

西北旱区生态水利学术著作丛书

水利工程风险与管理

胡德秀 杨 杰 程 琳 罗倩钰 编著

海外借



科学出版社

西北旱区生态水利学术著作丛书

水利工程风险与管理

胡德秀 杨 杰 程 琳 罗倩钰 编著



科学出版社

内 容 简 介

水利工程所处的气象、水文、地形、地质和环境等条件十分复杂,其规划、设计、施工、运行与管理中存在的诸多不确定性因素,使得工程不同程度地存在库区淹没、库岸失稳、泥沙淤积、冻胀冻融破坏、材料老化、洪涝灾害以及管理决策失误等风险,加强相关风险研究与防范,对于确保水利工程安全至关重要。本书紧密结合工程实际,系统论述水利工程风险与管理方面的基本理论和技术方法,包括水利工程风险的基本概念以及国内外水利工程风险与管理的研究现状;水库大坝风险管理;库区防护风险与库岸失稳防治;水库泥沙淤积风险及防沙措施;水利工程的冻害风险及防治;水利工程老化风险与检测评估;水利工程安全管理信息化;水库的洪灾风险及防汛管理等。

本书可作为水利工程相关专业技术管理人员的参考用书,也可作为高等院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程风险与管理/胡德秀等编著. —北京:科学出版社, 2017.9
(西北旱区生态水利学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-054422-3

I. ①水… II. ①胡… III. ①水利工程-风险管理 IV. ①TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 217463 号

责任编辑:祝 洁 赵晓廷 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 9 月第一次印刷 印张: 16

字数: 312 000

定价: 90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《西北旱区生态水利学术著作丛书》学术委员会

(以姓氏笔画排序)

主 任：王光谦

委 员：许唯临 杨志峰 沈永明

张建云 钟登华 唐洪武

谈广鸣 康绍忠

《西北旱区生态水利学术著作丛书》编写委员会

(以姓氏笔画排序)

主 任：周孝德

委 员：王全九 李 宁 李占斌

罗兴锜 柴军瑞 黄 强

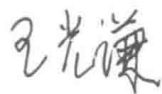
总 序 一

水资源作为人类社会赖以延续发展的重要要素之一，主要来源于以河流、湖泊为主的淡水生态系统。这个占据着少于 1% 地球表面的重要系统虽仅容纳了地球上全部水量的 0.01%，但却给全球社会经济发展提供了十分重要的生态服务，尤其是在全球气候变化的背景下，健康的河湖及其完善的生态系统过程是适应气候变化的重要基础，也是人类赖以生存和发展的必要条件。人类在开发利用水资源的同时，对河流上下游的物理性质和生态环境特征均会产生较大影响，从而打乱了维持生态循环的水流过程，改变了河湖及其周边区域的生态环境。如何维持水利工程开发与生态环境保护之间的友好互动，构建生态友好的水利工程技术体系，成为传统水利工程发展与突破的关键。

构建生态友好的水利工程技术体系，强调的是水利工程与生态工程之间的交叉融合，由此促使生态水利工程的观念应运而生，这一概念的提出是新时期社会经济可持续发展对传统水利工程的必然要求，是水利工程发展史上的一次飞跃。作为我国水利科学的国家级科研平台，“西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地（西安理工大学）”是以生态水利为研究主旨的科研平台。该平台立足我国西北旱区，开展旱区生态水利工程领域内基础问题与应用基础研究，解决了若干旱区生态水利领域内的关键科学技术问题，已成为我国西北地区生态水利工程领域高水平研究人才聚集和高层次人才培养的重要基地。

《西北旱区生态水利学术著作丛书》作为重点实验室相关研究人员近年来在生态水利研究领域内代表性成果的凝炼集成，广泛深入地探讨了西北旱区水利工程建设与生态环境保护之间的关系与作用机理，丰富了生态水利工程学科理论体系，具有较强的学术性和实用性，是生态水利工程领域内重要的学术文献。丛书的编纂出版，既是重点实验室对其研究成果的总结，又对今后西北旱区生态水利工程建设、科学管理和高效利用具有重要的指导意义，为西北旱区生态环境保护、水资源开发利用及社会经济可持续发展中亟待解决的技术及政策制定提供了重要的科技支撑。

