



山东电力建设第二工程公司
山东电建建设集团有限公司

组织编写

火电厂脱硫与脱硝 实用技术手册

张 忠 武文江◎主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



山东电力建设第二工程公司
山东电建建设集团有限公司

◎组织编写

火电厂脱硫与脱硝 实用技术手册

张 忠 武文江◎主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分为五篇,包括:火电厂烟气脱硫技术篇、火电厂烟气脱硝技术篇、脱硫与脱硝设备篇、脱硫与脱硝工程案例篇和火电厂脱硫与脱硝相关技术标准篇。第一篇及第二篇全面介绍了火电厂脱硫与脱硝技术,并重点详述了目前火电厂广泛应用的石灰石—石膏湿法烟气脱硫及 SCR 脱硝工艺技术的工作原理、工艺流程、系统设计、施工、调试、检修维护、运行等内容;第三篇对工艺系统中的主要设备进行了介绍;第四篇结合典型工程案例,对 FGD 及 SCR 两种主流工艺给予详细说明;第五篇对目前正在执行的火电厂脱硫与脱硝相关技术标准一一列出,以供读者参阅和使用。

本书可供火力发电厂脱硫脱硝工艺设计、施工、监理、运行维护检修及管理人员阅读,也可作为高等院校环境工程、热能与动力工程、化学工程、火力发电管理等专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂脱硫与脱硝实用技术手册 / 张忠, 武文江主
编; 山东电力建设第二工程公司, 山东电建建设集团有
限公司组织编写. — 北京: 中国水利水电出版社,
2014.7

ISBN 978-7-5170-2545-0

I. ①火… II. ①张… ②武… ③山… ④山… III.
①火电厂—烟气脱硫—技术手册 IV. ①X773.013-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第226426号

书 名	火电厂脱硫与脱硝实用技术手册
作 者	山东电力建设第二工程公司 山东电建建设集团有限公司 组织编写 张忠 武文江 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	210mm×285mm 16开本 57印张 2708千字
版 次	2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷
定 价	198.00元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

《火电厂脱硫与脱硝实用技术手册》

编委会名单

主 任：张仕涛 肖 英

副 主 任：赵启明 赵秀华 侯端美 刘云雷 岳增智 张玉宝
张 忠 张训文 冯 春 李 刚 杜 洁 朱大海
侯学兵 周亚男 史涌泉 马 勇

委 员：肖玉桥 司连启 张文俊 褚 鹏 王锦江 隽 伟
王靖宇 武文江 刘恩江 欧福庆 刘春英 孙克涛
段 然

主 编：张 忠 武文江

副 主 编：王锦江 隽 伟 王靖宇 王秀梅 刘鲁吉

编写人员：王清亮 魏 柯 刘 双 苏 明 欧阳安纲 王宗国
王烁章 周 哲 周 华 敬承凤 王永志 刘春江
宋爱军 张纪法 柳建广 张庆龙 武继文 宋 磊
卢圣腾 董 岳 刘兴振 周元庆 李建军 袁延军
刘士学 杜庆存 刘昌明 李德路 朱国清 王友敏
张洪涛 张德心 迟志健 潘满华 贾古林 李 磊
石 凯 高志勇 朱光磊 武同骁 杜晓丹 武同迪
李秋妍 刘 莹 孙天毅 任信春 毛红星 张翼飞
张顺意 徐 晶 张晓丹 王荣艳 杜文红 杜文斌
郑玉萍 鲍毅清 张晓博 李 真 商广新 孙爱燭
冯 春 李 刚 张训文 杜 洁 朱大海 侯学兵
周亚男 史涌泉 马 勇 张伟厚 王一帆 王思成
何佳春 苏培东 秦 浩 郝 峰 缪根生 刘春英
孙克涛 段 然 侯仁泉 侯生伟 欧福庆 李省林
韩照文 刘秉河 李新华 尚志杰 马宪忠 马旭东
韩 忠 姬 楠 赵业蔚 崔玉生 郭建华 徐长纪
尚存斌 张成芳

序

在我国大气污染治理进入攻坚阶段之际，很高兴能读到这样一本具有实际应用价值的书，这无疑对“石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术”和“选择性催化还原脱硝（SCR）技术”在我国的全面推广，高质量完成“雾霾”治理目标会起到积极的推动作用。

环境保护是我国的一项基本国策，多年来，各级政府、科研院所、环保工程单位、设备制造厂、发电单位等都投入了大量的人力物力，从事烟气治理方面的技术引进、吸收、研发及应用工作，在工程实践中总结出了丰富的经验，并取得了骄人的成绩。

虽然烟气脱硫、脱硝工艺有很多种，在国内外 200MW 及以上机组得到普遍应用的主要是“石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺”及“SCR 脱硝工艺”，市场占有率在 80% 以上，成为主要工艺，近十几年来在我国也得到广泛应用。

对于从事火电厂大型烟气脱硫、脱硝的广大管理人员、技术人员及大专院校师生来说，如何将脱硫、脱硝技术应用到具体工程实践中去，是一个既现实又迫切的问题。此时，本书的出版，无疑将起到有效的促进作用。

通读全书，发行本书有两大亮点。一是“全面”，作者结合我国十几年来“石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺”和“SCR 脱硝工艺”的工程实践，对子系统、设备、设计、施工、调试、检修维护、运行等内容进行了详细介绍，并把火电厂脱硫与脱硝相关技术标准附在后面，在脱硫脱硝方面可以说是一本百科全书。二是“实用”，在施工章节，对项目管理、计划管理、施工组织、技术方案等结合案例，进行了详细介绍，把内容稍加修改，即可应用到相关工程中去，具有直接借鉴价值；在运行章节，详细解释了诸如“石膏雨”等大家关心的问题，结合实践案例，在优化运行、节能降耗等方面详细描述，对已运行装置具有启迪和指导作用；在设计、调试、检修等方面，也都有可圈可点的地方。

