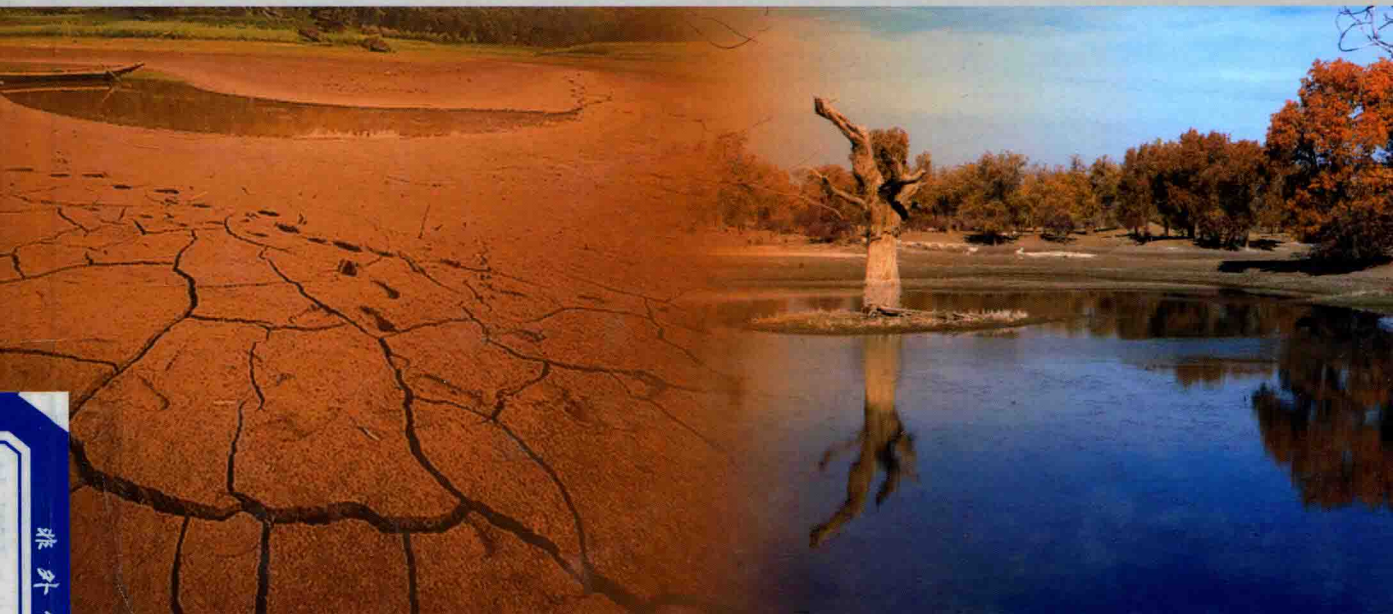


“十三五”国家重点图书出版规划项目

干旱灾害风险评估与调控

GANHAN ZAIHAI FENGXIAN PINGGU YU TIAOKONG

李原园 梅锦山 郦建强 等著



水利水电



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“十三五”国家重点图书出版规划项目

干旱灾害风险评估与调控

李原园 梅锦山 郦建强 等著



 中国水利水电出版社
waterpub.com.cn

北京·

内 容 提 要

本书针对变化环境下我国干旱灾害存在的主要问题和面临的形势,以干旱与旱灾系统为研究对象,在大量科学研究、实证研究和对干旱进行综合分析和对旱灾进行风险评估的基础上,进行机理研究、理论探讨、技术分析、方法研究和综合集成,阐述并回答了新时期我国干旱灾害风险评估及调控的重大理论技术问题与关键战略问题,主要包括干旱灾害风险调控的理论及总体思路、干旱灾害风险评估与调控的一系列关键成果与技术体系、我国干旱灾害应对的战略对策措施及其应用实践成果等内容。

本书可供从事水资源与干旱研究相关工作的科研、技术和管理人员阅读、使用,也可供相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

干旱灾害风险评估与调控 / 李原园等著. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2017.4
ISBN 978-7-5170-4036-1

I. ①干… II. ①李… III. ①旱灾—灾害防治—研究—中国 IV. ①P426.616

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第013908号

审图号:GS(2016)560号

书 名	干旱灾害风险评估与调控
作 者	GANHAN ZAIHAI FENGXIAN PINGGU YU TIAOKONG 李原园 梅锦山 郦建强 等 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
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 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
刷 印	北京博图彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.25印张 362千字
版 次	2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	68.00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

本书编写单位

水利部水利水电规划设计总院、中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究所、清华大学、合肥工业大学、河海大学、北京师范大学

