

高速公路桥梁大直径桩基施工关键技术与质量控制

胡刚

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]高速公路桥梁大直径桩基施工采用旋挖钻、冲击钻、冲抓钻等成孔工艺, 结合泥浆护壁、钢筋笼精准安装、混凝土灌注及后注浆技术, 以提高桩基承载力和耐久性。复杂地质条件下, 通过砂层及卵石层稳定措施、软弱地基加固、岩溶处理等方法保障施工质量。全过程质量控制包括成孔垂直度、钢筋笼定位、混凝土密实度检测, 并采用超声波检测、静载试验等方式验收。优化施工工艺可提升施工效率, 降低成本, 提高结构安全性与长期稳定性, 适应大跨度桥梁对基础承载力的高要求。

[关键词]大直径桩基; 旋挖钻; 成孔工艺; 质量控制; 超声波检测

DOI: 10.33142/ec.v8i4.16335

中图分类号: U445.5

文献标识码: A

Key Technologies and Quality Control for Large Diameter Pile Foundation Construction of Highway Bridges

HU Gang

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: The construction of large-diameter pile foundations for highway bridges adopts drilling techniques such as rotary drilling, impact drilling, and grabbing drilling, combined with slurry wall protection, precise installation of steel cages, concrete pouring, and post grouting technology to improve the bearing capacity and durability of pile foundations. Under complex geological conditions, construction quality is ensured through measures such as stabilizing sand and gravel layers, reinforcing weak foundations, and karst treatment. The whole process quality control includes hole verticality, steel cage positioning, concrete compactness testing, and acceptance through ultrasonic testing, static load testing, and other methods. Optimizing construction technology can improve construction efficiency, reduce costs, enhance structural safety and long-term stability, and meet the high requirements of foundation bearing capacity for large-span bridges.

Keywords: large diameter pile foundation; rotary drill; pore forming process; quality control; ultrasonic testing

引言

高速公路桥梁建设对基础稳定性和承载力要求极高, 大直径桩基因其强度高、适应复杂地质条件的特点, 成为主流基础形式。然而, 施工过程中面临成孔垂直度控制、塌孔风险、钢筋笼安装精度、混凝土灌注均匀性等技术挑战, 直接影响桥梁结构的安全性与耐久性。通过先进成孔工艺、泥浆护壁技术、精细化施工管理以及高精度检测手段, 可有效提升施工质量, 确保桩基长期稳定。质量控制体系贯穿勘察、施工、检测与验收各环节, 为桥梁工程提供可靠支撑。针对不同地质条件和施工环境的优化措施, 将进一步推动大直径桩基施工技术的发展, 满足现代桥梁建设的高标准需求。

1 高速公路桥梁大直径桩基施工概述

1.1 大直径桩基的定义与特点

大直径桩基是指桩径一般在 1.5m 及以上的钻孔灌注桩, 广泛应用于高速公路桥梁、跨江跨海大桥等大型工程。其主要功能是提供强大的承载能力, 确保桥梁在各种复杂荷载作用下保持稳定。相较于普通桩基, 大直径桩基可有效降低单桩沉降, 减少桥梁基础的不均匀沉降, 提高整体结构的安全性。

在复杂地质条件下, 如软弱地基、砂层、岩溶区等, 大直径桩基能够穿透不良地层, 达到稳定的持力层, 提高桩基抗拔、抗压及抗弯能力。此外, 该类桩基能够更好地适应高水位地区, 减少水流对基础的冲刷影响, 保证桥梁长期运营的安全性。然而, 大直径桩基施工工艺复杂, 对成孔设备、钢筋笼吊装、混凝土灌注及质量检测技术要求较高。施工过程中, 需要严格控制成孔垂直度、钢筋笼定位及混凝土密实度, 避免质量缺陷影响桩基的承载能力和耐久性^[1]。

