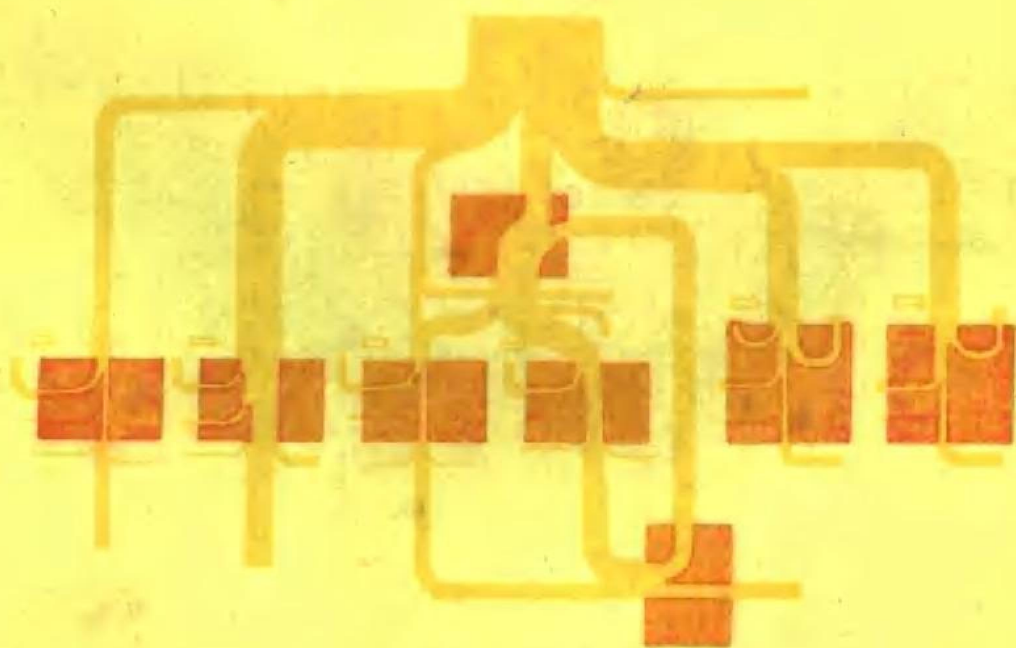


企业热平衡

国家计划委员会

国家经济委员会《企业热平衡》组 编著

国家物资局



机械工业出版社

本书是由原“企业热平衡讲义”修订而成。适用于各企业开展企业热平衡、设备热平衡和节能工作。

全书共十一章，除重点论述企业热平衡的概念、内容和方法外，还分章论述了锅炉、工业炉窑、用汽设备和建筑物供暖热平衡，以及能源管理、节能途径、节能经济分析等方面的内容。还介绍了热力学、传热学和热工仪表基础知识。对能量平衡也做了初步分析。

为了便于实用，书中还介绍了一些实例和附有计算图表，并仍采用工程单位制。

本书对从事节能工作的领导干部、管理人员和技术人员都较适用，有中学文化水平的工人也能学习应用，对高等和中等院校有关专业亦有参考价值。

企 业 热 平 衡

国家计划委员会

国家经济委员会《企业热平衡》组 编著

国 家 物 资 局

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $18 \frac{3}{4}$ ·字数 456 千字

1983 年 10 月北京第一版·1983 年 10 月北京第一次印刷

印数 00,001—30,300 ·定价2.40元

*

统一书号: 15033·5593

前 言

能源是人类赖以生存的重要物质基础。从六十年代以来,世界能源增长速度远远不能满足世界经济发展和人类生活现代化的需要,这已成为十分尖锐的问题。因此,节能工作受到了许多国家的重视。

我国节能工作,从1960年算起,已有二十多年了,取得了一定的成绩:如基本摸清了节能技术途径;在全国范围内推动了工业锅炉的改造,劣质煤的利用;余热利用;民用煤节约及节油、节电、节汽等工作。但是,由于不重视节能基础工作,许多企业节能的实效并不理想,有些好经验并没有得到推广和发展。为此,国家计委、经委、物资局从1978年起,在全国有组织地开展了企业热平衡工作,以摸清企业的耗能状况和用能水平,为加强能源管理和制订节能规划、措施提供科学依据。为推动这一重要节能基础工作的开展和培训热工专业人员的需要,在委、局领导下,我们先后举办了两期全国性的热平衡培训班,并在1979年9月编写了“企业热平衡讲义(初稿)”。通过各省市、自治区和各部门几年来的试用,颇受欢迎。1980和1981年对讲义又进行了两次较大的修改、充实,内部印发,供各地继续试用。这次又应广大读者的要求和满足各部门、各地区开展节能工作的迫切需要,决定正式出版。

出版前,参照国家标准,对全书进一步作了修订,力求做到理论与实际相结合,力求反映这几年热平衡工作的经验,深入浅出地论述能量平衡的原理,并把企业热平衡、设备热平衡的内容、基本概念和计算方法讲述得简要明确、便于实用。

热平衡就是对用能进行科学的数量分析,探索能源使用最优化的方法。由于热是能量利用中的主要形式,绝大多数耗能设备都是使用燃料或利用热量的设备;同时从能量利用水平来看,热能利用水平也较低。因此,目前研究的重点主要是用热设备和企业的热利用问题。显然,随着能量利用技术和管理水平的提高,将逐步开展包括动力、照明等在内的能量平衡,并将从单纯的数量平衡逐步过渡到既考虑数量又考虑质量的焓平衡。因此,我们对电能转换为光能、机械能时的有效利用能的计算原则,和以耗电为主的企业的能源利用率计算方法,也做了初步介绍。很明显,热平衡是能量平衡的主要内容和基本方面,就是现阶段的能量平衡。

