

王云江 占 宏 朱怀甫 丛福祥 谭 甫 编著

# 型钢水泥土搅拌墙(SMW工法)

## 施工与管理

中国建筑工业出版社

# 型钢水泥土搅拌墙 (SMW 工法) 施工与管理

王云江 占 宏 朱怀甫  
丛福祥 谭 甫 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

型钢水泥土搅拌墙 (SMW 工法) 施工与管理/王云江等编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 112 - 13792 - 3

I. ①型… II. ①王… III. ①型钢混凝土—水泥搅拌桩—  
工程施工 ②型钢混凝土—水泥搅拌桩—施工管理 IV. ①TU472.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 235848 号

本书根据作者多年从事的深基坑支护国内先进工艺——型钢水泥土搅拌墙 (SMW 工法), 系统地总结了该工艺的实践经验, 全面阐述了深基坑支护 SMW 工法的施工与管理, 充分反映了当前国内深基坑支护技术施工与管理的先进水平, 并附有施工实例与光盘, 以使读者能更好地理解 and 掌握相关内容。

本书可供从事深基坑支护工程 (型钢水泥土搅拌墙) 的施工、管理、监理等有关人员学习和参考。同时也可作为一本兼具理论和工程应用的教材供土木建筑院校师生使用。

\* \* \*

责任编辑: 王 磊 田启铭

责任设计: 董建平

责任校对: 关 健

## 型钢水泥土搅拌墙 (SMW 工法) 施工与管理

王云江 占 宏 朱怀甫 丛福祥 谭 甫 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天宇万达印刷有限公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 16<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数: 406 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价: 50.00 元 (含光盘)

ISBN 978 - 7 - 112 - 13792 - 3

(21567)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

随着我国城市建设的发展和进步，高层建筑和城市地下空间的开发利用越来越多。大规模的高层建筑地下室、地下商场、地下停车场、地铁车站、地下交通枢纽及越江隧道的施工都面临深基坑工程，随之而来的深基坑工程越来越多，深基坑深度及面积更大，工程地质与水文地质条件复杂多变，环境保护要求越来越高，工程进度及资源节约等开发条件要求日益复杂，由此带来的技术难度也在不断加大，可能导致的深基坑事故也在逐年增多。支护结构大位移与破坏，基坑塌方及大面积滑坡，基坑周围道路开裂与塌陷，相邻地下设施变位与破坏，邻近建筑物的开裂与倒塌，使国民经济与人民生命财产造成重大损失。

目前，经常使用的基坑支护形式较多，如土钉墙支护、土钉墙与桩锚联合支护、土钉墙与微型桩联合支护、地下连续墙支护、排桩支护、钢板桩支护和钢筋混凝土板桩支护，这些支护形式各有其优缺点。型钢水泥土搅拌墙（SMW 工法）是基于深层搅拌桩施工工艺发展起来的，目前在建筑业地基基础施工中属于先进的技术。这种结构充分发挥了水泥土和型钢的力学特征，具有强度高、刚性好、隔水性强、对周围环境影响小、噪声小、施工过程中无污染、节能环保、场地干净整洁、可回收再次利用、不留地下障碍物等特点。目前型钢水泥土搅拌墙在我国上海、浙江、江苏、福建沿海地区应用比较普遍，但尚未在全国范围广泛使用。

该工法国内起步晚，目前国内虽然有 SMW 工法使用，但相关规范与工艺规程尚不完整，还没有一本完整、系统介绍该工法的书。近年来，水泥土连续墙的施工单位和施工人员数量迅速增长，为提高从业人员业务素质要求，我们编写了这本全面系统阐述型钢水泥土搅拌墙施工与管理的书。本书共十四章，其内容包括：绪论、材料、施工机械与设备、设计与构造、施工、质量控制、安全控制、进度控制、成本控制、环境保护、基坑监测与信息化施工、存在的问题及发展趋势、施工技术资料及工法案例。

浙江鼎丰实业有限公司、鲲鹏建设集团有限公司多年来大力推广 SMW 工法，其社会效益和经济效益特别显著，使质量保证、施工安全、工期缩短、能耗降低。本书针对我公司多年来专业从事深基坑支护（型钢水泥土搅拌墙）施工项目，以工程实践为主线，融入作者在这一领域多年的积累，系统地总结了该方法的施工管理与技术等实践知识，为推动基坑支护结构工程新技术、新材料、新设备、新工艺的发展起到抛砖引玉的作用，书中给出的有关施工与管理方法和流程等可以借鉴或套用。

