



Study on Safety Assessment
of Earth Rock-fill Dam Based
on Risk and Catastrophe Theory

基于风险及突变理论的 土石坝安全评价研究

王东 唐毅 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



Study on Safety Assessment of
Earth Rock-fill Dam Based on
Risk and Catastrophe Theory

基于风险及突变理论的 土石坝安全评价研究

王东 唐毅 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书遵循风险工程学思想,开创性地研究土石坝的历史安全事故统计规律,构建土石坝现场安全管理图谱和综合评价指标体系。主要内容包括绪论、基于风险方法的土石坝安全事故因果分析、土石坝安全综合评价指标体系及构权新方法、基于突变理论的大坝安全监控模型、冶勒大坝安全监控评价研究以及浙江省土石坝安全管理综合实践。本书紧密结合学科前沿和工程建设需要,开展基于风险及突变理论的土石坝安全评价方法与应用研究,具有学术意义和应用价值。

本书可供从事水利水电工程安全管理的研究、培训、行业等科研、技术及操作人员参考,也可作为坝工安全相关专业学生的读本。

图书在版编目(CIP)数据

基于风险及突变理论的土石坝安全评价研究 / 王东,
唐毅著. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5170-2764-5

I. ①基… II. ①王… ②唐… III. ①土石坝—安全
评价—研究 IV. ①TV641

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第303642号

书 名	基于风险及突变理论的土石坝安全评价研究
作 者	王东 唐毅 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京三原色工作室
印 刷	北京九州迅驰传媒文化有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14.25印张 290千字 1插页
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	48.00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

前 言

大坝的风险分析是近年来学术界和工程界研究的热点问题，是我国大坝安全研究的一个重要发展方向。当前，我国已建大坝病险工程较多，在建和将建大坝地质环境复杂，并面临频发的自然灾害，大坝的安全管理问题愈来愈突出。本书从技术管理的视角，基于风险思想及突变理论，对土石坝的安全评价与管理进行了系统、全面的研究和探讨，获得了创新性成果。

本书遵循风险工程学思想，开创性地研究土石坝的历史安全事故统计规律，构建土石坝现场安全管理图谱和综合评价指标体系。在此基础上，利用突变理论研究土石坝安全监控的相关模型与方法。之后在四川南桷河冶勒大坝开展具体应用研究，在浙江省土石坝安全管理领域开展进一步实践。本书紧密结合学科前沿和工程建设需要，开展基于风险及突变理论的土石坝安全评价方法与应用研究，具有学术意义和应用价值。

本书紧密结合工程实际、选题新颖，有创新性、系统性和应用可操作性，也提供了具体应用案例。全书分 6 章，第 1 章综述国内外大坝研究进展和本书研究范围；第 2 章以工程风险思想分析了土石坝安全事故发生、发展的典型阶段和特征，以及相应处置动作间的相互作用关系，基于土石坝历史事故统计数据，构建了“土石坝安全管理综合图谱”；第 3 章综合考虑大坝历史事故中底层事件的统计概率，构建多目标、多层次的土石坝安全综合评价指标体系，提出了基于土石坝历史事故统计规律的自然权重伴随生成构权新方法；第 4 章从三个方面展开突变理论在大坝安全管理中的应用研究；

第5章是将第2~第4章的研究成果具体应用于冶勒沥青混凝土心墙堆石坝；第6章介绍了相关研究成果在浙江省土石坝安全管理方面的综合应用实践。

本书对从事水利水电工程安全管理的研究、培训、行业操作人员等具有参考价值，也可作为坝工安全相关专业学生的读本。

本书研究、出版得到了“四川省科技支撑 2014FZ0043 项目”“2013 年度水利重点科技专著出版项目”“浙江省 2011 年度公益性技术应用研究项目 (2011C23048)”的支持，在研究和编写过程中也得到了其他相关单位及有关专家、同行的大力支持，浙江省水利水电勘测设计院蔡小仁等专家、四川大学研究生程黎明、徐建江、胡明秀、胡孔中等参与了第6章的部分研究工作，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错误，敬请各位读者给予批评指正。

