

循环半干法脱硫系统设计与应用

杨涛, 斯洪良, 李文勇

(浙江菲达脱硫工程有限公司, 浙江杭州 310053)

摘要: 本文描述了菲达环保引进的法国 Alstom 公司的循环半干法(NID-FGD)脱硫技术系统组成及技术优势, 并介绍了巨宏热电厂 1×135MW 机组 NID-FGD 脱硫工程的设计参数、运行情况及技术经济指标。

关键词: 循环半干法脱硫; 设计参数; 技术经济指标

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2011)05-0027-05

CIRCULAR SEMI-DRY FGD SYSTEM DESIGN AND APPLICATION

YANG Tao, SI Hong-liang, LI Wen-yong

(Zhejiang Feida desulfurization Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311053, China)

Abstract: Describes the FeiDa Enviro introduced by the French Alstom cycle semi-dry (NID-FGD) desulfurization technology systems and technical superiority, and introduces JuHong TPP 1×135MWe NID-FGD Plant of design parameters, operating conditions and the technical and economic indicators.

Keywords: cycle semi-dry desulfurization; design parameters; economic indicators

1 前言

随着国民经济的迅速发展, 我国已成为能源生产和消费大国, 而在我国能源结构中, 煤炭占有 70% 以上的比重, 连续多年 SO₂ 排放总量超过 2 000 万 t, 已成为世界上最大的排放国。烟气脱硫是控制 SO₂ 排放最有效、最经济的手段。目前, 我国烟气脱硫应用广泛的主要是湿法及干法脱硫技术, 但由于湿法工艺系统复杂、投资较大、占地面积大、耗水较多、运行成本较高, 特别是在针对一些改造工程或小型锅炉烟气治理中, 这些问题更为突出。国内企业迫切需要投资少、效率高的脱硫技术。循环半干法脱硫工艺 (New Integrated Desulfurization, 简称 NID-FGD) 是法国 Alstom 公司在其半干法脱硫技术的基础发展而成的新一代干法烟气脱硫工艺, 它克服了传统干法/半干法烟

气脱硫技术使用的制浆及反应塔内喷水而带来的弊端, 具有运行简单可靠、设备紧凑、烟气负荷适应性强等特点。

浙江菲达脱硫工程有限公司于 1999 年在国内率先引进了法国 Alstom 公司的 NID-FGD 技术, 经过近 10 年的不断消化吸收, 现已成为一种完全国产化广泛应用于燃煤燃油电厂、钢铁厂烧结机、工业炉窑、垃圾焚烧炉等的烟气脱硫及其他有害气体的处理实用技术。至今在国内的业绩已有 120 余台套。

2 工艺原理

2.1 基本原理

NID-FGD 工艺采用生石灰或消石灰干粉做为脱硫剂, 粉体表面经潮解后吸收烟气中的 SO₂、HCl、HF 等酸性组分。

2.2 工艺流程

NID-FGD 典型的工艺流程如图 1 所示, 主要

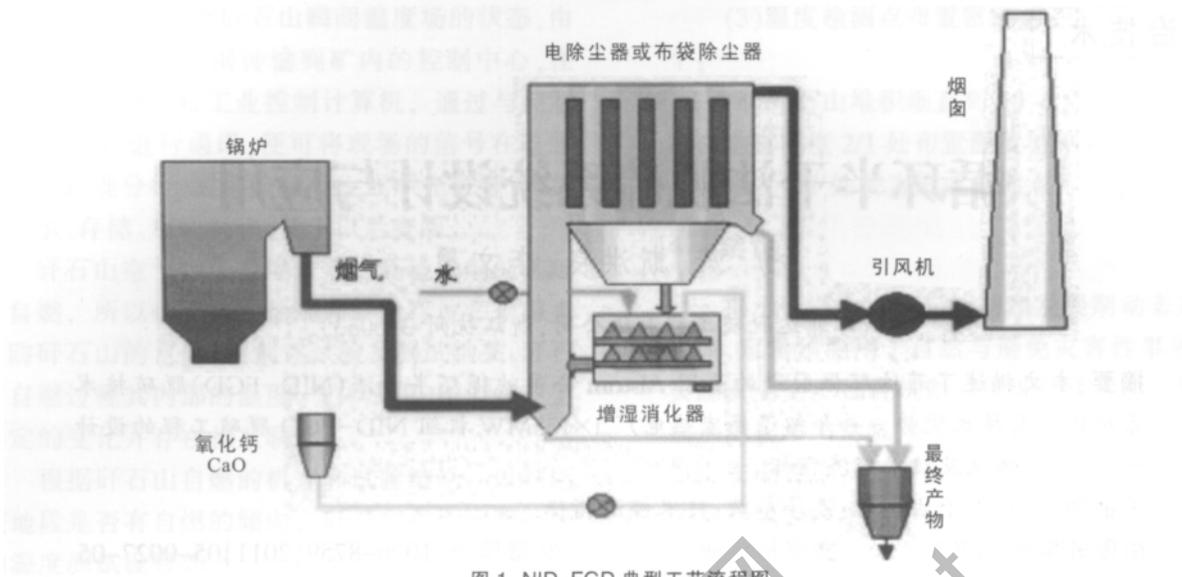
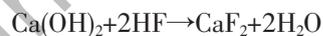
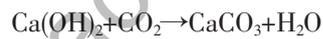


