



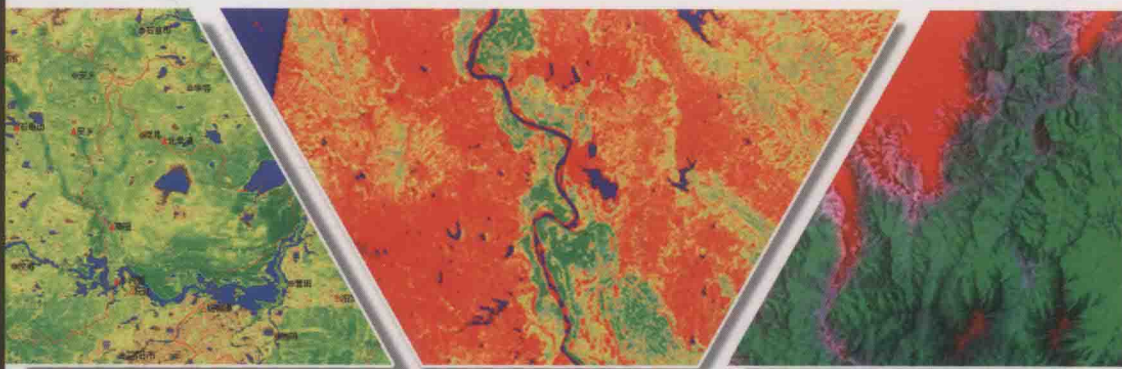
测绘科技应用丛书



长江流域干旱遥感监测评估体系及应用

Establishment and Application of Drought Monitoring and Assessment System
Based on Remote Sensing Technology over the Changjiang River Basin

向大享 李喆 张穗 谭德宝 等 著



测绘出版社

测绘科技应用丛书

“十二五”国家科技支撑项目资助(2013BAB05B01-3)

长江流域干旱遥感监测评估 体系及应用

Establishment and Application of Drought Monitoring and
Assessment System Based on Remote Sensing Technology over
the Changjiang River Basin

向大享 李 喆 张 穗 谭德宝 著
文雄飞 申邵洪 周 正 王腊春

测绘出版社

· 北京 ·

© 向大享 李喆 张穗 谭德宝 文雄飞 申邵洪 周正 王腊春 2016
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 提 要

本书基于长江流域的历史旱情及干旱成因分析,针对长江流域干旱遥感监测的模型、方法、评估体系等的构建与应用展开研究。分别提出了基于中低分辨率遥感数据的云参数法气象干旱遥感监测模型、基于中等分辨率多源遥感数据的农业干旱遥感监测模型,以及基于中高分辨率遥感数据与多维特征空间的水文干旱遥感监测模型,并以近年来长江流域干旱事件验证了模型的准确性和适应性,进而讨论了长江流域干旱遥感监测体系的建立方案,最后实现了长江流域干旱遥感监测系统。

本书可供自然灾害管理、遥感科学与技术、遥感应用等领域的管理者或研究人员使用,也可作为高等院校相关专业的研究生教材和参考用书,还可作为公众防灾减灾教育的辅助读物。

图书在版编目(CIP)数据

长江流域干旱遥感监测评估体系及应用/向大享等
著. —北京:测绘出版社, 2016.12

(测绘科技应用丛书)

ISBN 978-7-5030-3634-7

I. ①长… II. ①向… III. ①遥感技术—应用—干旱
—监测—长江流域 IV. ①P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 256032 号

责任编辑 巩 岩 封面设计 李 伟 责任校对 孙立新 责任印制 陈 超

出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm		
印 张	11.5	字 数	222 千字
版 次	2016 年 12 月第 1 版	印 次	2016 年 12 月第 1 次印刷
印 数	001—600	定 价	45.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-3634-7

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

序

干旱通常指淡水总量少,不足以满足人的生存和经济发展的长期性气候现象。根据干旱演变的步骤,干旱包括气象干旱、农业干旱、水文干旱及社会经济干旱。随着人类的经济发展和人口膨胀,水资源短缺现象日趋严重,干旱地区不断扩大、干旱化程度不断加重,干旱化趋势已成为全球关注的问题。

