

烟气脱硫系统管理丛书

海水法 烟气脱硫系统 检修及运行管理

孙志宽 郭永利 杨俊强 王立功 编著
杨 东 校审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014008936

X773.01

04

烟气脱硫系统管理丛书

海水法 烟气脱硫系统 检修及运行管理

孙志宽 郭永利 杨俊强 王立功 编著
杨 东 校审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



北航

C1696075

X773.01
04

014008236

内 容 提 要

《烟气脱硫系统管理丛书》创新性地建立了烟气脱硫系统运行管理、检修管理和检修费用定额为一体的管理系统。

本书为《烟气脱硫系统管理丛书》的一个分册，系统阐述了海水法烟气脱硫系统的检修和运行管理。检修管理方面系统定义了检修间隔、检修工期、检修项目、检修工艺、检修质量控制标准五大检修要素，并对安全管理、质量管理、点检管理、外包管理、现场管理、检修资料及档案管理等方面提出管理内容和要求。运行管理方面提出了系统验收检查、试转及试验、启动操作、调节与维护、停止操作、事故判断及处理等方案，并对设备定期轮换与试验、操作票及工作票、定置管理、缺陷管理、运行资料及档案管理等方面提出管理内容和要求。

本书适用于发电企业、检修施工企业、检修监理公司、火力发电设备管理公司等使用，非火电企业烟气脱硫系统管理人员可参照使用。

图书在版编目(CIP)数据

海水法烟气脱硫系统检修及运行管理 / 孙志宽等编著.
北京: 中国电力出版社, 2013.9

(烟气脱硫系统管理丛书)

ISBN 978-7-5123-4839-4

I. ①海… II. ①孙… III. ①火电厂-湿法-烟气脱硫-设备检修②火电厂-湿法-烟气脱硫-运行-管理 IV. ①X773.013

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193270 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 5.25 印张 130 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

“十一五”期间，我国将节能减排作为调整经济结构、转变经济发展方式、推动科学发展的重要抓手和突破口，取得了显著成效，基本实现了“十一五”规划纲要确定的约束性目标，扭转了“十五”后期单位国内生产总值能耗和主要污染物排放总量大幅上升的趋势，为保持经济平稳健康和较快发展提供了有力支撑，为应对全球气候变化做出了重要贡献，也为实现“十二五”节能减排目标奠定了坚实基础，特别是火电厂二氧化硫减排尤为突出，到2012年初，建成投产火电厂脱硫设备4468台，脱硫装机达到6.7亿千瓦。

“十二五”时期，随着工业化、城镇化进程加快和消费结构持续升级，我国能源需求仍呈刚性增长，受国内资源保障能力和环境容量制约以及全球性能源安全和应对气候变化影响，资源环境的约束日趋强化，污染减排形势依然十分严峻。随着治污设施的快速增加，在继续坚持结构减排和项目减排的同时，必须高度重视管理减排，以确保治污设施安全、稳定、高效运行，保障减排成果落到实处。

神华国能集团公司积极探索更加有效的措施推进减排工作，积极尝试更加有效的环保管理手段，尤其在二氧化硫总量控制及管理减排方面做了十分有益的工作。作者结合国内烟气脱硫工艺实际及脱硫管理实践，编写了《烟气脱硫系统管理丛书》，填补了国内烟气脱硫系统检修及定额管理方面的空白，为脱硫系统的精细化管理提供了非常有价值的著作，必将进一步有效推进二氧化硫减排工作。

环境保护部

刘燕江

于2012年世界环境日

随着国家“十二五”节能减排工作的深入推进，新的火电厂大气污染物排放标准的实施，环保及减排的监督控制进一步严格，火电厂脱硫设备的管理已上升到与主设备同等重要的位置。但是，烟气脱硫系统与电厂其他系统比较，还仅仅是近几年出现的“新生事物”，相关检修与运行的标准化工作十分欠缺，很不适应我国节能环保工作的形势要求。

为加强烟气脱硫系统检修和运行工作的科学管理，确保烟气脱硫系统安全、稳定、经济、环保运行，我们编写了《烟气脱硫系统管理丛书》。该丛书共四个分册，分别为《石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统检修及运行管理》、《海水法烟气脱硫系统检修及运行管理》、《半干法烟气脱硫系统检修及运行管理》和《湿法烟气脱硫系统检修项目费用定额》。

