

DOI: 10.11779/CJGE2014S1009

型钢旋喷桩深基坑支护技术在室内复杂环境下的 设计应用

刘永超¹, 王清龙^{1, 2}, 朱明亮¹, 张艳利¹

(1. 天津建城基业集团有限公司, 天津 300301; 2. 天津城建大学, 天津 300384)

摘要: 型钢旋喷桩是 SMW 工法的一种形式, 可用于建筑物室内净空、净间距较小的复杂环境, 本文结合工程实例, 采用旋喷桩内插型钢、基坑被动区加固的支护设计, 依据基坑开挖过程中围护结构变形监测数据, 总结该工法的作用机理、设计方法和施工控制要点。

关键词: 型钢旋喷桩; SMW 工法; 挡土结构; 止水

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S1-0056-04

作者简介: 刘永超(1970-), 男, 高级工程师, 博士, 总工程师, 主要从事岩土工程设计与施工技术研究与管理。

E-mail: chao96521@vip.sina.com。

Design and application of retaining technology of steel jet grouting piles in deep foundation pits under indoor complex environment

LIU Yong-chao¹, WANG Qing-long^{1, 2}, ZHU Ming-liang¹, ZHANG Yan-li¹

(1. Tianjin construction inheritance group Limited Company, Tianjin 300301, China; 2. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: The steel jet grouting pile is a type of the SMW method. It can be applied to the buildings in which the environment is complex and the workspace is small. Based on engineering example, the action mechanism, design and construction control points of this method are summarized, according to the monitoring data of deformation of retaining structure which adopts the steel jet grouting piles and reinforcement in the passive zone of the foundation pit.

Key words: steel jet grouting pile; SMW method; soil retaining structure; water sealing

0 引言

加筋水泥土挡土墙(简称 SMW 工法)的一种常用的基坑支护形式^[1],近年来,国内外有很多工程和研究成果^[2-4]。型钢旋喷桩是 SMW 工法的一种形式,是在高压旋喷桩中插入型钢而形成的一种加筋高强度水泥土挡土墙。因高压旋喷桩的强度较高,采用加大型钢与旋喷桩接触强度的方法,该工法已成功用于软土地区^[5],型钢的强度提高系数可比 SMW 工法有较大提高,可在狭小的空间内实现基坑的挡土和止水功能。本文结合工程实例,在室内净空、净间距较小的复杂环境下,采用旋喷桩内插型钢、基坑被动区加固的综合方法,结合基坑开挖过程中围护结构的变形监测,总结该工法的作用机理、设计方法和施工控制要点,可供同类工程参考。

1 工程概况

1.1 工程基本情况

该工程为某国家级汽车研究中心的零部件试验室内新增设备基础,在新建厂区的中部偏南部位,厂房柱网 11×12 m,建筑高度 12.6 m,该建筑为预制方桩基础,原无地下室,现已建成并交付使用。因工艺需要在试验室中增加设备基础,开挖深度最深 6.0 m,基坑坑深示意图见图 1。基坑在试验室内,该部位为二层,基坑边线与基础的最小间距为 0.55 m,施工净高不足 6.0 m,最小处 5.0 m,常规支护技术难以在如此室内净高和净间距范围内实现挡土、止水的功能要求。

1.2 地质情况

依据勘察资料,地基土按成因年代和力学性质,自上而下土质包括:

①素填土:软塑状态,局部夹淤泥,厚度 0.50~2.80 m; ②黏土:可塑状态,厚度 0.50~2.90 m; ③₁

淤泥质黏土: 流塑状态, 厚度为 1.50~3.30 m; ③₂ 淤泥质粉质黏土: 流塑状态, 黏性较大, 厚度为 2.80~6.20 m; ③₃ 粉质黏土: 软塑状态, 砂黏混杂, 厚度为 2.30~4.50 m; ③₄ 黏土: 软塑状态, 局部夹淤泥质黏土薄层, 厚度为 0.60~1.60 m; ④₁ 粉质黏土: 可塑状态, 厚度为 1.90~4.20 m; ④₂ 粉质黏土: 可塑状态, 局部粉性较大夹粉土薄层; 厚度为 1.00~2.00 m。依据勘察报告, 场地土层参数见表 1。