特别是我国《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011）的实施，对脱硫脱硝工艺提出了更高要求，这既是挑战也是机遇，需要我们广大工程技术人员和科技工作者不畏艰难，勇于探索，不断创新，使我国大气污染治理技术走在世界前列。

毛健雄

2014 年 6 月

前 言

我国煤炭消费量居世界第一位,2013年全国煤炭消费量达36.1亿t,占一次能源消费的比重为65.7%。随着国家能源结构的调整,煤炭消费比重会进一步下降,但在今后较长的一段时间内,以煤为主的电力生产格局不会改变,预计到2015年,我国煤炭需求可能达到38亿t。火电厂以燃煤为主要燃料发电,燃烧产生大量 SO_2 及 NO_x ,造成大气环境污染。据环保部《2012中国环境状况公报》数据,2012年,全国二氧化硫排放总量2117.6万t,比上年下降4.52%;氮氧化物排放总量2337.8万t,比上年下降2.77%;脱硫机组总装机容量占火电装机容量的92%,脱硝机组总装机容量占火电装机容量的27.6%;综合脱硫效率90%以上,全国脱硝机组平均脱硝效率48%。从政府公布数据来看,我国火电厂脱硫脱硝工作依然任重道远,特别是我国制定的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011),对脱硫脱硝工艺提出了更高要求。

石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺(FGD)及选择性催化还原脱硝(SCR)工艺是目前世界上大型锅炉烟气治理的主要工艺,我国通过多年来的技术引进、消化和吸收,基本实现国产化,某些方面有所创新发展,在我国火电厂得到广泛应用,使得锅炉烟气治理取得明显成效。基于以上原因,本书以FGD及SCR两种工艺为研究对象,结合具体工程案例及多年实践经验,并参阅了大量工程文献及研究成果,对其工作原理、工艺流程、主要设备、系统设计、施工、调试、检修维护、运行等内容进行了系统论述,特别是对施工及系统设计进行重点介绍,并附有典型工程案例。

全书共五篇。第一篇为火电厂烟气脱硫技术,分为七章,第一章对脱硫技术进行概述,简要介绍了国内外有应用业绩的主要烟气脱硫技术;第二章介绍了FGD工艺原理及系统,对脱硫石膏综合利用及石膏炒制工艺专节讲述;第三章从优化FGD工艺设计及环保要求出发,对脱硫工艺选择、各系统设计要点、土建结构进行介绍,对目前大家较关注的湿烟囱设计方案进行重点分析比较;第四章为施工安装,结合多年施工经验及工程案例,对主要施工工艺进行说明;第五章为FGD防腐,对脱硫系统常用的防腐技术进行介绍,对存在的问题进行分析探讨;第六章对设备单体调试、分系统调试、整套启动调试及调试中常出现的问题进行介绍;第七章为脱硫系统运行,从可靠性及经济性出发,结合工程案例,详细介绍了优化运行的思路及方案,分析了运行中的常见故障原因及应对措施,解释了诸如“石膏雨”等问题的形成机理;第八章为FGD维护及检修。第二篇为选择性催化还原脱硝工艺技术,分为六章,第一章对脱硝工艺技术进行概述;第二章为SCR工艺原理及系统,并对锅炉低氮燃烧技术专节介绍;第三章为SCR设计,结合工程案例,从脱硝工艺一般设计及系统改造等方面进行介绍;第四章为施工安装,主要对工程管理、主要施工方案及设备安装进行介绍;第五章为系统调试及验收,系统介绍了脱硝系统调试全过程操作程序;第六章介绍了脱硝系统运行、维护及检修,分析了加装SCR对机组的影响。第三篇为脱硫与脱硝设备,对工艺系统中的主要设备进行了介绍,并对部分设备的选取进行分析比对。第四篇结合典型工程案例,对FGD及SCR两种主流工艺给予详细说明,并对电石渣—石膏脱硫工程案例专节介绍。第五篇对目前正在执行的火电厂脱硫与脱硝相关技术标准一一列出,供大家方便使用。

本书可作为火电厂脱硫脱硝工艺设计、施工、监理、运行维护、检修及管理人员参考,也可作为大专院校环保及热动专业学生的参考书。

本书在编写过程中得到很多专家的大力帮助,特别是许多环保公司提供了宝贵的技术指导,并引用了环保界众多专家的研究成果及撰写的文献资料,恕难一一详列,在此一并表示感谢!

