

DOI: 10.11779/CJGE2014S1039

# 深基坑支护桩嵌固深度不足的设计与施工处理实例

戴 明, 邓 敏, 张 志, 吴礼生

(湖北地矿建设工程承包集团有限公司, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 以湖北黄冈市蕲春县龙泉国际新城深基坑支护工程为实例, 针对基岩地层起伏不平, 深基坑支护桩施工嵌固深度不足的问题展开研究, 采用加长、加密锚杆及桩前土预留平台等措施, 取得了较好的效果。同时根据工程实施过程总结分析了类似地层中搅拌桩、锚杆以及围囹的施工要点。

**关键词:** 深基坑; 支护桩; 嵌固深度; 锚杆

中图分类号: TU473.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S1-0225-06

**作者简介:** 戴 明(1968-), 男, 工程学士, 1991年毕业于成都理工大学探矿工程系, 现任高级工程师, 主要从事岩土工程设计和施工方面的工作。E-mail: daiming511@163.com。

## Design and construction processing example of inadequate embedded depth of retaining piles in deep excavation

DAI Ming, DENG Min, ZHANG Zhi, WU Li-sheng

(Hubei Dijian Construction Co., Ltd., Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The retaining structures for deep excavation of Longquan International Park in Qichun County, Huanggang City of Hubei Province are taken for an instance. Owing to unsmooth bedrock formations, the problem of inadequate embedded depth of retaining piles in deep excavation is studied. Good results are achieved by using longer and more dense anchors, reserved soil platforms before retaining piles and other measures. Meanwhile, some construction points of mixing pile, anchor and confining prison in similar formations are summarized and analyzed according to the project implementation process.

**Key words:** deep excavation; retaining pile; embedded depth; anchor

## 1 工程概况

湖北某城乡建设投资有限公司拟在黄冈市蕲春县漕河一路原老检察院内兴建龙泉国际新城, 包括1栋9层建筑、2栋22层建筑、4层商铺及2层地下室。工程采用墩基础和独立柱基。地下室平面整体呈不规则多边形, 周长约336.8 m, 占地面积约5775.9 m<sup>2</sup>。

地下室设计正负零标高为23.50 m, 场地地面标高22.8~23.3 m, 基坑支护计算深度依据地下室底板标高以及地下室底梁、墩身高度综合确定, 由此得出基坑周边实际开挖深度为8.08~8.43 m。基坑支护上口开挖面积约7825 m<sup>2</sup>, 周长约367 m。

## 2 工程水文地质

建筑场地位于蕲春县漕河一路原老检察院内, 交通便利。场地周边地形平坦, 属冲、洪积平原地貌单元。根据钻孔揭露, 场区内覆盖层为第四系全新统冲洪积地层, 下卧基岩为太古界(Ar)片麻岩地层。典型地层剖面图见图1。

场地地下水类型主要为上层滞水及承压水。上层滞水赋存于①层杂填土中, 主要接受大气降水补给, 对基坑施工影响较小; ②-1、②-4、②-5层粉质黏土为相对隔水层, 水平向渗透系数在 $(1.44\sim7.85)\times10^{-7}$  cm/s之间, 属极微透水; ②-2、②-3层含黏性土粗中砂、③层砾砂为承压含水层, 水平向渗透系数在5.0~10.0 m/d, 属强透水层; ④层片麻岩裂隙较发育而不发育, 属裂隙弱含水。勘察期间实测承压水水位埋深在2.80~3.30 m。

## 3 周边环境

基坑东边为襄昌大道, 沿路埋设有煤气主管道, 靠近基坑侧还有一处变压器, 基坑内边线距离煤气管线约7.60 m, 距离变压器约4.70 m。南边为8层楼国宾大酒店, 基坑内边线距酒店外墙最近约4.25 m。西边为巷道路, 沿巷道路砌筑了围墙, 墙下布置有煤气管线, 基坑内边线距煤气管线最近约1.15 m。北边为

