

道路工程材料试验检测对工程质量的重要性分析

文 / 庞 钊 深圳市永基建筑工程检验有限公司

摘要: 随着我国交通基础设施快速发展,道路工程质量对交通运输安全与效率影响显著,而材料质量是决定工程质量的关键。本文围绕道路工程材料试验检测展开研究,通过阐述原材料(土料、石料、水泥、沥青)、混合料(水泥稳定混合料、沥青混合料)及现场(压实度、平整度、弯沉)检测的关键环节,结合具体技术参数与工程案例,分析检测对保障质量、控制成本、推动技术进步及确保安全的作用。研究表明,系统的试验检测能从源头把控材料性能,优化配比,为道路结构安全、耐久性及通行安全提供科学支撑,是工程质量控制的核心手段。

关键词: 道路工程; 材料试验检测; 工程质量

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.065

引言

道路工程材料作为道路建设的物质基础,其质量的好坏对工程质量具有决定性作用,科学而严谨的试验检测手段能够准确测定并分析道路工程材料的各项性能指标,及时发现材料质量问题,为工程质量控制提供依据,深入研究道路工程材料试验检测对工程质量重要性具有重要的现实意义。

一、道路工程材料试验检测的重要性

道路工程材料试验检测对保障工程质量、控制成本、推动技术进步和确保交通安全具有重要意义。材料性能直接影响道路的强度、稳定性和耐久性,通过检测可防止因路基压实不足或沥青配合比不当导致的沉降、开裂等问题,确保施工质量达标^[1]。材料费用占工程成本比重高,检测可优化配合比,合理利用本地资源,减少浪费,避免返工维修,有效降低建设成本。同时,检测技术的发展为新型材料如改性沥青、纤维增强材料的应用提供验证手段,促进施工工艺创新。先进检测设备和方法提升了质量控制的精准度与效率。道路使用性能如抗滑性、平整度和承载能力与交通安全密切相关,检测可确保材料满足安全标准,减少雨天打滑、车辆颠簸等隐患,降低事故发生率,保障公众生命财产安全。因此,材料试验检测是实现道路工程高质量建设的关键环节^[2]。

二、道路工程材料试验检测的关键环节

(一) 原材料的检测

1. 土料的检测

道路路基填筑中,土料作为关键材料,其物理力学性能直接对路基的长期稳定性形成决定性^[3]。

颗粒分析采用筛分与密度计法,土粒分为黏粒($<0.005\text{mm}$)、粉粒($0.005-0.075\text{mm}$)、砂粒($0.075-2\text{mm}$)和砾粒($2-60\text{mm}$),黏粒 $>30\%$ 时膨胀性显著,含水率变化致体积变 $10\%-30\%$,易引路基不均沉降;液塑限试验(100g 锥、 5s)定液限 $\omega_L > 50\%$ 为

高液限土,IP常 >20 ,掺 $3\%-5\%$ 生石灰可使IP降至12以下。

击实试验通过击实仪完成试验,道路工程一般用重型击实,锤重 4.5kg ,落高 450mm ,最大粒径 20mm 时分五层击实每层27次,最大粒径 40mm 时分三层击实每层98次,粉质黏土最大干密度一般在 $1.75-1.90\text{g/cm}^3$,对应最佳含水率 $12\%-16\%$;砂类土最大干密度可达到 $1.95-2.10\text{g/cm}^3$,而最佳含水率仅在 $8\%-12\%$ 范围,击实曲线拐点处为最密实状态,孔隙比可降低,通常在 $0.4-0.6$ 范围,颗粒排列显示密实特征。

CBR试验要求用最佳含水率在不同密度条件下制备3组试件,使密度控制住最大干密度的 $90\%-100\%$ 之间,贯入速率控制在 $(1-1.25)\text{mm/min}$,测定贯入量达到 2.5mm 及 5.0mm 时的承载比值,取大值作为检测结果,高速公路路基下路床对CBR值要求 $\geq 8\%$,上路床 $\geq 10\%$ 。实测值低于标准时,换填或冲击碾压为应对处理的举措,平原区某高速公路取土场进行粉质黏土检测,天然含水率 18% 时CBR值为 5.2% ,经晾晒后含水率降低至 15% ,CBR值提升为 8.7% ,达到设计要求^[4]。