特别感谢:国际著名煤清洁燃烧技术专家、清华大学教授毛健雄为本书作序。

提供资料并参与部分编写工作和图表绘制工作的还有:叶常容、李建基、张强、张方、高水、石峰、王卫东、石威杰、丁毓山、贺和平、任旭印、潘利杰、程宾、张倩、张娜、李俊华、石宝香、成冲、张明星、郭荣立、王峰、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、胡兰、王志玲、李自雄、陈海龙、李亮、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、吕洋、任华、李翱翔、孙雅欣、李红、王岩、李景、赵振国、任芳、魏红、薛军、吴爽、李勇高、王慧、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、邢烟、李青丽、谢成康、杨虎、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、马良、孙洋洋、胡毫、余小冬、丁爱荣、王文举、冯娇、徐文华、陈东、毛玲、李键、孙运生、尚丽、王敏州、杨国伟、李红、刘红军、白春东、林博、魏健良、周凤春、黄杰、董小玫、郭贞、吕会勤、王爱枝、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王彬、王惊、李丽丽、吴孟月、闫冬梅、孙金梅、张丹丹、李东利、王忠民、赵建周、李勇军、陈笑宇、谢峰、魏杰、赵军宪、王奎淘、张继涛、杨景艳、史长行、田杰、史乃明、吉金东、马计敏、李立国、郝宗强、吕万辉、王桂荣、刁发良、秦喜辰、徐信阳、乔可辰、姜东升、温宁、郭春生、李耀照、朱英杰、刘立强、王力杰、胡士锋、牛志刚、张志秋、宋旭之、乔自谦、高庆东、吕学彬、焦现锋、李炜、闫国文、苗存园、权威、蒋松涛、张平、黄锦、田宇鲲、曹宝来、王烈、刘福盈、崔殿启、白侠、陈治玮、李志刚、张柏刚、王志强、史春山、代晓光、刘德文、隋秋娜、林自成、何建新、王佩其、骆耀辉、石鸿侠、皮爱珍、何利红、徐军、邓花菜、吴皓明、曹明、金明、周武、田细和、林露、邹爱华、罗金华、宋子云、谢丽华、刘文娟、李菊英、肖月娥、李翠英、于利、傅美英、石章超、刘雅莹、甘来华、喻秀群、唐秀英、廖小云、杨月娥、周彩云、金绵曾、唐冬秀、刘菊梅、焦斌英、曾芳桃、谢翠兰、王学英、王玉莲、刘碧辉、宋菊华、李淑华、路素英、许玉辉、余建辉、黄伟玲、冠湘梅、周勇、秦立生、曹辉、周月均、张金秀、程淑云、李福容、卿菊英、许建纯、陈越英、周玉辉、周玉兰、黄大顺、曹冻平、蒋兴、彭罗、胡三姣、邓青莲、谢荣柏、何淑媛、高爱华、曹伍满、程淑莲、刘招良、黄振山、周松江、王灿、叶军、李仑兵、金续曾、彭友珍、周小云、王娜、胡中流、郑雅琴、陈化钢、石威杰、崔元春、崔连秀、张宏彦、周海英、冷化新、初春、张丽、张鹏罡、王立新、曲宏伟、梁艳、王松岩、于福荣、崔连华、潘瑞辉、孙敬东、都业国、孟令辉、张晓东、万志太、方向申、郭宏海、赵长勇、栾相东、迟文仲、仲维斌、莫金辉、莫树森、黄金东、朱晓东、金昌辉、金美华、姜德华、白明、刘涛、万莹、霍云、邢志艳、邵清英、赵世民、初宝仁、王月、汪永华、钱青海等。

对于书中存在的缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

作者

2014年5月

目 录

序 前言

第一篇 火电厂烟气脱硫技术

第一章 脱硫工艺技术概述	3	三、二级石膏浆液脱水系统	17
第一节 绪论	3	第九节 工艺水及工业水系统	19
第二节 主要脱硫工艺简介	3	一、工艺水系统	19
一、石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺	3	二、工业水系统	19
二、海水脱硫工艺	3	第十节 事故浆液系统	19
三、喷雾干燥法脱硫工艺	3	第十一节 压缩空气及辅助蒸汽系统	23
四、烟气循环流化床脱硫工艺	4	一、压缩空气系统	23
五、镁法脱硫工艺	4	二、辅助蒸汽系统	24
六、电子束法脱硫工艺	4	第十二节 集控系统	24
七、氨法脱硫工艺	4	一、概述	24
八、炉内喷钙加尾部增湿活化器脱硫工艺	5	二、分散控制系统 DCS	24
九、简易石灰石—石膏湿式高速水平流脱硫工艺	6	三、自动化水平	26
十、电石渣—石膏脱硫工艺原理	6	四、自动化功能	26
十一、几种典型脱硫工艺方案比较	6	第十三节 供电系统	26
第二章 石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺		一、概述	26
原理及系统	7	二、6kV 供电	27
第一节 石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺原理	7	第十四节 废水处理系统	27
一、基本原理	7	一、概述	27
二、原理分析	7	二、脱硫废水的处理与处置	27
三、相关概念	9	第十五节 脱硫石膏综合利用及石膏炒制工艺	29
第二节 烟气系统组成及原理	9	一、脱硫石膏特点	29
一、增压风机的布置方式	10	二、脱硫石膏的应用	29
二、无旁路烟气系统	10	三、脱硫二水石膏炒制原理	29
三、设置 GGH 的烟气系统	11	四、脱硫石膏炒制煅烧工艺选择	29
四、烟道预洗涤系统	11	五、典型石膏炒制工艺——锤式烘干机+气流干燥管	
第三节 吸收塔系统组成及原理	13	+成品稳定器工艺	29
一、系统组成	13	第三章 脱硫设计	31
二、系统原理	13	第一节 脱硫工艺选择及基本条件	31
第四节 石灰石破碎系统	16	一、脱硫工艺选择的主要技术原则	31
一、系统组成	16	二、影响脱硫工艺选择的综合因素	31
二、工艺流程	16	三、外部条件要素	31
第五节 湿式石灰石浆液制备系统	16	四、技术选择要素	32
一、系统组成	16	五、经济选择要素	32
二、工艺流程	16	第二节 工艺参数设计计算	32
第六节 干式石灰石浆液制备系统	17	一、液气比 (L/G)	32
一、系统组成	17	二、停留时间	34
二、工艺流程	17	三、烟气温度	34
第七节 石灰石供浆系统	17	四、烟气流速	34
一、系统组成	17	五、钙硫比 (Ca/S)	35
二、工艺流程	17	六、浆液 Cl^- 浓度	36
第八节 石膏脱水系统	17	第三节 FGD 工艺过程的物料平衡	37
一、概述	17	一、物料平衡	37
二、一级石膏浆液脱水系统	17	二、工艺水平衡	38
		三、氯化物浓度对废水排放量的影响	39

