

北京市规划和自然资源委员会 关于发布《城市地下工程盖挖逆作法结构设计 指南》的通知

京规自发〔2019〕381号

各有关单位：

为贯彻落实党的十九大精神和《北京城市总体规划（2016年—2035年）》的要求，坚持以人民为中心，有效提升城市地下工程建设的技术、安全和环境保护水平，减少对道路交通的影响，促进城市的健康和可持续发展，我委组织编制了《城市地下工程盖挖逆作法结构设计指南》（以下简称《指南》）。

《指南》的编制以大量同类工程实践为基础，统筹考虑了以往在设计、施工和建成使用环节的经验及所面临的技术问题，并充分融入了当前盖挖逆作法在技术和施工装备等方面的技术进步内容。请各相关单位，结合实际工作，在满足国家及我市现行政策、法规和标准的前提下，按照《指南》的要求开展相关规划设计工作。

特此通知。

北京市规划和自然资源委员会

2019年9月27日

市规划自然资源委 市规划自然资源委 市规

规划自然资源委 市规划自然资源委 市规划自然资源委

划自然资源委 市规划自然资源委 市规划自然资源委

前言

根据《北京市“十三五”时期城乡规划标准化工作规划（2016-2020）》的精神，为有效提升城市地下工程建设的技术、安全和环境保护水平，促进城市的健康和可持续发展，我委组织北京城建设计发展集团股份有限公司等单位编制了《城市地下工程盖挖逆作法结构设计指南》（以下简称《指南》）。

《指南》的编制以大量同类工程实践为基础，统筹考虑了以往在设计、施工和建成使用环节的经验及所面临的技术问题，并充分融入了当前盖挖逆作法在技术和施工装备等方面的进步内容，广泛征求了规划、设计、施工、建设管理等多部门的意见，力求达到充分的实用性和技术的先进性。

《指南》主要技术内容包括：总则、盖挖逆作技术、框架结构设计计算、中间立柱设计、中间桩基础设计、结构防水、施工关键技术、风险控制与监控量测和附录等。

《指南》由北京市规划和自然资源委员会归口管理，日常管理机构为北京市城乡规划标准化办公室，北京城建设计发展集团股份有限公司负责具体解释工作。

《指南》执行过程中如有意见和建议，请及时反馈至北京市城乡规划标准化办公室（联系电话：010-55595013，邮箱：bjbb3000@163.com。）。

主编单位：北京城建设计发展集团股份有限公司

参编单位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

北京工业大学

浙江鼎业基础工程有限公司

中铁十八局集团有限公司

主要起草人员：黄美群 宋伟 陈梁 王臣 杨明 石欣 李文博

刘学波 胡勇红 任干 方成 杨石飞 陶连金 王福林

吴兰婷 李振伟 张戈 延波 姜海波 朱士传 胡恒千

苏辉 边金 代希彤

主要审查人员：顾国荣 杨广武 王元湘 徐正良 原文奎 王宁 李春奎

市规划自然资源委 市规划自然资源委 市规

规划自然资源委 市规划自然资源委 市规划自然资源委

划自然资源委 市规划自然资源委 市规划自然资源委

| | | |
|-----|------------|----|
| 1 | 总则 | 1 |
| 2 | 术语 | 2 |
| 3 | 盖挖逆作法技术 | 5 |
| 3.1 | 基本概念 | 5 |
| 3.2 | 特点和适用性 | 15 |
| 3.3 | 结构型式 | 15 |
| 3.4 | 设计与施工关键技术 | 17 |
| 4 | 框架结构设计计算 | 19 |
| 4.1 | 一般规定 | 19 |
| 4.2 | 荷载 | 20 |
| 4.3 | 基坑围护结构设计计算 | 22 |
| 4.4 | 箱型平面框架结构分析 | 25 |
| 4.5 | 双向空间框架结构分析 | 34 |
| 4.6 | 极限状态设计 | 37 |
| 5 | 中间立柱设计 | 41 |
| 5.1 | 基本规定 | 41 |
| 5.2 | 钢管混凝土柱设计 | 42 |
| 5.3 | 型钢格构柱设计 | 49 |
| 5.4 | 防腐与防火设计 | 53 |
| 6 | 中间桩基础设计 | 55 |
| 6.1 | 一般规定 | 55 |
| 6.2 | 中间桩基础试桩 | 58 |
| 6.3 | 中间桩基础检测 | 59 |
| 7 | 结构防水 | 61 |
| 7.1 | 一般规定 | 61 |
| 7.2 | 结构自防水 | 63 |
| 7.3 | 防水措施 | 64 |
| 8 | 施工关键技术 | 69 |
| 8.1 | 工程筹划 | 69 |
| 8.2 | 基坑工程 | 73 |

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 8.3 | 中间桩基础施工 | 74 |
| 8.4 | 中间立柱施工 | 76 |
| 8.5 | 主体结构施工 | 78 |
| 8.6 | 土模与模架 | 80 |
| 9 | 风险控制与监控量测 | 83 |
| 9.1 | 风险控制与环境保护 | 83 |
| 9.2 | 监控量测原则 | 87 |
| 9.3 | 监测内容及要求 | 88 |
| 附录 A | 旋挖扩底桩设计及施工技术要求 | 92 |
| A.0.1 | 旋挖扩底桩基础设计的基本规定 | 92 |
| A.0.2 | 单桩竖向承载力计算 | 93 |
| A.0.3 | 旋挖扩底桩基础最终沉降量计算 | 96 |
| A.0.4 | 旋挖扩底桩基础的构造要求 | 97 |
| 附录 B | 试桩方法 | 99 |
| B.0.1 | 试桩方法适应性 | 99 |
| B.0.2 | 静载试验 | 99 |
| B.0.3 | 自平衡试桩法 | 100 |
| 引用名录 | | 103 |

1 总则

1.1.1 为了科学、合理地进行城市地下空间的开发利用，统筹城市地下工程的设计、施工及建设管理工作，规范地下工程盖挖逆作法建造技术标准，制定本指南。

地下空间已成为城市重要的空间资源，随着城市的发展及环境保护要求的不断提高，城市地下工程的建造技术呈现出多样化的格局和发展态势。在繁华的城市中心区，盖挖逆作法在对邻近建（构）筑物保护、道路交通影响、施工噪声和粉尘污染、施工占地等多方面具有独特优势。

90年代初期，国内首次将盖挖逆作法技术大规模应用于北京、上海、南京等城市的地铁车站工程建设中，并在地下商场、地下停车场等大型地下空间开发利用中得到广泛应用，取得了巨大的技术、经济和社会效益。目前，盖挖逆作法已经成为城市地下工程建造的主要工法之一，并经过多年的研究和应用，已形成成套的技术体系，相关技术已纳入现行国家和北京市地方标准。为了使盖挖逆作法技术能在城市地下工程建设中得到更好的推广和应用，统筹城市地下工程的设计、施工和建设管理工作，规范地下工程盖挖逆作法建造技术标准，特编制本指南。

1.1.2 本指南适用于采用盖挖逆作法技术建造的各类城市地下工程，包括城市轨道交通工程车站及区间、地下商业综合体、地下停车库、地下过街道、地下民防工事、综合管廊等多种民用和工业设施纯地下结构工程。对于上部有地面建筑且采用盖挖逆作法建造的地下室结构，可参考使用。

1.1.3 地下结构施工方法的选择，应针对工程特点，结合场地工程地质和水文条件、环境情况，通过技术、经济、工期、安全性、社会影响等综合因素比选后确定。对于地层条件较差、基坑规模大且平面形状复杂，场地条件受限、地面交通繁忙、周边环境保护要求高的地下工程，盖挖逆作法可取得较好的技术经济和社会效益，可优先选用。

1.1.4 采用盖挖逆作法技术建造城市地下工程时，应综合考虑工程特点、工程地质与水文地质特性、周边环境条件与保护要求，合理确定结构设计和施工方案，并进行技术、经济和社会影响综合论证。

1.1.5 采用盖挖逆作法技术建造的地下工程，结构设计和施工技术要求除应符合本指南的规定外，尚应符合其它现行国家、行业和地方有关标准的规定。

2 术语

2.1.1 明挖顺作法 open cut bottom-up method

在地面开挖出的基坑中，自下而上顺序修筑地下结构的方法。包括敞口明挖顺作法、临时路面铺盖顺作法等。

2.1.2 盖挖逆作法 cut and cover top-down method

在地面或顶板以上浅基坑中修筑完地下结构顶板及竖向支撑结构后，在其支护体系的保护下，自上而下逐层开挖土体并逐层修筑地下结构的方法。

2.1.3 半盖挖逆作法 half cut and cover top-down method

在地面或顶板以上浅基坑中修筑完地下结构顶板及竖向支撑结构后，在其支护体系的保护下，自上而下逐层开挖基坑并及时架设内部临时钢支撑或锚索，至基坑底设计标高后，再自下而上逐层顺作地下结构的方法。

2.1.4 倒边盖挖逆作法 inverted side cut and cover top-down method

采用盖挖逆作法施工时，由于场地条件的限制或道路交通导改的要求，顶板结构无法一次完成，可对顶板结构进行分幅（两次或多次）施工，相应的顶板以上浅基坑随顶板分幅情况进行基坑围护及土体开挖。

2.1.5 基坑 excavation

为进行建（构）筑物地下部分结构的施工开挖出的空间，包括由地面开挖出的空间、或在顶板及其竖向支撑体系保护下开挖出的空间。

2.1.6 顶板以上浅基坑 shallow excavation above roof

盖挖逆作法中为修筑地下结构顶板，由地面开挖出的上部浅基坑。

2.1.7 基坑周边环境 surroundings around excavation

与基坑开挖相互影响的周边建（构）筑物、地下管线、道路、岩土体及地下水体的统称。

2.1.8 基坑围护 retaining and protection for excavations

为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全，对基坑采用的临时性或永久性支挡、加固、保护与地下水控制的综合措施。

2.1.9 支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固基坑侧壁的结构，如钻孔灌注桩、钻孔咬合桩、地下连续墙、土钉墙、喷锚支护、倒挂井壁等。

2.1.10 主体结构 major structure

基坑支护结构以内，用于永久支承外荷载作用、形成有效功能空间的地下结构体，一般为现浇钢筋混凝土框架结构，由顶板、楼板、底板、侧墙、梁、柱及基础等构件组成。

2.1.11 叠合墙 laminated wall

当基坑支护采用连续、整体的支挡结构（如地下连续墙）时，其与后浇主体结构侧墙组合形成的叠合式整体承载结构构件，叠合面需通过设置拉结筋、抗剪块、或表面凿毛等工程措施，以满足叠合面抗剪能力要求。

2.1.12 复合墙 composite wall

桩、墙式支护结构（包括钻孔灌注桩、钻孔咬合桩、地下连续墙等）与主体结构侧墙组合形成的复合式承载结构，支护结构与主体侧墙之间密贴，贴合面间亦可设置防水隔离层，只能传递法向压力，不能传递剪力和弯矩。

2.1.13 竖向支撑体系 vertical support system

盖挖逆作法施工阶段用于支承顶板及其上覆土和地面荷载、各层楼板及其上施工荷载等竖向荷载作用，由竖向基坑支护结构、中间立柱及柱下基础等构件组成。

2.1.14 水平支撑体系 horizontal support system

盖挖逆作法施工阶段用于支撑基坑支护结构以抵抗侧向水土压力作用的水平支撑构件，主要由主体结构的顶板、各层楼板和底板等构件组成，必要时可以局部设置临时内支撑或锚索作为辅助水平支撑体系。

2.1.15 一柱一桩 single pile for single column foundation

由一根中间立柱和柱下单根桩基础组成的竖向支撑承载结构。

2.1.16 增量法 incremental load method

一种结构设计计算方法。对于每一个计算工况即每一个施工步骤或受力阶段，只计算由于荷载增量（或荷载变化）引起的结构内力和变形的增量，这个工况完成后结构的实际内力和变形，应是前面各工况荷载增量引起的结构内力和变形的叠加。

2.1.17 全量法 total load method

一种结构设计计算方法。对于每一个计算工况即每一个施工步骤或受力阶段，一次性施加本工况全部的荷载作用，得出本工况下的结构内力和变形值。

2.1.18 逆作施工缝 reverse construction joint

先行施作完成的上部钢筋混凝土结构与后续施作的下部钢筋混凝土结构之间所形成的接缝，一般指竖向主体结构侧墙、立柱构件钢筋混凝土逆作连接节点接缝。

2.1.19 扩底桩 belled pile

采用一定方式将桩的底部扩大所形成的灌注桩，通过扩大桩端面积提高单桩竖向承载力。扩底方式有夯扩、静压扩底、机械扩底、人工挖孔扩底等。

2.1.20 多盘扩底桩 multi-plate belled pile

结合地层条件、承载力需求，在桩端及其上部桩身范围内设置多个扩大节点的灌注桩。

2.1.21 旋挖扩底桩技术 rotary-excavation belled pile technology

以旋挖钻机成孔、全液压铲斗扩底并配备施工映像管理装置等技术为核心的扩底桩和多盘扩底桩施工技术。

2.1.22 机械插入法 mechanical insertion

一种完全机械化的钢立柱定位和插入柱下桩基的施工工艺。在柱下钻孔灌注桩基础混凝土初

凝前，通过专用设备将钢立柱（钢管柱、型钢或型钢格构柱等）从地面直接插入基坑底下的桩基础内，并通过专用设备对立柱进行定位和垂直度测试。

2.1.23 两点定位法 two-point positioning

一种由人工作业的钢立柱定位和插入柱下桩基的施工工艺。通过在桩基顶部设置人工定位系统（定位器），并在地面通过人工测量或采用液压垂直设备测试垂直度，实现钢立柱（钢管柱、型钢或型钢格构柱等）的定位和垂直度要求的这一施工工艺，简称两点定位法。

2.1.24 土模 clay model

直接利用地基土体作为混凝土结构浇筑时的底部模板。根据地层情况，作为土模使用的地基土可进行必要的夯实或适当的加固处理。

2.1.25 静载荷试验 static load test

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力，观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移，以确定相应的单桩竖向抗压承载力或单桩竖向抗拔承载力的试验方法。

2.1.26 自平衡静载试验 self-balancing static load test

在桩身中预埋荷载箱，利用桩身自重、桩侧阻力及桩端阻力互相提供反力的单桩承载力试验方法。

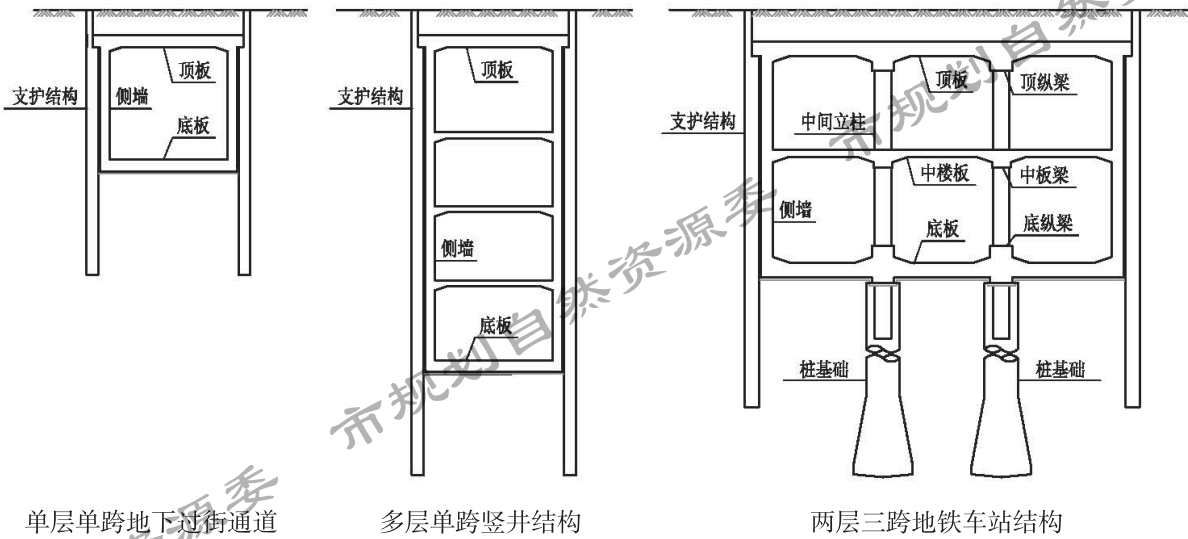
2.1.27 监测控制值 monitoring control value

为满足工程结构及环境安全保护要求，控制监测对象的状态变化，针对各监测项目的监测数据变化量及变化速率所设定的设计允许值的限值。

3 盖挖逆作法技术

3.1 基本概念

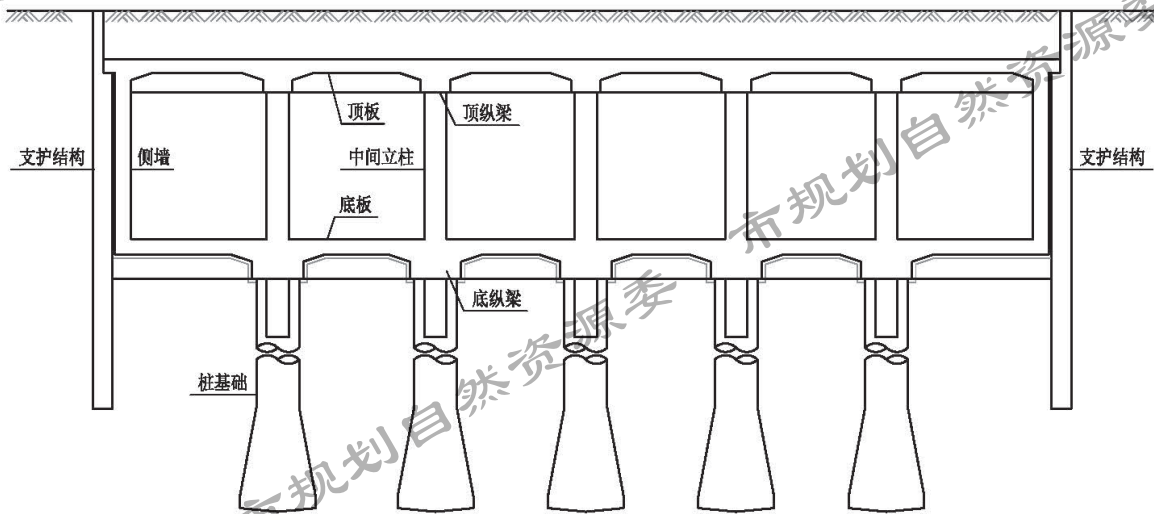
3.1.1 盖挖逆作法是建造浅埋地下结构的一种施工方法，即在地面或顶板以上浅基坑中修筑完地下结构顶板及竖向支撑结构后，在其支护体系的保护下，自上而下逐层开挖土方并逐层修筑地下结构的方法。由盖挖逆作法建造的地下结构一般为单层单跨或多层多跨框架结构，由梁、板、柱及侧墙等构件组成（图 3.1.1）。



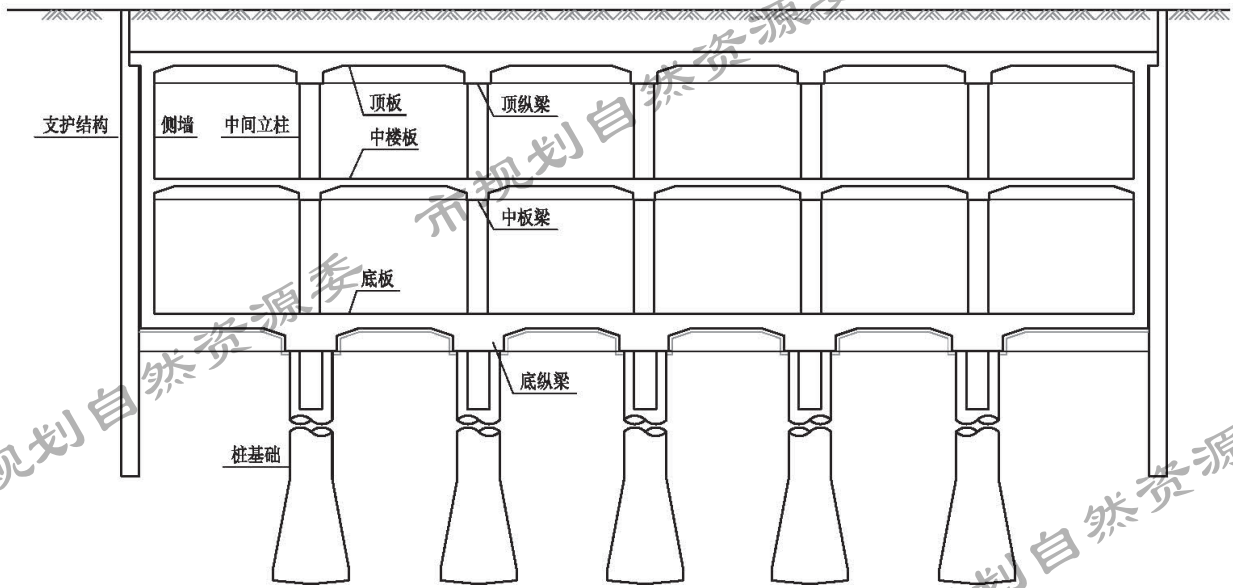
单层单跨地下过街通道

多层单跨竖井结构

两层三跨地铁车站结构



单层多跨地下停车库结构



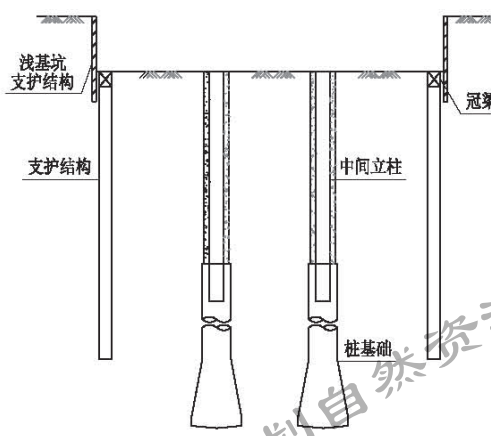
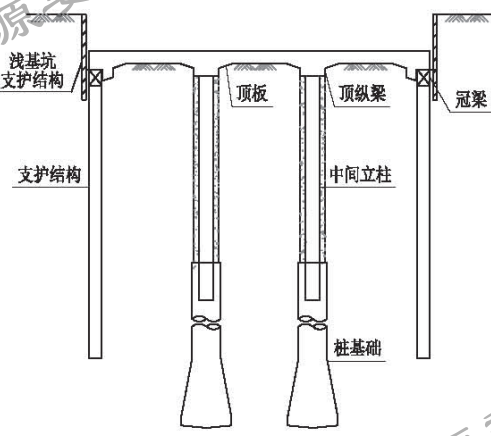
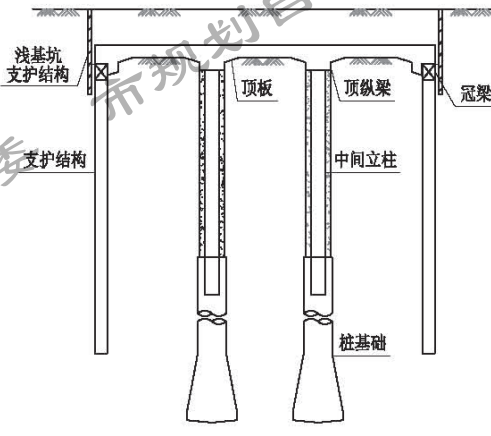
两层多跨地下商业体结构

图 3.1.1 各类型盖挖逆作法框架结构示意图

相对传统的地下结构明挖顺作法，盖挖逆作法各层结构自上而下逆向施作，即先在地面完成基坑支护结构和中间立柱及柱下基础等竖向支撑体系，开挖顶板以上浅基坑，完成结构顶板的修筑，覆土并恢复路面，在顶板结构及其竖向支撑体系的保护下，自上而下逐层开挖土体并逐层修筑地下结构（表 3.1.1-1）。而明挖顺作法是基坑土体全部开挖至基底设计标高后，结构自下而上顺向施作，形成完整的地下结构（表 3.1.1-2）。

表 3.1.1-1 地下两层三跨框架结构盖挖逆作法施工工序示意图

| 工况 | 步序 | 图例 |
|------------|------------------------------|----|
| 竖向支撑体系形成过程 | 步序 1：在地面施作基坑支护结构、中间立柱及柱下桩基础。 | |

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|---------------|-------------------|--|
| | 步骤 2：开挖顶板以上浅基坑。 |  |
| 顶板结构形成和路面恢复过程 | 步骤 3：施作顶板结构。 |  |
| | 步骤 4：回填顶板覆土及恢复路面。 |  |

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|----------|-----------------------------|-----|
| 结构逆作形成过程 | 步序 5：开挖地下一层基坑土体，施作中楼板及侧墙结构。 | |
| | 步序 6：开挖地下二层基坑土体，施作底板及侧墙结构。 | |

表 3.1.1-2 地下两层三跨框架结构明挖顺作法施工步序示意图

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|-----------------|----------------------------------|-----|
| 基坑开挖及水平支撑体系形成过程 | 步序 1：在地面施作基坑支护结构，开挖基坑并施作支护结构顶冠梁。 | |

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|------------------------|------------------------------------|-----|
| | <p>步骤 2：开挖基坑，架设第一道钢支撑。</p> | |
| <p>基坑开挖及水平支撑体系形成过程</p> | <p>步骤 3：开挖基坑，架设第二道钢支撑。</p> | |
| | <p>步骤 4：开挖基坑至基底设计标高处，架设第三道钢支撑。</p> | |

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|----------------------------|--|-----|
| <p>各层结构自下而上 顺作形成过程</p> | <p>步序 5：施作底板结构及部分侧墙。</p> | |
| | <p>步序 6：待底板结构达到设计强度后，拆除第三道钢支撑，施作地下二层侧墙、中间立柱及中楼板结构。</p> | |
| | <p>步序 7：待中楼板结构达到设计强度后，拆除第二道钢支撑，施作地下一层侧墙、中间立柱及顶板结构。</p> | |

| 工 况 | 步 序 | 图 例 |
|----------------|---------------------------------------|-----|
| 各层结构自下而上顺作形成过程 | 步骤 8：待顶板结构达到设计强度后，拆除第一道钢支撑，回填覆土，恢复路面。 | |

3.1.2 半盖挖逆作法指在顶板及其竖向支撑结构施作完成后，在其支护体系的保护下，自上而下逐层开挖基坑并及时架设内部临时钢支撑或锚索，至基坑底设计标高后，再自下而上逐层顺作结构（图 3.1.2）。

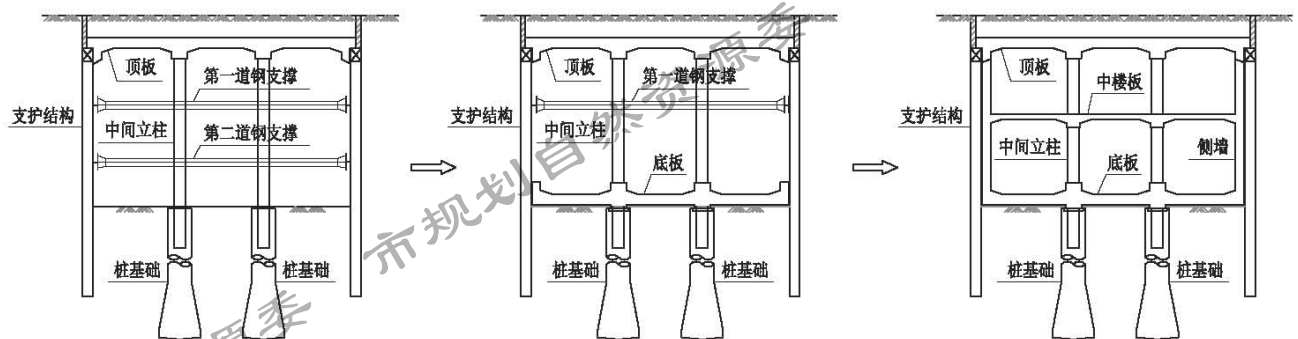


图 3.1.2 半盖挖逆作法示意

半盖挖逆作法在顶板及其竖向支撑结构施作完成后，后续施工基本上为暗挖作业，在基坑开挖过程架设内部临时钢支撑较为困难，且不利于机械化作业，采用锚索具有优势。

3.1.3 由于场地条件的限制或道路交通导改的要求，盖挖逆作法顶板以上浅基坑不能一次全面开挖、顶板结构无法一次完成，可将顶板结构进行分幅施工，根据需要分两次或多次，相应的顶板以上浅基坑随顶板分幅情况进行基坑围护和土方开挖。

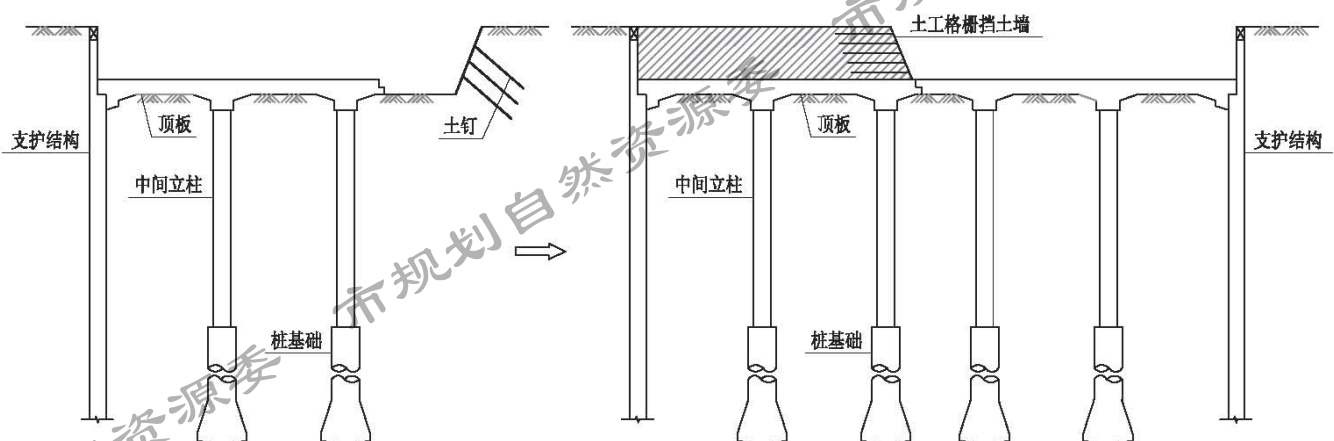


图 3.1.3 倒边盖挖逆作法示意

3.1.4 对于超大面积或超深基坑的地下商业综合体、地下停车库等工程，为了节省工期和造价，根据工程地质和水文地质条件、环境情况，可采用基坑周边环板框架结构逆作与中心岛结构明挖顺作相结合的建造方案（图 3.1.4）。

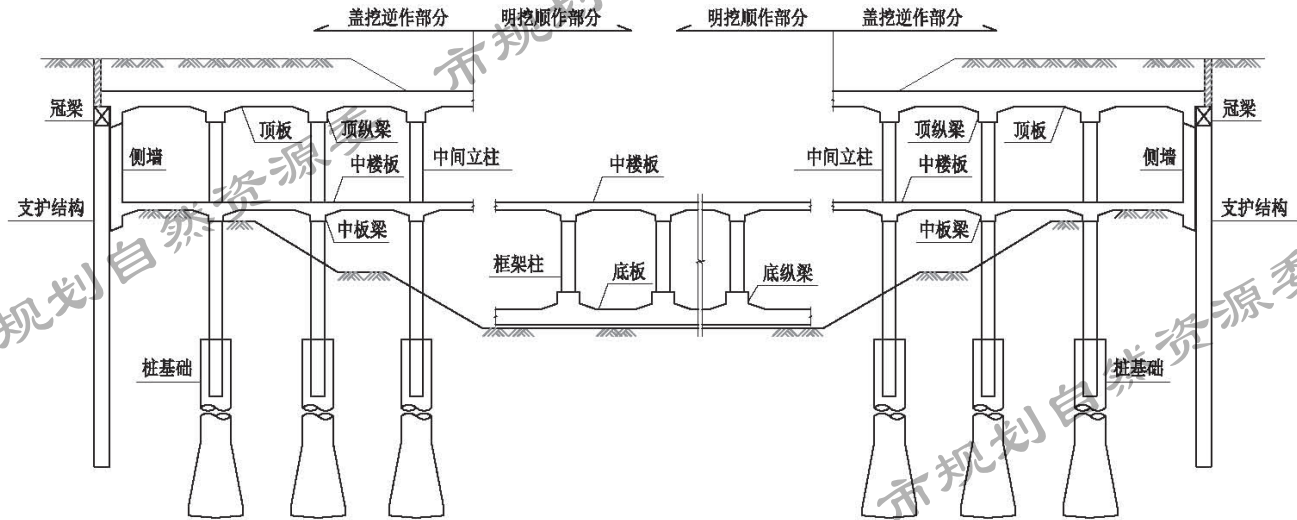


图 3.1.4 基坑周边环板框架结构逆作与中心岛结构明挖顺作相结合方案示意

3.1.5 当高层建筑地下室采用盖挖逆作法施工时，为了节约工期，可在地下室顶板结构完成后，地上、地下结构同步施工（图 3.1.5）。

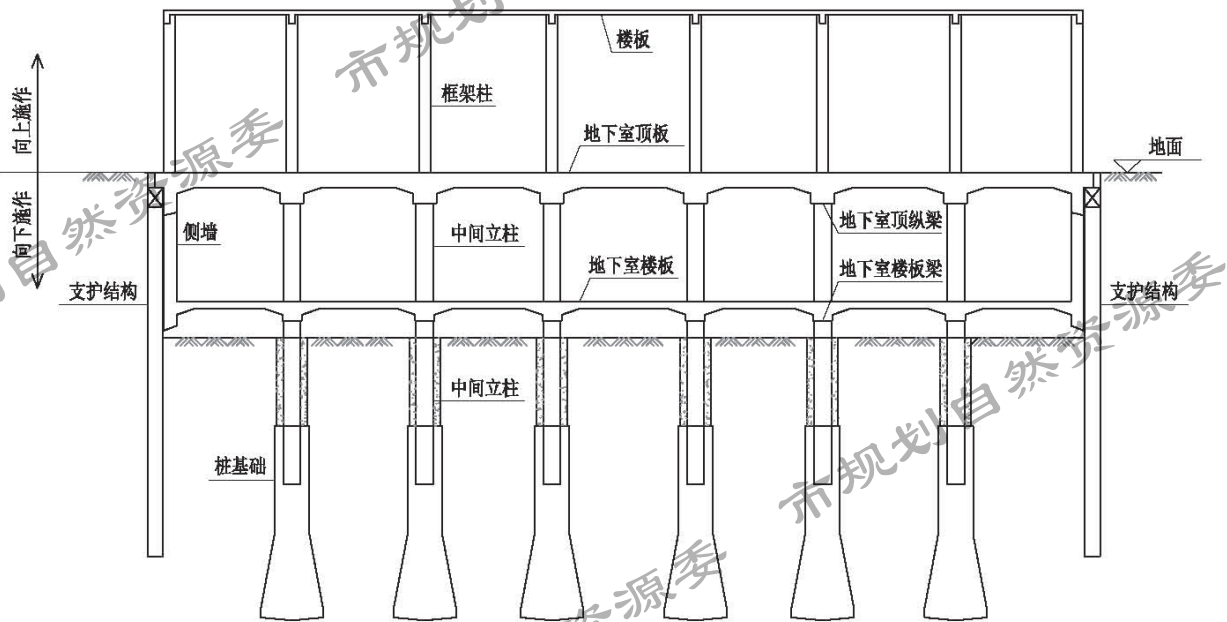


图 3.1.5 高层建筑地上、地下结构同步施工方案示意

3.1.6 盖挖逆作法施工过程的承载体系由两部分组成（图 3.1.6），一是水平支撑体系，主要由主体结构的各层结构板组成，基坑开挖过程中用于支撑基坑支护结构以抵抗侧向水土压力的作用；二是竖向支撑体系，由主体结构外围的基坑支护结构和中间立柱及柱下基础组成，其主要承受结构底板封闭前全部的竖向荷载作用。

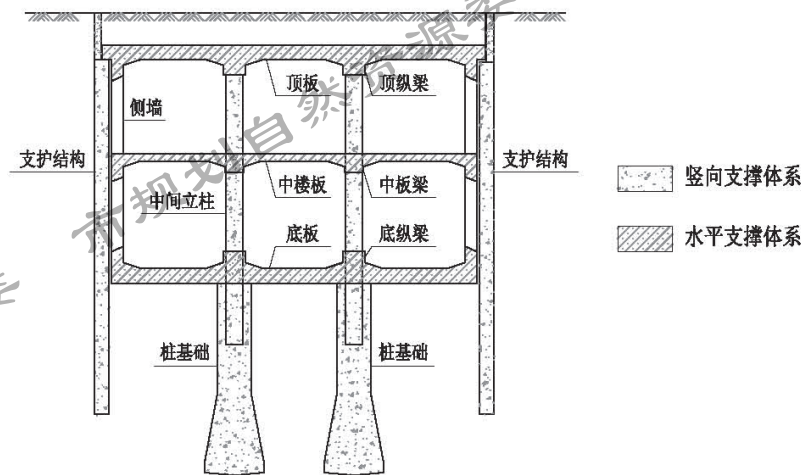


图 3.1.6 水平支撑体系和竖向支撑体系示意

3.1.7 盖挖逆作法基坑开挖过程中，一般情况下均采用主体结构各层结构板，包括顶板、楼板和底板作为基坑内水平支撑系统，而当各层结构板竖向间距过大或地层非常软弱，必要时可局部增设临时水平支撑构件，如内部临时钢筋混凝土支撑、钢支撑或锚索等（图 3.1.7），待底板结构施工完成、侧墙结构浇筑前拆除内部临时支撑或锚头和锚具。

