

Analysis of key technology for offshore wind power jacket foundation construction

Yonggang Chen

Tianjin Minrui Management Consulting Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

Offshore wind power, as a new type of clean energy, has great development potential. As global demand for renewable energy increases, offshore wind has become an important part of the energy mix transition. As an important part of the offshore wind power platform, the jacket foundation is responsible for the support and stability guarantee of the wind turbine. Therefore, the reliability of its construction technology directly affects the economy and safety of the offshore wind power projects. Through the analysis of the key technology of offshore wind power jacket foundation construction process, including foundation design, construction preparation, installation technology, construction management, and other aspects, discusses the main challenges facing the current construction and technical difficulties, put forward the corresponding solutions, and look forward to the future of offshore wind power jacket foundation construction technology development trend. The research shows that with the continuous progress of construction technology, the construction efficiency and safety of the jacket foundation are gradually improved, and the improvement of related technology will play a positive role in promoting the wide application of offshore wind power.

Keywords

offshore wind power, jacket foundation, construction technology, technical difficulties, construction management

海上风电导管架基础施工关键技术分析

陈永刚

天津铭睿管理咨询有限公司, 中国·天津 300000

摘要

海上风电作为一种新型清洁能源, 具有巨大的发展潜力。随着全球对可再生能源需求的增加, 海上风电成为推动能源结构转型的重要组成部分。导管架基础作为海上风电平台的重要组成部分, 承担着风力发电机组的支撑与稳定性保障, 因此, 其施工技术的可靠性直接影响到海上风电项目的经济性和安全性。本文通过分析海上风电导管架基础施工过程中的关键技术, 包括基础设计、施工准备、安装技术、施工管理等多个方面, 探讨了当前施工中面临的主要挑战与技术难点, 提出了相应的解决方案, 并展望了未来海上风电导管架基础施工技术的发展趋势。研究表明, 随着施工技术的不断进步, 导管架基础的施工效率和安全性逐步提高, 相关技术的完善将对海上风电的广泛应用起到积极促进作用。

关键词

海上风电, 导管架基础, 施工技术, 技术难点, 施工管理

1 引言

随着全球气候变化问题的日益严重, 世界各国加快了对清洁能源的投资与研发, 海上风电作为一种重要的可再生能源, 越来越受到重视。海上风电具有清洁、绿色和可持续等优点, 成为世界能源转型的重要方向之一^[1]。与陆上风电相比, 海上风电面临着更加复杂的环境和施工条件, 特别是在基础设施建设方面, 如何保证海上风电平台的稳定性和安全性成为技术难题。

导管架基础作为海上风电平台的主要支撑结构, 其施

工技术直接决定了风电项目的稳定性、耐久性和经济性。导管架基础的施工涉及海洋工程、结构设计、海上施工等多个领域, 施工过程复杂且具有一定的技术难度。因此, 如何提升导管架基础的施工技术, 降低施工风险, 缩短施工周期, 降低成本, 成为当前海上风电行业亟待解决的问题。

本论文旨在分析海上风电导管架基础施工中的关键技术, 探讨目前施工中的挑战与难点, 提出可行的技术解决方案, 并展望未来的发展趋势。通过分析海上风电导管架基础施工的技术, 旨在为海上风电的可持续发展提供技术支持与理论依据。

2 海上风电导管架基础的设计要求与施工特点

2.1 海上风电导管架基础的设计要求

海上风电导管架基础设计的首要目标是确保风电机组

【作者简介】陈永刚(1986-), 男, 中国天津人, 本科, 工程师, 从事港口土建, 海上风电基础施工研究。

的长期稳定性与安全性^[2]。导管架基础需要承受海上风力、海浪、冰雪荷载以及土壤反力等多重复杂载荷，因此其设计需要充分考虑这些因素，并保证结构在各种极端条件下的耐久性。导管架基础的设计通常要求满足以下几个基本条件：

