

电缆管涵整体原位保护的设计与施工技术

郑坚耀¹, 郑坚杰², 沈 岚³

(1. 广东省建筑科学研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510500; 2. 上海市建设工程安全质量监督总站, 上海 200032; 3. 上海隧道工程有限公司, 上海 200032)

摘要:南京地铁 5 号线云南路站施工期间, 对大尺寸 110 kV 电缆管涵的保护至关重要。文章综合对比了工期、费用、风险后, 决定优化车站结构尺寸和施工次序并对 110 kV 电缆管涵作整体原位保护。保护设计方案采用型钢梁、柱(局部利用车站既有围护桩)结构, 根据荷载及受力体系计算, 确定型钢桩尺寸, 并细化了梁柱节点连接方式; 现场施工期间通过原位试验优化了型钢桩深度、在围护桩预埋弧形钢板确保与型钢牛腿有效连接、采取垫钢楔块和填充细石混凝土等措施有效减小电缆管涵的变形, 精细化管理并加强现场巡视与监测。结果表明: 在工程风险与环境风险可控条件下管线整体原位保护造价和工期具有优势, 保护方案应结合车站设计方案和施工时序综合考虑, 实施过程中可通过试验对方案进一步优化。

关键词:地铁; 大尺寸; 电缆管涵; 原位保护

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)06-0066-09

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.06.077

Design and construction technology of overall in-situ protection of cable pipe gallery

ZHENG Jianyao¹, ZHENG Jianjie², SHEN Lan³

(1. Guangdong Provincial Academy of Building Research Group Co., Ltd., Guangzhou 510500, Guangdong, China;
2. Shanghai Municipal Safety and Quality Supervision Administration for Construction Engineering, Shanghai 200032, China; 3. Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: During the construction period of Yunnan road station on nanjing metro line 5, the protection of large-sized 110 kV cable pipe culverts is of vital importance. After a comprehensive comparison of the construction period, cost and risk, the article decided to optimize the structural dimensions and construction sequence of the station and carry out overall in-situ protection for the 110 kV cable pipe culvert. The protection design scheme adopted the structure of steel beams and columns (partially utilizing the existing retaining piles of the station), and calculated based on the load and force system. Determine the size of the steel section piles. And the connection mode of beam-column joints is refined; During the on-site construction period, the depth of the steel section piles is optimized through in-situ tests. Arc-shaped steel plates are pre-embedded in the retaining piles to ensure effective connection with the steel section corbels. Measures such as padding steel wedges and filling with fine aggregate concrete are adopted to effectively reduce the deformation of cables, pipes and culverts. Refined management is carried out and on-site inspection and monitoring are strengthened. The results show that under the controllable conditions of engineering risks and environmental risks, the cost and construction period of the overall in-situ protection of pipelines have advantages. The protection plan should be comprehensively considered in combination with the station design plan and the construction sequence. During the implementation process, the plan can be

收稿日期: 2024-06-09

基金项目: 上海隧道工程有限公司科研项目“南京复杂地层深基坑施工关键技术研究”(2018-SK-15)

作者简介: 郑坚耀(1995—), 男, 工程师, 从事工程项目管理工作。

further optimized through tests.

Key words: subway; large size; cable pipe gallery; in situ protection

在城市轨道交通工程的建设过程中,车站深基坑常面临与地下管线平面交叉的工况^[1-2]。一般在车站施工前将地下管线临时改迁至基坑外侧,施工期间加强监测,待基坑完成后再回迁至原管位或规划管位^[3-6]。有时在综合对比工期、费用、风险、社会影响等因素后,会对跨基坑的管线采取原位保护措施^[7-9]。在对高压电力管线的原位保护上,黄斌等^[10]通过对地铁深基坑围护补强及管线悬吊保护措施,保证了基坑开挖及220 kV电力管廊原位悬吊的安全;韩建坤等^[11]、程群等^[12]采用临时立柱、混凝土纵梁、型钢横梁形成门式架,对电缆管线进行悬吊保护施工;彭晨^[13]通过钢管柱+混凝土梁+型钢横梁实现了对横穿车站深基坑35kV电力管廊的保护;胡平^[14]、刘印等^[15]通过计算,提出“下托上吊”方案,并在施工过程中加强监测及安全管控,实现了地下综合管廊的整体保护。

