

燃煤工业锅炉节能实用技术

RAN MEI GONGGYE GUOLU JIENENG
SHIYONG JISHU 刘茂俊 编著

RAN MEI
GONGYE GUOLU
JIENENG
SHIYONG JISHU



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

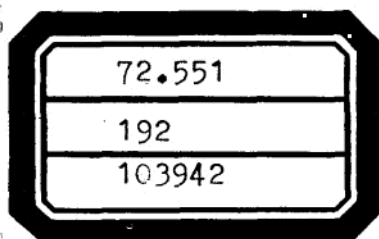
72.551

192

103942

燃煤工业锅炉 节能实用技术

刘茂俊 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

船 慶

PDG

3F56/14

内 容 提 要

本书侧重于工业锅炉炉子方面的节能实用技术的论述介绍。对陈相因的传统理论力求做到去伪存真；对更新换代较慢的设计方法力求引入新技术、新成果以填补空白；在节煤实用技术方面，力求具体详实，可操作性强。本书的核心部分为作者从事工业锅炉管理和技术改造 30 年的经验所总结出来的燃煤机械炉排炉拱“三二二”设计法和燃煤机械炉排“三二二”操作法。另外，作者根据工业锅炉的热工测试及改造实践，就因运行操作失当而造成的运行故障等问题的解决办法，以问答的形式在书后进行叙述。

本书可作为燃煤工业锅炉司炉工的培训教材，也可供广大从事燃煤工业锅炉设计、改造及管理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃煤工业锅炉节能实用技术/刘茂俊编著. -北京: 中国电力出版社, 2000.9

ISBN 7-5083-0351-2

I. 燃… II. 刘… III. 燃煤锅炉-节能-技术 IV. TK229.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 32184 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>)

北京白帆印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 11.5 印张 255 千字

印数 0001—4000 册 定价 19.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

作为万物之灵的人类，只有在发现了取火的方法、拓展了对火的利用之后，才真正摆脱了漫长的洪荒时代；火—热源—能源，人类从此开始了辉煌的文明发展史。

能量可以转换，但不能被无中生有地制造出来。社会越发展，能源消耗越大，人们也就越来越认识到节约能源的重要性。节能，大而言之对人类、对地球，小而言之对一个家庭、一个企业、一个国家的生存及发展，都具有不容忽视的作用。节能的范围非常广，其中当然包括燃煤工业锅炉。

本书侧重于炉子方面节能实用技术的论述介绍，对亟待更新换代的设计方法，力求引入实用技术、新成果以填补空白；在节能技术方面，力求具体实用、可操作性强。本书的第一章至第六章，对燃煤工业锅炉的技术常识及基础理论进行了简要介绍，第七章至第十章则侧重于节能实用技术的论述。核心内容是作者积 30 年从事锅炉节能管理理论探讨和技术改造经验所总结出来的燃煤机械炉排炉拱“三二二”设计法和燃烧调整“三二二”操作法。二者相辅相成，燃煤工业锅炉运行起来就可以达到节约能源、保护环境的双重目标。

限于作者的水平，书中的缺点和差错在所难免，恳请读者批评指正。

刘茂俊

1999 年 5 月

船舶
PDG

目 录

前 言

第一章 燃煤工业锅炉在我国中的地位	1
第一节 煤炭是我国的主要燃料	2
第二节 工业锅炉是煤炭消费的主要设备	11
第二章 煤炭燃烧概论	24
第一节 煤炭分类、成分及保管	25
第二节 煤的燃烧及热工特性	35
第三节 动力配煤	50
第三章 蒸汽性质和传热概要	60
第一节 水的定压加热过程	60
第二节 锅炉传热概要	69
第四章 锅炉热平衡	83
第一节 热平衡概述	84
第二节 锅炉的各项热损失	90
第三节 蒸汽带水和汽水分离	103
第五章 过量空气系数 α 与锅炉配风	115
第一节 过量空气系数 α	115

第二节	燃煤机械炉排的配风	132
第六章	锅炉燃烧设备	158
第一节	燃烧设备的主要特性参数	159
第二节	链条炉	168
第三节	快装锅炉	192
第四节	新型 DZ 系列水火管锅炉	203
第五节	注复推动炉排炉	209
第七章	工业锅炉对煤种的适应性	
	及其燃烧调整	226
第一节	工业锅炉三种炉型对动力配煤的要求	228
第二节	燃煤机械炉排锅炉的燃烧调整 ——“三二二”操作法	253
第八章	机械炉排炉拱“三二二”设计法	273
第一节	炉拱优化设计与炉内燃烧的强化	273
第二节	燃煤机械炉排炉拱理论的沿革	279
第三节	机械炉排炉拱“三二二”设计法	287
第四节	炉拱“三二二”设计法的推广意义	294
第五节	中拱利弊论	298
第九章	燃煤工业锅炉技术改造	309
第一节	炉予改造的总则	310
第二节	“三二二”拱图选粹	314
第三节	炉拱施工的准备	318
第四节	耐火混凝土炉拱的施工	325

