

CHENGSHI JILAO YUBAO FANGFA YANJIU
JIQI XITONG KAIFA



城市积涝预报方法研究 及其系统开发

吴战平 马 力 等◎编著

气象出版社

城市积涝预报方法研究 及其系统开发

吴战平 马 力 等编著

气象出版社

内 容 简 介

本书包括“贵阳市主城区积涝预报研究及其系统开发”和“重庆市主城区积涝预报和方法研究”两部分。第一部分分析了贵阳市区强降水成因,估算了贵阳最大可能降水,详细介绍了两套贵阳市主城区积涝预报业务系统方案,进行了贵阳市积涝风险区划,并给出了贵阳市排涝减灾对策和措施。第二部分介绍了城市积涝仿真数学模型以及由此开发的重庆市积涝仿真模拟业务系统,探讨了重庆市主城区降水成因和最大可能降水,确定了重庆强降水积涝灾害风险区划,提出了重庆市积涝灾害排涝减灾对策,并简要说明了开展的业务试验情况。最后的附录部分还收录了与项目有关的5篇研究论文。

本书可以作为城市积涝仿真模拟的实例,为市政规划、市政建设、市政管理、城市应急指挥和防灾救灾的管理决策提供及时有效的信息,也可作为水文、气象、工程技术等领域科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市积涝预报方法研究及其系统开发/吴战平,马力
等编著. —北京:气象出版社,2007.11

ISBN 978-7-5029-4412-4

I. 城… II. ①吴…②马… III. ①城市-水灾-气象预报-贵阳市-文集②城市-水灾-气象预报-重庆市-文集 IV. P426.616-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 179877 号

出版者:气象出版社

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:李太宇 袁信轩

封面设计:张建永

责任校对:王 欢

印刷者:北京市中新伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 7.5 字 数: 192 千字

版 次: 2007 年 12 月第一版 2007 年 12 月第一次印刷

印 数: 1~600

定 价: 20.00 元

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编: 100081

电 话: 总编室: 010-68407112 发行部: 010-68409198

终 审: 黄润恒

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

本书是在科技部资助的社会公益研究专项资金面上项目《城市积涝预报方法研究及其系统开发》(编号 2002DIB20065)研究成果的基础上编写而成的。

城市是现代文明的发祥地,也是现代文明的集散地。城市,特别是大中城市,是一个区域的政治文化经济中心,对整个区域社会的影响十分巨大。实践证明,城市建设和管理者采取主动预防措施应对各种可能发生的自然灾害,将有利于整个区域社会的稳定与发展。

近一个世纪以来,随着经济与社会文明的进步,全球城市化一直呈加速发展的态势,城市数量越来越多,城市建设规模也越来越大,出现了人口在千万以上的超大城市。目前,我国也正处于城市化加速期,农村相当一部分人口向城市转移已成为我国社会发展的必然。国家统计局最新统计,2006 年,我国城市总数 661 个,其中地级及以上城市 287 个,城镇人口已达 5.77 亿,占全国总人口比重为 43.9%,城市化水平比 2002 年提高 4.8 个百分点,年均提高 1.2 个百分点。

随着城市规模的扩大,硬化地面增多,一旦发生较强降水,城区内低洼地带就易形成排水不畅、大量积水现象,造成交通中断、车辆被淹、人员被困、房屋进水以及设施被毁等一系列城市积涝灾害,从而严重影响城市的生产经济活动和市民的正常生活。贵阳、重庆是著名的山城,地势高低不平,道路相对狭窄,贵阳、重庆又都处于典型的亚热带多雨地带,暴雨的局部性很强,更易造成低处积水,由于近年来年平均暴雨次数有增多的趋势,每年因积涝灾害造成的损失会更加巨大。因此,针对减轻城市暴雨灾害损失的社会需求,科学评估和预报城市强降水气象灾害,帮助政府及有关部门方便快捷地了解城市强降水积涝分布状况,为城市防洪排涝提供科学的决策依据,开展城市积涝预报方法研究及其系统开发就显得愈发迫切和必要。

本项目研究是在贵州省山地环境气候研究所吴战平、重庆市气象科学研究所马力的共同主持下完成的。参加研究和编写的人员有刘清、周国兵、王新明、夏伯成、伍红雨、高阳华、郑小波、廖代强、罗宇翔、谷晓平、帅士章等。项目研究过程中得到了天津市气象科学研究所解以扬研究员、李培彦高级工程师、天津大学建工学院李大鸣教授的指教,得到了贵州省山地环境气候研究所刘丽高级工程师、贵州省气象信息中心兰方信高级工程师、贵州省气象台杨静工程师的协助,还得到了中国科学院遥感应用研究所和贵州、重庆两地许多同行的关心、支持和帮助,在此,我们对他们表示深切的谢意。

