

中等专业学校教学用书

# 流体力学

張家口建筑工程专科学校編



中国工业出版社

PDG

中等专业学校教学用书

# 流体力学

張家口建筑工程专科学校編



中国工业出版社

422  
911  
393082



本书内容扼要介绍了流体静力学与流体动力学的基本概念、原理和管道水力计算等，同时以液体为主，根据专业需要，在各章中穿插了气体力学的某些基本知识和应用方法。

本书可作为建筑中等专业学校“供热、供煤气与通风”专业的教学用书。

## 流 体 力 学

張家口建筑工程专科学校編

\*

中国工业出版社建筑图书編輯室編輯(北京德勝門外大街10号)

中国工业出版社出版(北京德勝門外大街10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印張 $4\frac{11}{16}$ ·字数122,000

1961年6月北京第一版·1962年8月北京第三次印刷

印数1,191—1,703·定价(9-4)0.56元

\*

統一书号: K15165·233(建工-14)

PDG

# 前 言

在我国社会主义建設事业飞跃发展的形势下，教材必須遵循党的教育方針，更好地符合专业培养目标 和科学技术发展的需要。几年来在我校党委的领导和指示下，我們对有关教材不断地进行了总结和提高。在流体力学方面，由于已出版的“水力学”书籍，多系外专业所用，距离培养目标較远，这次，我們便根据建筑工程部教育局的指示，編写了流体力学这本书。

在教材的处理上，我們初次打破了旧的水力学系統，取消了与专业无关的“堰流”、“浮力”，加强了管道水力計算，局部阻力与明渠等速流，不另分章讲授，以液体为主，根据专业需要，更将气体力学基本知識及应用穿插到各章中讲授。至于可压缩流体的有关內容，考虑到专业課中用的并不多，且中专水平接受起来有困难，故未予編入。此外，考虑到各校設備条件不同，实验課也未編入。

在編写过程中，主观願望上企图加强教材的思想性、科学性和系統性，尽量作到由淺入深，精讲多练，重点突出，但由于水平和時間的限制，無論在教材处理上和具体內容上缺点和錯誤一定还有很多。我們衷心地希望讀者給予批評和指正，以便再版时更正。

張家口建筑专科学校供热与通风教研組

1961年4月

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第一章 緒論</b> .....    | 7  |
| § 1—1 流体力学的研究对象 .....  | 7  |
| § 1—2 流体力学的发展簡史 .....  | 8  |
| § 1—3 流体的密度与重率 .....   | 10 |
| § 1—4 流体的膨胀性与压缩性 ..... | 11 |
| § 1—5 流体的粘滞性 .....     | 16 |

## 第一篇 流 体 静 力 学

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第二章 流体静力学的基本概念</b> .....   | 19 |
| § 2—1 流体的静压强及其特性 .....        | 19 |
| § 2—2 流体平衡的基本方程式 .....        | 21 |
| <b>第三章 液体的平衡</b> .....        | 24 |
| § 3—1 連通器內液体的平衡 .....         | 24 |
| § 3—2 静压强的测量 .....            | 26 |
| § 3—3 計示水头与静力水头 .....         | 29 |
| § 3—4 眞空 .....                | 31 |
| § 3—5 虹吸 .....                | 32 |
| § 3—6 静压强分布图 .....            | 33 |
| <b>第四章 液体作用在壁面上的总压力</b> ..... | 36 |
| § 4—1 液体作用在底面上的总压力 .....      | 36 |
| § 4—2 液体作用在平面壁上的总压力 .....     | 37 |
| § 4—3 液体作用在曲面壁上的总压力 .....     | 41 |
| § 4—4 弯管上的静推力 .....           | 46 |

