

动叶可调轴流风机防动叶卡涩改造和应用

陈泽鑫

汕头华电发电有限公司 515100

【摘要】燃煤火电厂锅炉大型轴流风机故障率主要表现在动叶卡涩问题上,尤其是海边空气盐分高、潮气大的环境下,风机动叶卡涩问题更加突出。通过常规的定期保养措施和检修工作已经难以满足风机长周期运行,本文介绍通过对风机叶片密封结构和曲柄连接工艺进行改造,有效解决了叶片根部积灰结构和曲柄夹紧力裕量不足的问题。改造后的风机应用效果显著,可推广应用同类型风机上。

【关键词】轴流风机;叶盘密封改造;双维度夹紧工艺

Blade Jam Prevention Retrofit and Application for Adjustable Impeller Axial Flow Fans

Chen ZeXin

Shantou Huadian Power Generation Co., Ltd. 515100

【Abstract】In coal-fired power plants, the failure rate of large axial flow fans is primarily attributed to blade jamming issues, which become particularly severe in coastal environments with high air salinity and humidity. Conventional maintenance measures alone can no longer ensure long-term operational reliability of these fans. This study demonstrates that modifying the blade sealing structure and crankshaft connection process effectively resolves structural issues including dust accumulation at blade roots and insufficient cranking force clearance. The upgraded fan exhibits remarkable performance improvements and can be widely adopted for similar applications.

【Key words】axial flow fan; impeller seal modification; two-dimensional clamping technology

一、成果简介

(一) 项目背景

某超超临界燃煤发电厂坐落于粤东沿海地带,该地区气候特点显著,空气湿度较大,盐雾含量居高不下。这种特殊的地理气候环境对发电设备的运行和维护提出了更高的要求。在该一期工程中,锅炉六大风机选用了某风机厂生产的动叶可调轴流风机,这些风机在保障锅炉正常运行方面发挥着至关重要的作用。

(二) 问题现状

2023年7月份,一期工程正式投产。然而,在随后的半年运行期间,两台锅炉共计十二台风机频繁出现动叶角度异常的问题,累计发生次数高达11次。尤为值得关注的是,其中有4台风机出现了重复故障的情况。经过详细排查和分析,发现故障主要集中在一次风机和送风机上。具体表现为动叶片因叶盘密封凝露结晶,导致叶片卡涩,进而发生漂移(不同步)现象。这种漂移现象严重影响了风机的正常运转,致使风机不得不被迫停运。

(三) 常规措施及局限

面对如此严峻的问题,公司最初在常规检修要求的基础上,采取了一系列针对性的保养措施。例如,定期执行对叶片根部的润滑保养工作,确保叶片根部的润滑效果,减少摩擦损耗;同时,对曲柄连接螺栓的等级和力矩进行优化,以提高连接的可靠性和稳定性。然而,尽管采取了这些措施,但仍然无法满足风机12000至16000小时使用寿命的设计要求,风机动叶卡涩和漂移的问题依然时有发生,对锅炉的安全性和经济性造成了较大的影响。

(四) 问题分析与解决措施

为了彻底解决这一困扰生产的难题,班组技术攻关小组积极运用PDCA管理方法,对问题进行了深入细致的分析。经过多次的现场勘查、数据收集和分析讨论,最终找出了问题的症结所在:一是叶盘密封间隙过小,在潮湿且盐雾含量高的环境下,容易产生凝露结晶现象,进而影响叶片的正常转动;二是抱箍式夹紧工艺存在欠佳之处,无法有效防止叶片在运行过程中的打滑和漂移。

