

农业专科学校试用教材

# 近代农业物理基础

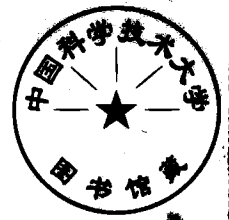
江苏省农业专科学校  
近代农业物理基础教材编写组编

江苏人民出版社

农业专科学校试用教材

# 近代农业物理基础

江苏省农业专科学校  
近代农业物理基础教材编写组编



江苏人民出版社

农业专科学校试用教材

**近代农业物理基础**

江苏省农业专科学校  
近代农业物理基础教材编写组编

江苏省书刊出版业营业登记证出〇〇一〇号

江苏人民出版社出版

南京湖南路十三号

江苏省新华书店发行 无锡人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 1/4 字数 274,000

一九六一年九月第一版

一九六一年九月南京第一次印刷

印数 1—5,000

## 前 言

本书是1960年8月由农业厅、教育厅組織的編写小組在南京农学院党委领导和物理教研組具体指导下編写的試用教材。經過一年試教之后，又組成修訂小組进行了全面的修訂。

在編写过程中考虑了本課程是一門基础課，也注意到为专业服务，并克服了过去普通物理学中存在的繁瑣、重复高中教材和脱离实际的傾向。在取材上尽量做到适用面廣些，例如，同位素在农业上的应用，包括了在农作物、植物保护、土壤农化、畜牧兽医等方面的应用，以便于各专业擇需講授。

### 使用本教材的几点建議

1. 本教材的内容，必須在“高等数学”的基础上进行。

2. 本課程的时间，建議为90課时。理論部分为72課时，（内分緒論1課时，流体力学4課时，超声波及其理論基础11課时，交流电11課时，电子学基础16課时，光学7課时，傳热学6課时，半导体6課时，同位素10課时）。实验实习为18課时，关于实验，希望各校根据情况，进行5—6次，每次以3課时計算。

3. 本教材为了适用面廣些，并照顧各专业，及考虑学生水平，因此許多材料，用小号字体印刷，以便根据具体情况选择講授。至于大号字体印刷的，則多系共性方面的材料。

采取这种系統和内容，完全是一种新的嘗試，是否妥当，希望从实践中得出結論。由于編者的水平限制，加之時間仓促，因此，本教材存在的缺点和錯誤是免不了的，我們衷心希望使用本教材的师生們和讀者們，多提出宝貴的批評与建議，以便进一步修訂。

江苏省农业专科学校  
“近代农业物理基础”修訂組

1961年4月



# 目 录

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 緒 論                       | ( 1 )   |
| 第一章 流体力学                  |         |
| § 1—1 理想流体的稳恆流动与連續原理      | ( 4 )   |
| § 1—2 伯努利方程               | ( 5 )   |
| § 1—3 实际流体的流动与粘滯系数        | ( 9 )   |
| 第二章 超声波及其理論基础             |         |
| § 2—1 簡諧振动                | ( 13 )  |
| § 2—2 波动                  | ( 17 )  |
| § 2—3 声波和超声波的几个基本概念       | ( 22 )  |
| § 2—4 声波和超声波的特性           | ( 26 )  |
| § 2—5 超声波发生器              | ( 37 )  |
| § 2—6 超声波的应用              | ( 42 )  |
| 第三章 交流电                   |         |
| § 3—1 克希荷夫定律              | ( 46 )  |
| § 3—2 惠斯登电桥 电位計           | ( 48 )  |
| § 3—3 电磁感应                | ( 50 )  |
| § 3—4 交流电路                | ( 53 )  |
| § 3—5 三相交流电               | ( 67 )  |
| 第四章 电子学基础                 |         |
| § 4—1 常用电子管               | ( 76 )  |
| § 4—2 电子管放大器              | ( 90 )  |
| § 4—3 电子管振盪器              | ( 98 )  |
| § 4—4 无线电通訊的基本原理          | ( 102 ) |
| § 4—5 电路分析                | ( 103 ) |
| 第五章 光 学                   |         |
| I、 光的波动性                  |         |
| § 5—1 光的干涉和繞射             | ( 106 ) |
| § 5—2 光的偏振                | ( 113 ) |
| II、 光的量子性                 |         |
| § 5—3 光电效应 光子說            | ( 118 ) |
| § 5—4 荧光和磷光 光化学原理 紅外綫与紫外綫 | ( 121 ) |

## 第六章 傳热学

|       |             |       |
|-------|-------------|-------|
| § 6—1 | 热傳导         | (125) |
| § 6—2 | 热輻射         | (127) |
| § 6—3 | 对流          | (131) |
| § 6—4 | 农业中常見的傳热学問題 | (132) |

