各专业设计交叉部分进行确认，并确定设计思路，达成共识，提交总设计师。

④由总设计师确定设计方案，并下发各专业设计小组。各组应及时反馈设计信息，变更较大的必须通知其他相应小组，并由总设计师批准。

⑤凡是涉及到土建工程的电气工程，电力工程其结构、土建、装饰设计小组应先出图，确保进度。

⑥由总设计师组织设计交底，向建设单位，主管部门详细交待设计思路和设计方案，征得意见和建议，最后达成一致性的意见。

⑦建立项目设计质量管理体系，确定监督程序和方法，确保设计质量。

⑧编制项目设计进度计划，确保建设单位设计期限要求。进度计划要在保证设计质量的前提下编制。

⑨对设计中使用的设备进行测试或调整，确保设计顺利进行，并配备备份。

⑩召开项目设计组织协调及动员大会，责任要到人、进度要明确、质量必须保证，同时要求后勤部门要做好服务及供应工作。

（2）现场勘察。

1）电气工程现场勘察。电气工程现场勘察主要是勘察电源的电压等级、进户条件、进户距离等，并根据其结果确定是否设置变压器、架空引入/电缆引入以及防雷保护等。

另外还有通信线路的进户条件、进户距离等，并根据其结果确定是否设置进户接线箱、架空引入/电缆引入及其防雷保护等。

2）电力工程现场勘察。电力工程现场勘察主要是勘察电源的电压等级及容量、送电的

距离及容量、送电路径的地理、气候、环境及自然保护的状况等，并根据其结果确定变电所的位置及设置、变压器的台数及容量、输电线路的线径及杆型、防雷保护等。

（3）项目设计过程控制及管理。

1）设计人员在项目设计的全过程中，必须遵照国家标准设计规程和项目设计方案的要求进行设计，对设计方案有更改时，必须经过总设计师批准。

2）电气工程设计可按工程量大小，设计期限长短、技术人员多少等因素进行分组设计，以保证设计质量和进度计划。电气工程设计分组情况见表8-6。

表8-6　电气工程设计专业分组一览

工程类别	分组情况
电气工程	动力组、照明组、线缆组、变配电阻
弱电工程	火灾报警组、通信组、安全防盗组、物管组、空调组、控制室组、综合组
自动化仪表工程	温度组、压力组、流量组、综合组、控制室组、微机组
电力线路工程	测量组、基础组、杆塔组、综合组
变配电所工程	一次设备组、二次设备组、二次回路及控制、防雷接地综合组

注：上述小组及人员可按实际情况合并或再细分。

3）专业分组必须分工明确、接口部分要协作，信息要沟通，要建立相互督查制度，确保设计质量。

4）各组每天统计进度；每周举行进度调整会，相应增加人员或加班，确保周计划完成；每月举行调度会，汇总进度情况，做出相应调整。

5）健全图样会审、会签制度。专业小组负责人应对质量、进度负责，做好自查。图样会审应公开公正，会签应认真负责。

6）图样会审应统计设计概算，包括设备材料在内不得超过项目投资预算/概算。设计人员在选型时应考虑工程造价，但必须保证功能和安全。关键设备、重要设备应选用优质产品。

7）图样一律使用仿宋体汉字，必须标注外文时，必须采用标准字体。

8）设计人员应经常深入到工地现场，熟悉电气工程的实际情况，掌握关键部位、重要部位、隐蔽部位的常用安装技术和方法，以便绘制图样时更为符合实际，更为准确，尽量减少图样变更和修改，杜绝设计失误和漏洞。

9）专业小组进行图样互查时，要对关键设备和部位、重要设备和部位、隐蔽设备和部位详细复核审查，不得敷衍了事，避重就轻、一团和气。

10）设计中出现的一些问题应及时与各专业组、总设计师、建设单位沟通协商解决，不留死角。与建设单位沟通协商时应有详尽记录，并由双方签字。

11）对于一些常规的工程设计，如设计标准图册中有样图时，应尽量采用标准图样，但对设备、元件、材料的参数，必须重新核算，不得全部照搬。

12）设计中应采用节约的原则，但又必须保证用户的功能和要求。

13）设计中应尽量采用新技术、新工艺、新设备、新材料（即“四新”），在采用“四新”时，四新应有经实践、实例证明是正确无误的，避免引起不必要的纠纷和麻烦。

14）设计应具有创新性，避免循规蹈矩和闭门造车。

（4）项目设计的实施及管理

1）电气工程。

①熟悉设计方案，掌握各专业设计交叉部位的设计规定。

②熟悉土建和结构设计图样，掌握建筑物墙体地板、开间设置、几何尺寸、梁柱基础、层数层高、楼梯电梯、窗口门口及变配电间及竖井位置等设置。

③按照土建工程和设备安装工程的设计图样和使用条件确定每台用电器（电动机、照明装置、事故照明装置、电热装置、动力装置、弱电装置及其他用电器）的容量、相数、位置、标高、安装方式，并将其标注在土建工程平面图图上。

④以房间、住户单元、楼层、车间、公共场所为单位，确定照明配电箱、起动控制装置、开关设备装置、配电柜、动力箱、各类插座及照明开关元件等的结构型式、相数、回路个数、安装位置、安装方式、标高，并将其标注在图上。

⑤确定电源的引入方式、相数、引入位置、第一接线点，并将其标注在图上。

⑥按照各类用电器的容量及控制方式确定各个回路、分支回路、总回路和电源引入回路导线、电缆、母线的规格、型号、敷设方式、敷设路径、引上及引下的位置及方式，并将其标注在图上。

⑦计算每个房间、住户单元、楼层、车间、公共场所的用电容量，确定照明配电箱、起动控制装置、开关设备装置、配电柜、动力箱、各类插座及照明开关元件的容量、最大开断能力、规格型号，并将其标注在图上。

⑧计算同类用电负荷的总容量，进而计算总用电负荷的总容量，确定电源的电压等级、相数、变压器/进线开关柜（箱）的容量、台数及继电保护方式。

⑨确定变压器室的平面布置、配电间的平面布置、引出引入方式及位置，确定接地方式。

⑩画出供配电系统图，标注各种数据，说明设计计算系数，调整试验测试参数等。

⑪写出设计说明、安装要求、主要材料、设备规格型号及数量一展表、电缆清册、图样目录。

⑫绘制初步设计草图，为图样会审、会签、汇总提供成套图样，并按会审、会签、汇总提出的意见和建议修改初步设计，最后绘制成套设计图样。

⑬汇总交付的其他图样

a）对电动机或其他控制系统其控制较为复杂时，应绘制电气控制原理图，必要时应绘制方框图、展开图和结线图。

b）对特殊部位或安装要求较高、标准图册未涉及到的安装部件或装置应绘制安装大样图。

c）对特殊控制或成品控制柜未有的品种时而需安装单位加工制作或委托加工时应绘制加工图，如控制屏、开关柜（箱）盘面布置图和结构图。

d）其他必须用图样表示的图样。

⑭电气工程图样详解

请读者阅读《怎样阅读电气工程图（第2版）》（白公编著，机械工业出版社）一书。主要有系统图、平面图、控制原理图、接线图、展开图、方框图、安装大样图、控制屏（柜、箱、台）盘面布置图、剖面图、立面图、电缆清册，图例，设备元件材料汇总表、设计说明书和计算书等。

2）弱电工程

①同“电气工程”第1条。

②同“电气工程”第2条。

③按照土建工程和设备安装工程提供的图样和设计方案的要求确定弱电元件（探测器、传感器、执行器、弱电插座、电源插座、音响设备安装支架、验卡器等）规格型号、位置、标高、安装方式等，并将其标注在以房间、住户单元、楼层楼道、车间、公共场所为单位的土建工程提供的建筑物平面图上。

④按上述单位及元件布置确定弱电控制箱、控制器的位置、标高、安装方式，并将其标注在平面图上。

⑤按照各类弱电元件及装置的布置，确定各个回路、分支回路、总回路导线/电缆的规格型号、敷设方式、敷设路径、引上及引下的位置及方式，并将其标注在平面图上。

⑥统计每个房间、住户单元、楼层楼道、车间、公共场所的弱电元件，确定其控制箱、控制器的容量、规格、型号，并将其标注在平面图上。

⑦确定控制室的平面布置、线缆引入引出方式及位置，确定接地方式。

⑧画出各个弱电系统的系统分布图、标注各种数据、设计选用系数、调整试验测试参数等。

⑨写出设计说明、安装调试要求、主要材料、元件设备型号、规格数量一览表、电缆清册，图样目录。

⑩绘制初步设计草图，为图样会审、会签、汇总提供成套图样，并按会审、会签、汇总提出的意见和建议修改初步设计，最后绘制成套设计图样。

⑪其他参见“电气工程”的第⑬~⑭条。

⑫弱电系统设计细则（详见GB 50314—2006）

弱电系统主要包括通信网络、办公自动化、建筑设备监控、火灾自动报警、安全防范、综合布线、智能化集成。电源与接地、环境与照明、住宅智能化等系统。

3）自动化仪表工程。

①同“电气工程”第①条。

②同“电气工程”第②条。

③按照土建工程、设备安装工程提供的图样、设计方案要求及建设单位工艺程序控制要求确定项目设计应设置的自动化仪表的类别（温度、压力、流量、物位、机械量、成份分析、电量、及其他特殊仪表等）、仪表的型式（常规、DDZ、智能）、系统的调节控制方式（传统、微机）以及有无仪表控制室等。

④按前述③的确定在工艺装备图上确定检测点，并用规定的英文字母标注出仪表装置的用途和功能。

⑤汇总系统测量类别、被测介质、取样装置的安装位置，确定测量系统所用的导线及导管、就地安装的仪表及变送器、控制室盘柜等，按此绘制系统导管电缆连接图。

⑥绘制仪表控制盘布置图和结构图，并列出设备元件表。

⑦绘制仪表及控制元件的接线图，接线图是保证仪表及其配套装置能够正确显示、记录、调节控制、报警等功能的图样，并与电气系统的二次回路有着错综复杂的联系，构成完整的控制系统。接线图是按其显示、记录、调节、控制、报警等功能绘制，标准图册中一般

都有标准接线图，可直接采用。若有个别控制调节功能的，也应另行绘制。

⑧确定控制室的平面布置、线缆引入引出方式及位置，确定接地方式。

⑨绘制仪表及线缆主通道布置图。

a）确定仪表、变送器、执行器、放大器、供电箱、保温箱、补偿器等与仪表关联装置在建筑平面图及各层中的位置标高及安装方式；

b）确定双层桥架在平面图中的位置、标高、安装方式、引上、引下位置，桥架应选择最佳途径，使其能将线缆导管引至仪表装置处且便于连接；

c）列出电缆清册。

⑩写出设计说明、安装调试要求、主要调试参数、主要材料、设备、元件型号、规格、数量一览表、导管线缆清册，主要设计依据，图样目录。

⑪绘制初步设计草图，为图样会审、会签、汇总提供成套图样，并按其提供的意见和建议修改初步设计，最后绘制成套设计图样。

4）电力线路工程。

①按照线路期察测量结果确定线路路径、起始及终点位置、耐张段、百米桩、转角等，并将其标注在地形地貌的平面图上，该图即为线路路径图。路径图应标注路径的道路、河流、山地、村镇、换梁及交叉、跨越物等。

②绘制平/断面图

a）确定主方向桩，主方向桩的距离是按地形地貌的实际情况决定的，地势平坦桩距300～500m，地势凹凸严重或转角桩的桩距一般为几十米。直线桩用 Z_n 表示，转角桩用 j_n 表示，n 为序号1、2、…、n。

b）按照主方向桩确定断面图，表示杆塔的侧面及导线的状态、档距、坡度及高差等。地势平坦档距150～250m，地势凹凸严重或有转角时可为50～60m，转角桩处必须有转角杆塔。

c）按照路径图、方向桩和断面图的基础来确定平面图，从始点到终点的杆（塔）型、路径物或跨越物、杆塔基础位置、杆塔序号、档距、耐张段、标志高、转角塔杆转角度数等重要参数。

d）探明地质情况。

e）将上述情况列出明细表。

f）绘制平断面图。

③按照档距、气候条件、输送电流容量、耐张段距离等确定导线的规格、型号，画出导线机械特性曲线图。

④按照档距、气候条件、电流容量、耐张段距离、导线规格型号、断面图参数确定直线杆（塔）、耐张杆（塔）、转角杆（塔）的杆（塔）型，并画出杆（塔）结构图。

⑤按照上述条件确定杆塔的基础结构，并画出基础结构图，列出材料一览表。

⑥绘制拉线基础组装图、导线悬挂组装图、避雷线悬挂组图、避雷线接地组装图、抱箍及部件加工图、横担加工图等。

⑦写出设计说明、安装要求、主要材料、设备规格型号及数量一览表。

⑧绘制初步设计草图，为图样会审、会签、汇总提供成套图样，并按会审、会签、汇总提出的意见和建议修改初步设计，最后绘制成套设计图样。

以下是某一35kV架空线路的图样目录，供同学们参考：

线路路径图；
线路平断面图；
塔杆平面图；
线路进线平面图；
线路出线平面图；
线路地理接线示意图；
导线机械特性曲线图；
避雷线机械特性曲线图；
钢筋混凝土杆型一览图；
绝缘子串组装一览图；
直线杆组装图；
直线杆地线接地组装图；
直线杆导线横担加工图；
直线杆拉线抱箍加工图；
耐张杆组装图；
耐张杆、转角杆地线接地组装图；
耐张杆、转角杆绝缘子串组装图；
导线耐张绝缘子串安装图；
避雷线耐张组装图；
避雷线耐张线夹安装图；
30°角耐张型杆组装图；
30°角耐张杆横担加工图；
30°角耐张杆吊杆、拉杆加工图；
30°角耐张杆地线横担加工图；
60°转角杆组装图；
60°转角杆导线横担加工图；
60°转角杆地线横担加工图；
60°转角杆吊杆、拉杆加工图；
90°转角杆组装图；
90°转角杆拉线抱箍加工图；
终端杆组装图；
终端杆地线横担加工图；
终端杆导线横担加工图；
终端杆横担吊杆及调节螺栓加工图；
分角拉线组装图；
拉线基础组装图；
拉线棒加工图；
拉线组装图；

叉梁加工图；
叉梁抱箍加工图；
叉梁联板加工图；
方垫片、铸铁垫块加工图；
底盘加工图；
卡盘加工图；
拉线盘加工图；
导线防震锤安装示意图；
避雷线防震锤安装示意图；
导线跳线安装示意图；
导线单联悬式绝缘子串组装图；
避雷线悬式绝缘子串组装图；
接地引线固定抱箍加工图；
避雷线悬垂线夹及抱箍加工组装图；
全线三盘一览图；
设备材料清册等。

5）变电配电工程

①按照电力工程现场勘察的结果及建设单位提供的条件和资料，初步确定变电配电所的位置、设置、变压器容量与台数、电压等级、进户及引出位置及方式等，并按此向土建结构设计小组提供平面布置草图、相关数据、变压器、各类开关及开关柜、屏的几何尺寸及重量等。其中，变配电所的布置可按地理环境实况及土地使用条件采用室外、室内、多层等不同布置方式。

②土建结构设计按①的条件和要求进行变配电所土建工程设计，并将设计方案或草图与电力工程设计小组沟通、协商，达成一致性意见，然后出据正式土建工程图。

③绘制变电所主结线图。

④绘制变电所平面布置图（室内、室外、各层）。

⑤确定各类设备元件材料及母线的规格、型号、安装方式、调试要求及参数。

⑥确定变电所二次回路及继电保护方式（传统继电器、微机保护装置），绘制二次回路各图样，包括接线。

⑦绘制防雷接地平面图，编制接地防雷要求。

⑧绘制照明回路图及维修间电气图。

⑨编制设计说明、安装要求、绘制设备安装图、加工制作图、电缆清册、设备元件材料一览表。

⑩编制设计依据，调整试验参数等。

⑪绘制初步设计草图，为图样会审、会签、汇总提供成套图样，并按其提出的意见和建议修改初步设计，最后绘制成套图样。

6）变配电工程图样目录（以35kV及以下为例），变配电装置的图样，通常可分十个部分。

①总图：

设计说明；
电气主结线（系统图）；
电气总平面布置图；
设备材料汇总表。
②室外变电装置：
设计说明：
配置接线系统图及设备平面布置图；
进线间隔断面图；
出线间隔断面图；
变压器间隔断面图；
避雷器及所用变压器间隔断面图；
母线平面、断面布置图；
母线安装曲线图；
10kV 架空馈线平面、断面图；
设备材料表。
③室外设备安装：
35kV/10kV 电力变压器安装图；
35kV/400V 所用变压器安装图；
35kV 断路器安装图；
35kV 隔离开关（包括操动机构）安装图；
35kV 限流熔断器及 35kV 避雷器安装图；
35kV 跌落式熔断器安装图；
棒型支柱绝缘子安装图；
耦合电容器、滤波器、高频阻波器安装图；
绝缘子串安装图；
抱箍横担、金具及砼件加工图。
④室内配电装置：
10kV 配电装置配置接线系统图；
10kV 配电装置平面布置图；
10kV 配电装置进线、出线平面、断面图；
开关柜后间隔遮栏及网门加工图；
室外母线桥支架安装图；
进线支架安装图；
出线支架安装图；
10kV 避雷器安装图；
10kV 穿墙套管安装图；
支柱绝缘子在角钢上安装示意图；
10kV 配电装置设备材料表。
⑤电力电容器：

10kV 电力电容器配置接线系统图；
10kV 电力电容器室平面布置图；
电容器支架加工制作图；
端子箱加工图；
电容器间隔网门加工图；
10kV 隔离开关及操动机构安装图；
辅助开关及电磁锁安装图；
10kV 电压互感器安装图；
10kV 电流互感器安装图；
10kV 避雷器安装图；
支柱绝缘子在钢板上安装示意图；
支柱绝缘子在墙上安装示意图；
电缆芯线在绝缘子上固定示意图；
设计说明；
设备材料表。
⑥二次回路：
主控制室平面布置图；
主控制室小母线布置图；
主变压器控制屏正面元件布置图；
主变压器保护屏正面元件布置图；
所用变配电屏正面元件布置图；
直流屏正面元件布置图；
中央信号屏正面元件布置图；
35kV 送出线路保护屏正面元件布置图；
中央信号系统接线原理图；
中央信号屏端子排接线图；
主变压器电流和电压回路原理图；
主变压器控制和信号回路原理图；
主变压器控制屏端子排接线图；
主变压器保护回路原理图；
主变压器保护屏端子排接线图；
35kV 送出线路接线图；
35kV 送出线路控制及保护屏端子排接线图；
10kV 母线电压互感器接线图；
10kV 线路接线图；
10kV 电容器组接线图；
所用变接线图；
所用变压器测量表计接线图；
直流系统接线原理图；

合闸电源接线原理图；
绝缘监察装置接线原理图；
直流屏端子排接线图；
闪光信号装置接线原理图；
电压监察装置接线原理图；
隔离变压器制造加工图；
直流电压消失信号接线图；
主变35kV侧断路器接线图；
主变压器二次回路接线图；
35kV送出线路断路器接线图；
10kV配电装置小母线联系图；
10kV电容器组安装接线图；
LW型控制开关、转换开关接线图表；
设计说明。
⑦10kV/400V变电室：
电气系统图；
电气设备平面布置图；
400V母线安装大样图；
二次回路接线图；
400V电压互感器接线图；
直控电动机控制原理图。
⑧室内、室外照明回路（略）
⑨电缆：
电缆布置敷设图；
电缆支架制作安装图；
电缆在支架上固定示意图；
电缆敷设要求简图；
电缆清册；
⑩防雷与接地：
设计说明；
防雷保护范围图；
接地网平面布置图；
接地部件安装图；
塔式避雷针基础结构图；
塔式避雷针组装图；
避雷针上探照灯支架制作安装图；
主要材料表。

四、电气工程的安装调试

电气工程师应对电气工程的安装调试掌握以下内容：

（1）掌握电气工程安装调试程序技术规则；

（2）工业车间及生产工艺系统动力，照明、生产工艺及电动机控制过程工程的安装调试，并组织施工，解决难题；

（3）自动化仪表应用工程、过程控制的自动化仪表工程的安装调试，并组织施工，解决难题；

（4）110kV 及以下变配电所的安装调试，并组织施工，解决难题；

（5）110kV 及以下架空线路的安装调试，并组织施工，解决难题；

（6）建筑电气工程，包括动力、照明、控制、空调电气、电梯等安装调试，并组织施工，解决难题；

（7）弱电系统工程，包括火灾报警、通信广播、防盗保安，智能建筑弱电系统的安装调试，并组织施工，解决难题；

（8）编制工程预算；

（9）主要设备、元件及材料；

（10）工程现场质量、安全、进度、环境、投资管理。

五、电气工程安装调试技术规程

电气工程安装调试是一项复杂的系统工程，特别是工程项目较大时或者是新设备、新材料、新工艺、新技术在工程中应用较多时，更是体现出其复杂和难度。

为保证电气工程的施工安装质量、保证工期进度、保障安全生产、保障施工现场环境以及投入使用后的安全运行，从事电气工程安装调试工作的单位或个人必须遵守电气工程安装调试技术规程。

电气工程安装调试技术规程分为两部分内容。

（1）工程管理。

1）电气工程安装调试应按已批准的工程设计文件图样及产品技术文件安装施工。

2）电气工程安装调试的设计单位必须是取得国家建设或电力主管部门核发的相应资质的单位，无证设计或越级设计是违法行为。

3）电气或电力产品（设备、材料、附件等）的生产商必须是取得主管部门核发的生产制造许可证的单位，其产品应有型式试验报告或出厂检验试验报告、合格证、安装使用说明书，无证生产是违法行为。

4）承接电气工程安装调试的单位必须是取得国家建设主管部门或省级建设主管部门核发的相应资质的单位，无证施工或越级施工是违法行为。

5）承接电气工程安装调试的安装单位中标后应做好以下工作：

①组织技术人员、施工人员审核图样，提出对图样的意见和建议，为会审图样做准备。

②组织技术人员、管理人员、施工人员对图样中的设备、元器件、材料进行核算，编制制作加工计划，提出意见和建议，为会审图样做准备。

③组织技术人员、施工人员、管理人员实地勘察施工现场，掌握施工条件，了解当地风情民俗、气候环境等，为会审图样和施工组织设计做准备。

④图样会审，向建设单位、设计单位提出安装单位的意见和建议，达成一致性的图样会审记要，作为安装工程实施的重要依据。

⑤按会审后的图样和会审记要组织工程预算人员和原材料供应部门的人员编制工程施工预算书和设备、材料供应计划，并提交企业主管部门、主管经理批准。

⑥与建设单位签订施工合同。

⑦编写施工组织设计，从人、机、料、法、环及标准规范出发详细编写，中心内容是施工安装工艺及质量标准、施工进度计划、机具计划、人力计划、投资计划、物资供应计划、安装技术及安全技术交底、现场管理机构设置和质量计划、安全管理方案、环境管理方案及其保证实施措施等。

⑧组织项目班子，建立管理体系，确定人员，组织施工队伍。进行人力资源分工并确定其职责，确定人选要基于能力，技术测试不是评出来的，也不是鉴定出来的，而是在实践中干出来、练出来的。安装人员、调试人员应分别具备相应的资格。

⑨施工准备时，进一步落实机具计划、人力计划、物资供应计划及施工现场设置和设施。组织全体施工人员学习施工组织设计、质量计划、安全方案、环境方案、标准规范及安装技术，安全技术交底。

⑩配合土建工程施工预埋管路及铁件。

⑪按图样设计及要求、标准图册进行预制加工。

⑫开工前的组织协调及动员大会。

（2）工程实施及现场管理。

1）项目经理、技术员、工长、班长要精读图样，掌握设计意图及工程的功能，确定安装调试工艺方法，特别是新设备、新材料、新工艺、新技术除图样上的内容外，要精读其产品安装使用说明书，并按其要求及标准确定安装调试工艺方法。

2）项目经理组织相关人员检查并落实施工组织设计中的各项条款和安全设施设置，没落实的要查明原因，敦促落实，定期检查。

3）项目经理要记录现场每天发生的各种事宜，特别是人员分工、进度、质量、安全、建设单位、设计单位、监理单位、上级主管部门以及与其上述几点相关的事宜。变更、追加应有监理（第三方）的认可文件。

4）设备、元器件、材料进入现场的检验和试验是把好工程质量的第一道关口，要从以下四方面检验：

①包装完整，密封件密封应良好。

②开箱检查清点，规格应符合设计要求，附件、备件应齐全。

③产品的技术文件应齐全。

④外观检查应无损坏、变形、锈蚀。

同时进行测试和试验，杜绝假冒伪劣产品进入安装工程。

检验、试验和测试必须有监理（第三方）在场，检验、试验和测试的人员必须是有相应资格的人员。现场使用的检验、试验和测试的仪器、仪表、量具必须是在其检定周期内的合格品，且在使用前应进行检查。

检验、试验和测试应有详细记录，贵重、大型的设备应有生产商在场。

5）线缆敷设必须测试绝缘电阻，隐蔽部位和绝缘电阻的测试应有监理（第三方）的认可文件。

6）设备的安装及吊装（无论大小、无论价格高低）应遵守下列规定：

①基础必须牢固，支持件或铁件应经拉力试验。基础应经监理验收，混凝土基础应有土建施工人员在场。

②设备的吊装就位必须由起重工配合，特别是大件吊装就位应以有经验的起重工为主，电工配合。设备就位后经检测（水平、竖直、几何尺寸等）合格后方可紧固。

③设备就位后安装人员应进行测试或试验，正常后应进行机械传动或（和）通电（没条件的可通临时电，临时电的电压、频率等参数必须与设备铭牌标注相符）试验，结果应符合规范或设计、产品技术文件的规定或要求。

7）接线必须正确无误，并经非本人进行核对，接线必须牢固，电流较大的必须用塞尺检测或测试接触电阻。

8）接地及接地装置的设置，其隐蔽部分应经监理验收，接地电阻应符合规范要求。

9）加工制作的部件及电缆头制作在安装前必须进行检测和试验，并遵守上述规定。

10）上述4）~9）条的过程中安装人员、专职质检人员、监理人员须进行过程的检测及验收，凡不符合规范要求的要立即进行修复，严重不合格的要重新进行安装。过程检测包括：

①班组自检。

②班组互检。

③质检员专检。

④监理工程师监检。

过程检测是安装工程最重要的检测手段，必须有详尽记录和签证，作为验收的依据。

11）单体调整试验的要求如下：

①单体调整试验应由调试人员进行，并出具调整试验报告。

②单体调试包括设备、元件功能、性能、传动、通电、模拟动作试验，检查接线和单体功能调整试验。

③单体调整试验应有监理（第三方）在场签证。

12）系统调整试验的要求如下：

①系统调整试验须由调试人员进行，并出具调整试验报告，为竣工验收提供依据。

②系统调整试验应先进行各个子系统功能、性能、传动、通电试验或模拟动作，然后再进行全系统的调整试验，均应符合设计及规范要求。

③系统调整试验应有监理（第三方）在场签证。

13）系统送电及试运行的要求如下：

①系统送电及试运行必须在安装检测检验合格、单体及系统调整试验合格并有监理（第三方）签证的基础上进行。

②系统送电及试运行应编制送电及试运行方案（包括应急预案），工程较大时文件应由上级主管部门批准。

③系统送电及试运行应按其工程大小级别邀请相应主管部门（供电、电信、消防、技术监督、生产商、建设主管部门等）的技术人员、管理人员、监检人员参加。

④系统送电及试运行应按子系统分别一一进行，每个子系统送电后应开动该子系统的全部设备（按正常的开车率，开车率由建设单位提供），并进行电流、电压、功能、转速等参数的测试应正常。

⑤每个子系统单一送电试运行正常后，即可将所有子系统全部送电投入运行，并进行系统和各个子系统的电流、电压、功能、转速等参数的测试，全系统应正常。

⑥系统送电试验时若子系统不合格应立即组织人员进行处理，直到合格并经送电和试运行检验。

⑦系统送电及试运行正常后应投入正式运行，至少应进行72h的运行，进而观测有无不妥，并将其移交建设单位。

14）竣工验收的要求如下：

①实物验收：实物验收已在系统送电及试运行步骤中验收，建设单位应派人接收，建设单位暂时不能接收时，运行72h后应停运。

②资料验收：安装单位应提供完整的安装调试及试运行记录，并有监理（第三方）签证。

15）总体要求：上述4）~14）条均应按相应的国家标准和规范进行；新产品、新材料、新技术、新工艺暂无标准和规范时，应按产品安装使用说明书进行，必要时应组织厂商及专家和主管部门暂订标准规范。暂订标准规范应按一定的法定程序进行，并报上一级主管部门批准。

六、电气工程交验程序要点

（1）一般规定。

①施工项目竣工验收的交工主体应是承包人或安装单位，验收主体应是发包人或建设单位。

②竣工验收的施工项目必须具备规定的交付竣工验收条件或合同规定。

③竣工验收阶段管理应按下列程序依次进行：

a）竣工验收准备。

b）编制竣工验收计划。

c）组织现场验收。

d）进行竣工结算。

e）移交竣工资料。

f）办理交工手续。

（2）竣工验收准备。

①项目经理应全面负责工程交付竣工验收前的各项准备工作，建立竣工收尾小组，编制项目竣工收尾计划并限期完成。

②项目经理和技术负责人应对竣工收尾计划执行情况进行检查，重要部位要做好检查记录。

③项目经理部应在完成施工项目竣工收尾计划后，向企业报告，提交有关部门进行验收。实行分包的项目，分包人应按质量验收标准的规定检验工程质量，并将验收结论及资料交承包人汇总。

④承包人应在验收合格的基础上，向发包人发出预约竣工验收的通知书，说明拟交工项目的情况，商定有关竣工验收事宜。

（3）竣工资料。

①承包人应按竣工验收条件的规定，认真整理工程竣工资料。

②企业应建立健全竣工资料管理制度，实行科学收集，定向移交，统一归口，便于存取和检索。

③竣工资料的内容应包括：工程施工技术资料、工程质量保证资料、工程检验评定资料、竣工图，规定的其他应交资料。

④竣工资料的整理应符合下列要求：

a）工程施工技术资料的整理应始于工程开工，终于工程竣工，真实记录施工全过程，可按形成规律收集，采用表格方式分类组卷。

b）工程质量保证资料的整理应按专业特点，根据工程的内在要求，进行分类组卷。

c）工程检验评定资料的整理应按单位工程、分部工程、分项工程划分的顺序，进行分类组卷。

d）竣工图的整理应区别情况按竣工验收的要求组卷。

⑤交付竣工验收的施工项目必须有与竣工资料目录相符的分类组卷档案。承包人向发包人移交由分包人提供的竣工资料时，检查验证手续必须完备。

（4）竣工验收管理。

①单独签订施工合同的单位工程，竣工后可单独进行竣工验收。在一个单位工程中满足规定交工要求的专业工程，可征得发包人同意，分阶段进行竣工验收。

②单项工程竣工验收应符合设计文件和施工图样要求，满足生产需要或具备使用条件，并符合其他竣工验收条件要求。

③整个建设项目已按设计要求全部建设完成，符合规定的建设项目竣工验收标准，可由发包人组织设计、施工、监理等单位进行建设项目竣工验收，中间竣工并已办理移交手续的单项工程，不再重复进行竣工验收。

④竣工验收应依据下列文件：

a）批准的设计文件、施工图样及说明书。

b）双方签订的施工合同。

c）设备技术说明书。

d）设计变更通知书。

e）施工验收规范及质量验收标准。

f）外资工程应依据我国有关规定提交竣工验收文件。

⑤竣工验收应符合下列要求：

a）设计文件和合同约定的各项施工内容已经施工完毕。

b）有完整并经核定的工程竣工资料，符合验收规定。

c）有勘察、设计、施工、监理等单位签署确认的工程质量合格文件。

d）有工程使用的主要建筑材料、构配件和设备进场的证明及试验报告。

⑥竣工验收的工程必须符合下列规定：

a）合同约定的工程质量标准。

b）单位工程质量竣工验收的合格标准。

c）单项工程达到使用条件或满足生产要求。

d）建设项目能满足建成投入使用或生产的各项要求。

⑦承包人确认工程竣工、具备竣工验收各项要求，并经监理单位认可签署意见后，向发

包人提交“工程验收报告”。发包人收到“工程验收报告”后，应在约定的时间和地点，组织有关单位进行竣工验收。

⑧发包人组织勘察、设计、施工、监理等单位按照竣工验收程序，对工程进行核查后，应做出验收结论，并形成“工程竣工验收报告”，参与竣工验收的各方负责人应在竣工验收报告上签字并盖单位公章。

⑨通过竣工验收程序，办完竣工结算后，承包人应在规定期限内向发包人办理工程移交手续。

（5）竣工结算。

①“工程竣工验收报告”完成后，承包人应在规定的时间内向发包人递交工程竣工结算报告及完整的结算资料。

②编制竣工结算应依据下列资料：

a）施工合同；

b）中标投标书的报价单；

c）施工图及设计变更通知单、施工变更记录、技术经济签证；

d）工程预算定额、取费定额及调价规定；

e）有关施工技术资料；

f）工程竣工验收报告；

g）“工程质量保修书”；

h）其他有关资料。

③项目经理部应做好竣工结算基础工作，指定专人对竣工结算书的内容进行检查。

④在编制竣工结算报告和结算资料时，应遵循下列原则：

a）以单位工程或合同约定的专业项目为基础，应对原报价单的主要内容进行检查和核对。

b）发现有漏算、多算或计算误差的，应及时进行调整。

c）多个单位工程构成的施工项目，应将各单位工程竣工结算书汇总，编制单项工程竣工综合结算书。

d）多个单项工程构成的建设项目，应将各单项工程综合结算书汇总编制建设项目总结算书，并撰写编制说明。

⑤工程竣工结算报告和结算资料，应按规定报企业主管部门审定，加盖专用章，在竣工验收报告认可后，在规定的期限内递交发包人或其委托的咨询单位审查。承发包双方应按约定的工程款及调价内容进行竣工结算。

⑥工程竣工结算报告和结算资料递交后，项目经理应按照“项目管理目标责任书”规定，配合企业主管部门督促发包人及时办理竣工结算手续。企业预算部门应将结算资料送交财务部门，进行工程价款的最终结算和收款。发包人应在规定期限内支付工程竣工结算价款。

⑦工程竣工结算后，承包人应将工程竣工结算报告及完整的结算资料纳入工程竣工资料，及时归档保存。

第三节 电气系统安全运行技术

电气系统安全运行技术是电气工程及自动化工程的中心技术，电气系统的不安全将会给系统带来不可估量的损失和危害。保证电气系统的安全是电气工程中最重要的职责。

一、保证电力系统及电气设备安全运行的条件

（1）电气工程设计技术的先进性及合理性是保证电力系统及电气设备安全运行的首要条件，其中方案的确定、负荷及短路电流计算、设备元件材料选择计算、继电保护装置的整定计算、保安系统的计算、防雷接地系统的计算及设计等均应采用先进技术并具有充分的合理性。

（2）设备、元件、材料的质量及可靠性是保证电力系统及电气设备安全运行的重要条件之一，设备、元件、材料的购置应根据负荷级别及其在系统中的重要程度选购，一级负荷及二、三级负荷中的重要部位，关键部件应选用优质品或一级品，二、三级负荷的其他部件至少应选用合格品，任何部件及部位严禁使用不合格品。严禁伪劣产品进入电气工程，是保证安全运行的重要手段。

（3）安装调试单位的资质及其作业人员的技术水平和职业道德是保证电力系统及电气设备安全运行的重要条件之一，安装调试应按国家技术监督局和建设部联合发布的国家标准“电气装置安装工程施工及验收规范”进行并验收合格，其中一级负荷及二、三级负荷中的关键部位，重要部件应由建设单位、设计单位、安装单位、质量监督部门、技术监督部门及其上级主管部门的专家联合验收合格；涉及到供电、邮电、广播电视、计算机网络、劳动安全、公安消防等部门的工程，必须由其及上级主管部门的有关专家参加联合验收。验收应对其工程总体评价并送电试车或试运行。其他负荷级别的工程，根据工程大小，由设计单位、建设单位、安装单位及质量监督部门验收合格。电气工程应委托监理，小型工程可托派有实际经验的人作为驻工地代表，监督安装的全过程，这是保证安装质量的最可靠有效的办法。

（4）运行维护技术措施的科学性及普遍性是保证电力系统及电气设备安全运行的必要条件之一，是保证安全运行的关键手段。运行维护技术措施主要是要落实在“勤”、“严”、“管”三个字上。勤是指勤查、勤看、勤修，以便及时发现问题及隐患，并及时处理，使其消灭在萌芽中；严是指严格执行操作规程、试验标准，并有严格的管理制度；管是指有一个强大的权威性的组织管理机构和协作网，以便组织有关人员做好运行维护工作。

（5）作业人员的技术水平（包括安全技术）、敬业精神、职业道德及管理组织措施是保证电力系统及电气设备安全运行的必要条件之一，是保证安全运行的关键因素。周密严格的管理组织措施是作业人员及安全工作的总则，对作业人员应有严格的考核制度及办法，并有严明的奖惩条例，作业人员个个钻研技术，人人敬业爱业，即能保证安全运行，万无一失。

（6）全民电气知识的普及和安全技术的普及性是保证电力系统及电气设备的安全运行的社会基础。在现代社会里，电的应用越来越广泛，几乎人人都要用电或享受电带来的效益，因此，普及用电知识和安全用电技术，使人人都掌握电气常识就更为重要。只有人人都具备了一定的电气知识，并掌握一定的安全用电常识，电力系统及电气设备的运行也就越安全，同时人人能发现事故隐患，及时报告，及时处理，电气系统就能安全稳定地运行。

