

淮河沿海地区水循环 与洪涝灾害

叶正伟·著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

本书的出版得到国家自然科学基金面上项目“南北气候
河流域旱涝格局演变及机制”(编号: 41471425)、教育部人文
目“江苏沿海大开发下环境灾害风险评估与综合管理研究”(编号: 10YJC790342)
的联合资助。

淮河沿海地区水循环与洪涝灾害

Flood and Hydrological Cycle in the Coastal Region of the
Huaihe River Basin

叶正伟 著

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

变化环境下水循环变异的洪涝影响是水文气象领域的重要基础科学问题,是在理论和实践上都具有重要意义研究热点。

本书以南北气候过渡带淮河流域的沿海地区为研究对象,综合应用 GIS 技术、时间序列检验、等级分析、小波分析和大气环流场分析等方法,围绕水循环过程、要素变异及洪涝成灾机制链分析等关键问题,从检测分析、响应过程、影响因素、驱动机制四个层面,分析了降水的多时间尺度变化规律,探讨了洪涝的响应特征,阐明了水循环变异的大气环流配置形势,揭示了洪涝灾害成灾机制。

本书可供地理、水文、气象、灾害、资源与可持续发展等相关领域的科学研究人员、工程技术人员、管理决策人员及大专院校、科研院所师生应用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

淮河沿海地区水循环与洪涝灾害 / 叶正伟著. —南京:东南大学出版社,2015.7

ISBN 978-7-5641-5941-2

I. ①淮… II. ①叶… III. ①淮河—水循环—研究 ②淮河—水灾—研究 IV. ①P339 ②P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 167956 号

书 名: 淮河沿海地区水循环与洪涝灾害

著 者: 叶正伟

策划编辑: 刘 菲

编辑邮箱: 875393789@qq.com

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号

邮 编: 210096

网 址: <http://www.seupress.com>

出 版 人: 江建中

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

排 版: 南京新翰博图文制作有限公司

开 本: 700 mm×1000 mm 1/16 印张: 9.5 彩插: 8 面 字数: 175 千

版 次: 2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-5941-2

定 价: 32.00 元

经 销: 全国各地新华书店

发行热线: 025-83790519 83791830

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买东大版图书如有印装质量问题,请直接与营销部联系
(电话:025-83791830)

前 言

“变化环境下的水循环研究”是全球水系统计划(GWSP)的核心科学问题,也是当前水文科学的热点问题之一。洪涝是全球最为频繁的自然灾害之一,我国洪涝亦呈高频态势。随着气候变化和人类活动对水循环过程与要素影响的加剧,偏离常态的水循环变异越来越频繁,往往导致极端降水洪涝事件。因而,在变化环境背景下,关于水循环变异对洪涝的影响研究是一个重要的基础科学问题。

里下河平原水网地区位于江淮下游,地处我国南北气候过渡带区域,受季风环流影响显著,降水异常是该地区洪涝的直接致灾因子。里下河地区洪涝严重,2003年洪涝直接经济损失高达81亿元。因此,探讨该地区水循环变异对洪涝的影响,是一个在理论和实践上都具有重要意义的课题。

本书以低海拔的里下河腹部平原水网地区为研究对象,综合应用GIS技术、时间序列检验、等级分析、小波分析和大气环流场分析等方法,围绕水循环的过程、要素变异及洪涝成灾机制链分析等关键问题,从检测分析、响应过程、影响因子、驱动机制四个层面,分析了降水的多时间尺度变化规律,探讨了洪涝的响应特征,阐明了水循环变异的大气环流配置形势,揭示了洪涝成灾机制。主要研究涉及以下四个方面:

(1) 降水的多时间尺度变化分析。研究区近50年的年、汛期、时段及梅雨等不同时间尺度的降水量皆呈减少趋势,但变化趋势不显著,这是水循环降水要素变异的宏观背景,且梅雨异常偏多年都出现了严重洪涝。年、汛期降水量的年际波动较大,1970年代显著偏少,且都存在3年、6~8年的变化周期。其中,年降水在1966、2003、2005年,汛期降水在1960年代中后期,1970年代初和1980年都出现了降水异常的突变过程。