特殊的地理位置和季风气候条件决定我国是一个干旱灾害频发的国家。近年来,在发生频次、严重程度及发生范围方面都呈现不断增加的态势。具体地,几乎每年都有严重旱情发生;春夏连旱、冬春连旱、秋冬春连旱现象越来越普遍;不同的气候区域、不同的季节都会发生严重干旱,旱情遍布全国各地,包括常年干旱区、雨水充沛区。新中国成立以来最严重的旱情发生在2000年,农业受灾面积达6.09亿亩;2003年,江南、华南和西南地区发生严重夏秋冬连旱;2004—2005年,我国南方连续两年发生50年一遇的严重秋冬春连旱,造成经济损失约80亿元;2006年,重庆发生100年一遇旱灾,直接经济损失71.55亿元,农作物受旱面积1979.34万亩;2007—2010年,我国不同地区均发生不同程度的特大干旱;2009—2013年,西南部分地区出现了连续四年冬春连旱旱情,均造成较大的经济损失。值得一提的是,湖北北部地区常年干旱,年年受灾严重,2015年国家耗资180多亿启动了鄂北地区水资源配置工程,工程建成后将有效缓解该地区干旱现状。

纵观近年来中国旱情,作为粮食主产区的长江流域区域干旱问题日益严峻,降水严重偏少、江河来水不足、水位持续偏低等现象频发,主要分布在西南、两湖、华东地区,灾情损失严重,一定程度上阻碍了长江经济带的发展。因此,需要准确预测预报旱情、评估灾情并提供可靠直观的辅助决策手段,以提高干旱灾害管理水平。

遥感技术具有宏观、准确、快速的特点,在干旱预警监测、灾情评估、救灾决策支持中可以发挥重要作用。在近年来的干旱事件处理过程中,卫星遥感、航空遥感及无人机遥感等技术都得到了广泛应用,遥感旱情监测技术已经成为全国各级防汛抗旱部门干旱管理工作的重要技术手段。

作者团队近十几年来致力于从事干旱遥感预警监测、灾情遥感评估的相关研究及业务工作,获得了多项国家及省级自然科学基金项目、国家科技支撑计划、水利科技推广专项项目、中央级公益性科研院所基本科研业务费项目的支持,同时结合团队所在单位的工作范围,将研究成果应用于整个长江流域干旱事件管理工作,形成业务化模块。经过多年的积累和沉淀,撰写了《长江流域干旱遥感监测评估体

系及应用》一书。该书旨在围绕长江流域防汛抗旱工作需求,建立适应于长江流域时空尺度的气象干旱、农业干旱与水文干旱遥感监测、预警与评估模型,最终构建面向旱情发生、发展过程的长江流域干旱遥感动态监测、预警、评估体系,并介绍了基于上述理论方法开发的长江流域干旱遥感监测评估软件系统,为制订科学的旱情防范和抗旱预案、开展有效的防汛抗旱工作提供服务。

全书既有理论方法介绍,也有实际案例分析,可直接用于指导干旱遥感预警监测与灾情评估工作。同时,该书的出版也将进一步扩展遥感技术在自然灾害领域及流域管理领域的应用。

李德仁

二〇一六年十月

前 言

从全球范围看,旱灾已经被认为是影响面最广、造成经济损失最大的世界上最严重的自然灾害类型之一。随着各种技术的发展和研究领域的不断深入,各种旱情监测方法得到了空前的发展,但目前还没有形成基于干旱发生、发展过程的旱情过程监测体系,不利于准确有效地监测、评估旱情程度及损失。

美国气象学会根据干旱涉及的学科将干旱划分为气象、农业、水文和社会经济干旱四种类型。气象干旱是源头,即其他类型的干旱都是经气象干旱发展演变形成的,气象干旱以农业干旱、水文干旱和社会经济干旱的形式表现出来。降水不足、高温、大风、强太阳光照射以及无云覆盖等气候状况导致了各种水量急剧减少及蒸散和蒸发总量增大等现象,这样综合表现出来的一种气候现象即为气象干旱。气象干旱是干旱发生的最初指示器,并且具有地域专一性的特点。随着气象干旱持续时间的推移,特别是降水的异常短缺,由此形成土壤、植物、水文、人类等对水需求的短缺,从而形成各种不同类型的干旱。农业干旱发生在气象干旱之后,水文干旱之前。农业干旱主要表现为土壤水分不能满足农作物的需求,发生水分亏缺,影响作物正常生长发育,进而导致减产或失收的现象,其涉及土壤、作物、大气和人类对资源利用等多方面因素,是各类干旱中最复杂的一种。水文干旱的主要特征是在特定面积、特定时间段内可利用水量的短缺,通常以江河的径流或湖泊、水库和地下水位的高度来表示。社会对水的需要分为工业需水量、农业需水量和生活与服务行业需水量,如果需求大于供给,就会发生社会经济干旱。

