

邻轻轨深基坑单排桩结合微型锚杆支护 变形控制技术

姚炳祥

(杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:城市轨道交通由于其自身的结构特点及重要性,对其保护区范围内的外部作业均有严格的变形控制要求。尤其是在保护区内的深基坑开挖作业,由于其对轨道交通结构的影响较大,需采取专门的保护措施。本文通过紧邻金华金义线城际轻轨的深基坑支护设计实践,在以岩石地基为主的深基坑支护中采用单排桩结合微型锚杆的支护形式,通过理论计算及施工实践,最终总变形量满足了轨道交通结构安全保护规程的变形控制要求,取得了较好的技术、经济效果,可为后续类似工程的设计和施工提供借鉴。

关键词: 轨道交通结构; 结构安全保护; 变形控制; 深基坑; 单排桩; 微型锚杆

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0001-05

Deformation control technology of single-row piles combined with micro anchor rods support for deep foundation pit adjacent to light rail

YAO Bing-xiang

(Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: Due to its structural characteristics and significance, urban rail transit imposes strict deformation control requirements on external operations within its protected areas. Significant protection measures must be implemented, particularly during the deep excavation of foundation pits within the protected area due to their substantial impact on the rail transit structure. This paper explores the design approach for supporting deep foundation pits in the intercity light rail project near the Jinhua-Yiwu Line. The support system utilizes a combination of single-row piles and micro anchor rods, with an emphasis on rock foundation as the primary structural element. Theoretical calculations and construction practice were conducted to ensure that the final total displacement meets the deformation control requirements outlined in the safety protection regulations for rail transit structures. These findings provide valuable references for future design and construction of similar projects, showcasing positive technical and economic outcomes.

Key words: rail transit structure; structural safety protection; deformation control; deep foundation pit; single-row pile; micro anchor rod

0 引言

随着我国城市化进程的不断推进,为充分利用土地资源,城市地下空间被大量开发和利用,由此出现了较多深大基坑工程,尤其是轨道交通保护区内的深大基坑越来越多。轨道交通因其自身的功能和结构特点对外部变形较敏感,因此在其保护区内的深基坑设计需以变形控制为主。在轨道交通保护

区内的深基坑,为严格控制基坑变形,一般多采用地连墙或排桩等支护体,结合多道内支撑的支护形式,由此大大增加了支护结构的造价。在以各种风化基岩为主的深基坑中,由于岩土层性质相对较好,采用常规的以控制变形为主的支护形式(如地连墙、排桩、锚索等),通常会存在施工成本高、工期长、锚索锚固段影响范围远、没有充分利用风化基岩自身强度等缺点。通过采用单排桩结合多道

收稿日期: 2023-04-10

作者简介: 姚炳祥(1971—),男,浙江诸暨人,高级工程师,注册岩土工程师,主要从事岩土工程勘察、设计等工作。E-mail: 672898631@qq.com。

微型锚杆拉结加固的支护形式,较好地解决了以上问题。

1 工程概况

金华金义东线城际轻轨全长 107.17 km,由金义和义东两段线路组成,以高架结合地下线路布设,其中金义线孝顺镇段均为高架区间(见图 1)。高架线标准跨径为 30 m,采用单跨简支梁结构,基础形式部分采用钻孔桩,桩长为 5~16 m,桩径为 $\Phi 1\ 000$,桩端持力层为中风化基岩,部分采用直接支承于中风化泥质粉砂岩的独立基础形式,基础埋深约 2~4 m。

新城路地下综合管廊基坑工程在金东区孝顺镇

附近,沿轻轨线路北侧平行布设,基坑上坎线与轻轨投影线最近距离约为 12~20 m,约 1 800 m 地下管廊基坑落在轻轨控制保护区内。综合管廊主体结构为单层双舱结构,断面尺寸为 6 600 mm \times 3 950 mm,分别为电力舱和综合舱;入廊管线包括高、中压电力电缆、通信线缆、给水管道、再生水管道及相关自用管线。地下管廊底板垫层底绝对标高为 44.00~57.60 m,基坑设计挖深为 9.0~12.0 m。基坑北侧较为空旷,为农田和荒地。

场地沿线土质条件较好,以风化泥质粉砂岩为主。主要为素填土、粉质黏土、粉砂及砂砾石,基底落于中风化基岩中。风化泥质粉砂岩性质一般,为软质岩,局部风化及破碎较严重。各岩土层层厚、层顶埋深、层顶高程见表 1。



