

高等专科学校
中等专业学校

教学用书

企业热平衡与 节能技术

张润霞 肖继昌 编



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书是为了适应现代开发节能应用技术的需要而编写的。全书共分十章, 内容包括: 企业热平衡, 烟与烟平衡的基本理论, 锅炉、工业炉的热平衡与烟平衡, 热平衡测试技术, 建筑物热平衡, 泵与风机的能量平衡, 余热与热能的合理利用, 节能新设备。本书还有大量的工程应用型例题。

该书的主要特点是密切联系工程实际, 并充分反映了国内外本领域的新成果。

本书为高等专科学校及中等专业学校教学用书, 也可作为热能工程、热能管理、锅炉及其他热力设备、企业热平衡与节能技术的培训教材, 以及各级能源管理人员, 热能工程技术人员的参考书。

**高等专科学校 教学用书
中等专业学校**

企业热平衡与节能技术

张润霞 肖继昌 编

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 26 印张 652 千字 印 1—3,000

1993 年 5 月北京第 1 版 1993 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0866-1/TE·810 (课)

定价: 6.10 元

前 言

本书是根据石油天然气总公司人事教育局（原石油工业部教育司）1986年11月制订的中等专业学校“企业热平衡教学大纲”编写而成。

能源是国民经济发展的动力。建国以来，我国能源工业迅速发展，并取得了很大成绩。但是，随着生产规模与产值的成倍增长，廉价能源日益接近枯竭，如今能源的供需矛盾已极其尖锐。因此，我国制定了能源开发和节约并重，节能放在优先地位的方针。

根据我国的国情，节能迫在眉睫，其关键在于把节能扎扎实实地落实到40多万个企业中，搞好企业热平衡与烟平衡，摸清热力设备用能情况。采用节能新技术，合理回收余热，尽快地把能源利用率提高到新水平。

本书重点讲述热平衡、烟平衡的测算方法，新技术、新设备推广等内容。全书共分四部分，第一部分全面叙述了热平衡的基本原理，并适度地阐述了烟与烟平衡的基本概念和基本原理。第二部分分别论述了锅炉、管式加热炉的热平衡与烟平衡；接着阐述了工业炉窑、建筑物的热平衡、泵与风机的能量平衡，并对以锅炉为代表的热平衡测试技术作了较详细的描述。随着节能工作的深入，节能的难度越来越大，今后的节能将主要依靠科学技术的进步来完成，所以本书第三部分重点介绍了余热回收利用的优化分析、换热系统的烟优化分析，以及企业中近年来引入的各种节能新系统，如热电联产系统、蒸汽—燃气联合循环系统及其经济分析。第四部分阐述了节能新设备，包括热泵、热管、余热锅炉及其应用。作者在多年来的教学、科研和工程技术实践中积累了大量例题，穿插在各章中，可供学生及工程技术人员在工程中直接应用。

本书密切联系工程实际，内容新颖，充分反映了国内在节能方面所取得的新成果，同时注意吸取国外在节能方面的先进经验、反映国外科学技术的新成果。按编者主观愿望，努力使本书成为较有系统论述企业热平衡与节能技术的学科著作，使其作为大、中专院校热能工程、热能管理、锅炉及其他热力设备等专业教材，更好地适应教学及各方面的实际需要。书中加“*”号的内容适宜作大专教材。

本书第一、二、六、十章由肖继昌编写，其余部分由张润霞编写。初稿承石油大学（北京）杨延昕认真审阅，提出了很多对提高本书质量有重要价值的宝贵意见，石油天然气总公司教材编译室张志强也给予了大力帮助和指导，在此一并致以衷心的感谢。

由于本书述及面广，编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者赐教指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 能源的分类	(1)
第二节 能源生产与利用概况	(3)
第三节 企业热平衡的目的和任务	(8)
第二章 热平衡与烟平衡的基本概念	(9)
第一节 概述	(9)
第二节 建立热平衡的原则方法	(10)
第三节 热平衡的能量分析	(14)
第四节 热平衡的技术指标	(16)
第五节 燃料的发热量和等价热量	(20)
第六节 热流图	(22)
第七节 烟与烟平衡	(23)
第三章 锅炉机组的热平衡与烟平衡	(39)
第一节 锅炉机组热平衡	(39)
第二节 锅炉机组热效率	(43)
第三节 固体不完全燃烧热损失	(47)
第四节 化学不完全燃烧热损失	(50)
第五节 排烟与散热损失	(51)
第六节 其他热损失及锅炉燃料消耗量	(54)
第七节 锅炉的烟平衡及烟分析	(56)
第八节 提高锅炉效率的途径	(68)
第四章 锅炉热平衡试验与测试技术	(77)
第一节 锅炉热平衡试验	(77)
第二节 锅炉热平衡测试项目与方法	(79)
第三节 蒸汽湿度的测量	(84)
第四节 烟气分析	(91)
* 第五节 气相色谱分析法	(99)
第六节 燃烧残余物中固定碳的测定	(108)
第七节 燃料样品的采集及工业分析	(112)
第八节 燃料发热量的测定	(119)
* 第九节 燃烧效率监测仪	(133)
第五章 工业炉热平衡	(137)
第一节 管式加热炉热平衡	(137)
第二节 工业炉窑热平衡	(151)
第三节 工业炉的节能措施	(167)

