

地下高压电缆跨越地铁基坑原位保护研究

王崇康¹ 李永全¹ 杨 朋² 王晓然¹ 赵品祥²

(1. 广东顺德电力设计院有限公司, 528300, 佛山; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都)

摘 要 [目的] 随着地下工程的增多, 越来越多的工程采用原位保护技术解决改迁城市地下高压电缆带来的各种问题, 因此有必要对地下高压电缆跨越地铁基坑原位保护进行研究。[方法] 以佛山地铁 2 号线一期工程某地铁车站为例, 分析了当 220 kV 高压电缆跨越地铁基坑时, 不需特殊工艺就能实现围护结构封闭的原位保护方法。介绍了管线与围护结构交叉处的原位保护措施, 以及基坑内管线的原位保护措施及计算方法。通过施工及现场实施效果, 验证所提原位保护方法的有效性。[结果及结论] 地下电缆与围护结构相交处的原位保护是重中之重, 其原位保护措施直接影响基坑安全。当地质条件较好时, 地下电缆与围护结构相交处可不施作围护结构, 在基坑开挖前可采用旋喷桩、MJS (全方位高压旋喷) 桩或注浆措施对坑外地层进行加固改良, 并在基坑竖向开挖过程中在围护结构缺口处逆筑混凝土挡板。对于地下电缆在基坑内的原位保护, 可根据受力计算设置诸如贝雷架的悬吊保护措施。对于跨度较大的基坑, 可在基坑中部设置临时立柱进行减跨。

关键词 地铁; 基坑; 高压电缆; 原位保护

中图分类号 TU753; U231

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.07.057

In-situ Protection of Underground High-voltage Cable Crossing Metro Foundation Pit

WANG Chongkang¹, LI Yongquan¹, YANG Peng², WANG Xiaoran¹, ZHAO Pinxiang²

(1. Guangdong Shunde Electric Power Design Institute Co., Ltd., 528300, Foshan, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China)

Abstract [Objective] With the increase in underground engineering projects, more and more projects are adopting in-situ protection technology targeting the issues caused by relocating urban underground high-voltage cables. Therefore, it is necessary to study the in-situ protection of underground high-voltage cables crossing metro foundation pit. [Method] Taking a metro station of Foshan Metro Line 2 Phase I project as example, the in-situ protection method of closing the enclosure structure without special techniques is analyzed when 200 kV high-voltage cables crossing the metro foundation pit. The in-situ protection measures at the intersection of pipelines and enclosure

structure are introduced, along with the in-situ protection measures and calculation methods for pipelines within the foundation pit. The effectiveness of the proposed protection method is verified through construction and on-site implementation. [Result & Conclusion] Due to the significant impact on the safety of foundation pit, the in-situ protection at the intersection of underground cables and the enclosure structure is of utmost importance. When geological conditions are favorable, the enclosure structure construction is unnecessary at the intersection of underground cables and enclosure structure. Prior to foundation pit excavation, reinforcement and improvement measures such as jet grouting piles, MJS (metro jet system) piles, or grouting can be applied to surrounding strata. Concrete baffles can be constructed reversely at the gap of the enclosure structure during foundation pit vertical excavation process. In-situ protection of underground cables within the foundation pit can adopt suspension protection measures such as Bailey frame based on stress calculations. For foundation pit with a larger span, temporary columns can be installed in the middle of the foundation pit for span reduction.

Key words metro; foundation pit; high-voltage cable; in-situ protection

城市地下电缆是一个城市电力传输网络中的大动脉, 直接影响着千家万户的日常生活, 特别是地下高压电缆, 其影响范围更广。对于城市地下高压电缆, 若采用改迁方案, 常常会带来三方面问题: ①改迁进度慢, 影响建设项目进度; ②对供电网络的切割驳接, 将会增加电力线路运行故障的风险, 引发供电安全隐患, 与国家对电网供电可靠性日益提高的要求不符; ③建设工程施工时, 临时改迁地下电缆至施工范围以外, 待建设工程施工完成后再回迁至原路, 会导致迂回线路和重复投资, 增大建设工程投资成本。

