

中国水库大坝 风险标准研究

彭雪辉 蔡跃波 盛金保 著
李 雷 张士辰 周克发



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水库大坝

风险标准研究

彭雪辉 蔡跃波 盛金保 著
李 雷 张士辰 周克发



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书回答了如何根据我国水库大坝风险进行科学决策这一问题。全书共分为10章,包括绪论,水库大坝风险分类与分区,水库大坝风险评估,水库大坝风险评价与决策理论,溃坝风险的地域性、时变性与社会性分析,中国水库大坝风险标准制定,水库大坝风险等级划分标准,关于大坝风险标准的若干思考,实例分析,基于脆弱度的水库大坝风险等级划分标准,以及两个附录等。本书前九章基于溃坝概率和溃坝后果研究水库大坝风险标准,第10章基于脆弱度研究水库大坝风险标准。

本书可供水行政主管部门、水库管理单位采用水库大坝风险评估方法指导水库运行管理、维护与除险加固,也可供从事风险分析和风险管理的科研院所、高等院校相关科研、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国水库大坝风险标准研究 / 彭雪辉等著. -- 北京:
中国水利水电出版社, 2015.9
ISBN 978-7-5170-3705-7

I. ①中… II. ①彭… III. ①大坝—风险分析②大坝—风险管理 IV. ①TV698

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第234013号

书 名	中国水库大坝风险标准研究
作 者	彭雪辉 蔡跃波 盛金保 李雷 张士辰 周克发 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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.5印张 344千字
版 次	2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷
印 数	0001—1500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

大坝在蓄水发挥效益的同时，也对下游构成潜在风险。自1954年迄今，我国共有3500余座水库溃坝失事，不少溃坝事故造成严重生命损失。近年来，通过大规模开展病险水库除险加固工程建设和水管体制改革，极大改善了我国水库大坝工程安全状况和管理条件，但仍存在先天不足、管理薄弱、工程老化、应对突发事件保障能力薄弱等诸多问题，出险甚至溃坝事故仍时有发生，溃坝风险将是大坝安全行业管理始终面临的挑战。如何有效降低和控制水库大坝风险，不仅是各级政府、水行政主管部门和水库管理单位关心的工程安全问题，也是全社会和公众高度关注的重大公共安全问题。

近20多年发展起来的大坝风险管理是一种以风险控制为核心的全过程动态管理，其最大特点就是不仅关注大坝自身工程安全，而且关注大坝溃决可能造成的后果，是一种更加科学合理的现代大坝安全管理模式，是大坝安全管理未来的发展趋势，也是经济社会发展到现阶段的必然要求。大坝风险管理包括两个重要理念：一是大坝风险始终存在，无法完全回避；二是大坝需要承受“适度风险”，而且“适度风险”可以通过采取适当措施预防和控制实现，这个“适度风险”就是政府和公众可以接受的风险，也是本书的研究对象——大坝风险标准。

美国、加拿大、澳大利亚等开展大坝风险评估和风险管理技术研究较早的国家，在风险评估技术刚引进大坝安全领域时，使用的是纯经济风险标准，如今这一方法基本上已被淘汰，改为对生命风险和经济风险分别制定相应的标准，但对环境风险、社会风险则仍未研究制定相应的定量评估标准。由于社会经济发展水平以及管理体制机制等方面的差异，不同国家甚至一个国家不同地区和不同大坝业主对大坝风险标准的认识及相应制定的风险标准也不尽相同。当前，我国水库大坝安全管理正处于由传统的工程安全管理向风险管理的转变过程中，成功的关键在于尽快研究制订出与我国经济社会发展水平相适应的大坝风险标准。

本书的作者长期从事大坝安全管理领域的基础性科学研究工作。自2003年通过水利部“948”项目“水库风险评估和智能化大坝安全技术”引进大坝风险评估和风险管理技术以来，结合科技部和水利部重大科研项目研究，揭示

了大坝风险标准的地域性、时变性和社会性，提出了适合我国国情的大坝风险标准及风险等级划分标准，并先后与澳大利亚、加拿大及世界银行的专家开展合作，在江苏沙河水库、安徽沙河集水库及四川绵竹市震损水库大坝风险评估中进行了应用。

本人已进入耄耋之年，曾与本书的作者合作于20世纪90年代，提出了基于风险理念的大坝总体安全度评价方法，虽已退休多年，但一直关注我国水库大坝安全问题及大坝风险管理技术的发展，非常高兴看到本书的出版。我相信，本书提出的大坝风险标准必将对尽快建立健全适合我国实际的水库大坝风险管理体系起到积极的推动作用，进一步提升我国水库大坝安全管理水平。