本文结合南京地铁5号线云南路站对大尺寸电缆管涵保护工程,对车站主体结构的平面尺寸、顶板标高、开挖回筑次序进行优化,采用型钢门式架形式

对管涵整体原位进行保护,并在施工过程中加强管控安全及质量控制,以期可为类似工程提供参考。

1 工程概况

南京地铁5号线云南路站,位于北京西路与云南路(上海路)交叉口,沿云南路方向布置,与运营中4号线云南路站换乘,车站主体为地下三层岛式站台,初步设计总长度为201.2 m,标准段宽度为22.8 m,底板埋深为23.3 m,基坑围护采用钻孔灌注桩+桩间旋喷止水。车站主体施工范围内,存在6回路110 kV电缆管涵(宁云^{#1}、宁云^{#2}线,宁马^{#1}、宁马^{#2}线,宁岗^{#1}、宁岗^{#2}线)沿云南路东侧穿越车站南、北端头,该电缆管涵宽度为3.45 m,底部距地面3.4 m,侵入车站顶板,且产权单位不允许对钢筋混凝土管涵结构进行破除;另外2回路110 kV管线(莫云线、码龙^{#1}线)沿云南路东侧在苏兴大厦附近横跨主体基坑向西延伸,该管道为砖砌结构,具备破除后局部拨动条件。车站初步设计方案与110 kV电力管线相对关系如图1所示。

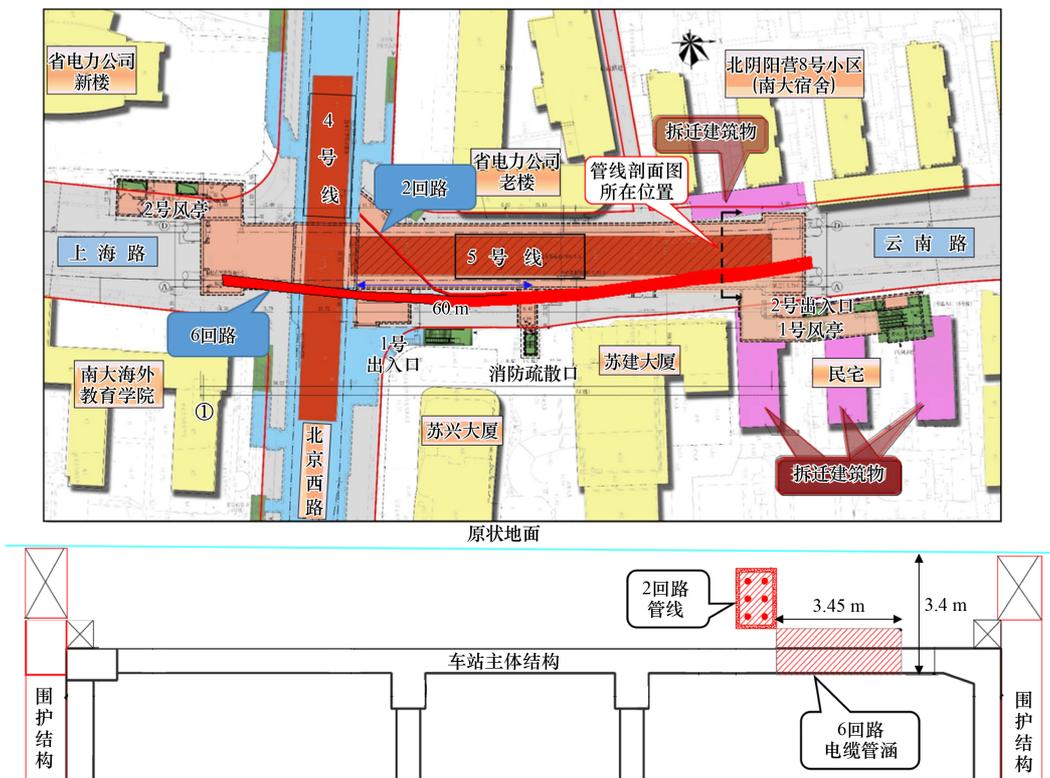


图1 云南路初步设计方案与管线平面关系

云南路站范围内分布岩土层由上向下依次为②-1b2粉质黏土(可塑,局部为黏土,含少量铁锰氧化物;切面稍有光泽,干强度、韧性中等,极限桩侧摩阻力标准值 55 kPa)、③-1b1-2粉质黏土(可塑~硬塑,混铁锰氧化物及铁锰结核、少量高岭土;切面稍有光泽,韧性、干强度中等,极限桩侧摩阻力标准值 70 kPa)、③-2b2粉质黏土(可塑,切面稍有光泽,干强度、韧性中等,极限桩侧摩阻力标准值 60 kPa)、③-3b1-2粉质黏土(可塑~硬塑,夹灰绿色高岭土条,层底部夹少量风化岩碎屑;切面稍有光泽,韧性、干强度中等偏高,极限桩侧摩阻力标准值 80 kPa)、③-4-1e含卵砾石粉质黏土(卵砾石呈亚圆形,成份以石英砂岩为主,其质量分数为 5%~25%不等,粒径为 2~6 cm,少量大于 10 cm,极限桩侧摩阻力标准值 85 kPa)。K1g-2强风化岩(20~38 MPa,风化强烈,岩石结构大部分破坏,呈密实砂土状,夹中风化岩碎块,遇水易软化)、K1g-3-1-1中风化砂质泥岩及泥岩(0.53 MPa,局部为砂质泥岩或泥质粉砂岩,泥质胶结,为极软岩~软岩,遇水易软化)、安山岩划分为 J31-2强风化安山岩(均小于 10 MPa,风化强烈,岩石结构大部分破坏,岩芯易捏碎,碎后呈砂土状,夹中风化岩碎块,遇水易软化)、J31-3中风化安山岩(8.05 MPa,为软岩~较软岩,岩体较破碎~较完整,以张开裂隙和微张裂隙为主,裂隙中充填方解石)、J31-3-1中风化安山岩(7.37 MPa,为极软岩~软岩,遇水易软化,张开裂隙发育,裂隙中充填强风化碎屑物及泥化物,岩体总体破碎~极破碎)。场地上部主要为黏性土层,透水性微弱,潜水稳定水位埋深

