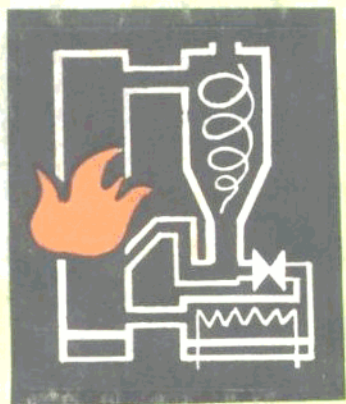




锅炉燃烧设备

徐通模 金定安 温 龙

西安交通大学出版社

TK223.2

• 345313

X87

锅 炉 燃 烧 设 备

徐通模 金定安 温 龙



西安交通大学出版社

1220/10
内 容 简 介

本书系统地介绍了锅炉燃料特性及各种燃烧设备的结构、工作原理及设计方法，并推荐了关键的工程参数。

本书结合国内外燃烧新技术的实际，突出地阐述了我国工业及电站锅炉燃烧技术的重大科研成果及发展动向。例如：煤燃烧特性的差热分析，煤的磨损特性及结渣特性，工业锅炉炉拱和二次风新技术及其动量设计法，新型活络芯炉排片等；快速循环沸腾床技术及设计；制粉系统水平输送管内煤粉沉积特性；新型夹心风、钝体、稳燃船燃器及大速差预燃室等最新的煤粉燃烧技术等。此外，还对液态炉、旋风炉、油气炉、木柴炉、甘蔗渣炉以及黑液炉等特种锅炉进行了介绍。书中还介绍了引进国外的 RP、MPS 中速磨煤机、双进双出球磨机、W 型火焰燃烧、煤粉浓缩等新技术。

本书是大学热能工程和锅炉专业的教科书，也是机械、能源、动力、电力、化工、冶金、轻工等部门有关工程技术人员必备的参考书。



西安交通大学出版社出版
(西安市咸宁西路 28 号)

西安电子科技大学印刷厂印装
陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 23.625 插页 1 字数：574 千字
1990 年 1 月第 1 版 1990 年 1 月第 1 次印刷
印数：1—5 000
ISBN7-5605-0909-3/TK·31 定价：4.70 元

前 言

锅炉燃烧设备是热能工程(锅炉)专业继热力学、流体力学及传热学等基础技术课程之后的第一门专业课。本书按照全国热能工程(锅炉)专业教学指导委员会关于热能工程(锅炉)专业人才培养规格及指导性教学计划的总体要求,完整、系统地介绍了锅炉燃料的特性及各种燃烧设备的工作原理、结构和设计计算方法,并为工程设计、应用和分析研究提供了一些关键性的参数和可靠的试验数据。

本书旨在阐明燃烧设备的基本原理,紧密结合国内、外锅炉燃烧技术发展及应用的实际,系统地介绍我国和我校自建国40年来在工业锅炉和电站锅炉燃烧技术上的主要研究成果和发展动向。例如,用差热分析等方法研究的煤的燃烧特性,关于燃煤的磨损特性,结渣特性及燃料折算成分的新概念;工业锅炉炉拱和二次风新技术及炉拱、二次风的动量设计方法,新型活络芯炉排片等;快速循环流化床的设计方法;制粉系统气固两相流动的阻力特性和水平管中煤粉的沉积特性;新型夹心风燃烧器、钝体燃烧器、稳燃船燃烧器、大速差预燃室及煤粉浓缩高煤粉浓度燃烧等最新燃烧技术。书中还对液态除渣炉、旋风炉、油气炉、甘蔗渣炉及黑液炉等特种锅炉的燃烧特点进行了介绍。

对国外引进的RP、MPS中速磨煤机,双进双出球磨机,W型火焰燃烧技术等都比较详细的介绍。

全书共分10章,近300幅插图。每章均有例题、习题及复习思考题。本书第1、2、3、5章由金定安副教授编写,第4、7、8、9章由徐通模教授编写,第6、10章由温龙副教授编写。本书由徐通模教授担任主编,并进行了统稿。