大坝风险管理是一门新兴的学科，涉及水利水电工程、岩土工程、防灾减灾工程，以及社会学、经济学等广阔的科学领域，在风险标准等很多问题上大家尚有不同的认识和见解，研究和实践的任务还很艰巨。期待本书的作者继续相关研究和实践，使我国水库大坝风险管理技术后来居上，跃居国际先进水平！

是为序！

水利部大坝安全管理中心原总工

李昆纯

2015年6月29日

现代社会风险无处不在，我们正处于一个风险社会。1963年9月，意大利瓦依昂（Vajont）拱坝因近坝库岸大滑坡造成巨大水体涌出，导致2600人死亡；1976年6月，美国提堂（Teton）土坝溃决，造成下游780km²土地成为泽国，11人死亡，25000人无家可归，财产损失超过4亿美元；1979年，印度曼朱二号（Machhu II）水库垮坝，死亡5000~10000人；2005年2月，巴基斯坦沙迪科尔（Shadikoor）大坝溃决，造成50人死亡，500多人失踪。在中国，河南“75·8”大洪水导致包括板桥、石漫滩两座水库在内的62座大坝溃决，造成2万多人死亡；1993年8月，青海沟后水库溃坝，近300人丧生；自2004年至2007年的短短约三年半时间内，相继发生了新疆生产建设兵团八一水库（2004年1月22日）、青海英德尔水库（2005年4月28日）、甘肃小海子水库（2007年4月19日）、内蒙古岗岗水库（2007年7月11日）等四座除险加固的水库溃坝事件。这些惨痛的教训提示我们，水库大坝风险离我们并不遥远。

虽然风险无法消除，但是，我们可以控制风险，将风险控制在合理的和公众可以接受的水平。水库大坝曾给我们带来如此痛苦的教训，今天，它依然如一把达摩克利斯剑高悬在我们头上。为此，我们必须通过各种工程或非工程措施去降低水库大坝风险，并将其控制在某一合理和公众普遍能够接受的尺度内。这个合理和公众普遍能够接受的风险尺度便是本书的研究对象——水库大坝风险标准。

本书通过收集不同国家已经实施的风险标准资料，分析不同国家、地区政府以及大坝业主对风险标准的认识，研究风险标准的地域性、时变性和社会性；结合我国实际情况，研究我国水库大坝风险标准及ALARP原则的表现形式和内涵，提出适合我国的风险标准及风险等级划分标准，并在安徽省沙河集水库大坝风险评估中得到应用。最后，从脆弱度的角度研究水库大坝风险指数，提出相应的风险等级划分标准，并在四川省绵竹市20座震损水库中应用。

本书在以下几个方面有所创新：

(1) 提出将我国大坝风险分为可接受风险、可容忍风险、不可接受风险和

极高风险四个区域，用目标线、容许线和高风险线进行区分。

(2) 分析了成文法和不成文法两类不同法律体系下的风险标准特点，为我国风险标准的制定奠定了法律依据。

(3) 分析了 ALARP 原则在不成文法国家及我国的内涵，根据我国实际情况提出了适合我国的 ALARP 评价标准，为我国水库大坝风险决策提供了依据。

(4) 按三个不同经济社会发展阶段和东部、中部、西部三个区域分析了我国溃坝率、生命损失、生命风险和经济风险的时变性、地域性和社会性特点，为我国大坝风险标准的提出奠定了基础。

(5) 提出了我国个体生命风险标准、群体生命风险标准、经济风险标准、社会与环境风险标准。

(6) 提出了我国水库大坝工程安全分级标准和溃坝后果分级标准，以及水库大坝风险定性和定量分级标准。

(7) 提出了基于脆弱度的水库大坝风险等级划分标准。

本书是笔者十几年来在大坝风险评估与风险评价方面研究成果的综合。风险评估与风险评价技术在我国各行业已经得到大力发展和推广，笔者希望通过本书的出版，把这些年的研究成果和大家一起交流，通过讨论，使大坝风险评估与风险评价技术得到更好更快的发展与推广。

本书共分 10 章，第 1 章由彭雪辉撰写，第 2 章由李雷、彭雪辉撰写，第 3 章由盛金保、张士辰、周克发撰写，第 4 章由盛金保、彭雪辉、张士辰撰写，第 5 章由蔡跃波、彭雪辉撰写，第 6 章由彭雪辉、盛金保撰写，第 7 章由彭雪辉、李雷撰写，第 8 章由周克发、李雷撰写，第 9 章由张士辰、彭雪辉撰写，第 10 章由蔡跃波、彭雪辉、李雷撰写；孙玮玮博士参与了部分编写工作，王士军、吴素华、龙智飞、厉丹丹、王晓航、陈剑等参加了资料收集和整理工作。

本书的出版得到了“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC14B07)和南京水利科学研究院出版基金的资助，特表示感谢。在本书编写过程中，得到了王仁钟、王昭升等专家的指导，在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促及水平所限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

