



大坝事故与安全·土石坝

Embankment Dam · Incidents and
Safety of Large Dams

汝乃华 牛运光 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大坝事故与安全·土石坝

黄文熙

汝乃华 牛运光 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是一部汇集和研究土石坝施工和运行事故的专著。书中按洪水漫顶、渗透破坏、滑坡,以及其他破坏等四种破坏形式,通过大量实例的调查和分析,详细地介绍了各种事故发生的过程、原因和所采取的善后措施。书中所总结出的规律和教训,对土石坝的设计和施工者如何避免前车覆辙,保证水库安全运行,具有重要的指导意义。

本书可供水利科研、设计、施工、管理及教学人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

大坝事故与安全·土石坝/汝乃华,牛运光编著. —北京:中国水利水电出版社, 2001

ISBN 7-5084-0710-5

I. 大… II. ①汝…②牛… III. ①土石坝-水利工程事故-事故分析②石坝-水利工程事故-事故分析 IV. TV698.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第039453号

书 名	大坝事故与安全·土石坝
作 者	汝乃华 牛运光 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 16.5印张 391千字
版 次	2001年10月第一版 2001年10月北京第一次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	30.00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



作者简介

汝乃华，生于1927年8月，江苏省吴江县人，之江大学土木工程系毕业。教授级高级工程师，现任武汉水利电力大学、河海大学兼职教授，上海大坝科技咨询公司总工程师，上海市离退休高级专家协会理事。

曾从事水电站大坝和厂房设计30多年。参与《拱坝设计规范》编制、《重力坝设计规范》修订和《水电站大坝安全管理暂行办法》起草等工作。1986年主编《中国大百科全书·水利卷》水力发电分支。著有《水工建筑物的破坏及其原因分析》、《重力坝》和《碾压式高堆石坝》、《大坝事故与安全·拱坝》等专著，并在国内外发表坝工技术论文30篇左右。1999年起主持《坝工技术备忘录》编印工作。



作者简介

牛运光，河南省固始县人，西北农学院农业水利系毕业。1949年5月参加革命工作，1950年3月调中央政府水利部，至1993年离休，先后在水利部（或水利电力部）的工务司、基本建设司、水利管理司及国家防汛抗旱总指挥部办公室从事工程施工、管理和防汛工作，并参加过安徽梅山水电站、贵州乌江渡水电站及山东四女寺减河水利枢纽工程施工。曾担任水利部技术委员会委员、水利管理司副总工程师，《水利管理技术》杂志主编，教授级高级工程师。

在工作中曾主编《土石坝养护修理技术规范》（5本）、《水工建筑物养护修理工作手册》、《水工建筑物检查观测工作手册》、《水库工程管理通则》、《小型水库管理丛书》（5本）及《中国农业百科全书·水利卷》水利管理分支等，并参加编写《土石坝安全监测技术规范》、《中国水利百科全书》水利管理分支及《中国大百科全书·水利卷》水利管理分支等。这些书籍均由原水利水电出版社出版，全国发行。

出版说明

书籍是人类进步的阶梯。科技图书集聚着科学研究和发明创造的成果，凝结着人们生产活动、科学实验的实践经验和聪明才智。当今，在振兴中华的“四化”建设中，要把科学技术转化为现实的生产力，科技图书的出版是一个重要的环节。它担负着传播科技信息、扩大科技交流、推广科技成果、普及科技知识、培养科技人才、积累科学文化、提高全民族科技意识和劳动者素质的重任，是科技事业的一个重要组成部分。

改革开放以来，我国的科技出版事业取得了飞速的发展。但在还很不完善的社会主义市场经济中，科技图书出版的合理经营机制尚未形成，“出书难、买书难、卖书难”一直困扰着许多科技人员和出版工作者。特别是一些专业性很强的科学专著，发行范围有限，出版更为困难，影响了科学技术的发展。广大知识分子在不断呼吁，出版界也竭力探索解决这一问题的途径。1985年以来，中央领导同志和中宣部曾多次指示，要求国家和各主管部门筹款，为专家学者撰写学术专著建立出版基金。其后，从中央到地方各类出版基金陆续建立，有力地推动了学术专著的出版。

