

成为大型轮毂的问题解决专家：扩展单元和集成在叶片轴承的变桨驱动

目录：

风能设备日益增大所带来的新挑战	2
轮毂过大导致刚性不足	2
解决方案：变桨轴承单元（PBU）	3
PBU 的设计形式	3
圆锥形设计带来的优势	4
概念验证研究量化节省潜力	4
示例 1：具有 7 MW 的陆上风能设备	5
示例 2：具有 10 MW 的海上风能设备	5
展望	6

风能设备技术进步的两个趋势影响着变桨驱动和叶片轴承的设计与可靠性：风能设备尺寸的持续增长和变桨活动的增加。

同时，原始设备制造商也面临着利用现有成本节省潜力的压力。更高的集成度和有针对性的组件模块化被认为是很有前景的选项。

就轮毂和叶片轴承而言，变桨轴承单元（PBU）就是可行的应对之道。

风能设备日益加大所带来的新挑战

在过去的 20 年里，风能设备的规模不断扩大。转子叶片直径和叶片长度也相应持续增加。这给风能设备原始设备制造商带来了越来越多的挑战。随着轮毂和转子叶片部件的不断增大，不仅对加工、装配和物流的要求也在不断提高。轮毂和叶片轴承区域的机械负载也会增加。为了确保轮毂、叶片轴承和转子叶片整体系统具有足够的刚性，有必要在设计方面采取越来越复杂的措施。对于多兆瓦的大型风能设备来说，尤其如此。

第二个趋势是，由于使用了所谓的独立变桨控制 (IPC)，变桨活动不断增加。根据风向和风速的变化对转子叶片变桨角进行永久性调整，可提高能量产出，并降低动态结构负载以及风能设备的噪音排放。另一方面，这会导致变桨轴承或叶片轴承的滚道系统承受更大的循环负载。为了确保系统在 20 至 25 年的整个生命周期内平稳运行，需要有与设计相适应的叶片轴承和叶片螺距驱动。

轮毂过大时会缺乏刚性

因此，原始设备制造商正在考虑使用三排滚柱式回转支承，而非迄今为止常见的四点接触球轴承。在安装空间相同的情况下（由于线路接触），这些滚道系统的静态和动态负载能力更高，能够更好地承受较高的变桨活动。但是，如果轮毂的尺寸导致刚性不足等情况，它们也会造成问题。这可以通过在轮毂上附加加强筋来解决，可以是铸件本身，也可以是额外安装的部件。

轮毂不仅越来越大，也越来越复杂和昂贵。这方面涉及到生产和后续加工，以及装配、物流和运输。

特别是对于陆上风能设备，轮毂尺寸进一步的增大可能会导致问题，因为到目前为止，轮毂都是按照传统方式所设计。不仅如此，直径超过 4 米的轮毂基体不再适合通过任何桥梁，而且必须绕道而行。日益复杂的特殊或重型运输的成本也在成倍增加。

解决方案：变桨轴承单元 (PBU)

在此背景下，thyssenkrupp rothe erde 公司的开发工程师与 HAWE 公司一起重新思考了这个问题。因此，变桨轴承单元 (PBU) 应运而生，它是一种

可立即安装的系统解决方案，可为上述挑战提供答案。

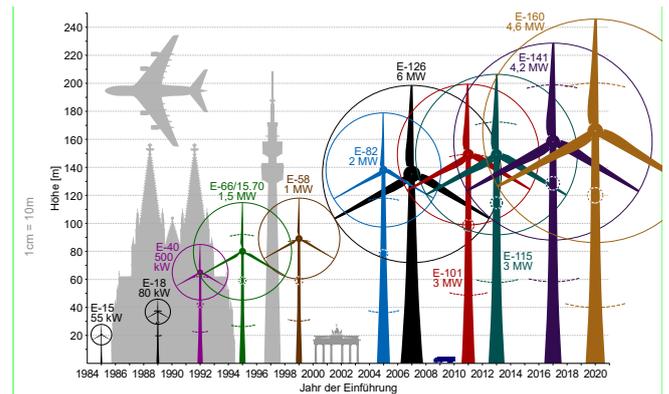


图 1：风能设备日益增大（图：Jahobr, CC0, 维基媒体）

原则上，PBU 是一个扩展单元：带集成式的液压变桨驱动装置，作为一个预制和经过测试的单元，可直接集成到叶片轴承中，即所谓的变桨模块。这种组合为用户提供了一个即装即用的系统解决方案。不过，变桨模块也可以被视为一个独立的组件。