## 第二篇 流 体 动 力 学

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第五章 流体动力学的基本概念</b> ..... | 49 |
| § 5—1 概述 .....              | 49 |

|            |                                |            |
|------------|--------------------------------|------------|
| § 5-2      | 流綫、迹綫、微小流束、水流断面及流量 .....       | 50         |
| § 5-3      | 流体总流的連續方程式 .....               | 52         |
| <b>第六章</b> | <b>流体动力学的基本原理 .....</b>        | <b>55</b>  |
| § 6-1      | 理想液体微小流束的伯諾里方程式 .....          | 55         |
| § 6-2      | 理想液体微小流束伯諾里方程式的意义 .....        | 57         |
| § 6-3      | 实际液体微小流束的伯諾里方程式 .....          | 58         |
| § 6-4      | 实际液体总流的伯諾里方程式 .....            | 59         |
| § 6-5      | 实际气流的伯諾里方程式 .....              | 66         |
| § 6-6      | 伯諾里方程式的实际应用 .....              | 67         |
| <b>第七章</b> | <b>水力阻力与水头損失 .....</b>         | <b>74</b>  |
| § 7-1      | 水力阻力与水头損失的类别 .....             | 74         |
| § 7-2      | 等速流与变速流 .....                  | 74         |
| § 7-3      | 压力流、无压流与射流 .....               | 75         |
| § 7-4      | 水流断面的水力要素 .....                | 76         |
| § 7-5      | 流体运动的二种型态 .....                | 77         |
| § 7-6      | 层流与紊流的流速分布 .....               | 79         |
| § 7-7      | 計算摩擦水头損失的基本公式 .....            | 82         |
| § 7-8      | 摩擦阻力系数 $\lambda$ 的变化及其求法 ..... | 84         |
| § 7-9      | 謝才系数 $c$ 的求法 .....             | 90         |
| § 7-10     | 管中液流突然扩大的局部水头損失 .....          | 91         |
| § 7-11     | 計算局部水头損失的基本公式 .....            | 93         |
| § 7-12     | 局部阻力系数 $\zeta$ 的确定 .....       | 94         |
| § 7-13     | 水头損失的叠加 .....                  | 101        |
| <b>第八章</b> | <b>流体在管道中运动的水力計算 .....</b>     | <b>107</b> |
| § 8-1      | 概述 .....                       | 107        |
| § 8-2      | 液体压力流水力計算的基本公式 .....           | 109        |
| § 8-3      | 串联及并联管路的水力計算 .....             | 111        |
| § 8-4      | 給水管网水力計算的基本原理 .....            | 113        |
| § 8-5      | 沿途均匀洩水管路的水力計算 .....            | 117        |
| § 8-6      | 水錘現象及其計算 .....                 | 118        |
| § 8-7      | 热水管路水力計算的基本原理 .....            | 120        |
| § 8-8      | 下水管道的水力計算 .....                | 122        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| § 8—9 通风管道水力计算的基本原理 .....   | 125 |
| <b>第九章 孔口与管咀的液体出流</b> ..... | 129 |
| § 9—1 孔口的分类 .....           | 129 |
| § 9—2 固定水位下薄壁小孔口的自由出流 ..... | 130 |
| § 9—3 变水位下薄壁小孔口的自由出流 .....  | 133 |
| § 9—4 固定水位下侧壁大孔口的自由出流 ..... | 135 |
| § 9—5 固定水位下侧壁潜孔口的淹没射流 ..... | 135 |
| § 9—6 管咀的分类及其出流 .....       | 136 |
| § 9—7 管咀的实际应用 .....         | 140 |
| <b>第十章 气体的淹没射流</b> .....    | 143 |
| § 10—1 气体淹没射流的组成及其特性 .....  | 143 |
| § 10—2 圆截面射流 .....          | 144 |
| § 10—3 平面射流 .....           | 147 |
| § 10—4 温差射流与稠差射流 .....      | 148 |
| 主要参考书目 .....                | 151 |