（7）发电系统和供电系统的安全性、可靠性及供电质量是保证电力系统及电气设备安

全运行的基础，同时发电供电系统自身的安全运行也有上述六点要求，这样发电供电系统就尤为重要了。发电供电系统的安全性及可靠性是由设计、安装、设备材料、运行维护决定的，同时也决定着电压、频率、波形，这对用电单位是至关重要的，也就是说，只有发电系统安全了、可靠了，电压质量保证了，才能使用电单位正常用电。供电线路的机械强度、导电能力以及防雷等对用电单位也是至关重要的，也是供电部门必须保证的。

综上所述，电气系统的安全运行因素是多方面的，并且是缺一不可的，同时各方面的联系也是紧密不可分的，只有这些条件都具备的时候，也就是电气系统安全运行的时候。

二、保证电气系统安全运行采取的维护技术措施的要点

运行维护技术措施的要点就是“勤”、“严”、“管”三个字。

（1）勤，就是对电气线路及电气设备的每一部分、每一参数勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤修。这里的勤是指按周期，只是各类设备周期不同而已。

除按周期进行清扫、检查、维护和修理外，还必须利用线路停电机会彻底清扫、检查、紧固及维护修理。

（2）严，就是在运行维护中及各类作业中，严格执行操作规程、试验标准、作业标准，并有严格的管理制度，现有各种规程、标准、制度100多种。

（3）管，是指用电管理机构及组织措施，这个机构应该是有权威性的，一般由电气专家和行政负责人组成，能解决处理有关设计、安装调试、运行维护及安全方面的难题，同时从上到下直至每个用电者应有一个强大的安全协作网，构成全社会管电用电的安全系统，这是保证安全运行的社会基础。

三、电气系统安全运行技术主要内容

（1）高压变配电装置。主要包括安全运行基本要求、巡视检查项目内容及周期、停电清扫项目内容及周期、停电检修项目内容及周期、预防性测试项目内容及周期、变配电装置事故处理方法及注意事项等。

（2）电力变压器。主要包括变压器安全运行基本要求，巡视检查项目内容及周期、主要监控项目内容、检修项目内容及周期标准、试验项目内容及周期、异常运行及故障缺陷处理方法，互感器、消弧线圈、变压器运行注意事项等。

（3）高压电气设备、电容器、电抗器运行注意事项及其检查、清扫、检修、试验的项目内容及周期等。

（4）低压配电装置及变流器、变频器。运行注意事项及其巡检、清扫、检修、试验项目内容及周期等。

（5）电动机。主要包括安全运行及起动装置的基本要求条件，巡检、检修、试验项目内容及周期，异常运行及故障缺陷处理方法、主要测试项目及方法，起动装置、电动机正确选择方法等。

（6）工作条件及生产使用环境对电气设备型号、容量、防护型式，防护等级的要求等。

（7）继电保护二次回路、自动装置、自动控制系统安全运行基本条件要求，巡视检查、校验调整项目内容及周期，异常运行及事故处理方法，安全运行注意事项等。

（8）架空线路、电缆线路低压配电线路安全运行条件、基本要求，巡检、检修、维护的项目内容及周期，不同季节对线路的安全工作要求等。

（9）特殊环境（指易燃、易爆、易产生静电、易化学腐蚀、潮湿、多粉尘、高频电磁

场、蒸气以及建筑工地、矿山井下等与常规环境有明显不同的环境）电气设备及线路的安全运行技术及管理等。

（10）机械设备、电梯、家用电器及线路、弱电系统、自动化仪表及其它用电装置安全运行技术及管理等。

第四节 电气工程安全技术

一、电气安全管理措施和技术措施

组织管理措施又分管理措施、组织措施和急救措施三种。其中管理措施主要有安全机构及人员设置，制定安全措施计划，进行安全检查、事故分析处理、安全督察、安全技术教育培训，制定规章制度、安全标志以及电工管理、资料档案管理等。

组织措施主要是针对电气作业、电工值班、巡回检查等进行组织实施而制定的制度。

急救措施主要是针对电气伤害进行抢救而设置的医疗机构、救护人员以及交通工具等，并经常进行紧急救护的演习和训练。

技术措施包括直接触电防护措施、间接触电防护措施以及与其配套的电气作业安全措施、电气安全装置、电气安全操作规程、电气作业安全用具、电气火灾消防技术等。

组织管理措施和技术措施是密切相关、统一而不可分割的。电气事故的原因很多，有时也很复杂，如设备质量低劣、安装调试不符合标准规范要求、绝缘破坏而漏电、作业人员误操作或违章作业、安全技术措施不完善、制度不严密、管理混乱等都会造成事故发生，这里面有组织管理的因素，也有技术的因素。经验证明，虽然有完善先进的技术措施，但没有或欠缺组织管理措施，也将发生事故；反过来，只有组织管理措施，而没有或缺少技术措施，事故也是要发生的。没有组织管理措施，技术措施将实施不了，且得不到可靠的保证；没有技术措施，组织管理措施只是一纸空文，解决不了实际问题。只有两者统一起来，电气安全才能得到保障。因此，电气安全工作中，一手要抓技术，使技术手段完备，一手要抓组织管理，使其周密完善，只有这样，才能保证电气系统、设备和人身的安全。

二、电气安全管理工作的中心内容

（1）安全检查。

1）检查内容主要有：电气设备、线路、电器的绝缘电阻，可动部位的线间距离，接地保护线的可靠完好，接地电阻符合要求；充油设备是否滴油、漏油；高压绝缘子有无放电现象、放电痕迹；导线或母线的连接部位有无腐蚀或松动现象；各种指示灯、信号装置指示是否正确；继电保护装置的整定值是否更动；电气设备、电气装置、电器及元件外观是否完好；临时用电线路及装置的安装使用是否符合标准要求；安全电压的电源电压值、联锁装置是否正确；安全用具是否完好且在试验周期之内，保管是否正确；特殊用电场所的用电是否符合要求；安全标志是否完好齐全且安装正确；避雷器的动作指示器、放电记录器是否动作；携带式检测仪表是否完好且在检定周期之内，保管及使用是否正确；电气安全操作规程的贯彻与执行情况；现场作业人员的安全防护措施及自我保护意识和安全技术掌握状况；急救中心及其设施，触电急救方法普及和掌握情况；电气火灾消防用具的完好及使用保管状况；携带式、移动式电气设备的使用方法及保管状况；变电室的门窗及玻璃是否完好，电缆沟内有否动物活动的痕迹，屋顶有无漏水，电缆护套有无破损；架空线路的杆塔有无歪斜、

有无鸟巢，导线上有无悬挂异物，弧垂是否正常，拉线是否松动，地锚是否牢固，绝缘子和导线上有无污垢，树高能否造成短路；电气设施的使用环境与设备的要求是否相符，如潮湿程度、电化腐蚀等。此外，要检查电气作业制度的执行情况、违章记录、事故处理记录等。

电气安全生产管理方面有无漏洞，如电工无证上岗、施工图未经技术及督察部门审查、各种记录不规范等。

安全生产规章制度是否健全以及执行情况。

各级负责人及安全管理人员对电气安全技术、知识掌握的状况以及是否将电气安全放在生产的首位，有无安全交底及安全技术措施等。

2）检查人员的组成　一般由电气工程技术人员、安全管理人员、有实践经验且技术较高的工人组成。同时根据检查的规模及范围，检查人员中可有供电部门、劳动部门、消防部门、上级主管部门以及本单位设备动力科（处）、安全科（处）主管安全工作的领导者参加。

3）检查周期通常应一月一小查，半年一大查，大查一般安排在春季（雨季到来之前）及秋季（烤火期之前）。

小查时，组成人员应少一些，检查的项目应有重点；大查时，组成人员须多一些，检查的项目要全，检查要细。检查中凡不符合要求的要限期修复，并由检查人员复查合格。

（2）制定安全技术措施计划。安全技术措施计划是与本单位技术改造、工程扩建、大修计划等同步进行的。要根据本单位电气装置运行的实际情况以及安全检查提出的问题，并结合电网反事故措施和安全运行经验，与技改部门、安全部门以及设计、安装、大修单位等协同编制年度的安全技术措施计划，如线路改造或换线、变压器更换或增容、开关柜改造等。安全措施计划应与单位生产计划同步下达，并保证资金的落实。安全措施经费通常占年技改资金的20%左右，在提出安全措施计划的同时，应将设备、材料列出，并将工期确定。

（3）电气安全教育培训。这是一项长期性的工作，是预防为主的重要措施，除执行第6问的内容外，对于刚进厂的学徒工、大中专及技校毕业生、改变工种和调换岗位的工人、实习人员、临时参加现场劳动的人员以及接触用电设备的各类人员都要进行三级（厂、车间、班组）电气安全教育，其形式可通过举办专业培训班、广播、电视、图片等开展宣传教育活动。

对于电气人员，一方面要提高电气技术，另一方面要提高安全技术，可以开展技术比赛、安全知识竞赛、答辩、反事故演习、假设事故处理、现场急救演示等各种形式来提高电气技术和安全技术。

（4）建立资料档案　所谓资料档案就是指电气工作中使用的各种标准规程及规范、各种图样、技术资料、各种记录等。这些资料应存档，并按档案管理的要求，进行分类保管，随时可以查阅、复印，以保证电气系统的安全运行。

1）标准规范规程主要有　各类电气工程设计规范、电气装置安装工程施工及验收规范、全国供用电规则，电气事故处理规程、电气安全工程规程、电气安全操作规程、变压器运行规程、电气设备运行和检修规程、电业安全工作规程等。

2）各种图样主要有供电系统一次接线图、继电保护和自动装置原理图和安装接线图、中央信号图、变配电装置平面布置图、防雷接地系统平面图、电缆敷设平面图、架空线路平面图、动力平面图、控制原理接线图、照明平面图、特殊场所电气装置平面图、厂区平面

图、土建图等。

3）技术资料主要有变压器、发电机组、开关及断路器、继电保护及自动装置、大中型电机及起动装置、主要仪器仪表、各类开关柜、各类电气设备的厂家原始资料，如说明书、图样、安装、检修、调试资料及记录等。

4）各种记录主要有运行日志、电气设备缺陷记录、电气设备检修记录、继电保护整定记录、开关跳闸记录、调度会议记录、运行分析记录、事故处理记录、安装调试记录、培训记录、电话记录、巡视记录、安全检查记录等。

上述资料各用电单位可根据具体情况收集整理存档，通常每一台电气设备或元件应有其单独的资料档案卷宗备查。

（5）事故处理。事故包括人身触电伤亡事故和电气设备（包括线路）事故两大类。对于人身触电伤亡事故必须遵循先进行急救并送至医院的原则；对于电气设备、线路事故必须遵循先进行灭火，然后更换设备或修复直至恢复送电的原则。事故现场处理完毕后，应遵照“找不出事故原因不放过，本人和群众受不到教育不放过，没有制定出防范措施不放过”的原则，组织相应级别的调查组，对事故进行认真的调查、分析和处理，以达到教育群众，认真吸取教训，并采取相应的防范措施，以使今后不再发生。同时写出事故报告和处理结果，根据事故的大小和范围发放或张贴，以示警告。调查组一般由负责安全的安全员、技术人员及经验丰富的工人组成，中型及以上的事故必须由单位主管安全的负责人主持小组工作。经验证明，无论事故大小或造成伤亡与否，只要遵循上述的原则，均能受到很大的效益，减少或杜绝今后事故的发生。

事故的调查必须实事求是，有些人为了推卸责任而弄虚作假，给事故处理带来了复杂化，起不到上述的作用，这是事故处理中必须注意的。应该把事故处理提高到法制的轨道上去，才有利于电气安全工作的开展。在处理事故中还应注意以下几点：

1）必须在单位各级负责人的思想认识上找事故原因，是否真正做到了“安全第一，预防为主”。

2）必须在安全生产管理上找事故原因，堵住管理上的漏洞。

3）必须在安全规章制度上找事故原因，进而修订有关制度。

4）必须提高全员的安全意识和技术水平，做到“安全第一，人人有责”。

三、保证电气安全的技术措施

（1）直接触电防护措施是指防止人体各个部位触及带电体的技术措施，主要包括绝缘、屏护、安全间距、安全电压、限制触电电流、电气联锁、漏电保护器等。其中限制触电电流是指人体直接触电时，通过电路或装置，使流经人体的电流限制在安全电流值的范围以内，这样既保证人体的安全，又使通过人体的短路电流大大减小。

（2）间接触电防护措施是指防止人体各个部位触及正常情况下不带电而在故障情况下才变为带电的电器金属部分的技术措施，主要包括保护接地或保护接零、绝缘监察、采用Ⅱ类绝缘电气设备、电气隔离、等电位连接、不导电环境，其中前三项是最常用的方法。

（3）电气作业安全措施是指人们在各类电气作业时保证安全的技术措施，主要有电气值班安全措施、电气设备及线路巡视安全措施、倒闸操作安全措施、停电作业安全措施、带电作业安全措施、电气检修安全措施、电气设备及线路安装安全措施等。

（4）电气安全装置主要包括熔断器、继电器、断路器、漏电开关、防止误操作的联锁

装置、报警装置、信号装置等。

（5）电气安全操作规程的种类很多，主要包括高压电气设备及线路的操作规程、低压电气设备及线路的操作规程、家用电器操作规程、特殊场所电气设备及线路操作规程、弱电系统电气设备及线路操作规程、电气装置安装工程施工及验收规范等。

（6）电气安全用具主要包括起绝缘作用的绝缘安全用具，起验电或测量作用的验电器或电流表、电压表，防止坠落的登高作业安全用具，保证检修安全的接地线、遮栏、标志牌和防止烧伤的护目镜等。

（7）电气火灾消防技术是指电气设备着火后必须采用的正确灭火方法、器具、程序及要求等。

（8）电气系统的技术改造、技术创新、引进先进科学的保护装置和电气设备是保证电气安全的基本技术措施。电气系统的设计、安装应采用先进技术和先进设备，从源头解决电气安全问题。

第五节　负荷估算及设备、元件、材料的选择

负荷计算及设备、元件、材料的选择较为复杂，而在现场由于紧急和特殊条件的限制往往采用估算的方法以解燃眉之急，而后再用正常的计算方法去核实，估算方法是现场工程师必须具备的技能之一。

一、负荷估算方法

（1）低压220V系统，一般条件下每1000W负荷按5A计算；支路负荷电流相加后乘以0.6即为干路的负荷；干路负荷电流相加后乘以0.5即为低压系统的总负荷。

（2）低压380V三相动力系统或其他三相系统，一般条件下每1000W负荷按2A计算；支路负荷相加后乘以0.5～0.8即为干路的负荷；干路负荷电流相加后乘以0.4～0.6即为低压系统的总负荷。其中（0.5～0.8）和0.4～0.6一般按以下原则进行选取：

1）轻载起动较多的取较小的值，重载起动较多的取较大的值；

2）直接起动较多的取较大的值，间接起动较多的取较小的值；

3）变频起动较多的取中间值。

（3）高压系统。高压系统相比低压系统的负荷电流要小的多，10kV系统（指三相平衡系）每1kW负荷电流按0.07～0.08A计算，6kV系统（指三相平衡系统）每1kW负荷电流按0.12～0.14A计算。在选择设备、材料、元件时，高压和低压考虑的重点不同，在高压系统往往考虑的最多的是绝缘，而低压则是电流的大小。

二、设备、元件、材料的选择

现场选择设备、元件、材料时总的原则一是电压等级与原来相同，二是其防护型式、防护等级与现场环境特征相符，三是其容量（载流量）应大于或等于原设备、元件、材料的容量，四是注意节约的原则，五是保护装置应与其要求相符。

（1）变压器的选择。变压器的容量 $S_{NT} \geqslant \dfrac{P_{30}}{\beta \cdot \cos\phi_2}$（kVA），其中，$P_{30}$为全部用电设备总有功计算负荷，$\beta$为变压器效率（0.9～0.95），$\cos\phi_2$为补偿后的功率因数（大于0.9）。一般条件下$P_{30}$可为全部用电设备总容量的0.5～0.75，0.5～0.75为开车系数。

变压器的选择同时要考虑变压器容量允许全电压起动电动机的最大功率，一般条件下全电压起动电动机的最大功率应不大于变压器容量的20%～25%。

（2）高压电器的选择。高压电器的容量（额定电流）应大于所在回路或通过设备的计算电流，计算电路可按前文的负荷估算方法进行估算。

（3）低压电器的选择。低压电器的选择主要是过载系数 K 的选择，这样即能在正常工作条件下承载负荷电流，又能躲过起动时的冲击电流，也能在非正常工作条件下切断事故电流而自动跳闸，其中接触器必须与熔断器或断路器配合使用。

一般条件下 K 可按下述方法选择。

1）熔体额定电流的选择。

①熔体额定电流必须小于熔断器的额定电流；

②单台设备直接起动的电动机 K 为电动机额定电流的2～3.5倍，可按轻载、中载、重载顺序选择；

③多台设备直接起动且为不同时起动时，总熔体按容量最大一台的2～3倍额定电流再加上其他设备的额定电流。若几台同时起动且其总容量超过该线路中最大的一台时，总熔体额定电流应再加上这几台设备额定电流的和后再按2～3倍选择。

④笼型电动机起动器熔体按电动机额定电流的1.5～3倍选择，并按轻载、重载和起动方式不同选择，轻载取较小值；绕线转子电动机按1.25～2倍选择。

⑤照明电路中，熔体额定电流一般取计算电流的1～1.1倍，高压汞灯按1.3～1.7倍，高压钠灯按1.5倍选取。

2）低压开关设备元件的选择。低压断路器、接触器开关设备元件的额定电流应大于回路的额定电流，其系数 K 断路器取1.5～2.5倍，接触器取1.5～2.5倍，刀开关取1.1～1.5倍。其中轻载起动、无较大动力设备的线路、照明电路及无感性负载的电路取下限，而重载起动、有较大动力设备、感性负载取上限。

3）热继电器的选择。热继电器的额定电流一般为1.5倍被保护电器额定电流；整定值一般为0.95～1.1倍的电器额定电流。Y接电动机不宜选用带断相保护的热继电器，热继电器一般不宜选用额定电流大于60A的，若大于60A则应选用5A的并配电流互感器使用。

（4）电动机起动器的选择。起动器的选择应按负载性质、起动方式、起动时负载的大小来综合考虑。一般条件下，各类起动器的额定功率应大于电动机一个等级。

1）10kW以下电动机可用磁力起动器直接起动，55kW以下的电动机当电源容量允许时也可在轻载时直接起动。

2）10kW以上电动机轻载起动可选用Y-△起动器减压起动，仅适用△接电动机。

3）10kW以上电动机重载起动应选用自耦减压起动器、串联阻抗减压起动器、变频起动器、软起动器，不宜采用Y-△起动器。

4）绕线转子电动机一般用凸轮控制器与转子串联电阻起动，也可用敏频起动控制柜、串联阻抗起动柜起动。

5）对于拖动负载变动较大的风机类负载电动机应采用变频器或软起动器起动。

6）高压电动机一般采用直接起动，设备元件按高压电器的要求选择。

（5）民用电器、照明装置一般应按估算电流选择，选用带漏电的空气开关（断路器）、插座，一般为5～10A。插座宜选用两用（双孔、三孔均有）插座。

（6）导线的选择。在现场选择导线常用查表法，具体可参见相关手册及第十一章相应内容。

（7）电工仪表的选择。电工仪表的选择主要考虑电压等级、量程、精度等级、与互感器配合使用等。

1）电压表选用时，低压一律采用直读式，量程应大于额定值的1.5倍左右，高压应配用电压互感器，表一律使用100V额定值的。

2）电流表选用时，20A及以下的可选用直读式的，量程为最大值的1.5倍左右；大于20A时应配用电流互感器，表一律使用5A额定值的，电流互感器的量程应大于最大值的1.5倍左右，绝缘等级应与系统额定电压相符。

3）电能表应按供电线制选用，低压额定负载50A以下可选用直读式，其额定电流应大于负载电流。50A以上时应配用电流互感器，表一律为5A额定值的，电流互感器量程应大于最大值的1.5左右。

高压系统一律选用5A的，并配用互感器，电压互感器一次电压与供电电压相符，二次电压为100V；电流互感器同上。

（8）其他设备元件的选择详见《电气工程安装及调试技术手册（新版）》（白玉岷编著，机械工业出版社）。

第六节　控制系统的设计及实施

控制系统是电气工程及自动化的核心部分，控制技术、控制系统的设计及实施在电气工程及自动化中占有重要的位置，是核心技术。电气工程师应具备常用的控制系统设计技术及实施技术。主要包括变配电系统继电保护控制技术、电动机控制技术、生产工艺系统控制技术、自动化仪表应用及其自动控制技术等。

控制系统可分为人工手动控制和自动控制两种；从元件上区分有继电器-接触器控制、可编程序控制器控制、单片机控制；用到的元器件有低压电器、接触器和继电器、智能电器、传感器、控制器、计数器、编码器、步进电动机、各种模块等。

一、继电器-接触器控制

继电器-接触器控制是一种常用的电动机控制、变配电系统继电保护控制技术，一般情况下应用在不需无极调速的电动机控制上以及容量不大的变配电系统。继电器-接触器控制应当主要掌握以下内容。

（1）电动机控制常用继电器的类别及用途。

1）用于电动机控制系统的继电器主要有热继电器、电流继电器、错相继电器、温度继电器、速度继电器、时间继电器、中间继电器等。

2）热继电器一般用于小型电动机的过电流保护，当电机过载电流使热元件发热，其变形后使继电器动作，其常闭接点打开控制电源电路使电动机停转。

3）电流继电器常用于大中型电动机过电流保护，并与时间继电器配合使用，当过电流时间超过允许值时，时间继电器动作而打开控制回路电源。

4）错相继电器常用于不允许反转的设备上，如电梯、风机、水泵等。

5）温度继电器常与埋设于定子绕组中的微型热传感器配合使用，当定子过电流而发热

到大于允许温度时，温度继电器动作切断控制回路。

6）速度继电器为机械式继电器，一般安装于电动机的轴头上，当电机超速时其接点便切断控制回路电源，常用于电梯、起重机控制回路里。

7）时间继电器与电流继电器、接触器配合，以确定过电流时间和接触器切换时间。

（2）继电器、接触器辅助触点的使用。

1）得电吸合的继电器其常闭触点打开的时间略早于常开触点闭合的时间；时间继电器的延时触点常开和常闭动作无时差。

2）接触器的辅助触点其常闭触点打开的时间略早于常开触点闭合的时间；

3）继电器常开触点、接触器辅助常开触点串联使用时，只有所有常开触点都闭合时，回路才有电使线圈得电；而当有一个常开触点打开时，回路断电；

4）继电器常开触点、接触器辅助常开触点并联使用时，有一常开触点闭合，回路使有电线圈得电；而所有常开触点打开后回路才能断电；

5）继电器常闭触点、接触器辅助常闭触点串联使用时，有一常闭触点打开，回路断电；而所有常闭触点闭合，回路才得电；

6）继电器常闭触点、接触器辅助常闭触点并联使用时，只有常闭触点全部打开时回路才断电；而有一常闭触点闭合回路便得电；

7）当常闭触点和常开触点串联使用时必须为不是同一元件的触点，回路得电必须使常闭触点闭合，而常开触点全部闭合；回路失电必须有一常开打开或常闭打开；

8）当常闭和常开触点并联使用时必须为不是同一元件的触点，回路得电必须常闭触点闭合或常开触点有一闭合；回路失电必须常开触点全部断开且常闭触点同时打开；

9）时间继电器一般均有延时触点，但有的时间继电器同时还有瞬时打开或闭合的触点，使用时应注意；而有的继电器除瞬时动作的常闭常开触点，有的同时还有延时触点，使用时应注意；

10）双联按钮其动作时常闭打开先于常开闭合，常开闭合滞后常闭打开；

11）中间继电器主要用于其他继电器触点不足而由其代替补充。

（3）变配电装置继电保护控制系统一般都有较为固定模式的电路，用于系统的继电器主要有以下几种：

1）中间继电器，功能同上；

2）信号继电器，用于继电保护信号回路；

3）时间继电器，型号很多，功能同上；

4）计数继电器，用于继电保护记录故障、接地、雷电过电压次数等；

5）闪光继电器，用于信号报警系统；

6）冲击继电器，用于线路的继电保护；

7）电流继电器，功能同上，类别很多；

8）电压继电器，类别很多，保护系统过电后、欠电压、零序电、二次谐波电压、电压差等；

9）频率继电器，类别很多，保护系统欠频、过频、差频等；

10）差动继电器，类别很多，保护系统一次与二次电流比超差等；

11）功率继电器，系统功率过载保护；

12）相位继电器，保护系统电流、电压相位是否平衡等；

13）同步检查继电器，保护系统各项参数是否同步；

14）平衡继电器，保护系统各项参数是否平衡；

15）断相闭锁继电器，保护系统断相、缺相，并切断控制电路电源；

16）接地继电器，保护系统接地，并发出信号，切断相应回路；

17）转子接地继电器，保护发电机、电动机转子接地发出信号或报警等。

（4）变配电系统输电系统常用的继电保护种类见表8-7和表8-8。

表8-7　继电保护的种类及主要用途

种　类		主要用途	种　类	主要用途
（1）差动保护装置	1）纵联差动保护 2）横联差动保护 3）母线差动保护	发电机、变压器、电动机、电抗器 发电机、双回线路 母线	（5）距离保护装置	线路
			（6）纵联保护装置	线路
			（7）定子接地保护装置	发电机
			（8）转子接地保护装置	发电机
（2）电流保护装置	1）电流速断保护 2）定时限保护 3）反时限保护	发电机、变压器、线路、电动机	（9）失磁保护装置	发电机、同步电动机
			（10）失步保护装置	发电机、同步电动机
（3）电压保护装置	1）欠电压保护 2）过电压保护	发电机、变压器、母线、线路 发电机、变压器	（11）瓦斯保护装置	变压器
			（12）过激磁保护装置	变压器、发电机
（4）方向保护装置	1）功率方向保护 2）阻抗保护	线路、变压器	（13）逆功率保护装置	发电机
			（14）定子绕组匝间保护装置	发电机

表8-8　常用输电线路保护装置的种类及用途

装置名称	应用说明	装置名称	应用说明
电流速断保护装置	作为主保护或线路出口的辅助保护	电流差动光纤保护装置	利用光纤通道作为全线速动主保护，用于短线路
定时限电流保护装置	用于单侧电源线路	导引线保护装置	利用导引线通道作为全线速动保护，用于短线路
定时限方向电流保护装置	用于双侧电源线路	电流平衡保护装置	用于双回平行线作为主保护
定时限电压闭锁电流保护装置	用于双侧电源线路	横联差动保护装置	用于双回平行线作为主保护
定时限零序方向电流保护装置	用于直接接地系统作为接地保护，或加通道成为主保护	接地距离保护装置	阶段特性，用于直接接地系统的接地保护，或加通道成为主保护，适用于中、长、短线路
绝缘监视装置	用于不直接接地系统一点接地的监视与保护		
反时限过电流保护装置	作为后备保护	方向载波保护装置	作为全线速动主保护
相间距离保护装置	阶段特性，用于直接接地系统的相间保护，或加通道成为主保护，适用于中、长、短线路	相差载波保护装置	电流相位比较，作为全线速动主保护
		分相电流差动微波保护装置	利用微波通道作为全线速动主保护

二、可编程序控制器控制

可编程序控制器（PLC）控制是随着电子技术、微机技术的发展而产生的一种新型控制技术，以微处理器为核心，集自动化、计算机、通信于一体的新一代工业自动化控制技术。PLC 采用可编程序的存储器、存储逻辑运算、顺序控制、定时、计数和数学运算等操作指令，它是通过数字或模拟信号的输入和输出，控制各种生产机械及生产过程，执行元件一般有接触器，变频器及其他动力装置等。PLC 控制主要掌握以下内容。

（1）中央处理单元 CPU 的类别，如通用微处理器（8086、80286、80386）、单片机芯片（8031、8096、M6801）、双极型位片式微处理器（AMD-2900 系列）。

（2）存储器的类别，如 CMOSRAM、EPROM 和 E^2PROM，其中系统存储器为厂商编写的系统程序，用户不需要更动；用户存储器一般采用 CMOSRAM，可随机存取数据，但应随时注意锂电池的电容量及有效期；用户的操作数每每对应一个地址，用以表示该操作数的位置，而输入输出的地址是与连接到相应接口的输入或输出设备有关的。

（3）输入输出接口。PLC 的输入信号要经过输入接口，但必须要将其转换成能够接收和处理的标准数字信号，如开关量信号、传感器的模拟量信号，主要有压力、温度、流量、电压、电流、液位、机械量等信号。

输出接口是要把 CPU 处理过的数字信号转换成现场执行器能够接收的控制信号，执行器包括电磁阀、电动阀、信号显示、电动执行器等，输出模块具有功率放大、电隔离、滤波、电平转换、信号锁存作用。

输入接口按电流性质设置有交流光隔离器和交直流式光隔离器；输出接口有继电器、晶体管和晶闸管三种形式，要注意输出电流的大小与负载性质、环境温度有关。

（4）输入输出接口的扩展。CPU 的输入输出点数可按实际点数的需要采用与其专用配套的扩展 I/O 模块进行扩展。模块有开关量 I/O 模块、模拟量 I/O 模块以及专供热电阻、热电偶、步进控制、伺服控制等专用功能的特型模块。同时可按控制系统的需要选用不同功能的扩展模块对 PLC 进行硬件重组，也可对 PLC 进行升级改版，主要是替换或增加相应的扩展模块并修改相应的控制软件，以达到控制系统的要求功能及控制精度。

（5）外围设备。外围设备主要有编程器、外部存储器，图形监控系统、打印机、计算机等。其中编程器主要用来输入程序、监视系统运行情况、完成某些特定功能等。编程器一般专机专用。

（6）程序编制方法。主要有梯形图程序设计、指令表程序设计，功能块图程序设计、结构文本程序设计、顺序功能图程序设计，其中梯形图、顺序功能图应用较广也易掌握。

可编程序控制器随着电子技术、微机技术的发展也在不断改进以提高性能和功能，适应技术进度的需要，作为电气工程师应密切注意其动向，当新产品出现时应加以关注，并进行模拟应用，才不会落后于技术的发展。

三、单片机控制

单片机是将 CPU、存储器、串行接口、并行接口、定时器、计数器等计算机的各个组成部分运用大规模集成电路技术将其集成于一个芯片之内，在自控系统、智能仪表、实时分布控制、机床自动化、变配电装置继电保护等方面有着极为广泛的应用。MCS-51 单片机控制主要掌握以下内容。

（1）掌握单片机的编程。编程通常使用高级语或汇编语言，而在现场控制中则常用汇编语言。汇编语言中助记符采用指令的英文缩写，使用时便于记忆和分类。常用助记符及部分指令功能应熟记，便于现场操作。

（2）最小系统的应用。最小系统可由 8031 单片机、74LS373、EPROM2764 各一片组成，由复位键、晶振等元件配合，组装后接通电源即可。74LS373、EPROM2764 为存储器。

（3）定时/计数器。该元件可用于定时控制，亦可用于外部信号计数，也可作为串行接口波特率发生器，均可编程。其工作方式由 CPU 软件设置，设置后定时/计数器即可按设定的工作方式单独运行，并不影响 CPU 的其他操作，当计满溢出时才能中断 CPU 的当前操作，并有信号发出。

（4）中断系统。中断是微机技术常用的一种数据传输方式，即暂时停止正在执行的主程序，而转为执行外部设备请求中断的服务程序，当请求中断执行完毕后再返回暂时停止的主程序而继续运行。单片机一般有多个中断源，可提供两个中断请求服务，使用上非常灵活。

（5）单片机的扩展功能。MCS-51 系列单片机可扩展程序存储器、数据存储器及输出输入接口。扩展时在 MCS-51 上接入外部程序存储器或外部数据存储器，扩展时外部存储器须与主机配套。I/O 端口的扩展一般使用 8255A 可编程 I/O 端口，8255A 亦可与外围设备连接，如打印机、显示器等。

（6）接口技术。主要是单片机与原始数据或信号的接口，常用的输入输出设备主要有显示器、键盘、A/D（模/数）、D/A（数/模）转换器等。其中 A/D 转换器和 D/A 转换器尤为重要。在控制系统中，首先是要把生产工艺过程的参数进行测量，如温度、压力、流量、液位、机械量（如速度、行程、几何尺寸等）、电流、电压、频率等然后将其通过 A/D 转换器转换成二进制数字信号再引入到单片机中进行处理。处理后的结果要通过 D/A 转换器转换成模拟量再去控制或调整相应的外部各种生产工艺过程中的设备，这样即可形成一个自动控制系统，包括供配电的继电保护及控制系统。其中，D/A、A/D 及其配套的传感器、变送器和数据采集系统，控制系统是自动控制系统的关键技术。

目前单片机的控制应用极为广泛，如大型锅炉、电梯、泵站、供配电、机械加工、机械手、机器人、空调、智能建筑、自动化仪表、起重机械、小型发电、化工生产、石化、造纸、冶金、食品、包装机械印刷、数控机械、汽车制造等行业，是电气工程师必须掌握的技术。当然在控制系统中还有很多与其配套的技术，如伺服驱动系统、数控系统、柔性制造系统、识别系统、传感器技术、测量技术、信息技术等。这就要求电气工程师必须不断学习，不断掌握新技术和相关技术，才能紧跟技术发展的步伐。

四、常用自动控制组件及装置

（1）计数器。主要用于数量控制及显示、长度控制及显示、位置控制及显示等，选用时要注意参数、注意与配套元件信号的统一性。

（2）计时器。主要用于时间控制，选用同上。

（3）温度控制器。主要用于温度控制及显示，选用时要注意参数的匹配以及一次元件的选用型式（热电偶、热电阻）。

（4）功率控制器。主要用于功率控制及显示，选用时注意参数的匹配。

（5）面板仪表。主要用于电压、电流、功率、功率因数、转速、速度等的测量和显示。

（6）转速表、速率表、脉冲表。主要用于转速、速率、脉冲的测量和显示。

（7）显示单元。主要用于 PLC 显示、计算器显示及其他显示。

（8）传感器控制器。主要用于一些机械量的控制和检测，配有检测用的传感器。

（9）接近传感器。主要用于机量量的检测和控制，配有相应电缆，例如微动开关，只要有物体靠近便动作并发出信号。选择时应注意参数。

（10）光电传感器。包括光电传感器、光纤传感器、自动门传感器、区域传感器等，选用时注意参数的选择。

（11）压力传感器。主要用于压力（包括负压）的检测，分负压型、正压型和正负压复合型，选择时注意参数的选择。

（12）旋转编码器。主要用于转动装置上检测停止位置、转动角度、测定薄片物体长度等机械量的测量，选择时除参数外，应注意配套装置。

（13）步进电动机与驱动器。主要用于低速旋转和微量调节的超精度控制，步进电动机的旋转是以步进角度为单位的，选用时应注意参数的选择及与其配套的装置。

（14）称重控制器。主要用于测量和控制工艺过程中物体、物料重量，注意参数选择。

（15）显示控制器。主要用于显示和控制之中，与模拟量输出的各种传感器、变送器配合，完成温度、压力、流量、物位、成分分析、位移、力、速度、加速度等机械量的测量、变换、显示、传送、记录和控制等功能，其接收电压、电流、热电阻、热电偶等信号。

（16）流量积算器。主要用于气体、流体流量的测量、变换、传送、记录、积算和控制，一般与流量传感器、变送器配合使用。主要类别有模拟量输入流量积算仪、温度压力补偿流量积算仪，定量控制仪等，选用时要注意参数及配套装置。

（17）可编程给定器、定时器、计时器。主要用于自控系统的给定、定时、计时等控制，选用时注意参数的选择。

（18）报警器。主要用于自控系统的报警系统，如巡回检测报警器、闪光报警器。

（19）多通道数字仪表　基本同（15）显示控制器，有报警功能，可多路使用。

（20）监控系统。主要包括设备机房、变配电所及装置、各类仓库、空气质量等监控等系统。主要由数据采集器、传感器组成，利用通信网络实现数据采集、显示、控制报警、分析管理等功能。

（21）数据采集系统。主要有：

1）KLP3100 油井油口在线生产数据远程测控系统，主要设备有 KL-R5010 数据采集设备、各类传感器等。

2）KLP3200 水文、气象、地震检测系统，主要设备有 KL-R5210 数据采集设备、各类传感器等。

3）KLP3300 危险气体输送管道泄漏监控系统，主要设备有分类传感器、配有隔爆型、本安型防爆传感器、变送器等。

（22）检验验测系。

1）KLP4100 罐群油水界面检测系统，主要设备有多段微电容串联组合检测探极、在线自校正式双界面液位变送器及两路 4～20mA 或 RS-485 串行数据变送器输出。

2）KLP4200 车辆监测分析系统，主要设备采集器及各类传感器。

3）KLP4300 汽车齿轮变速器加载实验检验系统，主要设备有转矩检测传感器、XST 高精度仪表、噪声计、主控器等。

（23）市政专用监控系统，主要有 KLP5100 市政水电气专用监控系统，KLP5200 供水变压变量专用监控系统，KLP5300 防水处理专用监控系统。

（24）KL-2000 监控仪，主要监控环境、通信、空调、报警、船舶等场所。

（25）信号调整模块。配有温湿度、浸水、烟雾、被动远红外传感器，用于上述机房、库房、银行、邮局等室内环境状态监控。

（26）无线传输 I/O 模块。配有调试串口、历史数据存储、动态数据存储等，用于数据采集现场离散性高、铺设通信线路困难的区域，如，矿山、采掘、水文、地质、文通运输等行业。

