

强对流天气 分析与预报

章国材 编著

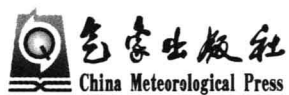


气象出版社

China Meteorological Press

强对流天气分析与预报

章国材 编著



内容简介

本书介绍了中国强对流天气的气候特征、天气形势、常用的中短期客观预报方法和自动临近预报系统,讨论了龙卷风、冰雹、对流性大风、短历时强降水和雷电等的环境条件和预报指标以及如何利用天气雷达等资料分类识别这些强对流天气,还讨论了如何应用以上的知识和方法做强对流天气预报,并通过若干个例进行具体阐述。

本书可供从事强对流天气分析和预报业务、研究及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

强对流天气分析与预报/章国材编著. —北京:气象出版社,2011.11

ISBN 978-7-5029-5328-7

I. ①强… II. ①章… III. ①强对流天气-天气分析
②强对流天气-天气预报 IV. ①P425.8②P45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 221404 号

Qiangduiliu Tianqi Fenxi yu Yubao

强对流天气分析与预报

章国材 编著

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:557 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版

定 价:78.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:21.5

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~2000 册

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。

前 言

经过几代气象工作者的共同努力,中国区域性暴雨预报能力有了明显的提高。预报员不仅能够预报区域性暴雨,而且敢于预报区域性大暴雨甚至特大暴雨。业务预报中一般不会出现区域性暴雨的漏报,暴雨的落区和强度预报准确率也有相应提高。

但是,到目前为止,强对流天气的预报准确率仍然相对较低。强对流天气产生的灾害对人们生命安全造成了严重威胁。短历时强降水引发山洪、城市渍涝和地质灾害已屡见不鲜。2005年6月10黑龙江省牡丹江市沙兰镇因短历时强降水引发的山洪造成100多名小学生死亡;2007年7月18日强降水引发的济南市渍涝也造成38人死亡;2010年8月8日凌晨甘肃省舟曲县城更是由于短历时强降水引发强泥石流,造成1800多人死亡和失踪。全国每年对流性(雷雨)大风都造成人员伤亡和大量建筑物倒塌,每年冰雹给农业生产带来了严重损失,对人畜安全构成威胁;每年雷击都造成人员伤亡。凡此种种,气象防灾减灾迫切需要提高强对流天气的预报准确率。写这本书的动因就是希望能为提高中国强对流天气预报准确率尽微薄之力。

由于强对流天气生命史短,局地性强,故预报难度很大。虽然中外研究强对流天气的论文不少,有关中尺度系统的书也出版过几本,但是,至今尚没有面向预报员的强对流天气分析和预报的著作,这就促使作者调阅了大量有关强对流天气的研究论文和书籍,并在此基础上进行了系统的统计分析和研究,试图为预报员提供一些对强对流天气分析和预报有用的理论、方法和指标。但愿此书能起到抛砖引玉的作用,对预报员能有所裨益。希望本书也能成为对研究人员、大学教学有用的参考用书。

本书共分6章。第1章:中国强对流天气的气候特征,阐述中国强对流天气的地理分布、季节变化和日变化特征。第2章:强对流天气形势的分类、分型,阐述了天气形势特征和概念模型。第3章:强对流天气环境条件,通过对批量个例的统计分析和研究,得到了对区分不同种类强对流天气有物理意义的环境条件指标。第4章:强对流天气中短期预报方法,介绍了一些常用的客观预报方法。第5章:强对流天气分类识别和临近预报,阐述了如何利用天气雷达等资料识别龙卷风、冰雹、对流性大风、强降水和雷电,同时介绍了一些客观临近预报方法和自动临近预报系统。第6章:强对流天气预报,讨论了如何应用以上的知识和方法做

强对流天气预报,并通过若干个例具体阐述之。

除特别说明外,本书中所指强对流天气包括:雷雨大风(阵风 ≥ 8 级)、直径 ≥ 2 cm的冰雹、 ≥ 20 mm/h的短时强降水、龙卷和强雷电。本书中所用时间除特别声明外,都是北京地方时。

章国材

2011年4月于北京

目 录

前言

第 1 章 中国强对流天气的气候特征	(1)
1.1 冰雹的气候特征	(1)
1.2 短历时强降水的气候特征	(2)
1.3 中国对流性(雷雨)大风的气候特征	(4)
1.4 中国雷电时空分布特征	(5)
1.5 中国强对流天气时空分布特征综合分析	(6)
第 2 章 强对流天气形势的分类	(11)
2.1 强对流天气形势	(11)
2.2 高空低槽型	(14)
2.3 高空冷涡型	(19)
2.4 西北气流型	(24)
2.5 副高边缘型	(29)
2.6 热带低值系统型	(40)
2.7 高压(脊)内部型/低层切变型	(45)
第 3 章 强对流天气环境条件	(58)
3.1 强对流天气分析中常用到的物理量	(58)
3.2 物理量诊断的思路	(65)
3.3 强对流天气与暴雨环境条件的差异	(74)
3.4 干对流大风的环境条件	(75)
3.5 冰雹的环境条件	(84)
3.6 局地短历时强降水的环境条件	(94)
3.7 湿对流的环境条件	(101)
3.8 混合对流的环境条件	(105)
3.9 龙卷风的环境条件	(109)
3.10 分类强对流天气环境条件的综合分析	(116)
3.11 对雷电有指示意义的物理量	(119)
第 4 章 强对流天气中短期预报方法	(120)
4.1 热力和动力预报指标的获取方法	(120)
4.2 配料法和指标叠套法	(124)

