

乌江流域精细化水文气象 预报服务技术

Wujiang Liuyu Jingxihua Shuiwen Qixiang Yubao Fuwu Jishu



胡跃文 吉廷艳 彭涛 向卫国 主编

 气象出版社
China Meteorological Press

乌江流域精细化水文 气象预报服务技术

胡跃文 吉廷艳 彭涛 向卫国 主编

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书作为项目研究成果,介绍了乌江流域降水天气特征、面雨量计算方法、水文基本特征,分析给出了流域主要水电站辖区面雨量阈值指标;分析了雷达定量降水估测(QPE)和预报(QPF)产品在乌江流域应用效果,提出了降水估测和预报的二次订正方法;分析了中尺度WRF模式对乌江流域降水预报效果;基于多种数值模式产品,分析了基于总体相似度的乌江流域降水集成预报方法应用效果;介绍了三水源新安江水文模型在乌江流域洪水预报试验结果;分析给出了试验流域QPE/QPF—径流耦合的确定性预报模型;介绍了与MICAPS系统融合的乌江流域水文气象精细化预报模块;介绍了基于计算机网络技术、数据库技术、GIS技术为核心开发的乌江流域精细化水文气象服务系统。本书可供气象、水文、水利等领域的科研人员及业务人员阅读及参考。

图书在版编目(CIP)数据

乌江流域精细化水文气象预报服务技术 / 胡跃文主编;
吉廷艳, 彭涛, 向卫国编. — 北京: 气象出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5029-6492-4

I. ①乌… II. ①胡… ②吉… ③彭… ④向… III.
①乌江-流域-水文气象学-气象预报-研究 IV. ①P339

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 290817 号

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 王凌霄 吴晓鹏

终 审: 邵俊年

责任校对: 王丽梅

责任技编: 赵相宁

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京建宏印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 10.5

字 数: 268 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序 言

乌江是长江上游南岸最大支流,横跨贵州省北部和重庆市东南部。自古以来,乌江为黔渝航运要道,水能蕴藏丰富,流域建有多座水电站,沿江区域是贵州主要的工农业分布区。乌江流域地势高差大,自然景观垂直变化明显,以流急、滩多、谷狭而闻名于世。由于流域地处山区,地形地势特殊,受西南低涡、西南季风、副热带高压等多种天气系统影响,天气复杂多变,暴雨频繁,干旱、洪涝等自然灾害多发,严重威胁着流域沿线水电站和传输电网正常安全,对西电东输工程、沿江工农业生产及人民群众生命财产安全影响很大。开展乌江流域精细化水文气象预报服务技术研究,为相关单位提供优质气象服务保障,对地方经济建设和防灾减灾工作意义重大。

水文气象预报技术是应用气象学的重要内容之一。在河流防洪、水库调度、水资源开发利用以及水电站安全运营等工作中,水文气象预报服务具有重要作用。随着天气雷达、气象卫星等探测技术的发展,数值天气预报技术的进步,计算机网络技术的突飞猛进,气象监测、预报和服务水平有了极大提高,为水文气象预报服务技术的发展创造了有利条件。为提升乌江流域水电发展和地方防灾减灾的水文气象服务保障能力,有必要开展流域定量降水和面雨量预报技术研究,完善流域降水监测预警系统,开发精细化水文气象预报服务产品,建立水文气象预报服务平台。

针对乌江流域水文气象服务技术,贵州省气象服务中心、成都信息工程大学和中国气象局武汉暴雨研究所等单位联合开展了深入研究,

取得了一些有意义的成果,经过精心编写形成本书。该书比较全面系统地阐述了乌江流域降水特征、降水和面雨量预报技术、水文模拟试验和预报模型、精细化水文气象服务技术等内容。该书内容丰富、实用性强,对水文气象预报服务工作具有很好的指导作用。

