

中等专业学校试用教材

内燃机与压气机

上册

武汉地质学校编

只限学校内部使用



中国工业出版社

中等专业学校试用教材



内燃机与压气机

上册

武汉地质学校编

中国工业出版社

本书内容包括热力学、内燃机与压气机。扼要地介绍了内燃机与压气机的工作原理、构造和修理方法，重点的叙述地质勘探工作中常用的内燃机与压气机的构造、安装、使用、维护和修理等方面。

上册主要介绍：热力学；内燃机的分类与机构；以及内燃机的部件构造与故障等。

本书不仅介绍了在有专用设备的条件下，大修内燃机与压气机的方法；同时还介绍了在没有专用设备时的一些修复方法。

本书可作中等专业学校探矿机械修理专业教学试用书。

本书由武汉地质学校谭祥注编。

内 燃 机 与 压 气 机

上 册

武汉地质学校编

*

地质部教育司教材编辑室编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

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 $13 \frac{1}{4}$ · 字数 305,000

1962年1月北京第一版·1965年6月北京第三次印刷

印数 2,071—3,120 · 定价（科四）1.25 元

*

统一书号：K 15165 · 1178（地质-110）

前 言

本书是按照中等专业学校探矿机械修理专业“内燃机与压气机”课程的教学大纲编写的。

全部内容共分三部分：1) 工程热力学；2) 内燃机；3) 压气机。

在编写的过程中，我們考虑到本专业所培养的学生，将来主要从事于内燃机与压气机的使用、安装、修理等工作，而不从事于设计工作。同时又考虑到地质勘探工作中所采用的内燃机与压气机的特点——高速馬力小和高压排量小，因此本书着重介绍有关这些型式的内燃机和压气机的原理、结构、使用和修理等知识。并结合地质勘探工作中野外队的设备条件，本书不仅介绍了利用专用设备大修内燃机与压气机，修复各部件的方法，同时还介绍了没有专用设备时，解决内燃机与压气机的大修和各部件（汽缸、曲轴、连杆……）的修复方法。

根据本专业教育计划分配给这门课程的时间是200小时，而实验室实习课约占其中的30%，其余的为课堂讲授时间，足够每星期6小时，一学年用。

此讲义主要由本教研组教师譚祥桂同志执笔编写，在编写工作中得到朱大荣老师及教研组其他老师的帮助，并提出一些改进建议。但由于我们的理论与实际经验所限，加之编写时间仓促及试用时间很短，不妥和错误之处在所难免，深望读者多多指正。

武汉地质学校

探矿机械教研组

1961.5

目 录

前言

第一章 工程热力学	5
1-1 工程热力学的研究对象和目的	5
1-2 热的本质	5
1-3 工质的基本状态参数	5
1-4 理想气体的基本定律	9
1-5 混合气体—道尔顿定律	12
1-6 热的单位和热容量	14
1-7 比热	14
1-8 混合气体的比热	16
1-9 工质的膨胀功	16
1-10 工质所完成过程的图解表示法	17
1-11 热力学第一定律及其分析表示法	19
1-12 内能	21
1-13 热力过程	23
1-14 热力过程计算用公式简表	39
1-15 热力循环和循环的热效率	39
1-16 加诺循环及其在热力学上的意义	41
1-17 热力学第二定律	44
1-18 内燃机的理想循环	45
第二章 内燃机	48
2-1 内燃机的分类	48
2-2 四冲程内燃机的主要机构	48
2-3 四冲程内燃机的工作过程简图	51
2-4 四冲程内燃机的示功图	52
2-5 二冲程内燃机的一般构造和工作过程简图	53
2-6 二冲程内燃机的示功图	56
2-7 四冲程内燃机的增压	57
2-8 内燃机的功能指标和经济指标	58
第三章 内燃机汽缸	63
3-1 汽缸体、曲轴箱和汽缸盖的构造	63
3-2 汽缸及汽缸套的故障分析	65
3-3 搪汽缸	68
3-4 磨汽缸	70
3-5 汽缸盖的检修	71
第四章 活塞-连杆组	73
4-1 活塞	73
4-2 活塞环	78
4-3 活塞销	80
4-4 连杆	82
4-5 活塞在运行中的故障分析	84

