

深度调峰下的火电厂脱硫氧化节能研究及应用

华电环保系统工程有限公司乌鲁木齐分公司 闫 鹏 管成伟

摘要: 系统研究了石灰石-石膏湿法脱硫系统自然氧化、强制氧化的影响因素, 研究开发了一套脱硫浆液氧化性能在线监测系统, 并对氧化风系统调节改造技术路线进行了分析。在某电厂2×330MW热电联产机组脱硫系统实施后, 停运一台氧化风机, 节电率达到50%。

关键词: 脱硫; 氧化; 节能

1 引言

我国是以煤炭为主要能源的国家, 燃煤产生的大量 SO_2 会对环境造成严重的污染。燃煤锅炉烟气是煤气和烟气的混合物, 是造成城市空气污染的主要原因。现有公用火电厂承担的调峰任务日趋加重, 日负荷在40%~100% 之间波动。而脱硫系统均按照锅炉 BMCR 工况、入炉煤最高含硫量设计。伴随着发电负荷和入炉煤硫分的变动, 吸收塔处理的脱硫负荷也随之发生大范围的波动, 在低负荷时存在过量氧化、吸收塔液位虚高的问题。

湿法脱硫过程中, 浆液吸收烟气 SO_2 的反应中, 吸收和氧化是两个关键过程。氧化反应所需氧气来自两部分, 一部分是烟气中含有的氧, 另一部分是采取通常由罗茨风机或离心风机强制鼓入浆液池。

因此, 强制空气氧化量与原烟气的 SO_2 浓度、 O_2 浓度、烟气流量和脱硫效率有关, 在实际运行中, 大多数脱硫氧化风机通常固定在设计最大值上, 即使含硫量煤燃烧, 单位负荷降低, 氧化风机的空气都是满负荷运行, 才能达到节能最大化。

通过研究脱硫浆液氧化还原电位反应, 开发了脱硫浆液氧化率在线监测装置, 并对脱硫氧化风机节能技术路线进行分析, 在某2×330MW 热电联产机组脱硫系统的工程应用也验证了该研究的正确性和有效性, 节电率达到50% 以上, 取得了较好的节能效益。

2 国内外烟气脱硫现状

20世纪七十年代以来, 国外烟气脱硫的现状和发展趋势, 一些发达地区公布了有关大气污染防治的法律法规, 并开始强制选用烟气脱硫技术操控污染大气中的 SO_2 , 进一步保证烟气环保排放。天然气脱硫技能的研讨与开展。

一是现在国际部分地区选用烟气脱硫设备, 日本是国际上烟气脱硫设备使用较早的国家。烟气脱硫技术首要选用湿石灰石-石膏法, 日本资源稀缺, 脱硫产品大部分采取回收利用的形式, 日本使用的石膏主要来源于烟气脱硫回收产品。日本在二氧化硫操控的基础上, 开展了烟气同步脱硫脱硝的研讨与开发, 并应用于工业。

二是美国在烟气脱硫技能研讨方面略逊于日本。现在, 美国脱硫设备总装机容量超过7000万~1亿 kW, 超越日本。在美国, 80% 的脱硫过程是湿的。石灰石-石膏法仍将用于脱硫产品。

三是欧洲烟气脱硫技术在德国开展迅速。因为20世纪七十年代末德国森林遭到大规模损坏, 有必要对二氧化硫进行处理。在引入日本和美国的技术后, 结合我国技术发展现状, 90% 的脱硫设备选用石灰石-石膏法。德国在原有铝尾气处理技术的基础上, 开发了一种适用于电厂锅炉的新型烟气脱硫设备, 即循环流化, 床层烟气脱硫工艺。此外, 还有丹麦、挪威、奥地利等大型烟气脱硫技术。

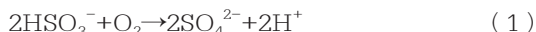
国外烟气脱硫技术的主要发展趋势是脱硫效率高, 装机容量大, 投资少, 占地面积小, 运行成本低,

自动化程度高,可靠性好。近年来,我国对中小型燃煤工业锅炉烟气脱硫技术进行了专项研究,成果已经逐渐成熟,我国也加大了燃煤发电烟气脱硫的研发力度,研究和开发适合我国国情的烟气脱硫设备。

3 湿法脱硫氧化的影响因素

3.1 脱硫自然氧化

根据石灰石—石膏湿法脱硫反应双膜理论,部分 HSO_3^- 在吸收塔喷淋区被浆液中的烟气中的氧所自然氧化,其他的 HSO_3^- 在反应池中被氧气完全氧化,反应式:



与浆液的自然氧化有关的因素包括:浆液流量、烟气量和烟气含氧量。这几个因素中烟气含氧量最为重要。自然氧化率是指脱硫系统利用烟气中的氧化作用去除总 SO_2 的占比,是脱硫系统的一个重要设计参数,自然氧化率与强制氧化空气成反比关系,其自然氧化率越高,需要的强制氧化空气越少。目前,大部分资料和设计手册都提出烟气自然氧化率通常取10%~20%。

氧化反应是液相连续、气相离散。氧在水中的溶解度比较小,根据双膜理论,传质速率受液膜传质速率阻力的控制。一旦 O_2 穿过液膜,很快就会被 HSO_3^- 消耗掉,但 O_2 在浆液中的溶解度非常有限,因此,氧化速率常受 O_2 在液膜中的扩散能力所限。循环浆液提供的气液接触表面积越大,在氧化速率不变的条件下氧化总量越大。超低排放改造过程中增加浆液循环泵、合金托盘等措施,均一定程度上增加了液气比,不仅对吸收 SO_2 反应有利,也有利于自然氧化反应。

3.2 脱硫强制氧化

根据石灰石—石膏湿法脱硫系统理论,强制氧化过程中,实际的氧化反应是在液相中完成,即浆液中的溶解氧和亚硫酸氢根离子进行氧化反应。因此氧化风机通过吸收塔浆液中的氧气,首先需要溶解于浆液中,以溶解氧的型式存在于浆液中。氧气难溶于水,氧气溶解于浆液中的溶解度,受温度和溶解盐影响比较大。温度升高,

实际鼓风量取决于空气利用率。强制氧化系统普遍采用管网式和喷枪式两种工艺,管网式比喷枪式布置氧气分布更加均衡,因而空气利用率也最好;但喷枪式布置不容易堵塞,可以随时停运,方便检修和维护。喷枪式氧化系统空气利用率一般在25%~30%,主要取决于搅拌器功率,而与通入的空

气量关系不大。管网式氧化系统空气利用率在40%左右。而在工程设计中,一般实际鼓风量为理论空气量的1.8~2.5倍。

3.3 浆液氧化率的在线监测

在脱硫系统的实际生产中,定期对脱硫浆液进行取样,分析其亚硫酸盐含量,从而判断脱硫浆的质量和氧化程度。由于分析工作是在试验室内完成的,考虑到亚硫酸盐在运输过程中的氧化和不及时的检测分析工作,很容易导致亚硫酸盐的氧化,使试验结果低于实际值。同时,由于从抽样到试验分析再到结果检测的分析周期,试验结果存在一定的滞后性,不能反映当前脱硫浆的实际情况,给脱硫系统的运行指导带来误差。

脱硫系统氧化在线指标是一个空白。

脱硫浆液的氧化反应实质上也是一个氧化还原过程^[1],根据式1,可写出该反应的能斯特方式:

$$E = E^0 + \frac{0.0592}{2} \lg \frac{[\text{HSO}_3^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]} + \frac{0.0592}{4} \lg \frac{P_{\text{O}_2}}{P^\theta} - \frac{0.0592}{2} \text{pH} \quad (2)$$

则 $\frac{[\text{HSO}_3^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$ 表征了进入浆液中的 SO_2 与被氧化为硫酸根的 SO_2 的比值,是氧化还原反应完成率的具体体现,根据这一原理开发了浆液氧化完成率在线监测装置,指导浆液亚硫酸盐的精确氧化。

4 脱硫氧化节能改造技术路线

4.1 高速离心风机

高速离心风机近几年在水处理行业已大量成功应用,近几年脱硫超净排放改造中也逐步推广替代原有罗茨风机^[2]。高速离心风机采用空气悬浮轴承、变频永磁驱动电机和高精度铸造叶轮,转速在20000rpm以上。罗茨风机和高速离心风机参数对比详见表1^[3]。

表1 罗茨风机和高速离心风机参数对比

项目	罗茨风机	高速离心风机
额定流量 (m ³ /min)	106.2	111
额定升压 (kPa)	98	98
额定转速 (rpm)	980	3200
电机功率 (kW)	280	185

从表1中可以看出,在同等空气流量和升压下,高速离心风机的功率是罗茨风机的66%。实际投运后,在不减少供给风量、保证石膏脱水效果的前提下,相比改造前,节电率高达37.7%。