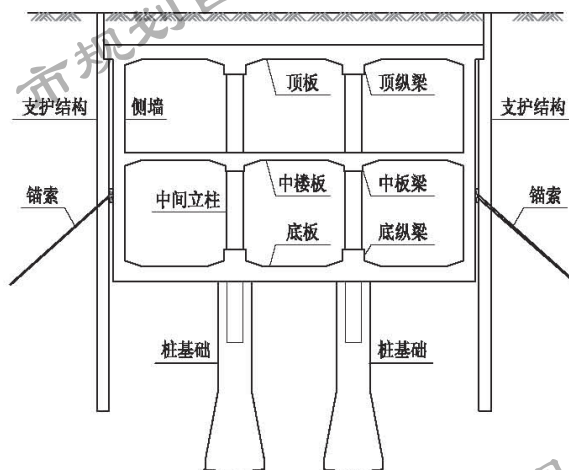


图 3.1.7 内部设置临时锚索示意

3.1.8 盖挖逆作法施工期间的竖向支撑体系一般有以下两种做法：

- 1 仅利用基坑周边的支护结构传递竖向力的做法，此时主体结构一般为单跨结构，适用于单跨地铁车站、区间、人行通道或竖井等地下工程。
- 2 设置中间立柱支撑系统，与基坑周边的支护结构共同传递竖向力的做法。此种做法一般适用于设置有中间立柱的大型地下结构，如多跨地铁车站、地下商业或停车库等地下工程。

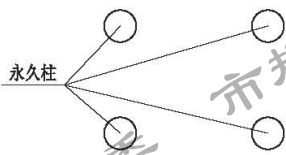
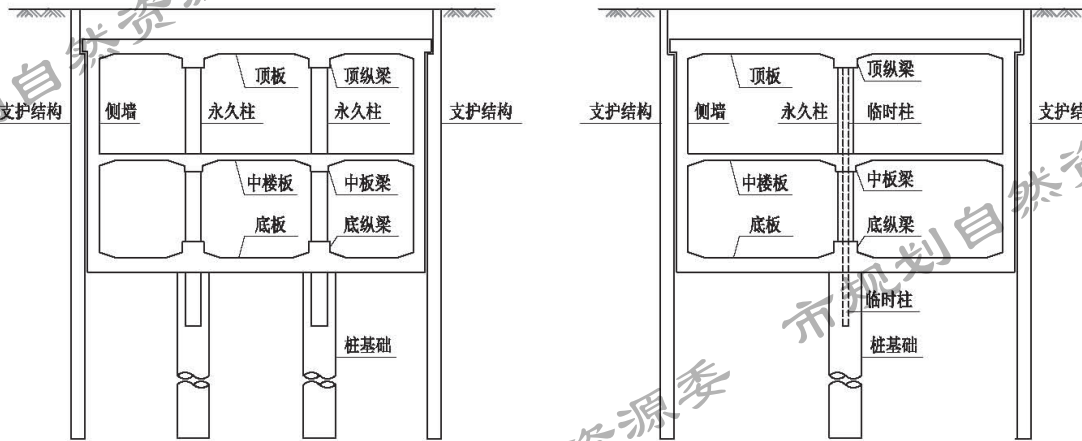
3.1.9 中间立柱支撑系统的设置可有以下三种方法：

- 1 全部利用永久立柱，并在柱下设置基础（图 3.1.9（a））。
- 2 全部利用永久立柱及柱下设置基础作为中间竖向支撑还不能满足承载力要求时，可补充设置

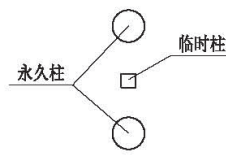
临时立柱和柱下基础，在主体结构施工完成后将临时立柱拆除，主体结构需考虑临时立柱拆除后的受力转换（图 3.1.9 (b)）。

3 全部采用临时立柱和柱下基础作为中间竖向支撑构件，待主体结构施工完成后，拆除临时立柱，主体结构需考虑临时立柱拆除后的受力转换（图 3.1.9 (c)）。

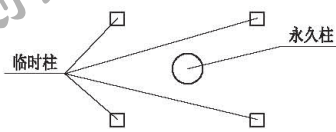
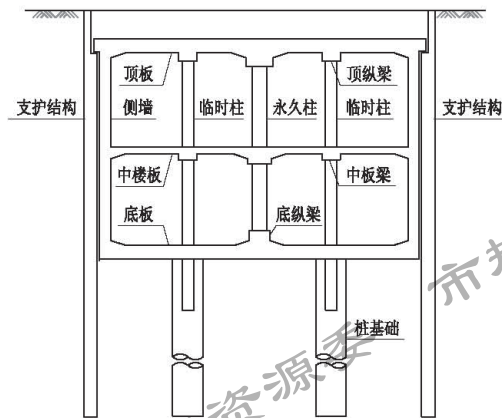
第 3 种做法在早期的地铁车站盖挖逆作法工程中有过应用，这一做法施工工序多，结构受力转换复杂，且造价高，随着目前施工技术水平的提高和机械化的发展，第 1、2 种做法的优势明显，在地下工程中应用较为广泛。



(a)



(b)



(c)

图 3.1.9 中间立柱竖向支撑系统设置方式示意

3.2 特点和适用性

3.2.1 盖挖逆作法适用于建造各种规模大小的城市轨道交通车站及区间结构、地下商业及综合开发体、高层建筑地下室、地下停车库、地下过街道、地下民防工事等多种地下民用和工业设施。

盖挖逆作法适用于建造各类地下建筑物，且不受规模大小的限制，尤其是建造地下多层建筑物的较好方法，被认为是人类向地下更深层化发展时所能采用的最基本的施工方法。普通明挖顺作法，如基坑开挖过深或开挖平面过大，基坑围护就会很困难。用暗挖法修建地下多层多跨结构难度大、风险高，且一般情况结构埋深大，建筑物使用不方便。盖挖逆作法只要将基坑支护结构修至一定深度，就可自上而下逐层开挖，逐层建成。就工程造价而言，盖挖逆作法一般情况比明挖顺作法要增加10%~30%，却大大低于暗挖法。应该说，盖挖逆作法兼有明、暗挖施工方法的特点和优势，在城市地下工程中得到越来越多的应用。

3.2.2 盖挖逆作法适用于各种工程地质和水文地质条件，尤其地层软弱、地下水丰富，施工风险较大时，盖挖逆作法优势明显。

3.2.3 盖挖逆作法在短时间内即可恢复路面，有利于城市道路的交通疏解；在施工场地困难地段，先期完成的顶板结构或路面均可作为施工场地使用。

在交通繁忙及建筑物密集的城市中心地区建造地下工程，其施工方法的确定在很大程度上取决于施工期间对地面交通和施工场地的处置要求，并将对工程的施工难度、工期和造价等造成直接影响，盖挖逆作法在道路交通疏解和提供施工场地方面具有独特的优势。

3.2.4 盖挖逆作法是在顶板结构的保护下暗挖下部土方并施作地下结构，封闭性好，施工期间的噪声和粉尘污染可有效控制，绿色、环保；同时，施工不受雨雪等不良天气的影响，也利于严寒地区采取冬季施工保护措施。

3.2.5 盖挖逆作法基坑开挖过程是利用永久主体结构的顶板、各层楼板及底板作为基坑内的水平支撑结构，相对于临时钢支撑或锚索等柔性支撑而言，结构板的支撑刚度大，同等条件下盖挖逆作法引起的地面沉降值小于明挖顺作法，有利于基坑周边环境的变形控制和安全风险控制。

城市中心区环境复杂，当地下工程临近高层建筑、文物、高架桥梁、铁路和地铁等建（构）筑物变形控制要求较高时，或地层软弱，深大基坑开挖风险较大时，采用盖挖逆作法施工优势较为显著。

3.2.6 采用盖挖逆作法施工，对于过街通道、深大竖井、地铁区间或车站等单跨地下建筑物，主体结构板可替代钢支撑、锚索等临时支撑；对于地下商场、停车库等多跨大型地下建筑物，主体结构板可替代现浇钢筋混凝土内支撑，减少了施工工序和工程废弃物，将有效节约投资，并极大提高施工安全性。

3.3 结构型式

3.3.1 盖挖逆作法修建的地下主体结构应根据工程特性和规模大小，可采用箱型平面框架结构，如地铁车站和区间、人行通道、综合管廊等长条形地下工程；也可采用双向梁柱式或无梁楼盖式空间框架结构，如地下商场和停车库等大型地下工程。

3.3.2 采用盖挖逆作法施工的基坑支护宜采用桩、墙式结构，根据工程地质和水文地质条件、基坑

环境情况，可选择钻孔灌注桩、钻孔咬合桩、地下连续墙等型式，支护结构型式的选择应进行技术经济比选。

3.3.3 位于岩石地层的盖挖逆作法工程，基坑支护结构主要包括两种型式，一是全岩体情况（图 3.3.3-1），基坑侧壁可采用喷锚支护型式；二是半岩半土情况（图 3.3.3-2），可采用上桩下锚的组合支护型式，即所谓的吊脚桩支护型式。

全岩体喷锚支护结构，顶板可直接搁置于岩肩上，由岩体支撑竖向荷载作用。喷锚支护与主体侧墙之间通过找平和防水层处理后可密贴设置。

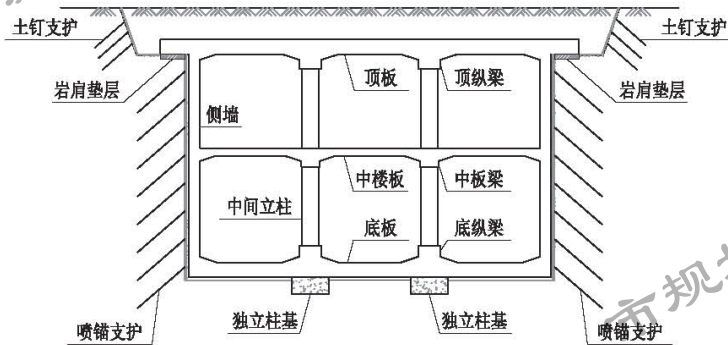


图 3.3.3-1 全岩体地层盖挖逆作法结构示意图

半岩半土上桩下锚的组合支护结构，一般以中风化及以下岩层为界，上部基坑可采用灌注桩 + 预应力锚索支护体系，灌注桩嵌入岩层内的宽度和深度均应满足相关要求，并应在嵌固面设置锁脚锚索；下部岩体基坑侧壁宜垂直开挖，采用喷锚支护，可设置一定的系统锚杆。顶板结构仍然支撑于支护桩顶冠梁处，由于桩体嵌岩所产生的支护结构与主体结构侧墙之间的岩肩宽度空隙，在侧墙浇筑之前采用砖砌等措施填充并兼做侧墙模板使用。

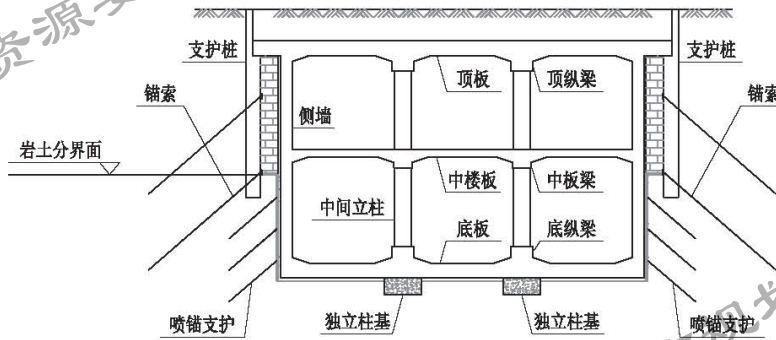


图 3.3.3-2 半岩半土地层盖挖逆作法结构示意图

无论是全岩体喷锚支护结构，还是半岩半土上桩下锚的组合支护结构，一旦顶板和竖向支撑体系形成，顶板以下结构施工可采用逆作法（即盖挖逆作法），也可采用顺作法（即半盖挖逆作法）。

3.3.4 当基坑采用桩、墙式支护结构时，支护结构与主体结构侧墙组合可形成复合墙结构，支护结构与主体侧墙之间密贴，贴面间亦可设置防水隔离层，只能传递法向压力，不能传递剪力和弯矩。当基坑支护结构采用地下连续墙时，地下连续墙与主体结构侧墙组合也可形成叠合墙结构，叠合面应通过设置拉结筋、抗剪块、或表面凿毛等工程措施，以满足叠合面抗剪能力要求（图 3.3.4）。

地下连续墙可以与主体结构侧墙组合形成叠合墙结构，连续、整体的双钢筋笼咬合桩（双管桩）亦可与主体结构侧墙组合形成叠合墙结构，但叠合面采用拉结筋、抗剪块或表面凿毛等工程措

施工难度大、效果差，因此不建议采用咬合桩叠合墙结构。

因地下连续墙整体性和防水性较好，也有部分地下工程完全利用地下连续墙作为主体结构侧墙使用（即所谓的单一墙），有利于节约工程投资，但由于地下连续墙施工工艺和施工质量的问题，其结构耐久性难以满足要求，一般情况不建议采用。

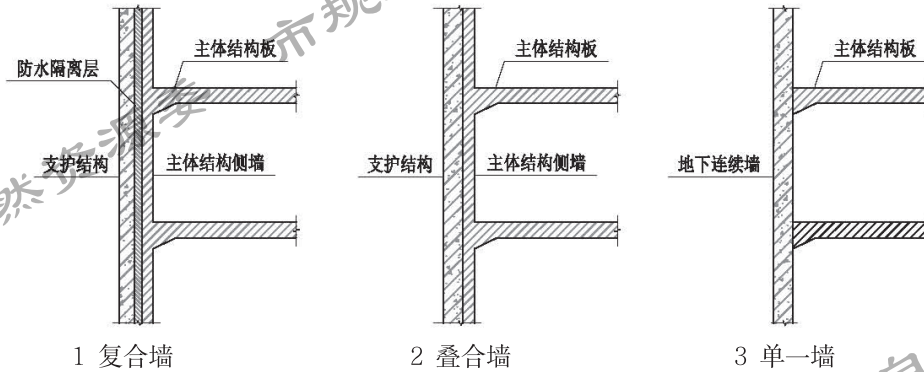


图 3.3.4 支护结构与主体结构侧墙组合型式示意

3.3.5 柱下基础宜采用钻孔灌注桩，并应为一柱一桩型式。

实际工程中通常采用的是柱下钻孔灌注桩基础，从地面钻孔、下钢筋笼并灌注混凝土形成，立柱也是从地面通过桩基形成的钻孔就位并插入桩基中，因而只能形成一柱一桩型式，这一做法施工简便、工期短、造价低。

确有技术经济论证时，柱下亦可采用条形基础，条形基础应在先期施工好的暗挖隧道内施作（图 3.3.5）。首先用矿山法等暗挖方法，在柱下底板处，沿柱列方向开挖一个小型隧道，在隧道内浇筑条形基础后再从地表往下钻孔，将中间立柱架设在条形基础上，条形基础即为永久框架结构的底板梁结构。由于此类盖挖逆作工程案例较少，在本指南中未对条形基础的相关技术提出做法和要求。

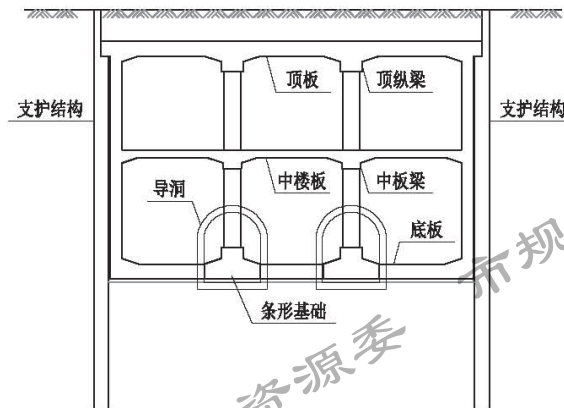


图 3.3.5 柱下条形基础示意

3.4 设计与施工关键技术

3.4.1 盖挖逆作法结构的竖向支撑系统应具有足够的强度、刚度和稳定性，且施工过程中应严格控制基坑支护结构与中间桩基之间的相对升沉。为有效提高支护结构和桩基的变形能力，控制升沉，根据工程地质情况，可采取扩底桩、多盘扩底桩、支护桩墙底和桩基底后压浆等多种工程技术措施。

施工过程中严格控制竖向支撑体系的相对升沉是盖挖逆作法工程设计和施工技术的关键之一，直接影响到主体结构的受力状况及工程质量。由于在整个施工过程中，荷载作用、结构型式和受力状况都在不断变化，逆作法结构受力比顺作法复杂许多。在结构封底前，作用在其上的所有竖向荷载都是通过顶、楼板等水平构件经竖向支撑体系（即支护结构和中间桩基）传给地基的，竖向支撑必须具有足够的强度、刚度和稳定性，并应严格控制竖向支撑之间的相对升沉，把相对升沉的数值限制在上部结构受力的允许范围之内。尤其是在软弱土层中的逆作法工程，必须重视施工过程中竖向支撑结构可能产生的升沉问题、其对上部结构受力造成的不利影响及应采取的措施等。

3.4.2 作为永久结构使用的中间立柱，施工时应严格控制立柱的定位精度和垂直度，允许定位偏差不应大于20mm，垂直度偏差不宜大于1/500，立柱设计时应计入其对承载力的影响。中间立柱定位和插入技术是盖挖逆作法施工的重难点，应采用技术先进、成熟可靠、施工安全便利的方法。目前常用技术主要有机械插入法和两点定位法，机械插入法在安全、快捷、无需降水、经济等多方面优势显著，宜优先选用。

盖挖逆作法比一般明挖顺作法的施工难度大、技术要求高，主要表现在中间立柱的安装就位困难。精度要求高，为了保证不同时施工的构件相互之间的连接能够达到预期的设计状态，必须把各种施工误差控制在一定的范围之内。

3.4.3 盖挖逆作法结构交汇于同一节点各构件，不同步施工构件之间的连接节点应传力可靠、构造简单、方便施工、满足防水要求，且应严格控制施工误差，确保不同步施工的各构件之间的连接能真正反映结构预期的工作状态，连接节点应进行专门设计。

基坑支护结构与主体框架水平构件（顶板、中楼板及底板结构）、中间立柱与框架梁、中间立柱与桩基（或条基）、侧墙逆作连接节点、型钢混凝土立柱逆作连接节点等不同步施工的各构件连接节点是盖挖逆作法结构受力和防水的关键部位，节点的构造型式和施工质量对结构构件的受力特性和整体结构的强度、刚度及耐久性有较大的影响，应有可靠的连接和防水技术措施。

3.4.4 施工的边界条件对盖挖逆作法的实施方案、工程难度、工期和造价等有重大影响，应根据环境条件综合考虑施工对城市居民生活、商业活动、社会影响等因素，合理制定工程筹划方案，包括道路交通疏解、既有地下管线迁改、施工场地和围挡、出土进料施工通道的设置及数量等。

3.4.5 盖挖逆作法地下工程应根据基坑周围环境的状况及保护要求进行变形控制设计，通过分析提出合理的控制指标，并提出安全可靠、经济合理的技术措施，确保地下工程建设的自身安全及周边环境的正常使用。应按基坑安全等级、相应的环境保护要求和设计施工技术要求等编制监控量测方案，并应对基坑围护体系、逆作结构双向支撑体系和周边环境进行施工全过程监测，为信息化设计和施工提供参数。

4 框架结构设计计算

4.1 一般规定

4.1.1 盖挖逆作法地下结构应按以概率理论为基础的极限状态法设计，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。进行地下结构稳定性计算和验算时，应采用总安全系数法。

4.1.2 对于直接承受列车荷载的楼板等构件应按容许应力法设计，其设计计算及构造要求应满足现行《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 和《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关要求。

4.1.3 设计计算应包括下列内容：

1 基坑围护设计计算，应包括支护结构承载能力、基坑稳定性、嵌固能力、地下水渗流及抗管涌等承载能力极限状态和支护结构水平位移、支护结构竖向沉降及地面沉降等正常使用极限状态的计算和验算。

2 整体框架结构施工期间和使用期间各种工况下的荷载作用效应分析。

3 按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载效应组合，取各自的最不利组合进行框架结构的极限状态设计，满足结构强度、刚度、稳定性及裂缝宽度要求。

4.1.4 设计计算应结合施工工艺及施工和使用期间结构体系的实际受力状况，将主体结构承载体系与施工期间的双向支撑体系有机结合，体现各承载体系的相互作用和受力转换特性，按弹性地基上带刚域的框架结构进行作用效应计算分析。

4.1.5 箱型平面框架结构，沿纵向结构断面无突变、荷载作用及地基承载力均匀，符合平面应变特性，可采用平面有限元模型进行计算；双向空间框架结构宜采用空间有限元模型进行计算，也可根据空间体系和受力特性采用简化计算方法。

4.1.6 框架结构计算模型的建立，应根据结构型式、构件之间的连接特性及边界条件，合理确定模型规模、单元划分、刚域和约束条件，合理选取模型构件参数和材料参数。

4.1.7 盖挖逆作法地下结构的受力分析应考虑结构的实际受力状况，并根据施工和使用期间荷载作用和结构型式的变化情况，将结构受力过程分解成若干个相对独立的工况，反映结构变形和应力状态的继承性，反映地层与结构的相互作用及土体的非线性特性，并应采用增量法进行计算。

4.1.8 盖挖逆作法施工期间工况应计及从顶板以上浅基坑开挖，至底板结构施工完成且地下水恢复的各个阶段；使用期间应考虑长期使用过程各种荷载作用的变化分别进行荷载效应计算，并应分别考虑施工期间工况的继承性，使用期间荷载作用变化应包括水土压力作用变化及地震荷载作用和人防荷载作用。

4.1.9 复合墙式框架结构计算时宜满足以下要求：

1 考虑支护结构与主体结构侧墙的相互作用，贴合面之间采用压杆单元进行模拟，可通过使压杆单元失效或激活模拟受力过程。

- 2 施工期间和使用期间侧向土压力应由支护结构和主体结构侧墙共同承担。
- 3 施工期间水压力应由支护结构承担，使用期间水压力应由主体结构侧墙承担。
- 4 施工期间支护结构的抗弯刚度应按 100% 设计，使用期间的抗弯刚度，地下连续墙宜按 70% 设计、钻孔灌注桩或钻孔咬合桩宜按 50% 设计。
- 5 支护结构应仅按荷载效应的基本组合进行承载能力极限状态设计，且不考虑耐久性设计要求。当支护结构兼作使用期间主体结构的抗浮措施时，还应进行抗拔承载力和抗拉裂缝宽度验算，并尚应满足耐久性设计及相关构造要求。
- 6 主体结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载效应组合，并取各自的最不利组合进行各构件的设计计算。
- 7 主体结构应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计，耐久性设计内容包括环境类别确定、保护层厚度、材料基本要求及相应技术措施。

4.1.10 叠合墙式框架结构体系计算时宜满足以下要求：

- 1 叠合面应通过设置拉接筋、抗剪块或表面凿毛等工程措施，满足叠合面抗剪能力要求。
- 2 支护结构与主体结构侧墙应考虑成整体受力构件，通过改变单元截面厚度参数模拟施工受力过程。
- 3 施工期间和使用期间支护结构与主体结构共同承担地下水、土压力作用。
- 4 施工期间和使用期间支护结构均宜按 100% 刚度设计。
- 5 支护结构在与主体结构侧墙叠合前的施工工况，应仅按荷载效应的基本组合进行承载能力极限状态计算；叠合后的整体侧墙以及其它主体结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载效应组合，并取各自的最不利组合进行各构件的设计计算。当支护结构兼作使用期间主体结构的抗浮措施时，尚应进行抗拔承载力和抗拉裂缝宽度验算。
- 6 支护结构和主体结构均应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计，耐久性设计内容包括环境类别确定、保护层厚度、材料基本要求及相应技术措施。

4.2 荷载

4.2.1 地下结构的荷载可分为永久荷载、可变荷载及偶然荷载三类，其中偶然荷载包括地震荷载和人防荷载。

4.2.2 对于承载能力极限状态，荷载组合应分为以下三种形式：

- 1 基本组合，即永久荷载与可变荷载的组合。
- 2 地震偶然组合，即永久荷载和可变荷载与地震荷载的组合。
- 3 人防偶然组合，即永久荷载与人防荷载的组合。

4.2.3 对于正常使用极限状态，荷载组合应分为标准组合、频遇组合和准永久组合三种形式。

4.2.4 荷载分类及代表值、荷载组合及作用效应的确定应执行现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《地铁设计规范》GB 50157 等规定或相关行业标准。地震作用应执行现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。人防作用应执行现行国家标准《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定。

4.2.5 盖挖逆作法地下结构除按常规确定荷载和作用效应外，尚应满足以下要求：

1 水平土压力宜按下列规定计算：

- 1) 施工期间和使用期间地下结构承受的水平土压力宜按静止土压力计算；
- 2) 计算中应考虑地面荷载和破坏棱体范围的地面建筑物以及施工机械等引起的附加水平侧压力，其中附加水平侧压力等于附加竖向应力标准值乘以静止土压力系数。

2 作用在地下结构上的水压力，应根据施工期间和长期使用过程中地下水位的变化，以及不同的围岩条件，分别按下列规定计算：

- 1) 水压力应按静水压力计算，施工期间应考虑近期正常水位恢复工况，使用期间应考虑远期设防水位；
- 2) 素填土、砂性土、强风化岩地层的侧向水、土压力应采用水土分算；
- 3) 粘性土、中风化岩、微风化岩地层的侧向水、土压力，在施工期间宜采用水土合算，在使用期间应采用水土分算。

3 作用在地下结构上的岩石压力宜按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定计算，对于复杂情况也可采用数值极限分析法进行计算。

4 施工期间应考虑中楼板上施工荷载的作用，施工荷载不宜超过 10kPa。

5 在道路下方的结构，覆土厚度小于 1.5m 时，应根据道路通行要求，按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 计及地面车辆荷载及其最不利排列布置；当覆土厚度不小于 1.5m 时，地面车辆荷载可按 20kPa 的均布荷载取值，且不宜计冲击力的影响。

6 施工期间应计入施工过程中支护结构与中间桩基之间的相对升沉影响，结构底板施作前的相对升沉累计值 Δ 不得大于 0.3% L (L 为支护结构与中间桩基轴线之间的距离)，同时也不宜大于 20mm，并宜按各工况中间立柱桩基竖向荷载增量进行线性比例分配，计入相应的分步工况计算中。分步相对升沉值应按下列公式计算：

$$\Delta_i = \Delta \times Q_i / \sum_{i=1}^m Q_i \quad (4.2.5-1)$$

式中： Δ_i ——第 i 层结构荷载增量传递至中柱桩基上所引起相对升沉值；

Δ ——支护结构与中间桩基之间的相对升沉累计限值 ($\leq 0.3\% L$ 且 $\leq 20\text{mm}$)；

Q_i ——第 i 层结构引起的中间立柱荷载增量；

m ——参与相对升沉值线性比例分配的结构层数。

解析如下：分步相对升沉值 Δ_1 为第 1 层结构（即顶板）施作及覆土回填完成，同时地下一层土体全部开挖后引起的相对升沉值；分步相对升沉值 Δ_2 为第 2 层结构（即地下一层中楼板）施作完成，同时地下二层土体全部开挖引起的相对升沉值；分步相对升沉值 Δ_3 同 Δ_2 依次类推，直至最后一层中楼板施作完成及下方土体开挖至底板底标高。

以地下两层盖挖逆作法结构为例， Δ 取值 20mm 时， Δ_1 (mm) 和 Δ_2 (mm) 的值应按下列式计算：

$$\Delta_1 = \frac{Q_1}{Q_1+Q_2} \times 20 \quad \Delta_2 = \frac{Q_2}{Q_1+Q_2} \times 20 \quad (4.2.5-2)$$

式中： Q ——由地面超载 + 覆土荷载 + 顶板自重引起的中间立柱荷载增量；

Q_2 ——由中楼板施工荷载 + 中楼板自重引起的中间立柱荷载增量。

相对升沉是指基坑支护结构与中间立柱之间，以及中间立柱与中间立柱之间存在的竖向差异变形，这种差异变形在逆作法施工中是客观存在的。基坑开挖期间，全部竖向荷载由支护结构和立柱桩基础承担，支护结构和桩基础由于存在承载性能差异，将产生差异沉降；另外，坑内立柱桩基础在开挖卸载阶段由于土体隆起还将产生不同程度的上浮作用，因此，整个施工期间支护结构与中间立柱之间、中间立柱与中间立柱之间均存在竖向升沉变形，这种变形将使完工的地下结构产生附加应力，造成内力重分布，因此，在结构设计计算中应考虑相对升沉的影响。

基坑开挖过程中的坑底土体隆起虽然会导致中间立柱及柱下桩基础的上浮，但由于盖挖逆作顶板或楼板下基坑开挖之前其上部竖向加载作用已完成，对桩基础的上浮起到一定的抵消作用，根据大量数值模拟及已有工程实测数据的研究成果表明，盖挖逆作法的坑底隆起引起的向上相对差异变形不超控制值，且对结构受力不起控制作用，因此，在结构设计计算中不考虑中间立柱及柱下桩基础的上浮影响，仅按向下方向输入相对升沉值，而在桩基础设计时考虑构造措施。

另外，对于纵向或横向多跨结构下的中间桩基础，需结合工程地质条件、荷载等情况，按照行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中有关桩基沉降计算的要求，合理设计桩型、桩长及后压浆等措施，使所有中间桩基础的沉降均满足沉降变形允许值的要求，并由此控制中间桩基础之间的差异沉降。因此，一般情况下为简化计算工况，在盖挖逆作法结构设计中可不进行纵向或横向各中间桩基之间的升沉作用对结构的影响分析。

7 岩石地质条件进行盖挖逆作框架结构计算时，可忽略支护结构与中间桩基之间的相对升沉对结构内力的影响。

8 其它荷载作用应执行相应行业规范或按照工程实际情况确定。

4.3 基坑围护结构设计计算

4.3.1 基坑围护设计计算内容及目的应满足以下要求：

1 桩墙支护结构应根据设定的开挖工况和施工顺序按竖向弹性地基梁模型逐阶段进行内力和变形分析，并应满足基坑变形控制标准要求。

2 应根据工程地质和水文地质条件进行必要的基坑稳定性验算，并应满足基坑稳定性要求。

3 应结合基坑嵌固稳定性验算、支护结构竖向承载能力及沉降变形要求确定支护结构的嵌固深度。

4 在以上设计计算的基础上根据当地经验并结合工程类比初步确定支护结构的设计参数，并仅可作为框架结构整体计算模型的构件参数。

基坑支护宜采用基于开挖分步的弹性支点平面杆系结构进行分析，软件可采用常用基坑分析软件。由于盖挖逆作法基坑开挖过程中的荷载作用和结构型式在不断的发生变化，作为主体结构一部分使用的桩墙支护结构与主体结构侧墙共同承载，其组合结构的型式和刚度也在基坑开挖过程中不断发生变化，因此，与明挖顺作法不同，支护结构不宜采用作用于基本组合的综合分项系数法进行设计。在基坑围护进行内力和变形分析及稳定性验算时，应在满足基坑变形控制标准和基坑稳定性要求的情况下，初步确定支护结构的设计参数，作为整体框架结构计算模型的构件参数输入，用于

进行结构施工和使用期间各工况下的荷载作用效应分析，并在此基础上进行支护结构的极限状态设计。

也可以建立土与框架结构相互作用的连续介质模型，采用增量法进行施工和使用期间各种工况下的内力、变形及基坑开挖对周围环境的影响分析，软件可采用通用有限元分析软件。

4.3.2 盖挖逆作法应根据基坑工程特点和周边环境保护要求按照表 4.3.2 确定基坑变形控制等级。

表 4.3.2 盖挖逆作法基坑变形控制等级表

| 变形控制等级 | 地面最大沉降量控制要求 | 周边环境条件 |
|--------|--|---|
| 一级 | 地面最大沉降量 $\leq 0.15\%H$ ，且 $\leq 30\text{mm}$ | 1) 基坑周围 0.7H 范围内有重要环境设施； 2) 基坑开挖深度 $16.0\text{m} \leq H < 20.0\text{m}$ ，且在 0.7H ~ 1.0H 范围内有重要环境设施； 3) 环境安全无特殊要求，基坑开挖深度 $H \geq 20.0\text{m}$ |
| 二级 | 地面最大沉降量 $\leq 0.3\%H$ ，且 $\leq 50\text{mm}$ | 1) 基坑周围 1.0H ~ 2.0H 范围内有重要环境设施； 2) 环境安全无特殊要求，基坑开挖深度 $16.0\text{m} \leq H < 20.0\text{m}$ |
| 三级 | 地面最大沉降量 $\leq 0.45\%H$ ，且 $\leq 70\text{mm}$ | 环境安全无特殊要求，且基坑开挖深度 $H < 16.0\text{m}$ |

注：1 表中 H 为基坑开挖深度；

2 周边重要环境设施参见本指南第 9 章给出的相关定义；

3 地面最大沉降量控制值除了满足表中要求外，还应与基坑周边环境安全控制标准相协调，取两者较小值作为控制值；

4 顶板以上浅基坑变形控制标准按明挖顺作法相关规范执行；

5 该标准参考于北京地区的轨道交通工程规范，其它地下工程及其它城市相关的地下工程可参考使用。

通常明挖顺作法基坑变形控制标准包括地表最大沉降量和支护结构最大水平位移，且相关控制标准可按相关规范选取。由于盖挖逆作法施工期间支护结构作为结构一部分与主体侧墙共同受力，支护结构水平位移与施工步序密切相关，且主体结构水平支撑刚度较大，施工期间支护结构水平位移较明挖顺作法小很多，控制标准不能简单套用明挖顺作法控制标准，需要根据计算结果进行确定。因此，支护结构变形不作为盖挖逆作法基坑变形控制标准。

4.3.3 基坑稳定性验算内容应满足表 4.3.3 的相关要求。基坑稳定性验算方法宜按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定执行，或按其它相关行业标准或地方标准执行。

表 4.3.3 基坑稳定性验算内容表

| 支护型式 | 整体滑动稳定性 | 倾覆稳定性 | 墙底隆起稳定性 | 坑底隆起稳定性 | 抗承压水稳定性 | 地下水渗流 |
|----------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|
| 悬臂桩、墙支护 | △ | △ | △ | — | ○ | ○ |
| 单支点桩、墙支护 | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ |
| 多支点桩、墙支护 | — | — | △ | △ | ○ | ○ |

注：1 △——应验算，○——必要时验算；

2 坑底隆起稳定性验算仅适用于坑底以下为软土地层。

4.3.4 基坑支护采用弹性支点进行分析时，主体结构板作为水平支撑系统，其支撑刚度应按钢筋混凝土结构考虑，且不考虑预加轴力。对于规则的箱型平面框架结构或双向空间框架结构，结构的水

平支撑刚度系数可按式（4.3.4）计算。

$$k_R = \frac{\alpha_R E A b_a}{\lambda l_0} \quad (4.3.4)$$

式中： k_R ——结构的水平支撑刚度系数；

α_R ——支撑结构松弛系数，取1.0；

E ——结构板的弹性模量（kPa）；

A ——每延米结构板的截面面积（ m^2 ）；

b_a ——支护结构计算宽度（m）；

λ ——支撑不动点调整系数，取0.5~1.0，可按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的相关规定选取；

l_0 ——垂直于基坑侧壁方向的结构板计算长度（m）。

4.3.5 垂直于基坑侧壁方向结构板的计算长度 l_0 ，对于箱型平面框架结构宜按结构板各横向跨度中最大值确定，对于多跨双向空间框架结构宜按临近支护结构三跨中跨度最大值确定。

4.3.6 当地下结构顶板或中楼板开洞面积较大，结构板支撑刚度系数尚应按照环框梁的抗弯刚度进行计算。环框梁可作为两端固支梁，侧向承受均布荷载，其水平支撑刚度系数可按式（4.3.6）计算：

$$k_R = \frac{384EI}{ql^4} \quad (4.3.6)$$

式中： EI ——环框梁的侧向抗弯刚度（ $KN \cdot m^2$ ）；

l ——环框梁的计算跨度；

q ——支护结构作用于环框梁上的侧向均布荷载（ KN/m ）。

4.3.7 盖挖逆作法施工过程中采用临时钢支撑作为水平支撑体系时，水平支撑刚度系数可按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120相关公式进行计算。

4.3.8 支护结构施工期间竖向承载力特征值宜根据现场静载荷试验确定，也可根据公式估算。地下连续墙竖向承载力特征值可按公式（4.3.8-1）计算，钻孔灌注桩和钻孔咬合桩竖向承载力特征值可按公式（4.3.8-2）计算。

$$R_a = \frac{Q_{ua}}{K} = \alpha q_{pa} \times b + 2 \sum q_{sia} \times l_i + \sum q_{sia} \times l_j \quad (4.3.8-1)$$

式中： R_a ——单位延米长度地下连续墙承载力特征值（ kN/m ）；

Q_{ua} ——单位延米长度地下连续墙竖向承载力标准值；

K ——安全系数，取1.5；

α ——墙端端阻力调整系数，采取墙端注浆措施时取0.8~1.0，不采取墙端注浆措施时取0.5~0.8，墙端端阻力高、沉渣厚时取低值，并结合地区经验综合确定；

q_{pa} 、 q_{sia} ——为墙端端阻力、墙侧摩阻力特征值（ kPa ），按泥浆护壁钻孔灌注桩的相应指标取值；

b ——地下连续墙厚度 (m)；

l_i ——底板以下嵌固深度范围内各土层厚度 (m)；

l_j ——顶板和底板之间的各土层厚度 (m)；

$$R_a = \frac{Q_{ua}}{K} = (\alpha q_{pa} \times A_p + 2D \sum q_{sia} \times l_i + D \sum q_{sia} \times l_j) / L \quad (4.3.8-2)$$