# 第一章 緒 論

## § 1—1 流体力学的研究对象

在力学範圍內，研究流体（包括液体和气体）平衡与运动一般規律的科学称为流体力学。它是在不断总结生产实践和科学研究經驗的基础上逐渐发展起来的。在工程实践中，我們研究的是工程流体力学。根据流体的性质，可以分为水力学与空气动力学。水力学局限于研究液体，例如水、石油等平衡与运动的規律，以及这些規律在实际中的应用問題。空气动力学研究气体，例如空气、煤气、蒸汽等的运动規律，以及这些規律在实际中的应用問題。

流体力学分为二个基本部分：流体靜力学和流体动力学。前者研究流体的平衡，后者研究流体的运动。当然，运动是永恒的，絕对的，而平衡是暫时的，相对的。我們所說的平衡流体，是相对于地球來說，实际上，流体的平衡只是不断变化过程中的暫时現象。

解放以来，在党的正确领导下，社会主义建設事业飞跃地发展，流体力学已成为学习各种专业所共同研究的科学。在供热通风专业及房屋卫生技术設備专业中，涉及到这方面的問題很多。例如在生产过程中需要消耗巨大水量和热量的冶金工业，气象条件需要人工控制的紡織工业、精密机械工业等，無論在筹建或生产过程中，必須考虑水源、热源以及通风問題。而要想解决这些問題，我們應該面向生产，深刻地理解流体运动的規律。因此，通过流体力学的学习和研究，作到更好地为社会主义建設服务，这是我們重要的政治任务。

流体力学是一門基础技术課，它必須为学习专业課打下一定的理論基础，以保証順利地学习专业知識，达到专业培养目标；

同时，它也可作为从事供热通风与卫生技术设备等工程设计与施工中的理论依据。

我們現在研究的既然是工程流体力学，最終目的在于解决实际问题，特别是由于供热通风与卫生技术设备是一些新的工程领域，有許多問題仍然停留在实验数据的阶段，因此，在学习方法上应该强调理论与实际的結合，不断提高理论水平，滿足生产过程的需要。

### § 1—2 流体力学的发展簡史

流体力学是随着生产的发展而发展起来的，正如毛主席教导我們的：“馬克思主义者认为人类社会的生产活动，是一步又一步地由低級向高級发展，因此，人們的認識，不論对于自然界方面，对于社会方面，也都是一步一步地由低級向高級发展，即由淺入深，由片面到更多的方面。”<sup>①</sup>作为一門科学——流体力学，亦不能例外，它遵循着辯証唯物主义認識論，不断去認識物质客觀世界。

远在四千多年以前，我国劳动人民为了防洪，曾与水进行了不懈的斗争，禹“凿龙门”、“疏九河”的傳說，說明了当时劳动人民早就掌握了水的重力流动規律，从而創造了疏导的方法，使黄河疏流入海，消除了严重的洪水災害。在春秋战国和秦朝时代，社会生产力得到巨大发展，著名的水利工程：郑国渠、都江堰和灵渠相继兴建。公元前485年，又开始修筑南北运河。这些水利工程所以获得成功，主要是由于我国劳动人民在实践斗争中，逐步認識并掌握了自然界中水的运动規律。

至于气体的运动規律，古代亦早有运用。公元前513年，晋朝为了炼铁鑄造“铁鼎”而制成人力皮革鼓风机；公元37年后汉时，出现了水力带动的木制鼓风机，不久我国又发明了风扇。据西京杂記記載：“长安巧工丁緩作七輪扇，以輪相連，一人运

① “实践論”，毛泽东选集第一卷，人民出版社1951年版，282頁。

之，滿堂寒戰。”在明朝，宋應星著天工開物中，曾記載在矿井中，利用竹管排除井內污濁空氣的方法。

此外，在日常生活中，水車、風車用得更是廣泛。又如現今尚存的“延祐銅壺”（公元1363年造），利用孔口出流，巧妙地來精確計算時間。所有這些，說明了英雄勞動人民杰出的創造，推動了生產和科學的發展。

然而，在階級社會里，古代的偉大成就，都成為統治階級剝削人民的手段，無論是治水或是通風，根本目的是為統治階級的利益服務。至於國民黨反動統治時期，更是變本加厲。1938年，在黃河花園口決堤，造成莫大的災害。工廠車間，缺少必要的通風裝置，無視工人的身心健康。這個時期，流體力學的發展，大大地受到了阻礙。