## 前 言

---

本书由王云江、占宏、朱怀甫、丛福祥、谭甫主编，参编人员有刘涛、吕小荣、俞东潮、蒋峰、巫水珍、李晓华、王建东、丁丽娜、赵建。

本书内容系统完整，内容新颖，充分体现实用性和可操作性，具有较强的指导作用和使用价值，为帮助读者学习，我们特别编制了配书与施工的录像光盘。使读者能更好地理解 and 掌握，以利于解决施工中的实际问题。限于水平，本书难免有疏漏和不当之处，敬请广大读者不吝指正。

主编 王云江

2011 年 11 月 18 日于杭州

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....             | 1   |
| 第一节 引言 .....                    | 1   |
| 第二节 SMW 工法综述 .....              | 1   |
| <b>第二章 材料</b> .....             | 5   |
| 第一节 水泥土 .....                   | 5   |
| 第二节 芯材 .....                    | 7   |
| <b>第三章 施工机械与设备</b> .....        | 9   |
| 第一节 施工机械与设备的种类及参数 .....         | 9   |
| 第二节 SF808 III 多功能电液履带桩机 .....   | 12  |
| 第三节 动力头 .....                   | 39  |
| 第四节 后台 .....                    | 45  |
| 第五节 BW-250 型注浆泵 .....           | 48  |
| 第六节 机械使用注意事项 .....              | 55  |
| <b>第四章 设计与构造</b> .....          | 62  |
| 第一节 设计 .....                    | 62  |
| 第二节 构造 .....                    | 68  |
| <b>第五章 施工</b> .....             | 72  |
| 第一节 施工的准备工作的 .....              | 72  |
| 第二节 施工测量 .....                  | 77  |
| 第三节 施工现场平面管理 .....              | 78  |
| 第四节 型钢水泥土搅拌墙施工工艺 .....          | 81  |
| 第五节 施工方法 .....                  | 89  |
| 第六节 季节性施工 .....                 | 102 |
| <b>第六章 质量控制</b> .....           | 104 |
| 第一节 工程项目质量控制的原则与程序 .....        | 104 |
| 第二节 施工质量控制方法 .....              | 105 |
| 第三节 施工质量管理 .....                | 109 |
| 第四节 型钢水泥土搅拌墙施工质量控制措施 .....      | 116 |
| 第五节 质量检查与验收 .....               | 121 |
| 第六节 SMW 工法施工中出现事故、原因及预防措施 ..... | 125 |
| <b>第七章 安全控制</b> .....           | 128 |
| 第一节 施工安全技术保证体系与施工安全管理组织 .....   | 128 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 第二节 安全技术措施 .....             | 129        |
| 第三节 安全技术交底 .....             | 131        |
| 第四节 安全文明施工措施与施工安全检查 .....    | 138        |
| 第五节 安全信息化管理 .....            | 142        |
| 第六节 应急预案 .....               | 145        |
| <b>第八章 进度控制</b> .....        | <b>154</b> |
| 第一节 施工进度控制的措施 .....          | 154        |
| 第二节 工程横道图和网络计划图的编制 .....     | 156        |
| 第三节 人、机、材投入计划 .....          | 157        |
| <b>第九章 成本控制</b> .....        | <b>159</b> |
| 第一节 施工成本的控制方法 .....          | 159        |
| 第二节 施工成本管理的措施 .....          | 160        |
| 第三节 计量与计价实例 .....            | 161        |
| <b>第十章 环境保护</b> .....        | <b>166</b> |
| 第一节 施工现场环境保护 .....           | 166        |
| 第二节 污泥减量与处理 .....            | 168        |
| 第三节 污泥的改良试验 .....            | 172        |
| <b>第十一章 基坑监测与信息化施工</b> ..... | <b>174</b> |
| 第一节 基坑监测 .....               | 174        |
| 第二节 监测方法 .....               | 177        |
| 第三节 监测项目的预警值 .....           | 197        |
| 第四节 监测新技术及发展趋势 .....         | 199        |
| 第五节 信息化施工 .....              | 203        |
| <b>第十二章 存在的问题及发展趋势</b> ..... | <b>206</b> |
| 第一节 存在的问题 .....              | 206        |
| 第二节 型钢水泥土搅拌墙工程的发展趋势 .....    | 209        |
| 第三节 其他水泥土连续墙工法简介 .....       | 210        |
| <b>第十三章 施工技术资料</b> .....     | <b>212</b> |
| 第一节 施工准备阶段技术资料 .....         | 212        |
| 第二节 施工阶段技术资料 .....           | 222        |
| <b>第十四章 工法案例</b> .....       | <b>238</b> |
| 第一节 高层建筑基坑围护 .....           | 238        |
| 第二节 地铁出入口 .....              | 245        |
| 第三节 截污干渠 .....               | 250        |
| 参考文献 .....                   | 254        |

