

· 一线动态 ·

石灰石 - 石膏湿法烟气脱硫装置的运行分析

Analysis on operation of limestone-gypsum WFGD equipments

支国庆, 杨邨

ZHI Guo-qing, YANG Ye

(北方联合电力临河热电厂, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

(Linhe Thermal Power Plant, North United Power Corporation Limited, Bayannaer 015000, China)

摘要:详细介绍了300 MW机组石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置的运行情况,对存在的技术问题进行了原因分析,并提出解决方法。对目前烟气脱硫装置的运行维护工作及管理体制提出了意见与建议。

关键词:湿法烟气脱硫(WFGD);运行分析;运行维护;管理体制

中图分类号:X 701.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2008)06-0052-05

Abstract:The operation status of limestone-gypsum wet flue gas desulfurization equipments of 300 MW unit was introduced in detail. The existent problems were analyzed, and the solving methods were proposed. Some suggests about operation and maintenance of current flue gas desulfurization equipments and their management system were put forward.

Key words:wet flue gas desulfurization (WFGD); operating analysis; operation and maintenance; management system

1 设备状况概述

某电厂300 MW机组锅炉为亚临界参数自然循环汽包炉,设计燃料为内蒙古地区烟煤。每台锅炉配备有2台双室四电场静电除尘器,除尘效率大于99.7%,配套安装石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置(以下简称FGD),处理能力为1台锅炉BMCR工况时的烟气量。

FGD装置主要工艺流程为:原烟气经增压风机增压→通过气气热交换器(以下简称GGH)降温→烟气进入吸收塔脱硫→经除雾器除雾→净烟气通过GGH升温→经烟囱排入大气。其中,脱硫产生的石膏浆液经两级脱水,得到水的质量分数小于10%的脱硫副产品——二水石膏。同时,为了平衡系统中 Cl^- 的浓度,部分从石膏浆液中脱出的浆水进入废水处理系统,经处理达标后排放。

该系统主要技术设计参数为(标态,干态,0%):最大处理烟气量 $1\,095\,818.9\text{ m}^3/\text{h}$,进口二氧化硫质量浓度为 $3\,003.86\text{ mg}/\text{m}^3$,进口烟尘质量浓度

为 $100\text{ mg}/\text{m}^3$,出口二氧化硫质量浓度为 $150\text{ mg}/\text{m}^3$,出口烟尘质量浓度为 $40\text{ mg}/\text{m}^3$,脱硫效率95%。脱硫剂为石灰石粉,脱硫钙硫比为1.02。在设计工况下,每小时耗石灰石5.6 t,年耗石灰石3.98万t。副产品石膏产量为11.4 t/h,年产7万t,年除二氧化硫2万t。

自2006年6月26日脱硫系统随主机完成168 h满负荷试运投入商业运行以来,相关系统设备发生了一些问题,作者进行了原因分析,并提出了处理办法。

2 GGH运行分析

GGH设计两侧压降小于1 000 Pa,原烟气流向为自下而上,净烟气流向与之相反。在GGH净烟气侧的冷、热端各安装1台吹灰器。运行数据表明,GGH原烟气侧差压与净烟气侧差压均与锅炉负荷密切相关,两侧压耗均随着负荷的增加而增加。由于原烟气侧温度比净烟气侧温度高,烟气流速也大,致使原烟气侧运行压耗较大,两者相差120 Pa左右。在50%负荷下,原烟气侧、净烟气侧最大压耗分别为400 Pa、270 Pa。当负荷增至80%时,分别变为680 Pa、560 Pa,两侧总压耗为1240 Pa,已超过

1 000 Pa 的设计值,说明 GGH 换热元件已严重污堵。运行中,甚至因系统阻力增加,导致增压风机在低负荷时发生失速现象。

2.1 积灰、结垢情况

转子受热面上部(冷端)从中心筒开始向外分 4 个区域,正好对应吹灰器 2 个喷嘴的吹扫范围。靠近中心筒部位的内侧区域和距中心筒部位最远的外侧区域均有弦长 0.3 ~ 0.5 m 的圆弧区域积结致密的硬垢。其他区域也有积结粉尘、石膏的现象,结垢层轴向长 10 cm 左右,而转子受热面下部(热端)普遍比较干净。另外,检查发现蓄热元件框架篮子金属腐蚀严重,一个高压水喷嘴堵塞,原因为高压冲洗水(水源为汽轮机循环冷却水的排污水)中有杂物。