## 第七章 半导体

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| § 7—1 | 原子的能級                  | (136) |
| § 7—2 | 固体导电的能帶理論              | (138) |
| § 7—3 | 电子型 (n型) 和空穴型 (P型) 半导体 | (141) |
| § 7—4 | 半导体的电导率与温度的关系 热敏电阻及其应用 | (143) |
| § 7—5 | 温差电现象及其应用              | (145) |
| § 7—6 | 半导体的光电导现象 光敏电阻         | (146) |
| § 7—7 | 半导体二极管及其整流作用           | (148) |

## 第八章 同位素

|       |               |       |
|-------|---------------|-------|
| § 8—1 | 原子核的基本知識      | (151) |
| § 8—2 | 放射性           | (154) |
| § 8—3 | 放射性同位素的制备     | (159) |
| § 8—4 | 放射綫与物質的相互作用   | (163) |
| § 8—5 | 粒子的探测         | (165) |
| § 8—6 | 放射綫的防护        | (171) |
| § 8—7 | 放射性同位素在农业上的应用 | (173) |

|         |           |       |
|---------|-----------|-------|
| 附录 I、   | 若干常数的值    | (183) |
| 附录 II、  | 常用放射性同位素表 | (184) |
| 附录 III、 | 对数表       | (186) |
| 附录 IV、  | 三角函数表     | (189) |

## 緒 論

二十世紀是原子能時代，它將以一個物理學的全盛世紀載入科學史冊。二十世紀剛開始，物理學上就出現了兩個偉大的成就：一個是相對論，它揭露了高速運動物體的力學規律，建立了新的時空概念；另一個是量子的假說，從這個基本概念出發，不僅成功地解釋熱輻射現象，而且是現代量子力學的開端。從1916年，丹麥物理學家玻爾提出原子核模型起到目前為止，原子核物理學從原子內部結構，原子核內部性質，原子核能的釋放，直到在生產技術方面的實際應用，都取得了極其偉大的成就。例如，蘇聯建成了世界第一個原子能破冰船，和在1954年建成了世界上第一個原子能發電站，以及射線、放射性同位素在技術方面被廣泛的應用，都是這方面的偉大成就的有力說明。

蘇聯是當代科學的先驅者，第一個發射出人造地球衛星和人造太陽行星，最近又成功的發射載人宇宙飛船，這不僅說明了人類從此將進到一個新的無限廣闊的星際活動中去，同時更集中的標志着今天的科學技術跨進了一個新的歷史時期。我們知道，帝俄時代的科學技術是非常薄弱的，遠遠落在歐美一些主要的資本主義國家之後，而今天蘇聯科學之所以能夠得到如此迅速發展，是因為優越的社會主義制度給科學开辟了無限廣闊的道路，蘇聯共產黨和蘇聯政府的正確領導保證了蘇聯科學的順利前進。在二十世紀六十年代，物理學將會得到更大的發展，可以設想，不久即將有更多的“加加林”能夠乘上宇宙飛船遨遊太空；通過熱核反應，從海水里取得無窮無盡的能量；從介子作媒介的冷核反應中更有效的取得能量；用光子的反沖來推動火箭；用等離子體來開闢隧道；用原子能來改變河川和沙漠；用磷光物質來實現人造太陽。這些都不是幻想，在不久的將來將會變成千真萬確的事實。

解放以來，黨和政府對發展生產、提高人民生活極為重視，科學技術得到飛躍發展，物理學也同樣的得到了空前的發展。尤其大躍進以來，我國廣大勞動人民在黨的社會主義建設總路線的光輝照耀下，開展了技術革新和技術革命的群眾性運動。這一運動大大地促進了工農業生產的發展，並獲得了巨大的成績。近年來我國物理學的發展愈來愈深入到農業生產的各个方面，物理學的最新成就，在農業生產上已經逐漸被廣泛的應用起來，並把農業技術提高到了一个新的高度。如運用半導體制成熱敏電阻、光敏電阻等極其精密的儀器，使人們能夠迅速而且準確地測定植物莖、葉、谷粒、根須和昆蟲體內的溫度；核子物理學的現代成就，已廣泛地應用示蹤原子方法來揭發土壤和植物體內各種有機體變化過程。現代物理學在農業上的一切應用，都起着直接或間接刺激作物生長發育和提高產量的作用。黨明確地提出農業是國民經濟的基礎，這對學習物理學的人們提出了一個重大的任務——進一步地更大規模的研究並推廣現代物理成就在農業技術上的應用，這是一個光榮而艱巨的任務。