式中： R_a ——单位延米长度支护桩承载力特征值 (kN)，咬合桩不计素桩竖向承载力；

Q_{ua} ——单位延米长度支护桩竖向承载力标准值；

K ——安全系数，取 1.5；

α ——桩端端阻力调整系数，采取桩端注浆措施时取 0.8~1.0，不采取桩端注浆措施时取 0.5~0.8，桩端端阻力高、沉渣厚时取低值，并结合地区经验综合确定；

A_p ——桩端截面积；

q_{pa} 、 q_{sia} ——单桩（咬合桩时仅为钢筋混凝土桩）端阻力、桩侧摩阻力特征值 (kPa)，按泥浆护壁钻孔灌注桩的相应指标取值； q_{sia} 仅计入内外接触土体的桩侧摩阻力（咬合桩时仅为钢筋混凝土桩）；

D ——支护桩的桩径 (m)；

l_i ——底板以下嵌固深度范围内各土层厚度 (m)；

l_j ——顶板和底板之间的各土层厚度 (m)；

L ——支护桩的间距 (m)。

4.3.9 支护结构的沉降变形宜根据现场静载荷试验确定，也可根据《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相关公式进行估算，沉降变形值及沉降差不应大于沉降变形允许值，且其沉降变形应与中间立柱竖向沉降变形相协调，确保两者相对升降值满足本指南 4.2.5 条第 6 款的规定。

4.3.10 岩体盖挖逆作法支护结构设计宜符合下列规定：

1 应根据岩土工程地质条件，边坡可能的破坏方式、方向、范围及影响范围等因素确定盖挖逆作岩体基坑支护方案，可选用全岩体喷锚支护结构或上桩下锚组合支护体系。

2 盖挖逆作岩体基坑设计宜按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 相关方法进行稳定性计算和分析。

3 对于全岩体喷锚支护结构，顶板可直接搁置于岩肩上，由岩体支撑竖向荷载作用，需要考虑顶板竖向荷载对岩体边坡稳定性的影响。

4 对于上桩下锚组合支护体系，可采用大型有限元软件进行数值模拟分析，一般可将其分为上部桩锚体系、下部岩质边坡分别计算。上桩部分按土质基坑进行计算，下部岩质基坑按岩石边坡进行计算，且上层土、桩的自重及锚索向下的分力应作为下层岩质边坡的荷载考虑。

5 上桩下锚组合支护的最不利工况应为岩肩平台以下岩体开挖，为了控制桩脚向坑内水平位移，在平台处宜设置锁脚锚索。

4.4 箱型平面框架结构分析

4.4.1 箱型平面框架结构分析宜符合下列规定：

1 箱型平面框架结构宜采用平面有限元杆系模型，按平面结构进行荷载作用效应分析；当需要分析基坑开挖对周围环境影响时，可采用连续介质有限元法。

2 箱型平面框架结构分析应统筹考虑模型单元的建立、边界条件的改变、材料属性的选取、荷载增量施加及施工步序的关联性，按增量法进行计算。

4.4.2 平面杆系模型的建立应符合下列规定（图 4.4.2-1、图 4.4.2-2）：

1 平面杆系模型规模应按各构件（顶板、楼板、墙及中间立柱）截面中心轴线确定，并取纵向一延米作为计算单元；横向杆系单元划分长度不宜过大，一般取 0.5m~1.0m，正常段单元长度宜等分处理。

2 复合墙承载体系应按支护结构和主体侧墙分别建立杆系单元，两者之间的相互作用采用两端铰接的压杆单元进行模拟，可通过单元失效或激活模拟不同过程的受力。

3 叠合墙承载体系应将支护结构和主体侧墙建成整体杆系单元，在模型计算跨度和单元划分不改变的情况下，可通过改变截面尺寸参数模拟不同的受力过程。

4 主体结构侧墙与各层结构板连接处应按刚域处理，刚域长度取墙和板截面厚度的 1/2；柱子与各层结构板之间不施加刚域。

5 主体结构顶板与支护结构顶部连接应根据实际构造情况按铰接或刚接设置节点的约束关系。

6 基坑侧水平土体弹簧系数可按照下式计算：

$$K = m (z - h) \quad (4.4.2-1)$$

式中： K ——水平土体弹簧系数（kPa/m）；

m ——土的水平弹簧系数的比例系数（MN/m⁴），按公式 $m = \frac{1}{\Delta} (0.2\varphi^2 - \varphi + c)$ 计算；

z ——计算点距地面的深度（m）；

h ——计算工况下的基坑开挖深度（m）；

c ——土体的粘聚力（kPa）；

φ ——土体的内摩擦角（°）；

Δ ——支护结构在坑底处的水平位移量（mm），此处的水平位移不大于 10mm 时，可取 $\Delta = 10\text{mm}$ 。

7 支护结构位于基坑开挖面以上应在迎土侧设置水平受压约束弹簧；支护结构位于基坑开挖面以下应设置两侧水平受压约束弹簧；底板下应设置竖向受压地基弹簧。

水平弹簧刚度应按所在土层水平基床系数乘以支护结构相邻单元各一半长度之和确定；竖向弹簧刚度应按所在土层垂直基床系数乘以底板相邻单元各一半长度之和确定。当支护结构入土深度范围内两侧土体较差时，土体弹簧应按下列原则设定：

1) 墙背土压力的最小值

$$P_{min} = P_0 - K_1 Y \geq P_a \quad (4.4.2-2)$$

式中： P_{min} ——节点的计算最小土压力（kN）；

P_0 ——节点处静止土压力（kN）；

K_1 ——节点墙背土体弹簧刚度，按公式（4.4.2-1）计算；

Y ——节点位移（m）；

P_a ——节点处的主动土压力 (kN)。

当 $P_{min}=P_0-K_1Y < P_a$ 时, 应取消土弹簧, 在节点上代之以集中力后重新计算, 使作用在该节点范围内的总土压力值为 P_a 。

2) 基坑侧被动区的土压力最大值

$$P_{max}=P_0+K_2Y \leq P_p \quad (4.4.2-3)$$

式中: P_{max} ——节点的计算最大土压力 (kN);

P_p ——节点处被动土压力 (kN);

K_2 ——节点基坑侧土体弹簧刚度, 按公式 (4.4.2-1) 计算;

当 $P_{max}=P_0+K_2Y > P_p$ 时, 应取消土弹簧, 在节点上代之以集中力后重新计算, 使作用在该节点范围内的总土压力值为 P_p 。

8 施工工况和使用工况宜对支护结构和中间桩基下方施加竖向平动约束, 假定两者均不产生竖向位移。

9 施工工况的相对差异沉降值可通过指定节点位移进行模拟。

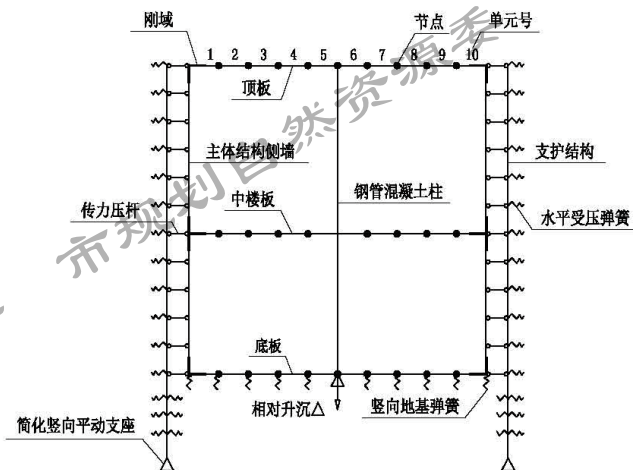


图 4.4.2-1 复合墙承载体系计算模型示意

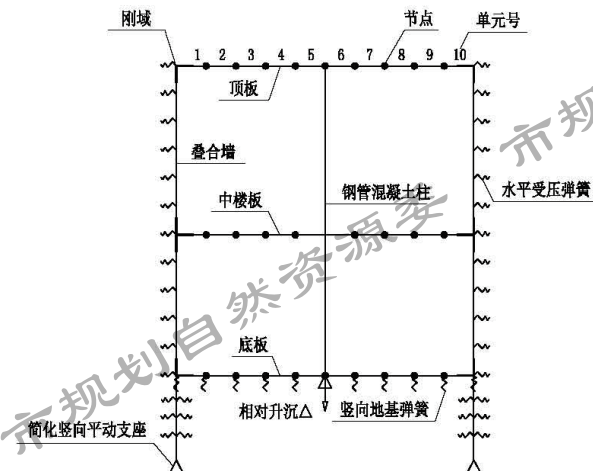


图 4.4.2-2 叠合墙承载体系计算模型示意

4.4.3 模型截面参数选取宜满足以下要求：

- 1 主体结构的顶板、楼板、底板、侧墙截面高度应按实际构件尺寸选取，并考虑斜托的影响。
- 2 中间立柱应按等效抗压刚度沿纵向柱跨折合平面立柱确定等效截面高度。钢管混凝土柱等效截面高度应按下式计算：

$$h = \frac{E_s A_s + E_c A_c}{E_c L} \quad (4.4.3-1)$$

式中： h ——每延米等效截面高度（m）；

E_s ——钢管的弹性模量（kN/m²）；

E_c ——混凝土的弹性模量（kN/m²）；

A_s ——钢管的面积（m²）；

A_c ——混凝土的面积（m²）；

L ——立柱纵向中心跨度（m）。

- 3 地下连续墙的截面高度应按实际尺寸选取；钻孔灌注桩及钻孔咬合桩的计算截面高度应按等效抗弯刚度沿纵向每延米折合，计算式如下：

$$H = \sqrt[3]{\frac{3\pi D^4}{16L}} \quad (4.4.3-2)$$

式中： H ——每延米支护桩等效截面高度（m）；

D ——支护桩直径（m）；

L ——支护桩间距（m）。

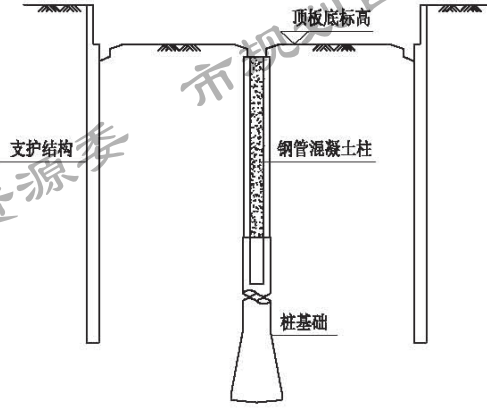
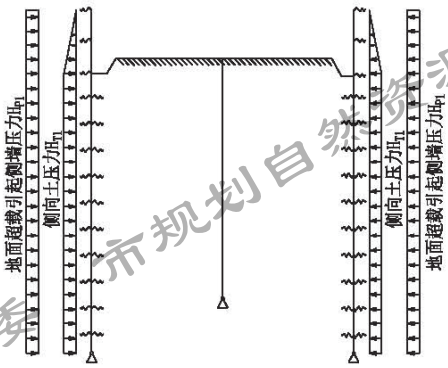
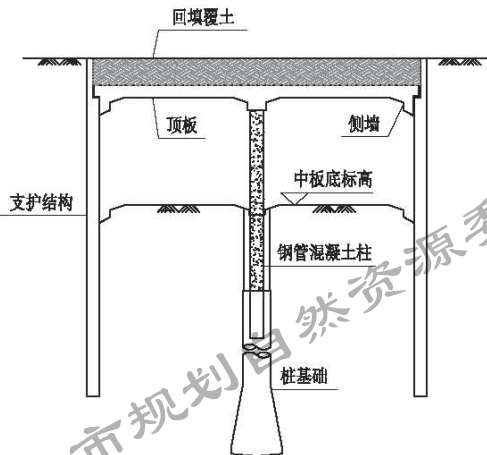
- 4 支护结构与主体结构之间传力压杆的截面高度应按节点两侧主体结构侧墙单元长度各取一半之和确定，材料重度输入时不应计入结构自重的影响。

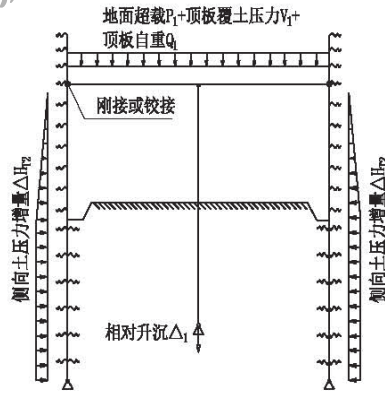
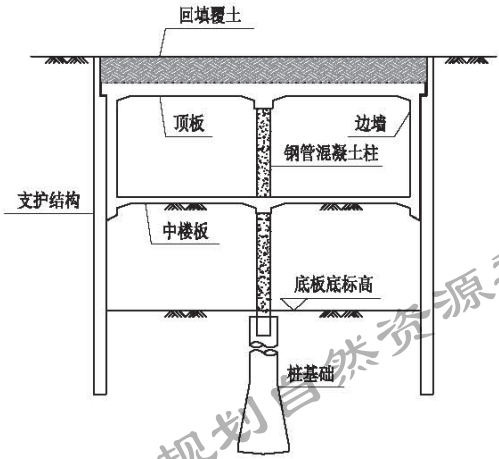
4.4.4 模型材料参数选取宜满足以下要求：

- 1 基坑支护结构以及主体结构顶板、各层楼板、底板和侧墙，按构件混凝土等级选取。
- 2 中间立柱按混凝土材料进行抗压刚度等效后，按立柱等效混凝土等级选取。
- 3 支护结构与主体结构相互作用的传力压杆材料按主体侧墙混凝土参数等级选取。

4.4.5 根据施工和使用期间结构的实际情况，将受力过程分解成若干个相对独立的工况，按增量法进行计算分析。以承受对称荷载的地下两层双跨框架结构“支护桩+复合墙+降水”设计方案为例，计算简图及计算方法见表 4.4.5。

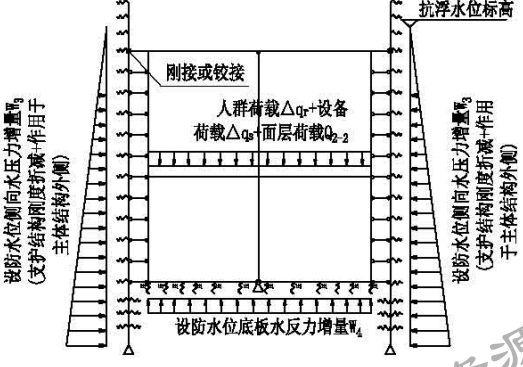
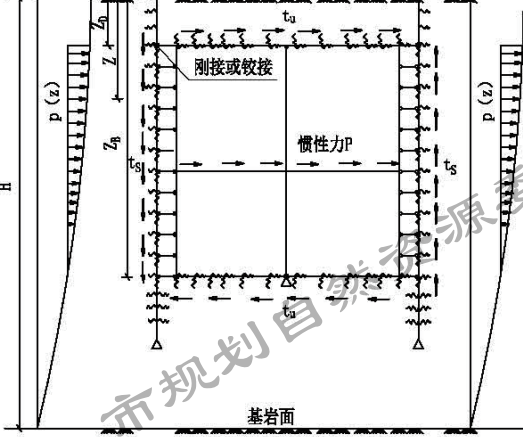
表 4.4.5 计算简图和计算方法表

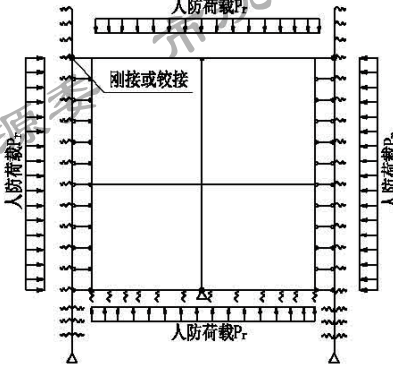
| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|---------------|---|---|
| 工况一 (施工期间) |  | 工况一：基坑支护结构、中间桩基、中间立柱施作完成，顶板以上浅基坑开挖完成。 |
| |  | 约束条件： 1) 开挖面以上支护结构外侧土体压弹簧约束；开挖面以下支护结构内外侧土体压弹簧约束； 2) 支护结构和中间立柱底部竖向位移约束。 荷载增量： ①顶板以上土体开挖引起的初始侧向土压力增量 H_{T1} ； ②地面超载引起的初始侧压力 H_{P1} 。 荷载位置：以上①②均作用于支护结构外侧。 作用效应： $S_G = \Delta S_{G1}$ ； $S_Q = \Delta S_{Q1}$ ； $\delta = \Delta \delta_{10}$ 。 |
| |  | 工况二：施作顶板结构，并回填覆土后，继续开挖基坑土体至中板底标高处。 |

| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|-----------------------|---|---|
| <p>工况二 (施工期间)</p> |  | <p>约束条件：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 顶板施作完成，形成横向水平支撑结构；顶板与支护结构连接节点根据实际情况可分为刚接或铰接； 2) 撤销地下一层基坑内侧水平压弹簧约束。 <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①地面超载 P_1+ 覆土荷载 V_{T1}+ 顶板结构自重 Q_1； ②地下一层土体开挖引起的侧向土压力荷载增量 ΔH_{T2}； ③中间立柱下方固定节点处指定相对升降值 Δ_1。 <p>荷载位置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 上述①作用于顶板顶； 2) 上述②作用于支护结构外侧； 3) 上述③作用于中间立柱底部竖向。 <p>作用效应：</p> $S_G = \Delta S_{G1} + \Delta S_{G2} ;$ $S_Q = \Delta S_{Q1} + \Delta S_{Q2} ;$ $\delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 .$ |
| <p>工况三 (施工期间)</p> |  | <p>工况三：施作中楼板和地下一层侧墙结构，继续开挖基坑土体至底板底标高，若为三层及以上结构，按此工况依次类推。</p> |

| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|-----------------------|-----------|---|
| <p>工况三 (施工期间)</p> | | <p>约束条件：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 中楼板形成横向水平支撑结构； 2) 地下一层侧墙施作完成，形成复合墙结构； 3) 增加复合墙之间的压杆； 4) 撤销地下二层基坑内侧水平压弹簧约束。 <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①中楼板施工荷载 P_2 + 中楼板结构自重 Q_{2-1}； ②地下一层侧墙结构自重 Q_{2-2}； ③地下二层土体开挖引起的侧向土压力荷载增量 ΔH_{T3}； ④中间立柱下方固定节点处指定相对升沉值 Δ_{2o}。 <p>荷载位置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 上述①作用于地下一层中楼板上； 2) 上述②作用于地下一层主体结构侧墙； 3) 上述③作用于支护结构外侧； 4) 上述④作用于中间立柱底部竖向。 <p>作用效应：</p> $S_G = \Delta S_{G1} + \Delta S_{G2} + \Delta S_{G3} ;$ $S_Q = \Delta S_{Q1} + \Delta S_{Q2} + \Delta S_{Q3} ;$ $\delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + \Delta \delta_3 .$ |
| <p>工况四 (施工期间)</p> | | <p>工况四：施作底板和地下二层侧墙结构。</p> |

| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|---------------|-----------|---|
| 工况四 (施工期间) | | <p>约束条件：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 底板施作完成，形成横向水平支撑结构； 2) 地下二层侧墙施作完成，形成复合墙结构； 3) 增加复合墙之间的压杆； 4) 激活底板下竖向土体弹簧约束。 <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①底板结构自重 Q_{3-1}； ②地下二层侧墙结构自重 Q_{3-2}。 <p>荷载位置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 上述①作用于底板上； 2) 上述②作用于地下二层主体结构侧墙。 <p>作用效应：</p> $S_G = \Delta S_{G1} + \Delta S_{G2} + \Delta S_{G3} + \Delta S_{G4} ;$ $S_Q = \Delta S_{Q1} + \Delta S_{Q2} + \Delta S_{Q3} + \Delta S_{Q4} ;$ $\delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + \Delta \delta_3 + \Delta \delta_4。$ |
| 工况五 (施工期间) | | <p>工况五：恢复地下水至正常水位标高。</p> <p>约束条件：同工况四。</p> <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①正常水位恢复引起侧向水压力增量 W_1； ②正常水位恢复引起底板底的水反力增量 W_2； ③水位恢复前后的土压力增量为减量，计算时可忽略。 <p>荷载位置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 上述①作用于地下一层和地下二层主体结构侧墙外侧； 2) 上述②作用于底板底。 <p>作用效应：</p> $S_G = \Delta S_{G1} + \Delta S_{G2} + \Delta S_{G3} + \Delta S_{G4} + \Delta S_{G5} ;$ $S_Q = \Delta S_{Q1} + \Delta S_{Q2} + \Delta S_{Q3} + \Delta S_{Q4} + \Delta S_{Q5} ;$ $\delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + \Delta \delta_3 + \Delta \delta_4 + \Delta \delta_5。$ |

| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|------------------------|--|--|
| <p>工况 A (使用期间)</p> |  <p>设防水位侧向水压力增量W_3 (支护结构刚度折减+作用于主体结构外侧)</p> <p>刚接或铰接</p> <p>人群荷载Δq_1+设备荷载Δq_2+面层荷载Q_{2-2}</p> <p>设防水位侧向水压力增量W_3 (支护结构刚度折减+作用于主体结构外侧)</p> <p>设防水位底板水反力增量W_4</p> <p>抗浮水位标高</p> | <p>工况 A：长期使用期间建筑物正常使用功能 + 抗浮设防水位作用。</p> <p>约束条件：同工况五</p> <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①设防水位恢复引起侧向水压力增量 W_3，为设防水位与正常水位压力的差值； ②设防水位恢复引起底板底的水反力增量 W_4，为设防水位与正常水位水反力的差值； ③中楼板施工荷载失效，中楼板其它荷载增量，如人群荷载、设备荷载等及装修面层等。 <p>荷载位置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 上述①作用于主体结构侧墙外侧； 2) 上述②作用于底板底； 3) 上述③作用于中楼板。 <p>作用效应：</p> $S_G = \Delta S_{G1} + \Delta S_{G2} + \Delta S_{G3} + \Delta S_{G4} + \Delta S_{G6}$ $S_Q = \Delta S_{Q1} + \Delta S_{Q2} + \Delta S_{Q3} + \Delta S_{Q4} + \Delta S_{Q6}$ $\delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + \Delta \delta_3 + \Delta \delta_4 + \Delta \delta_6$ |
| <p>工况 B (使用期间)</p> |  <p>地面</p> <p>刚接或铰接</p> <p>惯性力P</p> <p>基岩面</p> <p>$p(z)$</p> <p>t_s</p> <p>Z_0</p> <p>Z_b</p> <p>Z</p> <p>s_t</p> <p>s_b</p> <p>H</p> | <p>工况 B：地震荷载作用。</p> <p>约束条件：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 激活底板水平向土体弹簧约束； 2) 激活侧墙竖向土体弹簧约束； 3) 其它约束同工况五。 <p>荷载增量：</p> <ol style="list-style-type: none"> ①地震荷载增量（水平动土压力 $P(z)$、动剪切力 t_s 和惯性力 P）。 <p>荷载位置：</p> <p>上述①作用于整个框架结构上。</p> <p>作用效应：</p> $S_G = S_G + S_Q + \Delta S_E$ $\delta = \delta_G + S_Q + \Delta \delta_{E0}$ |

| 工 况 | 工况简图和计算简图 | 工况说明及计算方法 |
|----------------|---|---|
| 工况 C (使用期间) |  | 工况 C：人防荷载作用。 约束条件：同工况五。 荷载增量： ①人防荷载增量 Pr。 荷载位置： 上述①作用于主体结构顶板和侧墙。 作用效应： $S_d = S_G + \Delta S_R$ ； $\delta = \delta_G + \Delta \delta_E + \Delta S_{R0}$ 。 |

- 注：1 本模型为地下两层双跨箱型框架结构，支护桩、复合墙结构，施工期间考虑降水措施；
- 2 模型建立时应全面考虑各个施工工况的边界条件、荷载条件及结构体系的完整性，软件计算时，通过单元激活和失效、分步添加荷载和边界条件来实现施工过程的模拟及分步内力和变形的继承；
- 3 S_G 代表永久荷载标准值作用效应， S_Q 代表可变荷载标准值作用效应， S_E 代表地震荷载标准值作用效应， S_R 代表人防荷载标准值作用效应， δ 代表荷载标准值作用的变形， $\Delta S_{G1} \sim \Delta S_{G6}$ 代表各工况永久荷载增量效应， $\Delta S_{Q1} \sim \Delta S_{Q6}$ 代表各工况可变荷载增量效应；
- 4 逆作过程基坑土体开挖引起的侧向土压力荷载增量 ΔH_{T1} 由基坑内土体卸载作用产生的不平衡土压力，其数值大小为基坑内外侧静止土压力的差值；
- 5 侧向土压力增量分布模式：开挖面以上为三角形分布，开挖面以下为矩形分布；
- 6 相对下沉值计算应按本指南第 4.2.5 条第 6 款执行；
- 7 各工况下支护结构刚度的选取应按本指南第 4.1.9 条执行。

4.4.6 当支护结构采用止水帷幕方案，并与主体结构形成复合墙形式，施工期间考虑坑内疏干降排水时的计算方法在 4.4.5 条的基础上，尚应满足下列要求：

- 1 施工工况应在支护结构外侧施加侧向水压力荷载增量，使用工况应在主体结构侧墙外侧和底板底施加水压力荷载增量。
- 2 地下水位恢复前后的土压力增量为减量，计算时可忽略。

4.4.7 叠合墙承载体系的计算简图及计算方法在 4.4.5 和 4.4.6 条的基础上，尚应满足下列要求：

- 1 模型中侧墙单元参数的选取应按施工期间的叠合时序逐一考虑。
- 2 各层结构板与支护结构以及叠合墙的连接方式应采用刚性连接。
- 3 施工和使用期间水压力和土压力均作用在支护结构的外侧。

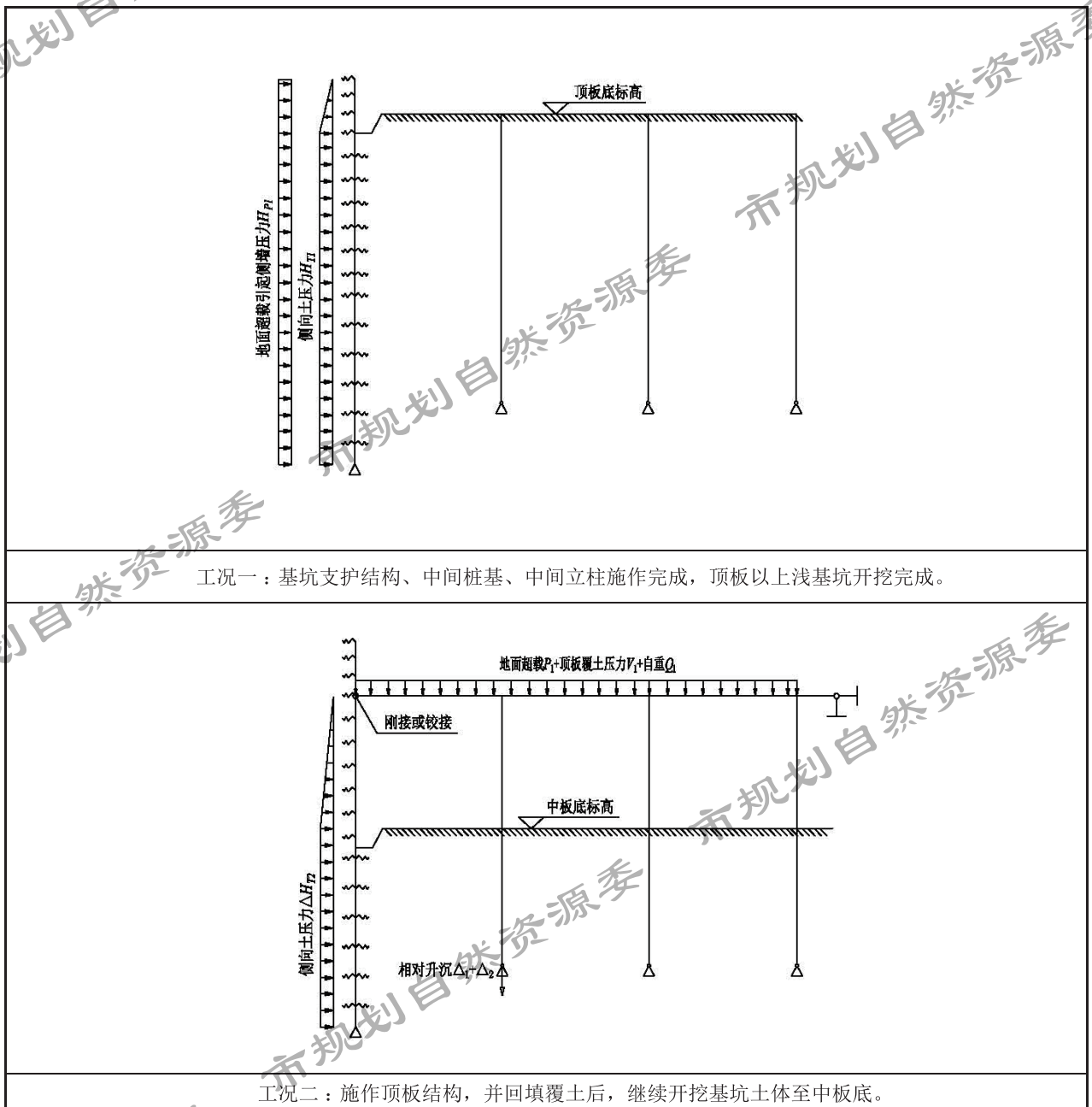
4.5 双向空间框架结构分析

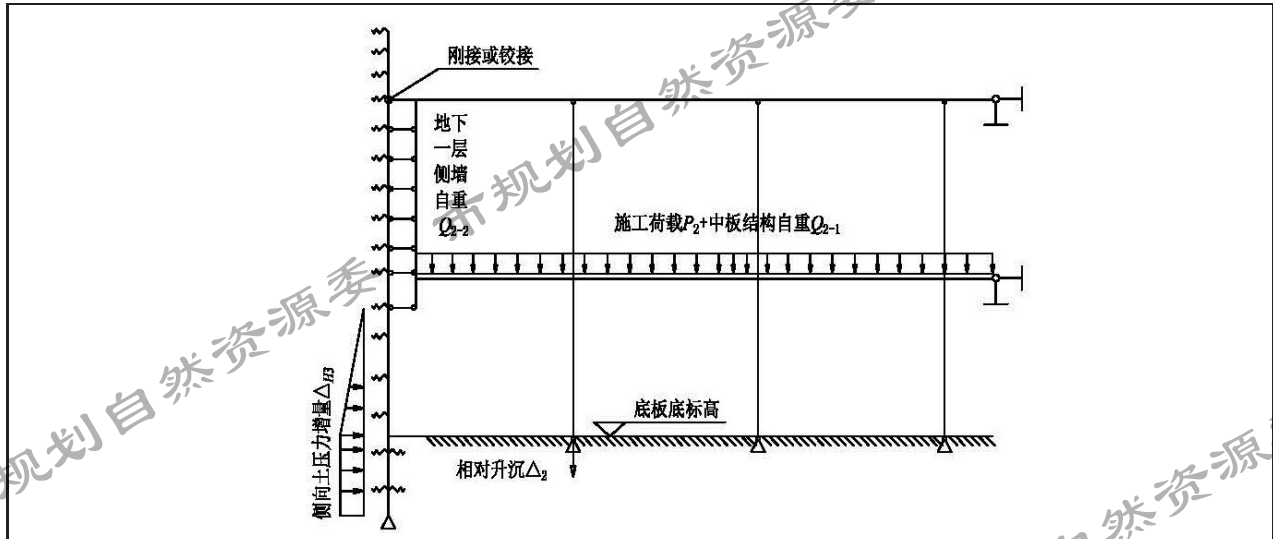
4.5.1 双向空间框架结构计算模型宜根据结构的实际情况，选用杆-板壳单元空间有限元模型，参考箱型平面框架结构输入条件，按增量法进行计算分析，也可按简化算法计算。

4.5.2 竖向简化算法可用于支护结构和主体结构侧墙等竖向构件的荷载作用效应计算分析，简化算法宜符合下列规则（见表 4.5.2）：

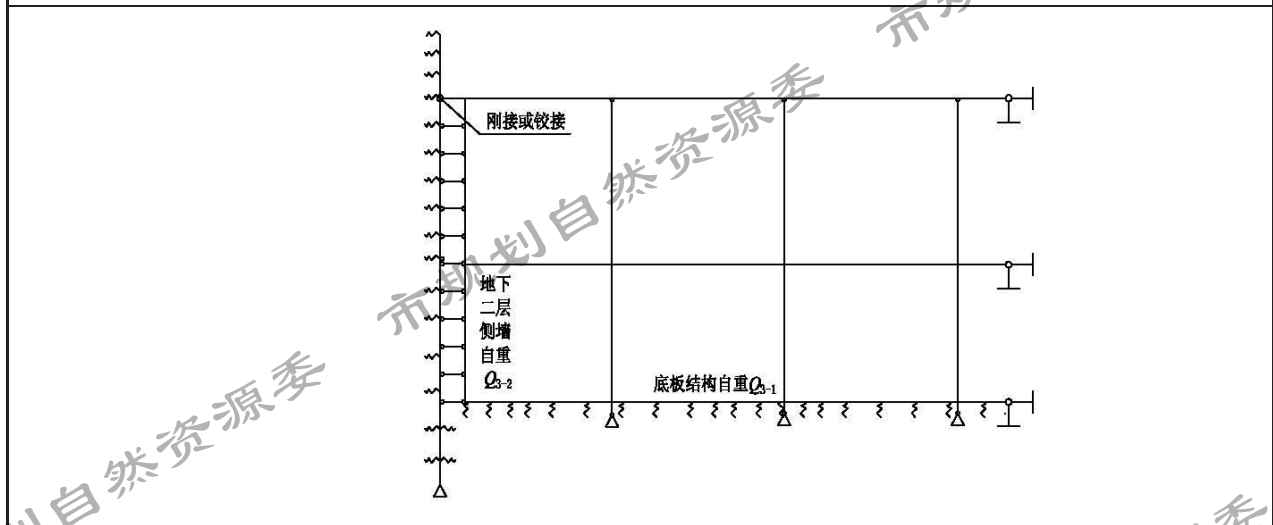
- 1 可沿垂直于支护结构方向取 3~5 跨梁柱体系，纵向取一延米作为计算单元，简化成平面杆系模型，并按增量法计算。
- 2 水平支撑刚度应按结构梁板等效受压刚度确定。
- 3 在楼板连续、刚度无突变情况下，截取的楼板端部约束可采用定向铰支座。
- 4 在楼板有开洞的情况下，端部约束可采用定向弹簧支座，定向弹簧支座刚度应按照本指南 4.3.6 条计算。
- 5 简化模型的建立、工况模拟、边界条件、荷载增量、荷载作用位置及荷载组合可按参考箱型平面框架结构分析方法进行。

表 4.5.2 大型地下二层多跨复合墙结构竖向简化计算法

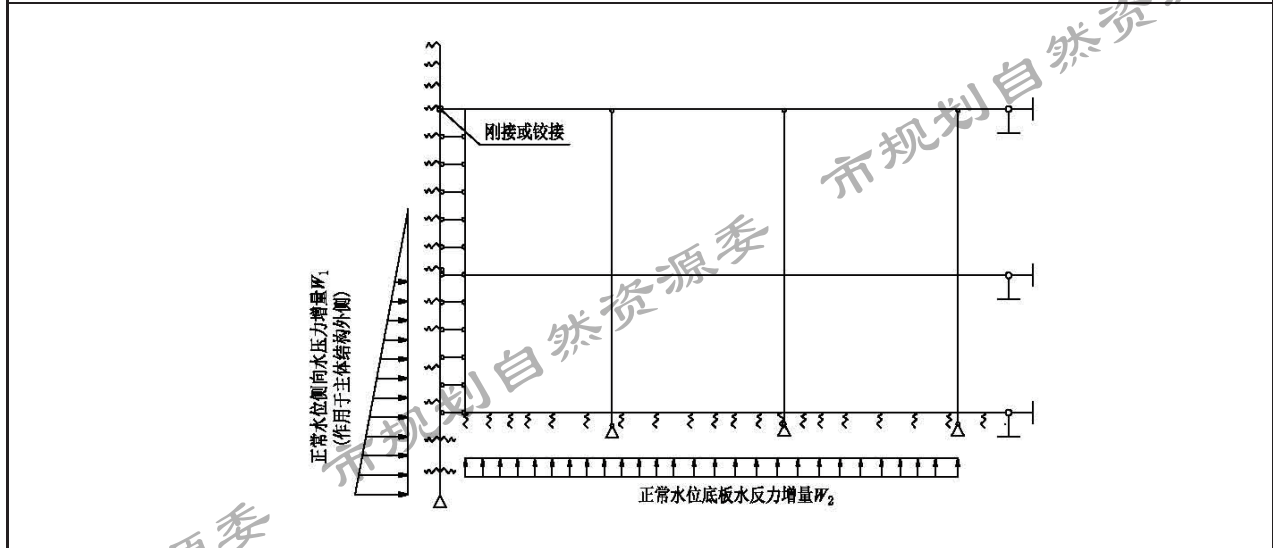




工况三：施作中楼板和地下一层侧墙结构，继续开挖基坑土体至底板底标高，若为三层及以上结构，按此工况依次类推。



工况四：施作底板和地下二层侧墙结构。



工况五：施作底板和地下二层侧墙结构后，正常水位恢复。

4.5.3 平面简化算法可用于梁板结构等平面构件的荷载作用效应计算分析，简化算法宜符合下列规则（见图 4.5.3）：

- 1 应按各层结构板分开建模进行内力和变形的荷载作用效应分析，采用全量法进行计算。
- 2 应根据各层结构板的实际情况建立模型，边跨结构与支护结构的约束条件应按实际连接方式确定（刚接或铰接），梁柱节点简化为固定铰支座。
- 3 应考虑支护结构与中间立柱下桩基的相对升降影响，各层结构模型输入的总相对升降值 Δ_j 应是本层结构板的分步相对升降值 Δ_i 与其以下各层结构板的分步相对升降值 Δ_i 之和，其中每层结构板的分步相对升降值 Δ_i 应按本指南 4.2.5 条第 6 款确定，本模型各层结构板总相对升降值 Δ_j 计算公式如下：

$$\Delta_j = \Delta - \sum_{i=0}^{j-1} \Delta_i \quad (4.5.3)$$

式中： Δ_j ——第 j 层结构板总相对升降值。 j 从 1 开始， $j = 1$ 即为地下一层顶板， $j = 2$ 即为地下一层楼板； $j = 3$ 即为地下二层楼板；依次类推。各层结构板的总相对升降值 Δ_j 由上而下依次递减，即地下一层顶板总相对升降值 Δ_1 应为总升降限值 Δ ；
 Δ_i ——第 i 层竖向荷载增量传递至中柱桩基上所引起相对升降值， i 从 0 开始，其中 $\Delta_0 = 0$ ；
 Δ ——总升降限值。