该书是在西安交通大学能源与动力工程系、锅炉教研室的组织下以及西安交通大学出版社的大力支持下完成的,全书由许晋源、张永照两位教授主审,他们提出了许多宝贵的建设性意见,责任编辑潘瑞麟、朱兆雪两位副教授对本书的顺利完成做了大量的工作,提出了很多有益的意见,本书还得到东方锅炉厂和武汉锅炉厂的帮助。作者在此向上述的所有单位和专家表示衷心的感谢。本书引用了许多资料(数据、图表等等),谨向有关的国内外作者、专家和科技工作者表示最诚挚的感谢。

由于作者水平有限,国内、外的成果非常丰硕,本书还不可能把它们都准确、无误地反映出来。书中错误难于避免,敬请科技工作者和读者批评指正,不胜感谢。

作 者

1989.7. 于西安交通大学

目 录

前 言

第一章 绪论

- § 1-1 研究燃料燃烧的基本理论..... (1)
- § 1-2 燃烧设备在锅炉机组中的作用..... (1)
- § 1-3 锅炉燃烧技术的发展..... (3)

第二章 燃料

- § 2-1 能源概述..... (4)
 - 一、能源利用状况..... (4)
 - 二、能源消耗的结构..... (4)
 - 三、能源弹性系数、能源利用率..... (4)
- § 2-2 锅炉使用的燃料..... (7)
 - 一、燃料的基本知识..... (7)
 - 二、燃料的组成及其性质..... (7)
 - 三、燃料的组成基及其换算..... (10)
- § 2-3 煤的分析..... (14)
 - 一、煤的工业分析..... (14)
 - 二、煤的元素分析..... (16)
 - 三、煤的发热量测定..... (17)
 - 四、煤的焦渣特性..... (20)
 - 五、煤灰熔融性测定..... (21)
- § 2-4 煤的着火及燃烧特性..... (21)
 - 一、煤的常规特性指标..... (21)
 - 二、煤的燃烧特性指标..... (22)
 - 三、煤的结渣特性指标..... (24)
- § 2-5 煤的分类..... (26)
 - 一、我国动力用煤的分类方法..... (26)
 - 二、我国各类煤的主要煤质指标..... (29)
- § 2-6 液体燃料与气体燃料..... (31)
 - 一、液体燃料的特性与分类..... (31)
 - 二、气体燃料的特性与分类..... (32)
- 思考题..... (34)

第三章 燃烧计算与热平衡计算

- § 3-1 锅炉燃烧计算概述..... (35)
 - 一、炉内燃烧反应..... (35)
 - 二、燃烧计算方法..... (35)

§ 3-2 燃料的燃烧计算	(36)
一、所需空气量的计算	(36)
二、完全燃烧时的烟气体量计算	(38)
三、烟气焓的计算	(41)
四、烟气分析	(46)
§ 3-3 不完全燃烧方程式	(47)
一、不完全燃烧方程式的推导	(47)
二、燃料特性系数	(49)
§ 3-4 过量空气系数的确定	(50)
一、过量空气系数与漏风系数	(50)
二、锅炉运行时过量空气系数的确定	(51)
§ 3-5 气体燃料的燃烧计算	(53)
一、气体燃料理论空气量的计算	(53)
二、气体燃料烟气体量的计算	(54)
三、燃气炉运行中过量空气系数的确定	(56)
§ 3-6 锅炉机组的热平衡	(57)
一、热平衡方程式	(57)
二、热平衡方法	(58)
§ 3-7 锅炉的热损失和燃料消耗量计算	(60)
一、锅炉的热损失	(60)
二、锅炉的燃料消耗量	(64)
思考题	(65)

第四章 锅炉燃烧过程的基本原理

§ 4-1 燃烧设备概述	(67)
一、火床燃烧设备	(67)
二、火室燃烧设备	(68)
三、旋涡(风)燃烧设备	(69)
四、沸腾燃烧设备	(70)
§ 4-2 燃料燃烧的主要过程及化学反应速度	(71)
一、燃烧过程的主要阶段	(71)
二、燃烧化学反应速度及影响反应速度的因素	(72)
三、锅炉燃烧反应热力特性参数	(75)
四、碳粒的燃烧及一些重要实验结果	(78)
§ 4-3 火床燃烧特性	(83)
一、燃料颗粒特性参数	(83)
二、煤层燃烧空气动力学稳定性	(87)
三、煤层燃烧的阻力特性	(88)
四、炉排工作条件	(90)
§ 4-4 火室燃烧特性	(90)