水利在我国具有悠久的历史，对治国安邦起着重要的作用。新中国成立40多年来，水利建设事业取得了举世瞩目的成就，已成为我国国民经济的基础设施和基础产业，是发展工农业生产的命脉。为了支持水利科技专著的出版，以适应我国水利科研、设计、建设、管理、教学的需要，水利部于1991年9月5日向全国发布了《水利部科技专著出版基金试行条例》，拨出专款用于资助科技专著的出版，并相应地建立了出版基金评审委员会和办公室。

本出版基金主要用于资助有明显社会效益而印数较少的水利优秀科技著作的出版，包括：学术水平高、内容有创见、在学科上居领先地位的水利基础学科理论专著；反映水利重大科研成果或填补我国水利科技某个空白领域的学术专著；在水利工程技术和经济管理方面有重大科学和实用价值的专著；对我国水利科技发展有重要参考价值的国外水利科技著作的中译本。申请者在已有详细编写提纲和部分样稿时，即可向本基金办公室提出申请。

7A B03/00

本出版基金申请项目的评审，坚持“专家评议，公平竞争，择优支持”的原则，其做法是：对所有申请项目，先由基金办送请三名同行专家评议，然后再提交评审委员会讨论、评选。对被通过的申请项目，即转入中国水利水电出版社的计划，由基金赞助出版。

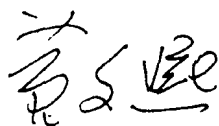
我们希望本出版基金的实施对推动水利科技的进步和人才培养，对促进水利建设事业的发展，会起到积极的作用。为此，我们热切地希望水利界的学者、专家，能潜心将自己的创见和经验撰写成专著，踊跃向本出版基金提出申请出版，为繁荣我国的水利科技事业添砖加瓦，奉献自己的才智和力量。

水利部科技专著出版基金委员会

1997年11月

序 言

中国大多数土坝都是在文化大革命前建成的。是群众性政治运动的产物。坝址大都在建前没有经过严格的勘测，对筑坝土料、筑坝方法和地基土层情况，都没有详细和审慎的研究和记载，有的重要土坝如黄壁庄，甚至找不到一张土坝和地基的断面图。因此，现在对它们的事故与安全进行分析研究，是不容易得到准确可靠的结论的。水利部水管司的同志们对此种情况也是深知的。我个人认为，水利工程虽然需要搞群众运动，但土坝的工程质量和筑坝标准的控制是最重要的。至少也应该通过工程技术干部的监督，以免工程先天不足，造成病险坝，使后人背几世的包袱。



1997年7月9日

前言

中国的坝工工程师们通过近半个世纪的筑坝实践，逐渐认同：坝工技术并非是一门纯理论的科学，而是一种半理论、半经验的技艺。在坝的建设和运营的决策过程中，都需要凭借已有的科学知识和实践经验来作出判断。本书编写的初衷，即在选录国内外重大或有代表性的坝工事故案例，总结其教训，用以丰富坝工建设者的经验，提高今后的建设水平。第一分册《大坝事故与安全·拱坝》，已在1995年出版，本书是第二分册，专讲土石坝部分，实际上也是这套丛书的主体。因为据国内外已建坝的数量统计，土石坝占已建坝总数的90%以上，而且土石坝的建设历史悠久，发生事故的案例也最多，可以说所谓大坝安全，主要是指土石坝的安全。

然而，当我们在收集、分析和编写事故案例的过程中，却越来越感到要实现上述初衷，并非当初设想的那样轻而易举。因为，第一，绝大多数国家、单位和个人，在开展工程建设中，都有一种报喜不报忧的心态，乐于宣扬工程的成就，而不愿透露失败的情节，因而很难得到事故案例真实详细的文字材料；第二，每当事故发生之后，有关当局的精力和财力都会集中在事故的善后处理和法律程序上，很少会顾及学术性质的调查研究；再则事故涉及到当局的法律责任和行政过失方面，因而即使有文字报道，其内容也受到一定的制约，往往罗列现象居多，而缺少第一手的调查材料和专家分析。失事原因多数被笼统地归于老天爷（发生特大洪水），或归于土地爷（地质情况复杂）；第三，少数公众关注的重大事故，即使当时有一个或多个专家组，对事故进行专门调查研究，调查报告的结论也会有差异。因为这些调查组都受聘于某种社会经济集团，难免受到事故涉及的某一方面（如业主、设计单位、施工单位、保险公司和地方受灾社区）利益的影响。例如，1959年法国玛尔帕塞拱坝失事，政府（农业部）和法院曾组成三个调查组，其结论各不相同，至今仍是悬案。

