

新型公路工程建筑材料的性能试验检测方法及标准探究

沈苗梅

浙江中易建工程技术有限公司，浙江绍兴，321000；

摘要：随着公路工程向绿色化、智能化转型，新型建筑材料的性能检测方法与标准体系面临革新需求，本文系统分析了新型材料的关键性能指标，涵盖力学性能、耐久性、环保性及智能特性等多维评价维度，对比传统试验方法与现代无损检测、智能监测技术的适用性差异，通过梳理国内外标准体系的演进路径与技术导向，揭示我国现行标准在动态更新、区域适配及智能化指标等方面的不足，提出构建全生命周期评价框架、嵌入环保与智能检测指标、建立标准动态响应机制等优化策略，为新型材料检测技术的创新与标准体系的完善提供理论支撑。

关键词：新型公路工程材料；性能检测方法；标准体系

DOI：10.69979/3029-2727.25.03.005

引言

公路基础设施的可持续发展亟需新型建筑材料的创新应用，而材料性能的精准评价是保障工程安全与环保效益的前提，当前再生材料、智能材料等前沿产品的涌现，暴露出传统检测方法在复杂服役环境模拟、多尺度性能关联等方面的局限性，本文聚焦新型公路工程材料的关键性能指标，系统探究力学、耐久性试验方法的优化路径，对比分析 ASTM、EN 等国际标准的逻辑，旨在构建适配我国工程需求与“双碳”目标的检测标准框架。

1 新型材料的性能试验检测方法

1.1 传统试验方法

1.1.1 力学性能试验

力学性能试验是评价新型公路工程建筑材料承载能力和结构稳定性的核心手段，其本质在于通过模拟实际工程荷载条件量化材料的力学响应特征，在公路工程领域，抗压强度与抗折强度作为力学性能的关键表征指标直接决定了材料在复杂应力环境下的适用性，抗压强度试验通常采用万能试验机对标准试件施加轴向压力，通过记录试件破坏时的极限荷载，结合试件几何参数计算得出抗压强度值，这一参数能够反映材料在垂直荷载作用下的抗变形能力，更可为路面基层材料的选型提供理论依据。另一方面，抗折强度试验则聚焦于材料在弯拉应力作用下的断裂韧性，通常采用三点弯曲试验法进行测定，试验过程中，试件跨中区域承受最大拉应力，其破坏模式可直观反映材料的脆性-塑性转变特性，对于温拌沥青混合料或自修复混凝土等具有特殊流变性

能的材料，抗折强度测试需结合温度控制模块与动态加载技术，以模拟实际服役环境中的温度-荷载耦合效应。

1.1.2 耐久性试验

耐久性试验旨在评估新型公路工程建筑材料在长期环境侵蚀与荷载循环作用下的性能退化规律，其核心在于构建加速老化试验体系以预测材料的全生命周期服役行为，冻融循环试验作为寒冷地区材料耐久性评价的经典方法，通过周期性冻结-融化过程模拟水分在材料孔隙内的相变膨胀效应，试验中，试件饱和吸水后置于温控箱内进行多次冻融循环，通过质量损失率与弹性模量衰减值的量化分析可系统表征材料的抗冻性等级，对于多孔生态混凝土或再生骨料沥青混合料等渗透性较高的新型材料，冻融试验需结合孔隙结构的三维重构技术，明确冰晶生长对微观孔喉网络的破坏机制，进而优化材料的闭孔率与憎水性设计。除此之外，盐雾腐蚀试验则主要针对滨海或除冰盐使用区域的工程环境，通过模拟高浓度氯离子渗透过程，揭示材料化学稳定性的劣化机理，试验采用密闭盐雾箱对试件进行持续喷雾，利用电化学阻抗谱与离子色谱联用技术追踪氯离子在材料内部的扩散动力学特征，对于含有活性矿物掺合料的低碳水泥混凝土，盐雾试验可进一步结合 X 射线光电子能谱分析，解析氯离子与胶凝产物的化学结合路径，以此评估材料的抗氯离子侵蚀能力，此类耐久性试验为新型材料的配方优化提供了数据基础，基于多因素耦合加速老化模型的建立，显著缩短了长周期性能预测的研发周期^[1]。