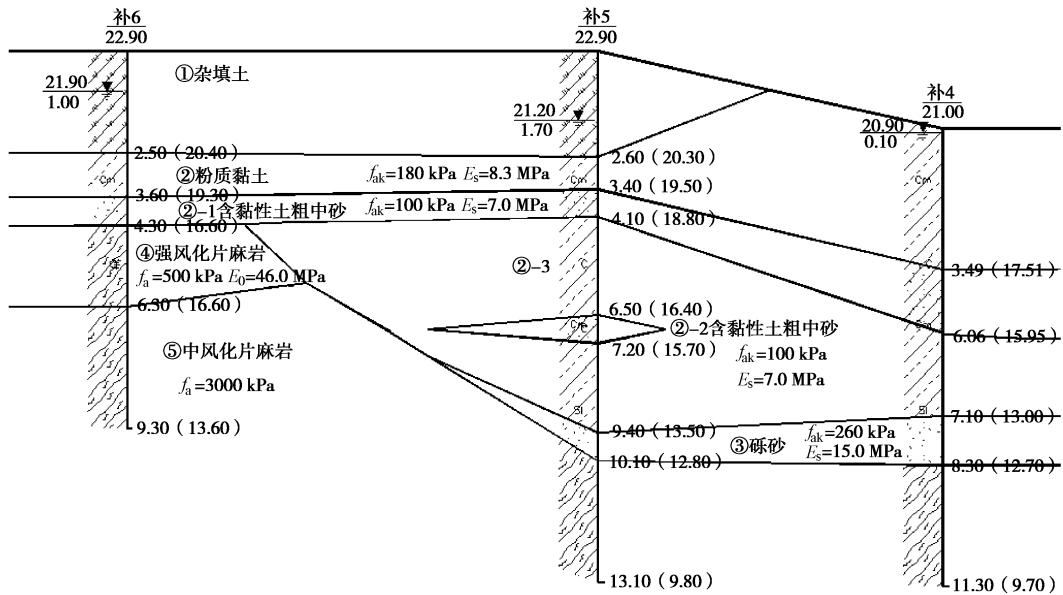


图 1 典型地层剖面图

Fig. 1 Typical stratigraphic section

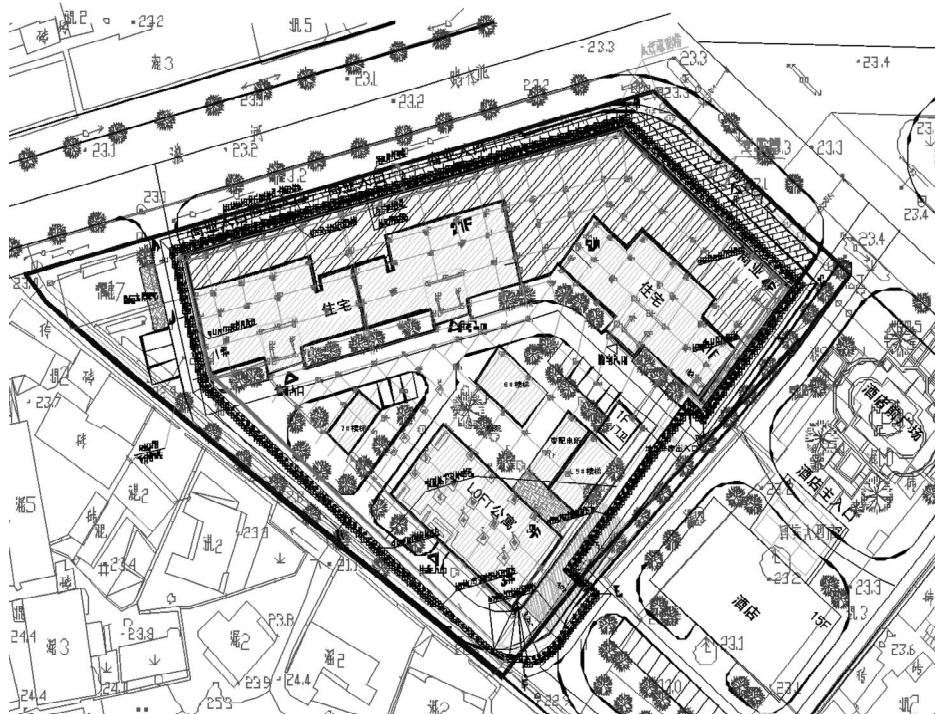


图 2 基坑平面及周边概况

Fig. 2 Pit plane and surrounding overview

漕河一路，基坑支护结构内边线距道路中心线 17.10 m，距红线约 4.20 m。总体基坑周边用地环境较紧张。基坑平面及周边概况见图 2。

#### 4 基坑支护设计

综合基坑开挖深度、周边环境条件、工程水文地质条件，确定本基坑工程重要性等级为一级。

基坑周边临时荷载取  $15 \text{ kPa}$ , 建筑荷载取  $18 \text{ kPa}$ /层。

各土层设计参数取自勘察资料, 见表 1。

## 4.1 设计要点

(1) 构成基坑侧壁地层主要为①、②层, 坑底地层主要为③、④层, 结合工程周边环境、地质条件和开挖深度, 选择钻孔灌注桩排桩+桩顶放坡方案。

表 1 基坑支护参数建议值表

Table 1 Recommended values of parameters

地层层号及 名称	$\gamma$ ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	状态	综合取值		
			$c$ /kPa	$\varphi$ ( $^{\circ}$ )	$K$ ( $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ )
①杂填土	18.0	松散	10.0	6.0	
②-1、②-4、 ②-5 粉质黏土	18.5	可塑	27.0	13.0	0.020
②-2、②-3 含黏 性土粗中砂	18.5	松散	0	25.0	5.000
③砾砂	21.0	稍密	0	35.0	10.000
④片麻岩	22.0	强风化	50.0	18.0	0.001

(2) 本工程基岩埋深较浅, 桩底基本上都嵌入中风化片麻岩, 此岩属坚硬岩, 考虑硬岩会影响支护桩施工效率, 设计支护桩进入中风化岩 1.0 m 即可。若计算的桩顶位移不能满足规定要求, 增加一至两道锚杆, 形成桩锚支护。

(3) 本工程有另一特点, 基岩埋深起伏不平, 局部地段中风化岩出露在基坑开挖深度内, 如西南角支护段 (E-F-G) 中风化岩埋深约 6.30 m, 而此段基坑开挖深度达 8.43 m, 其中有近 2.0 m 是在基岩中开挖。设计计算时, 此段以中风化岩顶面作为基坑底进行计算, 并经验算, 满足基坑开挖至坑底时整体稳定性要求。

