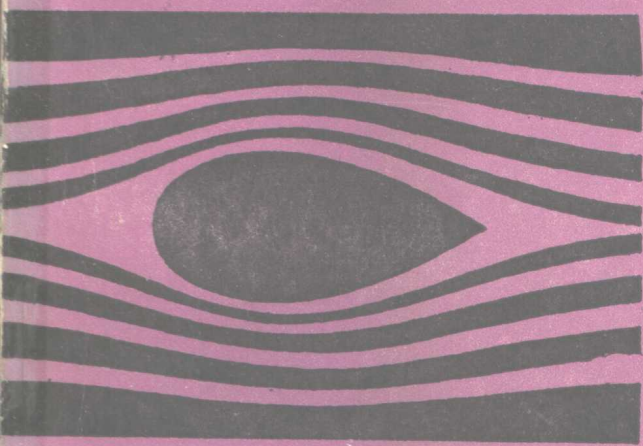


简明流体力学

〔日〕 山枏雅信 著

侯廷久 刘茂榆 译



中国建筑工业出版社

简 明 流 体 力 学

[日] 关东学院大学教授 工学博士 山桥雅信 著
侯廷久 刘茂榆 译

中国建筑工业出版社

本书原为日本“简明工程学全书”之一分册。内容叙述由浅入深、明了易懂，并附有大量练习题，照片、插图较多，并富有趣味性，很自然地联系实际问题的，使读者有手不释卷之感。

本书主要包括：流动的代表方法，流线，压力和流体运动，重力作用下流体运动，粘滞力作用下流体运动，流体运动与力，管路系统流动损失，离心泵叶轮内的流体运动以及“流体力学”的方法与教育等。

本书为广大科技人员和业余爱好者提供一本进修读物，也可作为工科院校师生的参考书。

わかる工学全书
わかる流体力学
山根雅信 著
日新出版

简明流体力学
侯廷久 刘茂榆 译

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6¹/₄ 字数：138千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数：1—10,000册 定价：0.98元

统一书号：15040·4811

前 言

本书是《简明工程学全书》的一个分册。这本《简明流体力学》之所以在流体力学前面加上“简明”做为书名，并不在于本书照片、插图多和富有趣味性，也不在于叙述通俗易懂和有大量练习题。而是本书在内容上“简明”，即通过流体流动这门科学或多或少地接触到了科学技术中最基本、最重要的问题，并能使读者产生对科学的爱好和亲切感。

从几年前起，日本关东学院大学工科部就比现在各个专业更加强调以科学基本原理的理解和实际运用为目的的基础课教学。本书是根据该校做为基础课程之一的流体力学的讲授内容和方法而编写的。之所以说，流体力学是基础课教学的主要课程之一，其理由如下：

其一、从古至今，水等流体与我们生活关系至为密切；其二、关于流体这门科学，经卡勒、阿基米德、牛顿、帕斯卡和欧拉等学者之手，很早就已发展形成了一科学体系，而且一直到宇宙飞船上天的今天，这门科学仍在不断地取得新的进展；其三、流体力学应用的范围很广，它涉及到机械、造船、航空、土木、建筑和化学工业以及其他几乎所有的科学技术领域。总之，流体力学可以帮助人们了解科学技术的现状和发展，即：人们首先对身边事物感

到兴趣，从理论上思考、找出其中规律性的东西，归纳整理使之成为一门科学；并应用到科学技术领域使人们的生活水平不断提高。

基于上述理由，本书在内容上将流体力学归结为三个最基本方面。第一是连续的思维方法。当然，这一方法也可应用于流体以外的其他物质，但本书是以流线这一流体力学所特有的方法做为中心内容。第二为伯努利定理。本书阐明了流动与压力之间的关系以及能量相互转换。第三是以雷诺数为中心的内容。在这部分中首先以粘滞力做为流动能量散失的原因，进而阐明了能量损失机理以及模型试验等应用技术中的重要问题——相似定律。这一能量的保存和散失，应该说是工程基础课程——物理学和化学的共同中心问题。

流体力学是一门古老的科学，因此在讲授这门课程时，很易陷入老一套。为了能在较短时间内卓有成效地讲授，使学生视流体力学为一门既重要又富有趣味性的课程，就必须采取一种新型教学方法。于是人们开始尝试利用工业电视边实验边讲课。通过这样的实验，不仅使学生能观察到流体的性质和验证理论上的结论，而且人们发现这样的视听器材还可以在科学教育上起到相当重要的作用。例如，从实物到简图、数学式的抽象过程是可以通过视听器材形成图象而圆满地解决。并且，通过这些器材可以实现教师、学生、自然对象间的对话，