4-6 活塞的检修	85
4-7 活塞环在运行中的故障分析	87
4-8 活塞环的选配	88
4-9 活塞销与连杆铜套的检修	90
4-10 连杆的检修	91
4-11 连杆修复后的质量检查	93
4-12 连杆轴承的故障分析	94
4-13 连杆螺栓的故障分析与装配	94
4-14 连杆-活塞组的装配	96
第五章 曲轴与轴承	98
5-1 曲轴与飞轮	98
5-2 曲轴的扭转振动	101
5-3 曲轴轴承	102
5-4 曲轴的检修	103
5-5 在车床上加工曲轴的方法	104
5-6 用镀铬方法修复曲轴	105
5-7 用金属喷镀方法修复曲轴	106
5-8 修复曲轴后的技术要求	106
5-9 主轴承的故障分析	107
5-10 轴承的间隙及其调整	108
第六章 配气机构	110
6-1 配气机构的型式	110
6-2 配气机构的零件	111
6-3 气阀机构的间隙	115
6-4 气阀驱动零件组	117
6-5 气阀的开闭时间	119
6-6 配气机构的调整	122
6-7 配气机构零件的检修	123
6-8 研磨气阀和试验	128
6-9 气阀驱动零件的检修	130
6-10 其他零件的修理	133
6-11 空气滤清器	135
6-12 进气管、排气管和消声器	136
第七章 柴油机混合气的形成	138
7-1 柴油机的燃烧室	138
7-2 烧球式内燃机混合气的形成	142
7-3 燃料的喷雾及对其质量的要求	143
第八章 柴油机燃料系	146
8-1 柴油机燃料系的机件与部件	146
8-2 高压油泵调速器	163
8-3 高压油泵的拆卸和鉴定	168
8-4 燃油系零件的修复	171

8—5 鍍鉻及其他.....	181
8—6 高压油泵的試驗.....	181
8—7 高压油泵正时.....	185
8—8 高压油泵联轴器.....	187
8—9 燃料燃烧概論.....	188
8—10 燃料在柴油机內的燃烧过程.....	191
8—11 燃油的选择.....	192
8—12 柴油机的燃油节约問題.....	195
第九章 汽化器.....	197
9—1 汽化器內燃机燃料系的組成.....	197
9—2 混合燃气的成分.....	197
9—3 工作混合燃气的燃烧.....	198
9—4 简单汽化器的工作原理.....	199
9—5 現代汽化器的构造.....	201
9—6 汽化器的构造举例.....	205
9—7 限速器.....	206
9—8 汽化器的清洁和校准.....	208

第一章 工程热力学

1—1 工程热力学的研究对象和目的

我們知道內燃机之所以能产生动能，全靠燃料在汽缸中燃烧时将燃料中儲存的热能轉化成机械功。热与功是內燃机最基本的矛盾。为了要掌握內燃机的这一基本矛盾，首先，我們必須学习工程热力学，因为工程热力学是研究热能的性质，特别是热能如何轉化为机械功的科学。简单地說，工程热力学是研究热机最基本的科学。由热能轉化为机械功，它的轉化是按照一定的規律，因此，为了合理地运用各种热能，必須了解热轉变为功的規律。另一方面，为了最經濟最完善的利用热能，必須懂得热轉变为功的最有利的条件。工程热力学的任务就是指出这种条件，指出改善热机工作情况的途径。工程热力学的知識还引导我們創造新的热机，如果没有工程热力学的指导，在創造发明新热机的工作中将会陷于主觀，多走很多弯路，甚至誤入歧途。

1—2 热的本质

从前人們认为热是一种看不見的流体，所謂“热素”，它可以由热的物体流向冷的物体。在我国古代也流传着金木水火土的說法，认为“火”也是一种物质，这样說法一直到十九世紀中叶还存在着。但是，俄国的学者罗蒙諾索夫早在1744~1760年就首先駁斥了这种热素論的荒謬說法。他认为，热根本不是什么流体，而是物体內部质点混乱运动所产生的結果。这种混乱运动的激烈程度就决定了物体的冷热程度。当热的物体和冷的物体接触时，由于分子的互相碰撞，运动剧烈的分子撞到了运动緩慢的分子，使运动緩慢的分子加快运动，于是冷物体就热起来了。这就是传热現象的本质，并不是什么所謂的热素流动的結果。由于事实的不断揭发，人們才逐步認識进而最后终于完全确认“热”是物体內部分子混乱运动的动能，也就是能的一种形式。