近几年中国的旱情持续发展,程度越来越严重,严重旱情主要发生在西南、华北、两湖等地区。从 2009 年底至 2010 年 3 月,云南农田总受灾面积近 210 万公顷,占播种面积的 85%,绝收超过 66 万公顷。2010 年,西南地区遭遇百年一遇的全省特大旱灾,云南大部、贵州西部和广西西北部、重庆与四川部分地区已达特大干旱等级。受到持续晴空少雨以及 2012 年降水偏少的影响,2013 年春季云南地区发生了大面积的干旱事件,导致部分地区从 2010 年以来连续 4 年的冬春连旱旱情,云南全省作物受旱面积约 34 万公顷,有 60 万城乡居民出现不同程度饮水困难。2011 年上半年,长江中下游地区降水严重偏少,江河来水不足,水位持续偏低,致使湖北北部和东部、湖南北部、安徽中南部、江西北部、江苏南部、浙江东北部以及上海等地区存在重度气象干旱,为 60 年一遇大旱。随着经济的发展及环境的变化,中国旱情已不再有规律,不同的气候区域、不同的季节都会发生严重干旱,且大多出现多季节连旱以及大区域同旱等现象。特别是长江流域作为我国农业生产

的主产区,区域干旱问题也日益严峻。

纵观干旱在各领域中的影响及造成的严重损失,对于旱灾的研究不能仅仅集中在对旱情的监测上,而是既要在灾前准确预测、预报旱灾发生的概率,进行干旱预测预警与风险分析,还要在旱灾发生以后快速评估灾害造成的损失。在干旱的预警、监测以及减轻旱灾技术研发方面,经过多年的发展已形成较成熟全面的体系,由于干旱涉及降水、土壤水分含量、土壤蒸发和植被蒸腾等水循环要素,因此准确地进行旱灾监测需要天、空、地一体化观测系统的综合使用。

遥感技术不仅可用来监测引发干旱的各种因素的状态与变化,而且可对干旱的发生、发展过程进行实时跟踪监测,同时结合各类地面实测数据还可以进行干旱阶段的判定以及灾情损失的评估。国内外利用遥感方法进行干旱监测的研究始于20世纪60年代末,70年代逐步开展,进入80年代后,相关研究工作得到了全面而迅速的发展。其手段有地面遥感、航空遥感、雷达遥感和卫星遥感,涉及可见光、近红外、热红外、微波等遥感数据,成熟的方法主要分为热惯量、植被指数、地表温度、植被指数与地表温度结合、云信息等类型。基于卫星遥感技术的干旱监测方法利用各种卫星通过对陆地表面进行大范围、多时次的扫描,以获取海量、准确、稳定的数据,通过对遥感数据光谱、几何、纹理等特征进行数据挖掘、时序分析等一系列分析处理,从而研究干旱的发生、发展以及消亡过程。卫星遥感监测具有时空范围广、时效性高、信息准确客观等优势,为快速、动态的干旱监测与预警工作提供了可靠保障,对于减灾救灾乃至国民经济、人民生活、社会稳定等具有十分重大的意义。

作者团队一直致力于灾害学与空间信息科学在灾害中的应用研究,其关于遥感技术灾害理论及应用研究的多篇优秀学术论文被国内外期刊及会议录用,获得了同行的认可。本书是该团队近年在长江流域干旱遥感监测、预警、评估等方面所取得研究成果的汇集熔炼。本书旨在围绕长江流域防汛抗旱工作需求,建立适应于长江流域时空尺度的气象干旱、农业干旱与水文干旱遥感监测、预警与评估模型,最终构建面向旱情发生发展过程的长江流域干旱遥感动态监测、预警、评估体系并形成业务化的流程,从而为相关部门科学制订旱情防范与抗旱预案、快速实施应急指挥、有效开展防汛抗旱工作提供了可靠直观的辅助决策手段,对于提高干旱灾害管理水平具有十分重大的意义和价值。

本书共分为8章。第1章绪论,基于对长江流域旱情的深入分析,简要阐述了长江流域干旱监测的必要性,并对干旱遥感监测的国内外研究动态进行了综述;第2章干旱遥感监测数据及其处理,主要介绍了干旱遥感监测常用的卫星数据和地面同步实测数据及其处理流程;第3章云参数法气象干旱遥感监测,主要基于中低分辨率遥感数据通过云参数建立干旱遥感监测模型,并以长江流域近年来典型干旱事件为对象开展应用,进而分析了干旱的成因;第4章基于多源遥感数据的农业干旱遥感监测,以中等空间分辨率的光学及雷达遥感数据为基础,构建了不同的长

江流域农业干旱监测模型;第5章基于多维特征空间的水文干旱遥感监测,通过面向水文干旱的特征空间分析,以洞庭湖区为对象,建立了水文干旱遥感监测模型并进行了验证;第6章长江流域干旱灾情评估,主要结合地表各种同步实测数据建立了长江流域干旱灾情评估体系和旱灾损失定量评估模型,并分析了该模型在长江流域的适应性;第7章长江流域干旱遥感动态监测预警评估体系,主要根据第3章至第6章的研究成果构建了集动态监测、预警和评估为一体的长江流域干旱遥感监测体系;第8章长江流域干旱遥感监测系统,主要展示长江流域干旱遥感监测系统的研究成果转化。

