水力学

(II)

[日]椿　東一郎著　　徐正凡 译

高等教育出版社

水 力 学

(II)

[日] 椿　東一郎 著
徐正凡　主译

高等教育出版社

本书系根据日本森北出版株式会社出版的椿东一郎著《水理学》1973年第一版译出。

作者撰写本书的意图是鉴于水力学教科书和水力学专门著作之间有较大差异，为学习过一般水力学的人阅读专门著作搭个桥梁，起过渡作用。

本书分两册出版。在第一册里讲述了流体的基本性质，理想流体力学，粘性和紊动作用，一元渐变流的基本方程，管路与明渠的恒定流以及堰、溢流坝顶和水闸水力学。在第二册里讲述了管路和明渠的非恒定流、绕流阻力，边界层，波浪，以及紊流与风浪的统计性质、紊流扩散与纵向离散、异重流、泥沙运动及河床演变等新发展起来的领域的基本概要，还有地下水及渗流等。

本书可作为高等院校水利、土木类专业高年级学生、研究生及有关工程技术人员和教师的参考书。

本书第一册由大连工学院杨景芳翻译，第二册由武汉水利电力学院徐正凡主译。译稿由西安交通大学江宏俊校订。

水 力 学

(II)

[日] 椿 東一郎 著

徐正凡 主译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京市大白楼印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.375 字数 270,000

1986 年 3 月第 1 版 1986 年 3 月第 1 次印刷

印数 00,001—4,720

书号 15010·0553 定价 2.60 元

译者前言

本书作者日本九州大学椿東一郎教授，是专门研究应用水力学和河流海洋工程学的。他在序言中谈到，编写本书的目的是尝试在一般水力学教科书和水力学专门著作之间搭个桥梁，以便减少学过一般水力学的人在阅读水力学专门著作时的困难。我们认为本书体现了作者这一意图，故将本书译出介绍给国内读者。

本书内容全面，讲述系统，推理严谨而简练。在内容的深广度上均超出了一般水力学教科书，为阅读有关专著提供了理论基础。本书第一册讲述水力学的基本原理及一般水力学问题，第二册介绍管路、河流、海洋及地下渗流等方面的专门水力学问题，涉及紊流与风浪的统计性质、紊流扩散与纵向离散以及异重流等内容。书中还反映了一些新近的研究成果。为了培养读者思考能力和加深对学科内容的理解，书中有相当数量的例题和习题，对较难的习题还给出解题顺序或提示，所有习题均附有答案。

本书可作为水利、土木类高年级学生、研究生、水利土木工程技术人员及教师的参考书。

本书第一册由大连工学院杨景芳翻译。本书第二册由武汉水利电力学院徐正凡翻译第七、八、九及第十二章，由大连工学院钟炳盛翻译第十、十一及第十三章，由武汉水利电力学院胡诚义翻译第十四章及第十五章。

本书第一册译稿承大连工学院董毓新同志审阅，第二册部分译稿承武汉水利电力学院李鸿恩同志审阅，译者对审阅者及对本

书翻译工作中给予指导和支持的同志表示感谢。

由于译者水平所限，译本中疏漏错误之处在所难免，希读者给以批评指正。

译　　者

1982年8月

序

在土木工程学的领域中，水力学对于河流工程学、海岸工程学、卫生工程学、水质污染、水力发电工程学、水利资源学和灌溉工程学等水利工程学的各个门类，是构成其数理基础的一门学科，它以水流的运动作为研究对象。同样，在研究流体运动的学科方面还有所谓流体动力学(hydrodynamics)这一分科。迄今为止，流体动力学着重于纯理论方面的研究，而水力学(hydraulics)则大多取用经验数据而偏重于实用上的解法，所以两者有所区别。但是，水力学常采用流体动力学的成果，尤其是有关粘性和紊动方面的知识，这些知识促进了水力学这门学科急剧地向前发展。其后，两者在方法论上的区别也几乎消失。这就是为什么水力学常被称为应用流体力学的一个分科，或者就被称为流体力学 (fluid mechanics)的原因。

水力学从水工建筑物的水流运动开始，直到自然现象中广泛存在的水流运动，作为研究对象，近来，还以水中掺气，不同密度的其它流体或者混杂固体颗粒时的水流运动作为研究对象。至于研究方法，由于水具有粘性、压缩性、紊动等复杂特性，为了得到理论解而作适当的近似和模型化是必要的。对于那些理论上还不能解的问题，为达到实用上的目的，则必须用实验的方法弄清其现象并加以定量化。所以在水力学的有关书籍中，对各种问题的处理，方法不尽相同，有些是理论的，有些是半理论的，有些则是实验性的，这些方法相当复杂地混在一起。