（27）以太网 8 路模拟量输入模块。KLM-6000 模块基于以太网数据采集，可在模块中提供数据采集和网络连接，采用以太网标准，可将其添加到网络中去。有 8 路模块输入，可同时监控八个 4～20mA 模拟量传感器。

用于控制系统实现自动化的设计方法及常用自动化设备、装置很多，可以说是应有尽有。关键是怎样运用它，尤其是使用或运行后的维护保养检修试验更为重要，在选型时要注意其接口的通用性。

第七节　电气工程技术开发及技术成果应用

电气工程师在专业工作过程中会经常遇到两种问题，一种是电气工程技术在工程实践中有的已满足不了工程的需要，而工程师必须得去解决或寻找相应的办法；一种是电气工程技术中有新的设备或新的技术在工程中出现，而工程师必须去进行应用的转化，并指导他人运用。

一、电气工程技术的开发

在工程实践中，包括设计、安装、调试、运行、维护、检测、修理等，有时会遇到一些原来的技术不能解决的问题，而跟据工程的需要还必须去解决，这样就需要电气工程师和技术工人们一起去想、去寻找相应的技术方案或办法，而进行电气工程技术的开发。

这里举一个例子，有的工程较大，涉及的专业门类较多、设计图样也很复杂，有时由于工期的紧迫、季节的安排必须动用大量人员进行图样的审核、校对、预算，才能勉强完成。如果有一种软件能够进行人工识别、判断、计算、修改设计图样，将会节约大量人力、时间并能排除由于人工的疏漏和不准确性而引起的误差或错误，那么不仅节约了人力、物力、财力，还能极大地提高设计图样的准确性，将会对电气工程的实施起到强力的推动作用，也会产生一次变革。用新技术挑战传统技术一直是人类科技进步的一个基点，目前该项目正在紧罗密鼓的研制中。

其实这个项目并非多难，有设计制图软件、有标准化图样、有容纳图样的光盘、有微机技术和强大的软件功能，有娴熟的微机编程技能、有丰富的制图经验和工程实施的经验，有制图标准及电气工程自动化的工程细则，是完全可以做出来的。目前该项目已进入第二阶段的研制。世界上并没有做不到的事情，而只有想不到的事情，当然，在工程实践中还有很多类似的课题，只是限于思路和实力以及其他原因，至今无法进行开发。然而，人类的历史以

及科学技术总是在不断前进的，只从“无线电波传递大电流”这一课题就可以看到电气工程技术的前景是光明的，当然研制的结果可能不是无线电波，而是一种新的、闻所未闻的新技术，同时涉及的学科门类很多，电气工程技术也将会有一个史无前列的飞跃。

二、新技术成果的应用

时代在进步、技术在进步，新的电气工程技术、设备不断出现，包括在第六节中提及到的一些技术已经渗透到各个领域，作为电气工程师必须掌握这些新技术并在工程实践中去推广、应用、转化和总结提高。其中，有一个关键的问题就是，工人们如果在实践中遇到较难的问题，必定要向周围的工程师请教、询问，而作为工程师却不知所措，那将是非常尴尬的事情。因此，工程师应该对电气工程的新技术、新设备、新工艺、新材料不断学习掌握，并且应该有一个提前量，不要等到问题已经出现在你的面前才开始学习。因此，在平时应注意边研究、边学习、边掌握，只要出现在工程中，自己便得心应手，不致于措手不及。在前面介绍过作者修理机械加工中心的事情，其实对本人来讲是从来没有见到过的，但是在平时对知识技术积累过程中对其电路中的元件、控制方法、微机技术已经非常熟悉了，只是没见到过这种较多的技术综合起来的设备，然而将其分解后就把复杂的电路及装置变得简单了。如果没有提前学习掌握那些元件、方法、技术，那种事情是不可能的，这也就是为什么作者敢于提出一个月时间完成的理由。

对新技术、新设备、新工艺、新材料的学习和掌握要以实物为主，技术文件为辅，有条件时应对照图样分析元件部件的功能作用及工作过程，最好是对其进行测试和试验，特别是元件部件分离后的测试和试验，进一步掌握其输入、输出信号的类别、电源设置及动作条件原理等。化整为零的分析方法是解决一切疑难问题的最佳方法，也是最可靠、最保守的方法，一般条件下不会失误。同时分析时一定要有详细记录，必要时应画图，处理时一般不要超过两个人，这样可静下心来仔细的研究，人多口杂事多不易分析，且意见分歧会引起失败。

电气工程技术开发及技术成果应用是标准的实践与理论相结合的活动，是提高技术技能的最好的方法，也是显示个人能力的机会，每个人一定要把握住它，只要有机会绝不能错过。

第八节 解读电气工程技术疑难问题

电气工程师在专业工作过程中会经常遇到技术疑难问题。一般条件下，技术难题一种是以前处理过的，另一种是从未遇见过的。技术难题有设计方面或图样方面的，有具体作业过程中的，也有运行中过程的，有设备方面的，还有材料方面的，有时还有与电气联系紧密的相关专业的，多种多样，五花八门。

电气工程技术疑难问题的解读主要依靠五方面的能力，一是实践经验，二是基础理论，三是分析能力，四是掌握相关资料，五是创新能力。

实践经验是在长期实践中积累起来的，其中要特别注重向工人学习并从中进行总结。基础理论是为分析提供依据的，对基础理论的掌握一定要与实践相结合。分析能力是对技术疑难问题进行解剖，是用排除法找到根源所在。相关资料对一些新设备尤为重要，能够在难题面前想到在哪些资料中见过，这样才能尽快地解读，而相关资料是在平时集积起来的，不是

等到用时才去找。创新能力一般是用在非常规的难题解读方面，有时候难题千奇百怪，处理时无从下手，便大胆运用创新能力去解决。而在实际工程中解读技术难题往往是上述五个能力的结合。

这里举两个例子来进一步说明。

一台新购置的380V1500A的断路器，经检测均符合标准要求。但当进行合闸试验时，手动、电动均合不上，几经几个人处理均无结果。手动合闸不灵总是因为存在着机械方面的缺陷，电动合闸不灵除电磁线圈电压以外最主要的原因是电磁力是否满足合闸力矩的需求。经手动试验，合闸过程到某一位置时传动机构就被卡死，再大的力也无挤于事（这里要注意，当力太大超过机构的机械强度后会给机构带来机械损伤，强行合闸是不可取的）。被卡死一是杆件不匹配，这是产品质量问题，可与经销商或厂家沟通协商解。二是传动轴发涩，不灵活。可以找来一些机油，在传动机构转轴部分点少许，略加活动后一举合闸成功。

经电动试验，合闸电压满足要求，合闸后发现电磁铁吸合不住，一是电磁力不够，这是制造问题，可与厂家协商，二是吸程不匹配。因此先将电磁铁座底下垫上了两个垫片缩短吸程，然后通电合闸一举成功。

第二个例子：一台绕线转子电动机380V、1500转/min、130kW，被拖设备是球磨机、由频敏变阻器起动，合闸后电动机运转了15秒后起动柜掉闸，电动机停转，再次合闸不能起动，处理这类故障一定要避免再次合闸试验，应经过以下程序进行，才能找到故障根源：

首先切断电源，拆下传动带或解开联轴器，再盘动被拖设备，对于这种重载起动的设备可用多人、杠杆的方法使之能起动，否则起动力矩太大，不宜起动。

然后试验调整电气起动柜，动作过程是否正确、时间继电器、开关元件、起动部件（频放起动器）等各个元件、接线是否正常。

最后测试电动机是否正常。

这样便可逐步找到故障原因，切记不得强行起动。

现将电动机异常运行及故障处理方法总结如下：

（1）电动机发生下列情况之一者应立即停止运行：

1）电动机或起动器内冒烟起火。

2）电动机剧烈振动，危及安全运行。

3）轴承温度超过允许最高温度值。

4）电机温度超过允许值且转速下降。

5）单相运行。

6）电机内部发生撞击或扫膛。

7）电机堵转运行。

8）电机声音不正常、吼叫、绞磁声。

9）电机转速不正常时等。

（2）运行中的电动机发生故障后的处理程序：

1）切断电源并拆下皮带或解开联轴器。

2）检查电源电压是否正常。

3）检查起动设备是否正常，保护装置及空投试验是否正常。

4）电机驱动的设备是否正常，能否盘车，有无卡阻。

5）电机有无故障，有无断线、碰壳，直流电阻三相是否相等，绝缘电阻是否正常；有无局部发热烫手。

6）电机轴承是否损坏卡住，润滑脂是否干枯、变质或严重缺油，手能否转动电机。

7）打开电机端盖，检查定子有无烧焦、烧断，转子铜条断裂及扫膛。

8）电机能否空载运行，空载电流三相是否相等且近似为额定电流的1/3，空载运行是否正常等。

9）没有找出原因时，不得强行起动。

10）电机及起动器周围温度是否过高等。

（3）电动机起动时的故障判断。电动机起动后不转、达不到全速、“嗡嗡”声严重且不转、起动困难或有焦糊味、打火、冒烟等异常现象，这时应立即将电源切断，并检查原因，原因可能是：

1）电压电源太低或缺相。

2）定子回路有断线现象。

3）转子回路断线或接触不良。

4）电动机或被拖机械卡阻。

5）转子与定子相碰扫膛。

6）负荷太重。

7）电机内部有局部短路现象。

8）电机绝缘电阻太低。

9）起动设备故障或起动设备选择不当或操作有误。

10）电机绕组极性或接线方式有误、电机平衡性能不良或电机与被拖设备不匹配等。

（4）电动机运行中产生过热的原因：

1）电压、电流、转速不正常。

2）负荷太重或过负荷时间太长。

3）内部错误接线或内部局部短路。

4）线圈包扎不紧或浸漆不充分，绝缘材料之间存在空隙。

5）绝缘电阻太低，漏电严重。

6）周围空气温度太高或通风不良。

7）轴承损坏或严重缺油或装配时配合不良。

8）皮带过紧或联轴器装配不好。

9）单相运行或通风槽堵塞。

10）电刷与集电环不匹配、质量低。

11）风叶故障。

12）电机与负荷不匹配等。

（5）电动机集电环上严重冒火的原因：

1）电刷压力调整不均匀。

2）电刷与引线接触不良。

3）集电环表面不平、有麻点砂眼或有污垢。
4）电刷选择不当，质量低。
5）维护不当，长时间不清扫检查。
6）检修质量低，刷架调整不当。
7）电刷在刷握内被轧住。
8）电刷与集电环不匹配等。
（6）电动机振动太大的原因：
1）转子不平衡。
2）皮带轮不平衡或轴孔偏小。
3）轴头弯曲。
4）被拖设备不平衡或偏小。
5）电源质量不良。
（7）电机运行时电流不稳定的原因：
1）绕线式电机一相电刷接触不良。
2）绕线式电机集电环短路装置接触不良。
3）绕线式电机转子一相断路。
4）笼型电机转子断条或起动设备某相接触不良。
5）所带负载不稳定，或电源质量不良。
（8）电机运行时声音异常的原因：
1）定子与转子相碰。
2）电机单相运行。
3）转子风叶碰壳。
4）转子与绝缘纸摩擦。
5）轴承严重缺油。
6）轴承损坏。
7）线圈接线有误。

下面来专门讲一讲面对复杂控制电路问题的处理方法。

自动装置、自动控制系统，继电保护二次回路、自动化仪表检测系统的故障排除方法较为复杂，一般采用化整为零、各个击破的方法。要想准确、快速、合理地处理这方面的故障最好的办法就是必须先看懂其控制电路，弄清元件的功能及输入输出接口的信号方式，然后测量判定接口信号的正确与否，这样才能去处理故障。这里介绍一下分析复杂电路的思路及方法。

1. *分析方法及思路*　对于较为复杂的电路，其分析的第一步是将其解剖，解剖成一个单元电路或组件。一般条件下，功能及作用为同一效果的会经常画在一起（但实物却不一定放在一起，这里要注意!）。第二步是确定每个单元或组件中各个元件的功能和作用。第三步是确定每个元件的电源设置，如交流、直流、电压等。第四步是确定各个元件的输入及输出是什么信号，以及信号值或范围，如接点信号（常开、常闭及其在电路中的分布情况）、模拟信号（0～10mA、4～20mA、1～5V）并判断其信号性质［交流（AC）、直流（DC）、脉动］、数字信号（输入点数、输出点数及触点容量，如 DC30V、DC0.1A）、输入

或输出阻抗（如250Ω、75Ω等）。不要过多考虑或分析各个元件的内部构造和原理，主要是掌握其功能和输入输出信号，这是分析的关键。第五步是确定单元或组件内各个元件间的接口元件或电路及其功能，如变送器、转换器、安全栅、配电器及其输入输出信号。第六步是确定单元或组件间的接口元件或电路及其功能。第七步是确定各元件间、各单元间的反馈回路及其元件或电路，并确定其反馈信号的性质。第八步是将其上述分析画在一个框图中，并标出元件或电路间的信号。第九步是按框图分析出该电路的功能和作用。第十步是确定上述分析，解剖要细致，不要漏掉任何一个环节。

2. 接触器—继电器控制电路　接触器—继电器配以行程开关、主令电器、按钮和检测装置或仪表提供的信号接点，可以组成复杂的控制电路，如电梯、电动起重机、大型锅炉风机、给水泵电动机、重要负荷的大型电动机及供配电系统的继电保护等。按照上述方法即可进行分析和识读。

（1）确定接触器、继电器（包括电流、电压、错相、接地、差动、短路、温度、压力、流量、时间、功率、瓦斯、环流、中间、信号、闪光、重合闸、阻抗、零序、频率等继电器）的功能作用及其触点（常开、常闭、延时等）的分布情况（这个分布很重要，是分析复杂电路的关键，不能漏掉一个）；

（2）确定接触器、继电器得电或失电后其触点的动作结果在所在回路里起到的作用，是断开、接通及回路元件的动作情况；

（3）（2）中的回路触点的动作引起其他回路的动作情况；

（4）其他回路的动作又引起各个回路的动作情况；

（5）按（1）～（4）逐一分析每个回路的动作情况，最后即可分析出整个电路的动作结果。在分析过程中应确定继电器的整定值或动作值。

3. 自动化仪表检测控制电路　自动化仪表检测控制电路是由传感器（如热电偶、热电阻、压力传感器、孔板等）、变送器或转换器或配电器、安全栅、计算器、给定器、调节器、显示器、辅助单元和执行器组成的，除了控制外，该电路还要显示被测量的值或记录累计被测量的值。

（1）确定被测量和传感器的输出信号值（mV或mA或Ω），确定被测量的类别和个数；

（2）确定各台变送器将被测量或传感器的输出信号变换成统一的标准直流信号值，并确定将标准信号引入显示仪表或调节器的位置及显示仪表或调节器的功能；

（3）确定各台转换器将被测量的DC 0～10mA、DC 0～10mV或20～100kPa信号转换后与其他系列仪表的连接方式；

（4）确定计算单元各计算器将标准直流信号进行加、减、乘、除、开方、积算等运算后，将其信号与其调节器的连接方式；

（5）确定定值器的给定值，将上述计算后的信号与给定值比较得出偏差；

（6）确定偏差引入的位置及调节器的性质（比例、积分、微分），运算后发出的调节控制信号给执行器，实现闭环控制；

（7）执行器按调节控制信号动作驱动调节机构改变操纵变量，进行自动控制；

（8）确定其他装置，如操作器、选择器、阻尼器、限幅器、安全栅的功能及其电源、输入和输出信号等；

（9）确定指示、记录、积算、报警等辅助装置的功能和接线；

（10）按（1）～（9）逐一分析每个检测系统及其与其他系统的连接或关系；

（11）熟练掌握仪表自检系统所有元件的功能、作用以及输入和输出信号，其中配电器是连接变送器到微机控制装置的枢纽。实质上它是一个模/数转换器，是把模拟信号转换成数字信号的装置，微机控制装置只识别数字信号，然后根据设定的程序输出相应的信号，通过电动操作器、伺服放大器去驱动执行器。

4. 微机控制、保护、检测电路　微机控制、保护、检测电路是在上述电路上发展起来的，不同的是它简化了电路的结构。如果不考虑微机车身的结构原理和运行程序，微机控制、保护、检测电路则是最简单的电路。

（1）确定控制量的性质（是开关量，如断开、闭合；还是数字量，如电压、电流、频率、功率、温度、压力、流量、物位、机械量、成分分析量等）；

（2）确定变送器或传感器，它将会把控制量转换成统一的电信号（mA 或 mV 或 Ω）；

（3）确定模/数转换器，它将会把电信号转换成微机能识别的数字信号；

（4）微机控制装置一般都是专门为特定的控制、检测系统而设计制造的，它的程序控制系统是随机配置的，是按控制或检测要求而设计编制的；

（5）确定微机的输出信号及与执行装置之间的接口，一般由操作器、放大器构成；

（6）确定机房及总线的设置，如打印、显示器及常用操作程序等；

（7）微机型继电保护电路系统监控网络是近几年发展起来的新技术，110kV 的变电装置均设置微机型继电保护电路，它的实际电路比继电器继保电路简单得多。

1）变压器保护柜的主要元件是测控装置，如变压器差动保护装置、变压器后备保护装置、非电量保护装置。非电量保护装置的信号来自温度、瓦斯、油分析等传感器经转换器引来的信号；差动保护和后备保护装置的信号来自互感器，这与继电器保护是相同的。

2）线路保护柜的主要元件是线路保护装置和线路测控保护装置，它们的信号来自互感器，同样与继电器保护是相同的。

3）电能计量装置的信号来自互感器。

4）上述三种装置的输出分别经过以太网网关装置接至网络交换机，穿过间隔层引至以太网。也就是说将所有的信号都引到了以太网，以太网说得通俗一点就是计算机通信网络的总线。

5）以太网上连接的主要是主控室的设备，如 GPS（Global Positioning System，全球定位系统）、远动通信装置、操作人员的计算机、并配有打印机、电话，接受远方调度员的指令，工作人员均在计算机上进行操作。

解读电气工程技术疑难问题往往是衡量评价一名电气工程师水平的一个无形的标准，特别是在现场，当疑难问题出现后会有很多方面的人聚集在一起商讨解决办法，以求尽快解决问题恢复生产。作为电气工程师来讲，这时要沉着冷静，仔细分析故障原因，不要急于发表意见，特别是一些重大难题，一定要慎重。因此，对于疑难问题的解决最主要的功夫是要在平时对设备、线路、元件的安装、调试、运行、维护、检修、保养、修理、配件、材料等方面仔细观察，认真总结，以便积累经验。

解决难题要机电分离，强弱分离，主次分离。所谓机电分离是指要将设备中机械的部分与电气部分分开去解决；强弱分离是指电气部分中强电部分与弱电部分分开去解决；主次分离是指主要部分与次要部分分开去解决，主要元件与次要元件分开去解决。然后再用排除

法，把正常的部分排除，最后找到症结。总结一下就是，化整为零，机电分离、强弱分离、主次分离，接口入手，排除正常、各个击破，找到症结。

关于电气工程师应具备的技术方面技能的更多内容，可参考本套丛书的《电气工程及自动化专业技术技能入门与精通》一书以及相关手册。

思 考 题

1. 通过本章的学习，你是怎样认识工程师的？
2. 在成为工程师的道路上你准备怎样发展？
3. 电气工程师技术方面的构架是怎样的？

第九章　电气工程师应具备的管理技术

管理技术方面主要有编制预算或核算及设备计划、编制施工组织设计或方案、组织工程实施及验收、技术管理、安全管理、质量管理、环境管理、进度管理、编制技术文件、掌握熟悉标准规范、领导艺术及组织能力等几方面。

第一节　编制工程项目预算（或核算）及设备计划

一、编制工程项目预算（或核算）

工程项目预算（或核算）是决定工程项目中标、盈亏、成本核算的主要技术文件，除了法定的规定外实践经验仍然是非常重要的因素。其中法定的规定是指国家、部委、地方对工程项目的预算定额，该定额从法律上规定各个工程项目中的最小子项目的基价，包括人工费、材料费、机械费、人工工日及机械台班的费用，并且有相应的各种费用的标准。这个基价和标准是不能逾越的。编制的程序方法主要存在以下几点：

（1）计算工程量。根据标准要求按图样进行计量计算，其中实践经验和识图占很大成份。

（2）套用定额计算直接费用，套用定额时经验也是决定因素。

（3）确定间接费用　主要按法定要求计算。

（4）合计总预算成本。

预算分手工编制和计算机编制两种，其中工程量计算是主要部分。

二、编制设备计划

编制设备计划包括设备、材料、施工用机械仪表仪器等。编制设备计划除按相应的标准外主要有图样、工程进度计划、市场价格等方面因素，一是保证不漏项不多计，二是保证供应，三是价格符合标准要求。因此，除了上述预算的内容外，主要有以下几点：

（1）熟练掌握工程项目的工艺程序和要点。

（2）掌握工程项目进度，达到提前供应。

（3）掌握市场动态，建立市场经济思路。

（4）确保产品质量及其安全系数。

（5）建立法制观念，签定供需合同。

预算与设备计划是紧密相连的，编制时最好是两路并进、同时应由几个人分别进行编制以减少误差。

第二节　编制施工组织设计（方案）

施工组织设计包括设计、安装、调试、检修、修理、技改等方面的组织设计。从实来讲，这个设计或方案就是“纸上谈兵”，就是用文字的形式来讲述这个工程项目实施的全过

程，包括工程概况、采用标准规范、总体布置计划/方案、工艺程序及过程（其中包括重要、关键、贵重设备的安装、调试、试运行的详细工艺）、质量计划及措施、进度计划及措施、安全目标及措施、环保目标及措施、预算及投资计划、管理机构及其人员设置、机具计划及管理措施、人力计划及管理措施、物资供应计划及物资管理、安全/质量/环保应急预案、安全交底和技术交底、工程平面布置及道路、交通、通信、电力、水、气、等供应等，同时还包括吃住行等方面的内容，最后应有工程项目经济技术分析及目标等。

施工组织设计是投标最主要的技术文件，是全过程叙述工程的实施、管理、人员、装备、物资以及后勤等表现承包单位综合实力的技术文件，它与工程预算一起组成标书。

施工组织设计的编制是以实践经验为主的，编制时应注意以下几点：

一、编制依据

（1）已经批准的计划任务书、初步设计及有关的施工图样图册等。

（2）国家或上级已下达的计划文件、本工程的规划容量、规划建设年限以及对本工程投产或使用的要求、指示、文件等。

（3）工程概算投资额和主要工程量。

（4）设备及主要材料清册。

（5）设备技术文件及新产品工艺性试验资料。

（6）本工程与有关单位已签定的协议、合同。

（7）现场情况调查资料。

（8）国家或部委有关的质量标准、操作规程、技术定额及工程的规程、规范及标准等。

二、现场情况调查资料

在编制施工组织设计前要对施工现场进行调查，充分收集所需要的资料，为编制施工组织设计提供可靠依据，并为开工做好准备。

（1）选址报告及厂区测量报告；有关厂区的水文、地质、地震、气象、地理环境等资料。

（2）与本工程相关的工程（如土建、道路交通等）和本工程覆盖区域内的其他工程的安排和进展情况。

（3）建设单位、其他主辅施工单位的基本情况及施工任务的划分，设计单位及其施工图交付进度，设备制造厂家及其主要设备到货进度等。

（4）施工地区的运输条件及能力、当地材料的质量、产量及供应方式；当地施工企业和制造加工企业可能提供的服务能力及形式；施工区域内的地形、地物、水源、电源、通信方式；当地生活物资供应情况、居住情况以及文化娱乐状况等。

（5）主要材料、施工机具的技术资料和供货状况、到货日期。

（6）与之类似工程的施工方案及工程总结资料，其他有关工程本身的资料及文件。

三、编制原则

（1）符合国家基本建设的政策法令、计划建设期限和经济技术指标的要求。

（2）遵循基本建设程序和施工程序，对技术资料不全不明、图样不全或未经会审、违反基建程序的工程不许开工。

（3）遵守国家规定的建设项目竣工和交付使用期限，总工期较长的大型建设项目，应根据生产需要，安排分期、分批配套投产进度，尽早形成生产能力。

（4）根据工程特点和施工条件，科学安排施工程序、进行工程排队、尽量做到先地下、后地上，先三通一平（水通、电通、道路通、场地平）、后施工，并为安全生产创造条件。要考虑其他专业施工配合和协调关系。

（5）采用先进的安装技术，提高工厂化、装配化和机械化程度，提高劳动生产率，确保工程质量。

（6）加强综合平衡，改善劳动组织，努力降低劳动力高峰率，有效地组织二、三线工作，搞好后勤保障，做到连续均衡施工。

（7）施工现场布置紧凑合理，方便施工，符合安全及防火要求，提高场地利用率，力求不占农田或尽可能少占农田。

（8）实行全面质量管理，重视质量薄弱环节，提高安装工艺水平，保证工程质量。

（9）采用有针对性的措施和全面安全管理，保证施工安全，实现文明施工。

（10）推行确实有效的节约材料的技术措施。

四、编制程序

（1）熟悉图样，审查图样，掌握重要设备和关键部位，了解主要工程内容。

（2）进行现场调查，写出现场调查报告。

（3）选择并确定施工方案和安装方法。

（4）计算工作量，编制施工进度计划、劳动力需用量计划、施工设备、机具需要量计划、材料供应计划、设备进厂进度表等。编制安全、质量、环境等方面的计划及各类计划的保证措施。

（5）编制材料、构件、盘柜加工预制计划，并绘制加工图。

（6）根据材料供应计划和设备进厂进度表，编制运输计划。

（7）编制施工准备工作计划。

（8）确定并布置施工平面图，确定临时供水、供电、供热管线，确定临时生产和生活设施，确定大件运输道路和卸车地点，确定库房、办公室、休息室的位置等。

（9）计算经济技术指标。

（10）审批。一般应由编写人签字、总工程师批准、工程负责人审核。

第三节　组织工程实施及验收

组织工程实施及验收是管理技术的基本内容，是保证工程质量、安全、环保、工期的主要内容。组织工程实施主要包括工程项目的子项目、分项目或工程项目分部工程、子分部工程、分项工程的分配，项目经理的确定，工期要求、质量等级、安全指标、环保要求、技术交底、工艺过程控制及检测，原材料供应与管理、机械设备保障、经济保障及奖励办法等。

（1）工程项目分配合理，必要时应内部招标。

（2）项目经理的确定是重中之重，要以能力、技术、管理、交往能力各方面综合考虑选定，要注意其长项和阅历、经验等。

（3）工期要求是硬指标，只能提前，不能错后。

（4）质量等级是硬指标，不能有丝毫差错。

（5）安全指标是硬任务，要确保安全，并且要注入资金和设备，保证安全生产。

（6）环保方面不得违反当地环保部门的要求。

（7）技术交底必须明确且有可操作性。

（8）工艺过程控制及检测是组织工程实施的中心环节，是保证质量、安全、环境、工期的主要手段，不得有丝毫的放松。对于施工人员的资格要进行确认。

（9）原材料供应与管理是保证质量和工期的重要条件，材料供应必须超前进度计划，原材料测试检验和保管是保证其质量的手段，一般条件下不应发生停工待料、质量欠佳和浪费现象。

（10）施工用的机械设备要求同（9）。

（11）经济保障及奖励办法应落到实处，不得图有虚名。

（12）上述11条保证后，验收合格会水到渠成。

工程实施要以人、机、料、法、环、安全六个环节入手进行管理，其人是首位，项目经理选定后，施工人员的资格、技术能力、职业道德是最关键因素。

（1）组织所有施工人员学习，并组织相关人员重点学习。例如，班组长、技术骨干工人要重点学习施工工艺方法和质量计划、技术交底、安全交底及其控制部分；材料员、采购员要重点学习机具计划、物资供应计划、物资管理部分；预算人员要重点学习预算部分；工长、班长、项目经理要重点学习工期、进度计划、人力计划部分；现场技术人员要重点学习上述所有内容；安全管理人员要重点学习安全管理方案、环境管理方案、技术交底、安全交底、应急预案等内容，并对相关人员提出要求，落实其职责，确定考核办法。凡对要求、职责、考核办法不能接受的人员应劝其另谋工作岗位。

（2）进入工地后，班长、工长、项目经理、材料员、技术人员、安全管理人员，应颁布相关纪律及要求，进行分工，组织自己的人员进入工作角色，恪尽职守，认真负责，按质、按量完成工作，有问题及时向负责人反映。

（3）项目经理或负责人每天开工前应向相关人员提出工作重点、时间要求、质量要求、安全注意事项：班长、工长、材料员、技术人员、安全管理人员每天下班后应向项目经理或负责人汇报当天的工作情况，有无质量、安全、材料、设备、机具、人力、技术或外界关系及生活方面的问题，并与进度计划、材料计划、人力计划、机具计划进行比较，作出相应措施，凡是未按计划完成（除不可抗力外）或违背施工组织设计的问题应在第二天补齐完成，不得拖延。

（4）开工后的每周末、月末、季末或年末（指大型跨年工程）工程负责人或项目经理应召集相关人员举行沟通调度会议，检查施工组织设计执行情况，提出存在问题和具体困难，制定相应的措施，修订或调整计划，调剂人力、物力及财力，解决外界关系及生活方面的问题，并责成责任人必须在下周、下月、下季完成，不得延误。同时应表彰在本周、本月、本季或本年工作业绩突出的人员，并把表彰重点放在现场作业人员和管理人员上。

（5）工程负责人、项目经理、技术管理人员必须现场办公，随时到工地检查指导，发现问题，及时解决并处理计划外或突发事件，并与作业人员同甘共苦。工程负责人及项目经理应协调与兄弟单位、建设单位、监理单位、设计单位、周边相关单位的关系。同时记录、做好施工日志。同时应及时向上级主管部门、政府相关部门反映问题，及时解决。

（6）班组作业人员应及时向工长、技术人员反映过程中的质量、安全、技术、进度、材料、能力、人力、机具等方面存在的问题，并对照施工组织设计进行分析，一般问题当天

解决，特殊问题尽力在当周解决。

（7）材料员、安全员、质检员、统计员、资料员及现场维修人员、保卫人员应及时向项目经理反映过程中存在的质量、安全、技术、进度、材料、人力、机具、能源消耗、环境保护、道路交通、水电能源、职工生活等方面的问题，并对照施工组织设计进行分析，一般问题当天解决，特殊问题当周解决。

（8）遇有天气恶劣、意外事情应停工，组织施工人员学习相关施工技术；遇有突发紧急质量、安全、环境事故时应启动应急预案。

（9）全体施工人员应同心协力、团结一致、严格执行施工组织设计及相关规定，顺利完成工程安装任务。其中工程负责人、项目经理、技术管理人员的表率作用尤为重要。

第四节　安 全 管 理

安全管理是一个“网络”工程，应建立一个从下而上的管理网络并有相应的安全技术措施和有安全意识的工程队伍，否则安全是一句空话。生产安全不是管出来的，是人们从基层细小部位一节一节做出来的，只有全员都注意了安全并按安全管理的规定要求去做，才能营造一个安全生产的环境，才能保证安全生产。防微杜渐用在这里是再好不过的指导思想，从细节、微小部分入手才是保证安全的基本措施，蚂蚁虽小，但可以毁掉一座大坝，因此，安全管理主要应做到以下几个方面。

（1）通过教育培训等方式提高全员的安全意识和安全技术，时刻不忘安全生产，人人做到安全在心中。

（2）通过教育培训等方式提高全员的技术技能水平，严格执行安全操作规程，杜绝违章作业。

（3）设置安全防范装置及措施、营造安全生产环境。

（4）重用安全管理人员，做到勤检查、勤监护、勤宣传、勤教育，必要时要全程监督。

（5）建立从下而上的安全体系，及时沟通信息，人人举报不安全因素，及时纠正处理。

（6）安全技术、安全管理、安全措施齐抓并进，不放过任何漏洞。

（7）关心群众的健康状况和情绪、合理安排作业内容。

（8）关注天气预报、合理安排生产。

（9）做好后勤工作，解除职工后顾之忧。

（10）建立相应的奖励制度，并予以实施。

现场安全管理是一项细致的工作，其中安全员是安全管理的核心，在任用安全员时从资格条件上要注意以下几点：

（1）必须实践经验丰富，技术技能较为全面，年龄应稍大且在群众中有一定的威信，自己愿意从事安全管理工作。

（2）责任感强、对工作认真负责，兢兢业业，一丝不苟。

（3）不辞劳苦、任劳任怨、风雨无阻、坚守岗位。

（4）喜欢钻研新技术、新工艺，能在安全工作管理上出新招。

（5）具备良好的职业道德和崇高的敬业精神。

安全是生产力，也是重中之重，作为工程师，必须将其放于工作首位，有些人往往是由

于在安全管理上的疏忽及怕增加工程成本而导致惨败的。

第五节 质 量 管 理

质量管理同样是一个“网络”工程，必须建立一个由下而上的质量管理网络并有相应的技术措施和有质量意识的工程团队，否则质量是一句空话。产品质量不是管出来的，是人们从基本的一道一道工序干出来的，只有全员都注重了质量并按质量标准要求去做，才能营造一个优良产品的生产环境，才能保证产品质量。防微杜渐，确确实实，是质量管理的一个好办法，只有从细节、微小部位入手才是保证质量的根本措施，因为任何复杂的事物都是由简单、细小的事物组成的。质量管理主要应做到以下几个方面。

（1）通过教育培训等方式提高全员的质量意识，时时刻刻不忘保证质量，人人做到质量在手中。

（2）通过教育培训技能比赛等形式提高全员的技术技能水平，严格操作规程，杜绝违章操作。

（3）设置相应的质量检测仪器、仪表及工具，做到一道工序一检测，有误必究，有误必改。

（4）重用质量管理人员和检测人员，做到勤检、勤测、勤纠，不放过每道工序或环节。

（5）建立从下而上的质量体系，及时沟通信息，人人为质量负责，及时纠正和处理不合格项。

（6）操作技术技能、质量管理、保证质量措施齐抓并进，不放过任何漏洞。

（7）掌握作业人员技术技能动态，合理安排作业内容、发挥作业人员的长项。

（8）及时公布质量标准、质量要求、质量计划，让涉及到工程的所有人员心中有数，做好设备、原材料检验工作，把好进货关。

（9）做好后勤工作，解除职工后顾之忧。

（10）建立相应的奖励制度，并予以实施。

现场质量检查员，在任用时在资格条件上注意以下几点：

（1）实践经验丰富，技术技能娴熟全面，年龄稍大且具有一定群众基础和威信，本人愿意从事质检工作。

（2）对工作认真负责、兢兢业业，责任感强。

（3）不辞辛苦、任劳任怨、坚守岗位。

（4）喜欢钻研新技术、新工艺，能在质量控制、工艺控制、新材料使用上出新招。

（5）具有良好的职业道德和崇高的敬业精神。

（6）熟练掌握质量标准及相关条例、规范。

（7）具备相应的管理能力和知识。

第六节 进 度 管 理

工程进度计划是依据工程量和劳动定额按照日、月、年排定的，而工程进度计划要受到天气条件、原材料供应、人力资源、地理环境等不确定因素的影响，管理上比质量、安全管

理复杂的多。在进度管理上要注意以下几点：

（1）编制进度计划时要综合考虑工期要求、天气条件、地理环境、原材料供应、人力资源和外部条件等因素，要留有充分余地。

（2）合理正确使用劳动定额，充分考虑人的最大限度和最小限度的劳动强度。

（3）计算工程量时应由实践经验丰富的人进行计算，做到不漏项，不多计，充分利用规范的规定，对不利因素应合理计入，争取最大限度。

（4）实施时的项目分配必须着重考虑项目经理的特长，动用精兵强将，发挥每个人的专长，扬长避短，才能百战百胜。

（5）对于工程机械的利用要重点考虑，能利用机械的要尽量利用机械，不能利用的再考虑人力，同时要保证机械的正常维护保养。

（6）开工后各分项工程要以日计进度，每 10 天一小结，当进度滞后时必须在下一个 10 日内补齐；每月一大结，当进度滞后时必须在下一个月内补齐。同时分析滞后原因，加强相应的工作。

（7）工期滞后时要考虑增加作业时间、增加作业人数或班次、改变作业方式等方法以便追赶进度，追赶进度时必须加强安全管理、质量管理方面的工作，不得出现漏洞，同时应加强各方面的工作。

（8）加强物资供应工作，紧缺物资应多渠道进货。原材料、设备应按计划到货才能保证进度，当出现滞后时应及时安排其他项目，避免停工待料。加强原材料，设备到货后的检验工作，避免出现假冒伪劣产品，并做好记录，保存证据、必要时要索赔。

（9）受到天气、环境或其他因素影响进度时要安排室内作业，比如在夏季晴天安排室外作业，雨天安排室内作业；冬季 11～16 点安排室外作业，雪天安排室内作业，要充分考虑人的因素。

（10）做好动员和鼓动工作，全员同心协力，保证工期。管理人员要有表率作用。

第七节　环 境 管 理

环境管理必须遵守当地的相关要求及规定并与其管理部门沟通，按要求做好环保工作，同时应做到以下几点：

（1）按企业环境管理体系建立项目环境监控分支体系，不断反馈监控信息，采取整改措施，保护环境。

（2）施工现场泥浆和污水未经处理不得直接排入城市排水设施和河流、湖泊、池塘。处理方案应经当地环保部门审核批准实施。

（3）除有符合规定的装置外，不得在施工现场熔化沥青和焚烧油毡、油漆，亦不得焚烧其他可产生有毒有害烟尘和恶臭气味的废弃物，禁止将有毒有害废弃物作土方回填。

（4）安装垃圾、渣土、废料、弃料应在指定地点分类堆放，每日进行清理。高空施工的垃圾及废弃物应采用密闭式串筒或其他措施清理搬运。装载建筑材料、垃圾或渣土的车辆，应采取防止尘土飞扬、洒落或流溢的有效措施。施工现场应根据需要设置机动车辆冲洗设施，冲洗污水应进行处理。

