



北京地区

暴雨、强对流天气分析与 预报技术

孙明生 高守亭 孙继松 易志安 著

内容简介

本书共分五章。第一章介绍暴雨、强对流天气的成因、特征、危害及预报方法。第二章介绍北京地区暴雨、强对流天气的气候特征。第三章介绍北京地区暴雨、强对流天气的监测。第四章介绍北京地区暴雨、强对流天气的预报。第五章介绍北京地区暴雨、强对流天气的防御。

本书可作为气象专业及相关专业教材，也可供从事气象工作的技术人员参考。

北京地区暴雨、强对流天气分析与预报技术

孙明生 高守亭 孙继松 易志安 著



气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书是作者近 30 年来针对北京地区暴雨、强对流天气分析预报、教学和科研成果的总结,是一部具有较高学术价值和丰富预报经验的研究性专著。

本书包括暴雨和强对流天气分析预报两部分,暴雨部分介绍了北京地区暴雨气候特征、暴雨主要天气系统、典型个例分析、环境条件以及暴雨预报动力学基础与暴雨集合动力预报技术;强对流天气部分介绍了北京地区强对流天气气候特征、强对流天气主要天气系统、典型个例分析、大中尺度环境条件、地形及下垫面影响、两类强对流天气对比分析及强对流天气预报技术。

本书重点明确、特色鲜明、内容丰富、实用性强,可作为广大气象预报人员、科研人员、有关院校师生教学和研究参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

北京地区暴雨、强对流天气分析与预报技术/孙明生等著.

北京:气象出版社,2012.7

ISBN 978-7-5029-5516-8

I. ①北… II. ①孙 III. ①暴雨—天气分析—北京市 ②暴雨—天气预报—北京市

③强对流天气—天气分析—北京市 ④强对流天气—天气预报—北京市

IV. ①P426.62 ②P425.8 ③P45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 127104 号

Beijing Diqu Baoyu、Qiangduiliu Tianqi Fenxi Yu Yubao Jishu

北京地区暴雨、强对流天气分析与预报技术

孙明生等 著

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

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:400 千字

版 次:2012 年 7 月第 1 版

定 价:48.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

彩 页:1

印 张:14.75

印 次:2012 年 7 月第 1 次印刷

序

暴雨、强对流天气是北京地区最重要的气象灾害之一,每年都会对社会经济和人民生命财产造成较大危害。随着社会经济的发展,气候变化与气象灾害越来越受到社会各界的关注与重视。由于暴雨、强对流天气是在有利的大尺度环境条件下的中小尺度天气过程和小概率事件,对它们进行准确的分析和精细化的预报,目前还是十分困难的。为了更及时、准确地预报北京地区暴雨、强对流天气,提高防灾、减灾能力,就需要对发生在北京地区的暴雨、强对流天气进行深入、细致和系统的研究,但目前这方面的专著相对来说,还是很少。因此,《北京地区暴雨、强对流天气分析与预报技术》一书的出版,对从事暴雨、强对流天气分析与预报研究,特别是从事北京地区暴雨、强对流天气分析与预报的气象工作者而言,是非常及时和重要的。

本书的作者来自北京军区空军气象中心、中国科学院大气物理研究所和北京市气象局,他们中既有从事教学和科研工作,有着深厚理论造诣的气象科研工作者,又有预报一线,具有丰富实践经验的气象业务工作者,并且这些作者都具有从事暴雨、强对流天气研究与预报工作几十年的经验,在湿空气动力学、中尺度平衡动力学以及中尺度短时和临近预报方法等领域研究成果丰硕。本书即是作者近30年来针对北京地区暴雨、强对流天气分析预报、教学和科研成果的总结,是一部既有较高学术价值,又有丰富实际预报经验总结的专著。正因为如此,该书的内容充分体现了学术上的创新性,如第5章的广义湿位涡和广义湿位温、对流涡度矢量、广义标量锋生、湿热力平流参数和水汽垂直螺旋度等理论,都是作者在这一领域中取得的新的研究成果,是分析预报中尺度动力过程特别是湿大气过程的新理论和新方法。注重理论知识和实际预报紧密结合是本书的又一显著特点,如第5章、第13章分别介绍了集合动力因子暴雨预报技术和强对流天气预报技术。另外,虽然是一部学术研究和预报经验相结合的专著,但该书的内容保持了较好的完整性和一致性:从暴雨、强对流天气基本气候特征分析,到典型个例研究,再到大、中尺度环境条件对比分析、概念模式归纳,以及北京地形、城市边界层和热岛效应的影响,最后落实到预报问题,整部书的内容,循序渐进,这有利于读者系统地了解 and 掌握北京地区暴雨、强对流天气的活动规律和预报方法。书中还收集了大量宝贵而翔实的暴雨、强对流天气日历和天气型,为气象预报与科研人员进一步深入地研究或预报北京地区暴雨、强对流天气提供了很好的基础性资料。

总体而言,这本专著创新性显著、重点明确、特色鲜明、内容丰富,是一本不可多得的可读性较强的暴雨、强对流天气分析与预报方面的专著,我相信该书的出版将加深人们对北京地区暴雨、强对流天气活动规律的认识,对提高北京灾害性天气预报能力与水平,起到重要作用。