中国科学院院士



2016 年 9 月

总 序 二

近 50 年来全球气候变化及人类活动的加剧,影响了水循环诸要素的时空分布特征,增加了极端水文事件发生的概率,引发了一系列社会-环境-生态问题,如洪涝、干旱灾害频繁,水土流失加剧,生态环境恶化等。这些问题对于我国生态本底本就脆弱的西北地区而言更为严重,干旱缺水(水少)、洪涝灾害(水多)、水环境恶化(水脏)等严重影响着西部地区的区域发展,制约着西部地区作为“一带一路”国家战略桥头堡作用的发挥。

西部大开发水利要先行,开展以水为核心的水资源-水环境-水生态演变的多过程研究,揭示水利工程开发对区域生态环境影响的作用机理,提出水利工程开发的生态约束阈值及减缓措施,发展适用于我国西北旱区河流、湖库生态环境保护的理论与技术体系,确保区域生态系统健康及生态安全,既是水资源开发利用与环境规划管理范畴内的核心问题,又是实现我国西部地区社会经济、资源与环境协调发展的现实需求,同时也是对“把生态文明建设放在突出地位”重要指导思路的响应。

在此背景下,作为我国西部地区水利学科的重要科研基地,西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地(西安理工大学)依托其在水利及生态环境保护方面的学科优势,汇集近年来主要研究成果,组织编纂了《西北旱区生态水利学术著作丛书》。该丛书兼顾理论基础研究与应用,对相关领域专业技术人员的工作起到了启发和引领作用,对丰富生态水利工程学科内涵、推动生态水利工程领域的科技创新具有重要指导意义。

在发展水利事业的同时,保护好生态环境,是历史赋予我们的重任。生态水利工程作为一个新的交叉学科,相关研究尚处于起步阶段,期望以此丛书的出版为契机,促使更多的年轻学者发挥其聪明才智,为生态水利工程学科的完善、提升做出自己应有的贡献。

中国工程院院士

2016 年 9 月

总 序 三

我国西北干旱地区地域辽阔、自然条件复杂、气候条件差异显著、地貌类型多样，是生态环境最为脆弱的区域。20 世纪 80 年代以来，随着经济的快速发展，生态环境承载负荷加大，遭受的破坏亦日趋严重，由此导致各类自然灾害呈现分布渐广、频次显增、危害趋重的发展态势。生态环境问题已成为制约西北旱区社会经济可持续发展的主要因素之一。

水是生态环境存在与发展的基础，以水为核心的生态问题是环境变化的主要原因。西北干旱生态脆弱区由于地理条件特殊，资源性缺水及其时空分布不均的问题同时存在，加之水土流失严重导致水体含沙量高，对种类繁多的污染物具有显著的吸附作用。多重矛盾的叠加，使得西北旱区面临的水问题更为突出，急需在相关理论、方法及技术上有所突破。

长期以来，在解决如上述水问题方面，通常是从传统水利工程的逻辑出发，以人类自身的需求为中心，忽略甚至破坏了原有生态系统的固有服务功能，对环境造成了不可逆的损伤。老子曰“人法地，地法天，天法道，道法自然”，水利工程的发展绝不应仅是工程理论及技术的突破与创新，而应调整以人为中心的思维与态度，遵循顺其自然而成其所以然之规律，实现由传统水利向以生态水利为代表的现代水利、可持续发展水利的转变。

西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地（西安理工大学）从其自身建设实践出发，立足于西北旱区，围绕旱区生态水文、旱区水土资源利用、旱区环境水利及旱区生态水工程四个主旨研究方向，历时两年筹备，组织编纂了《西北旱区生态水利学术著作丛书》。

该丛书面向推进生态文明建设和构筑生态安全屏障、保障生态安全的国家需求，瞄准生态水利工程学科前沿，集成了重点实验室相关研究人员近年来在生态水利研究领域内取得的主要成果。这些成果既关注科学问题的辨识、机理的阐述，又不失在工程实践应用中的推广，对推动我国生态水利工程领域的科技创新，服务区域社会经济与生态环境保护协调发展具有重要的意义。