(4) 考虑地下水对基坑的影响, 侧壁和坑底止水采用落底式帷幕, 帷幕由双排搭接的湿式水泥搅拌桩组成, 置于桩后侧。西南角 (F-G 段) 无施工条件的地方改用桩间双重管高压旋喷桩止水。

## 4.2 设计方案

根据地层条件、开挖深度、周边荷载等因素, 将基坑划分为 9 段, 采用天汉软件(V2005.1)桩锚模块,

表 2 基坑各支护段桩锚设计参数表

Table 2 Design parameters of anchor piles of each segment

分段	地面标高 /m	计算深度 /m	设计桩顶标 高/m	设计桩长 /m	主筋 配置	锚杆设置 标高/m	锚杆长度 /m
AB	-0.20	-8.28	-2.50	10.5	10 $\phi$ 22	-4.00	11
BC	-0.20	-8.28	-2.50	11.0	10 $\phi$ 22	-4.00	13
CD	-0.50	-8.93	-2.50	10.0	10 $\phi$ 22	-4.00	15
DE	-0.60	-8.93	-2.50	9.5	10 $\phi$ 22	-4.00	14
EF	-0.60	实际坑底标高-8.93 -6.9	-2.50	6.5	10 $\phi$ 22	-3.6 -6.4	6 5
FG	-0.50	实际坑底标高-8.93 -6.8	-0.50	9.0	10 $\phi$ 22	-2.5 -6.0	7 5
GH	-0.50	-8.93	-0.50	12.0	10 $\phi$ 22	-3.00	14
HJ	-0.50	-8.93	-2.50	11.5	12 $\phi$ 22	-4.00	16
JA	-0.20	-8.28	-2.50	11	10 $\phi$ 22	-4.00	14

对各段进行稳定性计算<sup>[1-2]</sup>。

其中, E-F-G 段采用双排桩锚支护, 其余段均采用单排桩锚支护, 设计桩径  $\phi$  800 mm, 中心距 1300 mm, 桩顶设冠梁, 冠梁宽高 1000 mm  $\times$  500 mm, 构造配筋即可。桩顶有放坡的, 均进行挂网喷砼支护。各支护段桩锚设计参数见表 2。

水泥搅拌桩止水帷幕直径  $\phi$  500 mm, 排距和中心距均为 400 mm, 高压旋喷桩直径  $\phi$  800 mm, 中心距 1300 mm, 桩底均进入隔水层以下 0.5 m。典型基坑支护剖面见图 3。