本书由向大享、李喆、张穗、谭德宝总体负责。具体分工如下:框架设计、大纲和前言撰写由谭德宝、向大享、李喆负责;第1章主要由谭德宝、李喆、向大享撰写;第2章主要由文雄飞、申邵洪、向大享、张煜撰写;第3章主要由向大享、文雄飞、周正、张穗撰写;第4章主要由李喆、张穗、谭德宝、张煜撰写;第5章主要由向大享、谭德宝、文雄飞撰写;第6章主要由张穗、李喆、向大享、王腊春撰写;第7章主要由文雄飞、向大享、李喆、周正撰写;第8章主要由向大享、周正撰写;最后,全书由向大享、李喆、张穗、谭德宝统一审阅定稿。

本书内容的研究得到了国家级、省部级等多个项目资助,具体有:国家自然科学基金项目“云的可降水概率遥感分析及在气象干旱中的应用”(项目号:41401487)、“基于作物生长模型的农业干旱遥感监测模型及其在复杂下垫面条件下的适宜性评价”(项目号:41001281)、“多源遥感数据协同陆地辐射雾动态检测技术研究”(项目号:41201452),水利科技推广专项“遥感干旱风险分析与灾情评估系统的推广应用”(项目号:TG1111),中央级公益性科研院所基本科研业务费项目“洞庭湖地区水文干旱遥感监测模型研究(2012)”“农业旱灾遥感评估研究(2014)”,湖北省自然科学基金项目“适宜于湖北省的农田干旱遥感监测模型”(项目号:2011CDB013),国家科技支撑计划项目“数字流域关键技术与示范应用”第一课题“基于物联网的流域信息获取技术”(项目号:2013BAB05B01),农业科技成果转化资金项目“农业精准灌溉用水管理系统成果转化”(项目号:2010GB23320639)等。同时本书在撰写过程中还得到了长江科学院空间信息技术研究所、武汉大学遥感信息工程学院、民政部国家减灾中心等单位的大力支持,在此表示真诚的感谢。本书所反映的研究工作和成果是在其他学者的研究基础上才得以形成的,对书中所列参考文献和所引用资料的作者和单位一并在表示诚挚的谢意。

本书虽然做了大量的研究工作,但所反映的内容只是旱情遥感监测研究领域的冰山一角。尽管数次向多位学者请教,集思广益,但由于研究深度、广度和作者水平有限,书中难免存在不当或错误之处,欢迎读者不吝赐教。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 长江流域旱情分析	1
§ 1.2 长江流域干旱监测的必要性	7
§ 1.3 干旱遥感监测研究进展	11
第 2 章 干旱遥感监测数据及其处理	22
§ 2.1 遥感数据及其处理	22
§ 2.2 地面同步实测数据及其处理	36
第 3 章 云参数法气象干旱遥感监测	40
§ 3.1 云参数界定	40
§ 3.2 云参数法气象干旱遥感监测模型构建	43
§ 3.3 云参数法气象干旱遥感监测算法设计	51
§ 3.4 长江流域气象干旱遥感监测应用	53
第 4 章 基于多源遥感数据的农业干旱遥感监测	67
§ 4.1 农业干旱遥感监测原理	67
§ 4.2 基于 PROSPECT 模型的典型作物叶片反射率模拟	70
§ 4.3 基于垂直干旱指数的农业干旱遥感监测模型	71
§ 4.4 基于第二代改进型垂直干旱指数的农业干旱遥感监测模型	76
§ 4.5 基于雷达极化的农业干旱遥感监测模型	81
第 5 章 基于多维特征空间的水文干旱遥感监测	87
§ 5.1 水文干旱多维特征空间分析	87
§ 5.2 基于多维特征空间的水文干旱遥感监测模型构建	99
§ 5.3 洞庭湖区水文干旱遥感监测应用	103
第 6 章 长江流域干旱灾情评估	108
§ 6.1 干旱灾情评估体系	108
§ 6.2 旱灾损失定量评估模型	112