1—3 工质的基本状态参数

我們发现在热机中热能和机械功之間的互相轉化是必須通过一种媒介物质来实现的。这种物质，它本身并不消失，有时还可以循环使用，它只是在能量轉換过程中起媒介作用而已，我們把这种媒介物质就叫做工质。一切热机几乎都是利用工质受热后发生膨胀而做功，因此我們选择那种受热后易于膨胀的工质。只有气态物质才具有这种特性，所以一般的工质都是气体及水蒸汽。

工质所以能够使热变为功，完全是依靠它的状态的改变，例如，膨胀便是状态变化的过程。如果没有状态的改变，把混合燃气（油料和空气的混合物）靜靜地封閉在內燃机里面，我們仍然不会得到机械功。只有当工质得到膨胀的机会时，也就是工质状态发生改变时，才能进行能量的轉換。

工质的状态是用称为状态参数的一些数量（数字与单位）来表征的。在研究工程热力学时所用的数量可分为两大类：一类数量是用来说明工质的状态特性，称做状态参数；另一类数量是用来说明工质由一状态转化到另一状态的变化过程，叫做过程参数，如热与功。而工质的状态参数中，有的可以直接测量出来，有的不能直接测量出来。前者称具体状态参数，如温度、压力与比容；后者称为抽象状态参数，如内能、焓和熵。

我们在下面先介绍几个具体的状态参数，至于其它的以后再讲。

温度 前面已经讲过，物体受热时分子运动速度要增快很多，这种现象对于气体特别显著。由简单的观察知道，贮在封闭容器中的气体，在受热时其压力要增大，气体分子将更激烈和频繁地撞击容器壁。这就是说，分子运动和物体的冷热有直接的关系。当气体受热时，分子运动的速度增大，反之，当气体冷却时，分子运动的速度减小。物体的冷热程度，叫做温度。

测定物体的温度一般使用水银温度计，水银温度计是靠水银因受热的情况不同改变体积来指示温度的，平常使用的是摄氏温度计或称百分温度计。这种温度计的固定点是这样选定的：以冰的熔点为零度（0℃），以标准大气压（760毫米水银柱）下水的沸点为100度（100℃）。除摄氏温度计外，尚有列氏、华氏温度计，不过这些温度计已很少用了。

温度计的分划可高于100℃和低于0℃，当温度在零度以下用“-”（负）号表示。

若降低气体的温度，则气体分子的运动速度便减小，假设温度降低到0℃下273℃，则没有分子的运动。这种情况实际上并不存在，但我们可以用这种情况下温度的起点当作零点，这种零点为了区别于摄氏温度计的0℃，叫它做“绝对零度”。而各个分划即为“绝对温度”。以绝对温度的冰点为273°K（从绝对零度起算的温度用符号“K”表示）。各种物质的摄氏温度t℃化为绝对温度即加上273°K。于是这分划并不需用负号。

若用字母“T”表示绝对温度，用“t”表示摄氏温度，则两者之间的关系为：

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

或

$$T = t + 273^\circ$$

例如：T=500°K，这是表示物体的绝对温度为500度，按照公式（1-1）它与摄氏温度相应的温度为：

$$t = T - 273^\circ = 500^\circ - 273^\circ = 227^\circ\text{C}$$

在这里必须注意到：在这两种不同的表示法中，量度的单位是完全相同的，它们的差别仅在于温度值计算的起点不同，因此，就温度差来说，则用这两种方法读出的温度差的值应该完全相同，即：

$$T_2 - T_1 = t_2 - t_1 \quad (1-2)$$

假定T₁及t₁（以及相应的T₂及t₂）的热状态相同。

压力 压力是说明工质状态特性的第二个具体状态参数。根据气体分子运动学说可以把气体的压力看作是无数气体分子不断地撞击容器壁的结果。压力是用每单位面积上所受的力来表示，即物理学上所称的“压强”。如果力F作用在面积A上，则压力P为：

$$P = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

在工程热力学中，面积的单位用米²来表示，而压力用每平方米所受若干公斤的力——公斤/米²来表示。这个单位太小，用起来很不方便，故工程上多用每平方厘米面积上受有多少公斤的力（公斤/厘米²）来作为压力的量度。这个量度单位叫做大气压，或更准确些说，叫做工程大气压。

