

水文水资源系列丛书

塔河流域干旱预警 及灾害效应风险评估

TAHE LIUYU GANHAN YUJING
JI ZAIHAI XIAOYING FENGXIAN PINGGU

覃新闻 薛联青 王新平 白云岗 罗健 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

水文水资源系列丛书

塔河流域干旱预警及 灾害效应风险评估

覃新闻 薛联青 著
王新平 白云岗 罗 健

东南大学出版社

• 南京 •

内 容 摘 要

干旱是全球范围内频繁发生的一种慢性自然灾害,对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深已严重影响了人类的生存和发展。本书主要针对我国典型的干旱区流域塔里木河流域水资源极端匮乏、干旱频繁发生的实际情况,深入分析了塔里木河流域的干旱灾害特征及成因,根据流域内陆水循环和水平衡的特点,对塔里木河流域的干旱特征进行了定量描述,建立了适用性强的干旱评价方法。系统分析了典型流域的干旱演变趋势,并基于气象、水文干旱指标,运用马尔柯夫链对干旱状态转移预测,建立了塔河流域干旱预警关键技术。以此为基础,进行了塔河流域干旱灾害风险评估与区划,量化分析了塔河流域干旱灾害效应,提出了相应的干旱灾害应对措施,为流域水资源规划、流域社会经济与生态环境保护提供了科学依据,对流域生态系统和水资源可持续利用具有重要的理论和实践意义。

本书可供水文水资源学科、环境科学、资源科学、农业工程及水利工程等学科的科研人员、大学教师和相关专业的研究生和本科生,以及从事水资源管理领域、水土保持工程及生态环境保护的管理和技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔河流域干旱预警及灾害效应风险评估/覃新闻等

著. —南京:东南大学出版社,2013.6

水文水资源系列丛书

ISBN 978-7-5641-4184-4

I. ①塔… II. ①覃… III. ①塔里木河—流域—干旱

—预测 ②塔里木河—流域—旱灾—风险分析 IV. ①P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 081364 号

塔河流域干旱预警及灾害效应风险评估

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼2号

邮 编 210096

经 销 江苏省新华书店

印 刷 兴化印刷有限责任公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16

印 张 16.75 彩插:8面

字 数 333千字

版 次 2013年6月第1版

印 次 2013年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-4184-4

印 数 1—1 000

定 价 41.00元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

干旱是全球范围内频繁发生的一种慢性自然灾害,它对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深严重影响了人类的生存和发展。干旱事件发展缓慢且不易被察觉,当干旱特征显露之后,其影响范围之广、程度之严重已致使应对措施常常难于实施。近年来,由于全球性气候变化和人类活动加剧,干旱发生趋于频繁,尤其是在水资源紧缺地区,干旱严重威胁当地人民赖以生存的粮食、水和生态环境,制约着当地的生产、生活,给工农业生产带来无法估量的损失,全球每年因干旱造成的经济损失高达 60 亿~80 亿美元,远远超过了其他自然灾害。中国是世界上受干旱灾害最为严重的国家之一,干旱、半干旱地区约占全国面积的 47%。近 5 来我国旱灾发生频繁,影响范围之广、受灾面积之大已经引起了高度重视。

地处中国西部的塔里木河被誉为新疆各族人民的“母亲河”,塔里木河流域所形成的天然绿洲是阻挡塔克拉玛干沙漠的风沙侵袭、保护人类生存环境的天然保障。随着气候变化与人类活动的加剧,塔里木河流域干旱化趋势也进一步加剧,旱灾频次明显加快。旱情旱灾影响范围已远远超出农业,不仅威胁工农业生产,对生态也造成了直接影响,干旱给原本紧缺的水资源和生态环境产生了巨大破坏,加剧了供需矛盾,解决干旱条件下的水资源短缺问题,已经成为当今需要迫切解决的问题。

因此,系统研究塔里木河流域干旱特征、干旱演变及干旱成灾机制和变化规律,加强该流域干旱预警,对流域生态系统和人类的可持续发展具有重要的理论意义,对科学合理进行流域水资源开发利用,维护流域经济、社会、生态系统的稳定性和持续性具有重大的实际指导作用。

