

能源管理师培训教材

主编 赵旭东

节能技术

(上)

本书主编 姜子刚



 中国标准出版社

能源管理师培训教材

主编 赵旭东

节能技术

(上)

中国标准出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

节能技术. 上/姜子刚,赵旭东主编. —北京:
中国标准出版社,2010
能源管理师培训教材
ISBN 978-7-5066-5944-4

I. ①节… II. ①姜…②赵… III. ①节能-技术培
训-教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 134369 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 239 千字

2010 年 7 月第一版 2010 年 7 月第一次印刷

*

定价 29.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

《能源管理师培训教材》

编委会

主 编 赵旭东

副主编 朱 辉 史兆宪 姜子刚 徐 壮

主 审 郑晓光

审定人员 (按姓氏笔画排序)

丁 瑞 王世岩 王 军 代 兵

邢济东 伍剑锋 任一鑫 刘元明

李健民 杨碧玉 吴 云 何 平

辛 升 张 宇 陈 飏 郁 聪

周立新 庞松涛 房建国 段 方

徐志强 崔宝坤 蒋靖浩

《节能技术(上)》

编委会

主 编 姜子刚

副主编 叶永青 孙 涛

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 刚	丁立伟	于泽庭	王吉尧
王均光	王济浩	王 智	王瑞明
王美霞	李 青	李元喜	刘 勇
刘淑敏	刘瑞国	牟庆军	孙保华
安学先	邵 莉	严凤涛	宋 鑫
陈维杰	汪爱春	张林华	张桂青
杨光海	杨倩苗	周守军	邳润清
赵红霞	姚福安	胡松涛	胡全力
郝 伟	郝晓慧	曹先齐	韩永生
韩吉田	符志琰	舒 雁	谢秀颖
薛一冰			

前言

当今世界,能源问题日益突出,环境污染不断加剧,全球气候变暖已成不争事实,人类社会面临重大挑战。开展节能减排,实施可持续发展,是全人类的共识与责任。我国高度重视节能减排工作,把节约资源确定为基本国策,提出了建设资源节约型、环境友好型社会的目标,“十一五”以来更是把节能减排作为考核各级政府的约束性指标,作为转方式、调结构的重要抓手,作为落实科学发展观的重要标志,摆上了更加突出的位置。

建立和实施能源管理师制度,培育一支专业化、高素质、稳定的节能管理队伍,对于促进用能单位特别是工业企业加强节能管理,实现节能降耗,具有重要意义。《中华人民共和国节约能源法》规定:“重点用能单位应设立能源管理岗位”。2007年,国务院印发的《节能减排综合性工作方案》(国发[2007]15号)要求“重点耗能企业要建立能源管理师制度”。

日本、美国、德国等发达国家早已建立了比较完善的能源管理师制度。近年来,我国一些地方和行业积极探索,开展能源管理人员培训与考核等工作,尝试建立能源管理师制度。山东省结合省情和重点用能单位实际,分期分类对能源管理人员、重点用能岗位操作人员进行培训和考核,每年培训、考核3000余人。山东省济钢集团等企业,在企业内部也开展了能源管理师培训、配置等工作。这些探索与尝试,取得了积极成果。

2008年,在国家发展改革委环资司的支持下,山东省人民政府节能办公室、煤炭工业节能办公室和山东节能协会进行了能源管理师制度研究及新职业申报工作,并顺利通过国家劳动部组织的答辩,后因国家机构改革,后续工作未能如期推进。

2009年,正当山东省人民政府节能办公室重启能源管理师相关工作时,国家发展改革委环资司、国家节能中心确定在山东省和天津市进行能源管理师试点。山东省成立了能源管理师制度研究和试点工作领导小组,1月28日召开了启动大会,组织100多人编写教材。经过4个月的紧张工作,《能源管理师培训教材》终于成稿,并于5月30日通过专家审定。此后,我们又根据专家的审定意见做了进一步修改和完善。

我们把《能源管理师培训教材》的编写作为一个研究课题,成立了课题组及三个专题组。课题组统一策划教材主题内容和框架结构,研究制订编写大纲和编写规范,统筹协调重大问题,组织汇稿、统稿。赵旭东任课题组组长,同



时担任全套教材的主编；朱辉、史兆宪、姜子刚、徐壮任课题副组长，同时担任副主编。三个专题组分别承担《能源与节能管理基础》、《节能技术》和《节能法制与政策制度》的编写任务，专题组组长、副组长同时担任各册主编、副主编。

