



移动扫码阅读

张晓玲,廉珂,祁东东,等.双塔串联脱硫系统技术特点分析及优化建议[J].能源环境保护,2019,33(4):37-40.  
ZHANG Xiaoling, LIAN Ke, QI Dongdong, et al. Technical characteristics analysis and optimization suggestion of double-tower series desulfurization system[J]. Energy Environmental Protection, 2019, 33(4): 37-40.

# 双塔串联脱硫系统技术特点分析及优化建议

张晓玲<sup>1</sup>, 廉珂<sup>1</sup>, 祁东东<sup>1</sup>, 陈军<sup>2</sup>

(1. 华电电力科学研究院有限公司, 浙江 杭州, 310030;

2. 陕西华电蒲城发电有限责任公司, 陕西 蒲城, 715500)

**摘要:**对于双塔串联脱硫系统,一、二级吸收塔入口烟气参数、水平衡、浆液参数均存在明显差异。针对双塔技术特点,系统分析了除雾器结垢堵塞、氧化风量分配不合理、水平衡难以维持等关键问题。为了提升系统整体运行稳定性,在水平衡优化、氧化空气系统、在线监测、差异化配置等方面提出优化策略。

**关键词:**石灰石-石膏法;脱硫;双塔串联;节能降耗

中图分类号:X701.3 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2019)04-37-04

## Technical characteristics analysis and optimization suggestion of double-tower series desulfurization system

ZHANG Xiao-ling<sup>1</sup>, LIAN Ke<sup>1</sup>, QI Dong-dong<sup>1</sup>, CHEN Jun<sup>2</sup>

(1. *HuaDian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310030, China;*

2. *Shaanxi Huadian Puchen Power Generation Co., Ltd., Puchen 715500, China*)

**Abstract:** In a double-tower series desulfurization system, inlet flue gas parameters, water balance and slurry parameters are obviously different between the first-stage and second-stage absorption towers. In view of double-tower technical characteristics, key issues were analyzed such as scale in mist eliminator, unreasonable oxidizing air volume distribution and unstable water balance. Finally, optimization suggestions were proposed in the aspects of water balance, oxidation air system, online monitoring and distribution in order to improve the operation stability of the system.

**Key words:** Limestone-gypsum method; Desulphurization; Double-tower series; Energy Saving

## 0 引言

2015年12月,国家发改委、环保部、能源局联合下发了《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发[2015]164号),我国电力行业普遍开展了燃煤锅炉烟气超低排放改造,对石灰石-石膏湿法脱硫工艺进行了技术升级,该工艺在燃煤硫分较高的机组中得到了广泛应用。双塔串联技术具有原有设备利用率高、新塔单独施工停机工期短、两座吸收塔分别控制、脱硫效率高、系统可靠性高等优点<sup>[1-2]</sup>,同时避免了原塔改造的风

险,但该工艺系统占地面积大,投资较高,且两座吸收塔较为复杂,对运行控制要求较高。通过分析双塔串联系统一、二级塔的技术特点,提出了系统优化建议。

## 1 两座吸收塔烟气参数存在较大差异

双塔串联工艺脱硫效率较高,适用于燃用高硫煤的机组。两座吸收塔的入口烟气参数有较大的不同,一级塔入口烟气温度较高,SO<sub>2</sub>含量高,且烟气含湿量较低,而二级塔入口为饱和湿烟气,烟气温度较低,约50℃左右,烟气中SO<sub>2</sub>浓度较低。

在系统运行过程中,由于机组负荷及燃煤硫分均在波动,入口烟气流及  $\text{SO}_2$  浓度随时变化,一级塔的浆池液位和浆液 pH 值、密度均难以维持平稳,因此要求一级塔具有较强的适应能力。二级塔入口相对于一级塔运行工况要平稳得多,其波动范围较小,有利于维持脱硫塔的稳定运行,塔内结垢情况也较少发生。

## 2 两座吸收塔系统水平衡不同

双塔串联系统两座塔的水平衡存在明显差异。目前系统一般设计一、二级塔均补充石灰石浆液,一级塔浆液通过排浆泵排入石膏脱水系统,二级塔不直接排浆,其浆液通过浆液返回泵排至一级塔,图 1 为典型的双塔串联脱硫系统水平衡

