ICS 27.100
CCS K 47

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 284—2021
代替 DL/T 284—2012

输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母

Hot-dip galvanized bolts and nuts for tower and hardware of transmission lines

2021-04-26发布　　2021-10-26实施

国家能源局　发布

目　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义及符号 2
4　型式尺寸 5
5　技术要求 10
6　试验方法的运用及试验项目的选择 19
7　试验方法 22
8　验收检查 43
9　组配与包装 45
10　质量信息管理及质量证明文件 45
附录 A （规范性）　公称长度 *l* 尺寸公差 47
附录 B （规范性）　平垫圈 48
附录 C （规范性）　内螺纹 6AZ 极限尺寸 50
附录 D （规范性）　外螺纹 6 g 极限尺寸 51
附录 E （资料性）　螺母采用加大攻丝尺寸的热浸镀锌螺栓连接副的强度 52
附录 F （规范性）　剪切试验方法 53
附录 G （规范性）　螺母保证载荷试验芯棒的螺纹尺寸 54
附录 H （规范性）　热浸镀锌层均匀性试验　硫酸铜试验方法 55
附录 I （资料性）　螺栓用通孔 56
附录 J （资料性）　热浸镀锌螺栓安装施拧扭矩 58
附录 K （资料性）　铁塔用热浸镀锌螺栓拧紧力矩 59

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利权。本文件的发布机构不承担识别专利权的责任。

本文件代替 DL/T 284—2012《输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母》，与 DL/T 284—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a） 新增了螺纹收尾长度 x 尺寸，明确了 l_s 尺寸由设计人员或需方根据连接需要确定（见 4.1）。

b） 新增了六角头脚钉型式，取消了平头脚钉型式（见 4.2）。

c） 新增了 5.6 级、5.8 级两个性能等级（见 5.1.1.1 和 5.2.1）。

d） 取消了 8.8 级用“添加元素的碳钢（如硼或锰或铬）淬火并回火”的材料规定；明确规定了 8.8 级螺栓和脚钉采用“合金钢淬火并回火”（见 5.2.1）。

e） 新增了螺栓和脚钉、螺母“推荐用材料”（见 5.2.1）。

f） 螺母机械性能中新增“布氏硬度”“维氏硬度”，并调整了 M10 的保证应力（见 5.2.1）。

g） 新增产品“头部坚固性试验”项目和方法（见 5.3.1 和 7.1.11）。

h） 在“加工”要求中，新增“材料选用”“热处理”和“磁粉探伤”的内容（见 5.5）。

i） 修改了试验项目的选择方案（见 6.3）。

j） 扩大了螺栓拾物试验的规格范围、螺母保证载荷试验规格范围，并增加了螺纹规格 $d>48$ mm 偏心取样要求（见 7.1.5）。

k） 取消了附录 A：无螺纹杆部长度 l 和最小夹紧长度 l_g。

l） 新增附录 A：公称长度公差。

m） 新增附录 C：外螺纹 6 g 极限尺寸。

n） 取消了附录 E：螺母硬度换算表。

o） 新增附录 G：螺母试验芯棒的螺纹尺寸。

p） 新增附录 J：热浸镀锌螺栓安装施拧扭矩。

q） 新增附录 K：铁塔用热浸镀锌螺栓拧紧力矩。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国架空线路标准化技术委员会（SAC/TC 202）归口并负责解释。

本文件起草单位：全球能源互联网研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、山东电工电气铁塔研究所、河北信德电力配件有限公司、浙江海力股份有限公司、浙江祥煜电力配件有限公司、国家电网有限公司、国网交流建设分公司、国网河南省电力公司电力科学研究院、西北电力设计院有限公司、中南电力设计院有限公司、国家电力器材产品安全性能质量监督检验中心、国网山东省电力公司潍坊供电公司、郑州华裕电气设备有限公司、（中电联）北京恒功检测技术研究院有限公司。

本文件起草人：李现兵、徐德录、王正寅、王虎长、包永忠、杨晓辉、王力争、杨风利、聂京凯、马恒、李东亮、李燕雷、刘蔚宁、曹华明、孙华忠、马光、江云峰、刘樟祥、刘万超、伍川、赵江涛。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2012 年首次发布为 DL/T 284—2012。

——本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母

1 范围

本文件规定了螺纹规格为 M10～M64、性能等级为 4.8、5.6、5.8、6.8、8.8 和 10.9 级输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌六角头螺栓（以下简称“螺栓”）、脚钉、六角螺母（以下简称“螺母”）和六角薄螺母（以下简称“薄螺母”）的型式尺寸、技术要求、试验方法的运用及试验项目的选择、验收检查、组配与包装和质量信息管理及质量证明文件。

本文件规定采用加大攻丝尺寸的内螺纹，以容纳热浸镀锌层，满足镀锌外螺纹与内螺纹配合要求。

本文件适用于输电线路杆塔、电力金具及其他用钢制紧固连接用零件。

注：按本文件生产的紧固件适用的温度为–50 ℃～+150 ℃，当使用温度超出该范围时，使用者应向有关方面咨询。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3 普通螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角

GB/T 41 1 型六角螺母 C 级

GB/T 90.1 紧固件 验收检查

GB/T 90.2 紧固件 标志与包装

GB/T 90.3 紧固件 质量保证体系

GB/T 95 平垫圈 C 级

GB/T 192 普通螺纹 基本牙型

GB/T 196 普通螺纹 基本尺寸

GB/T 197 普通螺纹 公差

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

GB/T 231.1 金属布氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 2694 输电线路铁塔制造技术条件

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱

GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母

GB/T 3103.1 紧固件公差 螺栓、螺钉、螺柱和螺母

GB/T 3103.3 紧固件公差 平垫圈

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 5267.3 紧固件热浸镀锌层
GB/T 5276 紧固件 螺栓、螺钉、螺柱及螺母 尺寸代号和标注
GB/T 5277 紧固件 螺栓和螺钉通孔
GB/T 5779.1 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 一般要求
GB/T 5779.2 紧固件表面缺陷 螺母
GB/T 5779.3 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 特殊要求
GB/T 5780 六角头螺栓 C级
GB/T 6172.1 六角薄螺母
GB/T 6478 冷镦和冷挤压用钢
GB/T 7232 金属热处理工艺 术语
GB/T 13683 销 剪切试验方法
GB/T 13825 金属覆盖层 黑色金属材料热镀锌层 单位面积质量称量法
GB/T 15756 普通螺纹 极限尺寸
GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准
GB/T 22028 热浸镀锌螺纹 在内螺纹上容纳镀锌层
ISO 18265：2013 金属材料 硬度值换算（Metallic materials—Conversion of hardness values）

3 术语和定义及符号

GB/T 5276、GB/T 197 界定的以及下列术语和定义、符号适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1
机械加工试件 machined test piece
为评定材料性能由紧固件成品机械加工的试件。

3.1.2
基体金属硬度 base metal hardness
恰好在显示增碳或脱碳造成的硬度增加或减少之前最接近表面的硬度（测试时，沿芯部向外径横切）。

3.1.3
脱碳 decarburization
通常指黑色金属材料（钢）表面碳的损耗。

3.1.4
不完全脱碳 partical decarburization
由于碳的损耗已使回火后金相组织轻度变色，且硬度明显地比相邻基体硬度低的脱碳。

3.1.5
全脱碳 complete decarburization
由于碳全部损耗，在金相检查中只能看到铁素体组织。

3.1.6
增碳 carburization
使基体金属表面增加碳含量的结果。

3.1.7
热浸镀锌层平均厚度
假定镀层是均匀分布在该批零件的表面，计算镀层的平均厚度。

3.1.8

样本大小　sample size

样本中所包含的紧固件数量。

3.1.9

特性　characteristic

规定了极限范围的尺寸要素、机械性能或其他可标识的产品性能。

例如：头部高度、杆部直径、抗拉强度或硬度。

3.1.10

缺陷　nonconformity

特性偏离了特定的技术要求。

3.1.11

不合格紧固件　nonconforming fastener

有一个或多个缺陷的紧固件。

3.1.12

合格判定数　acceptable number；Ac

在任一给定的样本中，同一特性所允许的最大缺陷数，如超出，则拒收该批产品。

3.2　符号

A　机械加工试件的断后伸长率，%；

A_f　螺栓和脚钉实物的断后伸长率；

A_s　螺纹公称应力截面积，mm^2；

b　螺纹长度，mm；

b_{min}　最小螺纹长度，mm；

c　垫圈部分的高度，mm；

c_{max}　垫圈部分的最大高度，mm；

D　内螺纹公称直径，mm；

d　外螺纹公称直径，mm；

d_a　过渡圆直径（支承面的内径），mm；

$d_{a,max}$　最大过渡圆直径（支承面的内径），mm；

d_f　防滑纹压扁高度，mm；

d_h　楔垫或垫片的孔径，mm；

d_k　平头直径，mm；

d_s　无螺纹杆径，mm；

d_w　螺栓或螺母垫圈面（支承面）直径，mm；

$d_{w,min}$　最小螺栓或螺母垫圈面（支承面）直径，mm；

d_0　机械加工试件的直径，mm；

d_1　外螺纹的基本小径，mm；

d_2　外螺纹的基本中径，mm；

d_3　外螺纹的小径，mm；

E　螺纹未脱碳的高度，mm；

e　对角尺寸，mm；

e_{min}　最小对角尺寸，mm；

F_m　极限拉力载荷，N；

$F_{m,min}$ 最小拉力载荷，N；
F_p 保证载荷，N；
F_{pf} 螺栓和脚钉实物的 0.0048d 规定非比例伸长载荷，N；
G 螺纹全脱碳层的深度，mm；
H 螺纹原始三角形高度，mm；
H_1 最大实体条件下外螺纹的牙型高度，mm；
h 弯头高度，mm；
K_V V 形缺口试样的冲击吸收能量，J；
k 头部高度，mm；
k_w 扳拧高度，mm；
$k_{w,min}$ 最小扳拧高度，mm；
L_c 机械加工试件直线段的长度，mm；
L_t 机械加工试件的总长度，mm；
L_u 机械加工试件的最终测量长度，mm；
ΔL_p 塑性变形量，mm；
L_0 机械加工试件的初始测量长度，mm；
l 公称长度，mm；
l_c 防滑纹长度，mm；
l_f 过渡长度，mm；
$l_{f,max}$ 最大过渡长度，mm；
l_g 最末一扣完整螺纹至支承面的最大长度（包括螺纹收尾），也称最小夹紧长度，mm；
l_s 最小无螺纹杆部长度，也称无扣长度，mm；
l_{th} 试验夹具中螺栓和脚钉未旋合螺纹的长度（或未旋合螺纹的长度），mm；
l_0 施加载荷前螺栓的总长度，mm；
l_1 卸除第一次载荷后螺栓的总长度，mm；
l_2 卸除第二次载荷后螺栓的总长度，mm；
m 螺母高度，mm；
m_w 扳拧高度，mm；
$m_{w,min}$ 最小扳拧高度，mm；
P 螺距，mm；
R_{eL} 机械加工试件的下屈服强度，MPa；
R_m 抗拉强度，MPa；
R_{pf} 螺栓和脚钉实物的规定非比例延伸 0.0048d 的应力，MPa；
$R_{p0.2}$ 机械加工试件的规定非比例延伸 0.2%的应力，MPa；
r 圆角半径，mm；
r_{min} 最小圆角半径，mm；
S_P 保证应力，MPa；
S_u 机械加工试件的断后横截面积，mm^2；
S_0 拉力试验前机械加工试件的横截面积，mm^2；
s 对边宽度，mm；
u 不完整螺纹的长度，mm；
x 螺纹收尾长度，mm；
x_{max} 螺纹收尾最大长度，mm；