2.2 积灰、结垢的原因分析

为查明转子受热面积灰、结垢的原因,投入 GGH 冷端在线低压水冲洗系统,并启动吹灰器。发现吹灰器有工作盲区,上述 2 个积结致密硬垢的圆弧区域正处于 2 个喷嘴的盲区范围。这说明吹灰器行程不能满足工作要求。

通过数据分析,除尘器效率达到设计要求,原烟气粉尘质量浓度在设计范围内。后检查发现,一、二级除雾器多路冲洗水管端头脱落,造成冲洗系统冲洗效果极差,除雾器效率太低。运行一段时间后,部分除雾器结垢、表面堵塞,导致烟气在吸收塔内的流速非常不均匀。流速高的地方烟气中的液滴会穿过除雾器,进入到下游的 GGH 中,造成堵塞。

吹灰蒸汽压力设计为 0.7 MPa,但就地压力能否达到很成问题,且就地无压力测量元件。经咨询换热器、吹灰器生产厂家后,将吹灰器压力调整至 1.0 ~ 1.2 MPa。

2.3 处理方法

GGH 的蓄热元件可通过正常的吹灰、在线高压水冲洗、在线低压水冲洗、离线低压水冲洗进行清洁。在 G 冷热端配置 1 套清洗设备,用来进行常规蒸汽吹灰和在线高、低压水冲洗。清洗装置有 2 根独立的、可伸缩的矛状管,一根矛状管配有 2 个过热蒸汽喷嘴(低压水和过热蒸汽共用一组喷嘴),另一根配有 2 个高压水喷嘴,由电机驱动。另外,在冷热端配置 1 套固定的离线大流量低压水冲洗装置,并可作为消防灭火用。配 1 台高压冲洗水泵,为在线清洗提供高压冲洗水。吹灰器采用自动程序控制方式。

运行实践发现,设备运行中最好采取蒸汽吹灰。蒸汽吹扫前必须排净高压蒸汽疏水,以避免汽水混合物冲洗造成堵灰、磨损、腐蚀等现象。采用水清洗

只适宜在机组停运后进行,且应彻底清洗干净,否则,比不清洗危害更大。采用水清洗后还必须进行干燥,一般可将烟道挡板打开,利用锅炉余热进行干燥。如机组停运时间较长,锅炉内无余热,则可通过氧化风系统进行干燥。禁止经水冲洗后不经干燥就投入运行。清洗方式主要分为 3 种。

(1)蒸汽清洁。绝大多数黏附物可以通过过热蒸汽清除。

(2)高压水冲洗。长期积累下来的、不能通过正常吹灰而清除的黏附物,导致阻力升高。当阻力升高值达到原设计值的 50% 时,可以进行在线高压水冲洗。通过在线水冲洗可以将压降恢复到正常值,冲洗水的压力为 10 MPa。

(3)低压水冲洗。当 GGH 停机后,可用在线低压水清洗装置和固定的离线低压水冲洗装置进行冲洗。固定的水冲洗装置配有带喷嘴的直管,从有一定间隔的喷嘴中均匀地向换热面喷冲洗水。如蓄热元件污堵严重,则停运后必须进行离线低压水冲洗,水冲洗可以冲走大量的酸性物。2007 年 8 月 13 日,该电厂组织进行[#]1 炉 GGH 离线低压水冲洗。考虑离线低压水流量较大,而烟道低位排水设施通流量有限,所以冲洗须间断进行。而且在使用固定的水冲洗装置正式冲洗前,可间隔投入在线低压水冲洗装置浸泡沉积物。经 24 h 离线低压水冲洗后,经检查,GGH 受热面清洁程度大有改观。

3 除雾器运行分析

观察发现,负荷达 80% 时除雾器运行压差达 500 Pa 左右,严重超设计值。停机后检查除雾器波纹元件,发现积结石膏严重。

3.1 除雾器结垢和堵塞的原因分析

(1)结垢和堵塞的化学机理。吸收塔循环浆液中含有过剩的吸收剂,当烟气夹带的这种浆体液滴被集在除雾器板片上而又未被及时清除时,会继续吸收烟气中未除尽的 SO_2 , 发生反应,在除雾器板片上析出石膏而形成垢。

(2)冲洗水管选材不合理。经检查发现,一、二级除雾器多路冲洗水管端头脱落,导致冲洗系统根本就没有冲洗效果。冲洗系统塔内管道材质为玻璃钢 FRP,FRP 由玻璃纤维增强材料和高性能树脂拉挤成型,具有轻质、高强、耐腐蚀、拉伸弯曲强度高等优点,但其焊接性能较差。因 FRP 是由玻璃纤维增强材料和高性能树脂拉挤成型的,而其焊接性能较差,所以冲洗水管端头处壁厚较薄,且玻璃纤维增强

