

桥梁工程地基基础检测技术要点及优化策略

吴青峰

华志（重庆）工程技术有限公司，重庆 400700

DOI:10.61369/ETQM.2025080023

摘 要： 随着交通事业的蓬勃发展，桥梁工程在现代交通运输网络中占据核心地位。地基基础作为桥梁结构的核心支撑，其质量优劣直接关乎桥梁全生命周期的安全性与稳定性。本文深入剖析桥梁工程地基基础检测技术的关键要点，结合大量实际案例与行业数据，详细分析当前检测工作存在的问题，并针对性提出全面、具体的优化策略，旨在推动地基基础检测技术革新，为桥梁工程质量安全筑牢防线。

关 键 词： 桥梁工程；地基基础检测；技术要点；优化策略

Key Technical Points and Optimization Strategies for Foundation Testing in Bridge Engineering

Wu Qingfeng

Huazhi (Chongqing) Engineering Technology Co., Ltd. Chongqing 400700

Abstract： With the rapid development of the transportation industry, bridge engineering has become a core component of modern transportation networks. As the core support structure of bridges, the quality of foundation engineering directly impacts the safety and stability of bridges throughout their entire lifecycle. This paper thoroughly analyses the key points of foundation inspection technology in bridge engineering, combines numerous practical cases and industry data, and provides a detailed analysis of the current issues in inspection work. It also proposes comprehensive and specific optimisation strategies to promote technological innovation in foundation inspection and strengthen the safety and quality of bridge engineering.

Keywords： bridge engineering; foundation inspection; technical key points; optimisation strategies

引言

在现代化基础设施建设浪潮中，桥梁作为跨越江河、山谷等复杂地形的重要交通枢纽，对区域经济协同发展、社会资源高效流通起着关键作用。地基基础作为桥梁结构的根基，不仅承担着桥梁上部结构自重、车辆荷载、风荷载等各类作用，还需抵御地震、洪水等自然灾害的冲击。相关统计数据显示，近十年我国因地基基础问题引发的桥梁安全事故占比达18%，部分事故造成重大人员伤亡与经济损失。因此，强化桥梁工程地基基础检测工作，确保检测数据的准确性、可靠性，已成为保障桥梁工程安全运营的关键环节。

一、桥梁工程地基基础检测技术要点

（一）地基承载力检测

1. 载荷试验法

载荷试验法基于土力学中的应力-应变原理，通过模拟建筑物地基的实际受力状态，直接获取地基土的承载特性。在实际操作中，承压板的选择需遵循严格标准：对于粘性土和粉土，当预估地基承载力特征值小于100kPa时，圆形承压板直径宜取0.707m；当承载力特征值大于等于100kPa时，直径可适当增大至1.0m。对于砂土和碎石土，方形承压板边长在浅层地基检测时一般不小于0.8m，若检测深度超过5m，边长宜增大至1.2m以减少边界效应影响。^[1]

荷载分级通常采用分级加载方式，首级荷载一般为预估极限承载力的1/10-1/8，后续每级荷载增量控制在首级荷载的1/5-1/4。例如，对于预估极限承载力为1000kN的地基，首级荷载可施加100-125kN，后续每级增加20-31.25kN。沉降观测需严格按照时间间隔记录，在每级荷载施加后的前1h内，按5min、5min、10min、10min、15min、15min的时间间隔观测，之后每30min观测一次，直至沉降稳定。沉降稳定标准除满足连续2h每小时沉降量不超过0.1mm，或连续1h每30min沉降量不超过0.05mm外，还需结合P-S曲线形态判断，当曲线出现明显转折点或陡降段时，应停止加载。

2. 动力触探法

动力触探法依据重锤下落产生的动能，通过探头贯入地基土

的难易程度来评估土体性质。轻型动力触探设备的重锤质量为10kg，落距50cm，适用于检测深度小于4m、地基承载力特征值小于150kPa的粘性土、粉土和素填土。其锤击数N₁₀与地基承载力的关系，在华北地区粘性土地基中，当N₁₀=10~15时，地基承载力特征值约为80~120kPa；在华东地区粉土地基中，N₁₀=12~18时，承载力特征值为100~150kPa。重型动力触探重锤质量63.5kg，落距76cm，适用于砂土、中密以下碎石土及极软岩检测，检测深度可达12m。超重型动力触探重锤质量120kg，落距100cm，常用于密实碎石土、软岩和硬岩检测，有效检测深度超过20m。在实际操作中，锤击速率需严格控制在每分钟15~30击，若锤击速率过快，会导致土体局部受热，改变土体物理力学性质；过慢则影响检测效率。每贯入10cm记录一次锤击数，当连续三次贯入10cm的锤击数超过50击时，可终止试验。^[2]