Z 机械加工试件的断面收缩率，%；

α 楔负载拉力试验用楔垫角度，(°)；

β 头部坚固性试验用试验模的角度或产品倒角角度，(°)；

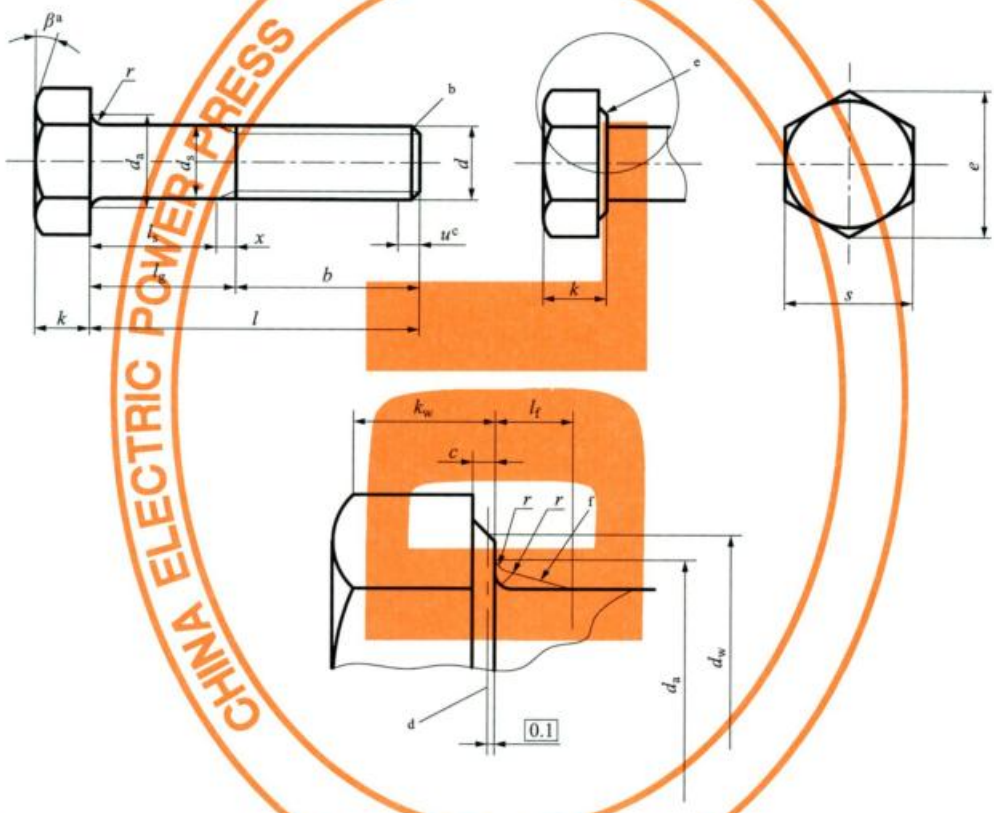
θ 沉孔角，(°)；

τ_b 抗剪强度，MPa。

4 型式尺寸

4.1 螺栓尺寸

螺栓尺寸见图 1 和表 1。



CHINA ELECTRIC POWER PRESS

说明：

l_s ——最小无螺纹杆部长度，也称无扣长度，$l_s = l_g - x$。

l_g ——最末一扣完整螺纹至支承面的最大长度（包括螺纹收尾），也称最小夹紧长度：$l_g = l_s + x$。

l ——尺寸应取 5 mm 的整数倍，l 尺寸及公差应符合附录 A 的规定。

x ——螺纹收尾长度，$x = l_g - l_s$。

[a] $\beta = 15° \sim 30°$。

[b] 无特殊要求的末端。

[c] 不完整的螺纹长度 $u \leqslant 2P$。

[d] d_w 的仲裁基准。

[e] 头下允许的垫圈面型式。无明确要求时，制造者按头下无垫圈面型式制造。

[f] 圆滑过渡。

图 1 螺栓

表 1　螺栓尺寸

单位：mm

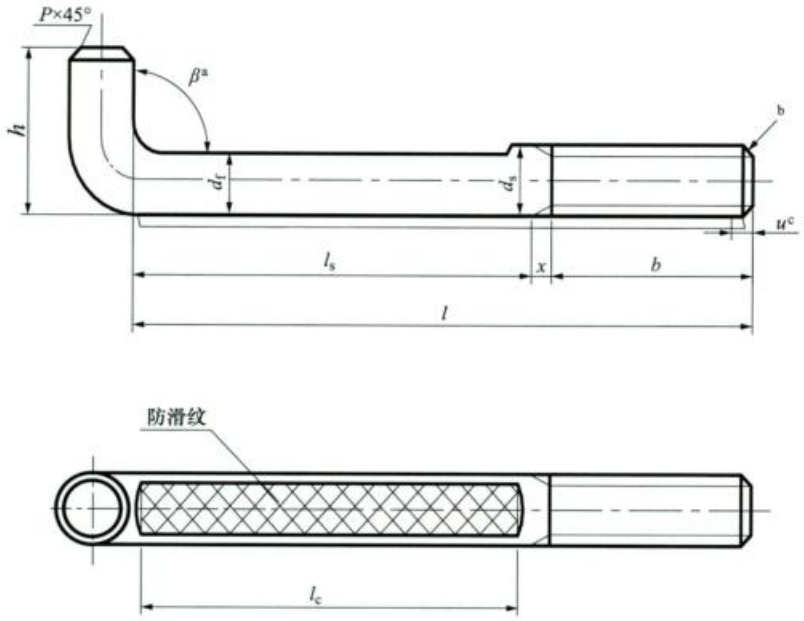
螺纹规格		M10	M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
P		1.5	1.75	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5
b_{min} 参考	配套单母	14	17	22	24	27	28	31	34	37	40
	配套双母	24	30	38	41	46	48	54	58	63	70
x_{max}		3	3.5	4	5	5	5	6	6	7	7
c_{max}		0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$d_{a,max}$		12.2	14.7	18.7	21.2	24.4	26.4	28.4	32.4	35.4	38.4
d_s	max	10.58	12.7	16.7	18.7	20.84	22.84	24.84	27.84	30.84	34
	min	9.42	11.3	15.3	17.3	19.16	21.16	23.16	26.16	29.16	32
$d_{w,min}$		14.47	16.47	22	24.85	27.7	31.35	33.25	38	42.75	46.55
e_{min}		17.59	19.85	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37
k	公称	6.4	7.5	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	21
	max	6.85	7.95	10.75	12.4	13.4	14.9	15.9	17.9	19.75	22.05
	min	5.95	7.05	9.25	10.6	11.6	13.1	14.1	16.1	17.65	19.95
$k_{w,min}$		4.17	4.94	6.48	7.42	8.12	9.17	9.87	11.27	12.36	13.97
r_{min}		0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	1	1	1
s	公称=max	16.00	18.00	24.00	27.00	30.00	34.00	36.00	41.00	46.00	50.00
	min	15.57	17.57	23.16	26.16	29.16	33.00	35.00	40.00	45.00	49.00
$l_{f,max}$		2	3	3	3	4	4	4	6	6	6
螺纹规格		M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64	—
P		4	4	4.5	4.5	5	5	5.5	5.5	6	—
b_{min} 参考	配套单母	44	46	48	50	54	58	62	65	70	—
	配套双母	76	81	83	87	93	101	108	114	123	—
x_{max}		8	8	9	9	10	10	11	11	12	—
c_{max}		0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	—
$d_{a,max}$		42.4	45.4	48.6	52.6	56.6	62.6	67	71	75	—
d_s	max	37	40	43	46	49	53.2	57.2	61.2	65.2	—
	min	35	38	41	44	47	50.8	54.8	58.8	62.8	—
$d_{w,min}$		51.11	55.86	59.95	64.7	69.45	74.2	78.66	83.14	88.16	—
k	公称	22.5	25	26	28	30	33	35	38	40	—
	max	23.55	26.05	27.05	29.05	31.05	34.25	36.25	36.75	41.25	—
	min	21.45	23.95	24.95	26.95	28.95	31.75	33.75	39.25	38.75	—
$k_{w,min}$		15.02	16.77	17.47	18.87	20.27	22.23	23.63	25.73	27.13	—
r_{min}		1	1	1.2	1.2	1.6	1.6	2	2	2	—
s	公称=max	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	—
	min	53.8	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	—
$l_{f,max}$		6	6	8	8	10	10	12	12	13	—

注 1：$l_{f,max}$ 尺寸由设计人员或需方根据紧固连接需要确定。

注 2：b 为设计参考尺寸，其以单螺母和双螺母组装完成后露出 $3P$ 得出，外端再组装其他功能性螺母应考虑加长螺杆 b 部分的长度。

4.2 脚钉尺寸

4.2.1 弯头脚钉尺寸见图 2 和表 2。



注：防滑纹型式尺寸由制造者确定。

[a] $\beta = 100° \sim 120°$，弯头的角度应有一致性。

[b] 无特殊要求的末端。

[c] 不完整的螺纹长度 $u \leqslant 2P$。

图 2 弯头脚钉

表 2 弯头脚钉尺寸

单位：mm

螺纹规格	l^a	l_s^a		h		d_s		d_f	l_c^a	x	b^a
	公称	max	min	max	min	max	min	min	min	max	
M16	180	122	118	40	37.5	16.7	15.3	13	100	4	60
M20	200	122	118	50	47.5	20.84	19.16	16	100	5	80
M24	240	122	118	60	57.0	24.84	23.16	19	100	6	120
注：l 尺寸应取 5 mm 的整数倍，l 尺寸及公差应符合附录 A 的规定。											
[a] 设计者可根据需要设计以外的尺寸。											

4.2.2 六角头脚钉尺寸见图 3 和表 3。

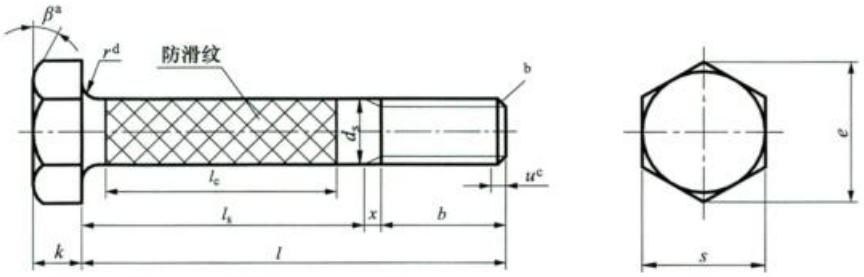
表 3 六角头脚钉尺寸

单位：mm

螺纹规格	l^a	l_s^a		d_s		l_c^a	k^a		s^a		e^a	x^a	b^a
	公称	max	min	max	min	min	max	min	公称	min	min	max	
M16	180	122	118	16.7	15.3	100	10.75	9.25	24	23.16	26.17	4	60
M20	200	122	118	20.84	19.16	100	13.4	11.6	30	29.16	32.95	5	80

表 3（续）

螺纹规格	l^a	l_s^a		d_s		l_c^a	k^a		s^a		e^a	x^a	b^a
	公称	max	min	max	min	min	max	min	公称	min	min	max	
M24	240	122	118	24.84	23.16	100	15.9	14.1	36	35.00	39.55	6	120
注：l 尺寸应取 5 mm 的整数倍，l 尺寸及公差应符合附录 A 的规定。													
[a] 设计者可根据需要设计以外的尺寸。													



注：防滑纹型式尺寸由制造者确定。

[a] $\beta = 15° \sim 30°$。

[b] 无特殊要求的末端。

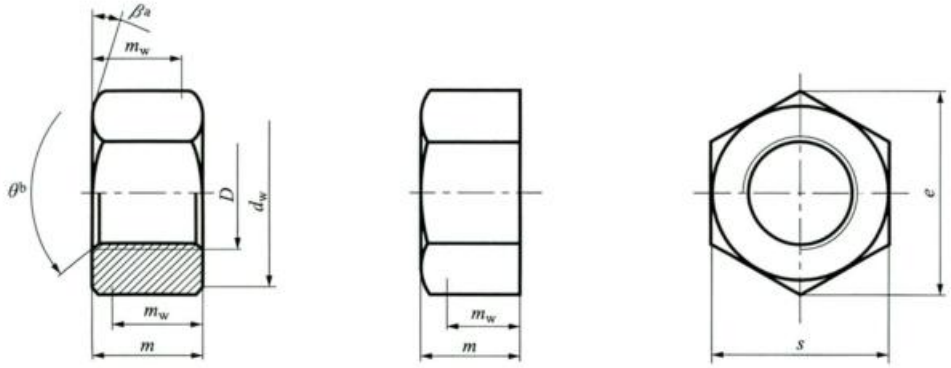
[c] 不完整的螺纹长度 $u \leqslant 2P$。

[d] 过渡圆角半径 r 见表 1。

图 3　六角头脚钉

4.3　螺母尺寸

螺母尺寸见图 4 和表 4。



[a] $\beta = 15° \sim 30°$。

[b] $\theta = 90° \sim 120°$。

图 4　螺母

表 4　螺母尺寸

单位：mm

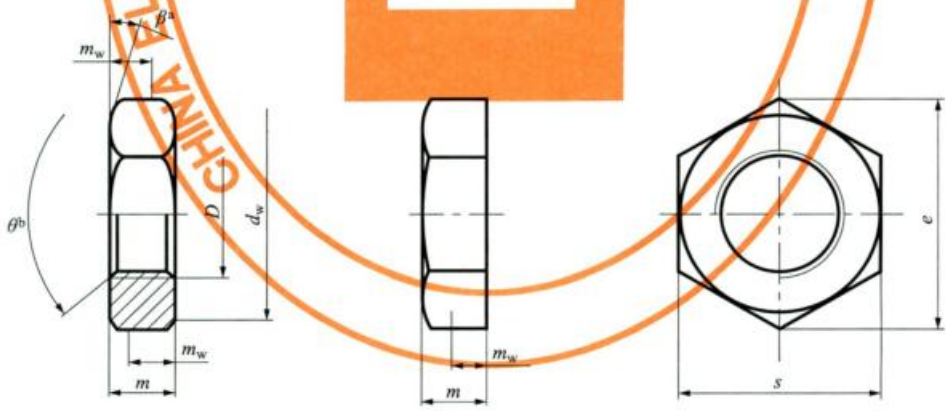
螺纹规格	M10	M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
P	1.5	1.75	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5

表 4（续）

螺纹规格		M10	M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
$d_{w,min}$		14.5	16.5	22	24.9	27.7	31.4	33.3	38	42.8	46.6
e_{min}		17.59	19.85	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37
m	max	9.5	12.2	15.9	16.9	19.0	20.2	22.3	24.7	26.4	29.5
	min	8.0	10.4	14.1	15.1	16.9	18.1	20.2	22.6	24.3	27.4
$m_{w,min}$		6.4	8.3	11.3	12.1	13.5	14.5	16.2	18.1	19.4	21.9
s	公称=max	16.00	18.00	24.00	27.00	30.00	34	36	41	46	50
	min	15.57	17.57	23.16	26.16	29.16	33	35	40	45	49
螺纹规格		M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64	—
P		4	4	4.5	4.5	5	5	5.5	5.5	6.0	—
$d_{w,min}$		51.1	55.9	60	64.7	69.5	74.2	78.7	83.4	88.2	—
e_{min}		60.79	66.44	71.3	76.95	82.6	88.25	93.56	99.21	104.86	—
m	max	31.9	34.3	34.9	36.9	38.9	42.9	45.9	48.9	52.4	—
	min	29.4	31.8	32.4	34.4	36.4	40.4	43.4	46.4	49.4	—
$m_{w,min}$		23.2	25.4	25.9	27.5	29.1	32.3	34.7	37.1	39.5	—
s	公称=max	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	—
	min	53.8	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	—

4.4 薄螺母尺寸

薄螺母尺寸见图 5 和表 5。



[a] $\beta = 15° \sim 30°$。

[b] $\theta = 110° \sim 120°$。

图 5 薄螺母

表 5 薄螺母尺寸

单位：mm

螺纹规格	M10	M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
P	1.5	1.75	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

表 5（续）

螺纹规格		M10	M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
$d_{w,min}$		14.5	16.5	22	24.9	27.7	31.4	33.3	38	42.8	46.6
e_{min}		17.59	19.85	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37
m	max	5	6	8	9	10	11	12	13.5	15	16.5
	min	4.7	5.7	7.42	8.42	9.10	9.9	10.9	12.4	13.9	15.4
$m_{w,min}$		3.8	4.6	5.9	6.7	7.3	7.9	8.7	9.9	11.1	12.3
s	公称=max	16.00	18.00	24.00	27.00	30.00	34	36	41	46	50
	min	15.57	17.57	23.16	26.16	29.16	33	35	40	45	49
螺纹规格		M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64	—
P		4	4	4.5	4.5	5	5	5.5	5.5	6.0	—
$d_{w,min}$		51.1	55.9	60	64.7	69.5	74.2	78.7	83.4	88.2	—
e_{min}		60.79	66.44	71.3	76.95	82.6	88.25	93.56	99.21	104.86	—
m	max	18	19.5	21	22.5	24	26	28	30	32	—
	min	16.9	18.2	19.7	21.2	22.7	24.7	26.7	28.7	30.4	—
$m_{w,min}$		13.5	14.6	15.8	17	18.2	19.8	21.4	23	24.3	—
s	公称=max	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	—
	min	53.8	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	—

5 技术要求

5.1 产品性能等级标记制度、标志和组配设计

5.1.1 螺栓和脚钉性能等级标记制度与标志

5.1.1.1 螺栓和脚钉性能等级

本文件采用的螺栓和脚钉的性能等级为 4.8、5.6、5.8、6.8、8.8 和 10.9 六个级别。

5.1.1.2 螺栓和脚钉性能等级的标记制度

螺栓和脚钉性能等级的符号，由点隔开的两部分数字组成：

——点左边的一或两位数字表示公称抗拉强度（$R_{m,公称}$）的 1/100，以 MPa 计（见表 11，No.1）；

——点右边的数字表示公称屈服强度（下屈服强度）（$R_{eL,公称}$）或规定非比例延伸 0.2%的公称应力（$R_{p0.2,公称}$）或规定非比例延伸 0.004 8d 的公称应力（$R_{pf,公称}$）（见表 11，No.2～4）与公称抗拉强度（$R_{m,公称}$）比值的 10 倍。

