

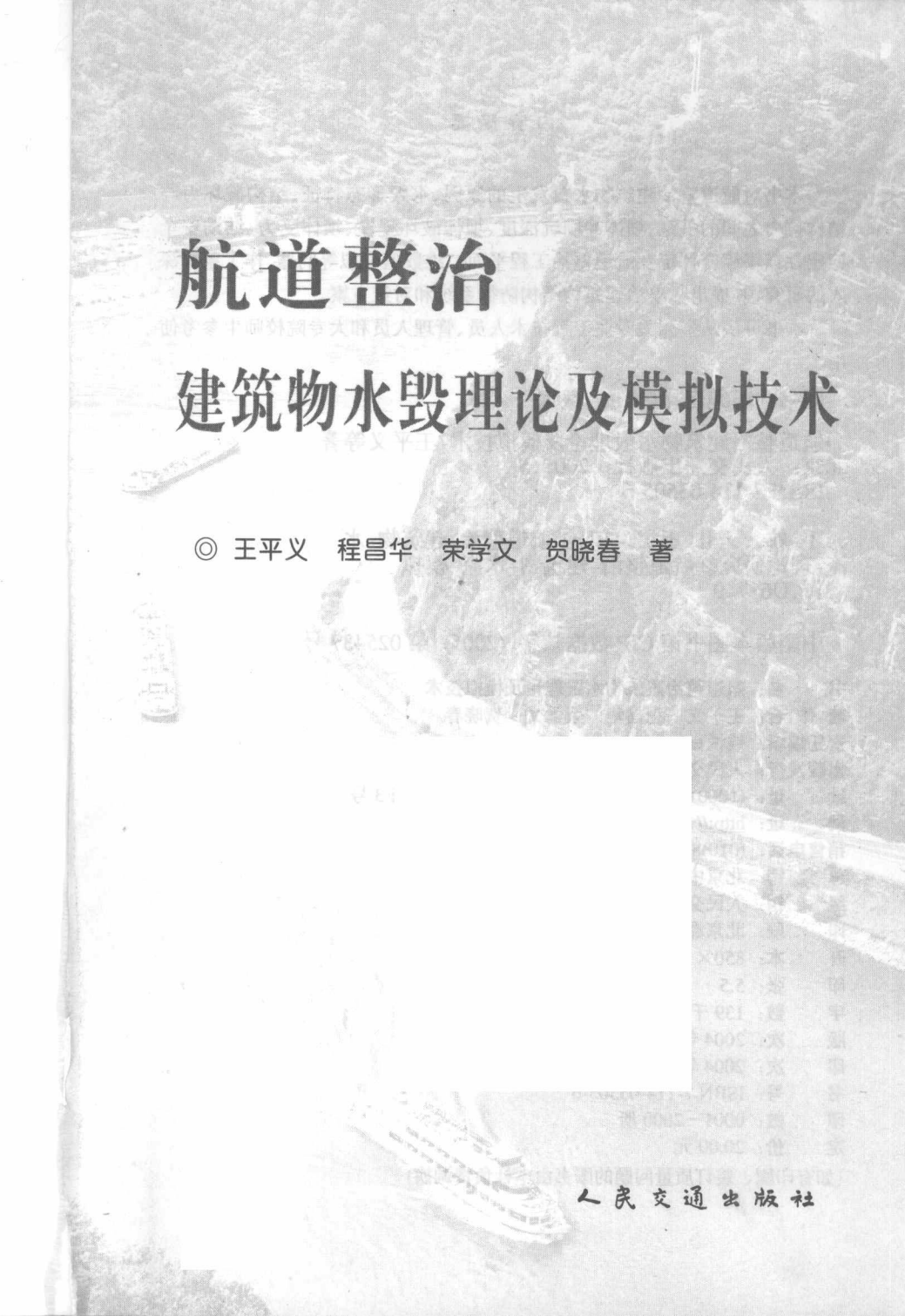
HANGDAOZHENGZHI
JIANZHUWUSHUIHUILILUN
JIMONIJISHU

航道整治

建筑物水毁理论及模拟技术

© 王平义 程昌华 荣学文 贺晓春 著

人民交通出版社



航道整治

建筑物水毁理论及模拟技术

◎ 王平义 程昌华 荣学文 贺晓春 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书对航道整治建筑物水毁发生的原因、水毁形态特征、结构破坏力与结构抗力之间的关系、坝体冲刷坑深度、坝体破坏程度、坝体受力、结构安全稳定模糊综合评定及航道整治工程平面二维数值模拟等问题,作了系统深入的研究,并提出了整治建筑物结构防御系统和对策方案。

