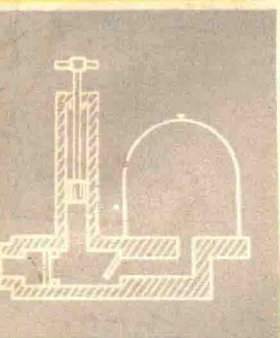
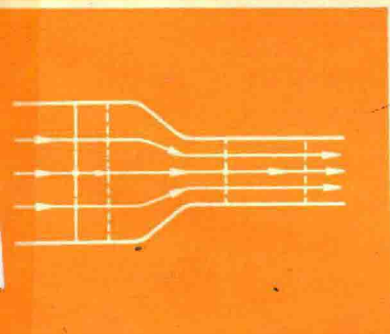


高中物理教学参考读物



流体力学

上海教育出版社



上海市物理学会中学物理教学研究委员会编

高中物理教学参考读物

流 体 力 学

上 海 市 物 理 学 会
中学物理教学研究委员会编
上 海 教 育 出 版 社

高中物理教学参考读物

流 体 力 学

上 海 市 物 理 学 会

中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

新华书店上海发行所发行 江苏启东印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.25 字数 68,000

1957年8月新知识第1版 1959年5月新1版

1981年10月新2版 1981年10月第12次印刷

印数 432,031—480,030 本

统一书号: 7150·533 定价: 0.29 元

修订版前言

上海市物理学会中学物理教学研究委员会从1956年开始所主编的一套《高中物理教学参考读物》共为14册,先后经过四年的时间,到1959年陆续出齐。编写目的是以当时的《中学物理教学大纲》为依据,结合中学物理教学的需要,帮助教师更好地掌握教材,以提高教学质量。问世以来,颇得读者的支持和关怀。在文化大革命前曾多次重印,其中有几本印数多达数十万册。其间也曾根据读者所提意见作过修订和适当补充,重新排版出了几次修订本。粉碎“四人帮”后,为了满足广大师生对物理参考书的需求,又重印了一次。但物理科学近年来发展较快,它在社会主义建设和实现“四化”的过程中起着重要的作用。为了适应这些要求,原书不足之处很多,须作进一步的修订。为此,我们在维持原书体系不过多改变和篇幅不过多扩大的前提下,根据教育部最近颁布的《全日制十年制学校中学物理教学大纲》(试行草案)和当前中学物理的教学情况,在内容上适当加深加广;处理教材的方法上力求新颖,以供教师备课时的参考,并对学有余力的同学提供课外补充读物,加深理论和扩大知识面。单位制以SI制为主,如有必要亦适当介绍其他单位制。适当更新插图内容。增补一些比较有参考价值的例题和习题。删去比较陈旧烦琐的内容。努力做到取材精练新颖,争取能够反映我们国家的新成就。

本书原由俞大年、杨逢挺、贾冰如等同志编写，现参加修改的为韩宝麟同志。由于我们对中学物理的教学经验不足，又是在匆忙中完稿，疏忽和错误不妥之处在所难免。请读者随时予以指正。

引言

在这套书的前面几本书中我们所讨论的力学问题，即物质作机械运动的问题，所研究的对象大多是以整体运动的形式出现。关于这类研究对象，实际上主要指的是固体，并且是固体中的一种特别形态，即当固体运动时，它们的形状和大小与运动无关或关系不大而可以忽略不计(质点)；或者是当固体运动时，它们的形状和大小虽然与运动有关，但在运动中它们的形状和大小始终保持不变(刚体)。也正是由于这类研究对象运动的特殊性，即运动时以整体运动的形式出现，因此力学上通常将它们的运动称为物体的运动。

但是，在实际中物质对象的机械运动除了以整体运动的形式出现外，还可能发生同一物质对象的部分之间的相对运动。在此情形下，若这类物质对象可以看作是连续的和无限大的，我们就把这类物质对象叫做连续介质。连续介质可以是弹性的固体，在固体中能够发生某些部分相对于其它部分的形变，能够发生振动和波动；连续介质也可是不可压缩或压缩性很小的液体，在这种液体中能够发生流动；连续介质还可是可压缩的气体，在其中能够发生流动，也能够发生振动和波动。研究连续介质运动的这一部分力学叫做流体力学。

