

# 钻孔桩配合 SMW 工法在铁路沿线软土深基坑支护工程中的应用

胡仲春

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 武汉 430070)

**摘要:** 通过介绍钻孔桩配合 SMW 工法的软土深基坑支护方案, 解决了受铁路运营线影响, 支撑受限的软土深基坑支护问题, 为我国沿海软土地区紧邻铁路线施工的深基坑的支护增添了一种具有推广前景的新方案。

**关键词:** SMW 工法; 基坑支护; 钻孔桩; 铁路线

**作者简介:** 胡仲春(1974—), 男, 山东昌乐人, 武汉理工大学资源与环境工程学院在职博士研究生; 中铁十四局集团有限公司, 高级工程师, 国际高级项目经理(IPMP-B), 国家一级建造师, 注册安全工程师。

表 1 桥址处地质情况分布表

层号	土层名称	土壤颜色	塑性	干强度	层顶标高 (m)	层厚 (m)
1-1	黏土	黄褐色	软塑	中等	3.52~4.10	1.00~2.80
2-1	淤泥	灰色	流塑	不大	1.16~2.59	5.85~16.70
2-2	淤泥	灰色	流塑	不大	-14.87~-3.48	9.10~20.40
2-3	淤泥	灰色	软塑	不大	-27.29~-22.68	3.30~13.30
3-1	黏土	黄色	可塑	较高	-36.67~-22.68	0.75~5.65
3-2	黏土	灰色	可塑	较高	-39.47~-32.40	32.00~38.50

## 0 引言

在我国, 受到城市规划布局的影响, 铁路干线往往都横穿城市中心地区, 随着市区的扩张, 很多城市道路主干道就要下穿或上跨铁路线, 大量高层建筑就要修建在铁路旁。同时, 为了满足铁路的提速而进行的改线, 以及铁路复线的修筑, 紧靠铁路运营线的深基坑支护施工越来越多, 沿海软土地区铁路线附近的深基坑支护问题也愈来愈重要, 其中钻孔桩配合 SMW 工法即为一种实用的施工方案<sup>[1~5]</sup>。下面就以浙江省温州市汤家桥南路Ⅲ标段工程为例, 对该支护方案予以说明。

## 1 工程概况

### 1.1 设计情况

温州市汤家桥南路Ⅲ标段为下穿金温铁路立交桥为主的项目, 它紧邻金温铁路临时运营线, 立交桥为四孔分离式钢筋混凝土框架结构, 空跨布置为 6 m+15.7 m+15.7 m+5 m, 基坑开挖尺寸为 72.8 m×17.5 m, 开挖净深度为 6.85 m。道路中心线与铁路中线夹角为 34°52'24", 拟建框架桥距铁路中心线最近为 8.5 m。

### 1.2 地质情况

桥址处自上而下主要有表 1 所示的土层分布。

### 1.3 水文情况

桥址处的地下水动态变化主要受大气降水影响, 地下水埋深为 0.3~1.0 m, 水质对混凝土无侵蚀性。

## 2 列车振动荷载对基坑变形的影响

紧邻铁路的基坑支护, 首先考虑的就是列车对基坑的影响, 包括列车载重荷载和列车振动荷载。因列车通过施工区域要减速慢行, 列车载重荷载可以看做静荷载作用在路基上, 而列车振动荷载则为动荷载, 这里主要考虑列车振动荷载对基坑变形的影响。列车经过基坑附近时的轮轨激振荷载一般处于低频(0.5~10 Hz) 和中频(30~60 Hz) 的范围之内。

根据“有限单元法基本原理和数值方法”, 采用 Newmark 隐式直接积分法求解运动方程, 有以下假设

$$a'_{t+\Delta t} = a'_t + [(1-\delta)a''_t + \delta a''_{t+\Delta t}]\Delta t \quad (1)$$

$$a_{t+\Delta t} = a_t + a'_t \Delta t + [(0.5 - \gamma)a''_t + \gamma a''_{t+\Delta t}] \Delta t^2 \quad (2)$$

式(1)、式(2)中,  $\gamma, \delta$  是按积分精度和稳定性要求而决定的参数。

Newmark 方法中, 时间  $t + \Delta t$  时刻的位移解答  $a_{t+\Delta t}$  是通过满足式(3)时间  $t + \Delta t$  的运动方程得到的

$$Ma''_{t+\Delta t} + Ca'_{t+\Delta t} + Ka_{t+\Delta t} = Q_{t+\Delta t} \quad (3)$$

