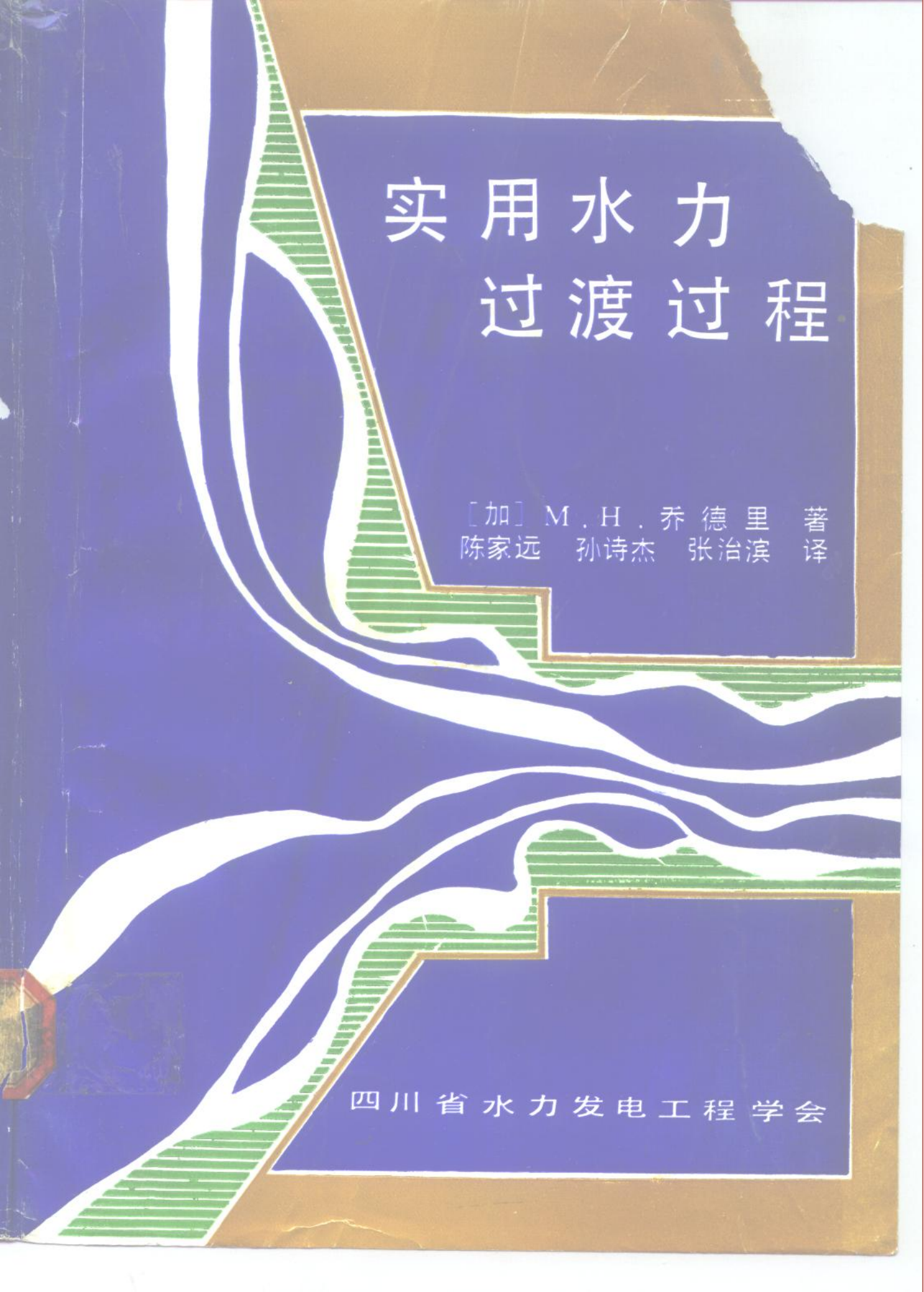




实 用 水 力 过 渡 过 程

[加] M. H. 乔 德 里 著
陈家远 孙诗杰 张治滨 译

四川省水力发电工程学会

TV131 3

Q 38

214921

实用水力过渡过程

[加] M. H. 乔德里 著

陈家远 孙诗杰 张治滨 译



四川省水力发电工程学会

D440/13

水力过渡过程是水电站、水泵站以及给排水等输水系统中普遍存在的水力现象。分析过渡过程中的水流特性，对输水管道系统及设备的设计与运行都具有重要意义。本书系统地介绍了水力过渡过程的基本理论、数学模型与工程实用计算方法，以及水电站、核电站、水泵站、输油管系统中的水力过渡过程计算方法、控制过渡过程实例、电算程序，也涉及压力管道中的水柱分离与共振等问题。

