ICS 93.010
CCS P 65

T

团　　体　　标　　准

T/TMAC ×××—202X

城市轨道交通地下车站绿色建造技术规范

Code for green construction of urban rail transit underground stations

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布　　××××-××-××实施

中国技术市场协会　发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036　　电话：010-68270447　　传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn　　电子信箱：136162004@qq.com

目　次

前　言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 2
4 基本规定 3
5 材料 5
6 基坑工程 5
6.1 一般规定 5
6.2 预制地下连续墙 6
6.3 劲芯水泥土墙 10
6.4 装配式钢支撑 16
6.5 内斜预制支撑桩 21
7 地下车站主体结构 25
7.1 一般规定 25
7.2 设计 26
7.3 施工 28
7.4 检测与验收 29
8 连续沉井法 32
8.1 一般规定 32
8.2 设计 32
8.3 施工 37
8.4 检测与验收 39
9 盾构法 39
9.1 一般规定 39
9.2 设计 40
9.3 施工 41
9.4 检测与验收 43
10 矩形顶管法 45
10.1 一般规定 45
10.2 设计 46
10.3 施工 49
10.4 检测与验收 50

11 束合结构法 51
11.1 一般规定 51
11.2 设计 51
11.3 施工 52
11.4 检测与验收 53
12 信息化 54
附录 A（规范性）叠合楼板接缝及支座构造 56

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。

本文件由上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司、××××××、××××××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××、×××。

城市轨道交通地下车站绿色建造技术规范

1 范围

本文件确立了组织的城市轨道交通地下车站绿色建造技术体系，规定了其设计、生产、施工和验收四个方面的要求。

本文件适用于城市轨道交通地下工程预制装配式结构的设计、生产、施工和验收。

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 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50009 建筑结构荷载规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB 50017 钢结构设计标准

GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范

GB 50068 建筑结构可靠性设计统一标准

GB 50108 地下工程防水技术规范

GB 50157 地铁设计规范

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准

GB 50661 钢结构焊接规范

GB 50666 混凝土结构工程施工规范

GB 50755 钢结构工程施工规范

GB/T 14370 预应力筋锚具、夹具和连接器

GB/T 33814 焊接H型钢

GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范

GB/T 51231 装配式混凝土建筑技术标准

GB/T 51438 盾构隧道工程设计标准

JGJ 1 装配式混凝土结构技术规程

JGJ 18 钢筋焊接及验收规程

JGJ 107 钢筋机械连接技术规程

JGJ 114 钢筋焊接网混凝土结构技术规程

JGJ 369 预应力混凝土结构设计规范

JGJ/T 199 型钢水泥土搅拌墙技术规程

JGJ/T 283 自密实混凝土应用技术规程

JGJ/T 303 渠式切割水泥土搅拌墙技术规程

TB 10624 市域（郊）铁路设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

预制装配地下结构 precast assembled concrete underground structure

将预制构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土地下结构，包括叠合装配式地下结构、全装配式地下结构、装配整体式地下结构等。

3.2

叠合装配式地下结构 composite concrete underground structure

地下结构采用预制构件与现场后浇混凝土而形成的叠合结构。

3.3

全装配式地下结构 fully precast concrete underground structure

地下结构采用预制构件通过螺栓、榫槽接头、预埋钢板焊接等干式连接的方式形成整体结构。

3.5

装配整体式地下结构 monolithic precast concrete underground structure

地下结构采用预制构件通过后浇带、套筒灌浆等湿式连接的方式形成整体结构。

3.6

装配式基坑围护结构 assembled excavation support structure

由预制地下连续墙、劲芯水泥土桩墙等作为挡土隔水结构，采用型钢组合支撑或预应力鱼腹式钢支撑连接组成的结构体系。

3.7

预制地下连续墙 precast diaphragm wall

用专用机械在泥浆护壁的条件下，在地面以下成槽后放入预制钢筋混凝土板，而形成的连续具有防渗、挡土和承重功能的地下墙体。

3.8

劲芯水泥土墙 strength soil-cement retaining wall

在水泥土连续桩墙内插入型钢或预制桩形成的复合挡土隔水结构。

3.9

装配式型钢组合支撑 assembled steel struts

由 H 型钢支撑梁、组合围檩、立柱和连接件等装配构成的支撑系统。

3.10

内斜预制支撑桩 front supported precast pile

依靠型钢水泥土搅拌墙、预制板桩、钻孔灌注桩等围护桩墙，由专用压桩机施工，预制支撑桩斜向压入基坑围护墙内侧土体，顶部同顶圈梁锚固连接，形成内撑式支护结构。

3.11

连续沉井法 continuous caisson method

在地面上连续制作井体，依次通过井内取土并选择减阻、配重、压沉等方式，在重力或助沉力的作用下使之下沉到地下预定深度后，凿除部分井壁并串联形成整体结构的施工技术。

3.12

类矩形盾构法 quasi-rectangular shield method

采用盾构机械进行开挖、推进、衬砌拼装和注浆等作业的非开挖施工技术，断面由多段圆弧组合而成，类似于矩形断面。

3.13

矩形顶管法 rectangular pipe jacking method

采用矩形或类矩形截面顶管机，将矩形或类矩形管道在地下逐节顶进的非开挖施工技术。

3.14

束合管幕法 underground bundle composite pipe intergrated by transverse prestressing method

结合预应力技术和管幕技术，通过横向张拉预应力筋，将纵向顶进的离散的、小断面方钢管束合成整体结构的非开挖施工技术。

4 基本规定

4.1 预制装配地下结构应符合城市轨道交通基础设施全寿命周期的可持续发展原则，满足设计标准化、

生产工厂化、施工装配化、管理信息化的要求。

4.2 预制装配地下结构在前期规划和方案设计阶段应协调建设、设计、生产制作、施工各方之间的关系，确定采用装配式混凝土结构的部位和范围。

4.3 装配式基坑工程的安全等级和环境保护等级应符合 JGJ 120 的有关规定。

4.4 装配式围护结构的设计工作年限不应小于 1 年，工作年限大于 2 年时，应对围护结构进行安全评估。预制构件的设计工作年限不应小于基坑设计工作年限。当围护结构作为主体结构的一部分时，应满足主体结构设计工作年限要求。

4.5 装配式基坑围护结构构件宜回收和重复利用。

4.6 预制装配地下结构安全等级应为一级，主体结构和使用期间不可更换的结构设计工作年限不应低于 100 年。

4.7 预制装配地下结构抗震设防烈度为 7 度，设防分类为重点设防类，按 8 度抗震设防要求采取抗震构造措施。

4.8 预制装配地下结构承重构件的耐火等级为一级。

4.9 预制装配地下车站主体结构的设计应符合 GB 50010、GB 50011、GB 50157 和 JGJ 1 和 TB 10624 的有关要求，并符合下列规定：

a） 叠合装配式地下结构和装配整体式地下结构的连接节点应保证可靠锚固与整体受力，结构分析可采用与现浇混凝土结构相同的方法；

b） 全装配式地下结构应根据连接节点的构造方式和性能，确定结构的整体计算模型；

c） 预制构件的连接方式应构造简单、传力可靠、施工方便，并应满足承载力和耐久性要求；

d） 预制混凝土构件在翻转、脱模、吊运、运输及安装等环节应进行施工验算。

4.10 预制构件的尺寸和形状应符合下列规定：

a）应满足建筑使用功能、模数、标准化要求；

b）应根据预制构件的功能和安装部位、接缝类型、加工制作及施工精度等要求，确定合理的公差；

c）应满足制作、运输、堆放、安装及质量控制要求。

4.11 预制装配地下结构的建筑设计应遵循少规格、多组合、系列化的原则，预制构件宜进行集成设计，选用通用部品部件和标准接口。

4.12 预制装配地下结构设计文件应包含结构图纸、预制构件制作深化图和预制拼装施工技术要求。

4.13 预制装配地下结构构件宜选用绿色环保建材和性能优良的部品部件。

4.14 预制装配地下结构宜采用建筑信息模型（BIM）技术，实现全专业、全过程的信息化管理。

5 材料

5.1 混凝土、钢筋、钢材和连接材料的力学性能指标和耐久性要求等应符合 GB 50010、GB 50017、GB 50661 和 JGJ 1、JGJ 18、JGJ 107、JGJ 114 的有关规定。

5.2 预制混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C35；预制预应力混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C40。叠合板现浇混凝土的强度等级不应低于 C35，且不应低于预制构件的混凝土强度等级。

5.3 混凝土结构表面与无侵蚀性土壤或水直接接触时，混凝土应采用自防水混凝土，抗渗等级不应小于 P8；场地土壤、水有腐蚀性时，结构设计尚应符合 GB 50046 的有关规定。

5.4 叠合板的现浇混凝土宜采用自密实混凝土，自密实混凝土应符合 JGJ/T 283 的规定；采用普通混凝土时，混凝土粗骨料的最大粒径不宜大于 20mm，且应采取保证现浇混凝土质量的措施。

5.5 普通钢筋混凝土结构的钢筋应采用 HPB300、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500 级钢筋。

5.6 按抗震等级为一、二、三级设计的设计的框架结构，其纵向受力普通钢筋钢筋性能应符合下列规定：

a) 抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；

b) 屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.30；

c) 最大拉力下的总延伸率实测值不应小于 9%。

5.7 钢构件宜采用 Q235 钢、Q355 钢或 Q390 钢，其质量等级不应低于 B 级。

5.8 钢构件的连接应采用高强度螺栓连接，螺栓性能等级不低于 10.9 级，且连接强度应满足支撑的受力要求。

5.9 预制构件的吊环应采用未经冷加工的 HPB300 钢筋或 Q235B 圆钢制作。吊装用内埋式螺母及吊杆的材料应符合国家现行相关标准的规定。

5.10 受力钢筋在同一连接区段内钢筋接头面积百分率为 100%时，应选用Ⅰ级机械连接接头。

5.11 预制装配式结构构件间的连接紧固件材料及其机械性能等级应满足构造和结构受力要求，金属紧固件表面应进行防腐蚀处理。

5.12 预制装配地下结构防水卷材、涂料以及接缝处止水材料的品种、规格、性能等除应符合 GB 50108 的有关规定外，尚应满足设计要求。

6 基坑工程

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于采用预制装配技术的板式或桩墙式围护体系、明挖法施工的地下车站和明挖区间基坑支护。

6.1.2 装配式围护结构的设计，应综合考虑工程地质与水文地质条件、开挖深度、基坑规模、周边环境限制条件、主体地下结构类型及施工方法，并结合工程经验，选择合理的围护结构形式。

6.1.3 装配式围护结构的设计应包括下列内容：

a) 支护体系的方案比较和选型；

b） 基坑的稳定性验算；

c） 围护结构的承载力和变形计算；

d） 环境影响分析与保护技术要求；

e） 降水技术要求；

f） 土方开挖技术要求；

g） 基坑监测要求。

h） 围护结构应对下列设计工况进行计算分析，并按其中最不利作用效应进行设计包络：

i） 基坑开挖至各道支撑施工面；

j） 基坑开挖至坑底；

k） 换撑、拆撑；

l） 基坑各边水平荷载不对等的各种状况。

m） 围护墙的设计应考虑下列因素：

n） 构件的截面模量、惯性矩等力学特性；

o） 构件的连接方式和变形协调能力；

p） 地下水对围护结构的腐蚀影响；

q） 施工中的沉桩工艺和构件回收；

r） 回收要求、回收过程环境影响分析及控制措施。

6.1.4 装配式支撑的设计应包含下列内容：

a） 支撑体系整体分析、稳定性及变形计算；

b） 构件强度及稳定性计算；

c） 结构连接节点设计；

d） 构件安装施工顺序和拆除要求；

e） 动态设计的变形控制和钢支撑应力补偿措施。

6.1.5 围护结构与主体结构相结合时，应根据下列原则进行设计：

6.1.6 围护结构在基坑开挖阶段应根据 5.1.5 的规定进行设计计算和验算，在永久使用阶段应根据相关规范满足主体结构的设计计算和耐久性要求；围护结构相关构件的节点连接、变形协调与防水构造尚应满足主体结构设计要求。

6.1.7 围护墙的内力与变形宜采用竖向弹性地基梁法计算，支撑刚度宜按平面杆系结构进行分析。对平面形状不规则且空间效应较为明显的基坑，宜采用空间弹性地基板法进行整体建模，按施工工况分步进行模拟计算。

6.1.8 围护结构施工前应检查预制构件质量证明资料、出厂合格证、外观质量、校核桩位，施工中应检查焊接质量、垂直度、标高、轴线偏位，施工后应检测桩身完整性。

6.1.9 基坑施工过程中应根据设计要求进行检测和监测，宜实施动态设计和信息化施工。

6.2 预制地下连续墙

6.2.1 设计

6.2.1.1 预制地下连续墙可用于临时围护结构，也可与地下结构外墙相结合形成两墙合一。两墙合一地下连续墙可采用单一墙、复合墙和叠合墙的形式。

6.2.1.2 预制地下连续墙的厚度应根据受力和变形计算及墙体的抗渗要求综合确定，墙体厚度应略小于成槽宽度，墙厚不宜大于 800mm。

6.2.1.3 预制地下连续墙单元槽段的平面形状和槽段长度，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。单元槽段的平面形状有一字形、L 形、T 形等。

6.2.1.4 预制地下连续墙宜采用空心截面，墙段平面长度、竖向长度应结合设备吊装能力确定，平面长度宜为 3m~5m，竖向长度宜小于 25m。

6.2.1.5 预制地下连续墙围护的内力、变形计算和稳定性验算应符合 JGJ 120 的有关规定。预制地下连续墙的正截面受弯承载力、斜截面受剪承载力验算应符合 GB 50010 的有关规定。

6.2.1.6 预制混凝土围护桩桩长应由计算确定。竖直方向需要接长时，宜采用可靠连接的机械接头，应符合下列规定：

a) 对接头及连接件进行设计和计算，接头处抗弯性能不应低于墙身的抗弯性能，抗拉强度不应低于墙身抗拉强度；

b) 接头应避开墙身弯矩或剪力最大部位，宜设置于墙身受力较小位置，相邻围护墙的接头位置在竖向应相互错开；

c) 接头强度应通过试验验证。

6.2.1.7 水平方向相邻预制地下连续墙的接头可采用钢筋混凝土现浇接头或榫卯式接头。

6.2.1.8 预制地下连续墙顶部应设置现浇钢筋混凝土顶圈梁将其连成整体，其构造应符合下列规定：

a） 顶圈梁混凝土强度等级不宜低于 C30；

b) 顶圈梁的宽度不应小于预制地下连续墙墙厚，宜比墙厚宽不小于 150mm。高度不宜小于 500mm，且不宜小于墙厚的 0.6 倍；

c) 预制地下连续墙应伸入顶圈梁，深度不宜小于 100mm；

d) 预制地下连续墙与顶圈梁之间可采用预留插筋、填芯钢筋笼等方式进行连接，地下连续墙竖向钢筋锚入顶圈梁内的长度宜按受拉锚固要求确定。

6.2.1.9 预制地下连续墙钢筋的混凝土保护层厚度在迎坑面不应小于 30mm，迎土面不应小于 50mm。

6.2.1.10 预制混凝土围护桩应进行起吊和运输工况的内力、变形计算及裂缝验算。

6.2.1.11 当预制地下连续墙作为主要竖向承重构件时，宜对地下连续墙采取墙底注浆的加固措施，协调地下连续墙与主体结构之间的差异沉降。

6.2.2 施工

6.2.2.1 预制墙段的堆放和运输应符合下列规定：

a) 预制墙段应达到设计强度后，方可进行运输及吊放。

b) 预制墙段的就位吊点位置应按设计要求。设计无规定时，吊点位置应计算确定。

c) 预制墙段水平起吊应采用四点吊，起重钢丝绳与墙段水平的夹角不应小于 45° 。

d) 预制墙段堆放时垫块宜设置在吊点处。预制墙段叠放层数不宜超过三层，上、下层垫块放置应上下对齐。

e) 预制墙段运输时叠放层数不宜超过二层。墙段装车后应与车板固定牢固，固定索具与墙段阳角接触处应采取护角措施。异形截面墙段运输时应采取可靠的支承固定措施。

6.2.2.2 预制地下连续墙施工应符合下列规定：

a) 预制地下连续墙宜采用连续成槽法进行成槽施工；

b) 预制地下连续墙成槽施工时应先施工转角幅后施工直线幅；

c) 成槽深度应大于墙段埋置深度 100mm~200mm；

d) 预制墙段起吊前应验算墙段起吊而产生的内力，并应符合 GB 50010 的有关规定，且满足设计要求后方可起吊；

e) 预制墙段墙缝宜采用现浇钢筋混凝土接头；

f) 预制地下连续墙的厚度应比成槽厚度少 20mm，预制墙段与槽壁间的前后缝隙宜采用注浆填充；

g) 墙段吊放时，应在导墙上安装导向架；

h) 清槽后槽内泥浆的性能指标应符合表 1 的规定。

表 1 预制地下连续墙清槽后槽内泥浆的性能指标

项目	性能指标	检查数量		检验方法
		范围	点数	
泥浆比重	1.1~1.2	离槽底 500mm 处	1	泥浆比重计
泥浆黏度(s)	25~30		1	黏度计
pH 值	7~9		1	pH 试纸