面对以上种种情况，我们作为编者在撰写一个事故案例之前，就要做好材料的收集，材料可靠性的鉴定，事故背景情况的了解，事故过程的熟悉，以及各方面的事故原因分析的比较和鉴别工作。而实际上能完全做好这几个方面工作的可谓凤毛麟角。最后，我们还遇到一个无法逾越的困难，

即有些事故尽管有调查研究报告,但并不对外公布,或者只允许媒体报导其中若干部分,或者明知其出处而限于我们的条件和能力,无法在国内取得。因而在汇编时,只能抱残守缺,所介绍的内容可能并不完整全面。这一点,必须在这里说清楚。

本书得到水利部科技专著出版基金的资助。笔者花了近3年时间写成。在脱稿之际,回顾这个历程,实际上我们只是在力所能及的范围内做了土石坝事故案例的收集、整理和初步分析工作,仅在这个研究领域里走了第一步而已。希望今后学者能在这个基础上更上一层楼。本书的分工,基本上是国内部分由牛运光编写;国外部分由汝乃华编写。各个案例初稿写就后,由汝乃华统编成稿,再由牛运光审阅定稿。由于我们两人都已年逾古稀,限于精神和体力,疏漏不足之处在所难免,敬请读者多加指正。今后读者如有国内外事故案例补充,不论线索或信息,均请寄出版社转交给我们。

本书得到黄文熙、顾淦臣教授向基金会的推荐,其中部分章、节得到张光斗、李君纯、刘杰、王国安等专家评阅,谨致谢忱。

作 者

2000年9月

目 录

出版说明

序 言

前 言

第一章 土石坝的建设与事故	1
第一节 世界土石坝的建设.....	1
第二节 中国水库土石坝建设.....	6
第三节 土石坝事故的统计与分析	15
第四节 中国土石坝安全的现状与改进	35
参考文献	38
第二章 洪水漫顶事故与防护	40
第一节 河北“63.8”洪水和垮坝事故	40
第二节 河南“75.8”板桥、石漫滩水库垮坝	47
第三节 甘肃党河土坝漫顶失事	70
第四节 印度的漫顶溃坝事故	74
第五节 巴西的漫顶溃坝事故	78
第六节 美国的漫顶溃坝事故	82
第七节 土石坝防洪标准综述	89
第八节 提高土石坝的防洪标准和非常保坝措施	94
参考文献	98
第三章 渗透破坏与防治	99
第一节 美国提堂(Teton)坝的溃决	99
第二节 美国方坦奈耳(Fontenelle)坝的渗透破坏	117
第三节 北京西斋堂坝等的渗透破坏与处理.....	124
第四节 河北邱庄土坝坝基渗漏和处理.....	131
第五节 广西澄碧河土坝坝体渗漏和处理.....	133
第六节 土石坝渗透破坏及其控制措施.....	136
参考文献.....	140
第四章 滑坡事故与防治	142
第一节 中国土石坝的地震滑坡事故.....	142
第二节 国外土石坝的地震滑坡事故.....	156
第三节 土石坝与地震.....	165
第四节 美国两座大型土坝的地基滑动破坏.....	173

第五节 中国三座土石坝的水库泄降滑坡·····	186
第六节 福建省一批土石坝的滑坡调查·····	194
参考文献·····	200
第五章 土石坝其他破坏事故·····	202
第一节 青海沟后水库溃坝·····	202
第二节 混凝土面板堆石坝的面板开裂·····	218
第三节 南斯拉夫佩鲁恰 (Peruca) 坝的炸毁和修复·····	223
第四节 土石坝与战争·····	229
第五节 新疆夹河子土坝溃决和重建·····	234
参考文献·····	237
附录 世界土石坝溃坝数据表·····	238

