

DITIE GONGCHENG SHIGONG JISHU  
YU TUNDAO ANQUAN GUANLI

# 地铁工程施工技术 与隧道安全管理

杨 刚 张兆元 余 浩 主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

地铁工程施工技术与隧道安全管理/陈刚,张兆元,余浩主编. —武汉:华中科技大学出版社,2022.10

ISBN 978-7-5680-8551-9

I. ①地… II. ①陈… ②张… ③余… III. ①地铁隧道-隧道施工-安全管理  
IV. ①U231.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 185694 号

地铁工程施工技术与隧道安全管理

陈刚 张兆元 余浩 主编

Ditie Gongcheng Shigong Jishu yu Suidao Anquan Guanli

责任编辑:陈忠

封面设计:王娜

责任校对:周怡露

责任监印:朱玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:21

字数:377千字

版次:2022年10月第1版第1次印刷

定价:98.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 编 委 会

**主 编** 陈 刚(贵阳市城市轨道交通集团有限公司)  
张兆元(中交第二公路工程局有限公司)  
余 浩(中铁十二局集团第二工程有限公司)

**副主编** 张东升(中国建筑西南勘察设计研究院有限公司)  
龚选波(北京城建勘测设计研究院有限责任公司)

**编 委** 李立功(北京市轨道交通建设管理有限公司)  
魏明垒(中国水利水电第七工程局有限公司)  
贺伟民(中国水利水电第八工程局有限公司)

# 前 言

自 20 世纪 80 年代以来,尤其是进入 21 世纪以后,我国隧道及地下工程事业得到了迅猛发展,以地铁工程为首的地下工程成为稳固国民经济重要前提的基础建设工程。地铁已成为当下颇受欢迎的交通工具,不仅解决了城市人口剧增和急剧增长的人口流动性带来的交通压力,同时响应了国家节能减排的环境友好型社会建设的目标,为城市建设和居民生活水平的改善作出了巨大的贡献。但是,地铁工程施工面临着地形结构、城市线路规划、施工技术、工程管理等方面的挑战,我们需要对突如其来的挑战进行实时调整,创造更为科学合理的系统布局,保证工程施工过程中管理措施的不断更新。为适应国内地铁建设新形势,满足地铁工程土建专业工程技术与管理培训的需要,编者编著了此书。

本书注意结合我国地铁和隧道工程建设的特点,着重阐述技术成熟、贴合现场实际的明挖法和盖挖法等施工方法,以及简捷、有效的盾构法和新奥法等施工工艺,同时对隧道病害整治及施工安全管理进行探讨。基于地铁工程施工技术理论与实践并重的特点,本书在编写时遵循理论联系实际的原则,以交通运输部最新颁布的有关工程技术标准、规范为依据,在总结多年行业成果的基础上,紧密结合工程实践。本书实践性强、内容翔实、涉及面广,融知识性、实践性于一体。

由于本书包罗内容较多,涉及知识较烦琐,各章节内容的深度和广度可能并不一致,且谬误不可避免,敬请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 地铁车站施工</b> .....	(1)
1.1 钻孔围护排桩施工 .....	(1)
1.2 地下连续墙施工 .....	(3)
1.3 SMW 桩施工 .....	(10)
1.4 明挖法基坑开挖 .....	(13)
1.5 暗挖法车站开挖 .....	(17)
1.6 地铁盖挖顺作法 .....	(25)
1.7 地铁盖挖逆作法 .....	(31)
1.8 洞桩法施工技术 .....	(35)
<b>第 2 章 盾构法施工</b> .....	(40)
2.1 盾构隧道端头加固施工 .....	(40)
2.2 盾构运输吊装 .....	(45)
2.3 盾构调试、始发与到达 .....	(55)
2.4 管片预制技术 .....	(64)
2.5 盾构隧道掘进 .....	(69)
2.6 盾构调头、过站和空推 .....	(88)
2.7 盾构操作技术与换刀技术 .....	(95)
2.8 特殊地质条件下盾构掘进 .....	(107)
2.9 特殊环境条件下盾构掘进 .....	(124)
<b>第 3 章 新奥法施工</b> .....	(139)
3.1 超前支护 .....	(139)
3.2 初期支护 .....	(142)
3.3 全断面注浆加固 .....	(147)
3.4 防水层施工 .....	(149)
3.5 衬砌施工 .....	(153)
3.6 附属结构施工 .....	(159)
3.7 地质预报 .....	(163)

