

Applied Hydraulic Transients

Third Edition

 Springer

M. Hanif Chaudhry

精品经典译著

实用水力瞬变过程

(第三版)

程永光 杨建东 赖 旭 张 健 译
王永年 审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Applied Hydraulic Transients

Third Edition

M. Hanif Chaudhry

精品经典译著

实用水力瞬变过程 (第三版)

程永贵 杨建东 赖旭 张健 译
王永年 审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

北京市版权局著作权合同登记号：图字 01－2014－7234

Translation from the English language edition:

Applied Hydraulic Transients

Copyright © The Author 1979, 1987, 2014

Springer New York is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目（C I P）数据

实用水力瞬变过程：第3版 /（美）乔杜里著；程永光等译. -- 北京：中国水利水电出版社，2015. 10
（精品经典译著）

书名原文：Applied Hydraulic Transients
(Third Edition)

ISBN 978-7-5170-3731-6

I. ①实… II. ①乔… ②程… III. ①水力学—研究
IV. ①TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第248457号

书 名	精品经典译著 实用水力瞬变过程（第三版）
原 书 名	Applied Hydraulic Transients (Third Edition)
原 著 者	M. Hanif Chaudhry
译 者	程永光 杨建东 赖旭 张健
审 阅	王永年
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 31.25印张 596千字 1插页
版 次	2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	98.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

翻译说明

乔杜里 (M. Hanif Chaudhry) 教授的专著《实用水力瞬变过程》(Applied Hydraulic Transients) 是水力瞬变过程领域的经典著述之一, 有重要影响。该书涉及面广, 既包含瞬变过程基本理论, 也包含大量应用实例; 既针对水电站和泵站水力系统, 也针对输油管线和冷却水系统; 既讨论一般意义的瞬变过程, 也讨论水力振荡问题和泄漏检测技术。该书深入浅出, 十分适合研究生、科研人员和工程技术人员选作水力瞬变过程的入门读物、培训教材和科研参考书。其最新的第 3 版于 2014 年由斯普林格 (Springer) 出版社推出不久, 中文版版权随即被中国水利水电出版社获得, 并确定由武汉大学程永光、杨建东、赖旭和河海大学张健四位教授联合翻译, 完稿后由武汉大学王永年教授审阅。

程永光教授负责全书统稿, 并翻译了第 2 章、第 6 章、第 13 章, 以及附录图表和程序等。杨建东教授翻译了第 3 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章。赖旭教授翻译了第 1 章、第 5 章、第 11 章。张健教授翻译了第 4 章、第 10 章、第 12 章。各位教授对自己所翻译的内容负责。武汉大学研究生张晓曦、张春泽、夏林生、朱方磊、刁伟、蔡芳、陈慧敏、杨桀彬、李玲、郭文成、王超、曾威、刘树洁、陈岚、陈强等, 河海大学研究生李路明、蒋梦露、范呈昱等参加了初稿的翻译和整理工作。

中文版的出版得到乔杜里教授的大力支持, 他特地题写了序言。武汉大学和河海大学有关领导和部门提供了鼓励和资助。中国水利水电出版社武丽丽、魏素洁编辑等为本书顺利出版作了细致指导。在此一并感谢。

希望本书能为研究生、科研人员和工程师了解水力瞬变过程、研究瞬

变过程和应用瞬变过程理论问题提供参考，并在中国水利水电科研、实践和教学水平的进一步提高中发挥作用。

限于译者水平，翻译中会有一些错误和不足，敬请各位读者批评指正。

译者

2014 年 12 月 8 日于武汉大学

中文版序言

两个恒定状态之间的过渡态流动称为瞬变流。这种流动过去被称为水锤、涌波、压力波动等，是由有计划的或者事故中的控制设备（或其他装置）的工况改变所导致，在泵站、水电站、冷却水等系统中较为常见。瞬变流越来越受到关注，因为设计泵站、水电站等系统时必须知道瞬变流的最大压力、最小压力和其他参数的极值。目前，确定这些瞬变状态参数的数值计算方法不少，相应程序已较普及。《实用水力瞬变过程》专门论述这些方法和应用实例，并提供相关的资料和数据。

