第二节 明挖基坑施工

1K413021 地下水控制

1K413022 深基坑支护结构与边坡防护

1K413023 基坑（槽）土方开挖及变形控制

1K413014 地基加固处理方法

1K420150 明挖基坑施工安全事故预防

二、深基坑支护结构与边坡防护

基坑工程是由地面向下开挖一个地下空间，深基坑四周一般设置垂直的挡土围护结构，围护结构一般是在开挖面基底下有一定插入深度的板（桩）墙结构；支撑结构起减小围护结构变形，控制墙体弯矩的作用，分为内撑和外锚两种形式。以下主要以地铁车站基坑为主介绍基坑开挖支护与边坡防护。（P120）

悬臂式

单撑式

多撑式

（一）基坑围护结构体系

(1)基坑围护结构体系包括:

①板（桩）墙

②围檩（冠梁）

③其他附属构件

板（桩）墙主要承受基坑开挖卸荷所产生的土压力和水压力，并将此压力传递到支撑，是稳定基坑的一种施工临时挡墙结构。

地铁基坑所采用的围护结构形式很多，其施工方法、工艺和所用的施工机具也各异，因此，应根据基坑深度、工程地质和水文地质条件、地面环境条件等(特别要考虑到城市施工特点)，经技术经济综合比较后确定。

（二）深基坑围护结构类型

排桩

①预制砼板桩

②钢板桩

③钢管柱

④灌注桩

⑤SMW 工法桩

地下连续墙

重力式挡墙

钢板桩

钢板桩

板式钢管桩

预制混凝土板桩

2.钢板桩与钢管桩

钢板桩强度高，桩与桩之间的连接紧密，隔水效果好。具有施工灵活、板桩可重复使用等优点，是基坑常用的一种挡土结构。但板桩打入时有挤土现象，而拔出时则又会将土带出，造成板桩位置出现空隙，这些都会对周边环境造成一定影响。而且，板桩的长度有限，其适用的开挖深度也受到限制，一般最大开挖深度在 7~8m。板桩的形式有多种，拉森型是最常用的，在基坑较浅时也可采用大规格的槽钢(采用槽钢且有地下水时要辅以必要的降水措施)。采用钢板桩作支护结构时在其上口及支撑位置需用钢围檩将其连接成整体，并根据深度设置支撑或拉锚。

钢板桩常用断面形式多为 U 形或 Z 形。我国地下铁道施工中多用 U 形钢板桩，其沉放和拔除方法、使用的机械均与工字钢桩相同，但其构成方法则可分为单层钢板桩、双层钢板桩及帷幕等。由于地铁施工时基坑较深，为保证其垂直度且方便施工，并使其能封闭合龙，多采用帷幕式构造。

钢板桩与其他排桩围护相比，一般刚度较低，这就对围檩的强度、刚度和连续性提出了更高的要求。其止水效果也与钢板桩的新旧、整体性及施工质量有关。在含地下水的砂土地层施工时，要保证齿口咬合，并应使用专门的角桩，以保证止水效果。

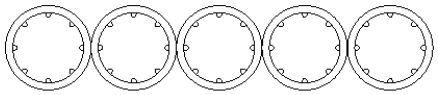
为提高钢板桩的刚度以适用于更深的基坑，可采用组合式形式，也可用钢管桩。但钢管桩的施工难度相比于钢板桩更高，由于锁口止水效果难以保证，需有防水措施相配合。

1.预制混凝土板桩

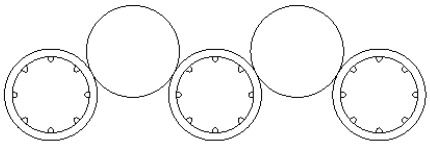
常用钢筋混凝土板桩截面的形式有四种：矩形、T 形、工字形及口字形。矩形截面板桩制作较方便，桩间采用槽榫接合方式，接缝效果较好，是使用最多的一种形式；T 形截面由翼缘

和加劲肋组成，其抗弯能力较大，但施打较困难，翼缘直接起挡土作用，加劲肋则用于加强翼缘的抗弯能力，并将板桩上的侧压力传至地基土，板桩间的搭接一般采用踏步式止口；工字形薄壁板桩的截面形状较合理，因此受力性能好、刚度大、材料省，易于施打，挤土也少；口字形截面一般由两块槽形板现浇组合成整体，在未组合成口字形前，槽形板的刚度较小。预制混凝土板桩施工较为困难，对机械要求高，而且挤土现象很严重，加之混凝土板桩一般不能拔出，因此，它在永久性的支护结构中使用较为广泛，但国内基坑工程中使用不很普遍。