示意图。

对于一级塔来说,塔内补水途径主要是一级塔除雾器冲洗水、供浆携带水、滤液水返塔、二级塔返回浆液带水以及机封水、冲洗水等,而排水途径主要是塔内烟气蒸发带水和排浆带水。一级塔入口烟气温度较高,出口烟气为低温过饱和烟气。当入口烟气流量和温度变化时,烟气蒸发耗水量也随之变化,当机组负荷较低或入塔烟气温度较低时,蒸发水量会明显减少<sup>[3]</sup>。同时一级塔排浆带水量与系统脱硫量成正比,当脱硫量较大时产生的石膏量较大,随石膏带走的水越多。一级塔水平衡的特点是烟气蒸发水量较大,补水量小,浆池液位容易偏低。

对于二级塔来说,进出口烟气温度变化很小,

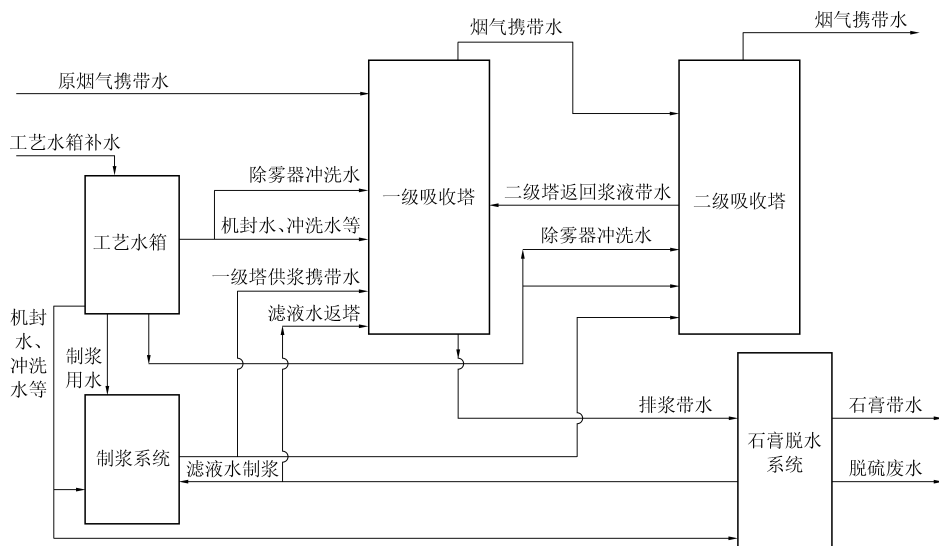


图 1 双塔串联系统水平衡示意图

烟气蒸发水量几乎为零<sup>[4]</sup>。塔内补水途径主要是除雾器冲洗水、补浆携带水以及机封水、冲洗水等,排水途径主要是二级塔浆液返回一级塔时携带水。同时二级塔除雾器级数一般情况下均布置较多,冲洗水量较大,且与机组负荷及燃煤硫分相关性不强,因此二级塔水平衡的特点是烟气蒸发水量几乎为零、除雾器冲洗水量大,浆池液位容易偏高<sup>[3]</sup>,需通过向一级塔返回浆液来降低液位。

一、二级两座吸收塔的水平衡各具特点,但是作为一个脱硫系统,实现整体系统水平衡是保持两座塔内液位稳定及水平衡的基础,而吸收塔的液位高低对脱硫效率、浆液氧化效果以及石膏品质均有不同程度的影响<sup>[5]</sup>。通过图 1 可知,对于整个脱硫系统,离开系统的水主要有净烟气携带水、石膏带水以及外排脱硫废水,同单塔脱硫系统一致,但是双塔系统的工艺复杂,系统中除雾器级

