

# 建筑工程逆作法技术标准

Technical standard for top-down method of  
building engineering

2018-09-12 发布

2019-01-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

# 建筑工程逆作法技术标准

Technical standard for top-down method of  
building engineering

**JGJ 432 - 2018**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 9 年 1 月 1 日

中国建筑工业出版社

**2018 北 京**

中华人民共和国行业标准  
**建筑工程逆作法技术标准**

Technical standard for top-down method of building engineering

**JGJ 432 - 2018**

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：4½ 字数：121 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价：**32.00 元**

统一书号：15112·31425

**版权所有 翻印必究**

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2018 年 第 190 号

---

## 住房城乡建设部关于发布行业标准 《建筑工程逆作法技术标准》的公告

现批准《建筑工程逆作法技术标准》为行业标准，编号为 JGJ 432-2018，自 2019 年 1 月 1 日起实施。其中，第 3.0.4、3.0.9、7.1.4、8.1.5 条为强制性条文，必须严格执行。

本标准在住房城乡建设部门户网站（[www.mohurd.gov.cn](http://www.mohurd.gov.cn)）公开，并由住房城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 9 月 12 日



# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2013 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》（建标〔2013〕6 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 围护结构；5. 竖向支承桩柱；6. 先期地下结构；7. 后期地下结构；8. 上下同步逆作法；9. 地下水控制；10. 土方挖运；11. 监测；12. 施工安全及作业环境控制。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由华东建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送华东建筑设计研究院有限公司（地址：上海市黄浦区西藏南路 1368 号，邮政编码：200011）

本标准主编单位：华东建筑设计研究院有限公司  
上海建工二建集团有限公司

本标准参编单位：华建集团上海地下空间与工程设计研究院  
上海市基础工程集团有限公司  
中国建筑科学研究院有限公司地基所  
中建三局集团有限公司  
天津大学  
同济大学  
上海交通大学

广东省基础工程集团有限公司  
上海申元岩土工程有限公司  
建华建材投资有限公司  
上海广联环境岩土工程股份有限公司  
上海广大基础工程有限公司

本标准主要起草人员：王卫东 姜向红 龙莉波 周建龙  
李耀良 翁其平 宋青君 杨 斌  
黄晨光 郑 刚 刘国彬 王建华  
钟显奇 梁志荣 张 雁 娄荣祥  
缪俊发 吴国明 徐中华 沈 健  
周乐敏 吴洁妹 陈 瑞 邸道怀  
汪 浩 彭小林 洪昌地 李 伟  
李 星 胡晓虎 戴 斌 邸国恩  
常林越 汪思满 马跃强 赵 琪  
章 谊 席金虎  
本标准主要审查人员：滕延京 顾国荣 范 重 袁内镇  
刘小敏 张晋勋 康景文 顾倩燕  
王美华 周蓉峰 丁延生

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语 .....	2
3	基本规定 .....	4
4	围护结构 .....	6
4.1	一般规定 .....	6
4.2	地下连续墙 .....	7
4.3	灌注桩排桩 .....	12
4.4	型钢水泥土搅拌墙 .....	14
4.5	咬合式排桩 .....	16
5	竖向支承桩柱 .....	19
5.1	一般规定 .....	19
5.2	设计 .....	20
5.3	施工 .....	22
5.4	检测 .....	25
6	先期地下结构 .....	26
6.1	一般规定 .....	26
6.2	设计 .....	27
6.3	施工 .....	29
7	后期地下结构 .....	32
7.1	一般规定 .....	32
7.2	模板工程 .....	32
7.3	混凝土工程 .....	33
7.4	接缝处理 .....	34
8	上下同步逆作法 .....	35

8.1	一般规定	35
8.2	设计	36
8.3	施工与监控	38
9	地下水控制	39
9.1	一般规定	39
9.2	设计	40
9.3	施工与检测	41
10	土方挖运	45
10.1	一般规定	45
10.2	取土口设置	46
10.3	土方开挖	47
10.4	土方水平与垂直运输	48
11	监测	49
11.1	一般规定	49
11.2	监测项目、测点布置及报警值	49
11.3	监控信息化管理	52
12	施工安全及作业环境控制	54
12.1	一般规定	54
12.2	通风排气	54
12.3	照明及电力设施	56
附录 A	逆作法结构连接节点构造	58
本标准用词说明		62
引用标准名录		63
附：条文说明		65

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Basic Requirements .....	4
4	Retaining Walls .....	6
4.1	General Requirements .....	6
4.2	Diaphragm Wall .....	7
4.3	Contiguous Bored Pile Wall .....	12
4.4	Soil Mixed Wall .....	14
4.5	Secant Pile Wall .....	16
5	Vertical Supports .....	19
5.1	General Requirements .....	19
5.2	Design .....	20
5.3	Construction .....	22
5.4	Inspection .....	25
6	Pre-construction Underground Structures .....	26
6.1	General Requirements .....	26
6.2	Design .....	27
6.3	Construction .....	29
7	Post-construction Underground Structures .....	32
7.1	General Requirements .....	32
7.2	Formwork Construction .....	32
7.3	Reinforced Concrete Construction .....	33
7.4	Construction Joint Treatments .....	34
8	Synchronous Construction of Superstructures and Underground Structures .....	35

8.1	General Requirements .....	35
8.2	Design .....	36
8.3	Construction and Monitoring .....	38
9	Control of Underground Water .....	39
9.1	General Requirements .....	39
9.2	Design .....	40
9.3	Construction and Inspection .....	41
10	Earth Excavation and Transportation .....	45
10.1	General Requirements .....	45
10.2	Layout of Excavation Openings .....	46
10.3	Earth Excavation .....	47
10.4	Horizontal and Vertical Transportation of Excavated Soils ...	48
11	Monitoring .....	49
11.1	General Requirements .....	49
11.2	Monitoring Items, Layout of Instrumentation and Warning Values .....	49
11.3	Monitoring Management .....	52
12	Control of Safety and Construction Environments .....	54
12.1	General Requirements .....	54
12.2	Ventilation and Exhaustion .....	54
12.3	Lighting and Power Installations .....	56
Appendix A Joints Details of Top-down Method		
	Structure .....	58
Explanation of Wording in This Standard .....		62
List of Quoted Standards .....		63
Addition: Explanation of Provisions .....		65

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在建筑工程逆作法设计、施工中做到安全适用、保护环境、技术先进、经济合理、确保质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于建筑工程逆作法的设计、施工、检测和监测。

**1.0.3** 建筑工程逆作法除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 逆作法 top-down method

利用主体地下结构的全部或部分作为地下室施工期间的支护结构，自上而下施工地下结构并与土方开挖交替实施的施工工法。

### 2.0.2 界面层 interface layer

建筑工程逆作法施工中首先施工的地下水平结构层，即主体结构顺作与逆作的分界层。

### 2.0.3 上下同步逆作法 synchronous construction of super-structures and underground structures

向下逆作施工地下结构的同时，向上施工界面层以上主体结构的施工工法。

### 2.0.4 两墙合一 dual-purpose diaphragm wall

地下连续墙兼作基坑围护墙和主体地下结构的外墙。

### 2.0.5 桩墙合一 dual-purpose pile wall

灌注排桩兼作基坑围护桩和主体地下结构外墙的一部分。

### 2.0.6 铣削深搅水泥土搅拌墙 cutter soil mixed wall

通过配置在钻具底端的两组铣轮水平轴向旋转下沉掘削原位土体至设计深度后，提升喷浆旋转搅拌形成矩形水泥土槽段，再将相邻槽段通过铣削搭接形成连续的等厚度水泥土搅拌墙体。

### 2.0.7 竖向支承桩柱 vertical support

逆作法施工中将施工阶段竖向荷载传递到地基的竖向支承结构，由竖向支承桩和竖向支承柱组成。

### 2.0.8 先插法 pre-inserting method

竖向支承桩柱施工中，先安放竖向支承桩的钢筋笼和竖向支承柱，其后整体浇筑支承桩混凝土的竖向支承桩柱施工方式。



### **2.0.9 后插法 post-inserting method**

竖向支承桩柱施工中，先浇筑竖向支承桩混凝土，在混凝土初凝前采用专用设备插入竖向支承柱的竖向支承桩柱施工方式。

### **2.0.10 一柱多桩 single post on several vertical support**

逆作法施工期间，在一根结构柱位置布置多根竖向支承桩柱的竖向支承结构形式。

### **2.0.11 先期地下结构 pre-construction underground structures**

逆作阶段基础底板形成之前施工的地下水平结构和地下竖向结构。

### **2.0.12 后期地下结构 post-construction underground structures**

基础底板施工完成之后再进行施工的地下水平结构和地下竖向结构。

### **2.0.13 逆作施工平台层 top-down construction layer**

建筑工程逆作法施工中用作施工作业平台，可进行施工机械作业、土方车辆运行和施工材料堆放的地下水平结构层。

### **2.0.14 垂吊模板 suspended formwork**

浇筑地下结构混凝土所采用的悬挂在上层结构上的模板系统。

### **2.0.15 超灌法 excessive concreting method**

后期地下竖向结构施工时，采用浇捣孔或者喇叭口等措施浇筑混凝土，使浇筑面超出施工缝一定高度的施工方法。

### **2.0.16 灌浆法 grouting method**

后期地下竖向结构混凝土浇筑时，与先期地下结构之间预留一定的间隙，其后采用灌浆料进行充填密实的施工方法。

### **2.0.17 注浆法 slip casting method**

后期地下竖向结构混凝土浇筑完成后，在与先期地下结构之间接缝部位，采用注浆材料进行加压注浆的施工方法。

### **2.0.18 监控信息化管理系统 monitoring management system**

将自动采集、人工采集的数据进行存储、分析、处理、查询并自动进行预测及预报警的系统。

### 3 基本规定

**3.0.1** 逆作法宜采用支护结构与主体结构相结合的形式。围护结构宜与主体地下结构外墙相结合，采用两墙合一或桩墙合一；水平支撑体系应全部或部分采用主体地下水平结构；竖向支承桩柱宜与主体结构桩、柱相结合。

**3.0.2** 逆作法设计应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 场地红线图、场地周边地形图；
- 3 基地周边相关建筑物、构筑物、管线等环境条件的调查资料；
- 4 建筑总平面图及主体工程建筑、结构资料；
- 5 对逆作法的总体要求。

**3.0.3** 逆作法的设计应包括下列内容：

- 1 逆作法施工流程；
- 2 围护结构的设计；
- 3 地下水平结构的设计；
- 4 竖向支承结构的设计；
- 5 逆作施工平台层的设计；
- 6 围护结构、地下水平结构和竖向支承结构之间的连接构造与防水设计；
- 7 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。

**3.0.4** 逆作法施工中的主体结构应满足建筑结构的承载力、变形和耐久性的控制要求。

**3.0.5** 采用上下同步逆作法的建筑工程设计应符合下列规定：

- 1 应建立地上、地下结构整体模型，通过上下同步施工的

施工工况模拟计算，确定地上地下同步施工的步骤；

2 竖向支承桩柱和先期地下结构在上下同步逆作施工阶段以及永久使用阶段，应同时符合承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

**3.0.6** 逆作法施工前应根据设计文件编制施工组织设计，施工组织设计应包括下列内容：

1 围护结构施工方案；

2 竖向支承桩柱的施工方案；

3 先期地下结构施工方案，包括水平结构与竖向结构节点施工方案；

4 后期地下结构施工方案，包括先期施工地下结构和后期施工地下结构的接缝处理方案；

5 逆作施工阶段临时构件的拆除方案；

6 地下水控制、土方挖运、监测方案；

7 施工安全与作业环境控制方案；

8 应急预案。

**3.0.7** 逆作法施工应采取地下水控制措施，并应满足逆作施工和土方开挖的要求；土方挖运应结合地下结构布置的特点，合理组织结构楼板施工与土方开挖的流水作业。

**3.0.8** 逆作法基坑工程应根据基坑周围环境的状况及保护要求确定基坑变形控制指标，并应从围护结构施工、基坑降水及开挖三个方面分别采取相关措施减小对周围环境的影响。

**3.0.9** 逆作法建筑工程应进行信息化施工，并应对基坑支护体系、地下结构和周边环境进行全过程监测。

**3.0.10** 逆作法施工中应根据环境及施工方案要求，采取安全及作业环境控制措施，设置通风、排气、照明及电力设施。

## 4 围护结构

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 逆作法围护结构形式可根据土层的性质、地下水条件及周边环境保护要求综合确定。作用在基坑围护结构上土压力的计算模式，应根据围护结构与土体的位移情况以及采取的施工措施确定，并应符合下列规定：

1 基坑开挖阶段，作用在围护结构外侧的土压力宜取主动土压力；需要严格限制支护结构的水平位移时，围护结构外侧的土压力可取静止土压力；

2 采用围护结构与主体结构相结合的设计时，地下结构正常使用期间作用在围护结构外侧的土压力应取静止土压力。

**4.1.2** 基坑周边围护结构采用弹性支点法计算时，地下水平结构梁板的弹性支点刚度系数，宜通过对结构楼板整体进行线弹性结构分析，根据支点力与水平位移的关系确定。

**4.1.3** 围护结构设计时应考虑逆作法施工的特点和工况要求，分层土方开挖深度应符合设计工况要求，且应满足逆作结构楼板的施工空间要求。

**4.1.4** 围护结构施工前除应符合本标准第 3.0.2 条外，尚应收集下列资料：

1 施工现场的地形、地质、气象、水文、环境和地下障碍物的资料；

2 测量基线和水准点资料；

3 主体地下结构防水、排水要求；

4 防洪、防汛、防台风和环境保护的有关规定和要求。

**4.1.5** 围护结构施工前应进行下列工作：

1 遇有不良地质时，应进行查验；

2 复核测量基准线、水准基点，并在施工过程中进行复测和保护；

3 场地内的道路、供电、供水、排水、泥浆循环系统等设施应布置到位；

4 标明和清除围护结构处的地下障碍物，应对地下管线进行迁移或保护，做好施工场地平整工作；

5 设备进场应进行安装调试和检查验收。

4.1.6 围护结构施工中应进行过程控制，通过现场监测和检测及时掌握围护结构施工质量，并应采取减少对周边环境影响的措施。

4.1.7 围护结构的设计、施工和检测尚应符合国家现行标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 和《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

## 4.2 地下连续墙

### I 设 计

4.2.1 地下连续墙可采用现浇地下连续墙或预制地下连续墙。两墙合一的地下连续墙可采用单一墙、复合墙和叠合墙的形式。

4.2.2 地下连续墙的混凝土强度等级不应低于 C30，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6。采用两墙合一时，混凝土强度等级不宜低于 C35，防水混凝土的抗渗等级应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

4.2.3 现浇地下连续墙主筋的保护层厚度在迎土面不应小于 70mm，在迎坑面不应小于 50mm，预制地下连续墙主筋的保护层厚度不应小于 30mm。

4.2.4 地下连续墙的垂直度允许偏差应满足设计要求，且不应大于 1/300。

**4.2.5** 两墙合一地下连续墙在永久使用阶段应进行正常使用极限状态的水平裂缝验算，一般环境条件下，迎土面最大裂缝宽度不应大于 0.3mm，迎坑面最大裂缝宽度不应大于 0.2mm，裂缝验算时取用的计算保护层厚度宜取 30mm。

**4.2.6** 当有人防要求时，两墙合一地下连续墙的设计应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 的有关规定。

**4.2.7** 两墙合一地下连续墙宜进行墙底注浆加固。单幅槽段注浆管数量不应少于 2 根，宜设置在墙厚中部，且应沿槽段长度方向均匀布置，注浆管间距不宜大于 3m。

**4.2.8** 两墙合一地下连续墙承受上部结构竖向荷载时，应符合下列规定：

1 墙底持力层宜选择压缩性较低的土层，并应进行墙底注浆加固。

2 应分别按照承载能力极限状态和正常使用极限状态计算地下连续墙的竖向承载力和沉降量。

3 地下连续墙的竖向承载力宜通过现场静载荷试验确定。无试验条件时，可按灌注桩的单桩竖向承载力计算方法进行估算。墙体截面有效周长应取与周边土体接触部分的长度，墙体有效长度应取基坑开挖面以下的入土深度。

**4.2.9** 两墙合一地下连续墙与主体结构构件可通过在地下连续墙内预留钢筋、钢筋接驳器或剪力槽进行连接。连接节点构造应满足本标准附录 A 的要求，并应符合下列规定：

1 预埋钢筋应采用 HPB300 钢筋，钢筋直径不宜大于 20mm，预埋钢筋的竖向间距不宜小于 100mm，水平间距宜为地下连续墙纵筋间距的整数倍，预埋钢筋方向应垂直于地下连续墙表面，并应符合锚固长度的要求；

2 预埋钢筋接驳器应采用与外接钢筋相同的强度等级，钢筋直径不宜小于 20mm，预埋钢筋接驳器的水平间距宜为地下连续墙纵筋间距的整数倍，预埋钢筋接驳器方向宜垂直于地下连续墙表面，无法垂直时，与地下连续墙表面的夹角不应小于 45°，

并应符合锚固长度的要求；

**3** 剪力槽应设置于地下连续墙纵筋内侧，剪力槽的宽度不宜小于 100mm，高度不宜小于 150mm；

**4** 地下连续墙上的预埋钢筋和接驳器不应贯穿全截面，其端部与地下连续墙迎土面外表面的距离不宜小于 200mm。

**4.2.10** 地下连续墙槽段接头防水设计应符合下列规定：

**1** 在粉土、砂土等透水性强的土层中，宜在地下连续墙的槽段接头位置采用内外两层防水措施，外侧宜设置隔水加固措施，加固深度宜大于基坑开挖深度；内侧宜设置结构壁柱或内衬墙；

**2** 当基坑开挖面以上分布有承压含水层时，地下连续墙内侧宜设置钢筋混凝土内衬墙。

**4.2.11** 两墙合一地下连续墙在使用阶段需要开设外接通道时，应根据开洞位置采取相应的加强措施和隔水加固措施。

**4.2.12** 地下连续墙位于暗浜区、扰动土区、淤泥、浅部砂土、粉土中或邻近有保护要求的建筑物时，地下连续墙两侧宜进行槽壁加固。

**4.2.13** 当地下连续墙形成具有空间效应的支挡式结构时，围护结构的内力和变形宜采用空间弹性地基板法进行计算。分析时地下连续墙可采用板单元模拟，根据地下连续墙和支撑的实际空间布置情况进行建模，分步模拟施工工况得到围护结构的内力和变形。

**4.2.14** 圆形基坑中由单元槽段筑成的呈圆筒形布置的地下连续墙设计应符合下列规定：

**1** 内力和变形宜按空间弹性地基板法进行计算，也可采用轴对称模型计算；

**2** 应结合分步开挖工况，对圆筒形布置的地下连续墙进行非均匀围压受力状态下的验算；

**3** 圆筒形布置的地下连续墙坑外土压力宜采用提高的主动土压力或静止土压力；

4 宜根据实际受力状态对槽段施工接头进行模拟和承载力验算；

5 圆筒形布置的地下连续墙的槽段分幅宜采用折线形。

**4.2.15** 预制地下连续墙的设计应符合下列规定：

1 预制地下连续墙的墙体厚度应小于成槽宽度，墙厚不宜大于 800mm；

2 预制地下连续墙宜采用空心截面，墙段平面宽度应结合设备吊装能力确定，不宜大于 5m；

3 预制地下连续墙应进行起吊工况的内力、变形计算及裂缝验算；应根据吊装和开挖工况的内力计算包络图进行截面设计。

## II 施工与检测

**4.2.16** 地下连续墙施工前应通过试成槽确定成槽施工各项技术参数。

**4.2.17** 地下连续墙成槽应采用具有纠偏功能的成槽设备。地下连续墙成槽范围内遇下列情况宜采用抓钎结合的方法成槽：

1 深度超过 60m；

2 进入标贯击数  $N$  大于 50 的密实砂层；

3 进入岩层。

**4.2.18** 护壁泥浆应符合下列规定：

1 护壁泥浆应根据地质条件进行试配，泥浆配合比应按现场试验确定；

2 新拌制的泥浆应充分水化后储存 24h 以上方可使用；

3 成槽时泥浆的供应及处理系统应符合泥浆使用量的要求，应采用泥浆检测仪器检测泥浆指标，槽段开挖结束后及钢筋笼入槽前应对槽底泥浆和沉淀物进行置换；

4 循环泥浆应采取再生处理措施，泥浆含砂率大于 7% 时应采用除砂器除砂。

**4.2.19** 地下连续墙钢筋笼制作场地应平整，平面尺寸应符合制



作和拼装要求；采用分节吊放的钢筋笼应在场地同胎制作，并进行试拼装；钢筋笼上的预埋钢筋、钢筋接驳器和剪力槽应符合安装精度要求。

**4.2.20** 地下连续墙钢筋笼吊筋长度应根据导墙标高计算确定，应在每幅槽段钢筋笼吊放前测量吊点处的导墙标高，并应确定吊筋长度。

**4.2.21** 地下连续墙的混凝土浇筑前墙底沉渣厚度不应大于150mm，两墙合一时不应大于100mm。

**4.2.22** 预制地下连续墙施工应符合下列规定：

1 应根据运输及起吊设备能力、施工现场道路和堆放场地条件，合理确定分幅和预制件长度，墙体分幅宽度应符合成槽稳定要求；

2 成槽顺序应先转角幅后直线幅，成槽深度应大于墙段埋置深度100mm~200mm；

3 相邻槽段应连续成槽，幅间接头宜采用现浇钢筋混凝土接头；

4 采用普通泥浆护壁成槽施工的预制地下连续墙，应在墙内预先埋设注浆管，墙体与槽壁之间的空隙应进行注浆固化处理，槽底可进行加固处理；

5 墙段吊放时应在导墙上安装导向架。

**4.2.23** 两墙合一地下连续墙施工质量检测应符合下列规定：

1 槽壁垂直度、深度、宽度及沉渣应全数进行检测，当采用套铣接头时应对接头处进行两个方向的垂直度检测；

2 现浇墙体的混凝土质量应采用超声波透射法进行检测，检测数量不应少于墙体总量的20%，且不应少于3幅；

3 当采用超声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻孔取芯法进行验证；

4 墙身混凝土抗压强度试块每100m<sup>3</sup>混凝土不应少于1组，且每幅槽段不应少于1组，每组3件；墙身混凝土抗渗试块每5幅槽段不应少于1组，每组6件。

**4.2.24** 作为临时围护结构的地下连续墙，其槽壁垂直度、深度、宽度及沉渣检测数量应为总数的 20%；有可靠的施工经验时，可不进行超声波透射法检测。

### **4.3 灌注桩排桩**

#### **I 设 计**

**4.3.1** 灌注桩排桩可采用桩墙合一的形式作为主体地下结构外墙的一部分。

**4.3.2** 灌注桩排桩作为基坑临时围护结构时，桩身混凝土强度等级不应低于 C25；桩墙合一时桩身混凝土强度等级不应低于 C30。

**4.3.3** 灌注桩主筋的保护层厚度不应小于 35mm，水下灌注桩的主筋保护层厚度不得小于 50mm。

**4.3.4** 灌注桩排桩的垂直度允许偏差应为 1/100，采用桩墙合一的设计时，应为 1/200。

**4.3.5** 灌注桩排桩采用桩墙合一的形式时，设计应符合下列规定：

1 灌注桩排桩在迎坑侧宜贴合地下结构外墙设置，当需要在灌注桩排桩与地下结构外墙间设置防水等衬垫层时，应在地下结构楼板位置设置水平传力构件；

2 灌注桩排桩除应符合基坑开挖阶段的承载能力极限状态的设计要求外，地下结构正常使用期间，灌注桩排桩尚应进行水压力和全部静止土压力等水平荷载作用下的承载能力极限状态和正常使用极限状态设计；

3 地下结构外墙宜进行水压力和按桩墙抗弯刚度分配的静止土压力等水平荷载作用下的承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

**4.3.6** 桩墙合一灌注桩与主体结构之间宜设置结构连接措施，承受竖向荷载时灌注桩宜进行桩端后注浆。

**4.3.7** 采用桩墙合一时，内侧现浇地下结构外墙厚度不应小于300mm，迎水面保护层厚度不应小于50mm。防水做法应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108的相关规定。

**4.3.8** 采用桩墙合一时，灌注桩排桩的桩间土防护应采用内置钢筋网或钢丝网的喷射混凝土面层，并应符合下列规定：

1 喷射混凝土面层的厚度不宜小于50mm，混凝土强度等级不宜低于C20，混凝土面层内配置的钢筋网纵横向间距不宜大于200mm；

2 钢筋网或钢丝网宜采用挂网钢筋与桩体连接，挂网钢筋直径不宜小于14mm，挂网钢筋可采用预埋插筋或植筋；

3 喷射混凝土面层直接作为外模时，平整度允许偏差宜为5mm。

## II 施工与检测

**4.3.9** 灌注桩排桩施工前应通过试成孔确定成孔机械、施工工艺、孔壁稳定的技术参数，试成孔数量不宜少于2个。

**4.3.10** 灌注桩排桩成孔机械应保证垂直度，桩墙合一的灌注桩排桩，宜采用成孔质量易于控制的设备，孔底沉渣厚度不宜大于100mm。

**4.3.11** 灌注桩排桩采用泥浆护壁成孔时，桩身范围内存在松散的粉土、砂土、软土等易坍塌或流动的软弱土层时，宜采取下列措施：

1 采用膨润土造浆，提高泥浆黏度；

2 先施工隔水帷幕，后施工围护排桩；

3 在围护桩位置宜采取预加固措施。

**4.3.12** 灌注桩排桩钢筋笼吊筋长度应根据地坪标高和设计桩顶标高计算确定，并固定牢靠。

**4.3.13** 当灌注桩排桩作为临时围护结构时，其施工和质量检测应符合下列规定：

1 灌注桩成孔结束后，灌注混凝土之前，应对每根桩的成

孔中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度进行检测；

2 桩身混凝土抗压强度试块，每  $50\text{m}^3$  混凝土不应少于 1 组，且每根桩不应少于 1 组，每台班不应少于 1 组；

3 桩身完整性宜采用低应变动测法检测。低应变动测检测桩数不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 5 根。当判定的桩身质量存在问题时，应采用钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度。

**4.3.14** 桩墙合一灌注桩排桩的质量检测除符合本标准第 4.3.13 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 应采用低应变动测法检测桩身完整性，检测比例应为 100%；应采用声波透射法检测桩身混凝土质量，检测的围护桩数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 5 根；

2 当根据声波透射法判定的桩身质量不合格时，应采用钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度，钻孔取芯完成后应对芯孔进行注浆填充密实；

3 当对排桩的竖向承载力有要求时，宜对其进行静载荷试验检测，比例不宜低于 1%，且不应少于 3 根；

4 挂网喷浆喷射混凝土试块数量每  $300\text{m}^2$  取一组，每组试块不应少于 3 块；喷射混凝土厚度可通过凿孔检查。

#### **4.4 型钢水泥土搅拌墙**

**4.4.1** 型钢水泥土搅拌墙可采用三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土连续墙或铣削深搅水泥土搅拌墙内插型钢的形式，并应符合下列规定：

1 三轴水泥土搅拌桩适用于填土、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土和饱和黄土，施工深度不宜大于 30m；

2 渠式切割水泥土连续墙除适用本条第 1 款的地层外，也可用于粒径不大于 100mm 的卵砾石土以及饱和单轴抗压强度不大于 5MPa 的岩层，施工深度不宜大于 60m；