降水强度上,年降水集中期与集中度皆为减小趋势,1990年代降水集中度偏低,但在1991年变异偏高导致大洪涝。在汛期降水趋于减少的背景下,汛期高级降水日数呈微弱减少趋势,说明降水更为集中,且中等级降水的贡献率相对较大。基于汛期标准化降水指数的洪涝等级划分可更好地反映洪涝实际,典型丰水年

分别代表了梅雨(1980、1991、2003 年)、梅雨加台风(1962、1965 年)两大洪涝类型。

(2) 洪涝水位的响应特征。年最高日均水位较好地响应于降水变异的直接影响,典型丰水年 1962、1965、1980 年的洪涝由长时段的持续较高水位引发,而 1991、2003 年则是显著集中的高水位洪涝效应。低、中等级水位日数呈增加趋势,而高等级水位日数为较大减少趋势,说明了近年来洪涝水位趋于升高的事实。尽管汛期降水量趋于减少,但超警戒水位日数均值却自 1970 年代以后逐渐增加,显示了降水强度异常和人类活动影响的综合水循环变异结果。

最高日均水位、超警戒水位日数与年、汛期降水量呈正相关,汛期降水越集中,高等级水位日数越少,水位越高,且降水的贡献率大小决定水位日数。梅雨降水与水位呈较好的正相关,但具南北空间差异,南部兴化、溱潼、安丰站相关程度较大,而北部射阳镇、盐城和建湖站较小。

汛期 2~5 年重现期的降水即可导致超过 2.0 m 的警戒水位出现,表明短时强降水的直接洪涝效应;而较大重现期的汛期、长时段降水往往导致更高水位,是持续降水的累积效应。30dMax 降水是年最高水位的主要水量来源,但水位对 3dMax、7dMax、15dMax 降水量的显著响应关系更具实践参考价值。

(3) 季风驱动下水循环过程变异的大气环流分析。季风驱动是研究区水循环中降水要素异常的主导因素,研究区以弱季风强降水类型最多,其次为强季风强降水类型,且丰水年以弱季风强降水居多。东亚夏季风与汛期降水变化在 3、6 年左右的共振周期上存在较好的位相对应关系。西太平洋副高强度、面积与汛期降水呈正相关,而其脊线位置、西伸脊点则反之。汛期降水同亚洲区纬向环流呈负相关,而与经向环流略呈正相关,但纬向环流的影响更为显著。弱季风强降水年纬向环流指数偏低、经向环流指数相对较高,而强季风强降水年则反之。弱季风强降水年的亚洲区极涡强度和面积指数皆偏小,这一关系有利于降水偏多,而强季风强降水年二者指数则皆偏大。且 ENSO 遥相关分析表明,ENSO 事件翌年降水偏多者皆为弱季风强降水和强季风弱降水类型,也印证了季风是水循环变异的最重要因子。

大气环流场的综合分析发现,降水变异与季风、西太平洋副高、ENSO 等及其相互影响密切关联。降水偏多的大气环流异常配置可概括为两类,其一为:季风偏弱时,西太平洋副高位置偏西偏北,但主体偏南,东亚经向环流呈“+、-、+”位势高度距平,研究区中低层为偏西南风,存在明显的梅雨锋面,利于雨带停留,这一形势降水量总体更为偏多;其二为:季风偏强时,副高位置偏东偏北收缩,东亚经向环

流呈“一、一”位势高度距平,研究区低层为西南风距平,中层为偏东南风、高空亦为偏东风,缺少梅雨锋面,这一形势降水偏多程度相对较小。这两类大气环流形势较好地揭示了“季风驱动—水循环变异—降水异常”灾害链的大气环流异常背景。