4.3	θ_* 特型法	(126)
4.4	决策树预报方法	(129)
4.5	Bayes 判别分析、Logistic 回归判别和神经网络方法	(131)
4.6	指标加权集成法	(133)
4.7	聚类相似法	(135)
4.8	动力预报方法	(139)
4.9	强对流天气概率预报	(140)
第 5 章	强对流天气分类识别和临近预报	(147)
5.1	龙卷风的识别和临近预报	(147)
5.2	大冰雹识别和临近预报	(153)
5.3	对流性大风识别和临近预报	(166)
5.4	短历时强降水识别和临近预报	(176)
5.5	雷电识别和临近预报	(183)
5.6	强对流天气临近预报方法	(183)
5.7	强对流天气自动临近预报系统简介	(195)
第 6 章	强对流天气预报	(207)
6.1	强对流天气预报思路和预报技术流程	(207)
6.2	2009 年 6 月 3 日河南东北部、5—6 日江西北部对流性大风分析	(215)
6.3	2004 年 7 月 10 日北京短历时强降雨、12 日上海飊线大风分析	(226)
6.4	2009 年 6 月 14 日河南省大范围冰雹天气特征综合分析	(235)
6.5	两次强龙卷过程的环境背景场和多普勒雷达资料的对比分析	(240)
6.6	2006 年 4 月 28 日山东省对流性大风分析	(248)
6.7	2006 年 4 月 11 日江西混合对流过程分析	(253)
6.8	2009 年 8 月 27 日辽宁中部飊线阵风锋过程分析	(256)
6.9	2008 年 8 月 25 日上海大暴雨的综合分析	(261)
6.10	2008 年 7 月 2 日滇中暴雨的成因分析	(270)
6.11	2007 年 8 月 26 日天津市突发性的局地大暴雨过程分析	(279)
6.12	四川盆地西部副高西北侧连续性暴雨成因分析	(285)
6.13	鄂东 2007 年 7 月 27 日强对流天气过程的成因分析	(296)
6.14	2008 年 8 月 14 日石家庄市短历时强降雨分析	(305)
6.15	一次热带气旋外围飊线分析	(309)
6.16	天山北坡中部一次强对流天气分析	(315)
6.17	重庆开县雷击事件分析	(321)
参考文献		(329)

第1章 中国强对流天气的气候特征

中国强对流天气有明显的地理分布、季节变化和日变化特征。

1.1 冰雹的气候特征

冰雹是从发展强盛的积雨云中降落到地面的冰球,是一种季节性明显、局地性强,且来势凶猛、持续时间短,以机械性伤害为主的气象灾害。中国冰雹等级分为四类,即小冰雹(直径 $<5\text{ mm}$),中冰雹($5\text{ mm}\leq\text{直径}<20\text{ mm}$),大冰雹($20\text{ mm}\leq\text{直径}<50\text{ mm}$)和特大冰雹(直径 $\geq 50\text{ mm}$)。

中国冰雹分布的特点是山地多于平原,内陆多于沿海。青藏高原为冰雹高发区,年冰雹日数一般有 $3\sim 15\text{ d}$;云贵高原、华北中北部至东北地区及新疆西部和北部山区为相对多雹区,有 $1\sim 3\text{ d}$;秦岭至黄河下游及其以南大部分地区、四川盆地、新疆南部为冰雹少发区,在 1 d 以下。在青藏高原以东地区有南北两支多雹地带。北支从青藏高原北部出祁连山、六盘山、经黄土高原和内蒙古高原连接,再延伸到冀北及东北三省,形成中国最长、最宽的一条降雹带。南支则从云贵地区延伸至长江中下游地区和黄淮及山东地区。一般来说,北支的降雹日比南支要多。

年冰雹日数极大值分布特点与年冰雹日数分布特点基本相同:山地多于平原,内陆多于沿海。青藏高原大部分地区一般有 $15\sim 30\text{ d}$,部分地区超过 30 d ,其中西藏那曲达 53 d ;云贵高原及湖南大部分地区、华北中北部至东北地区、新疆西部和北部山区一般有 $3\sim 15\text{ d}$,局部地区超过 15 d ,其中新疆巴音布鲁克 20 d ,昭苏 32 d ;华北平原及其以南大部分地区 and 四川盆地在 3 d 以下。

中国降雹的天气条件具有明显的季节变化特征。成片的雹区主要发生在春、夏、秋三季,其中尤以4—7月最多,占总数的 70% ,并且有规律地随时间由南向北推移。降雹还有明显时间分布,大约 90% 的降雹发生在午后至夜间。

春季,青藏高原中东部、云贵高原、华北北部、东北东南部和北部及新疆的西部和北部山区为多雹区,季冰雹日数一般为 $0.5\sim 3\text{ d}$;长江中下游及其以南地区及四川盆地春季是一年中降雹最集中的一个季节,季冰雹日数为 $0.1\sim 0.5\text{ d}$ 。

