

第七章 地下连续墙

- 概述
- 地下连续墙的设计
- 地下连续墙的施工

7.1 概述

7.1.1 地下连续墙的特点及适用条件

■ 地下连续墙

地下连续墙是在地面用专用设备，在泥浆护壁的情况下，开挖一条狭长的深槽，在槽内放置钢筋笼并浇灌混凝土，形成一段钢筋混凝土墙段。各段墙顺次施工并连接成整体，形成一条连续的地下墙体。

- **作用：**基坑开挖时防渗、挡土，邻近建筑物的支护，以及作为基础的一部分。



7.1.1 地下连续墙的特点及适用条件

■ 地下连续墙的应用

✓ 地下连续墙施工技术于 1950 年出现在**意大利**：Santa Malfa 大坝下深达 40 米的**防渗墙**及 Venafro 附近的储水池及引水工程中深达 35m 的**防渗墙**。

✓ **日本**于 1959 年引进该技术，广泛应用于建筑物、地铁及市政下水道的基坑开挖及支护中，并作为地下室外墙承受上部结构的垂直荷载。

✓ **我国**将地下连续墙首次用于主体结构是在唐山大地震（1976）后，在天津修复一项受震害的岸壁工程中实施

。

✓ 1977 年，上海研制成功**导板抓斗**和**多头钻成槽机**

■ 地下连续墙的优点

- ✓ 适用于多种土质条件（除岩溶地区和承压水头很高的沙砾层外，美国 110 层的世界贸易中心大厦）
- ✓ 可减少工程施工对周围环境的影响，无噪音、振动少，适用于城市与密集建筑群中施工墙体
- ✓ 刚度大、整体性好，用于深基坑支护时，变形较小，基坑周围地面沉降小，在建筑物、构筑物密集地区可以施工，对邻近建筑物和地下设施影响小（法国最小距离 0.5m，日本 0.2 m）
- ✓ 土方量小，无需井点降水，造价低，施工速度快，适用于各种地质条件
- ✓ 能防渗、截水、承重、挡土、抗滑、防爆等，耐久性好。
- ✓ 作为主体结构外墙，可实行逆作法施工，能加快施工进度、降低造价

■ 不足及局限性

- ✓ 弃土及废弃泥浆的处理问题，增加工程费用，如处理不当，造成环境污染
- ✓ 施工不当或土质条件特殊时，易出现不规则超挖或槽壁坍塌，轻则引起混凝土超方和结构尺寸超出容许的界限，重则引起相邻地面沉降、坍塌，危害邻近建筑和地下管线安全
- ✓ 与板桩、灌注桩及水泥石搅拌桩相比，地下连续墙造价高，选用时必须经过技术经济比较，合理时采用
- ✓ 施工机械设备价格昂贵，施工专业化程度高

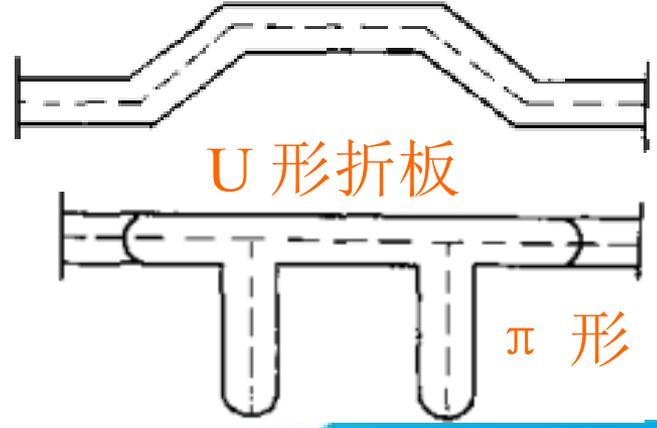
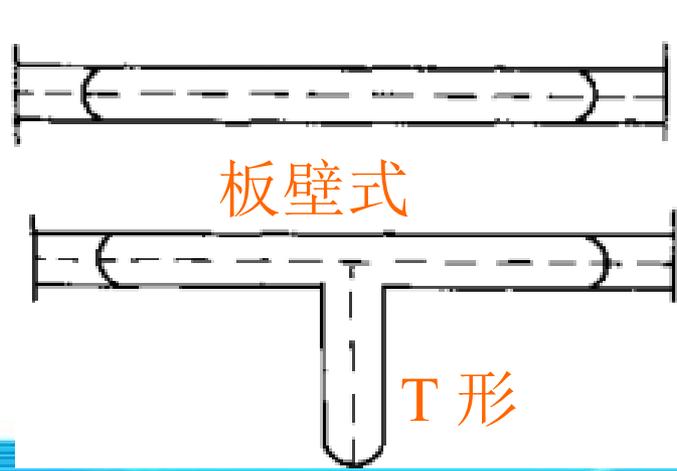
■ 地下连续墙的适用条件

- ✓ 处于软弱地基的深大基坑，周围又有密集的建筑群或重要地下管线，对周围地面沉降和建筑物沉降要求需严格限制时
- ✓ 围护结构亦作为主体结构的一部分，且对抗渗有较严格要求时
- ✓ 采用逆作法施工，地上和地下同步施工时

7.1.2 地下连续墙的类型

■工程应用中的连续墙形式

- ✓板壁式：应用最多，适用于各种直线段和圆弧段墙体
- ✓T形和 π 形地下连续墙：适用于开挖深度较大，支撑垂直间距大的情况
- ✓格形地下连续墙：前两种组合在一起的结构形式，可不设支撑，靠其自重维持墙体的稳定
- ✓预应力U形折板地下连续墙：新式地下连续墙，是一种空间受力结构，刚度大、变形小、能节省材料