Content

Preface

Chapter 1—Construction and Incidents of Embankment Dam	1
1. World's embankment dam construction	1
2. China's embankment dam construction	6
3. Statistics and classification of embankment dam incidents	15
4. Present situation and improvement of China's embankment dam safety	35
Reference	38
Chapter 2—Flood overtopping and protection	40
1. "63.8" flood and dams break in Hebei province	40
2. "75.8" flood and overtopping failure of Banqiau and Shimantan reservoirs in Henan province	47
3. Overtopping failure of Tanghe earth-dam in Gansu province	70
4. Overtopping failure events in India	74
5. Overtopping failure events in Brazil	78
6. Overtopping failure events in America	82
7. Flood design criteria for embankment dam	89
8. Upgrading the flood protection standard and measures for failure prevention of embankment dam	94
Reference	98
Chapter 3—Seepage piping failure and prevention	99
1. Failure of Teton dam in America	99
2. Piping incident of Fontenille dam in America	117
3. Piping incidents of Xizhaitang dam in Beijing etc and their treatment	124
4. Foundation leakage and its relief measure of Qiuzhuang dam in Hebei province	131
5. Body leakage and its relief measure of Chengbihe dam in Guangxi	133
6. Piping incidents and its control measures	136
Reference	140
Chapter 4—Slope sliding incidents and prevention measures	142
1. Earthquake damage of embankment dams in China	142
2. Earthquake damage of embankment dams in other countries	156
3. Earthquake and embankment dam	165
4. Foundation slide of two American earth-dams	173

5. Slope slide of three Chinese earth-dams	186
6. Investigation of slope slide of many earth-dams in Fujian province	194
Reference	200
Chapter 5—Failure of embankment dams by other causes	202
1. Failure of gouhou CFR -dam in Qinghai province	202
2. Concrete face slab cracking of CFR-dam	218
3. Explosion of Peruca dam in Croutia	223
4. The war and embankment dam	229
5. Failure and reconstruction of Jiahezi earth-dam in Xinjiang	234
Refeerence	237
Appendix	
Statistic data of embankment dam incidents over the world	238

第一章 土石坝的建设与事故

第一节 世界土石坝的建设

一、土石坝的发展概况

在世界绝大多数国家中，土石坝建设一直居于首位。据 20 世纪 80 年代的国际大坝会议统计^[1]，截止 1986 年底，全世界共建 15m 高度以上大坝 36235 座，其中土石坝 29974 座，占 82.7%，见表 1-1。而在土石坝中，中国有 17475 座，占半数以上，达 58.3%，见表 1-2。此外，在 250 m 以上的 9 座高坝中，土石坝 5 座，占总数的 55.6%，其中前苏联建设的罗贡坝坝高 335 m 和努列克坝高 300 m，居于世界首位；230 m 以上高坝 15 座，其中土石坝 9 座，占总数的 60%；世界上库容最大的 26 座大坝中（库容大于 354 亿 m³），土石坝与混凝土混合坝为 18 座，占 69.2%；装机容量大于 2136MW 的水电站 25 座，其中土石坝与混凝土混合坝为 13 座，占总数的 52%。

表 1-1 世界大坝按坝型分类统计

坝 型	已建坝数量 (座)	占建坝总量 的百分数 (%)
土石坝	29974	82.7
重力坝	4180	11.5
拱坝	1592	4.4
支墩坝	489	1.4
总计	36235	100

表 1-2 世界土石坝按国家或地区分类统计

国家或地区	已建坝数量 (座)	占建坝总量 的百分数 (%)
中国	17473	58.3
美国	4694	15.7
欧洲（含俄国）	1918	6.4
日本	1484	5.0
印度	998	3.3
南美	629	2.1
其他	2778	9.2

世界土石坝得到迅速发展的主要原因如下：

(1) 适用条件广。能广泛应用各种不同的地形、地质和气候条件，任何不良的坝址地基和深层覆盖层，经过处理后均可填筑土石坝。

(2) 可就地取材。由于近年设计、施工技术的发展，放宽了对筑坝材料的要求，几乎所有的土石料都可分区上坝，充分发挥就地取材的优越性，并为导流、泄水建筑物等大开挖创造了条件。

