



T/CECS XXX—202X

---

中国工程建设标准化协会标准

# 装配式预应力复合土钉墙应用技术规程

Technical specification for prefabricated prestressed composite soil nailing wall in  
retaining and protection of excavation

（征求意见稿）

中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

装配式预应力复合土钉墙应用技术规程

Technical specification for prefabricated prestressed composite soil nailing wall in  
retaining and protection of excavation

**T/CECS XXX-202X**

（征求意见稿）

主编单位：中国建筑设计研究院有限公司

河北合创建筑节能科技有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

批准日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国建筑工业出版社

2022 北 京

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）要求，规程编制组深入调差研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程共分为 8 章，主要内容包括：总则，术语和符号，基本规定，构件，设计，施工，监测与质量检验、回收。

请注意本规程的某些内容仍有可能直接或间接涉及其他专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会预应力工程专业委员会归口管理，由中国建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市西城区车公庄大街 19 号中国建筑设计研究院有限公司，邮编：100044），以供修订时参考。

**主编单位：**

**参编单位：**

**主要起草人：**

**主要审查人：**

## 目 次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1 总则 .....           | 1  |
| 2 术语和符号 .....        | 3  |
| 2.1 术语 .....         | 3  |
| 2.2 符号 .....         | 6  |
| 3 基本规定 .....         | 8  |
| 4 构件 .....           | 10 |
| 4.1 一般规定 .....       | 10 |
| 4.2 预制面板 .....       | 10 |
| 4.3 预制土钉 .....       | 11 |
| 4.4 微型钢管桩 .....      | 12 |
| 5 设计 .....           | 13 |
| 5.1 一般规定 .....       | 13 |
| 5.2 设计计算 .....       | 14 |
| 5.3 构造 .....         | 17 |
| 6 施工 .....           | 18 |
| 6.1 一般规定 .....       | 18 |
| 6.2 基坑开挖 .....       | 18 |
| 6.3 地下水控制 .....      | 19 |
| 6.4 装配式复合土钉墙施工 ..... | 19 |
| 7 监测与质量检验 .....      | 24 |
| 7.1 监测 .....         | 24 |
| 7.2 质量检验 .....       | 27 |
| 8 回收 .....           | 31 |
| 8.1 一般规定 .....       | 31 |
| 8.2 预制面板回收 .....     | 31 |
| 8.3 微型钢管桩回收 .....    | 31 |

## Contents

|     |                                                                |    |
|-----|----------------------------------------------------------------|----|
| 1   | General Provisions .....                                       | 1  |
| 2   | Terms and Symbols .....                                        | 3  |
| 2.1 | Terms .....                                                    | 3  |
| 2.2 | Symbols .....                                                  | 6  |
| 3   | Basic Requirements .....                                       | 8  |
| 4   | Component.....                                                 | 10 |
| 4.1 | Basic Requirements.....                                        | 10 |
| 4.2 | Precast Panel.....                                             | 10 |
| 4.3 | Precast Concrete Soil Nail.....                                | 11 |
| 4.4 | Mini-sized Steel Pipe Pile.....                                | 12 |
| 5   | Design.....                                                    | 13 |
| 5.1 | Basic Requirements.....                                        | 13 |
| 5.2 | Precast Slab.....                                              | 14 |
| 5.3 | Anchor.....                                                    | 17 |
| 6   | Construction.....                                              | 18 |
| 6.1 | Basic Requirements.....                                        | 18 |
| 6.2 | Excavation.....                                                | 18 |
| 6.3 | Groundwater Control.....                                       | 19 |
| 6.4 | Construction of Prefabricated Composite Soil Nailing Wall..... | 19 |
| 7   | Monitoring and Quality Inspection.....                         | 24 |
| 7.1 | Monitoring.....                                                | 24 |
| 7.2 | Quality Inspection.....                                        | 27 |
| 8   | Recycling.....                                                 | 31 |
| 8.1 | Basic Requirements.....                                        | 31 |
| 8.2 | Precast Panel Recycling.....                                   | 31 |
| 8.3 | Mini-sized Steel Pipe Pile Recycling.....                      | 31 |

# 1 总则

1.0.1 为在装配式复合土钉支护工程中贯彻国家绿色低碳发展政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、绿色环保、保证质量，制定本规程。

【条文说明】我国自改革开放以来，建设工程领域发生了突飞猛进的变化，特别是随着生活水平提高，人们对环境要求也越来越高，建筑行业的绿色低碳转型势在必行。岩土工程作为建筑工程领域一个重要分支，是在工程地质环境基础上的一种人类工程建设活动，它与天然地质环境紧密相连，对环境的影响较其他建筑工程更显著。因此，发展绿色岩土工程技术刻不容缓。近年来，随着相关政策和标准的出台与完善，催生了一些绿色新技术，这些技术追求绿色环保与可持续发展，其宗旨是安全适用、减少污染、降低能耗、缩短工期、提高工效。

装配式复合土钉墙支护技术具备节约资源、减少污染、美化环境、保护生态等优势，符合国家相关政策。因此，很有必要对装配式复合土钉墙支护技术的应用与发展进行规范，便于设计、施工、监理及检测等相关单位广泛应用该技术，特制定本规程。

关于规程名称的说明：本规程在申报阶段是以名称为《装配式预应力复合土钉墙应用技术规程》进行的申请。在编制过程中，根据本规程中复合土钉墙技术特点和规程内容框架，编制组建议将本规程名称改为《装配式复合土钉墙支护技术规程》，拟在审查会上提出变更申请，请各位专家考虑此情况。

1.0.2 本规程适用于建筑与市政工程中装配式复合土钉墙支护设计、施工、监测、检验、验收与回收。

【条文说明】本条明确了本规程的适用范围。

1.0.3 装配式复合土钉墙支护设计应综合考虑拟建场地地质和环境条件、地下结构对基坑的要求和施工技术及装备等条件，精心设计、精细施工、动态监控。

1.0.4 装配式复合土钉墙支护工程除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

【条文说明】本条规定出遵守本规程外，装配式复合土钉墙支护工程尚应符合国家现行有关标准规定。与本规范有关的国家现行规范规程主要有：

- 1 《岩土工程勘察规范》GB50021；
- 2 《建筑地基基础设计规范》GB50007；
- 3 《建筑边坡技术工程技术规范》GB50330；
- 4 《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB50739；
- 5 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086；
- 6 《预应力混凝土路面工程技术规范》GB50422；

- 7 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB50497;
- 8 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202;
- 9 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300;
- 10 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120;
- 11 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ1;
- 12 《绿色装配式边坡防护技术规程》 T/CECS 812;
- 13 《可回收锚杆应用技术规程》 T/CECS 999;
- 14 其他未列出的相关标准。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固基坑侧壁的结构。

#### 2.1.2 土钉墙 soil nailing wall

由随基坑开挖分层设置的、纵横向密布的土钉群、预制混凝土面板及原位被加固土体等构成的基坑支护结构。

#### 2.1.3 预制混凝土面板 precast concrete panel

应用于复合土钉墙支护结构中土体表面防护的预制钢筋混凝土板，简称预制面板。

#### 2.1.4 预制路肩板 precast pavement shoulder slab

应用于复合土钉墙支护结构中为预制面板提供支点，布置于基坑边缘、具有一定宽度的预制钢筋混凝土板。

#### 2.1.5 锚杆 anchor

由杆体、注浆固结体、锚具、套管所组成的一端与支护结构构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件。

#### 2.1.6 预制混凝土土钉 precast concrete soil nail

以钻入成孔施工方法应用于对原位土体进行加固的预制混凝土杆件，简称预制土钉。

【条文说明】预制土钉示意图如图 2.1.6 所示。预制土钉需要拼接时，采用端部钢板焊接连接，连接承载力不应小于土钉的极限抗拔承载力。

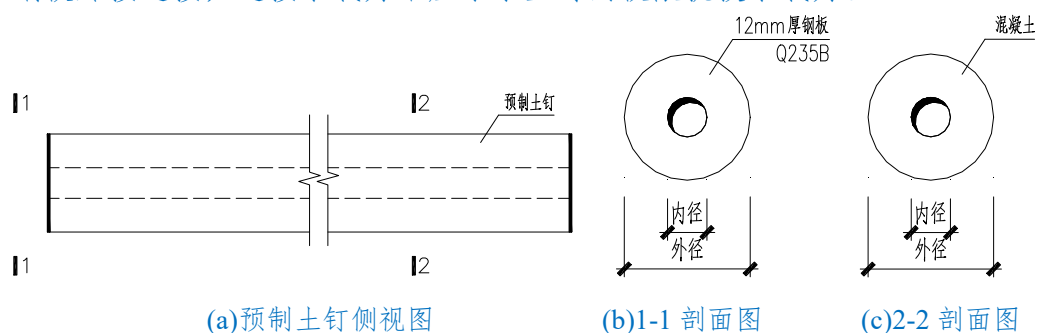


图 2.1.6 预制土钉示意图

#### 2.1.7 预应力锚杆 prestressed anchor

将张拉力传递到稳定的岩土体中的一种受拉杆件，一般由锚头、杆体自由段和杆体锚固段组成。

#### 2.1.8 腰梁 waling

设在预制面板侧面的连接锚杆的型钢梁。

#### 2.1.9 微型钢管桩 mini-sized steel pipe pile

沿基坑侧壁断续分布，用于控制基坑变形、提高基坑稳定性的圆形断面竖向构件。

#### 2.1.10 装配式复合土钉墙 prefabricated composite soil nailing wall

由预制构件通过可靠的连接方式，装配而成的可回收基坑支护结构。本规程主要指预制面板与预制土钉、预应力锚杆、微型钢管桩装配而成的基坑支护结构，包括预制面板土钉墙支护结构、预应力锚杆复合土钉墙支护结构和微型钢管桩复合土钉墙支护结构。

