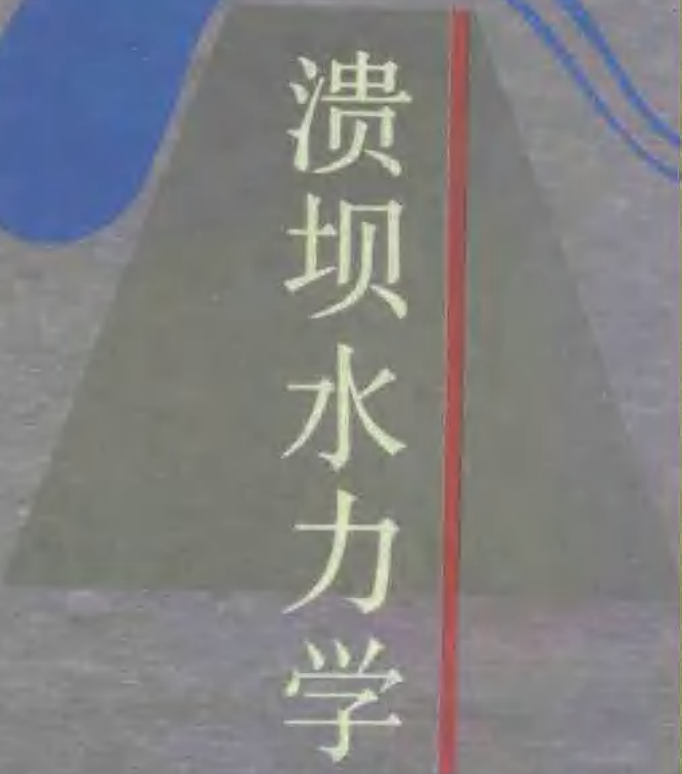


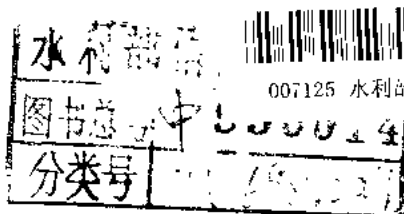
HYDRAULICS

山东科学技术出版社

谢任之 编著



溃坝水力学



007125 水利部信息所

溃坝水力学

谢任之 编著

山东科学技术出版社

(鲁)新登字05号

溃坝水力学

谢任之 编著

★

山东科学技术出版社 出版

(济南市玉函路 邮政编码250002)

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

★

850×1168毫米32开本 23.375印张 513千字

1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷

印数：1—1000

ISBN 7-5331-1181-8/TV·2

定价 27.20元

“泰山科技专著出版基金”顾问、
评审委员会、编辑委员会

顾 问 宋木文 伍 杰 卢鸣谷 苗枫林

评审委员会 (以姓氏笔画为序)

卢良恕 吴阶平 杨 乐 何祚庥

罗沛霖 高景德 唐敖庆 蔡景峰

编辑委员会

主 任 委 员 杜秀明 石洪印

副主任委员 梁 衡 邓慧方 王为珍

委 员 (以姓氏笔画为序)

邓慧方 王为珍 尹兆长 卢良恕

石洪印 刘韶明 吴阶平 杨 乐

何祚庥 杜秀明 罗沛霖 林凤瑞

唐敖庆 高景德 梁 衡 蔡景峰

我们的希望(代序)

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著，正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会，广泛传播科学技术知识，培养专业人才，推动科学技术进步，对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感，自1988年起，山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”，成立科技专著评审委员会，在国内广泛征求科技专著，每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起了很大反响。

但是，设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物，也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验，逐步予以完善；同时，也更需要社会上有关方面的大力扶植，以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望，通过这一工作，高水平的科技专著能够及早问世，充分显示它们的价值，发挥科学技术作为生产力的作用，不断推动社会主义现代化建设的发展。愿“基金”支持出版的著作如泰山一样，耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1989年3月

前 言

溃坝不恒定流计算是水力学中一个难度较大的课题，虽然从1871年圣维南(Saint-Venant)首先开始研究，然而至今似无一本专著。我从中国华北“63·8”特大暴雨引起一些水库的失事起，从工程实践的角度对此发生了兴趣，于1964年发表了第一篇论文，后来经修改后发表于1974年，因得到水利部的重视，委托我编写水利动能设计规范附录(后扩展为手册)中“水库溃坝流量计算”的章节，从此开始比较系统的调查、计算、理论研究和程序编制，于1978年刊印了一个内部资料“水库垮坝流量计算的探讨”，并于80年代相继公开发表了一系列论文，反映部分研究成果。1989年我调至教学单位，为了本科生选修课和研究生教材的需要，以及为科研设计工作者提供一本较为系统的参考书，我决定编写此书。

