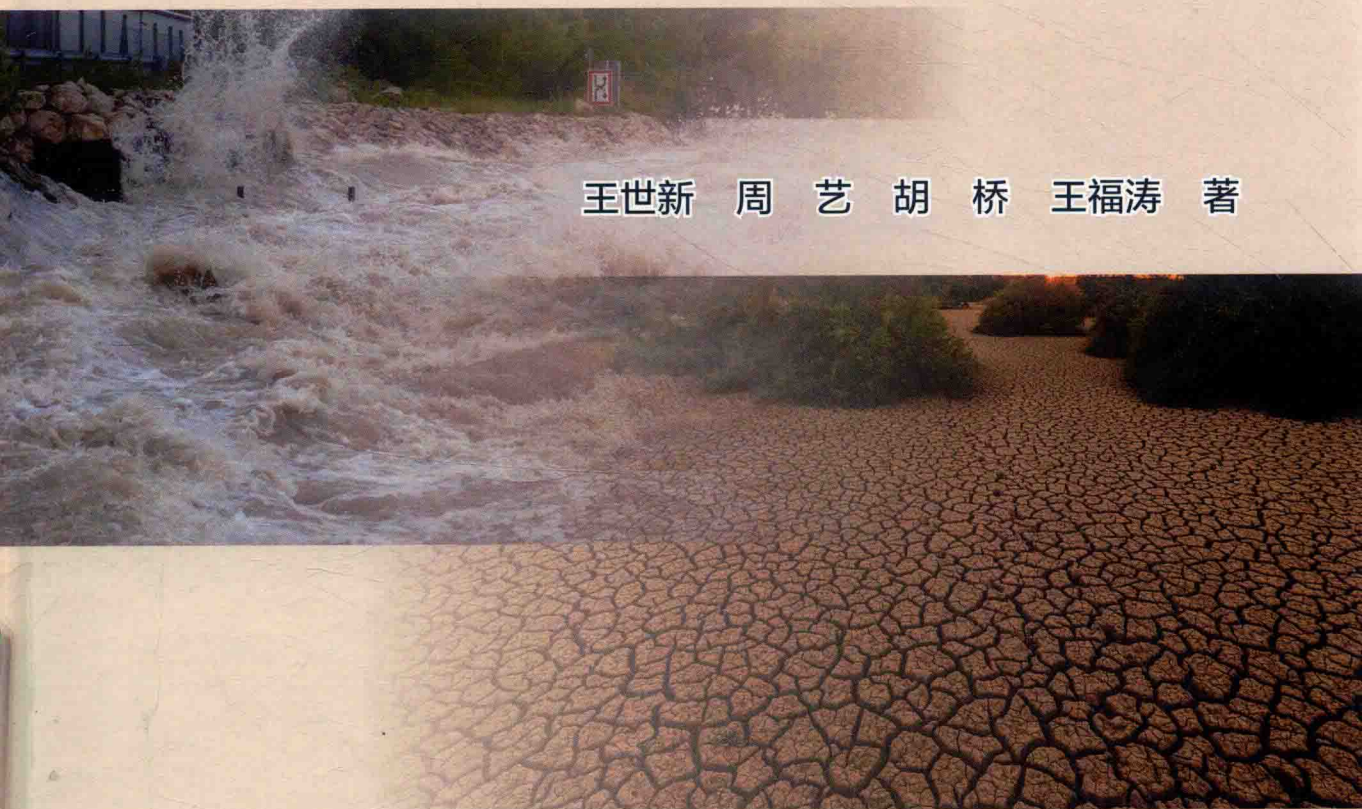


中国旱涝灾害 时空演变规律

王世新 周 艺 胡 桥 王福涛 著



科学出版社

中国旱涝灾害时空演变规律

王世新 周 艺 胡 桥 王福涛 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

独特的自然地理环境和季风气候条件使得我国成为世界上旱涝灾害最为频繁和严重的国家之一,旱涝灾害的频繁发生及持续积累给我国社会发展和生态环境造成严重破坏。本书基于历史旱涝资料记录,综合分析了旱涝自然灾害现象的规模、频率、历时、强度、周期、重心等时空特征;以旱灾作为研究对象,从近 500a 的大时空尺度上,通过空间统计分析、连续功率谱估计、小波分析等经典分析方法,系统地揭示出近 500a 来我国干旱灾害现象的时空分布特征、时空演变规律和演变趋势。另外,依托近 50a 的气象数据,提取并构建干旱事件的特征指标——历时、峰值和烈度,通过边缘分布函数拟合,来反映近 50a 来我国干旱事件、极度干旱事件特征指标的单变量特征、多变量耦合特征。在此基础上,本书基于干旱灾害风险评估理论,分析了干旱灾害与自然因素、社会因素的关系,建立了干旱灾害风险评估模型,开展了我国干旱灾害的风险评估。