全书共包含六个方面的内容,分为九章。其中,第 1 章阐述了国内外干旱研究的发展趋势及研究的重大意义,从干旱定义、干旱特征及干旱指标等方面分析了目前研究状况及存在的问题;第 2 章介绍了塔里木

河流域的概况及干旱的影响要素;第3章重点讨论塔里木河流域的干旱灾害特征及成因,建立了适用性强的干旱评价方法;第4章系统建立了塔里木河流域的干旱指标,并针对典型区域解析了干旱演变趋势;第5章主要是基于气象、水文干旱指标,确立了塔里木河流域干旱指标体系及干旱综合评价理论方法;第6、7章重点研究了流域干旱灾害风险评估与区划方法,建立了塔里木河流域干旱预警理论方法关键技术。第8、9章主要以干旱评估与干旱预警为基础,对干旱指标值进行短期预测,取得了相应的预测结果,量化分析了塔里木河流域干旱灾害效应,提出了相应的干旱灾害应对措施,为地方水资源管理及干旱预警提供了参考。

本书主要是作者及相关科研、论文成果的总结,全书由薛联青统稿。在本书撰写过程中,李永坤、李泽华、张竞楠、杨明智、邢宝龙、王思琪、李晓林、张江辉、张强、木沙·如孜、孙鹏、卢震林、加孜拉、刘洪波等都给予了大力支持。石河子大学的杨广讲师参与了本书第1章、第2章、第4章等章节的编写工作,在此一并表示感谢。特别感谢水利部水文局王爱平高级工程师,塔里木河流域管理局张洛成处长,楚永红副处长,孙超、郑刚和陈小强三位工程师等的帮助和支持。

在本书的撰写过程中,得到了石河子大学水建学院、水文水资源与水利工程科学国家重点实验室等单位领导和专家的大力支持,在此深表谢意!

本书出版得到水利部公益性行业科研专项(201001057, 201001066),水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项经费(2011585512)的资助,在此表示感谢!

同时对作者所引用的参考文献的作者及不甚疏漏的引文作者也一并致谢!

由于作者水平有限,编写过程中难免存在很多不足及顾此失彼之处,敬请读者给予批评指正!

作 者

2013年3月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	问题提出	(1)
1.2	干旱与干旱灾害	(3)
1.2.1	干旱定义	(3)
1.2.2	干旱灾害	(6)
1.3	干旱研究的进展	(8)
1.3.1	干旱指标的研究	(8)
1.3.2	干旱特征与演变	(10)
1.3.3	干旱预警研究	(11)
1.3.4	干旱灾害监测	(12)
1.3.5	干旱灾害风险评估	(14)
1.4	主要研究内容	(15)
2	研究区概况	(17)
2.1	地理位置	(17)
2.2	地形地貌	(18)
2.3	气候特征	(20)
2.4	水文特征	(21)
2.4.1	水文循环	(21)
2.4.2	降水与蒸发	(23)
2.4.3	径流	(26)
2.4.4	自然状态下径流过程	(27)
2.4.5	受干扰后径流过程	(28)
2.4.6	径流变化特征分析	(29)
2.4.7	径流演变诊断分析	(32)
2.5	河流水系	(36)
2.6	水资源开发利用状况	(40)
2.7	社会经济	(43)

2.8	生态环境	(43)
2.9	干旱影响要素	(45)
2.10	本章小结	(46)
3	塔河流域干旱灾害特征及成因	(47)
3.1	历史干旱灾害考证	(47)
3.1.1	历史干旱	(47)
3.1.2	典型干旱灾害	(49)
3.2	干旱灾害特征分析	(50)
3.2.1	干旱灾害特点	(50)
3.2.2	干旱灾害时间演变特征	(51)
3.2.3	干旱灾害空间分布特征	(57)
3.3	枯水径流演变特征分析	(59)
3.3.1	枯水径流演变特征	(59)
3.3.2	枯水流量频率分析	(68)
3.4	塔河流域干旱成因分析	(83)
3.4.1	自然因素	(83)
3.4.2	社会经济及人类活动对干旱的影响	(91)
3.4.3	气候变化对干旱的影响	(93)
3.5	本章小结	(106)
4	塔河流域干旱指标及干旱演变趋势	(107)
4.1	水文气象要素变化特征	(107)
4.1.1	水文要素变化趋势	(107)
4.1.2	气象要素变化趋势	(110)
4.2	塔河流域干旱指标建立	(118)
4.2.1	气象干旱指标	(118)
4.2.2	水文干旱指标	(121)
4.2.3	农业干旱指标	(124)
4.2.4	指标适用性分析	(125)
4.3	气象干旱识别及演变趋势	(126)
4.3.1	气象干旱空间分布	(126)
4.3.2	气象干旱影响范围	(129)
4.3.3	气象干旱演变趋势	(132)
4.4	水文干旱识别及演变趋势	(135)
4.4.1	水文干旱识别方法	(135)