由于我们水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

《城市积涝预报方法研究及其系统开发》项目组

2007 年 9 月

目 录

序言

第一部分 贵阳市主城区积涝预报研究及其系统开发

1 项目概述	(3)
2 贵阳市区强降水成因分析	(5)
2.1 贵阳暴雨概况	(5)
2.2 贵阳暴雨成因分析	(6)
2.3 典型暴雨个例分析	(8)
2.4 结论	(11)
3 贵阳最大可能降水估算	(12)
3.1 概况	(12)
3.2 当地暴雨放大	(12)
3.3 可能最大暴雨结果比较及结果推荐	(13)
3.4 用极值分布法推算贵阳最大一日降水量的重现期	(13)
4 贵阳市主城区积涝预报业务系统(方案1)	(15)
4.1 概述	(15)
4.2 城市积涝仿真数学模型研究与业务系统的建立	(16)
4.3 建立积涝预报业务系统的做法与特点	(25)
5 贵阳市主城区积涝预报业务系统(方案2)	(26)
5.1 暴雨洪水淹没模拟系统功能	(26)
5.2 暴雨洪水淹没模拟系统技术路线	(27)
5.3 贵阳暴雨洪水淹没模拟系统实现	(34)
5.4 暴雨洪水淹没模拟系统特色	(37)
6 贵阳市积涝风险区划	(38)
6.1 区划要素的选择	(38)
6.2 区划原则及区划实施	(39)
6.3 区划结果分析	(41)
7 贵阳城市排涝减灾对策措施研究	(42)
7.1 提高气象部门在城市防洪排涝方面的能力建设	(42)
7.2 编制城市防洪预案和建立城市积涝灾害预警预估评估系统	(43)
7.3 做好城市防洪防涝规划工作	(44)
7.4 重视防洪排涝工程设施的建设和维护	(44)

7.5	加快非工程设施的建设	(45)
7.6	工程性措施与非工程性措施密切结合	(45)
7.7	加强城市防洪的科学研究	(46)

第二部分 重庆市主城区积涝预报和方法研究

8	项目概述	(49)
8.1	研究内容	(50)
8.2	研究技术方案	(50)
9	研究成果	(51)
9.1	城市积涝仿真数学模型	(51)
9.2	城市积涝仿真模拟业务系统	(54)
9.3	重庆市区强降水成因分析及最大可能降水估算	(59)
9.4	重庆强降水内涝灾害风险区划	(66)
9.5	重庆城市内涝灾害排涝减灾对策	(69)
9.6	业务试验	(71)
10	研究结论	(76)
附录一	贵阳市区强降水成因分析及可能最大降水估算	(77)
附录二	贵州夏季降水异常的环流特征分析	(85)
附录三	重庆市主城区积涝仿真模拟预报业务系统	(96)
附录四	地理信息系统在城市内涝研究中的应用	(101)
附录五	重庆市主城区可能最大降水估算研究	(106)

第一部分

贵阳市主城区积涝预报 研究及其系统开发

1 项目概述

贵阳市位于云贵高原东部,地处云贵高原的东斜坡上,属全国东部向西部高原过渡地带,是我国西南地区重要的中心城市之一。贵阳市地理位置在贵州省中部偏北地区, $106^{\circ}27' \sim 107^{\circ}03' \text{E}$, $26^{\circ}11' \sim 26^{\circ}55' \text{N}$ 之间,全市总面积 8032 km^2 , 最高海拔为 1762 m , 最低海拔为 506 m , 市中心平均海拔为 1000 m 。低纬度,高海拔,地形多样是贵阳地理的显著特征。贵阳市辖六区一市三县,市域总面积 8034 km^2 , 市区面积 2403 km^2 , 人口 332 万,是“全国卫生城市”、“中国优秀旅游城市”、“中国园林绿化先进城市”。贵阳中心区为南明区和云岩区,南明区面积 89 km^2 , 人口 47 万。云岩区面积 68 km^2 , 人口 53 万。城市,特别是大中城市,是一个区域的政治、文化、经济的中心,对整个区域社会的影响十分巨大。我国自 20 世纪 80 年代以来,城市水灾加剧现象愈来愈突出,尤其是近年来,随着城市规模的扩大,在城区内出现了大量的低洼地带,一旦发生强降水就易形成排水不畅并形成大量积水的现象,造成交通中断、车辆被淹、房屋进水、人员被困以及设施被毁等一系列城市积涝灾害,严重影响了城市的生产经济活动和市民的正常生活,这样的事件可以说是不胜枚举。可以预见,随着城市的发展和市场经济活动的增多,每年因积涝灾害造成的损失将会更加巨大。

