

'98 卷

大连理工大学教授学术丛书

水利枢纽 河段模拟

陈璧宏 著

SIMULATION OF
RIVERS THROUGH
HYDRAULIC
PROJECTS

大连理工大学出版社

大连理工大学教授学术丛书 '98 卷

水利枢纽河段模拟

陈壁宏 著

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水利枢纽河段模拟/陈壁宏著. —大连:大连理工大学出版社,1999.10

(大连理工大学教授学术丛书'98 卷)

ISBN 7-5611-1644-6

I. 水… II. 陈… III. 水利枢纽-河段-水利工程-水工模拟 IV. TV61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07129 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:0411-4708898

E-mail:dlutp@mail.dlptt.ln.cn

大连海事大学印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 字数:265 千字 印张:10.625 插页:4

印数:1—6000 册

1999 年 10 月第 1 版

1999 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑:水 舟

责任校对:杨 泳

封面设计:孙宝福

定价:20.00 元

本书由

**中共大连市委、大连市人民政府
大连理工大学学术著作出版基金**

资助出版

The published book is sponsored by

The Dalian Municipal Government

and

The Publishing Academic Works

Foundation of the Dalian University of Technology

序

河道水流与泥沙问题是水利水电工程建设中十分重要的问题,国内外一直十分重视对它的研究。因为这不仅具有重要的学术意义,而且几乎所有水利水电工程建设都离不开它。在水利枢纽河段中建有許多水工建筑物,在它们的设计、施工和运行管理中都会遇到许多复杂的水流与泥沙运动问题,因此水利枢纽河段的水流与泥沙运动问题,无论在学术理论上与工程实践中都是非常重要的问题。

大连理工大学陈壁宏教授和他领导的研究集体长期致力于这一领域的有关问题的研究,在理论与实践上都取得了不少有创造性的、高水平的研究成果。本书就是总结和反映这些成果的一本理论与实践相结合的专著,是陈壁宏教授在这一领域内潜心研究数十年的成果总结。该书的出版确是一件很有意义的事情。

这本书的鲜明特点是理论与实践的紧密结合,既讲述水流与泥沙运动的数值模拟又讲述物理模拟,既讲述基本原理与理论分析又有实际工程计算实例,这些实例都是作者完成的工程研究任务。作者力图使读者通过本书学习,能够了解基本理论又能运用基本理论以解决水利水电工程中的实际问题。

该书取材先进,实用性强,而且包含了作者多年来在这一

领域的创新研究成果与工程实际应用实例,使该书成为一本有特色的科技专著。

相信该书的出版,将会促进我国对水利枢纽河段这一具有复杂水流与泥沙运动模拟的研究,为我国的水利水电建设事业做出更大的贡献。

中国科学院院士

林秉南

1999年3月

前 言

水利枢纽河段上通常有许多水工建筑物,该河段一直是水利水电建设中科学研究与运行管理的主要对象。本书阐述水利枢纽上、下游河段的水流与泥沙运动的数值模拟和水工模型试验的原理与方法。

本书内容由七章构成。前四章讲述水流运动数值模拟的基本理论与方法,包括:有限差分方法;有限差分与特征差分相结合的方法;破开与分步法和边界拟合法。第五章、第六章介绍紊流数值模拟的有关理论与方法;第七章介绍水电站尾水河道水流与泥沙运动对发电的影响,及河道整治等的水工模型试验理论与方法。每一章中都有工程计算实例,努力将理论和应用相结合,使内容具有实用性,也便于读者加深对本书内容的理解。

本书内容是著者及其研究集体几十年潜心研究与解决工程问题所取得的成果的总结。该书充分反映了该领域的前沿研究动态和最新科技成就,有所创新。但为兼顾全书内容的系统性和铺垫必要的基础知识,又便于读者阅读,也加了一些必要的补充内容。

本书可供从事教学、科学研究、工程设计与水工模型试验的水利水电工作者参考,也可作为有关专业研究生的教材,希望能对他们的学习和工作有所帮助。

在本书撰著过程中,中科院院士林秉南教授曾给予著者许多指教与热心帮助,并为本书作序,谨表示衷心的感谢。大连理工大学罗远铨教授、张洪庆教授对本书数学内容做了审核,我们研究集体的施忠福教授、周发毅博士、管健勇、庞志刚、韩永清等同志均参加了本书有关内容的研究,在研究过程中曾获得国家自然科学基金资助及许多企业的赞助,在本书出版之际,著者一并深表谢忱。

