

云南省“十五”科技攻关项目

“滇中中尺度灾害性天气监测预警系统科学实验及应用研究”(2001NG43)

03 课题一“云南季风区中尺度天气系统特征及预报方法研究”专著

低纬高原地区 中尺度天气分析与预报

段 旭 李 英 许美玲 陶 云 张秀年 著



气象出版社

云南省“十五”科技攻关项目

“滇中中尺度灾害性天气监测预警系统科学实验及应用研究”(2001NG43)

03 课题——“云南季风区中尺度天气系统特征及预报方法研究”专著

低纬高原地区 中尺度天气分析与预报

段旭 李英 许美玲 陶云 张秀年 著

气象出版社

内 容 简 介

本书系统介绍了作者近几年来对云南中尺度天气研究的成果,内容主要包括云南暴雨和冰雹的时空分布、低纬高原季风区中尺度系统的活动规律、中尺度天气系统滤波分析、中尺度天气物理量诊断分析、昆明准静止锋与强对流天气的关系、暴雨个例的中尺度数值模拟等。书中内容涉及到的一些理论和方法,都是近几年来国内外在中尺度天气研究方面比较成熟和先进的。

本书可供大气科学相关领域的研究和业务人员、大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

低纬高原地区中尺度天气分析与预报/段旭等著.

北京:气象出版社,2004.3

ISBN 7-5029-3745-5

I. 低... II. 段... III. ①低纬度-高原-地区-
中尺度-天气分析 ②低纬度-高原-地区-中尺度-天气
预报 IV. P458

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第019534号

低纬高原地区中尺度天气分析与预报

Diwei Gaoyuan Diqu Zhongchidu Tianqi Fenxi yu Yubao

气象出版社出版

(北京中关村南大街46号 邮编:100081 电话:68407061)

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

责任编辑:成秀虎 袁凤杰 终审:纪乃晋

封面设计:阳光图文工作室 责任技编:陈红 责任校对:宋春香

* * *

北京市兴怀印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:787×1092 印张:12 字数:307.2千字

2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷

定价:30.00元

序

中小尺度系统是天气系统尺度谱(Scale Spectrum)中最为活跃的成员。它常以单体(Cellular)方式活动,如强雷暴等,也可以寄生(Spawn, Parasitic)于天气尺度环流之中来活动。例如梅雨锋暴雨带中的MCC、台风前部的飑线(Squall Line)、飑线中的龙卷(Tornado)以及台风环流中孕育(Breed)起来的龙卷群。这类中小尺度系统吸收母体(Maternal System)能量供其发育增长(Growth),它也向母体反馈能量使其维持加强。母体又受到天气尺度(Synoptic Scale)和行星尺度环流系统的制约。这种不同尺度运动之间的相互作用成为近年来中尺度系统动力学研究的热点。

如今倍受关注的科学问题出现在尺度谱的两头,即超大尺度的年间或年代间全球气候变化和几个小时的局地灾害性天气(High Impact Weather)。前者往往会形成慢性(Chronic)气候灾害。例如干旱、土地沙化、冰川退缩、湖水干涸等;后者则造成急性(Acute)突发性极端事件(Extreme Weather Events),顷刻之间,竟可造成死伤无数。例如热带风暴袭击时又携带有飑线和龙卷,这就犹如雪上加霜,灾上加灾。近年来大气探测技术的发展和计算机能力的提高,刺激和推动了中尺度气象学的研究。

云南地处低纬高原地区,既受季风(Monsoon)雨影响,又受西北太平洋、南海和孟加拉湾热带风暴的袭击。由于高原地形作用,中小尺度系统频繁发生,预报更为复杂。本书涉及的内容,包括云南暴雨、冰雹和中尺度对流系统的活动;也介绍了中尺度滤波、诊断分析,昆明准静止锋与强对流天气的关系,中尺度天气的分析预报技术。这些研究将有助于深入了解云南中尺度天气发生发展及活动规律。从书中的内容可以看出,本书作者对云南中尺度天气系统的活动具有丰富的实践经验,并很注重理论与实践的结合以及研究成果在实际预报中的应用。作者还介绍了中尺度数值预报模式以及新一代Doppler雷达回波资料在中尺度天气系统分析中的应用。本书对中尺度天气的研究和预报人员均具有参考价值。

