



- 高等学校水利学科教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水文水资源系统 风险分析

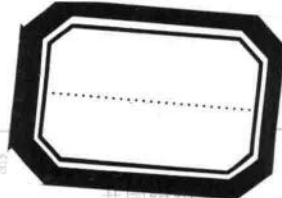
黄振平 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



- 高等学校水利学科教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社



普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水文水资源系统 风险分析

黄振平 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了水文水资源系统风险分析的基础理论和基本方法。内容由五部分构成,共分为7章。第一部分为基本概念,主要介绍风险的定义、性质及分类;第二部分为风险分析的概率统计基础,这是为不具备这方面知识的读者准备的;第三部分为传统风险分析的内容和方法以及在水文水资源研究和实践中的应用,主要包括风险识别、风险估计及风险评价;第四部分为风险决策,简要介绍决策的基本理论和方法;第五部分主要介绍综合应用风险分析方法进行洪水灾害风险评估的重要研究成果。全书概念清晰,表述清楚,语言流畅,深入浅出。

本书可作为水文与水资源工程专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供水利水电工程、农业水土工程、地理科学以及环境与安全等相关专业或学科的师生、科学工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水资源系统风险分析 / 黄振平编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2013. 12

普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材

ISBN 978-7-5170-1469-0

I. ①水… II. ①黄… III. ①水文系统—水文分析—风险分析—高等学校—教材②水资源—系统风险—风险分析—高等学校—教材 IV. ①P333②TV211.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第288244号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材 水文水资源系统风险分析
作 者	黄振平 编著
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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	25.00 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

随着科学技术和人类社会的进步，人们在生产生活中对安全可靠的要求越来越高。然而，由于客观世界的复杂性和人类认识能力的限制，人们的各种社会活动都不可避免地要受到诸多不确定因素的影响，从而存在不利于实现预期目标的风险。为了避免失败，确保成功，风险分析已成为各种社会活动可行性研究和运营管理中一项不可或缺的内容。在国际上，风险分析已形成一门独立的学科。在国内，也日益受到各领域学者和工程技术人员的重视，为适应社会实际需求，许多高等院校也相继开设了相关课程。

水文现象是高度复杂的自然现象，在水资源开发利用中，存在许多不确定性因素。“水能载舟，亦能覆舟”。在水资源开发利用中，进行风险分析和评价，认识水资源开发中的利弊得失，对减轻不利影响以发挥最大效益是十分重要的。

河海大学从1999年起为水文专业开设了风险分析课程，迫切需要一本适合本专业的教材。虽然近年来风险分析的研究和应用取得了不少进展，国内外学者发表了许多有关风险分析的论文，但多为偏重于某一专业的论著，缺少一本比较全面、系统的关于风险分析的理论著作。特别是结合风险在水资源分析中的应用，并适合教学特点出版的教材还没有见到，极大地影响教学质量 and 效果。为了弥补这一缺陷，作者根据多年教学经验，结合近年来国内外在水文水资源系统分析中应用风险理论的研究进展，在以往作者自编教学讲义基础上，编写了本书，以期能解决教学的燃眉之急。

这门学科还很年轻，尚未形成完整的理论体系，它又是一门跨多学科的边缘学科，涉及的面比较广，现有的风险理论著作大都与相关专业结合得十分紧密。作者在本书中所追求的是：尽可能结合水文水资源系统，对风险分析的理论和方法进行全面、系统的阐述。

本书共7章，可概括为五个部分：第一部分为风险的基本概念。第二部分为概率统计基础知识，这是为不具备这方面知识的读者准备的。第三部分为风险分析的一般理论和方法，包括风险识别、风险估计和风险评价等。这些

知识为读者提供了风险分析的一般框架，在这一部分中还着重介绍了风险分析在水文水资源系统分析中的应用。第四部分为风险决策理论，主要介绍风险决策的一般理论和方法。第五部分为本书的总结，介绍了综合应用风险分析方法进行洪水灾害风险评估的重要研究成果。

本教材中引用或参考了许多学者的研究成果，在此特对相关作者们表示感谢。

十分感谢河海大学水文水资源学院党委书记、博士生导师陈元芳教授对本书编写出版给予的大力支持和帮助！

衷心感谢南京大学许有鹏教授、王栋教授，合肥工业大学金菊良教授，南京水利科学研究院王银堂教授，河海大学芮孝芳教授、陈元芳教授、梁忠民教授。他们审阅了本书原稿，并提出了许多宝贵意见。

