

工 平 工 平 工

工 平 工 平 工

工 平 工 平 工

热 工 学 基 础

北京电力工业学校 刘美德 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书分工程热力学和传热学两篇。第一篇工程热力学叙述了基本概念、基本定律、热力过程和热力循环,重点讲述水蒸气性质、气体和蒸汽的流动以及蒸汽动力装置循环。第二篇传热学简要叙述热传导、对流换热、辐射换热的基本概念及基本定律,分析了增强传热的方式,介绍了换热器工作原理及计算的基本公式。为便于学生学习,每章后均附有复习思考题及习题。

本书可供火电厂热能动力专业技术学校学生使用,也可供从事热能动力专业的工人自学。

热 工 学 基 础

北京电力工业学校 刘美德 编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

787×1092 毫米 16开本 11.75印张 262千字 1插页

1995年11月第一版 1995年11月北京第一次印刷

印数 00001—10070册

ISBN 7-120-02395-0/TK·354

定价 9.80元

前 言

本教材是根据中国电力企业联合会教育培训部《1989~1993年电力技工学校教材建设规划》编写的。

全书分工程热力学和传热学两篇,共十三章。编写中力求吸取多年热工教学之经验,加强对基本概念和基本原理的讲述,内容上注意理论联系实际,文字叙述上力求通俗易懂,便于读者自学。通过本课程学习,为进一步学好专业课打下基础。

本书为电力技工学校发电厂汽轮机设备安装与检修专业、发电厂锅炉设备安装与检修专业的教材,也可供从事热能动力设备运行、检修专业的工程技术人员自学参考。

全书由内蒙电力学校吴皆荣同志主审。

由于编者水平所限,书中错误和不妥之处,希望读者批评指正。

编 者

1994年9月于北京

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 热能的利用及其在电力工业中的地位和作用	1
第二节 火力发电厂的电能生产过程	2
第三节 发电厂的容量、参数、效率	5
第四节 热工学理论基础研究的内容	6
第一篇 工程热力学	
第一章 基本概念	7
第一节 工质、理想气体和实际气体	7
第二节 工质的基本状态参数	8
第三节 理想气体定律	16
复习思考题	21
习 题	22
第二章 混合气体	23
第一节 混合气体的基本概念	23
第二节 分压力和道尔顿定律	23
第三节 分容积和总容积	24
第四节 混合气体的成分表示法	26
第五节 分压力的计算	28
复习思考题	30
习 题	30
第三章 理想气体的比热	31
第一节 气体比热的基本概念	31
第二节 气体比热的分类	33
第三节 利用比热计算热量	35
复习思考题	39
习 题	39
第四章 热力学第一定律和气体的热力过程	40
第一节 气体的膨胀功和 $p-v$ 图	40
第二节 气体的内能	43
第三节 热力学第一定律	44
第四节 理想过程和实际过程	46
第五节 定容过程	47

第六节 定压过程	47
第七节 状态参数——焓	49
第八节 定温过程	52
第九节 绝热过程	54
复习思考题	58
习 题	58
第五章 热力循环及热力学第二定律	59
第一节 热力循环	59
第二节 热力学第二定律	62
第三节 卡诺循环	65
第四节 熵与温-熵图	68
第五节 利用温-熵图分析热力过程	70
第六节 利用温-熵图分析热力循环	71
复习思考题	73
习 题	73
第六章 水蒸气的性质和热力过程	74
第一节 水蒸气的基本概念	74
第二节 定压下水蒸气产生的过程	80
第三节 水和水蒸气热力性质表	86
第四节 水和水蒸气状态参数的确定	88
第五节 水蒸气的焓-熵图	89
第六节 水蒸气的基本热力过程	92
复习思考题	95
习 题	96
第七章 气体和蒸汽的流动	97
第一节 基本概念	97
第二节 稳定流动的基本方程式	98
第三节 节流及其应用	104
复习思考题	107
习 题	107
第八章 蒸汽动力装置循环	108
第一节 饱和蒸汽的卡诺循环	108
第二节 蒸汽动力装置的基本循环——朗肯循环	109
第三节 蒸汽参数对循环热效率的影响	115
第四节 蒸汽再热循环	118
第五节 给水回热循环	120
第六节 热电联合循环	125
复习思考题	128
习 题	128

