

高等学校教学用书

热 工 学

〔采矿工程各专业适用〕

北京矿业学院矿山流体机械教研组热工教学小组编

只限学校内部使用



中国工业出版社



高等学校教学用书

热 工 学

〔采矿工程各专业适用〕

北京矿业学院矿山流体机械教研组热工教学小组编

只限学校内部使用



中国工业出版社



本书是根据采矿工程各专业的教学大纲综合编写的。内容包括工程热力学、传热学、压气设备和热力设备四篇。前两篇是基础理论部分，后两篇是实用部分。考虑到矿山应用的特点，书中增加了不稳定导热、热模拟，压气设备，暖风设备和制冷原理等内容。

本书是根据48和54两种学时编写的，适用于矿业学院的地下开采、露天开采、矿山机电、矿井建设、矿山机械制造和设计，矿山经济企业计划与组织等专业，在有关章节打*号的内容，可根据本专业特点和学时多少选择讲授。

为了节约纸，正文前部分作了一些变动，所以页码是从5开始的。

热 工 学

〔采矿工程各专业适用〕

北京矿业学院矿山流体机械教研组热工教学小组编

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787\times 1092\frac{1}{16}$ ·印张 $13\frac{3}{8}$ ·插页3·字数306,000

1961年9月北京第一版·1962年1月北京第二次印刷

印数1,938—3,187·定价(10-6)1.80元

*

统一书号: K15165·862(煤炭-41)

目 錄

緒論	7
----	---

第一篇 工程热力学

引言	9
第一章 理想气体的性質	9
§1. 工質及其热力学状态变数	9
§2. 理想气体的状态方程式	11
§3. 理想气体的比热	14
§4. 工質的膨胀功和压缩功	16
第二章 热力学第一定律	16
§1. 热力学第一定律	16
§2. 简单能量方程式, 內能	17
§3. 稳定流动方程式, 焓	19
§4. 稳定流动方程式的应用*	22
第三章 气体的热力过程	23
§1. 可逆过程与不可逆过程	23
§2. 热力过程的分析	24
第四章 气体的热力循环及热力学第二定律	31
§1. 热力循环及热效率	31
§2. 加諾循环	32
§3. 热力学第二定律	33
§4. 熵	33
第五章 水蒸汽	39
§1. 实际气体	39
§2. 蒸汽的发生过程及其压容图和焓熵图	39
§3. 蒸汽状态变数的确定	41
§4. 蒸汽的焓熵图 ($i-s$ 图)	44
§5. 蒸汽的热力过程	45
§6. 蒸汽的节流过程*	47
§7. 蒸汽的动力厂循环*	49
第六章 湿空气*	52
§1. 湿空气的概念	52
§2. 湿空气的基本性質	53
§3. 湿空气的焓湿量图 ($i-d$ 图)	55

第二篇 传 热 学

引言	58
----	----

第一章 导热	58
§1. 温度场*	58
§2. 导热基本定律	59
§3. 平壁导热	61
§4. 圆管壁导热	64
第二章 对流换热	67
§1. 基本概念	67
§2. 相似的概念*	69
§3. 一个重要而简单的实例*	70
§4. 对流换热中的准则等式和准则方程式*	72
§5. 相似理论三定理*	75
§6. 准则形式的经验公式	76
第三章 辐射换热	81
§1. 基本概念	81
§2. 辐射的计算公式	81
§3. 电机、电器外壳的辐射换热*	82
第四章 传热和换热器	83
§1. 基本概念	83
§2. 通过壁的传热	83
§3. 换热器计算的基本原理	85
§4. 制冷机的冷凝器和汽化器的设计*	87
第五章 不稳定导热*	90
§1. 基本概念	90
§2. 导热微分方程式	90
§3. 定差作图法	91
§4. 正常状况法	93
第六章 热模拟*	96
§1. 基本概念	96
§2. 电热模拟	96
§3. 水热模拟	99

第三篇 压气设备

引言	104
第一章 往复式压气机的基本理论	105
§1. 一级压气机的实际循环	105
§2. 一级压气机的理论循环	107
§3. 多级压气机循环	109
§4. 压气机的功率和效率	113
§5. 压气机的冷却	114
第二章 压气机的构造和设备	118
§1. 压气机的构造	118
§2. 压气机的排气量及压力调整	125
§3. 压气机的附属装置	126