#### 2.1.11 预制面板土钉墙 soil nailing wall with precast concrete panel

由预制面板和预制土钉连接而成的基坑支护结构。

【条文说明】预制面板土钉墙是由预制面板和预制土钉经可靠连接而成的一种支护结构。示意图如图 2.1.11 所示。

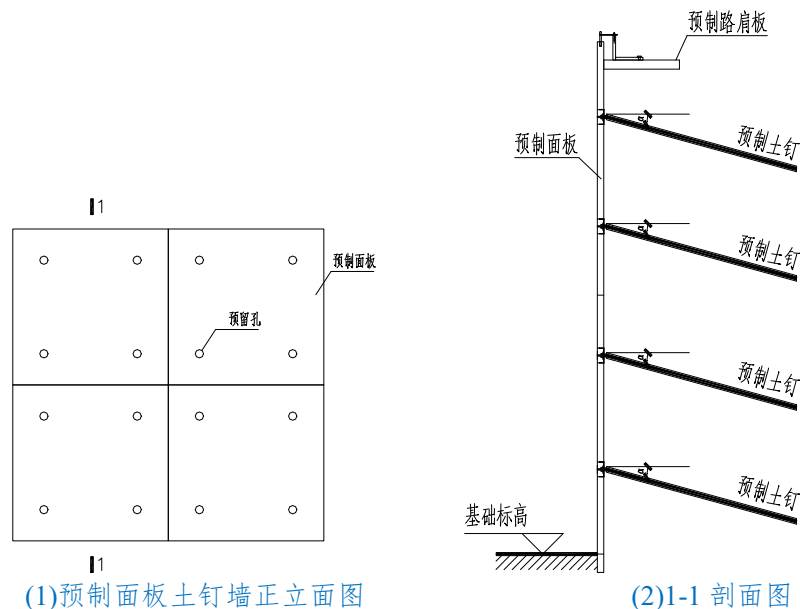


图 2.1.11 预制面板土钉墙示意图

#### 2.1.12 预应力锚杆复合土钉墙 composite soil nailing wall with prestressed anchor

由预制面板、锚杆和腰梁装配而成的基坑支护结构。

【条文说明】预应力锚杆复合土钉墙是由预制面板和预应力锚杆共同组成的支护结构，该支护结构中包含预制面板、预应力锚杆、型钢及连接构件。示意图如图 2.1.12 所示。

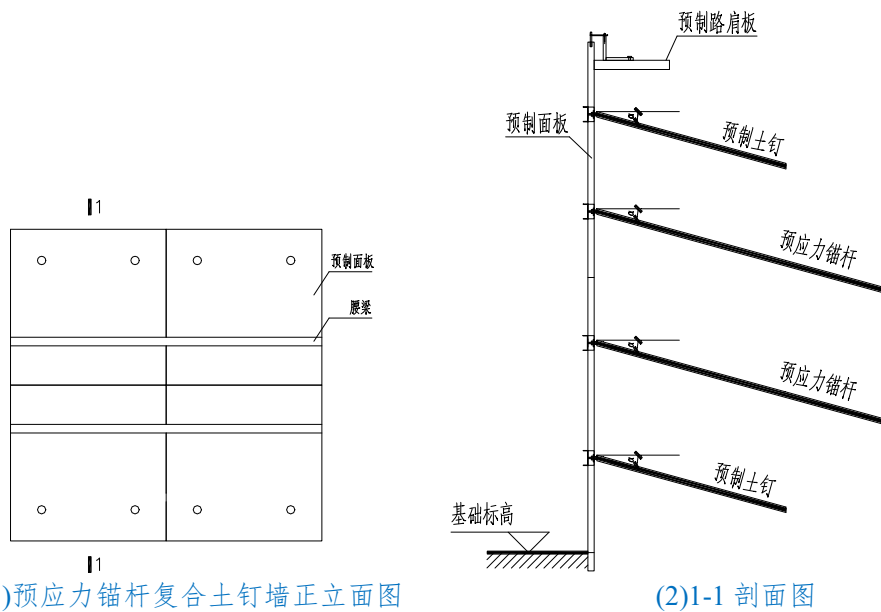


图 2.1.12 预应力锚杆复合土钉墙示意图

2.1.13 微型钢管桩复合土钉墙 composite soil nailing wall with mini-sized steel pile  
由预制面板、锚杆、腰梁和微型钢管桩装配而成的基坑支护结构。

【条文说明】微型钢管桩复合土钉墙是由微型钢管桩、预制面板、预制土钉或预应力锚杆组成的支护结构，其中微型桩的作用为超前支护措施。示意图如图 2.1.13 所示。

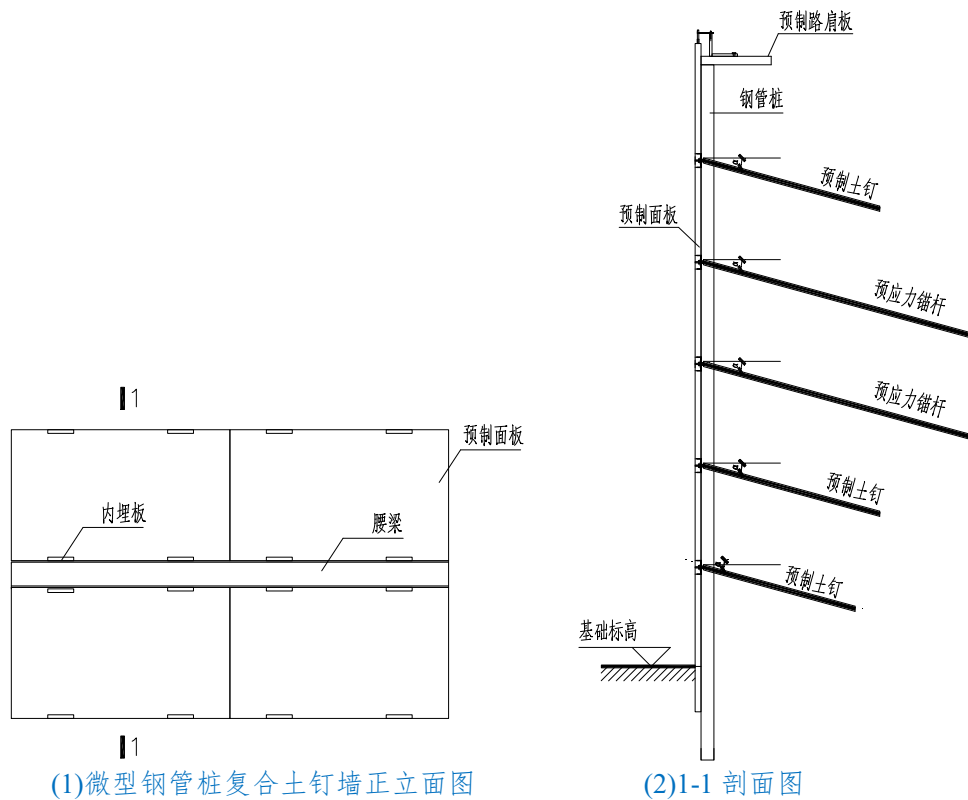


图 2.1.13 微型钢管桩复合土钉墙示意图

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用和作用效应

$N_{k,j}$  第  $j$  层土钉的轴向拉力标准值垂直板面方向的分量；

$N_{mk,i}$  满足符合土钉墙整体稳定性的第  $i$  层预应力锚杆轴力标准值；

$P_{ak,j}$  第  $j$  层土钉主动土压力标准值；

$\Delta E_{aj}$  作用在以  $s_{X,j}$ 、 $s_{Z,j}$  为边长的面积内的主动土压力标准值；

$M$  装配式面板弯矩最大值；

$Q_{mk,i}$  第  $i$  层预应力锚杆通过腰梁传递到装配式面板的均布荷载标准值。

### 2.2.2 材料性能

$f_b$  装配式面板抗弯强度设计值。

### 2.2.3 几何参数

$b$  预制面板对应弯矩方向的宽度；

$h$  基坑深度；

$n$  土钉层数；

$t$  装配式面板厚度；

$Z_j$  第  $j$  层土钉至基坑顶面的垂直距离；

$s_{X,j}$  土钉水平间距；

$s_{Z,j}$  土钉竖向间距；

$n_{m,i}$  第  $i$  层预应力锚杆在单个装配式面板中的条数；

$l_b$  单块装配式面板沿基坑纵向的宽度；

$d_b$  腰梁宽度。

### 2.2.4 设计参数和计算参数

$\alpha_i$  第  $i$  层锚杆的倾角；

$\eta_s$  土钉作用于预制面板荷载的折减系数；

$\eta_j$  第  $j$  层土钉轴向拉力调整系数;

$\eta_a$  计算系数;

$\eta_b$  经验系数;

$\gamma_m$  材料性能分项系数。

### 3 基本规定

3.0.1 装配式复合土钉墙支护结构在直立边坡条件下的支护类型和适用条件可按表 3.0.1 选用。对湿陷性土、多年冻土、膨胀土等特殊土质，可结合当地工程经验参照执行，并应符合相关技术标准的规定。装配式复合土钉墙的安全等级应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的相关规定。

