

临河喀斯特地貌区域风机基础施工技术研究应用

高元博

中国水利水电第十一工程局有限公司, 中国·河南 郑州 450001

摘要: 喀斯特地貌地区, 地基渗水问题尤为突出, 对风机基础的稳定性和耐久性构成了严峻挑战。传统的灌浆、水下混凝土、灌注桩等处理方法存在着处理时间长、费用高, 质量低等诸多局限性。贵港风电项目针对平原风场风机基础在喀斯特地基上渗水问题, 通过精确识别渗水点、科学设计刻槽参数、优化引流与填充材料选择等步骤, 实现了对喀斯特地基渗水的有效控制, 显著提升了风机基础的稳定性和耐久性。

关键词: 喀斯特地貌; 风机基础; 渗水; 刻槽

Research and Application of Wind Turbine Foundation Construction Technology in Karst Landform Areas Near Rivers

Yuanbo Gao

China Water Resources and Hydropower 11th Engineering Bureau Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450001, China

Abstract: In karst landform areas, the problem of foundation seepage is particularly prominent, posing a severe challenge to the stability and durability of wind turbine foundations. Traditional methods such as grouting, underwater concrete, and cast-in-place piles have many limitations, including long processing times, high costs, and low quality. The Guigang Wind Power Project addresses the issue of water seepage in the foundation of wind turbines in plain wind farms on karst foundations. Through precise identification of seepage points, scientific design of groove parameters, optimization of drainage and filling material selection, effective control of water seepage in karst foundations has been achieved, significantly improving the stability and durability of wind turbine foundations.

Keywords: Karst landform area; wind turbine foundation; seepage; carving groove

0 前言

随着全球能源需求的持续增长和环境保护意识的提升, 风力发电作为一种清洁、可再生的能源形式, 近年来得到了迅猛发展。然而, 风电场的选址往往受到地形、地貌、地质条件等多种因素的制约。在临河喀斯特地貌区域, 地基渗水问题尤为突出, 对风机基础的稳定性和耐久性构成了严峻挑战。喀斯特地貌是一种以石灰岩为主要成分的岩溶地貌, 具有地表崎岖、地下洞穴复杂的特点。

目前, 针对风机基础喀斯特地基渗水问题, 主要采取了灌浆、水下混凝土、灌注桩等处理方法。然而, 这些方法在实际应用中存在着诸多局限性。鉴于现有处理方法的局限性, 研发一种针对平原风场风机基础喀斯特地基渗水问题的新方法显得尤为重要。

1 工程概况

贵港市高传风力发电项目为广西吊装高度最大的平原风电项目, 坐落于广西贵港市覃塘区西北部, 毗邻全市西南交通要道, 北接古樟乡元金村, 南达大岭乡古平村。项目区域全部位于北回归线以南, 经纬度范围分别为东经 $108^{\circ} 58' 48''$ 至 $109^{\circ} 18'$, 北纬 $22^{\circ} 48'$ 至 $23^{\circ} 25' 12''$ 。风场处于平坦地势, 西、

东北及东南部有山地作为屏障, 而东、北及西南方向则为平原, 具备良好的风资源条件。

工程一期总装机容量为 60MW, 共 18 台风机, 分别为单机容量为 2 台 3.6MW, 16 台 3.3MW, 场内新建一座 220KV 升压站, 总占地面积约 26.5 亩地, 建设地点位于三里镇、五里镇。

2 施工方法

2.1 工艺原理

贵港市高传风力发电项目针对风机基础在喀斯特地基上遇到的渗水问题, 研究提出了一种创新的渗水刻槽处理方法, 该方法通过精确识别渗水点、科学设计刻槽参数、优化引流与填充材料选择等步骤, 实现了对喀斯特地基渗水的有效控制, 显著提升了风机基础的稳定性和耐久性。