3 铣削深搅水泥土搅拌墙除适用本条第 1 款和第 2 款的地

层外，也可用于粒径不大于 200mm 的卵砾石土以及饱和单轴抗压强度不大于 20MPa 的岩层，施工深度不宜大于 55m。

**4.4.2** 型钢水泥土搅拌墙施工应根据地质条件、成桩或成墙深度、桩径或墙厚、型钢规格等技术参数，选用不同功率的设备和配套机具，并应通过试成桩或试成墙确定施工工艺及各项施工技术参数。

**4.4.3** 型钢水泥土搅拌墙施工范围内应进行清障和场地平整，施工道路的地基承载力应符合成桩或成墙机械、起重机等重型机械安全作业和平稳移位的要求。渠式切割水泥土连续墙施工宜设置导墙。

**4.4.4** 型钢水泥土搅拌墙施工时，施工机械的平面定位允许偏差应为 20mm，垂直度允许偏差应为 1/250。

**4.4.5** 三轴水泥土搅拌桩搅拌下沉速度宜为 0.5m/min~1.0m/min；提升速度在黏性土中宜为 1.0m/min~2.0m/min，在粉土和砂土中不宜大于 1.0m/min。应保持匀速下沉或提升，提升时不应在孔内产生负压。

**4.4.6** 渠式切割水泥土连续墙施工中，锯链式切割箱应先行挖掘。施工方法的选用应综合考虑土质条件、墙体性能、墙体深度和环境保护要求，当切割土层较硬、墙体深度深、墙体防渗要求高时，宜采用三步施工法。当墙体深度小于 20m 且横向推进速度不小于 2.0m/h 时，可采用直接注入固化液挖掘、搅拌的一步施工法。

**4.4.7** 渠式切割水泥土连续墙施工中，挖掘液混合泥浆流动度应为 135mm~240mm，固化液混合泥浆流动度应为 150mm~280mm。

**4.4.8** 渠式切割水泥土连续墙施工需拔出切割箱时，宜在墙体外拔出，并应及时回灌固化液。

**4.4.9** 铣削深搅水泥土搅拌墙墙体厚度宜为 700mm~1200mm。墙体水泥掺量不宜小于 18%（与被搅拌土体的重量比），水灰比宜取 0.8~1.5。膨润土浆液宜采用钠基膨润土拌制，对黏性土

每立方米被搅土体掺入膨润土量不宜少于 30kg, 对砂土每立方米被搅土体掺入膨润土量不宜少于 50kg。

**4.4.10** 铣削深搅水泥土搅拌墙施工可采用一次注浆或两次注浆工艺。当地层复杂、墙体深度较深时, 宜采用一次注浆工艺, 即搅拌下沉过程中注入膨润土浆液, 搅拌提升过程中注入水泥浆液; 当地层较软弱、墙体深度小于 20m 时, 宜采用两次注浆工艺, 即搅拌下沉和提升过程中均注入水泥浆液。

**4.4.11** 铣削深搅水泥土搅拌墙单幅墙长度为 2.8m, 应采用跳幅施工, 幅间咬合搭接不应小于 0.3m, 相邻墙段的施工间隔时间不宜大于 10h。成墙搅拌下沉速度宜为 0.5m/min~1.0m/min, 提升速度宜为 0.3m/min~0.8m/min。

**4.4.12** 基坑开挖前, 水泥土搅拌墙的强度应符合设计要求。水泥土搅拌墙的强度宜采用浆液试块强度试验确定, 也可采用钻取芯样强度试验确定。

**4.4.13** 采用三轴水泥土搅拌桩形成的型钢水泥土搅拌墙, 其设计、施工与检测尚应符合现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 的规定。采用渠式切割水泥土连续墙形成的型钢水泥土搅拌墙, 其设计、施工与检测尚应符合现行行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303 的规定。

## **4.5 咬合式排桩**

**4.5.1** 咬合式排桩平面布置可采用有筋桩和无筋桩搭配、有筋桩和有筋桩搭配两种形式。

**4.5.2** 有筋桩混凝土设计强度等级不应低于 C25, 无筋桩应采用设计强度等级不低于 C20 的混凝土。受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

**4.5.3** 咬合式排桩垂直度允许偏差应为 1/300; 相邻桩咬合宽度不宜小于 150mm, 考虑施工偏差后的桩底最小咬合量不应小于 50mm。

**4.5.4** 桩墙合一的咬合式排桩混凝土强度设计等级不宜低于

C30，承受竖向荷载时咬合式排桩宜进行桩端后注浆。

**4.5.5** 咬合式排桩宜折算为等厚度墙体进行内力和变形计算，并应符合下列规定：

1 抗弯刚度计算时宜仅考虑有筋桩；

2 内力验算应包括围护桩自身弯矩、剪力，有筋桩与无筋桩密排组合形式尚应验算咬合面局部受剪承载力。

**4.5.6** 采用桩墙合一的设计时，应符合本标准第 4.3 节的有关规定。

**4.5.7** 咬合式排桩施工可采用硬切割或软切割的施工方法，宜根据桩长、周边环境条件、工程地质条件和水文地质条件确定。

**4.5.8** 施工前应通过试成孔确定施工设备、工艺参数、成孔时间、取土面高度和混凝土的凝结时间。试成孔数量应根据工程规模和施工场地地层特点确定，且不应少于 1 组。

**4.5.9** 咬合式排桩施工前，应在桩顶上部沿咬合式排桩两侧先施工钢筋混凝土导墙。导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，并应符合承载力及稳定性的要求。混凝土达到设计强度后，重型机械设备才能在导墙附近作业或停留。

**4.5.10** 用于咬合式排桩成孔的钢套管在使用前，应对其顺直度进行检查和校正，整根套管的顺直度允许偏差应小于 1/500。

**4.5.11** 钢筋笼应整体制作，钢筋笼上预留的插筋、接驳器应符合安装精度要求。

**4.5.12** 钢筋笼吊放时应采取限位措施，矩形钢筋笼或有预埋件的钢筋笼转角允许误差应为  $5^{\circ}$ 。

**4.5.13** 混凝土浇筑应及时拔套管，起拔量不应超过 100mm，保持混凝土高出套管底端 2.5m。混凝土浇筑过程中，套管应来回转动。

**4.5.14** 桩墙合一咬合式排桩的桩身完整性检测应采用声波透射法，检测数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 5 根；当根据声波透射法判定的桩身质量不合格时，应采取钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度。

**4.5.15** 除应符合本节规定外，咬合式排桩的设计、施工与检测尚应符合现行行业标准《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396 的相关规定。



## 5 竖向支承桩柱

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 逆作法竖向支承结构由竖向支承柱和竖向支承桩组成。根据逆作阶段承受的竖向荷载与主体结构设计要求，支承柱可采用格构柱、H 型钢柱或钢管混凝土柱等结构形式；支承桩宜采用灌注桩，并宜利用主体结构工程桩。

**5.1.2** 竖向支承桩柱宜采用一柱一桩形式。当一柱一桩形式无法符合逆作阶段的承载力与变形要求时，也可采用一柱多桩形式。

**5.1.3** 竖向支承桩柱应根据逆作施工阶段和永久使用阶段的不同荷载工况与结构受力状态进行设计计算，并应同时符合两个阶段的承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

**5.1.4** 竖向支承桩柱施工前应做下列工作：

- 1 清除障碍物及场地平整工作；
- 2 完成混凝土硬地坪施工；
- 3 选择合适的支承桩施工机械与施工工艺；
- 4 明确支承柱加工、连接、支承柱插入支承桩方式、调垂

和测垂工艺。

**5.1.5** 竖向支承桩成孔机具及工艺的选择，应根据桩型、成孔深度、土层情况、泥浆排放及处理条件确定；竖向支承柱转向控制、调垂和测垂工艺应根据支承柱形式、长度、垂直度控制要求及其与支承桩连接方式确定。

**5.1.6** 竖向支承桩柱的设计、施工和检测尚应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

## 5.2 设 计

**5.2.1** 竖向支承桩柱在逆作期间竖向荷载作用的效应组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的相关规定, 竖向荷载可分为恒荷载、可变荷载及附加竖向荷载, 并应符合下列要求:

- 1 恒荷载应包括结构自重、装修自重、临时支撑自重等;
- 2 可变荷载应包括施工机械和人员荷载、材料堆放荷载等;
- 3 上下同步逆作法施工时由于水平作用所产生的附加竖向荷载, 应包括地上结构在风荷载或地震作用下对竖向支承桩柱产生的附加轴力。

**5.2.2** 竖向支承柱应按照偏心受压构件进行逆作阶段各工况的承载力计算和稳定性验算, 计算时应按支承柱的施工允许偏差考虑竖向荷载偏心的影响, 各工况下的竖向支承柱计算长度  $l_0$  可按下列公式计算确定:

$$l_0 = \mu l \quad (5.2.2-1)$$

$$\text{除开挖最后工况外, } l = \max\{1.2H, (H+2)\} \quad (5.2.2-2)$$

$$\text{开挖最后工况, } l = H \quad (5.2.2-3)$$

式中:  $l_0$  —— 支承柱的计算长度;

$l$  —— 支承柱逆作阶段各工况下的几何长度;

$H$  —— 已完成的最下层地下水平结构底至挖土面的距离;

$\mu$  —— 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。

**5.2.3** 当竖向支承桩超灌高度以上的桩孔与支承柱之间的空间采用碎石和砂回填并注浆加固或其他可靠充填措施时, 各开挖工况下的竖向支承柱下端约束可作为铰支考虑。

**5.2.4** 竖向支承柱与地下水平结构连接节点应根据计算设置抗剪钢筋、栓钉或钢牛腿抗剪措施, 连接节点构造应符合本标准附

录 A 的规定。

**5.2.5** 竖向支承柱垂直度允许偏差应为  $1/300$ ，并应符合设计要求；格构柱和 H 型钢柱截面中轴线应与结构柱网方向一致，其转向允许偏差应为  $5^\circ$ ；支承桩垂直度允许偏差应为  $1/150$ ，支承柱深度范围内的支承桩垂直度允许偏差应为  $1/200$ 。

**5.2.6** 竖向支承柱构造应符合下列规定：

1 支承柱采用格构柱时，其边长不宜小于 420mm；采用钢管混凝土柱时，钢管外径不宜小于 500mm；

2 需外包混凝土形成主体结构框架柱的支承柱，内置钢骨的保护层厚度不宜小于 150mm，其形式和截面应与结构梁柱截面和钢筋配置相协调，并宜采用设置栓钉的措施保证其与外包混凝土结构整体协同受力；

3 支承柱钢结构的焊缝质量和检测要求应符合相关规范 and 设计要求，不宜在承载状态下的支承柱表面上直接施焊；

4 当支承柱需现场多段拼接时，应对拼接进行节点设计；

5 支承柱穿基础底板范围内应设置止水钢板。

**5.2.7** 支承柱插入支承桩的深度应通过计算确定，并应符合下列规定：

1 带栓钉钢管混凝土支承柱插入深度不应小于 4 倍钢管外径，且不应小于 2.5m；

2 未设置栓钉等抗剪措施的钢管混凝土支承柱插入深度不应小于 6 倍钢管外径，且不应小于 3m；

3 格构柱插入深度不应小于 3m。

**5.2.8** 钢管混凝土支承柱插入支承桩的范围及其下 2 倍桩径范围内桩的箍筋应加密，间距不应大于 100mm。

**5.2.9** 支承桩的钢筋笼与支承柱之间的水平净距应根据二者的垂直度偏差控制要求和相关构造要求确定，且不应小于 100mm。

**5.2.10** 竖向支承桩应进行逆作阶段的单桩承载力和竖向变形计算。支承桩竖向变形的计算除应考虑施工阶段竖向荷载作用之外，尚应考虑基坑开挖卸荷土体回弹隆起的影响。

**5.2.11** 在基础底板施工之前，相邻支承柱间以及边跨支承柱与围护结构间的差异变形不宜大于  $1/400$  柱距，且不宜大于 20mm。

**5.2.12** 竖向支承桩宜选择低压缩性地层作为桩基持力层，采用泥浆护壁成孔工艺的灌注桩应采用桩端后注浆措施。

### 5.3 施 工

**5.3.1** 竖向支承桩柱的施工场地应符合下列规定：

1 施工场地宜设置硬地坪，应满足大型吊机行走的承载力要求，并应满足固定支承柱调垂装置的要求；

2 单桩施工作业范围内场地平整度允许偏差宜为 10mm；

3 地基应符合承载力与变形的控制要求。

**5.3.2** 竖向支承桩桩位测量及定位应符合下列规定：

1 施工前应复核测量基准点、水准点及建筑物的基准线，并应进行保护；

2 桩位放样定位时，应在硬地坪上设置钢钉，并用红漆画好定位三角，标明桩号；

3 控制点、水准点测量标志应做好保护工作，并做好醒目标记和记录；

4 支承桩的中心定位允许偏差应为 10mm。

**5.3.3** 支承桩孔口护筒长度应根据土质条件和支承柱调垂需要确定。

**5.3.4** 支承桩的成桩工艺及机械，应根据土质条件、环境保护要求通过试成孔确定，试成孔数量不宜少于 2 个。

**5.3.5** 当支承桩桩端位于砂土层或者桩长范围分布有较厚砂层且采用回转钻机成孔施工时，宜采用反循环清孔工艺。

**5.3.6** 支承桩桩身范围内存在深厚的粉土、砂土层时，成孔施工中宜采用膨润土泥浆护壁，并结合除砂器除砂，清孔时应同时检测泥浆相对密度、黏度、含砂率。

**5.3.7** 支承桩成孔过程中应控制成孔垂直度，成孔结束后应检

查成孔垂直度和孔底沉渣。

**5.3.8** 当支承桩采用旋挖扩底工艺时，在扩底切削前应确认扩底钻斗的扩幅形状达到设计要求，扩底切削过程宜有监视扩幅切削状态的装置。

**5.3.9** 当支承桩采用桩端后注浆工艺时，应根据桩端地层情况选用桩端注浆器，注浆管数量、注浆量和注浆压力应符合设计要求。

**5.3.10** 支承柱宜在工厂按照整根进行焊接制作；当在工厂分节制作时，宜采用现场水平拼接。

**5.3.11** 支承柱插入支承桩方式可结合支承桩柱类型、施工机械设备、成孔工艺及垂直度要求综合确定，可采用先插法或后插法；当支承桩为人工挖孔桩时，也可采用在支承桩顶部预埋定位基座后再安装支承柱的方法。

**5.3.12** 支承柱采用先插法施工时应符合下列规定：

1 支承柱安插到位，调垂至设计垂直度控制要求后，应在孔口固定牢靠；

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 钢管内混凝土的强度等级不低于 C50 时，宜采用高流态、无收缩、自密实混凝土；

4 钢管混凝土支承柱内的混凝土应与支承桩的混凝土连续浇筑完成；

5 钢管混凝土支承柱内混凝土与支承桩桩身混凝土采用不同强度等级时，施工时应控制其交界面处于低强度等级混凝土一侧；支承柱外部混凝土的上升高度应符合支承桩混凝土超灌高度要求；

6 浇筑钢管内混凝土过程中，应人工对钢管柱外侧均匀回填碎石和砂，分次回填至自然地面；

7 利用预先埋设的注浆管分批次对已回填的支承桩桩孔进行填充注浆，水泥浆注入量不应小于回填体积的 20%。

**5.3.13 支承柱采用后插法施工时应符合下列规定：**

1 支承桩混凝土宜采用缓凝混凝土，应具有良好的流动性，缓凝时间应根据施工操作流程综合确定，且初凝时间不宜小于 36h，粗骨料宜采用 5mm~25mm 连续级配的碎石；

2 应根据施工条件选择合适的插放装置和定位调垂架；

3 应控制竖向支承柱起吊时的变形和挠曲，插放过程中应及时调垂，符合设计垂直度要求；

4 钢管柱底部宜加工成锥台形，锥形中心应与钢管柱中心对应；

5 钢管柱插放、调垂到位后，应复核桩位中心与钢管柱中心的定位偏差，并牢靠固定；

6 钢管内混凝土的强度等级不低于 C50 时，宜采用高流态、无收缩、自密实混凝土；

7 钢管内混凝土浇筑完成后，应人工对钢管柱外侧均匀回填碎石和砂至自然地面；

8 利用预先埋设的注浆管对已回填的支承桩桩孔进行填充注浆，水泥浆注入量不应小于回填体积的 20%。

**5.3.14 当支承桩采用人工挖孔桩成孔工艺时，支承柱可采用先预埋定位基座后安装的施工方法，且应符合下列规定：**

1 人工挖孔桩挖到底后应清除护壁上和孔底的残渣与积水，并应及时封底和浇筑桩身混凝土；

2 人工挖孔桩不含护壁的有效孔径不应小于设计桩径，桩中心与设计桩轴线允许偏差应为 10mm；

3 桩身混凝土可采用两次浇筑，第一次浇至不同强度等级混凝土分界处，距离竖向支承柱底部设计标高不应小于 1000mm，第二次混凝土浇筑应在竖向支承柱安放固定后进行；

4 第一次混凝土浇筑面应清除浮浆、凿毛，并应安放定位导向装置。

**5.3.15 竖向支承柱吊放应采用专用吊具，起吊吊点数量和位置应通过计算确定，起吊变形应满足垂直度偏差控制要求。**

**5.3.16** 支承柱在施工过程中应采用专用调垂装置控制定位、垂直度和转向偏差。调垂装置安装应符合支承柱调垂过程中的精度要求，支承柱宜接长高出地面，高出长度应根据调垂装置需要确定。

**5.3.17** 支承柱安装精度的控制应考虑下列因素：

- 1 竖向支承桩的垂直度和孔径偏差；
- 2 分节制作时拼接的精度；
- 3 调垂装置调垂误差；
- 4 混凝土浇筑及支承柱四周回填不均匀等因素引起的误差。

**5.3.18** 竖向支承桩柱混凝土浇筑完成后，应待混凝土终凝后方可移走调垂固定装置，并应在孔口位置对支承柱采取固定保护措施。

## **5.4 检 测**

**5.4.1** 当竖向支承柱采用钢管混凝土柱时，应通过钢管混凝土柱试充填试验确定合适的钢管柱内混凝土浇筑、调垂和测垂工艺，钢管混凝土柱试充填试验数量不宜少于 2 根。

**5.4.2** 支承柱施工时应应对就位后的支承柱全数进行垂直度检测；基坑开挖后应对暴露出来的支承柱全数进行垂直度复测。

**5.4.3** 当支承柱采用钢管混凝土柱时，应采用超声波透射法对支承柱进行基坑开挖前的质量检测，检测数量不应小于支承柱总数的 20%。当发现支承柱存在缺陷时，应采用钻芯法对支承柱混凝土质量进一步检测；基坑开挖后，应采用敲击法全数检测支承柱质量。

**5.4.4** 支承桩应全数进行成孔检测，内容包括成孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度；并应采用超声波透射法检测桩身混凝土质量，检测比例不少于 20%。

**5.4.5** 对于工程地质条件复杂、上下同步逆作法工程、逆作阶段承载力和变形控制要求高的竖向支承桩，应采用静载荷试验对支承桩单桩竖向承载力进行检测，检测数量不应少于 1%，且不应少于 3 根。

## 6 先期地下结构

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 先期地下结构应为逆作阶段基础底板形成之前施工的地下水平结构与地下竖向结构，包括地下各层水平结构以及框架柱和剪力墙等竖向结构。先期地下结构施工时应预留后期地下结构所需要的施工措施和连接措施。

**6.1.2** 先期地下水平结构应根据逆作阶段的平面布置和工况，按水平向和竖向联合受荷状态进行承载力和变形计算，并应符合逆作阶段和永久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要求。

**6.1.3** 先期地下结构施工前应结合地下结构开口布置、逆作阶段受力和施工要求预留孔洞，施工时应预留后期地下结构所需要的钢筋、埋件以及混凝土浇捣孔。

**6.1.4** 逆作施工平台层的场地布置应结合各类施工机械运行通道和作业区域、材料堆放、加工场地以及排水的施工组织要求确定。

**6.1.5** 先期地下结构施工前应确定取土口、材料运输口、进通风口及其他预留孔洞。预留孔洞的周边应设置防护栏杆，其平面布置应综合下列因素确定：

1 应结合施工部署、行车路线、先期地下结构分区、上部结构施工平面布置确定；

2 预留孔洞大小应结合挖土设备作业、施工机具及材料运转确定；

3 取土口留设时宜结合主体结构的楼梯间、电梯井等结构开口部位进行布置，在符合结构受力的情况下，应加大取土口的面积；



4 不宜设置在结构边跨位置；确需设置在边跨时，应对孔洞周边结构进行加强处理；

5 不宜设置在结构标高变化处。

6.1.6 先期地下结构施工前应进行下列准备工作：

1 复核测量基准线、水准基点，并在施工中进行保护；

2 布置场地内的道路、供电、供水、消防、排水系统；

3 确定场地的平面布置；

4 完成围护、地基加固、降水等前道工序；

5 地下室的设计图纸已完善并具备施工条件。

6.1.7 先期地下结构设计、施工及验收应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

## 6.2 设 计

6.2.1 先期地下水平结构承受水平向荷载的计算分析应符合下列规定：

1 水平作用荷载应取根据现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 采用平面杆系结构弹性支点法计算得到的支点反力；

2 梁板体系和无梁楼盖宜采用有限元方法进行计算分析，梁板体系计算应考虑楼板的整体作用；

3 当地下水平结构采用框架逆作时，可采用仅考虑梁系作用的简化计算方法，建立周边水平荷载作用下的封闭框架模型，进行地下水平结构内力和变形的计算。

6.2.2 先期地下水平结构在逆作阶段承受的竖向荷载主要包括结构自重和施工荷载。当地下水平结构上直接作用施工机械荷载时，该荷载在水平结构构件计算中应乘以 1.1~1.3 的动力系数。

6.2.3 先期地下水平结构计算时宜考虑由支承柱差异变形及支承柱与围护墙之间差异变形引起的附加内力，并应采取防止有害裂缝产生的技术措施。

**6.2.4** 先期地下水平结构承受水平向荷载的设计应符合下列规定：

1 对地下结构的同层楼板面存在高差的部位，应验算该部位构件的弯、剪、扭承载能力，根据验算结果可补充设置水平向转换结构或临时支撑；

2 对结构较大开洞及车道开口部位，当洞口两侧的梁板不能满足水平传力要求时，应通过计算在结构开洞位置处设置临时支撑或采取洞口边梁加强措施；

3 在各层结构留设结构分缝或基坑施工期间不能封闭的位置，应通过计算设置水平传力构件。

**6.2.5** 逆作施工平台层的平面布置应结合逆作期间的土方挖运和材料运输要求综合确定，并应便于施工机械通行与施工作业，逆作施工平台层设计应符合下列规定：

1 宜与先期地下水平结构及临时支撑结合设置施工平台层的受力构件；

2 可根据施工组织需要划分为堆载区和施工车辆作业区，堆载区荷载取值不应小于  $10\text{kN/m}^2$ ，施工车辆作业区荷载取值不应小于  $25\text{kN/m}^2$ ；

3 逆作施工平台层结构构件承载力和变形可按水平向和竖向受荷状态分别进行计算；

4 在竖向受荷状态计算中，结构梁及楼板计算可按等效均布竖向荷载进行计算，此外，结构梁尚应按施工机械最不利布置下的轮压作用，进行承载力和变形验算。

**6.2.6** 当先期地下水平结构构件的截面尺寸需根据水平向和竖向受力要求进行加强时，应复核并确保构件尺寸增大之后不影响建筑和设备空间使用要求。

**6.2.7** 当先期地下水平结构采用梁板体系时，框架梁截面的宽度宜大于支承柱截面宽度，或可在梁柱节点位置采取梁端宽度方向加腋或环梁节点等措施，以满足梁柱节点位置梁主筋穿过要求。梁柱连接节点构造应符合本标准附录 A 的规定。

**6.2.8** 先期地下水平结构与周边围护结构之间，应根据施工期间的水平传力要求以及永久使用阶段的结构受力要求，设置可靠的连接措施，并应符合下列规定：

1 采用两墙合一地下连续墙时，周边水平构件可采取在地下连续墙内预留插筋、钢筋接驳器或剪力槽与地下连续墙形成整体连接；

2 采用临时围护结构且结构外墙待基础底板施工形成后再施工时，应在围护结构与水平结构之间设置临时钢支撑或混凝土支撑，同时应预先留设水平结构与周边后浇筑地下室外墙之间的结构连接以及止水措施。

**6.2.9** 临时支承柱部位的构件配筋及连接节点应符合逆作阶段及永久使用阶段的工况要求。

**6.2.10** 先期地下结构在基坑施工期间的预留孔洞应符合下列规定：

1 同层楼板上需根据施工运输的要求设置多个预留孔洞时，孔洞的数量和位置不应影响地下结构作为水平支撑的受力和变形的要求；

2 对地下结构楼板上的施工运输临时预留孔洞，应验算水平力和施工荷载作用下孔洞周边构件的承载力和变形，根据验算结果可设置洞口边梁及加强洞口周边楼板钢筋配置；

3 对基坑工程施工后需要封闭的预留孔洞，应满足主体结构对孔洞处二次浇筑混凝土的结构连接要求；对有防水要求的洞口应采取相应的止水构造。

## **6.3 施 工**

### **I 模 板 工 程**

**6.3.1** 模板工程应进行专项设计并编制施工方案。地下水平结构的模板应根据水平结构形式和荷载大小、地基土类别、施工设备和材料供应等因素确定。

**6.3.2** 地下水平结构模板形式可采用排架模板、土胎膜及垂吊模板，模板施工时应符合下列规定：

1 排架支撑模板的排架高度宜为 1.2m~1.8m，采用盆式开挖时周边留坡坡体斜面应修筑成台阶状，且台阶边缘与支承柱间距不宜小于 500mm；

2 采用土胎膜时应在垫层浇筑后铺设模板系统；

3 采用垂吊模板时，吊具须检验合格，吊设装置应符合相应的荷载要求，垂吊装置应具备安全自锁功能；

4 对于跨度不小于 4m 的钢筋混凝土梁板结构，模板应按设计要求起拱；当设计未作要求时，起拱高度宜为跨度的 1/1000~3/1000，并应根据垫层和土质条件综合确定。

**6.3.3** 地下水平结构施工前应预先考虑后期结构的施工方法，并应采取下列技术措施：

1 框架柱的四周或中间应预留混凝土浇捣孔，浇捣孔孔径大小宜为 100mm~220mm，每个框架柱浇捣孔数量不应少于 2 个，应呈对角布置，且应避让框架梁；

2 剪力墙侧边或中间应预留混凝土浇捣孔，浇捣孔宜沿剪力墙纵向按 1200mm~2000mm 间距均匀布置；

3 后期结构的混凝土浇捣孔可使用 PVC 管或钢管进行预留；

4 柱、墙水平施工缝宜距梁底下不小于 300mm。

**6.3.4** 采用排架模板及土胎模施工时均应设置垫层，垫层厚度不宜小于 100mm，混凝土强度等级宜采用 C20。当垫层下地基承载力和变形不符合支模要求时，应预先对地基进行加固处理。

**6.3.5** 采用排架模板或土胎模时，下层土方开挖之前应先拆除排架，并应破除垫层。

## II 混凝土结构

**6.3.6** 钢筋混凝土工程的原材料、加工、连接、安装和验收，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB

50204 的有关规定。

**6.3.7** 每批次混凝土浇筑时应留设相应的拆模混凝土试块。

**6.3.8** 混凝土浇筑过程中，应设专人对模板支架、钢筋、预埋件和预留孔洞的变形、移位进行观测。

**6.3.9** 先期与后期地下水平及竖向结构之间施工缝的留设，应符合下列规定：

1 施工缝的留设应结合设计要求和后期地下结构施工便利性要求综合确定；

2 对有防水要求的地下结构，应根据主体结构防水要求采取防水措施；

3 在有防水要求的地下室顶板上预留浇捣孔时，应根据设计要求采取相应的防水构造措施；

4 柱墙竖向受力钢筋接头宜相互错开，无法错开时，应预留Ⅰ级机械接头；

5 预留孔洞周边的结构梁板钢筋宜伸出 300mm，梁预留筋应留设Ⅰ级机械接头。

**6.3.10** 先期地下结构施工时应对外长期暴露在外部的预留钢筋采取防碰撞和防锈蚀的保护措施。

### Ⅲ 钢与混凝土组合结构

**6.3.11** 先期地下结构采用钢结构或钢与混凝土组合结构时，应在先期地下结构楼板上预留下层钢结构吊装用埋件，并应考虑钢结构吊装设备的作业空间。

**6.3.12** 竖向支承柱施工前，应先确定钢结构的制作工艺和连接方法，并应深化设计钢结构构造节点。

**6.3.13** 在先期地下结构施工中，界面层以下需连接在支承柱上的钢构件应通过预留孔洞进行垂直运输，并在施工层水平运输至安装位置进行连接，严禁出现在地面拖拉的现象。

**6.3.14** 钢构件之间连接宜采用可调节的节点形式，并宜预留调整空间。钢构件连接之前宜先进行预拼装。

## 7 后期地下结构

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 后期地下结构的施工应包括界面层以下的框架柱、剪力墙、地下室外墙、内衬墙及壁柱等竖向结构的施工，逆作阶段预留孔洞需封闭的地下水平结构的施工，以及临时支承柱、临时支撑构件拆除施工等。