(4) 洪涝成灾机制的综合分析。自然因素上,暴雨降水异常是洪涝的直接致灾因子,“锅底洼”地形是洪涝的孕灾环境大背景,低海拔平原的河网水系格局加剧了洪涝灾情。而人类活动影响上,闸坝建设导致河道淤积致使河道容蓄能力降低,大范围的圩垸围垦导致湖荡萎缩,减弱了河湖水体的调蓄能力,使得洪涝水位趋高。同时,城镇化的不利水文效应也加强了洪涝效应,反映了地表水循环过程变异的影响。结合降水变异的大气环流配置异常分析、自然因素和人类活动影响的综合分析表明,研究区的洪涝成灾机制是大气环流过程异常导致降水变异和地表水循环过程变异双重影响下的“季风驱动—水循环变异—降水异常—洪涝事件”作用链过程。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及研究意义	2
1.1.1 研究背景	3
1.1.2 研究意义	5
1.2 国内外相关研究进展	6
1.2.1 水循环研究进展	6
1.2.1.1 流域水循环变异研究	7
1.2.1.2 洪涝灾害研究	12
第二章 淮河下游典型平原水网地区概况	15
2.1 里下河腹部平原水网地区概况	16
2.1.1 地理位置	16
2.1.2 地质地貌	17
2.1.3 气候气象	18
2.1.4 水文	18
2.1.5 土壤与植被	19
2.1.6 经济社会概况	19
第三章 降水的多时间尺度变化规律	20
3.1 年降水量变化	20
3.2 汛期降水量变化	23
3.3 时段降水量变化	25
3.3.1 时段降水量特征	26
3.3.2 降水集中期与集中度	29
3.3.3 降水强度变化特征	31

3.3.4	梅雨降水量变化	34
3.3.5	暴雨日数变化	35
3.4	降水洪涝等级	37
3.5	汛期降水的丰、平、枯年分析	39
3.6	本章小结	42
第四章	洪涝水位对降水的响应规律	44
4.1	特征水位变化	44
4.1.1	最高水位变化	45
4.1.2	超警戒水位变化	49
4.1.3	等级水位日数变化	52
4.2	典型丰水年水位变化	55
4.3	降水量—水位关系	57
4.3.1	面降水量与水位	57
4.3.2	时段降水量与水位	64
4.3.3	梅雨与水位	65
4.3.4	降水频率与水位	66
4.3.5	次暴雨与水位	68
4.3.6	汛期降水与超警戒水位	71
4.4	本章小结	72
第五章	季风影响下降水异常的大气环流特征	74
5.1	季风系统影响	74
5.1.1	东亚夏季风与汛期降水	75
5.1.1.1	东亚季风指数选择	75
5.1.1.2	Li-EASMI 与汛期降水关系	76
5.1.1.3	Li-EASMI 与汛期降水小波分析	77
5.1.2	环流指数与汛期降水	80
5.1.2.1	西太平洋副热带高压	80
5.1.2.2	亚洲经纬向环流	85
5.1.2.3	亚洲区极涡	88
5.2	ENSO 遥相关影响	90

5.2.1 El Niño	91
5.2.2 La Nina	94
5.3 降水异常的大气环流配置.....	95
5.3.1 典型丰水年.....	96
5.3.2 弱季风强降水年.....	99
5.3.3 强季风强降水年	101
5.3.4 El Niño 事件降水正距平翌年	103
5.3.5 La Nina 事件降水正距平翌年	104
5.3.6 降水异常的主导大气环流	106
5.4 本章小结	106
 第六章 基于水循环变异的洪涝成灾机制.....	109
6.1 自然因素的影响	109
6.1.1 降水因子	109
6.1.2 “锅底洼”地形	111
6.1.3 河网水系格局	113
6.2 人类活动的影响	114
6.2.1 河道淤积	114
6.2.2 湖荡萎缩	115
6.2.3 城镇化水文效应	117
6.3 洪涝成灾机制的综合分析	118
6.4 本章小结	122
 参考文献.....	124

第一章 绪 论

水循环是一个多环节的自然过程,是联系大气水、地表水、地下水和生态水的纽带。全球性的水循环涉及降水、蒸发、大气水分输送、地表水和地下水循环以及多种形式的水量动态。降水、蒸发和径流是水循环过程的三个最主要环节,是水循环的基本途径。水循环过程的变化影响着全球水资源系统和生态环境系统的结构和演变,并由此影响到人类社会经济系统的可持续发展(刘国纬, 1997; 陆桂华和何海, 2006),因此,水循环不仅仅是一个自然问题,也更是一个社会经济问题。

