

空预器漏风问题分析及优化技术措施

程广浩

安徽华电六安电厂有限公司 安徽 六安 237126

【摘要】：空预器属于能源转换系统的重要换热设备，它的密封性能直接关系到整个系统的热效率以及运行经济性，漏风问题一直是个影响设备稳定运行的主要障碍。本文从空预器结构特点和运行机理入手，对漏风产生的主要原因进行系统的分析，包括密封间隙的变化、元件的损坏、工况的变化等，针对这些因素提出了密封结构的改善、运行调控的改善、监测体系的完善等一系列的技术方案。整合动态密封技术、防腐防堵工艺、智能监测手段，形成全方位漏风治理方案，给提高空预器运行可靠性、降低能源损耗提供理论支持和实践指导，对促进相关行业节能降耗、可持续发展有重大意义。

【关键词】：空预器；漏风分析；密封优化；运行调控

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.069

引言

能源利用效率越来越受重视的时候，空预器作为回收烟气余热、预热燃烧空气的关键设备，在电力、化工等行业有着广泛的使用，它的运行状况直接影响整个系统能耗和环保效益。漏风现象的存在不但会造成能量的浪费，还会造成设备腐蚀、积灰堵塞等一系列连锁问题，严重的会危及系统的安全稳定运行。对空预器漏风的内在机理进行深入研究，冲破传统治理技术的束缚，创建起科学有效的改进体系，就成为行业技术更新的迫切需求。本文主要针对空预器漏风问题的主要原因进行分析，并结合最新的技术研究成果，从理论到实践对空预器漏风治理提出新的思路和方法，以期为空预器漏风治理提供新的思路和技术支持，使空预器在高效、低耗、长周期运行方面发挥更好的作用。

1 空预器漏风问题分析及优化技术措施概述

1.1 空预器漏风的核心影响机制

空预器漏风本质就是空气和烟气在压力差的作用下通过非设计通道的异常流通，它的影响因素有结构设计、材料性能、运行工况等。密封系统是隔离空气和烟气的屏障，间隙大小和稳定程度直接影响到漏风的程度，运行过程中温度的变化会引起转子、壳体等部件的热变形，造成密封间隙的动态变化，破坏密封的效果。烟气中含有的腐蚀性介质、飞灰颗粒等都会对密封件和换热部件造成严重的磨损和腐蚀。磨损、腐蚀都会破坏这些关键部件表面结构，使它们的功能性能逐渐下降，进而加快漏风通道的形成与发展。系统负荷不是固定不变的，而是会经常变化^[1]。与此同时气流速度也在不断变化，其它工况也会出现各种各样的波动。这些因素不是孤立存在的，它们一起存在并且互相影响，会使漏风效应被放大很多倍，从而使问题越来越严重。而这些问题并不是简单的相加，而是互相叠加、互相影响，就像滚雪球一样越来越大，最终使设备陷于一个“变形-磨损-漏风”的恶性循环中不能自拔。一旦出现这种状况，

就如噩梦一样，给系统稳定性和效率造成巨大影响，严重扰乱整个系统的正常运转与工作效率。

1.2 漏风优化技术的发展趋势

随着工业技术的不断发展，空预器漏风优化技术也越来越精确、智能化、长效化。传统的依靠静态密封调整来治理的方式已经不能满足复杂工况下动态漏风控制的要求，动态跟踪密封技术、柔性密封结构等新型技术也渐渐成为研究的热点，依靠实时适应设备变形和工况变化来达到密封间隙的动态补偿。防腐耐磨材料的研制和应用大大延长了密封件、换热件等的使用寿命，防止由于材料损坏而产生的漏风隐患。智能化监测与调控系统创建之后，既属于技术上的重大革新，也是达成对漏风状况实施及时感知并加以精确干涉的重要途径。该系统把先进的传感器技术、高效的分析算法和科学的控制逻辑融合在一起，形成一个完整的监测、分析、调控闭环治理体系。传感器在实际应用中起着十分重要的作用，可以对环境中的任何细微变化做出敏锐的反应。当传感器把环境中的变化信息收集起来后，数据算法就会发挥作用，数据算法会把收集到的海量信息做深层次的解析和挖掘^[2]。

2 空预器漏风问题分析及优化技术措施

2.1 漏风问题的关键成因解析

空预器漏风是由结构特性、运行环境和设备状态等诸多因素共同造成的，密封系统失效是造成漏风最直接的原因。转子和扇形板、轴向密封板之间设计间隙，在热态运行时由于部件膨胀不均而发生变化，尤其回转式空预器容易出现“蘑菇状变形”，造成径向密封间隙呈不规则分布状态，高压侧空气直接通过间隙进入烟气侧。换热元件的积灰堵塞和腐蚀磨损也会加重漏风问题，积灰会增大气流阻力、提高压差，间接增大漏风量，腐蚀磨损造成元件破损后又会形成新的漏风通道^[3]。除此之外，设备安装精度达不到要求，后期使用过程中缺少对密封件的维护保养也会造成密封件松动现象的发生，并且密封件会

