

微型钢管桩在基坑支护中的应用

刘文峰

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要: 随着经济社会的快速发展,微型钢管桩作为一种支护结构在深基坑支护施工中的应用越来越多。本文根据微型钢管桩的施工工艺以及工程实践,总结了微型钢管桩应用于基坑支护工程的主要特点,结合工程应用实例分析了微型钢管桩在基坑支护工程中的作用及效果,表明在基坑周边环境条件受限和抢险加固等基坑支护工程中能充分发挥微型钢管桩的优点,具有显著的经济效益和社会效益

关键词: 微型钢管桩; 基坑支护; 预支护结构; 压力注浆; 预应力锚杆

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)10-0067-05

Application of the steel pipe micro-piles in foundation pit support

LIU Wenfeng

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Jinan Shandong 250013, China)

Abstract: With the rapid development of economy and society, steel pipe micro-piles as a support structure are used more and more in the deep foundation pit. According to the construction technology and field use of the steel pipe micro-piles, this paper summarizes the main characteristics of the steel pipe micro-piles applied in the foundation pit support works, analyzes the role and effect of the steel pipe micro-piles in the foundation pit support works with regard to the field cases. It is demonstrated that the advantages of the micro-pipe steel piles can be fully exploited in the foundation pit support works in case of the limited surrounding environment conditions of the foundation pit, emergency reinforcement, etc. with significant economic and social results.

Key words: steel pipe micro-pile; foundation pit support; pre-support structure; pressure grouting; pre-stressed anchor rod

0 引言

随着城市化进程加快,土地资源越来越宝贵,建筑物下部的基坑越来越深,越来越靠近原有周边建筑物和建筑红线。在密集建筑群与管线纵横交错的复杂环境中进行高层建筑地下室、人防等地下工程施工的情形越来越普遍。这种情况是基坑周边环境条件受限,无放坡空间,没有大型施工机械作业的施工面,无法施工大直径灌注桩或连续墙,传统的土钉墙、锚喷支护或桩锚支护形式无法满足工程需要。为此,微型钢管桩应运而生。微型钢管桩是一种环境条件适应性强、设置灵活、施工作业面小、强度高、经济实用的支护结构,它能够满足工程需求,解决工程难题,应用越来越广泛。

1 微型钢管桩的发展及现状

微型钢管桩是在微型桩和钢管桩的基础上发展而来的。

微型桩最初是在 20 世纪 50 年代由意大利 Fernando Lizzi^[1]提出,由 Fondedile^[2]公司首先开发利用,在意大利语中称为 Pali Radice,在英语中称为 Root Pile(树根桩)。微型桩的直径一般小于 300 mm,长细比较大(一般大于 50),钻机成孔后采用压力注浆成桩。和常规钻孔灌注桩相比,微型桩是一种边坡快速加固技术,具有承载力较高、施工场地小、对土层适应性强、布置形式灵活等特点。钢桩的出现较早,美国 1908 年在兴建伯子南钢厂(Blthlehem steel)和卡尼基钢厂(Carnegie steel)后,经过

收稿日期: 2020-03-16; **修回日期:** 2020-07-08 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.10.012

作者简介: 刘文峰,男,汉族,1977 年生,高级工程师,注册土木工程师(岩土),主要从事岩土工程勘察与设计、深基础施工、地质灾害防治等技术工作,山东省济南市历山路 56 号, www.whylu@yeah.net。

引用格式: 刘文峰.微型钢管桩在基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):67-71.

LIU Wenfeng. Application of the steel pipe micro-piles in foundation pit support[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):67-71.

认真的研究和总结^[3],开始扎制专用厚壁H钢材,从而进一步促进了钢桩的使用。

我国自20世纪70年代中期,开始在金山石化码头使用微型钢管桩,大规模使用是从70年代末期上海宝钢一、二期工程建设开始。80年代后期,随着钻孔设备的改进以及钻孔工艺的提高,微型桩群在边坡加固工程中得到了较为广泛的应用^[4-6],钢管桩加固边坡的效果显著^[7]。鉴于微型钢管桩具有布置灵活、施工面小、施工效率高、地层适应性强等诸多优点,近年来其在基坑支护中的应用越来越多^[8-12],特别是与其他支护结构联合使用,已经成为一种应用广泛的新型支护型式。

2 微型钢管桩在基坑支护中的作用原理

微型钢管桩应用于基坑支护工程中时,其作用方式主要可分为2种类型,一种类型用来作为主要的受力构件,抵抗基坑开挖过程中产生的水土压力;另一种类型则主要用来作为预支护结构。

第一种类型的微型桩支护作用机理与基坑工程中的普通支护桩的作用机理相同,即在深基坑周围土压力、地下水压力及深基坑周边附加荷载作用下,深基坑底面排桩嵌固深度范围内的土体由于受到桩体侧向位移的影响而产生被动土压力来抵抗桩体承受的部分主动土压力^[13]。

第二种类型的微型桩支护作用机理是微型桩作为超前支护结构的作用机理,目前关于微型桩在此类基坑支护结构中的作用机理主要有以下认识:(1)提高周围土体的强度指标,改善初始应力场;(2)降低开挖瞬时土体次生力的变化;(3)调动并协调土钉、锚杆等的支护作用;(4)减少边坡变形量,从而保证了基坑的安全。

微型钢管桩相对于普通钢筋混凝土支护桩(一般桩径600~1000mm)来说,其抗弯截面小、刚度较低,因此它并不能像普通的支护桩那样直接用来抵抗弯矩,通常与其他锚拉支护构件联合作用,共同抵抗水土压力;从微型钢管桩的成桩过程分析,微型钢管桩通过在桩内外一定范围进行压力注浆,使得桩体范围内外的土体得以加固,土体与钢管、锚拉构件、混凝土面层等共同作为一个整体来抵抗水土压力,而不是作为外荷载,因此减小了作用在支护结构上的主动土压力,增强了土体直稳能力。因此微型钢管桩在实际工程应用中,其预支护作用原理比

较贴近工程实际。

3 微型钢管桩在基坑支护应用中的主要特点

微型钢管桩在基坑支护工程应用中通常采用锚杆钻机或地质钻机预成孔,以直径48~273mm的钢管作为桩体材料,放入钻孔内居中,预先在钢管口与地面接触处做好止浆措施,然后通过注浆管向钢管内压力灌入水泥(砂)浆,浆液通过钢管上预留的溢浆孔向管外压浆,在压力的作用下,浆液将向桩侧周边土(岩)体的孔隙、裂隙进行渗透,还可通过二次压力注浆来增大渗透范围,改善岩土体的力学性能,在增强桩体强度的同时,对土体进行了加固处理,提高了微型钢管桩周边土体的整体稳定性。根据钢管桩的施工工艺结合成功的工程实践资料,总结微型钢管桩在基坑支护中的主要特点如下:

(1)水平阻力大,抗横向力强。由于钢管桩的断面强度大,对抵抗弯矩作用的抵抗矩也大,所以能承受很大的水平力。

(2)设计的灵活性大。可根据需要,变更钢管的壁厚;可根据需要选定适应设计要求的外径;也可根据场地需要灵活布置桩位。

(3)桩长易调节。由于微型钢管桩可以自由地进行焊接接长或气割切短,所以容易调节桩的长度,特别适用于基岩面起伏大的基坑支护工程。

(4)所需施工场地小、施工机械轻便,施工迅速安全。一般平面尺寸为0.5m×1.8m,净高为2.0~3.0m即可施工。

(5)孔径小,施工时噪声和振动小。施工时对有建筑物影响较小,可在小面积现场进行密集的打桩施工,适用于邻近建(构)筑物或市政管线的基坑支护工程。

(6)搬运、堆放操作容易。微型钢管桩自重较轻,刚度大,不易破损,容易搬运、堆放操作。

(7)工期短、造价低。微型钢管桩适合于快速施工,因此其施工进度快,工期短,相对而言能减小工程造价。

在实际工程中若能充分利用上述特点,可以大幅度提高工程项目的经济效益和社会效益。

4 微型钢管桩在基坑支护工程中的应用实例

4.1 基坑周边环境受限条件下的应用

在实际的基坑支护工程中,常常受基坑周边环

境的限制,基坑紧邻已有建(构)筑物,没有放坡空间,且不具备大型设备的施工条件,在这种情况下选择采用微型钢管桩或微型钢管桩联合支护形式可以解决难题。在这种支护形式里,微型钢管桩作为超前支护,提高土层的自立稳定性,预应力锚杆(索)有效控制基坑坡面的位移,既保证了基坑安全,又最大

限度的减小了对周边环境的影响。

山东省未成年犯管教所建设工程位于济南市华信路东侧,拟建工程地下 1 层,基坑深度 6.3~7.9 m。基坑南侧距离 4 层沿街楼 1.6~7.0 m,距离工业南路约 20 m,具体布置见图 1。

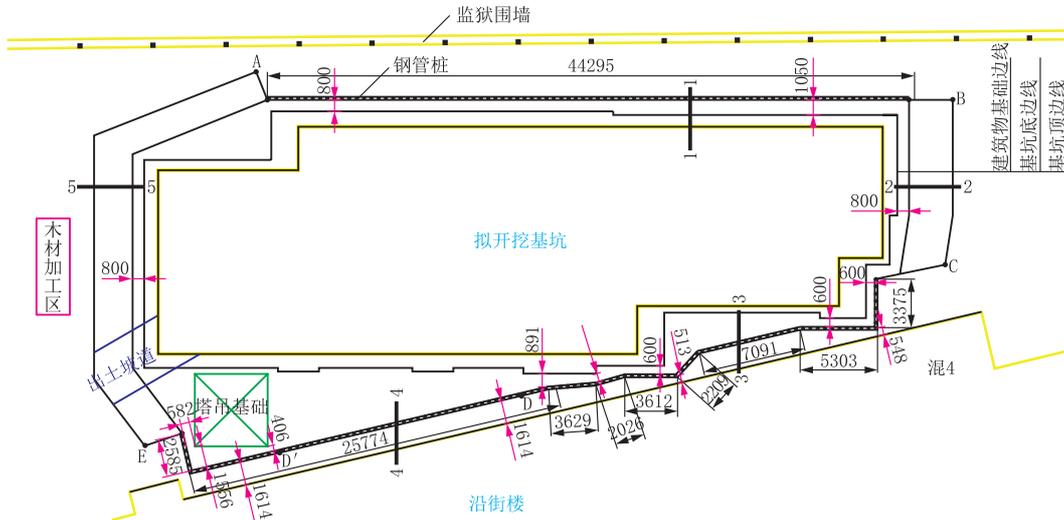


图 1 基坑周边环境

Fig.1 Surrounding environment of the foundation pit

根据钻探揭露,场区地层主要由第四系填土、黄土、粉质粘土、粘土及奥陶系大理岩组成,基坑支护深度范围内主要岩土层的参数见表 1。

表 1 场地岩土参数

Table 1 Geotechnical parameters at the site

层序	土层名称	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	粘聚力 c_k / kPa	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	平均厚度 / m
①	填土	18.5	10.0	12	1.50
②	黄土	18.7	23.0	18	3.00
③ ₁	卵石土	20.0	5.0	25	1.50
④	粉质粘土	18.9	24.5	20	1.50
④ ₁	碎石土	20.0	5.0	30	2.50

该基坑南侧和北侧距离已有重要建筑物都较近,施工中基坑坡底线距地下室基础外边线需留 0.6~1.0 m 施工面,这样支护结构距离南侧沿街楼最近处为 0.7 m,在这样狭小的场地内,大型桩基设备无法施工,大型设备施工扰动大,会造成沿街楼地基基础变形,影响建筑物的安全,在这种情况下采用微型钢管桩成为最优方案。支护参数如下:钢管桩桩径 200 mm,桩长 10.0 m,桩间距 0.5 m,钢管 $\Phi 127$ mm,壁厚 5.0 mm;孔中压力灌入用 P. O. 42.5 普通硅酸盐水泥配制的水泥浆(水灰比 0.5),强度

C20;冠梁采用 2 根 20A 槽钢焊接固定后浇筑混凝土成型。锚索采用 $\Phi_s 15.2-1 \times 7$ 钢绞线,水平间距 2.0 m;采用 2 根 20A 槽钢作为腰梁,锚索端部采用锚具施加预应力 100 kN。典型断面微型钢管桩垂直支护结构设计见图 2,施工完成后情况见图 3。

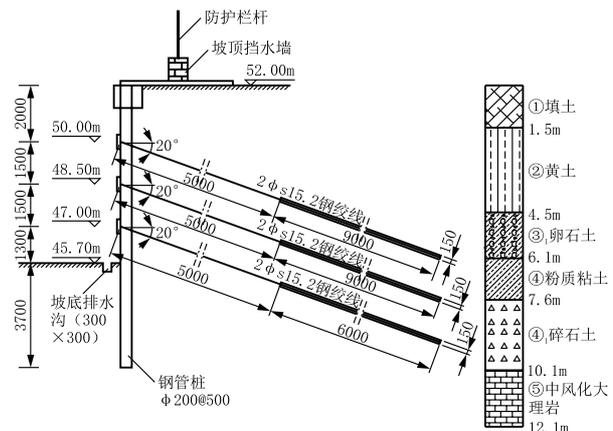


图 2 微型钢管桩垂直支护结构布置

Fig.2 Layout of the steel pipe micro-piles in the vertical support structure

该工程的基坑设计方案经过专家论证后付诸实施,施工中严格按照设计图纸分步实施,未出现质量安全问题,支护结构体系运行良好。该基坑顶部冠



图3 微型钢管桩支护施工后的现场情况

Fig.3 Site condition with support of the steel pipe micro-piles

梁采用槽钢代替钢筋混凝土,提高了施工速度,基坑回填后,槽钢还可拆下重复利用,节省了工程造价。该基坑已回填完毕,监测数据显示,南侧沿街楼各监测点累计沉降量为0.23~11.84 mm(报警值20 mm),钢管桩桩顶水平最大位移8.14 mm(报警值35 mm),钢管桩桩顶竖向最大位移10.85 mm(报警值25 mm),地表未出现裂缝,未给周边建筑物带来不良影响。在这个工程实践中,微型钢管桩地层适应性强、设置灵活、施工作业面小、施工机械轻便、施工迅速、抗横向力强、经济实用的优点得到充分发挥。

4.2 抢险加固应用

济南一污水处理改扩建项目基坑工程位于济南西部。基坑东西长约40 m,南北长约30 m,基坑深度7.0 m。基坑西侧上边线距离已建建筑物约2.0 m,该建筑物3层,条形基础,基础埋深约1.5 m。基坑西侧原设计为复合土钉墙,设置2道土钉,2道预应力锚杆。

在工程施工过程中,西侧挖至坑深7.0 m时,因附近管道严重漏水,同时又遭遇短时强降雨,导致西侧边坡局部地段下部土体软化引发边坡坍塌,严重影响基坑及附近建筑物的安全,需要进行抢险加固处理。

加固处理措施:在基坑西侧出现土体坍塌部位堆填高7.0 m、宽4.0 m的土进行反压,在反压土体上方进行钢管桩施工。钢管桩桩径150 mm,桩长9.0 m,桩间距0.5 m,钢管 $\Phi 127$ mm,壁厚5.0 mm;设置2道预应力锚杆,锚杆水平间距2 m,锚杆长12 m,杆体采用一束 $\Phi 15.2$ 钢绞线。锚杆端部施加80 kN的预应力,采用2根20A槽钢作为腰梁。进行土体反压和钢管桩施工处理后(钢管桩加固情况见图4),坍塌部位得到有效加固,保证了基

坑和邻近建筑物的安全。



图4 微型钢管桩加固处理后的现场情况

Fig.4 Site condition after reinforcement with the steel pipe micro-piles

从这个工程实践可以看出,微型钢管桩处理深基坑支护过程中的险情具有以下几个特点:(1)施工设备较小,施工工作面小,施工速度快;(2)钢管桩施工时无需挖除用于反压的土体;(3)通过钢管桩中的钢管进行注浆,在增强钢管刚度的同时,也加固了坍塌部位的岩土体,提高了岩土的物理力学指标;(4)钢管桩可以与其他支护结构灵活组合,经济实用。

5 结语

(1)微型钢管桩在基坑支护工程中应主要用来作为预支护结构考虑。施工中,通过压力注浆,提高钢管周围土体的强度指标,改善初始应力场,增强土体的自稳性,降低开挖瞬时土体次生力的变化,减小边坡变形量,钢管桩与其他结构构件共同作用,稳固边坡。

(2)在基坑支护工程中微型钢管桩具有诸多优点,可广泛的应用于基坑周边环境条件受限和抢险加固等工程中,在实际工程中充分利用这些特点,其经济效益、社会效益和环境效益将显著提高。

参考文献(References):

- [1] Lizzi L M, Ray R P, Kayawa T. Theoretical $t-z$ curves[J]. J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE, 1981,107(11):1543-1561.
- [2] Meyerhof G G, Sastry V V R N, Yalcin A S, et al. Lateral deflection of flexible piles[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1988,25(3):511-522.
- [3] Cantoni R. A design method for reticulated micropile structures in sliding slopes[J]. Ground Engineering, 1989,22(4): 41-45.
- [4] 李征.微型钢管桩边坡加固技术及其应用的研究[D].长沙:湖南大学,2011.

- LI Zheng. Research on technique and application of mini steel-tube piles in landslide treatment[D]. Changsha: Hunan University, 2011.
- [5] 何文君,杨朝发,胡杰.钢管桩嫁接大直径桩在边坡支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):59-62.
HE Wenjun, YANG Chaofa, HU Jie. Application of steel pipe pile joined with large diameter pile in slope support[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(9):59-62.
- [6] 刘敬.微型集群钢管桩在滑坡体基坑支护工程中的应用[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(6):1031-1040.
LIU Jing. Application of micro-cluster steel pipe piles for foundation pit support of landslide mass engineering[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2015,31(6):1031-1040.
- [7] 秦宿钧,付传飞.钢管桩加固非均质边坡稳定性有限元强度折减法分析[J].公路与汽运,2015,170:107-109.
QIN Sujun, FU Chuanfei. Finite element strength reduction analysis of heterogeneous slope stability strengthened by steel pipe piles[J]. Highways & Automotive Applications, 2015, 170:107-109.
- [8] Tan Y C, Chow C M. Foundation design and construction practice in limestone areas in Malaysia[C]. Proceedings of Seminar on Geotechnical Works in Karst in South-East Asia, 2006:21-43.
- [9] 何世鸣,赵振国,吴盛斌.长螺旋搅拌桩钢管桩复合支护技术在基坑工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1):55-57.
- HE Shiming, ZHAO Zhenguo, WU Shengbin. Application of long spiral rotating pile with steel pipe combined support technology in foundation pit project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(1):55-57.
- [10] 吴学锋,寇海磊.土岩复合地层注浆微型钢管桩-锚杆联合支护研究[J].地下空间与工程学报,2012,8(4):836-841.
WU Xuefeng, KOU Hailei. Research on support combined with grouting micro-steel piles and bolt in soil-rock formation [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012,8(4):836-841.
- [11] 张宗强,张明义,贺晓明.微型钢管桩在青岛地区基坑支护中的应用研究[J].青岛理工大学学报,2012,33(3):22-25.
ZHANG Zongqiang, ZHANG Mingyi, HE Xiaoming. Application and research of the micro-steel-pipe pile in pit support in Qingdao[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2012,33(3):22-25.
- [12] 李贤军,张晓明,曾海柏.微型钢管桩在二次开挖厚层填土基坑中的应用[J].中国煤炭地质,2016,28(6):65-82.
LI Xianjun, ZHANG Xiaoming, ZENG Haibai. Application of miniature steel pipe pile in secondary excavated thick filling foundation pit[J]. Coal Geology of China, 2016,28(6):65-82.
- [13] 李轶.桩-锚支护结构在深基坑工程中的应用研究[D].南宁:广西大学,2008.
LI Yi. Application of pile-anchor support system in deep pits [D]. Nanning: Guangxi University, 2008.

(编辑 周红军)

(上接第 52 页)

- [10] 王清峰,陈航.瓦斯抽采智能化钻探技术及装备的发展与展望[J].工矿自动化,2018,44(11):18-24.
WANG Qingfeng, CHEN Hang. Development and prospect on intelligent drilling technology and equipment for gas drainage[J]. Industry and Mine Automation, 2018,44(11):18-24.
- [11] 吕晋军.煤矿用智能遥控自动钻机 ZYWL-4000SY 的研制[J].煤矿机械,2017,38(2):110-112.
LÜ Jinjun. Development of intelligent remote control ZYWL-4000SY drill used in coal mine[J]. Coal Mine Machinery, 2017,38(2):110-112.
- [12] 胡金亮,靳宣强,王永,等.全液压系列智能钻机[J].现代制造技术与装备,2018(4):84-85.
HU Jinliang, JIN Xuanqiang, WANG Yong, et al. Full hydraulic series intelligent drill [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2018(4):84-85.
- [13] 陶照园,刘晖,王福坚.智能钻机软特性自动防卡技术研究与设计[J].矿业研究与开发,2011,31(5):71-73,77.
TAO Zhaoyuan, LIU Hui, WANG Fujian. Research and design of automatic anti-jamming technology with soft performance for drilling jumbo[J]. Mining Research and Development, 2011,31(5):71-73,77.
- [14] 程迎松,张立祥.智能钻机自动上下杆机构设计与分析[J].煤炭技术,2018,37(4):222-225.
CHENG Yingsong, ZHANG Lixiang. Design and analysis of automatic install and pull rods mechanism of drilling rig[J]. Coal Technology, 2018,37(4):222-225.
- [15] 国家煤矿安全监察局[公告 2019 第 1 号].煤矿机器人重点研发目录.
National Coal Mine Safety Administration [Bulletin No. 1, 2019]. Key R & D catalogue of coal mine robots.

(编辑 王建华)