**7.1.2** 后期地下结构施工前应对与先期地下结构连接的接缝部位进行清理，并应对预留的钢筋、机械接头、浇捣孔进行整修。

**7.1.3** 后期地下结构施工拆除先期地下结构预留孔洞范围内的临时水平支撑时，应按照设计工况在可靠换撑形成后进行；当有多层临时水平支撑时，应自下而上逐层换撑、逐层拆撑；临时支撑拆除时应监测该区域结构的变形及内力，并应预先制定应急预案。

**7.1.4** 临时竖向支承柱的拆除应在后期竖向结构施工完成并达到竖向荷载转换条件后进行，并按自上而下的顺序拆除，拆除时应监测相应区域结构变形，并应预先制定应急预案。

**7.1.5** 后期地下结构施工前应对先期地下结构的轴线、构件平面位置及标高进行复核，当偏差较大时应会同设计方进行调整。

**7.1.6** 后期地下结构施工前，应根据施工图和现场施工条件，制定先期与后期结构接缝处理、临时竖向支承柱和临时水平支撑等构件拆除方案，以及后期地下水平和竖向结构的专项施工方案。

**7.1.7** 后期地下结构的施工及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》GB 50204 的规定。

### 7.2 模板工程

**7.2.1** 柱、墙模板施工中，模板体系应考虑逆作法施工特点进

行加工与制作。模板预留洞、预埋件的位置应按图纸准确留设。

**7.2.2** 模板体系应具有足够的承载能力、刚度和稳定性，并应能承受浇筑混凝土的重量、侧压力以及施工荷载。

**7.2.3** 后期地下结构柱、墙施工时，宜根据预留浇捣孔位置设喇叭口。喇叭口宽度与倾斜角度应符合混凝土下料和振捣要求，喇叭口内混凝土浇筑面应高于施工缝 300mm 以上。

**7.2.4** 剪力墙回筑时，宜沿墙两侧设置喇叭口，间距宜为 1.2m~2.0m。墙单侧设置喇叭口时，间距不得大于 1.5m。

**7.2.5** 柱、墙模板底部应有防止漏浆措施。浇捣高度大于 3m 时，模板中部宜设置临时浇捣口；浇捣高度大于 6m 时，宜设置水平施工缝。扶壁柱与内衬墙回筑时，模板可单侧支模，对拉螺杆可固定在围护结构上并应设置止水钢板。

### 7.3 混凝土工程

**7.3.1** 后期地下结构梁、柱、墙与先期地下结构连接钢筋直径较粗时，其连接接头宜采用机械连接。钢筋的连接应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定。

**7.3.2** 钢筋接头应进行隐蔽工程验收，机械接头或焊接接头试件应现场取样。

**7.3.3** 后期地下水平结构和竖向结构施工前，应对预埋钢筋进行检查并整修，当预埋钢筋损坏或缺失时应按设计要求进行补强。

**7.3.4** 混凝土配合比应根据逆作法特点设计，浇捣前应对混凝土配合比及浇筑工艺进行现场试验。在现场应做混凝土工作性能试验，并应制作抗压抗渗试块及同条件养护试块。

**7.3.5** 后期竖向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，不应出现冷缝；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。

**7.3.6** 混凝土浇筑时不得发生离析，当粗骨料粒径大于 25mm 时倾倒高度不应大于 3m，当粗骨料粒径小于或等于 25mm 时倾倒高度不应大于 6m。当不符合要求时，应分段浇筑或加设串筒、溜管、溜槽装置。

**7.3.7** 支承柱外包混凝土结构施工前，应将支承柱钢结构表面清理干净，并应保证外包混凝土结构与支承柱连接密实。

## **7.4 接 缝 处 理**

**7.4.1** 后期地下竖向结构施工应采取措施保证水平接缝混凝土浇筑的质量，应结合工程情况采取超灌法、注浆法或灌浆法等接缝处理方式。

**7.4.2** 采用超灌法时，竖向结构混凝土宜采用高流态低收缩混凝土，也可采用自密实混凝土。浇筑混凝土液面应高出接缝标高不小于 300mm。

**7.4.3** 采用注浆法时，待后期竖向结构施工完成后，采用注浆料通过预先设置的通道对水平接缝进行处理，注浆料宜采用高流态低收缩材料，强度高于原结构一个等级。注浆宜选用下列方式：

1 在接缝部位预埋专用注浆管，混凝土初凝后，通过专用注浆管注浆；

2 在接缝部位预埋发泡聚乙烯接缝棒，混凝土强度达到设计要求后用稀释剂溶解接缝棒，形成注浆管道进行注浆；

3 混凝土强度达到设计要求后，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。

**7.4.4** 采用灌浆法时，水平接缝处应预留不小于 50mm 的间距，采用高于原结构混凝土强度等级的灌浆料填充。采用的模板应密封严密，与上下结构搭接 100mm 以上，灌浆口应与出浆口对应布置，并应沿灌浆方向单向施工。



## 8 上下同步逆作法

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 采用上下同步逆作法的建筑工程，其施工流程应符合设计要求，并宜符合下列规定：

1 当主体结构为框架结构时，上部结构应在界面层施工完成后方可施工；

2 当主体结构为框架-剪力墙或筒体结构时，上部结构宜在包含界面层楼板在内的两层地下水平结构施工完成后方可施工。

**8.1.2** 上下同步逆作法的工程，应选择刚度大、传力可靠的地下水平结构层作为界面层；当剪力墙或核心筒上部同步逆作时，宜选择结构嵌固层以下的地下水平结构层作为界面层；当界面层为地下一层或以下的地下水平结构层时，应对开挖至界面层的围护体悬臂工况采取控制基坑变形的设计与施工措施。

**8.1.3** 逆作施工平台层宜设置于地下室顶板，其平面及净空应符合逆作施工期间土方及材料的水平和竖向运输的施工作业要求。

**8.1.4** 上下同步逆作法工程应预先确定设计与施工技术措施，应包括下列主要内容：

1 结合主体结构确定合理的同步施工工况下竖向支承结构和托换结构体系；

2 选择合适的上下同步施工界面层及上下同步施工流程；

3 确定适应于上下同步施工工况的场地布置和机械配置；

4 选择受力明确、施工方便且与主体结构构件结合良好的施工阶段临时构件和节点形式。

**8.1.5** 上下同步逆作法施工时，应对上下同步逆作区域内的竖向支承桩柱、托换结构进行变形监测。

## 8.2 设 计

**8.2.1** 采用上下同步逆作法的建筑工程,应根据上下结构同步施工的流程和工况进行整体分析,整体分析计算应符合下列规定:

1 整体计算模型应反映逆作期间的竖向支承柱、先期地下结构以及同步向上施工的上部结构的实际工况及约束条件;

2 应根据地上地下结构同步施工的工况,施加水平荷载及竖向荷载并进行各工况模拟分析;

3 应根据整体分析结果对相关结构构件进行复核加强。

**8.2.2** 施工工况模拟计算中应考虑下列荷载和作用:

1 施工平台层楼面的施工荷载取值不应小于  $10\text{kN/m}^2$ ; 车辆运输通道的施工荷载应按实际取值,且不宜小于  $25\text{kN/m}^2$ ;

2 其余各层楼面施工活载应按实际考虑,取值不应小于  $1\text{kN/m}^2$ ;

3 外挂脚手架重量按实际考虑,取值不得小于  $1.5\text{kN/m}^2$ ;

4 向上施工层数较多的上下同步逆作法工程应进行风荷载与地震作用的验算;

5 对于超长结构宜考虑温度变化和材料收缩的影响。

**8.2.3** 对于向上施工层数较多的上下同步逆作法工程,风荷载及地震作用验算应符合下列规定:

1 施工阶段风荷载取值可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的相关规定执行,基本风压可按 10 年重现期取值,迎风面按实际工况考虑;

2 施工阶段地震作用可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定执行,地震作用可按 10 年一遇地震取值,相关构件的抗震等级不宜小于四级。

**8.2.4** 上下同步逆作法工程的竖向支承柱设计应符合下列规定:

1 框架柱部位宜原位设置支承柱,向上同步施工层数较多时,宜采用钢管混凝土柱或双轴惯性矩接近的型钢柱作为支

承柱；

2 剪力墙部位宜在墙下对中设置托换支承柱；

3 非柱下或非墙下设置的临时支承柱应在界面层设置托换构件。

**8.2.5** 上下同步逆作法工程中，托换剪力墙或筒体的竖向支承柱设计应符合下列规定：

1 托换支承柱宜采用格构柱；

2 当剪力墙厚度大于支承柱截面尺寸 200mm 以上，且支承柱定位精度有保证时，支承柱可采用钢管混凝土柱或型钢柱；

3 支承柱不宜设置在剪力墙钢筋密集部位；

4 支承柱布置应便于剪力墙水平筋穿越施工。

**8.2.6** 当采用一柱多桩的托换形式时，应符合下列规定：

1 应在界面层设置托换梁，界面层以下的地下各层水平结构应设置连系梁对临时支承柱进行约束；

2 托换梁应与上部框架柱截面中线重合，梁高应根据计算确定并不宜小于跨度的  $1/8$ ，托换梁宽宜大于上部框架柱和支承柱宽；

3 托换梁宜与主体框架梁结合布置；

4 临时托换支承柱宜对称分批拆除。

**8.2.7** 剪力墙或筒体的托换设计应符合下列规定：

1 应在界面层设置托换梁，界面层以下的地下各层水平结构应设置连系梁对支承柱进行约束；

2 托换梁高度不宜小于支承柱间跨度的  $1/8$ ；

3 对于向上施工楼层较多的剪力墙或筒体下的托换支承柱，宜设置柱间支撑；

4 当支承柱在剪力墙或筒体外对称设置时，应设置临时托换梁，托换梁宽度应大于支承柱宽度，且支承柱边缘至托换梁边缘的距离不得小于 50mm；临时托换梁应在相关部位地下结构施工完成并达到设计强度后方可拆除。

### 8.3 施工与监控

**8.3.1** 取土口的设置除应符合本标准第 6.1.5 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 取土口的设置宜避开上部结构范围，可利用上部结构周边退界区域或者中庭等大空间部位作为取土口使用；

2 逆作施工平台层以上的楼层净空应符合垂直取土设备的操作要求，取土口上方的上部结构可后施工；

3 应充分考虑挖土行车路线对上部结构施工的影响，合理安排分区域施工。

**8.3.2** 地上地下结构同步施工时，应对施工平台层的框架柱、剪力墙等竖向结构进行施工作业机械防碰撞保护。

**8.3.3** 界面层以下的后期框架柱与剪力墙施工时，应在先期与后期的水平施工缝中预埋注浆管，并应采用注浆法进行接缝处理。

**8.3.4** 应对竖向构件和托换构件的内力进行监测，并应对托换构件的变形和裂缝情况进行监测和观测。

**8.3.5** 沉降监测应测定建筑的沉降量与水平位移；沉降监测点的布设应考虑地质情况及建筑结构特点，并应全面反映建筑及地基变形特征。监测点的布置宜选择下列位置：

1 建筑的四角、核心筒四角、大转角处及沿外墙每 10m~20m 处或每隔 2 根~3 根柱基上；

2 剪力墙托换区域的四角；

3 后浇带和沉降缝两侧及逆作施工作业区与非作业区交界位置；

4 沿纵、横轴线上的每个或部分竖向支承柱。

## 9 地下水控制

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 逆作法基坑工程的地下水控制应考虑下列因素：

1 地下水控制影响范围内的地下水类型、地下水位与动态规律、各含水层之间以及地下水与基坑周边相邻地表水体的水力联系性质；

2 各含水层的水文地质参数、与地下水控制相关的岩土体的物理力学参数；

3 基坑开挖深度、面积，周边建筑物与地下管线的情况和基坑支护结构形式；

4 逆作施工工况、地下结构的布置及土方挖运流程等。

**9.1.2** 基坑隔水应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件，选用水泥土搅拌桩帷幕、渠式切割水泥土连续墙帷幕、铣削深搅水泥土搅拌墙帷幕、地下连续墙或咬合式排桩。

**9.1.3** 降水方法应根据基坑规模、土层与含水层性质、施工工况进行选择。在渗透性较弱的黏性土、淤泥质土地层中宜选用轻型井点降水、喷射井点降水、真空管井降水等；在渗透性较强的砂土、粉土地层中可采用集水明排、管井降水等。

**9.1.4** 降水井应在基坑开挖前完成施工，并经检验合格，降水系统试运行正常后，方可进行下一步施工。

**9.1.5** 逆作法基坑工程应进行预疏干降水，疏干降水的持续时间应考虑基坑面积、开挖深度及地质条件等因素，并结合逆作施工工况中逆作结构的稳定与变形要求综合确定；土方开挖前坑内地下水位应降至分层开挖面以下 0.5m~1.0m。

## 9.2 设 计

**9.2.1** 周边环境或水文地质条件复杂的逆作法基坑，应进行专项水文地质勘察，并应根据专项水文地质勘察成果制定地下水控制设计方案。专项水文地质勘察应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《供水水文地质勘察规范》GB 50027 和《建筑与市政地下水控制工程技术规范》JGJ 111 的有关规定。

**9.2.2** 地下水控制设计时宜采用数值分析方法预测逆作法基坑内外地下水位变化，并预测地下水控制对周边环境的影响。

**9.2.3** 疏干降水设计应符合下列规定：

1 应结合逆作法基坑施工工况采用便于土方开挖的疏干降水方法；

2 低渗透性土层中，宜采用真空降水管井；

3 疏干降水井的间距和深度应根据地质条件、基坑施工工况及开挖深度确定。

**9.2.4** 减压降水设计应符合下列规定：

1 减压降水井的间距和深度应根据含水层性质、基坑支护结构形式、周边环境保护等级要求确定；

2 减压降水井宜采用管井；

3 减压降水井的数量应符合降压要求，此外还应设置备用井和观测井。备用井数量不宜少于减压降水井数的 20%，观测井数量不应少于减压降水井数的 10%。当观测井与备用井构造相同时，观测井可兼作备用井。

**9.2.5** 地下水回灌设计应符合下列规定：

1 浅层潜水回灌可采用回灌砂井和回灌砂沟，微承压水、承压水回灌宜采用回灌管井；

2 回灌井、回灌沟的深度与间距（长度）应通过计算确定；

3 回灌井和回灌沟均应设置在基坑外侧。当与坑内降水同步进行回灌时，回灌井及回灌沟的底埋深不宜超过隔水帷幕的深度；当与坑外降水同步进行回灌时，回灌井及回灌沟与降水井的

间距不宜小于 6.0m;

4 回灌用水不应污染地下水,可采用自来水或经水质处理后的同源地下水。

**9.2.6** 管井材质宜采用钢管,并应符合施工工艺、降水井保护与降水运行可靠性的要求。疏干降水管井钢管壁厚不宜小于 4mm,减压降水管井钢管壁厚不宜小于 6mm。

**9.2.7** 井点布置应与先期地下结构的柱网布置协调,井位应避开工程桩、柱、结构梁、墙等构件,宜靠近支承柱且便于挖土机械作业。

### 9.3 施工与检测

**9.3.1** 基坑外侧排水系统的设置应符合下列规定:

- 1 排水系统的排水能力不应小于设计排水量的 1.2 倍;
- 2 地表排水系统应采取防渗及三级沉淀措施;
- 3 集水井、排水沟宜布置在距离隔水帷幕外不小于 0.5m 处;
- 4 基坑内排水系统应在坑内排水管集中部位设置合理的接入口。

**9.3.2** 基坑内排水系统的设置应符合下列规定:

- 1 降水井排水管宜通过结构开口接入基坑外侧排水系统;
- 2 当排水管通过在地下结构板上设置预留孔接入基坑外侧排水系统时,应在预留孔周边做好结构止水措施;
- 3 井点数量较多时,可在地下一层结构上设置集水桶、集水箱作为排水中转站。

**9.3.3** 轻型井点施工与运行应符合下列规定:

- 1 井点管直径宜为 38mm~55mm,井点管水平间距宜为 0.8m~1.6m;
- 2 成孔孔径不应小于 300mm,成孔深度应大于过滤器底端埋深 0.5m;
- 3 滤料应回填密实,滤料回填顶面与地面高差不宜小于

1.0m；滤料顶面至地面间应采用黏土封填密实；

4 真空泵应与轻型井点管口处于同一水平高度；

5 运行期间真空负压不应小于 0.065MPa。

### 9.3.4 管井施工与运行应符合下列规定：

1 成孔垂直度偏差不应大于 1/100；

2 成孔施工中的泥浆密度不宜大于  $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ ，井管安装阶段的泥浆密度不宜大于  $1.10\text{g}/\text{cm}^3$ ，填砾阶段的泥浆密度不宜大于  $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ；

3 井管外径不应小于 200mm，且应大于抽水泵体最大外径 50mm 以上，成孔孔径应大于井管外径 300mm 以上；

4 井管安装应准确到位，不得损坏过滤结构；井管连接应确保井管不脱落或渗漏；

5 井管外侧应安装扶正器，每两组扶正器最大间距不应大于 10m；

6 井管周围填砾厚度应均匀一致；

7 应采用空压机或活塞洗井至出水清澈，洗井后井管内沉淀物的厚度不应大于井深的 0.5%，出水稳定后含砂量体积比不应大于 1/20000；

8 抽水泵安装应稳固，泵轴应垂直；井内动水位应高于抽水泵进水口 2m；

9 达到设计降深时的管井出水量不应小于其设计流量，在同一水文地质单元内结构基本相同的管井出水量应相近。

### 9.3.5 真空降水管井的施工与运行，除应符合本标准第 9.3.4 条外，尚应符合下列规定：

1 滤料柱顶面以上应用黏性土填实至孔口，封填黏土材料直径不应大于井管与孔壁之间间隙宽度的 1/3；

2 管井口应密封，并应分别设置与抽水泵排水管连接的排水孔和与真空泵排气管连接的排气孔，排水管与排气管均应设置单向阀；

3 降水运行期间负压管路系统的真空负压不应小



于 0.065MPa;

4 开挖后需继续加载真空负压的真空降水管井,应对开挖后暴露的井管、过滤器和填砾层进行封闭。

**9.3.6 减压降水管井的施工与运行**,除应符合本标准第 9.3.4 条外,尚应符合下列规定:

1 成井施工中应按设计要求实施封闭措施,回填黏土球或黏土的高度、体积不应小于设计值的 95%;

2 抽水井和备用井均应安装抽水泵,抽水泵的排水能力不应小于设计流量和扬程;

3 基坑内观测井水位应符合当前施工工况的设计安全水位要求。

**9.3.7 回灌管井的施工与运行**,除符合本标准第 9.3.4 条外,尚应符合下列规定:

1 滤料柱顶面以上应用黏土球封填,封填高度不应小于 5m,黏土球顶面以上应用混凝土或注浆封填至孔口;

2 回灌井施工结束至正式回灌应至少有 2 周~3 周的休止期;

3 回灌方式应根据回灌目的含水层的性质和回灌量确定;自然回灌的水源压力宜为 0.1MPa~0.2MPa,加压回灌压力宜为 0.2MPa~0.5MPa,回灌压力不宜超过过滤器顶端以上的覆土重量;

4 回灌水量应根据回灌影响范围内水位观测井的水位变化进行动态调节。

**9.3.8 坑内降水管井顶部**宜设置在地下结构顶板底部以下。减压降水井顶部标高应高于目标承压含水层初始承压水位 0.5m~1.0m。土方开挖过程中降水井管不宜割除。

**9.3.9 基坑开挖过程中**,应对降水井管进行保护。降水井管与各层楼板、支撑之间应有侧向固定措施。

**9.3.10 地下水控制**应实行全过程运行信息化管理。当基坑周边环境复杂或地下水控制运行风险较大时,应设置地下水控制运行

风险控制系统。

**9.3.11** 基坑内降水施工时，可采取下列措施减少对环境的影响：

- 1 设置隔水帷幕减小降水对保护对象的影响；
- 2 采用悬挂帷幕时应结合抽水试验对降水的影响范围进行估算；
- 3 应采用能减小被保护对象下地下水位变化幅度的降水系统布置方式，并应避免采用可能危害保护对象的降水施工方法；
- 4 可设置回灌水系统以保持保护对象周边的地下水位。

**9.3.12** 降水井点运行结束后，应采取有效的封闭措施。

**9.3.13** 轻型井点及管井施工质量检测应符合下列规定：

- 1 成孔及成井过程中，应对成孔的孔径、孔深、泥浆相对密度进行检测，检测数量不应少于成孔总数的 50%；
- 2 成井过程中应检测滤料、止水材料的回填高度及数量、回填密实度，检测数量 100%；
- 3 成井结束后应检测管井的洗井效果、管内沉淀高度及出水含砂率，检测数量 100%；
- 4 抽水过程中应检测井点出水效果，井点有效数不应低于 90%，检测数量 100%。

**9.3.14** 地下水控制措施的检测除应符合本节规定外，尚应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑与市政地下水控制技术规范》JGJ 111 有关规定。

## 10 土方挖运

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 基坑开挖施工方案应根据工程的水文地质条件、周边环境  
保护要求、场地条件、基坑平面尺寸、开挖深度、结构梁板平  
面布置、施工方法等因素综合制定，临水基坑尚应考虑水位与潮  
位等因素。

**10.1.2** 基坑开挖前应详细了解现场地质情况，专项挖、运土施  
工方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 开挖的分层分块情况、挖土流程、开挖方法；
- 3 取土口留设位置及逆作施工平台层的加固区域；
- 4 土方运输车辆的行走路线；
- 5 明确开挖与结构施工及养护时间关系；
- 6 保护竖向支承结构的措施；
- 7 各分块开挖的时间进度要求；
- 8 施工机械的规格、数量、工效分析与劳动力配备；
- 9 落实卸土场地及出土运输条件；
- 10 质量、安全、文明与环境保护措施；
- 11 基坑监测与应急预案。

**10.1.3** 基坑开挖前应对基坑逆作的每一层土方开挖条件进行验  
收，开挖验收条件应包括下列内容：

- 1 开挖下层土方时上层混凝土结构梁板强度达到设计要求；
- 2 临时支护体系安装验收完毕；
- 3 相邻竖向支承柱之间、竖向支承柱与围护墙之间的差异  
沉降应控制在设计要求范围内；
- 4 地下通风及照明设施设置完备；

- 5 机械设备配备与逆作土方挖运相配套；
- 6 基坑疏干降水降至开挖面以下 500mm，承压水降压至满足开挖面抗承压水突涌稳定性的要求；
- 7 上层逆作楼板的下排架模板及垫层拆除完毕。

## 10.2 取土口设置

**10.2.1** 逆作法施工时，地下结构楼板中宜设置一定数量的取土口，取土口的布置应遵循下列原则：

- 1 取土口设置的数量、间距应根据土方开挖量、挖土工期、运输方式及基坑平面形状确定；
- 2 在软土地层的逆作法施工中，取土口间的水平净距不宜超过 30m；
- 3 取土口平面尺寸应符合挖土机械和施工材料垂直运输的作业要求；
- 4 地下各层楼板与顶板洞口位置宜上下相对应；
- 5 取土口宜设置在各挖土分区的中部位置，且不宜紧贴基坑的围护结构；
- 6 取土口的布置应符合挖土分块流水的需要，每个流水分块应至少布置一个出土口；当底板土方采用抽条开挖时，应符合抽条开挖时的出土要求；
- 7 取土口位置应考虑场地内部交通畅通，并应与外部道路形成较好的连接。

**10.2.2** 取土口构造应采取下列措施：

- 1 应在取土口边缘设置防护上翻梁，其截面尺寸可取 200mm×300mm；
- 2 应在逆作施工平台层上设置合理的集水明排措施，雨水不应回灌至基坑内；
- 3 预留孔洞四周宜设置挡水槛，对长时间使用的洞口，宜采取避雨措施。

## 10.3 土方开挖

**10.3.1** 土方开挖应根据土质条件、基坑形状及取土条件等因素，采用分区、分块的挖土方式，并及时形成支撑。

**10.3.2** 应合理划分各层开挖分块大小，开挖分块划分应综合考虑地下水平结构施工流水及设置结构施工缝的要求。

**10.3.3** 土方开挖应充分利用机械化施工，应根据基坑土质条件、平面形状、开挖深度、挖土方法、施工进度、挖机作业空间的限制等因素，选择噪声小、效率高、废气排放少的挖土设备。

**10.3.4** 软土地层中大面积深基坑开挖宜采用盆式挖土，盆边土的留设形式应符合围护设计工况要求；盆边土宜采用抽条式挖土，抽条宽度应符合设计要求。

**10.3.5** 五类以上岩体地区土方采用控制爆破以后开挖时，爆破作业前应做好地下结构的防护。

**10.3.6** 逆作法基坑土方开挖尚应符合下列规定：

- 1 应根据边坡稳定性验算确定放坡开挖的坡度及坡高；
- 2 挖土时应对应竖向支承柱采取保护措施，竖向支承柱两侧土方高差不应大于 1.5m；
- 3 土方开挖应符合基坑设计开挖工况，严禁超挖；
- 4 除垂吊模板外，应及时拆除并清理结构楼板的模板及支撑体系；
- 5 应严格保护降水井、预留插筋及监测元件等。

**10.3.7** 土方开挖到基底标高后，应及时浇捣混凝土垫层，基底下土层不应超挖与扰动。

**10.3.8** 逆作挖土取土口位置宜设置集土坑，集土坑不宜放置在基坑周边，集土坑深度不宜超过 1.5m。

**10.3.9** 基坑土方开挖时，可采取下列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 宜先开挖周边环境保护要求较低一侧的土方，再开挖环

境保护要求较高一侧的土方；

3 应根据基坑的平面特点采用分块开挖的方法，分块大小和开挖顺序应根据基坑环境保护要求、场地条件、结构施工缝位置等因素确定，并结合分块开挖方法和顺序及时分块形成水平结构或垫层，缩短基坑无支撑暴露时间；

4 基坑与被保护对象之间的地表超载不得超过设计规定。

**10.3.10** 土方开挖过程中，应在坑内设置通风、换气、照明和用电设备。

## **10.4 土方水平与垂直运输**

**10.4.1** 坑内开挖面的土方水平运输可采用挖土机翻运、水平传输带传输、推土机推土、小型装载机装运、翻斗车装运、卡车装运等方式。

**10.4.2** 应在施工平台层明确各区域的施工荷载，并应采取隔断的方式进行平面布置，防止施工荷载超出设计要求。

**10.4.3** 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。当采用上下同步逆作法时，施工平台层上应为垂直取土机械留设足够的作业空间。

**10.4.4** 当采用车辆利用下坑栈桥、坡道或垂直升降设备系统的方式进入坑内装运土方时，应符合下列规定：

1 下坑栈桥、坡道应综合考虑运输车辆的型号、载重、车辆爬坡能力等进行专项设计，下坑栈桥应有防滑和车辆缓冲平台；

2 邻近的支承立柱应设置防撞措施；

3 垂直升降设备系统及车辆出入平台应进行专项设计，升降系统应通过相关安全部门的验收合格后方可使用。

## 11 监 测

### 11.1 一 般 规 定

**11.1.1** 逆作法监测应按基坑支护结构的安全等级、相应的环境保护要求和设计施工技术要求等条件编制监测方案。监测方案应包含下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 建设场地工程地质和水文地质条件及基坑周边环境概况；
- 3 监测目的和依据；
- 4 监测内容及项目；
- 5 基准点、监测点的布设与保护；
- 6 监测方法及精度；
- 7 监测期和监测频率；
- 8 监测报警值及异常情况下的监测措施；
- 9 监测数据处理与信息反馈；
- 10 监测人员的配备；
- 11 监测仪器设备及检定要求；
- 12 作业安全及其他管理制度。