材料分布不均,致使该部位强度较差,在冲洗水压力的作用下,易发生断裂脱落。另外,冲洗喷嘴采用空心锥切线形喷嘴,材质为聚四氟乙烯,雾化效果差,布置间距为 1.3 m(过大),喷淋重叠度仅为 30%(过低)。

(3)除雾器出入口压差表因表管污堵显示不正常,未能正确反映设备运行状况。

3.2 处理方法

(1)将冲洗水管材质更换为聚丙烯 PP 管材。该管材具有较高的力学强度和较好的刚性,尤其是可焊接性好。这样,冲洗系统塔内管道端部及与控制阀门连接处能够保证正常的机械强度,增强运行可靠性。

(2)将冲洗喷嘴更换为实心锥喷嘴并增加数量,使布置间距达到 0.8 m,覆盖率为 150%。启动前打开除雾器检查孔,投入冲洗水系统,检查冲洗效果良好。

(3)利用停机机会对除雾器出入口压差表表管污堵问题进行处理,使运行人员能够准确监控除雾器运行状况。

(4)检修时及时冲洗除雾器及疏通冲洗喷嘴,保持除雾器清洁。每次检修增加喷嘴疏通签证点项目。

4 增压风机运行分析

脱硫系统阻力主要由吸收塔、GGH、除雾器和总烟道阻力 4 部分组成。在锅炉 BMCR 工况下,系统阻力设计参数:吸收塔含除雾器 1000 Pa、GGH 1000 Pa、总烟道 500 Pa,系统总阻力损失为 2500 Pa。增压风机入口压力采用闭环控制回路,通过调节增压风机静叶开度进行压力控制,保持入口压力的稳定。为了获得良好的动态特性,引入锅炉负荷和引风机状态信号作为辅助信号。在 FGD 装置投入运行后,引风机出口压力应基本稳定在 FGD 投入前的数值,尽可能维持引风机在原工况下运行,防止对锅炉运行的影响。因 GGH、除雾器结垢、堵塞,致使系统总阻力损失严重偏离设计工况值,导致增压风机失速,并影响到引风机的稳定运行,同时增加风机电耗。针对上述问题,一方面解决系统阻力偏大问题,一方面对系统运行参数进行正确科学的调整,以保证增压风机的工作点在稳定区域内。

5 吸收塔内搅拌器运行分析

在吸收塔 1.3 m 处均匀布有 3 台搅拌器,13 m 处布有 2 台搅拌器,其作用是防止塔内固体沉积和

分配氧化空气。它由搅拌机构、轴和配备驱动电机的驱动系统组成。该搅拌器由江苏德克公司与德国 STC 公司合作,引进 STC 公司侧进式搅拌器的先进技术,在国内加工制造。搅拌器轴与水平线向下约成 10°倾角,与中心线成 7°夹角,伸入塔内 1 m,搅拌机构是一个三叶螺旋桨叶片,材料为不锈钢(钢号 1.4529)。运行中频繁发生搅拌器叶片断裂而停运的问题,经金相分析,上述问题为叶片加工工艺不良所致。

6 石膏含水量超标的原因分析及解决方法

石膏处置系统工艺流程为:吸收塔排出浆液通过石膏排出口送入石膏浆液旋流站→通过旋流站溢流分离出浆液中较细的固体颗粒(细石膏颗粒、未溶解的石灰石和飞灰等)→含有这些细小固体颗粒的浆液再返回至吸收塔。浓缩的大石膏颗粒(质量分数为 40%~60%)从旋流站的下流口排出至真空皮带脱水机。石膏浆液经真空皮带脱水机脱水后,含水率小于 10%。但运行中,经常发生石膏脱水困难,含水率大于 10%的现象。作者对此问题进行了现场调查和原因分析。

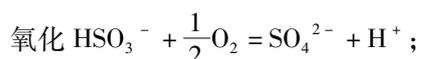
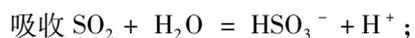
6.1 石灰石粒度及纯度

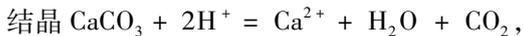
石灰石颗粒越细,其表面积越大,反应越充分,吸收速率越快,利用率越高。一般要求:90%通过 325 目筛或 250 目筛,石灰石纯度大于 90%。

