KK&K风机及发电机叶轮结垢原因分析及解决措施

张银根，白　金

（云南三环中化化肥有限公司，云南 昆明　650114）

［摘　要］云南三环中化化肥有限公司2套80万t/a硫黄制硫酸装置每套装置配套一台余热锅炉，2台锅炉共用定期排污与连续排污系统。Ⅱ期装置投用后，KK&K风机及发电机叶轮结垢周期明显缩短，严重影响装置满负荷安全运行。经系统排查脱盐水水质、加药装置、排污频率、汽包液位等因素后，发现结垢根本原因为Ⅱ期锅炉连续排污管线过长、弯头数量多，导致排污阻力显著增大、排污效果不佳。据此，企业为Ⅱ期锅炉单独新建排污系统（管径DN25，长度40 m，弯头11个），实现两套锅炉排污系统独立运行。改造后蒸汽品质显著改善，风机叶轮结垢问题得到有效解决，保障了锅炉及发电设备的长周期安全运行。

［关键词］硫黄制硫酸；余热锅炉；排污系统；蒸汽品质；叶轮结垢；压力损失

［中图分类号］TQ053　　［文献标志码］B　　［文章编号］2097-4566（2026）05-0126-03

Analysis of causes of fouling on the blades of KK&K fan and generator and its countermeasures

ZHANG Yingen, BAI Jin

(*Yunnan Three Circles-sinochem Fertilizer Co., Ltd., Kunming* 650114, *China*)

Abstract: Yunnan Three Circles-sinochem Fertilizer Co., Ltd. operates two sulfur-burning sulfuric acid production units (with production capacity of 800 kt/a for each one), each unit is equipped with a waste heat boiler, and the two boilers share a common blowdown system. After the commissioning of unit II, the fouling period of the KK&K fan and generator impellers is shortened significantly, seriously affecting full-load safe operation. After systematic investigation of demineralized water quality, chemical dosing plant, blowdown frequency, and drum liquid level, the root cause is identified as the excessively long continuous blowdown pipeline and the large number of elbows for the Unit Ⅱ boiler, which leads to significantly higher blowdown resistance and poor blowdown efficiency. Consequently, a dedicated blowdown system (DN25, 40 m, 11 elbows) is installed for the unit Ⅱ boiler, making the two blowdown systems independent. After the modification, steam quality is improved markedly, and the impeller fouling problem of the fan is effectively resolved, ensuring the long-term safe operation of the boilers and power generation equipment.

Key words: sulfur-burning sulfuric acid; waste heat boiler; blowdown system; steam quality; impeller fouling; pressure loss

云南三环中化化肥有限公司有2套80万t/a硫黄制硫酸装置，每套硫酸装置配套有1台余热锅炉，两台锅炉均按双锅筒进行设计，共用定期排污扩容器、连续排污扩容器（即共用排污系统），定期排污管道DN40，连续排污管DN32，每台锅炉额定产汽量120 t/h，蒸汽用于驱动KK&K风机与电站发电机组发电，自硫酸Ⅱ期装置投用后，KK&K风机和发电机叶轮结垢周期缩短，Ⅰ期叶轮结垢周期约为1年，Ⅱ期叶轮结垢周期约为半年，叶轮结垢后机组运行效率下降，锅炉内各部件结垢周期缩短，严重影响到锅炉及装置安全、稳定、长周期、满负荷生产。

1　锅炉在硫黄制硫酸装置中的作用

锅炉在大型硫黄制硫酸装置中的作用是回收和利用装置产生的余热能量。在硫黄制硫酸过程中，会产生大量的热能，其中一部分以废气的形式排放到大气中。为了提高能源利用效率，减少能源消耗和环境污染，常常使用锅炉来回收这部分

收稿日期：2024-05-10；　**修回日期**：2025-12-15

作者简介：张银根（1975—　），男，云南昆明人，高级工程师，从事硫酸、磷酸生产技术管理，大型机组状态监测与维修工作。

余热。

锅炉的工作原理：液硫通过喷枪在焚硫炉内雾化蒸发，与空气混合后在高温下发生氧化燃烧反应，生成SO_2气体。这个反应过程伴随着热量的释放，热气流和热辐射将这个热量传递给雾状液硫，使其继续蒸发。在此过程中，需控制液硫的燃烧反应速度与蒸发速度，而燃烧反应速度随空气流速的增加而增加[1]。

出焚硫炉的炉气进入卧式火管式余热锅炉，通过回收热量后降温至420 ℃，进入转化器Ⅰ段触媒层，控制转化炉气$w(SO_2)$在11%左右。

脱盐水从除氧器除氧后经省煤器换热升温后进入火管式余热锅炉，产生4.2 MPa、256 ℃饱和蒸汽，再进低温过热器和高温过热器换热，产生蒸汽压力为3.60～3.82 MPa、温度为420～450 ℃的过热蒸汽，提供给后续系统（KK&K风机、蒸汽发电机组及其他生产设施）使用。