**表 3.0.1 支护结构类型**

| 装配式支护结构类型  | 安全等级 | 适用条件                                          |
|------------|------|-----------------------------------------------|
| 预制面板土钉墙    | 二、三级 | 适用于地下水位以上或降水的直立边坡条件下黏性土、粉土基坑，且基坑深度不宜大于 8m     |
| 预应力锚杆复合土钉墙 | 二、三级 | 适用于地下水位以上或降水的直立边坡条件下黏性土、粉土、砂土基坑，且基坑深度不宜大于 13m |
| 微型钢管桩复合土钉墙 |      |                                               |

【条文说明】本条明确了本规程的适用范围。本规程的规定限于临时性基坑支护，支护结构是按临时性结构考虑的，因此，规程中有关结构和构造的规定未考虑耐久性问题，荷载及其分项系数按临时作用考虑。对湿陷性土、多年冻土、膨胀土等特殊土，本规程中采用的土压力计算与稳定分析方法等尚不能考虑这些土固有的特殊性质的影响。对这些特殊土地层，应根据地区经验在充分考虑其特殊性质对基坑支护的影响后，再按本规程的相关内容进行设计与施工。对岩质地层，因岩石压力的形成机理与土质地层不同，本规程未涉及岩石压力的计算，但有关支护结构的内容，岩石地层的基坑支护可以参照。本规程未涵盖的其他内容，应通过专门试验、分析并结合实际经验加以解决。

参考《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB50739 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ120，将直立开挖的装配式复合土钉墙基坑深度限定在 13m 更有利于安全，保证质量。预制面板土钉墙是由预制面板和预制土钉经可靠连接而成的一种支护结构，主要用于基坑埋置深度小于 8m 范围的工程中。

3.0.2 装配式复合土钉墙支护设计应规定其设计工作年限。设计工作年限应满足下列要求：

- 1 支护结构的设计工作年限不应少于一年；
- 2 当支护结构构件作为结构模板的一部分时，应满足相应的设计工作年限要求；

3 当支护结构构件达到其设计工作年限而需继续使用时，应重新进行安全性评估。

【条文说明】本规程的规定限于临时性基坑支护，支护结构是按临时性结构考虑的，因此，规程中有关结构和构造的规定未考虑耐久性问题，荷载及其分项系数按临时作用考虑。地下结构施工完成后，基坑支护也就随之完成其用途。由于支护结构的使用期短(一般在一年之内)，因此，设计时采用的荷载一般不需考虑长期作用。

支护结构的支护期限规定不少于一年，除考虑主体地下结构施工工期的因素外，也是考虑到施工季节对支护结构的影响。一年中的不同季节，地下水位、气候、温度等外界环境的变化会使土的性状及支护结构的性能随之改变，而且有时影响较大。受各种因素的影响，设计预期的施工季节并不一定与实际施工的季节相同，即使对支护结构使用期不足一年的工程，也应使支护结构一年四季都能适用。因而，本规程规定支护结构使用期限应不少于一年。

3.0.3 装配式复合土钉墙基坑支护应满足整体结构体系协调的要求，合理选择构件组成及连接方式。

3.0.4 装配式复合土钉墙应按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。支护结构的构件强度、基坑稳定性、锚杆的抗拔力等应按承载能力极限状态设计，支护结构的位移、基坑周边环境的变形应按正常使用极限状态计算。对变形控制有严格要求的基坑支护，宜根据工程经验并采用数值法进行变形分析预测。

【条文说明】本规程中变形要求严格系指基坑周边有建(构)筑物、地下管线、道路和较大的施工荷载等条件。

3.0.5 装配式复合土钉墙基坑工程的岩土勘察应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的相关规定。设计前应根据基坑工程设计等级进行环境调查工作，环境调查获取的资料应作为设计和施工的依据。

3.0.6 装配式复合土钉墙基坑支护的施工组织设计和施工方案应符合绿色施工的要求。

3.0.7 预制构件应根据其特性进行分类存放和运输，进场时应进行质量检验。

3.0.8 装配式复合土钉墙支护结构应实施监测、动态管理和信息化施工。对重要的基坑工程宜利用监测信息进行再分析，检验校核设计与施工参数，指导后续的设计与施工。

## 4 构件

### 4.1 一般规定

4.1.1 装配式复合土钉墙支护结构的预制构件主要包括预制面板、预制土钉、预应力锚杆、微型钢管桩等，构件之间应进行可靠连接。

4.1.2 预制构件的物理、力学性能指标应满足设计要求。

4.1.3 预制构件应按设计工作年限和支护类型进行分类，并根据设计和施工要求进行选型。

### 4.2 预制面板

4.2.1 预制面板应符合下列规定：

- 1 长度和宽度尺寸宜符合 3M 模数要求；
- 2 应采用标准化构件，并保证安装和拆除便捷；
- 3 可拆卸，实现回收再利用。

4.2.2 预制面板的设计应符合下列要求：

- 1 混凝土设计强度等级不应低于 C30。
- 2 应配置钢筋网和加强钢筋，钢筋宜采用 HPB300 或 HRB400 级，钢筋直径和间距由计算确定。
- 3 厚度宜取 60mm~100mm，具体板厚由计算确定。
- 4 长度宜取 2.4m、2.7m、3.0m、3.6m、4.2m，宽度宜取 1.5m、1.8m、2.1m、2.4m、2.7m、3.0m。
- 5 当预制面板作为结构地下室外墙模板时，尚应根据变形控制及承载力要求确定板厚。

【条文说明】预制面板示意图如图 4.2.2 所示。锚杆间距按第 5 章相关规定执行并符合模数化要求，图中预制土钉至板边的距离为  $a$ ，预制土钉间距为  $L$ ，其中  $a$  取值宜为 300mm 或 600mm。

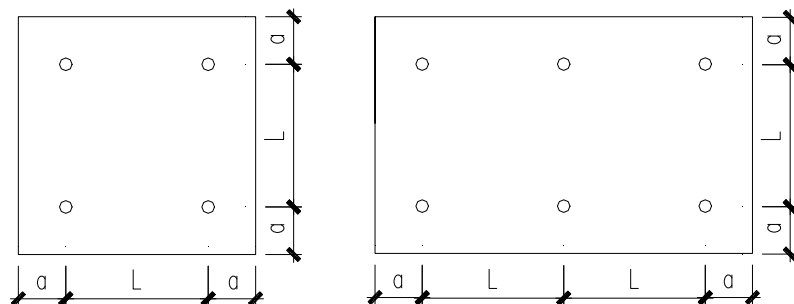


图 4.2.2 预制面板

#### 4.2.3 预制路肩板的构造应符合下列要求：

- 1 混凝土设计强度等级不宜低于 C30，不应低于 C25。
- 2 应配置双层双向钢筋，钢筋宜采用 HRB400 级或预应力筋，钢筋直径和间距由计算确定。
- 3 厚度宜取 150mm~180mm，具体板厚由计算确定。
- 4 长度宜与预制面板长度协调，宽度宜取 1.2m、1.5m。

【条文说明】预应力筋可选择消除应力钢丝或钢绞线，极限强度标准值为 1570MPa。预制路肩板上荷载主要包括预制面板吊挂时的荷载、使用荷载，不得承担施工过程中的机械设备、运输车等动荷载，预制路肩板铺设范围不大于 3m。

预制路肩板需要在生产时安装吊装埋件，在现场铺设完成后，宜使用对应型号螺丝将各预埋螺母封堵，保证施工作业阶段无异物填堵螺母及回收预制路肩板时吊环螺钉与各埋件可有效机械连接。预埋件位置由厂家根据工程经验确定。

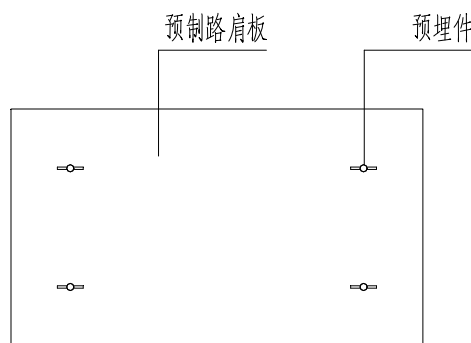


图 4.2.2-1 预制路肩板示意图

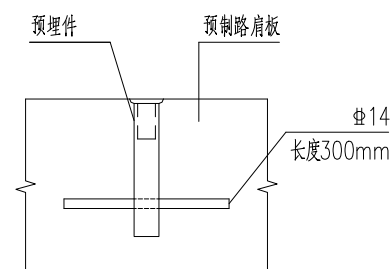


图 4.2.2-1 预埋件示意图

### 4.3 预制土钉

#### 4.3.1 预制土钉的构造应符合下列要求：

- 1 混凝土强度等级不应低于 C30。
- 2 主筋采用不低于 1570MPa 的高强钢丝。
- 3 采用空心构造，外径分别为  $\Phi 110\text{mm}$ 、 $\Phi 130\text{mm}$ 、 $\Phi 160\text{mm}$ ，对应内径分别为  $\Phi 30\text{mm}$ 、 $\Phi 40\text{mm}$ 、 $\Phi 50\text{mm}$ 。土钉长度宜为 3m、6m、7.5m，土钉组合长度为 9m、12m、15m 等。

