

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

电力节能检测试验

岳建华 主编

234546521.576232123223152

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

电力节能检测试验

岳建华 主编



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》的要求而编写的,具有科学性、实用性、先进性和权威性。

《电力系统节能监测》是本丛书之一,主要内容包括综述、锅炉设备能耗试验、锅炉设备能耗试验、汽轮机能耗试验、汽轮机辅机设备能耗试验、发电厂电气设备能耗试验、电力网电能损耗的测试计算方法和发电厂能量平衡试验等内容,还包括火力发电厂热平衡数据计算汇总表,全厂平衡期供电煤耗、供热煤耗、燃料利用率测算表和热平衡方框图等五个附录。

本书适用于电力系统供电企业、电力调度等部门从事节能监测工作的专业技术人员,也可供从事电网规划、设计、运行的工程技术人员和大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力节能检测试验/岳建华主编. —北京:中国电力出版社, 2007

(电力试验技术丛书/文伯瑜,姜龙华主编)

ISBN 987-7-5083-4377-8

I. 电… II. 岳… III. 电力系统-节能-检测
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 049887 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 7 月第一版 2007 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 12.75 印张 279 千字

印数 0001—3000 册 定价 21.00 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

介簡書

，學大代中非學干業半半 8001，職研工總高總對總，學發司
錄代由古蒙內查曾。站學士圖學工務，業半半資極對同半 8001
古蒙內升照，職研工總兼對總
錄代由古蒙內》
研工總由同

8001

蒙內

謹以此书献给

为我国电力事业发展而

战斗在电力试验一线同仁



作者简介



岳建华，教授级高级工程师，1976年毕业于华北电力大学，1996年同校研究生毕业，获工学硕士学位。曾在内蒙古电力科学研究院工作，历任总工程师、副院长兼总工程师，现任内蒙古电力（集团）有限责任公司副总工程师，兼任《内蒙古电力技术》杂志主编，内蒙古电机工程学会副秘书长，为中国电机工程学会高级会员。1993年被评为享受国务院特殊津贴的专家，1998年被评为内蒙古自治区杰出青年科技标兵，2001年被评为内蒙古自治区优秀科技工作者，2003年被评为内蒙古自治区优秀专业技术人员，先后获得国家级科技奖三项，省部级科技成果奖10余

项及发明专利多项。

近年来，在国内外会议、重点专业期刊及国家核心期刊上发表论文30余篇。先后编辑出版了《面向21世纪的内蒙古电力系列丛书》（四册，包括风力发电、空冷技术论文集等）。近两年又负责指挥建设了内蒙古最大的 $2 \times 9E$ 级燃气—蒸汽联合循环发电厂及 $2 \times 150MW$ 循环流化床供热发电项目，同时负责已开工的 $4 \times 300MW$ 呼和浩特市抽水蓄能电站工程的建设工作。

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)

杨伟光	王启全	蒯狄正	白云庆	白立江	冯亚民
杨 杰	卢昌华	巩学海	刘韶林	傅 军	王 立
吕 政	蔡庆宏	蔡玉平	杜晓峰	张勇刚	平德明
张宝贵	余维平	苑立国	江学容	周 宏	吴文宣
施 冲	赵 伟	邹本国	郑 松	杨云龙	黄迪威
李兴旺	卓伟光	徐润生	潘 然	傅 伟	潘言敏



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。

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

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

本书前言

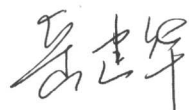
从我国电力工业总的发展趋势看,今后一段时期火力发电仍然是我国电力工业的主体,据统计:2005年全部发电量中,火电的比例占81.9%,发电用原煤11.1亿t,占煤炭消费总量的近50%,占一次能源消费总量的36%。由于粗放的经济增长模式,目前我国单位能耗远高于发达国家,甚至高于不少发展中国家。统计显示:我国生产1美元国内生产总值的单位能耗是日本的11.5倍,是法国和德国的7.7倍,是英国的5.3倍,是美国的4倍。因此,我国存在较大的节能潜力和空间,而电力工业的节能降耗工作对于实现“十一五”乃至今后能源消耗和主要污染物排放总量控制目标,建设资源节约型和环境友好型社会至关重要。因此,探讨有效的节能检测方法对于积极、认真地开展电力节能降耗工作具有十分重大的意义。