第二篇 传 热 学

概 述	129
第九章 导热	130
第一节 导热的基本概念	130
第二节 平壁导热	132
第三节 圆筒壁的导热	135
复习思考题	136
习 题	137
第十章 对流换热	138
第一节 对流换热的基本概念	138
第二节 流体相态变化时的对流换热	140
复习思考题	142
习 题	142
第十一章 辐射换热	143
第一节 热辐射的基本概念	143
第二节 热辐射的基本定律	145
第三节 两物体间的辐射换热	146
复习思考题	147
习 题	148
第十二章 传热	149
第一节 复杂传热	149
第二节 传热过程和传热系数	150
第三节 传热的计算	150
第四节 传热的增强与减弱	153
复习思考题	155
习 题	155
第十三章 换热器	156
第一节 换热器的基本概念	156
第二节 换热器的分类	156
第三节 换热器的基本计算	158
复习思考题	160
习 题	160
附录	161
附表一 压力单位换算	161
附表二 常用能量单位的互换常数	161
附表三 一些气体的千摩尔质量和气体常数	161
附表四 气体的平均定压质量比热 c_p	162
附表五 气体的平均定压容积比热 c'_p	163
附表六 气体的平均定容质量比热 c_v	164

附表七	气体的平均定容容积比热 c'_v	165
附表八	饱和水与饱和蒸汽性质表(按压力排列)	166
附表九	饱和水与饱和蒸汽性质表(按温度排列)	168
附表十	未饱和水与过热蒸汽性质表	169
附图	水蒸气 $h-s$ 图	

绪 论

第一节 热能的利用及其在电力工业中的地位和作用

人类社会的发展，促使人们不断地开发和利用自然界的各种能源。而人们对于自然界中能源的开发和利用程度，又是社会生产发展水平的一个重要标志。能源供应情况，直接影响整个国民经济的发展。

所谓能源，是指为人类生产与日常生活提供各种能量和动力的物质资源。

在自然界中，可被利用的能源主要有：风能、水能、太阳能、地热能、燃料的化学能和核能等。在这些能源中，除风能和水能是以机械能的形式（指空气的动能和水的位能）供给人们使用以外，其余各种能源往往直接以热能的形式或通过最简便的能量转换，将它们变为热能的形式供给人们。太阳以辐射的方式向地球传送大量的热能；地热可将水加热成为热水或蒸汽以传送热能；煤、石油、天然气等的化学能，往往通过燃烧转换为热能；核燃料则通过核裂变反应或聚变反应释放出来的能量，这个能量也是先转变为热能再被利用的。以上事实说明，人们从自然能源中获得能量的主要形式是热能。因此，热能的研究和利用，对于整个人类的生产与生活有着巨大的意义，热能的利用在电力工业中占有很重要的地位。

热能的利用一般有两种方式：一种是直接把热能作为加热之用，例如：日常生活中的采暖、蒸煮，以及造纸、纺织、化工等的加热、干燥生产过程；另一种则是间接利用热能的方式，即先把热能在热机中转变为机械能，以带动工作机械（蒸汽机、汽动泵等）用作生产上的动力，或者带动发电机，即将机械能转变成电能再加以利用。

机械能和电能是生产过程的主要动力来源。

节约和合理使用现有能源以及开发新能源是当前世界各国研究的一个重要课题。

由于电能具有输送、使用方便，又易于转变成其他形式的能量等一系列优点，故它已成为发展现代社会物质文明的重要二次能源。工农业生产和日常生活所需要的电能都是由发电厂集中生产和供应的。电能可由自然界的各种能源转换而得到，其中以应用化石燃料资源和水力资源来发电为主。根据我国资源条件，发展电力工业，必须认真贯彻执行“水火并举，因地制宜”的能源政策。我国水力资源非常丰富，在有水力资源的地区应尽可能多开发水电，加快水电站的建设。我国煤炭资源也较充足，近期火力发电必须以燃煤为主，限制使用石油和天然气发电。

火力发电厂和水力发电厂各有其特点，在电力工业中它们均占有重要的地位。水力发电不需要消耗燃料，发电成本较低，运行操作比较简单，但投资多、建设周期长、布局和规模受自然条件限制，其发电能力在枯水季节将大幅度减小；火力发电虽要耗用大量的化石燃料且运输困难，发电成本也较高，对环境污染较大，技术管理较复杂，但却具有投资