贵阳市地处河源及分水岭地带,河流多属山区雨源型,比降较陡,洪枯流量变化大,遇暴雨极易形成洪涝灾害。南明河横贯贵阳市城区,随着城市建设的发展,市区在扩大,城市硬化度在提高,导致水流下渗透量减少,径流系数加大,特别是市中心区汇入了支流小车河、市西河、贯城河等,洪水有愈来愈大的趋势。因此,加强暴雨洪涝内涝风险分析,在充分把握灾害演变规律基础上,提高防汛指挥决策的科学化水平,具有重要意义。实践证明,对可能发生的各种自然灾害采取了主动预防措施的城市,对整个区域社会发展都会产生积极影响。为了便于对城市强降水气象灾害的科学评估和预报,帮助政府及有关部门方便快捷地了解城市强降水的积涝分布状况,以达到为城市防洪、排涝提供科学的决策依据,为政府相关部门防灾减灾提供决策依据,减免每年因积涝灾害对城市的发展和市场经济活动造成的损失,维护城市的正常生产经济秩序和市民的正常生活,我们开展了贵阳主城区积涝预报方法研究及其系统开发。

关于城市积涝问题,许多国家都不同程度地开展了相关研究。如美国在城市降水径流模型及城市排水系统的数值计算模型的开发上取得了显著成绩,最有代表性的是城市暴雨雨水管理模型(SWMM),对城市排水系统有很强的模拟计算功能。城市洪水风险研究在日本极受重视,日本建设省土木研究所逐步发展完善起来的都市水灾害系统分析模型具有代表性。

将数值模拟方法用于水灾研究,在我国虽然起步较晚,但发展迅速。以二维不恒定流理论为基础的洪水演进数值模型不仅用于多处蓄滞洪区的洪水决堤泛滥过程计算,并且于 20 世纪 90 年代应用于广州、沈阳、海口等城市的洪水风险分析研究中。中国水利水电科学研究院研制的以城市地表洪涝现象为对象的城市的洪涝灾害仿真模型,具备了一定的模拟城

市内涝的能力,并用于深圳、广州、上海的洪涝灾害风险评估工作及城市规划中。

1998年以来,天津市气象科学研究所与中国水利水电科学研究院减灾中心合作,在原有的城市洪涝仿真模型的基础上,研制了天津市城区沥涝仿真模型。该项工作是气象部门与水利部门在城市强降水灾害数值模拟领域的合作,首次实现了城市暴雨内涝的地面积水模拟与城市管道水体模拟之间的结合,并将雨量自动监测信息和数值天气预报信息代入仿真模型,使该模型具备了一定的沥涝动态监测预报能力,在国内处于领先地位,部分成果达到国际先进水平。

贵阳市气象资料统计表明,近年来年平均暴雨次数有增多的趋势,我们在贵阳得到的调查结果也显示出社会对城市积涝的危害愈来愈敏感。众所周知,贵阳是著名的山城,地势高低不平,道路相对狭窄,再加上贵阳处于典型的亚热带山区地带,影响该地的大气系统复杂多变,因而暴雨的局部性很强,且汛期暴雨发生频繁,更易造成低处积水。考虑到由于贵阳是典型的山区城市,在地理特征、城市规划、排水策略等多方面具有典型的城市个性特征,为了使城市暴雨积涝灾害监测、预报、灾害风险评估系统更加符合本地特点,我们研究的思路是:充分研究造成贵阳市强降水的天气气候成因和进行最大可能降水估算;引进天津城市内涝仿真数学模型,在结合贵阳市区地理地貌和排水管网现状的基础上,研究开发适合山城地形特点的城市积涝仿真数学模型,重点改进模型数据结构及概化方式,提高模型的适用性;充分利用卫星遥感资料的优势,进行自然地理条件下的积涝风险区划,提出贵阳市防洪排涝的对策措施,为城市整体防洪规划提供科学依据。

暴雨是贵州一种主要的灾害性天气,由暴雨造成的洪涝灾害常危及国民经济和人民生命财产、严重的可带来巨大损失,特别是大暴雨是引起贵阳洪涝灾害的最主要和最直接的原因。如1996年7月2日的贵州特大洪涝灾害,贵阳市、凯里市及十多个县城被淹,造成贵州农作物受灾1754万亩^①,经济损失高达160亿元。贵阳市南明河7月2日中午洪峰超过警戒水位2.83 m,超过了1921年以来的历史最高记录,奔腾咆哮的河水,任意肆虐着沿河两岸低洼地区,市内南明河上不少桥梁被冲跨,洪峰时冲毁了甲秀楼桥上的护栏和涌上桥面,河水翻过甲秀桥;市区内不少低洼街道已是汪洋一片,市内护城河已被淹没;甲秀楼左侧的观水巷水深近2 m,附近不少宿舍职工被围困达14 h之久。1991年长江中下游特大洪涝灾害,贵州省暴雨洪涝也是“百年不遇”,受灾人口1171万,农作物受灾1138.91万亩,成灾731.38万亩,直接经济损失19.1亿元。因此,研究贵阳暴雨发生发展的成因和规律,做好预报服务与防灾减灾工作具有重要意义。我们利用贵阳45年的实测资料,对贵阳1960—2005年出现的暴雨规律进行分析,并探讨暴雨发生的成因。

