

抗冰冻低风速大型风电叶片技术

侯彬彬

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对南方风场年平均风速低和每年有2至3个月的冰冻期的特点, 对应用于南方风场的风电叶片技术提出了抗冰冻的新要求。详细分析了低风速大型叶片设计技术及抗冰冻技术的要点, 并对国内外提出的主要解决方案进行总结, 重点分析了抗冰冻技术解决方案, 为南方风场风机叶片的设计提供了参考。

关键词: 风电叶片; 低风速; 抗冰冻; 南方风场

中图分类号: TK83

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2013)03-0078-04

Technology of Large-scale Anti-icing Blades for Low Wind Speed Wind Turbine

HOU Bin-bin

(Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: New challenges have been posed for the design of wind power blades due to the features of southern wind farm such as low wind speed and a frozen period of 2 or 3 months every year. Key points of large-scale low wind speed turbine blade design and anti-icing technology have been analyzed and main solutions proposed by domestic and foreign researchers have been reviewed. Analysis of anti-icing technology can be a reference for the design of wind turbine blade in southern wind farm.

Key words: wind blade; low wind speed; anti-icing; southern wind farm

0 引言

我国风能资源丰富, 实际可开发区域占国土面积的3/4以上, 其中, 风能丰富区(一类和强二类风区)占国土面积的8%, 风能较丰富区(二类和强三类风区)占国土面积18%, 风能可利用区(弱三类和四类风区)占国土面积50%。一类至强三类风区(如“三北”地区), 风能资源丰富, 但存在风电消纳和外送能力不足问题, 出现过大规模弃风、弃电现象; 而弱三类和四类风区, 虽然其风能年平均风速和极限风速相对较低, 但该类风区覆盖了我国大多数人口稠密、经济较发达的地区, 离电力负荷中心非常近, 这些地区风能资源的开发受电网瓶颈的制约程度远低于现阶段大规模开发的三北地区风场的, 因此开发前景非常广阔。

为促进低风速地区风资源开发, 因地制宜建设中

小型风电场, “采用低风速机型、就近上网、本地消纳”已成为我国风电产业发展的新趋势, 并被纳入国家能源局最新规划中。新规划明确指出, 在2015年以前, 建成2 000万kW低风速风电场。国家能源局下发的“十二五”第一批和第二批风电项目核准计划中, 湖南、江西、云南、贵州、重庆和安徽等中西部地区的风电项目明显增加, 容量巨大, 大多在年平均风速为7 m/s以下的低风速风场^[1]。我国南方的低风速风场, 冬季通常风速最大, 风况最好, 是一年中发电的黄金时期, 但是这些地区冬季阴冷潮湿, 容易出现冰冻、雾凇等恶劣天气, 使风电叶片出现严重结冰、覆冰现象, 轻则影响风力发电效率, 重则迫使风机停机而无法发电, 甚至有可能造成因风机超负荷运行而损坏事故。

目前国内外已经大量开展了针对抗冰冻低风速大型风电叶片技术的研究。本文总结了国内外提出的主要解决方案^[2-12], 详细分析了低风速大型叶片设计及抗冰冻技术的技术特点, 重点分析了抗冰冻技术解决方案。

收稿日期: 2013-04-17

作者简介: 侯彬彬(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事风电叶片气动设计及相关研究工作。

1 低风速大型叶片设计技术

低风速风场对风电叶片的技术要求为同等长度叶片载荷相对较小、叶片扫风面积大、运行最佳尖速比高(注:低风速和低空气密度时,相同叶片的最佳尖速比都会增高)。与之相应的是在保证风电叶片强度、刚度、稳定性和固有频率符合国际标准的前提下,叶片尺寸要大、高尖速比区的 C_p (风能利用系数)值要高。国内外针对这一具体的问题,提出了2种不同的技术解决方案。

1.1 族系延长设计技术

族系延长设计技术是在设计裕量较大的现有叶片的基础上进行族系延长,通过改造现有模具快速开发出加长型叶片;在保证叶片性能和安全裕量的前提下进行加长型叶片设计优化,实现自主创新设计。具体技术路线如图1所示。

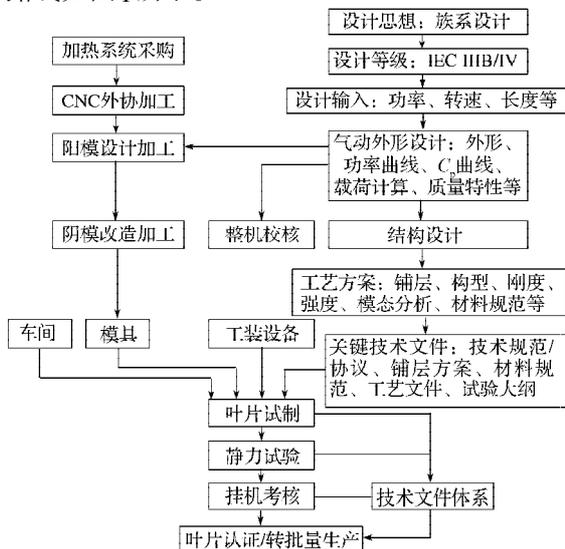


图1 低风速风电叶片族系延长技术路线图

Fig. 1 Roadmap of the family series prolonging technology for low wind speed wind turbine blade