與我國情況相似，早在幾千年前，在埃及、巴比倫、希臘和印度等地區，為了發展農業，已修建灌溉渠系，並發展了航運。公元前250年，希臘哲學家阿基米德第一次發表了闡述水流運動規律的文獻“論浮體”。但從那時候起，整個中世紀時期在流體力學領域內沒有新的發展。直到十六至十七世紀，流體力學才又開始進展。例如著名的科學家——芬奇、伽利略、托里拆里、巴斯加、牛頓等對流體力學都有較大的貢獻。以後由於封建制度的瓦解和工業生產的發展所引起的社會經濟上的原因，有力地促進流體力學更進一步地發展。公元1738年物理學家伯諾里創造了流體運動的能量方程式——伯諾里方程式。公元1775年科學家歐拉第一次最完善地闡述了理想流體運動方程式——歐拉方程式。與此同時，流體力學進行了大量的實驗與實地觀測，公元1755年工程師謝才從工程實踐中歸納出渠道等速流的阻力公式，直到現在仍被廣泛地應用。但是，在這段時期內，研究流體力學，理論與實踐往往是脫節的。

近半世紀來，由於各項工程的迅速發展，理論與實踐逐漸結合，公元1883年科學家雷諾發表了液體在管中流動的實驗結果，導出了雷諾準則。在工程水力學方面科學家巴甫洛夫斯基作出了

卓越的貢獻。而被列寧譽為“俄羅斯航空之父”的茹科夫斯基，對於流體力學的理論著作及實驗方法上，写下了光輝的一頁。茹科夫斯基是空氣動力學的奠基人。

偉大的十月革命以後，人類歷史上出現了第一個社會主義國家——蘇聯。社會主義制度保證了流體力學飛躍的發展，在蘇聯共產黨和列寧的領導下，制定了全國電氣化計劃，建設了一系列的水電站。目前，蘇聯人民在黨和政府的領導下，正建設着世界上最大的水電站，第一個載人的衛星式飛船的成功，更打開了人類進入宇宙的大門，把資本主義世界遠遠拋在後面。

自中華人民共和國成立以來，在中國共產黨和毛主席的英明領導和關懷下，我國社會主義建設一日千里。早在1950年根據毛主席“一定要把淮河修好”的號召，先後完成了一系列的水利工程。黃河的綜合治理和開發以及三門峽水利樞紐工程，現正加緊進行。1957年我國自造的噴氣式飛機已在天空飛翔，大批的工廠、礦山正在緊張修建，為了改善工人的勞動條件，大量的通風與空氣調節工程投入生產，這就使我國流體力學的發展具有非常廣闊的前景。這些偉大成績的取得，歸根到底是毛澤東思想的勝利，是三面紅旗光輝照耀下的成果。

我們的黨始終對文化科學的發展給與莫大的關懷，黨對科學工作者在思想、政治上給與無比的力量，堅決以馬列主義的理論，辯證唯物主義的觀點指導科學研究，使科研聯繫實際，服務於生產。因此流體力學和其他科學一樣，解放後，得到迅速的發展，相信今後短期內，在黨的領導下，依靠羣眾智慧，在積極學習蘇聯先進技術的基礎上，流體力學一定能趕上並超過資本主義國家，而躍居世界科學的前列。

### § 1—3 流體的密度與重率

流體是由大量的分子所組成的，這些分子相互之間以很高的速度作相對運動。它與剛體的主要區別在於流動性，例如在不平的桌面上倒少量的水，水在重力沿着桌面微小分力的作用下，就

向低处流动。

液体与气体比较起来，液体分子之间距离较小，虽能改变它的外形，但很难改变它的体积。气体分子之间距离较大，不仅可以改变它的形状，而且可以改变它的体积，使其能完全充满所容纳它的空间。