所谓变异,是指变化差异,然而,在关于水循环变异的认识上,国内外尚未形成统一的看法。Milly et al. (2002)认为气候变暖导致全球水循环加强,并导致洪涝风险增加是水循环变异的直接结果,Xu(2000)和 Labat et al. (2004)也指出,气候变化影响下区域水循环变化及其水文效应的变化是水文变异的重要特征。全球水系统计划(GWSP)主席 Vörösmarty et al. (2004)则认为各种人为因素以直接或间接方式的干扰区域或全球水循环的基本特性即为水循环变异,强调了水循环特性改变。此后,国外对于人类活动水循环影响的研究方面,主要集中在土地利用变化,河流泥沙以及河道渠化等方面(Hooke, 2006; James et al, 2006),并认为土地利用/土地覆盖变化(Land Use and Cover Change, LUCC)是城镇化影响水文过程的最主要方式之一(Bronstert, 2002)。在城镇化的进程中,伴随着人口的增长和经济的快速发展,城镇周边的其他不同土地利用方式和类型发生转变,主要转变为城镇及建设用地,从而导致城镇面积快速扩张、地表不透水面积大量增加,这一系列变化将显著地影响流域内的地表水循环过程(袁艺等, 2003; Chang, 2007),如径流系数增大、地面汇流时间缩短、洪峰流量增加、洪水波形更加尖陡、地下水补给和基流量减少等(Leopold, 1968; Bhaduri, 1998; Gremillion et al. , 2000; Jurgens, 2001; 许有鹏, 2003; 袁艺等, 2003; Chin, 2006; Liu et al. , 2006),可见这些研究都较重视水循环过程的变异分析。

而我国长江、珠江流域的相关研究中也都强调包括降水、径流、蒸发、下渗、水位等在内的水文基本要素的变化即水循环变异的主要表现形式(陈晓宏和陈永勤,

2002; Jiang et al., 2008; Chen et al., 2009; Zhang et al., 2009)。陈晓宏等(2010)还指出,受到剧烈并且持续的不同人类活动影响作用,加上全球气候变化所导致的气象背景条件的变异,改变了水文要素及其相应水文特征(如降水、水位、径流量;降水、水位、径流的特征值及其他水循环要素等)变化的自然规律,即水文要素发生了变异。可见诸多学者更为强调的是水循环要素的变化。而在量化上,张德二(1983)则将降水要素变化超过多年均值的 1.17 个标准差的值定为极端变异值。

因而,本研究中关于水循环变异的讨论,主要侧重于水循环的水循环过程(大气环流)、水循环要素(降水、水位)的变化差异,强调水循环过程变异下不同水循环要素中降水、水位及其影响因素与常态的变化差异。常态标准则参考我国气象部门所采用的某一要素与气候平均状态的差异来反映其变异特征,基准期为 1971、2000 年。

1.1 研究背景及研究意义

洪涝是全球最为频繁的自然灾害类型之一(Milly et al., 2002),我国洪涝亦呈高频态势,其灾害损失占我国自然灾害损失的一半(黄荣辉和周连童, 2002)。自 20 世纪 90 年代以来,全国年均洪涝的损失为 1 100 亿元左右,约占同期我国 GDP 的 1.8%,而当出现流域性大洪涝年份时,洪涝损失所占 GDP 的比值甚至高达 3%~4%(刘彤和闫天池, 2011)。政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告也指出(IPCC, 2007), 21 世纪,由于水循环的变化,大部分地区强降水事件的发生频率可能有所上升,且更为频繁,洪涝风险增加。

洪涝灾害的致灾因子是多方面的,而降水异常是洪涝发生的直接因子,洪涝问题的核心在于水循环的异常变化(刘春蓁, 1997; 2004)。“变化环境下的水循环研究”是全球水系统计划(GWSP)的核心科学问题,也是 21 世纪水科学研究的热点,受到各国政府和科研机构的广泛关注(陆桂华和何海, 2006)。水循环是在陆地水循环和大气水循环的作用下,地-气系统中不同载体上不同形态的水在周而复始地转化和运动,对全球和区域的气候及环境变化产生影响(Sorooshian et al., 2005; 刘东生, 2002; 贾绍凤等, 2003; 刘春蓁, 2004)。随着气候变化和人类活动对水循环过程与要素影响的加剧,偏离常态的水循环变异越来越频繁,往往导致极