1 [工程] 大气压 = 1 公斤/厘米² = 1×10^4 公斤/米²。

由于测量方法和计算始点的不同，压力有三种表示方式：绝对压力、表压力与真空度。所谓绝对压力就是分子运动的速度等于零时，根据气体分子运动学说，这时气体的压力 $P = 0$ 。由这个零压力开始计算的压力，就是绝对压力或全部压力。

压力表是用来测量高于大气压力的压力，压力表的读数表示被测工质的压力超出大气压力的数值——表压力或超出压力。为了得到绝对压力或真实压力，必须将表压力加上气压计的壓力（即气压计指示大气的绝对压力）。

$$P_{\text{绝对}} = P_{\text{大气}} + P_{\text{表}} \quad (1-4)$$

在有些情况下，一个容器中的绝对压力可能低于周围的大气压力（例如汽化器中的稀薄度），这时用来测量大气压力的仪器，则用真空表。真空表的读数表示被测工质压力低于大气压力的数值（真空度或稀薄度）。在这种情况下绝对压力由下式计算：

$$P_{\text{绝对}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{真空}} \quad (1-5)$$

为了明白起见表示如图 1-1。

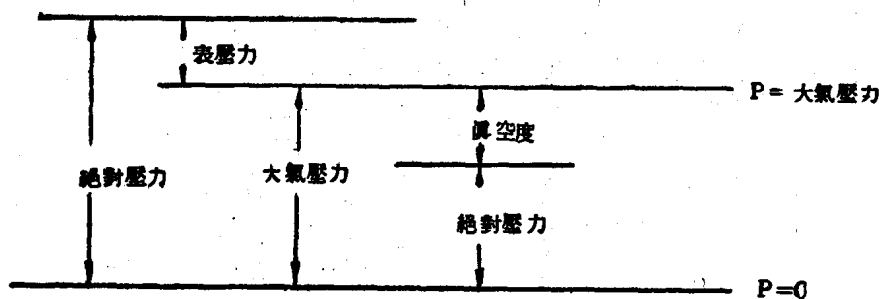


图 1-1

从式 (1-4) 及 (1-5) 可以看出，表压力和真空度是决定绝对压力的辅助数值，只有绝对压力才是状态参数，以后都要先把测量出来的表压力或真空度化为绝对压力，然后再进行计算。

不高的压力常常用液柱来测量，例如，水银柱、水柱等等。例如，气压表的压力普遍是以毫米水银柱高来测量的。大家都知道，标准大气压在 0℃ 时等于 760 毫米水银柱高。知道了水银的比重，不难算出，在水银柱底所产生的压力等于 1.0332 公斤/厘米²。这个压力称为物理大气压。工程大气压小于物理大气压，与 1 公斤/厘米² 的压力相应的水银柱高，在 0℃ 下是 735.6 毫米水银柱。

很小的压力差常常用水柱来测量。水柱高比水银柱高 13.595 倍。不难证明，1 毫米水柱相当压力差 1 公斤/米²。

当温度 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 和压力 $P_0 = 760$ 毫米水银柱时，我们就说工质是处在热力学的“标准

状况”之下。

这里应特别提出注意的是：

(1) 所有压力在进行热力计算时，都应换算成公斤/米²（绝对）的单位。

(2) 无论物理大气压或工程大气压（简称大气压）都是表示压力的单位，是永远不变的量，万不能把它和当时当地的大气压力混为一谈，因为我们周围的空气压力随着气象条件和地势高低等因素而有很大的变化。