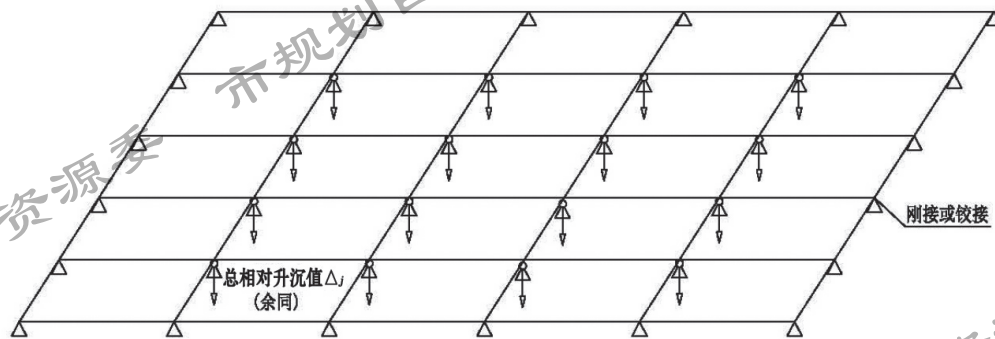


图 4.5.3 平面简化方法计算简图示意

4.6 极限状态设计

- 4.6.1 极限状态设计应该包括支护结构和主体结构承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- 4.6.2 应根据施工期间和使用年限内在结构上可能同时出现的荷载效应，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合，并按预期可能发生的变化进行最不利荷载组合。
- 4.6.3 对于承载能力极限状态，应按荷载的基本组合或偶然组合计算荷载组合的效应设计值，并应采用下列设计表达式进行：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (4.6.3)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用；
 S_d ——荷载组合的效应设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值，应按各有关建筑结构设计规范的规定确定。

4.6.4 荷载基本组合的效应设计值 S_d ，应从下列荷载组合值中取用最不利的效应设计值确定：

1 由可变荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{L_i} S_{Q_{ik}} \quad (4.6.4-1)$$

式中： S_d ——荷载组合的效应设计值；

γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数，永久荷载分项系数，应按本指南第 4.6.5 条采用；

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q_1} 为主导可变荷载 Q_1 的分项系数，应按本指南第 4.6.5 条采用；

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数，其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数，应按《建筑结构荷载规范》GB 50009 相关规定确定；

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

$S_{Q_{ik}}$ ——第 i 个可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值，其中 Q_{1k} 为主可变荷载效应中控制作用

者；

ψ_{L_i} ——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合系数；

m ——参与组合的永久荷载数；

n ——参与组合的可变荷载数。

注：1 组合中的效应设计值仅适用于荷载和荷载效应为线性的情况；

2 可变荷载组合系数 ψ_{L_i} 按工程类型参照相应标准执行。

2 由永久荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{L_i} S_{Q_{ik}} \quad (4.6.4-2)$$

注：1 基本组合中的效应设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况；

2 当对 $S_{Q_{ik}}$ 无法明显判断时，应轮流以各可变荷载效应作为并选取其中最不利的荷载组合的效应设计值。

4.6.5 基本组合的荷载分项系数，应按下列规定采用：

1 永久荷载的分项系数应符合下列规定：

1) 当永久荷载效应对结构不利时，对由可变荷载效应控制的组合应取 1.2，对由永久荷载效应控制的组合应取 1.3；

2) 当永久荷载效应对结构有利时，不应大于 1.0。

2 可变荷载的分项系数应取 1.5。

4.6.6 地震设计偶然组合计算，当作用与作用效应按线性关系考虑时，静荷载和地震作用基本组合的效应设计值应按下式确定：

$$S_d = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \quad (4.6.6)$$

式中： S_d ——静荷载和地震作用组合的效应设计值；

S_{GE} ——静荷载代表值的效应，静荷载代表值应取结构和结构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

γ_G ——静荷载分项系数，一般情况应采用 1.2；当静荷载效应对构件承载力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数，取值 1.3；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数，取值 1.3，仅计算水平地震作用时取值 0。

4.6.7 人防设计偶然组合计算应按现行国家标准《人民防空工程设计规范》GB 50225 相关规定执行，或按工程分类执行相关标准。

4.6.8 战时使用状况下，人防工程结构或构件承载力计算，应按下列式确定：

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk}) \leq R \quad (4.6.8)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用；

γ_G ——永久荷载分项系数，当其效应对结构不利时取值 1.2，有利时取值 1.0；

γ_Q ——等效静荷载分项系数，取值 1.0；

S_{Gk} ——永久荷载效应标准值；

S_{Qk} ——等效静荷载效应标准值；

R ——结构构件承载力设计值。

4.6.9 对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合，并按下列设计表达式进行设计：

$$S_d \leq C \quad (4.6.9)$$

式中： C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝、振幅、加速度、应力等的限值，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用。

4.6.10 标准组合的效应设计值 S_d 可按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_{jk}} + S_{Q_{1k}} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} S_{Q_{ik}} \quad (4.6.10)$$

注：其中，公式各项参数含义同 4.6.4 条。

4.6.11 准永久组合的效应设计值 S_d 可按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_{jk}} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (4.6.11)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

4.6.12 频遇组合的效应设计值 S_d 可按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_{jk}} + \psi_{f1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (4.6.12)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

4.6.13 标准组合、频遇组合或准永久组合组合系数按《建筑结构荷载规范》GB 50009 相关规定确定。

4.6.14 支护结构应按压弯构件进行截面设计，顶板可按纯弯构件进行截面设计，楼板、底板及侧墙应按压弯构件进行截面设计。

4.6.15 正常使用极限状态设计的裂缝宽度和挠度限值应执行相关国家和行业标准。

4.6.16 主体结构侧墙施工工况应进行拉弯验算，裂缝宽度应执行相关国家和行业标准，裂缝宽度无法满足时，可在支护结构上设置抗剪槽。

4.6.17 大型地下结构应进行温度应力作用验算，并采取相应的措施，控制温度应力引起的结构开裂；需要设置结构变形缝时，可采用双柱双桩型式。

5 中间立柱设计

5.1 基本规定

5.1.1 中间立柱是盖挖逆作法施工过程中竖向支撑体系的重要组成构件，可分为永久中间立柱和临时中间立柱，永久中间立柱即利用永久结构柱作为施工期间竖向支撑构件，待底板浇筑完成后作为主体结构框架柱使用。临时中间立柱仅作为施工期间临时竖向支撑构件使用，在底板浇筑完成后予以拆除，应避开主体结构框架柱设置。

5.1.2 盖挖逆作法结构宜采用永久结构柱作为中间立柱，永久中间立柱可采用钢管混凝土柱或型钢格构柱型式，型钢格构柱在底板施工完成后，外包混凝土形成主体结构劲性柱。临时中间立柱宜采用格构式或实腹式型钢柱，不宜采用钢管柱。

盖挖逆作法中间立柱需在各层结构板施工前插入柱下基础内，形成竖向支撑系统，同时由于竖向作用荷载大，盖挖逆作法中间立柱通常采用施工方便、承载力高的钢管混凝土柱或型钢格构柱。

钢管混凝土柱塑性好、承载能力高、抗震性能优越，通过机械插入或人工定位，均能较好的满足定位偏差和垂直度控制要求。

型钢格构柱构造简单、便于加工且截面较小、承载能力较高，工程造价较低，因此，无论是在明挖顺作法工程中，还是盖挖逆作法工程中均有使用，尤其作为临时中间立柱应用广泛。实腹式型钢柱，常用的截面型式有I、H、工、T、槽形等，其承载能力相对较小，稳定性较差，通常仅作为临时中间立柱使用。钢管柱由于投资较高、节点连接复杂，不宜作为临时中间立柱使用。

5.1.3 中间立柱应根据盖挖逆作施工期间和使用期间的不同荷载工况与结构受力状态进行设计计算，并应符合各种工况下的承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

在盖挖逆作施工过程中，中间立柱作为竖向支撑构件与基坑支护结构共同承担竖向荷载作用，且在自上而下逐层开挖土体并逐层修筑地下结构的过程中会形成不同的荷载工况，中间立柱计算长度、形式以及承受的荷载都在不断发生变化，因此，中间立柱需进行施工全过程和使用期间各种工况下的竖向承载能力、整体稳定性计算以及插入柱下桩基础深度验算，对于型钢格构柱还应进行单肢稳定性计算。

5.1.4 中间立柱结构安全等级为一级，施工期间重要性系数取 1.0，使用期间重要性系数取 1.1。

5.1.5 中间立柱的承载力和稳定性计算应计入施工允许定位偏差和垂直度偏差的影响，以及地下结构跨度不均衡或施工偏载产生的柱端弯矩的影响。

5.1.6 中间立柱进行承载力、稳定性计算时，中间立柱计算长度应根据施工期间和使用期间各种工况下各层结构对柱子的约束情况、柱身的实际工作状态和地基土的性质分类综合确定，并按无侧限框架及上、下柱脚的约束条件确定各项长度系数。

盖挖逆作法顶板结构施工完成并覆土后，立柱就开始与边桩共同承担所有竖向荷载作用，随着

地下土体的开挖，在中板和底板结构还未施作之前的各施工工况，应是立柱承载力设计时可能出现的最不利工况，在确定其计算长度时，应根据各施工工况各层结构对柱子的约束情况、柱身的实际工作状态和地基土的性质分类综合确定。

由于立柱下为桩基础，在柱子插入桩基础后，柱周边的空隙需要回填，当盖挖逆作法地下结构为地下三层或更深时，为缩短中间立柱的计算长度，使下部未开挖部分出现不动点，就必须结合地基土的性质和回填土的性质来确定。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，可不加大中间立柱的计算长度；当地基土为流塑~可塑黏土等软土时，可通过加大中间立柱长度的方式来模拟地基土弱约束的影响。当立柱周边空隙采取碎石和砂回填并注浆加固或采取其它可靠充填措施，以满足立柱的计算长度所假定的土的密实度和变形要求时，可依据现行行业标准《建筑工程逆作法技术标准》JGJ 432 选取对应工况下中间立柱的计算长度进行承载力和稳定性验算。

5.1.7 当基坑两侧存在偏载作用，以及进行抗震工况分析时，中间立柱计算长度应考虑侧移的影响。

5.1.8 中间立柱与各层梁、板及柱下基础连接节点的约束条件应根据节点连接形式确定，采用端承式连接时，柱端约束应为铰接；立柱贯穿结构梁、板，梁柱节点构造并满足弯矩和剪力传递的要求时，柱端约束应为刚接；立柱插入柱下桩基础时，柱端约束应为刚接；型钢格构柱与顶纵梁的连接采用插入式，且插入深度不小于2倍立柱截面高度时，柱端约束可按刚接考虑。

5.1.9 中间立柱插入中间桩基础的深度，应结合立柱实际承受的竖向荷载大小进行验算，依据现行行业标准《建筑工程逆作法技术标准》JGJ 432 可参考下列公式进行计算：

$$h \geq K \frac{N - f_c A}{s \sigma} \quad (5.1.9)$$

式中： h ——中间立柱插入柱下桩基础的深度（mm）；

K ——安全系数，取2.0~2.5；

N ——中间立柱柱端轴力设计值（N）；

f_c ——混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

A ——截面面积（mm²）；中间立柱为型钢格构柱时，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；

s ——中间立柱截面的周长（mm），中间立柱为型钢格构柱时可取各角钢内外边长总和；当为钢管混凝土柱时，应为钢管外径周长；

σ ——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/mm²）。

5.1.10 盖挖逆作中间立柱与各层梁、板结构及柱下基础为非同步施作构件，其连接节点应进行专门设计，节点设计应反映整体结构预期的工作状态，保证构件相交节点在既定的约束条件下力的传递，并进行相应的承载力计算。

5.2 钢管混凝土柱设计

5.2.1 钢管混凝土柱应进行施工和使用期间不同工况下的轴心受压承载力计算。轴心受压承载力计

算时需考虑长细比、偏心率的影响，其计算要求和原则应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的相关规定。

5.2.2 直径较大的钢管混凝土柱宜采取在钢管内设置纵向构造钢筋和箍筋形成芯柱等有效构造措施，减少钢管内混凝土收缩对其受力性能的影响。纵向钢筋数量可取柱脚钢筋笼的一半。

当钢管直径过大时，管内混凝土收缩会造成钢管与混凝土脱开，影响钢管和混凝土的共同受力，而且管内过大体积的素混凝土也不利于整个构件的受力性能，因此钢管混凝土构件需要采取有效措施减少混凝土收缩的影响，目前工程中常用的方法主要是管内设置钢筋笼。

5.2.3 钢管混凝土柱与顶纵梁宜采用端承式连接节点，节点由环形底板及加劲肋组成（图 5.2.3），并应满足以下构造要求：

1 应在钢管混凝土柱内配置由纵向钢筋及箍筋组成的钢筋笼，分别锚入钢管混凝土及顶纵梁内，钢筋配筋率不宜小于构造配筋率，且纵向钢筋的截面面积之和不应低于钢管截面积的 25%。纵向钢筋锚固长度应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于构件抗震设计的相关规定。

2 环形底板的厚度不宜小于钢管壁厚的 1.5 倍，且不应小于 20mm；环形底板的宽度不宜小于钢管壁厚的 6 倍，且不应小于 100mm；宜将环形底板内嵌至管内混凝土中，内嵌宽度可取 50mm。

3 管壁外加劲肋厚度不宜小于钢管壁厚，加劲肋高度不宜小于环形底板外伸宽度的 2 倍，加劲肋间距不应大于环形底板厚度的 10 倍。

4 环形底板、钢管壁及加劲肋均采用角焊缝焊接，焊缝连接的计算及构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

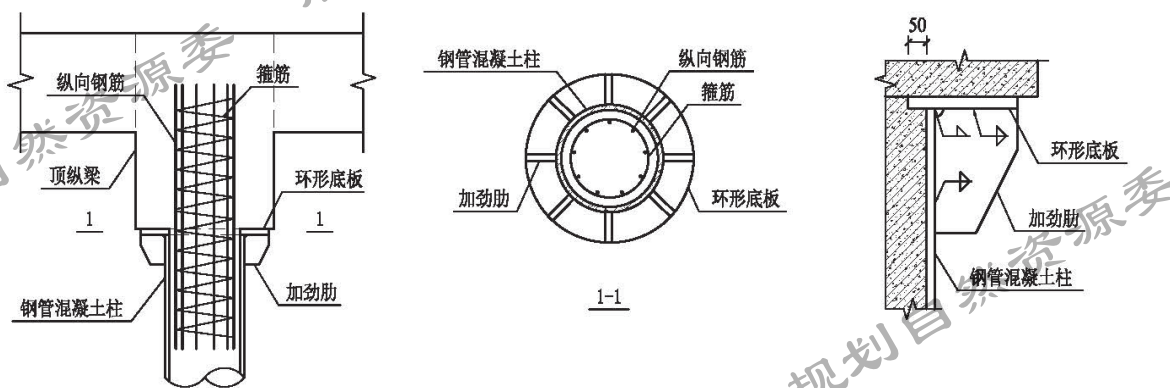


图 5.2.3 钢管混凝土柱与顶纵梁端承式连接节点示意

5.2.4 钢管混凝土柱与中板梁、底板梁的连接均为贯穿式，梁柱节点的构造应保证管外弯矩、管外剪力及管内剪力的传递，管外弯矩可采用双梁、环梁及变宽梁传递；管外剪力可采用环形牛腿传递；管内剪力可通过钢管和管内混凝土的界面粘结力或抗剪连接件传递。钢管混凝土柱与中板梁、底板梁的连接节点可采用以下三种形式：

1 双梁—环形牛腿节点：框架梁采用双梁，双梁之间、钢管的两侧各设置一道次梁，并在节点处设置环形牛腿（图 5.2.4-1）。次梁高度宜与框架梁高度一致，宽度不宜小于框架梁的宽度，可设置斜向的加强筋加大节点刚度。

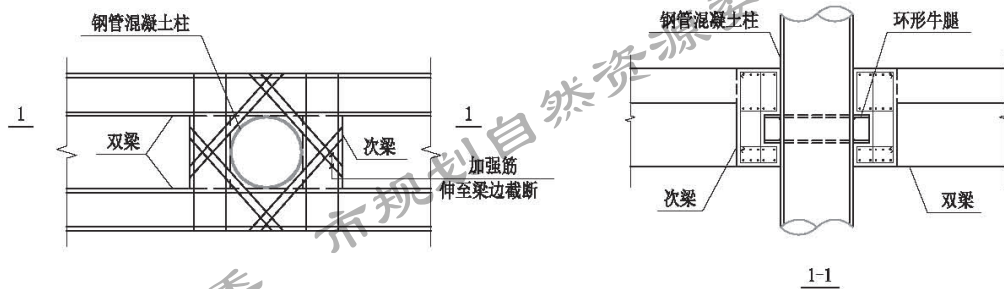


图 5.2.4-1 双梁—环形牛腿节点示意

2 环梁—环形牛腿节点：框架梁采用单梁，在梁柱节点处设置一道环梁，框架梁主筋锚入环梁，并在节点处设置环形牛腿（图 5.2.4-2）。环梁的配筋应通过计算确定，计算方法应参照现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的相关规定执行，并应满足以下构造要求：

- 1) 环梁下表面宜比框架梁高出 50mm，便于支模以及环筋和框架梁主筋在高度方向的布置和绑扎；环梁的截面宽度不宜小于框架梁宽度；
- 2) 环梁上下环筋的面积不宜小于框架梁主筋面积的 0.7 倍；环梁内外侧应设置环向腰筋，腰筋直径不宜小于 14mm，间距不宜大于 150mm；环梁箍筋应沿径向放射布置，箍筋直径不宜小于 10mm，外侧间距不宜大于 150mm；
- 3) 框架梁主筋在环梁内的锚固长度应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

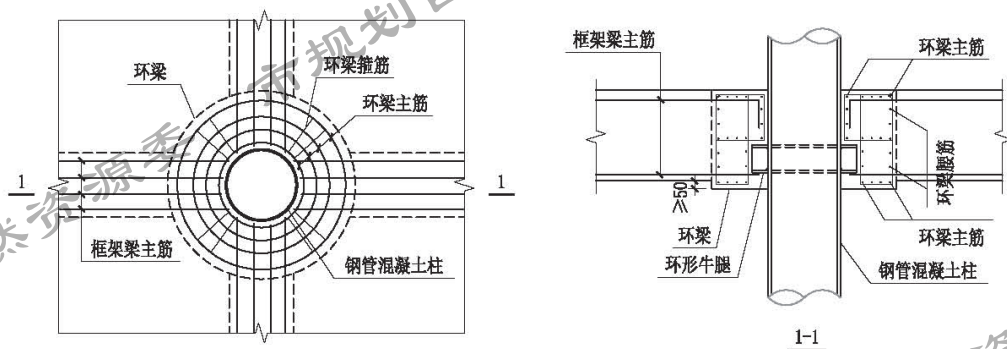


图 5.2.4-2 环梁—环形牛腿节点示意

3 变宽梁—环形牛腿节点：框架梁采用单梁，到钢管柱处将框架梁逐步加宽，梁内主筋随之向外侧弯折，绕过钢管混凝土柱，同时在节点处设置环形牛腿（图 5.2.4-3）。主筋弯折的斜度不应大于 1:6，并应全长范围设置箍筋。

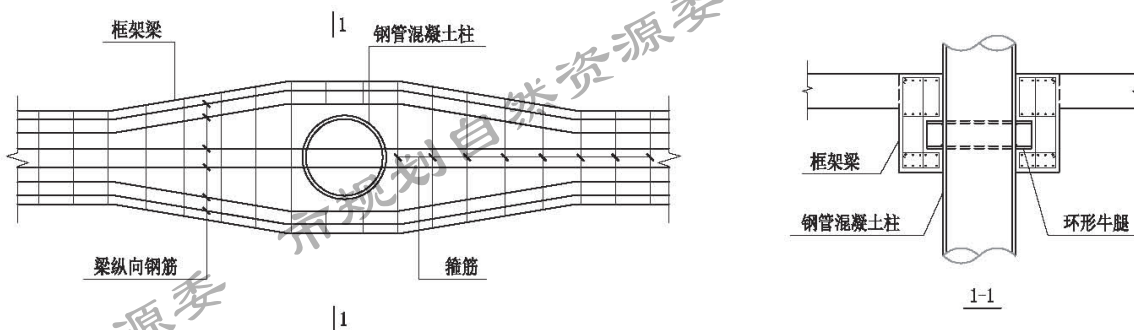


图 5.2.4-3 变宽梁—环形牛腿节点示意

5.2.5 环形牛腿作为梁柱节点的管外剪力传递构件由呈放射状均匀分布的肋板和上下加强环组成(图 5.2.5)。肋板与钢管壁外表面及上下加强环应采用角焊缝焊接,上下加强环可分别与钢管壁外表面采用角焊缝焊接。牛腿下加强环宜根据其宽度设置一定数量的排气孔,排气孔直径不宜小于 50mm。

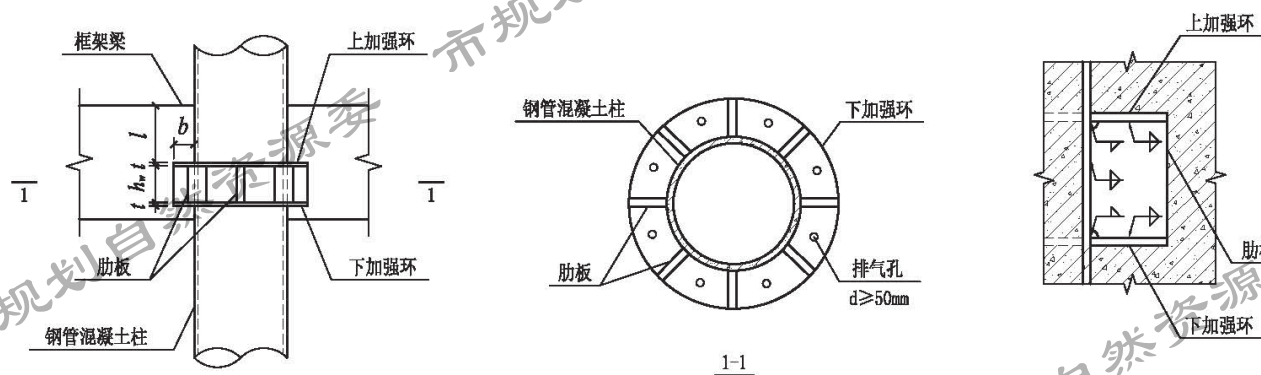


图 5.2.5 环形牛腿构造示意

5.2.6 环形牛腿根据与框架梁的位置关系可分为内牛腿、外牛腿和双牛腿(图 5.2.6)。

当梁柱节点空间足以包络牛腿时,可选择设置内牛腿,内牛腿应避开框架梁主筋;当梁柱节点空间较小,不足以包络牛腿时,宜选择设置外牛腿,外牛腿应与梁底密贴;在楼板错台处宜布置双牛腿,双牛腿节点设计时应按单牛腿计算。

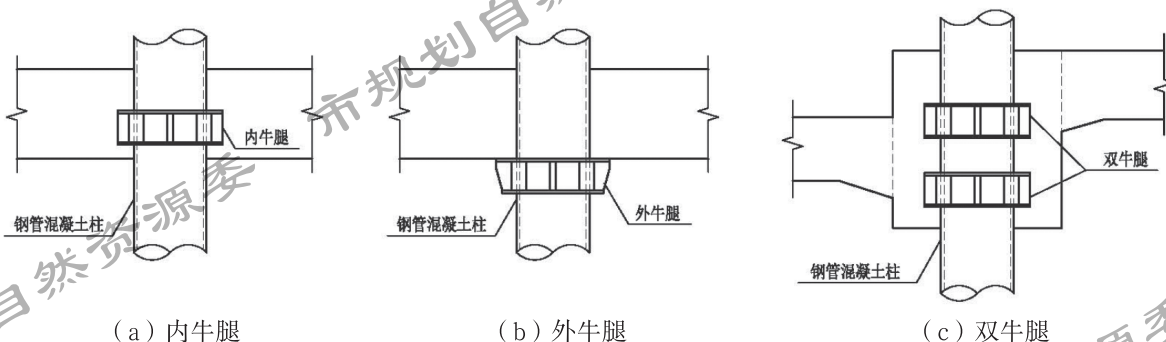


图 5.2.6 环形牛腿布置示意

5.2.7 环形牛腿应按下列公式验算受剪承载力,以保证管外剪力的传递:

$$V_u \geq V_b \quad (5.2.7-1)$$

$$V_u = \min \{ V_{u1} + V_{u2} + V_{u3} + V_{u4} + V_{u5} \} \quad (5.2.7-2)$$

式中: V_u ——环形牛腿受剪承载力(N);

V_b ——梁端剪力设计值(N);

V_{u1} ——环形牛腿支撑面上的混凝土局部承压强度(N);

V_{u2} ——肋板的抗剪强度(N);

V_{u3} ——肋板与管壁连接的焊缝强度(N);

V_{u4} ——环形牛腿上部混凝土的直剪(或冲切)强度(N);

V_{u5} ——上下加强环的环向抗拉(压)强度(N)。

$$V_{u1} = \pi(D + b)bf_c \quad (5.2.7-3)$$

$$V_{u2} = nh_w t_w f_v \quad (5.2.7-4)$$

$$V_{u3} = \sum l_w h_e f_f^w \quad (5.2.7-5)$$

$$V_{u4} = \pi(D + 2b)l \cdot 2f_t \quad (5.2.7-6)$$

$$V_{u5} = 4\pi t(h_w + t)f_s \quad (5.2.7-7)$$

式中：D —— 钢管的外径（mm）；

b —— 加强环宽度（mm）；

f_c —— 框架梁混凝土抗压强度设计值（MPa）；

n —— 肋板数量；

h_w —— 肋板的高度（mm）；

t_w —— 肋板的厚度（mm）；

f_v —— 钢材抗剪强度设计值（MPa）；

$\sum l_w$ —— 肋板与钢管壁连接角焊缝的计算总长度（mm）；

h_e —— 角焊缝有效高度（mm）；

f_f^w —— 角焊缝抗剪强度设计值（MPa）；

l —— 混凝土直剪面的长度（mm）；

f_t —— 框架梁混凝土抗拉强度设计值（MPa）；

t —— 加强环厚度（mm）；

f_s —— 钢材抗拉（压）强度设计值（MPa）。

5.2.8 梁柱节点管内剪力通过钢管与管内混凝土界面粘结力传递时，受剪承载力应满足下列公式的要求：

$$V_b \leq V_{u1} = 2\pi D_{内}^2 \tau_0 \quad (5.2.8)$$

式中： V_b —— 钢管与管内混凝土界面传递的剪力，可取梁端剪力设计值（N）；

V_{u1} —— 钢管与管内混凝土界面剪力传递区的粘结受剪承载力（N）；

$D_{内}$ —— 钢管的内直径（mm）；

τ_0 —— 钢管与管内混凝土界面的粘结强度（N/mm²），按表 5.2.8 取值。

表 5.2.8 钢管与管内混凝土界面的粘结强度表

| 混凝土强度等级 | C30 | C40 | C50 | C60 | C70 | C80 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| τ_0 (N/mm ²) | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 |

注：其它混凝土等级 τ_0 可按线性内插法确定。

5.2.9 当梁柱节点处钢管与管内混凝土界面粘结受剪承载力不满足式 5.2.8 时，可将环形牛腿的加强环板内嵌至管内混凝土中作为抗剪连接件，并按照式 5.2.9-1 验算承载力。加强环内嵌宽度不应过大，以免影响管内混凝土的浇筑，可根据钢管直径大小取 50 mm ~80mm。中板梁梁柱节点处宜采用环形牛腿上加强环内嵌的形式（图 5.2.9-1）；底板梁梁柱节点处宜采用环形牛腿下加强环内嵌的

形式（图 5.2.9-2）。

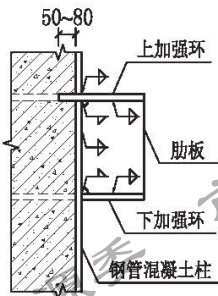


图 5.2.9-1 环形牛腿上加强环内嵌示意

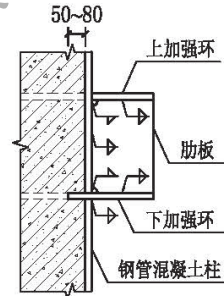


图 5.2.9-2 环形牛腿下加强环内嵌示意

$$V_b \leq V_{u1} + N_{u1} \quad (5.2.9-1)$$

式中： N_{u1} ——钢管混凝土组合界面附近的局部受压极限承载力（N），按式 5.2.9-2、式 5.2.9-3 计算。

当 $A_b/A_c \geq 1/3$ 时：

$$N_{u1} = (N_0 - N') \sqrt{\frac{A_b}{A_c}} \quad (5.2.9-2)$$

当 $A_b/A_c < 1/3$ 时：

$$N_{u1} = (N_0 - N') \sqrt{3 \frac{A_b}{A_c}} \quad (5.2.9-3)$$

式中： N_0 ——钢管混凝土柱的极限承载力（N），按式 5.2.9-4、式 5.2.9-5 计算；

N' ——钢管混凝土柱轴向压力（N）；

A_c ——钢管混凝土柱核心混凝土横截面积（ mm^2 ）；

A_b ——加强环内嵌部分的面积（ mm^2 ）。

$$0.5 < \theta \leq [\theta] \text{ 时, } N_0 = 0.9A_c f_c (1 + \alpha\theta) \quad (5.2.9-4)$$

$$2.5 > \theta > [\theta] \text{ 时, } N_0 = 0.9A_c f_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \quad (5.2.9-5)$$

式中： θ ——钢管混凝土套箍指标，按式 5.2.9-6 计算；

$[\theta]$ ——与混凝土强度等级有关的套箍指标界限值，按表 5.2.9 取值；

α ——与混凝土强度等级有关的系数，按表 5.2.9 取值。

$$\theta = \frac{A_s f_s}{A_c f_c} \quad (5.2.9-6)$$

式中： A_s ——钢管的横截面积（ mm^2 ）；

f_s ——钢材抗拉（压）强度设计值（MPa）；

f_c ——混凝土的抗压强度设计值（MPa）。

表 5.2.9 系数取值表

| 混凝土等级 | $\leq C50$ | C55~C80 |
|------------|------------|---------|
| α | 2.00 | 1.80 |
| $[\theta]$ | 1.00 | 1.56 |

5.2.10 钢管混凝土柱插入中间桩基础，节点应满足以下要求：

1 钢管混凝土柱插入中间桩基础的深度除应符合本指南第 5.1.9 条的相关规定外，尚不应小于 4 倍钢管混凝土直径，且不应小于 2.5m。

2 应在柱脚埋置深度范围内的钢管壁外侧设置栓钉，栓钉的直径不宜小于 19mm，水平和竖向间距不宜大于 200mm。

5.2.11 根据钢管混凝土柱定位方式的不同，钢管混凝土柱与中间桩基础连接节点可分为以下两种构造形式：

1 采用机械插入法施工时，钢管混凝土柱宜采用封闭式锥形柱底，节点构造做法见图 5.2.11-1，封底板及封底环的厚度不应小于钢管壁厚，且不应小于 25mm。

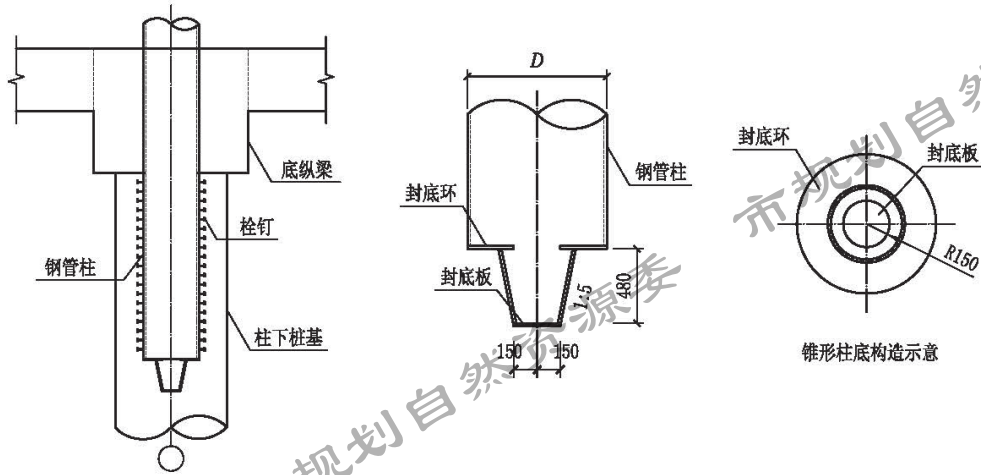


图 5.2.11-1 机械定位柱脚节点示意

2 采用两点定位法施工时，钢管混凝土柱宜采用开口式柱底（图 5.2.11-2），并应在柱端钢管侧壁上沿环向设置注浆孔，注浆孔直径不应小于 20mm。应将桩顶部分桩芯混凝土凿除，并安装定位器，定位器为一块焊接于环板上的十字钢板，环板通过锚栓固定在桩芯位置，桩芯混凝土凿除的高度宜为 1.0m 左右。

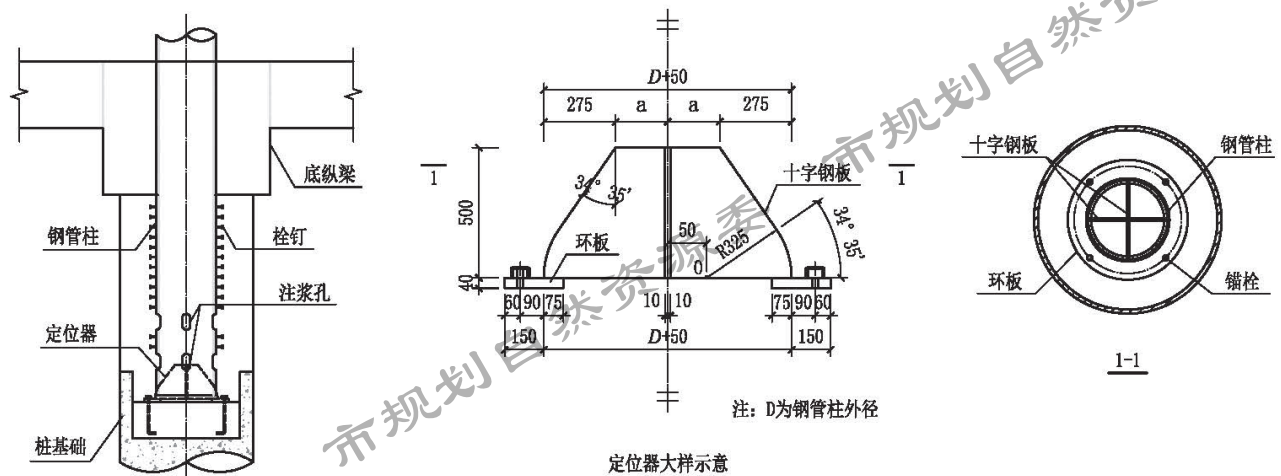


图 5.2.11-2 两点定位柱脚节点示意

5.3 型钢格构柱设计

5.3.1 型钢格构柱应根据其使用功能（临时立柱或永久立柱），进行施工期间和使用期不同工况下的极限状态承载能力的包络设计。

5.3.2 施工期间型钢格构柱应进行截面强度、整体稳定性及单肢稳定性计算，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 相关的规定：

1 截面强度计算应计入施工允许定位偏差和垂直度偏差的影响，以及地下结构跨度不均衡或施工偏载产生的柱端弯矩的影响。

2 整体稳定性计算时，应按弯矩作用在两个主平面内的压弯构件进行计算。

3 单肢稳定性计算时，可将单肢作为桁架的弦杆进行其轴心力计算。

5.3.3 使用期间作为永久立柱的型钢格构柱外包混凝土形成主体结构劲性柱，对型钢混凝土柱应进行组合结构设计计算，并应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。

5.3.4 型钢格构柱与顶纵梁的连接节点可采用端承式或插入式。

5.3.5 型钢格构柱与顶纵梁采用端承式连接，节点由型钢牛腿和锚筋组成（图 5.3.5-1），节点设计应满足以下要求：

1 型钢格构柱端承式连接节点，其顶纵梁底面局部受压承载力、抗冲切承载力以及锚筋的构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。钢牛腿承载力及焊缝强度应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

2 如型钢格构柱外包混凝土形成型钢混凝土柱作为永久立柱使用，应在顶梁内预埋型钢混凝土柱纵向钢筋及箍筋。柱内纵向钢筋如因型钢牛腿翼缘板阻隔无法伸入顶纵梁，应在型钢牛腿底板翼缘上穿孔，或在钢牛腿翼缘上焊接套筒与钢筋连接。外包混凝土浇筑后可将钢牛腿伸出的部分割除（图 5.3.5-2）。