第五节 耐火混凝土炉拱的烘炉	328
第六节 注复炉运行中不正常工况的解决	331
第十章 燃煤工业锅炉节能实用技术问答	333
一、炉门烧坏原因	333
二、煤闸门年年烧坏原因	335
三、烧好煤只有半炉火的原因	337
四、炉膛温度偏低怎么处理	338
五、锅炉排烟黑度超过标准怎么处理	341
六、怎样防止火床上严重结焦	343
七、灰渣含碳量偏高如何解决	345
八、炉火跑偏的原因	346
九、怎样降低排烟温度	349
十、分层燃烧改造有何利弊	351
十一、工业锅炉上配激机是否值得	354
十二、远红外涂料对强化燃烧是否有利	354
十三、炉拱上面是否需覆盖保温材料	355
十四、蒸汽喷射对改善燃烧状况是否有好处	355
十五、通过锅炉改造提高了效率和出力， 是否就一定节能	356
参考文献.....	358
结语.....	359



燃煤工业锅炉在我国的位置

能源的发展和利用，直接影响着社会和经济的发展，它与国民经济发展、国民生活水平的提高有着非常密切的联系。能源发展和利用的历程使世界各国坚信这样一个事实：节约能源和提供足够的能源是人类面临的主要挑战之一。因此，进入 90 年代以来，特别是 1992 年的里约热内卢环境与发展大会（UNCED），在提到能源问题时，都考虑并确定了支持发展高效能源技术等方针，从而实现能源的可持续发展。

工业锅炉是与国民经济发展、提高人民生活水平直接相关的热能产品。又因它耗能大、污染物排放多和涉及面广而倍受重视。我国工业锅炉的发展经历了 50 年代仿英仿苏，60 年代自制水火管快装锅炉，70 年代研制劣质煤锅炉等各个阶段；到 80 年代，全国已有 20 万台共 37 万 t 的工业锅炉，年耗煤占当时煤产量的 1/3，达到了 2 亿 t，锅炉的年产量为 60 万 t。80 年代在制订我国工业锅炉各种标准的基础上，研制了带有适宜燃用中值煤的各种燃烧设备的工业锅炉，无论是规模和质量均有所提高。进入 90 年代，工业锅炉又有了较大规模的发展，至 1997 年末，全国工业锅炉已达 50.1 万台、121.2 万 t，年耗煤量 4 亿多吨。

随着锅炉年产量的不断增加，工业锅炉的品种也有扩大。1997 年，工业锅炉已有 8 大类、38 个系列、85 个品种、300 多个规格的产品。其中链条炉仍占有 65% 左右的绝对优势。

现在,全国 548 家 E 级以上工业锅炉厂,年生产能力达 15 万 t,年生产 3~4 万台、8~10 万 t 的工业锅炉,生产能力和生产量均已超过需求量。

我国能源结构以煤为主,1996 年,煤在我国的能源消耗中占 78.2%;我国工业锅炉以燃煤为主。近 10 年来,我国能源生产和消费的实践证明:1992 年里约热内卢大会确定的支持高效能源技术的方针是非常正确的;本世纪末和下个世纪的前 10 年,能源生产面临的挑战将是多方面的,其中提高能源生产率和降低能耗显得尤为重要。为此,应使已经成熟的高效能源技术和节能技术商品化。可见,研究并实施燃煤工业锅炉的节能实用技术是一个十分重要的课题。

第一节 煤炭是我国的主要燃料

在世界和一些主要国家的能源消费构成中,固体燃料(主要指煤炭)占有仅次于液体燃料的重要地位,世界一次能源消费构成中,煤占到 27.2%。自从 70 年代西方出现能源危机后,美国的石油消费下降了 6.1%,其他地区平均减少 3.4%,能源消费大国对煤炭这种固体燃料的兴趣日渐复苏。

在我国,除了 60 年代盲目提倡烧油的一阵风之外,工业锅炉一直以煤炭为主要燃料。预计将来燃气、燃油锅炉会有一定的发展,但工业锅炉燃煤为主的状况仍将在我国保持下去。图 1-1 是 1995 年我国一次能源消费构成图。

