

风力发电机叶片覆冰状况及防冰除冰对策

赵静

国家能源集团联合动力技术有限公司北京技术开发分公司

DOI:10.12238/jpm.v4i10.6357

[摘要] 随着风力发电技术的快速发展,风力发电机已成为最为常见的可再生能源发电设备之一。然而,在寒冷地区运行的风力发电机会面临一个普遍的问题,即叶片覆冰。叶片覆冰是指在低温环境下,风力发电机叶片表面结冰导致其减效甚至完全失效的现象。这主要是由于叶片上的结冰层增加了摩擦阻力,降低了叶片的旋转速度和功率输出。在极端情况下,过厚的冰层还可能导致叶片失衡、叶片断裂或者整个机身倾斜。为了解决叶片覆冰问题,本文通过对风机叶片覆冰原因及产生的危害进行分析,探究风机叶片覆冰预防技术应用要点,提出风机叶片覆冰除冰技术措施,以期能够为相关研究提供借鉴。

[关键词] 风力发电机; 叶片覆冰; 防冰除冰

Ice covering condition of wind turbine blades and anti-icing countermeasures

Jin Zhao

National Energy Group United Power Technology Co., LTD. Beijing Technology Development Branch 100086

[Abstract] With the rapid development of wind power generation technology, wind turbine has become one of the most common renewable energy power generation equipment. However, wind turbines operating in cold areas can face a common problem of ice-covered blades. Leaf ice covering refers to the phenomenon that the surface of wind turbine blade icing causes its efficiency reduction or even complete failure under low temperature environment. This is mainly due to the increased friction resistance of the icing layer on the blade, which reduces the rotation speed and power output of the blade. In extreme cases, too thick ice can also cause blade imbalance, break, or tilt the fuselage. In order to solve the problem of blade icing, this paper analyzes the causes and hazards of fan blade icing, explores the application points of fan blade icing prevention technology, and puts forward the technical measures of fan blade icing and deicing, in order to provide reference for related research. **[Key words]** wind turbine; blade ice; de-icing

一、风机叶片覆冰原因及产生的危害分析

(一) 覆冰原因

风力发电的区域大多位于相对较冷的地区,所以从十一月到次年的2、3月,这些地区常常出现大量的大雾和冻雨天气。然而,这样的环境条件容易导致风机叶片上结冰,例如雾凇和雨凇。雾凇是一种霜,它由白色不透明的颗粒状物质(密度为 0.25 g/cm^3)堆积而成。当风速过大时,在 0°C 以下的风机叶片上,冷却水会在叶片表面形成致密的毛玻璃状结冰层^[1]。而当风速较小,冷却水流量较低时,则会在叶片上形成颗粒状结冰层。由于这种结冰层比较封闭,一旦形成就很难去除或掉落。如果冰层过厚,很容易导致风机叶片弯曲甚至折断。为了应对这个问题,风力发电设备通常会采取一些措施来减少或防止覆冰。一种常见的方法是使用加热系统,将电流通过叶片传导加热,以防止结冰。另一种方法是使用防冰涂层,在叶片表面形

成一层抗冰覆盖物,阻止冻水在上面结冰。此外,也可以通过增加叶片的倾角或改变叶片的形状来降低结冰的风险。尽管这些措施可以减少冰覆盖对风力发电设备的影响,但仍然需要定期维护和清理冰覆盖。工作人员需要爬上风机塔架,使用高压水枪或其他设备将冰覆盖清除,以确保风机的正常运转。这是一个费时费力的任务,但是对于风力发电的可靠性和效率至关重要。

(二) 结冰危害

风机叶片覆冰是在机组运转过程中常见的问题,它可能会对邻近设备和周边人员的安全造成威胁。由于离心力的作用,覆冰的风机叶片会被抛出,这可能会造成严重的危害,甚至危及周边人员的生命安全。风机叶片表面覆冰主要是由于湿润的空气中的水分凝结在叶片表面形成冰层当风扇开始运转时,离心力会使得这些冰块离开叶片并以高速飞出。如果这些冰块击