<b>第 4 章 隧道工程施工</b> .....	(168)
4.1 超前小导管(含超前锚杆)施工 .....	(168)
4.2 大管棚施工 .....	(172)
4.3 帷幕注浆施工 .....	(178)
4.4 钻爆法开挖施工 .....	(183)
4.5 喷射混凝土施工 .....	(190)
4.6 隧道锚杆施工 .....	(193)
4.7 隧道防排水施工 .....	(200)
4.8 不良地质条件下隧道施工 .....	(207)
<b>第 5 章 隧道常见病害及整治</b> .....	(223)
5.1 隧道水害及整治 .....	(223)
5.2 衬砌裂损及整治 .....	(231)
5.3 隧道冻害及整治 .....	(237)
5.4 衬砌侵蚀及整治 .....	(241)
5.5 隧道震害及整治 .....	(243)
5.6 隧道防灾与整治 .....	(246)
<b>第 6 章 隧道施工安全管理</b> .....	(252)
6.1 隧道施工安全的特殊性 .....	(252)
6.2 传统安全管理的不足与应对 .....	(253)
6.3 安全评价的内容与特点 .....	(255)
6.4 安全评价指体系的建立 .....	(257)
6.5 隧道施工安全管理系统 .....	(260)
<b>第 7 章 城市下穿隧道工程安全管理</b> .....	(266)
7.1 下穿隧道工程相关理论 .....	(266)
7.2 安全管理现状分析 .....	(270)
7.3 安全风险管理体系 .....	(273)
7.4 安全管理制度制定和优化 .....	(282)
<b>第 8 章 地铁工程施工与管理实例分析——以成都轨道交通 30 号线为例</b> .....	(288)
8.1 工程项目基本概况 .....	(288)
8.2 主要施工工艺与方法 .....	(295)
8.3 质量管理与安全管理 .....	(308)



8.4 环境保护与文明施工 .....	(317)
参考文献 .....	(324)
后记 .....	(326)

# 第 1 章 地铁车站施工

## 1.1 钻孔围护排桩施工

### 1.1.1 钻孔围护排桩概述

自 20 世纪 70 年代开始,在深基坑支护中用钢筋混凝土灌注桩形成排桩式挡墙的施工方法在各地得到广泛应用。钢筋混凝土灌注桩作为支护结构,刚度较大,抗弯能力强,变形相对较小,作为悬臂式围护结构,开挖深度可达 7 m,增加内支撑后,开挖深度更大,既用作结构受力桩又兼作支护桩,经济效益较好。尤其是采用正反循环施工时,无须锤击,施工时无振动,对周围邻近的建筑物、道路和地下管线不会造成危害,造价也较低,有一定优越性。但在基坑回填后,它就永久地保留在地基土中,可能为今后的地下施工造成障碍,且桩的施工速度慢,施工后需要养护一定时间才能承受荷载,因而工期较长。

### 1.1.2 钻孔围护排桩施工

#### 1. 正循环钻孔灌注桩

##### (1) 施工准备

首先进行施工场地平整,查明地下管线的位置,定出管线改移或保护方案。

##### (2) 测量放线定位

根据各钻孔桩设计平面布置图,将各桩进行编号,计算出每根桩的坐标,现场测量定出每孔钻孔桩的准确位置。

##### (3) 钻孔

钻机就位,在孔口埋设钢护筒,以起到定位、保护孔口及维持水头的作用。开孔钻进应缓慢地进行,并反复校正钻头,如有偏斜及时纠正。

#### (4) 清孔

钻孔深度达到设计深度并报监理检查合格后,应立即清孔。清孔的目的是使孔底沉渣厚度、循环泥浆中含渣量和孔壁泥垢厚度符合规范要求。清孔的方法主要是采用正循环清孔和压风机清孔,清孔后各项指标由试验人员测定、检查合格并经监理同意后,方可进行钢筋笼的吊装工作。