著者

1998年10月

目 录

第一章 有限差分方法	1
1.1 概述	1
1.2 有限差分的格式	2
1.3 差分格式的相容性	10
1.4 差分格式的收敛性	11
1.5 差分格式的稳定性	14
1.6 判别差分格式稳定性的方法	18
1.7 其他一些差分格式	24
1.8 预测-校正法	34
1.9 有限体积法	37
1.10 垂直平板热对流的有限差分方法	40
1.11 工程应用实例:重力坝与土坝插入连接段的渗流 计算——有限差分迭代法	47
参考文献	55
第二章 特征方程与差分方程相结合的计算方法	57
2.1 一维明渠非恒定流的特征差分方法	57
2.2 二维次特征方程与差分方程相结合的计算方法	62
2.3 工程应用实例	71
2.4 极坐标系统的二维非恒定流控制方程	80

2.5 用混合坐标系统计算某水电站弯曲尾水河道 流场	88
参考文献	92
第三章 破开与分步法及其工程应用	94
3.1 破开与分步法的基本思想和方法	94
3.2 方程的破开	96
3.3 明渠、河流二维数学模型的分步法	96
3.4 工程应用实例——围堰束窄河道对发电的影响 ...	106
3.5 三维破开算子法及其应用	112
参考文献	121
第四章 边界拟合坐标法及其应用	122
4.1 边界拟合坐标法的概念	122
4.2 变换方程的求解	127
4.3 控制方程及其坐标变换	129
4.4 边界拟合坐标法在某电站尾水河道计算中的 应用	139
4.5 在另一电站尾水河道中的应用	145
4.6 洪水调节时水库水流与泥沙冲淤变形的边界 拟合法	148
参考文献	156
第五章 紊流基础知识与紊流模型	158
5.1 紊流的基本特征	158
5.2 紊流统计理论的若干基本概念	160
5.3 紊流尺度	163

5.4	紊流动能及其耗散率	169
5.5	雷诺方程	174
5.6	紊流粘性系数与模型分类	176
5.7	Prandtl 混合长度理论	178
5.8	零方程模型	182
5.9	单方程模型——紊流脉动动能的 k 方程模型	184
5.10	双方程模型—— k - ϵ 模型	189
5.11	雷诺应力模型	198
5.12	代数应力模型	207
5.13	工程计算实例——三维 K - ϵ 紊流模型的 工程应用	209
	参考文献	235
第六章	紊流数值计算的大涡模拟	238
6.1	大涡模拟	238
6.2	滤波函数	240
6.3	大涡模拟控制方程	241
6.4	Deardorff 方法	242
6.5	Leonard 修正和 Clark 修正	245
6.6	Ferziger 等人工作	247
6.7	微压缩流及其控制方程	252
6.8	微压缩流的大涡模拟	254
6.9	数值计算方法	256
6.10	边界条件的给定	259
6.11	直接数值模拟	264

6.12 大涡模拟在工程中的应用——大弯曲度明渠 三维紊流流场计算·····	265
6.13 取水口附近三维水流与泥沙运动的大涡模拟·····	273
参考文献·····	285
第七章 水电站尾水河道水流与泥沙运动对发电影响的 模型试验·····	287
7.1 概述·····	287
7.2 定床水工模型试验·····	289
7.3 动床水工模型试验·····	295
7.4 工程应用实例——某水电站尾水河道清挖工程 水工模型试验研究·····	302
7.5 水电站尾水河道水工模型试验方法探讨与改进···	313
参考文献·····	321