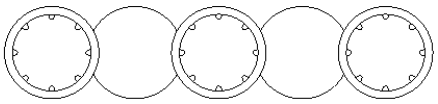
灌注桩



（1）一字形配置



（2）错缝配置



（3）搭接配置

3.钻孔灌注桩围护结构

钻孔灌注桩一般采用机械成孔。地铁明挖基坑中多采用螺旋钻机、冲击式钻机和正反循环钻机、旋挖钻等。对正反循环钻机，由于其采用泥浆护壁成孔，故成孔时噪声低，适于城区施

工，在地铁基坑和高层建筑深基坑施工中得到广泛应用。

钻孔灌注桩围护结构经常与止水帷幕联合使用，止水帷幕一般采用深层搅拌桩。 如果基坑上部受环境条件限制，也可采用高压旋喷桩止水帷幕，但要保证高压旋喷桩止水帷幕施工质量。近年来，素混凝土桩与钢筋混凝土桩间隔布置的钻孔咬合桩也有较多应用，此类结构可直接作为止水帷幕。

①对悬臂式排桩，桩径宜大于或等于 600mm;

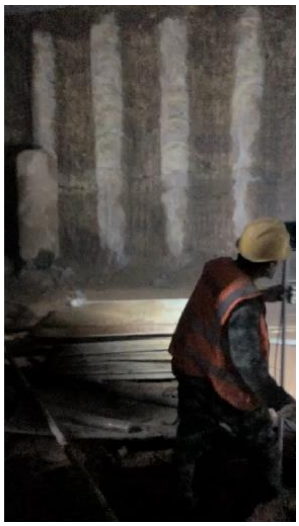
②对拉锚式或支撑式排桩，桩径宜大于或等于 400mm;

③排桩的中心距不宜大于桩直径的 2 倍。

④桩身混凝土强度等级不宜低于 C25。

⑤排桩顶部应设置混凝土冠梁。

⑥混凝土灌注桩宜采取间隔成桩的施工顺序；应在混凝土终凝后，再进行相邻桩的成孔施工。



5.重力式水泥土挡墙

深层搅拌桩是用搅拌机械将水泥、石灰等和地基土相拌合，形成相互搭接的格栅状结构形式，也可相互搭接成实体结构形式。采用格栅形式时，要满足一定定的面积转换率，对淤泥质土，不宜小于 0.7；对淤泥，不宜小于 0.8；对一般黏性土、砂土，不宜小于 0.6。由于采用重力式结构，开挖深度不宜大于 7m。对嵌固深度和墙体宽度也要有所限制，对淤泥质土，嵌固深度不宜小于 1.2h（h 为基坑挖深），宽度不宜小于 0.7h；对淤泥，嵌固深度不宜小于 1.3h，宽度不宜小于 0.8h。