4.4.2	水文干旱重现期及烈度	(137)
4.4.3	水文干旱演变趋势	(142)
4.5	本章小结	(145)
5	塔河流域干旱综合评价	(146)
5.1	干旱评价方法	(146)
5.2	干旱特征统计及关联性分析	(148)
5.3	托什干河流域评价应用	(151)
5.4	未来径流变化趋势分析	(154)
5.4.1	未来气候变化情景	(154)
5.4.2	冰雪水文模型构建	(156)
5.4.3	未来径流变化趋势预估分析	(161)
5.5	本章小结	(162)
6	塔河流域干旱灾害风险评估与区划	(163)
6.1	基于 SPI 的气象干旱风险评估	(164)
6.1.1	标准降水指数	(164)
6.1.2	干旱指标选取及干旱等级划分	(165)
6.2	基于可变模糊评价法的农业干旱风险评估	(173)
6.2.1	可变模糊集定义	(173)
6.2.2	相对差异函数模型	(174)
6.2.3	评价指标与分级标准	(177)
6.2.4	干旱程度的确定	(178)
6.2.5	评价指标权重系数确定方法	(181)
6.3	本章小结	(189)
7	塔河流域干旱预警关键技术	(190)
7.1	马尔柯夫链干旱预测模型	(190)
7.1.1	加权马尔柯夫链	(191)
7.1.2	双原则马尔柯夫链	(193)
7.2	随机干旱预测模型	(194)
7.2.1	自回归滑动平均模型 (ARIMA)	(194)
7.2.2	乘积季节模拟 (SARIMA)	(200)
7.3	本章小结	(203)
8	塔河流域干旱灾害效应	(204)
8.1	干旱灾害对农业及生态环境影响分析	(204)

8.1.1	对农业生产的影响	(204)
8.1.2	对生态环境的影响	(208)
8.2	对内陆湖泊流域水资源影响——以博斯腾湖为例	(218)
8.2.1	引言	(218)
8.2.2	数据与方法	(219)
8.2.3	对博斯腾湖水位影响分析	(221)
8.2.4	对博斯腾湖流域径流影响分析	(222)
8.3	本章小结	(230)
9	塔河流域灾害应对措施数字集成方案	(231)
9.1	概述	(231)
9.2	塔河数字集成方案框架	(232)
9.2.1	数字集成方案的内容	(232)
9.2.2	集成建设原则	(233)
9.2.3	塔河数字集成需求分析	(233)
9.2.4	集成方案的框架体系	(235)
9.3	塔河数字集成方案的功能与实现	(236)
9.3.1	平台运行环境	(236)
9.3.2	功能设计	(237)
9.3.3	塔河数字集成平台数据组织、处理与集成	(239)
9.3.4	数据库与库表设计	(244)
9.3.5	空间信息可视化建设	(245)
9.3.6	应用模型集成	(248)
9.3.7	网页集成开发和界面设计	(249)
9.3.8	用户管理设计	(250)
9.4	本章小结	(251)
	参考文献	(252)

