

火力发电厂脱硫脱硝施工 安装与运行技术

HUOLI FDIANCHANG TUOLIU TUOXIAO SHIGONG
ANZHUANG YU YUNXING JISHU

四川电力建设二公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

火力发电厂脱硫脱硝施工 安装与运行技术

HUOLI FADIANCHANG TUOLIU TUOXIAO SHIGONG
ANZHUANG YU YUNXING JISHU

四川电力建设二公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书总结了火力发电厂烟气脱硫脱硝工程的设计、建造、调试、运行技术,有利于加快脱硫脱硝技术产业化的进程,有效控制二氧化硫、氮氧化物的排放,促进烟气脱硫脱硝中施工技术管理模式。

本书可供火力发电厂从事脱硫脱硝安装与运行维护的技术和管理人员阅读,也可作为相关人员的培训教材和相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂脱硫脱硝施工安装与运行技术/四川电力建设二
公司组编. —北京:中国电力出版社, 2010. 5

ISBN 978-7-5123-0212-9

I. ①火… II. ①四… III. ①火电厂—烟气脱硫②火电厂—
烟气—脱硝 IV. ①X773.013

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 042376 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 5 月第一版 2010 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.625 印张 290 千字

印数 0001—3000 册 定价 26.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 写 委 员 会

主 任 廖文兴 杜伟龙 文成明

副 主 任 王成福 黄光德 张晋斌 李 武

戚强国 杨洪忠

主 编 简安刚

委 员 朱召华 黄喜龙 王 科 王远强

刘 钢 谢建友

参编人员 蒲 实 钱 毅 江利民 张 萍

序

越来越多的事实表明，环境问题已经成为普通大众关注的焦点。随着经济的快速发展和工业化水平的显著提高，政府希望为国民提供更好的生活空间，改善居住条件，更加有效地减少环境污染。因此，烟气脱硫、脱硝成为国家“节能减排”的一项重要工作。

从20世纪80年代起，我们就开始关注并参与到烟气排放治理工作中，如今，已经成为西部地区最重要的电力建设企业之一。在各地燃煤电站的烟气排放治理工作中，取得了一定的经验和成绩。当然，我们更加欣喜的看到，正是因为一代代电力人所付出的心血和努力，行业已经从最初的引进发展到现在的“中国创造”。

本书汇集了国家电网四川电力建设二公司在全国各地燃煤电站中，在脱硫脱硝建设中取得的技术经验，期望对读者有所帮助。特别是对于正在进行设计、施工的建设者来说，具有一定参考价值；对于已经投运的电站项目来说，可以提高运行设备中的状态水平，提高设备检修的质量。我们希望本书的出版，通过广大有识之士的共同努力，最终推动脱硫脱硝技术的整体提高。

2010.4.19

前言

当前,全球气候变暖,低碳经济正成为时代潮流,我国面临人均能源资源少的现实问题,这些因素都对我国的高耗能和高排放的火电行业构成了巨大的压力,火电行业节能减排势在必行。特别是对电厂的脱硫脱硝提出了更高的要求。

为促进电厂减排工作,保证脱硫、脱硝设备的可靠运行,满足环保指标的要求,本书根据四川电力建设二公司在火力发电厂施工、检修、运行过程中的技术控制要点,介绍了脱硫脱硝的技术和工艺、处理过程、安装技术,特别说明了引进设备及技术在适应国内电煤的改进特点。编者根据设备特点,还增加了运行及检修技术,期待对读者有所帮助。

本书的宗旨是针对烟气脱硫脱硝的各个重要相关因素,结合国内各种脱硫脱硝机组的特点,将施工安装、运行调整、检修工艺中的关键控制环节陈列于此,结集成册,为社会相关机构和组织、设计院所、电厂业主、施工单位、相关科研人员提供在实际工作中有参考价值的信息。

本书的项目管理经验及工程实例来自于四川电力建设二公司在华能重庆珞璜电厂、华能平凉电厂、国家电网重庆电厂、大唐渭河电厂、国家电网成都金堂电厂、华电四川广安电厂、四川泸州电厂等单位的工程实践。同时参考国内外文献,谨此一并表示感谢。