本书可供各级防灾减灾部门的工作人员,以及从事地理环境、旱涝灾害研究的专业人员参考,也可供地理信息系统、灾害区划等相关专业学生参考。

审图号:GS(2018)5157号
图书在版编目(CIP)数据

中国旱涝灾害时空演变规律/王世新等著. —北京:科学出版社,2018.11
ISBN 978-7-03-059404-4

I. ①中… II. ①王… III. ①干旱-灾害防治-中国②水灾-灾害防治-中国 IV. ①P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 252632 号

责任编辑:朱海燕 丁传标/责任校对:樊雅琼
责任印制:肖 兴/封面设计:图阅社

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:335 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

旱涝灾害是世界上最严重的自然灾害之一，旱涝灾害的发生具有覆盖范围广、持续时间长、发生频率高、突发性强等特点，严重威胁到农业生产、生态环境和社会生活。中国位于亚欧大陆的东南部，处于“东亚热带季风”和“东亚副热带季风”共同影响的区域，独特的自然地理环境和季风气候使得我国成为世界上旱涝灾害最为严重的国家之一。自公元前 206 年至公元 1949 年之间，我国发生较大的水灾约 1029 次，较重的旱灾达到 1056 次。14 世纪至 19 世纪，全国出现超过 200 个县受旱的重大旱灾共有 8 次。近 60 多年来，在全球气候变化的大背景下，我国旱涝灾害的发生频次、发生范围以及严重程度上都呈现出增加的态势。因此，分析和研究我国历史旱涝灾害的发生过程，探讨旱涝灾害的时空特征、演变规律以及演化趋势，将有利于对旱涝灾害的理解与认识。

本书基于历史旱涝资料数据集的统计与分析，揭示我国历史旱涝灾害的整体特征，并以干旱灾害作为重点研究对象，从近 500a 的大时空尺度上系统地揭示近 500a 来我国干旱灾害现象的时空分布特征、时空演变规律和演变趋势，并在近 50a 的时间尺度上构建、提取干旱事件的历时、峰值与烈度特征指标，用以反映我国干旱事件、极度干旱事件特征指标的单变量特征和多变量耦合特征。同时，本书以干旱灾害风险评估理论为支撑，在分析干旱灾害与自然因素、社会因素关系的基础上，建立干旱灾害的风险评估模型，实现我国干旱灾害风险的评估，为国家防汛抗旱提供决策支持。本书共分为 9 章，主要编写内容及编者安排分工如下。

第 1 章由王世新、周艺等负责编写，主要介绍国内外旱涝灾害的研究进展。内容包括旱涝历史资料序列重建、旱涝灾害特征提取方法、旱涝灾害时空一体化分析研究和灾害风险评估等方面的研究进展。

第 2 章由周艺、王世新等负责编写，主要介绍本书中的研究数据。内容包括数据的来源、数据完整性以及数据的预处理。

第 3 章由韩昱、李文俊、刘雄飞负责编写，主要介绍 500a 时间序列和 50a 时间序列下的研究范围。内容包括不同时间序列下研究范围界定的依据以及研究区基本概况。

第 4 章由韩昱、王福涛负责编写，重点阐述我国历史洪涝、干旱灾害发生的时空特征。内容包括旱涝灾害事件的规模、发生频率、经历时间、发生强度、时间间隔、

分布范围、灾害重心、灾害重心移动轨迹等时空特征。

第5章由王世新、李文俊、胡桥负责编写，主要介绍在500a的时间序列尺度上，通过地学统计分析、连续功率谱估计、小波分析等分析方法揭示干旱灾害的时空特征，挖掘干旱灾害的时空演变规律，并推测未来干旱的发展趋势。

第6章由王世新、胡桥、李文俊负责编写，主要通过提取干旱事件，从而分析历史干旱事件的时空聚类特征，进而分析历史干旱高发区的演变规律，主要包括干旱事件的时空聚类、干旱灾害的时空演变规律以及干旱灾害高发区的演变趋势。

第7章由周艺、刘雄飞、王福涛负责编写，主要介绍在近50a的时间序列尺度上，应用多维分析模型和方法，分析干旱事件的统计特征以及历时、烈度和峰值等干旱变量的耦合特征。

第8章由周艺、胡桥、刘雄飞负责编写，主要通过极端干旱事件的提取，分析极端干旱事件的时空特征及演变特征。主要包括极端干旱事件的识别与提取、极端干旱事件的时空演变规律、周期性特征以及极端干旱事件变量（历时、峰值和烈度）的周期性变化特征和变量之间的时空耦合特征。

第9章由王世新、周艺、胡桥、王福涛等负责编写，主要介绍对我国干旱灾害的风险评估，通过分析干旱灾害与自然社会环境之间的关系，以灾害风险评估理论为支撑，构建多方面的干旱风险评估指标，从而评估干旱风险。

全书由王世新、周艺、胡桥、王福涛负责统稿。韩昱、李文俊、刘雄飞负责历史资料的收集、整理和分析，王丽涛、刘文亮、朱金峰、张嘉蓁、常颖、王宏杰等参与了部分章节的数据处理和结果分析、制图。统稿后，全书的内审、内校由尤笛负责完成。