贵州省气象局局长 

2016年12月

前 言

乌江是我国长江上游南岸最大的支流,属典型的山区河流,支流众多,呈羽状水系分布,横跨贵州省北部和重庆市东南部,流域人口密度高于全国平均值,沿江建有多座水电站,乌江流域水电发电量占贵州全网总水电量的 70%,流域贵州境内建成投运的主要水电站包括洪家渡、东风、引子渡、索风营、乌江渡、大花水、构皮滩、思林、沙沱等电站。由于山区特殊的地形地貌,干旱、暴雨洪涝等自然灾害频繁出现,严重威胁着流域沿线电站的安全发电和电网正常运输,对西电东输工程以及人民群众生命财产造成严重影响,如 2009 年夏秋至 2010 年春,由于少雨高温天气,贵州大部地区出现罕见的夏秋及冬春连续干旱,2011 年贵州再次出现的严重干旱,造成乌江流域各水电站不能正常发电,2011 年水电减少约 140 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,西电东输受到严重影响,送电量比计划减少约 100 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,人畜饮水困难,经济严重受损;2014 年贵州出现的暴雨洪涝灾害在全国属重灾,进入汛期以后,多次出现大范围暴雨天气过程,造成全省多条河流超警戒水位,乌江流域多个县市发生严重内涝,损失惨重,全省洪涝灾害造成的直接经济损失高达 182 亿元。由此可见,开发建立乌江流域精细化水文气象服务系统,为相关单位提供优质气象服务,对地方经济建设和防灾减灾工作意义重大。

基于乌江流域经济社会发展对水文气象精细化服务的需求,由贵州省气象服务中心、成都信息工程大学和中国气象局武汉暴雨研究所等单位联合申报了科研项目“乌江流域精细化水文气象服务系统的研究与开发”,并得到 2013 年度公益性行业(气象)科研专项经费资助(GYHY201306059)。

项目立项后,研究工作进展顺利,项目组围绕任务要求,开展了大量研究,经过近 3 年的研究和开发,在乌江流域降水特征、流域面雨量计算方法、流域面雨量阈值指标分析、雷达定量降水技术研究与应用、中尺度模式 WRF 降水预报技术及应用检验、降水集成预报方法及应用检验、流域水文模拟试验、水文气象耦合预报模型研究、流域精细化水文气象服务产品设计、流域精细化水文气象服务系统开发等方面取得了重要研究成果。研究成果在业务服务及地方经济建设工作中发挥了重要作用,为气象服务工作提供了有力的技术支持,为乌江水电和相关行业的安全生产及水资源科学调度工作提供了重要保障,对水文气象预报方法和精细

化气象服务的发展具有推动作用。

基于项目研究成果,项目组精心编写了本书。全书共分8个章节,第1—3章介绍了乌江流域降水天气特征、面雨量计算方法、水文基本特征,分析给出了流域主要水电站辖区面雨量阈值指标。第3—6章分析了雷达定量降水估测(QPE)和预报(QPF)产品在乌江流域应用效果,提出了降水估测和预报的二次订正方法;分析了中尺度WRF模式对乌江流域降水预报效果;基于多种数值模式产品,分析了基于总体相似度的乌江流域降水集成预报方法应用效果。第7章介绍了三水源新安江水文模型在乌江流域洪水预报试验结果;分析给出了试验流域QPE/QPF—径流耦合的确定性预报模型;介绍了与MICAPS系统融合的乌江流域水文气象精细化预报模块;第8章介绍了基于计算机网络技术、数据库技术、GIS技术为核心开发的乌江流域精细化水文气象服务系统,系统主要包括数据采集、用户服务平台、系统配置管理、专题产品制作等子系统。本书内容丰富、数据翔实、分析具体,可作为水文气象业务、服务和科研工作中的参考和指导书籍。

本书由胡跃文、吉廷艳、彭涛、向卫国主编,参与本书编著的人员还有:李超、熊伟、王俊超、汪超、刘孙俊、宋丹、唐延婧、彭芳、夏晓玲、庞庆兵、严小冬、高红梅、苏静文、毛虎、贾金元、陈晓龙、刘伟等。