图 1 金义东线金义段轻轨线路图

Fig. 1 Light rail line diagram of Jinhua Yiwu section of Jinhua Yiwu Dongyang Line

表 1 各岩土层层厚、层顶埋深、层顶高程一览表

Table 1 List of layered thickness, burial depth, and elevation of each rock and soil layer

层号	岩土名称	分层厚度/m	层顶埋深/m	层顶高程/m
①	素填土	0.20~2.00	0.20~2.00	47.88~55.67
②	粉质黏土	1.00~3.00	0.50~3.00	46.88~54.01
③	细砂	0.50~2.70	1.20~4.90	44.88~49.72
④	圆砾	0.40~3.40	2.10~6.00	43.38~49.75
⑤	强风化泥质粉砂岩	0.30~1.80	0.40~7.50	42.88~55.17
⑥	中风化泥质粉砂岩	5.00~10.50	0.50~7.10	42.38~54.67

2 支护体系选择

2.1 保护要求

本基坑位于轻轨控制保护区内,基坑开挖会影响已建成并试运行的城际轻轨的安全,需满足地铁安评报告中的变形控制要求。据本工程地铁安评报告,本段城际轻轨高架区间结构安全状况为 III 类,鉴于市域轨道交通设计年限为 100 年,设计运营速度为 120 km/h,结合上海、广州、南京等地的工程经验及总体设计院的意见,确定本项目施工期间高架结构安全控制指标值见表 2。

表 2 高架轻轨安全控制指标值

Table 2 Safety control index of elevated light rail

结构安全控制指标	报警值	控制值
桥墩绝对沉降量及水平位移量/mm	3.5	5
相邻桥墩差异沉降量/mm	3.5	5
深层位移/mm	15	20
轨道横向高差/mm	2.5	4
轨向高差(矢度值)/mm	2.5	4
轨间距/mm	± 3	± 4
桥墩倾斜率/‰	1.6	2

2.2 支护体系比选

本工程基坑位于城际轻轨 30 m 控制保护区范围内,根据国家和地方城市轨道交通结构安全保护技术规程的有关要求,基坑支护设计需以变形控制为主。各种可采用的常规支护形式的优缺点比较见表 3。

本场地沿线岩土条件较好,但由于基坑挖深较大,采用单排桩时,无水平支点仅通过增大支护桩

直径提高支护体刚度无法控制总变形量。为有效控制基坑开挖总变形量,节约工程造价和工期,最终采用单排桩加微型锚杆支护方案。开挖土方过程中逐层打设微型锚杆,可以确保分层开挖土方,并在开挖好一层土方后,打设锚杆对支护桩进行一定的拉结加固后再开挖下层土方,避免基坑开挖的变形量一次性产生。

表 3 各种支护形式优缺点一览表

Table 3 Advantages and disadvantages of different support forms

支护形式	优点	缺点
地下连续墙	控制变形较好	施工工期长, 成本高, 造成较大浪费
支护桩加内支撑	控制变形较好, 施工工艺较成熟, 施工质量可靠, 有保证	需两侧打桩, 施工成本较高, 设内支撑后基坑挖土难度变大, 工期延长, 后期支撑拆除震动大
支护桩加拉锚	可有效控制基坑变形, 实现单侧打桩, 经济性较好	拉锚的锚固端离轻轨投影线太近, 无法满足有关规范大于 6 m 的要求
门架式双排桩	可有效控制基坑变形, 实现单侧打桩	需打设双排桩, 顶部需要连梁, 经济性不明显, 且后排桩施工时桩架离轻轨更近, 桩基施工时存在较大安全风险
悬臂单排桩	可实现单侧打桩, 施工工艺简单, 工期短, 经济性较好	变形较大, 无法满足地铁安评对变形控制的要求
单排桩加多道微型锚杆	单侧打桩, 施工工艺简单, 工期短。经济性好, 能较好控制变形。通过分层开挖加固, 减少每层土方开挖位移量, 实现总位移量的控制	需分层开挖基坑, 边开挖边加固