作者
2013 年 12 月于成都

目 录

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	国外大坝安全管理进展与动向	1
1.1.1	美国大坝安全管理	1
1.1.2	加拿大大坝安全管理	5
1.1.3	澳大利亚大坝安全管理	6
1.1.4	挪威大坝安全管理	6
1.2	中国大坝安全管理现状及新世纪面临的挑战	7
1.2.1	大坝安全现状	7
1.2.2	大坝安全管理行业人才情况及监管状况	10
1.2.3	水坝安全应急预案	12
1.2.4	水坝风险评估和风险管理	12
1.2.5	水坝安全管理信息平台建设	13
1.2.6	21 世纪我国大坝安全管理的特点与挑战	14
1.2.7	我国水坝安全管理发展动向	15
1.3	大坝安全监测分析与评价研究现状	16
1.3.1	原型观测资料分析	16
1.3.2	安全综合评判与决策	17
1.3.3	问题的提出	18
1.3.4	大坝安全事故的突发性及突变理论的适用性	18
1.3.5	选题背景及研究意义	19
1.4	本书研究内容及成果	20
1.4.1	研究内容	20
1.4.2	创新性研究成果	21
第 2 章	基于风险方法的土石坝安全事故因果分析	23
2.1	工程安全可靠性及风险分析技术简述	23
2.1.1	概述	23
2.1.2	大坝风险评价和管理技术的发展	26
2.1.3	风险分析中的可靠性概率方法	27

2.2	风险分析的基本原理与方法	29
2.2.1	破坏模式和影响分析	30
2.2.2	事件树分析	31
2.2.3	故障树分析	34
2.2.4	三种大坝风险分析方法的比较	44
2.3	土石坝安全管理事件树分析	45
2.3.1	土石坝安全事故发展演进分析	46
2.3.2	土石坝安全管理事件树	47
2.4	土石坝事故现状及原因分析	48
2.4.1	世界土石坝的事故统计	48
2.4.2	中国溃坝的统计分析	52
2.4.3	中国土石坝“非溃坝性事故”原因与分类	53
2.4.4	中国土石坝“溃坝事故”原因与分类	55
2.5	土石坝事故故障树分析	56
2.5.1	数据的选择、归纳、分析	56
2.5.2	绘制故障树	61
2.6	土石坝安全管理因果分析及对策图构建	65
第3章	土石坝安全综合评价指标体系及构权新方法	70
3.1	评价指标的设置原则	71
3.2	基于土石坝安全管理因果分析图的指标设计	72
3.2.1	基本思路及一级指标	72
3.2.2	指标设计	74
3.3	基于信息贡献度及事件发生频次的伴随生成构权方法	77
3.3.1	概述	77
3.3.2	构权原则	78
3.3.3	传统构权方法的缺陷	78
3.3.4	“伴随生成构权法”确定指标权重	79
3.4	讨论	83
3.4.1	关于指标体系内指标的重要性排序	83
3.4.2	关于底层指标的权重比例分配	86
3.4.3	关于建议指标体系的使用	87
3.4.4	关于土石坝安全管理思维的探讨	88
第4章	基于突变理论的大坝安全监控模型	90
4.1	突变理论及其工程应用	90
4.1.1	概述	90