本书可供工程设计、科学研究人员参考，也可作为本科大学生选修教材和研究生参考用书。

本书由成都科技大学水利系陈家远（第一、二、三、七、十、十一章）、孙诗杰（第四、五、九章和附录），张治滨（六、八、十二章）等翻译。陈家远对全书译稿作了订正。张万楷、邵洪泉审校。编辑唐少甫。

M. Hanif chaudhry, ph. D.

APPLIED HYDRAULIC TRANSIENTS

Copyright © 1979 by Litton Educational Publishing, Inc

Published simultaneously in Canada by Van Nostrand Reinhold Ltd.

实 用 水 力 过 渡 过 程

编 辑：《四川水力发电》编辑部

出 版：四川水力发电工程学会

发 行：智益技术开发服务部

（地址：成都青羊宫水电
部成都勘测设计院转）

印 刷：温江县印刷厂

1985年9月 每册工本费6.00元

译者的话

水力过渡过程是电站、泵站以及给排水工程输水系统中普遍存在的水流现象。正确分析过渡状态的水流特性，对于上述系统管道和设备的设计与运行都具有重要的意义。若以系统真实特性为基础的水力过渡过程计算方法应用到工程实践中去，这不但能够在设计中选择最佳方案，降低工程造价，还能够提高运行中的安全可靠性能。

M. H. 乔德里博士所著“实用水力过渡过程”是一本分析水力过渡过程较系统的专著。书中系统地叙述了过渡水流状态的基本理论，提供了分析水力过渡过程的实用解法。本书涉及内容广泛，取材新颖，尤着重于实际应用。对于水电站、核电站、水泵站以及长输油管道中的水力过渡过程，分章作了介绍，给出了相应的计算方法及分析实例，并引证模型和原型试验结果进行了对比分析。对于控制过渡过程的方法，压力管道中的共振，瞬时空穴和液柱分离等方面的内容也作了深入地阐述。凡从事水利、水电、土建专业设计、科研和运行等部门的同志都有一定参考和实用价值。本书也可作为研究生和高年级大学生的选修课教材。

在翻译过程中，对原书中个别印刷方面的错误作了订正。

本书在翻译时，曾得到吴持恭教授、华国祥教授、蔡家鲤和曹秉铨高级工程师、以及《四川水力发电》编辑部同志们的支持与帮助，张万楷教授及邵淇泉同志对译稿作了全面的审校，在此谨对他们以及其他曾给予热情帮助的同志一并表示衷心的感谢。

由于译者水平有限，不当和错误之处请读者指正。

译者

1984年11于成都

序 言

近十年来,电子数字计算机在分析水力过渡过程方面的应用飞速发展,用于上述分析的图解法及数字计算方法已被先进的数字计算技术所代替。这样不仅消除了繁重的计算,所得结果也更加精确,而且使复杂系统的分析成为可能。“实用水力过渡过程”对水力过渡过程作了广泛而系统的讨论,介绍了各种适用于数字计算机求解的方法。本书可供工程师、研究人员参考,也适合于作高年级大学生的教材之用。本书涉及内容广泛,包括水电工程、蓄能电站、供水系统、核电站、石油管道以及工业管网等领域。

书中每章从原理开始系统地加以阐述,尤强调实际应用。尽可能删去高深的数学和理论上不必要的细节,但保留了研究者所认为必要的细节,并按工程师们阅读方便,又无损于文章的连续性依次加以介绍。书中包括了某些实例研究、应用性问题及设计准则,这有助于设计工程师和将实际的工程设计知识介绍给大学生。为了说明其应用,还给出了求解实例。在每一章末尾列入了大量的最新参考文献目录,以便读者查阅。为使读者熟悉电子数字计算机的应用,也介绍了计算程序及框图。书中附有近似方法及设计图表,供初步设计阶段快速估算之用。

