

公路试验检测与现场施工质量控制

罗佳英

浙江润达检测科技有限公司 浙江 舟山 316000

摘要：随着公路工程建设规模与技术等级的持续提升，试验检测与现场施工质量控制已成为保障工程质量的核心环节。通过科学系统的试验检测，可全面监控原材料质量，如沥青针入度、水泥安定性、混合料性能，如马歇尔稳定度、压实度及结构层参数，如弯沉值、平整度，为施工提供精准数据支撑。同时，结合全过程质量管控原则，从源头把控到工序验收形成闭环管理，可有效规避质量隐患，推动公路工程向安全、耐久、高效方向发展。

关键词：公路试验检测；现场施工；质量控制

引言

公路作为国家基础设施的重要组成部分，其质量直接关系到交通运输安全与经济发展效能。在公路建设规模持续扩大、技术标准日益严苛的背景下，试验检测与现场施工质量控制已成为保障工程品质的核心手段。试验检测通过科学量化原材料、混合料及结构层性能指标，为施工提供数据支撑；而现场施工质量控制则依托全过程管理原则，确保各环节符合设计规范。二者协同作用，既能预防质量缺陷，又能提升工程耐久性，对推动公路建设高质量发展具有重要现实意义。

1 公路工程试验检测技术体系

1.1 试验检测的核心内容

(1) 原材料检测聚焦关键建材质量把控，沥青需检测针入度、软化点、延度，确保高温稳定性与低温抗裂性；集料重点检测颗粒级配、压碎值、含泥量，避免级配不良导致混合料强度不足；水泥需验证安定性、初凝/终凝时间、抗压强度，防止水泥安定性不合格引发结构开裂，从源头保障工程基础质量。(2) 混合料性能检测贯穿施工全流程，配合比设计需通过马歇尔试验确定最佳油石比，兼顾强度与耐久性；压实度检测采用灌砂法、核子密度仪法，确保路基、基层压实度达标，高速公路路基 $\geq 96\%$ ；强度检测针对水泥稳定基层开展7天无侧限抗压强度试验，针对混凝土结构采用回弹法、钻芯法，验证承载能力是否符合设计要求。(3) 路面与结构层检测覆盖使用性能与结构安全，平整度采用3米直尺或激光平整度仪检测，控制国际平整度指数(IRI)达标；弯沉检测评估路面承载能力，常用贝克曼梁法或落锤式弯沉仪；无损检测技术，如地质雷达，可探测路面内部空洞、层间剥离，避免隐蔽缺陷影响使用寿命^[1]。

1.2 常用检测方法与技术

(1) 力学试验与无损检测互补应用，静载试验通过

堆载或千斤顶加载，检测桥梁支座反力、结构应变；动载试验模拟车辆行驶荷载，评估桥梁动力响应；落锤式弯沉仪(FWD)通过冲击荷载快速获取弯沉盆数据，高效分析路面结构刚度，适用于大规模路面检测。(2) 信息化检测技术提升效率与精度，智能传感器，如温湿度传感器、应变传感器，实时监测施工过程参数，数据同步上传管理平台；无人机巡检搭载高清相机与红外热像仪，快速排查路面裂缝、桥头跳车等问题；BIM模型整合检测数据，可视化呈现结构缺陷位置与程度，辅助制定修复方案。

1.3 检测标准与规范

(1) 国内标准构建完善技术框架，《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1)明确各分项工程检测指标与合格标准；《公路沥青路面施工技术规范》(JTGE20)规范沥青混合料检测流程；《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG3420)统一水泥、混凝土检测方法，确保国内工程检测标准化。(2) 国际标准提供多元参考，美国AASHTO标准注重性能导向，如沥青混合料性能分级(PG分级)更贴合实际使用环境；欧盟EN标准强调检测方法统一性，如EN13108规范沥青材料检测指标；对比国际标准可优化国内检测体系，推动技术与国际接轨，提升工程质量国际认可度。

2 公路现场施工质量控制要素

2.1 施工质量控制的原则与目标

(1) 全过程控制贯穿公路施工全周期，事前需完成图纸会审、技术交底与原材料抽检，例如核查路基填料颗粒级配(粒径 $\leq 53\text{mm}$ 占比 $\geq 90\%$)、水泥安定性(沸煮法合格判定率100%)，从源头规避质量隐患；事中通过旁站监督、工序巡检实时把控施工精度，像监测沥青摊铺温度、路基压实遍数，确保每道工序符合规范；事后开展实体检测与竣工验收，如采用钻芯法检测