■按用途分类

✓分为临时挡土墙、防渗墙、用作主体结构兼做临时挡土墙的地下连续墙和用作多边形基础兼做墙体的地下连续墙

✓按墙身材料分为土质墙、砼墙、钢筋砼墙及组合墙

7.2 地下连续墙的设计

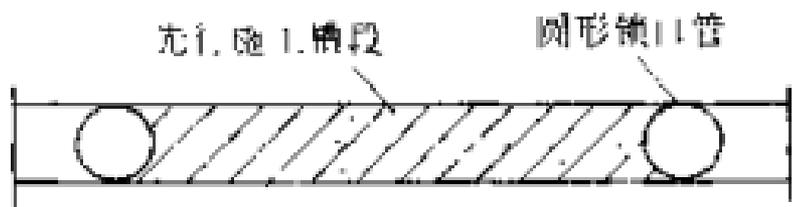
7.2.1 地下连续墙的接头设计

■ 分类：施工接头和结构接头

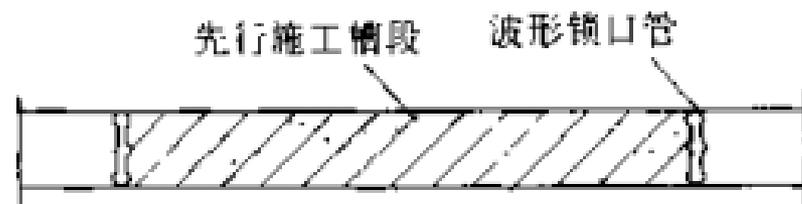
- 施工接头是指地下连续墙槽段和槽段之间的接头，施工接头连接两相邻单元槽段
- 结构接头是指地下连续墙与主体结构构件（底板、楼板、墙、梁、柱等）相邻的接头，通过结构接头的连接，地下连续墙与主体结构共同承担上部结构的垂直荷载

■ 施工接头

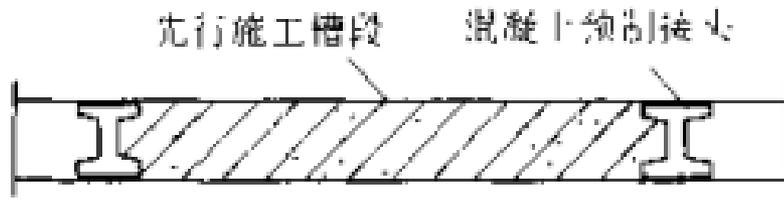
✓ 柔性接头：圆心锁口管接头、波形管（双波、三波）接头、预制接头和橡胶止水带接头。抗剪、抗弯能力差、一般不用做主体结构的地下连续墙结构，当地下连续墙仅作为地下室外墙，不承担上部结构的垂直荷载或分担荷载较小，通过采取一些结构措施，可采用柔性接头