# 第一章 绪 论

## 第一节 引 言

随着我国国民经济及城市建设的飞速发展,我国大中城市高层建筑拔地而起,与此同时,对地下空间的开发利用也成为大城市解决城市交通拥挤、土地资源紧张等问题的有效途径,诸如高层建筑多层地下室、地下铁道及地下车站、地下停车场、地下商场等大型建筑物不断增多。地下空间开发规模越来越大,如上海虹桥综合交通枢纽工程开挖面积达35万 $\text{m}^2$ ;基坑深度也越来越深,如上海地铁4号线董家渡修复基坑则深达41m。桥梁建设更是出现了一些超深基坑,润扬公路大桥北锚碇基础基坑平面尺寸为69m $\times$ 50m,深度达50m。在紧邻建筑物、交通干道及各种地下管线开挖深大基坑,也导致基坑工程的设计和施工的难度越来越大。近年来各地重大恶性基坑事故不断发生,造成了重大的经济损失、人员伤亡和不良的社会影响。

目前经常使用的基坑支护形式有土钉墙、水泥土重力式围护墙、地下连续墙、灌注桩、排桩围护墙、钢板桩围护墙、钢筋混凝土板、桩围护墙、型钢水泥土搅拌墙等多种类型。其中型钢水泥土搅拌墙(加筋水泥土桩、SMW工法)具有构造简单、止水性能好、工期短、造价低、环境污染小、强度和刚度大、深度深和施工振动小等特点。目前国内盛行SMW(三轴)工法,该工法特别适合城市中的基坑工程,该工法在国内地铁车站、大厦建筑等领域作基坑围护的应用越来越多。

## 第二节 SMW工法综述

### 一、型钢水泥土搅拌墙基本原理

型钢水泥土搅拌墙(图1-1),通常称为SMW工法(Soil Mixed Wall),最早由日本成幸工业株式会社于1976年开发成功,是一种连续套接的三轴水泥土搅拌桩内插入型钢形成的复合挡土隔水结构。即利用专门的三轴搅拌钻机在原地层钻进切削土体,同时在钻头端部低压注入水泥浆液,与切碎土体充分搅拌均匀,水泥、土体和水一起搅拌后混合物的固结体称为水泥土,随着灰结反应的持续,水泥土的强度得以稳定提高,可达0.5~1MPa,渗透系数可达 $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ ,通过连续的重叠搭接施工,在水泥土浆液尚未硬化前将H型钢插入搅拌桩体内形成地下连续墙,利用该墙体直接作为挡土和止水结构。

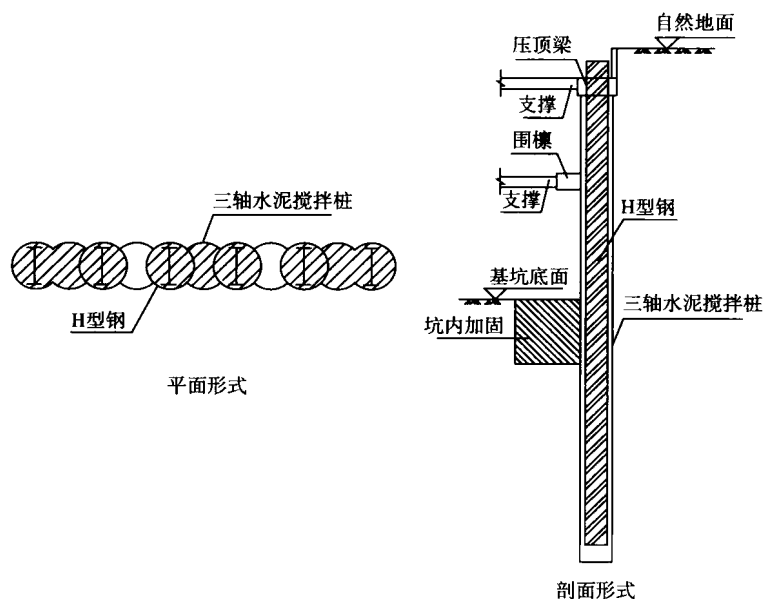


图 1-1 型钢水泥土搅拌墙

## 二、SMW 工法的主要特点

型钢水泥土搅拌墙这种结构充分发挥了水泥土混合体和型钢的力学性能，在地下室施工完成后，可以将 H 型钢从水泥土搅拌桩中拔出，达到回收和再次利用的目的，推广应用该工法具有现实意义。其主要特点如下：