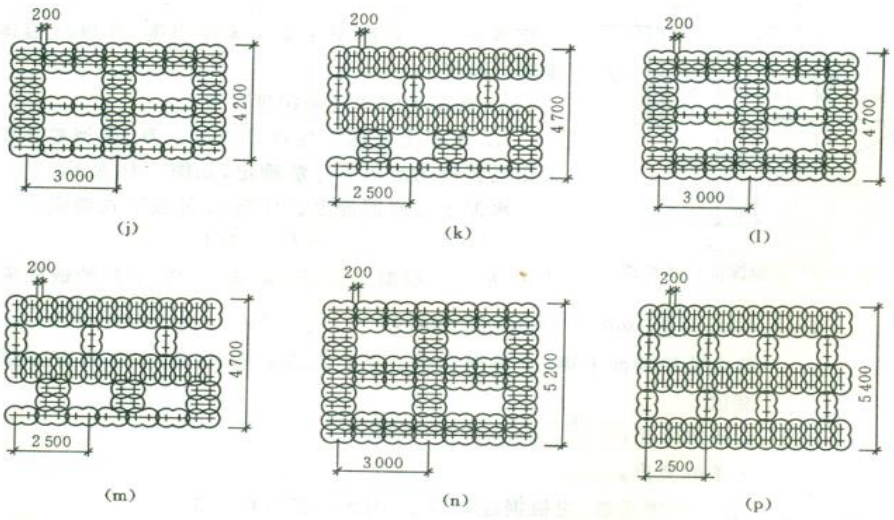


图 2-45　典型的水泥土桩格栅式布置

(a) $n=3$；(b)、(c) $n=4$；(h)、(d)、(e) $n=5$；(f)、(g) $n=6$；
(h) $n=7$；(i)、(j) $n=8$；(k)、(l)、(m) $n=9$；(n)、(p) $n=10$

【SMW】是 Soil Mixing Wall 的缩写。

SMW 工法连续墙于 1976 年在日本问世，由日本成辛工业株式会社开发成功。

开挖导沟

开挖导沟

↓

设置导向定位钢板

↓

SMW搅拌机就位

↓

混合搅拌

↓

插入型钢

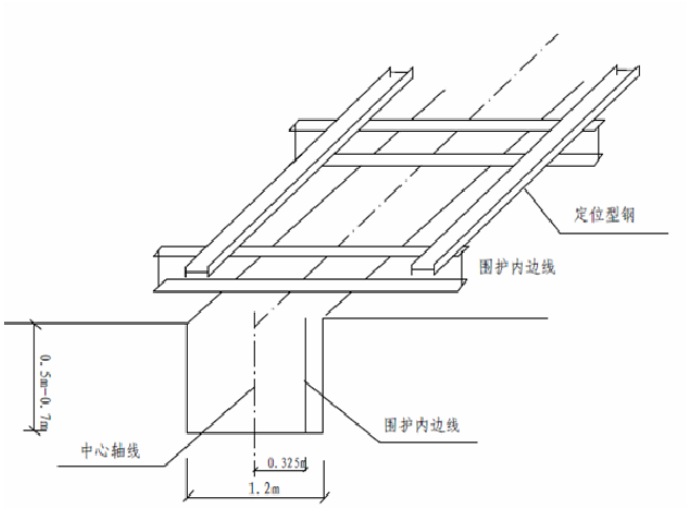
↓

施工完毕

↓

型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收



开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

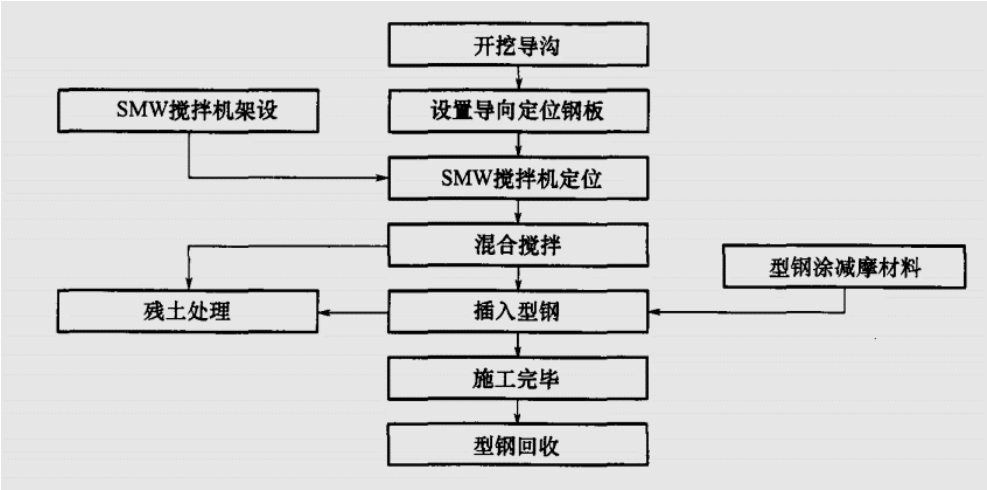
开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