作者

2015 年 6 月于南京

序	
前言	
1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的和意义	2
1.3 研究现状	3
1.4 主要研究内容	7
2 水库大坝风险分类与分区	9
2.1 水库大坝风险分类	9
2.2 水库大坝风险分区	10
2.3 小结	14
3 水库大坝风险评估	15
3.1 风险评估基本资料	15
3.2 风险要素识别	17
3.3 破坏模式识别	18
3.4 溃坝概率计算	32
3.5 溃坝后果计算	40
3.6 大坝风险计算	56
4 水库大坝风险评价与决策理论	59
4.1 风险评价一般原则	59
4.2 ALARP 原则及评价方法	61
4.3 我国 ALARP 评价标准	70
4.4 水库大坝风险决策	72
4.5 水库大坝风险处理	73
4.6 小结	74
5 溃坝风险的地域性、时变性与社会性分析	75
5.1 我国地域和时域的划分	75
5.2 我国水库溃坝率的地域性、时变性与社会性	76
5.3 我国水库溃坝生命损失的地域性、时变性与社会性	81
5.4 我国水库溃坝生命风险的地域性、时变性与社会性	89

5.5	溃坝经济风险的地域性、时变性与社会性	94
5.6	小结	99
6	中国水库大坝风险标准制定	100
6.1	风险标准建立方法	100
6.2	国外大坝风险标准制定情况	103
6.3	我国大坝风险标准的制定	104
6.4	小结	109
7	水库大坝风险等级划分标准	111
7.1	水库大坝工程安全分级	111
7.2	水库溃坝后果分级	115
7.3	水库大坝风险定性分级	119
7.4	水库大坝风险定量分级	120
7.5	小结	121
8	关于大坝风险标准的若干思考	123
8.1	风险标准与政府核心价值观的关系	123
8.2	大坝风险标准实施对现有法规框架的影响	136
8.3	大坝风险标准实施战略	140
9	实例分析	145
9.1	工程概况	145
9.2	溃坝概率计算	147
9.3	溃坝后果计算	150
9.4	大坝风险计算	151
9.5	大坝风险评估	153
9.6	小结	155
10	基于脆弱度的水库大坝风险等级划分标准	156
10.1	大坝脆弱度	156
10.2	大坝风险指数	162
10.3	水库大坝风险等级划分方法	163
10.4	基于脆弱度的震损水库风险评估实例	164
10.5	小结	200
附录 A	大坝风险评估现场检查表	201
附录 B	专家经验法赋值标准	208
参考文献	218

1.1 研究背景

我国现有水库大坝 8.7 万余座^[1,4], 是当今拥有水库大坝数量最多的国家, 也是病险水库大坝数量最多的国家。我国水库大坝安全管理经历了三个发展阶段。第一阶段为 1949—1978 年“重建轻管”阶段, 这一阶段大坝溃坝概率极高, 其中 1963 年 8 月的大洪水导致 319 座水库大坝溃决, 1975 年 8 月大洪水又导致包括板桥、石漫滩水库在内的 62 座水库大坝溃决, 损失极其惨重。第二阶段为 1979—2000 年“建管并重”阶段, 这一阶段初步构成了我国大坝安全管理方面的法规与技术标准体系, 溃坝概率大幅降低, 但仍发生了 1993 年青海沟后水库溃坝事件, 引起社会高度关注。第三阶段为 21 世纪以来“以人为本”阶段, 这一阶段随着风险理念的引入, 使得我国大坝安全管理逐步从传统的“工程安全”向“工程风险”发展, 进入了现代大坝安全管理阶段, 这一阶段我国溃坝概率进一步持续下降, 已低于世界平均水平, 接近发达国家水平。

传统的大坝安全管理是以工程安全为目标, 按工程是否存在安全隐患来决定是否需要工程进行除险。而大坝风险管理以降低大坝风险为目标, 按风险是否可以接受来决定是否需要工程进行除险。水库大坝风险, 是以水库大坝存在的安全隐患可能对下游经济发展、人民生命财产造成的损失来衡量, 按照 ICOLD (国际大坝委员会)^[2] 及 ANCOLD (澳大利亚大坝委员会)^[3] 的定义, 风险是指对生命、健康、财产和环境负面影响的可能性和严重性的度量, 是溃坝可能性和产生后果的乘积。这种建立在溃坝概率分析和溃坝所造成的下游生命损失、经济损失、社会与环境影响等估算基础上的风险概念, 不仅关注大坝工程安全, 同时关注水库下游公共安全。随着“以人为本”和全面、协调、可持续发展的科学发展观深入贯彻落实和经济社会进一步发展, 大坝风险已经成为全社会关注的焦点, 风险管理理念已经受到我国各级水行政主管部门的高度关注。