3 支护结构设计

经比选, 邻轻轨侧采用单排围护桩, 在开挖过程中增设 3~4 排微型锚杆逐层加预应力拉结加固, 支护桩直径采用 $\Phi 700\sim 800$ 。基坑北侧由于周边环境条件较好, 采用放坡加少量岩石锚杆的支护形式。基坑平面布置图见图 2, 典型剖面见图 3。

从典型剖面看, 该处基坑深度为 11 m 余, 采用 $\Phi 700$ 钻孔桩支护, 在基坑外侧竖向打设 4 排间距 1 800 mm 长 5~7 m 的微型锚杆逐层拉结加固。由于开挖范围内大部分为风化岩, 岩土性质较好, 但基坑挖深较大, 在没有水平支撑点的情况下, 单排围护桩的累积变形量较大, 无法满足地铁保护对变形控制的要求。盲目加大支护桩直径和密度, 通过增加支护桩刚度来控制总变形量效果显然有限。通过逐层设置较短的微型锚杆来拉结加固支护桩, 边开挖边拉结加固, 以达到最终减少总变形量的目的。

微型锚杆一般比常规的锚索长度要短, 通常为 5~12 m, 采用压力型锚杆, 锚头处设杆体回收装置。杆体为单根 $\Phi 15.24$ 的钢绞线, 成孔直径为 110~130 mm, 采用钻机或锚杆机成孔, 全长注浆。围护

桩外侧设钢筋网片及上下 2 道横向拉结筋, 面层喷射 C20 混凝土, 微型锚杆通过 250 mm \times 250 mm 承载板锁定在面层和加强筋上, 一般施加 20~30 kN 预应力。锚杆采用短而密的布置方式, 竖向可设置多道。单根锚杆受力相对较小, 本工程锚杆设计抗拔力为 10 kN/m。

基坑北侧, 由于周边环境条件较好, 具有一定的放坡空间, 采用三级放坡加少量岩石锚杆的支护形式。地下水采用坑内外集水井和设置坡顶、坡脚排水沟明排的方式。

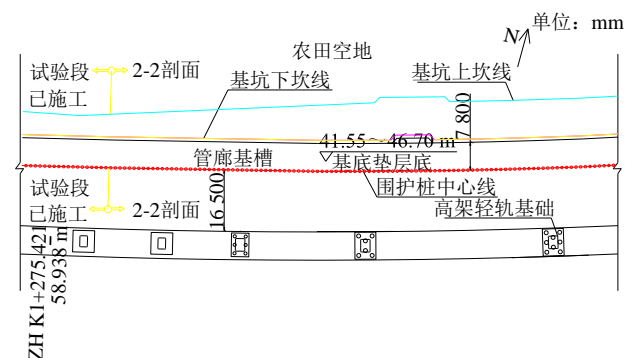


图 2 基坑平面布置图

Fig. 2 Layout plan of foundation pit

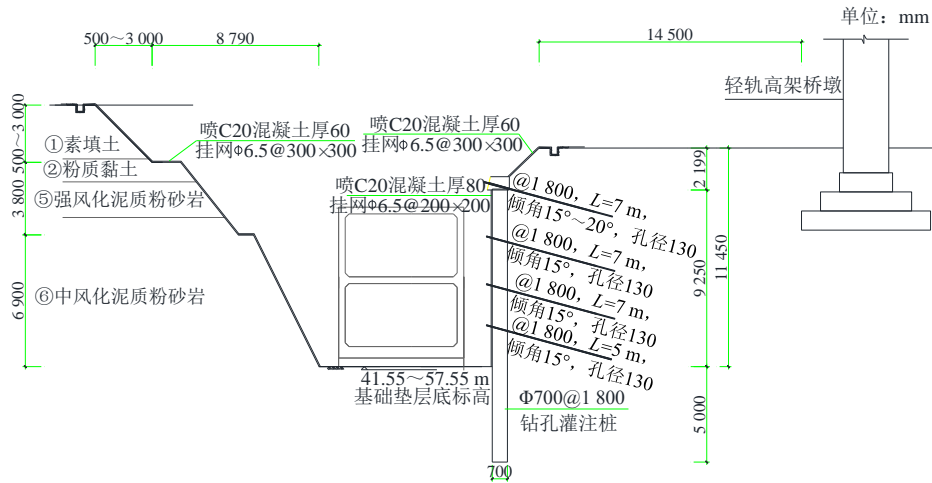


图3 典型剖面图

Fig. 3 Typical profile

4 基坑变形计算

基坑围护体的设计计算采用弹性地基梁法，土体参数选取固结快剪指标，围护桩内力计算采用水土分算，理论计算结果见表4。

表4 理论计算结果

Table 4 Results of theoretical calculation

围护结构	计算项目	计算结果
基坑挖深 11.45 m,	基坑变形量/mm	19.2
Φ700@1 800 钻孔桩,	整体稳定系数	1.841
竖向 4 排微型锚杆	抗倾覆稳定系数	12.338

