

公路桥梁桩基施工质量缺陷的防治技术研究

宋丽丽 邵文 籍小芸

山东高速德州发展有限公司齐河养护大队, 山东德州, 253000;

摘要: 公路桥梁桩基是桥梁工程的核心基础结构, 施工质量直接决定桥梁整体承载能力和服役寿命。桩基施工大多在地下或水下复杂环境中进行, 容易受到地质条件、工艺参数、操作规范等因素影响, 进而引发桩身完整性不足、承载力不达标、沉降量过大等质量缺陷。文章围绕桩基施工全流程, 从施工前地质勘察、施工中工艺管控、施工后检测验收三个维度, 提出针对性防治技术和管控策略, 构建全链条质量保障体系, 提升公路桥梁桩基施工质量, 为桥梁工程安全稳定运行提供技术支持。

关键词: 公路桥梁桩基; 施工质量缺陷; 防治技术; 地质勘察; 质量管控

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.024

引言

公路桥梁桩基深埋地下, 承担着将桥梁上部结构荷载传递到深层稳定土层的关键作用, 是保障桥梁工程安全的重要结构。桩基施工涉及地质条件分析、成孔工艺选择、混凝土浇筑等多个环节, 每个环节的细微偏差都可能引发质量缺陷。这类缺陷隐蔽性强、检测难度大、处理成本高, 一旦形成, 不仅影响桥梁正常使用, 还可能引发结构失稳等严重安全事故。桥梁工程建设对桩基质量的要求不断提高, 传统施工管控模式侧重于事后补救, 难以从根本上规避质量风险。因此, 亟需从施工全流程出发, 探索一套涵盖事前预防、事中控制、事后验证的防治技术体系。优化施工工艺、强化过程监管、完善检测手段, 实现对桩基施工质量缺陷的精准防控, 推动公路桥梁基础工程施工技术向精细化、规范化方向发展。

1 施工前地质勘察与方案优化技术

1.1 精细化地质勘察技术

地质条件是影响桩基施工质量的核心因素, 全面精准的地质勘察是规避质量缺陷的前提。要采用综合勘察手段, 结合钻探取样、物探分析等技术, 明确施工区域地层分布、岩土体物理力学性质、地下水埋深及流速等关键指标。针对特殊地质区域, 要重点探明软弱夹层、岩溶孔洞、断层破碎带等不良地质构造的位置和范围, 分析它们对桩基成孔与承载能力的潜在影响。勘察成果要形成详细的地质报告, 为桩基选型、成孔工艺确定、施工参数设定提供科学依据。报告应明确不同地层对应的桩基施工注意事项, 避免因地质信息不明导致桩端嵌

入深度不足、桩侧摩阻力降低等问题, 建立地质勘察复核机制, 对勘察成果进行多维度验证, 确保数据真实可靠, 为后续施工方案制定奠定坚实基础。

1.2 施工方案动态优化设计

基于精细化地质勘察成果, 开展桩基施工方案的定制化设计。根据桥梁荷载要求和地质条件, 合理选择桩基类型, 比如钻孔灌注桩、沉管灌注桩、人工挖孔桩等。针对不同桩基类型, 制定对应的施工流程和技术要点, 明确成孔设备选型、泥浆指标控制、混凝土配合比设计等核心内容。施工方案要具备动态调整能力, 考虑施工过程中可能出现的地质变化。制定应急处置预案, 针对溶洞、流沙等突发地质问题, 预设加固处理措施, 比如钢护筒跟进、注浆加固等技术, 避免因地质突变引发塌孔、缩颈等质量缺陷, 组织技术专家对施工方案进行评审, 从工艺可行性、质量可控性、安全保障性等方面进行全面论证, 确保方案科学合理。

2 施工过程质量缺陷防治技术

2.1 成孔阶段质量缺陷防治

成孔质量直接影响桩身完整性, 要针对不同成孔工艺采取差异化管控措施。对于钻孔灌注桩, 要严格控制钻机垂直度, 通过水平仪与经纬仪实时监测, 确保钻机钻杆垂直偏差在规范范围内, 避免出现斜孔缺陷。同时, 合理调整钻进参数, 根据地层变化及时优化钻进速度与泥浆循环方式, 在砂层、卵石层等易塌孔地层中, 要加大泥浆黏度与比重, 增强泥浆护壁效果。对于人工挖孔桩, 要做好孔壁支护工作, 根据地层特性选择混凝土护壁、钢套管护壁等支护方式, 支护结构的强度与厚度要

满足抗塌孔要求。孔内作业要严格遵守安全规范，及时排除孔内积水与有害气体，防止因孔壁坍塌引发桩身直径不足、桩身偏移等质量问题。成孔完成后，要对孔深、孔径、垂直度进行全面检测，检测合格后才能进入下一道工序。