风险管理包含风险分析 (risk analysis)、风险评价 (risk evaluation)、风险评估 (risk assessment)、风险处理 (risk treatment)、风险标准 (risk criteria) 等一系列关键技术 (见图 1.1), 其核心是风险评估和风险标准。

水库大坝的风险是客观存在的, 但水库大坝的风险是否可以接受, 或者说是否已经控制在某一合理和公众普遍能够接受的尺度内, 这就需要借助风险标准来衡量。由于各国国情不一, 制定的风险标准也不一样, 因此有必要建立我国自己的风险标准。

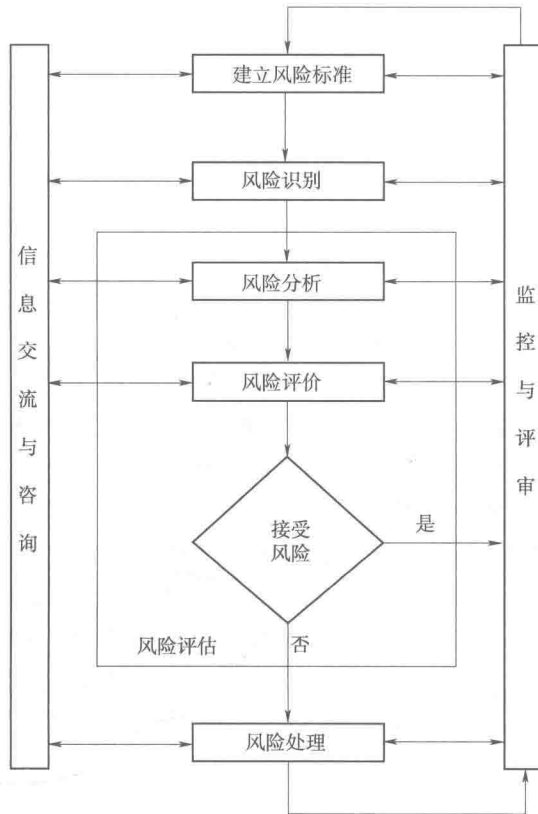


图 1.1 大坝风险管理框架图

1.2 研究目的和意义

1. 是基于风险的大坝安全保障体系建设的需要

基于风险的大坝安全保障体系在 21 世纪需要重点发展，但是在该体系的建设中最困难的一点恰恰是风险标准的制定。尽管大坝风险分析的方法、评价方法、溃坝后果的评价方法在建设基于风险的大坝安全保障体系中都很复杂，但是只要遵循风险的基本概念，技术上均可得到满意的成果。然而，风险标准研究并不是一个单纯的技术问题，而是社会科学和自然科学的有机结合。就像在传统大坝安全评价方法中的安全系数法，计算所得的安全系数要和规范所定的安全系数相比较。如果没有规范所定的安全系数，那么安全系数法就少了比较的依据。风险标准类似于传统方法中规范所定的安全系数，没有风险标准的研究成果，基于风险的大坝安全评价方法就难于建立。

2. 是大坝风险管理科学决策的需要

任何大坝都是有风险的，如果大坝风险过高，就需要考虑采取各种措施降低大坝风险。是否需要采取降低风险的措施，是一个决策过程，需要将现有风险和风险标准进行比较。决策是否科学，风险标准起了很重要的作用，风险标准过高或过低都会影响到决策的



科学性。

3. 是和世界接轨的需要

国外很多发达国家已经根据各自特点提出了大坝风险标准，并据以进行风险管理决策。新世纪以来我国经济社会的持续高速度发展，使得我国必须尽快和世界接轨。经济社会发展水平越高，就越不能承受溃坝带来的生命、经济、社会、环境损失。但是在水库大坝风险标准方面的研究我国仅仅才起步。

4. 是科学制定可行的水库大坝风险标准的需要

大坝风险标准严格地说是个社会学难题，牵涉经济社会发展水平。不同经济发展水平和社会发展水平将会严重影响到人们的认识和判别标准，因此，风险标准的地域性、时变性和社会性问题是十分复杂的社会问题，需要社会学、社会心理学、经济学、环境学等各方面专业的共同结合，才能制定出科学的水库大坝风险标准这类技术标准文件。本书研究成果可为科学制定水库大坝风险标准提供坚实的基础。

1.3 研究现状

1.3.1 国外研究现状

20世纪60年代末，国外就开始了风险标准的研究，几十年来大致可分为三个阶段^[5]：最初主要从技术层面上开展研究，认为风险的可接受水平是受技术手段的影响；后来认识到风险的可接受性不仅受技术手段的影响，而且与人的参与有关，是一个多维的变量，在这一阶段可接受风险水平的确定是由专家与公众共同参与，即考虑个人的因素；最后，随着风险可接受水平研究的深入，认识到这是个社会问题，它涉及政治、经济、健康和环境等领域，是一个社会-政治事件，它属于决策问题，并非是风险本身可不可以接受的问题，而是决策产生可接受风险。