公称抗拉强度和屈强比的乘积为公称屈服强度，以 MPa 计。

示例：螺栓的公称抗拉强度 $R_{m,公称}$ = 800 MPa 和屈强比为 0.8，其性能等级标记为“8.8”。

5.1.1.3 螺栓和脚钉性能等级标志

螺栓、脚钉产品应在头部顶面用凸字或凹字制出性能等级标记符号和制造者识别标志；弯头脚钉应在杆部用凸字或凹字制出性能等级标记符号和制造者识别标志。其他要求按照 GB/T 3098.1 的规定。

5.1.2 螺母的性能等级标记制度与标志

5.1.2.1 螺母性能等级

本文件采用的螺母性能等级为5、6、8、10级和05级薄螺母。

5.1.2.2 螺母性能等级的标记制度

5.1.2.2.1 5、6、8、10级螺母

5、6、8、10级螺母性能等级的数字符号，它相当于可与其搭配使用的螺栓、脚钉的最高性能等级标记中左边的第一部分数字。5、6、8、10级螺母标记制度见表6。

表6 5、6、8、10级螺母标记制度

螺母性能等级	5	6	8	10
组配使用的螺栓、脚钉的最高性能等级	5.8	6.8	8.8	10.9

5.1.2.2.2 05级薄螺母

05级薄螺母性能等级的数字符号，它的第一位数字“0”则表示这种螺母比5.1.2.2.1规定的螺栓-螺母组合件降低了承载能力。因此，当超载时，可能发生螺纹脱扣。第2位数字表示用淬硬试验芯棒测试的公称保证应力的1/100，以MPa计。05级薄螺母标记制度见表7。

表7 05级薄螺母标记制度

螺母性能等级	公称保证应力 MPa
05	500

5.1.2.3 性能等级的标志

双面倒角的螺母应在一支撑面用凹字制出性能等级和制造者识别标志；单面倒角的螺母应在倒角的端面用凹字制出性能等级和制造者识别标志。其他要求按GB/T 3098.2的规定。

5.1.3 螺栓、脚钉和螺母的组配设计

本文件规定的5、6、8、10级螺母应按表8与螺栓、脚钉组配使用，较高性能等级的螺母可以替代低性能等级的螺母使用。如需配置平垫圈，应配置附录B中规定的平垫圈。

表8 5、6、8、10级螺母与螺栓、脚钉性能等级的组配使用

螺母性能等级	组配使用的螺栓、脚钉最高性能等级
5	4.8
5	5.6
5	5.8
6	6.8
8	8.8
10	10.9

本文件规定的05级薄螺母只用于锁紧防松使用，不应设计用于防脱扣场合。05级薄螺母在铁塔防松的安装顺序不同于常用的防松安装顺序，它是先将紧固连接用螺母拧紧，然后将薄螺母安装在紧固连接用螺母的外面并拧紧。

5.2 材料

5.2.1 表9规定了螺栓和脚钉各性能等级用钢的化学成分极限和最低回火温度，该化学成分应符合相关的国家标准的规定。

表9 螺栓和脚钉材料

性能等级	材料和热处理	化学成分极限（或熔炼分析）[a]					回火[c]温度℃	推荐用材料[d]		
		C		P	S	B[b]				
		min	max	max	max	max	min	推荐材料	标准编号	适用规格
4.8[e]	碳钢或添加元素的碳钢	—	0.55	0.045	0.050	—	—	—	—	—
5.6[f]		0.13	0.55	0.045	0.050			—	—	—
5.8[e]		—	0.55	0.045	0.050			—	—	—
6.8[e]		0.15	0.55	0.045	0.050			—	—	—
8.8[g]	合金钢淬火并回火[h]	0.20	0.55	0.025	0.025	0.003	500	ML40Cr 40Cr	GB/T 6478 GB/T 3077	≤M30
								42CrMo 40CrNiMo	GB/T 3077	制造者应验证
10.9[g]	合金钢淬火并回火[i]	0.20	0.55	0.025	0.025	0.003	500	35CrMo 42CrMo 40CrNiMo	GB/T 3077	制造者应验证

[a] 有争议时，实施成品分析。
[b] 硼的含量可达0.005%，其非有效硼可由添加钛（或）铝控制。
[c] 8.8和10.9级的最低回火温度为500℃，以确保产品回火后的组织为回火索氏体组织。
[d] 选用这些材料时，制造者应进行工艺试验。制造者在保证产品所有机械和物理性能、化学成分都能符合本文件规定的要求时，允许选用本文件推荐材料以外的合金钢材料。
[e] 这些性能等级允许采用易切钢制造，其硫、磷及铅的最大含量为：硫0.34%；磷0.11%；铅0.35%。
[f] 对5.6级产品，如达不到规定的各性能要求，制造者可选择对材料或产品进行热处理。
[g] 对这些性能等级用的材料，应有足够的淬透性，以确保产品螺纹截面的芯部在“淬硬”状态、回火前，获得约90%的马氏体组织，且应考虑热浸镀锌温度对机械性能的影响。
[h] 这些合金钢至少应含有下列的一种元素，其最小含量分别为：铬0.30%；镍0.30%；钼0.20%；钒0.10%。当含有两种、三种或四种复合的合金成分时，合金元素的含量不能少于单个合金元素含量总和的70%。
[i] 这些合金钢至少应含有下列的两种元素，其最小含量分别为：铬0.30%；镍0.30%；钼0.20%；钒0.10%。当含有三种或四种复合的合金成分时，合金元素的含量不能少于单个合金元素含量总和的70%。

5.2.2 表10规定了螺母各性能等级用钢的化学成分极限，该化学成分应符合相关的国家标准的规定。

表10 螺母材料

性能等级		材料与热处理	化学成分极限（熔炼分析）[a] %				推荐用材料		
			C max	Mn min	P max	S max	推荐材料	标准编号	适用规格
5[b]		碳钢[c]	0.58	—	0.045	0.050	—	—	—
6[b]		碳钢[c]	0.58	—	0.045	0.050	—	—	—
8	D≤16	碳钢[c]	0.58	0.25	0.045	0.050	—	—	—

表 10（续）

性能等级		材料与热处理	化学成分极限（熔炼分析）[a] %				推荐用材料		
			C max	Mn min	P max	S max	推荐材料	标准编号	适用规格
8	$D>16$	碳钢[d] 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	45	GB/T 699	$D\leqslant 39$
							ML 45	GB/T 6478	
		合金钢 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	40Cr	GB/T 3077	$D>39$
							ML 40Cr	GB/T 6478	
10		碳钢[d] 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	45	GB/T 699	$D\leqslant 24$
							ML 45	GB/T 6478	
		合金钢 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	40Cr	GB/T 3077	$D>24$
							ML 40Cr	GB/T 6478	
05		碳钢[d] 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	45	GB/T 699	$D\leqslant 39$
							ML 45	GB/T 6478	
		合金钢 淬火并回火[e]	0.55	0.30	0.035	0.035	40Cr	GB/T 3077	$D>39$
							ML 40Cr	GB/T 6478	

[a] 有争议时，实施成品分析。
[b] 根据供需协议，这些性能等级的螺母可以用易切钢制造，其硫、磷及铅的最大含量为：硫 0.34%；磷 0.11%；铅 0.35%。
[c] 为满足螺母的机械性能的要求，制造者可选择淬火并回火处理。
[d] 为满足螺母的机械性能的要求，碳钢可添加合金元素或采用合金钢材料替代。
[e] 对这些性能等级用的材料，应有足够的淬透性，以确保产品基体金属在“淬硬”状态，回火前在螺母螺纹截面中，获得约 90%的马氏体组织，如图 18 所示。

5.3 机械和物理性能

5.3.1 螺栓和脚钉机械和物理性能

规定性能等级的螺栓和脚钉，在环境温度为 10 ℃～35 ℃（吸收能量试验应在–20 ℃下进行）下，应符合表 11～表 13 规定的机械和物理性能。

为检验螺栓和脚钉是否符合表 11～表 13 的规定，第 6 章给出了可适用的试验项目。

表 11 螺栓和脚钉的机械和物理性能

No.	机械或物理性能		性能等级						
			4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9
							$d\leqslant 16$ mm[a]	$d>16$ mm[b]	
1	抗拉强度 R_m MPa	公称[c]	400	500		600	800		1000
		min	420	500	520	600	800	830	1040
2	下屈服强度 R_{eL}[d] MPa	公称[c]	—	300	—	—	—	—	—
		min	—	300	—	—	—	—	—
3	规定非比例延伸 0.2%的应力 $R_{p0.2}$ MPa	公称[c]	—	—	—	—	640	640	900
		min	—	—	—	—	640	660	940

表 11（续）

No.	机械或物理性能		性能等级						
			4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9
							$d \leqslant 16$ mm[a]	$d > 16$ mm[b]	
4	紧固件实物的规定非比例延伸 0.004 8d 的应力 R_{pf} MPa	公称[c]	320	—	400	480	—	—	—
		min	340[e]	—	420[e]	480[e]	—	—	—
5	保证应力 S_p[f] MPa	公称	310	280	380	440	580	600	830
	保证应力比	$S_{p,公称}/R_{eL,min}$ 或 $S_{p,公称}/R_{p0.2,min}$ 或 $S_{p,公称}/R_{pf,min}$	0.91	0.93	0.90	0.92	0.91	0.91	0.88
6	机械加工试件的断后伸长率 A %	min	—	20	—	—	12	12	9
7	机械加工试件的断面收缩率 Z %	min	—				52		48
8	紧固件实物的断后伸长率 A_f	min	0.24	—	0.22	0.20	—	—	—
9	头部坚固性		不得断裂或出现裂纹						
10	维氏硬度，$F \geqslant 98$N HV	min	130	155	160	190	250	255	320
		max	220[g]			250	320	335	380
11	布氏硬度，$F=30D^2$ HRW	min	124	147	152	181	245	250	316
		max	209			238	316	331	375
12	洛氏硬度 HRB	min	71	79	82	89	—		
		max	95.0[f]			99.5	—		
	洛氏硬度 HRC	min	—				22	23	32
		max	—				32	34	39
13	表面硬度 HV0.3	max	—				h		h、i
14	螺纹未脱碳层的高度 E mm	min	—				$1/2H_1$		$2/3H_1$
	螺纹全脱碳层的深度 G mm	max	—				0.015		
15	再回火后硬度的降低值 HV	max	—				20		
16	吸收能量 K_V[j,k] J	min	—	27	—		27	27	27
17	抗剪强度 t_b[l] MPa	min	260	320	320	370	490	510	640

表 11（续）

No.	机械或物理性能	性能等级						
		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9
						$d \leqslant 16$ mm[a]	$d > 16$ mm[b]	
18	表面缺陷	GB/T 5779.1[m]						GB/T 5779.3

[a] 数值不适用于栓接结构。
[b] 对栓接结构 $d \geqslant 12$ mm。
[c] 规定公称值，仅为性能等级标记制度，见 5.1.1。
[d] 在不能测定下屈服强度 R_{eL} 的情况下，允许测量规定非比例延伸 0.2%的应力 $R_{P0.2}$。
[e] 对性能等级 4.8、5.8 和 6.8 的 $R_{pf\,min}$ 数值尚在调查研究中。表中数值是按保证载荷比计算给出的，而不是实测值。
[f] 表 13 规定了保证载荷值。
[g] 在紧固件的末端测定硬度值时，应分别为 250 HV、238 HB 或 HRB_{max}99.5。
[h] 当采用 HV0.3 测定表面硬度及芯部硬度时，紧固件的表面硬度不应比芯部硬度高出 30 HV 单位。
[i] 表面硬度不应超过 390 HV。
[j] 试验在–20℃ 下测定，见 7.1.10。
[k] 适用于 $d \geqslant 16$ mm。
[l] 抗剪强度计算按 $0.62R_{m,min}$ 推算出，最小剪切载荷=螺纹公称应力面积×最小剪切强度。通常不进行试验，供设计人员参考。
[m] 由供需双方协议，可用 GB/T 5779.3 代替 GB/T 5779.1。

表 12　螺栓和脚钉的最小拉力载荷　粗牙螺纹

螺纹规格	螺纹公称应力截面积 $A_{s,公称}$ mm²	性能等级					
		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
		最小拉力载荷 $F_{m,min}$（$A_{s,公称} \times R_{m,min}$） N					
M10	58	24 400	29 000	30 200	34 800	46 400	60 300
M12	84.3	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400	87 700
M16	157	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000	163 000
M18	192	80 600	96 000	99 800	115 000	159 000	200 000
M20	245	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	255 000
M22	303	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	315 000
M24	353	148 000	176 000	184 000	212 000	293 000	367 000
M27	459	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	477 000
M30	561	236 000	280 000	292 000	337 000	466 000	583 000
M33	694	292 000	347 000	361 000	416 000	576 000	722 000
M36	817	343 000	408 000	425 000	490 000	678 000	850 000
M39	976	410 000	488 000	508 000	586 000	810 000	1 020 000
M42	1 120	470 000	560 000	582 400	672 000	930 000	1 165 000
M45	1 310	550 000	655 000	681 200	786 000	1 087 000	1 362 000
M48	1 470	617 000	735 000	764 400	882 000	1 220 000	1 529 000
M52	1 760	739 000	880 000	915 200	1 056 000	1 461 000	1 830 000
M56	2 030	853 000	1 015 000	1 055 600	1 218 000	1 685 000	2 111 000
M60	2 360	991 000	1 180 000	1 227 200	1 416 000	1 959 000	2 454 000
M64	2 680	1 126 000	1 340 000	1 393 600	1 608 000	2 224 000	2 787 000

表 13　螺栓的保证载荷　粗牙螺纹

螺纹规格	螺纹公称应力截面积 $A_{s,公称}$ mm²	性能等级					
		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
		保证载荷 F_P（$A_{s,公称}\times S_{P,公称}$） N					
M10	58	18 000	16 200	22 000	25 500	33 700	48 100
M12	84.3	26 100	23 600	32 000	37 100	48 900	70 000
M16	157	48 700	44 000	59 700	69 100	91 000	130 000
M18	192	59 500	53 800	73 000	84 500	115 000	159 000
M20	245	76 000	68 600	93 100	108 000	147 000	203 000
M22	303	93 900	84 800	115 000	133 000	182 000	252 000
M24	353	109 000	98 800	134 000	155 000	212 000	293 000
M27	459	142 000	128 000	174 000	202 000	275 000	381 000
M30	561	174 000	157 000	213 000	247 000	337 000	466 000
M33	694	215 000	194 000	264 000	305 000	416 000	576 000
M36	817	253 000	229 000	310 000	359 000	490 000	678 000
M39	976	303 000	273 000	371 000	429 000	586 000	810 000
M42	1 120	347 000	314 000	426 000	493 000	672 000	930 000
M45	1 310	406 000	367 000	498 000	576 000	786 000	1 087 000
M48	1 470	456 000	412 000	559 000	647 000	882 000	1 220 000
M52	1 760	546 000	493 000	669 000	774 000	1 056 000	1 461 000
M56	2 030	629 000	568 000	771 000	893 000	1 218 000	1 685 000
M60	2 360	732 000	661 000	897 000	1 038 000	1 416 000	1 959 000
M64	2 680	831 000	750 000	1 018 000	1 179 000	1 608 000	2 224 000

