

重庆市工程建设标准

山地建筑工程逆作法技术标准

Technical specification for top-down construction method  
of mountain area building engineering

DBJ50/T-381-2021

主编单位：重庆建工集团股份有限公司

重庆建工第九建设有限公司

批准部门：重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期：2021年5月1日

2021 重 庆

# 重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2021〕4号

重庆市住房和城乡建设委员会  
关于发布《山地建筑工程逆作法技术标准》的  
通知

各区县(自治县)住房城乡建委、两江新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《山地建筑工程逆作法技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-501-2021,自 2021 年 5 月 1 日起施行。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆建工集团股份有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2021年2月10日

# 重庆工程建设

## 前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达2019年度重庆市工程建设标准制订修订项目立项计划(第一批)的通知》(渝建标[2019]11号)文件要求,标准编制组广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国家标准,并在广泛充分征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.结构分析;5.围护结构设计;6.竖向支承结构设计;7.水平支撑结构设计;8.逆作法施工;9.监测。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆建工集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈给重庆建工集团股份有限公司设计研究院(重庆市九龙坡区谢家湾工农四村58号,邮政编码:400042,电话:023-86902153;传真:023-86902171,网址:www.cceg.cn)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主编单位：重庆建工集团股份有限公司

重庆建工第九建设有限公司

参编单位：中铁二十二局集团第五工程有限公司

中国建筑第二工程局有限公司

重庆华硕建设有限公司

重庆渝发建设有限公司

中建五局第三建设有限公司

重庆交通建设(集团)有限责任公司

重庆中天海建设工程(集团)有限公司

重庆财信建筑工程(集团)有限公司

重庆建筑工程职业学院

重庆建工住宅建设有限公司

重庆水利电力职业技术学院

主要起草人：于海祥 侯庆 林正雄 郭长春 赵岫

周雪梅 崔斌 邓启华 黄亮 刘锐

金锦阳 覃川 张意 王飞 李春涛

廖劲松 刘彬 张庆明 赵俊刚 朱弟军

龚小明 徐光伟 梁松 吴渝玲 杨兰

侯小英 刘燕 杨雅会 王钰龙 李洋

冷春 刘畅 黄雷 李忠洪 彭阳

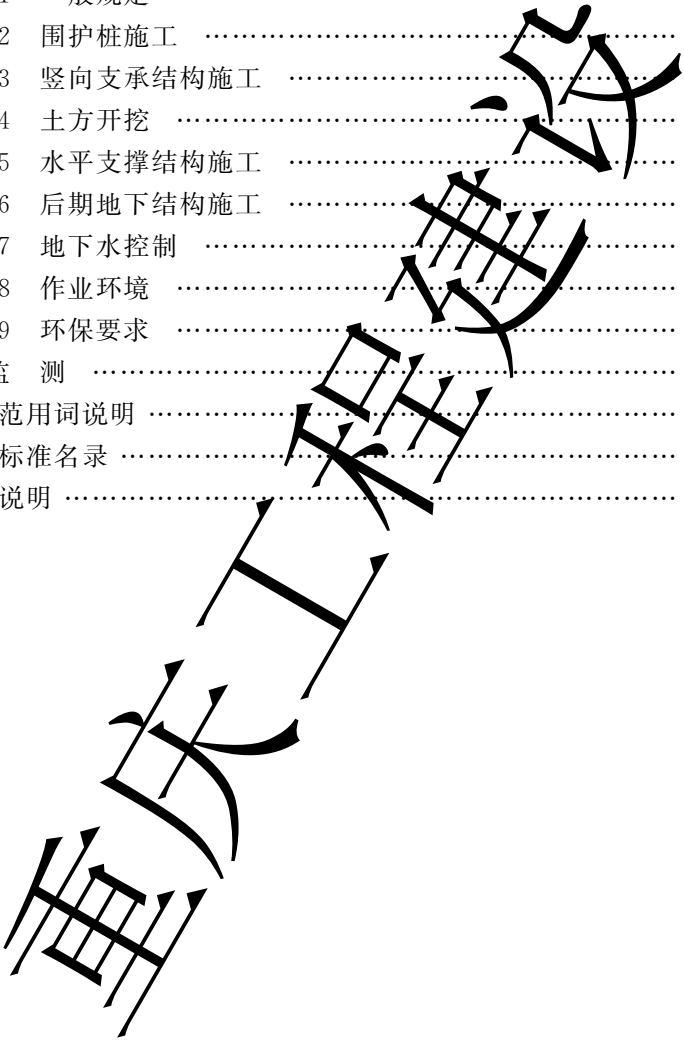
审查专家：张京街 姚刚 邓小华 薛尚玲 肖正直

谭建国 邹时畅

# 目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	勘察与环境调查	10
3.3	方案选型	12
3.4	设计原则	14
4	结构分析	20
4.1	荷载和作用	20
4.2	内力及变形计算	21
5	围护结构设计	25
5.1	一般规定	25
5.2	围护桩	25
5.3	桩墙合	27
6	竖向支承结构设计	30
6.1	一般规定	30
6.2	支承柱	31
6.3	支承桩	36
6.4	连接构造	37
7	水平支撑结构设计	40
7.1	一般规定	40
7.2	结构布置	40
7.3	构件设计	46

7.4 连接构造 .....	48
8 逆作法施工 .....	55
8.1 一般规定 .....	55
8.2 围护桩施工 .....	57
8.3 竖向支承结构施工 .....	57
8.4 土方开挖 .....	62
8.5 水平支撑结构施工 .....	66
8.6 后期地下结构施工 .....	68
8.7 地下水控制 .....	70
8.8 作业环境 .....	70
8.9 环保要求 .....	72
9 监测 .....	74
本规范用词说明 .....	83
引用标准名录 .....	84
条文说明 .....	85





# Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	4
3	Basic requirements .....	7
3.1	General requirements .....	7
3.2	Geotechnical investigation and environmental investigation .....	10
3.3	Type selection .....	12
3.4	Design principles .....	14
4	Analysis of structure .....	20
4.1	Load and action .....	20
4.2	Internal force and deformation calculation .....	21
5	Design of retaining structure .....	25
5.1	General requirements .....	25
5.2	Pile wall .....	25
5.3	Dual-purpose pile wall .....	27
6	Design of vertical supporting structure .....	30
6.1	General requirements .....	30
6.2	Supporting column .....	31
6.3	Supporting pile .....	36
6.4	Connection details .....	37
7	Design of horizontal support structure .....	40
7.1	General requirements .....	40
7.2	Structural layout .....	40

7.3	Design of member .....	46
7.4	Connection details .....	48
8	Construction by top-down method .....	55
8.1	General requirements .....	55
8.2	Construction of retaining pile .....	57
8.3	Construction of vertical support .....	57
8.4	Earth excavation .....	62
8.5	Construction of horizontal support structure .....	66
8.6	Construction of post-constructed underground structure .....	68
8.7	Groundwater control .....	70
8.8	Operation environment .....	70
8.9	Environmental protection requirements .....	72
9	Monitoring .....	74
	Explanation of wording in this standard .....	83
	List of quoted standards .....	84
	Explanation of provisions .....	85

# 1 总 则

1.0.1 为规范山地建筑工程中逆作法技术的应用,做到技术先进、绿色环保、安全可靠,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于重庆地区采取逆作法技术的地下建筑工程的勘察、设计、施工与监测。

1.0.3 采取逆作法技术的建筑工程的设计与施工,应综合考虑工程地质与水文地质、周边环境、基坑规模、开挖深度、主体结构类型及施工技术条件,并结合地区经验,注重概念设计,严格监测与控制,做到动态设计和信息化施工。

1.0.4 采取逆作法技术的山地建筑工程的勘察、设计、施工与监测,除应符合本标准的规定外,尚应符合现行国家及重庆市有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 逆作法 top-down method

利用主体地下水平结构的全部或部分作为地下结构施工期间基坑支护结构,自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的施工方法。

#### 2.1.2 全逆作法 full top-down method

利用全部区域地下各层水平结构替代水平内支撑,自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的施工工法。

#### 2.1.3 部分逆作法 partial top-down method

利用部分区域地下水平结构替代水平内支撑,自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的施工工法。

#### 2.1.4 上下同步逆作法 synchronous construction of super-structure and substructure

向下逆作施工地下结构的同时,同步向上顺作施工界面层以上结构的施工工法。

#### 2.1.5 界面层 interface layer

地上地下结构同步施工时,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。

#### 2.1.6 逆作范围 top-down construction area

在部分逆作法施工中,地下结构楼盖参与基坑支护,且采取自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的结构区域。

#### 2.1.7 开放式基坑 non-enclosed excavation pit

山地建筑地下施工中,由于地形起伏造成的部分区域周边边坡缺失的三面基坑、单面基坑,或者基坑各边的边坡高差较大的

基坑。开放式基坑一般采用踏步式逆作工艺。

#### 2.1.8 踏步式逆作 step top-down construction

将周边迎土侧若干跨楼盖分台阶从上至下采用逆作施工,余下的区域待地下结构底板施工完成后逐层向上顺作,并与周边逆作结构衔接完成整个地下结构的施工方法。

#### 2.1.9 跃层逆作 striding across top-down construction

在适当的地质环境条件下,根据计算结果,通过局部楼板加强及适当的施工措施,在确保安全的前提下,跳过地下一层或两层楼盖结构进行土方开挖后再实施水平楼盖的逆作施工方法。

#### 2.1.10 先期地下结构 pre-constructed underground structure

逆作阶段基础底板未形成之前施工的界面层以下地下水平结构和地下竖向结构。

#### 2.1.11 后期地下结构 post-constructed underground structure

基础底板施工完成之后再行施工的界面层地下水平结构和地下竖向结构。

#### 2.1.12 围护结构 exterior protected structure

在逆作法施工中对周边土体起支挡作用的结构体系。

#### 2.1.13 桩墙合一 dual-purpose pile wall

围护桩兼作基坑围护桩和主体地下结构外墙的一部分的工艺。

#### 2.1.14 内衬墙 inner chemise wall

在桩墙合一的逆作法设计中在排桩内侧构筑的墙体,并与排桩共同构成复合式叠合结构作为永久承重外墙的夹心墙体。

#### 2.2.15 临时斜抛撑 temporary batter support

当地下结构层高较高时或采用跃层逆作时,为增强支撑结构体系的水平支撑承载力和抗侧移刚度而设置的临时斜向支撑结构。

#### 2.1.16 支承结构体系 supporting system

逆作法设计中用于承担结构自重,施工荷载和侧向土压力的结构体系,包括竖向支承结构和水平支撑结构。

### 2.1.17 竖向支承结构 vertical supporting structure

逆作期间用于支承施工阶段竖向荷载及主体结构竖向荷载并将其传递到地基的竖向结构,一般由竖向支承桩和竖向支承柱组成。

### 2.1.18 一次成型混凝土支承柱 one-time concrete column

在人工挖孔桩护壁内一次浇筑成型,无需后期外包混凝土的钢筋混凝土或型钢混凝土、钢管混凝土竖向支承柱。

### 2.1.19 先插法 pre-inserting method

竖向支承柱施工过程中,先安装竖向支承柱和支承桩的钢筋笼,其后整体浇筑支承桩混凝土的竖向支承结构施工方式。

### 2.1.20 后插法 post-inserting method

竖向支承柱施工过程中,先浇筑支承桩混凝土,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结构施工方式。

### 2.1.22 逆作施工平台 top-down construction layer

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。

## 2.2 符号

### 2.2.1 荷载和荷载效应

$S_d$ ——作用基本组合的效应(弯矩、轴力、剪力等)设计值;

$S_k$ ——标准组合的效应设计值;

$S_{G_{ik}}$ ——第  $i$  个永久荷载标准值  $G_{ik}$  计算的荷载效应值;

$S_{Q_{1k}}$ ——第 1 个可变荷载(主导可变荷载)  $Q_{1k}$  计算的荷载效应值;

$S_{Q_{jk}}$ ——第  $j$  个可变荷载标准值  $Q_{jk}$  计算的荷载效应值;

$N$ ——柱底端的轴向压力设计值。

### 2.2.2 材料性能和抗力

$C$ ——变形、沉降、裂缝宽度等的限值；

$E_c$ ——混凝土弹性模量；

$f_c$ ——混凝土抗压强度设计值

$f_u$ ——栓钉材料的极限抗拉强度最小值；

$f_y$ ——钢材屈服强度；

$N_v^s$ ——单个圆柱头栓钉的受剪承载力设计值；

$R_d$ ——结构构件的抗力设计值；

$R_k$ ——结构构件的的抗力标准值；

$\tau$ ——格构柱表面与混凝土之间的粘结强度设计值。

### 2.2.3 几何参数

$A_g$ ——角钢格构柱的横截面面积；

$A_{st}$ ——栓钉钉杆截面面积；

$A_b$ ——支承柱承压底板面积；

$D$ ——钢管外径；

$e$ ——轴压偏心距；

$H$ ——已完成的最下层地下水平结构底至挖土面的距离；

$H_{eq}$ ——等效开挖深度；

$H_1$ ——基坑深度；

$H_2$ ——坑中坑深度或坑内留土高度；

$l_0$ ——支承柱的计算长度；

$l$ ——支承柱施工阶段各工况下的几何长度；

$l_d$ ——支承柱插入桩内的深度；

$r_c$ ——钢管混凝土核心混凝土半径；

$S_h$ ——栓钉横向间距；

$S_v$ ——栓钉竖向间距；

$t$ ——钢管壁厚；

$u$ ——角钢格构柱各分肢横断面周边长度之和；

$W$ ——基坑开挖留土顶部宽度；

$X$ ——基坑开挖留土底部宽度；

$\lambda_1$ ——缀板柱的分肢长细比；

$\lambda_{\max}$ ——构件两方向长细比(对虚轴取换算长细比)较大值。

#### 2.2.4 计算系数

$K$ ——安全系数；

$\theta$ ——钢管混凝土套箍系数；

$\mu$ ——考虑柱端约束条件的支承柱计算长度系数；

$\alpha$ ——围护结构等效开挖深度折算系数；

$\gamma_0$ ——支护结构的重要性系数；

$\gamma_{G_i}$ ——第  $i$  个永久荷载的分项系数；

$\gamma_{Q_1}$ ——第 1 个可变荷载(主导可变荷载)的分项系数；

$\gamma_{Q_j}$ ——第  $j$  个可变荷载的分项系数；

$\psi_{ij}$ ——第  $j$  个可变荷载的准永久值系数；

$\gamma_F$ ——临时支护结构构件基本组合的综合分项系数

$\psi_{c_j}$ ——第  $j$  个可变荷载的组合值系数。



## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 对下列情况的建筑工程,其地下结构施工宜采用逆作法:

1 回填土厚度较大、基坑开挖深度大且面积较大;

2 场地和周边环境条件复杂,基坑壁无法采取坡率法处理,且传统桩、锚等支护方式无法实施或无法满足支护要求;

3 工程体量大、基坑开挖深度大、开挖面积大,且建设工期有特殊要求。

3.1.2 采取逆作法施工的山地建筑工程,其地下结构逆作范围、界面层选择和逆作流程,应根据工程地质条件、水文地质条件、地下建筑结构类型、开挖深度、周边环境、施工条件等因素合理选择。

3.1.3 逆作法宜采用基坑支护结构与主体结构相结合的形式,围护桩墙宜与主体地下结构外墙相结合,采用桩墙合一方式;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。

3.1.4 逆作法设计应具备下列资料:

1 工程勘察报告;

2 场地红线图、场地周边地形图;

3 基坑周边建筑物、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。

3.1.5 逆作法施工中的界面层以下主体结构应满足基坑开挖时作为基坑支护结构工况以及作为地下永久结构工况时的承载力、变形和耐久性的控制要求,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。设计时还应在如下方面考

考虑逆作施工过程对结构在永久使用阶段验算的影响：

- 1 逆作施工阶段支承桩柱间差异沉降；
- 2 先期结构内力等对永久构件结构性能的影响。

3.1.6 逆作施工阶段的结构，应满足下列功能要求：

- 1 基坑安全和地下结构的正常施工；
- 2 基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等设施的安全与正常使用。

3.1.7 基坑支护设计应规定其设计使用期限，支护结构设计使用期限应符合下列要求：

- 1 与主体结构相结合的支护结构构件，应满足主体结构设计使用期限要求。

- 2 基坑支护中的临时支护结构构件，其安全等级为一级时，设计使用期限不应小于2年，其安全等级为二级时，设计使用期限不应小于1年。

- 3 当临时支护结构构件达到其设计使用期限而需继续使用时，应进行安全性评估。

3.1.8 逆作法基坑支护结构的安全等级应符合下列规定：

- 1 地下结构施工期间的临时支撑结构和构件，应按表3.1.8的规定确定安全等级，并确定对应的结构重要性系数。

- 2 基坑支护中与地下主体结构相结合的支护结构构件，其安全等级除符合表3.1.8规定外，尚不应低于地下主体结构的安全等级。

- 3 同一基坑的不同部位或不同构件，可采用不同的安全等级。

表 3.1.8 逆作法基坑临时支护结构的安全等级与结构重要性系数

安全等级	破坏后果	结构重要性系数 $\gamma_0$
一级	支护结构失效、土体过大变形对周边环境或地下主体结构逆作施工安全的影响很严重	1.1
二级	支护结构失效、土体过大变形对周边环境或地下主体结构逆作施工安全的影响严重	1.0

3.1.9 基坑支护设计文件应规定结构逆作施工的流程、支护结构和主体结构的施工顺序、各施工工况、土方开挖控制标高、上部主体结构施工层数控制等要求；基坑施工应严格按照设计规定的逆作流程和工况要求进行。

3.1.10 采用上下同步逆作法的工程，施工方应与主体结构设计方、基坑支护设计方、施工监测方紧密结合，确定具体的上下同步施工流程和主要工况，明确关键结构和节点的施工技术要求和监测重点，并应预先确定下列设计、施工技术措施：

- 1 结合主体结构确定合理的竖向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 选择采用受力明确、施工方便且与永久阶段构件结合良好的施工阶段临时构件和节点形式。

3.1.11 采用上下同步逆作法的建筑结构设计应符合下列规定：

- 1 结构设计应根据施工步骤建立分析模型，应对各工况进行分析；
- 2 地下结构逆作完成之前，上部结构施工层数，应根据桩基的布置和承载力、地下结构状况、上部建筑结构荷载等确定；
- 3 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，应同时符合承载力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

3.1.12 地形起伏较大的山地建筑结构，或开放式基坑条件下的建筑结构，采取逆作法施工时，应充分考虑地下水平结构传递的

两侧不对称基坑土压力,对先期地下结构的不利影响,并宜采取下列逆作工艺:

1 部分逆作法:宜选择基坑深度较大的区段作为逆作范围,其他区段采取顺作施工工艺。

2 踏步式逆作法:宜合理划分平面区域采取部分逆作法施工,结合基坑土体盆式开挖工艺,将中心岛区域顺作形成的结构作为逆作范围内支承结构体系的抗侧加强体系。

3.1.13 对于地质条件较好的山地建筑,可在地下开挖 1-2 层后确定界面层实施自上而下的逆作法施工。

3.1.14 山地建筑逆作法施工必须设置基坑围护结构,主体结构的水平构件应作为围护结构的水平支撑,当采用桩墙合一设计时,应选择与主体结构沉降相适应的岩土层作为排桩的持力层。

3.1.15 地下水丰富地区,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。

3.1.16 逆作法施工土方挖运应结合地下结构布置的特点,合理组织水平结构施工与土方开挖的流水作业,及时浇筑水平结构对基坑形成有效支撑,并应符合下列要求:

1 流水施工分块大小应综合考虑结构流水及挖土的时间要求。

2 在符合设计开挖工况的前提下,应加快地下水平结构的施工速度,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。

3.1.17 逆作法基坑工程应对基坑支护体系、地下结构和周边环境进行全过程监测,实行动态设计和信息化施工,做好周边环境保护工作。

## 3.2 勘察与环境调查

3.2.1 逆作法工程的岩土勘察应查明下列内容:

1 基坑及周边场地的土层分布、岩土物理力学指标和工程设计参数；

2 地下水的类型、埋藏深度、水位、补给条件及动态变化情况；有承压水时，应分层测量其水头高度；

3 查清填土、暗浜、古河道及废弃建(构)筑物等地下障碍物的分布、埋深及对基坑工程的影响；

4 查清场地内溶洞、土洞和其它洞穴的分布及填充情况，分析评价其对逆作法基坑的影响；

5 当地下水的变化或承压水的水文地质特性对基坑工程有较大影响时，应进行专门的水文地质勘察。

3.2.2 逆作法工程设计时，当已有岩土工程勘察资料不能满足逆作法工程需要时，应进行补充勘察，勘察应具备下列资料：

1 建设用地建筑红线范围、拟建工程平面布置、建筑坐标；

2 拟建工程结构特征、基础类型及埋置深度；

3 相邻建筑的建成时间、基础类型和埋深、上部结构现状及道路、地下管线情况。

3.2.3 基坑勘察范围、勘探孔数量及布置、勘探孔深度、勘探取土孔数量及取土试样数量、室内试验和原位测试要求等，应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和地方标准《重庆市工程地质勘察规范》DBJ 50/T-043 的规定，并应符合下列规定：

1 岩土工程勘察应根据地下建筑逆作要求，重点查明支承结构、基坑围护结构影响范围内工程地质及水文地质条件；

2 岩土工程勘察报告应结合逆作法工程的特点，除应满足一般岩土工程勘察报告内容要求外，尚应对工程逆作法的可行性、合理性进行综合评价，预测逆作过程中可能产生的岩土工程问题，并有针对性地提出治理措施和建议。

3.2.4 基坑工程勘察成果应重点反映下列内容：

1 应提供各土层土的物理力学指标、土的固结快剪强度指标及三轴固结不排水抗剪强度指标；

2 对淤泥及淤泥质土,宜提供土的原位十字板抗剪强度;应进行有机质含量试验,提供有机质含量;

3 对砂土、粉土以及夹薄砂层或粉土层的粘性土,应进行室内渗透试验,必要时应进行现场抽水试验,确定竖直向渗透系数值和水平向渗透系数值;当存在承压水且可能影响基坑安全时,应测定承压水水头及水头随季节的变化;

4 应提供土的侧向基床系数与比例系数。

3.2.5 基坑周边的环境调查应包括下列内容:

1 基坑影响范围内建(构)筑物的性质、结构类型、基础形式和建成时间,以及沉降变形和损坏情况等使用状况;

2 基坑影响范围内各类地下管线的类型、材质、分布、埋深、使用状况及对振动和变形的承受能力等;

3 基坑周边道路的类型、等级和车辆行驶密度及载重情况;

4 雨季时基坑周边地面和地表水的汇集、排放条件以及变化情况;

5 相邻工程建设进度及影响,包括桩基施工、基坑支护、土方开挖及施工降水等。

### 3.3 方案选型

3.3.1 山地建筑工程逆作法可根据工程实际情况选取下列逆作形式:

1 根据逆作结构范围的不同,可采取全逆作法和部分逆作法。

2 根据地质条件和土体稳定性条件,可采取逐层逆作法和跃层逆作法。

3 根据作业条件和水平支撑结构的完整性,可采取梁板逆作法和框架格梁逆作法。

4 根据基坑规模大小,可采取踏步式逆作法或整体逆作法。

### 3.3.2 山地建筑逆作方案选型宜遵循以下原则：

1 对全埋式地下结构或上部建筑为多层、小高层结构，且采用框架结构体系时，宜选用全逆作法方案。

2 当上部建筑由多层裙楼和高层或超高层塔楼组成时，宜采用裙楼结构逆作、塔楼结构顺作的部分逆作法方案；在施工顺序组织上，宜采用先裙楼结构逆作施工、后塔楼结构顺作的方案；当塔楼结构工期较紧时，也可采用先塔楼结构顺作、后裙楼结构逆作的方案，但应对塔楼基坑进行先期围护，先期围护可采用下列方式：

- 1) 对基坑采取盆式开挖，将盆底开挖至塔楼基顶标高，为塔楼顺作施工提供条件，并在周边基坑边坡上进行裙楼地下结构台阶式逆作法施工；
- 2) 采取围堰等其他形式的环形先期围护结构。

3 对多层裙楼或小高层结构，当施工工期要求较高时，宜采用上、下结构同步施工的逆作法方案。

### 3.3.3 山地建筑逆作法结构的选型应综合考虑下列因素：

- 1 基坑平面形状、尺寸和开挖深度；
- 2 工程地质和水文地质条件；
- 3 基坑周边环境条件及其对基坑变形的控制要求；
- 4 上部主体结构的高度、层数、荷载、结构体系和结构布置等情况；
- 5 地下主体结构基础的布置形式；
- 6 工程经济指标及施工工期要求；
- 7 施工场地条件，施工工艺的可行性和施工质量的可靠性，施工过程的环境影响等。

### 3.3.4 山地建筑工程逆作法设计中，支承结构体系与基坑围护结构的选型和布置应符合下列规定：

1 基坑周边围护结构宜与地下结构外墙相结合，采用桩墙合一方式进行布置；

- 2 竖向支承结构应根据施工条件由计算确定支承形式；
- 3 竖向支承柱应充分结合山地地质条件进行选型,可采用一次成型混凝土支承柱；

4 水平支撑体系应利用主体地下结构的水平梁、板结构进行布置;当利用地下主体结构水平梁、板结构布置无法满足基坑支护结构受力和变形控制要求时,应局部增设临时支撑构件；

5 当为开放式基坑时,宜对先期地下结构采取抗侧移加强措施；

6 取土口、材料运输口、通风口等预留洞口的开设,应根据逆作阶段的施工组织要求,结合地下结构平面形状和主体结构梁、板结构布置形式,在对水平支撑结构进行内力变形计算的基础上作优化分析,确定最优布置方案。

**3.3.5** 上下同步逆作法工程中,地上地下结构同步施工的界面层应选择刚度大、传力可靠的地下水平结构层;对于剪力墙或核心筒逆作的逆作法工程,界面层宜选择结构嵌固层以下的地下水平结构层;当界面层非地下结构顶板时,应对开挖至界面层的围护桩悬臂工况采取针对性设计与施工措施,控制该工况下基坑的变形。

**3.3.6** 地上地下结构同步施工的逆作施工平台宜选择地下结构顶板,当选择其他层水平结构作为逆作施工平台时,应设置基坑外自然地坪至逆作施工平台的施工坡道。

### 3.4 设计原则

**3.4.1** 逆作法设计应包括下列内容：

- 1 逆作方案选型、逆作流程及施工工况设计；
- 2 基坑围护结构设计,包括基坑稳定性验算,支护结构的内力、变形和承载力计算；
- 3 支承桩的沉降计算、差异沉降控制措施；



4 水平支撑结构体系布置,竖向支承结构体系布置,取土口和材料运输口的留设、施工栈桥、逆作施工平台的布置及相应的结构加强措施等;

5 围护结构、地下水平支撑结构和竖向支承结构之间的节点和构造设计以及防水设计;

6 先期地下结构与后期地下结构的接缝处理措施;

7 施工阶段临时构件的设置、拆除方式以及与主体结构受力转换设计;

8 地下水控制及降排水设计,土方开挖的技术要求;

