

# 海上风电电气设备安装技术及发展现状

马喆超

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江 杭州 311122

**摘要：**海上风电是利用海上风力资源进行发电的重要方式，具有资源丰富、发电效率高等优势。在电气设备安装方面，技术不断进步，包括吊装技术的优化、发电机与电网的可靠连接以及接地线、电缆和开关设备的规范安装。目前，海上风电电气设备安装技术已相对成熟，但仍面临复杂海洋环境的挑战。未来，随着技术的进步和政策的支持，海上风电电气设备安装技术将更加智能化、高效化，推动海上风电产业的持续快速发展。

**关键词：**海上风电；电气设备安装技术；发展现状

引言：海上风电作为可再生能源领域的重要组成部分，近年来在全球范围内得到了广泛关注与发展。电气设备安装技术作为海上风电场建设的关键环节，直接关系到风电场的发电效率和运行安全。随着技术的不断进步和市场需求的增加，海上风电电气设备安装技术也在不断更新和完善。本文旨在探讨海上风电电气设备安装技术的现状及未来发展趋势，为相关领域的专业人士提供参考和借鉴，共同推动海上风电产业的可持续发展。

## 1 海上风电概述

### 1.1 海上风电的定义与特点

海上风电是指利用海上风力资源进行发电的一种方式，通过在海洋上建立风力发电厂，将风能转化为电能。这些发电厂通常位于水深10至60米的近海区域。海上风电的特点在于，海上风速通常比陆地上高出约20%，使得同等发电容量下海上风机的年发电量能比陆地上高出70%左右。此外，海上风电场的建设不占用宝贵的土地资源，有助于解决能源需求和土地资源的矛盾。

### 1.2 全球及我国海上风电的发展现状

(1) 装机容量及增长趋势。近年来，全球海上风电装机容量持续增长。截至2024年第三季度，全球海上风电累计装机容量已达到显著水平，其中我国和欧洲是主要贡献者。我国海上风电装机容量在近几年实现了快速增长，已连续多年位居全球首位。预计未来几年，随着技术的不断进步和政策的持续支持，全球及我国的海上风电装机容量将继续保持增长态势。(2) 我国海上风电的全球地位。我国海上风电产业已发展成为全球领先的市场之一。我国海上风电装机容量不仅连续多年位居全球第一，而且风电机组产能、叶片产能、齿轮箱产能和发电机产能也在全球市场中也占据了重要地位。此外，我国还培育了众多海上风电产业链的小巨人企业，覆盖了多个细分领域。(3) 主要发展区域和装机容量。我国

海上风电主要发展区域包括山东半岛、长三角、闽南、粤东和北部湾等地。这些地区凭借丰富的海上风能资源和优越的地理位置，成为了海上风电开发建设的重点区域。目前，江苏、广东等省份的海上风电装机容量已位居全国前列，为推动我国能源结构转型和海上风电产业发展做出了重要贡献<sup>[1]</sup>。

### 1.3 海上风电的优势与挑战

(1) 资源丰富、发电效率高。海上风电的最大优势在于其丰富的风能资源和高效的发电效率。海上风速稳定且强劲，使得海上风电场能够持续高效地发电。(2) 土地占用少，靠近负荷中心。海上风电项目在海洋上建设，不会占用宝贵的土地资源，同时，海上风电场通常位于经济发达的沿海地区，靠近负荷中心，有利于电力的输送和消纳。(3) 复杂海洋环境的挑战。尽管海上风电具有诸多优势，但其面临的挑战同样不容忽视。复杂多变的海洋环境对海上风电设备的可靠性、耐久性和安全性提出了极高的要求。

## 2 海上风电电气设备安装技术

### 2.1 安装前的准备工作

(1) 场地选择与基础建造。海上风电场的场地选择是至关重要的一步。需要综合考虑风速、风向、水深、海底地质条件以及附近电网的基本情况。选择风速稳定、风力资源丰富且不受地形限制的开阔海域是最佳选择。此外，场地还需具备良好的施工条件和运输条件，以确保设备的顺利安装和维护。在选定场地后，基础建造是关键环节。海上风电基础形式多样，包括单桩基础、重力基础、三脚架基础和漂浮式基础等。基础结构需要能够承受风电机组的重量、风力和波浪载荷等多种载荷作用。建造过程中，需要确保基础的稳定性和耐久性，常用的基础建造方法是使用混凝土或钢筋混凝土浇筑，以提供足够的支撑和固定<sup>[2]</sup>。(2) 设备选型与运

输。设备选型是确保风电场发电效率、可靠性和安全性的重要因素。需要根据场地条件、发电需求和预算等因素，选择适合的风电机组型号和电气设备。风电机组的选择应考虑其发电功率、叶片长度、塔架高度等参数，以确保其在特定风速下的最佳发电性能。设备运输是海上风电建设中的一重要挑战。由于海上环境复杂，运输过程需要克服风浪、潮汐等自然因素的影响。通常，设备会使用专用的运输船舶进行海上运输，并在运输过程中采取相应的保护措施，以确保设备的安全和完整性。

## 2.2 安装过程

### 2.2.1 风电机组吊装技术

(1) 整体吊装与分体吊装。风电机组的吊装是海上风电建设中的核心环节。吊装方式通常分为整体吊装和分体吊装两种。整体吊装是将风电机组作为一个整体单元进行吊装，适用于较小的机组或较浅的水域。这种方法具有吊装速度快、施工效率高的优点，但要求吊装设备具有足够的起重能力和稳定性。分体吊装则是将风电机组拆分成多个部件分别进行吊装，适用于较大的机组或较深的水域。这种方法虽然增加了施工复杂性，但可以降低吊装设备的起重要求，并提高吊装过程中的灵活性。(2) 不同吊装方法的优缺点与应用场景。整体吊装方法的优点在于施工效率高，能够快速完成吊装任务，降低施工成本。然而，这种方法对吊装设备和场地的要求较高，需要确保吊装过程中的稳定性和安全性。分体吊装方法则具有更高的灵活性，能够适应不同水深和地质条件的风电场。此外，分体吊装方法还可以降低吊装设备的起重要求，使得施工更加经济可行。然而，这种方法也增加了施工复杂性和成本，需要更加精细的施工组织和协调<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 电气设备的安装

(1) 发电机与电网的连接。电气设备的安装是海上风电建设的另一项重要任务。发电机是风电机组的核心部件，负责将机械能转化为电能。发电机的安装需要确保其输出端与电网系统可靠连接，以便将生成的电能输送到电网中。连接过程中，需要采取相应的电气保护措施，以确保发电机的安全和稳定运行。同时，还需要进行精确的电气测试和调试工作，以确保连接质量和性能符合要求<sup>[4]</sup>。(2) 接地线、电缆和开关设备的安装。接地线、电缆和开关设备是电气系统中的关键组成部分。接地线用于保护设备和人员免受电气事故的伤害，电缆则负责将电能输送到各个用电点。开关设备则用于控制和保护电气系统的正常运行。在安装过程中，需要确保接地线的可靠性和有效性，电缆的铺设和连接需要符合

相关标准和要求。同时，还需要选择合适的开关设备，并进行相应的安装和调试工作，以确保电气系统的稳定性和安全性。

## 2.3 安装过程中的关键技术

### 2.3.1 吊装平台船的选择与评估

吊装平台船是海上风电建设中的关键设备之一。选择合适的吊装平台船对于确保吊装过程的安全和效率至关重要。在选择过程中，需要综合考虑吊装平台船的起重能力、稳定性、适应性以及操作人员的经验和技能等因素。此外，还需要对吊装平台船进行详细的评估和检查，以确保其符合相关标准和要求。评估内容包括船体的结构强度、吊装设备的性能和安全性等方面。通过评估和检查，可以确保吊装平台船在吊装过程中的稳定性和可靠性。

### 2.3.2 塔筒安装技术

(1) 底段塔筒的安装。塔筒是风电机组的重要支撑结构，其安装过程需要确保稳定性和准确性。底段塔筒的安装是整个塔筒安装过程的关键环节之一。在安装过程中，需要采取相应的定位和调整措施，以确保底段塔筒的水平和垂直度符合要求。同时，还需要对底段塔筒进行固定和连接，以确保其稳定性和安全性。固定和连接过程中，需要采取相应的紧固和密封措施，以防止螺栓松动和渗漏等问题。(2) 后续塔筒段的安装。在底段塔筒安装完成后，需要依次安装后续的塔筒段。这一过程中，需要采取相应的吊装和调整措施，以确保每个塔筒段的水平和垂直度符合要求。同时，还需要对每个塔筒段进行连接和固定，以确保整个塔筒结构的稳定性和安全性。在安装过程中，还需要对塔筒内部的电缆和接线进行检查和调试工作，以确保电气系统的正常运行。此外，还需要对塔筒的外观进行检查和清洁工作，以提高其耐腐蚀性和美观性<sup>[5]</sup>。