物理學的本身是沒有階級性的，但是在階級社會中，被不同的階級掌握，它就為一定的階級服務，比如在原子能科學方面，當重核分裂獲得成功以後，美帝國主義首先把它用

在侵略战争上，而苏联掌握了原子能后，尽量在和平用途上发挥原子能的威力，第一个原子能发电站，第一个原子能破冰船都是在这方面的伟大成就。另一方面，不同的阶级具有不同的世界观，对于一切自然现象，不同的阶级有不同的解释。我们唯物主义者认为，物理学的研究成就愈深入就愈能揭示和丰富了辩证唯物主义的原理。例如原子结构理论和元素的衰变，一方面揭示了各元素的相互关系，另一方面也充分说明了一切事物都在不断的运动和变化着；无数物理学的例子，都给辩证唯物主义哲学提供了有力的科学论据。可是那些资产阶级哲学家却极力歪曲自然科学的新成果，作出种种荒谬的解释。例如关于空间和时间的见解的斗争，在整个哲学史中是经常发生的。当爱因斯坦提出相对论以后，现代的资产阶级哲学攻击着空间和时间的科学的概念。说什么“世界之外的‘神的’力量创造了世界，世界在空间和时间上的有限性，空间和时间是主体的感觉”等等。当然，这都是唯心主义的口舌。学习物理如果不掌握唯物主义观点和方法，不但不能正确和深入地理解物理学上的一切成就，并且因而抵抗不住唯心主义的侵蚀和影响。作为毛泽东时代的青年和一切科学工作者，必须以鲜明的无产阶级立场，用辩证唯物主义的观点和方法来学习和研究物理学，并和一切唯心主义的恶想开展不调和的斗争，正确掌握科学知识，在思想战线上担负起捍卫科学的责任。

由于生产实践的需要产生了自然科学，而自然科学的理论和成就，反过来又指导和推动生产技术进一步发展。生产技术进一步的发展，又向自然科学提出了新的要求，这样科学和技术就迅速沿着进步的道路前进。近代工农业生产的大发展，要求解决巨大的能源问题，这就促进了原子物理学和原子核物理学的发展，而原子物理学和原子核物理学的成就给人类在工农业生产上提供了一个有广阔前途的能源，即原子核能。1954年苏联已首先将它用来发电，供工农业生产需要。所以科学技术的进步就必然要推动着生产技术的革新和发展，生产技术的发展也将再促进自然科学的发展。我国是社会主义制度的国家，要求大力发展生产，加速我国社会主义建设。因此，我们研究和学习物理学，目的是为了了解决生产技术上的问题，在学习过程中，我们应具有这样一个明确而强烈的生产观点。

许多资产阶级学者故弄玄虚，把科学说成是“天才”的创造，使科学神秘化起来，使劳动人民感到科学高不可攀，形成理论和生产实践脱离。但事实上当科学脱离了实践，它就失去了生命力成为僵死的东西，本教材以近代物理技术在农业生产上应用为中心编写成的。促使本课程紧密结合实际，为现代农业生产技术服务。

同时，那种只重视实践而忽视理论的作用同样是片面的。理论是经过更广泛实践的概括和思维而总结出来的系统化的知识，它使我们对事物的认识更加全面、更为系统。因而更有可能掌握事物的本质而不为其表面现象所蒙蔽。如果将实践在理论指导下进行，将使我们在错综复杂的现象中，有目的有意识地进行实践，这样就能收益大而收效快。如果实践脱离了理论的指导，就变成盲目的摸索，极易被片面的表面现象所迷惑，以致徒劳无功。理论与实践是同样重要，二者相辅而成，不可偏废。因此本教材包括：一、流体力学；二、超声波及其理论基础；三、交流电；四、电子学基础；五、光学；六、传热学；七、半导体；八、同位素等八章。整个内容以近代物理技术在农业上应用为中心，又重视



組織有關的理論，作為教材的主要組成部分。因此，我們學習要從現代農業生產技術的需要來學習理論知識，把學到的理論知識應用到生產實踐中去，為生產技術服務。

本課程許多內容都是近代物理學最新成就在農業上應用的有關知識，這些知識還很年輕、還不成熟，從目前看來，許多工作還僅僅是一個開始，遠遠跟不上我國生產上飛躍發展的要求。這都要求我們在学习過程中發揮主觀能動性，創造性的學習，創造性的應用這些知識。只要我們刻苦鉅研，緊密結合實際，就能為祖國的社會主義建設作出貢獻。

# 第一章 流体力学

气体和液体总称为流体，流体的运动规律和固体是不一样的，在农业上风力的利用、水力的发电、灌溉和排水等都是流体运动的问题。

## §1-1 理想流体的稳恒流动与连续原理

### (一) 理想流体的稳恒流动

在研究流体运动的规律时，在一定的情况下，假设流体是不可压缩的，同时在流动时没有内摩擦力的作用（即没有粘滞性）。这样的流体称为理想流体。

如果流体流过的空间各点的速度保持一定，不随时间而改变，则流体的运动称为稳恒流动。例如图（1—1）中，流体中任何质点流经A点时都有相同的速度 $v_A$ ，任何质点流经B点时都有相同的速度 $v_B$ （当然 $v_A$ 和 $v_B$ 是可以不同的），故图（1—1）示出流体的稳恒流动。