【条文说明】预制土钉示意图如下图所示。预制土钉需要拼接时，采用端部钢板焊接连接，连接承载力不应小于土钉的极限抗拔承载力。

#### 4.3.2 预制土钉的连接应满足承载力要求。

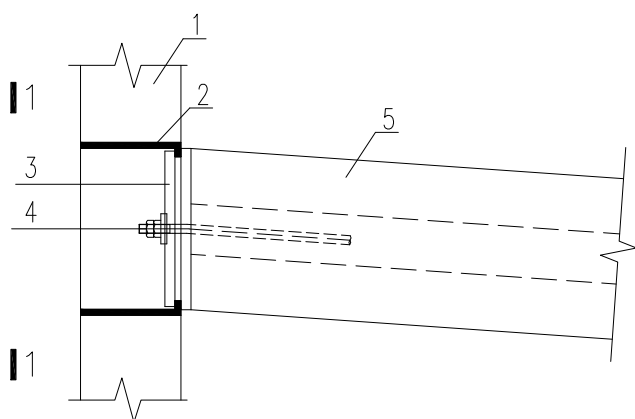


图 4.3.2-1 预制土钉与预制面板连接节点

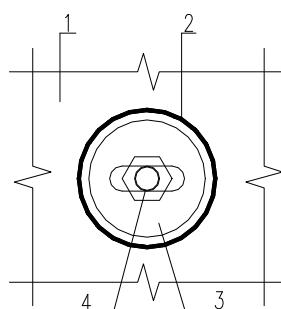


图 4.3.2-2 1-1 剖面图

1—预制面板；2—圆钢管；3—开长圆孔圆钢板；4—高强螺杆；5 预制土钉

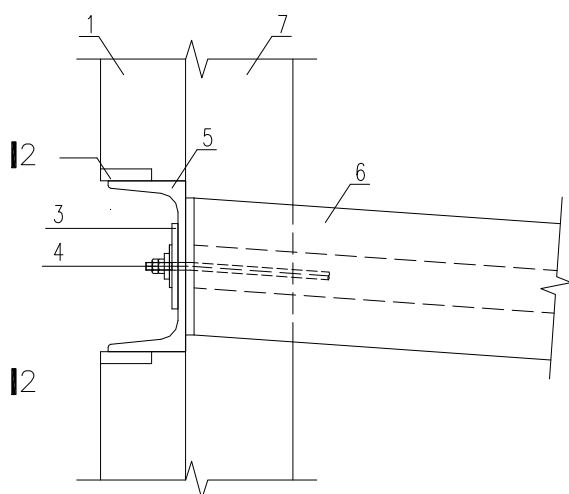


图 4.3.2-3 型钢腰梁与预制面板连接节点

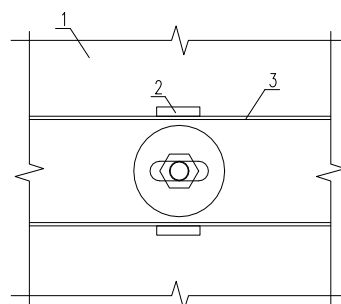


图 4.3.2-4 2-2 剖面图

1—预制面板；2—内埋板；3—开长圆孔圆钢板；4—高强螺杆；5—腰梁；  
6—预制土钉；7—微型钢管桩

4.3.3 锚固构件、连接构件与紧固构件的技术参数和构件型号应满足设计要求。

## 4.4 微型钢管桩

4.4.1 微型钢管桩宜采用Q235及以上规格的钢材，同一工程宜取同一牌号的钢材，其质量应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

4.4.2 微型钢管桩的截面尺寸应综合考虑地质条件、环境条件、荷载特征及施工设备性能等因素，并根据设计确定。

4.4.3 微型钢管桩选型宜按国家标准《结构用无缝钢管》GB/T8162 选用。

【条文说明】复合土钉墙微型钢管桩常用直径为 108mm、127mm、146mm、159mm 和 168mm 等。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 装配式复合土钉墙设计前应收集以下材料：

- 1 场地勘察资料，包括工程地质与水文地质特征、岩土体物理力学性质；
- 2 周边环境资料，包括基坑影响范围内的建（构）筑物、道路、地下管网；
- 3 拟建建（构）筑物相关图纸资料、现场施工条件要求。

5.1.2 装配式复合土钉墙设计应包括选型、计算、构造以及地下水控制等，并对施工、监测、检测及施工质量验收提出要求。

5.1.3 装配式复合土钉墙设计应考虑以下几种工况：

- 1 考虑预制面板尺寸的各分步开挖工况；
- 2 复合土钉墙施工完成后的正常使用工况；
- 3 构件回收工况。

【条文说明】由于预制面板具有一定尺寸，揭露的开挖面空间需要与预制面板尺寸匹配时才能完成安装，在该情况下需要对未支护的面层土体局部稳定性和坡体整体稳定性分步进行验算，确保各个开挖工况都能满足基坑稳定。

回收工况验算应对回收工序中最不利的支护情况进行分析，拆卸过程中不考虑预应力锚杆对支护体系的贡献，如果吊装设备临近基坑，还应考虑为坡顶附加荷载。对土质坑壁建议可以采用双楔形体法计算土钉之间的面层土体稳定性。

5.1.4 装配式复合土钉墙设计过程中应对以下内容计算：

- 1 复合土钉墙整体稳定性的计算；
- 2 预制面板承载力计算；
- 3 连接构件承载力验算；
- 4 土钉承载能力验算。

5.1.5 重复利用构件应根据鉴定结果进行设计使用。

【条文说明】重复利用的装配式构件应经过鉴定得出明确的力学性能参数，仍能满足原有规格构件性能的可以按照原有构件规格选用，如果不能满足的，可以降低性能等级使用。

5.1.6 设计应选择合理的构件尺寸，考虑构件拼装形式对结构构件受力的影响。

【条文说明】在装配式复合土钉墙体系中，土钉的布置形式与间距决定了所选用的预制面板开孔布置情况，结合土钉的抗拔力要求就能确定面板厚度。但是，不同的土钉布置形式与不同的预制面板尺寸以及预留孔位置会对面板内力产生影响，设计分析过程中需要充分考虑这些因素的影响，进行合理的构件选型与土钉

布置。

另外，面板的尺寸还会影响基坑开挖工况，在进行各开挖步的稳定性计算过程中，各步开挖深度应与面板尺寸相匹配。

## 5.2 设计计算

5.2.1 装配式复合土钉墙整体稳定性分析应按国家现行标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定执行，本规范 5.1.3 条提到的各个工况均应进行整体稳定性分析。

5.2.2 预制面板结构宜采用弹性地基板法进行计算分析，如面板内全部布置为土钉时，对应的弹性地基板计算模型如图 5.2.2，土钉作用在板上的荷载应采用整体失稳的临界条件下土钉传递到面板的点荷载。如面板内同时布置有土钉与预应力锚杆，预应力锚杆的荷载应考虑通过腰梁以均布力形式作用在面板上，对应的弹性地基板计算模型如图 5.2.3。

【条文说明】装配式复合土钉墙中面板是由单块的预制面板组成，所以受力分析的单元也是单块预制混凝土板。计算考虑支护体系在极限稳定状态下，面板在受到土钉和锚杆轴力作用下的内力分布情况，确保在支护体系临界稳定状态下，面板不发生破坏，保证整个支护体系的完整性。

计算模型中的荷载是各层土钉在支护体系临界失稳条件下传递到面板上的点荷载，对于预应力锚杆则考虑通过腰梁以面荷载形式传递给面板，预应力锚杆作用在面板上的荷载值应采用稳定性计算中的预应力锚杆标准值，荷载分项系数同 JGJ120 保持一致取值。

土体与支护面板之间的作用按照只压弹簧考虑，弹簧刚度应按照水平基床系数换算取用，水平基床系数宜通过地勘原位试验确定，也可结合当地工程经验选用。

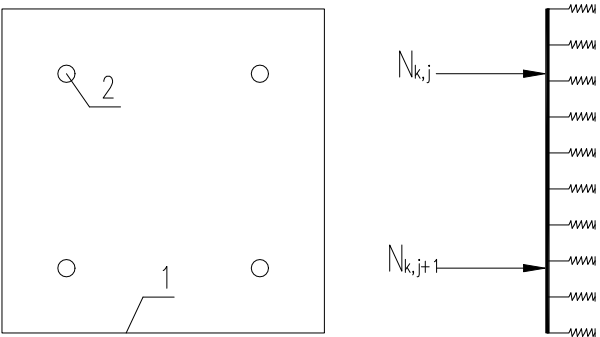


图 5.2.2 弹性地基板计算简图

1—预制面板；2—土钉荷载作用点

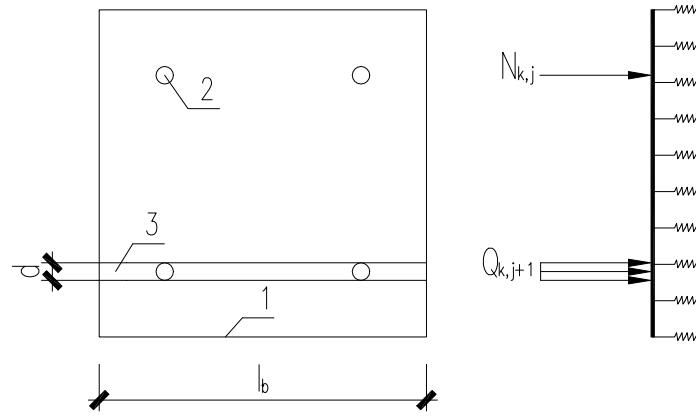


图 5.2.3 弹性地基板计算简图

1—预制面板；2—土钉荷载作用点；3—预应力锚索荷载作用区域

5.2.3 单根土钉作用在预制面板上的荷载标准值可按下式计算：

$$N_{k,j} = \eta_s \eta_j P_{ak,j} s_{X,j} s_{Z,j} \quad (5.2.3)$$

式中：  $N_{k,j}$ —第  $j$  层土钉的轴向拉力标准值垂直板面方向的分量（kN）；

$\eta_s$ —土钉作用于预制面板荷载的折减系数，无经验时取 0.3~0.85；

$\eta_j$ —第  $j$  层土钉轴向拉力调整系数，可按本规程公式 5.2.4-1 计算；

$P_{ak,j}$ —第  $j$  层土钉主动土压力标准值（kPa）；

$s_{X,j}$ —土钉水平间距（m）；

$s_{Z,j}$ —土钉竖向间距（m）。

【条文说明】根据陈肇元《土钉支护在基坑工程中的应用》书中介绍：德国有的工程按 85% 主动土压力设计永久支护面层，但也认为实际量测数据没有这样大；法国 Clouterre 研究项目得出的结论是，面层的土压合力一般不超过土钉最大拉力的 30%~40%。所以本标准建议土钉与面板之间的相互作用力可以根据当地已有土钉墙实施经验进行适当折减，折减系数可以按照 0.3~0.85 取用。

