

DOI: 10.7672/sgjs2025180103

富水砂层低净空地下连续墙施工技术*

朱海军^{1,2}, 陈伟^{1,2,3}, 李鹏东^{1,2}, 王峰^{1,2}

(1. 中建三局基础设施建设投资有限公司, 湖北 武汉 430073; 2. 中建三局集团有限公司, 湖北 武汉 430073; 3. 武汉工程大学, 湖北 武汉 430205)

[摘要] 针对富水砂层及高架桥、高压线下低净空地下连续墙施工难题,采用全套低净空成槽及吊装设备,围绕加快分节吊装和保证槽壁稳定 2 个方面采取技术及管理措施,优化护壁泥浆性能指标,做好工序组织,钢筋笼整体加工再分节,控制分节对接垂直度,采用碎石回填防止接头绕流,采取三导管浇筑,并采取物防、技术、人防措施防止碰撞上方高架桥及高压线,充分保证了富水砂层低净空地下连续墙施工安全和质量,并有效提升了平均工效。

[关键词] 高架桥;地下连续墙;低净空;富水砂层;吊装;施工技术

[中图分类号] U448.28;TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0103-04

Construction Technology of Low-clearance Diaphragm Wall in Water-rich Sand Stratum

ZHU Haijun^{1,2}, CHEN Wei^{1,2,3}, LI Pengdong^{1,2}, WANG Feng^{1,2}

(1. CCTEB Infrastructure Construction Investment Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430073, China;

2. China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd., Wuhan,

Hubei 430073, China; 3. Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei 430205, China)

Abstract: In view of the construction problems in water-rich sand stratum, low-clearance diaphragm wall under viaduct and high-tension lines, a full set of low-clearance grooving and hoisting equipment is adopted, and technical and management measures are taken in two aspects: Speeding up section hoisting and ensuring the stability of the trough wall, optimizing the performance indicators of the wall protection mud, doing a good job in process organization, re-section the steel bar cage as a whole, and controlling the verticality of the section butt. The use of gravel backfill to prevent joint flow around, the use of three-pipe pouring, and the use of physical defense, technology, civil air defense and other measures to prevent collision with the overhead viaduct and high-voltage lines, fully ensure the safety and quality of the construction of low-clearance diaphragm wall in the water-rich sand stratum, and effectively improve the average efficiency.

Keywords: viaduct; diaphragms; low clearance; water-rich sand stratum; hoisting; construction

0 引言

地下连续墙作为深基坑工程一种可靠的支护方式,应用较为广泛。随着城市建设逐步走向立体化、集约化,地下连续墙施工面临高架桥、高压线等低净空工况日益增多。空间的受限一方面导致常规的成槽、吊装设备不再适用,另一方面钢筋笼需

分节吊装,吊装时间大幅度增加,而采用地下连续墙时,通常为较不稳定地层,如富水砂层,吊装时间大幅度增加将进一步增加槽壁坍塌风险,质量风险大幅度提升,施工工效也将大幅度下降。

本文以武汉某地铁项目全高架桥下车站及高压线下风井地下连续墙施工为例,通过配置全套低净空成槽及吊装设备,加快钢筋笼分节吊装速度,采取措施保证槽壁长时间稳定,采取物防、技防、人防三防措施保证上方障碍物安全,克服了低净空及富水砂层两大难点,实现了高效、安全、保质施工。

* 中建三局基础设施建设投资有限公司科研项目(CSCEC3BJC-2024-2)

[作者简介] 朱海军,硕士,教授级高级工程师, E-mail: 3499546@qq.com

[收稿日期] 2025-01-20

1 工程概况

某地铁车站为地下 2 层结构,外包总长 244m,标准段外包宽 25.8m,标准段基坑深度约为 18.9m。车站全部位于高架桥下,有效净空 10.9~14m;采用落底式地下连续墙,深 41.0~43.0m,厚 1m,采用工字钢接头(见图 1)。地下连续墙施工范围内主要穿越地层为:①₁ 杂填土,松散;①₂ 素填土,松散~密实;③₂ 粉质黏土,软塑;③₅ 粉土、粉质黏土、粉砂互层;④₂ 细砂,中密;④₃ 细砂,密实;④_{3a} 粉质黏土夹粉土,可塑;②_{a-1} 砂岩,强风化;②_{a-2} 砂岩,中风化。地下连续墙入岩深度≥2m,其中局部入中风化砂岩 0.8~1.85m。