### 1. 足够强度、刚度和稳定性

型钢水泥土搅拌墙由水泥土和 H 型钢组成，一种是力学特性复杂的水泥土，一种是近似线弹性材料的型钢，二者相互作用，工作机理复杂，其形成的地下连续墙具有足够的强度和刚度。水泥土搅拌桩能承受水土压力在型钢间产生的剪力的作用，同时水泥土还能有效地控制型钢的侧移和扭转，提供结构的整体稳定性，使型钢的强度能够充分发挥。

### 2. 对周围环境影响小

施工不扰动邻近土体，不会产生邻近地面下沉、房屋倾斜、道路损裂及地下设施移位等危害。

### 3. 止水防渗性能好

钻杆具有螺旋推进具及搅拌翼相间设置的特点，随着钻掘和搅拌反复进行，可使水泥系强化剂与土得到充分搅拌，而且墙土厚达 1m，全长无裂缝，从而使它比传统的连续墙具有更可靠的止水性，其渗透系数  $K$  可以达到  $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。

### 4. 适用多种土层

三轴水泥搅拌桩施工时采用三轴螺旋钻机，适用于黏性土、粉土、砂土、砂砾土、饱和黄土等，如果采用预钻孔工艺可以用于直径 100mm 以上的卵石及单轴抗压强度 60MPa 以下的岩层。

### 5. 成墙厚、成墙深

可成墙厚度 550 ~ 1300mm，常用厚度 600mm，成墙最大深度目前为 60m，视地质条件

还可施工至更深。

### 6. 施工工期短

型钢水泥土搅拌墙与地下连续墙、灌注排桩等围护形式相比, 工艺简单、成桩速度快、工期缩短近一半。在一般软土地区入土深度 20 ~ 25m 情况下, 日平均施工长度 8 ~ 10m, 在一般地质条件下, 每一班组可成墙 20 ~ 80m<sup>2</sup>。

### 7. 降低造价

除特殊情况由于受到周边环境条件的限制, 型钢在地下室施工完毕不能拔出外, 绝大多数情况下内插型钢可以拔出重复利用, 避免围护体遗留在地下形成永久障碍物, 降低工程造价。

### 8. 合理利用地下空间

能在与原有建筑或道路距离 0.6m 处施工, 做到节约土地资源, 合理利用地下空间。

### 9. 环保节能

施工过程无污染, 场地整洁干净, 噪声小, 无需回收处理泥浆。废土外运量远比其他工法为少, 是一种绿色工法。

## 三、型钢水泥土搅拌墙的适用条件与应用

### 1. 适用条件

凡是能够施工三轴水泥土搅拌桩的场地都可以考虑使用该工法, 从黏性土到砂性土, 从软弱的淤泥和淤泥质土到较硬较密实的砂性土, 甚至在含有砂卵石的地层中经过适当的处理都能进行施工, 适用土质范围较广。

### 2. 应用

型钢水泥土搅拌墙的主要用途是作各种深大开挖基坑的围护挡墙, 各种用途的主体结构侧墙, 各种地下防渗隔墙等。主要应用于深大建筑物的基坑围护及主体结构侧墙、地下铁道及地铁车站、地下停车场、地下商业街、地下商场、立体交叉地下道等。

## 四、水泥土型钢连续墙工法分类

水泥土型钢连续墙工法分类如表 1-1 所示。

水泥土型钢连续墙工法分类

表 1-1

| 方法                                                | 平面形状 | 掘削搅拌方式 | 工法名称   | 工艺                                                                                                   | 特点                                                                                            |
|---------------------------------------------------|------|--------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原位搅拌混合工法<br>(螺旋搅拌钻机在钻进搅拌原位地层土体同时由钻头喷射水泥浆液与土体搅拌混合) | 排柱   | 螺旋钻搅拌  | SMW    | 利用三轴搅拌钻机钻进切削土体, 同时在钻头低压注入水泥浆液, 与切削土体混合搅拌, 在其原位形成排柱状水泥土墙, 通过连接重叠搭接施工, 在水泥土浆液尚未硬化前将 H 型钢插入搅拌桩体内形成地下连续墙 | 1. 足够强度和刚度<br>2. 止水防渗性能<br>3. 成墙厚<br>4. 对周围环境影响小<br>5. 适用多种土层<br>6. 施工工期短<br>7. 降低造价<br>8. 环保 |
|                                                   |      |        | ECO-MW | 靠扩散剂减少水泥浆注入量, 抑制弃泥排放量                                                                                | 1. 同 SMW<br>2. 抑制弃泥量 (节能减排)                                                                   |