众所周知，液体和气体常被统称为流体。它们的各部分之间很容易发生相对运动，因而它们没有固定的形状，它们的

形状随容器的形状而定。流动性是液体和气体的共同特性。流体力学是以气体和液体的这种共性——流动性为出发点，研究流体运动(包括静止)的规律以及流体各部分之间、流体与流体中物体之间的相互作用。

液体和气体除了共性——流动性外，还具有各自的个性。液体和气体的主要差别在于它们的压缩性不同。气体是很容易压缩的，当我们稍加一点压力时，气体的体积就显著地缩小；压力愈大，体积愈小。倘使减小对气体的压力，它的体积就要胀大；压力愈小，体积愈大。液体的体积虽然也随着外加压力的变化而有伸缩，但它的伸缩实在太小了，小到我们不容易觉察的程度。在 3000 大气压范围内，每增加 1 大气压，一般液体，只能缩小原有体积的十万分之三。这样小的变化，在实际应用中可忽略不计。气体的体积要看所受压力的大小来决定，液体的体积差不多不受压力大小的影响，所以我们认为液体具有一定的体积，气体没有一个固定不变的体积。在容器里可以只盛半容器的水，但不能只放半容器的气体。气体要充满整个容器的。如果没有容器壁的限制，或者说没有外力加在一定质量的气体上，它的膨胀将会没有止境。因此，我们就可以说明：为什么液体有自由表面，而气体没有自由表面。

在讨论流体力学时，由于液体和气体的共同性，许多现象的发生，都有着相同的规律，我们常以液体为代表进行讨论，免得重复。至于气体、液体的个性所反映出的一些按照不同规律发生的现象，本书不作讨论，将在以后各书中再来讨论。

流体力学的研究范围包含两个部分：其中研究流体的平衡的部分叫做**流体静力学**；研究流体的运动的部分叫做**流体动力学**。在本书中我们将首先研究流体静力学的一些问题，然后研究流体动力学中的一些问题。

目 录

引 言

第 1 章 流体静力学	1
一、流体的压强	1
(一)液体内部压强的产生	3
(二)液体内部压强的计算	6
(三)液体内部压强的传递	12
(四)液体的表面	14
(五)大气压强的存在	19
(六)托里拆利实验	21
(七)封闭气体的压强	24
(八)压强计	27
(九)抽机和虹吸管	29
二、流体的浮力	35
(一)浸在液体里的物体所受的浮力	35
(二)阿基米德定律	36
(三)物体的浮沉	41
(四)应用阿基米德定律求物体的比重	45
(五)气体的阿基米德定律	48
第 2 章 流体动力学	53
一、流体的流动	54
(一)流体的稳流和流线	55

(二)理想液流的连续原理	58
(三)流动流体压强的量度	59
(四)流动流体的压强和速度的关系——柏努利定律	60
(五)柏努利定律的应用	63
二、物体在流体中的运动	71
(一)物体在理想流体中的运动	71
(二)物体在实际流体中运动的阻力	72
(三)手球是怎样走曲线的	73
(四)飞机的举力	74
(五)物体在流体中的下落	75
三、流体能量的利用——水力发动机	77
(一)冲击式水轮机	78
(二)反击式水轮机	79
附录一 复习参考题	81
附录二 计算题和论证推导题	86

流体静力学

一、流体的压强

在以前的力学学习中，曾经讨论到物体受到外力后要产生加速度。在阐明力和加速度之间的关系时，我们只要求知道物体所受外力的大小和方向，并认为力的作用都集中在一点上，而不考虑到受力面积的大小如何。这是因为物体受力面积的大小，对它的运动变化没有关系。流体既具有流动性，就和压缩它的容器壁密切接触，因此流体和器壁之间的相互作用是分布在整个接触面上，而不是集中在某些点。当我们研究流体受力而产生的现象，尤其是关于流体的传力作用时，我们必须弄清力在作用面上的分布情况，也就是要弄清压强这一概念。