本书可供从事相关专业工程技术人员、管理人员和大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

航道整治建筑物水毁理论及模拟技术/王平义等著.
北京:人民交通出版社,2005.5
ISBN 7-114-05505-6

I.航... II.王... III.①航道整治-建筑物-水淹-理论研究②航道整治-建筑物-水淹-模拟
IV.U617.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 025437 号

书 名: 航道整治建筑物水毁理论及模拟技术

著 作 者: 王平义 程昌华 荣学文 贺晓春

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.chinasybook.com.cn>

销售电话: (010)85285376,85285956

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 850×1168 1/32

印 张: 5.5

字 数: 139 千

版 次: 2004 年 12 月第 1 版

印 次: 2004 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05505-6

印 数: 0001—2000 册

定 价: 20.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

在通航河流中,除修建水利枢纽,提高航道等级外,整治措施大多以筑坝和疏浚相结合并辅以护岸。这些整治建筑物起到了修整河形、稳定洲滩、塞支强干、调整分流角和分流比、减缓比降、改善流态等作用。但由于受动力、结构、人类活动及维护管理等因子的影响,致使整治建筑物经常出现水毁现象。当整治建筑物出现水毁溃缺时,滩势形态将会迅速恶化,甚至引起河流变迁改道,危及船只安全,造成海损事故。因此,开展跨学科的理论、方法和技术的研究,弄清航道整治建筑物水毁成因、破坏程度,探索结构受力分析计算模式,建立结构安全稳定评定和水毁防御系统等,把损失减到最低限度,造福人民,促进我国水运交通发展,有着重大而深远的意义。

本书是交通部重点科研项目“山区冲积性河流整治建筑物水毁机理及防御系统研究”和教育部科学技术重点项目“山区通航河流整治建筑物遭受异相耦合因子破坏作用的机理及仿真研究”成果的总结,提出了航道整治建筑物水毁新理论及模拟技术。全书对航道整治建筑物水毁发生的原因、水毁形态特征、结构遭受多种因子破坏作用的力(称为破坏力)及整治建筑物结构依靠自身维持平衡稳定抵御破坏的能力(称为结构抗力)之间的关系、坝体冲刷坑深度、坝体破坏程度、坝体受力、结构安全稳定模糊综合评定及航道整治工程平面二维数值模拟等问题,作了系统深入的研究,并提出了整治建筑物结构防御系统和对策方

案。

我国是正在迅速发展的国家,也是工程建筑物(如:公路、桥梁、河流整治建筑物等)遭受水毁灾害严重的国家,航道整治建筑物水毁灾害现象已经严重地制约我国的交通事业和经济的发展。从这个意义上说,本书正是试图起到“抛砖引玉”的作用。本书可供从事相关专业工程技术人员及高等院校师生参考。

长江重庆航道工程局教授级高工

王士毅

2004年10月

前言

航道整治建筑物的水毁问题是世界上许多国家共同存在的一个问题,被认为是一种公害,已引起国内外的广泛关注。美国、德国和前苏联等国家从 20 世纪初开始,先后对整治建筑物设计和布置中的一些技术问题进行了调查和分析,并从理论上进行了研究,有力地推动了航道整治工程技术的发展。

我国航道整治部门的广大工程技术人员,在党和政府的重视下,于解放后对国内众多河流进行了大量的整治工作,并于 20 世纪 70 年代末对整治工程进行调研和技术总结。交通部在 1991 年和 1994 年分别批准发布了行业标准《航道整治工程技术规范》和《内河航道维护技术规范》。1999 年和 2003 年交通部批准颁布实施经修订后的《航道整治工程技术规范》。但是,在规范实施中我们发现,国内外关于航道整治建筑物水毁现象除少量进行水文研究和经验总结外,几乎未涉及水流泥沙动力、结构设计、人类活动及维护管理等与整治建筑物结构破坏关系的系统理论研究。因此,已有防治水毁的成功经验,也因水毁抢修工程的急迫,往往一些水毁工程出现修了又坏,坏了又修的反复维修的不良循环状况,造成大量人力、物力和财力损失,严重影响水运交通的正常运转。因此,开展跨学科的理论、方法和技术的研究,弄清航道整治建筑物水毁成因、破坏程度,探索结构受力分析计算模式,建立结构安全稳定评价和水毁防御系统等,把损失减到最低限度,造福人民,

