天津市工程建设标准

DB/T29-278-2020
备案号：J15260-2020

天津市逆作法地下工程技术规程

Technical specification for top-down construction Method of underground engineering in Tianjin

2020-06-28 发布　　2020-09-01 实施

天津市住房和城乡建设委员会　发布

天津市工程建设标准

天津市逆作法地下工程技术规程

Technical specification for top-down construction
Method of underground engineering in Tianjin

DB/T29-278-2020
J15260-2020

主编单位：天津市住房和城乡建设发展服务中心
中国铁路设计集团有限公司
批准部门：天津市住房和城乡建设委员会
实施日期：2020 年 9 月 1 日

2020 天 津

天津市住房和城乡建设委员会文件

津住建设[2020]26号

市住房城乡建设委关于发布《天津市逆作法地下工程技术规程》的通知

各有关单位：

根据《市建委关于下达2015年度天津市建设系统第二批科学技术发展计划的通知》（津建科[2015]551号）要求，天津市住房和城乡建设发展服务中心和中国铁路设计集团有限公司等单位编制完成了《天津市逆作法地下工程技术规程》，经市住房城乡建设委组织专家评审通过，现批准为天津市工程建设地方标准，编号为DB/T29-278-2020，自2020年9月1日起实施。

各相关单位在实施过程中如有意见和建议，请及时反馈给天津市住房和城乡建设发展服务中心或中国铁路设计集团有限公司。

本规程由天津市住房和城乡建设委员会负责统筹和管理，天津市住房和城乡建设发展服务中心和中国铁路设计集团有限公司负责具体技术内容的解释。

天津市住房和城乡建设委员会

2020年6月28日

前　言

根据《市建委关于下达2015年度天津市建设系统第二批科学技术发展计划的通知》（津建科[2015]551号）的要求，由天津市住房和城乡建设发展服务中心和中国铁路设计集团有限公司会同有关设计、施工、建设管理和安全检查单位编制本规程。

在规程编制过程中，编制组开展了专题研究，进行了广泛的调查分析，认真总结十余年以来天津市逆作法地下工程实施的实践经验，吸纳该领域国内外最新的科研成果，并征求天津市有关设计、勘察、施工、科研院校的意见，经反复修改，最终完成制订。

本规程共分6章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、设计、施工和工程质量检测与验收，并附条文说明。

本规程由天津市住房和城乡建设委员会负责管理，由天津市住房和城乡建设发展服务中心和中国铁路设计集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，注意积累资料，随时将意见和建议反馈给中国铁路设计集团有限公司（地址：天津市河北区中山路10号，邮编：300142），以供今后修订时参考。

本规程主编单位：天津市住房和城乡建设发展服务中心
中国铁路设计集团有限公司

本规程参编单位：浙江鼎业基础工程有限公司
天津轨道交通集团有限公司
天津市住房和城乡建设综合行政执法总队
天津市市政工程设计研究院
上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司
上海勘察设计研究院（集团）有限公司

中铁十八局集团第五工程有限公司
中国建筑第八工程局有限公司
天津二建建筑工程有限公司
中铁隧道局集团有限公司
天津城建集团有限公司
中铁第六勘察设计院集团有限公司
中铁建工集团北方工程有限公司

本规程主要起草人员： 张继清　任忠利　刘宝昌　刘惠敏
王福林　石　磊　蒙　蛟　郑习羽
朱士传　杨石飞　张中杰　王世清
王彦洋　王建彬　王书生　刘　洋
王怀东　唐　扬　董金奎　刘晓月
凌　辉　李文广　王宝德　冉隆林
裴　超　郭春林　高群山　张俊铎
徐管应　吕宝伟　尤天杰　郭剑勇
宋　冉　刘世龙　万　斌　韩　伟

本规程主要审查人员： 杨少元　杨贵生　王存贵　董　雪
郑卫红　严　驰　方新涛　张志新
孟庆文　田巧焕　牛　磊

目　次

1　总　则 1

2　术语和符号 2

2.1　术语 2

2.2　符号 3

3　基本规定 5

4　设计 8

4.1　一般规定 8

4.2　计算 8

4.3　围护结构设计 11

4.4　竖向支撑桩柱设计 12

4.5　节点及连接构造设计 18

4.6　水平结构设计 21

4.7　竖向侧墙结构设计 22

4.8　结构缝及防水设计 23

4.9　地下水控制及对周边环境的保护设计 25

5　施工 28

5.1　一般规定 28

5.2　基坑降水施工 29

5.3　围护结构施工 30

5.4　地下竖向支撑桩柱施工 33

5.5　水平结构施工 39

5.6　竖向侧墙结构施工 39

5.7　土方开挖 41

5.8 构件节点连接施工 44
5.9 结构缝及防水施工 45
5.10 监测 48
5.11 施工作业安全与作业环境控制 49
6 工程质量检测与验收 51
6.1 工程质量检测 51
6.2 工程质量验收 56
本规程用词说明 58
引用标准名录 59
条文说明 60

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 3

3 Basic Requirements 5

4 Design 8

4.1 General Requirements 8

4.2 Calculation 8

4.3 Design of Exterior-protected Structure 11

4.4 Design of Vertical Column supported by pile 12

4.5 Design and Construction of Component Connection Node 18

4.6 Design of Level Structure 21

4.7 Design of Side Walls 22

4.8 Structural Joint and Design of Waterproof 23

4.9 Groundwater Control and Design of Surroundings Protection 25

5 Construction 28

5.1 General Requirements 28

5.2 Dewatering 29

5.3 Exterior-protected Srtucture Construction 30

5.4 Vertical Column supported by pile Construction 33

5.5 Level Structure Construction 39

5.6 Side Walls Construction 39

5.7 Earth Excavation 41

5.8 Component Connection Node 44

5.9 Structural Joint and Waterproof Construction 45
5.10 Monitoring 48
5.11 Control of Safety and Construction Environments 49

6 Construction Quality Testing and Inspection 51
6.1 Construction Quality Testing 51
6.2 Construction Quality Inspection 56
Explaination of Wording in this Sandard 58
Lis of quoted standards 59
Addition:Explanation of provisions 60

1 总 则

1.0.1 为了在天津市逆作法地下工程的设计与施工中做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于天津市逆作法地下工程的设计、施工、质量检测与验收。

1.0.3 逆作法地下工程的设计、施工、质量检测与验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和天津市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 逆作法 top-down method

地下结构施工过程中，将基坑围护结构与主体地下结构相结合，利用地下各层水平结构替代水平内支撑，自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的施工方法。

2.1.2 基坑周边环境 surroundings around foundation pit

基坑开挖影响范围内包括既有建（构）筑物、道路、地下设施、地下管线、土体及地下水等的统称。

2.1.3 围护结构 exterior-protected structure

在逆作法施工中对周边土体起支挡并隔断地下水作用，同时也可起竖向支撑作用的构件体系。

2.1.4 竖向支撑桩柱 vertical columnsupportedby pile

逆作期间用于承担施工阶段竖向荷载并将其传递到地基的竖向结构，一般由立柱和立柱桩组成，包括临时立柱及其桩基、永久柱及其桩基。

2.1.5 取土口 excavation opening

逆作法施工过程中，在地下各层层板上预留的土方及材料运输竖向通道。

2.1.6 先插法、后插法 pre-inserting method、post-insterting method

竖向支撑桩柱施工中，先安放钢支撑柱，后浇筑支撑桩混凝土的竖向支撑桩柱的施工方式称为先插法。

竖向支撑桩柱施工中，先浇筑支撑桩混凝土，在混凝土初凝前

插入钢支撑柱的竖向支撑桩柱的施工方式称为后插法。

2.1.7 差异沉降 differential settlement

在逆作法施工中，相邻支撑柱之间或者支撑柱与围护结构之间存在的竖向位移差值。

2.1.8 液压垂直插入钢管法 hydraulic perpendicular embedding steel-pipe column

利用液压垂直插入机、垂直度控制仪、电脑智能系统等将钢管柱插入灌注桩超缓凝混凝土中一种施工工法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

N——轴向压力设计值；

W——桩身自重，地下水位以下应扣除水浮力。

2.2.2 材料性能和抗力

E_s——钢材的弹性模量；

E_c——混凝土的弹性模量；

G_s——钢材的剪变模量；

f_y——钢材的屈服强度；

f_c——混凝土的轴心抗压强度设计值；

Q_{uk}——单桩的极限承载力标准值；

R_a——单桩桩顶垂直抗压承载力特征值；

P_a——单桩的垂直抗拔承载力特征值；

P_u——单桩的极限抗拔力。

2.2.3 几何参数

A_a——钢管的截面面积；

A_c——钢管内核心混凝土的截面面积；

A_l——局部受压面积；

A_b——混凝土局部受压计算底面积；

I——截面惯性矩；

d——桩身设计直径；

D——钢管/扩底灌注桩扩底设计直径；

r——钢管/桩的外半径；

L——柱的实际长度；

l_0——构件的计算长度；

t——钢管壁厚；

e——偏心距；

r_c——钢管内混凝土横截面半径；

λ——构件长细比。

2.2.4 计算系数

γ_0——结构重要性系数；

θ——钢管混凝土柱套箍系数；

ε_k——钢号修正系数，其值为 235 与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根；

K——安全系数。

3 基本规定

3.0.1 逆作法地下工程勘察前应由设计单位向勘察单位进行设计方案交底，勘察单位应结合逆作法施工以及岩土层的特点，采用水文地质试验、钻探取土、原位测试、地球物理勘探、现场原型试验等多种勘探、测试手段，完成岩土勘察报告。

3.0.2 逆作法地下工程勘察除应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 和天津市工程建设标准《岩土工程勘察规范》DB/T29-247 的要求外，尚应符合下列规定：

1 勘探孔深度除应满足深基坑围护、桩基、地下水控制以及抗浮等设计要求外，还应结合逆作永久柱荷载、基底地层、差异沉降控制要求以及可能采用的基础方案等条件综合确定；当采用单桩单柱形式时，控制性与一般性勘探孔孔深应进入预计最大桩端入土深度以下不小于 5 倍桩底直径；

2 基坑内土层回弹模量应按实际卸载量分级提供，试验土层深度不应少于基坑开挖深度的 2.5 倍，回弹再压缩模量最大加载量不应小于施工及正常使用阶段地基土附加应力与自重应力之和的较大值；

3 应分析评价与逆作法工程特点相对应的桩基承载力及变形、地基整体稳定性等内容。

3.0.3 逆作法地下工程的设计与施工应包括下列内容：

1 逆作法施工流程设计；

2 围护结构设计及施工；

3 竖向支撑桩柱、侧墙结构设计及施工；

4 水平结构设计及施工；

5 施工阶段临时构件的设置、拆除方式以及与主体结构的受力转换设计；

6 构件节点连接设计及施工；

7 防水设计及施工；

8 地下水控制及周边环境保护设计；

9 土方开挖与运输方案；

10 基坑监测；

11 施工质量检验；

12 风险专项保护设计施工方案和应急预案。

3.0.4 逆作法地下工程宜在围护结构内侧设置钢筋混凝土内衬墙，并应满足地下结构使用功能要求。

3.0.5 逆作法地下工程结构设计宜采用极限状态法，以分项系数的设计表达式进行设计。基坑围护结构设计应满足逆作施工阶段基坑各项稳定性验算、变形控制、施工安全和地下主体结构的施工空间等要求；作为主体结构的一部分时，尚应进行使用阶段的承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计计算，并应符合主体结构的耐久性和有关构造设计要求。

3.0.6 逆作法基坑工程设计除满足本规程的规定外，尚应满足现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120、《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432 和天津市工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202 的相关规定。

3.0.7 逆作法地下工程施工过程中应控制相邻支撑柱之间、支撑柱与相邻围护结构之间的差异沉降不大于其水平距离的 1/400 且不大于 20mm。

3.0.8 地上地下结构同步施工应符合现行行业标准《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432 的相关规定。

3.0.9 逆作法地下工程应进行信息化施工，应在施工全过程对基坑支护体系、地下结构和周边环境进行有效的监测。

3.0.10 逆作法施工中应采取有效的安全及作业环境控制措施，应根据作业面环境及施工方案要求设置通风、排气及照明设施。

3.0.11 逆作法施工中有关安全、环保、消防、防汛和劳动保护等，应符合国家及天津市现行有关标准的规定。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 逆作法地下工程总体设计应包括下列内容：

1 逆作方案选型、逆作流程及施工工况设计；

2 基坑水平、竖向支撑结构体系布置及选择；

3 主体结构体系选型与设计；

4 施工阶段临时构件的设置、拆除方式以及与主体结构的受力转换设计；

5 节点和构造设计；

6 土方开挖及地下水控制方案设计。

4.1.2 基坑四周的围护结构宜作为地下主体结构的一部分；地下主体结构的板梁宜作为围护结构的内支撑，板梁结构布置无法满足基坑围护结构受力和变形控制要求时，应局部增设临时支撑杆件。

4.1.3 竖向支撑桩柱宜采用“一柱一桩”的支撑形式。

4.1.4 逆作基坑施工引起的周边环境变形应满足施工影响范围内道路、建（构）筑物、地下管线的安全与正常使用的相关要求。

4.2 计算

4.2.1 逆作施工阶段应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计计算和验算，并应符合下列规定：

1 承载能力极限状态计算应包括下列内容：

1）基坑稳定性计算和验算，包括基坑整体稳定性，围护结构抗倾覆稳定性，墙底土体和坑底土体的抗隆起稳定性，坑底土体抗渗流、抗承压水突涌稳定性等；

2）围护结构及主体结构在逆作施工阶段的承载力和稳定性计算，包括受弯、受剪、受扭、受压承载力和稳定性的计算等；

3）竖向支撑柱之间、柱与围护结构之间的差异沉降对已施工结构的影响计算。

2 正常使用极限状态计算应包括下列内容：

1）围护结构及主体结构的变形计算；

2）竖向支撑桩柱的隆沉计算；

3）基坑施工影响范围内的地面沉降计算，以及该范围内周边建（构）筑物、道路、地下管线等保护对象对应处的土体变形计算；

4）与主体结构相结合的围护结构构件的裂缝验算。

4.2.2 对于空间效应明显、采用开孔较大或较多的结构层板作为水平支撑的逆作法基坑工程，其水平支撑体系和竖向支撑桩柱的内力和变形宜采用考虑空间作用和施工顺序的三维空间有限元仿真分析计算；主体结构的计算应分别按增量法和全量法计算，增量法计算应考虑与围护结构共同受力工况下主体结构在按设计工序施工过程中内力和变形的继承叠加作用。

4.2.3 逆作施工阶段的结构设计计算应考虑水平、竖向荷载和作用，并应符合表 4.2.3 规定：

表 4.2.3　逆作施工阶段结构设计计算荷载和作用分类表

项目	荷载和作用类型
水平荷载和作用	坑外水土侧压力、坑内开挖卸载
	坑外地面超载及开挖影响范围内的建（构）筑物引起的侧压力
	邻近工程开挖或降水施工的影响
	温度作用、混凝土收缩徐变
竖向荷载和作用	逆作施工阶段顶板覆土荷载及超载
	逆作施工阶段结构构件的自重
	取土、运土、材料堆放等作用于逆作构件上的施工荷载
	基坑开挖卸载引起的桩柱隆沉作用

注：1　基坑开挖阶段坑外土压力应采用主动土压力，围护结构的水平变形有严格限制时，宜采用静止土压力；

2　地上与地下结构同步施工时，地上结构荷载如风、雪等荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 相关规定选取；

3　温度作用可按混凝土浇灌合拢温度与施工阶段昼夜温度平均值的差值选取；

4　顶盖板施工荷载宜取 20kPa，其余各层楼面施工荷载应按实际情况考虑，但不应小于 4kPa；车辆运输通道的施工荷载不宜小于 30kPa；搬运和装卸重物以及车辆启动和刹车的动力系数，可取 1.1～1.3；

5　基坑开挖卸载引起的桩柱隆沉作用可按相邻立柱之间水平距离的 1/400 且不大于 20mm 的变形作用取值。

4.2.4　逆作法地下工程结构施工阶段荷载组合应按下列规定执行：

1　基坑稳定性验算的荷载效应组合，应取承载能力极限状态下荷载效应的标准组合，抗力限值应采用以抗力分项系数表达的设计限值；

2　围护结构构件承载能力计算的荷载效应组合，应取承载能力极限状态下荷载效应的基本组合；对安全等级为一级、二级的围护结构，其结构重要性系数分别不应小于 1.1 和 1.0；

3　立柱及立柱桩的沉降，应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合计算，其差异沉降值应满足本规程 3.0.7 条的规定；

4 围护结构和基坑周边环境的变形应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合计算，其计算值应同时满足基坑自身和周边环境风险源的设计变形控制指标。

4.3 围护结构设计

4.3.1 逆作法围护结构宜采用地下连续墙、咬合桩，地下连续墙与主体结构间宜采用复合墙结构形式。

4.3.2 地下连续墙设计应符合下列规定：

1 墙体厚度应根据成槽机规格、墙体抗渗要求、墙体受力和变形计算等综合确定；

2 单元槽段的平面形状和长度应根据墙段的结构受力特性、槽壁稳定性、环境条件和施工条件等因素综合确定；单元槽段长度不宜大于 6m；槽段施工接头可采用圆形锁口管、工字钢或十字钢板等接头；

3 墙体和槽段施工接头应满足防渗设计要求，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P8，接头宜根据基坑深度、接头情况、水文地质条件、基坑重要程度及风险等级采取相应的止水措施；

4 墙体混凝土设计强度等级不应低于 C30，一般环境作用下钢筋净保护层厚度不应小于 70mm；纵向受力钢筋宜沿墙身均匀配置，并应根据内力分布沿墙体深度分段配置；设计要求的素混凝土墙体段，可配置满足施工工艺要求的构造钢筋；

5 钢筋笼端部与槽段接头或相邻墙段混凝土面之间的水平间隙不应大于 150mm，纵向钢筋下端 500mm 长度范围内宜按 1:10 的斜度向内收口，且与槽底之间宜留有不小于 500mm 的竖向间隙。

4.3.3 复合墙结构形式的地下连续墙设计应符合下列规定：

1 应分别根据基坑施工阶段和永久使用阶段的不同工况，按

内外墙实际受力过程进行墙体内力与变形计算；

2 承受竖向荷载的地下连续墙，应计算墙体的竖向承载力和沉降量，并按偏心受压构件计算正截面承载力；墙体的竖向承载力宜通过现场静载荷试验确定，无试验条件时，可按钻孔灌注桩的竖向承载力计算公式进行估算，墙体有效长度宜取基坑开挖面以下的入土深度；

3 墙体垂直度偏差不应大于 1/300；

4 墙底宜采取注浆加固措施。

4.3.4 施工阶段地下连续墙与主体地下结构各层层板间的连接，可采用地连墙内预埋钢筋、钢筋接驳器、锚板和设置剪力槽等方式。

4.3.5 咬合桩排桩围护结构设计应符合下列规定：

1 桩直径宜采用 800mm、1000mm、1200mm 三种类型，混凝土强度等级不应低于 C30，混凝土保护层厚度不宜小于 70mm；

2 咬合式桩布置形式宜按有筋桩和无筋桩搭配，桩身垂直度偏差不应大于 1/300；

3 桩间咬合量不宜小于 200mm，桩底最小有效咬合量不应小于 100mm；

4 桩端宜采取后注浆措施。

4.4 竖向支撑桩柱设计

4.4.1 中间竖向支撑桩柱选型与布置设计，应结合建筑、结构受力、地层条件、工期、逆作形式及逆作施工期间的荷载大小等因素，通过技术经济比较确定，其设计应包括下列内容：

1 立柱、立柱桩的选型及布置；

2 立柱的承载力及稳定性计算；

3 立柱桩的承载力及桩身强度计算；

4 立柱的变形和立柱桩的沉降验算；

5 立柱与立柱桩之间的连接构造设计；

6 竖向支撑桩柱差异沉降协调设计。

4.4.2 临时支撑柱宜选用格构柱、型钢柱和钢管混凝土柱；临时格构柱和型钢柱作为永久型钢混凝土组合柱时，其型式、截面及刚度应与主体结构梁相协调。

4.4.3 竖向支撑桩柱构件应按施工阶段和使用阶段分别进行内力分析和截面验算，并应采用与其阶段受力状态相符的计算模型及相应的荷载值。

4.4.4 逆作施工阶段的立柱计算应符合下列规定：

1 逆作施工期间各工况下立柱的内力和变形，应采用与实际施工相对应工况的计算模型分析计算；模型中可根据立柱与层板的节点连接构造形式，选择两者间刚接、铰接或半刚半铰约束工况；立柱内力设计值应取逆作施工期间最不利工况下的内力值；

2 立柱应按双向偏心受压构件进行截面承载力计算和稳定性验算，验算时应计入立柱轴向压力在偏心方向因存在施工偏心误差引起的附加弯矩；

3 施工偏心误差值应按立柱平面定位误差和垂直度允许误差综合确定，且不应小于 30mm 和偏心方向截面尺寸的 1/25 两者中的较大值；

4 临时支撑柱宜进行防连续倒塌复核；

5 各工况下中间临时立柱和钢管混凝土柱的受压计算长度，应综合考虑柱与地下水平结构之间的连接构造、柱与下部桩基础之间的连接构造、柱与桩孔之间的回填处理方式等因素确定，同时还应符合下列规定：

1）对水平钢支撑或混凝土支撑的临时立柱，其计算长度可按现行天津市工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202 的相关规定确定；

2）对于钢管混凝土柱或竖向临时支撑柱构件，其计算长度可按开挖工况和侧向约束条件选取，最不利的控制工况可取顶梁底至工程桩顶的距离。

4.4.5 竖向支撑桩柱采用一柱一桩形式布置时，应符合下列要求：

1 柱、桩截面形心及中心线方向宜重合；

2 柱与桩孔之间的空隙内应采用碎石回填密实。

4.4.6 永久柱宜采用钢管混凝土柱，其平面中心定位允许偏差应为10mm，与桩基础中心线定位允许偏差应为5mm，垂直度允许偏差应为1/500；竖向支撑钢管柱可按液压垂直插入钢管的定位工法进行设计。

4.4.7 钢管混凝土柱与角钢格构柱截面尺寸应满足其桩基础混凝土浇筑要求，角钢格构柱边长不宜小于420mm，钢管混凝土柱的钢管外径不宜小于500mm。

4.4.8 角钢格构柱应符合下列构造要求：

1 角钢格构柱的长细比不应大于25，对虚轴取换算长细比；

2 缀件面宽度较大的格构式柱宜采用缀条柱，斜缀条与构件轴线间的夹角应为40°～70°。缀条柱的分肢长细比λ_1不应大于构件两方向长细比较大值λ_{max}的0.7倍，对虚轴取换算长细比；

3 缀板柱的分肢长细比λ_1不应大于$40\varepsilon_k$，并不应大于构件两方向长细比较大值λ_{max}的0.5倍，当λ_{max}<50时，取λ_{max}=50。缀板柱中同一截面处缀板或型钢横杆的线刚度之和不得小于柱较大分肢线刚度的6倍。

4.4.9 钢管混凝土柱及型钢柱材料应满足下列要求：

1 钢材材料选用和设计指标应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定，抗震性能指标应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定；

2 钢管内的混凝土强度等级不应低于C50，并宜采用高流态、无收缩、自密实混凝土。

4.4.10 圆钢管混凝土立柱应符合下列构造要求：

1 钢管壁厚 t 不宜小于 8mm；

2 钢管外径与壁厚的比值 D/t 不应大于 $135\frac{235}{f_y}$，f_y 为钢材屈服强度；

3 套箍系数 θ 取值宜为 0.5~2.0；

4 立柱长细比不宜大于 20，不应大于 25；

5 轴向压力偏心率 e/r_c 不宜大于 1.0，不应大于 1.5。

4.4.11 钢管混凝土柱偏心受压构件正截面承载力应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 的有关规定。

4.4.12 立柱桩的桩基设计等级应为甲级，其选型宜符合下列规定：

1 立柱桩宜采用灌注桩，并宜采取桩侧、桩端后注浆等减小沉降的措施；

2 荷载较大的立柱桩可采用旋挖扩底灌注桩等能提高单桩竖向承载力的桩型。

4.4.13 立柱桩的中心距不宜小于桩身直径的 3 倍；扩底灌注桩中心距不宜小于扩底直径的 1.5 倍，当扩底直径大于 2m 时，扩底之间的净距不宜小于 1.5m。

4.4.14 立柱桩应选择较硬土层作为桩端持力层；同一沉降单元内的立柱桩，桩端持力层性质宜一致，不应选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层。