陶诗言*

2012年3月28日

* 陶诗言,中国科学院士,中国科学院大气物理研究所研究员

前 言

我国是多自然灾害的国家,气象灾害占其中的70%以上。暴雨、强对流天气是北京地区夏季最严重、最常发生的气象灾害之一,往往给经济社会和国防建设等带来危害。防灾减灾、保障人民生命财产安全和经济社会正常运行,是气象部门的首要任务,及时准确的天气预报是其中十分重要的工作。预报员是天气分析、预报技术和方法的载体,在业务预报服务中发挥着主体作用。如何使预报员对北京地区暴雨、强对流天气发生、发展规律有所认识,进一步提高北京地区暴雨、强对流天气的分析与预报水平,为北京地区经济社会繁荣发展,提供有力的科技支撑,是作者撰写本书的主要目的所在。

本书主要内容基于军队重点科研项目“北京地区强对流天气监测试验”(1991—1995年)、科技部奥运气象保障项目(2001—2008年)“北京市夏季异常天气预测及应急措施研究”(2001B A904B09)、国家基金重点项目(2004—2007年)“华北强降水(暴雨)天气系统的动力过程和预报方法研究”(40433007)以及行业专项项目——“京津冀城市群强对流天气短时临近预报关键技术研究”(GYHY200706004);国家支撑项目——“京津冀城市群高影响天气预报中的关键技术——研究城市群高影响天气的特征和成因分析”(2008B AC37B01)等研究成果。在编写过程中,着重于北京地区暴雨、强对流天气的天气学分析与预报技术方法的介绍,其主要内容为暴雨、强对流天气的天气尺度分析,对于中小尺度问题也有所介绍。

天气学发展至今,已经不能仅仅停留在对天气系统形态的分析与描写上,而要进一步阐明它们的结构、发生、发展的物理图像,说明各类系统之间的相互作用。相应的研究方法也从单纯的天气图分析的定性描述发展至包括运用统计分析、动力诊断、数值模拟及模式产品应用等多种手段的定量分析。本书侧重于介绍造成北京地区暴雨、强对流天气环境条件及其概念模式和预报技术与方法,以求读者对北京地区暴雨、强对流天气系统的活动规律、分析与预报有一个基本的了解掌握。对从事天气预报人员把握北京地区暴雨、强对流天气过程及其预报技术,提高灾害性天气分析与预报能力,起到借鉴和参考的作用。

本书主要由两部分构成,第一部分为暴雨部分,主要介绍了北京地区暴雨的气候特征、暴雨主要天气系统、典型个例分析、环境条件以及暴雨预报动力学基础与暴雨集合动力预报技术。第二部分为强对流天气部分,主要介绍了北京地区强

对流天气气候特征、强对流天气主要天气系统、典型个例分析、大中尺度环境条件、地形及下垫面影响、两类强对流天气对比分析及强对流天气预报技术。一些环境条件,如地形等,对暴雨、强对流天气的发生、发展具有相同或类似的影响与制约作用,考虑到对暴雨、强对流天气论述的逻辑性和完整性,书中不可避免地会有少量重复内容。

由于天气分析与预报技术的快速发展以及气象资料的不断更新,有关北京地区暴雨、强对流天气分析与预报的研究成果也在不断地补充和完善,加之作者学识、见解等限制,缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

在上述课题研究和本书撰写过程中,得到了相关单位领导和同事们的大力支持。北京军区空军气象处金树锋、庞学文两位领导审阅了全书,并提出了许多宝贵意见。除署名作者外,解放军理工大学气象学院何齐强教授,北京军区空军气象中心汪细明、徐华刚、王世远,总参气象水文空间天气总站罗阳,中国科学院大气物理研究所周玉淑、冉令坤,北京市气象局雷蕾、魏东、王华等同志参与了相关内容的研究及部分文字的撰写或书中图表制作工作;何齐强教授对北京军区空军相关课题研究以及本书的撰写工作给予了鼎力支持与帮助;本书的出版得到了本书责任编辑李太宇同志的热心帮助,在此一并深致谢意。

作者

2012年3月于北京

第1章 北京地区暴雨概述

北京地区位于中纬度季风气候区,夏半年受偏南暖湿气流影响,是暴雨及其灾害的活跃期。由于年降水量 $3/4$ 集中在夏季,而夏季降水量的多少又常取决于几场暴雨,因此,暴雨的多少和旱涝有密切关系。由于逐年间季风的不稳定性,北京地区年际间旱涝灾害频繁出现^[1]。