作为这本书的作者，听到其第三版在出版一年后即将被译成中文出版，我十分兴奋。该书英文第一版于 1979 年出版，其中文版由四川水力发电学会翻译，直到 1984 年才正式出版。第三版在这样短的时间内被翻译成中文，说明本书很受中国学者、工程师和研究者的欢迎。著述被同行接受令人十分欣慰，而被翻译成外文则使我感觉无比光荣。

这本书提供的材料对于大型水电站和泵站的规划、设计、运行有很好的参考价值。当前，中国在水资源与水电工程开发上是世界的领头羊，对发展中国家的水电开发也提供了不少技术支持和经济援助。典型实例是中国的南水北调工程，该项目耗资 800 亿美元（2015 年），由巨大的明渠、管路和泵站组成，分三条线路将水由南方调到北方。第三版的中文版的出版正合其时。

本书的第一版是我在英属哥伦比亚水电公司（B. C. Hydro）以及其附属的国际电力工程咨询公司当高级工程师时所作。英属哥伦比亚水电公司不仅提供了原稿打印、草图绘制等方面的慷慨帮助，而且授予我该公司

工程应用实例的使用许可。这些案例研究的加入，使本书具有明显的特色。后来，我成为大学教师，又作了一些修改，这些修改在第二版和第三版中得到了体现。另外，作为穿行于全世界六大洲进行专业咨询的专家，我见证了大量的案例，使我一直与现实世界紧密接触。这本书第二版和第三版的修订除了得益于全世界众多读者的意见和建议外，更得益于我的经历和交流中获得的经验。英文版中不少打印和编排错误在中文版中都进行了更正。

乔杜里

(M. Hanif Chaudhry)

2015 年 2 月 8 日

于美国南卡罗来纳大学

献给莎米密 (Shamim)

原著序言

本书系统而深入地介绍了封闭管道和明渠中的瞬变流，内容涵盖入门简介到高级进阶，并附以高效且鲁棒性好的仿真计算程序。这些程序基于现代数值计算方法，适用于电脑计算，结果比传统方法更加精确，为分析大型复杂系统提供了可能。本书涉及的应用领域十分广泛，包括诸如水力发电站、抽水蓄能电站、供水系统、输油管线、冷却水以及工业管网系统等领域。本书既可供工程师或研究人员参考，亦可作为高年级本科生或研究生教材之用。

由于应用领域不同，本书材料组织基本上各章自成体系，但实践应用贯穿始终，其内容包括工程实例、应用性问题、图片资料以及设计准则。本书附录包括设计图表及经验公式，可供近似估算、可行性研究和初步设计的方案比选之用，也可在详细分析中用以确定参数。为了方便读者学习，还给出求解实例及示例程序。全书采用国际单位，不过也给出经验常数的相应英制单位数值，以降低使用这些单位的难度。

此版本的叙述顺序与上一版大致相同。但对全书进行了全面校订，使其更加清晰明朗，并更新了参考文献。此外，新增了一章关于渗漏和部分堵塞的检测的内容。每章给出开篇图片，对该章内容进行形象化引导。第1章更新了历史背景，并增加了波的传播与反射一节内容。第2章也增加了一节内容，专门介绍控制方程中非定常摩阻的引入。非定常摩阻的模拟和高阶数值方法的应用则在第3章叙述。第5章扩充了水泵水轮机模拟。第8章用一节概述了心脑血管狭窄的功能性严重程度的确定方法。另外，还对第10章、第11章及第13章的材料进行校订，并新增了第12章，讨

论管线渗漏和部分堵塞检测。附录 A 为设计图表及数据，附录 B~附录 E 为 FORTRAN 语言编写的简单计算程序和相应的输入参数和输出结果。

笔者在奥多明尼昂大学 (Old Dominion University)、华盛顿州立大学 (Washington State University)、南卡罗来纳大学 (University of South Carolina) 等处讲授“水力瞬变”课程 (3 学分) 时，将本书第 1 章至第 5 章和第 10 章的内容作为教材。因此本书各章节不同部分内容亦可作为高级的专业课及研讨会的讲义。

