

大连理工大学教授学术丛书

水电站和泵站 水力过渡流

*Hydraulic Transients in Hydropower
Plants and Pump Stations*

陈璧宏 周发毅 著



DUTP

大连理工大学教授学术丛书

水电站和泵站 水力过渡流

陈璧宏 周发毅 著

大连理工大学出版社

**The Professors Academic Works Series
of the Dalian University of Technology**

HYDRAULIC TRANSIENTS IN HYDROPOWER PLANTS AND PUMP STATIONS

Chen Bihong Zhou Fayi

Dalian University of Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

水电站和泵站水力过渡流/陈璧宏,周发毅著. —大连:
大连理工大学出版社, 2001. 10
大连理工大学教授学术丛书
ISBN 7-5611-1960-7

I. 水… II. ①陈…②周… III. 电站-泵站-过渡流
IV. TV653

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 19899 号

大连理工大学出版社出版发行
大连市凌水河 邮政编码 116024
电话:0411-4708842 传真:0411-4701466
E-mail: dulp@mail.dlptt.ln.cn
URL: <http://www.dulp.com.cn>
大连海事大学印刷厂印刷

开本: 850 毫米×1168 毫米 1/32 字数: 347 千字 印张: 13.875 插页: 4

印数: 1—3000 册

2001 年 10 月第 1 版

2001 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑: 徐怀书 水 舟

责任校对: 郑丽红

封面设计: 孙宝福

定价: 28.00 元



作者简介

陈璧宏, 1929年9月生于福建省福州市。1952年唐山工学院土木系水利水电专业毕业, 1954年大连工学院土木系水能利用研究生毕业。1979年至1982年美国明尼苏达大学、加拿大蒙特利尔大学、新斯科舍工业大学访问学者、访问教授。大连理工大学土建学院教授、博士生导师, 获国务院特殊津贴。曾任大连理工大学土木系水工结构教研室主任, 国际工业、企业模型、模拟协会科技委员会理事和出版社、杂志社编辑等职。多年从事水利水电工程专业教学、科学研究、设计施工和模型试验研究等工作。长于水利水电工程流体数值模拟与物理模拟。

2007/16

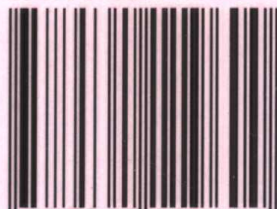
内 容 简 介

本书主要阐述水电站、泵站和抽水蓄能电站中压力管道和明渠水力过渡流数值模拟方法。并阐述水电站蜗管、水轮机和尾水管三维恒定流大涡模拟数值计算方法。并配有工程计算实例和相应计算机程序。

本书介绍的内容是著者多年从事过渡流教学、科研和解决工程实际问题的经验和学术总结。书中工程实例大多是著者及部分研究生工作成果。内容有所创新,反映国内、外学科前沿研究动态和最新成就,是一本理论与工程实际密切结合的专著。

本书可作为水利院校研究生教材或教学参考书,也可供科研、设计部门研究人员及工程技术人员参考。

ISBN 7-5611-1960-7



9 787561 119600 >

本书由

大 连 市 人 民 政 府 资助出版
大连理工大学学术著作出版基金

The published book is sponsored by

The Dalian Municipal Government

and

The Publishing Academic Works

Foundation of the Dalian Univer-
sity of Technology

前 言

水力过渡流或流体过渡流是水利水电、城镇给排水和其他许多工程领域重要的技术课题,是目前国内外重要的前沿科学技术研究热门课题,也是相关专业研究生必读课程。因此本书的出版有很重要的理论和工程实践意义。

本书共有十一章。第一章至第三章讲一些基本概念、基本理论和方法。第四章至第六章介绍水电站、泵站、抽水蓄能电站过渡流数值模拟方法。第七章介绍过渡流中出现的空化流和液柱分离的问题。第八章讲述防止和避免过渡流造成破坏的控制和保护工程措施。从第一章至第八章均系对压力管道水力过渡流而言。第十一章是对明渠或无压管道水力过渡流而言,并介绍从有压到无压或从无压到有压的所谓明满交替过渡流问题。以上各章讲述的都是一维过渡流问题,仅在抽水蓄能电站反调节水库过渡流中讲到了二维问题。在第九章和第十章中讲述了水电站蜗管、水轮机转轮和尾水管三维紊流数值模拟问题,采用目前最有发展前景的大涡模拟方法进行计算,并展示了许多最新研究和计算成果。这些内容虽然不属于过渡流范畴,但是它们是水电站流体动力学重要内容,有了这些内容之后,本书对水电站流体动力学问题就几乎全部谈到了。而且在研究和模拟计算这些问题时,都是应用非恒定流方程和方法,和过渡流没有什么本质区别。同时也可以使读者了解从一维过渡流