9 基坑周边环境分析及保护措施,基坑监测内容及要求,应急措施及技术要求等。

3.4.2 逆作法的结构设计应充分考虑施工顺序、开挖方式、出土位置、周边环境和施工进度等因素。

3.4.3 采用逆作法的结构,应根据逆作施工和永久使用两个阶段的受力、变形等进行综合计算分析。基坑开挖阶段的围护结构、竖向支承结构以及先期地下结构的设计应在主体结构设计的基础上进行,并应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。

3.4.4 逆作施工阶段的设计计算应考虑以下荷载和作用:

1 水平荷载和作用

1) 逆作施工阶段的土压力、水压力;

2) 地面超载及开挖影响范围内的建(构)筑物引起的侧压力;

3) 受邻近工程施工的影响;

2 竖向荷载和作用

1) 逆作施工阶段结构构件的自重;

2) 取土、运土、材料堆放等作用于逆作构件上的施工荷载。

3.4.5 逆作施工阶段应进行下列极限状态的设计计算和验算:

## 1 承载能力极限状态

- 1) 基坑稳定性计算,包括基坑整体稳定性,支护结构抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性,墙底土体和坑底土体抗隆起稳定性计算,抗渗流稳定性、抗承压水突涌稳定性计算等;
- 2) 支护结构构件在逆作施工阶段的承载力和稳定性计算,包括受弯、受剪、受扭、受压承载力和稳定性的计算等。

## 2 正常使用极限状态

- 1) 支护结构构件的变形计算;
- 2) 竖向支承结构的沉降计算;
- 3) 造成基坑周边建(构)筑物、道路、地下管线及其他保护设施损坏或影响其正常使用的土体变形计算;
- 4) 与主体结构相结合的混凝土支护结构构件的抗裂验算。

3.4.6 对于与主体结构相结合的支护结构构件,除应进行逆作施工阶段的极限状态设计计算外,尚应按现行国家和地方有关标准的规定进行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计算,并应符合主体结构的有关构造设计要求。

3.4.7 逆作法支撑结构体系和围护结构的内力和变形宜采用考虑空间作用的整体分析方法。当施工与使用阶段构件的使用条件变化时,应按最不利情况验算。

3.4.8 承载能力极限状态设计时,应符合下列规定:

1 支护结构构件的承载能力极限状态应按下式要求进行计算:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.4.8-1)$$

式中: $\gamma_0$ ——支护结构的重要性系数,对安全等级为一级、二级的支护结构,按本标准第 3.1.8 条的规定采用;

$S_d$ ——作用基本组合的效应(弯矩、轴力、剪力等)设计值;

$R_d$ ——结构构件的抗力设计值。

2 基坑稳定性应按下式要求进行计算和验算：

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \quad (3.4.8-2)$$

式中： $R_k$ ——稳定分析时的抗力标准值；

$S_k$ ——稳定分析时标准组合的效应设计值；

$K$ ——安全系数。

3.4.9 正常使用极限状态设计时，支护结构构件的变形和裂缝宽度、由基坑周边建（构）筑物和道路管线设施控制的土体变形、竖向支承结构的沉降等，应符合下式要求：

$$S_d \leq C \quad (3.4.9)$$

式中： $S_d$ ——作用标准组合或准永久组合的效应（变形、沉降、裂缝宽度等）设计值；

$C$ ——变形、沉降、裂缝宽度等的限值。

3.4.10 逆作施工阶段基坑支护设计时，作用组合的效应设计值应符合下列规定：

1 承载力极限状态下，对与主体结构相结合的支持结构构件，其基本组合的效应设计值  $S_d$  应按以下两式的不利值确定：

$$S_d = \sum_{i=1}^n \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_{Q_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{j=2}^m \gamma_{Q_j} \psi_{e_j} S_{Q_{jk}} \quad (\text{可变荷载效应控制时}) \quad (3.4.10-1)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^n \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \sum_{j=1}^m \gamma_{Q_j} \psi_{e_j} S_{Q_{jk}} \quad (\text{永久荷载效应控制时}) \quad (3.4.10-2)$$

对临时性支护结构构件，其基本组合的效应设计值  $S_d$  也可采用简化规则按下式确定：

$$S_d = \gamma_F S_k \quad (3.4.10-3)$$

式中： $\gamma_{G_i}$ ——第  $i$  个永久荷载的分项系数；

$S_{G_{ik}}$ ——第  $i$  个永久荷载标准值  $G_{ik}$  计算的荷载效应值；

$\gamma_{Q_1}$  ——第1个可变荷载(主导可变荷载)的分项系数;  
 $S_{Q_{1k}}$  ——第1个可变荷载(主导可变荷载) $Q_{1k}$ 计算的荷载效应值;

$\gamma_{Q_j}$  ——第 $j$ 个可变荷载的分项系数;  
 $S_{Q_{jk}}$  ——第 $j$ 个可变荷载标准值 $Q_{jk}$ 计算的荷载效应值;  
 $\psi_{cj}$  ——第 $j$ 个可变荷载 $Q_j$ 的组合值系数,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用;

$\gamma_F$  ——临时支护结构构件基本组合的综合分项系数,取值不应小于1.25;

$S_k$  ——标准组合的效应设计值,按式(3.4.10-4)、(3.4.10-5)计算。

2 正常使用极限状态下,标准组合的效应设计值 $S_k$ 应按下式确定:

$$S_k = \sum_{i=1}^n S_{G_{ik}} + S_{Q_1} + \sum_{j=2}^m \psi_{cj} S_{Q_{jk}} \quad (3.4.10-4)$$

正常使用极限状态下,准永久组合的效应设计值 $S_d$ 应按下式确定:

$$S_k = \sum_{i=1}^n S_{G_{ik}} + \sum_{j=1}^m \psi_{uj} S_{Q_{jk}} \quad (3.4.10-5)$$

式中: $\psi_{uj}$  ——第 $j$ 个可变荷载的准永久值系数,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用。

3.4.11 逆作施工阶段基坑支护设计时,对与主体结构相结合的支护结构构件,基本组合的荷载分项系数,应根据支护结构的类型,按国家现行结构设计标准的规定取值,并应符合下列规定:

1 当永久荷载效应对结构有利时,永久荷载分项系数取值不应大于1.0。

2 当楼面活荷载、施工荷载对结构有利时,其可变荷载分项系数应取0.0。

3 对于临时支护结构构件,其基本组合的综合分项系数取值应不小于1.25。

**3.4.12** 支护结构和基坑周边土体变形应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合进行计算。对于与主体地下结构相结合的支护结构构件,其变形控制值不应大于主体结构设计对其变形的限值。支护结构水平位移控制值、基坑周边土体变形控制值的确定,应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

**3.4.13** 对于基坑支护结构中主体地下结构相结合的钢筋混凝土结构构件,其最大裂缝宽度应按荷载效应的标准组合并考虑长期作用进行计算。除特殊要求外,可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定,按环境类别选用不同的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值。

**3.4.14** 竖向支承桩柱的沉降应按荷载效应的准永久组合(不计入风荷载)进行计算。支承桩的计算差异沉降应符合本标准第 6 章对支承桩的沉降控制要求。

## 4 结构分析

### 4.1 荷载和作用

**4.1.1** 作用在围护结构上的土压力、水压力计算方法及土的物理力学指标应根据围护结构与土体的位移情况,采取的施工措施、岩土特性,按照现行行业标准《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120 的规定计算取值,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应取主动土压力;需要严格限制支护结构的水平位移时,可取静止土压力。

2 采用围护结构与主体结构相结合的方案时,地下结构正常使用期间,作用在围护结构外侧的土压力宜取静止土压力。

**4.1.2** 桩墙合一的围护桩墙在施工阶段承受的竖向荷载应包括围护桩自重、上部结构竖向荷载以及地下结构楼板传递的部分荷载。

**4.1.3** 水平支撑结构在施工阶段承受的水平荷载应包括围护桩传来的支点反力,竖向荷载应包括水平支撑结构自重、活荷载以及逆作施工平台、栈桥等传递的施工荷载。

**4.1.4** 竖向支承结构在施工阶段承受的竖向荷载应包括水平支撑结构梁板自重、板面活荷载以及逆作施工平台、栈桥等传递的施工荷载。

**4.1.5** 逆作法施工各层可变荷载标准值应按照实际情况确定,且基坑周边地面超载标准值不应小于  $20\text{kN/m}^2$ ;界面层逆作施工平台施工活荷载标准值不应小于  $10\text{kN/m}^2$ ,楼面施工活荷载标准值不应小于  $3\text{kN/m}^2$ 。施工堆载、栈桥等行车荷载应综合考虑施工组织、场平布置等因素另行确定,车辆运输通道的施工荷载不宜小于  $30\text{kN/m}^2$ 。

4.1.6 上下同步逆作法设计中,荷载取值除应符合本标准第4.1.5条的规定外,尚应考虑下列荷载:

1 同步向上施工层数较多时,应进行风荷载验算,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 外挂脚手重量应按实际考虑,但取值不得小于 $1.5\text{kN/m}^2$ 。

3 对于超长结构应考虑温度变化和材料收缩的影响。

4.1.7 逆作施工平台、栈桥上,对搬运和装饰材料、车辆启动和刹车等的动力效应,当按静力方法计算时,应将材料或车辆设备的自重乘以1.1~1.3的动力系数。

4.1.8 逆作法设计在确定施工荷载时,应考虑下列情况:

1 应根据逆作法施工方案和采用的机械设备、取土及运输车辆情况,并应考虑地下结构顶板和基坑四周的施工荷载和堆载进行设计荷载组合。

2 应充分考虑运土的重量所产生的荷载。

3 应考虑在施工荷载超载时,结构容许采用临时支撑保证基坑安全与稳定。

4.1.9 逆作法设计应根据结构各阶段的施工工序、步骤及施工进度,确定结构设计的各个工况对应的结构形式、荷载;设计应规定防止机械挖土出现超挖、土压力超过围护支撑结构抗力等危及结构安全的情况。

## 4.2 内力及变形计算

4.2.1 逆作法结构的计算应考虑空间作用、时间效应和施工顺序等因素的影响。

4.2.2 逆作法设计中应考虑下列施工因素对结构计算的影响:

1 地下结构的钢筋混凝土楼盖施工采用土胎模时,宜考虑

地基土的变形对楼盖结构的影响,并宜在结构设计中考虑。

2 当地下水平结构采用支架法支模施工时,各计算工况下的开挖计算深度应考虑支模架高度;

3 基坑开挖各阶段其他施工因素对基坑计算深度的影响。

4.2.3 围护结构内力计算应充分考虑地下结构的梁板布置以及施工条件等因素,按下列规定合理确定计算模型,进行各种工况下的计算分析:

1 围护结构在水平荷载作用下的内力和变形宜采用弹性支点法。

2 当围护结构空间效应明显时,宜采用空间弹性支点法;当需分析基坑开挖对周围环境的影响时,宜采用连续介质有限元法。

4.2.4 采用弹性支点法计算围护结构的内力和变形时,应符合下列规定:

1 水平支撑结构的弹性支点刚度系数宜通过对水平支撑结构进行整体分析,根据得到的支点力与水平位移的关系确定。

2 坑边留土以及坑中坑开挖对围护结构约束的影响,宜根据地区经验采用修正土体侧向基本系数与比例系数予以考虑,或按本标准第 4.2.5 条的规定采用等效开挖深度方法。

4.2.5 围护结构受坑内留土和考虑坑中坑影响时,可按等效开挖深度方法计算围护结构的内力和变形。等效开挖深度可按下式计算(图 4.2.5)。

$$H_{\text{eq}} = H_1 + H_2 - \alpha X \quad (\text{式 } 4.2.5)$$

式中: $H_{\text{eq}}$ ——等效开挖深度(m);

$H_1$ ——基坑深度(m);

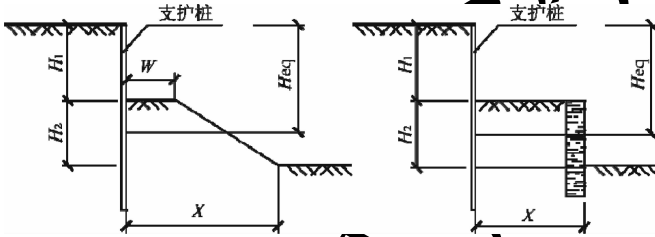
$H_2$ ——坑中坑深度或坑内留土高度(m);

$X$ ——留土底部宽度(m),当坑内采用放坡方式留土时,对于淤泥及淤泥质土,应满足  $W \geq X - 3H_2$ ;对于可塑、硬塑性粘土或粉、砂性土,应满足  $W \geq X - H_2$ ;



$W$ ——留土顶部宽度(m)；

$\alpha$ ——折算系数。对于淤泥及淤泥质土,当采用放坡方式留土时, $\alpha$ 可取 0.1~0.15,当采用搅拌桩或旋喷桩留土时, $\alpha$ 可取 0.2。对于可塑、硬塑性粘土或粉、砂性土,当采用放坡方式留土时, $\alpha$ 可取 0.2~0.3。



(a)坑内留土示意图

(b)坑中坑留土示意图

图 4.2.5 坑内留土和考虑坑中坑开挖对围护墙等效开挖深度影响图

4.2.6 水平支撑结构和竖向支承结构的内力、变形计算,应符合下列规定:

1 水平支撑结构与竖向支承结构的内力和变形应采用三维空间模型进行整体分析计算。

2 作用于水平支撑结构周边的水平荷载应取按本标准第 4.2.4 条计算得到的支点反力。

3 当水平支撑结构采用梁板体系且楼板开口较多时,可仅考虑梁的作用,按空间杆系结构进行计算。

4 当需考虑水平支撑结构中板的作用时,楼板宜采用壳单元或平面膜单元进行模拟,并参与结构整体计算。

5 当地下结构楼板存在较大高差形成错层时,结构模型应能反映楼板错层的受力特点,不应合并成一层进行计算。

6 地上和地下结构同步施工时,应对同步施工的上部结构与下部结构一起进行整体分析计算。

4.2.7 当计算围护结构与竖向支承桩柱之间、支承桩柱与支承桩柱之间的差异沉降引起主体结构构件的附加内力和变形时,宜将围护结构、水平支撑结构和竖向支承结构作为一个整体,将其

下地基土视为基础结构的竖向支承弹簧,采用整体分析法进行计算分析。

**4.2.8** 采用地上地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等构件和实际工况。

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全工况模拟分析。

3 根据整体分析结果对相关结构构件进行复核,必要时应进行加强设计。

## 5 围护结构设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 围护结构设计应包含下列内容：

- 1 选型及布置；
- 2 内力及变形分析；
- 3 截面计算与构造设计；
- 4 围护结构与主体结构之间的连接设计。

5.1.2 山地建筑采取逆作法时，基坑围护墙宜采用排桩，回填土、软土地区可采用地下连续墙、咬合桩等其他形式的围护墙。

5.1.3 围护结构宜采用桩墙合一的形式，围护桩宜与地下结构外墙组成复合外墙。

5.1.4 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盖的施工空间要求。

### 5.2 围护桩

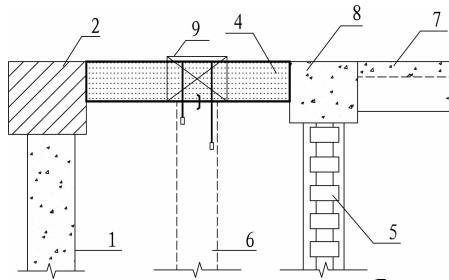
5.2.1 支护排桩仅作为临时围护结构时，应符合下列规定：

- 1 灌注桩直径不宜小于 600mm，混凝土强度等级不应低于 C25；
- 2 灌注桩的垂直度偏差不应大于 1/150；
- 3 主筋保护层厚度不应小于 35mm，水下灌注桩的主筋保护层厚度不应小于 50mm；
- 4 当地下水丰富时，灌注桩外侧宜设置截水帷幕。

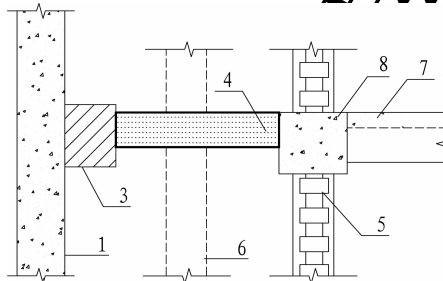
5.2.2 支护排桩仅作为临时围护结构时，排桩与地下结构之间

应设置可靠的水平传力构件(图 5.2.2),并应符合下列规定:

- 1 围护墙与地下结构外墙之间宜留设不小于 1m 的距离。
- 2 应在排桩顶部设置冠梁(压顶梁),并在对应于各层水平支撑结构标高处设置围檩梁(腰梁),冠梁应采用钢筋混凝土结构,围檩梁应根据水平支撑结构的类型选用钢结构或钢筋混凝土结构。
- 3 冠梁截面宽度不应小于排桩直径,截面高度不宜小于 400mm,冠梁混凝土强度等级不宜小于 C25。
- 4 地下结构外墙在地下结构顶板处应与冠梁间应设置水平传力构件;在地下结构的中板和底板处,应与围护桩围檩梁之间应设置水平传力构件;传力构件的型号、间距应根据计算确定,其中心宜对应内部结构梁中心线。
- 5 水平传力构件可采用临时钢支撑或型钢与混凝土组合支撑,也可采用混凝土支撑(刚性板带),在围护桩与地下结构外墙之间密实回填后方可拆除临时传力支撑体系。
- 6 采用混凝土刚性板带作为水平传力构件时,板厚不应小于地下水平结构楼板厚,在底板处可取 200mm 厚,以保证侧向水平力的有效传递。
- 7 水平传力构件应与排桩之间的冠梁或围檩梁通过预留设插筋、预埋件等方式可靠连接。
- 8 水平传力构件设置时,应同时预留设地下水平结构与周边后浇区地下结构外墙之间的插筋,并在水平支撑构件穿越后施工地下结构外墙处做好止水措施。



(a) 排桩与地下结构顶板连接



(b) 排桩与地下各层楼板连接

图 5.2.2 临时围护排桩与地下结构间的水平传力构件

1-围护桩；2-冠梁；3-围檩梁；4-水平传力构件；5-竖向支承柱；

6-后期浇筑地下结构外墙；7-先期浇筑梁板；8-边环梁；9-预设外墙顶圈梁

5.2.3 密布排桩仅作为临时围护结构时，应做好排桩与地下结构外墙之间的防水、排水设计。

### 5.3 桩墙合一

5.3.1 桩墙合一外墙的设计与计算应考虑在逆作施工阶段和永久使用阶段不同的荷载作用状况和结构状态，应满足各种情况下的承载力极限状态和正常使用极限状态的设计要求，后一阶段应叠加荷载增量引起的内力。

5.3.2 灌注桩排桩采取桩墙合一形式时，设计应符合下列规定：

- 1 地下结构外墙可紧贴灌注桩面层；也可在地下结构外墙

与灌注桩面层之间设置保温、防水等衬垫层,当设置衬垫层时,应在排桩与地下结构之间设置可靠的水平传力构件,并应将衬垫层与地下结构外墙之间采用混凝土填充。

2 排桩与地下结构外墙组成的复合外墙,施工阶段其排桩宜作为围护结构进行计算,使用阶段桩墙应作为两个构件共同受力,结合面不承受剪力,排桩和内衬墙应按各自独立刚度分配所承受荷载,分别进行验算。

3 排桩应满足永久结构耐久性要求。

4 有人防要求的地下结构,排桩与地下结构外墙组成的复合地下结构外墙应按人防设计要求满足抗核爆强度与早期防辐射的要求。

**5.3.3** 桩墙合一时,排桩与地下结构外墙之间,应在围护桩形成的墙体内侧表面设置喷射混凝土或现浇细石混凝土面层作为桩间土防护,并应符合下列要求:

1 面层厚度不宜小于 100mm,混凝土强度等级不宜低于 C30,面层内应设置钢筋网或钢丝网。

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,钢筋纵横向间距不宜大于 200mm,挂网钢筋可采用预埋插筋或植筋。

3 当桩间土有流失现象时,应在面层施工阶段填实桩间空隙。

4 喷射混凝土面层直接作为地下结构外墙外模时,平整度允许偏差宜为 5mm。

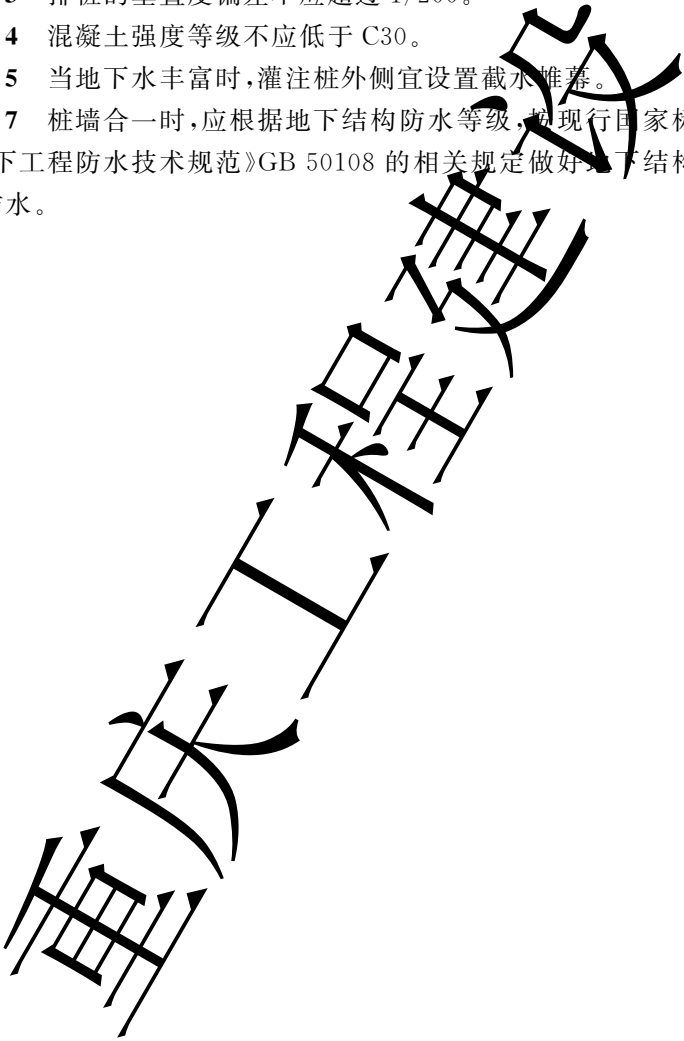
**5.3.4** 桩墙合一时,内侧现浇地下结构外墙厚度不应小于 300mm,迎水面保护层厚度不应小于 70mm,迎坑面保护层厚度不应小于 50mm,混凝土强度等级不宜低于 C30。

**5.3.5** 桩墙合一时,围护桩与主体结构之间宜设置结构连接措施,当复合墙体承受竖向荷载较大时,宜采取桩端后注浆措施。

**5.3.6** 桩墙合一时,灌注桩排桩应符合下列构造要求:

- 1 排桩之间的净距不宜超过 300mm。
- 2 主筋保护层厚度不应小于 50mm。
- 3 排桩的垂直度偏差不应超过 1/200。
- 4 混凝土强度等级不应低于 C30。
- 5 当地下水丰富时,灌注桩外侧宜设置截水帷幕。

5.3.7 桩墙合一时,应根据地下结构防水等级,按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定做好地下结构外墙防水。



## 6 竖向支承结构设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 竖向支承桩柱的选型与布置应综合考虑主体结构布置、逆作形式及逆作施工期间的受荷大小等因素。

6.1.2 竖向支承结构宜与地下主体结构构件相结合。当支承桩柱结合地下主体结构柱、墙及其工程桩进行布置时，支承桩柱的定位宜与地下主体结构的柱、墙及其工程桩的定位相一致。

6.1.3 角钢格构支承柱、钢管支承柱、钢管混凝土支承柱等钢支承柱，需在后期地下结构施工阶段通过外包混凝土形成主体结构框架柱时，支承柱的形式、截面应与主体结构的梁、柱截面相协调。

6.1.4 竖向支承结构设计应包括下列内容：

- 1 支承柱、支承桩的选型及布置；
- 2 支承柱的承载力及稳定性计算；
- 3 支承桩的承载力及桩身强度计算；
- 4 支承柱的变形和支承桩的沉降验算；
- 5 支承柱与支承桩之间的连接构造设计。

6.1.5 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，并应同时满足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。

6.1.6 竖向支承柱的内力分析可采取不同施工阶段的荷载增加值和截面特性按线性叠加的方法进行内力分析，并应考虑逆作施工期间部分受拉钢筋或钢柱受拉部分由于先期压应力的存在可能达不到设计强度的影响。



## 6.2 支承柱

6.2.1 竖向支承桩柱宜采用一根结构柱位置布置一根支承柱和支承桩的形式,当无法满足逆作阶段的承载力与变形要求时,也可采用一根结构柱位置布置多根支承柱和支撑桩形式。

6.2.2 竖向支承柱可选用角钢格构柱、H型钢柱、钢管桩或钢管混凝土柱等形式。当地下结构层数较多或采用地上、地下同步施工,竖向支承柱在逆作施工阶段承受的竖向荷载较大时,宜采用钢管柱或钢管混凝土柱等形式。

6.2.3 当场地具备采用人工挖孔桩施工条件时,可采用在桩护壁内一次成型混凝土支承柱。

6.2.4 采用灌注桩作支承桩时,钢支承柱截面尺寸应满足下部灌注桩混凝土浇筑要求。当支承柱采用角钢格构柱时,其边长不宜小于 420mm;采用钢管混凝土支承柱时,钢管外径不宜小于 500mm。

6.2.5 采用一根结构柱位置布置一根支承柱和支承桩的形式时,支承柱及界面层结构布置应符合下列要求:

1 支承柱截面形心及中心线方向宜分别与主体结构柱截面形心及中心线方向一致。

2 上下同步逆作时,支承柱之间宜在界面层设置纵横向连系梁。连系梁宜与界面层主体结构框架梁相结合进行布置,梁中心线宜与支承柱截面中心线重合,梁截面高度不宜小于跨度的  $1/12$ ,梁宽宜大于上部框架柱宽度。

6.2.6 采用一根结构柱位置布置多根支承柱和支撑桩的形式时,应符合下列要求:

1 地下各结构楼层荷载应通过设置承台板或承台梁作为托梁均匀传递至各支承柱(图 6.2.6-1)。

2 采用上下同步逆作法施工时,应在界面层设置转换厚板

或转换梁,对逆作阶段上部结构框架柱进行托换(图 6.2.6-2)。转换厚板或转换梁之间宜设置纵横向连系梁,梁截面高度不宜小于跨度的 1/10,梁宽宜大于上部框架柱宽。当连系梁与界面层主体结构框架梁相结合进行布置时,梁配筋应贯通转换厚板或转换梁。

3 界面层以上主体结构柱插筋应贯通界面层转换厚板或转换梁并向下延伸,延伸长度应能满足界面层以下后期施工主体结构柱竖向钢筋的连接要求。

4 地下各层的承台板或承台梁、界面层转换厚板或转换梁、临时支承柱等,应在地下主体结构构件施工完成并达到设计强度后方可拆除;临时支承柱应自上而下、分批对称进行拆除。