4.4.15 立柱桩应进行逆作施工阶段和正常使用阶段的承载力和桩身强度验算。

4.4.16 逆作法立柱桩单桩竖向极限承载力应根据静载荷试验最终确定，试验方法应符合下列规定：

1 试桩数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；

2 不宜利用支撑柱的桩基础作为试桩；

3 立柱桩单桩竖向承载力特征值确定时，宜适当考虑开挖卸

荷、坑底土体回弹隆起对有效桩长范围侧摩阻力和单桩承载力取值的影响；

4 通过抗拔试验确定的单桩极限抗拔承载力应扣除桩的自重；

5 试桩数量、试验方法及要求除应满足设计要求外，尚应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的规定。

4.4.17 采用灌注桩作立柱桩时，桩身配筋构造应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定，钢筋笼长度宜通长配置，配筋宜考虑坑底土体回弹隆起等因素的影响，并应按计算确定。

4.4.18 立柱桩的桩基沉降应按逆作施工阶段和正常使用阶段的不同受力工况进行验算，施工阶段验算宜符合下列规定：

1 “一柱一桩”型式的桩基，可取相同条件下单桩静载荷试验 Q-s 曲线上荷载效应标准组合作用下桩顶轴向力所对应的桩顶沉降平均值与试桩沉降完成系数的比值，并结合试桩方法适当考虑坑底土体回弹隆起的影响后，作为桩基验算沉降量；

2 “一柱多桩”型式的桩基，可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 中的等效作用分层总和法进行沉降量验算；

3 主体结构基础底板施工前，相邻立柱之间、立柱桩与邻近围护墙之间的差异沉降值应按本规程 3.0.7 条的规定执行。

4.4.19 立柱桩单桩竖向抗压承载力特征值可按下式计算：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \qquad (4.4.19)$$

式中 R_a —单桩桩顶垂直抗压承载力特征值（kN）；

K —安全系数。一般取 K≥2，临时立柱桩可取 K≥1.6；

Q_{uk} —单桩的极限承载力标准值（kN）；

4.4.20 立柱桩单桩竖向抗压极限承载力标准值可按下式计算：

$$Q_{uk} = U \times \sum_{i=1}^{n} \beta_{si} \psi_{si} q_{sik} l_i + \sum_{k=1}^{m} \beta_p \psi_{pk} q_{pk} A_k \quad (4.4.20)$$

式中 Q_{uk} —单桩的极限承载力标准值（kN）；

U —等径桩桩身周长（m）；

l_i —桩身穿过第 i 层土的厚度（m），对于扩底桩，计算时应扣除扩大头至变截面以上 2d 长度；

q_{sik} —单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值（kPa），可根据土的名称、土层埋藏深度及土的性质并结合土的原位测试值选用；

q_{pk} —桩身第 k 个扩大部分所在土层极限端阻力标准值(kPa)，可根据土的名称、土层埋藏深度、土的性质及土的原位测试值选用；

A_k —桩身第 k 个扩大部分桩底面积，对于扩底桩，扩底截面积与等径段截面积比不应超过 3.5，扩大角度不应超过 12°，对于中间扩大节点，应扣除等径桩部分面积（m^2）；

ψ_{si} —桩侧土层极限侧阻力修正系数，应根据入土深度以及大直径桩尺寸效应综合确定；

ψ_{pk} —桩身第 k 个扩大部分所在土层极限端阻力修正系数，应根据入土深度以及大直径桩尺寸效应综合确定；

β_{si}—后注浆桩侧土层阻力修正系数，应根据土性及注浆量综合确定；

β_p—后注浆桩端所在土层极限端阻力修正系数，应根据土性及注浆量综合确定。

4.4.21 立柱桩单桩垂直抗拔承载力特征值应按下式计算：

$$P_a = \frac{1}{K} P_u + W \quad (4.4.21)$$

式中 P_a—单桩的垂直抗拔承载力特征值（kN）；

P_u—单桩的极限抗拔力标准值（kN）；

W —桩身自重，地下水位以下应扣除水浮力（kN）；

K —安全系数。一般取 $K \geq 2$。

4.4.22 立柱桩单桩垂直抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

$$P_u = \sum \lambda_i \cdot l_i \cdot u_i \cdot q_{sik} \qquad (4.4.22)$$

式中 λ_i—抗拔系数，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 取值；

u_i—破坏表面周长，扩底灌注桩破坏表面周长按表 4.4.22 取值。

表 4.4.22 扩底灌注桩破坏表面周长（m）

自扩底底部起算的长度	≤（8～12）d	>（8～12）d
u_i	πD	πd

表中：d—桩身设计直径；D—扩底灌注桩扩底设计直径。

4.4.23 永久钢管混凝土柱应进行除锈、防腐及防火设计，防腐涂层应满足使用年限大于 15 年要求，防火涂层或其他防火措施应满足耐火极限大于 3.0h 要求。

4.5 节点及连接构造设计

4.5.1 钢管混凝土柱应根据其与结构顶板梁、中间层板梁、底板梁的固结计算原则，对钢管柱的节点及连接构造进行设计。

4.5.2 对钢管混凝土柱与钢筋混凝土顶板梁的交叉节点，节点内应设置竖向钢筋笼，钢筋的配置设计应满足节点处柱的抗弯、抗剪传力和锚固长度要求；对钢管混凝土柱与型钢混凝土梁的交叉节点，应研究比选型钢梁贯通或柱贯通的节点连接方案，钢管与型钢之间应采取工厂熔透焊接、节点外拼装的方案。

4.5.3 对钢管柱与桩基础的交叉节点，结合钢管柱的定位方式，可采用钢管柱与桩基础之间的插入式柱脚节点或端承式柱脚节点。

4.5.4 地下结构支撑柱与水平结构连接应符合下列规定：

1 连接构造应同时满足剪力和弯矩传递的要求；

2 支撑柱为角钢格构柱、H 型钢柱时，弯矩传递宜采用钻孔

钢筋连接法、传力钢板连接法或梁侧水平加腋法，剪力传递宜采用栓钉、钢牛腿，也可采用其他符合受力要求的连接方式传递剪力；

3 钢筋混凝土梁与钢管混凝土柱连接时，弯矩传递可采用井式双梁、环梁、传力钢板和扩大节点的连接方式，也可采用其他符合受力要求的连接方式；

4 钢筋混凝土梁与钢管混凝土柱连接时，剪力传递可采用环形牛腿、H 型或 T 型钢牛腿；钢筋混凝土无梁层板与钢管混凝土柱连接时，剪力传递可采用台锥式环形深牛腿，也可采用其他符合计算受力要求的连接方式。

4.5.5 现场分节拼装的钢管柱连接节点位置宜设置在受力较小处，节点连接可采用栓接和内部设置竖向钢筋笼的方案；钢管柱受力工况较复杂时，节点连接应采用在钢管内加内衬管的熔透焊接方案。

4.5.6 钢管混凝土立柱插入立柱桩内的深度可按下式计算：

$$l_d \geq \frac{(N - f_c A_b)\ S_h S_v}{\pi D N_v^c} \qquad (4.5.6\text{-}1)$$

$$N_v^c = 0.43 A_s \sqrt{E_c f_c} \leq 0.7 A_s f_u \qquad (4.5.6\text{-}2)$$

式中：l_d——插入立柱桩内的深度；

N——钢立柱底端的轴向压力设计值；

A_b——立柱承压底板面积；

S_h——焊钉横向间距；

S_v——焊钉竖向间距；

D——钢管外径；

N_v^c——单个圆柱头焊钉的受剪承载力设计值；

A_s——焊钉钉杆截面面积；

f_u——圆柱头焊钉极限抗拉强度设计值，应满足现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433 的要求；

E_c——灌注桩桩身混凝土弹性模量；

f_c——灌注桩桩身混凝土抗压强度设计值

4.5.7 角钢格构式钢立柱插入立柱桩内的深度可按下式计算：

（4.5.7）

$$l_d \geq \frac{N}{u\tau}$$

式中：N——角钢格构柱底端的轴向压力设计值；

u——角钢格构柱各分肢横断面周边长度之和；

τ——格构柱表面与混凝土之间的粘结强度设计值，可取混凝土抗拉强度设计值的 0.7 倍。

4.5.8 立柱插入立柱桩部分，应满足下列构造要求：

1 钢管混凝土立柱的有效插入深度应满足本规程 4.5.6 条规定，且不应小于 3m；

2 钢管插入混凝土立柱桩的深度范围内，焊钉直径不宜小于 19mm，长度不应小于杆径的 4 倍，竖向和横向间距不宜大于 200mm，且不应小于杆径的 6 倍；

3 钢管外侧的混凝土保护层厚度不宜小于 150mm，不应小于 100mm；

4 角钢格构柱的插入深度应满足本规程 4.5.7 条规定，且不应小于 3m；插入深度范围内格构柱的缀条或缀板的截面面积不应减小；

5 桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的桩箍筋应加密，加密区箍筋直径不应小于 8mm，间距不应大于 100mm；采用钢管或钢管混凝土立柱时，同时应对钢管插入范围及以下 5 倍桩径范围内桩箍筋进行加密。

4.5.9 采用临时立柱外包混凝土形成的主体结构立柱，其外包混凝土有效厚度不宜小于 150mm，并宜采用设置栓钉等措施保证立柱与后期外包混凝土之间的整体协同工作。

4.5.10 立柱在穿越主体结构底板处应设置可靠的止水措施。

4.5.11 立柱桩钢筋笼内径应大于钢立柱的外径或对角线长度。立柱插入深度范围内的桩段需进行扩径处理时，扩径部位以下应设过渡段，斜率不应超过 1：6，过渡段及上下各 1.5m 范围内的箍筋应加密，箍筋直径不应小于 10mm，间距不应大于 100mm。

4.5.12 立柱采用后插法施工时，立柱与立柱桩钢筋笼之间的水平净距应根据立柱和立柱桩的垂直度偏差控制要求以及相关构造要求综合确定，且不应小于 150mm。

4.6 水平结构设计

4.6.1 逆作法地下工程的顶板及各中间层板宜作为基坑水平内支撑，其结构体系宜选择板梁体系、无梁层板体系或层板后作的格梁体系。对施工阶段不能满足支撑水平传力要求的错板、开大孔洞的层板部位，应采取临时支撑等措施；层高较高且需要严格控制围护结构变形时，宜采取临时水平支撑或斜撑等措施。

4.6.2 临时水平支撑或斜撑宜采用钢支撑或钢筋混凝土支撑；当临时支撑长度较长或因基坑变形控制要求需要提高支撑结构的平面内刚度时，可设置钢筋混凝土板带进行加强。

4.6.3 水平支撑层板结构设置变形缝或后浇带时，应在其位置设置可靠的水平传力构件，宜采用钢支撑或钢与混凝土组合支撑。

4.6.4 逆作地下水平结构构件的截面承载力验算应符合下列要求：

1 水平支撑结构应按偏心受力构件取最不利工况下计算内力进行截面承载力验算；

2 应验算同层层板结构存在高差部位构件的抗弯、抗剪和抗扭承载力；

3 腰梁的截面承载力可按水平方向的受弯构件计算；腰梁与

水平支撑斜交或作为边桁架的弦杆时，其截面承载力应按偏心受力构件计算；

4 水平支撑结构构件按偏心受压构件计算时，偏心弯矩除应考虑竖向荷载和水平荷载产生的弯矩外，尚应考虑其轴向力对构件初始偏心距的附加弯矩；构件的初始偏心距及受压计算长度应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的相关规定。

4.6.5 逆作法地下水平结构应计算施工阶段和使用阶段最不利工况的挠度。

4.6.6 逆作法各层层板应结合主体结构建筑孔洞及本规程 5.7 节要求综合考虑留设施工作业孔洞，临时孔洞周边应预埋钢筋、钢筋接驳器、抗剪埋件等结构封闭连接措施，有防水要求时应设置遇水膨胀止水条、刚性止水板或预埋注浆管等止水构造措施。

4.6.7 水平支撑梁后浇带位置未封闭成型前承受水平荷载时，可采用在混凝土中预埋型钢的连接方式传力。

4.7 竖向侧墙结构设计

4.7.1 地上地下同步施工或层高较高的地下一层竖向侧墙应采用逆作施工，其它竖向侧墙可采用逆作施工。

4.7.2 竖向侧墙结构设计计算时，在施工与使用的不同阶段应采用与其受力状态相符的计算模型及相应的荷载值进行内力分析和截面验算。

4.7.3 竖向侧墙采用逆作施工时，尚应计算在施工阶段结构自重荷载作用下吊挂受拉工况的侧墙结构裂缝宽度，并应采取相应的技术措施。

4.7.4 竖向侧墙的环向施工缝宜与层板施工缝相对应，并应避开围护墙漏水较严重地段；超长竖向侧墙宜设置后浇带。

4.8 结构缝及防水设计

4.8.1 逆作法地下工程防水等级及设防要求、混凝土自防水要求及措施、防水材料性能指标及要求应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476的相关规定。

4.8.2 逆作法地下结构变形缝的设置应符合下列规定：

1 逆作法地下结构中不宜设置沉降缝，因结构、地基、基础和荷载发生变化，可能产生较大的差异沉降时，宜通过地基处理、结构措施等方面，将结构差异沉降控制在正常使用功能允许的范围内；

2 逆作法地下结构中可设置伸缩缝，其间距可根据地下结构混凝土的温度作用、收缩及徐变作用、施工工艺、约束条件以及使用要求等因素，经计算分析或按类似工程经验确定；不设或少设伸缩缝的超大面积或超长结构，应采用设置后浇带、补偿收缩混凝土、配置钢筋和掺加聚丙烯网状纤维等抗收缩和温度应力的综合措施；

3 伸缩缝的缝宽宜为20~30mm，对超大面积或超长结构的伸缩缝宽度，应计算伸缩幅度后合理确定，并应采取可靠的防水措施。

4.8.3 逆作法地下结构施工缝的设置应满足设计要求，侧墙水平施工缝宜设在结构层板底或其腋角下、底板顶或其腋角上 300～800mm 位置。

4.8.4 逆作法地下结构后浇带的设置，应满足下列要求：

1 后浇带宜用于不允许留设变形缝的部位，应设在受力和变形较小的部位，其宽度宜为700～1000mm；

2 超长超宽结构板的后浇带横纵向间距宜为30～40m，由后浇带分隔开的单区混凝土结构面积不宜超过 1200m^2；超长带状结构板的后浇带纵向间距宜为30～45m；

3 各层板后浇带设置位置宜上下对齐，边墙后浇带宜与板后

浇带对应连通。

4.8.5 逆作法地下工程迎水面主体结构的附加防水层宜选用延伸率较大的卷材、涂料等柔性防水材料；处于侵蚀性介质中的工程，尚应采用耐侵蚀的防水材料。

4.8.6 逆作地下结构复合墙施工缝防水应符合下列规定：

1 逆作边墙的水平施工缝宜采用两道止水条（胶）及注浆管进行防水，顺作边墙的水平施工缝宜选用渗锌钢板止水带；

2 顶板、中层板及其下部 800mm 的墙体应同时浇筑，墙体的下部应做成斜坡形；

3 注浆管应选用橡胶材质注浆管或全断面注浆管，注浆导管宜采用 PVC 软管；注浆材料应优先选用超早强自流平水泥浆或高渗透环氧树脂灌浆料；

4 施工缝浇筑混凝土前，应将其表面清理干净，再涂刷混凝土界面处理剂或水泥基渗透结晶型防水材料，并应及时浇筑混凝土。

4.8.7 逆作地下结构后浇带防水设计应符合下列规定：

1 后浇带应在其两侧混凝土龄期达到 42d 后再施工，且应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗渗和抗压强度应比两侧混凝土提高一个等级；

2 采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土，水中养护 14d 后的限制膨胀率不应小于 0.015%，膨胀剂的掺量应根据不同部位的限制膨胀率设定值经试验确定；

3 位于各层层板的后浇带宜做成阶梯缝，侧墙宜做成平直缝。

4.8.8 逆作地下结构板与围护桩（墙）节点防水构造措施可根据结构形式、防水等级按照现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108 中相关规定选用。

4.9 地下水控制及对周边环境的保护设计

4.9.1 逆作法基坑施工期间应优先采用围护结构兼做隔水帷幕和坑内降水减压的地下水控制处理方案。

4.9.2 逆作法基坑隔水帷幕的深度应根据抗渗流稳定性和抗突涌稳定性验算的相关规定计算确定；降水减压难度较大或基坑周边环境保护要求较高时，宜优先采用落底式隔水帷幕，其深度应进入相对不透水层不小于 1m，当隔水帷幕计算深度下方存在较厚含水层时，可采用悬挂式帷幕和坑底加固止水、坑外回灌措施。

4.9.3 逆作法基坑地下水控制设计应结合周边环境变形总允许值，分解确定降水、回灌分别对周边环境的影响值；降水设计应符合现行天津市地方标准《建筑基坑降水技术规程》DB-T29-229 的规定，回灌设计应符合现行天津市地方标准《基坑工程地下水回灌规程》DB/T29-252 的规定。

4.9.4 逆作法基坑降水设计应根据水文地质勘察成果、开挖前试降水结果与分析、周边环境变形控制要求、逆作基坑开挖及抗浮等要求，按照分层降水、按需减压的原则，确定坑内降水井、减压井以及坑外回灌井的设计参数。

4.9.5 坑内降水井宜采用钢管井，减压井应采用钢管井，井管壁厚均不应小于 4mm；井管围填料应满足逆作全过程随开挖深度分层降水的要求。

4.9.6 基坑开挖阶段抗承压水突涌不满足要求时，应进行承压水减压降水设计，并应满足下列要求：

1 应结合水文地质条件、基坑开挖深度、隔水帷幕与承压含水层的相互关系，确定按需减压降水设计方案；

2 减压降水设计应进行水文地质渗流计算，预测降水影响范围内的渗流场及水位降深，估算降水减压引起的地面沉降；

3 减压降水设计应考虑一定数量的备用井及观测井。

4.9.7 采用悬挂式隔水帷幕的基坑需大面积长时间降水施工时，应针对抽取地下水引起水位或水压下降而造成的大面积地面沉降进行环境影响论证，查明地面沉降原因、现状和预测其发展趋势，并应对可能的沉降量进行预估，提出控制和治理方案。

4.9.8 对地下水控制风险较大的基坑，宜采用分仓隔水的措施。

4.9.9 逆作法基坑降水施工中可采取以下措施减少对环境影响：

1 通过开挖前试降水试验结果预测可能产生的环境影响，并采取相应控制措施；

2 通过降水井布置方式、隔水帷幕埋设深度、结合地层条件优化滤管布置位置、采用自流井等措施减少抽水量；

3 设置回灌系统保持保护对象下的地下水位；

4 结合基坑开挖工况进行分区分层按需降水、按需减压。

4.9.10 围护结构施工中宜采取以下措施减少对环境的影响：

1 粉性土或砂土层中围护结构施工宜优先采用优质泥浆并提高泥浆比重等措施提高成槽（孔）质量，防止槽（孔）壁坍塌；对地下连续墙同时宜采用减小单幅槽段宽度、槽壁预加固等措施；

2 止水帷幕施工过程中应控制施工速度、优化施工流程、采用非挤土的施工技术减少挤土对环境的影响；

3 对受围护结构施工影响程度较大的环境风险源可设置隔离措施。

4.9.11 逆作法基坑土方开挖施工中应采取以下措施减少对环境的影响：

1 有环境保护要求侧的取土口与基坑边距离宜大于 1 倍取土口边长；

2 宜分区分块分层开挖，及时浇筑垫层或设置层板支撑，减少无撑暴露时间；

3 对逆作开挖层高较高的底板以上土层宜采用盆式开挖，必要时应设置临时落地斜撑；

4 对贴墙层板开口区域应设置必要的临时支撑。

4.9.12 逆作法施工中对影响程度较大的建（构）筑物，宜采取对其地基基础的加固或隔离措施。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 逆作法地下工程施工前应根据相关技术资料核查周边相邻建（构）筑物、地下管线等情况，进行设计条件复核以及风险辨识和评估，并应组织图纸会审和技术交底，校核或调整实际施工条件与设计图纸不符的方案。

5.1.2 逆作法地下工程施工前，施工单位应与设计等相关单位相互配合，确定总体施工顺序、工序流程、重点施工工况的变形控制、逆作施工阶段水平或竖向受力构件的转换形式及重要构件施工的关键技术等内容。

5.1.3 逆作法地下工程施工前应编制实施性施工组织设计；施工过程中的分项施工技术方案应包括下列项目：

1 围护结构施工方案；

2 竖向支撑桩柱施工方案；

3 水平结构和竖向结构施工方案、地上地下结构同步施工方案；

4 降水和土方开挖方案；

5 逆作施工阶段临时构件的拆除方案；

6 施工安全与作业环境控制、文明施工和环保技术方案；

7 监测方案；

8 安全可靠的施工通道方案；

9 风险专项防护施工及应急预案等。

5.1.4 逆作法基坑开挖前，应进行坑内试降水试验及分析，确认围

护结构的隔水效果，落实基坑开挖条件，提出施工过程中降水井和减压井留置及保护要求；基坑开挖过程中，应结合试降水分析成果，超前对开挖面下方可能存在渗漏水的地连墙接缝进行探挖，对确认存在漏水的接缝部位采取必要的补救措施。

5.1.5 正式施工前，应进行试成桩孔、墙槽的工艺性试验，试验数量不得少于两个。垂直度、孔壁稳定性和沉渣等检测指标不能满足设计要求时，应拟定补救技术措施，或重新确定工艺参数。

5.1.6 施工前应针对重大风险源编制应急预案，开展应急演练，储备应急物资。

5.1.7 施工中应严格工序控制，及时进行施工隐蔽工程验收，合格后方可进行下道工序施工。

5.2 基坑降水施工

5.2.1 逆作法基坑地下水控制施工应符合下列规定：

1 施工过程中应采取有效的地下水控制措施；

2 施工单位应对详勘报告中提及的连续层或透镜体承压水含水层等水文地质资料进行研判，对缺失或无法判定的透镜体承压水含水层资料可进行补勘验证；

3 周边环境或水文地质条件复杂的逆作法基坑，应提前进行试降水，根据试降结果，评估基坑隔水帷幕的隔水效果及降水对周边环境的影响程度，判定降水对下部承压水水头的影响程度；

4 基坑疏干降水的持续抽水时间应根据基坑面积、开挖深度及地质条件等因素综合确定；基坑开挖过程中坑内地下水位不应高于施工要求开挖面以下 1.0m；

5 对影响逆作法施工过程基坑稳定性的承压含水层应采取减压措施或减压备用措施，并提出减压井启动时机；

6 预测降水会对周边环境影响较大或影响周边建构筑物正常使用时，宜采用地下水回灌措施解决降水对周边环境影响问题；

7 降水及回灌宜由专业单位进行施工。

5.2.2 降水井、减压井施工应符合下列规定：

1 降水井、减压井平面布置应结合土方开挖线路，避开开挖通道、底板梁、承台、内隔墙和结构柱等结构构件，且宜靠近逆作立柱；

2 钢管井在结构底板范围应设置止水钢环。

5.2.3 降水运行监测应符合下列规定：

1 应定期巡视检查降水设施运行状态和基坑内地下水状况；

2 应对基坑内外的地下水位、降水井群抽水量进行动态监测，实行降水运行信息化管理，对周边环境变形敏感地段的基坑外地下水位的变化可采用自动化监测。

5.2.4 降水井施工及运行除应符合本规程规定外，尚应符合现行天津市地方标准《建筑基坑降水工程技术规程》DB/T29-229 的有关规定。

5.2.5 回灌井施工及运行应符合现行天津市工程建设标准《基坑工程地下水回灌规程》DB/T29-252 规定。

5.3 围护结构施工

Ⅰ 地下连续墙

5.3.1 地下连续墙施工应符合下列规定：

1 在开槽前，施工单位与设计单位应根据结构特点、成槽机抓斗定尺、接头位置、钢筋笼重量、幅宽等因素，进行单元槽段划分并确定开槽顺序，以减少冷缝接头数量；

2 转角幅、直线幅应一次成槽；

3 成槽深度大于 70m 的地连墙，宜根据地质情况采取铣槽机成槽、液压抓斗加铣槽机“抓铣结合”成槽或预先钻导向孔“钻抓结合”成槽等辅助措施确保成槽质量；

4 地连墙成槽后应进行槽型和接头超声波检测，满足要求后方可下放钢筋笼；

5 钢筋笼制作与吊放应符合下列要求：

1）钢筋笼应整体加工，钢筋接头宜采用机械连接；

2）钢筋笼宜一次整体吊装下放，吊放入槽高程应符合设计要求，严禁切割下放不到位的钢筋笼。

6 混凝土灌注顶面宜高于设计墙顶标高不小于 1 倍墙厚。

5.3.2 地下连续墙槽段施工接头应符合下列规定：

1 槽段施工接头类型应符合设计要求，并应满足抗渗止水、连接传力、受力的要求；

2 成槽结束后、清槽前，必须刷洗相邻槽段接头部位竖向端面，清除端面壁上的附着物和泥皮；

3 接头外侧可采取地层加固止水措施。

5.3.3 地下连续墙预埋件施工应符合下列规定：

1 与结构层板、支撑或腰梁连接的预埋件应确保位置准确、安装牢固，预埋件安装中心位置允许偏差应为±10mm，钢筋笼整体安装深度允许偏差应为±10mm；

2 预埋的钢筋接驳器安装中心位置允许偏差应为±10mm，竖向排距允许偏差应为±10mm，并应采取防止流态混凝土或杂物进入接驳器的保护措施；

3 预埋钢筋接驳器数量宜在设计数量基础上增加 30%～50%，减少因偏差过大而采取植筋的数量。

5.3.4 地下连续墙内表面处理应符合下列规定：

1 合理确定地下连续墙的外放量，严格控制垂直度偏差，不应侵占内衬墙空间位置，不得随意凿除钢筋保护层；

2　主体结构竖向侧墙钢筋绑扎施工前，应先完成地下连续墙内侧表面的裂缝修补和渗水堵漏处理。

5.3.5　地下连续墙墙底注浆施工应符合下列规定：

1　墙底注浆施工应在墙体混凝土达到设计强度后方可进行；

2　注浆管材以及注浆技术参数应符合设计要求；

3　注浆器应采用能承受大于 1Mpa 静水压力的单向阀；

4　地下连续墙混凝土初凝后终凝前应用高压水劈通压浆管路；

5　注浆总量达到设计要求，或达到设计要求的 80%以上且压力达到 2Mpa 时，可结束注浆。

II　咬合桩

5.3.6　采用咬合桩作为逆作法基坑围护结构时，可采用硬法或软法切割咬合施工；对施工区域存在地下障碍物或桩长超过 30m 的咬合桩，宜采用硬法切割咬合施工。

5.3.7　咬合桩硬法切割咬合施工应采用全回转套管钻机施工，软法切割咬合施工宜采用全套管钻机施工。

5.3.8　咬合桩施工分为 I 序桩和 II 序桩，I 序桩和 II 序桩间隔布置，相邻桩间咬合厚度宜为 200mm～400mm，桩底最小有效咬合厚度不应小于 100mm。