第四节 烟气系统设计要点	40	六、真空圆盘式脱水机	70
一、烟道	40	第十三节 保证石膏质量的设计要点	71
二、烟气挡板	40	一、石膏副产品质量保证值的提出	71
三、增压风机	41	二、循环浆液在吸收塔中停留时间对石膏质量的影响	71
四、烟气换热器	41	三、强制氧化程度对石膏质量的影响	72
五、烟道补偿器	41	四、水力旋流分离器分离效率对石膏质量的影响	72
第五节 GGH 设置	41	第十四节 脱硫石膏处置	72
一、设置 GGH 的有关规定	41	一、脱硫副产物处理流程及设备配置	73
二、设置 GGH 的目的	42	二、一级脱水	73
三、关于 GGH 设置的发展趋势	42	三、二级脱水	75
第六节 GGH 设置方案比较	42	四、脱硫固体副产物第三道处理工序	76
一、加热烟气的理由	42	五、脱硫废弃副产物最终处置方法	77
二、可供选择的烟气加热方式	43	第十五节 FGD 废水处理系统的设计优化	78
第七节 旁路改造设计要点	44	一、概述	78
一、旁路挡板拆除及烟道系统优化	44	二、FGD 废水处理系统的一般设计原则	79
二、GGH 解决方案	44	三、FGD 废水处理方法	79
三、增压风机解决方案	44	四、FGD 废水系统的优化实例	80
四、吸收塔入口烟气降温方案	44	第十六节 公用系统的设计要点	81
五、无旁路烟气系统设计要点	44	一、工艺水	81
第八节 吸收塔系统设计要点	45	二、仪用/杂用压缩空气	81
一、吸收塔系统组成	45	三、事故浆液排放系统	81
二、逆流喷淋空塔概述	45	四、生活水及暖通消防	82
三、系统设计及优化设计原则	45	五、公用系统设计优化	82
四、无旁路 FGD 吸收塔系统的设计要点	49	第十七节 FGD 电气系统设计要点	82
五、对脱硫效率的几个影响因素	49	一、FGD 电气系统的一般设计原则	82
第九节 无旁路烟道原烟气预洗涤设计	50	二、电气系统的优化设计	83
一、烟气预洗涤概述	50	第十八节 仪控系统设计要求	83
二、并联吸收塔	50	一、PLC 控制系统	83
三、串联吸收塔	52	二、DCS 控制系统	84
四、烟道预洗涤装置	52	三、FCS 控制系统	85
第十节 除雾器设计要求	55	四、三种控制系统的性能比较	86
一、除雾器的基本工作原理	55	五、控制系统的选型建议	86
二、折流板除雾器板片的形状和特点	56	六、热工电源	86
三、除雾器布置方向及优缺点比较	56	七、主要仪表设计优化	86
四、烟气流速对除雾器性能的影响	58	八、主要检测参数的测点布置	87
五、除雾器板片特性对除雾器性能的影响	59	第十九节 湿烟囱设计要求	88
六、除雾器的级数和级间距	60	一、选择湿烟囱需考虑的因素	88
七、除雾器冲洗系统	60	二、冷凝物形成的原因和特点	89
八、除雾器系统配置的仪器	62	三、湿烟囱工艺对设备的设计要求	89
九、除雾器的结构材料	62	四、湿烟囱的结构材料	91
第十一节 石灰石浆液制备系统设计优化	63	五、国内脱硫烟囱防腐现状分析	92
一、石灰石制备系统方案	63	六、旧烟囱防腐改造建议	92
二、干式球磨机制浆和湿式球磨机制浆的比较	63	第二十节 燃煤烟气湿法脱硫系统总体布置	93
三、外购石灰石粉与湿式石灰石制浆方案经济性比较	65	一、概述	93
四、某电厂无旁路 FGD 制浆系统的设计	65	二、脱硫岛总平面布置原则	93
五、无旁路 FGD 制浆系统的设计优化	66	三、脱硫岛竖向布置原则	93
六、石灰石浆液制备系统的一般设计原则	66	四、脱硫岛主要建(构)筑物及总体布置	93
七、材料选择	67	五、脱硫岛各建(构)筑物的布置	96
第十二节 石膏脱水系统的设计优化	67	六、脱硫岛各建(构)筑物联合布置	102
一、概述	67	七、脱硫设备管线综合布置	102
二、典型的石膏脱水系统	67	八、脱硫岛道路及绿化	102
三、FGD 石膏浆液脱水系统的一般设计原则	67	第二十一节 土建及钢结构设计要点	103
四、某电厂无旁路 FGD 石膏浆液脱水系统的设计	68	一、建筑设计	103
五、无旁路 FGD 石膏浆液脱水系统的设计优化	70	二、建筑结构形式	103

三、结构设计	104	二、施工方法	121
第四章 施工安装	105	三、施工具体步骤	121
第一节 工程概述	105	四、防腐缺陷分析及应对措施	122
第二节 施工总体规划	105	第四节 烟囱选择及防腐	123
一、场地布置	105	一、运行机组加装脱硫装置后对烟囱腐蚀的影响	123
二、临时用地规划	105	二、配套 FGD 新建机组的烟囱防腐	125
三、施工道路	105	第五节 FGD 浆液阀门防腐	127
四、施工临建	106	一、概述	127
五、力能供应	106	二、FGD 阀门及设备防腐措施	127
六、施工排水	106	三、FGD 阀门防腐	128
七、机械布置	106	第六节 脱硫系统腐蚀分析	128
八、劳动力投入	106	一、腐蚀来源	128
第三节 土建施工	107	二、腐蚀形式	129
一、工程施工原则	107	三、腐蚀环境	129
二、施工特点	107	第六章 脱硫系统调试和验收	131
三、施工布置	107	第一节 调试准备工作	131
四、施工总体安排	107	一、FGD 系统调试的目的及一般规定	131
第四节 FGD 安装综述	107	二、组织机构	131
第五节 GGH 安装	107	三、调试准备工作	131
一、主要施工方案	108	第二节 单体调试	131
二、吊装顺序	108	一、单体调试前应具备的条件	132
三、主要施工工艺	108	二、增压风机的调试	132
四、烟道安装	108	三、烟气挡板的调试	134
第六节 吸收塔制作安装	108	四、烟气再热器的调试	134
一、立柱—倒链提升倒装法施工前准备工作	108	五、循环泵的调试	135
二、立柱—倒链提升倒装法工艺流程	109	六、氧化风机的调试	136
三、液压提升倒装工艺	112	七、湿式球磨机的调试	137
第七节 增压风机安装	113	八、真空皮带脱水机的调试	138
第八节 循环浆液泵安装	113	九、搅拌器的调试	139
一、施工准备	113	第三节 系统调试	139
二、泵的基础验收	113	一、分系统调试	139
三、泵的运输	113	二、烟气系统的调试	140
四、吊装就位	113	二、吸收塔系统的调试	141
五、泵类检修安装	113	三、石灰石浆液制备系统的调试	141
第九节 湿磨安装	114	四、石膏脱水系统的调试	143
一、施工准备	114	五、废水处理系统的调试	144
二、主要施工方案	114	六、公用系统的调试	145
三、水压试验	115	第四节 整套启动调试	146
第十节 石膏浆脱水设备安装	115	第七章 脱硫系统运行	148
一、设备吊装方案	115	第一节 脱硫系统设备运行	148
二、真空皮带脱水机安装	115	一、运行管理	148
第五章 FGD 防腐	117	二、运行条件	148
第一节 FGD 防腐概述及工艺选择	117	三、维护保养	148
一、湿法脱硫技术防腐简述	117	四、安全防护	148
二、防腐蚀材料的选用	117	五、FGD 系统启动前工作	148
三、防腐工艺选择	118	六、FGD 系统启停概述	148
四、FGD 防腐内衬技术经济分析	118	七、FGD 系统启动前检查事项	149
第二节 鳞片玻璃树脂衬里防腐施工工艺	119	八、FGD 系统启动前的准备	151
一、概念及特点	119	九、FGD 装置正常启动	152
二、对被防护金属壳体结构及表面状态的要求	119	十、脱硫装置的运行调整	157
三、鳞片胶泥施工技术	120	第二节 脱硫系统设备检修后的调试及运行	159
四、鳞片防腐层修补	120	一、大修后的验收总则	159
五、玻璃布增强	120	二、大修后的检查项目	159
第三节 鳞片玻璃树脂衬里防腐施工案例	121	三、FGD 运行前的试验	159
一、现场施工准备的施工机械、工具、检测仪器	121	四、FGD 脱硫系统启、停操作	161

