

青藏高原东北侧 突发性暴雨分析研究与应用

◆ 主编 杜继稳

气象出版社

国家科技部公益项目

陕西省干旱遥感监测与突发性暴雨监测预警系统研究(2001DIB20095)

青藏高原东北侧突发性暴雨 分析研究与应用

主 编：杜继稳

副主编：张 弘 梁生俊
侯建忠 赵奎锋

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原东北侧突发性暴雨分析研究与应用/杜继稳,张弘,梁生俊编著. —北京:
气象出版社, 2005. 3

ISBN 7-5029-3933-4

I. 青… II. ①杜…②张…③梁… III. ①暴雨-研究-陕西省②暴雨-研究-内蒙古
IV. P426.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019728 号

气象出版社 出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxchs@263.net

责任编辑:黄丽荣 章澄昌 终审:汪勤模

封面设计:索彼工作室 版式设计:刘祥玉 责任校对:邢惠英

*

北京市京东印刷厂印刷

气象出版社 发行

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:499 千字

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷

印数:1~1000 册 定价:50.00 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

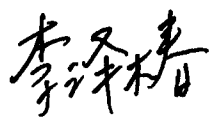
陕、甘、宁、内蒙古地处青藏高原东北侧,南部为东西向秦巴山山脉,北部为东西向阴山山脉,东部为南北向吕梁山山脉,西部为近于南北向的贺兰山山脉和六盘山山脉,其中除了甘肃陇南地区和秦巴山地外,主要部分为广阔的黄土高原和鄂尔多斯台地。这样的山文走向和地形分布同西风带环流相互作用,使得该地区的降水有着独特的分布规律,暴雨在形成机理上与华北、华东和华南暴雨有明显差异。

该区域主要部分属于干旱半干旱气候区域,生态环境比较脆弱。由于这两个原因,发生在该地区的暴雨具有双重性,它既补充了水资源,又极易造成局地洪涝和山地灾害。突发性暴雨是陕西典型的灾害性天气之一,通常来势猛、强度大、历时短且局地性强,常常引发严重的洪涝灾害和诱发局部山地灾害,给人民生命财产带来严重损失,生态环境愈脆弱,损失就愈大,加之此类暴雨发生前征兆不明显而预报难度大,因此愈来愈引起气象科技工作者的高度关注。但多年来对突发性暴雨研究主要是一般性的个例分析,研究缺乏系统性。

近几年来,陕西的气象科技人员,在承担国家科技部社会公益项目“陕西省干旱遥感监测与突发性暴雨监测预警系统研究(2001DIB20095)”中,以1970年以来发生在陕西的突发性暴雨为研究对象,综合使用现有探测手段和加密监测信息,采用中尺度分析技术和天气学分析、动力学诊断、数值模拟等方法,揭示出突发性暴雨许多新观测事实;对突发性暴雨的气候与降水分布特征,环流背景场,高低空流场、能量场、温湿场和动力场特征,高空与地面的中尺度系统的空间结构,中尺度对流云团等特征及其演变,有了相对系统的认识,并以此为基础系统研究了突发性暴雨的生成规律和演变机理;从实际业务出发,开发了突发性暴雨监测预警分析技术,建立了突发性暴雨监测预警服务业务流程,并开发了监测预警业务平台,为分析制作和发布突发性暴雨预警服务,提供了决策支持环境,提高了突发性暴雨预报预警能力和服务水平。

该研究的另一突出特点是:参加这次研究课题的大部分同志来自业务第一线,既有省级的预报员,又有地市台的预报员。他们对青藏高原东北侧的天气有着深刻的认识和丰富的实践经验,其研究注重理论和实践相结合,成果具有很强的实用性。通过近3年的研究,使他们既从理论上对暴雨有了更为系统的认识,又从实践上提高了预报能力和业务水平。同时为陕西培养了一批人才,推动了陕西气象业务的进步。

从该项目的整个研究来看,发现的突发性暴雨新观测事实,揭示的突发性暴雨生成规律和演变机理,深化了对暴雨的认识,丰富了暴雨理论,为陕西省突发性暴雨的监测预警服务提供了理论基础和技术指导,对其他地区开展突发性暴雨研究和监测预警服务也具有很好的指导意义和参考借鉴价值。

A handwritten signature in black ink, reading '李泽椿' (Li Zetong).