针对上述问题,技术攻关小组制定并实施了相应的改进措施。首先,对叶盘密封结构进行了优化改进。通过充分利用配合高度开槽,巧妙地增加了一道O型圈,实现了零间隙配合面,同时,显著加强了密封性能。这一改进有效地消除了微小间隙受结晶和灰尘侵入的隐患,从根本上解决了因凝露结晶导致的叶片卡涩问题。其次,对调节臂连接工艺进行了创新。在原抱箍式夹紧工艺的基础上,分别在调节比内孔和轴径上开槽,并增加平键连接,形成了两个维度的防打滑装置。这种双维度夹紧工艺大大提高了防滑裕量,能够有效避免在异常工况或风机长期运行后转动部位润滑变差导致叶片组件阻力增大,从而造成调节臂打滑和叶片漂移的现象。

(五) 改造成果及效益

通过对#1炉六大风机的防动叶卡涩改造,取得了显著的成果。改造后,风机动叶漂移次数由原来的7次/半年大幅下降至0次/半年,风机的可靠性得到了极大的提高。在机组持续带满负荷状态下,每减少一次风机停运检修,就可减少发电量损失1632万千瓦时。这一成果不仅提高了机组运行的稳定性,减少了对电网线路的冲击,而且在电网实行

现货交易市场环境下,为家庭用户、企业用户以及地方的政治会议、体育盛事等保电工作提供了强有力的保障,具有重要的经济和社会意义。

二、技术改进措施及优势

(一) 叶盘密封结构改造

在原叶盘设计中,根部与轮毂的配合高度为10mm,配合间隙仅为0.1mm。在实际运行过程中,这样的微小间隙在粤东沿海潮湿且盐雾含量高的环境下,极易出现结晶积垢的问题。结晶和积垢会逐渐增加叶片的阻力,影响风机的正常运行。为了解决这一问题,新密封结构在充分利用配合高度开槽的基础上,巧妙地增加了一道O型圈。通过这种方式,彻底消除了微小间隙受结晶和灰尘侵入的缝隙,有效防止了因外部环境因素导致的叶片卡涩问题。

(二) 调节臂夹紧优化

调节臂与叶柄原设计为抱箍式夹紧工艺,在实际运行中,当叶片阻力超出夹紧力时,就容易发生打滑现象,进而导致叶片漂移。为了解决这一问题,技术攻关小组在原结构基础上进行了创新改进。分别在调节比内孔和轴径上开槽,并增加平键连接,形成了两个维度的防打滑装置。这种双维度夹紧工艺能够有效避免叶片在运行过程中的打滑现象,确保叶片与调节臂之间的连接更加稳固可靠。即使在异常工况下,或者风机经过长期运行后转动部位润滑变差,导致叶片组件阻力增大的情况下,也能保证调节臂不会打滑,从而保证了风机的正常运行。

三、主要创新点与内涵

(一) 叶盘采用双密封结构

1. 转动部件零间隙配合

这一创新设计实现了零间隙配合面,替代原来通过微小间隙配合起到密封作用,使得叶盘与轮毂之间的配合更加紧密,同时也显著加强了密封性能。

2. 最大程度保护叶片组件灵活性

原叶盘根部仅采用一道O型圈作为密封保护轴承,在这种特殊的气候环境下,O型圈容易受到结晶盐凝露后的腐蚀,进而出现早期老化、龟裂等失效情况。一旦密封失效,不仅会影响轴承的正常运行,还会进一步加剧叶片的卡涩问题。新结构采用双密封设计,这种设计有效地保护了第二道密封的使用寿命和叶片轴承组件。双密封结构形成了双重防护屏障,即使在恶劣的环境下,也能确保轴承和叶片组件的正常运行,大大提高了风机的整体可靠性和使用寿命。

(二) 调节臂双维度夹紧工艺

1. 增加键连接工艺

双维度夹紧工艺的另一个显著优势是有效防滑裕量大。相比原抱箍式夹紧工艺,这种新的夹紧方式能够承受更大的叶片阻力变化范围。在风机运行过程中,由于各种因素的影响,叶片组件的阻力可能会发生变化。双维度夹紧工艺通过增加平键连接和优化开槽设计,提高了防滑能力,能够有效

