

# 高速公路机电系统设备安装施工工艺研究

张沛卿 潘徐艳

浙江省机电设计研究院有限公司 浙江 杭州 310000

**【摘要】**：高速公路机电系统设备安装覆盖监控、通信、收费、供配电和隧道机电等多个对象，施工点位分散、接口链条长、交叉作业频繁，任何前置复核不到位的问题都可能在调试和运营阶段演化为系统性故障。文章围绕高速公路机电系统设备安装施工工艺，分析多子系统并行实施条件下的接口耦合、基础定位、线缆通道、设备固定、接线联调和资料移交等关键环节，提出以前期复核、工序闭合、分系统调试和缺陷整改复盘为核心的施工控制路径，为提高设备安装一致性、调试效率和交付稳定性提供参考。文中同时强调接口前移核验与全过程闭环控制。

**【关键词】**：高速公路；机电系统；设备安装；施工工艺；联调验收

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.087

## 引言

高速公路机电系统安装不是若干单机设备的简单拼装，而是由前端感知、传输链路、供配电回路、收费终端和隧道联动设施共同构成的连续技术体系。设备就位若只满足可安装，不同步控制点位精度、接地连续性、线缆路由和调试条件，后续运营中就容易出现信号失配、供电波动、误报码混乱和维护困难。施工工艺研究的重点因此不在单个设备的固定方式，而在各类设备、支架、线缆与土建条件能否按照统一技术逻辑组织实施的问题。只有把安装动作放到系统协同关系中理解，施工工艺优化才具有实际交付价值。

## 1 高速公路机电系统设备安装施工的工程特征

### 1.1 多子系统并行安装带来的接口耦合

高速公路机电系统安装最突出的特征，是监控、通信、收费、供配电和隧道机电等子系统常常并行推进，却又在接口层面高度耦合。摄像机立柱位置会影响光缆路由和取电方式，收费岛设备安装又会牵动接地、弱电端口和防雷连接，任何一项工序脱离整体组织，都会把局部偏差放大为系统冲突。相关研究指出，机电系统安装阶段暴露出来的主要问题，往往不是单机损坏，而是接口不匹配、预留条件不一致和安装顺序冲突<sup>[1]</sup>。施工组织因此不能按专业分散推进，而应围绕接口关系先行明确设备边界、进出线方向、检修空间和供电逻辑，再安排现场作业节奏，避免后续反复拆改压缩调试窗口。对接口关系提前分解，能够明显降低后续多专业返工和调试冲突。并同步留存复核依据与处理结果。

### 1.2 线缆通道与设备基础的空间约束

机电设备安装并不是单纯落位，设备基础、桥架路由、管箱转接和线缆弯曲半径都受到现场净空的严格约束。收费广场、边坡机柜区、外场立柱和隧道洞室施工面有限，如果基础尺寸、预埋件位置和桥架高程在前期没有校准，设备即便勉强安装完成，也会在后续布线和检修阶段留下长期隐患。已有研究表明，设备基础与线缆通道若缺乏同步优化，常见后果就是

桥架回转不足、柜门开启受限、光电分离距离不够以及排水方向错误<sup>[2]</sup>。施工前应把基础标高、锚固孔位、走线净空、检修面宽度和排水坡向作为整体复核对象，使安装条件和运行维护条件在同一轮核验中闭合，避免出现“基础已成型、线路无路走”的被动局面。这类空间条件一旦前期失真，后期通常只能以返工方式修正。并同步留存复核依据与处理结果。

### 1.3 交通组织与既有路段作业风险叠加

高速公路机电系统大量作业点位分布在既有通车路段、收费车道、服务区出入口和隧道运营区间，施工过程中必须同时面对交通导改、夜间窗口、临时供电切换和交叉作业防护等多重风险。作业窗口一旦被压缩，现场就容易出现抢工、借道施工和临时改线现象，进而影响安装精度和工序完整性。有关施工管理研究认为，质量波动与作业窗口安排不合理、现场隔离不足和多专业协调失衡直接相关<sup>[3]</sup>。机电安装工艺必须把交通组织、材料进场、临时停电计划、吊装顺序和安全防护纳入同一施工计划，特别是对收费区和隧道区段，要预先锁定封控范围、应急通道和复位条件，使设备安装、线路切换和运营恢复之间保持可追溯的时间链条。施工窗口越紧，越需要把工序边界和复位条件事先说清。并同步留存复核依据与处理结果。

## 2 设备安装施工前的准备与接口控制

### 2.1 图纸会审与点位坐标复核

施工准备的首要任务，是把图纸中的点位、设备型号、接口数量和走线路径转化为可落地的现场坐标。监控立柱、情报板、收费终端和通信机柜分布距离长、点位分散，如果只按平面图放样而不做坐标复核，土建完成后极易出现设备中心线偏移、预留孔洞错位和路由冲突。现场复核应结合里程桩号、构筑物实测尺寸和设备外形参数，对安装高度、朝向、进出线方向和检修开门面逐项校验。对于收费岛、洞口机房和分歧路段等关键部位，还应把设备布置与车道净宽、遮挡视角和维修站位一起复核。这样做的价值不只是减少返工，更在于把施工逻辑从“按图就位”提前调整为“按系统关系落位”，确保后续