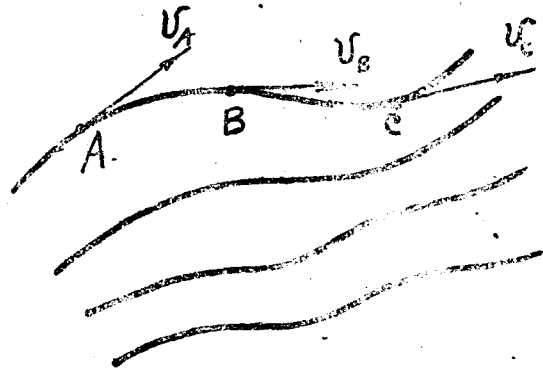


图1-1 流线

由上可见，流体在稳恒流动时，每个地点虽都有一定的速度，但各个地点的速度都可能不相同。我们想象在流体中作一系列的曲线，使线上每点的切线都与质点在经过这一点时的速度方向一致，这样的一些线称为流体的流线。在稳恒流动时，流体质点的运动轨迹就可以用流线来表示。

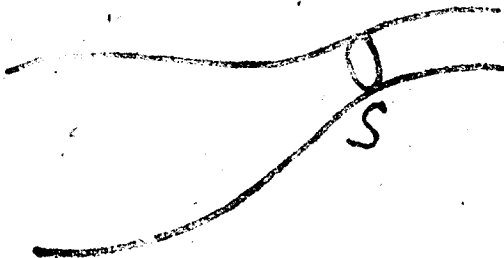


图1-2 流管

在流体中，任意画出一个截面面积 $S$ ，通过它的周界作许多流线，这些流线所包围的一部分流体称为一个流管。流体作稳恒流动时，流管中的流体只能在管中运动，不能穿出流管外；流管外的流体，也不能进入该流管之内。

当理想流体在固体做成的管中作稳恒流动时，固体的管壁可以看做一个流管，我们可用流管的概念来讨论流体的运动。

情况。

## (二) 理想流体的連續原理

### (1) 流量

流体在单位时间内流过某一截面的体积叫做流过该面积的流量。

从流管中任取一截面积  $S$  (图 1—2), 设在  $S$  上各质点的速度都是  $v$ , 则在  $\Delta t$  时间内流过  $S$  的流体体积为:

$$\Delta V = Sv\Delta t$$

故流过  $S$  的流量为:

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Sv \quad (1-1)$$

例如, 某渠道的水流横截面积为  $4 \text{ [米]}^2$ , 该处水流的平均速度为  $0.85 \text{ [米]/[秒]}$ , 则通过此渠道的流量为  $q = Sv = 4 \times 0.85 = 3.4 \text{ [米]}^3/\text{[秒]}$ , 此渠道每天可流出  $293800 \text{ [米]}^3$  ( $3.4 \times 3600 \times 24 = 293800 \text{ [米]}^3$ ) 的流水灌溉水田。

在许多问题中, 都需要计算流量。

### (2) 液体連續原理

在一个流管中, 任意取两个与流管垂直的截面  $S_1$  和  $S_2$  (如图 1—3), 设在两截面处的速度分别为  $v_1$  及  $v_2$ , 那么对不可压缩流体在单位时间内流过  $S_1$  的流体的体积和流过  $S_2$  的体积应当相等, 即

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (1-2)$$

这就是说, 不可压缩流体作稳恒流动时, 流过流管的流速和

流管的截面积成反比。一般说来, 上式可写成:

$$q = Sv = \text{恒量} \quad (1-3)$$

亦即在一定流管中, 流过任何截面的流量是一恒量, 这个关系叫做液体連續原理。液体連續原理是一个相当重要的原理。

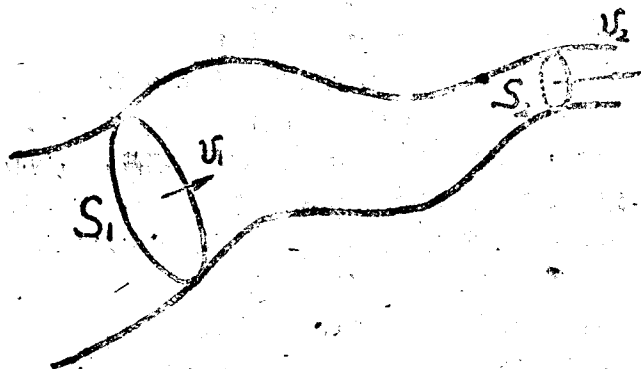


图 1—3 流体的連續原理

## §1—2 伯努利方程

### (一) 伯努利方程

伯努利方程是流体力学基本定律之一, 它说明流管中各截面上的压强、高度和流速之间的关系。我们利用功能原理来导出这一定律。

试观察流管中在截面  $S_1$  及  $S_2$  之间的流体 (图 1—4), 经过很短的时间  $\Delta t$  后, 两截

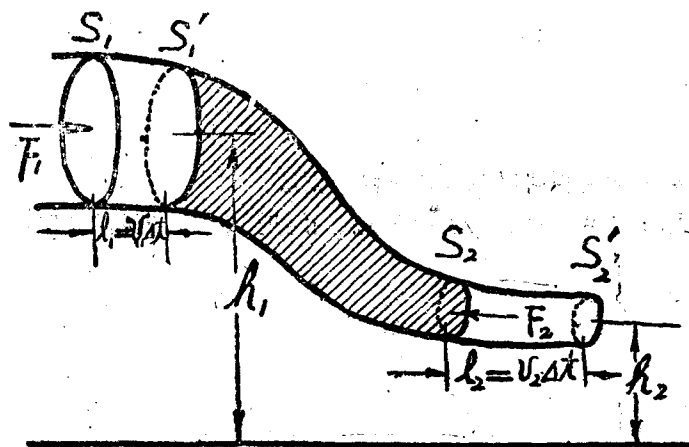


图1-4 一段稳恒流动的液体

面的位置移至  $S_1'$  及  $S_2'$ ,  $l_1$  及  $l_2$  各为截面  $S_1$  及  $S_2$  的液体在  $\Delta t$  时间内所移动的距离。设液体在  $S_1$  处的压强为  $P_1$ , 速度为  $v_1$ , 高度为  $h_1$ ; 在  $S_2$  处的压强为  $P_2$ , 速度为  $v_2$ , 高度为  $h_2$ 。则对于  $S_1$ 、 $S_2$  两截面之间的这段液体来说, 它们所受的外力  $F_1$  及  $F_2$  分别为

$$F_1 = P_1 S_1$$

$$F_2 = P_2 S_2$$

其中力  $F_1$  是沿着液体流动的方向, 当液体流动时, 它作了

正功, 而力  $F_2$  则是逆着液体流动的方向, 作的功是负功。因此, 当液体从  $S_1$ 、 $S_2$  移至  $S_1'$ 、 $S_2'$  时, 这两个力对液体所作的功为:

$$\begin{aligned} A &= F_1 l_1 - F_2 l_2 \\ &= F_1 v_1 \Delta t - F_2 v_2 \Delta t \\ &= P_1 S_1 v_1 \Delta t - P_2 S_2 v_2 \Delta t \\ &= P_1 V_1 - P_2 V_2 \end{aligned}$$

其中  $V_1 = S_1 v_1 \Delta t$  为在时间  $\Delta t$  内流经截面  $S_1$  的液体的体积;  $V_2 = S_2 v_2 \Delta t$  为在时间  $\Delta t$  内流经截面  $S_2$  的液体的体积 (设  $\Delta t$  很小,  $S_1 \approx S_1'$ ,  $S_2 \approx S_2'$ )。根据连续定理,  $S_1 v_1 = S_2 v_2$ , 所以,  $V_1 = V_2 = V$ , 因此外力对液体所作的总功为

$$A = P_1 V - P_2 V$$

按功能原理, 外力对液体所做的功应等于液体能量的变化, 即  $A = E_2 - E_1$ 。对所考虑的这段液体来说,  $S_1'$  在  $S_2$  之间的这段液体的能量在流动前后没有变化, 所变化的是  $S_1 S_1'$  这段液体改为  $S_2 S_2'$  这段液体了。因此, 在外力作功前,  $S_1 S_1'$  这段液体的机械能  $E_1$  变为做功后  $S_2 S_2'$  这段液体的机械能  $E_2$ 。  $E_1$  和  $E_2$  分别为:

$$E_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1$$

$$E_2 = \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2$$

式中  $m$  为体积  $V_1$  或  $V_2$  中液体的质量。

根据  $A = E_2 - E_1$  得:

$$P_1 V - P_2 V = \left( \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2 \right) - \left( \frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1 \right)$$

或

$$P_1 V + \frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1 = P_2 V + \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2$$

$S_1$  及  $S_2$  这两截面是任意选取的, 所以, 对于流管中任一截面来说,

$$PV + \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{恒量} \quad (1-4)$$

上式称为伯努利方程，式中 $PV$ 称为压强能，表示这一块液体（体积为 $V$ ）处在压强 $P$ 时所具有的能量。伯努利方程可以表达如下：任意一块理想液体在同一流管中的任何一处所具有的压强能、动能及重力势能的总和为一恒量。

