

地铁工程机电安装施工技术 with 质量控制研究

迟 鹏

上海城建市政工程（集团）有限公司，上海 200000

[摘要]地铁工程机电安装包含通风空调、给排水消防、动力照明、弱电系统等许多专业，系统繁杂，接口众多，空间狭小，精度要求高，施工质量直接影响地铁运营安全可靠。本论文以地铁工程机电安装施工技术及质量控制为研究对象，先对地铁机电系统组成及功能特点进行梳理，再从管线综合协调、设备安装精度、过程质量管理、施工安全调试四个方面分析目前施工存在的主要问题，最后从施工前准备、材料设备控制、过程监督验收、系统联调、全过程质量管理体系五个方面提出系统的质量控制措施。研究表明，地铁机电安装质量控制要实现事前预控、事中监督、事后验证三者有机结合，才能形成施工全过程闭环管理体系。

[关键词]地铁机电安装；管线综合；质量控制；综合联调；全过程管理

DOI: 10.33142/ect.v4i9.20472

中图分类号: TU714

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Mechanical and Electrical Installation in Metro Engineering

CHI Peng

Shanghai Urban Construction Municipal Engineering (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract: The mechanical and electrical installation of subway engineering includes many specialties such as ventilation and air conditioning, water supply and drainage fire protection, power lighting, weak current systems, etc. The system is complex, with numerous interfaces, small space, high precision requirements, and the quality of construction directly affects the safety and reliability of subway operation. This paper takes the construction technology and quality control of subway engineering electromechanical installation as the research object. Firstly, the composition and functional characteristics of the subway electromechanical system are sorted out. Then, the main problems in the current construction are analyzed from four aspects: pipeline comprehensive coordination, equipment installation accuracy, process quality management, and construction safety debugging. Finally, systematic quality control measures are proposed from five aspects: pre construction preparation, material and equipment control, process supervision and acceptance, system integration debugging, and whole process quality management system. The research results indicate that the quality control of subway electromechanical installation needs to achieve an organic combination of pre control, in-process supervision, and post verification in order to form a closed-loop management system for the entire construction process.

Keywords: subway electromechanical installation; pipeline integration; quality control; comprehensive joint debugging; whole process management

引言

地铁工程是城市轨道交通的重要组成部分，机电系统包含通风空调、给排水及消防、动力照明、通信信号、火灾自动报警、环境与设备监控等众多专业，安装施工存在系统繁杂、接口密集、空间狭小、工期紧迫等特点。目前我国城市轨道交通建设规模不断扩大，机电安装工程施工质量好坏直接影响到地铁建成后的运营安全和服务质量。同时机电安装常常同土建施工、装饰装修交叉进行，工序衔接

紧密，多专业配合要求高，任何一个环节的疏忽都会在后续的调试和运营过程中被放大。但是管线碰撞、设备安装精度不够、过程管理粗放等现象依然存在，影响工程整体质量。本文主要对地铁机电安装施工现状及存在问题进行分析，在此基础上提出可行的质量控制措施，从而给地铁机电安装工程精细化管理提供一定的参考。

1 地铁机电系统组成及功能特点

地铁机电系统是多专业高度集成的复杂系统，它的主

要组成有通风空调系统、给排水及消防系统、动力照明系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统、自动售检票系统、站台门系统、通信信号系统等。地铁机电设备主要有通风空调系统、给排水系统、动力照明系统、防灾报警系统、低压配电系统、自动扶梯及监视系统、环控自动化系统、防灾报警灭火系统等，其主要作用就是给车站提供通风、空调、给排水、照明、扶梯等基本功能。通风空调、动力照明、给排水消防系统是地铁的重要组成，它的功能是创造舒适的站内环境、供应电力和照明、提供水源、排除废弃物，因此被称为赋予地铁生命之系统的系统。动力照明系统通过降压变电所给车站和区间各个用电负荷供电，对整个车站和相邻两侧半个区间进行动力配电、照明配电以及通信、信号、防灾报警、综合监控、自动售检票等用电负荷的供电。火灾自动报警系统、环境与设备监控系统一起构成了地铁安全运行的两大核心保证系统，它们在火灾等紧急情况之下要达成跨系统联动反应。各个系统之间存在大量的接口来实现数据交换以及功能联动，暖通、电气、给排水等各系统的规划是由不同的专业独立完成的，而专业间缺乏信息交流会阻碍协调工作的开展，因此机电安装施工必须具备高度的系统性与协调性。