应对这些变化,避免因叶片阻力增大而导致的调节臂打滑和叶片漂移问题,进一步提升了风机的运行稳定性和安全性。

2. 降低加工精度和力矩要求

在传统的抱箍夹紧工艺中,轴孔配合面的加工精度要求较高,且夹紧螺丝力矩的控制难度较大。为了满足这些要求,不仅需要投入更多的人力、物力和时间进行精密加工和装配,还可能在实际操作过程中由于人为因素或设备误差导致加工精度和力矩控制不准确,从而影响风机的运行稳定性。

为了解决这一问题,我们在改造中增加了键连接工艺。这种工艺通过在轴和轮毂之间设置键,利用键的楔紧作用来传递扭矩,从而实现叶片的固定。相比传统的抱箍夹紧工艺,键连接工艺对轴孔配合面的加工精度要求相对较低,不需要进行高精度的加工和装配,大大降低了加工难度和成本。同时,由于键连接工艺主要依靠键的楔紧作用来传递扭矩,对夹紧螺丝力矩的要求也相对较低,减少了因力矩控制不当而引起的安全隐患。

3. 保证叶片角度一致性及检修便利性

增加键连接工艺后,还能够保证叶片角度的一致性。在风机的制造和安装过程中,叶片角度的一致性对于风机的性能和稳定性具有重要影响。传统的抱箍夹紧工艺在装配过程中,由于受到多种因素的影响,很难保证每个叶片的角度都完全一致,这可能会导致风机在运行过程中出现振动、噪声等问题。而键连接工艺通过精确的键槽加工和装配,能够确保每个叶片的角度都保持一致,从而提高风机的运行稳定性和效率。

此外,在检修过程中,采用键连接工艺的风机无需进行同步性调整。传统的抱箍夹紧工艺在检修后,需要对各个叶片的夹紧螺丝进行重新调整,以确保叶片的角度和夹紧力一致,这个过程不仅繁琐耗时,而且容易出现调整不准确的情况。而键连接工艺则避免了这些问题,检修人员只需要检查键的连接情况和叶片的安装位置即可,大大缩短了检修时间,提高了检修效率。

4. 最大程度保护叶片断裂

在风机的长期运行过程中,叶片的健康状况直接影响着风机的整体性能和安全性。当某一叶片发生漂移全开时,由于气流的不均匀分布和力学特性的变化,长期单片叶片会在最大开度下承受异常的受力情况。这种异常受力会导致叶片产生疲劳,随着时间的积累,疲劳程度逐渐加剧,最终可能引发叶片的疲劳断裂。一旦叶片发生断裂,将会引发风机扫膛事故,这不仅会对风机本身造成严重的损坏,还可能影响到整个发电机组的正常运行,甚至对电网的稳定性产生冲击。

为了防止这种情况的发生,我们在改造过程中采取了一系列针对性的措施。通过对风机结构的优化设计,调整叶片的安装角度和间距,确保在正常运行和可能出现的异常情况下,叶片所受的力能够保持在合理的范围内,从而最大程度地保护叶片,降低叶片断裂的风险。

四、实施应用情况

（一）改造工作完成情况

截止至 2024 年 6 月 1 日，我们已经顺利完成我厂#1 炉六大风机的防叶片漂移改造工作。在改造过程中，我们严格按照设计方案和施工规范进行操作，确保改造工作的质量和进度。经过全体工作人员的共同努力，改造工作取得了圆满成功，为风机的安全稳定运行提供了有力保障。

（二）成果统计与分析

为了评估改造工作的效果，我们于 2025 年 5 月 24 日对改造后的风机进行了统计分析。通过对比活动前后风机故障次数，我们发现活动后#1 炉已有一年时间未发生故障，这一成果充分证明了我们的改造措施是有效的。在改造前（半年）共发生 7 次故障，而改造后（半年）风机故障次数为零，这说明改造后的风机在运行稳定性和可靠性方面得到了显著提升。