由于流体的流动性，静止流体和容器壁之间的作用力总是和接触面垂直的，因为只有当器壁对流体的作用力沿接触

面方向的分力等于零时, 流体才会平衡。因为作用力和反作用力大小相等、方向相反, 所以流体对器壁的作用力也必须垂直于流体和器壁的接触面。也就是说, 静止流体和容器壁之间的作用力是一种正压力。

经验告诉我们, 流体和容器壁之间的压力是和作用面积有关的。在同样情况的条件下, 接触面积越大, 压力也越大。如果水桶底部有一截面为 S 的小孔, 为使水不致从孔中流出, 我们可用手指将孔按住。此时我们将感到有水对手指的压力存在, 且截面越大, 所受压力也越大。此外, 经验还告诉我们, 压力的大小不仅与截面有关, 而且与截面所处的位置有关。上例中如同样大小的小孔处于水桶的上部, 则压力就要小得多。正是由于压力的大小与截面的大小有关, 并且各处的压力又不同, 为了比较各处压力分布的不同, 首先要求各处计算压力时所取的截面大小要相同(否则就无法比较), 为此物理上便引进一个单位面积所受压力的概念, 这就是压强的概念。

压强是说明作用在流体表面单位面积上沿垂直方向的大小的物理量。它是由一个面上所受的垂直总力和受力面积的比值来决定的。如果用 F 来表示面上的总压力, S 代表受力的面积, p 代表压强的大小, 那末

$$p = \frac{F}{S}。$$

如果液体表面上所受的力是均匀分布的, 那末每个单位面积所受的力就相等, 用上面公式所求得的压强可以代表面上任何部分的压强。但是, 正如前面已经指出过的, 一般情况下流体表面与器壁之间(例如与侧壁之间)的压力分布是各处

不同的。因此如果力的分布并不均匀，那末面上各部分的压强就不相等，上式求得的结果只是这个面上各部分压强的平均值。它可能与面上某几部分的压强值恰好相等，但它并不代表面上每一部分的压强。这一概念在后面的压强计算中是很重要的，应该把它弄清楚。

正是由于在一般情况下压强的分布各处不同，因此为了反映各处压强大小的差别，在实际问题的讨论中，我们还可能提到“某一点的压强是多少”这样一句话。如果单从字面上来理解，就会联想到点是只有位置而没有面积的，既没有面积就无法计算压强的大小。我们应该利用理解即时速度的方法来理解它，即某一点的压强就是以这点为中心，在它周围一块极小面积上的平均压强值。

压强的单位显然是力的单位除以面积的单位。在国际单位制(SI)中，压强的单位为“牛顿/米²”，称为“帕斯卡”(Pa)，简称“帕”。在工程上常用工程大气压作为压强的单位：

$$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 千克/厘米}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ 帕。}$$

(一) 液体内部压强的产生

液体和与它接触的容器壁之间存在着压强，这在日常生活中有着很多的体验。用手指按着已打开了的自来水龙头，手指上会感到压力；在玻璃筒下面口上扎一块橡皮膜做底，向筒里灌水，橡皮膜被压就向下凸出。这都说明了液体对和它接触着的物体表面有压强存在。

在液体的内部是不是也有压强存在呢？我们通过实验可以证明液体内部确实也有压强存在，而且液体内部的压强，在上下左右前后各个方向都有；在同一深度处，沿各个方向的压强大小相等；在不同的深度，压强的大小也不同；在液面下愈

深,压强也愈大。

要说明液体内部的压强是怎样产生的和在同一深度的压强为什么相等,这需要作进一步分析和推论。我们都知道液体本身有重量,也能够意识到从重量会产生压强,但究竟怎样从重量产生压强呢?我们最好和固体受力的情况对比说明。把一个正方柱形的物体放在水平桌面上[图 1-1(甲)],这个

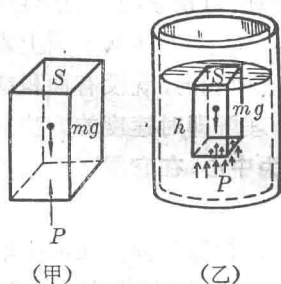


图 1-1

物体受到两个外力:一个是重力 mg 竖直向下,另一个是桌面向上的托力 P 。因为物体处在平衡状态,所以柱底所受的托力 P 和柱的重量 mg 相等相反。根据牛顿第三定律,我们知道柱底对桌面也应该有压力,大小等于 P ,方向竖直向下。这个压力是由于柱体受到重力要向下运动,挤压桌面

