

地铁地下盖挖逆作法钢管混凝土柱设计研究

聂培峰

中国电建市政建设集团有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i5.16618

[摘要] 地铁建设过程中,盖挖逆作法由于对地面交通干扰小、施工效率高,成为城市核心区地下工程的首选。本文选取地下二层单柱双跨岛式车站作为研究对象,车站全长238.7m,标准段宽21.1m,基坑开挖深度17.15~20.05m,顶板覆土1.34~3.82m,附属结构3个出入口、1个安全口、3组风亭,两端均为盾构接收,围护结构咬合桩($\Phi 1000/\Phi 1200$)+地连墙(800/1000mm)。钢管混凝土柱属于该类盖挖逆作结构的主要竖向承重部分,设计的好坏直接关系到工程的安全和长期稳定。基于此,本文结合工程特点和结构力学优势,系统剖析设计要点和技术关键,梳理现存问题,从材料选择,构造改良,施工协同三个角度给出对应策略,给同类工程给予理论借鉴和操作指引。

[关键词] 地铁地下盖; 挖逆作法; 钢管混凝土柱设计

中图分类号: TV331 **文献标识码:** A

Design study of steel pipe concrete column in reverse excavation method for subway underground cover

Peifeng Nie

China Electric Power Construction Municipal Construction Group Co., Ltd.

[Abstract] During subway construction, the cover-excavate-invert method has become the preferred choice for underground projects in urban core areas due to its minimal disruption to surface traffic and high construction efficiency. This study focuses on a two-level single-column double-span island station with a total length of 238.7m, standard section width of 21.1m, excavation depth of 17.15~20.05m, top slab cover thickness of 1.34~3.82m, auxiliary structures including 3 entrances, 1 safety exit, and 3 ventilation shafts. Both ends utilize shield tunneling reception systems, supported by a composite structure of interlocking piles ($\Phi 1000/\Phi 1200$) and diaphragm walls (800/1000mm). Steel tube concrete columns, serving as the primary vertical load-bearing components of this cover-excavate-invert structure, directly determine the project's safety and long-term stability. By analyzing engineering characteristics and structural mechanics advantages, this paper systematically examines design priorities and technical challenges, identifies existing issues, and proposes strategies from three perspectives: material selection, structural optimization, and construction coordination. The findings provide theoretical references and practical guidance for similar projects.

[Key words] subway underground cover; reverse excavation method; steel pipe concrete column design

随着城市化进程的加快,城市核心区地带交通拥堵日趋严重,地铁作为高效的公共交通方式其建设需求也与日俱增。其中以地下二层单柱双跨岛式车站为代表的地铁车站建设为例,因其功能布局合理、空间利用率较高,在地铁建设中被广泛使用。某地铁车站建设采用盖挖逆作法施工,总长238.7m,标准段宽21.1m,基坑开挖最深处17.15~20.05m,顶板覆土1.34~3.82m,附属结构包含3个出入口、1个安全口和3组风亭,同时两端需满足盾构接收条件,围护结构包含咬合桩($\Phi 1000/\Phi 1200$)和地连墙(800/1000mm)。盖挖逆作法凭借占地空间小、对周边环境影

响小的优势,适合复杂场地,但其“自上而下”的施工顺序,对核心竖向承重构件——钢管混凝土柱的安装精度、节点构造、受力传递提出了极高的要求。目前设计中存在材料适配性差、构造设计与施工脱节等问题,影响工程质量,因此开展针对性设计研究具有重要的实践意义。

1 地铁地下盖挖逆作法钢管混凝土柱设计的核心意义

1.1 确保深基坑工程结构的安全稳定性

该车站基坑开挖深度17.15~20.05m,为中深基坑,盖挖逆

作时需承受上部1.34~3.82m覆土荷载、施工机械荷载及周边土体侧压力叠加荷载,咬合桩与地连墙围护结构受力传递需经由钢管混凝土柱形成闭环,钢管混凝土柱为竖向支撑核心,设计质量决定整体结构能否抵御基坑变形、不均匀沉降等不利因素,柱体弯曲、节点开裂等安全隐患难以避免,同时其抗侧移与抗震性能,能提升结构抵御地震、地质灾害的能力,为车站长期稳定运行筑牢基础,更能避免盾构接收等工序施工时,因柱体失稳使盾构掘进姿态失控^[1]。

1.2 单柱双跨车站技术优化需求的适配性研究

针对地下二层单柱双跨岛式车站的结构特征,钢管混凝土柱要精确适配21.1m标准段宽度的跨间受力传递需求,还要协调3个出入口,3组风亭等附属结构的布局干扰。在设计过程中对构件受力机理,节点连接方式等深入探究,可以解决该类车站空间布局下的结构协同问题,而且能反向推进咬合桩($\Phi 1000/\Phi 1200$)和地连墙(800/1000mm)围护体系的施工适配性改良。通过优化柱网间距和截面尺寸,可进一步提升盖挖逆作技术的精细化水平,解决复杂附属结构布局和主体结构的冲突问题,拓宽该技术在城市核心区域规模化地铁工程中的应用场景^[2]。

1.3 提高工程综合效益与可持续性发展水平

结合车站总长238.7m的规模化建设需求,科学合理的设计可使钢材、砼材料性能充分发挥,避免因参数保守造成浪费。通过优化钢管径厚比、砼强度等级等参数,在满足17.15~20.05m基坑深度受力要求的前提下,可使构件自重降低10%~15%,减少施工吊装成本^[3]。耐久性设计可使构件在地铁地下潮湿、氯离子侵蚀的环境下使用百年以上,减少后期维修养护费用,降低全寿命周期成本。设计与施工相互减少基坑开挖和构件安装对周边道路、建筑物的干扰,符合该站在核心区域建设绿色工程的理念,提高社会和环境效益。

2 地铁盖挖逆作法钢管混凝土柱设计的研究与应用现状

2.1 技术应用与工程适配现状

近年来盖挖逆作法在单柱双跨岛式车站运用广泛,国内北京、上海等多条地铁线路已有运用实例,结合该车站围护结构(咬合桩 $\Phi 1000/\Phi 1200$ 、地连墙800/1000mm)的组合形式,钢管混凝土柱的应用技术成熟,材料运用已有Q355、Q420钢材与C50、C60自密实混凝土的适配组合,可满足17.15~20.05m基坑深度的承载能力。施工工艺层面,套管定位、分节吊装技术足以把柱体安装垂直度偏差限制在规范容许范围以内,适合车站238.7m总长的规模性施工,在部分工程案例中,针对盾构接收区域的柱体加固技术已发展成标准化做法,为该类车站提供了丰富的实践数据,不过不同地质状况下的参数适配仍需进一步完善^[4]。

2.2 单柱双跨车站设计关键问题研究

目前设计仍存在适配性问题:一是荷载计算精度欠缺,没有充分考量该车站1.34~3.82m顶板覆土不均匀分布的特性,对于盾构接收阶段的动态荷载、附属结构施工的临时荷载考虑不够

周全,一些区域的设计参数取值偏于谨慎,造成工程成本上升,一些关键节点又存在安全储备不够的隐患;二是节点连接设计不合理,没有完全适配单柱双跨的受力特性,钢管混凝土柱与梁板、围护结构的节点处传力路径不清晰,容易导致应力集中,出入口与主体结构衔接处,节点刚度不匹配的现象较为突出;三是耐久性设计缺乏针对性,没有充分考虑地下潮湿环境以及咬合桩、地连墙接口处的防腐需求,一些设计仅仅使用常规的防腐涂层,缺少阴极保护等多重防护手段,很难应对长期氯离子侵蚀,影响构件使用寿命。

2.3 复杂车站的适配研究热点与趋势分析

学术界与工程界针对此类复杂车站的设计做了很多方面研究:其一,运用有限元数值模拟技术,精准模拟17.15~20.05m深基坑下构件在覆土荷载、施工荷载与土体作用下的力学响应,为参数优化给予精准理论支撑,着重针对覆土不均匀分布的工况优化荷载计算模型;其二,研发适配盾构接收工序的节点连接形式,优化单柱双跨结构的传力路径,探寻钢管混凝土柱与咬合桩、地连墙的协同受力机制;其三,借助BIM技术达成钢管混凝土柱的设计、施工、运维全生命周期的协同管理,改进设计与施工的衔接效率。还有,新型防腐材料和多种防护技术的研究也成了热点,要让构件在地底潮湿环境里耐久一些,以后的设计会往精准化、智能化、绿色化方向发展,更看重和车站附属结构布局、盾构施工工序的契合。

3 地铁地下盖挖逆作法钢管混凝土柱优化设计策略

3.1 材料选择与关键参数的优化设计

材料选型要精准契合深基坑和单柱双跨结构的需求,钢材选用屈服强度 $\geq 355\text{MPa}$ 的高强度低合金结构钢,保证其具有较好的焊接性能和抗变形能力,而且要按照不同的基坑深度来选择钢材的规格,基坑深度 $\geq 19\text{m}$ 的地方可以采用Q420钢材以提升承载能力^[5]。混凝土首先选择C50-C60自密实混凝土,它具备较高的流动性,能够自己填充模板,从而解决逆作施工时混凝土浇灌困难的问题,而且添加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,可以改善混凝土的耐久性,基坑深层的地方可以用C60混凝土,基坑浅层的地方可以用C50混凝土,做到平衡性能和成本。关键参数设计上,根据20.05m最大基坑深度,钢管径厚比控制在20-30,钢管对混凝土约束效应充分释放,长细比根据构件高度和受力情况合理取值,一般不超过80,保证构件稳定,荷载计算考虑顶板覆土(1.34~3.82m)、永久荷载、可变荷载、施工荷载和土体侧压力,采用优化后的荷载组合系数,尤其加强盾构接收阶段的动态荷载计算,提高设计精准度。

3.2 结构构造与节点连接的优化设计

结构构造设计要符合受力和施工两方面要求,钢管柱底部要有厚度 $\geq 20\text{mm}$ 的预埋钢板和抗剪键,提高与基础的连接牢靠程度,抗剪键的数量按照柱体截面大小及所受力量来确定,一般不少于4个,柱身每隔一段距离就要设置加劲环,加劲环的厚度为钢管壁厚的1.2~1.5倍,其间距较好是钢管直径的1.5-2.0倍,改善局部稳定性能,节点连接设计十分关键,钢管混凝土柱与梁

板相连接的时候,采用刚性节点设计,利用在钢管上焊接牛腿,预埋钢筋这些办法达成力量的较好传达,牛腿钢板厚度 $\geq 16\text{mm}$,预埋钢筋直径 $\geq 20\text{mm}$,间距 $\leq 200\text{mm}$ 。针对21.1m标准段宽度优化节点刚度,跨中区域适当优化节点配筋,避免节点应力集中,预留出入口、风亭施工操作空间,与咬合桩、地连墙围护结构协同受力,在围护结构接口处设置过渡钢板,优化传力路径。多跨连续梁与柱的连接处,优化节点刚度均匀,减少结构内力突变。

3.3 施工协同与质量控制设计

设计要同盖挖逆作工艺密切配合,根据盖挖逆作“由上至下”这一施工特点,按照车站238.7m的总长以及17.15~20.05m的基坑深度,把构件分节的长度限定在3~5米,方便吊装和定位。钢管柱在安装时会用到双套管定位法,外套管比钢管直径大100~150mm,把垂直度偏差控制在1/500以内,把中心位置偏差控制在20mm以内,针对盾构接收阶段的施工需求,在接收处柱体外侧设置临时支撑,采用H型钢作为支撑,间距小于等于2m,保证柱体在盾构掘进时不会被扰动,质量控制设计要贯穿整个施工过程,钢材进场前,要对力学性能和化学成分实施严格检验,焊接时利用超声波无损检测技术排查瑕疵,检测覆盖率要高于100%,混凝土浇筑前开展配合比试验,浇筑时用超声波检测保证密实度,浇筑后开展7d、28d强度检测。构件表面采取“防腐涂层+阴极保护”策略,防腐涂层采用聚脲涂料,厚度 $\geq 2.0\text{mm}$,地下水位偏高处还要增设防水套管,耐久性得以提升,设计时也要明确施工监测要求,实时跟进构件变形和应力变化情况,沉降监测频率设为每24h一次,变形允许值限制在5mm以内,及时调整施工策略。

4 结束语

综上所述,地铁地下盖挖逆作法钢管混凝土柱的设计质量,关乎着地下二层单柱双跨岛式车站的安全稳定性及其综合效益。本文结合该车站238.7m的总长,17.15~20.05m的基坑深度,咬合桩与地连墙围护体系等工程特点,剖析设计意义与现状问题,从材料选取,构造设计,施工协同这三个方面给出改良策略。经过实践可知,科学的设计可充分发挥结构力学的优势,化解逆作施工和盾构接收,复杂附属结构布局等技术难题。以后要进一步巩固理论与实际的联系,深入探究深基坑,单柱双跨结构下的设计技术,不断改良方案,给同类型地铁工程的高质量发展赋予技术支撑。

[参考文献]

- [1]刘学明,王国林.砂土区地铁车站深基坑盖挖逆作法施工变形规律分析[J].城市轨道交通研究,2024,27(10):91-96.
- [2]李果遥,马涛,王静.盖挖逆作法基坑生产性抽水试验施工工艺探讨[J].天津建设科技,2024,34(04):26-28.
- [3]郭飞,李兆平,韩雪刚,等.盖挖与明挖组合建造地下交通枢纽方案研究[J].地下空间与工程学报,2024,20(02):546-555.
- [4]张建.浅谈盖挖逆作地铁车站施工质量控制的监理要点[J].建设监理,2024,(S1):82-84.
- [5]张纯华.型钢混凝土梁在盖挖逆作法地铁换乘车站中的应用研究[J].国防交通工程与技术,2024,22(01):83-87+96.

作者简介:

聂培峰(1985--),男,汉族,山东德州禹城市人,大学本科,中级工程师,从事地铁土建施工专业。