象这样复杂的研究对象和有多种多样的逼近方法，常在青年

学生和技术人员中造成紊乱，因而产生水力学难以着手这一不太恰当的印象。然而相反，正是因为水力学具有多样性这一本质，所以水力学才成为人们真正感兴趣的研究流体运动的一门学科。

为此，本书分为一、二两册，在第一册里，讲述流体的基本性质，理想流体力学，粘性和紊动作用，并推导出一元渐变流的基本方程式。接着讲述恒定管流、明渠流的力学及堰、溢流坝顶等急变流的水力原理。虽然这些从来都是水力学的主要问题，但在书中都尽量归纳了它们的特性，并力求以简明的形式阐述它们的物理意义。在第二册中首先讲述了一元渐变非恒定流，接着就波浪，紊动的内部机构和紊流扩散，混相流，异重流及泥沙水力学等近来正在迅速发展的领域，则只讲述了它们的基本概要。鉴于水力学教科书和专门著作之间有相当大的差异，所以本书试图起到向专门著作过渡的作用。

为了理解水力学并能适应其进一步发展，以什么样的思想方法来掌握各式各样的水流运动现象，怎样使之成为数理公式，以及明确这些现象所具有的物理意义是特别重要的。本书在这些地方都给以足够的注意，为了不至于因数学方法上的深奥难懂而妨碍物理意义上的理解，本书尽可能简明易懂地论述问题。进而列举了许多例题以求对这些问题能透彻理解，通过各节末尾的习题和在各章末附有较详细提示的习题，力图借以培养实际工作的能力，并对现职的工程技术人员有所裨益。

本书是否已达到上述要求，心中尚无把握，但正如以上所述，既然水力学的特征在于其多样性，所以按理应该是具有一定程度的经验（熟练）并作出努力是必要的。读者如果在学习中遇到不懂的地方，不要裹足不前，无论如何，希望通读下去。

在撰写本书过程中，参考了许多有关著作和论文，这些著作名称列于书后，论文名称记于脚注。

最后，由于作者对问题的理解不足，在阐述时表达方面恐有不够充分和错误之处。希能得到读者指正。

著　　者

1973年1月

第I册　目录

目　录

第七章　管路非恒定流——水击和调压井中的水位波动

第八章　明渠非恒定流

第九章　绕流中流体作用于物体上的力和边界层

第十章 波浪

第十一章 水力学中的不规则现象——紊流与风浪的统计性质

第十二章 紊流扩散和纵向离散

第十三章 异重流

第十四章　泥沙运动和河床演变

第十五章　地下水和渗流

第七章 管路非恒定流——水击和调压井中的水位波动

管路的非恒定流表现为两种现象。从蓄水池经过压力引水道、调压井、压力钢管(压力水管)向水轮机供水的水力发电系统,(图7·1)在用水量有变化的情况下所出现的水力现象就是管路非恒定流的典型事例。这就是当我们操作压力钢管末端的开关使流量减少或增加的时候,在开关处因流速变化而引起的压力变化,以波动的形式在管道内传播,传播速度非常大(约1000m/s),其值取决于水和管道的弹性,这种现象就是水击(water hammer)。在分析水击作用时,不能像以前一样地把水看作是非压缩性流体,而必须引进水的压缩性。

为了调节流量补给的滞后现象,并为了把水击作用的影响限制在压力钢管内,在压力引水道和压力水管之间设置一具有自由水面的大的铅直水箱,这就是所谓调压井(surge tank)。随着流向压力水管内流量的变化,设在压力引水道的调压井的水面将发生波动。水击压力波是以接近水中音速的高速度在管道内往复传播的现象,而调压井的水面波动是发生在井与蓄水池之间的一种U形管内的振动现象,其振动周期比水击波要缓慢得多。因此,不要说在压力引水道内,就是在压力水管内,由于水击作用引起的局部的流量振动也没有考虑的必要,即做为平均值处理就足够的了。所以对这种非恒定流(即指调压井内水面的波动现象),水仍可像以前一样作为非压缩性流体处理。