1.1 问题提出

近年来,随着全球气候变暖以及用水需求的不断增加,地处全国内陆干旱区的塔里木河流域水资源匮乏的问题越来越严重,已成为制约地区经济社会可持续发展的重要因素之一。频繁发生的干旱是一个世界范围重大灾害性气候问题,直接和间接地阻碍了社会经济发展并威胁着人类的生存。《气候变化国家评估报告》(2006年12月)指出,目前气候变化对于干旱和洪涝等水文极端事件的研究尚处于起步阶段,无论是研究方法还是研究内容都比较薄弱。我国农业、水资源、森林与其他自然生态系统、海岸带与近海生态系统等极易受全球气候变化的不利影响,自然灾害将有进一步加剧的可能。尤其是近年来,在气候变化和人类活动加剧等外界干扰作用下,干旱发生趋于频繁,在水资源紧缺地区,干旱灾害给社会经济的各个层面造成一系列复杂的影响,特别是对农业领域的危害并非局限于受灾的区域。与暴雨、洪水、地震等毁灭性效应的灾害相比,干旱发展缓慢且不易被察觉,当干旱特征显露之后,其影响范围之广、程度之严重致使应对措施无从开展,干旱已威胁到人类的生存和发展。深入研究分析变化条件下干旱演变态势,进行合理的干旱预警与流域干旱致灾效应分析,对科学用水、水资源合理调配以及流域的可持续发展具有重要意义。

我国是一个干旱灾害频繁发生的国家。据统计,全国每年干旱造成的损失占各种自然灾害的15%以上,为各项灾害之首。自上世纪90年代以来,我国旱灾频次明显加快,几乎每3年就发生一次重旱甚至特大旱,旱情持续时间更长,跨季、跨年的旱灾越来越频繁,旱灾造成的损失也呈加重趋势。2010年西南5省(市)(云南、贵州、广西、四川、重庆)发生百年一遇特大干旱,耕地受旱面积1.01亿亩,有2088万人、1368万头大牲畜因旱饮水困难,引起了国内外的广泛关注。频繁发生的干旱灾害,对我国城乡供水安全、粮食安全和生态环境安全构成极大威胁,抗旱减灾工作面临着前所未有的压力和挑战。据不完全统计,我国GDP平均每年因旱

灾损失 1.1%, 约为 3 000 亿元, 重旱年份则高达 2.5%~3.5%。

作为我国最大的内陆干旱区的新疆塔里木河流域(以下简称塔河流域), 水资源匮乏的问题越来越严重, 已成为制约地区经济社会可持续发展的重要因素之一。随着塔里木河来水量持续减少以及区域内用水需求的增加, 造成下游河道断流、干枯和地下水位下降, 胡杨林及灌木大量死亡, 绿色走廊不断衰退, 生态环境恶化。2009 年, 塔河遭遇了 60 年一遇的特大干旱, 主干河流入水量大幅减少, 断流河段长达 1 100 km。频繁发生严重旱情, 旱灾波及的范围已远远超出农业, 不仅威胁塔河流域的粮棉生产, 也给区域生态环境带来直接影响。

世界气象组织(WMO)和政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007 年 8 月 7 日联合发布的报告指出, 全球持续变暖已经是毫无疑问的趋势, 持续干旱、高温等事件变得更加频繁。报告预测未来某些内陆干旱区的持续干旱和高温等极端事件很可能将更加频繁地发生。

旱灾不仅造成严重的经济损失, 还加剧了水土流失、荒漠化土地扩展等生态环境灾害, 更严重影响社会经济发展与可持续发展。2006 年, 喀什、和田、阿克苏的部分县(市)河道来水量锐减, 致使 4 月下旬~5 月中旬农作物受旱面积一度达到近 475 万亩, 其中重旱面积近 100 万亩, 有近 50 万人、108 万头(只)大牲畜发生临时饮水困难。2009 年, 塔河流域源流区遭遇大旱, 叶尔羌河、盖孜河、提孜那甫河、库山河四条河流 5~7 月来水量比历年同期减少 44.1%, 是有水文记载以来同期来水量最少的年份, 给流域社会生产、生活以及生态带来了极大的损失。塔河三源流(阿克苏河、叶尔羌河、和田河)5 月份径流量仅为 8.91 亿 m^3 , 比历年同期减少 2.15 亿 m^3 , 为特枯月份。受源流来水减少及上游源流区抗旱灌溉引水的影响, 塔河干流控制断面阿拉尔 6 月上旬来水量只有 0.06 亿 m^3 , 比历年同期少 89%, 6 月中旬比同期少 92%。受此影响, 塔河近年来发生的断流点向上游发展, 断流河长较往年有所延长, 对下游农业生产和生态用水造成严重影响, 旱灾已成为制约塔河流域可持续发展的重要灾害。

