



72936

TD843  
8042

# 煤 的 燃 烧 与 应 用

[美] N.A.CHIGIER 主编

金如山 朱俊勇  
侯木玉 李伟民 译

北京航空學院出版社

## 内 容 简 介

《能量和燃烧科学进展》是一本国际性的高水平的综述性学术杂志。该杂志专门约请有关方面的专家撰写综述评论文章，在国际上有很高的声誉。本书是该杂志84年第二期有关煤的燃烧和应用的专辑的中译本。

本书发表了一些发达国家在煤的燃烧以及应用于能源工程上的许多重要研究成果，对煤-油浆、煤-水浆等先进技术作了评述，对结渣、污染等重要问题也作了深入的讨论。

本书对我国从事能源工程、燃烧工程、工程热物理的工程技术人员、科研人员、教师、研究生、大学生以及从事能源管理的行政领导者都有很大参考价值。



### 煤的燃烧与应用

[美]N.A.CHIGIER 主编

金如山 朱俊勇 译

侯木玉 李伟民

责任编辑 陶金福

北京航空学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京航空学院印刷厂印装

787×1092 1/16 印张：16.25 字数：416 千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷 印数：4000册

统一书号：15432·024 定价：3.70元

## 前 言

《煤的燃烧与应用》这本论文集发表了近年来一些发达国家在煤的燃烧以及应用于能源工程上的许多重要研究成果。从第一篇发展现状的综述开始和以后各篇，都是直接研究煤的燃烧和应用的，包括利用煤的燃烧去驱动燃气涡轮的有关理论、重要的实际问题和实验研究方法。我国是拥有非常丰富的煤资源的国家。煤是我国当前和未来的主要能源，如何提高煤的利用效率，如何降低煤燃烧产物的污染，如何扩大煤的直接利用（如用于燃气涡轮）等等重大课题，都还需要做大量的研究工作。因此，我相信，这本论文集所介绍的一些发达国家近年来在这方面的研究成就，对于我国从事热能工程工作的科技人员，教师、研究生和大学生都有参考价值。

北京航空学院院长

曹 传 钧

1985年9月26日

## 序 言

《能量和燃烧科学进展》是一份国际性的高水平的综述性学术杂志。该杂志专门约请有关方面的专家撰写综述评论文章，在国际上有很高的声誉。该杂志主编N. A. Chigier教授在八三年访华时，曾建议我把该杂志中特别对我国有意义的文章汇编译成中文出版。我也感到把其中的一些课题介绍给我国从事能源和燃烧工程工作的同志们有很大价值。这是第一次出版文集，选择了八四年第二期有关煤的燃烧和应用的专辑，今后还将陆续地选编，译成中文出版。这对我国从事能源工程、燃烧工程、工程热物理的工程技术人员、科研人员、教师、研究生、大学生以及从事能源管理的行政领导都有很大的参考价值。

参加本书翻译工作的还有侯木玉、朱俊勇、李伟民同志，朱俊勇同志对译稿作了整理，最后我校阅了全部译稿。出版社陶金福同志为本书的出版做了很多工作，在此表示感谢。

金如山 于  
北京航空学院热动力所  
一九八五年七月

# 目 录

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 前言                                |      |
| 序言                                |      |
| 原文序言 (金如山译)                       | (1)  |
| 发展煤燃烧技术 (金如山译)                    | (2)  |
| 1 引言                              | (2)  |
| 2 煤的直接利用                          | (3)  |
| 3 煤浆                              | (11) |
| 4 常压流化床燃烧器 (AFBCs)                | (20) |
| 5 增压流化床燃烧器 (PFBCs)                | (26) |
| 6 先进的 (正在发展中的) 燃煤燃烧室设计和煤的燃烧应用     | (29) |
| 7 煤的质量与清洗                         | (33) |
| 8 结污和积渣                           | (36) |
| 9 环境保护问题                          | (43) |
| 10 煤燃烧过程的数学模型分析                   | (48) |
| 11 煤的厂房安全                         | (51) |
| 12 电力工业前景                         | (55) |
| 13 究研需要                           | (57) |
| 火焰边沉积的工业展望 (朱俊勇译)                 | (63) |
| 煤的结构与燃烧性质的关系 (侯木玉译)               | (64) |
| 1 引言: “结构” 概念                     | (64) |
| 2 煤结构的双组份假说                       | (64) |
| 3 煤的宏观分子网络                        | (65) |
| 4 煤的结构与燃烧性能的关系                    | (66) |
| 5 煤的燃烧热                           | (69) |
| 6 煤的多样性                           | (71) |
| 对P.H.Given 的文章的评论                 | (73) |
| P.H.Given 对评论的答复                  | (77) |
| 矿物组成对燃烧过程中和燃烧以后成渣、结污和浸蚀的影响 (李伟民译) | (78) |
| 摘要                                | (78) |
| 1 煤中灰份的特性                         | (78) |
| 2 在燃烧煤粉锅炉中煤灰份的性态                  | (85) |
| 3 金属的损耗                           | (89) |
| 4 飞灰                              | (90) |

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 5 煤的处理.....                                 | (91)         |
| 6 概要.....                                   | (91)         |
| 对W.T. Reid 的文章的评论.....                      | (93)         |
| <b>煤燃烧流体动力学综述 (朱俊勇译) .....</b>              | <b>(102)</b> |
| 1 引言.....                                   | (102)        |
| 2 煤粉的制备.....                                | (102)        |
| 对J.M.Beér, J. Chomiak和L.D. Smoot 文章的评论..... | (140)        |
| <b>测量煤燃烧系统的非干涉诊断技术 (侯木玉译) .....</b>         | <b>(143)</b> |
| 摘要.....                                     | (143)        |
| 1 引言.....                                   | (143)        |
| 2 原子组成的测量[2~5].....                         | (143)        |
| 3 水和其它分子成份的微波测量[5] .....                    | (144)        |
| 4 声波和超声波流量计[6~9].....                       | (144)        |
| 5 X-射线和微波或长波长红外断层照相.....                    | (145)        |
| 6 美国能源部有关煤燃烧系统诊断的研究重点.....                  | (146)        |
| <b>声振测试 (侯木玉译) .....</b>                    | <b>(148)</b> |
| 摘要.....                                     | (148)        |
| 1 引言.....                                   | (148)        |
| 2 声波系统综述.....                               | (149)        |
| 3 声波 Doppler 流量计.....                       | (153)        |
| 4 BI-GAS 项目的流动/无流动显示器.....                  | (157)        |
| 5 Argonne 国家试验室其它的声学测量仪 .....               | (160)        |
| 6 结论.....                                   | (161)        |
| 对诊断测试技术文章的评论.....                           | (163)        |
| <b>煤燃烧过程的模化 (朱俊勇译) .....</b>                | <b>(166)</b> |
| 摘要.....                                     | (166)        |
| 符号表.....                                    | (166)        |
| 研究需要.....                                   | (168)        |
| 1 引言.....                                   | (168)        |
| 2 燃烧模型的用途.....                              | (169)        |
| 3 过程模化的分类.....                              | (173)        |
| 4 固定床燃烧模型.....                              | (174)        |
| 5 流化床模型.....                                | (183)        |
| 6 悬浮-(卷吸)床模型 .....                          | (191)        |
| 7 模型发展现状.....                               | (213)        |
| 8 结论和建议.....                                | (213)        |
| 对L.D. Smoot 文章的评论.....                      | (220)        |
| L.D. Smoot对R.H. Essenhigh 评论的答复.....        | (226)        |
| <b>煤的制备和破碎(朱俊勇译).....</b>                   | <b>(227)</b> |

|   |                                    |       |
|---|------------------------------------|-------|
| 1 | 引言.....                            | (227) |
| 2 | 煤的制备.....                          | (227) |
| 3 | 破碎.....                            | (238) |
| 4 | 将来的工作.....                         | (247) |
| 5 | 结论.....                            | (248) |
|   | 对 L.G.Austin和P.T.Luckie 文章的评论..... | (251) |
|   | <b>附录 (朱俊勇译)</b> .....             | (251) |
|   | 中英单位对照表.....                       | (251) |



## 原文序言

美国能源部煤的燃烧和应用研究组 (CCAWG) 于一九八三年八月二十四至二十五日在加利福尼亚召开了“煤的利用的若干问题”的会议。在这以前已经确定了一些要特别加以重视的问题。这是因为:(a) 在煤的利用新技术中, 它们有潜在的重要性; (b) 这些课题正处于关键性的交叉路口, 若进一步加强研究, 可以预期会在这些方面取得巨大进展。

这次会议是这样组织的, 即允许被邀请的报告者有充分时间来发言, 随之进行广泛的评论和讨论。这些特邀报告 (全文) 和事先有准备的讨论文章形成这一期“能量和燃烧科学进展”的特刊。这一期特刊包括该会议的论文集和以前在“能量国际杂志”上发表的能源部 CCAWG 的一篇“发展煤燃烧技术”的文章。

我很高兴地以 CCAWG 的名义对参加这次会议的作者、讨论者和其他参加者表示感谢。我们特别要感谢 N. Chingier 教授, 他指定“能量和燃烧科学进展”杂志出版一个专辑, 以加快这次会议论文集的发表。

S.S. Penner

CCAWG 主席

La Jolla, CA 920 93, U.S.A.

# 发展煤燃烧技术

S.S.Penner, S.B. Alpert, J.M.Beer,  
C.R. Bozzuto, I. Glassman, R.B. Knust,  
W. Markert, Jr, A.K. Oppenheim,  
L.D. Smoot, R.E. Sommerlad, C.L.Wagoner,  
I. Wender, W. Wolowodiuk, and K.E.Yeager.

## 摘 要

本文对煤的直接利用的新的改进方法作了综述评论,包括以下几个方面:粉煤的直接燃烧,清洁燃料联合循环系统,大气压力下流化床燃烧,先进的增压流化床燃烧,排渣燃烧室,煤-油浆,煤-水浆,其他煤浆等等。重点放在由美国能源部煤的燃烧和应用组所确定需要的研究上,并和如下一些过程相联系起来:煤的洗涤,排渣和结渣,环境控制系统,连线诊断技术以及模型分析技术。

## 1 引 言

煤是世界上最丰富的燃料。在整个本世纪,可以预料煤的应用要增长,特别在电力工业方面。电力工业是最大的用煤户。1981年,美国煤的发电量超过55%。现在的发展方向是在环境保护允许的限制下应用新技术以及改进常规技术来生产蒸汽和电力。有希望的新技术分别包括:采用煤浆来代替电力工业锅炉以及其它锅炉中的油,改进的常压和增压流化床燃烧室的发展,电力工业应用的配套联合循环系统的设计,以及煤的气化和液化,其目的是作为天然气和液体燃油的一个来源。

全世界煤的蕴藏量是很大的。煤以碳的重量百分数和燃烧时释热来定义其品位,进行分等,而元素化学分析包括了微量元素浓度的确定。根据1978年的数据。全世界煤的贮藏量估计约为 $17700 \times 10^{15} Btu$ 或相当于 $3.04 \times 10^{12} bbl$ 的油,分布在以下的国家及地区:美国28%,欧洲20%,苏联17%,中国16%,其他亚洲国家 6.3%,非洲 5.4%,大洋洲4.3%,南美洲 1.7%,加拿大1.5%。[1]。

自1974年石油危机以来,全世界煤产量一直在增长,而当改进了的煤的应用技术措施成为商业上富有生命力的活动时,可以预料这个趋势要加速。美国的煤产量从1970年的 6 亿 2 千万吨增长到1980年的 8 亿 3 千万吨,而到二十世纪末可以想象将要翻一番。大规模的煤的应用至今几乎限于采用烧煤粉的发电锅炉及工业锅炉。有一小部分煤,传统地用于钢铁生产。

在本研究报告中,我们只限于考虑,从通过采用改进技术来扩大煤的利用来看,特别有希望的几个方面。我们强调以下几个题目:1. 煤的直接利用,包括以下几个问题的讨论:新技术的花费,市场预测,煤的质量,锅炉利用率和动力成本之间的关系,新的工业应用设计,煤的处理和贮运(第二节);2. 煤浆,包括对煤-油浆的详细讨论(制备、贮运、雾化、烧燃、污染物生成),煤-醇浆、煤浆的市场预测,以及关于清洁燃料联合循环系统的简单介绍(第三节);3. 第四节中讨论常压的流化床燃烧室,包括工业样机的研制和研究与发展的需要;4. 在第五节中我们讨论关于增压流化床燃烧室的过去的和现在的发展以及这些系统的支持性研究;5. 第六节讨论的主题是先进的烧煤燃烧室设计(多重固体流化床燃烧室,排渣燃烧室,高含灰量燃料在燃气涡轮上应用,一体化的煤气化联合循环系统);6. 第七节研究与煤的质量和煤的清洗处理技术有关的重要问题;7. 第八节讨论在烧煤燃烧室中的结渣和排渣,包括对低品位煤的讨论;8. 第九节的主题是对环境的影响,其中,强调排气除尘和新的E-射束除尘器的发展;9. 第十节讨论煤的燃烧过程的数学模型分析;10. 第十一节中讨论用煤工厂的安全问题,煤的破碎和送给;11. 最后一节(第十二节)讨论电力工业用煤前景。

## 2 煤的直接利用

粉煤在工业锅炉及电力锅炉中的直接利用,是公认的煤在工业上应用的代表,它几乎涉及到世界上各地采矿产出煤的全部利用领域。家用和商业用煤传统地只占总利用量中百分之几,看来也不会很快地相对增长,因为在很小的装置上安装适当的控制技术花费很大。图2-1中示出了煤应用的一个有代表性的回顾和展望。该图引自1977年的一份OTA的报告。

与采取支承在传动炉篦上的块煤自动加煤机不同,也与燃烧碾压煤的流化床不同,粉煤的燃烧包含了在卷吸气流中精细破碎的颗粒群(平均颗粒尺寸约 $50\mu m$ )的燃烧,在点火之后,煤在温度 $2000K$ 左右稳态状况下燃烧。在工业锅炉及电力锅炉中,这些高温气体,主要通过辐射向蒸汽管排传热,用以产生蒸汽。该蒸汽管排列于大型“辐射”燃烧室的壁面。

### 2.1 大型燃煤发电厂,核电站和燃油发电厂的经济性

图2-2是一个典型的大型燃煤发电厂的平面布置图。图2-3简略示明一个锅炉装置的较详细的示意图。在图2-2中的右边还留有余地可以装第二个装置。如果把这块面积从总面积中减掉,就近似得出一个装置所要求的空间大小。在发电厂周围有火车轨线,而停车场、围墙、警卫岗棚、办公楼等等没有在图上标出。

第一套锅炉装置连同除尘器和洗涤器所需要的占地面积约为总面积的14%。在这张布置图上示出的废物处理设备意味着主要灰渣并不堆置在现场。如果考虑现场要有20年的灰/渣场,它至少是堆煤场面积的两倍。一般说,当我们考虑其他的燃煤发电厂时,要考虑在这14%的面积范围内来改用其它设备。

美国联邦能源管理委员会采用一个费用计算标准来核算直接成本。这些成本费用还可以进一步分解,可以为一家公司为进行一个重大工程项目所需的费用作详细分析。对政府投资项目(如Tennessee流域管理局,能源部,国防部等等),通常采用联邦能源管理委员会的费用计算标准。每一个美国工程公司可以有自己内部的费用计算系统。这一点对讨论成本费用带

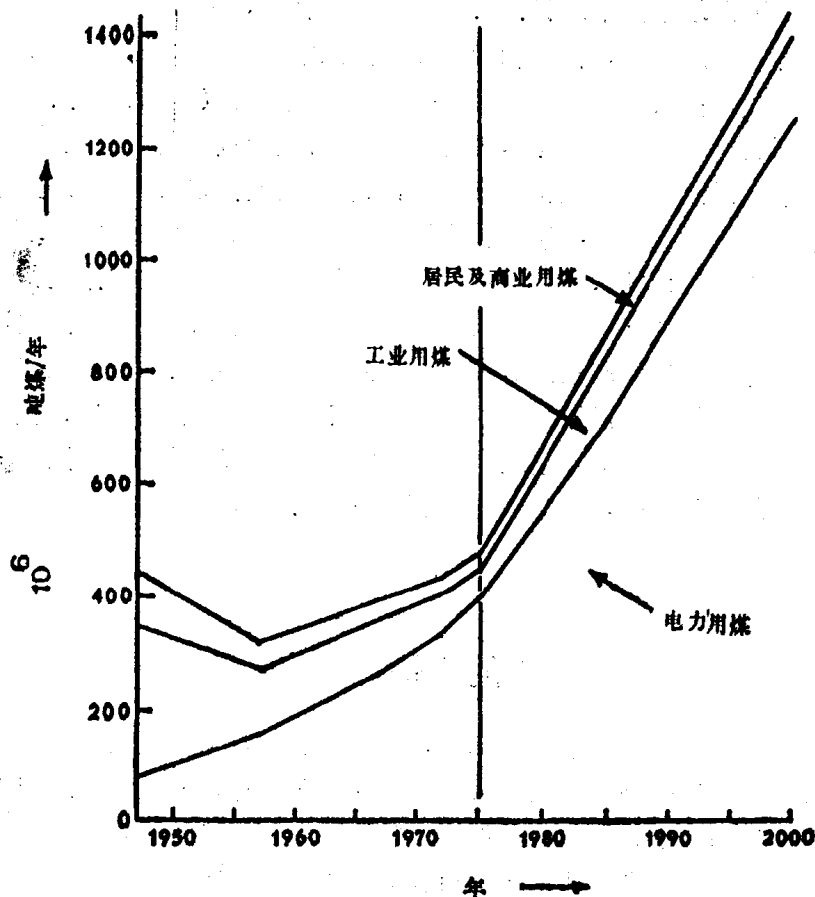


图2-1 在发电工业和居民-商业用煤方面，过去以及今后用煤和褐煤的估计。引自美国能源部向国会年度报告，能源部OTA，能源资料管理中心，第Ⅱ卷，1977年

来了相当的混乱。例如，供水系统可以和涡轮一起算，也可以和锅炉一起算。锅炉制造商宁愿把供水系统算到涡轮一起，因为供水系统不是他们的供货范围。然而，联邦能源管理委员会的计算标准中却把供水系统和锅炉装置算在一起。因此，对不同的计算者来说，锅炉装置的成本可能代表了不同的构成项目。

如采用联邦能源管理委员会的计算系统，如表2-1示，固定投资可以分解以每千瓦多少美元  $\$/kW_e$  表示。这些数据是近似的，详细的估计要针对每个现场具体情况来进行。尽管如此，综观表2-1所示的成本，如果采用烧煤，那么大多数发电厂的投资费用是固定的。从烧粉煤改到流化床，或改到采用煤气化或磁流体发电，基本上只是改变了锅炉和排气净化系统，余下的各设备很大程度上是不变的，并取决于燃煤量。这些固定不变的成本通常计到约  $\$800/kW_e$ ，为替换掉锅炉及排气净化系统的设备，还必须化一些费用。这部分费用约  $\$200/kW_e (\pm 30\%)$ 。于是，所有燃煤的发电厂的投资在  $\$1000/kW_e (\pm 6\%)$ （以1981年中期美元价值计算），这就很容易说明为什么发电厂家很不愿意建设采用新技术的电厂。固定投资节省非常少，最好不过只是降低运转费用。设备利用率费用的降低总是导致运转费用的损失。于是，通常采用已经成熟的技术。这与冒险采用正在发展中的而还没有大规模地验证过的技术及与冒险追求还难以捉摸的运转费用上的节省相比，总是更有经济效益和谨慎。

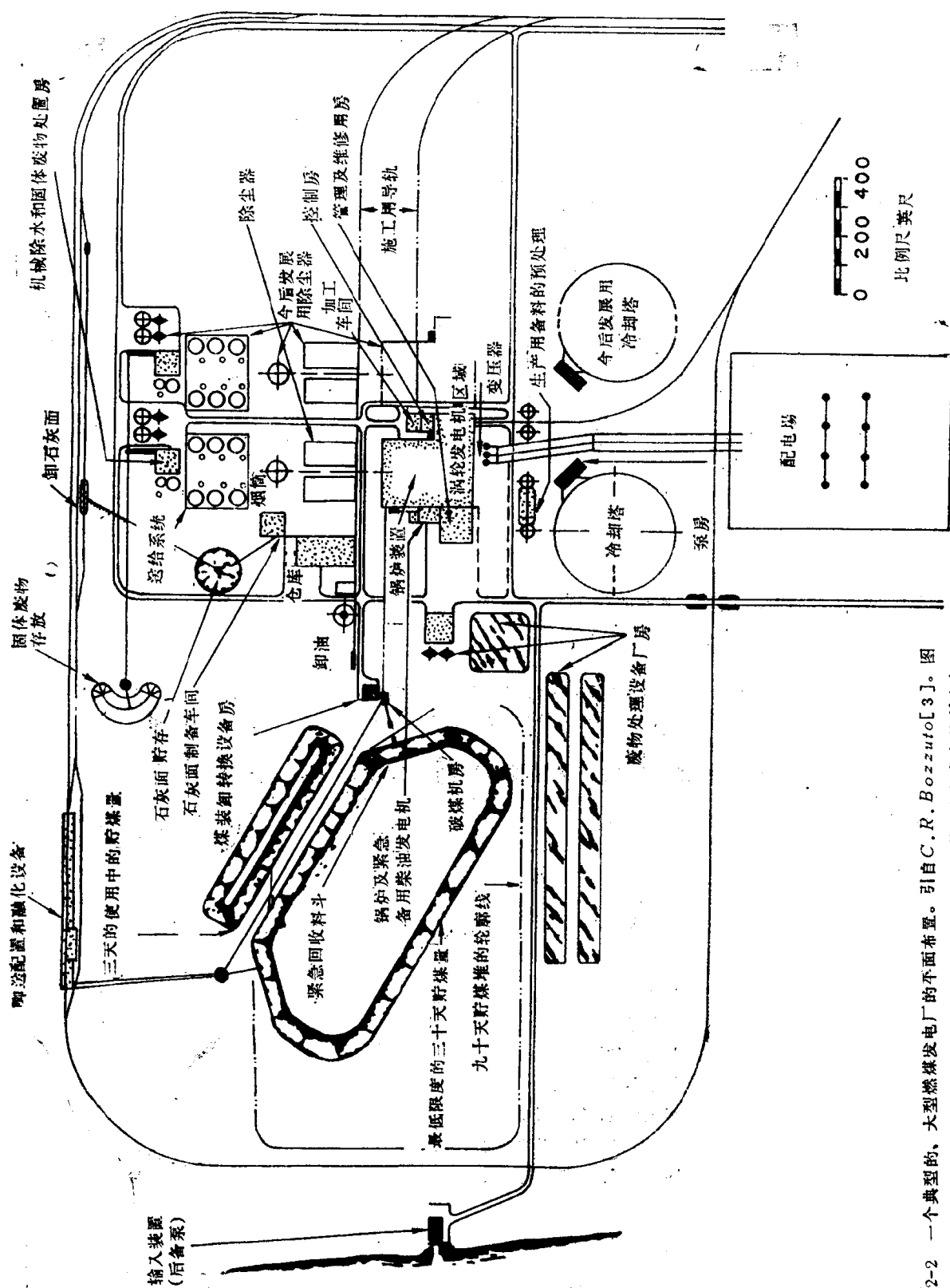


图2-2 一个典型的、大型燃煤发电厂的平面布置。引自C.R. Bozzuto[3]。图  
示各设备只作了相对比较，最终布局将由地理位置和气象条件所决定

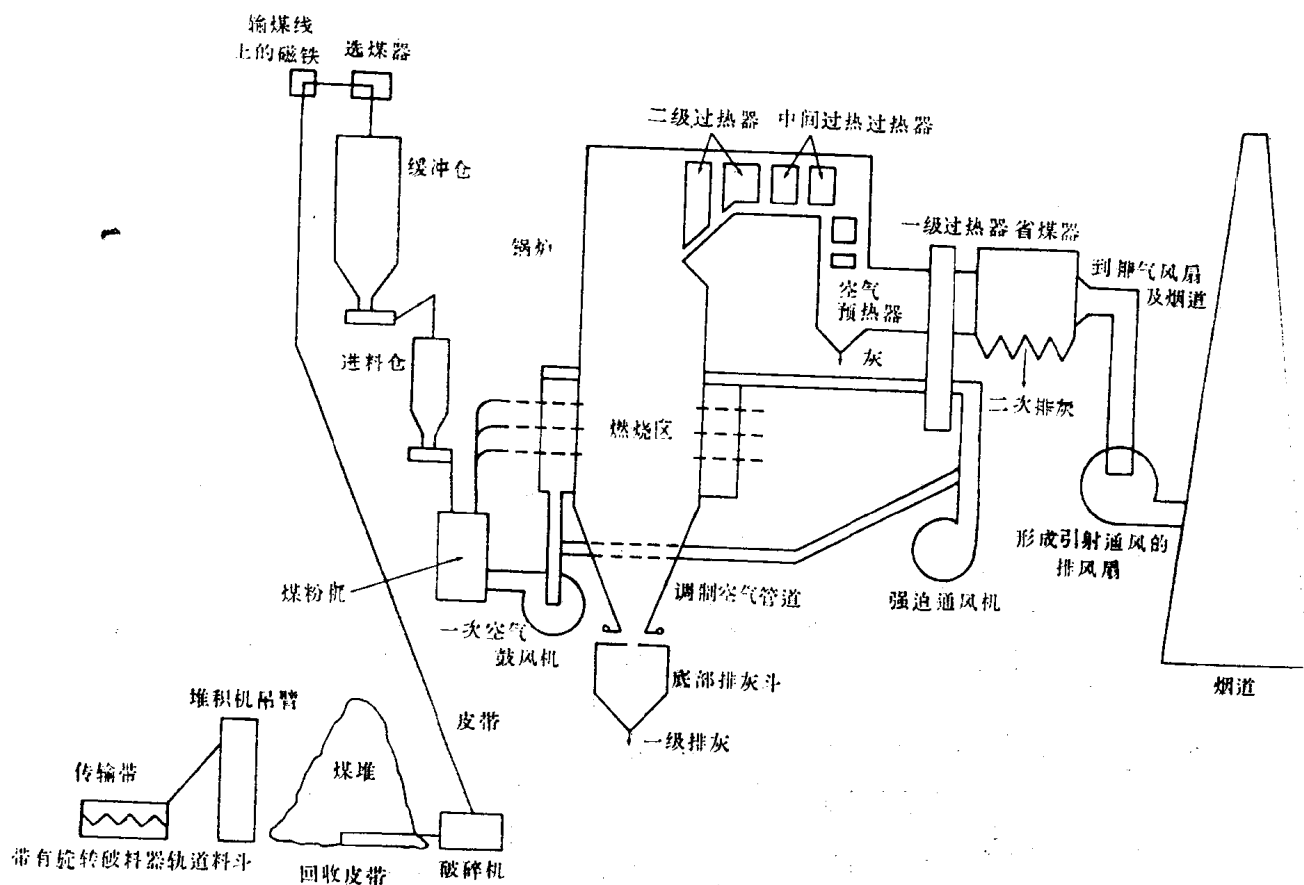


图2-3 一个燃用低硫粉煤的发电锅炉（当燃用高硫煤时，必须增加一个洗涤器）的主要部件示意图

表2-1 一个典型的、大型燃煤发电厂的固定投资（引自文献[3]）

| 费用帐号 | 项 目                                                                                | 以81年中期计算的费<br>用 \$ / k W e           |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 310  | 土地及土地使用权                                                                           | 3                                    |
| 311  | 建筑及改进                                                                              | 73                                   |
| 312  | 锅炉<br>排气净化器<br>煤的装卸设备<br>管道和蒸汽系统<br>机械设备、辅助设备<br>供水系统、除灰系统、鼓风系统<br>锅炉地区、包括排气净化及煤装卸 | 100<br>100<br>100<br>65<br>65<br>480 |
| 314  | 涡轮发电机组                                                                             | 170                                  |
| 315  | 电器设备及配电装置                                                                          | 40                                   |

|     |                 |      |
|-----|-----------------|------|
| 316 | 其它零散发电厂设备       | 14   |
|     | 小计              | 730  |
|     | 建筑工程师费用、利息、应急费等 | 230  |
|     | 小计              | 960  |
|     | 经营费             | 40   |
|     | 总计              | 1000 |

核电站的投资费用为  $\$1500/kWe(\pm 10\%)^{1)}$ 。大约  $\$100/kWe(\pm 10\%)$  的投资费用是起始核燃料装载费用。假设这费用已经包括了初次加载（大约2年运转所消耗的燃料），则以90天燃料贮量为基础的核电站，在上述投资费用中可以减少约  $\$87/kWe$ 。但是通常核堆芯是保持在装满燃料的状态，这样，正如把90天的贮煤量当作燃煤发电厂的投资一样，把核燃料的装载也当作要求的固定资产来处理较妥当，所以减去这  $\$87/kWe$  是不恰当的。