（5）在居民和单位密集区域进行爆破、打桩使用安装机具喷漆、设置柴油发电机组、

大型设备吊装、安装等施工作业前，项目经理部应按规定程序申请并获得批准，还应将作业计划、影响范围、程度及有关措施等情况，向受影响范围的居民和单位通报说明，取得协作和配合；对施工机械的噪声与振动扰民，应采取相应措施予以控制。

（6）经过施工现场的地下管线，应由建设单位在施工前通知企业，标出位置，加以保护。施工时发现文物、古迹、爆炸物、电缆等，应当停止施工，保护好现场，及时向有关部门报告，按照有关规定处理后方可继续施工。

（7）施工中需要停水、停电、封路而影响环境时，必须经有关部门批准，事先告示。在行人、车辆通行的地方施工，应当设置沟、井、坎、穴覆盖物和标志。

（8）温暖季节宜对施工现场进行绿化布置。

（9）与当地环境检测部门建立沟通渠道，自觉接受检查和测试，并采取相应措施减小、清除对环境的污染。

（10）建立检查制度，全天候对环境进行检查，及时发现隐患和环境因素并制定相应措施。

第八节 编制工程技术文件

工程师在工作过程中一项主要工作就是编制工程技术文件，除了工程预算书和施工组织设计（方案）外还有很多技术文件是工程师编制的。工程技术文件的编制是工程师实践经验、技术技能、管理经验、综合素质、文字能力的具体展现，是工程师向前发展的必经之路，每个工程师必须注重这方面的锻炼。

1. 工艺技术方面

（1）分部工程/分项工程安装调试工艺；

（2）检修工艺及技术要求（包括设备、线路、自动装置等）；

（3）修理工艺及技术要求（包括设备、线路、自动装置等）；

（4）开关柜制作工艺及技术要求；

（5）设备吊装工艺及技术要求；

（6）机械设备安装工艺及要点；

（7）质量通病预防办法及技术措施；

（8）设备、原材料检验试验方法；

（9）操作规程及实施办法；

（10）故障处理条例及办法；

（11）分部/分项工程技术交底；

（12）大件运输吊装方案；

（13）特殊工艺过程实施办法；

（14）冬雨季施工技术措施；

（15）特殊场所施工技术措施；

（16）工艺纪律及禁忌条例；

（17）电气设备及自动装置运行技术规程；

（18）企业工程技术标准等。

2. 安全管理方面

（1）分项工程安全操作规程；
（2）检修工程安全操作规程；
（3）修理电器安全操作规程；
（4）设备吊装安全操作规程；
（5）机械设备安装安全操作规程；
（6）故障处理安全操作规程；
（7）分部/分项工程安全交底；
（8）冬/雨季施工安全技术措施；
（9）特殊场所施工安全技术措施；
（10）安全管理方案；
（11）项目工程安全保证计划；
（12）专项安全施工组织设计；
（13）安全管理体系运行规程；
（14）安全用具管理办法；
（15）安全员岗位责任制及实施办法；
（16）安全事故案例分析报告；
（17）电气设备及自动装置安全运行规程；
（18）安全管理条例，等。

3. 质量管理方面

（1）工程项目质量保证计划；
（2）质量控制手册；
（3）分部/分项工程质量保证措施；
（4）检修工程质量保证措施；
（5）修理工程质量保证措施；
（6）关键过程质量要求及控制方法；
（7）特殊过程质量要求及控制方法；
（8）隐蔽工程质量要求及控制方法；
（9）贵重设备安装质量要求及控制方法；
（10）质量管理方案；
（11）质量事故案例分析报告；
（12）质量检验检测仪表及器具管理办法；
（13）质检员岗位责任制及实施办法；
（14）质量事故处理规程；
（15）安全事故处理规程；
（16）质量不合格整改细则。

4. 其他方面

（1）质量管理体系相关文件；
（2）安全管理体系相关文件；
（3）环境管理体系相关文件；

（4）安全事故应急预案；
（5）质量事故应急预案；
（6）突发事件/紧急情况应急预案；
（7）工程伤亡事故应急预案；
（8）物资供应计划及物资管理办法；
（9）施工用机械设备计划及管理办法；
（10）人力计划及管理办法；
（11）管理人员岗位责任制及实施办法；
（12）工程进度计划及实施办法；
（13）技改方案及实施办法；
（14）环境事故紧急预案；
（15）施工人员岗位责任制及实施办法；
（16）标书编制规程；
（17）企业技术发展纲要（细则）；
（18）奖励/处罚细则，等。

第九节 熟练掌握电气工程技术标准、规程、规范

电气工程及自动化工程涉及门类广、范围大，其技术标准、规程、规范繁多，电气工程师须熟练掌握常用部分，主要有：

（1）电气装置安装工程施工及验收规范

1）GBJ147—1990 电气装置安装工程高压电器施工及验收规范

2）GBJ148—1990 电气装置安装工程电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范

3）GBJ149—1990 电气装置安装工程母线装置施工及验收规范

4）GB50168—2006 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范

5）GB50169—2006 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范

6）GB50170—1992 电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范

7）GB50171—1992 电气装置安装工程盘、柜及二次回路结线施工及验收规范

8）GB50172—1992 电气装置安装工程蓄电池施工及验收规范

9）GB50173—1992 电气装置安装工程35kV及以下架空电力线路施工及验收规范

10）GB50182—1993 电气装置安装工程电梯电气装置施工及验收规范

11）GB50254—1996 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范

12）GB50255—1996 电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范

13）GB50256—1996 电气装置安装工程起重机电气装置施工及验收规范

14）GB50257—1996 电气装置安装工程爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范

15）GB50303—2002 建筑电气工程施工质量验收规范

16）GB50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

17）GB50310—2002 电梯工程施工质量验收规范

（2）GB50093—2002　自动化仪表工程施工及验收规范
（3）GB50312—2007　综合布线系统工程验收规范
（4）GB50198—1994　民用闭路监视电视系统工程技术规范
（5）GB50339—2003　智能建筑工程质量验收规范
（6）JGJ46—2005　施工现场临时用电安全技术规范
（7）GBJ233—1990　110—500kV 架空电力线路施工及验收规范
（8）GB50194—1993　建设工程施工现场供用电安全规范
（9）GB50252—1994　工业安装工程质量检验评定统一标准
（10）GB50300—2001　建筑工程施工质量验收统一标准
（11）GB7588—2003　电梯制造与安装安全规范
（12）GB10059/T—1997　电梯试验方法
（13）GB50200—1994　有线电视系统工程技术规范
（14）GB/T50326—2006　建设工程项目管理规范
（15）GB50231—1998　机械设备安装工程施工及验收通用规范
（16）GB/T50328—2001　建设工程文件归档整理规范
（17）GB6988　电气制图及图形符号
（18）GB50166—2007　火灾自动报警系统施工及验收规范
（19）全国通用电气装置标准图集
（20）建筑电气安装工程图集（水利电力出版社出版，吕光大主编）
（21）安装工人技术等级标准（建筑工业出版社出版）
（22）自动控制安装图册（化学工业出版社出版）
（23）各部、委有关电气工程（包括弱电工程）的施工验收规范、设计规定及标准等
（24）DL/T5161.1～DL/T5161.17—2002 电气装置安装工程质量检验及评定规程
（25）自控系统成套设备选型样本
（26）JGJ33—2001 建筑机械使用安全技术规程
（27）常用高低电器手册、产品样本、安装使用说明书等
（28）DL5009 电力建设安全工作规程
（29）《电力建设质量等级评定标准》
（30）（全国统一安装工程综合基价》GYD202—2000 或省市综合基价
（31）《全国统一安装工程预算定额河北省单位估价表》（1998 年）
（32）《全国统一建筑安装劳动定额》（1988 年）（亟待修订）
（33）GY/T106—1999 有线电视广播系统技术规范
（34）GY/T121—1995 有线电视系统测量方法
（35）YBJ—1998 计算机设备安装与调试工程施工及验收规范
（36）GBJ131—1990 自动化仪表安装工程质量检验评定标准
（37）GB50500—2003 建设工程工程量清单计价规范等。

同时应关注标准、规范、规程的变更及修订，及时拿到最新版本，要以最新版本为准。

第十节 领导艺术及组织能力

领导艺术及组织能力是人的综合素质的体现，是实践经验、理论知识、职业道德、人文理念、法律意识、伦理道德的集合。做为工程师应具备相应的领导艺术及组织能力，这对保证工程质量、安全、进度、环境、创建和谐施工环境氛围、促进团队建设有着决定的作用。

一名大学生经过几年的实践锻炼，特别是有了工程师职称以后，一般要担负一定的领导职务，有了职务以后，就要全心全力去工作，去尽自己的责任，不辜负老师、同学、上级领导对自己的信任，并时刻牢记，通过这个机会要学会领导艺术。

担任任何一个领导职务，无论职位高低、权力大小首先要以身做则，事事冲在前面，身先士卒，从严管理；二是要学会用人，给每个人机会，让他们去展示自己的才华；三是要敢于承担责任，有了问题不能推三卸四；四是不怕属下超过自己，要甘当人梯；五是学会用人的优点和长处，缺点或短处由规章制度或道德法律来约束；六是要创造条件发挥团队精神，不能过多地显示自己；七是要关心属下的生活和学习，体察民情民意，积极向上级反映；八是有条件时要为属下争取利益和权利；九是要锻炼自己的口才和交往能力、组织协调能力，使其有说服力和信服力，同时不放松专业和技能的锻炼；十是激流勇退，推出新人，让别人也得到锻炼的机会。而在当今的大好时代里，人们，特别是刚刚步入社会的大学生们，对权力更为钟情，这也是正常的，最关键是我们怎样去对待它，怎样去运用它。我们在《怎样度过大学生活》中介绍了心系家乡父老的成功人士、西北农村科技大学毕业生陈耀祥。陈耀祥在事业上很成功，权力也很大，从政府部门走出来，成了甘肃陇原中天生物工程有限公司成为一位身价几千万的董事长和拥有几亿元企业资产的掌门人，可谓光环四射，权力偌大了。但是他一直致力于回归农村、治理沙漠、发展环保、循环经济，一直忘不了父老乡亲，关注“三农”把陇西的畜牧业、中药材产业做的越来越大，越来越好，成为西北一颗光芒四射的明珠。还有我们非常熟悉的乒坛巨星邓亚萍，平易近人，为人低调，无论在哪个岗位都是兢兢业业，出类拔萃，近日她被任命为北京市团委副书记，但她说，我还是邓亚萍。

因此，我们无论担任什么职务，一定要记住，权力是可遇不可求的为人民服务的平台，一个体现人格的平台，当今权力也是人们非常注重的，同样权力和利益也是紧密相连的。然而权力则是可遇不可求的，是党、国家、政府、人民坚定不移的信任，也是单位、企业广大群众的重托，因此权力是为人民服务、为百姓办事的一个平台。在这个平台上，最重要、最关键、也是最难做到的就是会用人。无论权力大小，无论这个平台的高低，权力的行使及权力的支配总是要面对五花八门的事、形形色色的人及其之间复杂的关系组合，单凭个人的权力和能力是难以圆满完成各项事务的，因此，会用人则成了这个平台上最重要、最关键、最难得也是显示领导者胸怀胆荡、大公无私、德高望重、举贤荐能、领导艺术高超的重要领导能力。古今中外，多少英雄豪杰、能人志士，当他们掌握权力之后，成败均决定在用人上。三国时期，刘备正是由于三顾茅庐启用了诸葛亮，几经征战与曹操、孙权平分秋色、三足鼎立，成就了他的事业。当然刘备的用人还包括对关、张、赵、马、黄等能人战将的重用，并且也成就了他们。刘备除了具有皇族的血统外，利用自己精明的用人思想和笼络人心的手腕才办成了大事。假如，刘备没有三顾茅庐，再加上不会笼络人心，自靠皇族血统、自命不凡，他不会三国鼎力，而诸葛先生可能仍在自家茅庐的睡梦之中，历史将会埋没这个举世无

双的人才。同时曹操孙权也是会用人的高手，从而形成三国鼎立。三国演义的精髓就是用人，罗贯中老先生的用人思想则是每一个领导者应具备的，也是应学习的。世界上所有事情的成败都决定于人，成也在人，败也在人，因此，会用人是权力支配时最重要的一条。

所谓用人有四点是非常重要的，也是应该做到的。一是用人之优点和长处，不要计较其缺点或短处，这些要用规章制度、道德法律去约束。当事情适宜他的优点和长处时就让他去做，并委以重任；当事情不适宜他这种优点和长处时就让他休整、反思、学习、储能，这就是养兵千日，用在一时的道理。二是不要怕下属超过自己，要甘当人梯，小肚鸡肠、嫉贤妒能是领导者的大忌。当你的下属都超过你的时候，也是你最成功的时候，准确地讲，刘备的下属包括诸葛先生及关、张、赵、马、黄等人从能耐上讲都远远的超过了他，这正是疑人不用，用人不疑的道理。三是给下属及所有的人机会，让他们能够去展示他们的才华，从中发现人才，提拔人才，壮大人才队伍，积畜人才力量，为发展、创新奠以基础。四是有条件时要为下属争取利益和权利，让下属知道他们劳动和工作是有价值的，过河拆桥、卸磨杀驴是领导者的大忌。

在这个平台上，领导者要以身做则、身先士卒、冲锋在前，享受在后，象“亮剑”中的李云龙那样，这个团队才是不可战胜的。

在这个平台上，领导者要敢于承担责任，要让下属放开手脚、发挥个人聪明才智，有了问题决不能推三挪四。在实践中，有意或成心把事情弄槽的人绝无仅有，如果出现问题，一是监管不利，二是用错人，三是团队精神出现问题，四是供应上不足，五是外界原因，六是统筹上的错误。

在这个平台上，领导者要会发挥团队精神，要让每个人都能去尽心尽责发挥才干能力，拧成为一根绳而形成合力才是不可战胜的，四分五裂，勾心斗角、嫌贫爱富、尔虞我诈、欺上瞒下、拉帮结派是注定要失败的。

在这个平台上，领导者要关心群众生活，体察民情民意，收集基层意见，及时处理群众反映的问题。要注意群众的衣、食、住、行、子女上学就业、结婚生子、配偶状态、家境负担详情等，让群众的心永远是温暖的，强大坚实的群众基础是一个集体不可战胜的基石。

在这个平台上，领导者要谦虚谨慎，平易近人，为人低调；要锻炼自己的口才和交往能力、组织协调能力，使自己更具有说服力和信服力，同时不要放松个人能力的锻炼和提高，向偶像级方向发展，使年轻人敬佩，使同龄人佩服，使高龄人赞同，使同行敬畏，使合作者真诚，使竞争者惧怕，使上级肯定赞扬，使下级服从，做到这一步，你领导的团队则会一往无前、经久不衰、无往不利、战无不胜。

在这个平台上，领导者应选择鼎盛时期，激流勇退，推出新人，像柳传志及其众多伯乐式的领导那样，让年轻有为、品德高尚的人得到迁升和锻炼的机会，并且要扶上马，送一程，做好观察、指导、监督工作，使其沿着前进的道路走得更辉煌，走得更远。

在权力这个为人民服务的平台上，如果达不到上述要求，或者说不会为人民服务、不能为人民服务、不想为人民服务，那么就没有资格登上这个平台，或者就不要再站在这个平台上，而是应该走下平台去从事所学专业的科研工作或工程技术工作，在科学技术的这个展现个人才华的舞台上，创造出顶尖的业绩，直到登上金字塔的塔顶，续写个人辉煌的一生。一但登上权力这个平台上，就要抛下个人的得失，全心全意地去为人民服务，做一个清官，做一名伯乐式的好官，去造福一方热土，培养一批新人，成就能人志士报国、报民的心愿，让

人们永远记住你的英名和业绩，留下一代清官的美名。古有包拯、寇准、刘墉名垂千古，今有焦裕禄、孔繁森、任长霞永驻人心。金杯、银杯不如老百姓的口碑，金奖、银奖不如老百姓的夸奖，这才是至高无上，超群绝伦的境界。

同学们，电气工程师就是这种能文能武的职业，从工程师的定义中也可以清楚地看到这点。因此，要立足于电气工程及自动化专业，要成为一名真正的合格的工程师，在职业生涯的旅程中，要付出很多，一是不怕吃苦，能在工程一线与工人群众打成一片，同甘苦、共奋斗；二是有领导艺术和组成能力，这与你的实践经验是相辅相成的，只有实践经验丰富，能与工人打成一片，人们才信服你，当遇到难题难事时，他们觉得有靠山，这样才有利于你的工作，也有助于领导艺术和组织能力的提高；三是要比别人干得多，要比别人懂得多、要比别人超前一点；四是要谦虚谨慎、戒骄戒躁、博览群书、积累实践经验、永远甘当小学生。

思 考 题

1. 电气工程师管理方面的构架是怎样的?
2. 浅谈一下技术构架与管理构架的关系。
3. 在技术与管理这两个构架里你最喜爱的是什么？为什么？准备怎样去做?
4. 浅谈一下你对领导艺术和组织能力的感悟。
5. 设想一下你要成为一名什么样的电气工程师?

第十章　当你成为工程师以后

同学们，当你们经过几年的实践锻炼、努力拼搏、不断向老师傅学习以及严格要求自己，在电气工程及自动化工程方面已经掌握了一些应具备的技术技能。同时在实践中已与工人师傅交上了朋友，在与他们的交往中也得到了锻炼，并且也取得了很大的成绩。按照国家相关规定，经过申报、考试、考核、评审等一系列程序，一般情况都会顺利得到工程师这个职称，然而这仅仅是在成为一名真正的电气工程师的道路上迈出了的第一步，在今后职业生涯的道路上还有很多专业方面的事情要去做，还有很多技术需要你去掌握，还有很多技术技能方面的难题需要有你去解决。因此，不能停滞不前、不能满足现状，不能自傲自大，不能脱离实践，而是应该乘胜前进，谋求更大的发展。特别是在这当今的大好时代里，天高任鸟飞、海阔凭鱼跃，更是为年轻一代的工程师们提供了一个绝好的平台和机遇，有多少电气工程新技术亟待发展，有多少电气工程新设备等待我们去掌握，有多少新工艺等待我们去推广，有多少新材料等待我们去使用！风力发电、太阳能发电、核能发电、化学能及其他能源发电的开发利用，机械手、机器人技术、传感器技术、微机技术、数据采集技术、信号变换技术、信息处理技术，通信技术、变流技术、变频技术等方面，都有极大的开发领域和应用市场，是年轻的工程师们施展本领的广阔天地。

胡锦涛主席对我国的社会主义初级阶段进行了精辟准确的分析，他说：

我国正处于并将长期处于社会主义初级阶段，生产力发展水平还不高，人均国内生产总值仍居于世界后列，人口多、底子薄、发展不平衡的状况将长期存在。我们想问题、作决策、办事情，一定要坚持从基本国情这个最大的实际出发，既增强工作的紧迫感，以只争朝夕的精神抓住机遇加快各项事业的发展，又充分考虑社会主义现代化建设的长期性和艰巨性，做好长期艰苦奋斗的思想准备，防止和克服急于求成、急功近利的心态和做法，老老实实地艰苦创业，踏踏实实地艰苦奋斗。

胡锦涛《在全党大力弘扬求真务实精神，大兴求真务实之风》（2004 年 1 月 12 日），《十六大以来重要文献选编》（上）第 730 页

可以看到，我们的国家正处于发展阶段，而又赶上了一个大好的时代和机遇，这正是当代大学生报效祖国、报效人民、回报老师、报答父母的绝好时机，我们没有理由、没有资格只去享受先辈们创造的财富和辉煌，而是应该珍惜这个时代，刻苦努力、拼搏向上、学好专业知识、深入实践锻炼，积累经验和能力、接过先辈手中的火炬，尽自己最大的能力和才智去创造更多、更大的成绩。在我们国家的这个时代里，没有战争带来的恐惧，没有贫穷带来的饥饿，只是分工的不同、机遇的不同、能力的不同、待遇的不同；我们不用再躲进防空洞防范外侵者的空袭，更不会再用草根树皮充饥去完成更大的征程，而是想方设法如何把高楼建的更美，怎样把农田的稻米变得更为香甜，怎样把中华民族几千年的文化传遍世界，怎样把更多的飞船送上太空，怎样把自然界的能源送到我们的家园。需要当代大学生们完成的事情太多了，我们没有任何理由而沉迷网络、更没有理由意志消沉、、失去信心，即使是受到一点挫折，遇到一些困难，那只是暂时的，只要你挺起胸膛、大步向前、努力拼搏，这个时

代一定会给你展现才华的机遇，挫折会被你踩在脚下，困难也会悄悄的向后缩去。同学们，让我们接过先辈手中的火炬，踏着先辈的足迹，为了祖国的强盛，为了中华民族立足于世界民族之林的宏伟大业，努力奋斗吧！

在这个大好的时代里，科学技术的自主创新则是科学技术发展的主流，自主创新给当代大学生提供了一个展现才华的平台，科教兴国、人才强国的战略更是使我们欢欣鼓舞，在那造就一批具有国际竞争力的企业的事业中，去努力拼搏，去争创成绩吧！

在这个大好的时代里，我们要构建社会主义和谐社会，就民主法治、公平正义、诚信友爱、充满活力、安定有序、人与自然和谐相处，胡锦涛主席有着精辟绝伦的讲述，这更给当代的大学生们创造了更广阔更美好的发展机遇，铺平了向前发展的道路。即使有困难也是暂时的，只有努力了，拼搏了，就一定会成功的。

胡锦涛主席深情地说：

我们所要建设的社会主义和谐社会，应该是民主法治、公平正义、诚信友爱、充满活力、安定有序、人与自然和谐相处的社会。民主法治，就是社会主义民主得到充分发扬，依法治国基本方略得到切实落实，各方面积极因素得到广泛调动；公平正义，就是社会各方面的利益关系得到妥善协调，人民内部矛盾和其他社会矛盾得到正确处理，社会公平和正义得到切实维护和实现；诚信友爱，就是全社会互帮互助、诚实守信，全体人民平等友爱、融洽相处；充满活力，就是能够使一切有利于社会进步的创造愿望得到尊重，创造活动得到支持，创造才能得到发挥，创造成果得到肯定；安定有序，就是社会组织机制健全，社会管理完善，社会秩序良好，人民群众安居乐业，社会保持安定团结；人与自然和谐相处，就是生产发展，生活富裕，生态良好。社会主义和谐社会的这些基本特征是相互联系、相互作用的，需要在全面建设小康社会的进程中全面把握和体现。

胡锦涛《在省部级主要领导干部提高构建社会主义和谐社会能力专题研讨班上的讲话》（2005 年 2 月 19 日），《十六大以来重要文献选编》（中）第 706 页

必须提高自主创新能力。实现长期持续发展要依靠科技进步和劳动力素质的提高。要深入实施科教兴国战略和人才强国战略，把增强自主创新能力作为科学技术发展的战略基点和调整产业结构、转变增长方式的中心环节，大力提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新能力。

《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》（2005 年 10 月 11 日），《十六大以来重要文献选编》（中）第 1064 页

自主创新能力是国家竞争力的核心，是我国应对未来挑战的重大选择，是统领我国未来科技发展的战略主线，是实现建设创新型国家目标的根本途径。世界科技发展的实践告诉我们：一个国家只有拥有强大的自主创新能力，才能在激烈的国际竞争中把握先机、赢得主动。特别是在关系国民经济命脉和国家安全的关键领域，真正的核心技术、关键技术是买不来的，必须依靠自主创新。要把提高自主创新能力摆在全部科技工作的首位，在若干重要领域掌握一批核心技术，拥有一批自主知识产权，造就一批具有国际竞争力的企业，大幅度提高国家竞争力。

胡锦涛《坚持走中国特色自主创新道路，为建设创新型国家而努力奋斗》（2006 年 1 月 9 日），《十六大以来重要文献选编》（下）第 189 页

前国家主席江泽民曾对电气工程技术分支信息技术有过相当经典的论述，这更加鼓励你

们去努力、去拼搏、去奋斗，去争当一名真正合格的电气工程师。

当今世界，以信息技术为主要标志的科技进步日新月异，高新技术成果向现实生产力的转化越来越快，初见端倪的知识经济预示人类的经济社会生活将发生新的巨大变化。世界各国都在抓紧制定面向新世纪的发展战略，争先抢占科技、产业、经济的制高点。面对这个态势，我们必须顺应潮流，乘势而上。

江泽民《创新的关键在人才》（1998 年 6 月 1 日），《江泽民文选》第 2 卷第 132 页

当今世界的发展趋势表明，信息化对推动经济社会发展具有重大作用，我们必须高度重视并全力推进，以信息化带动工业化，发挥后发优势，争取实现社会生产力的跨越式发展。

江泽民《在新世纪把建设有中国特色社会主义事业继续推向前进》（2000 年 10 月 11 日），《江泽民文选》第 3 卷第 121 页

以信息科技、生命科技为主要标志的现代科学技术的不断发展和产业化，正在对各国综合国力的提高和竞争产生深刻影响，也为我国通过科学技术突破实现跨越式发展提供了机遇。我们必须坚持实施科教兴国战略和可持续发展战略，努力学习、掌握和应用先进科学技术，在技术发展跨越的基础上实现我国社会生产力发展的跨越，不断提高我国的综合国力和国际竞争能力。要使科技进步和创新始终成为建设有中国特色社会主义事业的强大动力，成为中华民族屹立于世界先进民族之林的坚实基础。

江泽民《要鼓励原始性创新》（2001 年 6 月 22 日），《江泽民文选》第 3 卷第 262 页

因此，在成为工程师以后一定要在增强实践经验方面，在继续深入学基础理论方面、在电气工程及自动化科技成果方面，在解决电气工程及自动化技术难题方面继续下功夫、攀高峰、创佳绩、去发展，去取得成果，去取得成就，在人生的职业生涯道路上，在 20 多岁到 40 多岁这一人生的黄金时段，创建更大的业绩，为今后的人生道路奠定雄厚的基础。

第一节　实践经验方面

电气工程及自动化专业是一项实践性非常强的专业，没有投入大量的精力和时间去在实践中磨练，没有经验、没有实践能力，无论是谁，在通往电气工程师的道路上都是注定要失败的。

毛泽东主席对实践经验曾经有过一段精辟绝伦的概括，他说“从某种意义上讲，世界上最聪明、最有才干的是最有实践经验的战士。”（摘自一九六七年十一月十六日《人民日报》转载《文汇报》·要热情支持革命新干部·的按语）

然而，实践经验的获取并非一日之功，也非轻易而举之事，对于年轻的工程师们来讲，实践经验并非垂手可得之事，因此，应有一个正确的认识过程和体会过程，以及一个正确的获取的过程。

关于实践经验方面的具体项目内容可参见本书第三章第四节“继续学习不断完善，向科研型、专家型发展。”

第二节　基础理论方面

各位同学在大学都学过很多电气工程基础理论方面的知识，走上工程师的道路后基本上也应用得很多，但有些知识却是用的很少，特别是从事电气工程及自动化应用技术方面工作

的人更是用的很少。这样往往会使人们有了误解，其实不然。基础理论知识是我们在解决电气技术难题、技术改革、新产品应用等方面的最好的金钥匙。因此，不仅要熟练掌握已学过的基础理论知识，还要学习来自接触过的理论知识，并得其应用到实践中去，只有这样在解决技术难题、开发大型技术项目、新产品应用时才会有更多的思路，才会有更好的方案，才会有更好的效果。

基础理论方面学习的内容很多，特别是在自动控制、信息处理方面常常要用到模糊数学及应用、概率学及应用等，这里仅举几个常用例子供大家参考，并在工作中去体会。

一、概率学

信息处理技术中概率理论应用的较多，主要有贝叶斯决策理论和非监督学习。其中，贝叶斯决策理论在统计意义上能做到错误率最小，但关键是统计参数的获取及其准确度。而非监督学习包含直接方法和间接方法。

（1）直接方法。基于概率密度函数的估计，它常用直方图等方法对样本集的混合概率密度函数产生估计，然后依据这些估计对特征空间进行划分，使每个区域中混合密度呈现单峰，实现对样本的划分。

（2）间接方法　根据样本之间的相似程度进行划分，常用动态聚类法和非迭代分级聚类法两种方法。动态聚类法从选择分类初始核心开始，将其余样本按与已有类别的相似程度归类，在初始划分形成后，又根据使某种准则达到最佳的方式修改已有划分，直至某种准则达到最佳值，或迭代次数已达预定值为止。非迭代分级聚类法每个样本在初始时自成一类，然后按相似程度计算，将最相似的两类合并成一类，依次进行合并，随着合并过程的继续，类别数逐渐减少，类内各样本间的不相似程度增加。计算样本间的相似程度一般采用在特征空间内的距离度量。对有些情况宜采用特殊形式的相似性度量。

二、人工神经网络

人工神经网络包括 Hopfield 模型与联想记忆、前向网络与模式分类器、自适应共振理论、随机神经网络。

三、信息融合技术

信息融合技术即协同利用多源信息，以获得对同一事物或目标的更客观、更本质认识的信息综合处理技术。

复杂、巨型系统问题的庞大和涉及多个相关领域的特点，决定了所要处理的信息形式多样，且十分庞大和复杂，具体表现在如下方面：

1）信息的形式有数据、文字、图形、图像、声音等；

2）存在众多的分布式信息源，大量数据或信息存储在不同地域、不同类型的计算机网络上；

3）不同信息源的信息存储格式、描述形式和详细程度不同；

4）所获得的数据不精确、不完整、不一致、不可靠，甚至相互矛盾；

5）数据迅速变化，数据量迅速增加。

上述特点使信息的获取、处理与综合更加复杂。因此，要分析、估计和校准这些信息，利用这些信息正确反映实际状况，没有高速度、大容量、高精度的信息融合系统是不行的。信息融合的工作十分重要，做得不好将会导致数据富有、但信息贫乏的情况。信息融合技术是解决信息爆炸时代信息量剧增的一种手段。

信息融合技术研究如何加工、联合来自众多信息源的信息，并使不同形式的信息相互补充，为各种模型方法和各领域的专家服务，使其信息量得到最大限度地发挥。按信息抽象程度不同，融合可分为三个层次：原始数据融合、目标级融合和决策级融合。

1）原始数据融合。是在采集到的原始信息层次上进行融合。它的优点是保持了尽可能多的信息，缺点是处理的信息量大，所需的处理时间长，实时性差。

2）目标级融合。属于中间层次，利用从信息源的原始信息中提取的特征信息进行综合分析和处理。其优点在于，实现了可观的信息压缩，有利于实时处理，并且由于所提取的特征直接与决策分析相关，因此融合结果最大限度地给出了决策分析所需的特征信息。

3）决策级信息融合。是在高层次进行的，融合的结果为指挥控制决策提供了依据。决策级融合是三级融合的最终结果，直接面对决策目标，融合结果直接影响决策水平。此外，决策级融合能在一个或几个信息源失效的情况下继续工作，所以具有容错性。在一个系统中，常常是各级融合配合使用。

信息融合技术在对信息进行分析处理时，通常按照如下顺序进行：信息采集→信息辨识→相关处理→融合处理→建立工作信息库。

信息融合的基本功能是相关、估计和识别。信息融合的方法涉及到多方面的理论和技术，如信号处理、估计理论、不确定性理论、模式识别、最优化技术、神经网络和人工智能等，见表 10-1。

表 10-1　信息融合方法

现代方法	人工智能方法	模糊逻辑、产生式规则、神经网络、遗传算法、模糊积分理论
	信息论方法	聚类分析、模板法、熵理论
经典方法	统计方法	贝叶斯估计、经典推理法、DS 证据决策理论、品质因数法
	估计方法	加权平均法、极大似然估计、最小二乘法、卡尔曼滤波

（1）估计技术。包括最大似然估值、卡尔曼滤波，加权最小二乘法和贝叶斯估计法。目前该技术在经济预测领域得到广泛应用，通过将历史数据拟合为线性或非线性方程，进而用来推算未来的经济发展状况。进行估计的计算机程序能依据几千次观测，估计出由几百个变量构成的一个状态矢量。

（2）模糊集理论。应用广义的集合论来确定指定集合所具有的隶属关系。模糊集理论对模糊集及其元素提供了一个集合变换代数算法（如并集、逻辑或等）。模糊集理论已开始用于含有不精确事件判断的分析中。

（3）聚类分析。采用若干方法，根据预先指定的相似标准，把观测分为一些自然组。这些技术对指纹照片或部队单位识别很有用。聚类分析方法基本上不使用统计理论，它把数据分类成特定的分类表。当找不到对观测进行属性指派或分类处理的理论方法时，该方法对属性说明和分析观测数据很有用。

（4）专家系统。是一组计算机程序，试图模拟专家对专业进行决策和推理的能力。知识库包含事实、经验规则和启发性信息，使用观测数据，再根据知识库进行推理。专家系统或知识库系统适于实现较高水平的推理。

（5）熵法。用于融合系统的一种新技术，用于计算与假设有联系的信息内容度量值。它在采用经验或主观概率进行备选假设估计的系统中，有潜在的用途。

（6）模板法。采用一般的数据记录完成复杂关联所需的模式识别，如事件检测和重要

目标识别。通过观察数据与先验模板匹配处理，来确定观测数据是否支持由模板所表征的假设。一个模板可包含参数表、布尔条件、权系数、门限，以及用于描述一个事件、活动或假设条件的其他要素。可以这样认为，模板是知识库的框架概念的初期实现。

（7）多媒体技术。信息融合中的一项重要技术，它使不同形式的信息有机结合在统一的界面中。例如，对某些信息检索要求，既存在一些数据形式的信息，也存在一些图像形式的信息，多媒体技术能使二者很好地结合在单个界面中，使其信息量相互补充。

（8）人机结合技术。在信息融合的过程中，存在许多需要判定的情况，如信息的最终取舍、信息集合的划分和确定。这些问题又凭软件和上述各类信息处理技术是难以解决的，必须充分利用人的判断能力，将人的知识融合在信息融合系统中。

（9）分布式数据库技术。要充分采集能反映所研究对象特征的各种数据，就必须有相应的、从信息源上提取数据的技术。对用户的数据应用要求，应摆脱传统的、要求用户了解存储信息内容结构的关系式查询类型的用户接口，而用分布式数据库管理系统（DBMS），把数据库内容表示成网络型数据单元。在 DBMS 中，对象的查询和组合可分成四种点到点的连接类型，包括单源对单目、单源对多目、多源对单目和多源对多目。

四、人工智能技术

人工智能（Artificial Intelligence，AI）是计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、语言学等多种学科互相渗透而发展起来的一门综合性新学科，用以研究如何制造出人造的智能机器或智能系统来模拟人类智能活动的学科。从计算机角度看，则认为人工智能是研究如何用计算机程序来模拟人类思维活动及产生各种智能行为。

20 世纪 70 年代以来，人工智能被称为世界三大尖端技术之一（空间技术、能源技术、人工智能），也被认为是 21 世纪（基因工程、纳米科学、人工智能）三大尖端技术之一。这是因为近三十年来它获得了迅速的发展，在很多学科领域都获得了广泛应用，并取得了丰硕的成果，人工智能已逐步成为一个独立的分支，无论在理论和实践上都已自成一个系统。

人工智能学科研究的主要内容包括：知识表示、自动推理和搜索方法、机器学习和知识获取、知识处理系统、自然语言理解、计算机视觉、智能机器人、自动程序设计等方面。

人工智能的研究领域包括：

（1）专家系统。是人工智能研究中开展较早、最活跃、成效最多的领域，它是在特定的领域内具有相应的知识和经验的程序系统，应用人工智能技术、模拟人类专家解决问题时的思维过程，来求解领域内的各种问题，达到或接近专家的水平，广泛应用于医疗诊断、地质勘探、石油化工、军事、文化教育等各方面；

（2）机器学习。由知识工程师将有关的知识归纳、整理，并且表示为计算机可以接受、处理的方式输入计算机，或者使计算机本身有获得知识的能力，它可以学习人类已有的知识，并且在实践过程中不断总结、完善；

（3）模式识别。模式识别是研究如何使机器具有感知能力，主要研究视觉模式和听觉模式，如物体、地形、图像、字体（如签字）等的识别；

（4）自然语言理解。计算机如能“听懂”人的语言（如汉语、英语等），便可以直接用口语操作计算机，这将给人们带极大的便利，如计算机能正确理解人类的自然语言输入的信息，并能正确答复（或响应）输入的信息，或使计算机对输入的信息能产生相应的摘要，而且复述输入的内容，以及计算机能把输入的自然语言翻译成要求的另一种语言；

（5）机器人学。机器人是一种能模拟人的行为的机械，对它的研究经历了程序控制机器人、自适应机器人和智能机器人的发展过程；

（6）智能决策支持系统。决策支持系统是属于管理科学的范畴，它与“知识—智能”有着极其密切的关系，将人工智能中特别是智能和知识处理技术应用于决策支持系统，扩大了决策支持系统的应用范围，提高了系统解决问题的能力，这就成为智能决策支持系统；

（7）人工神经网络。人工神经网络是在研究人脑的奥秘中得到启发，试图用大量的处理单元（人工神经元、处理元件、电子元器件等）模仿人脑神经系统工程结构和工作机理，建立起一套完整的理论和技术系统，已经成为人工智能中极其重要的一个研究领域。