由于应用性质的不同,各章编写自成系统便于读者单独阅读。不过,为了避免重复,有时还必须参考书中的另外部分,但也只须阅读有关的节而不是整章。这种叙述方式,使工程师们只需要阅读最有趣味的部分,教师可以选择适合他们课程的章节。

全书采用国际制单位,然而在含有经验常数或推导中引进数字常数的地方,并在脚注中用英制单位给出了相应的数值。利用这些脚注和附录F中的对照表,对习惯使用英制单位的读者也可以作相应的换算。本书的叙述顺序如下:第一章包括常用名词的定义、水力过渡过程简史及基本概念介绍。第二章是封闭管中一元流的连续方程和运动方程的推导以及各种实用数字解法的讨论。第三章对特征线法作了介绍。以下四章以有关问题为中心,如水泵系统(第四章)、水电站(第五章)、核电站(第六章)以及油管(第七章)中的过渡过程进行讨论。均匀两相流中的过渡过程分析也在第六章中作了介绍。第八章讨论了压力管道中的共振并对传递矩阵法作了概略介绍。第九章讨论了瞬时空蚀和液柱分离现象。消除和减轻不希望有的过渡过程的各种方法。在第十章中作了介绍。第十一章用集中系统分析方法对调压室作了分析。第十二章讨论了明渠中的瞬变流,概略介绍了隐式和显式差分法。在附录A至D中,还介绍了设计图表和电算程序实例。

本书系统地介绍了我自己的论文集(其中一些尚未发表过)以及取自不同来源的材料,为了鉴别材料的来源,已作了种种努力,在这方面如有任何疏忽之处决不是有意的。

M. H. 乔德里

于加拿大温哥华

目 录

序 言	(V)
第一章 绪 论	(1)
1.1 定义	(1)
1.2 历史背景	(2)
1.3 瞬时流速变化引起的压力变化	(5)
1.4 单管中压力波的传播和反射	(8)
1.5 水力过渡过程的分类	(12)
1.6 过渡过程的起因	(12)
1.7 系统设计和运行	(13)
习题	(15)
参考文献	(15)
第二章 流经封闭管道的瞬变流方程	(21)
2.1 假设	(21)
2.2 运动方程	(21)
2.3 连续方程	(23)
2.4 关于运动方程和连续方程的一般讨论	(25)
2.5 求解运动方程和连续方程的方法	(26)
2.6 水击波速	(27)
2.7 实例研究	(30)
习题	(31)
参考文献	(32)
第三章 特征线法	(36)
3.1 引言	(36)
3.2 特征方程	(36)
3.3 边界条件	(41)
上游端为恒定水头水库	(41)
下游端为恒定水头水库	(42)
下游端为盲端	(43)
下游端为阀门	(44)
下游端为孔口	(45)

串联泵.....	(45)
分岔泵.....	(46)
上游端为离心泵.....	(47)
下游端为混流式水轮机.....	(48)
3.4 稳定和收敛条件.....	(48)
3.5 复杂系统的时间增量选择.....	(49)
3.6 混合隐式特征线法.....	(50)
3.7 管道系统分析.....	(51)
3.8 实例研究.....	(54)
习题.....	(58)
参考文献.....	(59)
第四章 离心泵引起的过渡过程.....	(63)
4.1 引言.....	(63)
4.2 各种水泵运行方式引起的过渡过程.....	(63)
4.3 水泵的数学模型.....	(64)
4.4 水泵故障的边界条件.....	(66)
水泵所加的条件方程.....	(66)
转动质量微分方程.....	(68)
出水管特征方程.....	(69)
连续方程.....	(69)
解调节方程.....	(69)
4.5 特殊情况的边界条件.....	(71)
并联水泵.....	(71)
串联水泵.....	(74)
4.6 算例.....	(78)
4.7 水泵起动.....	(79)
4.8 管道设计准则.....	(80)
正常情况.....	(80)
紧急情况.....	(81)
破坏情况.....	(81)
4.9 数学模型的检验.....	(81)
抽水站资料.....	(81)
试验和测试设备.....	(81)
数学模型.....	(82)
计算和测量结果的比较.....	(82)
4.10 实例研究.....	(82)

