

公路桥梁桩基施工检测方法分析

张 健

宁波捷晟建设有限公司 浙江 宁波 315318

摘 要：公路桥梁桩基作为工程的核心承重结构，其施工质量直接关系到整体工程的安全性与耐久性。本文系统分析公路桥梁桩基施工检测的关键方法与技术优化方向，首先阐述桩基检测在保障工程安全稳定、提升施工质量效率及符合规范标准等方面的重要意义；其次详细探讨静载试验法、钻芯法、低应变法、高应变法、声波透射法等主流检测方法的原理与应用特点；最后结合行业发展趋势，提出构建多方法融合检测体系、研发智能化装备、完善检测标准及推动绿色检测技术创新等优化路径，以期提升桩基施工质量控制水平提供理论参考与实践指导。

关键词：公路桥梁；桩基施工；检测方法；分析

引言：公路桥梁工程中，桩基作为地下隐蔽工程，其施工质量受地质条件、工艺水平等多因素影响，易出现混凝土缺陷、承载力不足等隐患。桩基检测作为质量控制的关键环节，通过科学手段对桩基完整性、承载力等核心指标进行评估，可及时发现施工缺陷并指导整改，避免后期结构安全事故。随着交通基础设施建设的规模化与复杂化，传统单一检测方法逐渐暴露出局限性，如何整合技术资源、提升检测精度与效率成为行业关注焦点。本文在梳理现有检测方法的基础上，结合工程实践与技术发展趋势，深入分析检测技术的优化方向，旨在为公路桥梁桩基施工的质量管控提供系统性解决方案，推动检测技术向智能化、标准化、绿色化方向发展。

1 公路桥梁桩基施工检测的重要性

1.1 保障工程安全与稳定

公路桥梁作为交通枢纽的关键设施，其桩基是支撑上部结构重量、车辆荷载及自然作用力的核心部件。桩基施工质量直接影响桥梁整体稳定性与安全性，若存在缩颈、断桩等缺陷，易导致结构受力不均，在长期荷载作用下可能引发桥梁沉降、倾斜甚至垮塌等严重事故。通过科学检测，可精准识别桩基内部缺陷，如混凝土离析、空洞等问题，及时采取补强措施，消除安全隐患。

1.2 提高施工效率与质量

桩基施工检测是优化施工流程、提升质量的有效手段。在施工过程中，及时开展检测可快速反馈桩基质量状况，若发现问题能立即调整施工参数或工艺，避免因返工造成的工期延误与成本浪费。如采用低应变法对桩基完整性进行快速检测，可在短时间内判断桩身是否存在缺陷，为后续施工决策提供依据。同时，检测数据能直观反映施工工艺的有效性，帮助施工人员总结经验、

改进技术，提升整体施工水平。

1.3 符合规范与标准要求

公路桥梁工程建设必须严格遵循国家与行业相关规范、标准，桩基施工检测是确保工程合规性的重要环节。相关规范对桩基的材料性能、承载力、完整性等指标提出明确要求，施工单位需通过检测手段验证工程质量是否达标。检测结果不仅是工程验收的核心依据，也是监管部门评估工程质量的关键参考。若桩基检测数据不满足规范标准，将导致工程无法通过验收，需进行整改甚至重建^[1]。

2 公路桥梁桩基施工检测方法

2.1 静载试验法

静载试验法是公路桥梁桩基检测中确定单桩竖向抗压承载力的经典方法，其核心原理基于力与变形的关系，通过在桩顶逐级施加竖向荷载，观测桩顶沉降随时间的变化规律，进而判定桩基的实际承载能力。现场操作时，需搭建由钢梁、混凝土配重块或锚桩组成的反力系统，利用千斤顶将荷载分级施加于桩顶，每级荷载按预估极限承载力的1/8-1/10递增。加载过程中，采用百分表或位移传感器实时监测桩顶沉降，每级荷载需维持2-4小时，待沉降速率小于0.1mm/h时方可施加下一级，直至达到预定加载量或出现沉降急剧增大等破坏特征。该方法检测结果直观、可靠，能真实模拟桩基在实际工程中的受力状态，尤其适用于大直径灌注桩、端承桩等对承载力要求严苛的桩型，是验收规范中判定桩基承载力的最终依据。但静载试验也存在明显局限性：一是试验周期长，单根桩检测通常需3-5天，严重制约施工进度；二是成本高昂，反力装置搭建、运输及设备租赁费用占检测成本的60%以上；三是检测数量受限，受场地条件与经济性制约，难以实现大规模抽检。因此，静载试验常作