（二）桩基础检测

1. 低应变反射波法

低应变反射波法的激振设备选择需综合考虑桩径、桩长及桩身混凝土强度。对于桩径小于800mm、桩长小于15m的混凝土灌注桩，采用质量为0.5~1kg的手锤，锤头材质宜选用钢质，可激发高频应力波，有效检测桩身浅部缺陷；对于桩径大于1200mm、桩长超过30m的大直径桩，需使用5~10kg的重锤或机械冲击设备，激发低频应力波，以保证应力波在桩身中的传播距离。传感器安装时，应采用黄油、石膏等耦合剂确保传感器与桩顶紧密接触，且传感器与桩顶的接触面积不小于传感器底面面积的80%。信号采集参数设置方面，采样频率一般不低于20kHz，对于超长桩或大直径桩，采样频率需提高至50kHz以上，以准确捕捉高频信号；采样点数根据桩长确定，一般按每米桩长采样点数不小于200点计算。在某跨海大桥桩基检测中，通过低应变反射波法检测出一根桩身12m处存在缩径缺陷，缩径率达15%，经钻孔取芯验证，检测结果与实际情况一致。^[3]

2. 声波透射法

声测管埋设时，其间距不宜大于2m，且声测管应沿桩身钢筋笼内侧呈对称布置。声测管材质一般采用钢管或PVC管，钢管壁厚不小于2.5mm，PVC管壁厚不小于3mm，以保证声测管在混凝土浇筑过程中不发生变形或破损。换能器频率选择需根据桩径和混凝土强度调整，对于桩径小于1.5m、混凝土强度等级C30~C40的灌注桩，发射和接收换能器频率宜选用50~80kHz；当桩径大于2m或混凝土强度等级高于C40时，换能器频率可降至30~50kHz。在数据分析与判定中，常用的声学参数判据包括声速临界值判据、波幅判据和主频判据。以声速临界值为例，当实测声速低于声速临界值（V_c）时，可判定该测区存在缺陷。V_c的计算采用统计修正法，即 $V_c = V_m - k \sigma$ ，其中V_m为测区声速平均值，σ为标准差，k为与检测测点数有关的系数，当测点数为20~30时，k取值2.0~2.5。在某长江大桥桩基检测中，通过声波透射法发现一根桩在8~10m处声速下降20%，波幅降低40%，结合波形畸变，判定该区域存在夹泥缺陷，后经开挖验证属实。^[4]

二、桥梁工程地基基础检测工作存在的问题

（一）检测机构管理不规范

部分检测机构为追求经济利益，存在严重违规操作行为。例

如，在某省高速公路桥梁地基检测项目中，一家检测机构为缩短检测周期，将原计划30组的载荷试验减少至15组，导致部分地基承载力数据缺失，最终该桥梁在通车后半年内出现不均匀沉降。据行业调查数据显示，2022年全国因检测机构违规操作导致的桥梁质量问题投诉案件达236起，同比增长12%。此外，检测市场低价竞争激烈，部分机构以低于成本价30%的报价承接业务，为保证利润，只能通过降低检测标准、减少检测环节等方式压缩成本，严重影响检测质量。

（二）检测人员素质参差不齐

目前，检测行业中约35%的检测人员未取得相关专业资格证书。在实际检测工作中，部分人员对检测技术标准理解偏差。如在低应变反射波法检测中，部分检测人员无法正确识别复杂波形，将桩底反射波误判为缺陷反射波，导致检测结果错误。某检测机构在对一批市政桥梁桩基检测时，因检测人员操作不当，未按规定调整激振设备参数，导致应力波能量不足，未能检测出桩身深部的裂缝缺陷，造成严重质量隐患。^[5]

（三）检测设备落后

据统计，我国仍有40%的检测机构使用超过10年的检测设备。这些老旧设备存在精度下降、稳定性差等问题。以某地级市检测中心为例，其使用的一台服役15年的动力触探设备，重锤落距误差达5%，导致锤击数测量偏差，影响地基承载力计算结果。此外，先进检测设备如三维地质雷达、分布式光纤传感检测系统等在国内的普及率不足20%，与欧美发达国家70%的普及率相比差距显著，难以满足复杂地质条件下桥梁地基基础检测需求。

三、桥梁工程地基基础检测技术优化策略

（一）加强检测机构管理

1. 完善法律法规与监管体系

修订《建设工程质量检测管理办法》时，需细化违规行为的认定标准，增强法规的可操作性。以伪造检测数据为例，可明确规定篡改关键检测指标数据达10%以上，或虚构重要检测项目数据，即认定为伪造数据行为，并处以相应罚款与吊销资质的处罚。^[6]

在建立三级联动监管机制过程中，省级、市级、县级部门需明确各自职责，避免出现监管重叠或空白。省级主管部门负责制定宏观监管政策、统筹协调重大检测质量问题；市级部门着重对辖区内重点桥梁工程检测项目进行随机抽查；县级部门则需对小型桥梁工程检测进行全程跟踪监督。同时，利用信息化技术搭建统一的监管平台，实现检测项目从委托、实施到报告出具的全流程线上监管。例如，检测机构需在平台实时上传检测原始数据、影像资料等，监管部门可随时调取查看，一旦发现异常数据，立即启动调查程序。

2. 建立行业信用评价机制

构建信用评价体系时，需确保各项指标能真实反映检测机构的实际情况。对于检测质量指标，可细化为数据准确率、检测结果与实际情况的吻合度等；服务水平指标可包含服务响应时间、