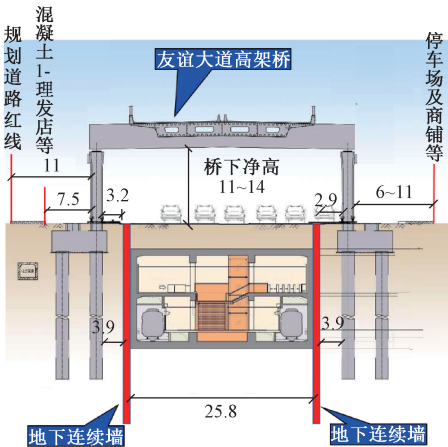


图 1 车站断面(单位:m)
Fig. 1 The station section(unit: m)

某区间风井为地下 3 层结构,外包总长 36.4m,标准段外包宽 25.6m,标准段基坑深度约为 28.82m。风井约一半区域处于 110kV 高压线影响区域,设置隔离网后,有效作业高度约 11m。地下连续墙深 40m、厚 1.2m,采用工字钢接头。地下连续墙施工范围内主要地层为:①₁ 杂填土,松散;①₂ 素填土,松散~密实;③₁ 粉质黏土,可塑;③₅ 粉土夹粉质黏土、粉砂;④₂ 粉细砂,中密;②_{a-1} 砂岩,强风化;②_{a-2} 砂岩,中风化。其入岩深度 6~8m,其中入中风化岩 4~6m。

为降低车站地下连续墙成槽过程中对紧邻高架桥桩的影响,针对桥墩与地下连续墙间土体采用 MJS 半圆桩满堂加固,并设置高压旋喷桩槽壁加固。当桥墩发生监测预警时,对 2 个相对的桥墩采用钢支撑对顶,避免单侧桥墩变形过大(见图 2)。

2 主要施工工艺

2.1 方案核心思路

1) 加快分节吊装工序:采取措施在保证对接质量的基础上提升钢筋笼对接工效,做好施工组织,

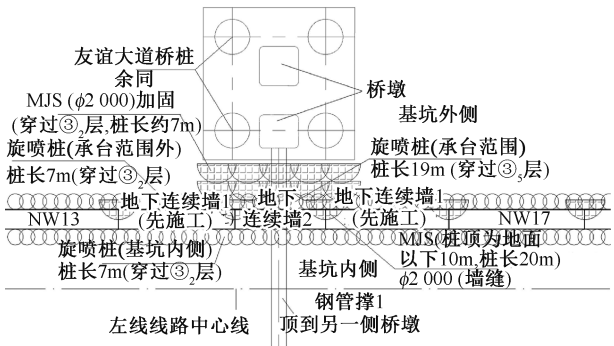


图 2 车站桥墩保护设计
Fig. 2 Protection design of the station pier

减少闲置等待时间。
2) 保证槽壁稳定:针对分节吊装时间长调整泥浆指标,设置槽壁加固,保证垂直度,做好工序组织,减少槽段暴露时间。

2.2 成槽施工

成槽施工的核心是选择与净空高度、周边环境相适应的设备,并配置足够数量。
1) 入岩设备选择。低净空工况下,大功率成槽机无法使用,低净空成槽机功率较低,无法进行软岩抓槽。地下连续墙入岩后常用设备有铣槽机及冲击钻辅助,比选分析如表 1 所示。

表 1 入岩设备比选		
Table 1 Comparison and selection of rock entry equipment		
项目	铣槽机	冲击钻
工效	入岩施工效率 平均达 1m/h	入岩施工效率 低,平均<0.4m/h
垂直度	控制好	控制差
泥浆控制	铣槽过程中泥浆可循环, 泥浆护壁效果好,废浆少	废浆多,清孔 时间长,效果差
环境影响	噪声小,夜间可施工	噪声大,夜间无法施工
经济性	设备成本高,综合成本低	设备成本低,综合成本高
结论	选择	不选择