五、运行中异常情况处理	164	第十三节 机组投油助燃稳燃问题	250
第三节 联锁保护	164	第十四节 石膏品质影响因素分析及处理	251
一、联锁控制的总体概念	164	一、外部输入条件分析及处理	251
二、FGD 设备保护	164	二、吸收塔运行控制因素分析及处理	251
三、自 FGD 侧发出锅炉保护信号条件	165	三、脱水设备及仪表问题分析及处理	252
四、脱硫系统控制联锁条件的应用实践	165	四、废水排放及其他因素分析及处理	252
第四节 自动调节	170	第十五节 “石膏雨”问题分析	252
一、脱硫效率控制	170	第十六节 提高石膏质量的运行管理措施	253
二、吸收塔浆液流量控制	172	一、对石灰石吸收剂的管理	253
三、烟气流量控制	176	二、对烟尘的控制	253
四、吸收塔反应罐液位和浆液密度控制	178	三、对氧化效率的控制	254
五、除雾器冲洗控制	182	四、对水力旋流分离器的管理	254
六、FGD 系统总水平衡控制	182	五、运行 pH 值的控制	254
第五节 运行优化	183	六、反应罐浆液含固浓度的控制	254
一、优化运行理念	183	七、运行控制方式对石膏副产品质量的影响	254
二、优化运行方案	189	第十七节 脱硫废水处理不达标问题	255
三、优化运行案例	194	第八章 FGD 运行、维护及检修	256
第六节 FGD 对机组的扰动分析	213	第一节 FGD 设备维护	256
一、FGD 系统对锅炉运行的影响	213	一、设备维护制度	256
二、FGD 系统对汽轮机系统运行的影响	219	二、运行巡视	256
三、FGD 系统对灰渣排放系统运行的影响	219	三、日常维护检查	256
四、FGD 系统对尾部烟道及烟囱的影响	222	四、脱硫装置运行中的调整及维护	256
五、FGD 系统投运时机组的最优运行程序	225	第二节 脱硫设备检修	257
第七节 节能措施	226	一、增压风机检修	257
一、脱硫系统泵和风机的节能运行	226	二、GGH 检修	257
二、脱硫岛球磨机制浆系统运行中的优化调整	228	三、脱硫岛吸收塔的检修	258
三、浆液循环泵的优化运行	229	四、1000MW 超超临界机组脱硫岛吸收塔渣浆泵 的检修	259
四、保证石灰石料的品质	229	五、各系统检修工艺要求	261
第八节 运行故障分析	229	第三节 设备缺陷处理	265
一、事故处理总原则	229	一、除雾器积浆结垢和局部塌陷问题	265
二、FGD 系统保护	229	二、石膏含水量超标	265
三、FGD 系统申请停运	230	三、支撑梁的防腐损坏,梁被腐蚀穿孔问题	266
四、烟气系统的故障	230	四、烟道、箱罐、管道的防腐磨损及防腐 脱落问题	266
五、吸收塔系统故障	231	五、搅拌器和泵体磨损问题	266
六、石膏脱水系统故障	232	六、GGH 换热面堵塞问题	268
七、石灰石制浆系统故障	233	七、烟气泄漏	268
八、公用系统故障	233	八、烟气系统温度异常	268
九、电气系统故障	234	九、烟气系统结垢和堵塞	268
十、测量仪表故障	234	十、脱硫效率低	269
十一、火灾	235	十一、浆液品质恶化	269
十二、FGD 系统的安全性故障	235	十二、工艺水和冷却水系统问题	269
第九节 脱硫外部条件变化分析及处理	245	十三、石灰石浆液供给系统问题	269
一、脱硫各种外部条件变化分析	245	十四、湿磨入口堵塞	269
二、外部条件调整应对措施	246	十五、湿磨机内衬板损坏	269
第十节 影响脱硫效率的主要因素	246	十六、湿式球磨机漏浆及甩料	269
一、吸收塔入口烟气参数的影响	246	十七、磨机不出力	269
二、石灰石粉的品质、纯度和粒度的影响	247	十八、石膏脱水系统问题	269
三、运行因素的影响	247	十九、FGD 废水处理系统	271
第十一节 吸收塔内溢流及水平衡分析及处理	249	二十、仪表故障问题分析及处理	272
一、吸收塔内溢流水平衡失控原因分析	249	二十一、电气系统故障分析及处理	272
二、吸收塔水平衡	250		
第十二节 吸收塔内浆液 pH 值异常分析及处理	250		