全书由哈尔滨工业大学陈崇枢同志、上海同济大学蔡长顺同志主编,国家物资局张继陶同志、北京轻工业学院张管生同志主审定稿。参加编写的还有哈尔滨工业大学孙恩召、机械工业部第五设计院杨泽未、中国科学院能源研究所辛定国、哈尔滨建筑工程学院郭骏、贺平、吉林热能研究所张庶等同志。此外,科学院能源研究所胡秀莲、机械工业部第五设计院金凯、清华大学刘正涛等同志也参加了本书前身——“企业热平衡讲义”有关章节的编写、补充工作。

在本书编写过程中,参考了上海机械学院、鞍山热能研究所和上海、天津、沈阳、广州等市及冶金、石油、化工、铁道、建材、机械工业部等部门的热平衡资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,敬请批评指正。

国家计划委员会、国家经济委员会、国家物资局《企业热平衡》组

1982年4月

主要符号

- A ——功热当量[$\text{kcal}/(\text{kgf}\cdot\text{m})$]; 灰分(%);
 a ——导温系数 (m^2/h); 灰量占燃料总灰量的份
 额(%); 氧化烧损率(%);
 B ——燃料消耗量(kg/h); 大气压力(mmHg);
 b ——宽度(m); 单耗 (千卡/单位产品、公斤标
 煤/单位产品);
 C ——热容量 ($\text{kcal}/^\circ\text{C}$); 辐射系数 [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot$
 $\text{h}\cdot\text{K}^4)$];
 C_0 ——绝对黑体的辐射系数[$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K}^4)$];
 c ——流量系数; 比热 [$\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 或 $\text{kcal}/$
 $(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$];
 μc ——摩尔比热[$\text{kcal}/(\text{kmol}\cdot^\circ\text{C})$];
 c_p ——定压比热[$\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 或 $\text{kcal}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$];
 c_v ——定容比热[$\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 或 $\text{kcal}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$];
 D ——锅炉蒸发量 (kg/h); 蒸汽流量 (kg/h);
 直径(m);
 d ——含湿量[g/kg (干空气)]; 直径(m);
 E ——物体的辐射力 [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]; 能 量
 (kcal 或 kcal/kg);
 (E) ——经济效果或投资收益率(%);
 F ——面积(m^2); 作用力(kgf);
 f ——流通截面积(m^2);
 G ——流体的质量流量(kg/h); 炉子生产率($\text{kg}/$
 h);
 Gr ——格拉晓夫数;
 g ——重力加速度(m/s^2); 质量组分(kg/kg); 化
 学反应物质量(kg);
 H ——焓(kcal); 真空度(mmHg); 高度(m); 每
 公斤物质反应放热量(kcal/kg);
 h ——比焓(kcal/kg);
 I_k^0 ——一公斤燃料的理论干空气量的湿空气焓
 (kcal/kg);
 I_y^0 ——一公斤燃料的理论烟气量的焓(kcal/kg);
 I_y ——一公斤燃料的实际烟气量的焓(kcal/kg);
 K ——传热系数[$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$]; 投资额(元);
 L ——功 ($\text{kgf}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kW}\cdot\text{h}$);
 L^0 ——理论空气量[kg/kg (燃料)];
 l ——比功($\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}$); 长度(m);
 m ——质量(kg);
 N ——功率(kW 或 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$);
 Nu ——奴塞尔特数;
 n ——频率(次/秒); 每公斤燃油雾化蒸汽量
 (kg/kg);
 n_0 ——分子浓度;
 p ——压力 (kgf/cm^2 、 at 、 atm 、 mmH_2O 或
 mmHg);
 p_b ——表压力(kgf/cm^2);
 Pr ——普朗特数;
 Q ——容积流量 (m^3/h); 热量 (kcal); 热流
 量(kcal/h);
 Q_{dw} ——燃料低位发热量(kcal/kg 或 kcal/Nm^3);
 Q_{gw} ——燃料高位发热量(kcal/kg 或 kcal/Nm^3);
 q ——单位质量物质的热量 (kcal/kg); 热损失百
 分数(%); 比热流[$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$];
 Q_{gr} ——收入热量 (kcal/h 、 kcal/per 、 kcal/kg
 等);
 Q_{zc} ——支出热量 (单位同上,下同);
 Q_{gs} ——供给热量;
 Q_r ——随燃料带入的热量(锅炉热平衡用);
 $Q_{yx}(Q_1)$ ——有效热量 (括号内为锅炉热平衡符
 号,下同);
 $Q_{py}(Q_2)$ ——排烟热损失;
 $Q_{qb}(Q_3)$ ——气体不完全燃烧损失;
 $Q_{sb}(Q_4)$ ——固体不完全燃烧损失;
 $Q_{sx}(Q_5)$ ——蓄散热损失;
 $Q_{zw}(Q_6)$ ——灰渣物理热损失;
 Q_{ss} ——损失热量;
 Q_{hs} ——回收热量;
 Q_{sc} ——输出热量; 烧成吸热量(第六章用);
 Q_{wr} ——物料带入热量;
 Q_{wc} ——物料带出热量;
 Q_{rw} ——燃料物理热;
 Q_{rh} ——燃料化学热;
 Q_{kw} ——空气物理热;
 Q_{hf} ——化学反应放热量;
 Q_{hx} ——化学反应吸热;

