

低净空条件下地下连续墙施工技术研究

凌涛, 饶永强, 周飞, 杨维, 黄艳琳, 刘凯, 舒海英

(中铁五局集团第一工程有限责任公司, 长沙 410000)

摘要:地下连续墙作为城市地铁围护结构常用的支护方式, 施工工艺受周围环境影响较大。针对长沙地铁5号线华雅站, 高架桥下净空有限成槽、钢筋笼吊装入槽无法正常施工的情况, 提出了方锤配合冲击钻成槽、折臂吊分节吊装、钢板焊接连接等解决方案, 并对毗邻的高架桥提出了桥墩沉降监测、注浆加固的保护措施。现场施工验证了该施工工艺的合理性, 对同类工程施工有一定借鉴意义。

关键词:低净空; 地下连续墙; 高架桥; 成槽; 钢筋笼; 分段吊装

中图分类号:U443.16⁴ **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2017)02-0051-04

Research on Construction Technology of Underground Continuous Wall under Conditions of Low Headroom

LING Tao, RAO Yong-qiang, ZHOU Fei, YANG Wei, HUANG Yan-lin, LIU Kai, SHU Hai-ying
(China Railway No.5 Group, The First Engineering CO., LTD., Changsha 410000, China)

Abstract: As a supporting method the underground continuous wall is commonly used for urban subway structure, and the construction process is largely influenced by the surrounding environment. The forming slot by limited space under the viaduct and lifting the steel cage into the groove can not be normal construction at Huaya station of Changsha Metro Line 5. In this paper, with the side hammer impact drill into the groove, the section folding arm crane lifting steel plate welded connections solutions, and the concrete protection measures of settlement monitoring and grouting reinforcement for the viaduct are put forward. Site construction confirmed the rationality of the construction process, and the experience can provide reference in the similar case.

Keywords: low headroom; underground continuous wall; viaduct; forming slot; steel reinforcement cage; segment lifting

0 引言

随着我国城市地铁的快速发展, 地下连续墙已成为地铁车站施工中采用较为广泛的支护方式。采用常规的设备 and 工艺时, 地连墙施工对操作空间有较高的要求, 而地铁车站往往修建在建筑、人流密集处, 如何在人行天桥、高架桥等低净空建筑下安全、优质地施作施工地下连续墙, 是经常摆在地铁建设者面前的一道难题^[1-10]。基于长沙地铁5号线华雅站高架桥下地连墙施工实例, 结合对毗邻的建筑物的监测、保护, 提出了低净空条件下地下连续墙的成槽、钢筋笼吊装入槽的新工艺, 具有一定的工程实践意义。

1 工程概况

1.1 工程简介

长沙市轨道交通5号线1标华雅站, 位于万家丽路与长沙大道十字路口南侧, 沿万家丽路南北向敷设。车站大小里程端接盾构区间, 均为盾构始发, 南端设置轨排井。

车站为地下2层单柱双跨钢筋混凝土框架结构, 工程施工工法采用明挖顺作法。车站总长度为493.80 m, 标准段宽度为20.7 m。基坑深度约为17.5~20.3 m。车站主体基坑采用地下连续墙+内支撑的围护结构形式, 其中第1道支撑采用混凝土支撑, 第2、3道支撑采用钢支撑。车站基坑安全保护

等级为一级,基坑支护设计使用期限为 2 a^[6]。

车站地下连续墙共 182 幅,设计深度约为 20.5~23.3 m,大部分位于万家丽高架桥东侧,其中西北端 5 幅(CW81、CW82、CW83、BW5、BW4)位于万家丽高架桥往长沙大道东方向的匝道桥下方,净空(匝道桥板底至地面)为 7.6~10.8 m,高架桥与地下连续墙的平面关系如图 1 所示。

