

单层大跨度地铁车辆段钢管混凝土立柱施工工艺分析

辛 帝

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：课题组针对单层大跨度地铁车辆段钢管混凝土立柱施工中存在的吊装脱钩风险高、大直径钢柱定位精度低、高立柱混凝土浇筑骨料离析等技术难题，研发了一套适配的施工工法。本工法创新设计了快速脱钩吊装工装、钢板环式精准定位装置，优化采用长溜管理法浇筑工艺并配合激光测距仪控料，形成了包含柱脚锚栓安装、钢管现场安装、模板支护、混凝土浇筑的完整施工流程。研究团队结合深圳地铁12号线机场东车辆段等工程实例应用该工法，有效提升了钢管混凝土立柱施工的安全性、精准性和混凝土浇筑质量，该工法在各类钢管混凝土立柱施工中具有良好的推广应用价值。

【关键词】：地铁车辆段；大跨度；钢管混凝土立柱；施工工法；吊装技术；混凝土浇筑

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.080

引言

钢管混凝土是指施工人员将混凝土填入薄壁圆形钢管内形成的组合结构材料，其核心原理是利用圆形钢管对核心混凝土的套箍约束作用，使核心混凝土处于三向受压状态，大幅提升核心混凝土的抗压强度与压缩变形能力。该结构兼具强度高、重量轻、延性好、耐疲劳的力学优势，以及省工省料、架设轻便、施工快速的施工特性，是工程人员在高层建筑与大跨度桥梁中应用高强混凝土的高效经济结构形式。地铁车辆段工程中，单层大跨度结构的钢管混凝土立柱施工常面临大直径、高立柱的工况特点，施工人员采用传统施工方法作业时，易出现吊装脱钩作业风险高、钢柱定位精度难以把控、高强混凝土浇筑发生骨料离析等问题，且C60等高强混凝土易因变形协调能力差产生“脆柱”效应，严重影响工程质量与施工安全。为此，中国水利水电第十一工程局有限公司结合工程实践，研发了单层大跨度地铁车辆段钢管混凝土立柱施工工法，技术人员通过技术创新与工艺优化解决上述施工难题，为同类工程提供技术参考。

1 钢管混凝土立柱施工法特点

其一，在低风险钢管柱吊装技术方面，技术人员设计快速脱钩吊装工具，替代传统人工攀爬拆钩的作业方式，施工人员通过特制吊装工装完成起吊，利用脱钩装置实现地面人工拉拽脱钩，有效降低吊装作业的高空安全风险。

其二，在高精度钢立柱定位技术方面，研发团队研发了钢板环配合带调节螺母定位螺栓的精准定位装置，施工人员通过对钢板环的精细化调节，解决大直径钢立柱定位困难、精度不足的问题，保障钢立柱安装偏差符合设计要求。

其三，在高质量混凝土浇筑技术方面，针对高立柱天泵下料易骨料离析的问题，技术人员优化采用长溜管理法浇筑工艺，施工人员配合激光测距仪精准控制单次下料及振捣高度，从工艺层面提升钢管内混凝土浇筑质量，避免高强混凝土性能

劣化。

2 钢管混凝土立柱施工法工艺原理

本工法适用于施工单位开展各类建筑工程中钢管混凝土立柱的施工，尤其适配施工团队在单层大跨度地铁车辆段中大直径、高立柱的钢管混凝土施工工况，对存在高强混凝土浇筑、高空吊装作业的同类钢管混凝土结构施工具有同等应用价值。在施工中其工艺原理如下：

圆形钢管柱吊装技术：圆形钢管柱重量大，起吊时需要4个吊装孔同时起吊。且钢管柱高度高，表面光滑，直立之后施工操作人员再度攀爬至钢管柱顶拆除吊钩具有较高施工风险，为解决此问题，设计了一种可以快速脱钩的吊装工具，整体采用卡环、电磁铁、牵引绳及圆管制成，通过人力拉拽锁销实现脱钩动作，无需人工爬至钢立柱顶部脱钩，提升安全性。