夏季降雹主要集中在青藏高原及华北北部至大兴安岭一带地区,季冰雹日数一般有 $1\sim 3\text{ d}$,其中青藏高原大部分地区有 $3\sim 10\text{ d}$,西藏的班戈、那曲均为 23 d ;长江中下游及其以南地区及四川盆地夏季很少有冰雹出现。

秋季中国大部分地区冰雹日数明显减少。青藏高原大部分地区秋季冰雹日数一般为 $1\sim 5\text{ d}$,那曲达 9.3 d ;华北北部、东北大部分地区及新疆西部和北部山区冰雹日数有 $0.3\sim 1\text{ d}$,新疆昭苏为 2.0 d ;南方大部分地区基本无降雹。

从冰雹的年代际变化看,1961—2005年,中国冰雹高发期出现在20世纪60—80年代,90年代以来明显减少。年冰雹发生频次平均值为1270站日,平均每站2.1 d;1976年最多,为1611站日,平均每站2.6 d;2000年最少,为744站日,平均每站仅1.2 d(国家气候中心,2007)。

1.2 短历时强降水的气候特征

在雨量自记纸没有信息化之前,我们很难研究短历时强降水的气候特征,因此,少有这方面的研究成果。姚莉等(2009)基于中国1991—2005年485站高时间分辨率的雨强资料,利用概率分布与统计检验等方法,分析了1 h降水的时空分布特征,并将雨强分为 >1 mm/h、 >2 mm/h、 >4 mm/h、 >8 mm/h四个级别,探讨了各级别雨强的年平均发生频率、日变化和极端降水等问题。

1.2.1 1 h雨强空间分布特征

全中国4 mm/h雨强的年平均出现频数的空间分布以秦岭—淮河为明显的分界线:在秦岭—淮河以北, >4 mm/h的出现频数在40次/a以下;只有吉林东南部和辽宁东部的少数地区在40次/a以上,而华北北部和西北地区最少,在20次/a以下。秦岭—淮河以南,则 >4 mm/h的雨强出现频数都在40次/a以上。对南方地区而言,在安徽南部与江西北部 and 两广南部沿海及海南有明显的大范围的高值区存在,其数值超过100次/a;此外,在广西北部、云南南部也有小范围的高值区,其数值也可超过100次/a。对比发现,其他级别雨强的年平均频次分布也大体相似,这里不再赘述。同时,各级雨强年平均出现频数的分布与年总降水量的分布大体相似,即一般来说,年降水量大的地区,各级雨强出现频次也较大。

1.2.2 1 h雨强季节分布特征

中国处于东亚季风区,不同季节的降雨情况很不相同。为进一步了解不同季节各种级别雨强出现频数的分布情况,按春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12—2月),分别对 >1 mm/h、 >2 mm/h、 >4 mm/h、 >8 mm/h的雨强出现频数进行统计。

春季,长江以北大部地区各级雨强的出现频次都很小,这是由于中国春季北方普遍降水稀少造成的。而各级雨强频数的大值区则分布在江南一带,这是江南春雨较多的反映。在安徽南部与江西北部一带频数最大,该地区春季大于1 mm/h、大于2 mm/h、大于4 mm/h、大于8 mm/h的出现频数分别在150次以上、80次以上、40次以上和15次以上。由于江南春雨以连绵细雨为主,降雨强度不大,因而8 mm/h以上的强降雨强机会不多,仅为大于1 mm/h雨强出现频次的十分之一左右。其次,中国华南北部也有雨强频数的大值区,对应大于4 mm/h、大于8 mm/h的出现频数可分别超过35次、15次。这正是春季华南前汛期雨季到来的反映。

夏季是中国降雨最多季节,各级雨强出现频次均明显大于春季。与春季不同的是,各级雨强频数最大值区多分布在两广南部、云南南部一带,这里夏季大于1 mm/h、大于2 mm/h、大于4 mm/h、大于8 mm/h的出现频数分别超过150次、100次、60次、30次。各级雨强频次的次大值区出现在安徽南部与江西北部一带,对应大于2 mm/h、大于4 mm/h、大于8 mm/h级别的出现频数为80次、40次、20次以上。

与春夏两季不同的是,秋季最大值区出现在海南岛,对应大于 1 mm/h、大于 2 mm/h、大于 4 mm/h、大于 8 mm/h 级别的出现频数分别超过 80 次、50 次、40 次、12 次,这是由于海南岛 9 月仍是台风和热带风暴盛行的季节。

冬季,中国受极地干冷气团控制,来自海洋的暖湿气流和水汽供应明显减少,降水稀少,是中国降水量最小的季节;加上北方不少地区由降雨转为降雪,因而各级雨强的出现频数均明显减少。在整个冬季,全国出现大雨强的天数很少。包括华南和西南在内大于 8 mm/h 雨强的年平均出现天数均为零或接近于零。

综上所述,对于大于 4 mm/h 和 8 mm/h 的较强雨强来说,中国夏季出现大雨强频数最多的地区主要在南部沿海地区。

1.2.3 中国 1 h 雨强的极值分布特征

从各站 1991—2005 年 1 h 雨强最大值中,挑选出其中最大的雨强值,便可得到 15a 中各地实际观测到的最大 1 h 雨强,从现有的 15 年 485 站雨强统计看,即使在极度干旱的甘肃西部和新疆地区,也曾经出现过 10~15 mm/h 的最大雨强。华北北部、西北东部的雨强最大值有 40~50 mm/h,华北平原和黄河下游的个别地区甚至达到 80~90 mm/h,这往往是盛夏时节局部地区强烈发展的中小尺度天气系统造成的。长江以南大部分地区雨强的最大值一般都在 60~80 mm/h,沿海地区受台风和热带风暴等天气系统的影响,雨强的最大值可以达到 80~90 mm/h,甚至超过 100 mm/h。