表 1 岩土体参数取值表

土层名称	重度 (kN·m ⁻³)	含水率/%	e	I _L	I _P	直剪快剪	
						c/kPa	φ/(°)
素填土	18.0	—	—	—	—	10.0	10.0
黏土	18.2	35.9	1.078	19.3	0.77	17.4	6.7
淤泥质黏土	17.3	43.2	1.280	18.3	1.32	8.2	3.3
淤泥质粉质黏土	17.9	40.7	1.145	13.9	1.34	12.5	5.6
粉质黏土	18.7	33.6	0.935	11.8	1.14	10.1	8.7
黏土	17.9	37.9	1.110	18.9	0.91	12.6	6.0
粉质黏土	19.9	25.4	0.712	10.7	0.74	16.5	10.8
粉质黏土	20.2	23.9	0.669	10.4	0.77	37.5	13.3

注: c 和 φ 的取值除素填土采取的经验值外, 其他土层参数均采用标准值。

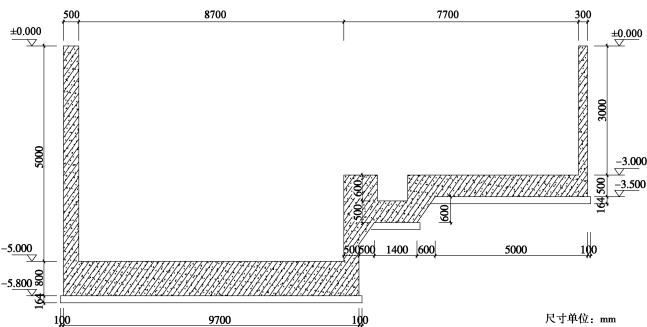


图 1 设备基础坑深示意图

Fig. 1 Sketch map of foundation pit

2 基坑支护结构与计算

2.1 设计难点

根据周边环境, 不存在放坡开挖或卸荷的条件, 应采用垂直开挖的方案。该项目基坑总面积虽然小, 但基坑底面处在淤泥质黏土上, 并且在基坑工程实施过程中受到许多不确定因素的影响, 存在工程风险。

本项目为室内基坑, 施工净空和净间距均较小, 采用常规的钻孔灌注桩设备、钢板桩和水泥搅拌桩设备无法进行支护和止水帷幕的施工, 如采用沉井方案室内施工空间不足且涉及基础高度(深度)不一, 荷载不均匀易发生倾斜, 且原建筑为混凝土框架结构, 对变形较敏感, 一旦支护或止水不当将易影响周边建筑安全。

2.2 按 SMW 工法机理设计

受施工条件限制, 钢板桩等大型设备均无法施工, 在 550 mm 宽度范围内只有高压旋喷桩内插型钢的支护形式能实施。如按现行规范和常用软件采用 SMW 工法的计算模式, 需采用的 H 型钢型号为 HW350×350, 截面尺寸为 350×350×12×19, 入土深度为 12.7 m, 型钢间距为 500 mm。型钢需采用孔口插入分节接长的方式, 型钢长为 12.5 m, 因净空限制需采用三节焊接, 焊接时间较长, 插入垂直度和插入难度均较大, 且型钢无法回收, 较大截面型钢致使造价较高。