本书得到了高分辨率对地观测系统重大专项（民用部分）“高分遥感在电子政务地理空间基础信息库建设与服务中的应用示范系统（一期）（00-Y30B15-9001-14/16）”、国家重点研发计划“灾害现场信息空地一体化获取技术与集成应用示范（2016YFC0803000）”、国家重点研发计划“重特大灾害空天地一体化协同监测应急响应关键技术研究及示范（2017YFB0504100）”、高分辨率对地观测系统重大专项（民用部分）“高分国家主体功能区遥感监测评价应用示范系统（一期）（00-Y30B14-9001-14/16）”等项目的资助。

由于时间仓促，作者水平有限，书中不足和纰漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

王世新

2018年8月

目 录

前言

第1章 国内外研究现状	1
1.1 旱涝资料序列重建研究	1
1.2 旱涝灾害时空特征研究	3
1.2.1 旱涝灾害空间特征研究	3
1.2.2 旱涝灾害时间特征研究	5
1.2.3 旱涝灾害序列耦合特征研究	7
1.3 干旱灾害风险评估	8
第2章 研究数据的获取与处理	10
2.1 研究数据的来源	10
2.1.1 近500a尺度下的研究数据来源	10
2.1.2 近50a尺度下的研究数据来源	12
2.2 研究数据的完整性	13
2.2.1 近500a尺度下研究数据的完整性	13
2.2.2 近50a尺度下研究数据的完整性	16
2.3 研究数据的处理	18
2.3.1 近500a尺度下研究数据的处理	18
2.3.2 近50a尺度下研究数据的处理	21
第3章 研究区概况	24
3.1 近500a尺度下研究区范围	24
3.2 近50a尺度下研究区范围	26
第4章 我国旱涝灾害一体化时空演化	27
4.1 旱涝灾害的空间特征分析方法	27
4.1.1 空间可视化分析	27
4.1.2 时间序列聚类	27
4.2 旱涝灾害的空间特征	28
4.2.1 旱涝灾害空间分布特征	28

4.2.2	重大旱涝灾害空间分布特征	30
4.2.3	旱涝灾害空间聚类分布特征	37
4.3	旱涝灾害的时间特征分析方法	40
4.3.1	主成分分析	41
4.3.2	傅里叶谱分析	41
4.3.3	小波谱分析	42
4.3.4	小波谱分析影响锥	43
4.3.5	显著性检验	44
4.4	旱涝灾害的时间特征	44
4.4.1	全国旱涝时间特征	45
4.4.2	全国旱涝周期性特征	45
4.4.3	旱涝特征分区周期性特征	46
4.5	旱涝灾害的耦合性特征分析方法	59
4.5.1	交叉小波变换与交叉小波凝聚谱	59
4.5.2	小波相关系数	59
4.5.3	交叉小波相位角	59
4.6	旱涝灾害的耦合性特征	60
第5章	近500a我国干旱灾害时空特征	70
5.1	分析方法	70
5.1.1	连续功率谱估计	70
5.1.2	线性趋势估计	72
5.1.3	趋势分析(M-K)	72
5.1.4	重新标度极差分析	73
5.2	干旱特征指标	74
5.2.1	干旱强度指数	74
5.2.2	干旱危险性指数	75
5.2.3	干旱重心	75
5.3	干旱周期特征	76
5.3.1	干旱强度指数时序特征	76
5.3.2	干旱强度指数周期性特征	77
5.4	干旱趋势特征	79
5.4.1	干旱强度指数趋势性	79
5.4.2	100a尺度干旱趋势特征	81
5.4.3	50a尺度干旱趋势特征	86
5.5	干旱危险性特征	94

5.5.1	干旱危险性指数空间分布	94
5.5.2	100a尺度干旱危险性	95
5.5.3	50a尺度干旱危险性	99
5.6	干旱重心特征	106
5.6.1	干旱重心分布	107
5.6.2	100a尺度干旱重心分布	109
5.6.3	50a尺度干旱重心分布	111
5.7	干旱危险性重心特征	113
5.7.1	干旱危险性重心分布	113
5.7.2	100a尺度干旱危险性重心分布	114
5.7.3	50a尺度干旱危险性重心分布	115
第6章	近500a我国干旱灾害时空演化	118
6.1	分析方法	118
6.1.1	时空立方体	118
6.1.2	时空扫描统计	119
6.2	干旱灾害时空聚类	120
6.2.1	干旱事件数据集	121
6.2.2	回顾性时空聚类	125
6.3	干旱灾害时空演变规律	126
6.3.1	干旱灾害高发区时空特征	126
6.3.2	干旱灾害高发区演变特征	131
6.4	干旱灾害高发区演变趋势	132
6.4.1	前瞻性时空聚类	132
6.4.2	干旱高发区预测	133
第7章	近50a我国干旱灾害时空特征	135
7.1	干旱事件特征指标	135
7.1.1	SPEI干旱指数	135
7.1.2	干旱事件的特征变量	137
7.2	干旱事件的统计特征	139
7.2.1	干旱事件的分布特征	139
7.2.2	严重干旱事件分布特征	141
7.3	干旱事件单变量的重现期	144
7.3.1	分析方法	144
7.3.2	干旱事件变量统计特征	146