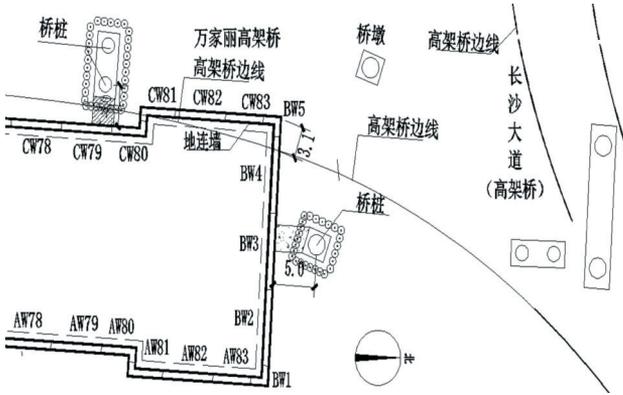


图 1 高架桥与地下连续墙位置关系图

1.2 工程地质和水文地质条件

车站北端地层岩性特征如下:沥青及混凝土路面(0~0.5 m)、素填土(0.5~3.7 m)、粉质黏土(3.7~7.7m)、冲积圆砾层(7.7~9.4 m)、强风化泥质粉砂岩(9.4~14.0 m)和中风化泥质粉砂岩(14.0 m 以下)。根据勘察结果可知:上层滞水稳定水位埋深 2.4~5.0 m;空隙承压水稳定水位埋深 5.0~10.2 m;场地内基岩为泥质粉砂岩,裂隙呈闭合状,裂隙水水量甚微,未形成稳定的水位^[1-8]。

2 重难点分析

(1) 华雅站西北方向 5 幅地连墙位于万家丽高架桥之下,高架桥底板距离地面高度 7.6~10.8 m,成槽、起重吊装等施工过程对高架桥的保护是施工难点之一。

(2) 万家丽高架桥钻孔桩桩长 18 m,位于地连墙墙底以下 0.2~0.5 m,平面位置距离地下连续墙为 3.8~5.0 m,因此必须及时监测、预防、处治地连墙施工过程中有可能发生的桥墩不均匀沉降、倾斜等问题。

3 低净空条件下地下连续墙施工方案

3.1 总体施工方案

华雅站设计有地连墙共 182 幅,其中西北端 5 幅位于万家丽高架桥下,采用低净空条件下地下连续墙施工方案;其余 177 幅净空不受限制,采用常规施工方案,施工方案主要异同如表 1 所示。

表 1 常规条件与低净空条件下施工方案的对比分析

作业工序	常规施工方案	低净空条件下施工方案
成槽施工	冲孔钻机(JK-8)引孔、沉槽机	冲孔钻机(JK-8)冲孔(SH400C)抓槽成槽、方锤修槽
钢筋笼制作	整体制作、机械连接	分段制作、钢板焊接连接
吊装环境	正常、无障碍物	高架桥下
钢筋吊装及入槽	150 t 履带吊(QUY150A)、50t 履带吊(QUY50B)联合起吊,150 t 履带吊运输、一次入槽	50 t 履带吊(QUY50B)分节起吊及运输,160 t 随车折臂(SQ3200ZB6)起吊入槽、钢板焊接连接
接头封堵	接头管+沙袋	沙袋

3.2 低净空条件下成槽施工

因桥下空间有限,无法用抓斗式成槽机成槽,而液压双轮铣槽机作为专用的地下连续墙施工设备,以其成槽施工效率高(较之抓斗法高 2~3 倍)、孔形规则(墙体垂直度可控制在 3‰ 以下)、安全环保、适应地层地质范围广等优点已在发达国家普遍采用,但受施工成本、设备数量限制未在国内全面推广,因此华雅站现场采用 JK-6 冲孔钻机成槽,方锤修槽。对于 BW5 等处在桥底下槽段,先采用 JK-6 冲孔钻机冲孔,平面上从一端冲击至另一端,同时采用空气吸泥法反循环清槽,待槽段成形后采用方锤修槽,确保相邻槽段工字钢接头清理干净。