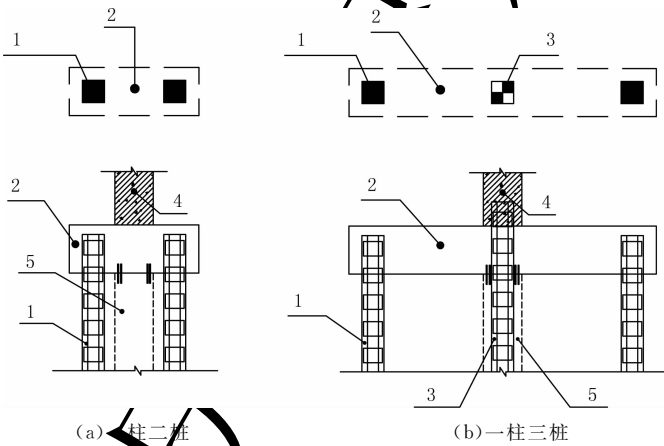


图 6.2.6-1 一根结构柱位置布置多根支承桩柱的结构布置  
1-临时支承柱;2-托梁;3-永久支承柱;4-上部结构柱;5-后浇筑框架柱

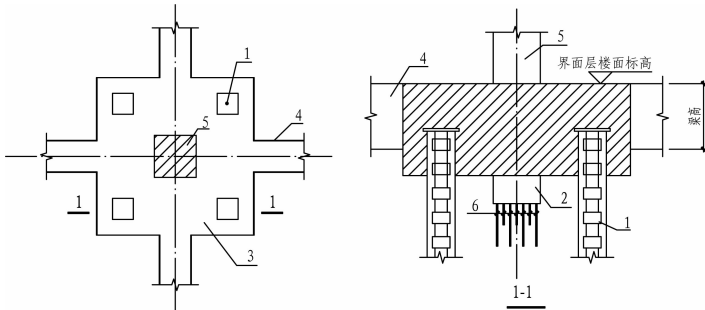


图 6.2.6-2 上下同步逆作施工时界面层转换结构布置

1-支承柱;2-下部结构柱;3-转换厚板;4-界面层结构梁;5-上部结构柱;6-预留柱主筋

### 6.2.7 上下同步逆作时,支承柱设计应满足下列要求:

- 1 框架柱部位宜原位设置支承柱,向上同步施工层数较高的结构宜采用钢管混凝土支承柱或双轴刚度接近的型钢支承柱。
- 2 剪力墙部位宜原位对中布置临时支承柱托换。
- 3 非原位设置临时支承柱应采用格构柱或型钢柱,并应在界面层设置临时托换梁(板)托换。

### 6.2.8 逆作施工阶段的支承柱计算应符合下列规定:

1 逆作施工期间各工况下支承柱的内力和变形,应采用对应于该工况时已施工的地下楼层结构、支撑结构和地上楼层结构按空间整体模型的分析计算结果。

2 支承柱应按双向偏心受压构件进行截面承载力计算和稳定性验算,支承柱内力设计值应取逆作施工期间各工况下的最不利内力组合设计值,并应计入支承柱轴向压力在偏心方向因存在初始偏心距引起的附加弯矩。

3 初始偏心距应根据支承柱平面位置和垂直度允许偏差确定,且不应小于 30mm 和偏心方向截面尺寸的 1/25 两者中的较大值。

4 轴向压力和双向弯矩作用下的角钢格构柱、H 型钢柱、钢管柱,其截面承载力和稳定性应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 进行计算;钢管混凝土柱的截面承载力和稳定性应

按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 进行计算；一次成型混凝土柱应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行计算。

**6.2.9** 当支承柱在后期地下结构施工阶段,采用外叠混凝土二次成型方法施工时,由于存在叠合构件,宜按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定,考虑芯柱应力与外叠合部分应力的应力比对永久结构框架柱承载力和变形性能的不利影响。

**6.2.10** 逆作施工阶段各工况下支承柱受压计算长度,应综合考虑支承柱与地下水平结构之间的连接构造、支承柱与下部支承柱之间的连接构造、支承柱与支承桩孔之间的回填处理方式等因素,按下列公式计算确定(图 6.2.10):

$$l_0 = \mu l \quad (6.2.10-1)$$

中间开挖工况以及开挖最后工况且地基为软土时,  $l = \max\{1.2H, (H+2)\}$  (6.2.10-2)

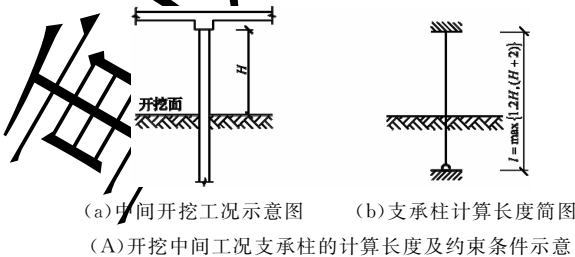
开挖最后工况且地基为硬土或基岩时,  $l = H$  (6.2.10-3)

式中:  $l_0$  —— 支承柱的计算长度(m);

$l$  —— 支承柱逆作阶段各工况下的几何长度(m);

$H$  —— 已完成的最下层地下水平结构底至挖土面的距离(m);

$\mu$  —— 考虑柱端约束条件的支承柱计算长度系数,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。



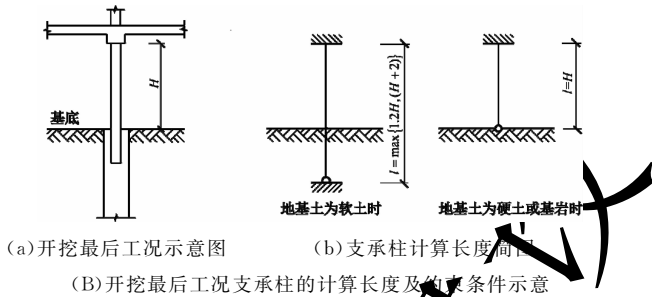


图 6.2.10 支承柱计算长度

6.2.11 钢管混凝土支承柱的钢管宜采用直缝焊接管或无缝管，焊缝应采用对接熔透焊，焊缝强度不应低于管材强度，焊缝质量应符合一级焊缝标准。

6.2.12 钢管混凝土支承柱应符合下列构造要求：

- 1 钢管壁厚  $t$  不宜小于  $8\text{mm}$ 。
- 2 钢管外径与壁厚的比值  $D/t$  不宜大于  $100 \frac{235}{f_y}$  ( $f_y$  为钢材屈服强度，余同)。
- 3 套箍系数  $\theta$  不应小于  $0.5$ ，且不宜大于  $2.5$ 。
- 4 支承柱长径比  $l_0/D$  不应大于  $20$ 。
- 5 轴向压力偏心率  $e/r_c$  不宜大于  $1.0$ ，且不应大于  $1.5$ 。
- 6 混凝土强度等级不应低于 C30。

6.2.13 钢管支承柱的长细比不应大于  $120 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ ，钢管外径与壁厚的比值  $D/t$  不宜大于  $80 \frac{235}{f_y}$ 。

6.2.14 角钢格构支承柱应符合下列构造要求：

- 1 角钢格构柱的长细比(对虚轴取换算长细比)不应大于  $100 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 。

2 宽度较大或缀件面剪力较大的格构式柱，宜采用缀条柱，斜缀条与构件轴线间的夹角应在  $40^\circ \sim 70^\circ$  范围内。缀条柱的分

肢长细比  $\lambda_1$  不应大于构件两方向长细比(对虚轴取换算长细比)较大值  $\lambda_{\max}$  的 0.7 倍。

3 缀板柱的分肢长细比  $\lambda_1$  不应大于  $40\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ ，且不应大于  $\lambda_{\max}$  的 0.5 倍(当  $\lambda_{\max} < 50$  时，取  $\lambda_{\max} = 50$ )。缀板柱中同一截面处缀板(或型钢横杆)的线刚度之和不得小于柱较大分肢线刚度的 6 倍。

6.2.15 支承柱的平面定位中心偏差不应大于 10mm，垂直度偏差不应大于 1/300。

6.2.16 角钢格构柱、钢管柱、钢管混凝土柱等钢支承柱在逆作阶段结束后外包混凝土形成主体结构框架柱时，主体结构柱应考虑钢支承柱的作用，按型钢混凝土组合柱进行设计。

### 6.3 支承桩

6.3.1 支承桩宜采用灌注桩，其设计应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。支承桩宜采用嵌岩端承桩，配筋率宜考虑坑底土体回弹隆起等因素的影响，按计算确定。

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

6.3.3 当采用一根结构柱位置布置多根支承桩和支撑桩的形式时，宜使桩群承载力合力点与主体结构柱的截面中心对齐。

6.3.4 支承桩宜结合主体结构工程桩进行布置，可根据逆作施工阶段的结构平面布置、施工要求和荷载大小，对主体结构局部工程桩的平面定位、桩径和桩长进行适当调整，使桩基设计能同时满足逆作施工阶段和正常使用阶段的受力要求。

6.3.5 支承桩单桩竖向承载力特征值确定时，应扣除基坑开挖段的土体侧摩阻力，并应考虑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起对桩

侧摩阻力和单桩承载力取值的影响。

**6.3.6** 应根据逆作施工阶段和永久使用阶段的不同受力工况，分别对支承桩进行桩基沉降验算。逆作施工阶段支承桩桩基沉降验算宜符合下列规定：

1 当采用一根结构柱位置布置一根支承桩和支撑桩的形式时，可根据相同条件下的单桩静载荷试验得到的  $Q-s$  曲线，取荷载效应标准组合作用下的桩顶轴向力所对应的桩顶沉降除以试桩沉降完成系数后的值，作为支承桩的桩基沉降量。

2 当采用一根结构柱位置布置多根支承桩和支撑桩的形式时，可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》[JGJ 94] 中的等效作用分层总和法进行桩基沉降验算。

3 支承桩沉降验算除应考虑施工阶段竖向荷载之外，尚应考虑基坑开挖卸荷土体回弹隆起的影响。

4 在主体结构基础底板施工之前，相邻支承柱之间、支承桩与邻近围护墙之间的差异沉降不宜大于其水平距离的  $1/400$ ，且不宜大于  $20\text{mm}$ 。

**6.3.7** 当支承桩动态监测沉降超过限值时，应对主体结构内力和变形进行复核。

**6.3.8** 支承桩的平面定位中心偏差不应大于  $10\text{mm}$ ，垂直度偏差不应大于  $1/200$ 。

**6.3.9** 采用泥浆护壁成孔工艺的灌注桩应采用桩端后注浆措施。

## 6.4 连接构造

**6.4.1** 钢管支承柱、钢管混凝土支承柱插入支承桩内的深度可按下列公式计算：

$$l_d \geq \frac{(N - f_c A_b) S_h S_v}{2\pi D N_s^*} \quad (6.4.1-1)$$

$$N_v^s = 0.43A_{st} \sqrt{E_c f_c} \quad (6.4.1-2)$$

$$N_v^s \leq 0.7f_u A_{st} \quad (6.4.1-3)$$

式中： $l_d$ ——支承柱插入桩内的深度；

$N$ ——钢支承柱底端的轴向压力设计值；

$A_b$ ——支承柱承压底板面积；

$S_h$ ——栓钉横向间距；

$S_v$ ——栓钉竖向间距；

$D$ ——钢管外径；

$N_v^s$ ——单个圆柱头栓钉的受剪承载力设计值；

$A_{st}$ ——栓钉钉杆截面面积；

$f_u$ ——栓钉材料的极限抗拉强度最小值；

$E_c$ ——灌注桩桩身混凝土弹性模量；

$f_c$ ——灌注桩桩身混凝土抗压强度设计值。

**6.4.2** 角钢格构支承柱插入支承桩内的深度可按下式计算：

$$l_d \geq \frac{N - f_c A_g}{u\tau} \quad (6.4.2)$$

式中： $A_g$ ——角钢格构柱的横截面面积；

$u$ ——角钢格构柱各分肢横断面周边长度之和；

$\tau$ ——格构柱表面与混凝土之间的粘结强度设计值，可近似取混凝土抗拉强度设计值的 0.7 倍。

**6.4.3** 支承柱插入支承桩部分，应满足下列构造要求：

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。钢管插入混凝土支承桩的深度范围内，栓钉直径不应小于 16mm，长度不应小于杆径的 4 倍，竖向和横向间距不宜大于 200mm，且不应小于杆径的 6 倍。

2 未设置栓钉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 钢管混凝土支承柱，其钢管外侧的混凝土厚度不宜小于 150mm，不应小于 100mm。



4 角钢格构柱的插入深度不应小于 3m；插入深度范围内格构柱的缀条或缀板的截面面积不应减小。

5 桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的桩箍筋应加密，加密区箍筋直径不应小于 8mm，间距不应大于 100mm；当采用钢管或钢管混凝土支承柱时，钢管插入范围及以下 5 倍桩径范围内的桩箍筋应按上述要求进行加密。

6.4.4 对于采用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 200mm，其形状和截面应与结构梁柱截面和钢筋配置相协调，并宜采用设置栓钉等措施保证支承柱与后期外包混凝土之间的整体协同工作。

6.4.5 支承柱与基础承台(底板)及地下各层水平支撑结构之间的连接节点内的钢牛腿、传力钢板等抗剪构件，宜避免在承载状态下的钢管支承柱管壁直接施焊，无法避免时应采取事先在该部位的钢管外侧设置外贴弧形钢板进行加强等措施。支承柱钢结构的焊缝质量和检测要求应符合相关标准和设计的要求。

6.4.6 支承柱在穿越主体结构底板处应设置可靠的止水措施。

6.4.7 支承柱在下部支承桩混凝土超灌高度以上的桩孔空隙内应采用碎石和砂回填密实，并宜增设注浆管对已回填的支承桩桩孔进行注浆填充。

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

6.4.9 当支承柱采用后插法施工时，支承柱与支承桩钢筋笼之间的水平净距应根据支承柱和支承桩的垂直度偏差控制要求以及相关构造要求综合确定，且不应小于 150mm。

## 7 水平支撑结构设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 水平支撑结构宜选择梁板体系或格梁体系。

7.1.2 水平支撑结构应根据逆作施工阶段的平面布置和工况,按水平向荷载和竖向荷载双向作用进行承载力和变形计算,并应同时满足逆作施工阶段和永久使用阶段的承载力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

7.1.3 逆作施工阶段的各层水平支撑结构构件、临时支撑、临时斜抛撑等及其连接节点,其设计和构造应符合国家现行相关标准要求。

7.1.4 当竖向支承桩为非嵌岩桩或非深厚坚硬持力层的桩基时,或一根结构柱设置多根支承桩柱时,水平支撑结构计算时应考虑由支承桩之间差异沉降、竖向支承结构转换等引起的结构次应力,并应采取防止有害裂缝产生的技术措施。

7.1.5 水平支撑结构设计应包括下列内容:

- 1 水平支撑结构体系的选择及布置;
- 2 水平支撑结构体系的内力和变形计算;
- 3 水平支撑结构的承载力极限状态和正常使用极限状态的验算;
- 4 水平支撑结构的连接构造设计。

### 7.2 结构布置

7.2.1 水平支撑结构应结合主体结构布置、逆作阶段受力和变形、周边环境保护及施工等因素合理确定各类预留洞口、逆作范

围、逆作界面层及施工作业层的平面布置等。施工作业层的平面布置应考虑逆作期间的土方挖运、材料运输和堆放、加工场地、施工机械运行通道等因素,平面布置宜环通以便施工机械的交通组织。

**7.2.2** 逆作阶段的取土口、材料运输口及进出通风口等各类预留洞口应按下列原则进行设计:

1 预留洞口的位置应根据主体结构平面布置以及施工平面组织等综合确定,尽量利用主体结构设计的无楼板区域、电梯间以及楼梯间。

2 预留洞口的大小应结合挖土设备作业、施工机具及材料运输等因素确定。

3 洞口的位置不宜设置在边跨及高低跨处,如无法避免时,应对洞口周边结构进行加强处理。

4 相邻洞口之间应保持一定的距离,以保证水平力的可靠传递。

5 应验算洞口处的应力和变形,必要时宜设置洞口边梁或临时支撑等传力构件,矩形洞口的四角宜设置三角形加劲梁板以减少应力集中。

**7.2.3** 水平荷载作用下,水平支撑结构应传力明确、可靠,结构构件宜处在同一结构面上,当存在较大面积的楼面高差或缺失时,应采取以下措施:

1 对于楼板结构存在高差的部位,应设置可靠的水平转换结构或临时斜撑等措施。当高差处采用梁板加腋处理时(图 7.2.3),腋角坡度不宜大于 1:1。

2 对于楼板面结构的洞口及车道开口部位,当洞口两侧的梁板不能满足支撑的水平传力要求时,应在缺少结构楼板处采取增设临时支撑等措施。

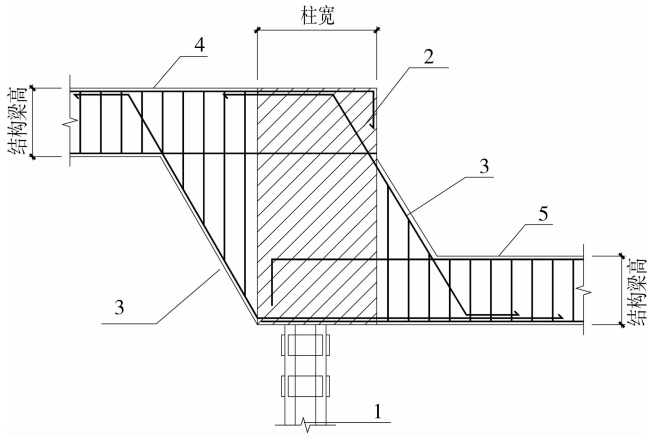


图 7.2.3 楼板高差处梁板加腋支撑转换

1-支承柱;2-结构框架柱;3-梁加腋;4-高标高梁;5-低标高梁

7.2.4 当界面层结构标高与现场地面标高不一致时,水平支撑结构应采取措施处理好顶层结构标高与现场地面标高的衔接,确保顶层水平支撑结构传力的可靠性。

7.2.5 当基坑周边采用临时性围护排桩时,水平支撑结构的边跨结构应符合下列规定(图 7.2.5)。

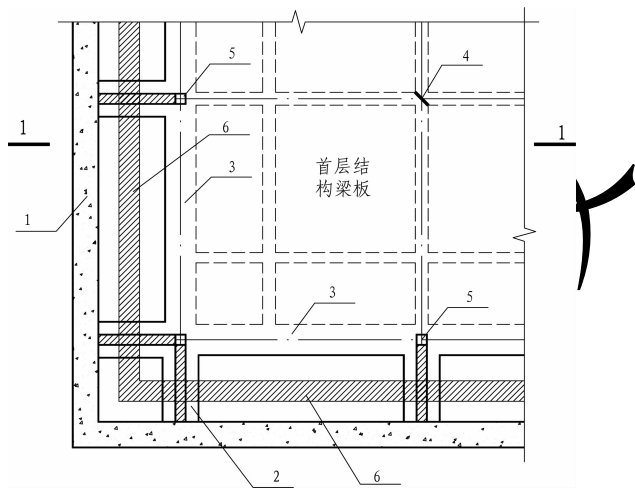
1 边跨框架柱位置宜内退结构外墙一定距离,逆作施工结束后,结构外墙与相邻的结构梁板一道浇筑。

2 内部水平结构周边应沿支承柱轴线设置通长的边环梁。

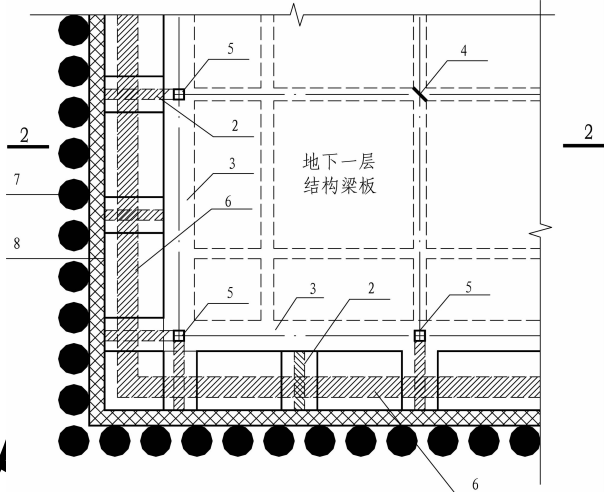
3 结构外墙顶部位置,在浇筑顶层水平支承结构时,应预浇筑外墙顶圈梁,并设置下挂止水钢板及外墙插筋。

4 围护墙与内部水平结构边环梁之间应设置水平传力构件,其设置应符合本标准第 5.2.2 条的规定。

5 先施工的边环梁与后浇筑的边跨结构接缝处应采取可靠的止水措施。



(a) 边跨顶层结构连接平面



(b) 边跨地下一层结构连接平面

(A) 边跨结构平面图

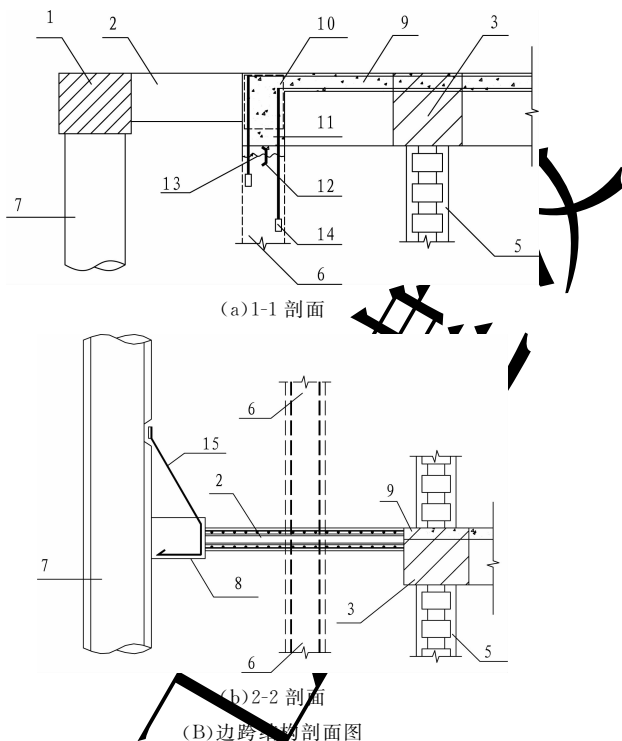


图 7.2.5 非桩墙合一时水平支撑结构边跨结构布置

1-压顶圈梁;2-水平传力支撑物件;3-边梁;4-内部钢支撑柱;5-边跨临时钢支撑柱;  
6-后施工结构外墙;7-围护桩;8-围檩梁;9-先期浇筑梁板;10-外墙顶圈梁;  
11-先期浇筑外墙;12-止水钢板;13-外墙水平施工缝;14-外墙钢筋接驳器;15-吊筋

7.2.6 下列情况下,宜采取设置临时斜抛撑或临时水平支撑等减少围护墙变形的措施,斜抛撑的倾斜方向应朝向抵消较大基坑土压力一侧(图 7.2.6):

- 1 当地下结构层高较高时;
- 2 采用跃层逆作时;
- 3 基坑形式为开放式基坑时;
- 4 采取踏步式逆作时。

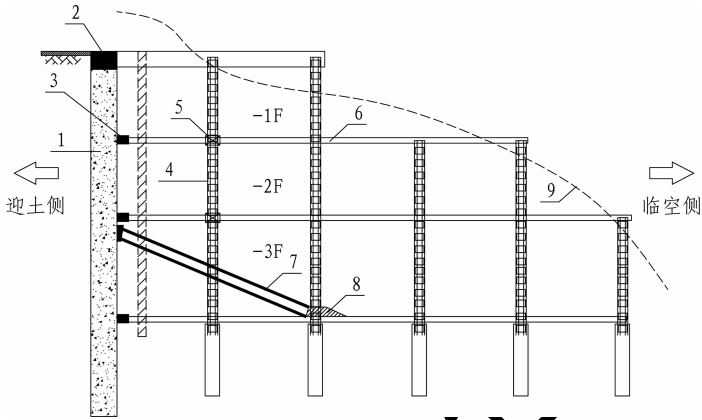


图 7.2.6 逆作施工临时斜抛撑

1-围护桩;2-桩顶冠梁;3-围檩梁;4-竖向支承柱;5-边跨外环梁;  
6-逆作水平楼盖;7-临时斜抛撑;8-混凝土反力支座;9-原始地面线

### 7.2.7 临时斜抛撑应符合下列规定:

- 1 斜抛撑与水平面的夹角不宜大于  $35^{\circ}$ , 软土地区不宜大于  $26^{\circ}$ 。
- 2 斜抛撑长度超过 15m 时, 宜在斜抛撑中部位置加设竖向支承柱。
- 3 应设置可靠的斜抛撑支座或基础, 其位置不应妨碍主体结构正常施工。

4 斜抛撑基础与围护结构之间的水平距离, 应满足基坑内侧预留土坡的稳定要求和围护结构侧向变形的控制要求。

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

7.2.9 当地下结构设置永久结构缝或施工后浇带时, 应在结构缝或后浇带位置设置可靠的水平传力构件。水平传力构件宜采用钢支撑或钢与混凝土组合支撑。后浇带位置宜采用梁内预埋型钢的连接方式, 并应符合本标准第 7.4.12 条的规定。当为无梁楼板或受力较小时, 也可采用型钢与预埋端板连接。

## 7.3 构件设计

**7.3.1** 逆作阶段地下水平结构构件的截面承载力计算应符合下列要求：

1 各层水平支撑结构中的结构梁和板、临时支撑，均应根据各施工工况下的最不利内力组合，按偏心受力构件进行截面承载力计算。

2 对同层楼板结构存在高差的部位，应考虑高差的影响，验算该部位构件的抗弯、抗剪和抗扭承载力，对结构楼板开洞部位周边的楼板，宜进行补充分析。

3 围檩梁和压顶梁的截面承载力可按水平方向的受弯构件计算。当围檩梁或压顶梁与水平支撑斜交或作为边桁架的弦杆时，其截面承载力应按偏心受压构件计算。

4 钢筋混凝土构件及其连接的承载力计算，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；钢构件及其连接节的承载力计算及其各类稳定性验算，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

**7.3.2** 水平支撑结构构件的受压计算长度应按下列规定确定：

1 在竖向平面内，取相邻支承柱的中心距。

2 在水平面内无楼板时，取与该构件相交的相邻横向水平支撑梁的中心距。

3 沿纵向和横向支撑梁的交点处未设置支承柱时，在竖向平面内，现浇钢筋混凝土构件的受压计算长度取构件全长，钢构件的受压计算长度取构件全长的 1.2 倍。

4 当围檩梁、冠梁按偏心受压构件计算时，钢筋混凝土围檩梁、冠梁的受压计算长度应取相邻水平支撑梁的中心距，钢围檩梁的受压计算长度取相邻水平支撑梁的中心距的 1.5 倍。

**7.3.3** 水平支撑结构构件按偏心受压构件计算时，偏心弯矩除



竖向荷载和水平荷载产生的弯矩外,尚应考虑其轴向力对构件初始偏心距的附加弯矩。钢筋混凝土支撑梁的初始偏心距可取构件计算长度的 $3/1000$ 、偏心方向构件截面尺寸的 $1/30$ 和 $20\text{mm}$ 的较大值;钢支撑梁初始偏心距可取支撑计算长度的 $3/1000$ 和 $40\text{mm}$ 的较大值。