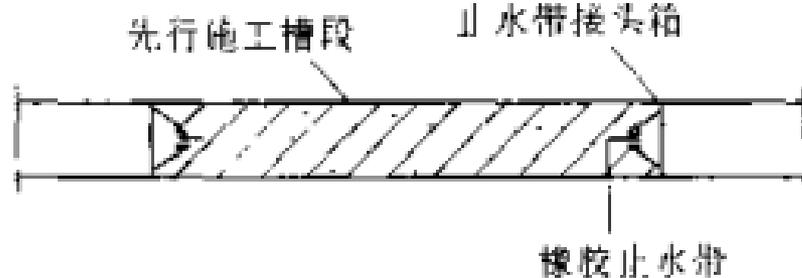
圆形锁口管接头



波纹竹接头



混凝土预制接头

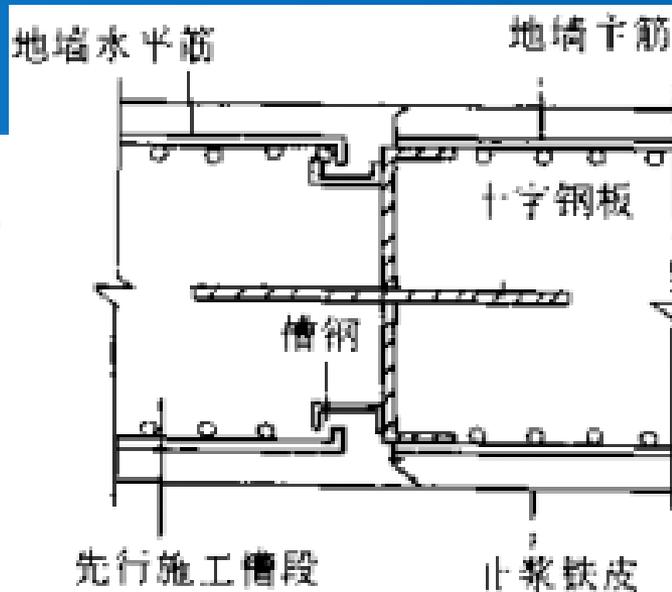


橡胶止水带接头

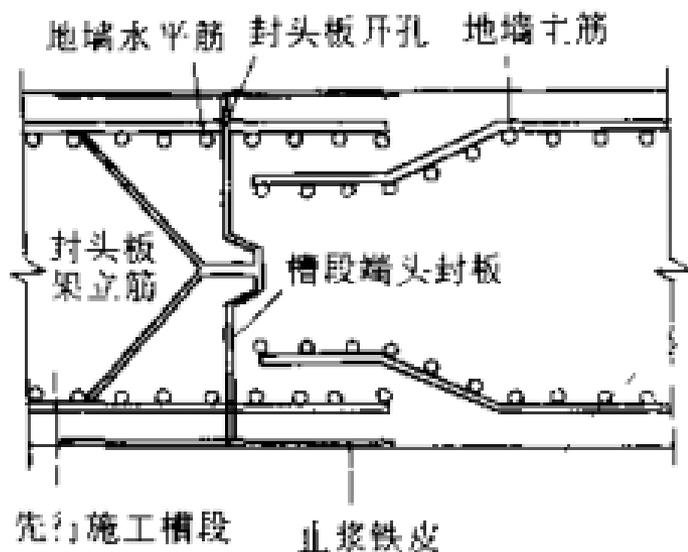
✓ 刚性接头：穿孔钢板和钢筋搭接接头

• 穿孔钢板接头：在工程中大量应用，该接头可承受地下连续梁垂直接缝上的剪力，使相邻地下连续墙槽段共同承担上部结构的垂直荷载，协调槽段的不均匀沉降，同时穿孔钢板接头具备较好的防水性。

• 钢筋搭接接头：采用相邻阶段槽段水平钢筋凹凸搭接，先行施工槽段钢筋笼两面伸出搭接部分，通过施工措施，现浇砼时可留下钢筋搭接部分空间，先槽段浇注，再接头钢筋搭接，后槽段浇注



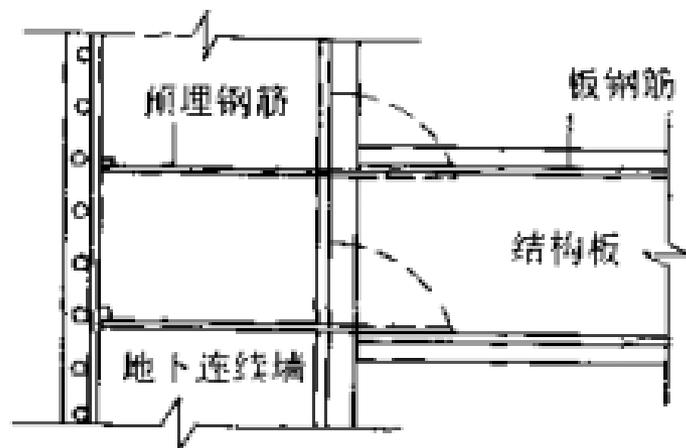
穿孔钢板接头



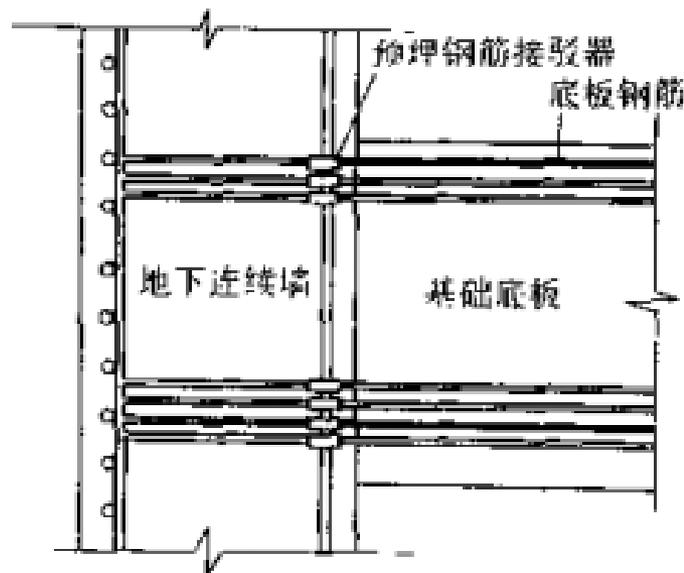
钢筋搭接接头

■ 结构接头

✓ **刚性接头**：若地下连续墙与结构板在接头处共同承受较大的弯矩，且两种构件抗弯刚度相近，同时板厚足以允许确保刚性连接的钢筋时，采用刚性连接。常见的有预埋式钢筋接驳器连接（锥螺纹、直螺纹）和预埋钢筋连接。结构底板与地下连续梁通常采用钢筋接驳器连接。



