

国家“十五”重点图书

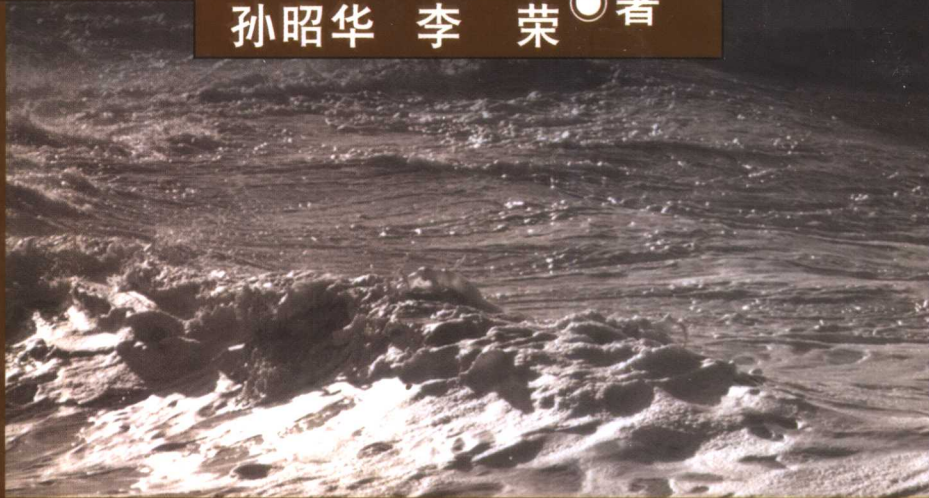


# 河流水沙灾害及其防治



武汉大学学术丛书  
WUHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY

李义天 邓金运 著  
孙昭华 李荣 著



全国优秀出版社  
武汉大学出版社



武汉大学学术丛书

国家“十五”重点图书

国家重点基础研究发展计划(973计划)项目  
(编号 2003CB415200)

国家自然科学基金委员会与水利部联合资助重大项目  
(编号 59890204)

# 河流水沙灾害及其防治

李义天 邓金运 著  
孙昭华 李 荣

武汉大学出版社

638329

图书在版编目(CIP)数据

河流水沙灾害及其防治/李义天,邓金运,孙昭华,李荣著. —武汉: 武汉大学出版社, 2004. 3

(武汉大学学术丛书)

国家“十五”重点图书

ISBN 7-307-03882-x

I. 河… II. ①李… ②邓… ③孙… ④李… III. 泥沙运动—影响—河道—研究 IV. TV85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 000087 号

责任编辑: 瞿扬清      责任校对: 程小宜      版式设计: 支 笛

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数: 446 千字 插页: 3

版次: 2004 年 3 月第 1 版      2004 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-03882-x/TV·15      定价: 40.00 元

---

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



**李义天** 1957年8月生，山西朔州人，武汉大学教授、博士生导师，中国水利学会泥沙专业委员会副主任，湖北省水利学会泥沙专委会主任，国家重点基础研究发展计划（973计划）“长江流域水沙产输及其与环境变化耦合机理”项目首席科学家。1977年考入武汉水利电力学院，1987年获该校博士学位，毕业后留校任教。1988年任副教授，1991年任教授。一直从事河流工程的教学与科研工作，主持完成国家自然科学基金重点、重大项目；中加合作CIDA项目；长江三峡工程上游变动回水区、坝区及坝下游等泥沙问题研究项目数十项。建立的“一、二维嵌套水沙数学模型”，在全国许多水电站、南水北调中线工程、长江中下游河道及主要支流，如汉江、赣江等河道及航道整治工程研究中得到应用；建立的“蓄滞洪区洪水调度模型”，在荆江及洞庭湖区、永定河、大清河、淮河、汉江等流域的洪水调度中广泛应用。对河流水沙灾害的形成机理、研究方法、模拟预测、评估及防治等方面进行了系统的研究，提出了泥沙资源化的新思路，在减灾的同时变害为利。公开发表论文70多篇，出版专著、教材6部。获国家教委及水利部科技进步奖，作出突出贡献的中国博士学位获得者、全国优秀教师、中国青年科技奖、霍英东青年教师奖、湖北科技精英、湖北省有突出贡献的中青年专家、“国家电力公司特等劳模”等奖励和荣誉。