2) 主吊设备选择。根据以往类似项目,常用设备有定制门式起重机(如济南黄河隧道工程,武汉地铁 6 号线武胜路站)及折臂式起重机,比选分析如表 2 所示。

表 2 主吊设备比选		
Table 2 Comparison and selection of main hoisting equipment		
项目	折臂式起重机	门式起重机
工效	设备灵活,便于转弯, 适用于大面积低净空 施工	设备调整方位麻烦,不适用 于转角幅施工,仅适用于局 部平幅施工
垂直度	使用手续简单	使用手续麻烦
泥浆控制	吊装时操作要求高	吊装时操作相对简单,稳定 性好
结论	选择	不选择

3) 设备配置。根据上述比选,本项目成槽采用低净空成槽机+低净空铣槽机,钢筋笼吊装采用120t 折臂式起重机+25t 汽车式起重机(或带伸缩臂的履带式起重机),转运采用平板车。低净空成槽机及低净空铣槽机设备高度 $\leq 10\text{m}$,120t 折臂式起重机作业高度 $\leq 10\text{m}$,汽车式起重机作业严格控制臂长及作业角度。车站及风井均采用抓铣结合工艺,其中车站共计投入3 台成槽机和2 台铣槽机轮流施工,减少成槽时间。

4) 泥浆护壁。低净空工况下泥浆质量尤其关键,应通过试验确定。本项目选用中等黏度的钠基膨润土,并通过试验将泥浆密度由 $1.05\sim 1.08\text{g}/\text{cm}^3$ 提高到 $1.06\sim 1.15\text{g}/\text{cm}^3$,黏度由 $18\sim 25\text{s}$ 提高到 $25\sim 30\text{s}$,强化泥浆护壁效果。新浆制配完成后静置充分发酵24h,检测合格后方可投用。入岩后采用铣槽机+滤砂机对泥浆进行动态换浆,动态保证泥浆性能。

5) 成槽注意事项。①具备条件时,可将浅层槽壁进行加固,如本项目车站针对③₂ 软塑地层及近桥墩位置设置槽壁加固,受限于净空条件,槽壁加固可采用旋喷桩等工艺,需注意槽壁加固不得侵入墙身范围,可适当外放,避免影响成槽施工垂直度;②成槽后应100%采用超声波检测槽壁情况,分析垂直度、有无缩径、塌孔等,每幅墙 ≥ 3 个断面;③加大泥浆检测频次,槽内泥浆每隔4h 进行一次检测,确保泥浆性能始终处于正常水平;④做好施工组织,做好开槽前分析,避免成槽机施工完成后等待铣槽机施工,槽段清孔完成后等待钢筋笼的现象;⑤定期对成槽机、铣槽机的垂直度仪表及自动纠偏装置进行复核;⑥车站紧邻桥墩的地下连续墙,在施工过程中应加强对桥墩沉降、倾斜监测,确保桥墩安全;⑦因低净空成槽机无法直接将泥渣倒入渣土车,可采用钢板自制临时存渣箱,避免成槽过程中泥浆四溢。

2.3 钢筋笼制作及分节吊装

2.3.1 钢筋笼制作

钢筋笼分节长度需根据净空高度、吊装设备尺寸、吊具长度等确定,依托项目共分7~9 节,标准段以7 节为主,玻璃纤维筋段钢筋笼采用9 节,每节长度以6m 为主, $\leq 6.5\text{m}$ 。分节长度(h)=有效净空高度(H)-吊索吊具长度(h_1)+顶部卸扣至笼顶长度(h_2)-安全间距(h_3),分节处钢筋接头按一级接头考虑只错开50cm,避免有效笼长减小,进而增加分节数量(见图3)。