2.3 根据工程条件的优化

为兼顾安全可靠和经济合理两方面的需求, 因型钢不具备回收条件, 且为确保型钢插入的质量, 需尽量减短型钢的长度。有利条件为设备基础底部需进行地基加固, 其他桩无法施工, 需采用高压旋喷桩进行加固。高压旋喷桩作用机理为劈裂注浆, 对地基土的强度提高有较大优势, 为满足承载力和沉降的要求, 基底采用 φ600 高压旋喷桩进行地基加固, 桩端在地表下 19.5 m, 深基坑处桩长 13.5 m, 浅基坑处桩长 15.8 m, 桩间距 1500 mm, 处理后复合地基承载力设计值不小于 120 kPa。由于坑底地基土土质软弱, 为减小支护结构的位移, 在坑底内侧被动土压力区桩间施打短桩, 组成格构式结构, 形成被动区加固的效果。采用 φ600 高压旋喷桩, 桩间距 500 mm, 6 m 基坑处理深度为基坑以下 4.5 m, 浅基坑处理深度为 3.5 m, 临近坑边的 3 排采用 φ600@500, 其他的采用外切方式。

本基坑基底高程不一致, 分深浅两部分, 深基坑部分深 6 m, 采用高压旋喷桩密插工字钢的方式, 高压旋喷桩为 φ700@400, 因场地狭窄基坑内侧紧邻设备外墙, 型钢不予回收, 故采用 20a 型的工字钢。同时因施工空间有限, 型钢需焊接, 焊接节点强度要求不低于型钢强度, 孔口焊接时间又不宜太长, 故采用一道焊口, 型钢长度不超过 10 m 对桩顶设置冠梁, 对深基坑中间处因处于两个厂房基础之间, 因此在此处加一道支撑, 因本基坑平面范围较小, 冠梁可作为支撑, 并对冠梁配相应的钢筋; 浅基坑部分深 3.7 m, 采用高压旋喷桩内插工字钢的方式, 高压旋喷桩为 φ700@400, 工字钢采用隔一插一的方式, 对靠近厂房基础的地方, 工字钢改为密插, 型钢长度为 9 m。基坑深度为 6 m 的计算结果见图 2。

3 基坑施工

3.1 施工技术要求

为确保旋喷桩满足设计要求, 严格按照下列要求进行施工: 施工时应准确定位; 严格控制垂直度, 采

取可靠措施确保垂直度 $\leq 0.5\%$ ；成桩时应均匀连续上提，无论何种原因造成停喷，必须下钻 20 cm 以上进行搭接，以防桩体脱节夹泥夹砂；旋喷过程中浆压必须稳定达到确定值，异常情况应及时停喷检修；严格按照设计要求的水灰比搅制浆液，浆液不得出现沉淀离析现象，旋喷注浆过程做好浆液种类、配比、注浆压力及旋转提升速度等的记录。