图 1 NID-FGD 典型工艺流程图

由反应器、脱硫除尘器、增湿消化器、脱硫剂贮存输送系统、工艺水系统、流化风系统、终产物输送系统及控制系统 8 部分组成。

锅炉原烟气经弯头进入反应器，在反应器混合段和含有大量脱硫剂的增湿循环灰粒子接触，通过循环灰粒子表面附着水膜的蒸发，烟气温度瞬间降低且相对湿度大大增加，形成很好的脱硫反应条件。在反应段中快速完成物理变化和化学反应，烟气中的 SO_2 与脱硫剂反应生成亚硫酸钙和硫酸钙。反应后的烟气携带大量干燥后的固体颗粒进入其后的除尘器，固体颗粒被除尘器捕集从烟气中分离出来，经过循环灰系统，补充新鲜的脱硫剂，并对其进行再次增湿混合，送入反应器。如此循环多次，达到高效脱硫及提高脱硫剂利用率的目的。脱硫除尘后的洁净烟气温度控制在水露点温度以上，无须再加热，经过增压风机排入烟

囱。主要化学反应是：



2.3 整体布置形式

根据 NID-FGD 整体布置位置不同，有以下 2 种布置形式：

(1) NID-FGD 布置在锅炉空预器与锅炉引风机之间。主烟气流程为：空气预热器来原烟气 → 反应器 → 脱硫除尘器 → 锅炉引风机 → 烟囱。

具体布置形式如图 2 所示。

(2) NID-FGD 布置在锅炉引风机后，在脱硫

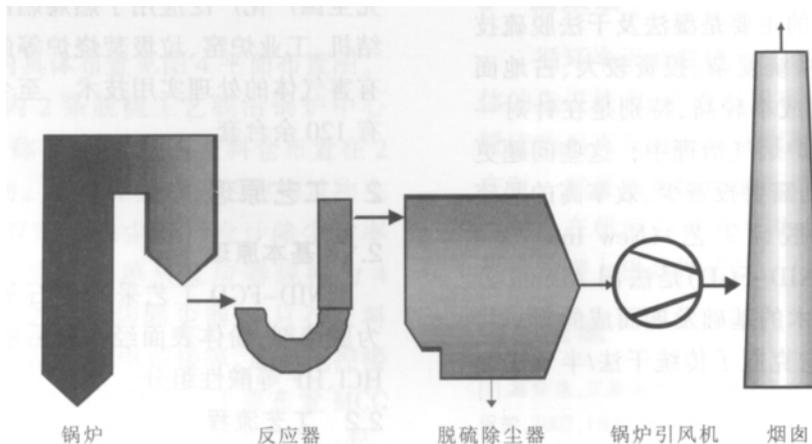


图 2 NID-FGD 典型布置形式一

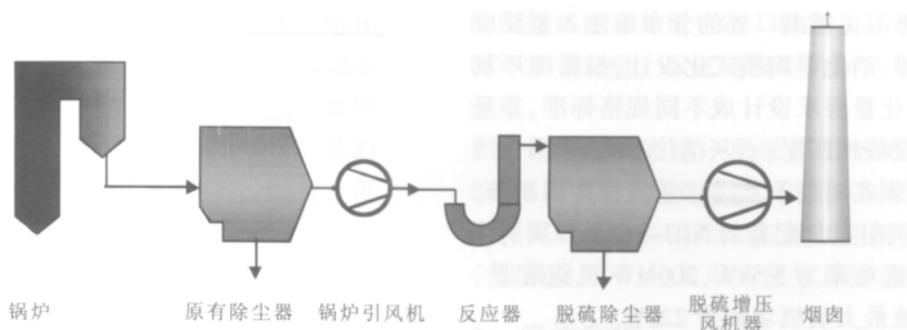


图 3 NID-FGD 典型布置形式二

除尘器后需另行配置一台脱硫增压风机。主烟气流程为：炉后烟气流程为：空气预热器来原烟气→除尘器→锅炉引风机→反应器→脱硫除尘器→脱硫增压风机→烟囱。具体布置形式如图 3 所示。

2.4 工艺特点

(1)CaO 的消化及灰循环增湿的一体化设计，结构紧凑。直接置于脱硫除尘器下。CaO 消化生成高活性的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，未经停留直接注入混合增湿设备中，与循环灰混合并增湿到含湿量为 3%~5% 左右，不断反复循环，循环倍率达 50~100，脱硫剂的最终利用率达 95% 以上。

(2)脱硫效率高(85%~95%)，脱 SO_2 、HCl 和 HF 的效率更高，达 98% 以上，与布袋除尘器相配，保证出口粉尘排放 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

(3)系统结构及工艺流程简单，组成设备少，无须浆液制备及雾化等装置，因此，占地面积小，投资、运行和维护费用低，在现有机组改造时，无须改主设备。

(4)可采用活性小的脱硫剂，也可用电石渣等废物，实现以废治废。

(5)脱硫副产品中的含水量小于 2%，呈干粉状适宜气力输送，便于综合利用。