4.1.2	初等突变理论的基本原理	91
4.1.3	突变级数法	100
4.1.4	突变理论的工程应用研究现状	111
4.2	基于突变流形的大坝安全宏观突变模型	114
4.2.1	土石坝安全事故的突发性、突变性特征	114
4.2.2	大坝安全的宏观突变模型	116
4.3	基于势函数的大坝安全监测突变分析	118
4.4	土石坝安全综合评价的突变级数法改进	122
4.4.1	指标体系及重要性排序	122
4.4.2	底层指标的标准化	122
4.4.3	归一运算中的互补原则与非互补原则	124
4.4.4	总突变隶属函数的对应变换关系	125
第 5 章	冶勒大坝安全监控评价研究	127
5.1	工程概况及其安全管理现状	127
5.1.1	大坝工程	127
5.1.2	大坝安全监测设施	134
5.1.3	工程安全管理现状	135
5.2	冶勒大坝安全管理应用	136
5.2.1	冶勒大坝安全管理综合图谱初步构建	136
5.2.2	冶勒大坝安全指标体系及权重分配	137
5.2.3	冶勒大坝的日常安全监控	139
5.2.4	冶勒大坝安全突变综合评价	144
第 6 章	浙江省土石坝安全管理综合实践	152
6.1	浙江省土石坝安全信息库系统	152
6.1.1	浙江省土石坝安全信息库	152
6.1.2	浙江省土石坝安全信息数据库系统	153
6.2	浙江省病险水库统计规律分析	156
6.2.1	病险水库的坝型分布	157
6.2.2	病险水库的完建年代分布	157
6.2.3	病险水库的坝高分布	158
6.2.4	病险水库的类型分布	159
6.2.5	病险水库的事故类型分类	160
6.3	大坝运行管理综合评价	162
6.3.1	指标体系构建	162
6.3.2	模糊层次综合评价	167

6.3.3 实例——青山水库大坝运行管理综合评价·····	169
6.4 FEMA 管理方法的典型工程实践·····	180
6.4.1 PFMA 概述·····	180
6.4.2 PFMA 实践案例 1——青山水库大坝·····	182
6.4.3 PFMA 实践案例 2——陈蔡水库大坝·····	190
参考文献·····	209

第 1 章 绪 论

水坝的历史有几千年，它与人类的生活和生产活动息息相关，是人类文明的组成部分。水坝从诞生的时候起，就备受人们的关注，在提供人类社会生存发展所需的水资源效益的同时，也面临着诸如材料老化、气候变迁、环境影响、管理操作失误、人为恐怖破坏等与大坝安全密切相关的问题。世上没有绝对安全的大坝，大坝一旦发生溃坝事故，将造成巨大灾难和生命损失。因此世界各国对大坝的安全运行和管理给予了高度的重视。很多国家都把大坝安全管理纳入政府重要议程和国家立法管理的范畴。

大坝安全管理是一种公共安全工作，一种避免溃坝、防患于未然的工作，属于一种预防性、未雨绸缪主动发现问题并及时采取补救措施的专业工作。近十年内，世界各国在大坝安全管理的技术领域取得一些新的进展。

1.1 国外大坝安全管理进展与动向

1.1.1 美国大坝安全管理

在 20 世纪 70 年代之前，美国对大坝的安全问题是不够重视的。潜伏的危机终于爆发^[1]，1972 年西弗吉尼亚 Buffalo Creek 坝失事，1976 年爱达荷州 Teton 坝失事，1977 年佐治亚州 Kelly Barnes 坝失事……，一连串的溃坝灾难激起公众对大坝安全的强烈关注，于是大坝安全工作受到应有重视，联邦及州加强大坝安全立法，加固病险大坝，探索出一些成功的管理方法。

1. 大坝安全现状

2000 年，美国 30% 的大坝的寿命达 50 年；到 2020 年将增加到 80%^[2]。有的坝龄已超过 120 年，有的坝防洪标准不足，严重影响大坝的安全运行。

美国大坝的风险等级是根据其一旦失事所造成的损失来划分的。位于发达地区上游的大坝被划为高危坝，表明这类坝一旦失事存在巨大的威胁，必须满足很高的标准。1998 年美国各州报告共有 9281 座高危坝，而到 2001 年高危坝已上升为 9921 座^[2]。险坝是很容易发生溃决的一类坝，2003 年美国共有险坝 2100 座^[2]。

自 1972 年 Buffalo Creek 坝溃决以来，到 1993 年，美国已知的溃坝有 362 座，1993—1998 年的 5 年中有 380 座。如照这样发展下去，美国每年平均将溃决 50 座坝，为此将付出 2500 万美元的代价^[3]。2001 年 ASCE 报道，在 1999 年和 2000 年 2 年内共