2.2 钢筋笼制作与安装质量控制

钢筋笼是保障桩基纵向承载力的核心构件，制作与安装质量直接关系桩身结构稳定性。钢筋笼制作要严格按照设计图纸进行，控制钢筋间距、箍筋加密区长度、焊接质量等关键指标，确保钢筋笼尺寸精准。钢筋焊接要保证焊缝饱满、无夹渣、无裂纹，焊接接头要错开布置，避免同一截面接头过多影响钢筋受力性能。钢筋笼安装过程中，要采用专用吊装设备，防止钢筋笼变形。安装时要控制钢筋笼垂直度，确保它与桩孔中心线重合，避免钢筋笼偏移导致保护层厚度不足。还要设置保护层垫块，垫块强度要满足要求，布置间距均匀，确保桩身混凝土保护层厚度符合设计标准。钢筋笼安装到位后，要进行固定，防止混凝土浇筑过程中钢筋笼上浮，引发桩身配筋不足等质量缺陷。

2.3 混凝土浇筑阶段缺陷防治

混凝土浇筑是桩基施工的关键环节，容易出现断桩、夹泥、蜂窝麻面等质量缺陷。浇筑前要对孔底沉渣进行清理，采用二次清孔技术，确保沉渣厚度符合规范要求。混凝土配合比要根据施工环境与地质条件进行调整，控制混凝土坍落度与初凝时间，确保混凝土具备良好的和易性与流动性。混凝土浇筑要采用导管法连续浇筑，导管理深要控制在合理范围，避免埋深过浅导致泥浆混入混凝土，形成夹泥层；也要避免埋深过深导致混凝土顶升困难，引发断桩。浇筑过程中要实时测量混凝土面上升高度，及时调整导管理深。同时，加强混凝土振捣，采用插入式振捣器分层振捣，确保混凝土密实度，避免因振捣不充分引发蜂窝麻面等缺陷。混凝土浇筑完成后，要做好养护工作，根据环境温度选择合适的养护方式，保证混凝土强度稳步增长。

3 施工后检测验收与缺陷处理技术

3.1 桩基质量无损检测技术

施工后的检测验收是判断桩基施工质量是否达标的关键步骤，要结合多种无损检测技术，对桩基进行全面深入的质量检查。无损检测技术不会损伤桩基本身，

检测效率高，还能快速反馈数据，是评定公路桥梁桩基质量的核心技术支持。低应变反射波法是检测桩身完整性的常用技术，它的检测原理来自应力波传播理论。检测时，用专用激振设备在桩顶施加瞬间冲击力，激发的应力波会顺着桩身向下传播。应力波在传播时，遇到桩身截面变化、混凝土密实度不一样、断桩等缺陷位置，就会产生反射波并传回桩顶。用传感器捕捉反射波的传播时间、波形特点、振幅大小等参数，再结合应力波在混凝土里的传播速度，就能准确判断桩身缺陷的位置、类型和严重程度。这项技术操作简单、成本不高，适合对大部分中小直径桩基进行快速检测，能完成对桩身完整性的初步检查和分类。高应变动力试桩法主要用来评估桩基竖向抗压承载力，同时也能辅助判断桩身完整性。检测时，用重锤冲击桩顶，让桩身产生明显的塑性变形，这个过程中桩侧摩阻力和桩端阻力会被充分激发出来。通过安装在桩顶的力传感器和加速度传感器，同步收集冲击过程中的力时程曲线和加速度时程曲线，再用专业分析软件对收集的数据进行整合计算，就能得出桩基的极限承载力数值。这项技术能模拟桩基实际受力情况，检测结果更符合工程实际，适合对大直径、高承载力的桩基进行承载力检测，为桩基工程的安全性评估提供关键数据。超声波透射法是一种高精度的桩基检测技术，适合对桩身混凝土质量要求严格的桥梁工程。这项技术需要在桩基施工时提前预埋声测管，声测管一般沿着桩身均匀布置，数量要根据桩径大小来确定。检测时，在一根声测管里放入发射换能器，另一根声测管里放入接收换能器，发射换能器发出的超声波信号会穿过两根管子之间的混凝土，被接收换能器捕捉到。超声波在混凝土中的传播速度、振幅衰减、波形变化等参数，和混凝土的密实度、均匀度关系密切。如果混凝土里有蜂窝、孔洞、夹泥等缺陷，超声波的传播路径就会改变，传播速度会变慢，振幅衰减会加剧。通过对不同深度的混凝土逐一检测，绘制出超声波参数变化曲线，就能对桩身混凝土质量进行精细化检测，精准找到缺陷的具体位置和范围。实际检测工作中，要结合不同检测技术的优点和适用范围，采用多种技术一起检测的方式，为后续缺陷处理提供科学依据。

3.2 常见质量缺陷处理技术

针对无损检测发现的不同类型、不同严重程度的桩基质量缺陷，要遵循“分类施策、精准处理、安全可靠”