续表

| 方法                                                | 平面形状 | 掘削搅拌方式      | 工法名称   | 工艺                                                    | 特点                                                                       |
|---------------------------------------------------|------|-------------|--------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 原位搅拌混合工法<br>(螺旋搅拌钻机在钻进搅拌原位地层土体同时由钻头喷射水泥浆液与土体搅拌均匀) | 排柱   | 螺旋钻搅拌       | ECW    | 在 SMW 工法基础上, 变更钻孔注入程序, 注入水泥浆液减量, 削减弃泥排放量              | 1. 同 SMW 工法<br>2. 削减弃泥量的排放 (节能减排)                                        |
|                                                   |      |             | GSS    | 靠专用设备把排泥水进行二次分级处理, 回收水泥浆液                             | 1. 同 SMW 工法<br>2. 抑制弃泥产生量 (节能减排)                                         |
|                                                   |      |             | 螺旋分级   | 将排出泥水送入螺旋分离机进行三级处理, 回收水泥浆液再利用                         | 1. 同 SMW 工法<br>2. 抑制弃泥产生量 (节能减排)                                         |
|                                                   | 等厚   | 链刀掘削搅拌      | TRD    | 将链锯型切削工具横向连续切削地层, 同时竖向深入水泥浆液, 与原位土体搅拌混合形成地下连续墙        | 1. 质量好、强度高<br>2. 墙体连续等厚<br>3. 隔水性好<br>4. 机架重心低, 稳定性好<br>5. 可施工倾斜的土墙体     |
|                                                   |      |             | RMW    | 竖向旋转叶轮和掘削钻头同时旋转。钻头喷出固化液, 搅拌土体, 造成矩形断面连续墙              | 1. 墙厚均匀等厚<br>2. 施工效率高<br>3. 止水性能好<br>4. 工期短<br>5. 成本低                    |
| 置换法 (挖槽机挖槽, 把挖出土体在地表与水泥浆搅拌均匀生成水泥土, 浇筑到槽中)         | 排柱   | 旋转掘削        | RH · W | 采用逆循环泥水掘削, 把掘削孔内的泥水上抽, 与水泥等固化材搅拌混合, 再压送回孔内, 然后插芯材固化成墙 | 1. 使用现场高度受限、面积受限、周围障碍物密集<br>2. 钻孔深<br>3. 易破碎巨砾<br>4. 止水好                 |
|                                                   | 等厚   | RC 连续墙用挖槽机械 | CRM    | 使用 RC 连续墙挖掘机, 将挖出的挖槽土在地表与水泥混合成水泥土, 通过导管浇筑在沟槽中         | 1. 排出弃泥水 (最好的环保型工法)<br>2. 水泥土混合均匀, 墙体质量好<br>3. 深度、作业面积、土质适用范围广<br>4. 成本低 |

## 第二章 材 料

型钢水泥土搅拌桩（SMW 工法）的主要构材是水泥土和芯材（H 型钢）。

### 第一节 水泥土

水泥土的构成材料为原位土和水泥浆液，决定 SMW 水泥土性能的关键是原位土质的种类、特性参数和水泥类浆液成分、配比。水泥土搅拌桩在型钢水泥土搅拌墙围护结构中起到止水、承受水土压力在型钢间产生的剪力的作用，同时水泥土还能有效地控制型钢的侧移和扭转，提高结构的整体稳定性，使型钢的强度能够充分发挥，要求水泥土必须具有一定的强度，而决定强度的主要因素是水泥掺量及水灰比，其配比是决定 SMW 质量的关键因素。

#### 一、水泥

水泥进场必须有制造厂的水泥品质试验报告及合格证明文件。水泥进场后应按其品种、强度、证明文件以及出厂时间等情况分批进场检查验收，并对水泥进行复检试验。超过出厂日期三个月的水泥必须经过试验，合格后按其复验结果使用。不同等级、厂牌、品种、出厂日期的水泥不得混存、混用，做到先到先用，严禁混掺使用。

水泥使用前复试的主要项目为：胶砂强度、凝结时间、安定性、细度等。

通常情况下使用 42.5 级普通硅酸盐水泥，当要求 SMW 的止水性好或钻孔搅拌时间长的情况下，应使用矿渣水泥；对象土为有机质土、超软泥、排水管道污泥等土质的情况下，水泥应使用特殊水泥。