6.2.2.3 预制墙段安放应符合下列规定：

a) 预制墙段安放前槽段底部应均匀回填级配良好的碎石，回填高度应高出墙段埋置底标高 50mm，并根据墙幅布置，在导墙面上划出分幅标记；

b) 预制墙段的安放顺序宜为先转角墙段后直线墙段，预制墙段安放闭合位置宜设在直线墙段上；

c) 预制墙段入槽、安放应平稳，并应测量两个方向垂直度，安放后的墙段应准确固定在导墙上；

d) 预制墙段安放允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 预制墙段安放允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检查数量		检验方法
		范围	点数	
预制墙顶标高	±10	每幅槽段	2	水准仪

项目	允许偏差（mm）	检查数量		检验方法
		范围	点数	
预制墙中心位移	10		1	钢尺检查

6.2.2.4 预制墙段连接墙缝接头的施工宜符合下列规定：

a) 接头的施工宜以 3~5 个预制墙段作为一个施工段；

b) 一个施工段最外侧的接头宜在下一施工段进行施工；

c) 接头施工前，宜对两侧墙段侧壁进行刷壁，再对接头位置进行清孔，然后吊放钢筋笼；

d) 接头水下混凝土宜采用细石混凝土。

6.2.2.5 预制墙段与槽壁间的前后缝隙宜采用注浆填充。注浆施工应符合下列规定：

a) 预制墙段与槽段前后缝隙注浆应在接头施工完毕后进行；

b) 每个预制墙段宜设置 2 根注浆管，注浆时各注浆点应均匀注浆；

c) 浆液指标及注浆技术参数应符合表 3 的规定。

表 3 浆液指标及注浆参数

项目	指标参数
水胶比	0.55~0.60
水玻璃掺量	2%~5%
注浆压力（MPa）	0.2~0.4
注浆速度（L/min）	20

6.2.2.6 预制墙段的搁置点应待墙底墙侧注浆达到设计强度后拆除。

6.2.3 检测与验收

6.2.3.1 地下连续墙墙体混凝土抗压强度和抗渗强度等级应符合设计文件要求。

a) 检测数量：每一个单元槽段混凝土进行抗压强度检测，每五个单元槽应制作抗渗压力试件一组；

b) 检测方法：混凝土强度现场抽检；抗渗检查试验报告。

6.2.3.2 预制地下连续墙的钢筋骨架和预埋件的安装无变形，符合设计文件要求。

a) 检测数量：按单元槽段全部检查；

b) 检测方法：观察检查和量测。

6.2.3.3 预制地下连续墙构件表面无空洞、露筋、蜂窝等缺陷累计面积不应超过单元槽面积的 5%。

a) 检测数量：按单元槽段全部检查；

b) 检测方法：观察检查和量测。

6.2.3.4 作为永久结构的地下连续墙垂直度允许偏差应为 1/300，临时结构结构允许偏差为 1/150。

a) 检测数量：全数检查；

b) 检测方法：吊线法、经纬仪等。

6.2.3.5 地下连续墙允许偏差、检测数量和检测方法应符合表 4 的规定。

表 4 地下连续墙允许偏差、检测数量及方法

检测内容		允许偏差（mm）	检查数量		检测方法
			范围	点数	
导墙尺寸	宽度	+40	每个槽段	5	量测
	墙面平整度	≤5			靠尺+塞尺
	导墙平面位置	±10			量测
沉渣厚度		≤100			重锤测或沉积物测定仪
槽深		+100			重锤测
预制地下连续墙构件	长度	±50	每个墙体	上中下各 1 点	量测
	宽度	±20			
	厚度	0~10			
	主筋间距	±10		4 点	任取一断面连续量取 5 个间距，取平均值作为一点
	分布筋间距	±20			
	预埋件中心位置	±10		1	量测
预制地下连续墙表面平整度		≤100	每个墙体	5	均匀黏土层，松散及易坍图层由设计单位确定

6.3 劲芯水泥土墙

6.3.1 设计

6.3.1.1 劲芯水泥土墙由水泥土墙和内插芯材共同组成。采用在水泥土搅拌桩内插芯材时应符合 JGJ/T 199 的有关规定；采用在渠式切割水泥土搅拌墙内插芯材时应遵照 JGJ/T 303 的有关规定。

6.3.1.2 水泥土墙可综合考虑地质条件、基坑深度、场地条件、施工对周边环境扰动程度，选用水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土搅拌墙、铣削深搅水泥土搅拌墙、超高压喷射注浆等工艺。

6.3.1.3 劲芯水泥土墙的内插芯材，可选用 H 型钢、锁扣型钢、钢管桩、预制混凝土桩、预制墙等。当基坑用于盾构或顶管的工作井时，芯材宜选用可回收型钢。

6.3.1.4 劲芯水泥土墙除应进行内力、变形计算和稳定性验算外，尚应计算下列内容：

a) 芯材截面承载力；

b) 芯材与水泥土之间的错动受剪承载力；

c) 水泥土最薄弱截面处的局部受剪承载力；

d) 芯材回收时，尚应计算芯材起拔阻力。

6.3.1.5 劲芯水泥土墙进行内力和变形计算、基坑稳定性验算时，挡土结构的深度应取芯材的插入深度，抗弯刚度计算应仅计取芯材的抗弯刚度。芯材的强度验算应符合 GB 50010、GB 50017 的有关规定。

6.3.1.6 劲芯水泥土墙构造应符合下列规定：

a) 水泥土墙所用水泥宜采用强度等级不低于 P. O 42.5 级的普通硅酸盐水泥；墙体渗透系数应满足自防渗要求，且不应大于 1×10^{-6}cm/s。

b) 水泥土墙厚度和深度应满足芯材插入要求，墙体厚度宜大于芯材垂直于基坑边线的截面高度 100mm，墙体深度比芯材的插入深度深不宜小于 0.5m；

c) 芯材沿水泥土围护墙中心线等间距布置，且相邻芯材净距不宜小于 200mm；

d) 芯材垂直于水泥土围护墙中心线平面定位偏差不应大于 10mm，平行于水泥土围护墙中心线平面定位偏差不应大于 50mm。

e) 芯材在水泥土墙平面内和平面外的垂直度偏差均不应大于 1/200；

f) 基坑转角部位宜增加芯材插入密度；

g) 墙体厚度或芯材插入密度变化处，墙体厚度较大区段或芯材插入密度较大区段宜向相邻区段延伸过渡。

6.3.1.7 四轴水泥土搅拌桩应符合下列规定：

a) 四轴水泥土搅拌桩单桩单轴搅拌桩径为 850mm，相邻幅搭接不宜小于 200mm，应采用套接一孔法施工；

b) 成桩深度不宜大于 45m；

c) 水泥土 28d 无侧限抗压强度应满足设计要求，且不宜小于 0.5MPa；

d) 桩身垂直度偏差应不大于 1/250；

e) 材料用量和水灰比应根据地层条件、桩身强度要求以及施工工艺确定，并宜符合表 5 的规定。

表 5 四轴水泥土搅拌桩材料用量和水灰比

土质条件	单位被搅拌土体中的材料用量		平均水灰比
	水泥掺量（质量比）	膨润土（kg/m³）	
淤泥质土	15%~18%	0	0.90~1.15
黏性土	13%~15%	0~5	1.00~1.15
砂土（粉土）	13%~15%	5~10	1.00~1.15

注：

a） 在芯材依靠自重和必要的辅助设备可插入到位的前提下，水灰比宜取小值；

b) 在填土、淤泥质土等特别软弱的土中施工，水泥掺量宜取大值；

c) 平均水灰比为单幅搅拌桩消耗浆液中的水与固化剂用量的质量比。

6.3.1.8 五轴水泥土搅拌桩应符合下列规定：

a) 五轴水泥土搅拌桩单轴搅拌桩径宜为 700mm~950mm，相邻幅搭接不宜小于 200mm，应采用套接一孔法施工；

b） 成桩深度不宜大于 45m；

c） 水泥土 28d 无侧限抗压强度应满足设计要求，且不宜小于 0.5MPa；

d） 桩身垂直度偏差应不大于 1/250；

e） 材料用量和水灰比应根据地层条件、桩身强度要求以及施工工艺确定，并宜符合表 6 的规定。

表 6 五轴水泥土搅拌桩材料用量和水灰比

机械设备	单位被搅拌土体中的水泥材料用量（kg/m3）	平均水灰比
置换式	≥360	0.90~1.15
强制搅拌式	≥234	1.00~1.15

注：

a） 粉土和沙土可适当掺入膨润土；

b） 在填土、明暗浜土、淤泥质土等特别软弱的土中应提高水泥掺量；

c） 特殊原因，可掺入早强、缓凝等外加剂。

6.3.1.9 超高压喷射注浆应符合下列规定：

a） 超高压喷射注浆成桩直径与土层特性、施工深度、喷射压力和流量、压缩空气压力和流量、喷浆管提升速度等技术参数有关，应根据现场成桩试验确定合理的技术参数；

b） 成桩直径和深度应结合施工设备的能力确定，桩身截面宜为全圆、半圆或扇形；

c） 水泥用量和水灰比应根据地层条件、桩身强度与抗渗性要求以及施工工艺要求确定；当采用 RJP 工法、MJS 工法、N-Jet 工法时，水泥掺量不宜小于 40%，水灰比宜为 1.0~1.3；水泥土 28d 无侧限抗压强度应满足设计要求，且不宜小于 1.0Mpa；

c） 当成桩深度不大于 30m 时，桩身垂直度偏差不大于 1/100；当成桩深度为 30m~60m 时，桩身垂直度偏差不大于 1/200；当成桩深度大于 60m 时，桩身垂直度偏差不大于 1/300。

6.3.1.10 水泥土锁扣型钢地下连续墙应符合下列规定：

a） 墙体厚度范围宜取 640mm~1200mm，并应按施工设备模数选用；

b） 单幅墙长度宜为 2.8m，幅间咬合搭接不宜小于 0.2m；

c） 墙体深度不宜大于 80m，宜采用顺槽式施工；

d） 锁扣型钢的板件宽厚比等级按 S4 级控制；

e） 墙身垂直度偏差不应大于 1/500；

f） 材料用量应根据土层合理配置，并宜符合表 7 的规定。

表 7 水泥土锁扣型钢地下连续墙材料用量

土质条件	单位被搅拌土体中的材料用量	
	水泥浆液水泥用量（kg/m3）	膨润土浆液膨润土用量（kg/m3）
黏性土	≥180	≥50
砂性土	≥360	≥90

6.3.1.11 水泥土锁扣型钢地下连续墙中锁扣型钢的间距和平面布置形式应根据计算确定，平面布置形式可采用一字型，布置形式见图 1。

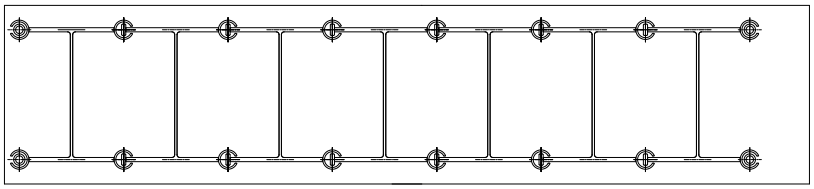


图 1 一字型锁扣型钢地下连续墙平面布置形式

6.3.1.12 水泥土锁扣型钢地下连续墙的锁扣型钢接头可由 C 型锁扣和 T 型接头构成，咬合接头的标准配置应沿着锁扣型钢的构件轴向间断布置，布置形见图 2。

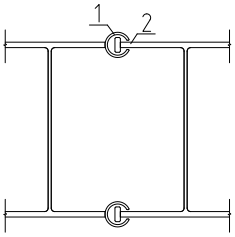


图 2 锁扣咬合接头

标引序号说明：

1——C 型锁扣；

2——T 型接头。

6.3.1.13 当芯材为型钢构件时，应符合下列规定：

a） 当型钢采用钢板焊接而成时，应符合 GB/T 33814 的有关规定；

b） 型钢宜采用整材；当需采用分段焊接时，应采用坡口等强焊接，对接焊缝的坡口形式和要求应符合 GB 50661 的有关规定，焊缝质量等级不应低于二级；单根型钢中焊接接头不宜超过 2 个，接头位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等构件受力较大处；相邻型钢的接头竖向位置应相互错开，错开距离不宜小于 1m，且接头距离基坑底面不宜小于 2m；

c） 型钢需拔除回收时，宜预先采取减摩措施。

6.3.1.14 当芯材为预制混凝土构件时，应符合下列规定：

a） 预制构件宜在工厂制作，宜采用预应力钢筋混凝土构件，制作和运输应符合 GB 50666 的有关规定；

b） 预制构件的截面承载力，应按 GB 50010 的有关规定进行计算；

c） 预制构件宜整体制作；当需分段制作时，连接接头不宜超过 1 个；预制构件接头宜采用焊接连接，并应满足与桩身等强度设计要求，且接头不宜设在计算最大弯矩或剪力位置；

d） 预制构件制作时，应根据需要留设与支撑顶圈梁和围檩的连接构造措施。

6.3.1.15 劲芯水泥土墙支护体系的顶圈梁和围檩，应符合下列规定：

a) 劲芯水泥土墙顶部应设置封闭的钢筋混凝土顶圈梁，顶圈梁梁的高度和宽度应由计算确定；

b) 当芯材为型钢时，型钢应穿过顶圈梁，且顶部高出顶圈梁不宜少于 500mm；顶圈梁主筋应避开型钢设置；顶圈梁箍筋宜采用四肢箍，直径不宜小于 8mm，间距不应大于 200mm；由于内插型钢未能设置封闭箍筋的部位，宜在型钢翼缘外侧设置封闭箍筋予以加强；

c) 当芯材为预制混凝土构件时，顶圈梁截面宽度不宜小于预制构件截面高度；预制构件纵向受力钢筋在顶圈梁中的锚固长度应符合 GB 50010 对钢筋锚固的有关规定；

d) 顶圈梁、围檩与支撑相交位置箍筋宜适当加密；

e) 当采用钢围檩时，芯材与钢围檩之间的空隙应采用钢楔块和细石混凝土填实。

6.3.2 施工

6.3.2.1 水泥土墙施工前应通过成桩、成墙试验确定施工工艺及工艺参数，试验数量不宜少于 3 幅。

6.3.2.2 四轴水泥土搅拌桩的施工应符合下列规定：

a) 成桩施工时宜采用数字化施工控制系统对制浆与供浆、供气、搅拌等进行自动化控制；

b) 施工时应将试成桩确定的参数输入数字化施工控制系统，进行自动化成桩施工，成桩施工下沉搅拌时应同时开启喷气口和下喷浆口，下沉至桩底标高时，应采用上下转换喷浆工艺在桩底标高以上 4m 范围内重复搅拌 1 次，重复搅拌完成后从桩底标高开始搅拌提升时，应关闭下喷浆口，并开启上喷浆口；

c) 当采用套接一孔法施工时，相邻桩的搭接时间间隔不宜大于 24h。当超过 24h 时造成无法搭接，应作为冷缝记录在案，并经过设计单位确认后，采取补救措施；

d) 中断施工后，应在恢复喷浆前将钻杆提升或者下沉 0.5m 后再喷浆搅拌施工。

6.3.2.3 五轴水泥土搅拌桩施工应符合下列规定：

a) 喷浆搅拌下沉速度宜控制在 0.5m/min~1.0m/min，置换式提升搅拌速度宜控制在 1.0m/min~2.0m/min，强制搅拌式宜控制在 1.0m/min~1.5m/min，并保持匀速下沉或提升。提升时不应在孔内产生负压造成周边土体的过大扰动，搅拌次数和搅拌时间应能保证水流土搅拌墙的成桩质量；

b) 对于硬质土层，置换式可采用预先松动土层的先行钻孔套打方式施工，强制搅拌式可利用主机配备的加压卷扬进行加压钻进搅拌；

c) 浆液泵送量应与搅下沉或提升相匹配；

d) 置换式五轴水泥土搅桩搭接施工的间隔时间不宜大于 24h；强制搅拌式五轴水泥土搅拌墙搭接施工的间隔时间不宜大于 16h；当超过 24h 时，应作为冷缝记录在案，并应经设计单位认可后，在搭接处采取补救措施。

6.3.2.4 水泥土锁扣型钢地下连续墙施工应符合下列规定：

a) 施工前，应进行测量放样并复核验收，并应根据确定的施工顺序，安排主机、配套机具、自动

拌浆系统、水泥筒仓、锁扣型钢等的放置位置；

b) 可采用现浇式钢筋混凝土导墙或钢板式导墙；采用现浇式钢筋混凝土导墙时，导墙宜筑于密实的土层上，并应高出地面100mm，导墙净距应比墙体设计厚度宽不小于40mm；采用钢板式导墙时，导向沟槽深度宜为0.8m~1.5m，主机一侧的钢板宽度不宜小于6.0m，厚度不宜小于20mm；

c) 宜采用铣削式设备成墙，应采用双浆液方式，下沉注入浆液应选择膨润土浆液，下沉搅拌速度宜控制在100mm/min~150mm/min，提升时应喷射水泥浆液，提升速度控制宜在150mm/min~200mm/min；

d) 水泥浆液水泥掺量宜为10%~20%，水灰比宜为1.0~2.0。在砂性土中水灰比宜取较小值，粘性土宜取较大值；

e) 采用膨润土浆液时，膨润土浆液应提前24h搅拌均匀充分水化，膨润土掺量宜为3%~5%；

f) 锁扣型钢宜在水泥土搅拌墙成墙搅拌完成2h内插入，插入前应检查其平整度、套箍、端头板和接头质量；

g) 锁扣型钢的插入应采用牢固的定位导向架，在插入过程中应采取措施保证锁扣型钢垂直度和防止滑落；锁扣型钢插入到位后应用悬挂构件控制锁扣型钢顶标高，并采用高强螺栓与已插好的锁扣型钢牢固连接。

