

企

(热工培训班讲义)

一九八一年二月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 能源的分类	(1)
第二节 能源的作用	(2)
第三节 能源形势	(3)
第四节 我国的能源方针	(4)
第五节 开展“企业热平衡” 工作的意义	(5)
第二章 热工知识简介	(7)
第一节 一些重要的概念	(7)
第二节 几个基本定律	(8)
第三节 工质的性质	(9)
第四节 动力循环简介	(13)
第五节 传热的实用计算	(14)
第三章 热工仪表的基本知识	(17)
第一节 热工仪表的分类和 测量精度	(17)
第二节 温度测量	(19)
第三节 压力测量	(27)
第四节 流量测量	(35)
第五节 其它测量	(46)
第四章 热平衡的基本概念	(48)
第一节 热平衡的原则方法	(48)
第二节 热平衡的模型	(48)
第三节 热平衡的能量分析	(50)
第四节 热平衡的技术指标	(52)
第五节 热流图	(55)
第五章 锅炉的热平衡	(59)
第一节 热平衡方程式和 锅炉效率	(59)
第二节 燃料输入热量和 锅炉有效利用热量	(60)
第三节 排烟热损失	(61)
第四节 气体不完全燃烧 热损失	(62)
第五节 固体不完全燃烧 热损失	(63)
第六节 散热损失和灰渣	

物理热损失	(65)
第七节 热平衡试验	(65)
第八节 锅炉试验注意事项	(67)
第六章 工业炉热平衡	(68)
第一节 概述	(68)
第二节 工业炉热平衡	(68)
第三节 燃料消耗量及其 间接表示方法	(71)
第四节 工业炉热效率和 节能措施	(74)
第七章 其它设备的热平衡	(76)
第一节 窑炉的热平衡	(76)
第二节 能量转换设备的 热平衡	(83)
第三节 化工设备的热平衡	(84)
第四节 用热设备的热平衡	(86)
第八章 建筑物供暖的热平衡	(97)
第一节 供热管网的热平衡	(97)
第二节 建筑物供暖的热平衡	(101)
第三节 供暖系统的主要 节能措施	(107)
第九章 企业热平衡	(111)
第一节 开展企业热平衡 的方法	(111)
第二节 企业热平衡的 一般步骤	(112)
第三节 企业热平衡的计算	(114)
第四节 企业热平衡工作的 验收标准	(116)
第十章 节能措施的技术经济分析	(116)
第一节 概述	(116)
第二节 技术经济分析常用 方法	(117)
第三节 经济指标的计算	(120)
第四节 节能措施经济效果 计算举例	(122)
第十一章 节约能源的途径	(123)

第一节	加强能源科学管理·····(123)	8—1	室外架空敷设热力管道 的保温结构·····(137)
第二节	合理使用能源·····(125)	8—2	保温管道热损失·····(139)
第三节	采用良好的设备 与先进的工艺·····(126)	8—3	北京地区、哈尔滨地区 的建筑物供暖热指标·····(139)
第四节	余热回收、已用热 的重复利用·····(126)	8—4	室内、外计算温差 修正系数·····(140)
第五节	减少散热损失·····(126)	8—5	若干建筑材料的 导热系数·····(140)
第六节	集中联合供热·····(127)	8—6	围护结构的传热系数·····(141)
第七节	充分利用不同质量 的能源·····(127)	8—7	机器制造工厂各主要 建筑物的采暖通风耗热 量概算指标表·····(141)
第八节	采用节约热能的 新技术·····(127)	8—8	建筑物不同朝向的太阳辐 射热量占围护结构失热量 的百分比·····(143)
附录2—1	饱和蒸汽、过热蒸 汽的焓·····(128)	附录:	国外节能数据选编·····(143)
2—2	饱和水、饱和蒸汽及 过热蒸汽的比容·····(129)		
5—1	锅炉试验数据综合表·····(130)		

翻 印 说 明

为了进一步抓好能源管理人员和热工人员的培训,开展热平衡,推动节约能源工作,我们组织内部翻印《企业热平衡》一书。

本书在翻印前,我们特请重庆大学、重庆市科协和中国科技情报所重庆分所“新能源”编辑部作了部分补充和校正,在此表示感谢,并热切希望同志们在阅读过程中提出宝贵意见。

重庆市节能指挥部

一九八一年二月

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各样的能源，例如：太阳能、水能、风能、热能、电能、化学能、机械能等等。

自然界的能源很丰富，按其来源可分成以下几类：

(1) 地球本身蕴藏的能源：原子核能、地热能。

原子核能是利用某些物质进行人工原子核反应时释放出来的能量，例如铀裂变会产生巨大的能量。现在，不少国家的原子能发电站就是利用铀原子核裂变时放出来的能量。目前，世界上已有22个国家或地区建有原子能电站共229座，总装机容量达一亿二千多万千瓦。

另一种原子核反应叫核聚变，核聚变释放的能量要比核裂变能大得多。据估算一公斤铀裂变反应放出的能量相当于2500吨煤，而一公斤核聚变燃料相当于一万吨煤。水中含的氘就是一种聚变燃料，地球上水中的氘，约可供全世界用100亿年以上。可以说，核聚变能源是人类取之不尽的一种未来新能源。

地球是一个巨大的天然热库，内部拥有很多热量，地球表面每年散发到大气中的热量相当于燃烧370亿吨标准煤的热量(是现在全世界煤产量的十倍多)。地球的平均温度约二千度，据现在估计，地热的能量相当于煤储藏量的一亿七千万倍。我国于1970年底在广东丰顺建成了第一座地热电站，接着又先后建成了北京附近的怀来、江西的温汤、湖南的灰汤等小型地热试验电站。1977年9月，我国西藏的羊八井地热试验电站建成投入运转，这是我国第一座高温地热电站，第

一台机组容量为1000千瓦。

(2) 来自太阳的能量，目前人类所需能量的绝大部分都直接或间接来自太阳能。地球上的各种植物，煤炭、石油、天然气等矿物燃料，以及风能、水能、海洋能、波浪能等，都是由太阳能转换形成的能源。太阳辐射的能量是很大的，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一百多倍。我国每年获得的太阳能约一亿亿千瓦小时，相当于一万二千亿吨煤的能量。

(3) 地球与其它天体相互作用的能源。地球和月亮、太阳之间位置周期性的变化，它们之间的引力使海水涨落形成潮汐能。在海岸线上都可利用这种能量。据估计全世界潮汐能达十亿千瓦。我国第一座单库双向式潮汐电站——浙江江厦潮汐试验电站，已于1980年5月4日正式投入运转，电站总装机容量为3000千瓦。

上面所说的各种能源，都是在自然界中现成存在的，基本上没有经过人为加工或转换的能源，我们称它们为一次能源。在生产或生活中，由于工艺的要求，或是为了便于使用，提高劳动生产率等原因，往往不能直接使用自然界现成的能源，需要加工、转换成符合使用要求的能源，像蒸汽、焦炭、煤气、电力等，我们称它为二次能源。

在自然界有一些能源，像太阳能和由太阳辐射关系而形成的水能、风能、生物质能等，这样一些能源叫再生能源。像煤炭、石油、天然气、原子核反应的原料铀等，它们是不能再生的，用一些就少一些的不可再生能源。