由于本人水平所限，错误在所难免，敬请读者不吝赐教，以求改进。

作者

2013年8月

于河海大学

目 录

前言

第 1 章 风险分析概述	1
1.1 风险的概念	1
1.2 风险的特性与分类	4
1.3 水资源系统的可靠性与风险	8
1.4 模糊风险	10
1.5 水文水资源系统风险分析的主要内容	18
第 2 章 风险分析的概率统计基础	20
2.1 事件与概率	20
2.2 随机变量与概率分布	24
2.3 多元随机变量及其分布	26
2.4 随机变量的数字特征	29
2.5 风险分析中常用的概率分布	31
2.6 参数估计	37
2.7 概率分布的选择与检验	40
第 3 章 风险识别	44
3.1 概述	44
3.2 逻辑分析法	45
3.3 专家调查法	48
3.4 幕景分析法	50
3.5 挡水建筑物的失事风险识别	51
第 4 章 风险估计	57
4.1 风险估计的含义与内容	57
4.2 风险事件发生概率的客观估计	58
4.3 风险事件发生概率的主观估计法	63
4.4 外推法	66
4.5 风险损失的估计	67
4.6 常用的风险计算方法	69

4.7	水库大坝的失事风险估计	85
4.8	水文水资源分析中的风险估计问题	90
第5章	风险评价	107
5.1	风险评价的含义与作用	107
5.2	风险评价的指标	108
5.3	风险矩阵法	111
5.4	层次分析法	114
5.5	模糊评价法	122
第6章	风险决策	129
6.1	基本概念	129
6.2	不确定型决策	132
6.3	风险型决策	133
6.4	效用理论及其在风险决策中的应用	141
6.5	贝叶斯决策	145
第7章	洪水灾害风险评估	150
7.1	洪水灾害与洪灾风险	150
7.2	洪水灾害风险评估的系统理论	153
7.3	洪水灾害风险评估的指标体系	156
7.4	洪水灾害危险性分析	158
7.5	洪灾承灾体易损性分析	163
7.6	洪水灾害灾情评价方法	168
参考文献		183

第1章 风险分析概述

1.1 风险的概念

1.1.1 风险与危险

危险与风险是人们非常熟悉并经常使用的两个词。当人们从事某项活动时，如果活动过程中，或活动结果存在可能导致人员伤亡或经济损失的事件时，人们就认为此项活动有风险。俗话说：“天有不测风云，人有旦夕祸福”。从日常生活，到复杂的社会经济活动；从生产实践到科学研究，人们几乎事事处处都面临着各式各样的风险。如自然灾害、交通事故、疾病、偷盗、诈骗、战乱、意外伤害、债务，等等。因此可以说，风险无时不在，风险无处不有。这就提醒人们，要有风险意识，提高警惕，防患于未然。

人们之所以要防范风险，是因为风险一旦变成现实，就会引起不幸事故，造成生命财产损失，严重的还可能引起社会动乱，破坏社会秩序。因此可以说，任何风险都具有一定的危害性。

尽管风险是一种不利因素，但在许多情况下，人们还是乐于从事各种有风险的活动。“股市有风险、入市须谨慎”，这是人所皆知的道理，但是炒股的人还是很多，几乎遍及社会的各个阶层。为什么“明知山有虎”，股民们还是“偏向虎山行”呢？这是因为炒股虽有亏损的风险，但若经营得当，就有可能获得巨额利润。这说明，风险虽会带来灾害，但也可能带来机会。所以人们常说“风险与机会并存”就是这个道理。事实上，世上不存在没有风险的事业。俗话说“不入虎穴，焉得虎子”？不想冒任何风险而获得成功是不可能的。

风险与危险是密不可分的两个概念，危险是风险的前提，没有危险就没有风险，但它们又是有区别的。所谓危险，是事物处于不安全状态，在这种状态下，有可能导致某种破坏性事故发生，从而造成人员伤亡或经济损失。此时，我们就称该事物是危险事物，也称为危险事件或不利事件。危险只是对事物所处状态的一种描述，处于危险状态的事物有可能酿成事故，但又不是一定会转化为事故，危险事物酿成事故的可能性称为该事物的危险性。通常用概率表示。