中国工程院院士

2016 年 9 月

前 言

水中蕴含着巨大的能量，为了能够利用这种清洁、廉价且可再生的能源，人们采用工程措施，修建了大量的水利工程。现代水利工程项目普遍具有工程规模大、投资额度大、建设工期长、结构复杂及影响因素多等特点，这就决定了其在建设与运行过程中存在各种风险，而这些风险一旦发生，往往会造成生命财产的损失与损害。为了减小和消除水利工程风险的影响，就必须对风险进行识别、估算、评价进而控制管理。为此，本书在国家自然科学基金项目“黄河上游梯级水库群若干生态环境风险的分析方法与模型”（编号：41301597）、陕西省教育厅科学研究计划项目“黄河上游梯级开发若干生态环境问题风险分析研究”（编号：2013JK0848）、西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地基金项目“引汉济渭工程供水风险分析研究”（编号：2016ZZKT-8）以及“丹凤水库群安全性态综合评价研究”“临潼水库群除险加固技术方法研究”“靖边县抗旱应急水源工程新建四座水库可行性研究论证与优化设计”等多项研究课题的联合资助下，紧密结合工程实际，系统研究和全面总结了水利工程风险管理的基本理论、分析方法、评价估算、工程防治措施以及水利工程管理信息化的应用等。

全书共 8 章，主要内容如下。

第 1 章简要介绍水利工程风险的基本概念，包括风险类别、风险影响因素、研究内容与方法等；分析了国内外水利工程风险与管理研究现状和存在的问题。

第 2 章介绍水库大坝风险的分析与评价方法，以及水库生态环境风险研究的内容。

第 3 章研究讨论了水库防护区的防淹没、防浸没与排洪措施，以及岩质和非岩质库岸失稳的预测与防治方法。

第 4 章针对水库泥沙淤积的类型、特点及其影响，对水库来沙量与淤积量的分析与计算方法进行研究，介绍了水库淤积防治的工程措施与管理办法。

第 5 章对水利工程冻害风险，如冻胀破坏、冻融破坏和冰冻破坏及其机理进行研究，介绍了相关的冻害防护措施。

第 6 章系统介绍水利工程老化风险及其检测评估方法，重点研究了老化评估的层次分析法与可靠度评定法。

第 7 章阐述了水利工程安全管理信息化的意义、作用和基本内容，结合实例介绍了信息化在水利工程管理上的运用。

第8章针对水库的洪灾风险与防汛管理、水库与水库群的防汛调度进行研究,介绍了水库超标洪水、土坝漏洞及滑坡、堤坝决口以及其他水工建筑物险情的抢险措施;研究了水库来水、供水和损失的水量估算方法以及兴利调节计算等。

本书由西安理工大学胡德秀、杨杰、程琳、罗倩钰共同编著,马婧、冉鑫、屈旭东、秦全乐、赵慧冰、李亚明、王赵汉、张凯、董嘉锐等博、硕士研究生在书稿校核、图文整编、文字处理等方面做了大量工作。全书由胡德秀统稿。各章编写分工如下:第1章由胡德秀、冉鑫编写,赵慧冰、李亚明校核;第2章由胡德秀、杨杰编写,程琳、屈旭东校核;第3章由胡德秀、程琳编写,马婧、王赵汉校核;第4章由胡德秀、杨杰编写,程琳、董嘉锐校核;第5章由程琳、杨杰编写,王赵汉校核;第6章由胡德秀、罗倩钰编写,张凯、李亚明校核;第7章由杨杰、程琳编写,马婧、冉鑫校核;第8章由胡德秀、程琳、罗倩钰编写,秦全乐、屈旭东校核。

在编写本书过程中参阅了大量论文文献和专著、教材等,谨对所有作者表示衷心的感谢!

限于作者的认识与水平,书中难免会有疏漏之处,恳请广大读者批评指正!