本书的特点有三：其一，以自己的研究成果为主线，但尽可能包括各种理论和解法。一些在实践中曾较为流行，但已较陈旧可为较新的方法所代替的，为了节省篇幅，仅列出其书目，以供有兴趣的读者去查阅。其二，在编排上采用由易到难，由浅到深的安排，一些重要的公式尽可能列出其推导过程，每节的末尾尽可能进行小结，列出实用的公式，并尽可能提供实用的数据和查算表格，以满足不同层次、不同目的读者的需要，发挥教材和手册的双重功能。其三，对于主要的计算公式和程序，尽可能列出计算实例和验证结果，以增加读者对运用

这些方法的信心。总之，力求融科研、教材、手册于一书，并将这一课题的历史和现状作一较全面的反映。

本书共分八章，前六章以我自己的研究成果为主，多数的公式和程序，都经过计算验证，与实测或模型试验对比，在计算机上实现过。对于一些有代表性的其他作者的研究成果，则在各节的附注中加以扼要介绍。后两章则以综合反映国内外的其他作者的科研成果为主，特别是包含了我所收集到的最新的信息。根据我的教学经验，本科生选修课32学时，可学完前四章和第五章的前两节（即基本方程和显式特征线法），硕士研究生可学完前六章，博士研究生则可学完全书。对于科研人员可根据需要参考，而对于一些做实际工作的工程技术人员，特别是基层的人员，则可只阅读书中各节的公式归纳和算例。

1991年我国遭受了巨大的洪水灾害，1992年将有一个新的水利建设高潮。山东科学技术出版社抓住这个契机，出版本书，决策无疑非常正确，我代表自己和同行对出版社表示感谢。

虽然我力求本书做到系统、全面、科学地综合这一课题的理论与方法，为读者提供一本理论与实践并重的专著，但由于自己水平有限，手头资料不全，时间仓促，故缺点错误难免，至望同行专家和读者赐教，以便再版时修正。

溃坝水力学是近百年来国内外众多科技人员集体智慧的结晶，在这里我要向书中引用到的200篇文献的作者表示感谢，还要向那些忘我工作的测验人员，特别是板桥水库水文站观测溃坝水位过程线的人员，表示感谢。此外，还应当提到，山西水利设计院的马新贤工程师等协助我做了许多计算工作，编制了许多程序；水利部北京规划院等亦曾大力支持过我的研究工作。在本书编写过程中，我的妻子和同行程祖珣高级工程师，

给予了我热情的支持和帮助。此外还有许多对本书推荐、审阅的专家，不能一一列举，谨在此表示诚挚的谢意。

本课题于1992年列入广东省自然科学基金项目。

谢任之

1992年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 溃坝计算的意义	1
第二节 溃坝概况	1
第三节 溃坝计算的内容	6
第四节 溃坝计算历史的简单回顾	7
参考文献	10
第二章 溃坝坝址峰顶流量计算	15
第一节 瞬间全溃	15
第二节 瞬间部分溃	74
第三节 逐渐溃	99
第四节 库内淤和坝下冲的考虑	144
参考文献	147
第三章 坝址流量过程线的计算	152
第一节 平底无阻力瞬间全溃	153
第二节 斜底无阻力的瞬间溃	196
第三节 斜底无阻力的逐渐溃	242
第四节 平底有阻力的瞬间全溃摄动解	264
第五节 溃坝波的阻力影响	274
参考文献	276
第四章 洪水演进的近似法	279
第一节 洪峰展平公式法	279

第二节	线性河道法	303
第三节	概化过程线法	311
参考文献		321
第五章	溃坝波的一维数值解法	323
第一节	基本方程	323
第二节	显式特征线法	332
第三节	显式差分法	355
第四节	隐式差分法	368
第五节	有限单元法	391
第六节	通用曲线	415
第七节	汉口的计算	438
第八节	大型溃坝洪水实例的综合验证	439
参考文献		454
第六章	溃坝洪水演进的二维数值解法	457
第一节	基本方程	457
第二节	忽略惯性项和侧向入流的显式差分法	460
第三节	考虑惯性项及侧向入流的显式差分法	470
第四节	隐式差分法	474
第五节	有限单元法	487
参考文献		502
第七章	模型试验	504
第一节	综述	504
第二节	典型	519
第三节	问题	521
参考文献		523
第八章	溃坝水力学的新发展与补充	526

第一节	二维数值解的发展与补充	526
第二节	积分方程及其数值解法	561
第三节	一维数值解的发展与补充	593
第四节	逐渐溃的发展与补充	628
第五节	瞬间部分溃的发展与补充	648
第六节	斜底无阻力解的发展与补充	662
第七节	摄动解的发展与补充	673
第八节	水库、溃口、河道不等宽的近似解	688
第九节	湿底河床的动力波近似解	698
第十节	曲线渠槽的溃坝波解	707
第十一节	局部溃的解析解与堰流的关系	712
参考文献		723