该厂外购的石灰石原料夹杂有大量的杂质(如树枝、草根、泥沙等),这些杂质影响了石膏的结晶及大颗粒石膏的生成,使石膏的纯度降低。现场观察发现,当石膏浆液流入皮带机滤布上时,较轻的杂质漂浮在浆液的中上部,而杂质颗粒较石膏颗粒细且粘性大,堵塞了游离水在晶体之间的通道,使石膏脱水变得困难。监测发现,真空皮带机真空度与石膏含水率呈有规律的变化,真空度升高,含水率增大。真空度升高,也即滤水通过滤布的压降增加,说明滤布有堵塞现象。

6.2 吸收塔 pH 计频繁失灵

取含水率超标的石膏样品进行成分分析。因厂内脱硫化学检测仪表配置不全,仅化验出石膏样品的碳酸钙的质量分数为 6.26%,超过设计标准 3%,说明反应不充分。湿法烟气脱硫工艺的化学反应原理如下:





从反应原理可知, pH 值的控制对反应很重要, 较高的 pH 值有利于吸收反应的发生, 而较低的 pH 值有利于氧化和结晶反应的进行。因 pH 计未做好防冻保护且频繁污堵而又冲洗不及时, 导致数据失真, 由其控制的石灰石量不是真正需要的量。进入吸收塔过量的石灰石使石膏纯度降低, 石膏浆液中石灰石细小颗粒比例升高, 阻塞了皮带机滤布的滤水通道, 使浆液中的水不容易从滤布孔隙分离出来。因此, 运行中应及时校正表计, 尽量减少偏差, 保证塔内反应的正常进行。

6.3 石膏浆液密度计频繁失灵

石膏浆液密度计频繁失灵, 难以对浆液浓度进行监控、调整, 造成浓度偏低、石膏结晶困难、晶粒过小, 从而导致皮带机脱水困难。

6.4 强制氧化反应不充分

氧化空气分布系统采用喷管式, 氧化空气被分布管注入到 13 m 处布置的 2 台搅拌器浆叶的压力侧, 被搅拌器产生的压力和剪切力分散为细小的气泡并均布于浆液中。一部分 HSO_3^- 在吸收塔喷淋区被烟气中的氧气氧化, 其余的 HSO_3^- 在反应区中被氧化空气完全氧化。因运行中频繁发生搅拌器叶片断裂而停运的问题, 使石膏浆液强制氧化反应不充分, 亚硫酸钙含量超标。亚硫酸钙粘性较大, 不易脱水。为此, 利用停机机会更换搅拌器, 促使氧化反应趋于完全, 控制亚硫酸钙的氧化率在 95% 以上, 保持浆液中有足够密度的石膏晶种。

7 循环浆液泵运行分析

每次脱硫系统运行一段时间后, 停机检查都会发现烟道和吸收塔内有大量石灰石原料带入的杂质(树枝、草根、泥沙、硬质石粒等), 设备金属表面因腐蚀产生的剥落物。这些杂质进入循环浆液泵入口滤网内, 严重时甚至会堵塞浆液泵入口管道, 造成浆液泵出力不能满足要求, 叶轮、机械密封磨损严重。为此, 在有脱硫系统停运机会时, 应打开检查孔进行清理。

8 监测仪表运行分析

(1) 脱硫系统在净烟气、原烟气侧共安装了 2 套烟气分析仪, 采用的是德国西门子的产品, 型号为 ULTRAMAT 23。主要问题是取样点堵塞, 特别是净烟气分析仪取样点, 由于烟气中的液滴与粉尘

混成泥浆堵塞取样管, 所以, 需经常疏通、清理; 同时, 取样点加热温度控制器有时会失灵, 压缩空气吹扫系统维护不当, 不能正常投运, 导致取样点的原烟气中的灰尘积聚并凝结, 从而引起取样管道的堵塞。另外, 除雾器, GGH 差压表管污堵频繁, 仪表显示严重失真, 对设备运行工况的监控带来不利影响。

(2) 吸收塔进口温度测量采用的是 PT100 热电阻。由于吸收塔上方的喷淋设备将水分带至吸收塔进口, 同时吸收塔进口烟气中含有较高浓度的二氧化硫及灰分, 基本上每 6 个月热电阻保护管就会被腐蚀而无法使用。后来, 通过提高测点位置, 同时将热电阻保护管更换为具有防腐、耐磨性能好的保护管后, 效果较好。

(3) 净烟气流量计显示偏小。运行中发现, 在烟道旁路挡板全关时, 操作员站 CRT 显示净烟气流量只约为原烟气流量的 1/2, 而实际情况应是净烟气流量约为原烟气流量的 1.1 ~ 1.2 倍, 检测流量计各参数正常。