人类对能源的利用，随着科学技术的进步，有一个发展的历史。当前已经被人们广泛应用的能源，通常叫它们为常规能源。在

现阶段，煤炭、石油、天然气和水能，是世界能源生产构成中的主要组成部分。原子核能的利用，已经在三十多个国家有了相当的规模，预计在今后世界能源构成中的比重将逐渐增加，并入常规能源的行列。

还有一些能源，目前还没有被广泛利用，有待科学技术的进一步发展，使这些能源能更经济、有效地得到开发利用，像太阳能、风能、海洋能、地热能、核聚变等等。我们称这些能源为新能源。

第二节 能源的作用

能源的开发和利用，大大推动了人类社会的发展。今天，能源对实现四个现代化起着重要作用。

在人类历史上，每一次能源利用技术的突破，都极大的发展了社会生产力。促进人类文明进步。在人类形成的远古时代，人们就学会了用“火”这一能源。人们用火的热能来取暖、做饭，甚至照明。于是大大改进了人类生活条件，尤其是熟食，帮助消化，较易吸收，促进了大脑的发展。人类就远远地把“猿猴”甩到后边了。

接着人类开始利用兽力(畜力)、水力、风力等用来运输、浇灌农田、碾谷、冶金及制盐等，大大推动了奴隶社会、封建社会的生产力发展。

十七世纪，资本主义社会初期，一些国家用煤炭逐渐代替了薪柴(草木燃料)，这一能源利用的新突破，引起了巨大的影响。十八世纪，生产力迅速发展，英国人瓦特于1785年发明了蒸汽机，引起了“产业革命”。人类进入了机械化时代，机器代替了人力、畜力。生产力的发展引起了生产关系的变革，资本主义经济迅速发展，以至使封建社会瓦解，资本主义取代了封建主义。十九世纪，人类已经大量的开采煤炭了。并且于1859年开始开发和利用石油，后来又开发和利用天然气。随着生产的发展，科学技术的进步，人类发现了电现象。1881年美国人爱迪生在纽约建成了最早的发电站，用了四台250马力的烧

煤的蒸汽锅炉，供应六台蒸汽机带动交流发电机发出了电。于是在生产和日常生活中，人们广泛地利用电，人类进入了电气时代。石油的发现虽晚，但由于使用方便，用途广泛，消耗量日益增加，到了二十世纪六十年代，已成为能源构成中比例最大部分(约占半数)，原来是主要能源的煤炭仅占三分之一。而且石油消耗的年增长率为8%，煤炭消耗的年增长率为1.5%。

一九三九年德国科学家哈恩和史特拉斯曼发现了原子核裂变。1945年美国爆炸了原子弹，1952年又出现了氢弹。1954年建成了第一座原子能发电站。现在又有了核潜艇、核动力航空母舰、核弹头导弹；放射性技术应用在工业生产、农业生产以及医疗和科学技术研究等方面。总之，原子能已经应用在各个领域中。因此，有人认为现在已处于原子能时代。但是由于铀矿的开发和核电站建设都有很多困难，至今数量不多，发展速度不快。现在的能源构成中，原子能仅占2%。原子能发电站最多的国家，其容量也不过是817到5455万千瓦。

1978年末各国原子能电站总容量为(万千瓦):美国5455;日本1150;英国884;苏联817;西德952。

随着人类对能源的需求增加和科学技术的进步，人们正加紧对太阳能、地热能、氢能的利用的研究。估计要到下世纪可能达到实用阶段。

在某种意义上说，能源消耗水平决定了国家生产水平，能源增长速度决定了国家经济发展速度。在一般情况下，能源增长速度与国民经济发展速度是相适应的。而在国民经济迅速发展时期，必然要求能源有更高的增长速度。例如，美国在1880年到1920年经济发展较快，当时的能源消费增长速度是国民生产总值增长速度的1.65倍，日本在1955年到1960年经济发展也较快，当时的能源消费增长速度是国民生产总值增长速度的1.27倍。我国第一个五年计划(1953年到1958

年), 能源增长速度是国民生产总值 增长速度的1.38倍。

能源不足, 往往造成严重的后果。1973年中东战争爆发后, 西方世界发生了能源危机, 造成了巨大的经济损失。例如美国缺少相当于1.16亿吨标准煤的能源, 生产减少了930亿美元; 日本缺少了0.6亿吨标准煤的能源, 生产减少了485亿美元。

生产越是发展, 人民生活越是提高, 消耗的能源越多。现在我国人民生活水平较低, 以1975年按人口平均能源耗量为例, 美国约为我国的30倍, 苏联约为15倍, 埃及约为1.2倍。我国若实现四个现代化, 消耗能量也将大大增加。最近几年, 就全世界而言, 每年耗能量增长率约为5%, 预计到二十一世纪初, 能源消耗会达到现在能耗的2~3倍。

第三节 能源形势

地球上拥有的能源资源, 几乎是使用不完的。象太阳能、地热能、核聚变等都是数量十分巨大的能源资源。目前广泛使用的煤炭、石油、天然气和水能这样一些常规能源, 其资源数量也是不少的。

据最新资料估算, 世界的煤炭储量, 技术经济可采的储量为6600亿吨标准煤。按1978年35亿吨开采量计算, 可以开采二百年左右。石油剩余的探明可采储量为879亿吨, 按1979年31亿吨年产量计算, 还可开采28年。天然气的探明储量为72万亿立方米, 按1979年16000亿立方米的开采量计算, 可以开采45年。按目前世界一年消费的能源数量, 用这几种能源的可采储量和可开发量来计算还可以使用近一百年。如果考虑到地质储量中, 还有相当一部分能够探明为可采储量, 则可供使用的年限就更长。

世界上能源的消耗量愈来愈大。从一九五〇年至一九七三年的二十三年间, 石油消费量增加了5.6倍, 天然气增加了5倍; 而煤炭只增加了0.6倍。本世纪世界能源消费情况如下(单位: 亿吨标准煤):

1900年 总消费量 7.75

1950年	26.64
1960年	42.33
1973年	84.48
1975年	85.70

世界工业发达国家, 对进口石油的依赖程度越来越大, 在一九七九年三十一亿吨的石油产量中, 有十八亿吨是由产油国运往各国的贸易量, 其中绝大部分运往工业发达国家。以一九七三年为例, 日本的能源进口比重为89.9%, 意大利为82.8%, 法国为76%, 西德为56.6%, 英国为42%, 美国为22.2%。由此可见, 世界主要工业发达国家中日本、意大利等国家有一半以上的能源依赖于进口, 在进口能源中主要是石油和天然气。

由于大量使用石油的结果, 在这些工业化国家中形成了以石油为主的经济体系。所以在一九七三年中东战争期间, 五个月的石油禁运, 在资本主义世界出现了严重的能源危机, 这次世界范围的能源危机是历史上第三次能源危机, 与以往两次比较, 这次能源危机的范围大得多, 影响深得多, 持续时间长得多。这次能源危机使能源大量依赖进口的工业化国家, 经济上受到了很大的影响。例如日本的经济以往都以百分之十的增长率增长, 一九七四年不但没有增加, 反而减少百分之二, 国民生产总值损失近五百亿美元。美国的经济, 也从百分之六的增长率, 下降到比前一年减少百分之二, 估计国民生产总值损失近九百亿美元。西德、法国、英国的经济, 虽然没有出现负的增长率, 但国民经济发展速度也大大减慢。

