



1 浮式风电

浮式风机可在深水区域获得丰富的风力资源，其海面空间至少是固定式风电的四倍。这增加了选址的灵活性，包括可以利用风速较大的区域以及社会和环境影
响较小的区域。预计在接下来的五年内，我们将看到浮式风电的重大技术发展，
以降低成本、扩大规模并提高适用性。

增长潜力

DNV 预测，到 2050 年，浮式风电的发电量将为 250 GW，约占全球发电量的 2%¹。这差不多是目前挪威在建的世界最大浮式海上风电场 Hywind Tampen 的 3,000 多倍。

浮式风电可为以前没有风力发电服务的沿海社区带来清洁能源，例如亚太地区的一些特大城市。但也有其他方面引起了人们对浮式风电的兴趣，例如石油和天然气以及海事企业有机会将他们的技能、船只和船厂转移到这个全新的高成长性的行业，并有机会利用浮式风电为石油和天然气平台供电，从而减少 CO₂ 足迹。

目前状况和成本

两大欧洲浮式风电场，苏格兰的 Hywind Scotland 和葡萄牙的 WindFloat Atlantic 现已建成投产，证明了浮式风电在技术上是可行的。Hywind Scotland 自 2017 年开始运营，其在英国的所有海上风电场中平均容量系数最高，这表明浮式风电在效能上与固定式海上风电相当，甚至更好。

但浮式风电的主要问题是成本。固定式风电当前项目的平准化度电成本 (LCOE) 低于每兆瓦时 50 美元，而第一批浮式风电场的 LCOE 已超过每兆瓦时 200 美元。这在很大程度上是由于第一批浮式风电场的规模较小，以及技术和供应链不成熟。但浮式风电有一些独有的特征会影响成本，需要注意。8 MW 风机的固定式风电场所用的基础钢材重量通常约为 1,000 吨，但对于相同规模的风机，浮式风电基础结构可能需要超过 2,000 吨钢材。锚和系泊系统也需要更多的材料。除了可能需要两倍以上钢材外，结构本身的设计和制造也更为复杂，尤其是与单桩相比。其他导致成本较高的方面包括动态电缆以及浮式结构物和系泊系统的额外维护。

全新和改进的设计

全新和改进的浮式风电设计将有助于降低成本。到 2025 年，Hywind 单立柱式结构将受益于之前的三次迭代，包括一个原型机和两个试点风电场，而 WindFloat 半潜式结构将完成第四次迭代，包括一个原型机和三个试点风电场。在法国，Ideol 的阻尼池驳船式 - SBM 的张力腿式和 Naval Energies 的半潜式浮体结构，预计将首次在风电场配置中进行试用。在此期间，我们还将看到一些额外的概念作为全尺寸原型机进行测试，例如由于模块化和组装简单而不同于其他概念的 TetraSpar，以及将灵活的半潜式概念与混凝土建造相结合的 OO Star。

拥有已部署资产的技术提供商显然在经验方面占得先机，但我们也预计许多技术开发者会提出新的概念与之竞争。目前正在开发的浮式风电概念有 40 多个，新概念也在频繁公布。其中一些基于与领先概念类似的设计，但在质量和制造方法等因素上对其提出了挑战，而其他概念则有更彻底的变化，例如转塔系泊系统、多风机浮体概念或将浮式风电与波浪能装置或氢能生产装置相结合。

所有概念的共同点是系泊系统，预计这一领域将有重大发展。这主要体现在优化目前采用的技术以及引进浮式风电的新技术、材料和方法，比如合成缆索、降载系统、集成的张力监测系统、快速连接系统和共享系泊。

拓展应用

将浮式风电的应用拓展到新的市场和环境也需要技术发展。更大规模的浮式风电场，离岸距离更远的深水区域，需要安装浮式变电站，并开发电压和功率水平比目前可用的电缆更高的动态电缆以及适应典型浮式装置运动的变压器和开关装置等电气设备。浮式风电的全球部署还需要增加其水深适用范围，以便在深达 1,000 米的场地以及低至 40 米的浅水场地应用浮式风电。某些市场还需要考虑特殊天气条件，例如飓风和台风。混凝土浮体将起到重要作用，因为它可以更多在当地建造。

扩大规模

在未来几年内，浮式风电将在风机规模和风电场规模上不断扩大。技术提供商将采用可能超过 20 MW 的风机来测试他们的解决方案，这可能会导致设计变更，而不仅仅是增加结构尺寸来应对额外的载荷。

随着风电场的规模扩大，需要采用安装、制造和运营浮式风力发电机的新方法。对于安装和制造，我们预计串行安装和制造将取得进展。对于运营，将在基于状态的维护、数字孪生的使用、基于风险的检查、浮体和系泊系统的机器人检查以及海上风机组件的主要更换方法的开发方面取得进展。到 2025 年，将有越来越多的浮体投入使用，这使行业能够更多地了解日常运营、风机性能以及主要组件更换等事件。这些经验无疑将推动新的发展。

行业的共同成功取决于分享运营数据和经验教训、制定和商定国际规则与标准

需要克服的挑战

DNV 预计，随着 2050 年临近，浮式风电的成本将降低 70%（图 1.1），与固定式风电的平均值相比，LCOE 仅略有溢价。一些早期迹象表明，我们正走在正确的道路上。Hywind Tampen 每兆瓦的投资成本比 2017 年安装的 Hywind Scotland 低 40%²。法国政府将南布列塔尼和地中海的下一轮浮式风电场的目标价格分别定为 120 欧元/兆瓦时和 110 欧元/兆瓦时。这是前四个 24-30 MW 试点风电场 240 欧元/兆瓦时电价的一半³。

但有一些潜在挑战可能会妨碍降低成本。虽然有这么多新的浮式风电设计正在进行测试令人鼓舞，但风险在于广泛的设计概念也可能成为行业需要降低成本的障碍。大量不同的制造方法和基础形式使供应链难以提供高效的制造设施，同时也使风机制造商难以制造最佳的风机。概念或概念要素的标准化可能有助于加快发展。行业合作的缺乏、增加的当地参与度要求和国家/地区特定法规是行业面临的其他可能阻碍全球化的潜在挑战。行业的共同成功取决于分享运营数据和经验教训、制定和商定国际规则与标准，以及参与解决技术难题的工业联合项目。

DNV 观点

浮式风电潜力巨大。发挥这种潜力需要行业解决一系列的挑战，在不影响安全性的情况下拓展应用、扩大规模并降低成本。依靠石油和天然气、海事及海上风电领域企业的综合经验和热情，DNV 相信可以克服技术和降低成本方面的挑战。但与大多数行业一样，实际情况在于部署，而这正是决策者发挥作用的地方。长期目标、不妨碍国际合作的明确法规以及激励措施会使供应链具有可预测性，以便吸引资金、实现全球化和技术产业化，并将浮式风电成本迅速降低到具有竞争力的水平。■



我们预测，到 2050 年，海上浮式风电的总发电量将达到 250 GW，其规模几乎是 Equinor 将于 2022 年投入运营的 Hywind Tampen 风场的 3,000 倍。
(图片：Equinor 提供)

图 1.1

海上风电平均 LCOE

单位：€/MWh