6.3.2.5 劲芯水泥土墙与芯材的插入与回收应符合下列规定：

a) 劲芯水泥土墙与芯材插入施工应连续、流水作业，芯材插入宜在水泥土墙施工结束后水泥土初凝前完成；

b) 芯材的插入应采用牢固的定位导向架，在插入过程中应采取措施保证芯材垂直度和防止滑落；芯材插入到位后应用悬挂构件控制芯材顶标高，并与已插好的芯材牢固连接；

c) 拟拔出回收的钢桩，插入前应先在干燥条件下除锈，再在其表面涂刷减摩材料；完成涂刷后的钢桩，在搬运过程中应防止碰撞和强力擦挤；减摩材料如有脱落、开裂等现象应及时补涂；

d) 芯材起拔前水泥土墙和主体结构外墙之间的空隙应回填密实。

6.3.3 检测与验收

6.3.3.1 劲芯水泥土围护墙的质量检验，除设计规定外，尚应符合下列规定：

a) 当桩顶设计标高与地面相同时，或围护结构施工结束后需对桩位进行检查时，桩位验收应在施工结束后进行；当桩顶设计标高低于施工场地标高，送桩后无法对桩位进行检查时，可在每根桩顶沉至场地标高时，进行过程验收，全部施工完成后再进行最终验收；

b) 水泥土墙身质量检验宜采用现场钻孔取芯样强度试验方法确定，用于抗压强度检测的芯样龄期不宜少于28d，取芯钻孔应采用微膨胀水泥浆灌注；

c) 当设计有要求时，可采用芯样渗透试验检验水泥土墙抗渗性能，必要时可结合墙体注水试验、现场试抽水试验或物探无损检测等方法综合确定。

6.3.3.2 基坑开挖前应检验水泥土墙体强度，强度指标应符合设计要求。墙体强度宜采用钻芯法确定，水泥土搅拌桩抽检数量不应少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根；渠式切割水泥土搅拌墙抽检数量每 50 延米不应少于 1 个取芯点，且不应少于 3 个检测点；铣削深搅水泥土搅拌墙的取芯孔数量宜不少于总幅数的 2%，且不应少于 3 个检测点。

6.4 装配式钢支撑

6.4.1 设计

6.4.1.1 装配式钢支撑的的选型应根据基坑形状、开挖深度、周围环境条件、场地工程地质和水文地质条件、基坑围护结构型式等综合确定，可采用预应力鱼腹式钢支撑、预应力张弦梁钢支撑、型钢组合支撑等形式。

6.4.1.2 装配式钢支撑平面布置应符合下列规定：

a) 对撑、角撑、组合支撑、鱼腹梁的截面中轴线应在同一平面上形成整体，上下各道支撑杆件中心线宜在同一竖向平面内；

b) 支撑构件宜避开主体结构的墙、柱等竖向构件；

c) 基坑向内凸出的阳角应设置可靠的双向约束；

d) 支撑构件的设置应考虑基坑土方开挖、运输以及方便主体结构施工；

e) 支撑长度方向的拼接宜采用螺栓连接或焊接，拼接点强度不应低于构件的截面强度；

f) 当基坑形状不利于钢支撑布置时，可采用与钢筋混凝土支撑相结合的支撑布置方式。

6.4.1.3 装配式钢支撑竖向布置应符合下列规定：

a) 支撑的标高设置应利于控制围护墙的内力与变形，并有利于开挖作业，且不影响主体结构施工；

b) 同一区段同一层支撑宜设置于同一标高，对于结构坡度较大的基坑，钢支撑可按坡度走向布置；

c) 各道支撑竖向净距以及支撑与坑底的净距不宜小于 3m；

d) 支撑与其下在拆撑前需要施工的底板或楼板净距不宜小于 500mm。

6.4.1.4 立柱和立柱桩的布置应符合下列规定：

a) 立柱宜采用格构式钢柱或 H 型钢柱，也可采用钢管柱；

b) 立柱桩尽量利用主体结构工程桩，宜采用灌注桩，直径不宜小于 650mm，必要时可采用顶部扩径；

c) 立柱宜布置在纵横向支撑的交点处或桁架式支撑的节点位置上，宜避开主体结构的框架梁、柱以及承重墙的位置；

d) 相邻立柱的间距应根据支撑体系的布置及竖向荷载确定，且不宜超过 15m。

e) 立柱宜设置于对撑、角撑组合构件的侧面，并宜成对设置；

f) 立柱与钢支撑应设置可靠钢托架进行连接，钢托架应能对节点位置支撑在侧向和竖向的位移进行有效约束；

g) 立柱锚入立柱桩内的长度不宜小于立柱边长或直径的 4 倍，且不宜小于 2m；

h） 立柱穿过主体结构底板范围内应设置可靠的止水措施。

6.4.1.5 钢围檩的布置应符合下列规定：

a） 钢围檩可采用型钢或型钢组合构件，宜沿基坑周边连续设置，形成完整的封闭体系；

b） 支撑对应钢围檩连接处应设置加劲板，加劲肋宜对齐布置，加劲板间距不应大于 500mm，厚度应由计算确定且不小于 10mm；

c） 型钢支撑梁与腰梁斜交时，应在交接处设置三角传力件；

d） 围檩与围护墙之间宜采用吊筋或托架连接，连接构件的规格与布置由计算确定。

6.4.1.6 装配式钢支撑的设计计算，应考虑下列荷载作用和影响：

a） 基坑周边围护墙传至支撑结构的水平作用力；

b） 支撑结构自重及活荷载；当支撑作为施工平台时，尚应按设计情况考虑施工荷载；

c） 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略时，宜考虑温度作用；

d） 立柱之间或立柱与围护墙之间的差异沉降产生的作用。

6.4.1.7 装配式钢支撑的强度和变形计算、稳定性验算、节点构造应满足 GB 50017 的有关要求，并符合下列规定：

a） 钢支撑连接节点应根据实际连接方式确定节点约束条件，计算模型应能考虑施加预应力的作用；

b） 支撑弹性支点刚度系数宜通过对支撑结构整体线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定；

c） 构件承载力计算应考虑施工偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的 1/1000，且不宜小于 40mm；

d） 支撑构件在强度验算时应考虑螺栓孔对截面削弱的不利影响；在计算稳定性和变形时可不考虑螺栓孔的影响；

e） 对撑、角撑、竖向斜撑应按偏心受压构件进行计算；

f） 顶圈梁或围檩应按水平方向的受弯构件计算，按以支撑为支座的多跨连续梁计算，计算跨度可取相邻支撑点的中心距；

g） 当需要考虑立柱回弹等差异沉降对支撑内力和变形的不利影响时，宜采用空间梁框架体系进行分析。

6.4.1.8 立柱和立柱桩的设计计算应符合下列规定：

a） 立柱应按偏心受压构件进行强度、稳定和变形计算，计算时应充分考虑基坑开挖与拆撑过程中的各不利工况，偏心距应根据立柱垂直度并按双向偏心进行计算，偏心距取值不宜小于计算长度的 1/100；

b） 单层支撑的立柱、多层支撑底层立柱的受压计算长度应取底层支撑中心线至基坑底面的净高度与立柱直径或边长的 5 倍之和，相邻两层水平支撑之间的受压计算长度应取此两层水平支撑的中心距；

c） 立柱长细比不宜大于 30；

d） 立柱桩应进行单桩竖向承载力计算，竖向荷载应包括支撑与立柱的自重、支撑构件上的施工荷载等；

e） 对撑、角撑区域横向成对设置的立柱之间应宜设置剪刀撑。

6.4.1.9 托梁宜按两端简支的受弯构件进行承载力及挠度验算，其挠度不宜大于托梁计算长度的 1/400。

6.4.1.10 装配式钢支撑的对撑、角撑应配置预应力加载装置，钢支撑的预压力施加值应根据变形控制确定，宜为设计轴力的 50%~80%，预应力的施加应遵循对称、分级、均匀的原则。

6.4.1.11 钢支撑在预应力施加过程中应对钢支撑的轴力进行监测，并应根据预应力损失情况予以补偿，且应在达到预应力设计值并保持稳定后进行锁定。

6.4.2 施工

6.4.2.1 装配式钢支撑体系安装应严格遵循“时空效应”原理，并合理安排挖土作业进度，调配作业人员及设备，及时支撑，减少无支撑暴露时间。

6.4.2.2 型钢组合支撑施工流程如图 3 所示。

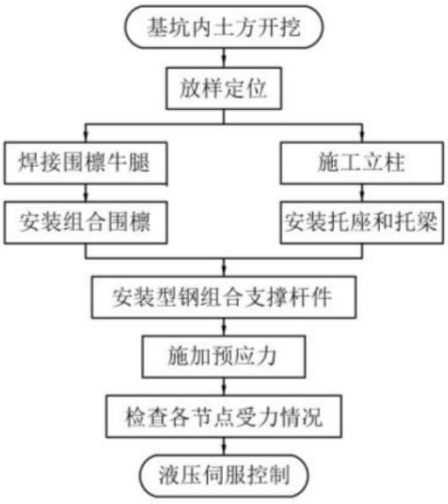


图 3 型钢组合支撑安装施工流程

6.4.2.3 钢支撑施工应符合下列规定：

a） 钢支撑宜在工厂加工制作，安装前宜在地面进行预拼装；

b） 钢支撑安装前，应做好测量定位工作，保证支撑位置准确；

c） 钢支撑就位时，根据监控量测方案及时安装监测元器件；

d） 采用无围檩的钢支撑系统时，钢支撑与围护墙体的连接应满足受力要求；

e） 钢支撑安放到位后，应检查各节点的连接状况，符合要求后方可施加预压力。

6.4.2.4 立柱施工应符合下列规定：

a） 立柱的加工、运输、堆放应控制平直度；

b） 应采取有效措施控制立柱的定位、垂直度及转向偏差；

c） 采用格构式钢立柱时，格构柱宜先安装就位，再浇筑立柱桩混凝土；

d） 立柱周围土方应均匀对称开挖。

6.4.2.5 托架、托座与托梁安装应符合下列规定：

a） 托架与围护墙的连接、托座与立柱的连接均应控制标高和水平度；

b） 在施加预应力前，托梁不应限制支撑水平位移；待预应力施加完成后，再对托梁和单肢型钢采取螺栓连接；

c） 托梁不应设置接头。

6.4.2.6 构件采用螺栓连接时应符合下列规定：

a） 宜选用承压型六角头高强螺栓，经检测合格后方能使用；

b） 螺栓安装紧固应应分两次进行，初拧扭矩值为终拧的 50%~70%；型钢组合支撑杆件施加预应力或土方开挖后应对螺栓进行复拧。

6.4.2.7 钢围檩施工应符合下列规定：

a） 钢围檩安装前，应将围护桩（墙）体暴露，清理桩（墙）体上的渣土；

b） 型钢组合钢围檩宜减少拼接节点，拼接位置应避开支撑处或跨中，组合型钢拼接节点相互错开的距离不应小于 1m，钢围檩拼接节点的承载力不应小于杆件的承载力；

c） 钢围檩安装时对接接头宜控制在同一平面上，端头应切割平整，钢围檩接头顶面、底面、侧面处应采用钢缀板连接；

d） 钢围檩与围护结构的间隙应采用细石混凝土或砂浆填充密实；

e） 基坑转角处，钢围檩端头应紧贴转角围护，并采取有效措施保证两个方向围檩的连接。

6.4.2.8 钢支撑的预应力施加应符合下列规定：

a） 支撑结构安装完毕并经质量自检合格后方可施加预应力；

b） 对撑和角撑构件施加预应力时，千斤顶压力的合力点应与支撑轴线重合，千斤顶应在支撑轴线两侧对称、等距放置，且应同步平衡施加压力；

c） 千斤顶的压力应分级施加，施加每级压力后宜保持压力稳定 10min 后再施加下一级压力；预压力加至设计规定值后，应在压力稳定 10min 后，方可按设计预压力值进行锁定；

d） 在施加预应力过程中，当出现焊点开裂、螺栓松动、局部压曲等异常情况时应卸除预应力，并对支撑的薄弱处进行加固后，方可继续施加预应力；

e） 对周围环境变形敏感、基坑围护变形控制要求较高的窄条形深基坑工程，宜采用钢支撑伺服轴力自动补偿系统，自动监测与施加支撑轴力。

6.4.2.9 预应力鱼腹式钢支撑施工应符合下列规定：

a） 预应力鱼腹式钢支撑应在立柱、托座、托梁和托架等竖向支承构件设置完成后，按照“先鱼腹梁、后对撑、角撑”的顺序进行水平支撑系统的拼装；

b） 应遵循“先对撑、角撑，后鱼腹梁”的次序进行分级、循环施加预应力；

c） 鱼腹梁钢绞线张拉应采用张拉器的液压值控制和钢绞线伸长量控制的“双控”措施；

d） 应在预应力施加完毕后锁紧鱼腹梁与两端围檩间的螺栓和托梁与支撑间的螺栓。

6.4.2.10 支撑拆除应在换撑形成且达到设计要求后进行，并应符合下列规定：

a） 支撑拆除时应设置安全可靠的防护措施和作业空间，并应对主体结构采取保护措施；

b） 预应力鱼腹式钢支撑拆除时应先释放鱼腹梁钢绞线的轴力，再释放对撑及角撑的轴力，逐级先后实施；

c） 组合钢支撑进行机械拆除作业时，应按照施工组织设计选定的机械设备及吊装方案进行施工，严禁超载作业或任意扩大范围；

d） 施加预应力的钢支撑的拆除，应遵循先分级释放预应力至零应力状态，每级内力释放后宜观察30min，并检查支撑节点变化及基坑周边变形情况，如有异常应立即采取措施，拆除多道对撑或者角撑时宜跳仓实施；

e） 支撑构件拆除应遵循如下顺序：

a） 拆除盖板；

b） 逐节拆除支撑、围檩、螺栓等连接件；

c） 拆除托架、托梁；

d） 拆除立柱。

f） 构件应分件拆除，拆除的构件应按指定位置分类堆放。

6.4.3 检测与验收

6.4.3.1 型钢组合支撑H型钢标准件进场的检验项目、允许值或允许偏差及检测方法应符合表8的规定。

表8 型钢组合支撑H型钢标准件质量检验标准

检验内容	允许值或允许偏差	检验方法
截面尺寸	±3mm	钢尺
标准件长度	±10mm	钢尺
腹板、翼缘厚度	±1mm	卡尺
直线度	l/1000	钢尺
挠度	l/500	钢尺
端部平整度	2mm	钢尺
螺栓孔间距	±2mm	钢尺
螺栓孔直径	+2mm	卡尺
螺栓孔数量	0	目测

6.4.3.2 型钢组合支撑安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表9的规定。

表9 型钢组合支撑安装施工质量检验标准

项目	检验内容		允许值或允许偏差		检验方法
			数值	单位	
主控项目	支撑之间轴线偏移		±30	mm	水准仪
	组合支撑预加压力		50	kN	传感器
一般项目	型钢组合支撑	支撑挠度	l/1000		钢尺
		平面位置	±20	mm	钢尺
		标高	±20	mm	水准仪
	连接质量		设计要求		/
	螺栓松紧度		105	kN·m	扭矩扳手
	盖板、系杆	尺寸、规格	-1	mm	钢尺
		间距	20	mm	钢尺
	焊缝厚度		设计要求		焊缝检验尺

6.4.3.3 立柱、托座、托梁、托架安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 10 的规定。

表10 立柱、托座、托梁、托架安装施工质量检验标准

项目	检验内容	允许值或允许偏差		检验方法
		数值	单位	
主控项目	立柱截面尺寸	±5	mm	钢尺
	立柱长度	±50	mm	钢尺
	立柱垂直度	l/200		钢尺或吊线
一般项目	立柱挠度	l/500		钢尺
	立柱顶标高	±30	mm	水准仪
	平面位置	±20	mm	钢尺
	平面转角	5	°	钢尺
	托梁、托架标高	±5	mm	水准仪