危险事件的存在，它爆发为事故的可能性有多大？以及它所造成的损失如何？都是不确定的，这种不确定性就是广义上的风险。

1.1.2 风险与不确定性

不确定性也是与风险密切相关的概念。但至今对不确定性也还没有一个明确的定义。一般认为，如果人们对某事物发展的未来状态难以预测，就认为该事物具有不确定性。

根据不确定性的本质，不确定性可分为主观不确定性和客观不确定性两类。

主观不确定性是由于人们认知能力或所获得的信息量的限制，从而不能确知事物未来的发展方向，导致对客观事物的判断偏离实际情况。这种不确定性反映了人们对事物发展进程的怀疑心理。

如果事物在发展进程中的每一时刻都有可能处于多种可能状态中的任意一种状态，而处于某种状态完全是偶然的，因而不能事先确知其未来的运动轨迹，这时就说该事物的运动和发展具有不确定性。这种不确定性是客观事物本身所具有的特征，因此称为客观不确定性。它与人们的主观意志无关。

按照人们对事物发展信息掌握的程度，及不确定性本身的特征，客观不确定性又可分为随机不确定性和模糊不确定性等多种类型。

如果确知事物在发展进程中任一时刻所处的全部可能状态，并且还知道它处于任一状态的概率，亦即知道该事物所处状态的概率分布，则称此类不确定性为随机不确定性。也有学者称之为可测定的不确定性。

模糊不确定性表现在事物本身的概念不明确，事物所处的各种可能状态之间没有明确的界限。例如，雨量偏多，正常，偏少之间，很难用一个雨量值来划分；又如，流域自然地理条件的“相似”与“不相似”，也不可能有一个明确的界定标准。另外，如果对事物所处的可能状态不明确，或虽然能明确，但不知道它的概率分布，甚至根本无法用概率来描述事物处于各种状态的可能性，这类情况也属于模糊不确定性。有学者把这类不确定性称为“不可测定的不确定性”，并认为这才是真正的不确定性。

前面已指出，危险是风险的前提，但危险事件的存在只是构成风险的必要条件，如果危险事件爆发的时间、强度及其后果都能准确预知，也就没有风险了。恰恰是由于危险事件爆发的时间、强度及其后果都具有不确定性，所以才有风险，因此，可以说，不确定性是风险存在的充分条件。

1.1.3 风险的定义

风险存在于人类的各种活动中，人类为了生存和发展，一方面，要时刻防范风险可能引起的伤害；另一方面，为了获得收益，人们又乐于冒一定程度的风险，去从事各种事业。从某种意义上说，人类的文明，就是在不断与风险的斗争中发展起来的。

人们通过自己的实践，在心目中自觉或不自觉地形成了风险意识。因为人们总是根据自己所面临的具体问题去理解和描述风险的，对每一个人而言，要问风险的含义究竟是什么？就会有許多不同的说法，而且常常很难说得清楚，实际上，风险本身确实还是一个比较模糊的概念，很难说明它的确切含义。因此，至今尚未有一个公认的统一定义。不同学者，基于不同研究领域，从不同角度出发，对风险有着不同的定义。常见的有：

- (1) 风险是损失的可能性。
- (2) 风险是导致损失的不确定性。
- (3) 风险是潜在的损失。
- (4) 风险是潜在损失的变化范围和幅度。
- (5) 风险是可测定的不确定性。

(6) 风险是发生不幸事件的概率。

(7) 风险是对某一事件不可预想后果的认识。

(8) 风险是在给定情况下和特定时间内, 各种可能结果间的差异。

风险定义虽然不统一, 但综合这些说法, 可以看到, 风险的大小与不利事件发生的概率及其后果有关, 因此, 目前普遍认为, 风险是不利事件发生概率 P_f 和风险损失程度 V 的函数, 即

$$R = f(P_f, V) \quad (1-1)$$

式中: R 为风险。

1.1.4 风险构成要素

为了进一步理解风险的含义, 还必须弄清风险的构成要素。构成风险的基本要素有风险因素、风险事件和风险损失三个方面。

1. 风险因素

风险因素是指能导致故障事故或灾害发生, 或影响发生频率和损失大小的因素, 风险因素又称为致险因子或致灾因子。风险因素是事故发生的潜在条件, 是造成损失的间接的和内在的原因。例如, 区域气象条件, 地形特征, 堤坝隐患等是导致水灾风险的因素。