2 地铁工程机电安装施工现状及问题分析

2.1 管线综合协调难度较大

地铁车站机电安装工程包含通风空调、给排水及消防、低压配电及照明、弱电系统等多专业，四大专业管线综合排布属于施工深化设计阶段的重点难点部分，各个专业管线排布设计要兼顾设计规范和施工、维护要求。由于地铁车站受到建筑结构的影响，施工空间很小，各个专业的管线都需要在有限的吊顶空间和管廊空间里完成敷设，因此管线之间经常会发生碰撞冲突。由于地铁机电设备安装地下空间狭小、多专业管线交叉、施工精度要求高，所以容易出现管线布置冲突、施工效率低、安全隐患大等现象。工程实践当中，前期站内管线综合排布困难，管道密集、空间狭小、管线交叉碰撞等现象比较明显。多专业同时进场施工时，先施工专业的管线占位会导致后施工专业不得不改变路由，从而造成返工、工期延误。各个专业之间界面不清、提资滞后、协调机制不畅，造成管线综合协调成

了影响机电安装施工效率的主要瓶颈。常见的管线冲突类型和协调方法可以分为表 1 所示。

2.2 设备安装精度控制不足

地铁机电设备种类繁多，各种设备对于安装精度的要求存在较大差别，精度控制不到位属于施工中经常出现的问题。设备安装阶段设备基础平整度误差控制在 2mm 以内，机柜垂直度误差不超过 1.5mm，防止由于机械应力造成的运行异常。但是现场施工中由于测量基准不统一、复核流程缺失等原因，设备安装偏差超限的现象时有发生。机电班组在支吊架安装时，放样支吊架排距、设备中心线及检修口位置时，应使用相同水准仪和钢尺复核标高，关键部位两次独立测设并闭合校验，防止累计误差影响净空，同一层标高复核差值 $\leq \pm 3\text{mm}$ 。但是实际作业中不同班组使用不同的测量工具、交接复核不严格，会造成累计偏差超过允许值。消防泵房等设备集中的地方^[1]，泵、阀、电控和通风排水多个专业同时进场，质量上的问题大多出现在设备找正、法兰密封、支吊架受力以及电缆端接这些细节之处，而这些细节往往是精度控制最容易被忽略的环节。精度控制不够会直接导致设备运行时振动大、密封不好、接口连接不严密等现象，在运营阶段逐渐显现出来并影响到系统的可靠性。

2.3 施工过程质量管理不够完善

施工过程质量管理工作不到位，从各个环节上体现出来。技术交底环节部分项目交底内容流于形式，不能把关键工序的工艺要求、质量标准准确地传达到作业层。材料验收中进场材料的检验制度落实不到位，规格型号核对、质量证明文件审核、第三方抽检等环节之间缺少协调。工序验收环节中隐蔽工程验收记录不全、质量通病整改不到位等现象比较常见。就管理体系而言，质量管理大多重视事后检查而轻视事前预控与事中监督，在部分项目里，施工质量控制卡片制度以及“一工序一验收、一部位一闭环”的管理模式并未得到落实。同时各个专业的分包单位之间质量责任的划分不清楚，接口部位的施工质量也成了管理的盲区。施工过程质量管理的欠缺，造成很多本可以在施工阶段就发现并加以纠正的质量隐患被带到运营期，加大了后期整改的难度和成本。