表 1.1 中国 1991—2005 年前 5 位雨强的最大值

序号	地点	出现日期和时间	雨强(mm/h)	当日 1 h	地面观测日	相对误差/%
				降水累计(mm)	降水量/mm	
1	湛江	2000 年 5 月 10 日 00—01 时	157.7	285.1	297.5	4.2
2	玉环	1997 年 9 月 9 日 17—18 时	131.9	249.5	260.7	4.3
3	海口	1998 年 8 月 22 日 13—14 时	128.7	323.3	326.7	1.0
4	开封	1992 年 8 月 1 日 6—7 时	124.1	218.2	217.8	0.2
5	上川岛	1997 年 6 月 14 日 3—4 时	122.5	237.2	237.4	0.1

表 1.1 列出了前 5 位最大 1 h 雨强的出现地点、时间。为便于比较,还同时给出了当日的 24 h 雨强合计值、定时地面观测的日降水量及相对误差。由此可见,前 5 位雨强的最大值均超过了 120 mm/h。当日 24 h 雨强合计值与同日地面观测的日降水量比较,相对误差不大,均 $<4.5\%$,因而认为可以接受。同时注意到,1 h 雨强极值在同日的 24 h 日雨量中所占的比重很高,这就是说,某日的大暴雨或特大暴雨有可能集中出现在其中很短的时段内,从而造成了极强的雨强。15a 中,全国最大的 1 h 雨强出现在 2000 年 5 月 10 日的湛江,午夜 00—01 时的 1 h 雨量达到 157.7 mm,当日 24 h 的雨强合计值为 285.1 mm,同日本站地面观测的日降水量为 297.5 mm,相对误差为 4.2%。

1.2.4 中国雨强的日变化特征

(1) 平均雨强的日变化

统计 15a 中各站一日中每个时次 >1 mm/h、 >2 mm/h、 >4 mm/h、 >8 mm/h 的雨强出现频次,进而得到各级雨强每个时次平均出现的频次以及它们的日变化。以宜宾、广州站为

例,宜宾:上述4个级别的雨强多出现在夜里,尤其是从23时至凌晨05时频次最高。以大于2 mm/h为例,从23时至凌晨04时各时次年平均的出现频次都在6次以上。而到了白天,出现的次数就明显减少,大于2 mm/h的雨强年出现频次几乎全都在4次以下;尤其是在15—19时,各时次年平均出现频次均在1.5次以下。并且,随着雨强级别的增大,相应雨强的出现频次逐渐减少,表现出明显的“巴山夜雨”特征。

广州与宜宾的情况明显不同,各级别的雨强最大值多出现在下午,尤其是12—19时的出现机会很大。以大于2 mm/h为例,12—19时,各时次大于2 mm/h的雨强年平均出现频次在8次以上。而到了午夜以后的夜间,出现的次数就明显偏少,大多在6次以下。

用 $C = \frac{S_x}{\bar{X}_m}$ 表示雨强年平均出现频次的日变化变差系数,式中 S_x 为雨强年平均出现频次的均方差, $\bar{X}_m$ 为雨强年平均出现频次的多年平均值。变差系数的大小,能够反映各级雨强出现频次日变化的总体分布特征。因各级雨强分布特征大体类似,故以 >4 mm/h 雨强日变化变差系数分布为例。

雨强的变差系数都是东部小于西部,北方大于南方。长江中下游和江南地区的各级雨强出现频数的变差系数都是最小的,一般为0.1~0.2,说明这里是雨强出现频率日变化最小的地区;而西部地区,特别是四川盆地附近和西北地区东部,变差系数则在0.5以上,甚至达到0.8~0.9。说明这里一天24 h的不同时段雨强出现的几率是很不相同的,同类级别雨强出现几率的日变化很大。

(2) 各时段雨强的日变化

为了进一步分析雨强日变化特征,将每日24 h分成4个时段,即:上午(07—12时)、下午(13—18时)、前半夜(19—24时)、后半夜(01—06时)。并将四个时段中平均频次最高时段标出,以反映最容易出现该级别雨强的时段。分析表明各级雨强在4个时段的分布情况大体类似,故以 >4 mm/h 雨强为例,讨论在一天4个时段中出现频次最高时段的分布情况。

总体来说,在一天4个时段中雨强出现频数最高的时段在各地是很不相同的,但不同级别雨强的变化却不大。北方地区除了山东大部分地区、河南北部、安徽北部日雨强频率最高的时段在后半夜外。其他大部分地区多出现在下午和前半夜。南方地区雨强频数最大值的时段分布也很明显,云南、贵州、广西西部、四川南部多为后半夜,而在中国东南沿海、海南岛则多出现在下午,长江中游的湖南、江西北部则多出现在上午。