据预计, 世界石油供应状况, 在今后20年内, 不会有所好转, 趋向长期不足的紧张状况。工业发达国家再也不能象去年那样无限制地增加石油消费了。

在这种能源形势下, 进口石油的国家, 纷纷研究解决能源问题的对策。不少国家的能源政策中提出了节约能源和开发利用新能源的解决能源问题的两条重要途径。

我国是个能源资源十分丰富的社会主义

国家。从总量上来看，我国探明的煤炭可采储量为一千六百亿吨，占世界的六分之一，仅次于美国和苏联，居世界第三位。石油和天然气的地质勘探工作做得还不够，已探明的储量占到世界第十位。我国的水力资源理论蕴藏量有六亿八千万千瓦，占世界的六分之一，居世界第一位。

但是，应当看到，我国人口众多，用可采储量来计算，按人口平均的能源资源占有量，不到世界平均数的二分之一。1978年美国每人平均能源消费量为12.8吨，苏联为6.6吨，西德为6.3吨，日本为4.7吨，世界平均为2.3吨。因此，从人口平均能耗来看，我国又是一个能源资源不那么丰富的国家。

长期以来我国的能源供应一直是紧张的。近几年能源短缺的现象进一步发展，达到相当严重的地步。集中表现在：工业燃料、动力不足，估计缺煤一千万吨，全国缺电四百亿度，大约有百分之二十到三十的工业生产能力没有充分发挥作用，影响国民经济产值七百多亿元。城市生活用电没有保证，农村缺少生产和生活的燃料动力，对薪柴的过度砍伐已经威胁到生态平衡，影响了农业生产。能源的严重短缺明显地影响了国民经济的发展和人民生活。能源问题已经成为我国国民经济建设中的首要问题。

我国能源供应紧张的主要原因之一是工业企业能源消耗高，浪费大。我国在1978年钢产量达到3178万吨时，能源生产总量为六亿吨标准煤。而世界上其它一些国家的钢产量达3000万吨时，能源生产均比我国少（表1-1）。

这里，一方面是由于我国偏重于钢的产

量，而其它方面不够协调，不太平衡；另一方面也确实说明工业企业能源消耗高。1977年我国消耗能源为5.2亿吨标准煤，日本为5.35亿吨标准煤，比我国多2.9%，可是他们工农业生产总值是我国的4.2倍，钢产量是我国的4.3倍，汽车产量是我国的57倍，化学纤维是9.1倍，发电量是2.08倍。据一些资料介绍，日本的能源利用率可达50~52%，西德可达48%，美国可达40%。我国能源利用的情况，据有关单位初步的、概率的、极为乐观的估计，能源利用率约28%。据国外资料，1978年每万美元的产值的能耗，美国为12.76吨，苏联为11.95吨，日本为7.07吨，西德为5.35吨，我国在1978年每万美元产值的能耗为28.58吨。我国生产的钢，每吨钢的能耗为先进国家的1.5~2倍。我国的小化肥厂，生产每吨合成氨耗电1500~2000度，而从国外引进的年产30万吨的合成氨设备，则为60度，因为在工艺流程中需要的热量和动力，可由化学反应放出的热量和它们转化成蒸汽驱动工业汽轮机来提供，因此总能耗大大降低。

目前，我国能源的形势是紧迫的，已成为经济发展和人民生活的突出问题。为解决我国的能源问题，除了提高对能源重要性的认识外，必须认真执行中央提出的能源总方针，经过一定时期的努力，我国的能源问题一定会得到妥善的解决。

第四节 我国的能源方针

解决我国的能源问题，中央提出的方针是：开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。前几年主要靠节约，以后主要靠开发解决问题。

以节能为中心，对整个国民经济进行技术改造和结构改革，是实现社会主义现代化的重大措施、重大步骤。节能的根本出发点是要通过各种切实可行的途径，全面提高能源利用效率，降低单位产品和单位产值的耗能，以尽可能少的能源消耗获得尽可能大的

表1-1 钢产量达三千万吨时各国能源生产量

	中国	美国	苏联	西德	日本
时 间	1978	1912	1951	1959	1963
煤 炭 (万吨)	61800	48500	28200	23800	5300
石 油 (万吨)	10405	3010	4225	510*	79*
发电量 (亿度)	2566	248	1040	1062	1602

经济效益，从而达到提高生产、改善人民生活目的。

上述能源方针是根据我国的实际情况提出的，具体理由有以下四点：

1，由于能源建设周期长，一般要5—8年，大型水电站建设竟长达20年，所以近期靠开发时间来不及；

2，国家当前的资金有限，不可能在最近几年内支出更多的钱来增大能源建设的规模；

3，我国能源利用效率低，浪费很大，也说明我国近期内节能潜力是很大的，把节能放在优先地位，具有重要的现实意义；

4，由于我国很大一部分设备陈旧，生产工艺落后，因此近期把节能放在优先地位，实施以节能为中心的技术改造，实际上也是生产逐步实现现代化的过程。

为了更好地贯彻上述能源方针，以及为了保证目前有限的能源用于加速发展生产，在80年11月3日闭幕的全国节约能源经验交流会上，国家提出了今后能源分配的总原则。其主要内容是要优先保证轻纺工业的发展和耗能低、质量好、产品对路的企业生产；对冶金、重化工、重型机械制造等调限产业的能源供应要进行适当的控制；对能耗高、质量差、亏损大、产品积压的企业能源供应要加以压缩或停止供应；对凡与大城市、大企业争原料和燃料动力的五小企业，要进行技术改造和关停并转。

看来，上述能源分配原则的贯彻执行，对完成国家提出的“六五”期间的节能目标，具有积极的促进作用。但是，要在“六五”期间每年平均节能2000万吨标准煤的任务是十分艰巨的，只有靠各行各业的努力，做大量艰苦细致的工作，才能达到上述目的。

第五节 开展“企业热平衡”工作的意义

我国能源管理落后、应用技术水平低、消耗高、浪费大。在节约能源的工作方面，当前要做的工作很多。许多单位的经验表明，节能工作应先从“企业热平衡”开始做起。

热平衡工作是能源管理最基础的工作，也是普及热工基础和节能知识，为企业培训热工管理干部、技术人材、熟练工人的有力措施。因此工业企业开展热平衡工作是非常必要的。

国务院有关领导同志对开展“企业热平衡”工作十分重视，“工业三十条”就明确要求工业企业都要开展“企业热平衡”。

余秋里副总理在《关于一九七九年国民经济计划草案的报告》中，又一次要求所有企业都要搞好热平衡，大力降低能源消耗，国家计委、经委、物资总局于1979年底成立了“企业热平衡工作组”，具体负责抓好这项工作。对各地区、各部门开展热平衡工作起了很大推动作用。

“企业热平衡”又是一项复杂的任务，去年，各地区、各部门在试点过程中，创造了许多方法，积累了丰富的经验，取得了一定的成效；同时也暴露出一些问题：主要是对“企业热平衡”的内容、范围、测算方法认识和理解深浅不一；因而方法不尽相同，有的进行了测试，有的进行了估算；有的只算综合能耗，不做设备、工序的热平衡分析……等；有的企业基本摸清了情况，有的企业认为意义不大。经过有关地区和部门的工作之后，比较一致的看法是，“企业热平衡”的内容和要求大体应包括三个方面：