促进水运交通发展,有着重大而深远的意义。

本书是在交通部重点科研项目“山区冲积性河流整治建筑物水毁机理及防御系统研究”和教育部科学技术重点项目“山区通航河流整治建筑物遭受异相耦合因子破坏作用的机理及仿真研究”成果的基础上完成的。通过3年多的调查分析、理论研究、模型实验和数值模拟,研究了航道整治建筑物水毁发生的原因、水毁形态特征、结构遭受多种因子破坏作用的力(称为破坏力)及整治建筑物结构依靠自身维持平衡稳定抵御破坏的能力(称为结构抗力)之间的关系、坝体冲刷坑深度、坝体破坏程度、坝体受力、结构安全稳定模糊综合评定及航道整治工程平面二维数值模拟等问题,提出了整治建筑物结构防御系统和对策方案。

在项目研究和应用过程中,先后得到交通部科教司、水运司、教育部科教司、重庆市教育委员会、四川省交通厅航务局、四川省交通规划设计院、长江重庆航道工程局、长江泸州航道局、重庆市港航管理局、云南省交通厅航务局等单位的大力支持与帮助;唐银安、叶强、杨成渝、李晓玲、吴修广、张继生等同志参加了科研项目的工作;在本书撰写中,引用或参阅了国内外相关作者的文献资料;在本书出版之际,王士毅教授级高工在百忙中审阅了本书并欣然作序,重庆交通学院各级领导及人民交通出版社给予了热忱关心与支持。值此一并致以诚挚的谢意!

鉴于本书撰写时间仓促,限于作者水平,难免存在错误和不足之处,敬请有关专家和广大读者批评指正!

作者

2004年9月于重庆

目 录

1 绪论	1
1.1 研究目的和意义	1
1.2 国内外研究现状及趋势	2
1.3 水毁研究的主要内容	10
2 整治建筑物水毁的原因	11
2.1 整治建筑物结构	11
2.2 整治建筑物水毁现象	18
2.3 整治建筑物水毁原因	20
3 整治建筑物结构受力分析	25
3.1 水流破坏力分析	25
3.2 锁坝浸水结构的力学及稳定性计算	28
3.3 坝体受力试验	34
3.4 坝体受力影响因素分析	38
3.5 坝体受力的分布情况	43
4 丁坝附近的水流结构	47
4.1 模型试验	47
4.2 丁坝附近的水流流态	58
4.3 丁坝的坝前壅水及其水面线的计算	62
4.4 丁坝的回流区长度	66
5 丁坝的水毁机理分析	71
5.1 清水冲刷试验	71
5.2 丁坝坝头冲刷坑的形成机理	73
5.3 丁坝的冲刷深度	77
5.4 丁坝坝体破坏分析	85
6 整治建筑物安全稳定性的模糊综合评定模型	88

6.1	模糊因素分析	88
6.2	评定模型的建立及求解	89
6.3	计算实例	93
7	整治建筑物水毁防御系统	97
7.1	防御系统框架结构	97
7.2	非工程治理措施	97
7.3	工程治理措施	99
8	航道整治工程平面二维水流数值模拟	104
8.1	平面二维水流数值模拟概述	104
8.2	正交曲线坐标网格的生成	110
8.3	河道平面二维流场计算	117
8.4	模型验证及工程应用	142
	参考文献	160

1 绪 论

1.1 研究目的和意义

在世纪交替之际,党中央高瞻远瞩,不失时机地提出了西部大开发战略。实施西部大开发,必须加快基础设施建设,交通运输是基础设施建设的重要组成部分,而水运交通建设在西部交通基础设施建设中具有十分重要的作用。从我国实施可持续发展战略角度看,内河航运具有基本不占地,对环境污染少,不破坏生态环境的优点,因此在西部交通建设中,尽可能利用江河水系进行开发是节约用地,保护耕地,保护人类生态环境的重要措施之一。