^① 1亩=1/15 hm²

2 贵阳市区强降水成因分析

2.1 贵阳暴雨概况

气象上规定某观测站日降雨量(降水时段为 20 时到 20 时)大于或等于 50 mm 为暴雨,大于或等于 100 mm 为大暴雨,大于 200 mm 以上为特大暴雨。从 1960 年到 2005 年这 45 年中,贵阳站共出现暴雨 127 次,其中含大暴雨 11 次,贵阳未出现过特大暴雨。贵阳站平均每年出现 2.8 次暴雨。最大暴雨出现在 1996 年 7 月 1 日 20 时—2 日 20 时,降雨量达 197 mm,历史罕见,这次大暴雨过程造成贵阳市 60 年代来最严重的洪涝灾害。大暴雨过程有 6 次出现在 90 年代,说明 90 年代贵阳多大暴雨天气。有 5 年(1966、1975、1981、1982、1990 年)贵阳站无暴雨天气出现,1975 年是贵州的大旱年。在 1988、1991、1992、1998 年,每年出现 6 次暴雨天气过程,是贵阳暴雨次数出现最多的年份,这同时也是贵阳洪涝灾害严重的年份。统计近 45 年贵阳站暴雨可以得出:80 年代贵阳站出现暴雨的次数是最少的,有 23 次,而 90 年代贵阳出现的暴雨次数最多,有 33 次;2000 年到 2005 年出现暴雨有 17 次,说明 90 年代后到现在贵阳的暴雨天气更加频繁。

由表 2-1-1 看出,贵阳 90 年代出现大暴雨次数是最多的,达 6 次,而 80 年代未出现暴雨,这与贵州 20 世纪 90 年代是多洪涝,80 年代多干旱是一致的,贵州近半世纪最大的洪涝灾害发生在 1991 年、1998 年。暴雨是造成洪涝灾害最主要的原因,1991 年、1996 年、1998 年贵阳出现了大暴雨天气,都造成贵阳市严重的洪涝灾害。

表 2-1-1 贵阳站出现大暴雨的年代统计

年代	1960—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2005
暴雨次数	2	2	0	6	1

表 2-1-2 看出,贵阳站 1960—2005 年在 1 月、2 月、11 月、12 月均未出现过暴雨天气过程,冬季无暴雨出现。6 月出现的暴雨次数最多,有 39 次,7 月次之,有 35 次,5 月有 20 次,暴雨主要发生在 5、6、7 月,这 3 个月的暴雨占总暴雨次数的 74%。贵阳在秋季也有暴雨出现,但相对 5、6、7 月大为减少,而春季的 3 月仅出现过 1 次暴雨,4 月出现 3 次。暴雨发生在 5—10 月的频率占总暴雨次数的 96.8%,暴雨天气过程主要出现在 5—10 月。

表 2-1-2 贵阳 1960—2005 年 3—10 月暴雨发生比率

月份	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11—2 月
次数	1	3	20	39	35	12	9	8	0
频率(%)	0.8	2.4	15.7	30.7	27.6	9.4	7.1	6.3	0

2.2 贵阳暴雨成因分析

贵阳出现强降水和贵州范围出现大范围的暴雨天气密切相关,而贵州暴雨天气的发生与大尺度环流形势异常的配置和影响天气系统及高、低空急流密切相关。

2.2.1 大尺度环流形势

上世纪 90 年代贵州暴雨天气频繁,下面就 1991 年 7 月 1—11 日,1996 年 7 月 1—2 日,1999 年 7 月 15—16 日出现 3 次强降雨过程分析如下(贵阳出现大暴雨,造成洪涝灾害):

这三次过程均是在欧亚中高纬环流从纬向往经向转变过程中出现的。下面以 1991 年 7 月 1—11 日的贵州连续性暴雨为例,分析大尺度环流特征。在 100 hPa 上,贵州大部地区处在辐散区,南亚高压偏西偏弱。500 hPa 上,乌拉尔山附近发展成高压脊,脊前西北气流引导其北部的低涡快速向东南移至巴尔喀什湖一带,贝加尔湖低涡向东南加深,涡前暖平流导致在俄罗斯远东到雅库茨克附近建立一个阻塞高压脊,形成较为典型的双阻型梅雨环流形势。两高之间是一宽广的低槽区,即乌拉尔山附近到 100°E 之间有一深厚的低压槽,西太平洋副热带高压呈带状分布,脊线呈东北—西南走向,位置稳定在 22°N ,副高偏南。孟加拉湾低压稳定,维持强大的西南暖湿气流输送水汽,与南下的冷空气频繁交汇在长江中下游。由于西太平洋副热带高压稳定,使得西风带小槽东移速度减慢,有利于中低层低涡切变系统的维持和发展,造成这次贵州连续性暴雨天气。