§ 6.3 旱灾损失定量评估模型在长江流域的适用性分析 127

第 7 章 长江流域干旱遥感动态监测预警评估体系..... 129

§ 7.1 干旱发生、发展动态过程 129

§ 7.2 长江流域干旱遥感动态监测预警评估体系构建 131

§ 7.3 长江流域干旱遥感动态监测预警评估体系应用分析 132

第 8 章 长江流域干旱遥感监测系统..... 139

§ 8.1 需求分析 139

§ 8.2 系统设计 140

§ 8.3 研发关键技术 142

§ 8.4 软硬件环境 145

§ 8.5 功能结构 145

参考文献..... 165

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	Drought Analysis for the Changjiang River Basin	1
§ 1.2	Necessity of Drought Monitoring for the Changjiang River Basin	7
§ 1.3	Research Status of Drought Remote Sensing Monitoring	11
Chapter 2	Data and Its Processing of Drought Remote Sensing Monitoring	22
§ 2.1	Remote Sensing Data and Its Processing	22
§ 2.2	Synchronous Filed Measurement Data and Its Processing	36
Chapter 3	Meteorological Drought Remote Sensing Monitoring with Cloud Parameters	40
§ 3.1	Cloud Parameters	40
§ 3.2	Model Establishment of Meteorological Drought Remote Sensing Monitoring with Cloud Parameters	43
§ 3.3	Algorithm Design of Meteorological Drought Remote Sensing Monitoring with Cloud Parameters	51
§ 3.4	Application of Meteorological Drought Remote Sensing Monitoring over the Changjiang River Basin	53
Chapter 4	Agricultural Drought Remote Sensing Monitoring with Multi-source Remote Sensing Data	67
§ 4.1	Theory of Drought Remote Sensing Monitoring	67
§ 4.2	PROSPECT Model for Reflectance Simulation of Typical Crop Leaf	70
§ 4.3	Agricultural Drought Remote Sensing Monitoring Based on Perpendicular Drought Index Model	71
§ 4.4	Agricultural Drought Remote Sensing Monitoring Based on Modified Perpendicular Drought Index Model	76
§ 4.5	Agricultural Drought Remote Sensing Monitoring with Polarimetric Radar Data	81

Chapter 5	Hydrological Drought Remote Sensing Monitoring Based on Multi-dimensional Feature Space	87
§ 5.1	Multi-dimensional Feature Space Analysis of Hydrological Drought	87
§ 5.2	Model Establishment of Hydrological Drought Remote Sensing Monitoring Based on Multi-dimensional Feature Space	99
§ 5.3	Application of Hydrological Drought Remote Sensing Monitoring over the Dongting Lake Area	103
Chapter 6	Drought Assessment of the Changjiang River Basin	108
§ 6.1	Drought Assessment System	108
§ 6.2	Drought Assessment Model	112
§ 6.3	Adaptability Analysis of Drought Assessment Model over the Changjiang River Basin	127
Chapter 7	Drought Remote Sensing Monitoring and Assessment System over the Changjiang River Basin	129
§ 7.1	Drought Development Process	129
§ 7.2	System Establishment of Drought Remote Sensing Monitoring and Assessment System over the Changjiang River Basin	131
§ 7.3	Application of Drought Remote Sensing Monitoring and Assessment System over the Changjiang River Basin	132
Chapter 8	Drought Remote Sensing Monitoring Application System over the Changjiang River Basin	139
§ 8.1	Requirement Analysis	139
§ 8.2	System Design	140
§ 8.3	Key Technology	142
§ 8.4	Hardware and Software Environment	145
§ 8.5	Functions	145
References		165

第1章 绪论

§ 1.1 长江流域旱情分析

1.1.1 长江流域概况

长江流域是指长江干流和支流流经的广大区域,横跨我国东部、中部和西部三大经济区,共计 19 个省、自治区、直辖市,是世界第三大流域,流域总面积 180 万平方千米,占全国国土面积的 18.8%,水资源总量 9 755 亿立方米,约占全国河流径流总量的 36%,为黄河的 20 倍,流域内有丰富的自然资源。

长江流域大部分地处亚热带季风区,气候温暖湿润,四季分明,年积温高,农作物生长期长,许多地区雨热同季,农业生产的光、热、水、土条件优越,为我国最主要的农业生产基地。长江流域包括成都平原、江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区、巢湖地区和太湖地区等商品粮基地。流域约有耕地 2 460 万公顷,占全国耕地总面积的 1/4,而农业产值占全国农业总产值的 40%,粮食产量也占全国的 40%;其中,水稻产量占全国的 70%,棉花产量占全国的 1/3 以上,油菜籽、芝麻、蚕丝、麻类、茶叶、烟草、水果等经济作物在全国也占有非常重要的地位。

