

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

电力系统化学与环保试验

主编 田文华

546521.576232123223152

002455026



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

电力系统化学与环保试验

主编 田文华

参编 雷铭 王瑞珍 姚唯建 赵勤虎



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

为了总结多年来我国电力试验的经验,促进我国电力试验水平的提高,中国电力企业联合会电力试验研究分会和中国电力出版社组织编写了《电力试验技术丛书》。本丛书是根据国家电力公司电安生[1996]430号文《关于电力工业技术监督工作规定》的要求而编写的,具有科学性、实用性、先进性、权威性。

《电力系统化学与环保试验》是本丛书之一,全书共分二十四章。主要内容包括:火电厂锅炉补给水处理、凝结水精处理、给水处理、炉水处理、循环冷却水处理、发电机内冷水处理等试验;机组启动监督与停(备)用保养、锅炉化学清洗及水汽品质监督管理与优化;煤质监督;绝缘油试验;火电厂污水处理及回用试验,水平衡试验,节水与水务管理,节水新工艺;粉尘的理化特性及测定,烟气参数测定及烟尘等速采样,除尘、除灰系统性能试验,烟气脱硫系统性能试验等。

本书可供电力系统化学与环保专业的设计、试验、运行人员使用,并可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统化学与环保试验/田文华主编;雷铭等编.

北京:中国电力出版社,2008

(电力试验技术丛书/文伯瑜,姜龙华主编)

ISBN 978-7-5083-6092-8

I. 电… II. ①田… ②雷… III. ①电力系统-电化
学试验 ②电力工程-环境保护 IV. TM7-33 X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153365 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

*

2008年2月第一版 2008年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 31.75印张 718千字

印数 0001—3000册 定价 53.00元



敬告读者

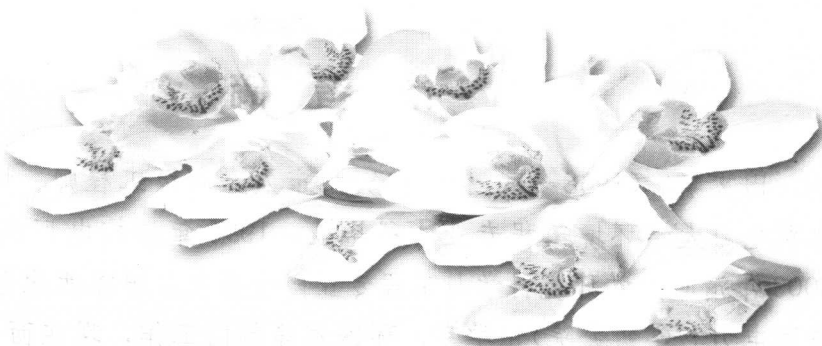
本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

谨以此书献给

为我国电力事业发展而
战斗在电力试验一线同仁





2003 年作者田摄于南非开普敦

作 者 简 介

田文华, (1968—), 甘肃省庆阳市人, 高级工程师、博士。1991 年武汉水利电力大学环境工程专业本科毕业, 1994 年该校电厂化学专业硕士毕业, 2003 年清华大学环境科学与工程专业博士毕业。曾在西北电力试验研究院(现陕西电力科学研究院)化学室、环保室等部门工作, 现在西安热工研究院有限公司电站水处理技术部工作, 主要研究方向为电厂水质净化及节水技术研究。在国内外期刊上发表三十多篇学术论文, 其中两篇论文分别在国际水质协会(IWA)及欧洲除盐学会(EDS)举办的国际会议上交流, 拥有两项发明专利和三项实用新型专利。现为欧洲除盐学会(EDS)会员。

电力试验技术丛书

编委会

主 任 赵 鹏

主 编 文伯瑜

副主编 姜龙华

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 立 牛继荣 石树平 平德明 卢昌华 白云庆

白立江 冯亚民 巩学海 吕 政 刘韶林 江学荣

杜晓峰 杨伟光 杨 杰 杨德起 李兴旺 李 昱

吴文宣 吴 毅 余维平 邹本国 张 伟 苑立国

卓伟光 周 宏 郑 松 赵 伟 施 冲 黄迪威

傅 伟 傅 军 蒯狄正 蔡玉平 蔡庆宏 潘 然

序

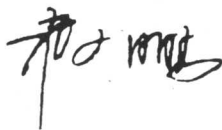
电力试验研究是经济建设尤其是电力工业发展中一项不可或缺的事业。中外电力事业的发展，均离不开电力试验研究人员的智慧和辛勤工作。新中国成立后，尤其是改革开放以来，随着电力工业的发展，我国电力试验研究事业取得了长足的进步，电力试验研究队伍不断扩大，试验研究成果层出不穷，极大地推动了电力工业的快速发展。

