

公路工程试验检测设备管理与维护要点分析

张杭

新昌县连峰检测技术有限公司，浙江绍兴，312500；

摘要：公路工程试验检测设备的高效管理与科学维护是保障工程质量的核心环节，本文系统探讨了设备管理体系的构建路径，提出以全生命周期管理、标准化制度及人员培训为核心的三维管理模式，深入分析了日常维护、周期性校准与故障诊断等关键技术要点，强调环境控制与预防性维修的重要性，研究表明，通过融合制度规范、技术实践与数字化工具，可显著提升设备可靠性及检测数据准确性，为公路工程质量提供系统性解决方案。

关键词：公路工程；试验检测设备；全生命周期管理

DOI：10.69979/3060-8767.25.03.035

引言

公路工程质量的精准把控高度依赖试验检测设备的性能稳定性与数据可靠性，而设备管理体系的缺失与维护技术的不完善已成为制约检测效能的突出问题，当前行业普遍存在设备档案碎片化、维护流程粗放化及故障响应滞后等问题，导致检测数据偏差风险加剧，本文聚焦设备管理体系构建、维护技术优化及信息化融合三大维度，旨在通过全生命周期管理规范设备使用流程，依托周期性校准与预防性维修提升设备状态可控性，为突破传统管理瓶颈、保障公路工程品质提供理论支撑与实践路径。

1 试验检测设备管理体系构建

1.1 设备全生命周期管理

公路工程试验检测设备的管理需贯穿其全生命周期，从采购、使用到报废的每个环节均需系统化控制，以保障设备性能稳定及检测结果的可靠性，采购与验收阶段需基于工程检测需求明确设备选型标准，优先选择技术参数适配、校准能力满足行业规范的产品，采购过程中应重点关注设备的计量认证资质、制造商的技术支持能力以及售后服务的覆盖范围，避免因设备性能不足或后期维护困难导致检测数据偏差，验收环节则应严格执行技术协议要求，通过第三方校准机构对设备进行初始性能验证，确保其精度、重复性等核心指标符合JT/T或JTG系列标准要求，为后续使用奠定基础。另一方面，设备档案管理是生命周期管理的关键支撑，需建立涵盖设备基本信息、使用记录、维修历史及校准报告的动态电子化台账，每台设备应独立建档，记录其采购日

期、使用频率、维护责任人及关键性能参数变化趋势，形成可追溯的数据链，档案的规范管理有助于实时监控设备状态，同时能为故障分析提供历史依据，例如：通过分析某台万能材料试验机的历年维修记录，可预判其液压系统老化周期，以此提前制定预防性维护计划^[1]。

1.2 管理制度建设

标准化操作流程（SOP）的制定是管理制度建设的核心内容，需针对不同设备类型细化操作规范，明确从开机自检、参数设置到数据采集的全流程技术要求，例如：对于沥青混合料旋转压实仪，需规定压实次数、温度控制范围及试件脱模操作步骤，减少人为操作差异对试验结果的影响，SOP的制定需结合设备说明书、行业标准及实际工程经验，通过图文并茂的形式呈现关键操作节点并定期组织操作人员培训考核，确保规范执行的刚性约束。进一步地，责任分工与考核机制是制度落地的保障，需构建“分级管理、权责对等”的组织架构，在项目管理层面设立专职设备管理员，统筹设备调配、维护计划制定及档案更新；在操作层面，则需明确设备使用者的日常点检职责，例如每日工作前检查压力机液压油位、清洁落锤式弯沉仪导轨等基础维护要求，考核机制需与绩效挂钩，通过月度设备完好率统计、校准合格率评估等量化指标对管理人员及操作人员进行综合评价，对于因操作不当导致的设备故障或数据异常，应注重启动责任追溯程序，从制度层面杜绝“重使用、轻管理”的短视行为。

1.3 人员培训与资质管理

操作人员技能培训需聚焦设备原理认知与规范化操作能力提升，培训课程设计应涵盖设备结构解析、常

见故障识别及应急处置方法,例如教导学员理解电子万能试验机的传感器工作原理,使其能够根据力值曲线异常判断夹具对中偏差问题,同时需基于模拟实操考核强化技能应用,要求学员在限定时间内完成马歇尔稳定度试验的装样、加载及数据记录全流程操作,确保其独立上岗后能严格遵循 SOP 要求。与此同时,维护人员的技术能力提升需侧重故障诊断与预防性维护策略,培训内容应引入振动分析、油液检测等先进技术,帮助维护人员从传统“事后维修”模式转向基于设备状态监测的主动维护,例如:针对沥青针入度仪的恒温水浴系统,可培训维护人员通过温度波动数据趋势预测加热管老化风险,资质管理方面则要注重建立持证上岗制度,要求操作人员通过中国公路学会或省级质监站组织的专项能力认证并规定每两年参加继续教育课程,确保其知识体系与行业技术发展同步更新。