Contents

Preface

Chapter 1	Finite difference method	1
1.1	Introduction	1
1.2	The Approximations of Derivatives by Finite Differences	2
1.3	Consistency of Finite Difference Equation	10
1.4	Convergence of Finite Difference Equation	11
1.5	Stability of Finite Difference Equation	14
1.6	Stability Criteria for Finite Difference Equation	18
1.7	Additional Finite Difference Equations	24
1.8	Predictor—Corrector Method	34
1.9	Finite Volume Method	37
1.10	Finite Difference Method for Natural Convection at a Heated Vertical Plate	40
1.11	Practical Engineering Application: The Calculation of Seepage Flow in the Socket Type Connecting Part between the Gravity Dam and Earth Dam—by Finite Difference Iteration Method	47
	References	55

Chapter 2 Finite Difference Method Mixed with Method of Characteristics	57
2.1 Method of Characteristics for One-Dimensional Open Channel Transient Flow	57
2.2 Finite Difference Method Mixed with Method of Characteristics for Two-Dimensional Open Channel Transient Flow	62
2.3 Practical Engineering Application	71
2.4 Governing Equations for Two-Dimensional Transient Flow in Polar Coordinate System	80
2.5 Calculation of Flow Field in Curved Tail Race River Downstream of a Hydroelectric Power Station by Using Mixed Coordinates System	88
References	92

Chapter 3 Splitting and Fractional-Steps Methods and Their Applications	94
3.1 Basic Thought and Method for the Splitting and Fractional-Step Methods	94
3.2 Splitting of Equations	96
3.3 Fractional-Step Method for Two-Dimensional Open Channel and River Flow	96
3.4 Practical Engineering Application—Effect on Generation of Electricity by Hydropower Station Caused by Narrowed River due to Construction	

of Coffor-Dam	106
3.5 Three-Dimensional Splitting Method and Its Application	112
References	121
Chapter 4 Body Fitted Coordinate Method and Its Application	122
4.1 The Concept of Body Fitted Coordinate Method	122
4.2 The Solving of Transformed Equations of Body Fitted Coordinates	127
4.3 The Governing Equations and Their Coordinate Transform	129
4.4 Practical Engineering Application 1; Calculation of Flow Field in the Tail Race River Downstream of a Hydropower Station	139
4.5 Practical Engineering Application 2: Application in Another Tail Race River	145
4.6 2-D Flow and Sediment Transport Simulation for the Flood Regulation of a Reservoir with Water Intake	148
References	156
Chapter 5 Fundamental Knowledge for Turbulent Flow and Turbulent Flow Models	158
5.1 Basic Characteristics for Turbulent Flow	158

5.2	Basic Concepts of Statistical Theory for Turbulent Flow	160
5.3	Turbulent Flow Scales	163
5.4	Kinetic Energy of Turbulent Flow and Its Dissipation Rate	169
5.5	Reynolds Equations	174
5.6	Viscous Coefficients of Turbulent Flow and Classification of Turbulent Flow Models	176
5.7	Prandtl Mixed Length Theory	178
5.8	"0" Equation Model	182
5.9	One Equation Model—Pulsating Kinetic Energy of Turbulent Flow k Equation Model	184
5.10	Two Equations Model — k - ϵ Model	189
5.11	Reynolds Stress Model	198
5.12	Algebraic Stress Model	207
5.13	Practical Engineering Application—The Application of 3-D K - ϵ Turbulent Model for Solving Flow Field in Tail Race River	209
	References	235

Chapter 6 Large Eddy Simulation for Numerical

	Calculation of Turbulent Flow	238
6.1	Large Eddy Simulation	238
6.2	Filtration Functions	240
6.3	Governing Equations for Large Eddy	

Simulation	241
6.4 Deardorff Method	242
6.5 Leonard and Clark Improvements	245
6.6 Ferziger's Work	247
6.7 Weakly Compressible Flow and Its Governing Equations	252
6.8 Large Eddy Simulation for Weakly Compress- ible Flow	254
6.9 Methods for the Numerical Calculation of Weakly Compressible Flow	256
6.10 Boundary Conditions	259
6.11 Direct Numerical Simulation	264
6.12 Application of Large Eddy Simulation in Engineering Problem — The Large Eddy Simulation of Strongly Curved Open Channel Flow	265
6.13 3-D Simulation of the Flow and Sediment Transport near a Water Intake	273
References	285
Chapter 7 Hydraulic Model Experimental Methods for Estimating the Effect on the Generation of Electricity due to River Bed Deformation	
7.1 Introduction	287