较少，建设周期较短，布局和规模灵活，可以既供电又供热等许多优点。这就决定了火力发电在绝大多数国家的电力工业中均占有很大的比重。目前全世界的火力发电量约占总发电量的 75% 弱。火力发电也是我国电力工业生产电能的主要方式之一。因此，进一步加快电力工业建设步伐，提高电力工业的科学技术水平，仍是摆在我们面前的一项十分光荣而艰巨的任务。

第二节 火力发电厂的电能生产过程

生产电能的工厂叫发电厂，利用煤、石油和天然气等燃料发电的电厂叫火力发电厂；既发电又供热的发电厂叫热电厂；利用核燃料发电的电厂叫核电厂或核电站；利用核燃料发电又供热的核电站叫核热电站。

发电厂的原动机可采用蒸汽机、汽轮机、内燃机或燃气轮机等。蒸汽机的功率太小，热效率很低；内燃机和燃气轮机都不能直接应用廉价的固体燃料，而且每台机器的容量也受到限制；而现代结构的汽轮机不仅机组的单机容量可高达 100 万千瓦（即 1000MW）以上，而且热效率较高，运行稳定，工作可靠。所以，现代大中型发电厂或核电站都使用汽轮机作为原动机。根据我国电力工业技术政策的规定，我国的火电厂以燃煤为主。

这一节中我们将以燃用煤粉的发电厂为例简单介绍现代发电厂电能的生产过程，见图 0-1。

燃用煤粉的发电厂的生产过程是一系列能量转换的过程。经过磨制的煤粉送到锅炉中燃烧。煤粉在炉内燃烧时，它的化学能首先转变为烟气的热能；当烟气沿锅炉炉膛及烟道流过时，它的热能就逐步传递给在锅炉各部分受热面内流动的水、蒸汽以及空气（在此单纯的传热过程中，显然，并未发生能量形式的变化，而只不过是热能从一种介质传递给另一种介质）。锅炉所产生的新蒸汽进入汽轮机后逐级进行膨胀，蒸汽的部分热能就转变为汽流的动能；高速汽流施加作用力于汽轮机的叶片上，推动了叶轮连同整个转子旋转，汽流的动能于是被转换成汽轮机轴上的机械能。汽轮机通过联轴器（靠背轮）带动发电机转动而发出电来，机械能则被转换成电能。

由上述可见，现代发电厂的主要组成部分包括热力和电气两大部分，其中锅炉、汽轮机、发电机为发电厂的三大核心设备。其生产系统主要包括汽水系统、燃烧系统及电气系统，现分述如下。

一、汽水系统

汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器和给水泵等设备及其管道组成，它包括蒸汽系统、给水回热加热系统、水处理系统、冷却水系统等。其系统流程如图 0-2 所示。

图 0-2 中，省煤器、水冷壁、过热器是锅炉的受热设备，也称为锅炉受热面。

给水先在省煤器 1 中接受烟气的预热，然后引入锅炉顶部汽包的容水空间。锅炉的水由于本身的重量沿炉膛外的下降管往下流动，经下联箱进入铺设在炉膛四周的水冷壁 2（上升管）在其中吸热汽化，形成汽水混合物上升到汽包内，并在其中进行汽水分离。水在下降管、水冷壁管及汽包内循环，不断汽化，形成的饱和蒸汽聚集在汽包上部并被引入过热