为确保成槽垂直精度,华雅站采用武汉长盛生产的智能超声成孔检测仪 JL-IUDES(B) 检查槽位、槽深、槽宽、槽壁垂直度等,合格后继续进行清槽换浆工作,直到槽底 500 mm 左右高度以内的泥浆比重 ≤ 1.15,黏度 < 28 S,含砂率 < 8%,沉渣厚度 ≥ 100 mm。

3.3 低净空条件下钢筋笼吊装措施

3.3.1 钢筋笼分段长度计算

为确保低净空条件下钢筋笼顺利吊装,同时避免钢筋笼触碰到高架桥,需根据每幅地下连续墙净高对钢筋笼进行分段设置,保证每一段均能顺利吊装。以华雅站地下连续墙 BW5(笼长 20.62 m,槽段上方净高 7.6 m)为例,地连墙钢筋笼分段长度按以下方法计算,其中吊装安全距离考虑为 0.5 m,钢筋笼离地面高度考虑为 0.5 m,吊筋长约 1 m,同时考虑上一幅地面预留长度为 1.1 m(满足同一连接区接头连接率为 50%)。

第一段:可利用净空高=7.6-0.5-1-0.5=5.6 m;钢筋笼分段长=5.6-0.25=5.35 m;剩余笼长=20.62-5.35=15.37 m,如图2所示。

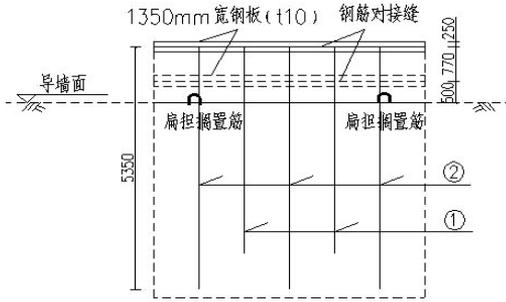


图2 分段吊装:第一段

第二、三、四段:可利用净空高=7.6-0.5-1-1.1=5 m;钢筋笼分段长=5-0.77-0.25=3.98 m;剩余笼长=15.37-3.98*3=3.43 m,如图3所示。

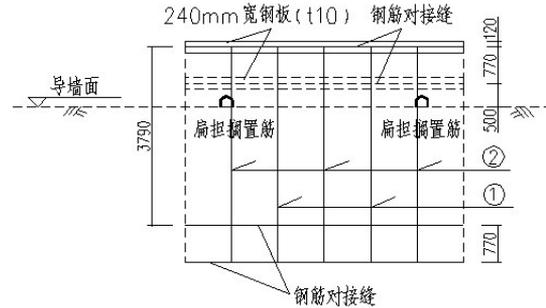


图3 分段吊装:第二、三、四段

第五段:可利用净空高=7.6-0.5-1-1.1=5 m,剩余笼长=3.43 m。

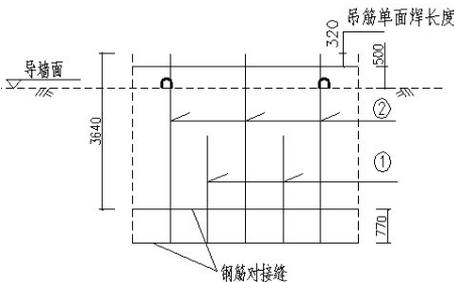


图4 分段吊装:第五段

3.3.2 钢筋笼制作

由上可知,可以将BW5钢筋笼分为5段在同一平台上依次拼装制作(等到起吊时再进行拆分),钢筋笼从笼底到笼顶长度依次为5.35、3.98、3.98、3.98、3.43 m。

分段钢筋笼制作时要注意以下几点事项:

- 1) 钢筋笼分段处预留2~3处钢筋采取机械连接的方式,待连接钢板嵌入后,用接驳器将预留钢筋连接,待吊装时与钢板焊接。
- 2) 为满足同一连接区钢筋焊接接头连接率≤

50%的要求,连接钢板处长短钢筋差值在35 d(d为钢筋直径)以上,且钢筋接头面预留2~5 cm间隙,以防止因起重设备等原因导致钢筋笼变形而使得段与段之间钢筋无法顺位焊接。

3.3.3 吊装设备选择

BW5钢筋笼最长分段长度为5.35 m,最重分段重量约5 t,因此可采用55 t履带吊从钢筋加工场地运送钢筋笼至槽段附近,再用随车折臂吊吊装及下放。

随车吊采用韶起160 t(SQ3200-ZB6)随车折臂吊,其性能曲线如图5,参数见表2。

表2 SQ3200-ZB6吊机性能参数

性能名称	参数
最大起升质量	80 000 kg / 4 m
最大起重力矩	3 200 kN·m
起重机自重	25 500 kg
安装空间	2.91 m
支腿跨距	2 490~7 985 mm
最大工作半径	15.44 m

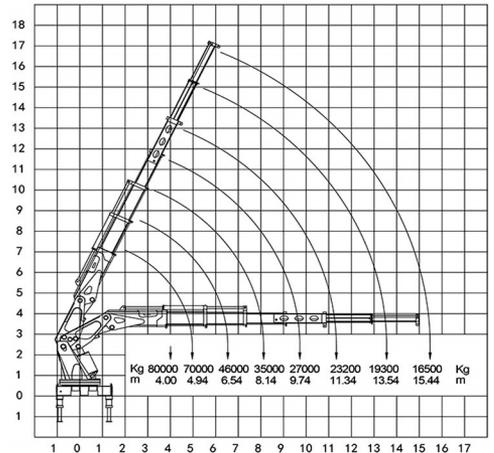


图5 随车吊SQ3200-ZB6起升性能曲线

根据图5性能曲线显示,随车吊SQ3200-ZB6吊机可以保证分段钢筋笼的吊装下放工作。

3.3.4 钢筋笼入槽

钢筋笼吊装入槽是BW5地连墙施工的关键性工序。从第1段至第5段钢筋笼逐段入槽,钢筋笼分段吊装应注意事项为:

- 1) 吊装过程项目部技术员、领工员、安全员及班组吊车指挥员必须设置警戒线并现场旁站指挥,确保钢筋笼吊装过程高架桥及现场工作人员的安全。
- 2) 钢筋笼分段吊运至槽段附近后,采用SQ3200ZB6随车起重机进行吊装。首先将第1段(5.35 m的笼底部分)吊入槽段,如图6-a所示,2段钢筋笼连接时先将工字形钢接头焊接,如图6-b

一公里”配送,既增强了用户体验,又缩短了订货周期。然而,由于跨境电商出口的商品数量往往是不容易确定的,如果跨境电商产品在海外仓存储过多,就会出现库存积压;而如果存储过少,又会出现缺货损失,因此如何选择合适的订货量存入海外仓,从而实现成本最小或收益最大,是当前跨境电商海外仓储急需解决的重要问题。

1 研究综述

目前已经有学者对跨境电商海外仓进行了相关研究,其中一些学者^[2-5]认为海外仓是跨境物流最主要的发展趋势之一,并指出海外仓模式能够扩大跨境电商产品运输品类、缩短配送时间、增强卖家附加值,提高跨境电商物流服务水平等;还有一些学者^[6-10]指出跨境电商海外仓模式存在着库存和供应链上的风险,认为可以通过海外仓的大数据分析,加以准确地预估海外消费者的需求,或采取云计算的仓储管理系统,或采取延迟策略制订库存计划等措施减少库存积压或缺货风险。虽然这些研究已经取得了一定的成果,但是尚存在一些不足,比如大部分研究都是从海外仓的发展前景、海外仓模式的优缺点比较,海外仓建设存在的问题等角度进行定性分析,较少涉及海外仓问题的存储模型分析。