## 内 容 提 要

由于我国水土流失严重,近年来因泥沙输移变化引起江河水沙灾害加剧的现象越来越严重,开展水沙灾害形成机理、预测及防治的研究,无论在理论上还是在实际应用中都具有重要的意义。水沙灾害具有丰富的内涵和外延,涉及到水文学、水力学、河流动力学、地理地貌学及社会经济学等多学科的交叉问题。本书重点介绍了作者近年来在国家自然科学基金委员会重大项目资助下有关河流水沙灾害机理及防治方面的研究成果。全书针对近年来出现的小水大灾现象,以河流水沙灾害为对象,以泥沙冲淤造成的江河洪水灾害为重点,系统介绍泥沙运动与江河湖泊洪水灾害的相互关系。主要内容包括:河流水沙灾害的形成机理、模拟预测、评估防治等。本书可供水文学、水利学、地理地貌学和自然灾害学等学科的科技工作者及高等院校师生参考。

## 序

我国是自然灾害多发的国家,洪水灾害一直是中华民族的心腹大患,洪水泛滥给人民的生命财产安全带来了深重的灾难,严重阻碍了我国经济的可持续发展。而且随着社会的发展以及国民生产总值的增加、居民生活水平的提高,洪水风险和危害也越来越大,一旦发生洪水灾害,损失往往难以估量,1996年全国30个省(区、市)洪涝灾害直接经济损失2200多亿元,相当于国民生产总值的4%。近年来,全国各大江河普遍出现了“小流量高水位”的新现象,同流量下水位不断抬升,泥沙淤积已成为加剧洪水灾害的重要因素。泥沙往往和洪水交织在一起,相互关联,相互依存,共同组成了水沙灾害。从目前来看,水沙灾害已经成为制约经济发展的一大环境公害,是摆在我们面前亟待解决的重大科学问题,因此,从深层次上揭示水沙灾害形成机理、特点并寻求相应的防治措施是水沙学科的首要任务。

《河流水沙灾害及其防治》一书立足学科发展的前沿,针对目前江河水沙灾害中出现的新问题、新现象,汇集了作者近年来在国家自然科学基金委员会重大项目资助下完成的有关河流水沙灾害形成机理及防治方面的研究成果,就河流水沙灾害的研究方法、形成机理、模拟预测、评估及防治等方面进行了系统的研究。该书在系统总结目前国内外水沙灾害研究进展的基础上,吸收了水文学、水力学、河流动力学、地理地貌学及社会经济学等多学科的知识,结合长江上中游的具体实例,从流域的产流产沙、泥沙输移变化的宏观过程出发,就泥沙淤积对洪水位及湖泊调蓄作用的影响、水沙灾害的风险评估、三峡工程对水沙灾害的影响等方面进行了深入的探讨,在江河水沙灾害研究的思路、方法方面形成了完整的体系,积累了丰富的经验。该书内容翔实,观点新颖,结构紧凑,具有创新性、实用性和针对性强等特点。本书的及时出版对水沙灾害研究具有重要的推动作用。

谢奎衡

2004年2月

## 前 言

自然灾害是地球上各种自然变异所引发的灾害,其中也包括人类活动诱发的自然变异。各种自然灾害无时无刻不在发生,给人类的生存和物质文明建设带来严重的危害。自从有人类历史以来,人们就与各种灾害进行着不屈的斗争。即使在科学技术高度发达的今天,灾害问题仍是当今社会的一大问题。

水灾,包括通常所说的洪涝灾害,是发生频率最高也是危害最严重的一种自然灾害,其造成的损失占全球每年自然灾害损失比重最大。我国是一个洪涝灾害多发的国家,洪水一直都是中华民族的心腹大患。自公元前 200 年到 1949 年,全国共发生较大洪涝灾害 1 092 次,平均两年一次。洪水泛滥给人民的生命财产带来了深重的灾难,严重阻碍了我国经济的可持续发展。根据我国 20 世纪 90 年代初期自然灾害造成的经济损失的不完全统计,1990 年洪涝灾害损失占我国总损失的 38.93%,1991 年为 64.06%,1992 年为 47.1%,1993 年为 64.45%。1998 年,长江流域发生全流域性的洪水,直接经济损失  $166 \times 10^9$  元,仅湖北省受灾人口就有  $24.66 \times 10^6$  人,各类直接经济损失达  $32.832 \times 10^9$  元。其他流域也因为水害而造成了不同程度的损失。