第三章 压气设备的选择设计	128
§1. 压气设备选择设计的基本原则	128
§2. 压气设备选择设计的举例	130
第四章 压气设备的安装维护和检修	133
§1. 压气机的布置和安装	133
§2. 压气机的起动和运转	133
§3. 压气机运转中发生的故障及原因	135
§4. 压气设备的检修	136

第四篇 热力设备

第一章 蒸汽动力设备	137
------------	-----

鍋爐部分

§1. 鍋爐设备的一般知識	137
§2. 爐子	139
§3. 中小型鍋爐的构造	141
§4. 鍋爐设备的热平衡	147

蒸汽原动机部分

§5. 蒸汽机的一般知識	148
§6. 蒸汽机的工作过程	148
§7. 蒸汽机的有效功率和有效效率	150
§8. 蒸汽机的主要损失及其改进方法	151
§9. 蒸汽机的配汽机构	151
§10. 蒸汽机功率的调节	152
§11. 蒸汽机的分类及矿用蒸汽机举例	153
§12. 汽輪机的概述	155

电 厂 知 識

§13. 火力发电厂的一般概念	158
-----------------	-----

第二章 內燃动力设备	160
------------	-----

§1. 概論	160
§2. 內燃机的燃料	161
§3. 內燃机的分类	162
§4. 四冲程內燃机的工作过程	162
§5. 二冲程內燃机的工作过程	164
§6. 內燃机的理論循环	165
§7. 內燃机的功率与效率	167
§8. 点燃式內燃机的燃料供給系統和点火系統	169
§9. 压燃式內燃机的燃料供給系統	171
§10. 內燃机的冷却系統、潤滑系統和調節方法	173
§11. 矿用內燃机举例	174
§12. 內燃机的使用与维护	176
§13. 汽油机和柴油机的使用范围	177
§14. 內燃机的增压	177
§15. 燃气輪机概念	178

§16. 噴气技术概念	179
第三章 暖风设备*	180
§1. 矿井井筒保温的一般知識	181
§2. 暖风机的种类及构造	183
§3. 暖风机的計算	185
§4. 暖风机的計算举例	188
第四章 制冷原理*	191
§1. 概論	191
§2. 蒸汽压缩制冷	192
§3. 吸收制冷	194
§4. 蒸汽喷射制冷	198
第五章 热工仪表*	199
§1. 概論	199
§2. 热电高温計	200
§3. 半导体溫度計	205
§4. 气体分析器	207
§5. 动压管	210
附录1. 飽和蒸汽表 (变数为温度)	
附录2. 飽和蒸汽表 (变数为压力)	
附录3. 水与过热蒸汽表 (在阶梯綫左面的数是对水而言, 其比容的单位是立方分米/公斤)	
附录4. $B=760$ 毫米汞柱时干空气的物理参数	
附录5. 在飽和綫上蒸汽的物理参数	
附录6. 在飽和綫上水的物理参数	
附录7. 水蒸汽的 $i-s$ 图綫	
附录8. 湿空气 $i-d$ 图	
附录9. 氨的 $\lg P-i$ 图	
附录10. 氨水混合物的 $i-x$ 图	

緒 論

热工学研究的主要内容是工程热力学和传热学的理論，热力设备的原理、构造、使用条件和提高效率的方法。工程热力学是研究热能和机械能互相轉化的規律。例如，研究內燃机气缸內的燃料經過燃烧后，发出的热能如何通过机械設備变为机械能，有多少热能轉变为机械能等。传热学是研究热量传递規律的科学。例如，研究鍋爐內的水在爐膛內通过高温烟气的加热过程以及压气机和电机的冷却等問題。所以工程热力学和传热学是热工学的理論基础。热力設備包括內燃机、燃气輪机、蒸汽机、汽輪机、压气机、制冷机、鍋爐設備和暖风设备等。热工学的理論和热力設備在矿山中有着广泛的应用。