## 4.3 设计变更

受原地勘报告影响, 支护桩最初拟采用挖孔桩施工, 因场区分布有两至三层中粗砂和砾砂, 且水头压力很大, 试成孔未成功。若采用冲孔桩施工, 可达到上述设计要求的桩长, 但工期和费用均不允许, 最终决定采用旋挖钻孔桩施工。由于旋挖钻孔只能钻穿强风化片麻岩, 桩端只能置于中风化片麻岩顶板上, 必然会造成大部分桩实际桩长达不到设计要求的情况, 甚至有半数钻孔桩端悬挂在坑底之上。经研究决定先采用旋挖钻施工支护桩, 然后再根据实际桩长情况调整支护设计。实际施工桩长统计表见表 3。

鉴于此, 为保证基坑后期顺利、安全开挖, 对原设计方案进行重新调整。调整措施如下:

(1) 对于嵌固深度不足的桩, 施工采用加长、加密锚杆及桩前土预留平台(待地下室主体施工再开挖, 以缩短暴露时间)措施, 并经天汉喷锚模块复核整体滑移稳定性。

(2) 对于吊脚桩, 视为护坡结构, 采用天汉软件喷锚模块重新进行设计计算。

方案调整前后的锚杆布置对比见表 4。

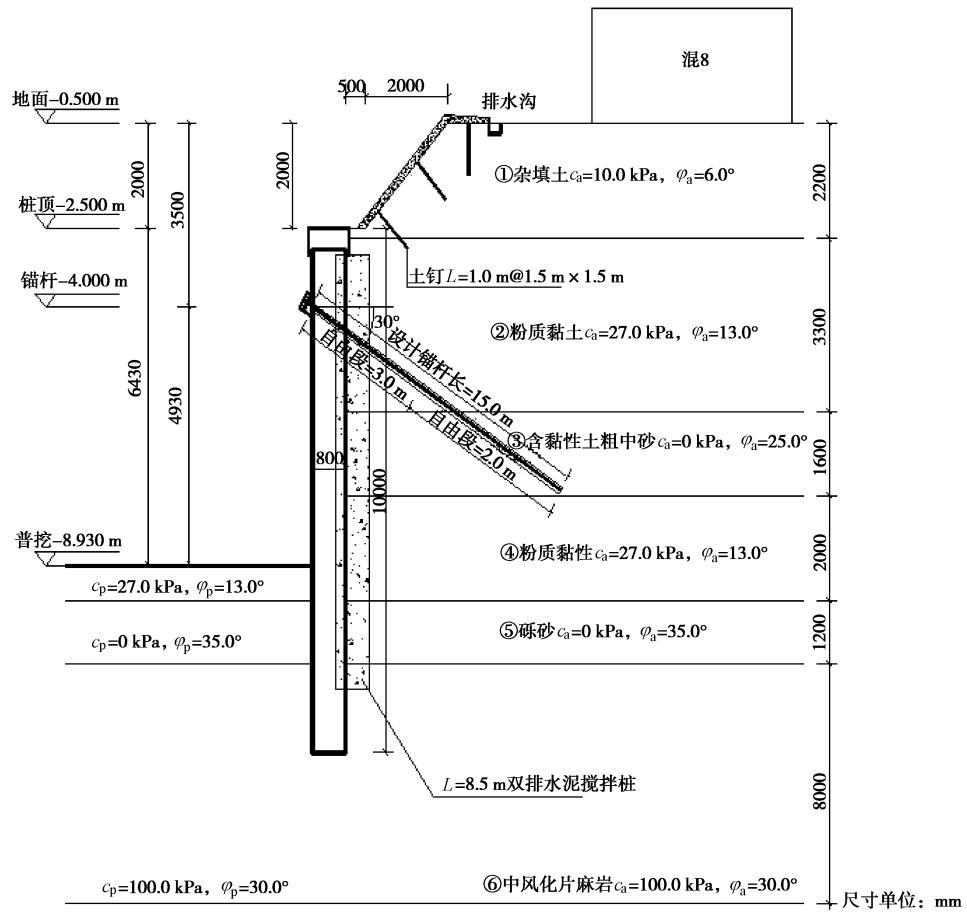


图 3 典型基坑支护剖面图

Fig. 3 Typical cross-section of excavation supporting

表 3 钻孔桩设计参数与实际施工参数对比

Table 3 Comparison between design parameters and actual construction parameters of bored piles