5.3.9　咬合桩施工垂直度允许偏差应为 1/300。

III　其他

5.3.10　逆作法地下工程基坑分仓隔水帷幕、坑中坑的隔水帷幕可采用水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、CSM 工法墙、RJP 工法桩和 MJS 工法桩施工，地连墙槽段施工接头止水加固可采用高压旋喷桩、RJP 工法桩、MJS 工法桩施工。

5.3.11　大于 30m 的超深地层加固、大桩径地层加固以及对加固体强度、渗透性、早期强度等指标要求高的工程宜采用 RJP 工法桩和 MJS 工法桩。

5.3.12 RJP 工法桩桩径不宜小于 2.2m，桩深度不宜大于 70m；MJS 工法桩桩径不宜大于 2.4m，桩深度不宜大于 60m；水泥掺量均不宜小于 750kg/m^3。

5.4 地下竖向支撑桩柱施工

Ⅰ 中间立柱桩

5.4.1 立柱桩施工误差应符合下列规定：

1 永久立柱桩的平面允许定位偏差应为 10mm，成孔直径必须达到设计桩径，成孔用钻头应有保径装置，垂直度允许偏差应为 1/300；

2 临时格构柱桩的施工误差应符合现行天津市地方标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202 的相关规定。

5.4.2 扩底灌注桩成孔施工分为等径成孔与扩底成孔，应符合下列规定：

1 等径成孔与扩底成孔应分别连续完成，等径桩成孔到设计孔深并验收合格后，应及时调换扩底钻斗进行扩底施工；

2 扩底成孔完成后至灌注混凝土结束的时间不宜大于 8h；

3 多台钻机同时施工时，相邻两钻机间距不宜小于 5 倍等径桩直径且不宜小于 3 倍扩底桩直径；

4 相邻桩同时成孔施工的安全距离不宜小于 4 倍等径桩直径，且不宜小于 2 倍扩底桩直径，当不满足间距要求时，其施工时间间隔应大于 36h。

5.4.3 扩底灌注桩施工清孔应分两次进行，第一次清孔应在成孔完成并经检测孔型合格后立即进行，并应符合下列规定：

1 清孔时应将带挡板的桶式钻头放至孔底旋转钻进清孔；

2 清孔结束时应测定孔底沉渣，孔底沉渣厚度不应超过

50mm；

3 清孔后应保持稳定液的高度，并应在 30min 内下放钢筋笼。

5.4.4 扩底灌注桩第二次清孔应在钢筋笼下放后混凝土灌注前进行，并应符合下列规定：

1 钢筋笼下放后，孔底沉渣检测厚度大于 50mm 时可使用清渣泵清孔或气举反循环进行清孔；

2 清孔时稳定液补充量不宜少于清渣泵或气举反循环的排量；

3 清孔后应保持稳定液的高度，并应在30min内灌注混凝土。

5.4.5 水下混凝土灌注桩施工时应防止钢筋笼上拱，混凝土初灌高度不应低于扩底部分顶部，终灌高度应高出设计桩顶，高出部分不宜小于桩长的 5%，且不应小于 0.5m。

5.4.6 逆作法钻孔灌注桩施工可采用桩端、桩侧复式后注浆工艺控制桩体沉降。后注浆导管可采用钢管，单桩导管数量不应少于 2 根，并应与钢筋笼加劲筋绑扎固定或焊接；出浆口可采用单向截流阀，注浆量应满足设计要求，同时不得小于试桩施工期间的注浆量。

5.4.7 液压垂直插入钢管法的灌注桩混凝土宜采用超缓凝混凝土，其初凝时间不宜小于 $36h$，坍落度应为 200mm~220mm，不掺加外加剂时 16h 后的坍落度不应小于 120mm，粗骨料宜采用 5mm~25mm 连续级配碎石。

II 竖向支撑柱

5.4.8 竖向支撑柱的施工应包括以下内容：

1 永临结合的钢管混凝土柱、型钢柱的加工制作、安装及混凝土浇筑；

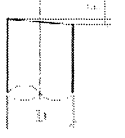
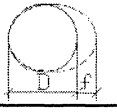
2 临时格构柱的加工制作、安装。

5.4.9 圆形钢管混凝土立柱的钢管宜采用直缝焊接管或无缝管。焊接钢管宜在工厂制作，焊缝应采用对接熔透焊，焊缝强度不应低于管材强度，焊缝质量应符合一级焊缝标准；应采取措施确保钢管分

节制作、现场水平拼接后成型钢管的平整度和精度。

5.4.10 竖向支撑钢管混凝土柱钢管制作的允许偏差应符合表5.4.10的规定，分节长度应满足运输和装卸能力，且不宜大于15m。

表5.4.10 钢管制作的允许偏差

序号	项目	允许偏差（mm）	示意图
1	外径或断面尺寸D	±1.2D/1000，且±3	—
2	长度偏差	±3	—
3	弯曲矢高f	f≤L/1200，且f≤8	
4	端面平整度/倾斜	f≤D/1000，且f≤1	
5	钢管扭曲	1°	—
6	椭圆度	f≤3D/1000	

注：对接焊接连接时，D为管端头直径；法兰连接时，D为连接孔中心的圆周直径，L为构件长度。

5.4.11 竖向支撑柱的安装施工方式可结合支撑柱类型、施工机械设备及垂直度要求等因素选择采用先插法或后插法，也可采用传统的两点定位等方法。

5.4.12 竖向支撑柱安装施工偏差应满足设计计算要求，其偏差控制应包括下列内容：

1 支撑柱的定位、垂直度和转向偏差；

2 支撑柱分节制作拼接精度及吊装过程变形；

3 调垂装置误差；

4 混凝土浇筑等因素引起的变形。

5.4.13 竖向支撑柱采用先插法施工时应满足下列要求：

1　柱安插到位调垂后，应在孔口采取固定措施；

2　用于固定导管的混凝土浇筑架宜与调垂架分开，导管应居中放置，并应控制混凝土的浇筑速度，确保混凝土均匀上升；

3　柱内的混凝土应与桩的混凝土连续浇筑完成；

4　桩柱混凝土强度等级不同时，混凝土灌注施工时应按高强度等级混凝土伸入低强度等级混凝土侧不小于 1 倍桩径控制。

5.4.14　竖向支撑柱采用后插法施工时应满足下列要求：

1　应根据施工条件选择合适的插放装置和定位调垂架；

2　应控制竖向支撑柱起吊时变形和挠曲，插放过程中应动态调垂；

3　格构柱、H 型钢柱的横截面中心线方向应与该位置结构柱网方向一致。

5.4.15　采用液压垂直插入钢管法进行钢管支撑柱定位、插入施工时，应符合下列规定：

1　液压垂直插入钢管法定位不宜用于斜柱施工，其适用范围应符合表 5.4.15 规定；

表 5.4.15　液压垂直插入钢管法适用范围

序号	适用范围		备注
1	垂直度	≤L/500	L 为柱长
2	钢管直径	Φ500～Φ2500	支撑柱的直径
3	深度	≤50m	钢柱长度
4	重量	≤80t	钢柱重量

2　液压垂直插入机定位应准确、机身保持水平且稳固，其中心应与柱位中心在同一垂线上，垂直度允许偏差应为 1‰；

3　钢管宜采用吊车抬吊、垂吊，缓慢放入液压垂直插入机内，在液压垂直插入机抱紧钢管柱后，及时测量钢管柱的定位及垂直度，插入过程中应实时监测、动态调垂；

4　液压垂直插入机移位与切除工具柱施工应在灌注桩混凝土初凝及钢管柱四周回填 12h 以后进行；

5 相邻两液压垂直插入机施工间距不宜小于 8m；

6 钢管应缓慢插入灌注桩钢筋笼，不得碰撞钢筋笼；

7 钢管底部宜采用封闭形式，并在底部设置锥台，锥台底部直径不宜小于 100mm，与柱连接部位不宜小于 200mm，锥台高度不宜小于 300mm。

5.4.16 采用先插法、后插法施工竖向支撑柱的调垂固定装置，应待桩柱混凝土全部终凝后方可移走，并应在孔口位置对支撑柱采取固定保护措施。

5.4.17 先插法、后插法施工的竖向支撑柱施工完成后承受外部荷载前，柱周应进行回填，回填施工应符合下列规定：

1 应在柱下灌注桩混凝土初凝后进行；

2 宜采用 5mm~25mm 连续级配碎石均匀回填；

3 回填至柱顶标高以下 1m 时宜停止回填，等待 5h～6h 后继续回填直至回填面稳定；

4 采用液压垂直插入钢管法的柱周回填过程中，不得碰撞液压垂直插入机。

5.4.18 竖向支撑柱吊放安装施工时宜采用与钢管柱对接且伸出地面的工具柱，工具柱应符合下列规定：

1 工具柱直径及壁厚应与钢管柱相同，制作精度宜符合表 5.4.10 的规定；

2 工具柱与钢管柱对接施工前应先设置安装稳固、水平且对中的工作平台；

3 工具柱与钢管柱连接宜采用内衬管焊接连接，也可采用连接板螺栓连接。

5.4.19 采用先插法、后插法施工的工具柱割除时不应损伤钢管柱，并应符合下列要求：

1 柱周应密实回填至工具柱与支撑柱连接部位，且回填面应保持稳定；

2 柱顶以上泥浆已抽除；

3 灌注桩混凝土已初凝；

4 当采用液压垂直插入钢管法，放开液压抱紧系统时，钢管柱高程、平面位置应无变化。

5.4.20 钢管柱安装允许偏差应符合表 5.4.20 规定。

表 5.4.20 钢管柱安装允许偏差

序号	项目	允许偏差
1	柱中心位置	柱顶不大于 10mm 或设计要求，柱底不大于 5mm
2	柱顶标高与设计标高	±10mm，中间层±20mm
3	垂直度	1/500 或设计要求
4	柱顶面不平整度	±5mm
5	各柱之间的距离	间距的 1/1000
6	各柱上下两平面相应的对角线差	长度的 1/1000，最大不大于 20mm

5.4.21 钢管及其与桩基础、各层水平板梁结构连接节点内的钢牛腿、钢板传力环等构件，应整体一次性制作加工，避免在施工现场直接焊接加工；无法避免时应预先采取在该部位的钢管外侧设置外贴弧形钢板进行加强等措施；严禁在已受力的钢管柱管壁上施焊。

5.4.22 钢管柱内自密实混凝土灌注应符合下列要求：

1 混凝土灌注过程中导管应始终控制在混凝土面以上 1m～2.5m，最大不得大于 3m，严禁将导管埋入混凝土面，导管或串桶不得带挂钢筋笼；

2 混凝土灌注过程中应定期测定和控制混凝土面上升情况，灌注 5m～8m 后宜停止 20min～30min 待混凝土自密实后继续灌注；

3 混凝土灌注至柱顶后宜等待 30min，待混凝土自密实后，去除柱顶浮浆，并补灌新鲜混凝土至柱顶；

4 柱内混凝土灌注的充盈系数不得小于 1.0；

5 混凝土灌注完毕，待其初凝后应回填柱顶上部的空孔、拔出护筒，回填面宜低于自然地面 200mm，并宜在其上浇筑一层混

凝土保护钢管柱。

5.4.23 钢管混凝土柱施工及质量控制除满足设计要求和本规程规定外，尚应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的相关规定，临时格构柱的施工应符合现行天津市地方标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202 的相关规定。

5.5 水平结构施工

5.5.1 逆作法水平结构施工前准备工作应包括下列内容：

1 复核测量基准线、水准基点，并对轴线及各构件定位及高程进行复核；

2 完成降水、围护结构、地基加固等前道工序的施工；

3 确定水平结构临时开孔、永久开孔和结构缝设置方案；

4 结合结构形式和土层的强度情况确定模板施工方案；

5 确定水平传力构件和各层板的竖向支撑施工方案；

6 确定水平结构预埋件施工方案。

5.5.2 钢筋连接方式宜采用Ⅰ级机械连接接头或焊接，对预留甩筋应采取防锈及防腐保护措施，对地连墙中预埋接驳器定位误差较大或损坏缺失的应补强措施。

5.5.3 逆作法水平结构模板体系应考虑逆作法施工特点进行加工与制作，应具有足够的承载能力、刚度和稳定性。

5.6 竖向侧墙结构施工

5.6.1 逆作法竖向侧墙结构施工宜在其对应层底板全部施工完成后进行。

5.6.2 逆作法竖向侧墙结构施工前应对接缝部位进行清理，并应对预留的钢筋、机械连接接头、浇捣孔等进行整修。

5.6.3 钢筋下料尺寸应满足逆作法地下工程基坑内的运输条件；钢筋连接方式宜采用Ⅰ级机械连接接头或焊接，预埋钢筋安装位置允许偏差应为5mm。

5.6.4 竖向侧墙结构预留预埋水平结构钢筋时，应将暴露在外部的钢筋进行防锈及防腐保护；混凝土灌注前，应对预埋钢筋进行检查，预埋钢筋损坏缺失时应及时补强措施。

5.6.5 侧墙施工缝处拉筋宜在水平施工缝凿毛后进行安装。

5.6.6 逆作法侧墙模板体系应结合逆作法施工特点进行加工与制作，并应具有足够的承载能力、刚度和稳定性。

5.6.7 竖向侧墙模板施工应符合下列规定：

1 采用整体可移动模板时，应有防倾覆措施，可采用支撑或拉索等临时固定装置；

2 墙体逆作纵向施工缝处宜采用斜向模板支设，模板顶部高于施工缝不宜小于200mm；模板顶部与上方层板距离较小时，宜在上方层板上留设浇捣孔；

3 混凝土一次浇筑高度超过4m时，宜在模板侧面增加振捣孔；

4 应制定模板施工专项技术方案，方案中应规定模板及其支架拆除的顺序及安全措施，且模板拆除时，不应对水平结构形成冲击荷载；

5 拆除的模板和支架宜分散堆放并及时清运。

5.6.8 逆作法竖向侧墙结构施工宜采用高流态低收缩混凝土，混凝土配合比应根据逆作法特点配置，浇捣前应对混凝土配合比及浇筑工艺进行现场试验。混凝土施工应符合下列规定：

1 应结合现场实际情况选择混凝土泵送设备，并应合理布置泵管，减少弯头数量；

2 泵送混凝土的坍落度宜为 180mm～220mm；

3 混凝土卸料口间距宜小于 3m，每个卸料口处一次浇筑混凝土高度宜小于 0.5m。

5.6.9 竖向侧墙结构混凝土浇筑前应清除模板内各种垃圾并浇水湿润，浇筑时应连续浇捣；宜通过浇捣孔用振动棒对竖向结构混凝土进行内部振捣，不宜直接振捣部位应在外侧使用挂壁式振捣器组合振捣；钢筋密集处应加强振捣，分区分界交接处振捣范围宜向外延伸不少于 500mm。

5.7 土方开挖

Ⅰ 一般规定

5.7.1 土方开挖前应编制详细的专项挖土施工方案，土方开挖方案应根据地质条件、场地条件、环境保护要求、基坑的平面尺寸、开挖深度、施工方法、设计要求等因素综合制定，方案中应包括下列内容：

1 工程概况；

2 开挖的分段分层分块情况、挖土流程、开挖方法；

3 取土口留设位置及洞口周边的加固方案；

4 运输车辆的行走路线；

5 确定开挖与结构施工及养护时间关系；

6 各分块开挖的时间进度要求；

7 施工机械的规格、数量、工效分析与劳动力的配备；

8 确定卸土场地及出土运输条件；

9 施工质量、安全、文明与环境保护措施；

10 施工应急预案及应急物资等。

5.7.2 逆作法开挖时应采取有效措施控制相邻支撑立柱之间、支撑

立柱与围护结构之间的差异沉降。

5.7.3 逆作法基坑开挖前应对拟开挖的每一层土方的开挖条件进行验收，施工单位编制的土方开挖前条件验收报告应包括下列内容：

1 开挖及降水的专项施工方案；

2 开挖前主要分部分项工程节点工期及完成验收情况；

3 开挖前降水井内的水位情况；

4 临时支撑结构、逆作主体结构的混凝土强度是否满足设计要求和施工标准规定；

5 相邻支撑立柱间、支撑立柱与围护结构间的差异沉降控制是否满足设计要求；

6 主要风险源、风险因素分解及应对措施；

7 施工单位对深基坑开挖条件的自检和其他参建单位的检查验收情况；

8 现场通风、照明及应急设施和物资的配备是否满足土方开挖的要求。

II 取土口设置

5.7.4 逆作法施工时，取土口的布置应满足下列要求：

1 取土口布置的总数量宜根据基坑土方数量、竖向提升高度及提升方式、取土半径以及挖运效率、基坑面积、开挖工期等因素，结合结构层板的受力体系、设计要求和场地条件综合确定；

2 取土口的尺寸大小、相邻取土口间的水平净距除应满足施工机械正常作业工艺要求外，尚应满足逆作施工荷载条件下整体结构或构件的稳定性及承载能力极限状态受力要求；

3 取土口的平面布设位置应满足相应工程材料运输与传递需要，以及土方分块流水开挖作业的施工要求；取土口宜设置在各挖土分块的中部位置，宜结合层板结构永久孔洞布置，避免设置在围护结构墙边，且各层结构板取土口位置宜上下对齐；

4 取土口的平面布设位置应与现场内临时施工道路及外部交通有较好的连接；

5 取土口位置确定后，应与设计单位商定各层孔洞周边的堆土及机械作业等施工荷载限值，并应在孔洞周边采取孔边梁等加强措施。

5.7.5 取土口应采取下列构造措施：

1 取土口周边设置的临时孔边梁应设置抗剪槽，并应预留后期封闭孔洞板用的钢筋接头或机械连接接头，接头应做好防护；

2 结构顶板在开挖施工期间有覆土要求时，取土口周边宜加设挡水挡土围护墙；

3 取土口封堵时，其混凝土和防水施工应按本规程 5.9 节后浇带的相关规定处理。

III 土方开挖及运输

5.7.6 逆作土方开挖前应合理划分开挖的分段分层分块大小，施工块划分应综合考虑地下层板结构施工流水、出土进料口位置及结构缝设置的要求。

5.7.7 逆作土方开挖过程中应符合下列要求：

1 土方开挖时应满足地下水控制要求；

2 挖土作业时应对支撑柱采取保护措施，支撑柱两侧土方开挖高差不应大于 1.5m；

3 挖土临时放坡坡率应按地质条件确定，坡顶与坡脚之间的高差不宜大于 3m；

4 每层土方开挖完成面宜平整，其高差宜控制在 100mm 以内；

5 挖土过程中应严格保护降水井点、支撑桩柱、监测元件及预留预埋件等；

6 大面积深基坑的开挖宜采用盆式取土的施工方法，盆边土留设的形式应满足设计工况的相关要求；

7 基坑开挖应按照“时空效应”原理，遵循“先探后挖、分层分块、平衡对称、严禁超挖、限时支撑”的原则，并应符合基坑设计开挖工况；

8 挖土施工应采用机械与人工相结合的方式进行，中间支撑柱周边及基坑底应采用人工挖土方式；

9 梁、板下土方开挖应在上方梁板构件的混凝土强度达到设计要求后进行，临时堆放在结构板上及基坑周边的土方荷载应满足设计要求；

10 对具备拆除条件的结构板梁和支撑体系等构件的模板应及时进行拆除。

5.7.8 土方开挖到基底设计标高后，应及时浇筑混凝土垫层；除软弱地基土层有换填要求外，基底土层不应超挖与扰动。

5.7.9 土方开挖需设置集土坑时，施工降水的水位应考虑集土坑的坑底标高。

5.7.10 结构板承受土方运输通道施工荷载时，应进行专项验算。

5.7.11 土方开挖机械的选型应考虑机械的作业空间与回转半径等限制因素，在逆作施工平台层取土时，可选用长臂挖机、伸缩臂挖机、抓斗、升降机或传输带将土方垂直提升至地面层。

5.8 构件节点连接施工

5.8.1 逆作法地下工程中的构件节点连接施工包括围护结构墙与地下水平结构的连接节点、竖向支撑柱与其桩基础的连接节点、梁柱连接节点等内容，节点施工应符合设计要求和实际的施工工况。

5.8.2 围护结构墙与地下水平结构的连接节点施工应符合下列要求：

1 连接节点施工前应对围护结构墙表面基层清理到位、凿毛、

清洗、刷素水泥浆或界面剂，并应对预埋件进行除锈处理，对已损坏或定位误差较大的预埋件还应进行增补施工；

2 连接节点应采取有效的止水措施。

5.8.3 地下水平结构与临时竖向支撑角钢格构柱相交节点部位施工时，层板钢筋宜采用钻孔钢筋连接法、直接绕避或穿插方法穿越格构柱，并宜在顶板、底板节点处采取有效止水措施。

5.8.4 框架梁与竖向支撑柱的梁柱节点部位施工应符合下列规定：

1 梁柱节点施工前，应先进行现场钢筋试绑扎，编制板筋、梁筋与柱筋等受力钢筋与箍筋、拉筋等构造钢筋的绑扎顺序方案；

2 对环梁节点与传力钢板节点，采用梁主筋焊接到钢管环板方案时，施焊前应核对焊接操作空间和焊接方式及顺序，并应做好焊缝的检测；

3 梁柱节点混凝土中粗骨料的最大粒径不得大于 25mm，并应加强施工振捣。

5.8.5 竖向支撑柱与其桩基础的连接节点施工应符合本规程 5.4 节相关规定。

5.9 结构缝及防水施工

5.9.1 逆作法地下工程施工缝的设置应符合下列规定：

1 墙体水平施工缝不应留设在剪力最大处或顶、底板与侧墙的交接处，应留在高出底板（或腋角）顶面不少于 300mm、低于顶板（或腋角）底面 800mm 处，墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应少于 300mm；

2 板墙环向施工缝、超宽结构板的纵向施工缝应设置在结构受力较小处，且宜与变形缝或后浇带结合设置，同时墙缝应避开围护结构渗漏水较多的地段。

5.9.2 逆作法地下工程施工缝的施工应符合下列规定：

1 层板下的侧墙结构逆作水平施工缝，应采用超灌法和注浆法有效组合的接缝处理方式；采用超灌法时，施工缝处混凝土宜采用高流态低收缩混凝土，且强度应高于其两侧混凝土一个等级；采用注浆法时，应在接缝处预埋注浆管；

2 施工缝处后浇混凝土应在先浇混凝土抗压强度大于 1.2N/mm^2 后方可浇筑；

3 在施工缝处应采用弱振，振捣棒不得碰振止水构件。

5.9.3 逆作法地下工程施工缝的注浆施工应符合下列规定：

1 安装注浆管的基层应凿毛，并应刷素水泥浆或涂刷界面处理剂，基层不得有浮浆、油污、疏松、空洞、碎石团和凸起等，固定注浆管范围的基层应基本平整；

2 两个平行设置的注浆管之间的距离不得小于 50mm；注浆管交叉设置时，相交部分应与混凝土密贴；

3 根据缝隙大小及工程需要，注浆材料可选用无机型，并应在混凝土养护结束 28 天后进行注浆；

4 注浆结束后，留在重复注浆通道内的注浆材料应在其固化之前清除干净。

5.9.4 逆作法地下工程后浇带的施工应符合下列规定：

1 超长超宽结构后浇带或加强带宜在其两侧混凝土龄期达到 90d 后再施工，当设计另有要求时，应按设计要求施工；

2 逆作法地下工程底板无附加防水层且后浇带间距较大时，后浇带应按超前止水构造施工，后浇带部位的混凝土应局部加厚，并应增设外贴式或中埋式止水带；其余后浇带应按局部加厚垫层并附加钢筋的构造施工（图 5.9.4）；

