



国家自然科学基金青年基金项目
国家自然科学基金重大项目

洪水灾害

Theory of Risk Management of Flood Disaster

风险管理理论

魏一鸣 金菊良 杨存建
黄诗峰 范 英 陈德清 著



科学出版社

www.sciencep.com

国家自然科学基金青年基金项目 (No.7900002)

国家自然科学基金重大项目 (No.50099620)

—
长
无
友

洪水灾害风险管理理论

村

Theory of Risk Management of Flood Disaster

魏一鸣 金菊良 杨存建

著

黄诗峰 范 英 陈德清

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

洪水灾害风险管理是一项复杂的系统工程。洪水灾害风险是由洪水灾害危险性、洪水灾害易损性和洪水灾害灾情组成。全书从工程的观点和实用的角度出发,系统地探讨了洪水灾害风险管理的基本概念、洪水灾害系统理论、洪水灾害危险性分析方法、洪水灾害易损性分析方法、洪水灾害灾情分析方法和洪水灾害风险决策分析方法,给出了大量的应用实例,并尽可能地反映洪水灾害风险管理研究的最新发展。

本书可供从事灾害管理、风险管理和水利工程建设等方面的工程技术人员、工程管理人员、科研工作者阅读和参考,也可作为高等学校相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

洪水灾害风险管理理论/魏一鸣等著. —北京:科学出版社, 2002

(现代经济管理科学丛书)

ISBN 7-03-010812-4

I. 洪… II. 魏… III. 洪水-风险管理-研究 IV. P331.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 074869 号

责任编辑:陈 亮 / 责任校对:朱光兰

责任印制:安春生 / 封面设计:耕者工作室

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>

源 海 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 11 月 第 一 版 开本:B5(720×1000)

2002 年 11 月 第一次印刷 印张:18

印数:1—2 000 字数:347 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

谨以此书献给中国的减灾事业！

2A. 21/06

第一作者简介

魏一鸣,男,1968年3月生,江西安远人,工学博士。现任中国科学院科技政策与管理科学研究所副所长、研究员、博士生导师。

历任助教、讲师,副研究员、研究员;研究室主任、副所长。长期从事管理科学的研究工作,研究领域包括复杂系统与复杂性、工业工程与管理、资源与环境管理。先后主持或参加并完成各种科研课题30余项。在国内外学术期刊发表论文70余篇,专著1部,参编著作2部,文集1册。曾获第七届中国青年科技奖。

目前,主持国家“十五”科技攻关课题、国家自然科学基金重大项目专题、国家自然科学基金面上项目等国家级科研课题5项。

前 言

洪水灾害系统是涉及自然、社会、经济等众多因素的复杂系统。随着人类社会经济的迅速发展,洪水灾害所造成的各种损失与日俱增。近年来,人们在总结经济发展与洪水灾害相互竞争的历史经验中提出了新的防洪减灾策略,这就是,对洪水灾害进行管理,调整人与水的关系,由“防御洪水”转向“洪水管理”。洪水灾害风险管理是洪水管理的重要工作之一,它是分析、评价、预防和处理洪水灾害风险的一项复杂的系统工程。因此,洪水灾害风险管理,对减轻洪水灾害损失在理论研究和工程实践中都具有重要意义。

关于洪水灾害风险,目前仍没有统一的定义,也没有建立起具有系统性和可操作性的洪水灾害风险管理的理论框架。本书在前人研究成果的基础上,根据洪水灾害风险的形成机制,提出并系统地阐述了由洪水灾害危险性、洪水灾害易损性和洪水灾害灾情组成的洪水灾害风险管理系统,以此为基础把洪水灾害风险管理的系统理论进一步展开为洪水灾害危险性分析、洪水灾害易损性分析、洪水灾害灾情分析和洪水灾害风险决策分析四个具有相互联系的部分。本书从工程的观点和实用的角度出发,系统地探讨了洪水灾害风险管理的基本概念和系统理论、洪水灾害危险性分析方法、洪水灾害易损性分析方法、洪水灾害灾情分析方法和洪水灾害风险决策分析方法,给出了大量的应用实例,并尽可能反映洪水灾害风险管理研究的最新发展。