**7.3.4** 水平支撑结构采用现浇钢筋混凝土时,其构造应符合下列规定:

1 混凝土强度等级不宜低于 $C30$ ,楼板厚度不宜小于 $120\text{mm}$ ;当上部结构为高层建筑时,界面层厚度不宜小于 $160\text{mm}$ 。

2 支撑梁的截面高度不宜小于其竖向平面内计算跨度的 $1/12$ ;围檩梁、冠梁的截面宽度不宜小于其水平计算跨度的 $1/10$ ,截面高度不宜小于相邻支撑构件的截面高度。

3 围檩梁应紧贴围护墙设置。当围檩梁与围护墙之间需要传递水平剪力时应在围护排桩墙上沿围檩梁长度方向预留由计算确定的剪力筋或剪力槽。

4 格梁式梁、围檩梁、冠梁的纵向钢筋直径不宜小于 $16\text{mm}$ ,沿截面四周纵向钢筋的最大间距不宜大于 $200\text{mm}$ ,箍筋直径不宜小于 $8\text{mm}$ ,间距不宜大于 $200\text{mm}$ 。

**7.3.5** 水平支撑结构采用钢结构时,其构造应符合下列规定:

1 钢构件受压杆件的长细比不应大于 $150$ ,受拉杆件的长细比不应大于 $200$ 。

2 钢构件之间连接宜采用可以调节的节点形式,并宜留有足够的调整空间,拼接点强度不应低于构件截面强度;当采用高强度螺栓连接时,螺栓孔应预先留设,禁止现场开孔。

3 纵横构件宜设置在同一标高。当纵横构件交汇点不在同一标高连接时,其连接构造应满足构件在平面内的稳定要求。

4 钢支撑(梁)与竖向支承柱采用钢托架进行连接时,钢托架应满足对钢支撑(梁)在节点位置的约束要求。

5 钢支撑(梁)与钢围檩的连接节点或转角位置,型钢构件的翼缘和腹板均应加焊加劲板,加劲板厚度不应小于 10mm,焊缝高度不应小于 6mm。

6 钢围檩与排桩围护墙之间的缝隙应采用不低于 C25 强度等级的细石混凝土填实。

## 7.4 连接构造

7.4.1 水平支撑结构与竖向支承结构和周边围护墙之间的连接构造,应做到构造简单、传力明确、便于施工。

7.4.2 水平支撑结构与竖向钢支承柱连接时,连接构造应同时满足剪力和弯矩传递的要求。

7.4.3 水平支撑结构采用梁板体系或桁梁体系时,框架梁截面宽度宜大于竖向支承钢结构柱的截面尺寸或在梁端宽度方向加腋,便于梁纵向钢筋贯穿通过。

7.4.4 钢筋混凝土梁与角钢格构柱型钢柱连接时,水平构件的剪力传递宜采用栓钉、抗剪钢筋、钢牛腿、传力钢板等,也可采用其他符合受力要求的连接方式传递剪力。

7.4.5 钢筋混凝土梁与竖向支承柱钢构件间采用栓钉连接传递剪力时(图 7.4.5),应根据剪力大小计算确定需要设置的栓钉的规格和数量,并应符合下列规定:

- 1 栓钉的直径不宜小于 19mm,长度不应小于 4 倍杆径。
- 2 栓钉的最大间距不宜大于 200mm,栓钉的最小间距沿柱高方向不应小于 6 倍栓钉直径,水平方向的间距不应小于 4 倍栓钉直径。

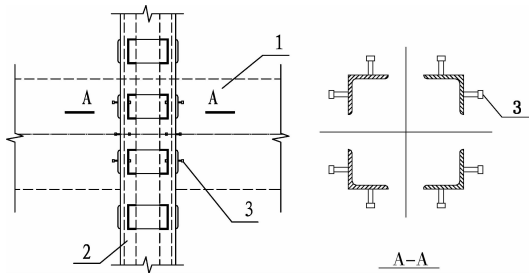


图 7.4.5 钢支承柱设置抗剪栓钉与结构梁板的连接节点

1—结构框架梁;2—支承柱;3—栓钉

7.4.4.6 逆作施工阶段,结构梁板上直接作用施工车辆等较大超载的位置,必要时可在梁下支承柱上设置临时承托钢牛腿(图 7.4.6)等抗剪能力较强的抗剪件;支承柱外包混凝土后伸出柱外的钢牛腿可割除。

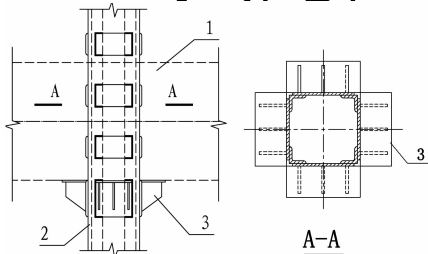


图 7.4.6 钢支承柱设置钢牛腿作为抗剪件的示意图

1—结构框架梁;2—结构支承柱;3—临时承托钢牛腿

7.4.4.7 钢筋混凝土梁、无梁楼板纵向钢筋与角钢格构柱连接时,可采用下列连接方式:

1 钻孔钢筋连接法:在角钢格构柱的缀板或角钢上钻孔穿钢筋,其钻孔的位置、数量应通过计算确定,考虑钻孔损失后的截面应满足承载力要求。

2 传力钢板连接法:在角钢格构柱上焊接连接钢板,将受角钢格构柱阻碍的水平构件纵向钢筋与传力钢板焊接。传力钢板高度不宜小于 0.7 倍梁高,梁纵向钢筋中一部分钢筋可与传力钢板焊接,传力钢板长度应满足焊接强度要求。

3 梁端水平加腋法(图 7.4.7):通过梁侧面加腋的方式扩大梁柱节点位置梁的宽度,使得梁的主筋得以从角钢之间和角钢格构柱侧面绕行贯通的方法,绕筋的斜度不应大于 1:6,并应在梁变宽度处设置附加箍筋,格构柱角钢的角部距离梁腋根部距离不应小于 150mm。

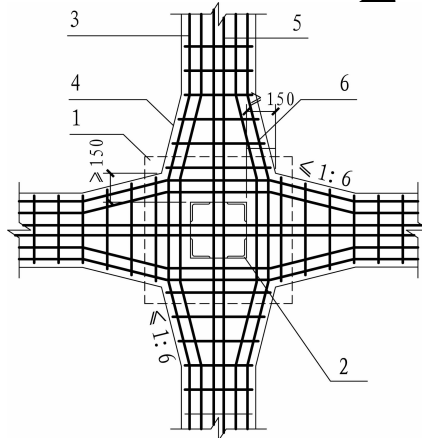


图 7.4.7 梁端水平加腋

1-框架柱;2-角钢格构柱;3-框架梁纵筋;

4-梁加腋;5-从格构柱中间穿过的纵筋;6-从格构柱边绕行的纵筋

7.4.8 钢筋混凝土梁纵向钢筋与钢管柱、钢管混凝土柱的连接可采用井式双梁、环梁、传力钢板,也可采用其他符合受力要求的连接方式。

7.4.9 当采用井式双梁时(图 7.4.9),应符合下列要求:

- 1 双梁的纵向钢筋应从钢管侧面平行通过;
- 2 节点处宜增设斜向构造钢筋;
- 3 井式双梁与钢管之间应浇筑混凝土。

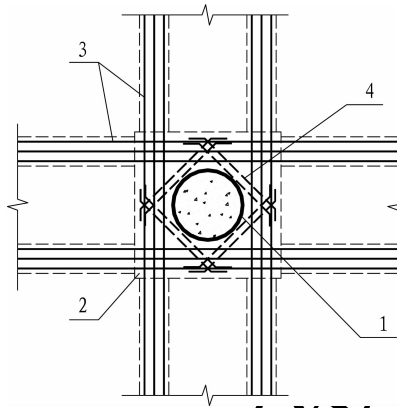


图 7.4.9 井字梁构造示意

1-钢筋混凝土支承柱;2-框架柱;3-梁主筋;4-附加架角筋

**7.4.10 框架梁钢筋与钢管柱、钢管混凝土柱的连接采用环梁时,钢筋混凝土环梁(图 7.4.10)的构造应符合下列规定:**

- 1 环梁的截面的高度宜比框架梁高 50mm;
- 2 环梁的截面的宽度不宜小于框架梁宽度;
- 3 框架梁的纵向钢筋在环梁内的锚固长度应满足现行国家标准《钢筋混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的规定;
- 4 环梁上、下环筋的截面积,应分别不小于框架梁上、下纵筋截面积的 70%;
- 5 环梁内、外侧应设置环向腰筋,腰筋直径不宜小于 16mm,间距不宜大于 150mm;
- 6 环梁按构造设置的箍筋直径不宜小于 10mm,外侧间距不宜大于 50mm;
- 7 环梁应通过环筋、栓钉或牛腿等方式与钢管形成整体。

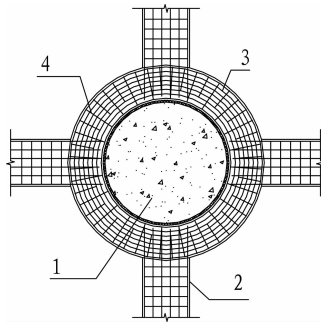


图 7.4.10 钢筋混凝土环梁构造示意

1-钢管柱或钢管混凝土柱;2-框架梁;3-梁主筋;4-环梁箍筋

7.4.11 框架梁钢筋与钢管柱、钢管混凝土柱的连接采用传力钢板时(图 7.4.11),传力钢板应通过在钢管外侧设置的外贴弧形钢板与钢管柱连接,并应设置竖向加劲肋。框架梁的纵向受力钢筋可焊在环形传力钢板上。

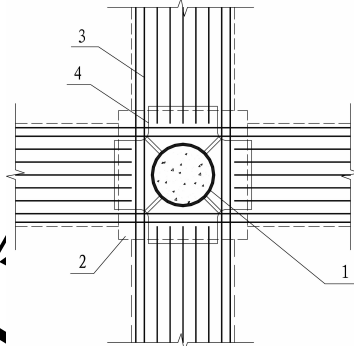


图 7.4.11 钢筋混凝土梁纵向钢筋与钢管柱传力钢板连接

1-钢管混凝土柱;2-结构框架柱;3-框架梁纵向钢筋;4-环形传力钢板

7.4.12 逆作施工阶段的后浇带位置,当采用梁内预埋型钢作为水平传力构件时(图 7.4.12),应符合下列规定:

1 型钢插入混凝土梁内的长度应通过计算确定,且不小于 2.5 倍型钢高度及 500mm,型钢端部宜设置变截面段作为过渡段。

2 型钢的混凝土保护层厚度不宜小于 100mm。

3 型钢的上下翼缘应设置栓钉，栓钉的直径不宜小于 19mm，长度不应小于 4 倍杆径，栓钉的最大间距不宜大于 200mm，栓钉沿梁轴线方向的最小间距不应小于 6 倍栓钉直径，沿垂直梁方向的最小间距不应小于 4 倍栓钉直径，且栓钉中心至型钢板件边缘的距离不应小于 50mm，栓钉顶面的混凝土保护层厚度不应小于 15mm。

4 型钢及型钢端部以外 1.5 倍梁高范围内箍筋应加密，直径不应小于 8mm，间距不应大于 100mm。

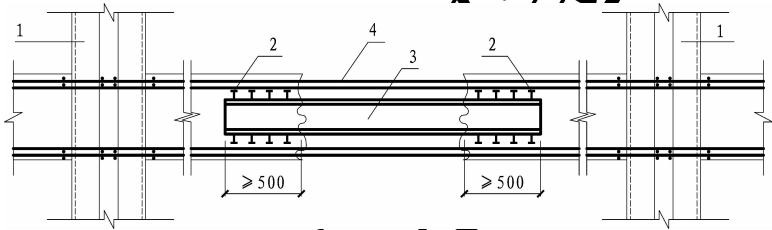


图 7.4.12 后浇带处型钢连接示意图

1-支承柱；2-栓钉；3-预埋型钢；4-结构梁板贯通钢筋

7.4.13 逆作施工阶段的沉降缝部位，当缝宽较小时可采用通长或间隔布置的横卧 H 型钢作为水平传力构件(图 7.4.13)，H 型钢的翼缘设置锚筋与两侧主体构件连接，待地下结构整体形成后，割除型钢恢复结构的沉降缝，当有防水要求时，应埋设止水板。

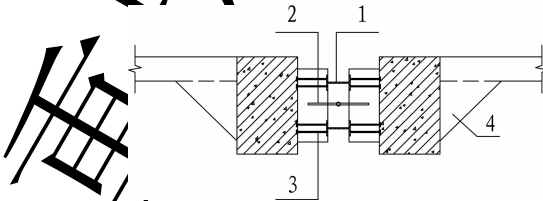


图 7.4.13 沉降缝处水平传力节点构造

1-型钢支撑；2-止水板；3-锚筋；4-加腋

7.4.14 对逆作施工完成后需封闭的临时洞口，应根据主体结构

对孔洞处二次浇筑混凝土的结构连接要求,预先在洞口周边设置预留钢筋、抗剪埋件等结构连接措施;对有防水要求的洞口边,应设置膨胀止水条、刚性止水板或预埋注浆管等止水构造措施。

**7.4.15** 预留孔洞周边的结构梁,纵向受力钢筋无法错开接头位置或不能在规定的位置设置钢筋接头的,应留设二级钢筋接头形式;各类施工缝断开的钢筋,按现场施工要求需进行弯曲后矫正的,应根据实际情况考虑对钢筋性能的影响。

**7.4.16** 水平支撑结构与竖向支承结构和周边围护墙之间的连接构造,应满足主体结构在使用阶段的防水要求。当梁纵筋采用预埋钢筋接驳器的连接方式时,预埋钢筋和接驳器不应贯通全截面。



## 8 逆作法施工

### 8.1 一般规定

8.1.1 逆作法工程开工前,施工单位应与设计等相关单位相互配合,确定以下事项:

1 根据邻近环境条件明确基坑周边各段的环境保护等级及基坑变形控制指标,制定控制基坑施工对安全及环境影响的应急预案。

2 逆作法施工工况以及结构与土方开挖交叉进行的流程。

3 对于地下同步逆作的工程,确定其施工界面层、向上施工目标层数以及同步施工的流程。

4 逆作法主要的水平和竖向传力途径以及重要构件和关键节点的设计要求。

5 界面层的平面布置、行车路线、堆载要求、取土口的留设以及所需要采取的结构加强措施。

6 竖向支承桩柱的设计控制要求和施工工艺。

7 水平结构与竖向结构节点施工要求与方法。

8 先期施工结构和后期施工结构的接缝处理要求。

9 逆作施工阶段临时构件的设置和拆除方式以及与后期施工结构部分的转换形式。

8.1.2 逆作法工程施工前应具备下列技术资料:

1 工程地质勘察资料;

2 主体建筑、结构设计文件;

3 基坑支护设计文件;

4 地上、地下结构同步施工的相关要求;

5 场地周边环境资料及保护要求。

8.1.3 基坑逆作法施工前应根据设计文件及国家现行有关标准规定编制专项施工方案。

8.1.4 逆作法施工应严格执行设计规定的工艺流程及施工步骤,当需要调整时,应征得设计单位的同意。

8.1.5 采用上下同步逆作法的工程,其总体施工流程应满足设计要求,并宜符合下列规定:

1 当上部主体结构为框架结构时,上部结构在界面层施工完成后可向上施工。

2 当上部主体结构为框剪或框筒结构时,上部结构宜在两层或两层以上地下水平结构施工完成后方可向上施工。

3 宜全程采用信息化施工,对竖向支承桩柱、托换梁等关键部位的变形以及主体结构的沉降提出有针对性的施工监测方案、报警机制和应急预案。

8.1.6 支承柱、支承桩施工应根据土质条件、环境保护要求、支承柱截面及长度、垂直度控制要求等因素合理选支承桩的成桩工艺及机械设备、支承柱的安装工艺及调垂方法。

8.1.7 土方开挖方案应根据工程地质和水文地质条件、基坑平面尺寸、开挖深度、场地条件和环境保护要求、施工方法、施工工期等因素综合制定,邻水基坑尚应考虑汛期等因素的影响。

8.1.8 地下水控制的设计与施工应满足逆作法设计和施工的要求,应根据场地及周边工程地质条件、水文地质条件和环境条件,并结合施工因素综合考虑。

8.1.9 界面层以下的框架柱、剪力墙、地下结构外墙(包含内衬墙及壁柱)等竖向结构宜在完成底板后逐层由下向上进行回筑。

8.1.10 上下同步逆作施工时,应对施工作业层的框架柱、剪力墙等竖向结构采取防止施工作业机械碰撞的防护措施。

8.1.11 采用逆作法工程的施工、检测与验收应除应符合本标准规定外,尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《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 以及行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定

## 8.2 围护桩施工

8.2.1 围护桩施工前应做好下列准备工作：

- 1 遇有不良地质时,应做好探摸和处理工作。
- 2 应复核测量基准线、水准基点,并在施工中做好复测及保护工作。
- 3 应做好场地内的道路、供电、供水、排水、泥浆循环系统等设施。
- 4 应标明和清除围护结构处的地下障碍物,对地下管线应妥善处理,做好施工场地平整工作。
- 5 应做好设备进场安装调试、检查验收工作。

8.2.2 灌注桩排桩施工前应通过试成孔确定合适的成孔机械、施工工艺、孔壁稳定等技术参数,试成孔数量不宜少于 2 个。

8.2.3 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,并应固定牢靠。

8.2.4 灌注桩排桩的施工与质量验收应符合现行国家标准《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 的规定。

## 8.3 竖向支承结构施工

8.3.1 竖向支承桩柱施工前应做好下列准备工作：

- 1 做好清除障碍物及场地平整工作。
- 2 根据设计要求选择合适的施工机械、施工工艺。
- 3 明确支承柱加工、连接安装及检测等施工方法。

8.3.2 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、垂直度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情况等确定。

**8.3.3** 支承桩施工前应进行试成孔，试成孔数量不宜少于 2 个。通过试成孔确定合适的成孔机械、施工工艺、孔壁稳定等技术参数。

**8.3.4** 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底注浆器，注浆管数量、注浆量和注浆压力应满足设计要求，并符合下列规定：

1 注浆管应采用钢管，壁厚不小于 3mm，接头处应采用丝扣套筒连接，注浆器应采用单向阀，并应能承受大于 1MPa 的静水压力。

2 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。

3 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。

4 应采用注浆压力和注浆量双控原则，应控制注浆量不低于设计要求的 80%，且注浆压力不小于 2MPa 时方可终止注浆。

**8.3.5** 支承桩成孔过程中应采取控制成孔垂直度，成孔结束后全数检查垂直度和沉渣厚度。成孔垂直度偏差应满足设计要求，且不应大于  $1/200$ ，桩端沉渣厚度应满足设计要求，且不应大于 50mm。

**8.3.6** 钢结构支承柱宜在工厂按照整根柱长度在工厂进行焊接制作；当条件受限时，可在工厂分节制作，现场水平拼接。

**8.3.7** 钢结构支承柱插入支承桩的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控制，可采用先插法或后插法。当支承桩采用人工挖孔桩干作业成孔时，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。支承柱的垂

直度偏差应符合设计要求,且不宜大于 1/300。

**8.3.8 竖向支承柱采用格构柱或钢管柱,使用先插法施工时应符合下列要求:**

1 先插法的竖向支承柱定位偏差不应大于 10mm。

2 竖向支承柱安插到位后,调垂至设计垂直度控制要求,固定牢固。

3 用于固定导管的混凝土浇注架宜与调垂架分开,导管应尽可能居中,并控制混凝土的浇注速度,确保混凝土均匀上升。

4 钢管内的混凝土强度等级不低于 C50 时,宜采用高流态、无收缩、自密实混凝土。

5 竖向支承柱内的混凝土应与桩的混凝土连续浇筑完成。

6 竖向支承柱内混凝土与桩混凝土采用不同强度等级时,施工时应控制其界面处于低强度等级混凝土一侧。

7 竖向支承柱外部混凝土的上升高度应符合支承桩混凝土泛浆高度要求。

8 采用格构柱时,在浇筑完支承桩混凝土后,应人工在桩孔隙内均匀回填砂石;采用钢管支承柱时,浇注钢管支承柱内混凝土过程中,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。

9 宜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%。

**8.3.9 竖向支承柱采用后插法施工时应符合下列要求:**

1 后插法的竖向支承柱定位偏差不应大于 10mm。

2 混凝土宜采用缓凝混凝土,应具有良好的流动性,缓凝时间宜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。

3 插入时应根据施工条件,选择合适的插放装置和定位调垂架。

4 支承柱起吊应控制变形和挠曲,插放过程中应及时调垂,

符合设计垂直度要求。

5 支承柱插放、调垂到位后,应复核桩中心线与钢管柱中心的定位偏差,并牢靠固定。

6 钢管内的混凝土强度等级不低于 C50 时,宜采用高流态、无收缩、自密实混凝土。

7 格构柱、H 型钢的横截面中心线方向应与该位置结构柱网方向一致。

8 插入竖向支承柱后应在格构柱桩孔孔壁内或钢管柱四周均匀回填碎石和砂至自然地面。

9 宜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%。

**8.3.10** 当支承桩采用人工挖孔桩干作业成孔时,支承柱采用先预埋定位基座后安装的方法施工时应满足下列要求:

1 人工挖孔桩挖到底后应及时清除护壁上和孔底残渣与积水,及时封底和浇注桩身混凝土。

2 人工挖孔桩不含护壁的有效孔径应不小于设计桩径,桩中心与设计桩轴线偏差不得大于 10mm。

3 支承格构柱应采取有效的固定措施(如钢支撑架)在地面将支承格构柱固定牢固,避免浇筑混凝土过程中位移和倾斜。

4 桩身混凝土宜一次性连续浇筑至设计标高;当桩身混凝土分两次浇注时,第一次宜浇至不同标号混凝土分界处,距离竖向支承柱底部设计标高不宜小于 1000mm,第二次混凝土浇注宜在竖向支承柱安放固定后进行。第一次混凝土浇注面应清除浮浆、凿毛,并安放定位导向装置。

5 插入竖向支承柱后应在柱四周均匀回填砂石。

**8.3.11** 钢支承柱吊放应采用专用吊具,吊点数量和位置应经计算确定,起吊变形应满足垂直度偏差控制要求。

**8.3.12** 钢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。调垂装置安装应满足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。

**8.3.13** 钢支承柱安装施工中应考虑下列因素以确保安装精度:

- 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。

**8.3.14** 支承桩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桩采取固定保护措施。

**8.3.15** 对于工程地质条件复杂、逆作价只承载力和变形控制要求高的竖向支承桩,宜采取桩端后注浆或桩侧注浆技术。

**8.3.16** 当支承柱采用一次成型混凝土支承柱时,在桩孔护壁内进行钢筋、模板、混凝土作业期间应进行有毒有害气体检测,并持续进行送风。气体检测与送风应符合现行行业标准《建筑施工易发事故防治安全标准》JGJ/T 429 的相关规定。

**8.3.17** 竖向支承桩与竖向支承柱的施工与质量验收应符合现行国家标准《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 的规定。对于支承桩,预埋超声波检测管可与注浆管共用,但应采用钢管。

**8.3.18** 支承柱施工时,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。

**8.3.19** 对平面位置和垂直度超过允许偏差的支承柱,应按实际偏差对其截面承载力和稳定性进行复核,并采取相应的加强措施。

**8.3.20** 当支承柱采用一次成型钢筋混凝土柱时,其质量验收应符合现行行业标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

## 8.4 土方开挖

**8.4.1** 基坑开挖及运输前应根据工程水文地质条件、周边环境特点、场地条件和设计要求编制详细的土方开挖专项施工方案。土方开挖专项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 取土口位置及首层楼板的加固区域；
- 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 保护已施工的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、性能分析与劳动力的配备；
- 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；
- 12 基坑监测与应急措施等。

**8.4.2** 基坑开挖前，基坑逆作的每一层土方开挖前，应对土方开挖条件进行检查，开挖应具备下列条件：

- 1 基坑内降水至开挖土层底面 500mm 以下；
- 2 开挖下层土方时上层混凝土结构梁板强度应达到设计要求；
- 3 临时支护体系安装验收完毕；
- 4 相邻支承柱之间、支承柱与围护墙之间的差异沉降控制在设计要求范围内；
- 5 地下通风及照明设施设置完备；
- 6 机械设备配备与逆作土方挖运相配套；
- 7 上层逆作楼盖的模板及支撑体系、支架垫层拆除完毕。

**8.4.3** 逆作法施工时，地下结构楼板中需设置一定数量的取土



口,取土口布置应符合下列规定:

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 在满足水平支撑结构受力条件下,宜加大取土口面积。

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 取土口的位置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 取土口的布置应满足挖土分块流水的需要,每个流水分块应至少布置一个出土地口;当底板上方采用抽条开挖时,应满足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能与外部道路形成较好的连接。

**8.4.4** 上下同步逆作施工时,取土口的设置除应满足本标准第7.2.2条、8.4.3条的规定外,尚应符合下列要求:

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满足垂直取土设备的操作要求,必要时在取土口上方采取上部局部结构后施工的措施。

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。

**8.4.5** 取土口及预留洞口应采取下列构造措施:

1 取土口周边应设置防护上翻梁,其截面尺寸不宜小于200mm(宽)×300mm(高)。

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 预留孔洞四周应设置必要的挡水槛,对长时间使用的洞

口,宜采取有效避雨措施。

4 楼板临时开洞作为取土口时,洞口结构预留钢筋接头宜采用机械连接。采用全断面机械连接时应采用Ⅰ级接头,接驳器外伸长度不宜超过 300mm,且应采取保护措施。

5 有防水要求的结构部位,取土口施工缝位置应采取防渗漏措施。

8.4.6 逆作法工程中,土方开挖应根据土质条件、周边环境、基坑形状及取土条件等因素,采用分区、分段的取土方式,并及时形成支撑。

8.4.7 逆作土方开挖应合理划分各层开挖分块大小,开挖分块划分应综合考虑取土口位置、地下水平结构施工流水段划分,以及设置结构施工缝的要求。

8.4.8 逆作法土方开挖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,优先采用机械化施工,选择噪音小、效率高、废气排放少的机械设备。

8.4.9 软弱回填土层中大面积深基坑开挖或采取跃层逆作的基坑开挖,宜采用盆式挖土,盆边土的留设形式应满足围护设计工况要求;盆边土宜采用抽条式挖土,抽条宽度应符合设计要求。

8.4.10 逆作土方开挖过程应符合下列要求(图 8.4.10):

- 1 每层土方开挖深度应符合设计规定,严禁超挖。
- 2 挖土时应对其施工的竖向支承柱采取保护措施,支承柱两侧土方高差不应大于 1.5m。
- 3 应根据边坡稳定性验算确定临时边坡的坡度及坡高,坡体的坡率宜不大于 1:1.75,坡顶与坡脚之间高差不宜大于 1.5m。
- 4 每层土开挖时土层面宜平整,平整度宜控制在 5%以内。
- 5 清除后土开挖时,应及时拆除并清理结构楼板的模板、支撑体系及垫层。

