

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)

# 洪水灾害风险管理理论

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 978-7-03-010812-8

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:张克忠 / 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>

**中国科学院印刷厂** 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)

2007年3月第一次印刷 印张:18

印数:2001—3 000 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！

## 第一作者简介

魏一鸣,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。兼任中国优选法统筹法与经济数学研究会秘书长、计算机模拟分会副理事长、复杂系统研究委员会首任理事长;中国科学院预测科学研究中心副主任;能源与环境政策研究中心主任;担任4份国际学术期刊的 Regional Editor 或编委,及6份中国学术期刊编委(含台湾1份)。

魏一鸣教授长期从事管理科学的研究工作,研究领域包括资源与环境管理、复杂系统与复杂性。在资源开发战略、能源与环境政策、灾害评估与管理、复杂系统分析与建模等方面开展了一些有价值的研究工作。曾在美国 Harvard、日本 JAIST 等机构学习和工作。先后主持国家科技攻关课题、国家自然科学基金重大项目的专题等重要科研课题 30 余项。在 *Energy Policy*, *Energy Economics*, *Environmental Modelling and Software*, *Technological Forecasting and Social Change*, *Environmental Impact Assessment Review*, *International Journal of Global Energy Issues*, *Ecological Economics*, *Sustainable Development and world Ecology*, *Computers and Industrial Engineering*, *Journal of Policy Modeling* 等重要学术期刊发表学术论文 120 余篇,著作 8 部(含合著和合编)。

曾获国家杰出青年科学基金(2004年)、第七届中国青年科技奖(2001年);获“全国优秀博士后”称号(2005年)、“首批新世纪百千万人才工程国家级人选”(2004年)。曾获4项省部级科学技术奖或自然科学奖。

# 前 言

洪水灾害系统是涉及自然、社会、经济等众多因素的典型复杂系统。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”,实现人水和谐。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,目前尚无统一的定义,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方法,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,在全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 )
<b>第3章</b>	<b>洪水灾害危险性分析方法 .....</b>	<b>( 61 )</b>
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 )
<b>第4章</b>	<b>洪水灾害承灾体易损性分析方法 .....</b>	<b>( 109 )</b>
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 )
<b>第 5 章</b>	<b>洪水灾害灾情分析方法</b>	( 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 )
<b>第 6 章</b>	<b>基于历史灾情数据的洪水灾害风险分析</b>	( 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 )
<b>第 7 章</b>	<b>洪水灾害风险决策分析方法</b>	<b>( 241 )</b>
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 )
<b>参考文献</b>		<b>( 263 )</b>
<b>后记</b>		<b>( 274 )</b>

# 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<sup>[1]</sup>。《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”<sup>[2]</sup>；《中国大百科全书·水文卷》定义洪水为“突然起涨的水流”<sup>[3]</sup>；《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”<sup>[4]</sup>；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<sup>[5]</sup>；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<sup>[1]</sup>；《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”<sup>[6]</sup>；《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”<sup>[7]</sup>；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”<sup>[8]</sup>。洪水通常是由出现洪水地区的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划，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

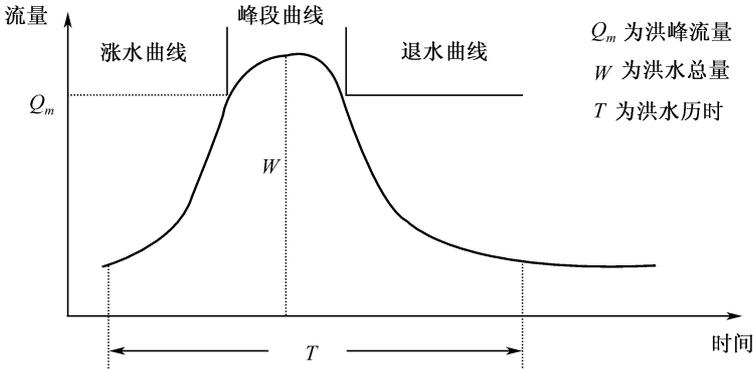


图 1.1 洪水三要素示意图

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<sup>[4]</sup>。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<sup>[4]</sup> (单位: m<sup>3</sup>/s)

流域面积 (km <sup>2</sup> )	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<sup>[8,9]</sup>。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<sup>[10]</sup>(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<sup>[12]</sup>。

(2) 漫溢型洪水灾害:指洪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<sup>[13]</sup>。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<sup>[4]</sup>。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<sup>[13]</sup>。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<sup>[4]</sup>。

(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<sup>[4]</sup>。

(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<sup>[13]</sup>。

### 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<sup>[14]</sup>：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<sup>[15]</sup>。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<sup>[14]</sup>。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罗（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<sup>[14,16,17]</sup>：

#### 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。

可接受的风险标准，是通过对大量灾害损失资料的分析，在承认风险损失是不可完全避免的前提下，从当前的科学水平、社会经济情况以及人们的心理等因素出发，确定一个整个社会都能接受的最低风险界限，作为衡量地区风险严重程度的标准。风险评价是一个不断更新的过程，当现实世界的风险环境发生重大变化或者地区承受风险的能力有了明显提高时，就需要重新进行风险评价。运用可接受的风险标准来衡量地区承受风险的严重程度是风险评价的关键，根据衡量的结果以确定是否要采取风险处理方案、以及采取何种等级的风险处理方案。若综合指标值小于可接受的风险标准，说明该地区虽然存在一定风险，但人们能够接受，从这一意义上讲可以认为该地区是比较安全的，无须或暂时可不进行风险处理；若综合指标值大于可接受的风险标准，说明该地区较危险，应采取相应的风险处理措施，以减轻不利事件的危害程度；若综合指标值远远大于可接受的风险标准，说明该地区十分危险，必须启用紧急决策方案，动员全地区的力量甚至全国的力量来减轻不利事件的危害程度。