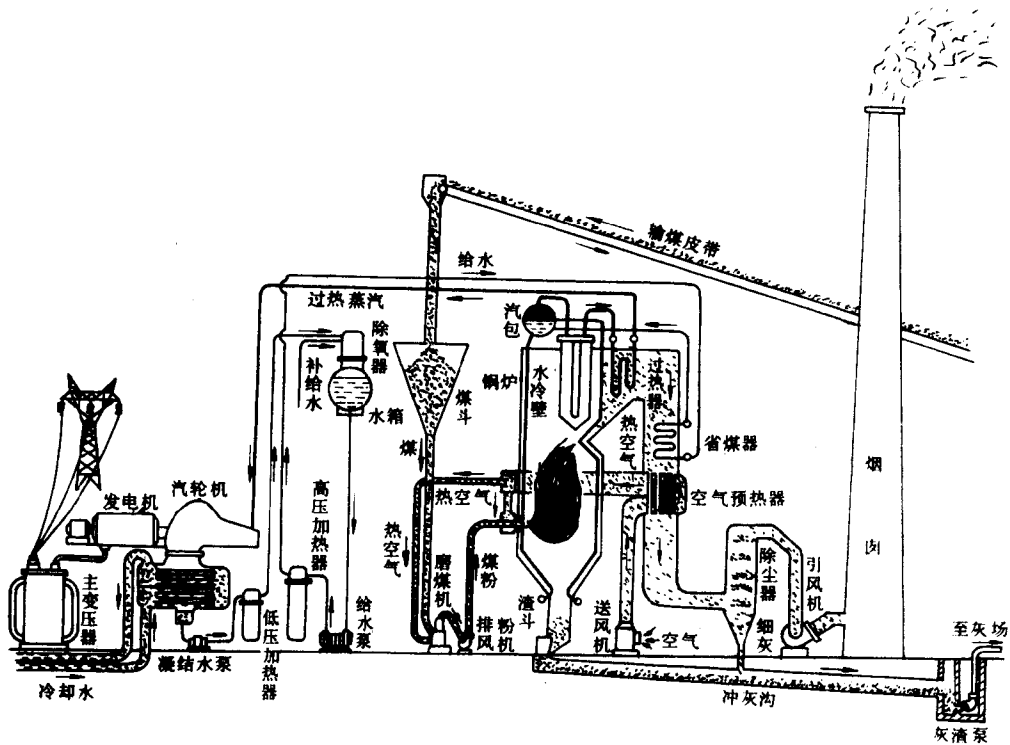


图 0-1 火力发电厂生产过程和主要设备示意图

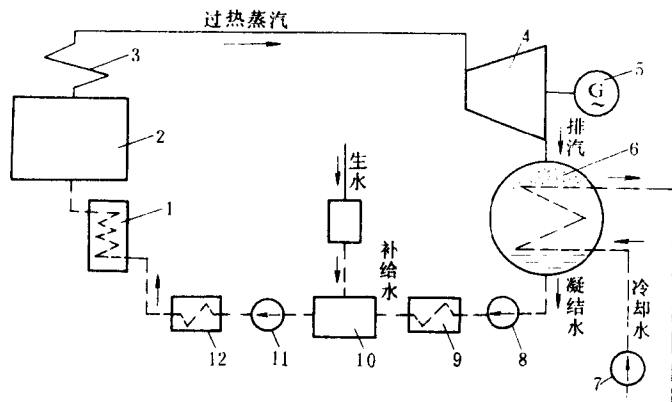


图 0-2 汽水系统流程图

- 1—省煤器；2—水冷壁；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—冷却水泵；
8—凝结水泵；9—低压加热器；10—除氧器；11—给水泵；12—高压加热器

器 3 中，使之继续加热变为过热蒸汽。过热蒸汽沿主蒸汽管进入汽轮机 4 膨胀做功，推动汽轮机转子转动，从而获得机械能。汽轮机带动同一轴上的发电机 5 而发出电来。过热蒸汽在汽轮机内膨胀做功后，压力温度不断降低，最后变成排汽，排入凝汽器 6 中，并在其中凝结成水（称为主凝结水）。

在凝汽器下部的凝结水，由凝结水泵 8 升压后，依次流经低压加热器 9 预热后再进入除氧器 10。水在除氧器中继续被加热并除去溶解于水中的氧气，以防止氧对炉管的腐蚀。

在除氧器里脱过氧的主凝结水和化学补充水汇集于给水箱中，成为锅炉的给水，由给水泵 11 升压后，经过高压加热器 12 继续提高水温后再送入锅炉的省煤器，构成一个闭合的热力循环系统。给水泵以后的凝结水称为锅炉给水。

由于锅炉和汽轮机对锅炉给水品质要求很高，而汽水循环过程中总难免有一部分水和蒸汽的正常消耗和漏泄损失，为了维持锅炉一定的蒸发量，必须不断地向系统中补充经过化学水处理的水——补给水。补给水通常是通过除氧器进入系统的。在图 0-2 中，生水是通过水处理设备后成为合格的补给水，然后进入除氧器 10。