作 者

2017年2月1日

目 录

总序一

总序二

总序三

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水利工程风险的基本概念	1
1.1.1 风险的属性	1
1.1.2 风险的特征	2
1.1.3 水利工程风险的特点	3
1.1.4 水利工程风险的影响因素	4
1.2 水利工程风险类别	6
1.3 水利工程风险与管理研究现状	10
1.3.1 国外风险与管理研究现状	11
1.3.2 国内风险与管理研究现状	11
1.4 水利工程风险与管理的研究内容及任务	12
第 2 章 水库大坝风险管理	16
2.1 水利工程风险分析程序与方法	16
2.1.1 风险分析的一般程序及内容	16
2.1.2 水利工程风险分析方法	17
2.2 水库大坝的风险与分析评价	19
2.2.1 水库大坝风险	19
2.2.2 水库大坝风险分析评价	20
2.3 水利工程的生态环境风险	29
2.3.1 生态与环境风险分析研究的发展历程	29
2.3.2 水利工程生态与环境风险分析	31

第3章 库区防护风险与库岸失稳防治	40
3.1 水库蓄水风险及库区防护措施	40
3.2 水库的淹没风险及防控措施	41
3.2.1 水库的淹没防控措施	41
3.2.2 防护工程	43
3.3 防护区的排洪措施	48
3.3.1 排洪渠渠线的布置	48
3.3.2 排洪渠道的断面	49
3.4 防浸没的措施	49
3.4.1 填高地面	49
3.4.2 排水措施	49
3.4.3 抽水站	54
3.5 岩质库岸失稳的防治	58
3.6 非岩质库岸失稳的防治	60
3.7 库岸失稳的预测	63
3.7.1 库岸失稳预测方法	63
3.7.2 滑坡引起的涌浪	64
第4章 水库泥沙淤积风险及防沙措施	68
4.1 水库的泥沙淤积及其影响	68
4.2 水库泥沙的淤积和冲刷	69
4.2.1 水库泥沙的淤积类型	69
4.2.2 壅水淤积形态	70
4.2.3 水库的冲刷	74
4.3 水库来沙量的估算	75
4.3.1 影响水库泥沙来量的因素	75
4.3.2 入库悬移质年沙量的估算	76
4.3.3 推移质输沙量的估算	78
4.4 水库淤积计算	79
4.4.1 水库回水曲线的计算	79
4.4.2 水库壅水淤积计算的有限差分法	84
4.4.3 水库壅水淤积计算的三角洲法	85
4.4.4 多年平均淤积量的估算	87
4.4.5 水库淤积年限的计算	88

4.5	防治水库淤积的措施	89
4.5.1	减少泥沙入库的措施	89
4.5.2	减少水库淤积的措施	90
4.5.3	清除水库淤沙的措施	91
4.6	水库的滞洪排沙	94
4.6.1	水库的运用方式	94
4.6.2	滞洪排沙泄量的选择	94
4.6.3	滞洪排沙期间淤积量计算	94
4.6.4	浑水水库及其特点	95
4.6.5	浑水水库滞洪排沙计算	96
4.7	水库的异重流排沙	98
4.7.1	异重流现象	98
4.7.2	异重流的运动特点	100
4.7.3	异重流排沙计算	103
第5章	水利工程的冻害风险与防治	108
5.1	水利工程的冻胀破坏与防治	108
5.1.1	水利工程冻胀破坏机理	108
5.1.2	水利工程冻胀破坏现象	110
5.1.3	水利工程冻胀破坏防治	113
5.2	水利工程的冻融破坏与防治	118
5.2.1	混凝土冻融破坏的机理	118
5.2.2	混凝土冻融破坏的特征	119
5.2.3	影响混凝土抗冻性的主要因素	119
5.2.4	提高混凝土抗冻性的措施	120
5.3	水利工程的冰冻破坏与防治	121
5.3.1	水库建筑物的冰冻破坏	121
5.3.2	冰冻破坏防治方法	122
第6章	水利工程老化风险与检测评估	123
6.1	水利工程的安全检测	124
6.1.1	水工建筑物的历史与现状调查	124
6.1.2	回弹法推定混凝土的强度	127
6.1.3	混凝土的老化病害检测	130
6.2	水利工程的老化病害评估	139
6.2.1	水工建筑物老化病害评估的目的	139