钢筋笼制作时,主筋根据分节长度确定分节下

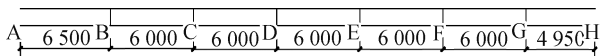


图3 钢筋笼分节
Fig. 3 Segmentation of steel cage

料长度,接头采用套筒长短丝连接,先单根连接成整体,按正常钢筋整体加工,分节连接处水平筋暂不安装。钢筋笼验收通过后,再将钢筋笼分节断开,套筒拧至长丝处,工字钢分节切割,对每节钢筋笼依次分节编号,然后再吊装。钢筋笼顶部进入冠梁部分可采用塑料管套保护,便于后期做冠梁凿除地下连续墙过程中保护钢筋头。

将钢筋笼纵、横桁架作为起吊桁架,吊点设在纵、横桁架交点处,同时设置加强措施筋加固(“7 字筋”),使钢筋笼起吊时有足够刚度防止钢筋笼产生不可复原变形,提升钢筋接头对接成功率。

2.3.2 分节吊装

采用带伸缩臂的履带式起重机将分节后钢筋笼吊至平板车上,通过平板车将分节钢筋笼运输至槽段附近,然后采用120t 折臂式起重机+25t 汽车式起重机或带伸缩臂履带式起重机将分节钢筋笼依次抬吊入槽,120t 折臂式起重机作为主起重机。折臂式起重机吊装时与槽段距离 $\geq 1\text{m}$ 。

钢筋笼分节连接过程中工字钢角部采用短钢筋进行定位焊接后再进行对接焊接,由于折臂式起重机无钢丝绳,在吊装扁担下方增设小滑轮便于调整钢筋笼姿态。

每节对接时,采用水平靠尺对钢筋笼2 个维度的垂直度进行检测,提升套筒连接成功率,同时防止接缝处错台。对于长短丝套筒连接不成功的主筋,去掉套筒后采用同类型短钢筋帮焊连接。

钢筋笼分节吊装连接时,声测管、注浆管及测斜管均需分节连接,声测管宜用钳压式接头。3 类管均可提前绑在钢筋笼中,在钢筋对接到位后再进行连接。

2.3.3 注意事项

1) 吊装过程中需加强对上空障碍物的保护。例如,对于吊装设备加装超声波防撞限位,可在设备距高架桥50cm 内时,驾驶室内发出声光报警,警告驾驶员及时刹车。同时,在高架桥或防护网底设置清晰限高标识,数字化限制高度,对桥墩采用硬质隔离及反光标识双重防护。

2) 玻璃纤维筋分节吊装时桁架筋应采用钢筋桁架对玻璃纤维筋桁架进行加强,后节下放到位与前节完成连接后,再将前节提起至洞门环区域钢筋桁架可完成拆除。

3) 尽量避免设置连接幅,连接幅吊装时重心较难把握到位,易导致钢筋笼倾斜,不利于分节连接。

4) 分节钢筋笼在加工、采用平板车转运及吊装过程中,应避免钢筋笼碰撞、受力不均等导致的变形,影响钢筋接头对接工效。

5) 钢筋笼分节连接的工效是关键,应保障足够的分节对接人员及对接工具,人员应相对稳定。

6) 可与设计院沟通,将水平筋布置于工字钢外侧,避免水平筋布置于工字钢内侧在分节处安装困难。

7) 在分节吊装过程中,由于时长 10~15h,可能会出现槽壁缩径导致卡笼等问题。当出现上述情况时,不可采用起重机强行外拔,避免接头处突然断开威胁上方高架桥梁或高压线安全。可先采用大型液压千斤顶装置对钢筋笼进行脱困,再采用折臂式起重机辅助吊出,然后采用铣槽机清底,确保钢筋笼清理到位。

2.4 混凝土浇筑

由于分节吊装时间长,钢筋笼下放成功后需再次确认沉渣厚度,安放导管进行二次清孔。

接头防绕流封堵优先采用 5~10cm 大小碎石,顶部设置下放定位卡板,碎石块回填时采用挖掘机分层回填,防止一期槽接头处混凝土绕流。

幅宽≥6m 时,混凝土浇筑优先采用三导管浇筑,钢筋笼加工时应设置 3 个导管仓。可在提高浇筑速度的同时,保障混凝土浇筑密实度。6m 幅宽三导管浇筑时,导管仓设置如图 4 所示。