随着地下工程的增多, 越来越多的工程采用原位保护技术来解决上述问题。基坑工程对地下电缆的原位保护主要涉及两处重要位置: 地下电缆与

围护结构相交处的原位保护;地下电缆在基坑内的原位保护。

对于地下电缆与围护结构相交处的原位保护,主要是解决在不改迁地下电缆时,基坑围护结构支挡周边土体的问题。目前,有两种处理方案:第一种是在地下电缆下方不施作围护结构,形成缺口,但采用其他加固方式加固缺口处的地层;第二种是采用特殊工艺实现地下电缆下方围护结构的封闭。对于第一种处理方案:文献[1]在围护结构缺口处采用MJS(全方位高压旋喷)桩进行加固;文献[2]在围护结构缺口处采用高压旋喷桩及三轴搅拌桩进行加固。对于第二种处理方案:文献[3]通过改造成槽抓斗、文献[4]采用潜水钻进行气举反循环、文献[5]采用特殊的侧向成槽机,均能够实现地下电缆下方的围护结构封闭问题。

对于基坑内地下电缆的原位保护,主要是解决地下电缆的竖向受力问题。文献[6]采用“井”式环抱框架结构悬吊保护110 kV高压电缆;文献[2]采

用撑吊结合的方式保护地下综合管廊。

既有文献中,地下电缆与围护结构相交处要实现围护结构封闭需采用特殊工艺,本文以佛山地铁2号线(以下简称“2号线”)一期工程某地铁车站为例,介绍了220 kV高压电缆跨越地铁基坑时不需特殊工艺也能实现围护结构封闭的原位保护方法。本文研究可为类似工程提供参考与借鉴。

1 工程案例

1.1 工程概况

2号线一期工程某地铁车站位于魁奇一路上,车站为地下两层岛式站台车站,车站共设有4个出入口和2个风亭组,车站两端接盾构区间。220 kV高压电缆位于魁奇一路南侧,分别跨越该车站1号风亭组、A出入口、B出入口及2号风亭组,但均避开了风亭组、出入口的开口位置。220 kV高压电缆与地铁工程平面关系示意如图1所示。

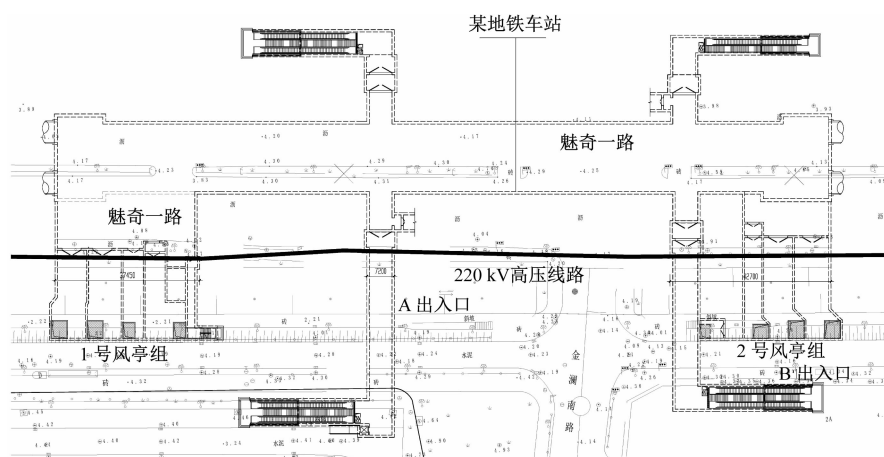


图1 220 kV 高压电缆与地铁工程平面关系示意图

Fig.1 Diagram of planar relation between 220 kV high-voltage cables and metro project

1号风亭组主体结构外轮廓宽度为37.45 m;A出入口处,主体结构外轮廓宽度为7.20 m。在1号风亭组及A出入口范围内,220 kV高压电缆由两个独立的电缆槽盒组成。电缆槽盒的结构外轮廓为920 mm(宽)×570 mm(高),覆土厚度为0.5 m。其中:一个电缆槽盒内敷设有3回路220 kV电缆,并采用砂充填;另一个为220 kV备用槽盒,未敷设电缆。220 kV电缆典型横剖面示意图如图2所示。