6.5 内斜预制支撑桩

6.5.1 设计

6.5.1.1 内斜预制支撑桩基坑支护系统，由围护墙、顶圈梁、内斜撑桩、止水帷幕等组成，如图 4 所示。

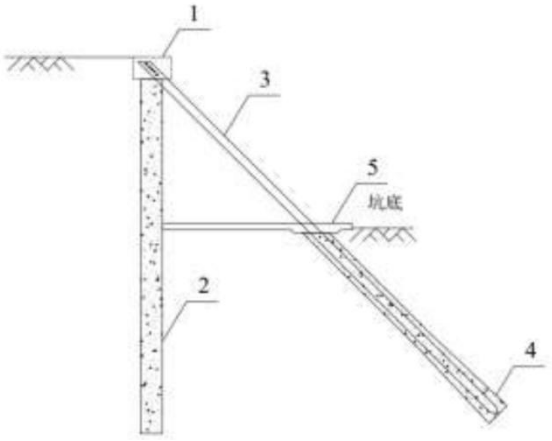


图 4 内斜预制支撑桩支护结构示意图

6.5.1.2 内斜预制支撑桩支护结构适用于基坑安全等级为三级和环境保护等级为二级、三级的基坑。

6.5.1.3 内斜预制支撑桩选型过程中应综合考虑下列因素：

a) 基坑平面形状、尺寸和开挖深度；

b) 基坑周边环境条件；

c) 围护墙的选型；若采用灌注桩、型钢水泥土搅拌墙为围护墙，斜向支撑桩应避开灌注桩或内插型钢；

d) 土方开挖流程。

6.5.1.4 内斜预制支撑桩的设计包括下列内容：

a) 围护墙的方案比选和选型；

b) 围护墙承载力及变形计算；

c) 围护墙稳定性验算；

d) 斜向支撑桩内力、承载力、变形验算。

6.5.1.5 内斜预制支撑桩支护系统结构分析应符合下列规定：

a) 采用竖向弹性地基梁法计算时，其分析应符合 JGJ 120 的有关规定；

b) 如有可靠经验，可采用空间结构分析方法对基坑斜向支撑桩支护系统按不同工况进行整体分析；

c) 斜向支撑桩和顶圈梁的连接可按铰接考虑。

6.5.1.6 内斜预制支撑桩的设计应符合下列规定：

a) 斜向支撑桩平面布置应避开主体地下结构的工程桩、墙、柱等竖向结构；

b) 针对凹进的阴角部分，可采用水平支撑，避免斜向支撑桩冲突；

c) 支撑桩材料可采用钢筋混凝土、型钢或型钢混凝土组合构件；

d) 斜向支撑桩与支护桩竖向角度范围宜取 0°~45°，截面宽度宜取 350mm~550mm；

e) 当基坑底以下分布有深厚淤泥质土等软弱土层时，斜向支撑桩宜穿越软弱土层，进入稳定土层，进入的深度根据稳定性与变形计算要求确定，且不宜小于 1m。

6.5.1.7 内斜预制支撑桩计算挡土构件内力与变形时，斜向支撑桩的水平刚度可按照下式确定：

$$k_h \geq \alpha_k \frac{F_k \sin^2\theta}{s b_c} \quad \text{（1）}$$

式中：

α_k——刚度调整系数，根据现场试验，结合抗弯刚度，进行数据拟合后综合确定。无现场试验条件时，可取 1.1~1.5；

k_h——斜向支撑桩的水平刚度系数（kN/m/m）；

F_k——静载试验轴向*荷载*，根据桩顶轴向变形 s 对应的荷载确定，可通过线性插值计算（kN）；

θ——斜向支撑桩与支护桩的夹角（°）；

s——静载试验桩顶轴向变形（m），按 $s = \frac{[s_0]\sin\theta}{2}$ 计算，其中$[s_0]$为根据基坑工程环境保护等级确定的支护墙顶侧向最大位移（m）；

b_c——斜向支撑桩的水平间距（m）。

6.5.1.8 内斜预制支撑桩对围护墙的水平作用力可按下式确定：

$$F_h = k_h s_0 b_c \quad \text{（2）}$$

式中：

F_h——挡土结构计算宽度内的弹性支点水平反力（kN）。

6.5.1.9 内斜预制支撑桩的单桩轴向抗压极限承载力设计值宜根据现场静载荷试验确定。若无试验资料，承载力估算应符合 GB 50007 的有关规定。

6.5.1.10 内斜预制支撑桩单桩轴向抗压承载力设计值 R_d 可按下式（3）确定：

$$R_d \leq \frac{R_k}{K} \quad \text{（3）}$$

式中：

Rk——单桩轴向抗压极限承载力标准值（kN）；

K——安全系数，基坑环境保护等级为二级、三级时，取值分别为 1.8、1.6。

6.5.1.11 内斜预制支撑桩承载力计算应满足下式（4）要求：

$$F_h \leq R\sin\theta \quad \text{（4）}$$

式中：

R——内斜撑桩基桩轴向抗压承载力设计值（kN），不考虑顶圈梁锚固作用时，可取 $R=R_d$。

6.5.1.12 内斜预制支撑桩桩身强度应满足下式（5）要求：

$$\frac{F_h}{\sin\theta} \leq \varphi\psi_c f_c A_{ps} \quad \text{（5）}$$

式中：

φ——稳定性系数，参照 JGJ 94 有关规定取值；

ψ_c——基桩成桩工艺系数，混凝土预制桩和预应力混凝土桩取 0.85；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值（kPa）；

A_{ps}——桩身截面面积（m^2）。

6.5.1.13 顶圈梁浇筑前，内斜预制支撑桩应预留一定长度，凿出主筋，锚入顶圈梁内部。预留长度满足受压构件锚固要求。

6.5.1.14 采用型钢水泥土搅拌墙时，应在顶圈梁上表面，型钢与顶圈梁间设置抗剪键。

6.5.2 施工

6.5.2.1 内斜预制支撑桩施工设备应根据地质条件、周边环境和预制构件的规格选用，压桩机应符合下列规定：

a) 操作系统应具有自动水平偏差和垂直度调整功能；

b) 操作系统应具有自动操作功能，并应配备角度和压力监控装置和机具工作状态显示功能；

c) 遇紧急情况，动力系统应能自动停机；

d) 液压系统最大工作压力不应小于 25MPa；

e) 夹箱可调整角度宜为 0°~45°。

6.5.2.2 内斜预制支撑桩基坑支护系统施工应符合下列规定：

a) 压桩设备定位平面允许偏差为 20mm；

b) 施工时，构件入土点与临时围挡水平距离应不小于 3.5m；

c) 构件的斜向角度允许偏差为±2°；

d) 起吊构件时，钢丝绳下放与夹箱斜向操作应同步进行；

e) 桩机每台班压桩后，应重新调校各紧固件；

f) 构件压入过程中，夹具与接触面打滑时，严禁随意提高油压力；

g) 施工时，桩端阻力过大，不能送至指定位置时，禁止通过增加配重方式强行压入，应及时同设计单位联系，确定解决方案。

6.5.2.3 内斜预制支撑桩接桩宜采用焊接，应将四角电焊固定，然后对称焊接，并确保焊接质量及设计尺寸，并应符合下列规定：

a) 单节预制支撑桩长度不宜超过 15m，接头不宜超过 2 个；

b) 接头宜采用低碳钢，并应符合 GB 50661 的有关规定；

c) 接桩时，下节桩的桩头宜高出地面 0.5m，下节桩的桩头宜设置导向箍；上下节桩段应保持顺直，错位偏差不应大于 2mm；上下节桩端板表面应清刷干净；

d) 焊接宜在桩四周对称进行，待上下节桩固定后，拆除导向箍再分层施焊，焊接层数不得小于 2 层，第一层焊接完成后，应理清焊渣，方可进行第二层施焊，焊接应连续、饱满；

e) 焊接完成的接头应自然冷却后，方可继续压桩，自然冷却时间不少于 6min，严禁采用冷水冷却；

f) 焊接接头的质量检查应采用探伤检测，同一工程探伤抽检不得少于 3 个接头。

6.5.3 检测与验收

6.5.3.1 内斜预制支撑桩检验项目、允许值或允许偏差及检测方法应符合表 11 的规定。

表11 内斜预制支撑桩质量检验标准

检验内容		允许值或允许偏差	检验方法
内斜预制支撑桩长度		±20mm	钢尺
内斜预制支撑桩直径或边长		±2mm	钢尺
定位及压桩	内斜预制支撑桩入土平面误差	±100mm	钢尺
	内斜预制支撑桩入土标高误差	±100mm	钢尺
	内斜预制支撑桩水平角度误差	±3°	量角器
	内斜预制支撑桩竖向角度误差	±2°	量角器
内斜预制支撑桩角度		2°	量角器
承载性能试验		设计要求	按静载荷试验

7 地下车站主体结构

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于采用预制装配技术的地下车站和明挖区间主体结构。

7.1.2 根据建造功能需求，明挖条件下的预制装配地下结构可采用箱形或拱形框架结构型式，并计及地层与结构的相互约束和共同作用影响。结构体系在拼装全过程及使用期间应满足稳定性、承载能力和变形要求。

7.1.3 预制装配地下结构应采取措施保证结构的整体性，平面形状宜简单、规则、对称。结构质量、刚度分布宜均匀，不应采用严重不规则布置。

7.1.4 预制装配地下结构设计应采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法，应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。钢筋混凝土结构还应对使用阶段进行裂缝宽度验算。

7.1.5 预制装配地下结构重要性系数γ_0不应小于表 12 的规定。

表12 结构重要性系数 γ 0

结构重要性系数	持久设计状况和短暂设计状况			偶然设计状况和地震设计状况
	安全等级			
	一级	二级	三级	
γ_0	1.1	1.0	0.9	1.0

7.1.6 预制装配地下结构的分块方式和预制构件大小尺寸的确定应满足结构在拼装过程及使用期间的受力和稳定性要求，同时尚应兼顾构件制作、运输、吊装、拼装和施工安全的需求。

7.1.7 预制构件连接接头的设计应受力明确，构造可靠，满足施工阶段和正常使用阶段各种工况下结构受力、变形、防水和耐久性要求，并根据地下结构的受力特性和工程施工环境特点，选择合适的连接接头型式。

7.1.8 结合装配式结构型式及单个预制构件体重，宜进行预制构件的轻量化设计，可选择闭腔薄壁构件、肋板等多种轻量化形式。

7.1.9 对于构造复杂或者受力情况特殊的预制装配地下结构，必要时可采用试验的方法对结构整体或者局部构件的受力和变形进行验证。

7.2 设计

7.2.1 作用在预制装配地下结构上的荷载，按类型可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三类。荷载代表值、分项系数、荷载最不利组合以及荷载效应的极限状态表达式应符合 GB 50009、GB 50157、TB 10624 的有关规定。

7.2.2 处于一般环境中的装配式地下结构，构件表面裂缝宽度允许值一般为 0.3mm；浅埋结构处于干湿交替环境状态，临土侧最大计算计算裂缝宽度允许值按 0.2mm 计。处于侵蚀环境等不利条件下的结构，最大计算裂缝宽度允许值应根据具体情况另行确定。

7.2.3 预制构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计工况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.2。

7.2.4 预制构件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

a) 动力系数不宜小于 1.2。

b) 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于 1.5kN/m^2。

7.2.5 预制装配地下结构应根据施工阶段和正常使用阶段在结构上可能出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行结构强度、刚度和稳定性计算，并符合下列规定：

a) 装配整体式地下结构可采用与现浇混凝土结构相同的方法进行结构分析；

b) 叠合装配式地下结构可按整体结构设计计算，但其斜截面受剪承载力和叠合面受剪承载力应符合 GB 50010 的有关规定；

c) 全装配式地下结构应根据连接节点的构造方式，考虑接头变刚度性能以及应力释放对结构内力的影响，合理确定结构计算模型。

7.2.6 预制构件的设计应符合下列规定：

a) 对持久设计工况，应对预制构件进行承载力、变形、裂缝控制验算；

b) 对地震设计工况，应对预制构件进行承载力和变形验算；

c) 对制作、运输、堆放、安装等短暂设计状况，应对预制构件进行施工验算。

7.2.7 装配整体式地下结构连接接头的强度和刚度不应低于相连接的预制构件，接头宜设置在结构受力

较小的部位。

7.2.8 全装配式地下结构连接接头应进行抗弯承载能力、抗剪承载能力、接触面局部受压承载能力、相对转角变形验算。

7.2.9 叠合装配式地下结构的底板宜采用现浇混凝土结构；中、顶板可采用叠合楼板结构。

7.2.10 叠合楼板的设计应满足 GB 50010 的有关有关要求，并应符合下列规定：

a) 叠合楼板厚度不宜小于 200mm，有防水要求时厚度不应小于 250mm；

b) 叠合板的预制板厚度不宜小于 60mm，后浇混凝土叠合层厚度不宜小于 80mm；

c) 叠合楼板叠合层顶部应配置双向钢筋，每个方向的配筋率不宜小于 0.25%，钢筋间距不宜大于 150mm；

d) 跨度大于 3m 的叠合板，宜采用桁架钢筋混凝土叠合板；

e) 叠合楼板接缝构造、支座构造应符合本规范附录 A 的规定。

7.2.11 叠合梁宜采用整体成型钢筋笼，叠合框架梁的后浇混凝土叠合层厚度不宜小于 150mm，叠合非框架梁的后浇混凝土叠合层厚度不宜小于 120mm。叠合框架梁宜采用整体封闭箍筋。

7.2.12 预制柱与叠合梁的连接处可设置钢筋混凝土牛腿，牛腿与预制柱整体预制，牛腿上下各 500mm 范围内的预制柱箍筋应加密。牛腿的设计应符合 GB 50010 的有关规定。

7.2.13 装配整体式地下结构节点及接缝处的钢筋连接宜根据接头受力、施工工艺等要求选用机械连接、焊接、绑扎搭接、套筒灌浆连接、浆锚搭接等连接方式。受拉钢筋直径 d＞20mm 时不宜采用浆锚搭接，直接承受动力荷载的构件纵向钢筋不应采用浆锚搭接。节点构造应符合现行国家及行业标准的有关规定。

7.2.14 叠合装配式地下结构的预制构件结合面应设置粗糙面或键槽。结合面上应设置凹凸深度不应小于 4mm 的粗糙面或双向设置间距不大于 50mm、深和宽不小于 10mm 的刻痕。

7.2.15 预制装配式车站内部结构构件主要包含楼梯、站台板、轨顶风道等，内部结构与主体结构应保证可靠连接。

7.2.16 预制装配式内部结构构件的连接支座宜考虑运营期间车辆振动影响。

7.2.17 预制板式楼梯的梯段板底应配置通长的纵向钢筋。板面宜配置通长的纵向钢筋；当楼梯两端均不能滑动时，板面应配置通长的纵向钢筋。

7.2.18 预制站台板结构可采用π型支墩和面板的组合形式，设计应符合下列规定：

a) π型支墩纵向间距应考虑面板受力合理性、构件规格、施工安装便利性等综合确定，间距宜为 2m~4m；

b) π型支墩柱脚宜通过灌浆套筒与底板预留插筋连接，柱底与底板面后浇混凝土高度不宜小于 100mm；

c) π型支墩横梁与面板可采用搭接或螺栓等紧固件柔性连接；

d) 相邻面板间可预留 10mm 拼缝，并采用柔性材料填充。

7.2.19 轨顶风道与车站中板宜整体预制，同步施工；当主体结构已经完成或吊装空间和能力不足时，可在侧墙与中板预留连接件，后期实施。

7.2.20 预制轨顶风道预埋件连接应符合下列规定：

a) 预制轨顶风道与轨道交通车站的中板宜通过钢筋、螺栓等连接方式牢固连接；

b) 相邻预制轨顶风道管节接缝处宜采用凹凸榫槽接口连接；

c) 预制轨顶风道与轨道交通车站的预制中板的接缝处及相邻轨顶风道接缝处应布设弹性密封垫；

d) 预制烟道板安装完成后，应具有良好的密封性能，允许漏风量应满足通风排烟设计的要求。

7.2.21 预制混凝土构件中宜先行预埋好固定管线支架、装饰材料等预埋件或预留安装条件；当采用其他安装固定方式时，不应影响预制构件的完整性与结构安全。穿越楼板管线较多且集中的区域宜采用现浇楼板。