(3) 提到“大气压”不要和物理大气压相混（后者不用在工程中）也不要和大气压力相混（后者随天气的变化而变化）。

比容 比容是说明工质状态特性的第三个具体状态参数。用符号 v 来表示，比容是单位重量的气体所占的容积，即一公斤气体所占容积的米³数。设气体的容积为 V 米³，重量为 G 公斤，则按定义：

$$v = \frac{V}{G} \text{ 米}^3/\text{公斤} \quad (1-6)$$

比容的倒数叫比重，用符号 γ 表示：

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-7)$$

在标准状态下，也就是在 0℃ 及 760 毫米水银柱时，比容和比重用 v_0 和 γ_0 来表示，这时它们是用标准米³/公斤和公斤/标准米³来量度。

所谓标准米³，就是指在标准状态时所测定的米³的体积。

例如，对于大气压力下的空气， $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/标准米³，因此，

$$v_0 = \frac{1}{\gamma_0} = \frac{1}{1.293} = 0.774 \text{ 标准米}^3/\text{公斤}。$$

例题

1. A-22型石油内燃机的最高压力由压力表测量为 22 [工程] 大气压，而大气压力根据水银气压计在 $t = 0^\circ\text{C}$ 时为 $P = 770$ 毫米水银柱，求单位为公斤/厘米² 的工质的绝对压力。

[解] 根据公式 $P_{\text{绝对}} = P_{\text{表}} + P_{\text{大气}}$

把数值代入，则得出

$$P_{\text{绝对}} = \frac{770}{735.6} + 22 = 1.047 + 22 = 23.047 \text{ 公斤/厘米}^2$$

如果大气压力取为一个大气压，那末结果等于

$$P_{\text{绝对}} = 1 + 22 = 23 \text{ 公斤/厘米}^2$$

误差是

$$23.047 - 23 = 0.047 \text{ 公斤/厘米}^2, \text{ 或 } \frac{0.047}{23.047} = 0.20\%$$

这误差是完全可以允许的。

因此，在这种情况下（当高压时）大气压力可以不加测量。

2. 内燃机进气管中的水银真空表指示 700 毫米水银柱，当时室内温度为 0℃，水

銀气压計的讀数为 770 毫米水銀柱。問进气管中的絕對压力是多少？

〔解〕从公式

$$P_{\text{絕對}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{真空}} = 770 - 700 = 70 \text{ 毫米水銀柱。}$$

即

$$P_{\text{絕對}} = \frac{70}{735.6} = 0.095 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

假若大气压力等于 1 气压，則得到

$$P_{\text{絕對}} = 1 - \frac{700}{735.6} = 1 - 0.95 = 0.05 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

絕對誤差是

$$0.095 - 0.05 = 0.045 \text{ 公斤/厘米}^2$$

或

$$\frac{0.045}{0.095} \times 100 = 47.5\%$$

这是完全不允許的。

因此，当測量很小的压力时，大气压力必須測量。

习 題

1. 压力 5000 公斤/米²，0.4 公斤/厘米²，各相当于水銀柱或水柱高度若干？

(答：水銀柱 368 毫米。水柱 5 米；4 米)

2. 蒸汽鍋炉压力表指出气压为 16 公斤/厘米²，大气压力为 770 毫米水銀柱 (0°C)，試計算絕對压力。

(答：17.047 公斤/厘米²)

3. 鍋炉烟道上的通风表中指出烟道中的真空度为 60 毫米水柱，求烟道中的絕對压力。气压計讀数为 760 毫米水銀柱 (°C)。

(答：1.03 絕對大气压或 0.994 物理大气压)

1—4 理想气体的基本定律

如果內燃机里所用的工质可以当作理想气体，工程热力学原理的应用就可以大为簡化。所謂理想气体是这样一种气体：它由完全的弹性分子組成，分子之間沒有內聚力，而分子本身的容积和所有分子活动的空間比較起来是极小的。在自然界中某些气体物质如 O₂、H₂ 及 CO₂ 等，它們分子間的內聚力极小，分子本身体积也不大，很难使它轉化为液体，因此可不考虑它的內聚力，可以把它看成为近似理想气体。

当气体处于接近液化状态的时候，就不能忽略分子間的內聚力和分子的容积了。这样的气体不应该归入理想气体，而称之为实际气体，如水蒸汽等。

气体受了热，在汽缸內把热能变为动能时是按照一定規律来变化的。这就是比容、压力和溫度三者之間的关系。溫度和比容之間的关系可以看作是气体分子的直綫运动和容积之間的关系，气体分子要求能自由地移动，但是汽缸內壁限制住了它，这样便产生了压力。如果容积不变，溫度高时，分子运动快，分子撞击器壁的力大，則压力也就高。如果溫度不变，即分子运动速度不变，容积愈小时，单位面积上受分子撞击的次数愈

