

DOI: 10.11779/CJGE2014S2041

# SMW 围护结构在城市道路深基坑的应用

代 攀, 陈 玲, 魏于春

(云南省交通规划设计研究院, 云南 昆明 650011)

**摘要:** SMW 工法即在水泥土桩内插入 H 型钢将型钢承受荷载与水泥土防渗挡水功能结合起来, 使之成为同时具有受力与抗渗两种功能的支护结构。以丽江市雪山路下穿福慧路工程围护结构为背景, 介绍了 SMW 工法在城市道路基坑工程中的设计要点、计算方法, 探讨了 SMW 工法在城市道路基坑工程中的具体应用, 对今后应用 SMW 工法进行同类深基坑的计算与设计有一定的借鉴意义。

**关键词:** 城市道路; 深基坑; SMW 围护结构

中图分类号: TU470 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S2-0242-03

作者简介: 代 攀 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事桥梁结构理论研究。E-mail: myhua006@163.com。

## Application of SMW retaining wall in deep foundation pits of urban roads

DAI Pan, CHEN Ling, WEI Yu-chun

(Yunnan Provincial Plan Design and Research Institute of Communications, Kunming 650011, China)

**Abstract:** The SMW method is that the H-beam steel is inserted into a cement-soil pile, and by combining the loads that the H-beam steel bears with the anti-seepage function of cement-soil in a perfect way, a kind of retaining structure that is of load bearing and anti-seepage the same time is thus formed. The main points of design and the relevant method of SMW in foundation pits of urban roads are introduced. The concrete application of SMW method in foundation pits of urban roads is discussed. The application of SMW method has certain reference significance in the design and construction of similar foundation pit.

**Key words:** urban road; deep foundation pit; SMW retaining wall

## 0 引言

SMW(Soil-cement Mixed Wall)工法是基于深层搅拌桩施工方法发展起来的、具有很大经济潜力的一种新颖的围护型式。该法是利用特制的搅拌机械, 以水泥浆作固化剂, 在土层中强行与土体拌和, 使被加固土体硬结成水泥土柱。然后, 按一定形式将H型钢插入搅拌桩中, 从而形成一种劲性复合围护结构。

在该支护体系中, 水泥土与型钢之间黏结强度较小, 但相互适应性较好。型钢可独立承担水土侧压力; 而水泥土搅拌桩抗渗性能良好, 水泥土能对型钢起包裹和套箍作用, 可提高型钢刚度, 减小位移, 防止其失稳。所以, SMW工法桩具有止水和挡土的双重作用, 适合作为深基坑的支护结构, 但是, 该工法的受力机理和计算模式还不是很清楚, 特别是水泥土与型钢之间的共同作用以及其抗弯性能值得进一步研究。

## 1 工程概况及土层特性

该工程为丽江市雪山路下穿福慧路工程, 主体结构采用现浇钢筋混凝土双孔矩形箱涵和“U”形槽型式, 总长280 m; 其中暗埋段(钢筋混凝土双孔矩形

箱涵)长44 m, 位于 $R=1500$  m的竖曲线中。

与主体结构相对应, 基坑呈长条形, 东西长280 m, 南北宽20.9 m, 基坑深度随路线线性变化, 开挖深度为2.17~7.55 m, 其中局部最大埋深10.85 m(集水槽部分)。

工程地基土上部为第四系人工堆积(Q4ml)杂填土层, 其下依次为第四系全新统冲、洪积(Q4al+pl)成因形成的粉土、圆砾层构成。土层物理力学指标平均值见表1。

表 1 土层物理力学指标

Table 1 Physico-mechanical parameters of soils

土层 名称	平均 厚度 /m	重度 $\gamma$ ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	天然含 水率 $w/\%$	液性 指数 $I_L$	$c$ /kPa	$\varphi$ ( $^{\circ}$ )
杂填土	1.9	13.0	—	—	—	—
粉土	4.5	20.4	21.7	0.88	13	24.4
圆砾②1	1.4	22.0	—	—	—	30.0
圆砾②2	2.3	23.0	—	—	—	32.0
饱和 粉土	13.6	20.4	19.8	0.78	15	25.0

