

基于复杂地质条件的桥梁桩基施工技术 与质量控制

●王海东 田 凯 李 显 徐世江



[摘要] 复杂地质条件下的桥梁桩基施工面临诸多技术挑战。本文以贵港市西外环高速公路上跨南广高铁转体桥工程为例,探讨了成孔工艺、溶洞处理技术及质量控制措施等关键技术。通过科学合理的施工方法和严格的质量监控,成功解决了成孔稳定性、泥浆漏失等问题,确保了施工质量和桩基稳定性,为类似工程提供了参考。研究表明,创新的施工技术和严格的质量控制是克服复杂地质条件的关键。

[关键词] 复杂地质条件、桥梁桩基施工、质量控制、溶洞处理、成孔工艺

随着桥梁工程规模的不断扩大,复杂地质条件下的桩基施工成为影响工程质量和安全的重要因素。尤其是在地质构造复杂的区域,成孔稳定性、溶洞处理以及泥浆漏失等问题给施工带来了极大的挑战。传统的桩基施工方法在面对高塑性红粘土层和裂隙发育的中风化白云质灰岩等复杂地层时,往往难以满足施工质量的要求。因此,研究如何在复杂地质环境中优化施工技术与质量控制,具有重要的理论和实践意义。

国内外研究在复杂地质条件下的桥梁施工中探索了多种方法。例如,美国研究团队提出在溶洞区域结合使用高黏度泥浆与钢护筒以增强成孔稳定性,而欧洲学者通过实时监控提升了施工质量控制水平。国内研究则针对红粘土层与中风化白云质灰岩的特点,探索了护筒跟进、注浆加固等技术,有效解决了孔壁坍塌、泥浆漏失等问题。

本文以贵港市西外环高速公路上跨南广高铁转体桥工程为例,探讨在复杂地质条件下桥梁桩基施工的关键技术及质量控制措施。通过整合科学施工方法和严格的质量监控体系,本文期望为类似工程提供技术支持和实践参考,推动复杂地质条件下桥梁施工技术的优化与发展。

工程概况与施工技术

贵港市西外环高速公路上跨南广高铁转体桥工程位于广西贵港市,作为重要的交通基础设施项目,其设计考虑了复杂的地质条件和区域气候特点。桥梁主体采用预应力混凝土T型刚构结构,桥面宽度 2×20.1 米,主墩桩基直径2.0米,深度达25米,以增强结构的稳定性和抗震性。施工团

队面对高塑性红粘土层与中风化白云质灰岩等复杂地质层,采用了以下关键施工技术,以确保桩基稳定性和施工质量。

(一) 钻孔灌注桩技术的优化

在红粘土层中进行钻孔施工面临孔壁坍塌的风险,施工团队应用了护筒跟进法。在成孔过程中同步安装钢护筒,既增强孔壁支撑力,又保持了钻孔的垂直度和深度控制。为确保成孔质量,施工过程中引入了高精度测量设备,通过实时监控钻进速度、孔径垂直度等关键参数,施工团队能够依据实时数据调整操作,提升了钻孔精度和成孔稳定性。

为适应地层特性,团队还对泥浆配比进行了优化。采用高黏度泥浆在钻孔过程中封堵岩层裂隙,防止泥浆漏失。该措施有效保障了成孔稳定性,减少了施工材料的浪费,确保了整体施工的顺利推进。

(二) 溶洞处理技术

施工区域内溶洞广泛分布,且大小不一、形状多变,传统的填充方法在应对大型溶洞时效果有限。为此,施工团队对溶洞处理方法进行了细化,以保证桩基的承载力和稳定性。

小型溶洞处理: 对于较小的溶洞,团队采用片石与粘土填充的方式逐层填充,既有效封堵溶洞,又增加了桩基的整体稳定性。

大型溶洞处理: 针对宽度大、深度不一的溶洞,团队应用了钢护筒加固法。在溶洞位置放置钢护筒,将溶洞与钻孔隔离,然后分层填充低标号混凝土并逐层夯实。这种方法不仅提高了承载力,而且有效避免了钻孔中的塌孔和漏浆问题。

（三）成孔工艺与实时监控

成孔质量直接影响到桩基的承载能力和稳定性。施工团队应用实时监控系統，通过监测泥浆比重、黏度和钻进速度等参数，施工人员能够依据现场地质情况快速调整工艺参数，确保成孔过程平稳高效。此外，团队在施工前进行试孔，以获得不同地质条件下的施工参数，帮助优化正式施工方案。实时监控系统的引入在保障成孔质量和施工安全方面发挥了关键作用，为项目的高质量实施提供了技术支持。