2 试验检测设备维护技术要点

2.1 日常维护与保养

公路工程试验检测设备的日常维护与保养是保障其长期稳定运行的基础性工作,需通过规范化的流程设计与精细化的操作管理,最大限度减少因设备性能衰减导致的检测误差,在基础维护层面,清洁、润滑与防锈处理是核心内容,其执行质量直接影响设备机械部件的使用寿命,例如:对于沥青混合料车辙试验仪的滚轮导轨,需每日试验结束后清除残留沥青颗粒并涂抹高温润滑脂以避免金属表面氧化;而对于电子万能试验机的丝杠传动系统,则需定期使用无尘布清理粉尘并补充专用润滑油,防止因摩擦阻力增大导致加载速度波动,此类维护操作的标准化实施需结合设备说明书与现场工况制定详细的作业指导书,明确清洁工具、润滑剂型号及操作频次等技术要求,避免因维护方法不当引发二次损伤。除此之外,环境条件控制是日常维护的另一重点,需针对试验室或野外检测场景的差异制定动态管理策略,在室内固定试验场所可基于恒温恒湿系统将环境温度控制在 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 60\%$ 的范围内,避免温湿度变化引起水泥胶砂搅拌机的扭矩传感器零点漂移,同时需配备防震平台及空气过滤装置,降低地面振动和粉尘对激光断面仪光学系统的影响;对于野外流动检测设备,如落锤式弯沉仪,则需在运输过程中采用定制化防震包装并在现场作业时搭建临时遮阳棚,防止阳光直射导致液晶显示屏老化或温度传感器失准,将环境参数纳

入日常点检清单,进而系统性降低外部干扰对设备性能的影响^[2]。

2.2 周期性检定与校准

周期性检定与校准是确保试验检测设备量值传递准确性的法定要求,需依据国家计量技术规范(如 JJG 139-2014《电子万能试验机检定规程》)及行业标准(如 JTG 3420-2020《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》)建立分级分类的校准体系,在计划制定阶段,应根据设备使用频率、测量不确定度要求及环境严酷度等级差异化设定校准周期,例如:沥青软化点测定仪的金属环、钢球等关键耗材需每季度更换并校准尺寸公差,而压力试验机的力值传感器则需每年委托省级计量院进行全量程标定,校准流程需覆盖设备全量程范围,采用标准物质或标准器进行不少于 3 个特征点的重复性验证,并通过最小二乘法拟合校准曲线,确保线性误差 $\leq \pm 1\%FS$ 的技术指标。另一方面,第三方检定机构的选择与数据追溯机制是校准工作的质量保障,在合作方资质审核时需重点核查其 CNAS(中国合格评定国家认可委员会)认可范围是否涵盖公路工程检测设备类别,并要求提供测量不确定度评估报告,例如:路基压实度检测用核子密度仪的校准,必须选择具备放射性计量资质的机构并依据 JJG 593-2016《混凝土雷达检定规程》出具带有溯源编号的证书,校准数据管理需建立电子化台账,记录历次校准日期、偏差值及修正系数,通过趋势分析预判设备性能劣化,当发现某台全自动沥青抽提仪的溶剂回收率校准值连续三次超出 $\pm 0.5\%$ 允许范围时,应立即启动设备大修或更换程序,避免因系统性误差导致混合料油石比检测结果失真。

2.3 故障诊断与维修

公路工程试验检测设备的故障诊断需建立基于症状分类的快速响应机制,通过特征信号分析实现精准定位,机械类故障多表现为异响、振动异常或动作卡滞,例如马歇尔稳定度试验机在加载过程中出现棘轮机构打滑现象,通常源于传动齿轮磨损或弹簧预紧力不足,需通过拆解检查齿侧间隙并更换失效部件,电气类故障则常以数据跳变、控制失灵等形式呈现,如动态旋转压实仪温控系统显示值漂移,可能因热电偶接触不良或 PID 控制器参数失调所致,需采用万用表逐段测量电路阻抗并重设控制参数。与此同时,预防性维修策略的制定