7.2.22 用于固定连接件的预埋件与预埋吊件、临时支撑用预埋件不宜兼用；当兼用时，应同时满足各种设计工况要求。

7.2.23 预制构件中外露预埋件凹入构件表面的深度不宜小于 10mm，并应采取防腐保护措施；预埋件锚固钢筋与预制构件的钢筋应有可靠连接。

7.3 施工

7.3.1 预制混凝土构件制作、运输、施工安装均应符合 GB/T 51231、JGJ 1 的有关规定。

7.3.2 预制构件生产企业应具备保证产品质量要求的工艺设施、试验检验条件；建立完善的质量管理体系及制度，宜建立质量可追溯的信息化管理系统。

7.3.3 预制构件生产前应进行深化设计。深化设计应包括下列内容：

a) 预制构件尺寸图、配筋图、预埋件布置图、金属加工件详图及其他节点详图等；

b) 预制构件钢筋列表清单、预埋件列表清单、构件信息列表等；

c) 预制构件脱模及翻转过程中混凝土强度、构件承载力、构件变形以及吊具、预埋吊件的承载力验算等；

d) 预制构件平立面布置图、安装支撑布置图等。

7.3.4 预制混凝土构件模具应采用钢质底模，宜采用型钢或铝合金型材侧模。采用其他材料时应满足模具强度、刚度及稳定性要求。

7.3.5 预埋件、连接件及预留孔洞应按构件设计制作图进行配置，满足吊装、施工安全、耐久性及稳定性要求。

7.3.6 预制构件吊运应符合下列规定：

a) 预制构件的混凝土强度应符合设计要求，当设计无具体要求时，混凝土构件的抗压强度不宜小于混凝土强度等级值的 75%；

b) 应根据预制构件的形状、尺寸、重量和作业半径等要求选择吊具和起重设备，所采用的吊具和起重设备及其操作，应符合现行国家有关标准及产品应用技术手册的规定；

c) 吊点数量、位置应经计算确定，应保证吊具连接可靠，应采取保证起重设备的主钩位置、吊具及构件重心在竖直方向上重合的措施；

d) 吊索水平夹角不宜小于 60°，不应小于 45°；

e) 应采用慢起、稳升、缓放的操作方式，吊运过程应保持稳定，不得偏斜、摇摆和扭转，严禁吊装构件长时间悬停在空中。

7.3.7 全装配式地下结构的施工应符合下列规定：

a) 预制结构拼装前应对基底进行精平，基底标高精度应控制在±1mm；

b) 预制构件安装后应对安装位置、安装标高、垂直度进行校核与调整；

c) 预制构件之间的接缝应设置环向定位装置，拼装时定位装置插入构件内的预留孔洞；

d) 预制构件宜采用注浆式榫槽接头，拼装时榫槽与榫头宜预留 5mm~10mm 间隙，采用改性环氧树脂进行注浆；

e) 张拉连接满足接缝宽度要求，水平和竖向接缝应均匀，避免局部张拉过紧产生翘起和错台。

7.3.8 装配整体式地下结构的施工应符合下列规定：

a) 预制构件结合面疏松部分的混凝土应剔除并清理干净；

b) 模板应保证后浇混凝土部分形状、尺寸和位置准确，并应防止漏浆；

c) 在浇筑混凝土前应洒水润湿结合面，混凝土应振捣密实；

d) 连接部位的后浇混凝土及灌浆料的强度达到设计要求后，方可拆除临时固定措施。

7.3.9 叠合装配式地下结构的施工应符合下列规定：

a) 应根据设计要求或施工方案设置临时支撑；

b) 施工荷载宜均匀布置，并不应超过设计规定；

c) 在混凝土浇筑前，应按设计要求检查结合面的粗糙度及预制构件的外露钢筋；

d) 叠合构件应在后浇混凝土强度达到设计要求后，方可拆除临时支撑。

7.4 检测与验收

7.4.1 预制构件生产宜建立首件验收制度。

7.4.2 预制构件的原材料质量、钢筋加工和连接的力学性能、混凝土强度以及构件结构性能等均应根据国家现行有关标准、设计文件以及合同约定进行检查和检验，并应具有生产操作规程和质量检验记录。

7.4.3 预制构件和部品经检查合格后，宜设置表面标识。预制构件和部品出厂时，应出具质量证明文件。

7.4.4 预制装配地下结构子分部工程验收时，应满足 GB 50204 的有关规定，并应提供下列资料：

a) 工程设计文件、预制构件制作和安装深化设计图；

b) 预制构件、主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录、抽样复检报告；

c) 预制构件安装施工记录；

d) 钢筋套筒灌浆、浆锚搭接连接的施工检验记录；

e） 后浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件；

f） 后浇混凝土、灌浆料、坐浆料的强度检测报告；

g） 防水施工质量检测记录；

h） 装配式结构分项工程质量验收文件；

i） 装配式工程的重大质量问题的处理方案和验收记录；

j） 装配式工程的其他文件和记录。

7.4.5 预制构件的外观质量不应有影响其结构性能、安装和使用功能的严重缺陷。预制构件外观质量缺陷如表 13 所示。

表13 预制构件外观质量缺陷

名称	外观现象	严重缺陷
露筋	钢筋未被混凝土完全包裹而外露	纵向受力钢筋有露筋
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	构件主要受力部位有蜂窝
孔洞	混凝土中孔穴深度和长度均超过保护层厚度	构件主要受力部位有孔洞
夹渣	混凝土中夹有杂物且深度超过保护层厚度	构件主要受力部位有夹渣
疏松	混凝土中局部不密实	构件主要受力部位有疏松
裂缝	缝隙从混凝土表面延伸至混凝土内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能的裂缝
连接部位缺陷	构件连接处混凝土缺陷及连接钢筋、连接件松动，插筋严重锈蚀、弯曲，灌浆孔洞堵塞、偏位、破碎等缺陷	连接部位有影响结构传力性能的缺陷
外形外表缺陷	缺棱掉角、棱角不直、翘曲不平、飞出凸肋，表面麻面、掉皮、起砂、沾污等	具有重要装饰效果的清水混凝土构件有外形外表缺陷

7.4.6 预制构件的尺寸偏差应符合表 14 的规定。

表14 预制构件质量检验

检查项目			允许值或允许偏差	检验方法
长度	板、梁、柱	＜12m	±5mm	钢尺
		≥12m 且＜18m	±10mm	
		≥18m	±20mm	
	墙板		±4mm	
宽度、高（厚）度	板、梁、柱		±5mm	钢尺
	墙板		±3 mm	
表面平整度	板、梁、柱、墙板内表面		5mm	靠尺、塞尺
	墙板外表面		3mm	
侧向弯曲	板、梁、柱		l/750 且≤20mm	拉线、钢尺
	墙板		l/1000 且≤20mm	
翘曲	板		l/750	水平尺、钢尺
	墙板		l/1000	
对角线差	板		10mm	钢尺
	墙板		5mm	
挠度变形	梁、板设计起拱		±10mm	拉线、钢尺
	梁、板下垂		0	
预埋件	预埋板、吊环、吊钉中心线位置		5mm	钢尺
	预埋套筒、螺栓、螺母中心线位置		2mm	
	预埋板、套筒、螺母与混凝土面平面高差		-5mm，0	
	螺栓外露长度		-5mm，+10mm	
预留孔、预埋管中心位置			5mm	钢尺
预留插筋	中心线位置		3mm	钢尺
	外露长度		±5mm	
键槽	中心线位置		5mm	钢尺
	长、宽、深		±5mm	
预留洞	中心线位置		10mm	尺量
	尺寸		±10mm	
与现浇部位模板接槎范围表面平整度			2mm	靠尺

7.4.7 装配式混凝土结构的尺寸偏差应符合表 15 的规定。

表15 装配式结构质量检验

检查项目			允许值或允许偏差	检验方法
构件中心线对轴线位置	竖向构件（柱、墙板）		10mm	尺量
	水平构件（板、梁）		5mm	
构件标高	板、梁、柱、墙板底面或顶面		±5mm	水准仪或尺量
构件垂直度	柱、墙	＜5m	5mm	经纬仪或全站仪
		≥5m 且＜10m	10mm	
		≥10m	20mm	
构件倾斜度	板、梁		5mm	垂线或尺量
相邻构件平整度	板端面		5mm	钢尺或塞尺
	板、梁底面	抹灰	5mm	
		不抹灰	3mm	
	柱、墙侧面	外露	5mm	
		不外露	10mm	
构件搁置长度	板、梁		±10mm	尺量
支座、支垫中心位置	板、梁、柱、墙		10mm	尺量
墙板接缝	宽度		±5mm	尺量
	中心线位置			

8 连续沉井法

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于采用连续沉井法施工的地下车站主体结构。

8.1.2 采用连续沉井法施工时，应采用压入式下沉、不排水开挖、数字化控制的组合施工工艺，严格控制各沉井的施工偏差及施工期间周边环境影响。

8.1.3 地下车站主体的各沉井之间应采用刚性连接，车站主体与附属之间宜采用柔性连接。

8.2 设计

8.2.1 连续沉井法地下车站设计应包括下列内容：

a) 车站主体的分节布置设计；

b) 车站主体的建筑布置设计；

c) 车站主体结构体系设计；

d) 沉井结构设计与计算；

e) 沉井竖向分节设计；

f) 沉井下沉计算；

g) 沉井封底设计与计算；

h) 沉井间连接段结构设计与计算；

i) 车站抗浮设计；

j) 压沉系统的桩基设计；

k) 施工期间周边环境影响估算；

l) 结构防水与耐久性设计。

8.2.2 连续沉井法地下车站应根据“规模适中、节段均匀、对称平衡”的原则进行车站主体分节布置设计，并符合下列规定：

a) 整个车站分节数量宜为单数；

b) 车站端头井应单独作为一个沉井分节；

c) 车站标准段各沉井的大小、纵向间距宜一致，沉井分节数量，应根据地质条件、车站宽度、底板埋深、施工场地、周边环境等因素综合确定，单井长宽比不宜大于 2，高宽比不宜大于 2.5，相邻沉井净距不宜小于 2m；

d) 当车站标准段内存在换乘节点等特殊结构段时，该节段应单独作为一个沉井分节。

8.2.3 连续沉井法地下车站主体的建筑布置应符合下列规定：

a) 车站主体应采用统一柱网排列形式，且中柱沿纵向对齐；

b) 纵向柱跨等距且不宜小于中楼板扶梯孔的长度；

c) 单柱车站时，应尽量避免楼扶梯并列设置，当必须并列时，楼梯、扶梯孔洞应按相同大小设计，且相对柱网对称布置，其中，孔洞长度由扶梯决定，孔洞宽度由楼梯决定；

d) 双柱车站时，楼梯、扶梯孔洞宜按同长度合并设置且在车站中跨居中对称布置；

e) 设备区孔洞应进行尺寸归并，并相对柱网、盾构吊装孔为对称布置；

f) 设备区孔洞应尽量调整为长边与行车线路方向垂直；

g) 车站范围内线路及各层楼板纵向宜按平坡设计，道床的纵向排水沟按 0.2%设计，并且站台层结构净高应包络车站道床排水沟的高差需求；

h) 端头井端部柱跨应满足该处盾构区间的施工条件；

i) 主体与附属无贯通要求处，沉井侧墙应尽可能保留。

8.2.4 连续沉井法地下车站主体结构宜采用框架结构体系，并符合下列规定：

a) 车站沉井段纵向、横向均应布置框架梁，兼作沉井施工期间的内支撑，其中，横向框架梁宜沿柱网所在轴线布置，并采用宽扁形梁截面，梁高均应满足建筑所需各层层高，站台层上方楼板的横向框架梁下翻量尚应满足上排热风道净空需求；

b) 车站底板梁宜利用位于底板下方的沉井施工所需贯入墙设置，与上方各层楼板的框架梁对齐；

c) 沉井底板应按以井壁、底板纵横梁为支座的多跨连续双向板设计；

d) 沉井顶板、中楼板在由纵横向框架梁、水平框架梁所围合的的后施工孔洞，当采用现浇施工时，按双向板设计，当采用条形预制构件施工时，按单向板设计，且上排热风道结构应与中楼板整体同步预制成型；

e) 各相邻沉井贯通侧的端封墙、主体与附属连通口处沉井侧墙，宜采用便于拆卸和重复利用的标准化竖列布置预制构件；

f) 端头井端部预留盾构区间圆洞口处井壁宜采用钢筋混凝土与井壁同步现场预制成型后一起下沉。

8.2.5 连续沉井法地下车站的沉井结构设计与计算，应符合下列规定：

a) 各沉井单体应根据车站结构实际情况采用整体空间建模计算，并考虑井壁包含可拆卸预制构件时对结构整体刚度削弱的影响；

b) 沉井的水平受力计算，应按施工阶段、使用阶段分别计算，水、土压力按各工况实际作用情况取值，其中，施工阶段计算时，尚应考虑沉井对边存在偏载情况下的影响；

c) 沉井的竖向受力计算，尚应考虑压沉系统最不利加载工况下的验算；

d) 与沉井井壁同步制作下沉的底板梁（贯入墙）、楼板纵横向框架梁，应进行地基反力作用下的结构验算，底板梁下地基反力设计值取地基土极限承载力标准值乘以分项系数 1.27，并应反向计算确定施工期间框架梁竖向不均匀沉降的允许值，作为施工控制和信息化监测的依据；

e) 底板与井壁间的约束条件，当无预留插筋连接时，应按铰接考虑，当井壁通过钢筋整体连接时，可根据二者间的刚度比按弹性固定或固定考虑。

8.2.6 连续沉井法地下车站沉井结构竖向分节设计，应符合下列规定：

a) 位于软弱土层时沉井宜分节制作、分次下沉，竖向分节数量，应根据结构规模、层高、下沉深度、地基承载力、施工筹划等因素综合确定；

b) 竖向分节位置，宜避开井壁受力最大的位置，并保证水平框架梁及其腋角可同步浇筑；

c) 对于采用分次下沉的沉井，当竖向分节位置将形成局部阶段的悬臂工况时，对沉井井壁应补充在对应最不利埋深处结构强度验算；对中部框架柱应补充水下挖土设备偶然碰撞的结构强度验算。

8.2.7 连续沉井法地下车站的沉井下沉计算，应符合下列规定：

a) 下沉过程中沉井的刃脚应始终保留土塞效应，避免掏空刃脚方式下沉，下沉系数可按下式计算：

$$k_0 = \frac{G_k - F_k + T_p}{T_f + R} \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

kO——下沉系数，宜取 1.05~1.25；

Gk ——下沉过程中沉井结构自重标准值（kN）；

Fw ——下沉过程中地下水的浮力标准值（kN）；

Tp ——压沉系统下压力加载值总和标准值（kN）；

Tf ——井壁总摩阻力标准值（kN）；

Γw ——水的重度（kN/m3）；

R ——刃脚、底板梁（贯入墙）下地基土反力之和（kN），地基土反力可采用地基土极限承载力标准值。

b) 根据下沉深度范围内软弱土层分布及分次下沉工况，尚应按下式进行下沉稳定验算：

$$k_0' = \frac{G_k - F_k}{T_f + R} \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

k_0'——下沉稳定系数，对软弱土层可取 0.8~0.9；

c) 当沉井需分节制作、分次下沉时，对每次结构接高制作时沉井所在深度，均应按下式进行接高稳定性验算：

$$k_g = \frac{G_g - F_g}{T_{fg} + R_g} \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

k_g——接高稳定性系数，应小于 1.0；

G_g——接高后的该下沉阶段沉井结构自重标准值（kN）；

F_g——沉井位于验算位置时地下水浮力标准值（kN）；

T_{fg}——沉井位于验算位置时井壁总摩阻力标准值（kN）；

R_g——沉井位于验算位置时刃脚、底板梁（贯入墙）下地基土反力之和（kN），地基土反力可采用地基土极限承载力标准值。

8.2.8 连续沉井法地下车站的沉井水下封底，应符合下列规定：

a) 封底混凝土厚度应符合强度及抗浮验算的要求，并不应小于 1500mm；

b) 按抗弯强度计算确定的封底混凝土厚度可按下式计算：

$$h_t = \sqrt{\frac{5.72M}{b_0 \cdot f_t}} + h_u \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

ht——水下封底混凝土厚度（mm）；

M——每米宽度最大弯矩的设计值（N·mm）；

b0——计算宽度（mm），取 1000mm；

ft——混凝土轴心抗拉强度设计值（kN/mm2）；

hu——附加厚度（mm），可取 300mm。

c) 封底混凝土在井壁、底板梁（贯入墙）边缘处的厚度尚应符合冲剪验算要求；

d） 封底混凝土浇筑时宜设置拉结钢筋，与沉井底板可靠连接，并将封底混凝土自重计入结构抗浮重量。

8.2.9 沉井间连接段结构的设计与计算，应符合下列规定：

a） 连接段结构采用现浇钢筋混凝土实施，与其两侧相邻沉井刚性连接；

b） 连接段结构在使用阶段，可按沿垂直线路方向的箱型框架结构计算，且其沿线路方向的纵向刚度应能满足协调相邻沉降差异变形的要求；

c） 连接段开挖宜通过地基预加固结合横列板支护采用无支撑明挖法实施，也可采用板式支护体系围护结构按常规明挖顺作法实施。若连接段基底的抗承压水稳定性验算不满足要求，可采用水平封底隔水帷幕或水下开挖等措施。

8.2.10 连续沉井法地下车站的抗浮设计，应符合下列规定：

a） 抗浮设计应按沉井封底、结构贯通、永久使用三个阶段，分别根据实际可能出现的最高水位进行验算；

b） 沉井封底阶段对应于封底混凝土已达到设计强度且封底之上井内水体已被抽除的工况，应对各独立沉井按实际工况分别计算，抗浮安全系数可按下式计算：

$$k_{fs}=\frac{G_{ks}+T_{fs}+P_{fs}}{F_{fs}} \quad \cdots\cdots (10)$$

式中：

k_{fs}——沉井封底阶段抗浮安全系数，不应小于 1.05；

G_{ks}——沉井封底阶段沉井结构及封底混凝土的自重总和标准值（kN）；

P_{fs}——沉井封底阶段已与沉井结构形成整体的压沉系统桩基所需提供抗拔力总和（kN）；

T_{fs}——沉井封底阶段井壁总摩阻力标准值（kN）。

c） 结构贯通阶段对应于连接段与相邻沉井已实现贯通但尚未完成整体覆土的工况。当此阶段连接段底板设置泄水孔时，可不作抗浮验算；不设泄水孔时，应将连接段及沉井作为整体进行抗浮验算，抗浮安全系数可按下式计算：

$$k_{ft}=\frac{G_{kt1}+G_{kt2}+T_{ft1}+T_{ft2}+P_{ft}}{F_{ft1}+F_{ft2}} \quad \cdots\cdots (11)$$