### 3. 风险处理

风险处理就是根据风险管理的目标和宗旨，在科学的风险分析和风险评价的基础上，当面临风险时从可以采取的监测、接受、回避、转移、抵抗、减轻和控制风险等各种行动方案中选择最优方案的过程，它是整个风险管理的核心。

受自然因素、心理因素、社会因素等的影响，风险处理常常需要综合多学科的理论和方法来进行。风险处理的主要任务就是根据以最低的代价获得最大的安全保障这一风险管理的总目标，从各种风险处理方案中优选最佳方案，或将各种风险处理方案有机结合起来，取长补短。针对每一种风险处理方案，对所涉及的成本、效益和风险进行评估，包括各种不同风险处理方案之间的成本核算，可能导致的社会、经济、环境或政治方面的影响，以及目前的风险处理方案对今后的选择可能产生的影响，得出风险的可接受程度和风险的不可接受程度。当认定风险可接受时，就保持原状态，并力图获得最大效益；当认定风险不可接受时，则采取相应措施降低风险（例如规避、满足效益优先原则前提下的治理、系统功能转化等），并跟踪监控措施对于降低风险的效果，反馈信息到风险分析和风险评价过程中，实现动态的风险控制。因此，风险处理实质上是一个复杂的优化决策过程。其中，风险评价是以上风险分析过程和风险处理过程之间的过渡环节，在此之前分析的着眼点主要在于风险事件本身，此后便转移到了风险事件对人类社会危害的可能性上。

洪水灾害风险管理（Flood Disaster Risk Management）是分析、评价、预防和治理洪水灾害风险的一项复杂的系统工程。在本书中，我们从洪水灾害风险形成机制和风险处理这一角度，把洪水灾害风险管理分解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相互联系

的部分。其中,洪水灾害危险性分析是洪水灾害风险管理的前提和基础;由洪水灾害危险性分析入手,通过洪水灾害易损性分析这一中间环节,就可进行洪水灾害灾情分析。洪水灾害灾情分析是洪水灾害风险决策分析的依据,洪水灾害风险决策分析是洪水灾害风险管理的核心。随着人类社会实践活动在强度和广度两方面的不断深入,人类社会与自然环境的相互依存关系越来越紧密,所以多年来对洪水灾害风险管理的研究一直是全球的热点问题。

### 1. 洪水灾害危险性分析

就某一地区具体年份的洪水灾害风险而言,其发生具有偶然性,主要表现在导致风险事件发生的风险因素本身的发生具有随机性,风险发生在时间上和空间上具有突发性,在后果上具有灾难性,从而给人们的精神和心理上带来巨大的忧虑和恐惧。例如1998年的中国长江特大洪水。尽管单个风险事件的发生具有偶然性,然而通过对大量风险事件的分析 and 研究,其结果在统计上具有明显的规律性,因此人们可以利用数理统计的方法对风险发生的频率和损失幅度进行估计,这就是风险分析的主要理论依据。另外,随着科学技术的发展和人类社会的进步,人们认识自然、利用自然和改造自然的能力在不断地增强,预测、抵抗和控制洪水灾害风险的能力在不断地提高,从而减少了洪水灾害风险给人们带来的损失,这在客观上为洪水灾害风险分析提供了技术条件。当我们研究的区域是省或省以上的基本单元时,使用通常的数理统计方法一般可以得出满意的风险分析的结果,因为此时研究者至少能够比较容易地获得大量的历史灾情资料。

洪水灾害危险性分析就是研究某地区在特定时间内遭受何种洪水灾害类型、并分析该洪水灾害各洪水强度指标的概率分布函数,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洪水灾害危险性的各种因素进行系统地、连续地辨别、归纳、推断和预测,并分析产生风险事件原因的过程。风险估计是对洪水灾害各洪水强度指标的概率分布函数的分析和估计。洪水灾害危险性分析的常用方法有数理统计方法、模糊数学方法、系统仿真方法、调查法等。

### 2. 洪水灾害易损性分析

洪水灾害易损性就是对洪水灾害承灾体易于受到致灾洪水的破坏、伤害或损伤的特性和各类承灾体对洪水灾害的承受能力进行分析,其最终分析结果就是建立各洪水强度与各洪水灾害损失之间的函数关系。例如,分析影响各类承灾体分布密度和承灾体抗洪能力等易损性的因素,提取洪水灾害影响地区的自然环境(如地形、地貌、水系及植被等)特征,调查、统计有关的社会经济数据(如社会经济发展水平,人群的年龄、性别、文化程度和工作性质等结构特征,防洪基础设施建设,防洪减灾保障体系建设以及人们防洪减灾教育水平和水患意识的强弱等)等,分析和计算不同地区各类承灾体在不同时间、不同种类、不同强度的

致灾洪水的作用下，所具有的不同损失响应。洪水灾害易损性分析的常用方法有调查法和统计建模法等。

### 3. 洪水灾害灾情分析

洪水灾害灾情分析是在洪水灾害危险性分析和洪水灾害易损性分析的基础上，计算研究地区在某时间范围内可能发生的一系列不同强度的洪水给该地区造成的可能损失，估算这些可能损失的概率分布，并依据研究地区的灾情指标集，应用建立在一定的灾情指标体系下的洪水灾害灾情综合评估模型，对该地区的洪水灾情进行综合评估，为洪水灾害管理提供风险决策依据。洪水灾害灾情分析的常用方法有实地调查法、基于计算机技术的空间技术方法（如地理信息系统方法）和各种综合评价方法等。

### 4. 洪水灾害风险决策分析

洪水灾害风险决策分析是根据洪水灾害风险管理的目标和宗旨，在洪水灾害危险性分析、洪水灾害易损性分析和洪水灾害灾情分析的基础上，在面临洪水灾害风险时从可以采取的监测、回避、转移、抵抗、减轻和控制风险的各种行动方案中选择最优方案的过程，是整个洪水灾害风险管理的核心工作。受自然因素、心理因素、社会因素等的影响，洪水灾害风险决策分析属于多学科方法综合集成性方法。

