

炉子供热

● 刘非轼 编

● 中南工业大学出版社

炉 子 供 热

刘 非 轼 编

中南工业大学出版社

炉 子 供 热

刘非轼 编
责任编辑 秦瑞霖

*

中南工业大学出版社出版发行
中南工业大学出版社印刷厂印刷
湖南省新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.5 字数: 245千字
1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷
印数: 0001—2500

*

ISBN 7-81020-034-8/TF·001

统一书号: 15442·018 定价: 1.70元

前 言

《炉子供热》是《冶金传递过程原理》、《气体力学与传热学》的配套教材，也可单独作为冶金、铸造、团矿、机械、金属材料、压力加工及热能等专业必修、选修课教学用书和从事这方面工作的工程技术人员的参考书。本书内容包括：能源、工业燃料、合理组织燃烧、电热利用、能量平衡、余热利用和耐火材料。

教材中着重概括本学科的新成果和新概念，并避免冗长的阐述及重复其它有关教材。

本书经梅炽教授审查，并由热能工程教研室有关同志校核。

编写本书时引用了不少国内外文献资料，在此，对这些文献的作者谨致谢意。

编 者

一九八七年六月

目 录

第一章 能 源

§ 1-1	概述.....	(1)
§ 1-2	世界能源形势.....	(3)
§ 1-3	我国能源概况.....	(47)
§ 1-4	新能源.....	(8)

第二章 冶金炉常用燃料

§ 2-1	固体燃料.....	(14)
§ 2-2	液体燃料.....	(23)
§ 2-3	气体燃料.....	(31)
§ 2-4	燃料成分的代表方法及其换算.....	(46)
§ 2-5	燃料的发热量.....	(50)

第三章 燃烧技术

§ 3-1	燃烧及燃烧装置.....	(55)
§ 3-2	燃烧参数及其计算.....	(104)
§ 3-3	合理组织燃烧.....	(119)
§ 3-4	燃烧状况的检验.....	(127)

第四章 能量平衡与有效能

- § 4-1 能量平衡..... (145)
- § 4-2 能量转换与有效能..... (172)

第五章 余热利用

- § 5-1 概论..... (191)
- § 5-2 余热回收的基本理论..... (193)
- § 5-3 余热回收方式及装置..... (201)

第六章 电热利用

- § 6-1 电弧与等离子焰加热..... (222)
- § 6-2 电子束加热..... (228)
- § 6-3 电阻与感应加热..... (236)

第七章 耐火材料

- § 7-1 概述..... (265)
- § 7-2 耐火材料的基本性质..... (268)
- § 7-3 常用块状耐火材料..... (278)
- § 7-4 熔铸耐火材料..... (291)
- § 7-5 散状耐火材料..... (294)
- § 7-6 隔热材料(轻质耐火材料)..... (304)
- § 7-7 特种耐火材料..... (314)

附表 1	功、能和热量单位换算表.....	(320)
附表 2	炉壁外表面向周围散热的综合传热系数.....	(321)
附表 3	燃烧计算经验公式.....	(322)

第一章 能 源

§ 1-1 概 论

人们在日常生产和生活活动中需要各种形式的能源。如冶金需要热能；开动机器、车辆需要机械能；使用电气设备需要电能等等。

在自然界有一些物质，如煤、石油、天然气等它们在一定的温度下能和空气中的氧化合产生热能；燃料铀在进行人工核裂变时可产生核能；还有一些物质的运动，如空气和水的流动可转变成机械能等。这样一些在一定条件下能够提供某种形式的能量的物质和物质的运动，我们统称之为能源

世界上能源的种类甚多，按其形式和来源可分为如下四类：

(1) 太阳能 它包括太阳辐射能和由太阳辐射能转换而来的其他各种形式的能量，如生物质能、矿物燃料，以及风能、水能、海洋温差能、波浪能等；

(2) 地热能 它包括地下蒸汽、热水、干热岩和绝热沉积层的高温高压水，以及溶解于水的天然气；

(3) 原子核能 某些物质在进行人工核反应时释放出来的能量，包括裂变反应能和聚变反应能；

(4) 星球引力能 当太阳、地球和月亮的相对位置发生

周期性变化，因引力作用使海水涨落所形成的潮汐能。

以上各种存在于自然界中，并且基本上未经人为加工或转换的能源，我们称之为一次能源。

在生产和生活中由于种种原因，往往不能或不便于直接使用自然界存在的能源，而要将它们加工或转换成符合使用要求的能量，如蒸汽、焦炭、煤气和电力(火电)等，我们称这些为二次能源。