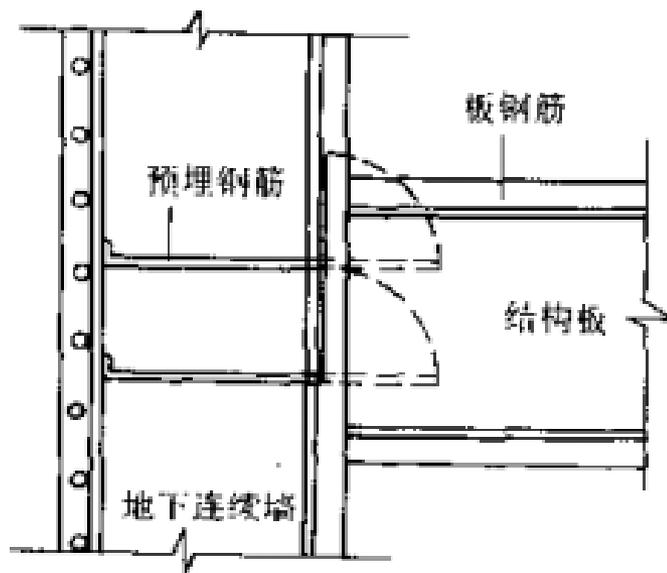
混凝土预制接头



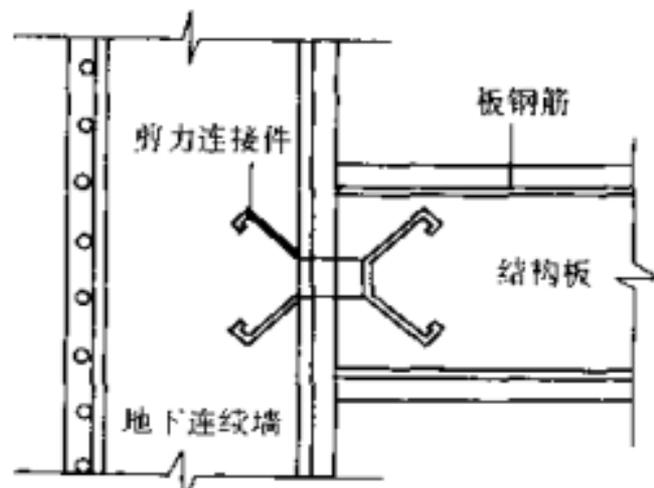
钢筋接驳器连接

■ 结构接头

✓ 铰接接头：结构板相对于地下连续墙厚度较小（地下室楼板），接头板处所承受的弯矩较小，可以认为该节点不承受弯矩，仅起竖向支座的作用，采用铰接连接。常用的有**预埋钢筋连接**和**预埋剪力连接件连接**。地下室楼板也可以通过边环梁与地下连续墙连接，楼板钢筋伸入边环梁。



预埋插筋连接

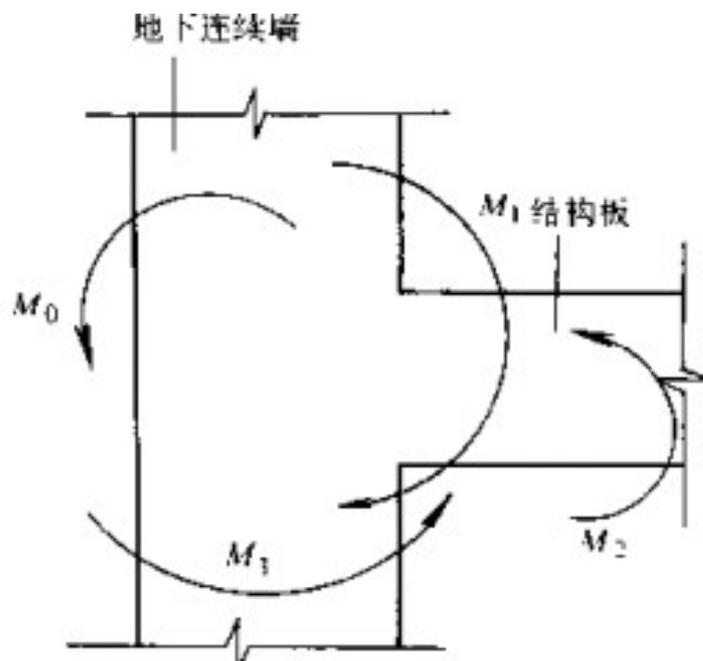


剪力连接件连接

■ 结构接头

✓ 不完全刚接：结构板相对于地下连续墙厚度较小，可在板内布置一定数量的钢筋，以承受一定的弯矩，但在板内钢筋不能配置很多以形成刚接，宜采用不完全刚接形式。

对结构板来说，端部弯矩折减后，板跨中的弯矩将增大。



抗剪能力不足时，需采取构造措施

- **接头处配置足量抗剪钢筋**
- **地下连续墙上板底做牛腿或支座**
- **在地下连续梁中预埋聚氯乙烯泡沫板，基坑开挖后，除去聚氯乙烯泡沫板，设置钢筋后现浇，使板与地下连续墙形成榫接连接**

7.2.2 地下连续墙的构造

■ 混凝土工程

- 砼强度等级不应低于 C20 ，施工时砼应按结构设计强度等级提高一级进行配合比设计
- 为使砼有良好的和易性，水泥用量不小于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ ，坍落度以 18~20cm 为宜，水灰比不宜大于 0.6
- 泥浆中浇注的地下连续墙的保护层厚度一般为 7~9cm ，对临时性支护结构不宜小于 50mm ，对永久性支护结构不宜小于 70mm ，骨料宜用粒度良好的河砂及粒径不大于 25mm 的坚硬河卵石。用碎石，增加水泥用量及沙率，水泥用普通硅酸盐水泥。

7.2.2 地下连续墙的构造

■ 钢筋工程

- 钢筋按一般钢筋混凝土构件计算，墙面和墙背的钢筋应形成刚度大、起吊不宜扭曲的钢筋笼，应使砼浇注时能流畅通过
- 主筋采用Ⅱ级钢筋，直径不宜小于 20mm，多以 32mm 以下的变形钢筋，根据结构受力大小与吊装要求配置。构造钢筋采用Ⅰ级钢筋，直径不宜小于 14mm，与主筋垂直。
- 钢筋笼的设计与制作尺寸，应根据单元槽段尺寸、形状、接头形式及起重能力及因素确定，常使钢筋笼端部和接头管或预制接头面保留 15~20cm 的空隙。