7.3.3	干旱事件单变量边缘分布函数最佳拟合	147
7.3.4	干旱事件单变量重现期	154
7.4	干旱事件多变量的重现期	158
7.4.1	分析方法	158
7.4.2	干旱事件变量相关性分析	162
7.4.3	干旱事件多变量边缘分布函数最佳拟合	165
7.4.4	干旱事件多变量重现期	173
第8章	近50a我国干旱灾害时空演化	179
8.1	干旱事件的提取	179
8.1.1	分析方法	179
8.1.2	干旱事件的提取	182
8.2	干旱事件时空演变规律	184
8.2.1	干旱事件时空特征	184
8.2.2	干旱事件演变轨迹特征	189
8.3	干旱事件单变量重现期	191
8.3.1	干旱事件单变量边缘分布函数最佳拟合	191
8.3.2	干旱事件单变量重现期	195
8.4	干旱事件多变量重现期	196
8.4.1	干旱事件多变量边缘分布函数最佳拟合	196
8.4.2	干旱事件多变量重现期特征	201
第9章	干旱灾害风险评估	203
9.1	干旱灾害风险评估理论	203
9.1.1	评估指标	203
9.1.2	评估方法	204
9.1.3	指标归一化	205
9.2	干旱灾害风险评估指标体系	205
9.2.1	干旱灾害风险评估指标选择与量化	205
9.2.2	干旱灾害风险评估指标处理	207
9.3	干旱灾害风险评估	207
	参考文献	212

第 1 章 国内外研究现状

在全球变化大背景下，大范围的气候灾害和突发性强烈天气灾害有更为频繁的发生趋势，极端气象事件因其具有突发性、破坏性和难以预测性等特点（邓北胜，2010），给世界经济的发展和人民财产安全造成严重的损失（秦大河，2002；叶笃正和陈伴勤，1992；黄嘉佑，1995），已成为全球最受关注、影响最大的自然灾害之一。自 IPCC 第四次评估报告发表以来，气候变化中时空演化研究受到国内外的高度关注，国内外众多学者对以旱涝灾害为主的气象灾害变化规律和时空特征开展了不同应用层面的科学研究，其研究成果不仅有助于深入理解气候变化规律以及对全球变化的响应，探讨气候变化的原因，而且可以更好地预估未来的气候变化，提高灾害性天气气候事件的预测，为防灾减灾、流域水资源的合理利用及保护和改善生态环境提供科学依据（李斌等，2011；Kunkel et al., 1999；Tank and Können, 2003；Zhai et al., 2005；IPCC, 2007）。

1.1 旱涝资料序列重建研究

历史旱涝灾害发生规律是地理学、灾害学以及气候学研究的重要内容，其目的是通过对历史旱涝的规律研究，提升对旱涝灾害发生气候背景的认识，以期从气候变化的历史特征分析中找到解释当今气象问题的依据。历史旱涝资料序列重建是历史气象状况分析的数据源，是研究历史旱涝灾害时空演化特征的基础。

旱涝气候的历史记录的建立是气候学研究的重要范畴，现代气象观测资料直到最近 50 ~ 100 年才在全球得到广泛的发展与应用，人类历史上的绝大部分时期都缺乏可与当代气象数据直接比较的器测记录。因此，要认识历史时期气候的变化，就必须去探索这些变化留在各类自然和人工载体中的相关信息。代用资料记录了大自然中代用气候变化特征的特殊物理、生物和化学方面的信息，为地质时期气候变化趋势提供了间接证据（Burroughs, 2010）。所以，在古气候的重建研究中，代用资料常被视为对历史时期气候记录的间接反映。历史时期气候变化的研究进程，实际上就是不同种类气候代用数据的发展过程。在气象学研究中，能够反映温度、降水等气候特征的代用记录包括：树木年轮、史料与物候记录、冰芯和石笋、珊瑚和泥炭等多种沉积资料。

各种代用数据的发展又分别涉及相关的学科研究,主要包括植物学、树木年轮气候学、历史学、物候学、冰川学、地质学和海洋学等诸多学科领域。

对代用资料的解析是获取有效气象资料的重要途径,欧洲适于解析降雨特征的文献资料可追溯到公元 700 年。澳大利亚最早的资料始于 18 世纪中后期,北美西部、墨西哥的农业灾害记录为 1450 ~ 1899 年的历史灾害提供了依据 (Burroughs, 2010)。常用的代用资料解析方法大概遵循以下原则:①采用对于文献记录描述的农作物状态进行定性的分级;②选择与仪器观测有重叠的年份进行定标,判断分级的合理性。Mendoza 等 (2006) 利用历史农业损失记录,重建了墨西哥东南部 1502 ~ 1899 年的干旱指数序列;Pauling 等 (2006) 利用德国、捷克等地的农业历史记录,重建长时间序列欧洲降雨网格。除此之外,大部分温带森林的树木树干在生长过程中,随着周围环境的季节性变化形成深浅交替的同心圆(树木年轮),任何一个树种的平均年轮宽度是树种、树龄、树木与土壤中的有效养分以及降水、温度、太阳辐射等气候因子的函数,树木年轮的宽度和结构提供了年轮形成时所处环境的温度和降水信息。在干旱季节,年轮的宽度或厚度通常受有效水分的控制,因而对于旱涝具有显著的指示意义,由于不同的气候类型的干旱时期不同,因此在使用年轮指数时首先应该考虑地区的气候背景,确认反演结果指示干旱季节 (Pauling et al., 2006)。Touchan 等 (2005) 基于地中海气候具有春夏季高温少雨的状况,利用树木年轮宽度指数重建了东地中海过去 237a 的春夏季降水,并与大尺度气候环流做相关分析工作。