多，因之压力也就增大。

理想气体的这些具体状态参数间的关系，首先由克拉貝龙提出的，所以叫做克拉貝龙方程式。

如果对于 1 公斤的气体来说：

$$Pv = RT \quad (1-8)$$

由上式可知，气体的三个具体状态参数中有两个为已知时，其状态就决定了。所以克拉貝龙方程式，又叫做“状态方程式”。

将方程式的两端各乘以重量 G ，则

$$PvG = GRT$$

但是

$$vG = V$$

式中 V ——气体的总容积（米³）。

代入后即可得到对于 G （公斤）气体的状态方程式：

$$PV = GRT \quad (1-9)$$

这便成为适用于任意重量的气体状态方程式的另一种形式。

数值 R 称为气体常数，它不随 P 、 v 、 T 变化而变化；但不同气体有不同的数值。

对 R 解方程式（1-8）可得：

$$R = \frac{Pv}{T} = \frac{P}{\gamma T} \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ\text{K}} \quad (1-10)$$

在标准状态下，此方程式变为：

$$R = \frac{Pv_0}{T} = \frac{10333}{273} v_0 = 37.8 v_0$$

或

$$R = \frac{37.8}{\gamma_0} \quad (1-11)$$

在上式中可以看出，气体常数 R 的单位是 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ\text{K}}$ ，这个单位中没有消去公斤，

这使我们注意到： R 是 1 公斤气体的气体常数。此外，我们还可以看出 R 是用功的单位制来测定的，因此， R 的物理意义是指定在定压下，温度变化 1°K 或 1°C 时，气体膨胀所作的功，此功用公斤·米作为单位。

在实际热工计算中，气体的容积常常要按照所给的新的参数进行重算。这种计算叫做“把容积换算到新的情况”，它常常用于将容积换算成热力学的标准状态（ 0°C 与 760 毫米水银柱）。根据公式（1-9），

$$V_0 = V \cdot \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \quad (1-12)$$

总结以上提出几点意见：

（1） R 是随气体性质变化而变化，不是通用气体常数。

（2）计算时，要注意全部单位都是工程制，不要用 C G S 制，压力要记为 [公斤] / 米² 的单位，不要直接代入 [公斤] / [厘米]²。

表 1—1 中列出某些气体的比重和气体常数的数值:

表 1—1

气 体	化 学 公 式	分 子 量 μ	比 重		气 体 常 数 R $\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ \text{K}}$
			当15°C时和1公斤/ 厘米 ² 时以公斤/米 ³ 计	当0°C时和760毫米水 银柱时以公斤/米 ³ 计	
空 气	混合气体	28.9	1.188	1.293	29.27
氧	O ₂	32	1.312	1.429	26.50
氮	N ₂	28.08	1.151	1.251	30.26
氢	H ₂	2.016	0.0827	0.0899	420.60
一氧化碳	CO	28	1.148	1.250	30.29
二氧化碳	CO ₂	44	1.804	1.977	19.27
乙 炔	C ₂ H ₂	26.016	1.066	1.176	32.59
甲 烷	CH ₄	16.032	0.658	0.717	52.89
照 明 气	混合气体	12.58	0.516	0.0562	67.40

例题

1. 1 公斤 N₂ 在温度 70°C 和压力为 2 绝对大气压时占多少容积?

[解]: 由 1 公斤气体的状态方程式:

$$Pv = RT$$

得:
$$v = \frac{RT}{P} = \frac{848}{28} \cdot (273 + 70) / 2 \times 10^4 = 0.519 \frac{\text{米}^3}{\text{公斤}}$$

2. 在 6 绝对大气压和 100°C 时 5 米³ 的氢、5 米³ 的氧和 5 米³ 的二氧化碳各重若干?

[解]: 对任意数量气体的状态方程式:

$$PV = GRT$$

气体常数从表中找出。故得:

$$R_{H_2} = 420.6 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \cdot \text{度}$$

$$R_{O_2} = 26.5 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \cdot \text{度}$$

$$R_{CO_2} = 19.27 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \cdot \text{度}$$

因此

$$G_{H_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{6 \times 10^4 \times 5}{420.6 \times (273 + 100)} = 1.91 \text{ 公斤}$$

$$G_{O_2} = \frac{6 \times 10^4 \times 5}{26.5 \times 373} = 30.35 \text{ 公斤}$$

$$G_{CO_2} = \frac{6 \times 10^4 \times 5}{19.27 \times 375} = 41.74 \text{ 公斤}$$

3. 气体在 2.5 表大气压及 40°C 时占有容积 $V = 4.5 \text{ 米}^3$ 。问在标准状况下它的容积为多少?