钢立柱精准定位：立柱底部设置钢板环形定位装置，利用带调节螺母的定位螺栓对钢板环进行精调，确保钢立柱安装精度满足要求。

圆形钢管柱灌注技术：圆形钢管高度高，利用传统的混凝土下料措施进行灌注容易造成骨料离析。目前，市面上针对高度高大的钢管混凝土灌注方式为底部泵送，但该方法应用在车辆段钢管混凝土立柱中时容易浪费工时。因此，需要制定钢管混凝土立柱灌注措施，采用天泵进行浇筑，利用长溜管下至柱底，采用埋管法进行浇筑，提升浇筑质量。

3 施工工艺流程及操作要点

3.1 施工工艺流程

机场东车辆段钢管混凝土立柱施工工艺流程见图1所示。

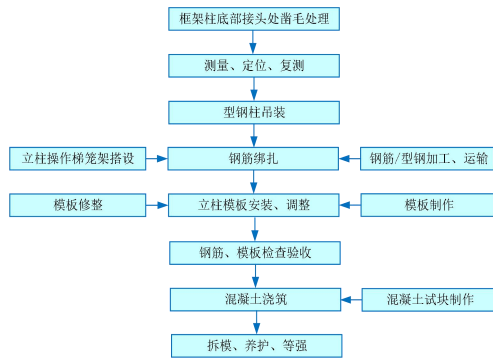


图1 钢管混凝土立柱施工工序图

3.2 施工操作要点

3.2.1 柱脚锚栓安装

型钢柱埋入承台 2.5m，承台分两次浇筑，在下部钢筋绑扎完成、混凝土第一次浇筑前预埋柱脚锚栓，通过钢板环进行固定。承台第一次钢筋绑扎，支立模板，随后在模板及钢筋上做标记，用墨斗弹出中心线，安装临时定位模板。安装锚栓，采用胶带包裹保护螺杆，外部套塑料套管进行二次保护，浇筑承台第一部分的混凝土。

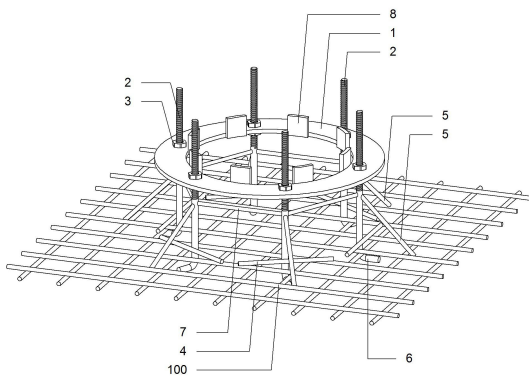


图2 预埋螺栓及钢板环

3.2.2 钢管现场安装

钢管安装的核心为吊装安全与定位精准，施工人员操作流程如下：首先在吊装前准备阶段，起重工采用快速脱钩吊装工装将吊绳与钢管柱吊耳可靠连接，安全员同步检查工装各部件连接牢固性；接着进入钢柱吊装环节，起重工采用四点吊工艺，在柱底板下方垫设方木，通过单台车扳起构件完成起吊，避免起吊过程中钢柱变形；然后进行就位与脱钩操作，施工人员将钢柱中线对准承台上的标记线，测量人员通过经纬仪及挂线坠校正垂直度，施工人员拧紧上部螺母固定，待测量人员复测精度无误后，起重工通过地面人力拉拽锁销实现脱钩，取下钢丝绳完成吊装；最后在整个安装顺序上，施工团队遵循“从中间向两侧、自北向南”的安装原则，项目部根据施工进度配置 1~2 台履带吊，施工人员在吊装工作面附近设置构件临时堆场，并随吊装推进逐步后移^[1]。