本书主要编写人员

第1章	武建军、金菊良等
第2章	徐翔宇、杨大文、金菊良等
第3章	顾颖、邱冰、徐翔宇、金菊良、李树芳、吕娟等
第4章	金菊良、杨大文、周玉良、许凯等
第5章	武建军、屈艳萍等
第6章	梁忠民、顾颖、常文娟等
第7章	杨大文、徐翔宇、许继军、屈艳萍等
第8章	张海滨、郦建强、李爱花等
第9章	张海滨、屈艳萍、郦建强、苏志诚等
统稿人	李原园、梅锦山、郦建强、杨大文、刘学峰

时值深秋，“莎莉嘉”和“海马”两个台风接踵而至，我与防办、水文以及有关部门、流域和地方的同志数次通过视频共同研究商议防御应对措施，在4天2个强台风3次登陆琼粤桂三地的极端不利形势下，流域和地方各级防指全力防范，主动避险，实现了人员零伤亡，确实十分不易。与此同时，台风带来的“好雨”及时补充了这些地区的水资源，为抗旱供水和来年的春耕生产提供了可靠保障，又令人倍感欣慰。事物总是兼具两面性，回到办公室，信手翻开水规总院同志送来的《干旱灾害风险评估与调控》一书，旱灾风险、干旱区划、抗旱能力等熟悉的字眼刚一映入眼帘，思绪瞬间被带回数年之前。2009年冬至2010年春，我国西南地区遭遇了历史罕见的特大干旱，为统筹规划抗旱基础设施建设，切实解决好关系群众切身利益的问题，水利部在前期工作基础上，加快工作进度，抓紧编制完成了《全国抗旱规划》，2011年11月，经国务院常务会议审议通过并正式批复。2013年8月，国务院召开常务会议，专题研究抗旱问题，要求着力构建抗旱减灾长效机制，制订完善规划实施方案，力争用3年时间落实几项从根本上提升抗旱减灾能力的工程举措。经水利、发改、财政、农业等部委共商协作，2014—2016年全国规划实施方案数易其稿，终于尘埃落定，抗旱应急水源工程建设任务和中央补助资金得以落实，与此同时，亦从构建国家水资源配置格局的高度，明确提出了重大骨干水源工程的建设任务。这是我国水利工作史上第一个关于抗旱减灾的全国性专项规划和方案，深刻体现了从被动抗灾向主动防范的抗旱战略理念的转变，对于统一谋划、全面布局抗旱工作具有重大而深远的意义。

在编制规划和方案的过程中，有大量基础性和应用性的难题需要攻关，在有关研究人员的努力下，一些关于干旱灾害风险评估、能力研判、策略分析等重大问题得到了很好的解答，十分有力地支撑了抗旱规划编制工作。《干旱灾害风险评估与调控》一书的形成，很大程度上也得益于抗旱规划编制过程中的基础需求。本书以干旱及其灾害系统为研究对象，揭示了基于能量循环-水循环-碳循环的干旱形成机理，创建了三维干旱度量技术，构建了全要素干旱灾害风险评估技术体系，提出了基于生态水文循环全过程、旱灾系统全要素、水资源-经济社会-生态系统全方位的多维协同旱灾风险调控理论技术体系，系统研究解决了变化环境下干旱及其灾害机理解析、抗旱减灾体系构建的一系列重大理论、关键技术和重要战略问题。本书在干旱形成机理的基本理论、干旱历时-强度-范围的三维度量与多维频率分析计算方面取得了新的突破；对我国近60年干旱演变规律取得了新认识。

这些研究和应用也为抗旱管理工作由应急管理转变为风险管理提供了理论和技术支撑，对研究干旱问题和干旱管理工作颇具参考价值。希望本书的研究成果，更好地应用于我国水资源管理和抗旱减灾管理工作，并不断创新发展，为国家生态文明建设和经济社会平稳健康发展提供有力支撑和保障。

由此想去，在长时期与旱灾抗争的过程中，我国抗旱工程和非工程体系的不断建成和完善，发挥了至关重要的抗旱减灾作用。与此同时，从事抗旱管理的专业人员和科研工作者付出了大量艰辛的努力和探索，在政策法规、规划及预案、信息化及服务组织建设等方面有了很大发展，在基础研究和科技应用领域也积累了不少颇有价值的成果。从发展的规律来看，较为完备的工程体系，相对成熟的管理经验和方法，必然引发对科研的推动和促进，抗旱减灾能力和综合管理水平的提高也迫切需要科学技术的引领和支撑。目前，对于干旱问题的基础科学研究还不能满足科学应对干旱灾害的需要。总体而言，现阶段对于旱情发展机理和特征规律的认识与把握还不充分，科学度量干旱的方法和指标体系尚不完善，旱灾风险评估和调控机理与技术研究仍处于起步阶段。面对干旱，我们还缺乏主动防御的能力，往往处于被动应对的局面。如何将风险管理的理念融合于实践，实现干旱灾害的风险评估和调控，做到主动和科学抗旱，既是我们孜孜以求的务实目标，也是管理和科研人员长期面临的重大课题。