5.2.4 土钉轴向拉力调整系数可按下列公式计算：

$$\eta_j = \eta_a - (\eta_a - \eta_b) \frac{Z_j}{h} \quad (5.2.4-1)$$

$$\eta_a = \frac{\sum (h - \eta_b Z_j) \Delta E_{aj}}{\sum (h - Z_j) \Delta E_{aj}} \quad (5.2.4-2)$$

式中：  $Z_j$ —第  $j$  层土钉至基坑顶面的垂直距离（m）；

$h$ —基坑深度（m）；

$\Delta E_{aj}$ —作用在以  $s_{X,j}$ 、 $s_{Z,j}$  为边长的面积内的主动土压力标准值（kN）；

$\eta_a$ —计算系数；

$\eta_b$ —经验系数，可取 0.6~1.0；

$n$ —土钉层数。

【条文说明】土钉轴向抗拉调整系数引用自《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012 中第 5.2.4 条，规范对该条的解释为：采用朗肯土压力线型分布形式计算土压力往往会导致土钉墙底部的土钉需要很长才能满足设计要求，但是实践中往往不会出现底部土钉被拔出的破坏形式，所以通过该系数对土压力在基坑深度方向进行调整，在整体土钉拉力不变的情况下调整各层土钉拉力值。

5.2.5 锚索通过腰梁传递给预制面板的均布荷载按下式计算：

$$Q_{mk,i} = \frac{N_{mk,i} n_{m,i} \cos \alpha_j}{l_b d_b} \quad (5.2.5)$$

式中： $Q_{mk,i}$ —第  $i$  层预应力锚杆通过腰梁传递到预制面板的均布荷载标准值(kPa)；

$N_{mk,i}$ —满足符合土钉墙整体稳定性的第  $i$  层预应力锚杆轴力标准值，通过本规程 5.2.1 条确定 (kN)；

$\alpha_i$ —第  $i$  层锚杆的倾角 (°)；

$n_{m,i}$ —第  $i$  层预应力锚杆在单个预制面板中的根数；

$l_b$ —单块预制面板沿基坑纵向的宽度 (m)；

$d_b$ —腰梁宽度 (m)。

5.2.6 预制面板受弯承载力应符合下式规定：

$$M = \frac{1}{6} f_b \cdot t^2 \cdot b \quad (5.2.6)$$

式中： $M$ —根据本规程 5.2.2 条计算得到的预制面板弯矩最大值 (kN·m)

$f_b$ —预制面板抗弯强度设计值 (kPa)；

$t$ —预制面板厚度 (m)。

$b$ —预制面板对应弯矩方向的宽度 (m)。

【条文说明】本条计算预制面板受弯承载力的公式按照材料力学平截面假设得出，假定中认为板材料是均质材料，但在预制面板中混凝土与钢筋都为非均质材料，故  $f_b$  并非某种材料的抗压或抗拉强度设计值，而是强度等效值，宜通过混凝土弯拉试验进行确定，如构件给出抗弯承载能力设计值，也可以直接选用，而无需采用本公式计算。

弯拉试验可依据《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 进行，按照可靠度理论，通过弯拉试验得到的预制面板抗弯强度标准值应除以材料性能分项系数  $\gamma_m$  (按照混凝土规范  $\gamma_m=1.4$ ) 取用。

5.2.7 单根土钉及单根锚杆的设计应符合 JGJ120 规范相关条文规定。

## 5.3 构造

5.3.1 每块预制面板应与土钉有至少 3 个连接点。

5.3.2 土钉的水平 and 竖向间距宜取 1.0m~2.0m。

5.3.3 土钉成孔直径建议为 150~200mm，土钉成孔注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于 20MPa。

【条文说明】土钉建议成孔直径是根据预制土钉的直径确定，可以按照预制土钉直径加 40mm 选用，如不采用预制土钉则成孔直径可根据设计要求调整。

5.3.4 当支护墙后存在滞水时，需对预制面板接缝位置进行防水处理，支护结构面层需设置泄水孔，并做好反滤措施，防止细颗粒流失。

5.3.5 应确保预制面板与土层紧密贴合，缝隙宜填充或提前抹平处理。

5.3.6 锚杆竖向排距与水平间距宜取 1.5m~2.5m，且锚杆与潜在破裂面交点距离地面不小于 4m。

5.3.7 预制面板与支护桩连接节点设计，应符合以下规定：

1 支护桩的垂直度应满足设计要求；

2 预制面板与微型桩连接可采用螺栓连接等方式，螺栓强度等级不宜小于 4.8 级；

3 每块面板与超前支护的连接点不少于 4 处。

5.3.8 当预应力锚杆的腰梁布置于预制面板面层时，腰梁宜与面板设计为面贴合的形式。

【条文说明】预应力锚杆的荷载在计算模型中是通过腰梁以面荷载的形式作用在面板上，故在施工过程中应注意腰梁与面板的密贴，否则可能会出现局部应力集中导致面板失效。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 装配式复合土钉墙施工前应做好专项施工方案，对施工人员做好技术、工艺、施工顺序、材料设备等施工前交底准备工作。

6.1.2 施工前对照设计图纸复核地下地上管线、临近建（构）筑物及其基础形式及地下障碍物，明确周边环境及保护要求。

6.1.3 根据用地红线、项目定位轴线，确定基坑开挖边线，布设位移观测控制点、监测点等，并妥善保护。

6.1.4 施工前应先对场地进行整平，对于铺设预制路肩板的部位做好边线、竖向水平控制点，根据基坑工程设计对施工和监测的各项要求，编制专项施工方案，分析关键质量控制点和安全风险源，并提出相应的防范措施。

6.1.5 根据项目地下边线，退让出预制面板厚度以及防水反贴空间（预制面板作为地下室外墙模板的情况）并做好场区地面硬化和临时排水系统规划。地面硬化宜采用预制路肩板和装配式排水沟，临时排水不得破坏周边相邻建筑物的地基和基础。检查场区内既有给水排水管道，发现渗漏和积水及时处理，雨期施工应加强对施工现场排水系统的检查和维护，保证排水通畅。

6.1.6 基坑周围临时设施的搭设以及预制构件、材料、机具、设备的布置码放应符合施工现场平面布置图的要求，基坑周边地面堆载、动载严禁超过设计规定。

6.1.7 土方开挖应与预制面板、预制土钉、预应力锚杆及降水密切结合，开挖顺序应与设计工况一致，装配式复合土钉墙施工应符合分层分段、逐层施做、限时封闭及严禁超挖的要求。

【条文说明】基坑支护工程属住房和城乡建设部《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》建质[2009]87号文中的危险性较大的分部分项工程，大量的工程实践证明，不按设计工况开挖，超挖是造成大量工程事故的主因，因此本条严格限制开挖与设计工况一致，同时应做到分层分段、逐层施做、限时封闭及严禁超挖。

6.1.8 编制应急预案，做好抢险准备工作。施工过程中，如发现地质条件、工程条件、场地条件与勘察或设计不符，周边环境出现异常等情况应及时会同设计单位处理，如出现危险征兆，应立即启动应急预案。

### 6.2 基坑开挖

6.2.1 有地下水影响的基坑，应在截水帷幕混凝土达到设计规定强度或降水后再

进行基坑开挖。

【条文说明】地下水控制方法主要有截水、降水、集水明排，如基坑开挖有地下水影响，必须采取措施后方能开挖基坑。如设置了截水帷幕，需在截水帷幕达到设计强度后再进行基坑开挖是为了保证帷幕有足够的强度起到截水的目的；而采用降水进行地下水控制必须将水位降到一定深度后可有效减少开挖范围内土体含水率，以方便进行土方开挖。

6.2.2 基坑开挖分层厚度应与设计要求一致，宜分段开挖、分段支护。基坑面积较大时，基坑开挖宜分区分块对称进行。

6.2.3 对于采用预应力锚杆的支护结构，应在预应力锚杆张拉锁定后下挖基坑；采用预制土钉的支护结构，应在土钉注浆养护时间大于 2d 后，方可下挖基坑；预应力锚杆、预制土钉的施工作业面与其设计标高高差不宜大于 500mm。