数值模拟发展到二维、三维数值模拟的过程与情况。

本书内容理论密切联系工程实践,既重视理论分析也重视工程实际应用,在讲述理论之中,贯穿工程应用内容,并有许多由我们计算的工程应用实例。本书是著者及其研究集体多年潜心研究与解决工程问题所取得的成果的总结。本书充分反映了该领域的前沿研究动态和最新科技成就。但为兼顾全书内容的系统性和铺垫必要的基础知识,又便于该书阅读,也增加了一些必要的补充内容。本书初稿曾于十多年间作为大连理工大学土建学院水利水电硕士研究生教材。在此基础上,修改、补充,写成本书。

本书可供从事教学、科学研究和工程设计的水利水电工程、给排水工程工作者阅读、参考,也可以作为有关专业研究生的教材、参考书。希望能对他们的学习和工作有所帮助。

本书第一章至第八章,第十一章由陈璧宏同志执笔,第九章、第十章由周发毅同志撰稿,并由陈璧宏同志校阅。

在本书出版之际,向参加过相关课题研究的教师、研究生们表示衷心感谢;向赞助与支持我们研究工作的工程设计单位、企事业单位表示衷心感谢;向热心支持本书出版的辽宁省水利厅领导表示衷心感谢;向编辑和出版本书的出版社同志表示感谢。

由于著者水平有限,本书难免疏漏,甚至错误,恳请读者指正。

著 者

2001年6月

目 录

前言

第一章 总论	1
1.1 一些名词的定义	1
1.2 水力过渡流的分类	3
1.3 水力过渡流产生的原因	4
1.4 简单压力管道中水锤波的传播与反射	5
1.5 水锤分类	9
1.6 刚性管道水锤压力.....	11
1.7 刚性管道可压缩流体水锤波速的计算.....	12
1.8 水电站水力过渡流过程.....	15
1.9 城镇供水排水过渡流过程.....	17
1.10 水力过渡流发展简史	21
参考文献	24
第二章 压力管道过渡流控制方程	26
2.1 压力管道过渡流基本方程.....	26
2.2 压力管道过渡流基本方程的特点及其解法...	35

2.3 压力管道水锤波速·····	37
参考文献·····	41
第三章 特征线方法和有限差分方法 ·····	43
3.1 有限差分方法的基本知识·····	43
3.2 压力管道过渡流的特征线方程·····	48
3.3 特征线方程的求解·····	52
3.4 定步长的特征线方法·····	56
3.5 显式差分方法·····	61
3.6 隐式差分方法·····	67
3.7 边界条件·····	69
3.8 初始条件和稳定性条件·····	74
参考文献·····	75
第四章 水电站过渡流 ·····	77
4.1 水电站管道系统布置·····	77
4.2 水电站上、下游管道过渡流数值模拟·····	81
4.3 水轮机综合特性曲线·····	81
4.4 反击式水轮机过渡流数值模拟·····	83
4.5 计算步骤·····	91
4.6 水电站过渡流计算工况·····	93
4.7 调速器的构造与工作原理·····	94
4.8 调速器的传递函数和方框图·····	99
4.9 缓冲器式调速器数值模拟·····	103
4.10 PID型调速器数值模拟·····	107
4.11 水轮机调节稳定性·····	109

4.12 小波动稳定性·····	115
4.13 调速器参数的优化·····	119
参考文献·····	121
第五章 离心式水泵过渡流·····	122
5.1 离心泵的工作原理和工作参数·····	122
5.2 水泵过渡流及水泵工况分区·····	127
5.3 离心泵全特性曲线·····	133
5.4 水泵管道特性曲线和水泵工作点·····	134
5.5 相似水泵·····	135
5.6 马柯(Marchal)绘制的全特性曲线·····	136
5.7 离心泵断电过渡流数值模拟·····	141
5.8 并联水泵断电过渡流数值模拟·····	149
5.9 串联水泵断电过渡流数值模拟·····	151
5.10 带有调压阀水泵过渡流数值模拟·····	153
5.11 水泵压力管道系统过渡流设计控制标准·····	157
5.12 水泵断电水锤防护措施·····	159
参考文献·····	165
第六章 抽水蓄能电站过渡流·····	166
6.1 概述·····	166
6.2 水泵水轮机全特性曲线·····	167
6.3 水泵水轮机过渡流工况·····	171
6.4 水泵水轮机过渡流数值模拟·····	175
6.5 水泵水轮机过渡流计算方法和步骤·····	182
6.6 工程实例计算·····	184