具体技术方案为选择一款设计余量比较大的叶片,将其模具截成两段(在长度方向),即叶根段和叶尖段;重新设计叶尖段的气动外形,再进行新气动外形条件下的叶片结构与模具开发;待新叶尖段模具开发出来后,与原叶根段模具进行对接,形成新的一款族系延长的叶片型号。该方案的局限性在于首先要有一款设计裕量较大的叶片原型;其次是留给结构设计的空间较小,为满足塔尖隙的要求,有可能需要修改材料体系或者叶片设计重量值偏大。出于成本和研发周期的考虑,国内叶片生产企业普遍采用该技术方案。

1.2 整体设计技术

整体设计技术是在现有原型叶片的基础上,采用整体放大的技术,使叶片长度达到设计要求;或者基于叶素动量理论,通过优化迭代,对指定设计长度的叶片

外形重新设计。该方案的局限性在于大尺寸叶片模具的投入高,设计周期长。

国外公司由于技术积累比较深厚,且对设计周期要求不高,因此普遍采用该技术方案。

2 抗冰冻技术

结冰气候对风电叶片运行的影响在于叶片上冰层厚度的增加会使叶片旋转失去动平衡,导致风电机组因传动链的负载不均和机组性能降低而磨损,必要时不得不停机除冰或停机待产。图2和图3示出叶片结冰情形实例。

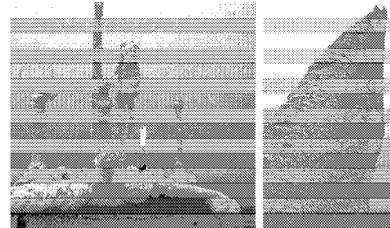


图2 风电叶片与测量装置结冰状况

Fig. 2 Icing appearances of the wind turbine blade and the measuring apparatus

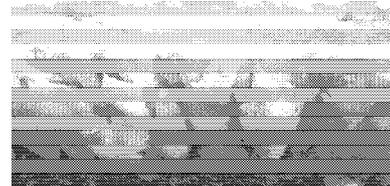


图3 风电叶片前缘累积结冰状况

Fig. 3 Cumulative icing appearance of the leading edge of wind turbine blade

目前国内外针对这一问题提出了如下几种不同的技术解决方案。

2.1 涂料技术方案

涂料技术方案包括叶片采用黑色外观、喷涂特殊涂层及喷洒化学试剂3种方法。

(1) 叶片采用黑色外观

该方法采用向叶片表层喷涂黑色的吸热材料并在最外层喷涂透明憎冰层方法。黑色外观叶片价格便宜,应用方便,适用于结冰轻微或罕见、结冰期温度在 0°C 左右、阳光充足的低海拔地区。其缺点是只能在天气晴朗时加热,大部分时间不能够效地防止结冰;而天气晴朗时,一旦叶片上的温度过高,将影响叶片的材料性能。目前,黑色外观的叶片仅应用于加拿大的育空(Yukou)地区。

(2) 喷涂特殊涂层

该方法是在叶片表面喷涂憎水(冰)涂料,以防止雨水粘附在叶片表面形成冰层。采用此方法无需增加特殊的防雷保护装置,成本低廉,应用方便,维护简单;且

通过与电热除冰方式相结合,能够降低电能的消耗。其缺点在于目前还没有较好的涂层材料(没有绝对的疏水材料),材料老化后涂层会有脱落,且较适用于干净、光滑的表面。目前,该方法已应用于湖南仰天湖风场。

(3) 喷洒化学试剂

该方案通过在叶片表面喷洒化学试剂以降低水的凝固点,达到防冰的目的。采用此方案亦无需增加特殊的防雷保护装置,成本低,应用方便。其缺点是涂层在叶片表面存留的时间短,需要定期喷洒和补充,对环境有污染。此种方式在机场应用较多,产品较为成熟。

2.2 热风加热技术方案

热风加热技术方案是一种通过鼓风机和管道将热风送入到叶片内部并形成热气流流道来进行加热除冰的方法。德国 Enercon 公司是该技术的行业领跑者,已将其应用在多款风机上(图4、图5)。