端降水洪涝事件。

20 世纪 90 年代以来,国际上实施了诸多水科学研究计划,主要包括:国际水文计划、全球水系统计划、世界气候研究计划、国际地圈生物圈计划等。这些计划主要的研究内容为,分析变化环境下的水文水资源与水环境问题(夏军和朱一中, 2002;夏军等, 2004)。可见,探讨水循环变异影响背景下的洪涝影响对区域洪涝风险防范具有重要科学意义和实践价值。

1.1.1 研究背景

1. 江淮下游洪涝灾害的影响呈加剧趋势

江淮地区通常指湖北宜昌以东 $28^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 之间的区域,包括豫、赣、鄂、苏、浙、皖、沪共六省一市的大部地区,江淮地区东临太平洋,南接南岭山脉,西连三峡、湘黔和秦(岭)巴(山)山地,北通中原地区(毛文书等, 2008a)。江淮下游平原地区的自然地理环境复杂,其间大部分为海拔较低的丘陵和平原,地势低洼、湖荡众多、河网密布,长江和淮河两大流域是地区的主要水系(任美镔和包浩生, 1992)。叶笃正和黄荣辉(1996)指出,我国洪涝主要集中在江淮地区,洪涝频繁,灾情严重。

本书研究区为江苏里下河腹部平原水网地区,该区是江淮下游平原的典型区域之一。里下河平原水网区界于黄海之滨的苏北灌溉总渠和通扬运河之间,主要包括里下河腹部地区和沿海垦区,面积约 $11\,722\text{ km}^2$,人口 860 多万。该区以兴化为中心,呈现四周高、中间低的碟状“锅底洼”的洼地地貌,加之受潮汐顶托影响,排水复杂,该地区极易发生洪涝灾害。

近年来,里下河地区出现了多次严重的洪涝灾害,如 1954、1962、1965、1991、2003、2005 和 2006 年的洪涝。随着气候变化引起极端暴雨事件的不断增加,城镇化规模扩大和人类活动的加剧,里下河地区洪涝灾害有不断加剧之势。1954 年洪涝灾害导致秋作物受害面积 49.6 万 hm^2 ;1962 年,里下河 64.4 万 hm^2 作物受淹;1965 年,受灾面积 61.1 万 hm^2 。1991 年,受涝面积 88.5 万 hm^2 ,直接经济损失 68 亿元。2003 年受淹面积 79 万 hm^2 ,直接经济损失 81 亿元。2006 年受淹 65.2 万 hm^2 ,直接经济损失 41 亿元(叶正伟等, 2009; 2011)。

可见,近年来里下河地区的洪涝损失有上升趋势,尤其 2003 年灾害直接经济损失高达 81 亿元。除直接经济损失显著增加外,洪涝发生时破坏的数量也在增加,这也表明,人类不合理的活动使得洪涝灾情更为严重,并由此导致灾后重建和恢复的费用也显著增加。随着江苏苏北沿海开发战略的实施,该地区快速崛起,洪

涝灾害将成为制约该地区经济可持续发展的主要因素之一。

2. 水循环变异下洪涝响应的科学问题

我国东部江淮洪涝的发生与发展,主要是由于季风环流波动引起水文循环系统结构异常,从而导致雨带在北进和南撤过程中偏离常态所致,由此导致极端降水事件的出现。譬如,当梅雨雨带在江淮地区停留时间异常超长,则易发生江淮洪涝,反之则出现夏旱或伏旱,而“空梅”则可能引起严重干旱。在这种水循环变异情景下,洪涝灾害的响应过程与规律成为关键的科学问题之一。

以往关于洪涝的研究多把注意力集中在某一区域过程和致灾因子的分析上。本研究则着眼于从“季风驱动—水循环变异—降水异常—洪涝事件”这一灾害“作用链”的气象和水文机理,探讨水循环变异下洪涝形成的规律及其变化趋势。为此,需要回答的核心科学问题为:①在季风系统影响下,江淮流域下游导致降水要素变异的环流系统如何配置?②水循环系统变异下洪涝的响应及成灾机制链如何?

