

高速公路机电工程施工技术及质量管理分析

王 涛

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650000

【摘要】：新时期高速公路路网规模持续扩大、智能化水平稳步提升，机电工程作为保障高速公路安全、高效、智能化运营核心支持系统，施工质量直接关系整条公路运营效能和服务水平，在本文中，将结合当前高速公路机电工程建设实践展开系统分析，从技术和质量管理两个维度分别阐述，技术层面集中在供配电系统、监控系统等通用技术，和隧道机电专项安装技术等方面的创新工艺；管理层面则集中在质量管理体系、全过程控制实施等方面，借助二者的融合，有效提高机电工程施工质量和效率，降低成本，期望为高速公路机电工程高质量建设提供参考，并借此促进行业技术发展。

【关键词】：高速公路；机电工程；施工技术；质量管理

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.030

在现代交通基础设施建设中，高速公路机电系统是否完善和是否通畅运行对道路通行能力、安全水平有重要影响，机电工程包含若干子系统，技术集成度高、专业交叉性强，随着我国高速公路建设从规模扩张向质量提升转型，特别是“交通强国”战略的深入推进，对机电工程的可靠性、智能化、绿色化提出了更高要求。

1 高速公路机电工程施工的困境

就当前现实情况来看，高速公路机电工程施工有较大挑战需要面对，一是环境适应，以新疆地区“百里风区”为例，此类地区通常风沙大、气候不稳定，这些地理气候条件会对公路机电设备稳定性和施工过程安全管理产生巨大挑战；二是施工效率，传统的隧道电缆沟支架钻孔等操作劳动强度较大，且精度也比较不稳定，稍有不慎就可能影响到工程整体进度和效率；三是协同管理，多个施工面交叉作业、多个单位协同施工的情况下，沟通不畅、标准不统一会造成大量问题；四是质量管控，一些高速公路机电工程中项目把关不严，导致材料问题、工艺执行问题、验收标准等方面问题频发，不利于机电工程投入后期使用，轻则增加成本，重则埋下隐患，影响服务寿命，甚至造成安全事故。

2 高速公路机电工程施工技术分析

高速公路机电工程想要顺利实施，必须要科学且先进的技术作为支撑，面对多样化的施工环境和不断升级的功能需求，施工技术创新与合理应用十分必要，在本节当中，将从基础和通用技术、隧道机电专项技术以及创新施工工艺角度阐述。

2.1 基础与通用机电施工技术

高速公路机电系统的基础与通用技术是工程基

础，基础质量直接影响到专业系统正常运行与否。一是供配电系统，供配电系统作为机电系统的“心脏”，其施工需特别注重可靠性与安全性，环境恶劣地区，如新疆哈密至吐峪沟段这样的风区项目，需采取相对特殊的措施，如选用高强度铠装电缆以增强机械防护能力；设置防震卡箍以缓冲风力引起的震动；在关键节点加装浪涌保护器以防雷击和电涌破坏。在设备安装层面上，针对风力频繁达到8级以上的区域，对立杆、挂箱等高处作业设备，不仅要采用激光校准确保安装精度，还需采用深基础预埋、加装防风拉索等措施增强其稳定性。二是通信系统，其作为信息传输网络的基本构成，施工质量对数据传输实时性和可靠性有影响，敷设光缆需严格控制弯曲半径，避免过度弯折导致信号衰减；接线工艺需精确规范，每个接续点的损耗值必须符合设计要求，特别是处在沙漠、戈壁等特殊区域的高速公路工程中，还需要额外考虑沙尘侵入对于设备性能产生的影响，应用全封闭包装运输、现场设置临时防风棚，起到保护作用。三是监控系统，监控对于高速公路起到监管作用，设备安装位置、角度和牢固度均有严格要求，摄像机、情报板、车辆检测器等外场设备的安装，不仅需要精确的定位，还要考虑后期的可维护性。当前，模块化设计理念在监控系统施工中得到广泛应用，通过标准化接口和单元设计，使设备故障时能够快速定位并更换相应模块，大幅缩短了维修时间，提高了系统可用性，如果是气候条件比较多变的地区，施工团队需密切与气象部门联动，实时监控风速变化，选择风力较小的“施工窗口期”进行高空安装作业，这种基于气象预测的精细化施工安排，显著提升作业安全性与安装质量。