暴雨的发生主要受到大气环流和天气系统的影响,是一种自然现象。但暴雨是否造成灾害,则取决于社会经济、人口和对灾害的防御能力等诸多因素,因而暴雨灾害的发生不仅有其自然的原因,而且有其社会和人为因素的影响。在暴雨频发、强度大的区域,暴雨易于成灾,灾害的危害性相对较大;相反,在暴雨较少发生而强度较弱的区域,暴雨不易成灾,灾害的损失相对较小。当暴雨发生后,地理环境成为影响灾害发生的重要因素。北京地区位于华北平原的西北边沿,地势由西北向东南倾斜,西部属于太行山余脉,北、东北部为燕山山脉,两条山脉在昌平区南口附近交汇,形成一个向东南展开的山湾,它所围绕的平原为北京小平原。总体而言,北京地区三面环山,形成一条山脊平均海拔高度约1000 m的山前、山后的天然分界线。山前迎风坡一带是北京地区暴雨及其洪涝和泥石流等灾害的多灾区。

一般以日(或24 h)降水量 ≥ 50 mm统称为暴雨;具体细分50~99 mm为暴雨,100~199 mm为大暴雨, ≥ 200 mm为特大暴雨。必须说明,日降水量与24 h降水量并不等同,24 h降水量不受日界规定影响,其量 $\geq$ 日降水量。所用降水等实况资料主要为北京市20个观测站资料,统计资料时限为1956—2000年,个例资料为1983—2010年资料。

在业务实践中,可按暴雨发生和影响范围的大小将暴雨划分为局地暴雨、区域性暴雨和大范围暴雨。对北京地区20个气象站而言,有1~3个站同时出现暴雨,则视为局地暴雨。有4~17个站同时出现暴雨,则视为区域性暴雨。有 ≥ 18 个站同时出现暴雨,则视为全市性暴雨。

1.1 暴雨地理分布特征

北京地区20个区县气象站中至少有1站出现暴雨,则记为北京地区出现一次暴雨天气过程。以此为统计标准,1956—2000年45年间,北京地区共出现386次暴雨。其中局地性暴雨出现172次,占暴雨总数的44.60%,区域性暴雨出现191次,占暴雨总数的49.50%,全市性暴雨出现23次,占暴雨总数的6%。

对照北京地区地形地貌与北京各区县出现暴雨次数分布,发现北京暴雨主要分布在山前和山前偏南或偏东南风迎风坡一带及喇叭口地形谷地,暴雨出现次数大值中心及大值区轴向与燕山和太行山山脉走向比较一致。北部山区的怀柔、密云,西南部山区的房山在386次暴雨过程中分别出现197次、179次和186次,成为北京地区两个暴雨多发中心,而石景山和城区分别出现31次、49次成为北京地区暴雨出现最少的区域。详见图1.1.1。