一、煤粉-空气流的着火和燃烧	(90)
二、燃烧组织和着火计算	(95)
思考题	(99)

第五章 火床燃烧设备

§ 5-1 固定炉排炉	(101)
一、固定炉排炉的燃烧过程及其基本特性	(101)
二、固定炉排的分类及结构	(104)
§ 5-2 链条炉排炉	(105)
一、链条炉排的燃烧过程及其基本特性	(105)
二、链条炉的燃烧调整及煤质要求	(108)
三、链条炉排的分类及结构	(109)
§ 5-3 抛煤机炉	(114)
一、抛煤机的分类、工作原理及结构	(114)
二、抛煤机翻转炉排炉	(115)
三、抛煤机链条炉	(116)
§ 5-4 振动炉排炉	(119)
一、振动炉排的结构特点	(119)
二、振动炉排的工作原理	(121)
三、振动炉排的调试	(122)
四、振动炉排的燃烧特点	(123)
五、振动炉排运行中存在的问题	(124)
六、水冷式振动炉排	(124)
§ 5-5 往复推饲炉排炉	(125)
一、往复推饲炉排的结构特点	(125)
二、往复推饲炉排炉的燃烧过程及特点	(126)
§ 5-6 下饲炉	(128)
一、下饲炉的结构特点	(128)
二、下饲炉的燃烧过程及特点	(129)
§ 5-7 木柴炉及甘蔗渣炉	(131)
一、木柴锅炉	(131)
二、甘蔗渣锅炉	(132)
§ 5-8 火床炉的炉拱及设计	(135)
一、火床炉炉拱的作用及分类	(135)
二、火床炉炉拱的经验性设计	(137)
三、火床炉炉拱的动量法设计	(139)
§ 5-9 火床炉的二次风及设计	(143)
一、火床炉二次风的作用及布置	(143)
二、火床炉二次风的经验性设计	(145)
三、火床炉二次风的动量法设计	(147)

§ 5-10 火床炉风室送风的均匀性及设计	(148)
一、火床炉风室送风不均匀的原因及机理分析	(148)
二、改善沿炉宽配风均匀性的措施	(149)
§ 5-11 小型煤气炉	(150)
一、小型煤气炉中煤的气化过程	(150)
二、小型煤气炉的结构	(151)
三、小型煤气炉的特点	(151)
思考题	(152)
第六章 沸腾炉	
§ 6-1 沸腾床空气动力学特点	(153)
一、气体-固体床层的流谱	(153)
二、沸腾床内的固体颗粒	(154)
三、鼓泡床中的气泡	(155)
四、沸腾床内固体颗粒的混合	(156)
五、沸腾床特征速度及床层阻力	(157)
六、快速床的流动特性	(159)
§ 6-2 煤的沸腾燃烧	(161)
§ 6-3 沸腾炉内的传热	(163)
§ 6-4 沸腾炉的炉型	(166)
一、链带式沸腾炉	(166)
二、鼓泡床沸腾炉	(168)
三、循环床沸腾炉	(169)
§ 6-5 沸腾炉的设计	(173)
一、鼓泡床沸腾炉设计	(173)
二、循环床沸腾炉设计	(178)
思考题	(186)
第七章 煤粉制备	
§ 7-1 煤粉的特性	(188)
一、煤粉的一般特性	(188)
二、煤粉细度	(189)
三、煤粉颗粒分布及均匀性系数	(191)
四、煤的破碎规律	(193)
五、煤的磨损特性	(194)
§ 7-2 钢球磨煤机	(197)
一、钢球磨煤机的构造	(197)
二、球磨机工作原理分析	(200)
三、钢球磨煤机的主要工作参数及出力、功率的确定	(205)
四、钢球磨煤机的适用场合	(210)
§ 7-3 中速磨煤机	(213)