本场地地下水在勘察深度范围内以孔隙潜水类型赋存, 主要含水层有圆砾层, 富水性中等—强。其余土层均为相对隔水层。圆砾层渗透系数  $k=57.058\sim 58.85 \text{ m/d}$ ; 粉土层渗透系数  $k=0.1 \text{ m/d}$ ;

## 2 SMW 支护结构的设计计算要点

### 2.1 基本假定

(1) 主动土压力取值, 采用地质勘察报告所提供的基坑围护设计参数, 地下水位-1.5 m, 采用朗肯土压力计算公式, 水土分算。

(2) 被动土压力计算系数采用地基基床系数“ $m$ ”值。

(3) 采用“ $m$ ”法有限元程序进行模拟实际施工工况的挡土结构侧向位移、内力的计算。

(4) 支护结构内力全部由工字钢承担, 忽略水泥土对型钢强度、刚度的贡献。

### 2.2 搅拌桩的桩径与型钢密度计算

SMW 围护结构类型的深基坑, 承受弯矩与剪力作用的, 主要是围护结构体的芯材(型钢), 水泥土主要起防渗作用, 搅拌桩的桩径与型钢密度必须保证相邻 H型钢间的水泥土免受剪切破坏。SMW 围护结构必须对水泥土搅拌桩桩身局部受剪承载力进行验算。局部受剪承载力包括型钢与水泥土之间的错动受剪承载力和水泥土最薄弱截面处的局部受剪承载力, 如图1所示。

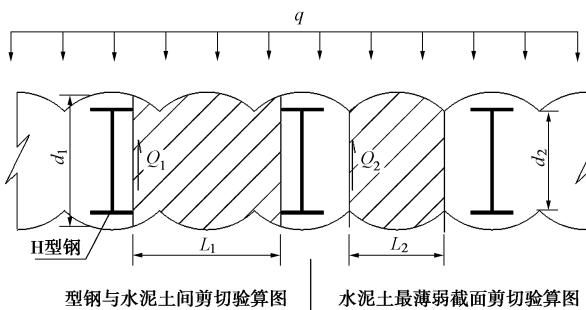


图 1 SMW 平面布置

Fig. 1 Plane arrangement of SMW

I型钢与水泥土间剪切承载力应满足:

$$\frac{0.6 \times q \times L1}{2 \times d1} \leq \frac{\tau}{1.6} , \quad (1)$$

II型钢隔孔设置时, 应按下式进行最薄弱断面的局部抗剪验算:

$$\frac{0.6 \times q \times L2}{2 \times d2} \leq \frac{\tau}{1.6} . \quad (2)$$

式中  $q$  为计算截面处的侧压力标准值;  $\tau$  为水泥土抗剪标准值, 可取水泥土无侧限抗压强度标准值的  $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{10}$ , 施工前应对不同图层进行强度试验, 无侧

限抗压强度总体规律应符合日本铃木健夫等于 1994 年的研究成果, 即

$$q_{n28} = \frac{k}{m} \times s + n .$$

式中  $q_{n28}$  为龄期 28 d 的无侧限抗压强度;  $m$  为水灰比;  $s$  为含砂率,  $n$  为含砂率为 0% 的  $q_{n28}$ ;  $k$  为系数。

通过计算以及结合国内三轴搅拌桩的钻头, 本工程采用孔径为 650 mm 的桩径, 桩间距 450 mm, 水泥土 28 d 无侧限抗压强度不小于 1.0 MPa。开挖深度小于 3 m 采用素桩, 3.0~4.5 m 隔 1 插 1, 4.5~5.0 m 隔 1 插 2, 5 m 以上采用密插。

### 2.3 型钢的截面尺寸计算

H型钢的截面尺寸可通过其整体刚度要求确定, 而整体刚度则根据基坑的开挖深度、围护结构允许的最大挠度进行计算。

以图 2 所示的简支梁作为计算模型, 坐标原点取在梁的跨中, 并作如下假定: ①围护体外侧作用均布荷载  $q$ ; ②受载后组合梁两种材料的挠度保持一致, 即  $W_c = W_s = W_i$ ; ③两材料沿梁长均匀分布, 接触面上的剪力  $\tau(x)$  在弹性阶段与相对滑移  $u(x)$  之间为线性关系, 即