矿山上应用的风鎚和风鑽的动力是压缩空气。产生压缩空气的压气机的工作原理是以热力过程和热力学定律为基础的。要研究压气机的原理必须具备工程热力学的知識。要提高压气机的效率和压气的产量，必須对压气机进行很好的冷却。这就需要具备传热学的知識。

露天矿常采用蒸汽機車和汽車运输煤和矿石。蒸汽機車的原动机是蒸汽机，汽車的发动机是內燃机。因此，为了很好的选择和使用这些机械，需要具备蒸汽机和內燃机的理論知識。

矿区供暖和动力用的蒸汽是由鍋爐产生的，在設計矿井时，需要考虑鍋爐設備的选择以及运转期間节省煤耗量。而有一些老矿井仍然采用蒸汽机作为提升机和扇风机的动力，所以也要求我們具备鍋爐設備和蒸汽机的原理和构造的知識。

东北和华北有些矿区，冬天气温远低于零度，进入井筒內的冷空气常使井壁、提升机罐道和罐道樑結冰，影响到提升能力及人身、設備的安全，所以要采用暖风設備加热空气。

在深部开采时，井下空气温度过高（高于 25°C ），影响工人的身体健康和劳动生产率，需要采取降温設備，使井下空气的温度降低。而在建井工程中，遇到較厚的含水层时，常用冻结法凿井，在这种情况下，除了工程热力学、传热学的知識之外，还要了解制冷机的原理。

此外，在硬岩石掘进时，有时采用热力鑽机，在金屬焊接时，需要考虑温度变化对焊接后金屬性質的影响，在金屬鑄造中，需要計算鑄件的凝結時間和温度分布，在設計电机时，要考虑电机的发热和散热，所有这一切，都需要具备传热学的知識。

从以上热工学在矿山上的应用的簡單叙述，可以清楚地看到，热工学是采矿工程技术干部必须具备的知識。

解放以前，我国人民长期受封建制度、帝国主义和国民党反动派的統治，工业十分落后。那时，我国仅有的一些热机設備，如热力发电設備、蒸汽機車、汽車等絕大多数都是从外国輸入的。容量稍大的或稍为精密的热机都不能制造。解放后，在党的正确領導下，各种热机的制造和使用有了飞跃的发展。例如：在热力发电方面，1949年全国解

放时，全部发电设备容量只有185万千瓦，全国的电能产量只有43亿度，而到1958年底，全国发电设备容量就达到了640万千瓦，电能产量达275亿度，而1959年又增加到415亿度。1955年，我国第一次制成了6000瓩的锅炉、汽轮机和发电机的全套发电设备。而在1956年和1958年，又先后制成了12,000和25,000瓩的汽轮机。现在50,000瓩的整套发电设备已经试制成功。在热力机械方面，解放前我国不能制造汽车，连汽车零件也大多数是从国外输入的。而现在已成批生产了“解放牌”汽车；“红旗牌”高级小轿车也开始生产了。1957年开始制成2960马力的蒸汽机车和2400马力的单流式船用蒸汽机；到1959年又试制成功2000马力的内燃机和8800马力的船用内燃机。功率很大的船用汽轮机也正在制造。同时，大家都知道，我们还建立了自己的飞机制造业。

当然，由于旧中国工业水平十分落后，热力工程和热机设备的基础都很薄弱，虽然我们获得了上述巨大成就，但仍须作更大的努力，才能适应国民经济不断发展的需要。我们坚信，在党中央和毛主席的正确领导下，一定能够很快地从现有的基础上，继续前进，赶上世界的先进水平。

第一篇 工程熱力学

引 言

工程热力学是劳动人民在长期实践中所积累的系统的理性知識。它是专门研究热能
与机械能互相轉化的規律，便于掌握热机的循环原理和經濟的利用热能。

因为热机的循环是由热力过程組成，而热力过程又由热力状态的連續变化所組成，
所以工程热力学的研究順序是由状态——过程——循环。在热机中，热能轉变为机械能
需要通过一种媒介物，此种媒介物叫作工質，以气体为最好。因此，在研究工質的状态
时，必須先懂得气体的性質和規律。