我国西南地区山区通航河流很多,如澜沧江、岷江、大渡河、嘉陵江、西江等。这些河流坡陡流急、泥沙颗粒粗、级配宽,航道弯曲狭窄,通航条件差。为此,近几十年来我国对上述河流开展了大量的整治工作,取得了较好效果,航行条件大大改善。

在山区河流中,除修建水利枢纽,提高航道等级外,整治措施大多以筑坝和疏浚相结合并辅以护岸。这些整治建筑物起到了修整河形、稳定洲滩、塞支强干、调整分流角和分流比、减缓比降、改善流态等作用。但由于受动力、结构、人类活动及维护管理等因子的影响,致使整治建筑物经常出现水毁现象。如岷江、大渡河、嘉陵江已建成 300 多座整治建筑物,大多数都出现了不同程度的水毁现象。当整治建筑物出现水毁溃缺时,滩势形态将会迅速恶化,甚至引起河流变迁改道,危及船只安全,造成海损事故。如根据 1994 年 12 月对岷江整治工程复查发现,由于整治建筑物水毁严重,航道变浅,弯曲半径减小,船只减载航行,营运效益差,且每年用于整治建筑物水毁工程的修复费用很高。

水毁是指工程建筑物(如:公路、桥梁、河流整治建筑物等)由于受到水或水与其他因素的共同作用下发生局部或整体破坏的一种灾害现象。据不完全统计 1989~1993 年 4 年期间,我国工程建筑物遭受水毁的直接经济损失达 100 亿元^[1]。这种灾害现象现在已经严重地制约我国的交通事业和经济的发展。

因此,开展跨学科的理论、方法和技术的研究,弄清航道整治建筑物水毁成因、破坏程度,探索结构受力分析计算模式,建立结构安全稳定评定和水毁防御系统等,把损失减到最低限度,造福人民,促进西部水运交通发展,有着重大而深远的意义。

1.2 国内外研究现状及趋势

水毁是世界上许多国家共同关注的一个问题。20 世纪 60 年代美国高速公路大规模兴起,为适应工程建设进行了大量的桥梁墩台冲刷、桥梁水毁和路基水毁防护等方面的研究。这些研究都是在美国公路总署(FHWA)科研中心的主持下,由各个大学来完成的。著名学者沈学纹(Shen, H. W)、刘心宽(Liu, H. K)、赛蒙斯(Simons, D. B)等科罗拉多州立大学(CUS)的教授们做了大量的工作,亚利桑纳大学劳尔逊(Laursen, E. M)教授也作了杰出的工作^[4]。

近 20 年来,我国的交通事业飞速发展,相应的关于水毁方面的研究也迅速地发展起来,并取得了丰硕的成果。表 1.1 是有关科研部门和高等院校近几年关于水毁方面的研究课题表。

水毁课题研究表 表 1.1

有关科研单位	课题名称	研究人员
交通部公路科学研究所	《应用漫水丁坝防治公路路基水毁》 ^[5]	茅锡华,何风华等
西安公路交通大学	《丁坝及桥台的冲刷机理和冲刷深度》 ^[6]	高冬光,张义青等
长沙交通学院	《川藏公路水毁防治技术》 ^[7]	程永舟,周援衡等
交通部公路科学研究所	《公路水毁防治技术》 ^[8]	蒋焕章
交通部公路科学研究所	《丁坝、导流堤基础冲刷防护措施研究》 ^[9]	何风华,沈毅等
重庆交通学院	《公路桥梁抗洪分析》 ^[1]	肖盛燮,凌天清等
重庆交通学院	《公路水毁学》 ^[10]	陈洪凯

通过表 1.1 我们可以看出,近些年关于水毁方面的科研课题主要集中在研究公路和桥梁的水毁机理、计算模式和防护措施等各个方面的研究,但关于河流整治建筑物的水毁方面涉及的比较少。虽然在关于公路和桥梁的水毁研究中有不少涉及到用丁坝防护路基的措施,并在此基础上研究了丁坝的坝头冲刷深度、坝头泥沙的起动流速等各个方面,但研究的深度不太够;也有人将桥台的冲刷近视考虑为丁坝的冲刷^[4],但是桥台和丁坝的结构还是存在着很大的差异,是否可以等同起来考虑还需要进一步的研究。