第六章 供热热平衡	(171)
第一节 概述	(171)
第二节 供热管网的热平衡	(172)
第三节 建筑物供热热平衡	(183)
第四节 供热管网的测算	(189)
第五节 管网热平衡测算实例	(194)
第六节 供暖系统的节能措施	(202)
第七章 泵与风机的能量平衡与节能	(210)
第一节 风机的能量平衡及效率	(210)
第二节 泵的能量平衡及效率	(223)
第三节 泵与风机的损失和特性曲线	(233)
第四节 泵与风机的节能措施	(235)
* 第八章 余热及热能的合理利用	(245)
第一节 余热资源及其计算	(245)
第二节 余热回收优化原则分析	(250)
第三节 换热器及其系统的焓优化分析	(261)
第四节 热电联产	(274)
第五节 小型自备热电厂	(293)
第六节 燃气—蒸汽联合循环	(300)
* 第九章 节能设备	(311)
第一节 热泵及其应用	(311)
第二节 热管及其应用	(324)
第三节 余热锅炉	(363)
* 第十章 热经济学理论	(373)
第一节 工程经济学的基本概念	(373)
第二节 节能技术措施的经济评价	(377)
第三节 热经济学优化设计	(382)
第四节 应用热经济学原理选择蒸汽管径与热绝缘层厚度	(384)
附录	(388)
参考文献	(406)

第一章 绪 论

第一节 能源的分类

人类在日常生活和生产活动中，时刻都要使用各种能量，在日常生活中要使用热能、电能；在农业生产中要使用太阳能、热能、电能、机械能；在工业生产中使用热能、电能、水能、机械能和化学能等。能量必须由一定的物质资源转换而来，能转换为可供人类利用的能量的物质资源就叫做能源。

一、能源的分类

地球上的能源种类繁多，性质各不相同，因此，有许多分类方法。

1.按来源分类

分为地壳本身能源、太阳辐射能源和天体相互作用能源（如潮汐能源）。

2.按物理化学性质分类

有核能源、化石能源、生物能源和自然能源（如太阳能、地热能、水能和风能）。

3.按使用先后和使用情况分类

分为常规能源和新能源。

4.按能否再生分类

分为再生能源和不能再生能源。

5.按转换次序分类

分为“一次能源”和“二次能源”。在自然界中现成存在的没有经过加工或转换的能源，如化石能源、自然能源叫做“一次能源”。由一次能源直接或间接转化而来的能源叫“二次能源”。例如，电力、蒸汽、柴油、焦炭和煤气等。

最常见的是按第2种和第3种综合分类方法。

二、常规能源

1.化石燃料

主要指的是煤、石油和天然气，它是目前世界上使用的主要能源，约占目前世界使用能源总量的90%。

2.水能

水能是一种能够再生，并且不会产生环境污染的良好能源。目前世界使用水电资源最多的国家有美国、加拿大、苏联和日本。

三、新能源

1.核能源

由于原子核的结构发生裂变而释放出的能量叫做核能。重原子核经中子轰击后发生分裂，同时释放出大量能量，如果这种反应能以链式反应的形式发生，则在短时间内就会放出巨大的能量。当 U_{235} 的质量超过临界质量时，就会发生极猛烈的链式反应，这就是原子弹的原理。如果在反应堆内进行反应，反应堆内的减速剂使中子减速，因而减慢了链式反应速度，使反应稳定地进行，再用冷却剂吸收反应的热量，产生饱和蒸汽，最后推动蒸汽轮机做

功，这就是原子能发电。目前原子能发电已得到广泛的应用。

轻原子核合并成较重的原子核，并同时释放出大量的能量，这种核反应过程叫做聚变反应。氢的同位素（氘）和（氚）形成氦核是目前能进行的一种热核（聚变）反应，它放出的能量比铀核分裂放出的能量要大 10 倍，但它必须在几百万度的高温下才能发生，根据这种原理制成了氢弹，现在世界各国科学家都在研究可控制的热核反应，以期能够和平利用它这个反应。

2. 太阳能

太阳能的总量很丰富，晴天时每平方米地面收到约一千瓦的能量，每年辐射到地球的太阳能相当于目前地球上化石燃料的总能量的十倍。目前太阳能利用的问题是成本高、效率低、占地广、储能难。当这些科技问题有所突破以后，直接利用太阳能供热、太阳光电池发电、太阳能制氢等都是具有前途的利用方式。尤其在空间设置大功率卫星太阳能电站，用微波将能量输送到地球上来，可以更充分地利用太阳能。