1.3 中国对流性(雷雨)大风的气候特征

到目前为止,中国尚没有全国对流性(雷雨)大风的统计数据,本节选择部分省的统计数据予以阐述,基本上可以反映出对流性大风的时空分布特点。

对流性大风2月开始在华南出现,3月北进入江南地区,4月开始进入黄淮地区,5月北进到华北和东北地区。6—8月是中国雷雨大风的多发季节。下面以广东省代表华南、江西省代江南、山东省代表黄淮、北京市代表华北、吉林省代表东北,分别阐述这些省市对流性大风的气候特点。

广东省雷雨大风全年都可以出现,1—3月逐月增加,到4月份达到极值(占全年的33.1%),5、6月有所减少,7月又达到一个次高峰(21.9%),以后逐月减少。其中前汛期(2—5

月)的雷雨大风主要是由低槽锋面引起的,台汛期(6—10月)的大风主要是由热带低压系统和副高边缘的强对流天气引起的(广东省气象局,2009)。

江西10月一次年2月基本上不出现雷雨大风,3月开始出现雷雨大风,7—8月(夏季)雷雨大风发生多,占总数的44.4%,4—5月次多,占总数的31.4%;3、6、9月3个月占总数的24.2%。但从大范围(10站以上)雷雨大风的日数分析,以4月为最多,7月次之,4和7月占了总日数的一半以上。4月大范围雷雨大风日数多,主要是因为一方面暖湿空气的势力加强,另一方面冷空气活动仍然十分活跃,4月是江西冷暖空气交绥最多的月份,因此,强动力和强热力条件结合产生的对流性大风多。7月大范围雷雨大风日数多,主要原因可能是这段时间下垫面气温高,在午后很容易出现对流不稳定,常常是强的热力条件和弱的动力条件结合产生大范围雷电和雷雨大风。而8月随着副高脊线向北推进,短波槽在长江流域活动的频率比7月低,这可能是7月大范围雷雨大风日数多于8月的原因(江西省气象局,2010)。

表 1.2 江西省雷雨大风的月际变化

	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	合计
雷雨大风站次	679	1631	1152	985	2074	1863	480	8864
比例(%)	7.7	18.4	13.0	11.1	23.4	21.0	5.4	100
10站以上雷雨大风日数	18	49	24	7	34	23	4	159

山东省根据1980—1997年18a地面观测资料统计,雷暴大风最早出现在4月,最晚结束于10月,雷雨大风多集中在5—7月,占总日数的74%,其中以7月最多,占32%。雷暴大风主要产生在午后到上半夜,占77%,其中16—22时最多。雷暴大风在鲁中和鲁西北地区较多,占75%,鲁西南最少,只占总次数的12%(杨晓霞,2009)。

京津冀雷雨大风主要出现在5—9月,绝大多数风力在8级以下(包括8级),占95%,近10年没有出现11级以上大风。北京地区雷雨大风从5月开始出现,7月达到峰值,9月急剧下降。对流性大风绝大部分发生在白天(81%)(北京气象局,2010)。

吉林省雷雨大风天气频率高于冰雹、短历时强降水,从4月偶发,到5月中旬由于冷锋和冷涡出现频繁,雷雨大风天气激增,6月上旬达到顶峰。由于冷锋和冷涡出现频率的降低,雷雨大风7月中旬剧降。9月上旬雷雨大风又出现一个小高峰。吉林省雷雨大风多发生在14—21时。

从年代际变化分析,雷雨大风呈减少趋势,1960—1969年为最多,达2423站次,1970—1979年为2082站次,1980—1989年为2059站次,1990—1999年为1347站次,2000—2009年仅出现953站次。和冰雹相同,进入21世纪以来雷雨大风站次明显偏少(王晓明等,2009)。

1.4 中国雷电时空分布特征

中国的雷暴活动多发区主要集中在华南、西南南部以及青藏高原中东部地区,年雷暴日数在70 d以上,其中云南、海南、广西3省(区)的部分地区超过100 d。雷暴活动中等发生区主要集中在江南、西南东部、西藏、华北北部、西北部分地区,年雷暴日数在40~70 d。东北、华北、江淮、黄淮、江汉、西北东部及内蒙古中部和东部的雷暴活动较少,为20~40 d。西北大部分地区、内蒙古西部更少,不足20 d。

中国年雷暴日数极大值分布,黄淮东部、江淮、江汉、江南、华南、西南大部分地区为 50~110 d,其中海南、广东大部分地区、广西东南部、云南南部、湖南南部等为 110~150 d;中国其余地区一般为 30~50 d,西北大部分地区在 30 d 以下。

年闪电密度定义为每年每平方千米发生的总闪电次数(云闪和地闪的次数总和)。华南、西南地区是中国闪电密度高值区,尤以广东和海南为最高;东北、华北、西北中东部、江淮、江南是闪电密度的次高值区;西藏和青海大部分地区为闪电密度的次低值区;西北地区西部是闪电密度的最低值区。

春季,雷暴日数高值区主要在长江以南地区,一般在 10 d 以上,其中江南大部分地区、华南及贵州、云南南部、青藏高原东侧季雷暴日数有 15~30 d;华北中东部、江淮、江汉及吉林东部、四川盆地、天山西部等地有 5~10 d;北方大部分地区季雷暴日数在 5 d 以下。