目 录

序言

前言

第 1 章 乌江流域降水特征	(1)
1.1 气候特征	(1)
1.2 天气特征	(11)
1.3 小结	(27)
参考文献	(28)
第 2 章 乌江流域面雨量计算方法研究	(29)
2.1 概况	(29)
2.2 研究现状	(29)
2.3 面雨量计算方法及实况举例	(30)
2.4 乌江渡流域面雨量计算及分析	(34)
2.5 小结	(37)
参考文献	(38)
第 3 章 乌江流域面雨量阈值指标分析	(39)
3.1 资料和方法	(39)
3.2 洪家渡电站面雨量阈值	(40)
3.3 东风电站面雨量阈值	(45)
3.4 索风营水电站面雨量阈值	(49)
3.5 乌江渡电站面雨量阈值	(52)
3.6 大花水电站面雨量阈值	(56)
3.7 构皮滩水电站面雨量阈值	(61)
3.8 思林水电站面雨量阈值	(64)
3.9 小结	(68)
参考文献	(68)
第 4 章 雷达定量降水技术研究与应用	(70)
4.1 雷达定量降水估测技术方法改进及效果检验	(70)
4.2 雷达定量降水估测和预报技术应用	(72)
4.3 小结与讨论	(79)
参考文献	(79)
第 5 章 中尺度 WRF 模式降水预报技术及应用检验	(81)
5.1 中尺度 WRF 模式降水预报技术	(81)
5.2 基于 WRF 降水预报的乌江流域面雨量预报效果检验	(85)

5.3	WRF 对乌江流域县站降水预报效果检验	(91)
5.4	小结与讨论	(93)
	参考文献	(94)
第 6 章	多模式降水集成预报方法及应用检验	(96)
6.1	基于总体相似度的降水集成预报应用检验	(96)
6.2	超级集成预报方法应用检验	(112)
6.3	小结	(114)
	参考文献	(116)
第 7 章	乌江流域水文气象耦合预报模型研究	(118)
7.1	耦合技术思路	(118)
7.2	水文模型选取及验证	(118)
7.3	基于 MICAPS 的乌江流域水文气象精细化预报模块	(130)
7.4	小结	(136)
	参考文献	(136)
第 8 章	乌江流域精细化水文气象服务系统开发	(138)
8.1	概述	(138)
8.2	系统体系架构	(139)
8.3	系统功能模块划分与设计	(150)

第 1 章 乌江流域降水特征

目前,关于区域降水事件的气候变化和趋势分析有过不少研究^[1-3],这对区域洪涝灾害预测预警和水资源科学利用具有重要意义。有专家就气候变化对乌江流域水资源影响开展过研究^[4-6],如:唐洪波^[7]研究指出,乌江流域径流分配与降水基本相应;秦年秀等^[8]分析了贵州思南以上乌江流域气候变化对水文水资源的影响,利用 ArcGIS 地理分析模块建立气温—降水—径流关系;赵玲玲等^[9]通过水文和气象资料验证了乌江流域蒸散发互补关系显著,1961—2007 年日照时数减少导致太阳辐射能量下降及年降水量的减少,致使可供蒸散发水量减少,可能是造成蒸散发互补关系下降趋势的主要原因。

乌江流域处于贵州北部,地形的影响使得降水天气呈现出复杂性和独特性。地形的迎风坡一般具有动力及屏障作用,可以使气流绕地形流动和被迫抬升,并且暖湿气流容易在中尺度地形迎风坡造成气旋性辐合^[10-11]。林之光^[12]在前人研究工作的基础上,系统总结了地形对降水的加强作用,指出山脉迎风坡降水和背风雨是湿气流对山脉地形响应所产生的地形降水的基本特征,降水在山脉迎风坡加强而在背风面大大减少是山脉地形对大气中的水汽输送和降水分布发生作用的主要表现形式。刘卫国等^[13-14]指出,地形的强迫抬升作用在很大程度上改变了地形云降水的特征,特别是迎风坡面地形抬升使云的发展增强,对流强度增强。郑庆林等^[15]指出,大尺度的青藏高原地形的绕流辐合作用以及秦岭—大巴山地区的迎风坡强迫抬升作用,均对降水产生增强作用。