#### 二、水泥土浆液要求

1. 浆液配比应大致符合表 2-1 范围。

| 浆液配比            |                        | 表 2-1 |
|-----------------|------------------------|-------|
| 参 数             | 标 准                    |       |
| 砂份含有率 $S$ (%)   | 0, 20, 40, 60, 80, 100 |       |
| 水灰比 $W/C$ (%)   | 150, 200, 250          |       |
| 注入量 ( $L/m^3$ ) | 500, 750, 1, 000       |       |

2. 确保流动性，使芯材能准确、顺利插入。另外，还要求水泥土与芯材粘结良好，且形成一个整体。

3. 配制浆液的用水，多为自来水。使用其他水源时，应考虑用水对水泥凝结的影响。
4. 水泥土 28 天无侧限抗压强度  $\sigma$  应达到 1.0MPa。
5. 水泥掺入比的设计，必须确保水泥土强度，降低土体置换率，减轻施工时环境的扰动影响。
6. 搅拌桩施工范围内土体为砂性土，为了保证搅拌桩施工质量，应在配置水泥浆液时掺加水泥用量 3% ~5% 的膨润土。
7. 根据设计要求并结合工程实际情况确定其基本配合比，水灰比一般为 1.5 ~ 2.0，当土质较干时，浆液的相对密度可适当降低。42.5 级普通硅酸盐水泥掺量为 22%。水泥掺量的检查除了整根桩的用量需满足设计要求外，尚应检查其均匀性。
8. 水泥浆液的品种必须符合表 2-2 的配比关系。

使用材料及配比 表 2-2

| 编 号 | 使用材料与使用量     |             |         | 配比条件           |                  |           |
|-----|--------------|-------------|---------|----------------|------------------|-----------|
|     | 水泥固化材 C (kg) | 膨润土 B (kg)  | 水 W (L) | 水灰比<br>W/C (%) | 膨润土水比<br>B/W (%) | 注入量 Q (L) |
| 1   | 290 普通       | 16.4 200 筛目 | 638     | 220            | 1.63             | 734       |
| 2   | 236 矿渣 B     | 5 200 筛目    | 646     | 274            | 0.77             | 725       |
| 3   | 280 固化材      | 25 250 筛目   | 700     | 250            | 3.57             | 803       |
| 4   | 280 矿渣 B     | 10 250 筛目   | 650     | 232            | 1.54             | 746       |
| 5   | 230 矿渣 B     | 10 200 筛目   | 550     | 239            | 1.82             | 630       |
| 6   | 199 普通       | 8.6 250 筛目  | 432     | 217            | 1.99             | 499       |
| 7   | 260 固化材      | 10 250 筛目   | 650     | 250            | 1.54             | 741       |
| 8   | 280 普通       | 10 250 筛目   | 600     | 214            | 1.67             | 693       |

注：普通：普通水泥；矿渣 B；B 种高炉水泥；固化材：水泥类固化材。

9. 水泥浆配比。水泥浆配比是关系到型钢水泥土搅拌墙施工质量的重要因素。搅拌桩水泥浆配比主要与土层的性质有关，设计上应以考虑水泥土硬化为问题的核心。进入施工阶段，还须考虑施工上的要求，有必要对施工配比进行调整，以满足设计要求。目前工程上常规的不同土层内搅拌桩的水泥浆配比见表 2-3 所示。

SMW 用土、配比及抗压强度 表 2-3

| SMW 用土 | 土 质                      | 配比 (每 1m <sup>3</sup> 对象土) |          |           | 抗压强度 (MPa) |
|--------|--------------------------|----------------------------|----------|-----------|------------|
|        |                          | 水泥 (kg)                    | 膨润土 (kg) | 水 (L)     |            |
| 黏性土    | 淤泥质黏土、砂质黏土、淤泥，黏土质淤泥，砂质淤泥 | 300 ~ 450                  | 5 ~ 15   | 450 ~ 900 | 0.5 ~ 1    |
| 砂质土    | 细砂，中砂，粗砂                 | 200 ~ 400                  | 5 ~ 20   | 300 ~ 800 | 0.5 ~ 3    |
| 砂砾土    | 砂砾、混巨石的砂砾                | 200 ~ 400                  | 5 ~ 30   | 300 ~ 800 | 0.5 ~ 3    |
| 黏土及特殊土 | 有机质土，火山灰质黏性土，黏土，高有机质土，其他 | 按室内试验讨论配比                  |          |           | —          |