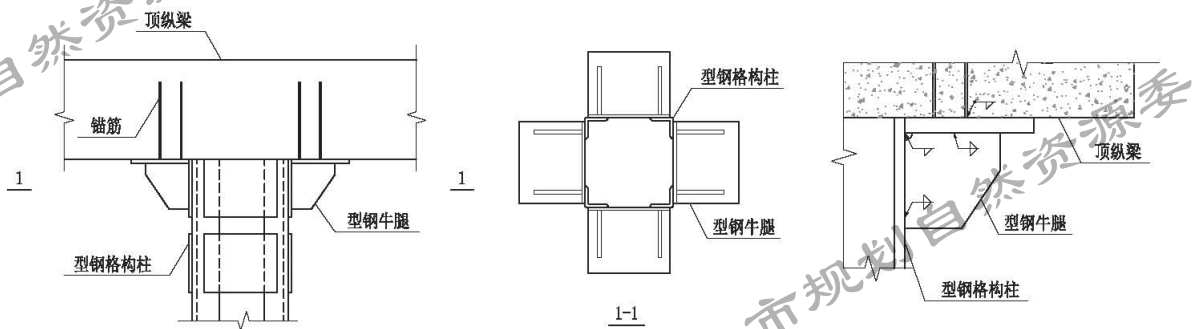


图 5.3.5-1 型钢格构柱与顶纵梁端承式连接节点示意

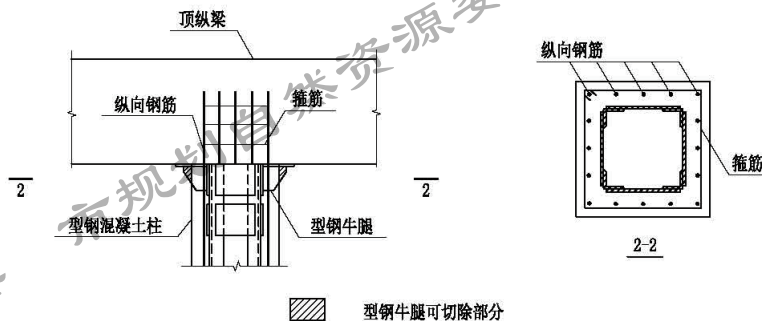


图 5.3.5-2 型钢混凝土柱与顶纵梁端承式连接节点示意

5.3.6 型钢格构柱与顶纵梁采用插入式连接节点时，节点应满足以下要求：

1 型钢格构柱插入顶纵梁的深度不应小于型钢格构柱截面高度的 2.0 倍，并应在顶纵梁下设置型钢牛腿（图 5.3.6），节点承载力按端承式进行验算，型钢牛腿构造要求参见端承式节点。

2 型钢格构柱插入顶纵梁范围内的型钢表面应设置栓钉，栓钉直径不宜小于 19mm，水平和竖向间距不宜大于 200mm，栓钉与格构柱角钢边缘距离不宜小于 50mm，且不宜大于 100mm。

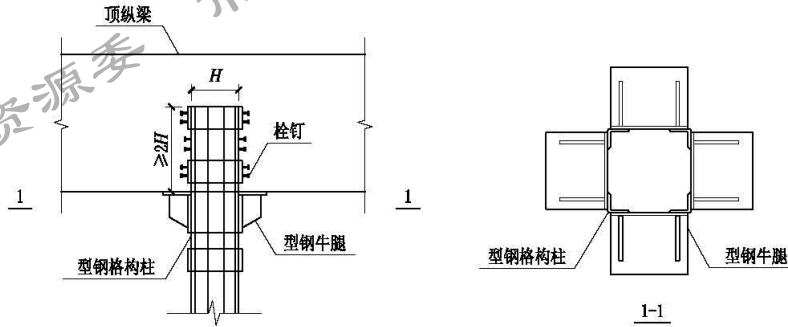


图 5.3.6 型钢混凝土柱与顶纵梁插入式连接节点示意

5.3.7 型钢格构柱与顶纵梁采用插入式连接时，框架梁纵向钢筋因格构柱阻隔无法贯通时，可采用变宽梁、传力钢板及钻孔穿筋等形式。

框架梁主筋在排布时宜采用布置多层钢筋的形式加大间距，尽量避开格构柱布置，或从格构柱角钢间的空隙中穿过。

5.3.8 当采用变宽梁形式连接时，框架梁可在梁柱节点处逐渐加宽，坡度不应大于 1:6，加宽后梁内部分主筋可从格构柱中间贯穿，其余主筋可绕过格构柱设置，并应在梁变宽处设置箍筋（图 5.3.8）。

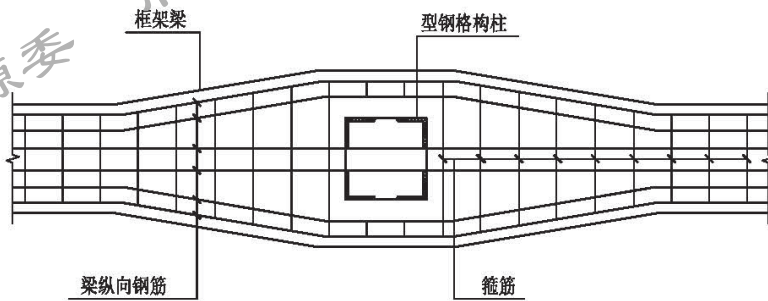


图 5.3.8 变宽梁节点示意

5.3.9 当采用传力钢板连接时，框架梁内无法贯穿的受拉区主筋应焊接于传力钢板上；受压区无法贯穿的主筋应伸至型钢格构柱处截断，其构造应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于钢筋锚固的相关规定。（图 5.3.9）。

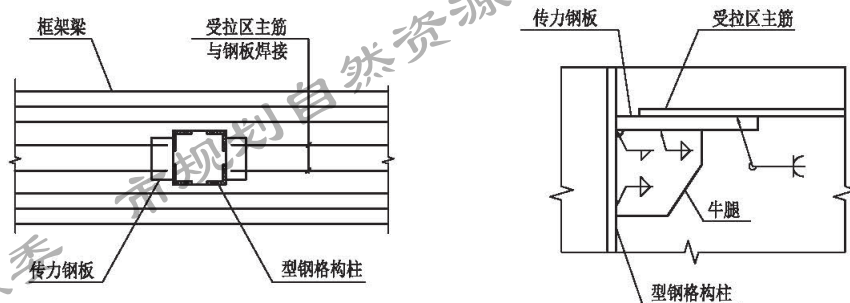


图 5.3.9 传力钢板节点示意

5.3.10 传力钢板通过牛腿与型钢格构柱焊接，传力钢板、牛腿与型钢格构柱之间的焊接及钢筋与传力钢板的焊接均应采用角焊缝，牛腿承载力及焊缝连接的计算、构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

5.3.11 当采用钻孔穿筋方式连接时，可在格构柱角钢或缀板上钻孔，被阻隔的框架梁纵向钢筋可经孔洞贯穿。穿孔处格构柱的角钢或缀板宜设置加强缀板，确保格构柱满足竖向承载力要求（图 5.3.11）。

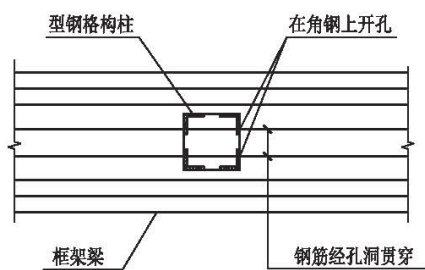


图 5.3.11 钻孔穿筋节点示意

5.3.12 型钢格构柱与中楼板梁及底纵梁应采用贯穿式连接节点，可采用变宽梁、传力钢板或钻孔穿筋等形式，且型钢格构柱与中楼板梁连接处应在梁下方设置型钢牛腿，各类节点构造同型钢格构柱与顶纵梁插入式连接的相关要求。

5.3.13 型钢格构柱与无梁楼盖节点宜采用由型钢牛腿和锚筋组成的形式（图 5.3.13）。型钢牛腿承载力及焊缝强度应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。锚筋的构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于预埋件锚筋的相关规定。

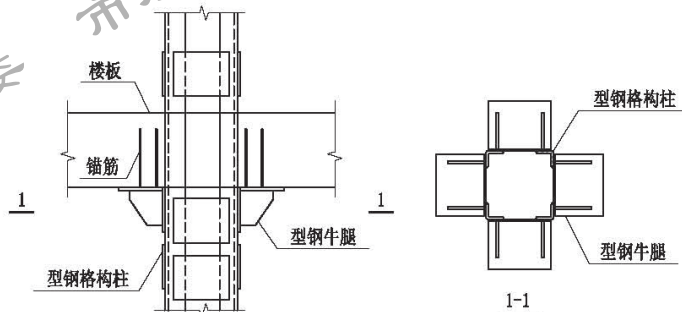


图 5.3.13 型钢格构柱与无梁楼盖连接节点示意

5.3.14 作为永久结构的型钢格构柱外包混凝土形成型钢混凝土组合柱时，无梁楼盖结构抗冲切承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定，并应采用以下措施加强楼板抗冲切承载力：

1 在冲切破坏锥体范围内设箍筋，箍筋及相应的架立钢筋应配置在与 45° 冲切破坏锥面相交的范围内，且从柱截面边缘向外的分布长度不应小于 $1.5h$ (h 为无梁楼盖板厚)；箍筋直径不应小于 6mm ，且应做成封闭式，间距不应大于 $h/3$ ，且不应大于 100mm 。可通过在格构柱角钢上以打孔的方式保证架立钢筋的贯通（图 5.3.14-1）。

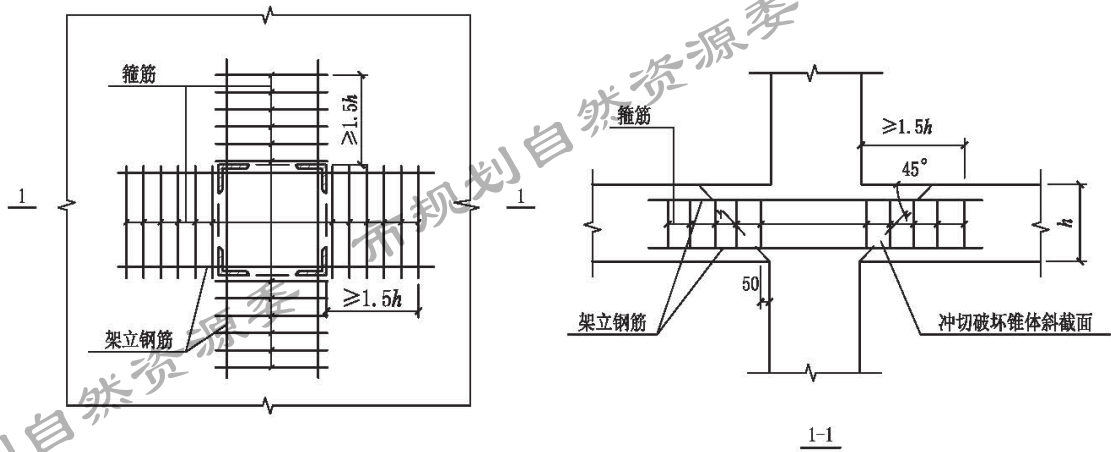


图 5.3.14-1 在冲切破坏锥体范围内设箍筋示意

2 在板内设置弯起钢筋，弯起钢筋的弯起角度可根据板的厚度在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 之间选取；弯起钢筋的倾斜段应与冲切破坏锥面相交，其交点应在集中荷载作用面或柱截面边缘以外 $(1/2 \sim 2/3)h$ 的范围内 (h 为无梁楼盖板厚)。弯起钢筋直径不宜小于 12mm ，且每一方向不宜少于 3 根 (图 5.3.14-2)。

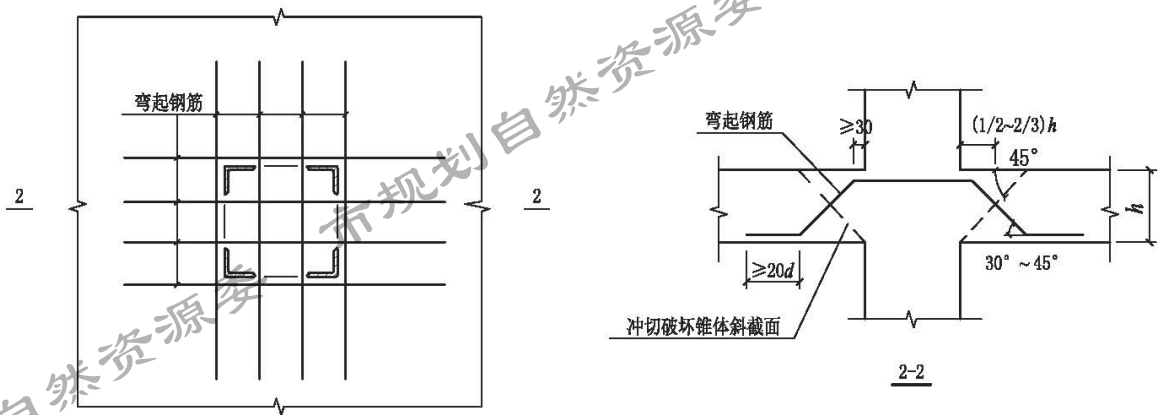


图 5.3.14-2 板内设置弯起钢筋示意

3 板柱节点可采用带柱帽或托板的结构型式。板柱节点的形状、尺寸应包容 45° 的冲切破坏锥体，并应满足受冲切承载力的要求。柱帽的高度不应小于楼板厚度；托板的厚度不应小于 $h/4$ (h 为无梁楼盖板厚)。柱帽或托板在平面两个方向上的尺寸均不宜小于同方向上柱截面宽度 b 与 $4h$ 之和 (图 5.3.14-3)。

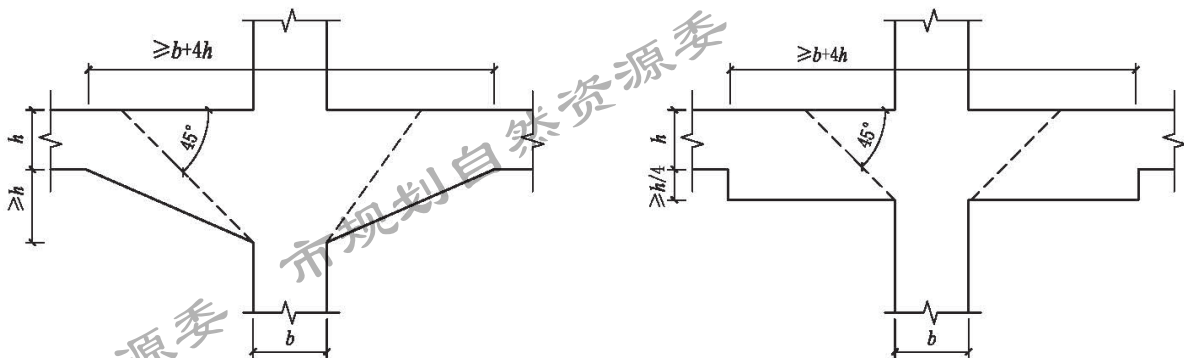


图 5.3.14-3 无梁楼盖柱帽及托板结构示意

5.3.15 型钢格构柱应插入中间桩基础内（图 5.3.15），节点设计应满足以下要求：

- 1 插入中间桩基础的深度除应符合本指南 5.1.9 条的规定外，且不应小于 3.0m。
- 2 插入中间桩基础深度范围内的型钢表面应设置栓钉，栓钉直径不宜小于 19mm，水平和竖向间距不宜大于 200mm，栓钉与格构柱角钢边缘距离不宜小于 50mm，且不宜大于 100mm。

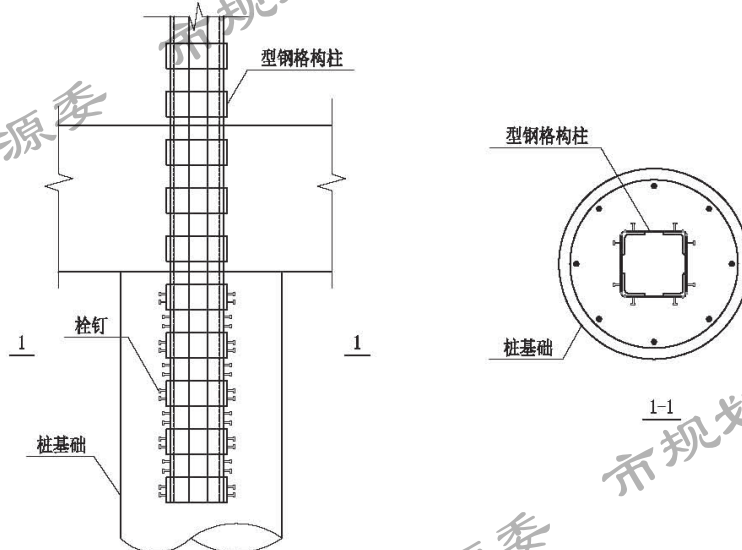


图 5.3.15 型钢格构柱插入中间桩基础节点示意

5.4 防腐与防火设计

5.4.1 型钢格构柱在施工期间应进行防腐防锈处理。防腐防锈采用的涂料、除锈等级、构造要求等应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046、《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的相关规定。

5.4.2 钢管混凝土柱防腐防锈处理应分为三个阶段：第一阶段为钢管在工厂制作阶段、第二阶段为基坑开挖和结构浇筑施工阶段、第三阶段为地下工程内部装修阶段。

1 钢管及配件在出厂前应进行临时防腐除锈处理，其中需现场焊接部分在出厂前仅进行不影响焊接的防锈处理，待焊接完毕后进行现场补刷；埋入主体结构混凝土的核心部分，在出厂前仅进行不影响混凝土粘结力的防锈处理。运输至施工现场期间应注意保护，避免磕碰。

2 基坑开挖、结构浇筑施工期间对钢管表面进行检查，并对锈蚀部位补充防腐除锈处理。

3 地下工程内部装修阶段应根据工程耐久年限制定防腐防锈方案，并按要求完成表面防腐防锈涂层处理。

4 钢管混凝土柱及配件防腐防锈处理所采用的涂料、除锈等级、防腐蚀构造要求等，应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046、《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的相关规定。

5.4.3 地下工程内部装修阶段，钢管混凝土柱在永久防腐蚀涂层处理完成后，还应进行防火处理。钢管柱的防火措施应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑钢结构防火技术规

6 中间桩基础设计

6.1 一般规定

6.1.1 盖挖逆作法在施工期间的竖向支撑系统由周边的基坑支护结构和中间立柱及柱下桩基础共同组成，中间桩基础承载着顶板覆土、顶板和中楼板结构自重、道路车辆荷载及施工荷载等，同时，该桩基亦可兼作使用期间的抗拔桩使用。

6.1.2 中间桩基础应结合工程地质情况、柱网布局、中间立柱垂式、施工要求等条件，进行中间桩基础的选型、承载力和沉降计算、桩基构造设计，满足施工和使用期间各工况下的承载力和变形要求，并符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

6.1.3 根据盖挖逆作法的施工工艺及受力特性，中间桩基础应按一柱一桩设计；中间桩基础可采用大直径桩或大直径扩底桩，宜优先选用大直径扩底桩（图 6.1.3）。

盖挖逆作法中间桩基础一般承受的荷载较大，扩底桩通过扩底，增大桩端面积，可有效提高单桩竖向承载能力及抗变形能力，同时通过增加扩底桩破坏表面周长及自桩底起算的长度，亦可有效提高单桩抗拔承载能力，从而缩短桩长，降低施工难度、节约工程造价、缩短工期，具有良好的技术经济和社会效益。目前在实际工程中，得到了广泛的应用。

6.1.4 中间桩基础可结合地层条件、承载力和变形需求，在桩长范围内设置多盘中间扩大节点，形成多盘扩底桩。扩大节点间净距不应小于 2 倍的扩底直径（图 6.1.4）。

多盘扩底桩能大幅度提高单桩承载力，并能有效控制桩基沉降量，节约投资。相邻扩大节点之间的净距应保持一定的高度，确保成桩质量。扩底成桩施工时，应从上往下依次施工扩大节点，以防止上节点施工时下坍土体堵塞钻孔。

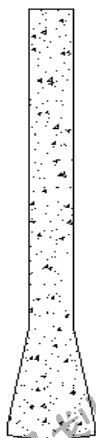


图 6.1.3 普通扩底桩示意



图 6.1.4 多盘扩底桩示意

6.1.5 中间桩基础承载能力包括竖向抗压承载能力及抗拔承载能力，应进行承载力计算；单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载试验确定，当场地及地基条件简单时，可参照地质条件相同的试桩资料，结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定。

6.1.6 当中间桩基础作为使用期间永久承载构件时，竖向抗压承载力计算安全系数 K 应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的要求取值；当中间桩基础仅为施工期间的临时承载构件时，可结合以往工程经验，并根据现场试桩结果，在其沉降值及沉降差满足沉降变形允许值时，其安全系数 K 可进行适当调整，建议取 1.5。

关于中间桩基础竖向抗压承载力计算，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中采用安全系数 K 取代了原有的荷载分项系数和抗力分项系数，桩基安全度水准与原有行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94 相比有所提高。同时，盖挖逆作法施工期间的中间桩基础仅作为临时竖向抗压承载桩时，其承载能力实际上是以沉降标准控制，取决于桩在竖向荷载作用下的允许沉降量及差异沉降变形。因此，在中间桩基础竖向抗压承载力计算时，作为施工期间临时结构的中间桩基础，可结合以往工程经验，并根据现场试桩结果，在其沉降值及沉降差满足设计要求时，其安全系数 K 可进行适当调整。

6.1.7 中间桩基础应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定进行单桩沉降计算，其沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值 120mm，同时其沉降变形尚应与基坑支护结构的竖向沉降变形相协调，使两者相对升降值满足本指南第 4.2.5 条第 6 款的相关规定。

盖挖逆作法施工期间，中间桩基础一般承受较大的竖向荷载，在桩基设计时，应选取合适的持力层，并考虑采用大直径桩、扩底桩及结合后压浆措施来提高单桩竖向承载能力，以满足竖向承载要求；同时，与中间桩基共同承受竖向荷载的基坑支护结构，为满足竖向承载力及基坑稳定性要求，其嵌固深度一般也需进入合适的稳定土层，在此条件下，基坑支护结构产生的竖向沉降值一般相对较小。因此，在综合考虑中间桩基型式、桩基设计所采取的辅助措施以及中间桩基与基坑支护结构差异沉降控制标准，盖挖逆作法中间桩基的沉降允许值宜考虑取《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中的最小值进行控制，即套用单层排架结构（柱距为 6m）桩基的沉降量限值 120mm。实际的盖挖逆作法工程中，中间桩基础的沉降变形一般均由与基坑支护结构的相对升降标准控制。

6.1.8 兼作永久结构抗拔桩使用的中间桩基础，应根据场地抗浮设防水位按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定进行正截面受拉承载力计算和裂缝宽度验算。

6.1.9 盖挖逆作法中间桩基础应按下列规定配筋：

1 配筋率：桩身配筋应按计算确定，并满足构造配筋率的要求，正截面构造配筋率不小于 0.2%，且不宜大于 0.3%。

2 配筋长度：应考虑轴向荷载的传递特征及荷载性质予以确定：

- 1) 端承桩应沿桩身等截面通长配筋；
- 2) 摩擦型桩宜分段变截面配筋，配筋长度不应小于 $2/3$ 桩长；
- 3) 考虑中间桩基受坑底土回弹隆起的影响，其配筋长度尚应穿过软弱土层并进入稳定土层，进入的深度不应小于 $(2\sim 3)d$ ；
- 4) 抗拔桩应沿桩身等截面通长配筋。

3 箍筋应采用螺旋式，直径不小于 6mm，间距宜为 200mm~300mm。当钢筋笼长度超过 4.0m 时，应每隔 2.0m 设置一道直径不小于 16mm 的焊接加劲箍筋。

4 竖向钢筋应采用机械连接接头或焊接接头，确保钢筋接头连接可靠。

5 施工期间中间桩基础仅作为承受竖向荷载的临时结构时，其纵向钢筋可不锚入底梁中；其它情况下的纵向钢筋均应锚入底梁中，且锚固长度应满足现行相关规范的要求。

作为盖挖逆作法的中间桩基础，其一般为大直径灌注桩，直径在 1500mm 以上，甚至能达到 3000mm，正截面构造配筋率不宜过大，本指南建议取 0.2%~0.3%，直径大时取小值。

对于盖挖逆作法工程，基坑开挖卸载将导致坑底土体隆起和先期施工完成的坑内中间桩基础的上浮，坑底土回弹隆起对中间桩基的影响受上部荷载、桩、土、立柱及结构楼板等相互作用，受力机理复杂，宜通过数值计算并结合试验和工程经验综合确定。对于深厚软土地层，当基坑开挖较深时，坑底土的回弹隆起影响较大，可引起桩身上浮和开裂，影响单桩承载力和桩身耐久性，同时也会对结构楼板产生次生应力，应引起高度重视。因此，在桩基配筋设计时，应要求配筋长度穿过软土层进入稳定土层足够的深度，同时对钢筋的连接和锚固提出了要求；基坑工程设计时还应采取防止基底隆起的措施，并加强施工监测，以减少回弹隆起的影响。

6.1.10 中间桩基础可结合后压浆工艺，以提高桩基承载力和竖向抗变形能力。

中间桩基础成桩后一定时间，可结合地质条件、承载力及变形需求，通过预设于桩身内的注浆导管及与之相连的桩端、桩侧注浆阀注入水泥浆，使桩端及桩侧一定范围的土体（包括沉渣及泥皮）得到加固，从而提高桩基承载能力和抗变形能力。后压浆相关装置、材料参数设计、作业要求、终浆标准、质量检查及验收要求等可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定执行。

6.1.11 盖挖逆作法中间桩基础的桩身直径应与中间立柱尺寸及施工工艺相匹配，设计时应考虑钢筋笼、检测设备、构造及各项施工误差确定桩径大小，既要满足承载力的要求，又要满足中间钢立柱能顺利插入桩基础的安装工艺要求。

以钢管柱为例（图 6.1.11），采用任何工艺安装钢管柱，桩身直径设计应满足以下要求：

1 钢筋笼内径 = 钢管柱直径 + 法兰外径（或锚钉长度 × 2 二者取最大值）+ 灌注桩垂直度偏差 + 钢管柱插入垂直度偏差 + 钢筋笼安装偏差 + 安全距离 50mm × 2。

2 灌注桩直径 = 钢筋笼内径 + 超声波管直径 × 2 + 加强箍直径 × 2 + 主筋直径 × 2（双层主筋需乘 4）+ 箍筋直径 × 2 + 保护层厚度 × 2。

3 如果桩径偏小，会导致钢管柱插入时碰撞超声波管，且钢管柱垂直度也较难达到设计要求。

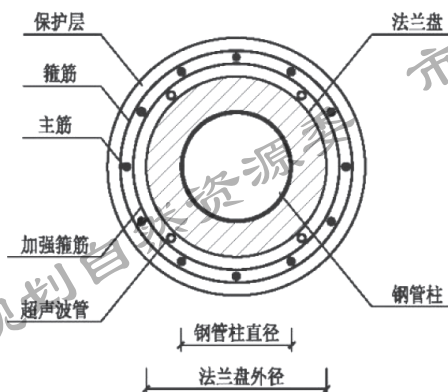


图 6.1.11 中间桩基础直径与钢管柱直径匹配构造示意

6.1.12 扩底桩按照扩底工艺可分为夯扩桩、静压扩底桩、机械扩底桩、人工挖孔扩底桩、压力注浆扩底桩、爆破扩底桩、胀扩体扩底桩、挤扩桩等。盖挖逆作中间桩基础宜优先考虑采用机械扩底桩；当地质条件较好，经报批许可后，亦可采用人工挖孔扩底桩。

机械旋挖扩底桩是指以旋挖钻机成孔、全液压铲斗扩底配备施工映像管理装置等技术为核心的施工工法。旋挖扩底桩基础施工工艺是一种新型的桩基础施工技术，以旋挖钻机成孔、全液压铲斗扩底配备施工映像管理装置等技术为核心的施工方法，由履带式主机、伸缩式凯式钻杆、旋挖钻斗、全液压扩底铲斗、智能控制系统等组成。采用该施工技术进行桩基施工，地质适应性强，且不受施工场地限制，具有速度快、质量高、成本低、无噪音、无振动、不出泥浆、原始土外运、减少环境污染等优点，降低了投资成本，满足了节能节支和环保的高要求，是一种符合节能减排可持续发展要求的桩基础施工技术。

旋挖扩底桩桩型具有独特的设计，将桩端底部或桩身中间扩大成合理的几何形状，扩底角度控制在 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 、扩底头侧面下直段长度不小于500mm，形成的扩底桩能充分发挥地基持力层的潜力，有效提高单桩承载力和抗拔力、有效缩短桩长、减少桩身混凝土方量；同时，为减少桩端平面沉渣，在扩大头下方设突出的锥形锅底，使得沉渣往桩中间靠拢，方便清渣，以降低扩底桩桩底沉渣对扩底桩承载性能的影响，并有效降低桩基沉降量。同时，通过旋挖扩底工艺能形成多盘扩底桩，以进一步提高单桩承载力、控制桩基沉降量。由于旋挖扩底桩的优势明显，在盖挖逆作工程中得到广泛应用。

6.1.13 旋挖扩底桩设计及施工技术要求见附录A。

6.1.14 普通等直径桩基础及常规扩底桩基础的相关设计要求可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94及《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T 225的相关规定执行。

6.2 中间桩基础试桩

6.2.1 中间桩基础应进行抗压承载力试验；当中间桩基础兼做抗拔桩时，还应进行抗拔试验，且应分别在不同试桩上进行，试桩目的主要包括以下几个方面：

- 1 对中间桩基础进行现场试验，为设计提供依据。
- 2 检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度，判别和鉴定桩底处岩土性状，判定桩身完整性类别。
- 3 确定单桩竖向抗压、抗拔极限承载力。
- 4 判定竖向抗压、抗拔承载力是否满足设计要求。
- 5 判定在满足设计要求的桩基沉降量条件下，其单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求。
- 6 确定桩侧各土层的分层极限侧摩阻力和桩端土的端阻力，并给出桩侧摩阻力和桩端阻力占单桩极限承载力的比例。
- 7 确定在满足设计要求的承载力条件下，桩基的累计沉降量是否能满足设计要求，并确定桩顶荷载~桩顶位移曲线。

6.2.2 中间桩基础试桩方法主要有静载试验（锚桩法、堆载法、锚桩-堆载法）、高应变法、自平衡试桩法以及静-动试桩法四大类。目前，国内广泛应用的是静载试验和自平衡试桩法。对于盖挖

逆作中间桩基，宜采用自平衡试桩法。具体的试桩方法详见附录B。

6.2.3 中间桩基础试桩应满足以下要求：

1 试桩结果应直接用于指导后续中间桩基础的设计，承担试桩检测工作的单位应通过计量认证，并应具有基桩检测的资质和一定的科研水平，拥有专业测试队伍和设备，掌握先进的测试数据处理系统及分析软件，并具有大型地下工程的测试经验。检测人员应经过培训合格，并应具有相应的资质。

2 试桩数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的1%，且不应少于3根；当总桩数小于50根时，试桩数量不应少于2根。

3 试验桩的桩位应避开工程桩，不得进行原位试验，具体试桩桩位由试桩单位报请各方同意后确定，所选桩位应能够反映不同地层的特点。

4 试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

5 为设计提供依据的单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验均采用慢速维持荷载法。

6 试验桩的施作应能够模拟桩基础的实际工作状况，有效桩长从底梁底或底板底标高以下计算，并应反映实际工况桩基的承载力和变形关系。

7 在正式试桩前，试桩单位应提供详细的试桩实施方案，并应通过各方审查认可后方可进行。

8 为保证试验桩检测结果的准确，在试验桩的桩位确定后，宜在试验桩临近位置进行钻孔，将地层资料及时提交设计单位复核确认，才能进行试验桩的成桩施工及静载试验。

9 试桩应严格执行相关规范要求，保证试验数据真实、准确，可执行的标准有现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 及其它相关标准、规范、规程等。

6.3 中间桩基础检测

6.3.1 中间桩基础应进行承载力及桩身完整性检测和评价。

6.3.2 中间桩基础检测应根据检测目的、检测方法的适用性、桩基的设计条件、成桩工艺等，按表6.3.2合理选择检测方法。宜选择两种或两种以上的检测方法相互补充、验证，为中间桩基础检测结果可靠性的判定提供依据。

表 6.3.2 中间桩基检测目的及检测方法表

| 检测目的 | 检测方法 |
|---|------------|
| 确定单桩竖向抗压极限承载力； 判定竖向抗压承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩侧、桩端阻力，验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果。 | 单桩竖向抗压静载试验 |
| 确定单桩竖向抗拔极限承载力； 判定竖向抗拔承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩的抗拔侧阻力。 | 单桩竖向抗拔静载试验 |
| 确定单桩水平临界荷载和极限承载力，推定土抗力参数； 判定水平承载力或水平位移是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩身弯矩。 | 单桩水平静载试验 |
| 检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩端持力层岩土性状，判定桩身完整性类别。 | 钻芯法 |
| 检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别。 | 低应变法 |
| 判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求； 检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别； 分析桩侧和桩端土阻力； 进行打桩过程监控。 | 高应变法 |
| 检测灌注桩桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别。 | 声波透射法 |

注：扩底桩不宜采用高应变法检测；桩身完整性检测宜优先采用声波透射法。

6.3.3 中间桩基础应进行施工过程质量控制检测。主要包括实测桩孔的孔径、孔深、垂直度及桩底沉渣，判定成孔质量是否满足相关技术标准和设计要求。

6.3.4 中间桩基础桩身完整性应全数检测。

6.3.5 中间桩基础检测的其它具体要求应按照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 及《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403 的相关规定执行。

7 结构防水

7.1 一般规定

7.1.1 地下结构防水应遵循“以防为主、刚柔结合、多道防线、因地制宜、综合治理”的基本原则，确立钢筋混凝土结构自防水体系，即以结构自防水为根本，施工缝、变形缝、穿墙管、接口等细部构造的防水为重点。

地下结构应满足结构耐久性设计要求和功能使用要求，可采用防水混凝土结构自防水，以及迎水面设置附加柔性防水层的刚柔均结合措施。防水混凝土在满足抗渗要求，同时也应满足结构强度、抗裂、抗冻和抗侵蚀性等耐久性要求；如果将地下结构以外的地下水无条件引入结构内排放，会带来诸多如地表沉降、地面居民生活影响、水资源的浪费等问题，因此倡导以防为主的原则；在变形缝等结构构造缝和接缝部位应设置多道防水防线，避免渗漏。系统的防水方案和附加柔性防水层的选择应结合当地气候条件和地质条件确定。

7.1.2 地下空间人员长期停留和活动的场所，包括地铁车站、机电设备集中区、地下商业等地下工程的结构防水等级应为一级，即不允许渗水，结构表面无湿渍。其它地下工程防水等级的要求可执行现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定。

7.1.3 应根据地下工程基坑支护结构与主体结构连接的形式，确定柔性防水层的局部设置或全部设置。具备条件时应在地下主体结构迎水面设置整体、连续、封闭的外包防水层。

对于盖挖逆作复合墙形式，支护结构与主体结构侧墙之间密贴但无钢筋连接，贴合面间可设置防水层。复合墙结构形式可设置底板、侧墙、顶板完整的外包防水层，即垫层上施做的底板防水层与支护结构上施做的侧墙防水层，以及直接在顶板上施做的顶板防水层相互连接成一个整体，并与主体结构满粘密实（图 7.1.3-1）。对于叠合墙形式，由于主体结构侧墙与地下连续墙之间设置有钢筋连接，侧墙设置连续的柔性防水层困难，因此，仅在顶板设置柔性防水层，底板、侧墙主要依靠结构自防水，并在局部设置无机防水涂料（图 7.1.3-2）。

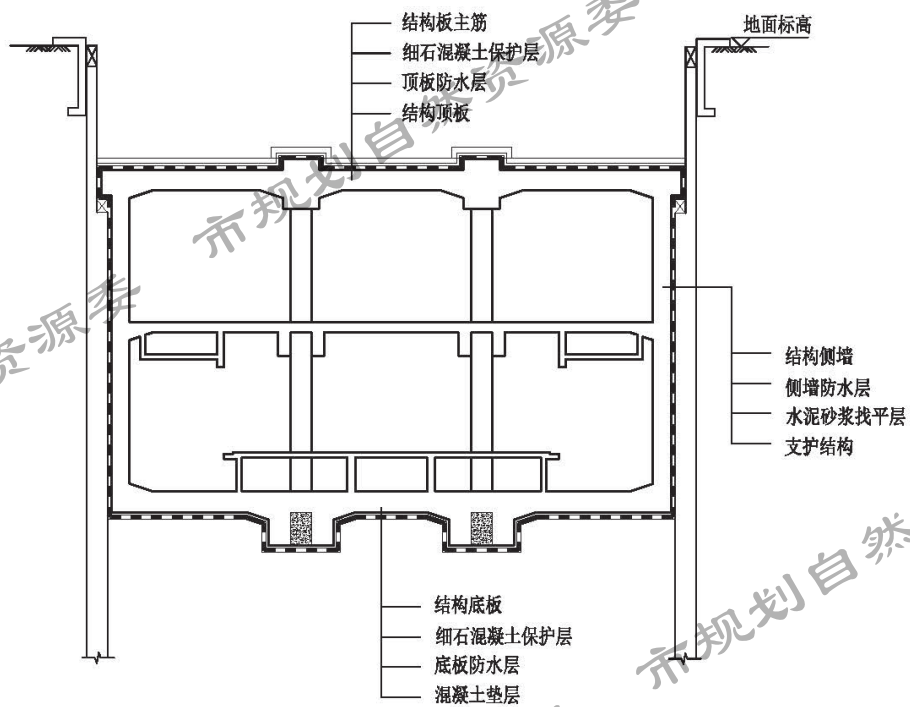


图 7.1.3-1 复合墙结构防水示意

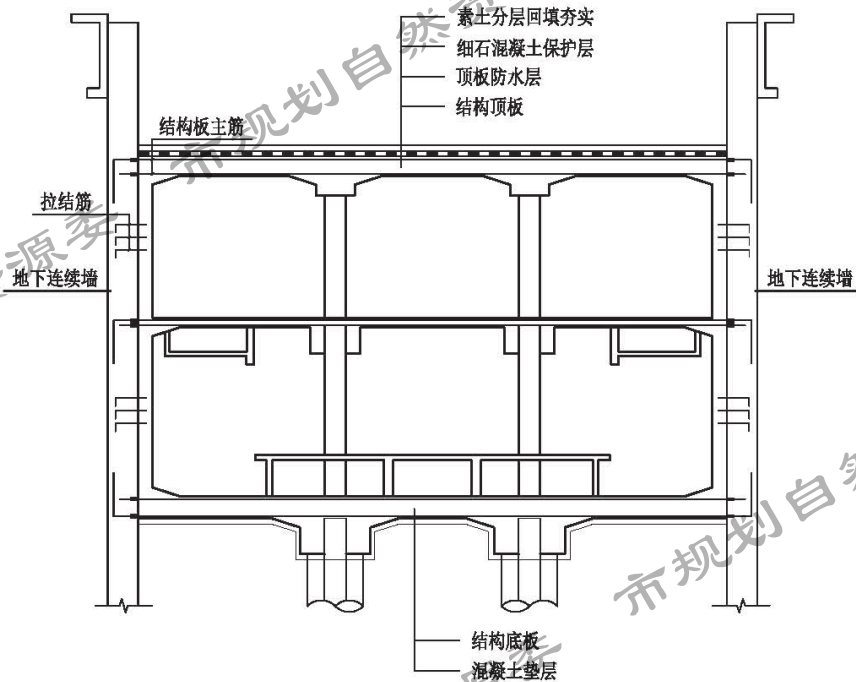


图 7.1.3-2 叠合墙结构防水示意

7.1.4 外包防水层的选择，宜优先选用能与结构密贴的防水材料。同一建筑物选材宜一致，当选择两种以上不同类型的防水材料时，材料应具备相容性。

同一建筑物外包防水层材料宜为一种或两种，底板和侧墙可选择相同的防水材料，一般为卷材。结构顶板或分离式结构侧墙宜优先选择涂料防水层，同一部位选用两种防水材料时，应具备相容性，避免材料的不相容性导致防水效果降低，或者防水耐久年限降低。