分析和认识乌江流域降水气候特征和天气特征,对提降水气候预测和天气预报能力具有现实意义。

1.1 气候特征

1.1.1 资料和方法

利用乌江流域 33 个国家气象站 1963—2012 年降水资料,分别对流域四季雨量、年雨量和最大过程雨量进行了时空分布和线性趋势分析。33 个气象站点包括:赫章、毕节、纳雍、大方、织金、黔西、金沙、沿河、遵义县、湄潭、凤冈、思南、德江、威宁、水城、六枝、普定、安顺、平坝、清镇、贵阳、印江、乌当、花溪、修文、息烽、开阳、龙里、贵定、福泉、瓮安、余庆、石阡。

线性趋势分析是以年为自变量序列,以要素为因变量序列建立线性回归方程^[13],即 $\hat{x}_t = a + bt_t$,其中 a 为回归常数,其绝对值反映上升或下降的快慢程度, b 为回归系数或倾向率,表示气候变量 x 的趋势倾向。当 $b > 0$ 时,说明随时间 t 的增加变量 x 呈增加趋势;当 $b < 0$ 时,说明随时间 t 的增加变量 x 呈减少趋势。

1.1.2 年降水气候特点

乌江流域横跨贵州北部,西高东低,地势落差大,山区特殊的地形地貌和地理位置,造就了流域独特的气候特点。流域沿线 33 个气象站的气候资料分析表明,流域平均降水量为 1138 mm,多数年份降水在 900~1300 mm 之间(见图 1.1),2011 年降水异常偏少,仅为 795 mm。年降水的相对变率较小,一般在-20%~20%之间。降水主要集中在 4—10 月(见图 1.2),该期间降雨量平均为 992 mm,占全年降水的 87%。6 月是全年降水最多的一个月,平均为 216 mm,占全年降水的 19%。