7·1 波动

介质从一处向他处移动而形成的某种特殊形态(或状态)的现

象叫做波动。在水力学中，要接触到管路水击波，明渠洪水波，海波等等各种波动现象，因此先归纳一下波动的基本性质。

(1) 二阶波动方程式

如以坐标 x 和时间 t 的函数:

$$\eta(x, t)=f(x-ct) \tag{7·1}$$

表示某一状态; 则 $\eta(x, 0)=f(x)$, 代表这一状态以速度 c 在 x 轴正方向传播的情况。为什么呢？这是因为如果在时间 t, 处在 x 处的某一状态以 c 的速度运动，则 δt 时间中，它移动了 $c\delta t$, $t+\delta t$ 时刻它将处在 $x+c\delta t$ 处。因此，这一状态成为:

$$\eta(x+c\delta t, t+\delta t)=f\{(x+c\delta t)-c(t+\delta t)\}=f(x-ct)$$

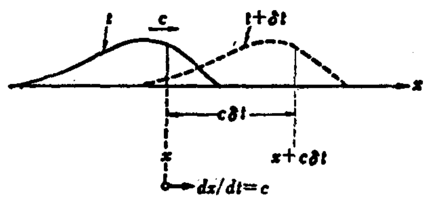

图7·1 波的传播

它与处于时刻 t 和 x 处的状态一样。另外亦可说明如下: 由于状态 η 仅仅是 $(x-ct)$ 的函数，如 $x-ct=\text{const}$, 也就是如果把运动速度看作是 $dx/dt=c$、则有: $\eta(x, t)=\text{const}$。从此可知: 状态 $\eta(x, t)$ 所表示的是以速度 c 沿 x 轴正向传播的情况。

同理，

$$\eta(x, t)=F(x+ct) \tag{7·2}$$

表达着某一状态以速度 c 沿 x 轴的负方向前进的情况。$\eta=f(x-ct)$ 就是所谓顺行波(前进波)，$\eta=f(x+ct)$ 就是所谓逆行波(后退波)，而 c 为波的传播速度。

对具有同一速度 c 运行的顺行波和逆行波二者同时存在的场合，其状态方程式一般可表示为:

$$\eta(x, t)=f(x-ct)+F(x+ct) \tag{7·3}$$

如令 $x-ct=\xi, x+ct=\xi'$ 则从下列关系式

$$\frac{\partial\eta}{\partial x}=\frac{\partial f}{\partial\xi}\frac{\partial\xi}{\partial x}+\frac{\partial F}{\partial\xi'}\frac{\partial\xi'}{\partial x}=\frac{\partial f}{\partial\xi}+\frac{\partial F}{\partial\xi'}$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial t}=\frac{\partial f}{\partial\xi}\frac{\partial\xi}{\partial t}+\frac{\partial F}{\partial\xi'}\frac{\partial\xi}{\partial t}=-c\frac{\partial f}{\partial\xi}+c\frac{\partial F}{\partial\xi'}$$

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}=\frac{\partial^2 f(\xi)}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2 F(\xi')}{\partial\xi'^2},\quad \frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=c^2\left\{\frac{\partial^2 f(\xi)}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2 F(\xi')}{\partial\xi'^2}\right\}$$

可知: 式(7·3)是下式

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=c^2\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2} \tag{7·4}$$

的解。上式就是**一元波动方程式**，其解由式(7·3)给出。

其次，我们考虑在波动方程式(7·4)中另外加一项之后的二阶偏微分方程式:

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}+2a\frac{\partial^2\eta}{\partial t\partial x}-c^2\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}=0 \qquad (a,\ c\text{: 定数}) \tag{7·5}$$

其解为:

$$\eta=f\{x-(a+\sqrt{a^2+c^2})\,t\}+F\{x-(a-\sqrt{a^2+c^2})\,t\} \tag{7·6}$$

这只要把式(7·6)直接代入式(7·5)就可证实式(7·6)确是式(7·5)的解。

(2) 一阶波动方程式

$$\eta=f(x-ct)$$

是下面一阶偏微分方程式

$$\frac{\partial\eta}{\partial t}+c\frac{\partial\eta}{\partial x}=0 \tag{7·7}$$

的解是很容易证明的。因此式(7·7)同样是表示波动的微分方程式，叫做**一阶波动方程式**，是只有一个一般解的顺行(前进)波。满足一阶波动方程式的解的波叫运动波(kinematic wave)，下章所述的洪水波等就充分体现了这种波动特性。相对于这种波讲，具有二个解(一为顺行波，一为逆行波)的以二阶波动方程式(7·4)表