[解]: 因为 $P_0 = 1.0332$ 绝对大气压, $T_0 = 273^\circ \text{K}$, $P = 2.5 + 1 = 3.5$ 绝对大气压, $T = 273 + 40 = 313^\circ \text{K}$, $V = 4.5 \text{ 米}^3$, 则按照公式 (1—12)

$$V_0 = V \frac{PT_0}{P_0 T} = 4.5 \frac{3.5 \times 273}{1.0332 \times 313} = 13.3 \text{ 标准米}^3.$$

习 题

1. 根据标准状态下气体的比重, 求 CO_2 , O_2 , N_2 及 CO 的气体常数 R 。
2. 在压力 $P=10$ 大气压 (表压力) 及 $t=200^\circ\text{C}$ 时, 空气的容积为 800 升, 求它的重量 G 。
(答: 7.05 公斤)
3. 5 公斤氧在 100°C 和 3.5 绝对大气压时占有多少容积?
(答: 1.4米^3)
4. 在直径为 50 厘米的气缸中, 运动着的无摩擦的活塞下面充满着 18°C 的 0.2米^3 的气体, 假如气体在定压下加热到 200°C , 求活塞移动了几米?
(答: 0.639 米)
5. 内燃机启动用空气贮气筒中的压力, 在运动前为 15 绝对大气压, 启动后读数为 12 绝对大气压。筒的直径为 0.8 米、高度 2 米; 空气温度为 27°C 。试求在启动中空气的消耗量?
(答: 3.4 公斤)

1—5 混合气体—道尔顿定律

工质常常是由几种不同的气体所组成的混合气体。每种气体叫做该混合气体的组成气体。空气就是一种混合气体, 它主要是由 O_2 与 N_2 所组成的。混合气体的形成可以是不同气体发生混合的结果, 也可以是化学反应的结果, 例如各种燃料的燃烧就是这样。

当没有化学反应的时候, 可以认为在混合气体中每种气体的作用, 好像其余组成气体不存在时一样。每种气体的分子都极密切的都混在混合气体的全部容积之中, 其温度等于混合气体的温度。设混合气体的容积与温度为 V 与 T ; 组成气体的容积与温度为 $V_1, V_2, \dots, V_n$ 和 $T_1, T_2, \dots, T_n$ 。则

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

$$T = T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n$$

混合气体中的各种气体遵循着它自己的状态方程式, 从方程式可以得出混合气体的温度与容积下各种气体自己的压力, 混合气体中各种气体自己的压力称为分压力。根据道尔顿定律: 在没有化学反应时, 混合气体的压力等于组成混合气体的各气体分压力之和。设以 P 表示混合气体的压力, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 表示各组成气体的分压力, 则得出:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (1-13)$$

道尔顿定律只适用于相互间不发生化学变化的混合气体, 这点应加注意。

又设组成混合气体的各气体的重量分别为 $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ 公斤时, 则混合气体的总重量 G 应为各组成气体单独重量之和, 即

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

从状态方程式 $PV = GRT$, 则混合气体中的每种气体的状态方程式应为

$$P_1 V = G_1 R_1 T$$

$$P_2 V = G_2 R_2 T$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$P_n V = G_n R_n T$$

$$\begin{aligned} \text{則} \quad & (P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n) V = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots G_n R_n) T \\ \text{因} \quad & P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n = P \\ \text{則} \quad & PV = T (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots G_n R_n) \end{aligned} \quad (a)$$

更以R代表混合气体的常数，則

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n \\ \text{則因} \quad & PV = GRT \end{aligned} \quad (b)$$