自然界有一些能源是用之不竭的，如太阳辐射能、水能、风能、生物质能等，这样一些能源称可再生能源；煤、石油、天然气、燃料铀等它们基本上是不能再生的，称非再生能源；还有一些能源目前尚未广泛使用，如太阳辐射能、海洋能、地热能、核聚变能、生物质能等，我们称之为新能源。

随着科学技术和社会生产力的发展，人类利用的能源是不断更新的，即长期普遍使用的能源，总是要逐步被新开发的能源所代替。从人类利用能源的历史来看，已经历了利用薪柴、水力、风力等可再生能源和利用煤炭、石油、天然气等非再生能源两个时期。现正在向广泛利用原子核能、太阳能、地热能、核聚变能等新时期过渡。

人类利用能源的第一个时期，即以薪柴为主要能源的时期，持续了漫长的年代，直到1890年前后，世界能源消费结构中薪柴的比重才小于百分之五十。

蒸汽机的使用是能源利用技术的一个飞跃，它成功地把热能转换成机械运动，使原来只能提供热量的燃料也能提供动力，有力地推动了资产阶级工业革命，使手工业生产迅速过渡到大机器生产。这时薪柴已不能满足工业发展的需要，促使煤炭的消耗量迅速增加。从1860年至1910年的五十年间，世界能源总

消耗增长3.3倍，其中煤炭增长7.3倍，而薪柴只增长0.4倍；煤炭在世界能源结构中的比重由25.3%增加到63.5%，薪柴则由73.8%下降为31.7%。这就过渡到了以矿物燃料为主的能源利用的第二个时期。

进入二十世纪以来，随着钻探技术的发展和内燃机的发明，石油和天然气在工农业生产和日常生活中得到了广泛应用，它们在能源结构中的比重迅速由1950年的39%增至1973年的70%。

如前所述，石油和天然气是非再生能源，其储量有限。可以预料，在这两种能源日趋匮乏的情况下，人们对能源的需求又将逐渐转向煤炭和另一新开发的能源——原子核能。但是，煤炭和原子核能也是不可再生的，且储量也是有限的。因此，随着科学技术的进步，人类第三个能源利用时期将是可再生的太阳能和几乎是取之不尽的核聚变能时期。

§ 1-2 世界能源形势

一、世界能源现状

目前人类使用的能源大约百分之九十仍为常规矿物燃料。根据本世纪七十年代末世界已探明的可采储量推算，这些燃料可供开采的年限（按当时生产量计）大致为，煤炭二百多年，石油三十年左右，天然气约四十五年。考虑到地质储量中还有相当一部份能够探明为可采储量，因此实际可供开采的年限将会长一些，但毕竟是一种有限的资源。

二、世界能源预测

随着社会的发展和人口不断增长，能源需求量将日益增

加。若干年后世界能源供需情况如何？下面是有关国际研究机构1981年公布的，对1980~2030年五十年间世界各区域一次能源需求量、增长率以及能源供应量的预测(见表1-1、1-2、1-3)。

表1-1 分区域的世界一次能源需求量预测

(特瓦年/年) ①

区 域②	1975年	高 方 案		低 方 案	
		2000年	2030年	2000年	2031年
1	2.65	3.89	5.02	3.31	4.37
2	1.84	3.69	7.33	3.31	5.90
3	2.23	4.29	7.14	3.39	4.54
4	0.34	1.34	3.68	0.97	2.31
5	0.33	1.43	4.05	1.07	2.66
6	0.13	0.77	2.38	0.53	1.23
7	0.46	1.44	4.45	0.98	2.29
世界	8.21	16.84	35.65	13.59	22.39

① 1 特瓦年 = 11亿吨标准煤

② 区域 1~7 为：

- 1 —— 资源丰富的北美发达国家；
- 2 —— 资源丰富的苏联和东欧集中计划经济的发达国家；
- 3 —— 资源比其他发达区域贫乏的西欧、澳大利亚、以色列、日本、新西兰、南非等发达国家；
- 4 —— 资源较多的拉丁美洲发展中国家；
- 5 —— 资源贫乏（少数国家例外）的南亚和东南亚，以及除南非以外的次撒哈拉非洲发展中国家；
- 6 —— 石油和天然气丰富的中东和北非国家；
- 7 —— 只有中等程度资源的中国和亚洲实行集中计划经济的发展中国家。