五、智能控制技术

智能控制技术包括模糊控制，人工神经元网络非线性控制等。

1. 模糊控制

对一些控制对象，有经验的操作人员进行手动控制，往往可以获得满意的控制效果。而模糊控制就是利用计算机模拟人的思维方式，按照人的操作规则进行控制，也就是利用计算机来实现人的控制经验。

操作人员的控制经验一般是由语言来表达的，这些由语言表达的控制规则具有相当的模糊性，如人工控制水箱水位的经验可以表达为：

1）若水箱无水或水位很低，则开大阀门；

2）若水位和期望水位相差不太大，则关小阀门；

3）若水位接近期望水位，则把阀门关得很小；…

这些经验规则都是用模糊条件语句表达的，其中“很低”、“接近”、“开大”、“关小”、“关得很小”这些表示水位状态和控制阀门动作的概念都是模糊性。模糊数学可以用来描述过程变量和控制作用的这些模糊概念及它们之间的关系，再根据这些模糊关系及每一时刻过程变量的检测值用模糊逻辑推理的方法得出该时刻的控制量。

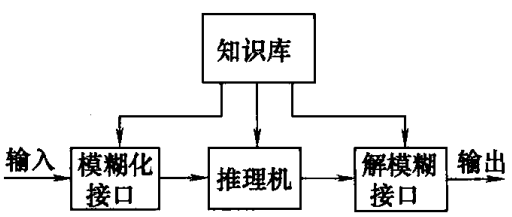


图 10-1　模糊控制器结构

模糊控制系统的结构与一般计算机数字控制系统类似，只是其控制器是模糊控制器（Fuzzy Controller，FC）。FC 利用计算机或 VLSI 模糊芯片实现模糊控制算法，其结构如图 10-1 所示。

（1）模糊化和解模糊接口。计算机仿照人的思维进行模糊控制，而人的大脑中的控制经验是由模糊条件语句构成的模糊控制规则，因此需要把输入信号由精确量转化为模糊量。模糊化首先把输入信号的采样值转化到相应论域上的一个点（量程变换），然后再把它转化为该论域上的一个模糊子集。与模糊化相反，解模糊过程将从推理机得到的模糊控制作用转化为精确的控制量，它是输出论域上的一个点，再通过量程转换转化为输出的物理量值。

（2）知识库（Knowledge Base）。由数据库和规则库组成，存放应用领域方面的知识。

①数据库。所有输入、输出变量所对应的论域以及这些论域上所定义的规则库中所用的全部模糊子集的定义都存放在数据库中。对于离散论域，模糊子集在数据库中存放的是它在各个离散点上的隶属度；对于连续论域，模糊子集在数据库中存放它的隶属函数。在推理过程中，数据库向接口提供相关论域的数据。

②规则库。控制规则是对控制对象进行控制的一个知识模型，不是传统的数学模型，它

们是用模糊条件语句表达的。

（3）推理机（Inference Mechanism）。建立了模糊控制规则，对于每个采样时刻的输入，推理机就可以按照模糊推理的合成规则进行计算从而求得控制作用。

2. 人工神经元网络非线性控制

人工神经元网络非线性控制包括神经元、前馈神经元网络、反馈神经元网络、神经元网络的学习、神经元网络的系统辨识和控制等。其中神经元网络的系统辨识和控制又包括前馈建模、逆建模、反馈误差法等。这些内容很多，限于篇幅请读者参阅《电气工程师手册》第3版（王建华主编，机械工业出版社）及其他文献书籍，这里将神经元网络的几种控制结构列出，供参考。

（1）监督控制。许多控制系统由人来提供反馈控制作用。对于一些特殊任务，实际上很难获得被控对象的解析的数学模型，因此只能设计模拟操作人员作用的拟人控制器。这类控制方式称为监督控制，它可用神经元网络或专家系统来实现。在这里，训练神经元网络类似于学习获得操作人员的前馈网络模型。网络的输入利用从系统传感器得到的反馈信息，输出尽可能接近操作人员的控制作用。

（2）直接逆控制。直接逆控制将对象的逆模型直接与对象串联，为的是使组合系统实现恒等映射。这时网络的作用相当于开环控制器。由于缺乏反馈，这种方法的鲁棒性较差。可以通过在线学习，对逆模型的参数进行在线调整，使鲁棒性局部得到改善。

（3）模型参考控制。如图10-2所示，稳定的参考模型的输出是闭环系统的希望输出，控制目标是使对象输出 $y_p(t)$ 渐近趋近参考模型的输出 $y_m(t)$。

（4）预测控制。如图10-3a所示，网络预测模型用来产生的对象未来的输出送入一个优化程序，算出适当的控制 u，优化的约束条件是对象的动态模型。

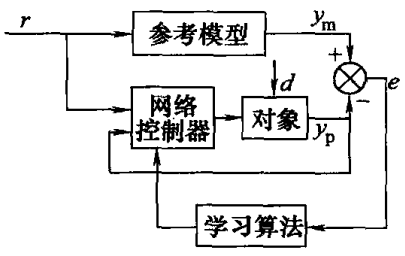


图10-2 非线性系统的模型参考控制结构

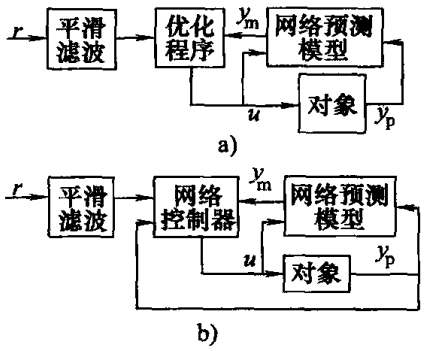


图10-3 基于神经元网络的预测控制

进一步，训练一个网络控制器来产生与优化程序相同的 u。一旦训练完成，优化程序就用固定的网络控制器代替，如图10-3b所示。

六、仿真控制 MATLAB

科学计算应用软件平台 MATLAB（MATrix LABoratory）最早用于矩阵数值计算。随着版本不断更新，MATLAB 已扩充了更多功能，如数值计算，符号运算，图形处理和各种功能强大的工具箱。MATLAB 现已成为几乎所有学科领域中普遍采用的计算、分析、设计以及数学软件系统。

MATLAB 具有以下优点：

1）功能强大，可以方便地处理科学研究和工程实践中各类问题，如矩阵变换及计算、

多项式运算、微积分、线性与非线性方程求解、常微分方程求解、偏微分方程求解、插值与拟合、统计及优化等等；

2）语言简单。由于它是用 C 语言开发的，因此它的程序流控制语句与 C 语言基本相同，初学者很容易掌握；

3）扩充能力强，便于使用者二次开发；

4）丰富的函数库，编程效率高。

仿真控制 MATLAB 是当今控制系统常用的控制技术，主要要点是变量和常量的确定、建立矩阵、进行图形处理、程序设计及交互式的命令行方式工作的 M 文件等。同时 MATLAB 可进行时域分析、根轨迹分析、频域分析等。另外，MATLAB 包含用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包 SimuLink。

MATLAB 能提供控制系统分析综合计算和绘图功能，其常用函数见表 10-2。

表 10-2　控制系统常用函数

函数	含　义	函数	含　义
bode	绘制 Bode 图	residue	计算部分分式展开式
impulse	计算单位冲激响应	rlocfind	计算一组特征根对应的增益
margin	绘制 Bode 图,并给出增益裕量,相位裕量等信息	rlocus	绘制根轨迹曲线
nichols	绘制 Nichols 图	ss	建立状态空间模型
nyquist	绘制 Nyquist 图	step	计算单位阶跃响应
pole	计算系统极点	tf	建立传递函数模型
rank	计算矩阵的秩	zero	计算系统零点

第三节　科技成果转化方面

当前科学技术突飞猛进，电气工程科技成果层出不穷。电气工程师应做为科技成果转化的排头兵和技术能手，以适应时代进步和科学技术发展的需要。

当今电气工程及自动化技术的科技成果均以计算机技术为基础，在高、低压电动机变频起动器、高速 32 位 DSP 与一体化人机界面合一运算控制器、总线技术、工业控制计算机技术、可编程序控制器（PLC）、人工智能技术、网络互感技术以及智能控制上都有很大的突破和发展，并且普及应用在生产和生活当中，这里仅举几个常见例子，供读者参考，并在实践中去体会。而在生产线中应以厂商提供的技术文件为主。

（1）变频器及矢量控制应用技术。以电动机磁场为坐标轴基准方向，通过坐标变换的方法而实现对电动机转矩和磁通的解耦控制，以达到调速控制。在电动机变频无极调速的过程中可分为有速度传感器和无速度传感器的矢量控制。

1）电动机参数自动整定技术。矢量控制需要测定电动机的定子、转子电阻及电感。变频起动器应能自动进行电动机的堵转试验和空载试验，以实现电动机参数的自动整定。

2）断电恢复后自动重新起动技术。在 20s 内断电恢复后，变频起动器能自动快速识别并跟踪当下电动机的转速而恢复正常运行。超过设定时限，变频器自动进入待机状态。如果

电动机被负载拖动仍在旋转甚至反转，变频器能自动识别并跟踪电动机转速并拖动负载到设定频率运行。

3）多级功率单元串联技术，电压等级可达3～11kV，以适用高压电动机变频起动。

（2）能量回馈型高压变频器调速系统，融合PWM整流能量回馈技术、无速度传感器矢量控制技术、IGBT大电流驱动技术，使功率单元串联型高压变频器具有四象限运行方式，使能量在电网和电动机之间双向流动。

（3）高速32位DSP与一体化人机界面合一运算的控制器，可实现远程监控和网络控制，该控制器与功率单元之间采用多通道光纤通信技术，同时采用三次谐波补偿技术提高电源电压利用率，用调制信号预畸变技术，使电压利用率在99%以上。在多级功率单元串联上，采用载波移相技术，使单元输出的基波叠加、谐波相互抵消，使功率单元串联后总输出电压，电流的波形失真小，相近正弦波，以利调频、变频。

（4）总线技术。总线相对于CPU的位置可分为片内总线和片外总线，片外总线相对于主板的位置可分为内部总线、系统总线和外部总线。其中，内部总线是微机内部各芯片与处理器之间的总线，用于芯片一级的互连；系统总线是微机中各插件板与主板之间的总线，用于插件板一级的互连；而外部总线是微机和外部设备、元器件之间的总线，用于设备、元器件一级的互连。总线的连接用到最多的是接口技术，特别是外部总线与外部设备、元器件之间的连接，接口技术是一项非常重要的技术，在本书第八章已经介绍了很多，此处不再赘述。

（5）工业控制计算机技术。具有过程输入/输出功能，可组成灵活多变的控制系统，特别是模块化、标准化使其更具有通用性、开放性。

工业控制计算机技术包括总线技术，可编程序控制器（PLC）、分散型控制系统（DCS）和数控系统（CNC）。其中，DCS系统可构成多种独立的控制系统、分散控制系统、监控和数据采集系统，满足工艺控制系统中的过程控制和信息管理的需求。而现场总线系统为全数字串行、双向通信系统，该系统内测量和控制设备元器件，如传感器、激励器、变送器、控制器可相互连接、监测和控制。可作为过程控制、智能仪表的局部网，并在网上分布控制功能的内嵌功能。

（6）可编程序控制器（PLC）作为一种小巧、灵活的计算机控制装置应用越来越广，是自动控制的发展方面。

（7）人工智能技术。主要包括知识表示、自动推理和搜索方法、知识学习和知识获取、知识处理系统、自然语言理解、计算机视觉、智能机器人、自动程序设计等。

（8）网络互联技术。主要有网桥、路由器、网关等形式。

（9）智能控制器等。

第四节　解决技术难题方面

我们在第二节和第三节中例举了很多实例，这些先进的技术、设备、元器件会应用到生产实践中去，在安装、运行、维护、检修、修理等方面经常会出现一些故障或难题，这就需要工程师们去解决。这些难题的解决，需要开动脑筋，以原理、元器件设置、总线分布、整流逆变电路、限流滤波及制动方面入手，通过化整为零的办法，从元件接口为突破口，一一

测试查找，直到解决问题。解决技术难题，这是工程师永远面对的主题。

这里以 JD-BP37/38（6000～10000V）系列高压变频调速系列产品和 ACS1000 系列变频器为例，说明排除故障的方法。当然技术难题是一个范围很大的课题，这就需要从实践经验、基础理论学习、科技成果转化等方面加强锻炼和实践、开阔眼界、动手动脑，并在实践中去验证理论，用理论去指导实践，特别是设备、元器件的功能作用及其一些参数，应在实践中实测实量，并用示波器观测其波形及其畸变情况，综合现象和数据去分析。

一、变频器故障排除与维修

1. 维护性检查

（1）日常检查。检查运行环境（温度、湿度、尘埃、气体、设备周围有无漏水现象等）；观察变频器运行情况，例如噪声有无异常、温升有无异常、显示屏及仪表指示有无异常等；观察电动机运行情况，例如温升、噪声等。

（2）定期检查、定期维护。用户根据使用环境，可以 3 个月或 6 个月对变频器进行一次定期检查。一般检查内容如下：

1）接线端子螺钉是否松动，用螺钉旋具旋紧；

2）主电路端子是否有接触不良的情况，铜排连线处是否有过热痕迹；

3）主电路电缆、控制电缆有无损伤，尤其是与金属表面接触的表皮是否有割伤的痕迹；

4）电缆鼻子的绝缘包扎带是否已脱落；

5）电路板、风道上的粉尘全面清扫；

6）对电动机进行绝缘测试时，必须将电动机输入电源线从变频器端子 U、V、W 拆下后，单独对电动机进行测试，否则将会造成变频器损坏。

（3）临时检查。在以下情况下要进行临时检查：

1）在日常检查、定期检查发现问题之后；

2）保护跳闸之后；

3）供电系统故障之后；

4）工作环境发生变化之后。

2. 故障判断与处理

（1）故障判断的过程。

1）询问用户变频器的故障现象和查看变频器指示等情况，包括故障发生前后外部环境的变化。例如，电源的异常波动、负载的变化等。

2）根据用户的故障描述，分析可能造成此类故障的原因。

3）打开被维修的设备，确认被损坏的部位，分析维修恢复的可行性。

4）根据被损坏元器件的工作位置，通过阅读电路分析电路工作原理，从中找出元器件损坏的原因，以及一些相关的电子电路。

5）寻找相关的元器件进行替换。

6）在确定所有可能造成故障的原因都排除的情况下，通电进行实验。在做这一步检查的时候，一般要求所有的外部条件都具备，并且不会引起故障的进一步扩大。

7）在检修设备工作正常的情况下，就可以进入系统测试了。

（2）诊断方法。

1）故障树判断法。故障树判断法要求先列出系统或设备可能出现的故障，再将引起每个故障发生的直接原因（包括硬件、环境、人为因素等）用适当的逻辑把它们与故障联系起来，构成一棵故障判断树。判断时按树由下而上逐级检查，直到把故障找出为止。在故障较多时，此法诊断方便快捷。从每个枝的基部开始检查，直到找出故障的性质、原因、部位为止。当找到的一个故障排除后，故障现象仍存在，说明还有另外的故障存在，必须再检查试验，直到故障全部查清为止。

2）人工与自判断结合法。变频器自动判断只能查出故障的性质与部位，而原因不易找出，有时自判断还有误导之嫌，就得人工判断。此时需根据自动判断信息，把可能引起此信息的故障列举出来，再逐个检查疑点，缩小范围，最终查出原因和部位。

3）对比判断法。主要指现象的对比，如切断某一部分电路，更换某一元器件，比较切断与不切断、更换与不更换现象是否一样。如果现象相同说明故障仍然存在，故障原因与原电路、元器件无关；如果故障消失，则说明故障根源出于此电路或元器件。此法常用在同型号的变频器中。

3. 变频器主要电路故障分析和处理

变频器的整体结构主要由主电路、驱动电路、开关电源电路、保护检测电路、通信接口电路、控制电路等组成。

（1）主电路组成。主电路主要由整流电路、限流电路、滤波电路、制动电路、逆变电路组成。

1）整流电路故障。整流电路是一块整流模块，它的作用是把三相（或单相）50Hz、380V（220V）的交流电源通过桥式整流电路整流成脉动直流电。

①整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而开路，导致主电路 PN 电压值下降或无电压值。

②整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而短路，导致变频器输入电源短路，供电电源跳闸，变频器无法接上电源。

2）限流电路故障。限流电路是限流电阻和继电器触点（或晶闸管）相并联的电路。变频器开机瞬间会有一个很大的充电电流，为了保护整流模块，充电电路中串联限流电阻以限制充电电流值。随着充电时间的增长，它的充电电流减少。减少到一定数值后，继电器动作，触点闭合，短接限流电阻。正常运行时，主电路电流流经继电器触点。

①继电器触点氧化、接触不良导致变频器工作时主电路电流部分或全部流经限流电阻，限流电阻被烧毁。

②继电器触点烧毁，不能恢复常开态，导致开机时限流电阻不起作用，过大的充电电流损坏整流模块。

③继电器线圈损坏不能工作，导致变频器工作时主电路电流全部流经限流电阻，限流电阻被烧毁。

④限流电阻烧毁，由①、②原因所致，或者由限流电阻老化损坏所致。

一些变频器限流电路中不用继电器，而用晶闸管等开关器件。晶闸管等开关器件损坏后有开路、短路和晶闸管无触发信号三种情况，其故障类似继电器。

3）滤波电路故障。滤波电路是将整流电路输出的脉动直流电压，滤波为波动较小的直流电压。通常变频器为电压型，由滤波电解电容对整流电路的输出进行平滑。对于 380V 电

源的变频器，是两个电解电容串联后再并联。匀压电阻 R_p、R_n 是为了使直流电压平分加到每个电容上。

①滤波电容老化。其容量低于额定值的85%，致使变频器运行时输出电压低于正常值。

②滤波电容损坏成开路，导致变频器运行时输出电压低于正常值。损坏成短路会导致另一只滤波电容损坏，进而可能损坏限流电路中的继电器、限流电阻，损坏整流模块。

③匀压电阻损坏。匀压电阻损坏后，会由于两个电容受压不均而逐个因超压被损坏。

4）制动电路故障。制动电路工作时，可以使变频器在减速过程中增加电动机的制动转矩，同时吸收制动过程中产生的泵升电压，使主电路的直流电压不至于过高。

制动电路的故障有：制动控制管损坏，制动控制管损坏成开路，失去制动功能；制动控制管损坏成短路，制动电路始终处于工作状态，制动电阻会损坏。同时增加整流模块的负荷，整流模块易老化，甚至损坏。

5）逆变电路故障。逆变电路的基本作用是在驱动信号的控制下，将直流电源转换成频率和电压可以任意调节的交流电源，即变频器的输出电源。它有6个开关器件（如GTR、IGBT），组成三相桥式逆变电路。这些开关器件都做成模块形式，通常有同一桥臂上、下两个开关器件组成一个模块，或6个开关器件组成一个模块。

逆变电路故障：6个开关器件中的一个或一个以上损坏，造成输出电压抖动、断相或无输出现象。同一桥臂上下两个开关器件同时损坏短路（主电路短路），造成限流电路的继电器或晶闸管、整流模块损坏。损坏原因是负载电流过大，主电路直流电压过高，而过电流保护和过电压保护又未起到保护作用；驱动信号不正常，出现同一桥臂上下两个开关器件同时导通，逆变模块老化等。同时，已有许多小功率变频器采用集成功率模块或智能功率模块。智能功率模块内部高度集成了整流模块、限流电路中的晶闸管、逆变模块、驱动电路、保护电路及各种传感器。它的优点是：使变频器外围电路减少，只有一块功率模块，安装方便、体积减小。缺点是：智能模块中只要其中的一个部件损坏，整个模块就要更换，会导致修理费用增加或无修理价值。

（2）主电路常见故障、原因和处理方法。

1）变频器无显示、母线端子之间无直流电压、高压指示灯不亮且属主电路无输出直流电压。

主电路无输出直流电压的原因由限流电阻损坏开路造成，使滤波电路无脉动直流电压输入。

主电路无输出直流电压的第二个原因是整流模块损坏，整流电路无脉动直流电压输出。这时不能简单地更换整流模块，还必须进一步查找整流模块损坏的原因。整流模块损坏的原因可能是：自身老化自然损坏；主电路有短路现象损坏整流模块。

判断方法：首先换下整流模块，用万用表检测主电路，若主电路无短路现象则说明整流模块是自然损坏，更换新器件即可。

若主电路有短路现象，又要检测出是哪一个元器件引起短路的，则可能是制动电路中的制动电阻和制动控制管均短路、滤波电容短路、逆变模块短路等。通过检测具体落实主电路短路的原因，同时还要查找出造成这些元器件短路的原因。

①限流电阻损坏开路，整流电路的脉动直流电压无法送到滤波电路，使主电路无直流电压输出。检查限流电路中的继电器或晶闸管是否已损坏，处理之。更换限流电阻。

②逆变模块中至少有一个桥臂上下两个开关器件短路，造成主电路短路而烧毁整流模块。用户检查电动机是否已损坏，电动机是否有过载或堵转现象，处理之，检查驱动信号是否正常，处理之。更换逆变模块和整流模块。

③制动电路中控制器件损坏短路和制动电阻短路，造成主电路短路而烧毁整流模块。检查制动控制信号是否正常，处理之。更换制动控制器件、制动电阻和整流模块。

④滤波电容损坏短路，造成主电路短路而烧毁整流模块。检查匀压电阻是否正常，处理之。更换滤波电容和整流模块。

⑤整流模块老化损坏，更换整流模块。

2）变频器输出电压偏低。输出电压偏低是因为主电路直流电压低于正常值，另外还有可能由逆变模块老化、驱动信号幅值较低造成。首先，用万用表测量直流高压值，确定是两个原因中的哪一个原因。

整流模块有一个以上整流二极管损坏，整流电路缺相整流，输出的脉动直流电压低于正常值，使主电路直流电压低于正常值，造成变频器输出电压偏低。

措施：更换整流模块。

①滤波电容老化，容量下降。在带动电动机运行过程中，充放电量不足，造成变频器输出电压偏低。

措施：更换滤波电容。

②逆变模块老化。开关器件在导通状态时有较高的电压降，造成变频器输出电压偏低。

措施：更换逆变模块。

③驱动信号幅值偏低，使逆变模块工作在放大状态，而不是在开关状态，造成变频器输出电压偏低。

措施：检查驱动电路，并处理之。

3）变频器输出电压缺相（电动机出现缺相运行现象）。变频器输出电压缺相，是逆变电路中有一个桥臂不工作所致。

①逆变模块中有一个桥臂损坏，更换逆变模块。

②驱动电路有一组无输出信号，使逆变电路有一个桥臂不工作。

措施：检查处理损坏的一组驱动电路。

4）变频器输出电压波动（电动机抖动运行）。变频器的输出电压值忽大忽小地波动、被驱动的电动机抖动，是由于变频器逆变电路的6个开关器件中，一个或不在同一桥臂上一个以上的开关器件不工作造成的。

①有一个或不在同一桥臂上的一个以上的开关器件损坏开路，要更换逆变模块。

②有一个或不在同一桥臂上一个以上的驱动信号不正常，导致相应的开关器件不工作。

措施：检查驱动电路，并处理之。

5）变频器接上电源后电源跳闸或熔丝熔断是变频器的整流模块损坏短路所致。

措施：分析和处理方法同1.。

二、ACS1000变频器保护功能

1. 可编程故障保护功能

（1）电动机绕组温度保护。激活电动机绕组温度检测功能，可以防止电动机绕组过温。ACS1000系列变频器的标准解决方案提供3路模拟输入用于测量和监视电动机绕组温度。温

度报警和跳闸的极限值可以通过参数设定。

（2）电动机堵转保护。ACS1000 系列变频器监测到电动机堵转后会自动保护。堵转频率和堵转时间的极限可以由用户设定。用户还可以设定是否起动堵转保护功能，以及检测到堵转保护后传动的响应措施是报警还是跳闸。如果下列条件同时满足，保护功能将被激活：输出频率低于设定的堵转频率；传动达到转矩极限，转矩极限值是基本的设置参数，决定传动最大的输出转矩，尽管转矩极限间接地影响电动机堵转保护，但它不认为是电动机堵转参数；上述频率和转矩值维持的时间超过设定的堵转时间极限。

（3）电动机欠载保护。电动机欠载丢失以过程故障显示出来。在这种严重的故障条件下，ACS1000 系列变频器提供欠载保护功能来保护机械设备和生产过程。这项功能检测电动机负载是否在指定的负载曲线之上，用户可以选择 5 种不同的负载曲线。

（4）电动机超速保护。ACS1000 系列变频器监测由 DTC 确定的电动机速度，如果电动机速度超过最大的允许速度（用户可调）将产生跳闸。此外，可以将一个外部电动机超速跳闸输入信号串入跳闸电路，如果外部电动机超速跳闸被激活，变频器也将产生跳闸（低电平有效）。

（5）欠电压保护。为了检测电网电压的损失，需要监测直流母线正负极的电压。如果电压降至额定值的 70% 以下，欠电压报警将被激活，同时激活失电跨越功能（如果允许）。若电压继续降至 65% 以下，将产生欠电压跳闸。

2. 已编程的保护功能

（1）电动机断相保护。断相功能监视电动机电缆的连接状态。在电动机起动过程中尤为重要的是如果检查出电动机有断相，ACS1000 系列变频器将拒绝起动。在正常运行期间，断相功能还能检测电动机的连接状态。为实现该功能，电动机的运行频率必须大于一个最小值。当检测到电动机缺相时将产生跳闸。

（2）过载保护。ACS1000 系列变频器检测电动机电流的 3 相方均根值并和设定的 3 相电流极限值比较。还可以设定每相极限值的起动延时。当检测到过载后，ACS1000 系列变频器将显示报警信息并关闭逆变器停止运行。

（3）过电压保护。通过直流母线正负极电压来检测是否出现直流过电压现象。如果该电压值超过额定值的 130%，将产生过电压跳闸。在变频器已经跳闸的情况下，极少情况能够导致电动机进入自激励模式，造成直流母线电压持续增大。如果出现这种情况，当直流母线电压超过额定值的 135% 时，将产生第二级过电压跳闸，使内部的 6 个 IGCT 同时导通，将电动机绕组有效地旁路掉。这就消除了导致直流母线电压上升的自激电压。为了提供最高的可靠性，在软件和硬件冗余（140%）中都采用了第二级跳闸。

（4）整流模块短路保护。通过监测直流母线电压可以检测整流桥的短路故障。如果发生短路，将产生跳闸并同时断开传动供电电源。

（5）充电故障。在充电过程中要对直流母线电压进行监测。如果经过预设的时间电压还未达到规定值，将产生跳闸。

（6）电源缺相保护。如果中间电路的直流电压脉动超过预设值，变频器将因电源缺相而跳闸。

（7）过电流保护。ACS1000 系列变频器的过电流极限是变频器额定电枢电流的 2.2 倍。如果超过该值将会引起跳闸。

（8）冷却回路。ACS1000 系列变频器实时检测冷却回路的运行状况。一旦有参数如水温、水压或电导率超标，系统将跳闸。另外，冷却循环泵的状态、膨胀容器的水位和辅助风扇的状态均实时被监测。

（9）逆变器短路保护。ACS1000 系列变频器实时检测逆变器的状态，确保没有发生短路。一旦检测到逆变器短路，系统将立刻跳闸。

（10）接地故障保护。系统监测输出滤波器的接地电流，并与两个极限值比较。极限值 1 为逆变器额定电流峰值乘以一个固定系数；极限值 2 是可调节的，并与接地电流的方均根值比较。当接地电流超过两个极限值中的任何一个时，系统将显示相应的报警信息并停止变频器运行。ACS1000 系列变频器检测位于变压器二次侧与电动机之间各部分的接地故障。

（11）操作系统故障保护。微处理器操作系统检测控制软件中的不同功能，如果检测到内部故障将引起跳闸。这些故障显示为“控制软件故障”。在运行过程中如出现任何故障，系统都必须重新启动。

（12）通信故障保护。除测量板之外的所有通信都是通过 DDCS（分布式传动控制系统）实现的。如果其中有一个连接失败，都将引起跳闸。

（13）测量信号丢失保护。在 ADCVI（电压电流的模/数转换器）板上，模拟信号被转换为数字信号。数字信号通过光纤总线系统（PPCC）传输到接口板，这是变频器控制系统的主要接口。为了保证变频器的保护功能正常运行，变频器控制系统实时检测接口板上的通信。如果检测到故障，系统将跳闸。

（14）电池检测。变频器通过施加确定的负载并测量由此引起的电压降对电池进行定期检测。当发现电池的容量不足时，将显示故障信息并执行正常停车或报警。

（15）电动机辨识故障保护。在调试过程中必须进行电动机辨识运行。必须输入进行系统参数辨识的电动机额定数据。如果输入数据不正确，系统参数将无法确定，并产生跳闸。在这种情况下必须输入正确的数据，并重新进行辨识运行。

（16）外部电动机保护跳闸。如果用户使用了一个外部电动机保护继电器，那么它可以连接到 ACS1000 系列变频器的一个预设的保护输入接口。电动机保护输入通过一个动断触点串入跳闸电路。

（17）外部变压器保护跳闸。如果用户使用了一个外部变压器保护继电器，那么它可以连接到 ACS1000 系列变频器的一个预设的保护输入接口。变压器保护输入通过一个动断触点串入跳闸回路。

（18）三相不平衡保护继电器。将可选的三相不平衡保护继电器串入跳闸回路，一旦发生三相不平衡现象，系统会自动跳闸保护。

（19）过程停车保护。过程停车按钮或继电器触点可以连接到 ACS1000 系列变频器的预定义输入接口。在正常运行过程中，过程停车输入触点必须是闭合的。如果过程停车输入触点断开，传动将发出停车命令。停车模式（积分停车、转矩限制停车或自由停车）通过参数来选择。当传动停止后，断开主回路断路器。

（20）外部急停功能。通过外部急停按钮的一个动断触点串入跳闸回路。

（21）自动重起。ACS1000 系列变频器在发生欠电压故障之后可以自动复位。自动重起功能由两个参数激活：一个参数是允许启用自动重起功能；另一个参数是设定欠电压等待时间（0～600s 可调）。如果自动重起功能已经激活，当系统检测到直流电路欠电压时，启动

等待时间。如果在设定的欠电压等待时间内系统恢复供电，则故障自动复位并重新恢复到正常的运行状态。如果在设定的时间内没有恢复供电，变频器将跳闸并断开主电路断路器。

（22）极限值监控。ACS1000 系列变频器可以监视用户选择的信号值，被监视信号的上下限是可编程的。极限值可编程的信号值：两个速度值、一个电流值、两个转矩值、两个给定值和 PID 控制器的两个实际反馈值。激活的极限值的数字状态显示在控制盘上，也可以从数字输出接口输出。

同学们，从怎样度过大学生活到当你成为工程师以后几乎要经过近十年的历程，在这十年的历程中，可以清楚的看到能力和实践经验在这个历程中有着举足轻重的作用，它们是人生道路上的强大基石，是取得成就、成功的保证。同时可以看出，能力和实践经验必须是在发展过程中积累起来的，并且要不断地积累，不断地实践，才能立足于电气工程及自动化技术的前沿，瞄准高端，去创造更大的业绩。然而，无论走到哪一步，无论走到何时，都应永远明确地认识到工程师这个职业，必须具备丰富的实践经验、扎实的理论基础、能够把科研技术成果转化到工程实践中去应用或创造实用价值和财富、能够解决工程实践中技术、管理的疑难问题，做一名真正的合格的电气工程师。

思 考 题

1. 设想一下你成为工程师以后要做哪些事情。
2. 成为工程师以后总结一下你已具备的实践经验。
3. 成为工程师以后总结一下你理论方面有哪些发展。
4. 成为工程师以后总结一下你在科技成果转化方面的成绩。
5. 成为工程师以后总结一下你解决过的技术难题。

第十一章　电气工程常用设备及材料简介

电气工程中用到的设备、材料、元器件很多，为了便于学习和查阅，本章将电气工程中常用的电气设备、材料、元器件及电动机、变压器、电容器、避雷器等相关资料、数据列出，供同学们在工程实践中参考。

（1）基本综合资料　见表 11-1 ~ 表 11-9。

（2）电动机基础资料及数据　见表 11-10 ~ 表 11-23。

（3）变压器基础资料及数据　见表 11-24 ~ 表 11-42。

（4）高压电器基础资料及数据　见表 11-43 ~ 表 11-53。

（5）电容器、避雷器基础资料及数据　见表 11-54 ~ 表 11-59。

（6）低压电器基础资料及数据　见表 11-60 ~ 表 11-62。

（7）导线选择资料及数据　见表 11-63 ~ 表 11-68。

（8）继电保护配置及其他资料及数据　见表 11-69 ~ 表 11-80。

表 11-1　常用电工器材一览表

序号	类别名称	常用举例	主要用途	备注
1	电气元件（主要指低压电器及低压常用小型器件）	熔断器、低压负荷开关、接触器、低压断路器、漏电保护器、热继电器、时间继电器、中间继电器、保护继电器、检测计量仪表、照明开关及插座、照明装置等	低压电路及低压设备	
2	小型电气设备	中小型电动机及其起动器、10kV 小型电力变压器及 10kV 跌落式熔断器、避雷器、穿墙套管、绝缘子、断路器、隔离开关、负荷开关等	动力传动、高压电路及高压设备	
3	导电材料	各种导线、电缆、母线、电磁线、设备引出线等	导电、电气连接	
4	绝缘材料	漆绸、漆布、玻璃漆布、绝缘漆管、绝缘纸、绝缘板、云母制品、塑料薄膜及粘带、绝缘漆、绝缘胶、变压器油等	绝缘、电动机变压器修理	
5	磁性材料	硅钢片、铁镍合金片	电动机、变压器铁心	
6	电热材料	铁铬铝合金、镍铬合金、镍铁合金等	加热元件	
7	熔体材料	熔断器的熔丝	保护短路	
8	电刷材料	石墨电刷、电化石墨电刷等	转动部件导电	
9	润滑材料	钠基润滑脂、钙基润滑脂、钙钠基润滑脂、石墨钙基润滑脂	润滑保护电器转动部位	
10	金属材料	钢管、型钢、铜板、钢板、扁钢	钢管穿线、支架、柜体制作、母线制作等	

（续）

序号	类别名称	常用举例	主要用途	备注
11	小五金材料	螺钉、螺栓等紧固件、轴承	安装、紧固、传动	
12	光电材料	光敏电阻、光敏二极管、红外光电探测器、太阳能电池、发光材料等	检测、控制电路	
13	敏感材料	压电材料、磁致伸缩材料、压敏材料、热敏材料、力敏材料、气敏材料、磁敏电阻材料等	检测、控制	
14	绝缘子	悬式绝缘子、支柱绝缘子、复合绝缘子、套管直流绝缘子	支撑带电体、绝缘	
15	信号电缆	通信电缆、光纤电缆、同轴电缆	传输信号	
16	常用工具	钳子、紧线器、压线钳、扳手、旋具、电工刀、老虎钳、钢锥、锉、方钻、丝锥、扳牙	电工作业工具	
17	电动工具	电钻、切割机、电动扳手、电动螺丝刀、电锤、冲击钻等	电工作业	
18	起重工具	索具、螺旋机及钢丝绳、钢丝绳卡、滑车、手拉葫芦、千斤顶	起重作业	
19	其他器材	射钉枪及射钉、射弹、防爆工具	电工作业	

表 11-2　电气设备防护型式第一位表征数字表示的防护等级

第一位表征数字	防护等级	
	简　述	定　义
0	无防护电机	无专门防护
1①	防止直径大于 50mm 固体进入的电机	能防止大面积人体（如手）偶然或意外地接触及接近机内带电或转动部件（但不能防故意接触），防止直径大于 50mm 的固体异物进入外壳
2①	防止直径大于 12mm 固体进入的电机	能防止手或长度不超过 80mm 物件触及或接近机内带电或转动部件，能防止直径大于 12mm 的固体异物进入机内
3①	防止直径大于 2.5mm 固体进入的电机	能防止直径大于 2.5mm 的工具或导线触及或接近机内带电或转动部件，能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入机内
4①	防止直径大于 1mm 固体进入的电机	能防止直径或厚度大于 1mm 的导线或金属条触及或接近机内带电或转动部件，能防止直径大于 1mm 的固体异物进入机内
5②	防尘电机	能防止触及或接近机内带电或转动部件，不完全防止尘埃进入，但进入量不足以影响电机的正常运行

① 若固体三个相互垂直的尺寸大于“定义”栏中规定的数值时，能防止形状规则和不规则的固体异物进入。

② 这是一条一般规定，当规定了尘埃的性质（如颗粒大小，性质，或纤维状或粒状等）时，试验条件可由用户和制造厂协商确定。

表 11-3 电气设备防护型式第二位表征数字表示的防护等级

第二位表征数字	防护等级	
	简 述	定 义
0	无防护电机	无专门防护
1	防滴电机	垂直滴水应无有害影响
2	15°防滴电机	当电机从正常位置倾斜至15°以内任意角度时，垂直滴水应无有害影响
3	防淋水电机	与垂线成60°以内任一角度的淋水应无有害影响
4	防溅水电机	任意方向的溅水应无有害影响
5	防喷水电机	用喷头将水从任意方向喷向电机时，应无有害影响
6	防海浪电机	在猛烈的海浪冲击或强烈喷水时，电机的进水量不应达到有害的程度
7	防浸水电机	在规定压力下和时间内浸入水中时，电机的进水量不应达到有害的程度
8	潜水电机	按制造厂规定的条件，电机可连续浸在水中①