一、我国煤炭利用的特点

在我国能源消费总量中,煤炭一直占 70%以上。能源消费构成以煤为主、工业锅炉以燃煤为主,这是我国不同于世界上绝大多数国家的特点。煤炭在我国开发利用中有如下

优势和劣势。

1. 煤炭利用史长，但目前加工能力低

600 年前，意大利人马可波罗到过元朝做官，所著《东方述记》中写道：“中国的燃料不是木头，也

不是草，而是一种黑石头。”可见，当时的西方并

不比我国先进；对于国计民生至关重要的煤，尚且一无所知，煤还没有成为其生活和生产的重要资料。

历史证明，我国比西方发现、使用煤炭起码要早 1500 年。然而，我国对煤炭的加工能力较低，1995 年洗选加工能力仅为产量的 24%，按用户对煤炭的粒度、发热量、挥发分要求等进行加工的部分，也处于量小质低的状况。除了用于炼焦和作为原料的煤炭及特殊工艺需要的品种煤之外，原煤一般不经加工，大部分是把原煤直接供应给用户当作燃料使用。前些年建成了大同矿务局燕子山选煤厂，设计能力 450 万 t，说明我国对煤炭的加工能力已开始提高。

2. 煤炭储量大，但人均资源量少

我国煤炭地质储量仅次于前苏联和美国，居世界第三位，资源比较丰富，占全球储量的 1/10 以上。1980 年底已探明的煤炭保有储量为 6425 亿 t，现在生产矿和在建矿占用的储量占保有储量的 15%，储量开发程度不高，资源潜力很大。这是中国经济发展和社会稳定的重要物质条件。

然而，我国的人均能源资源量少，仅为世界平均水平的一半略强。

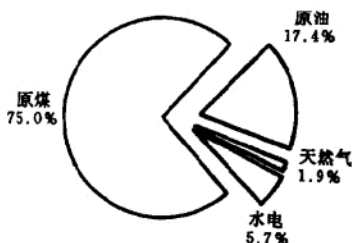


图 1-1 我国一次能源消费量构成图

3. 我国的煤炭产量大, 总消费量高, 人均消费量也较高
 建国以来, 我国煤炭工业得到了迅速发展, 尤其是进入 80 年代后, 其发展速度之快是世界各国所罕见的, 表 1-1 为煤炭生产发展状况, 表 1-2 为 1996 年世界各国各种能源消费状况。

表 1-1 我国煤炭生产量发展状况

年 份	原煤产量 (万 t)	倍 数
1949	3243	1
1957	13073	4
1985	85000	26
1989	100000	38
1996	139700	43

表 1-2 1996 年世界各国各种能源消费状况

Mt (百万吨油当量)

国 别	石 油	天 然 气	煤 炭	核 能	水 电
全世界	3312.8	1971.6	2257	621.3	42.7
1996 年/1997 年 增长率 (%)	2.4/1.4	4.6/0.5	2.3/0.9	0.9/0	0.8/—
美 国	833	569	516	183.3	28.8
法 国	91	29	14.7	102.8	6.0
德 国	137.4	75.2	88.9	41.7	1.8
加 拿 大	79.5	66.4	23.1	23.9	30.3
英 国	83.7	76.7	44.9	24.5	0.3
俄罗斯	128	317	119	28.1	13.2
澳大利亚	35.7	17.2	42.9	—	1.4
中 国	172.5	15.9	666	3.7	15.9
中国台湾	35.3	4.0	19.3	9.7	0.8
印 度	78.7	19.5	140.3	2.1	6.0
日 本	269.9	59.5	88.3	76.8	7.4

从上表可见，到本世纪末，我国煤炭年产量和年消费量，都达到了世界第一位。人均能源消费量为世界人均能源消费量的 0.47 倍。

4. 中国能源利用浪费严重，单位产量能耗高，万元产值能耗高，能源利用率低

主要表现在三个方面：

(1) 单位产量能耗高。

生产单位产量的能源消耗量的大小，反映了一个国家或企业的管理水平和设备、工艺的先进程度。

我国单耗比发达国家高得多，见表 1-3。

表 1-3 中、日三项工业产品的单位综合能耗 (1995 年)

项目 国别	火力发电供电煤耗	钢铁吨钢可比能耗	乙烯综合能耗
	g 标准煤/(kW·h)	t 标准煤/t 钢	t 标准煤/t 乙烯
中国	412	0.98	1.277
日本	329	0.65	0.871
中国/日本	1.25	1.5	1.5