中了邻近的设备或人员,就有可能导致严重的事故发生。其次,除了对周边环境的危害外,风机叶片覆冰还会对机组本身的安全性产生影响。在工作条件下,由于不均匀的覆冰作用,叶片的品质分布会变得不均匀。这将导致机组工作部件的剧烈震荡,严重情况下可能引起叶片的断裂,从而引发重大的安全事故。此外,不均匀的覆冰也会极大地降低机组的使用寿命,并增加其发生故障的概率。不均匀的覆冰会导致叶片在运转过程中承受不均匀的压力,会导致叶片强度减弱并且更容易发生疲劳断裂。因此,风机叶片的正常运行和安全性将受到严重威胁。

二、风机叶片覆冰预防技术应用要点分析

(一) 溶液防冰技术

风机叶片防覆冰技术的具体实现方式是在机组叶片表面涂一层防冻液,通过防冻液与水滴结合的方式来降低溶液冰点,从而有效防止结冰。然而,这种防冰方法在使用中也存在一些缺陷^[2]。首先,这种防冰方法的持续时间相对较短。由于叶片运行时,防冻液会逐渐蒸发或被冲刷掉,导致其防冰效果持续时间有限。因此,需要定期重新涂覆防冻液,增加了维护工作的频率和成本。其次,这种方法的操作相对困难。涂覆防冻液需要专业人员进行,涉及到机组停机和叶片维护等操作,增加了工作的复杂性和风险。此外,这种方法需要大量的防冻液。防冻液的使用量相对较大,涂覆过程中需要确保每个叶片都均匀涂覆,以达到良好的防冰效果。因此,需要大量采购和储存防冻液,增加了成本和空间的需求。

(二) 热能防冰技术

对于电热方式,在制造叶片时会安装相关的防结冰装置。这些装置可以将叶片上的电能转化为热能,从而对叶片进行关键保护,防止叶片覆冰。这些装置通常会采用特殊的电热丝,将其安装在叶片的表面或内部。当风扇开始运行时,电热丝会被激活,产生热量并传输给叶片,从而将叶片保持在高于冻结点的温度,使覆冰问题得以解决^[3]。另一种加热技术是气热方式。在这种方式下,会在风扇的叶腔中增加相应的通风管道。这些管道与一个加热器相连,通过加热器将空气温度有效地提高。同时,借助鼓风机的作用,加热后的空气能够被迅速传输到每一个零件上。这样一来,整个风扇的各个部件都能够受到加热,有效地防止覆冰问题的发生。

三、风机叶片覆冰除冰技术措施分析

(一) 机械除冰措施

当风机叶片遭受覆冰时,机械除冰措施是一种常见且有效的方法。机械除冰主要通过物理手段来清除叶片上的冰层,以保证风机运行的安全和效率。叶片加热:通过安装叶片加热装置,利用电热或燃气等方式对叶片进行加热,使冰层迅速融化。这种方法简单直接,但能耗较高,对环境造成的影响较大。高压喷射除冰:利用高压水或空气喷射装置,将喷射流注入叶片表面形成的缝隙中,产生冲击力,使冰层脱落。这种方法相对节能环保,但需要专门设备来实施。振动除冰:通过在叶片上安装振动装置,利用振动的力量使冰层松动,然后通过风力或

重力使其脱落。振动除冰方法简单可靠,但对叶片本身的要求较高。

(二) 气动带除冰措施

与机械除冰不同,气动带除冰是利用空气动力学原理来清除风机叶片上的冰层。这种方法具有节能、环保和自动化的特点,因此在风力发电行业得到广泛应用。空气加热除冰:通过向风机叶片表面吹送预热的空气,使冰层迅速融化和脱落。这种方法采用高温空气,除冰效果较好,但需要专门的加热设备。气动带除冰:在风机叶片上安装一条带状的气动带,通过向气动带内注入气体,形成气流,使冰层脱离。这种方法操作简单,除冰效果可靠,适用于各种冰层厚度的情况。高压气流除冰:通过喷射高压气流对风机叶片表面进行冲击,使冰层碎裂并脱落。这种方法除冰效果较好,但可能造成噪音和环境污染。

(三) 热能除冰措施

1、自身散热除冰措施

通过风机叶片自身散热来加热叶片表面,从而使叶片上的冰雪逐渐融化,达到除冰的效果。这种方式可以利用风机叶片工作时产生的热量来除冰,无需额外的能源消耗。然而,自身散热除冰存在除冰速度较慢和受环境温度影响较大等缺点。