式中：

k_{fs}——结构贯通阶段抗浮安全系数，不应小于 1.05；

G_{kt1}——结构贯通阶段沉井结构及封底混凝土的自重总和标准值（kN）；

G_{kt2}——结构贯通阶段连接段结构的自重总和标准值（kN）；

T_{fs1}——结构贯通阶段井壁总摩阻力标准值（kN）。

T_{fs2}——结构贯通阶段连接段侧壁总摩阻力标准值（kN）。

P_{fs}——沉井封底阶段已与沉井结构形成整体的压沉系统桩基所需提供抗拔力总和（kN）；

d） 永久使用阶段对应于整个车站主体完成覆土回填后的最终工况，应将连接段及沉井作为整体进

行抗浮验算，抗浮安全系数可按下式计算：

$$k_{fu}=\frac{G_{ku1}+G_{ku2}+G_{u0}+T_{fu1}+T_{fu2}+P_{fu}}{F_{fu1}+F_{fu2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (12)$$

式中：

k_{fu}——永久使用阶段抗浮安全系数，不应小于 1.10；

G_{kt1}——永久使用阶段沉井结构及封底混凝土的自重总和标准值（kN）；

G_{kt2}——永久使用阶段连接段结构的自重总和标准值（kN）；

G_{u0}——永久使用阶段车站主体覆土总重标准值（kN）；

T_{fu1}——永久使用阶段井壁总摩阻力标准值（kN）。

T_{fu2}——永久使用阶段连接段侧壁总摩阻力标准值（kN）。

P_{fu}——永久使用阶段与沉井结构形成整体的压沉系统桩基所需提供抗拔力总和（kN），其中，车站主体与附属连通区段投影范围内桩基与土体摩阻力仅计至附属结构底板底。

8.2.11 连续沉井法地下车站压沉系统的反力桩基设计，应符合下列规定：

a) 压沉系统的反力桩基在应按沉井封底前、后两个阶段的最不利受力工况分别计算，并作包络设计。其中，沉井封底前，该桩基为压沉系统的下压加载提供抗拔反力，同时兼作控制周边土层水平变形的隔离桩；沉井完成封底且沉井连成整体后，该桩基作为沉井结构抗浮桩及车站纵向不均匀沉降控制桩；

b) 桩型宜采用通长配筋的钻孔灌注桩或扩底灌注桩；

c) 桩基宜沿井壁外侧布置，桩边至井壁外边缘的净距不应小于 mm $\left(\frac{H}{300}+750\right)$（H 为沉井总高度），且不应小于 900mm；

d) 桩间距应根据沉井规模、地质条件、桩型选择、下沉纠偏等因素由计算确定，一般为 3~7m。

8.2.12 采用连续沉井法实施地下车站时，设计阶段应对施工期间周边环境影响进行预估分析，为沉井分节数量与间距、总体施工顺序、压沉最大加载量确定、桩基间距及水平刚度选择、环境保护措施等事宜提供技术依据。影响分析中地层应采用能考虑应力历史的全应变范围非线性土体本构模型。

8.2.13 连续沉井法地下车站结构防水设计，应符合下列规定：

a) 车站主体部分应基于沉井工法特点采用针对性防水措施，车站采用传统明挖顺作的附属部分可按常规轨道交通全包防水方案执行；

b) 当沉井封底混凝土用作为永久使用阶段主体结构一部分时，沉井底板与封底之间不应采用柔性防水层将两者分离；

c) 当连接段迎土侧采用横列板支护形式时，若横列板钢结构的所有接缝均已水密焊接，且其与连接段侧墙浇筑形成整体，横列板钢结构可作为金属外防水层。

8.3 施工

8.3.1 连续沉井法地下车站各沉井的先后施工顺序，应根据现场条件、施工筹划、周边环境影响预估结果等因素综合分析后确定，当拟建工程整个场地均具备施工条件时，一般按照下列顺序施工：

a) 同步施工呈间隔布置的端头井沉井及标准段沉井；

b) 同步施工剩余的标准段沉井；

c) 施工各相邻沉井之间的额连接段，实现结构贯通；

d) 补全楼板结构并完成顶板防水，整体回填覆土至设计地面标高。

8.3.2 压入式下沉工艺所需压沉系统由穿心千斤顶、承压钢牛腿、传力钢绞线、反力桩基、数字化加载系统等组成，并应符合下列规定：

a) 承压钢牛腿通过螺栓或焊接安装于井壁顶部，当沉井需要分次下沉时，每次下沉前承压钢牛腿需调整安装至该次下沉节段的井壁顶部；

b) 传力钢绞线上、下两端需分别与穿心千斤顶、反力桩基可靠连接，且其材料强度及规格应满足设计提供的最大加载量要求，施工期间传力钢绞线宜设置波纹管予以安全防护；

c) 数字化加载系统应具备基于沉井实测姿态数据，对各压沉加载点动态施加合适的压沉力的要求。

8.3.3 连续沉井的砂垫层、素砼垫层厚度应根据沉井规模、结构自重以及地基土的承载力计算确定。

8.3.4 连续沉井法地下车站的沉井结构制作，应符合下列规定：

a) 因单侧井壁需设置大范围轻量化预制构件等原因，当沉井自重存在显著偏载时，施工单位应在沉井下沉前，采用沙袋或砌砖方式补足轻载侧井壁缺失自重；

b) 随沉井一起下沉的纵、横向框架梁及井壁，所预留的各层楼板（梁）钢筋、上排热风道及隔墙钢筋，均应采用预留钢筋接驳器形式；

c) 沉井井壁因设置预制构件预留的洞口处必须有可靠的防止漏水措施；

d) 端头井沉井制作时，端墙应按盾构区间工程要求预埋盾构钢环；

e) 当沉井需要分节下沉时，接高部分的模板支架方案，应考虑井内水体的影响。

8.3.5 连续沉井法地下车站的沉井下沉及土方开挖，应符合下列规定：

a) 凿除混凝土垫层时，应先内后外，分区域对称凿除，凿断线应与刃脚底边平齐。凿除的混凝土垫层应立即清除，并立即用砂或砂夹碎石回填空穴。混凝土的定位支点处应最后凿除，不得漏凿；

b) 下沉过程中，压沉系统在各加载点处下压力，应根据沉井下沉姿态、速度、环境影响等，实时调整；

c) 土方开挖宜采用智能取土机器人进行水下机械挖土，对于局部挖土空间过小的部位，可辅以空气吸泥取土措施；

d) 下沉过程中应分层、均匀、对称进行挖土作业，下沉系数较大时应先挖中间部分，保留刃脚周围土体；

e) 宜采用自动测量系统，在施工过程中勤测勤纠；

f) 下沉穿越土层较硬时，可在井壁预留注浆管，采用触变泥浆助沉措施，在沉井下沉到设计标高

后，泥浆套应按设计要求处理，宜采用水泥浆或水泥砂浆置换触变泥浆；

g) 沉井在下沉到临近设计标高时，应控制高差及下沉速度，下沉深度距设计标高应预留30mm~100mm的余量。

8.3.6 连续沉井法地下车站的沉井封底施工，应符合下列规定：

a) 当根据设计要求，封底混凝土需计入永久使用阶段抗浮重量时，封底与底板之间的拉结钢筋，应在封底混凝土浇筑前，固定于水下设计指定深度处，待封底混凝土达到设计强度、井内水体抽干后，封底表面应做凿毛处理，且凹凸面不小于4mm；

b) 当封底混凝土在井壁、底板梁边缘存在渗漏情况时，应先进行堵漏，再进行底板施工；

c) 当车站基底有综合接地网预埋需求时，接地网铜条应在井底圆锅底修整完毕后在水中下沉至井底土面，并预留超越封底厚度的铜棒长度，铜棒应设置有钢板止水圈；

d) 沉井封底施工尚应符合GB/T 51130的有关规定。

8.4 检测与验收

8.4.1 连续沉井法地下车站的沉井结构制作偏差应符合国家规范《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130的有关规定，压沉系统的反力桩基应符合行业规范《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106中抗拔桩质量检测的有关规定。

8.4.2 连续沉井法地下车站在各沉井下沉过程中，允许偏差应符合表16的规定。

表16 沉井下沉过程中允许偏差

检验项目	允许偏差及允许值	检查数量	检查方法
沉井四角高差	≦1.0L_1且≦100mm	≧2次/8h	全站仪
中心位移	≦0.5H_2且≦100mm	≧1次/8h	全站仪

注：L_1为沉井长度（mm），H_2为下沉深度（mm）。

8.4.3 连续沉井法地下车站在各沉井终沉位置的允许偏差，应符合下列规定：

a) 以沉井设计确定的理论标高为基准，终沉后沉井任意一点实际标高与设计值的误差Δ不得大于偏差限值[Δ]；

b) [Δ]应根据沉井规模、地质条件、车站覆土厚度、建筑限界冗余、施工技术水平等因素由设计确定，一般不宜大于±50mm。

9 盾构法

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于采用盾构法施工的单洞单线圆形隧道、单洞双线圆形隧道、单洞双线类矩形隧道结构。

9.1.2 盾构法施工的结构衬砌应符合下列要求：

a) 隧道的结构形式应根据使用功能、结构受力、防水要求、耐久性和技术经济等综合因素进行比选，可采用单层衬砌、双层衬砌的型式，宜优先采用单层装配式衬砌；

b) 连接岛式车站的区间隧道宜选择单圆衬砌结构型式，连接侧式车站的区间隧道可选择类矩形衬砌结构型式，或大直径带中隔墙的单圆衬砌结构型式；

c) 类矩形盾构法隧道衬砌断面周边外轮廓宜圆顺，可有若干段圆弧组成，顶、底面宜起拱；一般段类矩形隧道宜采用带中柱的结构形式，渡线段应采用无中柱的结构形式。

9.1.3 盾构法施工的区间隧道覆土厚度不宜小于隧道外轮廓直径，确有技术依据时，允许在局部困难地段适当减少。

9.1.4 盾构法隧道施工的平行或立体交叉隧道间的净距，应根据工程地质条件、埋置深度、盾构类型等因素确定，平行隧道净距不宜小于 1.0D（D 为隧道外径），特殊区段不宜小于 0.6D；交叉隧道最小垂直净距不宜小于较大直径隧道的 0.4D。

9.1.5 隧道结构的净空尺寸在满足建筑限界及其他使用功能要求下，沿径向应预留不小于 150mm 的施工误差、结构变形和后期沉降的富裕空间。

9.2 设计

9.2.1 盾构法隧道应按施工阶段和使用阶段，分别进行结构的承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算，设计计算应符合 GB/T 51438、GB 50157、TB 10624 的有关规定。

9.2.2 盾构法施工的隧道衬砌设计应符合下列规定：

a) 衬砌厚度应根据隧道直径、埋深、工程地质和水文地质条件、使用阶段及施工阶段的荷载情况等确定；衬砌厚度宜为隧道外轮廓直径的 0.04 倍~0.06 倍，且最小厚度不宜小于 250mm；

b) 衬砌环宽度应根据曲线拟合、运输、拼装、防水等因素确定；单洞单线衬砌环宽度不宜小于 1.2m，单洞双线衬砌环宽度不宜小于 1.5m；

c) 衬砌环应根据管片制作、运输、盾构设备、施工方法和受力要求等因素进行分块；外径在 7m~11m 之间的单圆隧道衬砌环一般分为 7 块~8 块；外径在 11m~15m 之间的单圆隧道衬砌环一般分为 8 块~10 块；

d) 管片宜采用错缝拼装方式，管片环组合方式可采用通用衬砌环、直线与楔形衬砌环组合、楔形衬砌环组合等；

e) 楔形环环面楔形量由隧道直径、衬砌环宽度和隧道曲线半径确定，并留有满足线路拟合和施工纠偏等要求的余量，可选用双面楔或单面楔，环面斜率不宜大于 1:300。

9.2.3 管片接头的连接方式应符合下列规定：

a) 管片接头可采用螺栓连接或预埋承插式接头连接的形式；

b) 螺栓的机械性能等级应满足构造和结构受力要求，连接件表面应进行防腐蚀处理；

c) 预埋承插式接头的尺寸、数量及布置形式应根据隧道埋深、地质条件以及隧道分块、拼装方式等，通过计算分析确定，并应通过接头抗弯、抗拉、抗剪试验验证，满足构造和结构受力要求。

9.2.4 预制装配式隧道内部结构构件主要包含弧形件、中隔墙、疏散平台板等。隧道内部结构与衬砌结构有连接时，应对隧道结构进行整体结构的稳定性和强度计算，并应对连接位置局部节点结构强度进行验算。

9.2.5 内部结构预制装配式构件及安装连接应考虑列车通过隧道时所产生的附加荷载，并应按照荷载的最不利组合进行设计。

9.2.6 单洞双线区间隧道内部结构应符合下列规定：

a) 隧道内部结构沿隧道纵向应设置变形缝，并应与隧道管片的环缝对齐；

b) 隧道内应设置中隔墙将上下行线分隔为两个独立空间，应分别考虑单侧列车行驶与双侧列车同时行驶工况下产生的风压荷载、疏散人群荷载作用下的承载力和稳定性要求；

c) 中隔墙结构与圆隧道结构构造节点应考虑衬砌环从盾构内拼装至运营期全过程的变形富裕量并留有余地；

d) 道床以下的弧形件结构应满足列车动荷载作用下的承载力和稳定性要求，并应预留运营期间隧道及内部结构的检修条件。

9.2.7 预制构件间连接应可靠，列车上方的结构在采用机械连接方式时，应有防松动措施，并作疲劳试验验证。

9.2.8 内部结构预制装配式构件尺寸应能满足在隧道内运输、吊装等施工要求。

9.2.9 当预制构件与衬砌结构同步施工时，预制构件沿隧道纵向幅宽宜与衬砌环同宽；相邻预制构件之间应采用现浇接头或机械连接方式；预制构件底部与衬砌管片之间应采用混凝土或砂浆填充平整密实。

9.3 施工

9.3.1 盾构始发和接收、盾构正常掘进及特殊区段施工等关键环节应编制专项施工方案和应急预案。专项施工方案和应急预案应根据盾构机特点、工程地质和水文地质条件、周边环境、设计要求及工程实践制定。

9.3.2 盾构机设备配置应包括壳体结构、刀盘刀具、刀盘主驱动、推进油缸、管片拼装机、螺旋输送机、铰接装置、渣土改良系统、注浆系统、盾尾密封系统等。

9.3.3 盾构施工前，应建立完整的测量和监控量测系统，控制隧道轴线偏差，对地层、结构、盾构机姿态进行监测，并实行信息化施工。隧道施工轴线与设计轴线允许偏差小于 50mm，其中包括施工误差、测量误差、结构变形及线路轴线拟合误差等。

9.3.4 洞门凿除前应对盾构始发、结构段地基加固质量进行检验，加固效果应满足设计要求；应打设水平探孔，检查渗漏水情况。

9.3.5 盾构掘进应实时测量盾构里程、轴线偏差、仰俯角、方位角、滚转角和盾尾管片间隙，根据测量数据和隧道轴线线型调整盾构姿态。

9.3.6 盾构法隧道施工应满足限界要求，宜在隧道调线调坡设计完成后进行装配式内部结构的安装。

9.3.7 预制弧形件宜采用盾构机后配套设备与盾构推进同步安装，中隔墙等构件宜采用专用设备安装，并考虑安装设备的通用性。

9.3.8 预制弧形件应根据隧道的形状选择合适的弧形结构进行拼接，弧形件安装流程如图 5 所示。

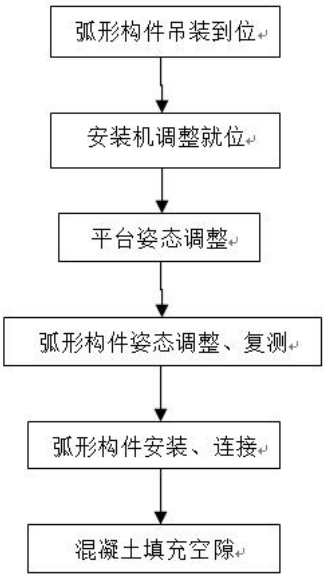


图 5 弧形件安装施工流程

9.3.9 弧形件的安装施工应符合下列规定：

a) 弧形件安装位置姿态数据应与成型管片位置姿态数据一致；

b) 测量定位弧形结构，宜采用支撑调平结构进行调平，可根据施工情况在支撑调平结构与衬砌管片之间放置临时钢垫片；

c) 应采用自密实混凝土填充弧形结构与衬砌管片之间间隙；

d) 直线段安装过程中，应根据弧形件安装位置前后 10 环成型管片的轴线、底标高确定弧形件的轴线位置、水平高程；

e) 曲线段（平曲线和竖曲线）安装过程中，应根据设计转弯半径和坡度，计算弧形件安装位置前后 10 环的仰、倾角和转角，进行预排版；再根据成型管片的线性及坡度，进行实时调整；

f) 弧形件安装应通过拼装机的前后移动，挤压弧形件间隙，确保满足块间间隙要求。

9.3.10 预制中隔墙应采用安装机进行拼接，中隔墙安装流程如图 6 所示。

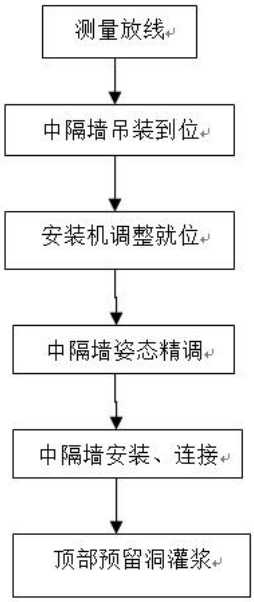


图 6 中隔墙安装施工流程

9.3.11 预制中隔墙安装应符合下列规定：

a) 传力杆及套管放入中隔墙预留孔套管里灌注黄油后将传力杆插入套管，在中隔墙就位之前放入预制中隔墙顶部预留孔洞；

b) 在中隔墙吊装前拼装机应停在拟吊装中隔墙的中心位置；

c) 预制中隔墙吊装隧道内预制中隔墙板采用电机车进行水平运输，隧道内吊装时先在中隔墙预留螺母安装吊具，利用拼装机械手进行吊装；

d) 传力杆安装及中隔墙就位，当拼装机抓举预制中隔墙板距离隧道顶部管片 300 mm 时，将传力杆拧入管片预留接驳器，提升中隔墙板并对其空间位置进行调整，直至在设计位置上就位；

e) 预制中隔墙板就位后，应立即进行临时支撑固定，临时支撑固定应在预制中隔墙板上下两头同时进行；

f) 中隔墙支撑固定完成后，应在中隔墙预留洞与传力杆套管间空隙填充高强度的灌浆材料，在中隔墙顶部间隙内分层安装岩棉材料。

9.4 检测与验收

9.4.1 钢筋混凝土管片的外观尺寸允许偏差应符合表 17 的规定。

表17 混凝土管片外观尺寸允许偏差

项目		允许偏差（mm）	检验数量		检验方法
			范围	点数	
外形尺寸	宽度	±0.5	每块	内外侧各3点	尺量

（mm）	弧弦长	±1.0	每块	两端面各1点	尺量
	厚度	+3，-1	每块	3点	尺量
螺孔直径及孔位		±1.0	每块	3点	尺量

9.4.2 钢管片的外观尺寸允许偏差应符合表18的规定。

表18 钢管片外观尺寸允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检测数量		检验方法
		范围	点数	
宽度	±0.5	每块	内外侧各3点	尺量
弧弦长	±1.0	每块	内外侧各1点	尺量
厚度	+3，-1	每块	3点	尺量
螺孔直径及孔位	±1	每块	3点	尺量
环面与端面平整度	0.2	每块	2点	尺量
环面与端面垂直度	1	每块	4点	尺量