由于编者的水平和经验有限,书中难免有一些不足和疏漏,敬请读者批评指正。

编者

2010年2月

目 录

序

前言

第一章 火电厂脱硫技术概述	1
第一节 概述	1
第二节 脱硫岛的构成	4
第三节 脱硫原理与设计原则	5
第二章 脱硫系统设备	8
第一节 烟气系统	8
第二节 吸收塔系统	11
第三节 石灰石浆液制备系统	14
第四节 石膏脱水系统	15
第五节 工艺水系统	17
第六节 排放系统	18
第七节 压缩空气系统	19
第八节 电气系统	19
第九节 控制系统	23
第三章 脱硫工程安装施工组织	28
第一节 总平面布置概况	28
第二节 主要工艺系统	28
第三节 施工管理	29
第四节 物资管理	31
第五节 质量管理	32
第六节 安全管理	34
第七节 安装专业措施	35
第八节 文明施工	36
第九节 施工方案和措施	38
第四章 脱硫安装技术	43
第一节 吸收塔制作与安装	43
第二节 脱硫烟道制作	47
第三节 脱硫吸收塔安装标准	48

第四节 热工仪表安装	54
第五章 脱硫运行技术	59
第一节 设备概况	59
第二节 FGD 大修后转入长时停机状态的工作内容	59
第三节 FGD 从长时停机转入短时停机的操作	66
第四节 FGD 从短时停机到正常运行的操作	72
第五节 正常停机	73
第六节 FGD 从短时停机转为长时停机的操作	75
第七节 FGD 故障及事故停机	78
第八节 运行事故处理	81
第六章 脱硫设备维护检修	88
第一节 气—气换热器维护检修	88
第二节 SO ₂ 吸收塔维护检修	89
第三节 再循环泵维护检修	90
第四节 氧化风机维护检修	93
第五节 增压风机维护检修	96
第六节 除雾器维护检修	97
第七节 搅拌器维护检修	98
第八节 空气压缩机维护检修	99
第九节 运输机维护检修	102
第十节 真空泵维护检修	104
第十一节 真空皮带脱水机维护检修	106
第十二节 石灰石贮存及供料系统维护检修	107
第十三节 吹灰器的维护检修	111
第十四节 橡胶衬里设备的维护检修	112
第十五节 烟道挡板维护检修	113
第十六节 脱硫装置大小修项目	113
第七章 火电厂脱硝技术综述	116
第一节 氮氧化物的危害	116
第二节 脱硝技术介绍	116
第三节 SCR 技术特点	119
第八章 SCR 烟气脱硝的系统介绍	122
第一节 SCR 烟气脱硝系统基本结构	122
第二节 SCR 烟气脱硝系统实例	124
第九章 烟气脱硝工程技术规范	126
第一节 主要系统技术规范	126

第二节	工艺布置及材料	127
第三节	还原材料	129
第四节	其他技术规范	130
第五节	系统运行与改造	132
第十章	脱硝工程设计	136
第一节	主要设计原则	136
第二节	工艺系统设备配置原则	137
第三节	电气、热控部分设计原则	139
第四节	环境保护	145
第十一章	脱硝安装技术	147
第一节	概述	147
第二节	脱硝安装技术规范	147
第三节	施工进度安排	148
第四节	脱硝钢架安装	148
第五节	氨储存供应系统施工	152
第六节	辅助设备安装技术	161
第七节	催化剂安装	165
第八节	单轨吊安装	168
第九节	吹灰器安装	169
第十节	平台、扶梯安装	169
第十一节	电气、热工施工方案	170
第十二节	质量控制	172
第十三节	作业的安全要求和监理点	176
第十四节	管道及设备油漆	180
第十五节	保温绝热施工	181
第十二章	烟气脱硝的现场施工	184
第一节	工程基本情况	184
第二节	现场施工	186
第三节	施工工艺流程及操作要点	189
第十三章	脱硝系统的运行	193
第一节	SCR 反应器系统运行	193
第二节	氨站系统运行	195
第三节	脱硝系统控制方案	201
第十四章	实际应用问题	207
参考文献		209

