

风机基础施工技术与管理探讨

张云峰

中国船舶集团风电发展有限公司 北京 100097

摘要：风机基础施工技术是风力发电设施安全高效运行的关键。施工涉及基坑开挖、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑与养护、基础回填等环节。施工需注重质量控制、进度控制 and 安全管理，同时建立质量管理体系、制定应急预案，并注重环保与可持续发展。本文全面探讨了风机基础施工技术的要点与管理策略，为施工提供理论支持和实践指导。

关键词：风机基础；施工技术；管理策略

引言：风力发电作为可再生能源的重要组成部分，其风机基础的施工技术显得尤为重要。本文旨在全面探讨风机基础施工技术的要点与管理策略，从基坑开挖、钢筋绑扎、混凝土浇筑，再到施工安全与质量管理，系统阐述各环节的关键技术和注意事项，为风机基础施工的顺利进行提供理论支持和实践指导。

1 风机基础施工技术概述

风机基础是风力发电机组的关键组成部分，它承担着将风机竖立在60-100米高空的重任，是确保风机稳定运行和高效发电的重要基础设施。风机基础施工技术因此显得尤为重要，它不仅关乎风电场的安全运行，还直接影响到风电项目的经济效益。（1）风机基础施工主要包括陆上风机基础和海上风机基础两大类。陆上风机基础施工通常采用钢筋混凝土结构，根据地质勘察结果设计不同形式的基础，如扩展基础、带肋梁扩展基础、桩基础和岩石锚杆基础等。这些基础形式的选择旨在满足塔架的载荷要求和机组所在的气候环境，同时结合高层建筑建设规范进行建造。（2）在施工过程中，陆上风机基础施工的主要步骤包括测量放线、基坑开挖、垫层浇筑、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑及养护、基础回填等。每一步都需要严格按照施工规范和设计要求进行，确保基础的质量和稳定性。例如，在基坑开挖过程中，需要控制测量精度，避免超挖，并妥善处理超挖部分。钢筋的检验、制作和安装也需严格把关，确保钢筋的质量和位置准确。混凝土浇筑时，需要控制浇筑速度和振捣强度，保证混凝土的密实度和均匀性^[1]。（3）与陆上风机基础相比，海上风机基础施工更为复杂。海上风机基础通常采用单桩基础、导管架基础或多桩承台基础等形式。单桩基础是应用最广泛的一种，它采用一根大直径钢管桩，通过法兰与风机塔筒连接。海上风机基础的施工需要面对更为恶劣的海上环境和复杂的施工条

件，因此，对施工技术和设备的要求也更高。（4）在施工管理中，风机基础施工需注重质量控制、进度控制 and 安全管理。质量控制方面，需要对混凝土强度、基础平整度、垂直度等指标进行严格检测，确保基础满足设计要求。进度控制方面，需要制定合理的施工计划，合理安排资源，确保工程按时完成。安全管理方面，需要加强现场巡查，遵守安全规定，确保施工人员的人身安全。

2 风机基础施工技术的要点

2.1 基坑开挖要点

基坑开挖是风机基础施工的第一步，其质量和效率直接影响后续施工环节。正确的基坑开挖不仅有助于确保基础的稳定性，还能减少施工过程中的安全风险。

（1）测量与定位。在基坑开挖前，首先需要对施工现场进行详细的测量和定位。这包括确定基坑的准确位置、尺寸和深度，以及设置合理的控制点。测量工作应使用精确的测量仪器，如全站仪、GPS等，确保定位的准确性。（2）开挖方法选择。基坑开挖方法的选择应根据地质条件、基坑尺寸、工期要求等因素综合考虑。常见的开挖方法包括机械开挖和人工开挖。机械开挖效率高，适用于大面积、深层的基坑；而人工开挖则更为灵活，适用于复杂地质条件或需要精细控制开挖深度的场合。（3）开挖过程控制。在开挖过程中，需要严格控制开挖深度和边坡稳定性。开挖深度应严格按照设计要求进行，避免超挖。边坡稳定性方面，应根据土壤力学性质合理设计边坡坡度，并采取必要的支护措施，如钢板桩、土钉墙等，确保基坑在开挖过程中的安全稳定。（4）排水与支护。基坑开挖过程中，排水系统的设置至关重要。应设置合理的排水沟和集水井，确保基坑内无积水。同时，基坑开挖后，应根据地质勘察结果和开挖深度，采取适当的支护措施，如设置支护桩、喷射混凝土等，以防止基坑边坡失稳。