### 2.3.3 调试与测试工作

在风电机组和电气设备安装完成后，需要进行调试和测试工作。调试和测试的目的是确保设备的性能和质量符合要求，并发现潜在的问题和故障。调试和测试内容包括机械性能测试、电气性能测试、安全性能测试等方面。在调试和测试过程中，需要采取相应的检测仪器和设备进行精确的测量和分析工作。同时，还需要采取相应的安全措施和保护措施，以确保调试和测试过程的安全性和可靠性。通过调试和测试工作，可以及时发现和处理设备的问题和故障，提高设备的稳定性和可靠性。

## 3 海上风电电气设备安装的未来发展趋势

### 3.1 技术进步与创新

(1) 吊装设备与技术的升级。海上风电的电气设备安装,首要挑战在于如何将庞大的风电机组安全、高效地安装到预定位置。随着风电技术的不断进步,吊装设备与技术的升级成为必然趋势。当前,吊装设备正向大型化、智能化方向发展,如大型浮吊和起重船的出现,大大提升了吊装效率和安全性。未来,吊装设备将进一步优化,以适应更大容量、更高塔架的风电机组安装需求。此外,遥控和自动化技术将广泛应用于吊装过程,减少人工操作,提高安全性和可靠性。(2) 新型基础与支撑技术的发展。基础与支撑结构是海上风电电气设备安装的关键。随着海域环境的复杂性和风电技术的不断进步,新型基础与支撑技术的发展成为必然。传统的基础形式,如重力基础、单桩基础等,虽然在一定程度上满足了海上风电的安装需求,但在深海和复杂海况下,其适用性受到限制。因此,新型基础形式,如导管架基础、漂浮式基础等,将成为未来海上风电电气设备安装的重要选择。这些新型基础形式不仅能够有效应对深海和复杂海况的挑战,还能降低建设和运维成本,提高经济效益。

### 3.2 海上风电场的规模化与智能化

(1) 深远海风电场的发展。随着海上风电技术的不断进步和成本的逐渐降低,深远海风电场的发展将成为未来趋势。相比近海风电场,深远海风电场具有风能资源丰富、风速稳定、不占用陆地资源等优势。然而,深远海风电场的开发也面临着诸多挑战,如深海施工难度大、运维成本高等。因此,需要不断创新施工技术,提高运维效率,降低成本,以推动深远海风电场的快速发展。(2) 风电场的智能运维。智能运维是海上风电场未来发展的重要方向。随着大数据、云计算、物联网等技术的广泛应用,风电场的运维管理将变得更加智能化。通过建立风电场运行数据监测和分析系统,可以实时监测设备运行状态,及时发现和预警潜在故障,提高运维效率。此外,智能运维还可以实现远程操控和自动化维护,降低运维成本,提高风电场的整体经济效益。

### 3.3 政策与市场的驱动

(1) 国家政策支持与规划。国家政策是海上风电发展的重要推动力。近年来,各国政府纷纷出台了一系列支持海上风电发展的政策措施,包括提供财政补贴、优惠税收政策、简化审批流程等。这些政策措施为海上风电的发展提供了有力保障。未来,随着全球能源转型的加速推进,各国政府将继续加大对海上风电的支持力度,推动其快速发展。(2) 海上风电市场的竞争格局与前景。海上风电市场的竞争日益激烈。随着技术的进步和成本的降低,越来越多的企业开始进入这一领域,竞争态势逐渐呈现多元化。未来,海上风电市场的竞争格局将更加复杂,企业需要不断提升技术实力和创新能力,以应对激烈的市场竞争。同时,随着全球对清洁能源需求的不断增加,海上风电市场的发展前景广阔。预计未来几年,海上风电市场将继续保持快速增长的态势,为全球能源转型和可持续发展提供有力支持。

### 结束语

综上所述,海上风电电气设备安装技术正不断迈向更高效、更智能的新阶段。面对复杂多变的海洋环境,技术创新与装备升级成为了提升安装质量和效率的关键。随着深远海风电场的开发、智能运维系统的应用以及国家政策与市场需求的驱动,海上风电电气设备安装技术将迎来更广阔的发展前景。我们有理由相信,在各方共同努力下,海上风电将成为推动全球能源转型和实现可持续发展的重要力量。

### 参考文献

- [1] 严新荣,张宁宁,马奎超,等.我国海上风电发展现状与趋势综述[J].发电技术,2024,(11):111-112.
- [2] 张琛,邓伟.中国风电产业发展现状及趋势研究[J].机电产品开发与创新,2023,(13):206-208.
- [3] 黄海龙,胡志良,代万宝,等.海上风电发展现状及发展趋势[J].能源与节能,2020,(06):51-53.
- [4] 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,2022(12):134-135.
- [5] 张先亮.海上风电发展趋势及关键技术研究[J].能源工程,2023,(10):118-119.