开展塔河流域干旱灾害方面的研究, 对提高塔河流域抗旱应急管理水平, 增强抗旱减灾预案的针对性和可操作性, 提升灾害监测预报水平和预警能力, 完善应急响应处置, 发挥科技在抗旱减灾中的重要支撑、引领作用, 预防和减轻自然灾害损失具有重要的实践指导意义。

1.2 干旱与干旱灾害

1.2.1 干旱定义

干旱一词在气象学上有两种含义:一是干旱气候,一是干旱灾害。干旱气候是指蒸发量比降水量大得多的一种气候现象,是最大可能蒸散量(用 H. L. 彭曼公式计算的)与年降水量的比值大于或等于 3.5 的地区。干旱灾害是指某一地理范围在某一具体时段内的降水量比年平均降水量显著偏少,导致该地区的经济活动(尤其是农业生产)和人类生活受到较大危害的现象。作为自然灾害,干旱是表征气候学和水文参数最好的指标之一。在不同地区以及不同的学科领域里,国内外关于干旱的定义多达一百多种。对于干旱问题,用不同角度定义和用不同标准衡量,都体现了人们对干旱的认识和理解存在明显的差异。目前国际上对干旱的常规定义有以下几种:①世界气象组织定义为(WMO,1986):“干旱是指长期的、持续的缺少降水。”②联合国防治干旱和荒漠化公约(UN Secretraiat General,1994)定义:“干旱是指降水已经大大低于正常记录水平,造成土地资源生产系统水文严重失衡的自然现象。”③美国粮食和农业组织(FAO,1983)定义旱灾为:“作物生长所需水分低于多年平均值。”④气候与天气百科全书(Schneider,1996)定义干旱为:“一个地区在统计基础上一个季度、一年或是多年的长期缺少降水。”⑤Gumbel(1963)定义干旱为日径流量的年均最小值。⑥Palmer(1965)解释干旱为:“一个干旱地区有着显著偏差的水文条件。”⑦Linseley,等人(1959)定义干旱为:“持续一段时间的无显著降雨。”⑧国际气候界定义干旱为:“长时期缺乏降水或降水明显短缺”或“降水短缺导致某方面的活动缺水。”⑨美国天气局定义干旱为:“严重和长时间的缺雨。”由于使用不同的变量来描述干旱,因此,干旱的定义各不相同。张景书按照普通逻辑对概念的要求,依据干旱的实际将干旱定义为:“干旱是指在一定时期内无降水或者降水量偏少引起土壤水分缺乏,从而不能满足作物正常生长所需要水分的一种气候现象。”该定义为发生定义,即通过种差指出干旱和其他气候现象(如水涝)在形式方面的不同。张景书指出:“一定时期内无效降水或者降水量偏少引起土壤水分缺乏,从而不能满足作物正常生长所需的水分”为种差,“气候现象”为属,“种差+属”的定义方式体现了干旱概念的特有内涵和外延。任尚义综合各种定义反映干旱的特性,认为干旱是指在相对广阔的地区,在长期无降水和少降水或降水异常

偏少的气候背景下,水分供应严重不足的现象。商务印书馆出版的《现代汉语词典》(第五版)中将“干旱”解释为“因降水不足而土壤、气候干燥”。我国国家气候局认为干旱是指因水分的收与支或供与求不平衡而形成的持续的水分短缺现象。《中华人民共和国抗旱条例》中将干旱灾害定义为由于降水减少、水工程供水不足引起的用水短缺,并对生活、生产和生态造成危害的事件。

而百度百科网络上从三个学科对“干旱”进行了定义:一是从大气科学(一级学科)中的应用气象学(二级学科)方面将干旱定义为“长期无雨或少雨导致空气干燥的现象”;二是从地理学(一级学科)中的气候学(二级学科)方面将干旱定义为“长期无雨或少雨导致空气干燥的现象”;三是从资源科技(一级学科)中的气候资源学(二级学科)方面将干旱定义为“长期无雨或少雨导致土壤和河流缺水及空气干燥的现象”。目前对干旱的定义很多,各自从本学科乃至本学科的不同方面来描述这一现象。

鉴此,国内外统一使用以下四种干旱定义类型(Wilhite and Glantz, 1985; American Meteorological Society, 2004),分别为:气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱。

