

# 绿色经济下的钢铁解决方案

## 风力机



概要	3
在塔架顶部	4
塔架	6
基础类型	8
附属应用	12
生命周期思考	14

国际钢铁协会 (worldsteel)是世界上最大及最具活力的行业协会之一。国际钢铁协会代表大约170家钢铁生产厂(包括世界上最大的20家钢铁公司中的17家),国家和地区钢铁行业协会,以及钢铁研究机构。国际钢铁协会成员的钢铁产量占世界钢铁产量的85%左右。

©国际钢铁协会2012

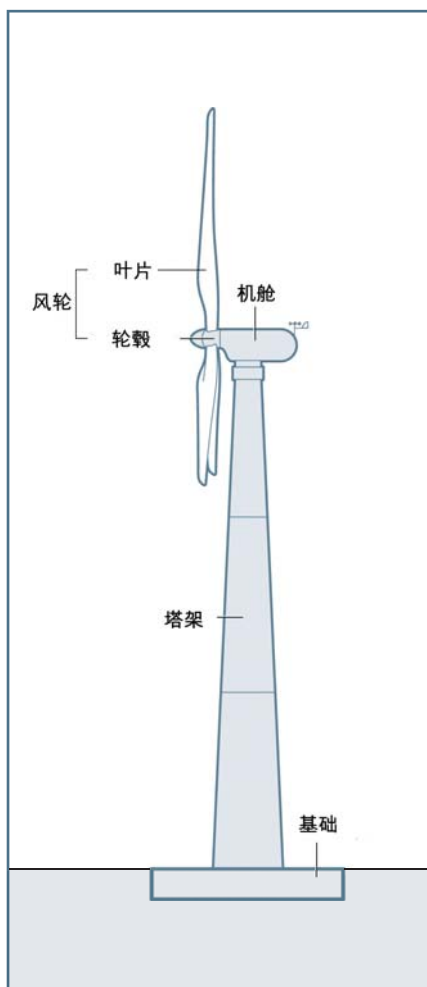
封面图片: 电力公司

世界对能源的需求随着人口的增长和经济发展的推动与日俱增。与此同时，气候变化问题需要可持续能源解决方案。

钢铁业在绿色生产技术上扮演着重要的角色。风能就是一个很好的例子。与化石燃料发电不同，风能发电场不排放任何二氧化碳。此外，用于建造、营运及拆除一个典型风力机所用的能源在运营的最初几个月就可收回。