风险因素可分为物的因素和人的因素。

物的因素也称为实质性因素, 是一种有形因素。它是指能引起或增加事故发生机会和损失严重程度的物质条件。例如堤坝存在管涌、裂缝; 仓库存放易燃易爆物品, 等等。

人的因素是一种无形因素, 又可分为道德因素和心理因素。

道德因素是与人的品质有关的因素。常表现为不良企图或恶意行为。例如, 造假, 破坏、欺诈、抢劫等。

心理因素是由人们心理状态方面的原因, 而导致增加事故发生机会和扩大损失程度的因素。例如, 违章作业, 粗心大意, 责任心不强等。

道德因素强调的是人的主观故意, 是犯罪; 而心理因素强调的是主观无意, 基本属于过失。

2. 风险事件

风险事件是由致险因子导致的故障、事故或灾害等事件。它是客观存在的造成损失的直接原因和条件。风险事件一旦爆发, 潜在的损失就转化为现实损失。因此, 风险事件是损失的媒介。例如, 水灾会造成巨大人员伤亡和经济损失。因此, 水灾就是风险事件, 管涌或裂缝可引起大坝溃决, 管涌或裂缝是风险因素, 溃坝则是风险事件。

3. 风险损失

风险损失是风险事件导致的后果, 是风险承受者利益的减少。这种损失又分为直接损失和间接损失。直接损失是与风险事件直接接触而产生的损失。例如水灾发生时, 被水冲毁或淹没的生产生活设施和人员伤亡等损失。间接损失是由于人们的生活和生产链被风险事件中断而影响正常运行所造成的损失。例如, 交通运输系统被水灾中断, 阻断了物资运输, 继而使与之相关的企业不能正常运营而造成的损失。

风险因素引起风险事件, 风险事件导致风险损失, 三者密切相关, 并作为一个整体,

构成了风险。如图 1-1 所示。

1.1.5 风险分析的内容与目的

风险是人类各种社会经济活动都必然面临的问题，人们为了安全可靠地实现自己的活动目标，就要与风险作斗争，尽量减少风险的不利影响，在长期实践的基础上，逐步发展起了一门新兴的学科——风险管理。

不过，由于社会经济活动的多样性和复杂性，不同领域，不同角度，对风险管理的理解并不统一。简而言之，风险管理是一门研究风险形成和发展规律及风险处理技术的学科。其基本含义，从广义角度看，它是社会经济活动的管理者通过对风险的分析，全面掌握其所面临风险的特征，并在此基础上采取各种合理的管理技术手段，对风险实施有效处置并妥善处理风险所致的后果，力求以最小的成本，保证安全可靠地完成该项活动的总目标。

广义的风险管理是一个由多项具体内容相互衔接且相互渗透的连续过程，它贯穿于每项社会经济活动的始终。实践中，常把上述风险管理分为风险分析和（狭义）风险管理两个阶段。

风险分析主要是针对某一社会经济活动或科学研究项目，研究可能遭遇何种不利事件，并分析该不利事件发生的可能性及其后果程度的过程，也有学者称这一过程为风险评估。本书中也常使用这一名词。基本内容有：风险识别、风险估计和风险评价。

风险识别是风险分析和风险管理的第一步。其目的是对活动项目所面临的风险因素进行诊断、分析、判断和归类。

风险估计是在风险识别的基础上，对查出的风险因素进行量化分析，以便估计和预测风险事件发生的可能性和相应损失的大小。

风险评价是在风险识别和风险估计的基础上，综合考虑风险事件发生的概率，损失大小及其他因素后，对各类风险的大小等级作出评估，为风险管理的轻重缓急，资金分配等提供依据。

风险管理的第二阶段也称为狭义风险管理，其主要内容有：风险处置和风险监控。

风险处置是根据风险分析的结果，选择合理的技术措施，以避免、消除或减少风险事件发生的机会及降低风险事件的不利影响。

风险监控是对已识别出的风险进行跟踪、监视，并识别新的风险因素，以利根据风险的发展变化情况，适时调整和完善各项处置措施，提高风险管理的有效性。

由以上分析可知，风险分析的目的，一是为决策者提供选择行动方案的依据；二是活动项目管理者可根据风险分析的结果采取相应措施对风险实施有效管理，保证活动目标得以安全可靠地完成，或以最少的成本使风险损失降到最低程度。