《能源与节能管理基础》分上、下两个分册，着重介绍了能源资源，能源与节能，热工、电工、燃料与燃烧基础知识；阐述了能源与节能的基础管理、能效管理和监管制度、能源管理体系、发达国家节能管理情况以及几种主要节能机制。

《节能技术》分上、下两个分册，着重介绍了热能、电能、新能源及可再生能源利用技术，工业、建筑和交通运输领域节能技术。

《节能法制与政策制度》分上、中、下三个分册，介绍了相关法理、节能执法基础知识；着重解读了节能法律、法规、规章、标准和政策有关规定；对重点法条列举了典型案例。

在全套教材编写过程中，我们把握了以下原则：一是立足山东，面向全国，借鉴国际经验，体现中国特色；二是注意打牢基础，尽力拓宽知识面；三是以提高能力为核心，理论与实际相结合，既有理论知识，也有经验提炼；四是努力做到内容的合法性、科学性、先进性、实用性、准确性和原创性。

本教材是能源管理师培训、考试的专用教材，也可供各级政府部门节能管理人员、企业能源管理人员、节能服务机构相关人员，以及大专院校能源管理专业师生等各界人士阅读。

编写本教材，对我们来说既是一种尝试，也是一次挑战。我们希望借承担国家试点的机会，通过编写和出版这套教材，为填补我国能源管理师培训教材的空白尽绵薄之力。

在编写《能源管理师培训教材》的过程中，我们得到了国家发展改革委、国家节能中心、山东省经信委、山东省政府节能办的关心和指导，得到了山东省节能监察总队、山东节能协会、美国能源基金会、中国标准出版社的大力支持，得到了编写人员所在单位、众多节能专家的鼎力帮助。借本教材出版发行的机会，表示我们由衷的敬意和深深的感谢。

虽然我们在编写过程中尽了最大努力，但由于能力和水平所限，书中难免会有疏漏之处。我们真诚盼望所有使用和阅读本教材的教师、学员以及各界人士给予批评指正。

编 者

2010年6月

《 节 能 技 术 》

目 录 导 引

节 能 技 术 （ 上 ）

第一篇 通用节能技术和新能源及可再生能源利用技术

第一章 热能、电能利用节能技术

第二章 新能源及可再生能源利用技术

节 能 技 术 （ 下 ）

第二篇 重点领域节能技术

第三章 工业节能技术

第四章 建筑节能技术

第五章 交通运输节能技术

参考文献

后 记

《节能技术(上)》

目 录

第一篇 通用节能技术和新能源及 可再生能源利用技术

第一章 热能、电能利用节能技术	3
第一节 锅炉节能技术	3
一、概述	3
二、提高锅炉效率,减少损失能的途径	3
三、工业锅炉主要节能技术	7
四、电站锅炉主要节能技术	10
第二节 工业窑炉节能技术	11
一、概述	11
二、工业窑炉的分类与简介	12
三、工业窑炉的节能技术途径	15
四、工业窑炉节能技术应用实例	17
第三节 保温保冷技术	21
一、概述	21
二、保温材料及施工工艺	22
三、保温材料的发展趋势	26
第四节 蓄冷蓄热技术	27
一、概述	27
二、蓄冷蓄热原理及模式	28
三、蓄冷蓄热技术及应用	29



第五节 燃烧节能技术	39
一、概述	39
二、燃烧技术	39
第六节 换热节能技术	46
一、概述	46
二、换热器的分类	46
三、换热器设计基础	47
四、强化传热技术	53
五、几个应注意的问题	58
第七节 余热余压利用技术	58
一、概述	58
二、余热利用的基本方法	59
三、余热利用设备	61
四、余压利用	62
第八节 输配电系统节能技术	63
一、概述	63
二、供配电系统的节能方法与措施	64
三、供配电系统的谐波抑制技术	70
四、供配电系统节能发展趋势	71
第九节 电机系统节能技术	72
一、概述	72
二、普通电机的工作特性	73
三、常用机械负载的特性	76
四、风机和泵类负载的节能	77
五、电动机的经济运行	78
六、电动机软启动节能技术	80
七、变频调速节能技术	81
八、空气压缩机节能技术	84
九、制冷压缩机节能技术	86
十、发展方向	88
第十节 电化学节能技术	89
一、概述	89