风力机的每个部件都由钢铁组成。风力机的主要部件是塔架、机舱和风轮。风力机通过基础与地面或海底连接。

虽叶片通常采用其他材料，如碳纤维或合金，然而使用了铸铁或锻造的钢轮毂制成的叶片，旋转时的固定性相较其他材料较为稳定。



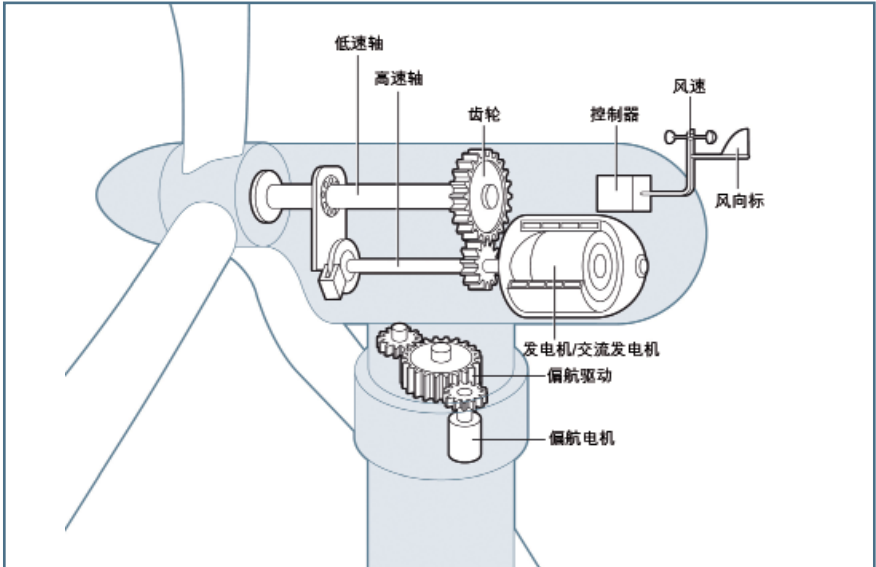
## 风能如何转化为电能

塔架的顶部是风轮和机舱。一个机舱可能重达300吨，是一个大型海上风力机重量的14%。钢的良好强度使之成为机舱框架、外壳及机械的理想材料。

机舱由关键部件和部分高价值的钢组成。这些包括电工钢（也被称为层压钢，硅钢或变压器钢），它们有助于节约能源。

电工钢是特种钢，专门用于产生特定的磁性，这使得风能成为可能。

在叶片后面，低速轴将风轮的旋转力转换给齿轮箱。齿轮箱的齿轮是使用精密工具和特殊硬化的钢构件机加工而成，齿轮使风轮轴的低转速转为驱动发电机所需的高转速。



发电机将由叶片获得的机械能转化为电能（就像一个自行车发电机），并引导至变压器。发电机由65%的钢和35%的铜制成。有时也用交流发电机。

交流发电机和发电机的区别在于其是否是固定或者旋转。交流发电机内，磁场在一个称为定子的绕组电线内旋转，从而产生电。

变压器通常放置在地面，将来自风力机的电升压转换成符合电网要求电压。

各种轴承。所有轴承必须能够经受风力产生的各种力和载荷。

螺钉和螺柱需能将主要部件固定在位，因此必须设计成能够经受极限荷载。

所有这些构件取决于钢的质量。

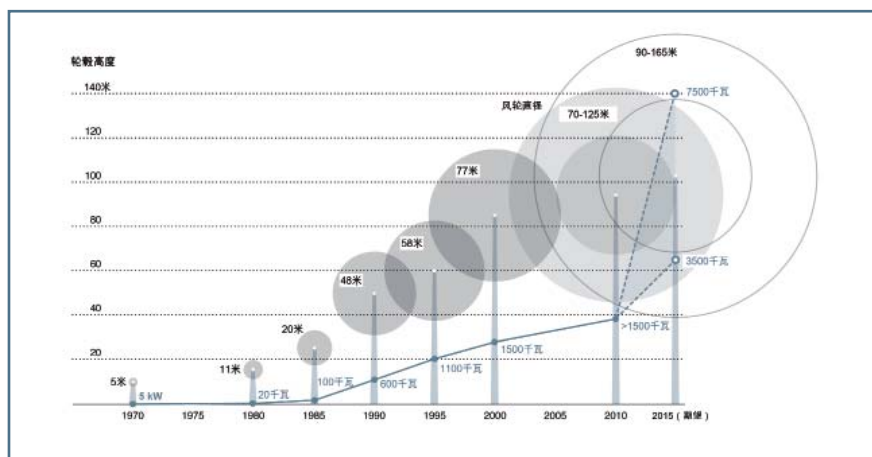
## 塔架

风力机中用钢最多的部分是塔架。大约90%的风力机塔架是钢管塔。他们被称为锥筒形塔架，因为自下向上逐渐狭窄。

要建造塔架，从矩形母钢板上切成扇形板段，然后轧制成型并焊接成锥形截面。一段的厚度可能从位于顶部的8mm到位于底部的65mm变化，取决于荷载和用钢的等级。海上塔架通常使用更厚或强度更大的钢板。

叶片更长，风力机产生的能量越多。他们扫掠的面积更大和捕获的风能更多。塔架和基础必须进行调整，以承载更重的叶片和更大的风轮。此外，为了最大限度地获得风能，更长的叶片就意味着更高的塔架。

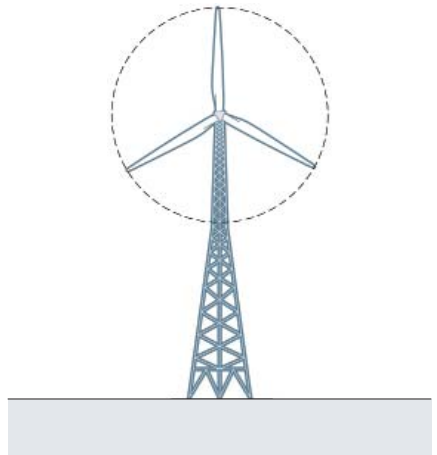
出于速度和成本效益考虑，钢塔架制成成品钢管装运至现场，这样塔架的最大直径限定在大约4.3米。对于海上塔架，可以整体吊装到驳船上并进行运输。更高的塔架分段运输。



为使塔架更高、更轻,可应用更高等级的钢。例如,将塔架机构用钢从S355升至S500,重量可以节约30%。即使较高等级的钢每吨成本增加了20-25%,结果还是平衡的,因为所需材料减少了30%。由于运输和施工的成本降低了,产生了更多的节约。