是为序，以证期待。

国家防汛抗旱总指挥部秘书长
水利部副部长

刘宁
2016.11.5

干旱灾害是影响我国经济社会发展的主要自然灾害之一。特殊的地理环境和气候特征决定了我国是一个干旱频发的国家。在我国历史上重旱和极端干旱时有发生，加之抗旱减灾手段缺乏，旱灾常常导致严重后果，甚至引发社会动荡。新中国成立以来，我国经过大规模的水利建设，初步形成了供水保障体系，抗旱能力随之有大幅度提高，保障了经济社会的快速发展。在全球气候变暖的背景下，随着我国经济社会的持续发展和人类活动的显著加剧，干旱的发生频率和强度不断增大，干旱灾害的影响范围不断扩大、影响程度不断加剧，我国抗旱减灾体系建设总体上仍严重滞后，抗旱减灾面临一系列新情况和新问题。当前和“十三五”期间是我国全面建设小康社会的关键时期，水资源-经济社会-生态环境协同发展、应对气候变化、现代防灾减灾体系构建、国家水安全体系构建等国家重大战略，对抗旱减灾工作提出了更高的要求，我国抗旱减灾工作面临着新的挑战 and 更高的要求。

本书以历史旱情旱灾、经济社会、气候变化、水文水资源等多类别、大批量的数据资料为基础，以干旱与旱灾复杂巨系统为研究对象，面向未来、面向规划与管理的需要，通过深入地进行机理研究、理论探讨、技术分析、方法研究和综合集成，揭示了基于能量循环、水循环和碳循环三元耦合作用下的干旱形成机理，创建了全过程三维干旱度量技术；系统介绍了我国干旱及灾害的演变规律，揭示了我国干旱的时空演变规律以及未来气候变化下的干旱发展趋势；构建了全要素干旱灾害风险评估技术体系，包括旱灾风险评估的理论技术、自适应干旱应对能力的定量评估技术、旱灾损失的定量评估技术、旱灾风险图体系的表征与编制技术等；提出了基于生态水文循环全过程、旱灾系统全要素、水资源-经济社会-生态系统全方位协同的旱灾风险调控理论技术体系，形成了“干旱三元驱动-全过程三维度量-全要素风险评估-全方位协同调控”的整套理论技术体系；研究了如何将旱灾风险评估的理论技术体系应用到实际的旱灾风险评估中，并在试点地区进行应用；从风险角度研究并提出了空间调控、过程调控、功能多控、要素调控、准则调控“五位一体”的调控理论技术体系，并全面应用于水利及抗旱减灾的规划、设计和管理中。

本书从5个方面回答了新时期我国干旱研究的重大理论技术与战略问题：①从干旱的形成机理和物理机制，揭示了干旱的本质特征；②研发了干旱的三维度量技术；③揭示了我国干旱及灾害的时空演变规律；④提出并构建了旱灾风险评估的理论技术体系，并在有代表性的试点地区或流域进行应用；⑤构建了旱灾风险调控的理论体系，并成功应用于实践。通过对干旱与旱灾系统及其风险要素之间的交互关系、响应关系、演变规律、耦合模

式、作用机理进行的多维模拟推演和综合集成分析研究，提出了干旱灾害风险评估与管理关键技术的理论研究与实践成果，为我国抗旱减灾工作、经济社会发展和水资源可持续利用提供了支撑和依据。

全书共9章，分为三大板块，一是关于干旱灾害风险调控的理论及总体思路；二是关于干旱灾害风险评估与调控的一系列关键成果与技术体系；三是关于我国干旱灾害应对的战略对策措施及其应用实践成果。第1章主要介绍干旱、旱灾、风险等基本概念；第2章主要介绍干旱形成机理，旱灾风险评估与调控的理论基础及总体思路；第3章主要介绍全球和我国历史干旱事件及其影响，我国干旱及旱灾的演变规律，以及我国干旱三级区划成果；第4章主要从干旱的表征指标出发，介绍干旱的三维识别技术，并用频率和重现期来定量度量干旱；第5章主要介绍旱灾损失评估的方法及应用；第6章主要介绍抗旱能力的定义及定性、定量计算方法，并分别进行实例分析；第7章主要介绍旱灾风险评估方法及旱灾风险的表征体系，并在试点地区进行应用；第8章主要介绍旱灾风险调控研究现状和机理，并重点介绍基于五大调控技术的旱灾风险调控体系；第9章主要介绍我国旱灾风险的应对策略和调控实践。

本书中的研究内容分别得到水利部和国家防汛抗旱总指挥部办公室的支持，受到水利部公益性行业科研专项经费项目（编号：201001043、201001041）和水利部重大基建前期项目（全国干旱区划及早灾风险评估研究）等的资助。除了主要编写单位外，还得到了长江水利委员会、黄河水利委员会、海河水利委员会、松辽水利委员会的大力支持。本书建立的旱灾风险评估方法，分别在长江、黄河、海河、松辽四大流域进行了应用。书中全国版图的制作得到了中水北方勘测设计研究有限责任公司李树芳的大力支持。本书编写过程中得到了刘颖秋、张德尧、关业祥等教授的指导。在本书出版之际，对参与编写和审稿的所有人员和专家一并表示最诚挚的感谢。