夏季是中国全年雷暴日数最多的季节。除西部沙漠、戈壁滩和盆地在 5 d 以下外,中国其余大部分地区季雷暴日数在 10 d 以上,华北北部、江南南部、华南、青藏高原大部分地区超过 30 d,其中华南中部和西部及云南南部、西藏中部有 40~50 d。

秋季,雷暴日数明显减少。中国大部分地区季雷暴日数在 5 d 以下;华南、江南南部、华北中部、东北中南部、青藏高原中部和东部及云南大部分地区等有 5~15 d;云南西南部、海南等地超过 20 d。

冬季是四季中雷暴日数最少的季节,东北、华北、西北及西藏、四川盆地几乎都不出现雷暴,雷暴较多的地区为江南中部和西部及广西东北部、贵州东部和南部、云南大部分地区等也只有 2~4 d。

中国雷电灾害伤亡人数:广东最多,每年平均死亡 78 人,受伤为 67 人;云南次之,年死亡 40 人,受伤 57 人;贵州第三,年死亡 33 人,受伤 35 人。

6—8 月是中国雷电灾害的高发期,在这个时期雷电造成的伤亡人数占全年伤亡人数的 65%,其中 7 月最高,占全年的 29%。

每天 13—21 时是中国雷电灾害发生的集中时段,其中 15—17 时最为突出,雷电造成的灾害事故次数和伤亡人数分别占各自总数的 10% 和 15% 以上,这与雷电日变化特征有关(国家气候中心,2007)。

1.5 中国强对流天气时空分布特征综合分析

下面对强对流天气季节演进特征、地理分布特征和日变化特征进行综合分析。

1.5.1 季节演进特征分析

中国强对流天气日最早出现在 2 月,最迟在 12 月,都出现在广东省。山东石岛 1976 年 2 月 15 日、成山头 1955 年 12 月上旬也曾出现过冰雹,由于它们都明显受海洋影响,与内陆站冰雹时空分布规律明显不同,下面我们只讨论内陆地区强对流天气的演进特点。

从季节演进上看,冬季(12 月—次年 2 月)中国大陆受极地干冷气团控制,来自海洋的暖湿气流和水汽供应明显减少,降水稀少,是中国降水量最少的季节,很少出现强对流天气,只是到了 2 月份,暖空气开始在华南活跃起来,华南地区开始出现强对流天气。

进入春季,长江以南地区北方冷空气势力逐渐减弱,南方暖空气逐步增强,南支槽开始活

跃,冷暖空气多在江南地区交汇。因此,长江以南地区频繁出现雷暴天气,江南地区细雨连绵,雨强频数的大值区在华南北部和江南,对应华南前汛期雨季和江南春雨。3—4月冷暖空气在长江中下游及其以南地区及四川交绥激烈,是出现冰雹的集中期,江西省3月的冰雹站·日数占了全年的47%,4月份10站以上雷雨大风日数占了全年的30.8%,湖南亦是如此。与此同时,青藏高原中东部、云贵高原、华北北部、东北东南部和北部及新疆的西部和北部山区由于暖空气活跃,也进入冰雹多发期。春季,长江以北中国大部地区各级雨强的出现频次都很少,这是由于中国春季北方普遍降水稀少造成的。由于4月份东北冷涡开始频繁出现,受其影响,东北、华北、黄淮地区出现雷电大风和冰雹天气,但是,由于水汽供应不足,这些地区很少出现短历时强降水。进入5月,长江以南地区 0°C 层高度相对较高,冰雹在下降过程中易融化,因此冰雹日急剧下降。

进入6月中旬,副高经历了第一次北跳,长江中下游开始进入梅雨季节,冷暖空气在该地区对峙,造成该地区暴雨频发,出现短历时强降水的第一个高峰期。与此同时,东北冷涡频繁出现,6月份东北冷涡出现的日数占全年的44.9%(孙力,1995),东北地区进入冰雹和雷雨大风的高峰期,但是,由于水汽供应主要集中在江淮地区,6月份东北地区短历时强降水日数在夏季的3个月中仍然是最少的。

西太平洋副高平均约在7月中旬后半句发生第二次季节性北跳,长江中下游梅雨结束,随之华北地区主要受副热带、热带暖湿气流影响,进入多雨和相对少雹的伏汛期,黄河中下游及华北地区出现雷雨大风高峰期,例如山东和北京7月雷雨大风日数分别占了全年的32%和28%。值得注意的是,江南的雷雨大风7月份又达到了一个高峰,可能是由于副高在北跳前稳定性差,短波槽在长江流域活动时常产生雷雨大风;但由于 0°C 层偏高,长江中下游及其以南地区及四川很少出现冰雹天气了。

8月随着副高脊线向北推进,短波槽在长江流域活动的频率比7月低,长江流域8月大范围雷雨大风日数少于7月,但是短历时强降水的频率却高于7月,主要原因:一是夏季热雷雨多,二是台风强降水多。由于夏季华南沿海容易遭受台风和热带风暴的袭击,台风暴雨和强烈的夏季不稳定性降雨是导致这里短历时强降水和雷雨大风出现频次明显增多的重要原因,8月份两广南部都出现短历时强降水和雷雨大风的高峰期。与此同时,华北和东北地区进入降雨集中期,短历时强降水日数达到高峰。由于夏季水汽供应容易到达青藏高原及华北北部至大兴安岭一带, 0°C 层高度又合适,因此,夏季冰雹主要出现在这些地区。