(2) 能源生产率低。

无论是从缓解世界能源供应紧张和不足的状况，还是从减少温室气体排放量的目的出发，都要求降低产品能耗和提高能源生产率。关于这个问题，世界各国的情况相差很大，能耗大的工业设备（如锅炉）必须加以改造，甚至停产，以便使全世界平均能源生产率逐年提高。表 1-4 是世界银行 1996 年 6 月提供的《世界发展报告》中的数据，从表中可见，中国每消费 1kg 能源所产出的美元值仅为世界 133 个国家和地区平均值的 21%。

表 1-4

1996 年世界各国能源生产率 GDPUS \$ /kgoe

国 别	能源生产率	备 注
美 国	3.2	
日 本	9.6	
新加坡	3.6	
中 国	0.7	
俄罗斯	0.6	
世界平均	3.3	133 个国家和地区

(3) 能源利用率低。

人们常用效率这个词来衡量一件事物的活动水平。同理，使用燃料于热工动力设备时，在供给的能量中，有多少被有效地利用要通过效率来表达。它是指某一设备为达到某一特定目的，供给能量的有效利用程度在数量上的表示，它等于有效能量占供给能量的百分数。耗能设备的效率越高，损失就越少，能量利用得就越好。对一个国家来说，能源利用率是衡量这个国家能源利用有效程度的一项综合性指标。

有资料显示，我国能源总利用率只有日本的 58.8%。而工业锅炉的运行效率，至今仍落后于发达国家 10%~15%。工业锅炉燃料以煤为主且大都燃用原煤，动力配煤所占比例很小且配煤质量不高，油、气炉仅占总量的 6%，因此，早在 80 年代，我国就已经明确提出了提高耗能大户燃煤工业锅炉的效率，节省燃料的规划，规划要求全国工业锅炉平均热效率要由 1980 年的 60% 提高到 73% (1990 年) 和 76% (2000 年)，从而可节煤 5867 万 t (1990 年) 和 16490 万 t (至 2000 年)。此项规划由于种种原因没有得到完全实施。

目前正在计划和实施的 GEF 项目，涉及我国工业锅炉行业 25% 的制造厂 (生产规模 2.7 万 t/年) 的产品，实现 GEF 项目将大大改变我国工业锅炉的落后面貌。

二、统筹节能法

在工业锅炉中一度最常见的型号是快装锅炉，以其整装出厂、安装快捷、占地小、启动快及相对于散装炉价格低等特点，得到迅速发展。

在运行中，某厂将一台 KZL4 型锅炉向前延长炉排近 2m，在此预燃室内没有布置受热面，使烟气流程加长，原辐射受热面变成对流受热面，烟火管成为烟气余热受热面。该厂如此改炉的目的是为了使烟囱不冒黑烟。结果是：烟囱不冒黑烟了，但炉子处于正压运行状态，锅炉房内烟气弥漫，既没达到环境保护的目的，又降低了锅炉热效率，使该厂成为超耗户。

工业锅炉的管理工作不能单打一。如果锅炉用户只注意锅炉出力、劳动局只抓安全、能源监测部门只管节能、环保局只强调消除烟尘，一个城市里，锅炉检验所、节能中心、环保监测站各干各的，工作不相往来，对节能事业极为不利。

统筹节能法是节能工作的必由之路。统筹节能法的核心有三点。

1. 统一立法

我国已经颁布《节约能源法》，各市地也相应制定了一些节能管理办法、规定。

世界上大多数国家，包括工业发达国家（美国、日本等）和发展中国家（印度等）的节能工作都有法可依，并都起了很大的作用，值得借鉴。如日本的《合理利用能源法规》（1979 年 6 月 22 日第 49 号）和《工厂合理用能的考核标准》（1979 年 10 月 27 日通产省制定第 467 号公告、1979 年 12 月 26 日通产省修订第 559 号公告），不仅对节能的总的指导思想、机构、指定的管理人员（能源管理士）规定得十分

明确，而且对节能的具体内容作了详尽的说明，并要求严格控制设备、材料、技术指标。

现代科学管理经济的方法之一就是法律手段调整经济关系。节能工作是一项综合庞大的系统工程。因此必须把行政、经济和法律手段有机地结合起来，并逐步过渡到以法律手段为主来领导、组织、管理节能工作。