近年来,我国各流域洪水灾害普遍出现流量小、水位高、危害重、损失大的现象,并呈逐年加重趋势。年复一年,江河灾害频发,灾害范围越来越广,灾害损失越来越大。以往大洪水引发大灾,而今大小洪水都致大灾。小水大灾、灾害频率加剧。事实说明,除人类活动影响及防洪意识、防洪管理和防洪工程建设方面尚存欠缺外,自然因素中加剧江河洪水灾害的直接原因是泥沙灾害。水、沙灾害经常交织在一起,形成水沙灾害,突出表现在大区域内泥沙输移规律改变引起不适当位置的累积性冲淤。对于大多数人而言,洪水的危害是十分严重的,但泥沙的影响常常被掩盖和忽视,事实上在很多情况下泥沙输移是引起河道行洪能力恶化的主要因素。河流整体上作为一个动态的反馈系统,以泥沙为中介,水流和河床相互作用,局部的水沙条件变化将会引起泥沙输移的变化,从而引起更大范围的调整。在这些影响中对人类威胁最大、最直接的莫过于促成和加剧洪水灾害。由于流域水土流失严重,而且泥沙灾害具有累积效应,这种因泥沙输移变化引起江河水沙灾害加剧的现象越来越严重。

防洪减灾离不开对灾害成因与发生规律的研究,以及对灾害及其损失的发展趋势作出分析和预估。在自然界中水流和泥沙的运动经常不是独立的,而是相互作用、相互影响的。在某些情况下,水灾和泥沙灾害密不可分,可以认为是一个整体。因此,如果将水沙灾害作为整体概念来理解和研究,将有利于对灾害机理的认识,有利于科学的防灾减灾技术的制定和实施。

水沙灾害具有丰富的内涵和外延,是涉及到水文学、水力学、河流动力学、地理地貌学及社会经济学等多学科的交叉问题。水沙灾害既可以是泥沙灾害引发的水灾增多或加剧,也可以是水流为动力造成的泥沙灾害,涉及水土流失、土壤退化、河岸冲刷、河床淤高、湖泊淤

没等。它不仅是一种水文灾害,也是地貌灾害、环境生态灾害。水沙灾害作为一种灾害,必然具有一般自然灾害的特点,有其成灾原因、孕灾环境、防灾减灾措施。水沙灾害的成灾过程不一,此过程是包括水灾和沙灾的复杂灾害链,所以必须明确灾害链各个环节的先后和主次关系,才能找出洪灾加剧的根源,然后才能从根本上解决洪灾等一系列灾害问题。研究水沙灾害的机理,还有助于人们对大频率、小幅度、低强度的隐含性渐变泥沙灾害的重视和防治,防止突变性的大灾发生。所以,开展水沙灾害形成机理、预测及防治的研究,无论在理论上还是在实际应用中对防洪减灾、保护生态环境等都具有重要的意义。

我国是水土流失最严重的国家之一,水土流失面积占国土面积的38%以上,大量的水土流失不仅造成土壤退化问题,而且使河流泥沙含量变大,全球多年平均输沙量大于 $100 \times 10^6 t$ 的河流有25条,中国就有9条。这些泥沙在中下游江河湖泊的淤积与近年来的大范围洪涝有直接关系。有关部门也注意到了灾害领域的新问题和我国水沙灾害的严重性,并给予了充分的重视,并开展了大量的研究工作。本书是国家重点基础研究发展计划(973计划)“长江流域水沙产输及其与环境变化耦合机理”项目(编号:2003CB415200)以及国家自然科学基金委员会和水利部联合资助重大项目课题“泥沙运动对洪水调节能力的影响机理”(编号59890204)研究成果的总汇,同时也参考了目前国内外的有关研究成果。书的内容涉及流域泥沙、洪水的产生机理;水沙的输移、成灾过程;水沙灾害的评估、防治等。对一些广为关注的问题,如长江98洪水、江湖关系的演化等,也提出了相应的见解和初步的解决办法。

在本书的写作过程中得到了国家自然科学基金委员会及相关课题组的大力支持。谢鉴衡院士对本书提出了许多宝贵的意见,并给予热情的鼓励和帮助。王威博士、曹志芳博士、周潮洪博士承担了大量研究工作。武汉大学水沙科学教育部重点实验室各位同仁也给本书以很大的帮助。同时,本书的顺利出版还得到了武汉大学出版社的大力协助。在此一并表示感谢!