6.2.4 基坑开挖时，侧壁可采用小型机械配合人工修整坡面，修整后的坡面做到基本平整。开挖机械不得碰撞或损害已完工支护构件。

6.2.5 当基坑开挖的实际土层与勘察资料明显不符或有重大安全隐患时，应停止开挖并会同各方采取处理措施后方可继续开挖。

6.2.6 基坑开挖到基底后，应避免扰动基底土的原状结构并及时进行基础垫层及地下结构的施工。

## 6.3 地下水控制

6.3.1 应控制基坑地下水，防止基坑开挖过程中及使用期间的管涌、流砂、坑底突涌及与地下水有关的周边地表过度沉降。

6.3.2 受地下水影响的基坑，可选用截水帷幕、降水、集水明排或其组合的方案。

6.3.3 对于装配式复合土钉墙支护体系，较适宜的截水帷幕有水泥土搅拌桩帷幕、高压旋喷桩或摆喷注浆帷幕。

6.3.4 采用降水井降水时，应综合评估其对周边环境的影响后审慎应用，降水井的设计可参照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 进行。

【条文说明】在有些水文地质环境下，降水会造成基坑周边构筑物、地下管线等的沉降从而影响其正常使用甚至损坏。另外，我国大多城市地下水资源紧张，降水会造成大量资源浪费，对于采用降水井控制地下水时应综合评估其造成的不利影响后采用。

6.3.5 雨期施工时，应做好地面排水及基坑内的疏排水，避免雨水对基坑侧壁造成不利影响。

## 6.4 装配式复合土钉墙施工

6.4.1 预制土钉的施工应符合国家标准《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB50739 的规定。

6.4.2 微型钢管桩、锚杆穿过的地层附近存在地下管线、地下构筑物时，应在调查或探明其位置、尺寸、走向、类型、使用状况等情况后再进行相应的施工。

6.4.3 预制面板土钉墙支护分为渠切式开槽挂板支护和分层开挖随挖随挂支护两种形式，渠切式开槽挂板支护适用于开挖深度不超过 8m 的基坑支护。两种支护方式在前期挂板工序上有区别，在后期预制土钉、锚杆成孔、注浆、挂板与锚杆连接、预应力张拉等方面相同。

【条文说明】渠切式开槽挂板支护对于土质较好的地层（如黄土、粘土、粉质黏土等）宜采用干作业成槽，对于软土、砂土、粉土宜采用泥浆护壁形式的湿作业成槽。

1 渠切式开槽挂板支护的主要工序：

1) 平整场地，对地下建筑外边界定位放线，沿建筑外围铺设起固定作用的预制路肩板；预制路肩板下基层土应碾压或夯实，夯实土层应控制好平整度。

2) 地面上采用专用渠切设备，钻切动力轨道塔应垂直于地平面；对定位好的外围土方采用钻切开设出长条形槽，开挖槽体的宽度应大于预制面板的厚度，槽体长度应超出预制面板铺设长度的 300mm 到 1000mm，槽体高度应超出预制面板高度，并控制在 300mm 以内；每移动一次钻切设备应校对一次设备轨道主塔垂直度。

3) 用吊装设备把预制面板吊装插入长条形槽内，并与预制路肩板采用连接固定件及时连接固定。依此顺序，直至完成所有预制面板和预制路肩板的固定。剩余的条形槽空间采用素土回填，避免桩施工时把预制面板挤压变形错位。

4) 基槽土方分层分段开挖、透过预制面板预留孔在坑壁钻孔、安设预制土钉（需注浆养护）、连接并锁定两者间的连接固定件。

5) 预制面板单元间竖向与水平连接缝隙采用强度不低于 M30 水泥砂浆塞填密实并抹平。预制面板与基坑壁之间的缝隙，采用泵送工艺注满泥浆或水泥浆。

6) 进入下一层施工，重复第 4 款～第 5 款步骤直至完成。

2 分层开挖随挖随挂支护的主要工序：

1) 平整场地，对地下建筑外边界定位放线，沿建筑外围铺设起固定作用的预制路肩板；预制路肩板下基层土应碾压或夯实，夯实土层应控制好平整度。

2) 基坑开挖应分层开挖。每排预制面板单元宜分两层开挖，第一层开挖至该层预铺设预制面板由上至下的第一排钻孔作业面，第二层开挖至该排预制面板单元下皮高度处。土方开挖控制坡面平整。

3) 修坡设备坡面修整，宜采用小型挖机进行修坡作业。

4) 按照预制面板设计的预留孔尺寸定位, 在坑壁钻孔安设预制土钉 (需注浆养护)。

5) 首层预制面板与预制路肩板采用连接固定件连接, 采用电动力矩扳手锁定预制面板与预制土钉间的连接固定件。

6) 进入下一层施工, 重复第 2 款~第 5 款步骤直至完成。

7) 预制面板单元间竖向与水平连接缝隙采用不低于 M30 水泥砂浆塞填密实并抹平。预制面板与基坑壁之间的缝隙, 采用泵送工艺注满泥浆或水泥浆。

6.4.4 预应力锚杆复合土钉墙与预制面板土钉墙支护形式相同, 分为渠切式开槽挂板支护和分层开挖随挖随挂支护两种形式。预应力锚杆复合土钉墙与预制面板土钉墙支护在土钉与预制面板连接方式上存在差异, 其它的施工工序两者保持一致。

6.4.5 预应力锚杆复合土钉墙的预应力锚杆实施锚杆张拉锁定过程, 预应力锚杆通过预应力张拉将腰梁锁定至预制面板。

6.4.6 微型钢管桩复合土钉墙工艺的主要施工工序:

1 施工现场应先进行场地平整, 清除微型钢管桩施工区域的表层硬物和地下障碍物, 遇明洪、暗塘或低洼应满足设备平稳行走的要求。对地下建筑外边界定位放线, 沿建筑外围铺设起固定作用的预制路肩板。

2 施作截水帷幕和微型钢管桩 (安装前应做好防腐处理), 静养至截水帷幕、微型钢管桩满足设计强度。

3 参照传统锚杆工艺, 基槽土方分层分段开挖。

4 透过上下两排预制面板间的预留空间, 按设计要求在坑壁钻孔、安设预应力锚杆、注浆养护。

5 透过上下两排预制面板间的预留空间在微型钢管桩侧安装型钢腰梁, 型钢腰梁与预应力锚杆连接, 待锚杆预应力张拉完毕。在腰梁锁定后, 将预制面板与型钢腰梁进行机械连接 (如图 6.4.6) 或焊接 (如图 6.4.7) (如采用机械连接, 挂板应设计预留螺丝孔洞; 如采用焊接, 挂板应设计预埋焊接固定件)。预制面板回收, 连接方式宜采用机械连接, 若基坑无工作面预留或预制面板无回收需求, 连接方式宜采用焊接。

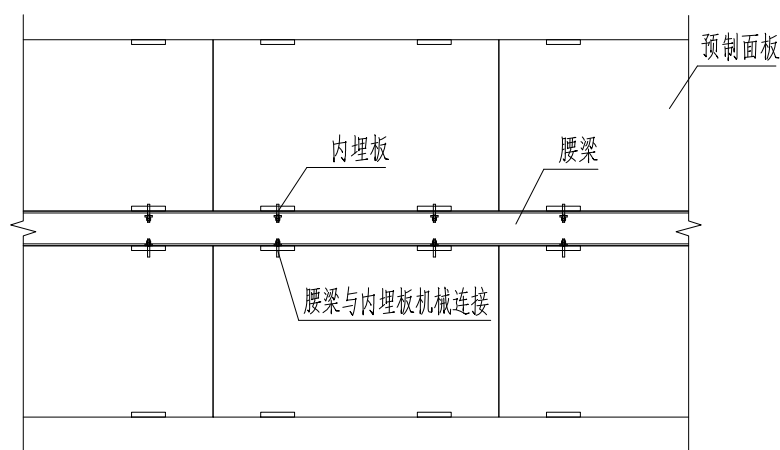


图 6.4.6 预制面板与型钢腰梁的机械连接

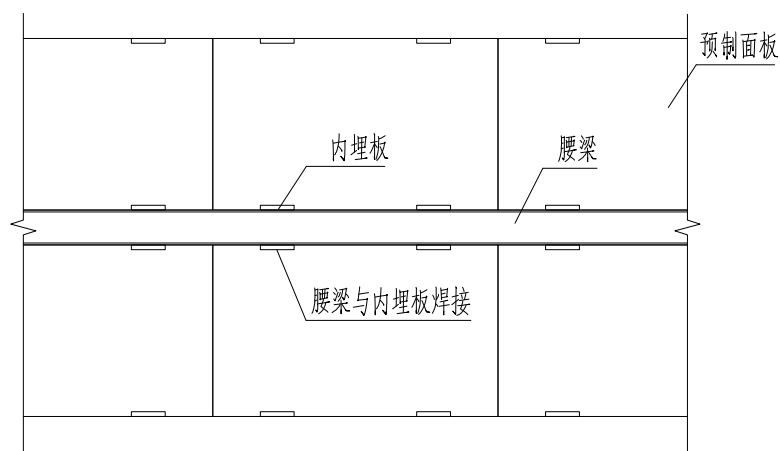


图 6.4.7 预制面板与型钢腰梁的焊接

6 挂板单元间竖向与水平连接缝隙采用水泥砂浆塞填密实并抹平。挂板与基坑壁之间的缝隙，采用泵送工艺注满泥浆或水泥浆。

7 进入下一层施工，重复第 3 款～第 6 款步骤直至完成。

【条文说明】微型桩植桩前应做防腐处理，宜刷高稠度油脂塑料薄膜包裹处理，便于桩的起拔和重复利用。

6.4.7 微型钢管桩施工应符合下列规定：

- 1 微型钢管桩桩位偏差不应大于 50mm，垂直度偏差不大于 0.5%。
- 2 微型钢管桩孔内应充填密实水泥浆，水泥浆采用搅拌机拌制，浆料水灰比 0.5：1，注浆过程中应采取措施防止钢管上浮。
- 3 微型钢管桩的接头承载力不应小于母材承载力。