渗水点精确定位技术: 利用地质勘探技术和现场观察分析方法, 准确识别喀斯特地基中的渗水点位置和分布, 为后续刻槽处理提供精确指导。

刻槽参数优化设计: 基于渗水点位置, 科学设计刻槽的形状、尺寸和深度等参数, 确保刻槽既能有效拦截渗水, 又能保持地基的整体稳定性。

引流与填充材料创新: 针对喀斯特地基的特殊性, 引

水槽内回填新鲜块石, 渗水水流在槽内通过块石间隙流至集水井, 块石顶部覆盖钢板, 保证混凝土浇筑。

2.2 施工工艺

2.2.1 工艺流程

开挖集水井→渗水点刻槽→回填新鲜块石→基础清理及验收→风机基础主体混凝土施工→块石回填区灌浆。

2.2.2 操作要点

第一, 开挖集水井。

①前期准备。

地质勘探: 在施工前, 应对地基进行详细的地质勘探, 查明喀斯特地貌的发育情况、地下水位、地质构造等信息, 以便合理规划集水井的位置和深度。根据地质勘探结果, 制定详细的施工方案, 包括集水井的位置、尺寸、深度以及施工方法和安全措施等^[1]。

②开挖操作。

位置选择: 集水井应开挖在地基开挖范围外, 确保不会对风机基础造成不利影响。同时, 集水井的位置应便于排水和抽水作业。本项目集水井选在风机基础与河道渗水通道最大的地方。

尺寸与深度: 集水井的尺寸和深度应根据地下水位、渗水量和抽水设备的能力等因素确定。一般来说, 集水井的深度应足够容纳抽水设备, 并留有足够的空间以便维护。

开挖方法: 采用机械或人工开挖方法, 根据土壤条件选择合适的挖掘工具。在开挖过程中, 应注意保持井壁的稳定性, 防止坍塌。

安全措施: 在开挖过程中, 应设置警示标志和围挡, 确保施工人员和周边人员的安全。同时, 应配备必要的安全设备和应急措施, 以应对可能出现的突发情况。

第二, 渗水点刻槽。

①刻槽前准备。

确定渗水点: 通过观察、检测或试验等手段, 准确找出风机地基中的渗水点。渗水点可能出现在地基的不同深度和位置, 因此需要进行全面的检测和分析^[2]。

设计刻槽方案: 根据渗水点的位置、大小和数量, 设计合理的刻槽方案。刻槽的深度、宽度和长度应根据实际情况确定, 以确保能够有效引流渗水。

准备工具和材料: 选择合适的刻槽工具, 如破碎锤、切割机等。准备必要的辅助材料, 如块石、注浆管等。

②刻槽操作。

定位与标记: 在渗水点位置进行精确的标记, 确保刻槽的准确性和有效性。

刻槽施工: 按照设计好的深度和宽度进行刻槽, 确保槽底平整、槽壁光滑。

清理与检查: 刻槽完成后, 及时清理槽内的碎石、泥土等杂物。对刻槽进行质量检查, 确保符合设计要求。

第三, 回填新鲜块石。

①块石选择与准备。

块石质量: 应选择坚硬、耐久、不易磨损或碎裂的块石。块石应清洁、无泥土、淤泥等附着物, 确保回填后的地基清洁、稳定。

块石尺寸: 根据刻槽尺寸和渗水量, 选择适当大小的块石进行回填。一般来说, 块石的直径应在 50~150mm 范围内, 以确保块石间有足够的间隙供水流通过。

②回填操作。

清理刻槽: 在回填前, 应彻底清理刻槽内的碎石、泥土等杂物, 确保刻槽干净、整洁。

块石回填: 将准备好的新鲜块石均匀、紧密地回填到刻槽内。块石间应保持适当的间隙, 以便水流通过^[3]。回填过程中, 应逐层进行, 每层回填后应轻轻压实, 确保块石稳定不松动。

顶部覆盖(如有需要): 在块石回填完成后, 可在顶部放置盖板或进行其他覆盖处理, 以防止杂物落入刻槽内。

③后续处理与检查。

注浆加固: 在块石回填完成后, 可根据需要进行注浆加固处理。注浆材料应选择合适的浆液配比和注浆压力, 确保注浆效果。

质量检查: 回填完成后, 应对刻槽和流水通道进行质量检查。检查内容包括块石回填是否紧密、间隙是否适当、水流是否通畅等。

在回填过程中, 应严格遵守安全操作规程, 确保施工人员的安全。施工现场应设置必要的警示标志和防护措施。回填过程中产生的碎石、泥土等杂物应及时清理, 避免对周边环境造成污染。