2、叶片微波除冰措施

微波具有穿透力强、加热效率高的特点,可以迅速将叶片表面的冰雪加热融化。这种除冰方式不受环境温度的限制,且除冰速度快,能够快速恢复风机的工作效率。然而,叶片微波除冰技术存在设备成本高、能源消耗大等不足之处。

3、碳纤维电热除冰措施

碳纤维电热除冰是一种通过利用碳纤维的导电性进行除冰的技术措施。将碳纤维布覆盖在叶片表面,施加电流使碳纤维发热,从而加热叶片表面并将冰雪融化。这种除冰方式具有加热均匀、能耗低、除冰速度较快等优点。同时,碳纤维电热除冰技术也存在一些问题,如材料成本较高、碳纤维的导电性能稳定性等方面的挑战^[4]。

(四) 超声波除冰措施

通过在桨叶上安装压电式传感器,在超声频率达到最优除冰频率时,形成简谐振荡和横向横波,产生速度差异,从而对叶表表面形成一定的剪切力,使其在超声作用下被震碎,从而消除结冰。超声波在介质中传播时,产生的振动能量可以有效地破坏结冰层。由于超声波的特性,当频率达到最优除冰频率时,能够产生最佳的振动效果。超声波传输过程中的能量对桨叶施加剪切力,使其受到震动和冲击,从而破坏结冰层并将其清除。然而,这种除冰方法需要一定的投资费用。首先,需要购买和安装压电式传感器,以便将超声波能量传输到桨叶上。其次,还需要考虑工程条件的具体情况,以确保该方法的有效性和可行性。在选择和使用这种除冰方法时,需要综合考虑各种因素。首先需要评估冰层的厚度以及结冰的程度。如果冰层过于厚重,超声波除冰可能不够有效,此时可能需要其他除冰方法的辅助。其次需要考虑超声波传感器的性能和适用范围,

确保其能够在具体工程条件下正常工作。

(五) 电磁脉冲除冰措施

通过在风扇的叶片上安装一个电磁线圈,利用电磁响来实现对叶片的快速震动,从而达到除冰的目的。该技术已经在航空领域得到广泛应用,并取得了良好的效果。然而,在选择使用该技术时,需要考虑到对桨叶可靠性和气动性能的影响,并尽量结合实际条件。该方法的原理是通过对风扇的重复通电和断电,电磁线圈会产生电磁力,使叶片产生快速的震动。这种震动能够有效地将叶片表面的冰雪震落,从而保证风扇正常工作。在航空领域,这项技术被广泛应用于飞机发动机的风扇叶片除冰。由于高空飞行中常常会遇到低温和湿度较高的天气条件,容易形成冰雪覆盖在飞机的发动机风扇叶片上,影响其正常运行。通过使用电磁震动除冰技术,可以迅速清除叶片上的冰雪,保证发动机的正常工作。然而,在选用该技术时,需要注意对桨叶的可靠性和气动性能产生的影响。由于电磁震动会对桨叶产生力的作用,这可能会影响桨叶的强度和寿命,甚至导致桨叶的损坏。

四、结束语

综上所述,风力发电机叶片覆冰是一个重要而常见的问

题,对风力发电行业的正常运行产生了一定的影响。通过采取合适的防冰除冰对策,可以减少冰层的形成,提高风力发电机的效率和可靠性,推动可再生能源的持续发展。

[参考文献]

[1]秦思远.风力发电机组应对叶片覆冰技术措施[A].中国农业机械工业协会风力机械分会.第十届中国风电后市场交流合作大会论文集[C].中国农业机械工业协会风力机械分会:中国农业机械工业协会风力机械分会,2023:120-124.

[2]胡琴,朱茂林,舒立春,蒋兴良,李超.风力机叶片防除冰涂层第一部分:制备及性能测试[J].电工技术学报:1-11.

[3]倪一帆,张作贵,符锐.风力发电机叶片覆冰机理及防冻除冰技术的研究进展[J].发电设备,2023,37(04):223-229.

[4]段亚穷.基于数据驱动的风力发电机叶片覆冰检测方法研究[D].湖北民族大学,2023.

[5]舒立春,于周,李瀚涛,胡琴,蒋兴良.洁净与覆冰条件下风力发电机输出功率计算方法及现场试验验证[J].电工技术学报,2023,38(11):3041-3051.

作者简介:赵静,1985.12,女,北京,汉,研究生,中级工程师,研究方向:风电叶片设计。