1.2 高速公路桥梁对桩基的基本要求

高速公路桥梁的荷载较大, 且需要长期承受动荷载、温度变化、地质环境变化等因素的影响, 因此桩基必须具备高承载力和长期稳定性。首先, 桩基需具有足够的抗压、抗拔及抗弯能力, 以确保桥梁在运营期间的稳定性。其次, 为防止不均匀沉降影响桥梁结构, 桩基应具备良好的地基适应性, 在不同地质条件下均能保持合理的沉降控制。此外, 高速公路桥梁的施工周期紧凑, 施工环境复杂, 要求桩基施工过程高效、可靠, 并能够降低环境影响, 如减少泥浆污染、降低施工噪声等。

1.3 施工技术的发展现状

随着桥梁建设规模的扩大和工程技术的进步, 大直径

桩基施工技术不断发展。目前,旋挖钻、冲击钻、冲抓钻等多种成孔工艺广泛应用,其中旋挖钻因成孔效率高、对地层扰动小,在桥梁基础施工中使用较为普遍。此外,泥浆护壁技术、钢护筒辅助成孔、后注浆技术等关键工艺进一步提升了桩基施工的可靠性^[2]。在质量检测方面,静载试验、超声波检测、钻芯取样等手段能够精准评估桩基承载力和完整性,确保施工质量满足设计要求。同时,智能化施工技术的应用,如自动化成孔监测系统、三维成孔数据分析等,使得施工精度和效率进一步提升,为大直径桩基施工提供了更加科学的管理和控制手段。

2 大直径桩基施工关键技术

2.1 勘察与设计阶段的关键技术

地质勘察是大直径桩基施工的基础,直接影响桩基设计和施工方案的制定。勘察内容包括地层分布、地下水位变化、岩土物理力学性质等,通过钻探、原位测试、室内试验等手段获取精准数据。对于复杂地质条件,如砂层、软弱黏土层或岩溶发育区域,需要进行深入的地质分析,预测施工过程中可能出现的塌孔、涌水、孔壁失稳等问题,并提出相应对策。

桩基设计需综合考虑桥梁荷载、地质条件及环境因素,确保基础的承载能力和稳定性。设计时应优选桩型,合理确定桩长、桩径及布置方式,提高结构可靠性。对于软弱地基区域,可采用桩-土共同作用分析,优化桩端持力层及桩身摩阻力分布,减少不均匀沉降^[3]。

2.2 施工工艺与技术要点

大直径桩基成孔方式主要包括旋挖钻、冲击钻和冲抓钻等。旋挖钻成孔速度快,适用于软硬相间地层;冲击钻适用于卵石层及强风化岩层,能有效破碎坚硬地层;冲抓钻主要用于稳定地层,成孔精度较高。在施工过程中,应根据地层特点选择合适的钻具及施工参数,避免塌孔、偏孔等质量问题。

在松散地层或高水位区域,泥浆护壁是保持孔壁稳定的重要手段。泥浆配比需根据地层条件调整,以提高泥浆的悬浮性、稳定性及携渣能力。施工中应实时监测泥浆比重、黏度和含砂率,确保孔壁稳定,减少塌孔和渗漏风险。

钢筋笼需按照设计要求精确加工,确保焊接质量和结构刚度。吊装过程中,采用分段拼接方式,通过定位筋、导向架等措施保证安装精度。钢筋笼入孔时应避免变形或偏移,确保保护层厚度满足设计要求,增强桩基整体受力性能。

混凝土灌注采用导管法进行水下灌注,需保证导管密封性及混凝土连续供应,防止离析和断桩。后注浆技术通过在桩底或桩侧注浆,提高桩端承载力和桩侧摩阻力,减少沉降,提高桩基承载能力。施工中应严格控制灌注速度、导管埋深及混凝土配合比,确保桩身密实度和完整性。

2.3 复杂地质条件下的施工技术

砂层和卵石层成孔易塌陷,需采用高比重泥浆护壁,

并在钻进过程中降低进尺速度,减少孔壁扰动。对于卵石层,可使用冲击钻或旋挖钻配合扩底钻头,提高成孔效率。必要时可采用套管跟进或振动沉管技术,增强孔壁稳定性。

软弱地基易引发桩基沉降或承载力不足的问题,需采取加固措施,如桩端注浆加固、砂石填充或置换等方式,提高地基承载力。在高含水量黏土层,可采用真空预压或高压旋喷技术改善地基稳定性,减少后期沉降。