作为作者们六年来在这一领域研究工作的总结,本书共分7章:第1章为洪水灾害风险管理的基本概念和研究进展,由魏一鸣、金菊良执笔;第2章为洪水灾害风险管理的系统理论,由魏一鸣、黄诗峰执笔;第3章为洪水灾害危险性分析方法,由金菊良、黄诗峰执笔;第4章为洪水灾害承灾体易损性分析技术,由金管生、魏一鸣、范英、张林鹏和金菊良执笔;第5章为洪水灾害灾情分析方法,由魏一鸣、杨存建、陈德清、黄诗峰和金菊良执笔;第6章为基于历史灾情数据的洪水灾害风险分析方法,由黄诗峰、魏一鸣执笔;第7章为洪水灾害风险决策分析方法,由魏一鸣、金菊良和黄诗峰执笔。魏一鸣负责本书的构思和统稿。

本书可供从事灾害管理、风险管理和洪水管理等方面的工程技术人员、工程管理人员、科研工作者阅读和参考,也可作为高等学校相关专业的研究生教材。

值得指出的是,在本书的撰写与课题的研究中,尽管我们投入了大量的精力、付出了艰苦的努力,但是受知识修养和理论水平所限,书中错误与疏漏之处在所难免,恳请学术前辈、各个领域从事洪水灾害研究的专家以及同行学者,不吝赐教,是作者衷心祈盼!

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.1.1 洪水与洪水灾害	(1)
1.1.2 洪水灾害风险形成机制	(5)
1.1.3 洪水灾害风险管理	(7)
1.2 洪水灾害风险管理与社会经济可持续发展	(11)
1.2.1 洪水灾害对社会经济可持续发展的影响	(11)
1.2.2 洪水灾害风险管理对社会经济可持续发展的促进作用	(16)
1.3 洪水灾害风险管理研究进展	(18)
1.3.1 洪水灾害监测研究	(18)
1.3.2 洪水灾害预测研究	(18)
1.3.3 洪水灾害评估研究	(22)
1.3.4 洪水灾害管理研究	(27)
第 2 章 洪水灾害风险管理的系统理论	(30)
2.1 洪水灾害复杂系统分析	(30)
2.1.1 洪水灾害系统	(30)
2.1.2 洪水灾害系统的目标及其调控	(33)
2.1.3 洪水灾害的综合分析方法	(34)
2.2 洪水灾害风险管理体系	(38)
2.2.1 风险与风险管理	(38)
2.2.2 洪水灾害风险分析基础	(40)
2.2.3 洪水灾害风险管理体系	(42)
2.3 洪水灾害风险管理的指标体系	(44)
2.3.1 指标体系建立原则	(45)
2.3.2 指标体系的结构	(46)
2.3.3 洪水风险管理的指标体系	(47)
2.4 基于 GIS 和 RS 技术的洪水灾害风险管理的基本原理	(54)
2.4.1 致灾力指标	(54)
2.4.2 承灾体指标	(55)
2.4.3 损失程度评估	(56)

2.4.4 浑河、太子河地区洪水灾害损失评估应用实例	(57)
2.5 本章小结	(60)
第3章 洪水灾害危险性分析方法	(61)
3.1 洪水灾害危险性分析的基本原理	(61)
3.2 洪水灾害危险性分析的加速遗传算法	(66)
3.2.1 遗传算法的原理、特点及改进	(67)
3.2.2 加速遗传算法在洪峰流量频率曲线参数优化中的应用	(73)
3.2.3 加速遗传算法在暴雨强度公式参数优化中的应用	(74)
3.2.4 加速遗传算法在河道洪水预测中的应用	(77)
3.2.5 加速遗传算法在河道洪水过程水面曲线计算中的应用	(81)
3.2.6 基于加速遗传算法和投影寻踪方法的洪水分类模型	(85)
3.2.7 基于加速遗传算法的预测旱涝等级的双线性模型	(89)
3.3 流域暴雨洪水分析的随机模拟方法	(93)
3.3.1 年暴雨过程随机模型的建立	(93)
3.3.2 暴雨洪水流域系统黑箱模型	(96)
3.3.3 应用实例及模型实用性检验	(98)
3.3.4 讨论	(99)
3.4 基于3S技术的洪水灾害危险性分析方法	(100)
3.4.1 GIS在洪水危险性分析中的可能应用	(100)
3.4.2 GIS支持下的河网特征提取及其在洪水危险性分析中的应用	(101)
3.4.3 数字高程模型(DEM)支持下的洪水危险性分析	(104)
3.5 本章小结	(108)
第4章 洪水灾害承灾体易损性分析技术	(109)
4.1 易损性分析的基本原理	(109)
4.1.1 洪灾经济损失及其分类	(109)
4.1.2 洪灾经济损失的描述指标	(111)
4.1.3 洪灾损失增长率分析	(114)
4.1.4 洪灾损失估算模型	(117)
4.1.5 各类承灾体易损性分析构模方法	(119)
4.2 重点类型承灾体易损性分析模型的建立	(120)
4.2.1 农作物易损性分析模型的建立	(120)
4.2.2 林业易损性分析模型的建立	(127)
4.2.3 牧、渔业易损性分析模型的建立	(128)
4.2.4 城乡工商企业易损性分析模型的建立	(129)