目前，针对干旱灾害风险评估与调控，系统研究较少，其内容复杂、知识广泛。由于作者的理论水平和专业知识有限，书中恐有疏漏和不妥之处，望各位专家、同仁和广大读者给予批评指正。

作者

2016年10月

目录 MULU

序	
前言	
第 1 章 干旱灾害与旱灾风险	1
1.1 干旱及其影响	1
1.1.1 干旱现象	1
1.1.2 干旱影响	3
1.2 旱灾及其风险	4
1.2.1 旱灾形势	4
1.2.2 旱灾风险	6
第 2 章 干旱灾害风险评估与调控基础理论	8
2.1 干旱形成机理	8
2.1.1 水、能量和碳循环过程	8
2.1.2 水分亏缺与干旱的关系	10
2.1.3 干旱的定义	13
2.2 旱灾风险评估与调控的基本原理	14
2.2.1 旱灾风险评估的基本原理	14
2.2.2 旱灾风险调控的基本原理	16
2.3 旱灾风险评估与调控的总体思路	18
第 3 章 干旱及旱灾的演变规律	19
3.1 全球历史干旱	19
3.1.1 世界历史干旱事件及其影响	19
3.1.2 中国历史干旱事件及其影响	24
3.2 新中国成立以来我国干旱灾害规律	29
3.2.1 我国近 50 年干旱特征及其演变规律	29
3.2.2 我国农业干旱灾害演变规律	38
3.2.3 我国牧业干旱灾害演变规律	43
3.2.4 我国城市干旱灾害演变规律	44
3.2.5 我国因旱人畜饮水困难演变规律	46

3.2.6	我国旱灾综合损失演变规律	52
3.3	我国干旱区划	56
3.3.1	干旱区划概述	56
3.3.2	干旱一级区划	58
3.3.3	干旱二级区划	63
3.3.4	干旱三级区划	68
第4章	干旱的三维度量	72
4.1	干旱度量指标	72
4.1.1	干旱指标分类	72
4.1.2	主要干旱指标	76
4.2	干旱的三维识别	82
4.2.1	干旱的三维特征	82
4.2.2	干旱三维识别方法	82
4.3	干旱频率计算方法	88
4.3.1	干旱的频率和重现期	88
4.3.2	基于多维联合概率分布的干旱频率计算方法	90
4.4	实例分析	95
4.4.1	不同干旱指标下的昆明干旱频率分析	95
4.4.2	基于干旱三维识别技术的西南大旱频率分析	104
第5章	旱灾损失评估	108
5.1	旱灾损失评估基本理论	108
5.2	旱灾损失分类及指标体系	109
5.2.1	旱灾损失分类依据与原则	109
5.2.2	旱灾损失分类体系	110
5.2.3	旱灾损失评估指标	110
5.3	旱灾损失评估方法	111
5.3.1	基于作物生长过程模型的农业旱灾损失评估	112
5.3.2	基于生态过程模型的牧业和生态旱灾损失评估	120
5.3.3	基于经济过程的旱灾损失评估	125
5.3.4	区域旱灾损失评估	127
5.4	实例分析	128
5.4.1	农业旱灾损失评估	128
5.4.2	人饮困难旱灾损失评估	128
5.4.3	工业、服务业旱灾损失评估	129
5.4.4	区域旱灾损失率汇总	129
第6章	抗旱能力评估	130
6.1	抗旱能力概念	130

6.1.1	抗旱能力内涵分析	130
6.1.2	抗旱能力定义	132
6.1.3	自适应抗旱能力评估模式	132
6.2	抗旱能力定性评估	135
6.2.1	抗旱能力定性评估思路	135
6.2.2	抗旱能力构成要素分析	136
6.2.3	抗旱能力定性评估方法	137
6.3	抗旱能力定量评估	142
6.3.1	抗旱能力水平指数定义	142
6.3.2	抗旱能力水平指数理论算法	143
6.3.3	抗旱能力水平指数简化算法	145
6.3.4	抗旱能力水平指数曲线	147
6.3.5	抗旱能力在旱灾风险评估结果中的表征	148
6.4	实例分析	151
6.4.1	抗旱能力定性评估	151
6.4.2	抗旱能力定量评估	159
第7章	旱灾风险评估方法	161
7.1	基于风险要素的旱灾风险评估方法	161
7.1.1	分项指标法	161
7.1.2	综合指标法	162
7.2	基于干旱事件的旱灾风险评估方法	163
7.2.1	一定抗旱能力下的旱灾风险评估方法	163
7.2.2	不同抗旱能力下的旱灾风险评估方法	164
7.3	旱灾风险的表征体系	165
7.3.1	旱灾风险机理关系图	166
7.3.2	旱灾风险要素空间分布图	166
7.3.3	旱灾风险区划图	172
7.3.4	旱灾风险矩阵表	172
7.4	试点地区旱灾风险评估	173
7.4.1	流域概况	173
7.4.2	农业旱灾风险评估结果	174
7.4.3	农业旱灾风险分析	176
第8章	旱灾风险调控技术体系	180
8.1	概述	180
8.1.1	旱灾风险调控研究现状	180
8.1.2	旱灾风险调控技术总体框架	181
8.2	旱灾风险调控机理	182