李泽椿(院士)

2004 年 12 月 15 日

前 言

青藏高原东北侧突发性暴雨分析研究与应用是国家科技部社会公益项目“陕西省干旱遥感监测与突发性暴雨监测预警系统研究(2001DIB20095)”项目中的主要内容之一,同时得到了陕西省科学技术厅攻关项目“突发性天气监测预警系统研究(2001K09—G7)”的支持和陕西省防汛抗旱总指挥部的资助。该项研究主要由陕西省气象台承担,参加该项目研究的还有陕西省宝鸡市气象台、咸阳市气象台、铜川市气象台、榆林市气象台的部分预报技术人员。主要完成人有杜继稳、张弘、梁生俊、侯建忠、孙伟、陈卫东、孙田文、赵榆飞、朱海利、刘勇、赵奎锋、宁志谦、慕建利、夏巧利、高宇、燕东渭、周文韬等。参加该项研究的这些同志都是天气预报业务一线的技术骨干和计算机应用开发的技术骨干,既有省台首席预报员,又有业务管理人员。他们在完成本职工作前提下,充分利用业余时间承担该项研究;一边履行管理职责,一边完成研究任务,正是经过他们的辛勤努力,圆满完成了国家科技部项目任务书的目标要求。

该项研究始终遵循“理论性成果必须出论文,应用性成果必须拿到业务中应用检验”的原则,边研究边应用边改进完善,研究开发成果及时在陕西省气象台和宝鸡、咸阳、铜川、榆林市气象台的预报业务中应用检验。2003年,陕西省气象局统一组织将项目研究开发成果向全省推广应用,其产品作为省气象台的指导产品下发至市、县气象台。在此,项目组全体成员向陕西省气象局及陕西省气象台、宝鸡市气象局、咸阳市气象局、铜川市气象局、榆林市气象局的各级领导和有关人员表示衷心感谢。在项目的研究开发和成果的应用中,还得到了陕西省防汛抗旱总指挥部的大力支持,在此一并表示感谢。

本文集精选出52篇论文,根据研究内容划分为5个部分,其中大部分论文已经在各级刊物或有关会议上公开发表或交流。现将论文汇编成集,呈上读者,旨在突发性暴雨研究进行更广泛的讨论和交流,进一步扩大在这一领域的合作,提高突发性暴雨的研究水平。但由于水平和客观条件所限,我们仅对青藏高原东北侧突发性暴雨进行了相对系统分析研究,难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

本文集在编辑、出版过程中得到了气象出版社和黄丽荣主任的大力支持。在整个项目的研究过程中,得到国内许多著名气象专家和学者的关怀和指导,特别是李泽椿院士在百忙中为本书作序,在此一并表示感谢!

作 者

2005年2月

目 录

序言

前言

监测事实

关于突发性暴雨的初步研究	杜继稳等(1)
青藏高原东北侧突发性暴雨地面能量场特征分析	杜继稳等(8)
2002 年 6 月 8 日佛坪突发性特大暴雨天气过程分析	刘 勇等(14)
一次台风与河套低涡共同影响的陕北暴雨分析	张 弘等(23)
中尺度对流系统(MCSs)散度场的特殊结构	张 弘等(31)
一次槽后“湿”对流风暴的中尺度分析	刘 勇等(37)
急流次级环流对一次长时间局地强风暴天气的作用	刘 勇(46)
一次陕西突发性暴雨的中尺度系统分析	孙田文等(53)
青藏高原东北侧突发性暴雨中尺度分析	张 弘等(59)
对流层低层偏东风在陕西 8.28 大暴雨中的作用	宁志谦等(64)
登陆台风对陕西一次强雷暴天气的作用	刘 勇(69)
突发性暴雨中尺度分离效果的对比分析	孙田文等(75)

综合分析

初夏高原东侧一次特大暴雨的综合分析	张 弘等(82)
台风与高原东北侧冷锋暴雨的环境场及云图特征分析	侯建忠等(92)
两次台风远距离暴雨的对比分析	张 弘等(99)
陕西一次特大暴雨天气过程分析	孙 伟等(107)
陕南两类突发性暴雨的对比分析	孙 伟等(114)
一次台风远距离突发性暴雨的特征分析	张 弘等(120)
陕北地区突发性暴雨和系统性暴雨的对比分析	赵榆飞等(126)
台风活动与青藏高原东北侧极端暴雨的相关及动力特征分析	侯建忠等(133)
陕西区域性暴雨和大暴雨的特征分析	侯建忠等(140)

诊断分析

青藏高原东北侧突发性暴雨的环流及动力特征分析	侯建忠等(146)
青藏高原东北侧一次中尺度对流复合体的环境流场及动力分析	侯建忠等(151)
黄土高原一次突发性局地特大暴雨过程的诊断分析	刘 勇等(158)
2002 年 6 月 8 日西安地区一次罕见暴雨成因分析	孟小绒等(166)
两次暴雨过程的能量和湿位涡分析	宁志谦等(171)

青藏高原东北侧突发性暴雨物理量场特征分析 陈卫东等(175)

一次突发性暴雨的诊断分析 孙 伟(180)

螺旋度在突发性暴雨分析中的应用 朱海利(184)

机理及数值分析

秦巴山区一次典型高原涡大暴雨成因分析 梁生俊等(189)

渭河流域一次突发性暴雨成因分析 梁生俊等(195)

“6.8”突发大暴雨过程和 β 中尺度低涡分析与数值模拟 慕建利等(201)

一次诱发山地灾害突发性暴雨数值模拟及诊断分析 慕建利等(208)

一次高原低涡突发大暴雨的数值分析 梁生俊等(216)

“98.7”青藏高原东侧大暴雨数值分析及截断水汽场数值试验 梁生俊等(221)