2. 统一机构或系统

这就是说，由统一的能源管理系统，用运筹学的方法进行能源的充分利用与节约工作。这个系统应为包括劳动局、环保局、能源监测中心在内的统一的机构，并应统筹考虑耗能设备制造和运行中的安全、节能和环保工作。没有它的批准，不合理的耗能设备不能出厂，不准安装、运行，得不到能源供应。这就能防浪费于未然。成批公布已经上市或正在运行的耗能设备为浪费型被淘汰产品的作法是治标而非治本，既不能根绝新的耗能设备的出现，又造成不断更新设备的人力、物力和财力的极大浪费。在锅炉技术改造实践中，各企业对这种状况意见很大：新购入的有劳动部门签章的锅炉，安装运行后不久，就发现热效率低又污染环境，节能环保部门就要求改造。为什么不在锅炉出厂时由劳动安全、节能、环保三方面共同把好关？除锅炉本体外，蒸汽流量计安装不久就停摆、疏水阀几周就坏……，不少锅炉辅机、附件、仪表产品质量低劣，却仍不断充斥市场。

统一的能源管理系统，使分散的各能源管理机构从体制上一体化，便于使各类耗能产品的能耗定额标准化，应当设置专门的改炉技术研究机构，统一领导锅炉改造的技术研究，逐步使耗能设备从设计制造上就更新换代、达到规范化。

这个统一的系统，作为执行节能法的执法部门，采取必

要的行政干预制止浪费，推广节能技术。对制造部门，要限制或制止能耗高、效率低的设备投产和发展；对各耗能企事业单位，要做好节能的基础性工作，搞好企业的能源统计分析和企业能量平衡，耗能设备的监测，逐步完善能源测试计量系统，开展能源技术与管理的标准化工作，以便把节能建立在科学的基础之上。

这个统一的系统，要建立、健全企业能源利用的考核监督制度，把单位综合能耗作为鉴定企业管理好坏的一大指标；要强化经济管理手段，发挥税收、价格、奖惩的作用，使节能与工矿企业的经济活动紧密结合起来。

这个统一的系统，要积极发展和研究节能技术，包括基础研究和应用研究，近斯的和远期的节能计划规划目标及措施，建立节能技术储备、智力储备、使节能工作不是一阵风，而是一浪高过一浪。

统一的能源管理系统，作为节能执法者，全部职责可以概括为两点：一手抓硬件——先进的节能设备、产品的生产和使用；一手抓软件——宏观和微观的节能管理。

3. 统一的节能意识

统筹节能法说到底是一种科学的现代管理意识。颁行节能法、建立能源统筹机制，其最根本目标是形成一个“行行重视节能、人人自觉节能”的局面，使节能成为公民的一种约定俗成的新道德、新风尚。

节能是在国民经济各部门，在生产和生活各个领域，合理有效地利用能源，以最少的能源消耗生产出更多适应社会需要的产品，创造出更多的价值，尽量减少经济增长对能源的依赖程度，从而达到发展生产和改善生活的目的。

不只对我国，就是对全人类来说，节能也是地球面临的

迫切需要解决的问题，联合国会议曾一致认为：能源、粮食、人口、环境是人类面临的四大问题。而世界全部常规能源，百年后也要逐渐枯竭。地球的能源和环境保护的形势告诉我们：为了我们自己的发展，为了人类未来的生存，必须节能。

节能并不意味着降低生产活力和生活水平，它的根本出发点是：技术上可行，经济上合理，采取环境和社会可以接受的措施，以便有效地利用能源资源，提高能源利用率和能源利用的经济效果。日本经济起飞的实践已证明：用低能源消耗增长率可以保证高的生产增长率。

在保证我国经济增长方面，节能起了重要作用，甚至在能源消费减少的情况下，保持了一定的增长速度。这主要是通过采取调整工业结构、加强能源科学管理和进行节能技术改造等措施而取得的。

日本在节能方面卓有成效：1980年与1973年相比，其国民生产总值增加了33.2%，单位产值能耗却下降了22.8%。1980年我国能源消耗水平与日本相当，而日本国民生产总值相当于我国的四倍。

这就不仅是日本统一节能立法、统一节能机制的成果，也是日本各行各业节能意识强烈的成果。例如：日本某公司建成的节能样板楼，冬季排放的脏热空气，要与进入室内的新鲜冷空气进行热交换后才能放走，以节约取暖燃料；百叶窗式窗帘可随阳光照射角度的变化而转动，以利于冬季采光取暖或夏季避光隔热；自来水经过洗澡或厨房洗涮之后的废水、经雨水回收装置处理后的雨水，都用于冲洗厕所，做到“一水分级，重复多用”。

统筹节能法对于节能专职和非专职人员，对于每位公民、各种行业都适用。它时时唤醒你的节能意识，它总在不断提