总的发电厂经济性取决于一系列的假设条件，例如固定支付率，燃料价格，负载因素，加热率等等。以下一些是有代表性的1982年中期数值：固定支付率 =  $18.2 \sim 25.6\%$ ，这取决于利率及征税法；燃料价格（30年中平均计算）用煤  $\$3.00$ ， $\sim \$4.00/MM\ Btu$ ，用核燃料  $\$1.70/MM\ Btu$ ，用燃油或天然气  $\$10.00/MM\ Btu$ ，负载因素（平均） =  $70\%$ ，加热率，用煤时， $9500\ Btu/kWe-hr$ ，用核能时， $10,500\ Btu/kWe-hr^{2)}$ ，用燃油或天然气时， $9000\ Btu/kWe-hr$ 。基于这些估计，我们得出固定投资和燃料费（以  $mills/kWe-hr$  表示）如表2-2所列。考察一下这些成本费用是有意义的。这些费用表明，按平均说，燃煤比核能便宜，除非是当地的煤价高（如新英格兰<sup>3)</sup>）。新的燃油的发电厂要成为有竞争力，那么油价必须降低一半才行。在燃煤情况下，固定投资的成本约占了电力成本的一半。对烧油的情况，燃料占了电力成本的75%，这说明了发电厂的费用中随燃油的改变而变化的可变费用很高的原因。注意到以下这点很重要。自1974年以来，美国还没有一个大型核能发电厂和大型燃油或烧天然气的发电厂的订货<sup>4)</sup>。

表2-2 不同燃料的成本费用，以  $mills/kWe-hr$  表示（参阅本文中有关假设），引自文献[2]

| 成本费用组成 | 煤            | 核能    | 油      |
|--------|--------------|-------|--------|
| 固定投资费  | 41.75        | 62.62 | 25.05  |
| 燃料成本   | 28.5(38.0)   | 17.85 | 90.00  |
| 运行和维护费 | 8.0          | 5.00  | 5.00   |
| 电力总成本  | 78.25(87.25) | 85.47 | 120.05 |

煤用火车或轮船运到现场（见图2-2），在现场装卸，必要时需要融化解冻，并输送到煤堆。对每一个500MWe的发电厂，每天必须运输大约6000t的煤，这相当于每天60~100个车皮。从煤堆由传送带传到破煤机（见图2-3），把尺寸减小至  $1\frac{1}{2}in \times 0$  使其可以进入

1) 1982年能源部的投资成本估计。

2) 指美国东北部的各州。

3) 原文误为  $10,500\ Btu/kWe-hr$  ——校者。

4) 在1978年，曾有两套发电厂的订货被无限期推迟了，但还没有取消订货。

粉磨机中把煤磨到其中 70% 可以通过 200 目的筛子, 并加以干燥。粉磨后的煤由风力输送机传送, 伴随有 20~40% 的为完全燃烧所需要的燃烧空气。粉煤-空气混合物通过燃料烧咀喷入, 和其余的燃烧空气相混合, 这部分空气处于比较高的温度。煤在锅炉的辐射段中燃烧掉, 燃烧产物被冷却到灰份软化温度以下, 随后离开辐射段, 进入对流蒸汽过热器, 避免由熔化灰粒引起淤塞。当燃气在对流过热器及供水加热器(节煤器)中冷却到大约  $750^{\circ}F$  之后, 用来预热空气。在这里, 燃气冷却到约  $300^{\circ}F$ 。排气最后经过除尘处理, 随后进行除硫处理。洗涤过的排气通到烟道。烟气中留些余热对保护排风机及烟道是必要的。一般来说, 烟道排气温度为  $175^{\circ}F$  时, 足以可使烟气有效地上升。在锅炉的几个位置处和除尘系统的除灰斗把灰份收集起来。灰份可以和经由湿式洗涤器来的熔渣混合起来, 以便稳定, 或者可以单独地弃置掉。

水由冷凝器来, 经过各种供水预热器和除气器, 传送到锅炉的节煤器部分。这一步使水预热到接近于但仍低于沸点的温度。随后把水输送到蒸汽锅筒, 在这里与蒸汽-水混合物经蒸汽分离后的水相混合。这种蒸汽-水混合物在锅炉的水间隔层中循环流动。在蒸汽锅筒中, 把蒸汽从水中分离出来, 送至过热器。水循环送回到水间隔层的低加热器中。因为这部分水吸收热量, 生成蒸汽, 形成一个蒸汽-水混合物。该混合物上升到蒸汽锅筒, 过热蒸汽送至蒸汽涡轮, 在涡轮中有一部分蒸汽焓回收作功。现在蒸汽处于较低的温度和压力下, 并送回至锅炉, 以再次加热。这个步骤必须在可以保证如下条件下进行: 即蒸汽可以膨胀到足够低的压力(如  $0.04\ atm$ ), 但在涡轮中仍不出现显著凝结。过热蒸汽在冷凝器中由冷却水冷却而凝结, 可以在蒸汽涡轮的不同部位抽出蒸汽来加热供水。这样, 把一部分工作流体输到冷凝器周围从而改善了循环效率。采用这种再生式供水加热会引起这样一个重要后果, 即供水到达锅炉时处于饱和状态, 因而不需要在锅炉的对流段装置节煤器。为了使烟气在锅炉中有效冷却, 将空气预热器加大, 这样可以充分利用提高预热温度的好处, 在自动加煤器中, 无法做到这一点, 因为燃烧空气必须冷却炉篦。把冷却水送至冷却塔, 向大气散出其热量。