这就使学习研究活动更加活跃。关于这方面内容，将在第十章中专门叙述。

本书是以读物形式来体现上述教学方法的一种尝试，又是师生一起对流体流动进行学习活动的报告。并且，在叙述上尝试了新的形式，在内容上参考了几种书籍^①。

本书适用于工科各专业低年级学生，也可做为大专机械专业学生的参考书以及其他各专业学生的基础课教材，还可做为自学者的入门概论书。由于增加了第十章内容，本书还可做为理科教学、科学教育的研究资料。但是，不论哪一类读者，在有条件的情况下，都可以象书中所讲述的那样进行观察、实验和研究来与流体直接“对话”。

借出版之际，敬向一起从事教育研究的横沟利男先生、共同研究教学方法的栗原敦雄先生和担任特约“教学照片”摄影工作者岩瀬清先生以及提供有关汽车资料给予有益启发的日产汽车厂深田定产先生等深致谢意。本书出版与日新出版社的小川善次郎先生的热情支持和帮助分不开的。

山枡雅信

1968年1月

① Rouse, Elementary Fluid Mechanics, Wiley,

【日】松谷松樹：《水力学》，朝倉書店，

【日】藤本武功：《水力学概論》（流体力学），養賢堂

目 录

前言

第一章 流动的表示方法.....	1
1-1 希腊人的自然观 (1)	
1-2 矢量和流线 (3)	
1-3 流动的矢量表示方法 (4)	
习题一 (9)	
第二章 流线.....	12
2-1 描述流动的方法——流线 (12)	
2-2 流动观察与流线摄像 (18)	
2-3 流线的重合 (25)	
习题二 (30)	
第三章 压力与流体运动 (一)	34
3-1 压力 (34)	
3-2 水的重量与压力 (36)	
3-3 运动第二定律实例 (40)	
3-4 伯努利定理 (42)	
3-5 容器流出速度 (48)	
习题三 (51)	
第四章 压力与流体运动 (二)	53
4-1 文丘里管 (53)	

- 4-2 缩流 (59)
- 4-3 堰 (坝) 流 (63)
- 4-4 圆柱周围流动的压力 (66)
- 习题四 (72)

第五章 重力作用下的流

体运动.....76

- 5-1 流动中的重力 (76)
- 5-2 重力作用下的伯努利定理 (79)
- 5-3 静态流体与流体压力计 (81)
- 5-4 流体的加速度运动与水面 (88)
- 5-5 旋转流水面 (92)
- 习题五 (93)

第六章 粘滞力作用下的

流体运动.....96

- 6-1 管内流动损失 (96)
- 6-2 粘滞力定义 (100)
- 6-3 直管中流动损失的计算 (105)
- 6-4 雷诺数 (109)
- 习题六 (116)

第七章 流体运动与力.....119

- 7-1 达朗贝尔矛盾 (119)
- 7-2 附面层与分离 (121)
- 7-3 圆柱及其他物体的阻力 (124)
- 7-4 汽车与空气阻力 (127)
- 7-5 机翼的性能 (132)
- 7-6 模型试验 (137)

习题七 (138)

第八章 管路系统的流动损失142

8-1 流动损失与动量 (142)

8-2 管路截面变化引起的损失 (146)

8-3 管路系统损失实验 (151)

8-4 管路系统损失实例 (155)

习题八 (159)

第九章 离心泵叶轮内的流体

运动161

9-1 水头的增加与扬程 (161)

9-2 离心泵的性能 (164)

9-3 叶轮内的流体运动 (167)

9-4 叶轮内流体运动照片的拍摄 (171)

9-5 叶轮的速度三角形 (178)

第十章 “流体力学”的方法

与教育180

10-1 科学教育图像化 (180)

10-2 科学教育对话 (182)

10-3 与“流体力学”有关的器材 (184)

10-4 “流体力学”的方法与教育 (186)

第一章 流动表示方法

1-1 希腊人的自然观

自然科学就是观察、归纳自然现象并弄清楚它的因果关系、定律和规律，使之有益于人的生活；但是，如何表示自然现象，却成了关键性的问题。当谈到科学的特征和方法时，首先应该从与人类文明发源关系至为密切的水的流动科学的发展历史^①谈起，下面以希腊人首先形成科学、并成为