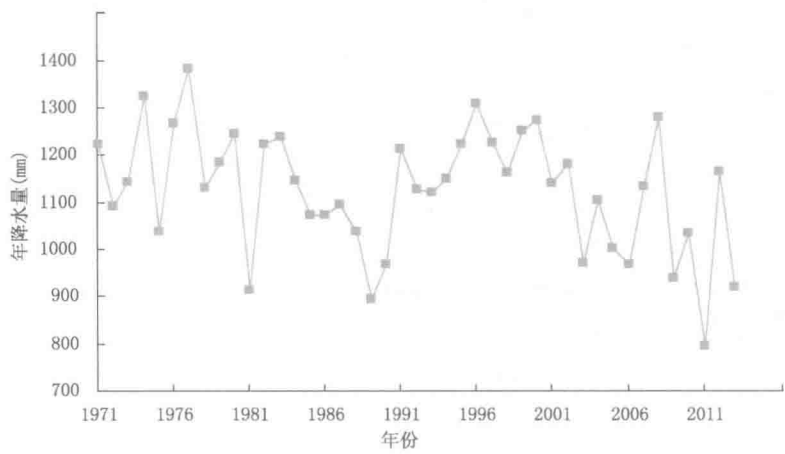


图 1.1 乌江流域年降水量变化曲线

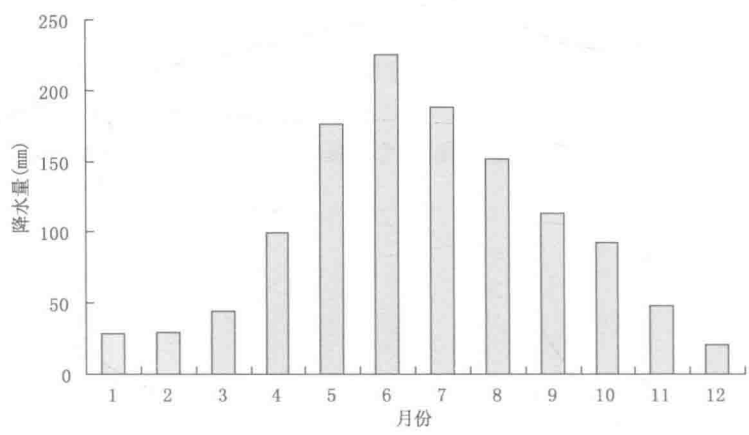
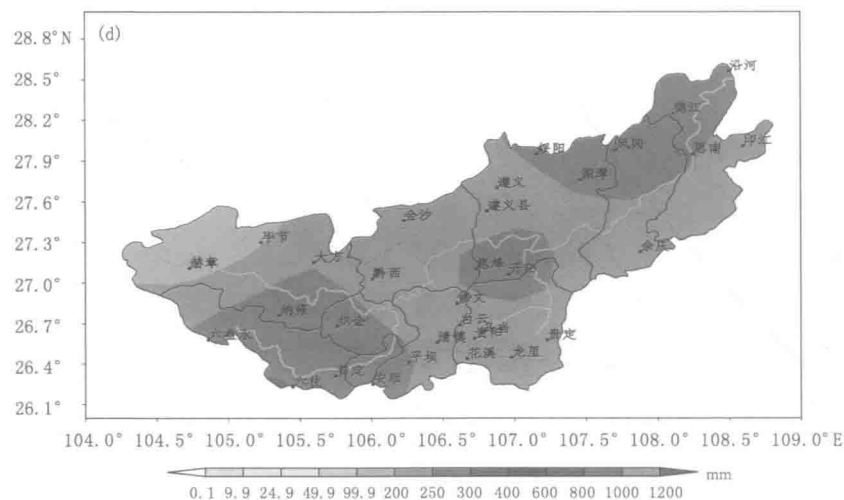
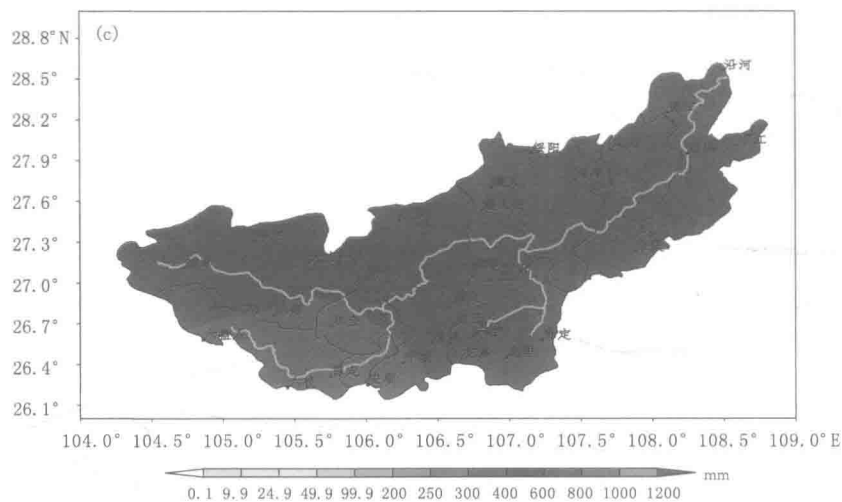
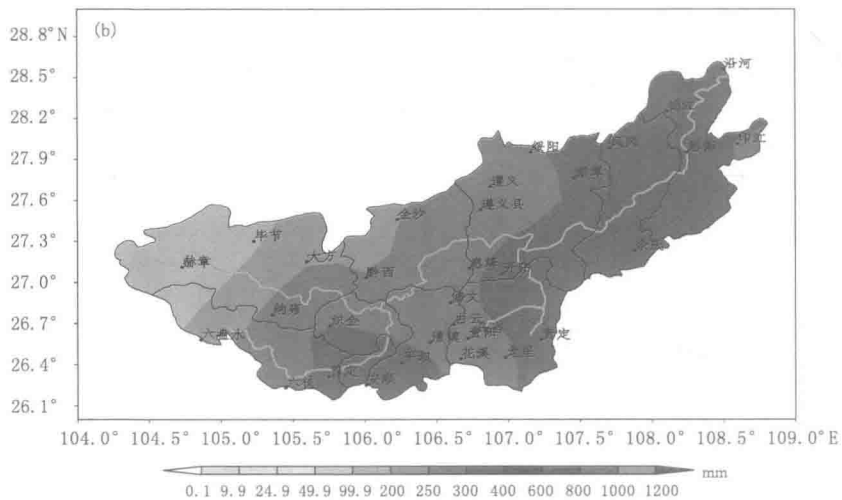