在国家开展创建节能型社会之际,借此机会将多年来从事火力发电厂节能检测工作的经验总结出来,介绍给广大的同行朋友,供大家共同探讨、研究节能检测的更好方法,以期为电力工业的节能降耗贡献菲薄的力量。

本书共分8章,分别由孔昭文编写第1章和8.4;赵风英编写第2、3章,8.1、8.2;张俊萍编写第4章;白永军编写5.1~5.4;樊泽国编写5.5~5.7;何勇编写6.1;张承德编写6.2和8.3,付天九编写6.3;邓昆玲编写第7章。全书由阿英克收集整理,并由岳建华统稿、主审。

在本书的编写过程中,得到许多领导、专家与专业技术人员的支持和帮助,在此致以衷心的感谢。这里,要特别感谢内蒙古电力公司的老领导、专家马玉琳、于学录、王建华,他们在百忙之中对文稿进行了审核和把关,提出了许多宝贵的修改意见;特别感谢参加编写的各位作者,正是他们的鼎力支持,在繁忙的技术工作中收集资料,才编写成本书,为本书的编写工作奠定了坚实的基础;感谢阿英克,由于他的协调和整理才使得本书的编写工作得以继续;另外,还要感谢董益华对本书稿所作的协调工作。

由于编者水平和时间所限,文中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。



2007年4月

目 录

序

前言

本书前言

1 综述	1
1.1 能耗试验概述	1
1.1.1 电力系统能耗试验面临的形势和任务	1
1.1.2 能耗试验应开展的项目	1
1.1.3 能耗试验方案应包含内容	2
1.1.4 对能耗试验工作人员的要求	2
1.1.5 对能耗试验仪器、仪表的要求	2
1.2 对能耗试验报告的编制要求	3
1.2.1 试验报告完成期限	3
1.2.2 试验报告编制内容	3
1.2.3 试验数据处理规定	3
1.2.4 试验结果评价内容	3
1.2.5 档案保存	3
1.2.6 报告签字	3
2 锅炉设备能耗试验	4
2.1 基建技改工程锅炉性能考核试验	4
2.1.1 锅炉热效率试验	4
2.1.2 锅炉最大出力试验	25
2.2 锅炉大修前后热效率试验	28
2.2.1 试验目的	28
2.2.2 试验依据	28
2.2.3 试验内容	28
2.2.4 试验测试方法	28
2.2.5 计算公式	30
2.2.6 试验仪器	32
2.2.7 试验注意事项及要求	33
2.2.8 试验时间	34

2.2.9 人员组成	34
2.2.10 试验记录表	34
2.3 锅炉启停炉过程能耗试验	34
2.3.1 概述	34
2.3.2 试验目的	34
2.3.3 试验依据	34
2.3.4 试验方法	34
2.3.5 试验内容	35
2.3.6 人员组成及分工	35
2.3.7 仪器、设备配置	35
2.3.8 试验测点	35
2.3.9 安全措施及要求	36
2.3.10 试验时间安排	36
3 锅炉辅机设备能耗试验	37
3.1 制粉系统性能试验	37
3.1.1 概述	37
3.1.2 钢球磨煤机中间储仓式制粉系统的试验	38
3.1.3 中速磨煤机直吹式制粉系统的性能试验	54
3.2 风机性能试验	64
3.2.1 概述	64
3.2.2 风机常用术语和符号	64
3.2.3 风机性能试验	64
3.2.4 试验数据的整理及计算	68
3.2.5 特性曲线的绘制	71
4 汽轮机能耗试验	72
4.1 基建技改工程汽轮机性能考核试验	72
4.1.1 汽轮机热效率试验	72
4.1.2 汽轮机最大出力试验	74
4.1.3 汽轮机缸效率试验	74
4.1.4 高加切除工况试验	75
4.2 凝汽式汽轮机大修前后热效率试验	76
4.2.1 总则	76
4.2.2 试验目的	76
4.2.3 试验任务	76
4.2.4 试验前的准备工作	76
4.2.5 试验前对设备及系统的要求	76
4.2.6 试验测点的布置	76
4.2.7 试验结果的计算	77