6.4.8 预应力锚杆施工应符合下列规定：

- 1 锚杆宜采用高强钢绞线。
- 2 采用预应力锚杆复合土钉墙，预应力锚杆与预制土钉宜分层设置，同时预应力锚杆宜设置在支护的上部。
- 3 锚杆成孔应综合考虑场地内水文地质后选用适宜的设备。在不易塌孔的地

层可优先考虑采用螺旋钻成孔；地下水位以上的含有石块的较硬土层及风化岩层，可选用气动潜孔锤成孔；在易塌孔的地层及地下水丰富的地层，宜选用套管跟进成孔。

4 预应力锚杆应设置自由段，自由段长度应超过坡体的潜在滑裂面，同时满足张拉自由伸长量的要求。

5 注浆宜采用二次高压注浆，采用水泥浆时，水灰比宜取 0.5~0.55。

6 除应符合以上规定外，锚杆的构造等措施按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 执行。

7 当预应力锚杆超出用地红线时，应遵守相关法规要求。当地下环境不允许残留锚杆体时，应采用可拆卸预应力锚杆。

【条文说明】用地红线应遵守《民用建筑设计统一标准》GB50352 相关要求。可拆卸锚杆可参考中国工程建设标准化协会标准《可回收锚杆应用技术规程》T/CECS 999 相关要求。

6.4.9 复合土钉墙支护挂板作为地下结构外墙的外模板时，需面层找平及实施外墙防水预铺反粘反作工序。

#### 6.4.10 预制面板吊装

1 基坑施工现场场地统筹规划布置，满足吊装、安装的要求，宜单独规划构件堆放区域，方便后期吊装、安装。

2 吊装设备应根据构件吊装需求进行匹配选型。安装施工前，应检查吊装设备的吊装器具和吊装环境，满足安全、高效的吊装要求。

3 预制面板吊装前应将上排预埋螺栓与吊具上螺丝连接牢固，保证起吊过程中预制面板相对垂直。

4 预制路面板吊装前，应将各预埋螺栓与吊具上螺丝连接牢固，保证起吊过程中预制路面板相对水平。

【条文说明】预制构件吊装应符合国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016。应根据项目要求编制吊装方案。

## 7 监测与质量检验

### 7.1 监测

7.1.1 装配式复合土钉墙支护技术监测方案的编制和实施应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的有关规定。

7.1.2 装配式复合土钉墙支护技术监测内容应包括监测项目、监测范围、监测数量、监测方法、监测报警值及监测频率等要求。

7.1.3 现场监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。监测项目应根据支护结构类型和地下水控制方法，按表 7.1.3 选择基坑监测项目。

表 7.1.3 基坑工程监测项目表

| 监测项目                 | 支护结构的安全等级 |    |
|----------------------|-----------|----|
|                      | 二级        | 三级 |
| 支护结构顶部水平位移           | 应测        | 应测 |
| 基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路沉降 | 应测        | 应测 |
| 坑边地面沉降               | 应测        | 宜测 |
| 支护结构深部水平位移           | 应测        | 选测 |
| 锚杆拉力                 | 应测        | 选测 |
| 挡土构件内力               | 宜测        | 选测 |
| 挡土构件沉降               | 宜测        | 选测 |
| 地下水位                 | 应测        | 选测 |
| 土压力                  | 选测        | 选测 |
| 孔隙水压力                | 选测        | 选测 |

注：表内各监测项目中，仅选择实际基坑支护形式所含有的内容。

7.1.4 监测点数量和位置应根据国家现行标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497、现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120、支护结构形式、周边环境重要性及地质条件的复杂性等综合因素确定。

7.1.5 基坑工程监测范围应根据基坑设计深度、地质条件、周边环境情况以及支护结构类型、施工工法等综合确定。

7.1.6 基坑各监测项目采用的监测方法和精度要求应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497 规定。

7.1.7 监测项目的监测频率应综合考虑基坑工程安全等级、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化。当监测值相对稳定时，可适当降低

监测频率。

【条文说明】对于应测项目，在无数据异常和事故征兆的情况下，仪器监测频率可按表 7.1.7 确定，宜测、选测项目监测频率可视具体情况要求适当降低。

表 7.1.7 监测频率表

| 施工进度       |          | 监测频率    |
|------------|----------|---------|
| 开挖深度 A     | <H/3     | 1 次/3d  |
|            | H/3~2H/3 | 1 次/2d  |
|            | 2H/3~H   | 1 次/d   |
| 底板浇筑后时间(d) | <7       | 1 次/2d  |
|            | 7~14     | 1 次/3d  |
|            | 14~28    | 1 次/7d  |
|            | >28      | 1 次/10d |

注：1 分层开挖时，在一层土方开挖结束，连续三次监测数据稳定后，至下一层土方开始开挖期间，监测频率可适当降低；

2 基坑工程安全等级为三级时，监测频率可视具体情况要求在表中数值基础上适当降低；

3 基坑工程施工至开挖前的监测频率视具体情况定，但在实际开挖前 1~2d 应测一次作为初始数据；

4 施工工况无变化时，若监测值相对稳定，可适当降低监测频率；

5 对于分区、分期施工的基坑，可根据施工进度及影响程度，分区或分期调整相应的监测频率。

7.1.8 基坑工程监测必须确定监测报警值，应根据设计计算结果、当地工程经验、相关规范标准及有关部门的规定等因素综合确定基坑及支护结构与基坑工程周边环境监测报警值。监测数据接近或达到报警值时，应分析原因，加强监测，及时确定应急处理措施。

【条文说明】当无当地经验时，基坑及支护结构监测报警值与基坑工程周边环境监测报警值可参考表 7.1.8-1 及 7.1.8-2 确定。

表 7.1.8-1 基坑支护结构监测报警值

| 监测项目      | 基坑设计安全等级    |                |                |             |                |                |
|-----------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
|           | 二级          |                |                | 三级          |                |                |
|           | 累计值         |                | 变化速率<br>(mm/d) | 累计值         |                | 变化速率<br>(mm/d) |
|           | 绝对值<br>(mm) | 相对基坑设计深度 H 控制值 |                | 绝对值<br>(mm) | 相对基坑设计深度 H 控制值 |                |
| 围护墙（边坡）顶部 | 40~50       | 0.5%~0.8%      | 4~5            | 50~60       | 0.7%~1.0%      | 5~6            |

|                   |                                             |           |                                             |       |           |     |
|-------------------|---------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-------|-----------|-----|
| 水平位移              |                                             |           |                                             |       |           |     |
| 围护墙（边坡）顶部<br>竖向位移 | 30~40                                       | 0.4%~0.6% | 3~4                                         | 40~60 | 0.6%~0.8% | 4~5 |
| 深层水平位移            | 50~70                                       | 0.6%~0.8% | 4~5                                         | 60~80 | 0.7%~1.0% | 5~6 |
| 地表竖向位移            | 35~45                                       | —         | 3~4                                         | 45~55 | —         | 4~5 |
| 坑底隆起（回弹）          | 累计值（30~60）mm，变化速率（4~10）mm/d                 |           |                                             |       |           |     |
| 锚杆轴力              | 最大值：（70%~80%） $f_2$<br>最小值：（80%~100%） $f_y$ |           | 最大值：（70%~80%） $f_2$<br>最小值：（80%~100%） $f_y$ |       |           |     |
| 土压力               | （70%~80%） $f_1$                             |           | （70%~80%） $f_1$                             |       |           |     |
| 孔隙水压力             |                                             |           |                                             |       |           |     |
| 围护墙内力             | （70%~80%） $f_2$                             |           | （70%~80%） $f_2$                             |       |           |     |

注：1 位移累计值单位为 mm,各位移及坑底回弹变化速率单位为 mm/d;

2 为荷载设计值，为极限抗拔承载力，为锚杆预应力设计值；

3 当监测项目的变化速率连续 3d 超过报警值的 70%时，应报警；

表 7.1.8-2 基坑工程周边环境监测报警值

| 监测对象         |          |             | 累计值（mm）                       | 变化速率<br>（mm/d） | 备注          |
|--------------|----------|-------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| 地下水位变化       |          |             | 1000~2000<br>（常年变幅以外）         | 500            | —           |
| 管线<br>位移     | 刚性管<br>道 | 压力          | 10~20                         | 2              | 直接观察<br>点数据 |
|              |          | 非压力         | 10~30                         | 2              |             |
|              | 柔性管线     |             | 10~40                         | 3~5            | —           |
| 邻近建筑位移       |          |             | 小于建筑物地基变<br>形允许值              | 2~3            | —           |
| 邻近道路路基<br>沉降 |          | 高速公路、道路主干   | 10~30                         | 3              | —           |
|              |          | 一般城市道路      | 20~40                         | 3              | —           |
| 裂缝宽度         |          | 建筑结构性<br>裂缝 | 1.5~3(既有裂缝)<br>0.2~0.25(新增裂缝) | 持续发展           | —           |
|              |          | 地表裂缝        | 10~15(既有裂缝)<br>1~3(新增裂缝)      | 持续发展           | —           |

注：建筑整体倾斜度累计值达到 2/1000 或倾斜速度连续 3d 大于 0.0001H/d（H 为建筑承重结构高度）时应

报警。

7.1.9 在支护结构施工、基坑开挖期间以及支护结构使用期内，应对支护结构和周边环境的情况随时进行巡查。巡视检查应根据工程实际情况、施工过程及实时监测情况综合确定，基坑开挖及施工过程中每日不少于 1 次，基坑支护完成后宜为每日 1 次，拆卸回收过程中每日不少于 2 次。现场巡查时应检查有无下列现象及其发展情况：