图 1.2 乌江流域月降水量变化曲线

流域内 10 个水电站辖区面平均年降水量表明各地年降雨量分布不均,各电站辖区面平均年降水量相差较大(见图 1.3)。降水量最多的区域在上游的南支流域三岔河,引子渡电站辖区和普定电站辖区年降雨量分别为 1320 mm 和 1305 mm;三岔河和上游北支流域六冲河交界处的东风电站辖区年降水量为 1212 mm,属于降水量次多的区域;降水量最少的区域则是中游的乌江渡电站辖区,年降水量为 1032 mm,与三岔河流域年降水量相差近 300 mm。其余电站辖区年降水量在 1100 mm 左右。



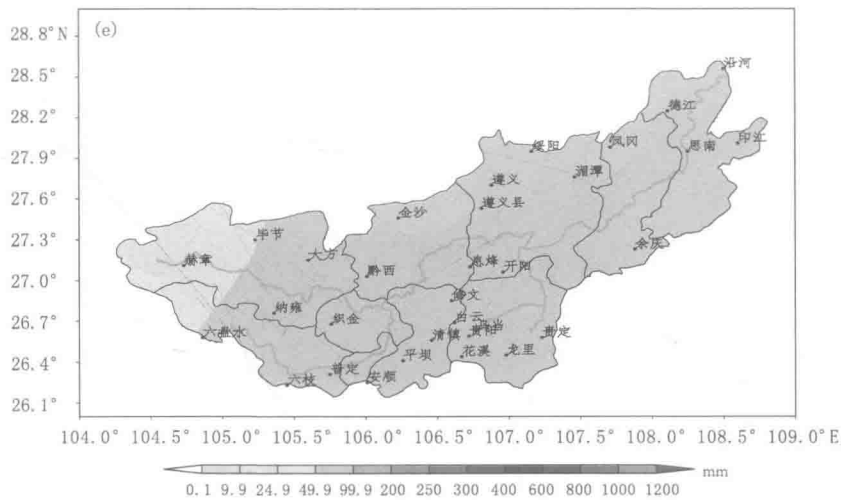


图 1.4 乌江流域年平均降水量空间分布

(a: 年降水量, b: 春季降水量, c: 夏季降水量, d: 秋季降水量, e: 冬季降水量)