长江流域又是畜牧业生产的重要基地。其西部虽为气候高寒的青藏高原,但草场辽阔,日照充足,温差较大,有利于牧草生长,牧草营养丰富,适口性好,是中国重要的牧区,主要牲畜有藏牦牛、藏绵羊、藏山羊、藏马。而长江中下游农业发达,养殖业兴旺,四川、湖南、江苏是全国生猪拥有量最多的省份,四川、上海、湖南为全国每公顷耕地载有生猪量最高的地区,四川的黄牛、水牛等大家畜拥有量居全国之冠。

同时,长江流域也是全国的主要林木产区,林木蓄积量占全国的 1/4,主要林区在川西、滇北、鄂西、湘西和江西等地。用材林仅次于东北林区;经济林则居全国首位,以油桐、油菜、漆树、柑橘、竹林等最为著名。国家重点保护的野生动植物群落、物种和数量在中国七大流域中多占首位。流域内已建立了 100 多处自然保护区,最著名的保护区位于湖北神农架。古老珍稀的孑遗植物(如水杉、银杉、珙桐),硕果仅存、驰名中外的珍禽异兽(如大熊猫、金丝猴、白暨豚、扬子鳄、朱鹮),多属长江流域特有。

长江流域湖泊众多、河川如网,鱼类的品种、产量均居全国首位,占全国产量的

60%以上。现有水面约 867 万公顷,接近全国淡水总面积的 1/2,其中可供养殖的约 333 万公顷。长江水系淡水鱼已知 274 种,为全国淡水鱼种的 39%,其中鲤形目和鲴形目占半数以上,主要经济鱼类 60 多种,产区主要在中下游水域。渔业以淡水人工养殖为主,天然捕捞量不高。

1.1.2 长江流域历史旱情

从全球范围看,旱灾影响面最广、造成经济损失最大,被认为是世界上最严重的自然灾害类型之一。严重干旱主要发生在非洲、印度、中国、北美洲和澳大利亚等全球近 1/2 的地区。特殊的地理条件和气候特征决定了我国是一个干旱频发的国家,在 1950—2000 年所统计的 5 项自然灾害(干旱、洪涝、台风、冻害、干热风)中,旱灾发生频次约占总灾害频次的 1/3,为各项灾害之首。与其他自然灾害相比,旱灾具有发生频率高、影响范围大、持续时间长的特点。干旱造成的经济损失、影响人口的绝对数量、农业受灾面积、成灾面积、粮食减产量等都呈增加的趋势。统计资料指出,1950—1999 年,全国农作物年均受灾面积 2 180 万平方千米,成灾面积 813 万平方千米,年均减少粮食产量 1 237 万吨。2006 年夏秋季,受到西太平洋副热带高压和大气环流异常影响,长江中上游大部分地区持续高温少雨,形成了以重庆为中心辐射至四川、重庆全部及贵州、湖南、湖北、江西、安徽等省、直辖市局部地区的严重持续干旱,造成了巨大的经济损失。仅重庆市的农作物受旱面积接近 100%,重旱 65.95 万公顷、干枯 31.84 万公顷,约有 786.47 万人和 733.73 万头牲畜出现临时饮水困难,经济损失高达 90 余亿元。2010 年春季,西南地区遭受大部分 50 年一遇,局部 100 年一遇特大干旱的侵袭,旱情以云南为中心辐射至贵州、广西、四川、重庆等地,呈多季连旱态势,其范围之广、持续时间之长、降雨量之少、气温之高甚为罕见,给当地社会经济生产和人民生活带来了巨大的损失。2011 年春夏季,长江中上游流域发生特大干旱,鄱阳湖、洞庭湖等水体面积萎缩 1/2 以上,洪湖湖面甚至变成一条条水沟,水深仅 20~30 cm,大量滩涂干涸裸露,导致渔民养殖户绝收,经济损失十分惨重。长江流域历史干旱气候和旱涝周期变化情况如表 1.1 所示。

长江流域重旱、涝的时空分布主要针对长江流域上、中、下游段 6 月、7 月、8 月逐月重旱、涝的年际变化。从大量统计数据分析可以得出,长江流域各游段在 7 月、8 月几乎年年非涝即旱,重者 7 月、8 月连旱连涝或同一时间各游段同时旱涝;6 月,上游无重旱、涝,下游的重旱、涝次数多于中游。洪涝较严重的有 1952 年 8 月、1954 年 6 月和 7 月、1980 年 8 月、1993 年 7 月、1996 年 7 月及 1998 年 7 月。其中,最严重的是 1954 年 6 月和 7 月,长江上、中、下游段都出现重涝(除了 6 月的上游段);其次是 1998 年 7 月,长江中、下游段出现重涝。干旱较严重的有 1959 年 7 月、1964 年 7 月和 8 月、1966 年 7 月和 8 月、1967 年 7 月和 8 月、1971 年 7 月、

