

# 烟气湿法脱硫石膏脱水系统的优化改进及应用

刘凯辉, 刘黎伟, 聂海涛

(大唐环境产业集团股份有限公司三门峡项目部, 河南 三门峡 472000)

**摘要:**石膏脱水系统在保证湿法脱硫系统的稳定运行中发挥着重要作用,尤其在维持吸收塔浆液品质、物料平衡以及副产品的综合利用方面。文章介绍了石膏脱水系统基本流程及常见故障分析,着重阐述了三门峡华阳火电厂1000 MW机组在湿法脱硫石膏脱水系统领域做的优化布置及改进应用,本次优化改进技术对现有其他石膏脱水系统的升级改造具有一定借鉴意义。

**关键词:**湿法脱硫;石膏脱水系统;物料平衡;优化布置

**中图分类号:**X 701.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2017)07-0064-03

## 0 引言

煤炭是我国的主要能源资源,截至2016年底全国火电装机容量已达到10.5亿kW,占电力装机总量的64%,且在未来相当长一段时间里,我国以燃煤发电为主的电力供应格局不会发生根本变化<sup>[1]</sup>。而燃煤电厂是我国大气中各种污染物的重要排放源,据统计大约90%的SO<sub>2</sub>、67%的NO<sub>x</sub>和70%的粉尘来源于燃煤发电<sup>[2]</sup>。石灰石-石膏湿法烟气脱硫(WFGD)技术作为目前最有效的燃煤机组SO<sub>2</sub>排放控制技术,具有脱硫效率高、运行相对可靠、对煤种适应性好、副产品石膏综合利用方便等特点,被广泛应用于燃煤电厂烟气脱硫<sup>[3]</sup>。

石膏脱水系统是整个湿法脱硫系统的重要组成部分,利用石膏排油泵将吸收塔中合格的石膏浆液输送至石膏脱水系统,通过旋流器一级脱水和真空皮带脱水机二级脱水,实现将石膏浆液(含固量10%~20%)制成含水率不高于10%的石膏,同时在整个脱水过程中保证脱硫系统物料平衡<sup>[4]</sup>。然而现有的石膏脱水系统仍存在诸多问题,不利于脱硫系统稳定运行<sup>[5]</sup>,为提高脱硫系统的经济可靠性,通过选用合理的石膏脱水系统设备配置、调整脱水设备运行方式等措施来优化改进石膏脱水系统是非常有必要的。

## 1 石膏脱水常见故障及原因

### 1.1 石膏旋流器故障

石膏旋流器故障一般会出现旋流器的“溢流跑粗”和“底流夹细”现象<sup>[6]</sup>。

石膏旋流器“溢流跑粗”现象,即石膏浆液经石

膏旋流器一级脱水后,溢流中含固量超标且固体颗粒较粗重。这主要是由两方面原因引起的,一方面,来自吸收塔的石膏浆液密度过大,含固量超出旋流器脱水工作阈值。另一方面,旋流器因选型或长时间高强度运行,使得旋流器底流出口堵塞。

石膏旋流器“底流夹细”现象,即经旋流器一级脱水后,底流中含固量较低且包含较多细微颗粒物。这可能是由于石膏旋流器进料泵出力不足或旋流器入口管道阻塞,导致进入旋流器流量压力低,使得石膏浆液分级效果较差,同时也可能是旋流器底流出口磨损严重所致。

### 1.2 真空皮带脱水机故障

真空皮带脱水机滤布跑偏是真空皮带脱水机故障的常见现象<sup>[7]</sup>。引发滤布跑偏的原因较多,主要包括进入真空皮带机的浆液量过大,而皮带机转速过低。皮带机尾部张紧轮已到限位,使得滤布过松。驱动或从动滚筒松动,或中心线不平行。滤布自动纠偏装置发生故障。