9.4.3 管片整环拼装的检验标准应符合表19的规定，每100环抽查3环。

表19 管片整环拼装允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检查数量	检验方法
环缝间隙	1	每条缝测3点	插片
纵缝间隙	1	每条缝测3点	插片
成环后内径	±2	测4条	尺量
成环后外径	0，+4	测4条	尺量
纵环向螺栓全部穿进	符合设计要求	全数	目测

9.4.4 施工阶段管片拼装成环质量允许偏差应符合表20的规定。

表20 管片拼装成环允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检测数量		检验方法
		范围	点数	
隧道轴线高程	±50	逐环	1点/环	水准仪
隧道轴线平面位置	±50	逐环	1点/环	全站仪
椭圆度	±4‰D	每5环	/	断面仪、全站仪
衬砌环内错台	4	逐环	5点/环	尺量
衬砌环间错台	5	逐环	5点/环	尺量

9.4.5 隧道内部结构预制构件安装偏差应符合表 21 的规定。

表21 内部结构预制构件安装允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检验方法
平面位置	±10	水准仪
高程	±5	全站仪

9.4.6 预制弧形件安装偏差应符合表 22 的规定。

表22 预制弧形件拼装允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检验方法
相邻弧形件上下错台	±20	尺量
相邻弧形件块间间隙	±20	尺量
相邻弧形件螺栓全部连接	符合设计要求	目测

9.4.7 成型隧道轴线平面位置、高程允许偏差应符合表 23 的规定。

表23 成型隧道轴线平面位置、高程允许偏差

项目	**允许偏差（mm）**	**检验方法**	**检验数量**
隧道轴线平面位置	±100	全站仪	每 10 环
隧道轴线高程	±100	水准仪	每 10 环

9.4.8 成型隧道竖向高度收敛、错台允许偏差应符合表 24 的规定。

表24 成型隧道轴线竖向高度收敛、错台允许偏差

项目	**允许偏差（mm）**	**检验方法**	**检验数量**	
直径椭圆度	±5‰D	断面仪、全站仪	每 10 环	
环内错台	±10	尺量	每 10 环	4 点/环
环间错台	±15	尺量	每 10 环	1 点/环

10 矩形顶管法

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于采用单管断面大于 60㎡的超大断面矩形顶管法施工的地下车站主体、换乘通道、车站与地下空间连接通道、出入口通道结构等。

10.1.2 矩形顶管法工程施工前，应查明沿线建（构）筑物、地下管线和地下障碍物等周边环境情况。

10.1.3 矩形顶管机的选型和技术性能应满足工程和水文地质条件、线路条件、环境保护和城市轨道交通设计的要求。

10.1.4 矩形顶管的结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按 GB 50068 度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。

10.1.5 矩形顶管施工应根据设计要求、工程特点及有关规定，对沿线影响范围内的地表、邻近建（构）筑物及地下管线应设置观测点进行监测，监测信息应及时反馈，发现问题应及时处理。

10.2 设计

10.2.1 矩形顶管的设计应包括下列内容：

a) 顶管管位设计；
b) 顶管纵向长度确定；
c) 顶管建筑布置设计；
d) 管节断面设计；
e) 管节材质选择；
f) 管节结构设计；
g) 管节构造设计；
h) 顶管总顶力计算及后靠设计；
i) 顶管进出洞加固设计；
j) 中继间设计；
k) 工作井设计。

10.2.2 矩形顶管的管位设计应符合下列规定：

a) 顶管轴线应采用直线敷设形式；
b) 顶管轴线宜与工作井端面垂直，条件困难时，轴线与端面法线的夹角不应超过 2°；
c) 顶管纵向坡度不宜小于 0.2%且不宜大于 3%；
d) 近距离下穿重要管线时，顶管至该管线最小净距不宜小于管线外径的 1 倍，且不宜小于 1.0m；
e) 互相平行的顶管水平净距应根据土层性质、顶管宽度、埋置深度、环境保护要求等因素确定，且不宜小于 2m；
f) 顶管下穿城市轨道交通、铁路、公路、堤坝或其他重要设施时，尚应符合相关技术安全规定并经过相应主管部门审批。

10.2.3 矩形顶管的纵向长度应能避免上方市政道路翻交和重要管线搬迁，并应符合消防疏散要求，最大长度一般不超过 100m。

10.2.4 矩形顶管的覆土厚度应符合下列规定：

a) 应根据工程地质条件、顶管断面尺寸、环境保护要求以及结构抗浮综合确定，不宜小于顶管管节高度的 0.6 倍，且不宜小于 3.5m；

b） 当矩形顶管下穿河道时，覆土厚度的选择应考虑河道演变的冲刷、淤积以及人工疏浚施工的影响；

c） 当矩形顶管下穿通航河段时，顶管覆土尚应满足通航安全要求。

10.2.5 矩形顶管的建筑布置设计应符合下列规定：

a） 顶管的建筑净空断面应包含客流通行、设备安装和检修、装饰工程及施工误差等所需空间，对用作车站站台层的矩形顶管，尚需满足轨道交通列车运行的要求；

b） 矩形顶管用作车站站台层时，宜采用分离岛式站型，在平行设置的上、下行线站台层顶管之间，应根据客流仿真结果设置横向的联络通道。

10.2.6 矩形顶管的断面形状与尺寸设计应符合下列规定：

a） 应在满足建筑净空需求的前提下，根据地质条件、横向跨度、覆土深度、环境影响等因素经计算确定；

b） 顶管断面轮廓宜设置拱形，并在四角采用圆弧倒角；

c） 顶管断面拱形段的矢高比、整个顶管断面的宽高比、顶管四角圆弧半径三项关键参数的最优值确定原则，为管节正负弯矩相等且绝对弯矩最小。

10.2.7 宜采用钢混复合管节，当建设场地宽裕及运输条件良好时，也可采用钢筋混凝土管节、钢纤维混凝土管节等。

10.2.8 矩形顶管管节结构计算，应包括使用阶段及施工顶进阶段。采用钢混复合管节的矩形顶管，尚应对施工期间钢管节同时承受周围水土压力、纵向顶推力的最不利工况进行验算，钢管节的截面应力、横向管节变形、纵向屈曲分析均须满足设计要求。

10.2.9 作用在矩形顶管结构上的竖向土压力浅埋结构的地层竖向压力，应全部土柱重量计算。但对于较深覆土的地下结构所受竖向压力，宜根据所处工程地质、水文地质条件和覆土厚度，并结合土体卸载拱作用的影响进行计算。

10.2.10 矩形顶管管节环宽宜为1.5m~2.5m。当管节运输、吊装场地受限时，可对管节进行横向分块，分块位置应避开管节受力较大部位，沿顶管轴线方向相邻管节的分块缝应相互错开。

10.2.11 矩形顶管的顶推力应根据管节结构、顶推工作井反力墙结构的允许最大荷载、顶推设备能力、施工技术措施等因素进行计算。最大顶推力应大于顶推阻力，但不得超过顶管管节或工作井反力墙的允许顶推力。

10.2.12 矩形顶管的顶推阻力可按下列公式计算：

$$P = C \cdot L \cdot f_k + A_m \cdot P_c \quad \text{（13）}$$

当顶推轴线位于水位以上或土体为黏性土时，

$$P_c = K_0 \cdot \gamma \cdot \left(h + \frac{2}{3} H \right) \quad \text{（14）}$$

当顶推轴线位于水位以下且土体为砂性土或粉性土时，

$$P_c = K_0 \cdot \gamma' \cdot \left(h + \frac{2}{3} H \right) + \gamma_w \cdot h_w \quad \text{（15）}$$

式中：

P ——总顶推阻力（kN）；

C ——管节横断面周长（m）；

L ——矩形顶管的设计顶推长度（m）；

fk ——管节外壁与土之间的平均摩阻力（kN/m2），通过试验确定；

Am ——顶管机机壳断面面积（m2）；

Pc ——顶管机迎面阻力（kN）；

K0 ——静止土压力系数；

h ——管节顶埋深（m）；

H ——管节高度（m）；

γ ——土的天然重度（kN/m3）；

γ'——土的有效重度（kN/m3）；

γ_w——地下水的天然重度（kN/m3）；

H_w——地下水位线到顶管机机头底部$\frac{1}{3}H$的高度（m）。

10.2.13 矩形顶管进出洞处的土体加固设计应符合下列规定：

a) 加固范围应满足顶管进出洞时，洞门外侧土体稳定和安全的要求，并结合地质条件、顶管机型、管节尺寸、顶进方向、覆土深度、周边环境等情况确定；

b) 加固方式应根据施工场地、地质条件、周边环境确定，一般可采用三轴搅拌桩、渠式切割水泥土搅拌墙（TRD）、数字化微扰动搅拌桩（DMP）、铣削深搅水泥土搅拌墙（CSM）、全方位高压喷射注浆（MJS）、超高压喷射注浆（RJP 或 N-Jet）、水平冻结法等一种或几种组合方式；

c) 当顶管进洞位于含承压水的砂性土层且周边环境保护要求高时。顶管机接收可泡沫土进洞或钢套筒辅助进洞方式。

10.2.14 中继间的加设及数量，应按顶进总顶力及管壁的承受能力确定。

10.2.15 矩形顶管工作井尺寸要求应符合下列规定：

a) 始发井的最小内净长度可按下式计算：

$$L_S = L_1 + L_2 + L_3 \quad \text{（16）}$$

式中：

L_S——始发井的最小内净长度（m）；

L_1——矩形顶管机下井时最小长度或管节环宽+0.5m，取两者中的大值（m）；

L_2——千斤顶长度（m），一般可取 2.5m；

L_3——后靠、顶铁厚度及安装富余量，一般可取 2m。

b) 始发井的最小内净宽度可按下式计算：

$$B_S = B_1 + 2b \quad \text{（17）}$$

式中：

B_S——始发井的最小内净宽度（m）；

B_1——矩形顶管管节外边宽度（m）；

b——管节侧边施工操作空间（m），一般为1.0~1.5m，浅工作井取小值，深工作井取大值。

c) 始发井的最小底板面深度可按下式计算：

$$H_S = H_0 + H_1 + h \quad \text{（18）}$$

式中：

H_S——始发井的最小底板面深度（m）；

H_0——矩形顶管管节顶至地面距离（m）；

H_1——矩形顶管管节外边高度（m）；

b——管节底部施工操作空间（m），钢混复合管节、钢管节时可取1.0m，钢筋混凝土管节时可取0.5m。

d) 接收井的最小内净长度、最小内净宽度、最小底板面深度应满足矩形顶管机在井内接收、拆解和吊出的要求。

10.3 施工

10.3.1 矩形顶管机的选型应符合下列规定：

a) 应根据顶管穿越土层的物理力学性能、地下水情况及沿线需保护的建构筑物情况，经技术经济比较后确定；

a) 软土富水地层中施工的矩形顶管机，顶管断面内的刀盘切削率不应低于90%，当周边环境保护要求严格时，刀盘切削率宜为100%。

10.3.2 矩形顶管的顶进施工应符合下列规定：

a) 矩形顶管机初始顶进时，支座两侧应有控制顶管机偏移的限位导向装置；

b) 应采取信息化施工手段，勤测勤纠，根据监测数据及时调整顶进施工参数；

c) 应设置止退装置，对环境保护要求高的工程，宜采用自补偿止退工艺，严格控制管节下放阶段的顶管机后退；

d) 矩形顶管机宜采取改变刀盘转动方向、使用平衡翼及压泥纠转的措施控制侧转；

e) 矩形顶管机与前三节管节应纵向连接；

f) 矩形顶管机穿越始发及接收加固区时，掘进速度宜为2mm~3mm/min，正常掘进时，掘进速度宜控制在10mm~20mm/min，且掘进时应不断调整掘进速度，优选掘进速度、正面土压力、出渣量的最佳匹配值；

g) 顶管顶进过程中，应同步向管外壁注入减阻泥浆，并根据泥浆的损失适当补充注浆，当环境保护要求高且减阻需求大时，宜采用自凝式泥浆；

h) 顶管贯通后，应置换减阻泥浆，置换材料可选用水泥单液浆或双液浆。

10.3.3 矩形顶管管节需分块制作和运输时施工应符合下列规定：

a) 施工现场应设置管节堆放、拼接、翻身、吊装作业的场地；

b) 同一环管节的分块纵缝，对于钢管节，应采用等强度焊接方式，对钢筋混凝土管节，可采用螺栓连接、湿接头连接、通过预埋件焊接等方式；

c) 管节堆放的层数不宜超过 2 层，堆放的地面应为平整的硬化地面或实土地面，各管节堆放周边间距不得小于 1.0m；

d) 管节超高、超宽、超载时应符合交通运输管理部门的有关规定。

10.3.4 钢筋混凝土整体预制管节制作质量、管节接口尺寸精度和抗渗性能应符合 GB 50204 的有关规定，钢管节制作质量、施工误差应符合 GB 50205 的有关规定。

10.3.5 矩形顶管管节采用复合管节时，钢管节内部后浇的混凝土构件施工应符合下列规定：

a) 宜采用自密实混凝土；

b) 当矩形顶管存在联络通道时，应待联络通道施工完毕且沉降稳定后再浇筑；

c) 应结合顶管段总长度、断面尺寸、施工筹划等条件，适当设置后浇带；

d) 钢管节的肋板应设置有浇捣孔，便于混凝土浇筑；

e) 各设备支吊架与顶管管节，应通过与钢管节焊接的预埋件相连接，不得对钢管节内部的后浇混凝土衬砌开展植筋、局部凿除等施工行为。

10.4 检测与验收

10.4.1 钢筋混凝土整体预制管节制作允许偏差应符合表 25 的规定。

表25 钢筋混凝土整体预制管节制作允许偏差

检验项目	允许偏差（mm）	检验数量	检验方法
上下面矩形外框对角线误差	±4	每 10 节抽检 1 节	尺量
管节宽度	±2		
管节高度	±1		
管节厚度	±1		
侧向平面与上下面的垂直度	±2		

10.4.2 顶管隧道轴线的允许偏差应符合表 26 的规定。

表26 顶管隧道轴线的允许偏差

检验项目	顶推长度 L（m）			检验数量	检验方法
	＜100	100≤L≤200	＞200		
高程（mm）	±50	±80	±80	每 20m 测量一个断面	全站仪、断面仪测量
平面（mm）	±80	±100	±150		
管节旋转（mm）	±80	±80	±80		

11 束合结构法

11.1 一般规定

11.1.1 本章适用于采用预应力束合管幕法施工的地下车站、换乘通道、出入口通道结构。

11.1.2 管幕法应按直线布置，纵坡不宜大于 1%，总长不宜超过 130m。

11.1.3 管幕钢管顶覆盖层厚度不宜小于 1.5 倍钢管外径，并应大于 1.5m。

11.1.4 施工期间，应对邻近建筑以及市政道路、桥梁、地下地上管线等进行监测，对重要或有特殊保护要求的对象，尚应采取保护措施。

11.2 设计

11.2.1 预应力束合管幕法通道结构应按施工和使用阶段，分别进行整体结构、管间结合缝、预应力束的承载能力极限状态计算及整体结构正常使用极限状态验算。

11.2.2 矩形结构应进行横断面受力计算，并选取结构埋深最深和最浅、顶覆土最厚和最薄、土质条件突变等受力不利位置进行控制。

11.2.3 结构计算简图应根据地层情况、钢管连接特点和施工工艺等确定，宜采用考虑管幕与地层共同作用及钢管接头影响的弹性匀质横向框架结构，钢管间结合缝可采用纤维铰模型（MSJ 模型）模拟结合缝处钢管与管间混凝土间的拉、压与滑动耦合作用。