我国是拥有悠久历史的文明古国,丰富的历史文献中包含有大量的气象信息,是研究历史气候变化的宝贵代用资料,是全球变化研究的珍贵资源 (杨煜达等, 2009; 中央气象局气象科学研究所, 1981; 中央气象局气象科学研究所等, 1975)。对于史料文献记录的利用是我国历史时期气候研究的主要特色,包括竺可桢、张丕远、王绍武、张德二、陈家其、葛全胜 (2012)、郑景云和王绍武 (2005) 在内的许多学者都对我国东部地区史料记录的气候学信息进行了整理和研究,建立了一些具体区域和时段的气候变化序列,为充分认识东部地区历史气候变化奠定了良好的基础。20 世纪 70 年代初,竺可桢根据大量的历史文献记载,系统地概括了 5000a 来的气候变迁,给出了近 5000a 来中国东部温度变化的曲线。中国气象科学研究所也曾经组织我国各部门的专家学者通过对史料记录的集中整理,建立了中国近 530a 东部地区的旱涝等级,成为认识我国东部干湿变化的一个系统可靠的数据集。20 世纪 70 年代以来,张德二等在全国范围内选取了 120 个站点,根据史料中对旱涝灾情的描述对每个站点在每一年的旱涝情况进行分站点逐年际划级标识,绘出了我国自 1470 年以来的旱涝分布图,实现了代用资料记录时代与器测资料记录时代的旱涝分布情况的完美衔接 (中央气象局气象

科学研究院, 1981)。而后, 张德二等(2003)又将旱涝灾害记录的时间序列延长至2000年, 使得我国关于气象数据的记录时序得到进一步的完善和补充。另一方面, 中国气象局兰州干旱气象研究所等研究机构基于西北地区树木年轮、河流流量和湖泊水位资料的恢复和重建, 对《中国近五百年旱涝分布图集》中西北四省(区)已有的12个站点资料进行了修订和插补, 利用柴达木盆地东北边缘的圆柏树木年轮样本建立了格尔木近千年树木年轮年表序列; 刚察利用青海湖流域天峻县获取的树木年轮宽度样本, 增加了7个站点资料, 并将站点资料的记录年份从1979年延长到2008年, 绘制《中国西北地区近500年旱涝分布图集》(白虎志等, 2010)。为我国乃至世界对全球气候变化的研究提供了宝贵的数据信息, 在气候变化及气候预测研究中发挥了巨大的作用。

1.2 旱涝灾害时空特征研究

以气候系统的变暖为特征的全球气候变化是不争的事实, 干旱灾害系统作为一个非线性的复杂系统, 涉及多个无法用相同方法度量的变量(经济、社会、文化、物理、生态和环境)(尹姍等, 2012), 在不同的时空尺度上, 通过多维、整体的角度分析历史干旱灾害的发生状况, 对于认识历史旱涝灾害的发生规律具有重要意义。

1.2.1 旱涝灾害空间特征研究

旱涝灾害空间特征研究分为两大类: 基于地理信息系统可视化与空间分析方法和基于多变量时间序列统计分析。其中, 基于地理信息系统可视化与空间分析的旱涝空间特征研究能够将旱涝灾害的发生规模、分布范围、发生强度、灾害重心、灾害重心迁移等信息显示, 并生成相关统计信息。随着基础数据的扩充, 地理信息系统的灵活性也保证了能够通过构建显著反映灾害特征的统计量, 快速直观地从原始数据中提取灾害空间特征。国外(尤其是北美科学家与相关机构)基于地理信息系统可视化的旱涝灾害特征研究开展较早, 以NOAA/USDA(国家海洋和大气管理局/美国农业部)为例, NOAA/USDA目前已经形成了相对规范的产品集, 并且大量的基础数据集允许用户下载, 在此基础上发展自己需要的应用, 在防灾减灾, 农作物估产等业务中开展了广泛的应用。我国从2006年11月1日起发布了用于监测干旱灾害的干旱等级国家标准, 也开展了类似的旱涝灾害空间可视化产品发布工作。中国气象局国家气候中心网站会进行数据的实时更新与显示, 进而从图像上直观地查阅近期全国的干湿情况, 这一数据集的发布为我国防灾减灾、农业、水利、气象等部门的工作提供了可靠的依

据。另外,就目前国内基于地理信息系统可视化的旱涝灾害空间特征的研究而言,具有代表性的有史培军(2003)编制的《中国自然灾害系统地图集》,该图集揭示了我国灾害时空分布规律,对我国防灾、减灾和保险业都有很大参考价值;王静爱等(2008; 2006; 2002)基于县域统计单元的旱涝灾害信息,以总时段(1949~2005年)、分时段(1956~1965年,1996~2005年)、分季度和分月份4种时间尺度来划分,选取2359个县域单元上的灾害频数作为衡量旱涝灾害危险性的指标,探讨了中国水灾、旱灾以及旱涝综合灾害的危险性时空分异规律。