4.2.8 试验结果的分析评价	77
4.3 供热式汽轮机大修前后热效率试验	77
4.3.1 总则	77
4.3.2 供热机组热力试验的目的	77
4.3.3 供热机组的热经济指标	77
4.3.4 试验前准备工作	79
4.3.5 试验负荷点的选择及运行方式	79
4.3.6 试验项目	79
4.3.7 试验结果的整理及计算	80
5 汽轮机辅机设备能耗试验	81
5.1 发电厂湿冷塔性能试验	81
5.1.1 总则	81
5.1.2 试验目的	81
5.1.3 试验前的准备工作	81
5.1.4 试验条件及要求	82
5.1.5 冷却塔试验测试参数	84
5.1.6 测试仪表及测试方法	84
5.1.7 试验资料的整理	87
5.1.8 试验结果的评价	90
5.1.9 试验报告编写	92
5.2 发电厂空冷塔及空冷凝汽器性能试验	92
5.2.1 总则	92
5.2.2 空冷塔、空冷凝汽器的考核试验、性能试验以及空冷散热器的热力、阻力性能试验	93
5.2.3 试验条件及要求	93
5.2.4 测量仪器、仪表和测试方法	95
5.2.5 试验数据的整理及计算	97
5.2.6 试验结果分析及评价	101
5.2.7 试验报告编写	102
5.3 循环水泵性能试验	102
5.3.1 总则	102
5.3.2 试验目的	102
5.3.3 性能参数	102
5.3.4 循环水泵性能试验精度等级	103
5.3.5 循环水泵性能试验要求及条件	104
5.3.6 测量方法及试验数据处理	105
5.3.7 性能曲线的绘制	106
5.3.8 试验结果分析	106
5.3.9 试验报告编写	107
5.4 给水泵性能试验	107

5.4.1	总则	107
5.4.2	性能试验目的	107
5.4.3	给水泵性能参数	107
5.4.4	给水泵性能试验精度等级	108
5.4.5	给水泵性能试验要求及条件	108
5.4.6	测量方法及试验数据处理	108
5.4.7	性能曲线的绘制	108
5.4.8	试验结果分析	108
5.4.9	试验报告编写	108
5.4.10	提高给水泵效率的途径	108
5.5	汽轮机组真空严密性试验及治理方法	109
5.5.1	试验目的	109
5.5.2	引用标准	109
5.5.3	适用范围	110
5.5.4	机组运行工况要求	110
5.5.5	检测仪表及方法	110
5.5.6	检验结果及评价	110
5.5.7	真空下降原因及处理方法	110
5.6	汽轮机真空系统严密性检漏	111
5.6.1	真空检漏的目的	111
5.6.2	引用标准	111
5.6.3	适用范围	111
5.6.4	检漏设备类型	111
5.6.5	机组运行工况要求	112
5.6.6	检漏的方法及步骤	112
6	发电厂电气设备能耗试验	113
6.1	变压器损耗试验	113
6.1.1	空载损耗试验	113
6.1.2	负载损耗试验	120
6.2	发电机能耗试验	122
6.2.1	试验目的	122
6.2.2	引用标准	122
6.2.3	适用范围	122
6.2.4	能耗(效率)试验	122
6.2.5	试验工况及要求	125
6.2.6	试验仪表设备及要求	125
6.2.7	各部分损耗的测量方法	126
6.2.8	试验结果及数据处理	129
6.2.9	安全技术措施	130

6.2.10 发电机损耗及效率的计算	131
6.3 电机能耗试验	131
6.3.1 直流电机的能耗试验	131
6.3.2 交流电动机能耗试验	134
7 电力网电能损耗的测试计算方法	140
7.1 变压器损耗的测试计算方法	140
7.1.1 测试计算内容	140
7.1.2 测试方法	140
7.1.3 数据整理及计算	140
7.2 线路损耗的测试计算方法	145
7.2.1 测试计算内容	145
7.2.2 测试方法	145
7.2.3 数据整理及计算	146
8 发电厂能量平衡试验	150
8.1 火力发电厂燃料平衡试验	150
8.1.1 总则	150
8.1.2 火力发电厂燃料平衡的目的	150
8.1.3 引用标准	150
8.1.4 名词解释、术语、符号及代号	151
8.1.5 火力发电厂燃料平衡测试内容及方法	151
8.1.6 衡、秤、仪器、仪表的配备和要求	152
8.1.7 燃料平衡的准备工作	152
8.1.8 燃料平衡测试数据整理	154
8.1.9 燃料平衡测试结果分析	154
8.1.10 燃料平衡测试报告的编写	154
8.2 火力发电厂热平衡试验	155
8.2.1 总则	155
8.2.2 引用标准	155
8.2.3 火力发电厂热平衡的目的	155
8.2.4 名词解释、符号及代号	155
8.2.5 热平衡测试内容及方法	155
8.2.6 热平衡测试的准备工作	156
8.2.7 热平衡测试数据的整理	156
8.2.8 热平衡结果分析	159
8.2.9 热平衡总结报告	160
8.3 火力发电厂厂用电率及电能平衡检测试验	161
8.3.1 检测范围	161
8.3.2 引用标准	161

8.3.3 有关定义	161
8.3.4 检测条件及要求	162
8.3.5 检测参数	163
8.3.6 检测用仪器	163
8.3.7 测试项目与方法	163
8.3.8 安全技术措施	166
8.3.9 检测结果及评价	166
8.4 火力发电厂节水与水平衡试验	167
8.4.1 节水形势与任务	167
8.4.2 火力发电厂水平衡	167
附录 A 参量名称、符号、单位及名词解释	178
附录 B 燃料平衡方框图、再热蒸汽流量、连续排污扩容器回收蒸汽 份额及管道效率	180
附录 C 火力发电厂热平衡数据计算汇总表	183
附录 D 全厂平衡期供电煤耗、供热煤耗、燃料利用率测算表	185
附录 E 热平衡方框图	186
附录 F 火力发电厂能量平衡报告书格式	187
参考文献	190

1

综 述

1.1 能耗试验概述

1.1.1 电力系统能耗试验面临的形势和任务

《中华人民共和国节约能源法》于1998年1月1日开始实施,说明国家已经把节能提到法制化的高度。

我国是一个能源大国,一次性能源丰富,总量排在世界前列,但人均煤炭和石油储量仅为世界平均水平的 $1/2$ 和 $1/10$,人均淡水资源仅为世界平均水平的 $1/4$ 。相反,与发达国家相比,能源利用效率低,单位产量能耗是世界平均水平的4.7倍。

电力工业是一个将能源转换、生产、销售一次完成的技术密集型企业,一个百万千瓦电站年消耗燃煤250万t以上,消耗水资源3000万t,是一次能源消耗和环境污染的大户。因此,加强电力工业能耗试验的力度、合理利用资源、降低能源消耗、减少环境污染、提高经济效益是保证我国经济持续、快速、健康发展的重要途径。

节能法明确规定“国家对重点用能单位要加强节能管理”、“要委托有检测测试技术条件的单位依法进行检测测试”。部分省市自治区还明确了由电力科研院(所)对本地区电力工业进行能耗试验、检测、监督。因此,按照国家和有关节约能源的法规(行业、地方规定)和能源标准,对用能单位的能源利用状况进行试验、检测、分析、评价。