秋季,随着西太平洋副高明显减弱东退,中国东部大部分地区的水汽来源减少,形成秋高气爽的天气,因而各级雨强的出现天数也随之明显减小。9月,华北北部和东北大部分地区还可能受东北冷涡影响,冰雹和雷雨大风天气再次增多,达到全年降雹的次峰值,但相对夏季是明显减少了,而且已罕见短历时强降水了。入秋后,随着气温的降低,对流性天气减少,降雹发生几率减小,12月至次年2月全国鲜见冰雹了。

1.5.2 强对流天气地理分布特征分析

前面已经指出,全国 4 mm/h 雨强的年平均出现频数的空间分布以秦岭—淮河为明显的分界线:秦岭—淮河以北, $>4\text{ mm/h}$ 的出现频数在40次/a以下;只有吉林东南部和辽宁东部的少数地区在40次/a以上,而华北北部和西北地区最少,在20次/a以下。秦岭—淮河以南,则 $>4\text{ mm/h}$ 的雨强出现频数都在40次/a以上。秦岭—淮河是中国的气候分界线,雨强这种

地理分布特征正是中国气候特征的反映。

虽然华北平原和黄河下游短历时强降水出现次数少,但是雨强却可达 80~90 mm/h,可以达到江南雨强的强度。这是由中国的季风特点决定的,盛夏,东亚季风的影响可以直达华北和东北,季风带来充沛的水汽,季风所到之处,无不出现强降水。

地形对短历时强降水也有重要作用,迎风坡对强降水有重要的增幅作用是众所周知的事实,著名的“63.8”、“75.8”暴雨都与地形的抬升作用有关。安徽南部和江西东北部之所以成为雨强的高值区,也是地形作用所致。江西短历时强降水的 5 个高值中心全部位于庐山、怀玉山、武夷山、南岭山脉和九连山的迎风坡,可见地形强迫抬升作用的重要性。

中国冰雹分布的特点是山地多于平原,内陆多于沿海。其原因也是容易理解的,山地起伏不平,山地常常起到强迫抬升的作用,从而增加冰雹发生的概率。由于土壤的热容小于海水,因此,内陆比海水更容易被辐射加热,造成对流不稳定,从而使得内陆冰雹多于沿海。

雷暴发生频率与水汽的多寡及地形有关,华南、西南南部由于受东亚季风影响时间长、青藏高原中东部受印度季风影响,一年大部分时间水汽充沛,成为雷暴最高发生区。西北大部地区、内蒙古西部由于气候干燥,雷暴活动最少,其他地区属于雷暴活动中等发生区。中国气候过渡带秦岭—淮河一带成为江南和华北北部两个次大值区之间的相对少发区,其原因值得研究。雷雨大风的地理分布特征及成因与雷暴相似。

1.5.3 强对流天气日变化特征分析

从冰雹发生时间分析,虽然一天 24 h 内均有冰雹出现的可能,但是,从全国看,12—20 时是冰雹高发时段,广东省占 62%(表 1.3),山东省 13—20 时占 63.6%,北京市白天占 96%(表 1.4),黑龙江省 12—17 时占 71%,其中 15—17 时又处于峰值。由于午后到傍晚下垫面被太阳辐射增温,热力抬升条件最佳,一旦有触发机制,就容易发生对流天气,这也是全国冰雹天气日变化的一般规律,说明对流不稳定对于冰雹的产生具有重要意义。

表 1.3 广东省强风暴的日变化(%)

类型	2—5 月				6—10 月			
	00—08 时	08—12 时	12—20 时	20—00 时	00—08 时	08—12 时	12—20 时	20—00 时
冰雹	33	17	44	6		20		80
龙卷	38	31	31				14	86
大风	15	15	65	5	10	10	74	6
总风暴	28	16	51	5	11	10	73	6

四川和重庆容易出现“巴山夜雨”,雨强多出现在夜里,尤其是 23 时—05 时频次最高;北京市大部分对流暴雨亦发生在夜间(表 1.4)。而广州与宜宾、北京的情况明显不同,各级别的雨强最大值多出现在下午,尤其是 12—19 时的出现机会很大,其原因是什么呢?

“巴山夜雨”其实是泛指多夜雨的中国西南山地(包括四川盆地地区)。这些地方的夜雨量一般都占全年降水量的 60%以上。例如,重庆、峨眉山分别占 61%和 67%,贵州高原上的遵义、贵阳分别占 58%和 67%。西南山地为什么多夜雨呢?主要有以下两个原因:其一是西南山地潮湿多云。夜间,密云蔽空,云层和地面之间,进行着多次的吸收、辐射、再吸收、再辐射的热量交换过程,因此云层对地面有保暖作用,也使得夜间云层下部的气温不至于降得过低;夜间,在云层的上部,由于云体本身的辐射散热作用,使云层上部温度偏低。这样,在云层的上部

和下部之间便形成了温差,大气层结趋向不稳定,偏暖湿的空气上升形成降雨。其二是西南山地多准静止锋。云贵高原对南下的冷空气,有明显的阻碍作用,因而中国西南山地在冬半年常常受到准静止锋的影响。在准静止锋滞留期间,锋面降水出现在夜间和清晨的次数占相当大的比重,相应地增加了西南山地的夜雨率。