各计算工况为：开挖至 2.3 m，打第 1 排锚杆及浇筑冠梁；开挖至 4.8 m，打第 2 排锚杆，扎面层筋及水平拉结筋，喷混凝土；开挖至 7.3 m，打第 3 排锚杆，扎面层筋及水平拉结筋，喷混凝土；开挖至 9.8 m，打第 4 排锚杆，扎面层筋及水平拉结筋，喷混凝土；开挖至基底。开挖至基底理论计算位移内力包络图见图 4。

工况 9-开挖 11.45 m

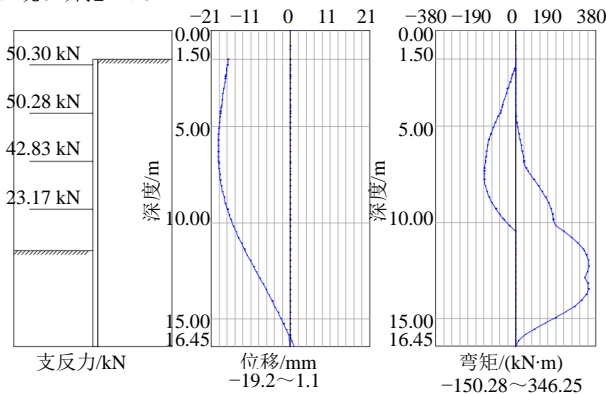


图4 支护桩位移内力包络图

Fig. 4 Envelope of displacement and internal force of supporting pile

从图 4 分析，由于竖向增加了 4 道微型锚杆，基坑的累积位移量减小很多，仅为 19.2 mm。支护桩的弯矩也不大，微型锚杆的抗拔力最大为 51 kN。

通过逐层设置短而密的全长黏结微型锚杆，类似于土钉墙对外侧岩土体进行了加固；同时，微型锚杆外端锁定在加筋面层上并施加预应力，对支护桩有弱拉结作用；另外，通过锚杆施加了预应力，可有效减小岩体在开挖过程中产生的拉应力，增加岩体的自稳性，从而减少基坑的总变形量。

5 基坑及轻轨监测分析

基坑完成后，通过对基坑位移较大的 CX7 孔监测数据的分析，邻轻轨侧土体最大深层位移量为 13 mm，其余孔累积位移量均小于 11 mm，比理论计算值略小，见图 5。

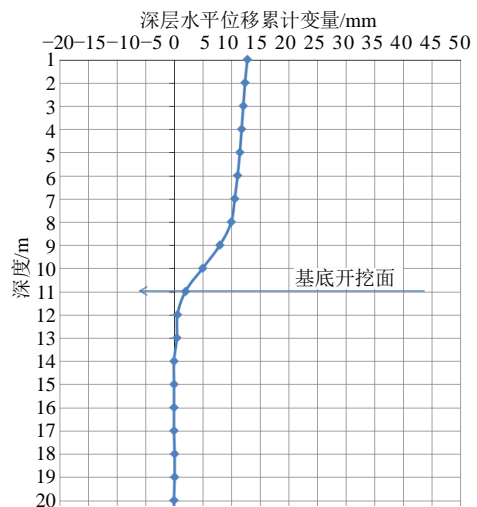


图5 CX7 深层位移曲线图

Fig. 5 CX7 deep displacement curve

从现场实测深层位移沿深度竖向变化曲线图

分析, 开挖范围内位移沿深度变化曲线变平缓, 绝对位移量变小, 说明增设微型锚杆对控制基坑变形作用明显。

从轻轨变形监测数据分析, 桥墩各沉降监测孔中绝对沉降量最大为 0.5 mm (QDC 代表桥墩沉降

监测孔, 括号内为编号), 见图 6; 水平位移量为 2.0 mm; 相邻桥墩差异沉降量最大为 1.0 mm; 桥墩倾斜 0.3‰; 轨道横向高差 0.2 mm; 轨向高差 (矢量值) 0.8 mm; 轨间距 0.5 mm; 均满足安评报告的变形控制要求。