发生了520次大坝事故，其中包括61起溃坝事故^[4]。

在过去的几年中，发生比较重大的大坝失事事件包括：

(1) 2003年5月，在密歇根州的马凯特附近的一座堆石坝（Silver Lake Dam）的失事造成了下游的旅游者公园大坝（Tourist Park Dam）的失事，1800多名马凯特市民被迫疏散。据估计，这次大坝的失事导致了1亿美元的损失，其中包括1000万美元的公共事业设施损失；400万美元的自然环境损失，300万美元的公路与桥梁损失；20个家庭和3个企业被洪水淹没；发电量占整个上半岛地区发电量一半的发电厂被洪水淹没；2个铁矿厂关闭；1100多个矿工被临时解雇数星期，当地经济损失估计每天100万美元。

(2) 同样在2003年5月，一座坐落在北卡罗来纳州霍普米尔斯社区的大坝失事，1600人被迫疏散，估计损失21万美元。

(3) 2004年3月，在密西西比州珀维斯附近一座蓄水面积为405hm²的比格贝水库大坝失事，100多家房屋、两个教堂、一具消防站和一座桥梁被毁或严重损坏。

(4) 2004年7月，暴雨造成了新泽西州南部的21座大坝失事，损失惨重，估计损失超过5000万美元，300多个家庭被淹，另外有26座大坝遭损坏。

(5) 2004年10月，乔治亚州一座没人管理的大坝失事，淹没了一座活动房，使得许多居民需要紧急救援。

(6) 2005年12月，位于美国密苏里州1963年兴建的第一座抽水蓄能电站（Taum Sauk Project）的上库堆石坝，主要因发电自动控制的水位计缺少定期维护和再校准，逐渐产生严重误差，加上坝体结构施工不良等因素，导致库水漫顶而溃决。

大坝的材料和结构日益老化，高危坝和险坝的数量还在增加，这给美国大坝的运行及维护造成巨大的压力。目前，美国的大坝安全形势比较严峻，大坝安全工作任重而道远^[5]。

2. 大坝的检查和监测

自1976年提堂坝失事后，各大坝安全机构十分重视大坝的定期检查，为此制定了一系列指导文件，规定定期检查应包括对勘测、设计、施工和运行文件的审核，大坝及其附属结构的现场检查以及大坝安全评价等。对执行定期检查的专家的素质有严格要求。定期检查在大坝业主编制的大坝安全计划中都有安排。

大坝安全监测是保证大坝安全的重要手段。美国历来重视大坝安全监测，研制开发出许多性能优良的大坝安全监测仪器和自动数据采集系统（ADAS）。ADAS监测效率高，能提供在时间和空间上连续的信息，并为实现大坝安全在线监控打下基础。

随着老坝的更新改造和新坝的建设，在20世纪90年代，安装ADAS的大坝数量迅速增加。与此同时，运行人员仍然重视全面、规范的人工观测和巡查，并由经验丰富的工程师对监测资料和巡查记录进行分析，据此掌握大坝运行性态。

3. 应急预案

为了保护下游地区免受大坝失事或泄水的危害,美国大坝业主和管理部门都必须制订简洁明了的应急预案(EAP)。应急预案作为大坝安全管理的核心内容,应包括通知流程图、业主和地方政府责任、突发事件的确定、评价和定级、通知顺序、预防措施、淹没图等。近十年来,在美国大坝失事中没有人员死亡,主要归功于该方面的管理。美国内务部垦务局(USBR)曾提出了一项安全预警和应急撤离的实施方案,研究大坝一旦发生突发事件时的应对策略,提供淹没图和其他技术资料,并帮助地方应急机构制订、修改和落实应急预案。美国《联邦大坝安全导则》明确强调要采取险情预计、报警系统、撤退计划等应急措施,发生溃坝时,将损失减小到最小程度^[6]。