气象卫星、新一代气象雷达、自动气象站、风廓线仪(Wind Profiler)以及其他先进的中尺度探测仪器装备正在快速发展,为中尺度灾害性天气的监测预报提供了有力的手段。希望在现有研究基础上,云南的同行们能够深入探索本省中尺度天气系统发生发展的特点和机理,设计适合于本省的中尺度天气监测预报方法,提高预报能力。为云南省减轻和预防中尺度强烈天气灾害提供新的科学依据。

陈联寿

2004年3月15日

前 言

中尺度灾害性天气主要包括雷暴、暴雨、冰雹、龙卷等强对流天气现象,常给国家和人民带来重大损失。这类天气突发性强、时效短,预报非常困难。因此,中尺度灾害性天气的发生发展机制与规律的研究是当代大气科学的重大前沿课题。云南属山地气候,地处亚洲两大季风系统的交汇处,既受到东亚季风的影响,又受到西南季风的影响,季风区内的中尺度天气系统活动频繁,局部地区的强对流灾害性天气经常发生。探索其规律并进行有效的监测预报,有助于提高防灾减灾能力。

本书汇集了作者在云南省“十五”科技攻关项目“滇中中尺度灾害性天气监测预警系统科学实验及应用研究”——03子课题“云南季风区中尺度天气系统特征及预报方法研究”的主要科研成果:(1)从云南暴雨、冰雹时空分布入手,分析研究云南暴雨、冰雹等中尺度天气发生的气候规律,结合分析云南季风爆发和强弱与暴雨、冰雹频数的关系,揭示低纬高原季风区中尺度系统的活动规律;(2)现有的常规观测资料对冷空气活动、副热带高压进退、水汽输送等天气尺度系统有很好的监测作用,但很难从中看到各种天气尺度相互作用下、复杂地形热力动力作用下、局地热对流作用下所产生的中小尺度天气系统,为此,我们采用带通滤波方法对常规观测资料和T213产品进行滤波,增强捕捉中尺度天气系统和了解中尺度天气系统结构的可能性;(3)物理量诊断能有效分析暴雨、冰雹等强对流天气发生发展的成因,过去用得比较多的是单一物理量的计算。随着动力气象学的发展和气象科技人员对天气成因认识的不断加深,单一物理量的诊断只能从某一个方面判断天气成因,对许多复杂的强天气过程不能完全解释,因此,本书采用了一些国际国内最新的、比较成熟的复合物理量诊断方法,这些复合物理量能同时表达天气的动力、热力和湿状况等物理特征,如湿位涡、螺旋度、Q矢量等,运用这些方法,对云南暴雨、冰雹等中尺度天气成因有了一些新的解释;(4)昆明准静止锋是云贵高原上一个经常出现的重要天气系统,本书探讨了昆明准静止锋维持和加强移动的成因,并研究了条件性对称不稳定对锋面附近强对流发展的物理机制,解释了静力稳定大气中云南风雹等强对流天气发生的可能原因;(5)对暴雨个例进行了中尺度数值模拟,进一步分析研究暴雨、冰雹的成因和机理。

尽管上述研究工作取得了一些进展,但客观地讲,对云南中尺度天气的活动规律和形成机理的认识还远没能达到它所能达到的理论上的界限,预报中、小尺度天气系统的活动仍很困难,超过24h的定点、定时、定量的降水预报准确度十分有限。我们仍需持之以恒的研究和探索。

本书在撰写过程中,得到了程建刚高级工程师、孙绩华博士、朱天禄高级工程师、张腾飞高级工程师、杨向东高级工程师、郑建萌高级工程师、鲁亚斌高级工程师、何华高级工程师、杨明珠博士、施晓晖博士、郭容芬工程师、海云莎工程师等的大力支持,在此表示衷心的感谢。