### 1.3 石膏含水率不达标

真空泵形成的真空度较低。导致真空度低于正常值的原因主要有2个:第1,真空密封管路有漏气点或管路堵塞;第2,真空皮带机密封水流量不足或密封皮带磨损严重。

真空皮带脱水机滤布堵塞。一方面可能是由于滤布冲洗水对滤布冲洗不彻底,另一方面可能石膏浆液本身的性质发生变化,小颗粒石膏晶体或其他杂质含量增多堵塞滤布过滤通道。

石膏滤饼厚度较高。有研究发现,当滤饼厚度增加至10~30 mm时,随着真空度的增加,可以保证石膏含水率达标。而当滤饼厚度增加至30 mm以上时,随着真空度的增加,石膏浆液仍脱水困难,石膏含水率超标<sup>[8-9]</sup>。

## 2 主要设备及优化设计

大唐三门峡发电有限责任公司三期 1 050 MW 机组脱硫石膏脱水系统主要包括 2 套石膏旋流系统、2 台真空皮带脱水机、2 台水环式真空泵、2 台滤液分离系统及 1 套滤布/滤饼冲洗水箱和冲洗水泵系统等。该石膏脱水系统工艺流程大致为:烟气中  $\text{SO}_2$  在吸收塔中经循环浆液洗涤与石灰石浆液反应生成亚硫酸钙,再就被强制氧化为硫酸钙,密度合格的石膏浆液由石膏排出泵输送至石膏旋流器进行一级脱水,细小颗粒从旋流器的中心向上流动形成溢流,粗重颗粒则沿旋流器壁向下流动形成底流。底流中石膏浆液含固量约 50% 直接进入真空皮带脱水机进行二级脱水,最后制成含水率不高于 10% 的石膏。溢流浆液一部分直接进入石膏浆液回流箱,经浆液回流泵可输送至吸收塔或制浆系统;另一部分进入废水旋流器给料箱,经废水旋流器后,底流进入石膏浆液回流箱,溢流进入废水系统。

### 2.1 石膏一级脱水系统

一级脱水系统是对石膏浆液进行浓缩和石膏晶体分级,同时具有维持吸收塔循环浆液品质的作用。该系统中设备主要由石膏浆液缓冲箱、石膏浆液回流箱、石膏排出泵、石膏进料泵和石膏旋流器组成。

该一级脱水选用的石膏旋流器本身为无动力装置,其利用重力和离心力实现浆液浓缩分级<sup>[10]</sup>。带有一定压力的浆液从旋流器入口切向进入旋流腔后形成高速旋转运动,由于受到筒体和顶盖的限制,浆液在旋流器筒体内形成两股旋流,旋流过程中,粗重固体颗粒受离心力作用大部分被甩向筒壁,与筒壁撞击失去能量后在重力作用下沿壁滑下,形成一股自上而下的外旋流,最后从底流口排出,形成浓相浆液;而细微颗粒因密度小,则在筒体轴线中心处形成一股自下而上的内旋流,最后经溢流口排出,形成稀相浆液。

当吸收塔中石膏浆液密度合格时,投运石膏脱水系统。利用石膏排出泵将石膏浆液输送至石膏缓冲箱,石膏进料泵再将缓冲箱浆液抽至石膏旋流器进行一级脱水。研究表明,在一定范围内,随着旋流器入口压力的逐步增大,其分级及分离效率逐渐提高<sup>[11]</sup>。不同于现有常规一级脱水系统,该系统中石膏排出泵与石膏进料泵均可变频运行。根据石膏旋流器的技术指标,将旋流子入口压力控制在  $155 \pm 25$  kPa,可以达到良好的石膏一级脱水效果。利用石膏进料泵变频功能,对旋流子入口压力调节控制,维持石膏缓冲箱浆液流出量一定,再变频调节石膏排出泵,实现缓冲箱浆液流出量和流入量均衡,使得