4.2.5 城乡居民家庭财产易损性分析·····	(134)
4.2.6 各类专项工程设施易损性分析模型的建立·····	(136)
4.3 流域洪灾承灾体易损性分析·····	(141)
4.3.1 长江流域洪灾承灾体易损性分析·····	(141)
4.3.2 淮河流域洪灾承灾体易损性分析·····	(142)
4.3.3 松花江、辽河流域洪灾承灾体易损性分析评价模型·····	(145)
4.4 洪水灾害易损性分析的神经网络模型·····	(148)
4.4.1 网络拓扑结构的建立·····	(148)
4.4.2 网络的训练和测试·····	(149)
4.5 基于洪水灾害快速评估的承灾体易损性信息管理系统·····	(153)
4.5.1 基本原理·····	(153)
4.5.2 系统的总体设计·····	(155)
4.5.3 应用实例·····	(159)
4.5.4 结果与讨论·····	(160)
4.6 本章小结·····	(161)
第 5 章 洪水灾害灾情分析方法 ·····	(162)
5.1 基于空间技术的洪水淹没范围的获取方法·····	(162)
5.1.1 基于 LANDSAT TM 影像的本底水体的提取·····	(163)
5.1.2 平原地区星载 SAR 图像的洪水范围的提取方法·····	(166)
5.1.3 利用 RADARSAT SWA SAR 和 LANDSAT TM 的互补信 息确定山区洪水水体范围·····	(170)
5.1.4 地形数据支持下的星载 SAR 图像洪水水体的识别提取·····	(176)
5.1.5 基于遥感的洪水灾害承灾体神经网络的提取方法·····	(181)
5.1.6 受淹人口指标提取方法·····	(185)
5.1.7 洪水灾害的动态变化指标提取·····	(192)
5.2 洪水灾害灾情综合评价方法·····	(198)
5.2.1 物元分析灾情综合评价模型·····	(198)
5.2.2 灾情模糊综合评价模型·····	(204)
5.2.3 基于神经网络的灾情综合评价智能模型·····	(210)
5.2.4 洪水灾害灾情评估的投影寻踪模型·····	(216)
5.2.5 洪水灾害快速评估的 2S 方法·····	(222)
5.3 本章小结·····	(226)
第 6 章 基于历史灾情数据的洪水灾害风险分析 ·····	(227)
6.1 引言·····	(227)
6.2 洪水灾害损失频率分析·····	(228)

6.2.1 经验频率计算·····	(228)
6.2.2 理论频率曲线的选择·····	(228)
6.2.3 参数估计·····	(229)
6.3 松花江流域洪水灾害风险分析·····	(229)
6.4 基于信息扩散理论的洪灾风险分析·····	(234)
6.4.1 基于信息扩散理论的洪灾风险评估模型·····	(235)
6.4.2 实例分析·····	(237)
6.5 本章小结·····	(240)
第7章 洪水灾害风险决策分析方法 ·····	(241)
7.1 洪水灾害风险决策过程·····	(241)
7.2 洪水灾害风险决策分析的基本方法·····	(243)
7.2.1 确定型决策分析方法·····	(244)
7.2.2 不确定型决策分析方法·····	(244)
7.2.3 风险型决策分析方法·····	(245)
7.2.4 马尔可夫型决策分析方法·····	(246)
7.3 城市防洪规划方案优选的层次分析方法·····	(246)
7.3.1 基于加速遗传算法的城市防洪规划方案优选模型(AGA-AHP) ·····	(247)
7.3.2 AGA-AHP 的理论分析 ·····	(249)
7.3.3 AGA-AHP 的实例分析 ·····	(251)
7.4 基于人工神经网络的水库调洪演算方法·····	(255)
7.4.1 水库调洪演算分析·····	(255)
7.4.2 水库调洪演算的人工神经网络模型·····	(256)
7.5 地理信息系统支持下的灾民撤退模拟与决策·····	(258)
7.5.1 灾民撤退问题网络流算法模型·····	(258)
7.5.2 基于 GIS 网络分析的灾民撤退模拟方法 ·····	(260)
7.6 基于可持续发展的洪水灾害减灾决策框架·····	(261)
7.7 本章小结·····	(262)
参考文献 ·····	(263)
后记 ·····	(274)