有时候,使用钢 - 混凝土混合塔来克服较高塔架的运输限制。先做成混凝土段,再在现场用钢管组合一起。然而,现场具体的解决方案严重依赖于良好的天气,并且需要大量熟练劳动力和延长施工时间。其他风力机制造商已经使用预制混凝土安装了钢 - 混凝土混合原型塔架。

在林区,钢桁梁(格子)塔是用来将风力机提升到树线以上,以防止扰动植被。对于非常高的塔架,这被证明是一种成本高效的解决方案。世界上最高的风塔,是被称为的Fuhrländer风力发电机laasow的钢格塔,其轮毂高度为160米。



钢格塔解决方案在过去流行过，现在可能会看到有所复兴。它主要使用标准化钢解决方案，从生命周期成本方面来看，它们与其他塔架比起来更胜一筹。

格构塔架用预组装型钢建造，这些型钢经过热浸镀锌的防腐蚀处理并在现场用螺栓组合起来，然后用起重机吊装。

极冷的环境，如北极，面临特殊挑战。虽然标准的风力机可以在 $-20^{\circ}\text{C}$ 甚至 $-30^{\circ}\text{C}$ 运转并保持结构稳定，但低于 $-40^{\circ}\text{C}$ ，就需要机舱或其他位置使用低温钢以及合成润滑油和供热系统。

## 基础类型

海上风电场习惯上放置在最大水深30米处，并且主要取决于重力基地（依赖于延展而不是深度）和单桩式基础。随着海上基础及深水安装的新理念出现，未来的项目可以安装在深达60米的水中。将来，基础可能会由单桩式变成导架管。两种都差不多完全由钢制成。

### 单桩基础

单桩是直径6米内，壁厚150毫米的钢管桩。根据海底条件，由打桩机或钻桩机深深打下，或嵌入岩石。相比重力基础桩，单桩式受局部环境的影响最小。技术相对简单，通常不需要对海底做任何预处理。

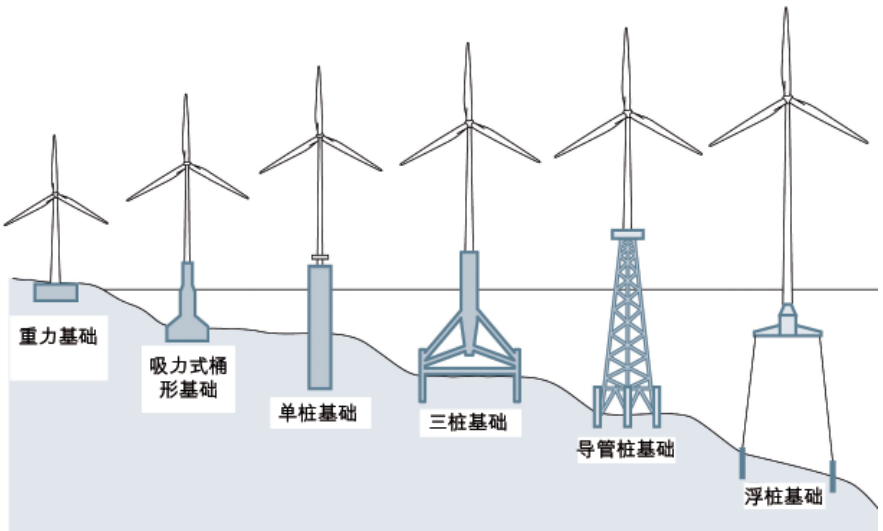
### 三桩或四桩基础

三桩基础由单桩组成，单桩的底部被分成钢筋框架。由更小直径的一些桩附着在海底（相对单桩式基础或桶形负压桩）。它可用于比重力基础和单桩基础更大深度处。



## 导管架

导管架基础近似于格架基础。它是一个方形的钢筋网络，固定在四个锚固点，整个钢结构可安装成一片。使用类似导管架基础的立体桁架可大大增加刚性。虽然比起单桩或重力基础桩成本更高，但是导管架基础在更深条件下，是具有成本效益的。



### 浮桩基础

许多浮桩使用从石油和天然气行业借来的设计概念。一个例子是，HyWind概念，由西门子和StatOilHydro公司在2009年6月安装。这是第一个兆瓦级浮动的风力机。设计深度为120-700米，容量为2.3兆瓦，由一个充满了矿渣、水和岩石的钢制漂浮器组成。表面以下延伸100米，由三钢锚线固定在海底。