目前我国各地区均拥有自己的电力试验研究机构，从事电力试验研究的工程技术人员超过10000人。这支队伍的文化层次也从解放初期的以中专、大专毕业生为主，提高到今天的以大学毕业生、硕士生和博士生为主。更重要的是，这是一群热爱自己的事业、勤于钻研、勇于实践的勤奋劳动者。前后几辈人相互学习，长期工作实践，积累了大量试验研究工作经验。这是他们用汗水、心血以至生命换来的、值得用文字记录并传之于后世的宝贵经验。

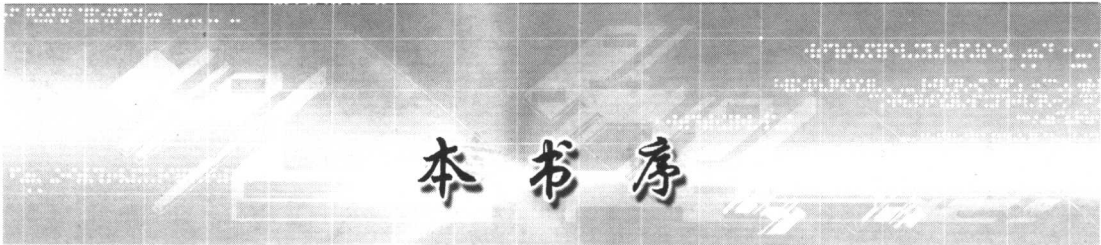
随着电力体制改革的不断深化，使电力试验研究事业进入了竞争激烈同时又是历史上最好的发展时期。电力试验研究同行们愿意把自己的经验无私地奉献给广大读者，就是为了促进我国电力试验研究事业的进步与飞跃，促进我国电力工业的发展与兴旺，进而促进我国国民经济的增长与繁荣。

本着各取所长、共同提高的初衷，我们经过长时间的准备，编辑出版《电力试验技术丛书》，相信它一定会给读者带来启发、思考和收益。

华北电力科学研究院有限责任公司总经理
中国电力企业联合会电力试验研究分会会长



2003年12月



本书序

喜闻我的同仁田文华博士组织一线试验院(所)的精英团队完成了电力试验技术丛书《电力系统化学与环保试验》这部著作,感到非常激动和欣慰。凭着同事的便利,我优先索取浏览了该书。该书涉及火力发电厂的锅炉补给水处理、凝结水处理、给水处理、炉水处理、循环冷却水处理、发电机内冷水处理、机组启动监督与停(备)用保养、锅炉化学清洗及水汽品质监督管理与优化、煤质监督、绝缘油试验、污水处理、节水与水务管理、粉尘的理化特性及测定、烟气参数测定及烟尘等速采样、除尘与除灰系统性能试验、烟气脱硫系统性能试验等化学与环保试验内容,理论结合实际,内容丰富翔实,与工程结合紧密。作者不仅毫无保留地将自己的工作经验总结后与大家分享,而且还全面系统地总结了国内众多同行及专家的工作经验,为业内同行做了一件十分有益的工作。

该书充分反映了我国电厂化学相关领域的最新技术成果和发展方向,是一本不可多得的电厂化学与环保试验专业参考书。现在本书即将出版,我为此专著的问世表示由衷的祝贺!

中国电机工程学会火力发电分会电厂化学专委会(学组)主任委员

汪德良

2007年8月

前言

我国目前装机总容量为 3.5 亿 kW，居世界第二。随着三峡电站机组的分批投入运行和西电东送工程的推进，到 2010 年全国性的大电网将初步形成。全国性电力系统运行的动态品质、安全稳定和经济性的改善与提高成为电力科技工作者肩负的重要责任。

为了总结多年来我国电力试验的经验，促进我国电力试验水平的提高，中国电力企业联合会电力试验研究分会和中国电力出版社决定组织编写一套《电力试验技术丛书》，以满足国内各电力试验研究院(所)、电厂、供用电企业、电力基建单位及大专院校、科研院所对专业技术书籍的迫切需要。