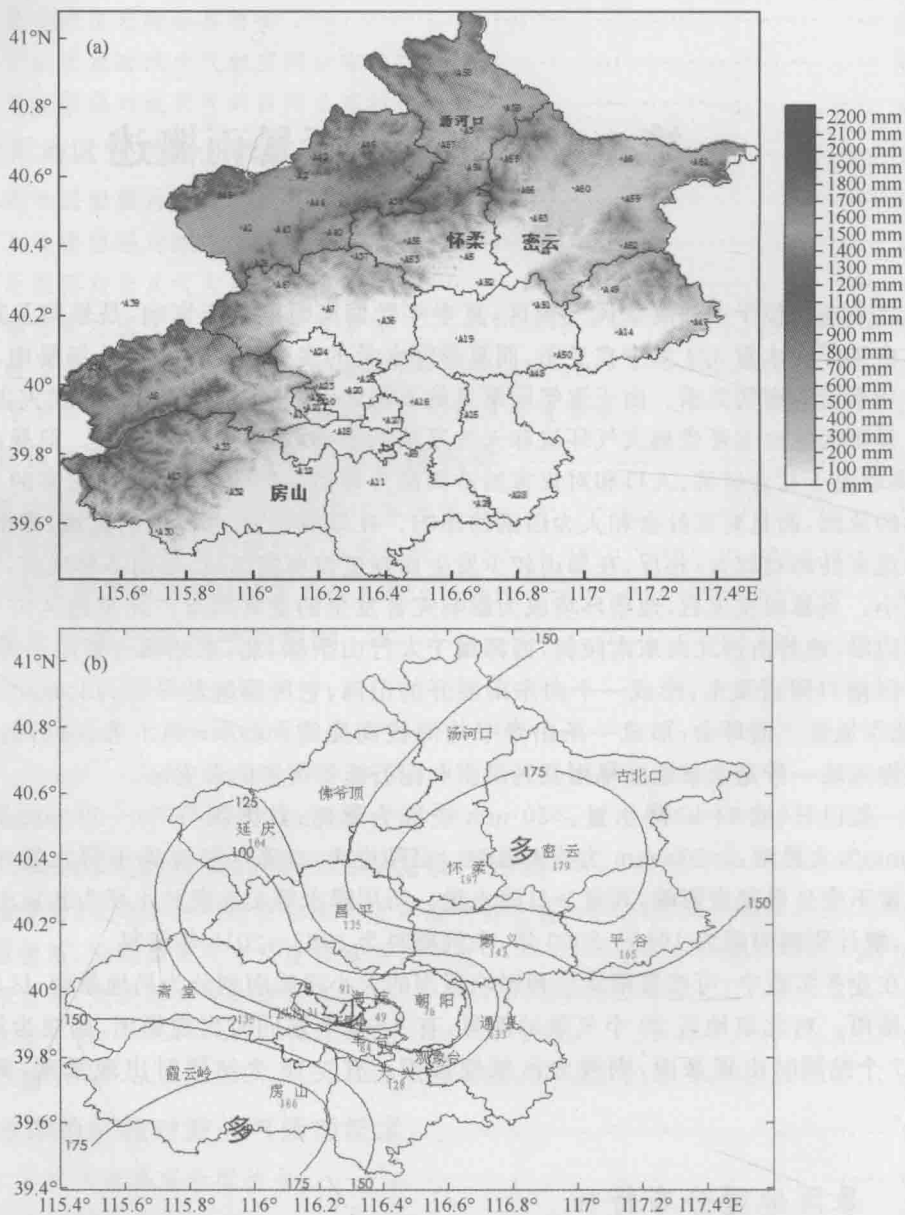


图 1.1.1 北京地区地形地貌、主要自动气象站的位置(a)与暴雨分布图(b)

北京地区最大暴雨强度空间分布、特大暴雨中心位置分布与暴雨分布状况大致相同,最大暴雨强度空间分布与地形关系密切,多位于山脉的迎风坡(图略)。

1.2 暴雨极值分布特征

386 次暴雨过程中,出现日或 24 h 降水量 ≥ 100 mm 的过程 181 次,占暴雨总数的 46.9%,其中降水量 100~199 mm 的大暴雨 143 次,占总数的 37.1%,降水量 ≥ 200 mm 的特大暴雨过程 38 次,占总数的 9.9%。在 38 次特大暴雨过程中,有 10 次过程降水量 ≥ 300 mm, 4 次过程降水量 ≥ 400 mm。

1956—2000年北京地区暴雨最大日(或24 h)降水量为479.2 mm,出现在1972年7月27日怀柔县枣树林。12 h最大降水量为410.8 mm,6 h降水量为316.6 mm,均出现在1972年7月27日(台风影响)怀柔县沙峪。2 h降水量为288.0 mm,1 h最大降水量为150.0 mm,均出现在1976年7月23日(蒙古低涡低槽)密云县田庄。

1.3 暴雨时间分布特征

暴雨的发生受到不同时间尺度因子的影响,因而表现出不同时间尺度变化特征。

1.3.1 年际变化特征

北京地区位于中纬度季风气候区,季风气候的特点是年际变化大,北京地区暴雨发生的频次具有明显的年际变化特征。1956—2000年北京地区暴雨年平均日数为8.6 d,最多年为19 d,最少年仅为1 d,两者相差18 d。有些年份暴雨频发,如1985年、1991年和1959年,暴雨分别出现了19 d、17 d和15 d。而另外一些年份暴雨出现较少,如1981年仅出现1 d,1957年仅出现2 d,1962年、1997年和1999年都仅出现3 d。上述年份暴雨年际变差(逐年暴雨数与多年平均数之差)分别为10.4/a、8.1/a、6.4/a和-7.6/a、-6.6/a、-5.6/a。可见,北京地区暴雨的年际变化十分显著。详见图1.3.1。

通过对1956—2000年北京地区暴雨过程时频率序列的线性气候倾向率分析,北京暴雨日数呈波动式的缓慢增加趋势,其气候倾向率为0.17/10 a。如果将暴雨按强度细分,降水量在50~99 mm的暴雨和100~199 mm的大暴雨均呈缓慢增加趋势,其气候倾向率分别为0.3/10 a和0.08/10 a,而200 mm以上的特大暴雨呈现出下降趋势,其气候倾向率为-0.22/10 a。值得注意的是,如果以1961—2007年北京沙河、西郊、南苑单站资料为依据,按其各自暴雨日数独立统计,近47年这3站暴雨日数均呈缓慢下降趋势,3站暴雨日数气候倾向率分别为-0.121/10 a、-0.253/10 a和-0.542/10 a^[2]。

北京地区暴雨强度也具有年际变化特征。有些年份暴雨过程均以大暴雨和特大暴雨强度出现,如1956—1958年连续3年,1976年、1981年、1997和1999年。而有些年份,大暴雨和特大暴雨所占比例较低,如1980年,在全年9次暴雨过程中,大暴雨和特大暴雨过程,仅出现1次(8月2日降水量262.6 mm),占全年暴雨11.1%。1989年全年出现暴雨过程13次,大暴雨和特大暴雨过程,仅出现2次(7月21日降水量198.5 mm,8月28日降水量188.1 mm),占全年暴雨15.4%。详见图1.3.2。