为关键工程的验证性检测，与其他方法配合使用。

2.2 钻芯法

钻芯法是通过钻机从桩身钻取圆柱形混凝土芯样，直接观察芯样完整性并进行力学性能测试的检测手段。施工前需根据桩径合理布置1-3个钻孔，钻孔位置应避开钢筋并均匀分布。检测时，采用金刚石薄壁钻头取芯，芯样直径一般不小于70mm，确保包含足够的骨料与胶凝材料。取出的芯样需按规范要求切割、打磨成标准试件，进行抗压强度试验，同时观察芯样的胶结情况、骨料分布及裂缝特征，判断桩身混凝土的密实度、连续性 & 缺陷类型。该方法的优点在于检测结果直观准确，能直接获取桩身混凝土强度、缺陷位置及程度等关键信息，尤其适用于判断桩身断裂、夹泥、离析等严重缺陷，是处理质量争议时的重要依据。但钻芯法也存在不足：其一，对桩身结构有一定损伤，钻芯后的孔洞需采用高强度灌浆料修复；其二，检测效率低，单根桩取芯及试验周期长达2-3天；其三，取样存在随机性，若钻孔未覆盖缺陷区域可能导致漏判。实际应用中，钻芯法多作为其他检测方法发现异常后的验证手段，与声波透射法等联合使用可提高检测精度。

2.3 低应变法

低应变法基于应力波传播理论，通过在桩顶施加瞬态激振力产生弹性波，根据波在桩身传播过程中的反射特性判断桩身完整性。现场检测时，使用手锤或力棒敲击桩顶，安装在桩顶的加速度传感器捕捉弹性波信号，经信号采集仪放大、滤波后，形成时域波形曲线。技术人员依据波形中反射波的到达时间、幅值及相位，分析桩身截面变化、缺陷位置及严重程度。例如，当桩身存在缩颈时，反射波与入射波相位相同；若出现扩颈或沉渣，则反射波相位相反。该方法操作简便、成本低廉，单根桩检测仅需数分钟，适合对大量桩基进行快速普查，在预制桩、灌注桩的完整性检测中应用广泛。同时，低应变法对桩身无损伤，可用于施工过程中的质量监控。但其局限性在于检测深度有限，一般适用于桩长小于50m、桩径小于1.5m的桩基，且对深部缺陷的分辨率较低；此外，信号解释依赖检测人员经验，不同人员对同一波形的判断可能存在差异。因此，低应变法常作为初步筛查手段，发现异常后需结合其他方法进一步验证。

2.4 高应变法

高应变法是利用重锤冲击桩顶，使桩-土体系产生相对位移，通过采集力和速度信号，结合波动方程分析桩身完整性与单桩承载力的检测技术。现场检测时，重锤质量通常为预估桩极限承载力的1%-2%，以自由落体方

式冲击桩顶，安装在桩身两侧的应变传感器和加速度传感器同步采集力-时间曲线与速度-时间曲线。数据经专用分析软件处理，通过拟合计算得到桩身完整性系数、桩侧摩阻力及极限承载力等参数。相较于静载试验，高应变法检测效率大幅提升，单根桩检测耗时仅需10-20分钟，且可在一定程度上模拟实际受荷状态；与低应变法相比，其激振能量大，检测深度更深，对深部缺陷的识别能力更强。但高应变法也存在不足：检测结果受桩-土参数影响较大，计算模型需合理假定；检测设备复杂，对操作人员技术水平要求高；承载力检测结果需通过静载试验对比验证。目前，高应变法多用于中小直径桩的承载力快速评估与完整性检测，在桩基质量的过程控制与验收中发挥重要作用。

2.5 声波透射法

声波透射法是在灌注桩浇筑前预埋声测管，通过检测超声波在混凝土中的传播特性判断桩身完整性的无损检测方法。施工时，根据桩径大小埋设2-4根声测管，管内注满清水作为耦合介质。检测时，将超声波发射探头与接收探头分别置于不同声测管中，以固定间距同步提升，发射探头发出的超声波穿透混凝土后被接收探头采集。通过分析声时、波幅、主频等声学参数，绘制深度-声速、深度-波幅曲线，判断桩身是否存在离析、空洞、夹泥等缺陷。当桩身存在缺陷时，超声波传播路径改变，导致声时延长、波幅衰减、主频降低。该方法检测范围覆盖全桩长，对缺陷的敏感性高，尤其适用于大直径灌注桩的完整性检测，且检测结果直观可靠，可准确定位缺陷位置与范围。与钻芯法相比，声波透射法对桩身无损伤，检测效率更高；与低应变法相比，其检测精度不受桩长、桩径限制。但该方法需预埋声测管，增加了施工成本与复杂性；若声测管堵塞、破裂或存在气泡，将影响检测数据准确性^[2]。因此，声波透射法常用于重要工程或大直径桩基的质量检测，是保障桩基施工质量的关键技术手段。