风险决策的任务是，根据以最低的代价获得最大的安全保障这一风险管理的总目标，将各种风险管理方案有机结合起来，取长补短。就严格意义而言，洪水灾害风险决策分析的整个过程可包括以下四个子过程：① 了解和识别各种风险因素及其性质，根据本地区的经济发展状况和所估计的风险大小确定决策的目标和原则；② 针对某一具体的客观存在的风险，收集一定的资料和信息，拟定处理风险的行动方案；③ 根据决策的目标和原则，对各种行动方案的必要性、可行性、经济性等方面进行比较论证，运用一定的决策方法选择某一最佳行动方案或某几个行动方案的最佳组合；④ 风险具有随机性和其他不确定性，需要把所选择的行动方案在具体实施过程中出现的问题反馈给决策者，从而使决策者能够及时根据客观情况的变化，对原决策方案进行评价、调整和修改。

可以从不同的角度对各种洪水灾害风险决策分析方法进行分类。根据洪水灾害的不同发生阶段，洪水灾害风险决策分析方法可分为回避型决策、预防型决策、抵抗型决策、补救型决策和综合型决策等分析方法。所谓综合型决策方法，就是以预防型决策方法为主，在发展经济和人口时应采取“趋利避害”的决策，尽可能避开主要的洪水灾害；灾前要有预防措施，灾中要有积极抗御措施，灾后要有积极补救措施，以尽可能减少洪水灾害所造成的损失。根据洪水灾害风险管理的不同目标，常用的风险决策分析方法可分为完全回避风险法、权衡风险法和风险一效益分析法。完全回避风险法就是将风险尽量降低到最低程度而不考虑获

利情况,即宁可获得较小利益或付出更大代价以换得减小风险的目的。权衡风险法是在承认存在不可避免但可以接受的风险的基础上,对各种风险事件的概率及其可能产生的损失进行比较,选择较小风险的方案。风险—效益分析法是在社会系统中如何平衡风险与效益之间的关系,最常见的是眼前的经济利益与可能造成的、长远的潜在风险之间如何平衡。

洪水灾害风险决策分析具有以下显著特点:① 风险决策分析是以自然灾害风险可能造成的损失结果为研究对象,根据成本和效益的比较原则,选择成本最低、安全保障效益最大的风险处理方案。② 由于目前人类对洪水灾害的认识能力和预测精度都有限,未来将要发生的洪水灾害及可能造成的损失往往不能预先为决策者所确知,因此洪水灾害风险决策分析一般都属于不确定型决策。历史洪水灾害风险的频率分布成为风险决策的客观依据,同时,决策者对风险的主观态度和经验估计成为风险决策的主观依据。③ 洪水灾害风险具有随机性和多变性,在决策过程中随时可能出现新情况和新问题,因此必须定期评价决策效果并据此进行适当的调整。④ 由于购买洪水灾害保险是将未来风险的不确定性转化为相对确定性的较好方法,因此,洪水灾害风险保险是一种重要的风险决策方案。

## 1.2 洪水灾害风险管理与社会经济可持续发展

随着全球社会经济的不断发展,洪水灾害所造成的经济损失和社会影响与日俱增。1993年美国密西西比河大洪水,1991年、1996年、1998年和1999年中国长江大洪水,都促使我们重新思考人类应当如何面对洪水,如何学会与洪水长期共处<sup>[17]</sup>。

洪水具有两面性。它既是一种造成灾害的自然现象,又是保持自然生态平衡必不可少的生态过程。人类应当做的是如何在谋求社会经济发展的同时,尽量减少洪水所造成的灾害损失,同时又尽量保持洪水在自然生态环境中所能发挥的洗涤、净化、补充地下水、维持湖沼、改良土壤等重要作用。20世纪后期,在“征服自然,改造自然”等理念的支配下,人类开展了大规模的江河湖库整治工程;在河岸两侧展开了大规模的经济建设,从而陷入了经济发展与洪水灾害相互竞争的恶性循环之中。历史证明这种洪水灾害管理方式是没有出路的。近年来提出的洪水灾害管理策略,就是对洪水灾害风险进行管理,调整人与水的关系,对江河的整治由过去以防洪为主要目标逐渐转变为以防洪减灾、水资源保障、改善环境及生态系统等多目标的综合整治,并且由对水系的整治转变到对全流域的国土综合整治,在社会经济可持续发展的总目标下,协调流域内人与水的关系,即由“防御洪水”转向“洪水管理”。下面从洪水灾害对社会经济可持续发展的影响和洪水灾害风险管理对社会经济可持续发展的作用两方面,对上述观点作进一

步阐述。

### 1.2.1 洪水灾害对社会经济可持续发展的影响

洪水灾害对人类的严重影响由来已久<sup>[1,12,18,19]</sup>。尼罗河的第一次洪水记录可追溯到公元前 3500 年~公元前 3000 年,黄河的第一次洪水记录大约是在公元前 2297 年。有关洪水的故事深深地沉淀在世界各国的历史文献之中。《圣经》中描述了那场覆盖全球、毁灭生灵的史前大洪水;《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”;《管子·度地》的描述是:“除五害之说,以水为始”。毋庸置疑,洪水灾害对人类社会发展和社会经济发展产生了深刻的影响,具体表现在以下几个方面:

#### 1. 洪水灾害损失与破坏严重

据统计,目前全球因洪水灾害所造成的经济损失占各类自然灾害造成的总损失的 30%以上<sup>[5]</sup>,因洪水灾害死亡的人数也在所有自然灾害死亡人数中占有较大比例。表 1.2 是 1949~1980 年全球自然灾害死亡人数统计。