11.2.4 管幕法钢管的设计应符合下列要求：

a) 管幕钢管的顶进顺序应根据工程地质、环境保护要求、管幕钢管先后顶进附加影响及钢管顶进累计误差封闭等因素确定，宜先上后下；

b) 管幕单根钢管应根据不同阶段、不同工况进行结构强度和变形计算；

c) 当钢管管幕作为永久结构时，应根据场地腐蚀条件、设计工作年限等因素采取防腐措施；

d) 应根据工程地质、管幕覆盖层厚度、顶进长度等因素确定管幕钢管截面形状，宜采用方向钢管，宽度不宜小于 1m；钢管兼做工具管时，应满足管内施工操作空间的要求，且宽度不宜小于 1.2m；

e) 工具管位置应根据预应力束张拉施工、结构受力等因素确定，可采用外置工具管或内置工具管；

f) 钢管侧壁应预留预应力束穿孔；工具管预应力束锚具处应加焊加劲板，加劲板厚度不应小于 10mm，焊缝高度不应小于 6mm；

g) 管幕钢管之间应采用锁扣连接，锁扣空隙内应充填止水、润滑材料，可根据环境保护要求在锁扣连接外侧设置附加止水措施；

h) 管间接缝应采用自密实混凝土浇筑，浇筑前应采取高压水冲洗等措施清洗钢管侧壁处夹泥；

i) 钢管间的净距离应根据钢管顶进工艺、连接锁扣强度、管间夹泥清除及素混凝土浇筑等因素确定，且不宜大于 150mm。

11.2.5 管幕法工作井的设计应符合下列要求：

a) 工作井长度应根据顶管机长度、千斤顶长度和下井管节长度等因素计算确定，不宜小于 7m；工作井宽度、深度应根据管节外边宽度和操作空间等因素计算确定，宽度不宜小于管幕外轮廓线 1.5m，深度不宜小于外轮廓线 1.0m；

b) 反力墙应能承受主顶工作站液压缸的最大反作用力；反力墙应垂直于顶管轴线且表面平直；

c) 顶管进出洞土体加固方式应根据地层情况、场地条件等综合确定，可采用搅拌桩、旋喷桩、水平冻结法等加固措施。

11.2.6 预应力束横断面布置方式应根据结构受力、施工工艺及工程经济性等因素确定，可采用单直型、单曲型、双直型或直曲复合型。

11.2.7 预应力配束与纵向间距应满足锚具安装、工具管内施工条件等因素确定，纵向间距不宜小于 750mm。

11.2.8 预应力束横向张拉应根据“对称平衡、逐级到位”的原则进行，初张拉比例不宜大于 25%。

11.3 施工

11.3.1 管幕钢管顶管机选型应根据地质条件确定，并符合下列要求：

a) 顶管机可选择泥水平衡或土压平衡顶管机；

b) 宜采用高切削率的顶管机；

c) 顶管机应具有纠偏、注浆的功能；

d) 顶管机宜具有土转液出土功能；

e) 刀盘宜采用行星刀盘形式；

f) 主顶装置宜具备角度调节、止退止转、纠偏测量、集成油缸功能；

g) 顶管机宜配置不同位置和尺寸的推板。

11.3.2 管幕进出洞加固应符合下列要求：

a) 有限空间内加固宜采用低净空设备施工；

b) 没有垂直加固条件的应采用水平加固施工；

c) 管幕出洞前应对进出洞加固进行验收，并符合设计要求。

11.3.3 管幕钢管的施工应符合下列要求：

a) 洞口宜应安装钢丝刷和多道橡胶袜套组合式的止水装置，并预留注浆管；

b） 洞门始发、接收凿除门洞前应开样洞验证止水效果；

c） 管节长度应根据工作井尺寸、顶进距离、吊放、安装等因素确定，每节钢管长度宜为 3m~5m；

d） 相邻钢管节纵向连接位置应错缝连接；

e） 预应力束合管幕法钢管管节侧面应设置内外双锁口，并预留穿束孔、注浆孔和检测孔；

f） 管幕群宜按照先上后下的顺序顶进；

g） 闭合管节锁口长度应根据推进完成后测量结果确定。

11.3.4 预应力束合管幕法预应力张拉应符合下列要求：

a） 张拉千斤顶、锚具型号应根据工具管操作空间、搬运条件等确定，其性能应符合 GB/T 14370 的有关规定；

b） 锚具宜选用低回缩锚具；

c） 张拉顺序宜根据预应力设计额确定；

d） 预应力宜采用分级张拉，张拉要求应符合 JGJ 369 的有关规定。

11.3.5 预应力束合管幕法的混凝土浇筑应符合下列要求：

a） 预应力束合管幕法钢管顶进时，宜在顶管机上安装装配式刮刀对锁口间隙土方进行清除，并在浇筑前清理管节内土方；

b） 管节内混凝土应按照先中间管、后工具管的顺序进行浇筑；

c） 管节内混凝土宜采用自密实混凝土浇筑，长距离管节浇筑宜分段、加压浇筑，混凝土浇筑前应在断面内设置浇筑管、排气孔和检测孔。

11.4 检测与验收

11.4.1 管幕法工程质量检验标准应符合表 27 的规定。

表27 束合管幕法工程检验标准

项	检查项目		允许值或允许偏差	检验数量	检验方法
	覆盖层厚度		≥1.5D 且≥1.5m	每节	尺量
主控项目	管节制作	壁厚	-0.5mm/+0mm	每节管口	尺量
		内径椭圆度	1%D（管端 0.5%D）	每节管口	尺量
		单根长度	±15mm	每节	尺量
		直度	整长 0.1%l	每节	尺量
		焊缝高度	≤3.0mm	每节	尺量
	锁扣系统(T型材)	翼缘厚度	±0.5mm	每节	尺量
		翼缘宽度	±1mm	每节	尺量
		T 型高度	-1/+2mm	每节	尺量
		腹板厚度	±0.5mm	每节	尺量

项	检查项目		允许值或允许偏差	检验数量	检验方法
		填角焊缝	60/+3mm	每节	尺量
		位置偏差	±3mm	每节	尺量
	内部钢板合空隙	厚度	±0.5mm	每节管口	尺量
		宽度	0/+2mm	每节管口	尺量
		空隙垂直公差	-0/+5mm	每节管口	尺量
		空隙宽度	±5mm	每节	尺量
	钢绞线穿束、张拉和锚固		符合设计要求	/	/
	混凝土浇筑质量		符合设计要求	/	/
一般项目	进出洞口处连接		设置止水装置，连接牢固，洞口无渗漏水	/	/
	管道内表观质量		清洁、无杂物	/	/

12 信息化

12.1 建筑信息模型（BIM）应具有唯一性、可追溯性、可交换性，交换工具应具有兼容性。

12.2 预制构件信息模型宜在设计、构件生产、施工安装、竣工验收与交付等各阶段建立统一协同工作平台，宜采用统一编码和规则、共享模型数据。

12.3 预制构件建筑信息模型的存储和维护宜符合各专业和不同软件间的数据交互要求，且宜保证模型数据能有效传递和交换。

12.4 建筑信息模型软件应保证信息交互的信息安全。

12.5 预制构件建筑信息模型数据应能输送给生产设备，为自动化生产提供数据支撑。

12.6 预制构件建模宜采用参数化建模软件，建模软件应符合下列规定：

a) 应具有预制构件三维设计功能；

b) 应具有预制构件深化设计功能；

c) 应具有模型的碰撞检查功能；

d) 应具有构件图纸输出功能；

e) 应保持建筑信息模型与构件设计图纸一致；

f) 模型数据内容和格式宜符合数据互用要求。

12.7 预制构件图纸应包含模板图、配筋图、预埋件图、大样图等，每个构件图纸内容均应包含几何信息、物料加工信息、生产工作的技术要求信息和构件使用的项目等信息。

12.8 预制构件信息模型数据应满足生产设备识别要求，数据应包含下列内容：

a) 预制构件整体模型数据；

b) 各预制构件的生产数据；

c) 各预制构件的图纸文件；

d) 预制构件的几何信息、位置信息、材料信息等。

12.9 预制构件应进行编码，并在生产、存放、运输及安装阶段对每一预制构件建立相对应的信息数据，存储的信息应正确、真实、完整、有效。

12.10 预制构件信息应通过芯片或条码标识在构件上，RFID 芯片或二维条码的埋置深度应与现有设备、技术相适应，埋置位置应便于安装、读取和长期保存。

附 录 A

（规范性）

叠合楼板接缝及支座构造

A.1 叠合楼板按单向板设计并设置接缝时，宜采用密拼式分离接缝并平行于短边方向布置；按双向板设计并设置接缝时，应采用后浇带式整体接缝、密拼式整体接缝或无接缝。

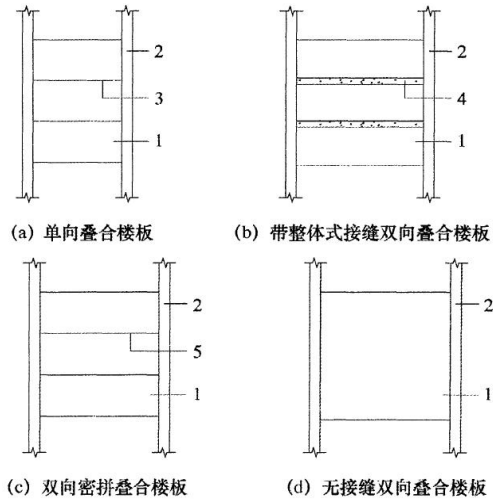


图 A.1 预制叠合楼板布置形式示意

A.2 单向叠合板采用密拼式分离接缝连接时，应符合下列规定：

a) 接缝处紧贴预制底板顶面宜设置垂直于接缝的附加钢筋，附加钢筋伸入两侧后浇混凝土叠合层的锚固长度不应小于 15d（d 为附加钢筋直径）；

b) 附加钢筋截面面积不宜小于预制底板中与附加钢筋同方向钢筋面积，钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm；

c) 垂直于附加钢筋的方向应布置横向分布钢筋，在搭接范围内不宜少于 3 根，横向分布钢筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 250mm。

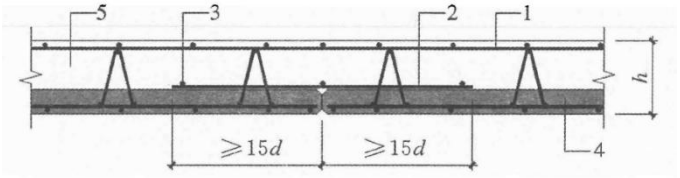


图 A.2 单向叠合楼板密拼式分离接缝构造示意

A.3 双向叠合板采用后浇带式整体接缝连接时，应符合下列规定：

a) 后浇带宽度不宜小于 200mm；

b） 后浇带两侧板底纵向受力钢筋可在后浇带中焊接、搭接连接、机械连接、弯折锚固；

c） 接缝处板底外伸钢筋的锚固长度 la、搭接长度 11 和端部弯钩构造应符合 GB 50010 的有关规定；

d） 当有可靠依据时，后浇带内的钢筋也可采用其他连接方式。

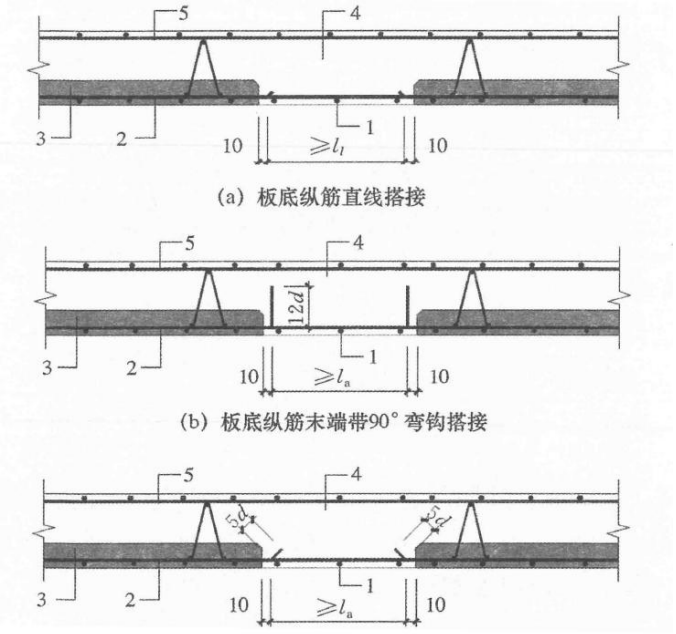


图 A.3 双向叠合楼板后浇带式整体接缝构造示意

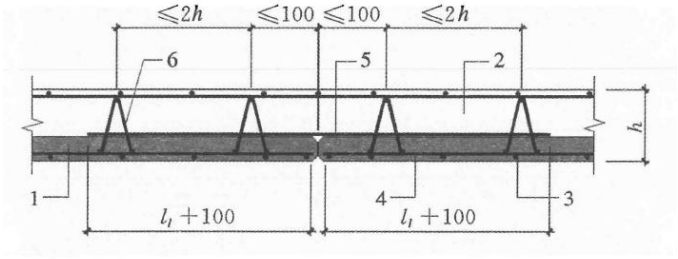
A.4 双向叠合板采用密拼式整体接缝连接时，应符合下列规定：

a） 后浇混凝土厚度不宜小于叠合楼板预制板厚度的 1.5 倍，且不宜小于 100mm；

b） 现浇层内板底附加纵向受力钢筋应按计算配置，钢筋直径不应大于 16mm，且不宜小于预制板内的同向受力钢筋面积；间距不宜 200mm，附加纵向受力钢筋与预制板内纵向受力钢筋搭接长度不小于 11+100（11 为钢筋搭接长度）；

c） 垂直于附加钢筋的方向应布置横向分布钢筋，在每一侧搭接范围内不宜少于 2 根，横向分布钢筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 250mm；

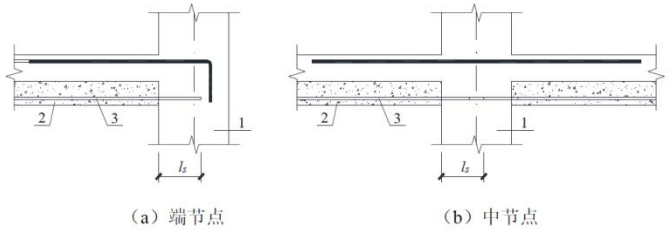
d） 拼缝两侧预制叠合楼板上平行于拼缝的钢筋桁架不应少于 2 道，边距不宜大于 100mm，中心间距不宜大于 2 倍叠合楼板总厚度且不宜大于 400mm。



1—预制叠合楼板；2—后浇混凝土；3—主受力方向纵向钢筋；
4—次受力方向纵向钢筋；5—附加钢筋；6—钢筋桁架

图 A.4 双向叠合楼板密拼式整体接缝构造示意

A.5 叠合板支座处，预制底板纵向钢筋宜从板端伸出并锚入支承梁或墙的后浇混凝土中，锚固长度不应小于 5d（d 为纵向受力钢筋直径），且宜伸过支座中心线。



（a）端节点　　（b）中节点

图 A.5 叠合楼板纵向钢筋外伸的板端支座构造示意

A.6 叠合板预制底板纵向钢筋不伸入支座时，应符合下列规定：

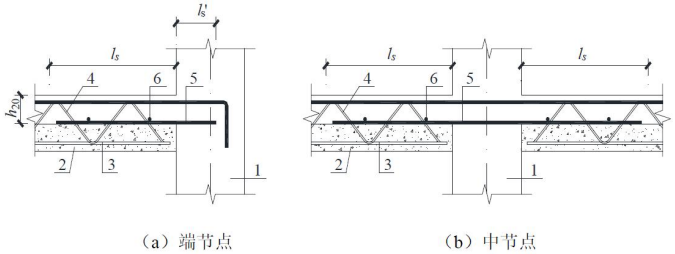
a) 后浇混凝土厚度不宜小于叠合楼板预制板厚度的 1.5 倍，且不宜小于 100mm；

b) 支座处应设置垂直于板端的预制底板纵筋附加钢筋，附加钢筋截面面积不宜小于预制板内的同向分布钢筋面积，钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm；

c) 对于端节点支座，附加钢筋伸入后浇叠合层锚固长度 1s 不应小于 11，并应在支承梁或墙的后浇混凝土中锚固，锚固长度 1’s 不应小于 15d 且宜伸至支座中心线；

d) 对于中节点支座，附加钢筋在节点区应贯通，且每侧伸入后浇叠合层锚固长度 1s 不应小于 11；

e) 垂直于附加钢筋的方向应布置横向分布钢筋，在每一侧搭接范围内不宜少于 2 根，横向分布钢筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 250mm。



（a）端节点　　（b）中节点

图 A.6 叠合楼板无外伸纵向钢筋的板端支座构造示意