(1) 摸清能源构成、能源收支现状，计算单位产品的综合能耗，并按行业制定、计算可比能耗。作为现阶段工业企业主要考核指标。

(2) 测算企业的热能有效利用率，分析热能损失的情况，挖掘节能潜力，绘制主要设备、工序、企业的热流图。

(3) 制订本企业热能管理制度、提出本企业节能途径和综合节能改造措施。可从以下六个方面加以考虑：

1、燃烧的合理化：对燃料适当加工或按燃料性质选择合适设备；改革不合理的燃烧装置；改善操作技术，提高燃烧效率。

2、提高用热设备的效率：选择良好的换热设备，并保证在最佳效率下运行；按产品需要选择供汽参数，使热量得以充分利用。例如用于煮沸为 100°C ，供给蒸汽有 $0.5\sim 1$ 公斤/厘米²（表压）、 $110^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 就够用，压力过高就浪费了。又如采用饱和蒸汽进行干燥，排出状态对热的利用率有显著影响，如表1-2。

表1-2 （初参数：7公斤/厘米²饱和蒸汽，
排压：大气压）

排出状态	加入 热量	排出 热量	利用 热量	利用率 (%)	需蒸汽量 (公斤)
全部热水	661	100	561	100	1.00
90%水		154	507	90	1.10
50%水		369	292	52	1.92
全部汽		639	22	39	25.2

* 表内热量单位为千卡/公斤

3、减少散热损失：保温可大大减少散热损失，把能源节约下来，（见表1-3）。

表1-3 保温节约效果 (%)

保温层厚度(毫米)		10	20	30	40	50	60
散热系数	0.05千卡/米时度	75	82	86	89	90	91
	0.07 "	68	77	82	85	87	88
	0.10 "	61	70	76	79	82	83

4、工业余热，大体可分为三种类型：

高温余热 ($>500^{\circ}\text{C}$)，一般采用余热锅炉或换热器产生尽可能高压的蒸汽，用来发电或其它用。

中温余热 ($250^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$)，一般采用换热器回收热量，用途大体与高温余热相同。

低温余热 ($<250^{\circ}\text{C}$)，这是大量的，约占工业余热总数的80%，在今后长期的余热利用中，这是关键。国外已采用热管、热泵等新型设备或其它方式来回收这些余热。

5、改变换热流程和工艺流程以及蒸汽的多次利用等。如烧碱工艺已由单效蒸发发展至四效、五效蒸发。上海辽原化工厂已采用三效蒸发，取得了一定效果。

区域性集中供热和热电联合系统是比较先进的，应逐步推广。

6、加强热工技术管理：首先做好燃料管理，用汽管理，并建立热工设备技术档案。

上述是对各行业、各企业开展热平衡的全面要求，但各工业企业在开展工作过程中，要结合具体情况，可有所侧重，首先抓住用能多、消耗高的关键设备进行测试。

“企业热平衡”试点工作从一九七八年下半年开始，至今已有100多个企业进行了热平衡测算，许多企业反映，取得了一定成效。弄清了企业热能损失情况，加强了管理，过去有些企业对蒸汽排空熟视无睹，经测算后，大吃一惊，立即堵塞了漏洞，如西安针织一厂仅采取堵漏措施，一年即可节省1000多吨煤；有些企业则采取边测边改，取得了事半功倍成果，如上海化纤五厂在热平衡测试过程中，改变了烘干机排潮口截面，控制了排出空气量，不花分文，就节约了煤炭，还提高了产品的产量和质量；又如该厂原来有14个烘箱，后经测试分析，有2个烘箱有预热性质，要求热量少，就采取将蒸汽只送向12个烘箱，然后将出来的蒸汽进行汽水分离，疏水供喷淋和浴室用，蒸汽又送到另2个烘箱，节省了七分之一蒸汽量；培养和锻炼了一批热工管理和技术干部，提高了企业节能的自觉性，推动了企业管理，如上海立新造纸厂，原来没有专门从事热工的技术人员，通过热平衡工作使工艺工程师和技术人员都懂得了热工基本知识，并根据本厂实际情况，精确测算了工序能耗，建立了严格的考核制度。

另一方面，通过“企业热平衡”试点工作可以看出，这项工作要做得好也不容易，敷衍了事的态度是不行的。一定要有专人负责，掌握热工基础知识，安装仪表，认真测试，合理运算，进行分析。实事求是分析出热能损失浪费情况，注意防止走过场、单纯追求企业热能有效利用率等倾向。

第二章 热工知识简介

热工基础知识主要包括两方面：热力学和传热学。热力学的基本内容是研究有关能量，特别是热能的规律和性质。传热学是研究热量在传递过程中的有关规律的科学。

在节能工作中，包括热平衡工作，是离不开热力学和传热学知识的，可以说热工知识是从事热能工作的基础知识。

由于热力学与传热学内容较多，在此只能简单加以介绍。

第一节 一些重要的概念

一、体系

在热工中总是把要研究考察的对象从周围物体中划分出来加以明确，这样不易发生错误。这个研究对象称为体系。体系周围的有关物体称为外界(或环境)，对外界不进行研究。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。

二、热量Q和功L

体系与外界的热能交换量称为热量；体系与外界的机械能交换量称为功。因此，热量和功量是与能量的传递与交换联系在一起的，即与进行的过程有关，故称过程量。注意不要把热能和热量搞混了，更不要把温度与热量混为一谈。

三、状态参数

与过程量不同，存在另一类仅取决于体系所处状态的物理量称为状态量，如压力、温度、比容、内能、焓和熵等，统称状态参数。体系所处的状态用状态参数来描写。对应于体系的每一个状态，各状态参数都有一个确定的数值。如果体系的任何一个状态参数发生了变化，也就可以断定工质的状态发生了变化。

温度、压力、比容是众所周知的常用状态参数。温度(T)表示物体的冷热程度，也就是分子运动的强烈程度。压力(P)是指单位面积上所受的垂直作用力。气体的压力

是气体的大量分子在紊乱运动中对容器壁频繁撞击的结果，因而是一种平均作用力。比容(v)就是单位质量的物质所具有的容积，其倒数称为密度(ρ)。

四、焓i

焓是表示体系中工质能量状况的一个组合状态参数，其定义为

$$i = u + APv \text{ 千卡/公斤} \quad (2-1)$$

式中：u——内能千卡/公斤； $A = \frac{1}{427}$ 千卡

/公斤米——功热当量。

焓的计算很简单，对水蒸汽可查有关图表。对一般气体：

$$i = C_p t \text{ 千卡/公斤} \quad (2-2)$$

$$\text{或} \quad \Delta i = C_p \Delta t \quad (2-2')$$

式中： C_p ——定压比热 千卡/公斤·度

焓的用处很大，在一般热工过程中都用焓来计算功和热量。例如：

1. 对锅炉和各种加热器的吸热量计算

$$q = i_{\text{出}} - i_{\text{入}}$$

2. 对冷凝器和各种冷却器的放热量计算

$$-q = i_{\text{入}} - i_{\text{出}} \quad (\text{吸热为正, 放热为负})$$

3. 对汽轮机的作功计算

$$AL = i_{\text{入}} - i_{\text{出}}$$

4. 对水泵、压气机的耗功计算

$$-AL = i_{\text{出}} - i_{\text{入}}$$

5. 对喷管动能变化的计算

$$A \frac{W_{\text{出}}^2 - W_{\text{入}}^2}{2g} = i_{\text{入}} - i_{\text{出}}$$

6. 对于阀门、孔板、气封等节流现象

$$i_{\text{前}} - i_{\text{后}} = 0 \quad \text{即} \quad i_{\text{前}} = i_{\text{后}}$$