慢慢老化。

2.2 密封结构优化技术措施

动态跟踪密封技术的优化(可以落地的措施)有铰接式扇形板、配重平衡机构等的设计,同时配备间隙实时监测装置(精度 $\pm 0.1\text{mm}$),每隔2小时自动采集密封间隙数据,当间隙超出预设范围($0.3\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$)时,通过电动调节机构自动调整配重平衡,使密封元件始终跟随转子变形轨迹,保持微小而稳定的密封间隙。对变负荷工况实行分级调节,负荷波动 $\pm 10\%$ 时,提前启动间隙预调程序,防止间隙失控。该措施执行之后,可以将变负荷工况下漏风间隙失控率控制在 0.5% 以下,比优化前降低 80% ^[4]。柔性密封材料升级和规范应用(可落地措施):用耐高温($\leq 600^\circ\text{C}$)、耐磨损的弹性合金加陶瓷复合密封片代替传统密封材料,确定材料规格参数(厚度 $3\sim 5\text{mm}$ 、硬度HRC55-60),制定标准化安装流程——安装前对密封片做预拉伸处理(拉伸量控制在 $1.5\%\sim 2\%$),安装后做气密性试验(试验压力 0.15MPa ,保压30分钟无泄漏)。另外建立密封片定期检查更换制度,运行6000小时做一次全面检查,磨损量大于 1mm 时及时更换。该措施可以使得密封片的使用寿命提高到12000小时,比传统的材料提高 60% ,并且减少由于飞灰磨损、介质腐蚀造成的密封失效,漏风率降低 35% 以上。

旁路密封和中心筒密封加强设计(可落地措施):改善密封结构布局,把旁路密封由单道密封改成“双道密封+中间缓冲腔”,缓冲腔内填充耐高温密封棉(密度 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$),在密封面上涂高温密封胶(耐温 $\geq 500^\circ\text{C}$),减小边缘漏风;中心筒密封采用“迷宫式+接触式”复合结构,增加3道密封齿(齿高 8mm 、齿距 12mm),调整密封齿角度(30°),提高轴向密封效果。施工期间密封间隙误差控制在 0.2mm 以内,每道密封安装完毕后立即做局部漏风检测,不合格处及时整改。

2.3 运行调控优化技术措施

运行调控优化就是根据实际运行情况,对操作参数进行合理调整,加强过程控制,从而减少工况波动对漏风的影响,达到漏风动态控制的目的。采用渐进式的负荷变化方式来防止温度突然升高或者降低引起的部件的剧烈变形,保持密封间隙的稳定,改善燃烧调整和配风的方式,减小烟气流量、压力的变化,减小气流对密封系统的影响。对于积灰和腐蚀问题,制定科学合理的吹灰和防腐制度,根据运行情况合理调节吹灰频率和方式,采用过热蒸汽吹扫和高压水冲洗相结合的方式,有效地清除换热元件表面积灰,防止通道堵塞,同时对烟气的露点温度进行有效的控制,可以采取预热入口处的空气、优化喷氨量等一些有针对性的措施来减少冷端出现腐蚀的情况,从而更好的保护密封元件、换热元件等关键部件的完好无损。另外还要加强对设备的巡检工作,加大维护力度^[5]。

2.4 监测与诊断系统优化技术措施

经过优化的监测和诊断系统给漏风问题的精准治理提供数据支持,创建起全方位的监测体系之后,可以对漏风情况即时感知、发出预警信号,还可以准确找到问题所在。根据现场实际运行需求,补充可以落地的实操措施,具体优化如下:采用工业级CCD视频监测、压差传感、温度检测等多种传感器对密封间隙变化、气流参数、设备温度分布等关键参数进行持续监测,全方位获取漏风相关信息;传感器安装要落实具体的点位规范,对锅炉、管道法兰、密封门等易漏风部位,每5米布置一个压差传感器,温度传感器靠近密封面安装,CCD摄像头对准关键密封间隙,保证监测无死角,每周对传感器进行一次校准,用标准校验仪核对数据精度,防止因为传感器偏差造成监测失真。

采用数据传输及处理手段,及时将检测所得信息传送至控制系统端,建立漏风率计算模型和故障诊断算法,实现漏风情况量化评估和故障原因智能化剖析的目的,从落地角度来看,使用5G+工业以太网双模传输方式,数据传输延迟不超过 50ms ,每天定时保存传输过来的数据,保存时间不少于一年,并且每月都要安排技术人员对最近发生过的漏风故障案例展开故障诊断算法的更新改进工作,改进后的算法包含新的识别维度,进而提升故障定位的精确度,使得漏风故障的识别率大于等于 95% 。