$$\tau(x) = G \cdot u(x) . \quad (3)$$

式中  $G$  为黏结抗剪刚度 (MPa) 由试验确定;  $u(x)$ : 单位滑移量的纵向剪力 (N/mm)。

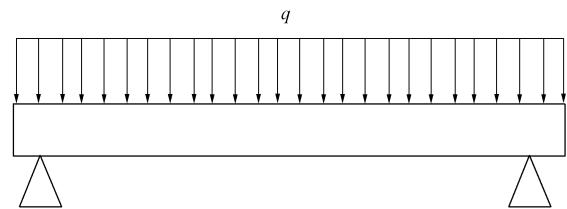


图 2 简支梁计算模型

Fig. 2 Computational model of free beam

代入相关平衡条件及边界条件, 解得梁的挠度为

$$f = \alpha_1 c h p x + \left( \frac{q Q}{24 p^2} \right) x^4 + \left( \frac{\alpha_2 Q}{2 p^2} + \frac{q Q}{p^4} - \frac{R}{2 p^2} \right) x^2 ,$$

式中,

$$\alpha_1 = -\frac{1}{p^2 c h \frac{p L}{2}} \left( \frac{Q q}{p^4} - \frac{R}{p^2} \right) , \quad \alpha_2 = -\frac{q}{8} L^2 , \quad p^2 =$$

$$G \left( \frac{d_0^2}{E_c I_c + E_s I_s} + \frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \right) , \quad Q = \frac{G}{E_c I_c + E_s I_s} \left( \frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \right) , \quad R = \frac{q}{E_c I_c + E_s I_s} .$$

根据开挖深度、支撑间距可以确定  $q$  的取值,  $E_c$  由试验得出, 根据基坑周围的环境情况及允许变形,

选取  $f_{max}$ ，进而可得到 H 型钢惯性距的最小值。

通过计算，选用型钢，尺寸如图 3 所示。

## 2.4 H 型钢入土深度计算

基坑开挖面以下 H 型钢的长度称为入土深度，可通过对基坑进行抗隆起稳定性验算确定，且宜插到不透水层，以阻止地下水的渗流。

通过计算，本工程插入深度、横撑数量及安全系数如表 2，3 所示。

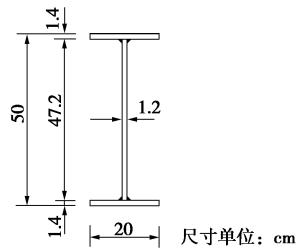


图 3 H 型钢的剖面尺寸

Fig. 3 Sizes of H-type steel bar

表 2 本工程插入深度和内撑数量

Table 2 Insertion depth and number of horizontal braces

内撑形式	开挖深度/m	H 钢总长	搅拌桩总长/m
悬臂	0~3.0	无	9
悬臂	3.0~3.5	10.0	11
一道	3.5~4.5	11.0	12
两道	4.5~5.0	12.5	13
两道	5.0~5.5	13.5	14
两道	5.5~6.5	14.5	15
两道	6.5~7.5	15.5	16
三道	7.5~10.8	19.5	20

## 3 施工监测结果

为保证围护结构的安全，开挖全过程对基坑进行

了施工监测，基坑的位移、周边环境沉降变化均未超限，K1+040 处（开挖深度为 10.8 m），桩顶水平相对最大位移为 3.2 cm。

表 3 各安全系数一览表

Table 3 List of safety factor

支护情况	抗倾覆安全系数	整体稳定系数	抗隆起安全系数
悬臂开挖	1.8	3.8	9.8
设一道横撑	8.2	3.6	8.8
设两道横撑	8.3	2.6	7.4

## 4 结语

SMW 围护基坑能起到止水帷幕和支护结构的双重作用，构造简单、施工速度快，插入型钢可以重复使用，本工程将 SMW 法应用城市道路下穿隧道的支护体系，对应用 SMW 工法进行同类深基坑的设计与施工有一定的借鉴意义。

## 参考文献：

- [1] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. (YU Zhi-cheng, SHI Wen-hua. Designing and construction of deep foundation pit[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997. (in Chinese))
- [2] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1997, 4: 566 - 598. (LIU Jian-hang, HOU Xue-yuan. Foundation pit engineering handbook[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997, 4: 566 - 598. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)