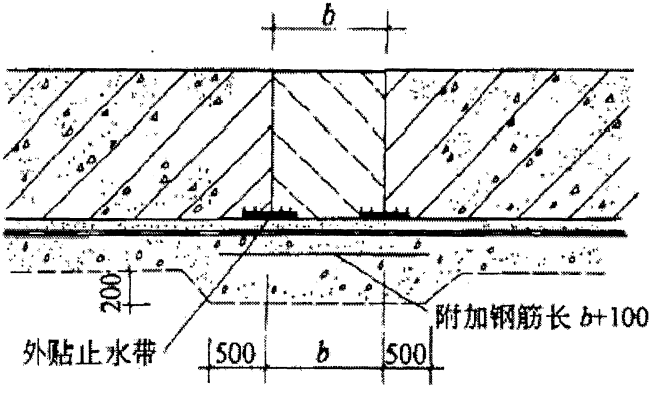


图 5.9.4　后浇带附加钢筋做法

3　后浇带应采用补偿收缩混凝土浇筑，低温入模，其抗渗和抗压强度等级不应低于两侧混凝土，强度等级宜提高一级；

4　后浇带处可采用快易收口网做模板，钢筋和方木做支撑。

5.9.5　逆作法地下工程结构顶板与边墙变形缝内侧应设置接水槽，顶板内侧的接水槽应设置不小于 2‰的坡度，且应于低点设置落水槽引流到排水系统；边墙内侧接水槽应就近引入结构板的排水系统，底板变形缝内侧应设置透水盲管，并将渗漏水引入排水系统；接水槽、落水槽应采用不小于 3mm 厚的不锈钢板制作。

5.9.6　逆作法地下工程顶板防水卷材的细石混凝土保护层宜设置单层双向钢筋网片，并应设置不大于 6m×6m 分隔缝。钢筋网片宜设置在混凝土保护层的中上部，且距混凝土保护层顶的距离不宜小于 10mm。

5.9.7　逆作法地下工程结构缝及防水工程施工除满足本规程规定外，尚应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108 的相关规定。

5.10 监测

5.10.1 基坑监测应从基坑围护结构施工开始，至地下结构施工完成且周边地层变形稳定为止，当工程需要时，应延长监测周期。

5.10.2 逆作法地下工程设计阶段应由设计方提出地下工程监测的技术要求和设计指导方案，主要包括监测项目、监测频率和监测对象的变形控制值等。

5.10.3 监测实施方案应在设计指导方案基础上，结合实际施工条件和风险源辨识清单，并征求参建单位和风险源产权单位的意见，由施工单位和第三方监测单位编制完成。

5.10.4 监测单位应严格实施监测方案，及时分析、处理监测数据，并应将监测结果和评价及时向相关单位作信息反馈，监测数据达到监测报警值时应立即通报相关单位。

5.10.5 逆作法基坑工程重要结构节点、关键部位及风险等级较高的风险源应采用自动化实时监测和视频监控，隐蔽工程可采用视频监控，同时宜采用远程信息化管理。

5.10.6 逆作法工程的监控系统宜在基坑围护结构施工之前完成安装、调试工作，且应具备正常运行的条件。

5.10.7 监测数据传输应满足下列要求：

1 可采用无线传输技术；

2 采用自动化实时监测和视频监控时，应实时传输；

3 采用人工监测或非实时监测时，监测单位应在每次现场监测数据量测完成后 2h 内把监测数据上传至监控系统；

4 所有人工监测数据必须真实、完整、有效，严禁出现阶段性归零；

5 上传监测数据时应传输与数据对应的施工工况信息。

5.10.8 监控软件系统宜具有下列功能：

1 对上传的监测大数据进行自动分析、生成历时曲线等处理

功能；

2 预报警自动提示功能；

3 发生预报警事件时，在管理平台上及时跟踪反馈预报警事件最新信息的功能；

4 调阅远程监控视频功能；

5 实现手机专用 APP 功能。

5.10.9 逆作法工程现场监测除符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497 和现行行业标准《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432 的有关规定。

5.11 施工作业安全与作业环境控制

5.11.1 逆作法施工采取交叉作业或多层作业时，上下作业层间应设置隔离层。

5.11.2 取土口、楼梯孔洞及交通要道等处应设置防护设施。

5.11.3 逆作法基坑内通风应满足各施工作业面需要的最大风量，风量应按每人每分钟供应新鲜空气 $3m^3$ 计算，风速不得小于 0.25m/s。

5.11.4 逆作法地下工程施工照明应符合下列规定：

1 施工照明供电电压应为 220V，基坑开挖作业面临时照明电压不应大于 36V；

2 施工照明室外灯具距地面不得低于 3m，室内灯具距地面不应低于 2.5m；

3 使用金属外壳的灯具必须作保护接零；

4 施工照明用 220V 碘钨灯应固定安装，其安装高度不应低于作业面 3m，距易燃物不得小于 0.5m，并不得直接照射易燃物，不得将 220V 碘钨灯作为移动照明；

5 施工用电照明器具的形式和防护等级应与环境条件相适应；

6 可能影响行人或车辆安全通行的施工部位或设施处应设置红色警戒照明。

6 工程质量检测与验收

6.1 工程质量检测

Ⅰ 一般规定

6.1.1 基坑工程围护结构及竖向支撑桩柱的质量检验应分为施工期过程监控、基坑开挖前的结构检测和基坑开挖期的检查三个阶段。

6.1.2 围护结构及竖向支撑桩柱施工期过程监控应包括下列内容：

1 检验施工机械性能、材料质量；

2 检查围护结构、隔水帷幕及竖向支撑桩柱的定位、长度及宽度或直径，以及高程和垂直度。

6.1.3 基坑开挖前围护结构及竖向支撑桩柱检测应包括下列内容：

1 围护结构墙身质量、竖向承载力检测和渗漏检测；

2 隔水帷幕的强度、连续性、均匀性、抗渗性能和水泥含量；

3 隔水帷幕的封闭性；

4 隔水帷幕质量评估；

5 竖向支撑桩柱质量、竖向承载力检测和垂直度检测。

6.1.4 基坑开挖期围护结构及竖向支撑桩柱的检查应包括下列内容：

1 开挖期围护结构的质量与渗漏水情况；

2 围护结构的垂直度和平面偏差或墙体的平整度等；

3 竖向支撑桩柱质量、垂直度、差异沉降；

4 符合天津市基坑开挖前进行条件验收的相关要求。

6.1.5 隔水帷幕施工质量检测应符合现行行业标准《建筑基坑支护

技术规程》JGJ120 和现行天津市工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202 的相关规定。

II 围护结构

6.1.6 地下连续墙施工质量检测应符合下列要求：

1 应 100%采用超声波透射法对槽壁垂直度、深度、宽度及沉渣厚度进行检测，当采用套铣接头时应加强接头处两个方向的垂直度检测；

2 应采用超声波透射法对墙体混凝土质量进行检测，检测数量不应少于同条件下总墙段数的 50%，且不应少于 3 幅；对超声波透射法判定的墙身质量不合格或施工过程中发生堵管、槽壁坍塌等质量事故的地下连续墙，应采用钻芯法进行验证，钻芯深度宜小于墙设计深度 1m；

3 应采用现场抗压静载试验方法对地下连续墙竖向承载力及沉降进行检测，检测数量不应少于 3 幅；

4 墙身混凝土抗压强度和抗渗检验方法为检查施工记录及强度（抗渗）试验报告，检查数量为墙身混凝土抗压强度试块每 $100m^3$ 混凝土不应少于 1 组，且每幅槽段不应少于 1 组；墙身混凝土抗渗试块每 5 幅槽段不应少于 1 组。

6.1.7 地下连续墙质量检查分级标准应符合表 6.1.7 的规定。

表 6.1.7　地下连续墙质量分级标准

项目分类	评定级别		
	A 级地连墙	B 级地连墙	C 级地连墙
总原则	施工正常，检测合格	存在质量瑕疵，开挖期间需重点关注	存在质量缺陷，开挖前必须采取工程补强措施
成槽	成槽正常	成槽过程不连续，中断 8h 以上；沉渣厚度超过规范规定	刷壁不干净，接缝夹泥
垂直度检测	超声波监测垂直度合格	超声波检测垂直度超过 1/300	—
接缝检测	接缝无绕流；接头出现绕流，处理后，经超声波检测合格	—	接头出现绕流，处理后经超声波检测无效，且无有效的处理措施
钢筋笼吊装	钢筋笼吊放无变形，顺利就位	钢筋笼下放不顺利，剐蹭两侧槽壁	钢筋笼无法就位，需割断钢筋笼
混凝土浇筑	混凝土现场验收合格，浇筑连续顺利，导管无脱落、堵管、拔断现象，接头箱起拔正常	浇筑中断 2h 以上，但未超过混凝土初凝时间	浇筑中断超过混凝土初凝时间；导管埋入深度小于 2m；导管出现脱落、堵管、拔断等造成导管不能使用的；接头箱无法起拔或拔断
充盈系数	地连墙充盈系数在 1.0～1.12 之间	地连墙充盈系数不在 1.0～1.12 之间	—
声波透射检测	声波透射检测混凝土密实、无孔洞、无夹泥	—	声波透射检测混凝土不密实、有孔洞、有夹泥

注：1、A 级地连墙必须全部满足表中 8 项要求；

2、B、C 级地连墙只要有一项满足表中要求即判定为 B 级或 C 级墙；

3、B 级地连墙基坑开挖过程中应加强监测和探挖管理；

4、C 级地连墙基坑开挖前应采取工程补强措施。

6.1.8　咬合桩排桩施工质量检测应符合下列要求：

1　咬合桩灌注混凝土前，应对已成孔的中心位置、孔深、垂直度、孔底沉渣厚度进行检验；

2　咬合桩排桩桩身混凝土质量应采用超声波透射法进行检测，检测数量不应少于总桩数的 5%，当采用桩墙合一结构时，检查数量不应少于 10%，且不应少于 3 根。必要时可采用钻孔取芯方

法进行强度质量检测；

3 对咬合桩排桩的竖向承载力有要求时，可对其进行静载荷试验检测，比例不得低于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根。

6.1.9 地下连续墙、咬合桩施工质量检测除符合本规程规定外，尚应分别符合现行天津市工程建设标准《钢筋混凝土地下连续墙施工技术规程》DB29-103 和现行行业标准《咬合桩排桩技术标准》JGJ/T396的相关规定。

III 竖向支撑桩柱

6.1.10 竖向支撑立柱与主体结构竖向构件相结合时，立柱桩施工质量检测应符合下列要求：

1 应100%进行成孔质量检测，内容包括成孔的中心位置、孔深、孔径、扩孔形状及尺寸、垂直度、孔底沉渣厚度等；

2 应100%进行桩身完整性检测；

3 应对立柱竖向支撑桩、抗拔桩的承载力进行检测，检测数量不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根；总桩数在50根以内时，不应少于2根。

6.1.11 后注浆桩基工程质量检查和检测应符合下列要求：

1 后注浆施工完成后应提供水泥材质检验报告、压力表检定证书、试注浆记录、设计工艺参数、后注浆作业记录、特殊情况处理记录等资料；

2 在桩身混凝土强度达到设计要求的条件下，承载力检测应在后注浆20d后进行，浆液中掺入早强剂时可于注浆15d后进行。

6.1.12 竖向支撑柱施工质量检测应符合下列要求：

1 竖向支撑柱柱位的平面坐标及高程应100%进行检测，柱顶设计高程低于施工场地高程时，可用工具柱代替支撑柱检测；

2 焊接质量应符合现行国家标准《钢结构施工质量验收规范》GB50205和现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ81的相关规定，每个接头应按表6.1.12-1规定进行外观检查，钢管柱、型

钢柱还应按接头总数的5%进行超声波或2%进行X射线拍片检查，同一工程探伤抽样检验不得少于3个接头；

表6.1.12-1 接柱焊接焊缝外观允许偏差

序号	项目		允许偏差（mm）
1	钢管柱上下节柱错口	钢管柱外径≥700mm	3
		钢管柱外径＜700mm	3
2	格构柱及H型钢柱	咬边深度（焊缝）	0.5
		加强层高度（焊缝）	0～2
		加强层宽度（焊缝）	0～3

3 钢管柱制作允许偏差应符合表5.4.10规定；

4 钢管柱的安装偏差必须符合表5.4.20规定；

5 竖向支撑柱施工时应对就位后的支承柱100%进行垂直度检测，基坑开挖后应对暴露出来的支承柱100%进行垂直度复测；

6 应对钢管混凝土柱柱身质量进行检测。柱身混凝土质量完整性检测数量不应少于同条件下立柱总数的30%，且不应少于3根；大跨度大承载力的立柱应100%检测；支承柱存在缺陷时，应采用声波透射法或钻芯法对支承柱混凝土质量进一步检测，且在基坑开挖后，应采用敲击法100%检测支承柱质量；

7 钢管混凝土柱施工质量检查应符合表6.1.12-2规定。

表6.1.12-2 钢管混凝土柱施工质量检查

项目	容许偏差	检测方法
柱中心位置	柱顶不大于10mm或设计要求，柱底不大于5mm	用全站仪、经纬仪
柱顶标高	±10mm，中间层±20mm	水平仪
垂直度	≤1/500	垂直度传感器

6.1.13 永临结合的立柱桩质量检测除应符合本规程规定外，尚应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的相关规定。

6.1.14 竖向支撑立柱质量检测除应符合本规程规定外，竖向支撑立柱钢材原材料、焊缝等的质量、检验项目、检验批量和检验方法，应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的相关规定；钢管柱内自密实混凝土的质量检验应符合现行行业标

准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283 的相关规定。

6.2 工程质量验收

6.2.1 基坑工程中的围护结构、支撑系统和土方开挖等分项工程的质量验收，应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 以及现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的相关规定。

6.2.2 主体结构工程质量验收除应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定外，尚应符合设计、施工要求的相关标准；防水工程应按设计防水等级标准进行验收，并应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208 的相关规定。

6.2.3 钢筋接头应进行隐蔽工程验收。机械接头或焊接接头试件中，应采用现场取样形式，取样检查数量不应少于总检测数的 10%，且不应少于 2 组，并应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ107 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ18 的有关规定。

6.2.4 逆作法地下工程施工质量验收合格应符合下列规定：

1 所含分项工程、子分部工程质量验收应合格；

2 应有完整的质量控制资料；

3 观感质量验收应合格；

4 地下结构实体检验结果应合格。

6.2.5 质量验收应提交下列文件和记录：

1 岩土工程勘察报告、图纸会审记录、设计变更文件；

2 经审批的施工方案、缺陷处置方案等；

3 预拌混凝土的质量证明文件；

4 桩位测量放线图及工程桩位线复核验收证明；

5 桩身完整性检测报告及单桩承载力检测报告；

6 柱身及其焊缝质量检测报告；

7 围护结构质量、渗漏水检测及缺陷处置等基坑开挖前的条件验收记录；

8 基底验槽及地基基础验收记录；

9 原材料及半成品出厂合格证明材料和进场复试检测报告；

10 钢筋焊接、机械连接、植筋等接头试验检测报告；

11 混凝土工程施工记录；

12 混凝土强度和抗渗试验报告；

13 基坑降水及结构防水工程验收记录；

14 竖向支撑构件垂直度及扩底桩成桩有效尺寸的验收记录；

15 基坑工程监测记录；

16 隐蔽工程验收记录；

17 各检验批质量证明资料；

18 分部分项工程验收评定记录；

19 混凝土结构检测报告；

20 工程重大质量问题的处理方案和验收记录；

21 其他必要的文件和记录。

6.2.6 工程观感质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的相关规定，现浇结构外观质量缺陷判定不应有严重或一般缺陷。

6.2.7 逆作法地下工程施工质量验收合格后，应按有关规定将验收文件存档备案。

本规程用词说明

1　为便于在执行本标准（规范、规程）条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2　条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1 《建筑结构荷载规范》GB50009
2 《混凝土结构设计规范》GB50010
3 《钢结构设计标准》GB50017
4 《地下工程防水技术规范》GB50108
5 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202
6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204
7 《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205
8 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300
9 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476
10 《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497
11 《钢结构焊接规范》GB50661
12 《钢筋焊接及验收规程》JGJ18
13 《建筑地基处理技术规范》JGJ79
14 《建筑桩基技术规范》JGJ94
15 《建筑基桩检测技术规范》JGJ106
16 《钢筋机械连接技术规程》JGJ107
17 《建筑基坑围护技术规程》JGJ120
18 《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ138
19 《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432
20 《咬合式排桩技术标准》JGJ/T396
21 《钢筋混凝土地下连续墙施工技术规程》DB29-103
22 《建筑基坑工程技术规程》DB29-202
23 《建筑基坑降水工程技术规程》DB/T29-229
24 《岩土工程勘察规范》DB/T29-247
25 《基坑工程地下水回灌规程》DB/T29-252

天津市工程建设标准

逆作法地下工程技术规程

DB/T29-278-2020
J15260-2020

条文说明

2020　天　津

编制说明

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查分析，认真总结了十余年以来天津市地下工程逆作法实施的实践经验，同时参考了外省市先进技术和技术标准。

为减少规程篇幅并避免重复，本规程重点突出与基坑逆作法相关的内容，与常规基坑做法相同的内容以引用现行国家标准或天津市相关标准为主；另本规程不再纳入相关“地上地下结构同步施工”的规定及要求，以引用现行行业标准《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432 为主。

为便于设计、施工、科研等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《天津市逆作法地下工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了条文说明，对条文规定的目的、依据、执行中需注意的有关事项等进行了说明，但本条文说明不具备与规范与正文同等的法律效率，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目　次

1　总则 644

2　术语 655

3　基本规定 677

4　设计 70

4.1　一般规定 70

4.2　计算 70

4.3　围护结构设计 733

4.4　竖向支承桩柱设计 766

4.5　节点及连接构造设计 866

4.6　水平结构设计 933

4.7　竖向侧墙结构设计 955

4.8　结构缝及防水设计 966

4.9　地下水控制及对周边环境的保护设计 1000

5　施工 1044

5.1　一般规定 1044

5.2　基坑降水施工 1055

5.3　围护结构施工 1088

5.4　地下竖向支撑桩柱施工 110

5.6　竖向侧墙结构施工 113

5.7　土方开挖 113

5.8　构件节点连接施工 115

5.9　结构缝及防水施工 116

5.10 监测 119
5.11 施工作业安全与作业环境控制 120
6 工程质量检测与验收 121

1 总则

1.0.3 本规程是在总结近十年来天津市典型逆作法地下工程科研成果及实践经验、教训的基础上，对与逆作法地下工程密切相关且能体现天津地区特点的设计、施工、质量检测与验收的内容进行规定。限于篇幅同时为避免与其他现行标准重复，在《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432中有详细规定和说明的内容、以及与非逆作法地下工程相同的常规做法且在相关规程规范中有规定的内容，本规程不再纳入，具体应用时按相应的标准执行。

2 术语

2.1.1 根据地下结构板梁或水平受力构件的施作时机、顺序以及对基坑开挖阶段围护结构的支撑作用范围的不同，逆作法地下工程可分为全逆作法和部分逆作法。逆作法宜用于施工场地狭窄、周边环境保护要求高、地上地下结构同步施工可加快建设速度的地下工程，也可用于有特殊要求或处于交通道路下方要求尽量减少对地面交通影响的地下工程。

全逆作法是指地下结构施工过程中，全部利用地下各层水平结构替代水平内支撑，自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的施工方法。其施工顺序为先施工围护结构、中间桩柱、顶盖板（转换层板），后按开挖顺序自上而下施工地下结构（图 1）。

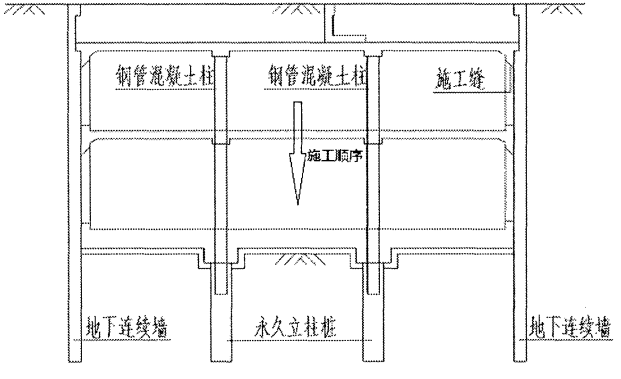


图 1 全逆作法（示意）

部分逆作法是指地下结构施工过程中，部分利用地下水平结构替代水平内支撑，自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的

施工方法（图 2）；或者利用基坑内沿四周临时保留的局部土方对围护结构形成水平支撑，基坑中部采用顺作法施工，待中部结构施工完成后，基坑边部自上而下施工地下结构并与该部基坑开挖交替实施的施工方法（图 3）。

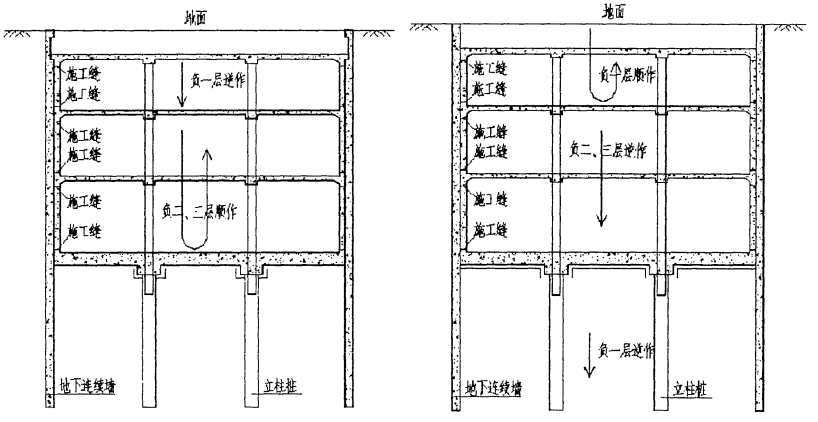


图 2　部分逆作法（示意）

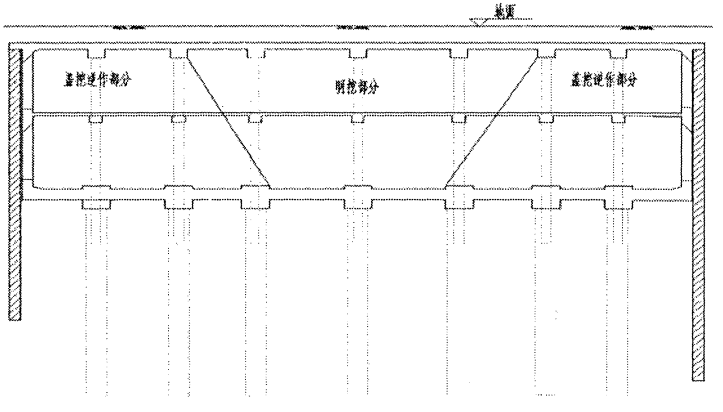


图 3　部分逆作法（示意）

3 基本规定

3.0.1 逆作法地下工程勘察大纲制定前，应由设计单位向勘察单位进行设计方案交底，重点对拟建工程结构特征、最大柱荷载、基础类型及埋置深度，围护结构类型及深度，立柱桩承载力要求及差异变形控制标准等技术方案和设计对勘察其他要求进行技术交底，勘察单位据此完成有针对性的勘察大纲。

逆作法地下工程勘探孔深度较深，目前常规使用的工程地质钻探、取样、测试工艺存在一定的局限性，例如深部原状土样（特别是软土）的采取易造成扰动、砂土取样容易失水以及取出土样的应力释放等问题，对地层分布的准确鉴别和室内试验结果均会有较大的影响；对于深部地层的原位测试，如标准贯入试验、重型动力触探试验，由于深度越大，能量损失越大，造成试验结果的准确性下降，同时对深部砂卵石的适用程度也需要进一步探讨；其他原位测试方法，由于试验设备的限制，也只能测试到一定深度，需要改进现有的测试方法，采取辅助措施获得深层土体的测试参数。鉴于上述单一方法及手段已经不能满足目前天津市逆作法工程勘察要求，故本条规定要求采用多种勘探、测试手段，获得设计施工所需的土层物理力学指标、原位测试参数，指导工程建设。