感谢哥伦比亚水电局和加利福尼亚水资源局提供的工程数据及原型测试结果。同时感谢笔者旧时同事们的大力支持，R. E. Johnson 提供了原型测试的仪器，R. M. Rockwell 和 J. Gurney 绘制了图 5-11 和图 5-29，G. Vandenburg 绘制了图 10-4。此外，Sam Martin 博士慷慨地提供了技术咨询、照片及图稿。令笔者欣慰的是，笔者以前的研究生们均为协助本书出版付出了努力，Elkholy 博士整理准备初稿，Mohapatra 博士协助校对终稿，Wessinger 绘制手稿图。另外还有来自全球各地的一些热心人提供照片及其他材料。对于这些帮助，笔者在此致以诚挚的谢意。感谢家人，尤其是笔者的孙子 Aryaan、Amira 和 Rohan，我将本应与他们共度的不少时光花在了本书的再版上。

乔杜里

于美国南卡罗来纳州哥伦比亚市

目录

翻译说明
中文版序言
原著序言

第 1 章 基本概念..... 1

1.1 引言 2

1.2 术语 2

1.3 历史背景 4

1.4 基本的水击方程 7

1.5 压力波的传播 9

1.6 压力波的反射与透射 14

1.7 瞬变流分析 16

1.8 瞬变过程的起因 17

1.9 系统设计与运行 17

1.10 事故与事件 18

1.11 本章小结 23

习题 23

参考文献 24

第 2 章 瞬变流方程 30

2.1 引言 31

2.2 雷诺输运定理 31

2.3 连续方程 33

2.4 动量方程 36

2.5	总体说明	38
2.6	波速	42
2.7	控制方程的求解方法	46
2.8	非恒定的摩阻	47
2.9	本章小结	50
	习题	50
	参考文献	50
第3章	特征线法与有限差分法	56
3.1	引言	57
3.2	特征方程	57
3.3	边界条件	62
3.4	收敛性和稳定性	69
3.5	确定间隔的方法	72
3.6	计算时间间隔	74
3.7	非定常摩阻	75
3.8	显式有限差分法	78
3.9	一般性说明	80
3.10	隐式有限差分方法	83
3.11	数值方法比较	84
3.12	分析流程	86
3.13	实例分析	88
3.14	本章小结	92
	习题	92
	参考文献	93
第4章	泵系统瞬变过程	97
4.1	引言	98
4.2	泵的运行	98
4.3	泵的特性	99
4.4	断电	105
4.5	复杂系统	114
4.6	泵的启动	119
4.7	设计准则	120
4.8	案例分析	122
4.9	本章小结	126

习题	126
参考文献	127
第 5 章 水电站的瞬变过程	132
5.1 引言	133
5.2 水电站布置	133
5.3 输水管道系统	135
5.4 水轮机	135
5.5 水轮机调速器	141
5.6 数学模型	148
5.7 设计准则	157
5.8 调节稳定性	158
5.9 稳定性分析	163
5.10 抽水蓄能工程	171
5.11 水泵水轮机	171
5.12 实例研究	176
5.13 本章小结	181
习题	181
参考文献	183
第 6 章 冷却水系统中的瞬变过程	187
6.1 引言	188
6.2 冷却水系统	188
6.3 瞬变过程产生原因	192
6.4 分析方法	192
6.5 边界条件	194
6.6 本章小结	197
习题	197
参考文献	197
第 7 章 长输油管道中的瞬变过程	201
7.1 引言	202
7.2 定义	202
7.3 引起瞬变过程的原因	204
7.4 分析方法	205
7.5 设计注意事项	206
7.6 本章小结	208

习题	208
参考文献	209
第 8 章 周期流与共振	211
8.1 引言	212
8.2 术语	212
8.3 周期流的形成	217
8.4 分析方法	220
8.5 方框图	223
8.6 传递矩阵	224
8.7 频率响应	238
8.8 压强和流量的沿线变化	247
8.9 压力波节点和腹点	248
8.10 共振频率	250
8.11 传递矩阵法的验证	255
8.12 变特性管道	261
8.13 人类心血管系统狭窄	263
8.14 案例分析	266
8.15 本章小结	267
习题	267
参考文献	268
第 9 章 空化和液柱分离	272
9.1 引言	273
9.2 概述	273
9.3 液柱分离的起因	274
9.4 能量耗散	276
9.5 气液混合流中的波速	276
9.6 空化分析	278
9.7 设计注意事项	280
9.8 案例分析	280
9.9 本章小结	284
习题	285
参考文献	285
第 10 章 瞬变过程的控制	290
10.1 引言	291