式中,  $M, C, K$  分别为体系的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵;  $a_{t+\Delta t}, a'_{t+\Delta t}, a''_{t+\Delta t}$ , 为节点的位移向量、速度向量和加速度向量;  $Q_{t+\Delta t}$  为激振荷载。体系的阻尼采用 Rayleigh 阻尼

$$C = \alpha M + \beta K \quad (4)$$

式中,  $\alpha, \beta$  是不依赖于频率的常数。

将式(1)、式(2)带入式(3), 化简后得到

$$[M/\gamma \Delta t^2 + \delta C/\gamma \Delta t + K]a_{t+\Delta t} = Q_{t+\Delta t} + M[a_t/\gamma \Delta t^2 + a'_t/\gamma \Delta t + (1/2\gamma - 1)a''_t] + C[\delta a_t/\gamma \Delta t + (\delta/\gamma - 1)a'_t + (\delta/2\gamma - 1)\Delta t a''_t] \quad (5)$$

从式(5)中求出  $a_{t+\Delta t}$ , 带入式(1), (2), 可以得到  $a'_{t+\Delta t}, a''_{t+\Delta t}$ 。积分常数取:  $\delta = 0.5, \gamma = 0.25$ 。Newmark 隐式积分是无条件稳定的。Rayleigh 阻尼常数取:  $\alpha = 0.4, \beta = 0.01$ 。积分时间步长按  $\Delta t = T_{\max}/100$  ( $T_{\max}$  为体系最大振动周期) 取值, 可以得到满意的结果。

经分析可知: 在基坑开挖过程中, 由列车动荷载引起的基坑支护结构位移在允许值 7% 范围内, 车振荷载主要引起路基及支护结构的竖向振动加速度, 基坑开挖后, 仍以竖向振动加速度为主, 但竖向振动加速度变化不大, 而水平振动加速度幅值有较大增长。

### 3 基坑支护结构设计

#### 3.1 方案选择

(1) 水泥土重力式围护结构方案: 由于基坑紧靠铁路运营线, 其位移很难控制, 尤其是占地大, 严重影响铁路的正常运营。

(2) 钻孔灌注桩方案: 灌注桩支护是一种成熟可靠的工艺, 在基坑支护中被广泛选用, 但它还需要进行止水处理, 且工期长, 造价高。

(3) 采用钻孔桩配合 SMW 工法方案。钻孔

桩配合 SMW 工法施工工艺: 根据设计图纸, 测量放样, 预留出钻孔桩的位置, 先进行水泥搅拌桩的施工, 该水泥搅拌桩常常是相互咬合的。在成桩后水泥浆初凝前, 按设计型钢的位置在水泥搅拌桩中插入型钢, 并按设计标高固定型钢。水泥搅拌桩达到一定龄期后 (一般为 14 d), 在预留位置进行钻孔桩的施工, 钻孔桩施工完毕, 凿出钻孔桩桩头钢筋和插入水泥搅拌桩的型钢顶部, 并用钢筋混凝土浇筑成条形带, 即形成了钻孔桩与相互咬合的水泥搅拌桩 (单排或多排) 间隔分布的支挡整体。如图 1、图 2 所示。

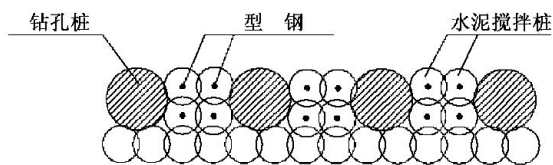


图 1 钻孔桩与配合 SMW 工法示意图

施工工序:

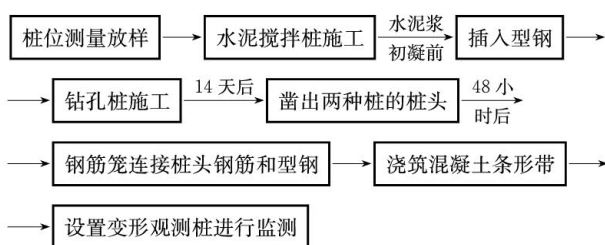


图 2 钻孔桩配合 SMW 工法施工工序

经比较, 钻孔桩配合 SMW 工法, 集挡土墙与止水为一体, 工期短、费用低, 且具有一定刚度, 能保证铁路的正常运营。决定采用钻孔桩配合 SMW 工法方案。

#### 3.2 基坑支护结构的布置及设计

本基坑支护范围分布的土层为: 黏土、淤泥。淤泥为软土, 工程性质差。本工程位于淤泥中, 变形要求严格, 由于淤泥的渗透系数较小, 不考虑地下水渗透。为防止地表水流入基坑内, 造成支护结构的坍塌。采用截水沟坑外和坑内截水。