专项水文地质勘察工作是天津地区逆作法工程勘察重点之一，对深基坑地下水控制及地下结构抗浮非常重要，包括水文地质钻探、物探、水文地质试验、水质分析、地下水动态观测等，其中水文地质试验为专项水文地质勘察的主要手段，抽水试验是主要的水文地质试验。抽水试验应根据岩土层特性和工程需要确定抽水井孔径、孔深及过滤器类型和安放深度，对基坑工程和抗浮设计影响范

围内主要含水层进行分层抽水试验，分层测定地下水位、渗透系数和单孔（井）涌水量；对水文地质条件复杂场地和环境复杂的工程宜进行群孔（井）抽水试验，测定影响半径、释水系数、给水度、越流系数等水文参数。

天津地区逆作法工程的竖向支撑结构一般采用一柱一桩，单桩竖向荷载很大，桩长很长，柱子在底板（或楼板）浇筑前约束较弱，桩基础与上部结构对地基变形十分敏感，但因超深桩基相关的勘察设计施工等经验相对较少，设计所需的岩土力学参数勘察很难提供（很多仅能提供参考值），导致设计对基底地基承载力及变形、基底地基整体稳定性、桩基变形等的验算值与工程实际偏差较大。鉴于逆作法工程有以上特点，强调天然地基、复合地基及桩基的承载力和变形的力学参数都应通过原位载荷试验最终确定，且其试验和检测条件尽可能与现场施工时的应力途径相符。

3.0.2 考虑到逆作法地下工程的勘察与目前明挖深基坑的勘察要求大部分相同，本规程仅将与本市逆作法地下工程特点有关的勘察进行了规定，其他内容应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021、天津市地方标准《岩土工程勘察规范》DB/T29的相关规定。

对于宽大逆作法基坑工程，勘探点宜布置在永久柱及围护结构附近位置；对于细窄条基坑，勘探点宜布置在围护结构外侧。对于采用一柱一桩的竖向支撑结构，桩位处的控制性勘探孔孔深应为桩入土深度与压缩层厚度之和，但考虑到逆作法单桩压缩层厚度计算模式欠缺，高压固结压力难以确定，室内试验压缩模量不合理，控制性孔深较难合理确定，所以本条规定最小入土深度不得小于 5d（d 为桩底直径）。

3.0.4 本条是结合天津地区逆作法地下工程的实践经验规定。

3.0.8 地上地下结构同步施工是指以界面层（通常为地面首层或地下一层）为施工界面，在向下逆作施工地下结构的同时向上施工上

部结构。该部分内容在《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432中有详细规定和说明，故本规程不再重复规定。

3.0.9 逆作法基坑工程不确定因素较多，设计阶段因与基坑计算有关的土力学参数取值存在较大不确定性或缺少关键性的力学参数（如回弹模量及原位测试力学参数），导致理论计算结果与现场实际情况之间往往存在较大差异；施工阶段因施工质量的不确定性、施工工况差异性，均会导致基坑围护体系、地下结构和周边环境产生不同的应力及变形。

为实现逆作法地下工程施工全过程基坑安全、结构安全及周边环境安全的目的，需要掌握施工全过程中基坑围护体系和地下结构的应力及变形、周边环境的变形，故本条规定要采取有效的施工监测手段，获得施工全过程的相关应力及变形参数，动态施工，确保安全。

3.0.10 地下工程逆作法施工多为在相对封闭的空间内作业，特别是在大量采用柴油、汽油发动机驱动的机械进行土方开挖施工情况下，地下空气污染相对严重，在自然通风难以满足要求的情况下，需要通过机械强制通风排气来保证作业环境满足施工要求。

逆作法工程废气的来源有施工机械排出的废气、施工人员的呼吸换气、有机土壤与淤泥质土壤释出的沼气、焊接或热切割作业产生不利人体健康的烟气，以及其他施工作业产生的粉尘、煤烟和废气等。逆作法工程通风排气设计流程为：计算地下室容积→确定换气量→合并通风排气→选择通风设备，确定数量并合理配置。

此外，封闭空间光线及亮度较差，应设置照明设施。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 逆作法地下工程设计过程中，首先应进行总体设计（方案设计），确定逆作法地下工程的重大方案。总体设计也是结合天津地区逆作法工程实践经验的概念设计，本条针对总体设计中最重要的概念设计内容进行了规定。

4.1.3 逆作法地下工程竖向支撑桩柱一般分为永临结合的竖向支撑桩柱和临时竖向支撑桩柱，从近10年天津市逆作法地下工程实践来看，竖向支撑桩柱均采用“一柱一桩”的支撑形式，即永临结合时采用永久立柱插入工程桩的“一柱一桩”支撑形式，临时竖向支撑采用临时格构柱插入立柱桩的“一柱一桩”支撑形式。

4.2 计算

4.2.1 本条主要针对逆作法施工阶段基坑及围护结构，永临结合主体结构的计算和验算内容进行了规定。

本条第1款第3项：逆作法竖向支撑一般有围护结构和中间立柱，在开挖过程中，中间立柱之间或中间立柱与围护结构之间的差异变形对已施工地下结构的受力、变形影响很大，尤其是对于宽大逆作基坑施工，中间桩柱隆起量很大，差异沉降大，对已施工地下结构影响更甚。根据天津站交通枢纽工程、于家堡交通枢纽工程、天津机场交通中心工程的监测数据和经验，逆作法地下工程施工过

程中，坑底土体卸荷与回弹、以及被落底式隔水帷幕分隔的坑内微承压水隆起等引起的相邻立柱之间、立柱与围护墙之间的隆沉差异数值比较大，对地下结构的受力影响较大，如于家堡综合交通枢纽等基坑，在中间柱桩有效长度达40m时（地面起算长度达60～70m），开挖阶段中间桩柱隆起最大达50～70mm，中间立柱之间、中间立柱与围护结构之间的差异变形均较大，对地下结构层板产生了较大附加内力，故本条规定要进行竖向支撑柱桩隆沉计算，以及竖向支撑柱之间、柱与围护结构之间的差异沉降计算。设计施工中应采取有效措施控制差异沉降，减少对结构造成的损害。

4.2.2 常规基坑围护结构及支撑体系的内力及变形计算，设计一般选取单侧侧壁断面进行平面计算。但对于基坑平面形状不规则、深度上存在坑中坑以及地下层板中有较大孔洞等空间效应较明显的逆作法基坑工程，采用常规计算方法无法反映水平和竖向支撑结构实际的受力和变形情况，宜采用考虑空间作用和施工顺序的三维空间有限元仿真分析计算；对于重要的逆作法基坑工程，仅采用常规的设计计算方法，也无法满足基坑施工安全和变形控制的要求，需设计同时采用考虑空间作用和施工顺序的三维空间有限元仿真分析计算，将平面与三维计算结果互相对照验证，采用确保安全、经济合理的围护结构及支撑体系设计方案。

逆作法地下工程在基坑开挖阶段与永久使用阶段的荷载状况和结构受力有较大区别，因此对主体结构应分别进行设计计算与验算，同时满足各种工况下的承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。考虑到围护结构及支撑体系内力和变形在施工阶段为控制阶段，但主体结构部分构件的内力和变形控制阶段为施工阶段，部分构件的内力和变形控制阶段为使用阶段，因此主体结构的计算应分别按施工阶段和使用阶段进行计算，施工阶段的计算应采用增量法原理进行计算，使用阶段的计算应采用全量法原理进行计算，取两阶段中最不利数值进行结构设计，确保主体结构安全。

4.2.3 逆作法地下工程施工阶段，支护结构外侧的土压力一般采用主动土压力，当周边环境保护要求较高，需要对支护结构水平位移有严格限制时，宜采用静止土压力。

地面超载指坑外的临时荷载。基坑周边影响范围内因施工引起的地面超载不超过20kPa时，设计计算宜按20kPa考虑；当有重型吊装设备或施工堆放荷载等超过20kPa工况发生时，应根据实际荷载位置及大小考虑。

基坑开挖影响范围一般情况下取基坑边外不小于3倍基坑开挖深度。影响区内有建（构）筑物存在时，土压力计算尚应考虑该建（构）筑物附加应力对围护墙产生的水平荷载。

当大面积枢纽逆作法基坑采用分仓开挖时，后施工基坑工程的开挖或降水施工对先施工完成的基坑工程及主体结构产生水平荷载及作用；逆作法基坑工程周边有邻近工程施工时，邻近基坑工程的开挖或降水对逆作法基坑工程产生水平荷载及作用；以上两种工况设计计算中应适当考虑，避免工程事故发生。

对搬运和装卸材料、车辆启动和刹车等动力效应，可按静力方法计算，将材料或车辆设备的自重乘以1.1～1.3的动力系数。结构计算时，动力荷载只传至直接作用的楼板和梁。

采用现浇钢筋混凝土的主体结构，收缩及徐变影响可按当量降温值4.5℃计算其作用。

逆作法基坑开挖过程中对已施作的主体结构，应按照立柱桩的差异沉降允许值或立柱桩的实测沉降值，进行内力和变形的复核。结构分析表明，当地下墙与中间支承柱以及相邻中间支承柱的沉降差超过20mm时，在水平结构中将产生过大的附加应力。现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012规定，在主体结构底板施工之前，立柱基础之间及立柱基础与地下连续墙之间的差异沉降不宜大于20mm，且不宜大于柱距的1/400，故本规程做相应规定。

地上地下结构同步施工时，竖向支承桩柱在逆作期间的竖向荷

载尚应考虑由于地上结构在风荷载作用下对竖向支承桩柱产生的附加轴力。

4.3 围护结构设计

4.3.1 结合天津市基坑围护结构选型的习惯做法和相关规定，逆作法基坑深度超过14m时，围护结构宜优先采用实践经验多、施工工艺成熟的地下连续墙；当深度小于14m时，宜采用地下连续墙、咬合桩或SMW桩等围护结构。

围护结构与主体结构的结合形式有复合式和叠合式两种形式，当围护结构采用地下连续墙并与主体结构外墙相结合时，可采用单一墙、复合墙或叠合墙结构形式（图4）。

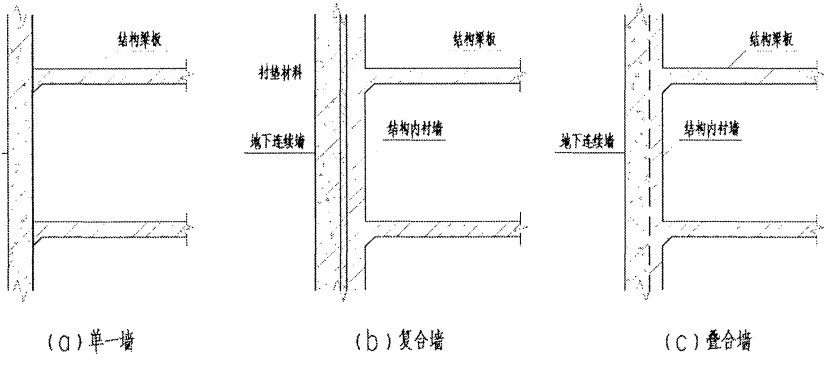


图 4 地下连续墙与主体结构外墙的结合形式

1 单一墙：仅用地下连续墙作为地下结构外墙，墙体应同时满足基坑开挖和永久使用两种不同阶段的受力和变形要求。单一墙一般应用在地下水位低、坑外土体渗透性弱、地下室埋深浅等情况，其槽段接缝位置应设置钢筋混凝土壁柱，且内侧应设置防潮层或砌体衬墙。采用单一墙时，地下连续墙在施工与使用阶段均应作为独

立构件进行验算。

2 复合墙：地下连续墙作为地下结构外墙的一部分，与内侧设置的钢筋混凝土内衬墙间用防水板隔离，两者之间结合面不承受剪力。永久使用阶段的墙体内力宜按地下连续墙与内衬墙的刚度比例进行分配。复合墙一般应用在地下结构防水要求高、主体结构与围护墙受力相对独立的情况。采用复合墙时，逆作施工阶段地下连续墙单独进行计算，使用阶段内衬墙与地下连续墙作为两个构件同时承担侧向水平力，截面计算时按各自的抗弯刚度分配内力，按两个独立的构件计算。

3 叠合墙：地下连续墙作为地下结构外墙的一部分，与内侧设置的钢筋混凝土内衬墙间浇筑成整体，两者之间结合面可承受剪力。叠合墙一般应用在围护墙与主体结构的整体性要求较高的情况，其使用阶段计算要求的墙体厚度可取地下连续墙与内衬墙厚度之和。采用叠合墙时，地下连续墙墙体内表面应进行凿毛处理，并留设剪力槽和插筋等预埋措施，确保与内衬结构墙之间剪力的可靠传递；逆作施工阶段，地下连续墙单独进行计算，使用阶段内衬墙和地下连续墙作为一个整体构件计算刚度，计算时可按叠合构件计算。

根据天津地区工程地质及水文地质条件，并给合既有工程经验和习惯做法，本条规定逆作法地下工程地下连续墙与主体结构间宜采用复合墙结构形式。

4.3.2 按现有地下连续墙成槽机施工设备能力，最大成槽宽度可达1600mm，常用成槽宽度规格为600mm、800mm、1000mm和1200mm，最大成槽开挖深度为140m。

对环境条件要求高、槽段深度较深以及槽段形状复杂的基坑工程，应通过槽壁稳定性验算，合理划分槽段的长度并确定相应的施工工艺。

槽段接头设计需满足结构受力及变形要求，并根据基坑深度、

水文地质条件、接头形式设置可靠的抗渗和止水措施。

地下连续墙深度范围内应全长布置纵向钢筋；因隔断承压水层而需要加深的部分，可采用仅布设构造钢筋的素混凝土。当地下连续墙纵向钢筋配筋量较大，钢筋布置无法满足净距要求时，为使混凝土浇筑密实，实际工程中常采用将相邻两根钢筋合并绑扎的方法调整钢筋净距。

4.3.3 根据国内外相关研究和大量的工程实践，地下连续墙竖向承载力按钻孔灌注桩的竖向承载力计算公式进行估算时，基坑深度范围内地下连续墙的竖向承载力按安全储备考虑，仅考虑基坑开挖面以下入土深度，墙身截面有效周长应取与周边土体接触部分的长度。

地下连续墙成槽形状多为矩形，与圆形的钻孔灌注桩相比，成槽过程中槽壁稳定性较差，更容易产生墙底沉渣；考虑到天津地区细颗粒砂层较厚，当地连墙较深时，实测沉渣速率较快，虽然在灌注地连墙混凝土前进行了清孔，但沉渣还是很快就达到一定厚度，该沉渣层的存在，直接影响墙端阻力的发挥，加大了墙体竖向沉降，故本条规定宜采取墙底注浆措施，提高地下连续墙的竖向承载能力，同时控制沉降。

4.3.5 咬合式排桩的桩间咬合量应满足桩身抗剪和防渗漏的要求，并应考虑桩身垂直度和桩位偏差对咬合厚度的影响，保证桩底最小咬合厚度。桩底最小咬合厚度是确保桩墙结构不产生渗漏的最低要求。从已有的工程实践来看，桩间理论咬合量通常为200mm～400mm，考虑施工定位误差和垂直度误差后的桩底最小有效咬合厚度不应小于100mm。

4.4 竖向支承桩柱设计

4.4.1~4.4.3 竖向支承桩柱是逆作法地下工程中非常重要的构件之一，其选型与设计是概念设计中的重要内容，要经过技术经济比选确定。中间竖向支撑立柱和立柱桩的位置和数量，要根据建筑柱网布置和结构受力计算确定。

中间竖向支撑桩柱的计算或验算内容主要为桩和柱的承载力、稳定性和变形。桩柱施工期间承受的最大竖向荷载，是地下结构已修筑至最下一层，而地面上已修筑至规定的最高层数时的结构构件重量与施工超载的总和（无地面结构时，其承受的最大荷载，是地下结构已修筑至最下一层所有结构构件重量、顶板水土荷载、以及所有施工超载的总和）。

逆作法地下工程中的中间竖向支承桩柱分为临时支撑桩柱和永临结合的支撑桩柱。临时支撑柱在逆作施工完成后要与永久立柱进行竖向力系转换，设计要明确拆除方式以及受力转换设计要求。永临结合的支撑柱虽不需进行竖向力系转换，仅需在设计之初应进行立柱型式、截面及刚度与主体结构梁的协调设计（如型钢立柱与钢筋混凝土梁的协调设计就非常重要），同时应满足使用阶段要求。

逆作施工阶段的临时格构柱和型钢柱要变为永久使用阶段的型钢混凝土组合柱时，逆作结束后应外包混凝土，外包混凝土厚度应考虑钢立柱的垂直度误差，最小有效厚度不得小于100mm；逆作施工阶段钢立柱的计算按普通钢结构进行设计，使用阶段应按型钢混凝土组合柱设计。

4.4.4 本条仅对逆作施工阶段的立柱计算作了相应规定，逆作施工完成后，立柱（包括后期外包混凝土形成的立柱）作为永久使用阶段的主体结构柱的计算，尚应满足主体结构设计的相关要求。

1 立柱在逆作施工期间各工况的内力和变形计算，应采用与

实际施工相对应工况的分析计算结果。分析计算模型可按本规程4.2节规定选用三维整体分析仿真计算模型或平面计算模型；对于地上地下同步施工的逆作法地下工程，宜采用三维整体分析仿真计算模型，模型中应考虑对应工况的已建地下结构层板、水平支撑结构及地上已施工的结构楼层。计算分析模型中立柱与层板的约束，可根据两者之间的节点构造形式，钢筋或型钢的连接形式，选取与实际受力状态相符的约束工况，一般可选取刚接或铰接约束，也可选取半刚半铰接约束。

2、3 逆作阶段竖向立柱进行截面承载力计算和稳定性验算时，应计入施工偏心误差引起的附加弯矩。立柱施工偏心误差应按临时立柱和永久立柱各自允许的平面定位偏差和垂直度偏差确定。

支撑柱垂直度误差允许计算，以永临结合的钢管混凝土立柱为例，平面定位允许偏差应为10mm，垂直度允许偏差应为1/500，按10m长的钢管柱计算，施工允许偏差应为10+10000/500=30mm，按截面尺寸的1/25取值，钢管柱直径为600mm（800mm）时对应的数值为24mm（32mm）。按20m长的钢管柱计算，施工允许偏差应为10+20000/500=50mm，按截面尺寸的1/25取值，钢管柱直径为800mm（1000mm）时对应的数值为32mm（40mm）。按25m长的钢管柱计算，施工允许偏差应为10+25000/500=60mm，按截面尺寸的1/25取值，钢管柱直径取1000mm（1200mm）时对应的数值为40mm（48mm）。综上分析可得，永久钢管混凝土立柱施工允许偏差基本上都能超过30mm，另从30mm和偏心方向截面尺寸的1/25两者数据比较来看，基本上施工允许偏差值都能大于截面尺寸的1/25数值。

临时格构柱的平面定位偏差和垂直度偏差比永久立柱的更为宽松，施工允许偏差值与截面尺寸的1/25数值相比，后者更不控制。

结合立柱的施工和受力特点及现有工程经验，施工偏心误差值基本都能大于30mm和偏心方向截面尺寸的1/25数值，故规定立柱

施工偏心误差值不应小于30mm 和偏心方向截面尺寸的1/25两者中的较大值。

4 考虑到逆作基坑挖土阶段，临时支撑柱易受到挖土等施工机械设备碰撞，导致损坏或失稳，为避免因局部竖向支撑失稳导致整体竖向支撑依次连续失稳，规定临时支撑柱宜按《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计标准》GB50017中的相关规定进行防连续倒塌复核，增加临时支撑柱的冗余度。

5 竖向立柱作为典型的双向偏心受压构件，其承载力计算涉及结构的稳定问题，侧向约束状态是决定立柱稳定承载力的主要因素。在逆作施工阶段，立柱上部受到已施工楼盖结构（层板结构）的侧向约束，立柱下部受到未开挖土体的侧向约束。由于逆作法作业流程的复杂性，不同土方开挖阶段、不同施工工况条件下立柱所处的侧向约束状态是不同的、变化的，立柱的稳定性与承载力也是不断变化的，因此，支撑柱计算长度的确定以及稳定性验算与承载力计算，必须按照不同工况条件下依据不同的侧向约束状态分别进行分析，并按最不利工况进行截面设计。

由于支撑柱侧向约束状态的复杂性，其计算长度的确定和压弯稳定承载力的计算目前尚无准确的理论计算方法。实际设计时可采用三维有限元仿真模拟计算，也可按经验确定计算长度，用理论公式计算压弯稳定承载力。当采用三维有限元仿真模拟计算时，用梁单元模拟立柱和下部混凝土立柱桩，板（壳）单元模拟层板结构，采用弹簧单元模拟周围土体的侧向约束作用，据此建立有限元模型，并考虑按第一阶屈曲模态模拟立柱因施工等原因造成的初始缺陷，对立柱和下部立柱桩进行几何非线性屈曲分析，计算得到的立柱稳定承载力可较好地反映立柱受水平支撑结构和下部土体侧向约束等因素的影响。当采用理论公式计算压弯稳定承载力时，各工况下，竖向支撑柱计算长度 l_0 可按下列公式计算：

$$l_0=\mu l$$

除开挖最后工况外，$l=max\{1.2H,\ (H+2)\}$，开挖最后工况，$l=H$。

式中：l_0——支撑柱的计算长度；l——支撑柱逆作阶段各工况下的几何长度；

H——结构层板对支撑柱侧向约束条件较好时，可按已完成的最下层地下水平结构底至挖土面的距离选取，结构层板对支撑柱侧向约束条件较差时，如支撑柱与层板连接处存在大孔洞或较多开孔，对立柱侧向约束影响较大，可按已完成的次下层地下水平结构至挖土面的距离选取；

μ——考虑柱端约束条件的计算长度系数，两端铰支时取 1.0；一端固定一端铰支时取 0.7，两端固定时取 0.5。

当竖向支承桩超灌高度以上的桩孔与支撑柱之间的空隙采用碎石回填时，各开挖工况下的竖向支承柱下端约束可作为铰支考虑。

天津地区逆作法地下工程中，钢管柱与顶纵梁通常采用半铰半刚的连接方式，基于这种设计构造，本规程考虑了两种最不利的控制工况：第一种为支承桩超灌高度以上的桩孔与支承柱之间的填充效果较差，如支撑柱节点环板、剪力销等连接件较多处桩孔与连接件之间的空隙未采用注浆加固或其他可靠充填措施时，顶板覆土完成后开挖前的工况；第二种为土方开挖过程中临近出土进料孔或大型永久孔洞的支撑柱（各层板对支撑柱的侧向约束较弱），开挖到基底且底板未施作前的工况。以上两种工况的计算长度均可按顶梁底至工程桩顶的距离选取。

4.4.5 立柱在基坑逆作阶段受力较大，其截面承载力通常由稳定承载力控制。对立柱和立柱桩施工时形成的桩孔在混凝土超灌高度以上部分的空隙进行密实回填，是为了保证逆作阶段开挖面以下土体对立柱的侧向约束作用，提高立柱稳定承载力，防止出现失稳破坏。

立柱与桩孔之间的空隙回填密实要求应与逆作施工阶段立柱

的计算假定相匹配，也即与立柱的侧向约束假定匹配，一般要求采用5~25mm的级配碎石回填密实，如钢立柱节点的环板、剪力销很多，且与桩孔之间剩余空隙较少，施工很难回填密实，而设计又需要立柱的侧向约束较强时，宜在桩孔内留设注浆管，待级配碎石回填后进行注浆填充。

4.4.6 竖向支撑钢立柱由于柱中心的定位误差、柱身倾斜、基坑开挖或浇筑桩身混凝土时产生位移等原因，会产生立柱中心偏离设计位置的情况，过大偏心不仅造成立柱承载能力的下降，而且也会给正常使用带来问题，结合常规施工实践经验，本条对立柱的定位精度和垂直度偏差作出规定，作为设计计算的依据。

永久钢管混凝土立柱平面中心定位允许偏差是泛指钢管柱测量放线定位和安装精度造成的中心位置与理论设计位置的施工偏差值，本条规定特指逆作施工阶段实际钢管柱中心位置与顶纵梁（或转换层板转换梁）中心线施工偏差值；与桩基础中心线定位允许偏差应为5mm，是指采用传统两点定位法时，钢管柱测量放线定位和安装精度造成的中心位置与已施工完成的桩中心位置的施工偏差值。

垂直度施工偏差允许值系结合逆作法钢管柱的安装定位方法及现有的施工技术水平，参照天津市已施工完成逆作法工程钢管柱安装偏差统计结果和现行国家标准《地铁设计规范》中相关规定，确定为1/500。

液压垂直插入钢管法，是竖向支承柱后插法中应用较为成熟的一种高精度钢立柱安装工法，该工法安全、高效、较为经济，且克服了常规方法不能进行纠偏的不足，使钢立柱的安装垂直度精度能达到1/500甚至更高，是目前最先进的逆作法插钢立柱的施工方法之一，推广应用价值极高。液压垂直插入钢管的定位工法已在于家堡交通枢纽工程、机场交通中心等工程中成熟使用，实践效果良好，故本条规定竖向支撑钢管柱可按液压垂直插入钢管的定位工法进