第 1 章 绪 论

就灾害发生的时空范围、时空强度以及对人类生存与发展的威胁程度而言,洪水灾害居各种自然灾害之首。因此,关于洪水灾害的风险管理研究受到许多学者的广泛关注。本章将对洪水灾害风险管理研究进行回顾与综述。

1.1 基 本 概 念

1.1.1 洪水与洪水灾害

洪水(Flood)是一种高度复杂的自然现象,它与天文圈、大气圈、水圈、生物圈、人类圈和岩石圈都有密切的联系,是这五个圈层相互非线性作用和反馈的产物。目前对洪水尚没有统一的定义^[1]。《简明大不列颠百科全书》对洪水的定义是:“高水位期,河流漫溢天然堤或人工堤,淹没平时干燥的陆地”^[2];《中国大百科全书·水文卷》定义洪水为“突然起涨的水流”^[3];《中国水利百科全书》则定义洪水为“河流中在较短时间内发生的水位明显上升的大流量水流”^[4];有学者认为洪水是一种峰高量大、江河水位急剧上涨的水文现象,是自然环境系统变化的产物,其发生和发展受自然环境系统的作用和制约^[5];也有人认为在逐日平均流量过程线上,超过该年平均流量的时段称为洪水期,其流量称为洪水^[1];《地理词典》中的定义是:“河流涨水所形成的特大水流称为洪水”^[6];《现代科学技术词典》(下册)中的定义是:“大水漫溢河流或其他水体的天然或人为界限或排水汇集于洼地所出现的情况称为洪水”^[7];在中国古籍中将禹所治大水称为洪水。

在《现代地理学辞典》中对洪水所给的定义是:“洪水是河流水位超过河滩地面溢流现象的统称”^[8]。洪水通常是由出现洪水地区的水上游或当地的暴雨或融水所致;而且通常是以公认的某一有影响的水位为标准,超过这一水位则被定义为洪水。我们认为这种定义对洪水灾害的研究具有较强的可操作性和适应性。

洪水强度一般以一次洪水过程的洪峰水位(洪峰流量)、洪水总量、洪水历时等指标来刻画,统称为洪水三要素,见图 1.1。

洪水三要素的值越大,则洪水强度越大。在水利科学中,洪水强度大小常用洪水三要素之一(如洪峰流量或洪水总量)出现的超越概率(称之为频率,在本章中,“频率”均指大于或等于某值的超越概率)来表示。例如,百年一遇洪水,是指出现大于或等于该洪水的洪峰流量或洪水总量的概率为 1%。在科学研究和

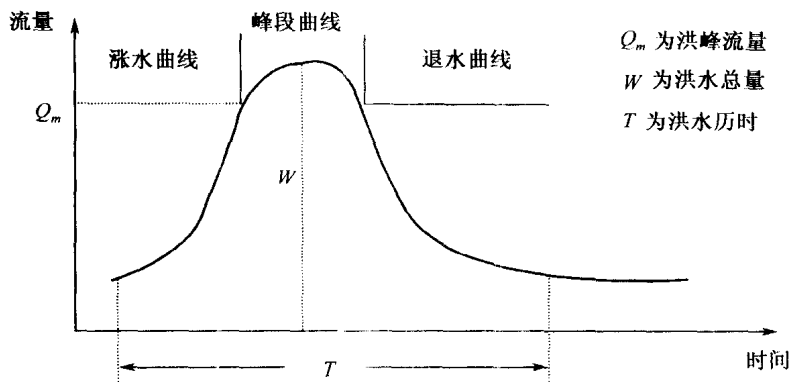


图 1.1 洪水三要素示意图

工程实践中,除洪水三要素指标外,还常常用洪水水深、洪水淹没范围、洪水淹没历时、洪水重现期等指标来描述洪水强度,甚至用洪水等级这一综合性指标来描述。

洪水按成因和地理位置的不同,又常分为暴雨洪水、融雪洪水、冰凌洪水、溃坝(堤)洪水和海岸洪水(如风暴潮、海啸等)。就发生的范围、强度、频次和对人类的威胁性而言,中国大部分地区以暴雨洪水为主。中国主要暴雨地区河流最大流量的量级见表 1.1^[4]。由此可见,一般量级的洪水在各地区的差异十分悬殊,而特大洪水量级的地区差异则相对较小。