表 1.2 全球自然灾害死亡人数 (1949~1980 年)<sup>[5]</sup>

灾种	热带气旋、飓风	地震	洪水	雷暴龙卷风	雪暴	火山	热浪	雪崩	山崩	潮汐
死亡人数(万人)	49.9	45.0	19.4	2.9	1.0	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5

中国的洪水灾害更是十分严重。据统计,在我国每年因洪水灾害平均经济损失达 150 亿~200 亿元人民币,占全年主要自然灾害总损失的 30%~30.3%,详见表 1.3。按本书前面对洪水灾害的定义,表 1.3 中风暴潮、泥石流等也是洪水灾害,因此实际上我国洪水灾害年均经济损失达 220 亿~285 亿元人民币,占全年主要自然灾害总损失的 33.3%~43.2%,成为最严重的自然灾害。

表 1.3 中国主要自然灾害年均经济损失表<sup>[5]</sup>

灾种	经济损失(亿元/年)	占年总损失百分比(%)
洪涝	150~200	30~30.3
干旱	150~200	30~30.3
森林火灾	50~70	10~10.6
风暴潮	50~60	9.0~10
水土流失	25~30	4.6~5.0
山崩、滑坡、泥石流	20~25	3.9~4.0
冰雹	20~25	3.9~4.0
沙漠化	15~20	3.0~3.9
地震	10~15	2.0~2.3
病虫害	10~15	2.0~2.3

表 1.4 给出了公元 22~1987 年中国洪涝灾害死亡人数的状况。

表 1.4 中国洪涝灾害死亡人数 (公元 22~1987 年)<sup>[18]</sup>

年 代	22~618	619~1368	1369~1911	1912~1948	1949~1987
洪涝灾害死亡人数 (万人)	8.25	17.13	143.38	96.97	1.05

## 2. 洪水灾害发生频率极高

中国是洪水灾害发生频繁的国家之一<sup>[12,18]</sup>。自公元前 200~公元 1949 年间,共发生过较大的洪水灾害 1092 次,平均每 2 年就有 1 次。20 世纪中国曾发生了 1931 年、1954 年、1991 年江淮流域特大洪水灾害,1963 年华北特大洪水灾害,1975 年河南特大暴雨洪水灾害,1981 年四川特大暴雨洪水灾害,1983 年安康大洪水,1985 年辽河大洪水。据不完全统计,黄河流域在过去的 2197 年间发生水灾 147 次,长江出现洪水灾害 176 次,见表 1.5。

表 1.5 黄河、长江流域洪水灾害发生频次统计<sup>[18]</sup>

时代 (世纪)	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	合 计
黄河	7	9	7	11	13	3	6	3	11	11	4	6	3	5	5	7	2	10	8	9	5	2	147
长江	8	13	8	17	9	8	11	13	8	7	6	4	10	10	6	7	11	10	10				176

## 3. 洪水灾害影响范围极广

洪水灾害的主要影响和危害表现为<sup>[20]</sup>:河流泛滥,内涝积水,山洪暴发,毁坏庄稼、建筑物和其他物资,造成人员伤亡、疾病,农作物欠收或绝收,交通和通讯受阻,并次生农林病虫害、崩塌、滑坡、泥石流等其他自然灾害。在中国,洪水灾害的空间影响范围极广<sup>[20]</sup>。据对 1949~1993 年间共 45 年的洪水灾害受灾面积的统计分析,平均每年洪水灾害受灾面积为 886 万公顷,中国除沙漠、戈壁和极端干旱地区及高寒山区外,约有  $\frac{2}{3}$  的国土面积受过不同类型、不同危害程度的洪水灾害。中国现有 100 多座大中城市、40%~50%的人口、30%~35%的耕地和占全国总量 60%~70%的工农业总产值集中于中国七大江河的中下游及东南沿海地区,面积约为 74 万 km<sup>2</sup>,中国 8%左右的国土面积的地面高程在江河洪水位以下。根据李炳元、冯佩芝等的研究,中国有五个主要洪水灾害影响区域<sup>[9,18,21]</sup>:

(1) 东北洪水灾害区。该区位于大兴安岭山脉以东,燕山以北,包括黑龙江、吉林、辽宁省以及内蒙古、河北部分地区。其中,辽宁省大部分地区平均每 4~5 年就出现 1 次洪水灾害,黑龙江的中部和东南部平均每 6 年出现 1 次洪水灾害,黑龙江的其他平原地区和吉林省平均每 15 年出现 1~2 次洪水灾害。由于

上述洪水灾害多分布于工农业发达地区,所以损失较大。1985年辽河洪水,受灾人口达1297万,死亡240人,被迫转移68万人;连同河口风暴潮的影响总损失达47亿元。随着经济、人口的发展,洪水灾害损失有增长之趋势。

(2) 东部平原洪水灾害区。该区位于中国的第三级地貌台阶上,它北起燕山山脉的南侧,南至桐山、大别山、天目山、四明山的北麓,西起太行山、伏牛山的东麓,东临渤海、黄海、东海,主要包括了滦河、海河、黄河、淮河、长江、钱塘江等的下游和河口地区,以及源于鲁中南山地的一些中小河流的下游区,为中国最大的平原,地跨冀、鲁、豫、皖、苏、浙六省和京、津、沪三市,为全国工农业最发达的一个区域。该区在季风条件下,降雨集中,降雨年际变化大。该区域中,海河流域(主要是天津、冀东和冀中地区)平均约3年出现1次洪水灾害;黄河下游地区(主要是山东东南沿海地区、河北南部、河南北部等地)平均3~5年出现1~2次洪水灾害;淮河流域大部分地区平均2~3年出现一次洪水灾害;长江下游及三角洲地区平均2~3年出现1次洪水灾害,这些地区也是中国洪水灾害最严重的地区。尤其是黄河河道在此成为“地上河”,洪水灾害威胁十分严峻。1939年海河流域大洪水使下游河道决口达79处,使河北、山西、山东、河南的159个县市受灾,淹没农田346万公顷,死亡103万人,直接经济损失达11.69亿银元;1963年海河流域大洪水受灾人口达2200万,死亡5600人,淹没耕地440万公顷,直接经济损失60亿元人民币;1933年黄河流域大洪水,使36万人受灾,1.83万人死亡,淹没农田85万公顷,经济损失2.3亿银元;1958年黄河三花区间特大暴雨洪水迫使京广铁路交通中断14天,受灾人口74万人,淹没耕地面积2000万公顷;1975年淮河流域特大暴雨洪水使1029万人受灾,450万人被洪水围困,约10万人当即被洪水卷走,淹毁庄稼1788万亩<sup>[12]</sup>,直接经济损失约100亿元<sup>[18]</sup>;1991年淮河流域特大洪水使2.3亿人受灾,3074人死亡,造成受灾面积约4200万公顷,经济损失高达821亿元;1954年、1984年、1991年长江下游均发生了大洪水或特大洪水。