锅炉回收和利用硫黄制硫酸装置余热的优点：首先，减少了对传统燃料的需求，降低了能源消耗和成本，提高了装置的能源利用效率；其次，降低了废气排放的温度和浓度，减少了对大气环境的污染；最后，回收利用余热还可以降低整个装置的运行成本，提高了生产过程的可持续性和经济效益。

锅炉的作用是最大限度地回收和利用装置产生的余热能量，实现能源的节约与回收，是硫黄制硫酸装置的关键设备，锅炉生产蒸汽流程见图1。

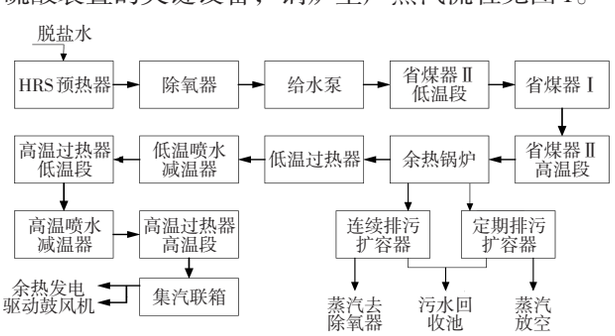


图1　锅炉生产蒸汽流程

Fig. 1　Boiler steam production process flow

2　大型锅炉水pH控制要求

为防止锅炉水偏酸，导致金属腐蚀，锅炉给水系统pH通常应保持在7.0～9.0，锅炉炉水的pH控制在8.5～11.0。具体的pH设定要求可能会因锅炉类型、水质、操作条件和监控要求而有所不同。为控制好设定的pH，通常把缓蚀剂、缓碱剂和缓酸剂等水质处理剂注入锅炉汽包内。根据不同类型锅炉的需要，选择合适的水质处理剂采用自动或手动投加到锅炉水中。通过定期监测和测试来确保锅炉水的稳定性和安全运行。

3　大型锅炉共用排污系统的危害

大型锅炉或电站锅炉对蒸汽品质有严格的要求，按《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》（GB/T 12145—2016）执行。为保证蒸汽品质达标，防止管道、设备结垢而发生故障，锅炉汽包内设置连续排污设备，除去汽包内悬浮物，锅炉锅筒底部设置排污口，定期排放沉淀物等杂质，避免锅炉系统结垢，影响锅炉换热效率和运行安全。

云南三环中化化肥有限公司80万t/a硫黄制硫酸Ⅰ期装置于2007年建成投产，运行3年，锅炉运行正常，排污效果良好，蒸汽品质达标，KK&K风机透平机、发电机组汽轮机叶片结垢情况可控，未发生汽轮机叶片结垢影响生产的事件。

Ⅱ期装置投用不到半年，硫酸Ⅰ、Ⅱ期KK&K风机透平机叶轮均有不同程度结垢，Ⅱ期KK&K风机透平机叶片结垢较为严重，透平机转速降至80%，影响装置满负荷生产。汽轮机叶片结垢的主要物质通常是硅酸盐、铁锈、钙盐、镁盐、油脂和有机物等。这些物质来自锅炉水中的溶解物质、空气中的颗粒物、冷却水和循环水中的杂志等。结垢导致叶片表面粗糙，减少传热递效率，甚至引起叶片损坏。为了汽轮机满负荷、长周期安全运行，公司成立蒸汽品质改善工作小组，做了大量分析整理工作。

首先，从锅炉供水脱盐水站进行排查，严格按电站锅炉用水水质进行管理，因原水水质较差，脱盐水制水能力不足，对脱盐水装置进行改造，增设2套超滤装置，制水量满足生产所需。

其次是对加药装置进行改造，从原来的分开配制药剂改为统一配制磷酸三钠溶液，加药泵进口共用一个槽子，避免药剂配制误差。

再次是加强定期排污管理，排污次数从原来一天排污2次改到一天排污4次。经调整、分析、摸索得知，当锅炉内磷酸根质量浓度为10 mg/L时，沉淀物黏性较小，流动性好，排污效果最佳。