20世纪60年代末，Chauncey Starr (1969) 发表了《社会效益与技术风险 (Social Benefit versus Technological Risk) 》，最早提出了“多安全才够安全?” 这一问题^[6]，开始了对风险标准的探讨。

1974年，英国在《职业健康安全法 1974 (the Health and Safety at Work Act 1974) 》中采用了风险决策领域的ALARP (as low as reasonable practicable) 原则^[6]，对于可接受风险的选择及合理制定降低风险方案具有重要意义。

1981年，Fischhoff在《可接受风险 (Acceptable risk) 》一书就可接受风险进行了专门的探讨^[7]，主张风险不是无条件接受的，风险仅仅在获得的利益可以补偿所带来的风险时才是可以接受的，或者说，是决策产生可接受的风险，而并非风险本身是可以接受的，认为可接受风险问题是一个决策问题^[8]。

1988年，英国HSE (健康和安委员会) 发布了《核电站的容许风险 (The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations) 》，提出了核电站的可容忍风险标准^[9]，并于1992年进行了修订^[10]。认为大于0.1人/年 (地方不容许线之上) 的风险是不容许的，大于0.01人/年 (地方仔细研究线之上) 的风险是不太合理的，0.01~0.0001人/年之间 (位于地方仔细研究线和可忽略风险线之间) 的风险应使其低到合理可行，小于0.0001

人/年（可忽略风险线之下）的风险是可忽略的^[8]。

1990年，荷兰 TAW（荷兰防洪设施技术咨询委员会）发表了《防洪设施概率设计方法（Probabilistic Design of Flood Defences）》研究报告^[11,12]，对堤坝提出了个人可接受风险程度和社会可接受风险程度。个人可接受的风险（许多社区打算接受的）可表示为

$$P_{fi} < \frac{\beta^* \times 10^{-4}}{P_{difi}} \quad (1.1)$$

式中 P_{fi} ——活动 i 发生事故的容许概率；

β^* ——综合系数，随参加活动的人的志愿程度从 0.1 到 10 之间变化，完全志愿 $\beta^* = 10$ ，非志愿 $\beta^* = 0.1$ ；

P_{difi} ——每年死于事故的概率。

社会可接受风险程度可采用两种方法确定：第一种方法是将灾难结果以金钱来表示而使问题概化为数学-经济问题，并合适地确定堤坝断面以使其施工或加固费用和资金损失达到最小值；第二种方法是依靠事故统计资料，社会对风险的评价及其建议大多反映在这些统计资料中。

1991年，CSA（加拿大标准协会）发布了《风险分析需求与指南（Risk Analysis Requirements and Guidelines）》^[13]。1997年，CSA 发布了《风险管理决策指南（Risk Management: Guidelines for Decision-Makers）》^[14]。在水库大坝方面，1999年 CDA（加拿大大坝协会）出台了《大坝安全指南（Dam Safety Guidelines）》，并于 2007 年进行了更新^[15]，其水库大坝分类方法与我国不同，是按照溃坝后果进行分类的。在该指南里建议生命危险大于 0.001 人/年是不可接受的，小于 0.00001 人/年是广泛可接受的，两者之间应用 ALARP 原则。

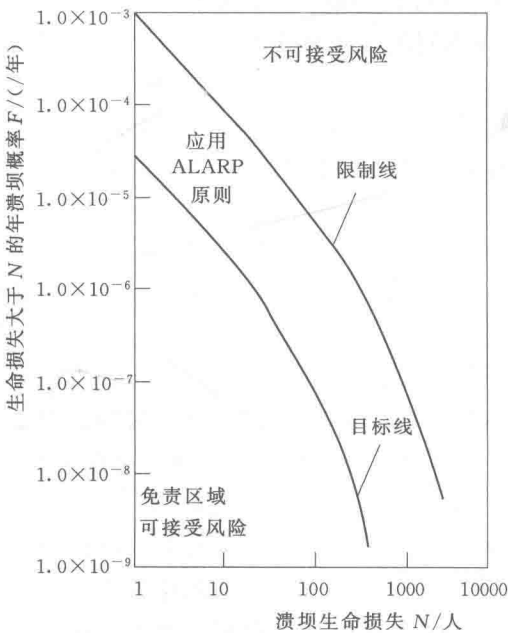


图 1.2 澳大利亚 ANCOLD 生命风险标准 (1994 年)