一、中速磨煤机的结构和工作过程	(213)
二、中速磨煤机的出力及功率计算	(216)
三、中速磨煤机的适用场合	(222)
§ 7-4 高速磨煤机	(223)
一、风扇磨煤机的构造和工作过程	(223)
二、竖井磨煤机	(224)
三、风扇磨煤机磨煤出力及功率计算	(225)
四、竖井式(锤击式)磨煤机的磨煤出力及功率计算	(229)
§ 7-5 制粉系统及其主要设备	(231)
一、中间储仓式制粉系统	(231)
二、直吹式制粉系统	(233)
三、煤粉分离设备	(235)
§ 7-6 制粉系统的计算	(243)
一、磨煤机和制粉系统的选择	(243)
二、磨煤机的台数、出力及型号的确定	(243)
三、制粉系统热力计算	(244)
四、风量协调及一、二、三次风率的确定	(250)
五、制粉系统气固两相流动特性及阻力计算	(256)
思考题	(260)

第八章 煤粉炉及燃烧器

§ 8-1 概述	(262)
一、煤粉炉的炉膛及燃烧器	(262)
二、燃烧器布置和设计的原则性要求	(264)
三、固态除渣煤粉炉的结渣问题	(266)
§ 8-2 旋流式燃烧器	(270)
一、旋流式燃烧器的分类	(270)
二、旋转射流空气动力特性	(271)
三、蜗壳式旋流燃烧器	(273)
四、切向叶片旋流式燃烧器	(283)
五、轴向叶片旋流式燃烧器	(286)
六、旋流式煤粉预燃室	(292)
§ 8-3 直流式燃烧器的空气动力学特性	(296)
一、直流射流的空气动力学特性	(296)
二、切向燃烧炉内空气动力学特性	(299)
§ 8-4 各种直流式燃烧器	(300)
一、直流式燃烧器的分类	(300)
二、夹心风燃烧器	(301)
三、钝体燃烧器	(303)
四、火焰稳燃器燃烧器	(304)

五、大速差同轴射流直流式预燃室	(305)
六、国外燃烧器喷嘴结构的改进	(306)
七、U型及W型火焰燃烧技术	(307)
§ 8-5 液态除渣煤粉炉	(310)
一、液态除渣炉的结构特点	(310)
二、液态除渣炉的析铁	(311)
三、液态除渣炉的高温腐蚀	(312)
四、液态除渣炉的 NO_x 排放	(314)
§ 8-6 煤粉燃烧器的经验性设计	(315)
一、煤粉燃烧器的只数、热功率及布置	(315)
二、一、二、三次风的参数	(316)
思考题	(319)

第九章 油、气锅炉及燃烧器

§ 9-1 油的燃烧	(320)
一、油的燃烧过程及特点	(320)
二、雾化	(321)
三、配风	(324)
§ 9-2 雾化器	(324)
一、离心式机械雾化器	(324)
二、转杯式机械雾化器	(326)
三、蒸汽雾化器	(326)
四、简单机械雾化器的计算	(327)
五、回流式机械雾化器的估算	(331)
六、Y型雾化器的估算	(334)
§ 9-3 平流式调风器	(334)
一、平流式配风器的结构	(335)
二、平流式配风器的阻力特性	(336)
§ 9-4 气体燃烧器	(340)
一、气体燃料的燃烧	(340)
二、气体燃烧器	(342)
§ 9-5 其他液体燃料燃烧技术	(343)
一、黑液燃烧	(343)
二、油掺水燃烧	(344)
三、煤油混烧	(344)
思考题	(345)

第十章 旋风炉

§ 10-1 旋风炉的一般概念及其结构	(346)
§ 10-2 旋风炉内气流流场及燃烧过程	(349)
一、立式旋风筒	(349)

二、卧式旋风筒	(352)
三、燃尽室	(354)
§ 10-3 旋风炉设计	(355)
一、立式旋风炉	(355)
二、卧式旋风炉	(358)
§ 10-4 旋风炉与综合利用	(361)
一、旋风炉附烧熔融磷肥	(361)
二、旋风炉附烧水泥	(363)
三、浇注铸石	(365)
思考题	(365)

主要参考文献

第一章 绪 论

燃烧设备是锅炉机组重要的组成部分,是合理组织燃烧、提高燃料利用率所必须的装置。在阐述燃烧设备的结构与工作原理时,既要涉及燃料的物性与其燃烧过程的基本规律,又要涉及燃烧技术的现状与发展。这是一门理论性与实践性都比较强的专业学科。