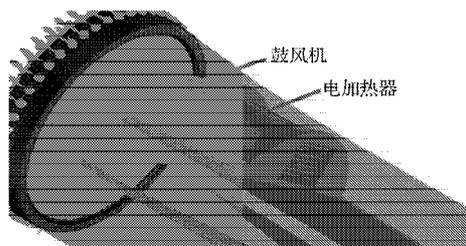


图4 热风除冰系统

Fig. 4 Hot air wind de-icing system

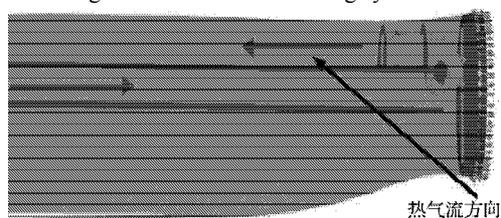


图5 热风除冰系统气流通道

Fig. 5 Airflow pipeline of the hot air de-icing system

采用热风加热除冰技术,虽然存在叶片材料导热效果差、热风加热的电能消耗大等缺陷,但无需增加特殊的防雷保护装置,运行安全,维护简单、快捷,成本相对较低。与防冰技术相比,该技术大大增加了能量消耗(加热除冰的动力装置和加热装置的功率总和在20~30 kW左右),对机组的发电量会有一定的影响,但相比于没有热风除冰的机组,其应用还是能够大大提高风电机组在冬季的发电量。此外,热风加热除冰的热量来源除电热器之外,还可以来自机舱内的齿轮箱,目前国外已有利用齿轮箱的热量对叶片进行加热除冰应用的报道。

2.3 电加热技术方案

电加热技术方案是将电阻发热层铺层到靠叶片表面的较外层,对电阻发热层通电后,在冰层和叶片表

层形成一层水膜,冰层在离心力和重力的作用下甩脱。除了铺层的方式外,还有将电阻发热层粘贴在叶片外表面的方式,以及将电阻发热层贴于叶片内壁的方式。尽管电阻发热层的铺设方式有区别,但是各种方式都是在叶片表层形成一层水膜,依靠离心力和重力将冰层甩脱。

试验数据显示,一次电加热除冰过程一般持续2 h左右。电阻发热层加热时间若过长,不仅消耗了“珍贵”的电能,而且由于融化的冰层过多,导致产生的水过多而仍旧吸附在叶片的表层,继而会在叶片上未加热的区域形成冰层,且越积越多;相反,加热时间若过短,则水膜形成的厚度不够,使得冰层无法甩脱。对加热时间控制的严格要求,引发了对叶片表层温度和冰况的检测功能提出更高的要求,要求其能长期无故障地运行,这样才能保证电阻发热层安全而有效地运行。

目前提供电加热除冰材料和技术的厂商有 Kelly Aerospace公司、EcoTEMP公司和VTT公司。电加热除冰技术虽然电能消耗大,还需增加特殊的防雷保护装置,且成本偏高,但其加热迅速,技术最成熟,因此是目前使用最广泛的主流除冰方式,Vestas、Siemens、Win Wind、NORDEX及LM等风电厂商已采用此种除冰方式。

2.4 气爆式技术方案

气爆式技术方案是在叶片的外边层粘贴一种柔性条状气囊,常态下气囊收缩并呈平整状态;当冰层附着一定厚度后,迅速冲入大量的气体,让气囊膨胀,使冰层爆裂,达到除冰的目的(图6)。该除冰方式最先开始应用于飞机叶片上,技术成熟,能耗低,无需增加特殊的防雷保护装置,使用寿命长,但使用时可能会对叶片的气动情况有影响,会产生噪声,且成本和运行维护费用较高,非风电机组主流除冰方式。目前,美国Goodrich公司提供此项除冰技术及其产品。

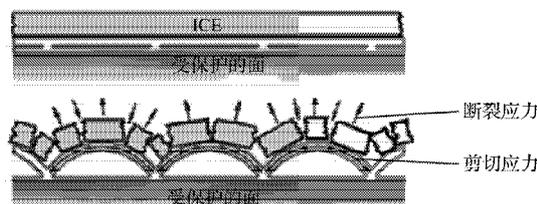


图6 气爆式技术方案

Fig. 6 Gas blast technical scheme

2.5 微波加热技术方案

微波加热技术方案是通过微波加热的方式提高叶片的温度,以达到防止冰层的形成或除冰的目的。目前对此技术研究较多的是LM公司,并在型号为LM19.1的叶片上进行了实际应用,其单叶片损耗功率仅6 kW,加热频率2.4 GHz,发射功率小于10 mW/m²。目前,微波加热除冰方式应用较少,无实际应用案例,尚需要进一步