4. 国家大坝运行性态计划

为了大坝安全评价、风险分析的需要,联邦紧急事件管理局(FEMA)实施一项名为“技术和历史档案研究”的计划。1994年9月在FEMA的支持下,斯坦福大学根据这个计划制定了“国家大坝运行性态计划”(NPDP)。该计划建立大坝性态文档,即建立一个用于储存、分析大坝运行性态和结构特性信息的国家级现代化数据库系统和相应的计算机网络。1996年确定NPDP为“国家大坝安全计划”(NDSP)的一个重要组成部分。

NPDP包括美国和加拿大的所有大坝安全团体,组织机构由执行委员会和大坝运行性态中心组成。执行委员会负责本项目的管理和监督,它的成员由各个大坝安全团体按分配的名额派出^[7]。

NPDP的关键之一是报告和记录大坝事故的过程,为深入了解大坝的结构和运行性态提供资料。项目要求各州及联邦机构把报告大坝事故的工作列入它们的大坝安全计划。至1998年,已建立了6000多份应该报道的大坝及其运行的文档。NPDP中心已确定提供大坝运行性态档案资料的目标是对事故进行100%的实时报道。目前有越来越多的州和联邦机构正以定期、实时的方式报道大坝事故。现在,NPDP中心已建成一套供检索、数据归档和传播的有关大坝运行性态的资料库系统。该系统有助于改进大坝的设计、运行和维护。现正在建立与因特网连接的数字图书馆^[7],为全国的用户提供服务。还通过发行《新闻通讯》和《年度报告》这两个刊物向大坝安全工程技术人员及时发布大坝信息。

有了NPDP这个基础平台,目前正在研制开发“国家大坝运行性态评价系统”,这种系统性能优越,可像公共卫生、社会治安、交通安全等领域的系统那样,为大坝安全制定长期政策和应急措施以及修订技术规范提供资料。

5. 水坝安全评估新工具PFMA(潜在溃坝模式分析)

对于溃坝,吸取其教训的最佳切入点之一就是探讨溃坝模式,即找出溃坝的起始肇因或根源。因此,近年以团队合作为基础的潜在溃坝模式分析(PFMA)方法,在美国水坝安全界应运而生,成为水坝安全的一种新兴管理工具^[8-9]。

进入 2000 年以来,美国国内有关组织的实践表明,将定期的、综合性的大坝安全检查和失事模式评估结合起来,可以极大地提高工作效率和质量。这两种工作都要求对所有可能的资料进行全面的审查和讨论。这种结合活动由独立的工作组负责完成,该工作组既开展现场检查也开展自由讨论以确定可能的失事模式和后果。一旦具备了因参加大坝失事模式评估而增长的知识、洞察力和理解力,就可以提高现场检查组的工作成效。检查组会集中精力关注那些有助于对事故可能发展、事故后果和减少事故风险率认识的信息和资料。随着检查组对大坝潜在失事模式的深入关注,不断揭示正确、清晰和有助于了解工程项目的信息,就会真正认识其相互联系的好处。

现场检查发现的问题和潜在失事模式的初步分析,可以组合成“失事模式和后果分析”,并给大坝业主、大坝安全管理人员提供^[9]:

(1) 确定的、最重要的可能失事细节和可供将来检查组参考的所有潜在失事模式的文件资料。

(2) 对改进监测项目和目测检查的建议。

(3) 其他适用于应急准备或结构响应的降低事故风险的结构或非结构措施。

PFMA 水坝安检方法,即延伸传统规范标准方式之外,采取风险思维作为驱动力的一种安检执行方法。换言之,以风险导向为基础的 PFMA 安检方法是一种传统规范标准方法和现代风险思维引导方法的结合,两者汇成一体,按溃坝 PFM 风险性大小,决定资源使用优先顺序,采取必要行动以确保水坝计划整体安全为终极目标的一种高成效革新方法^[8]。该方法的应用,极大地强化了水坝安全检查和观测的效果。美国联邦能源管理委员会于 2003 年拟订的新工程指导方针,规定 PFMA 为其所辖全国 2000 多座发电水坝必须执行的安全措施。推动之初,不少水坝业主的疑虑在获得 PFMA 成果后一扫而空,并予以高度肯定^[9]。