1.1.2 能耗试验应开展的项目

电力工业能耗试验项目内容包括发电厂综合能耗试验、发电厂单项能耗试验、发电厂能量平衡试验、节能产品能耗试验和新技术能耗试验。

(1) 发电厂综合能耗试验包括:锅炉效率,汽轮机效率,管道效率,发电机效率,厂用电率,全厂负荷率,汽水损失率,发电水耗和水轮机效率等。

(2) 发电厂单项能耗试验包括:给水泵效率,循环水泵效率,冷却塔效率,加热器效率,空气预热器漏风率,除尘器效率,主要辅机单耗,主汽压力、温度、再热蒸汽温度,锅炉排烟温度,烟气含量,灰渣含碳量,给水温度,高加投入率,凝汽器真空度(真空严密性、循环水入口温度、循环水温升、凝汽器端差),变压器能耗,电动机能耗和输、配电线路损耗等。

(3) 发电厂能量平衡试验包括:发、供电煤耗,全厂燃料平衡,热平衡,电平衡,水

平衡, 机组及全厂能量平衡。

(4) 节能产品能耗试验包括: 新型燃烧器、变频调速电机、多通道射水抽汽器和新兴保温材料等, 与常规产品做能耗对比试验, 考核是否达到设计能耗指标。

(5) 新技术能耗试验包括: 热电联产, 集中供热, 蒸汽—燃气联合循环, 空冷机组, 超临界机组, 热、电、煤气三联产, 循环流化床燃烧, 煤的气化和液化等洁净煤燃烧等, 技术的研究和能耗试验, 以提高煤炭利用效率。

1.1.3 能耗试验方案应包含内容

能耗试验项目在实施前, 应编写详细的试验大纲和安全技术措施, 措施中应包含以下内容 (并不限于此):

- (1) 试验目的。
- (2) 引用标准。
- (3) 试验参数和技术指标。
- (4) 试验方法说明 (包括试验时间、测点布置、化验取样、仪表安装、数据采集等)。
- (5) 对试验仪器设备的要求。
- (6) 对试验对象运行工况及试验运行环境的要求。
- (7) 对试验结果的计算方法及其数据处理的说明。
- (8) 安全技术措施。
- (9) 试验参数一览表及试验结果统计表。
- (10) 对试验结果的评价。

1.1.4 对能耗试验工作人员的要求

能耗试验专业涉及面广 (包括机、炉、电、热、化等专业), 技术难度大。要求试验人员在对试验设备进行测试、检查、分析过程中, 及时找出设备系统存在的问题, 提出设备改进建议并实施。

试验人员的技术素质, 直接影响到试验结果的准确性。试验工况的变动、参数的波动、系统的改变等都会对试验结果产生较大的影响。因此, 只有熟悉现场情况, 才会避免试验结果产生较大的误差。要求质量负责人和技术负责人有丰富的实践经验, 当试验过程出现较大异常情况时, 能及时采取补救措施, 对不符合测试规范条件下的数据进行合理修正。对于大型综合试验项目往往需要连续几天在较差的现场环境下 (如振动、噪声、烟尘、高温) 进行测试, 需要试验人员具有高度责任感和敬业精神。

电力系统能耗试验人员要了解国家有关节能和节能试验方面的方针、政策、法规, 具有计量法和计量方面的基本常识。试验负责人应至少具有十年以上工作经验, 并有高级技术职称。试验参加人员应具有五年以上工作经验, 具有中级及以上技术职称。检测人员应经过节能检测培训班的严格培训考核, 持证上岗。计量检定员应通过计量检定员理论与实际操作考核, 取得检定员证书。

1.1.5 对能耗试验仪器、仪表的要求

能耗试验测试仪器、仪表对试验结果的准确性关系重大, 因此, 各类试验中使用的仪器、仪表必须经过国家计量部门的检定校验, 出具合格证书和测试误差证书。仪器、仪表