1.2 现代检测技术

1.2.1 无损检测技术

无损检测技术通过非破坏性手段获取材料内部结构与性能信息,在保障工程结构完整性的前提下实现实时质量监控,超声波检测作为典型的波动学方法,利用高频声波在材料中的传播特性反演其弹性参数与缺陷分布,当超声波穿过材料时,其波速、衰减系数及频谱特征的变化与材料的密实度、内部裂纹等参数高度关联,针对梯度功能材料或层状复合结构,可采用多探头阵列与合成孔径聚焦技术,构建材料内部的三维声阻抗成像图谱,精准定位界面脱空或夹杂缺陷,相较于传统钻孔取芯法,超声波检测可大幅降低检测过程对路面的损伤,基于全断面扫描实现了质量评价的空间连续性。另一方面,红外热成像技术则基于材料的热传导特性差异,通过外部热激励与表面温度场响应的关联分析识别材料内部的隐蔽缺陷,试验中可采用脉冲热源对被测区域进行瞬时加热,利用高灵敏度红外相机记录材料表面的升温-降温曲线,对于存在脱粘、空洞或含水率异常的区域,其热扩散系数的局部变化将导致温度场分布呈现特征性畸变,该技术在沥青路面层间粘结状态检测中表现尤为突出,能够快速识别因施工工艺缺陷导致的弱粘结界面。

1.2.2 智能监测技术

智能监测技术通过嵌入式传感与数据融合算法实现了材料性能的动态感知与服役状态的实时诊断,其中光纤光栅传感系统作为典型的分布式监测手段,将微米级光纤传感器预埋于材料内部,通过波长偏移量解调外界应变与温度变化,当材料承受荷载或发生变形时,光纤光栅的周期结构受调制产生布拉格波长漂移,其漂移量与应变呈线性关系,对于具有自感知功能的碳纤维增强复合材料,光纤传感器网络可进一步与导电相材料耦合,实现应力-电阻特性的多参数同步监测,进而捕捉材料在冲击荷载下的瞬时响应,基于长期监测数据积累,建立性能退化与环境变量的关联模型。另一方面,物联网驱动的无线监测系统则依托低功耗广域网络与边缘计算架构,构建了覆盖全路段的材料性能监测云平台,通过在关键路段部署振动加速度计、湿度传感器与腐蚀探针,系统可实时采集材料的动态力学响应与环境腐蚀数据并经由无线网关上传至云端服务器,结合数字孪生技术,监测数据可与材料本构模型进行虚实交互,实现结构健康状态的在线仿真与预警,例如:在智能温控路面系统中,嵌入式的温度传感器阵列可动态调节相变材

料的吸放热行为,进而有效抑制沥青路面温度应力引发的车辙与裂缝,这种闭环反馈的智能监测体系标志着公路工程材料检测从被动式评估向主动式调控的范式转变^[2]。

2 新型材料性能检测标准体系分析

2.1 国内现行标准

我国现行公路工程材料检测标准体系以国家标准(GB)与交通运输行业标准(JT/T)为核心框架,其内容覆盖传统建材的力学、耐久性等基础性能检测,并在近年来逐步纳入再生材料、改性沥青等新型材料的专项技术要求,从标准层级来看,国家标准侧重于通用性技术规范,例如《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》详细规定了沥青针入度、软化点等关键指标的试验流程,而行业标准则针对特定材料或工艺进行细化,如《公路工程泡沫沥青冷再生技术规范》(JTG/T 5521-2023)对泡沫沥青再生混合料的配合比设计与现场施工检测提出了具体要求,然而现有标准体系仍存在显著局限性,主要体现在标准更新周期与技术创新速度的脱节,例如:针对碳纤维增强复合材料、温敏型自修复材料等前沿材料的检测方法尚未形成独立标准,其性能评价仍依赖传统混凝土或金属材料的试验规程,导致检测结果与材料真实服役行为的关联性不足。除此之外,标准体系的区域适用性矛盾日益凸显。我国地域气候与荷载环境的差异性对材料性能提出了多元化要求,但现行标准多采用“一刀切”的刚性指标,例如:冻融循环试验的统一循环次数要求难以适配东北高寒地区与江南湿润地区的实际冻害强度差异,盐雾腐蚀试验的氯离子浓度设定亦未充分考虑滨海地区与内陆盐渍土环境的腐蚀机理区别,此类问题暴露出标准制定过程中环境因子权重分配与动态调整机制的缺失。

2.2 国际标准对比

国际公路工程材料检测标准体系以美国 ASTM 与欧盟 EN 标准为典型代表,其技术导向与我国标准存在显著差异,ASTM 标准以“性能导向”为核心特征,强调检测方法需直接关联工程实际需求,例如:ASTM D6931 通过旋转压实仪模拟沥青混合料现场压实工况,其试件成型参数动态匹配不同气候区的交通荷载水平;而我国现行 JTG E20 仍采用马歇尔击实法,其静态击实功难以反映重载交通下的真实密实过程,这种差异反映出 ASTM 标准更注重检测结果与服役性能的因果映射,而非单