#### (5) 钢筋笼的制作和安装

钢筋笼的制作在就近的场地上进行,采用焊接制作,先用主筋与内加强箍点焊形成笼架,然后安装外箍筋,外箍筋也须与主筋焊牢。将制作好的钢筋笼用汽车吊或钻机吊放入孔内,吊放时应垂直、缓慢下放,避免钢筋笼碰撞孔壁引起坍孔。

#### (6) 水下混凝土灌注

##### ① 施工准备。

- a. 用铁皮制作一个储料槽(漏斗),容量应能满足导管首次埋设深度( $\geq 1$  m)。
- b. 检查钢导管的强度,钢导管必须作水密和胀裂试验。
- c. 检查球塞是否能顺利通过钢导管,球塞直径比钢导管内径小 1~2 cm。

##### ② 灌注前的准备工作。

- a. 仔细调整下料钢导管的高度,导管底至桩基底面的距离为导管内径加 10 cm 左右,使球塞顺利从管底排出。
- b. 悬吊于储料槽(漏斗)颈口处的球塞必须用绳子或铁丝缚牢,开始灌注前在漏斗内装满混凝土。
- c. 商品混凝土的准备量为能灌注整根桩的混凝土量,灌注工作一经开始必须连续不断地进行,不得中断。

##### ③ 混凝土灌注。

- a. 开始灌注混凝土时,用快刀将绳子砍断或用钳子将铁丝剪断,同时开动振动器。当储料槽(漏斗)内混凝土开始下降时,立即向储料槽(漏斗)源源不断地输送混凝土。当球塞顺利地通过导管并确认已排出导管时,可将导管下降 20 cm,使导管下混凝土尽快扩散和升高,可靠地埋住导管底。
- b. 灌注混凝土过程应经常用测锤探测混凝土面的高度,推算钢导管埋入混凝土的高度。一般要求导管埋入深度为 2~4 m,随灌随提升和拆除钢导管,上提的原则是少提、勤提。
- c. 混凝土的灌注应高出设计高度 50 cm。



## 2. 反循环钻孔灌注桩

反循环施工过程与正循环施工过程基本相同,但应注意以下事项。

①反循环施工是在静水压力作用下进行钻孔作业的,故护筒埋设保持孔内水头压力是反循环施工作业中的关键,护筒的直径一般要比桩径大 15 cm 左右。护筒的顶部应打入黏土层或粉土层中,一般不应在填土层或砂层或砂砾层中,以保证护筒不漏水。护筒内的水位要高出自然地下水位 2 m 以上,确保孔壁的任何部位均保持 0.02 MPa 以上的静水压力,以保持孔壁不坍塌。

②开始钻进时,应先轻压慢转,待钻头正常工作后,逐渐加大转速,调整压力,并使钻头吸口不发生堵浆。钻进参数应根据地层、桩径、砂石泵的合理排量和钻机的经济钻速等加以选择和调整。

③钻进时应认真仔细观察进尺和砂石泵的排浆出渣情况。排量减少或出浆中含钻渣量较多时,应控制跟进速度,防止因循环液比重太大而中断反循环。

④起钻时应注意操作轻、稳,防止钻头拖、刮孔壁,并向孔内补入适量泥浆,稳定孔内水头高度。

## 1.2 地下连续墙施工

### 1.2.1 地下连续墙概述

地下连续墙是利用一定的施工设备和机具,在化学泥浆的护壁作用下,向地下钻挖具有一定厚度、长度和深度的沟槽,并在沟槽内吊放加工制作好的钢筋笼,然后灌注水下混凝土筑成一段钢筋混凝土墙段,并逐段连接起来形成一道连续封闭的地下墙体。

### 1.2.2 地下连续墙的特点

#### 1. 地下连续墙的优点

- ①施工振动小,噪声低,非常适合在城市施工。
- ②墙体刚度大,目前国内地下连续墙的厚度可达 1.3 m(国外已达 2.8 m)。
- ③墙体防渗性好。由于墙体接头形式和施工方法的改进,地下连续墙几乎