航道整治建筑物的水毁问题是世界上许多国家共同存在的一个问题,被认为是一种公害,已引起国内外的广泛关注。美国、德国和前苏联等国家从 20 世纪初开始,先后对整治建筑物设计和布置中的一些技术问题进行了调查和分析,并从理论上进行了研究,有力地推动了航道整治工程技术的发展。

我国航道整治部门的广大工程技术人员,在党和政府的重视下,于解放后对国内众多河流进行了大量的整治工作,并于 20 世纪 70 年代末对整治工程进行调研和技术总结。交通部在 1991 年和 1994 年分别批准发布了行业标准《航道整治工程技术规范》和《内河航道维护技术规范》。1996 年交通部批准对《航道整治工程技术规范》中的山区河流部分进行修订,编写组对国内外近年来航道整治工程技术成果,特别是我国西南地区山区河流航道整治工程技术成果,进行了大量地调研和总结,经修订后的新规范于 1999 年 5 月被交通部批准颁布实施。

但是,在规范实施中我们发现,国内外关于航道整治建筑物水毁问题的研究大多局限于平原河流或河口地区,对山区河流整治建筑物水毁现象除少量进行水文研究和经验总结外,几乎未涉及水流泥沙动力、结构设计、人类活动及维护管理等与整治建筑物结构破坏关系的系统理论研究。因此,已有防治水毁的成功经验,也因水毁抢修工程的急迫,往往一些水毁工程出现修了又坏,坏了又修的反反复复的不良循环状况,造成大量人力、物力和财力损失,严重影响水运交通的正常运转。

1.2.1 实验和理论研究

专门对于山区河流整治建筑物的水毁实验和理论研究目前较少,大多数还处于起步探索和定性描述阶段。四川省内河勘察设计院的唐银安等在“山区冲积性河流整治建筑物水毁原因及防治初探”^[2]一文中提出了河流整治建筑物的水毁形态、水毁原因以及初步的防护措施;王平义等探讨了整治建筑物遭受异相耦合破坏作用的特征及仿真模型^[3],这些都是定性的分析,机理性的研究和定量分析较少。河北省林业科学院的顾新庆等在“河北太行山谷坊坝水毁原因数量化分析”^[11]一文中对1996年8月洪水水毁破坏太行山典型沟道谷坊坝实地调查的基础上,运用数量化回归分析方法对造成谷坊坝毁坏的一般性原因进行了定量分析,得出该地区干砌石谷坊坝水毁因子的重要性次序,提出了谷坊坝的建设建议。该文是从纯数学的角度进行的回归分析,理论研究方面较少,且区域性太强,不易于推广应用。重庆交通学院的陈洪凯等在“岷江航道水毁与新构应力场的关系讨论”^[12]一文中运用 Schekleggerd 法通过对岷江中下游地区新构应力场、岷江航道、滩险及整治建筑物分布的分析,发现航道水毁与区域新构应力场有密切关系,并在此基础上运用 Dephel 法提出了航道水毁潜力评价模型。从新构应力场出发为内河航道的整治和维护提供宏观措施,对于具体的水毁机理、计算模式等研究较少。华北水利电力学院的缙元有等人在“河道整治坝根走石的力学分析研究”^[13]一文中通过分析河道整治工程根石的受力状态,建立了根石走失的物理模型,从而导出了天然河道根石走失的力学计算公式。他首次运用力学的角度提出了坝根走石的物理模型和计算模式,其分析的是单颗泥沙的受力状况,忽略了颗粒之间的相互作用,而且经验系数有些多,不太容易确定,不太便于运用到生产实践中去。

要研究冲积性河流整治建筑物的水毁的一个极其重要的部分就是要研究整治建筑物(以丁坝为例)的冲刷深度、泥沙的起动速度等。丁坝的坝头冲刷与水流条件、泥沙条件、丁坝本身的性质和