而产生的。在液体里我们也可以用相同的方法来研究。假定在静止的水里,从水面起划出一个正方直柱体,高度为 h 厘米,上下底的面积为 S 厘米²。把它当作固体来研究它受力的情况(这种方法叫做刚化法,是 300 年前丹麦物理学家司忒藩提出的),我们可以得出相同的结论,就是柱底对下面的水的压力等于水柱的重量 mg ,并且也是因为重力而产生的。根据压强公式可以求得柱底对下面水的压强为 mg/S ,下面水对柱底的压强也等于 mg/S 。这就说明了液面下深度为 h 处的上下压强都是由重力而产生的。

现在要问侧压强是怎样产生的?在同一深度时为什么它和上下压强相等?我们可以在上面所取的水柱底部划出很小的一块立方体来研究(图 1-2)。现在这块水既然很小,为了

简化问题,我们可以不考虑它本身的重量,那末它顶面上所受的下压力 P_1 和底面上所受的上压力 P_2 就可以看作相等。液体是具有流动性的,受到很小的作用力就要改变形状。它上下两面既受到一对相等压力的挤压,整体上虽不产生运动,但在水平方向就有了向外扩张的趋势。实际上这一块水的形状并未改变,因此它的侧面一定

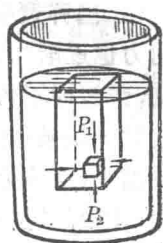


图 1-2

是受到外围水的向内压力,阻止它扩张。同时它对外围的水也有向外的压力。所以说因为有了上下压强才会产生侧面压强,当然侧面压强也和上下压强一样,是由液体的重量产生的。

在同一深度的侧压强和上下压强相等的原因,要根据液体产生压强的根本原因来说明,对中学生来谈不一定容易理解。但是在初中物理学中,液体力学的第一节就谈到了压强传递问题:加在密闭的液体上的压强,能够按照原来的大小由液体向各个方向传递。在图 1-2 里所划出的这一小块水,是被周围的水所密闭着的,加在它上面的上压强和下压强是有一定的大小的,那末这一块水向侧面各个方向所传出的压强当然也和它们的大小一样了。

从上面所谈的我们已经理解了液体内部压强产生的原因和侧压强与上下压强的关系,但是为了更好地掌握压强的理论,我们还是从压强的本质来说明。

如果我们要想使一根弹簧缩短,我们就要对弹簧加上一个压力。只有加上了外力才能使弹簧缩短。不过外力并不能使弹簧无限制的缩短下去,因为弹簧在缩短的过程中,它的内部产生了阻碍缩短的弹性力。这个弹力随着弹簧的缩短程度

而变化,当弹簧受到外力的时候,一面逐渐缩短,同时阻碍缩短的力也逐渐加大。等到弹簧缩到某一个长度,弹力和外力平衡,弹簧即不再缩短。流体受压时也和上面的情况相似,当我们对一块被包围着的流体,从各方面增加压强时,它的体积就要缩小(液体的缩小很少,但并不是没有缩小),外加的压强愈大,体积的缩小愈大。因为流体的体积在缩小,内部就向外产生一个弹性压强和外加压强对抗,阻止压缩,当弹性压强和外加压强平衡时,才不继续缩小。因此,外力所产生的压强使流体压缩,流体因压缩而产生内部压强;愈被压缩,产生的压强就愈大。在液体表面下某一深度处的一块液体,因受到上面液体重量压力而缩小,因为被压缩,就对它四周的液体产生压强,又因为所产生的压强只和压缩的程度有关,所以各个方向的压强都相等。在水面下愈深,所产生的压强也愈大。