石膏缓冲箱液位保持稳定。石膏旋流器的底流进入石膏二级脱水系统,溢流可选择进入废水旋流器缓冲箱或石膏浆液回流箱。该系统配置具有以下优点。

(1) 设置石膏缓冲箱,避免了石膏浆液输送管道过长容易堵塞断流的问题,为脱水系统连续运行提供了保障。

(2) 石膏进料泵的变频功效,使得旋流子入口压力可控,浆液浓缩结晶效果良好,且可有效管控旋流器堵塞问题。

(3) 依据吸收塔循环浆液中氯离子含量,可切换石膏旋流器溢流方向,当氯离子含量较低时,溢流输送至石膏浆液回流箱再抽送至吸收塔或制浆系统。

(4) 当氯离子含量较高时,溢流输送至废水旋流器缓冲箱,投运废水处理系统,保证浆液利用最大化,提升脱硫系统经济运行水平。

### 2.2 石膏二级脱水系统

二级脱水系统是对浓缩结晶石膏浆液进行真空脱水,制成石膏成品。该系统主要设备有滤液水池、真空皮带脱水机、水环式真空泵和滤布冲洗水泵。

经石膏旋流器一级脱水后,底流直接流至真空皮带脱水机。此真空脱水机采用了固定真空盒设计,橡胶带在真空盒上移动,真空盒与橡胶带间构成运动密封的结构形式,真空盒和胶带间设计环形摩擦带并以水密封,密封水既可作为密封装置的润滑剂又可作为冷却剂,形成一个相当有效的真空密封,同时胶带采用托辊式支承,有效减少胶带运行的摩擦阻力。其配置的自动纠偏装置可有效防止滤布跑偏,降低真空皮带脱水机故障率。当滤布处于正常位置时,滤布不与检测杆接触,感应开关无感应信号;当滤布接近跑偏时,滤布触动检测杆,当达到感应距离时,感应开关输出信号,自动纠偏装置气囊充气,带动纠偏辊偏移,使滤布、胶带改变偏移方向,回到正常运转位置。

3 台滤布冲洗水泵,2 运 1 备,对真空脱水机滤布进行冲洗。滤布冲洗水布置现场如图 1 所示,其中喷嘴属于可拆卸型,可对胶带正、反面进行冲洗,该布置方式可有效冲洗滤布,防止固体颗粒堆积,从而有效缓解滤布堵塞问题。同时,冲洗滤布后水落入真空脱水机下方托盘,汇入滤液水池,滤液水池中的浆液经地坑泵输送至石膏回流箱,可供吸收塔和制浆系统使用,实现浆液利用价值最大化。

由于水环式真空泵吸气均匀、工作平稳可靠、操作简单和维修方便等特点<sup>[12]</sup>,该二级脱水系统选择该型真空泵连接气液分离装置,对石膏浆液进行真

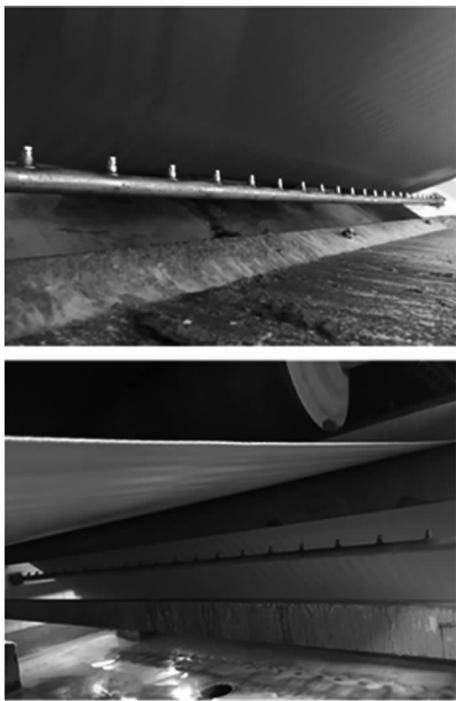


图 1 滤布冲洗水布置现场

空脱水。水环式真空泵是利用工作水流量来调节控制真空度的,其运行过程中需要消耗一定量的工艺水。参照现有技术工艺<sup>[13]</sup>,本系统通过在真空泵排气管下方加设一支管连接滤布冲洗水箱,此情况下,经气液分离装置带出的水汽液化后又回流至滤布冲洗水箱,供冲洗滤布使用,实现了水的循环利用。