5.3.2　螺母机械性能

规定性能等级的螺母，在环境温度为 10 ℃～35 ℃下，应符合表 14 和表 15 规定的机械性能。为检验螺母是否符合表 14 和表 15 的规定，第 6 章给出了可适用的试验项目。

表 14　螺母的机械性能

性能等级	螺纹规格	保证应力 S_p MPa	硬度[a]						热处理
			维氏硬度 HV		布氏硬度 HB		洛氏硬度 HRC		
			min	max	min	max	min	max	
5	M10[b]	493	130	302	124	287	—	30	[c]
	M12、M16	610							
	M16＜D≤M64	630	146		139				
6	M10[b]	569	150	302	143	287	—	30	[c]
	M12、M16	700							
	M16＜D≤M64	720	170		162				

表 14（续）

性能等级	螺纹规格	保证应力 S_p MPa	硬度[a]						热处理
			维氏硬度 HV		布氏硬度 HB		洛氏硬度 HRC		
			min	max	min	max	min	max	
8	M10[b]	728	200	302	190	287	—	30	[c]
	M12、M16	880							
	M16＜D≤M64	920	233	353	221	336		36	淬火并回火
10	M10[b]	870	272	353	259	336	26	36	淬火并回火
	M12、M16	1050							
	M16＜D≤M64	1060							
05	M10	500	272	353	259	336	26	36	淬火并回火
	M12、M16								
	M16＜D≤M64								

注 1：表面缺陷按 GB/T 5779.2 的规定。
注 2：验收检查时，维氏硬度为仲裁方法。

[a] 为满足螺母保证载荷符合标准规定，制造者应合理控制螺母硬度，并考虑热浸镀锌温度对机械性能的影响。
[b] 保证应力应按 GB/T 5267.3 中附录 A 的规定。
[c] 为满足螺母的机械性能的要求，制造者可选择淬火并回火处理。

表 15　螺母保证载荷

螺纹规格	螺距 P	螺纹的公称应力截面积 $A_{s,公称}$ mm^2	性能等级				
			5	6	8	10	05
			保证载荷（$A_{s,公称}\times S_p$） N				
M10	1.5	58	28 600	33 000	42 200	50 400	29 000
M12	1.75	84.3	51 400	59 000	74 200	88 500	42 200
M16	2	157	95 800	109 900	138 200	164 900	78 500
M18	2.5	192	121 000	138 200	176 600	203 500	96 000
M20	2.5	245	154 400	176 400	225 400	259 700	122 500
M22	2.5	303	190 900	218 200	278 800	321 200	151 500
M24	3	353	222 400	254 200	324 800	374 200	176 500
M27	3	459	289 200	330 500	422 300	486 500	229 500
M30	3.5	561	353 400	403 900	516 100	594 700	280 500
M33	3.5	694	437 200	499 700	638 500	735 600	347 000
M36	4	817	514 700	588 200	751 600	866 000	408 500
M39	4	976	614 900	702 700	897 900	1 035 000	488 000
M42	4.5	1 120	705 600	806 400	1 030 400	1 187 200	560 000
M45	4.5	1 310	825 300	943 200	1 205 200	1 388 600	655 000
M48	5	1 470	926 100	1 058 400	1 352 400	1 558 200	735 000
M52	5	1 760	1 108 800	1 267 200	1 619 200	1 865 600	880 000
M56	5.5	2 030	1 278 900	1 461 600	1 867 600	2 151 800	1 015 000
M60	5.5	2 360	1 486 800	1 699 200	2 171 200	2 501 600	1 180 000
M64	6	2 680	1 688 400	1 929 600	2 465 600	2 840 800	1 340 000

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

5.4 热浸镀锌层

5.4.1 热浸镀锌层厚度

热浸镀锌层的局部厚度不应小于 40 μm，平均厚度不小于 50 μm。

5.4.2 热浸镀锌层均匀性

热浸镀锌层应均匀附着在基体金属表面，均匀性测定采用硫酸铜溶液浸蚀的试验方法，试验时耐浸蚀次数不少于 4 次。

5.4.3 热浸镀锌层附着强度

热浸镀锌层应牢固地附着在基体金属表面，不得存在影响使用功能的锌层脱落，试验方法按 7.3.3 的规定。

5.4.4 热浸镀锌层外观

热浸镀锌层表面应光洁、无漏镀面、滴瘤、黑斑，无溶剂残渣、氧化皮夹杂物等和损害零件使用性能的其他缺陷。外观无光泽及色差现象不应作为产品拒收理由。

5.4.5 其他

对热浸镀锌层附加的处理要求及试验方法，按供需协议。

5.5 加工

5.5.1 材料选用

5.5.1.1 8.8 级和 10.9 级螺栓、脚钉应按表 9 的规定，选用合金钢材料进行生产。

5.5.1.2 4.8、5.6、5.8、6.8 级螺栓、脚钉应合理选用材料，以保证产品强度、塑性、韧性等性能符合规定要求。

5.5.1.3 制造者在螺母选材和产品热处理工艺设计时，应考虑热浸镀锌温度对产品性能的影响。

5.5.2 螺纹

5.5.2.1 本文件规定螺母螺纹采用镀后攻丝所留大间隙以容纳外螺纹表面上的热浸镀锌层，该内螺纹应符合 GB/T 22028 中内螺纹 6AZ 极限尺寸的规定，内螺纹 6AZ 极限尺寸应符合附录 C 的规定。螺母及其他内螺纹零件应在热浸镀锌后进行攻丝，不允许镀前攻丝和镀后重复攻丝。

如需方要求螺母采用热浸镀锌前攻丝或有其他要求时，应在订货时提出，相关技术、质量事宜按供需协议。

5.5.2.2 螺母热浸镀锌后宜采用油脂作为冷却剂和润滑剂进行攻牙，因此热浸镀锌后攻牙工艺的螺母表面会有一层油膜存在；表面残留的油膜对螺母储存过程中的内螺纹有一定防锈作用，并可降低扭矩系数及其离散性。

5.5.2.3 本文件规定螺栓、脚钉螺纹镀前采用 GB/T 15756 规定的外螺纹 6 g 极限尺寸。螺栓、脚钉及其他零件的外螺纹应采用碾压工艺制造。热浸镀锌后的大径尺寸不得小于外螺纹 6 g 极限尺寸的最小值，外螺纹 6 g 极限尺寸应符合附录 D 的规定。

5.5.3 热处理

5.5.3.1 8.8 级和 10.9 级螺栓、脚钉以及表 10 规定的 8 级、10 级和 05 级的螺母，应进行淬火并回火处

理，为使5.6级螺栓和脚钉的塑性、韧性等性能符合规定要求，可对产品进行合理的热处理。

5.5.3.2 螺纹加工完成的螺栓、脚钉及外螺纹零件，在热处理过程中，宜采用淬火油作为淬火介质，以预防淬火裂纹的产生。

5.5.4 热浸镀锌

5.5.4.1 8.8级和10.9级外螺纹零件，在热浸镀锌过程中，应采用机械（物理）的方法除锈，以预防氢脆的产生。

5.5.4.2 8.8级和10.9级外螺纹零件不允许重复热浸镀锌，其他等级外螺纹零件最多允许两次热浸镀锌。

5.5.4.3 外螺纹零件镀锌后应进行离心处理或爆锌处理，以去除螺纹表面的余锌。

5.5.5 磁粉探伤

5.5.5.1 磁粉探伤是检验表面缺陷的一种方法，制造者应根据生产过程中的表面缺陷状况，对螺栓、脚钉及外螺纹零件实施磁粉探伤检验。

5.5.5.2 对8.8级和10.9级螺栓、脚钉及外螺纹零件，在热浸镀锌至少48 h后进行一次表面磁粉探伤检验，重点检查螺栓和脚钉头下圆角处、螺纹牙底等应力集中部位是否存在裂纹现象。

5.5.6 未注尺寸公差和几何公差

螺栓、脚钉及螺母的未注尺寸公差及几何公差应符合GB/T 3103.1的C级规定。

6 试验方法的运用及试验项目的选择

6.1 制造者的控制

制造者应严格按本文件规定的技术要求组织生产。

按本文件生产的螺栓、脚钉、螺母、薄螺母，当采用表16～表18规定的所有项目进行试验时，应能符合表11～表15和5.4的技术要求。

本文件不要求制造者对每一生产批都要实施试验，但制造者的责任是：可以选择自己的方法，如严格工序控制或检查，以确保每一生产批均符合所有的技术要求。

有争议时，应按表16～表18中规定的能够实施的试验项目进行试验，试验方法按第7章的规定。

6.2 需方的控制

需方可按表16～表18规定的常规试验项目对成品和成品机械加工试件进行试验，以控制交付的螺栓、脚钉、螺母和薄螺母的质量，符合表11～表15和5.4的技术要求，试验方法按第7章的规定。

有争议时，应按表16～表18中规定的可实施的试验项目进行试验，试验方法按第7章的规定。

6.3 螺栓、脚钉、螺母的试验项目

6.3.1 螺栓、脚钉机械和物理性能试验项目

用7.1规定的试验方法，对螺栓、脚钉实物和机械加工试件按表16规定的项目进行机械和物理性能试验。无论哪些试验项目，都应符合表11～表13规定的全部要求。

螺栓、脚钉常规试验项目：抗拉强度、楔负载、机械加工试件的断后伸长率、机械加工试件的断面收缩率、最高硬度、最低硬度、脱碳层、冲击吸收能量、头部坚固性和表面缺陷。

6.3.2 螺母的机械性能试验项目

用 7.2 规定的试验方法，对螺母按表 17 的规定项目进行机械性能试验。无论哪些试验项目，都应符合表 14、表 15 规定的全部要求。热镀锌螺母与螺栓配合连接副的强度可参见附录 E。

螺母常规试验项目：保证载荷、硬度和表面缺陷。

6.3.3 表面热浸镀锌层的试验项目

用 7.3 规定的试验方法，对热浸镀锌层的技术要求，按表 18 规定的项目进行试验。无论哪些试验项目，都应符合 5.4 规定的技术要求。

热浸镀锌层常规试验项目：热浸镀锌层厚度、热浸镀锌层附着强度和热浸镀锌层外观。

6.3.4 当需方要求交付机械性能试验结果的报告（特殊订单）时，应按第 7 章规定的试验方法，并从表 16～表 18 中选取常规试验项目进行试验。需方要求增加的试验项目，应在订货时提出。

表 16 螺栓、脚钉机械和物理性能试验项目

序号	性能（见表 11）	试验方法		条号	性能等级			
					4.8、5.6、5.8、6.8		8.8、10.9	
					$l<2.5d$ 或 $b<2.0d$	$l\geq2.5d$ 或 $b\geq2.0d$	$l<2.5d$ 或 $b<2.0d$	$l\geq2.5d$ 或 $b\geq2.0d$
1	最小抗拉强度[a] $R_{m,min}$	楔负载拉力试验[a]		7.1.1	×	√	×	√
		拉力试验[a]		7.1.2	×	√	×	√
		机械加工试件[b]拉力试验		7.1.5	×	√	×	√
2	最小下屈服强度[c] $R_{eL,min}$	机械加工试件拉力试验		7.1.5	×	+	×	×
3	规定非比例延伸0.2%的应力 $R_{p0.2}$	机械加工试件拉力试验		7.1.5	×	×	×	+
4	最小断后伸长率[d] A_{min}	机械加工试件拉力试验		7.1.5	×	√[d,f]	×	√
5	最小断面收缩率[e] Z_{min}	机械加工试件拉力试验		7.1.5	×	×	×	√
6	公称保证应力 S_p	保证载荷试验		7.1.4	×	+	×	+
7	实物的断后伸长 A_f	紧固件实物拉力试验		7.1.3	×	+[g]	×	×
8	最高硬度	硬度试验		7.1.6	√	√	√	√
	最低硬度	硬度试验		7.1.6	√	+	√	+
9	最高表面硬度	增碳试验		7.1.8	×	+	+	+
10	脱碳层	脱碳试验		7.1.7	×	×	√	√
11	再回火后硬度降低值	再回火试验		7.1.9	×	×	+[h]	+[h]
12	吸收能量 $K_{V,min}$	冲击试验 $d\geq$M16 mm 和 l 或 $l_t\geq$55 mm		7.1.10	√[f,i]	√[f,i]	√[i]	√[i]
13	头部坚固性	头部坚固性试验 $d\leq$10 mm	$1.5d\leq l<3d$	7.1.11	√	√	√	√
			$l\geq3d$		×	×	×	×

栓实物直径 1/4d 处为中心制取试棒，试件直径为 3/8d，试验方法按 GB/T 228.1 的规定。当螺栓实物与试件试验结果有差异时，应以实物试验结果为准。

——螺纹长度 $b \geqslant 1d$。

——测定 A：公称长度 $l \geqslant 6d_0 + 2r + d$（见图 11）。

——测定 Z：公称长度 $l \geqslant 4d_0 + 2r + d$（见图 11）。

b） 5.6 级、8.8 级和 10.9 级：

注：机械加工试件可由因几何尺寸降低了承载能力、头部承载能力强于试件横截面面积（S_0）承载能力的螺栓上制取，也可以由无螺纹杆径 $d_s < d_2$ 的螺栓上制取。

4.8 级、5.8 级和 6.8 级（冷作硬化的）螺栓和脚钉应实施实物拉力试验，见 7.1.3。

7.1.5.3 设备

拉力试验机应按 GB/T 16825.1 的规定。装夹时，应避免斜拉，可使用自动定心装置。

7.1.5.4 试验装置

夹具和螺纹夹具应按以下规定：

——硬度：≥45 HRC。

——通孔直径 d_h：按表 19 的规定。

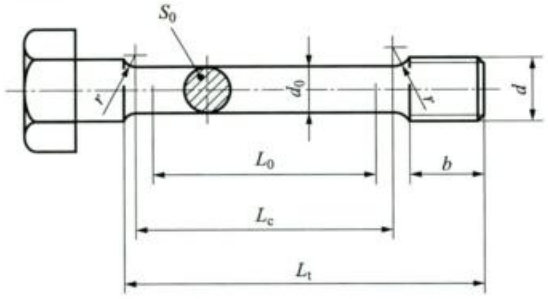
——内螺纹夹具的螺纹：6AZ。

7.1.5.5 机械加工试件

机械加工试件应由经尺寸等检验合格的螺栓和脚钉制取。图 11 为拉力试验用机械加工试件。

机械加工试件的直径应为 $d_0 < d_{3,\min}$，并且尽可能为 $d_0 \geqslant 3$ mm。

公称直径 $d > 16$ mm，且淬火并回火螺栓和脚钉的机械加工试件，其直径的减少量不应超过原有直径 d 的 25%（初始横截面积的 44%）。



说明：

d ——外螺纹公称直径。

d_0 ——机械加工试件的直径（$d_0 < d_{3,\min}$，并尽可能为 $d_0 \geqslant 3$ mm）。

b ——螺纹长度（$b \geqslant d$）。

L_0 ——机械加工试件的初始测量长度。

a）用于测定机械加工试件的断后伸长率：$L_0 = 5d_0$ 或 $5.65\sqrt{S_0}$。

b）用于测定机械加工试件的断面收缩率：$L_0 \geqslant 3d_0$。

L_c ——机械加工试件直线段的长度（$L_0 + d_0$）。

L_t ——机械加工试件的总长度（$L_c + 2r + b$）。

S_0 ——拉力试验前机械加工试件的横截面积。

r ——圆角半径（$r \geqslant 4$ mm）。

图 11 拉力试验用机械加工试件

7.1.5.6 试验程序

应按 GB/T 228.1 的规定进行拉力试验。试验机夹头的分离速率：对下屈服强度（R_{eL}）或 0.2%非比例延伸应力（$R_{p0.2}$）不应超过 10 mm/min，而对其他的项目不应超过 25 mm/min。