供水系统	(82)
分析	(83)
结果	(85)
讨论	(86)
习题	(86)
参考文献	(88)
第五章 水电站的水力过渡过程	(91)
5.1 引言	(91)
5.2 水电站简图	(91)
5.3 上游和下游输水道	(92)
5.4 水轮机模拟	(92)
5.5 水轮机调速器	(98)
调速器	(101)
调节器	(101)
永态转差	(102)
配压阀	(102)
导叶接力器	(102)
5.6 计算程序	(103)
5.7 过渡过程的起因	(103)
5.8 数学模型的检验	(105)
原型试验	(105)
原型数据	(106)
计算结果与实测结果比较	(107)
5.9 压力水管设计准则	(110)
正常情况	(110)
事故情况	(110)
破坏情况	(110)
5.10 发电机惯量	(110)
5.11 调节稳定性	(112)
概述	(112)
调节系统的微分方程	(114)
稳定性判据	(115)
例5.1	(116)
过渡过程转速曲线	(117)
调节器参数的最佳值	(122)
例5.2	(122)

5.12 实例研究.....	(123)
习题.....	(128)
参考文献.....	(130)
第六章 核电站中的水力过渡过程	(133)
6.1 引言.....	(133)
6.2 术语.....	(133)
概述.....	(133)
反应堆的类型.....	(133)
堆芯事故冷却系统.....	(134)
6.3 过渡过程产生的原因.....	(135)
6.4 分析方法.....	(136)
概述.....	(136)
建立数学模型.....	(136)
数值解法.....	(137)
6.5 边界条件.....	(138)
冷凝器.....	(138)
截流空气.....	(140)
管道破裂和安全盘破坏.....	(141)
6.6 冷却剂流失事故.....	(141)
6.7 分析两相瞬变流的隐式有限差分法.....	(141)
概述.....	(141)
基本方程.....	(141)
基本方程转换为特征方程.....	(143)
建立代数方程.....	(145)
计算步骤.....	(147)
检验.....	(147)
6.8 实例研究.....	(149)
给水管道的结构.....	(149)
事故的描述.....	(149)
振动的可能起因.....	(150)
习题.....	(154)
参考文献.....	(154)
第七章 长输油管道中的过渡过程	(159)
7.1 引言.....	(159)
7.2 定义.....	(160)
7.3 过渡过程的起因.....	(161)

7.4	分析方法	(162)
7.5	设计考虑	(164)
	概述	(164)
	控制设备及压力波保护装置	(164)
	习题	(165)
	参考文献	(166)
第八章	压力管道系统中的共振	(168)
8.1	引言	(168)
8.2	产生共振的条件	(168)
8.3	强迫振荡和自激振荡	(171)
	干扰力作用	(172)
	自激振荡	(172)
8.4	分析方法	(174)
	时域—特征线法的分析	(174)
	频域分析	(174)
8.5	专门名词	(175)
	稳定振荡流	(175)
	瞬时和平均流量及瞬时和平均压力水头	(175)
	理论周期	(176)
	共振频率	(176)
	状态向量和传递矩阵	(176)
8.6	框图	(179)
8.7	传递矩阵的推导	(179)
	场矩阵	(180)
	例8.1	(183)
	点阵	(191)
8.8	频率响应	(197)
	波动压力水头	(198)
	波动流量, 吸水管道	(200)
	振荡阀	(202)
	确定频率响应的步骤	(203)
	例8.2	(204)
8.9	压力波节和波腹的位置	(207)
8.10	压力和流量沿管道的变化	(208)
	串联系统	(210)
8.11	共振频率的确定方法	(210)

例8.3; 8.4	(215)
8.12 传递矩阵法的检验	(216)
实验结果	(216)
特征线法	(216)
阻抗法	(221)
能量原理	(222)
8.13 关于具有变化特性的管路	(223)
习题	(226)
参考文献	(228)
第九章 瞬时空穴和液柱分离	(232)
9.1 引言	(232)
9.2 概述	(232)
9.3 压力减少到气化压力的原因	(233)
9.4 气穴流的能量损失	(235)
9.5 气液混合液的波速	(235)
9.6 气穴流和液柱分离的分析	(238)
9.7 方程推导	(239)
假设	(239)
连续方程	(239)
动量方程	(240)
气穴流、液柱分离	(241)
9.8 数值解法	(242)
波动方程	(242)
液柱分离	(244)
气体释放	(245)
结果	(245)
9.9 设计考虑	(246)
9.10 实例研究	(246)
工程介绍	(246)
现场试验, 数学模型	(248)
计算与测量结果的比较	(249)
习题	(250)
参考文献	(251)
第十章 控制过渡过程的方法	(256)
10.1 引言	(256)