6.7	抽水蓄能电站反调节水库过渡流	194
6.8	反调节水库过渡流计算实例	208
	参考文献	216
第七章	空化过渡流和液柱分离	217
7.1	一些名词解释	217
7.2	压力管道压力降到汽化压力原因	220
7.3	气液混合流体过渡流波速	222
7.4	空化过渡流和液柱分离计算	226
7.5	布朗(Brown)方法计算空化过渡流和 液柱分离	228
	参考文献	230
第八章	调压室与调压阀过渡流数值模拟	232
8.1	水电站和泵站管道系统过渡流控制设备 ..	232
8.2	调压室的功用和类型	233
8.3	简单型调压室过渡流数值模拟	237
8.4	带有竖管调压室过渡流数值模拟	241
8.5	简单型调压室过渡流水面波动理论解	244
8.6	阻抗型调压室过渡流数值模拟	246
8.7	复杂型差动式调压室过渡流数值模拟	248
8.8	非线性代数方程组的线性化方法	255
8.9	工程实例计算	260
8.10	气垫型调压室	266
8.11	带有竖管气垫型调压室过渡流数值模拟 ..	270
8.12	各种阀门在过渡流中的应用	272

8.13	调压阀(PRV)过渡流数值模拟	274	
8.14	进气阀过渡流数值模拟	276	
8.15	过渡流的优化控制概念	279	
	参考文献	280	
第九章 水电站蜗管、水轮机和尾水管三维紊流			
	大涡模拟	282	
9.1	综述	283	
9.2	微压缩流体水动力学方程	285	
9.3	大涡模拟方法(LES)	287	
9.4	有限体积法求解大涡模拟方程	290	
9.5	固体边界条件	293	
9.6	网格生成和组合区域模型	296	
	参考文献	299	
第十章 水电站蜗管、水轮机和尾水管三维紊流			
	计算实例	302	
10.1	蜗管三维紊流计算	302	
10.2	反击式(法兰西式)水轮机转轮的三维 紊流计算	312	
10.3	尾水管三维紊流计算	323	
10.4	总体能量损失和效率	337	
第十一章 明渠过渡流			340
11.1	明渠过渡流的一些水流定义	340	
11.2	明渠过渡流产生的原因	341	
11.3	明渠过渡流波高和波速的计算	342	

11.4	明渠过渡流控制方程·····	346
11.5	明渠过渡流控制方程的求解·····	353
11.6	特征线方法·····	354
11.7	显式有限差分方法·····	357
11.8	二阶显式差分方法·····	362
11.9	显式差分方法边界条件·····	372
11.10	初始条件 ·····	376
11.11	隐式差分方法 ·····	378
11.12	显式差分方法和隐式差分方法 优、缺点比较·····	390
11.13	明满交替过渡流数值模拟 ·····	391
11.14	明满交替过渡流工程实例计算 ·····	395
	参考文献·····	409
附录	水泵断电水锤计算程序·····	412

Contents

Preface

Chapter 1 General Remarks	1
1.1 Some Definitions	1
1.2 Classification of Hydraulic Transients	3
1.3 Causes of Transients	4
1.4 Waterhammer Wave Propagation and Reflection in a Simple Pipe	5
1.5 Category of Waterhammers	9
1.6 Waterhammer Pressure in Rigid Pipe	11
1.7 Calculation of Waterhammer Wave Velocity in Rigid Pipe for Compressible Fluid	12
1.8 Transients Flows in Hydropower Plant	15
1.9 Transients Flows in Water Supply and Drainage Pipes	17
1.10 Historical Development of Hydraulic Transients	21
References	24

Chapter 2 Governing Equations for Transient

Flow in Closed-conduit	26
2.1 Basic Equations for Transient Flow in	

Closed-Conduit	26
2.2 Specialities and Solving of Basic Equations for Transient Flow	35
2.3 Velocity of Waterhammer Wave in Closed- Conduit	37
References	41
Chapter 3 Methods of Characteristics and Finite Difference	43
3.1 Backgrounds of Finite Difference Methods	43
3.2 Method of Characteristics	48
3.3 Solving Characteristics Equation	52
3.4 Characteristics Method for Specified Intervals	56
3.5 Explicit Finite Difference Method	61
3.6 Implicit Finite Difference Method	67
3.7 Boundary Conditions	69
3.8 Initial Conditions and Stability Condition	74
References	75
Chapter 4 Transients in Hydropower Plants	77
4.1 Layout of Conduit System of Hydropower Plant	77
4.2 Numerical Simulation of Transient Flows in Upstream and Downstream Conduit Systems of Hydropower Plant	81
4.3 Complete Characteristics of Turbine	81