第一章 理想气体的性質

§1. 工質及其热力学状态变数

所謂工質就是由热能轉化为机械能的媒介物。一般用空气和水蒸汽作为工質。

为了研究的方便，常假想一种理想气体，即分子本身体积为零（与分子間距离比較
言），分子之間沒有内聚力（互相吸引力）分子为完全弹性体，实际上沒有一种实际气
而体完全符合这种条件。是实际气体的极限状态。对于空气在压力不高于 100 大气压和
温度不很低时，由理想气体推出的一些公式完全适用于空气，因此在热工学中研究理想
气体的規律，不但方便而且有其实际的意义。另外由于水蒸汽分子之間的吸引力較大，
不能当作理想气体。

由以上所述热能变为机械能时，需要通过工質的状态改变，描写工質状态的基本物
理量有温度 t 、压力 P 和比容 v ，这三个变数称为热力学状态变数，或称为具体的状态
变数。这些变数可用仪表来直接測量。分別叙述如下：

1. 温度 是表示物体的冷热程度。測量时利用百度温度表 $t^{\circ}\text{C}$ ，但是在热工学計算
时应用绝对温度 $T^{\circ}\text{K}$ ，其变化关系如下式所示

$$T = t + 273^{\circ} \quad (1-1)$$

2. 比容 是指单位重量的物質所占有的容积。如有 G “公斤” 气体其占有的总容积
为 V “立方米” 其比容 v 如下式所示。

$$v = \frac{V}{G} \text{ 立方米/公斤.} \quad (1-2)$$

比容的倒数称为物質的比重 γ 即

$$\gamma = \frac{1}{v} \text{ 公斤/立方米.} \quad (1-3)$$

3. 压力 容器内气体分子对于器壁单位面积的作用力称为压力。测量其大小用压力计, 压力表和真空表。压力计的原理表示如下图所示。图1-1(a)表示容器内气体的压力高于当时当地的大气压力 B 。而 (b) 图表示容器内气体的压力小于大气压力 B 。其计算方法分述如下:

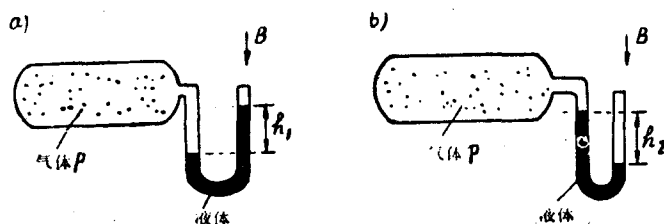


图 1-1 压力计示意图

在(a)种情况下 $p - B = \gamma h_1$,

$$p = \gamma h_1 + B \quad (1-4)$$

在(b)种情况: $B - p = \gamma h_2$

$$p = B - \gamma h_2 \quad (1-5)$$

式中 p ——气体的绝对压力;

B ——当时当地的大气压;

γh_1 ——表压力或称过压;

γh_2 ——真空度或称负压。

式中压力单位的变换如下式:

$$p = \gamma h. \quad (1-6)$$

p ——公斤/平方米; γ ——公斤/立方米; h ——米。

h 表示液柱的高度, 其单位常用毫米。 γ 表示液体的比重。 B 的单位也常用毫米汞柱高, 因此在运用以上公式计算压力时, 需变成统一的单位。绝对压力 p 的单位为公斤/平方米。在工程上应用由于其数值较小, 常用公斤/平方厘米表示工程大气压。其值表示如下:

1 工程大气压 = 1 大气压 = 1 公斤/平方厘米 = 10000 公斤/平方米 = 735.6 毫米汞柱。

物理学中常用的 1 物理大气压其数值如下:

1 物理大气压 = 1.0333 公斤/平方厘米 = 10333 公斤/平方米 = 760 毫米汞柱

故得

1 物理大气压 (1Atm) = 1.0333 工程大气压 (1ata)。

由以上分析得到以下两点结论:

(1) 工程大气压和物理大气压是人为假定的数值, 不因地而异。而当时当地的大气压 B 的数值是随地而异。

(2) h 、 B 是辅助值, 而 p 才是代表气体的真正压力, 是我们需要的数值, 因此 p 称为绝对压力而 γh 称为相对压力。

为了熟习压力的计算和单位的变化, 举以下例题供参考:

例 1-1. 一蒸汽鍋爐压力表指示 8 公斤/平方厘米(表压力), 当时当地大气压 B 为 700 毫米汞柱, 求汽鍋內蒸汽的绝对压力 p 为多少?