Q 技术难点与应对措施

贵港市西外环高速公路转体桥桩基施工面临的主要技术难点包括成孔稳定性、溶洞处理以及泥浆漏失。施工团队通过科学的技术手段和合理的应对措施，成功解决了这些难题，确保了施工质量。

（一）成孔稳定性控制的关键措施

在红粘土层施工时，由于其高塑性和膨胀性，孔壁坍塌风险较大，尤其在钻孔穿越中风化白云质灰岩层时，裂隙发育进一步削弱了孔壁的稳定性。为应对该问题，施工团队采用了护筒跟进法，通过同步安装钢护筒支撑孔壁，有效防止坍塌。同时，团队调整泥浆配比，采用高黏度泥浆封堵岩层裂隙，从而提升泥浆的护壁效果。通过这些措施，施工团队成功地将坍孔风险降至最低，确保成孔过程的稳定。

案例分析：在初期施工过程中，部分钻孔深度达到红粘土层底部时，孔壁出现轻微塌陷。通过迅速增加护筒支撑力并调整泥浆黏度，孔壁坍塌得到有效控制。该案例表明，护筒跟进法和泥浆调配的联合作用在应对坍孔风险方面效果显著。

（二）溶洞的处理与加固

施工区域内的溶洞多样且分布不规则，溶洞的处理直接关系到桩基的承载能力和施工的稳定性。施工团队依据溶洞的大小和形状，采取了不同的加固方案，以确保处理效果达到设计要求。

小型溶洞处理：团队在小型溶洞中采用片石和粘土逐层填充的方式，既能有效封堵溶洞，又能增强桩基的整体稳定性。

大型溶洞处理：对于宽度较大的溶洞，团队使用钢护筒隔离溶洞并在其中分层填充低标号混凝土。填充完成后进行夯实处理，使桩基的承载力和稳定性达到预期效果。

案例分析：在某次钻孔过程中，施工团队遇到一个大型溶洞，直接影响钻孔的连贯性。团队立即采取钢护筒加固措施，通过护筒隔离溶洞并逐层填充混凝土，避免了泥浆渗漏和孔壁塌陷。静载试验结果显示，桩基承载力完全符合设计要求。该案例验证了钢护筒加固法在处理大型溶洞中的有效性。

（三）漏浆问题的预防与控制

在穿越溶洞和裂隙发育地层时，泥浆漏失是施工中的常见问题，若不及时处理，不仅浪费材料，还可能导致桩基周围土体的沉降，影响桩基稳定性。为有效控制漏浆，施工团队在施工前进行了详细地质勘探，尽可能提前识别溶洞和裂隙分布。

在施工过程中，团队采用高黏度泥浆封堵裂隙，并在必要时进行注浆，以在裂隙中形成稳定的填充体，防止泥浆渗漏。此外，施工团队引入实时监控系統随时监测泥浆流失情况，及时调整注浆参数，确保填充效果最佳化。

案例分析：在项目早期的某次施工中，钻孔穿越裂隙时发生了较严重的漏浆现象。团队通过增加泥浆黏度和调整注浆量，泥浆流失得到有效控制，最终确保成孔质量符合设计要求。该案例展示了实时监控和注浆技术在漏浆控制中的重要作用。

Q 质量控制与反馈机制

在复杂地质条件下的桥梁桩基施工中，质量控制是确保施工成功的关键。贵港市西外环高速公路转体桥工程采用了系统化的质量控制措施，从施工准备、过程监控到验收检验，确保每个环节都符合设计标准。施工团队还建立了持续反馈与改进机制，以保证施工过程中发现的问题能够及时反馈和优化。

（一）施工前的质量控制与准备

在桩基施工前，施工团队进行了详尽的地质勘探和数据分析，为制定针对性的施工方案提供科学依据。试桩是前期质量控制的重要步骤，通过试桩，团队验证了施工方案的可行性，识别潜在的技术问题，并优化了泥浆护壁、钻孔方法和溶洞处理的关键参数。施工团队还为所有人员进行了技术培训，确保所有成员熟悉施工标准，具备解决突发问题的应变能力。

（二）施工过程中的实时监控与动态调整

施工过程中，施工团队引入了实时监控系統，以确保质量控制的高效实施。在成孔、浇筑等关键环节，监控设备可实时测量泥浆比重、钻孔垂直度、孔径一致性等参数。数据传输到施工控制中心，施工人员可据此实时调整施工工艺，确保每一根桩基的施工质量符合设计要求。实时监控系统的运用不仅提高了数据的可追溯性，还避免了因人为监控不足导致的质量偏差。