开挖导沟
↓
设置导向定位钢板
↓
SMW搅拌机就位
↓
混合搅拌
↓
插入型钢
↓
施工完毕
↓
型钢回收

4. SMW 工法桩(型钢水泥土搅拌墙) 19 版 P123

SMW 工法桩围护墙是利用搅拌设备就地切削土体，然后注入水泥类混合液搅拌形成均匀的

水泥土搅拌墙，最后在墙中插入型钢，即形成一种劲性复合围护结构。具体施工工艺流程见图 1K413022-1。此类结构在上海等软土地区有较多应用。

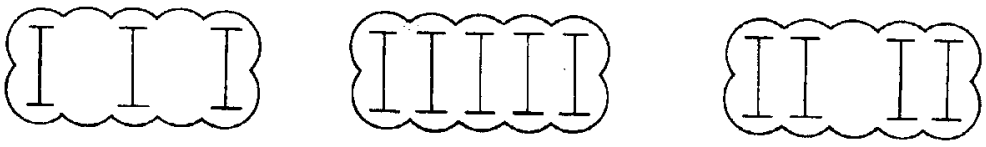


4. SMW 工法桩(型钢水泥土搅拌墙)

型钢水泥土搅拌墙中三轴水泥土搅拌桩的直径宜采用 650mm、850mm、1000mm；内插的型钢宜采用 H 形钢。搅拌桩 28d 龄期无侧限抗压强度不应小于设计要求且不宜小于 0.5MPa，水泥宜采用强度等级不低于 P·O42.5 级的普通硅酸盐水泥，材料用量和水胶比应结合土质条件及机械性能等指标通过现场试验确定。在填土、淤泥质土等特别软弱的土中以及在较硬的砂性土、砂砾土中，钻进速度较慢时，水泥用量宜适当提高。在砂性土中搅拌桩施工宜外加膨润土。

当搅拌桩直径为 650mm 时，内插 H 形钢截面宜采用 H500 x 300、H500x200；当搅拌桩直径为 850mm 时，内插 H 形钢截面宜采用 H700 x 300；当搅拌桩直径为 1000mm 时，内插 H 形钢截面宜采用 H800x300、H850x300。

型钢水泥土搅拌墙中型钢的间距和平面布置形式应根据计算确定，常用的内插型钢布置形式可采用密插型、插二跳一型和插一跳一型三种。



a）　　b）　　c）

单根型钢中焊接接头不宜超过两个，焊接接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等型钢受力较大处；相邻型钢的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于 1m， 且型钢接头距离基坑底面不宜小于 2m。拟拔出回收的型钢，插入前应先在干燥条件下除锈，再在其表面涂刷减摩材料。