承载能力：导管架基础必须具备足够的承载能力，以应对风电机组的重量以及海洋环境下的各种动载荷。

抗风能力：海上风电区域风速较大，因此导管架基础必须具有较强的抗风能力，能够有效地抵御强风的影响。

耐腐蚀性：海洋环境中的盐雾、潮汐等因素会导致材料的腐蚀，因此，导管架基础需使用具有高耐腐蚀性的材料，如防腐涂层、特殊合金等。

适应性：导管架基础的设计应考虑到不同海域的地质条件和水深差异，确保基础能适应不同环境的要求。

2.2 海上风电导管架基础施工的特点

海上风电导管架基础的施工特点主要表现在以下几个方面：

施工环境复杂：海上风电的施工环境充满挑战，受到海洋气候、海浪、潮汐等多种自然因素的影响，施工难度较大，尤其是在深水区。

海上运输要求高：导管架基础的施工材料和设备通常需要通过海上运输，这对施工的运输条件、成本以及时间管理提出了较高要求^[3]。

技术难度大：海上风电导管架基础的施工需要使用大型设备，如起重船、钻孔平台等，这些设备的技术要求较高，并且施工过程中需要精确控制每一项操作。

施工周期长：海上风电导管架基础的施工周期通常较长，需要考虑天气、潮汐等因素的影响。施工过程中可能会面临恶劣天气和海浪的干扰，这需要具备强大的工程调度能力。

2.3 海上风电导管架基础施工的安全性与环保要求

在海上风电导管架基础的施工过程中，安全性与环保性是两个重要的考虑因素。首先，海上施工环境相对复杂，施工过程中的安全风险较高，需要采取严格的安全管理措施，确保工人生命安全及施工设施的稳定性。其次，海上风电项目的建设往往处于海洋生态环境中，施工过程中不可避免地会对海洋环境产生一定影响。为了降低施工对环境的影响，需要采取有效的环保措施，如避免施工过程中产生的废弃物排放、减少对水域生态的干扰等。

3 海上风电导管架基础施工关键技术分析

3.1 基础施工前期准备与设计优化

在海上风电导管架基础施工中，前期准备工作至关重要。施工前的设计优化和现场勘查能够为后续的施工工作提供坚实的基础^[4]。首先，项目团队需要进行详尽的海域勘察，包括海底地质勘查、水文气象数据收集等。基于这些数据，可以优化导管架基础的设计，选择合适的材料和施工方法，

确保基础在施工过程中能够顺利完成。

设计阶段应考虑海洋环境的特殊性，特别是海洋风力、波浪等气候因素的影响。现代计算机辅助设计（CAD）和仿真技术的发展为导管架基础的设计优化提供了新的机遇。通过仿真技术，能够提前模拟不同设计方案在实际海洋环境中的表现，从而选择最优方案。

3.2 海上风电导管架基础的施工技术

海上运输与安装技术：海上运输是海上风电导管架基础施工的重要环节。施工所需的导管架组件通常需要通过专用的船只或浮式平台运输到施工现场。在运输过程中，需要充分考虑天气、潮汐等自然因素对运输的影响。安装过程中，使用大型起重船将导管架基础安装到海底，并进行精确定位。在安装过程中，起重船需对导管架的垂直度、深度进行精确控制。

桩基施工技术：桩基施工是海上风电导管架基础施工的关键技术之一。根据海底土层的不同情况，选择合适的桩基类型，如钻孔桩或打入桩。在桩基施工过程中，需精确控制钻孔深度和位置，以确保桩基的稳定性和安全性。

焊接与连接技术：导管架基础通常由多个钢管组成，焊接与连接是施工中的重要环节。高质量的焊接能够确保基础的稳定性与强度，特别是在海上环境下，焊接技术的精确性直接关系到导管架基础的使用寿命。先进的焊接技术，如自动焊接、X射线检测等，可以有效提升焊接质量，确保施工的顺利进行。

3.3 海上风电导管架基础施工中的难点与解决方案

海上风电导管架基础施工中的难点主要表现在施工环境的复杂性、技术要求的高标准以及施工周期的不可预见性等方面。为了解决这些问题，可以采取以下几种方案：

技术研发与设备优化：随着施工技术的不断进步，采用更高效的设备与工具能够大大提高施工效率。例如，使用全自动化焊接设备、智能化起重船等，能够有效缩短施工周期，提高施工精度。

施工过程中信息化管理：利用信息化管理手段，如BIM（建筑信息模型）技术，可以实时监控施工过程中的各项数据，及时调整施工计划和方案，避免施工过程中出现的突发问题。

优化施工调度与工期控制：通过精确的施工调度和进度控制，避免因天气等因素造成的施工延误。合理安排施工人员、设备和材料的使用，确保施工按计划顺利进行。

4 未来海上风电导管架基础施工技术的发展方向

4.1 施工自动化与智能化技术

随着全球技术的不断进步，自动化与智能化技术在海上风电导管架基础施工中的应用前景广阔。自动化技术不仅能够提高施工的精度和速度，还能显著降低人为误差，减少

施工过程中的安全隐患，从而大幅度提高施工效率和质量。当前，海上风电导管架基础施工过程中，主要依赖人工操作进行起重、焊接、定位等作业，而这些过程往往受到天气、潮汐等环境因素的限制，施工周期较长，且容易受到外部因素干扰。随着自动化技术的不断发展，未来将出现更多智能化施工设备和自动化操作系统，通过机械化、自动化作业，降低人工依赖，提高工作效率。