(1) 气象干旱

气象干旱指某一地区长时期缺乏降水(Pinkeye, 1966; Santos, 1983; Chang, 1991; Eltahir, 1992),水分支出大于水分收入而造成的水分短缺现象(张强, 2006)。降水普遍用于气象干旱的分析,考虑到使用降水距平值作为干旱指标(Gibbs, 1975),多项研究使用月降水量数据分析干旱,用累计降水量和缺失量等其他方法分析干旱持续时间和强度(Chang and Kleopa, 1991; Estrela, 等, 2000)。气象干旱最直观的表现在于降水量的减少,降水量的减少不仅是气象干旱发生的根本原因,而且它是引发其他类型干旱发生的重要的自然因子。农业干旱的发生与前期降水量息息相关,这是因为前期降水量和土壤保墒性能决定自然供给作物水分的能力;降水量的多少直接影响河流的径流量和河流、湖泊、水库、水塘的水位高度,从而影响到水文干旱的发生;因降水量减少不仅会影响到人们的生活用水,而且还使工业、航运、旅游、发电等行业遭受不同程度的经济损失。气象干旱是干旱类型的最初形式,依据气象干旱持续的时间和范围相继会引发农业干旱、水文干旱和社会经济干旱。

(2) 水文干旱

水文干旱是指一段时期地表水和地下水资源不足,它是为水的使用而建立起

来的水资源管理体制系统,水文径流数据已被广泛应用于干旱分析(Dracup,等, 1980; Sen, 1980; Zelenhasic 和 Salvai, 1987; Chang 和 Stenson, 1990; Frick,等, 1990; Mohan 和 Rangacharya, 1991; Clausen 和 Pearson, 1995)。利用回归分析有关干旱径流的集水属性,发现地质条件是影响水文干旱的主要因素之一(Zecharias 和 Brutsaert, 1998; Vogel 和 Kroll, 1992)。张俊等人认为水文干旱是指因降水长期短缺而造成某段时间内地表水或地下水收支不平衡,出现水分短缺,使河流径流量、地表水、水库蓄水和湖水减少的现象。水文干旱是与大量供水(包括河流、湖泊、水库和水塘的水位高度短缺)相联系的。与气象干旱和农业干旱相比,水文干旱出现较慢,如降水的减少有可能在半年内并不会反映在径流的减少上。这种惰性也意味着水文干旱比其他形式的干旱持续时间更长。水文干旱发生将导致城市、农村供水紧张,人畜饮水困难,也会加重农业干旱,导致社会经济干旱。水文干旱的评估一般采用总水量短缺、累计流量距平、地表水供给指数等指标。为了定量描述和分析水文干旱,把游程理论引入到定义之中,即一个径流的时间序列 $Q(t)$, 为一个截断水平 $Q_0(t)$ 所截, 负的游程长度 $D(Q(t) \leq Q_0(t))$ 为干旱历时, 游程 S (距 $Q(t)$ 的累计偏差) 为干燥烈度 (或干旱程度), 游程强度 M (距 $Q_0(t)$ 的平均偏差) 为干旱强度。其中, 截断水平也叫干旱限值, 是干旱特性描述的一个决定性因子。

(3) 农业干旱

农业干旱通常可分为两种情况: 土壤干旱和作物干旱。土壤干旱是指土壤有效水分减少到凋萎水量以下, 使植物生长发育得不到正常供水的情形; 作物干旱是指作物内水分亏损的生理现象。它可能是因根区土壤水分不足又伴随一定的蒸发势, 也可能是土壤水分充足, 因大气过高的蒸发势而引起的作物体内暂时性缺水。土壤干旱和作物干旱构成了农业干旱, 表现为植物枯萎、减产等。孙荣强等认为农业干旱以土壤含水量和植物生长状态为特征, 在农业生长季节内因长期无雨, 造成大气干旱、土壤缺水, 农作物生长发育受抑, 导致明显减产, 甚至无收的一种农业气象灾害。农业干旱通常来说就是土壤和植物生长长期受到地表水资源的限制, 土壤含水量的下降主要是受到气象干旱和水文干旱等几个因素的影响, 如实际蒸散量和潜在蒸发。植物需水则取决于当时的天气条件下, 具体植物的生物学特性和增长阶段以及土壤的物理和生物特性。一些干旱指数主要是基于降水、温度和土壤水分, 并且已经应用于农业干旱的研究。