2.2 隧道机电专项安装技术

隧道作为高速公路的特殊构造，往往呈现封闭、

狭长的特征，这让机电系统安装的挑战更加特殊，一般来说，隧道内的机电系统涵盖照明系统、通风系统、消防系统和监控系统等，各系统之间既相对独立又紧密关联，施工中需要统筹协调。一是照明系统，灯具的安装间距、高度和角度需严格按照照明设计规范执行，确保隧道内亮度均匀分布，无明显的明暗交替，避免“斑马效应”影响驾驶员视觉舒适度，施工中还需特别注意灯具的防水防尘等级选择，尤其是隧道入口段，由于内外温差易产生结露现象，需选用具有良好密封性能的灯具。二是通风系统，作为保障隧道空气质量与火灾排烟的关键，通风系统安装精度要求较高，风机的定位、安装角度偏差需控制在毫米级范围内，否则会影响气流组织效率，增加能耗；风管连接需严密，防止漏风导致风压损失。最近几年变频风机有广泛应用，针对其进行施工的过程中需要考虑电磁兼容性的问题，避免与隧道内其他弱电系统相互干扰。三是消防系统，火灾探测器、手动报警按钮、灭火装置等设备的安装位置需充分考虑隧道火灾烟气流特性，避开通风死角；消防管道的敷设需牢固可靠，防止因车辆震动引起接头松动；火灾报警系统与通风、照明系统的联动调试是施工的关键环节，需要确保火灾发生时，各系统能够按照预定方案协调动作，为人员疏散和消防救援创造有利条件。四是电缆敷设，传统施工方式存在劳动强度大、效率低下、钻孔精度难以保证等问题，可以考虑现有工程的经验，如张官高速公路隧道工程采用的滑轨式打孔机工艺，通过滑轮、角钢、电机等简单组件的创新组合，实现了电缆沟线槽支架钻孔作业的“二降三升”，劳动强度与施工成本降低，施工效率、工艺质量和安全系数全面提升，此创新不仅使单台设备日钻孔数量从传统的150组提高到600组以上，还将孔位水平度、垂直度及孔深误差严格控制在毫米级范围内，为后续支架安装与电缆规范敷设夯实基础。

2.3 创新施工工艺和装备应用

随着科技进步与行业发展的需要，高速公路机电工程施工领域出现各种创新工艺和装备，施工也需要随之走向高效、精准、绿色的方向。一是预制装配化技术，就是将传统现场“量身定制”的安装方式转变为工厂化预制、现场装配的新模式，如收费站的收费亭、配电房等模块可以在工厂内完成大部分组装与调试，运至现场后只需进行简单连接即可投入使用，这种施工方式不仅大幅缩短了现场作业时间，降低了天气等不确定因素的影响，还通过工厂化生产保证了产品质量的一致性，预制装配化技术特别适用于改扩建

工程或工期紧张的项目，能够显著提高施工效率，减少现场污染和资源浪费。二是模块化施工，通过将复杂系统分解为多个功能模块，各模块可并行施工、独立测试，最后进行系统集成，这种方法既简化了施工过程，又便于后期维护与升级，如在监控系统施工中，摄像机、云台、防护罩、解码器等可形成标准化模块，现场安装时只需进行模块间的电气连接与固定，大大简化了工序。三是智能化施工装备，除了滑轨式打孔机，激光测距仪、智能校准装置、自动化焊接设备等也在机电施工中得到应用，这些装备不仅提高了施工精度和效率，还降低了人为因素导致的质量波动，使施工质量更加可控可预测。需要注意的是，技术创新并非孤立存在，需要和科学管理方法相互融合，如张官高速公路项目中，滑轨式打孔机之所以能取得显著成效，离不开项目团队“以问题为导向”的创新思路和“多次试验论证”的科学态度，此类基于实际需求，经过验证的创新才能够真正起到解决施工痛点的作用，为行业提供可供复制和推广的经验。

3 高速公路机电工程施工技术质量管理

3.1 构建质量管理体系和组织

科学完善的质量管理体系应当涵盖质量方针、目标设定、职责划分、资源配置、过程控制和持续改进等，并构建一个闭环。一是组织架构，从雅西高速公路机电专项工程的经验来看，健全的组织机构是保障工程质量的关键，建设单位应明确项目负责人为质量第一责任人，并设置专门的质量管理部门；施工单位需配备足够数量且具备相应资质的质量管理人员；监理单位应派遣经验丰富的专业监理工程师常驻现场，各方职责界面必须清晰，避免出现管理真空或责任推诿。二是质量文化建设，通过定期召开质量专题会议、开展质量月活动、组织技能比武等方式，可以强化全员质量意识，例如新疆哈吐项目实践中，项目部通过建立定期巡检机制，及时发现并纠正质量问题，形成了“人人重视质量、人人创造质量、人人享受质量”的良好氛围。三是责任制度，从项目管理层到一线操作人员，都应承担相应的质量责任，建设单位应对设计、施工、监理等参建单位实施严格的合同管理，明确质量要求和违约责任；施工单位需建立健全内部质量责任制，将质量责任层层分解到每个班组、每个岗位；监理单位应切实履行监督职责，对关键工序和隐蔽工程实施旁站监理。