8.3 旱灾风险调控技术·····	186
8.3.1 旱灾风险空间调控技术·····	186
8.3.2 旱灾风险过程调控技术·····	187
8.3.3 旱灾风险功能调控技术·····	187
8.3.4 旱灾风险要素调控技术·····	187
8.3.5 旱灾风险准则调控技术·····	188
第9章 旱灾风险的应对策略与调控实践 ·····	189
9.1 我国旱灾风险的应对策略·····	189
9.1.1 我国旱灾风险应对策略的发展背景·····	189
9.1.2 我国旱灾风险的总体应对策略·····	193
9.2 我国旱灾风险调控实践·····	198
9.2.1 国家宏观水资源调配格局·····	198
9.2.2 抗旱减灾应急体系·····	200
9.2.3 抗旱基本用水定额体系·····	203
9.2.4 法律法规和规范标准体系·····	209
参考文献 ·····	210
附表1 全国干旱区划二级分区属性表·····	218
附表2 全国干旱区划三级分区属性表·····	221
附图1 全国综合受旱县分布图·····	229
附图2 全国干旱区划一级分区图·····	230
附图3 全国干旱区划二级分区图·····	231
附图4 全国干旱区划三级分区图·····	232

第 1 章 干旱灾害与旱灾风险

1.1 干旱及其影响

1.1.1 干旱现象

地球上的大部分陆地都有可能发生干旱，但人们对于干旱现象的认识不同。在英国，连续 15 天无降水或者 15 天内每日降水量不超过 0.25mm 都被认为是干旱；在美国，气象局判断干旱的标准是持续 21 天或 21 天以上的降水量低于该地区常年同期降水量的 30%；在北非的部分地区，至少两年无降水才被认为是干旱；在印度尼西亚的巴厘岛，6 天无降水就可认为是干旱；埃及在阿斯旺大坝建成以前，尼罗河没有淹没下游以及河口三角洲农田的年份就被认为是干旱年 (Allaby, 2003)。

世界上公开发表的干旱定义已超过 100 个，由于不同地区水文气象特征、社会经济因素不尽相同，加之自然降水的多少更具有随机性，不同地区的人们对干旱的认知和感受也存在很大的差异。因此，目前对于干旱很难赋予一个统一的定义。

通常人们将干旱分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱 4 类 (孙荣强, 1994)，其实质是水循环过程中不同阶段表现出来的干旱，它们之间既存在一定的联系，又存在区别，具有各自的特征，如图 1.1 所示。气象干旱是指在一段时间内降水量低于正常水平或气温高于正常水平造成的水分短缺现象，即当大气发生异常时，降水偏少，温度偏高，蒸发能力变强，发生气象干旱。农业干旱是在气象干旱的基础上，土壤水分低于正常水平，使农作物受到水分胁迫而影响其生长的现象。当气象干旱持续一定时间并扩展到一定范围时，区域河川径流减少、湖泊和水库水位降低或地下水水位下降等，从而导致该地区水资源量比正常情况偏少的现象即为水文干旱。而社会经济干旱则是指由于水文干旱导致人类社会经济系统中的水资源供应不足，从而影响生产、生活等社会经济活动的缺水现象。气象干旱一般先于农业干旱和水文干旱发生，水文干旱有可能在气象干旱已经结束之后仍将持续较长一段时间，而社会经济干旱则是气象、农业、水文等干旱发生的最后结果。

通常，降水减少和温度升高是干旱发生的两个最直接因素。对于某一特定地区，干旱初期，虽然一定时期内无降水，但由于土壤对水分的调蓄作用，土壤含水量不会立刻下降，而此时若温度升高，往往会导致蒸散发增强，加剧土壤水消耗，加大干旱情势，出现土壤缺水的现象。干旱发展中期，随着土壤水的继续消耗以及缺乏补充，河川径流的补给就会受到影响，河流在持续无降水的条件下，水位下降，流速减慢，流量减少。干旱情势再继续发展，河流水位持续下降，地下水开始补给河川径流，并最终消耗于蒸散发，地下水水位持续下降，导致人们生产生活的取用水受到影响。在干旱情势发展过程中，蒸散发