(6)脱硫产物适用范围广泛，可大量用作水泥混合材、砌筑码头、铺路、化肥等。

3 系统组成

3.1 反应器

反应器是集内循环流化床和输送床双功能的矩形反应器，外观与垂直的矩形烟道无异。烟气中几乎所有的 SO_2 都被脱除以及反应器内烟气温度始终控制在烟气露点温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 以上，因此反应器内部不需要任何防腐内衬。由于烟气带动大量的

循环灰在反应器内呈现湍流状态，为了有效延长反应器的使用寿命，反应器本体采用耐磨材料制成。反应器进行模块化设计，现有 2 m、3 m、4 m 不同长度规格标准，宽度方面根据具体烟气量进行设计，单只反应器一般最大处理烟气量为 $48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。单只工程所需配置的反应器数量可根据具体烟气容量增加，以适用于不同机组容量的需要。

在较大烟气量的情况下，采用两条线或多条线并行的方式分流烟气并进行处理，增加了系统的可靠性和可用率。在同样设计标准下，当某一工艺线出现问题时，可关闭问题工艺线对其进行检修而不影响生产的正常进行和其他脱硫处理线的正常运转。

3.2 脱硫除尘器

脱硫除尘器可采用布袋除尘器也可是电除尘器。由于脱硫灰的不断循环使得脱硫除尘器入口粉尘浓度高度 $800 \sim 1200 \text{ g}/\text{Nm}^3$ ，是一般常规除尘器的 20~30 倍，为了满足烟尘浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 的要求，脱硫除尘器必须具备高效的除尘效率。由于布袋除尘器与电除尘器相比，对烟气的物化成分适用性广、基本不受气流分布影响、具备高效且稳定的除尘效率等一系列优点，目前脱硫除尘器一般均采用布袋除尘器。菲达环保所采用的是法国 Alstom 公司 LKPN 型中压大袋脉冲清灰布袋除尘技术，通过有效的结构设计及独有的内置旁路系统以满足脱硫工艺及锅炉安全需要。

3.3 增湿消化器

增湿消化器采用消化混合一体化设计，混合器与消化器之间直接通过法兰连接，整体呈一封闭式结构。而混合器直接安装在反应器上。消化器内新鲜生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 直接溢流到混合器中，与适当的循环灰混合，并加水增湿到 3%~5% 左右，

最终通过增湿消化器出口处的分布板注入至反应器中。混合器、消化器均模式化设计,根据循环灰量、生石灰消化量要求设计成不同规格标准,并且与对应的反应器相匹配。石灰消化系统,采用在线连续消化,根据实时的石灰需求量进行按需制备,对于 50MW 机组容量配套的 NID-FGD,石灰消化系统最大装机功率为 5.5kW,200MW 机组容量,石灰消化系统最大装机功率为 22kW。