岩溶地区桩基施工需防止桩端悬空或承载层不均匀,通常采用桩端注浆填充溶洞或灌浆加固桩周土体,增强基础稳定性。在断层破碎带或膨胀土地区,需加强桩身结构设计,采用钢护筒保护或加深持力层,提高桩基抗震能力和长期稳定性。

3 大直径桩基施工质量控制

3.1 施工过程中的质量管理体系

大直径桩基施工涉及多个环节,需要建立完善的质量管理体系。施工单位需设立专门的质量管理部门,明确职责分工,包括现场施工管理、技术监督、质量检测等。通过制定质量控制标准和施工规范,建立全流程质量追溯机制,确保施工各环节符合设计及规范要求。

施工监理在质量管理中起关键作用,主要负责施工方案审核、施工过程监督及质量检测工作。在施工前期,监理需审核施工组织设计及技术方案,确保其合理可行。在施工过程中,监理对关键工序进行旁站监督,包括成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等环节,并对施工质量进行实时检测,以防止质量缺陷和隐患^[4]。

3.2 关键工序质量控制措施

成孔质量直接影响桩基的稳定性和承载能力,需严格控制垂直度、孔径及孔深。施工中采用测斜仪、激光垂准仪等设备实时检测孔壁垂直度,确保误差控制在规范允许范围内。孔径及孔深需符合设计要求,钻孔完成后进行清孔作业,避免孔底沉渣过厚影响桩端承载力。

钢筋笼需按照设计要求进行制作与安装,确保位置准确、焊接质量合格。安装过程中,通过定位架、导向架控制钢筋笼的垂直度和居中性,防止偏位或倾斜。焊接质量检测包括焊缝强度、焊接接头完整性等,确保钢筋笼的整体刚度和稳定性。同时,需保证钢筋笼保护层厚度均匀,避免钢筋外露影响桩基耐久性。

混凝土灌注是桩基成型的关键环节,需控制均匀性、密实度及避免离析问题。灌注采用导管法进行连续施工,确保混凝土流动性良好,防止断桩或夹层现象。灌注过程中,实时监测混凝土坍落度、流动性,确保混凝土均匀填充桩身。施工完成后,可通过钻芯检测混凝土密实度,并结合超声波检测手段判断桩身完整性。

3.3 质量检测与验收标准

桩基施工完成后,通过静载试验和动态试验评估承载能力及变形特性。静载试验采用加载方式测试桩基的极限

承载力及变形特性,确保满足设计荷载要求。动态试验采用低应变或高应变检测技术,通过桩身振动特性分析桩基完整性及承载力,为施工质量提供可靠依据。

超声波检测是无损检测桩身质量的重要手段,通过超声波信号分析桩身密实度、完整性及是否存在缺陷。钻芯取样通过机械取芯方式,直接获取桩身混凝土样品,检测混凝土强度、均匀性及内部缺陷情况。结合两种检测手段,可全面评估桩身质量,确保施工达到规范标准。

大直径桩基的验收标准需符合国家及行业规范,包括《公路桥涵基础设计规范》《建筑地基基础工程施工质量验收规范》等,确保承载力、变形、桩身完整性等指标达到设计要求。验收过程中,需提供施工记录、检测报告及试验数据,形成完整的质量档案,确保桩基工程满足使用要求,为桥梁安全运营提供可靠保障。

4 施工安全与环境保护

4.1 施工安全管理措施

大直径桩基施工涉及大型机械设备、高空作业及复杂工序,施工人员的安全培训至关重要。在施工前,应定期组织安全教育培训,普及安全操作规程、事故应急处理方法,并进行实操演练,提升人员安全意识。施工现场需建立安全责任制,明确各级人员的安全职责,并配备专职安全员进行现场监督,确保所有人员严格按照安全规范作业^[5]。