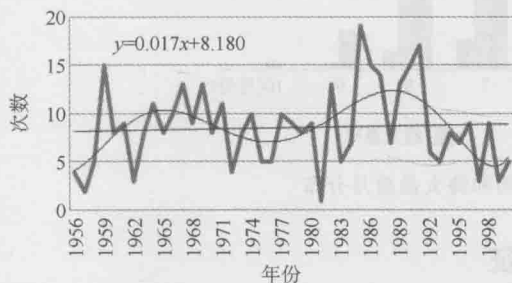


图 1.3.1 暴雨年际变化

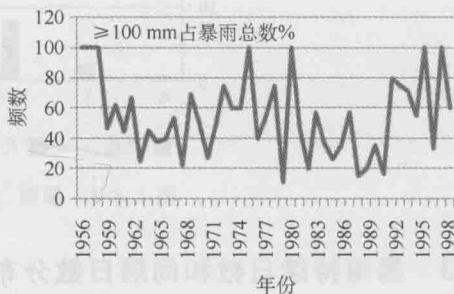


图 1.3.2 暴雨强度年际变化

1.3.2 季节和月变化特征

北京地区暴雨存在明显的季节和月变化特征。根据 45 年(1956—2000 年)资料统计,北京地区暴雨可出现在 4—10 月,横跨春、夏、秋三个季节,按暴雨过程出现次数统计,春季出现 16 次,夏季出现 337 次,秋季出现 33 次。暴雨最早出现在 4 月上旬(1964 年 4 月 5 日);最晚出现在 10 月下旬(1977 年 10 月 29 日),6 月是暴雨的突增期,7 月达到最大值,9 月是陡减期。

北京地区暴雨主要集中出现在夏季,尤其是盛夏 7—8 月。夏季(6—8 月)暴雨日数占全年暴雨日数的 87.3%,盛夏(7—8 月)暴雨日数占全年暴雨日数的 76.7%。相对而言,暴雨日数更集中于 7 月上旬至 8 月中旬,占全年日数的 71.2%,尤其集中于 7 月中旬至 8 月上旬,占全年日数的 49%。详见图 1.3.3。

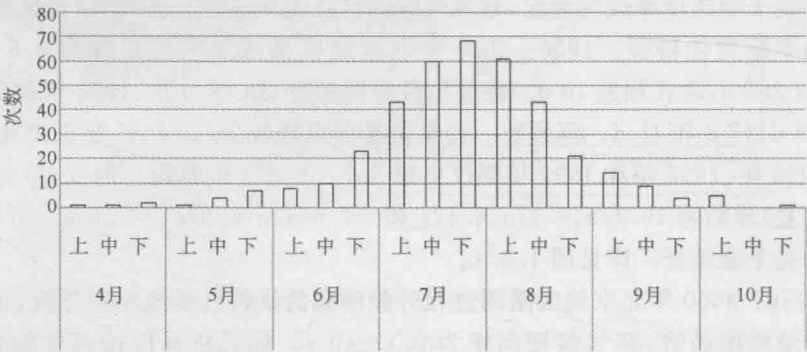


图 1.3.3 暴雨日数月、旬分布

北京地区大暴雨和特大暴雨主要集中出现在 6—8 月,占大暴雨和特大暴雨总数的 96.1%。其中多数集中于盛夏期(7—8 月),占总数的 86.7%(详见图 1.3.4)。7 月上旬至 8 月中旬,占总数的 82.3%,"7 下 8 上"(7 月下旬至 8 月上旬),占总数的 44.2%。大暴雨和特大暴雨最早出现在 5 月中旬,最晚出现在 10 月中旬(图略)。

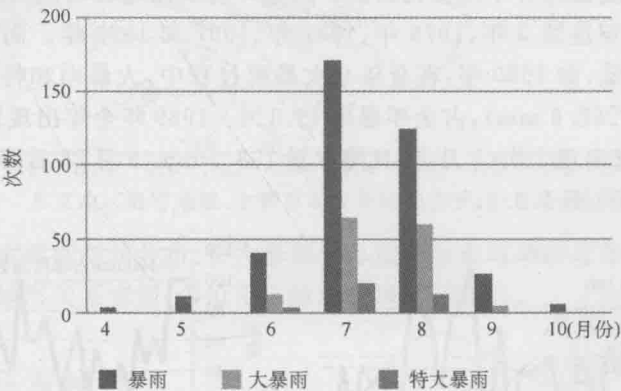


图 1.3.4 暴雨、大暴雨和特大暴雨月分布

1.3.3 暴雨持续日数和间隔日数分布特征

暴雨的持续日数和间隔日数(相邻两次暴雨的间隔日数)是规划水库调度方案、制作洪水

预报的主要参考因素,暴雨持续时间长、土壤水分饱和,不能再行吸收,容易造成洪水;暴雨间隔时间长,水库对洪水的调节余地就大。统计 1982—1988 年 79 次暴雨过程,共有 12 次持续性暴雨发生,占该时期暴雨总数的 16.2%,这 12 次暴雨均发生在 7、8 两月,特别是 8 月份发生次数较多(9 次),占持续暴雨总数的 75%,占 8 月份暴雨总数的 26.5%,而且其中有 2 次持续长达 5 d。暴雨间隔日数,短的仅隔 1 d,长的可隔 38 d(1983 年 6 月 18 日至 7 月 27 日),主要集中于 1~3 d(占 43.8%)和 4~6 d(占 18.8%)这两个时段。另外,暴雨间隔日数的月际分布也不均匀,6 月份主要呈离散分布状态,7、8 两月主要为 1~3 d^[3]。