第四, 风机基础主体混凝土施工。

风机基础作为风力发电系统的重要支撑结构, 其混凝土施工质量直接关系到整个系统的稳定性和安全性。为确保风机基础主体混凝土施工的高质量完成, 以下从材料选择与检验、施工设备准备、混凝土浇筑方案、混凝土振捣方法、混凝土养护要求、温度控制措施、防裂措施实施以及施工安全与环保等方面^[4]。

①材料选择与检验。

水泥: 选用符合国家标准的水泥, 确保其强度、凝结时间和安定性满足设计要求。

骨料: 细骨料应质地坚硬、级配良好、无杂质; 粗骨料应粒径均匀、强度高、针片状颗粒含量少。

外加剂: 根据工程需要, 选用合适的外加剂, 如缓凝剂、减水剂、引气剂等, 并检验其性能是否符合要求。

拌和水: 使用清洁、无污染的饮用水或符合要求的工业用水。

在施工前, 应对所有材料进行严格的检验, 确保其质

量符合设计要求和相关标准。

②施工设备准备。

混凝土搅拌机: 选用性能稳定、搅拌效率高的搅拌机, 确保混凝土的均匀性和质量。

混凝土运输车: 根据施工现场距离和浇筑量, 选用合适的混凝土运输车, 确保混凝土在运输过程中不发生离析、泌水等现象。

泵送设备: 选用性能可靠的泵送设备, 并提前进行调试和检查。

振捣设备: 选用适宜的振捣棒或振捣板, 确保混凝土振捣密实、无气泡。

③混凝土浇筑方案。

浇筑顺序: 根据基础形状和尺寸, 制定合理的浇筑顺序, 确保浇筑过程连续、均匀。

分层浇筑: 对于大体积混凝土, 应采用分层浇筑方法, 每层厚度不宜过大, 以减少内部温升和收缩裂缝的产生。

振捣方法: 振捣应均匀、密实, 避免漏振或过振。振捣棒应插入下层混凝土 5~10cm, 确保新旧混凝土结合紧密。

④混凝土振捣方法。

振捣时间: 振捣时间应适中, 过长或过短均会影响混凝土质量。一般以混凝土表面不再显著下沉、不出现气泡、表面泛浆为宜。

振捣方式: 应采用快插慢拔的振捣方式, 确保混凝土内部气泡充分排出。

振捣位置: 振捣棒应均匀分布, 避免漏振区域。对于边角和钢筋密集区域, 应加强振捣。

⑤混凝土养护要求。

养护时间: 混凝土浇筑完成后, 应及时进行养护。养护时间应根据气温、湿度和混凝土强度增长情况确定, 一般不少于 14 天。

养护方式: 可采用覆盖保湿、喷水养护等方式。保湿养护应确保混凝土表面湿润, 避免干燥裂缝的产生。

养护温度: 养护期间, 应控制混凝土内部和表面的温度差, 避免温度应力引起的裂缝。

⑥温度控制措施。

降低原材料温度: 在夏季施工时, 可采取冷却水、冰块等措施降低原材料温度, 减少混凝土内部温升。

合理安排浇筑时间: 尽量避开高温时段浇筑, 选择气温较低的时间段进行施工。

设置冷却管: 对于大体积混凝土, 可在内部设置冷却管, 通过循环水降低混凝土内部温度。

第五, 块石回填区灌浆。

①清理与检查。

在进行灌浆前, 需要确保块石回填区内的松软充填物质、风化破碎岩石块等杂质已被清理干净, 以保证灌浆质量。检查刻槽和流水通道的完整性, 确保没有堵塞或破损的

情况。

②布设注浆管与出浆管。

在块石回填时, 内合理布设注浆管和出浆管, 注浆管用于注入浆液, 出浆管用于排出多余的浆液和空气。注浆管和出浆管的布设应确保浆液能够均匀分布在块石回填区。

③灌浆材料的准备。

选择合适的灌浆材料: 根据工程要求和地质条件, 选择合适的灌浆材料。灌浆材料应具有良好的流动性和渗透性, 以确保能够充分填充块石间隙。