(3) 长江中游洪水灾害区。该区位于东部平原区以南,居中国中部,东起武夷山西坡,西与中国第二级地貌台阶相接,北起大别山北麓,南至南岭北坡,包括赣、湘、鄂、皖、浙等,长江贯穿其中,水陆交通方便,工农业发达,在中国占有重要经济地位。该区处于冷暖气旋交接地区,锋面及气旋活动异常频繁,台风暴雨常影响该区。该区中,赣北、湘北地区平均2~3年出现1次洪水灾害;江西、湖南两省南部、湖北、安徽中部、浙江西部等地区平均3~5年出现1次洪水灾害。据1951~1978年资料统计,该区洪水灾害概率为48%,其中平原地区特别是长江中游河网稠密,水量丰富,洪水灾害十分严重,如江汉洞庭湖平原洪水灾害在全国属严重之列,背河洼地涝灾较频繁。该区的洪水灾害对工业、交通、农业影响较大。1954年、1980年、1983年、1988年长江中游均发生了大洪

水或特大洪水。

(4) 东南沿海洪水灾害区。该区位于中国东南沿海地区，北、西为南岭—武夷山—仙霞岭南（或东）坡、南、东临海，包括广西、广东、福建、浙江、台湾、海南等省。该区是中国农业复种指数最高和最主要的热带作物区，自改革开放以来经济发展迅速，其经济地位仅次于东部平原区。该区受海洋影响强烈，台风登陆都在该区，成为由台风引起的、受狂风暴雨洪水灾害影响最强、最频繁、最严重的地区。洪水灾害发生的地区多为人类经济活动中心区，因此灾害损失十分严重，风暴潮灾次和灾情在全国也居首位。该区中，广东大部、广西大部及福建南部平均每3年出现1~2次洪水灾害；福建中、北部沿海一带和浙江沿海一带平均2~3年出现1次洪水灾害；福建西部和北部地区平均3~5年出现1次洪水灾害；福建西部和北部地区平均3~5年出现1次洪水灾害。1915年该区的珠江流域大洪水使600万人受灾，10多万人死亡，使得广东、广西两省、区76个县 $63.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地受淹，其中仅珠江三角洲地区因洪水导致的直接损失就有3000万银元；1949年的西江洪水造成灾民370万人，两广地区被淹农田 $39.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

(5) 川黔湘鄂西洪水灾害区。该区地处中国第二级台阶的东南部，北起秦岭，南至九万大山—凤凰山—中越边界，东自第二级台阶前缘的巫山—雪峰山，西至云贵交界（长江、珠江分水岭），包括贵州全省，川、湘、鄂、黔、桂、陕、豫、甘部分地区，是中国西南经济最集中的地区。该区工农业、交通在全国都占有重要地位，人口与经济活动也主要集中在易受洪水灾害威胁的盆地。其中，四川盆地的洪水灾害出现频率为46.7%；湖北、陕西南部河南北部平均3~5年出现1次洪水灾害；贵州大部、广西西部、陕西大部、甘肃东部平均15年出现1~2次洪水灾害。1981年四川特大暴雨洪水并次生滑坡、泥石流，致使约2000万人受灾，14509人受伤，1358人死亡，138个县受灾，其中7个县全部被淹，淹没城市房屋237万间，其中倒房153万间，淹没耕地 $75.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，直接经济损失达 $25 \times 10^8$ 元以上<sup>[22]</sup>。

表1.6为这5个区的洪水灾害情况统计表。

表1.6 中国5个主要洪水灾害区统计表<sup>[21]</sup>

洪水灾害区	人口(人)	面积(km <sup>2</sup> )	占全国面积百分比(%)			县数
			人口	面积	产值	
东北洪水灾害区	110, 248, 131	930, 104	9.6	9.6	11.4	202
东部平原洪水灾害区	350, 521, 782	571, 650	30.6	5.9	44.7	478
长江中游洪水灾害区	181, 429, 190	594, 863	15.8	6.1	12.4	314
东南沿海洪水灾害区	167, 251, 906	599, 694	14.6	6.2	15.6	279
川黔湘鄂西洪水灾害区	169, 431, 353	733, 940	14.8	7.6	7.3	314
合计	978, 882, 362	3, 430, 251	85.4	35.4	91.4	1587

#### 4. 洪水灾害影响时间极长

中国每年可能遭受洪水灾害的时间跨度很长<sup>[9]</sup>，各地较大范围洪水灾害出现的最早时间一般是南方早，北方迟。淮河以南至两广的广大地区，洪水灾害最早出现在4月；桂西、海南岛稍晚，为5月；华北平原出现在6月；黄土高原、渭河流域及东北南部出现在7月，东北中部出现在6月，三江平原出现在4月；四川盆地东部出现在5月，西部出现在6月；云南局部性洪水灾害4月就有发生。中国较大范围洪水灾害的最晚结束时间，以江南南部最早，为7月；次为东北、黄土高原大部、长江中下游地区大部及广西、贵州等地，为8月；华北平原、河套地区、广东北部、云南及四川东部因秋雨较多，10月份仍可出现洪水灾害；中国东部和南部沿海地区因受台风影响，10月、11月还可能遭受台风型洪水灾害。