**11.1.2** 逆作法监测宜采用监控信息化管理，实现动态设计和信息化施工。

**11.1.3** 逆作法监测应符合国家现行标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 和《地下建筑工程逆作法技术规程》JGJ 165 的有关规定。

### 11.2 监测项目、测点布置及报警值

**11.2.1** 逆作法基坑工程的监测项目应符合表 11.2.1 的规定。

表 11.2.1 逆作法监测项目

序号	监 测 项 目	监测项目类别
1	支护体系的观察巡视	应测
2	围护结构顶部竖向、水平位移	应测
3	围护体系裂缝观察	应测
4	围护结构侧向变形（测斜）	应测
5	围护结构侧向土压力	宜测
6	围护结构内力	宜测
7	用于支承体系的梁、板内力	宜测
8	取土口附近的梁、板内力	宜测
9	支承柱竖向位移	应测
10	支承柱内力	宜测（应测）
11	支承桩内力	宜测
12	坑底隆起（回弹）	宜测
13	基坑内、外地下水位	应测
14	土体分层竖向沉降	宜测
15	逆作结构梁板柱的裂缝观察	应测

注：当采用上下同步逆作法施工时，支承柱内力为应测项目。

**11.2.2** 基坑边缘以外 1 倍～3 倍基坑开挖深度范围内需要保护的周边环境应作为监测对象，也可根据实际环境情况扩大监测范围。

**11.2.3** 围护结构水平位移和竖向位移监测点布置应符合下列规定：

1 围护结构顶部水平位移监测点和竖向位移监测点宜为共用点，监测点间距不宜大于 20m，关键部位宜加密，且每条边监测点不应少于 3 个，基坑每条边的中部、阳角处应布置测点；

2 围护结构计算受力和变形较大处宜布置监测点；

3 周边环境有重点保护对象处应加密监测点；



4 围护结构竖向位移测点与相邻支承柱竖向位移测点宜布置在同一断面上；

5 监测点布置尚应符合设计和施工要求。

**11.2.4 竖向支承柱位移监测点布置应符合下列规定：**

1 监测点宜布置在支承柱计算受力、变形较大的部位；

2 行车通道区域的支承柱宜布置测点；

3 监测点数量不应少于支承柱总数的 20%，且不应少于 5 根；

4 对于面积较大的取土口，沿取土口周边方向宜加密监测点；

5 布置测点时，宜确保有 2 个相互垂直的断面连续布置。

**11.2.5 竖向支承柱内力监测点宜根据竖向支承柱的结构形式和受力计算布置，内力监测传感器应对称布置。**

**11.2.6 水平结构梁、板内力监测点布置应符合下列规定：**

1 监测断面应选在结构梁、板中计算受力较大的部位；

2 行车通道的首层结构梁、板应适当加密监测点；

3 每处设置传感器不少于 2 个，呈正交布置；

4 对于结构梁的内力监测，应在各层楼板相对应的梁中分别选择几个截面埋设传感器，各截面的上下皮钢筋各布设一个传感器；取土口处的梁埋设传感器时，宜上下左右各布设一个。

**11.2.7 坑底隆起（回弹）监测点布置宜根据基坑面积、取土口位置连续布置测点，形成 2 个相互垂直的断面。**

**11.2.8 监测频率的确定应符合下列规定：**

1 应符合最短观测时间间隔和快速预警的要求；

2 应能系统反映所测变形的变化过程；

3 应能在要求的观测时间间隔内反映变形速率的特征。

**11.2.9 监测项目的累计值 and 变化速率均应设置报警值。**

**11.2.10 监测报警值应根据地层条件、设计计算、周边环境中被保护对象的变形控制要求及当地经验等因素确定。当出现下列**

情况之一时，应进行报警：

- 1 监测数据累计值或变化速率达到报警值；
- 2 相邻竖向支承桩间以及竖向支承柱与临近基坑围护结构之间差异沉降达到报警值；
- 3 基坑支护结构或周边土体的位移值突然增大或基坑出现流沙、管涌、陷落或较严重的渗漏；
- 4 基坑支护结构的支撑体系出现过大大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；
- 5 水平结构梁板或其他支撑构件出现较明显的受力裂缝；
- 6 周边建筑的结构部分、周边地面出现较严重的突发裂缝或危害结构的变形裂缝；
- 7 周边管线变形突然明显增长或出现裂缝、泄漏；
- 8 根据当地工程经验，出现其他应进行危险报警的情况。

### 11.3 监控信息化管理

**11.3.1** 监控信息化管理系统的安装、调试工作宜在基坑围护结构施工之前完成，且应具备正常运行的条件。

**11.3.2** 监控信息化管理系统宜采集下列用于分析计算的基础资料：

- 1 设计相关资料：岩土工程勘察报告，设计图纸，邻近建筑物、地下构筑物、地下管线、道路、敏感设施等环境资料；
- 2 施工相关资料：施工组织设计，检测、监测方案，监理方案等。

**11.3.3** 监控信息化管理系统应具有监测数据自动或人工采集、传输，合理性判断和过滤，工况记录，围护结构、水平结构、竖向支承结构、周边环境安全状态计算分析和趋势预测，安全预警报警，显示，发布，报表输出，查询，现场巡检管理，工程资料管理的功能。

**11.3.4** 监控信息化管理系统运行应符合下列规定：

- 1 每次人工监测完成后应及时将监测数据上传至监控信息

化管理系统；

- 2 所有监测数据必须完整、有效，不得出现阶段性归零；
- 3 上传监测数据时，必须有相对应的工况信息。

## 12 施工安全及作业环境控制

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 逆作法施工安全及作业环境控制包括安全、降噪、通风、排气、照明与电力，除了应符合本标准的要求外，尚应符合现行行业标准《建筑施工安全检查标准》JGJ 59、《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的有关规定。

**12.1.2** 逆作法安全施工技术措施应根据工程特点编制，并应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定。

**12.1.3** 逆作法施工过程中应采取下列措施控制噪声污染：

1 宜选用低噪声、低能耗的机械，固定式机械宜安装隔声罩；

2 机械设备应经常进行维修保养；

3 车辆禁止鸣笛；

4 施工期间的噪声应按现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的规定控制。

**12.1.4** 施工现场道路应按照施工总平面布置图的要求布置，施工现场应设置排水系统，现场应无积水现象。

**12.1.5** 人员通道应设置安全防护棚，楼梯应设置安全护栏，楼板上各类洞口应设置安全防护设施。

### 12.2 通风排气

**12.2.1** 施工前应查明地下有毒、有害气体的分布情况。

**12.2.2** 通风及排气设施应结合基坑规模、施工季节、工程地质情况、风机类型和噪声等因素选择。

**12.2.3** 通风口应按挖土行进路线预先在楼板上留设；随地下挖土工作面的推进，通风口露出部位应及时安装通风及排气设施。

**12.2.4** 施工通风应采取压入式机械通风，逆作法通风排气设施宜采用轴流风机，风机应具有防水、降温 and 防雷击设施。

**12.2.5** 风机表面应保持清洁，进、出风口不得有杂物，应定期清除风机及管道内的灰尘等杂物。

**12.2.6** 风机在运行过程中如发现有异常声、电机严重发热、外壳带电、开关跳闸、不能启动等现象，应立即停机检查。不得在风机运行时维修，检修后应试运转 5min 左右，确认无异常现象方可正常运转。

**12.2.7** 通风管的选择和安装应符合下列规定：

1 风管直径应按照通风设计要求确定，通风管应与风机配套，同一管路的直径宜尽量一致。

2 压入式的进风管口或集中排风管口应设在地下室外，集中排风管口应采用烟囱式。

3 通风管靠近开挖面的距离应根据具体情况确定，压入式通风管的送风口距开挖面或作业面不宜大于 15m，排风式风管吸风口距开挖面或作业面不宜大于 5m。

4 采用混合通风方式时，当一组风机向前移动，另一组风机的管路应相应接长，并始终保持两组管道相邻端交错 20m~30m。局部通风时，排风式风管的出风口应引入主风流循环的回风流程中。

5 通风管的安装应做到平顺、接头严密、弯管半径不小于风管直径的 3 倍。

6 通风管如有破损，必须及时修理或更换。

7 压风管应采用软质橡胶管，吸风管应采用硬质金属管或玻璃钢管。

**12.2.8** 通风机的安装与使用应符合下列规定：

1 主风机应按照通风设计要求安装；辅助风机应安装在新鲜风流中；

- 2 通风机应装有保险装置，当发生故障时能自动停机；
  - 3 通风机应有适当的备用量，宜为计算最大风量的 50%。
- 12.2.9** 通风的风量、风速、风压应定期测试，并应检查通风设备的供风能力和动力消耗。
- 12.2.10** 基坑施工应采取防尘措施，应定期测试粉尘和有害气体的浓度，并做好个人防护。
- 12.2.11** 施工作业环境气体应符合下列规定：
- 1 空气中氧气含量不得小于 20%；
  - 2 瓦斯浓度应小于 0.75%；
  - 3 有害气体中，一氧化碳浓度不得超过  $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化碳浓度不得超过 0.5%（按体积计），氮氧化物换算成二氧化氮的浓度不得超过  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 12.2.12** 各类电焊发生量的控制，应按现行国家标准《车间空气中电焊烟尘卫生标准》GB 16194 的有关规定执行。
- 12.2.13** 当存在可燃性或其他有害气体时，应使用专用仪器进行检测，并应加强通风，可燃性或有有害气体浓度应控制在安全允许范围内。

### 12.3 照明及电力设施

- 12.3.1** 当自然采光不符合逆作法施工要求时，应编制照明用电方案。照明供电系统应独立设置，并应配备应急发电设备。
- 12.3.2** 每层地下室应根据相关规范要求设置足够的照明设备及电力插座。
- 12.3.3** 逆作法地下结构施工应设一般照明、局部照明和混合照明。在一个工作场所内，不应只设局部照明。
- 12.3.4** 现场照明应采用高光效、长寿命、低能耗的照明光源。对需大面积照明的场所，应采用高压汞灯、高压钠灯或混光用的卤钨灯等。照明器具和器材的质量应符合国家现行有关强制性标准的规定，不得使用绝缘老化或破损的器具和器材。
- 12.3.5** 照明灯具应置于预先制作的标准灯架上，灯架应固定在

竖向支承柱或结构楼板上。

**12.3.6** 动力、照明线路应在楼板、梁、柱等结构中设置专用的绝缘防水线路，严禁将线路架设在脚手架、钢支承柱及其他设施上。

**12.3.7** 在地下结构施工过程中设置的电箱至各电气设备的线路均应采用双层绝缘电线，并应架空铺设在楼板底。

**12.3.8** 人员出入通道宜设置独立的照明线路。

**12.3.9** 地下空间施工过程中有爆破作业时，用电系统应有对应的防护措施。

**12.3.10** 对各种电气设备和输电线路应有专人经常进行检查维修，作业时应按现行国家标准《电业安全工作规程 第1部分：热力和机械》GB 26164.1的规定执行。

**12.3.11** 地下施工电气安全防护装置应安全有效，并应配备足够的消防设备。

## 附录 A 逆作法结构连接节点构造

**A.0.1** 两墙合一地下连续墙与主体结构的连接应符合下列规定：

1 地下连续墙与地下结构顶板之间应设置贯通的冠梁，并通过预埋钢筋、剪力槽等方式连接，可按图 A.0.1(a) 采用；

2 地下连续墙与地下结构梁板之间宜设置贯通的结构环梁，并通过预埋钢筋、剪力槽等方式与结构环梁连接，可按图 A.0.1 (b) 采用；

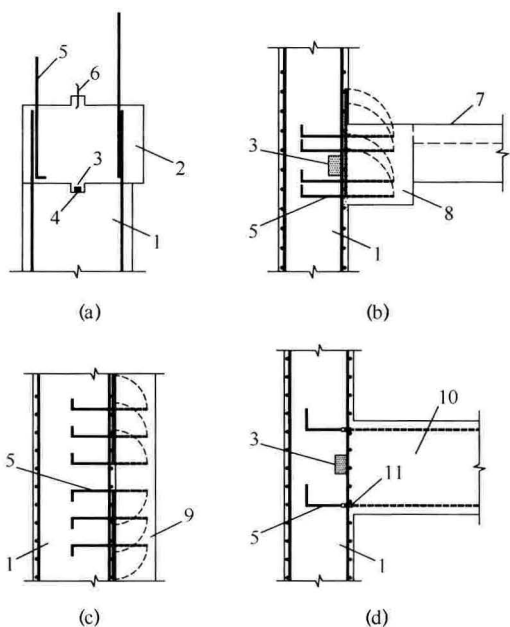


图 A.0.1 两墙合一地下连续墙与主体结构连接节点构造

1—两墙合一地下连续墙；2—冠梁；3—剪力槽；4—遇水膨胀止水带；  
5—预埋插筋；6—止水钢板；7—结构梁板；8—结构环梁；9—结构  
壁柱；10—结构底板；11—底板钢筋接驳器



3 地下连续墙与结构壁柱的连接,可按图 A.0.1(c) 采用;

4 地下连续墙与结构底板的连接,可按图 A.0.1(d) 采用。

**A.0.2 竖向支承柱与结构梁板间的抗剪连接应符合下列规定:**

1 角钢格构支承柱与结构梁间可采用抗剪栓钉或抗剪钢筋连接,支承柱设置抗剪栓钉时可按图 A.0.2(a) 采用。抗剪栓钉或抗剪钢筋无法满足抗剪要求时,可在框架梁下的支承柱上设置钢牛腿等抗剪能力较强的抗剪件,可按图 A.0.2(b) 采用。

2 钢管混凝土支承柱与结构梁间可采用传力钢板连接,可按图 A.0.2(c) 采用。

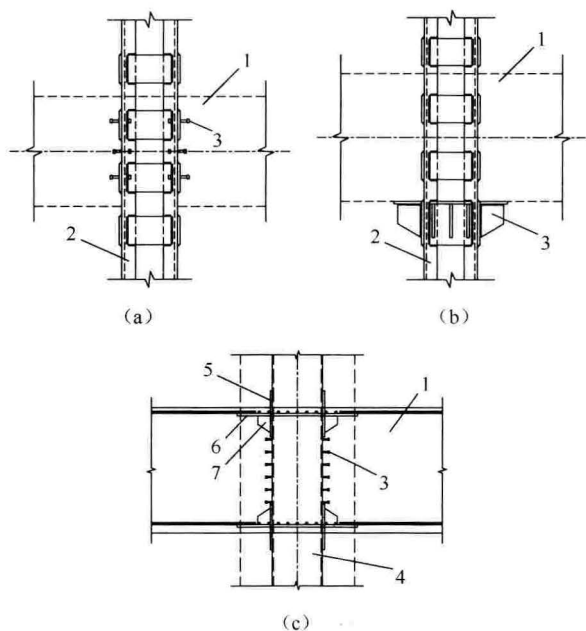


图 A.0.2 竖向支承柱与结构梁板抗剪连接节点构造

1—框架梁; 2—角钢格构支承柱; 3—栓钉; 4—钢管混凝土支承柱;

5—弧形钢板; 6—钢筋连接环形钢板; 7—加劲肋

**A.0.3 梁柱节点位置结构梁钢筋与竖向支承柱间的连接应符合下列规定:**

1 结构梁主筋穿越角钢格构支承柱可采用钻孔钢筋连接法、传力钢板法以及梁侧加腋法等方法。梁侧加腋法可按图 A. 0. 3-1 采用。

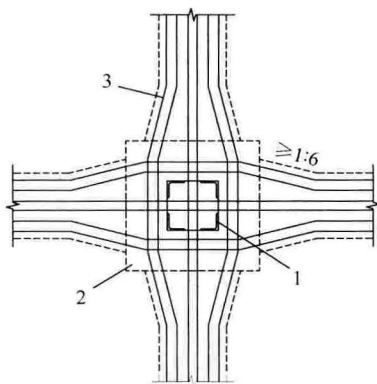


图 A. 0. 3-1 梁侧加腋法节点构造

1—角钢格构支承柱；2—框架柱；3—框架梁主筋

2 结构梁钢筋与钢管混凝土支承柱间可采用环梁节点、传力钢板法以及双梁节点等方法，并应符合下列规定：

- 1) 环梁节点可按图 A. 0. 3-2 采用。
- 2) 传力钢板法可按图 A. 0. 3-3 采用。

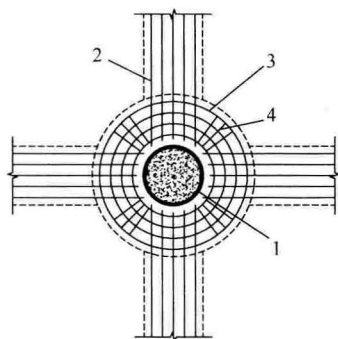


图 A. 0. 3-2 环梁节点构造

1—钢管混凝土支承柱；2—框架梁主筋；3—环梁主筋；4—环梁箍筋

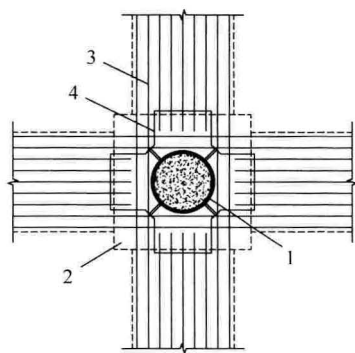


图 A.0.3-3 传力钢板节点构造

1—钢管混凝土支承柱；2—框架柱；3—框架梁主筋；  
4—传力钢板

3) 双梁节点可按图 A.0.3-4 采用。

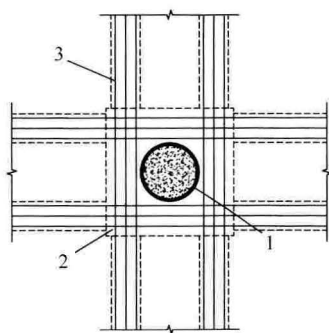


图 A.0.3-4 双梁节点构造

1—钢管混凝土支承柱；2—框架柱；3—双梁主筋

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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：

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：

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，在条件许可时首先这样做的：

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，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 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 4 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 5 《钢结构设计标准》GB 50017
- 6 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 7 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
- 8 《人民防空地下室设计规范》GB 50038
- 9 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 10 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 12 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 13 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 14 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
- 15 《车间空气中电焊烟尘卫生标准》GB 16194
- 16 《电业安全工作规程 第1部分：热力和机械》GB 26164.1
- 17 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 18 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 19 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 20 《建筑施工安全检查标准》JGJ 59
- 21 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 22 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 23 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 24 《建筑与市政地下水控制技术规范》JGJ 111
- 25 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

- 26 《建筑施工现场环境与卫生标准》 JGJ 146
- 27 《地下建筑工程逆作法技术规程》 JGJ 165
- 28 《型钢水泥土搅拌墙技术规程》 JGJ/T 199
- 29 《渠式切割水泥土连续墙技术规程》 JGJ/T 303
- 30 《咬合式排桩技术标准》 JGJ/T 396

中华人民共和国行业标准

建筑工程逆作法技术标准

**JGJ 432 - 2018**

条 文 说 明

## 编制说明

《建筑工程逆作法技术标准》JGJ 432-2018，经住房和城乡建设部 2018 年 9 月 12 日以第 190 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组进行了广泛的调查和研究，总结了近年来我国建筑工程逆作法的实际应用经验，同时参考了国外先进技术标准，通过广泛征求有关方面意见，并协调相关标准，对建筑工程逆作法的应用作出了具体规定。

为便于广大设计、施工、科研、学校等有关单位在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。



# 目 次

1	总则	69
3	基本规定	70
4	围护结构	76
4.1	一般规定	76
4.2	地下连续墙	77
4.3	灌注桩排桩	81
4.4	型钢水泥土搅拌墙	83
4.5	咬合式排桩	92
5	竖向支承桩柱	95
5.1	一般规定	95
5.2	设计	97
5.3	施工	101
5.4	检测	104
6	先期地下结构	106
6.1	一般规定	106
6.2	设计	106
6.3	施工	109
7	后期地下结构	111
7.1	一般规定	111
7.2	模板工程	111
7.3	混凝土工程	111
7.4	接缝处理	111
8	上下同步逆作法	113
8.1	一般规定	113
8.2	设计	114

8.3 施工与监控 .....	114
9 地下水控制 .....	116
9.1 一般规定 .....	116
9.2 设计 .....	117
9.3 施工与检测 .....	119
10 土方挖运 .....	124
10.1 一般规定 .....	124
10.2 取土口设置 .....	124
10.3 土方开挖 .....	125
10.4 土方水平与垂直运输 .....	125
11 监测 .....	126
11.1 一般规定 .....	126
11.2 监测项目、测点布置及报警值 .....	126
11.3 监控信息化管理 .....	129
12 施工安全及作业环境控制 .....	130
12.2 通风排气 .....	130
12.3 照明及电力设施 .....	130
附录 A 逆作法结构连接节点构造 .....	132

# 1 总 则

**1.0.1** 我国大规模的工程建设产生了大量的地下空间工程，并在向大面积、大深度的方向发展，紧张的施工用地、敏感的工程环境和多样的工期要求，使得地下工程和基坑工程的设计与施工面临更为复杂的需求，逆作法技术为满足这些需求提供了一种新的技术手段。国内早在 1955 年于哈尔滨地下人防工程中首次应用了逆作法的施工工艺，1989 年建设的上海特种基础工程研究所办公楼（地下 2 层），是全国第一个采用封闭式逆作施工的工程。近年来，逆作法技术的应用越来越多，但在现行的相关规范中，具体的设计方法、分析方法和典型节点构造等方面还不系统、不完善。为了使逆作法技术的设计、施工、检测和监测规范化，制定本标准。

**1.0.2** 建筑工程逆作法涉及主体结构工程、地下工程和基坑工程，是集合基础工程、结构力学、工程结构、工程地质和施工技术 etc 等综合性很强的工程建筑技术。设计中需要同时考虑施工阶段和永久使用阶段等建筑全过程的实际工况条件，对构件的施工精度和施工质量要求较高，经过多年的工程实践，形成了一整套包括设计计算、施工技术、过程控制等的技术方法。逆作法设计和施工应综合考虑工程特点、工程地质与水文地质条件、周边环境条件与保护要求等因素，因地制宜、合理选型，与地下水控制、土方挖运等密切结合，强化施工质量控制、全过程监测和信息化管理。

地下结构的设计和施工与场地地质条件密切相关。在湿陷性土、多年冻土、膨胀土、盐渍土等特殊土或岩质地层，应根据地方经验充分考虑其特殊性质，再按本标准相关内容进行设计和施工。

### 3 基本规定

**3.0.1** 支护结构与主体结构相结合,是指在基坑施工期利用地下结构外墙或地下结构的梁、板、柱兼作基坑支护体系,不设置或仅设置部分临时支护体系。逆作法是支护结构与主体结构相结合最为紧密的设计、施工方法。逆作法按不同分类方法有不同类型,可分为全逆作法、部分逆作法和上下同步逆作法。全逆作法即全部地下结构从地下室首层开始,由上至下逐层施工,最终形成基础底板。部分逆作法包括平面上部分区域顺作、部分区域逆作和竖向上部分楼层顺作、部分楼层逆作,工程实践中周边逆作结合中心岛顺作、裙楼逆作结合塔楼顺作或者跃层逆作等均为部分逆作法。上下同步逆作法是一种特殊形式的逆作法,先施工界面层,向下逆作地下结构的同时向上顺作地上结构(图1)。逆作时上部结构可施工的层数,则根据桩基的布置和承载力、地下结构状况、上部建筑荷载等确定。

与常规的顺作法相比,逆作法具有诸多的优点,如采用上下同步逆作法可以缩短工程的施工工期(顺作与逆作对比如图2~图4所示);水平梁板支撑刚度大,挡土安全性高,围护结构和土体变形小,对周围环境影响小;采用封闭逆作施工,已完成的首层板可充分利用,作为材料堆置场或施工作业场地;避免了采用临时支撑的浪费现象,工程经济效益显著,有利于实现基坑工程的可持续发展等。

建筑工程逆作法中,施工工况和施工荷载直接影响工程结构的受力状态。采用逆作法的设计,对施工的精度和质量控制提出了更高的要求。因此,在方案确定前需要对结构设计、工程施工等各方面进行综合讨论,确保设计施工一体化,从而达到缩短工期、节约成本、确保安全和保护环境的目的。

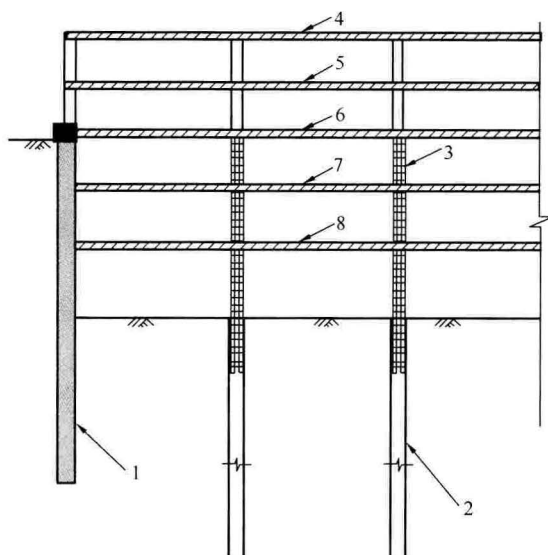


图 1 上下同步逆作法示意

1—地下连续墙；2—立柱桩；3—立柱；4—地上二层梁板；  
5—地上一层梁板；6—首层梁板；7—地下一层梁板；  
8—地下二层梁板

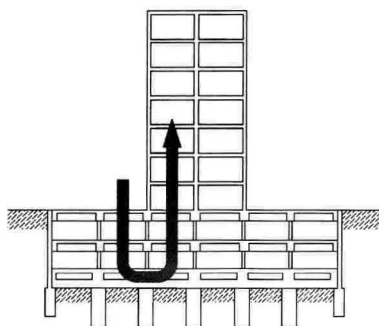


图 2 顺作法示意

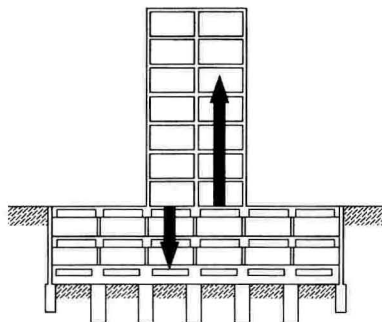


图3 逆作法示意

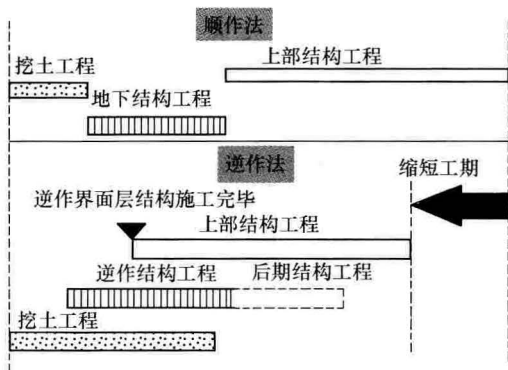


图4 顺作、逆作施工工期对比

**3.0.2 逆作法工程中竖向支承桩柱的承载力和变形控制要求较高**，岩土工程勘察的深度应满足相关支承桩的设计要求。

逆作法工程场地周边的环境应进行详细调查，尤其是邻近的天然地基建建筑物、地铁、隧道、市政管线、地下人防等建（构）筑物，以及对施工作业有特殊要求的架空管线或需要特别保护的古树等保护对象。

对逆作法的总体要求是逆作法设计中的关键资料，包括采用全逆作法或部分逆作法、逆作法中界面层、上下同步逆作时需要实施的上部结构层数等。对逆作法的总体要求是综合环境保护、

工期计划、经济性控制等因素后初步确定的，随着逆作法设计的深入，也可能需要根据工程实际情况进行调整。

**3.0.3** 逆作法设计要根据基坑开挖和永久使用两个阶段的受力、变形等进行综合的计算分析，基坑开挖阶段的围护结构、竖向支承构件以及先期地下结构的设计在主体结构设计的基础上进行，根据逆作施工工况要求对构件和节点构造进行复核、验算和加强。

**3.0.4** 本条为强制性条文。逆作法中主体结构的设计，应符合主体结构的相关设计规范，如现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计标准》GB 50017 等对于承载力、变形和耐久性的有关规定。设计时还要考虑逆作施工过程影响的永久使用阶段的验算，比如施工阶段的柱间沉降差、先期结构内力等对构件的影响等。相关构件的节点连接、变形协调与防水构造应满足主体结构的设计要求。