10.2	控制过渡过程的实用装置与方法	(256)
10.3	调压室	(257)
	概述	(257)
	边界条件	(257)
10.4	气垫式调压室	(259)
	概述	(259)
	边界条件	(260)
10.5	阀门	(264)
	概述	(264)
	边界条件	(267)
10.6	过渡过程水流的最佳控制	(273)
10.7	实例研究	(274)
	设计	(274)
	数学模型	(275)
	结果	(276)
	习题	(277)
	参考文献	(278)
第十一章	调压室	(282)
11.1	引言	(282)
11.2	调压室型式	(283)
11.3	基本方程式的推导	(283)
	运动方程	(284)
	连续方程	(285)
11.4	运动方程和连续方程的现有解法	(285)
11.5	无阻尼系统的波动周期和振幅	(286)
11.6	稳定性	(287)
11.7	方程标准化	(289)
11.8	相位平面法	(290)
11.9	不同需水情况的分析	(291)
	等流量	(291)
	等开度	(293)
	等出力	(296)
	等出力结合等开度	(300)
	结论	(302)
11.10	阻抗式调压室	(304)
	概述	(304)

运动方程推导.....	(305)
11.11 差动式调压室.....	(306)
概述.....	(306)
方程推导.....	(306)
11.12 并联调压室.....	(307)
11.13 设计考虑.....	(308)
设置调压室的必要性.....	(308)
位置.....	(308)
尺寸.....	(308)
11.14 实例研究.....	(310)
工程介绍.....	(310)
初步探讨.....	(310)
分析方法的选择.....	(311)
研究程序.....	(312)
各变量范围选择.....	(312)
方程推导.....	(313)
相似模拟.....	(313)
结果.....	(313)
调压室尺寸选择.....	(315)
习题.....	(215)
参考文献.....	(318)
第十二章 明渠中的过渡水流.....	(321)
12.1 引言.....	(321)
12.2 定义.....	(321)
12.3 过渡过程的起因.....	(322)
12.4 涌波高度和波速.....	(323)
12.5 矩形渠道.....	(325)
方程推导.....	(327)
连续方程.....	(327)
运动方程.....	(329)
12.6 求解方法.....	(331)
12.7 特征线法.....	(332)
12.8 显式有限差分法.....	(334)
12.9 扩散方法.....	(334)
建立代数方程式.....	(334)
边界条件.....	(335)

稳定条件.....	(340)
计算步骤.....	(341)
12.10 初始条件.....	(342)
12.11 显式有限差分法—扩散法的检验.....	(344)
数学模型.....	(344)
原型观测.....	(344)
量测结果与计算值的比较.....	(346)
12.12 隐式有限差分法.....	(349)
概述.....	(349)
实用的隐式差分格式.....	(349)
斯特柯夫隐式法.....	(350)
分岔渠道与并联渠道系统.....	(254)
稳定条件.....	(355)
12.13 显式差分法与隐式差分法的比较.....	(356)
12.14 特殊课题.....	(356)
溃坝.....	(356)
潮汐波.....	(357)
次生波或法锐波.....	(357)
明、满交替水流.....	(358)
滑坡产生的波浪.....	(362)
12.15 实例研究.....	(363)
工程介绍.....	(363)
数学模型.....	(365)
结果.....	(370)
运行规则.....	(370)
习题.....	(371)
参考文献.....	(373)

附 录

附录A 初步分析用的公式和图表.....	(380)
附录B 分析开启或关闭阀门所引起的过渡过程的计算程序.....	(397)
附录C 分析离心泵因断电引起的过渡过程计算程序.....	(404)
附录D 确定串联管道频率响应的计算程序.....	(415)
附录E 水泵特性曲线数据.....	(419)
附录F 国际单位、英制单位及其换算系数.....	(420)

第一章 绪 论

本章对一些常用术语给出定义并介绍了水力过渡过程的发展简史。然后,推导了由于瞬时改变水流速度带来压力变化的基本水击方程。对于关闭单管下游末端的阀门所引起波的传播和反射也作了介绍。最后,对水力过渡过程的起因和分类进行了讨论。