的原则,制定针对性的处理方案,消除质量隐患,保障桩基的承载能力和结构稳定性。对于桩身局部蜂窝麻面、浅层夹泥、轻微裂缝等不太严重的质量缺陷,可以用注浆加固技术处理。注浆加固技术的核心原理,是把有胶凝性的浆液通过高压注浆设备注入桩身缺陷部位。浆液填满缺陷空隙后会慢慢固化,和原桩身混凝土结合成整体,以此恢复桩身完整性,提高混凝土密实度。施工时,先要精确定位缺陷位置,再用钻孔设备在对应位置钻孔,钻孔深度要穿透缺陷层。之后清理钻孔里的碎屑和杂质,把注浆管插入钻孔并固定好。根据缺陷类型选择合适的注浆材料,浅层缺陷可以用水泥浆液,成本低且固化效果好;裂缝宽度小的缺陷可以用环氧树脂浆液,它的渗透性强,能有效填充细微裂缝。注浆过程中要严格控制注浆压力和注浆量,注浆压力要根据桩身混凝土强度、缺陷深度等参数确定,防止压力过大造成桩身混凝土二次损伤。注浆完成后,要检验注浆效果,可再次用低应变反射波法或超声波透射法检测,确认缺陷是否被完全填满。对于桩身缩颈、局部断桩、混凝土强度不足等中等程度的质量缺陷,可以用高压喷射注浆技术加固处理。高压喷射注浆技术是利用高压喷射流的切削作用,对桩身缺陷部位进行加固的技术。施工时,用钻机把带有特殊喷嘴的注浆管钻进桩身缺陷位置,然后高压泵将浆液加压,通过喷嘴喷出高压喷射流,切削破坏缺陷部位的松散混凝土和土体,同时把浆液和切削下来的土体搅拌混合。随着注浆管慢慢提升,混合浆液会逐渐固化,形成圆柱状的固结体。这个固结体和原桩身混凝土紧密结合,能有效扩大桩身截面面积,提升桩基的承载能力。根据喷射方式不同,高压喷射注浆技术分为旋喷、摆喷、定喷三种,要根据缺陷的分布范围和形态选择合适的喷射方式。处理桩身缩颈缺陷可以用旋喷方式,形成圆形固结体;处理局部断桩缺陷可以用摆喷方式,扩大加固范围。施工完成后,要通过静载试验检测桩基承载力,确保处理后的桩基满足设计要求。对于严重断桩、桩身偏移过大、桩端持力层不满足设计要求等,无法用常规加固技术处理的重大质量缺陷,要采用补桩处理技术。补桩处理技术是在原桩基附近重新施工新的桩基,通过新桩基分担原桩基的荷载,保障桥梁上部结构的稳定性。

先要全面评估原桩基的缺陷情况,结合桥梁整体受力分析,确定补桩的数量、位置、桩型和承载力要求。补桩的桩型可根据工程地质条件和施工条件选择,一般用钻孔灌注桩,适应性强、承载能力高。补桩施工时,要严格控制桩位偏差、桩身垂直度、混凝土浇筑质量等关键指标,保证补桩的施工质量。补桩和原桩基要一起承担上部结构荷载,因此需要在桩基顶部设置连系梁,把原桩基和补桩连接成整体,让荷载能均匀传递,避免单桩受力过大。补桩施工完成后,要检测补桩质量,同时监测原桩基和补桩的协同受力情况,确保桥梁基础安全稳定,要结合工程实际情况,采用纠偏、钢筋笼复位等专项处理技术。缺陷处理过程中,要加强施工过程管控,做好每一道工序的质量验收,处理完成后要进行全面质量检测,确保缺陷处理达到预期效果。

4 结语

公路桥梁桩基施工质量缺陷防治是一项贯穿施工全流程的系统性工程,施工前的精细化地质勘察与方案优化是规避质量风险的前提,施工过程中的工艺管控与质量监督是减少质量缺陷的核心,施工后的无损检测与缺陷处理是保障桩基质量的关键。桩基是桥梁工程的核心基础结构,它的质量直接关系到桥梁的整体稳定性和服役寿命。在桩基施工过程中,要充分结合工程地质条件,选择合适的施工工艺,强化施工人员的质量意识,落实各项质量管控措施。同时,要不断创新和完善无损检测技术,提升缺陷识别的精准度,优化缺陷处理方案,推动桩基施工质量管控向精细化、智能化方向发展。

参考文献

- [1]何剑.公路桥梁桩基施工常见质量问题及控制措施[J].广东公路交通,2021,47(03):48-51.
- [2]武丽勇.桥梁施工桩基嵌岩桩技术探讨[J].黑龙江交通科技,2021,44(05):118,120.
- [3]刘林利.公路桥梁桩基施工的常见故障[J].四川建材,2021,47(05):120,126.
- [4]朱龙宝.桥梁桩基施工技术 with 质量控制分析[J].资源信息与工程,2021,36(02):76-78.
- [5]刘伟.公路桥梁桩基工程中反循环钻孔施工技术[J].四川建材,2021,47(04):130-131.