- Q_{zf} ——水分蒸发吸热;
 Q_{sl} ——水冷热损失;
 Q_{fs} ——辐射热损失;
 Q_{yq} ——逸气热损失;
 R ——气体常数 [$\text{kgf} \cdot \text{m} / (\text{kg} \cdot \text{K})$]; 热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$);
 Re ——雷诺数;
 r ——比潜热 (kcal / kg); 半径 (m);
 S ——熵 (kcal / K); 年总成本或年运行费用 ($\text{元} / \text{年}$);
 s ——比熵 [$\text{kcal} / (\text{kg} \cdot \text{K})$];
 T ——绝对温度 (K); 准确投资回收期或计算年限 (年);
 T_b ——标准投资回收期;
 t ——摄氏温度 ($^\circ\text{C}$);
 U ——内能 (kcal);
 V ——容积 (m^3); 煤的挥发分 (%);
 $\dot{V}$ ——容积流量 (m^3 / h) (第六章);
 V^0 ——单位燃料理论空气需要量 (Nm^3 / kg 或 $\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3$);
 V_y^0 ——单位燃料理论烟气生成量 (同上);
 V_y ——单位燃料实际烟气生成量 (同上);
 v ——比容 (m^3 / kg);
 W ——燃料、物料含水量 (%);
 w ——蒸汽湿度 (%); 流速 (m / s);
 x ——蒸汽干度 (%);
 x_i ——投资效果系数;
 α ——换热系数 [$\text{kcal} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]; 过剩空气系数; 绝对湿度 (%);
 β ——燃料特性系数;
 γ ——重度 (kgf / m^3);
 ε ——黑度;
 δ ——厚度 (m 或 cm);
 η ——热效率 (%);
 η_k ——卡诺循环热效率 (%);
 η_{ny} ——能源利用率 (%);
 η_{nl} ——能量利用率 (%);
 η_{rn} ——热能利用率 (%);
 η_{hs} ——回收利用率 (%);
 κ ——比热比;
 λ ——导热系数 [$\text{kcal} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$];
 μ ——修正系数; 分子量; 动力粘度 (P 、 cP 或 $\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$);
 ν ——运动粘度 (m^2 / s);
 ρ ——密度 (kg / m^3);
 τ ——时间 (h);
 φ ——相对湿度 (%); 角系数;
 ψ ——含湿率 (%); 对数平均温差修正系数; 一小时内孔洞开放时间 (min)。

上 角 标

- 0 ——理论值;
 $'$ ——饱和水;
 $''$ ——干饱和汽;
 y ——应用基;
 f ——分析基;
 g ——干燥基;
 r ——可燃基。

下 角 标 (供参考)

- k ——空气;
 q ——蒸汽;
 s ——水; sl ——水冷; gs ——给水; ns ——凝水;
 r ——燃料;
 gq ——过热蒸汽;
 lz ——炉渣;
 lm ——漏煤;
 f ——粉料;
 fh ——飞灰;
 qr ——全入;
 zf ——蒸发;
 fj ——分解;
 sw ——升温;
 sc ——烧成; 输出;
 wl ——外来; wb ——外壁;
 zy ——自用;
 py ——排烟;
 lq ——漏气;
 yq ——逸气;
 rh ——熔化;
 gg ——供给;
 ss ——损失;

yx ——有效;
 hf ——化学反应放热;
 hx ——化学反应吸热;
 fs ——辐射;
 dl ——对流;
 π ——内;
 c ——出;
 s ——散;
 s ——湿;
 w ——外;

p ——排;
 x ——蓄;
 g ——干;
 z ——进;
 g ——固;
 l ——冷;
 r ——入;
 y ——液;
 r ——热。

目 录

前言		
主要符号		
第一章 绪论	1	
第一节 能源的分类	1	
第二节 能源现状	2	
第三节 企业热平衡的目的	5	
第四节 开展企业热平衡工作的初步成效	5	
第二章 热工基础知识	8	
第一节 基本概念	8	
第二节 热力学第一、第二定律	12	
第三节 工质的性质	21	
第四节 动力循环简介	32	
第五节 传热概述	33	
第六节 稳定导热	37	
第七节 对流换热	41	
第八节 辐射换热	45	
第九节 稳定传热	50	
第三章 热工仪表基本知识	56	
第一节 热工仪表分类和测量精度	56	
第二节 温度测量	59	
第三节 压力测量	70	
第四节 流量测量	76	
第五节 其他测量	100	
第四章 热平衡的基本概念	105	
第一节 热平衡的类型和问题的提出	105	
第二节 热平衡的原则方法	106	
第三节 热平衡的能量分析	109	
第四节 热平衡的技术指标	111	
第五节 燃料发热量和等价热量	114	
第六节 热流图	116	
第五章 锅炉热平衡	118	
第一节 热平衡方程式和锅炉效率	118	
第二节 锅炉的热平衡试验	119	
第三节 锅炉各项热损失的测定	122	
第四节 锅炉试验注意事项	127	
第五节 锅炉蒸发量与循环水量的测定	128	
第六节 燃料量测定及其取样	130	
第七节 烟气成分分析	130	
第八节 锅炉热平衡实例	132	
第九节 提高锅炉效率的方法	134	
第六章 工业炉窑热平衡	136	
第一节 概述	136	
第二节 工业炉窑热平衡测算方法	139	
第三节 工业炉窑热平衡举例	147	
第四节 提高工业炉窑热效率的方法	171	
第七章 用汽设备热平衡	173	
第一节 干燥设备	173	
第二节 蒸煮设备	181	
第三节 蒸发和蒸馏设备	186	
第四节 洗染设备	191	
第八章 建筑物供暖热平衡	194	
第一节 供热管网的热平衡	194	
第二节 建筑物供暖的热平衡	198	
第三节 供热网和建筑物热平衡测算实例	200	
第四节 供暖系统的主要节能措施	206	
第九章 企业热平衡	213	
第一节 开展企业热平衡的方法	213	
第二节 企业热平衡的一般步骤	213	
第三节 企业热平衡数据的整理与能源利用率分析	216	
第四节 企业热平衡实例	219	
第五节 具有重热利用的企业能源利用率的计算	229	
第六节 装置能量利用率	238	
第七节 企业热平衡工作的验收标准	242	
第八节 地区能源利用率的估算	242	
第十章 节能技术经济分析	244	
第一节 概述	244	