二、电化学基础知识	91
三、电化学工业的主要节能技术	94
第十一节 电加热节能技术	98
一、概述	98
二、电加热设备节能技术	100
第十二节 照明节能技术	106
一、概述	106
二、电光源	107
三、照明节能措施	109
四、采用高效电光源节电量的计算	113
第二章 新能源及可再生能源利用技术	115
第一节 太阳能利用技术	115
一、概述	115
二、太阳能利用技术	117
三、太阳能利用技术的发展方向	125
第二节 地热能利用技术	125
一、概述	125
二、地热能利用技术	127
三、地热能利用技术发展方向	133
第三节 生物质能利用技术	134
一、概述	134
二、生物质能利用技术	136
三、生物质能利用技术的发展方向	145
第四节 其他清洁能源利用技术	145
一、风能	145
二、海洋能	147
三、氢能与燃料电池	149
四、天然气水合物	152

第一篇

通用节能技术和新能源及 可再生能源利用技术

第一章 热能、电能利用节能技术

第一节 锅炉节能技术

一、概述

锅炉是高耗能设备,同时也是节能潜力极大的设备。锅炉的型式很多,不同的分类方法可以将锅炉分成不同的类别。按使用燃料种类不同分为燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉等;按蒸发受热面中工质流动的方式可分为自然循环锅炉、强制循环锅炉和直流锅炉;按主蒸汽压力高低可分为低压锅炉、中压锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界压力锅炉、超临界压力锅炉和超超临界压力锅炉等;按燃烧方式不同可分为层燃炉、室燃炉、流化床炉和旋风炉。

锅炉节能目的主要是提高锅炉热效率,降低燃料消耗,减少热损失。目前,我国锅炉的燃料以煤为主,因此本节重点探讨燃煤锅炉的主要节能途径及措施。

二、提高锅炉效率,减少损失能的途径

提高锅炉效率的途径主要有减少各项热损失、加强煤场和水质管理、提高运行管理水平、加强保温、锅炉辅机改造、采用节能新技术等。

(一) 加强运行调整,减少各项热损失

锅炉运行时存在着种种热损失,找出引起热损失的原因,提出减少各项热损失的措施,可以提高锅炉热效率,以节约能源。锅炉输入热量主要来源于燃料燃烧放出的热量。由于各种原因,例如,进入炉内的燃料不能完全燃烧,燃料放出的热量也不会被全部有效利用,有的热量被排烟、灰渣或透过炉墙散失。为了便于分析,将燃料在锅炉内燃烧输入的热量分为两部分,一部分为锅炉的有效利用热量,其余的即为各项损失热量。

锅炉的热效率表示锅炉设备有效利用热量 Q_1 与输入热量 Q_r 之比的百分数,见式(1.1-1):

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_r} \times 100\% \quad (1.1-1)$$

为了确定锅炉的热效率,就需要建立在正常运行工况下,锅炉热量的收支平衡关系,通常称为锅炉的热平衡。

在锅炉稳定运行的热力状态下,1 kg 燃料带入锅炉内的热量、锅炉的有效利用热量和热损失之间有如式(1.1-2)的热平衡关系:

$$Q_r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1.1-2)$$

式中:

Q_r ——1 kg 燃料输入炉内的热量,单位为千焦每千克(kJ/kg);

Q_1 ——锅炉有效利用热量,单位为千焦每千克(kJ/kg);



Q_2 ——排烟热损失,单位为千焦每千克(kJ/kg);

Q_3 ——气体未完全燃烧热损失,单位为千焦每千克(kJ/kg);

Q_4 ——固体未完全燃烧热损失,单位为千焦每千克(kJ/kg);

Q_5 ——锅炉散热损失,单位为千焦每千克(kJ/kg);

Q_6 ——灰渣物理热损失,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

将上式两边都除以 Q , 则锅炉的热平衡可以用占输入热量的百分比来表示, 见式(1.1-3):

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (1.1-3)$$

式中:

q_i ——有效利用热量及各项热损失占输入热量的百分比, $q_i = \frac{Q_i}{Q_r} \times 100\%$

($i=1,2,3,4,5,6$)。

显然, 这些热损失的大小决定了锅炉的热效率, 要提高锅炉热效率, 必须设法降低各项热损失。为此就需要定量确定各项热损失的分布与流向, 对锅炉进行正反热平衡测试或节能诊断。