它由用于调整叶片变桨角的变桨缸、按能源供应需求的液压活塞式蓄能器、带高动态比例阀的控制块、必要的管道以及必要的电子控制系统组成。风能设备制造商可将变桨模块用于液压变桨系统，也可作为电动变桨系统的改装替代品。



图 2：转子叶片和轮毂的尺寸已经导致高昂的运输成本和费用。（图：AdobeStock_409306001）

PBU 的设计形式

由于采用模块化设计，因此可以进行各种结构形式设计。这样就能为任何尺寸的风能设备提供定制解决方案。HAWE 和 thyssenkrupp rothe erde 已经实现了三种不同的结构形式。

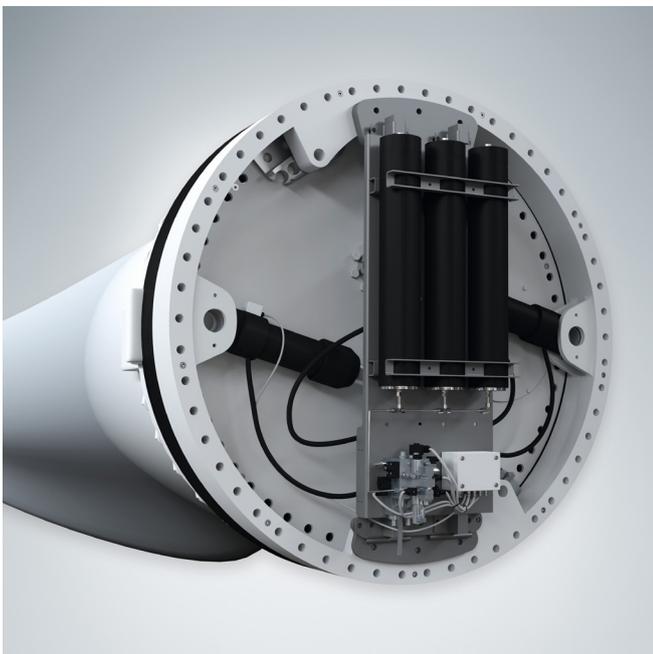


图 3: 变桨模块的多种结构形式之一。

圆锥形设计带来的优势

扩展单元的圆锥形设计带来了设计上的优势。因此，通过将所有驱动组件移至 PBU，可使法兰轮毂的整体尺寸更小、结构更简单。

相反，如果轮毂尺寸保持不变，则叶片根部直径和转子叶片长度可以增加。在这两种情况下，整个系统的刚性都会得到改善，因为轮毂上的负载会更加均匀。减少轮毂一侧对加强筋的需求，这对滚柱式回转支承尤其有利。轮毂构造的尺寸缩小，复杂程度降低，这对制造、加工和运输成本产生相应的积极影响。即开即用的功能可简化现场模块化安装。

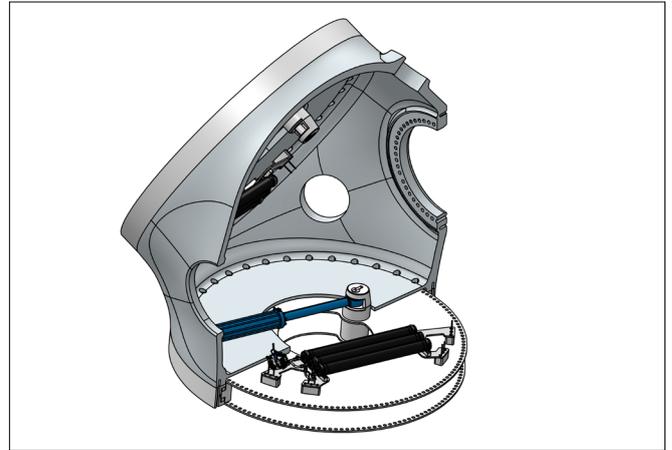


图 4: 7 MW 风能设备的常规轮毂，配备集成变桨模块

概念验证研究量化节省潜力

作为概念验证研究的一部分，thyssenkrupp 对潜在的节约效果进行了量化。为此，模拟了两种不同的情况：7 MW 的陆上风能设备和 10 MW 的海上风能设备。

示例 1: 对于输出功率为 7 至 8 MW 的陆上风能设备，特别考察了在轮毂生产和加工以及运输和物流方面的成本节约情况。这台虚构的风能设备可能位于欧洲任何地方，其转子叶片直径为 172 米，叶侧连接直径约为 4 米。按照传统设计，这种长度的转子叶片轮毂总重量约为 54 吨，外形尺寸约为