**3.0.5** 上下同步逆作法工程中，上下部结构建造的加载与基坑土方开挖的卸载同步交叉进行，而且随着基坑的向下开挖，竖向支承桩柱的约束条件也随之变化。考虑到工况的复杂性，本条提出上下同步逆作法工程应建立整体模型，对施工阶段进行全工况的计算分析，以便对所有可能不利工况进行包络设计，确保工程实施安全。

**3.0.6** 逆作法对施工提出了较高的要求，施工单位在编制施工组织设计时应根据逆作法施工工况，对整个工程进行全面考虑、精心组织；对于逆作施工平台层的平面布置、行车路线、堆载要求和取土口的留设等与施工组织和效率密切相关的问题，应与设计相互配合；针对竖向支承桩柱的施工工艺和精度控制、先期施工结构和后期施工结构的接缝处理等关键施工内容应进行重点控制。

**3.0.7** 逆作地下结构楼板的支撑刚度较大，逆作法施工主要是通过合理组织、提高工效，及时浇筑结构楼板对基坑形成有效支撑。逆作基坑面积较大时，结构流水施工分块的大小将直接决定

逆作结构楼板的形成时间，分块大小要综合考虑结构流水及挖土的时间要求。在软土地层进行逆作法施工时，应按照“时空效应”原理，遵循“分层、分块、平衡、限时”的原则，在符合设计开挖工况的前提下，应加快地下结构楼板的施工速度，利用结构楼板形成有效的水平支撑，减少基坑开挖对周边环境的影响。

**3.0.8 基坑工程的变形控制指标**（如围护结构的侧移及地表沉降）应根据基坑周边环境对附加变形的承受能力及基坑开挖对周边环境的影响程度来确定。目前预估基坑开挖对周边环境的影响程度主要有两种方法。

一种是建立在大量基坑统计资料基础上的经验方法。该方法预测的是地表沉降，并不考虑周围建（构）筑物存在的影响，可以用来间接评估基坑开挖引起周围环境的变形。对于软土地层逆作法基坑，可采用经验方法（图 5）预估沉降的影响范围、最大沉降的位置及沉降曲线分布，最大地表沉降可取围护结构最大侧移的 0.7 倍~1.0 倍。

另一种方法是有限元法。该方法是建立包括基坑本身和周围环境在内的有限元模型进行整体分析，得到基坑周围建（构）筑物的变形。有限元方法在应用时应有可靠的工程经验，且该方法

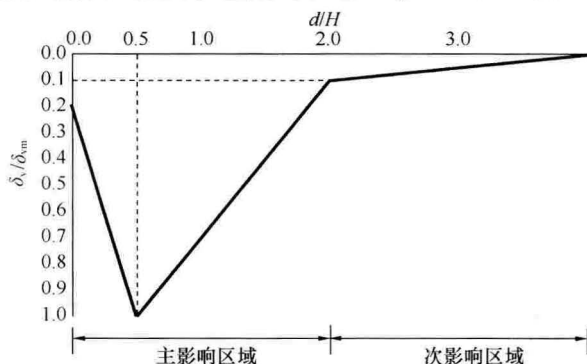


图 5 围护桩（墙）后的地表沉降预估曲线

$\delta_v$ ——基坑外某点的地表沉降值； $\delta_{vm}$ ——地表沉降最大值；

$d$ ——基坑外某点与围护结构外侧的距离； $H$ ——基坑开挖深度



分析得到的结果宜与经验方法进行相互校核，以确认分析结果的合理性。在得到基坑周围建（构）筑物的变形后，就可根据基坑周围建（构）筑物对附加变形的承受能力反过来确定合理的基坑工程的变形控制指标（如围护结构的侧移及地表沉降）。采用该方法时宜考虑如下要点：

1 当符合平面应变条件时可采用平面有限元方法进行分析，当基坑的空间效应明显时可采用三维有限元方法进行分析；

2 建立包括土层分层情况、支护结构、分层开挖工况及周围建（构）筑物在内的有限元模型，采用合理的计算域及符合实际情况的边界条件，对基坑开挖进行全过程模拟；

3 选择合适的土体本构模型及其计算参数，计算参数应结合本构模型的定义、岩土勘察报告提供的相关参数及工程经验综合确定；

4 在围护结构与土体之间设置接触面单元并确定相关的计算参数，以合理地模拟结构与土体的相互作用；

5 模拟基坑周围既有建筑物、构筑物对初始地应力场的影响。

**3.0.9** 本条为强制性条文。建筑工程逆作法是一项涉及基坑工程、岩土工程和结构工程等多学科交叉的综合性专项技术，其中岩土性质的多样性和不确定性、城市环境条件的复杂性、施工阶段各个工况和永久使用阶段下结构受力状态变化与差异，决定了采用全过程信息化施工的必要性。利用监测信息及时掌握基坑支护结构、地上地下结构和周边环境的状态及发展变化趋势，对逆作法施工工况、施工进度和施工荷载变化等进行及时的应对和调整，采取措施避免异常情况的发生。同时积累监测资料，验证设计参数，完善设计理论，提高设计水平。

**3.0.10** 逆作法施工多为在相对封闭的空间内作业，特别是在大量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，需要通过人工通风排气来保证作业环境满足施工要求。

## 4 围护结构

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 逆作法工程中的基坑围护结构与常规的基坑围护结构形式类似。地下连续墙抗弯刚度较大，整体性好，两墙合一地下连续墙作为逆作法基坑工程的围护结构较为普遍，适用于开挖深度较深、环境保护要求较高的基坑工程。灌注桩排桩和咬合式排桩在顺作法工程中多作为临时围护结构，但在逆作法工程中也可以作为地下室外墙的一部分在永久使用阶段发挥作用，进一步增强其经济性。型钢水泥土搅拌墙集围护结构和隔水帷幕为一体，由于 H 型钢造价较高，在基坑施工完成后拔出内插型钢进行重复利用，减少资源浪费，多作为临时围护结构；但当内插型钢不拔除时，也可以作为地下室外墙的一部分。根据具体的工程情况和当地经验，也可通过设计计算采用其他可行的基坑围护结构。

**4.1.2** 逆作法基坑周边围护结构采用弹性支点法计算，当梁板平面布置规整，腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，可参照临时水平支撑刚度的计算方法估算地下水平结构的支点刚度，支撑截面积取单个标准跨内支撑围护结构的梁、板的截面积总和，支撑水平间距取标准跨的跨度。

**4.1.3** 由于逆作法施工中结构模板搭设的需要，各个工况下的实际开挖深度低于结构楼板标高，因此各开挖工况下的基坑开挖深度应采用逆作法施工的实际深度。

**4.1.5** 当地质勘探资料显示拟建场地内存在不良地质时，施工前应查验位置、深度，并采取相应的处理措施。

测量基线与水准点是工程施工定位的依据，施工过程中产生的土体位移、沉降会影响定位精度，应及时进行复测和保护。施工过程中需要交接时，应按照交接手续进行，并按规定进行现场

复测。

**4.1.6** 在基坑围护结构施工中,可采取下列措施减少对环境的影响:

1 在粉性土或砂土地层中进行地下连续墙施工,宜采用减小地下连续墙单幅槽段宽度、调整泥浆配比、槽壁预加固等措施。

2 灌注桩排桩施工可采用优质泥浆护壁、提高泥浆相对密度、加长护筒、在搅拌桩中套打等措施提高灌注桩成孔质量以及控制孔壁坍塌。

3 搅拌桩施工过程中应优化施工流程并控制施工速度,减少搅拌桩挤土效应对周围环境的影响。

## 4.2 地下连续墙

### I 设 计

**4.2.2** 地下连续墙是水下浇筑的结构构件,为使地下连续墙的墙身实际混凝土强度达到设计要求,施工前应通过配比试验确定水下混凝土的配制参数。

**4.2.5** 地下连续墙的裂缝控制及验算依据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中有关规定选取计算裂缝用的保护层厚度,并根据环境作用等级确定地下连续墙的表面裂缝计算宽度限值。

地下连续墙是比较特殊的构件,永久使用阶段墙体一侧表面接触室内干燥空气,另一侧表面接触水或湿润土体,因此两侧表面应按照不同的环境作用等级确定最大裂缝宽度限值。一般环境下,在永久地下水位以下的地下连续墙迎土面处于长期湿润环境,最大裂缝宽度限值为 0.3mm;地下连续墙迎坑面和永久地下水位以上的迎土面处于干湿交替环境,最大裂缝宽度限值为 0.2mm。

**4.2.7** 地下连续墙成槽形状多为矩形,成槽过程中容易产生槽

底沉渣，两墙合一地下连续墙作为主体结构在永久使用阶段需要与地下结构变形协调，墙底注浆有利于提高地下连续墙的承载能力以及沉降控制。墙底注浆终止注浆条件可采用注浆压力和注浆量双控原则。嵌岩地质条件下注浆器构造见图 6。

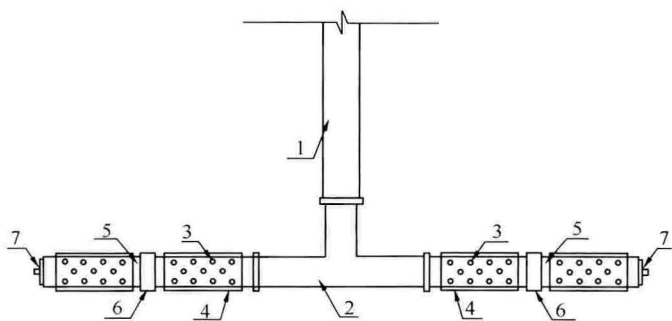


图 6 嵌岩地质条件下注浆器构造示意

1—注浆管；2—三通接头；3—注浆孔；4—橡皮；5—黑铁管；  
6—内螺纹接头；7—铸铁闷头

当地下连续墙墙身范围以黏性土为主、墙底进入较好的岩层且槽底沉渣厚度控制可靠时，可不进行注浆。

**4.2.8 地下连续墙的竖向承载力** 计算根据国内外关于地下连续墙承重的研究和大量的工程实践，可参照桩基竖向承载力的计算原则，采用经验参数法预估墙幅的竖向极限承载力。地下连续墙的静载荷试验也可参照单桩竖向静载荷试验的方法实施。

**4.2.12 地下连续墙槽壁加固** 宜根据加固深度要求采用双轴水泥土搅拌桩、三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土搅拌墙或铣削深搅水泥土搅拌墙，桩体或墙体的垂直度允许偏差不应超过  $1/200$ 。槽壁加固深度一般低于基坑开挖面以下 3m，桩体直径 650mm~850mm，槽壁加固与地下连续墙的间隙根据加固深度及施工能力等综合确定，一般为 50mm~100mm。特殊情况下，如工作面狭小、限高等，无法满足搅拌桩设备施工需要，可考虑采用旋喷、摆喷等加固形式。

**4.2.14** 圆筒形布置的地下连续墙受力以环向轴压为主，受力性能较好，有利于控制基坑变形。在实际工程中，考虑到土方并非理想状态下对称开挖、土层分布不均匀和施工荷载等因素的影响，应对圆筒形布置的地下连续墙处于非均匀围压受力状态下进行计算分析。大量研究表明，挡土墙后的土压力要达到主动状态，墙体的位移一般要大于 0.1% 的开挖深度，大多数圆形基坑的墙后土体一般达不到极限状态，即处于非极限状态中。在非极限状态下，由于墙体的位移很小，墙后土压力大于主动土压力，因此在圆形基坑工程中采用提高的主动土压力或静止土压力，是合理且较为安全的设计。在实际工程中圆筒形布置的地下连续墙通常采用一字形或 L 形槽段拟合，而非理想的圆形结构，施工接头可能同时存在弯、剪、扭等复杂受力状态，因此需要根据实际受力状态对施工接头进行承载力验算。圆筒形布置的地下连续墙设计可按现行行业标准《港口工程地下连续墙结构与施工规程》JTJ 303 的相关规定执行。

**4.2.15** 预制地下连续墙在国内已有成功实践，其采用普通泥浆护壁成槽，插入预制构件并在构件间采用现浇混凝土将其连成一个完整的墙体，然后用水泥浆液置换成槽泥浆。预制地下连续墙具有墙面光洁、墙体质量好、强度高优点。随着自凝泥浆技术的发展，预制地下连续墙施工流程将进一步简化，可采用自凝泥浆取代普通泥浆进行护壁成槽，以自凝泥浆的凝固体填塞槽壁与墙体之间的空隙，以增强墙体的防水性能。为使预制墙段顺利沉放入槽，预制地下连续墙墙体厚度一般较成槽宽度小 20mm 左右，常用墙厚有 580mm、780mm。墙体截面形式见图 7。

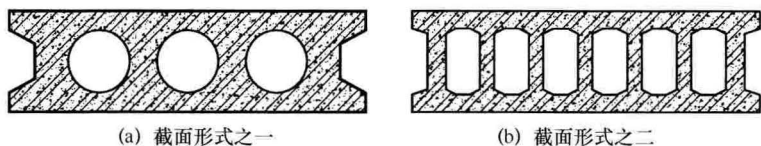


图 7 预制地下连续墙墙段典型截面

由于预制地下连续墙在工厂或现场预制，然后起吊入槽，因此预制墙段的重量受到起吊和运输能力的限制。在设计时需控制墙段重量，一方面预制墙段采用空心截面，另一方面可减小墙段分幅长度。此外还可采取分节制作吊放的方法减轻起吊重量，但分节之间应有可靠的连接。预制地下连续墙进行起吊阶段的各项计算时，应考虑实际起吊方式、吊点或支承点位置以及台座吸力等相关因素的影响。

## II 施工与检测

**4.2.16** 根据工程情况，对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的情况下应采用非原位试成槽。通过试成槽选择适合场地土质条件、满足设计要求的机械设备、工艺参数等。试成槽过程中应定时检测护壁泥浆指标，记录成槽过程中的情况及成槽时间等；成槽至设计标高后应按设计要求的时间间隔进行槽壁垂直度、槽底沉渣厚度的检测。非原位试成槽的槽段在试成槽结束后应及时回填，位于基坑内的试验槽段在基坑开挖面以下应采用混凝土回填，基坑开挖面以上可采用土或中粗砂回填，必要时可采用注浆法对回填区域进行加固。当试验槽段位于基坑外时可采用土或中粗砂回填。

**4.2.18** 通过泥浆试配与现场检验确定是否修改泥浆的配比，检验内容主要包括稳定性、形成泥皮性能、泥浆流动特性及泥浆相对密度。遇有含盐或受化学污染的土层时，应配制专用泥浆，以免泥浆性能达不到规定要求，影响成槽质量。泥浆分离净化通常采用机械、重力沉降和化学处理的方法。除砂器选择应根据砂的颗粒大小及需处理的泥浆方量来确定。

**4.2.19** 分节制作钢筋笼宜采用接驳器连接。预留的剪力槽、插筋、接驳器等预埋件标高、位置应复核，为确保基坑开挖时方便凿出，可采取在保护层中设置夹板等措施。

**4.2.20** 逆作法施工对预埋的插筋和接驳器标高要求高，成槽过程中由于槽壁坍方等原因可能导致导墙沉降。为确保预埋插筋、

接驳器标高的准确，钢筋笼吊放前需测量导墙标高并根据实测标高确定吊筋长度。

**4.2.22** 预制墙段宜在工厂制作，有条件时也可在现场预制。预制墙段可叠层制作，叠层数不应大于三层。预制墙段应达到设计强度的100%后方可运输及吊放。预制墙段安放闭合位置宜设在直线墙段上。起吊吊点应按设计要求或经计算确定。

### 4.3 灌注桩排桩

#### I 设 计

**4.3.1** 桩墙合一即围护排桩与地下结构外墙相结合，根据围护排桩在永久使用阶段所分担的荷载类型，可以分为只分担水平向荷载的桩墙“水平向结合”以及同时分担水平和竖向荷载的桩墙水平和竖向“双向结合”。工程实践中桩墙合一技术已经在工程上得到应用并获得了良好的效果。

**4.3.5** 水平向结合的桩墙合一围护结构根据“桩墙”之间的空间距离关系以及建筑专业防水保温层等的设置需求，分为“桩墙”之间设置传力板带型和“桩墙”紧贴型。当根据建筑功能需求须在地下室外墙外侧设置一定厚度的建筑保温层时，“桩墙”之间由于存在相对软夹层而无法有效传力，可在各层结构楼板位置设置传力板带确保“桩墙”的荷载传递；当“桩墙”之间仅需设置厚度极薄的防水层时，桩墙紧贴可以实现荷载的传递。桩墙合一的构造详见图8。

基坑开挖阶段灌注桩排桩围护结构的设计方法与常规的围护结构一致。永久使用阶段桩墙合一结构体系作为一个共同作用的受力体，应按各自较为不利的工况进行设计，围护桩外侧施加的荷载可考虑隔水帷幕有效的情况下，坑外水土压力均作用于围护桩进行计算；对于地下室外墙，外侧荷载可考虑隔水帷幕失效的情况下，地下水从桩缝渗入水压力直接作用于地下室外墙，另外施加部分静止土压力（按桩墙的抗弯刚度进行分配）进行计算。

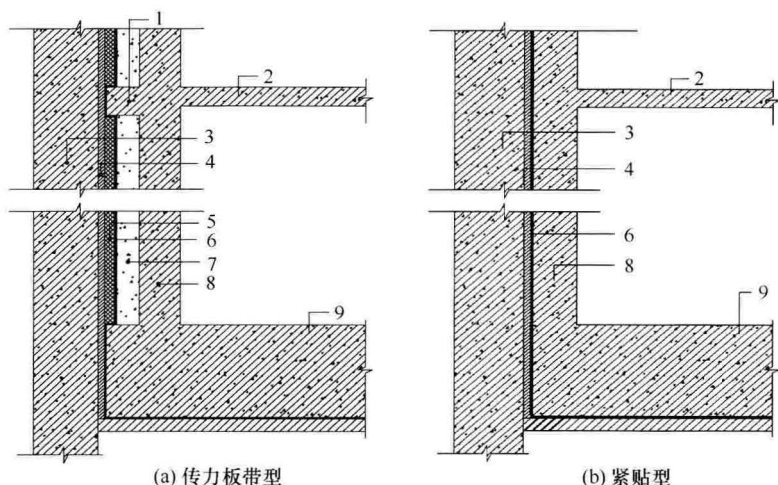


图8 桩墙合一的构造示意

1—传力板带；2—结构楼板；3—灌注桩排桩；4—挂网喷浆层；5—保温层；  
6—柔性防水层；7—素混凝土；8—地下室外墙；9—基础底板

## II 施工与检测

**4.3.9** 试成孔至设计标高并完成一清后，静置一段时间（一般根据成孔到成桩的施工时间来估算或根据设计要求），从开始测得初始值后，每3h~4h间隔测定一次孔径曲线（含孔深、桩身扩径缩径）、垂直度、沉渣厚度等，以核对地质资料、检验施工设备、施工工艺及泥浆指标等是否符合工程要求，在正式施工前调整选择好施工参数。

根据工程情况，对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的情况下不应在原位进行试成孔。非原位试成孔的孔位在试成孔结束后应采用素混凝土或其他材料密实封填。

**4.3.10** 作为桩墙合一的排桩围护结构，垂直度控制是比较重要的，成孔机械一般选择钻架配重大、钻杆扭矩大的设备，如GPS-15型以上的设备。另外还需减少围护沉降，以减少与主体结构的差异沉降，严格控制沉渣厚度，通过泥浆反循环的工艺可



有效控制沉渣厚度。

#### 4.3.11 灌注桩排桩成孔施工可采取以下质量保证措施:

1 采用膨润土泥浆护壁,提高泥浆黏度,可有效防止孔壁塌孔、缩径;

2 先施工隔水帷幕,再施工灌注桩排桩,有利于保证隔水帷幕和灌注桩的施工质量,也可避免先施工的灌注桩由于塌孔扩径导致外侧隔水帷幕施工困难的不利情况;

3 围护结构位置采用水泥土搅拌桩预加固主要是控制灌注桩成孔过程中孔壁的稳定,预加固的水泥土搅拌桩水泥掺量一般为7%~8%。

### 4.4 型钢水泥土搅拌墙

4.4.1 型钢水泥土搅拌墙技术从日本引进,水泥土搅拌墙可由三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土连续墙或铣削深搅水泥土搅拌墙技术构建而成。

三轴水泥土搅拌桩在国内工程中已得到广泛应用,常用桩径形式主要有650mm、850mm和1000mm三种,其中由国外引进的施工设备主要为直径650mm和850mm两种,国内经过改进研制了可以施工直径1000mm水泥土搅拌桩的国产化施工设备。常规三轴水泥土搅拌桩受制于桩架高度,施工深度最大只能达到30m,且遇到标贯击数大于30击的硬质土层施工效率很低,虽然超过30m时可采用一次到底的超深三轴水泥土搅拌桩设备,也可采用加接钻杆的方式或采用先行钻孔再加接钻杆的工艺,施工深度也可达50m,但施工速度较慢。实践表明,采用超深三轴水泥土搅拌桩由于受钻杆刚度、顺直度及桩架垂直度等综合影响,易造成搭接开叉等问题。

渠式切割水泥土连续墙(TRD工法)是由日本引进的一种新型水泥土搅拌墙施工技术,渠式切割水泥土连续墙施工设备兼有自行掘削和混合搅拌固化液的功能,与三轴水泥土搅拌桩采用垂直轴纵向切削和搅拌施工方式不同,该技术通过将链锯型刀具

插入地基至设计深度后,在全深度范围内对成层地基土整体上下回转切割喷浆搅拌,并持续横向推进,构筑成上下强度均一的高品质等厚度水泥土搅拌墙。渠式切割水泥土搅拌墙施工成墙厚度和深度视设备型号不同而异,成墙厚度一般为 450mm~900mm,目前最大成墙深度达到 65m,一般均在 60m 以内。该技术适应地层广,不仅适用于标贯击数小于 100 击的土层,还可以在粒径小于 100mm 的卵砾石层和软岩地层中施工。由该技术构建的墙体水泥土搅拌均匀、连续无缝,相比传统的三轴水泥土搅拌桩在相同地层条件下可节省水泥 20%~25%,且墙身范围内水泥土完整性、均一性、强度和隔水性能更好。根据国内不同地区十余项工程水泥土墙体强度和渗透性试验统计数据,水泥土 28d 龄期无侧限抗压强度在 0.8MPa~3.2MPa 范围,普遍大于 1.0MPa;水泥土墙体渗透系数可达  $10^{-7}$  cm/s 量级。国内渠式切割水泥土连续墙施工设备主要有由日本引进的 TRD-Ⅲ型工法机、中日合资的 TRD-CMD850 型和 TRD-E 型工法机,以及国内自主研发的 TRD-D 型工法机,上述机型施工机架最大高度一般不超过 12m,重心低,稳定性好。近年来该技术经消化吸收和改进创新已在上海、天津、武汉、南京、杭州等十余个地区的逾五十项深大基坑工程中成功应用,部分工程如表 1 所示,应用形式主要有内插型钢作为基坑围护结构兼隔水帷幕、超深隔水帷幕和地基加固(如钢筋混凝土地下连续墙槽壁地基加固)。实践证明,渠式切割水泥土连续墙技术构建的墙体质量好、强度高、抗渗性能可靠,该技术的应用大幅降低了工程造价,同时在节能降耗、保护环境方面效果显著,取得了显著的社会经济效益。

铣削深搅水泥土搅拌墙技术(CSM 工法)是在德国双轮铣深层搅拌技术基础上经过改进创新研发的一种新型深层搅拌技术。该技术结合了液压铣槽机设备的技术特点和深层搅拌技术的应用领域,可以应用到各种复杂的地质条件中。铣削深搅水泥土搅拌墙技术与传统深层搅拌工法的不同之处在于使用两组铣轮沿水平轴旋转切削搅拌,形成矩形槽段的改良体,而非以单轴或多

表 1 渠式切割水泥土连续墙应用的典型工程信息

工程名称	成墙地层	基坑面积 (m <sup>2</sup> )	基坑挖深 (m)	墙厚 (mm)	墙深 (m)	应用 形式
上海奉贤中小企业总部大厦	上海典型地层, 穿过密实砂层进入隔水层	8000	11.85	850	26.6	型钢搅拌墙
上海白玉兰广场	上海典型地层, 穿过密实砂层	43950	9.3~24.3	800	60	隔水帷幕
上海国际金融中心	上海典型地层, 穿过深厚标贯击数大于 50 击的密实砂层	48860	26.5~28.1	700	53	隔水帷幕
上海虹桥商务区一期 08 地块	上海典型地层, 穿过密实砂层	46000	17.05	800	49.5	隔水帷幕
上海轨道交通 10 号线海伦路地块综合开发项目	上海典型地层, 穿过密实砂层	9100	4.25~21.45	850	48	地下连续墙槽壁地基加固
上海前滩中心 25 号地块项目	上海典型地层, 穿过密实砂层	80500	10.5	600	38.9	地下连续墙槽壁地基加固
江西南昌绿地中央广场	穿过深厚砂层和强风化岩层, 嵌入饱和单轴抗压强度 8.8MPa 的中风化砂砾岩	47000	5.9~17.45	850	27.5	型钢搅拌墙

续表 1

工程名称	成墙地层	基坑面积 ( $\text{m}^2$ )	基坑挖深 (m)	墙厚 (mm)	墙深 (m)	应用 形式
江苏苏州国际财富广场	穿过深厚密实砂层, 嵌入黏土隔水层	10500	22.7	700	46	隔水帷幕
江苏淮安雨润中央新天地	穿过深厚密实粉土层和砂层, 嵌入黏土隔水层	43657	23.3~27.6	850	46	隔水帷幕
天津民园体育场改造	淤泥质土层为主	30000	12.4	850	35	型钢搅拌墙
天津永利大厦	黏土层为主	13500	12.8~13.3	850	25.4	型钢搅拌墙
天津中钢响螺湾	穿过软黏土进入标贯击数达 75 击的密实砂层	23000	20.6~24.1	700	45	隔水帷幕
湖北武汉长江航运中心大厦	穿过逾 35m 厚砂层, 嵌入饱和单轴抗压强度 9.5MPa 的中风化泥岩	38000	10.1~22.8	850	58.6	隔水帷幕
河南郑州创新大厦	穿过深厚粉土、细砂层	8900	16.9~18.7	650	32	隔水帷幕

轴搅拌钻具沿垂直轴旋转,形成圆柱形的改良体。该技术的原理是通过配置在钻具底端的两组铣轮水平轴向旋转下沉掘削原位土体至设计深度后,提升喷浆旋转搅拌形成矩形水泥土槽段,再将相邻槽段通过铣削搭接形成连续的等厚度水泥土搅拌墙体。实践表明,铣削深搅水泥土搅拌墙技术适用于黏土、砂土、粒径不大于 20cm 的卵砾石及饱和单轴抗压强度 20MPa 以内的岩石等各种地层,成墙厚度一般 700mm~1200mm,强度达到 1MPa~5MPa,墙体渗透系数可达到  $1 \times 10^{-6}$  cm/s~ $1 \times 10^{-7}$  cm/s 量级。该技术具有高掘削性能、高搅拌性能、低噪声、低振动、低置换率、主机操控灵活等特点。目前国内应用最广泛的设备为上海金泰工程机械有限公司自主研发的导杆式 SC 系列(SC-35、SC-45、SC-50、SC-55)工法机,其中 SC-55 机型设计最大施工深度 55m;由德国宝峨公司进口的悬吊绳索式设备设计最大施工深度可达 80m。近年来该技术已在上海、武汉、广州、福州、南昌等十余个地区近五十项复杂地质条件和环境条件的深大基坑工程和水利工程中成功应用,部分工程如表 2 所示,应用形式包括超深隔水帷幕、型钢水泥土搅拌墙挡土隔水复合围护结构、钢筋混凝土地下连续墙槽壁加固等。铣削深搅水泥土搅拌墙技术构建的墙体质量好、强度高、在复杂地层中施工作业高效,该技术的应用大幅降低了工程造价,应用前景广阔。