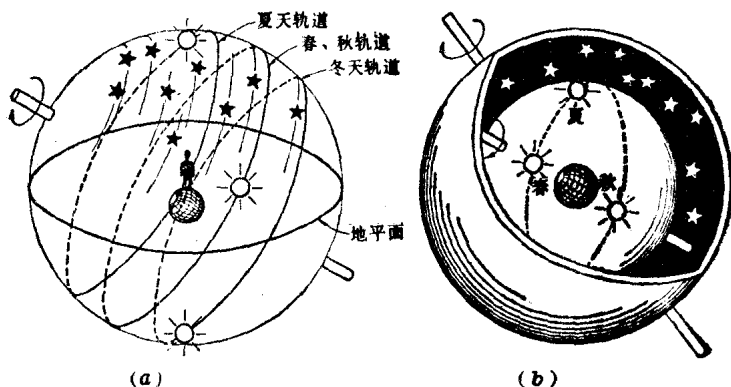


图 1-1 天球回转形成的天体运动

(a)以北极星为中心的恒星昼夜运动中，冬夏太阳的高度不同，(b)图表示太阳是在与恒星天球一起运动的第二天球上，第二天球与第一天球成相反方向、一年回转一周，两天球的轴线形成一个角度

① 板谷松樹《水力学》(朝倉書店)，1~11頁“水力機械の歴史”。

现在自然科学发展基础的古代天文学为例^①加以说明。

希腊人采用球、圆及其等速回转运动那样的简单几何学要素的组合说明了天体的复杂构造及其运动。恒星构成天球，太阳也是一个天球上的恒星，尽管回转轴不同，但可认为都在做等速回转运动（图1-1）。并且，行星是沿着以地球为中心的同心圆运动，行星的运动时快时慢，有时象火星那样逆行。这正如图1-2所示，行星一边在一个小圆上运动，同时行星中心又沿同心圆轨道做大圆运动。希腊人认为：天体这样的大自然具有很简单、而又完美的构造，虽然乍一看天体的运动既复杂又不规律，但实际上却是简单的有规律的运动组合。如此的自然观为以后的自然科学所吸收。以流线表述流动这一设想的产生还不过100年，但就以简单的、美好的几何学的观点来表述自然现象这一点来说，可以说与古代希腊人描述天体的情况完全相似。

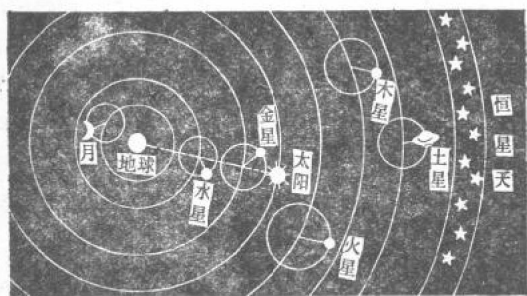


图 1-2 希腊人想象的天体构造

① 渡辺正雄、築波常治《近代科学の成立とその背景》(日新出版)11～22頁。

1-2 矢量和流线

表示流体的流动时，用语言说明的同时，再配合以图形就更为确切。究竟用何种图形最为合适，下面做了个简单调查。即让学生看汽车模型，并讲了下面有趣的对话。

条件是汽车的前面玻璃正迎着风向。八生说：“风是由前向后吹过，所以空气是沿着前面玻璃向斜后方流动。”与此相反，熊生却和他争辩道：“不对，车是向前行进，所以前面的空气受推压后是沿着与玻璃成直角的斜前方流动。”后来有一老者解释说：“你们两人说的都对，物质的运动、流动也是如此，关键是相对于什么运动，参照物不同，则运动的速度和方向也就不同。八生是以汽车为参考系（基准物），所看到的是相对于汽车的流动，故认为空气是向斜后方流动。相反，熊生看到的是相对于地面而言，因此就认为空气向斜前方流动。这两种流动的差别，就在于汽车相对于参考系的速度不同。”

讲这一段话时，教师没有用任何图形，仅使用模型，让教室后面的学生通过工业电视显象管来观察；接着即向学生们提出课题：“请用图来表示刚才老者的说明”。

针对这一课题，学生们的答案中出现了千差万别、各式各样的图形；下面举几个具有代表性的图例，如图1-3所示。

这些图都是未学过《水力学》和《流体力学》的学生们所绘；令人惊奇的是，我们看到这些图的绘法竟与现代科学中所使用的方法神奇般一致。就是说，在流体力学中有两种表示流动的图示法：其一为矢量法，用线段的长短和箭头来表示流动的速度和方向；其二为流线法，即用沿流动方向引出的曲线群来表示流动的方法。本书将就两种方法加以说

