

# 引进 GSA 脱硫技术的分析与研究

韩锐锋<sup>1</sup>, 李 瑛<sup>2</sup>

( 1. 云南电网公司技术中心, 云南 昆明 650011; 2 昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 介绍了国电小龙潭发电厂于 2000 年从丹麦史密斯·穆勒公司引进的国内第一套烟气悬浮吸收脱硫装置 (GSA), 对 GSA 脱硫装置在小龙潭电厂的调试和运行过程中遇到的脱硫效率低、钙硫摩尔比偏高、脱硫副产品输送困难、分离器出口磨损等诸多问题进行了分析、试验、研究。并对 GSA 脱硫系统进行了调整试验和技术改造。通过调试和改造, 小龙潭电厂的 GSA 脱硫系统实现了稳定运行。

**关键词:** 脱硫技术; GSA; 烟气净化

**中图分类号:** X701.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)06-0074-03

## Analysis and Study of Imported GAS Desulfurization Technology

HAN Ruifeng<sup>1</sup>, LI Ying<sup>2</sup>

( 1. Technology Center, Yunnan Power Grid Group, Kunming 650011, China

2 Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

**Abstract** The first set of GSA (Gas Suspended Absorber) for desulfurization in China imported from FLSmidth, Denmark, which is installed in Xiaolongtan Power Plant, is introduced in this paper. Some problems such as low desulfurization efficiency, high calcium-sulfur ratio, by-product conveyed difficultly are analyzed, tested and studied. Then commissioning and technology modifying for GSA desulfurization system are carried out after which the GSA system operates steadily.

**Key words** desulfurization technology; GSA; flue gas purification

### 0 引言

国电小龙潭电厂位于云南省南部的开远市小龙潭镇, 距开远市直线距离 16 km。1983 年动工兴建, 1985 年 1 号机建成投产, 到 1992 年 6 台机组相继建成投产, 全厂总装机容量  $6 \times 100\text{MW}$ 。小龙潭电厂是典型的坑口电厂, 燃用小龙潭煤矿生产的褐煤。小龙潭煤属第三纪褐煤, 低位发热量为  $12561 \text{ kJ/kg}$  平均灰份 16%, 平均硫份 1.66%, 折算硫分 0.55%, 属高硫份煤。燃煤产生的污染是我国大气污染的主要来源之一, 我国燃煤电厂二氧化硫排放量占工业总排放量的 55% 左右。因此, 削减和控制火电厂二氧化硫污染, 是目前我国大气污染控制领域最紧迫的任务之一。

### 1 GSA 脱硫技术

国电小龙潭电厂燃用的是高硫份煤, 因此, 按国家规定的相关标准削减和控制二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ ) 排放量已势在必行。1998 年, 原云南电力集团公司委托西安热工研究院做了“小龙潭电厂干法脱硫可行性研究”、南京电力环保所做了“小龙潭电厂湿法脱硫可行性研究”。在上述工作的基础上拟定了小龙潭电厂脱硫工程的基本原则: ①小龙潭电厂脱硫改造工程采用干法或半干法工艺, 原有电除尘器同步改造; ②可引进国外成熟的技术和关键设备; ③脱硫效率为 90% 以上; ④脱硫系统钙硫摩尔比 ( $\text{Ca/S}$ ) 在 1:1.3 以内。1999

收稿日期: 2007-04-11

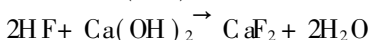
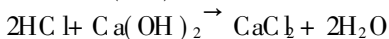
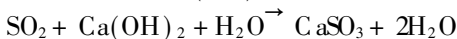
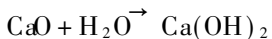
第一作者简介: 韩锐锋 (1955-), 男, 高级工程师。主要研究方向: 电力环保。

E-mail hanyepg@yahoo.com.cn

年 3 月小龙潭电厂脱硫项目对外招标, 丹麦史密斯·穆勒公司—中国龙源环保公司联合体、德国比晓夫公司、日本三菱公司、中国国华荏原公司、德国诺尔公司参与投标。经过综合比较, 最终丹麦史密斯·穆勒公司—中国龙源环保公司联合体中标。由丹麦史密斯·穆勒公司联合中国龙源环保公司为小龙潭电厂脱硫工程提供全套技术和设备, 并同时为原有电除尘器进行改造。

丹麦史密斯·穆勒公司的 GSA 脱硫技术是在垃圾电站基础上发展起来的, 其已投运的 GSA 有十多台, 但基本都是在垃圾电站。垃圾电站的锅炉都比较小, 脱硫副产品输送量每小时也就是几百公斤。另外, 史密斯·穆勒公司的 GSA 脱硫系统配套的除尘器均是布袋式除尘器。而小龙潭电厂脱硫工程要求的是电除尘器, 气力输送脱硫副产品。史密斯·穆勒公司十分谨慎, 将自己不熟悉的脱硫副产品输送、电除尘器改造部分分包给了中国龙源环保公司。

GSA 属半干法脱硫工艺, 其化学反应原理如下:



GSA 脱硫系统的性能参数如下表 1:

表 1 GSA 脱硫系统性能参数

Tab 1 The Property parameters for GSA desulfurization system

项 目	指标值	项 目	指标值
脱硫率 /%	≥ 90	钙硫摩尔比	≤ 1.3
脱硫塔出口烟气温度 /℃	≥ 71	系统使用年限 (年)	15
除尘器出口烟尘质量浓度 / (mg·m <sup>-3</sup> )	≤ 300	处理烟气流 / (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) (实际状态)	900 000
烟气温度 /℃	165 ± 10	入口 SO <sub>2</sub> 质量浓度 / [ (mg·m <sup>-3</sup> ), 湿态, % O <sub>2</sub> ]	6 000
烟气中 H <sub>2</sub> O 体积分数 /%	14.76	石灰粉细度 /目	≥ 150
过量空气系数	1.36	石灰粉中 CaO 质量分数 /%	≥ 90
反应系统漏风系数 /%	≤ 0.5	石灰活性温度 /℃	60 (4.5 m in)
吸收剂用量 / (t·h <sup>-1</sup> ) (纯度 100%)	< 3 149	脱硫副产品产量 / (t·h <sup>-1</sup> )	22

## 2 GSA 脱硫技术在小龙潭电厂的应用

### 2.1 脱硫效率低的原因分析及解决方法

GSA 脱硫系统于 2000 年 4 月开始在该厂 6 号锅炉上建设安装, 2002 年 12 月通过验收。总体来看, 丹麦史密斯·穆勒公司的 GSA 脱硫技术是成熟的, 主设备运行基本正常, 脱硫效果和除尘效果都十分明显。但其主要指标与设计值有较大差距。在调试期间, 系统脱硫效率在 76% ~ 92% 之间, 平均脱硫效率为 84%。与上述脱硫效率相对应, 钙硫摩尔比为 1:1.2 ~ 1:3.7。平均钙硫摩尔比为 1:2.1。

造成上述状况的原因有多个方面, 通过多次试验、分析, 发现, 主要的原因是 GSA 系统的工作温度。在 GSA 脱硫工艺中, 当钙硫摩尔比一定时, 脱硫效率与反应塔工作温度成反比。即, 反应塔工作温度越低脱硫效率就越高, 反应温度越接近烟气露点温度脱硫效率就越高。GSA 系统在设计时一般考虑工作温度高于烟气的露点温度 15℃。小龙潭电厂脱硫工程设计系统出口温度为 71℃。但在调试过程中, 系统很少能稳定在这一温度下运行。造成这一状况的原因是: 小龙潭电厂 6 号炉原有出灰系统采用的是气力输灰方式, 脱硫除尘改造后, 沿用原有的输灰系统。分析数据显示, 小龙潭电厂的粉煤灰是高钙粉煤灰, 灰中氧化钙的含量高达 46%, 这种粉煤灰对温度特别敏感, 当电除尘器工作温度低于 82℃时, 灰斗内的粉煤灰流动性急剧下降, 造成灰斗堵塞。这个问题在设计之初就已经注意到, 制造厂家在电除尘器灰斗处加装了电加热器, 但在实际运行中, 电加热器未能起到预期作用。在烟气温度低于 82℃时, 即便加热器全开, 电除尘器灰斗内的粉煤灰也难以自然流动, 大量的粉煤灰堆积在灰斗内无法送出。为保证锅炉正常输灰, 在调试试验中, 只好将 GSA 系统的工作温度控制在 82℃以上, 在此温度下, 相对应的脱硫效率只能达到 84% 左

右. 要保证脱硫效率大于 90% 和降低钙硫摩尔比, 系统工作温度成了关键. 要降低系统工作温度就必须解决灰斗堵灰问题. 为解决灰斗堵灰问题, 中外双方组成的调试组提出了多个解决方案如: 在灰斗加装震打系统、在灰斗加装热风气化板、引入高温蒸汽加热灰斗. 这些方案在经过试验或论证后均被证明效果不佳. 若要对输灰系统进行大的改造, 资金和时间都不允许. 为了保证输灰通畅维持锅炉的正常运行, 只好牺牲脱硫效率, 将 GSA 脱硫系统工作温度由 71℃ 提高到 82℃ 以上. 与此工作温度对应的脱硫效率和钙硫摩尔比自然就达不到设计要求, 最终小龙潭电厂 GSA 脱硫系统的平均脱硫效率维持在 84% 左右. 另外, 在调试过程中还发现, 当 GSA 脱硫系统工作温度低于 82℃ 时, 除了输灰受阻外, 电除尘器的阴极线和阳极板都发现积灰, 并且清灰效果明显变差, 电除尘器效率下降.