行设计。

4.4.7 临时立柱桩浇筑过程中，混凝土导管需要穿过钢格构柱，如果角钢格构柱边长过小，放置在格构柱中的导管上拔过程中容易被卡住；如果永久钢管混凝土柱内径过小，则钢管内混凝土浇捣时混凝土导管难以下放和上拔，且浇捣质量难以保证，因此需要对角钢格构柱的最小边长和钢管混凝土柱钢管的最小直径进行规定。

4.4.8 本条第1款系按天津市地方标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202规定采用；第2款、第3款内容系按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017规定采用。

4.4.10 本条第2款、第3款内容系按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936规定采用；第4款系按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120与天津市地方标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202规定，同时考虑到逆作法施工阶段竖向支撑柱荷载较大，且要承担一定的弯矩，因此规定立柱长细比不宜大于20，不应大于25。

4.4.12 逆作阶段的立柱和立柱桩承担的竖向荷载大，且逆作阶段先行施工的地下和地上结构对立柱桩的差异沉降十分敏感，故规定立柱桩的桩基设计等级为甲级。

立柱桩选型宜采用灌注桩，这是基于对上部钢立柱与下部立柱桩之间能确保连接可靠和方便现场施工等因素考虑。

地下结构底板在逆作阶段尚未形成时，与永久使用阶段相比，由于缺少底板的协调作用，已完成结构对立柱桩不均匀沉降尤其敏感，故要求立柱桩（如设变形缝的话，则应为同一沉降单元的立柱桩）桩端持力层性质宜一致，不应选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层，并宜采取桩端、桩侧后注浆等既能提高承载力又能减小沉降的措施。

天津地区已有多个工程采用旋挖扩底灌注桩技术，该技术成熟且可靠性较高，在较大地提高了单桩竖向承载力的同时减少了桩基

有效深度，适宜作为逆作法荷载较大立柱的桩型。

4.4.16 单桩竖向承载力计算方法很多，原理基本统一，关键在于岩土参数取值。《建筑桩基技术规范》JGJ94中原位试验静力触探单桥法、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363中关于桩基极限承载力的计算方法均适用于立柱桩的极限承载力计算，但考虑到目前地勘报告中，岩土参数取值与实际相差较大，导致承载力理论计算与实际相差较大，所以对于逆作法工程桩竖向极限承载力，在施工图设计阶段，一般不推荐公式计算确定，而建议采用最为可靠的现场静荷载试验。

逆作法立柱桩荷载吨位大，静载荷检测难度非常大，目前常用的方法有地面加载法、自平衡法、自平衡+锚桩的联合试验法、套管试桩法、坑底试桩法等。自平衡方法检测往往由于平衡点难以确定，荷载箱上下段变形不协调，应用受到限制；坑底试桩法，考虑到工期、实施难度等因素，一般不采用；套管试桩法对于荷载吨位太大的立柱桩，静荷载试验应用也较少；目前天津立柱桩单桩抗压承载力静荷载试验多采用自平衡+锚桩的联合试验法，即一般将荷载箱布置在工程桩顶标高处，同时结合锚桩进行试验，其结果更可靠。

近年来，逆作法基坑越建越深，软土地基超深开挖产生的卸载效应，显著减小桩身法向应力，导致桩侧摩阻力下降，从而使桩的极限承载力（抗压、抗拔）显著降低。关于软土地基深开挖对工程桩承载特性的影响程度，目前这方面的试验资料很少，有人做了些有限元模拟分析，如模拟常规试桩法（即地面加载法，加载量Q需扣除坑底以上摩阻力，变形量s需扣除坑底以上桩的压缩量）、套管试桩法（即加双套管，并在地面进行加载，Q不需要扣除坑底以上摩阻力，变形量s需扣除坑底以上桩的压缩量）、坑底试桩法（即开挖后坑底进行加载）等三种不同试桩方法的加载变形Q-s曲线，分析结果表明：坑底试桩法得到的单桩极限承载力，显著低于地面

试桩法经修正后的试桩结果。因此，深厚软土地基深基坑工程中的立柱桩设计时，如有地面、坑内试桩足够的数据支撑，应充分考虑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起对桩侧摩阻力和单桩承载力的影响；否则，宜适当考虑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起对桩侧摩阻力和单桩承载力的影响。

单桩竖向承载力静载荷试验一般在基坑开挖前进行，为此需将试验桩的桩顶标高延伸至自然地坪，抗拔承载力试验结果应扣除基坑开挖段的桩体自重和土体侧摩阻力（如有）。

4.4.17 深基坑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起，可能使立柱桩桩身因负摩阻力产生拉力，立柱桩桩身配筋需考虑桩身受拉作用的影响。

4.4.18 立柱桩的桩基沉降验算是逆作法地下工程设计中非常重要的一个环节，在逆作施工阶段和正常使用阶段，桩基有不同的受力工况和侧向约束条件，故应分阶段分工况分别验算，取最不利工况的桩基沉降验算值进行桩基之间、桩基与地下连续墙之间的差异沉降控制，确保地下结构体系的安全和正常使用。

逆作施工阶段立柱桩的桩基沉降，考虑到大吨位超深单桩的压缩层厚度计算模式欠缺、高压固结压力难以确定、室内试验压缩模量不合理等问题，理论计算与实际相差较大；同时尚应考虑大面积宽大基坑坑底土体开挖卸荷与回弹以及被落底式隔水帷幕分隔的坑内微承压水等引起隆起变形的影响，但该影响用理论计算确定的数值与实际相差也很大。鉴于此，本条对逆作施工阶段立柱桩的桩基沉降验算进行了专门的规定，对“一柱一桩”型式的桩基，首选采用最为可靠的拟建工程桩基现场静荷载试验或参考类似条件下桩基试桩报告进行估算；对“一柱多桩”型式的桩基可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中的等效作用分层总和法进行沉降量验算。

针对“一柱一桩”型式的桩基沉降计算，按有无工程试桩报告分

为以下二种计算方法：

第一种计算方法（有工程试桩报告）：逆作施工阶段立柱桩基沉降验算时，对采用“一柱一桩”形式且柱网间距较大时，一般可不考虑群桩效应影响；桩基验算沉降量，可根据相同条件下的单桩静载荷试验得到的Q-s曲线，取荷载效应标准组合作用下的桩顶轴向力N_k所对应的桩顶沉降S_a（多根桩试验数据的平均值）除以试桩沉降完成系数ξ后的值，并结合试桩方法适当考虑坑底土体回弹隆起对沉降的影响后，作为立柱桩桩基的验算沉降量。由于静载荷试验加载时间相对较短，试验期间桩沉降尚未完全完成，故引入试桩沉降完成系数ξ参数，来完善和修正Q-s曲线。结合已有工程经验，当持力层为基岩时，可取ξ=0.9；持力层为砂土、碎石类土层时，可取ξ=0.7～0.8；持力层为粘性土、粉土时，可取ξ=0.5～0.7。当采用地面加载试桩法、套管试桩法时，可不考虑坑底土体回弹隆起对沉降的影响；采用坑底试桩法（即开挖后坑底进行加载）时，应考虑坑底土体回弹隆起对沉降的影响。

第二种计算方法（无工程试桩报告）：按《建筑桩基技术规范》JGJ94中的分层总和法估算逆作立柱桩沉降，但应考虑坑底土体回弹隆起对沉降的影响。

在逆作施工阶段，立柱桩在上部荷载作用下将发生竖向变形。由于立柱桩之间以及立柱桩与周边地连墙之间的设计参数不同（如荷载不同、桩墙深度不同、直径不同、持力层不同等），都可能导致立柱桩之间、立柱桩与周边地连墙之间产生不均匀沉降，从而使水平结构梁板或支撑产生附加内力，引起裂缝出现，甚至影响结构体系安全。因此，立柱桩除满足承载力要求外，还必须控制不均匀沉降，使相邻立柱桩之间、立柱桩与地连墙之间的差异沉降控制在允许范围内。对桩基沉降敏感的结构，宜按照立柱桩的差异沉降允许值或立柱桩的实测沉降值，对主体结构内力和变形进行复核；当立柱桩动态监测沉降超过限值时，应对逆作主体结构内力和变形进

行复核。

4.4.20 目前大直径扩底桩结合后注浆技术在天津地区诸多工程中得到成功应用，扩底和后注浆可大幅度提高单桩承载力，承载力估算方法综合考虑了上述因素。

4.4.22 本公式为按承载力经验参数法确定立柱桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的公式。

大量扩底抗拔桩静载荷及模拟分析发现，扩大头对抗拔承载力的贡献主要是将纯侧阻抗拔力改变为侧阻与上拔端阻力的模式，其主要影响区域在扩底段倾斜面周围，环向约为扩底段上部 2h（h 为扩底段总长度），径向 1h，按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 以（4～10）d 范围按扩大直径估算抗拔承载力是偏于保守的，本次估算扩底桩抗拔承载力参考了类似工程实测结果取值。

当抗拔桩采用后注浆时，立柱桩单桩垂直抗拔极限承载力标准值计算公式中 q_{sik} 应考虑后注浆桩侧土层阻力修正。

4.4.23 根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T50046-2018 和行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251-2011 的相关规定，涂层防腐超长使用年限为 15 年以上，超过使用年限后应及时维修或重新涂装，确保满足 100 年的设计使用年限要求，故本条规定防腐涂层应满足使用年限大于 15 年的要求。

根据《建筑设计防火规范》GB50016-2014 和《钢管混凝土柱结构技术规范》GB50936-2014 的相关规定，地下工程钢管柱的耐火极限应为一级，即在钢管柱防腐层外可采用厚型防火涂料或其他防火措施后应满足耐火极限不小于 3.0h 要求。

4.5 节点及连接构造设计

4.5.4 水平结构与立柱的连接方式分别针对剪力传递和弯矩传递两个方面做了具体的规定，工程中的连接节点可以根据工程特点采用不同的剪力和弯矩传递方式进行组合。

2 当支撑柱为角钢格构柱、H 型钢柱时，弯矩传递常用的连接方法有钻孔钢筋连接法、传力钢板法或梁侧加腋法。

钻孔钢筋连接法是为便于框架梁主筋在梁柱节点的穿越，在角钢格构柱的缀板或角钢上钻孔穿框架梁钢筋的方法。该方法在框架梁宽度小、主筋直径较小以及数量较少的情况下适用，由于在角钢格构柱上钻孔对逆作阶段竖向支承柱截面有损伤的不利影响，因此该方法应通过严格计算，确保截面损失后的角钢格构柱截面承载力满足要求时方可使用。

传力钢板法是在格构柱上焊接连接钢板，将受角钢格构柱阻碍无法穿越的框架梁主筋与传力钢板焊接连接的方法。该方法的特点是无需在角钢格构柱上钻孔，可保证角钢格构柱截面的完整性，但在施工第二层及以下水平结构时，需要在已经处于受力状态的型钢上进行大量的焊接作业，因此，应对施工时高温下钢结构的承载力降低因素给予充分考虑，同时由于传力钢板的焊接，也增加了梁柱节点混凝土密实浇筑的难度。

梁侧加腋法是通过在梁侧面加腋的方式扩大梁柱节点位置梁的宽度，使得梁的主筋得以从角钢格构柱侧面绕行贯通的方法。由于需要在梁侧面加腋，梁柱节点位置大梁箍筋尺寸需根据加腋尺寸进行调整，且节点位置绕行的钢筋需根据实际情况进行定型加工，一定程度上增加了施工的难度（图 5）。

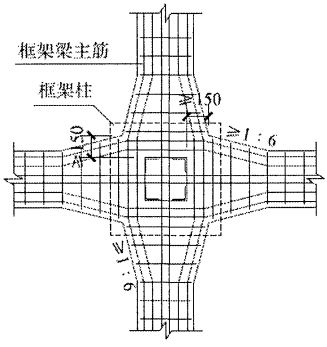


图 5　梁侧水平加腋示意图

3　与角钢格构柱不同，由于钢管混凝土柱为实腹式，其平面范围之内的梁主筋均无法穿越，其梁柱节点的处理难度更大。在工程中应用较多的连接节点主要有双梁节点（图 6）、环梁节点（图 7）、传力钢板、扩大节点（图 8、图 9）。

双梁节点即将原框架梁一分为二，分成两根梁从钢管柱的侧面穿过，从而避免了框架梁钢筋穿越钢管柱的矛盾。该节点适用于框架梁宽度与钢管直径相比较小，梁钢筋不能从钢管穿越的情况。

环梁节点是在钢管柱的周边设置一圈刚度较大的钢筋混凝土环梁，形成一个刚性节点区，利用这个刚性区域的整体工作来承受和传递梁端的弯矩和剪力。环梁与钢管柱通过环筋、栓钉或钢牛腿等方式形成整体连接，框架梁主筋锚入环梁，而不必穿过钢管柱的连接方式。该节点可在钢管柱直径较大、框架梁宽度较小的条件下应用。

传力钢板法是在钢管柱上焊接连接钢板，将受钢管阻碍无法穿越的框架梁主筋与传力钢板焊接连接的方法。该方法的特点是无需在钢管上钻孔，可保证钢管柱截面的完整性，但在施工第二层及以下水平结构时，需要在已经处于受力状态的型钢上进行大量的焊接作业，因此施工时应对高温下钢结构的承载力降低因素给予充分考

虑，同时由于传力钢板的焊接，也增加了梁柱节点混凝土密实浇筑的难度。

扩大节点已在天津市于家堡交通枢纽工程与天津站交通枢纽工程中采用，效果良好。扩大节点法结合了梁侧加腋与传力钢板两种方法的特点，通过在钢管混凝土柱上焊接钢环板，并扩大梁柱节点区域，将受钢管阻碍的梁钢筋焊接在环板上，梁两侧钢筋可分别从钢管两则穿过，从而达到传递弯矩的需要。该方法的特点是无需在钢管上钻孔，能保证更多的梁钢筋在节点处连续贯通，能有效减少现场焊接工作量。该方法可适用于梁钢筋较多的情况。

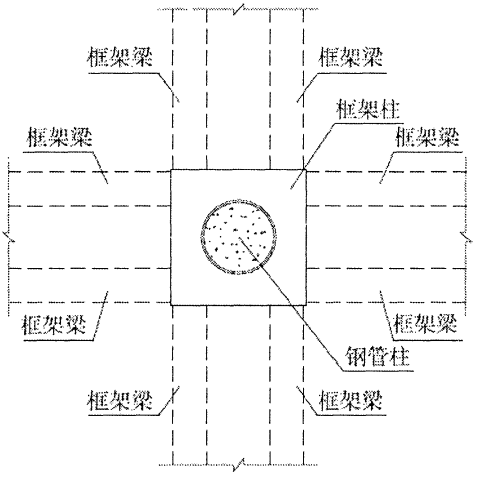


图 6　井字双梁构造示意图

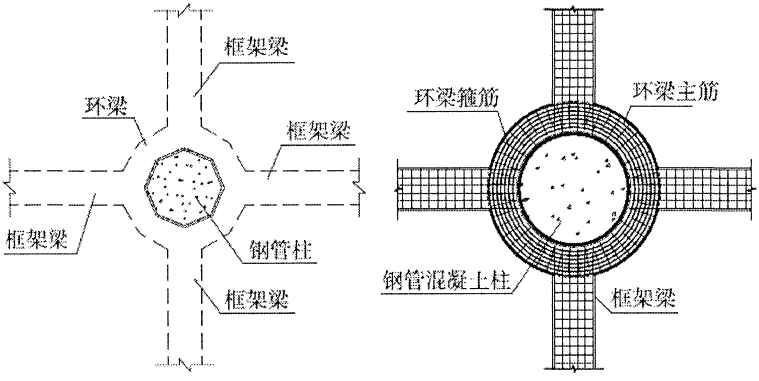
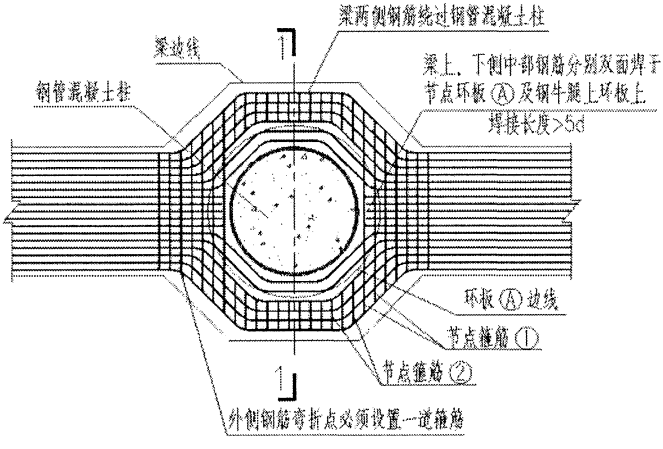

框架梁
环梁
框架梁
框架梁
钢管柱
框架梁
环梁箍筋
环梁主筋
钢管混凝土柱
框架梁

图 7　环梁构造示意图


梁两侧钢筋绕过钢管混凝土柱
梁边线
钢管混凝土柱
梁上、下侧中部钢筋分别双面焊于
节点环板Ⓐ及钢牛腿上环板上
焊接长度>5d
环板Ⓐ边线
节点箍筋①
节点箍筋②
外侧钢筋弯折点处须设置一道箍筋

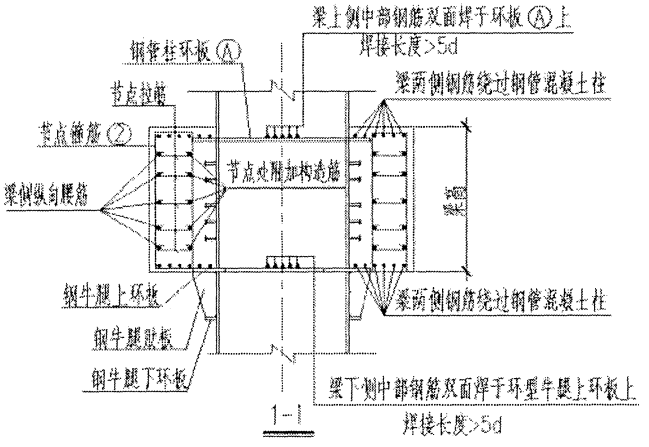


图 8　钢筋混凝土梁与钢管混凝土扩大节点平剖面示意图（一）

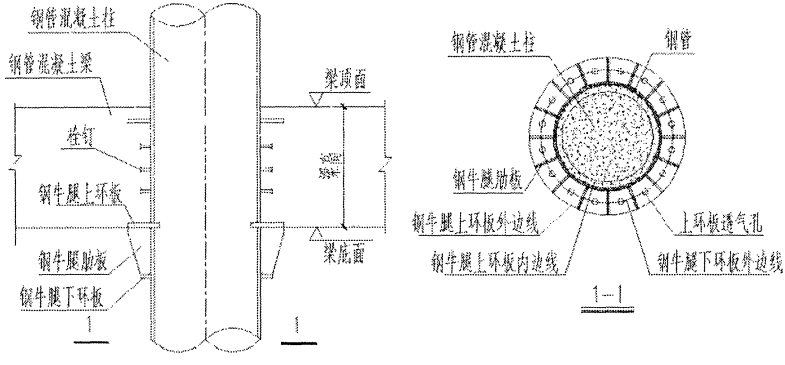


图 9　钢筋混凝土梁与钢管混凝土扩大节点平剖面示意图（二）

竖向支撑柱与结构层板梁的连接节点需承受竖向荷载引起的剪力，设计时应根据剪力的大小计算确定节点位置竖向支撑柱上设置的抗剪构件。钢管混凝土柱与顶板梁连接节点一般采取在钢管柱

顶部设置钢牛腿抗剪，与中板梁及底板梁连接节点除在钢管柱上设置钢牛腿抗剪外，同时可考虑设置抗剪栓钉等构件进行抗剪。

环形牛腿、台锥式环形深牛腿（图 10）的受剪计算应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 相关规定。

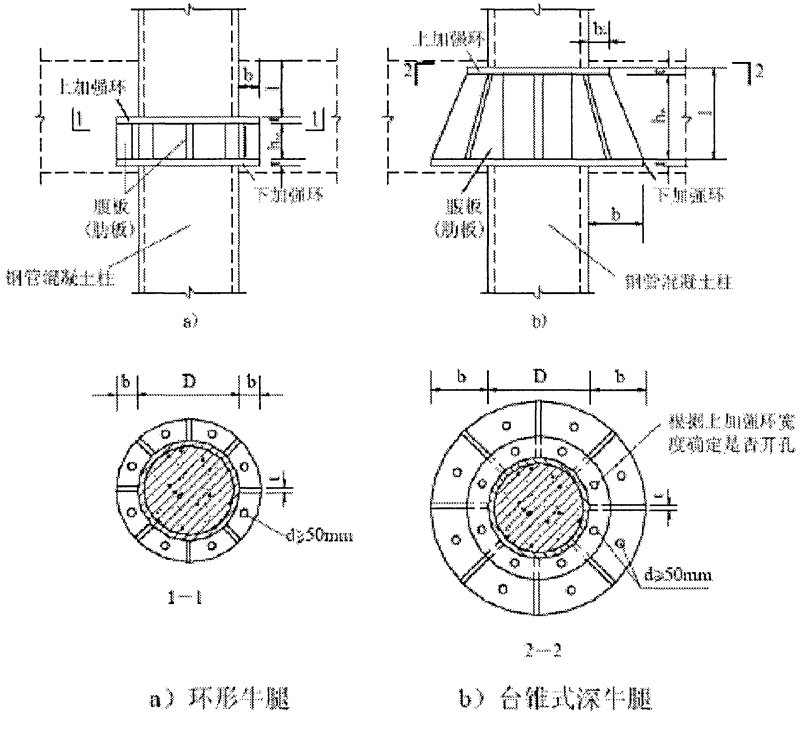


图 10　环形牛腿、台锥式深牛腿构造示意图

4.5.6　本条是针对采用先插法、后插法施工的钢管混凝土支撑立柱插入桩内的深度计算进行的规定。对于采用传统的两点定位法安装施工的钢管混凝土支撑立柱，其设计要求应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017和《钢管混凝土结构技术规范》GB50936

中外露式（端承式）柱脚的检算规定。

钢立柱插入下部混凝土立柱桩内的长度，应满足钢立柱轴向压力向立柱桩可靠传递的要求，并通过计算确定。对于钢管混凝土立柱，其轴向压力由插入长度范围内的焊钉抗剪承载力和立柱底部混凝土反力以及柱表面与混凝土之间的粘结力共同承担。计算公式中未考虑柱表面与混凝土之间的粘结力，此项作为安全储备考虑。

若仅考虑钢管混凝土立柱底部混凝土反力以及柱表面与混凝土之间的粘结力，其插入立柱桩内的深度可按下列公式计算。

$$l_d \geq \frac{N - f_c A_b}{uD\tau}$$

τ ——钢管柱表面与混凝土之间的粘结强度设计值，可近似取混凝土抗拉强度设计值的 0.7 倍。

4.5.7 对于角钢格构式钢立柱，其轴向压力由立柱底部混凝土反力、格构柱表面与混凝土之间的粘结力共同承担。格构柱表面与混凝土之间的粘结强度可近似取混凝土抗拉强度设计值的0.7倍，考虑到格构柱角钢截面面积较小，计算公式中未考虑立柱底部混凝土反力。

4.5.8 本条第 1 款是针对采用先插法、后插法施工的钢管混凝土支撑立柱插入桩内构造进行的规定。对于采用传统的两点定位法安装施工的钢管混凝土支撑立柱，其设计要求应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 中外露式（端承式）柱脚的构造规定。

对采用先插法、后插法施工的钢管混凝土支撑立柱，在逆作施工阶段受力状态为偏心受压，但弯矩不大，其插入立柱桩的深度主要由受压控制，故应满足本规程 4.5.6 条计算规定；考虑到逆作施工阶段钢管混凝土柱的受力为控制阶段，在底板及底纵梁混凝土浇筑封闭前，柱桩连接节点相当于现行国家标准《钢结构设计标准》

GB50017 和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 中外包式柱脚，其外包混凝土的构造高度要求为不应小于钢柱外径的 2.5 倍，结合逆作法地下工程中钢管混凝土立柱的直径一般为 0.6~1.4m，对应的插入桩基深度的构造要求为 1.5~3.5m，考虑到逆作施工阶段桩基混凝土超灌及钢管插入后置换的混凝土上升因素（超灌及钢管插入后置换的混凝土上升高度至少为 0.5-1.0m），本条规定设计的有效插入深度不应小于 3.0m。使用阶段，由于钢管混凝土立柱被底板及底纵梁混凝土所约束，梁柱节点相当于现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017、《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 中的外包式柱脚和埋入式柱脚组合的组合式柱脚，上述规范中对埋入式柱脚埋入深度的构造要求分别为不应小于 1.5D、2.0D、3.0D（D 为钢管混凝土直径），考虑到底板下桩基侧约束较好，故构造高度应取外包式高度和底梁高度之和，按插入深度不应小于 3.0m 和常规底梁高度计算，已远远大于 3.0D，所以按逆作施工阶段的插入桩有效深度不应小于 3.0m 的要求是合适的。