五、熵S

熵是一个由热量和温度导出的状态参数。它既能反映出工质是吸收热量还是放出热量；又能表示在传递相同热量时，由于工质温度水平不同(因而熵变不同)，热量转变

为功的程度也不同。熵的定义是体系熵的变化为它吸收热量与其本身绝对温度之比,即

$$\Delta S = \sum \frac{\delta q}{T} \quad \text{千卡/公斤}^\circ\text{K} \quad (2-3)$$

六、比热C

单位量的物质,温度作单位变化时所吸收(或放出)的热量称为比热。由于过程条件不同,有定压比热 C_p 与定容比热 C_v 之分。一般采用平均比热来计算热量,即

$$Q = G \cdot \bar{C}_{12} (t_2 - t_1) \quad \text{千卡/时} \quad (2-4)$$

式中: $\bar{C}_{12}$ (平均比热) = $\frac{Q_{12}}{G(t_2 - t_1)}$ 千卡/

$$\text{公斤} \cdot \text{时} \cdot \text{度} \quad (2-5)$$

七、传热的三种基本方式。有温差就有热量的传递,一般以三种方式进行。

1. 热传导: 直接接触的两个物体或同一物体相邻两部分间所发生的热传递现象叫热传导。导热是由物体内部分子和原子的微观运动所引起的一种热量转移方式。

2. 热对流: 由于流体的相对运动,使高温流体的热量转移到低温流体的现象称热对流。

3. 热辐射: 热辐射是由电磁波传递能量(这部分能量转化为热量)的现象。任何物体的温度只要大于绝对零度,它就能向四面八方“直线”发射能量,这种辐射能落到另一物体上被吸收后又重新转变为热能,这就是热辐射。

八、热能的品质

能量特别是热能,不但要注意其数量,而且应该注意其质量(品质)。譬如,同是100千卡的热量,因温度水平不同,它们的品质就不一样,100千卡的烟气温度高达千度,而传给水蒸汽后温度只有上百度,从热工设备出来的回水,虽然仍是100千卡,但温度只有几十度。显然,烟气、蒸汽和回水三者的作用是不同的,也就是说,在节能工作中,不但要注意每1千卡热量的利用不使之浪费,还要重视热量品质的充分利用不使它浪费掉,这对节能有着重要的意义,而过去是不被重

视的。怎样才能充分利用能的质量,这就是要按照能的品质来安排用场,使高品位的能干“高级”工作,使低品位的能干“低级”工作。譬如用电来加热就是能的品质的极大浪费。高压蒸汽不去发电而降压使用也是能品质的浪费。

第二节 几个基本定律

一、热力学第一定律

热力学第一定律是能量守恒与转换定律在热力工程中的具体应用,即热能与机械能可以互相转换,但其总量保持不变。并且各种能量在相互转换中都有确定的当量关系。

例如功热当量 $A = \frac{1}{427}$ 千卡/公斤米。由热力

学第一定律可知,不消耗能量的热机——称做第一类永动机是不能实现的。热力学第一定律的数学表达式为

$$q = \Delta u + AL \quad \text{千卡/公斤} \quad (2-6)$$

$$\text{或} \quad q = \Delta i + A \frac{\Delta W^2}{2g} + A \Delta Z + AL \quad \text{千卡/公斤}$$

$$(2-7)$$

后者又称稳定流动能量方程式。式中:

q ——加给工质的热量;

L ——工质对外作的功;

Δu 、 Δi ——工质内能、焓的变化;

ΔW 、 ΔZ ——工质动能、位能的变化;

A ——功热当量。

二、热力学第二定律

不违反第一定律的过程或热机是否都能实现呢,回答也是否定的。例如热量不能自动地(自发地、不花代价地)从低温物体转给高温物体;仅从一个热源吸热并使其全部转变为功的热机——称做第二类永动机也是不能实现的。总之,自然界的所有过程都是自发地向一个方向进行;热量从高温物体转向低温物体;气体在不断地扩散;功很容易变成热(如摩擦生热)等等。而相反的过程如气体自动聚拢起来,热自动作功等在自然界却看不到,就是说不能自发地进行,要实现必须有一定的条件。如在制冷机中,由于消

耗了一定的功,使得低温物体中的热量转移到了高温物体;在压气机中,消耗了一定的功使气体压缩(聚扰)了;在热机中一部分热由高温物体传到了低温物体,从而使另一部分热量作了功等等。这“一定条件”就是一个自发过程。显然自发过程是有方向性的,是不可逆过程。第二定律指出了过程进行的方向、条件和深度。它的数学表达式为:

$$ds_{\text{总}} \geq 0 \quad (2-8)$$

$$\text{或} \quad \eta_{\text{卡}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$$

即卡诺循环的热效率为热机的最高效率,其值小于1,也就是说效率不可能达到更不可能超过百分之百。

三、导热基本定律——付立叶定律

实践证明导热热量 Q 与面积 F 成正比,与厚度 δ (长度)成反比,温差 Δt 越大导热量也越大,且与材质有关。这就是付立叶定律的基本内容。对平板来说,可表示为

$$Q = \lambda \cdot \frac{\Delta t \cdot F}{\delta} \text{千卡/小时} \quad (2-9)$$

$$\text{或} \quad q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \text{千卡/米}^2 \text{时} \quad (2-10)$$

式中: q ——比热流(热流密度),表示单位时间内通过单位面积所传递的热量;
 λ ——导热系数,千卡/米时度;它是说明物体导热能力大小的一个物理量,表示在单位时间,单位面积和单位厚度,有单位温差时所能通过的热量。对不同物质是不同的,且随着温度变化而有所改变。

四、对流放热的基本定律——牛顿公式
流体和固体壁面之间的热交换称为放热,因主要靠热对流(也有热传导),故称对流放热。放热热量 Q 显然和温差 Δt 成正比,又和壁面面积 F 成正比。故牛顿公式为

$$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot F \text{千卡/时} \quad (2-11)$$

式中: $\Delta t = t_{\text{流}} - t_{\text{壁}} (^{\circ}\text{C})$ 为流体和壁面间的温差;
 F ——换热面积(米²);

α ——放热系数(千卡/米²时 $^{\circ}\text{C}$),它表示在单位时间内,流体与壁面之间温差为1 $^{\circ}\text{C}$ 时,通过单位面积所放出之热量。显然,放热系数越大放热量也越大。放热系数把除温差和面积以外的所有影响放热的因素都包括在内了。

五、辐射换热的基本定律——斯蒂芬—波尔兹曼定律(四次方定律)

实验表明,物体在单位时间内通过单位面积向外辐射的能量和绝对温度的四次方成正比,即

$$q = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{千卡/米}^2 \text{时} \quad (2-12)$$