**4.4.2 水泥土搅拌桩(墙)施工应选择合适的搅拌桩(墙)机械,**配置电子称重自动拌浆系统以及泵压、流量表具,等厚度水泥土搅拌墙施工还应配置电磁调速电机的无级变速变量泵。通过试成桩(墙)确定不同地质条件下的成桩(墙)施工工艺、水泥(膨润土)浆液水灰比、注浆泵工作流量、三轴搅拌桩机头下沉或提升速度、渠式切割水泥土连续墙切割箱的油缸压力、切割扭矩、横向推进速度、铣削钻头下沉和提升速度等各项施工技术参数以及水泥土 28d 龄期无侧限抗压强度。三轴水泥土搅拌桩试成桩不宜少于 2 根,渠式切割水泥土连续墙试成墙延长不宜少于 4m,铣削深搅水泥土搅拌墙试成墙不宜少于 3 幅。

表 2 铣削深搅水泥土搅拌墙应用的典型工程信息

工程名称	成墙地层	基坑面积 ( $\text{m}^2$ )	基坑挖深 (m)	宽度 (mm)	深度 (m)	应用 形式
上海前滩 33 号-01 地块办公、 商业及住宅项目	上海典型地层，穿过密实砂层	14000	13.5~14.9	800	49	隔水帷幕
上海国际航运服务中心（东 块）项目	上海典型地层	50000	12.1~13.1	700	23	隔水帷幕
上海源深金融大厦项目	上海典型地层	24000	13	850	22	槽壁加固
上海诚信绿项目	上海典型地层	12500	12	700	18	隔水帷幕
上海杨浦图书馆改造项目	上海典型地层	10000	5	850	16.5	型钢搅拌墙
上海明园森林都市二期	上海典型地层	5900	6.4	800	12	型钢搅拌墙
武汉同济医院扩建项目	穿过深厚砂层，嵌入强度 7.4MPa 中风化泥岩	6600	12.5	800	55	隔水帷幕
武汉国际展览中心	粉质黏土、黏土层	22600	9.7~15.8	850	21	型钢搅拌墙

续表 2

工程名称	成墙地层	基坑面积 ( $\text{m}^2$ )	基坑挖深 (m)	宽度 (mm)	深度 (m)	应用 形式
南昌明园九龙湾 G02、D05 地块	嵌入中风化泥岩	19200	10.3~13.3	850	21	型钢搅拌墙
南昌绿地朝阳中心项目 (2# 地块)	穿过圆砾、砂砾层, 嵌入 6.5MPa 中风化泥质粉砂岩层	20600	6.6	700	20	型钢搅拌墙
南昌市教育考试院	穿过圆砾、砂砾层, 嵌入强度 8MPa 中风化岩层	2500	9.3~10.9	700	20	隔水帷幕
南昌中金国际广场	嵌入强风化岩、中风化岩	18600	17	800	18	隔水帷幕
绿地南昌象山南路项目 A 地 块 I 区	穿过圆砾、砂砾层, 嵌入强度 7MPa 中风化岩层	28900	8.9~13.3	700	17	隔水帷幕
江西上饶万达广场	穿过最大粒径达 15cm 的卵砾 石层, 嵌入强度 10MPa 中风 化岩	43000	12	850	16	型钢搅拌墙

**4.4.3** 三轴水泥土搅拌桩机自重一般在 1300kN~1500kN，渠式切割水泥土连续墙机械自重一般在 1320kN~1550kN（36m 深切割箱），铣削深搅水泥土搅拌墙设备自重约 1200kN~1900kN，因此在水泥土搅拌桩（墙）施工范围内，探摸清障后应回填压实，铺设钢板，必要时还需对地基进行加固。施工渠式切割水泥土连续墙时，宜设置导墙，防止槽壁坍塌，以确保安全和质量。

**4.4.4** 三轴水泥土搅拌桩的垂直度与搅拌桩机导向架的垂直度、搅拌钻杆的平直度、桩深度及地层等有关。三轴水泥土搅拌桩机移位后，搅拌桩机导向架垂直度允许偏差不应大于 1/250。渠式切割水泥土连续墙链锯式切削箱横断面规格：1700mm×(450mm~900mm)，通过安装在切割箱内部的多段式测斜仪，实施随钻监测调控，垂直度允许偏差不应大于 1/250，施工墙体轴线由激光经纬仪监控，允许偏差在±20mm 以内。铣削深搅水泥土搅拌墙通过安装在铣削钻头上的监控装置实时监测偏斜情况，垂直度允许偏差不应大于 1/250。

**4.4.5** 对于中密~密实砂质地层，下沉搅拌速度缓慢，宜调低水灰比、掺入膨润土，并根据下沉速度调整浆泵流量。

**4.4.6** 渠式切割水泥土连续墙施工工法多采用三步施工法。三步施工法中第一步横向前行时注入挖掘液切割掘削，一定距离后切割终止；主机反向回行（第二步），即向相反方向移动，移动过程中链状刀具旋转，使切割土进一步混合搅拌，此工况可根据土层性质选择是否再次注入挖掘液；主机正向回位（第三步），链状刀具底端注入固化液，使切割土与固化液混合搅拌。

**4.4.7** 渠式切割水泥土连续墙浆液流动度的监控和调整，对于确保墙体质量、提高施工效率、防止事故举足轻重。挖掘液混合泥浆流动度在黏性土中施工应适当加大，在砂性土中施工应适当调低，具体数值由现场试成墙确定。在黏性土中施工，过低的挖掘液混合泥浆流动度，会使搅拌土过于黏稠，造成锯链式切割箱刀具包泥，影响挖掘效率和作业安全。在砂性土中要调低挖掘液混合泥浆流动度，必要时还需在挖掘液中添加颗粒度调整材料



(如高岭土类干燥黏土)和增黏剂,达到提高黏度、减少失水、降低固液分离、保持良好流动性的目的。当在标贯击数较高的硬质砂层中挖掘、搅拌时,若大量固液分离会造成砂粒重新堆积,对在砂层中移动的切割箱及刀头产生很大的阻力。

挖掘液混合泥浆是被挖掘土和挖掘液的混合物。固化液混合泥浆是由挖掘液混合泥浆和固化液混合而成。挖掘液的水灰比应控制在  $W/C=5\sim 20$ , 固化液水灰比应控制在  $W/C=1.0\sim 1.5$ 。混合泥浆流动度由专门的流动度测试仪测定。

**4.4.8 渠式切割水泥土连续墙施工**, 基坑转角处或结束施工拔出切割箱时, 应及时补充回灌固化液。在条件许可的情况下, 宜在墙体外拔出切割箱 (图 9), 形成“十”字形接头。

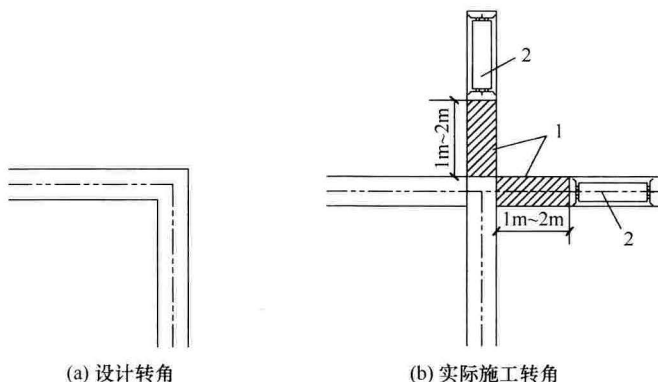


图 9 外拔切割箱图示

1—转角接头部; 2—拔出切割箱位置

**4.4.9 铣削深搅水泥土搅拌墙**宜采用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥, 水泥掺量一般不小于 18% (与被搅拌土体的重量比, 被搅拌土体重量按  $1800\text{ kg/m}^3$  计算); 水灰比一般取  $0.8\sim 1.5$ , 当墙体需要插入型钢时, 一般取 1.5。

**4.4.10 根据铣削深搅水泥土搅拌墙**下沉和提升过程中喷浆次数, 可以分为一次注浆或两次注浆工艺。当地层复杂、墙体深度较深时宜采用一次注浆工艺, 即搅拌下沉过程中仅注入膨润土浆

液，搅拌提升过程中注入水泥浆液，一次注浆工艺可以避免因槽段施工时间超过水泥浆液初凝时间而导致提钻困难，可提高深槽施工或施工因故中断情况下的安全性。当地层较软弱、墙体深度小于 20m 时宜采用两次注浆工艺，即搅拌下沉和提升过程中均注入水泥浆液。

**4.4.11** 铣削深搅水泥土搅拌墙在密实砂土、卵砾石等硬质地层中作业时，下沉和提升速度应降缓。采用单次注浆工艺作业时，仅在提升过程中注入水泥浆液，提升速度应适当降缓，确保水泥浆液和土体充分搅拌。

铣削深搅水泥土搅拌墙作业应采用跳幅施工方式，如图 10 所示，确保墙幅铣削搭接效果，避免顺幅施工两组铣轮铣削强度（一侧铣削水泥土墙体，一侧铣削原位土体）不同造成墙体偏位。

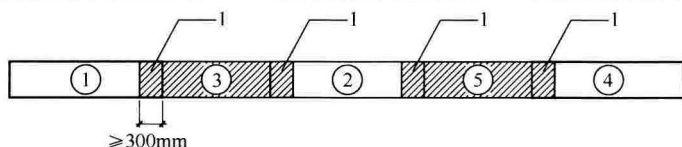


图 10 跳幅施工示意

1—跳打铣削搭接部分

## 4.5 咬合式排桩

**4.5.1** 咬合式排桩通过相邻两根桩之间的咬合，使其既能作为挡土构件，又同时兼作隔水措施。先行间隔施工的被咬合的混凝土灌注桩称为Ⅰ序桩，后续插入并咬合相邻Ⅰ序桩的混凝土灌注桩称为Ⅱ序桩。对于有筋桩和有筋桩密排组合形式，Ⅰ序桩通常采用矩形钢筋笼桩或型钢加筋桩，Ⅱ序桩通常采用圆形钢筋笼桩。

咬合式排桩施工工艺振动小、噪声低，且对周边地层扰动较常规工艺小很多，特别有利于在环境保护要求较高的环境施工。咬合式排桩施工过程中，套筒全程跟进，对于工程地质和水文地质条件特别复杂的工程都较适用，孔壁不会坍塌，流土、流砂现象也比较容易控制，充盈系数较小，成桩质量可靠。

**4.5.3** 咬合式排桩自身能够起到隔水作用，可以不另设隔水帷幕，但必须确保相邻两根桩有一定的咬合量，因此对咬合式排桩的施工垂直度有严格的要求，避免桩与桩之间产生间隙。随着桩长的增加，应对咬合式排桩垂直度、平面定位、咬合量提出更为严格的要求，或者在咬合式排桩外侧设置辅助隔水措施。

**4.5.7** 咬合式排桩分为硬切割与软切割两种施工方法。硬切割是指Ⅱ序桩在相邻Ⅰ序桩混凝土终凝后对其切割成孔的施工方法，具有在成孔过程中结合清障的技术特点，适用于硬质地下降障碍物密集的复杂地质条件，硬切割咬合式排桩应采用全套管全回转钻机配备双壁钢套管进行成孔施工。软切割是指Ⅱ序桩在相邻Ⅰ序桩混凝土初凝前对其切割成孔的施工方法，相比硬切割工艺，清障能力有所不足，但经济性显著，适用于普通软土地质条件下的咬合式排桩施工。软法咬合桩成孔设备宜采用全套管钻机或旋挖钻机。

**4.5.8** 每组试成孔中应包括 2 根Ⅰ序桩和 1 根Ⅱ序桩。软法咬合相关工艺参数包括Ⅱ序桩开钻时间、成孔时间、成桩时间及套管底口低于开挖面的距离等。

**4.5.9** 导墙结构形式应根据地质条件和施工荷载等经计算确定，且导墙厚度不宜小于 200mm，混凝土强度等级不宜低于 C20。导墙上应设置定位孔，其直径宜比桩径大 20mm~40mm。导墙顶面宜高出地面 100mm，以防止地表水流入桩孔内。导墙示意如图 11 所示。

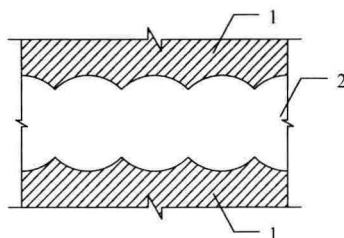


图 11 导墙示意

1—导墙；2—导墙定位孔

**4.5.10** 首先检查和校正单节套管的顺直度，然后检查按桩长配置的全长套管的顺直度，并对各节套管编号，做好标记，按序拼装。

**4.5.12** 配矩形钢筋笼的Ⅰ序桩下放时，可采用在钢筋笼两侧绑扎强度较低易切割的材料（如PVC管），确保精确就位，以防止安装偏差造成后续咬合切割损伤钢筋。

钢筋笼除了平面要限位，还要防止上浮或下沉，浇筑混凝土时应采取措施固定钢筋笼，如采用钢丝绳悬挂在吊车吊钩上，当需要拆套管或导管时可采用槽钢将钢筋笼悬挂在下节套管顶部，如此反复直至混凝土浇筑至设计标高并拔出所有套管，过程中应当注意在每节套管起拔时，吊车始终要将钢筋笼吊紧，并保持同一标高不变，以免钢筋笼上下起伏后无法重新回到原来标高。在钢筋笼底部焊上4根垂直定位钢筋，定位钢筋的长度应根据实际成孔深度而定，即在测好孔深后再进行四根定位钢筋的断料及焊接工作。另外钢筋笼底部可加设钢筋网片或加焊抗浮钢板。

**4.5.13** 边浇筑混凝土边拔套管有利于套管的顺利起拔，套管底低于混凝土面2.5m可有效防止塌孔，避免影响混凝土质量。

套管内有水时，应采取水下混凝土浇筑工艺，并配备抽水泵，在混凝土浇筑过程中将孔内水抽排出，且混凝土应浇筑至导墙顶部，保证有一定的超灌高度，以保证桩顶混凝土质量。

## 5 竖向支承桩柱

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 逆作法工程中，竖向支承桩柱需承受逆作阶段施工的各层水平结构自重以及作用在其上的施工荷载，竖向承载能力要求较高，支承柱较多采用承载力较高且截面小的角钢拼接格构柱或钢管混凝土柱，对应的支承桩通常采用灌注桩。

**5.1.2** 竖向支承桩柱一般宜采用一柱一桩的布置形式，即框架柱位置对应设置一根支承柱和一根支承桩，支承柱设置于框架柱位置，并宜利用柱下工程桩作为支承桩。逆作施工结束后，支承柱外包混凝土即形成框架柱。主体结构设计框架柱时可考虑内置支承柱钢骨的承载能力。

当逆作阶段支承柱竖向承载要求高，一柱一桩形式不能满足竖向承载力要求时，可在框架柱位置设置一柱多桩的形式。一柱多桩形式即在一根框架柱位置及周边设置多根支承柱和多根支承桩的形式。一柱多桩可根据逆作阶段承载要求，采用一柱两桩、一柱三桩等形式，具体布置如图 12 所示。当采用一柱多桩形式

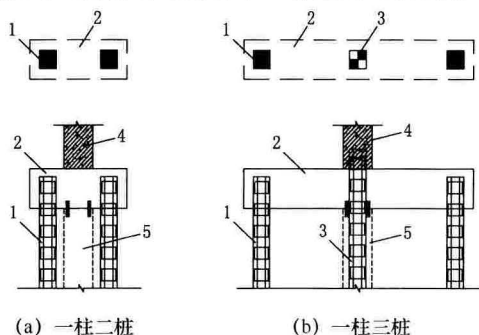


图 12 一柱多桩示意

1—临时支承柱；2—托梁；3—永久支承桩；  
4—托梁以上框架柱；5—后浇筑框架柱

时,在地下室结构施工完成后,应拆除临时的竖向支承柱。

**5.1.5 竖向支承桩成孔机具**一般有正、反循环回转钻机和旋挖钻机两种。正、反循环回转钻机成孔工艺在软土地区应用广泛,而且施工经验丰富。旋挖施工是在回转施工等工艺基础上发展起来的一种桩基础施工方法,与正、反循环钻机相比,具有扭矩大( $150\text{kN}\cdot\text{m}\sim 280\text{kN}\cdot\text{m}$ )、地层适应性强(主要适用于黏性土层、砂层、卵砾石层和部分强风化的岩层)、自动化程度高、工人劳动强度低、设备适用范围广、施工质量容易控制、施工效率高、设备多用性、环保等优点。两种成孔机具各项指标对比见表3。

**表3 支承桩施工机械对比**

对比项目	旋挖钻机	正、反循环回转钻机
施工工艺	钻进时直接用钻头将土取出,泥浆只是护壁而用,现场设一个集中储浆池即可,泥浆可重复多次利用,施工现场无需大量泥浆材料,大大减少了泥浆污染	钻进时采用钻头切削地层,用泥浆循环将土返回地面,需设多个泥浆池,排放泥浆对施工现场污染较大,需经常处理废弃泥浆
环保	渣土集中堆放,定时清理,对施工现场文明施工非常有利;低噪声,使扰民的概率大大降低	正循环时清渣较困难,不利于文明施工;噪声相对较高,易造成扰民;对环境污染较大
工程质量	自带现代化的电子仪表测量装置,精确度较高,可有效保证施工精度。抓斗上下频繁,对孔壁稳定不利,另外有桩塞效应	精确度不高,为确保垂直度偏差小,需采取一定的措施。孔壁稳定较好
施工效率	施工效率较高,桩长35m左右,一天(24h)可施工4根~6根,灵活机动性高,移机、对位速度很快	施工效率较低,桩长35m左右,一天(24h)只能施工1根~2根,机动性差,移机、对位速度较慢
节能	使用内燃动力行车、钻孔,使用燃油动力,高效节能,能源供应方便,但油价高,导致单价较高	一般使用电力,对施工现场电力布设要求较高,但电价低,相对经济

续表 3

对比项目	旋挖钻机	正、反循环回转钻机
适用性	可施工 0.6m~2.5m 口径、深度 $\leq 100\text{m}$ 、除坚硬岩层以外地层的各种桩基类型（卵砾石层、强风化岩层均可施工）	适用范围较广，可施工各种桩径、桩深的桩

## 5.2 设 计

**5.2.1** 竖向支承桩柱计算中竖向荷载主要为永久荷载和可变荷载两大类，对于上下同步逆作法的工程，当向上同时施工的层数越多时，风荷载或地震作用引发的水平作用就越明显。根据工程实践，向上同步施工层数超过 10 层时，对于承受较大倾覆力矩的剪力墙下支承柱和托换结构、边柱及角柱水平向作用的影响更不容忽视。因此本条规定对于上下同步逆作的工程应当考虑由于风和地震水平作用引起的附加竖向荷载。图 13 为风荷载或地震作用引起支承柱附加竖向荷载的示意图。

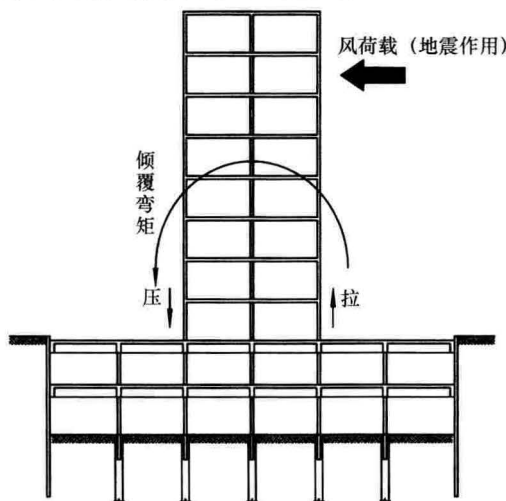


图 13 风荷载或地震作用引起支承柱附加竖向荷载示意

**5.2.2 逆作法中各层楼板施工与各层土方开挖时会形成不同的荷载工况，各个工况条件下的竖向支承柱承受的竖向荷载和计算长度也不相同，因此，竖向支承柱应进行各工况下的承载力计算和稳定性验算。计算时应根据其垂直度允许偏差计入竖向荷载偏心的影响，偏心距应按计算长度乘以垂直度允许偏差，并按双向偏心考虑。逆作法各工况下支承柱计算长度取值方法可参考以下方式确定：**

逆作法中间工况下，若支承柱上端与结构梁板浇筑连接成整体，考虑到结构横梁线刚度远大于支承柱线刚度，可视上端约束条件为固定，但若支承柱上端无横梁等有效约束时，约束条件应根据具体情况进行调整；支承柱下端处于开挖面下，当支承柱与支承桩桩孔之间空挡采取了有效加固措施时，可通过加大支承柱几何长度的方式来模拟地基土弱约束的影响，加大几何长度之后支承柱下端的约束条件可近似按铰支考虑，计算长度计算简图如图 14 所示。工程实践表明，支承柱加大的几何长度按照本标准公式 (5.2.2-2) 取值是合理可行的。

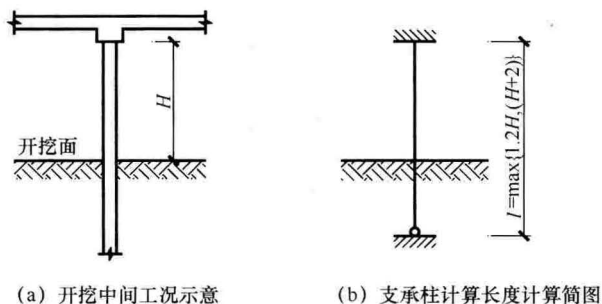


图 14 开挖中间工况支承柱计算长度及约束条件示意

逆作法开挖最后工况下，支承柱上端约束条件的确定原则同中间工况；支承柱下端锚固在支承桩之内，此时约束条件相比较中间工况有较大的改善，当地基土为硬塑黏土、中密~密实砂土或者基岩时，考虑地基土的有效约束，可不加大支承柱的计算长



度，按照下端为铰支进行计算；当地基土为流塑～可塑黏土等软土时，支承柱计算长度取值仍同中间工况，适当加长后再按照支承柱下端为铰支考虑，具体如图 15 所示。

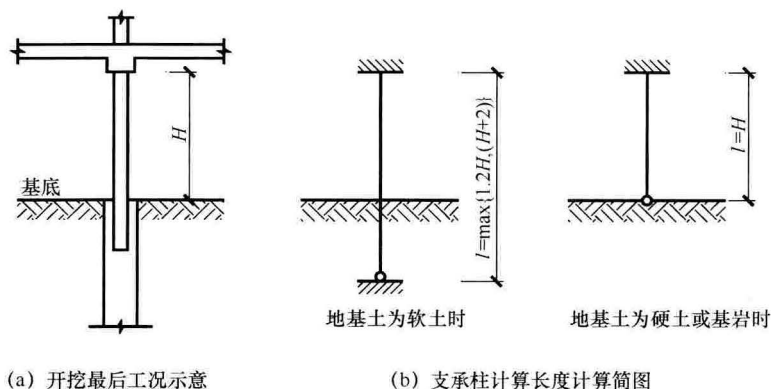


图 15 开挖最后工况支承柱计算长度及约束条件示意

**5.2.3 逆作施工阶段竖向支承柱**一般需要承受较大的竖向荷载，高承载要求下支承柱的稳定性与其计算长度密切相关。竖向支承桩柱施工中应对支承柱与支承桩之间的空档采取可靠的加固措施，确保各工况开挖面下支承柱有效的侧向约束后才能按照本标准第 5.2.2 条规定确定支承柱的计算长度。支承桩桩孔与支承柱之间的空档常用加固措施为：在支承桩超灌高度以上采用碎石和砂回填并注浆加固。

**5.2.5 逆作法竖向支承柱**承受的竖向荷载一般都较大，而且大都需要外包混凝土作为永久的框架柱，因此其施工的垂直度应严格控制，以避免由于垂直度偏差过大而出现支承柱偏出框架柱截面之外无法外包，以及承载力降低等不利情况。考虑到支承桩现阶段的施工能力、承载力要求以及超长支承桩成孔垂直度控制较难等因素，支承桩的垂直度偏差允许值控制为  $1/150$ ；另外考虑到支承柱深度相对支承桩深度较小，该范围内的桩孔垂直度相对较易控制，因此为满足支承柱垂直度调控所需的空間，将支承柱

深度范围内的支承桩成孔垂直度允许偏差值调整至 1/200。

**5.2.6** 对格构柱和钢管混凝土柱等支承柱的最小截面尺寸进行规定，主要是因为支承桩桩身混凝土浇筑用的导管需穿过支承柱，若支承柱截面过小，易发生导管上拔过程中被格构柱缀板等部件挂住或钢管内充填混凝土浇捣质量难以保证等不利情况。

支承柱在逆作施工阶段高承载状态下必须在其上施焊时，应采取必要的防护措施以及合理的焊接作业程序。

**5.2.7** 支承柱插入支承桩的深度在满足本条的规定之外，尚应结合支承柱实际承受的竖向荷载大小验算插入深度。验算支承柱的插入深度时可考虑支承柱与桩身混凝土的粘结摩擦阻力、支承柱的端部承载力等因素，当支承柱在插入支承桩范围之内设置栓钉等抗剪措施时，可考虑抗剪构件提供的受剪承载力。

当支承柱在插入支承桩范围内未设置栓钉等抗剪措施时，可参考下式计算插入深度：

$$l \geq K \times \frac{N - f_c A}{L \sigma} \quad (1)$$

式中： $l$ ——支承柱插入支承桩的深度（mm）；

$K$ ——安全系数，取 2.0~2.5；

$N$ ——支承柱的竖向荷载设计值（N）；

$f_c$ ——混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$A$ ——截面面积（mm<sup>2</sup>）；支承柱为角钢格构柱时，应为各角钢截面面积总和；当为钢管混凝土柱时，应为钢管外径截面面积；

$L$ ——支承柱截面的周长（mm）；支承柱为角钢格构支承柱时，应为各角钢内外边长总和；当为钢管混凝土支承柱时，应为钢管外径周长；

$\sigma$ ——粘结设计强度，如无试验数据可近似取混凝土的抗拉设计强度值  $f_t$ （N/mm<sup>2</sup>）。

**5.2.9** 当竖向支承柱与支承桩钢筋笼主筋间净间距不满足 100mm 时，可采取支承桩顶部变截面的扩孔措施，扩孔深度应

大于支承桩插入深度 1m 以上。

**5.2.10** 竖向支承桩的竖向变形主要包含两个方面，一方面为基坑开挖卸荷引起的立柱向上的回弹隆起，另一方面为在已施工完成的水平结构和施工荷载等竖向荷载作用下支承桩的沉降；此外基坑开挖卸荷还会导致支承桩上部一定范围土体的侧压力减小，从而降低支承桩的抗压承载力，特别是基坑开挖较深时该影响因素更为突出。因此支承桩的变形计算除了应考虑施工阶段的竖向荷载之外，尚应结合具体情况对基坑开挖卸荷因素进行综合考虑。

**5.2.11** 逆作阶段所有的竖向荷载均由竖向支承桩柱承担，当支承柱之间及支承柱与围护体之间产生较大的差异变形时，会引起对水平结构梁板不利的附加应力。如差异变形过大，将会使水平结构梁板产生裂缝，甚至影响结构体系的安全。因此对相邻支承柱间以及支承柱与邻近围护体之间的差异变形应控制在允许范围内，以免结构梁板中产生过大的附加应力，导致裂缝的发生。

**5.2.12** 逆作基坑工程应严格控制支承桩的总沉降及差异沉降量，选择低压缩性的地层作为桩基持力层和采取桩端后注浆是控制支承桩沉降量的有效措施。

## 5.3 施 工

**5.3.1** 单桩施工作业范围不宜小于  $10\text{m} \times 10\text{m}$ ，施工场地宜施工 150mm~200mm 厚的混凝土硬地坪，混凝土强度等级不应低于 C20。当施工场地上需要行走大型吊机时，宜对混凝土硬地坪配置钢筋，以确保满足下列要求：