第一章

火电厂脱硫技术概述

随着来自化石燃料的碳排放量的不断增多,全球气温变暖、海平面上升、自然灾害频率大幅增加等问题已经严重威胁到人类的生存环境。目前已经探明的原油储量仅够使用 50 年,天然气储量仅够使用 58 年,气候和能源危机日益临近,低碳经济发展箭在弦上。此时全球采取了一致的行动目标:联合国气候变化框架公约规定,2050 年全球温室气体排放减少 50%;京都议定书规定,2008~2012 年主要工业发达国家比 1990 年减少二氧化碳排放 5.2%,欧盟削减 8%,美国削减 7%,日本和加拿大削减 6%;哥本哈根会议规定 2020 年在 1990 年的基础上再减少 30%;中国发展低碳经济决心巨大,政府提出到 2020 年,单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~50%,到 2020 年中国非化石能源占一次能源比重达到 15%。

中国是以煤炭为主要能源的国家,煤在一次能源中占很大比例,其中绝大部分是通过燃烧方法利用的。煤燃烧所释放出来的含二氧化硫(SO_2)的废气,一直是大气污染的主要根源,是造成酸雨的主要原因。据测算,中国 SO_2 的排放量已成为世界 SO_2 的第一排放大国。解决环境保护问题已刻不容缓。

■ 第一节 概 述

一、脱硫工艺介绍

目前,全世界投入使用且成熟的烟气脱硫(FGD)技术不下几十种,主要分为湿法、干法、半干法等几大类,其中湿式钙法(石灰石—石膏法)是当前世界上技术最成熟、实用业绩最多、运行状态最稳定的脱硫工艺,应用此类工艺的机组容量约占电站脱硫装机总容量的 80%,应用的单机容量已超过 1000MW。

1. 石灰石(石灰)—石膏湿式洗涤法脱硫工艺

脱硫副产物石膏的处理一般有抛弃和回收两种方法,这主要取决于市场对脱硫石膏的需求、石膏质量以及是否有足够的堆放场地等因素。湿式工艺的缺点是腐蚀比较严重、设备投资较大、运行费用较高、占地面积较大,宜用于大中型机组或含硫量高的小型机组;

干法、半干法的优点是投资和占地较省，但效率一般低于湿法，对小型机组或含硫量较低的中型机组较为适合。

目前，拥有湿式钙法脱硫技术的公司较多，其反应原理基本类似，主要工艺区别集中在吸收塔结构的不同，例如填料塔、喷淋空塔、鼓泡塔、液柱塔等。各种类型的吸收塔各有特点，均有成功的业绩，其中填料塔由于结垢堵塞问题，已较少使用。喷淋空塔采用雾化喷嘴，烟气与吸收剂雾滴接触，既可保证充分吸收，又无塔内结垢堵塞之忧，故使用最为广泛。

2. 喷雾干燥法脱硫工艺

喷雾干燥法是典型的半干法脱硫工艺，以石灰为脱硫吸收剂。石灰经消化并加水制成消石灰乳，在吸收塔内，被雾化成细小液滴的吸收剂与烟气混合接触，与烟气中的 SO_2 发生化学反应生成 CaSO_3 ，烟气中的 SO_2 被脱除。

喷雾干燥法脱硫工艺具有技术成熟、工艺流程较为简单、系统可靠性高等特点，脱硫率可达到 85%。该工艺在美国及西欧一些国家的应用范围约为 8%。脱硫灰渣可用作制砖、筑路，但多为抛弃至灰场或回填废旧矿坑。

3. 烟气循环流化床脱硫工艺

烟气循环流化床脱硫是近年发展较快的半干法脱硫工艺。一般采用干态的消石灰粉作为吸收剂，也可采用其他对二氧化硫有吸收反应能力的干粉或浆液作为吸收剂。由于吸收剂反复循环达百次之多，故利用率较高。

此工艺所产生的副产物呈干粉状，适合作废矿井回填、道路基础等。典型的烟气循环流化床脱硫工艺，当燃煤含硫量为 2% 左右，钙硫比不大于 1.3 时，排烟温度约 70℃，脱硫率可达 90%。目前此工艺在国外应用在 100~200MW 等级机组。由于其占地面积少，投资较省，尤其适合于老机组烟气脱硫改造。

4. 炉内喷钙加尾部增湿活化脱硫工艺

炉内喷钙脱硫工艺属干法，利用烟气载热完成钙基脱硫剂的煅烧过程，煅烧后的脱硫剂与烟气中的 SO_2 反应生成亚硫酸钙。该脱硫工艺系统简单，投资低，但脱硫效率也很低。因而出现了其改进型的工艺，即炉内喷钙加尾部增湿活化脱硫工艺，在炉内喷钙加尾部增湿活化脱硫工艺的基础上增加了增湿段，提高未反应脱硫剂的活性，从而使之继续参与脱硫反应。该脱硫工艺在芬兰、美国、加拿大、法国等国家得到应用，采用这一脱硫技术的最大单机容量达 30MW。