拉力试验应持续进行，直至断裂。

测量极限拉力载荷（F_m）。

7.1.5.7 试验结果

7.1.5.7.1 方法

按 GB/T 228.1 的规定测定下列性能：

a） 抗拉强度（R_m），$R_m = F_m/S_0$。

b） 下屈服强度（R_{eL}）或 0.2%非比例延伸应力（$R_{p0.2}$）。

c） 机械加工试件的断后伸长率，其 L_0 至少为 $5d_0$。

$$A = (L_u - L_0)/ L_0 \times 100 \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

L_u——机械加工试件的最终测量长度（见 GB/T 228.1）。

d） 机械加工试件的断面收缩率，其 L_0 至少为 $3d_0$。

$$Z = (S_0 - S_u)/ S_0 \times 100 \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

S_u——机械加工试件的断后横截面积。

7.1.5.7.2 技术要求

下列性能应符合表 11 的规定：

——最小抗拉强度 R_m。

——下屈服强度 R_{eL} 或 0.2%非比例延伸应力 $R_{p0.2}$。

——机械加工试件的断后伸长率 A。

——机械加工试件的断面收缩率 Z。

7.1.6 硬度试验

7.1.6.1 通则

本试验可测定：

——对不能实施拉力试验的螺栓和脚钉：测定螺栓和脚钉的最低硬度和最高硬度。

——对能实施拉力试验的螺栓和脚钉（见 7.1.1、7.1.2 和 7.1.5）：测定螺栓和脚钉的最高硬度。

注：硬度与抗拉强度可能没有直接的换算关系。最大硬度值的规定，除考虑理论的最大抗拉强度外，还有其他因素（如，避免脆断）。

可以在适当表面，或者螺纹横截面上测定硬度。

7.1.6.2 适用范围

本试验适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——所有规格。

——所有性能等级。

7.1.6.3 试验方法

可以采用维氏或洛氏硬度试验测定硬度。

a） 维氏硬度试验：应按 GB/T 4340.1 的规定。

b） 洛氏硬度试验：应按 GB/T 230.1 的规定。

7.1.6.4 试验程序

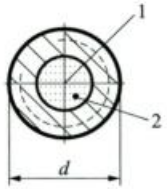
7.1.6.4.1 通则

应使用经尺寸等检验合格的螺栓和脚钉进行硬度试验。

7.1.6.4.2 在螺纹横截面测定硬度

在距螺纹末端 1d 处取一横截面，并应经适当处理。

在 1/2 半径与轴心线间的区域内测定硬度，见图 12。



说明：

1 ——螺栓和脚钉轴心线；

2 ——1/2 半径区域。

图 12 1/2 半径区域内测定硬度

7.1.6.4.3 在表面测定硬度

去除表面镀层或涂层，并对试件适当处理后，在头部平面、末端或无螺纹杆部测定硬度。

常规检查，可使用本方法。

7.1.6.4.4 测定硬度用试验载荷

维氏硬度试验用最小载荷为 98 N。

布氏硬度的试验载荷等于 $30D^2$，单位为 N。

7.1.6.5 技术要求

不能实施拉力试验的螺栓和脚钉（对拉力试验其螺纹长度短的、未旋合螺纹的长度 $l_{th}<1d$），其最低硬度和最高硬度应符合表 11 规定。

对能实施拉力试验的螺栓和脚钉，以及机械加工试件，其最高硬度不应超过表 11 规定的最大值。

4.8 级、5.6 级、5.8 级和 6.8 级螺栓和脚钉，应按 7.1.6.4.3 的规定在螺栓和脚钉的末端测定硬度，并且不应超过表 11 规定的最大值。

对热处理螺栓和脚钉，在 1/2 半径区域内（见图 12）测定的硬度值之差，若不大于 30 HV，则证实材料中马氏体已达到 90%的要求（见表 9）。

4.8 级、5.8 级和 6.8 级冷作硬化螺栓和脚钉，应按 7.1.6.4.2 的规定测定硬度，并且应在表 11 规定的硬度范围内。

如有争议，应按 7.1.6.4.2 的规定，并使用维氏硬度进行仲裁试验。

7.1.7 脱碳试验

7.1.7.1 通则

本试验可测定淬火并回火螺栓和脚钉的表面脱碳和脱碳层深度（见图 13）。

注：由热处理工艺造成的，超过表 11 规定的脱碳层，会降低螺纹强度并可能造成其失效。

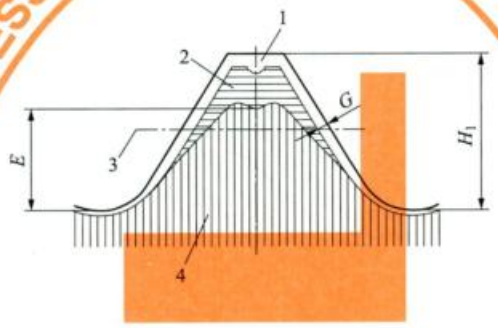
表面碳量的状态应用以下两个方法中的一个测定：

——金相法。

——硬度法。

金相法可以测定螺纹全脱碳层的深度（G）和螺纹未脱碳层的高度（E）（见图 13）。

硬度法可以测定螺纹未脱碳层的高度（E）和用显微-硬度法测定不完全脱碳（见图 13）。



说明：

1 ——全脱碳；

2 ——不完全脱碳；

3 ——中径线；

4 ——基体金属；

E ——螺纹未脱碳层的高度；

G ——螺纹全脱碳层的深度；

H_1 ——最大实体条件下外螺纹的牙型高度。

图 13 脱碳层

7.1.7.2 金相法

7.1.7.2.1 适用范围

本方法适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——所有规格。

——8.8 级、10.9 级。

7.1.7.2.2 试件的制备

应从完成全部热处理工序，并应去除镀层或其他涂层后的螺栓和脚钉上制取试件。

在距螺纹末端约一个公称直径（1d）、沿螺纹轴心线截取一纵向截面的试件。试件应嵌入塑料中或安装在夹具中。安装后，对表面进行研磨和抛光，直至可进行金相检查。

注：通常，浸入 3%的硝酸乙醇腐蚀液（浓硝酸与乙醇混合液），能显示由于脱碳而造成的金相结构的变化。

7.1.7.2.3 试验程序

将试件置于显微镜下，除非另有协议，否则应放大 100 倍进行检查。

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

如果显微镜带有毛玻璃屏，则可借助刻度直接测量脱碳程度。如果用目镜测量，则应使用带十字准线或刻度的显微镜。

7.1.7.2.4 技术要求

全脱碳层的最大深度 G 应符合表 11 规定的技术要求，未脱碳层的高度 E 应符合表 21 规定的技术要求。

表 21 最大实体条件下，外螺纹的牙型高度 H_1 和螺纹未脱碳层的最小高度值 E_{min}

螺距 P			1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
H_1			0.920	1.074	1.227	1.534	1.840	2.147	2.454	2.761	3.068	3.374	3.681
性能等级	8.8	E_{min}[a]	0.460	0.537	0.614	0.767	0.920	1.074	1.227	1.381	1.534	1.687	1.841
	10.9		0.613	0.716	0.818	1.023	1.227	1.431	1.636	1.841	2.045	2.249	2.454
[a] 按表 11 中 No.14 的规定计算。													

7.1.7.3 硬度法

7.1.7.3.1 适用范围

本方法适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

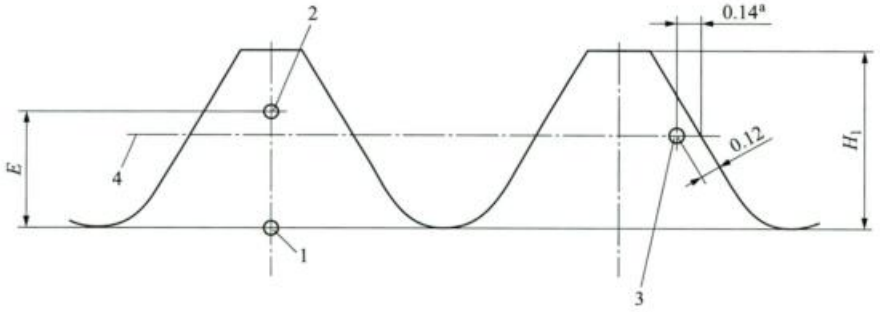
——$P \geqslant 1.5$ mm；

——8.8 级、10.9 级。

7.1.7.3.2 试件的制备

7.1.7.3.3 试验程序

按图 14 所示测量第 1 点和第 2 点的维氏硬度。试验力为 2.942 N（维氏硬度试验 HV0.3）。



说明：

E ——螺纹未脱碳层的高度，mm；

H_1 ——最大实体条件下外螺纹的牙型高度，mm；

1、2、3 ——测量点；

4 ——螺距线。

HV（2）≥HV（1）−30 时，螺纹未脱碳，HV（3）≤HV（1）+ 30 时，螺纹未增碳。

[a] 给出 0.14 mm 值仅表明在螺距线上该点的位置。

图 14 脱碳试验和增碳试验的硬度测量

7.1.7.3.4 技术要求

第 2 点的维氏硬度值 HV（2）应大于或等于第 1 点维氏硬度 HV（1）减去 30 个维氏单位，螺纹未脱碳层的高度 E 应符合表 21 规定的技术要求。

注：全脱碳达到表 11 规定的最大值时，不可用硬度测量法测出。

7.1.8 增碳试验

7.1.8.1 通则

本试验适用于测定淬火并回火螺栓和脚钉的表面在热处理工艺中是否形成增碳。对于表层增碳状态的评定，基体金属硬度和表面硬度的差值是决定性指标。

注：由于增加表面硬度能造成脆断或降低抗疲劳性，因此增碳是有害的。应仔细区分硬度的增加是由于增碳还是热处理或表面冷作硬化而引起的，例如热处理后碾制螺纹。

可采用以下方法之一进行增碳试验：

——在纵向截面上测定硬度。

——在表面测定硬度。

如有争议，以及当 $P \geqslant 1.5$ mm 时，按 7.1.8.2 规定的硬度试验，是仲裁试验方法。

7.1.8.2 在纵向截面测定硬度

7.1.8.2.1 适用范围

本方法适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——$P \geqslant 1.5$ mm。

——8.8 级、10.9 级。

7.1.8.2.2 试件的制备

应按 7.1.7.2.2 制备试件，但不需要腐蚀和去除表面镀层。

7.1.8.2.3 试验程序

按图 14 所示测量第 1 点和第 3 点的维氏硬度。试验力为 2.942 N（维氏硬度试验 HV0.3）。

如果在按 7.1.7.3.3 的试验中已使用过的试件，则第 3 点的硬度应在螺纹螺距线上，并在测定第 1 点和第 2 点硬度相邻的牙上进行测定。

7.1.8.2.4 技术要求

第 3 点的维氏硬度值 HV（3）应小于或等于第 1 点维氏硬度 HV（1）加上 30 个维氏单位。

超过 30 个维氏单位表示已增碳，又见表 11（No.14 和脚注 h 和 i）对 10.9 的硬度规定。

7.1.8.3 在表面测定硬度

7.1.8.3.1 适用范围

本方法适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——所有规格。

——8.8 级、10.9 级。

7.1.8.3.2 试件的制备

在螺栓和脚钉的头部或末端用研磨或抛光准备一个适当的平面，以确保材料表面原始特征的复现与保持。

从距螺纹末端 1*d* 处截取一个横截面，并经适当地制备。

7.1.8.3.3 试验程序

按 7.1.6.4.2 的规定，在制备的表面测定维氏硬度。

应在横截面上测定基体金属硬度。

测定以上硬度中使用的试验力为 2.942 N（维氏硬度试验 HV0.3）。

7.1.8.3.4 技术要求

表面硬度值应小于或等于基体金属硬度值加上 30 个维氏单位。

超过 30 个维氏单位，表示已增碳，又见表 1（No.14 和脚注 h 和 i）对 10.9 级最大表面硬度不应大于 390 HV。

7.1.9 再回火试验

7.1.9.1 通则

本试验适用于检验热处理工艺的最低回火温度。

有争议时，用本试验进行仲裁。

7.1.9.2 适用范围

本方法适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——所有规格。

——8.8 级、10.9 级。

7.1.9.3 试件程序

按 7.1.6.4.2 的规定测定维氏硬度，并在一个试件上读取三点数值。

再回火本试件，零件温度应比表 9 规定的最低回火温度低 10 ℃，并保持 30 min。再回火后，在同一试件上并在与第一次测定相同的区域，测定新的三点维氏硬度值。

7.1.9.4 技术要求

对比再回火前、后三点硬度平均值。再回火后，（如果有时）硬度降低，应小于 20 个维氏单位。

7.1.10 机械加工试件冲击试验

7.1.10.1 通则

本试验用于检验在规定的低温条件下，螺栓和脚钉材料的韧性。如在产品标准或供需双方协议中有要求时，方可实施本试验。

7.1.10.2 适用范围

本试验适用于符合以下规定的螺栓和脚钉：

——由螺栓和脚钉制取的机械加工试件。
——$d \geqslant 16$ mm。
——螺栓的总长（包括头部）≥55 mm。
——5.6 级、8.8 级和 10.9 级。

7.1.10.3 试验仪器与装置

试验仪器与装置应符合 GB/T 229 的规定。

7.1.10.4 机械加工试件

应从尺寸等检验合格的螺栓和脚钉成品上制取试件。

机械加工试件应符合 GB/T 229（夏比 V 形缺口试验）的规定。该试件应沿螺杆纵向，尽量靠近螺栓和脚钉表面，并尽可能远离螺纹部分。试件无刻槽的一边应靠近螺栓和脚钉的表面。