数增多,且循环泵、排浆泵等设备增多,机封水、冲洗水随之增多,进入系统的水量较大,易超出离开系统的水量,出现水平衡破坏,发生吸收塔浆液溢流,特别是在以下几种情况下:(1)脱硫技改时原塔整体利旧做一级塔,仍保留原有的两级到三级除雾器,需要大量冲洗水;(2)在机组灵活性改造的背景下,机组长期维持低负荷运行,由于烟气量减少,吸收塔内总蒸发水量会大幅减少;(3)二级塔后安装有湿式电除尘器,其冲洗水进入脱硫系统<sup>[6]</sup>;(4)机组加装有低温省煤器,进入脱硫系统的烟气温度降低,塔内蒸发水量明显减少。为此,双塔串联系统水平衡问题较为突出,必须根据实际情况进行优化。

## 3 两座吸收塔浆液参数不同

双塔串联系统一、二级塔浆液 pH 值、浆液密

度及浆液组分不同。双塔串联系统不是单纯的两个脱硫塔串联在一起,而是对一、二级吸收塔的pH值实现分别控制,实现双塔双循环,从而在相对较低的液气比下达到较高的脱硫效率。一级吸收塔控制较低pH值运行,有利于石膏氧化结晶,二级吸收塔控制较高pH值运行,有利于高效脱硫<sup>[1]</sup>。一级塔脱硫量较大,石膏生成量大,同时蒸发水量大,因此一级塔的浆液pH值较低,密度较高。二级塔入口SO<sub>2</sub>浓度较低,一般控制在500~1000 mg/m<sup>3</sup>,相比于一级塔,二级塔的脱硫量较低,石膏产生量少,且二级塔烟气蒸发水量几乎为零,而除雾器冲洗补充水量又较大,因此二级塔的浆液密度远低于一级塔,一般在1020~1060 kg/m<sup>3</sup>左右。二级塔浆液含固量较低,烟气携带液滴含固量也较低,对二级塔的除雾器正常运行较为有利。

双塔串联系统一、二级塔浆液中氯离子含量不同。浆液中的氯离子主要来源于烟气中的氯化氢,烟气在经过一级塔时,氯化氢极易被一级塔的浆液吸收,且一级塔蒸发水量较大,浆液中氯离子浓缩效果较明显,因此一级塔浆液中氯离子含量较高。而二级塔补入的新鲜水较多,且烟气中的氯化氢基本在一级塔中被脱除,二级塔浆液氯离子含量较低,浆液腐蚀性较低,有利于二级塔浆液循环泵、搅拌器等设备延长寿命。

## 4 双塔串联系统常见问题分析及优化建议

### 4.1 除雾器结垢堵塞问题

双塔串联系统一般两座吸收塔内均设置除雾器,一级塔除雾器主要是为避免两塔之间的联络烟道积垢,二级塔除雾器保证系统总排口液滴和粉尘含量达标。除雾器结垢堵塞是双塔串联系统运行中较为常见的问题,造成除雾器结垢和堵塞的原因较多,常见的有塔内液位较高导致除雾器长时间无法冲洗,冲洗水阀门故障导致对应区域一直得不到冲洗,冲洗水压力不足导致冲洗效果差,冲洗水管路断裂,以及浆液pH过高、氧化效果不好等原因,其中系统水平衡不能维持、除雾器无法正常冲洗是主要原因。对于双塔串联系统,由于除雾器数量增多,除雾器冲洗水量需求明显增大,但是吸收塔蒸发水量无明显变化,如不进行优化,极易出现进入系统的水量大于系统耗水量,水平衡无法维持。为避免吸收塔溢流,只能减少除雾器冲洗,由此带来除雾器结垢堵塞的问题频发,影响机组的正常运行。双塔串联系统必须进行水平衡优化,尽量减少系统外来水量,比如阀门内漏

水、地面冲洗水、冷却水等等;采用滤液水制浆,代替新鲜的工艺水制浆,减少进入脱硫系统的新鲜水量;还要保证系统外排废水正常,从而确保除雾器的冲洗频次。另一方面一级塔对除雾效果要求不高,可不安装除雾器或仅安装一级除雾器,减少两座吸收塔总的除雾器冲洗水需求量。