施工过程中涉及旋挖钻机、冲击钻、混凝土泵车、钢筋笼吊装设备等大型机械,设备的安全运行直接影响施工安全。施工前需对所有设备进行全面检查,包括液压系统、电气系统、机械部件等,确保设备运行状态良好。施工过程中,需建立定期维护制度,防止设备故障导致安全事故。特殊工况下,如高水位区域施工,需配备专门的应急设备,防止因设备失效引发施工风险。

施工现场需进行全面的风险评估,针对塌孔、机械故障、高空坠落、有害气体泄漏等可能发生的危险制定详细的应急预案。施工前,需模拟可能发生的突发情况,开展应急演练,提高施工人员的应变能力。对于极端天气、地质突变等不可预见的突发情况,施工单位需准备备用施工方案,并确保应急救援设备和人员随时待命,减少安全事故的影响。

4.2 施工对环境的影响及对策

桩基施工过程中,大量泥浆用于成孔护壁,如果处理不当,可能对周围水体和土壤造成污染。施工现场需建立泥浆循环利用系统,采用沉淀池、泥浆回收设备减少泥浆排放,现场配备专用泥浆箱、砂石分离机等设施,实现资源回收再利用,最大程度减少环境污染。同时,施工过程中

中应使用环保型泥浆,降低对环境的污染。对于废弃泥浆,应按照环保要求进行固化处理或运输至指定区域集中处理,避免随意倾倒对生态环境造成破坏。

施工过程中,旋挖钻机、混凝土搅拌站、吊装设备等均会产生较大噪声,对周围环境造成影响。为降低噪声污染,可采取隔音屏障、施工时间控制、设备降噪等措施,减少对周边居民及生态环境的干扰。扬尘污染主要来源于施工现场的土方作业及物料堆放,施工过程中需洒水降尘,裸露土方区域应覆盖防尘网,减少扬尘扩散。此外,施工道路需定期清扫,减少运输车辆带来的粉尘污染。

桥梁基础施工对周边生态系统有一定影响,特别是在湿地、河流及植被覆盖区域,需采取严格的生态保护措施。施工前应制定生态保护方案,减少施工区域内的植被破坏,并在施工完成后进行生态恢复,如种植草皮、植树造林等。施工过程中推广绿色施工技术,如使用低碳环保材料、优化施工工艺减少能耗等,提升施工的可持续性。此外,合理规划施工场地,科学布设施工设施,避免对周边生态环境的过度扰动,确保桥梁建设与生态环境的协调发展。

5 结语

高速公路桥梁大直径桩基施工技术是确保桥梁结构安全与长期稳定的关键。通过合理的地质勘察与设计优化,可提高桩基承载力并适应复杂地质条件。施工过程中,成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等关键工序需严格控制,结合静载试验、超声波检测等手段,确保质量符合规范要求。安全管理与环境保护同样不可忽视,通过完善的安全培训、设备维护及环保措施,减少施工风险与环境污染。未来,智能化施工、绿色施工技术的发展将进一步提升桩基施工质量与效率,满足现代桥梁建设对高承载力、高耐久性基础结构的需求,为交通基础设施建设提供更可靠的技术保障。

[参考文献]

- [1] 韩利江. 地裂隙地质条件下水中大直径桩基施工技术[J]. 科学技术创新, 2023(19): 109-112.
- [2] 余健雄. 东江特大桥大直径桩基旋挖钻施工成孔工艺研究[J]. 交通世界, 2024(23): 158-160.
- [3] 林敦杰. 市政桥梁灌注桩大直径桩基加固方案分析[J]. 散装水泥, 2024(5): 136-138.
- [4] 冯桂艳, 杨春明. 市政桥梁灌注桩大直径桩基加固施工技术[J]. 科学技术创新, 2024(8): 188-191.
- [5] 范睿博. 公路桥梁大直径桩基加固补强施工技术研究[J]. 智能城市, 2024, 10(8): 114-116.

作者简介: 胡刚(1989.12—), 男, 职称: 路桥中级, 籍贯: 湖北仙桃。