表1-2 分区域的世界能源年增长率预测 (%)

区 域	1950~1975年	最高增长方案		最低增长方案	
		1975~2000年	2000~2030年	1975~2000年	2000~2030年
1	2.7	1.4	1.1	0.8	0.5
2	5.2	2.5	1.8	2.2	1.0
3	4.3	2.6	1.2	1.7	0.7
4	6.8	5.6	3.3	4.3	2.8
5	6.7	5.9	3.7	4.7	2.9
6	10.4	7.0	3.5	5.8	2.3
7	10.8	4.7	3.2	3.1	2.1
世界	4.8	3.0	2.2	2.1	1.4

表1-3 各种一次能源供应量预测 (特瓦·年/年)

一次能源	1975年	高 方 案		低 方 案	
		2000年	2030年	2000年	2030年
石油	3.83	5.89	6.83	4.75	5.02
天然气	1.51	3.11	5.97	2.53	3.47
煤	2.23	4.94	11.98	3.92	6.45
轻水堆	0.12	1.70	3.21	1.27	1.89
快中子增殖堆	0	0.04	4.88	0.02	3.28
水力发电	0.59	0.83	1.46	0.83	1.46
太阳能	0	0.10	0.49	0.09	0.39
其他	0	0.22	0.81	0.17	0.52
总计	8.21	13.84	35.65	13.59	22.39

预测年限之所以采用五十年，其理由是，目前能源系统中关键技术投资寿命，诸如炼油厂、发电厂大约为25~30年。五十年相当于两代。从全球技术观点来看，一项能源技术代替另一项能源技术需要很长时间，期望世界能源系统在今后两代的时间内就发生转变，那是不可能的。据研究，在五十年内只可能出现这样的转变，即从常规矿物燃料石油、天然气转变到非常规矿物燃料重质油、油砂、油页岩等。

世界能源的替换速度（某种能源占能源总消耗量的比重从1%增加到50%所需要的时间），就世界范围而言，据推算大约需要100年。但欧洲经济发达国家一次能源替换速度要快得多。而其他能源资源丰富的区域和发展中国家，一次能源的替换速度将超过100年。

全世界核能达到占能源总消耗量的1%是1970年。可作为持久能源系统基础的核聚变能和太阳辐射能，前者在世界范围内达到商业应用可能是五十年以后的事；太阳辐射能占世界能源总消耗量1%的临界时间大约是2010年。

预测报告还指出，中国和亚洲其他集中计划经济的国家经济发展快，人口增长亦快，到2030年人均国民生产总值大致相当于拉丁美洲国家1975年水平，能源仍将自给，但到2030年前后国内石油资源将耗尽。因此，二十一世纪要增加煤炭产量，并发展煤炭液化。煤产量将由1975年的0.45特瓦年增加到2030年的3.2特瓦年，增长约7倍。

§ 1-3 我国能源概况

一、我国能源概貌

我国是一个能源资源比较丰富的国家，煤炭的探明储量达七千多亿吨（1984年资料），居世界第三位，水电资源约6.8亿千瓦，其中可开发容量为3.8亿千瓦，居世界第一，探明的（1981年）石油储量，陆地和近海共约110亿吨。以上这些已探明的资源按近年消耗水平计，大致可使用近二百年。而我国煤炭的地质储量估计是已探明储量的十倍左右；石油的地质蕴藏量（估计为300~600亿吨）也比探明储量 大得多。因此，从常规能源的储量来说，无疑，我国是一个能源大国。

另一方面，我国人口众多，按人均能源占有量只相当于世界平均数的二分之一。所以从人口平均能源来衡量，我国又是一个能源资源不丰富的国家。

我国能源资源的分布情况是，煤炭大部分集中在华北，仅山西一省就占全国探明储量的三分之一；水电资源百分之七十以上分布在西南地区；已探明的石油储量则主要集中在东北和沿海一带。

二、我国能源结构特点

我国能源构成的特点是，一次能源“以煤为主”，所占比重约70%。预计这种状况还将延续30—50年，甚至更长的时间。总之，要到我国对新能源的利用有较大发展，或石油储量有重大发现，煤的供应比重才可能下降。

直接燃烧原煤将造成大气严重污染。据计算，每年每燃烧

100万吨原煤，三废的排放量大致如表1-4所示。

表1-4 每年每燃烧100万吨原煤三废排放量① (吨/年)