## 2.2 脱硫副产品输送不畅的分析

在调试过程中, 遇到的第 2 个问题是脱硫副产品 ( $\text{CaSO}_3$ ) 输送不畅. 分包厂家在设计时, 对脱硫副产品输送系统考虑了一定裕度, 将设计输送能力增加了 50%, 理论计算脱硫副产品产量为 22 t/h, 输送能力设计为 36 t/h, 最大输送能力增加到 72 t/h. 但是, GSA 系统投入运行后, 脱硫副产品输送系统始终未能达到设计出力. 输送系统出力开到 100%, 实际输送量仅能达到 5~7 t/h. 究其原因, 一是总承包商丹麦史密斯·穆勒公司没有气力输送脱硫副产品的经验, 没有在设计阶段给分包厂家提供指导意见, 没有向分包厂家介绍脱硫副产品特性. 二是分包厂家和建设单位对脱硫副产品都没有认识, 在设计阶段都没有对脱硫副产品进行认真的分析研究. 上述脱硫副产品输送系统设计时, 输送的物料参考了小龙潭电厂的粉煤灰. 小龙潭电厂粉煤灰中位粒径 13.4  $\mu\text{m}$ , 堆积容重 0.77  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 而 GSA 系统投入运行后生产出的脱硫副产品则完全是另外一种形态. GSA 系统排出的副产品是肉眼就可以明显分辨的结晶体, 其粒径比粉煤灰大了 2~3 个数量级. 其堆积容重也达到 1.23  $\text{g}/\text{cm}^3$ . 气力输送系统在设计时, 物料的粒径和容重是两个十分关键的参数, 物料物理特性的巨大差异, 导致了脱硫副产品输送系统设计严重脱离实际, 使输送系统的实际输送能力远低于设计值. 此时, 按设计采购的空压机、仓泵已安装运行了一段时间不可能更换. 为解决脱硫副产品输送问题, 分包厂家在一年内对脱硫副产品输送系统进行了两次改造. 第 2 次改造后, 脱硫副产品输送系统改回一级输送, 但仅能输送脱硫副产品的 1/3 输送量 7~9 t/h, 其余的 2/3 只有通过刮板输送机送到电除尘器灰斗, 由电厂的粉煤灰输送系统送走. 经 2 次改造后, GSA 脱硫系统基本能保持稳定运行. 可以说, 小龙潭电厂 GSA 脱硫副产品输送系统设计是失败的.

## 2.3 旋风分离器出口磨损的分析

在调试过程中, 遇到的第 2 个问题是脱硫塔旋风分离器出口磨损严重. 小龙潭电厂 GSA 脱硫系统在反应塔出口处设计了两个旋风分离器. 每个旋风分离器出口处加装了耐磨钢板. 史密斯·穆勒公司承诺其使用寿命为 15 年, 但在 GSA 系统运行 7 000 h 后, 发现出口处的耐磨钢板已被磨穿. 经过分析可知, 史密斯·穆勒公司已投运的 GSA 脱硫系统都是用在垃圾电厂, 垃圾电厂大多是炉排炉, 燃料又是生活垃圾, 因此烟气的飞灰浓度远远低于煤粉炉. 而在小龙潭电厂, 为保证反应塔内物料悬浮和不沉降, 保证旋风分离器的效率, 史密斯·穆勒公司设计了较高的烟气流速, 在旋风分离器出口处烟气流速达到 21~23  $\text{m}/\text{s}$ . 较高的烟气流速和高浓度的粉尘造成了旋风分离器出口处急剧磨损. 在进行分析研究后, 与史密斯·穆勒公司协商, 在该处加装防磨铸石板, 磨损问题初步得到缓解.

## 2.4 对脱硫剂的研究与制备

在 GSA 系统引进之初, 各方对脱硫剂的问题都高度重视. GSA 脱硫工艺对脱硫剂—石灰的要求比较高, 主要是石灰中  $\text{CaO}$  含量和  $\text{CaO}$  的活性. 制备高纯度高活性的石灰一度成为技术谈判的重点. 在设计阶段, 电厂针对脱硫剂做了专题调查研究, 并提出两个方案. ①脱硫石灰从大型钢铁企业的石灰烧结厂购买, 优点是石灰的品质好, 质量稳定. 缺点是石灰价格较高, 运输距离远, 数量难以保证. ②购买电厂附近小石灰窑的石灰, 经电厂自建粉磨厂磨细后供 GSA 系统使用. 该方案的优点是石灰价格底, 运输距离近, 缺点是石灰的质量不稳定. 在设计阶段, 中外双方对小石灰窑的石灰品质做了多次分析测试. 测试结果表明: 电厂附近的石灰石品位较高, 用其烧制的石灰  $\text{CaO}$  含量均在 90% 以上. 同时, 经过分析测试, 这种  $\text{CaO}$  的活性达到 4.5  $\text{min}$  温升 60℃ 以上的要求. 史密斯·穆勒公司也几次单独取样, 密封后送回丹麦分析测试, 结果与电厂的基本吻合. 在多次测试的基础上, 双方同意采用第 2 方案, 即用当地石灰作为脱硫剂.