10.2	调压室	291
10.3	气室	293
10.4	阀门	296
10.5	瞬变过程最优控制	305
10.6	案例分析	305
10.7	本章小结	308
	习题	308
	参考文献	309
第 11 章	调压室	313
11.1	引言	314
11.2	调压室类型	314
11.3	控制方程	315
11.4	控制方程的求解	321
11.5	无阻尼系统的涌波振荡	322
11.6	术语	323
11.7	方程的无量纲化	325
11.8	相平面法	325
11.9	简单调压室的稳定性	326
11.10	封闭式调压室的稳定性	335
11.11	多调压室	336
11.12	设计准则	336
11.13	案例分析	339
11.14	本章小结	342
	习题	343
	参考文献	345
第 12 章	泄漏与部分堵塞检测	349
12.1	引言	350
12.2	术语	350
12.3	局部堵塞的检测	352
12.4	泄漏检测	356
12.5	实际应用	359
12.6	本章小结	360
	习题	360
	参考文献	360

第 13 章 明渠瞬变流 362

13.1 引言 363

13.2 术语 363

13.3 瞬变流实例 364

13.4 涌波高度与波速 365

13.5 控制方程 368

13.6 求解方法 373

13.7 特征线法 374

13.8 显式有限差分法 376

13.9 初始条件 383

13.10 隐式有限差分法 385

13.11 二阶显格式 389

13.12 有限差分法的比较 392

13.13 特殊问题 393

13.14 实例研究 399

13.15 本章小结 405

习题 405

参考文献 412

附录 A 设计图表 419

A-1 等价管 419

A-2 阀门关闭 419

A-3 阀门开启 422

A-4 离心泵断电 422

A-5 空气室 429

A-6 简单调压室 437

A-7 明渠中的涌波 438

A-8 泵站系统的数据 441

参考文献 444

附录 B 阀门关闭和开启引起的瞬变过程 445

B-1 源程序 445

B-2 输入参数 451

B-3 输出结果 452

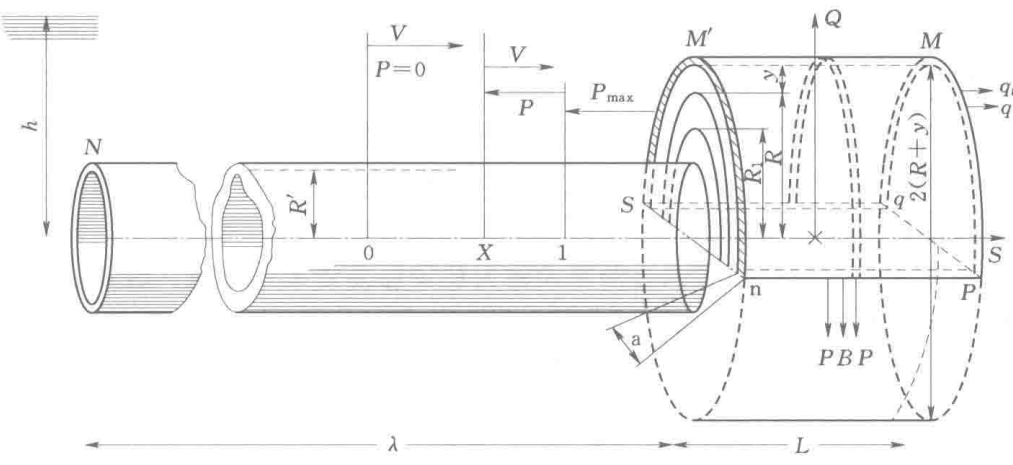
附录 C 水泵断电引起的瞬变过程 455

C-1 源程序 455

C-2	输入参数	463
C-3	输出结果	464
附录 D	串联管系统频率响应	468
D-1	源程序	468
D-2	输入参数	470
D-3	输出结果	471
附录 E	简单调压室水位波动	472
E-1	源程序	472
E-2	输入参数	476
E-3	输出参数	476
附录 F	国际单位和英制单位的转换系数	480
F-1	SI 国际单位	480
F-2	转换系数	480

第 1 章

基本概念



摩恩 (Isebree Moens) 实验中刚性金属管道及其弹性橡胶部分 (1877) (由 Arris Tijsseling 提供)