实际运行中两座吸收塔内运行环境存在较大差异,一级塔和二级塔的除雾器结垢和堵塞原因不同,需根据实际情况具体分析。另外在维持系统整体水平衡的情况下,可用于除雾器冲洗的水量是一定的,需在运行中协调控制,合理分配两座吸收塔的冲洗水量,对一、二级塔的除雾器均实现适量冲洗,并加强设备的检修维护,避免发生除雾器结垢或堵塞。

### 4.2 两座塔合理分配氧化风量

由于双塔串联脱硫能力较强,需要的氧化风量较大,目前常见的氧化风机配置有两种方式,一种是两座塔单独配置氧化风机,另一种是两座塔合用氧化风机系统。在实际运行中,由于二级塔脱硫量较少,对氧化空气的需求量较低<sup>[2]</sup>,同时二级塔浆液pH值较高,亚硫酸钙氧化率较低,实际运行中氧化效果不佳,因此二级塔单独配置氧化风机不经济,且导致系统复杂、占地面积大。合用氧化空气系统较为合理,但是在实际运行中由于两座吸收塔液位不同,氧化风管在两座浆池中的埋深也不同,两座塔氧化风系统阻力不同,特别是当二级塔液位较低,一级塔液位较高时,一级塔氧化风系统阻力大,如果不加调节,一级塔分配的氧化风量会比设计值明显偏低,致使一级塔浆液氧化效果较差,影响系统产出的石膏品质,严重时甚至会引起系统结垢问题。因此建议采用一、二级塔合用氧化空气系统,且在两座塔氧化风总管上设置调节阀,用来调节氧化风系统阻力,合理分配两座塔的氧化风量。

### 4.3 两座塔间设置在线监测表计

双塔串联系统脱硫能力较强,但是运行控制较为复杂,需合理分配两座吸收塔的脱硫量,这就需要实时监测一级塔出口SO<sub>2</sub>浓度。目前部分双塔串联系统未设置塔间在线监测表,仅通过二级塔出口SO<sub>2</sub>排放浓度作为运行调整的依据,不利于系统的精细化调整,且存在调整滞后的问题。在两座塔之间实时监测一级塔出口的SO<sub>2</sub>排放浓度,可根据监测结果调整两级塔运行方式,特别是二级塔的运行方式,具体可调整浆液pH值及循环泵投运方式,来确保二级塔出口实现SO<sub>2</sub>超低排放,同时节约系统

电耗。一般控制一级塔出口  $\text{SO}_2$  浓度在  $1\ 000\ \text{mg}/\text{m}^3$  以下,在机组负荷变化或者入口  $\text{SO}_2$  浓度增加时,及时提高二级塔的浆液 pH 值,或者增加循环泵的投运数量,提高二级塔的脱硫能力。

#### 4.4 系统节能降耗

当前大多数湿法脱硫系统都取消了 GGH 和增压风机,采用引增合一,浆液循环泵成为脱硫系统主要耗电设备,循环泵的组合方式成为影响脱硫系统电耗的主要因素,同时还需要考虑烟气系统阻力引起的引风机电耗增加<sup>[7]</sup>。同单塔脱硫系统相比,维持相同的脱硫效率双塔串联系统所需的液气比较低,即所需的浆液循环量较低,大幅降低了循环泵电耗。但是双塔系统中烟气系统阻力较单塔系统要高,引风机电耗增加明显。超低排放系统节能降耗将是下一步需要重点考虑的问题。