7.2.2 地下连续墙的构造

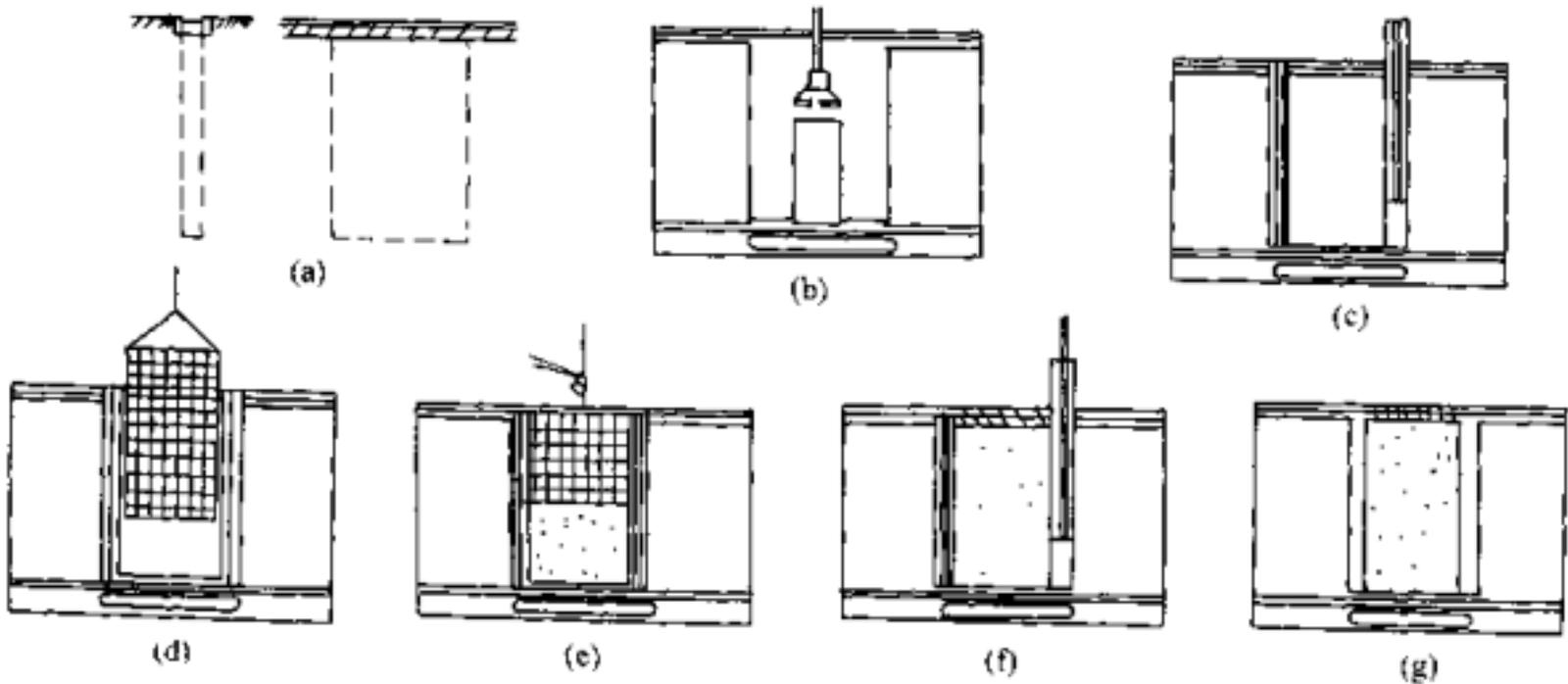
■抗渗要求

- 地下连续梁混凝土的抗渗等级不得小于 0.6MPa ，二层以上地下室不宜小于 0.8MPa 。墙段之间不设置止水带时，应选用锁口圆弧形、槽型或 V 形等可靠的防渗止水接头，接头面必须严格清刷，不得存有夹泥和沉砂。

7.3 地下连续墙的施工

地下连续墙采用**逐段施工方法**，周而复始的进行。每段分六步：

- (1) 开挖导槽，修筑导墙
- (2) 在始终充满泥浆的沟槽中，利用专业挖槽机械进行挖槽
- (3) 两端放入接头管
- (4) 将已制备的钢筋笼下沉到设计高度
- (5) 插入水下灌注混凝土导管后，进行混凝土灌注
- (6) 待砼初凝后，拔出导管