2. 石料的检测

道路工程用石料按用途分为路基填料、基层集料及面层骨料三类,其性能要求随结构层位逐级提高。抗压强度试验采用边长 50mm 的立方体试件,在压力试验机上以 $0.5-1.0\text{MPa/s}$ 的速率加载,高速公路基层用碎石单轴抗压强度需 $\geq 30\text{MPa}$,面层用玄武岩骨料抗压强度需 $\geq 80\text{MPa}$ 。洛杉矶磨耗试验中,常用粒度类别有B、C、D三类,根据粒级分别取样混合后,放入规定的钢球数量及重量,经 500 转磨耗后,测定磨耗值,高速公路面层石料磨耗损失需 $\leq 28\%$,基层石料 $\leq 35\%$ 。

针片状颗粒含量采用卡尺法测定,最大长度与最小厚度之比大于 3 的颗粒即为针片状颗粒。高速公路沥青面层用碎石针片状含量需 $\leq 15\%$,水泥稳定基层 $\leq 20\%$,

超标会导致集料骨架空隙率增加 3%-5%。含泥量试验通过水洗法测定, 小于 0.075mm 颗粒含量在沥青面层中需 $\leq 1\%$, 基层 $\leq 3\%$, 每增加 1% 含泥量会使集料与胶结料的粘结强度下降 15%-20%。

3. 水泥的检测

道路工程常用硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥, 其性能检测需覆盖凝结特性、体积稳定性、力学强度及颗粒细度四大指标。凝结时间测定采用维卡仪, 初凝时间以试针沉入净浆至距底板 $4 \pm 1\text{mm}$ 为标准, 硅酸盐水泥初凝不得早于 45min, 终凝不得迟于 6.5h; 普通硅酸盐水泥终凝不得迟于 10h。安定性试验采用雷氏夹法, 沸煮后雷氏夹尖端距离增加值需 $\leq 5.0\text{mm}$, 否则会因游离 CaO 过多导致混凝土后期膨胀开裂^[5]。

强度试验按标准方法制作 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 棱柱体试件, 标准养护 28d 后测定抗折与抗压强度。路面基层用水泥 3d 抗折强度需 $\geq 2.5\text{MPa}$, 28d 抗折 $\geq 5.5\text{MPa}$; 抗压强度 3d $\geq 17\text{MPa}$, 28d $\geq 42.5\text{MPa}$ 。细度检测采用 $80\mu\text{m}$ 方孔筛, 筛余百分率需 $\leq 10\%$, 筛余每增加 1% 会使水泥水化热释放速率降低 5%-8%。某城市道路水泥稳定碎石基层施工中, 进场 P.042.5 水泥经检测发现, 初凝时间仅 38min, 安定性雷氏夹差为 6.2mm, 判定为不合格。更换水泥后, 选用初凝时间 185min、安定性 2.1mm 的产品, 基层 7d 无侧限抗压强度达 3.8MPa, 满足设计的 3.0MPa 要求。

4. 沥青的检测

道路用沥青按针入度分级, 70 号沥青针入度 (25°C , 100g, 5s) 为 60-80 (0.1mm), 10 号沥青为 10-25 (0.1mm)。延度试验在 15°C 水温下, 以 5cm/min 速率拉伸, 70 号沥青延度需 $\geq 100\text{cm}$, 10 号沥青 $\geq 20\text{cm}$, 延度每降低 10cm, 沥青路面低温抗裂性下降 8%-12%。软化点试验采用环球法, 70 号沥青软化点为 46-56 $^\circ\text{C}$, 改性沥青需 $\geq 60^\circ\text{C}$, 每提高 1°C 软化点可使高温车辙系数增加 5%-7%。

闪点试验 (克利夫兰开口杯法) 中, 道路石油沥青闪点需 $\geq 230^\circ\text{C}$, 改性沥青 $\geq 230^\circ\text{C}$, 低于 200°C 时加热施工存在火灾风险^[6]。含蜡量采用蒸馏法测定, 重交通沥青含蜡量需 $\leq 3\%$, 每增加 1% 蜡含量会使沥青与石料粘附性等级下降 0.5 级。