【地下连续墙】

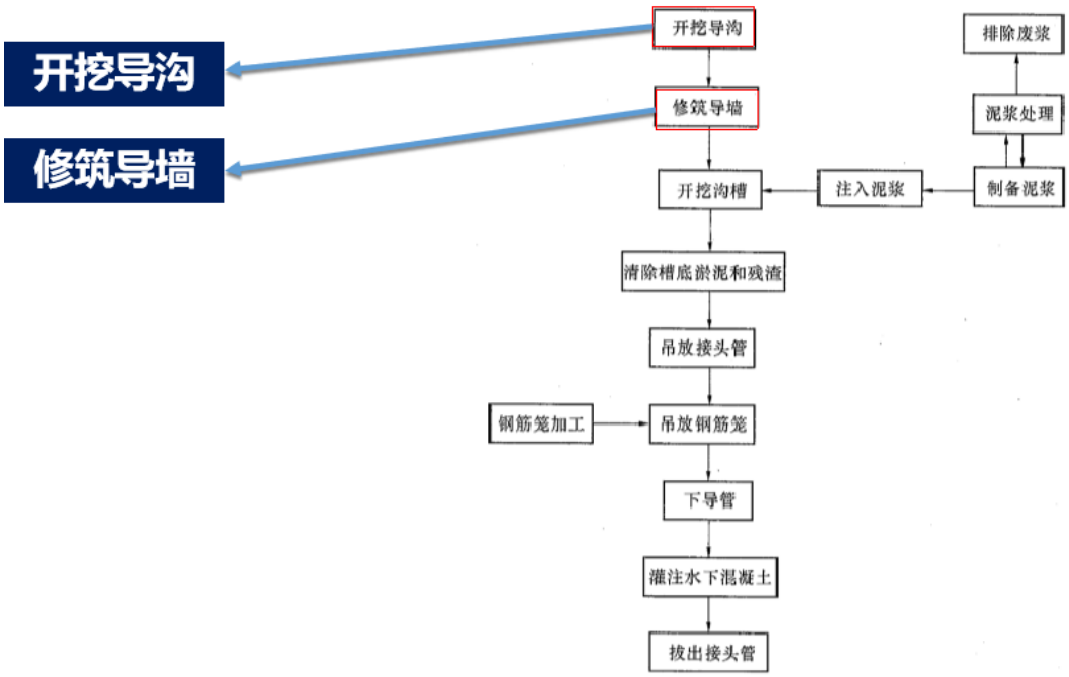
1.意大利 1938 年首次进行了地下连续墙的试验。

2.1950 年首次应用于意大利的 Santan Malin 大坝防渗工程（深达 40 米的截水止漏墙）。

3.1973 年法国索列丹斯公司首先研制了液压铣槽机。

4.当前地下连续墙最发达的当属日本，90 年代日本东京湾跨海大桥，川崎人工岛（厚 2.8m，直径 108m），地下连续墙深 140m。

5.其他如意大利、法国、德国等均位于地下连续墙技术发展的前列。



导墙是控制挖槽精度的主要构筑物，导墙结构应建于坚实的地基之上，其主要作用有：

①挡土：在挖掘地下连续墙沟槽时，地表土松软容易坍陷，因此在单元槽段挖完之前，导墙起挡土作用。

②基准作用：导墙作为测量地下连续墙挖槽标高、垂直度和精度的基准。

③承重：导墙既是挖槽机械轨道的支承，又是钢筋笼接头管等搁置的支点，有时还承受其他施工设备的荷载。

④存蓄泥浆：导墙可存蓄泥浆，稳定槽内泥浆液面。泥浆液面始终保持在导墙面以下 20cm，并高出地下水位 1m，以稳定槽壁。

⑤其他：导墙还可防止泥浆漏失，阻止雨水等地面水流人槽内；地下连续墙距现有建（构）筑物很近时，在施工时还起到一定的补强作用。

导墙一般为现浇钢筋混凝土结构，应具有必要的强度、刚度和精度，要满足挖槽机械的施工要求。

确定导墙形式时应考虑下列因素：

①开挖范围的地质条件，

②荷载情况，

③地下连续墙施工时对邻近建（构）筑物可能产生的影响，

④地下水状况。

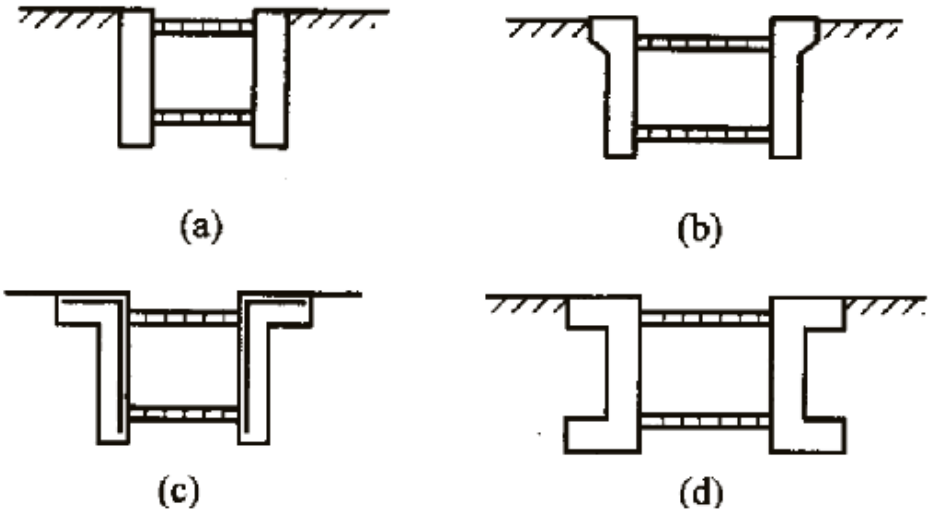
⑤当施工作业面在地面以下（如在路面以下施工）时还要考虑对先施工临时支护结构的影响。