5. 海水脱硫工艺

海水脱硫工艺是利用海水的碱度实现脱除烟气中二氧化硫的一种脱硫方法。在脱硫吸收塔内，大量海水喷淋洗涤进入吸收塔内的燃煤烟气，烟气中的二氧化硫被海水吸收而除去，净化后的烟气经除雾器除雾、经烟气换热器加热后排放。

海水脱硫工艺适用于靠海边、海水置换条件较好、用海水作为冷却水、燃用低硫煤的电厂。此种工艺最大问题是烟气脱硫后可能产生的重金属沉积和对海洋环境的影响需要长

时间的观察才能得出结论,因此在环境质量比较敏感和环保要求较高的区域需慎重考虑。

6. 电子束法脱硫工艺

该工艺流程由排烟预除尘、烟气冷却、喷氨、电子束照射和副产品捕集等环节组成,可同时脱硫脱硝,但脱硫效率很低。脱硫脱硝的副产物是粉状微粒硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和硝酸铵 NH_4NO_3 的混合粉体,是农业生产用化肥,但其使用的安全性应当验证。

二、国内外烟气技术

1. 国外烟气脱硫技术发展概况

日本是世界上最早大规模应用 FGD 装置的国家。应用的技术以湿式石灰/石灰石—石膏法为主,占 75% 以上。由于日本资源匮乏,因此大多采用回收流程。日本国内所用石膏基本来自烟气脱硫的回收产物。FGD 装置的应用在日本已有近 30 年的历史。20 世纪 60 年代末开始大规模应用 FGD 装置,使其 SO_2 污染在 70 年代中后期基本得到了控制。20 世纪 80 年代以来,日本加强了对外出口,对美国、德国及发展中国家大量出口技术及设备,仅向中国就出口或援助近十套 FGD 装置,占中国进口脱硫装置的 70% 左右。此后日本又开始烟气脱硝技术的研究,对同时脱硫脱硝的技术尤为关注。如被誉为新一代 FGD 技术的 EBA 法和 PPCP 法,最早均由日本专家提出,目前正在进行工业性试验,有待商业化应用。

美国的 FGD 技术研究较日本略迟,自 20 世纪 70 年代初开始,特别是 1978 年重新修改了环境法规,否决了高烟囱排放,使 FGD 技术发展迅速并有了长足的进展。1973~1990 年耗煤量由 3.5 亿吨增加到 7.3 亿吨,增长 107%,而 SO_2 的排放量却由 2890 万吨减少到 2120 万吨,降低了 27%。目前其 FGD 总装机容量达 0.7 亿~1.0 亿千瓦,超过日本成为世界第一。美国采用的工艺 80% 是湿式石灰/石灰石—石膏法,以抛弃流程为主。新建电厂已基本安装 FGD 装置,而早期建造的 1100 个燃煤电厂,大多尚无脱硫设备。为此,美国 EPA 正着手开发廉价、易运行、效率适中,占地较小的适合现有电厂改造的脱硫技术。如 LIMB 多级喷射燃烧法,ADVACATE 烟道喷射法,都取得了可喜的成果。此外,美国 DOE 与日本联手,对等离子体法也进行了工业性试验研究。

欧洲的 FGD 技术以德国发展最为迅速,其装置总装机容量居世界第三位。德国 20 世纪 70 年代后期,“黑森”大面积受害,使其不得不开展 SO_2 的防治工作。在不到 20 年的发展过程中,FGD 技术迅速实用化。在引进日、美先进技术的同时,立足于本国技术的开发,于 70 年代末开始在电站锅炉上安装 FGD 装置。1983 年颁布环境法规后,促进了 FGD 装置大规模应用,在 1983~1989 年 7 年间,其 SO_2 排放量降低 6.8 倍。德国主要采用的工艺也是湿式石灰/石灰石—石膏法,占 90% 以上。回收流程是抛弃流程的 2.6 倍,75% 的工业用石膏来自脱硫系统。此外,北欧各国如丹麦、芬兰等国,对 FGD 技术也开展了大规模的研究,开发出许多先进工艺。如丹麦的 SDA 法、芬兰的 LIFAC 法等,不仅在本国有许多工业装置运行,对境外也有技术出口。英国主张燃用低硫燃料及高烟囱稀释排方法,而法国以核电为主,因此两国对 FGD 技术的研究和应用都不多。