4.5.10 对于角钢格构柱，可在每肢角钢的周边加焊两块钢板，通过延长渗水路径起到止水的目的；对于钢管混凝土立柱，可利用立柱与底梁节点内的抗剪环型牛腿的环形钢板作为止水构件。

4.6 水平结构设计

4.6.1 实际工程中，结构层板的布置往往不是一个理想的完整平面，常出现升降板或结构孔洞的情况，为确保逆作期间水平力的传递，需视具体情况给予相应的设计对策，必要时通过计算采取有效的转换结构以利于水平力的传递。对于升降板区域，如高低跨过大影响水平力的传递时，可以通过在高低跨位置进行竖向加腋处理；

对于结构开孔面积较大的情况，则可通过增设临时支撑的方式予以解决。

4.6.2 当基坑较宽导致支撑长度较长时，一般采用混凝土支撑，不宜采用钢支撑（如有轴力伺服系统除外）。如需要提高较长支撑平面内抗压、抗弯刚度时，可将部分临时支撑调整为条形板带混凝土支撑。

4.6.4 当腰梁与水平支撑斜交时，或在局部布置边桁架而使腰梁成为边桁架的弦杆时，腰梁除产生水平方向弯矩外，还将产生轴向力，此时应按偏心受力构件计算。

水平支撑构件初始偏心距取值不宜小于支撑计算长度的1/1000，且对混凝土支撑不宜小于 20mm，对钢支撑不宜小于40mm。

4.6.5 构件变形挠度的限值应以不影响结构使用功能、外观及其他构件的连接等要求为目的。

4.6.6 地下结构逆作施工阶段的出土进料等垂直运输，主要依靠各种预留孔洞来解决，孔洞数量、大小以及平面布置的合理性直接影响逆作施工期间基坑变形控制效果、土方工程的效率和结构施工速度。预留孔洞的位置应结合建筑平面布置及施工平面组织等综合确定，优先利用主体结构设计电梯间以及楼梯间等孔洞。

4.6.7 逆作法施工中结构层板、梁作为基坑开挖阶段的水平支撑系统，结构后浇带将承受压力的水平结构一分为二，如果在后浇带未浇筑封闭成型前，因下部土体开挖导致水平支撑结构承受水平力时，后浇带的存在使得水平力无法传递，因此，必须采取措施解决后浇带位置的水平传力问题。一般可采用在层板梁构件后浇带内设置型钢传递水平力，因型钢的抗弯刚度相对混凝土梁的抗弯刚度要小得多，故这种措施不会约束后浇带两侧结构的自由沉降。采用预埋型钢作为水平传力构件时，其中型钢插入混凝土梁内的长度应通过计算确定，且不小于 2.5 倍型钢高度及 500mm，型钢端部宜设置

变截面段作为过渡段；插入混凝土的型钢上下翼缘应设置栓钉；型钢及型钢端部以外 1.5 倍梁高范围箍筋应加密；型钢的混凝土保护层厚度不宜小于 100mm。（图 11）

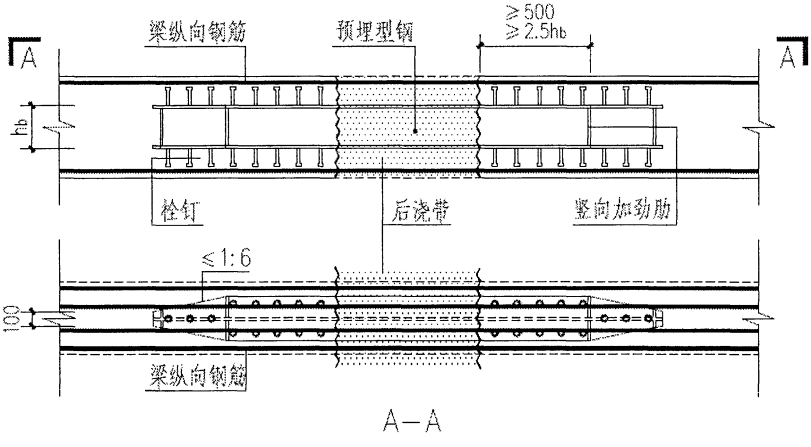


图 11　水平梁构件后浇带处型钢连接示意图

层板的后浇带处，宜在后浇带两侧混凝土中预埋钢板，后浇带宽度内用型钢支撑与钢板相连，形成水平传力构件。

4.7　竖向侧墙结构设计

4.7.1　当层高较高时，为控制围护结构墙的水平变形，并增加基坑的整体稳定性和地下结构刚度，地下一层竖向侧墙应采用逆作施工。对于其它的竖向侧墙，可采用顺作施工，也可采用逆作施工。

4.7.2　对于采用逆作施工复合墙的竖向侧墙，应分别采用增量法和全量法进行计算，取最不利的内力包络值进行配筋设计与验算。施工阶段，在其下层土方未开挖前，不承担水平力，随着下层土方的开挖，逐渐承担因下层土体开挖导致的围护结构墙内力重分布产生

的形变压力，地下结构全封闭后，同时要承担地下水位恢复后的水压力，因此，应采用增量法计算；使用阶段采用全量法计算时，竖向侧墙除承担水压力外，尚应与围护结构墙共同承担土压力。

4.7.3 由于逆作法施工阶段，竖向侧墙下层土体开挖后如不施加竖向支撑，已完成的侧墙结构在自重荷载作用下容易产生受拉裂缝，故应进行受拉承载力计算与裂缝验算，如不满足要求，可采用增加竖向受拉钢筋或采用竖向预应力等措施。

4.8 结构缝及防水设计

4.8.4 后浇带是在地下工程不允许结构留设变形缝，而结构实际长度超过了伸缩缝的最大间距时，所设置的一种刚性接缝。

逆作法地下结构后浇带的宜设置于结构受力较小处，一般为距支座 1/4～1/3 跨处。后浇带宽度的确定主要考虑以下三方面因素：一是对后浇部位和外贴式止水带的保护，二是对落入后浇带内的杂物清理，三是对施工缝处理和埋设遇水膨胀止水条，故后浇带宽度宜为 700～1000mm。

根据于家堡综合交通枢纽大面积、大体积地下结构混凝土施工经验，超长超宽结构板的后浇带横纵向间距在 30～40m，由后浇带分隔开的单区混凝土结构面积不超过 1200m^2 时，混凝土的收缩及温度作用不会在混凝土中产生较大的附加内力或非荷载作用裂缝。

4.8.6 为确保整个地下工程的防水等级达到设计要求，逆作法施工必须处理好逆接施工缝的防水。逆作施工缝与顶板、中楼板的距离要大些（不得小于 800mm），否则不便于逆接施工缝处的混凝土浇筑施工。

为保证水平施工缝的密实度，施工前应对已施工的墙体混凝土连接面进行凿毛处理，并涂刷界面处理剂或水泥基渗透结晶型防

水涂料，增强新老混凝土结合力，保证连接处混凝土的施工质量。

施工缝涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料的做法是在混凝土终凝后（一般来说，夏季在混凝土浇筑后 24h，冬季则在 36～48h，具体视气温、混凝土强度等级而定），立即用钢丝刷将表面浮浆刷除，边刷边用水冲洗干净，并保持湿润，然后涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料或界面处理剂，目的是使新老混凝土结合的更好。应注意铺水泥砂浆层或刷界面处理剂、水泥基渗透结晶型防水涂料后，应及时进行后续混凝土浇筑，若时间间隔过久，水泥砂浆已凝固，则起不到使新老混凝土紧密结合的作用，仍会留下渗漏水的隐患。

4.8.7 后浇带应在两侧混凝土收缩变形基本稳定后施工，混凝土的收缩变形一般在龄期为 6 周后已完成大部分，故本规定要求在 42d 后再施工；在条件许可时，间隔时间应延长到 90 天。

后浇带应采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土浇筑，其性能指标的确定主要考虑以下两方面因素：一是在不影响抗压强度条件下膨胀率要尽量增大；二是干缩落差要小。补偿收缩混凝土膨胀率应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 附录 B 的规定，通过计算得出：当 σ_e 为 0.2～0.7MPa 时，其限制膨胀率 ε_2 的最大值为 0.05%，最小值为 0.015%。因此，规定补偿收缩混凝土水中养护 14d 的限制膨胀率应不小于 0.015%。

我国膨胀剂品种有 10 多种，由于膨胀剂的品种不同，掺量不同，它与水泥、外加剂和掺合料存在适应性问题，同时应根据不同结构部位的约束条件及限制膨胀率设定值进行补偿收缩混凝土配合比设计，经试验确定膨胀剂的掺量。

4.8.8 逆作地下结构板与围护桩（墙）节点防水构造可参考图 12~图 14 的做法。

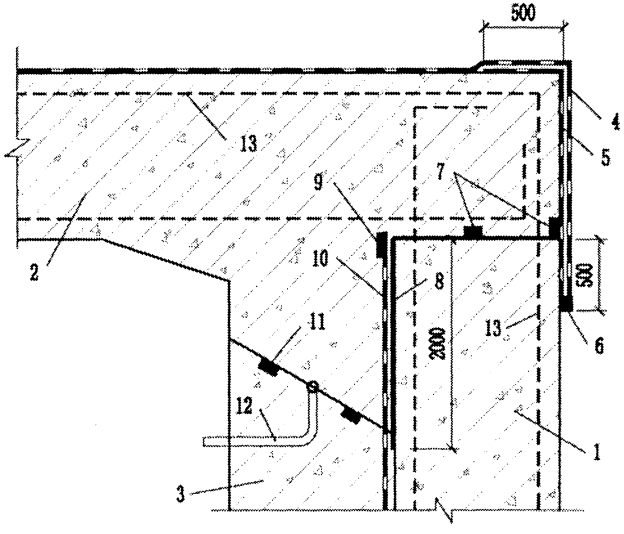


图 12　盖（顶）板与围护结构节点防水构造

1-围护结构；2-结构顶板；3-结构侧墙；4-顶板防水材料；5-防水材料加强层；6、9-封口胶；

7、11-止水条（胶）；8-水泥基渗透结晶型防水涂层；10-侧墙防水材料；12-注浆管；13-钢筋。

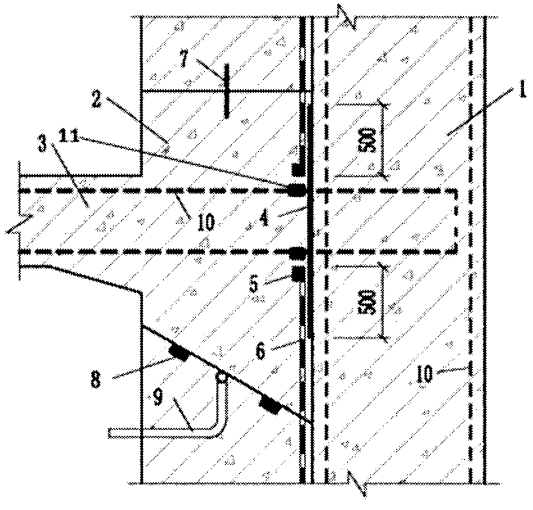


图 13　中间层板与围护结构节点防水构造

1-围护结构；2-结构侧墙；3-兼做水平支撑的层板；4-水泥基渗透结晶型防水涂层；5-封口胶；
6-防水材料；7-中埋止水带；8-止水条（胶）；9-注浆管；10-钢筋；11-止水条（胶）。

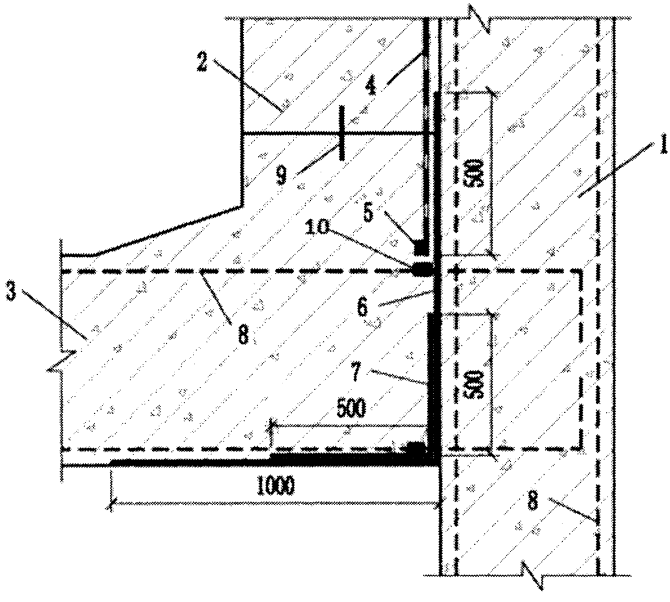


图 14　底板与围护结构节点防水构造

1-围护结构；2-结构侧墙；3-底板；4-防水材料；5-封口胶；6-高渗透改性环氧防水涂料；7-防水涂料加强层；8-钢筋；9-中埋止水带；10-止水条（胶）。

4.9　地下水控制及对周边环境的保护设计

4.9.1～4.9.2　一般逆作法基坑工程周边环境均较为复杂，对环境保护要求较高；天津市浅水位埋藏较浅，并且基坑工程影响范围一般都存在多层承压含水层；因此，逆作法基坑施工期间应优先采用围护结构兼做隔水帷幕和坑内降水降压的地下水控制处理方案。基坑隔水帷幕的深度一般应根据抗渗流稳定性验算的相关规定计算确

定；当基坑环境复杂，并且降水降压难度较大或变形控制较严时，宜优先采用落底式隔水帷幕，其深度应进入相对不透水层不小于1m；当隔水帷幕计算深度下方存在较厚含水层时，采用落底式帷幕代价太高，可采用悬挂式帷幕，但为保证环境安全，须在坑外采取回灌措施。

结合天津地区地质特点，当相对隔水土层厚度大于2m且塑性指数 $I_p \geq 13$ 时，方认为其隔水效果良好。

4.9.3~4.9.4 天津地区地下水丰富，水文地质条件复杂，采用逆作法施工工程往往周边环境复杂，大面积长时间降水对周边环境影响不容忽视，因此在进行降水设计和施工前应深入了解地下水控制技术要求，确保安全。

根据天津地区既有工程经验，单口疏干降水井控制面积可按250m^{2}左右布置。

4.9.5 天津地区基坑开挖一般采用无砂井降水，其优点是造价低，出水量可根据井径调整，其缺点是开挖后难以保护，且不适用于降承压水。逆作法施工基坑土方开挖在楼板（或结构层板）下进行，降水一般要求随挖随降，因此降水井布置时应充分考虑管井保护问题，一般宜靠近永久立柱或临时立柱，避免土方开挖造成过早损坏；中间结构层板逆作时，为确保降水的连续性和无水施工要求，降水管井一般需浇筑在逆作层板中，这种情况下降水井采用钢管井方便施工操作；基于以上两点原因，管材建议采用钢管，并随基坑开挖分段截除。

减压井一般需在逆作结构全部封闭以后方可停止抽降承压水，故降压管井均应浇筑在混凝土底板中，采用钢管井便于底板施工操作和井管处底板的防水施工。减压井深度大于40m时，壁厚不宜小于6mm。

对于以疏干为主的浅层潜水，也可采用无砂井。

4.9.6 根据天津地区既有工程经验，单口井降压控制面积可按

1000m^2 左右布置。考虑土方开挖施工过程中，部分减压井可能会遭受碰撞损坏而失效，故降压设计应考虑一定数量的备用井及观测井，其数量可按设计减压井数量的 10%~20%考虑。

4.9.7 在深井降水无大量细颗粒随地下水被带走的情况下，周围地面所产生的沉降量可用分层总和法进行计算：

$$S_{\infty}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\alpha_i\Delta P_i\Delta H_i}{1+e_{0i}}$$

式中 S_{∞}——地面最终沉降量；

α_i——第 i 土层压缩系数；

e_{0i}——第 i 土层初始孔隙比；

ΔP_i——第 i 土层因降水产生的附加应力；

ΔH_i——第 i 层土的厚度。

在降水期间，降水面以下的土层不产生明显的固结沉降，而降水面至原始地下水面的土层因排水条件好，会在所增加的自重应力条件下很快产生沉降，通常降水所引起的地面沉降即以这一部分沉降量为主。因此可以采用下列简易方法估算降水引起的沉降量：

对于粘性土类：

$$S=\frac{\alpha\Delta P\Delta H}{1+e_0}=\frac{\alpha\Delta H^2\gamma_w}{2(1+e_0)}$$

对于砂土类：

$$S=\frac{\Delta P\Delta H}{E}=\frac{\Delta H^2\gamma_w}{2E}$$

式中 S——降水所引起的沉降量；

α——计算土层的压缩系数；

e_0——计算土层的孔隙比；

ΔP——降水产生的自重附加应力；

ΔH——降水深度；

γ_w——水重度；

E——降水深度范围内土层的压缩模量。

因降水而引起的土体沉降在平面上的各点是不同的，其沉降值相应于该点上的水位降低值也是随着降水漏斗曲线变化的，在管井处沉降值最大。

针对抽取地下水引起水位或水压下降而造成的大面积地面沉降进行环境影响论证时，应充分考虑粘性土的固结程度、降水深度范围内各土层的应力水平及其对应的压缩模量、潜水与承压水降水漏斗的区别。

4.9.9 第 2 款中，减少抽水量的具体措施如下：

1） 合理设置井结构，防范抽水带走土中细颗粒，降水时经常观察抽出的地下水是否浑浊，避免管井堵塞，减少抽水沉降；

2） 把滤管布置在水平向连续分布的砂性土中可获得较平缓的降水漏斗，使影响范围内的差异沉降减小；

3）充分结合承压含水层特点，在层顶设置滤管来减压，实现“降压少降水”，减少周边沉降；

4） 管井在不同含水层间设置可靠隔水措施，避免由于管井原因造成不同含水层串通，形成越流补给。

4.9.11 对逆作开挖高度较大的底板以上土层采用盆式开挖时，设置的临时斜撑应以先施工段底板或层板为支点。

4.9.12 周边环境保护设计，可采取以下地基基础加固措施减少对环境影响：

1） 基坑开挖前对邻近建（构）筑物或地下设施进行基础托换；

2） 基坑开挖前在基坑与保护对象间设置隔离措施；

3） 对埋深较浅管线进行悬挂、架空等措施；

4）开挖前及开挖过程中对保护对象进行跟踪微扰动压力注浆，根据监测结果调整注浆施工。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 基坑开挖卸载引起的地层沉降和水平位移会影响邻近建（构）筑物、道路、地下管线及其它地下设施，因此在施工前掌握邻近建筑物的高度和结构型式、基础类型和刚度、以及基础下的土质等，对制定相应的施工措施和变形控制标准具有重要意义；掌握地下管线相对位置、埋深、材质、管径、使用年限和功能等，并对其承受变形的能力进行分析，以便在施工时采取相应的措施。

鉴于此，施工前施工单位应对设计图纸中基坑周边相邻建（构）筑物、地下管线等设计条件进行现场核实，并及时开展周边环境风险源辨识和风险等级评估；如发现现场与设计图纸不符时，应及时提请设计单位校核或调整设计方案。

5.1.5 泥浆配方或成槽（成孔）机械选型与地质条件有关，常发生因泥浆配方或成槽（成孔）机械选型不当而产生槽壁（孔壁）坍塌事故。在地下连续墙（钻孔灌注桩）正式施工前进行试成槽（成孔）的工艺性试验，其目的是核对地质资料，并检验所选的成槽设备、机具、施工工艺以及技术要求的适宜性，检验机具设备使用是否正常，同时根据试成孔结果积累施工经验，及时调整施工、设计参数，避免槽壁（孔壁）坍塌事故发生，确保工程顺利进行。因此对于重要的工程、以及地质与水文条件复杂的工程，一般均要进行试成槽（成孔）。对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的工程不应在原位进行试成槽（成孔）；对于要求较低的工程可进行原位试成槽（成孔）。结合天津地区经验，试成槽（成孔）的数量不得

少于 2 个。

5.2 基坑降水施工

5.2.1 天津市地下水潜水水位埋深较浅，并且下部分布有多层微承压水，见水文地质分布简图（图 15）。工程地质从上到下多呈细颗粒砂层、粉土和粘土互层分布。

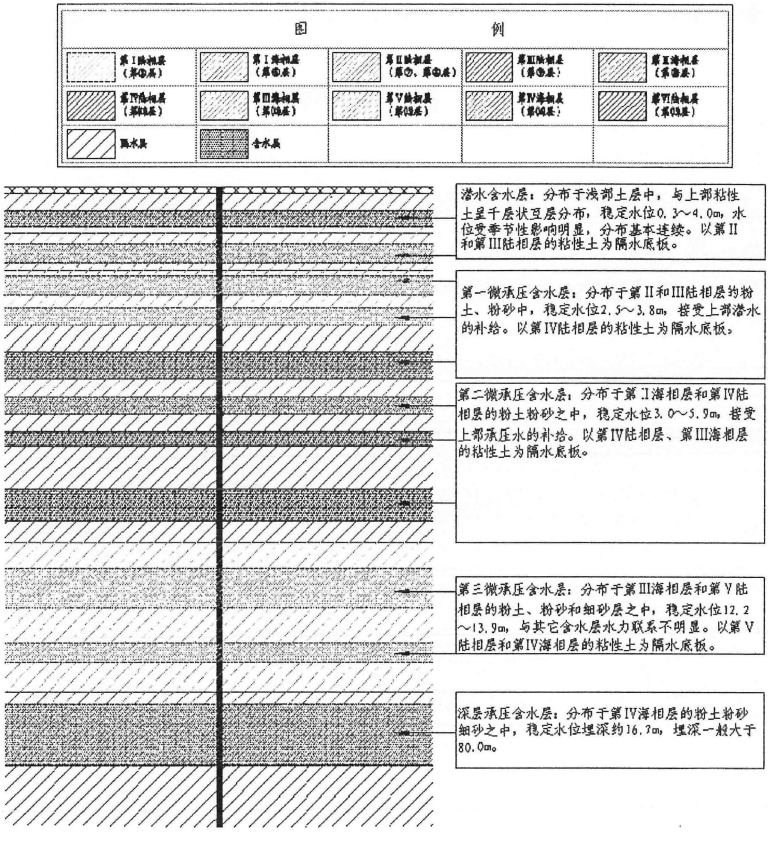


图 15　天津水文地质分布简图

根据天津市基坑工程施工降水的实践经验及教训，降水或降承压水不当会引起基坑周边地面及建构筑物的大面积沉降，甚至引发事故，为达到基坑开挖和回筑阶段无水施工并满足基坑抗渗流和抗承压水隆起稳定性的要求，同时控制降水引起的周边沉降和通过渗流固结提高坑内土体强度，施工过程中应根据拟建工程的地质条件

和隔水帷幕设计方案，采取有效的地下水控制措施。

深基坑承压水的控制处理非常重要，要引起施工降水单位的足够重视，尤其是对透镜体承压水含水层要更加重视，因为这种含水层在勘察阶段有可能发现不了，但施工过程对逆作法基坑的安全影响却很大，所以要求施工单位应对详勘报告中提及的连续层或透镜体承压水含水层等水文地质参数进行研判，必要时进行补勘验证；对透镜体承压水含水层的降压降水方案要慎重，因其含水层体积较小，且分布不均匀，故处理难度较大，处理措施应进行专项论证。

勘察阶段的抽水试验目的是确定水文地质参数；施工阶段降水试验时，场地水文地质条件已发生改变（隔水帷幕已完成），试降水的目的多为确定降水效果、评估局部隔水帷幕的隔水效果以及预测降水对周边环境的影响程度，并与勘察阶段的抽水试验相对照，判定施工期间承压水水头的按需降压控制标准，提出减压井启动时机，切实做到按需降水、按需减压，保证基坑及其周边环境的安全，并保护水资源。试降水宜分单井试验和群井试验两部分进行，当存在减压降水井时，应针对减压降水井进行单独的试降水。

预降水目的是验证坑内降水井布置及数量是否合理，降水效果是否能满足设计与施工要求，以及检验整体基坑隔水帷幕是否存在较大的渗漏。该项工作是正式降水前的一次预演，如达不到要求，应及时采取隔水帷幕的渗漏补救措施，或优化疏干降水井或减压降水井的布置及数量等参数，确保地下水控制满足施工要求。