- 地下连续墙的施工工艺过程
- 目前，我国建筑工程中应用最多的是现浇的钢筋混凝土板式地下连续墙。
- 分两墙合一和纯为临时挡土墙两种情况。

现浇钢筋混凝土壁板式地下连续墙施工工艺过程

修筑导墙、泥浆制备与处理、深槽挖掘、钢筋笼制备与吊装以及混凝土浇筑，是主要工序。

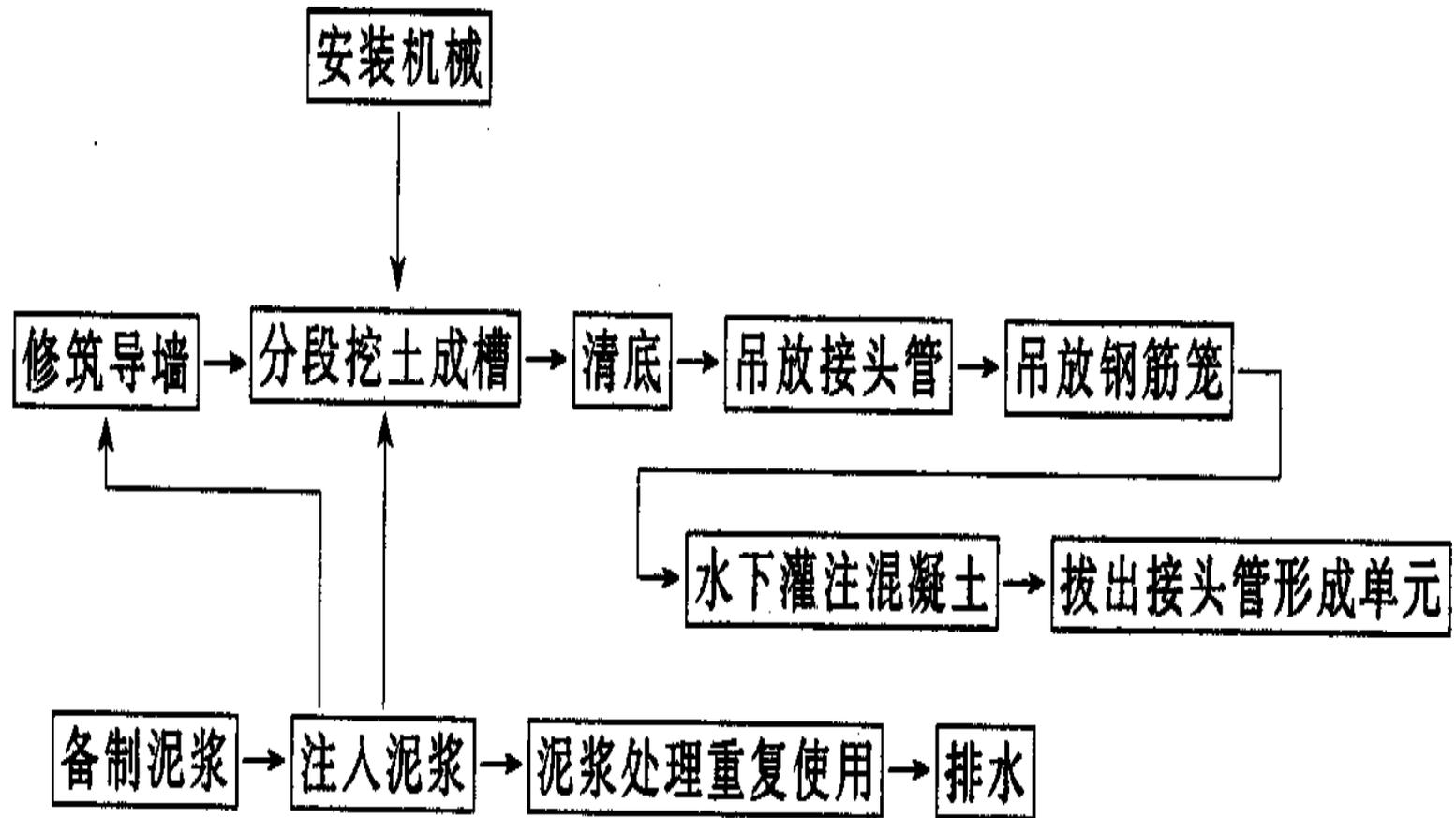


图 3-41 地下连续墙施工工艺过程

7.3.1 修筑导墙

- 导墙是地下连续墙挖槽之前修筑的临时结构。
- 1) 导墙的作用
 - (A) 挡土墙作用，可在导墙内适当距离设置横撑。
 - (B) 基准作用。
 - (C) 重物支承作用。
 - (D) 其他作用：
 - ① 防止泥浆漏失、保持泥浆稳定；
 - ③ 防止雨水等地面水流入槽内；
 - ④ 起到相邻结构物的补强作用。