废气:		废水:	
颗粒	1000	有机物质	22
硫氧化物	3.67×10^4	硫酸	27.5
氮氧化物	0.9×10^4	氯化物	8.77
一氧化碳	0.67×10^3	磷酸盐类	13.9
烃类	133	硼化物	110
废渣:		悬浮状固体	163.7
底灰 + 飞灰 = 1.2×10^5			

①计算条件: 煤含硫2%, 煤的发热量 $Q_{低} = 27420$ 千焦/千克, 飞灰脱除率为99%, 无烟气脱硫设备。

由表1-4可见, 如果以煤为最终燃料, 城市的环境污染将不堪设想。另外, 随着现代化的进程, 电能和液体燃料的需求量也愈来愈大。这样, “以煤为主”必然要考虑原煤的大量转换, 而转换过程将要损失大量能量, 例如将煤转换成电, 按目前现代化燃煤电站的效率一般为33~38%计算, 则转换损耗就达三分之二; 煤的液化、气化, 其工艺过程亦需消耗本身三分之一左右的能量。

因此, 鉴于我国能源的状况, 节能特别是节约二次能源, 应当是我国长期的基本国策之一。

§ 1-4 新能源

世界能源供应在近期虽比较紧张, 但前景广阔。众多的取之不尽的新能源等待人类去开发。目前世界上正在或准备开发

的新能源有：太阳辐射能（简称太阳能）、地热能、风能、海洋能（包括波浪能、潮汐能、海洋温差能等）、盐浓度梯度能、生物质能、受控重氢核聚变能，以及非生物甲烷等。

一、太阳辐射能

太阳内部温度高达一千五百万至二千万度，表面约六千度，因此辐射能极大。在外层空间太阳辐射给地球的能量是稳定的，大约每分钟每平方米8.2焦耳（称太阳常数）。辐射穿过大气层时因被各种物质吸收和反射，只有一部分投射到地球表面。地球表面每年所接受的太阳辐射大致为 5.48×10^{21} 千焦，相当于187万亿吨标准煤，约为目前世界能源年消耗量的二万倍。但实际可利用的太阳辐射能估计不大于5~10%。

太阳辐射给地面的能量随地域不同而变化，地球南北纬35度之间日照每年长达2000~2500小时，这一地区内最有利于收集太阳辐射能。

太阳辐射能的利用大体上可分为如下三类，即低温热利用、高温热利用和太阳能发电。

低温热利用，就是采用一定的装置将太阳辐射收集起来变为热能，然后以水或空气作为介质进行热交换。如太阳能热水器、空调器等。

高温热利用则必须聚焦以提高辐射密度，如太阳灶、太阳能热处理装置等。

利用某种材料的半导体效应，把太阳辐射的光子部分变成电子而产生直流电，称为太阳光发电，如太阳能电池。若利用太阳辐射的热能使工作介质（如氟里昂、氨等）变为气体驱动机械发电，则称为太阳热发电。如果直接用该气体推动机械运

转，则称这种机械为太阳能热机，如太阳能水泵等。

二、地热能

地球是个巨大的热库，从表面向下温度直线上升，上层地温的平均温度梯度大约为每千米 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。据估算，仅地壳外层10公里范围内贮藏的热量就相当于 8×10^{14} 吨煤的发热量，即超过世界已知可采煤总热量的一千倍，而目前可资利用的只限于表层3公里内热量富集的地区。这部分热约等于2.9亿吨标准煤。

地热能一般可分为三个类型，即热水-蒸汽型，热液成岩型和地压地热型。目前开发的主要是第一和第二类型。其热水多用于温室种植、温水繁殖和温泉浴等。蒸汽则用于小规模发电；火成岩可以用来加热注入的冷水以产生蒸汽和热水。第三类型是积蓄在地壳中沉积盆地内的高温高压水和溶解于水中的天然气（主要为甲烷）。这种资源作为能源开发尚无实践，只是在钻探石油和天然气时有这种发现。

三、风能

风能的利用历史悠久，进入本世纪后主要是用于抽水、发电。西欧许多国家现有风车都在二、三万台以上。一般，在地面上方 $20\sim 30$ 米高度上平均风速大于6米/秒的地方即可装设风车。估计全世界可以利用的风能为10万亿千瓦。目前风力发电机的功率一般在100千瓦以下，大都配有蓄电池组，可贮存2~3天的电能。1000~2000千瓦，甚至更大的风力发电机械正在研究试验中。有的国家如美国，计划在本世纪内建设一批由数十台甚至上百台输出功率为2000~2500千瓦的涡轮机组成的所