为 0.90~5.20 m;基岩风化裂隙水含水层主要由 J31-2层强风化安山岩、K1g-2强风化层砂岩组成,水头为 11.3 m(地面下 2.5 m),地质剖面图如图 2 所示。

2 车站施工方案比选

2.1 110 kV 改迁+明挖方案

云南路站仍按初步设计方案施工,需在土建施工前将 110 kV 电力管线全部改迁出车站范围。由于车站位于南京老城区交通干道,施工场地狭小、地面建筑及地下管线极为复杂,工程施工前期通过现场排摸,无适合直接改迁 110 kV 电力管线的管位,若从其他道路绕行,所需的管线改迁费用极高,且电缆管涵的施工及管线割接周期长,不利于地铁建设工期和费用的控制。

2.2 明暗挖结合施工方案

明暗挖结合施工方案,车站主体结构沿 110 kV 电缆管涵分两部分,不受 110 kV 电缆管涵影响的范围采用明挖法施工,电缆管涵下方采用暗挖法施工。其中,上主体明挖部分为地下三层结构,暗挖部分在满足地铁建筑功能前提下,需在标高上避开 110 kV 电缆管涵,设计为一层或两层结构(图 3)。此方案暗挖施工阶段工期较长,工程费用高,且暗挖施工自身及周边环境安全风险大。

2.3 明盖挖结合施工方案

明盖挖结合施工方案,车站沿 110 kV 电缆管涵走向划分为明挖和盖挖逆作两部分,盖挖逆作部分在施工期间,对 110 kV 电缆管涵进行整体原位保护。此方案车站主体范围内均为三层结构,盖挖逆作顶板较初步设计方案需局部落低,见北