流体和刚体一样，具有质量和重量，通常以密度表示流体的质量与体积之比，用公式表示即：

$$\rho = \frac{M}{V} \left( \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right) \quad (1-1)$$

式中  $M$ ——流体的质量  $\left( \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}} \right)$ ；

$V$ ——流体的体积（米<sup>3</sup>）。

此外，以重率表示流体的重量与体积之比，用公式表示即：

$$\gamma = \frac{G}{V} \left( \frac{\text{公斤}}{\text{米}^3} \right) \quad (1-2)$$

式中  $G$ ——流体的重量（公斤）；

$V$ ——流体的体积（米<sup>3</sup>）。

流体的重率  $\gamma$  与密度  $\rho$  之间关系根据牛顿第二定律  $G = M \cdot g$ ,

$$\text{或} \quad \frac{G}{V} = \frac{M}{V} \cdot g$$

$$\text{即} \quad \gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

式中  $g$ ——重力加速度，通常采用 9.81 米/秒<sup>2</sup>。

在工程实际中，一般以重率来度量流体。+4°C 时蒸馏水 1 米<sup>3</sup> 的重量为 1000 公斤，即  $\gamma = 1000$  公斤/米<sup>3</sup>。标准状态（0°C 760 毫米水银柱）下的干空气，1 米<sup>3</sup> 的重量为 1.2928 公斤，即重率  $\gamma = 1.2928$  公斤/米<sup>3</sup>。

#### § 1-4 流体的膨胀性与压缩性

液体和气体在这个性质上存在着很大的差别，液体的膨胀性与压缩性很小，液体的重率虽然随着温度与压强的改变而变化，

但影响极小。而气体却不同，温度与压强的改变，对气体的重率变化，影响很大。

列出各种流体的重率  $\gamma$ 。

表 1-1

| 流 体 名 称                                    |            | 重 率 ( $\frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^3}$ ) | 测定条件                  |
|--------------------------------------------|------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| 液<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>体 | 汽 油        | 0.00068~0.00074                         | 15° C                 |
|                                            | 乙 醚        | 0.00074                                 | 0° C                  |
|                                            | 純乙醇 (无水酒精) | 0.00079                                 | 15° C                 |
|                                            | 甲 醇        | 0.00081                                 | 4° C                  |
|                                            | 煤 油        | 0.00080~0.00085                         | 15° C                 |
|                                            | 苯          | 0.00088                                 | 0° C                  |
|                                            | 矿油类潤滑油     | 0.00090~0.00093                         | 15° C                 |
|                                            | 重 油        | 0.00090~0.00095                         | 15° C                 |
|                                            | 蒸 餾 水      | 0.0010                                  | 4° C                  |
|                                            | 海 水        | 0.00102~0.00103                         | 15° C                 |
|                                            | 无水甘油       | 0.00126                                 | 0° C                  |
|                                            | 水 銀        | 0.01359                                 | 0° C                  |
| 气<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>体 | 氫          | $0.0899 \times 10^{-6}$                 | 0° C<br>760毫米<br>水銀柱高 |
|                                            | 氮          | $0.1785 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 甲 烷        | $0.7168 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 氨          | $0.7714 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 乙 炔        | $1.1709 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 一氧化碳       | $1.2500 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 氮          | $1.2505 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 二 氧 碳      | $1.2605 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 空 气        | $1.2928 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 氧          | $1.4290 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 二氧化碳       | $1.9768 \times 10^{-6}$                 |                       |
|                                            | 氯          | $3.2200 \times 10^{-6}$                 |                       |

(一) 液体的膨脹性通常以膨脹系数  $\beta_T$  表示，即温度每升高 1° C 时，液体体积的相对变化，即

$$\beta_T = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1-4)$$

式中  $V$  ——液体的体积;