芝芝喝污水

导墙的形式如图 1K413022-3 所示，其中：

(a)、(b)断面最简单，它适用于表层土质良好和导墙上荷载较小的情况；

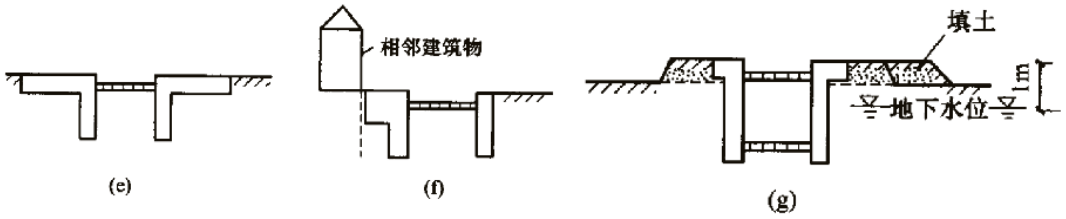
(c)、(d)为应用较多的两种，适用于表层土为杂填土、软黏土等承载能力较弱的土层，因而将导墙做成倒“L”形或“][”形；



(e)适用于作用在导墙上荷载很大的情况，可根据荷载计算其伸出部分的长度；

(f)适用于相邻建（构）筑物一侧需加强的情况，以保护建（构）筑物；

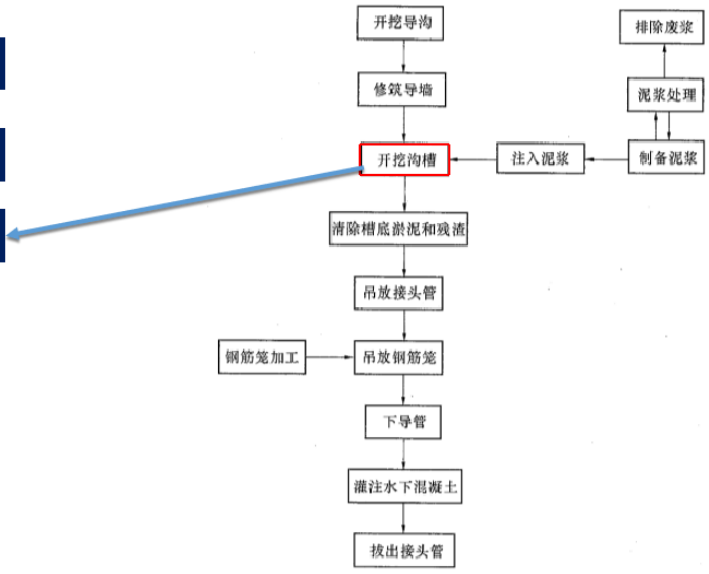
(g)适用于地下水位高的土层， 须将导墙提高，以保持泥浆面距地下水位 1m，导墙提高后两边要填土找平。



开挖导沟

修筑导墙

开挖沟槽



开挖导沟

修筑导墙

开挖沟槽

右图为液压抓斗成槽机，成槽机抓斗宽度2.8m，正常情况下24h可成槽30米深，6米长，0.8米宽两单元幅。

地下连续墙施工采用专用的挖槽设备，沿着基坑的周边，按照事先划分好的幅段，开挖狭长的沟槽。目前使用的成槽机械，按其工作原理可分为抓斗式、冲击式和回转式等类型。地下

连续墙的一字形槽段长度宜取 4 ~ 6m。当成槽施工可能对周边环境产生不利影响或槽壁稳定性较差时，应取较小的槽段长度。必要时，宜采用搅拌桩对槽壁进行加固；地下连续墙的转角处或有特殊要求时，单元槽段的平面形状可采用 L 形、T 形等。