分段	地面 标高/m	坑底 标高/m	设计桩顶 标高/m	施工桩顶 标高/m	设计桩 间距/mm	施工桩 间距/mm	设计桩长 /m	施工桩长 /m	设计嵌固 深度/m	施工嵌固 深度/m
AB	-0.20	-8.28	-2.50	-2.10	1300	1500	10.5	7.0~9.9	4.72	0.82~3.72
BC	-0.20	-8.28	-2.50	-2.10	1300	1500	11.0	6.9~8.4	5.22	0.72~2.22
CD	-0.50	-8.93	-2.50	-2.40	1300	1500	10.0	7.6~9.9	3.57	1.07~3.37
DE	-0.60	-8.93	-2.50	-2.50	1300	1500	9.5	5.3~8.9	3.07	-1.13~2.47
EF	-0.60	-6.9	-2.50	-2.50	1300	1500	6.5	2.6~6.2	2.10	-3.83~-0.30
FG	-0.50	-6.8	-0.50	-0.50	1300	1500	9.0	3.8~7.4	2.70	-4.63~-1.03
GH	-0.50	-8.93	-0.50	-0.50	1300	1500	12.0	3.7~7.3	3.57	-4.73~-1.13
HJ	-0.50	-8.93	-2.50	-0.50	1300	1500	11.5	6.4~7.3	5.07	-2.03~-1.13
JA	-0.20	-8.28	-2.50	-0.70	1300	1500	11.0	8.5~10.7	5.22	0.92~3.12

## 5 基坑支护施工

### 5.1 搅拌桩施工<sup>[3]</sup>

本场区强风化基岩上大都分布有一层厚度约 2 m 的砾砂层, 为避免地下水从桩底渗流, 搅拌桩封底的质量将影响到止水帷幕隔渗效果乃至基坑支护整体的稳定。

质量控制要点: 施工中严格控制搅拌桩桩长, 确

保桩端进入强风化片麻岩 0.5 m 以上, 并对底部增加两次复搅复喷; 垂直度控制在 0.5% 以内。

经开挖验证, 止水效果良好。事实证明在类似地层中采取搅拌桩工艺完全可以达到理想的隔渗效果。

### 5.2 锚杆施工<sup>[4]</sup>

采用套管护壁钻进工艺, 以保证在多层砂及承压水地层中钻孔施工保持孔壁稳定。本工程采用 MDL-135B 多功能钻机, 全程Φ146 套管钻进至中风化岩面, 然后换用Φ110 钻具在套管内进行风动潜孔锤入

表 4 方案调整前后的锚杆布置对比

Table 4 Comparison of anchor layout before and after adjustment

分段	调整前锚杆布置情况	调整后锚杆布置情况
AB	标高-4.0 m 长度 11 m 间距 1.5 m	标高-3.7 m 长度 17 m 间距 1.5 m 标高-3.1 m 长度 10 m 间距 1.5 m
BC	标高-4.0 m 长度 13 m 间距 1.5 m	标高-5.1 m 长度 10 m 间距 1.5 m 标高-7.1 m 长度 10 m 间距 1.5 m
CD	标高-4.0 m 长度 15 m 间距 1.5 m	标高-5.0 m 长度 15 m 间距 1.5 m 标高-8.0 m 长度 5 m 间距 1.5 m
DE	标高-4.0 m 长度 14 m 间距 1.5 m	标高-5.2 m 长度 14 m 间距 1.5 m 标高-7.5 m 长度 5 m 间距 1.5 m
EF (坑底标高-8.93 m)	标高-3.6 m 长度 6 m 间距 1.5 m 标高-6.4 m 长度 5 m 间距 1.5 m	标高-3.5 m 长度 9 m 间距 1.5 m 标高-5.5 m 长度 9 m 间距 1.5 m 标高-7.5 m 长度 9 m 间距 1.5 m 标高-2.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m
FG (坑底标高-8.93 m)	标高-2.5 m 长度 7 m 间距 1.5 m 标高-6.0 m 长度 5 m 间距 1.5 m	标高-4.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m 标高-6.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m 标高-8.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m 标高-2.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m
GH	标高-3.0 m 长度 14 m 间距 1.5 m	标高-4.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m 标高-6.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m 标高-8.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m 标高-2.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m
HJ	标高-4.0 m 长度 16 m 间距 1.5 m	标高-4.0 m 长度 10 m 间距 1.5 m 标高-6.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m 标高-8.0 m 长度 8 m 间距 1.5 m
JA	标高-4.0 m 长度 14 m 间距 1.5 m	标高-3.7 m 长度 14 m 间距 1.5 m 标高-7.0 m 长度 5 m 间距 1.5 m