6 开挖过程中应严格保护井点管、支承桩、监测元件及预留插筋等。

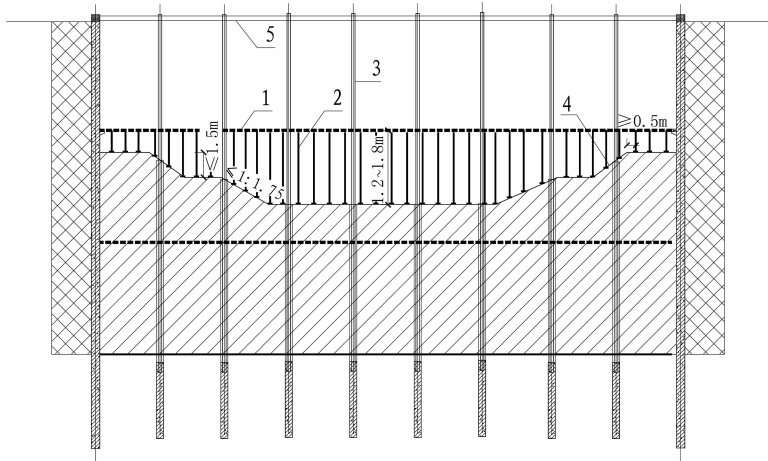


图 8.4.10 逆作法工程盆式土方开挖

1-拟浇筑水平支撑结构；2-模板支撑架；3-竖向支撑柱；

4-盆式开挖线；5-上部拟浇筑水平支撑结构

8.4.11 土方开挖到设计标高后，应及时浇筑混凝土垫层，坑底土层不得超挖与扰动。

8.4.12 逆作挖土取土口位置宜设置集土坑，坑深不宜超过1.5m，且不宜设置在基坑周边。

8.4.13 利用地下结构楼板和临时内支撑体系作土方水平运输的逆作施工平台时，应复核逆作施工平台结构在施工阶段实际荷载作用下的受力和变形，必要时采取加固措施。

8.4.14 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、防撞措施及车辆缓冲平台。

8.4.15 土方运输的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。

## 8.5 水平支撑结构施工

**8.5.1** 水平支撑结构施工时,模板的选型应考虑工程结构形式、荷载大小、地基土类别、施工设备和材料供应等因素,可采用土胎模板、钢管满堂支撑模板或垂吊模板。模板施工时应符合下列规定:

1 采用钢管满堂支架支模时,支撑架高度宜为 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(图 8.5.1-1)。

2 采用土胎模板时,宜在垫层浇筑后铺设模板系统,可直接将垫层作为梁、板模板。土质较好时,梁、板可直接用土作为模板,土质较差时,应采用模板作为梁、板模板面板(图 8.5.1)。

3 采用垂吊模板时,吊具必须检验合格,吊设装置需满足相应的荷载要求,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确定。

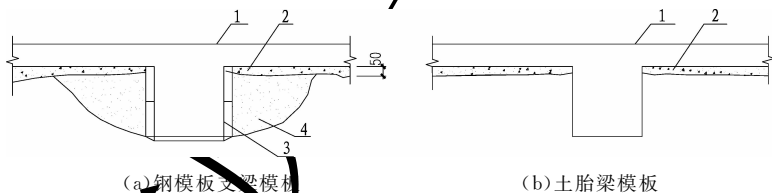


图 8.5.1 土胎模板

1-模板面板;2-素混凝土层与隔离层;3-钢模板;4-填土

**8.5.2** 墙、柱水平施工缝的留设及楼板预留孔洞周边处理应符合下列要求:

1 水平施工缝的留设,浇捣孔尺寸、数量和平面布置应满足竖向构件回筑的工艺要求。

2 施工缝应清洗干净,并根据永久结构防水要求作适当

加强。

3 墙、柱水平施工缝处的纵向钢筋应错开连接,无法错开时应采用 I 级机械接头。

4 预留孔洞周边的结构梁板钢筋外伸长度应满足设计要求,梁预留筋应留设 I 级机械接头。

5 对有防水要求的地下结构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。

8.5.3 水平支承结构施工前应预先考虑后期地下结构的施工操作,并应采取下列技术措施:

1 结构柱和墙板的主筋应在水平构件施工时预留。竖向结构施工时钢筋连接应采用机械连接或焊接。

2 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,每根框架柱浇捣孔数量不应少于 2 处,应呈对角布置,且应避让框架梁。

3 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 1.2m~2.0m 间距均匀布置。

4 后期地下结构的混凝土浇捣孔可采用 PVC 管或钢管进行预留。

5 柱、墙水平施工缝距梁底不宜小于 300mm。

8.5.4 采用土胎模或钢管满堂支架模板施工时均应设置垫层,垫层厚度不宜小于 150mm,混凝土强度等级不宜低于 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。

8.5.5 当水平支撑梁的钢筋与竖向支承柱的型钢或钢管之间采用钻孔法穿越时,钢构件每穿过一根钢筋应立即将孔的双面满焊封严,然后再钻下一个孔。

8.5.6 当水平支撑梁的钢筋与竖向支承柱的型钢或钢管采用传力钢板连接时,钢板与型钢宜采用竖向焊缝连接,焊缝应满足设计要求,梁的钢筋与传力钢板之间的焊接件应进行抗拉强度

试验。

**8.5.7** 水平支撑结构采用钢结构或钢与混凝土组合结构时,水平结构楼板应预留下层钢结构吊装用埋件,并考虑钢结构吊装设备的作业空间。

## 8.6 后期地下结构施工

**8.6.1** 后期地下结构施工前应事先对接缝部位进行清理,并对预留的钢筋、机械接头、浇捣孔及接缝预埋管等进行检查和整修,对轴线、构件定位及标高等进行复核。

**8.6.2** 后期地下结构施工需拆除前期地下结构预留孔洞范围内的临时水平支撑时,应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,并制定保护措施和应急预案。

**8.6.3** 后期地下结构施工需拆除临时竖向支承柱时,应在后期竖向结构施工完成并达到竖向荷载托换条件后进行,并应按自上而下的顺序拆除。临时竖向支承柱拆除时应监测该区域结构的变形及内力,并制定保护措施和应急预案。

**8.6.4** 采用顶置浇捣孔施工竖向结构时,宜在柱、墙的侧上方楼板上或柱、墙中心留孔,柱、墙模板顶部宜设置喇叭口,并应与浇捣孔位置对应。喇叭口混凝土浇筑面的高度宜高于施工缝标高300mm以上。剪力墙浇筑时,应沿墙两侧设置喇叭口,间距为1.2m~2.0m。墙单侧设置喇叭口时,间距不得大于1.5m。

**8.6.5** 逆作法柱、墙模板施工中,模板体系应考虑逆作法施工特点进行加工制作。模板预留洞、预埋件的位置应按图纸要求留设。

**8.6.6** 后期地下竖向结构浇筑,应采取措施保证水平接缝混凝土的浇筑质量,应结合工程情况采取超灌法、灌浆法或注浆法等接缝处理措施(图8.6.6)。

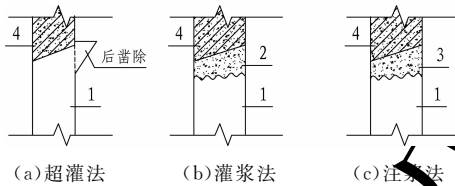


图 8.6.6 墙体水平施工缝处上下混凝土连接

1- 后期浇筑混凝土;2-填充无浮浆混凝土;3-压入水泥浆;4-先期浇筑混凝土

**8.6.7** 后期地下竖向结构的施工宜采用高流态低收缩混凝土,混凝土配合比应根据逆作法特点配置,浇筑前应对混凝土配合比及浇筑工艺进行现场试验。

**8.6.8** 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,无法直接振捣的部位,应在外使用挂壁式振捣器组合振捣;钢筋密集处应加强振捣,分区分界交接处宜向外延伸振捣范围不少于 500mm。

**8.6.9** 采用超灌法浇筑后期地下竖向结构水平接缝处混凝土时,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。混凝土浇捣面应高于先期已完成的下翻段墙、柱底面 300mm 以上。

**8.6.10** 采用灌浆法处理后期地下竖向结构的接缝时,水平接缝位置预留不小于 50mm 的间隙,采用高于原结构强度等级的灌浆料填充。灌浆法采用的模板要求密封严密,与上下结构搭接 100mm 以上,灌浆口与出浆口对应布置,沿灌浆方向单向施工。

**8.6.11** 当竖向结构承载力和变形要求较高时,宜采用注浆法处理后期地下竖向结构的接缝。实施注浆法时,待后期竖向结构施工完成后,应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,注浆管间距宜控制在 600mm 以内。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。

8.6.12 上下同步逆作时,界面层以下的框架柱、剪力墙后期竖向结构施工时,应对竖向结构先期与后期的水平施工缝采取预埋注浆管进行注浆等措施。

## 8.7 地下水控制

8.7.1 周边环境或水文地质条件复杂的逆作法基坑,当需要进行降水时,应事先进行预降水试验,根据预降水试验结果,评估基坑周边隔渗帷幕的隔渗效果及降水对周边环境的影响程度。

8.7.2 地下水控制应根据逆作法基坑规模、土层与含水层性质、施工工况及对周边影响程度等选择合适的疏干降水和减压降水方法,并满足设计要求。

8.7.3 降水井应在界面层施工前完成施工,并经检验合格、降水排水系统试运行正常后方可进行下一步施工。

8.7.4 基坑疏干降水的持续抽水时间应根据基坑面积、开挖深度及地质条件等因素综合确定;基坑开挖过程中地下水位不应高于开挖面以下 500mm。

8.7.5 降水井的停降时间应满足设计对地下结构抗浮稳定的要求。停止降水后,应对降水管井采取可靠的封井措施。

## 8.8 作业环境

8.8.1 施工前应排摸地下有毒、有害气体的分布情况。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、降温和防雷击设施,通风管的选择和安装应



符合下列要求：

1 当地下逆作范围的土层中含有有毒有害气体时，水平支撑结构宜采取格梁体系，且地下通风口宜形成对流。

2 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。

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

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

5 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设在主风流循环的回流中。

6 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。

7 通风管如有破损，必须及时修理或更换。

8 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。

8.8.2 界面层以下施工通风应能满足逆作各项作业所需要的最大风量。风量可按每人每分钟供应新鲜空气  $3\text{m}^3$  计算，采用内燃机械作业时， $1\text{kw}$  供风量不宜大于  $3\text{m}^3/\text{min}$ 。

8.8.3 施工作业环境气体必须符合下列规定：

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  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

8.8.4 在浇筑地下结构各层楼板时，挖土宜选择盆式开挖法，按

挖土行进路线应预先留设通风口,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。

**8.8.5** 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。

## 8.9 环保要求

**8.9.1** 逆作法的设计和施工除应满足稳定性和承载力的要求外,还应满足基坑周边环境对变形、噪音和环境污染等方面的要求,应根据基坑周边环境状况及环境保护要求进行变形控制设计。

**8.9.2** 逆作法施工中,应采用理论计算、工程类比等多种方法预估基坑工程对周边环境可能产生的影响,并根据周边环境全程监控数据对设计和施工进行实时动态调整。

**8.9.3** 逆作法施工对邻近基坑的保护对象可预先采取下列措施进行保护:

1 在基坑与重要保护对象之间设置隔离桩。

2 对邻近建筑物采取地基加固、结构补强、基础托换等措施,提高建筑物的变形适应能力。

3 对管线采取架空、临时或永久搬迁移位等措施。

**8.9.4** 降水设计可采取设置截水帷幕、控制降水水位、回灌等措施减少降水对环境的影响,并应符合下列规定:

1 应进行抽水试验确定降水影响范围,评估降水对环境的影响;

2 调整降水井数量、间距和深度,控制降水影响范围,在保证地下水位达到要求时减少抽水量;

3 限定单井出水流量,控制地下水流速。

**8.9.5** 当采用钻孔灌注桩时,可采取套管护壁、地基预加固、控制相邻桩施工的时间间隔等措施减少围护墙施工对环境的影响。

**8.9.6** 施工中应采取下列措施减少降水对周边环境的影响：

1 土方开挖前通过坑内预降水检验截水帷幕施工质量和截水效果，对渗漏点进行处理。

2 应做到出水常清，抽水含砂量应符合有关规范要求。

3 降水开始时，应根据与保护对象的距离按先近后远的原则启动各降水井的降水工作；降水结束时，按先近后远的原则停止各降水井的降水作业。

**8.9.7** 应采取防止泥浆、水泥浆对周边环境产生不利影响的措施。

**8.9.8** 现场条件许可，宜对基坑降水抽取的地下水回收利用。

**8.9.9** 界面层以下施工应采取洒水等防尘措施，搞好个人防护，并定期测试粉尘和有害气体的浓度。宜采用封闭运输车或对运输车覆盖进行土方运输，运输车出现场应进行冲洗，冲洗水宜回收沉淀后重复利用。

**8.9.10** 保护对象附近应限制重车行驶，严格控制地面超载。

**8.9.11** 逆作法工程施工过程中应采取下列措施控制噪声污染：

1 宜优先选用低噪声的机械，固定式机械宜安装隔声罩。

2 应经常对机械设备进行维修保养。

3 进入施工现场后车辆禁止高声鸣喇叭。

4 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，严格控制施工期间的噪声。

**8.9.12** 应按照总平面布置图的要求保证施工现场道路畅通，通道上不得堆放各种设备、材料和杂物，并保证整齐，保证施工现场排水系统良好，现场无积水现象。

## 9 监测

9.0.1 逆作法施工过程中应对周边环境、围护与主体结构、地下水状态、岩土体性状等进行全过程监测,并事先编制监测和环境保护专项方案。

9.0.2 对周围各种建(构)筑物及地下管线的变形监测应在工程建设开工前开始,在工程完工及各项监测数据趋于稳定后方可停止。

9.0.3 基坑工程的现场监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。

9.0.4 竖向支承结构及取土口、结构楼面高差或错层等部位的关键构件,应加强监测。

9.0.5 监测前应根据基坑周边环境条件,按表 9.0.5-1 确定基坑的环境控制等级,并根据周边环境对支护结构变形的承受能力确定基坑的变形控制指标。当基坑周边环境没有明确的变形控制标准时,可根据环境控制等级参考表 9.0.5-2 确定支护结构的变形控制要求。

表 9.0.5-1 环境控制等级

环境控制等级	周边环境条件
一级	基坑周围 $1.0H$ 范围内有重要的建(构)筑物或地下管线等设施
二级	基坑周围 $1.0H \sim 2.0H$ 范围内有重要的建(构)筑物或地下管线等设施

注:  $H$  为基坑开挖深度。

表 9.0.5-2 地面沉降与支护结构变形要求

环境控制等级	地面最大沉降量及支护结构水平位移控制要求
一级	1 地面最大沉降量不大于 $0.15\% H$ 2 支护结构最大水平位移不大于 $0.2\% H$ , 且不大于 30mm
二级	1 地面最大沉降量不大于 $0.3\% H$ 2 支护结构最大水平位移不大于 $0.4\% H$ , 且不大于 30mm

注:  $H$  为基坑开挖深度。

9.0.6 监测范围应为从基坑边缘至以外 2~3 倍基坑开挖深度的范围, 监测对象应包括:

- 1 支护结构;
- 2 基坑底部、侧壁与周边影响区范围内岩土体;
- 3 工程结构主体;
- 4 地下水状况;
- 5 周边建(构)筑物;
- 6 周边道路、管线及轨道交通等各种地下设施。

9.0.7 基坑监测项目应能反映支护结构的安全状态及其周边环境受影响的程度, 具体应根据逆作基坑特点、支护结构类型、地下水控制方法及周边环境控制等级等因素, 按表 9.0.7 确定。

表 9.0.7 逆作法施工现场监测项目表

序号	监测内容	基坑开挖准备阶段	基坑开挖阶段
1	围护结构顶位移	——	应测
2	围护墙深层水平位移(侧斜)	选测	应测
3	墙后土体深层水平位移	选测	应测
4	围护墙内力	——	选测
5	楼板应力	——	应测
6	临时支撑轴力	——	应测
7	水土压力	——	选测
8	支承柱内力	——	应测
9	支承柱(差异)沉降	应测	应测
10	基坑回弹	——	应测

续表 9.0.7

序号	监测内容	基坑开挖准备阶段	基坑开挖阶段
11	地下水位	应测	应测
12	周边建(构)筑物、道路、管线等环境监测	应测	应测
13	施工现场有害气体状况	——	应测

注:1 上下同步逆作时,还应对支撑桩内力以及主要的竖向构件和转换构件的内力、变形和裂缝进行监测。

2 环境等级为一级的监测项目除满足上述要求外,尚应根据委托方及相关单位的特殊要求增加相应的监测项目。

**9.0.8 逆作法基坑工程整个施工期间,应定期进行巡视检查。基坑工程巡视检查应包括以下内容:**

**1 支护结构**

- 1) 支护结构成型质量;
- 2) 围护墙体、水平支撑和支撑桩有无裂缝出现;
- 3) 止水帷幕有无开裂、渗漏;
- 4) 墙后土体有无裂缝、沉陷及滑移;
- 5) 基坑有无涌水、流砂、管涌。

**2 施工工况**

- 1) 开挖后暴露的土质情况与岩土勘察报告有无差异;
- 2) 基坑开挖分段长度、分层厚度及支撑设置等是否与设计要求一致;
- 3) 场地地表水、地下水排放状况是否正常,基坑降水、回灌设施是否运转正常;
- 4) 基坑周边地面有无超载。

**3 周边环境**

- 1) 周边管道有无破损、泄漏情况;
- 2) 周边建(构)筑有无新增裂缝出现;
- 3) 周边道路(地面)有无裂缝、沉陷;
- 4) 邻近基坑及建筑的施工变化情况。

**4 监测设施**

- 1) 基准点、监测点完好状况；
- 2) 监测元件的完好及保护情况；
- 3) 有无影响观测工作的障碍物。

5 根据设计要求或当地经验确定的其它巡视检查内容。

**9.0.9** 监测点布置应考虑基坑形状、开挖深度、支护结构类型、施工进度、出土路线和基坑周边各类邻近建(构)筑物、地下管线现状等因素,避开障碍物和减少对施工作业的影响,便于观测,并应布置在内力及变形关键特征点上,且能反映各类支护结构及周围环境受力状态和变形变化趋势。

**9.0.10** 位于重要保护对象安全保护区范围内的监测点布置,尚应满足相关部门的技术要求。

**9.0.11** 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。

**9.0.12** 围护墙水平位移和竖向位移监测点布置应符合下列要求:

- 1 围护墙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,关键部位宜适当加密,且基坑每边监测点不宜少于 3 个,每条边的中部、阳角处应布置测点。
- 2 围护墙计算受力和变形较大处宜布置监测点。
- 3 周边环境重点保护对象处应加密监测点。
- 4 围护墙竖向位移测点与相邻支承柱竖向位移测点宜布置在一个断面上。

5 监测点布置尚应满足设计和施工要求。

**9.0.13** 支承柱竖向位移监测点布置应符合下列要求：

1 监测点宜布置在支承柱计算受力、变形较大的部位。

2 兼作施工栈桥和行车通道区域的支承柱宜布置监测点。

3 设置监测点的支承柱数量不宜少于支承柱总数的 80%，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的数量。

5 布置测点时，宜确保有 2 个相互垂直的断面连续布置。

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

**9.0.15** 支承柱内力监测点宜根据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。

**9.0.16** 结构梁、板内力监测点布置应符合下列要求：

1 监测断面应选在结构梁、板中计算受力较大的部位。

2 兼作栈桥和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两个，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若干截面埋设传感器，各截面的上下皮钢筋各布一个传感器；取土口处的梁埋设传感器时，宜上下左右各布设一个。

**9.0.17** 基坑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。

**9.0.18** 基坑工程的监测频率应以能系统反映监测对象所测项目的重要变化过程而又不遗漏其变化时刻为原则，并考虑地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化和当地经验等因素后综合确定，通常情况下可按本标准第 9.0.19 条的规定采用。当出现下列情况时应提高监测频率：

1 监测值达到报警值时；



- 2 监测数据变化较大或者速率加快；
  - 3 存在勘察未发现的不良地质；
  - 4 基坑及周边大量积水、长时间连续降雨、市政管道出现泄漏；
  - 5 支护结构出现开裂；
  - 6 周边环境出现较大沉降、不均匀沉降或严重开裂；
  - 7 基坑底部、侧壁出现管涌、渗漏或流砂等现象；
  - 8 当有事故征兆时，应连续监测。
- 9.0.19 基坑及周边环境的仪器监测频率不应低于表 9.0.19-1 和表 9.0.19-2 的确定。当观测结果出现异常时，应调整观测频率，加密观测次数，有事故征兆时，应据实加密进行连续监测。

表 9.0.19-1 基坑监测频率

监测项目	监测频率			
	基坑准备阶段	土方开挖阶段	地下结构施工阶段	底板浇筑阶段
围护墙结构变形(墙后土体深层位移)	—	1次/天	1次/3天	1次/周
压顶梁(围檩梁)变形	—	1次/天	1次/3天	1次/周
支承柱变形	1次/2天	1次/天	1次/3天	1次/周
结构楼板、梁、临时支撑、支承柱内力	—	1次/天	1次/3天	1次/周
地下水位	1次/2天	1次/天	1次/3天	1次/周
基坑回弹	—	1次/天	1次/3天	
水土压力	—	1次/天	1次/3天	1次/周

表 9.0.19-2 周围环境监测频率

监测项目	监测频率			
	基坑准备阶段	土方开挖阶段	地下结构施工阶段	底板浇筑阶段
地下管线、沉降	1次/3天	1次/天	1次/3天	1次/周
周边建(构)筑物倾斜、裂缝	1次/3天	1次/天	1次/3天	1次/周
地面沉降与裂缝	1次/3天	1次/天	1次/3天	1次/周

续表 9.0.19-2

监测项目	监测频率			
	基坑准备阶段	土方开挖阶段	地下结构施工阶段	底板浇筑阶段
地下水位	1次/2天	1次/天	1次/3天	1次/周
轨道交通等地下构筑物	1次/3天	1次/天	1次/3天	1次/周

注:1 轨道交通监测尚应满足相应主管部门的要求。

2 环境等级为一级的基坑对开挖深度范围内的重要构筑物或设施应加强监测。

**9.0.20 基坑工程监测必须确定监测报警值,报警值应根据土质特征、建(构)筑物对变形适应能力、设计计算结果及当地经验等因素由基坑工程设计方确定。通常可按 9.0.20-1 和表 9.0.20-2 执行。**

表 9.0.20-1 基坑周边环境监测报警值参考表

序号	监测对象项目	变化速率 (mm/d)	累计报警 值(mm)	累计报警 值(mm)	极限(累计) 值(mm)	备注
1	煤气、供水管线位移	2	6	8	10	刚性管道
2	电缆、通信管线位移	3	9	12	15	柔性管道
3	地下水位移	300	600	800	1000	—
4	邻近建(构)筑物位移	1~3	12~36	16~48	20~60	根据建(构)物对变形的适应能力

注:轨道交通等地下设施监测报警值应满足相应主管部门的要求。

表 9.0.20-2 基坑报警值参考表

序号	监测项目	环境等级							
		一级			二级				
		日报 变化率	累计 报警值	累计 报警值	极限值	日报 变化率	累计 报警值	累计 报警值	极限值
1	基坑周围 地表沉降	2mm	0.09% <i>H</i>	0.12% <i>H</i>	0.15% <i>H</i>	2mm	0.18% <i>H</i>	0.24% <i>H</i>	0.30% <i>H</i>
2	支护结构 顶水平位移	2mm	0.12% <i>H</i> 且≤18mm	0.16% <i>H</i> 且≤24mm	0.2% <i>H</i> 且≤30mm	2mm	0.24% <i>H</i> 且≤30mm	0.32% <i>H</i> 且≤40mm	0.4% <i>H</i> 且≤50mm

续表 9.0.20-2

序号	监测项目	环境等级							
		一级				二级			
		日报 变化率	累计 预警值	累计 报警值	极限值	日报 变化率	累计 预警值	累计 报警值	极限值
3	支护结构 顶竖向位移	2mm	9mm	12mm	15mm	4mm	18mm	24mm	30mm
4	地下水位	500mm	700mm	960mm	1200mm	500mm	1400mm	1920mm	2400mm
5	深层土体位移	2mm	21mm	28mm 且 $\leq 0.14H$ $H$ 的 70%	35mm 且 $\leq 0.2H$	2mm	30mm	40mm 且 $\leq 0.24H$ 的 70%	50mm 且 $\leq 0.4H$
6	支撑及梁 板轴力监测		设计值的 60%	设计值的 80%	设计值的 100%		设计值的 60%	设计值的 80%	设计值的 100%
7	基坑回弹 监测	2mm	15mm	20mm	25mm	2mm	25mm	30mm	50mm
8	支撑柱变形	2mm	6mm	8mm	10mm	2mm	6mm	8mm	10mm
9	围护墙、 支撑桩间 差异沉降	2mm	6mm	8mm	10mm 且 $\leq$ 水平距离的 1/400	2mm	6mm	8mm	20mm 且 $\leq$ 水平距离 的 1/400
10	楼板应力		设计值的 60%	设计值的 80%	设计值的 100%		设计值的 60%	设计值的 80%	设计值的 100%

9.0.21 当出现下列情况之一时,必须立即进行报警,并对基坑支护结构和周边环境中的保护对象采取应急措施:

- 1 当监测数据达到监测报警值的累计值。
- 2 基坑支护、结构或周边土体的位移突然明显增长或基坑出现流砂、管涌、隆起、陷落或较严重的渗漏等。
- 3 基坑支护、结构体系出现过大大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象。
- 4 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。

5 周边管线变形突然明显增长或出现裂缝、泄漏等。

6 根据当地工程经验判断,出现其他必须进行危险报警的情况。

7 对于倾斜、支护结构纵向弯矩等光滑的变化曲线,若曲线上出现明显的拐点变化。

8 建筑整体倾斜度累计值达到  $1/500$  或倾斜速度连续 3 天大于  $0.0001H/d$  ( $H$  为建筑承重结构高度)。

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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,可采用“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 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
- 2 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 3 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 4 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 5 《钢结构设计规范》GB 50017
- 6 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 7 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 8 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 10 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 11 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 12 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 13 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 14 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 15 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 16 《建筑施工易发事故防治安全标准》JGJ/T 429
- 17 《重庆市工程地质勘察规范》DBJ50/T-043