第二篇 火电厂烟气脱硝技术

第一章 脱硝工艺技术概述	277	二、技术原理	304
第一节 绪论	277	三、低氮燃烧器	308
第二节 NO_x 的生成机理	277	第三章 SCR 设计	309
一、热力型 NO_x	277	第一节 总体设计原则	309
二、燃料型 NO_x	278	一、总体要求	309
三、快速型 NO_x	278	二、系统和设备的设计要求	309
四、燃烧过程中 NO_x 的生成比例	278	三、性能要求	309
五、燃煤电站 NO_x 排放量估算	279	第二节 催化剂设计	309
六、影响燃煤电站 NO_x 生成的主要因素	279	一、催化剂的设计要求	309
第三节 脱硝工艺比较	279	二、催化剂成分的设计依据	310
一、湿法烟气脱硝技术	279	三、烟气参数对催化剂的设计影响	310
二、干法脱硝技术	280	四、脱硝效率与经济性	311
三、电子束照射同时脱硫脱硝技术	280	五、氨逃逸率与二氧化硫的氧化率	311
四、电晕放电等离子体同时脱硫脱硝技术	280	六、催化剂的寿命及其预期失活速率	312
五、生物法处理技术	281	七、催化剂的体积设计	312
六、催化分解法	281	第三节 催化剂设计实例	313
第二章 选择性催化还原烟气脱硝工艺原理及系统	282	一、锅炉概述	313
第一节 SCR 工艺原理及技术特点	282	二、燃煤特性	314
一、工艺基本原理	282	三、SCR 设计参数	315
二、工艺系统组成及特点	282	四、催化剂技术参数及性能要求	315
第二节 性能指标	282	五、催化剂设计结果	316
一、几个定义	282	第四节 土建设计原则及技术要求	317
二、SCR 性能指标	283	一、脱硝结构设计依据	318
第三节 液氨储存及氨气制备供给系统	283	二、脱硝结构技术要求	318
一、卸氨、储存及推进系统工作原理及设备	284	三、脱硝结构主要材料技术要求	319
二、液氨蒸发及供给系统	285	第五节 新建机组 SCR 装置的土建设计	319
三、氨气排放稀释及氮气吹扫系统	288	一、设计原则	319
第四节 反应器系统	290	二、荷载	320
一、反应器系统组成及原理	290	三、静力分析	320
二、SCR 旁路烟道设置分析	290	第六节 现役机组安装 SCR 装置的土建设计	320
三、SCR 反应器	291	一、SCR 支架设计	320
四、喷氨系统	292	二、下部烟道支架加固设计	321
第五节 控制系统	293	三、基础加固设计	323
一、控制系统配置	293	四、锅炉钢结构改造设计	324
二、热工自动化功能	295	五、其他建、构筑物设计	324
三、SCR 反应器氨气流量控制	295	第七节 现役机组安装 SCR 装置土建设计实例	325
四、顺序控制 (SCS) 及保护逻辑	297	一、电厂概况	325
五、尿素系统的控制原理介绍	298	二、整体钢结构设计	325
第六节 反应剂的选择	298	三、原机组结构加固设计	325
一、液氨	298	四、基础加固设计	325
二、氨水	299	五、钢结构节点分析	326
三、尿素	299	第八节 烟气系统设计	329
第七节 脱硝催化剂	299	一、烟道的设计原则	329
一、概述	299	二、SCR 烟道设计的基本内容和技术要求	329
二、脱硝催化剂的型式	299	三、燃煤电站 SCR 入口烟道的布置	329
三、催化剂性能曲线	300	四、燃煤电站 SCR 出口烟道的布置	330
四、催化剂堵灰及措施	303	五、烟道体及加固肋的设计	330
五、催化剂失活及防止措施	303	六、膨胀节的设计	330
六、失效催化剂的处理	304	七、支吊架的设计	330
第八节 锅炉低氮燃烧技术	304	八、导流板的设计	332
一、概述	304	九、SCR 脱硝系统挡板门的设置	332
		十、SCR 系统性能考核试验测点布置	333