由于作者经验不足,水平有限,难免出现疏漏和错误,敬请读者批评指正。

作 者

2004年2月于武汉大学



# 目 录

第一章 概 论	1
第一节 水沙灾害定义和研究范围	1
第二节 水沙灾害的产生过程	4
第三节 水沙灾害研究的意义	6
一、我国的洪灾	6
二、水沙灾害对洪灾的影响	7
三、江河水沙灾害研究的意义	9
第四节 水沙灾害研究进展	10
一、当前研究存在的问题	10
二、水沙灾害机理研究进展	11
三、防灾减灾措施研究进展	12
第五节 水沙灾害研究方法	12
一、资料分析方法	13
二、水沙运动的水文学及河流动力学模拟方法	14
三、数值试验方法	16
四、地理地貌学的方法	17
第六节 本书的主要内容	18
参 考 文 献	20
第二章 暴雨产流与洪水预报	22
第一节 暴雨洪水形成的天气因素	22
一、降雨的基本特征量及特性曲线	22
二、我国的暴雨特征	26
三、灾害性暴雨洪水的一般特点和规律	28
四、各流域代表性暴雨	29
五、主要江河暴雨洪水特性	30
第二节 暴雨洪水的形成	30
一、暴雨洪水要素及其度量	30
二、径流形成过程与预报	32
第三节 河段洪水预报	35
一、洪水预报的内容与分类	35

二、河段洪水预报	36
第四节 湖泊调洪计算	44
参考文献	45
<b>第三章 泥沙产生及模拟</b>	47
第一节 产沙机理及其影响因素	48
一、土壤侵蚀方式	48
二、侵蚀影响因素	51
第二节 流域产沙模型	54
一、土壤流失模型	55
二、泥沙输移比的模拟计算	58
第三节 水土保持措施	60
一、减少土壤侵蚀量	60
二、减小流域泥沙输移比	62
三、综合治理,水土保持与发展农、林、牧、副生产结合	62
参考文献	63
<b>第四章 河道及蓄滞洪区水沙数学模型</b>	65
第一节 水沙数学模型简介	65
一、数学模型在水沙灾害研究中的应用	65
二、数值计算方法概述	66
三、水沙数学模型存在的问题	69
第二节 一维非恒定水沙数学模型	70
一、基本控制方程	70
二、一维非恒定水流运动方程的求解	71
三、一维非恒定水沙数学模型的建立	73
四、有关问题的处理	75
第三节 河网水沙数学模型	77
一、汉点基本方程	77
二、河网模型的汉点分组解法	77
三、河网泥沙模型的建立	81
第四节 蓄滞洪区水沙演进模型	84
一、蓄滞洪区平面二维水流模型	84
二、蓄滞洪区平面二维泥沙模型	89
第五节 模型验证与运用	91
一、河网水沙模型的验证	91
二、蓄滞洪区水沙演进模型的验证	95
参考文献	103

第五章 神经网络在水沙运动模拟中的应用 .....	106
第一节 神经网络理论原理 .....	106
一、生物神经元与生物神经网络 .....	106
二、人工神经元及其数理模型 .....	108
三、人工神经网络 .....	110
四、BP 网络结构及其算法 .....	115
五、BP 网络存在的问题及改进方法 .....	119
第二节 基于重构相空间技术的水沙时间序列神经网络模型 .....	125
一、传统水沙时间序列预报方法及其局限 .....	125
二、重构相空间技术及其应用 .....	126
三、水沙时间序列神经网络预报模型 .....	129
第三节 基于神经网络理论的河道中长期水沙输移模拟(RFS-ANN) .....	131
一、模型建立 .....	132
二、模型应用 .....	132
第四节 具有河网水沙运动特点的神经网络模拟(MCR-ANN) .....	135
一、一般河网概化 .....	135
二、具有河网水沙特点的神经网络模型 .....	136
三、应用实例 .....	141
第五节 神经网络理论在水沙输移研究中的前景 .....	148
参 考 文 献 .....	148
第六章 区域泥沙输移 .....	151
第一节 区域及其泥沙输移规律 .....	151
第二节 长江中游区域泥沙输移变化的必然性 .....	152
一、长江中游区域概况 .....	152
二、长江中游泥沙输移变化的必然性 .....	155
第三节 近期长江中游区域泥沙输移变化原因 .....	156
一、上游水土流失对长江中游区域的影响 .....	156
二、长江中游区域的水沙输移变化 .....	157
第四节 长江中游区域泥沙输移变化的模拟和预测 .....	162
一、泥沙输移模拟 .....	162
二、泥沙输移变化趋势预测 .....	167
参 考 文 献 .....	168
第七章 泥沙淤积对洪水位的影响 .....	171
第一节 泥沙淤积与洪水位抬高 .....	171
第二节 泥沙淤积对河道纵剖面的影响 .....	172
一、典型水沙年的选取 .....	172
二、泥沙淤积对平衡纵剖面的影响 .....	181