预判过程可以给预防性维护提供强有力的、可靠的依据,使维护工作更有针对性、前瞻性。在此基础上,有必要创建起更为完备、细致化的“监测-诊断-调控-维护”全流程改进体系。该体系在设备整个生命周期里起到贯穿的作用,它就好像一条连接各个环节的纽带,保证设备管理工作高效优质地开展。

从设备管理开始的阶段来讲,此体系重视设备状态的即时、准确的监控。采用先进的监测技术手段,对设备各项运行指标、参数的变化情况进行实时监测,发现设备出现异常的细微情况,给后面环节提供可靠的依据和决策依据。落脚点就是设立监测岗位责任制,指定每个监测点位的责任人,实行24小时值班制度,值班人员每两小时检查一次监测数据,发现异常立即记录上报,并做好监测日志,详细记录监测数据、异常情况及时处理结果,每月都要对监测日志进行审核归档。

第二,在准确诊断设备存在的问题上,根据前期对设备进行全面细致的监测数据进行诊断,用科学有效的方式方法对设备故障的根本原因加以剖析。无论是机械部件的磨损、电气系统短路、软件程序漏洞等都可以被准确地识别出来并定位到具体的部位上,进而有针对性地采取相应的解决措施。建立故障诊断分级制度,把漏风故障分成一般、较重、严重三级,一般故障当天由现场运维人员解决,较重故障24小时内解决,严重故障立即停止运行处理,编制《漏风故障诊断手册》,对各

种漏风故障的诊断流程、判定标准和解决办法进行详细说明,每年组织运维人员开展一次漏风故障诊断实操培训,提高运维人员的漏风故障诊断水平。

再者,合理调节设备运行参数防止故障扩大,根据诊断结果对设备各种运行参数进行准确的调节。这指的是调节设备的工作负荷、调节运行速度、调整能量分配等方法,用科学合理的控制手段来防止设备故障的进一步扩大和加重,保证设备在比较安全稳定的环境中一直运行。落地措施是制定参数调节操作规程,规定不同的故障类型对应着的参数调节范围、调节步骤和注意事项,运维人员按照规程执行,调节完毕后要持续观察1小时,保证参数稳定、漏风率合格之后才能离去,并且每季度开展参数调节效果评定工作,依照评定成果来改善调节方案。

最后依靠前面几个环节的顺利开展来制定详细的、周密的设备维护计划。它牵涉到安排专业维修人员、选用合适的维修工具和备件、确定恰当的维修时间和周期等许多方面。依靠高效、有条理的维护工作及时发现并处理设备存在的缺陷和隐患,恢复设备良好的性能,提高设备的使用寿命。建立维护计划分级管理,分为日常维护、定期维护、专项维护,日常维护由运维人员每天完成,主要检查传感器、密封件等易损件,定

期维护每月一次,对设备做全面检查、清洗、保养,专项维护每半年一次,针对漏风多发部位重点检修,储备密封件、传感器等常用备件,保证备件储备量能支撑3次以上的应急维修,维修人员持证上岗,定期开展技能考核,保证维修质量。

3 结束语

空预器漏风问题的治理是结构设计、材料使用、运行调节等诸多方面共同参与的系统工程,其关键之处在于准确找到漏风的原因,进而实施有针对性的改进技术手段,从而达到从结构到运行、从监测到保养的全面把控。本文对空预器漏风问题进行了详细的分析,提出了密封结构优化、运行调节改善、监测系统加强等许多技术手段,这些技术手段互相配合、共同起作用,可以有效地降低漏风率,提高设备运行效率和可靠性。新型材料、智能控制等技术不断发展,空预器漏风优化技术会向着更加高效、更加智能、更加长效的方向发展,需要进一步加强多技术融合应用研究,改善技术方案的经济性、适用性,给相关行业节能降耗、绿色发展提供更强的技术支持。经由科学地应用本文所提出的优化技术手段,可以明显改善空预器的运行状况,削减能源消耗和运行成本,有着十分重要的工程应用价值以及推广前景。

参考文献:

- [1] 贺立华,徐帅睿,申先念.采用双金属自补偿密封技术解决空预器漏风问题的分析与探讨[J].节能,2024,43(09):73-75.
- [2] 梁明超.低温空预器漏风后出现的问题及整改措施[J].氮肥技术,2024,45(01):31-32.
- [3] 丘赠荣.锅炉回转式空预器漏风原因及解决对策[J].现代制造技术与装备,2023,59(10):121-123.
- [4] 商桐友.火电厂脱硝机组空预器常见问题及处理方法[J].南方农机,2020,51(04):237.
- [5] 吴志鹏.一种基于 MATLAB 的空气预热器间隙控制系统模糊控制[J].电子世界,2020,(11):15-16.