2.2 钢筋绑扎与模板安装要点

(1) 钢筋绑扎。钢筋是风机基础的重要组成部分，其质量和位置直接关系到基础的承载力和稳定性。钢筋绑扎前，应对钢筋进行检验，确保其符合设计要求。绑扎过程中，应严格按照施工图纸进行，确保钢筋的位置、间距和数量准确无误。同时，钢筋的连接方式也应符合规范，如采用焊接、机械连接等。(2) 模板安装。模板是混凝土浇筑过程中的支撑结构，其质量和稳定性直接影响混凝土的成型质量。模板安装前，应对模板进行检验，确保其尺寸、平整度和刚度满足要求。安装过程中，应严格按照施工图纸进行，确保模板的位置、标高和尺寸准确无误^[2]。同时，模板的拼接应严密，防止漏浆。(3) 钢筋与模板的协调。钢筋绑扎和模板安装应相互协调，确保钢筋的位置和模板的形状满足设计要求。在钢筋绑扎完成后，应对钢筋进行定位和保护，避免在模板安装过程中受到损坏。同时，模板安装时，应确保钢筋的位置不受影响，防止模板变形或移位。(4) 验收与检查。钢筋绑扎和模板安装完成后，应进行验收和检查。验收内容包括钢筋的规格、数量、位置、连接方式以及模板的尺寸、平整度、刚度等。检查过程中，应严格按照规范和设计要求进行，确保钢筋和模板的质量满足施工要求。

2.3 混凝土浇筑与养护要点

(1) 混凝土配制。混凝土的配合比应根据设计要求进行，包括水泥、砂、石料、外加剂等材料的选用和比例。配制过程中，应严格控制原材料的质量，确保混凝土的强度、耐久性和工作性能满足要求。同时，混凝土的拌合应均匀，避免出现离析和泌水现象。(2) 浇筑过程控制。混凝土浇筑过程中，应严格控制浇筑速度和振捣强度。浇筑速度过快或振捣强度不足都可能导致混凝土内部出现空洞和气泡，影响混凝土的强度和耐久性。因此，在浇筑过程中，应根据混凝土的坍落度和浇筑高度，合理调整浇筑速度和振捣强度。(3) 养护措施。混凝土浇筑完成后，应采取适当的养护措施，确保混凝土的正常硬化和强度发展。养护措施包括覆盖保湿、洒水养护等。覆盖保湿可以防止混凝土表面过快干燥和开裂，洒水养护可以保持混凝土内部的湿润环境，促进水泥的水化反应。养护时间应根据混凝土的强度发展情况和环境条件进行确定。(4) 质量检查。混凝土浇筑和养护完成后，应进行质量检查。检查内容包括混凝土的强度、外观质量、尺寸偏差等。检查过程中，应严格按照规范和设计要求进行，确保混凝土的质量满足施工要求。对于发现的质量问题，应及时进行处理和整改。

2.4 基础回填要点

(1) 基础回填需要在风机基础混凝土达到规定的强度要求后进行。这是为了确保基础具有足够的承载能力，防止在回填过程中发生变形或损坏。(2) 回填材料的选择至关重要。应选用符合设计要求的土壤或石料，严禁使用大块石或不合格的回填材料。回填材料的密实度和均匀性也需要得到保证，以确保基础的稳定性和耐久性。(3) 在回填过程中，需要注意分层回填和压实。每层回填土的厚度应控制在一定范围内，一般不超过30cm，以确保压实效果。同时，需要使用合适的压实设备，如振动压路机或夯实机等，对每层回填土进行充分压实，以提高其密实度和承载力。(4) 回填时还应注意排水措施。应在回填前设置好排水设施，如排水沟或排水管等，以防止雨水或地下水对基础造成浸泡和损害。同时，回填土的含水率也需要得到控制，避免因水分过多或过少而影响压实效果和基础的稳定性。(5) 回填完成后需要进行验收和检测。应检查回填土的密实度、均匀性和排水设施的有效性等，以确保其符合设计要求。同时，还需要对基础进行沉降观测和温度观测等，以及及时发现和解决可能出现的问题。

2.5 施工安全与质量管理要点

(1) 施工安全管理。风机基础施工过程中的安全管理至关重要。应建立健全的安全管理制度和应急预案，明确各级人员的安全职责和权限。施工现场应设置明显的安全警示标志和防护措施，如安全网、防护栏等。同时，应加强对施工人员的安全教育和培训，提高其安全意识和操作技能。(2) 质量控制体系。风机基础施工应建立完善的质量控制体系。这包括制定详细的施工计划和质量控制标准，明确各施工环节的质量要求和检验方法。施工过程中，应加强对原材料、预埋件的质量检验和验收，确保其质量符合设计和规范要求。同时，应加强对施工过程的监督和检查，及时发现和处理质量问题。(3) 环境保护与文明施工。风机基础施工过程中，应注重环境保护和文明施工。应采取有效的防尘、降噪措施，减少对周边环境的污染和干扰。同时，应加强对施工现场的管理和整治，保持施工现场的整洁和有序。施工完成后，应及时进行恢复和清理工作，减少对周边环境的影响。