氯离子是影响石膏品质的关键因子,研究表明,氯离子会对石膏耐水性能产生不利影响,氯离子含量越高,石膏越易受潮,同时石膏的黏结性也随氯离子含量的增加而明显下降<sup>[14]</sup>。为降低石膏中氯离子含量,保证石膏品质合格,依据现行技术条件,该系统采用洗涤法去除石膏滤饼中氯离子,如图 2 所示。有研究表明,滤饼冲洗水布置的合理位置应是石膏滤饼中绝大部分水刚好被脱除之处,如若在石膏滤饼含水率较大处喷入冲洗水,只会稀释滤饼表面浆液中的氯离子,无法实现有效降低石膏滤饼中氯离子含量<sup>[15]</sup>。经试验分析,该系统在真空皮带脱水机下料口后方 1 m 和 3 m 处布置 2 道滤饼冲洗水,



图 2 滤饼冲洗水布置现场

加强对滤饼中氯离子的去除。通过对比试验,分析开滤饼冲洗水和未开滤饼冲洗水 2 种情况下石膏成分的差异性,分析的样品包括开冲洗水样品(编号 1)和未开冲洗水样品(编号 2)。由表 1 可看出除石膏湿度偏大(仍合格)外,开冲洗水后石膏品质更佳,尤其是氯离子含量是未开冲洗水的 1/3,这表明该优化布置有效提高了是石膏的品质。

表 1 开冲洗水和未开冲洗水脱水石膏

编号	主要成分含量				%
	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>3</sub> ·0.5H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	湿度	
1	1.250	0.420	93.100	9.800	0.007
2	1.660	0.490	92.100	9.200	0.021
标准	<3.00	<1.00	>90.00	<10.00	<0.01

### 3 结束语

以国家环保政策为导向,石灰石-石膏湿法脱硫系统越来越广泛地被应用于燃煤电厂烟气脱硫,如何有效确保脱硫系统的稳定、经济、高效运行显得尤为重要。而石膏脱水系统作为湿法烟气脱硫(FGD)系统的重要辅助系统,其在保证 FGD 系统稳定运行中发挥着关键作用。华阳电厂 1 000 MW 机组脱硫系统根据自身特点完成了对石膏脱水系统的优化改进应用,降低了石膏脱水系统的故障率,提高了副产品石膏的品质,可为现有湿法脱硫石膏脱水系统的升级改造提供一定参考价值。

### 参考文献:

- [1]徐铁华,王龙.大型燃煤发电厂锅炉烟气脱硫技术[J].通讯世界,2016(6):157.
- [2]陈文韬,邓康,周海英.燃煤发电机组“超洁净排放”值不值[J].环境,2016(7):59-61.
- [3]李悦铭,卢屿,赵小霞.火力发电厂“石灰石-石膏”湿法脱硫(WFGD)后烟囱防腐问题的分析及对策[J].电工文摘,2016(2):60-61.
- [4]曹晓满,石荣桂.湿法脱硫石膏脱水系统设计优化研究[J].环境工程,2013(S1):417-418.
- [5]冯佳勇.陡河发电厂湿法脱硫石膏脱水系统设备优化及改造的技术探讨[C]//发电企业节能减排技术论坛,2013.
- [6]张宇,董连平,杨宏丽,等.双涡自回流水力旋流器分级性能研究[J].现代矿业,2009,25(6):50-53.
- [7]祁庆宁,郁永红.脱硫系统真空皮带脱水机频发缺陷分析及处理[J].宁夏电力,2013(2):55-58.
- [8]莫建松,杨有余,盛海强,等.脱硫石膏粒径分布与脱水性能实验研究[J].环境工程学报,2013,7(11):4440-4444.
- [9]郑伟.石膏脱水系统常见故障分析与(下转第 70 页)

表 8 各冷却方案经济对比表 万元

项目	机力通风 湿冷塔	空冷器	蒸发式 冷凝器
设备投资	389.0	1467.5	867.5
土建及装材费	310.0	400.0	350.0
可比投资	699.0	1867.5	1217.5
年固定资产投资	87.4	233.5	152.2
年耗水费	78.2	13.6	37.2
年耗电费	101.0	130.8	100.4
药品和维护费	22.0	21.0	18.0
年运行费	201.2	165.4	155.6
年总费用	288.6	398.9	307.8
名次排序	1	3	2