不透水。

④可采用逆作法施工。地下连续墙刚度大,易于设置埋件,很适合采用逆作法施工。

⑤适用于多种地基条件。地下连续墙对地基的适用范围很广。

⑥可作刚性基础,代替桩基础、沉井或沉箱基础,承受更大的荷载。

⑦工期短,工效高,质量可靠。

## 2. 地下连续墙的缺点

①在一些特殊的地质条件下,如很软的淤泥质土、含漂石的冲积层和超硬岩石等,施工难度很大。

②接头处理要求高,如果施工方法不当或地质条件特殊,可能出现相邻墙段不能对齐和漏水的问题。

③造价高。地下连续墙如果作为临时的挡土结构,比其他方法所花的费用要高。

④废浆的处理麻烦。特别是在城市进行施工时,废浆的处理比较麻烦。

### 1.2.3 地下连续墙施工工艺

#### 1. 导墙施工方法

①导墙是保证连续墙精度的首要条件,因此,在施工放线前应做好技术交底,严格复核,保证定位放线准确。

②导墙施作时放宽 40~60 mm(沿中轴线向两侧,每边放宽 20~30 mm),是为了保证抓斗钻头及钢筋网片、锁口管进出较为顺利。

③为保证连续墙既满足成槽精度而又不侵入车站建筑界限,同时保证内衬墙结构厚度,在放线时将连续墙中轴线向外多放 120~130 mm(一般为连续墙内侧轮廓放宽 100 mm)。

④导墙垂直度控制在 $\pm 7.5$  mm 内,导墙内墙面平整度控制在 $\pm 3$  mm 内,导墙顶面平行,全长范围内高差控制在 $\pm 5$  mm 内,导墙轴线误差控制在 $\pm 10$  mm 内。

⑤导墙上口高出地面 100 mm,以防止垃圾和雨水冲入导槽内污染或稀释泥浆。

⑥导墙开挖土方时,如果外侧土体能保持垂直自立,则以土壁代替外模板,



避免回填土,否则外侧应设模板。混凝土强度达到设计要求后,墙背用黏土分层夯填密实,防止地表水渗入槽内,引起槽段塌方。

⑦导墙施工完成后,在槽底铺上 40 mm 厚 M5 水泥砂浆,在槽段未开挖前可作临时储浆或换浆沟用。

⑧拆模后每隔 2 m 设上下两道木支撑,木支撑采用 80 mm 直径的圆木。抓槽之前,不拆内撑,并及时回填土方,同时严禁重型机械在混凝土未达到设计强度之前靠近导墙行走,以防止导墙变形。

## 2. 成槽施工

### (1) 软土成槽施工

在软土地基中,地下连续墙采用液压成槽机直接进行成槽开挖,开挖出的土方集中存放于场内的临时存土坑内,及时用槽车运至指定的弃土场。

①按槽段成槽划分,分幅施工,标准槽段(6.0 m)采用三抓成槽法开挖成槽,即每幅连续墙施工时,先抓两侧土体,后抓中心土体,防止抓斗两侧受力不均而影响槽壁垂直度,如此反复开挖直至设计槽底标高为止。异型槽段严格按分幅分段一次开挖成型。

②挖槽施工前,应先调整好成槽机的位置,对于无自动纠偏装置的成槽机,它的主钢丝绳必须与槽段的中心重合。成槽机掘进时,必须做到稳、准、轻放、慢提,并用经纬仪双向监控钢丝绳、导杆的垂直度。挖完槽后用超声波测壁仪进行检测,确保成槽垂直度不大于 1/300。

③异型“T”字形或“L”形槽段,采用对称分次直挖成槽,即先行开挖一短幅,开挖一段深度后,再挖另一短幅,相互交替施工。不足两抓宽度的槽段,则采用交替互相搭接工艺直挖成槽施工。

④挖槽时,应不断向槽内注入新鲜聚泥浆,保持聚泥浆面在导墙顶面以下 0.2 m,且高出地下水位 0.5 m。随时检查泥浆质量,及时调整泥浆,使其符合上述指标并满足特殊地层的要求。