7.2 结构自防水

7.2.1 盖挖逆作法地下工程主体结构应采用防水混凝土。防水混凝土应满足抗渗等级要求，并根据地下工程所处的环境和工作条件，满足结构强度等级，以及抗裂、抗冻、抗侵蚀性等耐久性要求。防水混凝土的抗渗等级应按照结构最大埋深确定，并不得小于P8。抗渗等级宜按照表 7.2.1 选取。

表 7.2.1 主体结构混凝土抗渗等级表

| 结构物埋置深度 H (m) | 现浇混凝土抗渗等级 |
|------------------|-----------|
| $H < 10$ | P8 |
| $10 \leq H < 20$ | P8 |
| $20 \leq H < 30$ | P10 |
| $H \geq 30$ | P12 |

地下结构的抗渗等级可根据结构构件的埋深确定，也可按照结构底板的最大埋深确定整个地下建筑物混凝土的统一抗渗等级。对于盖挖逆作法地下结构，顶板与侧墙交接部位是防水的薄弱环节。顶板较其它部位虽然埋深浅，水头压力小，但受环境条件和施工的影响是较易产生裂缝的部位；同时一般盖挖逆作法地下结构埋深较浅，受降水影响直接，因此，按照底板最大埋深确定地下主体结构的混凝土抗渗等级更合理。

对埋深小于 10m 的建筑物，综合以上因素以及结构混凝土强度等级要求，设计为 P8。

7.2.2 防水混凝土配制的水泥、水、“双掺技术”的粉煤灰和矿渣粉、砂、石、外加剂等材料应符合现行国家、行业及地方相关标准的规定要求。

防水混凝土配制的水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 中规定的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的要求，采用其它品种水泥时应通过试验确定；粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的相关规定；粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的相关规定；防水混凝土的砂、石应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的相关规定；砂宜选用坚硬、抗风化性强、洁净的中粗砂，不得使用海砂；砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的相关规定；用于拌制防水混凝土的水，应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的相关规定；所用外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的相关规定。

7.2.3 防水混凝土的配合比、水灰比、胶凝材料用量、总碱含量和混凝土的氯离子含量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。

7.2.4 防水混凝土的耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的相关规定。对处于侵蚀性介质中的防水混凝土，应控制和测试电通量值和氯离子扩散系数值。

混凝土的抗渗等级是防水混凝土的重要指标，而混凝土的电通量值、快速碳化深度、抗裂性、氯离子的扩散系数是衡量结构耐久性的重要参数，尤其是处于侵蚀性介质中的建筑物，可参照现行行业标准《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 相关要求设计，相关参数检测要求执行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的相关规定。

7.2.5 采用叠合墙形式的主体结构应加强混凝土结构自防水性能。

叠合墙形式的主体结构侧墙，无法设置外包柔性防水层，主要靠侧墙混凝土结构自防水，结构裂缝控制尤为重要；顶板结构覆土较浅时，可能受到上方道路交通或施工的影响，导致顶板混凝土产生裂缝，亦需要加强结构自防水措施。

加强结构自防水措施，除了控制主体结构混凝土因水化过程和温度应力收缩而产生裂缝外，主体结构顶板及侧墙还可采用纤维防水混凝土，应用效果较好，在上海、杭州、南京等软土地层富水区域使用较多。

纤维防水混凝土包括合成纤维防水混凝土和钢纤维防水混凝土，可根据工程情况选用。纤维的品种及掺量应通过试验确定，并应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的相关规定。腐蚀性地质和其它特殊功能要求的混凝土裂缝控制技术，也可采用经实践验证、有效的混凝土外加剂。

7.2.6 大体积混凝土配合比设计应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的相关规定。

7.2.7 防水混凝土的施工和养护应满足相关规范的要求。防水混凝土拌合物在运输后如出现离析，应进行二次搅拌。当坍落度损失后不能满足施工要求时，应加入原水胶比的水泥浆或掺加同品种的减水剂进行搅拌，严禁直接加水。

7.3 防水措施

7.3.1 复合墙形式的地下主体结构，宜设置全包防水层。根据顶板与支护结构的连接方式，即铰接或刚接形式选择适宜的防水做法，完成顶板与主体结构侧墙外包防水层的过渡。

为延缓和减小地下水对结构混凝土及混凝土钢筋的侵蚀，应在主体结构迎水面设置外包柔性防水层。顶板可采用涂料防水层，如单组分聚氨酯防水涂料；侧墙和底板可采用天然钠基膨润土防水毯、预铺式防水卷材、弹性体 SBS 改性沥青防水卷材等其它防水材料。

7.3.2 复合墙结构顶板与支护结构的连接形式为铰接时，顶板与主体结构侧墙的柔性防水层可连续。

盖挖逆作结构的铰接形式，顶板与支护结构连接处因无钢筋连接，外设柔性防水层可由顶板直接过渡至侧墙，形成连续的整体防水层。防水卷材或防水涂层可以直接铺设在冠梁顶部并预留槎头，用于后续主体结构侧墙防水层的接茬施工。冠梁顶部可采用防水砂浆找平，满足柔性防水层施工的基面要求。

结构顶板直接坐落于支护结构上，防水做法见图(7.3.2-1)，结构顶板内嵌于支护结构中，防水做法见图(7.3.2-2)。

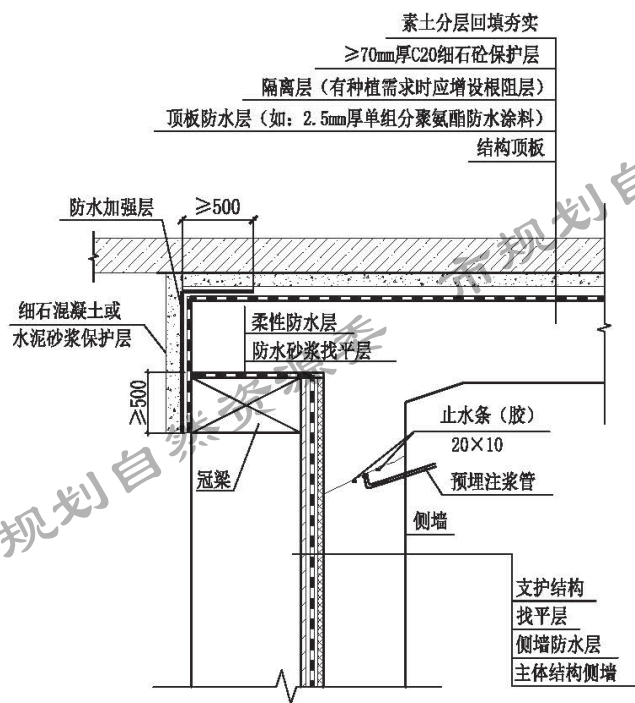


图 7.3.2-1 铰接形式做法防水示意（一）

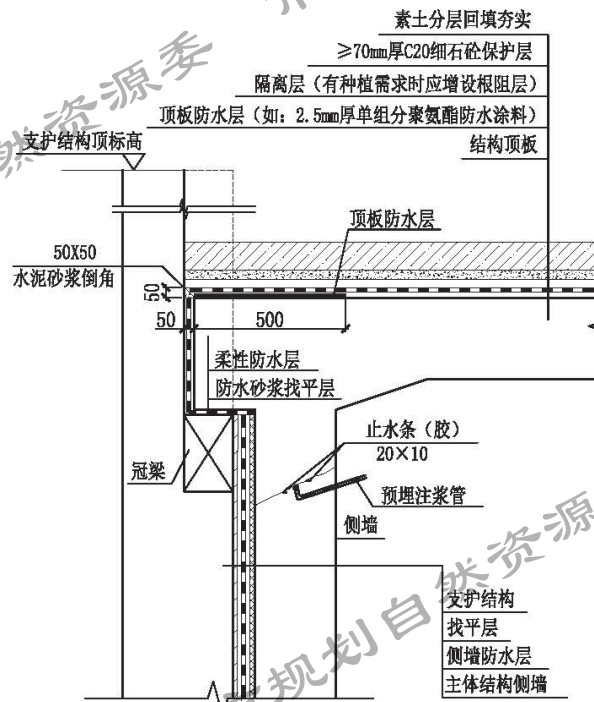


图 7.3.2-2 铰接形式防水做法示意（二）

7.3.3 复合墙结构顶板与支护结构的连接形式为刚接时，顶板防水层应通过“刚柔过渡”连接主体结构侧墙防水层。

顶板与支护结构采用刚接形式，考虑结构受力要求，以及结构钢筋的影响，柔性防水层无法在顶板与支护结构的连接部位直接铺设，可采用涂刷水泥基渗透结晶防水涂料，与顶板防水层和侧墙防水层形成搭接，搭接范围不得小于 250mm，使防水层通过水泥基渗透结晶这类无机刚性防水材料连续（图 7.3.3-1、图 7.3.3-2）

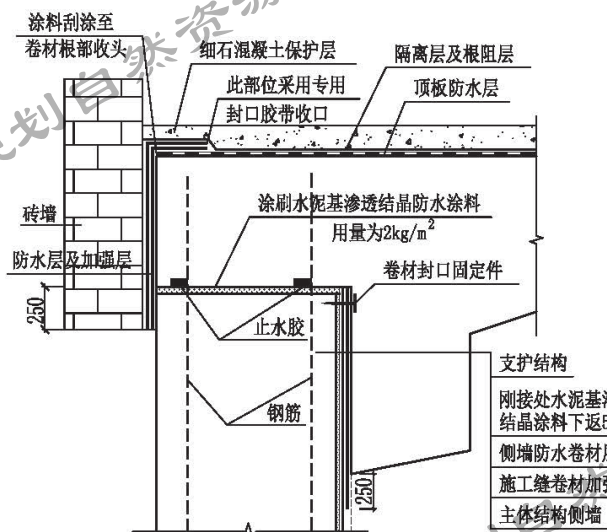


图 7.3.3-1 刚接形式防水做法示意（一）

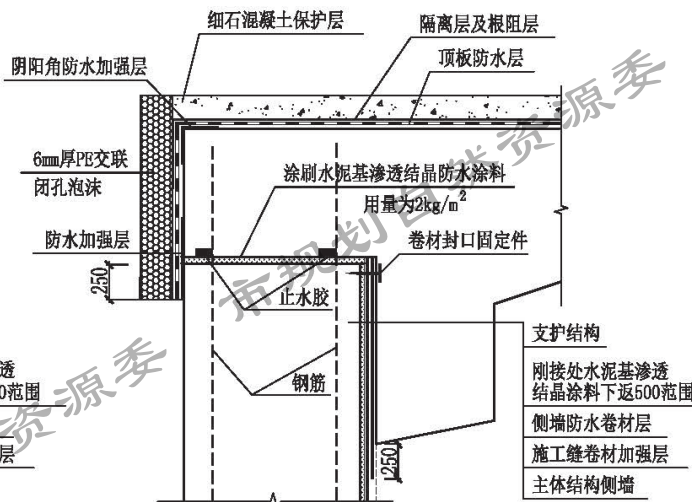


图 7.3.3-2 刚接形式防水做法示意（二）

注：用于永久砖墙做侧模的防水做法

注：用于支模施做顶板后拆模的防水做法

说明：1 卷材封口固定件包括封口钢板压条宽 30mm 厚 1.5mm，水泥钉间距 30cm 左右。

2 顶板与主体结构侧墙连接部位采用双道止水胶 + 水泥基渗透结晶防水涂料加强处理。

3 施工现场可根据具体条件选择两种防水做法中的一种。方法二防水整体性好，方法一可减少拆模等操作。

7.3.4 叠合墙形式的地下主体结构，宜仅在顶板设置柔性防水层，同时加强主体结构自防水，并设置离壁沟或离壁墙，采取“防+排”相结合的方式来达到防水设计等级要求。

1 叠合墙形式的支护结构多为地下连续墙，本身具备一定的抗渗防水能力，仅在墙幅接头处容易出现渗漏。因此，首先应对墙幅接头出现的渗漏进行堵漏或注浆处理。明水流可通过灌注水泥浆+水泥浓浆，或者水泥+水玻璃浆液，视渗漏情况配合有机浆液进行渗漏治理至不渗漏。小的漏水点可采用堵漏灵一类的措施治理，墙幅接缝两侧各2m范围大面涂刷水泥基渗透结晶防水涂料，可用量 $1.5\text{kg}/\text{m}^2$ 。

2 主体结构侧墙和底板可不设置柔性防水层，而在主体结构侧墙设置离壁沟或离壁墙，形成接水沟，沟内侧采用涂料防水层或防水砂浆层，将水引排至集水坑或废水泵房。同时，主体结构侧墙可通过添加纤维或抗裂外加剂增强结构自防水性能。结构内侧的装修层可设置在离壁墙上，不受渗漏水的影响（图7.3.4）。

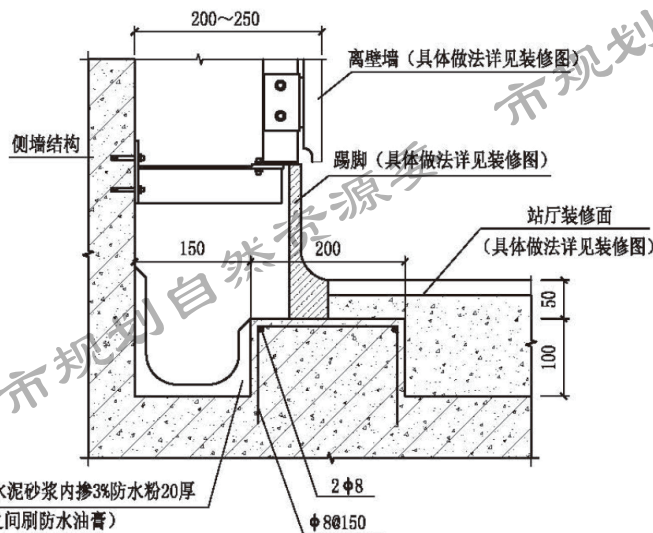


图 7.3.4 叠合墙形式离壁墙排水做法示意

7.3.5 附加防水层的设置尚应满足以下要求：

- 1 基面平整度应满足不同材料的设计要求，平整、坚实、无明水。
- 2 防水材料施工工艺应满足相关技术规范和规程的要求。
- 3 顶板防水层施工时，在顶板侧壁的施工范围应覆盖至顶板与支护结构交接以下不小于500mm的处；此处应做好防水加强层，如增加一道卷材防水或者增加涂层厚度并布设14目-16目玻纤网格布。
- 4 防水层应及时施作保护层，侧墙防水层可不设置永久保护层，具体根据材料类型而定。
- 5 根据盖挖逆作法的特点，主体结构侧墙外包防水层将分段施作，留槎和接茬应有临时保护措施，防水层有效搭接宽度不得小于100mm。

7.3.6 主体结构施工缝防水措施，执行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的相关规定。盖挖逆作侧墙连接节点的纵向水平施工缝，可采用预埋注浆管+遇水膨胀止水胶（条）的措施。

按照混凝土结构施工步序，顶板与侧墙交接处、中楼板与下部侧墙交接处形成的接缝，因逆作导致此处无法预埋中埋式止水构件（包括中埋式钢边橡胶止水带、中埋式镀锌钢板止水带、中埋式

丁基橡胶腻子止水带等), 宜采用预埋注浆管 + 遇水膨胀止水胶(条)的防水措施, 遇水膨胀止水胶(条)可双道设置(图 7.3.6)。其它通常的施工缝, 包括中楼板与上部侧墙结构之间的施工缝, 宜选用中埋式止水构件。

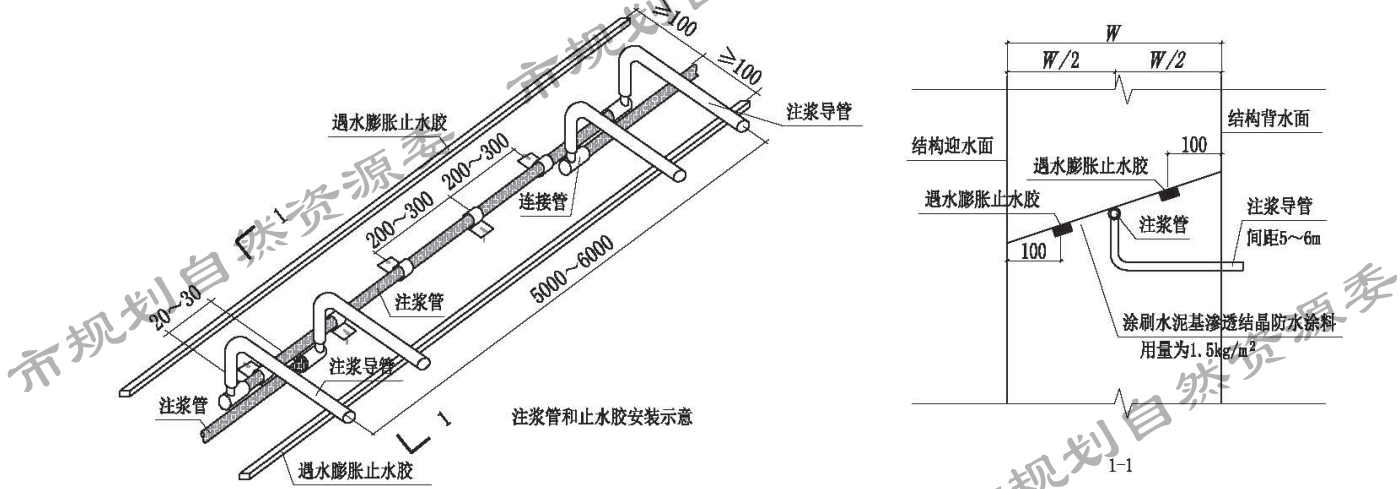


图 7.3.6 侧墙逆作连接节点施工缝防水构造示意

7.3.7 主体结构变形缝防水应不少于三道防线, 即迎水面设置外贴式橡胶止水带、结构中部设置中埋式橡胶止水带、结构内侧整环设置密封嵌缝胶, 顶、侧设置预留接水盒。具体要求可执行现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定。

变形缝处的结构厚度不应小于 300mm; 变形缝接水盒凹槽应在结构混凝土施工时同期预留, 避免后期凿槽。有限界要求时, 接水盒设置不应突出结构表面。

富水地区, 可在顶板迎水面变形缝内采用灌注非固化橡胶沥青防水涂料的措施加强防水。

7.3.8 一柱一桩节点应在柔性防水层被桩柱截断部位做永久密封收头, 并在穿过主体结构中间部位设置止水钢板。

一柱一桩的特点是桩柱穿破了整体大面防水层, 此处为防水的薄弱环节。根据大面防水层的材料类型选择永久收头的方式。防水卷材在桩柱周围 100mm 范围与基面满粘, 防水层材料本身不具备与基面满粘密实的可通过建筑密封膏或非固化橡胶沥青防水涂料完成; 底板结构中部设置止水钢板, 止水钢板与桩柱焊接密实且不透水, 并设置一圈遇水膨胀止水胶, 规格 20mm × 10mm (图 7.3.8)。

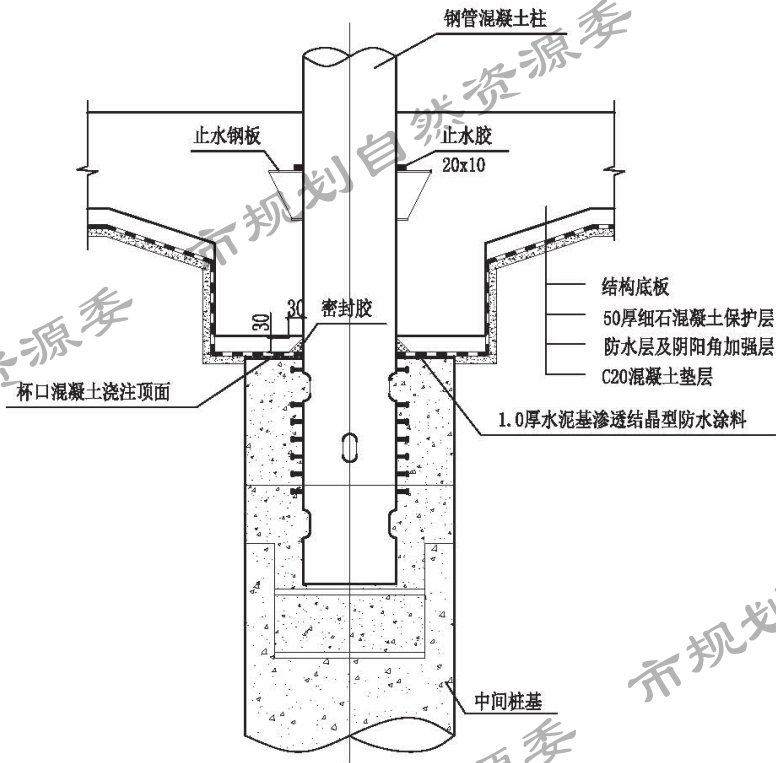


图 7.3.8 一柱一桩节点防水构造示意

7.3.9 底板下设有抗拔桩时，桩节点断面应设置无机刚性防水层，并与底板柔性防水层交错过渡，防水层应在混凝土桩端部做永久密封收头。

普通工程桩包括抗拔桩，底板防水层遇桩柱断开，并做永久密封收头。防水处理先在桩断面涂刷无机防水材料如水泥基渗透结晶防水涂料，可用量 $2.0\text{kg}/\text{m}^2$ ，涂刷至底板的垫层混凝土基面上不小于 200mm 范围，再施工 10mm 厚水泥砂浆或防水砂浆。若桩头高于垫层混凝土，塑料防水板、预铺高分子卷材类宜上翻 100mm ，金属箍固定收头；其它材料如天然钠基膨润土防水毯、双面自粘防水卷材等宜在桩根部做永久收头。卷材密封收头可采用建筑密封膏或丁基橡胶密封带、非固化涂料等。在结构中部设置止水钢板同时可环圈设置遇水膨胀止水胶（图 7.3.9）。

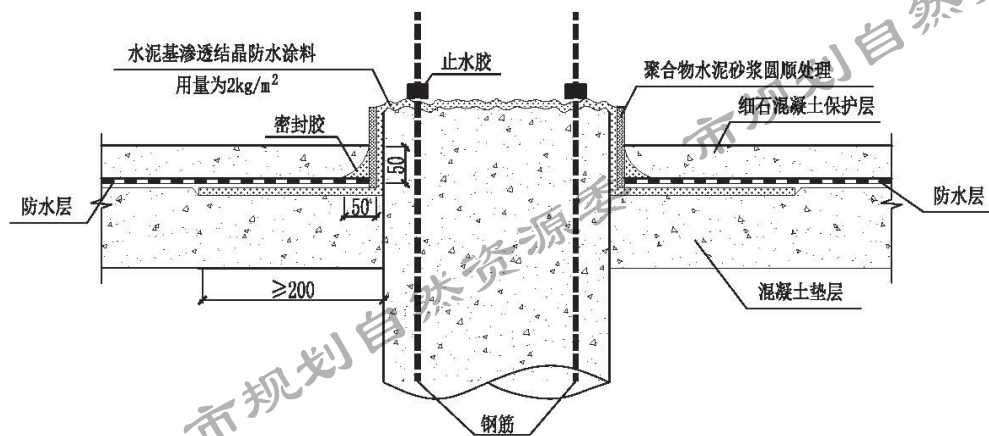


图 7.3.9 底板下抗拔桩防水构造示意

8 施工关键技术

8.1 工程筹划

8.1.1 盖挖逆作法工程，在设计阶段应根据场地环境情况、工程地质和水文地质条件、交通疏解需求、地下管线状况、工期要求、工程造价等多方面因素，综合考虑、合理确定总体工程筹划方案，并为后期的施工组织设计起到指导性作用。

8.1.2 工程筹划应对工程实施的全过程进行全面、客观的规划，结合本地工程经验，采用先进的施工技术和手段，科学制定施工方案。盖挖逆作法工程筹划应包括施工场地、地面交通组织、地下管线改移、工期安排及施工通道布置等内容。

8.1.3 施工场地布置方案应在满足施工需求的前提下，结合周边环境、交通组织、建（构）筑物拆迁、管线改移及施工分期等进行多方案比较，并宜充分利用先期完成的顶板结构或覆土回填后的路面作为施工场地使用。

施工场地应根据周边环境、集中布置，尽量减少地面房屋拆迁。盖挖逆作法先期完成的顶板结构，可作为施工场地使用，用于渣土和材料存放、施工设备布置、仓库和简易办公用房、材料加工、临时道路等。对于一座长 200m、宽 20m 的地铁车站施工场地，一般可按 3000 m² 左右考虑。顶板或覆土后的路面作为施工场地，顶板结构设计时需要考虑施工荷载作用，同时施工使用亦要根据设计条件进行限载。

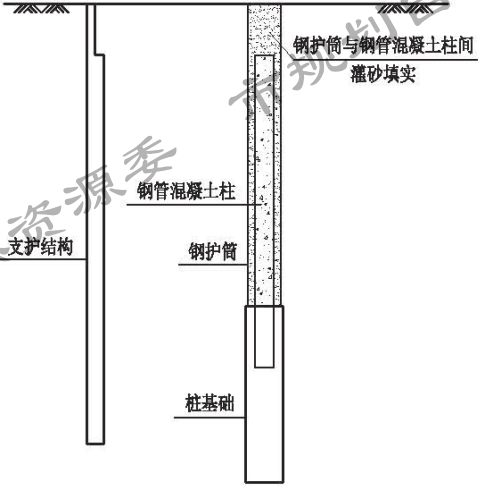
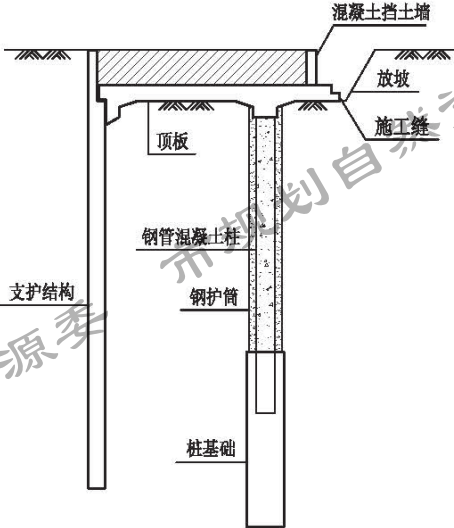
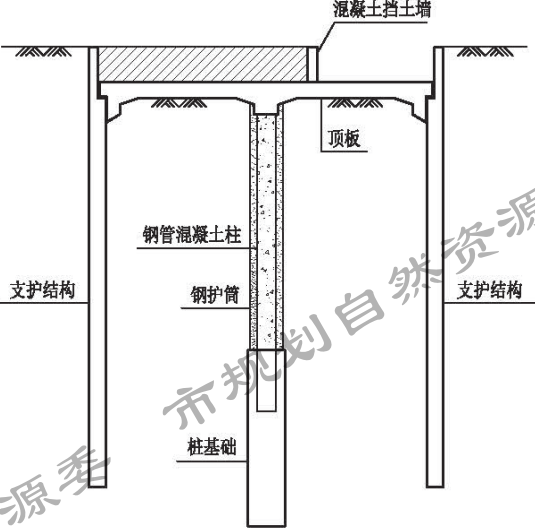
8.1.4 根据施工场地周边的交通状况，应进行区域性道路交通组织研究，从封闭道路、半封闭道路到“借一还一”进行多方案比较，充分考虑施工期间对城市商业、办公及居民生活的各种影响，交通组织设计应满足《城市道路路线设计规范》CJJ 193 的相关要求，并应征得当地交通管理部门同意。

8.1.5 在道路等级不高或交通量饱和度不高时，可考虑短期适当缩减车道，机动车道一般按 3.5(m/车道) 考虑。

8.1.6 当场地条件受限时，可将顶板全幅盖挖调整为分幅倒边盖挖施工，以提供施工场地或交通导改路径。

以地铁地下两层双跨车站倒边盖挖逆作法为例。当地下车站所在位置的城市道路狭窄，顶板结构整幅施工无法满足交通主管部门要求时，可选用倒边盖挖逆作法进行施工。施工步序示意表 8.1.6，其它大型地下工程可以参考使用。

表 8.1.6 地铁地下两层两跨车站倒边盖挖逆作法示意

| 步序 | 工序图 | 内容 | 说明 |
|----|---|--|---|
| 1 |  | <p>平整场地，施作半幅车站范围的支护结构、中间桩基及中间立柱。</p> | |
| 2 |  | <p>开挖至顶板以上浅基坑，施作顶板结构，覆土回填，恢复路面或交通。</p> | <p>纵向施工缝应选在一跨结构受力较小处，并应采取适当的构造措施满足后续顶板钢筋的连接，同时形成有效的传力作用。</p> |
| 3 |  | <p>开挖另一半顶板以上浅基坑，施工另一半顶板结构。</p> | <p>顶板回填覆土一侧的边坡，可采用土工格栅或混凝土挡土墙等处理措施，既要满足边坡稳定性要求，又要便于后续另半幅顶板施工时防水层连接和钢筋接驳的施工作业要求。</p> |

| 步骤 | 工序图 | 内容 | 说明 |
|----|-----|---------------------------------------|----|
| 4 | | <p>开挖地下一层土方，施工中楼板以及侧墙结构。</p> | |
| 5 | | <p>开挖地下二层土方，施作底板结构及侧墙结构，完成主体结构施工。</p> | |

8.1.7 地下管线改移是一项复杂的系统工程，确定合理的改移方案，首先应积极与规划部门和管线产权单位沟通协商，掌握现场详细的管线资料，并结合工程自身特点，在设计阶段应避免控制性管线与工程建设的矛盾。对于既有地下管线的处理可采取迁改、悬吊保护等措施。

8.1.8 地下管线迁改宜符合下列规定：

1 对于进入地下结构范围、或影响地下结构埋深、或临时保护费用较高的地下管线，宜采取永久改移措施。永久改移的路由应由规划部门及产权单位确认，一般情况永久改移的管线宜布置于市政道路下方。

2 雨污水重力流管线改移时，应对路由和坡度进行重点核实；当无条件改移时应有针对性的措施。

3 地下管线迁改方案应做到技术安全可靠、经济合理，并应征得管线产权部门的同意。

4 由于管线自身安全性要求高或管线渗漏将对工程建设和环境造成安全隐患的特殊性管线，如

军缆、石油、高压燃气等管线，应按产权单位的意见落实处理措施。

8.1.9 盖挖逆作法施工通道的形式主要有垂直运输通道和水平运输通道两种。

8.1.10 垂直运输通道主要设置在已完成的结构顶板和楼板上，可借用结构永久孔洞，如下沉广场、出入口及风井等设置，如数量不够时，可增设临时施工孔洞，后期封闭处理。

8.1.11 在顶板覆土回填后的路面不能作为施工场地使用时，可利用工程侧向的人行通道或通风道等附属结构设置水平运输通道。

8.1.12 应结合场地条件、总土方量及工期等，对出土进料通道的设置和数量进行充分研究及合理确定。

出土口的数量，主要取决于土方开挖量、挖土工期和出土机械的台班产量。可参考以下公式计算：

$$c_n = KV/TCW \quad (8.1.12)$$

式中： c_n ——出土口数量；

K ——材料、机械设备的通过出土口运输的备用系数，取 1.2 ~ 1.4；当材料及机械设备等通过出土口运输的数量较多时 K 取 1.4；当数量较少时 K 取 1.2；

V ——土方开挖量（ m^3 ）；

T ——挖土工期（ d ）；（指计划土方开挖与结束的时间）；

C ——每天作业台班数，可根据每个工作日投入机械设备的数量或一台机械每天工作几个台班来选取；

W ——出土机械台班产量（ $m^3/台班$ ）。

8.1.13 应充分考虑盖挖逆作法的施工特点，结合工程规模、出土方式、出土口数量及主体工程及配套附属工程的工序关系，合理确定分部工期和总工期。

结合工程特点、拆迁难度、管线改移的复杂程度等预留足够的前期准备时间。分部工程的主要工期指标宜根据施工队伍的技术水平确定，如中间立柱（钢管柱）的安装进度指标：人工定位安装，每组工人 1 根 /（7~10）天；机械插入安装，每套设备 1 根 /（1~2）天。表 8.1.13 为地铁地下两层标准车站盖挖逆作法的施工工期指标，可参考使用。

表 8.1.13 地铁地下两层标准车站盖挖逆作法施工工期指标表

| 施工分部项 | 工期指标 |
|----------------|---------|
| 支护结构、中间桩基及中间立柱 | （2~4）个月 |
| 顶板结构 | 1.5 个月 |
| 出土 | （5~6）个月 |
| 车站主体结构 | （6~8）个月 |
| 车站出入口、风道等附属结构 | （2~6）个月 |

8.1.14 当地下工程规模较大时，为缩短工期，可安排多个作业面同时进行施工。顶板结构施工完成后，地上建筑结构和地下结构可同步施工；地下一层结构完成后，在地下二层土体开挖和结构逆

作时可进行地下一层结构内部的装修或机电安装；顶板结构完成后采取适当的保温措施，可进行冬季施工。

8.2 基坑工程

8.2.1 盖挖逆作法的顶板以上浅基坑支护结构可与下部深基坑支护结构统一考虑，将桩墙结构一部分伸至地面。单独设置时，上部浅基坑常用的支护型式主要有放坡、土钉墙、钢板桩、排桩等。

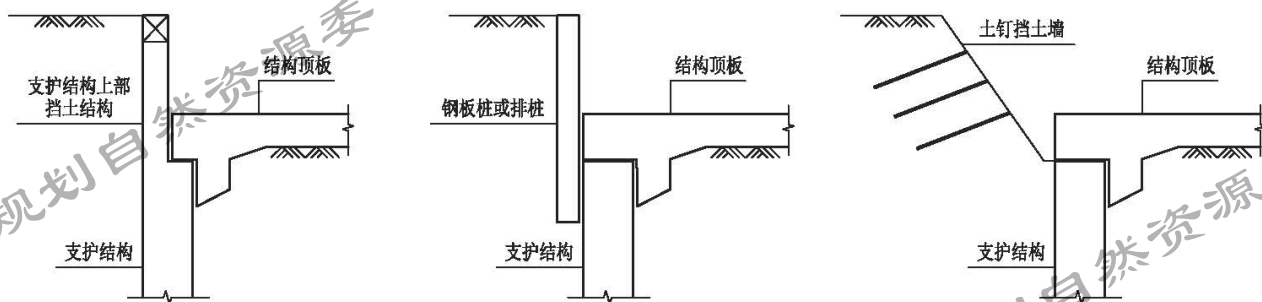


图 8.2.1 上部浅基坑支护结构型式示意

上部浅基坑的支护类型选择应根据周边环境、地质条件、造价投资和工期等综合确定，并进行支护结构的承载力、变形及稳定性计算分析。

8.2.2 基坑开挖时，应采取降排水措施保持坑内地下水位稳定在基坑底以下 0.5m~1.0m，同时对于降水管井停止降水后，应采取可靠的封井措施，做法可参考图 8.2.2。

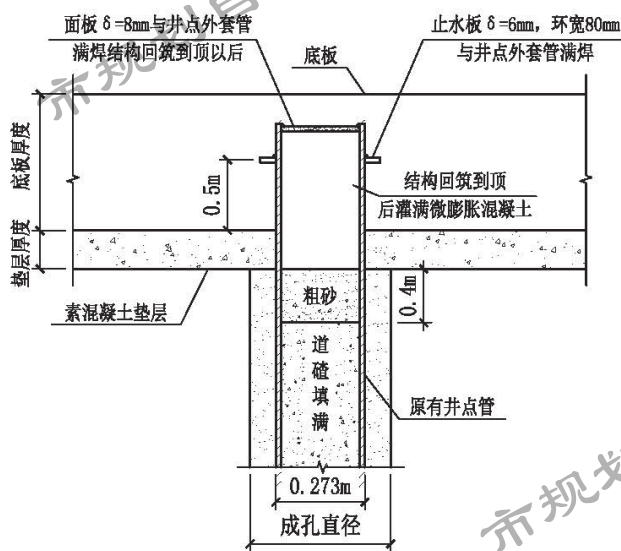


图 8.2.2 降水井常见封堵大样示意

8.2.3 基坑开挖采用降水措施时，应进行地面沉降预测分析，进行地下水动态观测，在满足施工无水作业要求的同时，确保周边环境的安全。无降水施工条件或不允许降水施工时，宜采取全部或部分止水措施。