为了使排汽在凝汽器内冷凝成水，还必须借助于冷却水泵（或称循环水泵）7 对循环水加压，使其沿着冷却水进水管进入凝汽器以吸收排汽的汽化热，从凝汽器中出来的具有一定温升的冷却水则沿排水管流回江河里或经冷却后循环使用，这就形成了汽轮机的冷却水系统。

二、燃烧系统

燃烧系统包括锅炉的燃烧设备、输煤设备、制粉设备和除灰渣设备，送、吸风机等。燃烧系统的任务是供应锅炉燃烧所需用的燃料及空气，进行完好的燃烧，产生具有一定压力和温度的蒸汽，并排除燃烧后的产物——烟气及灰渣。

燃烧系统的流程如图 0-3 所示。

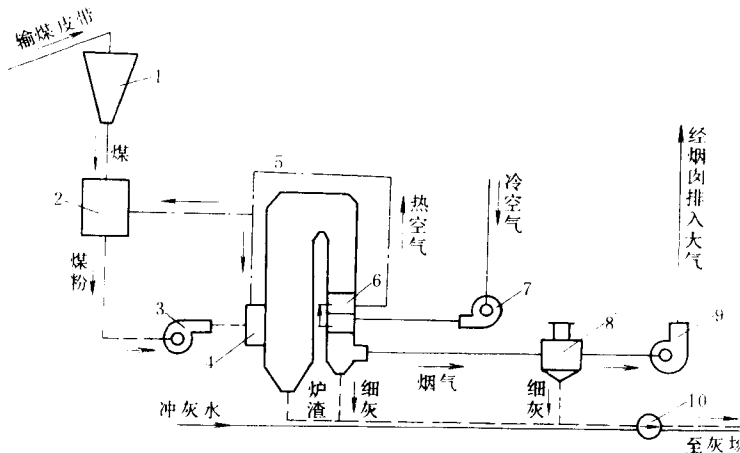


图 0-3 燃烧系统示意图

- 1—原煤斗；2—磨煤机；3—排粉机；4—燃烧器；5—锅炉；6—空气预热器；
7—送风机；8—除尘器；9—吸风机；10—灰浆泵

发电厂贮煤场的煤，经过碎煤机设备破碎后，由皮带输送机输送到锅炉房的原煤斗 1 中。煤从原煤斗进入磨煤机 2，同时，由锅炉来的部分热空气也进入磨煤机。热空气是冷空气通过送风机 7 进入空气预热器 6 中加热升温后得到。煤在磨煤机中被热风干燥并磨成煤粉，然后与经过预热的空气共同通过燃烧器 4 喷入锅炉 5 中燃烧。燃烧后的热烟气经锅炉

的各个受热面传递热量后，温度逐渐降低离开锅炉 5，经除尘器 8 清除烟气中的灰尘后由吸风机 9 抽出，通过烟囱排入大气。

由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰，通常是用水冲至灰浆泵房，再经灰浆泵 10 升高压力后排至贮灰场。

三、电气系统

电气系统如图 0-4 所示。

发电机 1 发出的电能除发电厂自用一部分外，一般由主变压器 2 升高电压后，经高压配电装置 3 和输电线路向外供电。在电能输送过程中，升高电压的目的是为了便于长距离输送和减少电能在线路上的损失。

发电厂所发出的电能，不可能全部都供应外界用户，而必须扣除一部分用来带动本厂的各种辅助设备，如燃料运输设备、磨煤机、送风机、引风机、给水泵、凝结水泵、冷却水泵以及灰渣泵等，并供应厂房照明。这一部分发电厂本身运行时所必须消耗的电能，总称为厂用电。厂用电部分是将发电机发出的电能由厂用变压器 4 降低电压后，经厂用配电装置 5 和电缆供厂内各种辅机及照明等用电。

为了安全可靠和经济地发供电，常把两个或多个发电厂与变电站、送电线路、配电网以及用户联在一起，组成一个发、供、用的整体，称为电力系统或电力网。

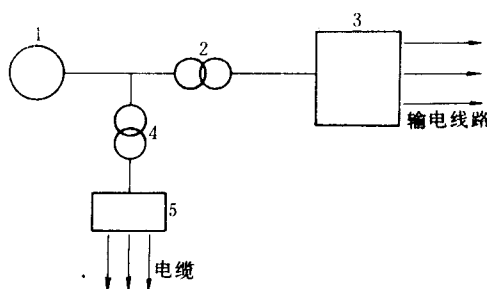


图 0-4 电气系统示意图

1—发电机；2—主变压器；3—高压配电装置；
4—厂用变压器；5—厂用配电装置

第三节 发电厂的容量、参数、效率

发电厂容量的单位是 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）。每一台机组的发电能力的千瓦数或兆瓦数称为单机容量或机组容量。发电厂的所有机组的发电能力的千瓦数或兆瓦数称发电厂装机容量。