$\frac{dV}{dT}$  ——液体体积对温度的相对变化。

表 1-2 列出了在不同温度与压强下水的膨胀系数。

表 1-2

| 压 强<br>(大气压) | 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) |                      |                      |                      |                      |
|--------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | 1~10                       | 10~20                | 40~50                | 60~70                | 90~100               |
| 1            | $14 \times 10^{-6}$        | $150 \times 10^{-6}$ | $422 \times 10^{-6}$ | $556 \times 10^{-6}$ | $719 \times 10^{-6}$ |
| 100          | $43 \times 10^{-6}$        | $165 \times 10^{-6}$ | $422 \times 10^{-6}$ | $548 \times 10^{-6}$ | $704 \times 10^{-6}$ |

图 1-1 繪出了在 1 个大气压下, 水的重率随温度的变化规律。从以上所述, 在 1 个大气压下, 温度较低时( $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ), 温度每增高  $1^{\circ}\text{C}$ , 水的体积仅改变万分之一点五。温度较高时( $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$ )亦只改变万分之七。重率随温度的变化是极小的, 因此, 在实际计算中, 除了部分供热系统以外, 膨胀性是可以不考虑的。

(二) 液体的压缩性通常以压缩系数  $\beta_p$  表示。即压强每增高 1 个大气压时, 液体体积的相对变化。即

$$\beta_p = \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-5)$$

式中  $V$  ——液体的体积;

$\frac{dV}{dp}$  ——液体体积对压强的相对变化。

压缩系数的单位为  $\text{厘米}^2/\text{公斤}$ 。

表 1-3 列出了在温度  $0^{\circ}\text{C}$  时不同压强下水的压缩系数。

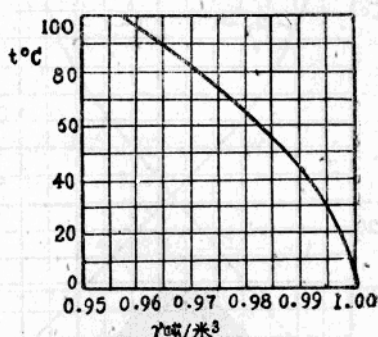


图 1-1

表 1-3

| 压 强<br>(大气压)                  | 5                      | 10                     | 20                     | 40                     | 80                     |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 压缩系数<br>(厘米 <sup>3</sup> /公斤) | $0.529 \times 10^{-4}$ | $0.527 \times 10^{-4}$ | $0.521 \times 10^{-4}$ | $0.513 \times 10^{-4}$ | $0.505 \times 10^{-4}$ |

液体压缩系数 $\beta_p$ 的倒数，我們通常称作弹性系数 $K$ ，单位为公斤/厘米<sup>2</sup>。即：

$$K = \frac{1}{\beta_p} \quad (1-6)$$

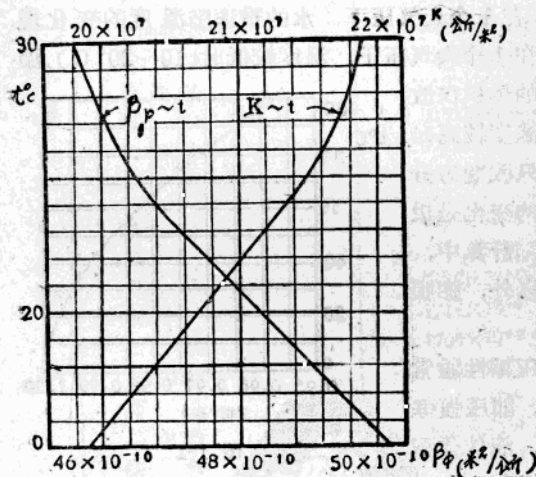


图 1-2

图 1-2 繪出了 1 个大气压下，水的压缩系数与弹性系数随温度的变化规律。

从以上所述，在温度 0°C 时，压强每增高 1 个大气压，水的体积只改变万分之零点五。而压缩系数与弹性系数随温度的变化是极小的，因此，在实际计算中，这种变化亦是可以不考虑的。