广义的来说，大部分的水能、风能、波浪能、海洋温差能都是靠太阳产生的，植物燃料沼气则是太阳光合作用的直接或间接的产物。化石燃料则是过去的植物经地壳变迁而形成的，它们也来源于太阳能。

3. 地热能

地球是一座天然的巨大能源库，它的内部蕴藏着巨大的热能，它每年通过地壳散发出来的热量相当于几百亿吨标准煤，全部的地热能约为目前地球煤藏量的 1 亿 7000 万倍。根据目前的技术水平，只有地下热水和蒸汽可以实际应用，我国已发现的地热温度低、品位差，用它转化成机械能或发电效率很低，除在缺乏常规能源的边远地区可考虑用于发电（如西藏已在羊八井建成地热试验电站，装机 1000 千瓦）外，一般情况下，用它取暖供热比较合适。

4. 海洋能

海洋能有两种不同的利用方式，一种是利用海水的动能，其中又分为大范围有规律的动能（如潮汐、海流等）和无规律的动能（波浪能）两类，都可以设法直接转变为机械能，另外一种是利用海洋不同深度的温度差，海水表层温度为 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，500~1000m 深处的海水温度为 $4\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，有了温差就可通过热机进行发电。根据目前的技术水平和研究水平，大规模实用还不可能。

5. 生物能源

生物能源既是老能源又是新能源，人类早就驱使牲畜，使用薪炭。现在则有垃圾燃料，以及把作物秸秆，人畜粪经过发酵的办法产生沼气或酒精。更有前途的生物能源可能是直接利用或模拟生物的光合作用以生产氢燃料，对此值得长期深入地进行基础研究工作。

6. 风能

风能既是老能源又是新能源，以前人类利用风能来提水和加工谷物，现在的风能是用来生产电力。

7. 氢能

氢是一种理想的代替石油的燃料，没有污染，使用方便，可以直接在现代的热机上使用，但它不是一次能源，需要消耗别的能源来生产。例如，可以用核能通过热解，由太阳能通过光化学或电解，用植物的光合作用等办法来生产。目前还没有达到经济实用的地步。

8. 油页岩及沥青砂

油页岩和沥青砂都可提炼石油产品，它们的储量也很丰富。我国有大量的油页岩，但沥青砂较少。现在的问题是提炼后的碎岩和余沙的体积很大，造成了涉及环境的处理难题。

第二节 能源生产与利用概况

随着人类社会的现代化，人们在衣食住行和日常生活中消费能源的数量越来越大。在现代化生产中，各种产品的生产，都需要消耗一定数量的能源。据日本 1973 年的统计，平均生产一美元的化工产品，要消耗 1.8kg 标准煤；钢铁产品是 1.6kg 标准煤；水泥是 1.4kg 标准煤；造纸是 0.7kg 标准煤；有色金属是 0.5kg 标准煤。现代化农业生产也需要消耗大量的能源，而科学技术的发展，文化教育事业的发展，也都需要有充分的能源供应。

纵观世界，近几十年来能源消耗增长速度很快，从 1900~1925 年第一个 25 年中，世界能源消耗增长了一倍。第二个 25 年，即 1925~1950 年增长 70%，第三个 25 年中，是世界上许多国家高速实现现代化的时期，能源消费迅速增长。1975 年的能源消费量是 1950 年的三倍多，年平均增长率为 4.8%，15 年左右就增长一倍，如表 1-1。

表 1-1 本世纪世界能源消费增长⁽¹⁾

年份	能源消费量 亿吨标准煤	总人口 亿	按人口平均能源 消费增长 吨/人	能源消费 增长倍数	按人口平均 增长倍数
1900	7.75	15.71	0.493	1.00	1.00
1925	15.65	19.65	0.796	2.02	1.61
1950	26.64	24.86	1.08	3.44	2.19
1975	85.70	40.45	2.14	11.06	4.34
2000	~200	~50	4.00	~26	~8

在消耗能源中，主要是煤、石油、天然气等常规能源。以 1979 年为例，世界一次能源总消耗量为 87.55 亿吨标准煤，其中石油、天然气占 65.1%，煤占 32%，水电、核电占 2.9%。据 1976 年讨论世界海洋油气资源开发问题的伦敦国际会议估计，全世界石油产量估计为 31 亿吨，若以此估算，全世界平均还可以开发 30 年左右，如表 1-2 所示。

全世界煤炭的储量较多，目前估计世界煤炭总资源为 30 万亿吨。在探明的储量中，根据目前的技术水平，可经济开采的储量只有 6400 亿吨标准煤，仅占总储量的 4.69%，据 1980 年世界煤炭研究会估计，大约 90% 的地质储量和 60% 的技术经济可采储量集中在苏联、中国、美国和澳大利亚，我国居世界第一位。