注:(1)年固定分摊率按 12.5%。

(2)工业水价 3.5 元/m<sup>3</sup>,除盐水价 10.0 元/m<sup>3</sup>。

(3)电价采用成本电价 0.21 元/(kW·h)。

(4)占地费用所占比例很小不计入总费用。

(5)设备投资包含设备本体以及组成完整冷却水系统的其他设备,包括各类水泵、闸板、滤网、阀门、板换等。

(6)考虑冬季 3 个月可以关停循环水泵、变频风机或调节转速,因此相应设备的轴功率加权系数均按 0.75 考虑。

### 4 结论和建议

(1)综上所述,3 个方案都有不同的优缺点。机力通风湿冷塔方案优点是初投资少,冷却效率高,适应能力强等,缺点是耗水量大,运行费用高,且主厂房内需要设置闭式泵和板式换热器,系统流程比较复杂;空冷器方案优点是高度节水,工艺流程比较简单,缺点是投资最大,运行费用偏高,占地面积也大,而且冷却效率相对较低,适应能力一般,维护工作量也大;蒸发式冷凝器方案的耗水量和静态投资等主要指标处于机力通风湿冷塔和空冷器方案的中间水平,运行费用接近空冷器方案,如果后期设备造价能

(上接第 66 页)处理[J]. 中国高新技术企业,2016(12): 87-88.

[10]杨强,汪华林,白志山,等. 石膏浆液旋流器的分离性能实验研究[J]. 环境工程学报,2010,4(2):465-470.

[11]沈国清,李志强,安连锁,等. 入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离特性影响的研究[J]. 热能动力工程,2015,30(6):892-896.

[12]孙凤茹,温旭,刘峰. 水环式真空泵汽蚀的原因分析及消除措施[J]. 华北电力技术,2007(4):40-41.

[13]彭德安. 水环式真空泵工作水循环利用[J]. 设备管理与维修,2013(S2):46-47.

[14]王飞,刘姚君,汪澜,等. 氯离子对脱硫石膏及其制品性能影响的研究[J]. 新型建筑材料,2014,41(7): 28-31.

有一定幅度的下降,蒸发式冷凝器凭借其多方面的特点将成为辅机循环水冷却技术发展的主流。

鉴于各方案的技术特点和经济比较结果,本文采用技术成熟可靠、年费用最低的机力通风湿冷塔方案。

(2)在实际工程设计中,采用哪种冷却方式需要优先考虑是否存在场地布置限制、节水政策及电厂全厂耗水指标要求等具备 1 票否决性质的因素;其次如果主机冷却采用间接空冷系统,辅机冷却采用空冷闭式系统,可以在冬季将辅机循环水切换进入主机间冷系统,节省辅机空冷系统的运行电耗,增强辅机空冷系统方案的竞争力;再次由于厂家、材质和区域的不同导致的设备价格、土建费用、水电药费的差异,会使各个方案的最终排序产生不同的结果,因此最终采用的冷却方案需要多方面综合考虑确定。

### 参考文献:

[1]李海. 空冷电站辅机冷却水冷却方式的探讨[J]. 电力勘测设计,2006(2):36-38.

[2]赵耀,李晓楠. 火力发电厂辅机循环水冷却方式的比较[J]. 电力勘测设计,2015(1):37-41.

[3]包卫. 蒸发式冷凝器用于火电厂冷却系统的可行性分析[J]. 浙江电力,2004,23(4):46-49.

[4]周晓莉. 蒸发冷却器冷却方式探讨[J]. 科技信息,2013(4):449-450.

(本文责编:刘炳锋)

### 作者简介:

王磊(1983—),男,吉林长春人,工程师,工学硕士,从事电厂水工系统的设计与研究(E-mail:wanglei3@sdep-ci.com)。

[15]尹连庆,徐铮. 氯离子对脱硫石膏脱水影响研究及机理探讨[J]. 粉煤灰,2008,20(3):12-13.

(本文责编:齐琳)

### 作者简介:

刘凯辉(1991—),男,湖南邵阳人,助理工程师,从事大气污染处理与防治方面的工作(E-mail:1209369059@qq.com)。

刘黎伟(1974—),男,河南洛阳人,工程师,从事大气污染防治与管理方面的工作。

聂海涛(1979—),男,河南三门峡人,助理工程师,从事大气污染处理与防治方面的工作。