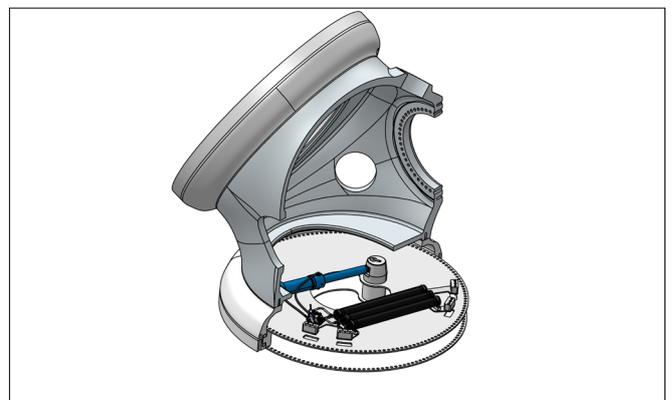


图 5: 7 MW 风能设备的小型新轮毂，配备集成式变桨轴承单元 (PBU)

变桨模块的特点和优势：

- 易于安装
- 针对不同转子叶片直径的定制解决方案
- 稳定性高，持续使用时间长达 20 年
- 即使在“寒冷气候”条件下也有可靠的功能
- 受控和阻尼的刀片角度调整
- 尽可能缩短紧急停止的时间

5 x 4.9 米（不含叶片轴承）。可能会出现与原始设备制造商不同的特定偏差。如果在这里使用集成式 PBU 的新型轮毂，将相当于节省约 30% 的轮毂总重量。外形尺寸将缩小到 4.3 x 4.4 米。

在这个例子中，(i) 没有事先运输到原始设备制造商的预制轮毂和 (ii) 经过测试的预组装 PBU 分别由两辆不同的车辆运输，以便在现场组装。由于距离缩短，物流成本降低，运输成本减少了两倍。此外，由于轮毂侧的重量减轻，加工步骤也不复杂，轮毂的成本也随之降低。

示例 2：以输出功率为 10 MW 的海上风能设备为例，在已有给定叶片根部直径的情况下，可将轮毂直径从 6 米减至 5 米。与传统轮毂的数值相比，螺栓圆直径 (BCD) 减少了 750 mm，从 4,975 mm 减至 4,200 mm，而转子叶片直径保持不变，仍为 4,600 mm。即使与较小的轮毂组合使用，PBU 也能大大提高系统刚性，这也是滚柱式回转支承能够可靠使用并拥有较长使用寿命的根本原因。

展望

轮毂仍然可针对每个风能设备进行定制。不过，PBU 可以简化轮毂构造，为当前市场环境下的标准化铺平道路。例如，可以开发出一种标准轮毂，通过不同的扩展环来满足原始设备制造商的要求。此外，还可以考虑改变原始设备制造商的供应链，从定制产品转为现成产品，并在生产数量和成本方面实现相应的规模经济。此外，如果需求继续快速增长，还可以避免可能出现的生产瓶颈和供应链问题。

在具体项目中，还可以实现更多优势。例如，如果利用 PBU 增加的叶片根部直径来有针对性地增加转子叶片的长度。在这种情况下，转子的投影面积可以扩大，而无需在原始设备制造商方面进行新的开发，因为现有的设备设计只需稍作调整即可继续使用。这对低风速地区的风能设备尤为有利。