式中: C ——辐射系数,千卡/米²·时·K⁴。其值说明物体辐射本领的大小。不同物体的辐射系数是不同的,绝对黑体最大,常以 C_0 表示。

$$C_0 = 4.88 \approx 4.9 \text{千卡/米}^2 \text{时K}^4 \quad (2-13)$$

此即四次方定律。

两个不同温度物体之间的辐射换热量可用下式计算:

$$Q = C_0 a_{\text{系}} F_{\text{辐}} \left[\left(\frac{T_{\text{热}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{冷}}}{100} \right)^4 \right] \text{千卡/时} \quad (2-14)$$

式中: $a_{\text{系}}$ ——系统黑度,黑度是表示该物体接近黑体的程度;

$F_{\text{辐}}$ ——辐射换热面积,米²;

$T_{\text{热}}、T_{\text{冷}}$ ——分别为高温物体与低温物体的温度, $^{\circ}\text{K}$ 。

第三节 工质的性质

在热工设备中,都离不开载能体——工质,它的性质不但在进行热工计算中需要用到,而且在分析问题和搞好节能时也要用到。

一、气体的性质

通常所遇到的气体如空气、氧气、烟、气、燃气等等基本上遵守下列规律,即

$$Pv = RT \quad (2-15)$$

式中: R ——气体常数,对不同气体是

不同的，可通过下式算出

$$R = \frac{848}{M} \text{ 公斤米/公斤度} \quad (2-16)$$

式中：M——气体分子量。

例如，氧气的气体常数 $R_{O_2} = \frac{848}{32} = 26.5$
公斤米/公斤度，一氧化碳的气体常数为 R_{CO}
 $= \frac{848}{28} = 30.28$ 公斤米/公斤度

上述方程即为有名的气体状态方程，它反映了气体的基本性质。

二、混合气体

氧气、氮气等均为单一气体，而空气、烟、燃气等则是由许多单一气体组成的混合气体。它们在性质上遵守上述气体状态方程，但在具体计算上要烦杂一些。首先要知道混合气体的组成成分。例如1公斤空气大约是由0.232公斤的氧气和0.768公斤的氮气组成，用相对成分表示则为

$$g_{O_2} = \frac{0.232}{1} = 0.232,$$

$$g_{N_2} = \frac{0.768}{1} = 0.768. \text{ 推而广之，重量}$$

相对成分即

$$g_i = \frac{G_i}{\Sigma G_i} = \frac{G_i}{G_1 + G_2 + \dots + G_i + \dots + G_n} \quad (2-17)$$

其次，要求出混合气体的平均分子量 $M_{混}$ 和混合气体的气体常数 $R_{混}$ ，这样就可以利用气体状态方程进行各种计算了。其公式为：

$$M_{混} = \frac{1}{\Sigma \frac{g_i}{M_i}} \quad (2-18)$$

$$R_{混} = \frac{848}{M_{混}} \quad (2-19)$$

例如空气，已知 $g_{O_2} = 0.232, g_{N_2} = 0.768$

$$\therefore M_{空气} = \frac{1}{\frac{0.232}{32} + \frac{0.768}{28}} = 28.9$$

$$R_{空气} = \frac{848}{28.9} = 29.6 \text{ 公斤米/公斤度}$$

混合气体有个重要性质，这就是气体分压定律：混合气体的总压力 $P_{混}$ 等于各组成气体的分压力 P_i 之和。所谓分压力就是假定混合气体中各组成气体单独存在时，并具有与混合气体相同温度与容积时，各组成气体所具有的压力。其表示公式为

$$P_{混} = \Sigma P_i = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i + \dots + P_n \quad (2-20)$$

分压力的计算式为：

$$P_i = \frac{\frac{g_i}{M_i}}{\Sigma \frac{g_i}{M_i}} P_{混} = \frac{g_i R_i}{R_{混}} P_{混} \quad (2-21)$$

三、水蒸汽的性质

水蒸汽应用十分广泛，掌握它的性质对有效利用水蒸汽的能量是十分重要的。为了较深入的了解水蒸汽的性质及有关概念。有必要先了解一下水蒸汽的产生过程。在锅炉中产生的水蒸汽可以近似地看成一个连续的定压加热过程。为了看得清楚，我们利用图2-1来进一步说明蒸汽的产生过程。设想将1公斤、0℃的水装在带有活塞的容器中（图2-1a），从外界向容器加热并保持压力为 P 不变。起初，水的温度逐渐升高，比容也稍增大，但当温度升到某一数值 t_s 时，继续加热，水便开始汽化，直到汽化完毕（图2-1b、c、d），在这一汽化过程中，尽管不断加热，但温度并不升高，始终保持为 t_s 不变。这个温度称为饱和温度。具有这一温度的水及蒸汽称为饱和水及饱和蒸汽。一般情况下，由饱和水变为饱和蒸汽，比容增加很多。再加热，温度从 t_s 继续上升，比容继续增大，饱和蒸汽变成了过热蒸汽（图2-1c）

如上所述，过热蒸汽的产生过程，一般分成三个阶段：水的定压予热过程（从不饱和水到饱和水为止）；饱和水的定压汽化过程（从饱和水到完全变成饱和蒸汽为止）；饱和蒸汽的定压过热过程（从饱和蒸汽到任