表 1.1 中国主要暴雨地区河流最大流量的量级^[4] (单位: m^3/s)

流域面积 (km^2)	世界记录	东北	黄河	华北	淮河	长江	珠江	浙闽
100	4800	4500	3000	4500	4500	2400	2800	2500
10000	40000	30000	25000	30000	35000	32000	35000	35000

自然环境的异常不规则运动所引起的洪水、干旱、地震、风暴、泥石流、沙尘暴、火山喷发、森林火灾等,常常导致人们生命财产的重大损失,这样的不利事件称为自然灾害。洪水给人类正常的生活、生产活动带来的损失与祸患,称之为洪水灾害(Flood Disaster)。自然灾害的源和载体(例如洪水灾害的载体是水,台风的载体是空气)在于自然,而承受者则为人类社会和与人类社会关系密切的生态系统(称为承灾体),所以自然灾害既具有复杂的自然属性,又具有明显的社会属性。从自然界的演化过程和人类进化过程的大背景看,自然灾害实质上是人类同其生存环境相互作用的一种表现形式,也是人类为求生存和发展的自觉性

的一种衡量标志, 人类发展的历史就是一部不断同自然灾害作斗争的历史。尼罗河的第一次洪水灾害记录可追溯到公元前 3500~公元前 3000 年, 黄河的第一次洪水灾害记录大约是在公元前 2297 年。有关自然灾害的传说至今仍深深地沉淀在世界各国的历史文献之中。《孟子·滕文公下》记载, “往古之时, 四极废, 九州裂, 天不兼复, 地不周载, 火滥炎而不灭, 水浩洋而不息”。根据中国史料记载, 从公元前 206 年至公元 1949 年的 2155 年间, 我国共发生洪水灾害 1092 次, 几乎每两年就发生一次洪水灾害。仅 20 世纪以来, 我国发生的特大洪水灾害就有: 1915 年的珠江大水, 1931 年的江淮大水, 1933 年的黄河大水, 1954 年的江淮大水, 1957 年的松花江大水, 1963 年的海河大水, 1975 年的江淮大水, 1991 年的江淮大水, 1994 年的珠江大水, 1995 年的辽河、浑河和第二松花江大水, 1996 年的西江和洞庭湖大水, 1998 年的长江、珠江和松花江大水等。这些特大洪水的发生都使人民生命财产遭受了惨重损失。

洪水灾害是指水利科学界通常所说的水灾和涝灾的总称^[8,9]。水灾一般是指因河流泛滥淹没田地所引起的灾害; 涝灾指的是因长期大雨或暴雨而产生地面大面积积水或土地过湿致使作物生长不良而减产的现象。人们常把地面积水称为明涝, 把地面积水不明显而耕作层土壤过湿的现象称为渍涝。由于水灾和涝灾往往同时发生, 有时也难于区分, 因此在本书中我们把水涝灾害统称为洪水灾害。

洪水灾害的孕育、发生、发展和消亡的演化过程受天体背景^[10] (如太阳活动、月球活动、新星等)、气候、气象、海洋、水系、地理地貌、土壤植被和人类活动等众多要素的作用、牵引和制约。根据洪水灾害形成的机理和成灾环境的区域特点, 可从地学角度将洪水灾害分为以下几种类型:

(1) 溃决型洪水灾害: 泛指江河、湖海、堤防、塘坝等因自然或人为因素造成溃决而形成的洪水灾害, 根据成因又可细分为河堤溃决、大坝溃决和冰坝溃决三种。它具有突发性强、来势凶猛、破坏力大的显著特点。例如, 1975 年 8 月上、中旬, 河南驻马店、许昌、南阳等地普降特大暴雨, 雨量之大、雨势之猛为国内外所少见, 致使汝河、沙颍河、唐白河三大水系各干支流河水猛涨, 导致漫溢决堤, 板桥、石漫滩水库大坝溃决, 造成震惊中外的河南特大暴雨和洪水灾害, 受灾人口达 1029 万人, 约有 450 万人被洪水围困, 10 万人当即被洪水卷走, 淹没毁坏庄稼达 1788 万亩, 这是新中国成立以后仅次于 1976 年唐山大地震的第二次死亡灾难。1979 年冬, 新疆境内喀喇昆仑冰川向下游伸长, 壅塞叶尔羌河上游, 形成长 20 km、宽 2 km 的临时冰坝, 翌春冰坝消融、溃决, 洪水下泄, 形成水头高达 20 m 的洪水^[12]。