2.2.2 影响系统分析

对贵州 20 世纪 90 年代出现的暴雨天气过程的影响系统进行总结如下(这同时也造成贵阳出现强降水天气):

贵州省近 14 年暴雨天气过程影响系统统计:统计站数为 73 站,统计时段 1990—2003 年。贵州有 8 个站出现暴雨就定为一次贵州暴雨天气过程。

根据以上的统计结果,我们把引起贵州暴雨天气的影响系统分为以下 5 个类型:

①冷锋低槽型;②低涡切变型;③两高切变型;④南支槽型;⑤台风型。

具体分析如下:

(1) 冷锋低槽型

影响区域选在 $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$

①08 时 500 hPa 槽前西南风 $\geq 10\text{ m/s}$;

②08 时 700 hPa 切变或低槽或涡前部西南风 $\geq 10\text{ m/s}$;

③08 时 500 hPa 槽前为负变高,槽后为正变高;若槽前后均为正变高时,槽后正变高大于槽前正变高;若槽前后均为负变高时,槽后负变高小于槽前负变高;

④08 时 500 hPa 和 700 hPa 上,槽前有大于 2°C (ΔT_{24}) 的冷平流;

⑤08 时 500 hPa 和 700 hPa 上,宜宾、西昌、威宁、昆明之间有一湿中心或湿舌。

符合上述模式指标时,当天夜间至第二天白天有暴雨过程(历史拟合率为 69%)。

(2) 低涡切变型

模式影响区域选在 $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$

① 25°N 以南, $90^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 之间西南气流不断增强, 当天 08 时 500 hPa, 切变线南侧或低涡前部或西南风 $\geq 8\text{ m/s}$, 700 hPa 切变线南侧或低涡前部或西南风 $\geq 6\text{ m/s}$;

② 08 时 500 hPa 和 700 hPa 上, 切变线南侧有 $\geq 1^{\circ}\text{C}(\Delta T_{24})$ 的暖平流增温, 切变线北侧有 $\geq 2^{\circ}\text{C}(\Delta T_{24})$ 的冷平流降温;

③ 08 时 500 hPa 和 700 hPa 上, 30°N 以南, 110°E 以西有一湿中心或湿舌。

符合上述模式指标时, 当天夜间至第二天白天有暴雨过程(历史拟合率为 78%)。

(3) 两高切变型

① 500 hPa 上, 青藏高压(或有高压环流)与副热带高压形成两高切变, 位于贵阳西北侧, 呈南北向, 或呈东北—南向;

② 切变线北侧有冷平流配合;

③ 700 hPa 和 850 hPa 有切变或气旋性环流配合, 地面在省内静止锋或有冷空气影响。

表 2-2-1 贵州省近 14 年暴雨天气过程影响系统统计

日期 (年-月-日)	雨型	日期 (年-月-日)	雨型	日期 (年-月-日)	雨型
1990-05-29	冷锋、低槽、低涡切变	1990-09-21	冷锋、中低层切变	1991-05-26	冷锋、低槽
1991-06-03	冷锋、中低层切变	1991-06-15	冷锋、低槽	1991-07-01	弱冷锋、低槽、切变
1991-08-08	高原槽	1991-09-03	冷锋、低槽	1992-05-06	冷锋及东移的东亚大槽
1992-05-14	低槽及切变	1992-06-13	冷锋、低槽、切变	1992-06-21	冷锋、低槽、切变
1992-07-04	低槽、低涡切变	1992-07-19	低槽及中低层低涡切变	1992-08-21	冷锋、低槽
1992-10-04	冷锋、低涡切变	1993-06-01	低槽	1993-06-17	南支槽、切变
1993-07-19	低槽、切变	1993-08-12	南海热带低压	1994-05-21	冷锋
1994-06-08	南海台风	1994-10-08	低槽	1995-05-02	冷锋、低槽
1995-05-14	冷锋、低槽	1995-07-08	冷锋、低槽、低涡切变	1995-08-19	冷锋、南海台风
1995-09-27	低槽	1996-04-19	冷锋、低槽	1996-05-24	低槽
1996-06-01	静止锋、低槽	1996-06-20	冷锋、低槽、切变	1996-11-05	冷锋
1997-06-06	低槽及中低层切变	1997-07-14	低槽及中低层切变	1998-05-08	冷锋、低槽
1998-05-22	冷锋、低槽	1998-06-14	弱冷空气、副高外围	1998-06-22	地面热低压、高空副高
1998-07-22	高原横槽、中低层低涡切变	1998-08-27	冷锋、低槽、低涡切变	1999-04-14	弱冷空气、低槽
1999-06-17	冷锋、低槽	1999-06-22	低槽、中低层低涡	1999-07-10	低槽、切变
1999-07-16	低槽、低涡切变	1999-07-21	低槽、低涡切变	1999-08-25	低槽
2000-05-08	冷锋、低槽	2000-06-20	低槽	2000-07-08	台风外围
2000-07-15	副高东退, 西侧低槽东移	2000-08-20	两高切变	2000-09-25	冷锋低槽
2001-05-24	冷锋低槽	2001-07-31	两高切变	2001-08-10	两高切变、冷锋
2001-09-08	两高切变、冷锋	2001-10-26	冷锋低槽、低涡切变	2002-04-17	冷锋、低槽
2002-05-13	冷锋低槽	2002-05-29	高空冷涡槽、冷锋	2002-06-18	高空槽、南支槽
2002-06-28	长江横切变、高空槽	2002-07-18	低涡切变	2002-08-15	高空槽、静止锋
2003-04-29	冷锋低槽	2003-06-05	弱冷锋、高空槽、南支槽	2003-06-19	西北气流槽
2003-06-26	冷锋低槽	2003-07-05	两高切变	2003-07-19	高空槽、地面锋生
2003-09-20	两高切变、冷锋				