岩钻进。

由于承压水水头压力大, 钻进过程中和终孔后, 地下水从搅拌桩体钻孔环状间隙中涌出, 水量很大且携带砂粒, 封堵较困难, 钻孔区域坑顶外围地面很快开裂。

针对上述情况, 综合现场施工条件, 采取三次注浆处理措施。

(1) 在套管内随锚杆下入两根注浆管, 一根为 PE 管, 一根为  $\Phi 25$  钢花管。

(2) PE 管内常压注浆, 孔口返浆后起拔套管。套管拔出后(约 30~60 min)通过 PE 管再次注浆至孔口返浆, 然后拔出 PE 管。此时孔口仍涌水但水量减小。

(3) 用水泥、速凝剂、棉絮、布团等材料配合使用封堵孔口, 将孔口涌水尽量堵至最小程度。

(4) 4~8 h 内通过钢花管注浆, 以注浆压力 1 MPa 或注浆量  $0.5 \text{ m}^3$  作为注浆终止标准。

经开挖验证, 锚杆施工质量完全满足设计和规范要求, 说明高承压水地层锚杆施工采取上述钻孔和注浆工艺是可行的。

### 5.3 围囹施工

本工程围囹设计采用双根 16a 槽钢, 为施工简便, 实际使用单根 25a 槽钢。基坑开挖到底后, 槽钢目测无明显变形。

一场长时间大雨后, 发现 A43~A57 段约 20 m 长部位槽钢发生很大变形, 表现为锚杆部位垫板及槽钢压陷、与桩接触部位槽钢端口外鼓、槽钢焊缝拉裂错位。

#### (1) 原因分析

a) 错误使用材料, 抗弯承载力不足(主因)

本工程锚杆围囹材料选用热轧槽钢。采用弹性抗力法对桩锚结构进行锚杆力计算, 经计算得到锚杆所受的水平拉力标准值为  $79.5 \sim 178.5 \text{ kN}$  之间。将杆件视为简支梁, 简化后的受力模型如图 4。

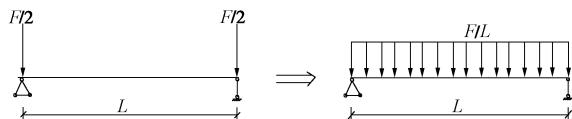


图 4 围囹受力模型简化图

Fig. 4 Simplified force mode of confining prison

$$M_{\min} = \frac{1}{8}ql^2 = \frac{1}{8} \times \left( \frac{79.5}{1.5} \right) \times 1.5^2 = 14.9 (\text{kN} \cdot \text{m}) ;$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8}ql^2 = \frac{1}{8} \times \left( \frac{178.5}{1.5} \right) \times 1.5^2 = 33.5 (\text{kN} \cdot \text{m}) .$$

安全系数取 1.35, 热轧槽钢容许弯曲正应力  $[\sigma] = \frac{235}{1.35} = 174 (\text{N} / \text{mm}^2)$ 。

最小弯曲截面系数:

$$W_{z\min} \geq \frac{M}{[\sigma]} = \frac{14.9}{174} = 85632 \text{ (mm}^3\text{)} = 85.632 \text{ (cm}^3\text{)};$$

最大弯曲截面系数:

$$W_{z\max} \geq \frac{M}{[\sigma]} = \frac{33.5}{174} = 192528 \text{ (mm}^3\text{)} = 192.528 \text{ (cm}^3\text{)}.$$

查得 2 根 12.6 号槽钢

$$W_z = 2 \times 62.137 = 124.274 \text{ (cm}^3\text{)} > 85.632 \text{ (cm}^3\text{)};$$

查得 2 根 16a 号槽钢

$$W_z = 2 \times 108.3 = 216.6 \text{ (cm}^3\text{)} > 192.528 \text{ (cm}^3\text{)}.$$