需融合设备工况监测与剩余寿命预测技术,实现从“事后抢修”到“事前干预”的转变,基于历史维修数据与运行日志,可建立关键部件的可靠性模型,例如统计分析发现水泥胶砂振实台偏心轮轴承的平均无故障工作周期为3000小时,则可在累计运行2800小时时提前更换轴承组件^[3]。

3 信息化技术在设备管理中的应用

3.1 设备管理信息系统(EMIS)

设备管理信息系统(EMIS)的构建是实现公路工程试验检测设备数字化管控的核心载体,其通过集成数据采集、流程协同与决策支持功能,可显著提升管理效能与资源利用率,系统的核心价值体现在设备全生命周期数据的结构化整合,例如将采购合同、校准证书、维修工单等非标文件转化为可检索的标准化数据字段,并建立跨部门的数据共享接口,在功能设计上,EMIS需覆盖设备台账动态更新、维护任务自动派发及成本统计分析模块,例如当某台沥青混合料拌和机累计运行达到预设阈值时,系统可触发润滑保养工单并同步推送至维护人员移动终端,同时关联库存管理系统核查润滑剂余量,实现从需求识别到资源调配的闭环管理。与此同时,EMIS的实施需遵循“顶层设计-分步迭代”的路径,重点解决传统管理模式信息孤岛与流程断点问题,在系统架构层面,应采用微服务架构实现功能模块的解耦,例如独立部署设备状态监控、计量溯源管理及人员绩效评估子系统,确保单点故障不影响全局运行;数据迁移过程中需制定清洗规则,对历史纸质记录中的模糊信息(如手写设备编号、非标准计量单位)进行结构化转换并建立数据质量评价指标;权限管理机制需实现分级授权与操作留痕,例如试验室主任可查看全部设备的完好率报表,而操作员仅能录入指定设备的日常点检数据,系统上线后要基于持续优化算法模型提升实用性,例如引入自然语言处理技术解析设备故障描述文本,自动归类为机械磨损、电气故障或环境干扰等类型并关联推荐处置方案库中的最佳实践案例^[4]。

3.2 物联网(IoT)与智能化维护

物联网技术在公路工程检测设备管理中的应用本质是通过泛在感知网络重构“人-机-环境”的交互模式,其技术实现依赖于多源传感器的嵌入式部署与边缘计算能力的融合,在硬件层,需根据设备类型差异设计定

制化监测方案,例如为路基承载板检测仪加装三轴加速度传感器与应变片,实时采集加载过程中的振动频谱与结构变形数据,而为沥青针入度仪集成高精度温湿度传感器与图像识别模块,则可同步监控试样温度场分布与针尖位移轨迹;数据传输协议需兼顾实时性与可靠性,对于野外移动检测场景可采用LoRaWAN低功耗广域网络,将探地雷达的地下层析成像数据压缩后回传至云端;实验室内固定设备则可部署工业以太网,确保动态旋转压实仪的压力采样值以毫秒级延迟反馈至控制终端,这种多模态感知体系的建立将使设备运行状态的可视化粒度从宏观工况描述深化至微观参数波动分析。另一方面,智能化维护的实现需依托物联网数据的深度挖掘与机理模型的协同优化,其技术路径涵盖故障预测、资源调度与决策自治三个维度,在数据分析层面可采用时序分解算法分离设备振动信号中的趋势项、周期项与随机噪声,通过特征提取识别早期故障征兆,例如从水泥混凝土压力机的声发射信号中识别出0.5-2kHz频段的能量突增,可预判立柱螺纹副的疲劳裂纹扩展;维护决策模型需融合物理规律与数据驱动方法,例如基于热力学定律构建沥青老化试验箱的加热管退化模型,同时引入机器学习算法分析历史维修数据,动态调整不同环境湿度条件下的元件更换阈值。

4 结束语

公路工程试验检测设备的管理与维护是一项融合技术规范与创新应用的系统工程,本文通过构建覆盖采购、使用至报废的全生命周期管理体系,明确标准化操作与责任考核机制,夯实了设备管理的制度基础,随着人工智能与边缘计算技术的深度融合,设备管理将加速向“感知-决策-执行”一体化模式转型,为公路工程高质量发展注入持续动能。

参考文献

- [1]王永招.公路工程试验检测的常见问题及解决对策[J].交通世界,2020,(30):111-112.
- [2]权超.公路工程试验检测的常见问题及解决方法[J].住宅与房地产,2020,(24):191.
- [3]李丹.公路工程试验检测设备管理信息化综合平台研究[J].青海交通科技,2019,(05):50-53.
- [4]李艳梅.浅析公路工程试验检测质量控制的几大要素[J].科技风,2019,(24):127.