3. 区域社会经济可持续发展需求

全球变化和水资源是当前国际水文科学与水资源领域的前沿研究,也是我国水资源可持续利用面临的新的难点课题。2011年中央一号文件《中共中央、国务院关于加快水利改革发展的决定》强调了水利事业在国家发展中的核心地位。而近年来,江淮下游地区洪涝灾害呈现出新的变化形式:①在气候变暖的背景下,洪水极端事件发生的频次和强度显著增加;②随着经济的快速发展和社会财富的迅速积累,洪涝灾害造成的经济损失日趋加剧。因此,如何最大限度减轻地区洪涝灾害损失,是保障区域社会稳定和经济可持续发展的重要问题。

在国家和地方需求方面,防洪减灾始终是当前人类面临的重大问题,国家已在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中明确提出了缓解我国水问题的科学技术需求,而这些科学技术需求都与水文循环研究密切相关。因此,认识水文循环动态结构与变化特征,有利于提高洪涝成因分析与预测水平,促进水利科学技术的发展,并对我国东部地区防洪减灾提供有力支撑。

江苏里下河地区地处淮河流域的下游,近年来,随着城镇化规模的扩大和人类活动的加剧,洪涝灾害有加剧之势,严重制约了该地区的发展。由于该区产汇流规律难以获得,也成为防洪减灾研究的薄弱区域,因此开展里下河地区防洪减灾研究具有重要现实意义。

综上所述,基于当前江淮下游里下河地区洪涝灾害呈加剧趋势的背景,在水循环变异影响下洪涝响应过程尚未明确的前提下,以及区域经济可持续发展对水文

科学智力支持的需求,有必要探讨江淮下游水循环变异对洪涝灾害影响的基本过程、驱动机制及变化趋势。

1.1.2 研究意义

江淮流域是我国洪涝灾害严重的地区,洪涝灾害在很大程度上影响了区域经济的可持续发展。江淮下游里下河地区属于典型的低海拔平原水网区,处于我国南北气候过渡带地区,主要受季风大气环流系统控制,西太平洋副热带高压的变化对该区降水起着重要影响,降水异常是该地区洪涝灾害的直接致灾因子。但同时,该地区河网交错,无封闭的集水区界,现有水文站(流量站)资料还不能完全反映该区地表径流变化规律。并且,水网区内部水流流向不定,各相邻水网区之间水量交换频繁,而各水网区交界处基本上无流量站,难以进行全河网汇流计算(梅宽祥和洪希曾,1999),加上人类活动的影响较为复杂,通过较精确的产汇流计算关系探讨水位变化较为困难,也难以进行降雨径流关系分析。因此,对基于水位变化的洪涝灾害过程分析成为该地区洪涝灾害研究的核心,因而,通过分析暴雨与洪涝水位之间的相关关系,探讨暴雨与洪水之间的联系显得尤为必要。所以,对引起降水异常的水循环过程与影响要素变异的分析以及对降水量变化与洪涝水位之间关系的认识就成为该地区洪涝灾害研究的重要课题。

尽管已有研究部分地对江淮下游地区洪涝灾害进行了较多的探讨,但研究区域主要集中在太湖流域及其周边地区和城市,多以经济较发达地区为主(万荣荣等,2007;李恒鹏等,2007;袁雯等,2005; Zhang et al., 2008; Chen et al., 2009; 王艳君等,2009)。但对于经济相对欠发达的江苏苏北且同为平原水网区的研究相对较少,并且,从水循环变异角度分析降水异常同洪涝水位变化之间关系的讨论也不多见,同时对引起降水异常的水循环变异影响因素以及洪涝灾害响应机制的探讨也较缺乏。此外,里下河腹部地区降水类型受我国降雨类型Ⅰ型和Ⅱ型的综合影响,具有一定的边缘效应,水循环变异的洪涝影响在这一区域具有更大的复杂性。