① 通常意味着电机是气密的。但对某些类型的电机，意味着水可以进入，但不产生有害的影响。

表 11-4 指示灯、按钮颜色及其含义

颜色	指示灯			按钮	
	含义	说明	举例	含义	举例
红	危险或告急	有危险或需立即采取行动	润滑系统失压，温度已超（安全）极限，因保护器件动作而停机，有触及带电和运动部件的危险	处理事故	紧急停机，扑灭燃烧
				“停止”和“断电”	正常停机，停止电动机运行，装置局部停机，切断开关，带有“停止”、“断电”功能复位
黄	注意	情况有变化和即将发生变化	温度（或压力）异常，当仅能承受允许的短时过载	参与	防止意外情况，参与抑制反常状态，避免不需要的变化（事故）
绿	安全	正常或允许进行	冷却通风正常，自动控制系统运行正常，机器准备起动	“起动”或“通电”	正常起动，起动电动机，接通一个电控装置（投入运行）
蓝	按需要指定用意	用红、黄、绿三色外的任何指定用意	遥控指示，选择开关在“设定”位置	上列颜色未包含的任何用意	
白	无特定用意	不能确切用红、黄、绿时		无特定用意	除单功能的“停止”或“断电”按钮外的任何功能
黑，灰					

表 11-5 电控设备的导线颜色

导线颜色	所标志的电路
黑	装置和设备的内部布线
棕	直流电路的正极

（续）

导线颜色	所标志的电路
红	交流三相电路的第三相，晶体管的集电极，半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阴极
黄	交流三相电路的第一相，晶体管的基极，晶闸管和双向晶闸管的门极
绿	交流三相电路的第二相
蓝	直流电路的负极，晶体管的发射极，半导体二极管、整流二极管和晶闸管的阳极
淡蓝	交流三相电路的中性线，直流电路的中间线
白	双向晶闸管的主电极，装置及设备内部无指定用色的半导体电路的布线
黄-绿双色	保护接地线
红、黑色并行	用双芯导线或双根绞线连接的交流电路

注：整个装置及设备内部布线有混淆时，允许选指定用色外的其他颜色（如橙、紫、灰、绿蓝和玫瑰红等）。

表 11-6　金属封闭开关设备的分类及主要特点

分类方式	基本类型	主 要 特 点
按主开关与柜体的配合方式	固定式	主开关及其他元件固定安装，可靠性高，成本低
	移开式（手车式）	主开关可移至柜外，便于主开关的更换、维修、结构紧凑，绝缘结构较复杂，成本较高
按开关柜隔室的构成形式	铠装型	主开关及其两端相连的元件均具有单独的隔室，隔室由接地的金属隔板构成，可靠性高
	间隔型	隔室的设置与铠装型一样，但隔室的隔板用绝缘材料，结构紧凑
	箱型	隔室的数目少于铠装和间隔型
按主母线系统	单母线	进出线均与一组母线直接相连，检修主开关和主母线时需对负载停电
	单母线带旁路	可由单母线柜派生，检修主开关时可由旁路开关经旁路母线供电
	双母线	进出线可由一组母线转换至另一组母线，一路母线退出时，可由另一路母线供电
按柜内绝缘介质	主要以大气绝缘	结构比较简单、成本低、使用场所受环境条件限制
	气体绝缘（SF_6）	可用于高湿、严重污染、高海拔等严酷条件场所，体积小、成本较高
按使用场所	户内	使用于户内
	户外	具有防雨、防晒、隔热等措施，用于户外

表 11-7　防爆配电装置的主要技术参数

型　　号	灭弧原理	额定电压/kV	额定电流/A	额定开断电流/kA	结构特点
BGP7-6	少油纵横吹	7.2	400	10	方箱形单箱体、固定式结构，少油纵横吹灭弧结构，配手动、电动弹簧机构，可远方分、合闸操作
BGP6-6	真空	7.2	400	10	方箱形单箱体、手车式结构，真空灭弧结构，配手动弹簧机构
BGP9-6				12.5	

（续）

型　号	灭弧原理	额定电压/kV	额定电流/A	额定开断电流/kA	结构特点
BGP19-6	真空	7.2	400	12.5	方箱形单箱体、手车式结构，真空灭弧结构，配电动弹簧机构，可远方操作
BGP2-6	真空	7.2	300	10	方箱形单箱体、固定式结构，真空灭弧结构，配手动弹簧机构
BGP5-6	真空		400		
BGP1-6	SF_6	7.2	400	10	方箱形单箱体、固定式结构，SF_6 压气式断路器，配手动弹簧机构

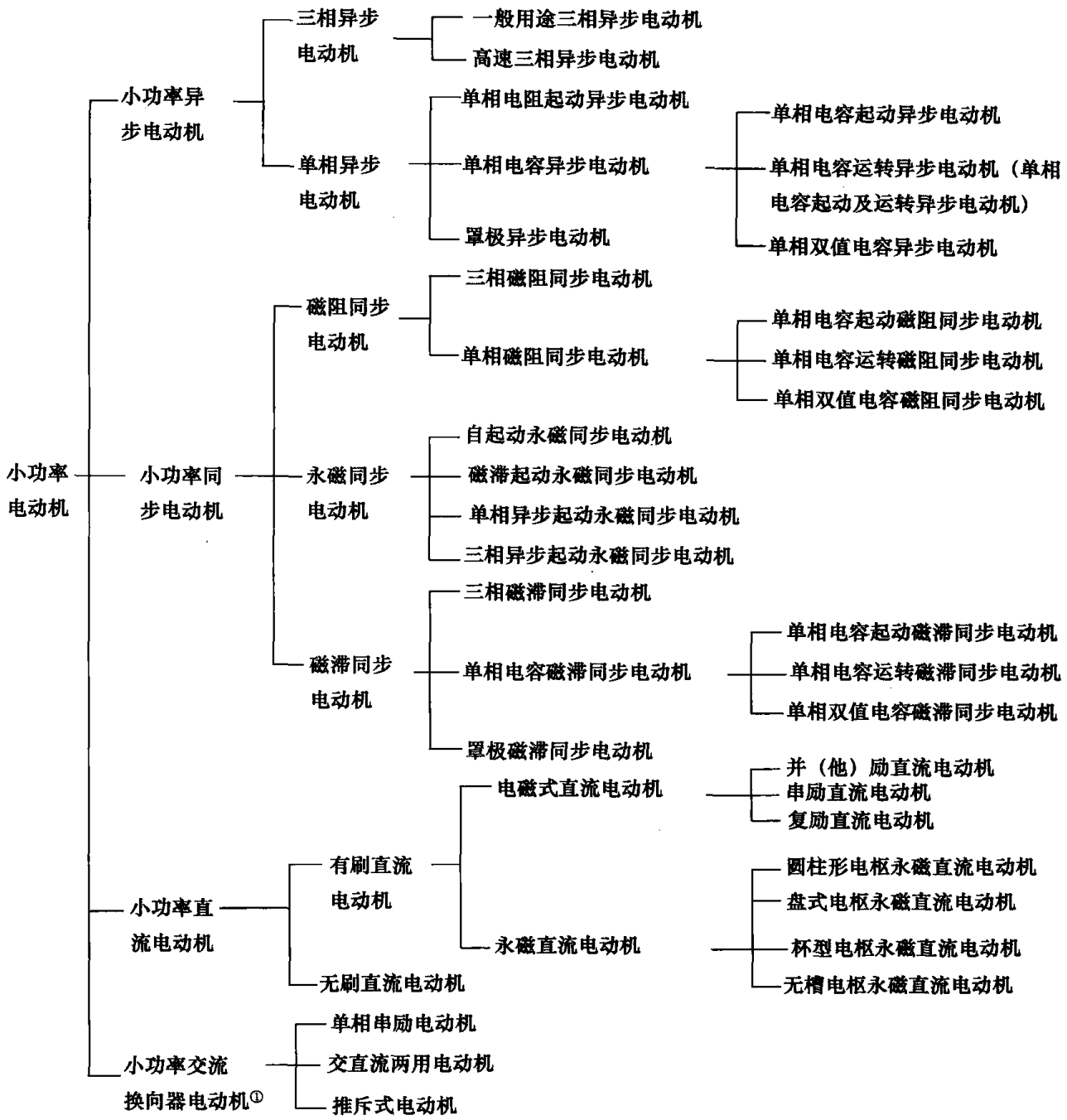
表 11-8　防爆配电装置的分类

型　式	隔　爆　型		增　安　型	
类　别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
级别		A、B、C		A、B、C
温度组别		$T_1 \sim T_6$		$T_1 \sim T_6$
防爆标志示例	隔爆型Ⅰ类 dⅠ	隔爆型Ⅱ类 B级6组 dⅡBT_6	增安型Ⅰ类 eⅠ	增安型Ⅱ类 A级1组 eⅡAT_1
结构特征	具有隔爆外壳，能承受内部爆炸性混合物的爆炸压力，并阻止向外壳周围的爆炸性混合物传爆		正常运行中不产生点燃爆炸性混合物的火花或危险温度，并在结构上采取措施提高其安全度。正常运行中发生火花的部位制成独立隔爆结构	

表 11-9　继电保护的种类及主要用途

种　类		主要用途	种　类	主要用途
（1）差动保护装置	1）纵联差动保护 2）横联差动保护 3）母线差动保护	发电机、变压器、电动机、电抗器 发电机、双回线路母线	（5）距离保护装置	线路
			（6）纵联保护装置	线路
			（7）定子接地保护装置	发电机
			（8）转子接地保护装置	发电机
（2）电流保护装置	1）电流速断保护 2）定时限保护 3）反时限保护	发电机、变压器、线路、电动机	（9）失磁保护装置	发电机、同步电动机
			（10）失步保护装置	发电机、同步电动机
（3）电压保护装置	1）欠电压保护 2）过电压保护	发电机、变压器、母线、线路 发电机、变压器	（11）瓦斯保护装置	变压器
			（12）过激磁保护装置	变压器、发电机
（4）方向保护装置	1）功率方向保护 2）阻抗保护	线路、变压器	（13）逆功率保护装置	发电机
			（14）定子绕组匝间保护装置	发电机

表 11-10　小功率电动机分类



① 小功率交流换向器电动机是另一类异步电动机。

表 11-11　电机主要类型及用途

种类	名　称		主要用途
发电机	1）交流发电机	汽轮发电机 水轮发电机 柴油发电机 异步发电机 中频发电机	火力发电厂及核能发电厂 水力发电厂 工厂、矿山、船舶和农村自备电源和移动电源等 余热发电和水能、风能发电 特种电源及高频加热用电源 各种直流电源和作测速发电机用
	2）直流发电机		

（续）

种类	名称			主要用途
电动机	1）交流电动机	同步电动机		驱动功率较大或转速较低的机械设备，用于大型船舶的推进器 用于驱动一般机械设备 用于要求起动转矩高、起动电流小或小范围调速的机械设备 三相换向器电动机用于驱动需要高速的机械，单相换向器电动机用于电动工具和某些家用电器中 用于冶金、矿山、交通运输、纺织、印染、造纸、印刷以及化工和机床工业，主要驱动需要调速的机械设备 用于电动工具等
		异步电动机	笼型异步电动机 绕线转子异步电动机 交流换向器电动机	
	2）直流电动机			
	3）交直流两用电动机			
特殊用途电机	1）电动测功机 2）同步调相机 3）调相机 4）控制微特电机 5）其他特殊用途电机			测定机械功率 供给或吸收电力网无功功率 改善电机功率因数 在伺服系统中作检测、反馈、执行及放大元件使用，在解算系统中作解算元件 满足特定功能用途

表 11-12 各类电机的结构及特点

电机类型		定子	转子	基本特点
直流电机		包括主磁极及直流励磁绕组。建立励磁磁场	包括电枢铁心及电枢绕组。感生交流电动势，流过负载电流，借换向器和电刷的作用使外电路的直流电与电枢绕组的交流电之间相互交换	调速性能优良，调速方便、平滑、范围广；改变励磁方式可获得不同的运行特性。但结构较复杂，维护工作量较大
交流电机	同步电机	包括电枢铁心及交流电枢绕组。感应交流电动势，流过负载电流①	包括磁极及直流励磁绕组。建立励磁磁场①	转速严格按同步转速运行
	异步电机	包括定子铁心及交流绕组。建立励磁磁场，同时感应交流电动势，流过励磁电流及负载电流	包括转子铁心及自成闭合回路的转子绕组。感应交流电动势，流过负载电流	转速与同步转速间存在一定的差异，电机性能满足一般机械的传动要求；结构简单，运行可靠，使用维护方便。但调速性能较差，要从电网吸收无功功率

① 小型或特殊用途的同步电机有时采用旋转电枢式，即其转子为电枢，定子为磁极。

表 11-13　各类电动机适用的传动特性

电动机类型		适用的传动特性	传动机械举例
笼型异步电动机	普通型	1）不需要调速 2）采用变频、调压、转差离合器等调速方式，不仅可得到较好的调速性能，而且可获得较好的节能效果	泵、风机、阀门、各种普通机床、运输机、起重机等
	深槽型双笼型	起动时静负载转矩或飞轮力矩大，要求有较高的起动转矩	压缩机、粉碎机、球磨机等
	高转差型	周期性波动负载长期工作制，要求利用飞轮的储能作用	锤击机、剪断机、冲压机、轧机、活塞压缩机、绞车等
	变极	1）只需要几种转速，而不需要连续调速，节能效果好 2）配上转差离合器，可实现在大范围内有级变同步转速，而小范围内得到平滑调速	纺织机械、印染机、风机、木工机床、高频发电机组等
绕线转子异步电动机		电网容量小，对起动有要求，负载起动转矩较大，起、制动频繁而用笼型电动机不能满足要求时，要求的调速范围不大，可以利用变转差率调速的场合	输送机、压缩机、风机、泵、起重机、轧机、提升机、带飞轮的机组等
同步电动机		需要稳定的转速，或者为了要补偿电网功率因数的场合	轧机、风机、泵、压缩机、电动机-发电机组等
直流电动机	他励	要求有宽调速范围以及对起、制动有较高要求时	轧机、造纸机、重型机床、卷扬机、电梯、机床的进给机构、纺织机械等
	复励	负载变化范围较大而又需要宽调速	提升机、电梯、剪断机等
	串励	起、制动频繁，要求较大的起动转矩，具有恒功率负载的机械	电车、起重机、牵引机车等

表 11-14　交流电动机的平均起动转矩

电动机类型	同步电动机	笼型异步电动机（一般用途）
平均起动转矩	$T_s > T_{pi}$ 时：$T_{sav} = 0.5(T_s + T_{pi})$ $T_s \leqslant T_{pi}$ 时：$T_{sav} = 1.0 + 1.1T_s$	$T_{sav} = 0.45 \sim 0.5T(T_s + T_{cr})$

注：T_{sav}—平均起动转矩；T_s—最初起动转矩（$s=1$ 时）；T_{pi}—牵入转矩；T_{cr}—临界转矩。

表 11-15　交流电动机的转矩过载倍数 λ

电动机类别	工　作　制		$\lambda = T_{Mmax}/T_N$
笼型异步电动机	一般用途，连续工作制		≥1.6
	高起动转矩型，连续工作制		≥2.0
	起重、冶金型	≤10kW	≥2.5
		>10kW	≥2.8
绕线转子异步电动机	一般用途，连续工作制		≥1.8
	起重、冶金型	≤10kW	≥2.5
		>10kW	≥2.8
同步电动机	$\cos\varphi = 0.8$（超前）		≥1.65
	强励时		3～3.5

表 11-16 Y 系列电动机功率、机座号与同步转速的对应关系（380V）（单位：kW）

机座号	防护等级									
	IP44					IP23				
	同步转速/(r/min)									
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600
63 1/2	0.18	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.25	0.18								
71 1/2	0.37	0.25		—						
	0.55	0.37								
80 1/2	0.75	0.55		—						
	1.1	0.75								
90S	1.5	1.1	0.75	—	—	—	—	—	—	—
90L	2.2	1.5	1.1	—						
100L 1/2	3	2.2	1.5	—						
		3								
112M	4	4	2.2	—						
132S 1/2	5.5	5.5	3	2.2						
	7.5									
132M 1/2	—	7.5	4	3						
			5.5							
160M 1/2	11	11	7.5	4	—	15	11	7.5	5.5	—
	15			5.5						
160L 1/2	18.5	15	11	7.5	—	18.5	15	11	7.5	—
						22	18.5			
180M	22	18.5	—	—		30	22	15	11	
180L	—	22	15	11		37	30	18.5	15	
200M	—	—	—	—		45	37	22	18.5	
200L 1/2	30	30	18.5	15		55	45	30	22	
	37		22							
225S	—	37	—	18.5		—	—	—	—	
225M	45	45	30	22		75	55	37	30	
250S	—	—	—	—		90	75	45	37	
250M	55	55	37	30		110	90	55	45	
280S	75	75	45	37		—	110	75	55	
280M	90	90	55	45		132	132	90	75	
315S	110	110	75	55	45	160	160	110	90	55

（续）

机座号	防护等级									
	IP44					IP23				
	同步转速/(r/min)									
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600
315M 1	132	132	90	75	55	185	185	132	110	75
315M 2						200	200			
315M 3						220	220	160	132	90
315M 4						250	250			
315L 1	160	160	110	90	—	—	—	—	—	—
315L 2	200	200	132	110	75					
355M 1	(220)	(220)	160 (185)	132	90	—	—	185	—	—
355M 2	250	250	200	160	110	280	280	200	160	110
355M 3						315	315	220	185	132
355M 4						—	—	250	200	—
355L 1	(280)	(280)	(220)	(185)	—	355	355	280	220	160
355L 2	315	315	250	200	132	—	—	—	250	185

注：括号内的功率不推荐采用。

表 11-17　YR 系列电动机功率、机座号与同步转速的对应关系(380V)（单位：kW）

机座号	防护等级						
	IP44			IP23			
	同步转速/(r/min)						
	1500	1000	750	1500	1000	750	600
132M 1	4	3	—	—	—	—	—
132M 2	5.5	4					
160M	7.5	5.5	4	7.5	5.5	4	
160L	11	7.5	5.5	11	7.5	5.5	
				15			
180M	—	—	—	18.5	11	7.5	
180L	15	11	7.5	22	15	11	
200M	—	—	—	30	18.5	15	
200L	18.5	15	11	37	22	18.5	—
	22						
225M	30	18.5	15	45	30	22	
		22	18.5	55	37	30	
250S	—	—	—	75	45	37	
250M	37	30	22	90	55	45	
	45	37	30				
280S	55	45	37	110	75	55	
280M	75	55	45	132	90	75	

（续）

机座号	防护等级						
	IP44			IP23			
	同步转速/(r/min)						
	1500	1000	750	1500	1000	750	600
315S	90	75	55	160	110	90	55
315M	110	90	75	185	132	110	75
				200	160	132	90
				220	—	—	—
				250			
315L	132	110	90	—	—	—	—
355M	—	—	—	280	185	160	110
				315	200	185	132
				—	220	200	—
					250	—	
355L	—	—	—	355	280	220	160
						250	185

表 11-18 Y、YR 系列（6kV、IP23、H355～630）电动机功率与机座号、同步转速的对应关系（单位：kW）

机座号	Y 系列					YR 系列				
	同步转速/(r/min)									
	1500	1000	750	600	500	1500	1000	750	600	500
355	220 250 280 315	— — 220 250	—	—	—	— 220 250 280	—	—	—	—
400	355 400 450 500 560	— 280 315 355 400	— — 220 250 280	—	—	315 355 400 450 500	220 250 280 315 355	— — 220 250 280	—	—
450	630 710 800 900	450 500 560 630	315 355 400 450	220 250 280 315 355	— — — 200 250	560 630 710 800	400 450 500 560	315 355 400 450	220 250 280 315 355	— — — 220 250

（续）

机座号	Y 系列					YR 系列				
	同步转速/(r/min)									
	1500	1000	750	600	500	1500	1000	750	600	500
500	1000 1120 1250 1400	710 800 900 1000	500 560 630 710	400 450 500 560 630	280 315 355 400 450	900 1000 1120 1250	630 710 800 900	500 560 630 710	400 450 500 560	280 315 355 400 450
560	1600 1800 2000	1120 1250 1400	800 900 1000	710 800 900	500 560 630	1400 1600 1800	1000 1120 1250	800 900 1000	630 710 800	500 560 630
630	2240 2500 2800	1600 1800 2000	1120 1250 1400 1600	1000 1120 1250 1400	710 800 900 1000	2000 2240 2500	1400 1600 1800	1120 1250 1400 1600	900 1000 1120 1250	710 800 900 1000

表 11-19　Y、YR 系列（6kV、IP23、H710～1000）电动机功率与机座号、同步转速的对应关系　（单位：kW）

机座号	Y 系列						YR 系列					
	同步转速/(r/min)											
	1500	1000	750	600	500	375	1500	1000	750	600	500	375
710	3150 3550 4000 4500	2240 2500 2800 3150	1800 2000 2240 —	1600 1800 2000 —	1120 1250 1400 —	630 710 800 900	2800 3150 3550 4000	2000 2240 2500 2800	1800 2000 2240 —	1400 1600 1800 —	1120 1250 1400 —	630 710 800 900
800	5000 5600 6300 —	3550 4000 4500 5000	2500 2800 3150 3550	2240 2500 2800 —	1600 1800 2000 2240	1000 1120 1250 1400	4500 5000 5600 —	3150 3550 4000 4500	2500 2800 3150 —	2000 2240 2500 —	1600 1800 2000 2240	1000 1120 1250 1400
900	7100 8000 9000 —	5600 6300 7100 —	4000 4500 5000 —	3150 3550 4000 4500	2500 2800 3150 —	1600 1800 2000 —	—	—	3550 4000 4500 —	2800 3150 3550 4000	2500 2800 3150 —	1600 1800 2000 —
1000	—	8000 9000 10000 —	5600 6300 7100 8000	5000 5600 6300 7100	3550 4000 4500 5000	2240 2500 2800 —	—	—	—	4500 5000 5600 —	3550 4000 4500 5000	2240 2500 2800 —

表 11-20 Y、YR 系列（10kV、IP23、H710～1000）电动机功率与机座号、同步转速对应关系 （单位：kW）

机座号	Y 系列					YR 系列				
	同步转速/(r/min)									
	1500	1000	750	600	500	1500	1000	750	600	500
710	2500 2800 3150 3550	2000 2240 2500 —	—	—	—	2500 2800 3150 3550	2000 2240 2500 —	—	—	—
800	4000 4500 5000 5600	2800 3150 3550 —	2500 2800 — —	—	—	4000 4500 5000 5600	2800 3150 3550 —	2500 2800 — —	—	—
900	6300 7100 8000 —	4000 4500 5000 5600	3150 3550 — —	2500 2800 — —	—	—	4000 4500 5000 —	3150 3550 — —	2500 2800 — —	—
1000	9000 10000 — —	6300 7100 8000 —	4000 4500 5000 —	3150 3550 — —	2500 2800 3150 3550	—	—	4000 4500 5000 —	3150 3550 — —	2500 2800 3150 3550

表 11-21 小功率电动机的特点及应用

电机种类	性能特点				功率范围/W
	起动转矩	力能指标	转速特点	其 他	
三相异步电动机	较大 $T_{st0}>2.2$	高	变化不大	可逆转	10 以上
单相电阻起动异步电动机	中等 $T_{st0}=1.1\sim1.6$	不高	变化不大	可逆转，起动电流大	60～370
单相电容起动异步电动机	大 $T_{st0}=2.5\sim2.8$	不高	变化不大	起动电流中等，可逆转	120～370
单相电容运转异步电动机	小 $T_{st0}=0.35\sim0.6$	高	可调速	噪声低，可逆转，不宜轻载运行	6～1100
单相双值电容异步电动机	大 $T_{st0}>1.8$	高	可调速	噪声低	180～3000
罩极异步电动机	小 $T_{st0}<0.5$	低	可调速	不能逆转	2～40
三相磁阻同步电动机	较大	不高	恒定		40～550

（续）

电机种类	性能特点				功率范围/W
	起动转矩	力能指标	转速特点	其　他	
单相磁阻同步电动机	中等	不高	恒定		60～370
三相磁滞同步电动机	较大	较低	恒定	牵入同步性能好	6～80
单相磁滞同步电动机	较大	较低	恒定	牵入同步性能好	0.6～60
三相异步起动永磁同步电动机	不大	高	恒定	稳定性好	250～4000
单相爪极式永磁同步电动机	小	低	恒定	低速转矩大，结构简单	小于3
永磁直流电动机	较大 $T_{st0}=21\sim5$	高	可调速	可逆转，机械特性较硬	0.15～77
单相串励电动机	大	高	转速宽、转速高	可逆转，机械特性软	8～750
无刷直流电动机	较大	高	可调速	无火花，噪声低	

电机种类	转速①/(r/min)	同机座号电机功率约数	典型应用
三相异步电动机	3000、1500	100	有三相电源场所，如小型机床、泵、电站
单相电阻起动异步电动机	3000、1500	50	低惯量、不常起动、转速基本不变的机械，如小车床、鼓风机、医疗器械
单相电容起动异步电动机	3000、1500	50	驱动空压机、泵、制冷压缩机等要求负载起动的机械
单相电容运转异步电动机	3000、1500	75	直接与工作机械连接，要求噪声低的场合，如风扇、通风机、洗衣机
单相双值电容异步电动机	3000、1500	80～100	负载起动及要求噪声低的场合，如小型机床、泵、家用电器
罩极异步电动机	3000、1500	25	起动转矩要求不高、运行时间短的场合，如排风扇、排风机、小型器械
三相磁阻同步电动机	3000、1500	67	用于功率较大的恒转速驱动如音响、摄影、通信装置
单相磁阻同步电动机	3000、1500	32～50	用途同上，电源为单相
三相磁滞同步电动机	3000、1500	45～50	自动记录装置、音响装置、仪表等驱动
单相磁滞同步电动机	3000、1500	35～40	录音机、自动记录装置、音响设备、仪器仪表驱动
三相异步起动永磁同步电动机	3000、1500	80～100	恒速连续工作机械的驱动，如化纤、纺织机械
单相爪极式永磁同步电动机	375～500		低速或恒速驱动如转页式风扇、自动记录仪表等

（续）

电机种类	转速①/(r/min)	同机座号电机功率约数	典型应用
永磁直流电动机	1500～3000、3000～120000	65～70	小功率直流驱动如摄影、电动玩具、电动工具、汽车电器、音响设备
单相串励电动机	4000～20000	110～160	转速随负载变化或高速驱动，如电动工具、吸尘器等
无刷直流电动机			要求低噪声、无火花场合，如宇航设备、摄影机等

① 对异步电动机指同步转速。

表 11-22 主要派生及专用异步电动机的特点及适用范围

产品型号名称	性能和结构特点	适用范围	产品规格
YCT 电磁调速异步电动机	见注①	适用于递减转矩风机型和恒转矩负载设备的无级调速	H112～400，标称功率为0.55～90kW，调速范围为1:10及1:3，19个规格
YD 变极多速异步电动机	见注②	用于驱动需有级变速的设备	H80～280，0.35～82kW，9种极比，103个规格
YH 高转差率异步电动机	断续周期性工作制，笼型转子用高电阻铝合金浇铸	用于驱动惯性矩较大及具有冲击性负荷的机械	H80～280，0.55～90kW，2～8极，58个规格
YLJ 力矩异步电动机	见注③	用于恒张力恒线速传动及恒转矩传动	0.49～196N·m，2～6极
自制动异步电动机	附加直流电磁制动器详见注④	用于驱动要求快速、准确停车的设备，如单梁吊车	H71～180，0.25～22kW H90～125，0.75～45kW H80～225，0.55～45kW
YEZ、YEZR 锥形转子制动异步电动机	基本同上	同上	基本同上
YX 高效率异步电动机	见注⑤	用于驱动长期连续运行且负载率较高的设备	H100～280，1.5～90kW，2～6极，43个规格
YZC 低振动低噪声异步电动机	转动部分精密平衡，用低噪声轴承，提高轴承室精度等，以降低振动噪声	用于精密机床传动	H80～160，0.55～18.5kW，2～8极，36个规格
YTD 电梯用异步电动机	短时工作制，双速（一般为6/24极），笼型转子导条用高电阻合金	用于电梯升降动力	H200～250，4～22kW，(6/24极)6个规格
YDF 电动阀门用异步电动机	短时工作制，高起动转矩及低转动惯量，电机与阀门组合成整体	用于自动开闭输油、输汽管线上阀门	4极0.09～30kW18个规格

（续）

产品型号名称	性能和结构特点	适用范围	产品规格
YM 木工专用异步电动机	转动惯量较小，过载能力大，有多种形状和尺寸的轴伸	用于各种木工机械的传动	H71～100，0.55～7.5kW，2极、4/2极，10个规格
YG 辊道用异步电动机	定子绕组用H级绝缘，笼型转子用高电阻铝合金浇铸，起动转矩大，能频繁起动、正反转	用于轧钢辊道传动	
YZ、YZR 冶金及起重用异步电动机	见注⑥	用于驱动冶金辅助设备及各种起重机械	笼型转子 H112～250，1.5～30kW。绕线型转子 H112～400，1.5～200kW
YCJ 齿轮减速异步电动机	一般用途电动机与圆柱齿轮减速器组成一体	用于驱动低速、大转矩的机械设备	H71～280，0.55～15kW，15～600r/min
YXJ 摆线针轮减速异步电动机	一般用途电动机与摆线针轮减速器组成一体，减速比大	用于驱动低速、大转矩的机械设备	H80～280，0.55～55kW，传动比单级 11～87，双级 121～7569
YW、YF、YWF 防腐蚀、户外及户外防腐蚀异步电动机	防护等级 IP54 或 IP55，结构、材料选用及工艺上采用防腐蚀措施及密封措施	适用于有腐蚀性气体或粉尘的户内、户外场所	H80～280，0.55～90kW，2～8极，每一系列65个规格
防爆异步电动机	见注⑦	见注⑦	H80～280，0.55～90kW，2～8极，81个规格
YLB 立式深井泵异步电动机	立式电机带空心轴，水泵轴穿过电机空心轴在顶端联接，只允许单方向旋转	用于与长轴深井泵配套，组成深井电泵，供工农业提水或灌溉	H132～280，5.5～132kW，2、4极，20个规格
YQS 井用潜水异步电动机（充水）	见注⑧	用于与潜水泵配套，组成潜水电泵，潜入井下提水或灌溉	D150～300（适用井径），3～132kW，2极，43个规格
YQSY 井用潜水异步电动机（充油）	同上	同上	同上

（续）

产品型号名称	性能和结构特点	适用范围	产品规格
QS、QY、QX 浅水潜水异步电泵	QS 充水式，QY 充油式，QX 干式	潜入 0.5～3m 浅水中提水，广泛用于农田、城建等	QS 2.2～7.5kW，2 极 QY 2.2～4kW，2 极 QX 0.55～7.5kW，2 极
YQY 井用潜油异步电动机	见注⑨	用于与深井油泵配套组成潜油电泵，潜入油井直接提油	12.5～50kW，2 极，16 个规格
YTZ 钻井用异步电动机	电机细长，铁心分段装中间滑动轴承，内部充油保压，通过减速器、防振器与钻头连接，电机过载能力大	用于各种地层勘探，作钻井动力驱动钻头	—
YP 屏蔽异步电动机	定、转子分别用屏蔽套保护，电机与泵组成一密封整体，能在一定压力和温度下保证无泄漏输送液体	用于输送不含颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体	0.75～37kW，2 极，14 个规格
YQF、YRQF 气候防护型异步电动机	见注⑩	见注⑩	—
复合转子异步电动机	笼型转子铁心外加一层实心铁心，额定运行时具有一般笼型转子力能指标，堵转时起动品质因数高	广泛使用于频繁起动和电网容量相对较小的场合	—
振动异步电动机	电动机带偏心块，使其本身整体产生振动	用于传送带上的物料传输及建筑机械	额定激振力 1～140kN，0.09～10kW，2、4、6、8 极

① 该电机由笼型异步电动机、电磁转差离合器组成，其中离合器包括电枢、磁极和励磁线圈等部件。改变离合器的励磁电流即可调速电机的转出转矩和转速。

② 该电机制造时其定子绕组可改变其接法而增加或改变磁极对数，即改变电机的转速。有 4/2、6/4、8/4、8/6、12/6、24/6、6/4/2、8/4/2、8/6/4、12/8/6/4 等数极比，以适合设备转速要求。

③ 该电机从接近同步转速直到堵转均能稳定运行，笼型转子导条用电阻率较高的黄铜制成，或用整块实心钢转子。

④ 该电机为自身带断电制动机构的电动机，其功能为断电后立即制动停转。一般有旁磁式 YEP、锥形转子 YEZ/YEZR，附加电磁制动器 YEJ 三种。

⑤ 该电机基于三相异步电动机的基础上，结构上增加了用铜量和用铁量，以降低电机铜耗、铁耗。同时在槽配合、采用正弦绕组、导磁材料、冲片退火以及风扇设计上有特殊设计。

⑥ 该电机能承受频繁起动、制动、正反转机械振动及冲击，能在金属粉尘及高温环境下长期工作。一般为绕线转子、有较大的过载能力。

⑦ 该电机的防爆型式主要有隔爆型“d”、增安型“e”、无火花型“n”和正压型“p”。

防爆电机分为两类：Ⅰ类为煤矿用防爆电机，Ⅱ类为工厂用防爆电机。Ⅰ类防爆电机不分温度组别，其允许的最高表面温度为150℃（表面可能堆积粉尘时）或450℃（采取措施防止堆积粉尘时）。Ⅱ类防爆电机按其允许最高表面温度分为T1～T6六个温度组别，见表。Ⅱ类防爆电机按适用于爆炸性气体混合物最大试验安全间隙的大小（即传爆能力的强弱）分为A、B、C三级。其余防爆电机不分级。

Ⅱ类防爆电机允许最高表面温度值

温度组别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
允许最高表面温度/℃	450	300	200	135	100	85

防爆电机的防爆型式、类别、级别和温度组别用防爆标志表示，如“dⅡBT4”表示Ⅱ类B级T4温度组别的隔爆型电机，“eⅡT3”表示Ⅱ类T3温度组别的增安型电机。

防爆电机的使用场所分爆炸性气体环境和爆炸性粉尘环境。

⑧ 潜水异步电动机　是与潜水泵组成一体潜入水下工作的立式专用三相笼型异步电动机。常用的有井用充水式（YQS）、井用充油式（YQSY）潜水电动机及浅水潜水电泵。

YQS型电动机因受进径限制，其外形细长，电机内腔充满清水，各止口接合面以“O”形圈密封，轴伸端装有防砂密封装置。定子绕组通常采用聚乙烯尼龙护套耐水电磁线，以穿线工艺下线，绕组与引出电缆的接头用自粘胶带包扎。电机的轴承以水作润滑剂，零、部件须采取必要的防锈、防腐蚀措施。

YQSY型电动机内腔充满变压器油，其密封方式与YQS型基本相同。其定子绕组采用加强绝缘的耐油、耐水漆包线以穿线工艺下线。绕组与引出电缆的接头要求密封可靠。电机下端装有保压装置，保证电机内部油压稍大于外部水压，并有贫油保护装置。

浅水潜水电泵潜入0.5～3m浅水中提水，电机分为充水式、充油式及干式三种型式。

⑨ 井用潜油异步电动机　一般为2极的立式三相笼型异步电动机，它与多极离心泵组成潜油电泵，可潜入几百米至3000m深的油井中，连续可靠地抽取含腐蚀性物质的高温高压原油或井液。电动机运行环境中的井液温度可达45～90℃，井底层压力达(1000～2000)N/cm^2。

潜油电机内腔充油密封，由定子、转子、基本支承件、引出线装置和循环过滤器组成。其主要特点是电机非常细长，定子、转子铁心分为若干段，定子各段间用黄铜冲片隔开，每段转子铁心具有独立的笼型绕组，各段转子间装有中间滑动轴承，其青铜轴套固定在轴上，轴瓦固定在定子黄铜冲片的内圆上。滑动轴承和黄铜冲片等组成基本支承件，用以保持定子、转子正常位置。循环过滤器由泵叶轮、过滤筒、过滤网及永久磁铁组成，起过滤和循环油液的作用。电机定子绕组导线绝缘及槽绝缘一般采用聚酰亚胺薄膜，用穿线工艺嵌线，绕组嵌线和连接后用环氧树脂真空加压浇注，固化成型。

在电机与油泵之间有保护器，起密封和调节油压作用，一般采用连通式保护器，其作用通过端面机械密封装置与充以高比重的氟油来实现。此外，潜油电机还带有运行控制和保护装置，以提高其运行可靠性。

⑩ 气候防护型异步电动机　在规定的气候条件下，即在使用环境的最大降雨强度为6mm/min，太阳辐射最大强度为1120W/m^2，并在有砂尘、冰、雪、霜、露等气候条件下正常运行。它广泛用于石油化工厂、炼油厂、化肥厂、水泥厂、发电厂等要求露天安装设备的工矿企业中。

气候防护型电动机是一种开启式电动机，外壳防护等级选用IPW24。附加防护要求为因大风或暴风而进入电动机的高速空气和气载颗粒不应进入直接导向电动机本身带电部件的内通风道。进入电动机带电部件的正常通风道应用挡板或独立的空腔，进风至少有三次不小于90°的转弯，出风有两次不小于90°的转弯。此外，冷空气进风通道内应设置一个不大于3m/s的低速区，以便使带入的尘粒沉降。