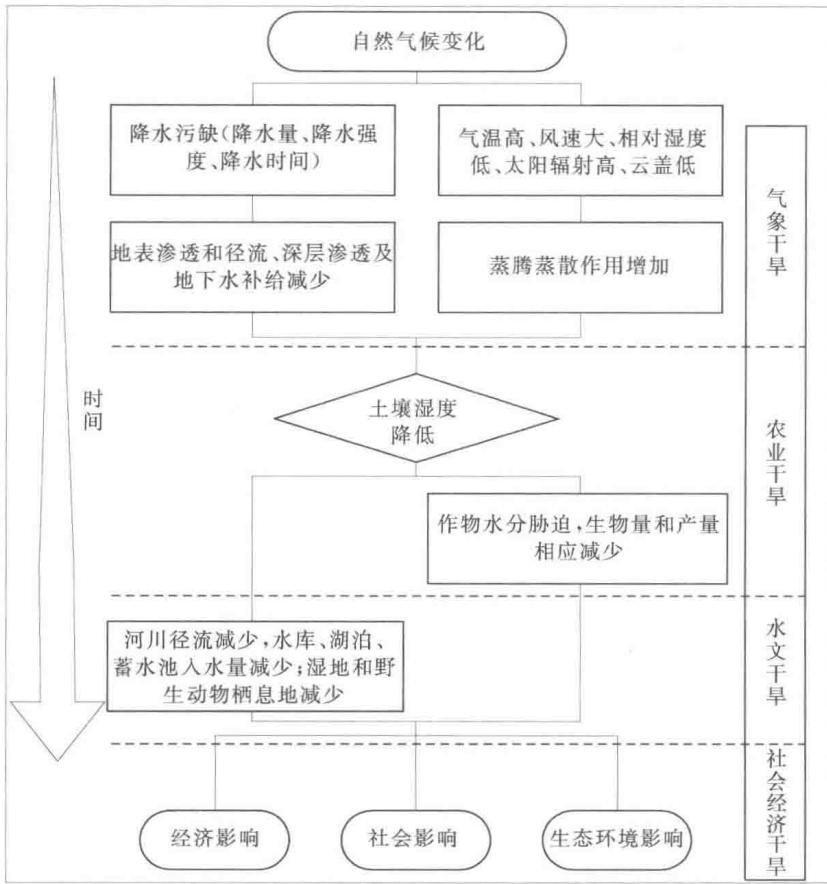


图 1.1 干旱类型及演变过程 (<http://www.drought.unl.edu/>)

逐步减小，导致空气湿度减小，空气将更加难以到达饱和状态，发生降水的可能性会更小，干旱发展是一个恶性循环的过程，直到有外部的水汽输送，干旱情势才会缓解。此外，在一些气候干燥地区，常年降水量稀少而且蒸发强度大，其农业生产主要依靠山区融雪或者上游地区来水，如果这些融雪量或来水量减少，也会造成干旱。

干旱的发展是一个缓慢积累和不断加剧的过程，直到水分条件恢复正常，干旱情势才会缓解。通常以旱情来描述干旱发展过程的不同阶段，旱情不仅包含了干旱自身的变化特征，也包含了受旱对象的影响变化。

从自然角度出发，旱情是指干旱的发生发展过程和表现形式的变化。一次完整的干旱过程包括干旱发生、发展、持续、缓和、解除 5 个阶段。在整个干旱发展过程中，旱情的变化主要表现为干旱历时、干旱烈度、干旱面积等干旱特征值的变化。干旱历时越长、干旱烈度越高、干旱范围越广，旱情就越严重。随着旱情的不断变化，干旱的表现形式也在不断改变，从降水量的亏缺转化成河川径流量、地表水、水库蓄水的减少，土壤含水量的降低，以及地下水水位的下降。

从社会角度出发，旱情是指干旱对社会经济系统影响的变化。中国水利行业标准《旱情等级标准》(SL 424—2008) 将旱情分为农业旱情、牧业旱情、城市旱情和区域综合旱情。农业旱情反映农作物受旱状况，即土壤水分供给不能满足农作物发芽或正常生长要

求，导致农作物生长受到抑制甚至干枯的现象。牧业旱情反映牧草受旱状况，即土壤水分供给不能满足牧草返青或正常生长要求，导致牧草生长受到抑制甚至干枯的现象。城市旱情反映因旱造成城市供水不足，导致城市居民和工商企业供水短缺的状况，包括供水短缺历时及程度等。区域综合旱情反映某一区域内干旱对农牧业生产和城乡居民生活用水影响的综合状况。

干旱具有动态渐变性和累积效应。首先，陆地水循环中水分传输是一个动态渐变过程，因此在水循环的各个环节出现的水分异常偏少现象也是一个循序渐进过程。其次，干旱的动态渐变特征还体现为水分（水量）异常偏少程度和影响范围的动态变化性，即干旱在时空尺度上都是变化的。干旱影响范围及其影响区域均随时间不断变化，干旱最严重的区域（干旱中心）随时间也在不断变化，干旱影响范围也随时间不断变化。干旱的影响程度随着干旱时间的持续和干旱范围的扩展不断累积。