桥架、线缆、供电和联调都有可靠的空间基准。点位复核做细后，后续设备落位和线路衔接才更容易保持一致。并同步留存复核依据与处理结果。

## 2.2 预埋预留、支架基础与接地条件校验

高速公路机电设备安装的成败，往往在设备进场前就已经决定了一半。桥架支架预埋件的位置、立柱法兰基础的平整度、机柜底座标高以及接地扁钢的引出长度，都会直接影响后续安装质量。复杂环境下的设备安装研究表明，支撑体系和基础精度控制不到位时，后续再通过垫片、扩孔和临时焊接补救，极易带来次生偏差和长期松动风险<sup>[4]</sup>。施工前应对预埋件中心距、混凝土基础外观、强度条件、接地连续性和防腐状态实施成组校验，对不满足安装条件的位置及时整修。对于户外箱体、摄像机杆和隧道内壁挂设备，还要同步核对排水方向、防水封堵和防雷引下条件，使承载结构、电气保护和环境防护在设备落位前全部具备可交付的基础状态。基础条件先校准，能够减少安装阶段被动找补和局部硬改现象。并同步留存复核依据与处理结果。

## 2.3 设备开箱验收与材料前置配套检查

设备和材料进场后，不能只核对数量，还要把构件完整性、附件匹配性和后续工序所需的前置条件一起查清。机电系统设备型号多、部件细，摄像机支架、配电模块、光纤附件、端子排、防水接头和密封件一旦缺项，现场往往会因一个小附件不到位而延误整段工序。施工前置验收应建立清单化检查方法，将设备铭牌、随机资料、安装配件、接线说明和合格文件与设计清单逐项核对，同时核验设备接口制式与现场供电、通信和固定条件是否一致。对收费设备、通信机柜和隧道配电箱等成套设备，还要提前完成内部模块、端口编号和备用件配置的复核，防止安装过程中临时替代、混装或借件使用，保证每一台设备进入现场时都处于可直接组织安装和可追溯交付的状态。把附件、资料和接口条件一起核清，能避免现场因缺件反复停顿。并同步留存复核依据与处理结果。

# 3 关键设备安装施工工艺实施

## 3.1 监控通信设备安装定位与接地施工

监控通信设备安装既要满足成像、通信和供电要求，又要兼顾防雷、接地和环境密封。摄像机、车检器、情报板、通信机柜和光纤终端的固定位置若存在偏移，后续视场、信号质量和维护通道都会受到影响。施工时应以设计中心线为基准控制设备朝向和安装高度，先校正支架垂直度和平整度，再完成设备固定、线缆引入和端口防护。对于户外点位，要把防雷引下线、接地端子、防水弯和密封圈作为同一道工序完成，避免单机通电前仍存在附属条件缺口。设备安装完毕后，应通过外观复核、绝缘测试、接地连续性检测和端口编号核查确认点位质量，使设备定位、电气连接和环境防护形成闭环，而不是把隐

蔽缺陷留到系统联调阶段集中暴露。这样既便于调试确认，也便于后续按点位快速开展运维复核。并同步留存复核依据与处理结果。

## 3.2 收费与供配电设备安装接线控制

收费系统和供配电设备安装对接线顺序、回路标识及防护隔离要求非常严格。车道控制机、栏杆机、车牌识别装置、收费岛配电箱，以及UPS、电源切换模块不仅需要完成可靠固定，还必须确保弱电信号、动力供电和接地保护边界清晰、无干扰。施工实践表明，这类设备最容易出现的问题并非本体损坏，而是端子压接不稳、回路标识混乱以及试送电顺序不当。安装过程中，应先完成箱柜落位和内部模块复核，然后按照设计回路编号分层敷设动力线、控制线和通信线，接线完成后立即制作端子标识、线缆挂牌及回路台账，以保证回路信息清晰可追溯<sup>[5]</sup>。针对UPS、切换装置和车道控制回路，还需在送电前仔细检查旁路状态、保护动作逻辑及零地分离条件，确保设备调试建立在准确、规范的接线基础之上。回路关系在安装阶段理顺后，不仅调试效率显著提高，故障定位也更为快捷。同时，施工过程中应同步留存复核依据及处理结果，为后续维护和运行提供可靠依据，避免重复错误或安全隐患。