(二) 液体内部压强的计算

在液面下某一深度的压强怎样计算呢?我们可用前面的图 1-1 来研究。当液体的自由表面不 and 任何物体接触时,也就是液面上不受到外加的压力时,液柱底部对下面液体的总压力 P 和液柱的重量相等。如果液柱的高度为 h ,底面积为 S ,它的体积是 Sh 。若液体的比重等于 d ,密度等于 ρ ,它的重量有两种表示方法:一种是 dSh (重力制),另一种是 ρgSh (国际制)。因此压强

$$p = \frac{P}{S} = \frac{dSh}{S} = dh,$$

或

$$p = \frac{P}{S} = \frac{\rho gSh}{S} = \rho gh。$$

应该指出, 上述公式 $p = dh$ 中各量的单位是: d 的单位是克/厘米³, h 的单位是厘米, 而 p 的单位是克/厘米²。公式 $p = \rho gh$ 中各量的单位是: ρ 的单位是千克/米³, h 的单位是米, g 取 9.8 米/秒², 而 p 的单位是帕(牛顿/米²)。前者是重力制, 后者是国际制。

由于公式 $p = dh$ 较之 $p = \rho gh$ 计算起来方便, 特别是由于水的密度为 10³ 千克/米³ (1 吨/米³), 如果采用重力制则其比重恰为 1 克/厘米³ (注意在国际制中水的比重是 9.8×10^3 牛顿/米³), 代入公式 $p = dh$ 计算时将更为方便。为此, 目前中学里在这一部分的教学多采用重力制的公式 $p = dh$ 来讨论和计算。本书为照顾目前中学教学的实际情况, 在这一部分(流体静力学部分)将保留使用重力制。但读者必须会用国际制单位。

还应该指出, 在上述公式的推导过程里我们曾假定液面上没有受到其它物体的作用力, 所以这一个公式我们不应该看成是求压强的一个普适公式, 或者看成是压强的另一个定义式。它只是在一定的条件下, 液体内部某一深度的压强公式, 因此在有些书上就特别强调提出“液体重量所引起的压强”。当我们提出: 在液体里某一深度处, 液体重量所引起的压强等于液体的比重和深度的乘积时, 应该说明它在液面上不受任何外力作用的特殊情况下才成立。

上面的压强公式, 是从液面下的水平面上所受的总压力来推导的, 水平面上各点离开液面的深度 h 都相等, 因此面上各部分的压强也相等, 所以公式 $p = dh$ 或 ρgh 在求水平面上任意一部分的压强时都适用。

如果这个面并不在水平方向而是和水平方向成一个任意角度, 面上各点距离液面的深度就不相等, 因而各部分的压强

大小也不相同。在这种情况下,我们常要求出它的平均压强。平均压强怎样求呢?原则上还是用总压力和受力面积来求比值,不过在这样一个倾斜面上,要想在求得平均压强以前,

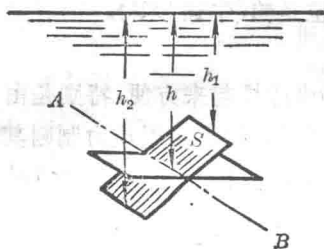


图 1-3

先知道总压力的大小,是不切合实际的。现在我们就来研究这一个问题。

假定在液面下有一个任意方向的平面,它正好是矩形,上边和下边都和液面平行,如图 1-3 中的 S 。这时面上从上边到下边各部分的压强

大小是逐渐加大的,从上边到下边的宽窄又完全相同,所以整个面上的压强平均值就是上边和下边压强值的平均数。设上边距液面 h_1 厘米,下边距液面 h_2 厘米,沿上边各部分的压强 $p_1 = dh_1$,沿下边各部分的压强 $p_2 = dh_2$ 。

那末这个面上的平均压强

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{dh_1 + dh_2}{2} = d \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right)。$$

因为 $(h_1 + h_2)/2$ 是这个面的平均深度,也就是等于这个面的中心点(重心)在液面下的深度,我们用 $\bar{h}$ 来代表它,上式可以写成

$$\bar{p} = d\bar{h}, \text{ 或 } \bar{p} = \rho g \bar{h}。$$

这个公式不但适用于有规则几何图形的平面,从理论和实验都可证明它也适用于任意形状的平面,所以它是一个求液面下任意平面上平均压强的公式。由此可见,在液面下任意平面所受到的因液重所引起的压强平均值,等于液体比重和面的中心(重心)深度的乘积。