第九节 反应器的工艺设计	333	三、低氮燃烧改造案例	365
一、反应器设计需要考虑的问题	333	第十七节 加装 SCR 后的空气预热器改造	366
二、SCR 反应器工艺设计要求	334	一、SCR 系统中空气预热器的配置特点	366
三、反应器主要工艺参数	334	二、SCR 脱硝空气预热器的设计原则	366
四、反应器进出口段设计	335	三、改造实例	366
五、反应器的结构与支撑设计	335	第十八节 加装 SCR 后的风机系统改造	367
六、反应器支座设计	339	一、现役机组脱硝改造对锅炉引风机的影响	367
七、反应器的密封与防积灰设计	340	二、脱硝改造后引风机运行参数的确定	367
第十节 氨区设计	342	三、改造方案确定原则	367
一、标准规范	342	四、风机类型的选择与局部改造	367
二、我国对“氨溶液”的有关管理规定	342	五、引风机与增压风机合并改造	368
三、设备的防冻	342	第十九节 高灰条件下的 SCR 设计问题	368
四、液氨的储存和供应系统	342	一、SCR 催化剂的选取	368
第十一节 控制系统设计	344	二、SCR 吹灰装置	369
一、对控制系统总设计要求	344	三、SCR 布置的考虑	369
二、DCS 的技术要求	344	四、我国煤灰特征及 SCR 高灰的脱除	369
三、DCS 系统的硬件要求	345	五、流场模拟及实体模型试验	369
四、DCS 系统的软件要求	346	第四章 施工安装	370
五、数据采集系统	347	第一节 施工组织机构	370
六、模拟量控制系统	347	一、项目经理部	370
七、顺序控制系统	347	二、项目主要管理人员的配置	370
第十二节 就地仪表设计选型	347	三、施工分包方的选择	370
一、设计原则	348	第二节 工程管理	370
二、选型原则	348	一、管理制度	370
三、烟气分析仪表	349	二、技术管理	371
四、NH ₃ 逃逸分析仪	349	三、质量管理	372
五、执行机构	349	四、计划及进度管理	372
六、电源柜、控制盘柜及电缆	350	五、检验及实验管理	372
七、温度测量仪表	350	六、计量管理	372
八、压力/差压测量	350	七、焊接管理	372
九、流量测量	350	八、机械管理	372
十、料位、液位测量	351	第三节 工程计划管理	372
十一、氨区工业电视系统	351	一、总进度计划	372
第十三节 电气系统设计	351	二、进度的实际控制	372
一、设计的主要内容及依据	351	三、影响进度的原因分析及应对措施	373
二、SCR 脱硝 380/220V 供电系统	351	第四节 施工总平面布置	373
三、检修照明系统	351	一、总平面布置原则	373
四、控制与保护	351	二、交通运输组织	374
五、防雷接地系统	351	三、施工总平面管理	374
六、通信系统	352	第五节 主要施工方案	374
第十四节 附属系统设计	352	一、施工外部条件	374
一、采暖、通风、除尘及空调	352	二、施工准备	374
二、给排水系统	352	三、建筑工程	374
三、SCR 系统钢结构、平台及扶梯	352	四、装饰工程	376
四、保温、油漆和防腐	354	五、本体工程	377
第十五节 其他系统设计原则	356	六、电气工程	377
一、氨的混合及喷射系统	356	七、热控工程	379
二、吹灰系统	361	八、暖通工程	382
三、废水处理系统	363	九、给排水工程	382
四、脱硝装置灰斗	363	第六节 脱硝工程安装施工	382
五、关于脱硝系统旁路的设置问题	363	一、钢结构安装	382
六、消防与火灾报警系统	363	二、烟道组合安装	384
第十六节 低氮燃烧系统改造	364	三、反应器的安装	385
一、低氮燃烧改造原则	364	四、催化剂安装	385
二、低氮燃烧系统的改造	364	五、氨区设备安装	386

六、附属设备安装	388
第五章 脱硝系统调试及验收	391
第一节 调试准备工作	391
一、调试内容	391
二、准备工作	391
第二节 系统调试	391
一、氨区系统设备冷态调试	391
二、脱硝反应器区的冷态调试	392
第三节 首次整体启动	392
一、SCR 系统启动基本工况条件	392
二、SCR 系统反应器投运启动准备	392
三、投入液氨蒸发系统	392
四、SCR 系统的首次投运 (氨气喷入)	392
五、喷氨格栅调试	393
第四节 热态调试	393
一、氨区的热态调试	393
二、反应器的热态调试	393
第六章 脱硝系统运行、维护与检修	394

第一节 整套启动前的准备	394
一、首次启动前检验	394
二、常规启动前的检查	394
第二节 系统启停及运行	395
一、SCR 系统启动	395
二、SCR 系统的正常停运	396
三、紧急停机	396
四、正常运行工作	396
第三节 运行调整	396
一、液氨蒸发系统主要运行监视与调整	396
二、脱硝装置主要运行监视与调整	396
第四节 系统维护、检修	397
一、维护程序	397
二、故障检修	398
第五节 加装 SCR 对机组的影响	400
一、SCR 运行对锅炉的影响	400
二、SCR 对空气预热器的影响	400
三、SCR 对吸风机的影响	400

第三篇 脱硫与脱硝设备

第一章 脱硫设备	403
第一节 吸收塔	403
一、喷淋塔	403
二、鼓泡塔	404
三、液柱塔	405
四、动力波吸收塔	405
五、双回路吸收塔	405
第二节 增压风机	407
一、离心风机	407
二、静叶可调轴流风机	407
三、动叶可调轴流风机	407
四、静、动叶可调轴流风机比较	408
第三节 烟气换热器	409
一、脱硫系统净烟气再加热的方法	409
二、回转式换热器	410
三、热管式烟气换热器	412
四、水—气换热器	413
五、比较分析	414
第四节 烟气挡板门	415
一、闸板式挡板门	415
二、百叶窗式挡板门	415
三、典型 600MW 机组脱硫烟气挡板门 技术参数	417
第五节 烟道及烟道膨胀节	417
一、金属膨胀节	417
二、非金属膨胀节	418
第六节 循环浆泵	418
一、循环浆泵特点	418
二、常见类型	419
三、调速器及电动机	419
第七节 除雾器及其冲洗系统	419
一、除雾器结构类型	420
二、除雾器冲洗系统	421
第八节 喷嘴及喷淋层	421

一、喷嘴	421
二、喷淋层	422
第九节 管道	424
一、类型	424
二、设计中应考虑的问题	424
三、材料选择	426
四、应用建议	428
第十节 阀门	428
一、阀门类型	428
二、设计中应考虑的问题	430
三、材料选择	432
四、选择推荐意见	432
第十一节 搅拌器	432
一、类型	432
二、设计上应考虑的问题	433
三、材料选择	434
四、相关问题	435
第十二节 氧化系统设备	436
一、罗茨风机	436
二、强制氧化和自然氧化工艺	437
三、两种强制氧化方法比较	437
四、脉冲悬浮技术简介	438
第十三节 球磨机	439
一、卧式球磨机	439
二、立式球磨机	440
三、两种磨机比较	441
第十四节 石膏脱水系统主要设备	441
一、水力旋流器	441
二、脱水机	442
三、真空泵	443
四、石膏输送机及石膏库	444
第十五节 检测仪表	445
一、压力 (压差) 检测	445
二、流量检测	446