作者

2004年3月

目 录

序

前言

第一章 引论	(1)
§ 1.1 云南暴雨、冰雹天气的时空分布	(1)
§ 1.2 低纬高原地区中尺度对流系统的时空分布	(11)
§ 1.3 亚洲夏季风与云南强对流天气的关系	(17)
第二章 中尺度系统的特征	(37)
§ 2.1 中尺度系统滤波方法	(37)
§ 2.2 冷锋切变天气系统的中尺度特征	(42)
§ 2.3 西南低涡的中尺度特征	(48)
§ 2.4 孟加拉湾风暴的中尺度特征	(54)
§ 2.5 两高(压)间辐合的中尺度特征	(58)
§ 2.6 副高外围天气系统的中尺度特征	(65)
§ 2.7 单点性暴雨的中尺度特征	(69)
§ 2.8 中尺度对流复合体特征	(73)
第三章 中尺度天气诊断分析及其应用	(85)
§ 3.1 冰雹天气出现时低空急流的分析	(85)
§ 3.2 低空急流暴雨天气诊断分析	(89)
§ 3.3 冰雹天气中尺度扰动	(93)
§ 3.4 条件性对称不稳定在风雹天气分析中的应用	(96)
§ 3.5 螺旋度在冰雹、暴雨分析中的应用	(100)
§ 3.6 涡散场能量在暴雨分析中的应用	(108)
§ 3.7 湿位涡在暴雨、冰雹分析中的应用	(115)
§ 3.8 Q 矢量在暴雨分析中的应用	(123)
第四章 昆明准静止锋与强对流天气的关系	(129)
§ 4.1 昆明准静止锋结构	(129)
§ 4.2 昆明准静止锋生消规律	(133)
§ 4.3 昆明准静止锋在强对流天气中的作用	(137)
第五章 中尺度天气分析预报	(144)
§ 5.1 卫星云图数字资料识别冰雹落区	(144)
§ 5.2 雷达回波在中尺度天气中的应用	(146)
§ 5.3 物理量因子的选取及预报效果检验	(154)
§ 5.4 冰雹与暴雨物理条件的差异	(157)
§ 5.5 中尺度数值模拟及其应用	(162)
参考文献	(181)

第一章 引论

§ 1.1 云南暴雨、冰雹天气的时空分布

1.1.1 云南暴雨天气的时空分布

云南地处低纬高原,受印度季风和东亚季风的影响以及大地形的作用,形成了干湿季节分明的立体气候。每年5~10月为雨季,平均降水量占全年的85%,而11月~次年4月为干季,降水量仅占全年的15%。由于降水量的过分集中以及云南的多山地特点,每年都会出现不同程度的局部地区洪涝灾害,在山区,洪涝灾害极易导致泥石流滑坡等地质灾害。

局地洪涝灾害和泥石流滑坡起因是暴雨,因此,分析研究云南大、暴雨活动规律对预测和预防洪涝灾害和由此引起的泥石流滑坡的发生具有重要的意义。本节统计了全省127个气象站1961~1995年共35年的逐日降水资料,给出云南大、暴雨的时空分布和活动规律。

1.1.1.1 资料及处理方法

统计云南大、暴雨时空分布时,取1961~1995年共35年的全省127个气象站逐日降水资料。根据云南省气象台业务标准,全省日降雨22站及以上出现大雨(24h降水 $\geq 25\text{mm}$)为大雨日,9站及以上出现暴雨(24h降水 $\geq 50\text{mm}$)为暴雨日。

1.1.1.2 全省性大、暴雨月际分布

表1.1给出了1961~1995年共35年的全省127个气象站大雨(25~49.9mm)、暴雨(50~99.9mm)和大暴雨(100mm以上)月平均站次。从表中可以看出,云南强降水站次频率最高的是7月份,大雨、暴雨和大暴雨分别为305、63.5和4.9站次,最低的是1月份,仅仅分别为5.3、0.4和0站次。云南雨季5~10月各降水等级月平均站次明显比干季11~4月高出许多,特别是主汛期6~8月各降水等级月平均站次比其它月份的总和多两倍。每年的雨季特别是主汛期是暴雨的多发时期,而干季由于大雨、暴雨出现频率很低,大暴雨几乎为零,因此云南干季暴雨概率很小。但值得注意的是,11月份大雨、暴雨和大暴雨平均站次分别为47.5、8.0和0.3站次,虽比雨季各月小,却为干季之首,加之雨季刚刚结束,地面土壤含水量较多,11月份暴雨泥石流的概率也很大。