北京地区暴雨成因复杂,暴雨形成过程受到多种因素的综合影响。从天气系统来看,北京地区暴雨主要受低气压系统影响,特别是低涡、低槽、低涡切变线等天气系统。此外,锋面系统、季风环流、地形等因素也对暴雨的形成起着重要作用。北京地区暴雨的成因可以归纳为以下几个方面:

1. 低气压系统的影响:北京地区暴雨主要受低气压系统影响,特别是低涡、低槽、低涡切变线等天气系统。这些系统在北京地区活动时,往往伴随着强烈的上升运动,导致水汽凝结,形成暴雨。

2. 锋面系统的影响:锋面系统是暴雨形成的重要天气系统之一。当冷暖空气在锋面处相遇时,暖空气被迫抬升,冷却凝结,形成降水。如果锋面系统在北京地区停留时间较长,降水强度会进一步加大。

3. 季风环流的影响:北京地区位于东亚季风区,夏季受东南季风影响,带来大量水汽。当季风环流异常时,容易导致暴雨频发。

4. 地形的影响:北京地区地形复杂,山地、丘陵等地形对气流的抬升作用明显,容易导致局地暴雨。

表 1-1 北京地区暴雨天气系统统计

天气系统	次数	占总数比例 (%)
低涡、低槽	15	19.0
锋面系统	25	31.6
季风环流	10	12.7
地形影响	5	6.3
其他	24	30.4
合计	79	100.0

暴雨成因复杂,暴雨形成过程受到多种因素的综合影响。从天气系统来看,北京地区暴雨主要受低气压系统影响,特别是低涡、低槽、低涡切变线等天气系统。此外,锋面系统、季风环流、地形等因素也对暴雨的形成起着重要作用。北京地区暴雨的成因可以归纳为以下几个方面:

1. 低气压系统的影响:北京地区暴雨主要受低气压系统影响,特别是低涡、低槽、低涡切变线等天气系统。这些系统在北京地区活动时,往往伴随着强烈的上升运动,导致水汽凝结,形成暴雨。

2. 锋面系统的影响:锋面系统是暴雨形成的重要天气系统之一。当冷暖空气在锋面处相遇时,暖空气被迫抬升,冷却凝结,形成降水。如果锋面系统在北京地区停留时间较长,降水强度会进一步加大。

3. 季风环流的影响:北京地区位于东亚季风区,夏季受东南季风影响,带来大量水汽。当季风环流异常时,容易导致暴雨频发。

4. 地形的影响:北京地区地形复杂,山地、丘陵等地形对气流的抬升作用明显,容易导致局地暴雨。

第 2 章 北京地区暴雨天气系统

暴雨,尤其是大范围的暴雨是出现在一定的大尺度环流形势和一定的天气系统影响之下。在有利环流形势下,造成北京地区暴雨的主要天气系统有蒙古低涡低槽、切变线、内蒙古低涡、西来槽、西北低涡、东北低涡、西南低涡、回流、台风外围影响等。

2.1 北京地区暴雨主要天气系统

依据 1956—2000 年 45 年资料统计,在有利环流形势下,造成北京地区暴雨的主要天气系统有蒙古低涡低槽、切变线、内蒙古低涡、西来槽、西北低涡、东北低涡、西南低涡、回流、台风外围影响等(详见表 2.1.1)。

表 2.1.1 北京地区暴雨天气系统及频次

类别	次数	频率(%)
蒙古低涡低槽	132	34.2
内蒙古低涡	45	11.7
西北低涡	34	8.8
东北低涡	25	6.5
西南低涡	22	5.7
切变	61	15.8
西来槽	37	9.6
回流类	19	4.9
台风	4	1.0
台风倒槽	4	1.0
台风倒槽和低涡	2	0.5
冷锋类	1	0.3
合计	386	

蒙古低涡低槽:是指在 500 hPa 图上,90°—115°E,43°—50°N 范围内的冷性低涡及其南部沿 40°N 东移的低槽。

切变线:是指 500 或 700 hPa 图上,100°—120°E,40°—50°N 地区有切变线存在。

内蒙古低涡:是指 700 hPa 图上,105°—115°E,40°—43°N 范围内存在冷性低涡。

西来槽:是指 500 或 700 hPa 图上,105°—115°E,35°—45°N 有高空槽存在。

西北低涡:是指 500 hPa 图上,108°—115°E,40°—45°N 范围内的低涡。

东北低涡:是指在我国东北上空的冷性低涡,即 500 hPa 图上,115°—130°E,40°—52°N 范围内的低涡。

西南低涡:通常是指 700 hPa 图上,在青藏高原东部特殊地形影响下形成的一种低压系统,常存在于 100° — 110°E , 25° — 34°N 附近。

回流:当中纬度环流比较平直,西来的冷空气偏北,冷空气进入东北平原后又回灌京津地区时,地面气压场“东高西低”,北京地区吹东风;有时中纬度锋区在华北 40°N 附近有波动,地面可能有倒槽配合。在这种天气形势下产生的暴雨称为回流暴雨。