3 公路桥梁桩基施工检测技术的优化方向

3.1 多方法融合检测体系

单一检测方法存在固有局限性，如静载试验虽能准确测定承载力，但效率低、成本高；低应变法可快速筛查完整性，却难以检测深部缺陷。构建多方法融合检测体系，需依据桩型、地质条件及工程需求，制定差异化检测策略。对大直径灌注桩，可先用声波透射法进行全桩长完整性检测，快速定位缺陷区域，再采用钻芯法对异常部位取样分析，验证混凝土强度及缺陷性质；对中小直径预制桩，低应变法结合高应变法，既能高效排查

桩身完整性，又能同步评估承载力。通过不同方法的优势互补，不仅可提高缺陷识别准确率，还能降低因单一方法误判导致的工程风险。同时，融合体系需建立数据交互机制，将各方法检测数据整合分析，形成完整的桩基质量评估报告，为工程验收和后续运维提供全面依据。

3.2 智能化检测装备研发

传统检测设备依赖人工操作，存在效率低、数据误差大等问题，智能化升级是行业发展必然趋势。研发智能化检测装备需聚焦三方面：一是数据采集自动化，通过高精度传感器集成和无线传输技术，实现检测数据实时、稳定采集，减少人工干预；二是分析诊断智能化，将深度学习算法嵌入检测设备，使其具备波形特征自动识别、缺陷类型智能判断能力，降低对检测人员经验的依赖；三是设备集成化与便携化，开发集多种检测功能于一体的便携式仪器，满足复杂工程场景下快速检测需求。此外，利用物联网技术构建检测数据云平台，实现设备远程监控、数据集中管理与共享，通过大数据分析挖掘质量隐患规律，为施工质量管控提供决策支持，推动检测工作从“人工经验驱动”向“数据智能驱动”转变。

3.3 检测标准体系完善

随着新材料、新工艺的应用，现行检测标准已难以适应行业发展需求。完善检测标准体系需从三方面着手：首先，细化现有标准条款，明确不同检测方法在特殊地质条件（如冻土、岩溶地区）、特殊桩型（如复合地基桩、斜桩）中的适用范围与操作规范，消除标准模糊地带；其次，针对新兴检测技术，如光纤传感检测、探地雷达检测等，制定专项技术规程，规范检测设备性能要求、数据处理流程及结果判定准则；最后，建立标准动态更新机制，定期组织行业专家评估标准实施效果，结合技术发展和工程实践反馈，及时修订不合理条

款，补充新技术、新方法的应用规定。

3.4 绿色检测技术创新与能耗优化

传统检测方法存在资源消耗大、环境污染等问题，绿色化转型势在必行。在技术创新方面，研发环保型检测设备和工艺是关键。优化钻芯法取芯工艺，降低岩芯废料产生量，并探索废料再生利用途径。在能耗优化上，推广清洁能源在检测设备中的应用，开发太阳能、风能供电的便携式检测仪器，减少燃油发电机使用；通过设备节能设计，降低检测过程中的电力消耗。此外，推行无损检测技术优先策略，以声波透射法、低应变法等无损方法替代部分破损检测，减少对桩基结构的破坏，降低修复成本。通过绿色检测技术创新与能耗优化，可实现检测工作经济效益与环境效益的双赢，助力交通基础设施建设的可持续发展^[1]。

结束语

公路桥梁桩基施工检测是保障工程质量与安全的关键环节，上述多种检测方法各有所长，也存在局限性。随着交通建设需求的不断升级，未来需持续推进多方法融合、智能化、标准化与绿色化发展，突破技术瓶颈，完善检测体系。这不仅能提升桩基检测的精准性与效率，也将为公路桥梁工程的全生命周期安全提供有力支撑，助力交通基础设施建设迈向更高质量发展阶段，更好地服务于社会经济建设。

参考文献

- [1]覃景业.喀斯特地区桥梁桩基稳定性评价及施工决策优化设计[J].西部交通科技,2022(09):130-133+158.
- [2]郝世平.岩溶区公路桥梁桩基地质勘察分析[J].交通世界,2021(23):130-131.
- [3]张进强.公路桥梁桩基施工过程中混凝土的技术及作用[J].交通世界,2021(21):142-143.