- 1 机械设备作业的稳定性；
- 2 垂直度调垂架的设置精度；
- 3 为垂直度调垂架提供足够的地基承载力；
- 4 支承柱及支承桩定位精度。

**5.3.5** 灌注桩常用的清孔方法有正循环清孔和反循环清孔，其中反循环清孔又包括泵吸反循环清孔和气举反循环清孔两种工

艺。从清孔效果和控制桩端沉渣厚度角度,反循环清孔工艺更为可靠、更有保证。逆作法中支承桩承载力和沉降控制的要求高,应严格控制桩端沉渣厚度,宜选择反循环清孔工艺进行清孔,具体清孔方法应根据桩孔规格、设计要求、地质条件及成孔工艺等因素合理选用。

**5.3.6** 为满足成孔要求,护壁泥浆可选用优质钠基膨润土人工造浆,新造泥浆需静置膨胀 24h 以上方可使用。施工过程中需根据实测泥浆指标及时抽除废浆,补充新浆。

对于桩端位于砂层或者桩长范围内分布有较厚砂层时,为控制泥浆含砂率过高导致沉渣过厚,成孔过程中循环泥浆应采用除砂器除砂,除砂器功率及滤网等应根据砂的颗粒大小及需处理的泥浆方量来确定。

**5.3.9** 桩端注浆可加固桩底和桩侧的土体,有效减少支承桩的沉降,提高桩的承载力。注浆管应采用钢管,壁厚不小于 3mm,接头处采用丝扣套筒连接,注浆器应采用单向阀,以防止泥浆及混凝土浆液的涌入,应能承受大于 1MPa 的静水压力。单根桩注浆管数量不应少于 2 根,注浆管下端应伸至桩底以下 200mm~500mm;在混凝土初凝后终凝前应用高压水劈通压浆管路,注浆宜在桩体混凝土达到设计强度后方可进行,注浆压力宜控制在 2MPa~3MPa,压浆可分次进行,采用注浆压力和注浆量双控原则,即注浆量不低于设计要求的 80%且注浆压力不小于 2MPa 时可终止注浆。

**5.3.10** 竖向支承柱加工和拼装应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定进行质量验收。由于运输条件的制约,一般支承柱长度超过 16m 时需分节制作,运到施工现场再进行组装,组装方法可采用地面水平拼接和孔口竖向拼接两种。水平拼接由于操作方便,相对竖向拼接质量更能保证,但水平拼接需要足够的场地,且场地应平整,宜设置制作平台,在平台上设置固定用的夹具,每节至少配置两个固定点,以确保支承柱的拼接精度。

**5.3.12** 先插法中支承柱内充填混凝土与支承桩混凝土强度等级不同时,不同强度等级混凝土的施工交界面宜设置在支承柱底部之下 2m~3m 位置处,并应根据施工能力及工程需要采取措施阻止和控制竖向支承柱外部混凝土的上升高度,可采用砂石对钢管柱外侧进行回填,参考作业程序如下:

1 当支承桩低强度等级混凝土液面上升至设计桩顶标高以上 3.5m 时停止浇筑,开始浇筑钢管内高强度等级混凝土。

2 高强度等级混凝土浇筑至钢管柱底端口上下各 1m 时放慢浇筑速度,泵车开启最低档或间断浇筑,尽可能减小对钢管柱产生扰动。

3 高强度等级混凝土停止浇筑后,拆除两节导管(即导管底口位于钢管柱底口以上 3m),开始回填碎石到 1/3 的高度。

4 高强度等级混凝土停止浇筑静置约 1.5h 后继续浇筑高强度等级混凝土,同时测绳从四周量测回填碎石面的上升情况,若碎石上升,则停止浇筑混凝土继续回填石子,直至钢管柱外混凝土面稳定且碎石面不再上升,再继续浇筑,及时根据两侧的钢管柱内混凝土面标高拆拔导管,埋深始终保持在 6m~10m。

5 待钢管柱内残存的低强度等级混凝土全部从钢管柱顶部的溢浆口溢出见到高强度等级混凝土石子后方可停止浇筑,此时钢管柱内低强度等级混凝土全部被高强度等级混凝土置换完毕,高强度等级混凝土停止浇筑时混凝土面高出设计柱顶标高 20cm~30cm。

6 混凝土浇筑完后,继续对钢管柱外侧回填碎石砂,回填至自然地面。回填时,需人工沿孔周边对称、均匀回填。

7 分批次对已回填的桩孔利用预先埋设的注浆管进行填充注浆,采用 42.5 级普通硅酸盐水泥按水灰比 0.55 拌制,水泥浆注入量为回填体积的 20%。

采用砂石回填方法时,竖向支承柱可以采取包裹土工布或塑料布等措施,以减少开挖后凿除外包混凝土砂石的工作量。

**5.3.13** 后插法是近年来开始应用的一种逆作法竖向支承柱施工

工法。相对于桩柱一体化施工的先插法，后插法中竖向支承柱是在竖向支承桩混凝土浇筑完毕及初凝之前采用专用设备进行插入，该施工方法具有施工精度更高、竖向支承柱内充填混凝土质量更能保证等显著优势。

后插法施工流程为：通过地面上后插法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，全程实行动态监控适时调整，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。其调垂原理为：根据两点一线原理，通过利用钻孔内空间，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作性，从而更有效地达到对钢立柱的导向、纠偏效果。

钢管内混凝土终凝后一般可采用砂石对钢管柱外侧进行回填，回填时需人工沿孔周边对称、均匀进行，回填时观察孔内泥浆液面的变化，当孔内液面上升溢出地面时，暂停回填，如此分次回填确保密实。回填完成后开启高压注浆泵对管外环状间隙进行注浆，水泥浆水灰比 0.55，充填率 20%。

**5.3.16** 竖向支承柱制作和拼接时可采用水平尺检查其长度及截面尺寸；支承柱起吊下放时可采用经纬仪测量 X、Y 方向的垂直度；调垂过程中可采用测斜管、摆锤、激光发射器和接收器、水管等方法检查其就位的垂直度。当采用测斜管时，可采用钢管或 PVC 管，测斜管与竖向支承柱之间应采用环箍固定，为确保测斜管测试垂直度能代表支承柱的垂直度，测斜管应与竖向支承柱完全平行。

## 5.4 检 测

**5.4.1、5.4.3** 钢管混凝土支承柱应用在逆作期间竖向荷载较高的情况下，钢管内充填的高强混凝土需在水下浇筑，且支承柱和支承桩的混凝土强度等级往往不一致并要求连续浇筑施工。钢管混凝土支承柱施工工艺较复杂，其施工质量的控制难度较高，为

了确保施工质量满足设计及规范要求，应根据本规定对钢管混凝土支承柱进行严格检测。

**5.4.5** 竖向支承桩柱是逆作法的重要受力构件，从确保逆作法安全、顺利实施的角度，对支承桩提出了高承载力和小变形的设计要求，因此预先通过试桩掌握并验证支承桩的承载变形特性是十分必要的。通过试桩工作，可直观、准确地建立支承桩承载力和变形的关系，以及支承桩在不同荷载水平作用条件下的变形量值，为设计对控制逆作法施工期间支承桩的差异沉降提供可靠的设计依据。另外，通过支承桩大面积施工之前的试桩工作，也为潜在的问题提供了发现和解决的机会。因此，本条针对工程地质条件复杂、上下同步逆作法工程以及逆作阶段承载力和变形控制要求高的竖向支承桩，均提出了静载荷试验的检测要求。

## 6 先期地下结构

### 6.1 一般规定

**6.1.2** 先期地下水平结构作为逆作施工期间的水平支撑系统，需承受坑外水土压力等产生的侧向水平荷载，同时还需承受逆作施工期间的施工机械、材料堆场等各类竖向施工荷载，处于水平和竖向双向受荷的状态，因此应按照水平向和竖向联合受荷状态进行承载力和变形计算，并应同时满足施工期和使用期两个阶段的设计要求。

**6.1.5** 先期地下水平结构预留孔洞的设置涉及地下水平结构的设计和地下暗挖的施工要求等综合因素，应根据各方面的具体要求，由设计和施工双方共同协商确定。

### 6.2 设计

**6.2.1** 先期地下水平结构兼作为支撑承受水平向荷载时，结构水平构件除了应满足地下结构正常使用阶段的设计要求外，尚应进行各种施工工况下的内力、变形等计算。分析中可采用简化计算方法或有限元方法。

对用作支撑的水平结构构件，当采用逆作施工期间仅施工框架梁，次梁和板后施工的框架逆作工艺时，或者当采用梁板体系但结构开口较大或较多时，计算模型可简化为仅考虑梁系的作用，对一定边界条件、周边水平荷载作用下的封闭框架的内力和变形进行计算，其结果是偏安全的。当梁板体系需考虑板的共同作用，或结构为无梁楼盖时，应采用有限元的方法进行整体计算分析，根据计算分析结果并结合工程概念和经验，合理确定用于结构构件设计的内力。

**6.2.2** 当先期地下水平结构上直接作用施工机械荷载时，动力



系数具体取值可结合施工机械以及施工作业区具体情况确定，对于施工车辆有限速要求的正常行驶区，动力系数可取下限值，对于土方装卸区，动力系数可取上限值。

**6.2.3 逆作施工中支承桩竖向变形量和支承桩间的差异变形过大时**，将引发对已施工完成结构的不利影响，因此设计中除了应采取措施控制支承桩的竖向变形之外，尚应通过计算与验算对先期地下水平结构构件采取必要的预加强措施，以控制有害裂缝的产生。先期地下结构框架梁内力计算时可将支承柱间差异变形允许值作为初始位移，并根据计算结果对框架梁进行复核，必要时应进行加强处理。

**6.2.4 先期地下水平结构作为逆作施工期间的水平支撑**，需承受坑外传来的水土侧向压力。因此水平结构应具有完整、可靠的传力体系。当同层楼板面标高出现较大的高差时，应通过计算采取有效的转换结构以利于水平力的传递；在结构较大面积的缺失区以及地下各层水平结构分缝等位置，应通过计算设置必要的水平支撑传力构件；结构后浇带部位可根据计算，在框架梁或次梁内设置小截面的型钢（图 16）传递水平力，后浇带内设置的小截面型钢竖向抗弯刚度远小于混凝土梁，不会对后浇带两侧结构自由沉降产生较大的约束。

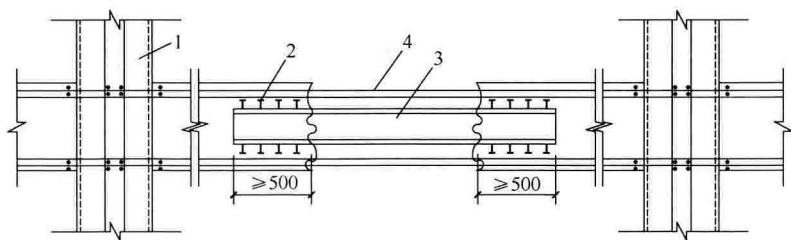


图 16 后浇带部位处理措施示意

1—支承柱；2—栓钉；3—预埋型钢；4—结构梁板贯通钢筋

**6.2.6 当根据逆作受力要求需加大相关结构构件的截面尺寸时**，应复核调整截面尺寸之后的构件是否对建筑、机电空间造成影响

响，若有影响应采取措施予以解决；可对有影响的构件采取叠合配筋的方式，待逆作施工结束之后，再将此构件影响范围的部分予以凿除。

**6.2.8 先期地下水平结构与围护墙的连接措施**根据围护墙形式的不同，采取不同的连接节点构造。当围护墙为“两墙合一”地下连续墙时，先期地下水平结构与地下连续墙的连接节点构造可按本标准附录 A 执行。当围护墙为临时围护墙，且临时围护墙与结构外墙之间留设施工作业面、结构外墙待逆作结束再顺作施工时，临时围护墙与地下各层水平结构之间的连接应处理以下两个方面的技术问题：

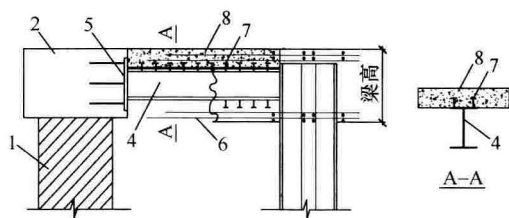
### 1 临时围护墙与内部结构之间的水平传力体系

逆作法工程较多采用两墙合一地下连续墙作为基坑围护墙，逆作施工时地下各层水平结构直接支撑至地下连续墙，并通过预留钢筋与之形成连接。当逆作法工程中采用临时围护墙，且为确保地下室结构外墙浇筑整体性而采用逆作后再顺作施工时，临时围护墙与内部结构之间应设置可靠的水平传力支撑体系，以形成逆作阶段完整的水平传力体系。水平支撑可结合计算以及后期地下结构施工便利性等因素，采用钢支撑、混凝土支撑或型钢混凝土组合支撑等形式（图 17）。

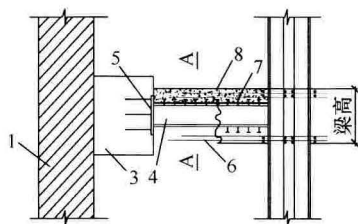
### 2 边跨结构二次浇筑的接缝防水和支撑穿外墙板处止水

边跨结构存在二次浇筑的工序要求，二次浇筑随之带来接缝位置的止水问题，主要体现在边跨先期结构与后浇筑后期结构之间的接缝止水。后期结构施工之前，应预先凿毛先期结构的施工接缝，后嵌固一条通长布置的遇水膨胀止水条，其后再浇筑与之连接的后期结构。对于防水要求较高部位，还可在接缝位置预埋通长的注浆管，待结构达到强度后进行注浆以充填接缝处的微小缝隙，可达到很好的防水效果。

临时围护墙与结构外墙之间密实回填后方可割除临时支撑，此时需处理好临时支撑穿结构外墙的止水问题。不同支撑形式穿结构外墙的止水处理方式也不尽相同，当为 H 型钢支撑时，可



(a) 围护墙与地下室顶板的连接



(b) 围护墙与地下各层结构楼板的连接

图 17 围护墙与地下结构的连接

1—围护桩；2—冠梁；3—腰梁；4—预埋型钢；5—埋件；

6—预留框架梁钢筋；7—圆柱头焊钉；8—楼板

在 H 型钢穿墙处设置止水钢板后与外墙整体浇筑；当为混凝土支撑时，可在混凝土支撑穿外墙板位置采取可靠的止水措施，或可在结构外墙上留洞，洞口四周设置刚性止水片，待混凝土支撑凿除后再封闭该部分的结构外墙。

**6.2.9** 当临时竖向支承柱设置在结构梁的非支座位置时，应根据逆作阶段结构梁实际的支座条件进行受力复核，必要时应进行加强，确保其能满足施工期和使用期两个阶段的设计要求。

## 6.3 施 工

### I 模 板 工 程

**6.3.2** 垂吊模板逐次转用于下层，能够减少使用临时材料和模板材料，大幅减少搬入搬出工作，节约工期。

**6.3.3** 先期地下结构施工时应预留浇捣孔，结构柱浇捣孔应设在柱四角无梁位置，以免影响梁钢筋和削弱梁截面。剪力墙浇捣孔应根据沿剪力墙长度方向均匀布置，且应控制浇捣孔间距，距离过大将难以保证接缝施工质量。当预留的浇捣孔数量少、间距过大时，为确保结构柱、墙混凝土浇筑的密实性，应采用高流态混凝土施工后期结构。浇捣孔可采用 PVC 管进行预留，在防水要求较高部位，应采取可焊接止水片、防水效果更好的钢套管进行预留。

**6.3.4** 设置垫层是为确保模板及其支架的承载安全，同时有利于文明施工。当垫层下地基土为高压缩性的软弱土层时，地基土的承载力及变形计算不能满足地下结构施工要求，应对地基土采取相应的加固措施，以免地下水平结构施工时产生过大沉降，影响地下结构的施工质量及受力安全。

## II 混凝土结构

**6.3.9** 逆作法工程中，地下水平结构中后期需封闭的预留孔洞需留设施工缝，剪力墙、框架柱先期与后期的竖向结构也需留设施工缝。相对于顺作法工程，地下结构构件施工缝数量会多出许多。逆作法施工中，应采取措施确保施工缝位置的受力和止水性能。

## III 钢与混凝土组合结构

**6.3.14** 当界面层下结构梁为劲性梁时，型钢梁与支承柱的连接施工与普通钢结构施工的主要区别是竖向支承桩柱在地面一体化施工，支承柱定位的平面和垂直度精度控制难度相对大，开挖后支承柱的实际位置与设计位置可能存在偏差，为消除可能存在的偏差，钢构件之间的连接要留有足够的调整空间，并应先进行预拼装，进行现场调整后再进行正式安装。当钢结构采用螺栓连接时，应禁止在现场开孔。

## 7 后期地下结构

### 7.1 一般规定

**7.1.4** 本条为强制性条文。后期地下结构施工需要对临时竖向支承构件进行拆除时，拆除前应采取措施确保竖向荷载的有效传递以及可靠的替换路径，控制结构受力重分布过程中产生的变形。临时竖向支承构件拆除应当遵循的原则：（1）临时竖向支承结构拆除之前，应先实现可靠的换撑；（2）在形成可靠换撑之后，临时竖向支承柱的拆除应采用“自上而下”的流程进行拆除，以便于竖向荷载分阶段的逐步转换；（3）信息化施工及完备的应急预案。应加强对拆除区域构件的内力和变形监测，根据监测情况及时调整优化拆除流程。此外，在拆除之前，应预先制定应急预案，并根据应急预案备齐相应的设备及物资等。

### 7.2 模板工程

**7.2.3** 后期地下结构柱、墙竖向结构模板制作时，应根据先期地下水平结构预留的浇捣孔位置对应设置喇叭口，喇叭口应高出柱、墙施工缝之上一定高度，以便能在后期结构柱、墙混凝土浇筑时形成一定压力，确保施工缝混凝土浇筑密实。

### 7.3 混凝土工程

**7.3.2** 施工过程中应在监理见证下对钢筋连接接头进行现场取样，送测试单位进行复试。

### 7.4 接缝处理

**7.4.1** 逆作法中结构柱、墙出现的水平接缝的处理是逆作法关键技术之一。逆作法竖向结构水平接缝处理应确保竖向结构在正

常使用阶段竖向和水平向受荷时接缝位置的应力能有效、可靠传递，并保证水密性与气密性。竖向结构水平缝的处理需重点关注并处理好如下质量问题：（1）由于先期结构已浇筑混凝土的阻隔，导致后期结构混凝土浇筑时产生的气体不能排出；（2）后浇筑的混凝土由于自身收缩而产生缝隙，以及表面出现离析水和气泡；（3）混凝土侧压力和浇捣速度过快造成模板变形而产生的混凝土面下沉。

超灌法、注浆法和灌浆法三种接缝处理方式在大量工程中已经得到成功应用，并取得了良好的效果。

**7.4.3** 采用注浆法时，注浆通道一般可通过预埋注浆管、预埋接缝棒和后期钻孔等方法实现。采用预埋注浆管时，在后期竖向结构施工前沿水平接缝通长设置注浆管，注浆管径宜为 12mm。采用钻孔注浆时，钻孔直径宜为 8mm~10mm，其后采用注浆针头在钻孔内进行注浆，注浆针头（高压止水针头）利用环压紧固的原理，设有单向截止阀，可防止浆液在高压推挤下倒喷。

**7.4.4** 灌浆料一般采用树脂系和水泥系两种。树脂系适用于细小的缝隙，成本较高，渗透性良好，适用于处理 0.1mm 宽度左右的施工缝；水泥系适用于比较大的缝隙，成本较低，适用于处理 0.5mm 宽度以上的施工缝。

## 8 上下同步逆作法

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 上下同步逆作法具有绿色节能环保以及大幅缩短工程总工期的显著优势,近年来在国内各大中城市得到加速应用的趋势,已经成为逆作法的主要发展方向。上下同步逆作法一般适用于2层及以上地下室的基坑工程中,对于地下室层数少于2层的工程,采用上下同步施工对整体工期影响不大,而相应采取的措施却可能会一定程度上增加工程造价。对于向上同步施工层数较高(10层及以上层数)的逆作法工程,对竖向支承桩柱的承载力和沉降控制将提出较高的要求,而且还需考虑逆作期间风、地震等水平作用,需根据具体工程进行专项设计和施工方法的论证。

上下同步逆作法工程中,地下结构相对于上部结构的施工进度较慢,在地下结构刚度和整体性尚未形成前,上部结构施工层数过多,加荷速度过快,不利于结构质量和安全的控制,尤其对于采用框剪和筒体结构形式的主体结构,上部结构对地下结构的嵌固作用要求更高,因此对上部结构提出了宜在两层及以上地下结构施工完成之后再向上施工的要求。南京青奥中心双塔项目在地下室顶板和地下一层结构施工完成之后,塔楼核心筒向上施工了18层,外框柱向上施工了15层,实践效果良好。

**8.1.2** 上下同步逆作法施工的界面层作为逆作阶段上下结构的受力转换层,即把上部结构传来的竖向和侧向作用力可靠地传递给临时地下结构,故必须具备足够的强度和刚度。

**8.1.5** 上下同步逆作法工程与上部结构不同步施工的逆作法工程相比,面临更多复杂的技术问题,如涉及基坑开挖卸荷和上部结构施工加荷同步进行带来更复杂的差异变形控制、转换结构受

力安全和变形控制等问题,因此,上下同步逆作法工程应有针对性的监测方案,施工过程中应全程信息化,以便参建各方及时定量地掌握工程各方面的状态,确保工程顺利、安全实施完成。

## 8.2 设 计

**8.2.2** 本条提供的荷载数值根据一般工程情况估计,实际施工荷载对于不同的工程及场地情况会有所不同,应结合工程实际情况具体确定,但不得小于本条中的各项取值。

**8.2.3** 由于逆作施工阶段属于周期较为短暂的阶段,完全按照正常使用阶段工况进行风和地震作用的结构计算过于保守也不尽合理,宜根据施工阶段的具体情况作相应调整。根据工程实践经验,对于逆作阶段的结构抗风计算,验算时可考虑 10 年回归期的风荷载,相应数值可根据现行建筑结构荷载规范取值;逆作施工阶段的结构宜进行抗震作用计算,抗震计算时可考虑 10 年一遇地震作用,可将 50 年一遇的地震影响系数乘以 0.4 的折减系数,当抗震设防烈度为 6 度时,由于地震作用影响较小,也可不进行抗震作用计算。

## 8.3 施工与监控

**8.3.1** 上下同步逆作法工程中,基坑向下开挖的同时,上部结构向上同步施工。取土口平面位置的选择需充分考虑该因素,为减少同步向上施工的上部结构对施工机械作业的影响,取土口应尽量布置在无上部结构区域;当取土口设置在有上部结构区域时,应注意复核取土口位置及周围区域的楼层净空是否能满足挖运土设备的操作空间要求,如果净空不足,可根据施工机械的操作空间需求,在不影响上部结构受力安全的前提下,采取取土口上方局部结构后施工的方式予以处理。

**8.3.2** 逆作施工平台层的框架柱、剪力墙等竖向结构是上下同步施工时的重要竖向构件。施工时除了应严格遵循操作规程,严禁出现施工设备直接碰撞上部结构之外,尚应对上部结构采取必



要的警示和防护措施。

**8.3.3** 上下同步逆作法工程，地下部分的后期竖向结构回筑施工时，上部结构已经向上施工了一定层数，为更充分发挥后期浇筑的竖向结构和竖向支承柱协同工作，共同承担后期施加的荷载，对竖向结构的水平施工缝提出了应采取注浆法进行接缝处理的要求。

**8.3.4** 上下同步逆作法工程中，竖向构件和托换构件都是重要受力构件，其可靠传力相当重要，因此施工全过程的内力、变形及裂缝发展的监测十分必要。

**8.3.5** 上下同步逆作法工程实施过程中，上部结构施工的加荷与下部基坑开挖的卸荷同步交叉进行，既可能出现加荷作用下的沉降，也可能出现基坑开挖卸荷下的隆起，因此全过程的结构变形监测也很重要。本条对一些重点部位提出了变形监测要求。

## 9 地下水控制

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 根据工程的特点，地下水控制可以采用单一的方法或几种方法的组合。在环境保护要求较高时，地下水回灌也可以作为一种补充措施与其他地下水控制方法一同使用。

**9.1.2** 隔水帷幕是地下水控制措施的一部分，例如在制定“截一降一灌”的地下水控制方案时，通过计算分析综合确定竖向隔水帷幕的深度、降排水井的深度和数量以及受保护区域的回灌井深度和数量，形成既有效保障基坑施工安全、又合理控制受保护区域的环境变形且经济可行的地下水控制方案。

隔水帷幕宜采用双轴水泥土搅拌桩、三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土连续墙或铣削深搅水泥土搅拌墙，受场地、设备等条件限制时，局部区域也可采用高压喷射注浆，但必须确保桩体均匀性和连续性。隔水帷幕的抗渗性能应满足自防渗要求。高压喷射注浆法离散性较大，隔水较难控制质量，易产生流砂、管涌等现象，不宜用于砂性土中，且不宜少于两排。需要大范围采用高压喷射注浆形成隔水帷幕时，可根据地质资料、周边环境保护要求等选择双高压旋喷桩（即 RJP 工法）或全方位高压喷射桩（即 MJS 工法）。

双高压旋喷桩通过在钻杆上设置的独立喷射口分别喷射高压水、压缩空气、超高压水泥浆液（或其他固化液），其中高压水喷头位于上部，压缩空气、超高压固化液喷头位于下部。在钻杆旋转提升过程中采用上下两段式接力切削，上段采用压力达到 20MPa 的高压水喷射作为防护切削造成了一定空间，在加固体形成时产生的泥浆能更顺畅地排出，以达到内部压力释放、减小挤土效应。下段采用压力达到 40MPa 的超高压固化液（水泥浆

液等)喷射流和大于 1MPa 的压缩空气喷射流对周围土体进一步切削、拌合,以达到扩大成桩直径的效果,提高工效。

全方位高压喷射工法可进行孔内强制排浆和压力监测,并通过调整强制排浆量来控制孔内压力,使深处排泥和孔内压力得到合理控制,降低挤土效应,大幅减小对环境的影响,而孔内压力的降低也进一步保证了成桩直径。和传统旋喷工艺相比,MJS 工法减小了对周边环境的影响。

**9.1.3 降水方法的选择应因地制宜,结合地方经验。**如在北方地区,采用辐射井、自渗井来降排地下水;而在南方一些强风化、中风化岩层分布较多的城市,则通常采用人工挖坑、挖孔,通过集中岩层中的裂隙水后再排出的方式来降排地下水。

**9.1.4 基坑开挖前的施工场地条件更便于基坑内外降水井的施工组织。**对于部分以地下室顶板为界面层且在开挖前先施工地下室顶板的逆作法基坑工程,还应注意在界面层施工前完成坑内降水井、观测井等的施工及检验,防止在界面层施工后难以实施必要的地下水控制补救措施。

## 9.2 设 计

**9.2.1 本条所述的专项水文地质勘察有别于地下水资源开发项目中的水文地质勘察。**专项水文地质勘察的主要目的是根据逆作法基坑安全施工及周边环境变形控制的要求,采用水文地质测试手段与岩土工程监测相结合的方式,通过现场测试与室内分析掌握施工场地水文地质特性,评估地下水控制的可行性及地下水控制诱发的周边环境变形程度,为围护设计和地下水控制设计及施工提供可靠的参考依据。

专项水文地质勘察常用的现场测试内容有:抽水试验、回灌试验、地表沉降监测、分层孔隙水压监测以及分层沉降监测等。

**9.2.2 周边环境对地下水位变动较为敏感,且由于场地地层条件和基坑工程特点需要采用悬挂式隔水帷幕或进行地下水回灌时,宜采用数值分析方法预测地下水变化及降水对周边环境的**

影响。

**9.2.4 确定减压降水井的间距和深度**，不仅要考虑含水层的埋深、渗透性以及基坑的开挖深度、隔水帷幕的形式及深度，还要充分考虑周边环境保护的要求。

基坑挖深大且降幅大的基坑，其减压降水井的间距相比基坑挖深浅且降幅小的基坑要小；同等埋藏深度下，渗透性强的含水层中的减压降水井深度宜较渗透性差的含水层中的减压降水井浅。周边环境保护要求高的基坑减压降水井深度宜较周边环境保护要求低的基坑减压降水井浅。在设计和施工时，应综合上述多种情况且考虑施工降水过程中单井出水量、用电、排水等因素，通过解析法或数值法计算后综合确定。