7.1.10.5 试验程序

机械加工试件应置于恒温–20 ℃的条件下，按 GB/T 229 的规定进行试验。

7.1.10.6 技术要求

试件在–20 ℃温度下的吸收能量，应符合表 11 的规定。

注：其他试验温度与吸收能量值，可在有关产品标准中或由供需双方协议规定。

7.1.11 头部坚固性试验

7.1.11.1 通则

本试验用于检查头部与无螺纹杆部或螺纹过渡圆处的牢固性。检查时，锤击置于有规定角度试验模中的紧固件头部。

注：通常，本试验用于因紧固件太短，而不能实施楔负载试验的场合。

7.1.11.2 适用范围

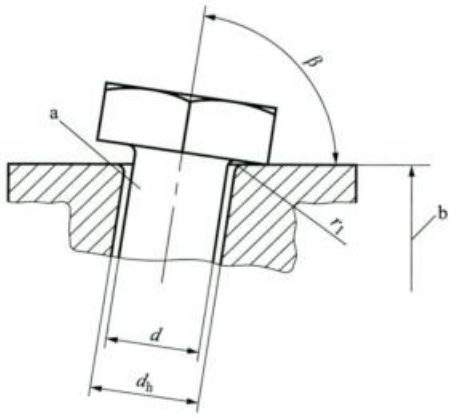
本试验适用于符合以下规定的螺栓：
——头部承重能力强于螺纹杆部。
——公称长度 $l \geqslant 1.5d$。
——$d \leqslant 10$ mm。
——所有性能等级。

7.1.11.3 试验装置

试验模如图 15 所示，并应符合以下规定：
——硬度：≥45 HRC。
——通孔直径 d_h 和圆角 r_1，按表 19 的规定。
——最小厚度：$\geqslant 2d$。
——β：按表 22 的规定。

7.1.11.4 试验程序

试件应为经尺寸检验合格的紧固件。



说明：

a ——$l \geqslant 1.5d$；

b ——试验模厚度不小于 $2d$。

图 15　头部坚固性试验用试验模

表 22　头部坚固性试验用试验模 β 角

性能等级	5.6	4.8	5.8	6.8	8.8	10.9
β	60°	80°				

头部坚固性试验应使用图 15 所示的试验模。

试验模应固定牢固。用手锤击打螺栓头部数次，使头弯曲 90°–β 角。β 角按表 22 的规定。

应放大 8 倍～10 倍进行检查。

7.1.11.5　试验结果　技术要求

在头部与无螺纹杆部或螺纹过渡圆处，不应发现裂缝。

全螺纹的螺栓，即使在第一扣螺纹上出现裂缝，只要头部未断掉，仍应视为符合本试验要求。

7.1.12　表面缺陷检查

螺栓和脚钉不允许有爆裂、裂纹和痕皱等现象存在，表面缺陷应控制在能够接收的范围内。

对于 8.8 级和 10.9 级螺栓和脚钉，在热浸镀锌至少 48 h 后进行一次磁粉探伤表面缺陷检查，重点检查螺栓和脚钉头下圆角处、螺纹牙底等应力集中部位是否存在裂纹现象。

对 4.8 级～8.8 级螺栓和脚钉表面缺陷的检查，应按 GB/T 5779.1 的规定；由供需双方协议也可按 GB/T 5779.3 进行检查。

10.9 级螺栓和脚钉表面缺陷的检查，应按 GB/T 5779.3 的规定。

在用机械加工试件测定材料性能的情况下，表面缺陷的检查应在机械加工前实施。

7.2　螺母的试验方法

7.2.1　保证载荷试验

7.2.1.1　通则

保证载荷试验包括下列两个主要程序：

a） 借助试验芯棒（见图 16 和见图 17）实施规定的保证载荷；
b） 检查有无因保证载荷造成的螺母螺纹损伤。

7.2.1.2 适用性

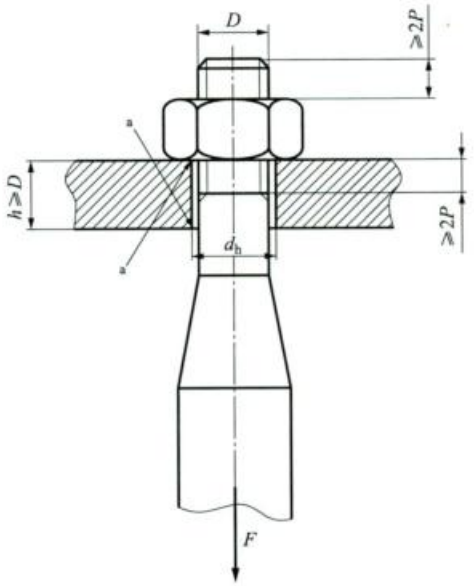
本试验适用于符合以下规定的螺母：
——所有性能等级的螺母。
——螺纹规格 $D \leqslant 48$ mm（对于螺纹规格 $D > 48$ mm，当具备试验条件时可实施本试验）。

7.2.1.3 设备

拉力试验应符合 GB/T 16825.1 的 1 级（或更高）。装夹螺母时，应避免斜拉，可使用自动定心装置。

7.2.1.4 试验装置

夹具和试验芯棒应符合以下规定：
a） 夹具硬度：≥45 HRC。
b） 夹具厚度：$h \geqslant 1D$。
c） 夹具孔径 d_h：按表 23 的规定。
d） 芯棒淬硬并回火：硬度 45 HRC～50 HRC。
e） 试验芯棒外螺纹精度：5 h 6 g，但大径公差应控制在 6 g 公差带靠近下限四分之一的范围内。试验芯棒的螺纹尺寸应符合附录 G 的规定。



[a] 倒锐边。

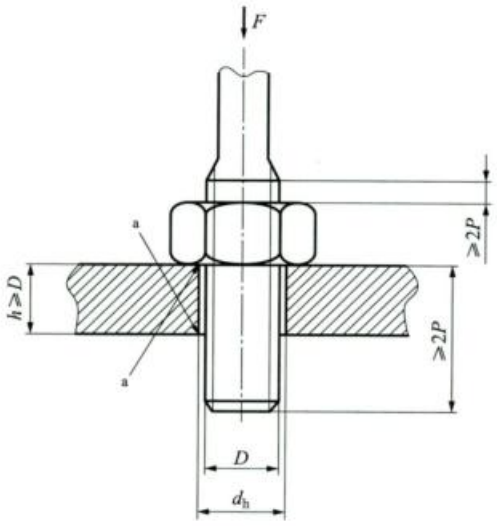
图 16 轴向拉力试验

7.2.1.5 试验程序

试件应为经尺寸等验收合格的螺母和薄螺母。

试验前，应检验芯棒受力螺纹处的大径尺寸是否符合规定要求，芯棒的螺纹是否有缺损和变形等异常现象，否则试验结果无效。

按图 16 或图 17 将螺母试件装在试验芯棒上。



[a] 倒锐边。

图 17　轴向压缩试验

表 23　夹具孔径

单位：mm

公称直径	孔径 d_h[a]		公称直径	孔径 d_h[a]		公称直径	孔径 d_h[a]	
	min	max		min	max		min	max
M10	10.040	10.130	M27	27.065	27.195	M48	48.080	48.240
M12	12.050	12.160	M30	30.065	30.195	M52	52.100	52.290
M16	16.050	16.160	M33	33.080	33.240	M56	52.100	52.290
M18	18.050	18.160	M36	36.080	36.240	M60	60.100	60.290
M20	20.065	20.195	M39	39.080	39.240	M64	64.100	64.290
M22	22.065	22.195	M42	42.080	42.240	—	—	—
M24	24.065	24.195	M45	44.080	44.240	—	—	—

[a] $d_h = D_{公称}$，其公差为 D11。

按 GB/T 228.1 实施轴向拉力试验或压缩试验。试验机夹头的分离速率，不应超过 3 mm/min。

对粗牙螺母施加表 15 规定的保证载荷，并保持 15 s，然后卸载将螺母旋出。

试验时，超出保证载荷值的情况，应限制在最低程度。

每个螺母试验后，应检查试验芯棒的螺纹。在试验过程中，试验芯棒的螺纹如有损坏，则该次试验结果无效，并采用符合规定的芯棒重新进行试验。

7.2.1.6　试验结果

应当检查有无螺母断裂或螺纹脱扣。

应能用手将螺母旋出，或借助扳手松开螺母，但不得超过半扣。

7.2.1.7　技术要求

螺母应能承受表 15 规定的保证载荷，而无螺纹脱扣或螺母断裂。

螺母经保证载荷试验后，应能用手旋出（如有需要，借助扳手最多不超过半扣）。

对验收检查，如有争议时，图 16 拉力试验是仲裁方法。

7.2.2 硬度试验

7.2.2.1 适用性

本试验适用于所用规格的所有性能等级的螺母和薄螺母。

7.2.2.2 试验方法

可以使用维氏、布氏或洛氏硬度试验测定硬度。

应按 GB/T 4340.1 进行维氏硬度试验。

应按 GB/T 231.1 进行布氏硬度试验。

应按 GB/T 230.1 进行洛氏硬度试验。

如采用布氏或洛氏硬度试验，应按 ISO 18265：2013 进行换算。

7.2.2.3 试验程序

7.2.2.3.1 测定硬度用试验载荷

维氏硬度试验用最小载荷为 98 N。

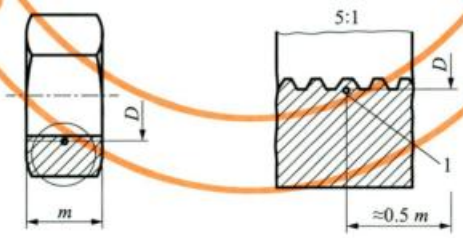
布氏硬度的试验载荷等于 $30D^2$，单位为 N。

7.2.2.3.2 在表面测定硬度

常规检查，去除表面镀锌层或涂层，并对试件适当处理后，在螺母的一个支承面上实施硬度试验。取间隔为 120°的三点硬度平均值作为螺母的硬度值。

7.2.2.3.3 在纵截面测定硬度

应在通过螺母轴心线的纵向截面上，实施硬度试验。在大约 0.5 m 高度，并尽量靠近螺纹大径处测定硬度，见图 18。



说明：

1——测定硬度的位置。

图 18 在螺母高度之半处测定硬度

7.2.2.4 技术要求

7.2.2.4.1 淬火并回火的螺母

按 7.2.2.3.2 在表面测定的硬度，应符合表 14 规定的最高硬度和最低硬度要求。

如有争议：

a） 按 7.2.2.3.2 在表面测定硬度，试验载荷为 98 N（HV10）的维氏硬度试验是仲裁试验方法，其硬度应符合表 14 的规定。

b） 按 7.2.2.3.3 在纵截面测定硬度，维氏硬度试验是仲裁试验方法，其硬度应符合表 14 的规定。

7.2.2.4.2 不淬火并回火的螺母

对于不淬火并回火的螺母，保证载荷应符合表 15 的规定，最高硬度不应超过表 14 的规定。对于不能实施保证载荷试验的螺母，其硬度必须符合表 14 规定的最高硬度和最低硬度要求。如有争议，按 7.2.2.3.3 进行，维氏硬度试验是仲裁方法。

当按 7.2.2.3.2 或 7.2.2.3.3 进行试验时，如果达不到最低硬度要求，但可以达到 7.2.1.7 规定的保证载荷。在这种情况下，不应拒收该批螺母。

7.2.3 表面缺陷检查

表面缺陷检查按 GB/T 5779.2 的规定。

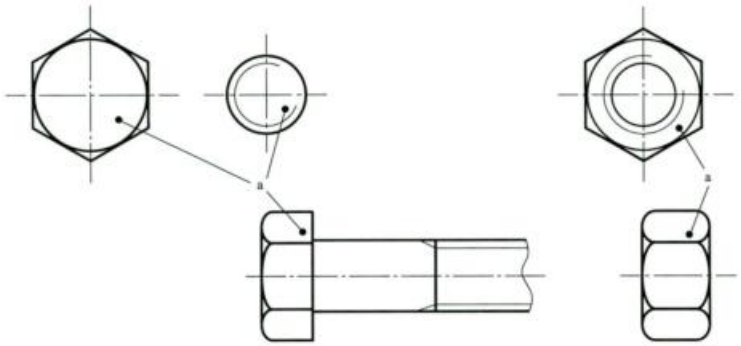
7.3 热浸镀锌层的试验方法

7.3.1 热浸镀锌层厚度

对每一生产批的产品，按 GB/T 4956 规定的磁性法进行镀层局部厚度的测量。

热浸镀锌层局部厚度的测量位置应在图 19 所示的测量面上进行。单个试件至少取 5 个测量点，计算平均值即为镀层局部厚度。若因单个试件几何形状的限制不允许测 5 个点，可用 5 个试件的单点平均值。

如有争议，应采用 GB/T 13825 规定的称重法，计算批平均厚度。计算批平均厚度需要的产品表面积可按 GB/T 5267.3 中相关规定估算。



[a] 测量面。

图 19 镀层测量面示意图

7.3.2 热浸镀锌层均匀性

热浸镀锌层均匀性测定，采用硫酸铜溶液浸蚀的试验方法（应符合附录 H 的规定）。

7.3.3 热浸镀锌层附着强度

试验时，采用硬刀划线法。试验方法是用一把硬刀的尖端用力一次切入或划入镀锌层至金属基体。如果在刀尖的前面锌层或划出线的两边锌层有成片的剥落或分离，露出基底金属，则判定附着强度不合格；如果未使锌层脱离金属基体，则不应拒收。

试验不应在棱边或尖角处实施。

7.3.4 热浸镀锌层外观

按 5.4.4 的规定进行目视检查。

8 验收检查

8.1 验收检查规则

8.1.1 螺栓、脚钉、螺母和薄螺母出厂检验由制造者技术检验部门进行检验。制造者应保证出厂的螺栓、脚钉、螺母和薄螺母符合本文件的各项技术要求。

8.1.2 螺栓、脚钉、螺母和薄螺母应按生产批进行检验。

a） 同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、长度（长度小于或等于 100 mm 时，长度相差小于或等于 15 mm；长度大于 100 mm 时，长度相差小于或等于 20 mm，可作为同一长度）、机械加工、热处理工艺、热浸镀锌工艺的螺栓和脚钉为同批。

b） 同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、机械加工、热处理工艺、热浸镀锌工艺的螺母、为同批。

c） 分别由同批螺栓、脚钉、螺母组成的连接副视为同批连接副。

8.1.3 需方应对已交付的产品进行验收检查，在验收检查过程中，应着重考虑产品是否符合其预期功能，检验应按本文件表 16～表 18 的规定的常规试验项目进行检验。如需方在订单中有要求增加的试验项目，应同时对增加的试验项目进行检验。当产品检验项目出现不合格或产品缺陷损害了其预期功能或使用要求时，可提出拒收该批产品。连接副连接强度可参考附录 E 中规定的方法确定。

8.1.4 对查出的不合格产品，需方应给供方核实的机会。对已拒收的产品批，除非对不合格产品经过工艺处理、修整、分拣等有效消除不合格因素的处理，否则不能提交复检。

8.2 检验项目、抽样与判定

8.2.1 螺栓、脚钉、螺母尺寸检验按表 24 的规定。

表 24 尺寸检验抽样与判定

序号	检验项目	螺栓、脚钉		螺母、薄螺母	
		样本大小 n	合格判定数 A_c	样本大小 n	合格判定数 A_c
1	对边宽度	20	1	20	1
2	对角宽度	20	1	20	1
3	头部高度或弯头高度	20	1	—	—
4	公称长度	20	1	—	—
5	无螺纹杆部直径	20	1	—	—
6	螺母高度	—	—	20	1
7	螺纹通规[a]	20	1	20	1
8	螺纹止规[a]	20	1	20	1
9	大径[b]	20	1	—	—
10	小径[c]	—	—	20	1