因此,本研究将主要从四个方面展开讨论:①分析水循环变异下降水变化的基本过程与特征;②探讨水循环变异下基于水位变化的洪涝响应与演变规律;③阐明影响水循环变异季风系统驱动的大气环流配置形势;④揭示水循环变异下里下河地区洪涝的成灾机制。由此,本论文的研究将基于我国东部江淮下游平原水网地区水循环变异下洪涝变化这一重要课题,为我国东部经济欠发达地区洪涝灾害防灾减灾工作提供科学支持,具有重要的科学参考价值和实践指导意义。

1.2 国内外相关研究进展

1.2.1 水循环研究进展

在水循环宏观层面研究上,20 世纪中叶以来,围绕水循环问题,联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)等国际机构发起组织和进行了一系列的水科学研究计划,如国际水文计划(IHP)、全球水系统计划(GWSP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)及其子计划水文循环的生物圈(BAHC)等(Entekhabi, et al. 1999; Kite, Haberland, 1999; 马耀明等, 2006)。

在我国,为配合国际 WCRP 计划框架下的 GEWEX 科学研究计划,提升中国在季风区水分和能量循环问题的认识以及对重大灾害性天气的科学预报能力,1997 年,国家自然科学基金委员会把“淮河流域能量与水分循环试验和研究(HUBEX)”作为我国第九个五年计划期间的重大研究项目之一。该项目对淮河流域的能量和水分循环进行了较系统的分析研究,为气象与水文等多学科的交叉综合研究起到了积极的作用(周小刚和罗云锋, 2004)。在我国青藏高原,1997 年“全球能量水循环之亚洲季风青藏高原试验研究”(GAME/Tibet)和 2000 年的“全球协调加强观测计划(CEOP)亚澳季风之青藏高原试验研究”(CAMP/Tibet)的科学研究也都为水循环及其影响机制分析作出了重要贡献(马耀明等, 2006; 郭东林等, 2009)。在这一系列重大科学计划中,水循环及其与全球气候变化等系列相关问题逐渐成为科学研究的核心内容,使水循环问题成为共同关注的科学问题。

1997 年,我国第一部水文循环大气过程的重要学术著作《水文循环的大气过程》正式出版(刘国纬, 1997),标志着我国在水文循环大气过程研究上进入一个新阶段,使我国在该领域的研究跻身国际前沿。近年来,我国国家重点基础研究发展计划(973 计划)就已有两个项目围绕水循环大科学研究的开展,分别为“亚印太交汇区海气相互作用及其对我国短期气候的影响”、“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”,其中都包含了基于水循环过程及水循环要素变异与洪涝灾害的影响等关键科学问题的研究。

1.2.1.1 流域水循环变异研究

在流域水循环变异研究方面,随着全球气候变化问题日趋突出,近年来水循环变异研究不断引起重视。在国际上,欧洲和美国诸多流域都开展了关于流域洪涝风险和暴雨影响的研究,1993年密西西比河特大洪水以后,美国 NOAA 在依靠卫星对地观测进行暴雨洪水实时预报方面开展了大量研究,但在水循环变异对洪水影响方面研究不多。Mishra et al. (2009) 基于熵分析的方法,探讨了美国得克萨斯州降水的季节变化与空间特征,并认为降水空间异常变化和降水日数的异常是导致得克萨斯州旱涝的主要原因。Wales 洪涝风险的研究也显示了显著的水循环降水变异的影响(Macdonald et al., 2010)。近年来,水循环变异研究开始关注人类活动对河流系统影响的水循环研究,主要集中在土地利用变化,河流泥沙以及河道渠化等方面(Hooke, 2006; James et al., 2006),如 Kondoh 和 Nishiyama (2000) 认为东京郊区的城市化改变了地表水循环过程。2006 年召开的国际地貌学大会还以“人类在改变河流系统中的作用”为主题开展了专题研讨(James et al., 2006)。