在使用  $1000^{\circ}F$  蒸汽,  $120^{\circ}F$  冷却水情况下, 这种发电厂的最大卡诺效率大约为 60%。实际上由于烟道损失 (10~12%), 涡轮的机械效率 (88%), 发电机效率 (97%), 辅助动力源的消耗 (10~12%) 以及环境排气的洗涤和其它的损失 (4~8%), 真正可以达到的效率约为 38%, 如果采用湿式洗涤器, 总效率还要降低些。

目前对电力工业来说, 着重研究的领域集中在改善可靠性和使用率, 降低辅助动力的要求, 用降低环境费用来降低运行成本。要显示出可靠性和使用率的提高, 还要经过相当长的一段时间。

## 2.2 新技术进入市场商品化

在 2.1 节中所作的讨论表明了与新技术向市场渗透有关的一些问题。电力工业负担不起有风险的科技创新。只有在达到以下两点之后, 新技术才会进入电力工业的市场: a. 已经做完了经济效益的论证, 说明是有利的; b. 已经对一个大型的商业用原型机做了适当的试验, 这可能由联邦政府支持的, 或者由一个工业财团(例如, 美国电力研究所 EPRI) 来联合投资举办的。一般说, 必须有一个  $100\ MW_e$  的中间试验电厂开工运转一年, 而且具有相当的开工利用率(即 50~70%) 才能说明问题。



应当承认，其他国家对决定市场政策会有其他的观点和方法。在日本，以对整个国家是否有利（而不是以某个工业是否有利）做25年的前景分析来决定收益率（产出率）。这样，私人企业和日本的国际贸易和工业部合作，来推进技术的讨论（步骤b）。技术上的领先地位要求有为发展高度危险性新技术的商业用原型机，在相当时间内所需的一些专用资源，这是很普遍的情况。在经济实力强，财政上健康发展的工业中，过去已证明了私人企业可以是技术创新和达到技术商品化的良好财源。理论上，联邦政府应当执行良好的政策，以形成与工业界同盟的关系，例如，低的通货膨胀，低利率，持续的经济增长，并对固定投资以及研究和经费采取低的优惠税率。

由美国能源部、美国航空宇航管理局和美国电力研究院在过去十年中所支持的研究表明，在给定位置情况下，应用不同的燃煤的电力厂的固定投资差不多是一样的（在±10%的范围内）。由于所有和电力有关的设备在这十年中价格飞速地增涨，工业界对由一篇文章或小规模研究得出的对新技术的成本估计的可接受性，倾向于十分小心谨慎。工业界也十分清醒地知道领先采用某种新技术的第一个装置会面临的困难。此外，规章制度上的很大压力以及微弱的财政状况往往迫使电力工业采用已经成熟的技术。由此而来的结果是，技术上的进展倾向于渐进的，而不是革命的。由试验室阶段引入新技术到相当规模的市场商品化，传统地要求大约需要50年左右。表2-3 示明一些有代表性的能量技术引入市场商品化的代表年份。

表2-3 某些能量技术引入市场的代表年份

| 应用的阶段        | 蒸汽涡轮      | 核动力      | SO <sub>2</sub> 洗涤器 | 工业的减摩轴承结构 |
|--------------|-----------|----------|---------------------|-----------|
| 试验室阶段        | 十九世纪七十年代  | 二十世纪三十年代 | 二十世纪三十年代            | 1955      |
| 初步试验机        | 1882~1886 | 1941     | 1935                | 1970      |
| 中间验证试验       | 1895      | 1953     | 1966                | 1977      |
| 第一个商业上的装置    | 1900      | 1955     | 1968                | 1980      |
| 相当程度上进入市场    | 1905      | 1965     | 1978                |           |
| 达到现有设备能力的10% | 1910      | 1978     | 1980                |           |

企图加快把新技术引入市场，常常是不成功的。特别是，过去联邦政府在市场发展上的干涉已证明，对于在煤的利用领域内新系统的商品化来说，是个无效的过程。

### 2.3 煤的品质，锅炉利用率和电力成本之间的关系

美国燃煤发电站的利用率从1968年（~78%）到1978年（~65%）的十年中有所降低，燃烧的煤的能量含量从约11800 Btu/lb降至约 10000 Btu/lb。由于以下事实使煤的品质和发电能力之间的定量关系复杂化了，即锅炉的利用率由100~200 MWe机组的约90%降到800 MWe以上的机组的约82%。这些参数之间的关系要求精心研究，可以预期，这些关系将由美国电力研究院在 Pennsylvania 州 Homer 城的清洗煤试验室的一项研究计划的结果中得出。在该试验室做的工作将包括对清洗过的煤和直接采矿得来的煤进行燃烧评价试验。Tennessee 流域管理局所进行的这种类型的研究表明：有代表性的低品位煤（13.4%灰份，2.7%硫，12053 Btu/lb）的维护费用，比高品位煤（10.8%灰份，1.0%硫，12680 Btu/lb）的维护费用要很高