2) 导墙的形式

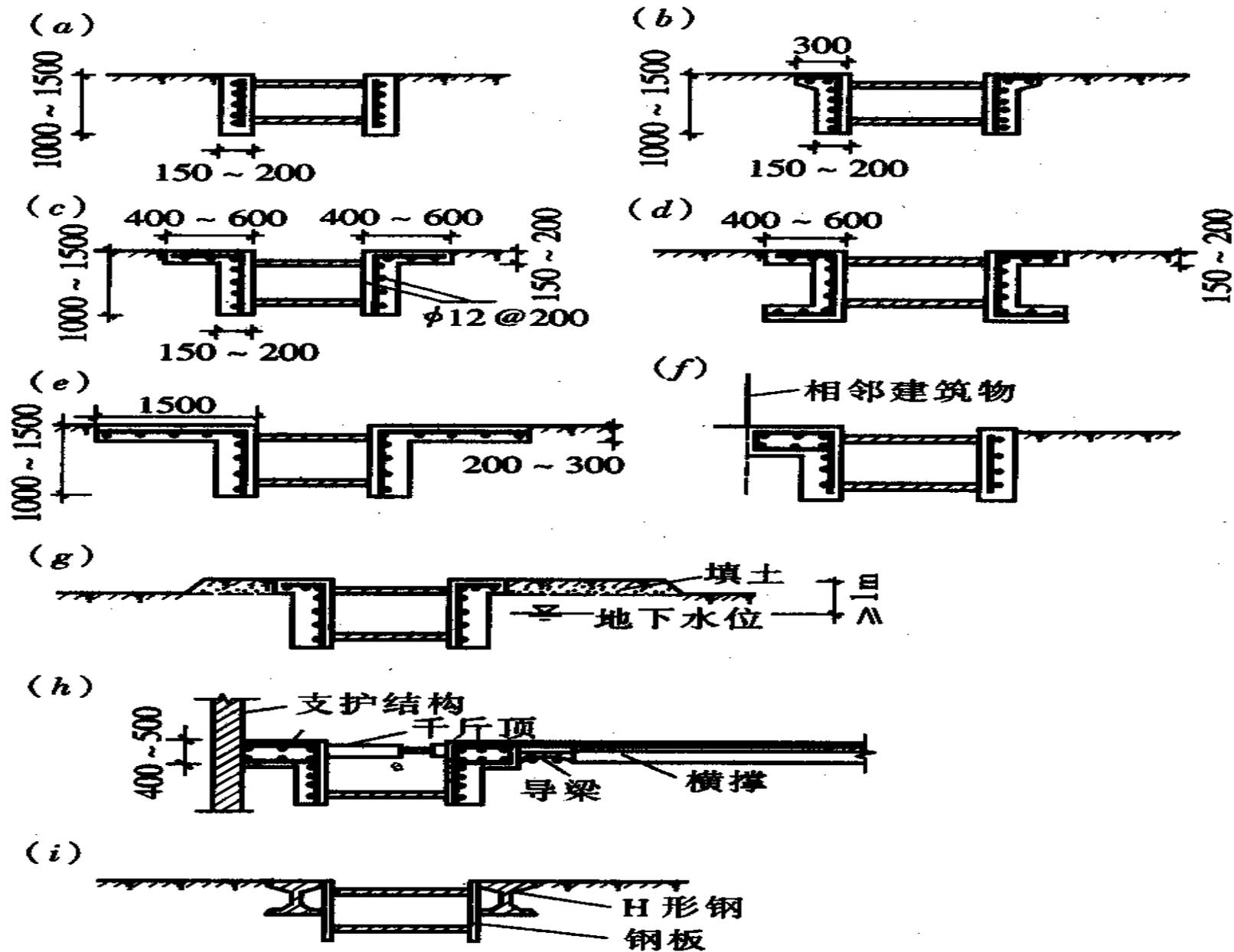


图 3-42 导墙的形式

3) 导墙施工

- 导墙的施工顺序：
- 平整场地→测量定位→挖槽→绑筋→支模板（按设计图，外侧可利用土模，内侧用模板）→浇混凝土→拆模并设置横撑→回填外侧空隙并碾压。
- 导墙构造要求
- 导墙的厚度一般为 150 ~ 200mm，深度为 1.5 ~ 2.0m。导墙的配筋 $\phi 12@200$ 。
- 导墙面应高于地面约 100mm。
- 导墙拆模后，沿纵向每隔 1 m 左右加设上下两道木支撑。



7.3.2 泥浆

- 1) 泥浆的功能
- (A) 防止槽壁坍塌。在槽壁上形成不透水的泥皮，使泥浆的静压力有效地作用在槽壁上，防止槽壁坍塌。
- (B) 携渣作用。能将钻头式挖槽机挖下来的土渣悬浮起来，即便于土渣随同泥浆一同排出槽外。
- (C) 冷却和滑润作用。泥浆可降低钻具的温度，又可起滑润作用而减轻钻具的磨损。

2) 泥浆成分

- 泥浆通常使用膨润土，添加掺合物和水。
- (A) 膨润土是一种颗粒极细、遇水显著膨胀、黏性和可塑性都很大的特殊黏土，主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等。
- (B) 掺合物按其用途分：有加重剂、增黏剂、分散剂及防漏剂四类。
- 地下连续墙挖槽用护壁泥浆（膨润土泥浆）的制备方法：
 - 制备泥浆
 - 自成泥浆
 - 半自成泥浆

• 3) 泥浆的控制指标

不同土层护壁泥浆性质的控制指标

表 3-9

| 指标 土层 | 性质 | 黏度 (s) | 相对密度 | 含砂 量 (%) | 失水 量 (%) | 胶体率 (%) | 稳定性 | 泥皮厚 度 (mm) | 静切力 (kPa) | pH 值 |
|----------|----|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|--------|---------------|--------------|------|
| 黏土层 | | 18~20 | 1.15~1.25 | <4 | <30 | >96 | <0.003 | <4 | 3~10 | >7 |
| 砂砾石层 | | 20~25 | 1.20~1.25 | <4 | <30 | >96 | <0.003 | <3 | 4~12 | 7~9 |
| 漂卵石层 | | 25~30 | 1.10~1.20 | <4 | <30 | >96 | <0.004 | <4 | 6~12 | 7~9 |
| 碾压土层 | | 20~22 | 1.15~1.20 | <6 | <30 | >96 | <0.003 | <4 | — | 7~8 |
| 漏失土层 | | 25~40 | 1.10~1.25 | <15 | <30 | >97 | — | — | — | — |

7.3.3 槽段开挖

✓ 槽段开挖是地下连续墙施工中的重要环节，约占工期的一半，挖槽精度又决定了墙体制作的精度，是决定施工进度和质量的关键。地下连续墙是分段施工。每一段称为地下连续墙的一个槽段（一个单元），一个槽段是一次混凝土建筑单位。

✓ 槽段长度的，从理论上说，槽段长度的选择，除去小于钻机长度的尺寸不能施工外，各种长度均可施工。影响长度的因素

- 地下连续墙所处的地质情况
- 相邻情况
- 工地所备的起重机能力
- 时间单位内供应混凝土的能力
- 工地上所具备的稳定液槽容积

✓成槽

- 无粘性土、硬土和夹有孤石等较复杂地层可用**冲击式**钻机
粘性土和 $N < 30$ 的砂性土，采用**抓斗式**，但深度宜 $\leq 15\text{m}$
- 回转式，尤其是多头钻，地质条件适应性好，且功效高，
壁面平整，一般当 $h > 20\text{m}$ 时宜优先考虑
- 采用多头钻机开槽，每段槽孔长可取 $6 \sim 8\text{m}$ ，采用抓斗式或冲击式钻机成槽，每段长度可更大。墙体深度可达几十米。