(4) 社会经济干旱

社会经济干旱是指水资源系统不能满足社会需水要求,从而关联到干旱与社会经济供应与需求关系(AMS,2004)。因天气原因而导致社会经济需要大于社会经济总供给水时往往会发生社会经济干旱。社会经济干旱同时也是自然系统与人类经济关系中水资源供需不平衡造成的异常水分短缺现象。其指标经常与一些经济商品的供需联系在一起,如粮食生产、发电量、航运、旅游效益以及生命财产损失系数法,即认为航运、旅游、发电等损失系数与受旱时间、受旱天数、受旱强度等诸因素存在一种函数关系。

一些研究已经讨论了上述四种基本干旱类型,这将有益于更好地介绍一种新的干旱类型,即地下水干旱。地下水干旱尚未列入到以上四种干旱类型之中,迄今为止,人们已经做了有关地下水干旱方面的研究,但尚不成熟,有待进一步的探讨。

1.2.2 干旱灾害

干旱问题是一个世界性的问题。当今世界对于干旱及干旱灾害的研究已有多年的历史,国内外学者普遍认为干旱呈增加趋势。首先是非洲的萨赫勒—苏丹地区持续不断地发生严重的干旱,大范围的严重干旱又在世界许多地区接连不断地出现,加上与干旱灾害有关的荒漠化灾害等影响极大,严重制约了许多国家经济、社会的发展,并且威胁到人类的生存环境。为了减轻干旱灾害的影响,1988年,WMO和UNEP联合建立了政府间气候变化专门委员会(PICCC),1990年和1995年发表了两次评估报告,主要对干旱与沙漠化,特别是未来气候变化对农业、土地利用、林业、草地、水文和水资源的可能影响进行了系统地分析和研究,同时利用大气环流模式(GCMS)模拟研究了气候极端事件、萨赫勒干旱等。冯丽文(1988年)从气候对社会、经济、环境冲击的角度出发,对我国近35年(1951—1985年)来干旱发生的时空分布特征及变化规律进行了分析,并且以大量事实为依据,阐述了干旱灾害对我国国民经济,如粮食产量、水资源和能源、林牧渔业等造成的影响。方修琦等根据农业灾害统计资料,分析了新中国成立以来的旱灾时空分异特征和演变规律;得到的结论是我国旱灾灾情分布特点主要受自然环境控制。陈菊英、马宗晋等分别利用降水量距平百分率、干旱频率等指标建立了我国干旱灾害的时空分布格局。水利部长江水利委员会依据水旱灾害史料和气象水文观测记录分析了长江流域的历史农业干旱灾害时空分布规律。姜逢清等基于新疆1950—1997年历史灾害统计资料,运用一般统计学方法与分形理论分析了新疆的干旱灾害特征,对

新疆农业旱情进行了风险评估。肖军,赵景波等(2006年)利用陕西省54年来的农业旱灾灾情资料对旱灾特征进行了详细地分析和预测,得出陕西省旱灾有发生频率加快、灾情加重的趋势,干旱灾害具有较强的持续性。张允,赵景波(2009年)通过对历史文献资料的收集、统计和分析,对1644—1911年西海固地区干旱灾害的时间变化、空间变化、等级序列以及驱动力因子进行了研究。总结出了在气候条件和人类活动的影响下,干旱灾害在时间和区域上呈逐年加重的趋势。黄会平(2010年)根据近60年来干旱灾情统计资料,分析了我国干旱灾害的时空分布特征及其变化趋势。统计结果表明:近60年来,我国干旱灾害的受灾面积、成灾面积、经济损失有逐步增加的趋势,灾害发生的频率也在不断加快。在空间分布上,陕西、甘肃、宁夏、内蒙、山西、青海、黑龙江、吉林、辽宁、重庆、山东、河北、北京、天津等是成灾严重的省(市)区;北方的黄河流域、松辽河流域、海滦河流域、淮河流域受灾严重,南方的长江流域、珠江流域、太湖流域等受灾相对较低,但总体上都有不断加重的趋势。李晶,王耀强等(2010年)调查分析了内蒙古自治区101个旗县1990~2007年间因旱造成的农业、牧业、城镇居民生活及工业方面的损害程度及相应降水资料。运用统计计算、频率分析等方法,初步确定了内蒙古自治区的旱情时空分布特征,确定了内蒙古自治区3个易旱季节旱灾易发区的分布区划及3个级别的旱灾等级(严重旱灾、中度旱灾、轻度旱灾)发生频率和分布区划。江涛,杨奇(2011年)等利用1956—2005年126个雨量站逐月降水资料,采用标准化降雨指数和经验正交函数分解法,探讨了广东省干旱灾害空间分布规律,结果表明:局部地区干旱灾害有逐渐加重的趋势。