8.2.4 基坑开挖前应根据工程特点、工期要求、出土口数量及场地条件等，编制详细的土方开挖和运输专项施工方案。

土方开挖和运输专项施工方案主要包括：开挖的分层分块情况、挖土流程、开挖方法；土方运输车辆的行走路线；明确开挖与结构施工及养护时间关系；各分块开挖的时间进度要求；施工机械

的规格、数量、工效分析与劳动力配备；升降系统；卸土地及出土运输条件；质量、安全、文明与环境保护措施等。

8.2.5 基坑逆作的每一层土方开挖，应在上层结构混凝土强度达到设计要求、临时支护体系安装验收完毕以及立柱与支护结构之间的差异沉降控制在设计要求范围之内后方可进行。

8.2.6 盖挖逆作法土方开挖过程中应符合以下规定：

1 开挖顶板和各层楼板下方土方工程中，需破除上部结构板下的底模，底模悬空长度不宜超过1.0m，以防止底模脱落砸伤人员或机械。

2 大面积深基坑的开挖宜采用盆式开挖方式，留设型式和大小应满足设计工况要求。

3 应根据边坡稳定性验算确定坑内临时边坡的坡度及坡高，坡体的坡率不宜大于1:2，坡顶与坡脚之间高差不宜大于1.5m；对高流塑性软土，应采取相应的处理措施。

4 中间立柱两侧土方高差不应大于1.5m。

5 开挖过程中应严格保护成品如降水管、立柱、监测元件、预留钢筋或接驳器等不被破坏。

6 为提高土方开挖效率，逆作基坑内土方开挖宜选用小型机械设备，设备选择时要充分考虑结构内部的作业空间尺寸。

7 出土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，应有防滑、防撞措施及车辆缓冲平台。

8.2.7 盖挖逆作法的基坑支护结构，作为施工期间重要的竖向支撑体系，在控制成孔和成槽精度的同时，应严格控制桩墙底沉渣量，必要时可采用后压浆技术以提高桩墙抗变形能力。

支护结构与中间立柱的差异沉降控制至关重要，施工期间的控制主要做好成孔和成槽的精度控制及桩墙底沉渣控制。后压浆主要控制压浆的压力和数量，同时压浆可在桩墙混凝土达到初凝后进行，并做好止浆阀的保护工作，当满足下列条件之一时可终止注浆：1. 注浆总量和注浆压力均达到设计要求；2. 注浆总量已达到设计值的75%，且注浆压力超过设计值。

8.2.8 岩石地层的开挖需采用爆破施工时，为防止爆破冲击荷载对已施工完的结构产生不利影响，宜采用松动爆破技术，同时还可采取分区分段、掏槽、中间拉槽等措施以增加爆破临空面，与结构板紧密接触部位的岩石宜采用非爆破技术开挖。

8.2.9 岩石松动爆破应根据岩性做好炮孔布距及药量设计，宜采用浅孔分台阶的控制爆破方法，循环进尺不宜超过2.0m~3.0m，爆破震动速度不宜大于2.0cm/s，并控制好一次起爆药量，严格遵循“密布孔、少装药、多循环”的基本原则。

8.3 中间桩基础施工

8.3.1 中间桩基础的施工应符合下列规定：

1 钻孔前应准确进行桩基中心定位并设置钢护筒。

2 成孔垂直度偏差和桩端沉渣厚度应满足相关规范要求，立柱插入范围内的成孔垂直度偏差不应大于1/200；桩端沉渣厚度不宜大于50mm。

3 成孔达到设计深度后，应保护孔口，及时验收。灌注混凝土前，应在孔口安放工作平台，然后放置钢筋笼，并应再次测量孔内沉渣厚度。扩底桩灌注混凝土时，第一次应灌至扩底部位的顶

面；浇筑桩顶以下 5.0m 范围内混凝土时，应反复抽动导管增加桩顶密实度。

8.3.2 中间桩基础在施工前应确定中间立柱的定位和插入施工工艺，并根据具体工艺确定钢护筒的插入深度。

钢护筒根据中间立柱定位的工艺区别，在施工中起到的作用也存在较大的差异，插入深度也不同。中间立柱选用人工定位时，在钢护筒保护下施工人员下到桩顶进行桩基顶部混凝土凿除和定位器安装，因此钢护筒插入深度应大于中间桩基顶标高下 1.5m。当采用机械定位时，钢护筒主要起到保护中间桩基成孔后上部局部孔壁的稳定，插入深度应根据地层条件和桩基的护壁浆液效果确定。

8.3.3 中间桩基础的混凝土初灌量应能保证混凝土灌入后，导管埋入混凝土深度不应小于 1.0m，导管内混凝土柱与管外稳定液柱的压力应趋于平衡，混凝土初灌量可参考图 8.3.3 和式 8.3.3-1~式 8.3.3-3 计算。

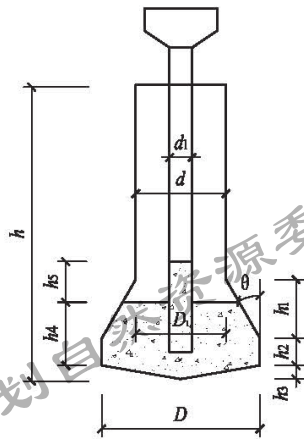


图 8.3.3 混凝土初灌量计算示意

$$V \geq \frac{1}{4} \pi d_1^2 h_3 + \frac{1}{12} k \pi D^2 h_3 + \frac{1}{4} k \pi D^2 h_2 + \frac{1}{12} k \pi (h_4 - h_2) (D^2 + D_1^2 + D D_1) \quad (8.3.3-1)$$

$$h_5 = \frac{(h - h_4 - h_2) r_m}{r_c} \quad (8.3.3-2)$$

$$D_1 = D - 2(h_4 - h_2) \tan \theta \quad (8.3.3-3)$$

式中：V——混凝土初灌量（m³）；

d_1 ——导管内径（m）；

h ——桩孔深度（m）；

h_1 ——扩底斜面高度（m）；

h_2 ——扩底段垂直面高度（m）；

h_3 ——锅底形扩底端矢高（m）；

h_4 ——初灌混凝土下灌后导管外混凝土高度，取 1.3m~1.8m；

h_5 ——导管内混凝土与导管外泥浆柱平衡所需的高度（m）；

k ——充盈系数，取 1.3；

D_1 ——初灌后混凝土面直径（m）；

r_m ——稳定液比重，取 $1.2 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ；

r_c ——混凝土比重，取 $2.3 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

8.4 中间立柱施工

8.4.1 盖挖逆作法中间立柱一般为钢结构，应在工厂加工，一次成型，因构件过长运输困难时，可分节制作、现场拼装，并应采取措施确保拼装后的工程质量。

8.4.2 中间立柱运输和吊放应采用专用械具，运输和起吊过程产生的变形应满足垂直度偏差限值要求。

8.4.3 中间立柱在插入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立柱安装过程中的精度要求。

8.4.4 中间立柱安装的垂直度允许偏差不应大于 1/500，立柱的初始偏心距应根据立柱平面位置和垂直度允许偏差确定，不应大于 20mm。

8.4.5 为便于中间立柱的精确定位和顺利插入柱下桩基础内，宜通过工具柱将钢立柱接长高出地面，高出长度应根据调垂装置需要确定，立柱与工具柱之间可通过焊接或螺栓连接。

8.4.6 中间立柱安装施工中应综合考虑下列因素，以提高安装精度：

- 1 柱下桩基础的垂直度和孔径偏差。
- 2 钢立柱分节制作时拼接的精度误差。
- 3 调垂装置的调垂误差。
- 4 混凝土浇筑及钢立柱四周回填不均匀引起的偏差。

8.4.7 中间立柱定位和插入技术主要有两点定位法和机械插入法，施工前应根据工程特点综合比选后确定，宜优选机械插入法。

两点定位法是一种由人工作业的钢立柱定位和插入柱下桩基的施工工艺。通过在桩基顶部设置人工定位系统（定位器），并在地面通过人工测量或采用液压垂直设备测试垂直度，实现钢立柱（钢管柱、型钢或型钢格构柱等）的定位和垂直度要求。两点定位法为传统施工工艺，人工作业施工风险大、速度慢、投资高。

机械插入法是一种新的、较为先进的施工工艺，目前实际工程采用的主要是液压垂直插入法，其完全采用机械化手段，从地面直接将钢立柱插入基坑底下的桩基础内。液压垂直插入法采用液压装置定位，通过垂直仪传感器反映到电脑中的信号检测钢立柱的垂直度，定位准确，垂直度可达 1/500 ~ 1/1000。机械插入法相对安全性高、施工速度快、综合投资少、施工质量有保证，但需要采用专用设备施工。

8.4.8 两点定位法施工要点如下：

- 1 中间立柱宜采用上下两端同时定位固定，上端可采用丝杠定位，下端可采用定位器定位。
- 2 在桩基础混凝土初凝而未终凝前，应及时下入清理泥浆护壁，凿除桩基础顶部杯口混凝土，清理桩基面，使杯口混凝土底面低于中间立柱设计底面。

3 定位器安装流程：定位器中心与中间立柱设计中心对中→定位器水平板面高程调整至设计中
间立柱底高程→采用锤球将桩中心引测至桩基础面上→定位器初定位安装→采用全站仪、投点仪将
桩心投测至定位中心→精确定位→安装四脚锚栓并浇筑混凝土锚固（同中间立柱混凝土等级）→安
装定位器。

- 4 中间立柱安装施工流程：吊装中间立柱→下部插入定位器→上部丝杠定位→浇筑杯口混凝土

至底梁底（同中间立柱混凝土等级）。

8.4.9 机械插入法安装中间立柱应采用专业的液压垂直插入机，插入时应考虑柱下桩基础混凝土的缓凝时间，缓凝时间不应小于混凝土的运输时间、浇筑时间及插入就位时间的总和。

按一般常规情况考虑缓凝时间，参考值如下：混凝土运输时间 1.0 小时，混凝土浇筑时间 3.0 小时，垂直插入就位时间 2.0 小时，插入钢管柱时间（5.0~6.0）小时，其他不确定因素时间 6.0 小时，则混凝土缓凝时间不应少于（17~18）小时，塌落度为（200~220）mm。

8.4.10 机械插入法施工应符合下列规定：

1 液压垂直插入机定位应准确、水平、稳固，其与柱位中心的允许偏差不应大于 20mm，垂直度不应大于 1‰。

2 钢立柱进场验收合格后，方可进行安装施工，其吊装时不得产生变形、弯曲，宜采用两台履带吊车多点抬吊将钢立柱垂直起吊缓慢放入机械插入机内。

3 钢立柱安装完成后，应对垂直度、孔口平面位置进行检查，满足设计要求。

4 液压垂直插入机移位和工具柱切除应在灌注桩混凝土初凝及钢立柱四周回填大于 12 小时以后进行，且移位和切除两项工序的间隔时间不应小于 24 小时。

5 相邻两台插入机施工间距不宜小于 8m，以免互相干扰。

6 应经常检查插入机垂直度检测装置的灵敏性及电源和信号系统的稳定性，确保实现插入过程的实时监控传输。

7 钢立柱插入桩基础钢筋笼前应缓慢进行，密切监测钢筋笼情况，防止压入碰撞钢筋笼。

8 钢立柱安装前和安装过程中，桩基础的钻孔孔内稳定液的液面应保持恒定，其液面高度始终保持高于地下水位 500mm 以上，或不低于自然地面 500mm，以保证稳定孔壁的作用。

8.4.11 钢管柱内混凝土浇筑完成后，应待混凝土终凝后方可移走调垂固定装置，并应在孔口位置对钢管柱采取固定保护措施。

钢管内混凝土浇筑前应进行配合比设计，并宜进行浇筑工艺试验。浇筑方法应与结构型式相适应，混凝土浇筑应连续进行，必须间歇时，间歇时间不应超过混凝土的终凝时间。每次浇筑前应先在浇筑一层厚度为 100mm~200mm 的与混凝土等级相同的水泥砂浆，以免自由下落的混凝土粗骨料产生弹跳现象，同时应设置排气孔。

8.4.12 钢立柱定位安装完成后，应进行立柱与空桩孔壁之间的间隙回填，回填应符合下列规定：

1 宜采用 5.0mm ~ 25mm 连续级配碎石回填，也可选用细砂回填。

2 对两点定位法，每次回填 2.0m，应对立柱上部定位丝杠进行一次校核，以保证回填过程中立柱不发生偏移。

3 对机械插入法，回填应在桩基础混凝土初凝后进行，回填过程中应对称分层，四周均匀填入碎石，并实时监测回填高度，至柱顶标高以下 1.0m 时停止回填，等待 5.0 小时左右后复测回填面高度，下沉后继续回填直至回填面稳定。

8.4.13 基坑开挖后，应对中间立柱的平面定位和垂直度偏差进行检测，超过允许偏差时，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。

8.4.14 中间立柱质量检测可采用敲击法，检测数量不应少于立柱总数的 20%，当遇异常情况时，

应采用超声波透射法或钻芯法进行验证，并扩大敲击法检测数量，对钢管混凝土柱的内部混凝土存在质量缺陷的部位，应采用局部钻孔压浆等措施进行补强。

8.5 主体结构施工

8.5.1 主体结构顶板与支护结构的连接节点有刚接和铰接两种做法，刚接时支护结构冠梁顶部预埋钢筋应锚入顶板结构内；铰接时支护结构冠梁与顶板无需连接，防水层贯通设置（图 8.5.1-1、图 8.5.1-2）。

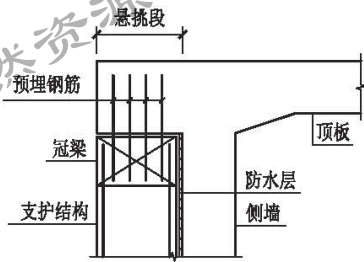


图 8.5.1-1 顶板刚接节点示意

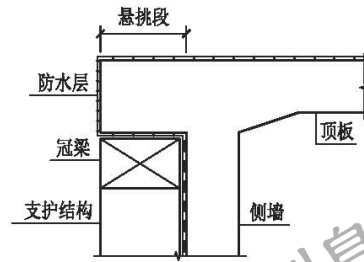
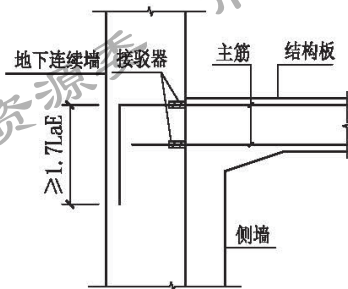


图 8.5.1-2 顶板铰接节点示意

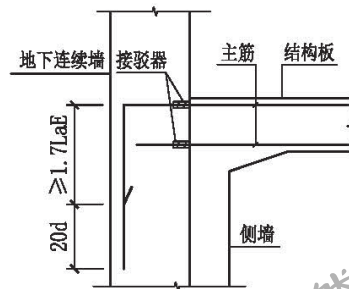
8.5.2 逆作结构施工前，应对接缝部位进行清理，并对预留的钢筋、机械连接接头（接驳器）、预埋件等进行检查和整修，对轴线、构件定位及标高进行复查，确保满足设计要求。

8.5.3 地下连续墙叠合墙结构，主体结构各层结构板可通过预埋钢筋接驳器、拉接筋、抗剪块等工程措施与支护结构相连。

1 通过预埋钢筋接驳器连接时，应做好接驳器的预埋和保护工作，并应采取可靠措施严格控制接驳器的定位精度（图 8.5.3-1）。



(a) 受拉区钢筋配筋率不大于 1.2%



(b) 受拉区钢筋配筋率大于 1.2%

图 8.5.3-1 结构板钢筋接驳器连接示意

2 通过预埋拉接筋连接时，应将弯起的拉接筋与地下连续墙钢筋一同绑扎，浇筑主体结构时将钢筋弯起部分掰直锚入结构板中，预埋拉结筋直径不宜大于 20mm，并应采用 HPB300 级钢筋（图 8.5.3-2）。

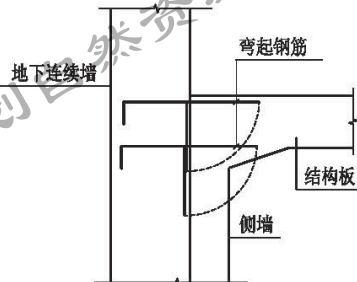


图 8.5.3-2 结构板预埋拉接筋示意

3 通过抗剪块连接时，可在绑扎地下连续墙钢筋笼时将木块或泡沫固定在钢筋笼上，木块或泡沫的厚度应为钢筋笼混凝土保护层厚度，高度可稍小于结构板厚度。浇筑结构板时将木块或泡沫剔除，形成抗剪块结构（图 8.5.3-3）。

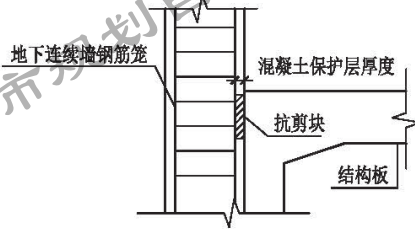


图 8.5.3-3 结构板抗剪块连接示意

4 为加强地下连续墙与主体结构的连接，尤其在结构板侧墙边需要开设大型结构孔洞时，可在结构板周边设置边梁，边梁与地下连续墙宜通过拉接筋、抗剪块连接（图 8.5.3-4）。

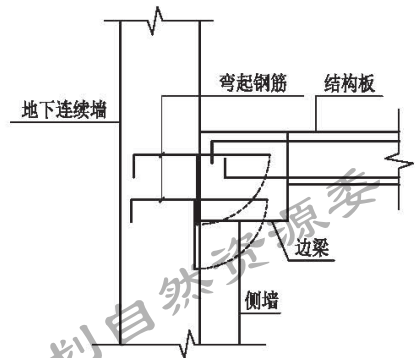


图 8.5.3-4 结构板周边设置边梁示意

8.5.4 地下连续墙叠合墙结构，主体结构侧墙应通过设置拉接筋或表面凿毛等工程措施以满足叠合面抗剪能力要求，设置拉接筋的要求同结构板（图 8.5.4）。

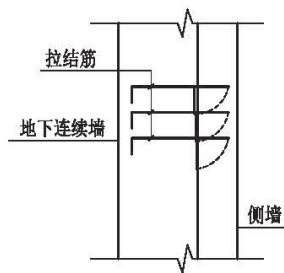


图 8.5.4 地下连续墙叠合墙连接节点示意

8.5.5 主体结构侧墙逆作施工缝应倾斜一定角度，倾斜角宜取 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，斜面应朝向基坑内侧，施工缝与结构板板底或腋角底的距离宜取 0.5m 左右（图 8.5.5）。

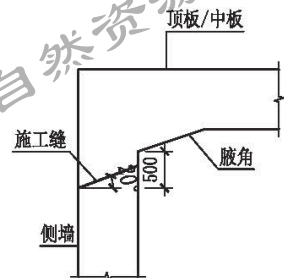


图 8.5.5 侧墙逆作施工缝节点示意

8.5.6 中间立柱采用型钢混凝土柱时，宜将部分混凝土柱与结构梁一同浇筑，柱身处施工缝应设置成 V 型，倾斜角宜取 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，施工缝与梁底的距离宜取 0.5m 左右（图 8.5.6）。

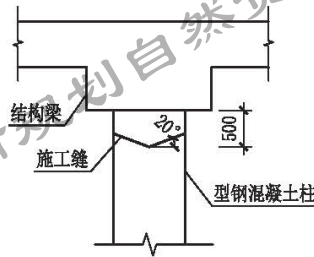


图 8.5.6 型钢混凝土柱逆作施工缝节点示意

8.5.7 主体结构逆作施工缝施工应符合下列规定：

- 1 已浇筑的混凝土强度，水平缝处不应低于 1.2MPa，垂直施工缝不应低于 2.5MPa。
- 2 已浇筑的混凝土表面应凿毛，清理干净后粘贴遇水膨化胶条。
- 3 浇筑混凝土前，施工缝处应先湿润，水平施工缝先铺 20mm~25mm 厚的与浇筑混凝土灰砂比相同的砂浆。
- 4 采用泵送混凝土从灌注窗口或从接口处直接入槽灌注，人工入槽用插入式捣固器捣固，并且接口处混凝土在初凝前进行二次捣固振捣，以确保接口处混凝土密实。
- 5 施工缝处宜在钢筋绑扎时预留注浆管。

8.6 土模与模架

8.6.1 盖挖逆作法水平构件可直接利用地基土体作为混凝土结构浇筑时的底部模板。对于软土和岩体基坑，当软土地基处理费用较高、或为避免岩体开挖爆破对已完成的结构产生影响时，亦可采用超挖 500mm~1000mm 土方后架设脚手架的方式设置混凝土浇筑模架。两种方式的选择应通过技术、经济、工期等因素比选后确定。

8.6.2 对于盖挖逆作结构板下构件可同期施作，应按浇筑工序分步实施。如地铁车站中楼板的土建风道与中楼板可利用土模分步同期施作，施工步序示意图 8.6.2-1~ 图 8.6.2-3；亦可采用预制土建风道构件，待中楼板施作后拼装悬挂于中楼板下方。

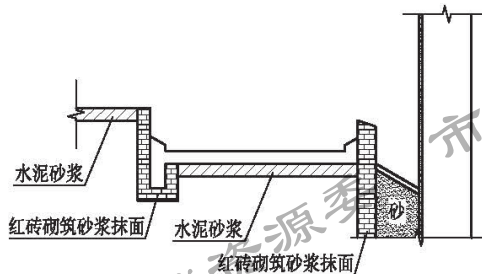


图 8.6.2-1 利用土模施作风道底板结构（步序一）

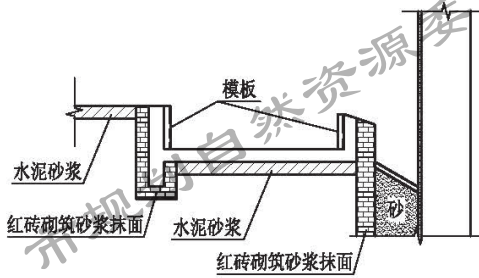


图 8.6.2-2 立侧模施作风道侧墙结构 (步序二)

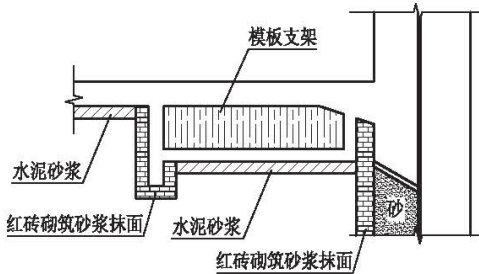


图 8.6.2-3 风道内立模板支架施作中楼板结构 (步序三)

8.6.3 作为土模使用的地基土可根据地层条件进行必要的夯实或适当的加固处理。地基土平整后再浇筑 50mm~100mm 的素混凝土垫层，垫层达到一定强度后，铺设模板作为水平构件的底模。

8.6.4 土模施工时应根据结构设计要求起拱，如设计无要求，可参照现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定执行，土模质量控制应符合表 8.6.4 的规定要求。

表 8.6.4 土模施工允许偏差表

| 项目 | 允许偏差 (mm) |
|---------|-----------|
| 轴线位置 | 5 |
| 标高 | ±5 |
| 断面尺寸 | +4, -5 |
| 平整度 | 5 |
| 相邻接缝错边量 | 2 |

8.6.5 为保证土模顺利脱落，土模表面应在砂浆初凝前进行二次提浆、压光，终凝后，在其表面满铺地板革或其它保护措施，必要时可采用脱模剂协助脱模。

8.6.6 土模施工流程如下：

1 机械开挖至距结构板底面约 300mm 时应改用人工开挖，不宜超挖，根据底面形状整平夯实基坑土层。

2 土模结构分段施工长度应与主体结构施工分段一致，对分段边界放样并作为标高控制线和边模。

- 3 应根据设计图纸精确测量各结构构件的位置和标高进行放样，定位开挖梁体沟槽，砌筑红砖墙。
- 4 铺设细石混凝土至设计标高，并在混凝土初凝前提浆压光，待垫层混凝土养护结束后，满铺地板革或其它保护措施（图 8.6.6-1、图 8.6.6-2）。

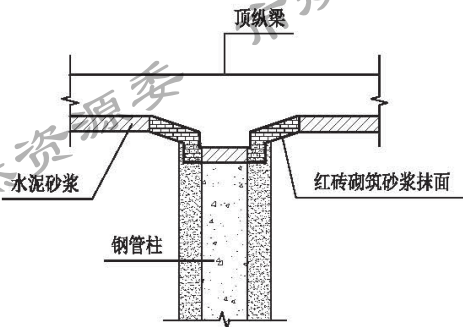


图 8.6.6-1 顶板及顶纵梁土膜

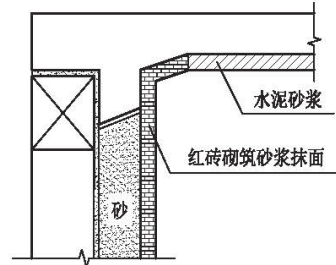


图 8.6.6-2 侧墙接茬土膜

9 风险控制与监控量测

9.1 风险控制与环境保护

9.1.1 地下工程的安全风险应包括工程自身风险和环境安全风险两大类。盖挖逆作法工程的设计应根据基坑周边环境的状况及保护要求进行变形控制设计，并应通过分析提出合理的控制指标和具体技术措施，确保地下工程建设的自身安全，并有效控制对周边环境的影响。

基坑工程设计前应结合其环境的重要性程度进行必要的环境调查工作，掌握基坑周边环境抵抗变形的能力，为设计和施工提供依据。应采用相关方法预估施工对周边环境可能产生的影响，并根据基坑周边环境对附加变形的承受能力确定具体的基坑变形控制指标。应从考虑加强支护结构自身的刚度和抗变形能力、支护结构施工、基坑降水及开挖等方面分别采取相关措施减小对周边环境的影响。基坑工程实施过程中应对周边环境进行全过程监测，宜根据监测实时提供的数据对设计和施工方案进行动态调整。

9.1.2 工程自身风险控制是指由于地下结构自身的技术难度导致工程实施过程中可能出现的安全风险，且应包括场地不良地质及水文地质风险。工程自身风险与所采用的施工方法、工程地质和水文地质条件、结构型式等因素密切相关。常见风险因素及风险事件见表 9.1.2。

表 9.1.2 盖挖逆作法常见风险因素及风险事件

| 设计方案或工程措施 | 风险因素 | 可能导致的安全风险 |
|-----------|--|---|
| 支护结构 | 荷载或边界条件非对称，计算模型未能反映实际情况 | 支护结构变形、支护结构配筋不合理、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大 |
| | 荷载控制不利，或施工控制不利，中间桩和支护结构的沉降差超标准 | 结构顶板和各层楼板出现裂缝和超出原结构受力和配筋 |
| | 受相邻在建基坑开挖影响，未考虑相互开挖顺序或未采取相应措施或计算模型未能反映实际情况 | 支护结构变形、支护结构配筋不合理、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大 |
| 地下水控制 | 支护结构灌注桩桩间、地下连续墙接缝处止水措施不合理，止水效果差 | 支护结构渗漏、桩（墙）背土体颗粒流失、支护结构变形大、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大 |
| | 降水、排水方案未充分考虑水文地质条件，不合理 | 周边环境沉降、变形大；或水位降不下去 |
| | 坑底存在富水粉细砂层，降水方案不合理或支护结构入土深度不够 | 坑底涌水、涌砂 |
| | 止水措施不合理，止水效果差 | 支护结构渗漏、桩（墙）背土体颗粒流失、支护结构变形大、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大 |
| | 承压水未进行处置或处置不当或支护结构入土深度不够 | 坑底突涌 |

| | | |
|------|---|--------------------------|
| 地层加固 | 当坑底为软土（淤泥、淤泥质土）地层，无法提供支护结构被动区抗力，导致坑底变形较大时，坑底未加固或加固措施不合理 | 支护结构变形、基坑失稳 |
| 土方开挖 | 导致基坑边坡坡顶附加荷载过大 | 边坡变形、开裂、基坑失稳 |
| | 土方开挖方案对地层、周边环境的不适应 | 周边环境沉降、变形超限 |
| | 软土（淤泥、淤泥质土）地层中分层开挖厚度过大，或未采取地层加固措施 | 开挖面坍塌，纵向滑坡，支护结构变形 |
| | 深厚富水砂层中坑内降水失效，或分层开挖厚度过大 | 开挖面坍塌 |
| 主体结构 | 中间桩基因外部荷载或者施工措施控制不利，出现沉降超过标准 | 结构顶板和各层楼板出现裂缝和超出原结构受力和配筋 |

9.1.3 盖挖逆作法自身风险工程的基本分级为一、二、三级，重点考虑因素为基坑开挖深度、周边环境、工程地质和水文地质条件等。盖挖逆作法自身风险大小分级见表 9.1.3。

表 9.1.3 盖挖逆作法工程自身风险分级

| 自身风险基本分级 | 周边环境风险工程 |
|----------|---|
| 一级 | 1) 基坑周边 0.7H 范围内有重要环境设施； 2) 基坑开挖深度 $16.0m \leq H < 20.0m$ ，且在 $0.7H \sim 1.0H$ 范围内有重要环境设施； 3) 环境安全无特殊要求，基坑开挖深度 $H \geq 20.0m$ |
| 二级 | 1) 基坑周边 $1.0H \sim 2.0H$ 范围内有重要环境设施； 2) 环境安全无特殊要求，基坑开挖深度 $16.0m \leq H < 20.0m$ |
| 三级 | 环境安全无特殊要求，且基坑开挖深度 $H < 16.0m$ |

9.1.4 盖挖逆作法基坑宜通过加强支护结构、横向支撑结构、地下水控制措施等加强对工程风险的控制；地质条件较差或周边环境复杂时，宜补充地层加固措施。可采取下列措施加强风险控制：

- 1 地下连续墙可采取槽壁加固、优质泥浆和提高泥浆液面标高，控制成槽时间及减少单幅槽段宽度等措施。
- 2 钻孔灌注桩可采取套管护壁、地基预加固及控制相邻桩施工的时间间隔等措施。
- 3 高压旋喷桩和水泥土搅拌桩施工时，控制施工速度，优化施工流程。
- 4 中间立柱宜优选机械插入法。
- 5 土方开挖、主体结构的施工顺序应与设计工况相一致。
- 6 土方开挖应分层分段，挖至坑底立即浇筑垫层，减少基底无垫层暴露时间。
- 7 严格控制地面和已完成的上部结构的超载。

9.1.5 环境风险控制是指场地周边可能受地下工程施工影响出现风险或使地下工程施工安全风险增加的地表、地下设施或条件，可能的环境安全风险源包括城市道路、桥梁、地上（下）建（构）筑

物、市政管线、地面（下）轨道运输系统、水体、绿化植物等。各类环境安全风险源见表 9.1.5-1，常见环境风险因素及风险事件见表 9.1.5-2。

表 9.1.5-1 各类环境安全风险源

| 序号 | 环境风险源 | 主要包括内容 |
|----|------------|--|
| 1 | 地面和地下轨道交通 | 地面铁路、地铁和地下采用轨道运输系统的工程设施等 |
| 2 | 既有地面建（构）筑物 | 紧邻或在工程影响区域范围内的地面建筑物、其它构筑物（烟囱、水塔、油库、加油站、汽罐、高压线塔、厂房、车库等） |
| 3 | 既有地下构筑物 | 地下道路、交通隧道、地下商业、人防工程、地下过街道等 |
| 4 | 既有市政桥梁 | 高架桥、立交桥、匝道桥、人行天桥等 |
| 5 | 既有市政管线 | 雨污水管、自来水管、中水管、煤气管、通信、通讯、电力管（沟）、热力管以及各类军用管线等 |
| 6 | 既有市政道路 | 各等级道路工程设施 |
| 7 | 水体 | 江、河、湖、水塘和小河沟等 |
| 8 | 绿化、植物 | 重要的和受保护的树木等 |

表 9.1.5-2 常见环境风险因素及风险事件

| 类型 | 风险因素 | 可能导致的安全风险事件 |
|--------------|---|-------------------------------|
| 周边建（构）筑物风险因素 | 基坑邻近既有城市轨道交通工程，无加固、隔离等保护措施 | 不均匀沉降、开裂、耐久性降低、影响运营 |
| | 基坑邻近砖混或框架结构建（构）筑物，无加固、隔离等保护措施 | 建（构）筑物沉降、开裂、耐久性降低、影响正常使用 |
| 周边管线风险因素 | 基坑邻近较大直径（ $\geq 300\text{mm}$ ）热力、煤气、天然气等有压管线，无保护措施 | 管线沉降、变形甚至爆裂 |
| | 基坑邻近较大直径（ $\geq 400\text{mm}$ ）铸铁给水、排水管线，无保护措施 | 管线沉降、变形甚至渗漏引起基坑涌水、涌砂、支护结构变形坍塌 |
| | 基坑邻近较大直径（ $\geq 400\text{mm}$ ）砼给水、排水管线，无保护措施 | 管线沉降、变形甚至渗漏引起基坑涌水、涌砂、支护结构变形坍塌 |
| | 横跨基坑的大埋深、大直径（ $\Phi 800$ 及以上）排水管线采用悬吊保护措施，影响围护桩（墙）施工，未有相应措施 | 围护桩间距过大，影响支护结构稳定 |
| | 横跨基坑的有压、给排水管线，虽采取迁改措施，但迁改后仍距离基坑较近，无保护措施 | 管线沉降、变形甚至渗漏 |

9.1.6 环境风险工程基本分级为一、二、三级，重点考虑因素为周边环境与地下工程的接近度、周边环境的重要性及自身特点，周边环境的重要性分为重要和一般两种情况，位于地下工程影响区范围内的环境设施的重要性类别见表 9.1.6。

表 9.1.6 各类环境设施的重要性类别划分

| 环境设施类别 | 环境设施重要性类别 | |
|-----------|---|------------------------------|
| | 重要 | 一般 |
| 地面和地下轨道交通 | 既有城市轨道交通线路和铁路 | |
| 既有建（构）筑物 | 省市级以上的保护古建筑 高度超过 15 层（含）的建筑 年代久远、基础条件较差的重点保护的建筑物 重要的烟囱、水塔、油库、加油站、汽罐、高压线铁塔等 | 15 层以下的一般建筑物 一般厂房、车库等构筑物等 |
| 既有地下构筑物 | 地下道路和交通隧道、地下商业街及重要人防工程等 | 地下人行过街通道等 |
| 既有市政桥梁 | 高架桥、立交桥的主桥等 | 匝道桥、人行天桥等 |
| 既有市政管线 | 雨污水主管、中压以上的煤气管、直径较大的自来水管、中水管、军缆等，其它使用时间较长的铸铁管、承插式接口砼管 | 小直径雨污水管、低压煤气管、电信、通讯、电力管（沟）等 |
| 既有市政道路 | 城市主干道、快速路等 | 城市次干道和支路等 |
| 水体（河道、湖泊） | 江、河、湖 | 一般水塘、小河沟 |
| 绿化、植物 | 受保护古树 | 其它树木 |

注：对有特殊要求的环境设施可根据产权单位的要求进行调整。

9.1.7 采用盖挖逆作法施工的地下工程，环境设施接近程度和影响强度分类见表 9.1.7 及图 9.1.7。

表 9.1.7 环境设施接近程度和影响强度分类

| 接近程度分类 | | 影响强度 | 备注 |
|-----------|------|------------|----------------|
| 距离 | 接近程度 | | |
| <0.7H | 非常接近 | 强烈影响区（I） | 适用于深度大于 5m 的基坑 |
| 0.7H~1.0H | 接近 | 显著影响区（II） | |
| 1.0H~2.0H | 较接近 | 一般影响区（III） | |
| > 2.0H | 不接近 | 不影响 | |

注：H 为基坑开挖深度。

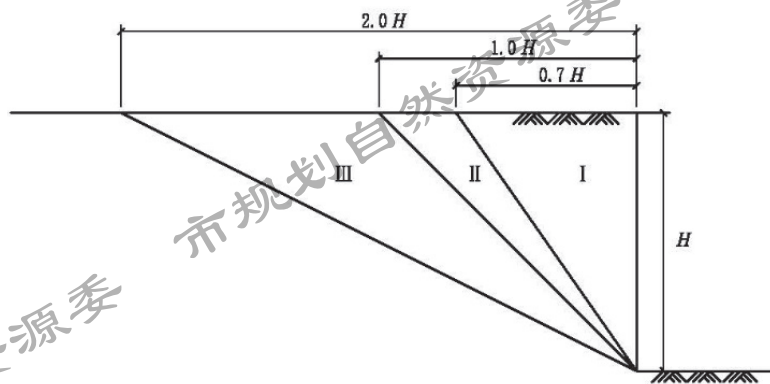


图 9.1.7 基坑影响区域划分示意

9.1.8 环境风险分级参照表 9.1.8 确定。

表 9.1.8 环境风险分级

| 风险等级 | 环境风险工程 | 地下工程与周边环境 相对关系 | 备注 |
|------|------------|-------------------|-----------------|
| 一级 | 邻近既有线（地铁） | 强烈影响区（I） | |
| | 邻近既有建（构）筑物 | 强烈影响区（I） | 重要性类别为“重要”的环境设施 |
| 二级 | 邻近既有线（地铁） | 显著影响区（II） | |
| | 邻近既有建（构）筑物 | 显著影响区（II） | 重要性类别为“重要”的环境设施 |
| 三级 | 邻近既有建（构）筑物 | 一般影响区（III） | 重要性类别为“重要”的环境设施 |

9.1.9 环境风险控制采取的主要措施如下：

- 1 在基坑与重要保护对象之间设置隔离措施。
- 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。
- 4 降水施工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。

9.1.10 对于无条件降水或不允许降水施工的地区，应采取可靠的全部止水或部分止水措施，并宜进行专项论证。

9.1.11 地下结构工程应对工程自身风险等级和环境风险等级综合考量，确定综合风险等级，应以其中较高风险等级作为综合风险等级。当工程场地有特别不利的地质和水文地质条件时，可适当上调综合风险等级。