重庆市工程建设标准

山地建筑工程逆作法技术标准

DBJ50/T-381-2021

条文说明

2021 重 庆

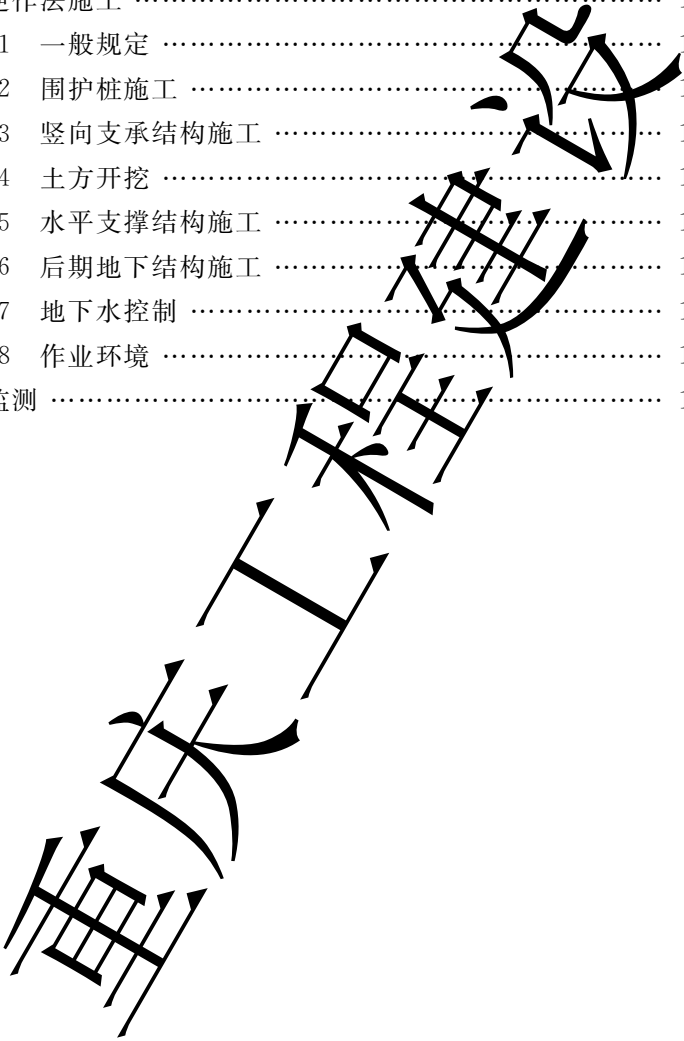
# 重庆工程建设



# 目次

1	总则	89
2	术语和符号	91
2.1	术语	91
3	基本规定	95
3.1	一般规定	95
3.2	勘察与环境调查	99
3.3	方案选型	99
3.4	设计原则	100
4	结构分析	103
4.1	荷载和作用	103
4.2	内力及变形计算	104
5	围护结构设计	105
5.1	一般规定	105
5.2	围护桩	105
5.3	桩墙合一	106
6	竖向支承结构设计	109
6.1	一般规定	109
6.2	支撑桩	109
6.3	支撑墙	114
6.4	连接构造	116
7	水平支撑结构设计	118
7.1	一般规定	118
7.2	水平支撑结构布置	119

7.3	构件设计 .....	120
7.4	连接构造 .....	121
8	逆作法施工 .....	126
8.1	一般规定 .....	126
8.2	围护桩施工 .....	127
8.3	竖向支承结构施工 .....	128
8.4	土方开挖 .....	130
8.5	水平支撑结构施工 .....	132
8.6	后期地下结构施工 .....	133
8.7	地下水控制 .....	136
8.8	作业环境 .....	136
9	监测 .....	137



# 1 总 则

**1.0.1** 本条是采用逆作法的建筑工程勘察、设计、施工、检测与使用中必须遵循的基本原则。

目前重庆地区应用逆作法技术的工程已有若干项,如巴南商业中心、空港总部大楼、渝北区要坝地下停车场工程项目等。在充分借鉴上海、浙江等软土地区地下建筑工程逆作法建设经验的基础上,并及时总结近 10 年来重庆市在逆作法技术应用领域的科研成果和工程经验,充分考虑重庆市区域工程地质和水文地质条件的特殊性,使逆作法基坑工程的设计与施工符合技术先进、绿色环保、安全可靠的原则,是编制本标准的目的。

**1.0.2** 本条明确了本标准的适用范围。限于现有工程经验,本标准主要适用于采用逆作法建造的新建和扩建的建筑工程,当用于市政、交通、水利、铁路等项目的基坑工程时,应充分考虑其地下结构特点及适用条件后方可参照执行。

**1.0.3** 建筑地下基坑工程不确定因素多,与基坑计算有关的岩土力学参数取值存在较大不确定性,尤其是岩质地层,理论计算结果与实际情况之间往往存在较大差异,因此基坑工程设计不可仅依赖于计算结果,还应更多关注概念设计和地区经验,严格监测流程,根据实时监测结果进行信息化设计和施工。

**1.0.4** 逆作法设计与施工涉及岩土工程与结构工程的多门学科和技术,如结构工程领域的混凝土结构、钢结构或型钢混凝土组合结构等,岩土工程领域的基坑边坡、桩基、岩土锚固、地下水渗流等;逆作法地下基坑支护结构中的部分或大部分构件,在永久使用阶段将作为主体结构构件使用,其承载力、稳定性和变形验算,应分别满足逆作施工阶段和永久使用阶段的承载力极限状态和正常使用极限状态的设计要求,按不利工况进行包络设计。因

此,在应用本标准时,尚应根据具体问题,遵守其他相关标准的要求。

# 重庆工程建设项目

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 本条给出了逆作法的定义。

随着城市土地资源和空间发展的矛盾和问题日益突出,合理开发和利用城市地下空间,是当前解决城市土地资源和空间发展矛盾的有效途径之一。城市建筑物密集,市政道路及管线设施众多,大型城市地下空间结构的建造施工和深基坑开挖是一项综合性很强的系统工程。由于其问题的复杂性,在大型地下空间结构施工建造过程中日益暴露出来的因基坑土方开挖、围护结构施工、降水等引起的城市环境效应问题越来越受到工程技术人员和政府管理部门的重视。

1933年日本首次提出了逆作法的建造理念,并于1935年成功实施了第一项采用逆作法施工的工程,上世纪50、60年代,逆作法工艺相继在欧洲各国、南非、加拿大、美国等国家应用。尤其是1950年意大利开发了地下连续墙工艺后,逆作法在更大范围内得到了应用。

国内自1955年哈尔滨地下人防工程开始采用逆作法技术以来,经过20世纪70~80年代对该方法的深入探索与研究,目前已在上海、广州、天津、杭州、沈阳、南京、福州等地采用,特别是在建筑物或道路管线密集、水位地质条件复杂的城市中,逆作法技术已成为大型地下空间结构建造的发展方向,其中具有里程碑意义的是1989年建设的上海特种基础工程研究所办公楼(地下2层)工程所采用的封闭式逆作法施工。与传统的顺作法相比,逆作法技术具有以下显著优点:①利用地下主体结构楼层梁板作为基坑水平支撑系统,刚度大,变形小,地下空间结构施工安全性

高；②可有效控制围护结构变形，最大程度地减小深基坑施工对周围环境的影响；③可最大限度地利用城市规划红线地下空间，在允许范围内尽量扩大地下结构建筑面积；④可使建筑物上部结构的施工和地下基础结构施工平行立体作业，在建筑规模大、上下层次多时，可有效节省工时；⑤利用地下结构各楼层的逆板结构作为水平支撑体系，一层结构平面还可作为上部结构施工的工作平台，可省去大量的临时内支撑、栈桥及施工平台等施工费用，具有较好的经济效益；⑥可最大程度实现基坑支护结构与主体结构相结合，有利于保护环境，节约社会资源，是进行可持续发展的城市地下空间开发、建设节约型社会的有效技术手段。

但逆作法基坑工程工序繁多、系统性强、技术难度大、节点处理复杂，对设计和施工组织的要求高，且受水文地质条件影响大。逆作法基坑设计，不仅要考虑作用在围护结构上的土压力，施工过程中围护结构的内力、变形和稳定性，以及周围地层变形对邻近建筑物和地下管线的影响和保护计算等问题，还要考虑支承桩柱之间、围护桩（墙）与支承桩柱之间的沉降差异等逆作法中特有的新问题。因此，建筑工程逆作法技术应用领域仍有大量问题需要进一步研究和探索。

目前，在以软土地基为主要地质特征的地区，如上海、浙江等地区，尤其是在环境保护要求严格条件下的地下建筑工程中已有较多的成功案例，国家层面出台了行业标准《地下建筑工程逆作法技术规程》JGJ165-2010、《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432-2018，国家标准《地基基础设计规范》GB50007-2011、行业标准《建筑基坑支护技术标准》JGJ120-2012 也将基坑工程逆作法列入其中。此外一些地方标准也对逆作法做出了专项规定，如上海工程建设地方标准《逆作法施工技术规程》DG/TJ08-2113-2012 以及浙江省工程建设地方标准《建筑基坑工程逆作法技术规程》DB33/T1112-2015。

由于建筑工程的逆作施工主要体现在地下基坑阶段，受地质

条件、周边环境、地下水位的影响显著,各地对深基坑支护与开挖的规定与通常做法也不尽相同,因此逆作法呈现明显的区域性特点。重庆为典型的山地城市,与其他地区相比,地质条件呈现3点明显差异:①山地环境下,工程地质以岩质、岩土质为主,坑壁自身稳定性较好,坑壁围护结构与软土地区明显不同;②山地地形条件决定了地面条件的起伏性,基坑顶面高差变化较大,三面边坡围成的开放式基坑,甚至是只有一面陆坡的“基坑”较为普遍,逆作施工时,参与水平支撑的楼盖结构将承受不平衡的平面内推力,楼盖结构面内受力远比平原地区的逆作结构复杂;③山地受地下水影响相对较小,但山地临江地区地下建筑施工的防水控制显得更为重要。

2.1.1~2.1.5 逆作法是一种全新理念的地下结构建造方法,除了施工顺序上与传统施工方法不同外,在设计方面 also 与传统方法有较大不同。深基坑支护结构和地下工程施工按照施工顺序划分,可分为顺作法(敞开放式开挖)和逆作法施工两种。敞开放式开挖是传统的深基坑开挖施工方法;逆作法施工和顺作法施工顺序相反,在支护结构及工程桩完成后,并不是进行土方开挖,而是直接施工地下结构的顶板,或者开挖一定深度再进行地下结构的楼板,然后再依次逐层向下进行各层的挖土,并交错逐层进行各层楼板的施工,每次均在完成一层楼板施工后才进行下方土体的开挖。上部结构的施工可以在地下结构完工之后进行,也可以在下部结构施工的同时从地面向上进行。

目前的文献和工程建设标准中,逆作法分类有多种方式,比如根据对围护结构的支撑方式,将基坑工程逆作法分为“全逆作法”、“半逆作法”、“部分逆作法”等。但按照上述三种名称进行定义会出现混淆,比如“半逆作法”通常会与“部分逆作法”相混淆。相关文献中定义的“半逆作法”与“全逆作法”,对地下结构“逆作”本身是相同的概念,都是按从上到下的工序逐层施工,不同之处在于“半逆作”强调待地下结构完成后再施工上部主体结构。当

裙房半逆作,先施工地下部分,主楼待裙楼地下施工结束后再开始,此时根据上述分类方法区分就会出现混淆。

部分逆作法则通常是指局部利用楼板作为围护结构的支撑。本标准根据对各层水平结构的利用程度分为“全逆作法”和“部分逆作法”,不再区分地上地下结构的施工顺序。比如超高层建筑采用“周边裙楼逆作、然后主楼顺作”时,属于部分逆作法。上下同步逆作法则单独指逆作法中的一个特例,不是分类方法。引入“上下同步逆作法”、“界面层”的概念则可消除“半逆作法”带来的概念混淆。

**2.1.6** 山地建筑结构由于受地形条件的限制,通常并不是地下所有结构都作为基坑围护结构,而仅仅是某段轴线范围内的结构采取逆作施工工艺,将这部分结构定义为逆作范围,同理其余部分为非逆作范围或顺作范围。

**2.1.7** 三面基坑、单面基坑或因周边高差较大的基坑是山地地下建筑基坑的显著特点,简而言之,就是在斜坡上开挖形成的基坑。开放式基坑逆作施工中将会由于两侧土压力差而对结构形成不利影响,这是山地建筑逆作法中应着重注意的问题。开放式基坑为增强基坑边坡稳定性,一般采取踏步式逆作工艺,必要时设置临时斜向抛撑。

**2.1.8** 踏步式逆作是山地建筑及规模较大地下建筑经常采用的逆作方法,其基本原理如图1所示。

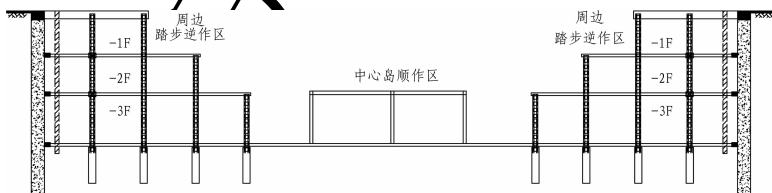


图1 踏步式逆作

**2.1.9** 跃层逆作是地质条件较好的地区多采用的逆作形式,其基本原理如图2所示。



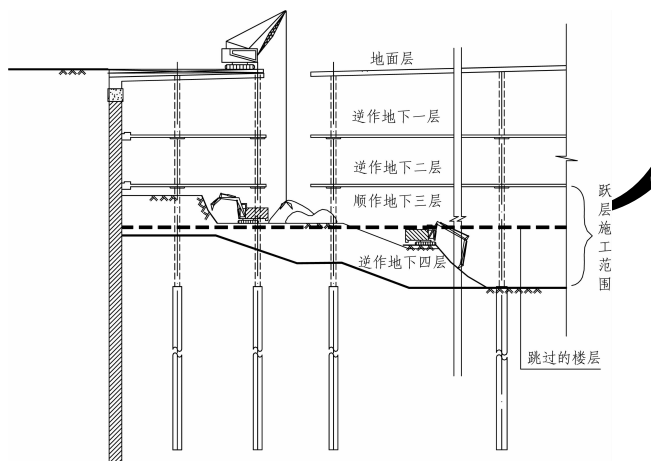


图 2 跃层逆作

建筑工程施工

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 本条对采用逆作法的建筑工程作出适用范围建议。逆作法基坑工程施工工况复杂,工期长,费用相对较高,一般在环境保护要求高或建设工期有特殊要求的工程中采用。重庆为山城地貌,地质条件较好,但对于拟建建筑周边环境复杂,对基坑变形敏感、建筑基坑深度较大,且基坑支护无法设置锚杆(索)等锚拉结构时,寻求采用地下主体结构作为基坑支护结构的逆作法施工为合适的选择。

**3.1.2** 逆作法是一种工艺复杂的施工工艺,逆作的主要作用是利用地下全部或部分水平结构作为基坑内支撑。实际工程中可将地下结构在平面内分为若干区域,对确需采用逆作工艺的部分进行逆作施工,其余部分按照常规工艺进行自基坑底至地面的顺作法施工,且顺作先完成的结构可作为逆作结构楼盖的水平支撑。

山地建筑逆作法逆作面并非选在地下结构顶板处,由于地质条件较好,可在地下开挖1-2层后再采取自上而下施工地下结构并与基坑开挖交替实施的逆作方法。

逆作施工中可根据工程规模、结构形式、场地条件等,采取框架格梁逆作法、斩层逆作法、踏步式逆作法等,因此逆作法设计与施工与本条所述的各种因素密切相关,这些因素决定所采取的逆作范围和具体的逆作工艺。

**3.1.3** 最大程度实现基坑支护结构与主体结构相结合是逆作法的突出优势之一,能够节约成本,加快施工进度,并有利于保护环境。

**3.1.4** 逆作法是一种设计与施工紧密结合的特殊工艺,在传统设计的基础上,采取逆作工艺的建筑尚应进行专项逆作工艺设计,本条给出了逆作法设计应具备的必要资料。

**3.1.5** 利用地下结构兼作基坑的支撑结构,基坑开挖阶段与地下结构在永久使用阶段的工况有较大差别,应分别进行设计计算,并应考虑逆作施工不利因素对永久结构的影响。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 等对手部承载力、变形和耐久性的有关规定。设计时还要考虑受逆作施工过程影响的永久使用阶段的验算。

**3.1.7** 逆作基坑支护结构在逆作范围内,大多利用主体地下结构构件,其设计使用期限应与主体结构的设计使用年限相同。临时支护结构构件的设计使用期限可按临时性构件考虑。

**3.1.8** 逆作基坑支护结构的临时支护结构构件,其安全等级划分同现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定相一致。与地下主体结构相结合支护结构构件,其安全等级尚应不低于地下主体结构的安全等级,同时规定不应低于二级。

**3.1.9** 逆作法基坑工程施工工况多,支护结构受力复杂,尤其是上下结构同步施工的逆作法工程,基坑稳定性和支护结构的最终内力和变形量,与基坑逆作流程、支护结构施工次序、不同开挖阶段的标高控制等密切相关。因此,作为基坑支护设计文件,应明确基坑逆作施工的流程、支护结构和主体结构的施工顺序、各施工工况土方开挖控制标高、上部主体结构施工层数控制等要求;作为施工单位,应严格按设计规定的逆作流程和工况要求进行施工。

**3.1.10** 相对于普通的向下逆作工程,在上下同步施工的过程中,竖向支承桩柱的承载力和现行性能、界面层的刚度和嵌固条件以及界面层上下结构的可靠转换显得更为复杂、重要,对于这

些关键结构及相关节点的设计、施工和监测方案的制定应通过参建各方紧密配合,反复协商才能确定。

**3.1.11** 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。

**3.1.12** 本条给出了山地建筑结构为增强支护结构体系承载能力和基坑稳定性而提出的两种逆作方案。采用部分逆作法可减小逆作范围,提高经济性;采用踏步式逆作,可将原作范围内形成的结构作为逆作区域内支承结构体系的反力点。

**3.1.14** 规定迎土侧必须设置围护结构是为了确保垂直开挖基坑的坑壁稳定性和周边环境安全。

**3.1.16** 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。

**3.1.17** 由于基坑工程不确定因素多,根据每一步开挖工况时的监测结果复核下一步开挖的可行性和安全性,遇异常情况应会同设计方及时调整挖土方案和作业流程,并采取合理可靠的加强措施,实行动态设计和信息化施工。

## 3.2 勘察与环境调查

3.2.3 逆作法工程经勘查后,当建筑场地岩土工程条件特别复杂时,宜由具有相应岩土工程咨询设计资质的单位完成逆作法工程地基基础方案选型、地基计算和处理、围护结构及中间支承结构设计方案、地下水降水和截水设计、地下建筑抗浮设计以及有关设计参数检测的试验设计等岩土工程问题,进行专门的逆作法工程岩土工程咨询设计。

3.2.5 基坑周边环境条件是逆作法设计的重要依据之一,基坑周边存在道路、管线和既有建筑物,工程支护的作用主要是保护周边环境不受损坏。同时基坑周边在建的工程,其施工过程可能改变作用在基坑支护结构上的荷载,为了使逆作法基坑工程支护设计具有针对性,应查明基坑周边环境条件,并按这些环境条件进行设计。

### 3.3 方案选型

3.3.1 本条给出了不同地质、工程规模、作业条件下可供选择的逆作法工艺。

3.3.3 逆作法工程施工受周边环境条件、施工作业条件、主体结构体系及经济指标及施工工期要求等条件约束,应综合考虑比较选择。

3.3.4 逆作法地下支承体系宜尽量利用主体地下结构的外墙、结构柱和楼面梁、板构件,必要时增设临时性的支护体结构。

根据山地工程特点,地基岩土条件较好,可采用一次成型支承柱,如在大桩径人工挖孔桩护壁内一次成型钢筋混凝土或型钢混凝土、钢管混凝土支承柱,避免后期在先期钢支承柱或钢管支承柱实施外包混凝土浇筑作业。

**3.3.5** 上下同步施工的界面层既是一个施工界面,同时在施工阶段也作为上下结构的转换层,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。

### 3.4 设计原则

**3.4.1** 逆作结构与常规顺作结构相比,支护结构受力更加复杂,设计工况更多,设计内容也有很大不同,其中逆作方案选型、逆作流程及施工工况的设计、水平支撑结构体系和竖向支撑结构体系的合理布置应是重点。另外,支护结构分析模型、内力变形计算的要求与顺作工艺相比,也有较大差别。逆作基坑必须考虑施工作业的可行与方便。

值得一提的是,逆作法施工是一项设计施工一体化的建造工艺,每一项施工步序都会造成地下逆作支承体系不同的受力工况。因此设计应充分考虑施工工艺,在设计文件中给出明确的逆作工艺流程,施工中不得擅自更改。

**3.4.4** 本条对逆作施工阶段基坑支护设计时应考虑的荷载和作用,作了原则规定;永久使用阶段应考虑的荷载和作用,应根据主体结构设计的相关标准,由主体结构设计确定。考虑到基坑逆作施工时间较短,重庆市内各地设防烈度多为6度,个别地区为7度,故施工阶段可不考虑地震作用的影响。逆作法施工的地下结构由于位于基坑内,受风荷载影响小,即使上下同步逆作,由于地上结构在逆作期间施工层数不多,且上部施工结构尚未施作围护结构,风荷载影响较小,因此逆作阶段可不考虑风荷载作用。

**3.4.5** 基坑支护设计应采用以概率为基础的极限状态设计法。本条规定了逆作法基坑,在逆作施工阶段的极限状态计算内容。

逆作基坑支护结构大多利用主体地下结构构件进行布置,这是与一般顺作法基坑所不同的地方。对于与主体结构构件相结合的支护结构构件,除进行构件的承载力、稳定性及变形验算外,

对钢筋混凝土构件,有时尚应验算其最大裂缝宽度,并满足主体结构的相应要求。

**3.4.6** 本标准中,地下结构设计计算内容,主要针对逆作施工阶段。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计算,应按主体结构的有关现行标准执行,并符合主体结构的有关构造要求。

**3.4.8** 由于国内岩土工程界目前仍普遍认可单一安全系数法,且新制定的国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068-2018中明确了对岩土稳定验算可采用单一安全系数法,解决了过去标准之间不协调的问题。因此,本标准规定对承载力极限状态中的各类基坑稳定问题,采用单一安全系数法进行验算。

**3.4.10** 对于临时性支护结构构件,现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120规定在承载力极限状态计算时,其荷载效应的基本组合采用综合分项系数1.25,这主要是针对常规的顺作法基坑工程,其支护结构多为临时性结构构件,一般来说,支护结构的使用时间不会超过1年,正常施工条件下最长的工期也不超过2年,在安全储备上与主体结构应有所区别,故采用了一个综合分项系数。

考虑到逆作法基坑工程的支护结构,多数利用主体结构构件,各类荷载效应组合时,若采用单一的综合分项系数,安全储备可能难以得到保证。因此,本标准参照现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068和《建筑结构荷载规范》GB50007,给出了与主体结构相结合的支护结构构件的荷载效应组合表达式,以方便设计人员采用。

**3.4.11** 本条规定了进行永临结合支护结构承载力极限状态计算时,其荷载效应采用基本组合的荷载分项系数。在确定取值时,可根据拟作支承结构的结构类型(混凝土结构、钢结构、组合结构),根据对应的设计标准选取。

当荷载效应对支护结构构件承载力有利时,永久荷载的分项

系数应取不大于 1.0 的值；可变荷载的分项系数应取 0，即不考虑可变荷载的有利作用。

需要注意的是，在进行基坑稳定性计算时，当可变荷载的效应对基坑稳定有利时，也不应考虑其有利作用。

各施工阶段对应的计算工况下，对作用于支护结构上的土压力（含基坑周边地面堆载引起的侧压力）、水压力，其作用可视为永久荷载；但对基坑周边施工荷载、运输车辆等引起的侧压力，应视为可变荷载。

**3.4.12** 本条明确支护结构变形和基坑周边土体变形计算时，采用荷载效应的标准组合。

**3.4.13** 对于基坑支护结构中与其体地下结构相结合的钢筋混凝土结构构件，其最大裂缝宽度应按荷载效应的标准组合进行计算，这与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定相一致。考虑到逆作法施工时间相对较短，可对按考虑长期效应影响的最大裂缝宽度限值作适当折减。

**3.4.14** 根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定，竖向支承桩沉降应按荷载效应的准永久组合进行计算，不计入风荷载和地震作用。



## 4 结构分析

### 4.1 荷载和作用

4.1.1 本条规定了围护结构土压力在不同条件下的取值计算方法,从极限状态的角度可作如下理解:①当支护结构预估位移达到相应土体的极限状态位移时,采用主动、被动土压力;②当支护结构未达到相应土体的极限状态位移时,采用静止土压力与主动、被动土压力之间的土压力值;③当支护结构的水平变形有严格限制时,采用静止土压力。

4.1.5 本条强调逆作施工阶段各部位施工面荷载标准值按实取用的原则,所给出的数值是在总结多个项目施工经验的基础上得到的。

4.1.6 本条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,但不得小于本条文中的各项取值。

根据工程实践,当上部层数小于 10 层时,侧向作用往往不是控制工况,而层数越高,侧向作用越明显,对于承受较大倾覆力矩的剪力墙下的支承柱侧向作用的影响更不容忽视。

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荷载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。

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

**4.1.8** 逆施工时,逆作面是主要的施工平台,受土方施工影响,施工荷载较大,且挖土、出土工况的施工荷载标准值难以从荷载规范中查取。本条特别规定了施工荷载应结合施工实际进行选取。

## 4.2 内力及变形计算

**4.2.5** 本条提出的等效开挖深度法是根据对多个工程案例的有限元分析结果进行统计分析,并结合大量工程经验给出的。岩质土层可不考虑坑内留土和考虑坑中坑影响。

## 5 围护结构设计

### 5.1 一般规定

5.1.2 根据重庆山地特点,绝大多数情况下基坑围护结构采用密布抗滑桩能够满足基坑逆作支护要求。且该方法在重庆地区的边坡治理、基坑支护中已有较多的工程经验,方法可靠,工艺简单、施工快速,较为经济。极特殊情况下,如临江河边、高回填软土地区等可借鉴上海、浙江等地区经验采用地下连续墙、咬合桩、型钢水泥土搅拌墙等围护形式。

5.1.3 重庆山地地区,基坑围护墙多采用密布灌注抗滑桩,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结构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。围护墙与主体结构相结合不仅可以节省工程造价,充分利用资源和地下空间,还具有下列优点:①由于围护墙将按主体结构考虑,因此其安全度及耐久性要求高,设计的围护体系整体安全度相对较高,更为安全;②对围护墙垂直度、成墙质量等的施工要求高,与临时围护墙相比,施工质量更能保证基坑施工阶段的性能要求。

5.1.4 由于逆作法施工中各层楼盖支模需要,各层实际开挖深度低于板面标高,因此各开挖工况下的基坑开挖深度应采用逆作法的实际深度,超挖会改变围护墙的计算图示,造成安全隐患。

### 5.2 围护桩

5.2.1 根据施工工艺不同,常用的灌注桩排桩有钻孔灌注桩、人工挖孔桩、旋挖成孔灌注桩、冲击成孔灌注桩等等,具体工艺的选

择应根据水文地质条件、环境条件、成桩深度、地区经验等综合确定；截水帷幕的常用形式有普通水泥搅拌桩、高压旋喷桩、三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥连续墙等。

**5.2.2** 当采用非“桩墙合一”围护结构时，临时围护体与各层水平结构之间的连接应妥善解决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如何设置；②边跨结构二次浇筑的接缝止水和支撑穿外墙处止水如何处理。本条文建议采用型钢支撑或钢与混凝土组合支撑，从已建工程的应用效果来看，可较好解决以上两个问题。临时围护墙与地下结构外墙留设不小于 1m 的空间，是用于外墙的防水作业。