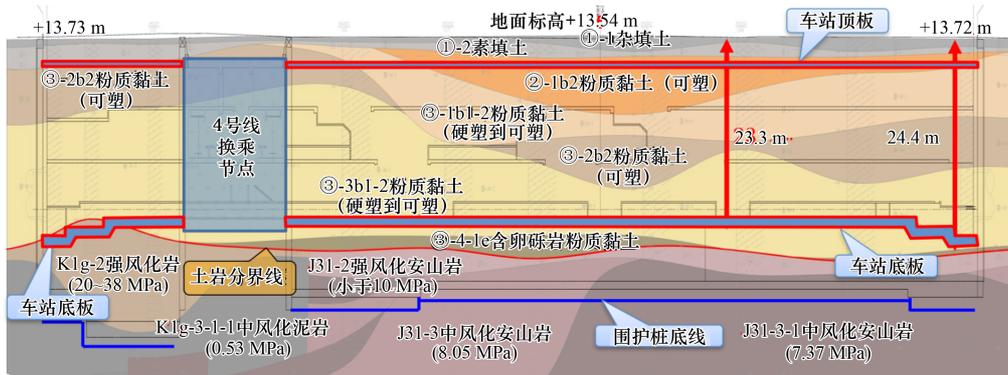
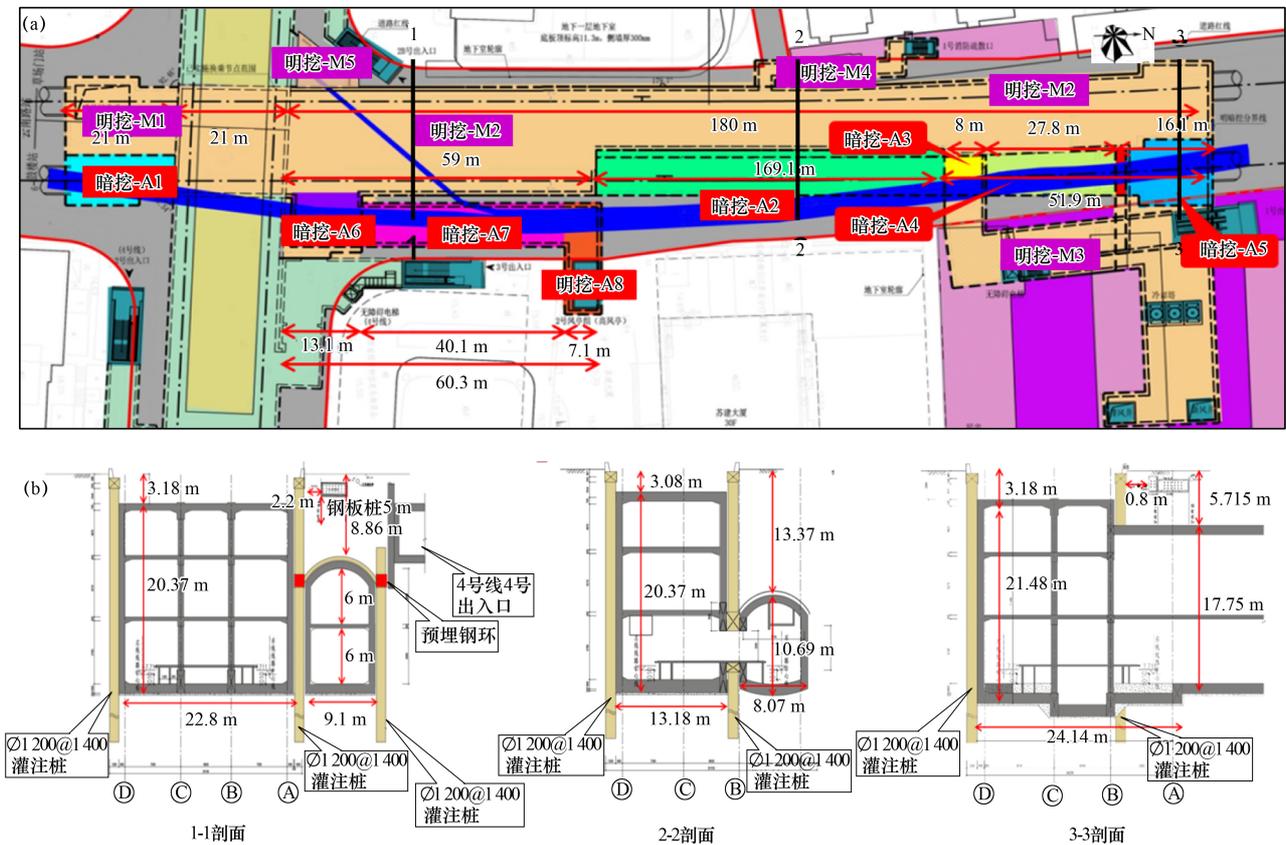


图 2 地质纵剖面



(a) 管线下方暗挖方案平面图; (b) 管线下方暗挖方案剖面图

图3 管线下方暗挖方案平、剖面

端头井剖面图(图4);部分围护桩沿电缆管涵东侧设置,较初步设计有所外扩,相对应的结构也同步外扩。此方案施工工期可控,费用较前两种方案低,但盖挖逆作段施工期间需确保电力管线的安全及正常使用。

表1 3种方案对比

方案	工期	造价	工程风险
110 kV 改迁 + 明挖方案	最长	极高	低
明暗挖结合施工方案	较长	高	高
明盖挖结合施工方案	较短	一般	可控

综合对比上述3种方案,考虑工期、费用和施工风险等因素,明确在车站明挖范围做到极限基础上,路口北侧电缆管涵影响区域车站采用盖挖逆作法施工(盖挖逆作部分在施工期间,对110 kV电缆管涵进行整体原位保护),南端头井东侧仅需负三层单层结构即能满足建筑功能要求,可采用暗挖法施工,最终方案平面图如图5所示。