大中型箱式结构电动机的气候防护要求由装在电机顶部的外罩来满足。

对于气候防护型电动机，由于采用将外部的冷空气吸入电机内部的方式，对线圈和铁心等发热部件表面直接进行冷却，故冷却效果较好。改变进风通道面积大小，可以使电机的输出功率维持在基本系列防滴式电机的水平。YQF（笼型）、YRQF（绕线型）气候防护型电动机的机座号、功率和同步转速的对应关系与一般Y、YR系列（IP23）的相同。电动机采用F级绝缘，温升按B级考核，对装有过滤器的气候防护型电动机，因过滤器有较大风阻，长期使用还会出现阻塞等情况，电动机温升有可能比不装过滤器的电动机高。通常，过滤器是可拆卸式的，应经常清洗。

表 11-23 常见的规定用途小功率电动机

名 称	电机类型	功率范围/W	转速①/(r/min)	特 点
洗衣机电动机	单相电容运转异步电动机	90～250	1500	开启式自冷，主副绕组相同，正反转运行
	单相串励电动机	60～370	500～15400	用于自动洗衣机，带电子调速器
（洗衣机用）脱水电动机	单相电容运转异步电动机	25	1500	开启式自冷，单向旋转，短时运行
	罩极异步电动机	40～60	1500	立式安装，单向旋转
离合器电动机	三相异步电动机 单相异步电动机	120～550	3000、1500	带离合器及摇篮式防振底座，多用于驱动工业缝纫机电动机
家用缝纫机电动机	单相串励电动机	40～75	4000～8000	断续定额，带控制器执行起、停和调速
台扇电动机	单相电容运转异步电动机	35～70(输入)	1500	台扇的机头部分
	单相罩极异步电动机	40～50	3000	小型台扇机头部分
吊扇电动机	单相电容运转异步电动机	46～80(输入)	250～500	扇翼直径为 900～1800mm
	单相罩极异步电动机	50～90	250～500	老式吊扇
机床冷却用电泵	三相或单相异步电动机	25～370	3000	立式结构，电机与单级离心泵组合为一体，泵送循环冷却液用
冰箱压缩机电动机	单相电容起动或电阻起动异步电动机	90～370	3000	电动机与压缩机组合，在氟里昂介质中工作
空调器风扇电动机	单相电容运转异步电动机	6～370	750、1000、1500	双轴伸、摇篮式减振底座，噪声低
录音机电动机	稳速永磁直流电动机	0.11～0.27	2400、2200	电子稳速、高起动转矩、低噪声、电压为 6～12V
转页式风扇用电动机	爪极式永磁同步电动机	3 以下(输入)	500、375	不对称爪极永磁同步电动机转速低，转矩大，带齿轮减速器
排气扇电动机	单相电容运转异步电动机或单相罩极异步电动机 三相异步电动机	65～850(输入)	1500、1000	与轴流式风扇组合为一体
吸尘器用电动机	单相串励电动机	110～1080	15000～27000	电动机和风机组合一体

① 对异步电动机指同步转速。

表 11-24 冷却方式的字母代号

各种冷却方式		字母代号	各种冷却方式		字母代号
冷却介质的种类	矿物油或燃点不大于 300°C 的合成绝缘液体	O	循环种类	自然循环	N
				强迫循环(油非导向)	F
	燃点大于 300°C 的绝缘液体	K		强迫导向油循环	D
	燃点不可测出的绝缘液体	L	冷却方式代号举例①	油浸自冷	ONAN
				油浸风冷	ONAF
	气体	G		强油风冷	OFAF
	水	W		强油水冷	OFWF
	空气	A			

① 由四个代号排列来标志，依次为绕组冷却介质及其循环种类、外部冷却介质及其循环种类。

表 11-25　变压器的温升限值

型　式	部　位	温升限值/K
油浸式	绕组平均温升(绝缘耐热等级 A) 顶层油(油与大气直接接触) 顶层油(油不与大气直接接触) 铁心本体 油箱及结构件表面	65(电阻法测量值) 55(温度计测量值) 60(温度计测量值) 使相邻绝缘材料不受损伤的温升 80
干式	绕组：绝缘耐热等级A E B F H C	60 75 80(均为电阻法测量值) 100 125 150
	铁心和其他部分	使铁心本体和其他部分不受损伤的温升

表 11-26　双绕组变压器常用的联结组

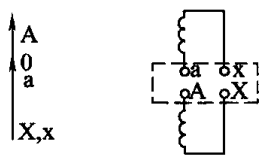
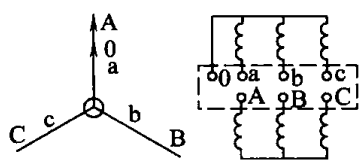
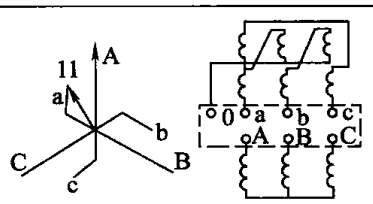
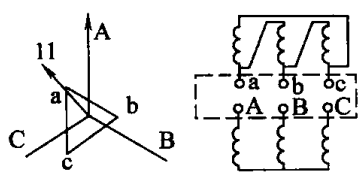
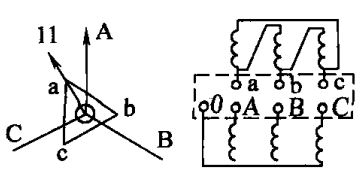
联结组	相量图和结线图	特性及应用
单相 I I_0		用于单相变压器时没有单独特性。不能接成 Yy 联结的三相变压器组，因此时 3 次谐波磁通完全在铁心中流通，3 次谐波电压较大，对绕组绝缘极为不利；能接成其他联结的三相变压器组
三相 Y yn0		绕组导线填充系数大，机械强度高，绝缘用量少，可以实现三相四线制供电，常用于小容量三相三柱式铁心的配电变压器上。但有 3 次谐波磁通(数量上不是很大)，将在金属结构件中引起涡流损耗
三相 Y zn11		在二次或一次侧遭受冲击过电压时，同一心柱上的两个半绕组的磁动势互相抵消，一次侧不会感应过电压或逆变过电压，适用于防雷性能高的配电变压器。但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三相 Y d11		二次侧采用三角形联结，3 次谐波电流可以循环流动，消除了 3 次谐波电压。中性点不引出，常用于中性点非有效接地的大、中型变压器以及城网供电的配电变压器上
三相 YN d11		特性同上。中性点引出，一次侧中性点是稳定的，用于中性点有效接地的大型高压变压器上

表 11-27 6/10kV、30～1600kVA、Yyn0 联结双绕组无励磁调压配电变压器特性

额定容量/kV·A	空载损耗/kW	负载损耗/kW	空载电流(%)	短路阻抗(%)
30	0.13	0.60	2.1	
50	0.17	0.87	2.0	
63	0.20	1.04	1.9	
80	0.25	1.25	1.8	
100	0.29	1.50	1.6	
125	0.34	1.80	1.5	
160	0.40	2.20	1.4	4
200	0.48	2.60	1.3	
250	0.56	3.05	1.2	
315	0.67	6.65	1.1	
400	0.80	4.30	1.0	
500	0.96	5.15	1.0	
630	1.15	6.20	0.9	
800	1.40	7.50	0.8	
1000	1.70	10.30	0.7	4.5
1250	1.95	12.00	0.6	
1600	2.35	14.50	0.6	

表 11-28 三相变压器额定容量

(单位：kV·A)

—	125	1250	12500	(120000)
—	160	1600	16000	(150000)
—	200	2000	20000	(180000)
—	250	2500	25000	(240000)
(30)	315	3150	31500	等
—	400	4000	40000	
50	500	5000	50000	
63	630	6300	63000	
80	800	8000	(90000)	
100	1000	10000	—	

注：除括号内数值外为优先系数。组成三相变压器组的单相变压器为表中数值的 1/3，其余用途的单相变压器与表中数值相同。

表 11-29 油浸式电力变压器额定电压组合

容量/kV·A	电压组合/kV			联结组标号
	高 压	中 压	低 压	
30～1600	6、10		0.4	Yyn0
630～6300	6、10		3.15～6.3	Yd11
5～1600	35		0.4	Yyn0
800～6300	35(38.5)		3.15～10.5(3.3～11)	Yd11
8000～31500	35(38.5)		3.15～10.5(3.3～11)	YNd11
6300～120000	110(121)		6.3、11(10.5～13.8)	YNd11
6300～63000	110(121)	38.5	6.3、11(10.5、13.8)	YNyn0d11
31500～1200	220(242)		6.3～13.8(38.5)	YNd11(YNyn0)
31500～63000	220(242)	121	6.3～13.8(38.5)	YNyn0d11(YNyn0yn0)
63000～120000	220(242)	121	10.5～13.8(38.5)	YNa0d11(YNa0yn0)

表 11-30 电力变压器调压方式和范围

方 式	额定电压/kV	调压范围(%)	分接间隔(%)	级数	常用调压形式	分接开关
无励磁调压	6～66①	±5	5	3	中性点、中部调压	中性点、中部开关
	35～220②	±2×2.5	2.5	5	中部调压	中部开关
有载调压	6、10	±4×2.5	2.5	9	中性点、中部调压	有载分接开关
	35	±3×2.5	2.5	7	中性点、中部调压	有载分接开关
	66～220	±8×1.25	1.25	17	中性点调压	有载分接开关

① 35kV 级是 6300kV·A 及以下，66kV 级是 5000kV·A 以下。

② 35kV 级是 8000kV·A 及以下，66kV 级是 6300kV·A 及以上。

表 11-31　油浸式变压器过载运行时的允许过载率 K_2

1）油浸自冷和风冷，热时间常数 3h

等效起始负载率 K_1		0.50			0.70			0.90			1.00		
冷却介质温度/°C		0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20	40
过载时间 t_2/h	0.5	+	+	1.77	+	1.93	1.58	+	1.69	—	1.93	—	—
	2	1.73	1.53	1.30	1.67	1.46	1.18	1.58	1.32	—	1.52	—	—
	6	1.37	1.21	1.01	1.35	1.18	0.96	1.32	1.12	—	1.30	—	—
	24	1.16	1.00	0.82	1.16	1.00	0.82	1.16	1.00	—	1.16	—	—

2）强油循环风冷和水冷，热时间常数 2h

等效起始负载率 K_1		0.50			0.70			0.90			1.00		
冷却介质温度/°C		0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20	40
过载时间 t_2/h	0.5	1.73	1.57	1.39	1.68	1.51	1.31	1.60	1.41	—	1.55	—	—
	2	1.45	1.30	1.14	1.42	1.27	1.10	1.38	1.21	—	1.36	—	—
	6	1.26	1.12	0.97	1.26	1.11	0.95	1.24	1.09	—	1.23	—	—
	24	1.14	1.00	0.84	1.14	1.00	0.84	1.14	1.00	—	1.14	—	—

注：“+”表示 $K_2>2.0$；表中只列出部分数值。

表 11-32　油浸式变压器顶层油温运行规定值

冷却方式	冷却介质最高温度/°C	最高顶层油温/°C
油浸自冷、风冷	40	95
强迫油循环风冷	40	85
强迫油循环水冷	30	70

表 11-33　油浸式变压器在风扇、油泵和水泵全部切除时允许带额定负载运行的时间

风冷式	环境温度/°C	−10	0	10	20	30	40
	运行时间/h	35	15	8	4	2	1
强油循环风冷和水冷式		允许运行时间为 10min					

注：如油面温度尚未达到 75°C，可以继续运行到 75°C，但不应超过 1h。

表 11-34　特种变压器分类

名　称	用　途	特　点	标准代号
干式变压器	用于地下铁道、高层建筑等防火要求较高的场所，目前已在城网供电中广为采用	无绝缘油，不易着火，便于维护检修	GB 6450
矿用变压器	矿用电力变压器和电钻及照明变压器分别用于煤矿中无和有爆炸危险场所，供电气传动及照明用电	外壳机械强度较高，进出线采用电缆；隔爆型要符合隔爆标准	JB 3955
试验变压器	用于对各种电工产品、绝缘材料等进行绝缘性能试验	高压绕组电压高、电流小、尾端接地。为短时工作制	JB/T 9641
电炉变压器	各种金属冶炼、热处理、石墨化、电渣重熔等	低压侧电压低、电流大，能大范围调节电压	JB/T 9641
整流变压器（变流变压器）	用于电化学、牵引、电气传动、直流输电、电镀、励磁、充电、调速、静电除尘等	低压侧电压低、电流大，能大范围调节电压	JB/T 8636 JB 3171 JB/DQ 2113
T 型接线变压器	用于金属冶炼、电气化铁道等	三相可变二相或两个单相	

表 11-35 电力变压器预防试验项目和标准

项目	周期	标准							
绕组绝缘电阻和吸收比	1~3 年一次或大修后	绝缘电阻:但 10°C 时还可降低约 1/3 吸收比:66~330kV 级时大于 1.3							
绕组连同套管的 tanδ(%)	大修时或必要时	且与历年数值相比不应有显著变化(8000kV·A 及以上变压器进行此项测试)							
绕组连同套管的泄漏电流	大修时或必要时	试验电压(35kV、10000kV·A 及以上变压器)							
		绕组额定电压/kV	3	6~15	20~35	>35			
		直流试验电压/kV	5	10	20	40			
		泄漏电流自行规定,且与历年数值相比不应有显著变化							
绕组连同套管的外施耐压试验	更换绕组后、大修后或必要时	全部更换绕组后按出厂标准,大修后按大修标准							
		绕组额定电压/kV	3	6	10	15	35	63	110	220
		大修试验电压/kV	15	21	30	28	72	120	170	340
		非标准出厂试验电压为出厂标准的 85%							
油箱和套管中绝缘油试验		见表 11-37							
铁心、夹件、穿心螺杆绝缘电阻	大修时	绝缘电阻自行规定							
铁心对地绝缘电阻	1~3 年一次或大修后	绝缘电阻自行规定							
电压比等试验①	更换绕组后或必要时	符合制造厂出厂试验或技术条件							
油中溶气色谱分析	一年、半年或 3 个月								
油中微量水测定	必要时	220kV 级及以下时小于 30×10^{-6},330kV 级时小于 25×10^{-6},500kV 级时小于 15×10^{-6}							

① 包括绕组直流电阻不平衡率、联结组、空载和阻抗性能、有载分接开关动作顺序、冷却器性能及油箱密封等检测项目。

表 11-36 变压器油保护装置

装置名称	作用与效果	变压器容量
一般储油柜	减少与空气接触面积	小于 8000kV·A
隔膜式、胶囊式储油柜	隔绝空气,防止受潮	8000kV·A 及以上
油封吸湿器	干燥吸入的空气	100kV·A 及以上
吸附净油器	直接净化运行油	3150kV·A 及以上(有隔膜或胶囊可不用)
全密封充氮装置	隔绝空气,防止受潮	8000kV·A 及以上

表 11-37 变压器油检测项目和标准

项目	标准		试验标准
	新油及再生油	运行中油	
酸值/(mgKOH/g)	<0.03	<0.1	GB/T 264—1983

（续）

项　目		标　准			试验标准
		新油及再生油		运行中油	
水溶性酸和碱		无		pH 值≥4.2	GB/T 7598—1987
闪点/°C		DB-10、DB-25：>140	DB-45：>135	比新油或前次测量值：<5	GB/T 261—1983
机械杂质		无		无	GB/T 511—1988
水分		<10～20		<20～40	GB/T 7600—1987
游离碳		无		无	外观目测
电气强度/kV	≤15kV 级	>25		>20	GB/T 507—2002
	20～35kV 级	35		30	
	66～220kV 级	40		35	
	330kV 级	50		45	
	500kV 级	60		50	
tanδ(%)		注入前 90°C 时：<0.5 注入后 70°C 时：<0.5		70°C 时：<2	GB/T 5654—1985

表 11-38　气体继电器中气体与故障性质的关系

气体的性质	故障的性质
黄色、可燃	木质故障
淡灰色、可燃并有臭味	纸及纸板故障
灰黑色、易燃	有放电存在

表 11-39　变压器油中溶气注意值

气体含量/(10^{-6}mL/mL)	总烃	150
	乙炔	5
	氢	150
产气速率/(mL/h)	开放式	0.25
	密封式	0.5

注：总烃为甲烷（CH_4）、乙烷（C_2H_6）、乙烯（C_2H_4）和乙炔（C_2H_2）的总和。

表 11-40　充油设备特征气体与故障性质的关系

主要特征气体	故障性质
高浓度 H_2，总烃不高，CH_4 为总烃的主要成分，有微量 C_2H_2	油中局部放电或电火花放电
高浓度 C_2H_2，H_2 和总烃较高，C_2H_2 为总烃中主要成分	高温电弧放电
高浓度 C_2H_2，总烃较高，但 C_2H_2 未构成总烃中主要成分	高温热点或局部高温过热
C_2H_2、H_2、CO、CO_2 和总烃均较高	绝缘局部过热或固体绝缘散热不良
总烃高，H_2 和 C_2H_2 均较高，CO、CO_2 正常	裸金属过热，电弧放电或固体绝缘损伤

表 11-41　电力变压器中性点绝缘水平　（单位：kV）

系统标称电压(有效值)	设备最高电压(有效值)	中性点接地方式	雷电冲击全波和截波耐受电压(峰值)	短时(1min)工频耐受电压(有效值)(内、外绝缘，干、湿试验)
110	126	不固定接地	250	95
220	252	固定接地	185	85
		不固定接地	400	200

（续）

系统标称电压(有效值)	设备最高电压(有效值)	中性点接地方式	雷电冲击全波和截波耐受电压(峰值)	短时(1min)工频耐受电压(有效值)(内、外绝缘,干、湿试验)
330	363	固定接地	185	85
		不固定接地	550	230
500	550	固定接地	185	85
		经小电抗接地	325	140

表 11-42 变压器及各类设备的短时（1min）工频耐受电压（有效值）（单位：kV）

系统标称电压(有效值)	设备最高电压(有效值)	内、外绝缘(干试与湿试)				母线支柱绝缘子	
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、高压电器、电压互感器和穿墙套管	高压电力电缆	湿试	干试
1	2	3①	4①	5②	6②	7	8
3	3.5	18	18	18/25		18	25
6	6.9	25	25	23/30		23	32
10	11.5	30/35	30/35	30/42		30	42
15	17.5	40/45	40/45	40/55	40/45	40	57
20	23.0	50/55	50/55	50/65	50/55	50	68
35	40.5	80/85	80/85	80/95	80/85	80	100
66	72.5	140	140	140	140	140	165
		160	160	160	160	160	185
110	126.0	185/200	185/200	185/200	185/200	185	265
220	252.0	360	360	360	360	360	450
		395	395	395	395	395	495
					460		
330	363.0	460	460	460	460		
		510	510	510	510、570		
500	550.0	630	630	630	630		
		680	680	680	680		
				740	740		

注：表中给出的330～500kV设备的短时工频耐受电压仅供参考。

① 该栏中斜线下的数据为该类设备的内绝缘和外绝缘干状态的耐受电压。

② 该栏中斜线下的数据为该类设备的外绝缘干耐受电压。

表 11-43 高压熔断器分类

分类方式		熔断器分类名称
性能		限流式、非限流式
保护范围		通用、后备、全范围
熄弧方式		角状式(大气中熄弧)、石英砂填料式、喷射式、SF_6 旋弧式、真空
安装场所		户外、户内
保护对象		变压器、发电机、电动机、电压互感器、单台并联电容器、电容器组、供电线路、不指定对象
结构	型式	插入式、母线式、跌落式、非跌落式、开启式、混合式
	极数	单极、三极
	底座绝缘子	单柱、双柱

表 11-44　真空断路器的分类

分类方式	基本类型	特　点
按真空灭弧室中控制电弧的方式	简单开断	电弧在触头上的运动不受特定磁场的控制，适用于小容量真空断路器，额定短路开断电流不大于 6kA
	横磁场型	电弧受到与电弧轴线垂直的横向磁场的驱动。15kV 以下时，额定短路开断电流可达 50kA；40.5kV 时，可为 31.5kA
	纵磁场型	电弧受到与电弧轴线平行的纵向磁场的控制。15kV 以下时，额定短路开断电流可达 100kA；40.5kV 时，可为 31.5kA
按使用场所	户内型	只适用于户内，不受户外环境影响
	户外型	只适用于户外，应考虑凝露对真空灭弧室的影响
按每级所串联的真空灭弧室数	单断口	每极用一个真空灭弧室
	双断口	每极用两个真空灭弧室串联
	多断口	每极用多个真空灭弧室串联

表 11-45　高压开关主要型式试验项目

序号	试验项目		适用产品							
	性　能	名　称	断路器	负荷开关	隔离开关	接地开关	重合器	分段器	接触器	熔断器
1	机械性能	机械操作试验	○	○	○	○	○	○	○	(○)
2		机械特性试验	○	○	(○)	(○)	○	○	○	
3		机械耐久试验	○	○	○	○	○	○	○	
4	载流性能	温升试验	○	○	○		○	○	○	○
5		回路电阻测量	○	○	○		○	○	○	○
6		短时耐受电流试验	○	○	○	○	○	○	○	
7		峰值耐受电流试验	○	○	○	○	○	○	○	
8	开断与关合性能	短路开断能力试验	○				○		(○)	○
9		短路关合能力试验	○	(○)		(○)	○	(○)	(○)	
10		近区故障开断试验	(○)							
11		线路充电电流开合试验	(○)	(○)	(○)		(○)	(○)		
12		电容器组开合试验	(○)	(○)			(○)		(○)	
13		额定关合和开断能力试验		○				(○)	○	
14	绝缘性能	冲击电压试验	○	○	○	○	○	○	○	○
15		工频电压试验	○	○	○	○	○	○	○	○
16		局部放电测量	(○)							
17		无线电干扰电压试验	(○)	(○)	(○)	(○)				

注：○—要做；(○)—有的要做，有的不要做。

表 11-46 高压负荷开关分类和特点

分类方式	类 别	特 点
按结构原理	产气式	利用电弧能量使固体产气材料分解和汽化，产生气体吹弧。结构简单、开断性能一般，有可见断口，参数偏低，电寿命短，成本低
	压气式	压气活塞与动触头联动，压缩空气吹弧。结构简单，开断特性好，有可见断口，参数偏低，电寿命短，成本低
按结构原理	六氟化硫(SF_6)	利用压气和旋弧原理熄弧。断口电压可高，开断性能好，电寿命长，适用范围广，但结构较复杂，成本偏高，适用于 GIS 中
	真空	在高真空容器中关合和开断。开断能力强，尺寸小，重量轻，电寿命长、少维护，但成本偏高。要考虑截流过电压。也能用于 C-GIS 中
按使用场所	户内式	只适用于户内
	户外式	适用于户外或柱上使用
按功能	通用负荷开关	具有全部开合功能的负荷开关
	专用负荷开关	只具有一种或多种开合功能的负荷开关
按灭弧室与隔离断口的连接	串联型	灭弧系统与隔离断口串联，两者均为主导电回路的一部分
	并联型	灭弧系统与隔离断口并联，在闭合位置时，灭弧室被主导电杆短接，灭弧室的动热稳定性要求低
按工况	二工位	只有合闸和分闸两个工况位置，即普通的负荷开关
	三工位	具有合闸、分闸、接地三个工况位置，即集负荷开关与接地开关于一体，其结构紧凑，可靠性高

表 11-47 高压自动重合器分类及主要特点

分类	种类	技术性能	运行维修
按灭弧原理分类	油重合器	灭弧室在变压器油中，变压器油兼作灭弧和绝缘介质或液压工质。结构简单，开断电流小，电寿命短，开断以后变压器油绝缘性能降低，整机质量大	不检修周期短，现场维护工作量大，需要油处理设备，但检修维护技术要求低
	六氟化硫重合器	以 SF_6 气体为灭弧和绝缘介质。开断能力强，触头烧损轻微，电寿命长，操作过电压低，无火灾危险；结构紧凑，质量小，操作功小。加工精度较高，密封要求严格	不检修周期长，维护工作量小
	真空重合器	为解决真空灭弧室外绝缘，需要将其浸在变压器油或 SF_6 气体中。前者仍用油且加大整机重量，后者密封要求严。开断能力强，电寿命长，操作功小	不检修周期长，现场维护工作量很小
按控制原理分类	液压控制重合器	采用滑阀、活塞和逆止阀等液压元件来实现控制。最小分闸电流，时间电流特性和记忆时间等在现场不能调整，且受环境温度影响抗电、磁干扰	运行灵活性差，选择配合困难，维护工作量小
	电子控制重合器	用分立元件、集成块或单片机实现控制。最小分闸电流、时间-电流特性和复位时间等都可以在现场整定，且设定范围宽、灵活方便，结构比较复杂	易配合，适应性强 必须定期检查和更换电池

表 11-48　高压交流断路器的分类及其主要特点

类　别		灭弧方式或特征	优　缺　点
油	多油	均具有灭弧室，油中自能式油气吹熄灭电弧	结构简单，制造方便，成本较低，技术性能较差，维修工作量大，油易燃易爆，并可能引发次生事故，已被列入淘汰产品
	少油		
压缩空气		利用 SF_6 压缩空气气吹熄灭电弧	通流及开断能力大，动作时间短，结构复杂，工艺要求高，噪声大，需配置压缩空气系统，除大电流发电机保护用断路器外，已属淘汰产品
六氟化硫（SF_6）		利用气体的特异的热化学性和强电负性，并靠电弧和气体的相对运动来熄灭电弧	通流能力和开断能力大，断口电压高，技术性能好，电寿命长，结构较简单，但工艺要求高
真空		在高真空容器中使电弧熄灭	开断能力大，技术性能好，操作功小，寿命长，适于频繁操作，少维修，环境污染小，在电感性小电流和容性电流开断时可能产生操作过电压
磁吹		应用磁场及缝隙在空气中冷却熄灭电弧	额定电压低，技术参数差，结构复杂，体积大，仅用于户内，已很少使用
固体产气		利用固体产气材料受电弧作用分解气体气吹熄灭电弧	结构简单，制造方便，重量轻。技术参数低，噪声较大，检修工作量大，用于户外时易受环境条件的影响

表 11-49　高压隔离开关的分类

分类方式	类　别	分类方式	类　别
按安装场所	户内、户外	按使用特性	一般输配电用、大电流母线用、变压器中性点用、快速分闸用
按附装接地开关情况	不接地、一端接地、两端接地	按结构型式	见表
按操作方式	用钩棒、用操动机构		

表 11-50　高压隔离开关的结构型式及其特点

结构形式			特　点		
			相间距离	分闸后闸刀情况	其　他
水平断口	双柱式	平开式（中央开断）	大	不占上部空间	瓷柱兼受较大弯矩和扭矩
		立开式（中央开断）	小	占上部空间	每侧都有支持与操作瓷柱
	三柱（双断口）式	平开式	较小	不占上部空间	纵向长度大；瓷柱分别受弯矩或扭矩；易于作组合电器
		立开式	小	占上部空间	纵向长度大；闸刀传动结构较复杂；易于作组合电器
	直臂式		小	上部占空间大	
	伸缩插入式	瓷柱转动	小	占上部空间	
		瓷柱摆动	小	占上部空间	瓷柱受较大弯矩；适用于较低电压级
		滚柱移动	小	占用空间小	底座滚动，瓷柱受较大弯矩，引线移、摆幅度大
垂直断口	直臂式		小	一侧占空间大	闸刀运动轨迹大
	单柱（伸缩）式	偏折式	小	一侧占空间	
		对折式	小	两侧占空间	触头钳夹范围大

表 11-51 高压开关的分类与功能

分类	主要作用	正常负载电流			短路电流			功能
		长期承载	开断	关合	短时承载	开断	关合	
断路器	控制、保护	○	○	○	○	○	○	接通/断开有载负荷、过载保护、短路保护
负荷开关	控制	○	○	○	○		(○)	接通/断开有载负荷
隔离开关	保护、安全隔离	○	○		○			接通/断开额定电压或空载电流
接地开关	保护				○		(○)	接通短路电流
重合器	控制、保护	○	○	○	○	○	○	接通/断开有载负荷，过载/短路保护
分段器	控制	○	(○)	(○)	○		(○)	接通/断开有载负荷
接触器	控制	○	○	○	○	(○)	(○)	接通/断开有载负荷
熔断器	保护	○			○	○		短路保护，延时过载保护

注：○—有此功能；(○)—有的具有此功能。

表 11-52 高压开关的基本组成部分及功能

组成部分	功能	主要零部件
合分单元	开断及关合线路、安全隔离电源、使停运线路及设备可靠接地	主导电回路、主触头、主灭弧室、辅助灭弧室、辅助触头、并联电阻、并联电容
绝缘支撑	可靠支撑合分单元，并保证各种绝缘要求	瓷、环氧树脂、SMC、DMC 及其他绝缘材料制成的支柱、管、棒及其他制品
操作传动件	结合分单元的触头、动作阀门或其他操作元件传递操作指令及能量	各种连杆、拐臂、齿轮、绝缘拉杆或转动绝缘棒管、气动、液压管道等
基座	合分单元及整台产品的支承和安装基础	底座、金属壳体
操动机构	执行操作指令、提供操作能量、实现各种分合闸操作程序	弹簧、电磁、液压、气动、手动机构的本体及其配件

表 11-53 高压开关主要技术参数

名称	符号	单位	定义
额定电压	U_r	kV	根据规定的工作条件，由制造厂确定的电压。其数值等于所在系统的系统最高电压，线电压有效值
额定绝缘水平		kV	表征产品绝缘耐受能力的一组电压值，≤363kV：额定雷电冲击和短时工频耐受电压；≥363kV：额定操作和雷电冲击耐受电压
额定电流	I_r	A	由制造厂规定的开关可以长期承载的电流有效值
额定短路开断电流	I_{rb}	kA	在规定条件下，开关能正常开断的最大短路电流有效值
额定短路关合电流	I_m	kA	在规定条件下，开关能正常关合的最大短路峰值电流
额定短时耐受电流	I_{sw}	kA	开关在闭合位置下，在规定时间内能耐受的最大短路电流有效值

（续）

名　称	符号	单位	定　义
额定峰值耐受电流	I_{pw}	kA	开关在闭合位置下，能耐受的最大短路峰值电流
开断时间	t_b	s 或 ms	从开关接到分闸命令起至各极中的电弧最终熄灭为止的一段时间
关合时间	t_c	s 或 ms	从开关接到合闸命令起至某一极中首先流过电流瞬间为止的时间

注：额定短时耐受电流和额定短路开断电流数值相等；额定短路关合电流和额定峰值耐受电流数值相等，且为额定短路开断电流的2.5倍。

表 11-54　电力电容器的分类和用途

系列代号	类　别	额定电压-容量-电容值	标　准　号	主 要 用 途
B	高压并联电容器	1.05～35.00kV 30～334kvar 1000～5000kvar	GB/T 11024.1—2001 IEC 60871	提高电力系统及负荷的功率因数，改善电压质量，降低电路损耗
	低压并联电容器	0.23～1.00kV 5～50kvar	GB/T 17886.1—1999 IEC 60931	
	自愈式低压并联电容器	0.23～1.00kV 1～150kvar	GB/T 12747.1—2004 GB/T 12747.2—2004 IEC 60831	
	集合式并联电容器	3.15～38.50kV 单相 1667～10000kvar 三相 1000～20000kvar	JB/T 7112—2000	
C	串联电容器	0.6～2.0kV 50～400kvar	GB/T 6115.1—1998 IEC 60143—1	减少电路电压降落，提高输电线路的输送容量和稳定性，控制电力潮流分布
A	高压交流滤波电容器	1.25～18.00kV 30～334kvar	ZBK 48004—1990 IEC 60871	滤除电力系统或负载的高次谐波，并提高电力系统的功率因数
E	交流电动机电容器	0.11～0.66kV 1.0～10.0μF	GB 3667—1997 IEC 60252	单相异步电容分相电动机起动或增大转矩，三相异步电动机单相运行
O	耦合电容器及电容分压器	$10/\sqrt{3}$～$500/\sqrt{3}$kV 3500～20000pF	JB/T 8169—1999 IEC 60358	载波通信、测量、保护和控制以及抽取电能
R	电热电容器	0.375～3.000kV 90～3200kvar	JB 7110—1993 IEC 60110	用于40～24000Hz感应加热设备，提高功率因数或改善回路特性
J	断路器用电容器	40～180kV 1000～3900pF		并联接在交流高压断路器的断口，以均匀电压分布
M	脉冲电容器	1～500kV 0.002～400.000μF	JB/T 8168—1995	主要用于冲击电压、冲击电流发生器、冲击分压器、振荡回路和连续脉冲装置
Y	压缩气体标准电容器	10～1200kV 20～100pF	JB/T 1811—1992	与高压电桥配合，用于测量介质损耗角正切和电容，也可用作分压电容器
F	防护电容器	$105/\sqrt{3}$～$20/\sqrt{3}$kV 0.01～6.80μF		用于降低过电压的峰值，配合避雷器保护发电机和电动机
D	直流滤波电容器	12～100kV 0.01～680.00μF		用于高压整流滤波装置及高压直流输电系统

表 11-55 常用互感器的分类

类别	型 式	特 点	标 准
电磁式电压互感器	单相干式	采用环氧浇注或其他干式绝缘，维护简单，误差稳定。不接地型供相间联结用，按 V 或△联结运行；接地型供相地间联结用，均接 YNyn，开口三角形联结运行。由剩余电压绕组构成的剩余电压回路供输出零序电压用	GB 1207—1997 IEC 60044—2；1996
	单相油浸式	采用油纸绝缘，误差稳定。有不接地型与接地型两种	
	串级油浸式	采用油纸绝缘，绝缘分级数与额定电压有关，误差稳定，只能设计成接地型	
	SF_6 气体绝缘式	采用 SF_6 气体，误差稳定，只生产接地型。单相式用于分相全封闭组合电器；三相式由三台单相互感器构成，用于三相共箱全封闭组合电器。另外，还有独立式单相 SF_6 气体绝缘互感器，用于一般开敞式变电站	
电容式电压互感器	单相油浸式	由电容分压器和电磁单元构成，高压电容器可兼做载波耦合电容器使用，只能设计成接地型。分离式的电容分压器和电磁单元分装成两个独立的整体，两部分仅有电气上的联系，检修方便，结构上比较松散；单柱式的电容分压器叠装在电磁单元之上，结构紧凑，检修困难	GB/T 4703—2001 IEC 60044—5 IEC 358
电流互感器	干式	采用环氧浇注或其他干式绝缘，维护简单；有贯穿式、母线式、支柱式三种，用于开关柜，或安装在发电机回路中	GB 1208—1997 IEC 6044—1
	油浸式	采用油纸绝缘，有正立式和倒立式两种	
	装入式	结构中无一次绕组及其主绝缘，装于变压器、断路器的套管上和全封闭组合电器室内	
	SF_6 气体绝缘式	倒立式，外绝缘用硅橡胶复合绝缘套或高强度电瓷套	
零序电流互感器	干式	有电缆式和母线式之分，与电流继电器或与接地型电压互感器的剩余电压回路和功率方向继电器构成中性点绝缘系统的单相接地保护装置。该保护装置有选择性，不需要进行选线操作，避免了非故障线路的停电和较长时间的寻找故障的操作过程	
组合互感器	油浸式	采用油纸绝缘和环氧浇注式，电流互感器与电压互感器同装于一个容器内，适用于线路变压器组和桥式主接线及中压计量装置	GB 17201—1997 IEC 44—3
直流互感器	油浸式或干式	直流电流互感器实质上是利用安匝相等原理工作的饱和电抗器，直流电压互感器系将直流电流互感器与高压线性电阻串联至高压直流线路两端，使流经直流电流互感器的电流与电压成正比。高压直流互感器为油浸式，用于直流输电线路；低压直流互感器为干式，用于测量直流强电流	

表 11-56 新型（电子式）互感器的分类

类 别	特 点	标 准
光学传感电子式电流互感器	高压回路用光学器件作传感，光纤做传输；高压无电源，结构简单，误差不稳定。有全光纤式和磁光玻璃两种形式	IEC 60044—8

（续）

类　别	特　点	标　准
混合式光电电子式电流互感器	高压采用罗哥夫斯基线圈或铁心线圈式传感器，经电光变换（调制）后，电流信息由光纤传输到光电位再经光电变换输出模拟或数字量。高压有电源，结构复杂，但误差稳定	
光学传感无分压电子式电压互感器	高压直接用电光晶体（BGO 晶体）作传感器，光纤作传输，经 DSP 和计算机作二次变换输出模拟或数字量。结构简单，高压无源，但误差不稳定	IEC 60044—7
分压型电子式电压互感器	高压通过分压器分压至低电位后经二次变换，输出模拟量或数字量信号。分压器有电容分压器、电阻分压器及陶瓷电容分压器等形式。电容、电阻分压形，结构简单易于制造，误差较不稳定，陶瓷分压结构复杂，误差稳定	
组合电子式互感器	由电子式电流互感器和电压互感器组装在一体，同时输出电流和电压信号（模拟量或数字量）	