（三）巩固措施

1.持续跟踪与优化

为了进一步巩固改造成果，我们将固化本次项目的改进措施，持续跟踪#1 炉六大风机改造后的效果。在跟踪过程中，我们将密切关注风机的运行参数、振动情况、噪声水平等指标，及时发现和解决可能出现的问题。同时，我们还将对本次改造项目存在的不足进行总结和分析，例如增加叶顶间隙的技术要求、叶片防腐工艺等方面的问题。针对这些不足之处，我们将进一步优化技术协议，并将其推广应用于#2 炉风机的防动叶发生漂移的改造工作中，确保改造工作的全面性和有效性。

2.规程与文件包修编

为了将本次改造的成功经验和技术规范传承下去，我们将把本次叶盘密封改造、叶柄轴和曲柄加键连接工艺等内容修编进检修规程和检修文件包。这样，在今后的检修工作中，检修人员可以按照新的规程和文件包进行操作，确保风机的检修质量和运行安全。

五、社会效益与间接经济效益

（一）经济效益

1.发电效益提升

在电力市场中，机组的满负荷发电能力直接关系到企业的经济效益。假设满负荷最大发电量为 60 万（kw.h），单台

风机故障时，机组负荷将下降 50%，且检修工期需要 48h。在活动前（半年）共发生 7 次故障，按照电价利润 0.05 元/kw.h 计算，每次故障造成的发电损失巨大。而活动后（半年），风机故障次数为零，这意味着机组能够持续满发。按此计算，活动后可提高发电效益为 $30 \text{ 万}(\text{kw.h}) \times 48\text{h} \times 7 \times 0.05 \text{ 元} = 504 \text{ 万元}$ 。这一显著的经济效益提升，为企业的发展和盈利能力提供了有力支持。

2.改造成本与净收益

当然，改造工作也需要一定的投入。本次改造费用为 100（万）。因此，产生的经济效益为创造的经济效益 504 万减去改造费用 100 万，即 404 万。从长远来看，虽然改造需要一定的前期投入，但所带来的经济效益远远超过了改造成本，具有较高的投资回报率。

（二）社会效益

1.保障电网稳定运行

在当前电网实行现货交易市场的环境下，机组的稳定运行对于电网的安全和稳定至关重要。风机故障不仅会影响本厂的发电效益，还可能对电网线路造成冲击，影响电网的供电质量和稳定性。通过本次改造，风机的运行稳定性得到了显著提高，减少了对电网线路的冲击，为家庭用户、企业用户、地方的政治会议、体育盛事等保电工作提供了强有力的保障，确保了电力供应的连续性和可靠性。

2.改善工人工作环境与安全

改造工作不仅带来了经济效益和社会效益，还对工人的工作环境和劳动强度产生了积极影响。在传统的检修和维护工作中，由于风机故障频繁，工人需要经常进行紧急抢修和维修工作，劳动强度较大，作业安全风险也较高。通过本次改造，风机故障次数大幅减少，工人的劳动强度得到了有效降低，作业安全风险也明显减少。同时，稳定的工作环境也提升了工人的幸福感和工作积极性，有利于企业的和谐发展和人才队伍的稳定。

3.行业参考价值

本次风机防叶片漂移改造项目的成功实施，为其他电厂同类型风机的改造提供了宝贵的参考价值。在电力行业中，许多电厂都面临着类似的风机叶片漂移问题，我们的改造经验和措施可以为其他电厂提供借鉴和启示，帮助他们解决实际问题，提高风机的运行稳定性和可靠性，推动整个行业的技术进步和发展。

参考文献

- [1]SAF 型电站动叶可调轴流引风机安装和使用维护说明书 上海电气
- [2]《某 600MW 机组引风机动叶卡涩治理与结构优化》刘振宇 2021 年
- [3]《动叶可调轴流风机失速与喘振机理分析》张明 2021 年
- [4]DL/T 469-2020《电站锅炉风机选型导则》
- [5]JB/T 10563-2018《动叶可调轴流通风机技术条件》
- [6]《机械设计手册》（第六版）闻邦椿
- [7]《风机设计实用手册》商景泰