锅炉的容量，是指锅炉每小时所生产的蒸汽数量，又称蒸发量或出力，单位符号是 t/h（或吨/时）。

根据蒸发量大小，发电厂锅炉分为三类。按照我国目前电力工业的发展水平，一般把蒸发量等于或超过 670t/h 的锅炉称为大容量锅炉；蒸发量等于 220~410t/h 的称为中等容量锅炉；蒸发量在 220t/h 以下的称为小容量锅炉。当今世界上容量最大的发电厂锅炉的蒸发量为 4399t/h，我国目前已建成投产的发电厂锅炉最大蒸发量达 2008t/h 配 600MW 机组。

汽轮机的容量是用它所带动的发电机的发电能力来表示的，单位也是 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）。

蒸汽参数是指汽轮机进口处蒸汽额定压力（绝对压力）和温度，简称汽压和汽温。汽压的单位是 Pa（帕斯卡或简称帕）。实用中常嫌帕太小，故工程上也常用 MPa（兆帕）、kPa

(千帕)作单位, $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ 。蒸汽表压力不超过 6MPa 的通常称为中压或低压锅炉; 蒸汽表压力在 $6\sim 10\text{MPa}$ 之间的称为高压锅炉; 蒸汽表压力在 $10\sim 14\text{MPa}$ 之间的称为超高压锅炉; 蒸汽表压力在 $14\sim 22.115\text{MPa}$ 之间的称为亚临界压力锅炉; 蒸汽表压力超过 22.115MPa 的称为超临界压力锅炉。

蒸汽参数、机组容量和发电厂容量之间是有一定关系的, 一般蒸汽参数较低的发电厂容量较小, 蒸汽参数较高的发电厂容量较大。

在发电厂电能生产过程的各个环节中都伴随有能量损失。除去损失后所余的有用能量部分与所耗用的总能量之比称为效率。电厂常用的效率主要有以下几种:

锅炉效率: 指锅炉生产蒸汽时有效利用的热量与同时间内进入炉内燃烧的燃料在完全燃烧情况下所放出热量之比值。一般煤粉炉效率在 90% 左右。

汽轮机相对内效率: 指汽轮机实际输出的功率与汽轮机理想功率的比值。它考虑了汽轮机所有内部损失, 所以, 它是表明汽轮机内部工作完善程度的指标。一般汽轮机相对内效率为 88% 左右。

发电厂效率: 发电厂发出的电能和输入锅炉的总热能之比称为发电厂效率。发电厂效率也就是扣除锅炉、汽轮机、发电机各项损失之后的有用能量和输入能量之比。一般凝汽式发电厂的效率约为 35% 左右。蒸汽参数越高, 机组容量越大, 则效率越高。这是当前火电建设中采用大容量、高参数热力设备的重要原因。

发电厂的效率分为毛效率与净效率, 计算发电厂的净效率要在发出电能中扣掉消耗的厂用电。

第四节 热工学理论基础研究的内容

热工学理论基础包括工程热力学和传热学这两门基础科学。

研究热能和机械能之间转换规律及方法的科学称为工程热力学。

工程热力学是以热力学的两个基本定律为基础的。因为热能转变为机械能是通过工质的状态变化过程和热力循环而完成的, 所以对过程和循环的分析是工程热力学的主要内容。在对火力发电厂的过程和热力循环进行分析时, 必须用到其工作物质水和蒸汽的性质, 故对于蒸汽的性质及其循环的讨论也是其中一个重要内容。

传热学研究的对象是热的传递过程, 它的内容是以导热、对流换热及辐射换热这三种基本换热方式为基础的。实际的热量传递过程是几种基本换热方式同时起作用的传热过程, 故对传热过程的分析是传热学的重要内容。