6. 大坝反恐安全管理

水库大坝在发电、防洪、供水以及通航等方面作用重大,是国家重要的资源,是易遭恐怖分子袭击的对象,失事后果极为严重^[11]。“9·11”事件后,有证据表明恐怖分子已将某些水坝列入伺机打击目标^[12],如近年来美国有不满分子扬言炸毁水电站的威胁黑函等。2004 年 3 月 30 日在乌兹别克的塔什干州波斯探雷斯区发生的一起小公共汽车爆炸事件就发生在恰尔瓦克斯水库附近,据称其恐怖计划就是针对水库的。因此,水库大坝的反恐安全问题引起了世界各国的高度重视。美国总统于 2002 年 12 月签署了“大坝安全与保安法案”(PUBLIC LAW 107-310-DEC.2, 2002),正式立法防范大坝人为破坏,确保水坝和公众安全,法案中规定了全国大坝安全与保安管理的组织机构及其职责。以联邦法案为蓝本,大部分州相继颁布了各自的大坝安全与保安法律法规^[13]。

7. 溃坝及其风险评价研究进展^[14]

美国土石坝溃坝洪水研究课题也是“国家大坝安全计划”(NDSP)的一部分。

当前漫坝洪水问题研究的内容为：风险评价、土石坝的保护、土石坝的溃决过程、溃坝洪水演进计算模型开发等。

风险评价研究目前的关注点为：溃坝模式、风险评价有关法规、定量的风险评价方法。

土石坝保护的研究包括：台阶过水的水力学设计（如 RCC 坝过水）、混凝土铰链排的过水水力特性、抛石护坡保护标准。

土石坝溃坝过程研究的重点为：草皮护顶的极限过水能力、溃口的发展过程以及溃口流量。

溃坝洪水模型的研究包括：大坝与堤防的溃决（如漫坝和管涌）以及洪水波在下游河道的传播。

1.1.2 加拿大大坝安全管理

BC Hydro 是加拿大 BC 省的水电公司，它负责管理 BC 省内 43 座水坝的安全。在这 43 座水坝中包括 244m 高的 Mica 土石坝和库容 704 亿 m^3 的 Bennett 土石坝。BC Hydro 公司的水坝安全风险管在世界上具有最先进的地位，于 1979 年开始水坝安全管理工作，1991 年开始使用水坝安全的风险管理，是世界上第一个将概率的风险分析用于水坝安全管理程序的公司。这种先进的水坝安全管理方法能让业主了解水坝的安全程度，并用最经济有效的方法去维护水坝的安全，保障业主的投资和利益。

BC Hydro 水坝安全管理程序中的主要项目有^[15]：

- (1) 水坝各项安全准则和手册，适时修正更新。
- (2) 定期每周、每月、每半年的水坝安全检查以及监测水坝和水库边坡。
- (3) 对每一座水坝每 3~10 年做一次详细安全检查。
- (4) 水坝缺陷调查。
- (5) 风险评估。
- (6) 水坝加固。
- (7) 决定可能最大洪水量及频率。
- (8) 决定可能最大地震及频率。
- (9) 定期试验泄洪设施，确保在紧急需要时能安全操作。
- (10) 详细的水坝运行、维护和监测手册。
- (11) 完备的监测管理系统，清楚划分每一位监测和管理人员的职责。
- (12) 评估溃坝后果。
- (13) 准备紧急预案。
- (14) 紧急演习，人员培训。

在这些项目中，风险评估有其难以取代的重要性。风险评估的基本原则是一座水坝的安全要求应该和溃坝的后果成比例。也就是与水坝有关的风险应该维持在一个可

以容许的标准以下。

以风险为主的水坝安全管理有下列的优点：

- (1) 增强对水坝脆弱部位的了解。
- (2) 增强水坝安全的监测能力。
- (3) 增强水坝安全的分析以及水坝安全决策的能力。
- (4) 将所有水坝的缺陷调查和加固改善工作列出优先次序。
- (5) 尽量增加业主投资的回收。
- (6) 尽量减少溃坝的损失。
- (7) 经济、有效地运用水坝加固改善的资金。