当发现坑内疏干降水或减压降水引起周边建构筑物较大沉降，进而影响正常使用时，采用坑外地下水加压回灌是非常有效的针对性措施。

根据天津市深基坑降水的工程实践经验，非专业队伍实施的降水施工产生了很多基坑透水、管涌事故，故规定降水及回灌宜由专业单位进行施工。

5.2.3 降水运行时应考虑降水对周边环境的影响，降水期间地下水

位的变化不能影响周边临近建筑物、管线、地下构筑物、地面道路等的正常使用。因此，本条要求基坑降水工程应进行人工定期巡视检查；应对基坑内外的地下水位、降水井群抽水量进行动态监测，实行降水运行信息化管理。

信息化施工管理，是降水运行施工基本要求之一。所谓信息，是指坑内外水位变化，以及坑内单井出水量及总涌水量监测成果。在预降水阶段，坑外观测井水位出现连续下降，就要分析是否存在帷幕渗漏的可能。需要“分层降水、按需降水”的基坑降水工程，应根据坑内地下水位的标高，及时调整水泵吸口的位置，确保地下水位稳定在设计要求的标高处。需要降压的基坑降水工程，一方面需要监测土体开挖面标高，另一方面需要监测坑内、外承压水观测井内水头标高，应提前开启减压井降压，提前时间长短应根据前期抽水试验结果确定。减压井开启后，应继续对承压含水层水头进行监测，在时间和空间上确保基坑安全。同时应根据承压水水头监测值，调整出水量大小，避免降深过大，确保基坑安全，并把对环境的影响降至最低。

5.3 围护结构施工

5.3.1 当地连墙钢筋笼较长，需分节吊装下放时，钢筋连接部位应选择在基坑底面以下。地连墙混凝土灌注顶面宜高于设计墙顶标高不小于1倍墙厚，目的是确保凿除浮浆层后的混凝土强度等级达到设计要求。

5.3.2 地连墙接头形式和槽段划分应根据地质水文条件、结构形式（临时结构和永久结构）、墙体受力特征以及成本综合考虑进行选择。

对于周边环境复杂或变形控制要求高、水文地质情况复杂的逆

作法工程，地连墙型钢接头处应预埋注浆管、并应在接缝外侧采取地层加固止水措施。

5.3.6 对施工区域存在地下障碍物时，常规的钻机成孔前，需要先清理障碍物，然后回填水泥土，夯实后钻机成孔，这种成孔方式容易造成塌孔和垂直度超限不满足设计要求。但如果采用硬法切割成孔机械清障方法，则成孔与清障同步进行，在钢套筒的保护下，在成孔过程中，不会产生塌孔，且垂直度容易保证，故在这种地层中可采用硬法切割咬合施工桩。

对于桩长超过 30m 的咬合桩，如采用常规的超缓凝混凝土，II序桩施工时，容易产生因II序桩成孔时间较长而导致的超缓凝混凝土初凝，从而造成施工困难或根本无法施工，故本规程规定对超过 30m 的咬合桩也可采用硬法切割咬合施工。

5.3.7 硬法切割咬合施工时，II序桩施工对 I 序桩的混凝土强度和时间间隔没有要求，考虑到 360 度全回转套管钻机采用液压驱动钢套管钻进，可切割套管内具有相当强度的抛石、混凝土等，边回转钻进边使用抓斗取出套管内的混凝土及障碍物，故硬法切割咬合桩可采用全回转套管钻机施工。

当采用软法切割施工时，为减少II序桩成孔施工过程中尚未初凝的 I 序桩超缓凝混凝土流塌，故II序桩需要采用全套管超前压入旋挖钻机取土的施工方式。

5.3.11 RJP 工法桩（Rodin Jet Pile）是指利用多孔管钻杆和多重管的构造形式，通过超高压水和空气的复合喷射流体、超高压浆液喷射流体分两次切削破坏土层，然后形成大直径固结体的一种工法，其适用于对填土、淤泥质土、粘性土、粉土、砂性土、卵砾石等地层的加固。

MJS 工法桩（Metro Jet System）是在传统高压喷射注浆工艺的基础上，采用独特的多孔管和前端造成装置（习惯称之为 Monitor），实现孔内强制排浆和地内压力检测，并通过调整强制排浆量来控制

地内压力，大幅度减少对环境影响的一种地层加固的工法，其适用于对填土、淤泥质土、粘性土、粉土、砂性土等地层的水平、倾斜或竖向加固。

经天津市大量的深基坑地层加固实践经验证明，RJP 与 MJS 工法桩在大于 30m 的超深地层加固、大桩径地层加固以及对加固体强度、渗透性、早期强度等指标要求高的工程中，土层加固效果好，可靠度高，优势非常明显，故本条进行了相应规定。

5.3.12 本条中 RJP 与 MJS 工法桩的直径、深度及水泥掺量系根据天津市已有的地层加固工程实践经验和现有常用设备能力制定。

5.4 地下竖向支撑桩柱施工

5.4.2 本条规定了成桩成孔的连续性。实践经验证明，成孔时间过长，成孔后停歇时间过长往往是承载力偏低的原因，一方面是孔壁稳定性受到影响，另一方面是土体应力释放，孔壁、端部承载力难以发挥。一般而言，扩底完成后 8h 内完成混凝土灌注的时间是充裕的，当间隔时间超过 8h，应进行孔壁静态稳定测试，并根据测试结果，调整时间间隔。

邻桩施工间距和时间间隔的规定是为了防止窜桩现象，使未完全硬化的混凝土桩身受损。施工的安全间距考虑了桩径、扩底直径及垂直度偏差等因素，并且考虑了一定安全度。

5.4.3、5.4.4 扩底桩施工一次清孔采用带挡板筒式钻斗，主要目的是初步清除孔底大部分粗颗粒沉渣。

本规程明确规定扩底灌注桩要进行二次清孔，这是因为尽管采用了稳定液，成孔后稳定液呈静止状态，但从一次清孔到灌注混凝土前还有下钢筋笼、安放导管等工序，时间一般超过 2h 甚至更长，这过程中稳定液中悬浮的粗颗粒首先开始沉积，且在钢筋笼、导管

下放过程中不可避免擦碰孔壁形成新的沉渣，因此要求在灌注混凝土前进行二次清孔。

二次清孔后若不及时浇注混凝土，仍会重新沉积沉渣，因此规定清孔后 30min 内灌注混凝土，若超过则必须重新测定孔底沉渣，并按检测结果确定重新清孔指标。

扩底桩施工采用泵吸反循环进行二次清孔，由于扩底后端部尺寸较大，对清渣泵要求较常规要高。工程实践证明，对于不同地质条件，清渣工艺差异（泵吸量、悬泵高度、泵吸时间等）造成的承载力差异是显著的，因此强调因地制宜。泵吸清渣应注意施工步骤，悬泵高度由高向低，逐步清渣。

5.4.5 初灌混凝土是水下混凝土施工的重要环节，初灌量超过扩底桩扩底部分顶部，是确保扩底部分混凝土连续性的要求。初灌混凝土作用是推开导管内泥浆，以下落时的势能转化为作用于钻孔孔壁压力，阻止钻孔泥浆侵入混凝土内，是确保后续混凝土灌注质量的重要环节。

5.4.7 液压垂直插入钢管法工法施工流程为：通过地上液压垂直插管机机身上的两个液压抱闸和一个竖向液压垂直插拔装置，及孔内的导向纠偏装置，将钢立柱垂直向下插到支承桩中，边插边利用安装在钢立柱上的测斜仪随时监测钢立柱的垂直度，全程实行动态监控实时调整，在支承桩混凝土初凝前将永久钢立柱垂直插入到设计标高。液压垂直插入钢管法工法调垂原理为：根据两点一线原理，通过利用钻孔孔内空间，延长了两个垂直控制点之间的距离，使垂直度控制更便捷有效，同时降低了设备的地面高度，增加了系统的整体稳定性和可操控性，从而更有效的达到对钢立柱的导向、纠偏效果。

5.4.10 表 5.4.10 采用了《钢管混凝土结构技术规范》GB50936-2014 中关于实心钢管段制作允许偏差值。

5.4.12 竖向支撑柱一般采用专用调垂架控制定位、垂直度和转向

偏差，调垂架安装应满足支撑柱调垂过程中的精度要求。竖向支撑柱安装及调垂过程中应采用垂直度测试管或倾斜计等测垂方法进行垂直度动态监测。

竖向支撑柱吊放应采用专用吊具，合理设置吊点，起吊变形应满足垂直度偏差控制要求。

5.4.15 灌注桩混凝土初凝后进行钢管柱与桩孔之间空隙的碎石回填，回填完成并静置 12h 后，进行液压垂直插入机移位，之后 24 小时后切除工具柱。

液压垂直插入钢管法底部封闭构造。（图 16）

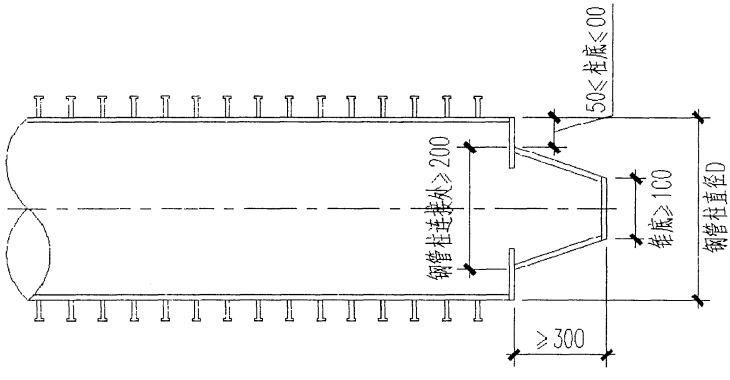


图 16 液压垂直插入法钢管底部封闭构造

5.4.17 根据工程经验，桩混凝土灌注后桩顶上部的泥浆一般浓度相对较低，如回填砂、土等细小物质宜悬浮在泥浆中，很难在短时间内沉淀密实；如采用碎石回填能在泥浆中很快沉淀密实，但过大的碎石沉淀后空隙较大，密实度相对差。根据大量的施工经验，回填碎石宜采用 5-25mm 连续级配的碎石。

5.4.20 表中的柱中心位置及垂直度允许偏差同本规程 4.4.6 条，其余参照《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 的规定。

5.6 竖向侧墙结构施工

5.6.7 墙体逆作纵向施工缝处斜向模板施工，上方层板留设浇捣口时，其位置应避开扶壁柱与主梁，每个预留孔大小为120mm~200mm，留设间距宜为1200mm~2000mm，回筑混凝土浇注面应高于施工缝200mm以上。（图17）

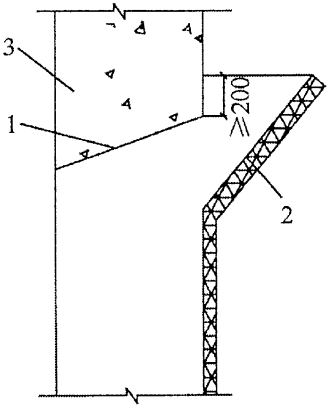


图17 侧墙施工缝斜向模板

1—侧墙纵向施工缝；2—斜向模板；3—侧墙

5.7 土方开挖

5.7.1 基坑开挖前，施工单位应认真翻阅岩土工程勘察报告，详细了解基坑开挖范围内土石方的性质及分布情况，掌握基坑开挖范围内外地下管线、建（构）筑物等情况及要求，领会设计要求，编制切实可行的土石方开挖方案，以指导施工。

5.7.3 本条结合天津市逆作法地下工程实践经验，对土方开挖前条件验收报告的基本内容进行了规定。施工单位报送的土方开挖及降水的专项施工方案，应经专家论证通过后，方可进行开挖作业。土方开挖前应严格执行先开挖条件验收后土方开挖的程序要求，条件验收前，施工单位应编制土方开挖前条件验收报告。

5.7.4 逆作法施工是在顶板或界面层楼板封闭后，再进行土方开挖和地下各层结构的施工。为了解决土方外运和材料（钢筋、混凝土、排架、模板）的运输，需要在地下各层层板结构上留设上下连通的垂直运输孔洞，这些孔洞宜利用永久结构孔洞（车道进出口、楼扶梯、电梯通道等），当永久结构孔洞不能满足出土进料的施工工艺、工期要求时，必须对层板结构进行临时开洞，开洞的数量主要取决于工程的日出土量的要求，根据目前的经验，每个取土口一台出土设备或挖机按一个工作日 8h 计算，出土量在 500m^3 左右。

地下盖挖时挖土机有效半径一般在 7m～8m 左右，地下土方驳运时，一般控制在翻驳二次为宜，避免多次翻土引起下方土体过分扰动；地下自然通风有效距离一般在 15m～20m 左右，故一般取土口间距不宜超过 40m；对于类似地铁车站之类的狭长型基坑，基坑两端处宜设置出土口（出土口距端部的距离不宜大于 15m），中部区域宜每隔约 30m 设置一个出土口。

为保证出土效率，每个取土口的面积一般不小于 36m^2；为方便钢筋等材料运输，长度方向一般不小于 9m，对于局部区域无法满足长度要求时，其洞口对角线不得小于 9m。

5.7.7 根据天津市深基坑开挖实践经验，挖土过程要严格遵循先探后挖的原则，确认围护结构隔水有效时，方可进行大面积开挖，避免基坑发生透水、管涌等事故。地连墙接缝处采用人工挖土的目的是便于人工查看地连墙成槽接头处的隔水效果，如有需要可及时采取相应的处理措施。中间支撑柱周边采用人工挖土的目的是避免机械开挖对支撑柱的碰撞。

逆作结构模板及支撑体系因挖土标高限制，一般采用短排架支模，开挖前难以先行拆除。挖土时一般边挖土边拆除垫层及模板，挖土至模板松动时，必须先拆除模板和其它坠落物，然后继续开挖，严禁在未拆除的垫层及模板下站人，防止垫层或模板坠落伤人。拆除的材料必须随时清除，不准堆放在挖土区域的上方，以防下滑击伤人体。

5.7.10、5.7.11 在条件许可的情况下，应尽量采用车辆行驶至开挖面，通过坡道外运土方，坡道的坡度不宜大于 1：8，并应满足运土车辆及挖土机的进出要求。

在条件不允许设坡道的情况下，对于工程量较大的土方，应尽量采用传送带或抓斗进行垂直提升；工程量较小的土石方，应尽量采用吊车进行垂直提升；地下水平运输应根据运输通道净空选择尺寸合适的运输工具，最大限度节约成本和缩短工期；如水平运输通道要利用已施工的结构层板作为支撑，应对通道以及影响范围的层板结构进行施工荷载作用下的专项验算。土方车辆通行区域的柱、墙、板插筋在挖土期间应采取措施加以保护。

5.8 构件节点连接施工

5.8.3 根据工程经验，层板钢筋一般采用钻孔钢筋连接法、直接绕避或穿插方法穿越格构柱。

5.8.4 梁柱节点处有层板钢筋、梁受力钢筋和节点钢筋等，钢筋密集交错，如果不先进行现场钢筋试绑扎，在实际绑扎施工时，曾发生过很多受力钢筋没法绑或者只能绑成并筋，有的甚至取消部分钢筋，并且会造成箍筋、拉筋等构造钢筋的绑扎更加困难，所以现场钢筋试绑扎是非常必要的。

对环梁节点、传力钢板节点，全部或部分纵向梁钢筋要焊接

到钢管环板上，因钢筋直径较大且较多较密，钢筋的焊接方式和施焊顺序，对钢筋连接施工非常重要；对于受力较大节点，还有第二排受力钢筋需要焊接到环板底部，由于需要仰焊，焊接操作空间以及焊接顺序对钢筋连接施工也非常重要；因此施焊前应核对焊接操作空间和焊接方式及顺序，焊接后也应做好焊缝的检测工作，确保质量。

梁柱节点的钢筋密集，为保证混凝土的浇筑质量，一方面要求混凝土中粗骨料最大粒径不得大于 25mm，增加混凝土的可浇灌性，另一方面要求加强混凝土的振捣，保证节点混凝土的密实度。

5.9 结构缝及防水施工

5.9.1 目前，地下工程均采用防水混凝土，其自防水效果尚好，而出现渗漏水问题的往往是施工缝、变形缝、后浇带等细部构造处。

混凝土墙施工缝留设在高出底板（或腋角）顶面不少于 300mm 位置，目的是为了保证防水节点薄弱部位的施工质量；施工缝留设在低于顶板（或腋角）底面 800mm 处位置，目的是为了保证下部混凝土墙与其上部混凝土墙连接时所必要的操作空间。

5.9.2 逆作法墙体水平接缝应保证其垂直方向上的应力有效可靠地传递，并保证混凝土结构的水密性与气密性。逆作法墙体水平接缝部位容易产生如下质量问题：

（1）由于先浇筑混凝土的阻隔，容易产生气体不能排出；

（2）由于后浇混凝土收缩产生缝隙，以及接缝表面产生离析水和气泡；

（3）由于混凝土侧压力及浇捣速度过快造成模板变形而产生的混凝土面下沉。

为了解决以上问题，常用接缝处理方式有超灌法与注浆法两

种，超灌法指浇筑时直接利用结构混凝土流动压力，直接由浇捣孔浇捣的施工方法；注浆法指在接缝部位事先预埋注浆管或预设注浆管道等，待后浇混凝土初凝后进行注浆填缝的施工方法。天津地区地下水丰富，注浆法除采用在接缝部位预埋专用注浆管后期注浆的方式外，还可采用在接缝部位预埋发泡聚乙烯接缝棒，待混凝土强度达到设计值后用稀释剂溶解接缝棒，形成注浆管道进行注浆的方式；或者采用施工完成后在接缝部位用钻头引洞，安装有单向功能的注浆针头进行定点注浆的方式。对防水要求较高的工程，也可采用上述任何两种注浆处理的组合方式，以降低渗漏风险。

5.9.3 本条中所述注浆管是一种预埋注浆管系统，用于混凝土中的施工缝处的密封。在新旧混凝土的接缝之间安装注浆管是非常合适的。当水渗入接缝时，可以通过设定在表面的 PVC 端口注入浆液加以封堵这种方法来密封接缝。可以选择在混凝土养护结束后进行注浆，当接缝渗漏时同样也可以用这方法进行密封。

1 注浆管埋设要求：

1）注浆管的安装长度每段不超过 5m。用连接管嘴、强力胶水和伸缩套管将注浆导管连接在注浆管的两端，作为注浆管和排气管；在注浆导管末端安装塞子，防止杂质进入注浆管；

2）安装注浆管的基层应按照规范要求进行凿毛，接浆或涂刷界面处理剂，固定注浆管范围的基层应平整，确保注浆管与基层能够密贴；

3）按照施工图要求的位置设置注浆管，使用塑料卡子将注浆管固定在平整的施工缝表面，固定间距为 200mm～300mm；固定点沿注浆管两侧交错设置；

4）注浆管必须与基层密贴设置，任何部位不得悬空，转弯部位应平缓，不得出现折角，注浆管的转弯半径不宜小于 150mm；

5）注浆管安装完毕后，一旦出现破损部位，应及时修补，将破损部位割除，在割除部位末端重新安装注浆导管，并与两端原有

注浆管进行搭接，有效搭接长度不小于 20～30mm（即出浆段长度）；

6）注浆管安装完毕后，后续工程中应注意对成品进行保护，避免施工时对注浆管造成破坏，出现破损部位时应及时修补，在注浆管附近绑扎或焊接钢筋作业时，应采用临时遮挡措施对注浆管进行保护。

2 注浆工艺要求

1）在注浆前，先用水进行注射，以便检测出泄漏处（并以便估算注射浆使用量），根据缝隙大小及工程需要，可以选用无机型（超细水泥）注浆材料。注浆应在混凝土养护结束后（28 天后）进行。

2）使用合适的注浆泵将注浆管填满注浆材料，直到浆液从另一端的导浆管端口流出。在垂直设置的注浆管内，最初的注浆应该从最低的导浆管端开始，将材料向上挤压，将排气端导浆口封闭并继续注浆。为保证注浆效果宜使灌浆液低压缓进，材料不再流入并且压力计显示没有或者几乎很少压力损失，维持压力至少 2 分钟，确保注浆操作在注浆材料允许的使用或者固化时间之内。重复注浆需要确保使用经过核准的注浆材料；任何留在注浆通道内的注浆材料必须在其固化之前清除干净。

5.9.4 后浇带处的防水层应为一个整体，不得断开，并采取设附加防水层和外贴止水带措施；为防止浇捣混凝土前，地下水向上压力过大将后浇带处防水层破坏，后浇带宽度宜窄不宜宽；此外，在后浇带位置局部加厚垫层，并增设附加钢筋，以防止后浇带两侧底板产生沉降差而导致后浇带下方的防水层受拉伸或撕裂。

5.10 监测

5.10.1 在逆作法基坑工程施工的全过程中，应对基坑支护体系及周边环境进行有效的监测，为信息化施工提供参数。

5.10.2 目前基坑工程的设计计算尚处于半经验半理论状态，无论计算模式还是计算参数，常常和实际情况不完全一致，因此，为了保证工程安全，设计人员应根据基坑工程的具体情况提出基坑监测的具体要求，在施工过程中，可通过对监测数据的分析调整或优化施工程序与围护结构设计；遇到紧急情况时，可以及时发出警报，以便采取相应的应急措施。

5.10.3 本条规定了监测单位编写监测实施方案的具体要求。考虑到基坑监测范围及内容的广度，尤其对大型地下设施、城市生命线等工程的变形位移控制，应事先与相应管理部门取得联系，共同协商确定报警值等，因此强调监测方案须经设计、监理、业主或承包商及相关单位共同确认后实施的重要性。

5.10.5~5.10.8 本条中隐蔽工程系指已施工完成但缺少照明部位和未完成的部位，为节约投资，隐蔽工程可采用高清视频监控，也可采用人工定期巡视。

目前地下工程施工期间的自动化实时监测技术非常成熟，随着通信技术（4G、5G）的发展，大数据的无线传输、存储、处理技术应用也日趋广泛，远程视频监控技术也非常成熟（如手机 APP、监控中心）；考虑到目前天津市比较重要的基坑已开始采用自动化实时监测技术和无线传输的远程信息化管理，故提出在特别重要或非常复杂的逆作法地下工程关键部位或构件宜采用自动化实时监测技术，其余的逆作法地下工程可采用自动化实时监测技术；对风险等级较高的风险源或隐蔽工程可采用视频监控，同时宜采用远程信息化管理，实现可视化风险管理。

远程监控管理模式的核心内容是：通过远程监控管理预警系统

或个人终端的专用 APP 对项目实施全过程中项目参与各方产生的信息和知识进行集中式管理的基础上，为项目参与各方在 Internet 平台上提供一个获取个性化项目信息的便捷入口，从而为项目参与各方提供一个高效率信息交流和共同工作的环境，实现工程的工期、质量和成本控制，同时实现可视化的风险控制管理。

采用远程监控管理模式时，应设置远程监控中心。远程监控中心是负责远程监控工作的一个机构，协调和处理远程监控实施过程中的各项工作事宜，保证远程监控系统的正常运行。

5.11 施工作业安全与作业环境控制

5.11.4 逆作法地下工程施工时自然采光条件差，结构复杂。尤其是节点构造部位，需加强局部照明设施，但在一个工作场所内，局部照明难以满足施工及安全要求，必须和一般照明混合配置。本条符合现行国家标准《建筑照明设计标准》GB50034 规定，并适合于施工现场照明设置的需要。

逆作法工程施工作业安全与作业环境控制除满足本规程规定外，尚应符合现行行业标准《建筑施工安全检查标准》JGJ59、《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46、《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ146 和《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432 的有关规定。

6 工程质量检测与验收

6.1.1~6.1.5 对于具体的检测项目，应根据检测目的、内容和要求，结合各检测方法的适用范围和检测能力，并考虑工程重要性、设计要求、地质条件、施工因素等情况确定合适的检测方法和检测数量。

6.1.6~6.1.14 影响围护结构、竖向支撑桩柱质量的因素存在于施工的全过程中，仅有施工后的试验和施工后的检测验收是不全面、不完整的。施工过程中出现的局部地质条件与勘察报告不符、工程施工参数与施工前的试验参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工单位变更等情况，都可能产生质量隐患，因此应加强施工过程中的检验。不同阶段的检验要求可参照相关现行国家及地方标准执行。

桩身完整性检测一般可采用随工程桩钢筋笼绑扎的声波透射法测试管，待混凝土浇筑完成后进行测试；当工程对检测要求较高时，也可采用两种或多种合适的检测方法进行，如根据桩径、桩长、桩型和天津地区成功的经验，选择采用钻孔抽芯法、声波透射法或动测法进行检测。

6.2.4 分项工程的验收是以检验批为基础进行的。分项工程质量合格的条件是构成分项工程的各检验批次验收资料齐全完整，且检验批均已验收合格。

6.2.6 外观质量的严重缺陷通常会影响到结构性能、使用功能或耐久性。对已经出现的严重缺陷，应由施工单位根据缺陷的具体情况提出技术处理方案，经监理单位认可后进行处理，并重新检查验收。外观质量的一般缺陷不会对结构性能、使用功能造成严重影响，但有碍观瞻，因此，对已经出现的一般缺陷，也应及时处理，并重新检查验收。