各种热力设备的设计、运行和改进等都要用到工程热力学和传热学的知识。我们学习的主要目的是为了将其理论应用于分析和解决生产实际问题, 使得电厂中的能量转换和热量的传递在最有利的情况下进行, 从而提高电厂的热经济性。

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念

第一节 工质、理想气体和实际气体

汽轮机利用具有一定热能的蒸汽做功，把热能转变成机械能；燃气轮机利用具有一定热能的燃气做功，把热能转变成机械能。这里的蒸汽和燃气起了媒介的作用，这种将热能转变为机械能的媒介物质叫做工质。

为使热机连续地工作，要求工质必须连续不断地流过热机，所以工质应有良好的流动性。同时，工质是在膨胀过程中做功的，因此还要求工质有良好的膨胀性。在固体、液体、气体三者中，以气体的流动性和膨胀性为最好，所以目前都采用气体作为工质。又由于水蒸气具有价廉易得、不易腐蚀、无毒等优点，所以火力发电厂中主要以水蒸气为工质。

为了便于研究，可把气体分为理想气体和实际气体两类。

分子之间不存在引力、分子本身不占体积的气体叫做理想气体。这是什么意思呢？我们知道，气体与固体、液体不同，它的分子间距离很大，引力很小。当其容积增大时，随着分子距离的增大，引力减小，同时，气体分子本身的体积在总的容积中所占的比例也相应减小。当分子距离很大很大时，分子引力就很小很小，分子本身体积所占比例也很小很小。在极限情况下，成了分子之间不存在引力、分子本身不占有体积的气体，这样的气体叫做理想气体。反之，分子之间存在引力、分子本身占有体积的气体叫做实际气体。

理想气体实际上是不存在的，它是一种假想的气体。既然不存在理想气体，又为什么要讨论它呢？

提出理想气体的概念是为了从复杂的事物中抓住主要环节，而忽略某些枝节问题，使问题得到合理简化。

那么，什么情况下的气体可按理想气体对待呢？我们遇到的气体可以分成这样的两类：一类气体距离它的液态很近，如烧水时产生的水蒸气，或密闭容器中，水银面上的水银蒸气等；另一类则远离液态，如空气、烟气等。前一类必须以实际气体对待，后一类则可看作理想气体。以水蒸气为例来分析，沸腾时产生的水蒸气距离液态很近，其分子引力和分子体积所占比例都较大，不容忽视，属于实际气体。若将此水蒸气引出来降压、加热，其容积就要膨胀，逐渐远离液态。到了一定程度，分子引力和分子体积所占比例都小到可以忽略不计，此时的水蒸气就可看作理想气体了。气体的温度越高、压力越低则容积越大，也就越趋近理想气体。所以能否按理想气体对待，要看具体的压力和温度值。例如在标准大气压下，液态空气的沸点是 -191.4°C ，液态氧的沸点是 -182.5°C ，常温下的空气和氧气早已远离液态，均可看作理想气体，电厂中的空气、烟气均属此例。对于水蒸气要具体分

析：锅炉、汽轮机等热力设备中的水蒸气都距离液态不远，属于实际气体；而空气和烟气中的水蒸气，因其本身的分压力甚小，虽然温度不高，却早已远离液态，可属理想气体了。

第二节 工质的基本状态参数

在热力设备中，工质通过吸热、膨胀等过程将热能转变为机械能。在这些过程中，工质的物理特性随时都在起变化，或者说它的状态随时都在起变化。什么叫工质的状态呢？所谓工质状态就是指工质在某一时刻的物理特性。

凡能够表示工质状态特性的物理量就叫做状态参数。例如温度、压力等。知道了必要的状态参数，就可确定工质的状态。而知道了工质的状态，也就确定了它的一切状态参数。在工程热力学中，我们主要学习六个状态参数：压力、温度、比容、内能、焓、熵。由于前三个参数是可以直接测得的，且它们是最早被确定的具有简单的物理意义，因而称为基本状态参数。

本节仅介绍工质的基本状态参数——温度、压力和比容。

一、温度

温度是物体冷热程度的量度。夏天气温高，冬天气温低，热水温度比冷水温度高等，都是用温度表示物体冷热程度的例子。当两物体相接触时，如果两者的冷热程度不等，则高温物体就要向低温物体传递热量。如果两者间没有热量传递，就说明它们的冷热程度相等。即两物体温度相等。