第三节	泥沙淤积对长江中游洪水水位的影响	189
一、	泥沙淤积对螺山水位抬高的影响	189
二、	泥沙淤积对洞庭湖区和荆江洪水水位的影响	203
参 考 文 献		205
第八章	泥沙淤积与土地利用对洪水调节能力的影响	206
第一节	泥沙淤积和土地利用对洪水调节能力的影响	206
第二节	洞庭湖调蓄量变化	208
一、	湖泊调蓄的分类	208
二、	调蓄量计算	208
三、	调蓄量的年内变化	209
四、	调蓄量的年际变化	211
五、	临界入湖洪量及其对应的调蓄量变化	213
第三节	洞庭湖调蓄量变化的影响因素	216
一、	湖区的淤积	216
二、	围垦	216
三、	下游河段的淤积	218
第四节	多因素作用下的洞庭湖调蓄量变化模拟	220
一、	影响因子	220
二、	公式的建立	221
三、	经验公式的验证及模拟	223
四、	成果分析	224
第五节	洞庭湖调蓄量变化对长江中游防洪的影响	226
一、	对长江干流河段的影响	226
二、	对洞庭湖湖区的影响	227
参 考 文 献		229
第九章	水沙灾害的评估	231
第一节	水沙灾害风险分析	231
一、	风险分析基本理论	231
二、	洪灾风险的度量与风险分析内容	234
三、	洪水频率分析	237
四、	洪灾损失评估	239
五、	洪灾风险决策	253
第二节	泥沙冲淤对洪灾风险的影响	253
一、	河床冲淤变化的洪灾风险效应	254
二、	泥沙冲淤对洪泛区洪灾评估的影响	260
参 考 文 献		264

---

第十章 水沙灾害防治策略·····	266
第一节 水沙灾害防治原则及主要措施·····	266
一、水沙灾害防治原则·····	266
二、水沙灾害防治措施·····	267
第二节 不同类型灾害及其防治·····	269
一、水土流失及其治理措施·····	269
二、河道泥沙冲淤及其防治措施·····	270
三、洪涝灾害及其防治措施·····	270
四、湖泊萎缩及其防治措施·····	271
五、海水入侵及其防治措施·····	271
六、次生灾害及其防治措施·····	271
第三节 长江中游水沙灾害形成机理及防治策略·····	272
一、长江中游水沙灾害形成机理·····	272
二、长江中游水沙灾害防治策略·····	279
参 考 文 献·····	283

# 第一章 概 论

## 第一节 水沙灾害定义和研究范围

自然灾害是地球上各种自然变异所引发的灾害,其中也包括人类活动诱发的自然变异。各种自然灾害无时无地不在发生,给人类的生存和物质文明建设带来严重的危害。自从有人类历史以来,人们就与各种灾害进行着不屈的斗争。即使在科学技术高度发达的今天,灾害问题仍是当今社会的一大问题,为此,联合国成立了专门的机构来推动全球范围内的减灾工作。减少各种灾害,减轻其危害后果,已成为国际社会的一个共同主题。我国是各种灾害较严重的国家,为响应联合国的号召,在中国减灾委员会的领导下,相关部门对此投入了大量的人力物力,开展了全面、系统的防灾减灾运动,已初步取得成效。

广义的自然灾害,既包括缓进的,也包括突发的。缓进的自然灾害包括水土流失、土地沙漠化、盐渍化、气候的周期演变、淡水资源趋势性减少等;而狭义的自然灾害是指突发性的自然灾害,如旱灾、暴雨、洪涝、台风、风暴潮、冻害、雹灾、海冰、地震、火山、滑坡、泥石流和农林病虫害、森林火灾等。据统计,全球各类自然灾害所造成的损失中,洪涝占40%,热带气旋占20%,干旱占15%,地震占15%,其余占10%,水灾居各种自然灾害之首(刘树坤,程晓陶,1992)。

水灾,包括通常所说的洪涝灾害,是发生频率最大也是危害最严重的一种自然灾害,其造成的损失占全球每年自然灾害损失比重最大。根据中国水利百科全书(1991)的定义,水灾是世界上普遍和经常发生的一种自然灾害,其成因有:强度较大的降雨使江河泛滥而产生的暴雨洪水;在中高纬度地区和高山地区,因积雪融化而产生的融雪洪水;在高寒地区,河流从低纬度流向高纬度时,挟冰下泄形成冰塞或冰坝,使江河水位上涨、河流泛滥而产生的冰凌灾害;山区因大雨或融雪,导致山坡的岩石、土壤突然发生滑坡而产生的山崩灾害;还有因连续降雨或大雨,沟谷和坡地含有大量水分的泥沙、石块骤然出现泥石流而产生的泥石流灾害;水库坝体或其他挡水建筑物瞬时溃决而产生的溃坝灾害;沿海地区,由于强烈的大气扰动所引起的海面风暴潮差,或因近海海底地震、火山活动而产生的海啸。以上统称洪水灾害。地下水位过高或耕作层含水过多而影响农作物生长称渍害,属于内涝灾害。由以上的定义可见,水灾不仅是与气象因素有关的天灾,而且与天、地、生三个层次均密切相关。