(下转第 102 页)

一致。也就是说,在第 4 方物流建模中不是所有的解调整选项都将在单独一次情景进行中使用,应该有广泛的选项可用。也就是说,通过研究最优化假设分析情景给出的规划,决策者可以逐步获得可接受的规划,更多的基于客观、综合的分析,而不是无根据的推测和迷信。

## 5 第 4 方物流建模的未来和展望

实际上当谈论第 4 方物流建模的时候我们并不特别强调咨询流程,因为在战略层次,一旦建模系统和相关的规划流程被证明是有价值的,那么战略规划就会产生数据驱动。需要指出的是第 4 方物流模型永远不可能包括分析的供应链规划的所有细节,还要考虑到建模中人的经验与专业知识以及建模系统开发过程中遇到的问题,这些都需要很好的判断。

从参与建模的人员来看,建模的局限性主要在时间、资源和管理者注意力的限制,而不是模型本身。当然,建模实践一直在不断的进行,MIT 斯隆管理学院参加的几项战略研究在其中使用了最优化模型,这些模型已经确立了每年上万元美元的节约,因此,我们有理由相信在许多情况下,公司只要用制度化的方法来推进建模系统的使用,在战略规划演化时进行跟踪进而制定相关战术决策,建模就有着广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 凯斯.万.德.黑伊登.第六感:运用情景方法加速组织学习[M].北京:人民邮电出版社,2004
- [2] Dickson G W. An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions[J]. Journal of Purchasing 2(1966): 5- 17.
- [3] Penny M Simpson, Judy A Siguav, Susan C White. Measuring the Performance of Suppliers: An Analysis of Evaluation Processes[J]. The Journal of Supply Chain Management of Purchasing and Supply, 2002(2), 29- 41.
- [4] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990
- [5] LI X iu, YING W eiyun, LU W enhuang, HUANG B iqing. The Design and Realization of four Party Logistics[A]. IEEE SMC [C]. IEEE, Washington, EU A, 2003, 838- 842

(上接第 76 页)

## 3 结束语

引进 GSA 脱硫技术有一个认识、吸收和消化的过程。特别是 GSA 脱硫技术由垃圾焚烧炉移植到电站煤粉炉,必然会产生许多问题。这些问题只有通过实践才会暴露,只有通过不断解决暴露的问题,才会使人们更为全面、深入地了解 GSA 脱硫技术。

小龙潭电厂几年的运行实践表明, GSA 脱硫系统技术是成熟的,工艺是合理的。该技术具有占地面积小、脱硫效率高、无腐蚀、无废水排放等优点。GSA 脱硫技术要在大型电站锅炉应用,在认真考虑主设备的基础上,以下问题需特别重视。

- 1) 2003 年,国家颁布了新的烟尘排放标准,要求新建电厂的烟尘排放浓度必须小于  $50 \text{ mg/m}^3$ 。结合国家新的烟尘排放标准, GSA 脱硫系统可考虑选用布袋除尘器。
- 2) 锅炉输灰方式和输灰系统的统筹考虑。在设计锅炉除灰系统时应充分考虑 GSA 脱硫副产品的特性和“低温”粉煤灰带来的一系列问题,确保脱硫副产品和粉煤灰能顺利送走。
- 3) 脱硫剂的制备。GSA 脱硫技术对使用石灰的纯度和活性都有较高的要求,要认真研究和考虑稳定、高质量的石灰供应源。

引进 GSA 脱硫技术所遇到的问题,以国内现有的技术和装备水平,完全可以解决,通过小龙潭电厂 GSA 脱硫项目的实践,我们对 GSA 脱硫技术有了更为全面深入的了解,也为该技术在电站锅炉应用积累了实际经验,可为大型电站锅炉采用 GSA 脱硫技术提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 国家环保总局.火电厂大气污染物排放标准(GB13223- 2003)[M].北京:中国环境科学出版社,2003: 2- 3.
- [2] 钟秦.燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2004: 184- 187.
- [3] 杨扬.二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程[M].北京:冶金工业出版社,2002: 275- 277.