第一章 绪 论

第一节 溃坝计算的意义

水库和堤防的安全是水利建筑物设计和管理的核心问题。但是安全和经济又是互相依存、互相制约的。水库和堤防的防洪设计标准和稳定安全系数的大小，通常是由其效益大小，和失事后的影响大小等因素来决定的，要对后者作出定量的估计，就要用到溃坝计算，具体来讲溃坝计算的意义有以下几点：其一，通过单一水库和水库群或堤防、围埝的溃坝计算，对水库和堤防的失事影响作出估计，以便合理地确定水库或堤防的防洪设计标准；其二，在汛期对有可能失事的工程，进行溃坝计算，以便考虑影响范围和避险措施；其三，对非常溢洪道的自溃坝进行溃坝计算，以便对非常溢洪道的设计进行方案比较。

第二节 溃坝概况

一、国内统计

我国现有大、中、小水库约8.6万座，总库容4100亿 m^3 ，灌溉面积约7亿亩，防洪保护面积4.8亿亩。据不完全统计，自1954年以来，溃坝总数约2900余座（失事率约3.4%），50年代170余座，60年代710余座，70年代1900余座。1963年和1973年

出现了两个溃坝高峰。1973年是溃坝最多的一年，高达554座，而1973、1974、1975三年的溃坝数约占溃坝总和的一半。绝大多数的溃坝属于小型水库，约占溃坝总数的96%，其中小(2)型占76%^[1]，这与小型水库的标准低、质量差、管理弱有关。

在溃坝总数中，运行期溃占74%，施工期占26%。按行政区划分，华北区占17.5%是溃坝率最高的。按坝型分，溃坝总数中土坝为最多，占98.3%，堆石坝17座，混凝土坝1座。按主体工程分，大坝占86.9%，溢洪道占6.6%，输水洞占5.3%，情况不明占1.2%。按失事的型式分，漫坝占51.5%，其中由于泄洪能力不足而漫坝的占42%，由于超标准洪水而漫坝的占9.5%。质量问题失事的占38.5%，其中坝体渗漏失事占22.7%，坝体滑坡占2.6%，基础渗漏占1.3%，溢洪道渗漏占0.6%，溢洪道质量问题占6%，输水洞渗漏占4.5%，输水洞质量问题占0.8%。由于管理不当失事占4.2%，其中超蓄而降低防洪标准占1.1%，维护运用不良占1.3%，溢洪道筑堵不及时拆除导致漫坝占0.5%，无人管理而失事占1.3%，其他原因失事占4.6%，其中库区或溢洪道岸坡塌方堵塞泄洪设施失事占1.7%，人工扒坝占2.3%，工程设计布置不当占0.6%。原因不详失事占1.2%。没有地震引起的。1975年8月河南省板桥、石漫滩两座大型水库溃坝，溃坝流量分别约为80000和20000m³/s左右，遇城冲城，遇乡冲乡，数十个县，顿成泽国^[2]。损失之大，世为罕见。我国人口稠密，小水库众多，失事率高，溃坝影响之严重，不容忽视。

二、国外统计

据国际大坝委员会的大坝登记，除中国外，全世界超过15m的大坝不完全统计已超过14000座，低于15m的大坝还有很多。

1982年第十届国际大坝会议第52题“运行中大坝的安全”总报告中认为平均大坝失事率约为1%，但1900年时，高于4%，现在只有0.2%，与技术提高有关。奥地利成立了一个大坝失事登记站，对世界大坝失事的例子进行过分析。按其分析和世界大坝登记的数据，从1900年到1970年的失事率概括见表1-1[3]。

表 1-1 1900~1970年大坝失事率

年 代	1900 ~ 1909	1910 ~ 1919	1920 ~ 1929	1930 ~ 1939	1940 ~ 1949	1950 ~ 1959	1960 ~ 1969
按坝总数	6.2	5.0	2.6	0.93	1.22	0.55	0.63
按坝高度	5.1	4.7	3.1	0.57	0.99	0.64	0.55
低 坝	6.2	5.2	2.5	0.91	1.12	0.45	0.55
高 坝	0.0	4.3	3.1	0.97	1.64	0.87	0.92
土 石 坝	6.7	3.2	4.6	1.04	1.77	0.84	0.81
低 坝	6.7	7.6	4.2	1.15	1.75	0.65	0.64
高 坝	0.0	12.5	10.7	0.00	1.89	2.20	1.86
混凝土坝	2.9	2.0	1.7	0.48	1.2	0.23	0.12
低 坝	3.6	1.6	1.5	0.70	0.85	0.18	0.20
高 坝	0.0	3.2	2.8	0.00	1.80	0.33	0.00