由公式(1-4)知

$$p = B + \gamma h_1 = \frac{700}{735.6} + 8 = 8.952 \text{ 公斤/平方厘米.}$$

例 1-2. 压力为 10000 公斤/平方米相当于多少水柱高?

由公式(1-6)知

$$p = \gamma h$$

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ 米水柱} = 10000 \text{ 毫米水柱.}$$

故得

1 工程大气压 = 10⁴ 毫米水柱高。1 公斤/平方米 = 1 毫米水柱高。

例 1-3. 用真空表测得汽轮机冷凝器的真空度为 625 毫米汞柱, 当地大气压 B 为 740 毫米汞柱, 求冷凝器内气体的绝对压力是多少。

由公式(1-5)知

$$p = B - \gamma h_2 = 740 - 625 = 115 \text{ 毫米汞柱} = \frac{115}{735.6}$$

$$p = 0.152 \text{ 工程大气压(公斤/平方厘米)}$$

压力表构造原理: 弹簧管压力表是工程上常用的压力表, 其构造如图 1-2 所示。

蒸汽进入弹性的金属管 1, 管子断面为椭圆形, 当蒸汽压力 P 大于大气压力 B 时, 椭圆形断面要变成圆形, 因此管端 3 发生位移, 使扇形齿轮 4 向左下方移动, 经小齿轮 8 而使指针 2 移动指出数值。螺旋形游丝 5 是使齿轮 4 和 8 保持紧密的接触。由此得到气体的绝对压力 p 如下式所示:

$$p = B + p(\text{表})$$

式中 $p(\text{表})$ ——压力表上指示的压力。

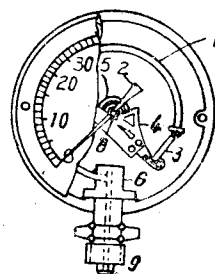


图 1-2 弹簧管压力表

§ 2. 理想气体的状态方程式

在热机中由热能转变为机械能时需要通过工质的状态变化, 描写工质的状态用 p 、 v 、 T 三个物理量, 因此工质在某一状态存在时这三个物理量必然存在着一定的相依关系。气体状态方程式就揭穿了这种相依的关系。此方程式是由理想气体定律推导而来。

波义耳—马略特定律和给吕萨克定律最初是由实验得来, 后来得到分子运动论的证明。只有理想气体才能符合这两个定律, 但是对于低压和高温的空气和由二原子组成的气体也可以近似的应用。因此, 压气机的工质—空气和内燃机气缸中的燃气都可应用此定律导出状态方程式, 而汽轮机、蒸汽机的工质—水蒸汽则不能应用。

波义耳—马略特定律是: 在恒定温度下, 一定量的气体的体积与压力成反比。即:

$$G = \text{定数.} \quad T = \text{定数.}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

即:

$$p \cdot v_1 = p \cdot v_2 = pv = \text{定数}$$

給呂薩克定律是：在恒定压力下，一定量的气体的体积与绝对温度成正比。即

$$G = \text{定数} \quad p = \text{定数}.$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

將二定律合併在一起， G 公斤气体先由状态①变为状态①' 保持其压力 p_1 不变，然后由状态①' 保持其温度不变，变为状态②。如图 1-3 所示

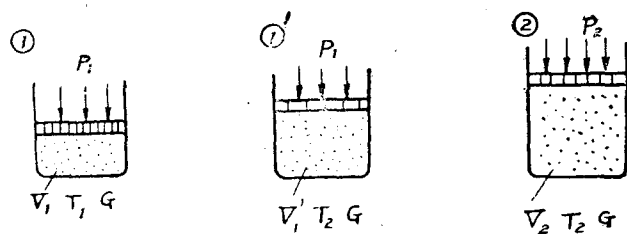


图 1-3

由状态①变为①'时，根据給呂薩克定律得出：

$$\begin{aligned} \frac{T_1}{T_2} &= \frac{V_1}{V_1'}; \\ V_1' &= \frac{T_2}{T_1} V_1. \end{aligned} \quad (a)$$