丛书的检修管理部分针对目前我国使用最多的三种烟气脱硫工艺进行了检修的系统设计，系统阐述了检修基本原则和检修六大元素如检修项目、检修工艺、检修质量要求等。

丛书的运行管理部分是结合我国实际，对烟气脱硫系统的启动、停止、调整、运行维护、定期试验和事故处理等工作内容做了较系统的阐述。

《湿法烟气脱硫系统检修项目费用定额》与《石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统检修及运行管理》配套，为脱硫检修项目的计划、

预（决）算和招投标等管理工作提供了科学依据。

丛书紧密结合烟气脱硫系统实际情况，针对性和可操作性强。希望丛书的出版对提高我国烟气脱硫系统的检修与运行标准化管理水平，促进国家节能减排工作有所帮助。

作者关于烟气脱硫系统的思想及核心内容于 2009 年 4 月开始在国网能源开发有限公司等发电企业试用，试用期间得到大唐、华电及国网能源开发有限公司等发电公司领导及同仁的支持，陈玉乐、杨敏、李建华先生对本书提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢！

作者

序
前言

第一章 脱硫技术概述	1
第一节 脱硫技术分类	1
第二节 石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术	5
第三节 半干法烟气脱硫技术	6
第二章 海水法烟气脱硫技术	11
第一节 海水法烟气脱硫技术的发展现状	11
第二节 海水法烟气脱硫的工作原理	12
第三节 海水法烟气脱硫的典型工艺	13
第三章 海水法烟气脱硫系统术语定义	26
第四章 海水法烟气脱硫系统检修整体设计	30
第一节 脱硫设备环境的特殊性	31
第二节 脱硫系统检修间隔与工期	36
第三节 脱硫系统检修项目确定	38
第四节 脱硫系统检修工艺和质量要求	48

第五节 脱硫系统检修管理的其他要求	56
第五章 海水法烟气脱硫系统检修后的验收与调试	58
第一节 脱硫装置检修后的验收与调试总则	58
第二节 脱硫装置检修后的检查验收项目	58
第三节 脱硫装置检修后的调试	61
第六章 海水法烟气脱硫系统的启动	66
第七章 海水法烟气脱硫系统运行调节与维护	70
第一节 脱硫系统的调节	70
第二节 脱硫系统运行中的检查维护	72
第八章 海水法烟气脱硫系统的停止	77
第一节 脱硫系统的停止类别	77
第二节 脱硫系统停止步序	77
第九章 海水法烟气脱硫系统事故判断及处理	79
第一节 脱硫系统故障及事故处理的一般原则	79
第二节 典型事故判断及处理	80
第十章 海水法烟气脱硫系统运行管理	85
第一节 运行管理要求	85
第二节 岗位设置及职责要求	86
第三节 操作票及工作票管理	88
第四节 运行岗位交接班管理	91
第五节 设备定期巡回检查管理	99
第六节 设备定期轮换与试验管理	103
第七节 运行现场定置管理	104

第八节	运行资料及档案管理	105
第九节	脱硫设备缺陷管理	105
第十一章	海水法烟气脱硫系统检修管理	109
第一节	检修管理的原则	109
第二节	检修安全管理	110
第三节	检修质量管理	111
第四节	点检管理	112
第五节	外包管理	116
第六节	检修现场管理	119
第七节	检修资料及档案管理	122
第十二章	烟气排放连续监测系统	124
第一节	CEMS 系统术语	124
第二节	CEMS 的组成和功能	126
第三节	CEMS 的选型与安装	127
第四节	CEMS 的运行与维护	131
附录	固定污染源监测质量保证与质量控制	
	技术规范(试行)	133
	参考文献	153
	后记	155

第一章 脱硫技术概述

第一节 脱硫技术分类

脱硫技术按脱硫工艺在煤炭燃烧过程中的不同阶段可分为三类,即燃烧前脱硫技术、燃烧中脱硫技术和燃烧后脱硫技术。各类脱硫技术按吸收剂、脱硫产物在脱硫过程中的干湿状态分为干法、半干法和湿法脱硫;按生成物的处置方式分为回收法和抛弃法脱硫;按脱硫剂是否循环使用分为再生法和非再生法脱硫。