三者之间的相互关系(如:挑流角度)有关,有的学者认为它还与作用时间有关^[14],即丁坝的冲刷深度

$$H = f(\text{水流特性, 泥沙特性, 坝体特性, 作用时间})$$

国内外研究有关丁坝坝头局部冲深的计算式^[14]很多。其中,有以冲刷深度和行进单宽流量为相关量所建立的计算式(如阿马德公式);有以上游行进佛汝德数来表达坝头局部最大冲刷深度的计算式(如嘎德公式);有以剪切力为主要参数的计算式(如吉尔公式);还有以水流结构为基础,应用连续原理及泥沙起动和平衡输沙的河流动力的有关理论而建立的计算式(如阿尔屠宁公式)等。同样,国内也有很多科研机构 and 高等院校从实验室概化模型中得出了丁坝坝头局部冲深的计算式(见表 1.2)。

坝头局部冲深的研究情况表

表 1.2

单 位	从 事 人 员
南京水利科学研究院	应强,毛佩郁,季永新等 ^[15-17]
长沙交通学院	程永舟,周援衡等 ^[7]
重庆交通学院	赵世强等 ^[18]
西安公路交通大学	高冬光,张义青等 ^{[4][6][19]}
交通部公路科学研究所	茅锡华,何凤华 ^{[5][9]}
四川大学	沈荣焕,李青等 ^[20]
合肥工业大学	汪德胜,方达宪,王军等 ^[21-30]
河海大学	卢无疆,严以新等 ^[31]
浙江省河口海岸研究所	林炳尧,蒋纬等 ^[32]

比较典型的公式主要有:

(1) 汪德胜计算式

$$\frac{h_s}{h} = 3.0885 \left(\frac{V - V_{is}}{V} \right)^{1.49} \quad (1.1)$$

式中: h ——坝前水深;

h_s ——冲刷坑深度;

V ——丁坝上游水流行进流速;

V_{is} ——床沙起动流速(即丁坝坝头附近床沙恰好达到起冲时,上游行进水流端面的垂线平均流速),其计算式为

$$V_{is} = 1.086 \left(\frac{h}{h + h_{is}} \right)^{0.471} \left(\frac{B}{D + B} \right)^{4.505} V_c \quad (1.2)$$

$(0.08 < \frac{D}{B} < 0.5)$

其中: V_c ——床沙起动流速

$$V_c = (1.137 + 0.138 \ln \delta_d) \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d_{50}} \left(\frac{R}{d_{50}} \right)^{1/6}$$

B ——河宽;

D ——丁坝的有效长度;

h_{is} ——坝高;

γ_s ——床沙重度;

γ ——水的重度;

g ——重力加速度;

R ——水力半径;

d_{50} ——床沙的中值粒径;

床沙的不均匀系数 $\delta_d = d_{85.1} / d_{15.87}$ ($d_{85.1}$ 和 $d_{15.87}$ 分别为在床沙累计曲线上 85.1 和 15.87 所对应的粒径)。

(2) 方达宪计算式

$$\frac{h_s}{V_{is}} \sqrt{\frac{g}{D}} = \frac{(V - V_{is}) / V}{0.1818 + 0.09308 (V_{is} / V)} \quad (1.3)$$

$$\frac{V_{is}}{\sqrt{gh}} = 10.3916 \left(\frac{B - D}{h} \right)^{0.3776} \left(\frac{D}{B} \right)^{0.5061} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0.8458} \quad (1.4)$$

考虑到丁坝挑角 θ (丁坝与岸线平行, 并指向水流行进方向为 0°) 对起冲流速 V_{is} 的影响, 一般挑角为 120° 左右时, 冲刷最厉害, 起冲流速需要进行修正

$$\frac{V_c - V_{is\theta}}{V_{is}} = 1.6326 \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right)^{0.1724} \left(2 - \frac{\theta}{90^\circ} \right)^{0.0718} \quad (1.5)$$

对于有边坡丁坝引起的冲刷坑深度 h_{sm} 与直墙引起的冲刷坑

深度 h_s , 进行比较后(令边坡影响系数 $k_m = h_{sm}/h_s$) 则有:

a. 坝面上、下游边坡系数 m 相同的漫水丁坝

$$K_m = 1 - 0.278m \quad (m \leq 2) \quad (1.6)$$

$$K_m = \frac{m}{3.0m - 1.5} \quad (m > 2) \quad (1.7)$$

b. 床面以下为直墙的漫水丁坝:

$$K_m = 1 - 0.048m \quad (m \leq 1.5) \quad (1.8)$$

$$K_m = 1.249 - 0.214m \quad (1.5 \leq m \leq 3.0) \quad (1.9)$$

(3) 林炳尧等提出了在水流条件不变的情况下, 丁坝坝头冲刷速率的计算式

$$\frac{h_{st}}{h_s} = 1 - \exp\left[-\alpha\left(\frac{V_t}{h}\right)^\beta\right] \quad (1.10)$$