由状态①'变为状态②时

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{p_2} &= \frac{V_2}{V_1'} \\ V_1' &= \frac{p_2}{p_1} V_2. \end{aligned} \quad (b)$$

公式(a)等于公式(b)，即：

$$\begin{aligned} \frac{p_2 V_2}{p_1} &= \frac{T_2 V_1}{T_1} \\ \frac{p_1 V_1}{T_1} &= \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{pV}{T} = \text{定数} \end{aligned}$$

如气体重量 $G = 1$ 公斤，上式则为

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \frac{pv}{T} = \text{定数}$$

上式說明一定量的理想气体由状态 1 变 2 或者任一状态时， p, v, T 总保持以上的关系。如果用 R 表示定数，上式則变成如下的形式：

$$\begin{aligned} \frac{pv}{T} &= R \\ pv &= RT. \end{aligned} \quad (1-7)$$

公式(1-7)称为1公斤气体的“状态方程式”。式中 R 称为气体常数*, 随气体性质不同而改变, 不因气体的 p, v, T 的变化而改变。例如空气的 $R=29.27$ 而氧气的 $R=26.5$ 。无论在何种压力和温度时都为此值。

对于 G 公斤气体的状态方程式, 则变成如下的形式:

$$\begin{aligned} pGv &= GRT \\ pV &= GRT. \end{aligned} \quad (1-8)$$

以上二式各物理量的单位表示如下

p ——公斤/平方米; G ——公斤; v ——立方米/公斤;

V ——立方米; T ——°K; R ——公斤·米/公斤·度。

常用的几种气体的气体常数见表 1-1:

表 1-1 气体常数表

空 气	氧 气	氢 气	二氧化碳	一氧化碳	氮 气	氨 气
R	R_{O_2}	R_{H_2}	R_{CO_2}	R_{CO}	R_{N_2}	R_{NH_3}
29.27	26.5	4.24	19.25	30.3	30.3	49.79

状态方程式(1-7)或(1-8)表示了气体呈一状态存在时, p, v, T 的内在规律。如果知道 G, R 和 p, v, T 三个变数中的任意两个变数, 即可求出第三个变数。在工程上常用此式求得气体的重量 G 。

例 1-4. 压气机的风包容积为10立方米, 压力表指示压力为8工程大气压, 当时当地大气压 $B=1$ 工程大气压, 风包内压气的温度为 60°C , 求风包内压气的重量为多少?

由公式(1-8)得:

$$\begin{aligned} pV &= GRT \\ G &= \frac{pV}{RT} = \frac{(8+1) \times 10^4 \times 10}{29.27 \times (273+60)} = 92.4 \text{ 公斤}. \end{aligned}$$

* 附注: 气体常数 R 的求法可用下式:

$$R = \frac{848}{\mu}$$

式中 μ —— 气体的公斤分子量。

根据实验知道在同温同压下不同气体的1公斤分子体积 μv 是一个常数。在760毫米汞柱和 0°C 时 $\mu v = 22.4$ 立方米代入公式(1-8)中则得:

$$\begin{aligned} PV &= GRT \\ P(\mu v) &= \mu RT \\ \mu R &= \frac{P \mu v}{T} = \frac{10333 \times 22.4}{273} \\ \mu R &= 848 \end{aligned}$$

$$R = \frac{848}{\mu} \text{ 公斤·米/公斤·度}$$

μR ——称为气体的通用气体常数, 其值不随气体的性质和压力, 温度, 比容而改变, 总保持一定值848。

例 1-5. 当压气机停止运转时, 风包内压气的绝对压力 $p=7$ 大气压, 温度 $t_1=80^\circ\text{C}$ 到夜晚温度降为 $t_2=15^\circ\text{C}$ 压力变为 $p_2=5.2$ 大气压(绝对)风包的容积为 3 立方米, 试求由于风包和阀门不严密而漏失的空气量为多少?