6.2.2	水工建筑物老化病害评估的原则	140
6.2.3	水工建筑物老化病害评估方法综述	140
6.3	老化评估的层次分析法	144
6.3.1	层次结构	145
6.3.2	相对重要性的比例标度和判断矩阵	148
6.3.3	判断矩阵的一致性检验	151
6.3.4	准则指标的确定	153
6.3.5	层次分析法的步骤	153
6.4	老化评估的可靠度评定法	154
6.4.1	结构可靠度分析的若干基本概念	154
6.4.2	结构可靠度计算的一次二阶矩法	157
第7章	水利工程安全管理信息化	160
7.1	水利信息化概述	160
7.1.1	信息化与水利信息化	160
7.1.2	水利信息化的意义和作用	162
7.2	水利信息化基本内容	164
7.2.1	水利信息化基本概念与分类	164
7.2.2	水利工程信息化结构	166
7.3	水利信息化实例	175
7.3.1	水雨情采集系统	175
7.3.2	水库大坝安全监测信息系统	181
7.3.3	闸门自动监控系统	187
7.3.4	视频监控视系统	192
第8章	水库的洪灾风险和防汛管理	195
8.1	水库的防洪调度	195
8.1.1	水库调度的意义	195
8.1.2	水库的洪水调节计算	195
8.1.3	水库防洪调度方案的编制	198
8.2	水库群的防洪调度	203
8.2.1	梯级(串联)水库的防洪标准	203
8.2.2	梯级水库的设计洪水	204
8.2.3	梯级水库防洪库容的分配	204
8.2.4	梯级水库的防洪调度原则	205
8.2.5	梯级水库的洪水调度方式	205

8.3 水库的防汛抢险	206
8.3.1 汛前准备与抢险的基本工作	206
8.3.2 土坝超标准洪水抢险	207
8.3.3 土坝漏洞抢险	210
8.3.4 土坝塌坑抢险	214
8.3.5 土坝滑坡抢险	215
8.3.6 溢洪与输水建筑物险情抢护	222
8.3.7 堤坝险情及抢护	223
8.3.8 涵闸及穿堤管道的抢护	226
8.3.9 堤坝决口的抢护	230
8.4 水库的兴利控制运用	232
8.4.1 水库来水量估算	232
8.4.2 水库供水量估算	232
8.4.3 水库损失水量计算	233
8.4.4 水库兴利调节计算	233
8.4.5 综合利用水库的调度原则	234
参考文献	235

第 1 章 绪 论

水是生命之源，是人类生产和生活必不可少的宝贵资源，但其在大自然中的存在形式与状态并不完全符合人类的需要。只有兴建水利工程，才能有效控制水流，防止洪涝灾害，并进行水量的调节和分配，以满足人们生活和生产对水资源的需要。水利工程是用于控制和调配自然界的地表水与地下水，达到除水害、兴水利目的而修建的工程。现代水利工程项目普遍具有工程规模大、投资额度大、建设工期长、结构复杂和影响因素多等特点，这些就决定了其在建设与运行过程中存在各种风险，而这种风险的发生往往会造成生命财产的损失与损害。因此，进行水利工程风险与管理的研究是保证水利工程正常运行和发挥效益的关键。

1.1 水利工程风险的基本概念

风险的概念诞生于 19 世纪末的西方经济学领域，现已广泛应用于经济学、社会学、建筑工程学、环境学科和自然灾害等领域（石青梅等，2008）。风险的基本含义为生产目的与劳动成果之间的不确定性，即收益的不确定性与成本或代价的不确定性。风险事件的发生往往导致具有损失的后果。

1.1.1 风险的属性

1. 自然属性

自然界中的不规则运动，如地震、洪水及泥石流等，是从人类出现以来所面临的自然风险。它们虽然遵循一定的运动规律，但是由于人类对其认识和了解很少，因此认为这些风险的发生是不规则的，且难以准确预测。此外，自然界中这些不规则运动的破坏力是极其巨大的，人类即使认识了它，也无法采取措施对其完全控制，这就构成了风险的自然属性。

2. 社会属性

人类对土地、矿产、森林及淡水等资源的过度开发，对有害废物的处置、堆弃不合理，以及不合理工程与生产活动的日益增多，致使地球的生态环境日益恶化，风险事件不断增多，如水污染风险、洪灾风险等，其危害日趋严重。此外，风险的社会属性还体现在风险的结果由整个社会承担。