- 1 基坑外地面和道路开裂、沉陷。
- 2 基坑周边建筑物开裂、倾斜。
- 3 基坑周边水管漏水、破裂，和燃气管漏气。
- 4 预制面板表面开裂。
- 5 锚杆锁头松动，锚杆杆体滑动，腰梁和锚杆支座变形，连接处破损等。
- 6 基坑侧壁和截水帷幕渗水、涌水、流砂等。

7.1.10 基坑监测数据、现场巡查结果应及时整理和反馈。当出现下列危险征兆时应立即报警：

- 1 支护结构位移达到设计规定的位移限值，且有继续增长的趋势；
- 2 支护结构位移速率增长且不收敛；
- 3 支护结构构件的内力超过其设计值；
- 4 基坑周边建筑物、道路、地面的沉降达到设计规定的沉降限值，且有继续增长的趋势；基坑周边建筑物、道路、地面出现裂缝，或其沉降、倾斜达到相关规范的变形允许值。
- 5 支护结构构件出现影响整体结构安全性的损坏；
- 6 基坑出现局部坍塌；
- 7 开挖面出现隆起现象；
- 8 基坑出现流土、管涌现象。

## 7.2 质量检验

7.2.1 装配式复合土钉墙的质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

7.2.2 装配式复合土钉墙的检验应包括原材料、预制构件质量、拼装质量、支护构件外形尺寸、外观质量、平整度、位置偏差及间距、锚固体强度及抗拔承载力等。

7.2.3 装配式复合土钉墙的进场检验应符合下列规定：

- 1 施工前应对基坑支护结构的原材料和预制构件等质量进行进场检验，规定

如下：

- 1) 对原材料出厂合格证进行检查；
  - 2) 对原材料、预制构件及连接件进行现场抽检；
  - 3) 对水泥浆强度等级进行检验，留置试块每 100m<sup>3</sup> 不应少于 1 组，且每个台班不得少于 1 组。
- 2 预制构件安装施工前应对放线尺寸进行校核，并对重复使用的预制构件进行检验，检验数量不应少于总数的 5%，且不少于 5 个，检验项目及要求应符合表 7.2.3 的规定。

**表 7.2.3 预制构件质量检验标准**

| 项    | 检验项目 | 允许偏差(mm) | 检验方法 |
|------|------|----------|------|
| 主控项目 | 高度   | ±5       | 尺量法  |
|      | 宽度   | ±5       | 尺量法  |
|      | 长度   | ±10      | 尺量法  |
| 一般项目 | 挠度   | ≤L/500   | 尺量法  |
|      | 厚度   | ≥1       | 尺量法  |
|      | 顶标高  | ±5       | 水准测量 |
|      | 轴线位置 | ≤50      | 尺量法  |

注：1、L 为挡土构件设计长度(mm)

2、锚杆施工前应分批次对钢筋、钢绞线、水泥等进行复检。

【条文说明】预制构件质量检验标准制定根据《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《绿色装配式边坡防护技术规程》T / CECS 812 等规范相关规定从严确定。

7.2.4 装配式复合土钉墙的施工检验项目及要求应符合表 7.2.4 的规定。

**表 7.2.4 锚杆施工质量检验标准**

| 项    | 检验项目   | 允许偏差   | 检验方法   |
|------|--------|--------|--------|
| 主控项目 | 锚具性能检验 | 不小于设计值 | 基本性能试验 |
|      | 锚固体强度  | 不小于设计值 | 留置试块强度 |
|      | 张拉锁定值  | 不小于设计值 | 张拉压力记录 |
|      | 锚杆长度   | 不小于设计值 | 尺量法    |
| 一般项目 | 锚杆位置   | ≤50mm  | 尺量法    |
|      | 锚杆直径   | 不小于设计值 | 尺量法    |
|      | 锚杆倾角   | ≤3°    | 量角法    |

|  |         |                    |         |
|--|---------|--------------------|---------|
|  | 水灰比     | 满足设计值              | 查验配比    |
|  | 注浆量     | 不小于设计值             | 查看流量表   |
|  | 注浆压力    | 满足设计值              | 查看压力表   |
|  | 钢绞线套管长度 | $\pm 50\text{mm}$  | 尺量法     |
|  | 微型桩桩位   | $\leq 50\text{mm}$ | 全站仪或钢尺量 |
|  | 微型桩垂直度  | $\leq 1/200$       | 经纬仪测量   |

#### 7.2.5 装配式复合土钉墙的竣工检验应符合下列规定：

- 1 预制构件安装施工和锚杆的质量检验应在基坑分层开挖前进行。
- 2 锚杆应进行抗拔承载力检验，检验数量及检验要求如下：
  - 1) 检验数量不宜少于锚杆总数的 5%，且同一土层中的锚杆检验数量不应少于 3 根。
  - 2) 锚杆抗拔试验应在锚固段注浆固结体强度达到 15MPa 且达到设计强度的 75% 后进行。
  - 3) 抗拔承载力检测值应根据设计要求确定，若无设计规定时可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定确定。
  - 4) 锚杆抗拔承载力验收试验方法应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定进行。

#### 7.2.6 装配式复合土钉墙的分项验收应符合下列规定：

- 1 基坑工程分项验收应满足以下要求：
  - 1) 预制构件的质量验收应在基坑分层开挖前进行，并在安装前和安装后进行两次核验。
  - 2) 锚杆的质量验收应在分层开挖前进行。
  - 3) 分项验收内容应包括外观质量、材料强度、规格尺寸、位置偏差、设置间距及平整度等。

#### 7.2.7 装配式复合土钉墙的竣工验收，应在分项验收合格的基础上进行，主要对以下质量控制资料进行检查：

- 1) 岩土工程勘察报告；
- 2) 水泥、砂、石、外加剂、钢筋、钢绞线、锚具等材料合格证、检验报告；
- 3) 预制构件合格证、检验报告；
- 4) 基坑支护施工及竣工图；
- 5) 施工记录；
- 6) 设计变更通知书、事故处理记录；
- 7) 竣工报告；
- 8) 基坑工程监测报告；

- 9) 锚杆锚具性能检测报告;
- 10) 锚杆抗拔承载力检测报告。

## 8 回收

### 8.1 一般规定

8.1.1 装配式复合土钉墙支护结构回收前，应对预制构件性能进行评估，确定其破损等级。预制构件应按预制面板、预应力锚杆、微型钢管桩及支护结构连接构件分类回收。

8.1.2 装配式复合土钉墙支护结构回收应制定专项拆除方案，确定回收内容与回收方法。预制构件结合地下结构施工和土方回填顺序进行回收。

8.1.3 预应力锚杆回收参见现行标准《可回收锚杆应用技术规程》T/CECS 999。

【条文说明】回收场地应具有拔桩机、吊车及相关运输设备等机械的安置和操作空间，保证施工安全，不影响被支护建（构）筑物正常施工。

8.1.4 回收的构件运回工厂，根据破损等级进行处理。

【条文说明】重度破损的构件一般没有处理价值，处理后不宜重复使用，可作为材料回收利用。

### 8.2 预制面板回收

8.2.1 预制面板的回收，应符合以下要求：

- 1 预制面板应从底到顶逐层回收。
- 2 每层预制面板回收可连续进行，回收后应及时回填，不应长时间空槽。

8.2.2 应根据破损等级采取对应处理方法，处理回收的预制面板。

表 8.2.2 预制面板破损等级

| 破损等级 | 评估标准                                       | 处理方式               |
|------|--------------------------------------------|--------------------|
| 轻微   | 无缺棱掉角，表面裂纹宽度小于 0.2mm                       | 清理后可直接二次利用         |
| 中度   | 有轻微缺棱掉角且无钢筋外露，表面裂纹（非贯通）宽度介于 0.2mm~0.5mm 之间 | 维修后，符合轻微损伤标准，可二次利用 |
| 重度   | 钢筋外露或表面裂缝宽度大于 0.5mm                        | 报废处理               |

8.2.3 当预制面板作为地下室外墙模板时可不回收。

### 8.3 微型钢管桩回收

8.4.1 微型钢管桩复合土钉墙中，微型钢管桩的回收应在预制面板和预应力锚杆回收完成后进行。

8.4.2 微型钢管桩的回收，应符合以下要求：

1 微型钢管桩回收前，制定拔桩方案，确定拔桩顺序、拔桩时间及微型钢管桩孔的封堵方法

2 微型钢管桩拔桩时应考虑地下室顶板施工荷载，必要时对地库顶板做临时顶撑加固。

3 拔桩顺序宜与打桩顺序相反，必要时还可间隔拔除。

4 拔桩可采用适宜的振动锤或液压起拔器，应根据微型钢管桩的截面、桩长、地质参数、打入时间、打桩方法和周边环境条件等选用合适的拔桩设备。

5 采用液压起拔器拔桩时应符合以下规定：

1) 液压起拔设备需要有吊车配合作业。

2) 液压设备启动后应逐渐加荷，当达到钢管桩极限侧阻力标准值时，应缓缓拔起，通过起拔设备拔起桩长 1/3 后，可通过吊车直接拔起。

3) 当出现拉力表读数显示情况与极限侧阻力标准值明显不符时，应暂停拔桩作业，并分析原因，采取相应措施。

6 对拔桩后留下的桩孔，应及时封堵，桩孔回填材料可采用素土掺 7%水泥或级配砂回填。

【条文说明】可采取先拔出相邻容易起拔的桩，再拔出较难拔出的桩等措施。