意温度的过热蒸汽)。

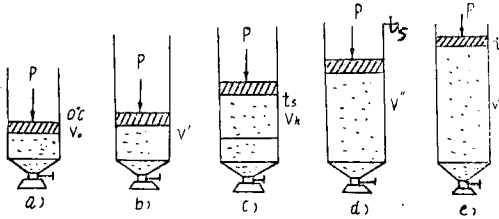


图2-1 水蒸汽的定压加热过程

将水蒸汽在不同压力下的定压加热过程画在压力与比容和温度与熵及焓与熵等座标系中就形成了PV(压容)图、TS(温熵)图和is(焓熵)图。见图2-2、2-3和2-4。

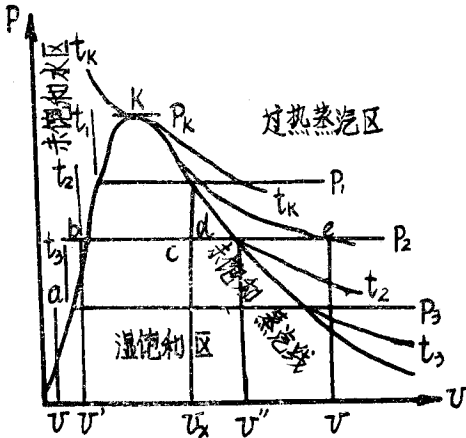


图2-2 水蒸汽的PV图

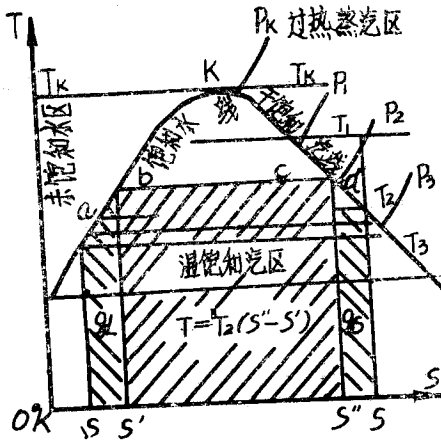


图2-3 水蒸汽的TS图

通过这些图可以更清楚地了解水蒸汽的有关性质：

1. 从水到水蒸汽一般经历以下五种状态：未饱和水(过冷水)，饱和水，湿饱和蒸汽，干饱和蒸汽和过热蒸汽。

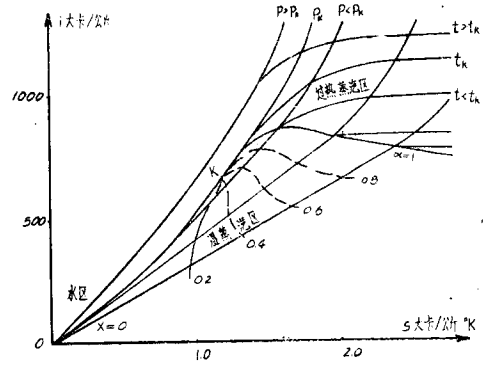


图2-4 水蒸汽的is图

2. 由饱和水线与干饱和汽线围成一个湿饱和区，在这个区域中是汽液共存。其特点是饱和压力与饱和温度有完全对应的关系，即饱和压力愈高，饱和温度也愈高，反之亦然。压力不变温度也不变，故在定压加热过程中湿饱和区的加热又是定温过程。湿饱和区的存在是水蒸汽不同于一般气体的重要区别。

3. 一般在加热时物体温度均要升高，故所吸收的热量称显热；而在饱和区加热时，尽管热量被吸收但温度不升高，故称潜热。汽化潜热 r 为干饱和蒸汽的焓 i'' 与饱和水的焓 i' 之差，

$$r = i'' - i' \quad (2-22)$$

4. 湿饱和蒸汽(简称湿蒸汽)中水与蒸汽的含量是变化的，为了知道湿饱和蒸汽的状态及它所具有的焓值等仅靠温度和压力是不够的，必须知道水和蒸汽的含量。我们用干度和湿度来表示湿蒸汽中水和蒸汽的相对含量，显然这里的水是指饱和水，蒸汽是指干饱和蒸汽(一般简称饱和蒸汽)。

$$\text{干度 } X = \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{汽}} + G_{\text{水}}} = \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{湿}}}$$

$$\text{湿度 } y = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{汽}} + G_{\text{水}}} = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{湿}}} \quad (2-23)$$

很明显，干度和湿度之间存在着如下的简单关系：

$$x + y = 1$$

对于饱和水 $x = 0, y = 1;$

对于饱和蒸汽 $x = 1, y = 0;$

对于湿蒸汽 $0 < x < 1, 1 > y > 0.$

湿蒸汽的压力和温度当然是饱和压力与饱和温度，而它的比容、焓和熵则需要根据干度或湿度算出：

$$V_x = (1 - X)V' + XV'' = V' + X(V'' - V');$$

$$i_x = (1 - X)i' + Xi'' = i' + X(i'' - i')$$

$$= i' + Xr$$

$$S_x = (1 - X)S' + XS'' = S' + X(S'' - S')$$

$$= S' + X \frac{r}{T_{\text{饱和}}}$$

式中：(′) 均对饱和水而言；(″) 均对干饱和蒸汽而言。

5. 从吸收热量的角度来看，一般说来随着压力的升高，饱和水的焓也升高，即水的定压予热吸热量 q' (湿热) 增加。这是因为压力高，则所对应的饱和温度也升高，故在较高的压力下必须加入更多的热量，才能使水升到较高的饱和温度，而成为饱和水。正好相反，随着压力的升高，饱和蒸汽的焓开始有些升高，然后降低（实际上在 $P = 31.5$ 公斤/厘米² 时最高），即汽化过程吸热量减少亦即汽化潜热 r 随压力升高而减少。

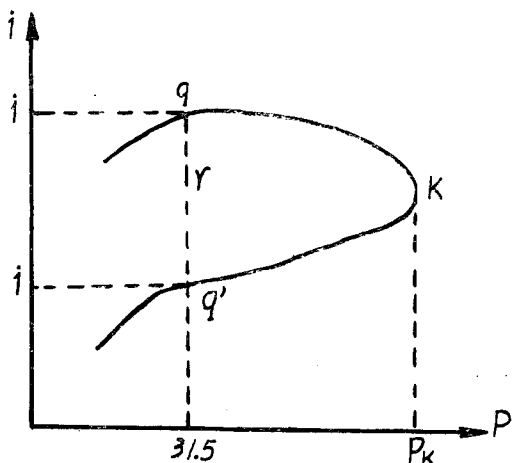


图2-5 水蒸汽的*iP*图

水蒸汽的这个性质从焓-压 (iP) 图(图2-5)上可一目了然，它在有效利用蒸汽中是很有用的。

6. 当压力升高到某一压力 P_k 时，汽化潜热变为零，即此时加热水不用经过通常所说的汽化阶段而直接变为蒸汽。这时的压力称为临界压力 P_k ，相应的饱和温度称为临界温度 t_k 。显然超过临界压力（或临界温度）时就根本不存在汽水共存的两相区了。水的临界值为

$$P_k = 225.65 \text{ 气压}$$

$$t_k = 374.15^\circ\text{C}$$

7. 一般来说，过热蒸汽的比热远小于水的比热，故靠过热蒸汽的降温来取得热量效果是不显著的。

水蒸汽的详细性质可通过水蒸汽图表而获得，可参看热工书籍。

四、湿空气

干空气中含有一定量的水蒸汽就成为湿空气。湿空气显然也是一种混合气体。由于空气中水蒸汽的分压力很小，因此可用气体状态方程和混和气体的有关公式计算。

1. 饱和湿空气，是指空气中的水蒸汽处于饱和状态的湿空气。这时水蒸汽分压力所对应的饱和温度应等于湿空气温度。

2. 绝对湿度 $\gamma_{\text{水}}$ ，是指每米³湿空气中所含水蒸汽的量，即水蒸汽的重度（或密度） $\gamma_{\text{水}}$ 公斤/米³。在数值上应按水蒸汽分压力 $P_{\text{水}}$ 与湿空气温度 $t_{\text{湿}}$ 求得。

3. 相对湿度 φ ，是指湿空气中实际所含水蒸汽量与同温度下可能包含的最大水蒸汽量（即饱和湿空气所含水蒸汽量）之比，即

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{水}}}{\gamma_{\text{饱}}} = \frac{\gamma_{\text{水}}}{\gamma} = \frac{P_{\text{水}}}{P_{\text{饱}}} \quad (2-25)$$

4. 含湿量 d ，是指每公斤干空气所含水蒸汽量（以克计）。

$$d = 1000 \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{干空}}} = 1000 \frac{\gamma_{\text{水}}}{\gamma_{\text{干空}}} \text{ 克/公斤}$$

干空气

$$(2-26)$$

利用气体状态方程和混合气体的概念可

求得

$$d = 622 \frac{P_{\text{水}}}{P_{\text{干空}}} = 622 \frac{P_{\text{水}}}{B - P_{\text{水}}} \\ = 622 \frac{\varphi P_{\text{饱和}}}{B - \varphi P_{\text{饱和}}} \quad (2-27)$$