从所述洪水灾害所造成的经济损失、人员伤亡、发生频次、洪水灾害影响的空间范围和时间范围等方面，以及张海仑等从洪水灾害对农业产量、交通运输、水利工程设施、城市和工业生产、人口伤亡、灾民流徙、疫病、生态环境、耕地、河流水系、水环境污染等众多方面的影响所作的全面分析和阐述来看<sup>[19]</sup>，洪水灾害严重威胁和制约着人类社会经济的可持续发展，对洪水灾害进行有效管理已刻不容缓。

### 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

下面按照洪水灾害风险管理的组成部分，依次阐述洪水灾害风险管理对社会经济可持续发展的积极作用<sup>[16]</sup>。

#### 1. 洪水灾害危险性分析的积极作用

(1) 洪水灾害危险性分析可为洪水灾害影响区域（又称洪水灾害风险区）的土地开发和利用提供科学决策依据。洪水灾害损失不仅与淹没范围有关，而且与洪水演进路线、到达时间、淹没水深、淹没历时及流速大小等有关。通过洪水灾害危险性分析，可以对可能发生的洪水过程特征进行分析和预测，指出受洪水灾害影响地区的危险程度。随着社会经济的发展和人口的增加，对洪水灾害风险区的土地利用和开发不可避免；在制定相应的土地规划时，应把重点放在洪水灾害风险较低的地方，控制蓄滞洪区、洪泛区等洪水灾害高风险区的人口和资产的增长，限制盲目开垦湖泊洼地和侵占蓄滞洪区的活动，以减少洪水灾害损失。例如，英国规定5年一遇洪水淹没范围为严禁开发区；加拿大、澳大利亚等国，严格控制20年一遇洪水可能淹没区的开发利用。中国人多地少，对洪水风险区的土地开发的需求很大，为减少不必要的洪水灾害风险，必须根据风险分析的结果制定相应的政策和措施。

(2) 洪水灾害危险性分析为辅助防洪救灾决策提供重要信息。在洪水预报预

警中,将实时预报信息与洪水灾害危险性分布图结合起来,可以快速判断洪水可能淹没范围;在蓄滞洪区启用决策中,根据洪水灾害的风险分析结果,能够确定一旦启用蓄滞洪区时洪水可能淹没的范围和损失,并制定相应的灾民安置地点和撤退路线;在防洪工程出现险情时,可根据洪水风险图预先估计工程失事的后果,以便及早采取对策。

## 2. 洪水灾害易损性分析的积极作用

(1) 为灾前损失预评估、灾时损失快速评估和灾后损失统计核实等洪水灾害损失评估工作提供重要依据。

(2) 有利于洪水灾害保险制度的建立和推行。作为一项以经济手段推动洪水灾害风险区管理的工作,洪水灾害保险在减轻洪水影响、尽快恢复生产、重建灾区等方面具有重要作用。洪水灾害易损性分析,可以为各地区制定不同的洪水灾害保险费率提供依据,也有助于居民了解居住区的风险程度,提高人们的投保积极性,从而有利于洪水灾害保险制度的推行。

(3) 为确定防洪标准、加强防洪立法工作提供新的依据。

## 3. 洪水灾害灾情分析的积极作用

(1) 根据洪水灾害灾情的评价结果可以确定采取相应等级的洪水灾害减灾决策方案。每种减灾决策方案的实行都必须付出经济代价,减灾决策方案的等级越高,所付出的经济代价就越大。因此,必须在地区的安全性和经济性之间进行权衡,通过洪水灾害灾情评价,可以确定采取相应等级的减灾决策方案。

(2) 洪水灾害灾情也是实现洪水灾害保险过程的一个重要环节。通过对投保地区进行洪水灾害灾情评价,才能判断是否承保、保险费率是多少。可见,洪水灾害灾情分析也是保险人对投保户提供风险管理服务的主要内容。

(3) 利用遥感、地理信息系统、水情测报系统等高新技术,可以对洪水灾害灾情进行快速而准确的分析和评估,为抢险救灾指挥调度提供科学而及时的决策信息,从而有效减轻洪水灾害损失的程度。

## 4. 洪水灾害风险决策分析的积极作用

(1) 提供监测、回避、转移、抵抗、减轻和控制风险等处理洪水灾害风险的各种行动方案,根据研究地区洪水灾害风险发生的实际情况,选择并执行相应的最优方案,可以大大减轻洪水灾害对当地社会经济可持续发展的不利影响。

(2) 由于自然环境和社会环境的共同作用,造成了洪水灾害的发生和发展,洪水灾害又进一步导致其他致灾因素的酝酿、发生和加剧,从而形成正反馈闭环系统。在该系统中,人与自然环境的关系不能协调发展。而可持续发展的核心思想就是,从发展的时间尺度方面要求既满足当代人的需要,又不对后代满足其需求的能力构成危害;从发展的空间尺度方面,要求本地区的需要不危害和削弱其他地区满足其需求的能力;从人与自然环境的关系方面,要求人与自然环境相互

适应、和谐共处。因此，为了最终实现可持续发展，就必须改变这一正反馈闭环系统的状态，目前能改变这一状态的主要措施之一就是进行洪水灾害风险决策分析。

### 1.3 洪水灾害风险管理研究进展

广义地说，自从公元前 3500~公元前 3000 年人类对尼罗河洪水的首次记录开始，洪水灾害研究就随之开始。由于洪水灾害系统是一个开放动态复杂系统，这一系统的组成涉及天文圈、大气圈、生物圈、水圈、岩石圈、人类圈这六大圈层，洪水灾害研究作为一门科学则到 20 世纪 60 年代末期才开始形成<sup>[23]</sup>。