第二节 节能措施经济效益评价标准·····	244	附表 4 各种气体不同温度下的密度·····	269
第三节 节能投资经济效益计算方法·····	246	附表 5 空气的热性质·····	269
第四节 经济指标的计算·····	250	附表 6 干饱和蒸汽的热性质·····	270
第五节 节能措施经济效益计算举例·····	252	附表 7 过热蒸汽的热性质·····	270
第十一章 节约能源的途径·····	256	附表 8 饱和水和饱和蒸汽表 (按压力排列)·····	271
第一节 加强企业能源管理·····	256	附表 9 饱和水和饱和蒸汽表 (按温度排列)·····	273
第二节 能源的合理使用·····	261	附表 10 未饱和水和过热蒸汽表·····	274
第三节 回收利用余热·····	262	附表 11 几种金属的热性质·····	278
第四节 设备改造、更新和工艺流程的合理化·····	264	附表 12 保温材料及制品性能表·····	278
第五节 减少散热损失·····	265	附表 13 常用耐火制品的主要性能·····	279
第六节 采用新技术·····	266	第二部分 四项能源国家标准摘要·····	280
附录·····	267	一、热量单位、符号与换算·····	280
第一部分 附表·····	267	二、热设备能量平衡通则·····	282
附表 1 气体的平均定压摩尔比热表·····	267	三、设备热效率计算通则·····	286
附表 2 气体的平均定压质量比热表·····	268	四、综合能耗计算通则·····	288
附表 3 气体的平均定压容积比热表·····	268		

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，每时每刻都在利用各种能量。例如太阳能、风能、电能、热能、水能、化学能、机械能等等。

地球上的能源按其来源可分类如下：

（1）地球本身蕴藏的能源：原子核能、地热能。将原子核能转变成电能，即原子能发电，目前世界上已有22个国家、201座核电站在运行，装机容量达1亿6百多万千瓦。

地球内部拥有很多热量，据估计，地热的能量相当于煤储藏量的1亿7千万倍。我国西藏羊八井地热试验电站，装机容量为1000千瓦。

（2）来自地球以外天体（主要是太阳）的能源：太阳辐射的能量很大，每年照射到地球表面的能量相当于地球内蕴藏的煤和石油总量的100多倍。我国每年获得的太阳能约1亿亿千瓦小时，相当于1万2千亿吨煤的能量。大部分的水能、风能、波浪能、海洋温差能，都是靠太阳辐射作用产生的。草木燃料、沼气则是靠太阳光合作用的直接或间接产物。煤炭、石油、天然气是目前应用最多的能源，它们都是数百万年前，由植物经过地壳变迁形成的。

（3）地球与其他天体相互作用的能源，如潮汐能。据估计全世界潮汐能达十亿千瓦，人们正在试验应用。

上述各类能源中，煤炭、石油、天然气、草木燃料、原子能、地热、海洋温差等能量，都是短期不能再生的。

现在世界上大量利用的能源：例如煤炭、石油、天然气等习惯称为“常规能源”。其构成情况见表1-1。目前应用较少或处于试验研究阶段的能源，例如太阳能、地热能、原子能等，称为“新能源”。

另外，还有一次能源与二次能源之分。煤炭、石油、天然气、水能、风能等叫做“一次能源”，又叫“天然能源”。由一次能源直接或间接转化而来的能源，例如电、蒸汽、焦炭、煤气等，叫“二次能源”，又叫“人工能源”。

表1-1 世界能源消费构成

年 份	能源总消费 (亿吨标准煤)	能 源 消 费 构 成 (%)			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水力、原子能
1900	7.75	95	4	—	1
1950	26.64	59.3	29.8	9.3	1.6
1960	42.33	48.9	35.8	13.4	1.9
1973	84.48	28	48.1	21.4	2.5
1975	85.70	29.1	46.1	21.9	2.9
1979	87.55	32	45.2	19.9	2.9

第二节 能源现状

能源的开发利用推动了人类社会的发展。人类已从摩擦生热、利用薪柴发展到以煤、石油为主要的能源，并逐步开始研究和利用新能源的历史时期。

随着人类社会现代化的实现，人们在衣、食、住、行和日常生活消费能源的数量越来越大。在现代工业生产中，各种产品的生产，都需要消耗一定数量的能量。据日本1973年的统计，平均生产一美元的化工产品，要消耗1.8公斤标准煤，钢铁产品是1.6公斤标准煤，水泥是1.4公斤，造纸是0.7公斤，有色金属是0.5公斤。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，教育文化事业的发展，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年至1925年第一个二十五年中，世界能源消费增长了一倍。第二个二十五年，即1925年至1950年增长了70%。第三个二十五年，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%，十五年左右就增长一倍。见表1-2。而且，在消耗