实际施工统一采用单根 25a 槽钢, 槽口垂直坡面设置,  $W_z = 30.607 \text{ cm}^3$ , 远不满足设计要求值。

#### b) 其它因素的影响

A8~A57 段地层、支护桩桩长、支护设计相同, 均采用同一最不利剖面设计, 为何仅 A43~A57 段出现槽钢强度不足的现象, 而其它部位均完好。经现场查证分析如下: ①A1~A40 段锚杆二次注浆控制标准为每孔  $1 \text{ m}^3$ , A41~A57 为每孔  $0.5 \text{ m}^3$ 。二次注浆对基坑外侧土体的加固作用较强, 从而减小了主动土压力, 亦减小了锚杆轴向受力, 部分弥补了槽钢强度不足的缺陷。②A50 部位有一条地下水水泥管, 从场内原老建筑化粪池通往基坑边排洪港, 由于排洪港局部堵塞, 大雨时雨水倒灌并长时间浸泡基坑外侧粉质黏土层, 导致土体强度下降, 锚杆受力增大。经分析: 此因素是加速 A43~A57 段槽钢变形的外部原因。

#### (2) 处理措施

- a) 疏通排洪港, 封闭水泥管。
- b) 坡顶打花管注浆, 加固受浸泡区土体。
- c) 加固槽钢: 锚杆两侧的槽钢上翼缘端口处加焊加劲肋板(用槽钢边角料), 增加其局部受压稳定性; 槽钢翼板面上通长用 25 螺纹钢筋呈“Z”字形与板面焊接加固, 以增大其抗弯承载力。

采用上述措施处理后, 基坑开挖到底迄今已三个多月, 未见槽钢变形。

## 6 支护效果监测

该基坑支护工程施工时间段从 8 月到 12 月, 由于前期地勘报告有误, 造成补充勘察和基坑重新设计, 导致施工进度有所滞后。基坑监测由独立的第三方进行, 共布置支护桩桩顶沉降及位移观测点 15 点, 支护桩深层侧向位移监测点 3 点, 坑外土体侧向位移监测点 11 点, 周边道路、管线、建筑物沉降监测点 40 点。监测周期每两天监测一次, 遇雨天加密, 监测工程实

施参照规范。

监测数据显示北边漕河一路支护段 (J-A-B) 的位移稍大, 一般为  $21.0\sim36.5 \text{ mm}$ , 其它三边位移值为  $2.0\sim15 \text{ mm}$ , 坡顶沉降程度分布与位移情况趋势相同, 也是北边支护段较大, 达  $16.1\sim28.3 \text{ mm}$ 。周边建筑物沉降观测点数据未见明显沉降。各项数据均在规范允许范围内, 基坑支护达到预期效果。

## 7 结语

本项目在实施过程中针对基岩地层起伏不平、支护桩嵌固深度不足的情况, 及时调整设计, 基坑支护取得了良好的效果, 同时缩短工期 2 个月以上, 降低工程造价约 30 万元。砾砂层下为基岩等类似地层, 采用双排搅拌桩或桩间高喷作为止水帷幕, 完全可以达到理想的隔渗效果。类似高承压水地层锚杆施工采用套管护壁钻进、多次注浆处理等施工工艺, 可以保证锚杆的施工质量, 同时可对坑侧土体有较好的加固作用。

通过基坑开挖监测资料显示, E-F-G-H 段基岩埋深最浅, 支护桩无嵌固, 后期采用锚杆加固, 桩顶基本无位移。本工程中的吊脚桩, 设计变更时是将其视为护坡结构, 采用天汉软件喷锚模块进行计算, 结合施工实情, 吊脚桩所起的作用究竟应该如何定位计算, 值得思考。

另外, 深基坑设计与施工应协调进行, 施工者应充分理解设计意图, 避免出现本工程中槽钢围圈变形之类的问题。

## 参考文献:

- [1] JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 2012. (JGJ 120—2012 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavation[S]. 2012. (in Chinese))
- [2] DB42/T 159—2012 基坑工程技术规程[S]. 2012. (DB42/T 159 — 2012 Technical specification for excavation engineering[S]. 2012. (in Chinese))
- [3] QB/BY 10301—2003 水泥搅拌桩施工工艺及质量验收标准[S]. 2003.
- [4] GB 50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 2001. (GB 50086—2001 Specification for bolt-shotcrete support[S]. 2001. (in Chinese))

(本文责编 明经平)