BC Hydro 水坝安全管理程序是一套连续性的程序，从施工期到蓄水期及水库长期运行期。这套程序中包括很多手册和准则。这些手册和准则都要随时修正，以符合实情。

1.1.3 澳大利亚大坝安全管理

澳大利亚国际大坝委员会于 1994 年修订的《大坝安全管理导则》在全国各州实施，各州以立法的形式予以确认。《大坝安全管理导则》确定了大坝安全的主要责任者，规定了大坝安全计划的管理要点，按风险程度划分大坝安全等级的定义，对安全监查给出明确规定，同时明确了应急预案的制定准则^[15]。

总体上，《大坝安全管理导则》是基于大坝风险思维，注重现场检查与安全评估的一个成熟的管理制度，值得借鉴。

1.1.4 挪威大坝安全管理

挪威石油能源部授权下属的水资源和能源管理局（NVE）对大坝安全实施主管。NVE 在 2000 年 12 月颁布了新的《大坝管理条例》。新条例对运行期大坝给予充分关注，明确规定大坝运行人员和大坝安全评价人员必须进行资格认证；对运行单位的内部质量控制体系，包括大坝巡视检查程序都有详细规定；要求业主进行溃坝分析、绘制淹没图、制定应急预案等。按失事后危及居民住宅的栋数不同将大坝分为 3 类^[15]。

挪威早期建设了大量的混凝土坝，因规模较小，很少设置观测设施。1970 年后，随着土石坝的大量兴建，开始系统考虑大坝安全监测问题，但一般情况下均只设置常规观测，包括渗漏量、坝面变形和心墙料孔隙水压力等 3 个基本观测项目。心墙料孔隙水压力观测主要针对施工期，用以判明坝体填筑速度是否合适。对运行阶段的土石坝仅设渗漏量和坝面变形 2 个观测项目。可见，观测项目的设置体现了少而精的原则。

对于地处偏僻的较大工程一般采用自动装置采集数据，并通过通讯系统或网络传至中控室或中心电站，由中心电站负责该地区所有大坝的渗漏情况分析。对于较小的

工程,则一般采用人工方法观测,并用标准的图表格式记录观测成果,以便进行简明有效的资料分析。

近年来,风险分析(RA)法在挪威的大坝安全管理中得到了越来越多的应用,主要是利用故障和事件树分析来评价溃坝的可能性。目前,挪威工程界大多采用简单的定性方法,以加深对风险分析法的理解,并为掌握更复杂的风险分析方法打下基础。新条例倡导使用系统的风险分析法,为此挪威电力联合会颁布了供大坝业主、NVE和顾问使用的大坝、溢洪道闸门和压力管道的风险分析准则。该准则详细阐述了定量风险分析的使用方法,内容包括总则、各种风险分析方法的说明和对风险分析的要求,规定了故障与事件树格式,以及记录分支概率和灾害识别一览表的格式,所有这些格式都已录入磁盘,可供分析时使用。

1.2 中国大坝安全管理现状及新世纪面临的挑战

我国有着 2500 多年的筑坝史,是人类筑坝历史最悠久的国家之一,也是当今世界拥有水库数量最多的国家。截至 2012 年底,我国已建成各类水库大坝 9.8 万多座,坝高 15 m 以上的大坝约 2.2 万座,水库总库容约 9300 多亿 m^3 ,为解决我国的“洪涝灾害、干旱缺水、能源供给”等问题,发展国民经济、保障人民生活发挥了重要作用。

全国水库总库容约相当于全国河流年径流总量的 1/5。全国水库防洪保护范围内约有 3.1 亿人口、132 座大中城市、3200 万 hm^2 农田。全国水库年供水能力约 5000 亿 m^3 ,其中,为城市供水达 200 多亿 m^3 ,包括北京、天津、深圳和香港特别行政区在内的近百座大中城市的居民生活和工业用水的全部或部分依靠水库供水;由水库提供灌溉水源的耕地约 1600 万 hm^2 ,占总灌溉面积的 1/3。截至 2013 年底,我国水电装机突破 2.7 亿 kW。^[16]