## 3.3 隧道机电设备安装与环境适配处理

隧道机电设备安装与普通外场点位相比，受潮湿、粉尘、温差、狭长空间以及运营干扰的影响更加明显。虽然风机、照明、紧急电话、广播、火灾报警和配电装置功能各异，但施工必须围绕隧道净空、吊装路径、检修站位及防腐密封条件进行统筹组织。研究显示，洞室和拱顶区域常见问题并非设备无法固定，而是固定后检修面受限、接线应力过大、冷凝水影响端口稳定性以及防火封堵不连续等<sup>[6]</sup>。施工中，应同步控制吊架间距、设备检修方向、桥架转弯半径、端口防护及封堵完整性，确保各环节协调一致。对于潮湿区域及通风冲击较大的部位，应在安装阶段预留防松复检和密封复核节点，以保证设备在长期运营环境下仍能维持稳定的结构状态和可靠的电气性能。环境适配处理越充分，设备在长期运营中的稳定性越高，同时施工过程中还应完整留存复核依据及处理结果，为后续维护和问题追溯提供可靠保障，从而有效减少设备故障和维护风险，确保隧道机电系统整体运行安全稳定。

# 4 调试验收与施工质量保障

## 4.1 单机调试与系统联调联试衔接

机电系统调试不能简单理解为设备通电检查，而应按照单机确认、分系统联调和场景联动验证逐级推进。单机调试阶段要先核对供电状态、端口通讯、参数配置和基础动作，再将摄像机、情报板、收费终端、配电模块和隧道控制装置接入分系统验证链路，最后在联调阶段检验报警、控制、显示和切换逻辑。若前一阶段的问题没有闭合就直接进入系统联调，现场往

往往会把单机缺陷误判为系统故障，延长排障时间。调试组织应建立问题清单、复测标准和复位条件，明确每类设备的最小验证单元和联调准入条件，使调试顺序与安装工序保持一致。这样既能提高故障定位效率，也能避免因跨系统同时排障而造成责任界面模糊。调试环节分层推进后，问题来源和责任界面也更容易识别。并同步留存复核依据与处理结果。

#### 4.2 施工质量通病与整改复核机制

高速公路机电安装的质量问题往往集中在基础偏位、端口标识缺失、桥架收口粗糙、接地不连续、密封不到位和回路资料不一致等细部环节。这些问题单独看似不大，但一旦叠加到调试和运行阶段，就会表现为误报频发、维护定位困难和设备故障复现。现场整改不能停留在“发现一处处理一处”，而应把问题归类到基础条件、安装工艺、接线质量和环境防护四个层面，分别设置复核责任人和复测依据。对需要返工的位置，应同步检查相邻点位是否存在同类缺陷，防止局部处理掩盖系统性问题。整改闭环的关键不在签字本身，而在于缺陷原因、处理动作、复检结果和再次启用条件是否形成完整记录，便于后续验收和运维追溯。复核机制越具体，现场越容易把缺陷控制在再次启用之前。并同步留存复核依据与处理结果。

#### 4.3 资料移交与运行维护接口闭合

机电系统安装完成并不意味着施工任务彻底结束，若资料

移交和运维接口处理粗略，设备投运后仍可能出现维护断档。交付资料应至少覆盖点位清单、设备编号、回路台账、调试记录、缺陷整改单、备件清册和接地图纸，并与现场挂牌、端口标识和机柜标签保持一致。对收费系统、通信链路和隧道联动设备，还要把参数版本、地址编码、联动条件和切换策略说明清楚，使接管人员能够基于同一套信息开展巡检和故障定位。资料移交阶段宜组织现场抽核，通过图纸、台账和实物三方对照确认设备状态，避免交付文本与现场实际脱节。只有把安装成果、调试结论和运行边界同时交清，机电系统施工才算真正从建设状态平稳过渡到运营维护状态。交付信息完整后，建设成果才能顺畅转入后续运行维护体系。并同步留存复核依据与处理结果。

### 5 结语

高速公路机电系统设备安装施工的关键，不在于单台设备能否固定就位，而在于多子系统接口、基础条件、线缆路径、接线逻辑和调试流程能否按统一工艺闭合。围绕前期复核、关键工序控制、分层调试和资料移交建立全过程控制链条，能够把隐蔽偏差消化在安装阶段，减少联调返工和运营故障。后续工程实施仍应结合具体路段交通组织、土建完成面和运营边界细化施工方案，使机电安装成果真正满足长期稳定运行要求。施工单位在组织实施时还应把阶段复核节点固化到日常管理表单中，确保工艺要求能够真正落地。

### 参考文献：

- [1] 刘浩.高速公路机电系统设备安装施工工艺研究[J].运输经理世界,2026,(05):140-142.
- [2] 段兴罡,刘博研.高速公路机电设备安装施工技术优化方案分析[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(06):100-102.
- [3] 谢小亮.高速公路机电设备安装的施工管理[J].运输经理世界,2024,(19):154-156.
- [4] 黄海政.高速公路隧道机电设备安装工程施工技术研究[J].工程机械与维修,2024,(04):86-88.
- [5] 徐骏.高速公路机电设备安装与调试施工实践分析[J].新发现,2025,(17):109-111.
- [6] 王荃.智能运维管理系统在高速公路机电设备维护中的关键技术探究与应用[J].中国公路,2025,(22):116-119.