表1-2 本世纪世界能源消费增长

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量 (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	1
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

的能源中，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10月讨论世界海洋气质资源开发问题的伦敦国际会议估计，全世界石油探明藏量为875亿吨。1979年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。表1-3列出了一些国家的石油储量和近年产量。

表1-3 一些国家石油的储量和近年产量

国 名	储 量 (亿吨)	生 产 量 (百 万 吨)					
		1950年	1960年	1970年	1976年	1977年	1979年
世界 (不包括中国)	722	523	1048	2252	2778	2874	
沙 特 阿 拉 伯	154	26	62	188	425	457	477
科 威 特	100	17	82	950	108	99	125
苏 联	81	38	148	353	520	550	584
伊 朗	65	32	52	191	295	285	145
美 国	41	266	348	475	401	403	403
伊 拉 克	47	65	47	46	192	111	169
阿 拉 伯 酋 长 国	35		3	37	95	98	91
利 比 亚	32			159	93	100	103
委 内 瑞 拉	26		149	194	120	117	117
中 国		1949年0.12				93.6	106

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。又据西德地质和原料研究所一份资料介绍,世界上煤层深度在2千米以内,煤层最小厚度0.3米的煤层储量约9万8千亿吨标准燃料,其中探明储量占31%。在探明储量中,根据目前的技术水平可经济开采的储量只有5500至6600亿吨标准燃料,仅占总储量的5.6%。1979年世界煤炭产量为37亿吨,有关单位估计全世界煤炭还可开采200年左右。一些国家煤炭储量及近年产量见表1-4。

表1-4 一些国家煤炭储量及近年产量

国 名	储 量 (亿吨)	生 产 量 (百 万 吨)					
		1950年	1960年	1970年	1976年	1977年	1978年
世界(中国除外)	11170	1775	2171	2576	2822	2874	
苏 联	7730	261	490	577	654	722	716
美 国	3640	508	391	556	609	612	559
西 德	995	187	239	224	230	208	213
英 国	988	220	197	147	124	122	123
澳 大 利 亚	743	24	37	69	99	107	103
波 兰	388	83	114	173	219	224	234
印 度	231	33	53	77	105	104	104
捷 克	137	45	85	110	118	121	123
加 拿 大	90	17	10	15	25	29	30
中 国	约6000	1949年32				550	618

在今后几十年内,煤炭将逐渐成为世界的主要能源。据世界煤炭研究会预测,2000年世界煤炭产量将比现在增加1.5到2倍。这主要由于(1)煤炭利用技术是成熟的;(2)储量丰富,最少为石油的20至30倍;(3)分布广阔。因此国外对煤炭给予很大注意,估计在不久的将来,煤炭将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。

美国从1975年起已将79座烧油热电站改为烧煤。随着焦炭化工的发展,煤炭作为化工原料的用途将蓬勃发展。六十年代初以来,国外煤炭消费构成发生了很大变化,用于发电的比重越来越高。如以1960年和1976年相比,美国由45.8%增至74.4%;西德由17.2%增至29.2%;英国由26.8%增至62.9%;苏联由21%增至40%。近几年来由于各国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了。

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。但天然气储量较少,比较可信的证实储量为72万亿米³。1979年,国外天然气产量为16184亿米³。因此,天然气也不会使用得太久了。一些国家天然气储量及近年产量见表1-5。

从上述常规能源(煤、石油、天然气)储量和开采情况来看,能源问题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,也是个生存问题。1973年中东战争期间,能源危机席卷整个资本主义世界,造成巨大的经济损失。美国由于缺少1.16亿吨标准煤的能源,生产减少了930亿美元;日本缺少0.6亿吨标准煤的能源,生产减少了485亿美元。由此可见,由于能源不足造成的经济损失,往往是能源本身的20到60倍。因此日本、欧洲、美洲一些资本主义国家,在不断受到能源危机冲击的情况下,对能源的合理利用,节省能源十分重视,都采取了强制性的措施。日本,美国颁布了能源法,并根据世界经济形势,能源的蕴藏、生产等情况,拟订了本世纪和下世纪的能源政策及相应措施。

过去有一种流行说法,我国是能源大国,这是一种盲目乐观的估计。对我国能源资源是否丰富,应作具体分析。我国煤炭地质储量较多,但比较可信的有2万多亿吨,探明储量6

表1-5 一些国家天然气储量及近年产量

	储 量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	生 产 量 ($\times 10^{13} \text{kcal}$)					
		1950年	1960年	1970年	1976年	1977年	1979年
世界(不包括中国)	0.627		445	924	1159	1189	
苏 联	0.221	5.5	43	160	267	289	407
伊 朗	0.106		0.8	12	21	21	26
美 国	0.061	164	331	546	500	500	566
阿 尔 及 利 亚	0.035						
荷 兰	0.017		0.3	27	81	73	77
加 拿 大	0.016	1.3	13	50	67	70	103
委 内 瑞 拉	0.012	1	5	9	12	12	12
英 国	0.008			10	39	37	56
墨 西 哥	0.005	2	8	10	12	12	28
西 德	0.003		0.4	11	16	15	23
罗 马 尼 亚	0.001	3	10	25	33	35	28