双塔串联系统一般设计一级塔脱硫效率为  $80\% \sim 90\%$ ,二级塔脱硫效率在  $97\%$  以上,二级塔的脱硫效率高于一级塔,但是一级塔的脱硫量明显高于二级塔。二级塔控制浆液较高的 pH 值,可以在较低的液气比下保证较高的脱硫效率,为此提高二级塔的脱硫能力是系统节能降耗的关键所在。同时双塔串联系统运行中,为避免一级塔浆液循环泵跳闸引起锅炉 MFT,一般一级塔最少需投运两台浆液循环泵,二级塔最少投运一台,因此系统最少的浆液循环泵的投运方式为一级塔 2 台+二级塔 1 台,建议在系统负荷提高或入口  $\text{SO}_2$  浓度增加时,可以通过适当调整浆液 pH 值,或者添加脱硫增效剂的方式来提高脱硫效率<sup>[7]</sup>。同时注意浆液高 pH 运行会导致系统结垢堵塞风险加剧,建议一级塔 pH 值控制在  $4.8 \sim 5.5$ ,二级塔 pH 值控制在  $5.8 \sim 6.2$  之间,在保证系统安全稳定的前提下最大限度发挥脱硫能力。在此基础上,优先通过增加二级塔浆液循环泵投运台数来提高系统脱硫效率,其次再采取增加一级塔浆液循环泵投运台数来保证出口  $\text{SO}_2$  达标排放<sup>[8]</sup>。另一方面在系统低负荷、燃煤硫分低的情况下,一级塔 2 台+二级塔 1 台的浆液循环泵配置方式仍有较大余量,系统经济性较差,因此建议一级塔浆液循环泵实行差异化配置,采取大、小流量浆液循环泵组合配置,以满足系统低负荷、低硫分的工况下既能达标排放,又兼顾节能降耗。

## 5 结论

石灰石-石膏湿法双塔串联脱硫系统适用于

高硫煤机组,其脱硫效率较高,对系统负荷及燃煤硫分变化适应较强,在我国火电行业超低排放进程得到了广泛的应用。随着我国环保要求的不断提高,该技术在其他行业中、高浓度  $\text{SO}_2$  烟气脱硫方面同样具有广阔的应用前景。对于此类脱硫系统,掌握其技术特点有利于从设计上进行完善和运行上优化调整,同时对于深度发挥双塔串联系统的脱硫能力,挖掘其节能潜力及其重要。

1) 双塔串联系统中两座吸收塔的入口烟气参数、水平衡以及浆液参数均有明显不同。一级塔内烟气蒸发耗水量大,水平衡受负荷及燃煤硫分波动影响较大,其浆液 pH 值较低,密度较高,氯离子含量较高。二级塔内烟气蒸发水量为零,而除雾器冲洗水量大,二级塔浆液 pH 值高,密度较低,浆液中氯离子含量低。

2) 双塔串联系统除雾器结垢堵塞问题的主要原因是进入系统的水量大于耗水量,除雾器冲洗减少,因此必须进行水平衡优化,减少各种途径进入系统的工艺水量。

3) 建议一、二级塔合用氧化空气系统,在总管上设置调节阀,合理分配两座塔的氧化风量。

4) 在一、二级塔间实时监测一级塔出口  $\text{SO}_2$  排放浓度,实现系统精细化调整。

5) 建议双塔串联系统在脱硫量增加时,在适当提高二级塔浆液 pH 值的基础上,优先选用增加二级塔浆液循环泵投运台数来提高系统脱硫效率。浆液循环泵实行差异化配置也有利于系统节能降耗。

## 参考文献

- [1] 李兴华,何育东. 燃煤火电机组  $\text{SO}_2$  超低排放改造方案研究[J]. 中国电力,2015,48(10):148-151+160.
- [2] 魏宏鸽,徐明华,柴磊,等. 双塔双循环脱硫系统的运行现状分析与优化措施探讨[J]. 中国电力,2016,49(10):132-135.
- [3] 魏新,宁翔,茹宇,等. 发电厂脱硫系统串联塔的水平衡及液位控制[J]. 浙江电力,2018,37(3):77-81.
- [4] 余昭,何育东,李兴华,等. 石灰石-石膏法串联脱硫塔系统[J]. 热力发电,2016,45(2):91-95.
- [5] 车凯,郁金星,韩忠阁. 串联吸收塔分级控制对脱硫系统性能影响的优化研究[J]. 电力科技与环保,2017,33(2):44-46.
- [6] 许雪松,薛建明. 超低排放改造后脱硫水平衡问题的分析及对策[J]. 电力科技与环保,2019,35(1):32-34.
- [7] 刘永益,杨彩萍. 浅谈湿法脱硫装置节能降耗组合优化思路[J]. 节能,2018,37(5):67-68.
- [8] 朱世见,谢典健. 火电厂脱硫二级串联塔循环浆液泵运行节能研究[J]. 节能,2019,38(2):75-77.