由公式(1-8)知:

$$pV = GRT$$

漏气前风包内空气量:

$$G_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{7 \times 10^4 \times 3}{29.27 \times (273 + 80)} = 20.3 \text{ 公斤.}$$

漏气后风包内的空气量:

$$G_2 = \frac{p_2 V}{RT_2} = \frac{5.2 \times 10^4 \times 3}{29.27 \times (273 + 15)} = 18.5 \text{ 公斤.}$$

漏失的空气重量:

$$G_1 - G_2 = 20.3 - 18.5 = 1.8 \text{ 公斤.}$$

§ 3. 理想气体的比热

在热机中主要是研究把热量如何转变为功量。因此需要计算热量和功量。计算热量的方法通常应用比热。所谓理想气体的比热是指单位数量的气体温度上升或下降一度时, 所吸收或放出的热量。

实验证明: 同一种气体的比热与温度有关, 不同的温度范围比热值就不同, 其关系为曲线关系。但在温度不高时可当作直线关系, 表示如下式

$$C = a + bt. \quad (1-9)$$

式中 C —— 比热;

a, b —— 表示系数; 因气体性质不同而异, 由实验测得,

t —— 温度 $^\circ\text{C}$ 。

将公式(1-9)可画成(图1-4)

由 1-4 图知: 在温度 t_1 时其比热为 C_A , t_2 时为 C_B 。 C_A 或 C_B 称为气体的真实比热。表示成公式如下:

$$C_A = a + bt_1$$

$$C_B = a + bt_2$$

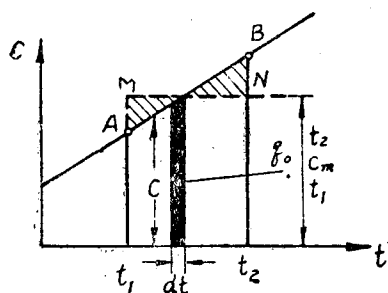


图 1-4 比热与温度的关系

可以用真实比热计算从 t_1 至 t_2 加热量如下式

$$q = \int_{t_1}^{t_2} C dt = \text{面积 } At_1 t_2 B$$

为了计算方便, 可以采用平均比热 C_m 来计算热量。表示如下式:

$$q = \text{面积 } Mt_1 t_2 N = C_m (t_2 - t_1)$$

$$\text{平均比热 } C_m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} C dt}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (a + bt) dt}{t_2 - t_1} = a + \frac{b}{2} (t_1 + t_2). \quad (1-10)$$

公式(1-10)表示从温度 t_1 至 t_2 的平均比热, 为了造比热表的方便常取从 0°C 至某温度 t 的平均比热。即令 $t_1=0$, $t_2=t$, 那么公式(1-10)变为:

$$C_m = a + \frac{b}{2}t. \quad (1-11)$$

如果求由 t_1 至 t_2 的 C_m 值时, 只要把公式(1-11)中的 $t=t_1+t_2$ 代入后即得。各种气体的平均比热见表 1-2。

比热的种类可以分为:

容积比热: C' 千卡/立方米·度

摩尔比热: μC 千卡/摩尔·度

重量比热: C 千卡/公斤·度

定压比热: C_p

定容比热: C_v

在温度不高时, 计算气体的热量可采用定值比热, 如空气和二原子气体在 100°C 以下时

$$C_p=0.24 \text{ 千卡/公斤·度}; C_v=0.17 \text{ 千卡/公斤·度}.$$

表 1-2 气体的平均比热(直线关系)

由 0°C 至 1500°C		
气 体	重量比热千卡/公斤·度	体积比热千卡/标准立方米·度
O_2	$C_{pm}=0.2198+0.00002544 t$	$C'_m=0.3138+0.00003766 t$
	$C_{vm}=0.1577+0.00002544 t$	$C'_m=0.2252+0.00003766 t$
N_2	$C_{pm}=0.2446+0.00002115 t$	$C'_m=0.3057+0.00002643 t$
	$C_{vm}=0.1737+0.00002115 t$	$C'_m=0.2171+0.00002643 t$
CO	$C_{pm}=0.2461+0.00002315 t$	$C'_m=0.3071+0.00002891 t$
	$C_{vm}=0.1751+0.00002315 t$	$C'_m=0.2188+0.00002891 t$
空气	$C_{pm}=0.2378+0.00002221 t$	$C'_m=0.3073+0.00002869 t$
	$C_{vm}=0.1693+0.00002221 t$	$C'_m=0.2187+0.00002869 t$
H_2O	$C_{pm}=0.4379+0.0000743 t$	$C'_m=0.3519+0.00005967 t$
	$C_{vm}=0.3276+0.0000743 t$	$C'_m=0.2633+0.00005967 t$
CO_2	$C_{pm}=0.2084+0.00005747 t$	$C'_m=0.4092+0.0001128 t$
	$C_{vm}=0.1633+0.00005747 t$	$C'_m=0.3206+0.0001128 t$

例 1-6. 求由温度 0°C 至 800°C 的 CO 重量定压平均比热 C_{pm} 为多少?

