

## News & Highlights

### 巨型涡轮机进军海上风电

Sean O'Neill

Senior Technology Writer

巨型涡轮机似乎将定义未来十年的海上风能行业。Haliade-X作为第一台巨型涡轮机，由总部位于法国巴黎的GE可再生能源公司（GE Renewable Energy）设计和制造，高260 m，转子直径为220 m，其长达107 m的叶片扫掠面积达38 000 m<sup>2</sup>（图1）。原型机建在荷兰鹿特丹的港口边（图2），其最初是一台12 MW的机器（后

来被优化为13 MW）。这台涡轮机在2019年11月生产了首个毫瓦时的电力，并于2020年11月获得行业认证。该公司称，目前Haliade-X的发电量比其他海上风力涡轮机的发电量多45%，年发电量高达67 GW·h，足以

为16 000个家庭供电[1]。

在海上安装的第一台Haliade-X涡轮机将是13 MW

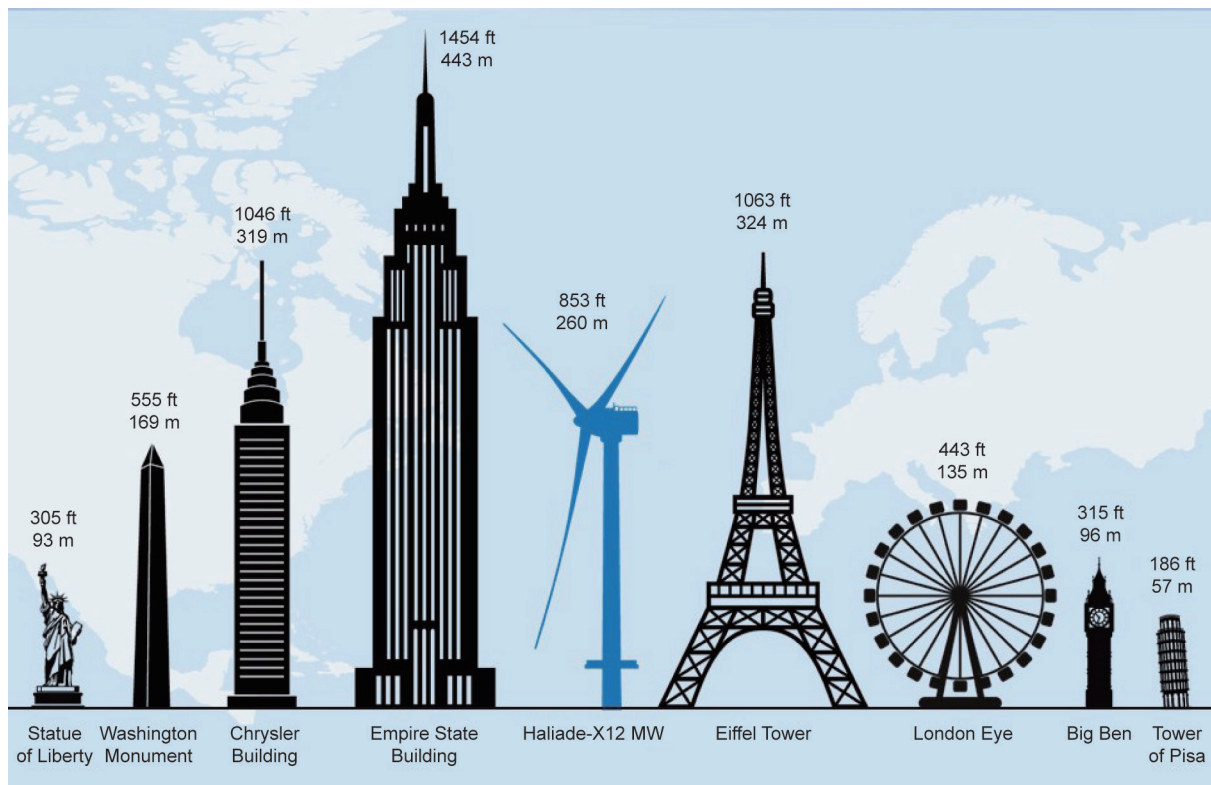


图1. Haliade-X是目前世界上最大的海上风力涡轮机，可为大约16 000个欧洲家庭供电。图片来源：GE Renewable Energy，经许可。



图2. Haliade-X的原型位于荷兰鹿特丹的港口边。图片来源：GE Renewable Energy，经许可。

版本，安装位置在距英格兰东北海岸约130 km的北海Dogger Bank风电场。该项目在前两个阶段订购了190台涡轮机，第一台涡轮机于2022年安装。第三阶段，即最后一个阶段，将安装14 MW版本[2]。按照目前的计划，该风电场将成为世界上最大的风电场，每年发电18 TW·h，为600万英国家庭供电。

Dogger Bank风电场商业总监Simon Bailey说：“更大、更高容量的涡轮机减少了所需的涡轮机数量，并使得从安装到运行和维护的效率更高。我们必须加大其他许多组件的尺寸，包括安装船，并且它们不会比Voltaire自升式船大。”Voltaire自升式船由比利时土木工程公司Jan de Nul制造，其在完全伸展时，从位于海床上的腿底部到起重机顶部可达325 m（比埃菲尔铁塔还高一些），并且可提升3000 t的重量（图3）[3]。

对投资者和电力公司来说，大型涡轮机最具吸引力之处在于其平准化能源成本（LCOE）的结果，即在涡轮机大约25年的使用寿命内每单位电力所需的平均收入用于收回建筑和运营成本。从本质上讲，这些涡轮机是“规模经济”（economies of scale）。

2020年，GE可再生能源公司在已投产的风力涡轮机装机容量（陆上和海上相结合）方面位居全球首位，该



图3. 比利时Jan de Nul集团制造的Voltaire自升式船。2022年，该船将被用于安装第一台商用Haliade-X涡轮机（位于北海的Dogger Bank风电场）。图片来源：Jan de Nul Group，经许可。

地位之前由位于丹麦奥尔胡斯的能源公司Vestas占居[4]。然而，总部位于西班牙Zamudio的Siemens Gamesa公司以大约2/3的海上装机容量引领海上市场。作为对Haliade-X的回应，2020年5月，该公司宣布推出一种新的直接驱动涡轮机：14 MW SG14-222 DD，其转子直径为222 m，仅比Haliade-X宽2 m。该原型机计划于2021年年底在丹麦北部的Østerild完成，预计在2024年投产[5]。

与此同时，位于中国广东省中山市的明阳智慧能源集团股份有限公司拥有一台相当大的涡轮机，即MySE11-203。该公司计划在2021年完成这款11 MW涡轮机的原型制造（其转子直径为203 m，采用碳玻璃混合叶片），并承诺在2022年投入商业使用[6]。为在这个日益集中的领域中占有一席之地，Vestas公司于2021年2月宣布了其巨型涡轮机的计划。Vestas公司的V236-15.0 MW涡轮机的转子直径为236 m，是世界上最大的涡轮机。其原型机将于2022年建成，商用机则于2024年开始生产[7]。

要了解海上电力的发展程度，请参考1991年位于丹麦海岸附近的世界第一个海上风电场Vindeby中的11个涡轮机的单个装机容量：450 kW [8]。到2019年，海上涡轮机平均装机容量已增加到7.2 MW。根据位于比利时布鲁塞尔的国际风电行业贸易协会全球风能理事会（Global Wind Energy Council）的数据，到2025年，海上涡轮机平均发电量将达到10~12 MW，这在很大程度上归功于Haliade-X及即将问世的竞争产品。

随着海上涡轮机规模的扩大，其在风能市场的份额也在扩大。2009年，海上涡轮机装机容量仅占全球新增风电装机容量的1%。而到2019年，新的海上涡轮机装机容量则占了10%。就运行中的总装机容量而言，目前

海上涡轮机装机容量为35 GW，约占总风电装机容量的5% [8]，相当于避免了 $6.25 \times 10^7$  t二氧化碳的排放，或减少了超过2000万辆汽车上路所带来的尾气排放[9]。此外，2020年是海上风电新增融资创纪录的一年，融资规模超过15 GW。这比2019年的纪录高出50%以上，是2012年融资金额的15倍[4]。

这一增长在很大程度上反映了欧洲风电装置安装量的稳步增长。然而，在过去三年中，中国每年新增的海上风电装置规模一直处于世界领先地位。2020年，中国安装的海上风电装置的容量约3 GW，是全球新增装机容量6 GW的一半[9]。美国在海上风电发展方面进展缓慢，但在2021年3月，拜登政府宣布“快速启动”采购计划，力争到2030年建成30 GW海上风电装机容量的国家目标[10]。

这一阶段似乎为下一个十年奠定了基础。除此之外，海上涡轮机可能有多大？英国海上可再生能源推进中心（Offshore Renewable Energy Catapult，致力于海上可再生能源的技术创新和研究）的测试和验证总监 Tony Quinn，负责在推进中心位于布莱斯的设施中测试 Haliade-X 叶片和机舱（图4）。Quinn说：“对于未来几代涡轮机，尺寸越大不一定越好。与最大尺寸相反，最佳尺寸是LCOE收益的函数。如果叶片的设计没有任何变化，那么捕获的能量会随着叶片长度平方的增加而增加，但叶片的重量会随着其长度立方的增加而增加。这意味着叶片的成本增加速度快于功率输出。然而，对于涡轮机部件的其他方面，规模经济的正常规则适用，因此我们应该考虑整个系统。”

位于丹麦日德兰半岛中部的Siemens Gamesa公司的高级产品经理Peter Esmann提出了不同的担忧：“从业务案例的角度来看，没有理由不扩大规模。首要的潜在瓶



图4. 长达107 m的Haliade-X叶片抵达位于布莱斯的英国海上可再生能源推进中心，开始独立测试。图片来源：Offshore Renewable Energy Catapult，经许可。

颈是安装船的大小。我们关心的是涡轮机塔架的提升。新一代涡轮机需要一艘带有起重机的船只，可以一次性将塔架提升到高于海平面140 m的轮毂高度（发电机所在的位置）。”换句话说，如果涡轮机变得更大，就没有实际的安装方法。

但是风力发电不仅仅要扩大规模，各种新的风力发电技术也正在开发，旨在填补较小的利基市场[11,12]。这些技术包括使用系绳“风筝”从高空风中产生能量以及使用缠绕在路边灯柱周围的涡轮机（由过往汽车排出的空气提供动力），甚至无叶片涡轮机，即“skybrators”，通过涡旋脱落的风现象，前后摆动产生能量[13,14]。在这些较小的规模市场上，未来有大量的工程创新。

总的来说，尽管巨大的海上涡轮机浪潮即将到来，但Quinn表示，我们不应期望涡轮机尺寸会很快出现进一步的飞跃。他说：“涡轮机尺寸的快速增长正在逼近材料科学和可制造性的边界，规模的阶梯变化不仅带来技术挑战，也带来供应链能力和产能的挑战。”

## References

- [1] Haliade-X wind turbine technical specifications [Internet]. Paris: GE Renewable Energy; c2021 [cited 2021 Mar 23]. Available from: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>.
- [2] GE's Haliade-X 14 MW turbine to debut at Dogger Bank C [Internet]. Port of Tyne: Dogger Bank Wind Farm; 2020 Dec 18 [cited 2021 Mar 23] Available from: <https://doggerbank.com/press-releases/ges-haliade-x-14mw-turbine-to-debut-at-dogger-bank-c/>.
- [3] Voltaire offshore jack-up installation vessel. Aalst: Jan De Nul.
- [4] Moore J, Bullard N. BNEF executive factbook—power, transport, buildings and industry, commodities, food and agriculture, capital. London: BloombergNEF; 2021 Mar.
- [5] Powered by change: Siemens Gamesa launches 14 MW offshore direct drive turbine with 222-meter rotor [Internet]. Zamudio: Siemens Gamesa; 2020 May 19 [cited 2021 Mar 23]. Available from: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/newsroom/2020/05/200519-siemens-gamesa-turbine-14-222-dd>.
- [6] MySE11-203, hybrid drives the world [Internet]. Zhongshan: Mingyang Smart Energy Group Co., Ltd.; [cited 2021 Mar 23]. Available from: <http://www.myse.com.cn/en/jtxw/info.aspx?itemid=773>.
- [7] Vestas—V236-15.0 MWTM. Aarhus: Vestas Wind Systems; 2021.
- [8] Lee J, Zhao F. Global offshore wind report 2020. Brussels: Global Wind Energy Council; 2020 Aug.
- [9] China installed half of new global offshore wind capacity during 2020 in record year [Internet]. Brussels: Global Wind Energy Council; 2021 Feb 25 [cited 2021 Mar 23]. Available from: <https://gwec.net/china-installed-half-of-new-global-offshore-wind-capacity-during-2020-in-record-year/>.
- [10] Fact sheet: Biden administration jumpstarts offshore wind energy projects to create jobs [Internet]. Washington, DC: The White House; 2021 Mar 29 [cited 2021 Apr 10]. Available from: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/29/fact-sheet-biden-administration-jumpstarts-offshore-wind-energy-projects-to-create-jobs/>.
- [11] Weiss P. Airborne wind energy prepares for take off. Engineering 2020;6 (2):107–9.
- [12] Weiss P. After highflyer crashes, airborne wind energy regroup. Engineering 2021;7(3):277–9.
- [13] Ambrose J. Good vibrations: bladeless turbines could bring wind power to your home [Internet]. London: The Guardian; 2021 Mar 16 [cited 2021 Mar 23]. Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/16/good-vibrations-bladeless-turbines-could-bring-wind-power-to-your-home>.
- [14] Vortex Bladeless: how it works—first wind turbine without blades nor gears [Internet]. Madrid: Vortex Bladeless; [cited 2021 Mar 23]. Available from: <https://vortexbladeless.com/technology-design/>.