表 1 地铁车站主要管线冲突类型与协调措施

管线专业	常见冲突部位	冲突表现	主要原因	协调措施
通风空调	走廊吊顶、设备房	风管与桥架标高冲突	标高规划不足、大系统风管截面大	BIM 综合排布，风管优先布设
给排水消防	站厅站台公共区	水管与电桥架交叉	专业间提资滞后	调整路由，水管避让电桥架
动力照明	配电室、区间管廊	桥架与结构梁冲突	净空预留不足	优化支架形式与标高
弱电系统	设备区通道	线槽与风管争空间	界面划分不清	明确专业优先顺序

2.4 施工安全与调试管理存在不足

地铁机电安装施工处在地下封闭空间,交叉作业繁杂,施工安全管理工作承受着较大的压力。设备吊装、高处作业、临时用电等环节安全防护措施不到位。调试管理环节的矛盾更突出。综合联调是检验各个系统之间接口及联动功能的有效方式,也是城市轨道交通试运行的必备前提。但是由于各个专业的施工进度不同,联调工作常常因为某一个系统还没有达到调试条件而被推迟,从而造成调试周期的缩短^[2]。部分项目对于联调的前置条件检查不到位,单机试运转和系统联调之间衔接不紧密,联动测试中出现的问题缺少系统的记录以及闭环跟踪。调试管理不规范造成一些系统之间接口功能缺陷不能在试运行阶段被充分暴露出来,埋下了运营安全隐患。

3 地铁工程机电安装施工质量控制措施

3.1 加强施工前准备与技术交底管理

施工前做好充分的准备工作是质量控制的第一道防线。技术准备时应组织各专业技术人员对施工图纸进行联合会审,主要检查管线综合排布方案的空间是否可行,预留孔洞的位置是否准确,设备运输通道是否畅通。利用 BIM 技术进行碰撞检测、净空分析,以建立统一的模型标准为基础,将各个专业的模型整合在一起,利用碰撞检测来解决管线冲突问题。技术交底要摒弃单一的口头交底方式,转而采取可视化交底的形式,把 BIM 模型以及施工工艺动画当作交底工具,让作业人员可以清楚地知晓安装的位置、工艺的要求以及质量的标准。交底内容要包含关键工序操作要点、质量验收标准、常见质量通病预防措施等内容,形成书面记录并签认。对消防泵房、冷水机房等设备集中、工艺复杂的重点区域进行专项交底、样板引路,在正式施工前完成首件验收,用实物样板来确定质量标准。

3.2 强化材料设备质量控制

材料设备质量好,机电系统才能正常工作。在采购环节要明确设备材料的技术规格和质量标准,严格执行设计联络、样机验收、出厂验收、现场验收四个控制关口,常态化委托第三方机构进行专项检测,对电缆等关键主材创新采用极限抽检复检方式,从源头上筑牢质量防线。进场验收环节要建立设备材料进场台账,对进场物资的规格型号、外观质量、几何尺寸及资料文件逐项检查^[3]。重点检查镀锌钢管表面有无明显色差、起皮或者锈蚀,用游标卡尺检测壁厚;对电线电缆的绝缘性能、复合风管的防火参数、综合支吊架的荷载强度等重要指标进行抽检抽测,对

检验不合格的材料设备必须实行退场制度,严禁不合格品进入施工现场。

3.3 完善施工过程监督与验收管理

施工过程中质量控制的关键部分就是监督和验收。严格按照施工质量控制卡片制度执行,实行“一工序一验收、一部位一闭环”的管理方式,常态化开展安全质量巡检和隐患整改清零工作。在关键工序施工时要安排专业工程师进行旁站监督,对设备基础浇筑、大型设备吊装就位、管道压力试验等不可逆工序实行全过程控制。隐蔽工程封闭前必须进行验收并留有影像资料,验收不合格的部位不得进入下一道工序。在验收管理上要按照地下铁道工程施工质量验收标准 GB/T 50299 的要求,对设备规格型号、安装高度、安全距离、允许偏差值等进行检查验收。采用二维码等技术手段对施工质量全过程进行溯源,把每一道工序的施工人员、验收人员、验收时间、验收结论都记录下来,形成可以追溯的质量档案。