(3) 经济效益好。由于就地取材，从而可以节省大量水泥、钢筋和木材，减少工地以外的运输量，大幅度地缩短工期和降低造价。在工程规模相同的条件下，土石坝的坝体方量一般虽然比混凝土重力坝大 4~6 倍，但其单价，国外仅为混凝土的 1/15~1/20，有些国家甚至降到 1/30~1/70。经过分析论证，土石坝工程的综合经济指标比混凝土低得多，造价最经济。

(4) 设计手段提高。由于岩土力学的理论、计算技术和测试方法不断发展,水平不断提高,土石坝的设计理论和计算精度有较大的发展。

(5) 施工速度加快。由于大容量、多功能、高效率施工机械的发展,配套成龙流水作业法连续施工,以及计算机自动化管理水平的提高,加快了施工进度,缩短了工期,也保证了工程质量。

(6) 施工导流易解决。随着筑坝技术的进步,解决了施工导流和大流量、高水头泄洪等的难题。高围堰兼作坝体部分断面的施工导流极大地减少了导流隧洞规模,简化了施工导流设计,提高了工程的综合经济效益。

(7) 抗震性能强。经过多项工程论证研究,高土石坝的抗地震性能优于混凝土坝。如前苏联的罗贡坝和努列克坝,均处于9度高地震区,无法修建混凝土坝型,墨西哥的奇柯森坝也是因为处于强烈地震区而放弃混凝土拱坝,改为土石坝。我国坝高大于100 m的高土坝至今尚不能大量兴建,其主要原因是:①一些技术难题上,还没有很好解决,如深厚砂砾石层防渗处理和砾质防渗料的使用等,还缺乏经验;②大江大河上修建土石坝,因为洪水流量大,导流泄洪工程不如混凝土坝好安排;③土石坝施工机械化程度低,缺乏大型机具,难以完成大量的土石方,保证合理的工期;④在造价方面,混凝土单价反比土石方低,占据了优势;⑤修建混凝土坝的经验比土石坝多,认为修建混凝土坝比土石坝更为可靠等。由于这些原因,我国的高土石坝建设长期处于工期长、造价高、综合经济效益低的局面,以致与国外高土石坝的发展存在着较大的差距。近年,在通过小浪底高土石坝建设,由国际承包商施工,引进了高土石坝施工中许多新技术,为我国今后建造高土石坝创造了很多可以借鉴的经验,也缩短了我国与国外建造高土石坝的差距。

二、土石坝设计的主要经验

1. 放宽防渗体土料的选择

土石坝的防渗体之一是用土质心墙,过去都认为粘土是最好的材料,它的可塑性好,能适应坝体变形,而且抗冲能力也较强。因而不少土石坝施工,花费较大运费,从远距离取用粘土修建心墙。在实际运行中,使用粘土和非粘性不透水土料在出现裂缝内发生集中渗流情况下,其反应是不同的。高塑性粘土一方面可以在一定程度上抵抗集中渗流对裂缝壁面的冲刷;但另一方面,由于压实后的粘土具有较高的无侧限抗压强度,因而能围绕裂缝呈现“起拱作用”,而使裂缝保持张开状态。非粘性粉沙土基本上不具有无侧限抗压强度,因而裂缝壁面会自然坍落而使裂缝闭合,这是它的优点。任何粘土在不利的水力条件下都会有冲刷,单纯依靠粘土抗御集中渗流的管涌冲刷,显然是不够的。心墙主要作用是防渗,要防止管涌冲刷,则依靠于反滤层。当前,选用心墙土料的基本原则,是取用成本最经济的当地不透水土料,尽管这些土料有时属于非粘性土,为粉沙土、含砾粉沙土或残积风化土、冰碛土等。

2. 减少不均匀沉降

坝体常出现不均匀沉降裂,产生集中渗流,危及大坝安全。为防止这种险情的发生,通常采取的措施是:

(1) 对坝体两岸进行开挖,放缓边坡,并尽量避免突变段。

(2) 设置上游斜墙代替心墙防渗。

(3) 对心墙的下半部分, 尽可能地达到较高的干容重。对心墙的上半部分, 用较高的含水量进行碾压, 增加土料的挠性, 以避免承受较大的应力而裂缝。

(4) 在有条件时, 优选选用塑性粘土料填筑心墙, 以增加其挠性。

(5) 在心墙与两岸坡接合面用较高含水量的防渗土料或用塑性粘土填筑塑性带。

(6) 将土石坝轴线布置为向上游的拱形, 在水压力作用下增加坝体的纵向应力。

尽管采取以上措施, 但由于近年来坝高不断增加, 建坝河谷更为狭窄, 两岸岩坡陡峭, 坝体不均匀沉陷, 仍会产生裂缝。但大量土石坝的运行情况表明, 只要坝内设有合乎规范规定的下游反滤层, 就可避免有集中渗流所引起的冲刷和破坏。为此, 不再过分强调对两岸的岩基削坡; 对在狭谷中修建高土石坝, 认为采用直线坝轴线也是可取的。

3. 土石坝与混凝土建筑物的接触处理有改进

过去设计要求混凝土建筑物要伸入到土石坝一定深度, 使渗流不是沿直线接触面渗出, 而有较长的渗径, 基于这种考虑, 在土石坝内埋设的混凝土输水洞, 普遍要求沿洞外壁设置足够宽度的多道防渗截水环; 与溢洪道混凝土边墙接触处, 设置多道刺墙伸入土石坝心墙内, 以延长渗径。后经多年实践表明, 设置这种插入式的连接心墙妨碍心墙土料的压实, 使紧靠混凝土的填土料, 不能用大型重碾压实, 而需要大量的人工压实, 不仅进度慢, 质量也难以保证。由于对土石坝下游滤层的安全可靠性认识的提高, 这种接触处在结构上已经简化, 当前采用的处理措施是:

(1) 坝内混凝土洞(管)和溢洪道混凝土边墙接触处, 取消截水环和刺墙。

(2) 将混凝土结构与土石坝心墙结合处的侧面坡度由垂直改为 $8:1 \sim 10:1$, 以利于施工时碾压机械可沿混凝土壁面方向行驶, 将土料压实。

(3) 将土石坝内输水洞(管)的四周和溢洪道边墙接触处的下游段均做好反滤料, 即使沿管壁或接触处的混凝土与心墙的上游侧界面产生渗漏, 其渗水可被下游侧的反滤料有效控制。

(4) 要特别加强下游侧反滤料的设计, 精心施工, 以确保防渗效果。

4. 根据心墙土料性状, 简化上游侧反滤层

过去在粘土心墙的上游侧, 通常也设置反滤层(或称过渡带), 其层数和每层材料的级配均与下游反滤层相同。近些年来, 普遍作法是简化上游侧反滤层。在心墙上游侧设置反滤层的目的是防止心墙土料颗粒在库水位降落时向上游移动, 进入上游坝壳的沙石空隙中。在实际运行中, 当上游水位下降时, 自心墙内渗入的水量很小, 而且粘土料经过压实后有一定的强度, 因而在单纯的重力作用下, 粘土颗粒一般没有向上游移动的趋势。同时, 向上游侧渗水的渗透梯度一般均小于 1, 而且渗透水流的流速很小, 不致于使心墙土粘粒大量移动。美国农业部土壤保持局利用低粘性易冲刷的粘土料配上粗颗粒做反滤层, 以 20 的水力梯度进行了上游库水位骤降时土料的冲刷试验, 其结果表明, 以下游反滤的设计标准来要求上游反滤层, 显然过高。为了简化上游反滤, 首先减少其厚度, 进而将简化为由粒径小于 150 mm 的碎石料组成的过渡带。世界上一些大库容蓄水水库的土石坝, 在上游侧堆石坝壳和粘土心墙之间, 只设置一个碎石料过渡带, 其颗粒组成不需要符合任何反滤料的组成原则。对于用粘土颗粒含量大于 30%、塑性指数大于 δ 的粘性土料填筑的心墙, 采用碎石料过渡带是足够的。当心墙土料为非塑性粉质砂或塑性指数小于 δ 的低塑性的粘性粉