千亿吨, 精查储量1千6百亿吨。石油储量估算占世界储量的2%, 天然气储量占世界储量的0.28%。水力的理论储量是6亿千瓦左右, 其中可供经济开发的约占50%。水力资源的70%又分布在西南地区。以可采储量计算, 我国按人口平均能源资源量只相当于世界平均数的一半、美国的十分之一、苏联的七分之一。从每人能源资源平均数看, 我国的能源资源并不丰富。

建国以来我国的能源生产发展很快, 见表1-6。

表1-6 建国以来我国能源生产情况

能类 \ 年份	1949	1952	1977	1979
煤炭(万吨)	3243	6649	55000	63560
石油(万吨)	12.1	43.6	9364	10600
发电量(亿度)	43.1	72.6	2234	2940

从1953年到1978年, 我国国民经济生产总值年增长率为8.2%, 煤炭的年增长率为9%, 石油的年增长率为23.4%, 电的增长率为14.2%。其中第一个五年计划期间, 国民经济生产总值平均每年增长10.9%, 相应的能源消费平均每年增长15%。

我国能源生产增长速度不算慢, 但远远满足不了生产消费增长的需要。原因之一是我国工业结构不合理, 设备、工艺落后, 工业企业能源利用率低、消耗高、浪费大。

能源是提供物质生产和生活的原动力, 现代化首先取决于充分高质量的能源供应。列宁曾提出了“共产主义是苏维埃政权加电气化”的著名论断。只要我们切实贯彻好中央确定的在能源问题上要“实行开发和节约并重, 近期把节能放在优先地位, 对国民经济实行以节能为中心的技术改造和结构改革”的正确方针, 我国完全能依靠自己拥有的能源资源满足四个现代化的需要。但当前由于煤炭和石油工业内部比例失调, 在第六个五年计划期间, 能源总产量有下降的趋势。而且煤炭建设规模大, 开发周期长, 投资大, 预计到1990年, 能源生产也不可能增加很多。十年内外, 我们面临的是能源生产不可能有较大增长的情况, 必须主要依靠节能来保持国民经济增长速度。

第三节 企业热平衡的目的

管理是一切有组织活动的一个必不可少的组成部分。科学管理的实质，就是用科学方法来解决管理问题，而所谓科学方法，就是要求在系统观察和科学实验的基础上提出论据，进而阐明普遍规律。企业热平衡是研究能源科学管理的一种尝试，也是科学管理原理在用能方面的具体应用。企业热平衡也称热诊断。通过企业热平衡可达到如下目的：

一、摸清能耗状况

通过统计、收集资料，测试、计算等手段，摸清能源构成及其来龙去脉（设备、企业的能量收支情况）计算出产品的单位能耗、综合能耗，有条件的计算出可比能耗，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、科学，作为开展评比、劳动竞赛的指标。

二、掌握用能水平

通过企业热平衡工作，掌握主要用能设备的热效率和整个企业的能源利用率。编制整个企业的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。主要内容包括：技术干部、工人的培训制度；建立健全节能管理体系和明确热管理师职能范围；建立能源管理技术档案；建立用能调度制度；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，找出热损失大和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，调整不合理的管理岗位和制度，调整不合理的生产安排……。在此基础上制订切实可行的节能规划，分年度逐步实施。

第四节 开展企业热平衡工作的初步成效

热平衡这种科学方法，在某些行业中早已使用，如电力部门的技术经济指标考核，化工装置中的物料衡算和热衡算，以及锅炉和工业窑炉的热平衡计算和试验等。但就全国来说，有组织地开展企业热平衡工作，并把它作为能源管理的基础工作来抓，则是从1978年由国家计委、经委、物资总局组织上海、北京、杭州、哈尔滨、西安五城市试点开始的。近几年内，据不完全统计，全国有600多个企业开展了热平衡工作，并已取得初步成效，其主要表现为：

一、摸清了企业用能状况及节能潜力

开展热平衡的企业普遍认为，通过企业热平衡，对本企业一年消耗多少能源、其构成和分配状况、其中有多少是有效利用了、有多少是损失掉等等已初步做到了心中有数，改变了过去那种对能源消耗心中无数，在能源管理上消极被动的局面。例如某机车车辆厂，长期以来管理混乱，燃料动力使用无计量，分配无指标，消耗无定额，考核无制度，设备陈旧、工艺落后，能源损失严重，但对其浪费程度又心中无数，无法实行有效管理。过去虽然搞过不少单项节能项目，投资不少，但收效甚微。1980年8月，铁道部组织力量把该厂作为热平衡试点，历时8个多月，通过细致的调查、统计、测试和分析工作，摸清了全厂的用能状况，

发现全厂能源利用率仅为21.2%，查出了耗能大的主要问题。如20 t/h烧油锅炉效率达不到70%，生活锅炉效率只48%，工业窑炉平均热效率仅4%，全厂热管道保温不好，热能没有综合利用，回水率很低等，在热平衡基础上，提出了综合节能、改造等18项措施，每年可节约一万吨标煤，相当于现在耗能量的五分之一。再如某轮胎厂乃是全国橡胶行业中单耗最低的先进行业，节能潜力还有多大？开始时说不清；经过热平衡测试，了解到全厂能源利用率只有18%，深入分析后发现，主要是模压工艺落后，模压设备落后的缘故，仅钢模、缸体散热和冷凝水损失就达56%，可见，即使是能耗低的先进企业，能源利用率也不一定高，仍有潜力可挖，而不搞企业热平衡是难以发现的。