式中: h_{st} 某一时段后丁坝的冲刷坑的深度。在冲刷坑已有 h_{s0} 深度后, 则 Δt 时段末的冲深为:

$$h_{st} = h_{sm} \left\{ 1 - \exp\left[-\alpha\left(\frac{vt_0}{h} + \frac{v\Delta t}{h}\right)^\beta\right] \right\} \quad (1.11)$$

此外, 现行国家标准《堤防工程设计规范》(GB 50286—98)^[33] 还给出了非淹没丁坝坝头局部冲刷深度的计算式, 交通部《航道整治工程技术规范》(JTJ 312—99) 也给出了丁坝坝头局部冲刷深度的计算式^[44]。

由于丁坝坝头的局部冲刷机理非常复杂, 且与之相关的影响因素也很多, 因此其计算公式也很多, 而且公式的形式也是五花八门, 难以统一。况且以上的这些公式大多数都是基于丁坝模型为固定实体的概化模型的基础上通过回归分析得出来的, 而无法研究丁坝自身的水毁破坏机理, 所以, 研究成果与实际丁坝遭受不同程度的水毁现象相比有很大的差距, 尚需采用实际散体堆石丁坝概化模型进行水毁破坏机理的实验研究。

此外, 国内外尚缺乏整治建筑物结构的破坏力的分析计算模式、坝体破坏程度及坝体受力分布规律、综合考虑影响整治建筑物水毁的模糊因素(如坝体结构、动力因素、人类活动、维护管理等)

的结构安全稳定性的评定模型等问题的实验和理论研究。因此,应加强对这些问题的研究工作,以填空补缺。

1.2.2 计算模拟

水槽试验和河工模型对整治建筑物(以丁坝为例)的回流尺度、流场特性等提出了许多概化的理论方法,但由于所获信息量少,对流场特性了解很有限。随着计算机技术的迅速发展,近年来利用数值方法对丁坝绕流问题的研究也取得了很大的进步。T. Tingsanchali^[34],程年生^[35]等采用 $k-\epsilon$ 紊流模型用数值计算研究了非淹没丁坝的绕流问题。周建军^[36]在三峡水库回水变动区九龙坡河段具有淹没丁坝的流场计算中采用了堰流公式,并与边界对称点相配合,进行了平面二维流场计算,取得了较好的效果,但其中仅有一条丁坝。然而堰流公式对于淹没丁坝群水流计算的适用性是需要进一步考虑的,水力学中关于堰流及分类有严格的定义,堰与堰之间的堰流系数差别很大,水流程经淹没丁坝时流态与流过堰时的流态尽管稍有相似之处,但毕竟有很大的不同。对于天然河道中拥有众多丁坝的丁坝群,堰流公式中流量系数的规律性就难以确定,其大小与相对坝长、相对坝高、丁坝间距等一系列因素有关,尤其是当河道中丁坝个数众多、丁坝之间互相影响时,各坝的堰流系数每每不同,数值的确定更为不易,而此数的正确与否直接影响到计算的好坏,因此以堰流公式反映淹没丁坝的作用将在地形变化复杂、丁坝众多且互相影响之地区推广应用发生一定的困难。夏云峰^[37]等利用沿水深平均 $k-\epsilon$ 模型,首次将地形反映法用于丁坝的模拟,并较好地反映了坝前壅水现象和过坝水流水面线的变化。此模型虽然能反映绕流形成的大回流区,却不能反映坝根上、下游的旋涡,而且模型中的系数是根据简单剪切流动特性所确定,在复杂流动中该系数为一常数显然不尽合理。李国斌、李昌华^[38]对天然河道淹没丁坝群水流计算进行了研究和探讨,提出了淹没丁坝群水流平面二维流带模型,此模型基于绘制水流平面图的基本思想,将天然河道水流划分为一定数量的流带,在