(2) 漫溢型洪水灾害: 指洪水水位高于堤防或大坝, 水流漫溢、淹没低平的三角洲平原或山前的一些冲积、洪积扇区的现象。漫溢型洪水受地形的控制大, 水流扩散速度较慢, 洪水灾害损失与土地利用状况有关。洪泛平原与大江大河河口

三角洲地区是漫溢型洪水灾害的多发地,中国的黄河、长江、淮河、海河、松花江、辽河、珠江和印度的恒河、湄公河等泛滥平原与大河三角洲无一例外。它是最常见的一种洪水灾害。

(3) 内滞型洪水灾害:指地势低洼、紧依江河、仰承江河沿线的、湖群水网地区内发生的暴雨或洪水,由于区域排水不畅使得大面积区域积水造成明涝,或由于长期积水,使区域地下水水位升高造成区域渍涝灾害的现象。内涝型洪水灾害多发生于湖群分布广泛的地区,如中国的洞庭湖堤垸区和太湖流域。1991年太湖洪涝灾害就是典型的内涝型洪水灾害。

(4) 行蓄洪型洪水灾害:指山谷或平原水库以及河道干流两侧的行洪、蓄洪区(它们通常是一种天然的洼地或人工湖泊)由于河道来水过大难以及时排出而被迫启用,从而导致人为的空间转移性洪水灾害。从牺牲局部、确保重点地区安全的观点出发,以小的行洪、蓄洪区的淹没损失换取江河堤防的安全是一种重要的防洪减灾手段。行蓄洪型洪水灾害是一种可控洪水灾害,通过洪水的优化调度和管理,达到最大的减灾效益。例如淮河干流上的蒙洼、城西湖、城东湖蓄洪区。

(5) 山洪型洪水灾害:泛指发生于山区河流中暴涨暴落的突发性洪水灾害。它影响范围较小,但由于山区地势起伏大,具有洪流速度快、冲刷力强、历时短暂、挟带泥石多、来势凶猛、破坏力巨大等特点,且常伴生泥石流灾害,是一种危害极大的山地自然灾害。据估计,平常年份因洪水灾害死亡的人数中,有80%是由山洪造成的^[13]。山洪的发生,有暴雨、融雪、冰川消融等多种因素,其中以暴雨山洪最为多见。由于山洪通常在夜间暴发,因而更具威胁性。

(6) 风暴潮型洪水灾害:指台风或热带气旋伴随着大风暴雨登临海岸上空并引发海岸洪水,造成堤岸决口、海潮入侵或受高潮影响和潮水顶托、海水倒灌,导致河水漫溢、泛滥的灾害。中国海岸线长18000多公里,台风每年平均在沿海登陆9次,因此多风暴潮型洪水灾害。在渤海湾与黄海沿岸北部,春、秋过渡季节的寒潮大风均可引发风暴潮^[4]。1992年特大风暴潮袭击南起福建北至辽宁长达几万公里的海岸,受灾人口达200多万,直接经济损失约占当年洪水灾害总损失的四分之一^[13]。在风暴潮洪水灾害中以溃决型最为严重,1895年4月风暴潮袭击渤海湾,大沽口建筑物几乎全毁,整个地区成为泽国,死亡2000多人。太平洋、印度洋、大西洋沿岸国家的港湾,也深受风暴潮型洪水灾害的影响。例如,1970年11月孟加拉湾风暴潮,夺去30万人的生命,使100万人无家可归;1972年6月飓风使美国佛罗里达州及东部各州死亡122人,损失147亿美元^[4]。

(7) 海啸型洪水灾害:指海底地震或近海域火山爆发,致使海洋水体扰动而引起重力波,波速可达500~700km/h,在近海岸或海湾波峰涌高可达20~30m,由此产生洪水灾害。例如,1883年9月27日印度尼西亚的Krakatau火山爆发引