1.1.2 干旱影响

干旱是一种时间上频繁发生的、空间上普遍存在的自然现象，只有作用在经济社会和生态系统上，才能体现出它的危害性，导致旱灾。旱灾是一种非突发性的渐进性灾害，其形成是一个逐步累积、缓慢发展、临界破坏而持续蔓延的过程。旱灾是干旱这种自然现象和人类经济社会活动共同作用的结果，是自然系统和社会经济系统在特定的时间和空间条件下耦合作用于干旱的特定产物。

旱灾出现频率高、持续时间长、波及范围广，是对人类社会影响最严重的水文气象灾害之一。旱灾的频繁发生和长期持续，不但会对社会经济，特别是农业生产带来巨大的损失，还会造成水资源短缺、植被退化、沙漠化加剧、生物多样性降低等诸多生态和环境方面的不利影响。

1.1.2.1 干旱对社会经济的影响

干旱会对社会经济发展产生深远的影响。干旱可能会影响农业、牧业、林业、工业、内河航运等行业的正常生产和运行。近年来旱灾发生频率不断增加、影响范围不断扩大，使国家粮食安全、居民生活质量与水平和经济供水安全、社会稳定等方面均面临日趋严峻的挑战。

干旱对人类社会最明显、最直接的影响和危害是农业生产，干旱会造成作物减产甚至绝收。干旱对农作物的危害程度与干旱发生的季节以及作物种类、品种和作物生育期有关。在我国，春季干旱会影响作物播种，造成作物缺苗断垄，并影响越冬作物的正常生长；7—8月发生伏旱，影响北方地区玉米、高粱、棉花的正常生长，影响南方地区早、中稻的正常灌浆和晚稻的移栽成活；秋季干旱会影响作物的产量及越冬作物的播种。另外，伏旱和秋旱均会使土壤底墒不足而加剧翌年的春旱（中国天气网，2013）。同时，干旱还加剧病虫害的发生，尤其是蝗灾。干旱发生时温暖干燥的环境对蝗虫的存活、繁殖和生长发育十分有利。蝗灾对农业的影响往往是毁灭性的，受灾地区通常颗粒无收。20世纪80年代以来，由于干旱、沙漠化、盐碱化的影响，农业生态环境发生了很大变化，蝗灾的发生频率上升，危害加重（张强等，2009）。

干旱也是危害牧业的主要气象灾害。干旱对牧业的影响是多方面的，主要表现在影响

牧草的正常生长,进而影响牲畜的正常生长发育。春旱影响天然牧草的正常返青和人工牧草的播种、出苗,导致青草期缩短。夏季是牧草生长的关键时期,夏旱往往导致牧草产量降低、品质变差。如果发生连续干旱,将加剧草地退化和沙漠化的进程,同时对人工草场建设、天然草场的改良带来影响(宋连春等,2003)。此外,干旱年牧区常常发生严重的病虫害,使原本受旱灾影响的草场损失更加严重。

干旱会导致森林生产力下降,尤其是发生长期干旱,会严重影响森林的正常生长。干旱发生时,土壤含水量降低,温度升高,高温干燥的环境使森林火灾发生的可能性大大增加。自2000年以来,全球气温的不断升高导致北方地区气候偏旱,森林火灾有增长的趋势(田晓瑞等,2003;李剑泉等,2009;王明玉,2009;魏书精等,2013)。

干旱发生期间,江河来水量减少、湖泊水位下降,不仅会影响水产行业,导致水产养殖业收成减少或绝收,还会导致水力发电量下降,引发工业生产用电紧缺,食品加工、建筑、制造等行业都将会受到不同程度的影响。煤炭生产和深加工需要消耗大量水资源,水资源不足是制约煤炭产业发展的重要因素,干旱会加剧水资源短缺,影响煤炭产业的发展。

干旱对交通运输的影响主要是内河水运。降水量减少导致江河来水量偏低,河道水位下降,当河道水位不及通航水深时,可能会出现船舶搁浅,严重影响正常的内河水运(张强等,2009)。

1.1.2.2 干旱对生态环境的影响

干旱造成湖泊、河流水位下降,部分河流甚至会干涸和断流,使得河流和湖泊水生态环境恶化。干旱缺水导致地表水源补给不足,只能依靠超采地下水来维持居民生活和工农业发展,然而超采地下水又导致了地下水水位下降、地面沉降、海水入侵等一系列生态环境问题(中国气象局,2013)。

干旱导致草地植被退化。我国大部分地区处于干旱半干旱的生态脆弱地带,夏季盛行东南季风,雨热同期,降水集中在4—9月。北方地区雨季虽然也集中在4—9月,但存在着很大的空间差异性,有十年九旱的特点。气候环境的变化和人类活动的干扰导致了严重的植被退化,进入21世纪以后,干旱有加重的趋势,而且呈现春夏秋连旱趋势,对脆弱生态系统非常不利(中国气象局,2013)。