周边设置的水平支撑传力件在围护桩与地下结构外墙之间密实回填后方可割除，由此带来临时传力支撑体系穿越后施工外墙处的止水问题，不同材料的水平传力支撑件穿越外墙时的止水处理方式不尽相同。当采用 H 型钢传力件时，可在 H 型钢穿外墙位置焊接一圈一定高度的止水钢板，从而隔断地下水渗入结构内部的路径；当采用钢管支撑时，可将穿墙段的钢管采用 H 型钢代替；当采用混凝土支撑时，可在混凝土支撑穿外墙位置设置一圈遇水膨胀止水条，也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。

### 5.3 桩墙合一

**5.3.1** 桩墙合一时，需验算三种应力状态：施工阶段作用在围护结构上的侧向土压力、水压力产生的应力；主体结构竣工后作用在围护结构上的侧向土压力、水压力产生的应力以及作用在主体结构上的竖向、水平荷载产生的应力；主体结构竣工若干年后，侧向土压力由主动土压力变为静止土压力，水位恢复到静止水位，因此围护结构在不同阶段的应力状态是不同的。

**5.3.2** 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结构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件带确保“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。

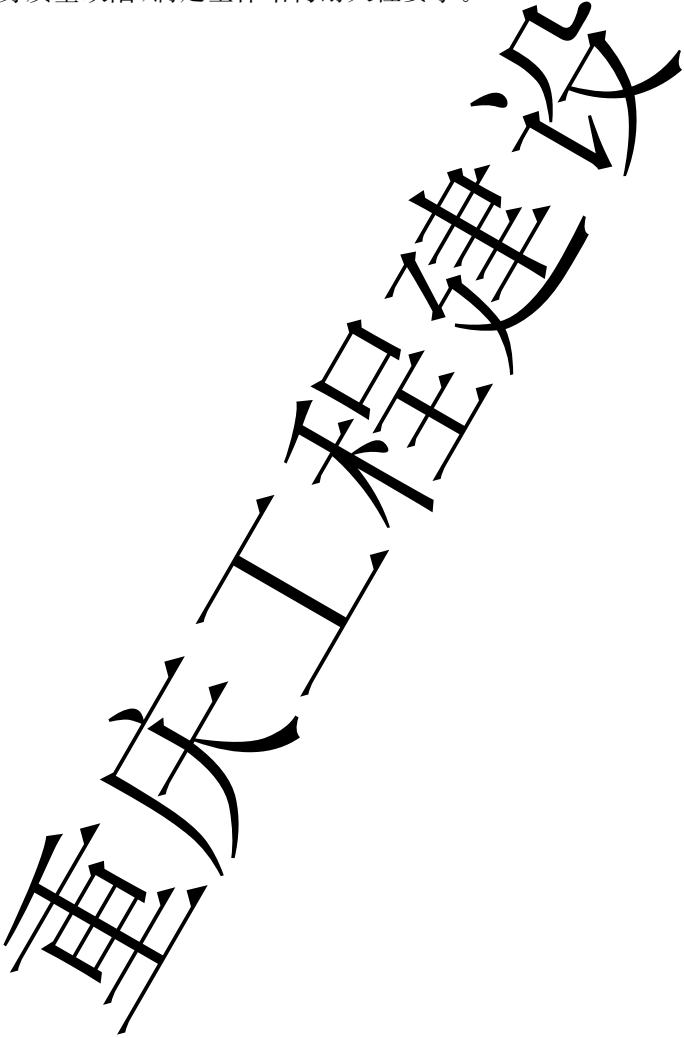
基坑开挖阶段灌注桩排桩围护结构的设计方法与常规的围护结构一致。永久使用阶段桩墙合一结构体系作为一个共同作用的受力体,应按各自较为不利的工况进行设计,围护桩外侧施加的荷载可考虑隔水帷幕有效的情况下,坑外水土压力均作用于围护桩进行计算;对于地下结构外墙,外侧荷载可考虑隔水帷幕失效的情况下,地下水从桩缝渗入水压力直接作用于地下结构外墙,另外施加部分静止土压力(按桩墙的旋弯刚度进行分配)进行计算。

当灌注桩排桩内侧与地下结构外墙间留设保温、防水衬垫层时,衬垫材料相对于钢筋混凝土围护桩与地下结构外墙来说刚度较小,桩墙之间存在软夹层,若此软夹层自地下结构底板至顶板通长设置,则水土压力荷载难以通过软夹层传递至地下结构外墙,围护桩可能会发生较大的侧向位移,且衬垫材料可能会在水土压力荷载作用下发生破坏。因此可考虑在各层地下结构楼板位置设置构件顶至围护桩边进行传力,衬垫层于各层楼板传力构件位置处断开,衬垫层自下向上施工,底板位置混凝土直接顶至围护桩挂网喷浆层边与柔性防水层边。

**5.3.3** 本条对桩墙合一灌注排桩面层设置作出规定,临时围护墙在施工过程常常存在垂直度偏差、扩颈、混凝土夹泥、露筋等质量缺陷,设置面层后,一方面质量缺陷得到处理,另一方面,围护墙表面平整后可进行防水施工,有利于保证外防水的质量。

**5.3.5** 规定围护桩和地下主体结构间采取结构连接措施是为了确保桩墙能够复合受力。

5.3.6 灌注桩排桩作为主体地下结构外墙的一部分时,对排桩间距、垂直度偏差、主筋保护层厚度等提出较高的要求是为了减少桩身质量缺陷,满足主体结构耐久性要求。



## 6 竖向支承结构设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 在地下结构逆作期间,由于基础底板尚未封底,地下结构墙、柱等竖向构件尚未形成,地下各楼层和地上计划施工楼层的结构自重及施工荷载,均需由竖向支承结构承担。因此,竖向支承结构的设计是逆作法设计的关键环节之一,需综合考虑主体结构布置、逆作方式及逆作施工期间的变荷大小等因素。

6.1.2 竖向支承桩柱结合地下主体结构竖向构件及其工程桩进行布置时,逆作阶段先期施工的地下主体水平结构支承条件与永久使用状态比较接近,逆作阶段结构自重、施工荷载的传递路径直接,结构受力合理,且造价省,施工方便。另一方面,随着施工工艺和施工技术的发展,目前对竖向支承柱的平面定位和垂直度控制精度已完全可满足其作为主体结构的设计要求。因此,竖向支承结构宜优先考虑与主体结构柱(或墙)相结合的方式布置。

6.1.3 实际工程中,在基坑逆作施工结束后,一般都对支承柱进行外包混凝土以形成主体结构框架柱。此时,支承柱的形式、截面应与主体结构的梁、柱截面相协调。

6.1.5、6.1.6 逆作法施工的结构由于经历了不同的施工过程,并在逆作完成后作为永久结构存在,因此应考虑不同的施工过程中柱的截面特性不同而影响结构构件的受力。

### 6.2 支承柱

6.2.1 根据主体结构体系的布置和受力需要,竖向支承桩柱一

般设置于主体结构柱位置,并应利用结构柱下工程桩作为支承桩。当逆作阶段竖向支承柱竖向荷载较大,框架柱位置设置一根竖向支承桩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。一柱多桩可采用一柱(结构柱)两桩、一柱三桩等形式,当采用一柱多桩形式时,可在地下结构施工完成后,拆除临时支承柱,完成主体结构柱的托换。采用一柱多桩时,支承桩仍然采用主体结构的工程桩,即柱下独立承台为多桩承台,而支承桩为临时构件,在基坑逆作阶段结束后需予以拆除。

**6.2.2** 采用角钢格构柱作支承柱时,地下主体结构、基础承台或底板与支承柱之间的节点处理相对简单,梁纵筋穿越支承柱比较方便,因此当竖向支承结构受力不大时(如仅地下结构采用逆作施工时),可选用角钢格构柱作支承柱。但地上和地下同步施工或地下结构层数较多时,支承柱在基坑逆作施工阶段承受的竖向荷载较大,此时宜采用承载力更高的钢管柱或钢管混凝土柱作竖向支承柱。

**6.2.3** 桩护壁内造柱是重庆地区近几年总结出的一项新的关于逆作法竖向支承柱的施工方法。其基本原理为:从逆作界面层开始开挖形成人工挖孔桩,在桩底至地下结构桩顶标高范围内浇筑形成桩基础,在桩顶标高至逆作界面层的范围内,利用扩大桩孔直径的空间,在桩孔内实施逆作法界面层以下永久结构框架柱的钢筋、模板制安及混凝土浇筑(图3)。其前提条件是,场地条件满足人工挖孔桩的施工条件,且桩孔内径与框架柱之间的净空满足钢筋绑扎、模板支设的操作空间要求,如不满足净空要求,则需扩大桩孔直径。一次成型混凝土支承柱工艺具有如下优势:①人工挖孔桩护壁内造柱可一次性形成地下结构永久框架柱,无需后续再在临时支承柱外侧叠合浇筑混凝土;②无需设置型钢格构柱等临时钢支承柱,节约用材;③框架柱成型质量高,满足永久使用阶段外观要求;④人员在护壁内作业安全内得到保证。但该工艺尚需采取措施克服下列问题:①护壁内作业属于狭小空间作业,需



实施有毒有害气体检测、通风等安全保证措施；②逆作水平楼盖与先期形成的框架柱的连接较为复杂。

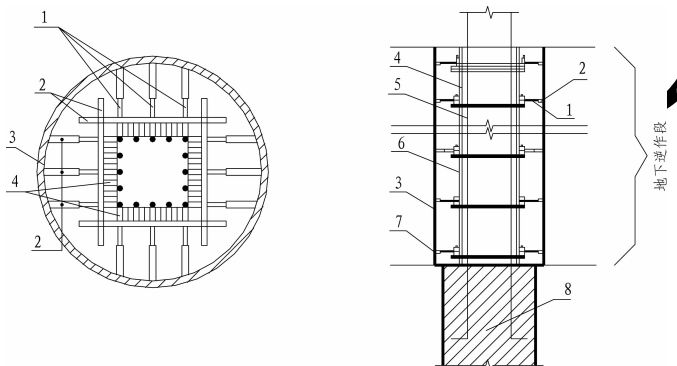


图3 人工挖孔桩护壁内一次形成地下结构框架柱施工

1-顶托；2-背楞钢管；3-桩护壁；4-模板内撑；5-柱筋；6-柱模板；  
7-模板支撑钢管；8-人工挖孔桩桩基

6.2.4 采用灌注桩作支承桩时，支承桩混凝土浇筑过程中，导管需穿越钢支承柱内腔，若角钢格构柱尺寸过小，导管上拔过程中容易被卡住；采用钢管混凝土支承桩时，若钢管内径过小，则钢管内混凝土浇筑质量较难保证。基于现场操作和施工质量角度考虑，本条对角钢格构柱的最小边长和钢管混凝土支承柱的钢管最小外径作了规定。

6.2.5 地上、地不同步施工时，支承柱受力大，且支承柱的截面尺寸、刚度和承载力与上部主体结构框架柱之间存在较大差异和突变，界面层作为两者之间的过渡层，受力十分关键，界面层水平结构宜采用梁板结构，支承柱之间宜设置纵横向连系梁。

6.2.6 当支承柱采用一柱多桩形式布置时，地下结构各楼层荷载需通过每层设置临时承台板(或承台梁)均匀传递至各支承柱。当地上、地不同步施工时，尚需在界面层位置设置转换厚板或转换梁，对逆作阶段上部结构框架柱在逆作阶段承担的荷载进行托换。转换厚板或转换梁高度大于主体结构框架梁截面高度时，当逆作施工完成后一般需要对转换厚板底部进行凿平处理，使其

与框架梁底齐平,因此,主体结构框架梁配筋应事先贯通转换厚板。

临时钢支承柱、界面层转换厚板(或转换梁),应在地下主体结构构件施工完成并达到设计强度后方可拆除,临时支承柱应按“自上而下、对称分批”的原则进行拆除,确保钢支承柱对称卸载,使钢支承柱承担的荷载平稳转换到结构柱上。地下结构各楼层的临时承台板(或承台梁)高度一般小于结构框架梁截面高度,或与框架梁等高,通常无需凿除。

**6.2.7** 剪力墙下采用原位支承柱托换的方式传力直接而明确,应优先采用。较之钢管混凝土支承柱或型钢支承柱,采用格构柱作为墙体的临时托换支承柱,后续钢筋混凝土施工较为方便,对施工精度的要求也相对较低。当剪力墙水平筋无法绕过格构柱,也可考虑在支承柱两侧留竖向施工缝,先浇筑避开支承柱的剪力墙部分混凝土,待先浇部位达到强度后再在格构柱上穿孔布置水平筋,竖向筋与格构柱相重部位则在格构柱两侧部位增设相同数量钢筋且与上部竖向分布筋搭接,而后完成二次浇筑。

钢管混凝土柱及型钢柱适用于施工阶段承受荷载较大的竖向支承柱,施工中应采取特殊工艺保证其定位准确。

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

支承柱在逆作施工期间的内力和变形计算,应采用空间整体模型进行分析。不同施工工况下的结构整体分析模型,应包含该工况时已建地下结构楼层、水平支撑结构及地上已施工的结构楼层,与周边围护桩连接的地下结构楼层周边可设置侧向约束,支承柱底端(支承桩顶面位置)可假定为固定铰支座。

逆作阶段的竖向支承柱为双向偏心受压构件,应按双向偏心受压构件进行截面承载力计算和稳定性验算,并应计入初始偏心

距引起的附加弯矩。支承柱初始偏心距应根据其平面位置和垂直度允许偏差确定,同时根据支承柱的施工和受力特点及现有工程经验,规定其初始偏心距不应小于 30mm 和偏心方向截面尺寸的 1/25 两者中的较大值。

竖向支承柱作为典型的双向偏心受压构件,其承载力计算涉及结构的稳定问题,侧向约束状态是决定支承柱稳定承载力的主要因素。在逆作施工阶段,支承柱上部受到已施工楼层结构的侧向约束,支承柱下部受到未开挖土体的侧向约束。由于逆作法作业流程的复杂性,不同土方开挖阶段、不同施工工况条件下支承柱所处的侧向约束状态是不同的、变化的,支承柱的稳定承载力也是不断变化的,因此,支承柱的计算长度确定和稳定承载力计算必须按照不同工况条件下依据不同的侧向约束状态分别进行分析,并按最不利工况进行截面设计。

**6.2.9** 逆作法施工时,当柱子的混凝土在截面方向采用二次成型的方法施工时,由于混凝土的芯柱与外叠合部分按照不同的施工速度有着不同的应力比,当芯柱与外叠合部分的应力比过高时,由于芯柱部分的混凝土提前进入塑性阶段,对外叠合层部分产生水平环向拉应力,从而导致整体承载力的降低。另外,当进行多层地下结构的逆作法施工时,由于受施工进度影响,后叠合部分截面的混凝土尚未形成刚度或刚度形成较慢,将导致芯柱的应力进一步集中,并导致柱子的竖向压缩变形加大。因此,在逆作法施工设计中,应尽量避免钢筋混凝土柱子采用截面二次叠合成型的方法,当不能避免时,对于此部分混凝土构建的设计可参考现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367 的相关规定。

**6.2.10** 由于支承柱侧向约束状态的复杂性,其计算长度的确定和稳定承载力的计算目前尚无准确方法。采用梁单元模拟支承柱和下部混凝土支承桩,采用弹簧单元模拟周围土体的侧向约束作用,据此建立有限元模型,并考虑按第一阶屈曲模态模拟支承

柱因施工等原因造成的初始缺陷,对支承柱和下部支承桩进行几何非线性屈曲分析,计算得到的支承柱稳定承载力可较好地反映支承柱受水平支撑结构和下部土体侧向约束等因素的影响。本条给出的支承柱计算长度是根据有限元分析结果,结合已有工程经验得到的。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时,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强约束的影响,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。

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。

**6.2.11~6.2.14** 对钢管支承柱、钢管混凝土支承柱、角钢格构柱的构造设计要求作了相应规定。考虑到逆作施工的特点,本标准对支承柱作出的设计构造要求适当严于现行相关标准的规定。

## 6.3 支承桩

**6.3.1** 在逆作施工阶段,竖向支承桩柱承担的竖向荷载大,且逆作阶段先行施工的地下和地上结构对支承桩的差异沉降十分敏感,支承桩的桩基设计等级可采用甲级。

深基坑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起,可能使支承桩桩身产生拉力,支承桩桩身配筋需考虑桩身受拉作用的影响。

**6.3.1、6.3.2** 支承桩选型宜优先考虑采用钻(冲)成孔、旋挖成孔或人工挖孔等混凝土灌注桩,这是基于对上部钢支承柱与下部支承桩之间能确保连接可靠和方便现场施工等因素作出的规定。

地下结构基础底板在逆作阶段尚未形成,与永久使用阶段相比,由于缺少基础的协调作用,结构在逆作阶段对支承桩不均匀沉降尤其敏感。同一结构单元的支承桩,若采用压缩性差异较大的持力层,常引起较大的不均匀沉降,导致水平结构产生过大的附加内力而出现裂缝。因此,同一沉降单元内支承桩,桩端持力层性质宜一致,不应选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层,并宜采取桩端后注浆等减小沉降的措施。

当地上、地下结构同步施工时,对支承桩的承载力要求将更高。若采用一柱一桩形式,逆作阶段上部结构允许施工楼层数往往受到下部支承桩单桩承载力的限制;若采用一柱多桩形式,则需要在结构界面层设置转换构件,对上部框架柱进行托换,上部荷载传递不直接,受力复杂,逆作施工结束后尚需要割除临时钢支承柱和转换构件,并完成全部荷载由临时钢支承柱至结构框架柱(墙)的转换。

**6.3.4** 支承桩一般均利用主体结构的工程桩进行布置,因此,桩基设计应同时满足逆作开挖施工阶段和永久使用阶段的受力和变形要求。

**6.3.6、6.3.7** 在逆作施工阶段,支承桩在上部荷载作用下将发生竖向变形。由于支承桩之间受荷不均匀、或支承桩与周边围护排桩之间底部持力层性质存在差异,都可能导致支承桩之间、支承桩与周边围护排桩之间产生不均匀沉降,从而使水平结构梁板或支墙产生附加内力,引起裂缝出现,甚至影响结构体系安全。因此,支承桩除满足承载力要求外,还必须控制不均匀沉降,使相邻支承桩之间、支承桩与围护排桩之间的差异沉降控制在允许范围内。

逆作施工阶段支承桩基沉降验算时,对采用一柱一桩形式

时,一般可不考虑群桩效应影响,可根据相同条件下的单桩静载荷试验得到的  $Q-s$  曲线,取荷载效应标准组合作用下的桩顶轴力  $N_k$  所对应的桩顶沉降  $s_a$  除以试桩沉降完成系数  $\xi$  后的值,作为支承桩的桩基沉降量。结合已有工程经验,当持力层为基岩时,可取  $\xi=0.9$ ;持力层为砂土、碎石类土层时,可取  $\xi=0.7\sim 0.8$ ;持力层为粘性土、粉土时,可取  $\xi=0.5\sim 0.7$ 。对采用一柱多桩形式时,可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ94)中的等效作用分层总和法进行桩基沉降验算。对基础沉降敏感的结构,宜按照支承桩的沉降允许值或支承桩的实测沉降值,对主体结构内力和变形进行复核。

## 6.4 连接构造

**6.4.1、6.4.2** 钢支承柱插入下部混凝土支承桩内的长度,应满足钢支承柱轴向压力向支承桩可靠传递的要求,并通过计算确定。

对于钢管支承柱、钢管混凝土支承柱,其轴向压力由插入长度范围内的栓钉抗剪承载力之和、支承柱底部混凝土承压力共同承担。

对于角钢格构支承柱,其轴向压力由支承柱底部混凝土承压力、格构柱表面与混凝土之间的粘结力共同承担。格构柱表面与混凝土之间的粘结强度可近似取混凝土抗拉强度设计值的 0.7 倍。

**6.4.5** 在作法施工中,由于水平楼盖后做,为满足梁柱节点处弯矩、剪力的传递要求,并实现梁纵筋的穿节点,需要在已施工的钢管、型钢柱或角钢格构柱的钢材表面焊接传力钢构件,此时支承柱的钢结构已处于高应力状态,局部高温状态将影响支承柱的受力性能,故尽量避免钢牛腿、钢板传力环等抗剪构件与钢支承柱管壁在现场直接进行焊接。无法避免时,应采取在需要焊接作业

部位的钢管外侧事先设置外贴弧形钢板进行加强等措施。

**6.4.6** 支承柱在穿越主体结构底板处应设置可靠的止水措施。对于角钢格构柱,可在每肢角钢的周边加焊两块钢板,通过延长渗水路径起到止水的目的;对于钢管或钢管混凝土支承柱,可在位于底板的适当标高位置加焊封闭的环形钢板形成止水构件。

**6.4.7** 支承柱在基坑逆作阶段受力较大,其截面承载力通常由稳定承载力控制。对竖向支承桩柱施工时形成的桩孔,在混凝土超灌高度以上部分的空隙进行密实回填,是为了保证逆作阶段开挖面以下土体对支承柱的侧向约束作用,减小支承柱计算长度,提高支承柱稳定承载力,防止出现失稳破坏。



## 7 水平支撑结构设计

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 梁板结构作为水平支撑,水平面内支撑刚度大、面外稳定性好,可根据施工需要在梁间开设空洞,并在梁周边预留止水片,在逆作法结束后再浇筑封闭。无梁楼盖作为水平支撑,其整体性好、水平支撑刚度大,并便于结构模板体系施工,同时节点位置钢筋穿越矛盾相对梁板体系比较容易解决。在水平支撑刚度强度等满足要求的情况下,为了减少施工阶段竖向支撑的竖向荷载及便于土方的开挖,也可采用楼板后作的格梁体系,其不足之处为:二次浇筑增加了复杂的连接构造,同时降低了整体性和防水性能。对于空心楼盖,由于其板较薄且通常采用单层配筋,而在逆作法中,楼板承受较大的面内荷载,因此一般不宜采用。作为上部结构嵌固层的楼层和地下结构顶板的结构体系,其构造要求尚应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的相关规定。

**7.1.2** 水平支撑结构在逆作阶段承受周边围护结构传递的水土压力,同时承受竖向自重及施工荷载等,因此应按双向作用进行承载力和变形计算。部分或全部支撑构件在逆作完成后作为主体结构,因此应分别满足逆作施工阶段和永久使用阶段的承载力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

**7.1.3** 在逆作法施工中,混凝土墙、钢管或型钢格构支承柱外包柱、设置临时支承柱时的结构柱、出土口处的梁板等均为后补结构,应预先确定施工方法,并相应预留混凝土浇捣孔、压力注浆孔及相关连接构造等措施。

**7.1.5** 本条所述水平支撑结构设计,除包括作为永久使用阶段



的楼面构件的设计外,也包括含临时水平支撑、临时斜抛撑等临时构件的设计。

## 7.2 结构布置

7.2.1、7.2.2 地下结构逆作施工阶段的垂直运输,主要依靠各种预留洞口来解决,其数量、大小以及平面布置的合理性与否直接影响逆作法期间基坑变形控制效果、土方工程的效率和结构施工进度。同时,地下各层结构除承受较大的施工荷载及自重外,还承受挡土结构传来的水平力。因此需对洞口位置、洞口之间的距离及洞口的加固提出相关的要求。

7.2.3 主体地下水平结构作为基坑施工期间的水平支撑,需承受坑外传来的水土侧压力。因此水平结构应具有直接的、完整的传力体系。如同楼层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,楼板高差处梁板加腋是一种可靠的传力措施。

7.2.4 遇有结构顶板与自然地坪有高差时,可采取在顶层水平结构边梁上设置牛腿的方式与土体相连接,此时可在边梁上设置牛腿,高度与顶板相同,并进行内侧加腋,牛腿范围内边梁加宽,加强受扭,牛腿与土体接触处进行地基加固,增强土体抗力,减小下部变形。

7.2.5 当周边抗滑桩仅作临时围护结构时,围护墙和地下结构外墙分开设置,此时逆作的施工工艺要求外墙只能顺作施工,这就要求边跨位置宜内退结构外墙一定距离,逆作施工结束后,结构外墙与相邻的结构梁板一道浇筑。这就存在边跨结构的二次浇筑问题,主要体现在逆作阶段先施工的边环梁与后浇筑的边跨结构接缝处止水。一般情况下,可先凿毛边环梁与后浇顶板的接缝面,然后嵌固一层通长布置的遇水膨胀止水带。如结构防水要求较高时,还可在接缝位置增设注浆管,待结构达到强度后进行

注浆充填接缝处的微小缝隙,可达到很好的防水效果。

边环梁的设置可提高逆作阶段内部结构的整体刚度、改善边跨结构楼板的支承条件,而且还可以为水平传力体系提供提供较为有力的支撑作用面。

**7.2.7** 在斜抛撑体系形成之前,围护墙的侧向位移主要取决于基坑内侧预留三角土所能提供被动抗力的大小,因此,斜抛撑基础(混凝土反力墩)与围护墙之间的水平距离,应满足基坑内预留土坡的稳定要求和围护墙侧向变形的控制要求。

**7.2.8** 当采用混凝土板带进行加强时,应采取可靠措施使板带和支撑梁共同作用。

**7.2.9** 逆作施工期间的后浇带及结构分缝,将承受压力的支撑从中一分为二,使得水平力无法传递,因此需设置可靠的水平传力构件。采用型钢支撑或型钢与混凝土组合支撑,既可以传递水平力,同时型钢的抗弯刚度较小,因而不会约束混凝土后浇带两侧单体的自由沉降。

### 7.3 构件设计

**7.3.1** 当主体地下水平结构需作为施工期间的施工作业面,供挖土机、土方车以及吊车等重载施工机械进行施工作业时,此时水平构件不仅需承受坑外水土的侧向压力,同时还承受施工机械等的竖向荷载。因此其构件设计在满足永久结构正常使用阶段的结构受力及变形要求之外,尚需满足施工期水平向和竖向荷载共同作用下的受力和变形要求。围檩梁和冠梁通常为水平方向的受弯构件,其截面承载力可按受弯构件计算。当围檩梁和压顶梁与水平支撑斜交时,或在局部布置边桁架而使围檩梁和压顶梁成为边桁架的弦杆时,围檩梁和压顶梁除产生水平方向的弯矩外,还将产生轴向压力,此时应按偏心受压构件计算。

**7.3.5** 与混凝土支撑相比,钢结构支撑的整体刚度更依赖于构

件之间的连接构造,因此,钢结构内支撑设计时,除计算截面承载力和验算变形外,必须重视钢结构的节点构造设计。

钢结构支撑构件的拼接应满足截面等强度的要求,由于逆作施工时施工偏差较大等原因,所以连接方式宜采用可调节的节点形式。钢构件在基坑内的接长,由于焊接条件差,焊缝质量不易保证,实际工程中通常采用螺栓连接。螺栓连接整体性不如焊接,为减小节点变形,宜采用高强度螺栓。

纵横向钢支撑宜设置在同一标高,采用工厂制作的十字节点进行连接,采用这种连接方式节点受力可靠,整体性好。当采用上下重叠连接时,虽然施工方便,但支撑体系整体性较差,应尽量避免,并在截面承载力和稳定计算时,其受压计算长度取相邻横向支撑中心距的 1.5~2.0 倍。钢支撑与钢围檩之间的连接节点受力复杂,应力比较集中,为防止钢围檩梁产生失稳,减小节点处的变形,应在连接节点部位设置加劲板,加劲板厚度不应小于 10mm,焊缝高度不应小于 6mm。