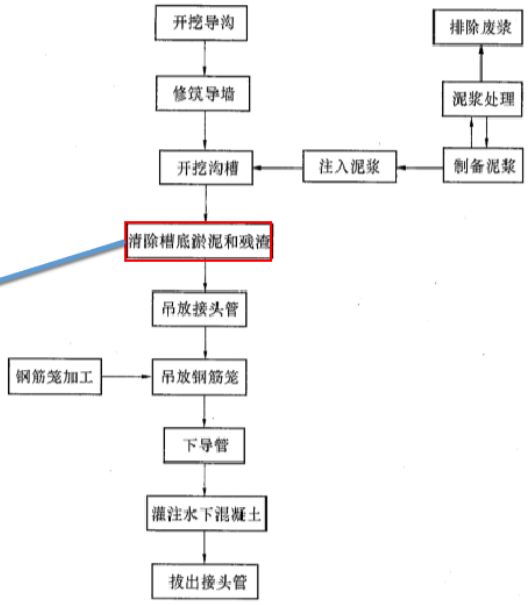
抓机会

开挖导沟

修筑导墙

开挖沟槽

清槽底淤泥和残渣



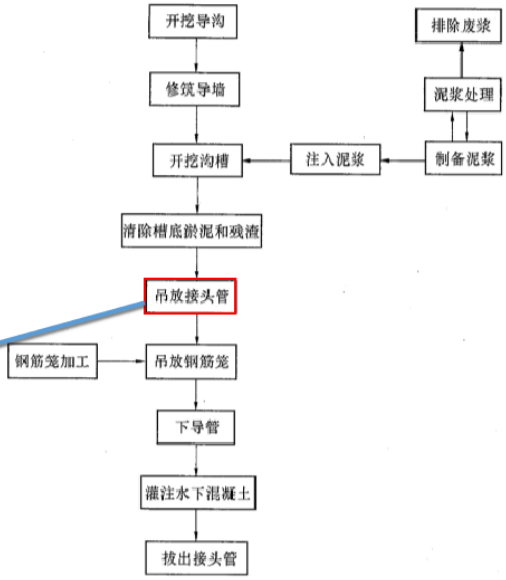
开挖导沟

修筑导墙

开挖沟槽

清槽底淤泥和残渣

吊放接头管



开挖导沟

修筑导墙

开挖沟槽

清槽底淤泥和残渣

吊放接头管

槽段接头的功能：

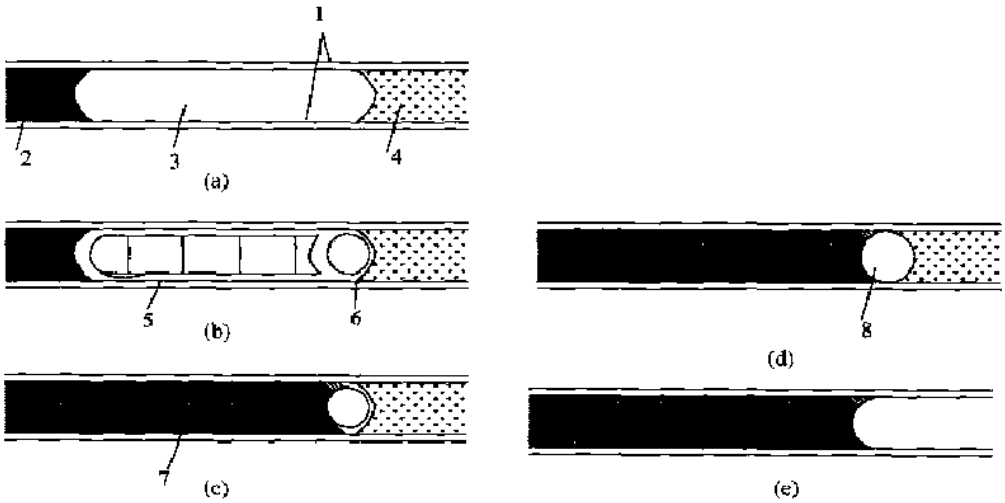
止水、阻挡混凝土流入侧边、应力传递、抗剪切能力

柔性接头

相邻单元墙段间的墙体材料直接粘结，形成平面或曲面式接缝，这种连接成为柔性连接。

刚性接头

利用钢板等材料按照特定的形状与钢筋笼焊接成一体。



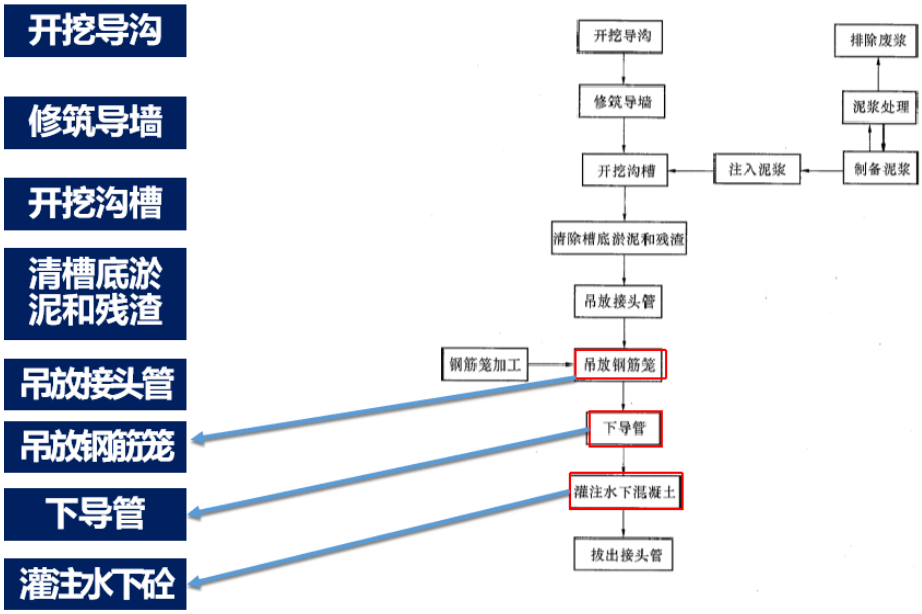
1—倒槽; 2—混凝土墙; 3—开挖地段; 4—未开挖地段; 5—连锁管; 6—钢筋笼; 7—混凝土浇筑; 8—连锁管拔除后的孔洞

地下连续墙的槽段接头应按下列原则选用：

①地下连续墙宜采用圆形锁口管接头、波纹管接头、楔形接头、工字钢接头或混凝土预制接

头等柔性接头。

②当地下连续墙作为主体地下结构外墙，且需要形成整体墙体时，宜采用刚性接头；刚性接头可采用一字形或十字形穿孔钢板接头、钢筋承插式接头等；在采取地下连续墙顶设置通长的冠梁、墙壁内侧槽段接缝位置设置结构壁柱、基础底板与地下连续墙刚性连接等措施时，也可采用柔性接头。



每个幅段的沟槽开挖结束后，在槽段内放置钢筋笼，并浇筑水下混凝土。然后将若干个幅段连成一个整体，形成一个连续的地下墙体，即现浇钢筋混凝土壁式连续墙。