多变量时间序列数据的空间特征研究的发展经历了从基于PCA/EOF(主成分分析/经验正交函数)到基于时间序列聚类研究方法的过程。从已有记载的文献资料可知,受观测手段以及时间序列数据处理能力的限制,早期国外使用EOF分析进行降水、气温、海洋等气候要素空间特征综合,通过PCA来划分气候变化特征一致的区域,在此基础上进一步分析其与大尺度气候环流的耦合特征、时间变化特征(Beckers and Rixen, 2003; Kessler, 2001; Cheng et al., 1995; Kawamura, 1994)。国内在干湿空间分布特征的研究方面,PCA/EOF法是研究旱涝时空变化特征最常用的方法,通过计算PCA/EOF,能实现对数据的有效提炼(Burroughs, 2010; 刘向文等, 2008; 周书灿, 2007; Qian et al., 2003)。王绍武和王朝迎(1993)根据史料分析旱涝的方法,利用EOF着重分析近500a间旱涝空间分布的特征。朱亚芬(2003)使用我国东部地区530a来100个站的旱涝等级序列作REOF分解,根据前7个旋转空间模上高荷载区分布,将中国东部地区分成7个旱涝气候区,即东北区、华北北区、华北南区、西北区、长江中下游地区、华南区及两南。Qian等(2003)对我国100个站近500a的旱涝资料进行分析结果表明,中国旱涝变化在时间上和空间上存在着两个主要特征,从空间分布上看,中国旱涝变化呈南北型分布,且南北中心不同;北方只有唯一1个中心,南方包含东南和西南2个中心。刘向文等(2008)选取中国东部38站531a(1470~2000年)旱涝等级资料,利用EOF展开得到3种基本旱涝型:黄河、长江流域一致型(I型),黄河、长江流域相反型(II型),黄河、江淮、华南旱涝相间型(III型)。

随着时空数据挖掘技术的进步,时间序列聚类方法逐渐引入到气候要素的空间特征分析中,其原理是基于类内的对象相似性最大,而类间的相似性最小的原则,将空间对象分割成有限的类别。根据聚类数据的不同,时间序列聚类分析,按照聚类数据类型划分为:基于原始数据聚类(raw-data-based);基于特征聚类(feature-based approaches),通过主成分分析、傅里叶分析、小波分析等方法降低数据维,从中获取数据主要特征;基于模型聚类,假定时间序列符合某种模型或者概率分布,从而通过对模型参数划分类别完成原始数据聚类(Warren, 2005)。按照聚类算法划分:系

统聚类（层次聚类）、k-Means、神经网络等（Hsu and Li, 2010; Vicente-Serrano, 2006; Munoz-Diaz, 2004）。目前国内外有大量学者将时间序列聚类分析方法引入到降雨、旱涝等级等空间特征研究过程中，实现对于旱涝特征区域的划分。Ramos（2001）利用一种综合 k-Means 和 Ward's 的系统聚类方法，对西班牙东北部 100a 的降雨序列分析，划分降雨特征区；Munoz-Diaz（2004）对比分析 Ward's 系统聚类与 EOF 分析划分出的降雨特征区结果；Sahin 和 Cigizoglu（2012）在研究土耳其降雨和气候区域划分时，通过对比发现 Ward's 聚类分析获得的聚类结果更符合实际情况；Hsu 和 Li（2010）利用人工神经网络对台湾地区的降雨站点进行聚类，划分台湾地区不同的降雨特征区；Yang 等（2010）用 Ward's 系统聚类研究珠江流域极端降雨时间的空间分布特征；Zhong 等（2005）选取史料中 1480 ~ 1940 年间共 460a 的旱涝灾害记录，采用湿润指数法建立湿润指数序列，并以最远距离法做聚类分析，讨论了广东省在 15 ~ 19 世纪末期间整体及不同冷暖时期的旱涝区域分布状况。

1.2.2 旱涝灾害时间特征研究

国内外对于旱涝时间特征的研究，按研究内容划分为趋势性研究、周期性研究等方面。针对单个时间序列的周期性研究，傅里叶谱分析是一种经典的诊断方法，可以用于分析时间序列变化的主周期。小波谱分析是随着 20 世纪 80 年代小波多分辨率分析理论的发展而逐渐应用到气象水文时间序列的周期性分析当中。Braun 等（2005）利用傅里叶谱分析构建模型，研究太阳活动周期对于格陵兰冰川 1470a 周期的作用；Latif 和 Grotzner（2000）通过分析海表面温度（SST）的傅里叶变换谱来提取北大西洋涛动的周期变化特征；Ogurtsov 等（2002）应用傅里叶谱分析，获得树木年轮具有 205a、114a、73a、68a、11a、5.1a、2.5a 等显著周期特征，并将这些周期与太阳活动进行相关分析。