2. 我国烟气脱硫技术发展概况

我国烟气脱硫技术的开发工作主要集中在电力、冶金和化工部门,并首先在冶金化工部门取得成果。南京钢厂从日本同和公司引进的碱式硫酸铝石膏法流程装置处理氯化球团车间回转窑尾气,气量为 $5.18 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$,进口 SO_2 浓度 $2000 \sim 3000 \mu\text{g}/\text{L}$,吸收率大于 95%,副产品石膏品位高。该流程可靠性好,自控水平高,比较适用于冶金行业。株洲化工厂利用株洲冶炼厂高浓度 SO_2 的铅冶炼尾气制取浓硫酸工艺装置已连续运转十余年,取得重大的经济效益和社会效益。

我国由于中小型锅炉多,污染相对而言也严重,所以对中小型燃煤锅炉烟气脱硫技术进行了大量的研究和实践,如湿式除尘脱硫技术、掺烧含钙物质炉内脱硫技术、废碱液脱硫、湿式筛网脱硫技术等。

我国燃煤电站烟气脱硫的研究始于 20 世纪 70 年代初,先后研究了亚钠循环法、催化氧化法、活性炭法、石灰石—石膏法、喷雾干燥法和 PAFP 法(磷氨肥法)等。但由于经济、技术、环境管理等各方面的原因,上述技术不但未得到大面积的推广应用,而且已建成的工业规模试验装置部分已停止运行,部分装置时开时停。我国燃煤电站锅炉烟气脱硫技术尚有待突破。

为加快推动中国燃煤电站锅炉烟气脱硫工作,“七五”期间重庆珞璜电厂引进了日本三菱重工工业公司与 $2 \times 360 \text{ MW}$ 机组配套的两套湿式石灰石—石膏回收法烟气脱硫装置,建成了大型电站锅炉烟气脱硫示范工程。该工程外汇部分投资额为 3460 万美元,国内配套工程和石灰石矿及磨粉厂投资 700 万元人民币。考虑到设备在中国国内制造后投资将有所下降,以及日益严格的环境保护要求,该方法具有在我国大容量、燃烧高硫煤电厂推广的潜力。

■ 第二节 脱硫岛的构成

一、脱硫岛的构成及主要设备

石灰石—石膏湿法脱硫系统简称脱硫岛,是一个完整的工艺系统。现以某电厂为例,其脱硫岛主要分成以下几个分系统:烟气系统、 SO_2 吸收系统、氧化空气系统、石灰石浆液制备与供应系统、石膏脱水系统、工艺水和冷却水系统、排放系统、服务空气系等,也包括一些电厂常规的如照明、给排水等系统。

脱硫岛的主要设备有升压风机、挡板门、烟气换热器(GGH)、吸收塔、浆液循环泵、氧化风机、除雾器、旋流器、真空皮带脱水机、湿式球磨机等。脱硫岛同时配置有电气、热控设备及 DCS、消防及火灾报警等辅助系统。

二、脱硫岛的原料和产品

电厂烟气脱硫是指将电厂锅炉排出至烟囱前的含二氧化硫(SO_2)的烟气,通过合理的工艺流程和可靠的设备,进行净化处理,除去其中绝大部分 SO_2 ,然后再排入大气环

境中。

石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺（湿法工艺）是指利用石灰石（ CaCO_3 ）细粒和水按比例制成的混合浆液作为湿式反应吸收剂，与烟气中的 SO_2 反应，降低烟气中 SO_2 的含量，以减少其污染性，同时产生可以综合利用的石膏。

湿法工艺采用的原料为石灰石。先将石灰石用干式球磨机磨细成粉状，然后直接与水混合搅拌制成吸收浆液；也可先将石灰石用湿式球磨机直接磨细成为吸收浆液；部分湿法工艺采用石灰（ CaO ）作吸收浆液。在吸收塔内，吸收浆液与烟气接触混合，烟气中的 SO_2 溶于水，与浆液中的碳酸钙反应生成亚硫酸钙，然后在塔内与鼓入的氧化空气发生化学反应，最终反应产物为石膏。脱硫后的烟气经除雾器除去夹带的细小液滴，净烟气排入烟囱。