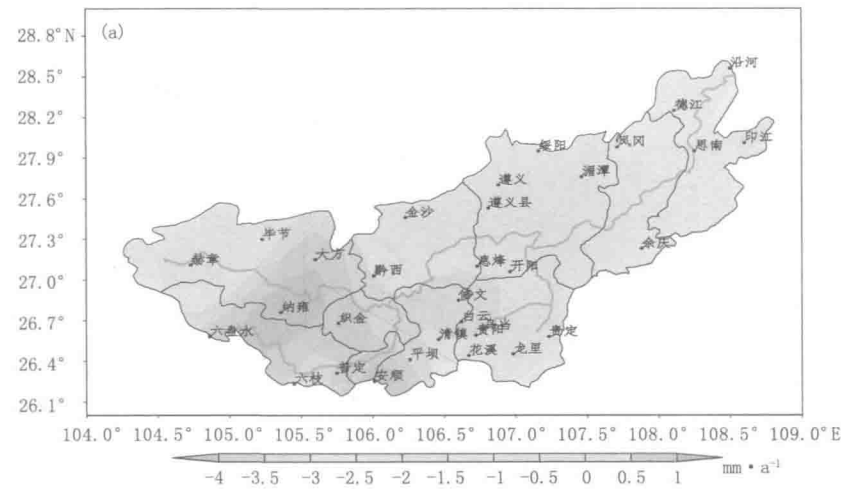
1.1.4 降水趋势

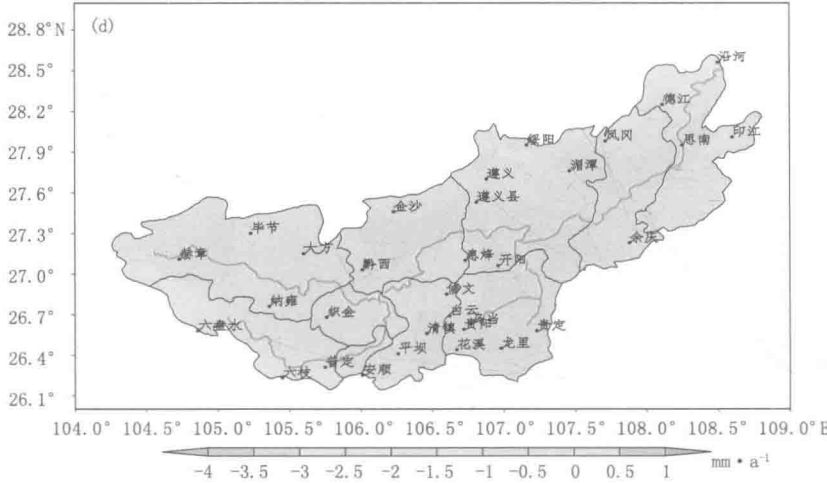
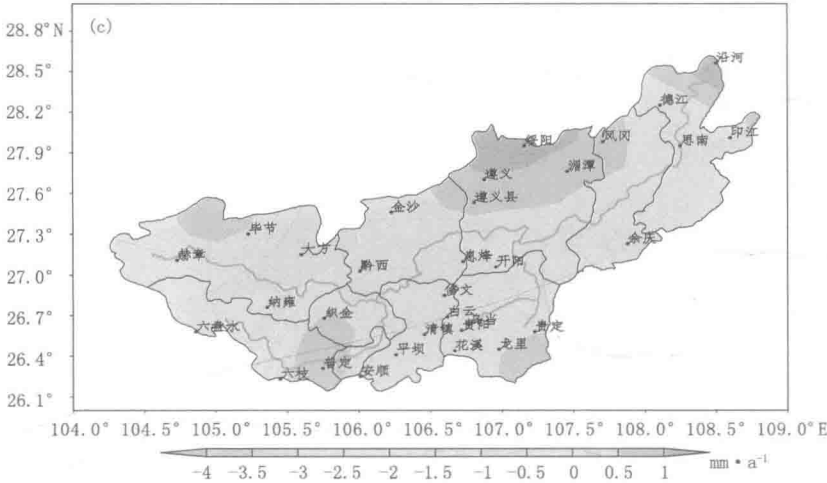
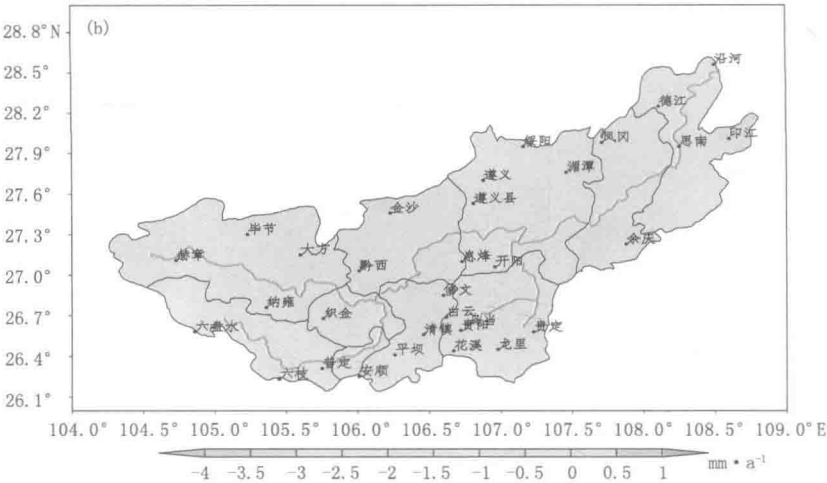
流域各站年降水量都有下降的趋势, 下降趋势显著的是安顺和纳雍, 倾向率分别为 $-5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $-4.6 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (见图 1.5a)。