周边排桩围护墙表面一般不平整,特别是采用钻孔灌注桩排桩作围护墙时,为使钢围檩与围护墙之间接合紧密,防止围檩截面产生扭曲,应在钢围檩与围护墙之间采用不低于 C25 的细石混凝土填实。

## 7.4 连接构造

**7.4.1** 本条给出了水平支撑结构与竖向支承结构和周边围护墙之间的连接方式选择的基本原则。在逆作法设计中,水平楼盖是承受竖向施工荷载以及传递基坑土压力重要水平结构,水平结构与中间支承柱及外侧围护桩的连接至关重要。本条给出了连接设计的基本原则,在具体设计中,应综合考虑构件形式、施工顺序、施工环境等因素确定连接方式,不同条件下的连接方式不尽相同,但必须满足构造简单、传力明确,且便于现场施工。在底

板、各层水平结构与围护桩之间设置围檩梁,不仅能提高结构整体性,同时也可降低连接难度,因此环梁设置是实现“传力明确”原则的重要手段。

**7.4.2** 水平楼盖与竖向支承柱在施工阶段的连接至关重要,根据楼盖及竖向支承柱结构形式的不同,其连接构造有不同的方式,但必须满足节点能够可靠传递施工阶段水平楼盖传递给支承柱的剪力和弯矩的要求。

**7.4.3** 逆作法工程中,梁柱节点位置由于竖向支承钢结构柱的存在,使得该位置框架梁钢筋越钢结构柱的问题十分突出。逆作施工阶段设计与主体结构设计在方案前期应充分沟通协调,如有条件,框架梁截面应适当增大,以缓解梁柱节点位置钢筋穿越的难题。当支承柱采用钢管混凝土柱时,也可采用双梁、环梁节点等措施,以满足梁柱节点位置各个阶段的受力要求。

**7.4.4** 在进行节点设计时,应根据剪力的大小计算确定需要设置的抗剪栓钉的规格和数量,当在梁下侧支承柱上设置钢牛腿等抗剪能力较强的抗剪件。

**7.4.6** 逆作施工阶段,逆作面的楼面上由于设置车道,并有出土车辆同行,因此楼面施工荷载较大,采用临时钢牛腿是解决建立传递的有效措施。

**7.4.7** 角钢格构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。

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

传力钢板法是在格构柱上焊接连接钢板,将受角钢格构柱阻碍无法穿越的框架梁主筋与传力钢板焊接连接的方法。该方法的特点是无需在角钢格构柱上钻孔,可保证角钢格构柱截面的完整性,但在施工第二层及以下水平结构时,需要在已经处于受力状态的角钢上进行大量的焊接作业,因此施工时应针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。

梁侧加腋法是通过在梁侧面加腋的方式扩大梁柱节点位置梁的宽度,使得梁的主筋得以从角钢格构柱侧面绕行贯通的方法。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渐变调整,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。

**7.4.8** 与角钢格构柱不同,由于钢管混凝土柱为实腹式,其平面范围之内的梁主筋均无法穿越,其梁柱节点的处理难度更大。在工程中应用较多的连接节点主要有双梁节点、环梁节点、传力钢板法和变宽度梁。

**7.4.9** 双梁节点即将原框架梁一分为二,分成两根梁从钢管柱的侧面穿过,从而避免了框架梁钢筋穿越钢管柱的矛盾。该节点适用于框架梁宽度与钢管直径相比较小,梁钢筋不能从钢管穿越的情况。井字双梁与钢管之间浇筑混凝土,是为了确保节点上各梁端的不平衡弯矩能平稳地传递给钢管混凝土柱。

**7.4.10** 本条规定了钢筋混凝土环梁的构造要求,目的是使框架梁端弯矩能平稳地传递给钢管混凝土柱,并使环梁不先于框架梁端出现塑性铰。

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

穿过钢管柱的连接方式。该节点可在钢管柱直径较大、框架梁宽度较小的条件下应用。

**7.4.11** 当部分纵筋与传力钢板焊接连接时,需要在已经处于受力状态的钢管混凝土柱上进行大量的焊接作业,因此应对高温下钢结构的承载力降低因素给予充分考虑,设计时应采用外贴钢板等加强措施。

**7.4.12** 后浇带处型钢的插入深度及栓钉数量应通过计算确定,当计算所得小于本条规定的构造要求时,插入深度及栓钉应满足构造要求。型钢端部采用变截面(图4),目的是为了减小梁的刚度突变。本条同时也规定了箍筋的构造要求。

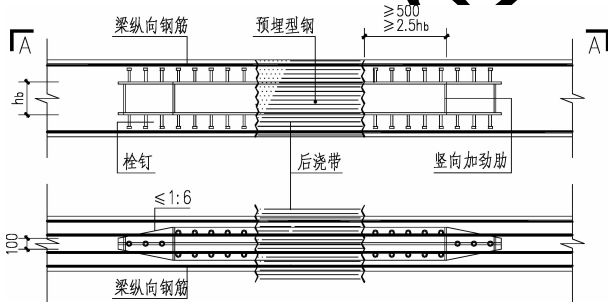


图4 后浇带型钢连接

**7.4.13** 由于沉降缝两侧的结构完全独立无连接,为实现逆作施工阶段水平力的传递,同时在逆作施工结束后便于拆除以保证沉降缝在结构永久阶段的作用,在工程实际中使用较多的是采用H型钢作为水平传力构件。

**7.4.14** 在逆作施工结束后需封闭的洞口周边预留钢筋、抗剪件等连接措施,是为了保证后续构件的连接可靠性;对有防水要求的预留洞周边设置止水措施,是为了保证止水效果。

**7.4.15** 由于逆作施工的特点,预留钢筋有时无法错开接头位置或不能在规范规定的位置设置钢筋接头,所以本条针对此种特殊情况做出规定。对于需进行弯曲后矫正的钢筋,由于钢筋性能受到影响,本条规定设计时应予以考虑这种不利影响。

**7.4.16** 由于主梁纵筋及底板主筋通常直径大于 20mm 且为 HRB400 钢筋,所以一般采用预埋钢筋接驳器的连接方式。地下结构顶板、底板与围护桩连接处均为防水薄弱点,因此应设置必要的构造措施保证其连接和防水的可靠性,为防止地下水从钢筋与混凝土之间可能产生的微小缝隙渗入,预埋钢筋和接驳器不应贯通全截面。

重庆工程集团

## 8 逆作法施工

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 对于逆作法的施工,整个施工过程中,各施工工况直接影响着工程结构的受力状态,例如,对于柱、桩的承载力的确定、结构节点构造的设置、上部结构的施工控制层数量的影响,工程结构设计应考虑施工的各种情况。所以,设计单位和施工单位应该密切配合。在工程开工前,施工单位有必要整合各个技术的相关信息并和设计单位进行洽商,以充分发挥逆作法的优点,规避逆作法的缺点。

**8.1.3** 施工组织设计的编制应符合现行国家标准《施工组织设计规范》GB50502 的规定,并包括以下内容:围护结构施工方案、竖向支承桩柱施工方案、水平/竖向结构施工方案、降水和土方开挖方案、监测方案、应急预案等。由于采用逆作法施工的建筑工程其基坑为危险性较大的分部分项工程,尚应按照《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》(建设部令[2018]第 37 号)、《关于实施《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知》(建办质[2018]31 号)的规定编制安全专项施工方案。

**8.1.5** 地上地下同步施工是逆作法施工的发展方向,要求施工单位具备更高的施工工艺水平,与设计的结合也更为紧密。确定施工方案时应综合考虑工期、造价、设计要求及现有施工能力等因素。不是所有的工程都适合采用上下同步施工方法,对于地下结构层数少于 2 层的情形,采用上下同步施工对整体工期影响不大,而相应的施工措施却可能会一定程度上提高地下结构造价;而向上同步施工层数较高(10 层及以上层数)的结构,由于对竖向支承桩柱的承载力和沉降控制要求较高,而且需考虑风等水平作



用,故必须要根据具体工程进行专门的设计和施工方法的论证。此外地上地下同步施工中一般向下施工进度相对较慢,在地下结构刚度和整体性尚未形成前,上部结构荷载增加过快,对控制地下结构的变形及施工质量会造成一定影响,尤其当主体结构为框剪或框筒结构时,该问题更为突出,因此条文中作了相应的限制。

地上地下结构同步施工过程中临时构件的施工误差和缺陷不可避免,而施工阶段出现的动静荷载变化、温度效应、支承柱沉降、基坑变形、结构受力转换均在不同程度上存在不确定性,单纯的计算分析肯定是不够的。所以,地上地下结构同步施工工程应有针对性的施工监测方案,以便设计和施工管理人员及时定量地掌握施工情况,从而更好地指导施工。

**8.1.9** 界面层以下的竖向结构主要包括框架柱、剪力墙、地下结构外墙(包含内衬墙及壁柱)等构件。

**8.1.10** 施工作业层的框架柱、剪力墙等竖向结构是上下同步施工时的重要竖向构件。施工时必须保证重要构件的安全,必要时需采取相应的加固措施。

## 8.2 围护桩施工

**8.2.1** 施工过程中会产生土体位移、沉降,测量成果资料按规定复测和保护很重要。测量基线与水准点是工程施工定位的依据,因此要按交接手续进行交接,并进行现场复核。资料交接不清或不全往往是导致工程事故的原因之一。

**8.2.2** 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;对于要求较低的工程可进行原位试成孔。非原位试成孔的孔位在试成孔结束后应采用砂浆或其它材料密实封填。

**8.2.3** 逆作法施工先施工顶板,对灌注排桩的顶标高控制要求较高,另外灌注排桩作为主体结构时需要预埋插筋或接驳器等,

为确保预埋插筋、接驳器标高的准确,需精确计算吊筋长度,并采取可靠措施固定。

**8.2.4** 围护桩施工过程中控制与质量验收中,应注意区分仅作为临时围护结构的灌注桩排桩和桩墙合一灌注桩排桩。

### 8.3 竖向支承结构施工

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

**8.3.4** 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。规定注浆器应采用单向阀,是为了防止泥浆及混凝土浆液的涌入。

**8.3.6** 竖向支承柱加工和拼装应按《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 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 时采取分节制作,运到施工现场组装,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,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,确保拼接精度。

**8.3.8** 不同强度等级混凝土的施工界面一般低于竖向支承柱底部 2m~3m,可根据需要采取措施阻止竖向支承柱外部混凝土的上升高度,以达到节约经济的目的。方法有多种,可根据各施工单位施工能力水平及工程需要等选择阻止钢管外混凝土上升的方法,一般可采用砂石对钢管柱外侧进行回填,以下回填方法供参考:

- 1 当支承桩低标号混凝土液面上升至设计桩顶标高以上 3.5m 时停止灌注,开始浇灌钢管内高标号混凝土。

- 2 高标号混凝土灌注至钢管柱底端口上下各 1m 时放慢浇

灌速度,泵车开启最低档或间断灌注,尽可能减小对钢管柱产生扰动。

3 高标号混凝土停灌后,拆除两节导管(即导管底口位于钢管柱底口以上 3m),开始回填碎石到三分之一的高度。

4 高标号混凝土停灌静置约 1.5 小时后继续浇灌高标号混凝土,同时测绳从四周量测回填碎石面的上升情况,若碎石上升,则停止浇灌继续回填石子,直至钢管柱外砼面稳定且碎石面不上升,再继续浇灌,及时根据两侧的钢管柱内砼面标高拆拔导管,埋深始终保持在 6m-10m。

5 待钢管柱内残存的低标号混凝土全部从钢管柱顶口的溢浆口溢出见到高标号混凝土石子后方可停止灌注,此时钢管柱内低标号砼全部被高标号混凝土置换完毕,高标号混凝土停灌时砼面高出设计柱顶标高 20-30cm。

6 砼浇灌完后,碎石砂继续对钢管柱外侧进行回填,回填至自然地面。回填时,须人工沿孔周边对称、均匀回填。

7 分批次对已回填的桩孔利用预先埋设的 1 寸注浆管进行填充注浆,水泥采用普通 P. O42.5,按水灰比 0.55 拌制,水泥浆注入量为回填体积的 20%。竖向支承柱外可以采取包裹土工布或塑料布等措施,减少凿除外包混凝土工作量。

**8.3.9 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(HDC 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。

HDC 工法系高精度钢支承柱安装工法简称,是竖向支承柱后插法中应用的较为成熟的一种。HDC 工法融合了国内、外同类施工方法的优点,克服了常规方法不能进行纠偏的不足,使钢支承柱的安装垂直度精度能达到 1/500 甚至更高,是目前最先进的插钢支承柱的施工方法之一,具有广阔的适用价值和应用前

景。HDC 工法施工流程为:通过地上 HDC 液压垂直插管机机身上的两个液压抱闸和一个竖向液压垂直插拔装置,及孔内的导向纠偏装置,将钢支承柱垂直向下插到支承桩中,边插边利用安装在钢支承柱上的测斜仪随时监测钢支承柱的垂直度,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支承柱垂直插入到设计标高。HDC 施工方法调垂原理为:根据“点—线”原理,通过利用钻孔孔内空间,延长了两个垂直控制点之间的距离,使垂直度控制更便捷有效,同时降低了设备的地面高度,增加了系统的整体稳定性和可操控性,从而更有效的达到对钢支承柱的导向、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,须人工沿孔周边对称、均匀回填,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 0.5,充填率 20%。

**8.3.12 竖向支承柱安装及调垂过程中应进行垂直度的检测。**竖向支承桩垂直度及孔径在成孔后采用井径仪检测;竖向支承柱制作和拼接时可采用水平尺检测;竖向支承柱起吊下放时采用经纬仪测量 X、Y 方向的精度;调垂过程中可采用测斜管、摆锤、激光发射器和接收器、水管等检测方法。测斜管可采用钢管或 PVC 管,测斜管与竖向支承柱采用环箍固定。为确保测斜管测试垂直度能代表竖向支承柱安放垂直度,测斜管应与竖向支承柱完全平行。

## 8.4 土方开挖

**8.4.3 逆作法施工**是在地下结构首层楼板封闭后,再进行土方开挖和地下各层地下结构的施工。为了解决土方外运和材料(钢筋、混凝土、排架、模板)的运输,需要在地下各层楼板结构上留设

上下连通的垂直运输孔洞,这些孔洞可以利用已有的结构孔洞(车道进出口、电梯通道等),当已有结构孔洞不能满足运输要求和支撑受力要求时,必须对楼板结构进行临时开洞,开洞的数量主要取决于工程的日出土量的要求(根据目前的经验,每个取土口一台出土设备或挖机按一个工作日8小时计算,出土量在 $500\text{m}^3$ 左右)。

为保证出土效率,结合加长臂挖机的作业需要,大型基坑每个取土口的面积一般不小于 $60\text{m}^2$ ;为方便钢筋等材料运输,长度方向一般不小于9m,对于局部区域无法满足长度要求时,其洞口对角线不得小9m。

**8.4.4** 地上地下结构同步施工时取土口的设置直接影响到上下同步施工时的施工工效,作为逆作法施工的关键工作,上下同步施工时取土口的设置原则上首先要满足挖土的需要。

**8.4.9** 采取盆式开挖开挖过程中,盆边靠近支护结构处保留的土体对基坑边坡起到反压作用,但由此带来了楼盖支模时需保留土斜坡上进行支模作业,此时需要注意支撑架地基的加固处理。

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

**8.4.13** 逆作结构板的加固区应结合周边环境条件、原建筑设计以及取土口的位置等因素综合考虑进行专项设计,顶板落深或高出地面应设计汽车坡道,坡道的坡度不宜大于1:8,并应满足运土车辆及挖土机的进出要求。加固区域应能保证施工期间的荷载要求及逆作期间施工对场地的要求,确保车辆能在结构楼板上顺利通行。土方车辆通行区域,柱、墙板插筋在挖土期间应采

取措施加以保护。

**8.4.14** 逆作土方的坑内开挖面水平运输可采用挖机翻运、水平传输带传输、推土机推土、小型装载机装运、翻斗车装运、卡车装运等方式进行。

**8.4.15** 在地面层取土时,可选用长臂挖机、滑臂挖机、抓斗、取土架、传输带等将土方垂直提升至地面层后再装在外运。当进行地下地上同步施工条件下的挖土时,应为垂直取土机械留设足够的作业空间。

## 8.5 水平支撑结构施工

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

**8.5.2** 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。

梁板浇筑时,应考虑柱头施工缝的处理,梁板施工时先把柱头处的土挖至梁底以下 500mm 处,设置柱子施工缝模板,为使下部柱子易于浇筑,该施工缝模板宜呈斜面安装,柱子钢筋通穿模板向下伸出柱头长度,在施工缝模板上面支承柱头模板与梁板模板连接。如土质条件好,则柱头可采用土胎模,此时墙柱纵向插筋可插入砂垫层,如图 5 所示。

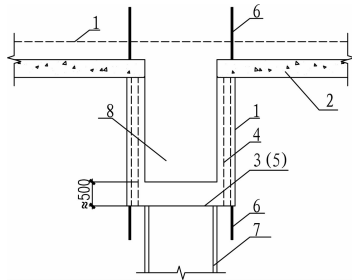


图 5 柱头部位插筋留设

1-楼面板;2-素混凝土层与隔离层;3-柱头施工缝模板  
4-预留浇捣孔;5-施工缝;6-柱插筋;7-竖向钢结构支承柱;8-楼面梁

**8.5.3 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。

## 8.6 后期地下结构施工

**8.6.1 后期地下结构施工前**,地下结构水平荷载主要依靠支承桩传递;后期地下结构完成后,建筑物结构受力体系逐步转入正常使用状态。

在水平楼板结构施工之前必须根据设计要求设置上下两个方向的竖向预留钢筋。向上预留钢筋作法与非逆作法工程相同,向下预留钢筋作法是逆作法工程特有作法。预留钢筋接头可采用机械连接或焊接,向下钢筋伸出板底的长度需要设计确定。由于向下预留钢筋必须伸出模板底部,为此,在楼板的模板施工时,必须留设相应的穿越钢筋的孔洞,且做好防漏浆措施。

**8.6.4** 逆作法工程中,后期地下结构的混凝土浇筑时楼板混凝土已经形成。因此必须在水平楼板结构上设计合理的混凝土浇捣孔以确保墙柱混凝土的浇捣,剪力墙浇捣孔的间距一般控制在 1.5m 左右,柱的浇捣孔一般在柱四角各设置一个浇捣孔。采用上置浇捣孔施工后期地下结构时,宜在柱墙的侧上方楼板上留孔,柱墙模板顶部设置喇叭口,与浇捣孔位置对应。

采用侧置浇筑孔方式时可在浇捣顶面以下模板上设孔,模板刚度及混凝土流动性能均应满足相应压力要求。

外墙模板采用逆作法浇筑时,沿边梁外侧模板设置浇筑孔,浇捣孔间距应小于 1500mm。模板对拉螺栓应设置水片,且不应少于 2 处。采用劲性构件的竖向结构,应在水平钢板位置设预留孔,保证节点钢板下混凝土浇筑密实;如果预留孔减弱受力构件性能,需采取等强加固措施。

**8.6.5** 对所有模板的制作、预留孔、预埋件的位置,必须确保无误,柱墙拉结位置要准确,固定牢固;模板及其支架应具有足够的承载能力、刚度和稳定性,能可靠地承受浇筑混凝土的重量、侧压力以及施工荷载;当一次浇捣高度超过 3m 时,宜在模板侧面增加振捣孔或分段施工。

**8.6.6** 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,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,其分别定义如下:

超灌法:后期地下竖向结构施工时,采用浇捣孔或者喇叭口



等措施浇灌混凝土,使浇灌面超出施工缝一定高度的施工方法。

**灌浆法:**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,其后采用高强灌浆料进行充填密实的施工方法。

**注浆法:**后期地下竖向结构混凝土浇筑时,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。

**8.6.10** 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。

**8.6.11** 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。注浆宜选用以下几种方式:

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,正常浇灌混凝土,混凝土强度达到设计值后用稀释剂溶解接缝棒,形成注浆管道进行注浆。

3 混凝土强度达到设计值后,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。

**8.6.12** 地上地下结构同步施工时,竖向构件和托换构件之间的可靠传力相当重要,故施工方应与设计协商,对构件进行相应的监测。

## 8.7 地下水控制

8.7.2 以黏性土、淤泥质土为主等渗透性较弱的地层中,基坑土体疏干宜选用轻型井点降水、喷射井点降水、真空管井降水等;以砂土、粉土为主等渗透性较强的地层中,基坑土体疏干可采用集水明排、管井降水等。地质水文条件良好的地区可不采用降水措施。

8.7.4 逆作法基坑开挖前,疏干降水的持续抽水时间应根据基坑面积、开挖深度及地质条件等因素综合确定,黏性土中的持续抽水时间不宜少于 30d,砂性土中的持续抽水时间不宜少于 15d。

8.7.5 停止降水后井管内稳定水位低于基础底板底的降水管井,可在浇筑底板垫层间将井口割低至垫层地面位置,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。基础底板浇筑前后仍需保留并持续降排水的管井,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,止水钢板外圈应不小于井管直径 200mm。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。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。该两道内止水钢板间浇筑混凝土或注浆。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。

## 8.8 作业环境

8.8.1 地质资料揭示,地下存在有毒有害气体时,采取格梁式逆作法,便于有毒有害气体扩散。

## 9 监 测

9.0.1 周边环境监测包括各类基坑周边邻近建(构)筑物、地下管线、道路及地表的监测。建(构)筑物监测内容包括垂直、水平位移、倾斜、裂缝等;地下管线监测内容为垂直、水平位移;地表监测内容为垂直位移、裂缝。

监测单位在现场踏勘、资料收集阶段的主要工作应包括:

- 1 了解建设方和相关单位的具体要求;
- 2 收集和熟悉岩土工程勘察资料、气象资料、地下工程和基坑工程的设计资料以及施工组织设计(或项目管理规划)等;
- 3 按监测需要收集基坑周边环境各监测对象的原始资料和使用现状等资料。必要时应采用拍照、录像等方法保存有关资料或进行必要的现场测试取得有关资料;
- 4 通过现场踏勘,复核相关资料与现场状况的关系,确定拟监测项目现场实施的可行性;
- 5 了解相邻工程的设计和施工情况。

9.0.4 出土口、楼面高差处施工期间荷载大、受力复杂,结构内力较大,是逆作法施工时结构强度和变形控制关键位置,所以需要重点监测。

9.0.5 一般采用逆作法施工基坑的项目,通常环境复杂,对基坑开挖所引起的周围环境变化和基坑围护体系变形要求高,控制严。为体现这一特点,又不过于繁琐,将监测等级和环境条件按两级考虑。重要建(构)筑物及设施包括但不限于地铁、共同沟、大直径(大于0.7m)煤气(天然气)管道、大型压力总水管、高压铁塔、历史文物、近代优秀建筑、天然地基的中小学及民宅等。分级有利于监测人员在工作量布置时更具针对性,突出重点,尤其强调当基坑各侧边条件差异很大且复杂时,每个侧边可建议不同工

程监测等级。

**9.0.7** 围护桩墙测斜观测点的布置间距应与基坑工程环境等级、开挖段的长度相匹配,环境等级高的测孔间距应加密,应保证每个开挖段有 1 个监测孔,如基坑侧边较短时(小于 30m)可布设 1 个监测孔。

**9.0.8** 对于高渗透土层的基坑止水帷幕,应重点关注,由专人 24 小时巡查,发现微小渗漏隐患后,及时采取措施,尽量减小影响范围。

**9.0.9** 在监测对象内力和变形变化大的代表性部位及周边环境重点监护部位,监测点应适当加密,以便更加准确地反映监测对象的受力和变形特征。

**9.0.12** 一般基坑每边的中部、阳角处变形较大,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。为了测量观测点与土体的距离变化,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。

**9.0.13** 逆作法基坑的支承柱差异沉降或者支承柱与围护墙差异沉降过大,会导致结构梁板产生裂缝,甚至结构破坏,故支承柱沉降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。面积较大的取土口一般指取土口边长超过 3 个柱网的情况。

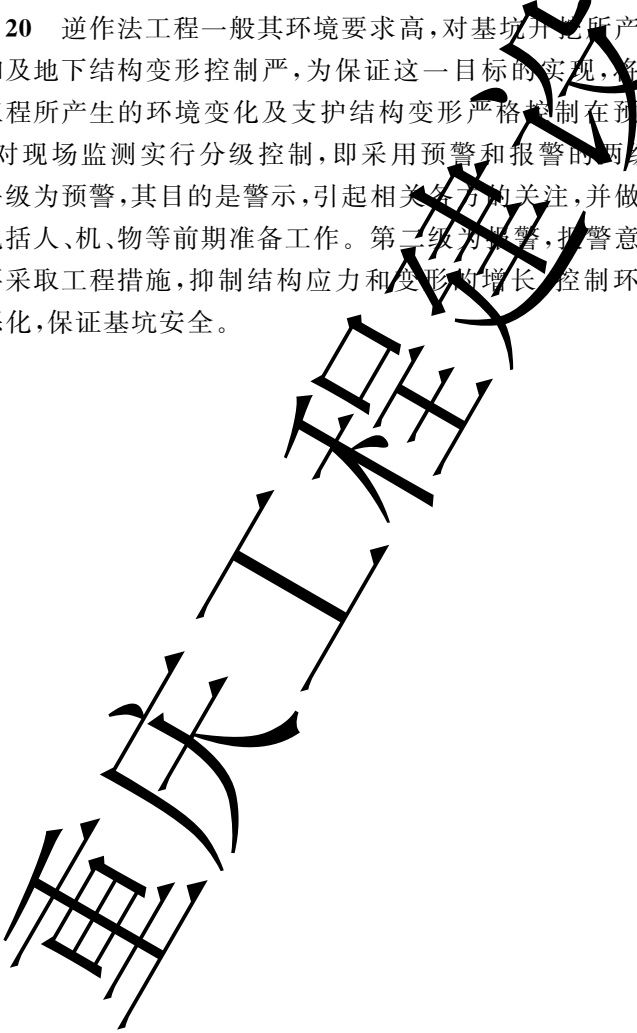
对于基坑中多个梁交汇,受力复杂处的支承柱应做重点监测,且宜测量其应力值。有承压水突涌风险的基坑工程,应适当增加监测点的数量。

**9.0.16** 梁板内力测点布置可参考结构楼板弯矩设计值,设置在最不利工况下最不利截面位置。开口边梁跨中及支座处应布设应力监测点。

**9.0.18** 基坑工程监测频率应综合考虑地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化和地区经验等因素,以能系统

反映被监测对象所测项目的重要变化过程为原则。目前大型基坑项目越来越多,平面尺寸巨大,分区施工也比较普遍,监测频率可根据各区施工情况区别对待,相应调整监测频率。

**9.0.20** 逆作法工程一般其环境要求高,对基坑开挖所产的岩土体和及地下结构变形控制严,为保证这一目标的实现,将逆作施工工程所产生的环境变化及支护结构变形严格控制在预定目标内,对现场监测实行分级控制,即采用预警和报警的两级警制。第一级为预警,其目的是警示,引起相关各方的关注,并做好必要的包括人、机、物等前期准备工作。第二级为报警,报警意味着必须要采取工程措施,抑制结构应力和变形的增长,控制环境进一步恶化,保证基坑安全。



# 重庆工程建设