由于车站主体南端头井暗挖结构段在标高上避开110 kV电缆管涵,不涉及对管线的直接保护

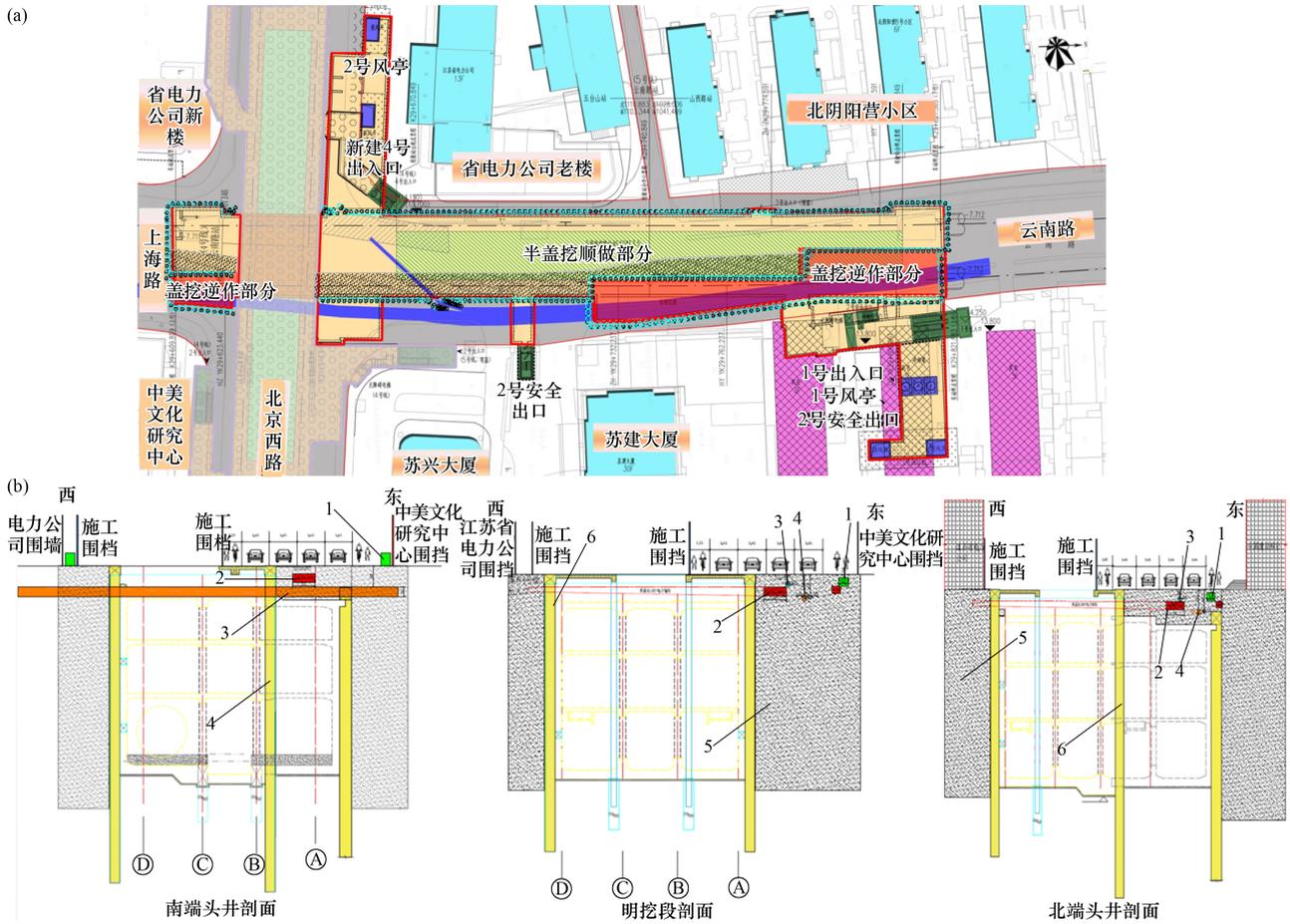
作业,本文后续仅就盖挖逆作段电缆管涵原位保护的设计与施工工作进一步叙述。

3 电缆管涵整体原位保护的设计方案

3.1 设计方案概述

云南路站盖挖逆作段长度约2100 m,宽度为8~20 m,施工期间,西侧主体明挖段及东侧附属结构均已完成。110 kV电缆管涵的整体保护思路是通过施作型钢桩、型钢梁门式架,对大尺寸电缆管涵进行整体原位保护。采用型钢桩尺寸为HN700 mm×300 mm×13 mm×24 mm,入土深度为16 m,型钢纵梁尺寸为HN700 mm×300 mm×13 mm×24 mm,单跨间距为4.8 m,型钢横梁尺寸为HW300 mm×300 mm×10 mm×15 mm,间距为0.8 m。盖挖逆作段东南侧围护桩紧贴电缆管涵,可直接利用围护桩作为承载桩,无需另外打设型钢桩,现场施工工况及电缆管涵保护平面图如图6所示。