3.2.3 柱底灌浆与承台二次浇筑

钢立柱安装固定后，电焊工焊接柱脚钢压板，施工人员对柱底间隙进行灌浆作业，确保灌浆料填充密实、无空鼓、无缝隙；灌浆完成并经养护人员养护合格后，砼工进行承台上部混凝土浇筑，使其与下部承台形成整体，进而保障柱脚与承台的连接强度。

3.2.4 模板安装

模板安装需保证垂直度与整体稳定性，为混凝土浇筑提供可靠成型条件，模板工具体操作如下：模板经运输人员汽车运输至柱位附近，安装前测量人员复核轴线与柱位标高，确认无误后，起重工采用汽车吊/塔吊辅助人工立模；随后模板工将各模板节段通过螺栓连接形成整体，在外部设置拉杆对拉加固，同时在模板底部的立柱主筋底部设置钢筋头固定，防止支模时底部移位；模板工每安装一节模板，均采用垂线实时校正垂直度，待模板安装完成后，用缆绳固定钢模板，测量人员通过全站仪进行最终垂直度校正；最后模板安装完毕后，质检员全面检查位置、几何尺寸、接缝严密性、节点支撑稳定性，施工人员清理模板表面灰尘，经监理工程师验收签字后，方可进入混凝土浇筑工序。

3.2.5 立柱混凝土浇筑

混凝土浇筑为施工核心工序，本工程采用 C60 高强混凝土，技术人员优化后的长溜管管理法浇筑，砼工操作要点如下：施工人员采用混凝土天泵连接长溜管，将溜管下至钢管柱底，实现埋管法从底部向上泵送混凝土；测量人员利用激光测距仪精准控制单次下料高度，每次下料高度不超过 40cm，避免下料过高造成骨料离析；砼工将振捣棒随混凝土面上升逐步提升，单次下料后振捣时间控制在 12 秒左右，振捣至混凝土表面无气泡、泛浆为止，直至浇筑至柱顶；浇筑过程中施工人员实时监测溜管埋深，保证溜管始终埋入混凝土内 20cm，持续从底部推进浇筑，保障混凝土密实度。

4 施工质量控制措施

为保障钢管混凝土立柱施工质量，杜绝“脆柱”效应等质量问题，项目部建立全过程、多层级的质量控制体系，要求施工各岗位严格执行各项质量管控措施：首先在质量意识与交底管理方面，项目部加强进场施工人员的质量意识教育，开展质量奖罚交底，且施工前由项目部技术部向施工队伍进行全面、详细的技术交底，明确设计要求、施工要点及质量标准。其次在内部“三检制”执行方面，项目部建立施工班组自检、施工队复检、质量部终检的内部三检制度，施工人员完成三检并全部合格后，质检员报监理工程师验收，验收通过方可进入下一道工序，严禁工序跳步施工。同时，在现场质量管控方面，质检员全程驻守施工现场，主持工序交接验收，完善检测手续，协调各环节质量检查与上报工作，施工过程中若发现问题，施

工队伍需及时与现场技术人员沟通,严禁私自处理^[2]。此外,在原材料质量把控方面,材料员确保所有原材料、半成品、成品及设备配件做到“三证”(产品合格证、质量检验证、试验报告)齐全,进场后按规范进行抽检,不合格材料坚决清退出场。最后在专项工序保护方面,施工人员完成防水层施工后,质检员及时邀请监理验收,合格后方可进行后续施工,施工人员进入下道工序时,做好防水层保护,若有损坏立即修补,防水层未固化前,严禁人员在其上行走或堆放物品。