3.4 脱硫剂贮存输送系统

表 1 煤质特性表 单位:%

项 目	设计煤种	校核煤种
碳 (Car)	53.40	52.32
氢 (Har)	4.08	3.20
氧 (Oar)	8.04	4.86
氮 (Nar)	1.00	0.91
硫 (Star)	0.96	0.73
灰分 (Aar)	23.08	30.47
水分 (Mar)	9.44	7.51
低位发热量 (Qnet.ar)/kJ/kg	21 302	20 398

NID-FGD 所采用的脱硫剂一般为 CaO 或 Ca(OH)₂ 干粉,其来源直接采购符合要求的脱硫剂由

表 2 烟气参数表

项目名称	设计煤种
锅炉出口设计烟气流(湿、标态)/(Nm ³ /h)	503 707
锅炉出口最大烟气流(湿、标态)/(Nm ³ /h)	503 707
锅炉出口最小烟气流(湿、标态)/(Nm ³ /h)	261 850
锅炉出口烟气成份组成(湿态)	
CO ₂ %	13.365
H ₂ O%	8.5
O ₂ %	5.12
N ₂ %	73.0
SO ₂ 浓度(湿态、实际 O ₂ %) / (mg/Nm ³)	2433
设计煤种含尘浓度(干态)/(g/Nm ³)	28.8
校核煤种含尘浓度(干态)/(g/Nm ³)	35.52
空气预热器出口烟气温度/(°C)	139
烟气温度/(°C)	120~159

密封灌装车运到脱硫器并泵入石灰仓。石灰仓贮存的脱硫剂满足满负荷运行 3 d 的用量。料仓内的脱硫剂经过石灰变频给料机控制其下料速度,在通过 1 级或 2 级螺旋输送机输送至增湿消化器中。

3.5 工艺水系统

脱硫除尘器的工艺用水主要指循环灰增湿用水及生石灰消化用水。两者均是依靠离心水泵提供压力 1.0 MPa 左右工艺水,经标准的喷雾喷嘴

表 3 脱硫除尘器设计参数表

项 目 名 称	设计值
脱硫效率/%	≥90
脱硫除尘器出口 SO ₂ 浓度 (标态,6%O ₂)/(mg/Nm ³)	≤200
出口粉尘排放浓度/(mg/Nm ³)	≤40
Ca/S(mol)	1.3
电石渣消耗量/(t/h)	1.84
脱硫除尘器总水耗量/(t/h)	23.6
脱硫除尘器出口烟温/°C	≥72
脱硫除尘器总压力降/Pa	≤3 550
系统可用率/%	≥97
系统寿命/a	25
设备的噪音/dB	≤85

注入混合器中。增湿水量及消化用水量均通过一阀门架调控满足工艺需要。消化用水量通过计量生石灰的加入量及消化温度进行控制。工艺水系统做为 NID-FGD 的重要辅助系统,水泵设有备用。

3.6 流化风系统

流化风系统做为 NID-FGD 的主要辅助系统,主要用于脱硫系统内部循环灰流化输送及喷嘴的日常保护。在各个主要的用风单位均设有孔板流量计及压力计,经过调解各个用风单位的流量及风压使得循环灰形成一稳定的流化床层,确保循环灰正常参与循环利用。流化风机也设有备用。

3.7 终产物输送系统

表 5 1×135MW 机组 NID-FGD 系统技术经济分析

项 目 名 称	设计值	备 注
机组容量/MW	1×135MW	
工程总投资/万元	~3700	含土建、安装
单位千瓦投资/(元/KW)	274	
吸收剂(CaO)单价/(元/t)	300	
水价/(元/t)	1.0	
电价/(元/kw)	0.35	
年运行小时/(h)	7500	
吸收剂耗量(CaO)/(t/h)	1.67	
吸收剂年费用/(万元/年)	375.75	
水年费用/(t/h)	14.85	
电耗量/(kW)	270	不含空压机电
电年费用/(万元)	70.875	不含空压机电费
人员/人	10	
人员年费用/(万元)	30	按 3 万元/人·年
年大修费用/(万元)	55.5	按 1.5%计
年折旧费用/(万元)	148	按 25 年计
电价增加成本/(元/kW·h)	0.006 864	