在不考虑液体的膨胀性与压缩性的情况下，水的重率一般采用

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 \text{ 吨/米}^3 = 1000 \text{ 公斤/米}^3 \\ &= 0.001 \text{ 公斤/厘米}^3 = 1 \text{ 克/厘米}^3 \end{aligned}$$

而水的密度一般采用

$$\rho = 102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$$

$$= 0.00102 \text{ 克} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$$

(三) 在考虑气体的膨胀性与压缩性时, 气体的重率  $\gamma$  (或密度  $\rho$ ) 与温度  $T$ 、压强  $p$  的关系, 必须符合气体的状态方程式即

$$p = \gamma RT \quad \text{或} \quad pV = GRT \quad (1-7)$$

式中  $R$  为气体的气体常数, 在标准状态下, 分子量为  $m$  公斤的气体, 其气体常数可利用公式 (1-7) 求得, 此时已知

$$p = 10333 \text{ 公斤} / \text{米}^2$$

$$V = 22.4 \text{ 米}^3$$

$$T = 273^\circ \text{K}$$

$$G = m \text{ 公斤}$$

代入  $pV = GRT$

$$\text{即} \quad 10333 \times 22.4 = m R \times 273$$

$$mR = 848 \quad \therefore R = \frac{848}{m} \left( \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ \text{K}} \right) \quad (1-8)$$

例如氧气的分子量为 32 公斤, 故气体常数

$$R = \frac{848}{32} = 26.50 \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ \text{K}}$$

表 1-4 列出了不同气体在标准状态下的气体常数  $R$ 。

表 1-4

| 气 体 名 称 | 气体常数 $\left( \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ \text{K}} \right)$ |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 氢       | 420.50                                                                                 |
| 氮       | 211.90                                                                                 |
| 甲烷      | 52.80                                                                                  |
| 氨       | 49.80                                                                                  |
| 乙炔      | 32.80                                                                                  |
| 一氧化碳    | 30.25                                                                                  |
| 氮       | 30.25                                                                                  |
| 二氧化碳    | 30.23                                                                                  |
| 空气      | 29.27                                                                                  |
| 氧       | 26.50                                                                                  |
| 二氧化氮    | 19.25                                                                                  |
| 氯       | 11.95                                                                                  |

**例题：**試用气体状态方程式，求在1个大气压下，溫度  $t = 30^{\circ}\text{C}$  的热空气重率为多少？

**解：**根据气体状态方程式，在1个大气压下，温度为  $t^{\circ}\text{C}$  时空气的重率

$$\gamma = \frac{p}{RT} = \frac{10333}{29.27 \times (273 + t)} = \frac{353}{273 + t} \quad (1-9)$$

$$\text{令 } t = 30^{\circ}\text{C} \quad \therefore \gamma_{30} = \frac{353}{273 + 30} = 1.165 \text{ 公斤/米}^3$$

气体虽然是可以膨胀和压缩的，但有时气体在压强和温度不变或变化很小的情况下，重率仍然可以看作是常数，这种气体称为未压缩气体。而将气体受到膨胀或压缩，重率已经不能看作常数的气体称为压缩气体。在通风工程中，通常采用的压强较小，可以当作未压缩气体进行计算。只有在煤气的远距离输送、热力网中蒸汽的输送等情况下，应按压缩气体计算。

### § 1—5 流体的粘滞性

流体的粘滞性系指相邻各层的流体作相对运动时所表现的阻抗性质。例如在同样的条件下，倾倒水和重油，则发现重油不易流动，所以如此，就是由于重油的粘滞性较水的粘滞性大。即使同一种流体，温度不同时，其流动快慢亦有所不同。

流体的粘滞性可以通过粘滞性测定仪测定；通常以粘滞性动力系数  $\mu$  或粘滞性运动系数  $\nu$  来表示，二者的关系可用下式表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-10)$$

式中  $\rho$  为流体的密度。

流体的粘滞性系数与温度  $t$  有关，在标准气压下，一般可以通过下列经验公式计算

$$\text{液体} \quad \nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0377t + 0.000221t^2} \quad (1-11)$$