由表 1-3 反映出部分国家煤炭储量及近年产量。

在今后的几十年内，煤炭将逐渐成为世界的主要能源，据世界煤炭研究会预测，到 2000 年世界煤炭产量将比现在增加 1.5~2 倍。这是因为煤炭利用技术是成熟的：储量丰富，最少为石油的 20~30 倍；分布广阔等。因此，国外对煤炭给予很大注意，估计将来煤炭重新会成为动力和有机原料的主要来源，并且成为生产天然气和石油的原料。

表 1-2 一些国家石油储量和近年产量⁽⁴⁾

国 家	89 年探明 可采储量 亿吨	生产量, 百万吨				
		1985 年	1986 年	1987 年	1988 年	1989 年
加 拿 大	8.61	72.8	68.34	71.36	64.86	62.54
墨西哥	66.122	125.5	116.09	117.96	119.92	120.29
美 国	33.484	416.5	402.4	385.86	377.92	354.29
挪 威	14.039	35.81	38.94	47.64	54.47	71.47
英 国	4.843	116.7	115.4	112.44	99.48	79.74
罗马尼亚	1.514	103.1	101.7		87.05	83.57
苏 联	73.617	551.7	571.1	579.33	578.12	563.64
尼日利亚	21.24	69.3	68.25		70.29	74.47
伊 朗	79.50	104.8	89.56	113.8	80.78	132.69
伊拉克	127.20	66.72	80.01	96.38	127.21	127.68
科威特	122.11	39.97	62.4	48.01	58.27	74.38
沙特阿拉伯	330.79	152.75	229.12	217.74	228.8	225.8
阿联酋	69.15	37.05	49.23		53.44	68.25
印度尼西亚	15.23	61.5	64.5		62.35	65.4
马来西亚	4.67	20.62	32.2		25.16	27.25
澳大利亚	3.60	26.7	23.8		34.12	34.10
中 国	27.35	115.96	121.64	121.64	137.00	138.0
世 界	1186.68	2536.6	2649.89		2658.1	2720.8

表 1-3 一些国家煤炭储量及近年产量^(2, 3)

国家	储量 亿吨	生产量, 百万吨							
		1950 年	1960 年	1970 年	1976 年	1977 年	1978 年	1980 年	1984 年
世界 (不包括中国)	19638	1775	2174	2576	2822	2874	3500	3751	4137
苏联	7730	261	490	577	654	722	716	716	713
美国	3640	508	394	556	609	612	559	763	807
澳大利亚	829		37	69	99	107	103	117	154
西德	995	187	239	224	230	208	213	217	212
英国	988	220	197	147	124	122	123	129	50
波兰	388	83	114	173	219	224	234	230	244
印度	231	33	53	77	105	104	104	113	161
捷克	173	45	85	110	118	121	123	123	129
加拿大	90	17	10	15	25	29	30	37	59
中国	7800	43	397	354	483	550	618	620	789

美国从 1975 年起已将 79 座烧油热电站改为烧煤。60 年代初, 国外煤炭消费结构发生了很大变化, 用于发电的比重越来越高。以 1960 年和 1970 年相比, 美国由 45.8% 增至 62.9%; 苏联由 21% 增至 40%。近几年来由于各种石油消费量大而资源少, 工业生产结构从油转向煤的趋势更加迅速。

天然气是一种清洁的能源, 在能源结构中占有相当重要的位置, 1989 年天然气探明可采储量为 1181564 亿立方米。部分国家天然气储量及近年产量见表 1-4。

表 1-4 部分国家天然气储量及近年产量^(4, 35)

国 家	89 年探明可采储量 亿米 ³	80 年产量 亿米 ³	84 年产量 亿米 ³
世 界	1181564	16220	16960
苏 联	438914	4350	5860
伊 朗	169902		
美 国	46214	5460	5113
沙特阿拉伯	52215		
阿尔及利亚	32345		
加拿大	27463	952	751
挪 威	26345	261	261
墨西哥	20599	400	389
荷 兰		813	758
委内瑞拉	29928	121	172.6
马来西亚	15190		
印度尼西亚	24268		
尼日利亚	13434		
西 德	1819	188	183.4
英 国	5600	370	407.2
罗马尼亚		270	350.9
阿联酋	51735		
中 国	9351	142.7	124.2

从上述常规能源(煤、石油、天然气)储量和开采情况来看, 能源已成为世界范围的主要问题, 对各国来说, 不仅是个经济问题, 而且关系到今后能源的利用方向问题。世界上油、气资源较贫乏, 煤炭资源丰富, 因此必须加快对煤炭利用的研究, 增加煤炭在能源构成中的比重。发展煤炭气化和液化技术, 在今后一段时期内将有十分重要的意义。新能源的开发利用是解决能源短缺的重要途径, 近年来原子能工业迅速发展, 到 1990 年末, 全世界正在运行的发电反应堆总数为 424 座, 总装机容量为 $3.245 \times 10^8 \text{ kW}$, 占总发电量的 17%。预计到本世界末, 核电装机容量可达 4 亿 kW, 核电将占总发电量的 20% 以上。