§ 1-1 研究燃料燃烧的基本理论

对于锅炉而言,燃烧设备必须适应燃料燃烧过程的要求。所谓燃料的燃烧过程,是指燃料在燃烧时所表现的基本规律和物理、化学现象。

以固体燃料为例,其燃烧过程主要包括下述几个阶段:燃料的加热与干燥,挥发物的逸出与焦炭的形成,挥发物的着火与燃烧,焦炭的着火、燃烧与造渣。这几个阶段并不是截然划分的,而是相互影响、交叠进行的。

例如,挥发物开始从煤中逸出时,燃料的干燥阶段并未全部完成,可能还有部分水分没有蒸发;而挥发分全部逸出之前(约加热到 1000°C 以上才全部析出)焦炭已开始着火燃烧。此外,焦炭的燃烧也并非全部直接生成二氧化碳,而是一部分先生成一氧化碳,再进一步氧化成二氧化碳;同时,已生成的二氧化碳中有一部分又可能还原为一氧化碳。

液体燃料与气体燃料,其燃烧过程也都有自己的特点。例如,它们在加热分解中,往往容易生成由碳分子结合而成的碳黑粒子,这种微小粒子不易燃烧,形成的火焰性质与结构也不相同。

总之,燃料在炉内的燃烧过程不仅与燃料性质有关,还与炉内温度分布、炉内空气与燃料的混合工况、氧气到达焦炭表面的时间、燃烧速度、炉内压力等多种因素有关。这些因素都将影响燃料燃烧的反应机理,影响燃料的燃烧程度。以上所述均为本书所要涉及的内容。

此外,随着科学技术的发展,已经陆续形成了许多科学分支,深入研究有关问题。例如,燃烧速度及稳定性、火焰流场及结构、火焰传播及辐射、燃烧污染物形成机理、燃烧空气动力学、计算燃烧学等等。

§ 1-2 燃烧设备在锅炉机组中的作用

锅炉机组装置主要由三部分设备组成,即燃烧设备、锅炉本体与辅助设备。图 1-1 为目前大中型机组应用最多的固态排渣煤粉炉的示意图。

图中所示燃烧器、炉膛(包括冷炉斗)以及制粉系统中的各种装置都属于燃烧设备;水冷壁、凝渣管、过热器、省煤器、空气预热器等受热面,以及有关汽水管、炉墙、构架等均为锅炉本体的装置;其它如送风机、引风机、除尘器以及锅炉运行所需的辅助机械属于辅助设备。很明显,凡系燃烧所需的燃料加工设备、燃料输送设备、燃烧组织与控制设备都属于燃烧设备;此外,一部分辅助设备也是为燃料燃烧或燃烧残余物的排放而服务的。

作为锅炉的燃烧设备，其性能应力求能够合理、有效地组织和控制燃料的燃烧过程，以期得到满意的燃烧效果，提高燃料的利用率。

燃烧设备的设计与选择是否合理，是否符合燃料的特性，不仅影响锅炉效率，也直接影响锅炉运行的安全性。在锅炉运行的常见事故中，由于燃烧设备的缺陷或性能不佳，以及由于燃烧调整不当而引起的，所占比例最多。

燃烧设备的设计与选择，应当根据燃料的种类及特性而定。目前，锅炉的燃烧技术发展很快，对于各种燃料(包括某些很难燃烧的劣质燃料)，都可以选择到相应的燃烧方式和装置，问题的关键在于燃料与燃烧设备之间的配合，以及如何提高燃烧设备的适应性。

§ 1-3 锅炉燃烧技术的发展

近代锅炉的发展，一方面在锅内，即工质方面，出现了各种亚临界及超临界参数的超大容量锅炉，以及各种循环方式(自然循环、强制循环、复合循环等)；另一方面，是在锅炉中应用了多种燃烧方式(层燃、室燃、沸腾燃烧、旋风燃烧等)，出现了各式各样的燃烧设备。以燃烧方式而分，锅炉的种类有：固定炉排炉、链条炉排炉、抛煤机炉、振动炉排炉、推饲炉排炉、下饲炉、固态除渣煤粉炉、液态除渣煤粉炉、沸腾燃烧炉、旋风炉等；以燃料而分，则有燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、混合燃料炉、甘蔗渣炉、木柴炉等。这种种锅炉的燃烧设备，都是本书介绍的主要内容。