控制基坑的变形和支挡侧向土压力是本基坑支护要解决的一个重要问题, 特别是列车经过铁路线时, 对基坑带来的影响。基坑北面 AB 段, 离铁路距离最近, 是本基坑支护的关键部位, 采用  $\phi 600 \text{ mm} @ 500$  多排深层水泥搅拌桩 + 钻孔桩 + 钢管支撑进行支护, 以有效控制基坑的变形, 确保周边铁路的安全和正常使用。基坑北面除 AB 段

外,其他距离铁路稍远部位均采用钻孔桩配合 SMW 工法进行支护以有效控制基坑的变形,钻孔桩间距为 2.1 m。确保铁路的安全和正常使用。基坑南面,场地开阔,采用放坡。

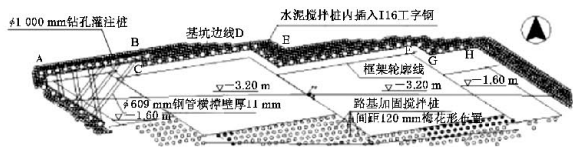


图 3 基坑支护平面

钻孔桩施工完毕凿出全部钻孔桩桩头钢筋 45 cm,同时凿出相邻的水泥搅拌桩中的型钢,浇筑一条东西向的截面为:宽 100 cm×高 50 cm,配筋为  $\phi 8$  mm@300 的 C25 钢筋混凝土条形带,使钻孔桩与插入型钢的水泥搅拌桩顶部连为一体化,这样,整个钻孔桩配合 SMW 工法进行的支护便成为一个体系。同时条形带还为截水沟提供了保障,为基坑变形监测点的布设提供了方便。

### 3.3 基坑支护施工技术要求

SMW 工法中水泥搅拌桩的一般要求:

- (1) 水泥搅拌桩桩底高程原则上按图纸设定的高程施工,有效桩长 16~20 m。
- (2) 支护结构水泥搅拌桩直径 600 mm,桩相互咬合 100 mm。
- (3) 各土层中单排水泥搅拌桩 28 d 龄期的无侧限抗压强度要求如下:淤泥质土:0.8 MPa;黏土:1.4 MPa。

(4) 桩身材料采用 R42.5 普通硅酸盐水泥,按水灰比 0.6:1 配制水泥浆。

(5) 采用四搅二喷法施工,一般压力为 0.6 MPa,提升速度 0.5 m/min。

SMW 工法插工字钢的一般要求

- (1) 靠基坑前两排的搅拌桩,在每根的中心插一根 I16 工字钢,工字钢插入桩内不少于 12.0 m。
- (2) 工字钢必须在搅拌桩初凝之前插入,并按设计标高固定型钢。
- (3) 工字钢采用热轧普通工字钢。

钢管横撑一般要求:

- (1) 钢管横撑采用  $\phi 600$  mm 钢管,管壁厚度 11 mm。
- (2) 钢管横撑放置在预留槽内,两端头各设置 20 mm 厚 63 cm×63 cm 钢垫板,剩余空间用木板塞实。

(3) 钢管横撑安设后先预加 300 kN 支撑力。

钻孔桩一般要求:

- (1) 钻孔桩采用直径为 1 m 的 C20 钢筋混凝土。
- (2) 每根钻孔桩混凝土必须一次浇注完成。
- (3) 钻孔桩有效长度应不小于基坑支护长度的 1.1~1.2 倍,即钻孔桩入土深度要略大于实际开挖深度。
- (4) 钻孔桩配筋,主筋采用  $\phi 25$ @150,箍筋采用  $\phi 8$ @200

质量检验要求:

(1) 对于水泥搅拌桩:所用材料必须有出厂合格证、使用许可证及质量检验合格报告;采用钻孔取芯试验,要求抗压强度不小于设计强度,检验桩数按规范抽取。

(2) 对于型钢、钢筋:所用材料必须有出厂合格证、使用许可证及质量检验合格报告。

变形监测要求:

依据本基坑场地实际情况,需在铁路路基上布设沉降监测点(每 10 米一个);在基坑边钢筋混凝土条形带上布设沉降和水平位移监测点(每 5 米一个),监测频率为:基坑支护施工期间 2~3 天监测一次,如遇变形显著增加,则每天观测 2~4 次,直至框架桥施工完毕。监测中如发现异常情况应及时采取有效的加固措施并及时通知有关设计人员,以研究对策。

本基坑坡顶水平位移按 0.6% $H$  控制(其中  $H$  为基坑开挖深度),基坑周边铁路沉降不超过 20 mm,以确保基坑的安全和周边铁路的正常使用。

## 4 主要施工技术措施

### 4.1 SMW 工法施工

施工时应准确定位,保证水泥搅拌桩互相咬合 100 mm,其偏差为 50 mm,严禁漏桩;施工前在现场选点进行试搅,检验水泥搅拌效果,校核水泥搅拌桩施工设计参数,最终确定参数。

水泥搅拌桩成桩时宜均匀上提,无论何种原因停喷,再喷时,必须下钻到停喷位置 1 m 以下进行搭接,以防止桩体夹泥夹砂、断桩。

水泥搅拌桩成桩后,立即插入型钢,保证其垂直度与平行度,插入的型钢制作必须平直,不得发

生扭曲和弯曲。

水泥搅拌桩必须达到强度的 70%~80%，方可分步开挖，严禁施工机械对支护结构的破坏。

#### 4.2 土方开挖

土方开挖时，按东部中孔框架→西部中孔框架→东部边孔框架→西部边孔框架的顺序，分区域边开挖边浇筑框架。先开挖部分两侧的土方，按 1:1 比例放坡，不得超挖，如遇到两侧土方倒塌，需采取木桩支挡措施。基坑挖至坑底标高后迅速封底，尽量减少基底暴露时间，并尽快完成框架底部、侧墙及顶部钢筋混凝土的施工，然后再开挖下一部位的土方，严格按“分段、分块、盆式、限时”的开挖原则，进行土方的开挖施工，充分运用时空效应，尽量减少基坑变形的诱因。基坑周围荷载不得堆放超重，垂直开挖段基坑坡顶地面 15 m 范围内不得堆载和行驶车辆；在基坑坡顶、坡底及时修砌排水沟和集水坑，及时将基坑内的积水抽进排水沟，经沉淀后再排入相邻的市政下水管内。雨季开挖应及时排水，防止地表水侵入。

为防止支护结构变形对铁路线、道路及管线的影响，采用信息施工，边开挖边监测，用监测到的信息及时反馈来指导开挖的顺利进行，同时杜绝较大安全事故的发生。

### 5 监测结果

(1) 铁路路基的变形观测点 12 点，最大沉降 1.4 cm。

(2) 基坑边钢筋混凝土条形带上的沉降和位移观测点 25 点，最大位移 4 cm。

(3) 对型钢应力测试，4 组共 24 点，与计算基

本接近。

## 6 小结

(1) 采用钻孔桩挡土，其入土深度应略大于实际最大开挖深 ( $P/H \geq 1.1 \sim 1.2$ )。基坑较大时，在长边方向的中部可适当采用双排桩，增大刚度，减少位移。

(2) 根据支护形式及现场实际情况，“分段、分块、盆式、限时”开挖，能够较好的做到时空效应，减少基坑变形。

(3) 列车振动荷载对基坑支护结构的影响，仍以竖向振动加速度为主，但水平振动加速度幅值有较大增长，基坑支护结构必须有足够刚度。

(4) 在铁路沿线软土深基坑支护施工技术中，特别是支撑受限时，钻孔桩配合 SMW 工法是一种经济、适用的施工方案。

### 参考文献

- [1] 张利国,涂平海. SMW 工法和钢管支撑在天津环渤海经贸大厦基坑支护工程的实践[J]. 岩土工程界, 2004(5).
- [2] 毕湘利,周顺华. 列车振动荷载对邻近深基坑的既有站变形影响[J]. 同济大学学报, 2004(12).
- [3] 赵维茂,张新华. 上海永华大楼深基坑开挖及支护技术[J]. 施工技术, 1994(9).
- [4] 胡建华. 落深不一的大型深基坑施工技术[J]. 建筑施工, 2005(8).
- [5] 王珊. 不同条件下的基坑工程应用技术[M]. 北京: 中国现代工程技术出版社, 2006.