3.4 加强机电系统联调与运行测试

机电系统联调就是把各个独立的系统整合成一个有机的整体。综合联调以各专业设计文件、点表、技术规格书等为依据,牵头单位应对综合联调前置条件进行检查和评价。联调内容要包含供电系统、通信系统、信号系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统、综合监控系统、站台门、通风与空调、给水与排水等各个专业系统之间的接口联动功能。调试流程上要按照单机试运转、单系统调试、系统间接口联调、全系统综合联调的顺序进行,保证每一项调试结果都是下一项调试的输入条件。行车相关类设备系统联调以信号、车辆专业调试为主,车站相关类设备系统联调以综合监控(含 BAS)、火灾自动报警和气体灭火系统为主进行调试。对调试过程中出现的接口不匹配、联动逻辑错误等接口调试问题,要创建问题清单并实行闭环跟踪,保证每一个接口调试问题在联调结束之前得到解决。

3.5 建立全过程质量管理体系

全过程质量管理体系的创建要从制度、人员、技术这三个方面一起推进。从制度上明确项目的质量目标及执行标准,对施工准备、安装实施、调试验收等各个阶段的质量控制措施做出规定,保证每一个施工阶段都有相应的质量检查和验收程序。从人员上来说,要确定各个专业工程师的质量管理职责,实行质量与进度管理“双线并行”的方针,依靠专业工程师每周开展一次现场质量检查来实现施工质量的全过程控制^[4]。从技术角度来说,应该依靠 BIM 技术创建起从设计模型到竣工模型的数字化质量管

理平台,把施工过程中质量验收记录、检测报告以及整改闭环状况输入系统,从而塑造起完备的质量工程数据库。质量数据库的价值不单是记录和追溯,更重要的是通过对质量数据的统计分析来发现质量通病的高发环节,给后续项目的质量管理提供经验反馈,实现质量管理由被动纠偏向主动预防的转变。

4 结语

地铁工程机电安装施工质量控制是施工全过程中一项包含所有专业的工作,是贯穿施工全过程的一项工作。管线综合协调困难、设备安装精度不高、过程管理不到位、调试管理不规范等问题,是目前机电安装施工中事前预控不足、事中监督不严、事后验证不充分的共性短板。施工前充分准备、技术交底为质量控制打下认知基础,材料设备控制从源头切断质量隐患,过程监督、验收管理保证每一道工序质量可控,系统联调验证各专业之间功能协同,全过程质量管理体系把以上各个环节有机地结合起来。五个层次的措施之间存在着由预防到控制再到验证的关系,

有效的执行要依靠管理制度的严格实施、人员责任的明确划分和技术手段的支持。未来地铁机电安装质量管理工作要充分发挥数字化技术数据采集、过程追溯、经验积累等各方面的作用,促使质量控制由以前依靠人工经验的传统模式转变为数据驱动的精细化管理模式。

[参考文献]

- [1]魏泽旭.机电安装工程的施工技术及质量控制[J].中国科技纵横,2025(21):122-124.
- [2]郑晓珠.机电工程安装施工的质量控制与检测技术研究[J].仪器仪表用户,2024,31(10):50-52.
- [3]许亮.机电安装工程的施工技术与质量控制策略[J].城市建设理论研究(电子版),2023(5):50-52.
- [4]司专.机电安装工程施工技术及质量控制要点探究[J].四川水泥,2021(7):97-98.

作者简介:迟鹏(1990—),男,辽宁大连人,工程师,沈阳工业大学土木工程专业毕业,现就职于上海城建市政工程(集团)有限公司,从事地铁施工工作。