4.2 罗茨风机变频改造

火力发电厂已经普遍完成定速风机和泵的变频改造,但仅有个别电厂进行了脱硫氧化罗茨风机变频改造。罗茨风机变频改造和其离心风机、轴流风

机、离心泵实施变频改造并没有区别，但要注意以下事项：

一是罗茨风机是一种容积式风机，其负载特性为恒转矩负载，负载转矩不随转速变化而变化。而离心风机的负载转矩与转速的平方成正比。因此两者在变频器设置上是有区别的，否则罗茨风机变频改造后极易出现频率下降而电流上升，甚至发生烧毁电机事故。

二是变频氧化风机的扬程在不同运行工况下差别不大，节能运行主要体现在对流量的调节上，因此是否能精确预测所需的氧气（空气）流量是十分关键的。

由于电厂实际运行中，锅炉负荷和入炉煤含硫量处于波动状态，因此进入吸收塔的SO₂含量和烟气流速也是实时变化的，吸收氧化反应所需的氧气量也是实时变化的。仅通过其中单个相关联因素来实现氧化风机的变频控制是不能准确地反映系统对氧化空气的实际需要量。

4.3 两者的区别

高速空气悬浮风机和罗茨风机变频改造，其内在节能机理是存在差别的。在同样的空气流量情况下，高速空气悬浮风机和罗茨风机相比，功率能降低30%，其节能效果来自于机械效率的提高。而变频改造则是通过降低氧化风量和转速，来达到节能效果。

5 工程应用

5.1 应用背景

国内某2×330MW 热电联产机组，于2018年完成了超净排放改造，脱硫运营成本进一步增加，同时随着电力市场日夜负荷、季节负荷、风光火负荷的波动加剧，火力发电厂参与调峰的深度和广度扩大。在低负荷时降低脱硫装置厂用电率越来越受到重视，但该电厂的氧化风机原设计为定转速罗茨风机，只要脱硫装置投运，风机必须投入，定速的特点决定了氧化风机能耗基本与烟气和原烟气SO₂浓度无关，在低硫低负荷状态下电能浪费过大。通过研究开发脱硫浆液在线氧化性能装置，并对脱硫系统氧化系统进行改造，氧化风机实现在不同烟气流量和SO₂负荷下改变流量达到最优出力，从而降低运行电耗。

5.2 实施概况

该厂石灰石—石膏湿法脱硫系统，采用一炉一塔设计。每台吸收塔配5台浆液循环泵、一层合金托盘。每台吸收塔配两台氧化风机，一运一备。系统设计入口SO₂浓度2500mg/Nm³。罗茨风机参数详见表2。

见表2。

表2 罗茨风机参数

项目	罗茨风机
额定流量（m ³ /min）	135.0
额定升压（kPa）	118
额定转速（rpm）	730
电机功率（kW）	355

在两台机组每台吸收塔上安装一套浆液氧化性能监测装置，实时指示浆液中亚硫酸钙氧化情况，并对脱硫氧化风机和自动控制系统也进行了相应改造。将两台吸收塔氧化风母管加装DN350的联络管，并在#1机组氧化风出口母管、#2机组氧化风出口母管和新增联络管母管上加装3台电动调节门。根据亚硫酸盐在线指标，实时对两台吸收塔的氧化风进行调节。罗茨风机未改造。

5.3 实施后效果

改造完成后，两台机组脱硫系统在锅炉40%~100% 负荷、设计含硫量以下，保持一台氧化风机运行，浆液中亚硫酸钙含量小于1%，石膏脱水正常。相比改造前系统停运一台氧化风机，节电率达到50%。脱硫系统年运行7000h，每年节约厂用电210万kWh左右，节电效益显著。

6 结语

石灰石—石膏湿法脱硫系统氧化风机存在较大的节能空间，通过对脱硫氧化进行分析研究，可以得出以下结论。

一是增加液气比、脱硫系统入口原烟气含氧量高、脱硫系统入口烟温降低，都有利于提高脱硫系统自然氧化利用率，减少强制氧化风量。二是罗茨风机更换为高速离心风机或实施变频改造，均能降低脱硫氧化风机电耗，但应该配套实时氧化指标实现实时自动调节，才能释放氧化风机节能潜力。三是脱硫浆液氧化完成率可以实现在线监测，并精确指导脱硫氧化风量实时调控。

参考文献

[1] 马双忱, 杨静, 等. 湿法脱硫浆液的氧化控制缺陷及对策 [J]. 化工进展, 2016, 8.
[2] 李红星, 陈活虎, 等. 单级高速离心风机在350MW 燃煤电厂烟气脱硫中节能改造与效果分析. 环境工程, 2013, 31.
[3] 黄红. 脱硫氧化风机的变频改造和控制 [J]. 广西电力, 2011, 5.