台风和台风倒槽:台风是热带天气系统,由于北京地区纬度较高,受台风的影响很少。在 45 年中由台风及台风倒槽影响造成的暴雨过程仅 10 次,仅占暴雨过程总次数的 2.6%,是上述各天气系统中出现次数最少者。

虽然上述天气系统都可以使北京地区产生暴雨,但蒙古低涡低槽是其中出现频率最高的暴雨天气系统,在 1956—2000 年的 45 年中,北京地区共出现各类暴雨过程 386 次,蒙古低涡低槽暴雨出现 132 次,占暴雨过程总次数的 34.2%。另外,切变和内蒙古低涡也是造成北京地区暴雨的主要天气系统,由它们影响造成的暴雨分别占暴雨过程总数的 15.8%和 11.7%。因此,蒙古低涡低槽、切变和内蒙古低涡是造成北京地区暴雨最主要的三种天气系统,由这三种天气系统造成的暴雨占暴雨总数的 61.7%。此外,西来槽暴雨、西北低涡暴雨、东北低涡暴雨在 45 年中分别出现 37 次、34 次和 25 次,分别占暴雨过程总次数的 9.6%、8.8%和 6.5%。西南低涡引起的暴雨在 45 年中虽然只出现 22 次,仅占暴雨过程总次数的 5.7%。但它所造成的暴雨过程往往强度大,范围广,持续时间长,著名的“63.8”特大暴雨就是其中一例。回流暴雨在 45 年中仅出现 19 次,占暴雨过程总次数的 4.9%。在 45 年中由台风及台风倒槽影响造成的暴雨过程仅 10 次,仅占暴雨过程总次数的 2.6%,是上述各天气系统中出现次数最少者。但由台风影响所造成的暴雨,90%是大暴雨和特大暴雨,其中特大暴雨占本系统暴雨的 60%,为其他天气系统同比之冠。1972 年 7 月 27 日,中心在枣树林一带的一次台风影响造成的特大暴雨,日雨量达 479.2 mm,开创有雨量记录以来日雨量之冠。

将上述造成北京地区暴雨的天气系统进行归类,主要有五类(见表 2.1.2)。

表 2.1.2 北京地区暴雨天气系统类别

类别	次数	频率(%)
低涡类	258	66.8
槽线类	98	25.4
回流类	19	4.9
台风类	10	2.6
冷锋类	1	0.3
合计	386	

第一类为低涡类。包括蒙古低涡低槽、内蒙古低涡、西北低涡、东北低涡和西南低涡五种。由它们造成的暴雨占暴雨总数的 66.8%,是所有暴雨天气系统类别中出现频率最高的天气系统类别。而其中位于北京西北方向的蒙古低涡低槽、内蒙低涡、西北低涡所造成的暴雨占暴雨总数的 54.7%,达到暴雨总数的半数之多。

第二类为槽线类。包括切变线和西来槽两种。由它们造成的暴雨占暴雨总数的 25.4%。其中又以切变线暴雨次数最多,占此类暴雨总数的 62.3%。

第三类为回流类。回流暴雨占暴雨总数的 4.9%。

第四类为台风及台风倒槽类。在 45 年中,由台风及台风倒槽影响造成的暴雨过程 10 次,仅占暴雨过程总次数的 2.6%,是上述各天气系统中出现次数最少者。

除上述暴雨天气系统外,还有一种特殊类型的暴雨—冷锋暴雨。暴雨日,华北上空 700 hPa 和 500 hPa 为一致的强西北气流,并不存在上述几种暴雨天气系统或回流形势,925 hPa 和 850 hPa 为一致的西南气流,地面为冷锋前部。因此,冷锋是造成这次暴雨的影响系统(1998 年 9 月 2 日)。此种暴雨在 1956—2000 年的 45 a 中仅仅出现 1 次。

由此可以看出,造成北京地区暴雨的最主要的天气系统是低涡类天气系统,然后才是槽线类天气系统。

2.2 暴雨主要天气系统与暴雨范围、强度的关系

北京地区的暴雨以局地暴雨和区域性暴雨为主,在 1956—2000 年 386 次暴雨个例中,局地暴雨与区域性暴雨发生概率比较接近,分别占 44.6% 占 49.5%。全市性暴雨出现次数较少,仅占暴雨总数的 6%。暴雨产生的范围与暴雨天气系统的强度与影响范围有关。不同的暴雨天气系统,产生暴雨范围有所不同,有的暴雨天气系统造成局地暴雨多,有的暴雨天气系统则多造成区域性暴雨。详见表 2.2.1。

表 2.2.1 暴雨天气系统与暴雨范围、强度的关系

类别	局地性	区域性	全市性	合计(次数)
蒙古低涡低槽	68	57	7	132
内蒙古低涡	23	21	1	45
西北低涡	5	24	5	34
东北低涡	14	11	0	25
西南低涡	5	12	5	22
切变	30	28	3	61
西来槽	17	20	0	37
回流类	8	11	0	19
台风	0	2	2	4
台风倒槽	1	3	0	4
台风倒槽和低涡	0	2	0	2
冷锋类	1	0	0	1
合计	172	191	23	386