未来，智能化施工设备将成为施工过程的核心。例如，采用智能化起重船可以实现自动化起吊与精确定位，减少因人工操作带来的误差。在导管架基础安装过程中，施工机器人可以替代人工完成一些高风险、高精度的任务，如焊接、检查与修复等。这些机器人能够在恶劣的海洋环境中进行作业，极大地提高施工效率，并降低工人面临的高风险作业环境。

同时，数字化技术、物联网（IoT）和大数据的结合为施工现场的管理和控制提供了实时数据支持^[5]。通过智能传感器监测施工设备的运行状态和施工环境，实时获取海上作业条件数据，能够有效地调整施工计划和施工方式，确保工程的顺利进行。例如，实时监测风速、海浪高度等数据，可以优化施工时间表和工作安排，确保施工活动与环境条件相适应，从而避免因突发气象情况而中断施工。

此外，基于人工智能（AI）的优化算法也能够为施工方案提供数据支持与决策依据，帮助项目团队根据实时数据分析出最优的施工策略，提高施工的可控性和安全性。

4.2 绿色环保施工技术

随着环保意识的不断提高和对可持续发展要求的增加，绿色环保施工技术将在未来海上风电导管架基础的建设中发挥更加重要的作用。海上风电导管架基础的施工过程中，常常需要使用重型设备和大型机械，这些设备在作业过程中可能产生噪音、振动、废气排放等对环境的不利影响。因此，未来的施工技术将更加注重减少对海洋环境的影响，通过使用更加环保的施工设备和材料，实现可持续发展目标。

首先，在设备选择方面，未来的施工设备将更加注重低噪音和低振动的特性，减少施工过程中对海洋生态环境的干扰。高噪音和强振动往往会影响到海洋生物的生存，特别是海洋哺乳动物和鱼类的栖息地。在施工过程中，采用噪音和振动更小的机械设备，可以有效减轻对生态环境的影响，确保海洋生物的栖息环境不受破坏。

此外，施工过程中产生的废弃物也会对海洋环境造成一定的污染。未来的施工技术将更加注重资源的循环利用和

废弃物的处理。例如，采用环保材料替代传统的高污染材料，减少施工废料的排放。在施工过程中，采用绿色的焊接工艺和无毒无害的涂料，既能保证施工质量，又能降低对环境的污染。

5 结语

海上风电导管架基础施工是海上风电项目建设中的关键环节，施工技术的优劣直接影响到风电项目的安全性、稳定性以及经济性。随着全球对清洁能源和可持续发展认识的不断提升，海上风电作为未来能源发展的重要方向，正迎来技术革新的新时代。

目前，海上风电导管架基础施工面临着众多挑战，包括恶劣的施工环境、复杂的施工条件以及技术的高要求。然而，随着自动化、智能化技术的不断发展，以及绿色环保施工技术的应用，海上风电导管架基础施工将逐步向更加高效、安全和环保的方向发展。自动化技术的推广，将大大提高施工效率并降低人工操作中的误差；智能化施工设备和机器人将替代传统人工操作，提升施工精度和安全性；绿色环保技术的应用则将减少施工过程中对海洋环境的影响，确保施工过程的可持续性。

总的来说，海上风电导管架基础施工技术的发展方向清晰，通过技术创新和环境友好型措施的实施，未来海上风电项目将能够以更高的效率和更低的成本，满足全球能源转型的需求，为实现可持续的能源目标提供重要支撑。随着技术的进一步突破和实践经验的积累，海上风电将在全球能源格局中占据越来越重要的地位。

参考文献

- [1] 孙紫麾, 章剑, 舒欣欣, 等. 海上风力发电平台的建造技术分析[C]//中国海洋学会海洋工程分会第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(上册). 海洋工程股份有限公司;2009:260-263.
- [2] 孙紫麾, 章剑, 舒欣欣, 等. 海上风力发电平台的建造技术分析[C]//中国海洋学会海洋工程分会第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(上册). 海洋工程股份有限公司;2009:260-263.
- [3] 尚景宏, 罗锐, 张亮. 海上风电基础结构选型与施工工艺[J]. 应用科技, 2009, 36(09): 6-10.
- [4] 刘勇, 孔祥威, 白珂. 大规模海上风电场建设的技术支撑体系研究[J]. 资源科学, 2009, 31(11): 1862-1869.
- [5] 肖运启, 贾淑娟. 我国海上风电发展现状与技术分析[J]. 华东电力, 2010, 38(02): 277-280.