由于我国是受季风降水影响显著的国家,季风降水变化是引起东部地区洪涝灾害的主要原因,为此,我国的气象与水文部门及众多学者,都分别对季风雨带的气象因素与流域水文特性开展了研究。基于水循环的不同环节,近年来在西北干旱地区、黑河流域以及黄河流域开展了较为丰富的研究工作,多侧重于降水、径流及水资源需求的地表水循环分析(刘昌明, 1994; 刘苏峡等, 2001; 刘昌明和郑红星, 2003; 高前兆和作彦卿, 2004; 贾仰文等, 2006; 蓝永超等, 2006; 郭丽君和左其亭, 2010; 侯兰功等, 2010)。而在江淮地区的长江流域中下游地区、淮河流域,研究者多基于降水量变化,从大气环流形势角度分析暴雨降水的环流背景,并对引起江淮梅雨期降水异常的季风系统、副热带高压变化、太平洋海温变化等进行了相关分析。在对江淮地区暴雨致灾的气候背景认识上,研究者们普遍认为季风系统的变化、西太平洋副热带高压的进退、厄尔尼诺与南方涛动等是其降水异常的主要环流背景。具体概述如下:

1. 长江流域水循环变异

东亚夏季风环流偏弱是夏季长江流域发生严重暴雨洪涝灾害的气候特征(张庆云等, 2003)。采用降水集中程度方法对长江流域汛期洪涝的研究表明,降水集中度与东亚副热带季风之间存在着比较密切的联系(张录军和钱永甫, 2004)。蒋薇等(2009)也指出,长江三角洲地区夏季降水自 1980 年代以来异常变化,降水出

现增加趋势,并认为长江三角洲流域降水异常与 500 hPa 环流形势、副热带高压和 ENSO 事件存在一定的联系。相应地,龚振淞和何敏(2006)也分析了全球海温异常的配置型对长江流域夏季降水的影响,且 Zhang et al. (2007)和 Jiang et al. (2006、2008)的研究也表明,6—8 月降水强度的增加趋势导致长江流域洪涝加重,长江流域年最大流量与 ENSO 存在一定的联系,年最大降水量的时空变化与南中国海及西太平洋地区环流配置存在较大关联。太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气和青藏高原中尺度对流系统的组配系统同时处于活跃阶段时,容易导致长江流域大范围、长时间的暴雨(张顺利等, 2002;黄嘉佑和高守亭, 2003)。春季北极涛动偏强且夏季急流位置偏北亦可导致夏季长江中、下游降水减少,反之亦然(龚道溢等, 2002)。

从致灾因子分析上,Yin 和 Li(2001)以及张建敏等(2001)认为,受到人为影响的长江流域水土流失、湖泊面积缩小等导致中下游泄洪能力减弱,是加重洪涝灾害的重要原因。并且,Yin et al. (2007)和马逸麟等(2003)还从河湖关系上分析了长江流域中下游洪涝的自然和人为因素。

2. 江淮梅雨研究

江淮梅雨一直是水循环变异研究的持续热点,徐群(1998、2007)通过长序列梅雨变化分析,认为梅雨的变化反映了东部夏季气候水循环及水资源分布的变化。梁萍等(2010)和胡娅敏等(2008)则在前者的基础上对梅雨指标的确定进行了新的探讨。陈艺敏和钱永甫(2004)对长江中下游 116 年来的梅雨的分析表明,梅雨量参数与雨季(6—7 月)相关性最好。同时,研究发现,2000 年以来,江淮梅雨呈北上推进的趋势(胡娅敏和丁一汇, 2009;司东等, 2010)。毛文书等(2006; 2008a; 2008b; 2008c; 2009)认为丰梅年南亚高压中心强度和西太平洋副热带高压增强,反之亦然。赵润华和江静(2009)则指出,江淮梅雨与西北太平洋台风存在显著的负相关关系。胡娅敏等(2010)则初步分析了江淮梅雨 4 种不同优势降水型所对应的大气环流特征及差异。

进一步的环流分析上,梅雨期间长江中下游降水与北半球 500 hPa 环流之间存在两种极显著的耦合相关型(杨秋明,2002)。王钟睿和钱永甫(2004,2005)也指出了海温异常对江淮流域入梅期的影响,并认为,相对于亚洲纬向环流指数而言,Nino3 区海温对江淮流域降水的影响较为重要,其影响在一些时段是同位相的,而在另一些时段是反位相的。同样,江淮流域梅雨期雨量异常的变化与太平洋海温的相关关系存在复杂的年代际差异,但与副高相关显著(姚素香和张耀存, 2006),与中国近海海温的相关关系最为显著(吴志伟等, 2006)。可见,大气环流系统的