(1) 减少排烟热损失

排烟热损失是指高温烟气排入大气而损失的热量。排烟热损失是由于锅炉排出的烟气焓值高于进入锅炉的空气焓值而造成的热损失, 其值可由排烟焓与冷空气焓之差求得。

排烟损失的大小, 直接影响锅炉热效率。工业锅炉排烟损失一般占 12%~20%, 小型锅炉有时不设空气预热器或省煤器, 排烟温度高, 排烟损失高达 20% 以上。排烟损失由尾部排烟温度、烟气量与漏入系统内的冷空气量综合决定的。因此, 降低排烟损失, 就要减少炉膛的空气系数和各烟道的漏风量以及降低排烟温度。《燃煤工业锅炉节能监测》(GB/T 15317—2009) 规定工业锅炉排烟温度合格指标在 150~230 °C 之间, 小型锅炉处于上限, 大型锅炉处于中下限; 循环流化床锅炉排烟温度合格指标 ≤ 140 °C。当前国内电厂对锅炉最低排烟温度的控制趋于逐步降低, 由传统的 130~135 °C, 降低至 115~120 °C, 通过与脱硫系统联合设计或改造, 排烟温度甚至可以降低至 80~90 °C。对于 300 MW 级及以上等级的电站锅炉, 排烟温度每降低 10 °C, 锅炉效率可提高 0.5%~0.6%。

(2) 减少气体未完全燃烧热损失

气体未完全燃烧热损失是燃料在燃烧过程中所生成的一部分可燃气体(如一氧化碳、烃、氢等气体)未完全燃烧而造成的热损失。其值为各种可燃气体容积与它们容积发热量的乘积之和。燃煤锅炉烟气中残留的可燃气体主要是一氧化碳, 其他可燃气体较少。

气体未完全燃烧热损失与燃料性质、燃烧设备以及炉内温度、空气系数等因素有关。对燃煤锅炉而言, 这项损失主要取决于排烟处的一氧化碳含量和空气系数, 燃烧正常时, 烟气中的一氧化碳体积分数在 0.5% 以下, 相应的气体未完全燃烧热损失约为 2%~3%, 若为不正常燃烧, 热损失高达 5% 以上。

(3) 减少固体未完全燃烧热损失

固体未完全燃烧热损失是指燃料中一部分固定碳未燃尽而损失的热量, 也称为机械未完全燃烧热损失。未燃尽而残留的固定碳常存在于灰渣、飞灰与漏煤之中。

这部分损失的热量等于灰渣、飞灰与漏煤之中含碳量与碳发热量的乘积。固体未完全燃烧热损失与燃料性质、燃烧设备以及炉内燃烧工况等因素有关。通常, 燃烧速度与煤粒的



直径成反比,通过筛分控制入炉燃料的粒度上限可以避免超大粒的不完全燃烧损失,降低灰渣含碳量。

(4) 减少散热损失

散热损失是指锅炉炉墙、锅筒、集箱以及管道等外表面向外界空气散热的热损失。锅炉运行中,锅炉表面炉墙温度高于周围环境温度。因此,会以辐射及对流传热方式传热给周围环境。

散热损失大小取决于散热表面的面积、温度和环境条件。因此,散热损失与锅炉容量有关,也与锅炉有无省煤器、空气预热器等受热面有关。锅炉容量越大,其与外界接触的面积相对地变小,散热损失减小。通常小型锅炉的散热损失较大,有尾部受热面(如省煤器、空气预热器)的锅炉散热损失较小。

要减少散热损失,需要对锅炉做好保温措施,尽量降低锅炉外表面温度。为了求得较好的经济效益,不仅要采用热导率低、密度小、价格低廉、施工方便、便于维护的保温材料,而且也要确定合理的保温层厚度。虽然保温层越厚(在临界厚度范围内)保温效果越好,热损失越小,但保温层的加厚增加了保温材料的投资费用和运行维修费。

(5) 减少灰渣物理热损失

灰渣物理热损失是指炉渣所带走的热损失。通常层燃炉的灰渣量较大而且温度高,需要考虑灰渣物理热损失。

(二) 加强燃料管理,实现动力配煤,以达到节约用煤的目的

煤在运输、贮存中因风吹、日晒、雨淋所造成的流失、变质和自燃等损失较大,减少这些损失也是有效的节能途径。在煤源多变和煤质恶化情况下,应加大煤场管理监督力度,确保数据真实准确,尽可能实现按不同煤种分别存放。企业可根据煤的化验分析结果,按其低位发热量、灰分、挥发分和水分的比例进行科学配煤,使其尽量符合锅炉设计煤种。对于工业锅炉,较为合适的配比是,烟煤、无烟煤、贫煤各占 1/3;强粘结性煤与灰分大的煤质不宜混掺,而挥发分高可同灰分大的煤质混掺,这主要是借助于挥发分高、易燃的特性;对发热量低而挥发分高、水分较低的煤质,可同发热量高、挥发分较低、水分又较大的煤种一起掺烧。