二、提高了用能计量水平，促进能源的科学管理

准确的计量是企业能源科学管理的重要基础。企业用能无计量，就无法考核消耗定额，无法实施科学的能源管理。国外一些工业发达国家都把计量仪表、检测技术作为节能的重要措施，并普遍认为科学的能源管理有三项基本要求：

- （1）用数值表示企业内部的能源消耗；
- （2）了解节能潜力的环节；
- （3）能源可节约到什么程度。

实践证明，通过企业热平衡可以达到这些目的。

在开展热平衡的基础上，安装和完善耗能计量仪表，使企业的能源利用状况大有改观。如某造纸厂在开展企业热平衡时安装了十几套蒸汽流量装置，对全厂用汽实行集中控制，规定用汽定额，并纳入生产调度计划，实行计划用汽、定时供汽，合理开启机台等措施，使全厂能源利用率提高4%左右，每年节约千吨标准煤。

企业装置了各种仪表，还可使生产经常处于最佳工况，有利于保证产品质量、减少能源消耗。如纺织厂的漂洗设备，蒸发热损失一般占其耗热量的1/3，而液面水温的高低直接影响蒸发热损失的大小，如水温98℃时比85℃时的蒸发损失增大50%。采用液面温度计即可将液温控制在工艺要求范围内，从而节约蒸汽消耗。

三、热平衡为企业制定节能技术改造规划提供了依据

过去有些企业往往只着眼于搞单项措施，因为从单项措施计算节能效果往往很显著。但对整个企业而言，则可能节约不多或不节约，甚至造成更多的能源消耗。例如在轧钢加热炉上增设余热锅炉回收热量，往往需要增加耗油量，当增加的喷油量超过一定数量时，就不经济了。又如裕压发电是热能综合利用的有效措施之一，但有些企业为了发电，不顾条件，不讲经济效益，购置新锅炉，另建锅炉房；投产后不少企业由于用汽负荷不足、负荷不稳定、背压机组无法投运或长期处于低负荷运行，收不到节能实效。

企业热平衡就在于它着眼于整个企业，系统地考察全厂的用能情况和问题，并据此提出整个企业的综合技术改造方案和措施，避免盲目性，提高企业能源利用率。如某制药厂原有锅炉五台，几年来通过锅炉改造、更新，容量不断增大，总容量达32 t/h，但仍感供汽紧张，拟再将锅炉总容量增至50 t/h。企业热平衡后，发现该企业的锅炉效率一般为65~70%，而用汽设备效率很低，用汽管理混乱，多数疏水器失灵，尾汽损失严重，部分蒸汽管道保温层脱壳，失去保温效果，管道热损失高达10%左右；通过采取相应的技术措施和加强用汽管理，在保证相同产量的前提下，用汽量大幅度下降，不但不需再增加锅炉的总容量，而且还停用了两台效率较低的4 t/h快装炉。本例说明，对于一些使用蒸汽的企业，在制定节能技术改

造规划时，节能重点不能只局限于蒸汽锅炉，而更应注重改进工艺，提高用汽设备热效率，改善管理水平，开展综合利用热能等措施，以取得事半功倍的效果。

四、推动企业的技术革新和技术改造

通过企业热平衡，由于对本企业的用能水平、潜力所在做到了心中有数，许多企业对低效设备、落后工艺、不合理的运行方式等采取边测边改，广泛开展技术革新和技术改造，收到了较大的节能实效。如某溶剂厂改进甲醛生产装置，利用甲醛生产的尾气和工艺流程中的化学反应放热量安装废热锅炉回收热量，并使系统用热流程合理化，使该甲醛装置的能量利用率从原来的27.7%提高到66.79%，做到本装置蒸汽自用有余，达到了国外同类装置的先进水平。

五、培养了热工技术队伍

我国企业管理落后的原因之一，就是企业中热工技术人员缺乏，技术管理水平低。企业热平衡是一项技术性较强的基础工作，涉及的知识面较广，各地区、各部门在开展企业热平衡工作时，广泛进行了技术培训。据不完全统计，1981年全国各省、市、区、部办的培训班达50余次，参加学习的人员5000多名，部、局以下办的培训班更多，培训热工人员近两万人次，为企业培养了一批在节能工作中讲科学、讲实效的技术骨干队伍。

从几年来的热平衡实践中可见，开展热平衡就是对用能进行科学的数量分析，并作出客观评价，逐步探索能源使用最优化的方法。它所产生的作用和深远影响，不仅在于测算出能源利用率，或建立能源管理制度，或实施某项节能措施，还在于促进人们运用科学方法研究能源管理和省能的问题。通过今后各行业的实践，不断摸索和解决能源管理领域中存在的问题，将有利于推动能源管理科学的迅速发展，使节能工作建立在科学基础之上。

第二章 热工基础知识

热工基础知识主要包括两大方面：热力学和传热学。

热力学是研究有关能量、特别是热能的性质和规律（主要是转换规律）的科学。

传热学是研究热量在传递过程中的有关规律的科学。

热能在转换和传递过程中，必须遵守热力学第一、第二定律和传热的三个基本定律。

热能的转换和传递是通过必要的设备和一定的媒介物质来实现的。设备就是各种热机、换热器、冷凝器、干燥箱、蒸发塔等等，统称为热设备。媒介物质就是载能体，如蒸汽、烟气、空气和水等，统称为工质。本章即研究上述内容。