于是由 (a) 及 (b)，則

$$GRT = T (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots G_n R_n)$$

$$\text{所以} \quad R = \frac{1}{G} (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots G_n R_n)$$

$$\text{或} \quad R = \frac{1}{G} \sum G_i R_i \quad (1-14)$$

如果混合气体各組成气体的重量及气体常数都为已知，則可由式 (1-14) 算出混合气体常数来。

由 (1-14) 式也可算出各組成气体的分压力。

例如

$$P_1 V = R_1 G_1 T \quad (a)$$

$$PV = RGT \quad (b)$$

以 (b) 除 (a)，則

$$\frac{P_1 V}{PV} = \frac{R_1 G_1 T}{RGT}$$

所以

$$P_1 = P \frac{R_1 G_1}{RG} \quad (1-15)$$

余可类推。

例题

干燥空气按重量由 23.2 份的氧及 76.8 份的氮所組成。設空气压力根据气压計为 $P_0 = 760$ 毫米水銀柱 (0°C)。求空气的气体常数以及氧和氮的分压力。

[解]：查表 1-1，得知

氧及氮的气体常数R各为 $26.5 \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot \text{度}}$ 及 $30.26 \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot \text{度}}$ 。于是根据式 (1-14)。

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{G} \sum R_i G_i = \frac{1}{0.232 + 0.768} (26.5 \times 0.232 + 30.26 \times 0.768) \\ &= 29.27 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \cdot \text{度}。 \end{aligned}$$

分压力为：

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= P \frac{R_{O_2}}{R} \times \frac{G_{O_2}}{G} = 760 \times \frac{26.5}{29.27} \times \frac{0.232}{0.232 + 0.768} \\ &= 159.4 \text{ 毫米水銀柱；} \end{aligned}$$

$$P_{N_2} = 760 \times \frac{30.26}{29.27} \times \frac{0.768}{1} = 600.6 \text{ 毫米水銀柱。}$$

习 題

試求 5 公斤氧 O_2 ，3 公斤氮 N_2 及 2 公斤二氧化碳 CO_2 所組成的混合气体的气体常数及 1 絕對大气压下的分压力。

1—6 热的单位和热容量

我們知道在工程热力学中，主要研究的是热与功的轉化問題，所以，我們必須懂得热量的单位和热量的計算方法。

在热能的本质还未正确的确定的时候，就已經有了热的量度单位——仟卡(大卡)，即：加热于 1 公斤的水使其温度升高 $1^\circ C$ 所需的热量。这个热量虽然不大，但随温度而不同，所以現在所規定仟卡的量为 1 [公斤] 的水由 $19.5^\circ C$ 加热到 $20.5^\circ C$ 时所需的热量。这个数量相当于 1 [公斤] 的水由 $0^\circ C$ 加热到 $100^\circ C$ 所需热量的百分之一。仟卡或大卡常称为工程卡，以区别于小卡或克卡——物理学中所用的单位，为工程卡的千分之一。

使 G 公斤的工质温度升高 $1^\circ C$ 所需加給工质的热量，叫做該工质的“热容量”。热容量的单位是仟卡/度。热容量的大小和工质的性质及工质的重量 G 有关。注意此处，“容量”二字的含义并非指“容納热的数量”，因为热本身并非物质，談不上容納。

既然热容量的大小不但与工质性质有关，而且与工质的重量有关，那末单位重量的工质的热容量便只与工质的性质有关，因此对于 1 [公斤] 的工质而言，其热容量另有一个名称，叫做“比热容量”，其单位为仟卡/公斤·度。

1—7 比 热

比热是工质的热容量和同重量純水的热容量之比，因此可以写成：

$$\begin{aligned} \text{工质的比热} &= \frac{\text{工质的热容量}}{\text{同重量純水的热容量}} \\ &= \frac{\text{工质的比热容量}}{\text{純水的比热容量}} \end{aligned} \quad (1-16)$$

比热是个比值，沒有单位，其数值恰与比热容量相等（因为純水的比热容量是 1 仟卡/公斤·度，所以由上列关系可知工质的比热与該工质的比热容量相等），因此在习惯上常以“比热”二字代替“比热容量”，这对比热便成为有单位的物理量了，其单位与比热容量相同。在工程热力学中所談的比热，都是指比热容量而言，所以它的单位也是仟卡/公斤·度。

比热不仅与工质的性质有关，而且也与加热过程有关，所以在决定比热时，必須注意到加热过程，特别是气体的加热过程。气体吸收热量之后，它的容积可以不变（定容