2号风亭组及B出入口主体结构外轮廓宽度均为42.70 m。在2号风亭组及B出入口范围内,220 kV高压电缆有两种断面(见图2)。一种断面为电

缆槽盒,结构型式与1号风亭组及A出入口处相同;另一种断面为排管,包含3根敷设有220 kV电缆的排管和3根未敷设电缆的备用排管。

1.2 地质情况及围护结构设计

1号风亭组的基坑深度约为10.46 m,从上至下的地层分别为<1-1>素填土、<4N-2>可塑状粉质黏土、<4-2B>淤泥质土、<3-1>粉细砂、<6>全风化砂岩、<7-1>强风化砂质泥岩、<7-2-2>强风化砂岩、<8-2-1>中风化泥质砂岩、<8-2-2>中风化砂岩。1号风亭组基底位于<4N-2>可塑状粉质黏土及<3-1>粉细砂层中。1号风亭组地质剖面示意图如图3所示。

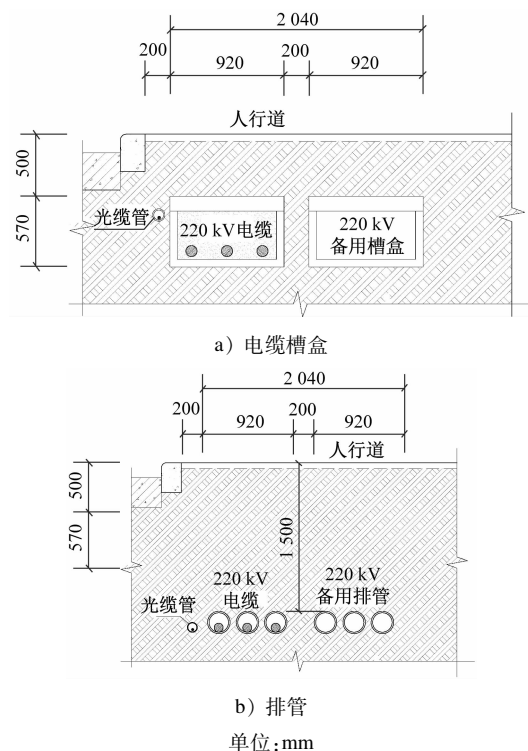


图2 220 kV 电缆典型横剖面示意图

Fig. 2 Diagram of 220 kV cable typical cross-section

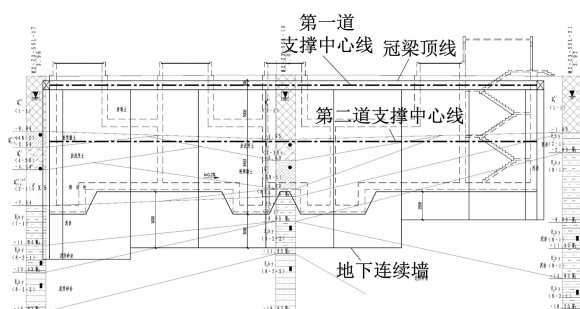


图3 1号风亭组地质剖面示意图

Fig. 3 Diagram of No. 1 pavilion group geological profile

考虑到存在淤泥质土及粉细砂层,围护结构采用地下连续墙。经计算分析,地下连续墙厚度采用600 mm,竖向采用两道600 mm×800 mm 钢筋混凝土支撑,支撑间距为3~6 m。其中:第一道支撑设置于墙顶600 mm×800 mm 冠梁上;第二道支撑设置于800 mm×800 mm 腰梁上。基坑宽度较大,在基坑中部设置两道临时中立柱。

A 出入口的基坑深度为10.25 m,从上至下的地层分别为〈1-1〉填土、〈7-1〉强风化砂质泥岩、〈8-1〉中风化泥岩,A 出入口基底位于〈8-1〉中风化泥岩中。A 出入口地质条件较好,围护结构采用 ϕ 800 mm@1000 mm 钻孔灌注桩,桩间采用 ϕ 550 mm@400 mm 单轴搅拌桩止水。标准段竖向采用一道600 mm×800 mm 钢筋混凝土支撑,支撑水平间距为6 m,第一道支撑设置于墙顶600 mm×800 mm 冠梁上。集水井段竖向增设第二道 ϕ 609 mm 钢支撑。

B 出入口及2号风亭组基坑深度约为10.53 m,从上至下的地层分别为〈1-1〉素填土、〈7-1〉强风化砂质泥岩、〈8-2-2〉中风化砂岩、〈8-1〉中风化泥岩,B 出入口及2号风亭组基底位于〈8-1〉中风化泥岩中。B 出入口及2号风亭组的地质条件较好,围护结构采用 ϕ 800 mm@1000 mm 钻孔灌注桩,桩间采用 ϕ 550 mm@400 mm 单轴搅拌桩止水。竖向采用两道600 mm×800 mm 钢筋混凝土支撑,支撑间距为3~6 m。其中:第一道支撑设置于墙顶600 mm×800 mm 冠梁上;第二道支撑设置于800 mm×800 mm 腰梁上。基坑宽度较大,在基坑中部设置两道临时中立柱。地层主要物理力学参数如表1所示。

表1 地层主要物理力学参数

Tab. 1 Main physical and mechanical parameters of stratum

地层名称	密度/(g/cm ³)	含水量/%	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	土的静止侧压力系数	渗透系数/(m/d)
〈1-1〉素填土	1.83	28.0	18	10.0		0.050
〈3-1〉粉细砂	1.90				0.67	4.000
〈4N-2〉可塑状粉质黏土	1.90	31.4	23	12.0	0.55	0.003
〈4-2B〉淤泥质土	1.80	36.5	12	3.5	0.50	0.003
〈6〉全风化砂岩	1.98	26.2	28	25.0	0.50	0.030
〈7-1〉强风化砂质泥岩	2.23	25.7	35	28.0	0.42	0.800
〈7-2-2〉强风化砂岩	2.23	14.7	100	35.0	0.40	1.500
〈8-1〉中风化泥岩	2.30		100	29.0	0.35	0.200
〈8-2-2〉中风化砂岩	2.40		140	38.0	0.25	0.600

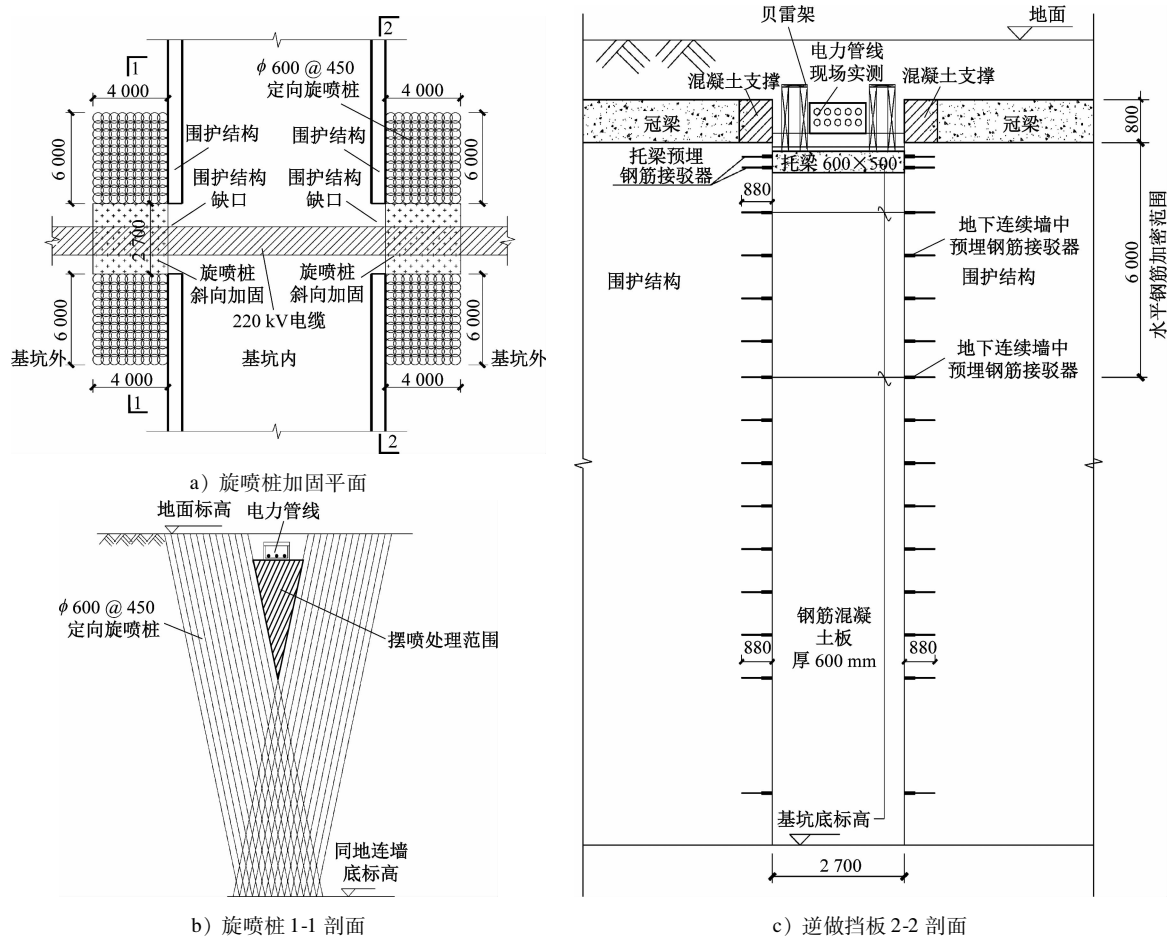
2 管线与围护结构交叉处原位保护措施

220 kV 地下电缆沟槽横向宽度为 920 mm, 综合考虑围护结构分幅, 以及围护结构施工时对 220 kV 地下电缆的保护距离, 在 220 kV 地下电缆附近 2.7 m 宽的范围内不施作围护结构, 形成缺口。此缺口对基坑的安全开挖存在风险, 采用两方面措施确保基坑开挖的安全性: ①在基坑开挖前, 对基坑外侧地层进行加固, 提高地层自稳性及止水性; ②在基坑向下开挖的过程中, 分层、分区开挖, 并及时补做钢筋混凝土挡板封闭缺口。

对基坑外侧地层进行加固, 采用 $\phi 600 \text{ mm} @ 450 \text{ mm}$ 斜向旋喷桩, 其在地面的横向加固宽度为 6 m, 纵向加固长度为 4 m。旋喷桩通过倾斜一定角度实现对地下电缆下方土体的加固作用, 特别是紧邻地下电缆下方的土体, 需在此高度范围内加大旋

喷桩摆喷处理的宽度。加固地层分别为〈1-1〉素填土、〈4N-2〉可塑状粉质黏土、〈4-2B〉淤泥质土、〈3-1〉粉细砂、〈6〉全风化砂岩、〈7-1〉强风化砂质泥岩和〈7-2-2〉强风化砂岩视现场情况确定是否加固, 中风化地层不加固。

在基坑内侧土方竖向开挖过程中, 按照分层、分区的原则进行开挖, 每次开挖深度不超过 1 m。每层土方开挖时, 首先开挖围护结构缺口附近的局部土方, 并浇筑厚为 600 mm 钢筋混凝土挡板与地下连续墙或钻孔灌注桩进行稳固连接, 待挡板混凝土达到强度后再开挖缺口周边的土体。当地下连续墙施工时, 在靠近缺口处的钢筋笼预埋钢筋接驳器, 供挡板与地下连续墙进行稳固连接。考虑到钻孔灌注桩钢筋笼为圆形, 不易将预埋的钢筋准确朝向缺口侧, 挡板与钻孔灌注采用植筋进行连接。旋喷桩加固平面及剖面示意图如图 4 所示。



单位:mm

图4 旋喷桩加固平面及剖面示意图

Fig. 4 Plan and section diagram of jet grouting pile reinforcement

3 基坑内管线原位保护措施及计算方法

3.1 基坑内管线原位保护措施

220 kV 地下电缆设置了备用通道,为减少围护结构缺口宽度及基坑内原位保护通道的宽度,在基坑施工期间,临时废弃备用通道,仅对正在使用的通道进行原位保护。经多方案比选,基坑内原位保

护采用增设贝雷架方案。

根据本基坑原位保护电缆质量,原位悬吊保护体系由双排单层贝雷架、贝雷架花架支撑、槽盒支撑方钢及仿木垫、 $\phi 12$ mm 拉杆组成。为更好地保护基坑内的地下电缆,在原位悬吊保护体系的顶部和底部设置 20 mm 厚的木模板进行遮盖。基坑内电缆原位保护典型剖面示意图如图 5 所示。

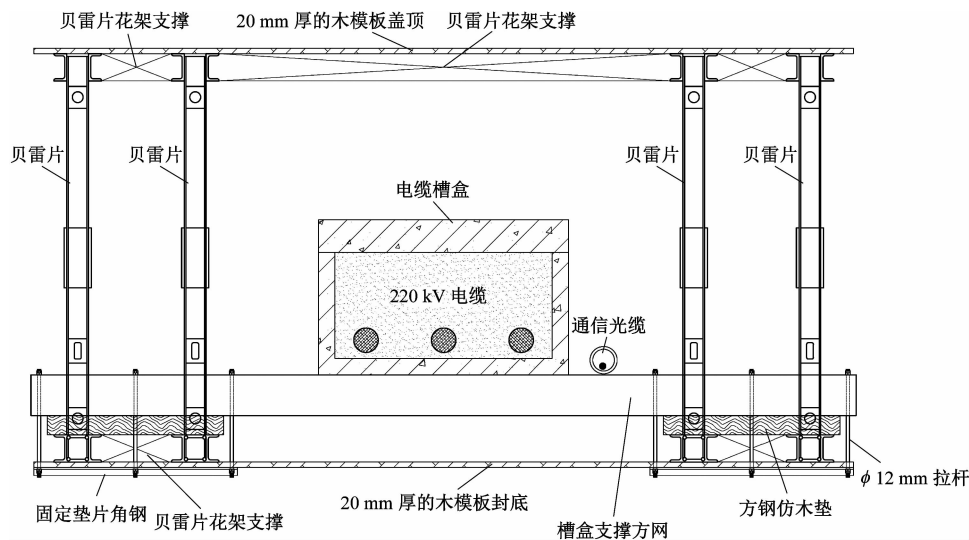


图 5 基坑内电缆原位保护典型剖面示意图

Fig. 5 Typical profile diagram of cable in-situ protection within foundation pit

对于 1 号风亭组和 2 号风亭组,基坑宽度分别为 37.45 m 和 42.70 m,借用支撑中部设置的临时立柱,在两根临时立柱之间增设钢筋混凝土连梁,将其作为贝雷架在跨中的支点,将贝雷架悬吊保护支架跨度减少至 15 m 以内。

3.2 基坑内原位悬吊保护计算方法

220 kV 电缆恒载主要为电缆槽盒及管线自重,恒载线荷载为 11.54 kN/m。每片贝雷片的近似线荷载为 0.95 kN/m。电缆槽盒下方方钢(150 mm × 150 mm × 7 mm)的近似每延米荷载为 1.16 kN/m。考虑活荷载为 5 kN/m,根据 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》,均布荷载设计值 = 结构重要性系数 × (恒载分项系数 × 恒载标准值 + 活载分项系数 × 活载标准值)。本文中,结构重要性系数为 1.1,恒载分项系数为 1.3,活载分项系数为 1.5,每延米荷载设计值为 31.85 kN/m。贝雷梁计算跨度为 15 m,贝雷架按照简支梁进行计算,则跨中弯矩为 895.78 kNm,支座处剪力为 238.88 kN。

根据贝雷架使用手册,选用双排单层贝雷架时,其可承受的弯矩为 1 576 kNm,可承受的剪力为

490 kN,均大于计算所需的弯矩和剪力,可满足受力要求。

4 施工及现场实施效果

4.1 地下电缆探测

在施工之前,利用探测工具和实地挖探等多种方式确定地下电缆的实际路由及埋深,临时废除备用通道。与地下电缆产权单位沟通围护结构边缘与地下电缆的安全距离,从而确定围护结构的缺口宽度。

4.2 围护结构施工

在基坑围护结构缺口以外区域,根据平整场地、施作地下连续墙导墙或钻孔灌注桩钢护筒、地下连续墙成槽或钻孔灌注桩成孔、吊装钢筋笼、浇筑水下混凝土、施作冠梁及第一道钢筋混凝土支撑的顺序,施作基坑围护结构。在围护结构施工过程中,需按照编制好的施工方案做好对地下电缆的安全防护工作。

4.3 围护结构缺口处基坑外侧地层加固措施

在围护结构施工完成后、基坑开挖前,采用

$\phi 600\text{ mm}@450\text{ mm}$ 斜向双管旋喷桩,对围护结构缺口处基坑外侧的土层进行加固。主要控制措施为:

1) 水灰比取为 $0.8 \sim 1.0$, 喷浆压力不小于 20 MPa 。水泥选用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥。

2) 28 d 无侧限抗压强度不小于 0.8 MPa , 抗渗系数不小于 $1 \times 10^{-5}\text{ cm/s}$, 对无侧限抗压强度及抗渗系数检验不合格的应复喷。

3) 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的 2% , 且不应少于 6 点。

4.4 基坑内减跨中立柱

借用 1 号风亭组和 2 号风亭组基坑中部设置的支撑中立柱,在相邻中立柱之间浇筑钢筋混凝土连梁,贝雷架中部支承于连梁上方,以减少贝雷架跨度。中立柱基底以下钻孔灌注桩直径为 $1\,000\text{ mm}$, 实桩长度为 5 m ;基底以上为 4 根 $160\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 的角钢形成 $460\text{ mm} \times 460\text{ mm}$ 的格构柱,角钢之间采用 4 块 440 mm (宽) $\times 300\text{ mm}$ (高) $\times 10\text{ mm}$ (厚) 缀板连接,缀板竖向间距为 800 mm 。

4.5 基坑内地下电缆悬吊保护措施

在地下电缆附近土方开挖前,需对地下电缆进行悬吊保护。悬吊保护时,首先破除原地下电缆的外部槽盒,将电缆临时悬吊于两侧钢筋混凝土内支撑上。随后,架设贝雷架和横向方钢,在横向方钢上铺设电缆预制槽盒,随后将电缆放置于预制电缆槽盒内。

4.6 现场实施效果

A 出入口、1 号风亭组、2 号风亭组均已完成施工,现场监测数据显示围护结构变形、内支撑轴力、管线变形均未超过允许值,达到施工预期目标。

5 结语

本文以 2 号线一期工程某地铁站为例,介绍了 220 kV 地下电缆跨越地铁基坑的原位保护方法,主要结论为:

1) 地下电缆跨越基坑时的原位保护主要涉及两处:地下电缆与围护结构相交处的原位保护、地下电缆在基坑范围内的原位保护。其中,地下电缆与围护结构相交处的原位保护是重中之重,其原位保护措施直接影响基坑安全。

2) 地质条件较好时,地下电缆与围护结构相交处可不施作围护结构。在基坑开挖前,采用坑外地

层加固措施,并在基坑竖向开挖过程中,在围护结构缺口处逆筑混凝土挡板。基坑外侧地层的加固可采用旋喷桩、MJS 桩或注浆等措施。

3) 基坑开挖范围内,地下电缆的原位保护可根据受力计算采用贝雷架等悬吊措施。对于跨度较大的基坑,可在基坑中部设置临时立柱进行减跨。

参考文献

- [1] 徐泽,陈朝阳,赵鹏程,等. 基坑开挖工程中既有管线原位保护施工技术研究[J]. 安徽建筑, 2021, 28(3): 47.
XU Ze, CHEN Zhaoyang, ZHAO Pengcheng, et al. Study on in-situ protection construction technology of existing pipelines in foundation pit excavation engineering[J]. Anhui Architecture, 2021, 28(3): 47.
- [2] 刘印,江明明. 地下综合管廊原位悬吊保护施工技术[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(增刊1): 285.
LIU Yin, JIANG Mingming. Construction technology of in-situ suspension protection for underground utility tunnel[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14(S1): 285.
- [3] 唐春燕. 横跨地下通道基坑的管线原位保护技术[J]. 建筑施工, 2015, 37(6): 665.
TANG Chunyan. Pipeline in-situ protection technology for foundation pit crossing underground passage[J]. Building Construction, 2015, 37(6): 665.
- [4] 刘琦,仲晓梅,王文灿. 220 kV 电缆原位保护条件下地连墙施工控制综合技术[J]. 建筑结构, 2016, 46(增刊1): 746.
LIU Qi, ZHONG Xiaomei, WANG Wencan. Comprehensive control technology of diaphragm wall construction under the condition of in-situ protection of 220 kV cable[J]. Building Structure, 2016, 46(S1): 746.
- [5] 梁社安,林坚,李道华,等. SJ1000 侧向成槽机的研制[J]. 上海电气技术, 2009, 2(3): 31.
LIANG Shean, LIN Jian, LI Daohua, et al. Development and research of SJ1000 lateral wall cutting machine[J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2009, 2(3): 31.
- [6] 章强,谭刚萍,胡增辉,等. 110 kV 高压电缆原位悬吊保护技术的应用研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(22): 108.
ZHANG Qiang, TAN Gangping, HU Zenghui, et al. Study on the application of in-situ suspension protection technology for 110 kV high voltage cable[J]. Engineering and Technological Research, 2019, 4(22): 108.

· 收稿日期:2022-02-14 修回日期:2022-04-07 出版日期:2024-07-10

Received:2022-02-14 Revised:2022-04-07 Published:2024-07-10

· 第一作者:王崇康,高级工程师,13928298160@139.com

通信作者:杨朋,正高级工程师,527020330@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license