从分子运动论看，热的根本原因在于物体内部分子的热运动，所以温度实质上是标志分子热运动剧烈程度的一个物理量。对于气体，温度是大量分子平移运动动能平均值的量度，下式表明了它们之间的关系：

$$\frac{mc^2}{2} = BT \quad (1-1)$$

式中 T ——气体的热力学温度，K；

B ——比例系数，J/K；

$\frac{mc^2}{2}$ ——气体分子平均平移动能，J。

当 $c=0$ 时， $T=0K$ 。式中， c ——分子平移运动的均方根速度； m ——分子的质量。

温度的测量和控制在生产实践中有重要的意义。例如：电厂中锅炉烟气温度、给水温度、过热蒸汽温度等都必须进行准确的测量。如果测温仪表失灵，温度控制不准，就会造成事故。

为了测量温度，必须规定温度数值的表示方法，即必须建立温度的标尺，这种测量温度的标尺叫温标。常见的温标有三种：摄氏温标、热力学温标和华氏温标，现分述如下。

1. 摄氏温标

规定在 1 标准大气压下，冰的熔点为 0°C ，水的沸点为 100°C ，中间等分 100 分度，每

一分度叫1摄氏度。这种温标称为摄氏温标。用摄氏温标量度的温度用符号“ t ”表示。测量单位用“ $^{\circ}\text{C}$ ”表示。例如60摄氏度可以写为 $t=60^{\circ}\text{C}$ 。若温度比 0°C 低，则在温度数字的前面加一个负号，读作零下多少摄氏度。例如 -10°C 读作零下10 $^{\circ}\text{C}$ ，表示比零度低10 $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 热力学温标

在热力学分析计算中，常用的是国际单位制中的热力学温标，也叫开氏温标或绝对温标。热力学温度的符号用“ T ”表示。测温单位用“ K ”（开尔文）表示。它与摄氏温标的分度相同，但起点不同。它的起点是把分子停止运动时的温度作为零度。

这个温度相当于摄氏温标零下273.15 $^{\circ}\text{C}$ 。这种状态的温度实际上是达不到的。但因这种温标与测温物质的性质无关，便于统一，所以被广泛使用。

热力学温标与摄氏温标都是国际单位制中所规定使用的温标，它们之间换算关系为：

$$T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (1-2)$$

通常在工程计算中，两种温标的差值取273已够准确，所以两个温度间的换算关系可用下式计算：

$$T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273$$

热力学温标与摄氏温标的起点不同，但间隔划分是一样的。因而凡涉及到温差的地方用 K 或 $^{\circ}\text{C}$ 在数值上均相同，即： $\Delta t = \Delta T$ 。

3. 华氏温标

它规定标准大气压下纯水的冰点和沸点为32华氏度和212华氏度，其间分为180等分，每一等分表示的温度间隔为一华氏度。华氏温度用符号 t_{F} 表示，单位为华氏度，单位符号用 $^{\circ}\text{F}$ 表示。它和摄氏温度的关系是

$$t_{\text{F}}/^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t/^{\circ}\text{C} + 32$$

或
$$t/^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t_{\text{F}}/^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1-3)$$

二、压力

发电厂装有很多压力表，用来测量各处的压力，如测蒸汽压力、油压、风压、凝汽器真空等以监视设备运行是否正常。在火力发电厂中，各处压力是否正常，对安全、经济运行有直接关系。下面介绍有关压力的概念。

1. 压力的概念

单位面积上所受到的垂直作用力称为压力（物理学中称压强）。工程上习惯于把压强叫做压力，用符号“ p ”表示。例如，图1-1所示底面积上受到的压力为：

$$p = \frac{60}{5 \times 6} = 2 \text{ N/cm}^2 (\text{牛/厘米}^2)$$

压力的单位是帕斯卡（简称为帕），单

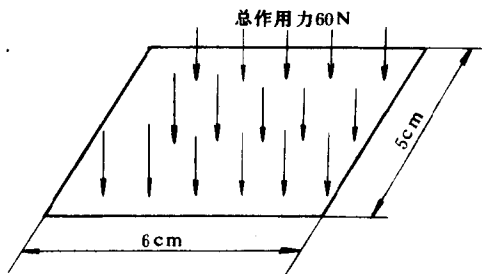


图 1-1 压力意义示意图