注：表中以40m为高、低坝的区分线。

关于溃坝原因，各时期各国各人的分析数据不统一，大致情况如下：

1933年美国统计失事原因，主要按坝型分：

土石坝	溢洪道不足	30%
	截水槽不良	10%
混凝土重力坝	截水槽不够	31%
	设计错误	12%
	施工错误	12%

1959年美国又认为2/3大坝失事由于地质原因。

1964年瑞士工程师格隆那(Gruner)对大坝失事分析:

基础失事	40%
溢流设施不良	23%
施工不良	12%
不均匀沉陷	10%
水力冲填坝孔隙水压力过高	5%
战争因素	3%
土坝滑坡	2%
材料不好	2%
运行错误	2%
地震	1%

1971年英国工程师比斯瓦斯(Biswas)等研究了300座失事大坝, 归纳原因:

洪水过大超过溢洪能力失事	35%
基础问题(管涌、孔隙水压力过大、截水不良、断层、滑波等)	25%
其他因素(地震、施工问题、管理不良、材料不好、战争等)	10%
地震(包括水库诱发地震2%)	6%
初次拦蓄和突然泄放消落	5%
反复冻融	4%
运行不当	4%
波浪侵蚀	2%
其他未查明原因	11%

1979年在第十三届国际大坝会议上瑞士工程师舍尼特(Schnitter)将1900~1975年大坝失事原因做了以下分析:

洪水超过标准致漫顶失事	34%
基础严重缺陷及处理不当	30%
管涌、渗漏失事	28%
其他	8%

1980年苏联工程师按不同坝型分析700多次失事原因后,综合结果并进行划分如下,

坝基或岸坡连结渗漏	16%
坝基不稳定	15%
溢洪设施不足、漫顶失事	12%
坝体内集中渗漏	11%
由于兽类挖出通道造成管涌	9%
温度或收缩裂缝	6%

1982年第十四届国际大坝会议上第52题“运行中大坝的安全”总报告中提到大坝失事的原因,粗略划分认为泄量不足占65%,其余为设计及管理错误。

从国内外溃坝概况来看,失事率近期小于过去,大库、高坝小于小库和低坝,土石坝大于混凝土坝,溃坝原因溢洪能力不足和基础问题是主要的,地震引起的较少。

美国垦务局查逊(Jason, R. B)估计,在世界范围内(不包括中国)过去的800年间失事的水库有2000座,大部分属于非大坝范畴,并包括局部崩溃,20世纪以来有相当影响的大坝失事约200座。存在着危险性的大坝数字可能超过15万座^[4]。

三、溃坝典型

(一) 中国河南省板桥水库

这可能是死亡人数最多的一次溃坝。板桥水库土坝高24.5 m,库容6亿m³。1975年8月4日10时至8月8日8时全流域

平均降雨1028.5mm, 3天集中降雨1005.4mm, 7日23时至23时半漫顶, 8日1时30分开始溃, 2时57分出现最大溃坝流量 $78100\text{m}^3/\text{s}$, 溃坝前峰如一堵水墙向下游迅速传播^[5], 冲断铁路, 毁灭城镇乡村, 至下游38km的遂平县城, 流量仍有 $38000\text{m}^3/\text{s}$ 左右。

(二) 美国心墙土坝提堂水库

此次溃坝最令世人震惊。提堂水库坝高124m, 顶长900m, 1975年11月建成, 1976年6月5日第一次蓄水, 水位距坝顶9.18m, 右岸坝肩出现严重渗漏, 漏洞迅速扩大, 数小时后即溃决, 淹没农田60余万亩, 11人死亡, 2.5万余人无家可归, 损失牲畜1.6~2万头, 冲毁铁路51公里, 总计损失4亿美元左右, 是该工程总造价的4.7倍。

(三) 法国马耳巴赛拱坝

这是最令人意外的一次溃坝。马尔巴赛拱坝坝高66.5m, 1955年建成, 总库容2200万 m^3 。1959年11月末坝区雨水特大, 水库近满, 12月18日0时05分, 库容达500万 m^3 , 开始开阀门, 至21时05分, 一管理人员突然听到巨大爆炸声, 接着在震天动地的隆隆声中, 拱坝从中央破裂, 490万 m^3 的水一齐冲下, 水流速度达70km/h, 下游水深8m, 持续15分钟, 造成下游384人死亡, 另有110人下落不明。这是一起罕见的拱坝溃坝实例^[6]。

第三节 溃坝计算的内容

溃坝计算的任务是要算出溃坝坝址的流量和水位过程线, 以及向下游洪水演进得出沿程各处的流量、水位、流速、波前和洪峰到达时间等。问题归结为求解动床非恒定流拟线性双曲