干旱加剧土地沙漠化进程,降低生物多样性。干旱发生时很难满足湿地水源补给,致使湿地面积减小、生态系统功能退化。我国西北地区干旱频繁发生,造成湿地严重退化,主要表现在:河流断流,湖泊、湿地面积减小,湿地水质咸化等。旱化的湿地向沙漠化发展,生态系统受到损害,生物多样性降低(张强等,2009)。

1.2 旱灾及其风险

1.2.1 旱灾形势

旱灾是干旱发展到一定程度后导致水分匮乏,并对植物正常生长、人类正常生活和生产、生态环境维持等造成了不利影响和产生危害的事件,是各种自然因素与社会因素综合

作用的结果，属于水文气象灾害（金菊良等，2014）。

旱灾是世界范围内频繁发生的一种自然灾害，从各大洲主要自然灾害类型的分布（表 1.1）可以看出，旱灾是全球各大洲的主要自然灾害之一。国际灾害数据库（The Emergency Events Database, EM-DAT）对 1970—2008 年间的各个灾种统计表明，旱灾是非洲、大洋洲影响人口数量最多的灾种（图 1.2），并且在许多国家和地区（如美国、墨西哥、澳大利亚、印度和非洲、东南亚）有报道记录的旱灾数量大于 6 次，中国、巴西等国家甚至超过了 10 次，旱灾发生的频次很高（UNISDR，2009）。2000—2008 年全球共发生旱灾 157 次，平均每年受灾人数超过 4200 万（<http://www.emdat.be/>）。

表 1.1 各大洲主要自然灾害类型

地区	亚洲	非洲	欧洲	北美洲	南美洲	大洋洲
主要灾害类型	干旱、洪水、沙漠化、水土流失、台风、龙卷风	干旱、洪水、沙漠化、蝗灾	干旱、酸雨、雪灾	干旱、洪水、飓风、龙卷风、水土流失、酸雨	干旱、洪水、水土流失	干旱、土壤盐碱化、生物灾害

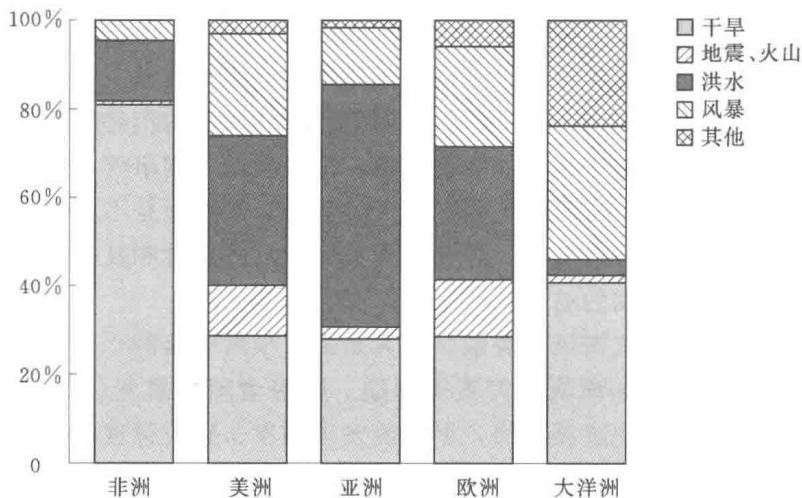


图 1.2 1970—2008 年各大洲受不同灾害影响的人口比例（UNISDR，2009）

美国大气研究中心（NCAR）的研究显示，从 20 世纪 70 年代至 21 世纪初，世界遭受严重干旱影响的地区占全球陆地面积的百分比增长了一倍多（IPCC，2001；NCAR，2005）。研究结果表明，1902—2008 年大洋洲干旱影响面积百分比呈现下降趋势（其趋势为 $-0.14\%/50a$ ），其他大洲均呈现上升趋势，其中亚洲上升趋势最大（达到 $2.69\%/50a$ ），其他大洲上升趋势由大到小依次为南美洲 $1.44\%/50a$ 、欧洲 $1.36\%/50a$ 、北美洲 $1.08\%/50a$ 、非洲 $0.75\%/50a$ 。表 1.2 给出了全球及各大洲干旱影响面积比例统计指标（王前锋，2015）。干旱影响面积百分比均值可表征平均每年严重干旱波及的空间范围，均值越大，平均每年受严重干旱影响的空间范围越大。表 1.2 显示各大洲干旱面积百分比最大值都超过全球水平，其中欧洲最大值达到 34.80% ，其他大洲也均超过 10% 。干旱影响面积百分比标准差可反映年际间严重干旱面积偏离均值的程度，标准差越大表明偏离均值程度越大，即每年发生严重干旱面积差异性越大。表 1.2 显示各大洲干旱影响面积百