起海啸，波高 30m，产生巨大破坏力，使 Marak 市 36 万人丧生^[4]。

(8) 城市洪水灾害：泛指城市地区的洪水灾害。由于城市具有独特的地表形态和性质（如不透水地面面积比大），有天然的和人工的地下管网两套排水系统，因此，常常导致地面径流系数大，汇流速度快，时间短，下渗少。中国现有 100 多座大中城市处于洪水水位之下，其安全受到严重威胁^[13]。

1.1.2 洪水灾害风险形成机制

风险 (Risk) 的概念于 19 世纪末最早出现在西方经济领域中，目前已广泛应用于经济学、社会学、工程科学、环境科学和灾害学等领域中。迄今为止，学术界和工程界中对风险的定义仍未统一，不同的专业背景、不同的应用背景，对风险的定义常常不尽相同。例如，在韦伯字典中，将风险定义为“面临的伤害或损失的可能性”；经济学界和保险业界将风险定义为“灾害或可能的损失”；灾害学界则将风险定义为“灾害所导致损失的不确定性”。目前普遍认为，风险应包含三个基本要素^[14]：不利事件、不利事件发生的概率和不利事件所导致的损失。在本书中，把洪水强度的概率分布函数和洪水事件所造成的损失（称之为洪水灾害损失）的概率分布函数总称为洪水灾害风险 (Flood Disaster Risk)。

人类自诞生之日起，就一直处于瞬息万变的自然环境和日趋复杂的社会环境中，每时每刻都面临着洪水灾害风险。人类发展的历史就是一部与洪水灾害既斗争又协调的历史。洪水灾害风险无处不在，无时不在。这里值得指出的是，危险 (Danger)、危险性 (Hazard) 和风险 (Risk) 三者的含义是不相同的。危险是指不利事件；危险性是指不利事件发生的概率分布函数；而风险则是指不利事件发生的概率分布函数和不利事件所导致损失的概率分布函数的总称。从危险到危险性再到风险，反映了人类对客观世界认识能力的逐步提高。

从洪水灾害风险形成机制的角度来看，洪水灾害风险结构可以进一步分解为：洪水强度的概率分布函数，称之为洪水灾害危险性 (Flood Hazard)，例如，长江南京站年最高水位频率曲线定量描述了长江南京站的洪水灾害危险性；洪水强度与洪水灾害损失之间的函数关系，称之为洪水灾害易损性 (Flood Disaster Vulnerability)，洪水灾害易损性既反映了承灾体易于受到致灾洪水的破坏、伤害或损伤的特性，又反映了各类承灾体对洪水灾害的承受能力，例如，水稻的洪水灾害易损性就是指水稻生育期、淹水深度、淹水历时等减产影响因子与水稻减产率之间的函数；洪水灾害损失的概率分布函数，称之为洪水灾害灾情 (Flood Disaster Loss)，它是洪水灾害危险性与洪水灾害易损性的复合函数，反映了特定频率洪水强度可能导致的损失。综上所述，洪水灾害危险性、洪水灾害易损性和洪水灾害灾情组成了完整的洪水灾害风险结构。

显然，给出了概率分布也就有了关于风险计算所需要的全部资料信息；但有

时为了比较不同地区的洪水强度情况或洪水灾害损失情况,或为了进行简单的描述,或概率分布难以获取时,在实际应用中也常常用洪水强度指标变量或洪水灾害损失指标变量 x 的样本均值 E_x 、样本标准差 S_x 或风险度 F_x 等几个统计特征值来描述风险^[15]。其中, $F_x = \frac{S_x}{E_x}$ 。由于某种原因,有时并不采用样本均值作为指标变量的估计值。假定指标变量的估计值为 x_0 , 则风险度 $F_x = \frac{[S_x - (E_x - x_0)]}{E_x}$; 风险度越大,就表示对指标变量的预测越没有把握,风险也就越大。

影响洪水灾害危险性的因素有气候因子、自然地理因子和水系因子等^[14]。影响洪水灾害易损性的因素有洪水强度指标、承灾体属性指标(如建筑物特征、农作物特征、居民年龄结构特征等)和地区承灾能力指标(包括防洪标准、防洪减灾教育水平、水患意识的强弱、洪水预报与预警水平、防洪调度指挥抢险水平等抗灾能力指标,救灾组织能力和救灾技术水平等救灾能力指标,经济发展水平、洪水保险、防洪减灾保障体系建设等恢复能力指标等)。显然,以上所有因素都将影响洪水灾害的灾情。