“浣熊”(0204)号台风与陕西 6.8 大暴雨的模拟及诊断分析 侯建忠等(225)

陕西历史最早暴雨成因初步分析 梁生俊等(230)

陕西省一次暴雨的数值模拟及对比分析 周丽峰等(235)

业务应用

突发性暴雨个例档案库 陈卫东等(239)

地面能量天气图及软件设计 周文韬(243)

航危报天气图分析方法初探 燕东渭等(247)

基于 Micaps 平台的四维天气诊断分析系统 赵榆飞等(251)

陕西省天气雷达组网拼图系统 夏巧利等(256)

卫星云图显示及定量降水估算系统 高 宇等(260)

陕西省分县要素预报系统 张 弘等(264)

分县要素预报技术的进一步研究 张 弘等(269)

用多因子组合集成预报陕西关中大降水 侯建忠等(276)

一种暴雨相似天气预报分析方法 朱海利等(280)

一种集合暴雨预报方法 朱海利等(283)

η -坐标中尺度数值预报模式在陕西大降水中的应用 梁生俊等(286)

MM5-V3.5 中尺度数值预报模式业务应用 慕建利等(290)

陕西省突发性暴雨监测、预警业务平台 赵奎锋等(296)

附录:项目验收专家组意见 (302)

关于突发性暴雨的初步研究

杜继稳¹ 张 弘² 孙 伟¹ 梁生俊¹ 陈卫东² 侯建忠¹

(1. 陕西省气象台, 陕西西安 710015; 2. 宝鸡市气象台, 陕西宝鸡 721000)

摘 要

针对青藏高原东北侧提出了突发性暴雨的定义。并将突发性暴雨同一般性暴雨作了分析比较, 发现二者的主要差异表现在降水历时和降水强度上。另外, 突发性暴雨高空环流场可归纳为三种类型: 低槽副高型、副高控制型、西北气流型。

关键词: 青藏高原东北侧 突发性暴雨

陕、甘、宁、内蒙古交界地区地处青藏高原东北侧, 山文走向独特, 其中南部为东西向秦巴山脉, 北部为东西向阴山山脉, 东部为南北向吕梁山山脉, 西部为近于南北向的贺兰山山脉和六盘山山脉, 其中除了甘肃陇南地区和秦巴山地外, 主要部分为广阔的黄土高原和鄂尔多斯台地。这样的山文走向和地形分布同西风带环流相互作用, 使得该地区的降水有着独特的分布规律, 使得该地区的暴雨在形成机理上不同于华北暴雨, 也不同于华东或华南暴雨。

陕、甘、宁、内蒙古交界地区主要部分属于干旱半干旱气候区域, 生态环境比较脆弱。由于这两个原因, 发生在该地区的暴雨具有双重性, 它既带来水资源, 但同时带来局地山地灾害和洪涝灾害。文献^[1]曾分析指出, 在西北地区暴雨是利大于弊的天气, 暴雨多的年份, 往往大范围降雨也较多, 解除了西北地区农业干旱, 有利于农业丰收。实际中不是所有暴雨天气都带来灾害, 那种降水历时长, 雨强小的暴雨一般不会带来灾害, 而那种降水历时短、雨强大、降雨集中的暴雨则易带来灾害。有人曾将暴雨分为两类^[2]: 一类是区域性暴雨, 另一类是局地突发性暴雨。后一类暴雨的影响范围虽然不及前者, 但它由于来势猛, 强度高, 往往造成的灾害损失就大得多。特别是雨前征兆不明显, 高空环境场系统不清楚, 因而难以预测的暴雨就会带来更为严重的灾害。本文对后一类暴雨做了初步的分析研究。

1 突发性暴雨定义

通常将日雨量 ≥ 50 mm 定义为暴雨。但在不同地区则根据当地气候、雨量、生态和影响特点, 重新划定对当地有影响的强降水日雨量标准。如新疆将日雨量 ≥ 10 mm 称为大降水, 甘肃西部和青海将日雨量 ≥ 25 mm 称为重要天气或叫大到暴雨^[3]。在高原东北侧, 仍

沿用全国通用暴雨日雨量标准 ($\geq 50 \text{ mm/d}$)。对那种降水历时短、雨强大、降水集中,雨前征兆不明显,因而难以预报且损失严重的暴雨称之为突发性暴雨。针对高原东北侧的陕西,我们普查了 1970~1999 年的全部暴雨个例,特将突发性暴雨定义如下:

- (1) 中心降雨强度 $\geq 30 \text{ mm/6h}$, 且 $\geq 50 \text{ mm/12h}$;
 - (2) 降暴雨站数 ≥ 3 站且连片 (利用现有气象测站);
 - (3) 暴雨发生前 12 小时, 在 $95^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$, $27.5^{\circ}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 范围内, 500 hPa 无明显低值系统。
- 我们将符合该条件的暴雨称之为突发性暴雨。