由表 1-2 知:

$$C_{pm}=0.2461+0.00002315t=0.2461+0.00002315\times 800=0.2646 \text{ 千卡/公斤·度}.$$

例 1-7. 求 CO_2 由温度 200°C 至 400°C 的容积定容平均比热为多少?

由表 1-2 知:

$$C'_{vm}=\frac{t_2}{t_1}=0.3206+0.0001128 t=0.3206+0.0001128(t_1+t_2)$$

$$=0.3206+0.0001128(200+400)=0.38 \text{ 千卡/标准立方米}.$$

§4. 工質的膨胀功和压缩功

在图1-5a中, 假定在气缸内有一公斤工質, 其作用在活塞面积 F 上的压力为 P , 当活塞右面的压力小于 P 时, 工質即开始膨胀, 对活塞作功称为膨胀功。反之, 当活塞左面压力小于右面的压力时, 活塞則对工質作功称为压缩功。当工質作微小膨胀功时, 活塞移动距离 ds , 此功量可依下式計算

$$dl = p \cdot F ds = p dv$$

如果工質从开始状态 1 膨胀至終态 2 时整个过程的膨胀功可用下式計算:

$$l = \int_1^2 p dv \cdots \text{公斤} \cdot \text{米/公斤}. \quad (1-12)$$

欲积分上式即欲求某个过程的膨胀功, 需知該过程的曲綫 $p=f(v)$ 。曲綫下的面积表示該过程的膨胀功。如果終态体积 v_2 大于初态 v_1 时, 积分后的功量 l 为正值, 即工質对活塞作膨胀功。反之, v_2 小于 v_1 时积分后的 l 为負值, 即活塞对工質作压缩功。如果气缸内的工質大于 1 公斤为 G 公斤时, 其膨胀功依下式計算

$$L = Gl = \int_1^2 p dV \text{ 公斤} \cdot \text{米}. \quad (1-13)$$

如果不考虑工質本身分子的摩擦, 活塞与气缸壁的摩擦时, 工質的膨胀功就是外功。所謂工質的外功就是膨胀功减去以上各种损失后, 工質对外界所作的功量。在工程热力学中为了研究方便認為二者是相等的, 其差別用热机效率校正。

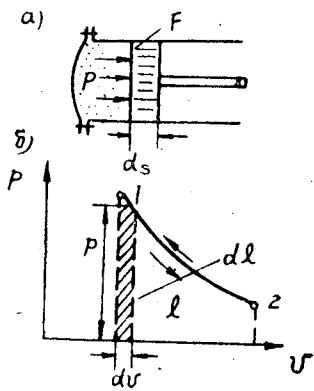


图 1-5 工質膨胀功和压缩功的压容图

第二章 热力学第一定律

§1. 热力学第一定律

把能量不灭原理应用在热能与功的轉化关系上即为热力学第一定律, 它是能量不灭的一种特殊形式。是前人多次經驗的总结。

关于此定律的一般性和其哲学内容, 恩格斯曾在“自然辯証法”里說过: “在对每一場合的特定的条件下, 任何一种运动形态都能够而且不得不直接或間接地轉变成其他任何运动形态”(人民出版社 1955 年 187 頁)。

热能和机械能都是物質的一种运动形式, 在一定条件下是能够互相轉化的, 不能产生也不能消灭, 只能互相轉化成一定的当量关系, 这样就規定了热力学第一定律的内容为: “一定热量的消失, 必須产生相当热量的功量”。也就是說热量轉变为功量时成一定的当量关系。或者說是比例关系。可写成如下的形式: