

地下连续墙施工技术在轨道交通地下工程中的应用

张家栋 李金宝

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6700

[摘要] 地下连续墙凭借刚度大、止水性强、施工振动小、对周边环境扰动低等核心优势,已成为轨道交通地下车站、区间风井等工程的首选支护技术。本文系统阐述地下连续墙的技术原理与功能特性,结合轨道交通地下工程“场地狭小、地质复杂、邻近敏感构筑物”的典型特点,详细分析其核心应用场景与适配优势,重点探讨针对性的施工技术要点与质量控制措施,并提出常见问题的应对策略,为同类轨道交通地下工程的安全高效施工提供技术参考。

[关键词] 地下连续墙; 轨道交通; 深基坑; 围护结构; 施工技术; 质量控制

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Application of diaphragm wall construction technology in underground engineering of rail transit

Jiadong Zhang Jinbao Li

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] Diaphragm wall has become the first choice of supporting technology for rail transit underground stations, interval air shafts and other projects with its core advantages of high rigidity, strong water sealing, small construction vibration and low disturbance to surrounding environment. In this paper, the technical principle and functional characteristics of diaphragm wall are systematically expounded. Combined with the typical characteristics of underground rail transit engineering, such as narrow site, complex geology and proximity to sensitive structures, its core application scenarios and adaptation advantages are analyzed in detail, focusing on the targeted construction technical points and quality control measures, and the coping strategies for common problems are put forward, providing technical reference for the safe and efficient construction of similar underground rail transit engineering.

[Key words] diaphragm wall; Rail transit; Deep foundation pit; Enclosure structure; Construction technology; quality control

引言

城市轨道交通的地下工程往往处于城市的核心区,常常存在用地条件紧张,地质情况复杂(如软土、砂卵石、承压水层高等)、既有运营线路和重要建筑物保护要求严格等难题,对深基坑施工安全、变形控制及止水设置都提出了很高的要求。在此情况下,采用地下连续墙这项具有悠久历史的支护和止水一体技术,有利于快速地在困难的土层中成功成槽和成墙,并通过刚性和止水性较好的连续墙,较准确有效地控制基坑变形及渗流控制,进而达到为轨道交通工程安全运营、工程按期完成、工程建设成本有效降低提供保障的目的。因此,地下连续墙的成槽及成墙质量是地下连续墙成功实施与应用的技术保障。

1 地下连续墙技术概述

地下连续墙(图1)是指由专业的槽壁泥浆保护设备开挖地

下连续槽段,在槽段内用泥浆保护成槽、钢筋笼吊装入槽后,用导管法浇筑混凝土,形成既有支护、防渗又有承载力的连续钢筋混凝土挡墙结构。其技术特点符合地下连续墙支护技术与轨道交通工程需求,主要表现在三个方面:一是连续性,连续墙体可以形成密闭防渗帷幕,符合轨道交通高水位地层地下连续墙施工的防渗要求。二是刚度、承载力强,可抵抗深基坑水土压力,严格控制土体侧向位移和地表沉降,保证临近运营地铁线路、地下管线、建构筑物等的安全。三是适应性强,根据需要可调整连续墙体厚度(以600mm~1200mm为主)、墙体深度以及成槽工艺等,以适用地铁车站深基坑、盾构井、区间旁通道等地域范围不同工况的需求。四是功能组合性强,可以通过墙体“两墙合一”直接作为主体结构外墙,符合轨道交通地下空间利用率最大的建设要求。

2 轨道交通地下工程中的核心应用优势

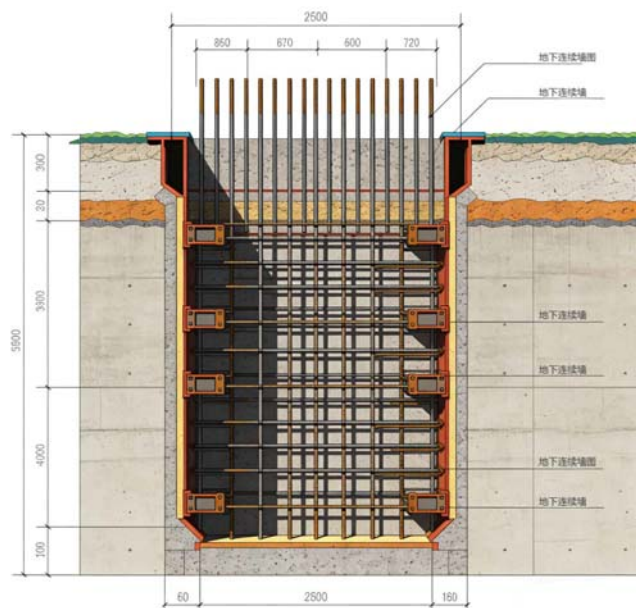


图1 地下连续墙示意图

相比之下,与排桩支护、SMW工法桩等深基坑支护形式相比,轨道交通地下工程的地下连续墙具有如下特点。①连续墙的墙身较厚,一般为0.8m~1.2m,特殊情况可以加厚至1.5m以上,刚度强、强度大。因此,它可以有效将支护基坑周边位移控制在30mm以内,重要场合下控制在15mm以内;同时,很好地将地铁运营、文物古迹和市政管线等置于地下结构周围环境的位移影响控制在一定的范围内,以满足城市核心区高变形控制要求。②采用地下连续墙工艺,由于地下连续墙墙体成槽浇筑形成一个完整的墙体,接头进行特殊止水处理,且墙体穿透透土层进入隔水层,从而形成一个垂直不透水帷幕。该防渗帷幕的渗透系数可小至 10^{-7} cm/s,从而阻隔从坑外向坑内的水土渗透,有效防止坑外水土流失,使深基坑可以在干旱条件下施工,解决深基坑处于高水位、强渗漏地层的渗水控制难题。③在施工适应性方面,由于地下连续墙采用液压抓斗、双轮铣槽机、冲击钻等装备成槽,可以有针对性地处理软土、砂层、砂卵石以及高水位、深厚软土地层等复杂地层条件。地下连续墙在软土、高水位、复杂地层等地层条件和地质地形条件的适应性较好,可以较好地发挥支护作用,减少基坑周边墙体变形,扩大其深基坑工程的可靠使用范围^[1]。④地下连续墙可直接作为地铁车站主体结构外墙,省去内衬墙或减薄内衬厚度,既简化施工工序、缩短工期,又能节约材料消耗与地下空间占用,对施工场地狭小、建设周期紧张的城市核心区车站而言,具备显著综合经济与技术效益。⑤地下连续墙采用液压抓斗等主流成槽设备作业时,振动速度远优于传统设备,能有效降低对周边居民生活及运营交通的干扰,完全符合城市核心区环保管控标准。⑥在特定设计中,深厚地下连续墙可兼作竖向承重基础,承担部分主体结构竖向荷载,减少独立桩基数量,简化基础结构体系,进一步提升地下空间利用率,适配地铁车站“紧凑化”设计需求。

3 地下连续墙施工技术在轨道交通地下工程中的应用

3.1 导墙施工

导墙是轨道交通地下工程地下连续墙成槽施工的前期技术工序,其主要起到引导成槽方向、存放护壁泥浆、支撑表土体以及承载重型设备等作用。导墙质量的好坏也直接影响到成槽的质量、施工过程以及施工人员的安全,主要控制措施如下:一是质量精度控制,导墙中心线偏差应不大于5mm,导墙标高的偏差应不大于 ± 10 mm,以保证成槽的位置和深度都能保证设计方案的正常进行。二是防渗安全性。导墙的施工接缝位置要至少比地下连续墙的槽段接缝位置退后1m。这样保证了接缝位置不同,降低了发生连通隐患,从源头上提高了导墙的安全性。三是养护控制,导墙浇筑完成后要充分养护不少于7d,确保导墙混凝土的强度达到设计的要求后再开始进行成槽施工^[2]。这就能很大程度地保障导墙不会因为早期强度不足而变形进而影响槽壁,确保导墙的垂直度进而确保了地下连续墙施工的整体质量。

3.2 泥浆护壁技术

隧道泥浆护壁施工主要是针对轨道交通地下工程施工中出现的砂层、砂卵石地层等易塌孔的透水地层。首先,施工人员根据工程施工区域工程地质条件复杂和变形严格等要求,选择膨润土泥浆护壁或聚合物泥浆护壁两种施工措施。选择上述两种泥浆的出发点在于,二者均能有效地生成均匀致密泥皮,且能够匹配施工过程中产生的动态调整。其次建立泥浆循环净化回路并就地比重 $1.05\sim 1.15$ g/cm³、粘度18~25s、含砂率 $\leq 3\%$ 、pH值8~10的泥浆技术指标进行监测和动态管理。同时适时补充新泥浆和加强泥浆净化,以确保槽壁能形成厚度 ≥ 3 mm的均匀泥浆护壁以固定槽壁和维持成槽施工。

3.3 成槽精度控制

由于轨道交通工程邻近运营线路、重要建筑物等敏感环境,成槽精度直接关联基坑变形控制与周边环境安全。

为达成这一严苛标准,施工人员需构建全流程精度控制体系:首先,在设备选型阶段,优先采用配备自动纠偏系统的双轮铣槽机或液压抓斗,这类设备能够实时感知槽壁偏移并主动调整,可更好地适配复杂地层的成槽需求。其次,在成槽施工过程中,辅以超声波测井仪进行全程追踪监测,每3~5m开展一次垂直度检测,确保槽壁偏差能够被早发现、早纠偏,避免偏差累积扩大。最后,在成槽作业完成后,针对性地开展沉渣清理工作,采用导管吸泥法高效清除槽底浮渣——常规墙体的沉渣厚度需控制在 ≤ 100 mm,而兼具承重功能的“两墙合一”墙体,沉渣厚度需进一步严控至 ≤ 50 mm,从源头保障墙体与地基的有效结合,最终确保地下连续墙的结构稳定性与防渗可靠性^[3]。