第一节 基本概念

一、体系（或系统）

在热工中，总是把要研究的对象从周围物体中划分出来，这个研究对象就称为体系。体系周围的有关物体称为外界（或环境）。体系是我们着重研究的，对外界则只考虑它与体系间的相互作用，即体系与外界的质量交换与能量交换。例如，在考察蒸汽管道的散热情况时，就是把管道内的蒸汽看作体系（以管道内壁面和进出管道的截面为分界面），研究蒸汽本身压力、温度的变化，以及蒸汽与大气、保温层及管壁之间的热交换。

工业中经常遇到的体系有开口体系、封闭体系和绝热体系等。

开口体系是指和外界有质量交换的体系。几乎各种动力设备、化工设备、热工设备，为了保持连续生产都有工质不断地流进流出，均属开口体系。活塞式发动机（内燃机、蒸汽机等）在进汽（气）后、排汽（气）前，对气缸内的汽（气）体可视为封闭体系。轻纺工业中的蒸球在装料之后，出料之前亦可视为封闭体系。也就是说封闭体系是和外界没有质量交换的体系。

与外界没有热量交换的体系为绝热体系。如蒸汽在汽轮机中的高速运动，由于时间短促来不及发生热交换，可当作绝热体系。

与外界既无质量交换又无能量交换的体系称为孤立体系。这是一种科学的抽象，在分析问题时有重要的理论意义。当把所有的物体都划到一个体系内，这个体系就可当作孤立体系来处理。

二、状态、过程和循环

状态就是指某一瞬间体系内工质所处的状况，它是体系各种特性的总标志。如蒸汽是在饱和状态还是过热状态，是静止状态还是运动状态等。

由于生产的需要或外界环境的改变，常使体系的状态发生变化，即进行某一过程。简单地说，过程就是体系一系列状态变化的总合，如加热、冷却、膨胀、压缩等都是常见的过程。

实际生产过程几乎都是反复不断、周而复始地进行，这时工质在一系列设备中从某个初始状态经过许多变化又回到原来的状态，即进行循环。对经过一个循环后能对外作功的循环

称为正循环或动力循环；对消耗功的循环称为逆循环或非动力循环。利用水蒸气来作功（主要是发电）的循环称为蒸汽动力循环。

三、坐标图

体系所处的状态，可形象地表示为由任意两个状态参数所组成的坐标系中的一个点。同样，状态的变化——过程和循环也可以表示在坐标系中，分别为一条曲线和一条封闭线。如图2-1所示。通常，压容（ $p-v$ ）图和温熵（ $T-S$ ）图应用最广泛。这是因为在 $p-v$ 图中，过程曲线下的面积表示功；而在 $T-S$ 图中，过程曲线下的面积表示热量，如图2-2所示。在 $p-v$ 和 $T-S$ 图中，动力循环为顺时针方向，非动力循环为反时针方向。

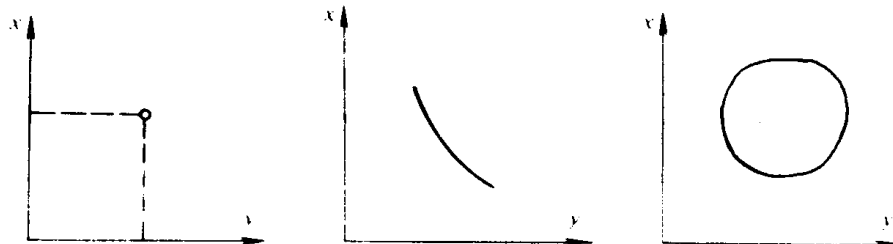


图2-1 状态坐标图

四、状态参数

用来表明工质所处热力状态的物理量叫做状态参数。状态参数的基本特性是它仅仅取决于状态。对应于工质的某一个状态，各状态参数都有一个确定的数值。任何一个状态参数发生了变化，也就表明工质的状态发生了变化。基本状态参数有温度、压力和比容，另外还有内能、焓和熵等状态参数。

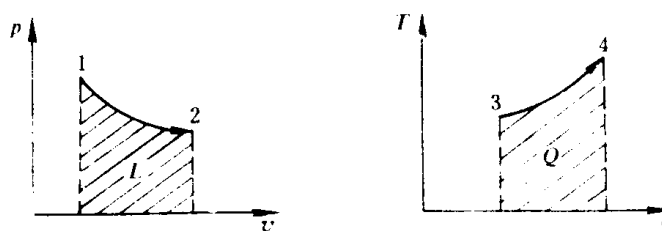


图2-2 功和热量的图示

（一）温度（ T ）

温度是表示物体冷热程度的物理量。

衡量温度的标尺，称温度标尺，简称温标。工程上常用的温标有摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ）与绝对温标（ K ）其关系为：

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad (2-1)$$

式中 T ——绝对温度（ K ）；

t ——摄氏温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

（二）压力（ p ）

单位面积上所受的垂直作用力称为压强，工程上叫做压力。压力的单位很多，常用的工程大气压简称大气压，是指每 1厘米^2 上有1公斤的力。常用压力单位间的换算关系如表2-1。

通常的压力表或真空计所指示的压力，不是气体的真正压力——绝对压力，而是绝对压力和当地大气压力的差值，如图2-3所示。当气体的绝对压力 p 高于大气压力 B 时，压力表的读数 p_b 叫做表压力，即

$$p_b = p - B$$

当气体的绝对压力 p 低于大气压力 B 时，真空计所示读数 H 叫做真空度，即

$$H = B - p$$