3.2 全过程质量控制实施

高速公路机电工程施工质量控制应当贯穿于工程

建设的全过程，从前期准备到竣工验收，每个阶段都有其关键控制点。全过程质量控制的核心在于预防为主、检验为辅，通过事前预控和事中控制，最大限度地减少质量问题的发生，具体可见下表 1：

表 1 高速公路机电工程质量控制的关键节点与要求

施工阶段	控制项目	具体要求	责任单位
准备阶段	图纸审查	系统检查各专业图纸的完整性、一致性，重点关注系统接口和交叉部分	建设单位、设计单位、施工单位
	材料设备进场检验	检查产品合格证、检测报告，对关键设备进行抽检或第三方检测	施工单位、监理单位
	施工组织设计审批	审查施工方案的技术可行性、安全性和质量控制措施	监理单位、建设单位
施工实施	工序质量控制	严格执行工艺标准，对关键工序实施旁站监理，执行“三检制”	施工单位、监理单位
	隐蔽工程验收	对埋地管线、设备基础等隐蔽工程在覆盖前进行全面检查验收	监理单位、建设单位
	安装精度控制	使用专业工具测量设备安装位置、角度、标高等参数，确保符合设计要求	施工单位
竣工验收	系统调试	各子系统单独调试完成后，进行系统联调和整体功能测试	施工单位、监理单位、建设单位
	资料归档	确保竣工资料的完整性、真实性和规范性，包括技术文件、测试记录、变更文件等	施工单位、监理单位

3.3 标准化与信息化管理创新

标准化与信息化是现代工程项目管理趋势，通过标准化实现管理规范化，通过信息化实现过程可视化能够推进质量管理向高水平方向发展。一是施工标准化，参考山东省交通运输厅发布的《高速公路机电工程施工标准化指南》，细化总则、施工管理、软件要求、各分部系统，施工善后，维保期管理，安全生产、文明施工及环境保护等内容，形成完善机电工程施工标准体系，不仅能够明确工序操作流程和质量要求，还能够统一施工过程中的记录表格和验收标准，使质量管理有据可依。二是信息化管理平台，通过引入工程项目管理软件，可以实现对施工进度、质量、安全等信息的实时采集与动态监控；通过二维码或 RFID 技术，可以对设备材料进行全程追溯，确保使用产品的可追溯性；通过移动终端应用，监理人员可以实时上传现场检查记录和照片，提高问题反馈与处理的时效性。三是质量信息闭环管理，通过建立质量问题“发现-记录-分析-整改-验证-预防”的完整闭环，实现质量问题的系统化管理，如当现场检查发现某个配电柜安装存在倾斜时，检查人员通过移动终端拍照记录并上传至管理平台；平台自动生成整改通知单并推送给施工单位和监理单位；施工单位整改完成后上传整改照片；监理人员现场验证合格后关闭该问题；平台自动统计此类问题的发生频率，为后续提供参考。

4 结语

总体而言，高速公路机电工程施工质量直接关系到道路的运营安全、通行效率和服务水平，在本文中，从施工技术和质量管理角度展开了分析，技术层面夯实机电系统运行基础，管理层面让工程质量得到制度保障，虽然就目前情况来看尚且存在局限，但是从整体上来看，只要能够通过持续技术创新、管理制度优化，就能够让高速公路机电工程稳定发展，呼应“交通强国”的政策要求。

参考文献：

- [1] 韩秭婧.基于 BIM 的高速公路机电工程质量管理安全系统设计[J].大众科技,2024,26(2):15-18.
- [2] 徐连巍.公路项目机电工程优化和质量管理策略的探讨[J].安家,2025(9):0043-0045.
- [3] 储承兴.高速公路机电工程质量管理分析[J].工程施工与管理,2025(6).
- [4] 沈楚杰.高速公路机电工程电气设备安装质量管理[J].运输经理世界,2025(26).
- [5] 解开磊.高速公路交通机电工程施工质量控制措施研究[J].新潮电子,2025(8):106-108.
- [6] 罗艳环.高速公路机电工程质量控制关键问题研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(21):7-9.