最后考虑到汽包液位高低对连续排污效果有影响，技术人员制订液位控制方案，摸索到2套装置最佳的液位控制值，分别为50%、51%。

以上各方面措施实施后，锅炉蒸汽品质虽有所改善，但远未达到装置安全生产的期望值。

为了进一步分析Ⅱ期KK&K风机结垢的原因，对Ⅱ期装置锅炉系统的各项指标（汽包液位、定期

排污频率等）进行统一排查，均未发现异常，各项指标均与Ⅰ期同步控制，但蒸汽品质不同，充分论证后，确定锅炉排污有问题。

2台锅炉装置布置、功能一致。汽包设置连续排污，排出汽包汽液交界面的悬浮物；锅筒底部设置定期排污，排出炉水中的沉淀物。连续排污效果好坏直接影响到蒸汽品质，Ⅱ期KK&K风机结垢严重，说明该台锅炉连续排污效果不佳。经核查，连续排污管均为DN32的管道。具体参数见表1。

表1　改造前锅炉连续排污系统管道参数

Table 1　Pipeline parameters of the continuous blowdown system for the boiler before modification

装置名称	汽包控制压力/MPa	管径/mm	长度/m	弯头数量/个
Ⅰ期装置	3.6～4.2	DN32	146	18
Ⅱ期装置	3.6～4.2	DN32	310	42

排污管线长短与压力损失之间存在着数学关系式，直管摩阻系数计算式：

$$f=(8\mu L)/(\pi r^4)。\tag{1}$$

其中，μ是流体的动力黏度；L是管道的长度；r是管道的半径。

压力损失公式：

$$p=f\times(L/2r)\times(u^2/2g)\tag{2}$$

其中，u是流体的平均流速；g是重力加速度。

由于，Ⅰ期排污管线长度为146 m，Ⅱ期排污管线长度为310 m，黏度$\mu_1\approx\mu_2$，管道半径$r_1=r_2=16$ mm，由（1）式可知$f_1<f_2$。

同理由式（2）可知，Ⅱ期排污管线压力损失p_2远大于Ⅰ期排污管线压力损失p_1，亦说明Ⅰ期排污管线阻力远小于Ⅱ期排污管线阻力，两台锅炉长期运行，Ⅰ期排污效果要优于Ⅱ期排污。

2台锅炉工作压力基本控制一致，过热蒸汽并网至后系统同一管网，由于Ⅱ期装置连续排污管线长、转弯多（弯头多），排污阻力增大，严重影响了Ⅱ期锅炉排污效果，从而出现Ⅱ期KK&K风机、锅炉及管道结垢严重的现象，长期运行设备换热效率降低，浪费能源，结垢严重时会影响锅炉安全运行，甚至发生爆管或爆炸事故。

经确定，Ⅱ期装置KK&K风机结垢主要由排污不畅通导致，决定按锅炉规范要求单独增设Ⅱ期锅炉定期排污、连续排污设备，Ⅰ、Ⅱ期锅炉排污系统分开使用（Ⅰ期锅炉沿用原来的排污系统）。Ⅱ期装置锅炉新建排污系统投用后，蒸汽品质得到了改善，有效解决了KK&K风机结垢问题，确保了锅炉等设备安全运行，保障装置长周期运行。改造后Ⅱ期锅炉连续排污系统管道参数见表2。

表2　改造后Ⅱ期锅炉连续排污系统管道参数

Table 2　Pipeline parameters of the continuous blowdown system for the modified phase Ⅱ boiler

装置名称	汽包控制压力/MPa	管径/mm	长度/m	弯头数量/个
Ⅱ期装置	3.6～4.2	DN25	40	11

从公司两台锅炉的运行情况来看，多台锅炉之间不宜共用一套排污系统。其主要原因有以下几点。

（1）安全性。每台锅炉的排污过程可能存在不同的操作要求和排污参数，如果多台锅炉共用一个排污系统，可能导致操作混乱或参数设置不当，增加安全事故风险。

（2）排污效率。每台锅炉的排污频率和排污量不同，如果共用一个排污系统，可能导致排污不及时或容量不足，影响锅炉正常运行和排污效果。

（3）增加排污管道管理难度。不同锅炉的排污管道布置、长度和位置可能会有所不同，共用一个排污系统可能会增加管道连接和布置的复杂性，增加了管理和维护的难度。

（4）增加故障传递风险。单台锅炉的故障可能会对其他锅炉产生影响，当排污出现问题时，需要逐一排查每台锅炉的故障原因，难以快速定位和解决问题。特别是在紧急情况下，如停电、设备故障等，共用排污系统可能会导致多台锅炉同时受到影响，加大事故的发生概率和影响范围。

4　结束语

随着我国工业技术的不断发展，蒸汽需求量不断增加，锅炉数量越来越多，锅炉大型化越来越普遍。为避免事故发生，多台锅炉不宜共用一个排污系统，锅炉排污装置应在锅炉设计、制造、安装阶段予以高度足够重视，严格按规范要求进行设计、选型、安装、使用，确保使用安全、合规运行。

［参考文献］

［1］　刘婕.基于Agent的危险化学品安全生产信息采集系统研究［D］.昆明:昆明理工大学,2010.