本系列丛书的内容主要是根据原国家电力公司电安生[1996]430 号文《关于电力工业技术监督工作规定》的要求而确定的。该文中规定，“电力技术监督工作应以质量为中心、以标准为依据、以计量为手段，建立质量、标准、计量三位一体的技术监督体系，依靠科学进步，采用和推广成熟、行之有效的新技术、新方法，不断提高技术监督的专业水平”。因此，本套丛书涵盖的内容应包括电能质量、金属、化学、绝缘、热工、电测、环保、继电保护、节能等，并对设备的健康水平及其安全、经济运行方面的重要参数、性能与指标进行监督、审查、调整和评价。本丛书共分 15 册。

丛书具有科学性、实用性、先进性、权威性。作者在写作过程中树立了精品意识和创优信念。

特别感谢中国电力企业联合会电力试验研究分会，全国三十二个试验研究院(所、技术中心)的领导，我们的分册主编主要由这些单位的技术专家担任。

特别感谢中国电机工程学会在组织编写中给予的大力支持。

丛书主编

文伯瑜

丛书副主编

姜永年

2003 年 12 月 1 日

编者的话

近年来,我国电力工业发展速度极快,装机容量屡创新高,机组参数也越来越高。截至2006年底,全国发电装机容量已达到62200万kW,居世界第二位,已有华能浙江玉环电厂1号、2号机组,华电国际邹县发电厂7号和8号机组4台国产百万千瓦超超临界发电机组投产。同时,电力行业的节能、节水和环境保护压力也越来越大。“十一五”规划明确提出的约束性指标包括:单位GDP能耗下降20%,二氧化硫排放量下降10%,单位工业增加值用水量降低30%。可见,电力系统化学环保事业既面临着难得的发展机遇,同时也面对着巨大的压力,任重而道远。

本书系统总结了我国电力系统化学与环保领域中近年来涌现的新成果、新技术、新工艺和新方法,内容涉及了电力系统水、煤、油、气、废水、废气的试验等诸方面。全书由西安热工研究院田文华博士主编,贵州电力试验研究院雷铭高工、湖北电力试验研究院王瑞珍高工、广东电力试验研究院姚唯建高工、陕西电力科学研究院赵勤虎高工等参加编写。全书共分24章,各章作者分别为:第一和十一章:雷铭;第二章:彭辉;第三章:蒋震;第四章:牧灏;第五章:刘伟;第六和七章:张莉蓓,赵宏波;第八章:陈仕建;第九章:陈美军;第十章:陈俊卫;第十二章:张一民。第十三和十四章:王瑞珍;第十五章:姚唯建;第十六~二十章:田文华;第二十一~二十四章:赵勤虎。第一~十二章由雷铭统稿,全书由田文华统稿。

在包括丛书主编、作者、编辑在内的各位同志辛勤努力下,本书即将出版并与大家见面。借此机会,向所有为本书的出版而辛勤工作的同志们表示衷心的感谢!感谢其他几位作者的大力支持,是他们抽出宝贵的休息时间,把自己多年的工作经验奉献出来与大家分享,才使本书得以面世。感谢西安热工研究院院长助理、中国电机工程学会火力发电分会电厂化学专委会(学组)主任委员汪德良研究员为本书作序。感谢西安热工研究院电站水处理技术

部主任杨宝红研究员、武汉大学资源与环境科学学院胡将军教授两位专家，他们在百忙中抽出时间分别审阅了第十六～二十章和第二十一～二十四章，并提出了宝贵的修改意见。另外，陕西电力科学研究院赵文亮和郭季璞两位同志协助搜集和整理了部分资料，在此一并表示感谢。

需要指出的是这本书不仅仅来源于我们的经验积累，也来源于众多同行及专家的工作经验总结。近年来，电力系统化学与环保试验研究工作发展迅速，学术交流活跃，出版的论文、专著及会议文献如雨后春笋，我们从中得到了很多宝贵的资料和信息，因此非常感谢本书附录中那些参考文献的作者们。

最后，我要特别感谢我的导师清华大学教授钱易院士、文湘华教授，武汉大学钱达中教授、李培元教授及其他的老师们。他们不仅教授给我丰富的知识、行之有效地分析问题和解决问题的方法，更重要的是他们严谨的治学作风、高尚的道德情操和追求完美的精神，给我树立了终身学习的榜样，激励和鞭策着我不断进取向上！

作为一位长期从事电力化学与环保试验研究工作的科研人员，能够有机会编写这样一本比较全面地反映我国电力系统化学与环保试验成果的新书，对我们来说，是一件令人欣慰的事情，也是一件很有意义的事情。尽管我们尽了自己最大的努力，但由于能力和经验有限，不足之处在所难免，欢迎大家在使用本书过程中提出宝贵意见，以便在再版中加以修订。

田文华

2007年8月15日于古城西安

目 录

序	
本书序	
前言	
编者的话	

第一篇 水汽循环化学试验

第一章 火电厂水汽监督面临的问题及水处理技术新进展	3
第一节 火电厂水汽监督面临的新问题	3
第二节 火电厂化学水处理技术新进展	4
第二章 锅炉补给水处理试验	8
第一节 流动电流混凝控制技术的应用	8
第二节 高效纤维过滤器的应用	10
第三节 活性炭的筛选试验	13
第四节 离子交换树脂的污染及复苏试验	17
第五节 膜分离技术在火电厂水处理中的应用概述	24
第六节 超滤(UF)技术及在预处理上的应用	27
第七节 反渗透(RO)技术及应用	31
第八节 电去离子除盐(EDI)技术及应用	46
第三章 凝汽器与凝结水精处理试验	51
第一节 凝汽器管材管理	51
第二节 凝汽器检漏技术	54
第三节 凝汽器防漏新技术	59
第四节 凝结水精处理系统的合理选择	62
第五节 精处理高分离技术及应用	65
第六节 精处理混床氨化运行	71
第四章 给水处理试验	79
第一节 给水加氧处理原理简介	79
第二节 直流锅炉给水加氧处理及应用	81
第三节 汽包锅炉给水加氧处理技术及应用	82

第五章 炉管腐蚀与炉水处理试验	85
第一节 磷酸盐“暂时消失”现象与水冷壁管腐蚀	85
第二节 汽包锅炉炉内水处理方式的发展	88
第三节 平衡磷酸盐处理试验	90
第四节 NaOH 锅内水处理试验	92
第六章 循环冷却水处理试验	94
第一节 循环冷却水处理发展概况	94
第二节 新型杀菌灭藻剂试验及应用	98
第三节 二级污水在火电厂循环冷却水补给水中的应用	106
第四节 电厂零排污及废水回用于循环水补充水试验	109
第五节 循环冷却水系统腐蚀在线监测装置的开发与应用	112
第七章 发电机内冷水处理试验	115
第一节 发电机内冷水系统腐蚀及水质标准	115
第二节 发电机内冷水处理概况	117
第三节 微碱性循环处理技术及应用	119
第四节 发电机内冷水超净化处理技术及应用	121
第八章 机组启动监督与停(备)用保养	124
第一节 机组冷态启动化学监督	124
第二节 机组停(备)用保养和干燥保护法	127
第三节 成膜缓蚀剂保养法及应用	131
第九章 锅炉化学清洗	137
第一节 DL/T 794—2001《火电厂锅炉化学清洗导则》简介	137
第二节 大机组常用化学清洗剂的特点及新工艺的应用	138
第三节 化学清洗钝化方法的试验评价和新工艺应用	147
第十章 水汽品质监督管理与优化	150
第一节 水汽质量标准修订简介	150
第二节 锅炉热化学试验	150
第三节 水汽化学监督分析测试和化学水控制的进展概况	153
第四节 化学水处理 PLC+上位机两级分散控制系统及应用	157
第五节 化学水处理 DCS 分散控制系统及应用	161
第六节 化学水处理集中控制系统及应用	164
参考文献	166

第二篇

燃煤监督试验

第十一章 火力发电厂煤质变化及对策概论	171
第一节 近几年煤质下降状况	171

第二节	煤质对电厂运行影响试验研究	172
第三节	煤质对发电成本的影响试验研究	177
第四节	应对煤质下降的燃煤监督措施概论	180
第十二章	煤质监督试验研究	182
第一节	《商品煤质量抽查和验收方法》在入厂煤质监督中的应用	182
第二节	推进燃煤机械采样	185
第三节	煤质成分在线检测装置的开发与应用	190
第四节	入炉煤质的软测量实时监测系统及应用	196
第五节	锅炉飞灰可燃物在线检测系统及应用	197
第六节	稳定入炉煤质的配煤技术及应用	199
第七节	燃料管理信息系统及应用	205
	参考文献	213