纯追求实验室条件下的数据可比性，而欧盟 EN 标准则进一步强化了全生命周期评价理念，例如 EN 12697 系列规定沥青混合料的力学性能检测方法，同时要求同步开展碳排放计算与可回收性验证，将环保指标纳入材料合格性判据，此类标准体系的设计逻辑对我国构建绿色公路评价体系具有重要借鉴意义。在技术细节层面，国际标准更注重检测方法的“过程可溯”与“设备兼容”，以无损检测为例，ASTM E2373 明确规定了超声波探头的频率带宽、耦合剂类型及信号处理算法，确保不同实验室的检测数据具备横向可比性，而我国现行标准对设备参数的限定较为模糊，导致不同机构检测结果离散度偏高，另外 EN 标准体系通过“基本标准-应用标准-产品标准”的三级架构，实现了检测方法从原理到场景的逐级细化，例如：EN 13450 针对集料性能检测，不只是规定基础物理指标试验方法，还专门制定适用于再生集料的附加检测流程，这种分层设计有效解决了新型材料检测中“通用性与特殊性”的平衡难题。

2.3 标准体系的完善建议

2.3.1 动态更新机制的建立

现行标准更新机制受限于行政审查周期长、利益相关方协同不足等问题，难以适应新材料技术的快速迭代，建立动态更新机制的核心在于打通“技术研发-标准制定-工程反馈”的闭环链路，首先应构建标准制修订的快速响应通道，例如设立“新型材料标准临时技术委员会”，由高校、企业、检测机构组成的专家库对前沿技术进行预研，当某类材料的工程应用量达到阈值时，自动触发标准草案编制程序，此举可缩短从技术成熟到标准发布的滞后期，避免出现“材料已普及、标准仍空白”的被动局面。除此之外，应建立标准实施效果的后评估系统，通过物联网监测终端采集新材料在实体工程中的长期性能数据，利用统计分析方法验证现有检测方法的适用性，例如：若某自修复混凝土的实验室冻融循环次数预测值与实际服役寿命偏差超过 20%，则自动生成标准修订提案并启动专家论证流程^[3]。

2.3.2 环保与智能化指标的补充

现有标准体系对环保性能的考量仍局限于传统污染物排放检测，未能体现“双碳”目标下材料全生命周期评价的深度要求，环保指标补充应聚焦两个维度：一是嵌入材料碳足迹核算方法，参照 ISO 14067 标准建立从原材料开采、生产运输到施工维护的碳排放计量模型，

并在检测报告中强制披露单位体积材料的碳当量值；二是强化生态毒性评估，例如对工业固废再生骨料中的重金属离子，不单检测其总量浓度，还需通过生物沥滤试验模拟长期雨水冲刷下的离子释放动力学，评估其对沿线土壤生态系统的累积性影响，此类指标的引入将倒逼材料研发向低环境负荷方向演进，例如促进磷石膏基胶凝材料替代传统水泥，其检测标准需相应增加放射性核素限制与酸性环境稳定性验证条款。另一方面，智能化指标的缺失已成为制约智慧公路建设的瓶颈问题，未来标准需重点补充两方面内容：其一，定义材料智能特性的量化检测方法，例如对自感知沥青混合料的电阻-应变灵敏度系数，需规定标准加载速率下的电阻变化率阈值，对温敏相变材料的焓值-温度响应曲线，应明确差示扫描量热法（DSC）的试验参数与数据处理规范；其二，建立智能监测系统的兼容性标准，当前预埋式传感器、无线传输模块等设备接口协议混乱，导致监测数据难以跨项目整合，可参照 IEEE 1451 标准族，制定公路专用智能传感器的电气特性、数据格式与通信协议统一规范，确保不同厂商设备间的互操作性，此类标准的完善将加速材料性能数据的标准化采集与云端共享，为人工智能驱动的路面健康预测提供高质量数据基底，实现从“材料合格性检测”到“结构智慧化管控”的跨越升级^[4]。

3 结束语

新型公路工程建筑材料的性能检测方法与标准体系研究揭示了材料技术革新与检测范式升级的互动规律，通过力学-耐久性试验方法的精细化改进、无损检测与智能监测技术的集成应用，显著提升了性能评价的工程贴合度，未来研究需进一步深化多因素耦合加速老化模型、智能化检测设备的标准化接口等关键技术，推动检测数据与人工智能算法的深度融合。

参考文献

- [1] 韩佳利. 公路桥梁工程建筑材料检测质量的控制研究 [J]. 佛山陶瓷, 2024, 34 (08): 67-69.
- [2] 俞晓涵. 建筑工程混凝土强度检测中回弹检测方法应用 [J]. 四川建筑, 2024, 44 (01): 136-137.
- [3] 吕宏迪. 建筑材料检测技术的应用与发展前景 [J]. 居舍, 2023, (33): 36-38.
- [4] 李岁荣. 建筑混凝土原材料检测研究 [J]. 房地产世界, 2023, (15): 85-87.