表 2-2-2 贵州暴雨过程月际分布

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
站数	0	0	0	5	14	20	16	9	6	2	1	0

(4) 南支槽型

- ① 08 时 500 hPa 上, $20^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 内有低槽出现并在 24 h 内影响我省;
- ② $16^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{N}$ 南海高压稳定维持, 暴雨前 12~36 h 贵州上空附近 850、700 hPa 上偏西南气流中气旋中心气旋性切变明显, 同时贵阳 3000 m 高空测风风向在 $180^{\circ}\sim 250^{\circ}$ 之间, 风速 $\geq 12\text{ m/s}$;
- ③ 500 hPa 的沙氏指数 ≤ -2 ;
- ④ 存在近饱和层, 最高可达 400 hPa, 平均比湿 850 hPa 为 12.2 g/kg, 700 hPa 为 8.0 g/kg。

(5) 台风型

特点: 08 时的三层天气图上, 有台风或热带低压, 其中心在赣州、柳州、广州一带, 500 hPa 上 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 均受台风环流或热带低压影响, 偏东或东北气流西侵到川东或川南附近。重庆、宜宾、昆明一线为偏东或东北风。

① 08 时 700 hPa 上威宁有 $\geq 10\text{ m/s}$ 的东或东北风; 500 hPa 上有 $> 4\text{ m/s}$ 的东或东北风, 毕节本站 14 时已出现东北风。

② 08 时 500 hPa, 兰州站的 $\Delta H_{24} \geq 1\text{ dagpm}$, 广州站的 $\Delta H_{24} \leq -4\text{ dagpm}$;

③ 08 时 500 hPa 和 700 hPa 上, 该区南部有一湿中心或湿舌。

符合上述模式指标时, 当天夜间至第二天白天有暴雨过程(历史拟合率为 61%)。

有关贵州暴雨情况见表 2-2-1 和 2-2-2。

2.2.3 低空急流活动

贵州暴雨与副高西北侧西南风急流常常相伴出现。1991 年 7 月 1—10 日的贵州连续暴雨过程, 一直维持着一支始于百色附近, 穿过长沙, 止于南京平均风速 $\geq 12\text{ m/s}$ 的 850 hPa 低空西南急流, 最强 20 m/s, 集中在很狭窄的地区, 轴线位置少动, 雨带少变。这支低空急流是向暴雨区输送水汽主要通道。输送的水汽对暴雨区的水汽、能量和动量输送起重要作用。中低层大气增温增湿形成湿对流不稳定, 在急流轴的北侧强烈的气旋性切变和正涡度平流加强, 造成强烈的辐合上升运动, 有利于暴雨产生。暴雨区位于急流北侧 100~200 km 范围内, 暴雨中心在强风速中心的左前方。

2.3 典型暴雨个例分析

(1) 1991 年 7 月 1—10 日贵州连续暴雨、大暴雨天气过程

天气形势: 1991 年 7 月 1—10 日, 500 hPa 等压面图上(图略)。丽江附近都存在一个低槽, 并且有湿舌与之对应。兰州到昌都也有一低槽, 副高脊线稳定在 22°N , 贵州处在槽前偏南气流控制下, 兰州附近的低槽把偏北气流的冷空气带入丽江的槽内, 促使两槽合并发展, 引导 700 hPa 的低涡东移影响, 构成东高西低型, 有利于连暴天气发生。