其他新能源, 如太阳能、海洋能、地热能等的理论储量很大, 而且是再生能源, 因此得

到人们的重视，并加速开发利用。如太阳能被广泛应用于建筑物的采暖和空调、干燥、蒸馏、造冰、制取淡水等，也可用来产生动力和用于发电。地热的利用，除广泛用于生活热水供暖外，目前已建成地热电站，用于发电。海洋能、风能也得到新的开发和利用。这些新能源虽然资源丰富，但由于能源密度小，开发费用和设备价格昂贵，估计在一定时间内在能源结构中不会有重要影响。

目前所利用的能源种类繁多，形式多样，各种能源的转换和利用情况如图 1-1 所示。

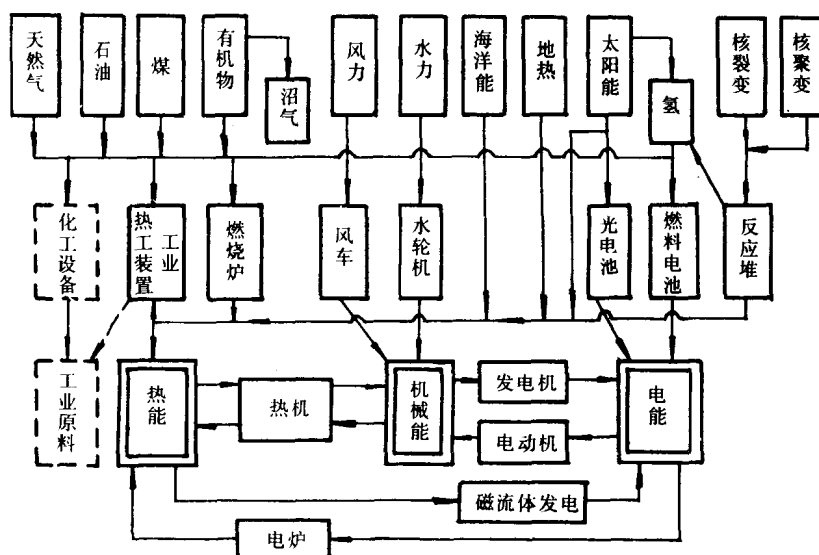


图 1-1 各种能源的转换和利用情况

上面一排表示各种能源。煤、石油、天然气、有机物及由有机物产生的沼气、由太阳能和核能从水中制取的氢等，除一部分（虚线表示）作为原料使用外，绝大部分都在各种炉子和工业热工装置中通过燃烧转化为热能。核能则通过反应堆转化为热能。此外还可从地热、太阳能直接得到热能。水力可以通过水轮机，风力可以通过风车直接转变成机械能和电能。使用光电池或燃料电池，可以直接从太阳能或燃料得到电能。但由于经济上的考虑，实际上目前的电能几乎都是通过发电机由机械能转化来的。电能可以方便地通过电动机或电炉等再转化为机械能或热能，而且输送方便，因此是使用比较方便的能源形式。实际上，人们使用最多的三种能量形式——热能、机械能、电能，都可以通过一定的设备，如热机等相互转化。目前绝大多数能源是首先经过热的形式，或者直接使用，或者通过热机转化为机械能或电能再使用。

我国能源开发的速度是比较快的。1990 年的产量是：原煤 10.8 亿吨，为 1949 年的 340 倍；原油 1.38 亿吨，为 1949 年的 1100 多倍；天然气 145 亿立方米，为 1949 年 1300 倍；发电量 6180 亿千瓦小时，为 1949 年的 882 倍。1990 年全国能源生产总量（不包括农村非商品能源在内）折合成标准煤 10.4 亿吨，为解放初的 44 倍。

我国能源的消耗总量（不包括农村的非商品能源）年达 6.6 亿吨标准煤，次于美国 and 苏联，居世界第三位。但由于我国人口多，平均每人的能源消费量仅为 0.6 吨（加上农村非商品能源，也不到 0.9 吨）。这个数字很低，仅为世界平均水平 2.3 吨的 1/4，同世界发展中

国家相比，属于中等偏低水平。若与一些工业发达国家相比就更低了。如表 1-5 所示。

表 1-5 我国能源消费与以下国家相比（吨标准煤 / 人年）

中国	美国	苏联	西德	日本
0.6	12.8	6.6	6.3	4.7

此外，目前工业发达国家的能源消费都以油、气为主，而我国则以煤为主。

煤与油、气相比有许多缺陷：煤是固体，运输不便；含有硫、氮等杂质，燃烧时造成严重污染；分子结构复杂，反应速度慢，能量利用率低。但从我国实际情况出发，本世纪内的能源还只能以煤为主，为此在燃用煤时，应对它的合理利用和减少污染加强研究。