任何原因导致减压降水井损坏或丧失正常降水功能，都将对逆作法基坑施工构成潜在危害，具体可表现为坑底隆起、基底顶裂、坑底管涌甚或砂土喷冒等，乃至引发基坑支护结构的整体失稳。因此必须单独设置备用井，应对降水运行中各种突发事件，保障基坑安全。

减压降水场区内设置观测井是为了观测和验证承压水头降幅是否符合不同区段、各工况阶段的标高计算值，也可采用部分未启用抽水的备用井兼作观测井。

**9.2.5 回灌水源的水质要求非常高**。为了防止回灌水源污染地下水，同时避免回灌井因地下水中的金属离子氧化后形成悬浮物堵塞回灌井滤管，通常采用自来水进行回灌，但这既不经济也是水资源的一大浪费。目前国家级“抽灌一体”地下水控制工法，利用降排出的地下水经过沉淀、曝气氧化、物理吸附以及锰砂过滤等一系列处理措施，降低水中杂质和易氧化的化学物质含量，达到处理后高于原地下水水质的标准，再回灌至含水层中。一方面保障了回灌水源的水质，保持了回灌的持久性；另一方面减少了地下水资源的浪费，节约了经济成本。

**9.2.6 逆作界面层施工完成后**，场地内管井的补设施工较为困难，采用钢管能够较大幅度地降低逆作法基坑工程施工过程中对

降水井的破坏。根据实践经验，钢管侧壁承压强度不应小于 0.6MPa，对应外径为 273mm 的井管壁厚约为 4mm。减压降水管井的重要性比疏干降水管井更高，因此减压降水管井钢管壁厚要求更高。

### 9.3 施工与检测

**9.3.1** 基坑外侧排水系统的平面布置示意可参考图 18，集水井和过路排水沟宜采用预制板覆盖，三级沉淀池宜采用钢丝网片覆盖。

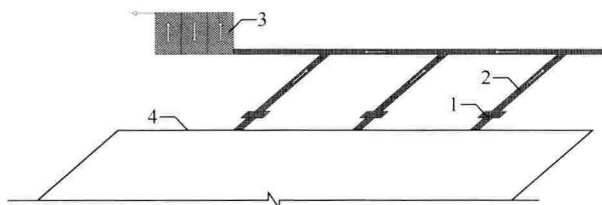


图 18 基坑外侧排水系统平面布置示意

1—集水井；2—过路排水沟；3—三级沉淀池；4—逆作法工程基坑

**9.3.3** 轻型井点立面构造示意可参考图 19。

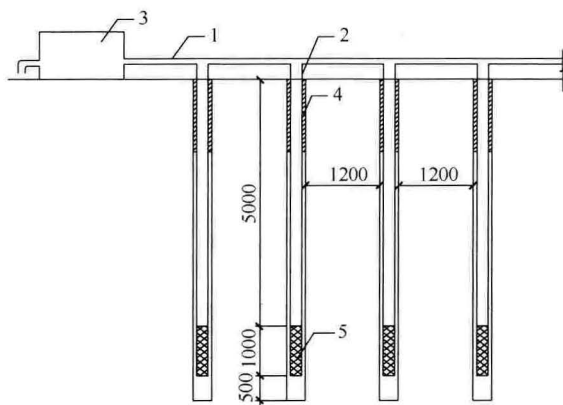


图 19 轻型井点立面构造示意

1—轻型井点总管；2—轻型井点支管；3—真空泵；4—黏土；5—滤管

9.3.4~9.3.7 真空疏干降水管井、减压降水管井、回灌管井的井结构立面示意可参考图 20。

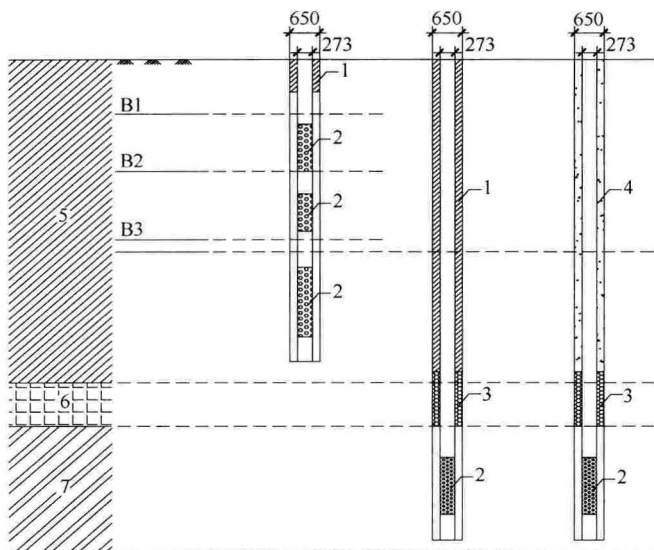


图 20 管井结构立面示意

1—黏土；2—滤水管；3—黏土球；4—混凝土；5—潜水含水层；

6—相对隔水层；7—承压水含水层

9.3.8 逆作区内降水井管割除工作繁复，且降水井管割除后一般覆盖在逆作梁板下，不便于持续抽水和开挖过程中的保护。如能在开挖过程中不割除井管或选择不割除井管的降水方法，可降低施工过程中的劳动强度，同时延长降排水时间，降低降水井的破坏率。

9.3.9 降水井管的保护措施除了合理设置降水井的位置外，还包括降水井的侧向固定。对于受保护的降水井，应在各层楼板或支撑上搭设降水井的安全操作平台，并采取措施使降水井管与各层楼板、支撑作可靠的侧向固定。降水井的安全操作平台示意图见图 21 和图 22。

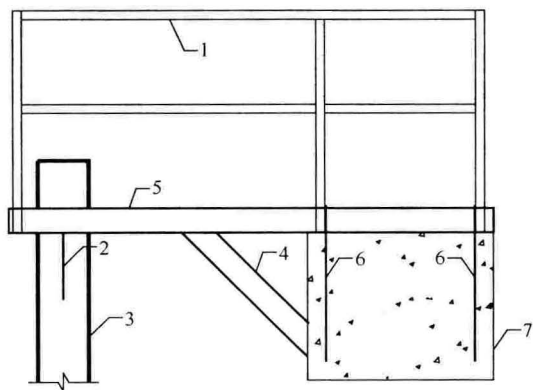


图 21 降水井安全作业操作平台

1—脚手架；2—斜撑钢筋；3—降水井；4—斜撑；  
5—外挑角钢；6—预埋钢筋；7—混凝土支撑

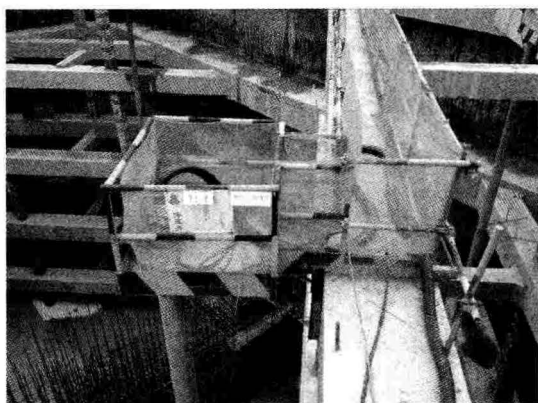


图 22 搭设完成的降水井安全作业操作平台

**9.3.10** 降水目的含水层（组）的水位降幅不小于 2.0m 且降水目的含水层（组）中的管井最大流量大于  $6\text{m}^3/\text{h}$  时，降水运行风险较大。

地下水控制运行常见的风险类型包括水位异常风险、用电异常风险以及设备异常风险等。针对这些风险，实行全过程地下水

控制运行信息化管理，便于动态监控地下水控制运行状况，提前预判并处理地下水控制运行风险。同时也是建立分析地下水控制对周边环境影响数据库的重要措施。

水位异常包括未达到设计要求的降水深度，引起坑内流砂、管涌或承压水突涌的风险；或者过度降水，引起周边环境的变形。因此，在地下水控制运行过程中应加强坑内外水位的监测，并设置水位异常报警值。

用电异常包括供电电压不稳定或断电。用电异常造成降水不能持续进行，导致承压水位迅速恢复，引发坑内承压水突涌的风险；因此，在减压降水地下水控制运行过程中应实现用电异常的报警以及备用电源的智能控制。备用电源的智能控制应根据需求，在用电异常时智能切换至备用电源，并延时启动各减压降水管井；用电恢复正常时智能切换回原供电电源，并启动各减压降水管井。

抽水泵异常包括抽水泵的自然损坏或人为损坏，导致个别管井不能正常降水。在地下水控制运行过程中需考虑备用井并安装备用抽水设备，在设备出现异常时切换至备用井中的备用设备，保证承压水位的降深满足设计要求。

一般来说，设置的地下水控制运行风险控制应达到下列要求：①地下水位自动采集频率不应小于 12 次/h，宜采用远程实时监测；②水位异常报警、用电及抽水泵异常或断电报警反应时间不应大于 10s；③在主电源断电后，备用电源智能切换控制系统应能实现备用电源的自动启动与切换、抽水泵自动延时启动等功能。备用电源额定功率应大于 1.2 倍的减压降水运行最大用电功率。

**9.3.12** 轻型井点孔、喷射井点孔或坑外的抽水井、水位观测井、回灌井等可直接用黏土或混凝土封闭。坑内管井则可以参照下列方式实行封井：

停止降水后井管内稳定水位低于基础底板底的管井，可在浇筑底板垫层前将井口割低至垫层底面位置，井管内采用黏性土或



混凝土充填密实，井口采用钢板焊封后浇筑在垫层面以下。

基础底板浇筑后仍需保留持续降排水的管井时，应采取以下封井措施：①基础底板浇筑前，首先应将穿越基础底板部位的过滤器更换为同规格的钢管；钢管外部应至少焊接一道环形止水钢板，止水钢板外圈应大于井管直径 200mm。②井管内可采取水下浇灌混凝土或注浆的方法进行内封闭。内封闭完成达到止水效果后将基础底板面以上的井管割除。③在残留井管内部管口下方约 200mm 处及管口处分别采用钢板焊封，这两道内止水钢板间浇筑混凝土或注浆。④井管管口焊封后，用水泥砂浆填入基础底板面预留孔洞、抹平。

坑内管井混凝土或注浆封井示意图 23。

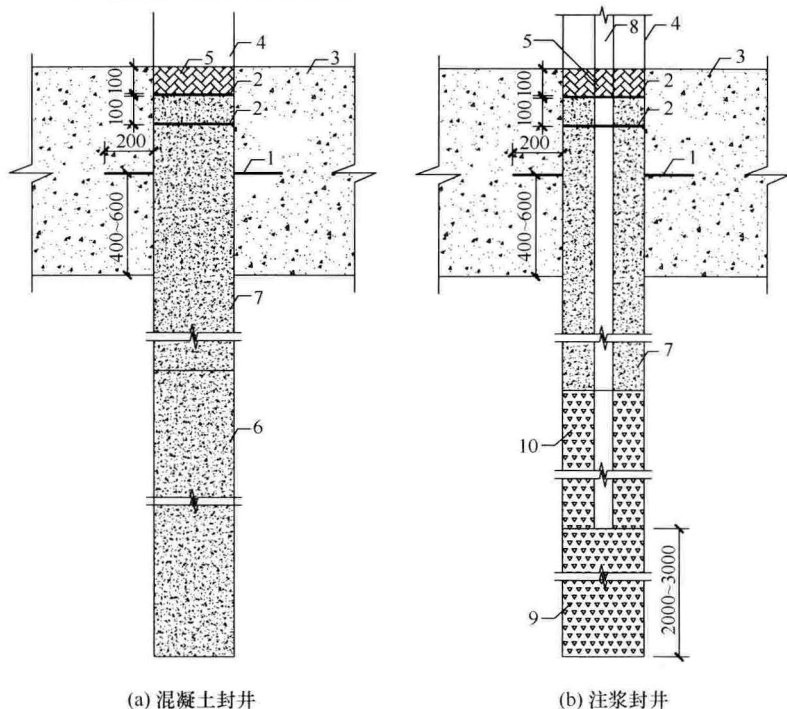


图 23 坑内管井封井示意

1—止水钢板；2—钢盖板；3—基础底板；4—井管；5—抹平砂浆；6—一次浇筑混凝土；7—二次浇筑混凝土；8—注浆管；9—一次回填石硝；10—二次回填石硝

## 10 土方挖运

### 10.1 一般规定

**10.1.3** 开挖下层土方时，上层混凝土结构楼板强度既要达到基坑围护设计要求的强度，还要满足相关施工规范的拆模强度等级要求，如不能满足需采取增设吊杆减小跨度等措施；对于采用无排吊模施工的逆作楼板，因模板及吊杆不拆除，只需要满足围护设计要求的楼板强度。

### 10.2 取土口设置

**10.2.1** 逆作法施工时，为了解决土方外运和施工材料（钢筋、混凝土、排架与模板等）的运输，需要在地下各层楼板结构上留设上下连通的垂直运输孔洞。这些孔洞可以利用设计的结构孔洞（车道进出口、电梯通道等），当已有结构孔洞不能满足垂直运输要求时，必须对楼板结构进行临时开洞，开洞的数量主要取决于日出土量的要求（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  $700\text{m}^3$  左右）。

逆作法施工时，软土地区取土口间的水平净距不宜超过 30m，地下暗挖挖土机有效半径一般为 7m~8m，软土地区地下土方驳运主要依靠挖机翻驳，一般控制在翻驳两次为宜，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 左右，故一般取土口间距不宜超过 30m；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，地铁车站取土口需结合结构诱导缝进行布置。

在满足结构受力的情况下，宜加大取土口的面积。为增加取土口出土效率，结合长臂挖机的作业需要，大型基坑每个取土口

的面积一般不宜小于  $60\text{m}^2$ 。同时为方便钢筋等材料运输,取土口长度方向不宜不小于  $9\text{m}$ ,对于局部区域无法满足时,取土口对角线长度不应小于  $9\text{m}$ 。

## 10.3 土方开挖

**10.3.9** 大量监测资料表明,当基坑开挖至设计标高后,围护墙的位移将以较大的速率持续发展,直至垫层、底板换撑完成,变形速率才趋小,位移才得以控制。因此缩短基坑暴露时间,对于控制围护墙位移至关重要。对软土地区的大面积基坑工程,采取分区、分块开挖和分段施工地下水平结构的方法,可大大缩短基坑无支撑暴露时间,进而起到控制围护变形、减小环境影响的作用。

## 10.4 土方水平与垂直运输

**10.4.3** 在施工平台层取土时,可选用长臂挖机、伸缩臂挖机、抓斗、取土架、传输带等将土方垂直提升至地面层。垂直取土与运输机械主要根据挖土深度进行选择。挖机设备的型号不同,其挖土作业深度亦有所不同,一般长臂挖机作业深度为  $7\text{m}\sim 14\text{m}$ ,伸缩臂挖机为  $7\text{m}\sim 19\text{m}$ ,升降机作业深度可达  $30\text{m}$  以上。

**10.4.4** 车辆的垂直升降设备系统一般由动力机组、钢架、轿厢(吊篮)、减速机、传力系统(钢丝绳和滑轮组)、刹车组及电气电路等组成。钢架应有足够的支撑力,宜设置在工程桩上,动力机组通过传力系统实现对轿厢的升降,土方车辆通过轿厢的垂直运输出入地下室开挖面。

# 11 监 测

## 11.1 一 般 规 定

### 11.1.2 传统的监控方式存在如下不足：

1 及时性较差。从测量结束到采取措施，需要时间过长，这对管理人员及时了解具体监测数据，判断工程建设的安全性及发展趋势是不利的。

2 资源共享性差。参建各部门相互之间孤立，数据共享性差，相互沟通不便。

3 数据管理能力差。各种工程资料、工程文档的保存、查询很不方便。这对于工程进展情况的查询、工程问题的解决以及工程经验的总结等都是不利的。

4 数据直观性差、数据分析能力差。报表往往是由一个个孤立的数据组成的，虽然可以反映当日的数据变化量，但是比较抽象，很不直观。不便于管理人员发现数据的变化规律和发展趋势；不便于管理人员对各数据相互验证，判断数据的真实性。

对于逆作法基坑，由于其本身工艺特点，对监测提出了较高的要求。采用监控信息化管理系统可以加强对监测数据与各种工程现象及施工工况的关联分析，充分利用现有的分析理论和计算工具，可以分析和预测各种规律和发展趋势，优化施工工艺，降低工程费用，减少对周边环境的影响，确保工程安全。

监控信息化管理系统实现了集中监控，使监测结果反馈更具有时效性，能更好地为动态设计、信息化施工服务。

## 11.2 监测项目、测点布置及报警值

11.2.1 根据现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的规定，逆作法基坑支护结构的安全等级定为一级。本标准表

11.2.1 只规定了逆作法基坑围护结构、主体结构的监测项目，基坑周围环境监测项目可根据基坑周围的环境情况，参照现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定执行。

逆作法监测应从基坑围护结构施工开始，至地下结构施工完成为止；当工程需要时，应延长监测周期。在基坑工程的施工期和使用期内，应由有经验的监测人员每天对基坑工程进行巡视检查。基坑工程施工期间的各种变化具有时效性和突发性，加强巡视检查是预防基坑工程事故简便、经济且有效的方法。

**11.2.2** 基坑边缘以外 1 倍~3 倍基坑开挖深度范围内需要保护的建筑、管线、道路、人防工程等均应作为监控对象。

**11.2.3** 基坑各条边的中部和阳角处变形相对较大，所以中部、阳角处宜设测点。为了便于监测，水平位移观测点宜同时作为垂直位移的观测点。为了测量观测点与基线的距离变化，基坑每边的监测点不应少于 3 点。观测点设置在围护墙顶上，有利于观测点的保护和提高观测精度。

**11.2.4** 在逆作施工阶段，支承柱的竖向变形主要包括两个方面，一方面是基坑开挖卸荷引起的支承柱向上的回弹隆起，另一方面是在已施工完成的水平结构和施工荷载等竖向荷重加载作用下发生的沉降。支承柱竖向位移的不均匀会引起水平结构梁板或支承体系的附加应力。若支承柱间或支承柱与围护墙间有较大的沉降差，会使支承体系偏心受压，从而引发工程事故。因此支承柱竖向位移的监测特别重要，而明确支承柱的差异沉降规律需要足够数量的支承柱竖向位移测点，故对于支承柱沉降监测点数量的要求更高一些。监测点应布置在支承柱受力、变形较大和容易发生差异沉降的部位。

**11.2.6** 在逆作法工程中，结构梁、板是支撑体系重要组成部分。水平力主要由结构梁板承担，梁板还将承受自重以及施工荷载等。在逆作法工程中，结构梁、板处于十分复杂的应力状态下，可能会受到弯矩、剪力和扭矩的共同作用。因此，对于结构梁、板的内力监测是十分必要的。

若局部楼板缺失，结构开洞位置的边梁起到了部分腰梁的作用，因此有必要在部分该类梁中布置应力测点，在测得应力的同时，为测得该梁是否存在挠曲情况，宜在上下左右四个侧面分别安装应力计。

**11.2.7** 基坑隆起（回弹）监测点的埋设和施工过程中的保护比较困难，监测点不宜设置过多，以能够测出必要的基坑隆起（回弹）数据为原则。逆作法工程中，布置监测点应根据取土口的位置和面积等因素综合确定。对于有条件的基坑可考虑如下的布点方式：

1 监测点宜按纵向或横向剖面布置，剖面宜选择在基坑的中央及其他能反映变形特征的位置，监测剖面间距宜为 20m～50m，数量不少于 2 条；

2 某一剖面上监测点间距宜为 10m～20m，数量不少于 3 个。

**11.2.9** 基坑工程监测报警不但要控制监测项目的累计变化量，还要注意控制其变化速率。累计变化量反映的是监测对象即时状态与危险状态的关系，而变化速率反映的是监测对象发展变化的快慢。过大的变化速率，往往是突发事故的先兆。因此在确定监测报警值时，应同时给出变化速率和累计变化量。

**11.2.10** 监测报警是预防基坑工程事故、确保基坑及周边环境安全的重要措施。监测报警值是监测工作的实施前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据，因此逆作法基坑工程必须确定监测报警值。监测报警值应根据设计计算结果、地层特征、当地经验等确定。

本条列出的都是工程实践中总结出来的基坑及周边环境的危险情况，一旦出现这些情况，将可能严重威胁基坑以及周边环境中被保护对象的安全，必须立即发出危险报警，通知建设、设计、施工、监理及其他相关单位及时采取措施，保证基坑及周边环境的安全。当采用上下同步逆作法施工时，支承柱差异沉降达到 10mm 时应报警，并适当控制向上同步施工的速度。

## 11.3 监控信息化管理

**11.3.1** 监控信息化管理系统的安装、调试是实施监控信息化管理的前提条件，除了要保证网络畅通、监控信息化管理系统硬件及软件的正常工作以外，还需对监测人员进行监测数据上传至监控信息化管理系统的培训，以及其他系统用户的使用培训，保证工程各方用户对于系统的熟练使用。

**11.3.3** 监控信息化管理系统应具有对人工采集的数据进行合理性校检，对自动采集的数据进行过滤的功能，并应具有安全性分析和趋势判断功能。监控信息化管理系统宜能根据监测数据预估施工对围护结构、水平结构、竖向支承结构、周边环境的影响，并根据设定的报警值进行预报警。

**11.3.4** 对于监控信息化管理，监测数据上传的及时性是十分重要的。

监测数据的真实、完整、有效是判断基坑与周围环境安全与否的前提，严禁监测人员编造数据，严禁漏报、瞒报监测数据。当监测数据达到或超过报警值时，基坑或者周围环境已经处于不利状况，数据上传的及时性更为重要，如果数据上传滞后，可能会丧失采取应急措施的宝贵时间。如果不具备上传数据的条件，监测人员应通过其他方式上报监测数据，例如通过电话、传真、人工送达等方式。

基坑施工的工况信息是十分重要的，监测数据应当与工况相匹配。仅有监测数据，无法准确地反映基坑和周围环境的状况，从而无法对工程的安全状态作出准确评估，而且在没有工况信息的情况下，无法判断监测数据的真实性、准确性。

## 12 施工安全及作业环境控制

### 12.2 通风排气

**12.2.4** 对于挖土机作业面和电焊作业面等废气集中排放的区域，宜采用系统功效高、废气污染面小的强制排风方式。

### 12.3 照明及电力设施

**12.3.1** 根据现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 要求，无自然采光的地下室大空间施工场所应编制专项照明用电方案。

**12.3.4** 逆作法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；当局部照明难以满足施工及安全要求时，必须和一般照明混合配置。施工现场照明设置应符合现行国家标准《建筑照明设计标准》GB 50034 的规定。

**12.3.5** 标准灯架搭设示意如图 24 所示。

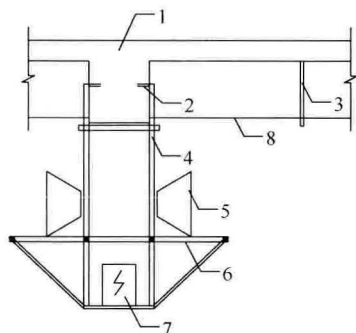


图 24 标准灯架搭设示意

1—结构楼板；2—植筋；3—支架；4—钢筋；

5—照明灯具；6—夹板；7—电箱；8—电线



**12.3.6** 水平线路可利用永久使用阶段的管线预埋在楼板中，竖向线路可沿支承柱预埋管路（图 25）。

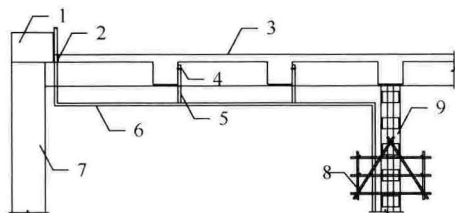


图 25 预埋管示意

1—压顶梁；2—预留孔；3—结构楼板；4—膨胀螺栓；

5—角钢；6—预埋管路；7—地下连续墙；

8—电箱架；9—钢立柱

## 附录 A 逆作法结构连接节点构造

**A.0.1** 由于两墙合一地下连续墙在正常使用阶段作为永久地下室外墙，这就涉及地下连续墙与主体结构构件的连接、与主体结构的沉降协调、墙体在正常使用阶段的整体性能等一系列问题，因此需要采用一整套的构造措施，以满足正常使用阶段地下连续墙与主体结构连接节点的受力要求。

地下连续墙与主体结构的连接通常分为：钢筋接驳器连接、剪力槽预埋件焊接、预埋插筋连接、钻孔植筋连接等方法。墙梁节点施工时应根据设计要求和意图采取相应的连接方法。地下连续墙与地下结构梁板之间通常设置贯通的结构环梁，并通过预埋钢筋、剪力槽等方式与结构环梁连接。

地下连续墙内预埋钢筋接驳器及剪力槽与结构底板形成刚性连接，同时为解决后浇筑基础底板与地下连续墙之间的止水问题，在地下连续墙内还可留设通长布置遇水膨胀橡胶止水条的止水措施；根据基坑的开挖深度以及基础底板所处土层的渗透性情况，可在基础底板与地下连续墙之间留设通长注浆管，对二者结合面进行注浆补强处理。

**A.0.3** 逆作法工程中竖向支承柱通常较多采用角钢格构支承柱和钢管混凝土支承柱两种形式，以下分别针对角钢格构支承柱和钢管混凝土支承柱与结构梁的钢筋连接方式予以说明。

### 1 角钢格构支承柱

角钢格构支承柱一般由四根等边的角钢和缀板拼接而成，角钢的肢宽以及缀板会阻碍梁主筋的穿越，根据梁截面宽度、主筋直径以及数量等情况，梁柱连接节点一般有钻孔钢筋连接法、传力钢板法以及梁侧加腋法。

1) 钻孔钢筋连接法是为便于框架梁主筋在梁柱阶段的穿

越，在角钢格构支承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、主筋直径较小且数量较少的情况下适用，但由于在角钢格构支承柱上钻孔有截面损伤，因此该方法应通过严格计算，确保截面损失后的角钢格构支承柱截面承载力满足要求时方可使用。

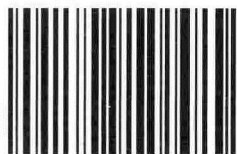
- 2) 传力钢板法是在格构柱上焊接连接钢板，将受角钢格构支承柱阻碍无法穿越的框架梁主筋与传力钢板焊接连接的方法。该方法的特点是无需在角钢格构支承柱上钻孔，可保证角钢格构支承柱截面的完整性，但在施工第二层及以下水平结构时，需要在已经处于受力状态的角钢上进行大量的焊接作业，因此施工时应应对高温下钢结构的承载力降低因素给予充分考虑，同时由于传力钢板的焊接，也增加了梁柱节点混凝土密实浇筑的难度。
- 3) 梁侧加腋法是通过在梁侧面加腋的方式扩大梁柱节点位置梁的宽度，使梁的主筋得以从角钢格构支承柱侧面绕行贯通的方法。该方法回避了以上两种方法的不足之处，但由于需要在梁侧面加腋，梁柱节点位置大梁箍筋尺寸需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。

## 2 钢管混凝土支承柱

钢管混凝土利用钢管和混凝土两种材料在受力过程中的相互作用，即钢管对其核心混凝土的约束作用，使混凝土处于复杂的应力状态之下，不但提高了混凝土的抗压强度，提高其竖向承载力，而且还使其塑性和韧性性能得到改善，增大其稳定性。因此钢管混凝土支承柱适用于对支承柱竖向承载力要求较高的逆作法工程。与角钢格构支承柱不同的是，钢管混凝土支承柱由于为实腹式的，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。在工程中应用比较多的连接节点主要有环梁节点、传力钢板法以及双梁节点等。

- 1) 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，其后框架梁主筋锚入环梁，而不必穿过钢管柱。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。
- 2) 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。该方法与角钢格构柱的传力钢板法类似也应对高温下钢结构的承载力降低因素给予充分考虑。
- 3) 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。



1 5 1 1 2 3 1 4 2 5

统一书号：15112 · 31425  
定 价： 32.00 元