⑤转角处异型槽段严格按照规定的几种形式开挖,挖槽施工时一旦发现异常情况应立即停止,分析原因并采取相应措施后再继续。

⑥雨天地下水位上升时,及时加大泥浆比重和黏度,雨量较大时暂停挖槽,并封盖槽口。

⑦在挖槽施工过程中,若发现槽内泥浆液面降低或浓度变稀,要立即查明是否因为地下水流入或泥浆随地下水流走所致,并采取相应措施纠正,以确保挖槽

继续正常进行。

## (2) 岩层施工

液压成槽机抓斗挖到岩面即停,并使槽底基本持平,在导墙上标出钻孔位置。在地下连续墙转角部位向外多冲半个孔位,保证连续墙的完整性。入岩施工分为如下几步。

①采用冲击钻机冲击主孔,泵吸反循环出渣,钻头大小和主孔中心距根据墙厚进行调整,主孔间距一般为1.5倍墙厚,充分利用冲击钻机冲频高、出渣快、进尺快的特点。

②采用冲击钻冲击副孔(主孔间剩余的岩墙),泥浆在槽内采用循环出渣,减少重复破碎,这样可以减少冲击面积较小时冲击锤的摆动,保证槽壁垂直。

③以冲击钻配以方锤(目前常用的为800(600)mm×1200mm),修整槽壁联孔成槽,冲击过程中控制冲程在1m以内,并防止打空锤和放绳过多,减少对槽壁的扰动,成槽后辅以液压成槽机抓斗清除岩屑。

④冲击钻钻入岩层成孔时,勤松绳、勤掏渣,防止锤环磨损过大造成斜孔和吊锤。施工过程中每0.5~1m测量一次钻孔垂直度,并随时纠偏。变化处采用低锤轻击、间断冲击的方法小心通过。

⑤针对入岩部分,另须配备冲击钻机进行修槽,配备方锤。

## 3. 钢筋笼制作及吊装

### (1) 钢筋笼加工

#### ①钢筋加工。

- 主钢筋尽量不要采用搭接接头,以增大有效空间,有利于混凝土的流动。
- 有斜拉钢筋时,应注意留出足够的保护层。
- 主筋应采用闪光接触对焊或锥形螺纹连接。

d. 钢筋应在加工平台上放样成型,以保证钢筋笼的几何尺寸和形状正确无误。

e. 拉(钩)筋两端做成直角弯钩,点焊于钢筋笼两侧的主筋上。

#### ②钢筋笼的制作。

a. 按图纸要求制作钢筋笼,确保钢筋的位置、根数及间距正确,焊接牢固。

b. 为保证混凝土灌注导管顺利插入,纵向主筋放在内侧,横向钢筋放在外侧。

c. 纵向钢筋搭接采用对焊连接,钢筋轴线要保证在一条直线上:同一截面

的焊接接头面积不能超过50%，且间隔布置。

d. 钢筋笼除结构焊缝需满焊及四周钢筋交点需全部点焊外，中间的交叉点可采用50%交错点焊。

e. 钢筋笼成型后，临时绑扎铁丝全部拆除，以免下槽时挂伤槽壁。

f. 制作钢筋笼时，在制作平台上预安定位钢筋桩，以提高工效和保证制作质量；制作出的钢筋笼须满足设计和现行规范要求。

g. 施工前准备好对焊机、弧焊机、点焊机、钢筋切断机、钢筋弯曲机等，且钢筋应经过复核合格。

h. 主筋间距误差 $\pm 10$  mm，箍筋间距误差 $\pm 20$  mm，钢筋笼直径误差 $\pm 10$  mm，钢筋笼长度误差 $\pm 50$  mm，预埋件中心位置偏差 $\pm 10$  mm。

i. 钢筋笼制作完成后，按照使用顺序加以堆放，并应在钢筋笼上标明其上下头和里外面及使用槽段编号等。当存放场地狭小需要钢筋笼重叠堆放时，为避免钢筋笼变形，应在钢筋笼之间加垫方木，堆放时注意施工顺序。

## (2) 钢筋笼吊放

### ① 水平移位和吊装入槽。

当钢筋笼加工场距槽孔较远时，可用特制平台车将其运到槽孔附近。水平吊运钢筋笼时，必须吊住4点。吊装时首先把钢筋笼立直，为防止钢筋笼起吊时弯曲变形，常用两台吊车同时操作。为了不使钢筋笼在空中晃动，可在其下端系上绳索用人力控制，也有使用1台吊车的两个吊钩进行吊装作业的。为了保证吊装的稳定，可采用滑轮组自动平衡重心装置，以保证垂直度。