110 kV电缆管涵整体原位保护施工在盖挖逆作段围护结构完成后进行,主要施工流程:表层



(a) 管线下方盖挖逆做方案平面图；(b) 管线下方盖挖逆做方案剖面图

1—弱电线管；2—强电线管；3—自来水管线；4—雨水管线；5—污水管线；6—围护结构。

图 4 管线下方盖挖逆作方案平、剖面



图 5 最终方案平面

土开挖至电缆管涵底部→施作 H 型钢桩→施作 H 型钢纵梁/围护桩焊接牛腿→局部掏挖施作型钢横梁→开挖至逆作顶板底部，并施作逆作顶板结构→

回填电缆管涵底部与逆作顶板间缝隙，将 H 型钢桩割除→电缆管涵两侧及上部回填土方。以临近围护桩处的管线为例，施工步序如图 7 所示。

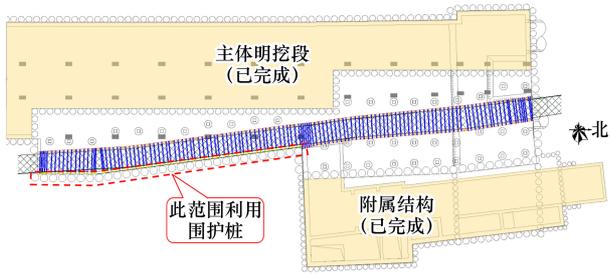


图6 电缆管涵原位保护平面图

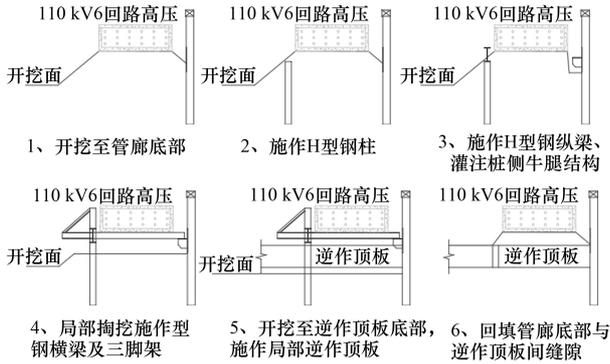


图7 电缆管涵保护施工步骤

3.2 荷载及受力体系计算

通过调取110 kV电缆管涵原施工蓝图,该结构宽度为3.45 m,高度为1.3 m,其中垫层及底板厚度为0.3 m,管涵横剖面如图8所示。此外,2回路110 kV电力管线(共8根)在破除砖砌包封后也置于电缆管涵上方保护,故在保护期间需同步考虑该管线的荷载。

电缆管涵的荷载计算,混凝土容重取 25 kN/m^3 ,电缆容重取 86 kN/m^3 ,施加在间距为0.8 m的横梁上的线荷载长度取3.5 m,线荷载值取: $q_{\text{管涵}} = 0.3 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 + 1.0 \text{ m} \times 3.245 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \div 3.5 \text{ m} + 0.075 \text{ m} \times 0.075 \text{ m} \times 3.14 \times$

$(86 \text{ kN/m}^3 - 25 \text{ kN/m}^3) \times 30 \times 0.8 \text{ m} \div 3.5 \text{ m} = 32 \text{ kN/m}$ 。

$q_{2\text{回路}} = 0.075 \text{ m} \times 0.075 \text{ m} \times 3.14 \times 86 \text{ kN/m}^3 \times 8 \times 0.8 \text{ m} \div 3.5 \text{ m} = 2.8 \text{ kN/m}$ 。

$q_{\text{总}} = 32 \text{ kN/m} + 2.8 \text{ kN/m} = 34.8 \text{ kN/m}$ 。

采用PKPM工具箱软件钢梁构件板块,对保护结构的横梁(HW300 mm \times 300 mm \times 10 mm \times 15 mm型钢)、纵梁(HN700 mm \times 300 mm \times 13 mm \times 24 mm型钢)进行验算,结果表明所采用的钢梁强度、稳定性及抗弯均满足要求,计算变形值均小于挠度控制值(单跨梁长度的1/250)。

型钢桩的承载能力由H型钢与土之间作用力提供,该作用力包括H型钢的侧阻和端阻力,本保护工程主要以侧摩阻力提供承载力,端阻力可忽略不计。根据相关文献《H型钢桩的应用及其承载力的确定》,侧摩阻力标准值计算公式为

$$F_{\text{侧}} = \sum f_i \times (2b + h) \times L_i \quad (1)$$

侧摩阻力计算承载力特征值公式为

$$F_{\text{特}} = F_{\text{侧}} / 2 \quad (2)$$

式中: b 为型钢翼缘宽度, m; h 为型钢高度, m; f_i 为单位极限摩阻力, kPa; L_i 为分段入土深度, m。

根据计算模型,单根型钢桩上部结构最大受力标准值约为500 kN,叠加型钢桩自重得到单桩荷载。根据地勘报告中各土层单位极限摩阻力取值,通过验算可得型钢桩入土深度16 m所提供承载力可满足要求。

3.3 节点设计方案

纵横钢梁连接节点设计方案: HW300 mm \times 300 mm \times 10 mm \times 15 mm型钢横梁和HN700 mm \times