某高速公路上面层采用 SBS 改性沥青, 检测发现针入度 (25°C) 为 52 (0.1mm), 软化点 58°C , 不符合设计的 60°C 要求。通过调整改性剂掺量从 3.5% 增至 4.2% 后, 软化点提升至 63°C , 针入度 48 (0.1mm), 满足 Superpave PG76-22 分级标准。

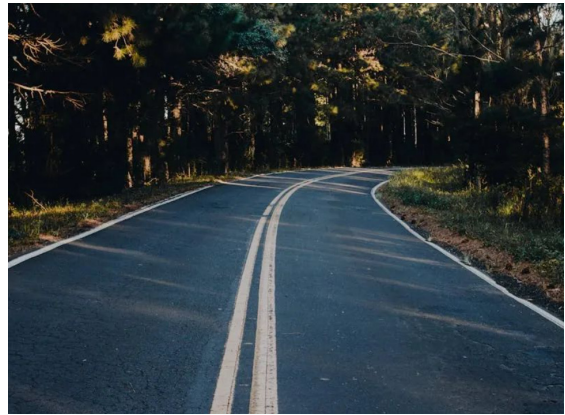


图 1 道路工程检测

(二) 混合料的检测

1. 水泥稳定混合料的检测

水泥稳定混合料设计采用骨架密实型结构, 集料级配需满足: 4.75mm 筛孔通过率 30%-50%, 2.36mm 筛孔 20%-35%, 0.075mm 筛孔 3%-7%。配合比设计以 7d 无侧限抗压强度为核心指标, 高速公路基层设计强度 3.0-4.0MPa, 底基层 2.0-3.0MPa, 同一组试验的变异系数 $C(\%)$ 应符合下列规定, 方为有效试验: 小试件 $C \leq 6\%$; 中试件 $C \leq 10\%$; 大试件 $C \leq 20\%$ 。如不能保证试验结果的变异系数小于规定的值, 则应按允许误差 10% 和 90% 概率重新计算所需的试件数量, 增加试件数量并另做新试验。

压实度检测采用灌砂法, 标准密度以重型击实试验确定, 高速公路基层压实度需 $\geq 98\%$, 底基层 $\geq 96\%$ 。水泥剂量通过 EDTA 滴定法测定, 每增加 1% 水泥剂量可使 7d 强度提高 0.5-0.8MPa, 但超过 6% 会导致干缩系数增大 20%-30%。

某一级公路水泥稳定碎石基层施工中, 检测发现 K12+300 段压实度 95.2%, 7d 强度 2.7MPa, 低于设计的 98% 和 3.0MPa。经核查, 发现碾压遍数不足 (仅 6 遍) 且水泥剂量波动在 3.8%-4.2% (设计 5%)。通过增加至 8 遍碾压, 调整水泥剂量至 5.1% 后, 压实度达 98.5%, 强度提升至 3.6MPa。

2. 沥青混合料的检测

沥青混合料配合比设计采用 Superpave 体系, 目标配合比阶段需确定: 油石比 4.0%-6.0%, 矿料合成级配中 AC-13 型沥青混合料 2.36mm 筛孔通过率 20%-34%, 0.075mm 筛孔 4%-8%。马歇尔试验在 60°C 水浴中进行, 击实次数双面 75 次, 稳定度需 $\geq 8\text{kN}$, 流值 20-40 (0.1mm), 空隙率 3%-5%, 矿料间隙率 $\geq 13\%$, 沥青饱和度 65%-75%。

动态稳定度试验 (车辙试验) 中, 高速公路上面层

改性沥青混合料需 ≥ 3000 次/mm, 中面层 ≥ 2000 次/mm。冻融劈裂试验残留强度比需 $\geq 80\%$, 浸水马歇尔试验残留稳定度 $\geq 85\%$ 。某城市快速路沥青面层检测显示, SMA-13 混合料空隙率 6.2%, 超出标准上限 1.2 个百分点, 经调整油石比从 5.0% 增至 5.3%, 空隙率降至 4.8%, 同时马歇尔稳定度从 8.2kN 提升至 9.5kN。