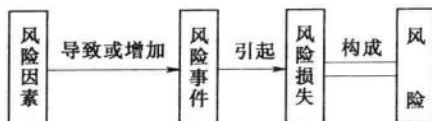


图 1-1 风险要素及其相互关系

1.2 风险的特性与分类

1.2.1 风险的特性

风险存在于自然界和人类社会活动中，它对人类的影响与其独特的性质有关，正确分

析和认识这些特性，有助于我们分析其造成损害的可能性及其程度。风险的主要特性有以下7个方面。

1. 风险的客观性

无论是自然灾害，还是人类现实生活中各种矛盾和冲突，都是不以人们意志为转移的客观存在，风险存在其中，人们无法回避，也不能完全消除，只能通过各种技术手段来应对，尽可能减少它的危害性。

2. 风险的隶属性

所谓隶属性，是指凡风险都有其明确的行为主体（即承受者），且存在于某一目标明确的行动中。例如，股市风险存在股票交易中，股民买卖股票时，就要承担赔钱的风险；市场风险存在于各种商业活动中，商人要承担亏本的风险。我们说风险的客观性是说风险是独立于人们主观意识之外的现象，而不是说它可以脱离任何行为主体而独立存在。即使来自纯自然灾害的风险，虽然不是人类有目的的行动造成的，但也有明确的承受者。例如，地震风险的承受者是生活在其波及范围内的人群；海啸只威胁到活动于沿海地区的人群；洪水使淹没地区人民的生命财产受到损害，等等。如果像地震、泥石流等发生在对人类生活没有丝毫影响的无人区，那就构不成灾害，只能看作为是一种自然现象，也就没有风险可言了。

3. 风险的潜在性

所谓潜在性是说：风险是存在于目前正在进行的活动，或将要进行的活动中的尚未发生但可能发生也可能不发生的事件。对于已结束了的活动，后果已成定局，不可改变，因此也就没有风险了。这里所说的潜在性包括风险事件的潜在性和风险损失的潜在性。风险因素是真实存在的东西，正是由于它的存在才有风险，风险事件的潜在性指的是风险事件存在随时爆发的可能性。而风险损失的潜在性是说在风险事件未爆发时，它只是人们预估的，可能产生的损失，而不是实际损失。如果风险事件真的发生了，则预估的损失就成了现实，从而风险已被释放，结果就不再构成风险了。

4. 风险的危害性

风险的危害性是指风险可给人类带来伤害和损失。风险危害性的表现，在风险事件爆发前和风险事件爆发后不完全相同。在风险的潜在期间，一方面，人们会为风险是否爆发，何时爆发而担忧，造成人们心理恐慌和精神不安，甚至由此可能导致选择非理性的行为；另一方面，人们为了降低风险，就要增加投入，从而会增加人力和财力的负担。风险事件爆发后，风险的潜在危害性变成实际伤害，人们的生命财产受直接或间接的损失。

5. 风险的不确定性

风险事件是否爆发？何时爆发？强度多大？后果如何？都是不能事先确定的。正是由于存在不确定性，风险才有危害性，如果不存在这类不确定性，人们就可以对各种隐患作出准确预测，并采取有效技术措施予以消除，也就不存在风险了。

6. 风险的相对性

风险总是隶属于一定活动主体的。同样的风险，对不同的活动主体有不同的影响，因此，对风险的感受也不同。人们对风险都有一定的承受能力，而承受能力的大小取决于各人的心理素质、知识水平和所拥有资源的多少。例如，买卖某只股票存在亏损5万元的风

险,对资金雄厚的大户而言,可能算不了什么,可是对资金有限的散户来说,可能是很严重的问题了。

7. 风险的可变性

风险因素的存在是风险发生的前提条件,是产生风险的內因,但风险因素是否爆发成风险事件,则与影响风险事件爆发的外部条件密切相关。按照辩证唯物主义观点,任何事件和矛盾总是不断发展变化的,当影响风险事件转化的各种条件发生变化时,风险亦必然发生变化。随着人类社会的进步和科学技术的发展,人类认识和抵御风险的能力也不断增强,人们可以通过控制和改变风险事件爆发的条件,在一定程度上降低风险事件发生的概率,或采用减灾措施减少风险的损失和损害。也可以通过提高风险管理水平,强化安全制度,降低风险事件爆发的可能性。例如,我国淮河流域是历史上严重水旱灾害多发地区,1949年新中国建立后,国家进行了大规模整治,修建了许多大中型水库,加高加固了堤防,开挖了排水入海渠道,大大降低了水旱灾害的风险。