动力配煤根据用户对煤质的特定要求,将不同种类、不同性质的若干种煤按照一定的比例,经过筛选、破碎掺配加工成混煤,使其成为人为加工的“新煤种”。这种“新煤种”的化学组成、物理特性和燃煤特性与各原单一煤种均有不同,合理配比可以达到改善性质、特性互补、劣煤优用、有利燃烧、减少污染物排放的目的。动力配煤可有效解决燃烧、结焦、汽温等问题,应针对锅炉结构特性,进行动力配煤、掺烧试验,以求得合宜的掺烧方式。

1979年初,上海市燃料总公司首先开发利用的一种使动力用煤质量达到稳定可靠的方法。1982年4月由原物资部在北京召开的配煤座谈会后正式命名为“动力配煤”技术。动力配煤技术以煤化学、煤质检测、燃烧学及计算机等学科为基础,以市场为目标,通过一定的加工工艺,达到煤质互补,调整产品结构,满足用户要求,实现节煤和减少污染物排放的目的。

另外,动力配煤时也可加入一定量的添加剂,以取得理想的综合效果,即动力配煤添加技术。动力配煤添加技术是指在配煤过程中,根据配煤的化学组成加入某些含有碱金属或碱土金属的化合物(如 K_2O 、 Na_2O 、 CuO 、 BaO 、 Mn 盐等),改善配煤的燃烧特性,对混煤有助燃作用,减少过剩空气,降低烟尘排放量,改善高温固硫特性,提高固硫率。



(三) 加强水质管理,减少结垢和排污

锅炉水处理对锅炉节能安全运行有着重要的影响,是开展锅炉节能的重要途径之一。锅炉水处理会减少锅炉结垢,降低排污热损失。

1. 减少锅炉结垢

(1) 结垢对锅炉产生的危害

① 锅炉受热面结水垢后,热阻增大,传热性能变差,能耗增加

锅炉结垢后,由于热阻增大,为了保持锅炉的额定参数,就必须提高传热温差,即需要消耗更多的燃料,从而提高炉膛和烟气温度,造成能源的浪费。水垢的热导率很低,约为钢板热导率的 $1/30 \sim 1/50$ 。据文献统计,锅炉受热面结 1 mm 厚水垢,燃料消耗要增加 $2\% \sim 3\%$ 。

② 损坏锅炉,影响安全

水垢的存在使钢板温度升高,许用应力下降,易造成锅炉爆管等事故;另外水垢的存在减少了工质流动面积,增大了流动阻力,容易造成水循环系统和设备故障。

③ 增加检修费用,缩短锅炉寿命

水垢不容易清除,清垢既费力又费时,操作不当还容易造成锅炉管道破坏等事故。不仅增加了检修费用,还有可能缩短锅炉寿命。

(2) 加强锅炉水质管理

通过加强锅炉水质管理,减小锅炉受热面结水垢,提高锅炉运行的安全性、经济性。

2. 降低排污热损失

含有杂质的水进入锅炉后,随着锅水的不断蒸发浓缩,杂质的含量逐渐增加,当达到一定限度时,就会给锅炉带来很多不良影响。为了保持锅水所含杂质的浓度在允许的范围内,就需要不断地从锅炉中排除含盐量较大的锅水和沉积的泥垢,这就是锅炉的排污。锅炉排污排放的是锅炉运行压力下的饱和热水,自动排污是通过仪器定时取样控制锅水溶解固形物浓度,当锅水溶解固形物浓度超过国家标准《工业锅炉水质》(GB/T 1576)中规定浓度时,自动排放锅水,实现锅水溶解固形物浓度的在线控制。降低锅炉排污热损失的途径有两条:一是减少锅炉排污量,通过加强锅炉给水处理,对给水脱碱去盐处理,从而减少排污量;二是对排污水进行回收和利用,如设置定期排污膨胀器或连续排污膨胀器,产生的二次蒸汽用来加热除氧器给水,利用高温排污水预热给水等。

(四) 辅机节能和积极推广节能新技术

锅炉辅机主要包括鼓、引风设备,给水与补水泵,燃料处理与输送设备,出渣、除尘以及水处理设备等。这些设备的正常工作是锅炉安全与经济运行的重要组成部分。加强对辅机的合理选配与控制,并不断进行节能改造和检修维护,是非常重要的。这些设备的节能措施都在相关章节中有论述,这里不再讲述。

积极推广应用先进成熟的节能技术,可以提高锅炉系统的安全性、经济性。推广过程中要认真进行节能改造项目的可行性研究,全面分析现有设备的运行状况,对配置不合理、运行效率较低的设备系统,有针对性地编制中长期节能技术改造规划,分年度实施,以保证节能目标的实现。