在开挖过程中，为保证槽壁的稳定，采用特制的泥浆护壁。泥浆应根据地质和地面沉降控制要求经试配确定，并在泥浆配制和挖槽施 I 中对泥浆的相对密度、黏度、含砂率和 pH 值等主要技术性能指标进行检验和控制。泥浆液面始终保持在导墙顶面以下 20cm 并高出地下水位 1m，以稳定槽壁。

地下连续墙：

地下连续墙主要有预制钢筋混凝土连续墙和现浇钢筋混凝土连续墙两类，通常地下连续墙一般指后者。

地下连续墙有如下优点：

①施工时振动小、噪声低

②墙体刚度大，对周边地层扰动小

③可适用于多种土层

除遇夹有孤石、大颗粒卵砾石等局部障碍物时会影响成槽效率外，对黏性土、无黏性土、卵砾石层等各种地层均能高效成槽。

类型		特点
排桩	预制混凝土板桩	①预制混凝土板桩施工较为困难，对机械要求高，而且挤土现象很严重； ②桩间采用槽榫接合方式，接缝效果较好，有时需辅以止水措施； ③自重大，受起吊设备限制，不适合大深度基坑
	钢板桩	①成品制作，可反复使用； ②施工简便，但施工有噪声； ③刚度小，变形大，与多道支撑结合，在软弱土层中也可采用； ④新的时候止水性尚好，如有漏水现象，需增加防水措施
	钢管桩	①截面刚度大于钢板桩，在软弱土层中开挖深度大； ②需有防水措施相配合
	灌注桩	①刚度大，可用在深大基坑； ②施工对周边地层、环境影响小； ③需降水或和止水措施配合使用，如搅拌桩、旋喷桩等
	SMW工法桩	①强度大，止水性好； ②内插的型钢可拔出反复使用，经济性好； ③具有较好发展前景，国内上海等城市已有工程实践； ④用于软土地层时，一般变形较大
地下连续墙		①刚度大，开挖深度大，可适用于所有地层； ②强度大，变位小，隔水性好，同时可兼作主体结构的一部分； ③可邻近建筑物、构筑物使用，环境影响小； ④造价高
重力式水泥土挡墙/水泥土搅拌桩挡墙		①无支撑，墙体止水性好，造价低； ②墙体变位大