燃烧技术的发展，将把燃烧理论中所阐明的有关燃烧过程的基本规律，与其在实际工程中的应用结合起来，对现有的燃烧方式与燃烧设备不断分析、研究，使其技术水平不断提高。因此，燃烧设备的改进及提高，既取决于燃烧理论的研究，又取决于燃烧技术的发展。

第二章 燃 料

燃料是一次能源的主要构成部分,各种锅炉是重要的能源转换动力设备。目前,我国能源消耗的构成仍然以化石燃料为主,其中供锅炉使用的占有相当大的比例。

因此,在讲述锅炉使用的燃料之前,有必要对目前的能源利用情况作一基本介绍。在此基础上,本章将着重阐述锅炉常规燃料的组成性质、分类以及有关的特性指标。

§ 2-1 能源概述

一、能源利用状况

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础。能源、材料、信息,被视为现代化国家的三大支柱;能源、粮食、人口、环境,则被看作是人类面临的四大难题。任何一个国家,都把能源看成为国民的基本需求,看成是支持国家经济增长和提高人民生活水准的一个基本组成部分。

人类社会对于能源的消耗,一直在稳定地增长,现代工业的发展,更明显地刺激了能源的消耗,其增长速度令人瞩目。目前,全世界每年消耗的能源约为19世纪中期以前100年能源消耗总量的80%以上,并且还以每年5~6%的速度增长着。在今后相当长的一个时期内,能源消耗仍然以非再生的化石燃料为主,新能源(太阳能、海洋能、风能、地热等)的开发利用,要形成规模还需要漫长的时间。据国际能源机构估计,到本世纪末,新能源的消耗只能占能源总消耗量的26%左右。

1900年至1965年,能源消耗量约增加了600%;预计,从1965年至2000年,还将增加450%。西方某些能源决策机构认为,1985年以后,世界能源的需求有可能超过能源的供应,而在2000年以前,石油的供应肯定不能满足需求的增长。这些机构预料,能源问题在今后二三十年会有一个转折,各国都将努力提高能源转换动力设备的效率,提高能源利用技术,以期合理地、经济地使用非再生能源,并使能源消耗的品种多样化,建立适应环境允许的能源构成。

二、能源消耗的结构

化石燃料,包括核燃料、天然气、石油、煤炭以及油页岩、沥青砂等均为非再生能源,又称为地壳能源。它们的形成要经过几百万年、几千万年乃至亿万年,其储量日益减少,据估计,这些燃料的储量寿命和潜在储量寿命,大约只有几百年。如何使用这些燃料,各个国家都有适合自己国情的燃料政策或能源政策,都有与之相应的能源消耗结构。

从世界的情况来看,过去以木柴和煤为主的能源消耗,近代已转换为以石油、天然气为主,我国根据国情,在动力燃料中,锅炉的主要燃料为煤。

表2-1所示,为本世纪初至70年代末期世界能源消耗的构成。

为了提高有限的化石燃料的有效利用率,世界各国发展节能技术越来越注意提高能源转换和传递的效率(如提高能源转换动力设备的燃烧效率和传热效率),并重视二次能源(如电能、热能等)利用率的提高。

三、能源弹性系数、能源利用率

表 2-1

世界能源消耗的构成

年份	项目 能源总消耗量 (亿吨标准煤*)	能源消耗的构成%			
		煤炭	石油	天然气	水力、核能
1900	7.75	95.0	4.0	—	1.0
1950	26.64	59.3	29.8	9.3	1.6
1960	44.78	48.9	35.8	13.4	1.9
1970	74.20	32.6	46.7	18.7	2.1
1973	84.80	28.0	48.1	21.4	2.5
1975	85.70	30.7	47.2	19.3	2.8
1978	93.32	29.8	48.8	18.6	2.8

*发热量为 29308 千焦/千克(即 7000 大卡/千克)的煤定义为标准煤。

能源消耗的增长,从另一方面看又是经济发展的重要标志。一种新型能源的推广使用,一种新式能源转换设备的发明创造,都会促使经济的发展。例如:蒸汽机的发明,标志着第一次产业革命的爆发;电力的应用推动了资本主义国家工业化的实现。反之,如果能源发生了问题,也势必对整个经济的发展产生严重影响。例如:1974 年美国能源缺少 1.16 亿吨标准煤,国民经济生产总值减少了 930 亿美元;日本能源短缺 0.6 亿吨标准煤,国民经济生产总值减少了 485 亿美元。据估计,能源不足所引起的工业产值损失,大约为本身价值的 20~60 倍。