一、燃烧前脱硫技术

燃烧前脱硫即煤炭脱硫,是通过各种方法对煤进行净化,去除原煤中所含的硫分、灰分等杂质。燃烧前脱硫技术有物理法、化学法和生物法脱硫等。

物理法脱硫的主要原理是利用净煤、灰分、黄铁矿的比重不同和磁性不同,以去除煤中黄铁矿硫。但这种技术不能去除煤中的有机硫,因此它更适用于高硫煤。在众多的物理法脱硫技术中,应用最为广泛的是跳汰选煤法,其次是重介质选煤法、浮选选煤法和风力选煤法;近年来,高梯度强磁法和微波辐射法选煤新技术成为研究和开发的热门技术。

化学法脱硫可分为物理化学脱硫方法和纯化学脱硫方法。物理化学脱硫方法即浮选方法,纯化学脱硫方法主要包括碱法脱硫、气体脱硫、热解与氢化脱硫、氧化法脱硫等。

生物法脱硫主要是利用微生物的直接作用或中间产物引起的

纯化学作用脱除煤中的黄铁矿质，其主要原理是使无机硫氧化、溶解从而脱除。生物法脱硫目前主要有浸出法和表面氧化法。

物理洗选煤是目前最适合中国国情且投资少、见效快、容易实施的最有效的煤燃烧前脱硫技术。我国当前煤炭入洗率较低，在“十一五”计划后大约达到了 50%，而世界其他主要产煤国达到 70% 以上，像日本、法国等部分发达国家达到了 90% 以上。提高煤炭的入洗率可减小燃煤 SO_2 及汞污染。物理洗选能达到 45%~55% 全硫脱除率和 60%~80% 硫铁矿硫脱除率，但不能脱除煤中的有机硫。同时，洗选煤也会带来大量用水和水污染以及煤泥的综合利用问题。

二、燃烧中脱硫技术

煤在燃烧中的脱硫技术，归根结底是在煤的燃烧过程中加入脱硫剂，使其在燃烧中与 SO_2 反应生成硫酸盐，并随灰渣排出，从而达到脱硫目的。在我国，燃烧中脱硫技术主要有型煤固硫、水煤浆燃烧技术、循环流化床炉内燃烧脱硫技术和炉内喷钙等。

（一）型煤固硫

将不同的煤粉经筛分后按一定比例配煤，粉碎后同经过预处理的黏结剂和固硫剂混合，经机械设备挤压成型及干燥，即可得到具有一定强度和形状的成品工业固硫型煤。型煤用固硫剂按化学形态可分为钙系、钠系等，其黏结剂一般用沥青、石灰、电石渣、无硫纸浆黑液等。燃烧过程中，温度和反应时间是型煤固硫的主要影响因素，这种技术的脱硫率一般为 40%~60%。

（二）水煤浆燃烧技术

水煤浆是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型煤基流体洁净燃料，它是将洗选后的精煤进一步加工研磨成微细煤粉，按煤与水约 7:3 的质量比和适量的化学添加剂配制而成的一种煤水混合物。水煤浆既能保持煤的物理化学性能，又能像石油一样具有良好的流动性和稳定性。水煤浆可以用管道输送，便于储运和调整；

可以雾化燃烧,属低污染燃料,而且燃烧率高。水煤浆在制备、输送和燃烧过程中,可以有效减少 SO_2 、 NO_x 和烟尘的产生,具有良好的环境效益。由于制浆所用原料为洗选煤,这种煤中无机硫分已除去 50%左右,主要硫分是有机硫,因此,它的全硫要比原煤低 25%~30%。在制浆过程中,加入适量的脱硫剂,还可进一步降低 SO_2 排放浓度。

(三) 循环流化床炉内燃烧脱硫技术

循环流化床炉内燃烧脱硫技术是近年来在国际上快速发展起来的新一代高效、低污染清洁燃烧技术,其主要特点在于燃料及脱硫剂经多次循环,反复地进行低温燃烧和脱硫反应,炉内湍流运动强烈,不但能达到 90%的脱硫效率、低 NO_x 排放以及与煤粉炉相近的燃烧率,而且具有燃料适应性广、负荷调节性能好等特点,成为我国清洁燃烧领域中发展最迅速、工程运用最多的技术之一。