1991年，加拿大 BC Hydro（不列颠哥伦比亚省水电公司）把风险分析方法引入大坝安全评估中。BC Hydro 曾制定了一个临时性的风险标准，其风险标准是根据业主大坝安全管理条例、下游居民的生命财产价值、国家法律和业主的赔偿能力来制定的^[16]。不过 BC Hydro 认为目前计算溃坝概率难度较大，且溃坝概率计算结果具有不确定性，故不再使用风险标准来进行决策，而是根据大坝脆弱度和后果系数得到风险指数，根据风险指数进行加固决策^[17]。

1994年，ANCOLD（澳大利亚大坝委员会）提出了一个临时性的生命风险标准^[18,19]，见图 1.2。在 $F-N$ 图上生命危险是两条曲线，其中一条是限制线，另一条是目标线。限制线之上是不可接受风险区，目标线之下是可接受风险区，限制线和目标线之间应用 ALARP 原则判断风险是否可以容忍。

1998年, ANCOLD对1994年的临时性生命风险标准进行了修订^[20], 见图1.3。在 $F-N$ 图上以两条直线取代了两条曲线, 两条直线分别为容许线和目标线。容许线之上的风险为不可容忍风险, 目标线之下的风险为可接受风险, 容许线和目标线之间应用ALARP原则判断风险是否可以容忍。与1994年生命风险标准相比, 主要有三点不同。

(1) 用直线取代了曲线。

(2) 容许线之上的风险用不可容忍风险取代了不可接受风险。

(3) 当溃坝概率低于 1×10^{-6} /年时, 容许线改用水平线代替斜线; 当溃坝概率低于 1×10^{-7} /年时, 目标线改用水平线代替斜线。

2003年, ANCOLD对生命风险标准再次进行了修订, 并对已建坝和新建坝及已建坝扩建工程采取不同的风险标准^[3], 见图1.4和图1.5。与1998年生命风险标准相比, 作了以下修订。

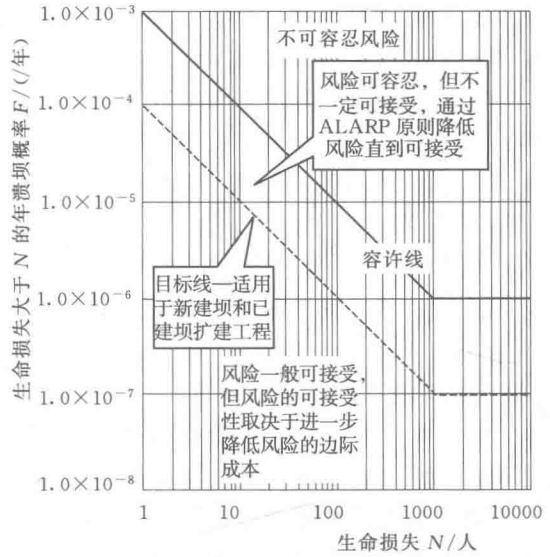


图 1.3 澳大利亚 ANCOLD 生命风险标准 (1998 年)

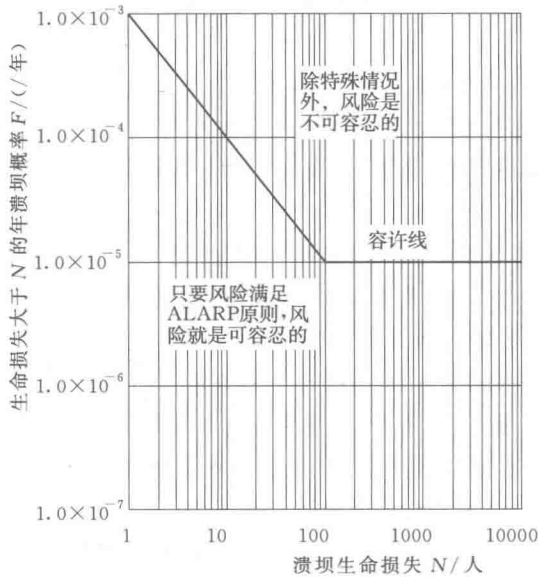


图 1.4 澳大利亚 ANCOLD 已建坝生命风险标准 (2003 年)

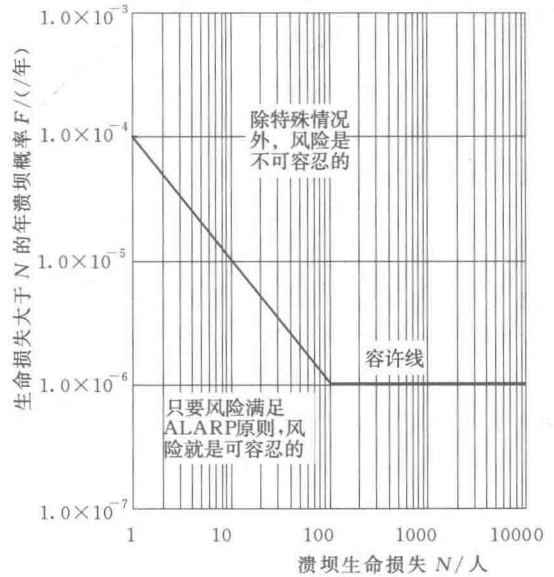


图 1.5 澳大利亚 ANCOLD 新建坝和已建坝扩建工程生命风险标准 (2003 年)