1.2.1 大坝安全现状

我国约有 3 万多座水库属于病险水库^[17]。汛期发生较大洪水,这些水库大坝可能发生危及安全的事故甚至溃决,将会严重影响下游公共安全,威胁生命、经济与社会环境。

迄今为止,我国曾发生过 3480 多座水库大坝溃决^[18]。1954—1980 年期间按溃坝数量统计,如图 1-1 所示,两个溃坝高峰期在 1959—1961 年和 1973—1975 年,这正是“大跃进”和“文革”后期。前者三年内溃坝 463 座,占总溃坝数 14.3%;后者三年内溃坝 1241 座,占 38.3%,其中 1973 年一年溃坝达 554 座,为平常年份的 8 倍。进入 20 世纪 80 年代后溃坝数明显减少,10 年溃坝 266 座,仅占 8.2%^[19-20],90 年代更少,1991—2003 年 12 年内溃坝 235 座^[21]。

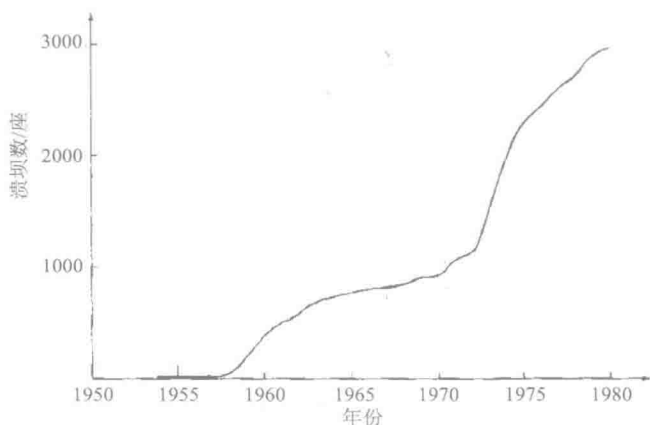


图 1-1 全国溃坝累积曲线 (统计至 1980 年底数据)

我国大坝安全历史事故的发展情况表明，一方面由于特定历史时期的建设制度缺陷，造就很多质量隐患在特定时段集中爆发；另一方面，十年“文化大革命”社会失序导致事故高发，说明合格的运行管理对于坝工安全是极其重要的。20 世纪 80 年代至 21 世纪开端的 20 年里，平均年溃坝率与世界水平趋于一致，并非表示我们的安全管理方面可以沾沾自喜了。因为那 20 年，我国新增水坝数量并不显著，总体管理水平与国外先进国家还有相当大差距。

20 世纪 80 年代，《中华人民共和国水法》颁布施行，使水坝安全管理由以前的行政管理上升到法律层次。90 年代颁布《水库大坝安全管理条例》《水库大坝安全鉴定办法》《水库大坝注册登记办法》《水库大坝安全评价导则》《土石坝养护修理规程》《混凝土坝养护修理规程》《综合利用水库调度通则》《水库洪水调度考评规定》等一系列配套的规范性文件和技术标准，为水库管理的法制化、规范化奠定了基础。

在这些规范、法律的指导下，我国水坝安全管理水平有了很大的提高。但随着水库大坝工程下游经济和社会的发展，水坝给下游带来的威胁（风险）越来越大。国家倡导的“以人为本，全面、协调、可持续”的发展观，进一步强调公共安全，强调人与自然和谐相处。为此，对水库大坝安全的要求越来越高，要求有更深入、系统、科学的的安全管理模式。

21 世纪初开启了一个爆棚的“黄金周”式的发展时期——水坝建设飞速发展，水力发电机单机容量屡破记录，水工建筑愈加规模宏大、愈加复杂，也更加靠近横断山脉地区，地质条件也倍加复杂和恶劣。

与此同时，我国 GDP 总量从 2000 年的 1.08 万亿美元增加到 2012 年的 7.3 万亿美元，也是社会财富增加速度最快的时期。一旦水坝出现安全事故，对社会财富和生命的影响也将呈几何级数的增长。