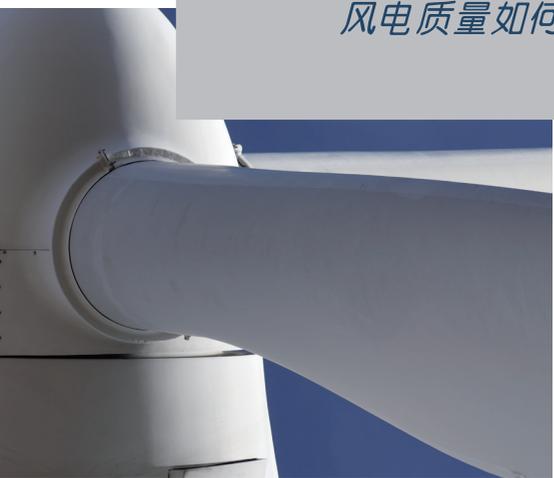




风电质量

风电质量如何影响发电成本？



Danish Energy
Agency

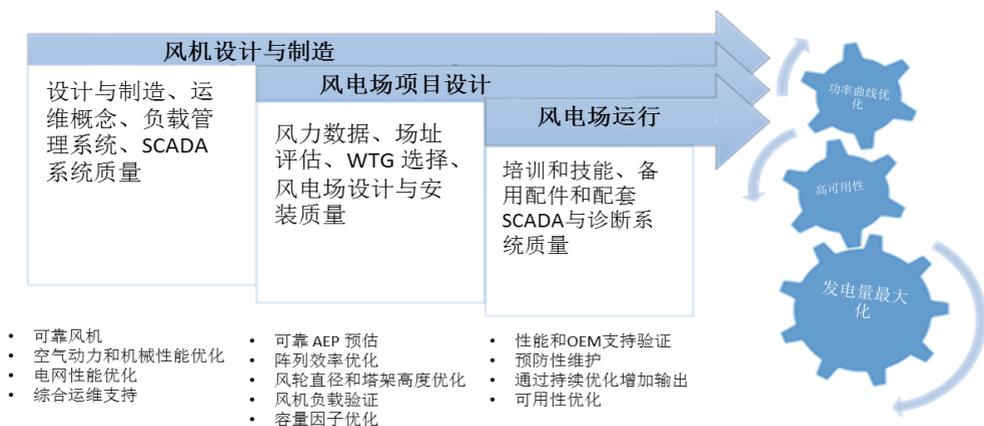
风电质量

风电是电力部门绿色转型的基石，而陆上风电在许多情况下往往与化石燃料发电成竞争关系。然而，很明显的是，许多风电场并未实现最优运行。本文从风机设计与制造、风电场项目设计和风电场运行质量的角度，阐释了

风电质量如何有助于优化风电场电力生产。本文通过多个示例，基于与行业专家联合选定的假设，计算了对平准化能源成本（LCoE）的影响。

LCoE: 平准化能源成本

LCoE 包括某项能源技术的投资和运营成本，计算生命周期内的平均能源成本。它还包括排放、系统整合等外部成本。LCoE 常被用作一种比较不同发电技术社会经济发电成本的简单方式。丹麦能源署开发了一种可免费下载和使用的国际LCoE计算器。该工具可帮助用户调整所有输入数据以适应当地情况或本国国情。



缩略语

O&M: 运营和维护, 即保持风电场运行的必要工作, 包括日常监督、计划和计划维护、修复和管理等。

WTG: 风力发电机组, 即单个风机机组, 加上基座、电缆等便构成了风电场。

OEM: 原始设备制造商, 即最初生产风机或其组件的公司。

AEP: 年度发电量, 即风机/风电场每年在正常风力条件下的预期发电量。

SCADA: 监测控制和数据采集, 即用于监测和控制风机与风电场, 收集运行统计数据信息的系统。

PC: 功率曲线, 即风机轮毂高度风速 (m/s) 与电力输出 (kW) 之间的关系。

CFD: 计算流体力学, 即通过计算机计算来模拟某一表面流量, 例如, 以确定某一风电场规划风机位置的风速和湍流的数值方法, 其对于山区尤为重要。

风机设计与制造质量

在严峻气候环境下, 风机及其组件需要在高动态负载条件下工作许多个小时。因此, 风机设计质量是全生命周期成本效率的一大驱动力。几十年来, 持续的技术开发带来了更高效、更可靠及更轻便的风机。主要的设计质量问题如下:

• 空气动力和机械性能优化

通过使用先进的负载模拟方法, 一体化的传动组件和控制系统设计, 减少了负载和重量, 提高了发电量。例如, 某一特定平台的风机可能拥有许多不同的可选风轮直径和塔架高度, 以便根据不同场址条件进行最优选择。与此相类似, 通过优化现有风机平台, 可实现更高的额定功率。

• 电网性能优化

通过将电力电子技术与风电场控制系统相结合, 优化风电场的电网性能。例如, 风电场可通过故障不脱网运行、有源功率因数调节、高风速逐步斜出等提供积极的电网支持。这将提高电网风力价值, 最小化停机时间。

• 提高可靠性、完善运维的解决方案

提高可靠性、完善运维的设计包括使用全规模加速试验、统计故障分析、状态监测 (振动、温度等) 及完善的 SCADA 设施。这可帮助调整设计, 以最小化故障, 促进预防性维护。

量化风机设计与制造质量以计算 LCOE

该计算假定风机优化组合提高了风机效率，使得平均发电量增加了10%。然而，为增加更多先进方案的风机价格上涨预期将增加10%的整体投资成本。

在制造过程中，重点关注组件与成套风机舱的质量控制与工厂测试有助于减少全生命周期内因初期问题和组件故障所造成的停机时间。试运行和新风机机型认证则有助于预防初期问题，并提高可用性。

风电场项目设计质量

通过经验、良好规划及最佳可行方法的应用来确保风电场的设计质量。其中，最重要的问题包括：

• 场址评估与风力数据

充足、高质量的风力数据将为风力资源评估奠定基础，同时也将决定着场址的具体负载基础，即按照IEC 61400-1划分的风力等级。这将确保选择最优的风机，并精准地预估风机负载和发电量。

• 为场址选择最优风机

按照IEC 等级设计和认证风机，其中界定了可容许平均和极端风速与湍流强度。对于某一特定场址而言，在选择风机时，应根据机组额定功率优化风轮直径和塔架高度，进而在不影响安全和使用寿命的前提下实现发电量和容量因子的最大化。这必须与运输、安装和基座等其它项目要素成本结合来看。与按照IEC 等级进行的保守选择法相比，通过计算具体风机位置负载进行的特定化选择方法有助于进一步优化风轮直径和塔架高度。

• 优化风电场风机布局

应优化风电场布局，以确保最高的阵列效率（即，最小化尾流损失），同时确保风机不出现超载现象。

确保风电场设计质量的主要手段包括：风力测量和资源预估、风电场布局及风机负载计算方面的现有经验和专业知识。为了协助设计和规划，目前已有大量的可用于风力分析、动态负载建模、CFD模型和布局优化的先进软件工具，其可帮助实现发电量的最大化，并使风机适应实际场址。

量化风电场项目设计质量以计算 LCOE

该计算假定场址布局优化促使阵列效率从85%提高到90%，而通过场址风机优化，预期年度发电量平均将增加5%。



风电场运行质量

风电的竞争力大多直接取决于运行阶段的性能。“可用性”一词表示的是风机发电时间在总时间中的占比。目前，先进风电场的可用性达到98%以上，而其它风电场则由于持续的技术和组织问题而远低于这一水平。然而，尽管达到了较高的可行性，还可通过为计划和必要服务工作进行低风期优先排序来进一步提高发电量。高质量的风电场运维包括以下方面：

• 接管时经证实的性能

当所有人接管风电场时，充分测试单个风机及整体风电场控制和SCADA系统以确保无缺陷这一点十分重要。经验表明，即便是微小的初始故障和缺陷也可能多年限制风电场的性能。

• 服务提供商的培训和技能

当今的风机技术十分先进和复杂。运维质量直接取决于工作人员的理论 and 实践技能，其中包括风机基础教育和专业培训。对于长期服务协议，服务提供商必须具备有证可循的综合技术能力，其中包括日常风电场运行及高效解决问题的能力，以及规划和进行重要操作的能力。

• 备用配件和OEM支持

完善的备用配件和支持策略在确保风电场正常运行中也发挥着重要作用。即便是微小配件的缺乏也可能对风电场运行产生重大影响。由于无法现场储备所有配件，因此有必要签署相关协议来确保战略主部件的可用性 & 较短的交货期。

• 负载管理系统和PC优化

在运行过程中，可通过分析运行记录，如负载和风力数据来验证和优化每个风机的功率曲线，进而持续提高风电场的发电量。与此同时，不得影响可确保使用寿命的负载管理系统。例如，可将整体PC增容与高湍流负载风向的风机的自动减量调节相结合。此外，可允许风机在正常停风以外以更低输出功率运行。

· SCADA和诊断系统的应用

风机故障往往将导致间接损害和修复，而这需要时间进行规划和实施，因而在此期间也将无法进行发电。SCADA系统，包括基于状态监测和统计方法的诊断系统的最佳实践应用，可帮助运维工作人员优化和规划预防性维护，而非仅处理停机问题。这有助于减少成本，提高可用性。

此外，除了技术和组织能力，参与风电场运维的管理人员和工作人员还必须积极专注于持续的改善工作。

风电质量的成本影响

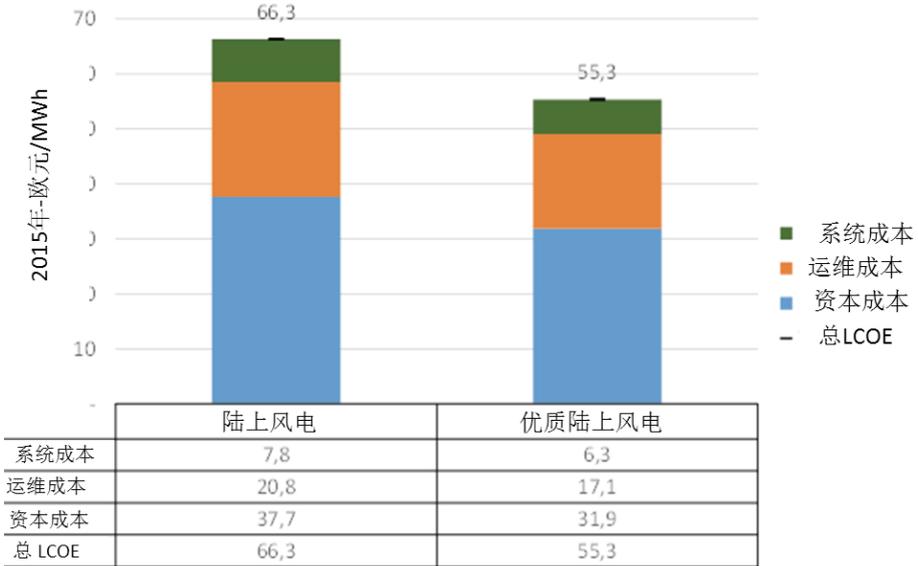
下表汇总了风电场项目三个不同阶段质量改善和优化的影响，起点是性能较低的风电场（基准情景），终点为各阶段优化措施的结合。在该示例中，我们发现可实现发电量的显著改善，以年度全负载运行小时表示。

量化风电场运行质量 以计算LCOE

该计算假定最优的运维性能与功率曲线优化相结合，可提高3%的风电场可用性及3%的整体风电场功率曲线。由于发电量更高，因此年度总运维成本预计将增加7%。

		基准情景	设计优化	项目设计优化	运维性能优化
风电场可用性	%	95%	95%	95%	98%
风电场阵列效率	%	85%	85%	90%	90%
功率曲线改善	%		10%	5%	3%
AEP(全负载运行小时)	小时/年	2309	2540	2823	3000
使用寿命	年	20	20	20	20
贴现率	%	4%	4%	4%	4%
投资成本	百万欧元/MW	1,25	1,37	1,37	1,37
年度运维成本	欧元/MW/年	48.117	49.226	50.590	51.438
运维成本	欧元/MWh	20,84	19,38	17,92	17,15

低质量和高质量情景下的LCOE示例



在该示例中，风机设计与风电场项目设计的质量改善及运行改善意味着平准化能源成本将减少17%，尽管价格更高昂的风机预计将增加10%的投资成本，而整体年度运维成本预计也将增加7%。

然而，由于选择了价格更高昂的风机，整体年度运维成本也更高。

可使用丹麦能源署网站（www.ens.dk）上的LCOE计算器来计算风力质量优化的相应影响，相关结果将出现在下一页的图中。

该图显示了风机性能的改善如何显著降低了不同质量风力情景下的平准化能源成本，尽管绝对投资和运维成本有所增加。

LCOE计算器也评估不同质量风机的系统特性。由于风电具有波动性和不可预测性，因此电力系统中的风电价值有所减少。这些系统成本将随实际电力系统的风电比重而异。然而，随着全负载运行小时的增加及容量因子的提高，系统整合成本将减少，而风电价值也将随之增加。根据丹麦模型研究，示例中显示的全负载运行小时的增加将使得整合成本从5.8欧元/MWh下降到4.3欧元/MWh。平衡成本等其它系统成本预估为2欧元/MWh。

本文件的内容由 EA Energianalyse 与行业专家联合编制。丹麦能源署不对本文件中的任何内容或假设承担责任。

丹麦能源署全球合作中心支持新兴经济体将可持续未来能源供应与经济增长结合起来。这一举措以丹麦在以下方面的四十多年经验为基础：可再生能源和能效；能源部门转型，增加低碳技术部署。

登录我们的网站了解更多详情：

www.ens.dk/global-cooperation

欲了解更多信息，请与以下人员取得联系：

Henrik Breum
hebr@ens.dk
+45 3392 7812

Jacob Høgh
jac@ens.dk
+45 33 92 67 20



Danish Energy
Agency

丹麦能源署，
丹麦哥本哈根（1256）
电话：+45 33 92 67 00
网址：www.ens.dk/en