路面厚度、回弹法评估混凝土强度（测区数 ≥ 10 个），形成质量管控闭环。（2）质量-成本-进度协同管理需平衡三者关系，例如在基层施工中，通过优化混合料配合比（水泥剂量3%-5%），既保证7天无侧限抗压强度达标，又减少水泥用量；合理规划施工流程，将路基压实与基层摊铺间隔控制在24小时内，避免工期延误。

2.2 关键施工环节的质量控制

（1）路基处理核心是解决软基隐患与严控压实度，软基处理可采用换填法（换填深度1-3m）、袋装砂井法等，换填时每层压实度不低于96%（高速公路标准）；压实度控制需根据填料类型选压路机，黏性土用羊角碾，砂性土用光轮压路机。（2）基层与面层施工重点把控温度与厚度，基层摊铺混合料含水率（最佳含水率 $\pm 1\%$ ），避免干缩裂缝；沥青面层施工中，普通沥青摊铺温度135-170℃，改性沥青不低于160℃，摊铺机行驶速度2-6m/min，厚度偏差-5mm至+10mm。（3）特殊结构施工聚焦接口质量，桥梁与路基衔接处设搭板（长度6-8m）；隧道与路面接口用钢纤维混凝土（纤维掺量0.8%-1.2%）过渡，确保平顺衔接^[2]。

2.3 环境因素对施工质量的影响

（1）气候条件直接影响施工质量，高温天气（气温 $\geq 30^\circ\text{C}$ ）需缩短沥青运输距离 $\leq 5\text{km}$ 、加快摊铺碾压速度（碾压完成时间 $\leq 30\text{min}$ ）；低温环境（气温 $\leq 5^\circ\text{C}$ ）水泥混凝土需覆盖保温，确保强度发展正常；降雨天气暂停施工，雨后路基含水量超标（ $\geq 20\%$ ）时需晾晒或换填。（2）地质条件与施工方案需适配，软土地区施工沉降观测频次1次/天，调整压实参数；山区公路遇滑坡体，先设抗滑桩（桩长15-20m）、锚索，再填筑路基，避免质量事故。

3 公路工程试验检测与现场施工质量的协同管理

3.1 检测数据在质量控制中的应用

（1）实时数据反馈机制需构建“检测-分析-反馈-调整”快速通道。施工过程中，检测人员通过便携式设备，如手持压实度检测仪、现场沥青针入度仪，实时采集数据，15分钟内完成初步分析并上传至项目管理平台；现场技术员根据反馈结果即时调整施工参数，例如发现路基压实度低于设计值，如高速公路要求 $\geq 96\%$ 时，立即增加压路机碾压遍数或调整碾压速度，避免不合格工序进入下一环。同时，建立数据反馈台账，记录检测时间、指标偏差、调整措施及效果，确保每一次数据异常都能得到及时响应^[3]。（2）基于大数据的质量预警系统需整合全周期检测数据，通过AI算法识别质量风险规律。系统将原材料检测（如集料级配、水泥强

度）、施工过程检测，如摊铺温度、厚度、实体检测，如弯沉、平整度，数据分类建模，当某一指标连续3次接近合格临界值，如沥青面层厚度偏差接近-5mm时，自动触发预警信号，推送至技术负责人与监理人员；同时生成风险分析报告，提示可能影响的后续工序，如面层平整度超标，辅助管理人员提前制定预防措施，将质量隐患消除在萌芽阶段。

3.2 动态调整与闭环管理

（1）检测结果与施工参数的联动修正需建立量化关联模型。例如在基层施工中，若7天无侧限抗压强度检测值低于设计值10%，技术团队需回溯施工参数：核查混合料含水率是否偏离最佳范围，如设计含水率5%，实际检测7%、压实机械吨位是否不足，随后调整拌和站加水比例、更换大吨位压路机，修正后重新取样检测，直至强度达标；在沥青面层施工中，若马歇尔稳定度偏低，可根据检测数据调整油石比，如从4.5%优化至4.8%，确保施工参数与质量指标精准匹配。（2）质量问题追溯与整改流程需实现“问题定位-原因分析-整改落实-复检验证”闭环。发现质量问题，如路面裂缝、路基沉降后，通过BIM模型标注问题位置，结合检测报告，如地质雷达检测的裂缝深度，分析原因，如基层干缩、软基处理不彻底；制定整改方案并明确责任人与时限，例如裂缝宽度 $\geq 5\text{mm}$ 时采用灌缝处理，整改完成后由第三方检测机构复检，复检合格方可闭合问题台账，杜绝质量隐患遗留^[4]。