1.1 定 义

本节中对常用术语已予定义,不大常用的术语在书中第一次出现时给予定义。

恒定流和非恒定流:一个点上的水流状态,如压力、流速和流量不随时间而变化,这种水流称为**恒定流**。如果水流状态随时间而变化,则称**非恒定流**。严格地说,素流总是非恒定流,因为一个点上的状态在连续变化。但是,考虑短时间的平均值,如果时间平均状态不随时间而变,这种水流也被视为恒定流。当本书中涉及恒定和非恒定素流时,我们将使用时间平均状态。

瞬态流或瞬变流:当水流状态从一种稳定状态变为另一种稳定状态时,它的中间流态称为**瞬态流或瞬变流**。

均匀流和非均匀流:如果流速在任何时间不随距离而变化称为**均匀流**;反之流速随距离而变化叫做**非均匀流**。

稳定振荡流或周期性流:水流状态随时间变化并且在固定的时间间隔后,其状态重复,这种水流称为**稳定振荡流**。状态重复出现的时间称为**周期**。若周期 T 用秒数表示,则振荡频率 f 以周/秒和弧度/秒计,即分别为 $1/T$ 和 $2\pi/T$ 。用弧度/秒表示的频率叫做**圆频率**,通常用 ω 表示。

液柱分离:当封闭管道中的压力下降到液体气化压力以下,则液体中要产生气穴并导致液柱分离。

水击:过去,诸如**水击**、**油击**、**汽击**这类术语,都指由于有关流体流量变化引起的压力增减。但是,现今**水力瞬变**这个术语使用更为广泛。

下面的讨论对弄清楚上述定义将有所帮助。我们假定下游管道阀门全开,水以流速 V 流动,在 $t=t_0$ 时突然关闭阀门。其结果使得通过阀门的流量立刻减到零,并由于动能转换为弹性能,引起阀门处压力升高,于是压力波向上游方向传播,这个波由水库反射并在阀门与水库间来回传播。由于阻力的存在,这种波在管中传播时会逐渐消失,最终(让我们说在 t_1 时)整个管道的压力变为等于水库的水头,因而水的流动完全停止。

基于前面所给的定义,当状态不随时间而变时(即 $t < t_0$ 和 $t > t_1$)是恒定流;从初始稳定状态变为最终稳定状态的中间状态(即 $t_0 \leq t \leq t_1$)是瞬变流。

现在,让我们考虑另一种情况,假使阀门以频率 ω_1 周期性地打开和关闭,经若干周期后,管中水流也将变成周期性的,其频率为 ω_1 ,这种流态称为**稳定振荡流**。

1.2 历史背景*

研究水力瞬变过程是从探讨声波在空气中的传播和波在浅水中的传播,以及血液在动脉中流动开始的。但是,直到弹性理论、微积分学以及解偏微分方程的方法建立以前,这些问题都未能精确地获得解决。牛顿(Newton)在他的名著《原理》〔3〕中,提出他研究声波在空气中和水波在渠道中传播的结果。牛顿和拉格朗日(Lagrange)都得到声波在空气中的理论波速为298.4米/秒,而他们在实验中得到的波速为348米/秒。拉格朗日错误地以为二者差值是由于实验所引起的,牛顿则认为理论波速不正确,其差别的原因是由于空气固体粒子之间有空隙和空气中有水蒸汽的存在。牛顿用水在U形管中的振荡与摆对比,推导出一个不正确的渠道中的水波波速公式,其形式为 $V=\pi\sqrt{L/g}$ 其中, L 为波长, g 为重力加速度。

欧拉(Euler)〔4〕建立了更为详细的弹性波传播理论并导出如下波传播的偏微分方程:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1.1a)$$

式中 $a^2=gh$, x 为质点处于平衡状态的位置; y 为质点的位移; h 为空气柱的高度。他还提出了这个方程的一般解如下:

$$y=F(x+at)+f(x-at) \quad (1.1b)$$

式中 F 和 f 为传播波函数。欧拉也曾试图得出血液在动脉管中流动的解〔5〕,但失败了。

拉格朗日分析过〔6〕可压缩流体与不可压缩流体的流动。为了这个目的,他提出了速势的概念,他还推导了明渠中波速的正确公式,其形式为 $c=\sqrt{gd}$,其中 d 为渠道水深。1789年,蒙吉(Monge)提出了偏微分方程的图解法〔7〕,并提出了特征线法。大约在1808年,拉普拉斯(Laplace)〔8〕指出了声音在空气中的理论波速与实验值差异的原因。他指出,牛顿和拉格朗日是根据波义尔(Boyle)定律得来的,但由于空气温度不固定,波义尔定律在压力变化下是不能成立的,他推理得出理论波速在绝热情况下,比在恒温条件下大约增加20%。