表 24（续）

序号	检验项目	螺栓、脚钉		螺母、薄螺母	
		样本大小 n	合格判定数 A_c	样本大小 n	合格判定数 A_c
11	几何公差 [d]	20	1	20	1
12	其他	13	1	13	1
13	不合格产品	20	2	20	2
注：表中序号 1～11 为基本尺寸，所有尺寸均为镀锌前尺寸。					
[a] 螺栓、脚钉在镀前实施检验，螺母在镀后攻丝完实施检验。 [b] 热浸镀锌后的外螺纹大径尺寸不得小于外螺纹 6 g 极限尺寸的最小值。 [c] 热浸镀锌后的内螺纹小径尺寸不得大于内螺纹 6AZ 极限尺寸的最大值。 [d] 每一几何公差应单独评定。					

8.2.2 螺栓、脚钉、螺母和薄螺母尺寸以外项目的检验按表 25 的规定，机械和物理性能、表面缺陷和热浸镀锌层检验项目按 6.3 中表 16～表 18 规定的常规试验项目及需方订货时要求的检验项目。

表 25 螺栓、脚钉和螺母尺寸以外项目的检验抽样与判定

检验项目		样本大小 n	合格判定数 A_c
材料化学成分 [a]		3	0
机械性能和表面缺陷	非破坏性检查 [b]	8	0
	破坏性检查	3	0
热浸镀锌层		3	0
功能（操作）特性		3	0
要求的其他技术条件		3	0
[a] 材料化学成分应符合表 9、表 10 的规定及选用材料标准的规定。 [b] 在检查表面缺陷的过程中（非破坏性检查），如果发现不允许的表面缺陷（如淬火裂缝），无论它们的尺寸大小如何，则应拒收该检验批。			

8.2.3 对抽取样本进行检查，并记录不合格紧固件的件数。如果缺陷数小于或等于合格判定数，则接受该批产品。在非破坏性检查中，如果批量小于要求的样本数，则应进行全检。

8.2.4 应尽可能地采用进行过非破坏性硬度试验的样本进行拉力试验。最低硬度的样本用于抗拉强度，而最高硬度的则用于伸长率试验。拉力试验是破坏性试验，比非破坏硬度试验要求的样本少。

注：以上不适用于破坏性硬度试验，例如表面硬度、为确定渗碳或脱碳的，以及其他需要在试件截面上进行试验的硬度试验。

保证载荷试验应视为破坏性试验。

8.2.5 表面缺陷的非破坏性检查（目测检查），一般不能给出缺陷的种类和尺寸，确切的情况只能用破坏性检查予以验证。对表面缺陷的非破坏性检查需要较大的样本大小，以便在其后识别这些缺陷时进行破坏性检查。

8.2.6 需方对产品质量有异议时，在正常运输和正确储存、保管的条件下，应在产品交付之日起六个月之内向供方提出。如有争议，按本文件的要求进行复检。

8.3 其他验收检查要求

按 GB/T 90.1 的规定。

9 组配与包装

9.1 组配

9.1.1 根据螺栓、脚钉性能等级选取对应性能等级的螺母进行组配，螺栓、脚钉组配对应的螺母按5.1.3和表8的规定。被连接件的螺栓孔可参见附录I中的规定进行开孔。

9.1.2 组配时螺母应能顺利旋入螺栓、脚钉的全部螺纹，组配后螺母应距螺纹的收尾0～5*P*的距离。用户有其他螺栓、脚钉与螺母组配要求时，按用户要求。组配后的安装扭矩计算方法及参考安装扭矩可参见附录J中的规定，如需要提高安装扭矩最大安装扭矩可参见附录K中的规定。

9.2 包装

9.2.1 产品采用袋装包装方式，每小袋包装质量不应超出40 kg。需单基包装时，包装方式方法由制造者选择。如有明确需要，应组配符合附录B要求的平垫圈。用户如有其他包装要求时，应在合同中注明。

9.2.2 产品的包装应确保在正常流通过程中，能抗御环境条件的影响而不发生破损、损坏现象。产品包装材料、辅助材料和容器，均应符合有关国家标准的规定。

9.2.3 供需双方都应对产品进行妥善储存和保管，防止产品雨淋、受潮和暴晒。制造者对镀后攻丝的内螺纹零件应采取有效的防锈措施，确保在正确储存和保管的前提下，产品在交付之日起六个月之内不出现锈蚀现象。

9.2.4 产品包装的外表应有标识或标签。标志应正确、清晰、齐全、牢固。内货与标识一致。标识一般应印刷、标打或手写，允许拴挂或粘贴，标识不得褪色、脱落。

标识内容如下：

a） 紧固件制造者名称及工程名称（单基包装外表）；
b） 紧固件产品名称（全称或简称）；
c） 紧固件产品规定的标记（含产品标准、规格及性能等级等）；
d） 紧固件产品数量或净重；
e） 紧固件产品生产批号或溯源号；
f） 制造或出厂日期；
g） 产品质量标记；
h） 其他：有关标准或运输部门规定的，或制造和使用者要求的标识。

10 质量信息管理及质量证明文件

10.1 质量信息管理

制造者应按GB/T 90.3的规定，对产品生产过程中与产品有关的技术、质量信息进行记录，并妥善保存和保管。

可追溯性的相关技术、质量信息应由制造者自产品出售给顾客之日起，至少保存十年，顾客一旦打开产品原始包装，便开始承担其随后可追溯性的全部责任。

10.2 质量证明文件

制造者在产品发货时（后）应对其产品向顾客提供相关质量证明文件，其内容包括：

a） 产品规格；
b） 性能等级；

c） 基本尺寸；
d） 选用的钢材及质量证明书、熔炼分析（化学分析）；
e） 机械性能（按 6.3 中的常规试验项目）；
f） 热浸镀锌层（按 6.3 中的常规试验项目）；
g） 热处理方式（如要求时）；
h） 其他顾客要求的内容。

附 录 A
（规范性）
公称长度 *l* 尺寸公差

公称长度 *l* 尺寸公差见表 A.1。

表 A.1 公称长度 *l* 尺寸公差

单位：mm

公称长度 *l*			公称长度 *l*			公称长度 *l*		
公称	min	max	公称	min	max	公称	min	max
20	18.95	21.05	105	103.25	106.75	230	225.4	234.6
25	23.95	26.05	110	108.25	111.75	240	235.4	244.6
30	28.95	31.05	115	113.25	116.75	250	245.4	254.6
35	33.75	36.25	120	118.25	121.75	260	254.8	265.2
40	38.75	41.25	125	123	127	270	264.8	275.2
45	43.75	46.25	130	128	132	280	274.8	285.2
50	48.75	51.25	135	133	137	300	294.8	305.2
55	53.5	56.5	140	138	142	320	314.3	325.7
60	58.5	61.5	145	143	147	340	334.3	345.7
65	63.5	66.5	150	148	152	360	354.3	365.7
70	68.5	71.5	160	156	164	380	374.3	385.7
75	73.5	76.5	170	166	174	400	394.3	405.7
80	78.5	81.5	180	176	184	420	413.7	426.3
85	83.25	86.75	190	185.4	194.6	440	433.7	446.3
90	88.25	91.75	200	195.4	204.6	460	453.7	466.3
95	93.25	96.75	210	205.4	214.6	480	473.7	486.3
100	98.25	101.75	220	215.4	224.6	500	493.7	506.3

附 录 B
（规范性）
平 垫 圈

B.1 平垫圈要求

为防止螺栓头下圆角与通孔边缘发生干涉或增加螺栓连接副与被连接紧固材料的接触面积，设计时应考虑采用平垫圈。

B.2 平垫圈的型式与尺寸

平垫圈的型式与尺寸见图 B.1 和表 B.1。

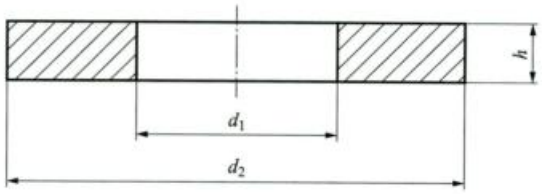


图 B.1 平垫圈的型式

表 B.1 平垫圈的尺寸

单位：mm

公称规格（螺纹大径 d）	内径 d_1		外径 d_2		厚度 h		
	公称（min）	max	公称（max）	min	公称	max	min
10	11	11.43	20	18.70	2	2.30	1.7
12	13.5	13.93	24	22.70	2.5	2.80	2.2
16	17.5	17.93	30	28.70	3	3.60	2.4
18	20	20.43	34	32.40	3	3.60	2.4
20	22	22.52	37	35.40	3	3.60	2.4
22	24	24.52	39	37.40	3	3.60	2.4
24	26	26.52	44	42.40	4	4.60	3.4
27	30	30.52	50	48.40	4	4.60	3.4
30	33	33.62	56	54.10	4	4.60	3.4
33	36	37.00	60	58.10	5	6.00	4
36	39	40.00	66	64.10	5	6.00	4
39	42	43.00	72	70.10	6	7.00	5
42	45	46.00	78	76.10	8	9.20	6.8
45	48	49.00	85	82.80	8	9.20	6.8
48	52	53.20	92	89.80	8	9.20	6.8
52	56	57.2	98	95.8	8	9.2	6.8
56	62	63.2	105	102.8	10	11.2	8.8
60	66	67.2	110	107.8	10	11.2	8.8
64	70	71.2	115	112.8	10	11.2	8.8

B.3 技术条件和引用标准

平垫圈技术条件和引用标准见表 B.2。

表 B.2 技术条件和引用标准

材料		钢		
机械性能	硬度等级	100HV	200HV	300HV[a]
	硬度范围[b]	100HV～200HV	200HV～300HV	300HV～370HV
公差	产品等级	C		
	标准	GB/T 3103.3		
表面处理		热浸镀锌按本文件、GB/T 5267.3 要求；所有公差适用于涂或镀前尺寸		
表面缺陷		零件不允许有不规则的或有害的缺陷，垫圈表面不得有突出的毛刺		
验收及包装		GB/T 90.1、GB/T 90.2		
[a] 淬火并回火。 [b] 硬度试验按 GB/T 4340.1 规定，HV30 用于公称厚度 h>1.2 mm。				

B.4 平垫圈选配指南

螺栓和螺母与之相配合使用的平垫圈的选配指南见表 B.3。

表 B.3 平垫圈选配指南

平垫圈	硬度等级		100HV	200HV	300HV
螺母	性能等级	≤6	合适	合适	合适
		8	不合适	合适	合适
		9、10	不合适	不合适	合适
螺栓		≤6.8	合适	合适	合适
		8.8	不合适	合适	合适
		10.9	不合适	不合适	合适

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

附 录 C
（规范性）
内螺纹 6AZ 极限尺寸

内螺纹 6AZ 极限尺寸见表 C.1。

表 C.1 内螺纹 6AZ 极限尺寸

单位：mm

螺纹规格（粗牙）	旋和长度 N		中径 D_2		小径[a] D_1		大径 D min
	>	≤	max	min	max	min	
M10	5	15	9.536	9.356	9.006	8.706	10.330
M12	6	18	11.398	11.198	10.776	10.441	12.335
M16	8	24	15.253	15.041	14.550	14.175	16.340
M18	10	30	16.950	16.726	16.094	15.644	18.350
M20	10	30	18.950	18.726	18.094	17.644	20.350
M22	10	30	20.950	20.726	20.094	19.644	22.350
M24	12	36	22.676	22.411	21.612	21.112	24.360
M27	12	36	25.676	25.411	24.612	24.112	27.360
M30	15	45	28.377	28.097	27.141	26.581	30.370
M33	15	45	31.377	31.097	30.141	29.581	33.370
M36	18	53	34.082	33.782	32.650	32.050	36.380
M39	18	53	37.082	36.782	35.650	35.050	39.380
M42	21	63	39.782	39.467	38.189	37.519	42.390
M45	21	63	42.782	42.467	41.189	40.519	45.390
M48	24	71	45.487	45.152	43.697	42.987	48.400
M52	24	71	49.487	49.152	47.697	46.987	52.400
M56	28	85	53.193	52.838	51.206	50.456	56.410
M60	28	85	57.193	56.838	55.206	54.456	60.410
M64	32	95	60.898	60.523	58.725	57.925	64.420

[a] 热浸镀锌前尺寸。

附 录 D
（规范性）
外螺纹 6 g 极限尺寸

外螺纹 6 g 极限尺寸见表 D.1。

表 D.1 外螺纹 6 g 极限尺寸

单位：mm

螺纹	旋合长度		大径 d		中径 d_2		牙底圆弧半径
	>	≤	max	min	max	min	min[a]
M10	5	15	9.968	9.732	8.994	8.862	0.188
M12	6	18	11.966	11.701	10.829	10.679	0.219
M14	8	24	13.962	13.682	12.663	12.503	0.250
M16	8	24	15.962	15.682	14.663	14.503	0.250
M18	10	30	17.958	17.623	16.334	16.164	0.313
M20	10	30	19.958	19.623	18.334	18.164	0.313
M22	10	30	21.958	21.623	20.334	20.164	0.313
M24	12	36	23.952	23.577	22.003	21.803	0.375
M27	12	36	26.952	26.577	25.003	24.803	0.375
M30	15	45	29.947	29.522	27.674	27.462	0.438
M33	15	45	32.947	32.522	30.674	30.462	0.438
M36	18	53	35.940	35.465	33.342	33.118	0.500
M39	18	53	38.940	38.465	36.342	36.118	0.500
M42	21	63	41.937	41.437	39.014	38.778	0.563
M45	21	63	44.937	44.437	42.014	41.778	0.563
M48	24	71	47.929	47.399	44.681	44.431	0.625
M52	24	71	51.929	51.399	48.681	48.431	0.625
M56	28	85	55.925	55.365	52.353	52.088	0.688
M60	28	85	59.925	59.365	56.353	56.088	0.688
M64	32	95	63.920	63.320	60.023	59.743	0.750

[a] 有关规定见 GB/T 197。

附 录 E
（资料性）
螺母采用加大攻丝尺寸的热浸镀锌螺栓连接副的强度

按照 GB/T 22028 规定，螺母采用加大攻丝尺寸的方法容纳与其配合的外螺纹上的热浸镀锌层，加大攻丝尺寸的螺母即使达到尺寸公差和性能要求，当与规定相配的外螺纹组装时，也可能达不到预期的连接强度。连接副强度的降低是由于螺母加大攻丝尺寸后内外螺纹之间的剪切接合面减小所致，可参考阿莱克斯特[1)]（Alexander）关于螺纹强度方面的研究工作。

对于内螺纹按 GB/T 22028 加工 6AZ 公差带内螺纹，按下面的方法，可能达到 6 g/6H 公差带连接副强度的要求。

a） 用较高性能等级螺母与外螺纹组装，如 8.8 级螺栓配套 10 级螺母。

b） 用一个 1 型螺母和一个薄型螺母同时与外螺纹组装，且具有良好的防松功能。

c） 用两个 1 型螺母与外螺纹组装，且具有良好的防松功能。

d） 用相同性能等级的 2 型螺母代替 1 型螺母与外螺纹组装。

1）E.M.ALEXANDER，Analysis and design of threaded assemblies SAE Transactions，Section 3-Volume 86.