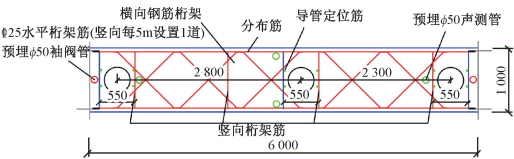


图 4 3 个导管仓设置

Fig. 4 Three catheter warehouses setting

3 结语

1) 通过合理的设备配置、有力的技术创新和管理措施,依托项目车站实现了 1 幅/d 平均工效,风井实现了 1 幅/2d 平均工效,钢筋笼分节吊装时间从最初的 16~18h,到后面的 8~10h,工效大幅度提升。

2) 保证槽壁稳定和加快分节吊装两大核心思路正确,对于保证地下连续墙施工质量和周边环境安全十分有效。

3) 低净空工况下,高频次吊装风险较高,采取

隔离网等物防措施、超声波防碰撞报警装置等技防措施、全过程信号工在岗等人防措施、设置警示标志等管理措施四位一体的措施必要且有效,应严格落实。

参考文献:

[1] 李树敬. 超低净空高压线下地连墙施工与安全控制技术研究 [J]. 铁道建筑技术, 2021(4): 131-134.
LI S J. Research on construction and safety control technology of diaphragm wall under ultra-low clearance high-tension line [J]. Railway construction technology, 2021(4): 131-134.

[2] 杨勇. 浅谈超低净空双轮铣在轨道交通特殊工况中的应用 [J]. 江西建材, 2017(15): 186, 189.
YANG Y. Discussion on the application of ultra-low clearance double-wheel milling in special working conditions of rail transit [J]. Jiangxi building materials, 2017(15): 186, 189.

[3] 李少利. 超深地下连续墙钢筋笼制作与吊装技术 [J]. 隧道建设, 2011, 31(6): 717-721, 754.
LI S L. Technology for manufacturing and hoisting of rebar cages for extremely-deep diaphragm walls [J]. Tunnel construction, 2011, 31(6): 717-721, 754.

[4] 卜俊文, 武建飞. 地连墙在低净空条件下综合施工技术探索 [J]. 江苏建筑, 2024(3): 96-99.
BU J W, WU J F. Exploration of comprehensive construction technology for diaphragm wall under low clearance conditions [J]. Jiangsu construction, 2024(3): 96-99.

[5] 罗会东, 周佳奇, 冯志军, 等. 地下连续墙刚性排插接头技术研究 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(16): 33-38.
LUO H D, ZHOU J Q, FENG Z J, et al. Research on rigid plug-in joint technology of underground continuous wall [J]. Construction technology, 2024, 53(16): 33-38.

[6] 张佶. 复杂地层超深地下连续墙设计与施工关键技术 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(13): 67-74.
ZHANG J. Key technologies for design and construction of ultra-deep diaphragm wall in complex strata [J]. Construction technology, 2024, 53(13): 67-74.

[7] 吕锦涛. 上层软土下层基岩地下连续墙成槽施工技术 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(1): 75-79, 86.
LÜ P T. Trenching construction technology of diaphragm wall in upper layer of soft soil and lower layer of bedrock [J]. Construction technology, 2024, 53(1): 75-79, 86.

[8] 张灵熙, 张雯超, 颜静, 等. 软土地区地铁车站深基坑变形伺服控制分析 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(17): 55-60.
ZHANG L X, ZHANG W C, YAN J, et al. Servo control analysis of deep foundation excavation deformation of subway station in soft soil [J]. Construction technology, 2023, 52(17): 55-60.

[9] 方能榕, 余国梁, 吴剑秋, 等. 基于控制变量法的地下连续墙钢筋笼焊接裂纹分析 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(12): 172-176, 185.
FANG N R, YU G L, WU J Q, et al. Analysis of welding cracks in reinforcement cage of diaphragm wall based on control variable method [J]. Construction technology, 2023, 52(12): 172-176, 185.