从系统科学的观点看，洪水灾害研究是一项复杂的系统工程，它包括洪水灾害的监测、预报、评估以及管理等几个方面的内容，下面对其予以评述。

#### 1.3.1 洪水灾害监测研究<sup>[24,25]</sup>

洪水灾害监测研究已从传统的雨量观测站网研究、水文观测站网研究发展到当前结合传统观测站网的洪水灾害遥感监测研究新阶段。

应用遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 等高新技术，对洪水灾害进行监测是目前及今后的重点研究课题。目前，LANDSAT 卫星、SPOT 卫星及云雨卫星等已用于监测洪水灾害。例如，美国应用卫星和现场资料建立估计河流洪水量的模型，在纽约东北部的 Black 河流域使用 LANDSAT 卫星数据获取洪水资料。法国利用 SPOT 卫星图像对 1988 年 2 月旺代省斯旺普峰的洪水进行监测。在南美洲，LANDSAT 卫星和云雨卫星被用于监测洪水。而在印度，有报道利用遥感资料对 Sahibi 河流域的洪水进行监测取得成功。

在中国，从“六五”至“八五”期间，通过国家“遥感技术应用研究”科技攻关项目，在建立中国洪水灾害监测信息系统方面取得了一系列成果，“八五”期间开发的信息系统在 1995 年 6、7 月份江西省鄱阳湖、湖南省洞庭湖地区的洪水灾害以及辽宁省辽河和浑河流域洪水灾害监测中取得了较好的效果。中国科学院与国家气象局 (85-906 项目) 初步建立了台风、暴雨和洪水灾害信息实时系统。中国科学院和国家教委有关科研、教学部门研制了气象卫星对小区域自然灾害进行应急监测的技术系统。

#### 1.3.2 洪水灾害预测研究

洪水灾害预测是指对洪水可能发生的地点、时间、强度、规模的预报。洪水预测 (预报) 的常用方法是水文学方法，即利用暴雨信息经产、汇流水文模型作用来预报洪水。随着水文学理论研究的深入和自动测报、计算机等技术的发展，这种洪水预报的理论和实用性都有了长足的进展<sup>[26,27]</sup>。

目前,洪水预测中的洪水时空变化规律的研究,尤其是异常暴雨形成的特大洪水时空变化规律的研究还很少,而这种研究对于防洪减灾而言是极为重要的。因此,近年来科学家们根据成因方法和数理统计方法,逐步从与洪水有联系的更广阔的空间去寻找形成洪水的各种物理因素,探索它们与洪水之间的相关关系,从而推测未来洪水的时空变化规律。近年来,这一方面的研究工作主要包括以下几个方面<sup>[28]</sup>:

(1) 利用 ENSO 现象来预测洪水。ENSO 现象是厄尔尼诺现象 (EL Nino) 和南方涛动 (Southern Oscillation) 的总称,它们对全球性的大气环流和海洋状况异常都有重要的指示意义。研究指出,ENSO 现象是由地球自转速度的变化引起的。在地球自转速度大幅度减慢时期,赤道附近的海水或大气获得较多的向东角动量,引起赤道洋流减弱,导致东太平洋涌升流得以减弱,从而造成该地区大范围海表温度异常升高。研究表明,江淮流域的特大洪涝多发生在 ENSO 现象的同年或次年;四川盆地西部的历史大洪水多发生在地球自转速度由慢变快和由快变慢的不规则运动的转折点附近,由于估计 1992~1995 年是地球自转速度由慢变快的转折点,据此,研究者指出这一时期应警惕大洪水,而事实上,1995 年川西发生了大洪水。

(2) 利用地震来预测洪水。自然灾害系统中各种灾害之间具有相互触发、因果相循等关系,从而造成灾害群、灾害链现象。郭增建等人的研究指出,如果在蒙新甘交接地区发生 7 级以上大震,那么其后一年内黄河往往会出现特大洪水,这种大地震与大洪水的对应率可以达到 88% 以上<sup>[29]</sup>。研究认为,当蒙新甘交接地区发生大震时,大范围的构造运动使地下携热水汽逸入低层大气,这一方面使大气水汽增加,同时使这里气压变低,诱使西风带上的水汽向这里输送;另一方面,大震后造成的低压环境可吸引北方的冷空气南下和西太平洋副热带高压西伸北上,由此在黄河流域形成特大洪水。因此,我们可以利用蒙新甘交接地区的大震活动来预测黄河流域的特大洪水。

(3) 利用火山爆发来预测洪水。强烈的火山爆发所形成的尘幔在高层大气中能停留数年之久,它们能强烈地反射太阳辐射,从而产生使地球表层变冷的效应。历史上赤道地区四次强烈的火山爆发曾引起四川温度偏低,大量凝结核使降水偏多,相当一部分地区出现洪水灾害。根据历史资料分析,在火山爆发的第二年,四川盆地发生较大洪水的概率为 85%,在第三年发生较大洪水的概率为 79%。

(4) 利用地磁异常来预测洪水。地球磁场在正常月份呈线性分布,其空间线性相关系数 ( $r_z$ ) 约为 75%~100%,当地球磁场出现异常时相关系数值将减小。从 1990 年 11 月开始,我国出现了以皖南为中心的包括安徽、江苏和浙江在内的大面积地磁异常区。到 1991 年 1 月,异常中心的相关系数值降至 10%,5 个月

后,在淮河、太湖流域出现了特大洪水灾害。其他地磁异常地区也出现了类似情况。研究者推测,太阳风与地球磁层顶相互作用在极区上空的电离层中形成极区电极流。极区电极流通过地球磁力线传至中低纬度地区的电离层中,在未来要发生灾害性天气的地区上空,电离层可能在5个月前受到扰动,以致地球磁场出现异常变化。