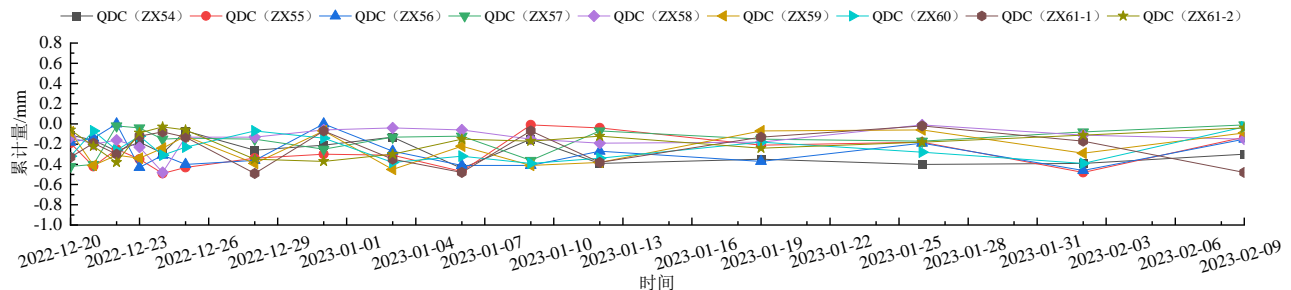


图 6 轨道桥墩沉降累计变化量历时曲线图

Fig. 6 Diachronic curves of cumulative pier settlement

6 结 论

对于坑壁以风化基岩为主的深基坑, 当需要严格控制基坑变形, 而支护桩顶又无条件设置支撑或拉锚时, 采用单排桩结合多道微型锚杆的支护方式, 较好地控制了基坑变形, 节约了工程造价和工期。通过微型锚杆施加预应力对支护桩进行弱拉结加固, 有效减少基坑变形量及支护桩弯矩, 其深层位移沿深度变化曲线趋于平缓, 绝对位移量变小。

微型锚杆在锚头处设置了回收装置, 杆体可回收再利用, 避免留下永久地下障碍物, 其适用性更广, 可实现绿色、环保施工。

参考文献

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation Engineering Manual[M]. Second Edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [2] 杨国伟, 刘建航, 刘涛, 等. 上海地铁车站基坑工程设计若干问题探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2006(12): 39-42.
YANG Guo-wei, LIU Jian-hang, LIU Tao, et al. Design for metro deep pit in Shanghai soft soil region[J]. Urban Mass Transit, 2006(12): 39-42.
- [3] 孙建波. 基坑最佳开挖方式与变形控制的研究与应用[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
SUN Jian-bo. The research and application for optimal excavation method of foundation pit and the deformation

control[D]. Kunming: Kunming University of Technology, 2013.

- [4] 张尚根, 陈灿寿, 夏炎. 深基坑支护方案的模糊优选模型及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(12): 2046-2048.
ZHANG Shang-gen, CHEN Can-shou, XIA Yan. Fuzzy optimization model of support scheme for deep foundation pit and its application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(12): 2046-2048.
- [5] 闫冠臣. 基坑的变形及稳定性与支挡结构土压力算法研究[D]. 北京: 清华大学, 2017.
YAN Guan-chen. Research on deformation and stability of foundation pits and analysis method of earth pressure on retaining structures[D]. Beijing: Tsinghua University, 2017.
- [6] 张敏, 翟超. 不同基坑开挖顺序下地铁变形特性数值分析[J]. 路基工程, 2019(1): 172-175.
ZHANG Min, ZHAI Chao. Numerical analysis of subway deformation characteristics under different excavation sequences[J]. Subgrade Engineering, 2019(1): 172-175.
- [7] 么梦阳. 某深基坑桩锚支护的数值模拟及优化设计[J]. 建筑结构, 2019, 49(增刊 1): 786-789.
YAO Meng-yang. Numerical simulation and optimization design of pile-anchor supporting structure for deep foundation pit[J]. Building Structure, 2019, 49(S1): 786-789.
- [8] 陈文平. 深基坑支护设计及变形规律研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2017.