表 11-57　避雷器使用场所和分类

类别与名称				型式代号	使用场所
碳化硅阀式避雷器	交流系统用	低压普通阀式避雷器		FS	用于低压网络保护交流电器、电能表和配电变压器低压绕组免遭过电压损坏
		配电用普通阀式避雷器		FS	用于限制作用在 3～20kV 交流配设施，主要是配电变压器、分段开关、刀开关及电缆头的雷电过电压及除谐振过电压和暂态过电压之外的相-地过电压
		电站用普通阀式避雷器		FZ	用于限制作用在 3～220kV 发、变电所设备的雷电过电压及除谐振过电压和暂态过电压之外的相-地过电压
		电站用磁吹阀式避雷器		FCZ	用于限制作用在 330kV 及以上发、变电所设备的雷电过电压及除谐振过电压和暂态过电压之外的相-地过电压
		线路用磁吹阀式避雷器		FCX	用于限制作用在 330kV 及以上线路设备的雷电过电压和部分操作过电压
		旋转电机用磁吹阀式避雷器		FCD	保护旋转电机绝缘
	直流系统用	直流磁吹阀式避雷器		FCL	保护直流系统电气设备绝缘
金属氧化物避雷器	交流系统用	瓷外套	无间隙金属氧化物避雷器	YW	包括电站用、发电机用、配电用、电动机用、线路用及发电机、变压器中性点用等各种场所应用的无间隙金属氧化物避雷器
			有串联间隙金属氧化物避雷器	YC	用于 3～750kV 交流系统，保护配电变压器、电缆头、电站设备、线路绝缘子等，与 YW 型相比各有其特点
			有并联间隙金属氧化物避雷器	YB	保护旋转电机和对保护性能有特殊要求的电气设备
		复合外套	无间隙金属氧化物避雷器	YHW	用于 3～750kV 交流系统，特别适宜于要求重量轻、大爬距、体积小的场所
			有串联间隙金属氧化物避雷器	YHC	用于 3～750kV 交流系统，保护配电变压器、电缆头、电站设备、线路绝缘子等，与 YHW 相比各有其特点
			有并联间隙金属氧化物避雷器	YHB	保护旋转电机和对保护性能有特殊要求的电气设备
		GIS 无间隙金属氧化物避雷器		YWF	用于 GIS 电站，保护 GIS 电站设备免遭过电压损坏
	直流系统用	直流金属氧化物避雷器		YWL	保护直流电气设备免遭过电压损坏
管式避雷器	纤维管式避雷器			GWX	电站进线和线路绝缘弱点保护
	无续流管式避雷器			GSW	用于保护电站进线、线路绝缘弱点及 6kV、10kV 交流配电设备免遭过电压损坏

表 11-58 架空输电线路的雷电过电压保护方式

电压等级/kV	保护方式	避雷线保护角
500	应沿全线架设双避雷线	10°～15°
300	应沿全线架设双避雷线	20°左右
220	宜沿全线架设双避雷线，少雷区宜架设单避雷线	双避雷线宜用20°，单避雷线可用25°
110	一般沿全线架设避雷线，在山区和雷电活动特别强烈地区，宜架设双避雷线，在少雷区可不全线架设避雷线，但应装自动重合闸装置，并装设进线段保护	双避雷线宜用20°
66	负荷重要且所经地区平均雷暴日数在30以上的地区，宜沿全线架设避雷线	20°～30°
≤35	一般不沿全线架设避雷线，但必须考虑进(出)线段保护	
3～10	钢筋混凝土杆配电线路，宜采用瓷或其他绝缘材料的横担，如用铁横担，对供电要求较高的线路宜采用高一电压等级的绝缘子	

注：1. 有避雷线的线路，在土壤电阻率为100～2000Ω·m的地区，每基杆塔的工频接地电阻不宜超过10～30Ω。

2. 有避雷线的线路，在一般土壤电阻率地区，耐雷水平：35kV，≤20～30kA；66kV，≤30～60kA；110kV，≤40～75kA；220kV，≤75～110kA；330kV，≤100～150kA；500kV，≤125～175kA。

表 11-59 避雷器至变压器间的最大距离

系统标称电压/kV	进线保护段长度/km	进线回路数目							
		1		2		3		≥4	
		避雷器型式							
		FZ	MOA	FZ	MOA	FZ	MOA	FZ	MOA
35	1	25		40		50		55	
	1.5	40		55		65		75	
	2	50		75		90		105	
66	1	45		65		80		90	
	1.5	60		85		105		115	
	2	80		105		130		145	
110	1	45	55	70	85	80	105	90	115
	1.5	70	90	95	120	115	145	130	165
	2	100	125	135	170	160	205	180	230
220	2	105	125 (90)	165	195 (140)	195	235 (170)	220	265 (190)
330	2		90		140		170		190
3～10		15		20		25		30	

注：1. FZ—普通避雷器，MOA—无间隙氧化物避雷器。

2. 括号内数据对应的雷电冲击全波耐受电压为850kV。

3. 对其他电器的最大距离可相应增加35%。

4. 全线有避雷线进线长度取2km，进线长度在1～2km间时的距离按补插法确定。

表 11-60　低压电器的分类与用途

分类名称		主要品种	用　途
配电电器	断路器	万能式空气断路器、塑料外壳式断路器、限流式断路器、直流快速断路器、灭磁断路器、漏电保护断路器	用于交、直流线路过载、短路或欠电压保护、不频繁通断操作电路，灭磁断路器用于发电机励磁电路保护，剩余电流保护断路器用于人身触电保护
	熔断器	有填料封闭管式熔断器、保护半导体器件熔断器、无填料密闭管式熔断器、自复熔断器	用作交、直流线路和设备的短路和过载保护
	刀开关	熔断器式刀开关、大电流刀开关、负荷开关	用作电路隔离，也能接通与分断电路额定电流
	转换开关	组合开关、换向开关	主要作为两种及以上电源或负载的转换和通断电路用
控制电器	接触器	交流接触器、直流接触器、真空接触器、半导体接触器	用作远距离频繁地起动或控制交、直流电动机以及接通分断正常工作的主电路和控制电路
	控制继电器	电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、热过载继电器、温度继电器	在控制系统中，作控制其他电器或作主电路的保护之用
	起动器	电磁起动器、手动起动器、农用起动器、自耦减压起动器、Y-△起动器	用作交流电动机的起动或正反向控制
	控制器	凸轮控制器、平面控制器	用于电气控制设备中转换回路或励磁回路的接法，以达到电动机起动、换向和调速
	主令电器	按钮、限位开关、微动开关、万能转换开关	用作接通、分断控制电路，以发布命令或用作程序控制
	电阻器	铁基合金电阻器	用作改变电路参数或变电能为热能
	变阻器	励磁变阻器、起动变阻器、频敏变阻器	用作发电机调压以及电动机的平滑起动和调速
	电磁铁	起重电磁铁、牵引电磁铁、制动电磁铁	用于起重操纵或牵引机械装置

表 11-61　低压电器试验项目表

序号	试验项目	试验内容	型式试验	常规(出厂)试验
1	一般检查	检查电器的外形尺寸及安装尺寸、电气间隙与爬电距离、触头开距、超行程、压力、操作力以及安装质量	✓	✓
2	电压降检查	对被试电器通以恒定直流电流，用仪表直接测量被测部分两端的电压降，以了解电器各部位的导电情况	视电器种类而定	✓
3	温升试验	用低压电源进行，测量电器各部件(包括触头、导电部件和易接触的外壳表面及操作手柄)的温升	✓	
4	绝缘电阻测量	用绝缘电阻表测量电器绝缘表面的阻值，在一般条件不得小于 10MΩ	✓	✓
5	介电性能试验	进行工频耐压试验，以考核电器的绝缘水平。在电气间隙小于标准规定时，尚须进行脉冲耐压试验	✓	✓
6	耐潮试验	在规定的温度湿度条件下进行，考核在湿热条件下电器的绝缘性能	✓	
7	额定接通与分断能力试验	接通与分断可分别试验，但必须在同一台试品上进行。如果条件具备，则接通与分断应当是一个连续的程序，不应分开。主电路和辅助触头都应进行	✓	
8	短路接通与分断能力试验	在规定的电流、电压、$\cos\varphi$ 或时间常数条件下进行。熔断器只进行分断能力试验	✓	

（续）

序号	试验项目	试验内容	型式试验	常规（出厂）试验
9	短时耐受电流能力试验	考核短路电流的热效应和电动力效应对电器的影响，一种电器可以有几种（如1、0.4、0.2s等）短时耐受电流	✓	
10	动作特性试验	确定电器的动作误差和在规定电流作用下的延时值、电流动作值可用低压电流进行	✓	✓
11	操作性能试验	需动作的电器，要进行一定次数的操作性能试验，以检查动作的可靠性	✓	✓
12	寿命试验	分机械寿命和电寿命试验，用闭合断开操作循环的次数表示。有的电器，如断路器要求两者在同一台试品上进行	✓	
13	电磁兼容性（EMC）试验	考核电子电器在电磁干扰作用下工作的可靠性。应进行辐射试验、冲击电压试验、电气快速瞬态/脉冲群试验、振荡波抗扰性试验	✓	

表 11-62 低压成套开关设备主要技术数据

型号	额定电压/V	水平母线		外形尺寸/mm			防护等级	结构特点
		额定电流/A	额定短时耐受电流/kA	宽	深	高		
PGL3	380	≤3200	≤50	600 800 1000	600 800	2200	IP30	框架为钢板弯制焊接 元件固定安装
GGL1	380 660	≤2500	≤50	600 800	600 1000	2200	IP30	框架采用矩形钢管组装式 元件固定安装
GCK1	380 660	≤2500	≤50	600 800 1000	500 1000	2200	IP40 IP30	框架为异型钢材组合装配式，功能单元、母线、电缆为封闭隔离独立隔室，功能单元为抽出式
GCL1	380 660	≤3200	≤80	600 800 1000	1100	2200	IP30	
GBD1	380 660	≤2500	≤50	800 1000	1000	2200	IP40	框架为异型钢材组合装配式，功能单元间隔离，功能单元为固定安装式
GBL1	380	≤1000	≤30	400 600 800	400	1800	IP30	
MNS	380 660	≤5000	≤100	600 800 1000	600 1000	2200	IP30 IP40	框架为型材组合装配式，功能单元、母线电缆为封闭隔离独立隔室，功能单元为抽出式
XGM1 XGZ1 XGC1	220 380	≤63	额定漏电动作电流： 主电路<0.1A 分支电路<0.03A					框架为钢板弯制 电器元件导轨安装 可嵌墙或挂墙安装
GYB1	高压进线10kV、低压出线380V变压器最大容量800kVA。外形尺寸按载重汽车的装载尺寸设计						IP30	结构为钢板焊接整体式，高压室、变压器室、低压室成一体。箱体采用薄钢板加装条形复板，减少了日照辐射、增大了通风面积

表 11-63 常用电动机起动保护设备及管线选择表

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积/mm^2		
Y				额定电流/A				额定电流/A	热元件额定电流/A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径/mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
801-4	0.55	1.6	10	10/5	15/4	15/6	50/10	15/5	2/6 / 2.4	2/6 / 2.4	2H / 2.4	3			
801-2 802-4 90S-6	0.75	1.9 2.1 2.3	13 14 14	10/6	15/6	15/6	50/10	15/6	2/6 / 2.4	2/6 / 2.4	2/H / 2.4	3			
802-2 90S-4 90L-6	1.1	2.6 2.7 3.2	18 18 19	10/10	15/10	15/10	50/10	15/10	2/6 / 3.5	2/6 / 3.5	2/H / 3.5	4.5			
90S-2 90L-4 100L-6	1.5	3.4 3.7 4.0	24 24 24	15/10	15/10	15/10	50/10	15/10	2/6 / 5	2/6 / 5	2/H / 5	4.5			
90L-2 100L1-4 112M-6 132S-8	2.2	4.7 5.0 5.6 5.8	33 35 34 32	15/15	15/15	15/15	50/15	15/15	2/6 / 7.2	2/6 / 7.2	2/H / 7.2	6.5	2.5 / G15	2.5 / G15	2.5 / G15
100L-2 100L2-4 132S-6 132M-8	3.0	6.4 6.8 7.2 7.7	45 48 47 43	15/15	60/20	60/20	50/20	15/15	2/6 / 11	2/6 / 11	2/H / 11	10			
112M-2 112M-4 132M1-6 132M1-8	4.0	8.2 8.8 9.4 9.9	57 62 61 59	30/20	60/25	60/25	50/30	30/20	2/6 / 11	2/6 / 11	2/H / 11	10			

（续）

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率	额定电流	起动电流	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积 /mm²		
Y	/kW	/A	/A	额定电流 /A				额定电流 /A	热元件额定电流 /A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径 /mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
132S1-2	5.5	11	78	30/30	60/35	60/35	50/30	30/30	3/6 / 16	3/6 / 16	3/H / 16	15	2.5 / G15	2.5 / G15	2.5 / G15
132S-4		12	81												
132M2-6		13	82												
160M2-8		13	80												
132S2-2	7.5	15	105	60/40	60/50	60/45	50/40	60/40	3/6 / 24	3/6 / 24	3/H / 22	20	2.5 / G15	2.5 / G15	2.5 / G15
132M-4		15	108												
160M-6		17	111												4 / G20
160L-6		18	97												
160M1-2	11	22	153	60/60	100/80	60/60	50/50	60/60	4/6 / 33	4/6 / 35	4/H / 32	30	4 / G20	4 / G20	6 / G20
160M-4		23	158												
160L-6		25	160												
180L-8		25	151												
160M2-2	15	29	206	100/80	100/80	100/80	100/60	60/60	4/6 / 45	4/6 / 35	4/H / 45	40	10 / G25	10 / G25	10 / G25
160L-4		30	212												
180L-6		32	205							4/6 / 45					16 / G25
200L-8		34	205												
160L-2	18.5	36	249	100/80	100/80	100/80	100/80	—	4/6 / 45	4/6 / 45	4/H / 45	50	16 / G25	16 / G25	16 / G25
180M-4		36	251												
200L1-6		38	245												
225S-8		41	248												
180M-2	22	42	295	100/100	100/100	100/80	100/80	—	5/6 / 57	5/6 / 50	5/H / 63	50	16 / G25	10 / G25	25 / G32
180L-4		43	298												
200L2-6		45	290											25 / G32	
225M-8		48	280												

（续）

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积/mm²		
Y				额定电流/A				额定电流/A	热元件额定电流/A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径/mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200L1-2	30	57	398	—	—	200/160	200/120	—	5/6 / 86	5/6 / 72	5/H / 63	60	25 / G32	25 / G32	35 / G40
200L-4		57	398												
225M-6		60	387												
250M-8		63	378												
200L2-2	37	70	489	—	—	200/160	200/120	—	6/6 / 86	6/6 / 100	6/H / 85	80	35 / G40	35 / G40	50 / G50
225S-4		70	489												
250M-6		72	468												
280S-8		79	472												
225M-2	45	84	587	—	—	200/160	200/150	—	6/6 / 125	6/6 / 100	6/H / 120	100	50 / G50	50 / G50	70 / G70
225M-4		84	589												
280S-6		85	555												
280M-8		93	559												
315S-10		98	637												
250M-2	55	103	719	—	—	200/200	200/200	—	7/6 / 125	7/6 / 150	7/H / 160	120	70 / G70	70 / G70	70 / G70
250M-4		103	718												
280M-6		105	682									140			
315S-8		109	709												
315M-10		120	780												
280S-2	75	140	981	—	—	350/260	400/250	—	7/6 / 176	7/6 / 150	7/H / 160	170	95 / G70	95 / G70	95 / G70
280S-4		140	978												
315S-6		142	923							—				120 / G70	120 / G70
315M1-8		148	962												
315M3-10		160	1040												

注： >75kW 的电动机设备及管线选择请参考有关专著。

表 11-64 铜芯绝缘导线长期连续允许最大载流量

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
1.0	1	1.13	4.4	21	19	20	18	15	14	12	13	12	11	14	13	11	12	11	10
1.5	1	1.37	4.6	27	24	25	20	20	18	17	17	16	14	19	17	16	16	15	13
2.5	1	1.76	5.0	35	32	33	30	28	25	23	25	22	20	26	23	22	23	21	19
4	1	2.24	5.5	45	42	42	39	37	33	30	33	30	25	35	31	28	31	28	24
6	1	2.73	6.2	58	55	54	51	49	43	39	43	38	34	46	40	36	40	36	32
10	7	1.33	7.8	85	75	79	70	68	60	53	59	52	46	64	56	50	55	49	43
16	7	1.68	8.8	110	105	103	98	86	77	69	76	68	60	80	72	65	71	64	56
25	19	1.28	10.6	145	138	135	128	113	100	90	100	90	80	106	94	84	94	84	75
35	19	1.51	11.8	180	170	168	159	140	122	110	125	110	98	131	114	103	117	103	92
50	19	1.81	13.8	230	215	215	201	175	154	137	160	140	123	163	144	128	150	131	115
70	49	1.33	17.3	285	265	266	248	215	193	173	195	175	155	201	180	162	182	163	145
95	84	1.20	20.8	345	320	322	304	260	235	210	240	215	195	241	220	197	224	201	182
120	133	1.08	21.7	400	375	374	350	200	270	245	278	250	227	280	252	229	260	234	212
150	37	2.24	22.0	470	430	440	402	340	310	280	320	290	265	318	290	262	299	271	248
185				540	490	504	458	385	355	320	360	330	300	359	331	299	336	308	280

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设				塑料绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
1.0	1	1.13	4.4	21	19	20	18	14	13	11	12	11	10	13	12	10	11	10	9
1.5	1	1.37	4.6	27	24	25	20	19	17	16	16	15	13	18	16	15	15	14	12
2.5	1	1.76	5.0	35	32	33	30	26	24	22	24	21	19	24	22	21	22	20	18
4	1	2.24	5.5	45	42	42	39	35	31	28	31	28	25	33	29	26	29	26	23
6	1	2.73	6.2	58	55	54	51	47	41	37	41	36	32	44	38	35	38	34	30
10	7	1.33	7.8	85	75	79	70	65	57	50	56	49	44	61	53	47	52	46	41
16	7	1.68	8.8	110	105	103	98	82	73	65	72	65	57	77	68	61	67	61	53
25	19	1.28	10.6	145	138	135	128	107	95	85	95	85	75	100	89	80	89	80	70
35	19	1.51	11.8	180	170	168	159	133	115	105	120	105	93	124	107	98	112	98	87
50	19	1.81	13.8	230	215	215	201	165	146	130	150	132	117	154	136	121	140	123	109
70	49	1.33	17.3	285	265	266	248	205	183	165	185	167	148	192	171	154	173	156	138
95	84	1.20	20.8	345	320	322	304	250	225	200	230	205	185	234	210	187	215	192	173
120	133	1.08	21.7	400	375	374	350	285	266	230	265	240	215	266	248	215	248	224	201
150	37	2.24	22.0	470	430	440	402	320	295	270	305	280	250	299	276	252	285	262	234
185				540	490	504	458	380	340	300	355	375	280	355	317	280	331	289	261

注：导电线芯最高允许工作温度为 +65℃。

表 11-65　铝芯绝缘导线长期连续允许最大载流量

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
								2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
2.5	1	1.76	5.0	27	25	25	23	21	19	16	19	17	15	20	18	15	18	16	14
4	1	2.24	5.5	35	32	33	30	28	25	23	25	23	20	26	23	22	23	22	19
6	1	2.73	6.2	45	42	42	39	37	34	30	33	29	26	35	32	28	31	27	24
10	7	1.33	7.8	65	59	61	55	52	46	40	44	40	35	49	43	37	41	37	33
16	7	1.68	8.8	85	80	79	75	66	59	52	58	52	46	62	55	49	54	49	43
25	7	2.11	10.6	110	105	103	98	86	76	68	77	68	60	80	71	64	72	64	56
35	7	2.49	11.8	138	130	129	121	106	94	83	95	84	74	90	88	78	89	79	69
50	19	1.81	13.8	175	165	163	154	133	118	105	120	108	95	124	110	98	112	101	89
70	19	2.14	16.0	220	205	206	192	165	150	133	153	135	120	154	140	124	143	126	112
95	19	2.49	18.3	265	250	248	234	200	180	160	184	165	150	187	168	150	172	154	140
120	37	2.01	20.0	310	285	290	266	230	210	190	210	190	170	215	196	177	196	177	159
150	37	2.24	22.0	360	325	336	303	260	240	220	250	227	205	241	224	206	234	212	192
185				420	380	392	355	295	270	250	282	255	232	275	252	233	263	238	216

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设				塑料绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
								2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
2.5	1	1.76	5.0	27	25	25	23	20	18	15	18	16	14	19	17	14	17	15	13
4	1	2.24	5.5	35	32	33	30	27	24	22	24	22	19	25	22	21	22	21	18
6	1	2.73	6.2	45	42	42	39	35	32	28	31	27	25	33	30	26	29	25	23
10	7	1.33	7.8	65	59	61	55	49	44	38	42	38	33	46	41	36	39	36	31
16	7	1.68	8.8	85	80	79	75	63	56	50	55	49	44	59	52	47	51	46	41
25	7	2.11	10.6	110	105	103	98	80	70	65	73	65	57	75	66	61	68	61	53
35	7	2.49	11.8	138	130	129	121	100	90	80	90	80	70	94	84	75	84	75	65
50	19	1.81	13.8	175	165	163	154	125	110	100	114	102	90	117	103	94	106	95	84
70	19	2.14	16.0	220	205	206	192	155	143	127	145	130	115	145	133	119	135	121	107
95	19	2.49	18.3	265	250	248	234	190	170	152	175	158	140	177	159	142	163	148	131
120	37	2.01	20.0	310	285	290	266	220	200	180	200	185	160	206	187	168	187	173	154
150	37	2.24	22.0	360	325	336	303	250	230	210	240	215	185	234	215	196	224	201	182
185				420	380	392	355	285	255	230	265	235	212	266	238	215	247	219	198

注：导电线芯最高允许工作温度为 +65℃。

表 11-66　500V BV、BLV 型塑料绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积 /mm²	2 根单芯					3 根单芯					4 根单芯					5 根单芯					6 根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20
2.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25
6	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	25	20	25	20	20	25	25	25	20	20	32	25
10	25	20	20	25	20	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	32	32	32	32	32	40	32	32	40	40
16	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	40	32	32	32	40	50	40	40	50	40
25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	40	40	50	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	40	50	50	50	50	50	50	50	50	—	70	—	50	50	—	70
50	50	32	32	40	40	50	50	50	50	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	70	—	80
70	50	50	50	50	50	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80	—	—	80	—	—
95	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
120	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
150	—	—	70	—	—	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—

注：1. 表中代号：DG 为薄壁钢电线管；G 为厚壁钢电线管；GG 为水煤气钢管；BYG 为难燃型聚氯乙烯半硬型塑料管；VG 为聚氯乙烯硬型塑料管。

2. 管内导线面积为 1～6mm² 时，按不大于 33% 内孔总面积计算；10～50mm² 时，按不大于 27.5% 内孔总面积计算；70～150mm² 时，按不大于 22% 内孔总面积计算。

3. 敷设在自然地面上的素混凝土内的管路，均应采用水煤气钢管（GG）；利用电线管管壁兼作接地线时应用厚壁钢电线管（G）；无前述情况，一般均用薄壁钢电线管（DG）。

4. 当采用铜芯导线穿管时，25mm² 及以上的导线应按表中管径加大一级。

5. 表中最小管径：DG、BYG 指外径，G、GG、VG 指内径。

表 11-67　500V BX、BLX 型橡胶绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积 /mm²	2 根单芯					3 根单芯					4 根单芯					5 根单芯					6 根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
1.5	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
2.5	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25

（续）

截面积/mm²	2根单芯					3根单芯					4根单芯					5根单芯					6根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
4	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	32	25	25	32	32
6	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	40	25	25	40	32
10	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50
16	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50
25	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	—	70	—	50	50	—	70
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	70	—	—	50	—	70	—	—	70	—	70
50	50	40	40	50	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80
70	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—
95	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
120	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
150	—	—	70	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 11-68　500V BXF、BLXF 型氯丁橡胶绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积/mm²	2根单芯					3根单芯					4根单芯					5根单芯					6根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20
1.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20
2.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	20	20	20	20	25	20	20	25	25
4	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
6	20	15	15	20	20	25	20	20	25	20	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32
10	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	32	32	40	40
16	32	25	25	32	32	32	32	32	40	32	40	32	32	50	40	50	40	40	50	50	50	40	40	50	50
25	32	32	32	40	32	40	32	32	50	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	50	50	50	—	70
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70
50	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80
70	50	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—
95	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—

表 11-69 电力变压器的继电保护配置

变压器容量/kVA	保护装置							备注
	过电流	速断	纵差	接地	过载	瓦斯	温度	
<400	—	—	—	—	—	≥315kVA 车间内油浸变压器	—	一般用高压熔断器
400～630	高压侧为断路器时	过电流时限大于一级时	—	装设	并列运行变压器，作为其他备用电源的变压器有过负荷的可能性时	车间内油浸变压器	—	—
800			—			装设	—	—
1000～1600	装设		—				装设	—
2000～5000			速断灵敏性不满足要求时	—				≥8000kVA 的变压器及≥5000kVA 的单相变压器，宜装设远距离测温装置
6300～8000		单独运行或负荷不太重要的变压器	并列运行变压器或重要变压器或速断灵敏性不满足要求时	—				
≥10000		—	装设	—				

表 11-70 6～10kV 线路及母线分断断路器的继电保护配置

被保护线路/母线	保护装置名称			备注
	速断	过电流	接地	
单侧电源放射式单回线路	自重要配电所引出的线路①	装设	根据需要	当过电流时限不大于一级且无保护配合要求时不装设速断
不并列运行的分段母线	仅在分断断路器合闸瞬间投入，合闸后自动解除	装设	—	向Ⅱ、Ⅲ级负荷供电且出线不多的母线，分断断路器可不装设保护

① 当速断不满足选择性要求时，可装设延时速断。

表 11-71 3～10kV 电动机的继电保护配置

容量 \ 保护装置		速断	纵差	过负荷	单相接地	低电压	失步保护①	防止非同步冲击的断电失步保护②
异步电动机	<2000kW	装设	速断灵敏性不满足要求时装设	易发生过负荷或起动/自起动条件严重时应装设	接地电流<5A 时装设，≥10A 时一般动作于跳闸 5～10A 时可动作于跳闸或信号	根据需要装设	—	—
	≥2000kW	—	装设					
同步电动机	<2000kW	装设	速断灵敏性不满足要求时装设			—	装设	根据需要装设
	≥2000kW	—	装设					

① 下列电动机可以利用反应定子回路的过负荷保护兼作失步保护：短路比在 0.8 及以上且负荷平稳的同步电动机；但此时应增设失磁保护。

② 大容量同步电动机当不允许非同步冲击时，宜装设防止电源短时中断再恢复而造成的非同步冲击的保护。

表 11-72　6～10kV 电弧炉变压器的继电保护配置

保护动作的断路器	保护装置名称						备　注
	速断	过电流	过负荷	线路单相接地	瓦斯	温度	
线路断路器	装设	装设	—	有条件时装设	—	—	—
操作断路器	装设	—	一般装设三相三继电器	—	装设	装设	当变压器容量小于 400kVA 时允许不装设瓦斯保护

表 11-73　发电机变压器组的模拟量和开关量

量别	信号来源处	测　点
模拟量	发电机	定子 A 相电压、B 相电压、C 相电压，A 相电流、B 相电流、C 相电流，温度、频率、功率因数、有功功率、无功功率（可计算获得）
	励磁系统	励磁电压、励磁电流、主励磁机励磁电流
	主变压器	油温度、绕组或铁心温度
	系统电网	频率、高压母线电压
脉冲量	发电机	有功电能、无功电能
开关量	主变压器高压侧	断路器（当为一个半断路器接线时，包括该串的三台断路器）跳和合闸、母线隔离开关（当为一个半断路器接线时，可不考虑）跳和合闸、变压器中性点接地隔离开关
	励磁系统	灭磁开关、整流器交流侧或直流侧开关、调节器交流侧或直流侧开关
	断路器	油压低闭锁合闸回路触点，油压低闭锁跳闸回路触点
	继电保护	各套差动、瓦斯、速断、匝间保护、励磁回路两点接地保护、阻抗保护等分析信号触点

表 11-74　高压厂用电源的模拟量与开关量

安装单位	量别	信号来源处	测　点
高压厂用变压器	模拟量	高压侧	有功功率、电流
		低压侧	进线电流、母线电压
		变压器	电流、油温度、绕组或铁心温度
	开关量	低压侧	各分支断路器
		继电保护	差动、电流速断、瓦斯、低压侧过电流、单相接地、低压侧分支差动信号触点
	脉冲量	高压侧	有功电度、无功电度
高压起动/备用变压器	模拟量	高压侧	有功功率、电流
		低压侧	进线电流、母线电压
		变压器	电流、油温度、绕组或铁心温度
	开关量	高压侧	断路器、双母线隔离开关、变压器中性点接地隔离开关（永久接地的可不考虑）、快切
		低压侧	各分支断路器
		继电保护	差动、电流速断、瓦斯、高压侧过电流、单相接地、零序电流、低压分支过电流等保护的信号触点
6kV 厂用母线电压互感器	模拟量	6kV 厂用母线电压互感器	电压
	开关量	电压互感器二次回路有关信号继电器触点	接地、电压回路断线、保护回路断线、低电压保护动作

表 11-75 低压厂用电源的模拟量与开关量

安装单位	量别	信号来源处	测点
低压厂用工作/备用变压器	模拟量	高压侧	电流
		低压侧	各分支电流、母线电压
	开关量	高压侧	断路器
		低压侧	各分支断路器
		继电保护	差动、电流速断、瓦斯、过电流、单相接地、低电压、温度、高压侧过电流、变压器零序过电流等保护的分析信号触点
380V 厂用母线电压互感器	模拟量	380V 厂用母线电压互感器	电压
	开关量	电压互感器二次回路有关信号继电器触点	电压回路断线、保护回路断线、接地（当需要时），低电压保护动作

表 11-76 重要电动机的模拟量与开关量

安装单位	量别	信号来源处	测点
高压厂用电动机	模拟量	开关柜	电流
	开关量	开关柜	断路器、保护动作、控制电源消失、控制回路故障
		继电保护	差动保护（2MW 及以上）或电流速断保护、过电流、过负荷、单相接地保护、低电压、负序保护、断相保护
	脉冲量	主要电动机	电度
低压厂用电动机	开关量	开关柜	电流
		开关柜	断路器、保护动作、控制电源消失、控制回路故障
		继电保护	相间短路保护、单相接地短路保护、过负荷保护、低电压保护、断相保护

表 11-77 直流系统的主要模拟量与开关量

量别	测点
模拟量	母线电压、浮充电装置输出电流
开关量	浮充电装置直流侧开关、接地、电压高、电压低、浮充电装置事故跳闸、馈线

表 11-78 保安电源的主要模拟量与开关量

安装单位	量别	信号来源处	测点
保安 PC	模拟量		电流
	开关量		进线断路器、馈线断路器、断线、PT 失压、PT 直流电源消失

表 11-79 数字电压表的工作原理及分类

类 型	转换方式	工作原理	准确度	分辨力	采样速度	抗干扰能力	线路结构	其 他
逐次逼近型	电压→数字量	被测电压在比较器中与来自 D/A 转换器的基准电压（按等比级数从大到小逐次变化）相比较，比较结果 Δ 存入数码寄存器；当 $\Delta>0$ 时，寄存器则留；反之 $\Delta<0$，寄存器则去	较高	较高	快	差	线路较复杂	稳定性好，易于实现快速检测
斜坡型	电压→时间→数字量	把斜坡电压与被测电压比较，并对斜波电压由零变到被测电压时所需要的时间编码	较低	不高	不快	差	线路简单	成本低
双斜积分型	电压→时间→数字量	用同一积分器对被测电压做定时积分，再对标准电压做反向积分，并确定积分值返回零所需的时间，对此时间编码	较高	高	慢	强	线路较简单	稳定性好，应用广泛
电压-频率转换型	电压→频率→数字量	对被测电压积分，当积分输出达到一定电平时，标准脉冲发生器发出频率与被测电压成正比的脉冲串，并由数字频率计测量						
脉宽调制型	电压→时间→数字量	被测电压被准确地调制成脉冲宽度，再对正、负脉冲宽度之差进行计数						
余数再循环型	电压→频率→数字量	输入放大器连续放大剩余电压，放大器的输出与一个用二-十进制计数器驱动的阶梯波电压相比较，其差值（余数）又反馈到放大器输入端，如此循环比较，进而得到被测电压读数	高	高	慢	强	线路复杂	成本高，综合电气性能好
二次采样积分反馈型	电压→时间→高位数字量 电压差值→频率→低位数字量	这是一种 *U/F* 加反馈比较式的模数转换形式。先由 *U/F* 转换型原理，将被测电压计入计数器高位，再用 D/A 转换器将计入的电压反馈到输入端，用 *U/F* 转换器将电压的差值计入计数器低位						
三次采样积分反馈型	电压→时间→高位数字量 电压差值→时间→低位数字量 零点漂移电压→时间→校零数字量	用双斜积分型原理，将被测电压计入计数器高位，再用 D/A 转换器将计入的电压反馈到积分器输入端，用双斜转换原理将电压的差值计入计数器低位，再用双斜转换原理将零点漂移电压转换成数字量，在计数器结果中减去其影响						
二次采样电感分压型	电压→时间→高位数字量 电压差值→时间→低位数字量	先用感应分压器逐次逼近方式转换被测电压成数字量，计入计数器高位，再用双斜积分原理转换逐次逼近后的剩余电压成数字量，计入计数器低位						

表 11-80 模拟指示仪表分类和应用范围

分类		磁电系	电磁系	电动系	铁磁电动系	静电系	感应系	热电系	整流系	电子系
标志符号										
型号符号		C	T	D	D	Q	G	E	L	Z
作用原理		利用动圈内电流在固定的永久磁铁磁场中作用力动作	利用动铁片与通有电流的固定线圈之间作用力动作(吸引型),或在通电线圈磁场中动铁片与固定铁片相互排斥动作(排斥型)	利用通电流的动圈与通电流的固定线圈之间的作用力动作	在电动系仪表固定线圈中加入铁磁体组成磁路,以增加磁场,动作原理同电动系	利用静电作用力动作	利用固定交变磁场与由该磁场在导电的可动部分中所感应的电流之间作用力	利用磁电系测量机构测量由被测电流通过热电偶产生热电动势而工作	利用整流器将被测交流电变为直流电,再用磁电系测量机构测量	利用电子线路配合磁电系等测量机构而工作
制成仪表类型		A、V、Ω、MΩ、检流计、钳形表	A、V、Hz、cosφ、同步表、钳形表	A、V、W、Hz、cosφ 同步表	A、V、W、Hz、cosφ	V、象限计	主要用于电能表	A、V、W	A、V、Ω、cosφ、Hz 万用表	V、阻抗表
工作电流		直流	交直流	交直流	交直流	交直流	交流	交(直)流	交流	交直流
测量范围	电流/A	$10^{-11}\sim10^{2}$	$10^{-3}\sim10^{2}$	$10^{-3}\sim10^{2}$	$10^{-7}\sim10^{2}$		$10^{-1}\sim10^{2}$	$10^{-3}\sim10$	$10^{-5}\sim10$	
	电压/V	$10^{-3}\sim10^{3}$	$1\sim10^{3}$	$1\sim10^{3}$	$10^{-1}\sim10^{3}$	$10\sim5\times10^{5}$	$10\sim10^{3}$	$10\sim10^{3}$	$1\sim10^{3}$	$5\times(10^{-3}\sim10^{2}$
	频率/Hz	直流	一般用于工频,可扩频(补偿)到5k	一般用于工频,有的可达10k	一般用于工频	达 10^{8}	用于工频	$<10^{8}$	一般用于工频有的高达5k	一般为 10^{6} 均 $<10^{8}$
消耗功率		小(<100mW)	较小	较大	较小	几乎不消耗	较小	小	小	较小
最高准确度级		0.05	0.1	0.05	0.2	0.1	0.5	0.2	1.0	1.0~5.0
分度特性		均匀	不均匀	不均匀,W 表均匀	不均匀,W 表均匀	不均匀		不均匀	接近均匀	
过载能力		小	大	小	小	大	大	小	小	

思　考　题

1. 通过本章学习，你对电气工程常用设备、材料、元件在工程中的应用有哪些了解和认识？
2. 掌握小型变压器的主要数据。
3. 掌握中小型电动机的主要数据。
4. 掌握常用低压电器的主要数据。

参 考 文 献

[1] 杨帮文. 最新工业自动化测控应用手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.

[2] 李世基. 微机与可编程控制器 [M]. 北京：机械工业出版社，2001.

[3] 黄义源. 机械设备电气与数字控制 [M]. 北京：中央广播电视大学出版社，1994.

[4] 李凤阁，佟为明，等. 电气控制与可编程序控制器应用技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[5] 白玉岷. 电气工程安装及调试技术手册（新版）[M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2008.

[6] 白公，等. 怎样阅读电气工程图 [M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2009.

[7] 白公. 电工安全技术 365 问 [M]. 北京：机械工业出版社，2002.

[8] 王建华. 电气工程师手册 [M]. 3 版. 北京：机械工业出版社，2006.

[9] 中国电器工业协会变频器分会，仲明振，赵相宾，等. 高压变频器应用手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2009.

Document generated by Anna’s Archive around 2023-2024 as part of the DuXiu collection (https://annas-blog.org/duxiu-exclusive.html).

Images have been losslessly embedded. Information about the original file can be found in PDF attachments. Some stats (more in the PDF attachments):

{
  "filename": "MTI0Nzc3MDMuemlw",
  "filename_decoded": "12477703.zip",
  "filesize": 23552563,
  "md5": "bd97e1aa0680e79a57db11fbbc556cc0",
  "header_md5": "002bd48cc0bf289efcd9772318ac545c",
  "sha1": "bc9f8c25f17f1d834eadab2f6d13363d7642930a",
  "sha256": "a97d8d3bd31eb42ea4c0e9b827a7b7600e8df84cada5f71eb3822e5625ef68ab",
  "crc32": 841318617,
  "zip_password": "",
  "uncompressed_size": 23915506,
  "pdg_dir_name": "",
  "pdg_main_pages_found": 208,
  "pdg_main_pages_max": 208,
  "total_pages": 217,
  "total_pixels": 1402098768,
  "pdf_generation_missing_pages": false
}