(5) 利用太阳黑子活动来预测洪水。太阳是离地球最近的恒星,太阳活动深刻地影响着地球上的洪水灾害。太阳黑子活动具有11年为一周期的变化规律。研究认为,在太阳黑子活动峰年,一方面,太阳给大气输入的能量增多,导致大气热机功能加强;另一方面,在此时期,地壳因磁致伸缩效应和磁卡效应易产生变形和松动,地壳内的携热水汽易于泄出,并与大气过程配合,在此情况下易于发生特大洪水。在太阳黑子活动谷年,磁暴减弱,地壳内居里点附近的生热效应降低,此时居里点附近的岩石就会因自发磁致伸缩效应而产生形变,它可触发地壳内一些不稳定地段发生变动从而有利于发生大地震,使地下热汽逸出,并与大气过程配合,形成特大洪水。自1840年以来,长江发生特大洪水的年份主要有1870年、1931年和1954年,淮河主要有1975年和1991年,黄河主要有1843年,而这些年份都在太阳黑子活动的峰年、谷年或其前后。因此,可利用太阳黑子活动峰谷年的变化来预测长江、淮河和黄河可能发生的特大洪水。

(6) 利用太阳质子耀斑来预测洪水。太阳质子耀斑是一种辐射出大量高能质子的耀斑。周树荣等的统计研究表明<sup>[30]</sup>,约81.3%和76.1%的质子耀斑事件发生后的第一个月内,长江中下游和华北地区的雨量明显增加,易出现洪水。太阳质子耀斑对大气环流的调制作用有两个过程:①太阳质子耀斑喷射的高能质子流造成了地磁扰动,被扰动的地磁场每当地磁活动指数 $K_p$ 增加一个单位时便使增强的电离层主槽向赤道方向移动约 $3.5^\circ$ ,从而导致极涡南移,使冷空气频繁南下;②在夏季日面西部出现大耀斑爆发后的半月内,西太平洋副热带高压有增强北上的现象(西伸北移)。据此推测,极涡南移造成的冷空气频繁南下和西太平洋副高压的西伸北移是太阳质子耀斑事件发生后,长江中下游和华北地区汛期洪水的主要原因。在1991年5月和6月,日面上连续两次出现了太阳质子耀斑事件,如果天气预报时考虑到这一天文因素,那么就有可能提前27~30天预报1991年夏季淮河、太湖流域的两次特大洪水。

(7) 利用日食来预测洪水。太阳辐射能在地球上出现不均匀的纬向分布,使两极成为低温热源,赤道成为高强热源,从而导致大气环流的运行。赵得秀等人的研究发现,日食与洪水有一定的关系。因为当日食发生时,地球上接受的太阳辐射能减少,从而使大气环流发生异常变化,以致出现洪水。研究表明,大尺度涡旋的动能约为地球一日获得的太阳能量的 $\frac{7}{800}$ ,不到 $\frac{1}{100}$ ,这远小于一次日食

形成的大气有效位能,所以一次日食可以激发大气长波。大气长波形成的触发作用有热力作用和动力作用;其中海陆之间的温差是热力作用,而高山、高原对西风环流的阻挡是动力作用。日食形成的热力作用是形成洪水的主要因素,因为海陆和地形的作用的长年相对稳定的,不能形成气候的巨变;而日食次数每年不尽相同,多者为5次,少者为2次,这足以使大气环流出现异常变化。利用日食对中国各大江河1981~1987年的洪水进行检验性预报,其预报成功率可达84.7%。

(8) 利用近日点交食年来预测洪水。在近日点,地球受太阳的吸引力最大、公转速度最快,日月食在年头、年尾出现,此种年份称为近日点交食年。在近日点交食年,中国的一些大江大河多发生特大洪水,如长江特大洪水发生在近日点交食年的年份有1852年、1860年、1870年、1935年、1945年、1954年等,黄河有1842年、1843年等,海河有1871年、1917年、1963年等。究其原因,一方面,在近日点交食年,日月引潮力引起近日点交食年潮汐,并引起厄尔尼诺现象;另一方面,在近日点地球接受的太阳辐射比远日点多7%,赤道暖流把吸收的热量通过黑潮送至我国沿海,且暖流蒸发也较多,增强了西太平洋副热带高压的活动能量,进而影响我国水文气象的异常变化,以致特大洪水发生。研究者根据近日点交食年资料,预知1991~1992年和2000年,中国将出现这种异常变化,前一时期的推测已被1991年江淮流域的特大洪水所证实。

(9) 利用九星会聚来预测洪水。九星会聚指地球单独处在太阳的一侧,其他行星都在太阳的另一侧,且最外两颗行星的地心张角为最小的现象。研究认为,九星会聚发生于冬半年时,地球的冬半年延长,夏半年缩短,以致北半球接受的太阳总辐射量减少,这就是九星会聚的力矩效应,这种效应累积若干年后最终导致北半球气候变冷;反之,九星会聚发生于夏半年时,就会导致北半球气候变暖,产生各种气象灾害。据研究,近1000年以来,长江流域1153年、1368年、1870年、1981年的特大洪水都处在九星会聚的前后阶段;近500年以来,黄河流域发生过4次特大洪水,其年份是1482年、1662年、1761年、1843年,其中除1761年之外其他三次也都处在九星会聚的附近时期。

(10) 利用天文周期来预测洪水。根据天文奇点非经典引力效应以及近几年关于天体引潮力的研究,把黄道面四颗等恒星先后与太阳、地球运行成三点一直线的四个天文奇点的太阳投影瞬时相,看成一种天文周期。研究指出,天文奇点出现时,地球受到的天体引潮力达到最大值,同时大气环流也发生异常变化,以致洪水灾害发生。研究证实,已知的天文周期与长江流域的旱涝有着较好的统计相关,相关率达94%。

综上所述,近年来,科学家们已从地球系统、太阳活动、行星运行等广阔的空间去探求与洪水有关的物理因素,在预测洪水的时空变化规律方面做了大量的