式中： B ——湿空气的压力，一般按大气压计。

5. 湿空气的焓 H ，为1公斤干空气的焓与 d 克水蒸汽的焓之和，即

$$H = 0.24t + 0.001d(597.3 + 0.441t) \\ \text{千卡/公斤} \quad (2-28)$$

采用焓湿($H-d$)图可进行各种热工过程的计算，这在空调、干燥、加湿等方面广泛应用，图2-6就是焓湿图的示意图，图中画出了等相对湿度线 φ ，等温线 t ，等焓线 H ，等含湿量线 d 以及含湿量 d 与水蒸汽分压力 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 的关系。

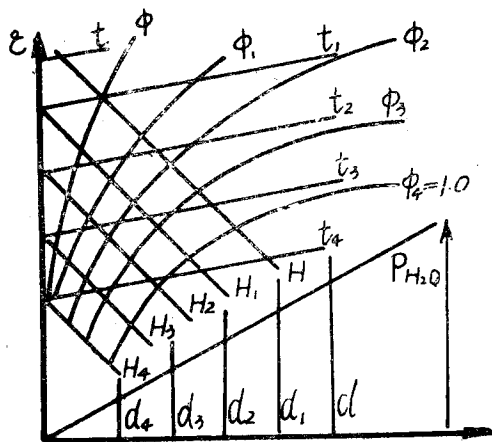


图2-6 湿空气的 $H-d$ 图

第四节 动力循环简介

在节能工作中，许多单位都利用了背压式汽轮机进行发电，为了使这项工作正确地开展起来，有必要简单地介绍一下关于发电的基本热力循环。这里只介绍最简单的蒸汽动力循环——朗肯（兰金）循环与热电循环。

首先介绍一下效率的概念，一般说来可表示为：

经济程度 = $\frac{\text{得到的收益}}{\text{化费的代价}}$

对蒸汽动力循环的经济性，则采用循环热效率的概念，即

$$\text{循环热效率} = \frac{\text{循环做出的机械功}}{\text{燃料供给的有效热量}}$$

$$= \frac{\text{汽机所做的功} - \text{水泵消耗的功}}{\text{锅炉中蒸汽所吸收的热量}}$$

$$\approx \frac{\text{汽机所做的功}}{\text{蒸汽所吸收的热量}}$$

$$\text{亦即} \quad \eta_t = \frac{AL_o}{q_1} = \frac{AL_T - AL_M}{q_1} \approx \frac{AL_T}{q_1} \quad (2-29)$$

一、朗肯循环

图2-7就是朗肯循环的设备示意图。它由锅炉、汽机、冷凝器和水泵组成。水在锅炉中定压加热变成过热蒸汽，新蒸汽由锅炉出来进入汽轮机膨胀做功（由汽机带动发电机发电），作过功的乏汽由汽轮机排出而进入凝汽器，乏汽在其中凝结成水，再由水泵升压后送入锅炉，从而完成了一个循环。

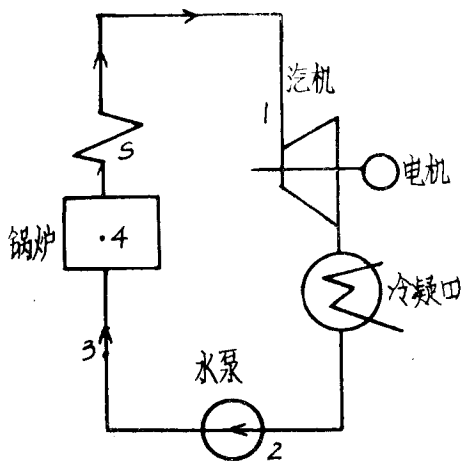


图 2-7

这样就很容易的可以算出它们的热效率

$$\eta_t = \frac{AL_o}{q_1} = \frac{AL_T - AL_H}{q_1} \\ = \frac{(i_1 - i_2) - (i_3 - i_2)}{i_1 - i_3} \quad (2-30)$$

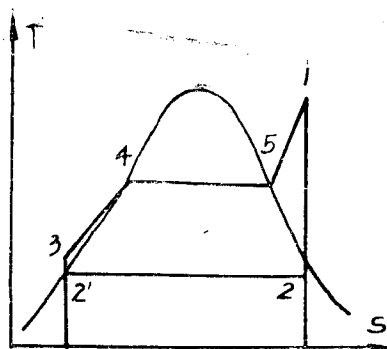
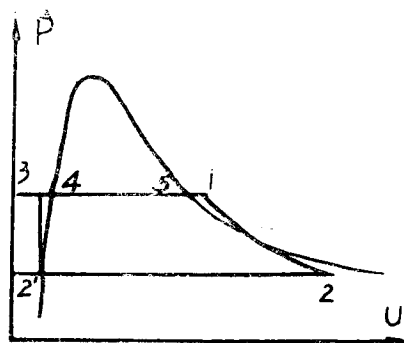


图2-8 给出了朗肯循环在PV图和TS图上的表示。

式中: $AL_T = i_1 - i_2$ 汽机所作的功;

$AL_H = i_3 - i_2$ 水泵所消耗的功;

$q_1 = i_1 - i_3$ 锅炉中蒸汽所吸收的热量。

一般情况下, 水泵消耗的功远远小于汽机所作的功, 若忽略不计, 则:

$$\eta_t \approx \frac{AL_T}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \quad (2-31)$$

将式 (2-30) 作一变换可得:

$$\text{循环热效率} = \frac{\text{锅炉吸收的热量} - \text{凝汽器带走的热量}}{\text{锅炉吸收的热量}}$$

二、热电循环

由于工业需要低压蒸汽, 如果用锅炉产生较高压力的蒸汽经过减压(节流)后再用, 就会造成不必要的损失。因此, 可以采用热电循环, 即先利用高压蒸汽在汽机中膨胀做功发出电来, 但又不使汽机的背压降得很低, 从而使从汽机中排出的低压蒸汽可以被利用, 而不送入冷凝器去冷凝。这从发电的角度是不利的, 因为背压提高, 汽机要少做功, 故热效率降低; 但从能量利用的角度却是有利的, 因为这部分能量没有被冷凝而白白扔掉, 而是被用于生产或供热。从理论上

$$\eta_t = \frac{(i_1 - i_3) - (i_2 - i_2')}{i_1 - i_3} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

(2-32)

式中, $q_2 = i_2 - i_2'$ 在凝汽器中蒸汽放出的热量, 就是没有被利用的热量损失。

故循环热效率又可表示为

讲这部分热量可全部被利用。当然实际上不可能。因此, 除了热效率的指标外, 还必须同时给出热量利用系数才能全面衡量热电循环的经济性。

$$\text{热量利用系数} = \frac{\text{已利用的热量}}{\text{燃料放出的热量}}$$

这里需要指出的是, 目前在一些工厂中搞的所谓“压差”发电或“余热”发电, 实际是热电循环。因此, 在计算节约能源的效果上, 一定要实事求是。采用下面的计算方法较为合理:

$$\text{实际煤耗} = \frac{\text{采用热电时所耗的煤} - \text{只供热时所耗的煤}}{\text{实际发出的电量}}$$

节约煤量 = (0.42 - 实际煤耗) × 发电量

不应直接用汽轮机的焓差来计算, 因为实际并没有节约那么多燃料。

上式中的0.42是全国平均发电煤耗。

第五节 传热的实用计算

在节能和热平衡工作中, 离不开传热计算, 但这种计算往往十分复杂, 因此介绍些简单的实用计算供参考。