9.2 监控量测原则

9.2.1 应根据盖挖逆作法工程结构设计特点及信息化施工的分析评价要求，确定工程监测对象、监测范围、监测项目、监测点布置、监测频率及控制指标等要素。

9.2.2 盖挖逆作法工程施工应对下列对象进行监测：

1 支护结构中的钻孔灌注桩、钻孔咬合桩、地下连续墙、顶板以上浅基坑支护结构、临时钢支撑、锚杆等构件。

2 主体结构的顶板、楼板、底板、侧墙、梁、中间立柱等构件。

3 基坑周围岩土体及地下水。

4 基坑开挖受影响的周边环境对象，包括周边建（构）筑物、地下管线、道路等。

9.2.3 盖挖逆作法工程的监测周期应从基坑工程施工开始，贯穿基坑支护施工、中间桩柱施工、顶板以上浅基坑开挖、顶板结构施工、路面恢复过程、结构逆作施工全过程，直至受工程影响的周边环境对象变形稳定为止。

9.2.4 监测应采用仪器量测与现场巡查的综合监测方法。仪器量测精度应根据控制指标的大小合理确定，不宜低于控制指标的 1/10~1/20，根据监测精度要求选择符合精度及功能要求的监测仪器设备。

9.2.5 施工前应对可能受影响的环境对象进行初始巡查，采用文字、影像等方式记录初始信息。施工过程中应根据施工进度及时布设监测点，并按监测频率要求及时采集监测信息并进行综合分析，发现异常情况及时预警。

9.3 监测内容及要求

9.3.1 盖挖逆作法工程监测项目的选择应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的相关规定，并可结合盖挖逆作法工程结构设计分析计算结果、周边环境保护的要求和施工工艺特点，依据表 9.3.1 的有关规定确定。

表 9.3.1 盖挖逆作法施工监测项目选择

| 序号 | 监测对象 | 监测项目 | 地面施作基坑支护结构、中间立柱及桩、下桩基础除桩 | 注浆加固及坑内预降水过程 | 顶板以上浅基坑开挖及顶板结构形成和路面恢复过程 | 结构逆作形成过程 | | |
|----|---------------------------------|---------------|--------------------------|--------------|-------------------------|----------|---------|---------|
| | | | | | | 安全风险等级一 | 安全风险等级二 | 安全风险等级三 |
| 1 | 支护结构、主体结构、基坑周围岩土体及地下水、周边环境、监测设施 | 现场巡查 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 2 | | 支护结构顶部水平位移 | — | ○ | ▲ | — | — | — |
| 3 | | 支护结构顶部竖向位移 | — | ○ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 4 | | 支护结构体深层水平位移 | — | ○ | △ | ▲ | ▲ | △ |
| 5 | | 支护结构应力 | — | ○ | ▲ | ▲ | △ | ○ |
| 6 | | 临时支撑轴力 | — | — | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 7 | | 锚杆拉力 | — | — | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 8 | | 中间立柱竖向位移及差异沉降 | — | — | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 9 | | 中间立柱结构水平位移 | — | — | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 10 | | 中间立柱结构应力 | — | — | △ | △ | ○ | ○ |
| 11 | | 顶板、楼板结构应力 | — | — | △ | △ | ○ | ○ |
| 12 | | 侧墙结构竖向位移及差异沉降 | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 13 | | 侧墙结构相对收敛 | — | — | — | △ | △ | △ |
| 14 | | 地表沉降 | △ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 15 | | 坑底隆起（回弹） | — | — | △ | △ | △ | △ |
| 16 | | 支护结构侧向土压力 | — | △ | △ | △ | △ | ○ |
| 17 | 基坑周围岩土体及地下水 | 基坑内外地下水水位 | — | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 18 | | 基坑外孔隙水压力 | — | △ | △ | △ | ○ | ○ |
| 19 | | 土体深层水平位移 | △ | △ | △ | ▲ | △ | △ |
| 20 | | 土体分层竖向位移 | — | △ | △ | △ | △ | ○ |
| 21 | 周边环境 | 建（构）筑物竖向位移 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 22 | | 建（构）筑物倾斜 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 23 | | 建（构）筑物裂缝 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 24 | | 地下管线竖向位移 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |

注：1 “▲”表示应测，“△”表示宜测，“○”表示可测；

2 表中安全风险等级按本指南 9.1 中的有关规定确定。

9.3.2 盖挖逆作法工程日常巡查内容除应满足现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定外，尚应重点巡查以下内容：

- 1 基坑周边地面和周边环境是否有变形情况。
- 2 支护结构嵌固段的踢脚稳定性和土体从支护结构件底端以下向基坑内隆起挤出情况。
- 3 中间立柱倾斜、位移情况。
- 4 盖挖逆作法支护结构、柱与板的连接及混凝土状况。
- 5 基坑侧壁地下水的渗漏和坑底地下水情况。

9.3.3 盖挖逆作法工程监测点布置要求应满足现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的相关规定，并可结合盖挖逆作法结构设计特点和施工工艺特点依据表 9.3.3 的有关规定确定。

表 9.3.3 盖挖逆作法工程监测点布置要求

| 监测项目 | 监测仪器 | 监测测点布置 |
|------------------|-------------------|--|
| 支护结构顶部水平位移和竖向位移 | 全站仪、水准仪 | 基坑长短边中点、阳角处，基坑长边间距 10.0m（基坑边长大于 20.0m 即算为长边） |
| 支护结构深层水平位移 | 测斜仪 | 在基坑两侧桩（墙）对称布置测点，水平间距 20.0m，沿桩（墙）竖直方向监测间距 1.0m~3.0m，监测深度与桩深度一致，基坑深度变化处和内力较大位置增设测点 |
| 支护结构应力 | 应变计、频率接收仪 | 在基坑两侧桩（墙）对称布置测点，水平间距 20.0m，竖向间距 4.0m |
| 土体分层沉降及深层水平位移 | 分层沉降仪、测斜仪 | 测点沿基坑长每隔 20.0m 一个断面设置，土体分层沉降标的设置间距 1.5m，测倾斜时每 0.5m 读数一次；竖向布置在各土层的分界面，埋设沉降标时，钻孔深度应大于基坑底标高；沉降标的埋设稳定期不少于 30 天 |
| 顶板、楼板应力 | 应变计、钢筋计、频率读数仪 | 在立柱与顶板、楼板的纵横断面上，立柱与顶板、楼板的刚性连接部位以及两根立柱的跨中部位各布置 2 个测点 |
| 中间立柱内力、水平位移、竖向位移 | 水准仪、全站仪、应变计、频率读数仪 | 在结构范围内选取 15 根或 30% 代表性的立柱进行内力和沉降监测。在不等跨部位、断面变化部位、桩长差异大部位、地质差异大部位、施工孔道和坡道部位的立柱应有监测点控制。水平位移测点设置在立柱顶部，内力测点布置在立柱端部和中部，沉降测点布置在与立柱刚性连接的板表面上 |
| 地表沉降 | 水准仪 | 在基坑四周距坑边 10.0m 范围内沿坑边设 2 排沉降测点，排距 5.0m，点距 10.0m；在基坑长短边中点、结构变断面处、深浅基坑交接处、不同类型支护结构衔接处、周边有重要环境对象部位布置监测断面，每个断面 6 个~8 个测点，测点设置在能代表典型变化的特征部位 |
| 地下水位 | 钢尺水位计 | 基坑的角点以及基坑的长短边中点布置测孔，沿基坑长边每 20.0m 布置一个测孔，测孔距基坑支护结构距离为 2.0m，有管线不能布设时，就近调整。可利用部分降水井作监测孔 |
| 坑底隆起（回弹） | 水准仪 | 沿基坑纵向按中间柱的间距布置，在基坑内靠近侧墙位置、中间柱布置监测断面 |

续表 9.3.3

| | | |
|----------------------------|-------------------|---|
| 周边建（构）筑物 竖向位移、倾斜、 裂缝 | 水准仪、全站仪、 裂缝观测仪 | 基坑以外 2 倍基坑开挖深度范围内，建筑物四角（拐角）上，高低悬殊或新旧建筑物连接处，伸缩缝、沉降缝和不同埋深基础的两侧。每幢建筑物不少于 4 个沉降点、2 组倾斜测点（每组 2 个）；对典型既有裂缝和新增裂缝进行重点监测，每条裂缝不少于 3 组测点 |
| 地下管线竖向位移 | 水准仪 | 基坑以外 2 倍基坑开挖深度范围内，沿管线方向每 5.0m~10.0m 布设一个沉降测点，管线接头处布置监测点 |

9.3.4 盖挖逆作法工程监测频率应结合盖挖逆作法工程特点、基坑周围岩土体及地下水条件和周边环境情况等综合确定，应满足能及时、准确、系统地反映监测对象的动态变化过程，日常巡查频率每天应不少于 1 次，仪器量测频率应符合下列规定：

1 地面施作基坑支护结构、中间立柱及柱下桩基础阶段，对周边环境的影响仪器监测频率宜为（1~2）次/周。

2 地层加固及坑内预降水过程中，在地层加固的过程中应根据加固的措施影响大小确定仪器监测频率，坑内预降水过程对周边环境及周围岩土体的影响仪器监测频率宜为（1~2）次/周。

3 顶板以上浅基坑开挖及顶板结构形成和路面恢复过程中，仪器监测频率不宜少于 1 次/2 天。

4 结构逆作施工期间宜为（1~2）次/天；工程完工并经分析基本稳定后为 1 次/月。

5 现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 所规定的加密监测频率条件和下列情况应适当加密监测频率：

- 1) 盖挖逆作法结构拆除内部临时支撑等受力转换重要工序；
- 2) 支护结构、中间立柱、主体结构侧墙等构件因相对升沉超过设计允许值时；
- 3) 重要监测项目的监测变化数据超过监测项目控制值按计算工况给出的阶段分解值时；
- 4) 施工出现异常风险情况，日常巡查和仪器量测发现工程监测预警时；
- 5) 发现支护结构渗漏水较严重，坑外地表严重开裂，地下水位下降较快，土体从支护结构部位向基坑内隆起挤出等情况；
- 6) 周边临近其它工程施工对结构安全影响较大时；
- 7) 外界出现地震、洪水等自然灾害影响结构体系受力时。

9.3.5 盖挖逆作法工程监测控制指标应根据设计计算及现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的相关规定确定。针对盖挖逆作法的不同阶段，应按设计计算数据对重要监测项目的监测控制值进行分解控制。

9.3.6 监测全过程应做好监测设施的保护工作，各监测项目有效监测点数量不应少于设计方案数量的 90%，重要部位的监测点如有缺失，应立即补设。

附录 A 旋挖扩底桩设计及施工技术要求

A.0.1 旋挖扩底桩基础设计的基本规定

- 1 旋挖扩底桩作为抗压桩时桩基持力层应满足下列要求：
 - 1) 桩端具有较好的持力层，宜选择硬塑黏性土（标准贯入击数 $N > 15$ 击，无侧限抗压强度 $q_u > 200\text{kPa}$ ）、中密或密实粉性土、砂土、砂砾（ $N > 30$ 击，重型圆锥动力触探击数 $N_{63.5} > 15$ ）等较硬土层，不得将桩端悬在淤泥质土层中；
 - 2) 桩端持力层厚度不宜小于 $2.5D$ （ D 为扩底直径）；
- 2 桩基础应按下列两类极限状态设计：
 - 1) 承载能力极限状态：桩基达到最大承载能力、整体失稳或发生不适于继续承载的变形；
 - 2) 正常使用极限状态：桩基达到建筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。
- 3 桩基设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力应符合下列规定：
 - 1) 确定桩数和布桩时，应采用传至底梁底面的荷载效应标准组合；相应的抗力应采用桩承载力特征值；
 - 2) 计算荷载作用下的桩基沉降时，应采用荷载效应准永久组合；
 - 3) 在计算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时，应采用传至底梁底面的荷载效应基本组合。当进行桩身裂缝控制验算时，应分别采用荷载效应标准组合和荷载效应准永久组合。
- 4 桩基应根据具体条件分别进行下列承载能力计算和稳定性验算：
 - 1) 应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算；
 - 2) 应对桩身结构承载力进行计算；
 - 3) 当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算；
 - 4) 对于抗浮、抗拔桩基，应进行基桩的抗拔承载力计算。
- 5 在旋挖扩底桩基础中，桩与桩的中心距不小于 $4D$ （ D 为扩底直径）时，可以按单桩设计；其它情况可按群桩设计。
- 6 旋挖扩底桩桩中心距不宜小于 $3.0d$ （ d 为直桩段直径），且不宜小于 $1.5D$ （ D 为扩底直径）；当扩底直径大于 2m 时，桩中心距不宜小于 $D+1\text{m}$ 。
- 7 抗压桩扩底全断面进入持力层的深度，对于黏性土、粉性土不宜小于 $2d$ ，砂土不宜小于 $1d$ 。当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不宜小于 $3d$ 。抗拔桩扩底全断面进入持力层不宜小于 $0.5d$ 。对于土性相似或均适宜作为持力层的相邻土层，可合并考虑作为持力层深度。
- 8 当桩长范围内存在满足本节第 1 条要求的土层，可在这些土层设置多个中间扩大节点，设

置位置应符合本节第7条要求，并宜浅置，扩大节点间净距不应小于2D。

A.0.2 单桩竖向承载力计算

- 1 旋挖扩底桩单桩承载力应根据现场静载荷试验最终确定。
- 2 旋挖扩底桩单桩的桩顶垂直抗压承载力特征值可按下式计算：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中： R_a ——单桩桩顶垂直抗压承载力特征值（kN）；

K ——安全系数，一般取 $K \geq 2$ ；当作为施工期间临时结构， K 建议取 1.5。

Q_{uk} ——单桩的极限承载力（kN）。

- 3 旋挖扩底桩单桩竖向抗压极限承载力应按下列式估算：

$$Q_{uk} = U \times \sum_{i=1}^n \psi_{si} q_{si} l_i + \sum_{k=1}^m \psi_{pk} q_{pk} A_k \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： Q_{uk} ——单桩的极限承载力（kN）；

U ——直桩桩身周长（m）；

l_i ——桩身穿过第*i*层土的厚度（m），计算时应扣除扩大部分长度；

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

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

A_k ——桩身第*k*个扩大部分桩底面积，对于中间扩大节点，应扣除直桩部分面积（m²）；

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

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

- 4 当以静力触探试验确定旋挖扩底桩的单桩竖向抗压极限承载力时，可按下列方法估算：

1) 按单桥探头 p_s 值估算桩周极限侧阻力 q_{si} （kPa），可按以下规定取值：

a. 地表以下 6m 范围内的浅层土，取 $q_{si}=15\text{kPa}$ ；

b. 粘性土：

$$\text{当 } p_s < 1000\text{kPa} \text{ 时, } q_{si} = p_s / 20 \times 0.7 \quad (\text{A.0.2-3})$$

$$\text{当 } p_s \geq 1000\text{kPa} \text{ 时, } q_{si} = (0.025 p_s + 25) \times 0.7 \quad (\text{A.0.2-4})$$

c. 粉性土及砂性土：

$$q_{si} = p_s / 50 \times 0.6 \quad (\text{A.0.2-5})$$

2) 按单桥探头值估算桩端极限承载力（kPa），可按下列式取值：

$$q_p = 0.25 \alpha_b p_{sb} \quad (\text{A.0.2-6})$$

式中： α_b ——桩端阻力修正系数，按表 A.0.2-1 取用；

p_{sb} ——桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值 (kPa) 按下式计算：当 $p_{sb1} \leq p_{sb2}$ 时，

$$p_{sb} = (p_{sb1} + p_{sb2} \beta) / 2; \text{ 当 } p_{sb1} > p_{sb2} \text{ 时, } p_{sb} = p_{sb2}$$

p_{sb1} ——桩端全断面以上 8 倍直桩桩径范围内的比贯入阻力平均值 (kPa)；

p_{sb2} ——桩端全断面以下 4 倍直桩桩径范围内的比贯入阻力平均值 (kPa)；

β ——折减系数，按 p_{sb2}/p_{sb1} 的值从表 A.0.2-2 中取用。

表 A.0.2-1 阻力修正系数值

| | | | |
|------------|------------|-----------------|----------|
| 桩长 l (m) | $1 \leq 7$ | $7 < l \leq 30$ | $l > 30$ |
| α_b | 2/3 | 5/6 | 1 |

表 A.0.2-2 折减系数值 β

| | | | | |
|-------------------|-------|-------------|--------------|--------|
| p_{sb2}/p_{sb1} | < 5 | $5 \sim 10$ | $10 \sim 15$ | > 15 |
| β | 1 | 5/6 | 2/3 | 1/2 |

对于比贯入阻力值为 2500 ~ 6500kPa 的浅层粉性土及稍密的砂性土，计算桩端阻力和桩周侧阻力时应结合经验，考虑数值可能偏大的因素。用 p_s 估算的桩的极限端阻力不宜超过 8000kPa，桩周极限侧阻力不宜超过 100kPa。

3) 按双桥探头 q_c 、 f_s 估算单桩极限侧壁阻力和桩端极限承载力，适用于一般粘性土和砂土。

$$\tau_i = 0.7 \beta_i f_{si} \quad (A.0.2-7)$$

$$\sigma_R = 0.25 \alpha_1 \bar{q}_c \quad (A.0.2-8)$$

式中： f_{si} ——第 i 层土的探头侧摩阻力 (kPa)；

β_i ——第 i 层土桩身侧摩阻力修正系数，按下式计算：

$$\text{粘性土: } \beta_i = 10.043 f_{si}^{-0.55} \quad (A.0.2-9)$$

$$\text{砂土: } \beta_i = 5.045 f_{si}^{-0.45} \quad (A.0.2-10)$$

α_1 ——桩端阻力修正系数，对粘性土取 2/3，对饱和砂土取 1/2；

\bar{q}_c ——桩端上、下探头阻力，取桩尖平面以上 4d 范围内按厚度的加权平均值，然后再和桩端平面以下 1d 范围内的 q_c 值进行平均。

4) 当根据标准贯入试验结果，确定旋挖扩底桩的单桩竖向极限承载力时，可按下式计算：

$$\text{对于砂土, } \tau_i = 5N, \text{ 且 } \tau_i \leq 200\text{kPa} \quad (A.0.2-11)$$

$$\text{对于粘性土, } \tau_i = 10N \text{ 或 } \tau_i = c, \text{ 且 } \tau_i \leq 150\text{kPa} \quad (A.0.2-12)$$

桩端极限承载力见表 A.0.2-3。

表 A.0.2-3 桩端极限承载力

| 持力层类型 | 桩端极限承载力 (kPa) |
|-----------------------|---------------|
| 砾石、砂土 ($N \geq 30$) | 3000 |
| 密实砂土 ($N \geq 50$) | 5000 |
| 硬粘土 | $3q_u$ |

注： q_u 为无限抗压强度 (kN/m^2)， N 为标贯击数。

5) 如场地进行了旁压试验, 预制桩的桩周土极限侧阻力 q_{sis} 可根据旁压试验曲线的极限压力 p_1 查表 A.0.2-4 确定; 桩端土的极限端阻力 q_{ps} 可按下式计算:

$$\text{粘性土: } \sigma_r = 0.6P_1 \quad (\text{A.0.2-13})$$

$$\text{粉土: } \sigma_r = 0.75P_1 \quad (\text{A.0.2-14})$$

$$\text{砂土: } \sigma_r = 0.9P_1 \quad (\text{A.0.2-15})$$

表 A.0.2-4 按旁压试验确定旋挖扩底桩的桩周极限侧阻力 τ_i (kPa)

| 土性 | 旁压试验 p_1 | | | | | | |
|-----|------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 |
| 粘性土 | 7 | 17 | 25 | 35 | 45 | 52 | 56 |
| 粉土 | — | 17 | 28 | 36 | 46 | 53 | 59 |
| 砂土 | — | 17 | 28 | 38 | 48 | 59 | 66 |

续表 A.0.2-4 按旁压试验确定旋挖扩底桩的桩周极限侧阻力 (kPa)

| 土性 | 旁压试验 p_1 | | | | | |
|-----|------------|------|------|------|------|-------------|
| | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | ≥ 2600 |
| 粘性土 | 60 | 63 | — | — | — | — |
| 粉土 | 64 | 67 | 69 | 70 | — | — |
| 砂土 | 70 | 74 | 77 | 80 | 83 | 84 |

注: 1 表中数值可内插;

2 表中数据对无经验的地区应先进行验证。

5 当根据单桩竖向静载荷试验确定旋挖扩底桩承载力时, 可按静载荷试验沉降量与扩底直径之比 $s/D=0.01$ 时所对应的荷载作为单桩竖向承载力特征值, 也可根据建(构)筑物对沉降的具体要求确定。

6 桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。桩身结构强度可由下式计算:

$$R_d \leq \psi_c f_c A \quad (\text{A.0.2-16})$$

式中: f_c ——水下灌注混凝土抗压强度设计值, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 取值;

ψ_c ——工作条件系数, 取 0.6 ~ 0.75;

R_d ——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值;

A ——直桩段横截面面积。

7 单桩垂直抗拔承载力特征值应按下列式计算:

$$P_a = \frac{1}{K} P_u + W \quad (\text{A.0.2-17})$$

式中: P_a ——单桩的垂直抗拔承载力特征值 (kN);

P_u ——单桩的极限抗拔力 (kN);

w ——桩身自重，地下水位以下应扣除水浮力（kN）；

K ——安全系数，一般取 $K \geq 2$ 。

- 8 通过抗拔试验确定的单桩极限抗拔承载力应扣除桩的自重。
- 9 当按承载力经验参数法确定单桩极限抗拔力时，可按下式计算：

$$P_u = \sum \lambda_i \cdot l_i \cdot u_i \cdot \tau_i \quad (\text{A.0.2-18})$$

式中： λ_i ——抗拔系数，按相关规范取值；

u_i ——破坏表面周长，旋挖扩底桩按表 A.0.2-5 取值。

表 A.0.2-5 旋挖扩底桩破坏表面周长（m）

| 自扩底底部起算的长度 | $\leq (8\sim 12) d$ | $> (8\sim 12) d$ |
|------------|---------------------|------------------|
| u_i | πD | πd |

10 根据原位测试和经验参数确定承载力的扩底桩，当持力层厚度小于 $2.0D$ 或软弱下卧层与持力层压缩模量之比小于 0.6 时，应按现行规范验算软弱下卧层承载力。

11 当遇下列情况时，在基桩设计中宜考虑负摩阻力的影响：

- 1) 桩身穿过新近沉积或人工填筑的土层，该土层在其自重作用下仍未固结稳定；
- 2) 桩台附近地面有大面积堆载时；
- 3) 其它会引起桩入土范围内的土层产生压缩的因素时。

12 旋挖扩底桩负摩阻力计算时，中性点深度 l_n 应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件确定，中性点深度不宜超过扩底位置深度。

13 按群桩设计的基桩，其单桩垂直极限承载力设计值除应按本节有关规定外，尚应考虑群桩效应影响。

14 季节性冻土、膨胀土地区旋挖扩底桩应满足现行规范相关验算内容。

15 旋挖扩底桩结合后注浆技术时，应同时满足现行规范相关设计、施工要求。

A.0.3 旋挖扩底桩基础最终沉降量计算

1 旋挖扩底桩的竖向变形需与支护结构的竖向变形相协调。

2 旋挖扩底桩变形计算值不应大于桩基变形允许值。

3 旋挖扩底桩变形计算应与桩基设计、桩基承载力计算相协调，可采用增加桩长、加大扩底直径、增加扩底数量以及后压浆等措施提高旋挖扩底桩承载力、减小其竖向变形。

4 旋挖扩底桩单桩沉降量按考虑桩径影响的明德林解计算确定，采用单向压缩分层总和法计算土层的沉降，并计入桩身压缩。单桩的最终沉降量可按现行规范要求计算，同时满足现行规范的允许值要求。

5 应采取控制施工过程中支护结构与中间桩的相对升沉的措施。施作结构底板前，相对升沉的累计值不得大于 $0.003L$ （ L 为侧墙和立柱轴线间的距离），且不宜大于 20mm ，并应在结构分析中计入其影响。

A.0.4 旋挖扩底桩基础的构造要求

1 旋挖扩底桩扩底直径、高度及倾斜度应按图 A.0.4 满足下列要求：

- 1) 扩底部分垂直方向的倾斜角 θ 不宜大于 12° ；
- 2) 扩底率根据不同地质条件由设计决定，一般情况下扩底率不宜大于 3.2，且不应大于 3.5；
- 3) 扩底部分的垂直高度 h_2 不应小于 500mm；
- 4) 扩底端底部为减少沿桩端平面沉渣，一般设计成带底部突出的锥形锅底，其高度 h_3 一般为 200mm；
- 5) 扩底直径 D 允许偏差为 $0\text{mm} \sim +100\text{mm}$ 。

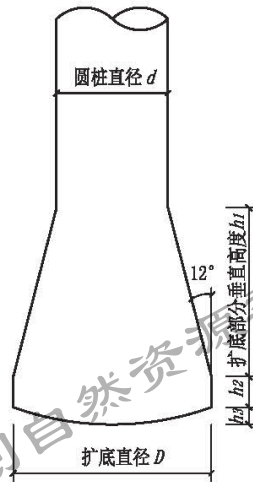


图 A.0.4 扩底桩的尺寸要求

2 旋挖扩底桩扩底规格应符合表 A.0.4 规定。根据地层以及受力情况，当需要设置多个中间扩大节点时，扩大节点间净距不应小于 $2D$ 。

表 A.0.4 旋挖扩底灌注桩设计扩底直径表

| 直桩直径 d (mm) | 常规扩底直径 D (mm) | 最大扩底直径 D (mm) | 扩底斜面高度 h_1 (mm) |
|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| $\Phi 850$ | $\Phi 1300$ | $\Phi 1500$ | 1620 |
| $\Phi 1000$ | $\Phi 1600$ | $\Phi 1800$ | 1900 |
| $\Phi 1200$ | $\Phi 1800$ | $\Phi 2000$ | 2280 |
| $\Phi 1300$ | $\Phi 1900$ | $\Phi 2300$ | 2480 |
| $\Phi 1500$ | $\Phi 2300$ | $\Phi 2500$ | 2860 |
| $\Phi 1600$ | $\Phi 2500$ | $\Phi 3100$ | 3050 |
| $\Phi 1800$ | $\Phi 3000$ | $\Phi 3600$ | 3430 |
| $\Phi 2000$ | $\Phi 3200$ | $\Phi 3800$ | 3810 |
| $\Phi 2200$ | $\Phi 3800$ | $\Phi 4100$ | 4190 |
| $\Phi 2500$ | $\Phi 4000$ | $\Phi 4300$ | 4760 |
| $\Phi 3000$ | $\Phi 4500$ | $\Phi 5000$ | 5170 |

3 桩身配筋按计算确定，如为构造配筋，竖向承压桩的配筋率不小于0.2%且不宜大于0.3%；

4 桩身配筋长度：

1) 端承桩应沿桩身等截面通长配筋；

2) 摩擦型桩宜分段变截面配筋，配筋长度不应小于2/3桩长；

3) 考虑中间桩基受坑底土回弹隆起的影响，其配筋长度尚应穿过软弱土层并进入稳定土层，进入的深度不应小于 $(2\sim 3)d$ ；

4) 抗拔桩应沿桩身等截面通长配筋。

5 桩身主筋及箍筋的直径、间距、混凝土保护层厚度等应结合现行规范要求执行。

6 当钢筋笼长度超过4m时，应每隔2m设置一道直径不小于16mm的加强箍筋。

7 桩身混凝土采用水下灌注时，作为永久构件，其混凝土设计强度等级不应低于C35；作为临时构件，其混凝土设计强度等级不应低于C30。

附录 B 试桩方法

B.0.1 试桩方法适应性

中间桩基础试桩方法主要有静载试验（锚桩法、堆载法、锚桩-堆载法）、高应变法、自平衡试桩法以及静-动试桩法四大类。目前，国内广泛应用的是静载试验和自平衡试桩法，主要的试桩方法适应性如下表所示：

表 B.0.1 主要试桩方法的适应性

| 试桩方法 | 场地要求 | 试验成本 | 试验周期 | 抽样随机性 | 最大加载能力 (kN) | 安全风险 |
|------|------|------|------|-------|-------------|------|
| 堆载法 | 很高 | 很高 | 很长 | 低 | 30000 | 很高 |
| 锚桩法 | 高 | 很高 | 长 | 低 | 50000 | 中等 |
| 高应变法 | 高 | 低 | 长 | 高 | 25000 | 中等 |
| 自平衡法 | 低 | 低 | 短 | 不具备 | 120000 | 低 |

注：当传统静载试验条件受限时，优先采用自平衡试桩法。

B.0.2 静载试验

静载试验是一种接近于抗压桩实际工作条件的单桩竖向承载力的试验方法，它通过反力装置采用千斤顶给桩顶施加竖向荷载，加载量一般由并联于千斤顶的精密压力表测量，桩顶沉降量采用大量称百分表或位移传感器测量。测试结果可获得桩顶 $Q \sim s$ 和 $s \sim \lg t$ 两条基本曲线。该方法可以确定单桩竖向抗压极限承载力，结合在桩身和桩端预埋的测试元件，还可以测定桩侧土分层摩阻力、桩端阻力以及桩身荷载传递规律等。

堆载法：在桩顶堆载平台上堆放重物以提供反力。国内用该方法检测的单桩竖向极限承载力已达 30000kN。

锚桩法：由锚桩和反力架共同组成反力装置，通过锚桩的抗拔力提供反力。可根据加载量的大小确定所需锚桩数量，实际工程中一般都采用 4 根锚桩。国内用该方法检测的单桩极限承载力小于 50000kN。

1 锚桩法原理

锚桩法是利用锚桩反力架装置进行基桩静载试验的一种方法。在试桩加卸载过程中，利用主梁与次梁组成的反力架，将加载时千斤顶的反力传给锚桩，荷载将通过锚桩（地锚）、压重平台支墩传至试桩、基准桩周围地基土并使之变形，桩顶沉降量采用大量程百分表或位移传感器量测。一般锚桩与反力架装置提供的反力应不小于预估最大试验荷载的 1.2~1.5 倍，采用工程桩作锚桩时，锚

桩数量不少于 4 根，对承受大荷载的大直径扩底桩，可能需用 6~8 根锚桩。其试验原理见图 B.0.2。

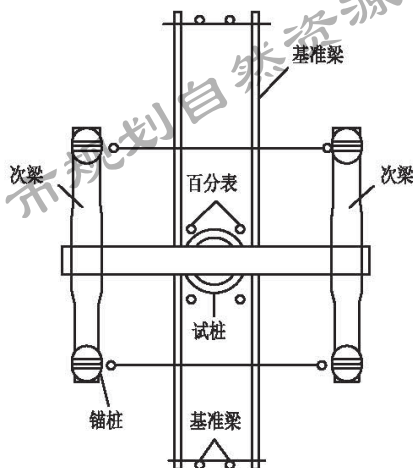


图 B.0.2 锚桩法试验原理

2 锚桩法特点

一般认为传统静载荷试验法是最可靠的承载力确定方法，可在统计基础上直接用于工程设计，且该方法不但可以较准确的确定桩的极限承载力，而且还可以通过埋设各类测试元件获得荷载传递、桩侧摩阻力、桩端阻力等曲线，十分有利于研究桩的承载变形机理。

但该方法也存在不足之处，例如，反力架安装时荷载对中不易控制，试验的开始阶段容易产生过冲，当使用工程桩做锚桩时，会对工程桩的承载力产生一定的影响，如果为试验桩设置专用的锚桩，则会大大增加相关成本。此外，锚桩法试验费用高，需搭建笨重的反力架、周期长，往往只能对少量桩进行试验。

锚桩 - 堆载法：当锚桩的抗拔承载力不够时，可在反力架上增加配重或采用重力式反力架增加反力。

B.0.3 自平衡试桩法

自平衡试桩法是近年来发展非常迅速的中间桩基承载力检测技术，其基本出发点是利用试桩自身反力平衡的原则，在桩端附近或桩身某截面处预先埋设单层或多层的荷载箱，试验时，通过荷载箱对上、下段桩身施加荷载，从而迫使上段桩身上抬，使上段桩的桩侧摩阻力徐徐发挥，同时迫使下段桩下沉，使下段桩的桩侧摩阻力及桩端阻力徐徐发挥；此时，上下桩段的反力大小相等、方向相反，从而达到试桩自身反力平衡加载的目的。

自平衡试桩法测试结果可获得上、下段桩两条 $Q\sim s$ 和 $s\sim gt$ 基本曲线，结合在桩身及桩端预埋的测试元件，根据自平衡加载方式下桩土相互作用机理、通过数据转换的方法，实现自平衡测试结果向静载的转换，最终建立单桩桩顶的 $Q\sim s$ 曲线，并据此判定单桩的极限承载力，还可以测定桩侧土分层摩阻力及桩端阻力。目前自平衡试桩方法检测的单桩极限承载力达 120000kN。

1 自平衡法原理

自平衡试桩法是接近于竖向抗压（拔）桩的实际工作条件的试验方法。该方法把一种特制的加载装置—荷载箱，预先放置在桩身指定位置，将荷载箱的高压油管 and 位移杆引到地面（平台）。由高压油泵在地面（平台）向荷载箱充油加载，荷载箱将力传递到桩身，其上部桩侧极限摩阻力及自

重与下部桩侧极限摩阻力及极限桩端阻力相平衡来维持加载,从而获得桩的承载力。其测试原理见图 B.0.3。

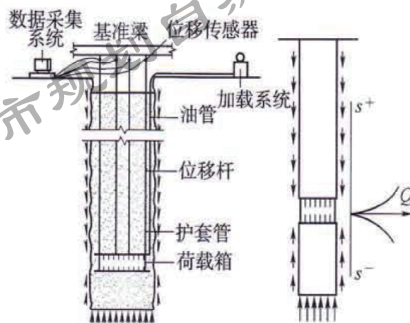


图 B.0.3 基桩自平衡法静载试验示意图

2 自平衡法的特点

相比于其它检测方法,自平衡法更适用于单桩极限承载力非常大、所要求的沉降量较小、基桩的承载力检测要求较高的桩基检测。在这些情况下,桩基自平衡试验法显示出了其它方法所不具备的很多优点,与其它方法相比较,自平衡显示出巨大的优越性:

- 1) 场地适应性。装置简单,不占用场地,不需要运入数百吨或数千吨物料,一般场地均可采用自平衡法,特别适合于水上、坡地试桩及搭设堆载平台或锚桩反力架困难的情况;
- 2) 高的荷载能力。自平衡试桩法加载不受基桩承载能力的限制。可方便地测定静载试验及动力检测技术难以检测的超大吨位基桩的承载力;
- 3) 判定桩周和桩端土阻力分布。自平衡试桩法不但可测定基桩的侧阻力或端阻力的极限值,而且可清楚地分出桩周和桩端的土阻力分布和各自的荷载位移~曲线;
- 4) 方便的重复试验。自平衡试桩法可在不同的桩身深度或同一桩身深度的不同时间在同一根桩上方便地进行试验,且试验后通过预埋管对荷载箱处进行压力灌浆,试桩仍可作为工程桩使用;
- 5) 经济效益显著。在恶劣条件下,自平衡试桩的经济优势十分明显,同时自平衡试桩测试工期短,附属设备安装简单、快捷,时间经济性同样显著。

但是,由于自平衡法引入国内时间晚,技术尚未成熟,该试验法也存在一些缺点:当使用工程桩进行检测,荷载箱位置在加载后形成断桩,不易处理;荷载箱平衡点位置需要预估,上部桩身的摩擦力与下部桩身的摩擦力及端阻力不易平衡;另外测试时,荷载箱上部测读的是负摩擦力,其抗压承载力是通过抗拔阻力换算得到的,与实际情况不相同,需要进行转换。

3 自平衡法承载力的换算

自平衡试桩法的最终目的是建立单桩桩顶的 $Q \sim S$ 曲线,并依据传统静载试验曲线的数据分析方法,判定单桩的极限承载力。但是自平衡法加载方式与桩身实际受力状态是不同的,自平衡法测出的上段桩的摩阻力方向向下,与常规摩阻力方向相反,故需对荷载箱上部桩测得的极限值进行换算。传统加载时,轴向荷载将使土层愈压愈密,致使侧摩阻力增加,而自平衡法加载时,上段桩侧阻力将使土层减压松散,故测出的摩阻力小于常规摩阻力。向上、向下摩阻力值根据土性划分换

算：对于粘土层，向下摩阻力为 0.6~0.8 倍向上摩阻力；对于砂土层，向下摩阻力为 0.5~0.7 倍向上摩阻力。

换算后的简化承载力计算公式为：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma} + Q_{ud} \quad (\text{B.0.3})$$

式中： Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力；

Q_{uu} ——荷载箱上部桩的实测极限值；

Q_{ud} ——荷载箱下部桩的实测极限值；

W ——荷载箱上部桩有效自重；

γ ——荷载箱上部桩侧阻力修正系数。

引用名录

- 1 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092
- 2 《铁路桥涵设计规范》TB 10002
- 3 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 4 《地铁设计规范》GB 50157
- 5 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 6 《人民防空工程设计规范》GB 50225
- 7 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 8 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
- 9 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 10 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 11 《建筑工程逆作法技术标准》JGJ 432
- 12 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 13 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 14 《钢结构设计标准》GB 50017
- 15 《组合结构设计规范》JGJ 138
- 16 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- 17 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
- 18 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 19 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
- 20 《钢结构防火涂料》GB 14907
- 21 《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T 225
- 22 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 23 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403
- 24 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 25 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 26 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 27 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 28 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
- 29 《建设用砂》GB/T 14684
- 30 《混凝土用水标准》JGJ 63

- 31 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 32 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 33 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005
- 34 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 35 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 36 《大体积混凝土施工标准》GB 50496
- 37 《地下工程逆作法技术规程》JGJ 165
- 38 《逆作法施工技术规程》DG/TJ 08
- 39 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 40 《城市道路路线设计规范》CJJ 193
- 41 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652
- 42 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 43 《AM 全液压可控旋挖扩底灌注桩技术标准》T/SCDA013