循环流化床炉内燃烧脱硫技术将石灰石破碎成一定的细度,与煤在炉中同时燃烧,在 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 时,石灰石在炉内高温条件下形成多孔的 CaO ,与 SO_2 反应生成 CaSO_4 进入灰渣中,达到脱硫目的。影响脱硫效率的主要因素有床温、钙硫比、石灰石的粒度和烟气含氧量,此外还有床层高度、流化速度、石灰石性能、石灰石加入位置等,这些因素的综合影响决定了脱硫效率的高低。

循环流化床炉内燃烧脱硫技术能够达到 90%以上的脱硫效率。近年来,我国在循环流化床脱硫技术上取得了较大突破,国内首台 300MW 循环流化床机组于 2006 年在四川白马循环流化床示范电站投产以来运行情况良好。世界首台 600MW 超临界循环流化床机组也将于 2013 年在四川白马投运。

三、燃烧后脱硫技术

燃烧后脱硫技术即烟气脱硫 (Flue Gas Desulfurization, FGD)

技术,被公认为是最有效也是应用最广泛的一项脱硫技术。特别是在我国“十一五”以后,烟气脱硫技术在火电厂中的应用比例已经超过了95%以上。烟气脱硫技术按净化原理分为两大类:

- ① 吸收吸附法,用液体或固体物料优先吸收或吸附烟气中的 SO_2 ;
- ② 氧化还原法,将烟气中的 SO_2 氧化成 SO_3 ,再转化为硫酸,或还原为硫,再将硫冷凝分离。

火电厂烟气具有以下特点:① 排放量大;② 成分复杂,包括 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 CO_2 、 O_2 和烟尘等;③ 温度高、压力低等。烟气的以上特点,要求火电厂的脱硫技术必须有较高的脱硫效率和脱除速度。

选择脱硫技术时,应考虑以下方面:① SO_2 排放浓度和排放量必须满足国家和当地环保要求;② 脱硫技术适用于已确定的煤种条件,并考虑到燃煤含硫量在一定范围内变动的可能性;③ 脱硫效率高、技术成熟、运行可靠,并有较多的应用业绩;④ 尽可能节省建设投资;⑤ 布置合理,占地面积较少;⑥ 吸收剂、水和能源消耗少,运行费用较低;⑦ 吸收剂有可靠稳定的来源,质优价廉;⑧ 脱硫副产物、脱硫废水均能得到合理的利用或处置。

FGD 工艺湿法烟气脱硫技术有石灰石—石膏法脱硫、海水法脱硫、双碱法脱硫、氨法烟气脱硫、氧化镁法、磷铵法、氧化锌法、氧化锰法、钠碱法和碱式硫酸铝法等技术;半干法脱硫有喷雾干燥法、增湿灰循环脱硫、烟气循环流化床脱硫等技术;干法脱硫有炉内喷钙尾部烟气增湿活化、荷电干式吸收剂喷射、电子束、脉冲电晕、管道喷射等技术。湿法脱硫技术成熟,效率高,钙硫比低,运行可靠,操作简单,但脱硫产物的处理比较麻烦,烟温降低不利于扩散,对尾部烟道及烟囱腐蚀强。传统湿法脱硫技术的工艺较复杂,占地面积和投资较大;干法、半干法的脱硫产物为干粉状,处理容易,工艺较简单,投资一般低于传统湿法,但以石灰作脱硫剂的干法、半干法的钙硫比高,脱硫效率和脱硫

剂的利用率低。

烟气脱硫技术多达百余种，然而具有工业应用价值的不过十余种。目前在火电厂中常用的烟气脱硫技术有：石灰石—石膏湿法烟气脱硫、烟气循环流化床脱硫、喷雾干燥法脱硫、炉内喷钙加尾部烟气增湿活化法脱硫、海水法脱硫、电子束法脱硫、氨法脱硫、镁法脱硫等。石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术目前在火电厂应用最多，其次是循环流化床脱硫技术。沿海城市火电厂可以利用凝汽器循环冷却水（海水）排水，采用海水法烟气脱硫技术。本书简单介绍我国使用的几种脱硫技术，重点阐述我国沿海城市应用较为广泛的海水法烟气脱硫技术及烟气脱硫系统的检修及运行管理。