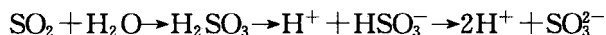
湿法工艺的产品为石膏。系统中的石膏浆液经排出泵打入石膏脱水系统，脱水后回收成品石膏，同时借此维持吸收塔内浆液密度。

■ 第三节 脱硫原理与设计原则

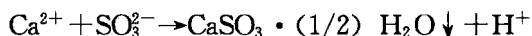
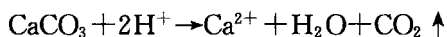
一、脱硫反应原理

石灰石—石膏湿法脱硫工艺的脱硫过程的主要化学反应如下。

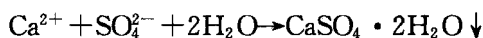
（1）在脱硫吸收塔内，烟气中的 SO_2 首先被浆液中的水吸收，形成亚硫酸，并部分电离：



（2）与吸收塔浆液中的 CaCO_3 细颗粒反应生成 $\text{CaSO}_3 \cdot (1/2) \text{H}_2\text{O}$ 细颗粒：



（3） $\text{CaSO}_3 \cdot (1/2) \text{H}_2\text{O}$ 被鼓入的空气中的氧气氧化，最终生成石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



上述反应中第一步是较关键的一步，即 SO_2 被浆液中的水吸收。根据 SO_2 的化学特性， SO_2 在水中能发生电离反应，易于被水吸收，只要有足够的水，就能将烟气中绝大部分 SO_2 吸收下来。

但随着浆液中 HSO_3^- 和 SO_3^{2-} 离子数量的增加，浆液的吸收能力不断下降，直至完全消失。因此要保证系统良好的吸收效率，不仅要有充分的浆液量和充分的气液接触面积，还要保证浆液的充分新鲜。上述反应中第二步和第三步其实是更深一步的反应过程，目的就是不断地去掉浆液中的 HSO_3^- 和 SO_3^{2-} 离子，以保持浆液有充分的吸收能力，以推动第一步反应的持续进行。

二、脱硫岛的设计原则

1998 年 4 月国家环保总局印发了《贯彻国务院关于酸雨控制区和二氧化硫污染控制

区有关问题批复的行动方案》和《酸雨控制区和二氧化硫污染控制区二氧化硫污染综合防治规划编制大纲》。脱硫岛的建设必须首先符合国家的能源环保政策，具体操作上应通过有关环境管理部门的环境评价。

脱硫岛的总体设计原则是确保较高的脱硫效率、较高的可用率，并保证安全可靠，对锅炉岛的运行操作无影响。为此，采用技术上成熟的工艺，操作上可靠性较高的设备是十分必要的。

烟气脱硫工程的设计原则如下。

(1) 脱硫岛采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统，对全部烟气进行脱硫。

(2) 在锅炉燃用设计煤质 BMCR 工况下处理全烟量时的脱硫效率 $\geq 95\%$ ，烟气烟囷入口烟温 $\geq 80^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 烟气脱硫系统的使用寿命不低于主体机组的寿命（30 年）。

(4) FGD 装置投入商业运行烟气脱硫系统的利用率将超过锅炉电除尘运行时间的 98%，为保证电厂可靠、稳定运行，脱硫岛停运不影响电厂的正常运行。

(5) 对于烟气脱硫系统中的设备、管道、烟风道、箱罐或贮槽等，考虑防腐和防磨措施；烟风道的设计符合《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规范》（DL/T 5121—2000）的规定；汽水管道的符合《火力发电厂汽水管道的技术规定及条文说明》（DL/T 5054—1996）和《火力发电厂汽水管道的应力计算技术规定》（SDGJ 6—1990）中的要求。对于低温烟道的结构采用能保证有效的防腐形式。

(6) 所有在需要维护和检修的地方均设置平台和扶梯，平台扶梯的设计满足 GB 4053.1—GB 4053.3—2009 或《火力发电厂钢制平台扶梯设计技术规定》DLGJ 158—2001 中的要求。

(7) 控制烟气脱硫设备所产生的噪声 $< 85\text{dB (A)}$ （距产生噪声设备 1m 处测量）；在烟气脱硫装置控制室内的噪声 $< 60\text{dB (A)}$ 。