5 施工安全与环保措施

5.1 安全施工措施

项目部坚持“安全第一,预防为主”的安全生产方针,建立健全安全保证体系与管理制度,全方位保障施工现场的施工安全:在安全管理体系方面,项目部成立以项目经理为第一责任人的安全领导小组,由生产经理、质检工程师、专职安全员组成,施工队设专职安全员,各班组设兼职安全员,形成上下联动的安全管理网络,安全员建立安全教育、考核、检查、事故分析、奖惩等管理制度,做到工前布置、工中落实、工后讲评。在人员安全管理方面,安全员组织所有施工人员接受三级安全教育,按工种进行专项安全技术交底,特种作业人员必须持证上岗,施工人员按要求佩戴劳动防护用品,禁止酒后作业、现场吸烟^[3]。在施工过程安全方面,材料与机具运输安排专人负责并现场警戒,施工人员将场内材料堆放整齐,严禁在脚手架上堆放材料,施工前安全员完成临边、作业平台等防护设施的搭设与验收,注浆施工过程中,测量人员对地表进行实时监测,及时发现并处置沉降、变形等问题。在施工用电安全方面,电工严格执行《施工现场临时用电安全技术规范》,由临电负责人编制临时用电组织设计,临时用电线路的安装、维修、拆除由专业电工完成,非电工严禁从事电工作业,配电系统分级配电,电工为所有电气设备设置接地、漏电保护装置,电线采用“三相五线”接线方式,检修电气设备时执行停电挂牌制度。

5.2 环境保护措施

项目部严格遵守深圳市建设工程文明施工与环境保护相关规定,落实绿色施工要求,减少施工对周边环境的影响:在现场文明施工方面,作业人员佩戴胸卡、穿戴统一工作服,禁

止赤身作业,材料员将工程材料、制品构件分门别类堆放,技术人员合理布置各种管线,设备员落实机具设备定机定人保养制度,保持机容整洁、运行正常。在场地整洁管理方面,施工人员禁止在降水井孔口附近堆放杂物,及时将多余泥浆、建筑垃圾清运离场,现场安排专人及时排除场地积水,做到施工现场日做日清、工完场清,无泥浆漫流。在噪声污染控制方面,施工人员将钻机等强噪声设备避开深夜作业,夜间材料运输车辆进入现场禁止鸣笛,装卸人员轻拿轻放材料,安全员禁止施工人员夜间高声喧哗,减少人为噪声扰民。在扬尘与废弃物控制方面,现场安排专人对施工场地及道路适时洒水降尘,运输人员对土、石、砂、水泥等材料运输与堆放采取遮盖措施,保洁人员将生活垃圾与建筑垃圾分类集中收集,生活垃圾每班清扫、每日清运,建筑垃圾按规定及时外运处理。

6 效益分析

本工法在深圳地铁12号线机场东车辆段工程中由中国水利水电第十一工程局有限公司成功应用,项目团队针对咽喉区钢管混凝土立柱C60高强混凝土易产生“脆柱”效应的问题,通过定制化优化吊装、定位、浇筑工艺,有效提升了钢管混凝土立柱的施工质量,不仅实现工程一次性验收通过,还避免了因质量问题导致的二次施工,大幅减少了人工、材料、机械的返工成本。从经济成本角度来看,技术人员通过工艺优化提高施工效率、减少返工损耗、降低设备使用工时,施工单位从人工、材料、机械等多方面实现成本节约。同时本工法的创新技术降低了施工安全风险,减少了安全事故的潜在损失,项目部也进一步提升了施工进度管控效率,最终实现了经济效益、安全效益与工期效益的三重统一。

7 结语

综上所述,本工法针对单层大跨度地铁车辆段钢管混凝土立柱施工中的吊装安全、精准定位及混凝土浇筑质量控制等关键技术难题,通过研发快速脱钩吊装工装、钢板环式精准定位装置,并优化长溜管埋管法浇筑工艺,形成了系统的解决方案。工程实践表明,该工法显著提升了施工安全性与精度,保障了C60高强混凝土的浇筑质量,经济效益与社会效益显著,在同类型钢管混凝土结构施工中具有广阔的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 陈焯康.上部结构完成后的地下结构逆作法施工工法研究[D].广东工业大学,2014.
- [2] 张琦.地铁车站钢管混凝土立柱精准定位施工技术研究[J].新型工业化,2022,12(08):130-133+137.
- [3] 郭金.地下车站装配式钢管混凝土立柱结构施工技术研究[J].中国高新科技,2021,(05):107-108.