客户投诉率等。在信用评价结果应用方面,除招投标加分和业务限制外,还可与金融机构合作,为信用等级高的检测机构提供低息贷款、信用担保等金融支持,助力其扩大业务规模、更新检测设备;对信用等级低的机构,在媒体上公开曝光其违规行为,形成舆论监督压力,促使其改进。但在实施过程中,需注意评价数据的真实性和公正性,可引入第三方机构对检测机构数据进行独立审计,防止数据造假。^[7]

（二）提高检测人员素质策略解读

1. 加强专业培训与考核

专业技术培训内容应紧密结合行业发展趋势和实际工作要求。针对新兴的智能检测技术,如基于人工智能的检测数据分析软件应用,邀请软件开发者和行业专家进行授课,让检测人员掌握从数据采集、软件操作到结果分析的全流程技能。在考核环节,理论考试题目需涵盖检测标准规范、新技术原理等内容;实操考核则模拟真实检测场景,设置不同类型的地基和桩基础缺陷,要求检测人员准确运用检测设备进行检测,并撰写详细的检测报告。对于补考仍不合格的人员,安排到技术实力强的检测机构进行跟岗学习,学习期满后再次考核,直至合格。

2. 强化职业道德教育

将职业道德教育贯穿检测人员的职业生涯,定期组织职业道德培训课程,邀请行业内道德模范分享经验,剖析因职业道德缺失导致的重大工程质量事故案例,引导检测人员树立正确的职业价值观。建立检测人员诚信档案,详细记录其工作中的道德表现,包括是否存在数据造假、违规操作等行为。对于违反职业道德规范的人员,根据情节轻重给予警告、通报批评、取消从业资格等处罚,并将处理结果在行业内公示,起到警示作用。同时,建立职业道德激励机制,对道德表现优秀的检测人员给予表彰和奖励,营造良好的行业风气。^[8]

（三）更新检测设备策略分析

1. 加大资金投入

政府设立的桥梁工程检测设备更新专项基金,需制定科学合

理的申请流程。检测机构申请补贴时,需提交详细的设备购置计划,包括设备选型依据、预期检测效果、资金预算明细等资料。评审小组由行业专家、财务人员和监管部门代表组成,从技术可行性、经济合理性等方面对申请项目进行综合评估,确保资金用于购置真正需要的先进设备。检测机构自身也可通过与设备供应商签订长期合作协议,争取分期付款、设备租赁等优惠政策;积极寻求与高校、科研院所合作,共同申报科研项目,利用科研经费购置先进检测设备,并将科研成果应用于实际检测工作中。^[9]

2. 加强设备维护与管理

设备全生命周期管理系统的建立,可借助物联网技术,为每台设备安装传感器,实时采集设备运行状态、使用时长、故障次数等数据。通过数据分析,预测设备可能出现的故障,提前安排维护和维修工作,减少设备停机时间。根据设备使用频率和工作环境,制定个性化的维护周期。例如,在沿海地区使用的检测设备,因受盐雾腐蚀影响较大,需缩短维护周期,增加设备表面防腐处理的频次。配备专业的设备管理人员,定期参加设备厂家组织的技术培训,掌握设备的最新维护和维修技术。建立设备维护考核制度,将设备完好率、故障修复及时率等指标与管理人员绩效挂钩,激励其做好设备维护工作,确保检测设备始终处于良好运行状态。^[10]

四、结论

桥梁工程地基基础检测技术是保障桥梁工程质量与安全的关键技术手段。通过深入研究载荷试验法、动力触探法、低应变反射波法、声波透射法等检测技术要点,结合大量实际数据与案例,清晰揭示了当前检测工作存在的管理、人员、设备等方面问题。针对性提出的优化策略,从完善法规监管、提升人员素质、更新检测设备等维度,为提升桥梁工程地基基础检测水平提供了切实可行的路径。

参考文献

[1] 陆萍. 现代地基基础检测技术研究与应用 [J]. 交通科技与管理, 2024(16).
[2] 孔超. 广东富水软土层地基基础施工中土工合成材料的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2024(17).
[3] 李小曼, 耿方方. 苏通大桥地基基础安全监测项目管理 [J]. 现代交通技术, 2011(03).
[4] 李学伟, 宋小金, 车法. 粉质粘土地基超孔隙水压力消散规律研究 [J]. 中外公路, 2014(02).
[5] 陈博. 浅析强夯法的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2013(11).
[6] 王凯, 李阳. 桥梁工程地基基础检测技术要点分析 [J]. 交通世界, 2023(34): 132-133.
[7] 刘畅, 赵强. 桥梁地基基础检测技术与优化措施研究 [J]. 工程建设与设计, 2022(22): 195-197.
[8] 孙明, 张悦. 基于先进技术的桥梁地基基础检测要点探讨 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48 (16): 123-124.
[9] 陈辉. 桥梁工程地基基础检测技术及质量控制策略 [J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43 (06): 134+136.
[10] 李华, 周洋. 桥梁地基基础检测技术的应用及优化研究 [J]. 四川水泥, 2019 (09): 322.