在造成暴雨的天气系统中,西北低涡、台风及台风倒槽类天气系统多造成区域性暴雨(分别占各型暴雨总数的 70.6% 和 70%),西南低涡型暴雨也以区域性暴雨为主(分别较局地和全市性暴雨多 32%)。东北低涡和回流造成局地暴雨和区域性暴雨的概率较为接近,但东北低涡造成的局地暴雨略多于区域性暴雨,而回流造成的区域性暴雨略多于局地暴雨。内蒙古低涡、蒙古低涡低槽、西来槽及切变线造成局地暴雨和区域性暴雨的概率接近,两者相差不超过 9%。此外,台风和台风倒槽类暴雨很少出现局地暴雨,而东北低涡、西来槽、回流很少出现全市性暴雨。

北京地区的暴雨主要以暴雨和大暴雨形式出现,在 45 年 386 次暴雨中,暴雨、大暴雨出现

概率分别为 53.1%、37.8%。特大暴雨出现概率为 9.1%(见表 2.2.2)。

北京地区暴雨天气系统与暴雨强度的关系,按暴雨天气系统类别统计,1956—2000 年,北京地区台风倒槽类暴雨共出现 10 次,90%以大暴雨和特大暴雨形式出现,其中特大暴雨占本型暴雨的 60%。而低涡类、槽线类和回流类暴雨天气系统主要造成暴雨和大暴雨天气,尤以降水量在 50~100 mm(不含)的暴雨为主。

按具体的暴雨天气系统统计,东北低涡、回流主要造成暴雨和大暴雨,尤以暴雨次数最多,而很少造成特大暴雨。西北低涡主要造成大暴雨。内蒙古低涡、蒙古低涡低槽和切变多造成暴雨。西来槽造成暴雨和大暴雨的概率相差不多(见表 2.2.2)。

表 2.2.2 暴雨强度表

类别	暴雨	大暴雨	特大暴雨	合计(次数)
蒙古低涡低槽	73	49	10	132
内蒙古低涡	25	16	4	45
西北低涡	9	19	6	34
东北低涡	18	7	0	25
西南低涡	10	6	6	22
切变	35	24	2	61
西来槽	21	15	1	37
回流类	12	7	0	19
台风	1	1	2	4
台风倒槽	0	2	2	4
台风倒槽和低涡	0	0	2	2
冷锋类	1	0	0	1
合计	205	146	35	386

第3章 北京地区暴雨典型过程分析

北京地区位于中纬度季风气候区,夏半年受偏南暖湿气流影响,是暴雨及其灾害的活跃期。北京地区暴雨灾害既有局地的,也有全市性的甚至超出北京地域的大范围灾害。历史上严重的暴雨洪涝灾害造成房倒屋塌,农业大幅度减产,甚至引发泥石流和大规模的瘟疫、饥荒等次生灾害,使众多人民家破人亡、流离失所,给社会经济带来巨大损失。

新中国成立后至2000年的52年中,由于先后修建了大量的水利工程,使暴雨洪涝灾害降低到最低程度,但仍有9次较严重的暴雨洪涝或泥石流灾害出现。如1956年8月3日,北京地区受台风倒槽影响,出现特大暴雨,暴雨中心位于门头沟王平口,降水量达到434.8 mm/(24 h),造成永定河大兴县西麻各庄段决口,大兴县42个村庄过水,死伤8人,倒塌房屋42135间,并殃及天津地区,直接经济损失1427万元。1963年8月4—8日的暴雨过程是北京历史上著名的“63.8”暴雨过程。此次暴雨过程对交通、工业生产和人民生命财产造成严重损失。1991年6月10日,密云县北部山区暴雨引发泥石流灾害,死亡28人,重伤8人,造成的经济损失约2.65亿元。

深入细致地分析历史上重大典型暴雨天气过程,对于研究人员,尤其是预报员而言,是十分必要的,通过“解剖麻雀”,达到“温故知新”和汲取经验教训的目的,以提高对暴雨天气发生、发展、演变条件及规律的认识,增强暴雨预报的准确性。这也是提高预报员预报水平和能力素质的有效途径。

鉴于对“56.8”及“63.8”暴雨的研究已有许多成果,这里不再介绍,下面重点介绍20世纪90年代后发生的几次重大暴雨典型个例^[4-5]。

3.1 “91610”特大暴雨过程分析

3.1.1 暴雨过程概况

1991年6月10日,北京地区普降大到暴雨,部分郊县出现特大暴雨。其中,四合堂地区降水量达373 mm/(24 h),是近百年来罕见的特大暴雨。这次暴雨使密云水库共蓄水3.3亿立方米,可供城区用水2~3年。然而,特大暴雨给人民生命财产带来的损失也是惊人的。密云、怀柔北部山区发生的山洪、泥石流造成死亡28人,重伤8人,受灾人数达10万之多。另外,冲毁乡村公路517 km、供电线路100 km、耕地10万多亩^①,毁坏果树3.4万棵、杂树100多万棵,直接经济损失达2.65亿元。

^① 1亩=1/15 hm²。