注：水泥材系指硅酸盐水泥、矿渣水泥及其他水泥。

### 三、在水泥浆液的配制中可根据实际需要加入以下相对应的外加剂

#### 1. 膨润土

加入膨润土能防止水泥浆液的离析。在易坍塌土层可防止孔壁坍塌，并能防止孔壁渗水、减小在硬土层的搅拌阻力。

#### 2. 增黏剂

加入了增黏剂的水泥浆液主要用于渗透性高及易坍塌的地层中。

#### 3. 缓凝剂

施工工期长或者芯材插入时需抑制初期强度的情况下使用缓凝剂。

#### 4. 分散剂

分散剂能分散水泥土中的微小粒子，在黏性土地基中能提高水泥浆液与土的搅拌性能，从而提高水泥土的成桩质量；钻孔阻力较大的地基，分散剂能使水泥土的流动性变大，能改善施工操作性。由此能降低废土量，利于 H 型钢插入，提高清洗黏附在搅拌钻杆上水泥土的能力。但是对于均等粒度的砂性或砂砾地层，水泥浆液或水泥土的黏性很低，要注意水泥浆液发生水分流失的情况。

#### 5. 早强剂

早强剂能提高水泥土早期强度，并且对后期强度无显著影响。其主要作用在于加速水泥水化速度，促进水泥土早期强度的发展。现市场上已有掺入早强剂的水泥。

## 第二节 芯 材

在 SMW 做挡土墙的情况下，因墙体承受侧压等应力作用，而水泥土自身的强度往往无法承受侧压的作用，所以应在墙内设置刚度大的钢制芯材（H 型钢）。

### 一、芯材的要求

H 型钢通常使用规范的宽幅 H 型钢或轻型 H 型钢。钢板桩也应使用规范产品，在使用半旧品的情形下，咬合断面存在破损和已弯曲变形的钢板桩不能使用。

型钢水泥土搅拌墙中内插型钢应符合下列规定：

#### 1. 内插型钢宜利用 Q235B 级钢。

2. 当型钢采用钢板焊接而成时，应按照现行行业标准《焊接 H 型钢》YB 3301 的有关要求焊接成型。

3. 型钢宜采用整材；当需采用分段焊接时，应采用坡口焊等强焊接。对接焊缝的坡口形式和要求应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定，焊缝质量等级不应低于二级。单根型钢中焊接接头不宜超过 2 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。

## 二、H 型钢截面型号宜按下列规定选用

1. 当搅拌桩直径为 650mm 时，内插 H 型钢截面宜采用 H500 × 300、H500 × 200。
2. 当搅拌桩直径为 850mm 时，内插 H 型钢截面宜采用 H700 × 300。
3. 当搅拌桩直径为 1000mm 时，内插 H 型钢截面宜采用 H800 × 300、H850 × 300。

## 三、SMW 的材料特性

### 1. 单轴抗压强度

SMW 的单轴抗压强度取决于对象土的性状、水泥悬浊液的配比及注入量。

从施工实绩看，对黏性土单轴抗压强度为 0.5 ~ 1MPa，砂土和砾质土单轴抗压强度为 0.5 ~ 3MPa。影响 SMW 单轴抗压强度的对象土质性状，主要指土的粒度和有机物的含有状况。就粒度而言，粗粒越多强度越大，细粒越多强度越小；因土中的有机物对水泥的硬化有害，所以必须通过室内试验确认有机物含有量的影响程度。

水泥浆液配比、注入量、混合的均匀性及施工性均对单轴抗压强度有影响。水灰比越小，强度越大。但是注入量过多相对对象土量而言，相当于用水量过多，强度会下降，故注入量不能过大。

### 2. 抗拉强度

SMW 的抗拉强度对单轴抗压强度而言非常小，可忽略不计。

### 3. 抗剪强度

SMW 的抗剪强度，随单轴抗压强度的增大而增大。

### 4. 粘附强度

SMW 的粘附强度与单轴抗压强度成正比。

### 5. 渗水系数

SMW 的止水性对应在对象土与水泥浆液充分拌合的情况下，渗水系数小于  $10^{-5}$  cm/s；实用中一般都呈现较好的防渗性。另外，在做长期防渗墙时，应充分讨论墙厚的适合性。