3.4 槽段划分与接头处理

针对轨道交通地下工程常见施工环境和复杂地层特点,常规情况槽段长度控制在4~6m,特殊情况下地层太软、太粘造成抗侧移能力较差要收小到 ≤ 5 m,在控制槽段长度的同时合理分段兼顾进度与槽壁稳定性,槽段过长槽侧壁土体自稳定性差;由于接头的防渗与传力,工程的实用性要合理选择接头:常见的锁扣管接头具有工艺成熟、成本适中,适用一般的支护墙体,但其

抗剪、防渗不足,需要通过旋喷桩进行加固补偿缺陷。工字钢/十字钢板接头刚度大,可传递剪力、止水可靠,适用于“两墙合一”墙体,在车站主体结构中应用比较普遍。铣接接头工艺是通过铣掉200~300mm已经浇筑好的混凝土形成新鲜接触面,防渗好(渗透系数 $<10^{-8}$ cm/s),适用于盾构井、承压水地层等需要满足高要求的工作环境,需要结合设备能力、成本情况进行综合决策。

3.5 钢筋笼制作与吊装

轨道交通地下工程中钢筋笼截面积大、自身重量较重,其中还包括具有支撑的埋件、连接器等不同功能结构的多种构件,其中埋件数量众多。施工方应使用专用的胎架进行整体预制,胎架放置完成定位,合理对钢筋和预埋件的相对位置错差进行限控,保证埋件和部件准确定位,不因为部件错位导致后续支撑、注浆等施工难以进行。

为保证桩身的保护层厚度均匀,施工单位应对钢筋笼的外围按标准间距进行定位垫块固定,防止吊装时钢筋笼与槽壁相撞而发生折损。吊装施工前施工单位应依据钢筋笼重量及施工现场的场地情况制订吊装方案,采用“双机抬吊、主副钩协同”的施工技术,用主钩起钩、副钩调平,操作者通过主钩起吊、副钩调平控制吊装姿态,避免发生钢筋笼扭腰。

3.6 水下混凝土浇筑

水下混凝土浇筑是保障轨道交通地下工程地下连续墙密实度、防渗性与结构耐久性的关键工序,尤其对轨道交通“两墙合一”墙体的承载可靠性起着至关重要的作用,施工单位需构建全流程精细化控制体系。

灌注混凝土时用导管法进行灌注,布导管时准确判断导管的位置和间距,保证混凝土可以顺利均匀地扩散,没有灌注盲点;准确计算第一次的灌注混凝土数量,确保导管埋藏深度达到灌注要求,避免泥水进入混凝土夹层。在灌注时进行导管的调整,一是要避免过浅,引起夹泥现象,二是要避免过深,造成混凝土初凝堵住导管,三是不能拔空导管。

连续浇筑混凝土,尽量不留间歇时间,混凝土浇筑标高应比设计高出些(后期按规范剔凿掉),确保墙面顶标高强度。混凝土

采用与长距离泵送、大体量浇筑相配套的类型,确保混凝土各项性能指标满足要求。从各方面参数严格控制混凝土全过程中确保连续的浇筑,墙混凝土浇筑密实,混凝土结构连续,避免出现任何漏水情况,确保地下连续墙的质量及安全。

3.7 墙底注浆加固

第一,在施工过程中,施工人员应采用 $\phi 50$ mm的钢管充当注浆管,每幅槽段布置2~3根,并对注浆管进行固定处理,注浆管需深入钢筋笼底端至槽底部持力层。第二,施工人员应依据施工区域的地质条件合理选择相应的注浆材料,其中,水泥浆可用于一般性的地层施工,水泥-水玻璃的双液浆则适用于强透水地层或者需要使浆液快速凝固的施工作业过程。第三,施工人员应结合地层的渗透能力和设计指标算定注浆参数,并将注浆压力限定为1.5~2.5MPa,注浆的注浆量通常是 $0.3\sim 0.5\text{m}^3/\text{m}$,以确保注浆后浆液可填满墙底的孔隙、裂隙。第四,完成注浆工作后,施工人员需要进行压水试验,检查确定墙底地层的渗流系数是否达到设计要求,从根本上消除墙底发生渗漏的可能性,以确保地下连续墙长期处于良好运作状态。

4 结束语

地下连续墙技术满足了城市轨道交通地下工程“安全、高效、环保、集约”的设计标准,成为中心城区地铁车站、盾构井等施工的重要支护方式。只要控制好施工中导墙施工、泥浆护壁等关键控制点,就能够突破复杂地质及敏感环境等制约,确保工程质量及施工环境保护。

[参考文献]

- [1]朱伟国.地下连续墙施工技术 in 轨道交通地下工程中的应用[J].工程技术研究,2025,10(20):83-85.
- [2]胡阳.地下连续墙施工技术 in 轨道交通地下工程中的应用[J].工程机械与维修,2025,(03):27-29.
- [3]王庆.地下连续墙施工技术研究与应用——以秦望通道工程项目为例[J].广东建材,2025,41(3):152-154.

作者简介:

张家栋(1992-),男,汉族,湖南省浏阳县人,本科,助理工程师。