用体积 $V$ 除式（1-4）中的每一项，则伯努利方程可写成另一种形式，即

$$P + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v^2 + \frac{m}{V} gh = \text{恒量}$$

$$\text{或} \quad P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{恒量} \quad (1-5)$$

$$\text{或} \quad P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (1-5a)$$

式中 $\rho$ 表示液体的密度。式（1-5）或（1-5a）是伯努利方程最常用的表达形式。

液体和流速较慢的气体都可以近似地看成是不可压缩性流体，当它们的内摩擦阻力可忽略不计时，都可应用上式。

## （二）伯努利方程的应用

伯努利方程的应用范围很广，如风力、水力的利用，动物的血液流动及血压等问题，都可以应用伯努利方程进行计算。下面列举几个简单的例子来分析一下。

### （1）蓄水坝底部涵洞中的流速。

修水坝时，常在坝底修一个涵洞，引水出洞，水坝的示意图如图（1-5）所示。可以利用伯努利方程来计算涵洞口的水的流速 $v$ 。

蓄水坝的水面 $A$ 的面积比涵洞的面积大得多，在这种情况下，水面 $A$ 下降得很慢，流动现象可以认为是稳恒流动，而水面 $A$ 处的流速 $v_1$ 可认为接近于零。水面 $A$ 及涵洞 $B$ 处截面的压强跟与它们接触的大气压强 $P_0$ 相等。设涵洞处流速为 $v_2$ ，应用伯努利方程：

$$P_0 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_0 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\text{根据条件得：} \quad \rho gh_1 = \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\text{所以} \quad v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

当涵洞贴近坝底时， $h_2 = 0$ ，则

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1-6)$$

此式说明，水由洞口流出的速度等于它从高度为 $h$ 处自由落下时所得的速度。这是在水力学中常用的一个公式。

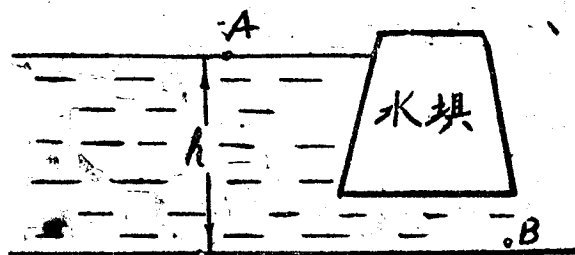


图1-5 水坝的示意图

## (2) 水平管中流体的流速和压强之间的关系。

当液体在水平流管中流动时，液体的重力势能没有变化，这时候  $h_1 = h_2$ ，伯努利方程可简化成：

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{恒量} \quad (1-7)$$

从式中可以看出，在水平流管中流速大的地方压强小，又由连续定理可知，管子粗的地方流速小，管子细的地方流速大，因此管子细的地方压强小，而管子粗的地方压强大。

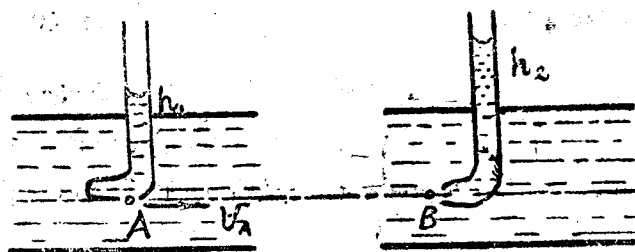


图1-6 水管中流速的测定

应用公式 (1-7) 可以测定流管中某处的流速。测定的方法如下：在管中A处插一底部有孔的细管（图1-6），管中水面的高度  $h_1$  表示该处液体静压强的大小。同时在管中的A的附近B处插入另一个底部弯曲的细管，在弯曲部分的末端有一个朝着水流的小孔，当水在管底受

到阻碍时，流动停止，所失去的动能变为附加压强能，因而管中上升的水面更高为  $h_2$ 。测出两管中水面的差，就可以决定A、B两处的压强差  $P_A - P_B = \rho g (h_2 - h_1)$ ，根据伯努利方程：

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2,$$

但(註)  $v_B = 0$ ,

所以

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B$$

$$v_A = \frac{2(P_B - P_A)}{\rho} = \sqrt{2g(h_2 - h_1)}$$

利用此式可算出管中液体的流速。

## (3) 流水抽气机

图(1-7)表示一个流水抽气机。图中管O与被抽气的容器相连，当水自锥形管的细口流出时，流速很大，在附近造成一个低压的区域，因此四周的空气都向这里集中，被流水带走而经过下面的管子排出，于是容器中的空气就逐渐被抽稀。好的流水抽气机可以抽至2〔厘米水银柱〕的真空程度。

## (4) 自来水的流速

自来水设备除用水塔供给水位外，还可以用压力水柜，它的示意图如图(1-8)，水柜内水面上是压强很大的空气，

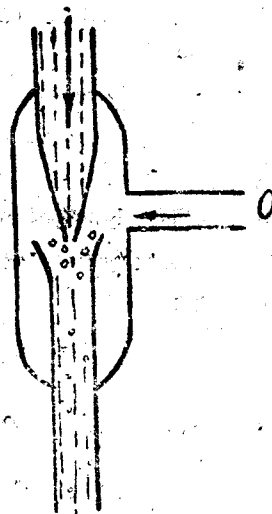


图1-7 流水抽气机



这样就可以不用建筑高塔而供高楼用水。如对柜中的水面 A 及一、二、三楼的水龙头口应用伯努利方程, 则得:

$$\begin{aligned} P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g h_A \\ = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 \\ = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \\ = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_3^2 + \rho g h_3 \end{aligned}$$