水灾的多因素相关性并不是一种特殊现象。事实上,自然灾害通常具有群发性和伴生性,一种主导灾害的发生常常引发其他灾害,形成灾害链。或者是一些缓变的,灾害后果具有累积效应的缓进型灾害触发和加剧突发性灾害,造成更严重破坏。水灾的发生除了与天气等直接因素有关外,还可能是作为灾害链被其他源发性灾害所触发,如海底地震引起的海啸。此外,水灾的孕灾过程可能会受一些潜发、缓变性的灾害影响,而且这些灾害一般具有

缓慢的单方向累积效应,一旦这种累积超过一定的限度或突破某一阈值,便会通过大规模水灾的频繁出现表现出来,如长期植被破坏和地表侵蚀导致的泥石流、河道淤积导致的洪水泛滥。在这些源发和潜发性灾害中,泥沙灾害是其中重要的一类。

日本水利专家芦田和男(1987)认为:自然界产沙与人类活动是一个循环体系,在这个体系中,产沙量一旦超过了人类的防灾工程所具有的防御能力,就会给人类的生命财产带来威胁和影响,称之为泥沙灾害。因此,泥沙灾害是由人类活动和自然变化共同造成的。泥沙灾害作为灾害的一种形式,必然具备灾害的一般特性,芦田和男对泥沙灾害的定义实质上是泥沙灾害的一种狭义上的概念,泥沙灾害除了由泥沙直接引发的灾害外,还包括泥沙问题通过其他载体引发的灾害,即间接灾害。中国科学院地理研究所的景可、李凤新(1999)将泥沙灾害定义为:凡是致灾因子是泥沙,或由泥沙诱发其他载体给人类的生存的环境和物质文明建设带来危害,给经济带来损失,这样的泥沙事件就构成泥沙灾害。由泥沙为致灾因子形成的灾害为泥沙的直接灾害,如滑坡、泥石流及崩塌等;由泥沙诱发其他载体引发的灾害,如因土壤侵蚀形成的泥沙在河道或水库年复一年的淤积使河床抬高,泄洪能力降低,由不太大的洪水引发的漫堤、溃堤的灾害等,定义为泥沙的间接灾害。

迄今为止,泥沙灾害并没有作为独立的研究对象被列入国际减灾委员会所列 29 种自然灾害之中,其原因是:泥沙灾害对人类的直接影响相对较小,往往带来间接影响;泥沙灾害往往具有大面积的潜发性特征,突发性泥沙灾害仅限于一定的地域,不易为多数人注意;最主要的是泥沙灾害常常包括在其他自然灾害中,例如洪涝、海岸侵蚀、沙尘暴、滑坡、泥石流、荒漠化等。泥石流是一种地质灾害,然而从泥石流产生的条件来看,泥石流也是一种泥沙灾害;由泥沙的淤积等变化导致的水灾,在形式上是超泄量洪水引起的灾害,实质上是泥沙导致的间接灾害。

实际上,在自然界中水流和泥沙的运动经常不是独立的,而是相互作用、相互影响的。只是有时泥沙作为直接致灾因子,水流作为间接致灾因子;有时水流作为直接致灾因子,而泥沙作为间接致灾因子。如坡面上水流对泥沙的冲刷造成的水土大量流失、农田沙化、贫瘠化;河道中水流对软质河岸淘冲造成崩岸、曲流裁弯导致两岸的财产损失;汛期使用蓄滞洪区蓄滞含沙洪水造成区内土地的淤积沙化,作物减产;水库中泥沙的落淤造成防洪兴利库容的减小等。以上是水流引发泥沙灾害的一些例子。而危害更大的则是泥沙灾害加剧水灾,如流域中土壤沙化、植被减少引起流域蓄滞径流能力降低、汇流速度加快造成洪峰出现时间提前和峰型尖化;河流中下游河道中大量泥沙淤积造成的同流量下的洪水水位抬高;泥沙在调蓄湖泊中的淤积造成湖泊调蓄容积减小等。可以这样认为,水灾和沙灾两种灾害系统之间存在某个子系统,在这个子系统内部水灾和沙灾是相互联系、相互影响的,在此范围内水灾和泥沙灾害密不可分是一个整体。因此,如果将水沙灾害作为整体概念来理解和研究,将有利于对灾害机理的认识,有利于科学的防灾减灾技术的制定和实施。所以,水沙灾害可定义为:水流和泥沙相互作用,成为直接或间接致灾因子,引起环境失稳,给人类的生存环境和物质文明建设带来危害,或造成人们生命财产损失的渐变或突变的自然灾害现象。