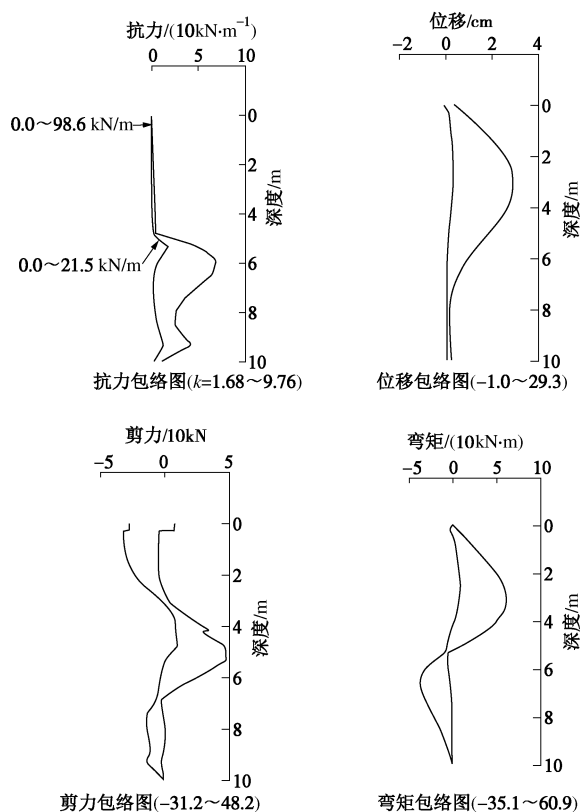


图2 基坑支护计算结果

Fig. 2 Calculated results of bracings for foundation pit

3.2 施工工艺和施工监测

在施工过程中采用间隔跳打的施工工序和合理的工艺参数，保证紧靠支护体的既有建筑不受扰动。在旋喷机就位前，先顺水泥土轴线位挖导向槽，作为返浆浆液的排放沟，然后放线定旋喷桩位及要插入型钢的位置；旋喷机就位后，搅拌下沉到设计桩底深度，上提喷浆，控制好提升速度，旋转速度，注浆压力、流量和浆液水灰比等；在旋喷桩施工注入水泥浆过程中，有一部分浆液会返回地面，要尽快清除；在成桩后水泥浆初凝前，按设计型钢的位置在旋喷桩中插入型钢，并按设计标高固定型钢，即完成型钢旋喷桩连续墙的施工。

旋喷施工的工艺参数，根据有关规程及施工经验，根据场地地层情况及返浆状况适当加以调整，本工程采用单管高压旋喷桩经试验后的参数为：提升速度：25~28 cm/min；旋转速度：28 rpm；注浆压力：26~

30 MPa；喷嘴直径：2.2~2.6 mm；水灰比：1:1。施工期间加强施工监测，在施工前期北侧隔墙最大偏移达到 35 mm，局部出现裂缝，后期施工及时调整了施工参数，并在桩与墙间施打减压孔进行返浆的导浆，并调整喷浆顺序，采用了随钻下钻过程的喷浆，采取这些可靠措施后，其他各侧施工过程监测均无异常。

4 实测结果分析

4.1 监测结果

基坑开挖过程和开挖后，对围护结构桩身的水平位移和周围既有建筑的沉降进行观测，观测结果表明：所采用的型钢旋喷桩支护体系达到了预期效果，基坑无渗漏现象发生，型钢旋喷桩围护结构桩身变形如图3所示。

整个开挖过程历经 5 d，桩身变形呈倒 C 型，此时桩身最大变形发生在坑底以上 2 m 处，最大变形仅为 6.4 mm；基坑支撑待设备基础建成后再拆除。桩身变形结果表明：桩身的受力和变形均小于设计值，支护和坑内加固取得较好效果，围护结构是安全可靠的。

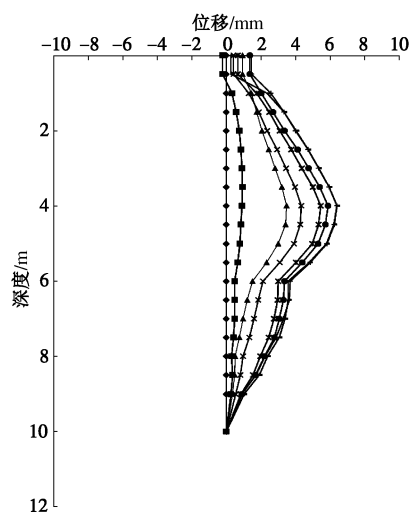


图3 桩身变形典型曲线

Fig. 3 Typical curves of pile deformation

4.2 被动区加固效果评价

从图3可以看出，在基坑坑底 6.0 m 以下范围内变形明显变小，与图2计算形态有所不同，表明坑底被动区加固取得较好效果。图4为基坑开挖的现场图，开挖过程中从观察旋喷桩返浆情况表明：该基坑支护和基础加固全采用高压旋喷桩，在成桩过程有大量返浆。在开挖过程中，地表以下 3.0~4.5 m 浆液呈分层分布或竖向网状分布。主要原因为该层土属高压缩性土，土质软硬不均，高压浆液会顺着软夹层渗透所致。这种现象表明：采用高压旋喷桩进行加固，不仅可以有效成桩使桩体达到一定的强度，还可以有效加固桩