明，但更着重流线。

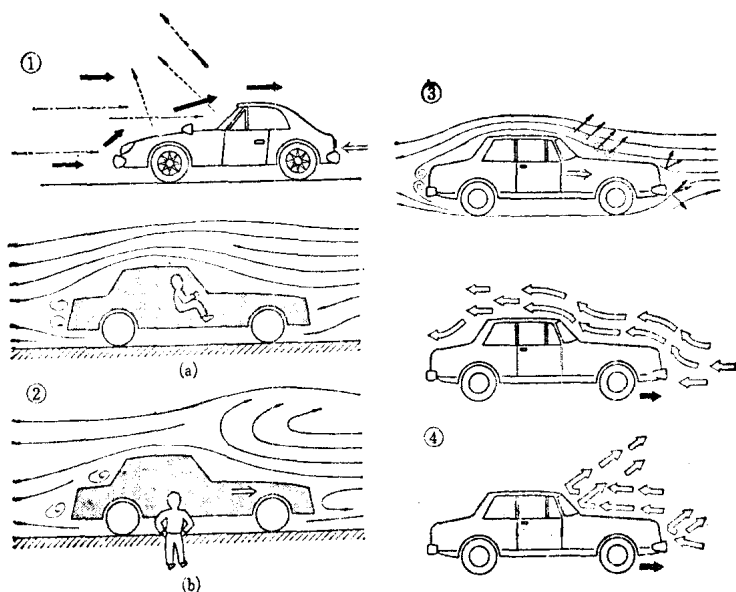


图 1-3 流动的表示方法几例

①是用带箭头的线段表示的矢量图。②是以并列曲线表示流动的流线；看来，以此流线表示绝对流是费了不少脑筋的。③是矢量、流线并用，流线表示相对流，矢量表示绝对流。④与前两种相似，但又有其独到之处

1-3 流动的矢量表示方法

所谓矢量即有方向的量，它表示以一定的速度沿一定方向的运动，就是说将运动的大小和方向同时考虑的量。为了以图表示，人们规定以线段长度表示其大小，以箭头表示其方向。

位置矢量与速度矢量 速度为物体的位置随时间的变化，如该位置以某一点为基准，就可以用矢量表示。所谓位

置矢量随时间的变化，就是沿一定方向的运动距离随时间的变化，两者变化之比即为速度。

图1-4是在间隔时间相同的情况下所看到的振子的运动。如用矢量表示摆坠的位置，则线长正好相当于位置矢量的线段部分。

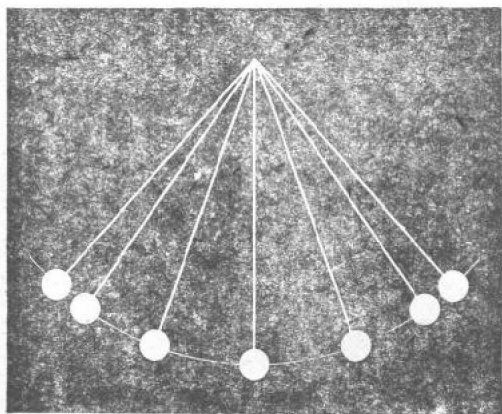


图 1-4 间隔时间相同时振子的位置

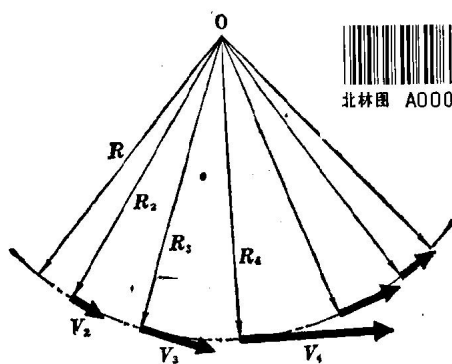


图 1-5 间隔时间相同时各振子位置的位置矢量 R 和速度矢量 V

354610

图1-5中以位置矢量 R 表示位置变化，该时刻的速度矢量为 V 。随着位置矢量 R_1 、 R_2 、 R_3 的不断变化，速度也从最初的零逐渐变大，而且其方向与 R 成直角。

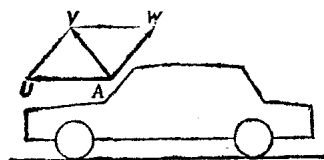


图 1-6 汽车前玻璃处风的相对速度 W 、绝对速度 V 和车速 U 的关系

相对速度与绝对速度 仍以前节汽车前玻璃处的气体流动为例，之所以存在两种不同的流动，就在于所取的决定位置矢量（速度矢量的基准）的参考系不同，亦即如何取座标的问题。图 1-6A 点处，沿玻璃