春季降水量整体呈现下降的趋势, 其中, 织金的倾向率为 $-3.3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, 是流域下降趋势最明显的地方, 其次是安顺, 倾向率为 $-2.8 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (见图 1.5b)。

夏季降水趋势较为复杂, 中上游大部地区呈减少趋势, 少数站点呈增加趋势, 纳雍的倾向率为 $-1.5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, 是降水减少的中心; 下游呈增加趋势, 上升趋势较明显的是沿河, 倾向率为 $1.6 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (见图 1.5c)。

秋季降水呈下降的变化趋势, 下降幅度较大的区域主要位于上游南部和下游北部 (见图 1.5d)。六枝下降幅度最大, 其倾向率为 $-2.4 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。





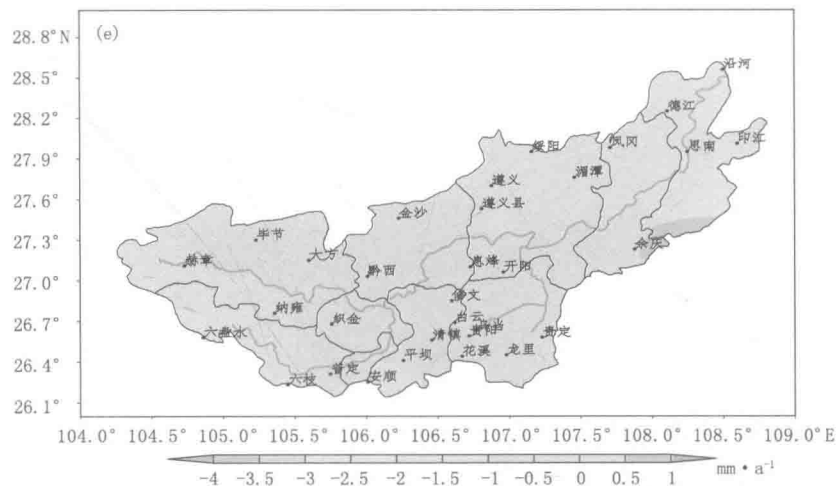


图 1.5 乌江流域降水量气候倾向率空间分布
(a:年,b:春季,c:夏季,d:秋季,e:冬季)

冬季降水量呈上升趋势(见图 1.5e),只有福泉、毕节有微弱的减少趋势(倾向率为 $-0.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$)。

由此可见,虽然整个区域的年降水量呈减少的趋势,但是在冬季和夏季的部分区域降水量有上升趋势,说明乌江流域的降水量存在季节性变化特征。

1.1.5 最大降水空间分布

图 1.6 是乌江流域年和季最大降水量空间分布图。春季和秋季最大降水量空间分布特征一致,均在六枝出现超过 100 mm 的最大降水量,在流域西部的威宁、赫章及大方一带最大降水量在 50~60 mm 之间,其余在 60~100 mm 之间。夏季最大降水量也与春秋季相似,但是最大降水量高于 200 mm 的有六枝和普定,而在 150~200 mm 的有水城、纳雍、织金、安顺、平