2 突发性暴雨气候特征

根据突发性暴雨定义, 1970~1999 年内的 31 年间, 陕西共出现突发性暴雨 34 例, 发生频率为 1.1 次/年, 最多时 2~3 次/年, 少则当年不发生。陕西暴雨发生季节比较长, 最早出现在 3 月份, 最晚 11 月份, 历时约 8 个多月。而突发性暴雨则主要发生在 5~10 月, 其中 7~8 月为突发性暴雨发生的高峰期, 如表 1 所示。从表 1 中还可以看出, 我们将陕西分成陕北、关中、陕南三个自然区, 发生在不同自然区域中的突发性暴雨几率, 自北向南依次增加。但差异不是太大, 这同一般性暴雨有较大的区别, 一般性暴雨时, 陕南发生频率较其他地区高出一倍以上。另外还发现, 在 34 例突发性暴雨中, 24 小时最大雨量超过 100 mm 的大暴雨过程有 14 例, 占 41.2%。突发性暴雨因其局地性强特征, 在陕北、关中、陕南各自然区单独发生突发性暴雨的有 23 次, 占 68%, 跨地区出现的有 11 次, 占 32%。

表 1 陕西 1970~1999 年突发性暴雨基本情况统计表

出现月份	出现次数	出现月份	出现次数	落区	出现次数
5	2	8	3	陕北	10
6	4	9	3	关中	14
7	11	10	1	陕南	17

3 突发性暴雨时间分布特征

我们制作了一般性暴雨和突发性暴雨降水随时间变化直方图。图 1 是一般性暴雨降水直方图, 可以归纳为两类: 一是单峰型, 降水历时长达 24 小时以上, 只有一个峰值, 雨强小, 最大雨强为 7 mm/h ; 二是双峰型, 降水历时在 24 小时以上有两个峰值, 最大雨强在 5 mm/h 以下。图 2 是突发性暴雨降水随时间变化直方图, 可以归纳为三类: 一是单峰陡型, 降水历时短在 11 个小时以内, 呈现单峰, 雨强大, 最大达 25 mm/h 以上; 二是单峰缓型, 较单峰陡型, 降水历时稍长, 约 20 个小时, 呈现单峰, 但雨强略小, 最大雨强达 12 mm/h ; 三是双峰型, 在 16 个小时内, 出现两次降水峰值, 雨强大, 最大达 27 mm/h 以上。以上可见, 一般性暴雨同突发性暴雨在降水时间分布上的差异是明显的, 主要表现在降水历时和降水强度上。

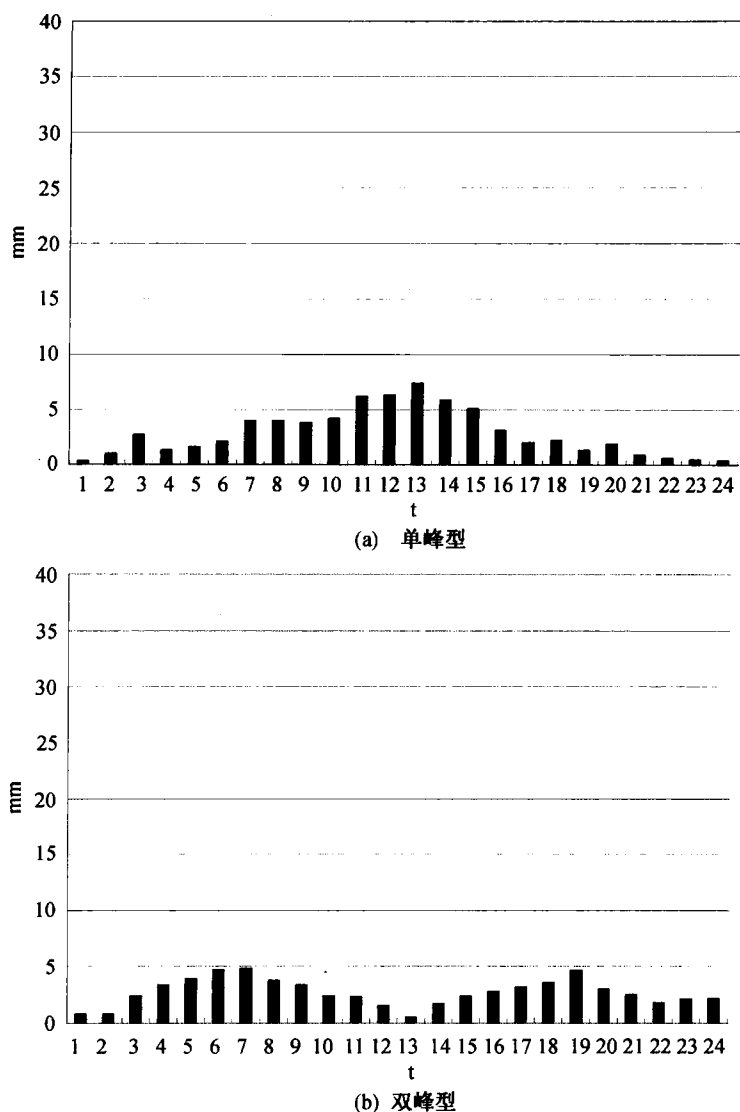
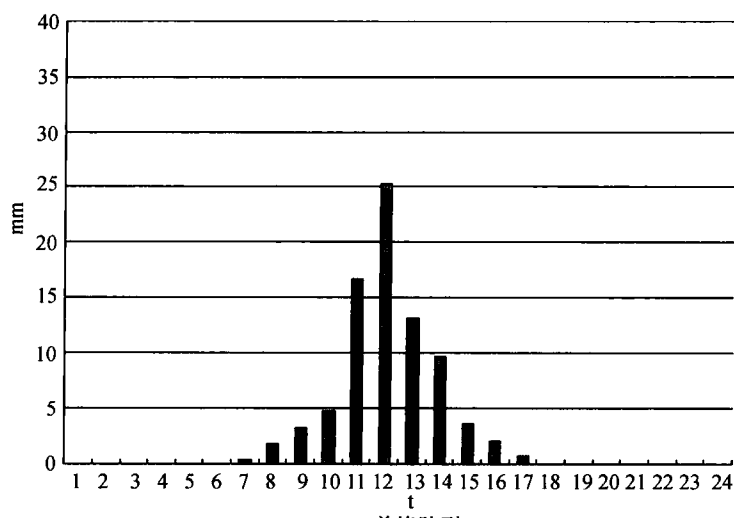


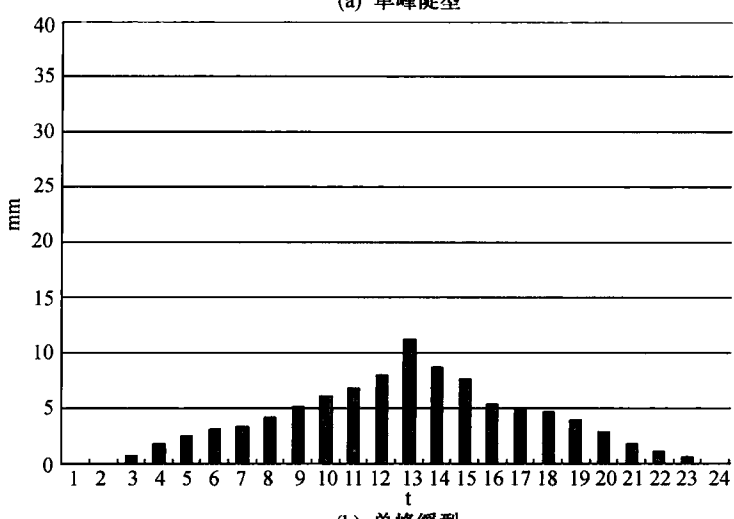
图1 一般性暴雨降水随时间变化直方图

4 突发性暴雨高空环境场特征

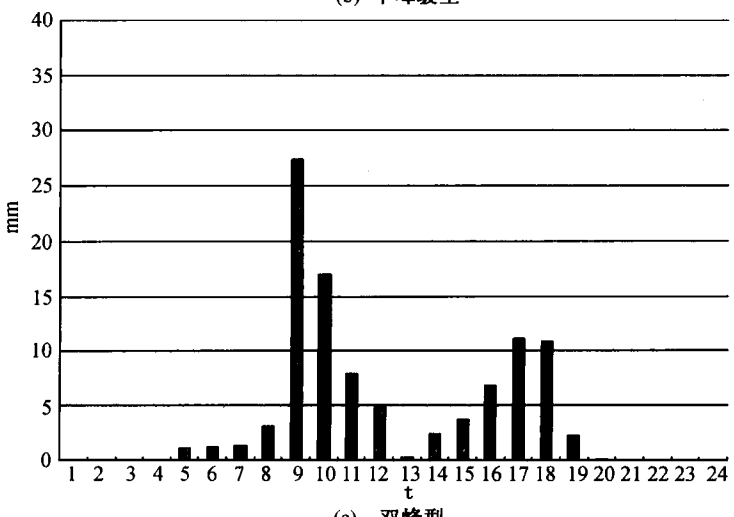
根据1970~1981年20时500 hPa逐日天气图将暴雨环流分为四种类型，即西北气流型、西风槽型、西南气流型、低涡切变型。每种类型均有主型（粗线）和副型（细线），如图3所示。暴雨发生以西风槽型和西南气流型为主，其次是低涡切变型，西北气流型暴雨频率最小。按照突发性暴雨定义普查了全部突发性暴雨个例降水前12小时500 hPa天气图，并作了分析比较，发现一般性暴雨天气系统可分为三种类型：一是西风槽型，二是西南气流型，三是低涡切变型。而突发性暴雨高空环境场可分为以下三种类型：



(a) 单峰陡型



(b) 单峰缓型



(c) 双峰型

图 2 突发性暴雨降水随时间变化直方图

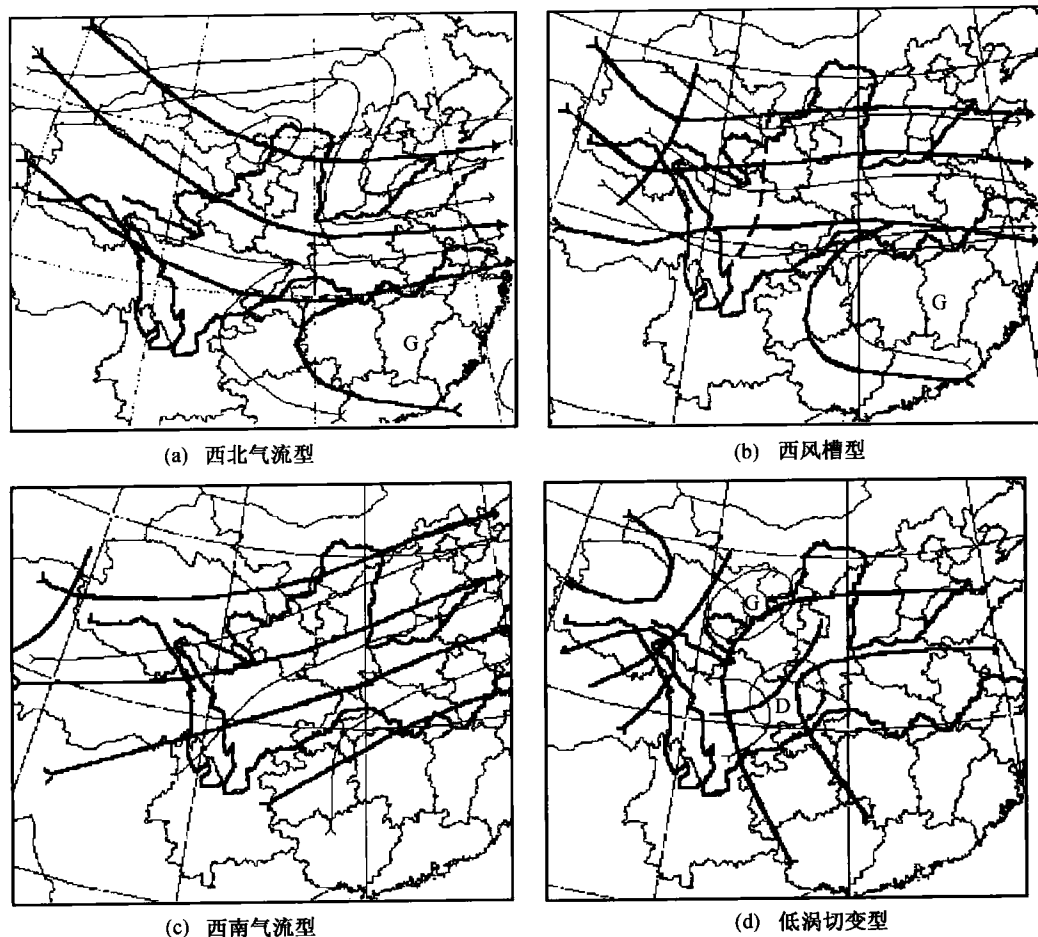


图3 一般暴雨环流分型

4.1 低槽副高型

亚洲区内，中低纬度 500 hPa 高度场呈东高西低分布，东西高度差 $\Delta H > 8$ 位势什米， $70^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 为长波槽（或低涡）。蒙古附近有冷涡配合。副热带高压较强，588 位势什米线北界在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ ，西伸至 110°E 以西。西安高度： $580 \text{ 位势什米} < H_{\text{西安}} < 588 \text{ 位势什米}$ 。

此类型下，高原东侧受副热带高压边缘的西南气流（ $V \geq 12 \text{ m/s}$ ）控制，上下层湿度条件较好。但是影响系统距离暴雨区较远，故短期预报的难度较大。这类突发性暴雨的产生，大多是新疆长波槽快速加深东移，在高原东侧形成小槽（或低涡）影响本省所致，暴雨落区多在关中、陕南一带。

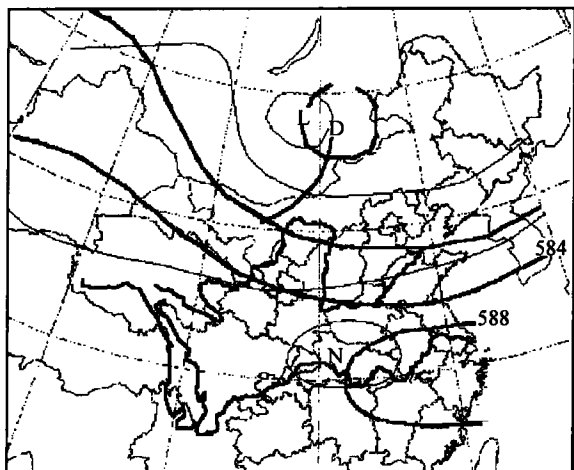


图 4 低槽副高型

4.2 副热带高压（副高）控制型

副热带高压强盛， $H_{\text{西安}} \geq 588$ 位势什米，蒙古—贝加尔湖附近有低涡（或低压），并常有强冷空气配合，500 hPa 高度场分布为北低南高， 40°N 以北为东西向的强冷锋区。该形势下，陕西省关中、陕南受副热带高压控制，天气晴热，而陕北在其北部的冷锋南压东移影响下，出现较强的暴雨过程。

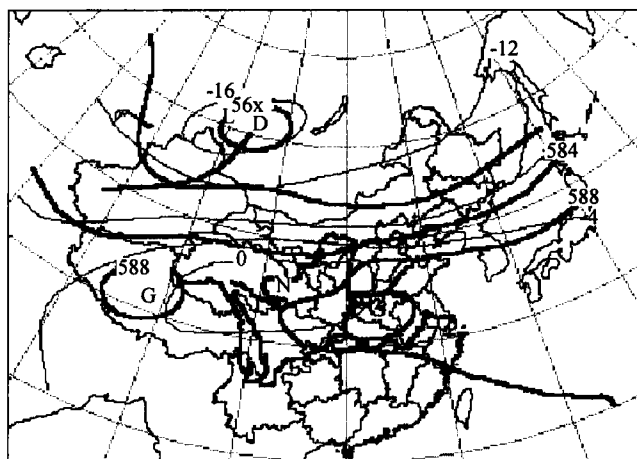


图 5 副高控制型

4.3 西北气流型

贝加尔湖附近有低涡（或低压），河套以西为西北气流控制。亚洲区内，中低纬度带气流平直。

此类环流条件下，暴雨的产生均是贝加尔湖底部的冷空气在较强的 NW 气流引导下直接影响陕西省。这类暴雨具有更强的突发性和局地性，暴雨落区的随机性也较大。

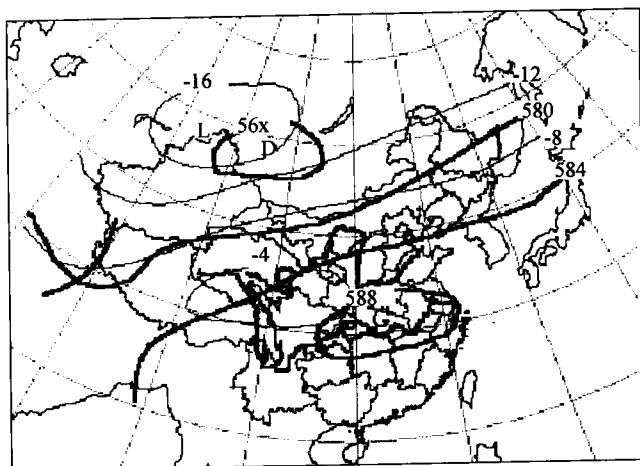


图 6 西北气流型

5 结论

通过以上分析，可以得出以下结论：

- (1) 暴雨不一定是灾害性天气，但突发性暴雨一定是灾害性天气。
- (2) 突发性暴雨发生在 5~10 月，其中 7~8 月为突发性暴雨发生峰值期，达 70.6% 以上。
- (3) 突发性暴雨降水历时短，雨强大，而且降水局地性强。
- (4) 突发性暴雨发生前期高空环境场系统不明显，其背景可分为三种类型，即低槽副高型、副高控制型、西北气流型。

参考文献

- [1] 白肇烨，徐国昌. 中国西北天气 [M]. 北京：气象出版社，1988
- [2] 袁恩国，廖移山，杨荆安. 东风波内突发性暴雨 β 中尺度研究. 85-906-08 课题组，暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究. 北京：气象出版社，1996，37~44
- [3] 西北暴雨编写组. 西北暴雨 [M]. 北京：气象出版社，1992

青藏高原东北侧突发性暴雨地面能量场特征分析

杜继稳 李明娟 张 弘 孙 伟

(陕西省气象台, 陕西西安 710015)

摘 要

利用国家基本站常规气象观测资料和全部气候站加密气象观测资料, 采用地面能量比图方法, 发现: 突发性暴雨发生时, 地面能量场存在 α 中尺度 Ω 系统, 其空间尺度陕北在 200~300 km, 关中在 250~450 km, 生命史均在 10~15 h。突发性暴雨发生在 Ω 系统发生发展的最强盛时期, 落区位于该 Ω 系统的高能比轴附近。

关键词: 突发性暴雨 中尺度 Ω 系统

陕西地处青藏高原东北侧, 发生在这里的突发性暴雨不同于一般性暴雨^[1,2], 由于它具有降水时段集中、雨强大、局地性强的特征, 加上降水前环流特征不明显, 不易捕捉降水征兆, 具有突发性。因此, 它在脆弱的生态环境中带来的危害更大。近年来, 气象工作者和水文、地质灾害工作者都对该类暴雨给予极大的关注, 试图寻找它的监测手段和分析技术, 研究它的发生、发展和消亡的演变规律及其成因, 在此基础上研究其预报方法。根据我国目前监测手段, 除了能够获取国家基本站地面气象观测天气图资料外, 还可获得全部气候站一天 3 次 (北京时 08、14、20 时) 地面加密气象观测资料, 本文试图利用上述条件, 从地面能量场角度, 分析它同突发性暴雨及其落区的关系。

1 分析方法及资料

马鹤年^[3]曾针对青藏高原东北侧, 把“邻近地面等压面”上单位质量空气的相对湿静力能量和位势能之比称之为“地面能量比”, 并表示为:

$$K_{EG} = T_{\sigma G} / (P_0 - 950)$$

式中 $T_{\sigma G}$ 为地面相对总温度, P_0 为海平面气压。实际分析表明, 该方法对不同属性小股空气的分布状况反映灵敏, 而且其大梯度的高能区往往是配合有一定动力抬升条件的位势不稳定区。在夏季地面冷空气往往比较弱, 常规天气图不易分析出, 该方法显然是一个有效的分析工具。文献[3, 4]曾利用该方法, 分析在冷锋、静止锋、锢囚锋和在暖区均有次天气尺度 Ω 系统分布, 中间为高能比轴, 两边为两低能比轴并指向中间高能比轴, 反映两小股干冷空气夹挤中间暖湿空气, 暴雨区往往处于高能比轴附近。但必须指出的是, 文献[3、4]限于当时的条件, 是利用国家基本站地面气象观测资料, 采用上述方法分析出次天气尺度 Ω 系统的。大家知道国家基本站的数量是非常有限的, 就陕西省来说, 全省共有 19 个, 平均间距在 80~120 km。鉴于目前条件, 除了国家基本站资料外, 还有全部气候站加密观测资料, 二者加在一起, 陕西省共有 96 站, 平均间距在 30~50 km, 同样, 现在还可获得邻省全部测站地面观测资料, 显然, 它能够反映出中尺度系统及其演变。为

此，我们仍采用地面能量比方法，分析突发性暴雨的地面能量场特征。

我们共选取了 8 个突发性暴雨个例，如表 1 所示，其中有 3 个个例雨区落在陕北，4 个个例落在关中，1 个个例雨区落在关中西部、陕南西部。计算分析突发性暴雨发生前一天、当天和后一天 02、08、14、20 时地面能量比图。

表 1 选取的突发性暴雨个例

序号	个例日期	降雨落区	地面形势
1	1987.7.9	陕北北部	冷锋
2	1987.8.26	陕北北部	冷锋
3	1993.8.3	陕北北部	副冷锋
4	1986.7.8	关中西部、中部	副冷锋
5	1988.7.19	关中西部、中部	副冷锋
6	1991.7.27	关中中部	暖区—副冷锋
7	1992.8.11	关中西部、中部	暖区—锢囚锋
8	1980.7.1	关中西部、陕南西部	暖区—副冷锋

2 地面能量比图特征分析

在分析的 8 个突发性暴雨个例中，3 个陕北突发性暴雨个例的降水落区和地面能量场分布特点，具有相同的特征；4 个关中突发性暴雨个例，除 1991 年 7 月 27 日发生在关中中部的突发性暴雨个例外，其余 3 个个例不论落区还是地面能量场分布特点，均具有相同的特征。因降水落区和地面能量比场的关系因地区而异，我们针对陕北、关中突发性暴雨的地面能量场特征分别讨论：

2.1 陕北突发性暴雨

在三个陕北突发性暴雨个例中，我们以 1993 年 8 月 3 日突发性暴雨为例来讨论。此次降水从 3 日 21 时开始，到次日 06 时结束，持续 9 个小时，造成 8 站暴雨，且中心值达 96 mm。暴雨前期，500 hPa 副热带高压强盛，副高脊线位于 26°N 附近，陕西省关中、陕南受副热带高压控制 ($H_{西安} \geq 588$)。贝加尔湖以西有一低涡，并有强冷空气配合。中纬度 500 hPa 高度场分布为西北低东南高，为典型的副高控制型^[1]。贝湖低涡底部分裂出来的小股冷空气与副高西北侧的暖湿气流在高原东北侧交汇而触发了陕北的突发性暴雨过程。

对应分析 8 月 3 日 02、08、14、20 时和 4 日 08 时能量比图，可以发现对应在地面能量比天气图上，表现为中尺度 Ω 系统的发生、发展和消亡过程。

(1) 发生发展阶段

从降水的发展过程来看，大体可以认为 8 月 3 日 20 时前为中尺度 Ω 系统的发生发展

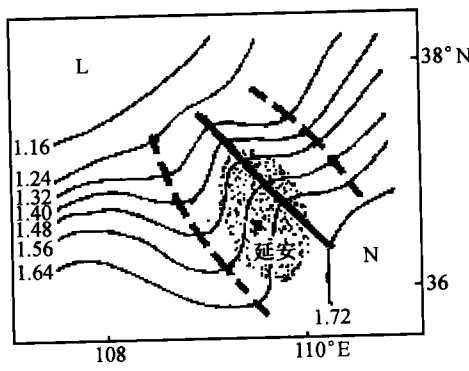


图 1 1993 年 8 月 3 日 20 时地面能量比图 (阴影表示暴雨落区)