近几年来,报童模型作为优化库存订购策略的重要理论工具,在存储论以及供应链的研究中应用广泛。苏欣^[11]等将一般费用、缺货预算费用、商品处理预算费用等约束因素纳入报童模型,分析了这些费用约束与最优订购量间的关系。周佳琪^[12]等建立了交叉销售产品的报童博弈模型,研究分析了交叉销售系数、需求相关系数以及缺货惩罚成本对订货量和期望收益的影响。谷水亮和鞠彦兵^[13]研究了在资金和风险两大约束条件下,费用最小的多产品报童模型,并进行了最优解的求解和验证。褚宏睿和冉伦^[14]结合前景理论,通过引入价格因素,构建了带有回购和缺货惩罚报童模型,分析了最优订货量与销售价格、损失厌恶程度的关系。马长伟等^[15]从订货日期和订货数量的确定对传统报童模型进行了扩展。Dana等^[16]将价格作为模型的内生变量,从消费者的购买决策角度建立了期望效用最大的报童模型,分析了价格与最优库存水平的关系。Cherikh等^[17]研究讨论了集中控制和分散控制对期望收益的影响,建立了一个基于多地点、单周期、单品种的报童模型。

以上学者均从传统报童模型出发,结合不同的约束因素、决策变量、决策目标定量分析了库存控

制的最优策略,他们的研究成果反映了许多现实问题,已经在诸多领域应用。然而,当前很少有人将报童模型应用到电子商务环境进行库存控制策略分析。虽然也有学者,如李雪敏等^[16]指出在电子商务时代,市场需求瞬息万变,如何采用报童模型对电子商务环境下的商品交易进行定量分析将有很大的研究价值,但具体如何应用,研究甚少。而结合跨境电商环境,研究海外仓的存储问题就更少了。

本文以我国出口跨境电商物流海外仓模式下面临的现实困境为研究背景,在考虑退货因素的情况了,构建纳入无缺陷退货因素的期望成本最小化的报童模型,并通过算例分析退货率和单位退货费用对最优订货量的影响,研究结果表明:海外仓商品的最优订货量随着退货率的下降而增加,随着单位退货处理费用的增加而减少;同时对跨境电商海外仓提出了相应的对策建议。

2 问题描述与建模

2.1 问题描述

现实中,海外仓模式下的出口跨境电商产品不仅面临最优订货量的确定问题,还面临着退货问题。据统计,出口跨境电商产品的一般退货率为3%~10%,而服装、鞋或玩具的退货率则高达20%^[18],退货率的存在必然会影响到海外仓储的最优库存决策。

同时,由于各国对跨境电商产品要求严格,且出口跨境电商存储在海外仓的货物会受到进口国的监管,相对而言,海外仓商品质量是有保障的,海外消费者退货的最主要原因是款式型号方面的不满意,产品无质量缺陷,所以可以认为海外仓退货均为无缺陷退货。另外,出口跨境电商为了扩大海外市场份,提高海外用户的购买倾向,在退货政策方面往往采取的是宽松的退货政策,比如在跨境电商平台亚马逊的退货政策中,就规定对于一般普通商品,如果买家不满意,买家享有30 d以内的无理由退货服务,且退货可以获得全额退款等。但是对于出口跨境电商而言,退货的商品必然会增加相关费用,如逆向物流成本、产品再包装、再入库成本以及退货检验成本等,这些退货处理费用的存在也会影响最优库存决策。

2.2 建模

假设出口跨境电商向上级供应商订购商品,一次订购量为 Q 以用于跨境电商网上销售,并且在销售期前全部经过头程运输存储到海外仓,售价为 P ,商品售出后,允许顾客无缺陷退货,退货后顾客得到全部退款,退货产生的单位退货处理成本为 Cr