# 第三章 施工机械与设备

## 第一节 施工机械与设备的种类及参数

一、SMW 使用机械种类及配套设备如表 3-1 所示

SMW 使用机械种类及配套设备

表 3-1

|         | 种 类 |                                                                      | 产 地          | 备注 |
|---------|-----|----------------------------------------------------------------------|--------------|----|
| 桩架      | 国产  | 步程式 JB160                                                            | 上海           |    |
|         |     | 履带式 SF808 系列                                                         | 北京           |    |
|         | 进口  | 履带式 DH608、DH658、DH558、DH508                                          | 日本           |    |
| 动力头     | 国产  | ZKD65-3、ZKD85-3、ZKD100-3                                             | 上海金泰工程机械有限公司 |    |
|         |     | ZLD180/85-3-M2-S、ZLD180/85-3-M2-CS、<br>ZLD180/85-3、ZLD110/65-3-M2-CS | 上海工程机械厂      |    |
|         | 进口  | SMW HFKN-D                                                           | 德国           |    |
| 全自动搅拌系统 | 国产  | ZB-50                                                                | 上海           |    |
| 泥浆泵     | 国产  | BW-250                                                               | 衡阳           |    |
| 空压机     | 国产  | 螺杆式                                                                  | 江苏           |    |

## 二、三轴水泥土搅拌桩机

图 3-1 为三轴搅拌桩机构造示意。

### 1. 三轴搅拌桩机的技术参数

表 3-2 所示为三轴搅拌桩机和机架主要技术参数。三轴搅拌机有普通叶片式、螺旋叶片式或同时具有普通叶片和螺旋叶片等几种类型，搅拌转速也有高低两挡，高速挡（35~40r/min）和低速挡（16r/min）。在黏性土中宜选用以叶片式为主的搅拌钻机，在砂性土中宜选用螺旋叶片式为主的搅拌钻机，在砂砾土中宜选用螺旋式搅拌钻机。钻头的选用：在软土地层选用鱼尾式平底钻头；在硬土地层选用定心螺旋类式钻头。

三轴搅拌桩机主要技术参数

表 3-2

| 参 数 \ 型 号          | ZKD65-3 | ZKD85-3     | ZKD100-3 |
|--------------------|---------|-------------|----------|
| 钻头直径 (mm)          | Ø650    | Ø850        | Ø1000    |
| 钻杆根数 (根)           | 3       | 3           | 3        |
| 钻杆中心距 (mm)         | 450/450 | 600/600     | 750/750  |
| 主功率 (kW)           | 45×2    | 75×2 (90×2) | 75×3     |
| 钻进深度 (m)           | 30      | 30          | 30       |
| 钻杆转速 (正、反) (r/min) | 17.6~35 | 16~35       | 16~35    |
| 单根钻杆额定扭矩 (kN·m)    | 16.6    | 30.6        | 45       |
| 钻杆直径 (mm)          | 219     | 273         | —        |
| 传动形式               | 动力头顶驱   | 动力头顶驱       | 动力头顶驱    |
| 总质量 (t)            | 21.3    | 38.0        | 39.5     |

图 3-1 为三轴搅拌桩机构造示意

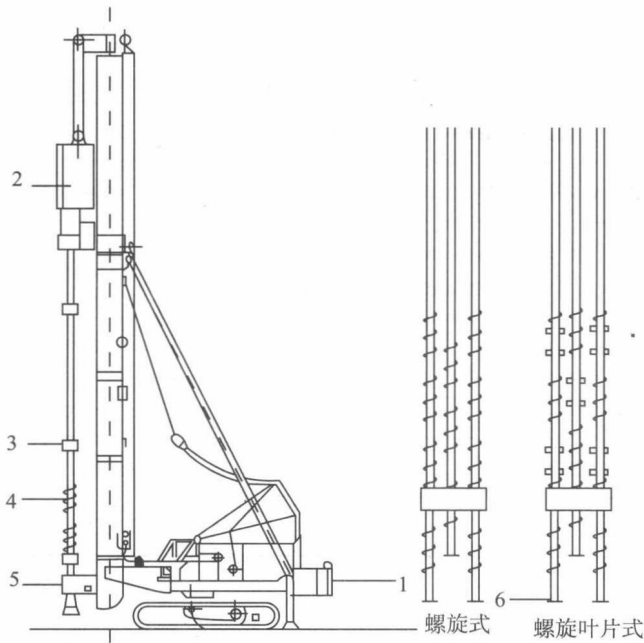


图 3-1 三轴搅拌桩机构造示意

1—桩架；2—动力头；3—连接装置；4—钻杆；5—支承架；6—钻头

2. 三轴搅拌桩机应符合以下规定

- (1) 搅拌驱动电机应具有工作电流显示功能；
- (2) 应具有桩架垂直度调整功能；
- (3) 主卷扬机应具有无级调速功能；