大型钢筋笼可采用附加装置——横梁、铁扁担和起吊支架等。钢筋笼进入槽孔时，吊点中心必须和槽段中心对准，然后缓慢下放。此时应注意起重臂不要摆动。

如果钢筋笼不能顺利入槽，应马上将其提出孔外，查明原因并采取相应措施后再吊放入槽。切忌强行插入或用重锤往下压砸，否则会导致钢筋笼变形，造成槽孔坍塌，更难处理。

在吊放入槽内过程中，应随时检测和控制钢筋笼的位置和偏斜情况，并及时纠正。

### ② 钢筋笼分段连接。

当地下连续墙深度很大、钢筋笼很长而现场起吊能力又有限时，钢筋笼往往分成2段或3段，第一段钢筋笼先吊入槽段内，使钢筋笼端部露出导墙1 m，并架立在导墙上，然后吊起第二段钢筋笼，经对中调正垂直度后即可焊接。焊接接

头的方法有两种:一种是上下钢筋笼的钢筋逐根对准焊接,另一种是用钢板接头。第一种方法很难做到逐根钢筋对准,焊接质量没有保证而且焊接时间长。后一种方法是在上下钢筋笼端部将所有钢筋焊接在通长的钢板上,上下钢筋笼对准后,用螺栓固定,以防止焊接变形,并每隔 300 mm 设置一根附加钢筋与主筋点焊以加强焊缝和补强,最后将上下钢板对焊,即完成钢筋笼分段连接。

#### 4. 混凝土灌注

①清槽完毕,泥浆经检查合格后(相对密度小于等于 1.15,含砂率小于等于 4%,pH 值为 7~9,黏度小于 25 s),4 h 内开始灌注混凝土。

②为保证水下混凝土的灌注能顺利进行,灌注前应拟定灌注方案,主要机具应留有备用,灌注前应进行试运转。

③灌注前应复测沉渣厚度,办理隐蔽工程检查,合格后及时灌注,其间歇时间不宜超过 4 h。

④开始灌注时,隔水栓吊放的位置应邻近水面,导管底端到槽底的距离为 0.3~0.5 m。

⑤开灌前储料斗内必须有足以将导管的底端一次性埋入水下混凝土中 0.5 m 以上深度的混凝土储量,即  $V \geq 3.6 \text{ m}^3$ 。

⑥混凝土灌注的上升速度不得小于 2 m/h,每个单元槽段的每个导管灌注间歇时间不得超过 30 min,灌注宜连续,不得中断。

⑦随着混凝土的上升,要适时提升和拆卸导管,导管底端埋入混凝土面以下 1.5~3.0 m,严禁将导管底端提出混凝土面。提升导管时应避免碰挂钢筋笼。

⑧设专人每 30 min 测量一次导管埋深及管外混凝土面高度,以此判断两根导管周围混凝土面的高差(要小于 0.5 m),并确定导管埋入混凝土中的深度和拆管数量。

⑨在一个槽段内同时使用两根导管灌注时,其间距应不大于 3 m,导管距槽段端头不宜大于 1.5 m,槽内混凝土面应均衡上升,各导管处的混凝土表面的高差不宜大于 0.5 m,终浇混凝土面高程应高于设计要求 0.5 m,凿去浮浆及墙顶 0.5 m 高混凝土后使设计标高内的混凝土质量满足设计要求。