④确定浆液配比: 根据灌浆材料的性能和工程要求, 确定合理的浆液配比。

⑤灌浆操作过程。

注浆压力的控制: 在灌浆过程中, 应严格控制注浆压力, 避免对基础造成损害。注浆压力应根据工程要求和地质条件进行合理设定。

灌浆速度的调节: 灌浆速度应适中, 既要保证浆液能够充分渗透到块石间隙中, 又要避免浆液过快流失或产生空鼓现象。

灌浆质量的监测: 在灌浆过程中, 应实时监测灌浆质量。通过观察出浆管的出浆情况、测量灌浆压力等参数, 判断灌浆是否均匀、充分。如发现异常情况, 应及时调整灌浆方案。

⑥灌浆后的处理工作。

清洗注浆管与出浆管: 灌浆结束后, 应及时清洗注浆管和出浆管, 避免浆液残留导致管道堵塞。

⑦检查与验收: 对灌浆后的块石回填区进行检查和验收。通过钻孔取样、压力测试等方法, 检测灌浆质量是否达标。如发现问题, 应及时进行处理。

3 实施成效

3.1 经济效益

成本节约: 实现了对风机地基渗水的有效控制, 避免了传统灌浆和水下混凝土回填方法所带来的高昂费用。施工中, 通过保持抽水状态, 能够清理掉基础松软充填物质和风华破碎岩石块, 优化了施工流程, 减少了不必要的材料和人力投入, 进一步降低了成本。工期缩短: 施工简便, 易于操作, 能够显著加快施工进度, 缩短工期^[5]。工期的缩短意味着更快的投资回报, 对于风电场建设单位来说, 这意味着更高的资金利用效率。该技术在贵港市高传风力发电项目成功应用, 节约工期约 6 个月, 产生的直接经济约 1240 万元。

3.2 环境效益

风电作为一种清洁能源, 其开发和利用有助于减少对传统能源的依赖, 降低温室气体排放, 实现节能减排的目标。该项目通过提高风机基础质量, 确保了风机的稳定运行, 从而提高了风电的利用效率和节能减排效果。喀斯特地基渗水问题若处理不当, 可能引发水土流失、地下水污染等环境问

题。该技术通过有效控制渗水，避免了这些问题的发生。同时，施工过程中减少了废弃物排放和能源消耗，符合绿色施工和环保理念。

4 结语

通过该技术研究应用，风机基础渗水问题得到有效控制，地基稳定性显著提升，为风力发电设备的长期安全运行提供了有力保障，相比传统处理方法，该技术方法施工简便、效率高，减少了人力和材料消耗，同时降低了施工过程中的安全风险，具有显著的技术创新性和应用价值，具有广阔的市场应用前景和巨大的发展潜力。

参考文献：

[1] 金磊,李福来.喀斯特地形主要工程地质问题及处理措施[J].西部

探矿工程,2024,36(2):37-40.

[2] 刘骏.喀斯特区线性工程喀斯特发育特征及水文地质条件研究[J].工程技术研究,2024,9(6):33-35.

[3] 庄良才.喀斯特地貌基础工程岩溶裂隙水封堵施工技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(7):56-58.

[4] 邹银先,褚学伟,刘埔,等.贵州喀斯特山区地下水化学特征分析[J].地质与资源,2024,33(6):846-854+860.

[5] 朱棣鹏,丁红军,姚欣鹏,等.喀斯特地区冲孔灌注桩施工特点及质量控制要点工程技术研究[J].2024,9(2):160-162.

作者简介：高元博（1987-），男，中国河南三门峡，本科，高级工程师，从事电力施工技术研究。