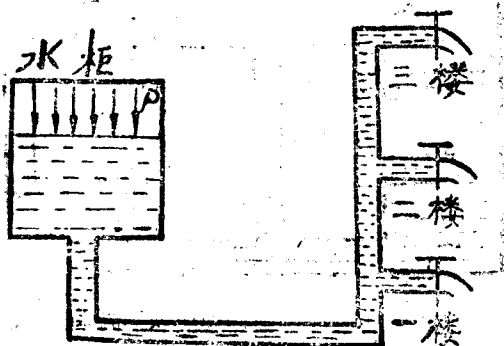


图1-8 压力水柜

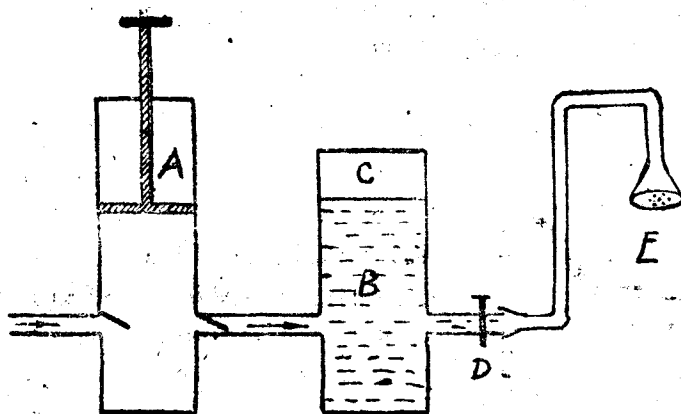


图1-9 喷雾器的示意图

式中  $P_A$  为水柜内的压强,  $P_0$  为大气压,  $v_A, v_1, v_2, v_3$  为水柜的水面处及各楼水龙头口的流速,  $h_A, h_1, h_2, h_3$  为水柜的水面及各楼水龙头的高度, 应用此式可以计算各楼水龙头的流速。

防止作物病虫害用的药物喷雾器也是利用空气压力的作用 (图 1-9)。唧筒 A 将药液吸进后, 压入 B 筒, B 筒内原有空气的体积因药液进入而

减小。图中 C 为药液吸入后的空气体积, 它的压强因体积减小而增大至几个大气压。喷药时拧松开关 D, B 筒内的药液就因受液面的空气压力而经过橡皮管由喷头 E 喷出。

### §1-3 实际流体的流动与粘滞系数

#### (一) 实际流体的流动

以上所讨论的都是理想流体。对于实际流体, 压缩性和内摩擦都存在, 其中以内摩擦较显著, 流体在流动时具有内摩擦力这一性质称为流体的粘滞性。

图 (1-10) 中, A 为一盛满水的大容器, 下面连一等截面的水平管, 在水平管上接几根等距离的垂直细管作为压强计。若为理想流体, 则根据公式 (1-4) 和 (1-7) 水平管中各处的压强相等, 因此各细管中水面的高度也应该是一样的。但是实际的情况并非如此, 各细管中水面的高度是逐渐减小的 (图 1-10)。