间土的软弱部分; 采用其进行围护桩施工时, 可以改善被动土压力区的力学性质。坑内未设降水井, 仅局部存在滞水, 无渗漏现象。



图 4 基坑开挖现场图

Fig. 4 Excavation of foundation pit

4.3 本工法在复杂环境下的技术优势

型钢旋喷桩与水泥土搅拌桩重力式挡墙相比, 本工法墙厚较薄, 可节约空间; 与地下连续墙围护结构相比, 无需泥浆处理, 工艺简单, 造价较低; 与钻孔桩等柱列式桩排连续墙加搅拌桩围护结构相比, 全过程只有一种施工工艺, 工艺简单, 操作方便, 总工期短; 与钢板桩或预制桩相比, 对周围环境挤土作用较小, 抗渗漏能力较强。

与常规 SMW 工法的区别: 高压旋喷桩中型钢插入较容易; SMW 工法施工空间较大, 高压旋喷桩场地适应性强, 可适应复杂的场地; 高压旋喷桩强度比水泥土搅拌桩高, 搅拌桩水泥土无侧限抗压强度一般为 $0.5 \sim 2.0$ MPa, 而高压旋喷桩强度可达 $2.0 \sim 6.0$ MPa, 复合挡土墙刚度提高系数较大, 一般超过 $2^{[5]}$, SMW 工法回收型钢需在型钢上涂抹减沫剂, 帽梁搭接部位需加薄模隔离层, 使型钢和水泥体处于滑动状态, 减少了共同作用的性能, 复合挡土墙刚度提高系数较小; SMW 工法钢材支出占总款的比例较大, 必须对型钢进行回收, 而本工法型钢支出费用仅占总支出的 20%, 与一般灌注桩钢筋比例相近。

5 结 论

(1) 由于支护空间狭窄, 常规的支护方法难以完成支护任务, 型钢旋喷桩支护结构将挡土和止水合二为一, 实现了狭窄空间软土土层的基坑支护, 该工法

由于桩机设备相对较小, 施工工艺简单, 场地适应性强, 具有广阔的应用前景。

(2) 在基坑被动土压力区对坑内软土进行局部加固, 可有效的减小桩体的变形, 从而有利于围护结构的整体受力。

(3) 基坑开挖过程中采用信息化施工, 对围护结构的及时进行监测, 有利于有效控制基坑的变形, 确保基坑和周边环境安全。

参考文献:

- [1] 赵志缙, 应惠清. 简明深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (ZHAO Zhi-jin, YING Hui-qing. The design and construction manuals of the concise deep foundation pit engineering[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))
- [2] SAWICKI A. Mechanics of reinforced soil[M]. A.A Newtherlands: Balkema Rotterdam, 2000.
- [3] 王 健. H 型钢-水泥土组合结构试验研究及 SMW 工法的设计理论与计算方法[D]. 上海: 同济大学, 1998. (WANG Jian. H-beam-experimental study on cement-soil composite structures and design theory and Calculation method of the SMW method[D]. Shanghai: Tongji University, 1998. (in Chinese))
- [4] 张冠军, 徐永福, 傅德明. SMW 工法型钢起拔试验研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 444 - 448. (ZHANG Guan-jun, XU Yong-fu, FU De-ming. Experimental research and application of pulling out H-beam on the SMW method[J]. Chinese Journal of Mechanics and Engineering, 2002, 21(3): 444 - 448. (in Chinese))
- [5] 刘永超, 康志勇, 陈 环. 型钢旋喷桩深基坑支护技术的研究及应用[C]// 岩土工程技术及进展. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 417 - 423. (LIU Yong-chao, KANG Zhi-yong, CHEN Huan. research and application of the jet grouting pile of the steel on deep foundation pit supporting technology[C]// The Technology and the Progress of the Geotechnical Engineering. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002: 417 - 423. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)