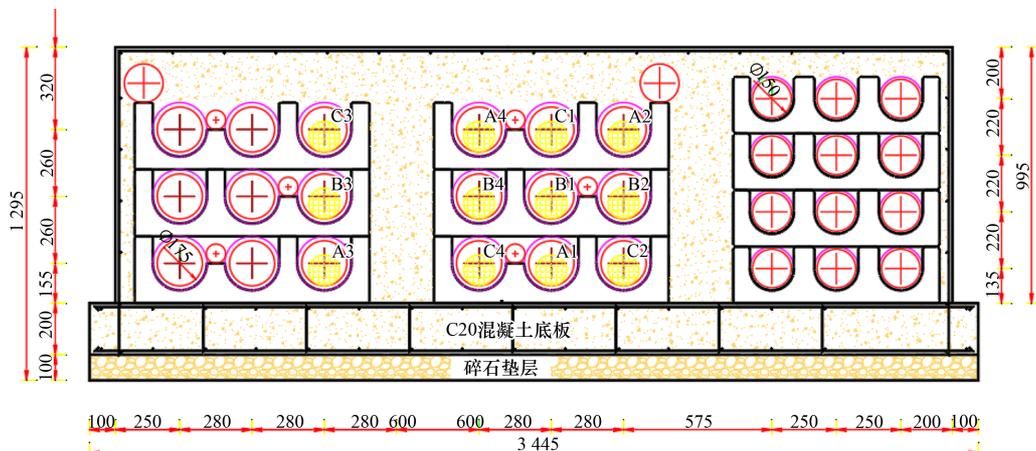


图8 电缆管涵剖面



图 11 型钢试桩静载试验

缆管涵直接作用于 HW300 mm × 300 mm × 10 mm × 15 mm 型钢横梁, 由于电缆管涵垫层混凝土标高存在变化且结构不平整, 施工期间在型钢横梁与纵梁连接节点处, 下垫钢板调节标高以确保横梁紧贴电缆管涵, 并在横纵梁连接完成后, 采用钢楔块及混凝土填充管涵底部与型钢横梁间隙, 通过“下垫上填”措施减小电缆管涵整体保护期间的沉降变形(图 13)。

4.3 组织协调与应急准备

电缆管涵整体原位保护工程与云南路站盖挖逆作段土建工程穿插实施, 两种相互影响且相辅相成, 需在建设单位牵头下做好协调配合工作。例如: 盖挖逆作段西南侧围护桩施工期间车站土建施工单位做好弧形钢板预埋工作, 为电缆管涵整体保护提供条件; 电缆管涵分段保护的施工长度与逆作顶板结构分段相适应, 可形成流水作业提高施工速度; 电缆管涵型钢横梁施工期间, 土方开挖的深度宜同步满足逆作顶板施工要求, 避免再次挖土对电缆管涵及保护结构产生碰撞破坏。此外, 由于车站土建工程与电缆管涵保护工程非同

一施工队伍, 在开工之前, 还需进一步协调划分各自工程界面、施工场地、作业次序和风险责任。

保护工程涉及的 110 kV 电力管线是南京城区主要高压线, 为确保电缆管线安全和正常使用, 需在电力管线产权单位的指导下制定合理有效的保护方案、监测方案及应急处置方案; 其次, 正式施工前应邀请产权单位现场对电缆管线保护重点进行交底和告知, 并按照应急处置方案要求备好应急抢险物资; 在保护施工期间, 加强对电缆管涵的沉降布点监测, 并请产权单位对现场进行巡视和监督, 确保按方案组织实施。

5 实施效果

云南路站盖挖逆作段土建工程施工共历时 23 个月, 期间采用型钢门式架形式对大尺寸 110 kV 电缆管涵进行整体原位保护, 盖挖逆作段土建工程施工与电缆管涵保护各阶段时间节点如表 2 所示。

表 2 各施工阶段节点

施工阶段	开始时间	结束时间	备注
围护桩施工	2023 年 5 月	2023 年 8 月	—
钢桩施工	2023 年 8 月	2023 年 9 月	—
型钢纵横梁施工	2023 年 9 月	2023 年 12 月	
逆作顶板结构	2023 年 11 月	2024 年 1 月	分三段穿插施工
顶板与管涵间填充	2023 年 12 月	2024 年 2 月	
割型钢与土方回填	2023 年 12 月	2024 年 2 月	
后续开挖与回筑	2023 年 12 月	2024 年 4 月	