表 1 沥青混合料关键性能指标及技术参数

指标名称	技术要求(AC-13C)	试验条件	影响因素
马歇尔稳定度	$\geq 8\text{kN}$	60℃, 加载速率 50mm/min	油石比、集料级配
空隙率	3%-5%	表干法测定	压实度、沥青用量
动态稳定度	≥ 3000 次/mm	60℃, 0.7MPa 荷载	改性剂类型、矿料级配
冻融劈裂残留强度比	$\geq 80\%$	-18℃冻 24h, 60℃融 24h	沥青与集料粘附性

(三) 现场检测

1. 压实度检测

灌砂法检测中, 标准砂需采用粒径 0.3-0.6mm 的干燥洁净砂。试坑直径应大于集料最大粒径的 3 倍, 测试深度应达到层厚。环刀法适用于黏质土路基, 环刀容积 200cm³, 壁厚 1.5mm, 每取土样需测定 2 个平行样, 差值不得大于 0.03g/cm³。

核子密度仪法需经灌砂法标定, 测量深度在 50-200mm 范围, 每 200m² 检测 1 点, 与标准方法相关系数应不小于 0.95。钻芯法检测沥青路面时, 芯样直径 100mm, 当一次钻孔取得的芯样包含有不同层位的沥青混合料时, 应根据结构组合情况用切割机将芯样沿各层结合面锯开分层进行测试, 密度测定通常采用表干法, 吸水率大于 2% 时宜直接蜡封法测定。

2. 平整度检测

三米直尺法每 200m 测 2 处 $\times 5$ 尺, 最大间隙其他公路 $\leq 5.0\text{mm}$ 。连续式平整度仪采样间距 100mm, 测速 5km/h, 标准差 σ 高速公路沥青路面需 $\leq 1.2\text{mm}$, 水泥混凝土路面 $\leq 2.0\text{mm}$ 。车载式颠簸累积仪测定的 VBI 值, 高速公路需 $\leq 1.5\text{m/km}$, 每增加 0.1m/km 会使车辆行驶阻力增加 3%-5%。

3. 弯沉检测

贝克曼梁法采用 5.4m 杠杆梁, 测头直径 100mm, 标准轴载 BZZ-100 (100kN), 每 20m 测 1 点。落锤式弯沉仪 (FWD) 采用 50kN 冲击力, 传感器间距 150mm, 可测定弯沉盆半径 1.5m 范围内的变形, 反算路基顶面回弹模量需 $\geq 30\text{MPa}$, 基层回弹模量 $\geq 800\text{MPa}$ 。

结语

道路工程材料的试验检测在工程质量保障中是相当

重要的部分, 严格检测原材料、混合料和现场施工质量, 可避免材料问题对工程质量的隐患, 确保道路长期稳定与安全。实际工程应完善试验检测体系, 引入先进的技术和设备提高效率与精度, 检测人员的专业培训也应加强, 规范性和准确性在检测中是要求的。试验检测数据的分析与应用同样应注重, 为道路工程的设计施工维护提供依据, 科技发展与新材料新技术广泛应用下, 道路工程材料试验检测技术不断创新发展, 为交通基础设施建设提供技术支撑。

参考文献

[1] 张仲涛, 马驰. 现代化道路桥梁工程施工原材料试验检测工艺探究 [J]. 时代汽车, 2025, (15): 181-183.

[2] 曹同庆. 道路桥梁工程的原材料试验检测技术分析 [J]. 汽车周刊, 2025, (06): 162-164.

[3] 张文缘. 道路与桥梁工程试验检测关键技术研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (14): 163-165.

[4] 韩易桐. 浅析道路桥梁工程的原材料试验检测技术 [C]//《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集 (一). 江苏省苏信工程咨询有限公司; , 2025: 171-172.

[5] 王春. 道路桥梁工程的原材料试验检测技术 [C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第七届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 江苏腾达工程检测有限公司; , 2025: 587-590.

[6] 覃天岳. 试验检测对市政道路工程质量验收的重要性分析 [J]. 智能城市, 2021, 7 (08): 106-107.