国内学者也利用傅里叶谱开展了大量旱涝等气候周期的研究工作。张文兴（2001）利用沈阳地区近 500a 旱涝序列，对该地区历史旱涝进行了周期性和年代际气候变率分析，并对未来进行气候预测。钱维宏等（2011）从时间演变上，利用频谱分析发现中国旱涝变化有明显的周期性，其周期大约为 24.75a。朱亚芬（2003）对中国北方各个旱涝变化中心区域利用频谱方法，分析 1470 年以来中国北方旱涝的阶段性和区域性，发现各个旱涝气候区的旱涝具有多时间尺度的年代际振荡特征。方伟华等（2000）从灾害系统理论出发，利用全国 1736 ~ 1911 年洪涝灾害时间序列，拟合了各个区域的洪涝灾害长期变化趋势，并通过功率谱分析了时间序列的波动规律。

傅里叶谱分析法建立在时间变化是定常的假设之上，用于提取序列变化的主周期

(林祥, 2007)。相比之下, 小波分析在时频两域都具有表征信号局部特征的能力, 非常适合于分析具有多尺度性质的数据信号 (Sang, 2013; Labat, 2005; Torrence and Compo, 1998), 小波分析检测一个时间序列 (或频谱) 转化为频率图像的二维时间序列, 相比基于傅里叶变换的频谱分析, 它联合了一个加权的窗口和一定数量的在该窗口内给定频率的振荡通过卷积运算为时间系列内的任何周期变异特征的衡量提供了一个工具, 在气候序列的研究工作中, Morlet 小波最为常用, 通过该方法可以获得各个中心内的旱涝灾情变化的阶段性, 周期性等时间特征 (Burroughs, 2010; Zhang et al., 2007; 林祥, 2007)。

原则上讲, 过去使用傅里叶方法所开展的研究, 均可以由小波分析取代。近年来越来越多的学者也将小波分析方法用于旱涝指标序列分析中, 用以分析历史旱涝的阶段性、周期性等时间特征, 尤其是 Torrence 和 Compo (1998) 系统地解释了小波分析在气候时间序列上的应用, 并无私提供了相关分析工具, 大量气候领域的学者基于 Torrence 的研究成果, 拓展了小波分析方法在各自领域中的应用。Brázdil 等 (2010) 基于欧洲斯德哥尔摩地区的温度网格数据, 利用小波功率谱分析重建序列的周期性特点; Mendoza 等 (2006) 利用小波功率谱分析 1502 ~ 1899 年墨西哥东部地区重建干旱序列, 得出墨西哥东部干旱具有 3 ~ 4a、7a、12a、20a、43a 以及 70a 的重现周期; Logan 等 (2010) 使用 SPI 指数考察了 1900 ~ 2006 年美国中部平原的干旱分布特征及趋势, 用傅里叶谱分析检测了 SPI 值的特征频率, 认为整个地区的干旱频率模式没有差别。Kang 等 (2007) 利用小波功率谱分析水文时间序列的周期特征, 从中提取出 3a、15a 水文特征重现周期。

国内应用小波功率谱分析气候时间序列的周期性以及阶段性也开展了大量的工作, 其中 Zhang 等 (2007) 针对长江三角洲地区旱涝气候时间特征研究最为系统, 其中包括利用小波功率谱分析近 1000a 长江三角洲地区旱涝气候的周期性与阶段性, 并与青藏高原的影响进行了相关性分析; 林祥 (2007) 利用小波分析工具, 对搜集到的多种代用数据进行时间特征分析, 挖掘代用数据的周期特征。Lu 等 (1986) 采用 Walsh 功率谱分析了中国东部地区 24 个站点近 200a 的旱涝特征, 认为中国东部地区存在 2 ~ 9a 的高频波动周期。张文兴等 (2001) 利用沈阳地区近 500a 的旱涝序列, 对该地区历史旱涝进行了周期性和年代际气候变率分析, 对未来进行气候预测。Qian 等 (2003) 利用频谱分析认为中国旱涝变化有明显的大约为 24.75a 的周期性特征。朱益民 (2003) 等根据武汉和上海两个代表性测站 523a 的旱涝资料, 利用小波分析对长江中下游地区在不同时间尺度上的旱涝周期进行了比较和诊断。

1.2.3 旱涝灾害序列耦合特征研究

现有研究主要是利用统计分析的方法推断两个时间序列在某一时期的相关特征,常用的方法包括:相关分析、交叉谱分析、交叉小波谱分析和小波相关系数分析等(孙卫国和程炳岩,2008)。其中相关分析与交叉谱分析是进行气候时间序列之间耦合性分析的经典统计方法,在分析气候要素之间的耦合性,发现要素之间的相关特征研究中发挥着重要的作用。Pauling等(2006)运用相关分析发现大尺度环流以及区域降雨之间存在很大相关性。通过近500a降雨的分时期研究,发现西班牙南部、摩洛哥北部以及中欧地区的大气模式在这两个地区的降雨特征具有代表性。通过尺度综合分析,显示出中欧以及西班牙南部的极端降雨与地区气压模式有关。Latif和Grotzner(2000)应用交叉谱分析了Niño-3区海表面温度(南方涛动ENSO指数)与ATL-3区海表面温度(大西洋涛动AO指数)的相关性,发现大西洋涛动变化相比南方涛动变化具有6个月滞后的特点。