附 录 F
（规范性）
剪切试验方法

F.1 剪切试验在双剪夹具中完成（剪切夹具示意图见图 F.1）。在夹具中螺栓支承各个零件。为了施加载荷，各配合零件应有与螺栓无螺纹直径相等的孔径（公差为 H6），且硬度不低于 700 HV，支承零件与加载零件间的间隙不应超过 0.15 mm。

F.2 剪切面外端的无螺纹长度应最少留有一倍螺栓直径的距离，同时两剪切面间的间隔最少应为 2 倍螺栓直径。

F.3 螺栓应试验到剪断为止。当试验载荷达到最大载荷的同时螺栓断裂或未达到最大载荷之前螺栓断裂都认为是螺栓的双面剪切载荷。

F.4 螺栓经剪切试验后断裂口应为没有纵向裂缝的韧性切口。

F.5 试验速度不应超过 13 mm/min。

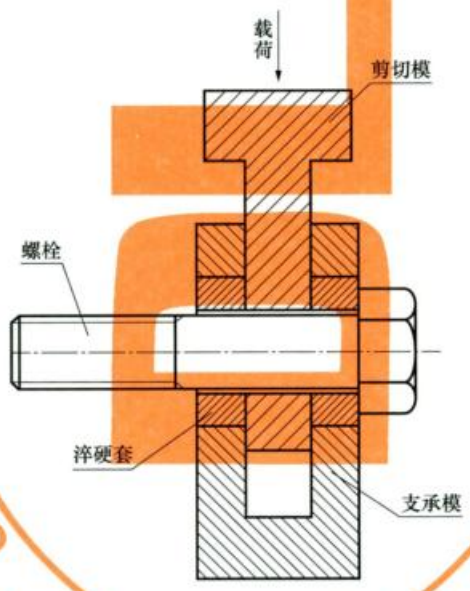


图 F.1 剪切夹具示意图

F.6 抗剪强度按公式（F.1）计算：

$$\tau_b = F_m/2S_0 = 2F_m/\pi d_0^2 \quad \text{（F.1）}$$

式中：

τ_b ——抗剪强度，MPa；

F_m ——试样剪断时的最大载荷，N；

S_0 ——应力截面积，mm^2；

d_0 ——试样直径，mm。

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

附 录 G
（规范性）
螺母保证载荷试验芯棒的螺纹尺寸

螺母保证载荷试验芯棒的螺纹尺寸见表 G.1。

表 G.1 螺母保证载荷试验芯棒的螺纹尺寸 粗牙螺纹

单位：mm

螺纹规格	芯棒（粗牙螺纹）			
	芯棒的螺纹大径（6 g 公差带靠近下限四分之一的范围内）		芯棒的螺纹中径（5h）	
	max	min	max	min
M10	9.791	9.732	9.026	8.920
M12	11.767	11.701	10.863	10.745
M16	15.752	15.682	14.701	14.576
M18	17.707	17.623	16.376	16.244
M20	19.707	19.623	18.376	18.244
M24	23.671	23.577	22.051	21.891
M27	26.671	26.577	25.051	24.891
M30	29.628	29.522	27.727	27.577
M33	32.628	32.522	30.727	30.557
M36	36.584	35.465	33.402	33.222
M39	38.584	38.465	36.402	36.222
M42	41.562	41.437	39.077	38.887
M45	44.562	44.437	42.077	41.887
M48	47.532	47.399	44.752	44.552
M52	51.532	51.399	48.752	48.552
M56	55.505	55.365	52.428	52.216
M60	59.505	59.365	56.428	56.216
M64	63.470	63.320	60.103	59.879

附 录 H
（规范性）
热浸镀锌层均匀性试验 硫酸铜试验方法

H.1 总述

本附录规定了硫酸铜溶液浸蚀的试验方法。适用于热浸镀锌层的均匀性测定。

H.2 硫酸铜溶液的制备和用量

H.2.1 硫酸铜溶液的制备：将 36 g 硫酸铜（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）加入 100 mL 的蒸馏水中，加热溶解后再冷却至室温，每升溶液加 1 g 氢氧化铜或碱式碳酸铜［$Cu(OH)_2$ 或 $CuCO_3(OH)_2$］搅拌均匀，静置 24 h 以上，过滤或吸出上面澄清的溶液备用。

硫酸铜溶液在温度 18 ℃时的密度为 1.18 g/cm^3，否则应以硫酸铜溶液或蒸馏水进行调整。

H.2.2 硫酸铜溶液的用量：按试样表面积不少于 8 mL/cm^2。

H.2.3 配置的硫酸铜溶液可以用于多次试验，但最多不应超过 15 次。

H.3 试样的制取

H.3.1 对于较小的产品，可采用整体试样进行试验。

H.3.2 对于较大的产品，可采用截取试样进行试验，试样应在产品服役时外露的工作面上截取，试样截取时不应损坏镀锌层表面。

H.4 试验条件

H.4.1 用于试验的容器不得与硫酸铜溶液发生化学反应，并应有足够容积使试样在溶液中浸没，试样外缘距容器壁不应小于 25 mm。

H.4.2 试验时硫酸铜溶液的温度为（18±2）℃。

H.5 试验程序

H.5.1 试验表面处理：将准备好的试样用四氯化碳、苯等有机溶剂擦拭，用流水冲洗、净布擦干，将试件露出的基体金属处涂以油漆或石蜡，方可进行试验。

H.5.2 浸蚀试验：将表面处理好的试样浸入硫酸铜溶液中，此时不得搅动溶液，也不得移动容器。1 min 后取出试样，用毛刷除掉试样表面或孔眼处的沉淀物，用流水冲洗，净布擦干，立即进行下一次浸蚀，直至试验浸蚀终点为止。

H.6 浸蚀终点及耐浸蚀试验的次数确定

经上述试验，试样的热浸镀锌层表面产生红色金属铜时应作为试验浸蚀终点。但下列情况不作为浸蚀终点：

a） 试样棱角处有金属铜附着。

b） 试样由于镀锌后划、擦伤的部位及周围有金属铜附着的。

c） 试样在用无锋刃的器具将附着的金属铜刮掉后下面仍有金属锌的。

d） 距试样切割断面 25 mm 内有金属铜附着的。

确定耐浸蚀试验次数时，作为试验浸蚀终点的那次不得计入。

H.7 试验所用试剂

试验所有试剂为化学纯试剂。

附 录 I
（资料性）
螺栓用通孔

I.1 总则

螺栓用通孔的选择以及通孔的加工不合理，会影响螺栓服役功能，本附录摘自 GB/T 5277，供设计、加工参考。

I.2 尺寸

螺栓通孔装配示意图见图 I.1，螺栓装配用通孔尺寸见表 I.1。

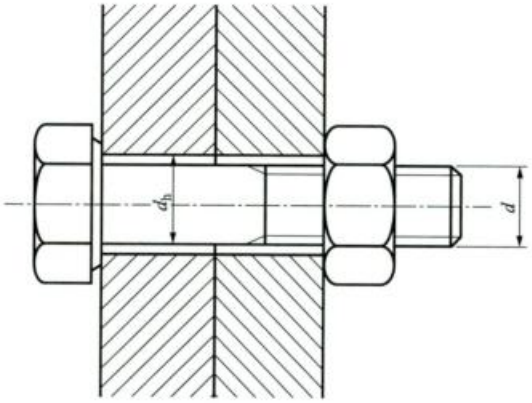


图 I.1 螺栓通孔装配示意图

表 I.1 螺栓装配用通孔尺寸

单位：mm

螺纹规格	通孔 d_h		
	系列		
	精装配	中等装配	粗装配
M10	10.5	11	12
M12	13	13.5	14.5
M16	17	17.5	18.5
M18	19	20	21
M20	21	22	24
M22	23	24	26
M24	25	26	28
M27	28	30	32
M30	31	33	35
M33	34	36	38
M36	37	39	42

表 I.1（续）

螺纹规格	通孔 d_h		
	系列		
	精装配	中等装配	粗装配
M39	40	42	45
M42	43	45	48
M45	46	48	52
M48	50	52	56
M52	54	56	62
M56	58	62	66
M60	62	66	70
M64	66	70	74

I.3 公差

如无特殊要求，通孔公差按下列规定：

精装配系列：H12；

中等装配系列：H13；

粗装配系列：H14。

如有必要避免通孔边缘与螺栓头下圆角发生干涉时，建议倒角。

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

附 录 J
（资料性）
热浸镀锌螺栓安装施拧扭矩

螺纹紧固件安装后，合理的预紧力能够有效提高连接的可靠性、防松能力和抗疲劳能力，并能增强连接的刚度。如施加预紧力大小不合理，可能会造成螺栓屈服断裂、预紧力丧失、连接松动、疲劳失效等现象，因此预紧力的合理设计和控制，对铁塔服役的可靠性极为重要。

表 J.1 中的安装施拧扭矩按公式（J.1）计算给出，仅供设计安装参考。

$$T = K \cdot P \cdot d \quad \text{（J.1）}$$

式中：

T ——施拧扭矩，N·m；

K ——扭矩系数，表 J.1 数据计算时扭矩系数按 0.2 取值；

P ——螺栓预拉力，kN，表示 J.1 数据计算时按螺栓 50%的保证载荷取值；

d ——螺栓的螺纹公称直径，mm。

表 J.1 安装施拧扭矩

单位：N·M

螺纹规格	螺栓强度级别					
	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
M10	18.00	16.20	22.00	25.50	33.70	48.10
M12	31.32	28.32	38.40	44.52	58.68	84.00
M16	77.92	70.40	95.52	110.56	145.60	208.00
M18	107.10	96.84	131.40	152.10	207.00	286.20
M20	152.00	137.20	186.20	216.00	294.00	406.00
M22	206.58	186.56	253.00	292.60	400.40	554.40
M24	261.60	237.12	321.60	372.00	508.80	703.20
M27	383.40	345.60	469.80	545.40	742.50	1028.70
M30	522.00	471.00	639.00	741.00	1011.00	1398.00
M33	709.50	640.20	871.20	1006.50	1372.80	1900.80
M36	910.80	824.40	1116.00	1292.40	1764.00	2440.80
M39	1181.70	1064.70	1446.90	1637.10	2285.40	3159.00
M42	1457.40	1318.80	1789.20	2070.60	2822.40	3906.00
M45	1827.00	1651.50	2241.00	2592.00	3537.00	4891.50
M48	2188.80	1977.60	2683.20	3105.60	4233.60	5856.00
M52	2839.20	2536.60	3478.80	4024.80	5491.20	7597.20
M56	3522.40	3180.80	4317.60	5000.80	6820.80	9436.00
M60	4392.00	3966.00	5382.00	6228.00	8496.00	11 754.00
M64	5318.40	4800.00	6515.20	7545.60	10 291.20	14 233.60

注 1：扭矩系数 0.20 是采用镀后攻牙螺母、内螺纹充分润滑条件下的扭矩系数。

注 2：安装时，在螺栓螺纹受力部位及螺母下支撑面，涂敷润滑剂能够有效提高预紧力、降低扭矩系数和减小扭矩系数离散性。

附 录 K
（资料性）
铁塔用热浸镀锌螺栓拧紧力矩

K.1 适用条件

适用条件如下：

a） 表面处理：热浸镀锌。

b） 润滑剂：菜籽油（涂敷于螺栓螺纹部）；
打蜡处理（螺母打蜡处理）。

K.2 最大拧紧轴力（F_{max}）

$$F_{max}=\sigma_y \cdot A_s(F_{fy}/f_y) \quad \text{（K.1）}$$

式中：

σ_y ——螺栓屈服点或保证载荷值；N/mm^2；

A_s ——螺纹的有效断面积；mm^2；

F_{fy} ——拧紧轴力（试验值）；N；

f_y ——屈服轴力（试验值）；N；

F_{fy}/f_y ——拧紧轴力与屈服轴力之比。

最大拧紧轴力见表 K.1。

表 K.1 最大拧紧轴力

品名	强度等级	螺纹公称	润滑剂	σ_y N/mm^2	A_s mm^2	F_{fy}/f_y	F_{max} N
螺栓	5.8	M16	菜籽油	420	157	0.7	46 000
	6.8	M20	菜籽油	480	245	0.7	82 000
	6.8	M24	菜籽油	480	353	0.7	119 000
高强度螺栓	9.8	M24	菜籽油	720	353	0.7	178 000
	9.8	M30	菜籽油	720	561	0.7	283 000
	9.8	M36	菜籽油	720	817	0.7	412 000
带法兰面高强度螺栓	9.8	M24	W_x+菜籽油	720	353	0.8	203 000
	9.8	M30	W_x+菜籽油	720	561	0.8	323 000
	9.8	M36	W_x+菜籽油	720	817	0.8	471 000
	9.8	M42	W_x+菜籽油	720	1120	0.8	645 000
注：W_x 表示打蜡处理。							

K.3 目标拧紧力矩（T）

$$T=(K_{min} \cdot F_{max} \cdot d) / |1+(m/100)| \quad \text{（K.2）}$$

式中：

K_{min} ——扭矩系数的最小值（试验值）；

F_{max} ——最大拧紧轴力（见表 K.1），N；

d ——螺纹公称直径，cm；

m ——拧紧扭矩的不均匀性。

目标拧紧扭矩见表 K.2。

表 K.2 目标拧紧扭矩

品名	强度等级	螺纹公称	润滑剂	F_{max}	K_{min}	d cm	m %	T N·cm
螺栓	5.8	M16	菜籽油	46 000	0.11	1.6	10	7400
	6.8	M20	菜籽油	82 000	0.11	2.0	10	16 000
	6.8	M24	菜籽油	119 000	0.11	2.4	10	29 000
高强度螺栓	9.8	M24	菜籽油	178 000	0.11	2.4	10	43 000
	9.8	M30	菜籽油	283 000	0.11	3.0	10	85 000
	9.8	M36	菜籽油	412 000	0.11	3.6	10	148 000
带法兰面高强度螺栓	9.8	M24	W_x+菜籽油	203 000	0.06	2.4	10	27 000
	9.8	M30	W_x+菜籽油	323 000	0.06	3.0	10	53 000
	9.8	M36	W_x+菜籽油	471 000	0.06	3.6	10	93 000
	9.8	M42	W_x+菜籽油	645 000	0.06	4.2	10	148 000
注：W_x 表示打蜡处理。								

说明：本资料摘自于日本铁塔协会 2005 年 3 月修订的《铁塔用螺栓与螺母标准》。