✓ 槽段的连接

接头应满足受力和防渗要求。国内多用接头管连接非刚性接头。在挖除单元槽段土体后，在一端先吊放接头管，再吊入钢筋笼，浇筑砼后逐渐拔出接头管，形成半圆形接头。

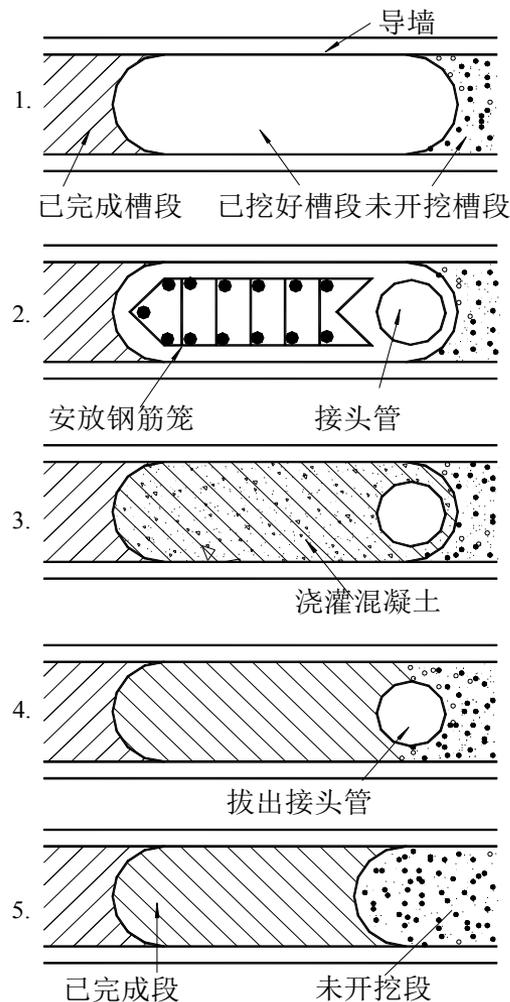


图 5.24 槽段的连接

7.3.4 钢筋笼加工与吊放

- ✓ 受力筋为Ⅱ级钢，直径不宜小于 20mm，构造筋采用 I 级钢，直径不宜小于 12mm，钢筋笼最好按槽段做成整体，若需要分段制作及吊放再连接时，钢筋空拼接宜采用焊接，宜用帮条焊。
- ✓ 钢筋笼端部与接头管或砼接头面应留有 15~20cm 的间隙。主筋保护层厚度 7~8cm，保护层垫块厚 5cm，垫块和墙面之间留有 2~3cm，钢垫块
- ✓ 制作钢筋笼先确定导管位置，这部分空间上下连通

7.3.4 钢筋笼加工与吊放

- ✓ 纵筋在内侧，横筋在外侧。纵筋稍向内弯折
- ✓ 加工钢筋笼时，根据钢筋笼重量、尺寸及起吊方式和吊点布置，在钢筋笼内布置一定数量的纵向桁架。
- ✓ 起吊时，顶部用一根横梁。起吊过程中钢筋笼不产生弯曲变形。为防止钢筋笼晃动，可系绳索人工控制。
- ✓ 插入钢筋笼时，使钢筋笼对准单元槽段中心，垂直准确插入槽内。
- ✓ 钢筋笼插入槽内后，检查标高是否满足设计要求，然后搁置在导墙上。分段制作钢筋笼时，吊放时需接长，下段钢筋笼要垂直悬挂在导墙上，然后将上段钢筋笼垂直起吊，上下两段钢筋笼成直线连接。

✓ 吊放钢筋笼前须检测槽段，槽底淤泥厚应 $\leq 150 \sim 250$ mm；

✓ 制作、吊放钢筋笼；钢筋绑扎一般可先用铅丝临时固定，再点焊焊条、拆除铅丝；



7.3.5 水下混凝土浇注

- ✓ 清除沉渣
- ✓ 具有水下浇注混凝土的特点，强度等级不低于 C20，砵的级配满足结构要求和水下砵施工要求，比如流态砵的坍塌度在 15~20cm 左右，有良好的和易性和流动性
- ✓ 用导管在泥浆中浇注
- ✓ 导管数量与槽段长有关，槽段长小于 4m，导管 1 根；大于 4m，2 根或 2 根以上。导管内径为粗骨料的 8 倍左右，不得小于粒径的 4 倍，导管间距，用 150mm 导管，间距 2m，用 200mm，间距 3m。

7.3.5 水下混凝土浇注

- ✓ 导管下口插入砼深度应控制在 2~4m，不宜过深过浅，插入深度大，砼挤土的影响范围大，深部的砼密实、强度高。容易使下部沉积过多粗骨料，面层砂浆较多。导管浅，混凝土是推铺式推移，泥浆容易混入，影响砼强度。导管插入深度不宜小于 1.5m，不宜大于 6m。当浇注顶面砼时，可减少插入深度，减低灌注速度。
- ✓ 浇灌过程中，导管不能做横向运动，不能长时间中断，一般是 5~10min，保证均匀性
- ✓ 混凝土顶面需要比设计标高超浇 0.5m 以上。