1. 能源弹性系数(e_e)

通常,把能源消耗率与国民经济增长率的比值 e_e ,叫作能源弹性系数,其定义可写成

$$e_e = \frac{\Delta E/E}{\Delta M/M} \quad (2-1)$$

式中 E 、 ΔE ——能源消费量与能源消费年平均增长量;

M 、 ΔM ——国民生产总值与国民生产总值年平均增长值。

弹性系数的计算式可写成

$$e_e = \frac{\frac{1}{(E/E_0)^{t-t_0} - 1}}{\frac{1}{(M/M_0)^{t-t_0} - 1}} \quad (2-2)$$

式中 E 、 E_0 —— t 年与 t_0 年时的能源消费量;

M 、 M_0 —— t 年与 t_0 年时的国民生产总值。

不难看出,在 E 与 M 为定值时,能源弹性系数 e_e 愈小,能源利用率就愈高,即国民生产总值的年增长值 ΔM 大于能源消费年增长量 ΔE 。因此, e_e 在一定程度上反映了能源利用方面的技术水平。

根据我国建国后 30 年的统计,平均能源弹性系数为 1.27。这个数值,与先进工业国家比较还有很大的差距。表 2-2 列出了主要工业国的弹性系数,供参考。

表 2-2

主要工业国的能源弹性系数

项目 国别	能源消费的年平均 增长率, %	国民生产总值的年 平均增长率, %	能源弹性系数 ϵ	备 注
日 本	8.8	8.7	1.01	1952~1975年
苏 联	6.5	8.3	0.78	1951~1975年
西 德	4.0	5.4	0.74	1950~1975年
法 国	3.9	4.8	0.81	1950~1975年
美 国	2.9	3.3	0.88	1950~1975年
英 国	1.2	2.6	0.46	1950~1975年

由式(2-1)还可看出,能源弹性系数低也可能是由于能源消费量增长慢,即 ΔE 增长缓慢而引起的。这往往表示国民生产总值也增长缓慢,生产不景气。通过对能源弹性系数的分析,可以找出在正常发展情况下,能源消费量增长速度与国民生产总值增长的一些关系,以预测中、远期能源需要量。我国的现代化建设规划,国民经济将成倍增长,要求能源弹性系数保持较低的数值,把总产值的增长与能源消费量增长的比例关系提高到一个新的水平,把开发能源和利用能源建立在先进的技术基础上。

2. 能源利用率

要衡量一个国家、一个地区或一个企业能源利用的状况与水平,常常要利用能源消费系数(或能源消费指数)来进行分析、对比,其定义为

$$\eta_e = \frac{E}{M} \quad [\text{kg 标准煤/元}] \quad (2-3)$$

式中 E ——某一年或某一时期的能源消费量, kg 标准煤;

M ——同时期内国民经济生产总值, 元。

持续而稳定的经济发展,要求经济显著增长,而能源消费量不大幅度增长,即能源消费系数趋于平稳或下降。

这就要求提高能源利用率((有效利用能量/供给能量) $\times 100\%$)。目前,工业发达国家的能源利用率可达40~57%,我国大、中、小型电厂的平均热效率只有19~25%。由表2-3可以看出,在能源利用技术上,我国急待进一步提高水平。

表 2-3 我国部分热力设备热效率与工业发达国家的比较

项目	中 国	工业发达国家
火力发电厂	29%	35~40%
牵引机车	6~8%(蒸汽机车)	25%(内燃或电力机车)
民用炉灶	15~20%	50~60%
工业窑炉	20~30%	50~60%
工业锅炉	60~70%	80%

提高能源利用水平一方面是对能源进行合理利用、高效利用,另一方面对已经散失的能量进行高效回收。对于燃料燃烧来说,应该设计、制造技术先进的燃烧设备,使燃料的燃烧过程在尽可能高的温度下进行,以便得到更高的燃烧效率,减少燃料的热损失。因此,在研讨锅炉燃烧设备时,应该时时考虑节约燃料,提高能源的利用率。