700 hPa 等压面图(图略)上,重庆有一低涡,人字型切变在蚌埠到重庆和重庆到昌都。在低涡中心,有一湿舌与之配合,贵州中部处于气旋曲率中,贵阳到重庆存在明显风向,风速切变。

在7月1—11日地面图上,江淮梅雨锋一直维持,而且在贵州中部的静止锋也维持。分析以上的影响系统可见,副热带高压的稳定和孟加拉湾低压存在,提供了大量的西南暖湿气流,中低层稳定的低涡切变形势和地面静止锋的相互配合,在我省上空停留较长时间而造成连续暴雨过程。而在12日以后,9106号台风登陆,这次连暴过程也结束。

这次暴雨洪涝,是“百年不遇”,受灾人口1171万,农作物受灾1138.91万亩,成灾731.38万亩,直接经济损失19.1亿元,这次过程普定降水达600 mm,为贵州的暴雨中心,贵阳在7月1日、8日、9日、11日都出现暴雨,其中9日出现大暴雨,11天中有4天出现暴雨。1991年在6月30日—7月13日的14天中就有61个站139次出现暴雨,六盘水、安顺、遵义、平坝、思南、凤冈等县降特大暴雨。由于暴雨过程时间长、降雨强度大,使我省7月大部分地区降水达300~600 mm,占全年总降雨量的34.8%~40%,形成百年不遇的特大洪涝灾害。受灾人口17万人,死亡820人,倒塌房屋5.63万间,死亡大牲畜4757头,农作物受灾 $7.63 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省耕地的42%。铁路干线全部中断,直接经济损失达19.1亿元。以六盘水、安顺经济损失最严重,达11.2亿元,占全省经济损失总数的59%。

(2) 1996年7月1—4日贵州暴雨、大暴雨过程

天气形势:在这次连续暴雨期间,中高纬度500 hPa欧亚地区以经向环流为主,在7月1日形成强大的阻塞高压,中心在鄂霍次克海附近,并维持少变。阻高西南侧低值系统不断有小槽东移,有弱冷空气南下经四川至我省北部地区。7月4日以后,中高纬阻高被低压中心切断,环流进行调整从经向型转变为纬向型,使有利于降水的中高纬度系统得以移出。低纬度副高西伸北抬,西南低空急流增强北移,7月1日前副高较弱,位置偏南,脊线在 15°N ,588 dagpm线仅在华南沿海,副高西北侧的西南低空急流在贵州南面的广西一带。其后副高突然增强西伸,7月2日588 dagpm线已达 30°N 以北且呈东北—西南向,阻挡了降水系统的东移。7月3日副高脊线已跳到 20°N 以北并继续增强西伸。由于副高的增强北抬,其西北侧的低空暖湿急流增强北移,控制我省大部地区。这支位于切变线南侧的低空急流向我省和长江中下游地区输送暖湿气流,提供充沛的水汽。切变线北侧同时存在一支偏东风的强风带,强偏南风与偏东风在我省产生强烈的气旋式辐合,形成低涡切变。7月4日副高588 dagpm线西北部控制我省东南部,影响降水的中低层低涡切变系统北退减弱消失,降水结束。

降水实况:7月1—4日,4天出现暴雨67站次,大暴雨19站次,4个站出现了200 mm以上的特大暴雨,有4个站的日降水量打破历史极值,2个站出现了3天连续暴雨,5个站为2天连续暴雨,7月2日贵阳出现了197 mm的大暴雨,为贵阳半个世纪以来最大值。这次降水过程来势猛、范围广、强度大,为历史罕见。

(3) 2002年5月13日暴雨过程

天气形势:欧亚中高纬环流型为多槽脊型,青藏高原东部为一明显的高原槽,槽底伸至高原南部,与孟加拉湾低槽相连。在我国沿海东南部地区,西太平洋副热带高压进入华南地区,沿着华南沿海和越南中北部一带,副高脊线在 20°N 以南,西伸点在 105°

E。另外,西亚副高明显偏小,位于阿拉伯东部至阿拉伯海北部一带(图 2-3-1)。在这种形势下,一方面冷空气路径将沿着高原东侧的四川盆地南下进入贵州;另一方面,由于副高位置偏东偏南,副高西侧的暖湿气流在中南半岛中北部与孟加拉湾强热带风暴东北部的强盛的西南暖湿气流汇合,并向北伸展,与上述南下的冷空气结合,在我省上空造成大到暴雨天气。