第三篇 电力用油试验

第十三章	绝缘油试验	217
第一节	绝缘油的组成	217
第二节	绝缘油的性质	218
第三节	绝缘油的试验方法	223
第四节	绝缘油的运行维护	239
第十四章	油中溶解气体分析及应用	250
第一节	色谱法的基本知识	250
第二节	油中溶解气体色谱分析法(DGA)概述	254
第三节	利用油中溶解气体分析判断设备内部故障	258
第四节	故障诊断专家系统	280
第五节	油中气体在线检测技术	282
	参考文献	284

第四篇 六氟化硫气体试验

第十五章	六氟化硫气体试验	287
第一节	六氟化硫应用现状	287
第二节	六氟化硫气体特性	290
第三节	六氟化硫气体湿度检测方法	294
第四节	六氟化硫气体中杂质检测方法	309
第五节	SF ₆ 电气设备故障特征气体分析	313
第六节	六氟化硫检漏技术	318
第七节	六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员的安全防护	329

第八节 降低断路器含水量的方法	333
参考文献	335

第五篇

污水处理及节水试验

第十六章 火力发电厂污水的来源、分类及处理要求	339
第一节 火力发电厂污水的来源和特点	339
第二节 火力发电厂污水的分类	346
第三节 火力发电厂污水的处理目标	349
第十七章 火力发电厂污水处理及回用试验	354
第一节 火力发电厂污水处理及回用技术的现状与展望	354
第二节 污水集中处理	357
第三节 冷却塔排污水回收处理	362
第四节 含煤废水回用处理	365
第五节 含油污水回用处理	366
第六节 脱硫废水处理	369
第十八章 火力发电厂水平衡试验	373
第一节 火力发电厂水平衡试验内容	373
第二节 火力发电厂水平衡试验方法和步骤	375
第三节 火力发电厂水量(流量)测定方法	378
第四节 火力发电厂排水水质的测定方法	381
第五节 火力发电厂用水水平评价及水平衡优化	383
第六节 火力发电厂水平衡试验实例	387
第十九章 火力发电厂节水与水务管理	390
第一节 我国火力发电厂节水与水务管理现状	390
第二节 火力发电厂节水的相关政策及技术标准	393
第三节 火力发电厂节水的核心技术	395
第二十章 火力发电厂节水新工艺	401
第一节 预处理新工艺——高密度澄清池	401
第二节 过滤处理新工艺——V型滤池	404
第三节 锅炉补给水处理新工艺——高流速双室床	406
第四节 污水回用处理新工艺——曝气生物滤池	410
第五节 末端处理工艺——盐水蒸发浓缩技术	412
第六节 非常规水资源利用工艺	413
参考文献	418

第六篇

除尘、除灰、脱硫及大气污染物测试方法

第二十一章 粉尘的理化特性及测定	423
第一节 粉尘的特性	423

第二节 粉尘密度的测定	427
第三节 粉尘粒径分布测定	428
第四节 粉尘比电阻的测定	432
第二十二章 烟气参数测定及烟尘等速采样	435
第一节 烟气密度测定	436
第二节 烟气静压和压差测定	437
第三节 烟气温度测量	440
第四节 烟气含湿量测定	441
第五节 烟气动压测定	444
第六节 烟气流速和流量计算	445
第七节 测试断面的确定	447
第八节 烟尘等速采样	449
第二十三章 除尘、除灰系统性能试验	456
第一节 除尘器效率试验	456
第二节 除尘器阻力和漏风测定	459
第三节 烟气中气态污染物排放监测	461
第四节 电除尘器气流分布	464
第五节 电除尘器气流分布试验	465
第六节 电除尘器振打加速度测量	469
第七节 气力除灰系统性能试验	472
第二十四章 烟气脱硫系统性能试验	477
第一节 脱硫装置脱硫效率试验	477
第二节 脱硫系统阻力和漏风试验	478
第三节 脱硫系统除雾器性能试验	481
第四节 烟气脱硫系统的环境监测	482
参考文献	484
附表 A 部分气体湿度检测仪器技术评价	485
附表 B 部分六氟化硫气体检漏仪器技术评价	486
附表 C 露点—ppm 换算表	487
附表 D 冰的饱和水蒸气压力(0~—100℃)	489

电力试验技术丛书 • 电力系统化学与环保试验 •

第一篇

水汽循环化学 试验