但是,随着社会的进步和科学技术的发展,旧的风险消失或降低了,又会出现新的风险,还是以淮河整治为例,经过整治,降低了淮河河水泛滥和因排水不畅而产生内涝的风险,但加高堤防和修建水库,提高了水位,增加了水的势能,从而又产生了堤坝溃决的风险。

1.2.2 风险的分类

风险的性质、形态、成因及损失的状态是多种多样的,根据其不同特点,对风险进行分类,有助于深入、全面地认识风险,并制订有针对性的风险管理措施。

不同领域对风险有不同的理解,研究风险的目的也不完全一样,分类的标准和着眼点也就不同了。归结起来,主要有以下几种风险分类方案。

1. 按风险来源分类

按风险的来源,可将风险分为自然风险和人为风险。

(1) 自然风险是指由自然界存在的,可能危及人类生命财产安全的危险因素所引起的风险。如干旱、洪水、风暴、地震、泥石流、海啸、雪崩、病毒、病菌等自然灾害风险。

(2) 人为风险是由人的活动导致的风险。人为风险又可分为行为风险,经济风险、技术风险、政治风险和组织风险等。

1) 行为风险是指由个人或组织的错误、过失或品质等不良行为造成人们生命财产损失的风险。

2) 经济风险是指人们在从事经济活动时,由于自身或外界的不利因素,如经营管理不善,决策失误、社会政治动荡等导致经济损失的风险。

3) 技术风险包含两层意义,一是由新技术出现而产生的新风险,例如,核燃料的出现,产生了核辐射的风险;计算机的出现,产生了计算机病毒风险和遭受黑客攻击的风险;新化工产品大量涌现,产生了环境污染的风险等等。二是由于技术不成熟,不完整,或使用不当而导致各种故障或事故的风险。

4) 政治风险是指由国内外政治行为所导致的风险。如政局变化、战争、社会动乱、民族矛盾、宗教冲突等造成财产损毁和人员伤亡的风险。

5) 组织风险是指由各组织之间工作不协调, 意见不统一而产生的风险。在现代社会中, 社会经济活动的组织形成非常复杂, 常常涉及到多个部门或团体。由于各参与者的动机和目标不一致, 利益相矛盾, 各职能部门的职责不明确甚至意见分歧, 以致对有关事业长期不能作出决策, 严重地影响事业的进展。

2. 按风险后果分类

按风险的不同后果, 可将风险分为纯粹风险和投机风险两类。

(1) 纯粹风险也称为静态风险或普通风险。它是一种只会造成损失, 而不存在获利机会的风险。如自然灾害, 一旦发生, 就会导致重大社会经济损失或人员伤亡; 如果不发生, 只是不造成损失而已, 没有人从中得到额外好处。

(2) 投机风险是指既可造成损失, 也可能带来机会、获得额外收益的风险。例如, 企业开发新产品, 如果成功, 企业可获得巨额利润, 使企业发展壮大; 如果失败, 开发成本就无法收回, 造成人力财力的损失。

纯粹风险和投机风险还有一个重要的区别是, 纯粹风险重复出现的可能性较大, 表现出一定的规律性, 因而有可能较成功地预测, 从而相对容易采取防范措施。而投机风险的出现没有规律, 重复出现的可能性很小, 真可谓“机不可失, 时不再来”, 因而很难预测。

3. 按损害对象分类

按损害对象, 风险可分为人身风险、财产风险和环境风险。

人身风险是指造成人员死亡, 残疾, 疾病及精神损害的风险。由于所有风险的损失最终都要由人来承受, 因此, 从某种意义上讲, 所有风险的损害对象都是人。

财产风险是指造成财产损失的风险。

环境风险是指使环境破坏的风险。如空气、水、土地受到污染, 危及动植物生存等的风险。

4. 按风险主体的承受能力分类

所谓承受能力是指承受风险损失的能力, 按风险主体承受能力的大小, 可将风险分为可接受风险与不可接受风险。

一般说, 无论个人, 团体或是社会, 对风险都有一定的承受能力。但由于个体素质, 经济水平等的差异, 不同群体对风险的承受能力不同, 每个群体对最大损失的承受能力都有一定限度, 损失低于这个限度的风险称为可接受风险, 超过这一限度的风险称为不可接受风险。