在深入调查研究本国旱灾规律、旱灾影响和国民抗旱减灾活动的基础上,美国国会于1998年通过美国国家干旱政策法案(The National Drought Policy Act),明确提出本国抗旱减灾的方针,同时成立了国家干旱政策委员会(The National Drought Policy Commission),授权对本国抗旱方略进行研究,并向国会提出有关建议。国家干旱政策委员会随后提交了题为“为21世纪的干旱做准备(Preparing for Drought in the 21st Century-Report of the National Drought Policy Commission)”的报告,全面分析了本国旱情形势,提出了具体的抗旱减灾对策。刘引鸽(2003年)利用西北地区降水和农作物旱灾面积统计资料,将干旱灾害事件与影响因子进行对比分析,结果表明:厄尔尼诺事件当年或次年,南方涛动指数负距平,太阳黑子低值,青藏高原为多雪年,地表径流枯期,西北干旱灾害发生率较高,降水稀少,气候变化,人类活动是干旱灾害发生的原因。杜金龙,邢茂娟等(2004年)研究出了

地处黑龙江省西部松嫩平原腹地的安达市干旱灾害形成的原因是自然因素和人类因素。黄桂珍,韦庆华等(2010年)从气候、地形等方面分析了广西凌云县2009年秋至2010年干旱灾害的成因,并提出了相应的抗旱措施,尽可能减少干旱灾害造成的损失。梁建茵等根据广东省86个气象站的降水量资料,用正态化Z指标讨论了广东省汛期旱涝的成因及前期影响因子,并对前后汛期的旱涝等级进行了划分。吕娟,高辉等(2011年)根据2000年以后的气象及旱灾统计数据,总结出了21世纪我国干旱灾害发生频率大、受旱面积广、区域变化明显的特点,并从自然、社会两方面分析了旱灾频发的原因。李治国,朱玲玲等(2012年)利用河南省1950~2009年干旱灾情资料,分析了干旱灾害的变化特征及成因,得到的结论是资源环境、气候变化和社会经济条件是干旱灾害形成的原因。

1.3 干旱研究的进展

1.3.1 干旱指标的研究

干旱指标是干旱监测的基础,也是衡量干旱程度的关键环节。由于干旱成因及其影响的复杂性,很难找到一种普遍适用各种用途的干旱指标,因此应用于不同需求的各种干旱指标得到了发展。归纳各种干旱指标大致可分为四类,即气象指标、水文指标、农业指标、社会经济指标。由于各个部门对干旱的定义不同,水文部门以径流量的丰枯等级来划分干旱程度,农业部门以土壤的干湿状况来确定干旱程度,气象部门则以降雨量的多少来确定干旱程度。因此,为了监测研究干旱及其变化,科学家们利用气温、降水量、径流量等水文气象要素,逐渐发展了大量的干旱指标。这些干旱指标包含了降水量、气温、蒸发量、径流、土壤含水量、湖泊水位、地下水位等众多的基础资料,最终形成一系列简单的指标数字。对于决策者和相关领域来说,干旱指标比原始观测资料更加直观,可利用性强。

在国外,Gibbs和Maher在1967年提出了RD指标(Rainfall Deciles),将降水量按从大到小的顺序排列分组,采用百分位法将降雨量划分为5个等级,落入第1等级范围内被定义为一场干旱事件,该指标已广泛应用于澳大利亚的干旱监测。Bahlme和Mooley在1980年提出了BMDI指标,根据干旱程度将干旱划分为正常、轻旱、中旱、大旱、极旱5个等级;Bogard等根据该指标研究了不同环境对干旱的影响;McKee等在1993年提出了标准化降水指数(Standardized Precipitation