(1) 对已建坝和新建坝及已建坝扩建工程采取不同的风险标准, 对新建坝及已建坝扩建工程采取更加严格的标准。

(2) 取消了目标线, 只有一条容许线。容许线之上的风险是不可容忍风险, 容许线之下的风险只有满足 ALARP 原则才可容忍。

(3) 对已建坝, 当溃坝概率低于 1×10^{-5} /年时, 改用水平线代替斜线; 对新建坝及已建坝扩建工程, 当溃坝概率低于 1×10^{-6} /年时, 改用水平线代替斜线。

目前 ANCOLD 风险评估指南 (2003)^[3] 作为传统大坝安全鉴定方法的补充在澳大利亚得到了广泛的应用。

ANCOLD 对生命危险标准的三次大的修订源于其对可接受风险、可容忍风险、不可容忍风险和不可接受风险的不断深化认识, 并与其国家法律体系有关, 详细论述见其后各章。

1999 年, 英国 HSE 发布了《降低风险, 保护人民 (Reducing Risks, Protecting People)》(讨论稿) 可容忍风险指南^[21], 并于 2001 年正式出台^[22-25]。该指南开始只应用于英国工业部门, 其后在水库大坝安全中也得到了应用^[26,27]。HSE 2001 可容忍风险指南提出了风险可容忍性框架, 将风险分为广泛可接受风险、可容忍风险和不可接受风险, 但没有不可容忍风险这一概念。提出不可接受风险区采用基于公平标准, 可容忍风险区和广泛可接受风险区采用基于技术标准, 三个风险区可采用基于技术标准进行补充。详细论述见其后各章。

1997 年, USBR (美国垦务局) 出台了临时性的《实现在大坝安全决策中保护公众指南 (Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision Making)》^[28], 并于 2003 年正式出台^[29]。与 ANCOLD 2003 和 HSE 2001 不同, USBR 2003 采用的是 APF (年破坏概率) 和 ALL (年均生命损失) 来评价是否需要采取措施降低风险。详细论述见其后各章。

1.3.2 国内研究现状

2000 年, 第 20 届国际大坝会议在北京召开, 其中 76 专题“风险分析”是关于风险分析在大坝安全决策和管理中的应用^[30], 从此我国开始关注大坝风险。2002 年年初, 水利部派出一批技术人员赴澳大利亚进行风险评价技术培训。2003 年, 水利部通过 948 项目“水库风险评估和智能化大坝安全技术”引进了澳大利亚 ANCOLD 大坝风险评估技术, 正式开启了风险分析在我国大坝安全管理中的应用。2003 年 6 月, 彭雪辉在硕士论文《风险分析在我国大坝安全上的应用》^[31]里, 对国外风险标准制定情况研究的基础上, 根据我国溃坝情况以及其他一些因素初步提出了我国大坝风险标准, 这一标准仅包括生命危险标准和经济风险标准。在此基础上, 2004 年 7 月, 盛金保和彭雪辉对水库大坝风险标准进行了进一步研究, 在生命危险标准和经济风险标准研究的基础上, 提出了环境风险标准和社会风险标准^[32]。2006 年 5 月, 李雷主持编撰的《大坝风险评价与风险管理》^[33]对我国水库大坝风险标准进行了进一步完善。2006 年, 王仁钟等将大坝的社会风险和 environment 风险进行了合并, 提出了社会与环境风险标准^[34]。2008 年, 宋敬衡在分析我国不同区域人口分布、经济发展水平存在差异的基础上, 提出了我国生命危险的区域划分标准^[35], 不过, 其建立的风险标准依据不充分。2009 年, 何晓燕将大坝溃决社会和环境影响分为五级, 提出了溃坝社会和环境风险标准^[36], 不过, 这一方法过于复杂, 难以在实际中推广应用。

2004 年, 肖义在硕士论文《水库大坝防洪安全标准及风险研究》^[8,37]中评述了国内外



安全领域可接受风险的研究现状,根据事故后果对风险进行分类,对不同类型的风险给出风险定量表示法,针对不同的风险定量表示法,应用 $F-N$ 曲线和ALARP准则等研究确定可接受风险的方法,并就其在大坝安全风险评价领域的应用进行探讨。