(8) 烟气脱硫系统产生的石膏中， Cl^- 含量 $< 100\mu\text{g/L}$ ， CaCO_3 含量与 MgCO_3 含量之和 $< 3\%$ ，其水分 $\leq 10\%$ （重量比）。

贯彻电力建设“安全可靠、经济实用、符合国情”的指导方针，严格执行设计合同的要求，精心设计，充分优化方案，使建造方案经济合理、可用率高，并在保证技术指标的前提下努力降低工程造价。

三、脱硫岛的关键控制参数

(1) 入口烟气的含尘量。烟气的含尘量过高，将导致系统操作恶化，表现为吸收效率低下（增加石灰石投入量作用不大）、皮带机脱水困难等。还需注意的是，由此造成的系统操作恶化，需较长时间纠正。

(2) 吸收塔内浆液的 pH 值。必须控制在指定范围内，过低会导致浆液失去吸收能力；而过高，系统则会产生结垢堵塞的严重后果。pH 值主要通过石灰石给料量进行在线动态调节，以适应锅炉操作波动和工况变化。

(3) 吸收塔内浆液的密度。必须控制在指定范围内, 过低会导致浆液内石膏结晶困难及皮带机脱水困难; 而过高, 则会使系统磨损增大。

(4) 吸收塔内浆液的 Cl^- 离子浓度, 宜保持在 $2 \times 10^4 \mu\text{g/L}$ 以下。

(5) 石灰石的反应活性。一般应采用含 CaO 品位较高的矿石, 且细度合格。

(6) 出口烟气的温度。必须 $\geq 80^\circ\text{C}$, 以保证烟气的排放。

(7) 出口烟气的 SO_2 含量。必须时刻监视该参数, 当出现偏差时, 应综合分析锅炉负荷、入口烟气的 SO_2 含量、循环泵的工作台数、浆液的 pH 值等影响因素。

第二章

脱硫系统设备

第一节 烟 气 系 统

一、系统简介（以某电厂为例）

该电厂烟气系统采用将升压风机布置在吸收塔上游烟气侧运行的方案，以保证整个 FGD 系统均为正压操作，并同时避免升压风机可能受到的低温烟气的腐蚀，从而保证升压风机乃至整个 FGD 系统安全长寿命运行。

从锅炉来的原烟气，分别由烟道引至 FGD 系统。经过两台原烟气挡板后，进入各自的升压风机，升压后进入各自的烟气换热器（GGH）。原烟气的热量在 GGH 中被交换，在设计工况下，其温度由 126℃ 降至 91℃，冷却了的原烟气进入吸收塔进行脱硫反应。在吸收塔内原烟气与石灰石浆液充分接触反应脱除其中的 SO_2 ，原烟气温度的进一步降低至饱和温度 47.1℃。脱硫后的净烟气经除雾器，返回 GGH，被加热至 80℃ 以上后经过净烟气烟道、净烟气挡板和烟囱，排放到大气中。

为了将 FGD 系统与锅炉分离开来，在整个烟气系统中共设置带气动执行机构的、保证零泄漏的烟气挡板门 6 只，其中 2 只旁路挡板门、2 只原烟道进口挡板门和 2 只净烟道出口挡板门。

当脱硫系统正常运行时，旁路挡板关闭，原烟气挡板和净烟气挡板开启，原烟气分别通过两个原烟气挡板后进入 FGD 装置进行脱硫反应。在要求关闭 FGD 系统的紧急状态下，旁路挡板自动快速开启，原烟气挡板和净烟气挡板自动关闭。为防止烟气在挡板门中的泄漏，烟气挡板门设置有密封空气系统。

烟道采用普通钢制烟道。GGH 入口前的原烟气段烟道由于烟气温度较高，均无需防腐处理。GGH 出口后的原烟气烟道由于烟气温度已降至 100℃ 以下，接近酸露点，因此采用玻璃鳞片树脂涂层。GGH 本身静态部件内侧和吸收塔本体及吸收塔出口后的全部净烟气烟道，也基于同样原因，主要采用玻璃鳞片树脂涂层。

二、主要设备

烟气系统主要设备包括升压风机、GGH、烟气挡板门、膨胀节等。

1. 升压风机

升压风机为烟气提供压头，使烟气能克服整个 FGD 系统从进口分界到烟囱之间的烟