三、液位检测	447
四、烟气成分检测	448
五、浆液 pH 值检测	449
六、石灰石、石膏浆液密度（浓度）检测	449
七、工业电视监视系统	449
第二章 脱硝设备	450
第一节 反应器	450
一、反应器壳体和钢结构	450
二、反应器进出口烟道	450
三、导流板	450
四、催化剂	450
第二节 吹灰器	451
一、耙式蒸汽吹灰器	451
二、声波吹灰	451

第三节 稀释风机与氨气/空气混合器	452
一、稀释风机	452
二、氨气/空气混合器	452
第四节 喷氨格栅	452
第五节 卸氨装置	452
一、卸氨压缩机	453
二、液氨储罐	453
第六节 液氨蒸发器与稀释罐	453
一、液氨蒸发器	453
二、稀释罐	453
第七节 主要仪表	454
一、液位测量仪表	454
二、NH ₃ 测量仪表	455
三、氨气泄漏检测器	455

第四篇 脱硫与脱硝工程案例

第一章 脱硫工程案例	459
第一节 300MW 燃煤机组烟气脱硫工程案例	459
一、工程概况	459
二、建筑结构、设备及系统	460
三、桩基	468
第二节 2×660MW 超超临界机组烟气脱硫 工程案例	468
一、项目概况	468
二、脱硫容量及规模	469
三、脱硫工程的建设条件	469
四、脱硫工艺系统	470
五、脱硫区域及工艺楼的布置	472
第三节 2×350MW 超临界机组电石渣—石膏 湿法烟气脱硫工程案例	472
一、工程概况	472

二、脱硫工程系统说明	473
三、脱硫工艺介绍	473
第二章 脱硝工程案例	479
第一节 某电厂 300MW 燃煤机组烟气脱硝工程	479
一、工程概况及范围	479
二、主要设计方案	479
三、主要施工机械布置	480
第二节 某电厂 600MW 燃煤机组烟气脱硝工程	480
一、工程概况及范围	480
二、主要设计方案	480
三、主要施工机械布置	483
第三节 某电厂 1000MW 燃煤机组烟气脱硝工程	483
一、工程概况及范围	483
二、系统布置情况	483
三、主要施工机械布置	483

第五篇 火电厂脱硫与脱硝相关技术标准

1 环境空气质量标准 (GB 3095—2012)	487
2 火电厂大气污染物排放标准 (GB 13223—2011)	489
3 锅炉大气污染物排放标准 (GB 13271—2001)	492
4 锅炉烟尘排放标准 (GB 3841—1983)	493
5 火力发电厂烟气脱硫设计技术规程 (DL/T 5196—2004)	493
6 火力发电厂锅炉机组检修导则第 10 部分：脱硫装置 检修 (DL/T 748.10—2001)	499
7 烟气湿法脱硫用石灰石粉反应速率的测定 (DL/T 943—2005)	509
8 火电厂烟气脱硫工程调整试运及质量验收 评定规程 (DL/T 5403—2007)	510
9 石灰石—石膏湿法烟气脱硫装置性能验收 试验规范 (DL/T 998—2006)	530
10 湿法烟气脱硫工艺性能检测技术规范 (DL/T 986—2005)	535
11 火电厂石灰石—石膏湿法脱硫废水水质 控制指标 (DL/T 997—2006)	542
12 副产硫酸铵 (DL/T 808—2002)	543
13 火电厂烟气脱硫工程施工质量验收	

及评定规程 (DL/T 5417—2009)	544
14 火电厂烟气脱硫吸收塔施工及验收规范 (DL/T 5418—2009)	715
15 火电厂烟气海水脱硫工程调整试运及质量验收 评定规程 (DL/T 5436—2009)	730
16 火电厂石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫系统 运行导则 (DL/T 1149—2010)	747
17 干法烟气脱硫用生石灰的活性测定方法 (DL/T 323—2010)	753
18 火电厂石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫装置 检修导则 (DL/T 341—2010)	753
19 火电厂烟气脱硫装置验收技术规范 (DL/T 1150—2012)	771
20 火电厂烟气脱硫装置可靠性评定导则 (DL/T 1158—2012)	772
21 火电厂烟气脱硫装置经济性评价导则 (DL/T 1159—2012)	775
22 燃煤烟气脱硫设备 第 1 部分：燃煤烟气湿法 脱硫设备 (GB/T 19229.1—2008)	782
23 燃煤烟气脱硫设备 第 2 部分：燃煤烟气干法/半干法	

脱硫设备 (GB/T 19229.2—2011)	797	试验规范 (DL/T 260—2012)	868
24 燃煤烟气脱硫设备 第3部分: 燃煤烟气海水 脱硫设备 (GB/T 19229.3—2012)	804	33 火电厂烟气脱硝催化剂检测技术规范 (DL/T 1286—2013)	875
25 烧结熔剂用高钙脱硫渣 (GB/T 24184—2009)	808	34 燃煤烟气脱硝技术装备 (GB/T 21509—2008)	882
26 燃煤烟气脱硫设备性能测试方法 (GB/T 21508—2008)	809	35 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭 (GB/T 30201—2013)	887
27 橡胶衬里 第4部分: 烟气脱硫衬里 (GB 18241.4—2006)	818	36 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第1部分: 堆积密度 (GB/T 30202.1—2013)	889
28 火电厂烟气脱硝 (SCR) 装置检修规程 (DL/T 322—2010)	820	37 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第2部分: 粒度 (GB/T 30202.2—2013)	889
29 火电厂烟气脱硝工程施工验收技术规程 (DL/T 5257—2010)	832	38 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第3部分: 耐磨强度、耐压强度 (GB/T 30202.3—2013)	890
30 火电厂烟气脱硝 (SCR) 系统运行技术规范 (DL/T 335—2010)	852	39 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第4部分: 脱硫值 (GB/T 30202.4—2013)	891
31 火电厂烟气脱硝技术导则 (DL/T 296—2011)	865	40 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第5部分: 脱硝率 (GB/T 30202.5—2013)	893
32 燃煤电厂烟气脱硝装置性能验收			
参考文献			895

第一篇 脱硫工艺技术

第一篇 火电厂烟气脱硫技术

第一章 本章概述