杨(Young)〔9〕研究了血液的流动、阻力损失、弯曲损失和压力波在管中的传播。赫尔姆合尔茨(Helmholtz)似乎是首先指出,水在管道中的压力波速度较其在无围限的水中高**。他正确指出,差别是由于管壁有弹性引起的。1869年李曼(Riemann)〔10〕提出并应用三元运动方程和它的简化一元形式如像振动棒和声波运动领域。韦伯(Weber)〔11〕研究了弹性管中的不可压缩流体的流动并做了决定压力波速度的试验。他也建立了运动方程和连续方程,这些方程是我们的研究基础。马雷(Marey)〔12〕为确定在水中和水银中的压力波速进行了广泛试验,得出的波速结论是:

* 1.2节提出的许多资料取材于参考文献〔1〕,对水力学历史有兴趣的读者应参考文献〔2〕。

** 原著中误印为低一译注。

1. 压力波的速度与振幅无关;
2. 在水银中比在水中要大三倍;
3. 与管路的弹性成比例。

雷沙 (Resal) [13] 提出了运动方程和连续方程以及二阶波方程。他用马雷试验结果来验证他的分析研究。1877年雷利爵士 (Lord Rayleigh) 出版了他的关于声波理论的书 [14], 总结了早先的研究和他自己的研究成果。

柯特威格 [15] (Korteweg) 是第一个同时考虑管壁弹性和液体弹性来确定波速的人。在他以前的研究中每次只考虑了其中的一种弹性。

虽然乌德 (Wood) [1] 把麦秀德 [16] (Michaud) 列为研究水击的先驱, 最近安迪生 (Anderson) [17] 已指出, 实际上门纳布利亚 [18] (Menabrea) 才是研究这一问题的第一人。麦秀德 [16] 研究过水击问题并设计和使用了空气室及安全阀。葛拉米卡 (Gromeka) 在分析水击中第一次将阻力损失 [19] 考虑进去。然而, 他假定了液体是不可压缩的以及阻力损失与水流速度成正比。

两个美国工程师威斯頓 (Weston) [20] 和卡彭特 (Carpenter) [21] 为阐明水管内流速减小与相应的压力升高的理论关系, 作了多次试验。但是, 他们都没有成功, 因为他们用的管道太短。弗雷塞尔 (Frizell) [22] 在他担任犹他州柯格登 (Ogden) 水电工程顾问工程师时, 根据他的研究提出了一种水击分析方法。这个水电站的压力管道长9449米。弗雷塞尔得出了水击波速和由流量瞬时减小引起的压力升高的计算公式。他指出, 如果管壁弹性模数是无穷大, 波速会像无限大水里的声波一样。他还讨论过支管、水波反射以及连续波对速度的影响。不幸的是, 弗雷塞尔的工作没有像他的同代人儒可夫斯基 (Joukowski) 和阿列维 (Allievi) 两人已做的工作那样为人们所赏识。

1897年, 儒可夫斯基在莫斯科用如下尺寸 (分别表长度和直径) 的水管做了很多试验: 7620米, 50毫米; 305米, 101.5毫米; 305米, 152.5毫米。根据他的试验和理论研究, 他发表了关于水击基本理论的经典报告 [23], 提出了同时考虑水流和管壁弹性的波速公式。他又利用能量守恒和连续条件得出了速度减小与由此引起的压力升高的关系, 还讨论了压力波沿管道的传播和来自支管开敞端的反射。他也研究了空气室 (air chambers)、调压室及弹簧安全阀对水击压力的影响, 并且讨论了阀门关闭速度变化的影响, 同时发现在关闭时间 $T \leq 2L/a$, 压力升高达到最大值。式中 L 为管子长度, a 为波速。

阿列维由最初一些原理得出水击的普遍理论并于1902 [24] 年发表。他推导的运动方程比柯特威格的更为正确, 他指出, 运动方程中的 $V(\partial V/\partial x)$ 项与其它项相比是不重要的, 可以略去。他介绍了两个无因次参数:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{aV_0}{2gH_0} \\ \theta &= \frac{aT_c}{2L} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$