我国四化建设需要大量能源，如果我们要在本世纪末达到平均每人年产值 1000 美元，相应的能耗大约是多少呢？

从历史上看，几个主要工业国达到这个产值水平时，能量消耗系数（即一定的国民生产总值需要的能源消耗量，以吨标准煤 / 1000 美元表示），几个工业发达国家能源消费系数如表 1-6 所示。

表 1-6 几个工业发达国家的能源消费系数

国名	1950~1960 年	1960~1970 年	1970~1973 年	1973~1977 年	1977~1980 年
美国	0.75	1.15	0.98	0.40	-0.13
日本	0.99	1.13	0.82	0.30	0.54
西德	0.65	0.99	0.91	-0.23	0.40
英国	0.48	0.58	0.48	-5.11	-1.38
法国	0.80	1.02	0.96	-0.26	0.21

注：负值均为能源负增长。

1975 年 82 个发展中国家的平均能量消耗系数为 1.6，而我国 1000 美元产值能量消耗约为 1.7 吨标准煤，与工业发达国家相比高了很多。产生这些差距的主要原因是，经营管理不善，各部门互不协调，技术落后，设备陈旧；燃料消费以煤为主；工业布局不合理，分散，能耗较高的产品中小企业占了半数以上。

到本世纪末，如果 1000 美元产值的能耗为 1.0 吨标准煤，那时人口估计是 12 亿，则全国总的能耗量是 12 亿吨标准煤，相应的年增长率是 3.5%。党的十二大提出了从 1981 年到本世纪末的 20 年中我国经济发展的奋斗目标，即在不断提高经济效益的前提下力争使全国工农业总产值翻两番，由 1980 年的 7100 亿元增加到 2000 年的 28000 亿元左右。但我国能源开发不可能大幅度增长，到本世纪末，我国的能源产量只可能实现翻一番，即达到实现 12 亿吨标准煤。所以，依靠增产只能保证总产值翻一番，另一番就要依靠节约、依靠提高能源利用率，依靠降低单位产值能耗。

我国的能源方针是：开发和节约并重，近期要把节能放在优先的地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。

第三节 企业热平衡的目的和任务

热是能量的一种表现形式，热平衡泛指能量平衡，它遵循能量守恒定律，重点研究热能的利用和损失之间的关系，并通过测算分析，找出合理利用能源并逐步走向最优化的途径。企业热平衡是研究能源科学管理的一种尝试，也是科学管理在用能方面的具体应用，经验证明，热平衡是搞好能源管理和节能的有效方式和手段。

长期以来，人们一直在为提高各种用能设备的效率而努力。随着人类社会的现代化，能源的消费数量越来越大，供需矛盾十分尖锐。从国内情况看，持续多年能源紧张，对工农业生产 and 人民生活都带来了很大影响。我国能源利用率较低，管理水平和工艺设备较落后，节能技术的研究落后于生产实践的需要等，都说明节能工作的长期性和艰巨性。

开展企业热平衡正是对用能情况进行科学的数量分析，探索能源使用最优化方法，是搞好节能的基础工作，通过热平衡可达到以下目的：

一、摸清能耗状况

通过统计、收集资料和测试、计算等手段；掌握企业用能状况，摸清能源构成，能源消耗数量，利用水平，存在的问题，损失及浪费的原因等，计算出产品的单位能耗，综合能耗，有条件的可以计算可比能耗，制定或核定能耗定额，使工艺能耗定额和企业燃料供应定额更合理、更科学。

二、掌握用能水平

通过企业热平衡工作，掌握主要用能设备热效率和整个企业的能源利用率。编制整个企业热平衡表和绘制热流图，形象直观地反映企业用能情况和水平。

三、加强能源科学管理

建立能源管理制度，为企业的能源科学管理奠定基础。主要包括：技术干部、工人的培训制度，根据企业情况制定岗位责任制，奖惩等能源管理制度。

四、制定节能规划

通过对重点工艺、设备测试的结果，进行整理分析，找出热损失大、企业能源利用率低的原因，并进行必要的调整，调整不合理的工艺、管理岗位和制度、生产安排……。在此基础上制定切实可行的节能规划，分年度逐步实施。

第二章 热平衡与焓平衡的基本概念

第一节 概 述

热力学第一定律告诉我们：各种形式的能量可以互相转换，并且在转换过程中，能量既不能创造，也不能消灭，其总量是守恒的。在工业生产的用能过程中，输入能量的一部分被有效利用了，其余部分损失掉了。根据上述热力学第一定律的原理，输入的能量必须等于被有效利用的能量与损失能量之和，因而可以建立起如下的能量平衡方程式：

$$\text{输入能量} = \text{有效利用的能量} + \text{损失能量}$$

上述能量平衡方程式中，损失能量一项不可能为零，也就是说对一个体系（指设备、装置、体系等）而言，其能量利用率不可能为 100%，为了提高能量利用率，就必须增加有效利用的能量，而力求减少损失能量。