2010年,吕保和在硕士论文《可接受风险标准研究》^[6]中提出由风险提供方和风险承受方协商制定可接受风险标准,制定了我国19个行业公众个人可接受风险标准、员工个人可接受风险标准、公众社会可接受风险标准和员工社会可接受风险标准。

在其他领域,有关学者也进行了风险标准的探索研究。例如,在铁路领域,刘贵提出了三种测定容许隐患率的方法,分别为GAMAB、ALARP和MEM^[38];在工业系统风险评价中,吴煜提出了ALARP原则的经济本质^[39];在地铁运营安全评价标准中,引入了风险分析、风险评估和风险接受原则(英国ALARP原则,法国GAMAB原则,德国MEM原则)等风险理论^[40];在石油化工领域,黄廷胜介绍了基于风险决策的主要内容,包括风险ALARP准则以及基于风险的成本收益决策分析^[41];郭章林提出了建筑工程施工风险接受准则^[42];胡群芳建立了隧道及地下工程风险接受准则计算模型^[43]。这些领域有关风险标准的研究成果可为我国水库大坝风险标准的制定提供参考。

综上,由于溃坝资料的不完整,以及经济社会发展的不均衡和动态性,水库大坝风险标准研究非常复杂,我国在这一领域的研究尚处于起步阶段,尚未形成一套完整的标准。因此,参照国外经验与结合中国国情开展水库大坝风险标准研究,确定哪些风险是可以承受的,哪些风险是可以容忍的,非常必要。

1.4 主要研究内容

水库大坝一旦蓄水,在发挥效益的同时,也会对下游公共安全构成风险。这种风险是客观存在的,人们无法回避和完全消除它,只能通过各种工程或非工程措施去降低它,并将其控制在某一合理和公众普遍能够接受(或容忍)的尺度内。这个合理和公众普遍能够接受(或容忍)的风险尺度便是本书的研究对象——水库大坝风险标准。

由于计算溃坝概率的难度较大,大坝溃决引起的生命损失、社会与环境冲击等估计方法尚不完善,社会经济发展水平的不一致,与传统文化背景、社会价值观、管理体制、保险制度等方面的差异,在世界范围内目前还无法制定出统一的和广泛能被接受的水库大坝风险标准,各国、甚至一个国家不同地区或不同大坝业主对风险标准的认识及相应制定的风险标准也不尽相同。

由于风险标准建立在下游损失研究的基础上,其制定不仅是一个技术问题,还需要考虑政治、经济社会发展水平、社会价值取向、文化传统、工程技术、生态环境、管理体制以及人们对水库大坝风险的认识程度等多种因素,难度很大。一方面,风险标准如果定得偏低,则溃坝可能性过大,达不到控制风险的目的,一旦溃坝失事,后果不堪设想;另一方面,如果风险标准定得偏高,则可能造成大量的险库,工程发挥不了应有的综合效益,造成大量除险投资和水资源的浪费。对于我国这样一个仍处于发展中的大国,如果直接采用发达国家的风险标准,难以承受由此带来的巨大成本。本书主要研究内容包括以下几个方面。



(1) 水库大坝风险分类与分区。对大坝风险进行定义、分类和分区,研究两类不同法律体系国家中风险标准的差异。

(2) 水库大坝风险评估。包括风险评估所需基本资料、风险要素识别、破坏模式识别、溃坝概率的计算、溃坝后果的计算和大坝风险的计算等。

(3) 水库大坝风险评价与决策理论。分析进行风险决策的风险评价一般原则及ALARP原则内涵和表现形式,以及ALARP原则在中国的表现形式和内涵。

(4) 溃坝风险的地域性、时变性与社会性分析。研究我国三个不同经济社会发展阶段和东部、中部、西部三个区域溃坝率、生命损失、生命风险及经济风险的地域性、时变性和社会性特点,为我国大坝风险标准的制定提供技术支撑。

(5) 中国水库大坝风险标准制定。分析生命风险标准、经济风险标准、社会与环境风险标准的建立方法及表达方式,总结国外风险标准制定情况,研究提出我国的个体生命风险标准、群体生命风险标准、经济风险标准、社会与环境风险标准。

(6) 水库大坝风险等级划分标准。研究提出中国水库大坝工程安全分级标准、溃坝后果分级标准,以及水库大坝风险定性和定量分级标准。

(7) 关于大坝风险标准的若干思考。研究大坝风险标准与政府决策关系,分析大坝风险标准对现有法规框架的影响,初步提出大坝风险标准实施战略。

(8) 实例分析。以安徽省沙河集水库大坝为实例,应用所构建的我国生命风险、经济风险、社会与环境风险标准,对沙河集水库大坝风险进行评估。

(9) 基于脆弱度的水库大坝风险等级划分标准。从脆弱度的角度来研究水库大坝风险指数,并提出相应的风险等级划分标准。