3. 经济属性

风险事件会造成人员伤亡和国家、社会与个人的财产损失，必然对社会经济造成破坏，这就是风险的经济属性。

1.1.2 风险的特征

1. 客观性

风险在自然和社会领域中是不可避免的，如地震、台风、洪水和意外事故等，它们都独立于人的意志而客观存在着，这是由风险事件内部因素的客观规律所决定的。

2. 普遍性

宇宙万物相互影响、相互联系和相互制约，其形态瞬息万变，关系错综复杂。人们置身于这种不确定的自然环境和社会环境中，必然面临着各种各样的风险。风险普遍存在于自然、社会、经济和文化等的发展中。

3. 随机性

风险虽然客观存在，但由于任何风险事件的发生是诸多风险因素和其他因素共同作用的结果，每一个因素的作用时间、地点、方向、顺序和强度等都必须满足一定的条件才能导致风险事件的发生，而每一个因素的出现，其本身就是偶然的，因此某一件具体风险事件的发生是随机的。风险发生的随机性意味着风险在时间上具有突发性，在后果上往往具有灾难性。

4. 规律性

虽然个别风险事件的发生是随机的、无序的，但是通过对大量风险事件的观察和综合分析表明，风险事件又呈现出明显的规律性。因此，在一定条件下，对大量独立的风险事件进行统计处理与分析，其结果可以比较准确地反映风险的规律性。大量风险事件发生的规律性，使人们可以利用概率论和数理统计方法来计算风险事件的发生概率与损失，并对风险实施有意识的监测防范与控制。

5. 动态性

风险的动态性是指在一定条件下，风险可以变化的特性。相互联系的各类事物不断发展变化，这就决定了风险是不断发展变化的。随着科技的进步和社会的发展，一方面，人们面临的风险越来越多；而另一方面，人们认识和抗御风险的能力也在逐渐加强。

1.1.3 水利工程风险的特点

19 世纪 70 年代, Yen 等 (1971) 首先论证了风险分析在水系统的可行性, 自此之后风险这一概念便大量引入水库、大坝及堤防等水利工程系统, 并在范围更广的水文水资源与水环境系统中逐渐推广应用。水利工程风险是指水利工程在建设和运行的各个阶段存在的可能结果与预定目标之间的差异, 或者是发生的实际结果偏离预期有利结果的可能性 (李芬花, 2011)。这种差异或者可能性往往造成生命财产的损失或损伤, 对水利工程的正常运行是不利的, 也是工程建设者、决策者和管理者不愿意看到的。

水利工程风险具有以下特点 (胡德秀, 2001)。

1. 风险的客观性和普遍性

在水利水电工程中, 风险指的是工程损失的不确定性, 这种不确定性是客观存在的, 不以人的意志为转移。任何水利水电工程都会存在各种各样的风险问题。在工程的全寿命周期中, 风险是普遍存在的, 没有不存在风险的工程。由于水利工程项目的工期一般较长, 不确定的因素较多, 特别对于一些大型的工程, 人为或者自然的原因导致的工程风险交替发生, 这就造成风险和损失频繁发生。而且所处的市场是有很大变数的, 很多发包人一般签订固定总价的合同, 并且一般在合同中都会有“遇到政策及文件不再调整”条款, 其实意图很简单, 就是他们担心因为政策的变化等一些外力的介入会妨碍其利益的获得, 特别是担心国家或省级、行业建设主管部门或其他授权的工程造价管理机构发布工程造价调整文件, 从而带来风险浮动的市场价格与固定的合同价格之间的矛盾, 这样利润风险就自然会产生。再者, 现在的很多工程项目的特点是参与方多、投入的资金巨大、资金链较长、工作监管难以到位、质量水平参差不齐、工期长、市场价格变化多端、环境接口复杂, 存在着这么多的不确定性因素, 在项目工程实施过程中可以说是危机重重。

2. 风险的随机性和偶然性

由于水利水电工程规模大、建设周期长、涉及范围广泛, 因此影响水利水电工程风险产生的因素是多种多样的, 各种风险的产生具有随机性和偶然性。但是对于普遍风险, 可以通过概率统计方法分析其发生的规律。

3. 风险的可变性

在整个水利水电工程中, 风险的量和性质会随着工程的进行呈现不断变化的趋势。某一风险不能一直存在, 一成不变。在一些已经发生的风险得到控制的同时