1972年8月、1976年8月、1978年7月和8月及1990年8月。其中,最严重的是1978年,6月重旱从长江下游段出现,7月发展到中、下游段出现重旱,最后8月的重旱在长江流域各游段均有出现;其次是1971年7月,长江流域各游段均出现重旱。

表 1.1 长江流域历史干旱气候和旱涝周期变化

大干湿气候期						小旱涝期					
旱涝期	起止年	历年	旱年数	涝年数	干旱指数	旱涝期	起止年	历年	旱年数	涝年数	旱涝比
湿润期	950—1069	120	17	44	2.55	洪涝	950—998	40	3	18	0.17
						干旱	990—1009	20	7	2	3.50
						洪涝	1010—1069	60	7	24	0.29
干旱期	1070—1249	180	39	41	2.98	干旱	1070—1139	70	15	14	1.07
						洪涝	1140—1159	20	3	9	0.33
						干旱	1160—1249	90	21	18	1.17
湿润期	1250—1429	180	27	67	2.55	洪涝	1250—1349	100	17	38	0.45
						干旱	1350—1369	20	4	4	1.00
						洪涝	1370—1429	60	6	25	0.24
干旱期	1430—1549	120	26	30	2.93	干旱	1430—1489	60	14	12	1.17
						洪涝	1490—1519	30	2	15	0.13
						干旱	1520—1549	30	10	3	3.33
湿润期	1550—1769	220	40	81	2.63	洪涝	1550—1579	30	6	20	0.30
						干旱	1580—1599	20	3	3	1.00
						洪涝	1600—1619	20	1	9	0.11
						干旱	1620—1649	30	6	1	6.00
干旱期	1770—1979	210	48	53	2.95	洪涝	1650—1769	120	24	48	0.50
						干旱	1770—1829	60	15	15	1.00
						洪涝	1830—1849	20	1	9	0.11
						干旱	1850—1899	50	15	12	1.25
						洪涝	1900—1919	20	4	9	0.44
湿润期	1980 至今	120	18	44	2.57	干旱	1920—1979	60	13	8	1.63
						洪涝	1980—1999	20	2	13	0.15
						干旱	2000 至今	—	—	—	—

大量数据分析还表明,长江流域重旱、涝年代际的演变情况为 20 世纪 50 年代至 70 年代是重旱随年代增加而递增、重涝随年代增加而递减的一个阶段,重旱从 50 年代的 5 次增加到 70 年代的 20 次,而 50 年代的重涝(7 次)比 60 年代和 70 年代要多。70 年代后属另一阶段,重旱次数减少,而重涝随年代增加而递增,到 90 年

代重涝达 12 次,居各年代重涝之冠。这种重旱涝年代分布特征反映出重旱、涝年代际变化不尽同步(甚至正好反向),并且呈现出明显的年代际变化特点。

长江流域重旱、涝按上、中、下游汛期的演变规律为各游段在各月的重旱次数多于相应的重涝次数。重旱涝之和为中游 37 次、下游 36 次,都多于上游的 14 次。中游段 8 月发生重旱、涝共 17 次,比 7 月的 15 次略多;下游段 7 月发生重旱、涝 16 次,比 8 月的 12 次多;而 6 月的各游段发生重旱、涝次数都小于 7 月、8 月,且上游段不发生重旱、涝。另外,在 6 月、7 月、8 月中,重旱、涝发生的次数是上游少于中下游。其中,6 月重旱、涝发生次数为上游 0 次、中游 5 次、下游 8 次,下游的次数最多;7 月重旱、涝发生次数为上游 6 次、中游 15 次、下游 16 次,中游和下游的重旱、涝次数接近,而且中游和下游的重旱次数与重涝次数都分别较接近;8 月重旱、涝发生的次数为上游 8 次、中游 17 次、下游 12 次,中游的重旱、涝次数最多。

综合分析可知,对于长江流域,20 世纪 50 年代和 90 年代是丰雨期,60 年代中期到 80 年代初期为枯雨期。从年代际看,50 年代至 70 年代,重旱发生次数递增,重涝发生次数减少;80 年代至 90 年代,重旱发生次数减少,重涝发生次数增加,重旱、涝有反向变化趋势。长江流域 60 年代至 70 年代重旱最严重,90 年代重涝最严重。按游段看,长江流域发生重旱、涝次数是中游和下游接近,都大于上游,各游段重旱次数都大于重涝次数。按月份看,长江流域 6 月、7 月、8 月这 3 个月中,各月发生重旱次数都大于重涝次数。长江流域的重旱、涝次数是 7 月和 8 月相等,都大于 6 月的重旱、涝次数。