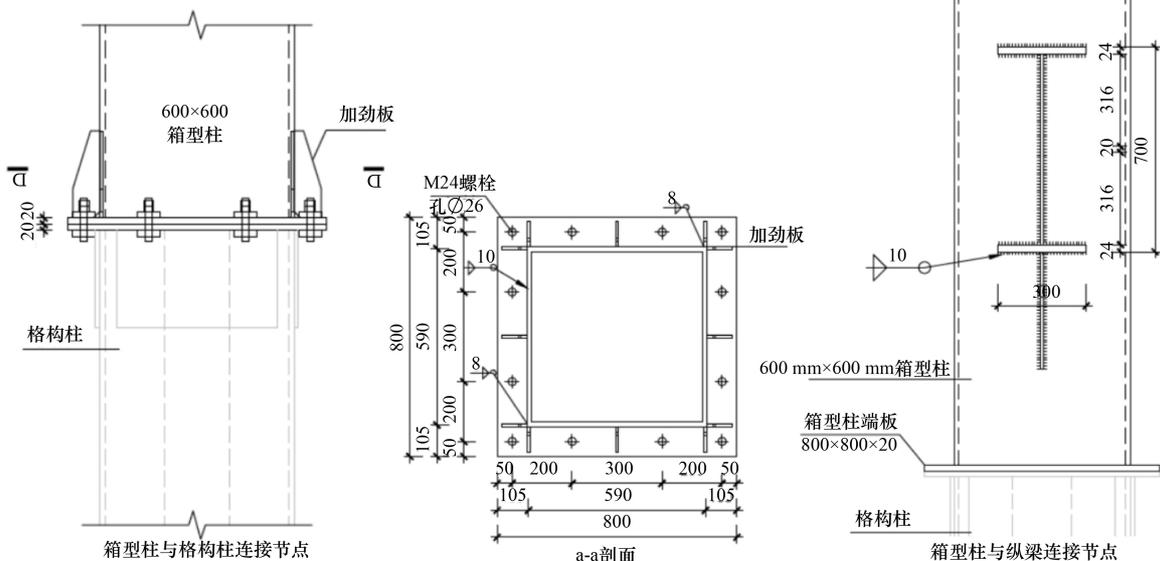


图 12 箱型柱与格构柱、纵梁连接节点

mm



图 13 钢横梁“下垫上填”施工照片

电缆管涵保护各阶段涉及管廊下方掏挖、牛腿焊接、钢横梁安装、支架搭设、模板安装和钢筋绑扎等工序的实施照片如图 14 所示。



图 14 电缆管涵保护各阶段照片

通过合理的电缆管涵整体保护设计方案、现场施工技术优化及施工过程中精细化管理，在确保电力管线的安全和正常使用前提下，顺利完成了车站盖挖逆作段土建工程的施工。

6 结 论

(1) 采用大尺寸管线整体原位保护方案可减少地铁车站工程建设的前期管线改迁费用，且总体工期更可控。

(2) 原位保护方案应结合车站设计方案和施工时序综合考虑，承载桩宜优先考虑既有围护桩，不满足要求再施作型钢桩；保护施工过程中应合理划分各施工队伍的职责和作业顺序，并做好监护、协调工作。

(3) 施工过程中可通过原位测试，验证设计参数，进而对复杂或过于保守的设计方案进行优化，提高现场施工工效。

(4) 工程和水文地质差的项目，对工程自身风

险和施工风险的管控要求更高，需充分论证并在风险可接受前提下再考虑管线整体原位保护方案。

参考文献：

- [1] 刘鹏. 地铁建设中地铁站管线改迁方案的评价与优化[D]. 西安:西安建筑科技大学,2017.
- [2] 田帅. 110 kV 高压电力管块原位悬吊保护方案的关键工艺研究及应用[J]. 江苏建筑,2023,230(5):98-102.
- [3] 汪彬. 复杂环境下地铁基坑工程施工设计方案[J]. 工程建设,2019,51(5):47-52.
- [4] 郭盼盼. 基坑开挖诱发地下管线变形及控制研究[D]. 杭州:浙江大学,2022.
- [5] 王国富,路林海,王丹. 基坑穿交既有管廊加固新方法及其变形控制技术研究[J]. 地下空间与工程学报,2015,11(增刊2):691-697.
- [6] 付一平,张呈祥,徐妹,等. 地铁车站基坑开挖对临近管线影响的有限元数值分析[J]. 工程建设,2018,50(7):29-33.
- [7] 于佳佳. 浅谈地铁出入口管线悬吊保护技术的应用[J]. 交通节能与环保,2022,88(18):162-166.
- [8] 朱家俊,刘坤,杨国源,等. 地铁车站基坑大管径污水管悬吊保护施工技术[J]. 云南水力发电,2020,36(9):153-155.
- [9] 姜伟,胡长明,梅源. 某地铁车站深基坑工程管线悬吊施工技术[J]. 建筑技术,2011,42(6):534-536.
- [10] 黄斌,王萌. 220 kV 电力管廊基坑内原位保护技术[J]. 建筑结构,2021,51(增刊1):1980-1984.
- [11] 韩建坤,董小龙,郭小龙. 低净空横穿双线并行不等深明挖基坑的地下高压电缆保护及基坑施工综合技术[J]. 隧道建设,2017,37(7):838-844.
- [12] 程群,刘芳玲,叶文娟. 门式架悬吊法地下管线就地保护施工[J]. 建筑结构,2013,43(增刊2):714-716.
- [13] 彭晨. 深基坑内既有管线保护方案及施工技术探讨[J]. 天津建设科技,2021,31(3):32-35.
- [14] 胡平. 综合管廊下穿电力方沟原位悬吊保护施工技术[J]. 工程前沿,2020(14):42-46.
- [15] 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):285-290.