相比相关系数分析以及交叉谱分析方法,交叉小波谱分析与小波相关系数分析具有在多个时间尺度上解释耦合特征的能力。交叉小波谱分析与小波相关系数分析原理都是基于交叉小波变换来解释两个时间序列之间的耦合振荡行为,二者相比,小波相关系数分析对于弱相关特征挖掘的表现更优秀。近年来,交叉小波谱分析与小波相关系数分析以其多尺度的优势,逐渐取代交叉谱分析,被广泛地应用于气候变化、生态环境等领域的时间序列相关性研究当中。Grinsted等(2004)对交叉小波谱分析、小波相关系数在地理时间序列上的应用进行了系统的介绍,并且分享了实验所用的交叉小波分析工具,众多学者基于此进行了气候时间序列之间的相关性研究工作,尤其是用在降雨、气温等要素与大尺度气候指数之间(例如:North Atlantic Oscillation-NAO、Arctic Oscillation-AO、Southern Oscillation Index-SOI、Pacific Decadal Oscillation-PDO以及NINO3.4-Pacific mean Sea Surface Temperature)。相关研究包括,Labat(2005)利用交叉小波分析得到了美洲大陆年平均径流与NAO、AO、SOI、PDO以及NINO3.4指数之间的交叉小波谱分析与小波相关系数图,从中获得径流量与各指数2~10a,10~20a,以及20~30a尺度上相关性显著;Mu Mullon等(2012)利用交叉小波分析,获取北美大陆森林绿度指数(MODIS EVI)与大尺度气候环流指数(AVHRR Pathfinder GHRSSST Global Level 4, SST)之间的遥相关特;Lehmann等(2011)应用交叉小波分析,挖掘波罗的海附近长时间序列气温与NAO之间的相关关系,获取区域气温变换与大尺度气候环流之间的遥相关特征。

1.3 干旱灾害风险评估

在全球变暖的大背景下，世界范围内的干旱灾害发生的频度和强度呈增加态势，从多维、整体和不同时空尺度上研究干旱灾害风险评估是积极应对全球气候变换的必然选择。风险（risk）是由西方经济学家在 19 世纪末提出的概念，指从事某项活动结果的不确定性，IPCC（2013）报告中指出，灾害风险是指在某个特定时期的由于危害性的自然事件造成的某个社区或社会的正常运行出现剧烈改变的可能性。干旱灾害风险指干旱的发生和发展对社会、经济以及自然环境系统造成影响和危害的可能性（姚玉璧等，2013）。当代灾害风险评估的基本理论表明，极端气候事件并不必然导致灾害，而是与脆弱性和暴露程度叠加之后产生灾害风险，风险才能转化成为灾害（刘冰和薛澜，2012）。章国材等（2012）将干旱灾害风险系统分解为致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露度和防灾减灾能力 4 个部分，即，干旱灾害风险指数 = 危险性 \cap 脆弱性 \cap 暴露度 \cap 防灾减灾能力。其中，致灾因子危险性是表示干旱危险程度的度量，一般由强度和频次来进行衡量。通常认为干旱强度越大，发生的频次越高，所造成的干旱影响也就越严重，相应的灾害风险也越大。承灾体指承受干旱灾害的受体，即致灾因子所作用的对象，它反映了区域自身对致灾因子的敏感性。承灾体的暴露度越高，灾害发生后引起的损失就越大。通常来说，承灾体暴露度的评估对象一般为人类及社会经济实体，评估指标有数量型和价值量型两种。其中，与干旱灾害风险有关的数量型指标包括耕地面积、灌溉面积、农作物播种面积百分比、经济密度、人口密度、牲畜总量、耕作制度等；价值量型指标包括粮食产量等（姚玉璧等，2013）。孕灾环境即承灾体所处的自然环境，可以对干旱致灾因子的危险性起到放大或者缩小的作用，孕灾环境可以分为两大类：自然环境（地形、地貌、水文、气候等）和社会环境（人口、经济等）。干旱灾害的孕灾环境脆弱性主要体现在农作物、牲畜、地形地貌、降水量、土壤、植被、气候特征等自然因素中。防灾减灾能力包括工程性和非工程性两类，工程性防灾减灾能力指标主要包括抗旱减灾工程，如有效灌溉面积占区域总耕地面积比例，单位面积水库容量等；非工程性防灾减灾能力指标主要包括财政收入和抗旱投入、抗旱减灾管理系统建设、干旱灾害监测预警系统、种植制度、农业布局及结构调整、农业气候资源利用等。面对未来的干旱风险，加强气候变化背景下的干旱灾害风险评估研究，把干旱灾害风险管理和气候变化适应视为发展过程的组成部分，以降低未来干旱灾害风险，从而实现科学的可持续发展（郑艳，2012）。

国外对自然灾害风险评估的研究始于 20 世纪 20 年代，最初的研究多局限于关注