经查阅设计资料可知, 原烟气流量是通过测量增压风机压差间接计算得到的。净烟气流量则采用北京埃希尔公司的 ST98 单点插入式热式质量流量计进行测量。该流量计的工作原理是利用流体流过外热源加热的管道时产生的温度场变化来测量流体质量流量的。它有 2 个探头插入烟气流中, 一个速度探头检测烟气质量流量, 一个温度探头检测烟气温度, 并自动对烟温进行修正。速度探头的电阻比温度探头的电阻低得多, 并用电子设备供电产生热量。根据热力学第一定律, 电子设备提供给速度探头的电功率 (E_0^2/R_0) 应等于流动的烟气对流换热所带走的热量, 而流动烟气对流换热所带走的热量与速度探头的温度 t_0 和温度探头测得的烟气温度 t 之差 ($t_0 - t$) 成正比。由传热原理可得出烟气的质量流量与 (E_0^2/R_0) 成正比, 与 ($t_0 - t$) 成反比。因此, 如果保持温差 ($t_0 - t$) 为常数, 烟气流速增大, 需要提供的电功率 (E_0^2/R_0) 也要增大, 通过测量 (E_0^2/R_0) 就可测出烟气质量流量, 这种流量计称为等温型热式质量流量计。

了解了流量计的工作原理后, 经现场调查、理论分析, 判断原因为流量计测量杆插入烟道内深度不够。因烟道设计尺寸为 7000 mm × 5300 mm, 断面较大, 测量元件插入长度仅达烟道断面的 1/5 左右, 测出的流速不能代表烟气平均流速。为此, 准备采用多个监视点或采用多点插入式流量计, 但机组启动安排已不允许较长的设备采购时间。后决定用速度

场系数来获得烟气平均流速,虽然影响速度场系数的因素较多,速度场系数并非常数,使得测量有偏差,但该型流量计与其他烟气流量计相比还算应用得较为好的。脱硫系统启动运行后,监视不同工况下净烟气流量约为原烟气流量的1.1~1.2倍,效果较好。

9 结束语

该厂脱硫系统设备委托某环保公司负责维护、检修,厂方负责运行管理。经过近2年的运行实践,发现在维护工作中存在一个隐性问题,即维护方虽设备消缺不及时,但一些技术含量不高的缺陷还是能够处理;而对一些技术水平要求较高的设备缺陷却不予组织处理,或根本就不具备处理的能力(尤其是电控、热控、仪表方面的缺陷),导致设备存在带病运行现象,从而透支设备使用寿命。为此,建议对脱硫系统运行维护管理工作体制进行重新考虑。

委托由具备资质的环保公司负责维护、检修。在该管理体制下,采取以下管理方式:

(1)成立以厂领导任组长,检修、运行、物资部门部长牵头,检修部、运行部脱硫除尘、化学专业专工为成员的脱硫系统设备运行维护工作小组,全面负责脱硫系统设备运行、维护、检修、备品备件保障、对外关系协调方面的协调、指挥、管理、监督和控制工作;

(2)维护方负责人参加每周的厂生产例会。工作小组专工与维护方负责人就一周内发生的缺陷及

影响安全、稳定、经济运行的问题进行签字确认,各自存档备查,据技术协议分清职责,以便各司其责进行处理。并对上周缺陷消除情况进行验收、总结,对下周缺陷消除情况进行安排、监督、控制;

(3)脱硫系统设备与机、电、炉一同作为4大主机,纳入正常机组大小修范围,做到脱硫系统设备运行、维护、检修与机、电、炉同等要求。每次计划检修结束或非计划停运消缺后,增加质量监控签证程序,以对检修、消缺质量进行监督;

(4)每次计划停运或较长时间非计划停运期间,认真检查吸收塔、烟道等重要设备及其附属部件的健康状况,对维护工作、运行参数控制等提出意见与建议;

(5)保障脱硫系统设备备品、备件的供应与择优采购工作。

同时,电厂应成立脱硫系统运行维护专业,成员由检修部、运行部部分人员组成,全面负责脱硫系统设备运行、维护工作。厂部成立运行维护工作小组,负责协调、指挥、管理、监督、控制运行维护工作,并提供技术支持与服务。

(编辑:刘芳)

作者简介:

支国庆(1972—),男,内蒙古根河人,北方联合电力临河热电厂工程师,从事大型火电厂运行生产管理方面的工作。

杨邺(1970—),男,北京人,北方联合电力临河热电厂工程师,从事大型火电厂运行生产管理方面的工作。