由于水平管中各处的流速都相等, 所以压强的减小只能说明液流的总能量减少, 也就

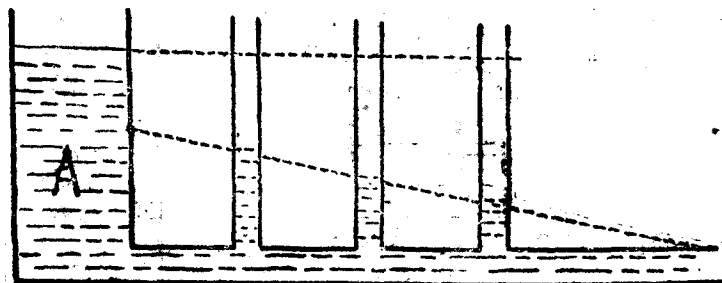


图1-10 实际流体的流动

是说，实际流体在流动时是有能量的消耗的。能量消耗的原因是由于流体在流动时需要克服内摩擦力而做功。

实际流体流动时，总的机械能既不守恒，伯努利方程就不能适用。

## (二) 粘滞系数

现在来讨论实际流体的内摩擦力，从而引入实际流体的粘滞系数这一物理量。

实验指出，实际流体在流动时，各层的速度是不相同的，最靠近器壁的一层紧贴在壁上，流速为零。离器壁越远，流速越大。可以想象把流体按速度分成许多层，每两层之间都有速度差，因而在两层的交界面上出现了内摩擦力。较快的一层作用一加速力于较慢的一层上，较慢的一层作用一阻滞力于较快的一层上。这一对大小相等而方向相反的力叫内摩擦力。根据实验可知，内摩擦力的大小依赖于流体层面积的大小和两层之间速度变化的快慢。在图(1-11)中，设流体中某层的面积为  $S$ ，流速为  $v_1$ ，和它相距为  $\Delta l$  的另一层的速度为  $v_2$ ，则这两层间的速度差为  $\Delta v = v_2 - v_1$ ， $\frac{\Delta v}{\Delta l}$  为每单位长度

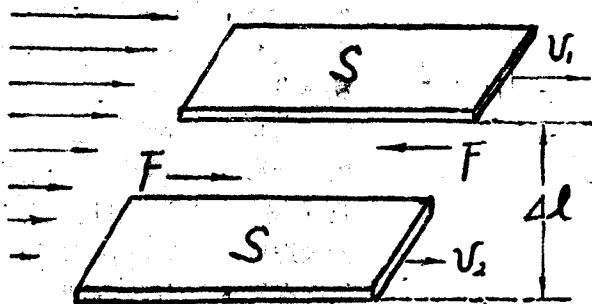


图1-11 两液层间的内摩擦力

的速度差，表示两层之间速度变化的快慢，称为速度梯度。实验的结果表明，内摩擦力  $F$  和面积  $S$ 、速度梯度  $\frac{\Delta v}{\Delta l}$  成正比，即

$$F \propto \frac{\Delta v}{\Delta l} S$$

或

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta l} S \quad (1-8)$$

式中比例系数  $\eta$  称为流体的粘滞系数(或叫内摩擦系数)。气体也有内摩擦，但比液体的小得多。下面列举了一些液体和气体的粘滞系数，其单位为(克)/(厘米)·(秒)，或简称“泊”。

| 粘 滞 系 数      |                               |             |                       |
|--------------|-------------------------------|-------------|-----------------------|
| 水(0°C)       | $1.8 \times 10^{-2}$          | 蓖麻子油(50°C)  | $1225 \times 10^{-2}$ |
| 水(37°C)      | $0.7 \times 10^{-2}$          | 二氧化碳(0°C)   | $14 \times 10^{-5}$   |
| 水(100°C)     | $0.3 \times 10^{-2}$          | 二氧化碳(302°C) | $27 \times 10^{-5}$   |
| 血液(37°C)     | $1.8 \sim 2.9 \times 10^{-2}$ | 空气(0°C)     | $18 \times 10^{-5}$   |
| 蓖麻子油(17.5°C) | $2300 \times 10^{-2}$         | 空气(671°C)   | $42 \times 10^{-5}$   |

由上表可以看出,液体的粘滞系数的差别是很大的。例如,蓖麻油的粘滞系数约比水大1500倍。气体的粘滞系数只有液体的一千分之一。

### (三)粘滞系数的测定

#### (1)沉降法

沉降法是应用小球在液体中沉降时的速度来测定粘滞系数。

当物体在粘滞流体中与流体有相对运动时,物体要受到阻力的作用。斯托克斯导出一个公式,可以表明小球在粘滞性流体中运动时所受阻力的大小:

$$F = 6\pi\eta rv \quad (1-9)$$

上式称为斯托克斯定律,式中的 $F$ 为阻力, $\eta$ 为粘滞系数, $r$ 为小球的半径, $v$ 为球与流体的相对速度。

我们可以利用小球在粘滞性液体中匀速下降的方法测定液体的粘滞系数。

设小球在液体中由静止状态开始下落,起始时摩擦阻力为零,小球受到重力 $P$ 和浮力 $F_1$ 的作用(图1-12)。设 $\rho$ 、 $\rho'$ 分别为小球和液体的密度,则

$$P = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g$$

两力的合力为

$$P - F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho') g$$

在合力的作用下,小球得到一个向下的加速度,因此它的速度逐渐增大。随着小球下落速度的增大,摩擦力 $F$ 也逐渐增大(方向向上)。当摩擦力 $F$ 增大到和小球所受向下的合力相等时,小球的速度即不再增大(因小球所受的合外力等于零),而以匀速 $v$ 下降,这时

$$F = P - F_1$$

$$6\pi\eta rv = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho') g$$

$$v = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho') \quad (1-10)$$

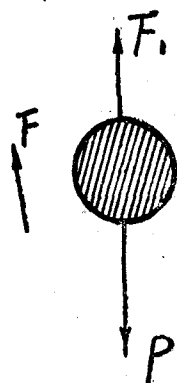


图1-12 小球在粘滞性流体中所受的力