地研究。

2.6 方案比较

表1示出现行叶片抗冰冻技术方案的总结,结合目

前我国风场现状并综合考虑各项技术的优缺点,可以看出,热风加热方案与电加热方案是目前可行性最高的两种技术方案。

表1 风电叶片抗冰冻技术方案对比

Tab. 1 Comparison of several anti-icing technologies for wind turbine blade

方案		厂商或研究机构	优点	缺点	
被动防冰、除冰	涂层技术	防冰涂层	多个	①不用引进其他系统,适用于现役叶片 ②操作简单	①涂层技术难度大,成本高,效果一般 ②一定的时间后需要进行维护
		黑色涂层	Vestas	①不引用其他系统,适用于现役叶片 ②操作简单 ③成本低	①美观性差 ②太阳辐射影响叶片材料性能,使用一定时间后需要维护
主动防冰、除冰	热气流加热	热气流加热叶片内部	Enercon	①除冰效率高、效果好 ②不影响气动外形,防雷效果好 ③投入成本相对较低,容易维护	①叶片中需安装加热鼓风机、热气流通道等,会增大叶片质量 ②能耗高,加热效率相对较低
	电加热	叶片外表面电加热	Kelly Aerospace, Vestas Repower	①加热效率高、效果好 ②易于安装和维修 ③能耗低	①影响气动外形,有遭受雷击风险 ②加热组件容易发生损坏,加热片有脱落的可能
		叶片内表面电加热	Enercon	①低风速区域的加热效果好 ②不影响气动外形	①加热效率低,能耗高 ②需要在合模前安装 ③加热体需经历后固化,有遭受雷击风险 ④加热片有脱落的可能
		叶片壳体内部电加热	VTT&KAT JE-system, Bonus Nordex	①加热效果好 ②不影响气动外形	①能耗高 ②损坏后无法维修,需要在结构设计时考虑加热体对叶片性能的影响 ③有遭受雷击的风险
机械除冰	人工或机械除冰	一些风场	结冰后可立即除冰	除冰需停机,且效果不理想,容易损坏叶片	
其他方法	微波加热	LM Glassfiber	有一定除冰效果,需进一步研究	①传输距离短 ②复合材料的微波吸收能力低	

3 结语

与通用叶片相比,应用于我国南方风场的风机叶片需要具备抗冰冻和低风速运行能力。低风速大型叶片设计技术的研究已取得了很大的进展,基本能够满足我国南方风场的需求。而抗冰冻技术方案,目前尚未取得突破性进展,已有方案中热风加热技术和电加热技术是目前最有希望在南方风场推广的解决方案。虽然采用这两种方案,不仅会使叶片成本增加20%左右,能耗也会增加,但相对于增加的发电量而言,这些都可以忽略。热风加热技术和电加热技术方案已经进入了试验阶段,效果基本符合预期,预计在未来的一两年内其相应设备会占有一定的市场份额,成为风电行业主机厂家针对南方风场的标准配置。

参考文献:

- [1] 李瞧.我国风电开发进入低风速时代[N].中国工业报,2012-22-5.
- [2] Ilinca A. Analysis and mitigation of icing effects on wind turbines [J].Wind Turbine, 2009(8): 177-214.
- [3] Jonsson C. Further development of ENERCON'S de-icing system

[R].Skellefte: ENERCON, 2010.

- [4] Laakso T. Follow-up of wind park in Olostunturi (in Finnish) 2001[R]. Espoo: VTT Energy, 2001.
- [5] Marjaniemi M, Laakso T, Makkonen L, et al. Results of Pori wind farm measurements, 2001[R]. Espoo: VTT Energy, 2001.
- [6] Antikainen P, Peuranen S. Ice loads, case study. BOREAS V, Wind power production in cold climates[C/CD]//Proceedings of an International Conference. Levi: Finnish Meteorological Institute,2000.
- [7] Tammelin B. Meteorological measurements under icing conditions: Eumetnet SWS II project [M]. Levi: Finnish Meteorological Institute,2001.
- [8] Peltola E, Marjaniemi M, Stiesdal H, et al. An ice prevention system for the wind turbine blades [C]//Proceedings of the European Wind Energy Conference,1999:1034-1037.
- [9] Leclerc C, Masson C. Abnormal high power output of wind turbine in cold weather: a preliminary study [J]. International Journal of Rotating Machinery,2003,9(1):23-33.
- [10] Lemström B, Mannila P, Marjaniemi M. Operational environment for generators in wind turbines[C]//Proceedings of the European Wind Energy Conference,1999:825-828.
- [11] 杨常卫,张功虎,孙涛,等.黑鹰直升机旋翼桨叶防/除冰系统研究[J].直升机技术,2011(1): 37-44.
- [12] 曾明.柔性薄膜加热器的设计 and 应用研究[D].武汉:华中科技大学,2007.