所谓能量平衡就是考察一个体系（指设备、装置或企业等）的输入能量与有效利用能量之间的关系，并分析用能过程各个环节的影响因素，衡量其能量利用水平，找出能量损失的原因和节能的潜力，从而有针对性地制定整个措施和技术改造规则，以提高体系的能量利用水平。

由于在工厂、企业中，热是能量利用的主要形式。因此，目前大多数工厂、企业主要是考察热量的平衡关系，称之为热平衡。以设备（或装置）为考察对象的，称为设备（装置）热平衡；以企业为考察对象的，称为企业热平衡。企业热平衡就是考察企业输入的各种能源和载能工质所含的总能量（均以热量为单位计算，其中一次能源按其低位发热量计算，二次能源和载能工质按其等价热量计算）与被有效利用的热量及损失的热量之间的平衡关系，通过统计计算、测试、分析，得出衡量企业能量利用水平的各项技术指标，用来评价和分析企业的耗能现状和用能水平，从而有的放矢地寻求节能途径。

目前，企业热平衡主要是考察热量在数量上的平衡关系，随着节能工作的发展，将逐步深入到考察包括动力、照明等用电在内的全部能量平衡，以及综合考察输入企业的全部能量在数量上的平衡和质量上焓的利用程度这两个方向。

企业热平衡是节能的一项重要的基础工作。通过企业热平衡，可以促进企业的能源科学管理，并为节能技术改造和制定节能规划提供科学依据，逐步实现用能的合理化，从而提高企业能源利用水平。

在开展热平衡工作中，存在着一个关键问题是：各工业企业能源管理干部管理能力和技术水平需要提高。因此，开展热平衡首先要加强对能源管理干部的培训，并对企业技术管理干部进行一次节能知识的普及教育。同时，许多地区和部门在开展热平衡中还遇到许多能源管理和利用的新问题，需要用科学方法去研究能源管理和节能规律。

因为，企业热平衡既是一项能源科学管理的基础工作，又是当前节能工作必须首先抓紧的重要环节，从中央到地方，从企业到车间、设备，都必须环环扣紧，层层落实。目前，全

国许多重点耗能企业均已普遍开展了热平衡工作，对挖掘节能潜力，明确节能方向和制定节能措施提供了科学依据，不少企业并已取得了相当显著的节能效果。这标志着我国能源管理和节能工作开始进入了新的阶段。

第二节 建立热平衡的原则方法

热平衡是研究进入体系的热量和离开体系的热量在数量上的平衡关系，可用热平衡方程、热平衡表或热流图表示，并用热利用率指标来体现其用能水平。热平衡法是能量转换过程和用能工艺及设备最常用的分析方法。

一、确定热平衡体系建立热平衡模型

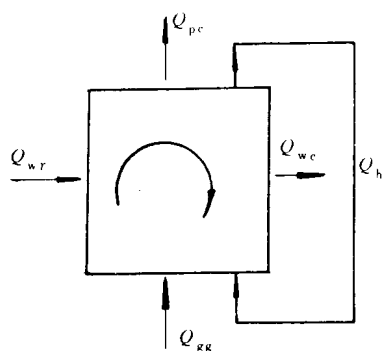


图 2-1 热平衡模型（框图）

热平衡体系即进行能量平衡的设备所要考察的范围。体系应有明确的边界线，并用框图示出，称之热平衡模型，如图 2-1 所示。热平衡的对象可以是一台设备、一个装置、一个工厂或企业。体系的选择，边界线的划定，应符合所考虑的范围要求，并考虑测试、计算的方便。

体系确定后，要把进入和排出体系的所有能量用箭头标在方框的边界四周，并规定：

- 1) 由工质（工艺流体、物料或半成品等）带入体系的能量 Q_{wr} 画在方框图的左侧，带出体系的能量 Q_{wc} 画在方框的右侧。
- 2) 由外界供给体系的能量（主要指燃料或二次能源——蒸汽、电等供入的能量） Q_{gg} 画在方框的下方，而排出体系的能量（如排烟热、排液热、散热、凝结水带出的热等） Q_{pc} 画在方框的上方。
- 3) 体系回收利用的能量 Q_h 画在方框内，用圆弧线示出。如在体系外循环，则在方框外面画一循环线。

进行热平衡的任何对象，只要它的热平衡体系确定后，都可建立起这种模型（框图），它们的差别主要在于进入与排出体系的具体能量项目和数值大小不同。

使用这种热平衡模型的好处是：简单、清晰，便于分析和计算。建立模型的注意事项是：防止能量的漏计、重计。

二、建立热平衡方程式确定热平衡的基础热量

根据热力学第一定律，体系的总收入热量 $\sum Q_{sr}$ 应该等于体系总支出热量 $\sum Q_{zc}$ 加上体系贮存能量的变化值 ΔQ_{ch} ，即 $\sum Q_{sr} = \sum Q_{zc} + \Delta Q_{ch}$ 。正常工作的热设备多处于热稳定状态，此时体系本身贮存的能量不再变化，即 $\Delta Q_{ch} = 0$ ，因此，稳定工况下， $\sum Q_{sr} = \sum Q_{zc}$ 。