从系统工程的角度看,洪水灾害风险实质上是一个系统,其系统输入为洪水灾害危险性,其系统转换为洪水灾害易损性,而其系统输出就是洪水灾害灾情。设研究地区有 n 个洪水强度指标 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 它们的概率分布函数(即水利科学中的频率曲线)分别为 $x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p)$, 其中频率 $p \in [0, 1]$; 研究地区有 m 个洪水灾害损失指标 $y_1, y_2, \dots, y_m$, 它们与 n 个洪水强度指标具有函数关系 $y_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $j=1 \sim m$; 则研究地区 m 个洪水灾害损失指标的概率分布函数为 $y_j(x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p)) = y_j(p)$, $j=1 \sim m$, 其中频率 $p \in [0, 1]$ 。与水利科学中暴雨与洪水的关系相类似,洪水灾害损失指标与洪水强度指标一般不是同频率的。也就是说,即使研究地区只有一个洪水强度指标,由于研究地区社会经济的不断发展和地理环境的不断变化,洪水灾害易损性也在不断发生变化,从而导致洪水灾害损失指标的发生频率与洪水强度指标的发生频率具有显著差异;而研究地区往往具有多个洪水强度指标,各洪水灾害损失指标的发生频率与各洪水强度指标的发生频率之间的关系相当复杂、以致很难给出明确的数学表达式。例如,1998年的长江特大洪水与1954年的长江特大洪水相比,前者最大洪峰流量的频率比后者明显要大,而前者经济损失指标的频率比后者明显要小,这说明长江洪水灾害损失指标与洪水强度指标不具有同频率性。

根据以上分析,当研究地区洪水灾害损失指标与洪水强度指标同频率时,洪水灾害损失指标的概率分布函数的推求过程可按照如下步骤进行:根据洪水灾害

危险性函数得到特定频率的洪水强度；根据洪水灾害易损性函数得到该洪水强度所导致的可能损失，该损失对应于特定频率；同理，不同的频率对应不同的损失，从而可得该地区洪水灾害损失的概率分布函数。而当研究地区洪水灾害损失指标与洪水强度指标不具有同频率时，洪水灾害损失指标的概率分布函数的推求过程十分复杂，在实际推求时可采用蒙特卡洛（Monte-Carlo）方法，也就是用一个均匀随机数发生器产生与各洪水强度指标发生概率相同的随机数，将其输入洪水灾害易损性模型进行模拟试验，经过反复多次试验，可得各洪水灾害损失指标模拟系列，根据这些模拟系列可求得各洪水灾害损失指标的频率分布。实践证明，试验次数越多，其频率分布越接近于所求的概率分布。上述推求洪水灾害损失的概率分布函数的两种方法是基于洪水灾害风险形成机制进行的；此外，也可根据长期的洪水灾害历史资料，用数理统计方法直接估计洪水灾害损失的频率曲线，作为所求的概率分布函数。

1.1.3 洪水灾害风险管理

风险管理（Risk Management）是对风险进行识别、分析、估计和处理的过程，一般包括如下内容^[14,16,17]：

1. 风险分析

风险分析就是研究某地区在特定时间内遭受何种不利事件、并分析该不利事件发生的可能性及其产生的损失，其主要内容是风险识别和风险估计。

风险识别是指对尚未发生的、潜在的以及客观存在的、影响风险的各种因素进行系统地、连续地辨别、归纳、推断和预测，并分析产生不利事件原因的过程，其目的主要是鉴别风险的来源、范围、特性及与其行为或现象相关的不确定性。风险识别是风险管理的起点，在很大程度上界定了风险的本质特征。实际操作中往往要依赖于经验和类比，主要是风险分析工程师的介入。

风险估计是指在对不利事件所导致损失的历史资料分析的基础上，运用概率统计等方法对特定不利事件发生的概率以及风险事件发生所造成的损失作出定量估计的过程。例如，利用主观或客观的概率，评估不利事件发生的可能性和不利事件可能导致的损失；模拟风险源及其可能产生影响之间的关系；评估各种可供选择的风险概率值。

2. 风险评价

风险评价就是在研究地区风险分析的基础上，把各种风险因素发生的概率、损失幅度及其他因素的风险指标值，综合成单指标值，以表示该地区发生风险的可能性及其损失的程度，并与根据该地区经济的发展水平确定的、可接受的风险标准进行比较，进而确定该地区的风险等级，由此确定是否应该采取相应的风险处理。