5. 按风险的可控程度分类

按风险是否可控制, 可将风险分为可控风险与不可控风险。

可控风险是指可以预测, 并可采取相应措施在一定程度上控制或部分控制的风险。

不可控风险是指靠当前的科学技术水平人们还无力对之进行预测, 预防和控制的危险。

风险是否可控, 主要取决于人们对风险不确定性的了解和掌握程度, 人们对风险的变化规律了解愈多, 风险的不确定性就愈少, 可控性就愈强。

除上述分类外, 不同专业领域还有各自的分类。例如, 商业部门有市场风险, 供货风

险、销售风险等；工程领域有决策风险，原材料风险，合同风险，进度风险等；金融部门有信贷风险，利率风险，汇率风险等。

1.3 水资源系统的可靠性与风险

1.3.1 水资源系统的不确定性

在水资源系统管理和决策过程中，人们常常涉及到许多不确定性，归纳起来主要有两类：

一类是由系统的输入、输出、系统的结构和运行状态、系统所处环境等决定的固有不确定性。这类不确定性是客观存在的，与人们的主观意志无关。其中包括：

1. 水文气象不确定性

各种水文水资源的自然或工程系统无不涉及各种水文气象因素，如降水的时空分布、降水及径流的统计性质、流域的产汇流机制、洪水的形态、历时、峰量关系、洪水波的传播、河川水位～流量关系、水库的水位～库容关系、汛前库水位、水库调度方式、需水量的变化等。这些水文变量都存在显著的随机不确定性和模糊不确定性。

2. 水力不确定性

在水资源工程的水力学计算中，各种水力学参数，如曼宁糙率、河水流态、流速分布等，都是不断变化的，都存在不确定性。

3. 土壤、地质不确定性

包括土壤结构、渗透特性、沉降状况，以及各种土力学物理量的不确定性和地质构造、地震情况（强度、裂度、震源、地震引起的波浪）的不确定性。

4. 结构和技术参数的不确定性

结构和技术参数的不确定性是指水工建筑物结构设计和工程材料的技术参数与理论数值间偏差的不确定性。

5. 失事后果的不确定性

水资源系统的失事后果是很复杂的。尤其是生态环境的恶化和对人的精神健康的伤害往往是潜在的，长期的，其后果很难预料。

另一类不确定性是由人的主观因素造成的，主要包括：

1. 模型的不确定性

为了科学研究和生产实际的需要，人们常常要构造各种模型去描述水资源系统的工作机理。然而，由于系统原型的未知性和复杂性，受认识水平和技术水平的限制，必须进行简化。因此，所构造的模型只是对原型一种近似。它们之间的偏差是不确定的。

2. 技术的不确定性

由于技术不成熟、操作不当，工作不协调等造成的不确定性；在水文计算中，由于资料质量（样本的代表性，样本容量很小等）和计算方法等的不同，使得计算结果存在显著不确定性。

3. 损失评估的不确定性

水资源系统失事造成的损失很复杂, 很难准确估计损失的程度, 尤其是生态环境损失和人的生命和健康损失很难由货币衡量。

1.3.2 水资源系统风险的定义与可靠指标

1. 水资源系统风险的定义

前面已经指出, 风险是系统失事的概率与失事后果的函数。在工程界, 则更具体地把工程系统(包括各类水资源系统)的风险定义为: 在规定的工作条件下和规定的时间内, 系统不能完成预定功能的概率(也称为失效概率、失事概率或破坏概率)及由此产生的损失。

系统的功能常用功能函数表示, 即

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-2)$$

式中: $x_i, i=1, 2, \dots, n$ 为影响系统功能的荷载和抗力的基本变量, 一般都是随机变量。因此, Z 也是随机变量, Z 取不同数值, 表示系统处于不同的工作状态。因此, 函数 $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 也称为状态函数, Z 则称为状态变量。系统的预定功能用极限状态来衡量。所谓极限状态, 是一种临界状态, 当系统整体或部分越过这种状态时, 系统就不能满足某一规定功能的要求。一般, 当 $Z > 0$, 系统处于可靠状态, 能正常运行。当 $Z = 0$ 时, 系统处于极限状态。当 $Z < 0$ 时系统处于失事状态。因此, 方程