3.3 人员与设备管理

（1）检测人员资质与操作规范需严格把控准入与培训。检测人员需持有交通运输部颁发的试验检测工程师/员证书，且每年参加不少于40学时的继续教育，更新规范知识，如掌握新版《公路工程质量检验评定标准》修订内容；制定标准化操作手册，明确各检测项目流程，如灌砂法检测压实度需经过选点、挖坑、灌砂、计算等12个步骤，定期开展实操考核，考核不合格者暂停上岗，确保检测数据准确性与规范性。（2）检测设备校准与维护制度需覆盖全生命周期管理。建立设备台账，记录设备型号、购置时间、校准周期，如全站仪每年校准1次，电子天平每季度校准1次，委托具备CMA资质的机构定期校准，校准不合格设备立即停用；日常维护需按说明书执行，例如沥青针入度仪需每日清洁针杆、检查恒温槽水温，落锤式弯沉仪需每周检查传感器连接状态，避免设备故障导致检测数据失真；同时储备关键设备备用件，如传感器、数据线，保障施工高峰期检测工作持续开展。

4 公路工程试验检测与现场施工质量协同管理的问题与对策建议

4.1 当前存在的主要问题

(1) 检测结果滞后性导致的质量失控问题突出。部分检测项目,如水泥混凝土强度、沥青混合料马歇尔稳定度,需实验室养护或复杂分析,通常2-7天才能出具结果,此时不合格工序可能已推进数百米,如基层混合料强度不达标却已完成面层摊铺,返工不仅增加成本,还延误工期;且滞后数据无法实时指导施工调整,易出现连续多段工程质量偏差,形成“检测滞后-整改被动”的恶性循环。(2) 施工方与检测方信息壁垒阻碍协同效率。双方数据多存储于独立系统,施工方难以及时获取检测原始数据,如集料含泥量检测记录,检测方也无法实时掌握施工进度与参数,如摊铺温度变化,导致问题分析时需反复沟通核对,延误整改时机;部分场景下还存在数据篡改风险,如施工方为规避整改,隐瞒关键施工参数,影响检测结果的精准性与针对性。(3) 农村公路检测资源不足问题显著。农村公路项目多分散、里程短,专业检测机构覆盖不足,部分地区依赖人工抽检,检测频率低,如每公里仅抽检2-3点,易遗漏质量隐患;且缺乏先进检测设备,如落锤式弯沉仪、地质雷达,多采用传统人工检测方法,如3米直尺测平整度,效率低、误差大,难以满足农村公路提质升级的质量管控需求。

4.2 优化策略与技术创新

(1) 推广“检测-施工”一体化平台打破数据孤岛。平台整合检测设备终端,如便携式压实度仪、智能传感器,与施工管理系统,检测数据实时自动上传,施工方、检测方、监理方共享数据看板,可随时查看检测指标、施工参数关联分析结果;例如沥青摊铺时,平台同步显示实时摊铺温度与检测的混合料油石比,异常时自动推送预警,实现“数据实时流动、问题即时处置”。(2) 推动人工智能在质量预测中的深度应用。基于历史检测数据,如路基压实度、面层厚度,与施工参数,

如碾压遍数、拌和时间,构建AI预测模型,可提前24-48小时预测后续施工段质量风险,如模型预判某路段因填料含水率偏高可能导致压实度不达标,提前提示调整洒水或晾晒方案;同时结合实时施工数据动态优化模型,提升预测准确率,从“事后检测”转向“事前预防”。

(3) 完善标准化检测流程并引入区块链存证技术。制定覆盖原材料、施工过程、实体检测的全流程标准操作手册,明确检测点位选取、设备操作、数据记录规范,减少人为误差;利用区块链不可篡改特性,将检测数据,如采样时间、检测结果、操作人员,实时上链存证,施工方与检测方均无法修改数据,保障数据真实性;同时链上数据可作为竣工验收、质量追溯的法定依据,提升协同管理的公信力。

结束语

公路试验检测与现场施工质量控制是保障公路工程安全性与耐久性的关键所在。通过科学系统的试验检测,可精准把控原材料质量、混合料性能及结构层状态,为施工提供可靠数据支撑;而现场施工质量控制则依托全过程管理,实现从源头到竣工的质量闭环。二者相辅相成,不仅能有效预防质量隐患,更能提升工程整体品质。未来,随着技术手段的不断创新与管理理念的持续优化,公路工程质量控制将迈向更高水平,为推动交通运输行业高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]郭雪,严生权.公路施工质量控制理论与实践[J].交通工程,2021,38(4):47-50.
- [2]李万代,冯坤.公路施工过程中的质量控制与检测方法探讨[J].建筑科学,2020,36(2):70-72.
- [3]韩小红.公路试验检测与现场施工质量管控策略分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(4):28-31.
- [4]张兴坡.公路试验检测与现场施工质量管控策略[J].交通世界,2020,(33):144-145.