

材料

玻璃纤维增强材料 庞然大物的回收利用

将来，电力在清洁能源中的比例将会很大。而风力发电设备将会对清洁能源的生产做出更大的贡献。尤其是那些耸立在海上的、有着巨大复合纤维材料——大多数是玻璃纤维增强材料（GFK）叶轮的风力发电机。从经济学的角度来看，复合材料属于那种不易回收再利用的材料；而从 2018 年起开始退出历史舞台的海上风力发电设备的数量将会不断增加。本文将告诉您如何处理好这些废旧风力发电机巨大的转子叶轮。

文 | Thomas Isenburg

只要粗略地看一下巨大的风机叶片就可以清楚地知道：经济的、无害化地处理这些庞然大物不是一件容易的事情。迄今为止只有很少风力发电“寿

终正寝”，因此它们的复合材料回收再利用的经验不多。在设计风力发电机的时候，它们的使用寿命一般设计为 20 年。“根据法律法规的有关规定，风力

发电设备到达使用寿命之后应由风力发电设备的运营商负责拆除。”风能开发商 wpd onshore 有限两合公司的 Christian Schnibbe 先生说道。长期以来，风力发电设备工作运行 12 ~ 14 年后进行一次大修，然后再继续使用几年。

若以整套风力发电设备为单位计算的话，风力发电设备的回收利用率已经达到了 80% ~ 90% 了。还没有解决的问题是：风机叶片怎么办？尤其是在涉及到废旧叶片材料回收再利用的目的、涉及到高效的利用原材料时，应该怎么利用好风机叶片的复合材料？风机叶片的重量常常高达 10 t，叶片的长度最大可达 75 m，这也对物流运输、风机叶片的无害化处理工艺流程都提出了严峻的挑战。

目前，这些退役的风机叶片大多数都先拆卸、切割成小块、粉碎，然后烧毁，这就是无害化的焚烧处理。而当叶片中 PVC 聚氯乙烯材料的含量较高时，焚烧处理也存在着一些问题：焚烧过程会产



图 1 拆除因雷击而受损的风力发电设备。不久之后大型 GFK 玻璃纤维增强材料零部件的拆卸和销毁将不再是偶发事故的原因了，第一代风力发电设备将开始退役

生腐蚀性的氯化氢气体,遇水会反应成酸。

从研究所到工业企业都在关注风力发电机叶片的回收

为解决风机叶片的回收再利用难题,西门子在丹麦的风机叶片生产基地 Aalborg 市成立了风能和回收再利用技术公司。西门子回收再利用技术境外办事处的 Claus Rose 先生对未来的情况进行了预测、描述了将会发生的场景:到 2020 年时将会有大约 5 万 t 的风机叶片垃圾;到 2035 年时将会达到 225 000 t。因此,西门子下属的风能和回收再利用技术公司参加了丹麦风机叶片生产厂 Genvind 公司的创新技术活动:专门从事风机叶片回收再利用的技术开发。而这一创新技术的背后是许多科研机构和企业之间跨领域的风机叶片回收再利用技术合作。在风力发电技术领域,除了西门子公司之外还有像 Vestas 和 LM 这样的企业也参加了创新技术的研发。英国的诺丁汉大学、丹麦的 Aalborg 大学等高等院校都是这一技术研发项目的参与者。

为了用好这些风机垃圾,就要把风机叶片切割成小块、粉碎、磨碎。为了对这一工艺流程进行优化,正在按照当前的技术水平进行仔细的研究。这也涉及到工业分支的问题:哪一个工业分支能够处理几十米长的叶片。这里的另一个巨大挑战就是物流运输:建立一个集中的处理厂更经济呢?还是分散式的垃圾处理厂更经济?

在这一研究中,西门子得到了荷兰 PPG Fiber Glass 公司的鼎力支持和帮助。该公司的化学家 Jaap van der Woude 博士解释说:“复合材料不可能简简单单地回收起来,返回到它们原材料的初始状态。在复合材料的生产过程中,复合材料构成了非常结实的晶粒、能够在几十年的使用运行中经受恶劣气候风吹雨打的晶粒。”因此,这样的复合材料很难利用化学技术方法来分解,而且从复合材料中分离出纤维则是难上加难。

AVK 纤维增强塑料材料协会也认为:

风机叶片的焚烧是迄今为止充分利用复合材料垃圾的最好方法。之所以最好,是因为它很好地利用了风机叶片垃圾材料的热效率:18 ~ 25 MJ/kg。von der Woude 先生和 AVK 协会都提到的另一种替代方法就是:在水泥的添加材料中使用粉碎后的叶片碎

末。在这一设想的框架内,风机叶片首先被粉碎为碎屑,这是进行水泥混合前的预处理。在加入其他的回收再利用材料之后,可以对水泥材料的一些重要参数,例如燃烧热值、含水量和灰分量加以调整。利用这种材料生产出来的产品可以在水泥生产领域中当作预处理添加剂和燃料添加剂,在能源消耗很大的水泥熟料生产过程中使用。

切割粉碎和物流运输对回收再利用的挑战

在这一跨技术领域的无害化处理技术方案中,大约有 1/3 的风机叶片材料可以当作燃料使用,剩余的可以当作原材料来加以使用。复合材料的转子也就 100% 地转换为热能和可用材料了。这一工艺技术的优点是:有着无限广阔的市场和经济的生态平衡。而这一技术方案的难点就是复杂的物流过程:风机叶片必需切割裁剪成长度为 25 m 的切割件。为此,Melbeck 市的 Zajons 公司专门研发设计了风机叶片切割设备。巨大的 GFK 玻璃纤维增强材料风机叶片在那里被锯割开来,运送到水泥材料生产厂,在那里经进一步加工处理后制成了水泥生产的辅助材料。

van der Woude 博士认为:有着很高社会认可程度的技术方案是能够回收复合材料中玻璃纤维的技术方案。热解,也就是在没有空气的情况下加热到 800℃



图 2 全新的风机部件一瞥:当 5 年或者 10 年之后大批量的退役风机叶片到来之时,我们必需找到经济的、环保的无害化处理方案

左右时会从复合材料中分解出热解油,这些热解油即可在化工生产中使用,也可以用于能源生产。在热解过程中,玻璃纤维中的有机物因受热而分解出二氧化硅,可以再次使用。但热解是一种能耗很高、成本代价很高的工艺技术,只有在处理那些含有耐热的、价格昂贵纤维材料的风机叶片时,才值得使用这种工艺技术。但据 van der Woude 博士介绍:这种工艺技术的生态平衡情况如何,目前还很难评估。

在谈到风机叶片的粉碎时,ICT 霍伦霍夫化工技术研究所建议采用“爆炸技术”粉碎风机叶片。风机叶片拆卸下来后的就地“爆破”省去了大型物资物流运输的审批手续,就地就能完成粉碎。在谈到粉碎成原材料时,霍伦霍夫研究所的工程师 Elisa Seiler 女士说道:“热塑性塑料成分可以重新熔化出来,并再次加以利用。但风机叶片中也含有热固性塑料,它们无法熔化出来。”

风机叶片使用之后的其他无害化处理途径还需要进一步的探索。有利的一点是:生产风机叶片时所消耗的能源几个月之后可以从风力发电机中再回馈到电网之中。另外,到一个风力发电场需要拆除的时候,风力发电设备所发出的电力至少是建造、运行风力发电场所需电力的 50 倍左右。但在风机叶片的回收再利用中有着优化改进的巨大潜力可以挖掘。MM