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (1-3)$$

称为系统的极限状态方程, 它是系统风险分析的基础。由此可知, 系统的失事概率 P_f 为

$$P_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f(z) dz \quad (1-4)$$

式中: $f(z)$ 为 Z 的概率密度函数。

因为风险是失事概率与失事后果的函数, 失事后果的确定需进行细致的资料调查和整理, 且与经济、政治、社会等因素有关, 在一定程度上属于经济学的范畴。在工程上, 风险分析的关键是系统失事的概率。因此习惯上常把系统失事概率称为风险(或风险率)。于是, 风险 R 可表示为:

$$R = P_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f(z) dz \quad (1-5)$$

虽然系统的状态受各种基本变量的影响, 但系统的状态最终是系统荷载和抗力的相互关系决定的。显然, 当荷载 L 超过抗力 S 时, 系统就会失事。因此, 功能函数(1-2)可简单地表示为:

$$Z = S - L \quad (1-6)$$

因此, 式(1-5)又可表示为

$$\begin{aligned} R &= P(Z < 0) = P(L > S) \\ &= \int_{L>S} f(l, s) dl ds \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^l f(l, s) ds \right] dl \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中: $f(l, s)$ 为 (L, S) 的联合概率密度。

设 $f_L(l)$ 、 $f_S(s)$ 分别是荷载 L 和抗力 S 的概率密度, 若 L 与 S 相互独立, 则有

$$\begin{aligned} R &= \int_{-\infty}^{+\infty} f_L(l) \left[\int_{-\infty}^l f_S(s) ds \right] dl \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_L(l) F_S(l) dl \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中: $F_S(l)$ 为 S 的分布函数在 $S=l$ 处的值。

功能函数除式 (1-6) 形式外, 还有 $Z = \frac{S}{L} - 1$ 、 $Z = \ln(S/L)$ 等形式。

对于连续型随机变量 Z , 有 $P(Z=0)=0$, 因此, 风险 R 的余量

$$R_e = 1 - R = P(Z > 0) \quad (1-9)$$

称为系统的可靠度。

2. 可靠指标

现在工程界常用功能变量 Z 的变差系数的倒数 β 作为衡量工程系统可靠性的指标, 因为这不需知道荷载和抗力的更详细的统计特性资料, 并称 β 为可靠指标。即

$$\beta = \frac{E(Z)}{\sigma_Z} \quad (1-10)$$

式中: $E(Z)$ 、 σ_Z 分别为 Z 的期望值与均方差。

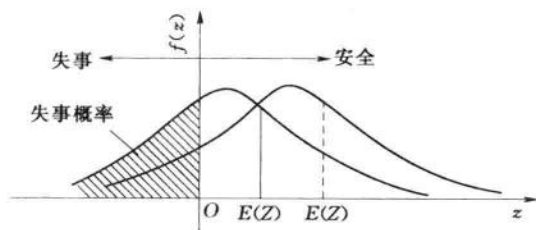


图 1-2 失事概率与 β 的关系

由于 $E(Z) = \beta \sigma_Z$, 那么, 当 σ_Z 一定时, 概率密度 $f(z)$ 的形状不变, β 越大, $E(Z)$ 越大, 从而概率密度的图形将沿 Z 轴向右移动, 如图 1-2 所示。失事概率 $P(Z < 0)$ 将减小, 因此, 系统的可靠性越大。

容易验证, 当 S 和 L 均服从正态分布, 且功能函数取式 (1-6) 形式时, Z 服从正态 $N[E(Z), \sigma_Z]$ 分布, 经标准化后, 由式 (1-5) 可得:

$$R = P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{E(Z)}{\sigma_Z}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi\left[-\frac{E(Z)}{\sigma_Z}\right] = \Phi(-\beta) \quad (1-11)$$

而可靠度

$$R_e = 1 - R = 1 - \Phi(-\beta) = \Phi(\beta) \quad (1-12)$$

式中: $\Phi(\beta)$ 为标准化正态分布函数的分位数, 可由标准化正态分布表查得。

1.4 模糊风险

1.4.1 模糊理论的几个概念

1. 模糊集与隶属函数

在经典集合论中, 某个元素 x 与某个集合 A 的关系只有两种: 即 $x \in A$, 或 $x \notin A$ 。