方向的速度矢量 W ，为从与汽车一起运动的座标上所见。如此，从汽车所见到的流动而是相对于运动汽车的流动，故称其为相对速度。而另外，斜前方速度矢量 V ，是为人立在地面上所见，即座标固定在地面上，故称为绝对速度。

若将此时汽车的速度设为 U ，矢量方向朝前，座标固定在地面，则三个速度 U 、 V 、 W 之间存在如下关系。即：相对于地面的汽车速度 U 加上相对于汽车的空气速度 W ，等于相对于地面的空气速度 V 。 U 、 V 、 W 三者矢量图为一闭合三角形。

采用矢量演算符号，即：

$$V = U + W$$

这种关系经常应用于流体力学中。此三矢量均有其大小和方向，故总共有六个要素。如其中某一要素为未知数时，利用上述关系即可求出。为此要做出矢量三角形，为了做图无误，可按下述方法进行。

首先，如图1-7所示，在表示速度矢量的带箭头线段上标明什么相对于什么的速度。如 W 为空气相对于汽车的速度，

故记为车→空； U 为汽车相对于地面的速度，故记为地→车；同样，对 V 则记为地→空。以此三线段绘三角形时，则两线段交接处的记字符号应相同。

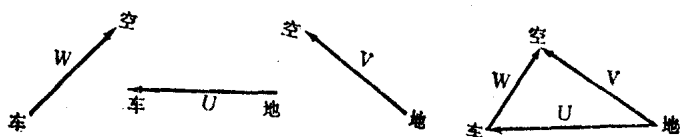


图 1-7 矢量符号的标记方法及其合成三角形

现在，我们假定：船在渡河，此时，河水速度为 U ，船在静水中的行驶速度为 W ，船相对于河岸的速度为 V 。当船沿着与河流成直角方向行驶时，将此三矢量标记在船的某一点处，则如图1-8(a)所示。此三矢量所合成的三角形为如图1-8(b)所示。另外，若使船的横渡方向与河岸成直角，而使船向上游方向行驶时，则其矢量图如1-8(c)、(d)所示。在(a)、(b)与(c)、(d)中，河水速度与船相对于水的速度虽然相等，但严格地说，两种矢量三角形是不同的。

我们再考虑一下下面的例子。当飞机的机翼与风成 3° 迎角（冲角），而以 150m/s 的速度水平飞行时，飞入上升速度为 15m/s 的气流中，问这时风成多大迎角来阻挡机翼（图1-9）？

这时，应先分别绘出三个速度矢量。飞机的速度由右向左 150m/s （地→飞），上升气流速度 15m/s （地→风），然后将这两个速度合成即可求出风相对于飞机的速度（图1-10）。

即， $\tan(1/10)$ 为 6° 左右，从图看出风向与水平方向成 6° ；又因为机翼与水平方向成 3° ，故机翼与风向成 9° 迎角

(风成 9° 阻挡机翼)。

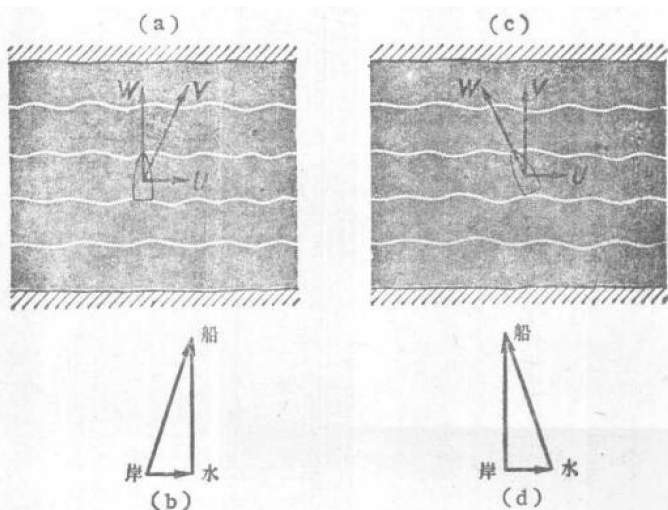


图 1-8 表明两种不同情况：船与河流成直角行驶，被冲向下游的同时而横渡，船向上游行驶，与河岸成直角方向横渡

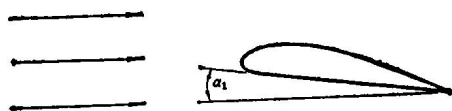


图 1-9 机翼与风的迎角

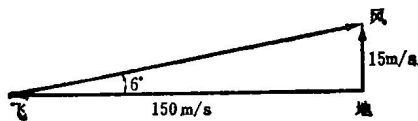


图 1-10 飞机与风的矢量关系