在 1949—1990 年出现的 36 个比较严重的干旱年中,1959—1961 年连续 3 年干旱,灾害影响 10~15 个省,平均受灾面积近 3 659 万公顷,成灾 1 533 万公顷。1963 年是我国南方旱灾严重的一年,旱区主要集中在长江流域以及其他南方省市。

1972 年我国大部地区干旱少雨,旱区在南北方均有分布,是我国的一个大旱年。其中,重旱区主要在北方,此次干旱持续时间长,是 1949 年以来黄河和海河流域一次大范围严重干旱;南方长江流域地区 1972 年降水接近正常水平,但是降水年内分配严重不均,湖南南部、江西南部以及四川盆地 1—3 月降水量比常年同期偏少三成至六成,出现春旱,入夏后又持续少雨,至夏末秋初旱情解除。

1978 年全国 12 个省区严重受旱,其范围广、持续时间长,是中国的又一特大干旱年。该年的重旱区主要分布在长江中下游和淮河流域。一些省份 1—10 月的降水量比常年少 30%~70%,长江中下游的伏旱最为严重,全国受灾面积 4 017 万公顷,成灾面积 1 797 万公顷。3 月南阳出现旱情;4 月各地降水比常年偏少三成至八成;5 月接近正常;6—10 月降水持续偏少;作物关键生长期 7—8 月降水偏少四成至六成,其中安徽沿江地区、赣东、赣北、鄂东以及鄂中偏少六成至九成;不少地区干旱少雨一直持续到 10 月,春、夏、秋 3 个季度连旱,以夏秋旱最为严重。

1978年受旱率大于20%的有苏、皖、湘、鄂、川等省,受旱率大于30%的有苏、皖、鄂、川4个省,受旱率最高的为江苏省,为68.3%。1978年大旱是前期春旱和中期夏旱以及后期秋旱并发所形成的。从夏季环流特征来看,该年由于西风带锋区异常偏北,纬向环流盛行,因而造成弱梅雨天气形势,从6月8日入梅至6月14日出梅,只有7天,梅雨期很短;出梅后,于6月下旬,便提前进入伏旱期;在伏旱期,副高位置稳定偏北,并一直持续到10月上旬,同时该年7月和8月副高位置东西摆动很大,不利于降水条件的形成,造成这一地区的长期干旱。该年日照时数增多,气温和蒸发量增大,江苏4—9月累积气温和日照时数比常年增值幅度要大。干旱少雨和高蒸发量使得河川天然径流大幅度减少,全年的径流量为新中国成立以来最低值,2—12月的逐月径流量均低于正常值,甚至某些地区无径流。

另外,在1959—1961年的大旱年中,以1959年7—9月的湖北、河南、陕西关中和陕南、湖南北部、四川东部旱情最重,接着华南出现严重秋旱。1960年受旱范围继续扩大,冬春少雨雪,干旱一直持续到初夏。1961年持续干旱,长江流域地区年降水量偏少,大部分地区6月、7月间出现少雨天气,旱情加剧。同时,1963年和1989年又是旱年,而大旱年1963年的主要旱区仍在我国南方的长江流域地区。

1.1.3 长江流域干旱成因及致灾因子

从水资源角度来说,干旱现象是供水不能满足正常需水的一种不平衡缺水情势,这种负的不平衡在超过一定界值后,将对城乡生活和工农(牧)业生产产生不利的影响,形成旱灾。在供需关系中,影响供水和需水的因子,一是降水、蒸发、气温等自然因子,二是农业土地利用、复种耕作、种植结构、城市建设、人口增长、工业布局、生长水平以及水利工程供水能力等人类社会经济活动因子。一个地区干旱事件的发生,它的历史演变和今后可能变化的趋向,是自然因子和人类活动因子共同作用的结果。

从成因来分析,产生水旱灾害的直接原因是降雨的时空分布不均,而降雨的时空分布是由气候变化决定的。另外,流域的水系特征、自然地理环境和气候条件相互制约,直接或者间接地影响降雨时空分布,最终形成不同的水旱灾害类型、强度和变化。人类社会既是水旱灾害的受害者,同时又对水旱灾害、气候、自然地理环境和水系特征等施加正面、负面影响。

一般情况下,长江上下游地区夏季强降水出现在不同时段,上游的强降水比中下游地区晚。气候状态下(1960—1999年平均),6月中旬长江中下游地区的降水急剧增加,到6月底达到全年降水的最高峰,7月以后降水急剧减少,6月中旬至7月上旬(梅雨期)成为中下游地区全年降水最为集中的时段;上游地区的雨季比中下游地区大概晚10天左右,上游降水主要发生在7月上旬至8月中旬,并且在7月上旬至9月中旬期间均处于降水的峰值期。