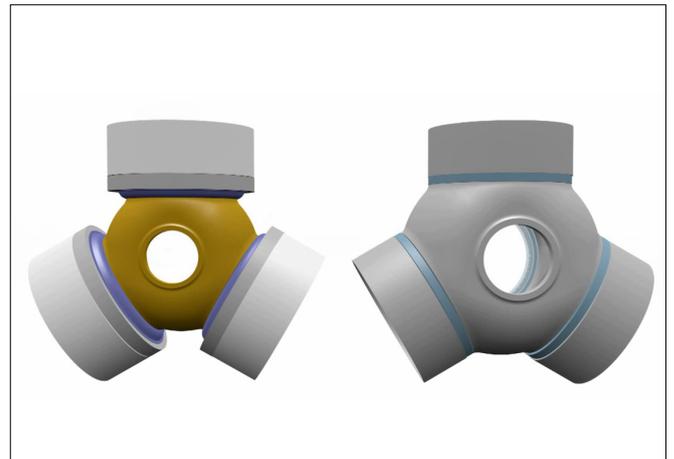


图 5：两种轮毂方案对比（右侧为传统轮毂，左侧为配备 PBU 扩展单元的轮毂）

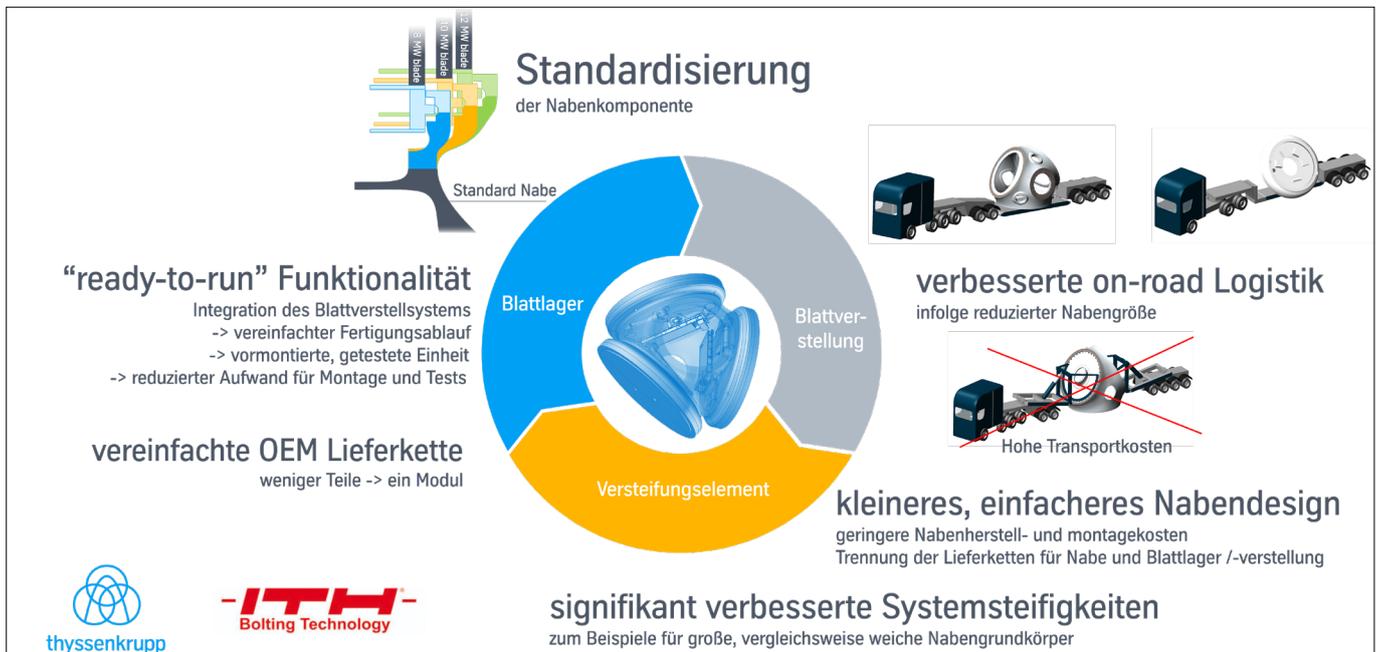
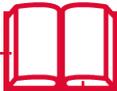


Abb. 6: 变桨轴承单元的优势一览 (图: © thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH)

变桨轴承单元 (PBU):

- 可降低总体拥有成本 (TCO)
- 采用更小、结构更简单的轮毂，提高了整个系统的刚性。
- 为该领域原本就应该实现的标准化与模块化铺平了道路。





电动变桨驱动与液压变桨驱动

从中期来看，液压变桨系统比电动变桨系统更具成本效益，因为液压变桨系统的部件在其使用年限内一般只需更换一次。它们的反应时间也很短，可将风能设备过载的风险降至最低。更多相关信息，请参见我们的电子书《风能设备液压解决方案》：

<https://www.hawe.com/de-de/unternehmen/news/ebooks/loesungen-fuer-windturbinen/>

市场需要新的解决方案

轮毂的尺寸不断增大，再加上原始设备制造商方面努力在轮毂上装配变桨驱动（主要在工厂内进行），这就满足了价格压力下市场竞争和节约成本的要求。

更高的集成度和预制组件或模块也可以改善原始设备制造商的**整体成本结构**。

此外，还存在**生产能力**不足的问题：鉴于预期的需求增长，未来是否有足够的铸造厂和分包商有能力铸造此类 XXL 特大型的轮毂，对其进行精心加工，并生产足够数量？



HAWE Hydraulik SE
Einsteinring 17
DE-85609 Aschheim/München
电话: +49 89 379100 - 1000
info@hawe.de
www.hawe.com



thyssenkrupp

thyssenkrupp rothe erde
Tremoniastrasse 5-11, 44137
Dortmund
电话: +49 2941 741 - 3572
info.rotheerde@thyssenkrupp.com