的摸索,推导出自燃矸石山瞬间温度场的状态,由 PLC 经过通讯将数据传输到矿内的控制中心,在控制中心设置一台工业控制计算机,通过与控制中心的 PLC 进行通讯,便可将现场的信号在电脑中进行处理分析,对危险信号生成声光报警,对数据显示、存储、形成报表,便于以后查阅。

矸石山空气污染及爆炸等对环境影响的基础是自燃,所以矸石山的治理和安全存放必须先预防矸石山的自燃。据前述试验及测试结果,矸石山自燃过程其内部的温度、气体成份、压力等产生一定的变化并存在相互联动。

根据矸石山自燃的机理和试验结论,以判断该地段是否有自燃的倾向,矸石山自燃预警装置的温度测试设置如下:

(1)温度检测点设置在矸石山的表面以下 1m 左右处;

(2)根据临界温度的试验结论,矸石山自燃预警装置的温度报警设计设置在临界温度以下 10~20℃范围内;临界温度设置为 70℃。

(上接第 31 页)

脱硫除尘器入口烟气参数如表 2

4.2.3 脱硫剂

作为脱硫剂用的电石渣干粉(主要成份为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$),技术要求为:

- (1)95%粒径 $\leq 50\mu\text{m}$ 。
- (2)纯度 $\geq 85\%$,水分 $\leq 3\%$ 。

4.2.4 设计参数

脱硫除尘器的设计要求同时满足锅炉燃用设计煤种和校核煤种两种情况,具体设计参数如表 3。

4.2.5 工艺配置

脱硫除尘器内具体布置见图 4 平面布置图。

脱硫除尘器内 2 条脱硫工艺线沿锅炉中心轴,顺烟气方向对称布置,公用石灰料仓布置在 2 只脱硫反应器之间。脱硫除尘器内的建构筑物主要有 1 台 1 电场双室电除尘器(设计除尘效率 85%)、2 只脱硫反应器(单只反应器规格为 4 000mm \times 1 375mm)、2 台布袋除尘器、1 只石灰料仓(200m³)、空压机站、脱硫电控楼等。脱硫电控楼直接布置在 NID-FGD 附近地面,主要布置 MCC 柜及工程师站,操作员站与锅炉机房主控室一起。

4.3 运行情况

(3)温度检测点布置密度为 50~100 m² 设置 1 个;

(4)矸石山堆积垂直高 50~60 m 裸露斜坡面,因在垂直高度 2/1 处布置温度检测点。(常状下矸石山高度 2/1 处较为形成自燃点)

4 结论

揭示矸石山自燃起始期和发展期动态过程的规律,定量预测用于自然与避免灾害性事故发生,实施安全生产预警机制,有利于矸石山自燃预警和预防技术的发展,对保护矿区自然环境、减少矸石山安全隐患,促进煤矿产业绿色生产及和谐发展具有积极作用。

参考文献

- [1]2011 年度“煤矸石自燃预警技术及设备开发”研究报告。
- [2]2007 年度“煤矿矸石山自燃爆炸机理及综合治理技术研究”项目研究报告。
- [3]2006 年度“煤矿无自燃排矸关键技术研究”项目报告。

2006 年 3 月初到 4 月中旬,脱硫除尘器完成调试。4 月下旬顺利通过了 96 h 性能考核,5 月中旬完成环保测试。在考核运行时,锅炉负荷持续稳定在 110%,脱硫除尘器的入口 SO_2 浓度约 15 00 mg/Nm³,出口烟气温度为 78℃,脱硫效率稳定在 91%以上,最高可达 96%,同时脱硫除尘器出口粉尘排放在 20~40 mg/Nm³。

4.4 技术经济分析

分析结果见表 5。

5 结束语

循环半干法脱硫工艺是一种集脱硫除尘于一体的先进技术,占地面积小,投资省,运行成本低,脱硫效率高及具有较强煤种适应性等特点,特别在对一些受场地限制的新建或改造脱硫项目更具优势,在机组容量 25MW~200MW 区间段的烟气脱硫治理上极具性价比。

参考文献

- [1]葛介龙,王新龙.NID 脱硫工艺在国内的应用研究[J].电力环境保护,2002,18(1):10~12.