值得指出的是,水沙灾害并不是一种新出现的灾害现象,它是水灾和沙灾之间的一个子系统。此前的灾害研究中,有些水沙灾害被归于水灾,有些水沙灾害被归于沙灾,人为地将其归于两个灾害系统之间的一个,割裂了它们之间的联系,对近年来频繁出现的“小流量、高水位”现象无法解释。近年来水沙共同作用造成的灾害越来越严重,有的学者通过全国

范围的资料分析指出,近几十年来我国大范围内的洪涝灾害逐年加剧的主要原因并非是气候因素,而是泥沙累积淤积(师长兴,章典,2000)。鉴于上述原因,将水沙灾害从水灾和沙灾系统单独列出,研究其特殊的成灾机理是有必要的。

从以上水沙灾害定义不难看出,水沙灾害包含的内容相当广泛,有着丰富的内涵和外延,研究水沙灾害要涉及到水沙输移规律的多方面。一方面,泥沙灾害和洪水灾害有其各自的研究范畴,对沙、水运动演化、成灾过程等规律的清楚认识是水沙灾害研究的基础。泥沙灾害涉及到地表侵蚀、泥沙输移、堆积,由于侵蚀动力、侵蚀特性、下垫面特征、输移形式的不同组合,其表现形式多种多样;可能发生在沟道坡面、河道、河口海岸等区域;灾型又可能是侵蚀型、搬运型、堆积型等。这些灾害有些是渐发的,有些又是突发的。泥沙运动在宏观上表现为地貌的演化,在微观上又是一个复杂的动力过程,研究方法多样。由于泥沙灾害至今尚未被作为一个独立灾害系统来研究,多是作为间接致灾因子分散在其他各种灾害系统中,所以对泥沙灾害的研究尚不成熟。洪水灾害定义如上所述,其灾害种类也是多种多样,但一般要涉及到气象运动、降雨、流域产汇流计算、河道洪水(洪峰)预报、防洪工程运用等。相对于泥沙灾害,洪水灾害研究范畴内各种细节一直是灾害研究的焦点,成果也相对成熟。水沙灾害的研究应当建立在洪水灾害和泥沙灾害研究的基础之上,泥沙灾害和洪水灾害是水沙灾害的母体(如图 1-1 所示)。比如,单单就某些侵蚀产沙过程和水沙灾害的联系而言,它们之间似乎不存在直接的关系,但各种侵蚀动力造成的流域侵蚀都可以为水沙运动提供活跃的沙源,减少和防治水沙灾害离不开对它们的研究。又如河道淤积造成河床的抬高,只是为洪灾的发生提供了更有利的孕灾条件,而洪灾发生的必然条件只能是上游的大量来水,洪灾发生、发展的预报离不开对气象运动、流域洪水预报、洪水演进等环节的研究。所以,水沙灾害的衍生特性使得对其机理、防治措施等的研究必须联系其广泛的外延。