⑩在灌注作业时,若发现导管漏水、堵塞或导管内混入泥浆,应立即停灌并进行处理,做好记录。

⑪灌注混凝土时,每个单元槽段应留置一组混凝土抗压试块、一组混凝土抗渗试块。

⑫灌注混凝土时,槽段内的回收泥浆全部抽回泥浆池,经沉淀和处理后,符合要求的继续使用,不符合要求的按规定弃掉。

## 5. 锁口管下放及顶拔

### (1) 锁口管施工工艺

#### ① 锁口管的结构。

锁口管通常是用无缝钢管制作的,钢管的壁厚 $8\sim 15\text{ mm}$ ,每节长度 $5\sim 10\text{ m}$ 。

锁口管的外径通常等于设计墙厚,也有比墙厚小 $1\sim 2\text{ cm}$ 的。

锁口管的连接方式主要有以下三种:内法兰螺栓连接;销轴连接;螺栓-弹性锥套连接。

#### ② 锁口管的起拔。

目前比较常用的有顶升架与吊机配合起拔,连续墙混凝土开始灌注后 $4\text{ h}$ 用吊机或液压顶升机上提一次锁口管,第一次上提 $0.2\sim 0.3\text{ m}$ ,马上放下,以后每间隔 $3\text{ h}$ 上提一次,提高 $0.5\sim 1\text{ m}$ 再放下,如此往复进行。当墙顶混凝土灌完 $6\text{ h}$ (混凝土全部初凝后),将锁口管拔出槽后,清洗干净,放在平整的地面上。为了准确地掌握锁口管起拔的时间,应在施工前及时掌握该槽段混凝土采用水泥的初凝情况,并在浇筑混凝土时做现场试件初凝试验。

### (2) 锁口管施工方法

①当槽段开挖、清槽完成后,吊放锁口管,然后吊装钢筋笼,最后将锁口管背与未开挖土体间所留空隙用粗砂和小碎石填满,锁口管与导墙间的空隙用木楔塞紧。如不用锁口管,则吊放钢筋笼时位置必须相当准确,下放不宜太快,防止钢筋笼在混凝土灌注过程中摆动以及串浆后影响下个槽段的成槽。

②槽段混凝土灌注过程中每 $3\text{ h}$ 松动一次(每次上拉 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 再放下)锁口管,混凝土灌注完成 $6\text{ h}$ 后拔出锁口管,进行二期槽段开挖,完成后刷壁、下笼,灌注二期槽段混凝土。

### (3) 锁口管顶拔方法

①锁口管吊装就位后,随即安装液压顶管机。

②为了减小锁口管开始顶拔时的阻力,在混凝土开浇以后 $4\text{ h}$ 或混凝土面上升到 $15\text{ m}$ 左右时,启动液压顶管机顶动锁口管,尽量减少顶升高度,不使管脚脱离插入的槽底土体,以防管脚处尚未达到终凝状态的混凝土坍塌。

③开始顶拔锁口管的时间,以开始灌注混凝土时做的混凝土试块达到终凝

状态所经历的时间为依据,如没做试块,开始顶拔锁口管时间应在开始灌注混凝土 6 h 以后,如商品混凝土掺加过缓凝型减水剂,开始顶拔锁口管时间还须延迟。

④在顶拔锁口管过程中,根据现场混凝土灌注记录表计算锁口管允许顶拔的高度,严禁早拔、多拔。

⑤锁口管由液压顶管机顶拔,履带吊协同作业,分段拆卸。

## 1.3 SMW 桩施工

### 1.3.1 SMW 桩的定义

SMW 是 soil mixing wall 的缩写。SMW 工法以多轴型钻掘搅拌机在施工现场按照设计深度进行钻掘,同时在钻头处喷出水水泥系强化剂与地基土自上而下、自下而上反复混合搅拌,在各施工单元之间采取重叠搭接方法使之连接,然后在混凝土混合体未固结之前插入 H 型钢或钢板桩作为应力补强材料,直到混凝土硬结,便形成一道具有一定强度和刚度的、连续完整的、无接缝的地下墙体。

### 1.3.2 SMW 桩的特点

#### 1. 对周围地基的影响小

SMW 工法桩通过多轴型钻掘搅拌机进行钻掘,施工中不进行挖土作业,钻头喷浆就地与土混合搅拌,其作用影响范围除去每个单元搅拌的范围,不扰动邻近土体,故不致产生相邻地面沉降、房屋倾斜、道路破裂、地下设施位移等危害。

#### 2. 高止水效果

SMW 工法多轴型钻掘搅拌机具有螺旋(推进)翼和搅拌翼相间设置的特点,搅拌随着钻进和提升过程反复进行,可使水泥系强化剂与土体充分均匀地搅拌,而且墙体全长无接缝,从而可使它比钢筋混凝土地下连续墙、钻孔灌注桩等具有更可靠的防水性,其渗透系数  $K$  可达  $10^{-10} \sim 10^{-8}$  cm/s。

#### 3. 大壁厚、大深度

SMW 桩成墙厚度为 550~1300 mm,最大深度已达 65 m,视地质条件尚可