其他漂浮概念，比如Hexicon，固定多组风力机（请看下图）。

Hexicon概念具有便于维护的优点。它不断被操纵，并有现场起重机。此外，它可移进一个更好的风廓线的位置。承载54MW风力机能力的480米直径平台所需的25,000到30,000吨钢材相对容易在其使用寿命结束后恢复。

风力机可以更换，然而钢平台本身应有50年或更久的使用年限。

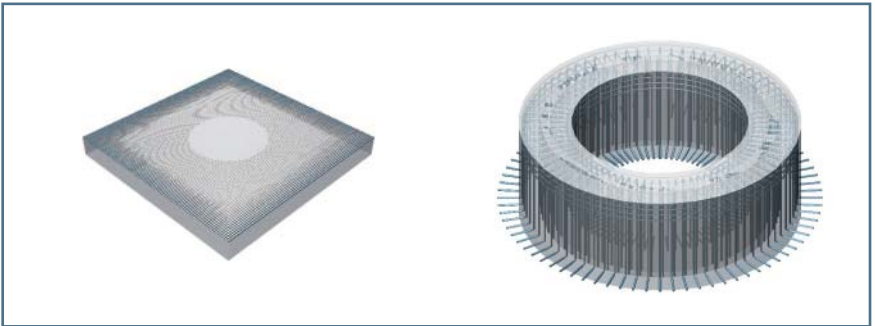
Hexicon项目正在评估中。如果成功，将迅速增加能源结构中海上风电的份额。



## 混凝土内部及周围

基础是一个看不见，但却是结构的重要组成部分。重力桩基础是最常用的陆上基础。大多数重力桩基础由钢筋混凝土板制成。

钢“地毯”是钢筋（筋）焊接到柔性钢带上。地毯只是吊装到位并摊开在现场。它们的使用不仅通过最小化切割节省了钢材，而且也意味着一个风塔基础所需的钢筋，相比使用松散的钢筋，可以在不到四分之一时间和使用一半的人手绑扎完成。



这样提供了额外的成本节约对于塔架和基础部分，钢铁行业可以在很大范围内与水泥和混凝土行业合作，促进风能“混凝土中钢铁使用”或“围绕混凝土的钢铁使用”解决方案的发展。

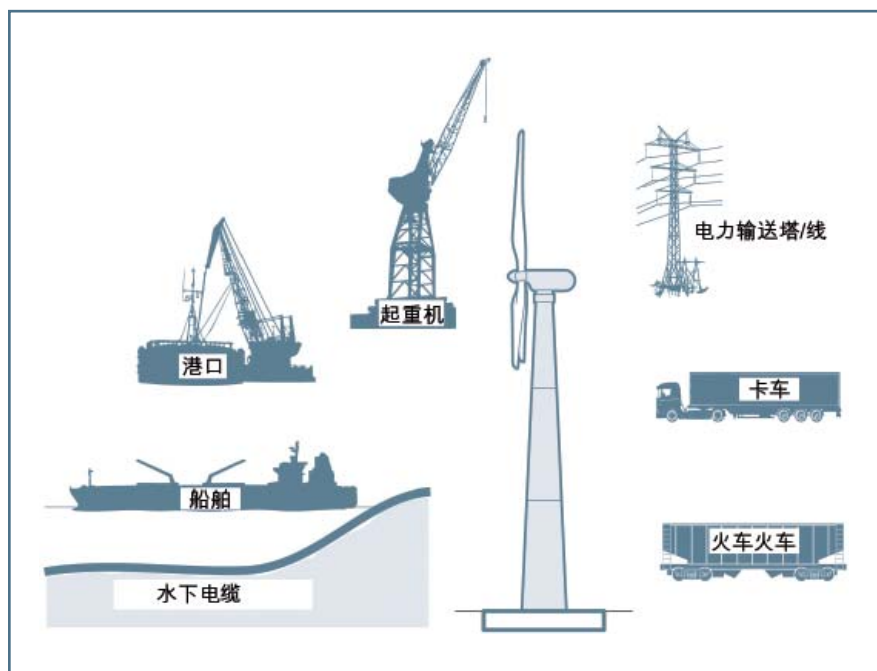
为了提高耐用性和保持长久的高强度，混凝土基础中70%的水泥可被钢铁行业的一种副产品-矿渣微粉-取代。对很多水泥和混凝土结构而言，这是最经济有效的提高基础强度的方法，因为它不会增加总体成本。同时，与不使用矿渣微粉相比，采用这种方法每建造一座风电塔基可以减少92吨的CO2排放。