天气实况:12 日 20 时—13 日 20 时:共出现 1 站大暴雨、41 站暴雨、40 站大雨、1 站中雨。

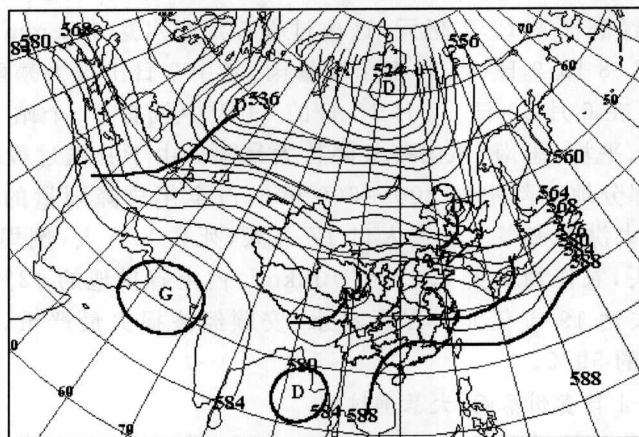


图 2-3-1 2002 年 5 月 13 日 08 时 500 hPa 高度场

(4) 2002 年 6 月 18—20 日暴雨过程

天气形势:2002 年 6 月 17—20 日,500 hPa 中高纬度呈两槽一脊形势。乌拉尔山以东至贝加尔湖以西为较强的高压脊,欧洲为一明显的低压,槽低南伸到地中海西部。在 110°E 以东的中高纬度为一宽广的低压区,西风气流在乌拉尔山东南方呈现分支现象,巴尔喀什湖和贝加尔湖一带存在一低槽。中低纬度则盛行纬向环流,多波动东移,无强冷空气活动。在我国东部沿海有一较深的低槽,南伸到 30°N 附近,它与稳定在鄂霍次克海的低压环流相连,构成东北—西南向的低槽区。西太平洋副热带高压呈东西向带状分布,脊线沿 20°N 附近西伸到南海西部,脊点达 110°E ,副高西北侧有较强的暖湿西南气流向北输送,与冷空气交汇在长江中下游一带,造成贵州连续性暴雨天气。

天气实况:18—20 日:共出现 6 站大暴雨、24 站暴雨、若干站大雨。

(5) 2002 年 8 月 20 日暴雨过程

天气形势:2002 年 14 号强热带风暴于 8 月 18 日在南海洋面形成,在副热带高压西侧偏南气流的引导下,缓慢北上。登陆后强度减弱,并与位于贵州东部的低涡切变系统结合,随之向西北方向移动。在此期间,副热带高压稳定增强西伸,副高脊线稳定在 25°N 左右,588 dagpm 线西伸点 18 日 20 时在 122°E ,19 日 08 时到达 118°E ,19 日 20 时到达 115°E 。这使得热带风暴东侧和副热带高压西侧之间的气压梯度加大,低空偏南气流加强。登陆后的热带低压与低涡切变结合,造成暴雨天气过程(图 2-3-2)。

天气实况:19 日 20 时—20 日 20 时:共出现 31 站暴雨、29 站大雨。

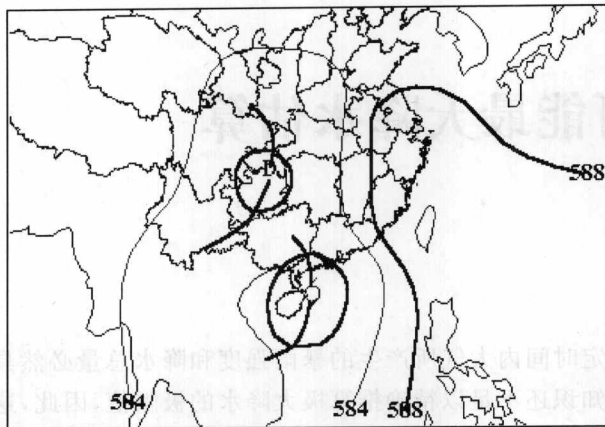


图 2-3-2 2002 年 8 月 20 日 08 时 500 hPa 高度场

2.4 结论

① 贵阳站暴雨天气主要出现在 5—10 月,暴雨发生在此时段的频率占总暴雨次数的 96.8%。6 月暴雨最多,7 月次之。

② 贵阳 90 年代后多大暴雨天气,而 80 年代未出现大暴雨,这与贵州 90 年代多洪涝,80 年代多干旱是一致的。

③ 贵阳强降水主要出现在双阻型环流形势下,强降水是冷锋、低槽、低涡切变、两高切变、台风及西南风低空急流等天气系统活动及相互作用的结果。

④ 西太平洋副热带高压呈带状分布,脊线呈东北—西南走向,位置稳定偏南,维持强大的西南暖湿气流输送水汽,与南下的冷空气频繁交汇在长江中下游。使得西风带小槽东移速度减慢,有利于中低层低涡切变系统的维持和发展,有利于贵阳出现暴雨天气。