例如，锅炉的热平衡方程式可写为：

$$Q_r + Q_{gs} = Q_q + \sum Q_{ss} \quad (2-1)$$

式中 Q_r ——燃料带入热，kJ/kg；

Q_{gs} ——给水热量，kJ/kg；

Q_q ——蒸汽带出热，kJ/kg；

$\sum Q_{ss}$ ——锅炉各项热损失之和, kJ/kg 。

不同的热设备, 由于考察的能量不同 (是考察供入体系的热源能量利用情况, 还是考察进入体系的全部能量利用情况), 因而建立热平衡的基础能量也不相同。根据国内主要行业的习惯作法, 存在有下述三种基础热量的热平衡。

1. 供入热平衡

供入热平衡是以供给体系的热源热量为基础的热平衡。

供给热是指随煤、油、天然气等燃料的带入热, 或电、蒸汽、焦炭、煤气等二次能源的带入热。这种供给热平衡主要是考察热源供给体系的能量的利用情况。典型的设备是锅炉、加热炉、干燥设备等。这时的热平衡方程式可写为:

$$\sum Q_{sr} = Q_{wr} + Q_{gg}$$

$$\sum Q_{zc} = Q_{wc} + Q_{pc}$$

$$\therefore Q_{wr} + Q_{gg} = Q_{wc} + Q_{pc}$$

$$Q_{gg} = Q_{wc} - Q_{wr} + Q_{pc} \quad (2-2)$$

以锅炉为例:

$$Q_{gg} = Q_r \approx BQ_{dw}^y$$

$$Q_{wc} = Q_q = Di_q$$

$$Q_{wr} = Q_{gs} = Di_{gs}$$

$$Q_{pc} = \sum Q_{ss}$$

式中 B ——燃料消耗量, kg/h ;

Q_{dw}^y ——燃料应用基低位发热量, kJ/kg ;

D ——锅炉蒸发量, kg/h ;

i_g, i_{gs} ——蒸汽焓与给水焓, kJ/kg 。

故以供给热为基础的锅炉热平衡方程式为:

$$BQ_{dw}^y = D(i_q - i_{gs}) + \sum Q_{ss} \quad (W) \quad (2-3)$$

2. 全入热平衡

全入热平衡是以进入体系的全部能量为基础的热平衡。

全入热是指进入体系的全部能量，显然除热源供给热外，还有物料带入热、化学反应热、回收热等。这种全入热平衡主要是考察全部进入体系的能量利用情况，特别是能量回收利用情况。这种热平衡在石油、化工装置中应用较多，这不仅是由于它的化学反应热多和能量回收利用多，而且是由于它不是按设备，而总是按装置进行能量平衡的缘故。

此时，热平衡方程式按下式求得：

$$\sum Q_{sr} = Q_{wr} + Q_{gg} + Q_{hs}$$

$$\sum Q_{zc} = Q_{wc} + Q_{pc} + Q_{hs}$$

全入热量为： $Q_{qr} = Q_{wr} + Q_{gg} + Q_{hs}$

热平衡方程式： $Q_{qr} = Q_{wc} + Q_{pc} + Q_{hs}$ (2-4)

式中 Q_{qr} ——进入体系的全部热量，kJ/kg；

Q_{wr} , Q_{wc} ——物料（或工质）带入与带出体系的热量，kJ/kg；

Q_{pc} , Q_{hs} ——排出体系的热量与回收热，kJ/kg。

3. 净入热平衡

净入热平衡是以实际进入体系的热量为基础的热平衡。其主要是考察实际加给体系的热量利用程度，即有多少热量真正被体系所得到，这在换热器等设备中是经常遇到的。其热平衡方程式如下：

$$\sum Q_{yx} = Q_{gg} - Q_{pc} \quad (2-5a)$$

即

$$Q_{gg} - Q_{pc} = Q_{wc} - Q_{wr}$$

故净入热量 Q_{jr} 等于：

$$Q_{jr} = Q_{wc} - Q_{wr} \quad (2-5b)$$

式中 $\sum Q_{yx}$ ——加热工质的有效利用热量，kJ/kg；

Q_{gg} , Q_{pc} ——加热工质供给体系的热和排出体系的热，kJ/kg；

Q_{wc} , Q_{wr} ——被加热工质输出与输入体系的热量，kJ/kg。

从以上三种热平衡类型可见，由于行业不同、设备不同、考察的目的不同，进行热平衡的基础是不一样的。也就是说可以采用三种不同的基础来进行热平衡，目前常用的是供入热平衡与全入热平衡。

三、热平衡测试的方法

进行热平衡有两种方法，统计计算法和测算结合法。前者侧重于运行数据的统计和理论计算，后者侧重于各主要用能设备的热平衡测试。由于测算结合法是以设备的热平衡测试为