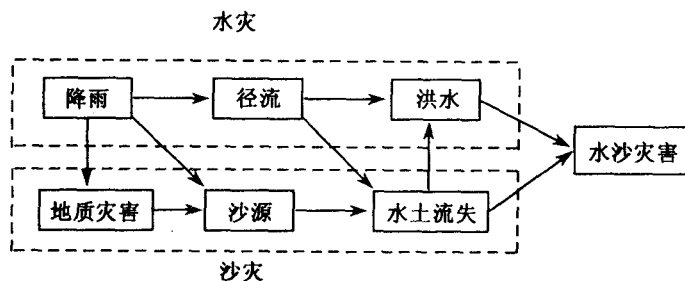


图 1-1 水沙灾害之间的关系

另一方面,许多情况下水、沙运动相互耦合,水沙的耦合运动是水沙灾害研究的核心。气象运动产生暴雨径流既是地表侵蚀、搬运泥沙的主要源动力,也是河道中洪水波形成的重要原因,降雨对滑坡、坍塌、泥石流等地质灾害也有促发作用;地表侵蚀会改变土壤的物理、化学特性,下垫面特性的改变又会影响产汇流规律;河道中水流含沙量次饱和或超饱和会引起河道冲淤,河道冲淤改变同时又会改变河道洪水的演进规律,并有可能加剧洪水灾害(如图 1-1 所示)。事实上,水流泥沙的耦合运动一直就是改变地球表面形态的主要外营力,它时时刻刻缓慢地进行着,在河流上游蚀低高山,在下游淤积出大片平原,为原始人类的生存发展创造了富饶有利的环境条件。但在人类出现之后,河流中下游人口财富日益密集,这种



蚀高淤低的过程却可能带来巨大灾害。从这个角度看,水沙灾害的核心是给人类带来灾难的水沙耦合运动。

一般地,自然灾害的发生具有不确定性,同时会带来多种形式、不同程度的后果(生命财产损失、生态环境恶化),灾区人民受到灾害的潜在威胁,承担着风险。人们为了能够采取最经济合理的措施将灾害带来的损失减小到最低,需要对风险进行综合评价分析,包括一定条件下灾害发生的可能性,某种级别的灾害发生后损失的估算,还包括如何从可能的防灾减灾措施中按照一定的优化原则选出最有利的一种。水沙灾害作为自然灾害的一种,必然也会直接或间接带来风险。关于单纯的洪灾风险分析,目前已有较为完整的理论体系,但其中较少考虑泥沙的因素。水沙灾害如何改变洪灾风险,对洪灾发生频率和灾害损失有何影响,对严重的水沙灾害应采取哪些具体的减灾措施,这些问题也应属于水沙灾害的研究范畴。

对水沙灾害的研究,除了分析和认识其孕灾、致灾机理,建立科学的灾害评估体系外,还需要在此基础上提出相应的防灾减灾措施,水沙灾害研究也不例外。水沙灾害的后果除了生命财产的损失还包括无法用货币度量的生态环境的破坏。水沙灾害研究的目的是,认清灾害机理,对灾害进行科学的评估,在此基础上能够提出一套理论方法指导人们的生产实践,消除产生水沙灾害的条件和环境,避免灾害的发生。

## 第二节 水沙灾害的产生过程

自然界一方面通过地质作用(如火山、地震等)内营力作用塑造着地球表面千姿百态的各种地貌形态,另一方面又通过风化作用以及水流、重力、风力、生物等外营力不断对各种地理环境进行缓慢演变。所谓的蚀山造原运动就是这一过程的体现,首先通过风化作用产生地表剥蚀,接着风力、水流等的搬运用使泥沙进入河川径流,然后通过河道中的泥沙输移,泥沙在下游入海口附近等低平地区堆积形成肥沃平坦的平原。人们聚集繁衍的河流两岸平原地区就是河流漫长的造原作用的结果。河流作为地球水圈中联系陆地大气降水与海洋的纽带,不仅是宣泄水流的通道,同时也担负着输移泥沙的功能。一般河流的中上游是泥沙的来源,通过风力剥蚀、降雨直接作用、降雨形成的地表坡面流作用,地表被侵蚀并形成在河道中以悬移或推移形式输移的泥沙,泥沙沉积在河道、水库、湖海之中又会形成新的侵蚀源。上述各过程所发生的地点,在时间和空间上并不是固定不变的。例如,即使是同一地点,在某一时刻产生侵蚀,而在另外一个时刻则产生沉积,有时地表侵蚀和地下水侵蚀同时发生,沉积的泥沙又是新的侵蚀场所。泥沙的产生与输移现象,从地质学的观点来看,形成了一个循环周期:隆起、风化、侵蚀、输送、沉积、固结。其中隆起和固结过程是人类生命与之相比可以忽略不计的漫长过程。对人类影响最大的是侵蚀、输送、沉积现象。然而,地表物质的侵蚀、输移、堆积却有可能导致环境失稳,例如崩塌、滑坡、土地沙化、泥石流、河道侵蚀引发改道、淤积引发洪灾等。自从有了人类以来,随着生产力的发展,人类活动作为一个重要的影响因素也加入了这个过程中且起着越来越不可忽视的作用。同时由于人口密度的增加、人类活动范围的增大、财产的增加,这一过程中产生的环境失稳现象越来越对人们的生命财产构成威胁。

河流发源地和中上游往往是地势较高的山区、丘陵或高原,是河流中泥沙的主要来源。