第二节 石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术

一、石灰石—石膏湿法烟气脱硫机理

石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术采用价廉易得的石灰石或石灰作脱硫剂。石灰石经破碎研磨成粉状与水混合搅拌成吸收浆液；当采用石灰为吸收剂时，石灰粉经消化处理后加水搅拌成吸收浆液。在吸收塔内，吸收浆液与烟气接触混合，烟气中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙以及鼓入的氧化空气进行化学反应，从而被脱除，最终反应产物为石膏。脱硫后的烟气经除雾器除去烟气中的细小液滴，经换热器（如有）加热升温后排入烟囱。脱硫石膏浆液中的石膏经脱水装置脱水后回收。石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统示意图如图 1-1 所示。

二、石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术的主要特点

（1）脱硫效率高。石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术的脱硫效率高达 95% 以上。

(2) 技术成熟，运行可靠性好。

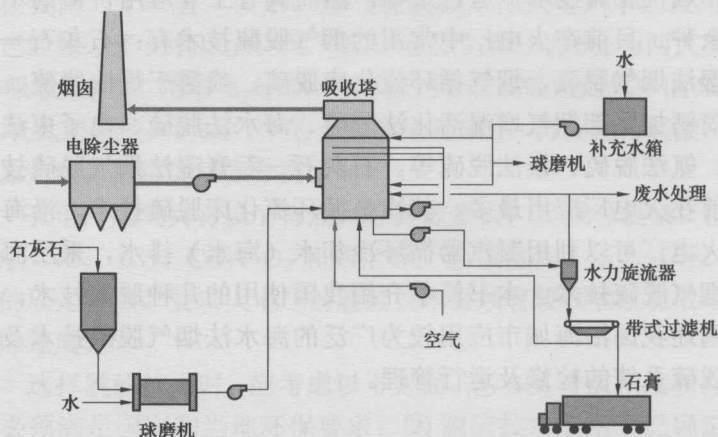


图 1-1 石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统示意图

(3) 对煤种变化的适应性强。该技术适用于任何含硫量煤种的烟气脱硫。

(4) 吸收剂资源丰富，价格便宜。在脱硫工艺的各种吸收剂中，石灰石价格最便宜，破碎磨细较简单，钙利用率较高。

(5) 脱硫副产物便于综合利用。

(6) 占地面积大，一次性建设投资相对较大。

石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术是目前世界上技术最为成熟、应用最多的脱硫技术，特别在中国、美国、德国和日本，应用该技术的机组容量约占电站脱硫装机容量的 95% 以上，应用的单机容量最大已达 1000MW。

第三节 半干法烟气脱硫技术

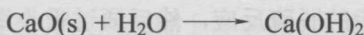
半干法烟气脱硫属于燃烧后的脱硫技术，在脱硫装置中，吸收剂与烟气发生物理化学反应生成干粉状脱硫终产物。半干法烟

气脱硫技术具有技术成熟、工艺可靠、流程简单、耗水量小、耗电量小、占地少、一次投资费用低、无污水排放、维护费用低、脱硫效率可达 85% 以上等众多优点；但是该技术也存在原料成本高、适用煤种少、石灰品质要求高、脱硫副产品不利于综合利用等缺点。

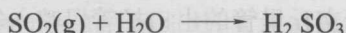
半干法烟气脱硫技术以生石灰（CaO）为吸收剂原料，将其制备为消石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 粉喷入脱硫装置内，同时加入调温增湿水，吸收剂与烟气在脱硫装置内混合接触，发生物理化学反应，达到脱除二氧化硫的目的，同时获得固态粉状脱硫终产物。

主要化学反应过程如下：

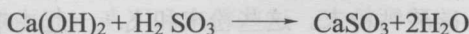
生石灰消化



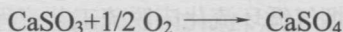
SO_2 被液滴吸收



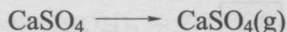
与吸收剂反应



液滴中 CaSO_3 继续氧化生成硫酸钙



硫酸钙难溶于水，便会迅速沉淀析出固态硫酸钙



在半干法烟气脱硫技术中，烟气中的其他酸性气体，如 SO_3 、 HCl 、 HF 等也会同时与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应，而且 SO_3 和 HCl 的脱除率高达 95%，远大于湿法脱硫技术反应式为



目前半干法烟气脱硫技术应用较为广泛的主要有两种，即烟气循环流化床脱硫技术和增湿灰循环脱硫技术。