3 风机基础施工管理策略

3.1 施工进度控制与资源管理

在风机基础施工管理的框架内，有效执行施工进度控制与资源管理是保证工程顺利推进的关键要素，应做好以下两方面：(1) 施工进度控制。施工进度控制首先

要需根据项目的总体目标和时间要求，制定详细的施工进度计划。该计划应明确各阶段的具体任务、时间节点和责任人，确保施工活动有序进行。采用先进的项目管理工具和技术，如甘特图、关键路径法等，对施工进度进行实时监控和动态调整。在施工过程中，定期召开进度协调会议，及时解决施工中的问题和困难，确保施工进度按计划推进。（2）资源管理。资源管理涉及人力、物力、财力等多方面的资源。在风机基础施工中，应合理安排施工队伍，确保各工种之间的协调配合，提高施工效率。加强物资管理，建立严格的物资采购、验收、保管和领用制度，确保施工所需材料的及时供应和合理使用。在财务管理方面，严格控制施工成本，优化资金使用计划，确保项目在预算范围内顺利完成。

3.2 质量管理体系的建立与实施

为确保风机基础施工的质量，应建立完善的质量管理体系。该体系应包括质量方针、质量目标、质量计划、质量控制和质量改进等多个方面。明确质量方针和质量目标，将其作为施工活动的指导原则。制定详细的质量计划，明确各阶段的质量标准和检验方法。建立质量控制点，对关键工序和重要部位进行重点监控，确保施工质量符合设计要求。质量管理体系的实施需要全员参与和持续改进^[3]。在施工过程中，加强质量教育和培训，提高员工的质量意识和技能水平。建立质量责任制，将质量责任落实到个人，确保每个环节的质量得到有效控制。定期对施工质量进行检查和评估，及时发现和纠正质量问题，不断完善质量管理体系，提高施工质量稳定性和可靠性。

3.3 安全管理措施与应急预案

安全管理首先应建立健全的安全管理制度和操作规程，明确各级安全管理人员的职责和权限。加强安全教育和培训，提高员工的安全意识和操作技能。对施工现场进行定期的安全检查和评估，及时发现和消除安全隐患。在特殊作业环节，如高处作业、爆破作业等，应严格执行专项安全方案，确保施工安全。为应对施工过程中可能出现的突发事件，应制定完善的应急预案。应急预案应包括应急组织、应急资源、应急程序和应急措施

等多个方面。明确应急组织的职责和分工，确保在紧急情况下能够迅速响应。其次建立应急资源库，储备必要的应急物资和设备。

3.4 环保与可持续发展策略

风机基础施工应严格遵守国家环保法律法规和行业标准，采取有效的环保措施。在施工过程中，加强施工扬尘、噪声和废水的控制，减少对周边环境的影响。合理利用施工废弃物，进行分类处理和回收利用，降低施工过程中的资源消耗和环境污染。为实现风机基础施工的可持续发展，应注重节能降耗和绿色施工。在施工过程中，采用先进的施工技术和设备，提高施工效率和质量，降低能耗和排放^[4]。加强施工过程中的资源管理和循环利用，减少资源浪费和环境污染。积极推广绿色施工理念和技术，提高员工的环保意识和参与度，共同推动风机基础施工的可持续发展。

结束语

综上所述，风机基础施工技术是风力发电设施建设中的关键环节，其质量和效率直接关系到风电项目的经济效益和安全性。在施工过程中，需要注重基坑开挖、钢筋绑扎与模板安装、混凝土浇筑与养护、基础回填等要点，确保每一步都符合设计要求。同时，加强施工进度控制与资源管理、建立与实施质量管理体系、制定安全管理措施与应急预案、注重环保与可持续发展策略也是确保施工顺利进行的重要保障。未来，随着技术的不断进步和管理的日益完善，风机基础施工技术将为实现绿色、高效、安全的风电项目建设提供更加坚实的支撑。

参考文献

- [1]王坤.陆上风电场风机基础更换损坏锚栓施工技术探讨[J].山东工业技术,2021(02):102-106.
- [2]邵丹.浅谈风电场风机基础土建施工[J].低碳世界,2020,10(07):109+111.
- [3]赵卯忠.风电场风机基础施工技术要点[J].中国新技术新产品,2020, No.425(19):102-103.
- [4]段波,桂重.价值工程在山区风电场风机基础选型中的应用[J].山西建筑,2020, v.46(06):164-166.