为进一步优化质量控制，团队引入了在线质量控制系統，能够自动记录、分析施工过程中的关键数据，并生成质量报告。此系统的应用使团队能够快速发现施工中的偏差，并及时采取修正措施，确保整体施工质量。

（三）施工后的质量检验与验收

桩基施工完成后,施工团队进行了全面的质量检验,包括静载试验和材料强度检测。静载试验是确保桩基承载力的重要步骤,通过加载观察桩基的沉降情况,判断其承载力是否达到设计要求。此外,施工团队对混凝土强度、密实度等材料指标进行了严格检测,确保桩基材料的长期稳定性。

验收工作由施工团队联合第三方检测机构进行,确保验收过程的公正性和权威性。验收后的质量报告不仅为项目的顺利完成提供了科学数据,还为后续的长期安全使用奠定了基础。

(四)质量控制的持续改进与反馈机制

质量控制不仅限于施工过程,施工团队还建立了持续反馈与改进机制,通过定期的质量评估会议,总结施工过程中发现的问题,优化后续施工方案。每一项技术调整和改进都会记录在案,形成系统化的施工经验和标准化的质量管理流程。

此反馈机制特别重要,在地质条件多变的情况下,通过及时记录和反馈施工中的问题,施工团队能够迅速采取适应性措施,降低施工风险,提升质量控制效果。该机制的实施提高了团队的技术能力和在复杂地质条件下的应变能力,为未来类似工程提供了宝贵的参考。

Q 结论

本文以贵港市西外环高速公路上跨南广高铁转体桥工程为案例,研究了复杂地质条件下桥梁桩基施工的技术难点和质量控制措施。通过结合科学的施工技术与严谨的质量控制手段,施工团队在成孔稳定性、溶洞处理和泥浆漏失等方面取得了显著成果。总结如下:

(一)创新技术应对复杂地质

通过采用护筒跟进、高黏度泥浆护壁和钢护筒加固等创新施工技术,施工团队有效解决了高塑性红粘土层和中风化白云质灰岩带来的成孔稳定性和溶洞处理难题。案例分析表明,这些技术措施在增强桩基承载力和稳定性方面具有显著优势,证明了在复杂地质条件下创新施工方法的必要性。

(二)严格的质量控制贯穿施工全过程

从施工前的准备到施工过程中的实时监控,以及施工后

的静载试验和验收,团队全程执行高标准的质量控制措施。在线质量控制系统和实时监控技术的引入确保了施工质量的高效性和数据的可追溯性,有效避免了施工中出现的潜在质量问题。

(三)案例分析验证技术有效性

成功解决漏浆、溶洞处理和承载力不足等实际问题的案例展示了所采取的技术措施的有效性,为类似地质条件下的工程提供了宝贵的参考。这些实践经验表明,科学的技术手段结合严格的质量管理能够有效保障工程的顺利实施。

(四)持续改进机制的重要性

施工团队通过定期反馈和质量改进机制,不断优化施工方案,提升了应对复杂地质环境的能力。该机制的成功实施不仅确保了当前项目的高质量完成,也为后续类似工程提供了宝贵的技术经验和数据支持。

总体而言,本研究为复杂地质条件下桥梁桩基施工技术优化提供了实践验证,并为未来类似工程的设计与实施奠定了基础。科学的施工方法和系统化的质量控制手段是确保工程安全性和稳定性的关键,希望本研究成果能够为后续工程提供有力的技术支持和指导。

参考文献

- [1]张龙云.随钻跟管桩桩侧阻力试验研究[D].广州大学,2020.
- [2]田磊.水中桩基施工平台钢护筒纠偏对策[J].四川水泥,2021,(05):89-90.
- [3]张毓珂.复杂地质条件下桥梁桩基施工质量控制体会[J].质量与市场,2022,(14):127-129.

作者简介:

王海东(1979—),男,汉族,湖南郴州人,本科,高级工程师,中铁十四局集团第五工程有限公司,研究方向:桥梁工程。

田凯(1989—),男,汉族,吉林长春人,本科,工程师,贵港市西外环高速公路有限公司,研究方向:桥梁工程。

李显(1995—),男,汉族,河南南阳人,本科,助理工程师,中铁十四局集团第五工程有限公司,研究方向:桥梁工程。

徐世江(1998—),男,汉族,云南曲靖人,本科,助理工程师,中铁十四局集团第五工程有限公司,研究方向:铁道工程。