### 钢铁的配套应用

风力机的尺寸不断增大给港口处理能力，吊装设备，卡车，拖车和铁路车辆等带来了挑战。安装能力是发展海上风力发电场最大障碍之一。

例如，用于新型风力发电机组基础的顶升平台正在造船业定制。为吊起更大的风力机的高度和重量，需要超高强度钢制作起重机的吊臂。

随着安装工程向更远的海上移动，输配电线也需要钢材，并且可能需要更多。电工钢材需求正在增长以服务于这个市场。



生命周期评估 (LCA) 研究已经表明, 有三至五个月运营的能源回收期。这是自项目成立, 节约的能量与消耗的能源量相当所需要的时间。

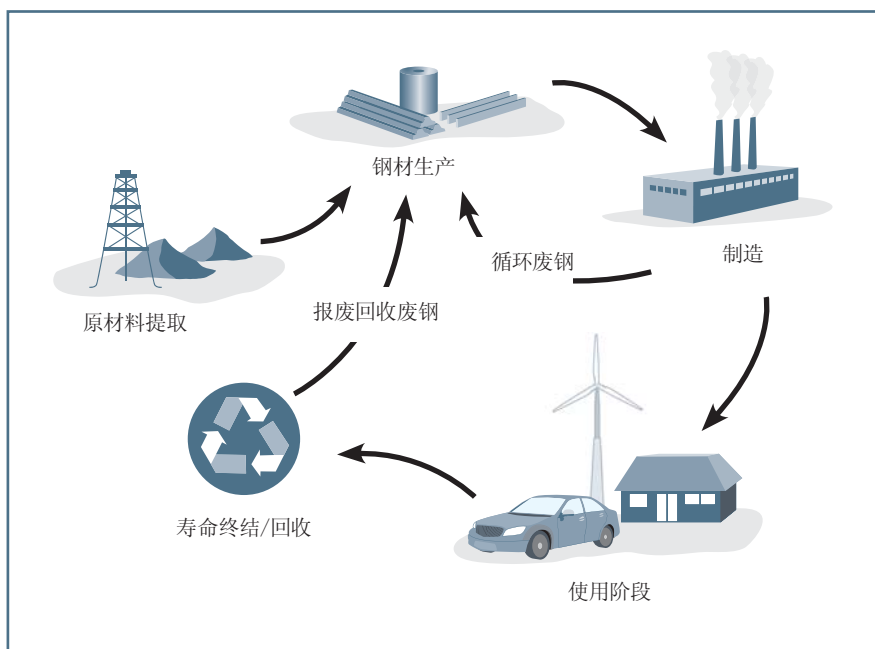
钢材是无限可循环的, 而且它对环境的影响有限。在其使用寿命结束时回收物料也有助于恢复前期费用, 因为废钢具有价值。如果配件不予延长使用寿命或其他地方重新使用, 则返厂回炉。

风力机的寿命是20至30年。由于风力机老化, 需要更换。丹麦和德国是成熟的风力发电市场。在这里, 新的陆上发电机会较少存在, 而海上发展仍处于起步阶段。随着风电场达到生命周期的终结阶段, 正在探索延长使用寿命的新解决方案。

例如, 2010年在德国, 116台总额定容量为56兆瓦的风力发电机组被拆除, 取而代之的是80台总额定容量为183兆瓦的风力机。据估计到2015年, 9,500台风力机将达到重新供电年龄。这相当于400亿欧元的投资。

从气候变化和可持续发展的角度来看, 把产品的生命周期纳入考虑是非常重要的。部分申请建造风力发电场许可往往需要开发商解释如何计划管理未来的现场。因此, 重新使用和回收非常重要。

钢材在风力机大多数关键构件的应用使风能行业同时满足风力机技术要求和气候变化需要成为可能。



国际钢铁协会

Rue Colonel Bourg 120  
B-1140 Brussels  
比利时

电话: +32 (0)2 702 89 00  
传真: +32 (0)2 702 88 99  
邮箱: [steel@worldsteel.org](mailto:steel@worldsteel.org)

中国  
北京  
朝阳区  
亮马桥路50号  
燕莎中心  
写字楼C413室(邮编: 100125)

电话: +86 10 6464 6733  
传真: +86 10 6464 6744  
邮箱: [中国@worldsteel.org](mailto:中国@worldsteel.org)