同样,北京多夜雨也是因为北京西部和北部为燕山山脉所包围的缘故。

在中国平原地区(如珠江三角洲),短历时强降水多发生在午后,其原因与冰雹相同。

表 1.4 北京市 2000—2001 年强对流天气的日变化

月份	雷击报告	冰雹	大风	对流暴雨
	白天/夜间	白天/夜间	白天/夜间	白天/夜间
5	3/1	6/0	3/1	1/0
6	7/4	5/0	7/2	1/2
7	1/3	6/1	9/0	3/5
8	3/7	3/0	5/2	3/10
9	2/2	2/0	2/1	2/1
合计	16/17	22/1	26/6	10/18
百分比(%)	48/52	96/4	81/19	35/65

注:夜间统计时间:晚 9 时以后—晨 08 时前后(早晨前后),白天统计时间:早 9 时以后—晚 8 时前后(傍晚前后)。

由表 1.3 可见,午后(12—20 时)是广东雷雨大风的高发时段,前汛期(2—5 月)占 65%,台汛期占 74%。山东省雷暴大风主要产生在午后到上半夜,占 77%,其中,16—22 时最多。表 1.4 表明北京市雷雨大风天气的绝大部分发生在白天,占 81%。其原因与冰雹相同。

1.5.4 龙卷风的气候特征

龙卷风是一种强烈的对流天气现象,可造成重大的人员伤亡和财产损失。龙卷风可以在中国大多数省(区、市出现)。据魏文秀等(1995)的研究,中国的龙卷风有两个高发带,一是自长江三角洲经苏北平原至黄淮海平原,南北走向,呈下弦月形。另一个是华南,呈东西走向。中国龙卷风主要集中在春、夏两季,尤以 8 月份为多,7 月份次之,7 和 8 月约占全年总数的 59.6%。次高峰为 4 月份,5 月份比 4 月份稍少,11 月至翌年 1 月没有龙卷风报告。郑媛媛等(2009)研究指出:发生在安徽的龙卷其出现时间主要在 11—18 时。龙卷持续时间通常很短,5 min 以内占总数的 46%,10 min 以内占总数的 76%,超过 30 min 的仅占总数的 3%。与美国龙卷相比,安徽龙卷的持续时间要短一些。

1.5.5 强对流天气的伴生关系

短历时强降水、冰雹、雷雨大风、雷电常常伴随出现。北京市气象局统计了 2000—2002 年北京地区气象观测站出现 6 站以上雷暴天气的 64 个个例,其中出现冰雹 23 日次、大风(含飏线)32 日次、对流暴雨(20 mm/h)28 日次、有雷击报告 33 日次。(统计不含佛爷顶、汤河口、古北口及霞云岭局地出现的大风、冰雹)。雷击报告日来自于北京市气象局避雷检测中心。统计结果列在表 1.5 之中。

表 1.5 北京市对流性大风、暴雨和冰雹的伴生关系表(2000—2002 年)

天气类型	日数	雷击报告		出现大风		出现冰雹		对流暴雨	
		日数	百分比	日数	百分比	日数	百分比	日数	百分比
雷暴天气	64	33	52%	32	50%	23	36%	28	44%
雷击报告	33			17	52%	8	24%	15	45%
大风天气	32	17	53%	17	53%	13	40%		
冰雹天气	23	8	35%	17	74%			9	39%
对流暴雨	28	15	54%	13	46%	9	32%		

由表 1.5 可见北京地区出现 6 站以上雷暴天气的 64 个(2000—2002 年)过程中,有雷击报告日(应是雷击天气的不完全统计)为 52%,即半数以上的雷暴天气过程都可能出现雷击。而在雷暴天气过程中的大风、冰雹、对流暴雨日分别出现 50%、36%、44%。这表明雷击灾害几率应高于其他强对流天气。又雷击报告日出现的大风、冰雹、对流暴雨日分别为 52%、24%、45%,而在大风、冰雹、对流暴雨天气中的雷击报告日率则为 53%、35%、54%。多数对流暴雨日、大风日易发生雷击天气,雷击天气较少出现在冰雹天气过程中。这是因为发生在对流暴雨天气中的对流回波强中心、对流云底相对较低,易形成云地闪。而在大多数冰雹天气中,对流回波强中心、对流云底相对较高,易形成云间闪,较少形成云地闪。另外,在雷雨大风天气中有 40%的冰雹天气,对流暴雨天气中又有 46%的大风天气。伴有明显降水的雷雨大风,是一种有足够降水蒸发维持湿绝热温度递减率的湿性下击暴流。湿性下击暴流易形成云地闪通道,此类雷雨大风易有雷击现象。另一种是水汽条件很差,无明显降水的干性下击暴流,不易形成云地闪通道,此类雷雨大风不会有雷击现象。

为了分类识别和预报强对流天气,仅研究伴生的强对流天气是不够的,还必须研究非伴生的短历时强降水、冰雹、雷雨大风天气,例如 2004 年 7 月 10 日下午在北京出现的是短历时强降水,并没有出现冰雹和雷雨大风;而同一天气过程 7 月 12 日下午移到上海时,出现的却是 11 级的雷雨大风,产生的降雨量不大。分类研究这些强对流天气,找到它们的异同点,我们才能分类识别和预报这些天气。