表 1.1 1961~1995 年云南 127 个气象站降水等级站次

站次	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
25mm	5.3	12.1	14.7	32.7	115	254	305	290	166	103	47.5	13.6
50mm	0.4	1.1	2.4	3.7	20.7	51.0	63.5	55.8	30.9	14.9	8.0	1.5
100mm	0	0	0.1	0.1	1.1	3.3	4.9	3.4	1.9	0.7	0.3	0

从当前的天气预报技术水平看,大范围强降水过程的预报有一定把握,局地小范围的强降水预报难度较大,因此大范围的强降水过程分析最具现实意义。在1961~1995年的35年中,云南各站大、暴雨月平均出现的次数(表1.2),与上面分析的各降水等级月平均站次相对

应,雨季特别是主汛期大、暴雨过程次数要远远高于干季。7月份高达3.55次,而1月份则为零。在各站暴雨月平均次数中,11月份仍很特殊,其次数与5、9、10月份相当(甚至超过10月份),表明11月份仍是暴雨泥石流防范的主要时段。

表 1.2 1961~1995 年云南各站大、暴雨月平均次数

次数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
大雨	0.00	0.11	0.00	0.03	0.49	1.57	2.26	2.17	0.97	0.60	0.37	0.43
暴雨	0.00	0.00	0.03	0.06	0.31	1.03	1.29	1.09	0.34	0.26	0.29	0.03
共计	0.00	0.11	0.03	0.09	0.80	2.60	3.55	3.26	1.31	0.86	0.66	0.46

1.1.1.3 云南区域性大、暴雨月际分布

区域根据气候类型结合行政区来划分,1区(滇东北)为昭通、东川、曲靖(共20个气象站),2区(滇东南)为文山、红河(共21个气象站),3区(滇中)为昆明、玉溪、楚雄(共29个气象站),4区(滇西北)为迪庆、怒江、丽江、大理(共24个气象站),5区(滇西南)为保山、德宏、临沧、思茅、西双版纳(共33个气象站)。表1.3给出了5个区域35年大、暴雨各月平均站次及站次率(站次/站数,即平均每月每站出现大、暴雨的次数),总的情况看,各区域大、暴雨月平均站次与全省的趋势完全一致。

表 1.3 1961~1995 年云南各区域大、暴雨月平均站次及站次率

	1区		2区		3区		4区		5区	
	站次	站次率	站次	站次率	站次	站次率	站次	站次率	站次	站次率
1月	0.39	0.01	1.26	0.06	0.49	0.02	1.31	0.05	1.94	0.06
2月	0.7	0.03	2.09	0.10	1.34	0.05	4.49	0.19	3.54	0.11
3月	0.5	0.03	2.80	0.13	0.94	0.03	8.37	0.35	2.09	0.06
4月	3.0	0.15	10.74	0.51	2.46	0.08	7.86	0.33	8.69	0.26
5月	15.7	0.78	31.31	1.49	20.26	0.70	8.83	0.37	39.40	1.19
6月	40.1	2.00	50.14	2.39	46.06	1.59	31.00	1.29	87.14	2.64
7月	42.6	2.13	56.43	2.69	55.71	1.92	39.00	1.62	111.5	3.38
8月	41.2	2.06	51.77	2.47	56.86	1.96	40.23	1.68	100.4	3.04
9月	22.2	1.11	28.11	1.34	34.69	1.20	24.77	1.03	55.91	1.69
10月	7.8	0.39	15.37	0.73	16.34	0.56	17.69	0.74	45.89	1.39
11月	1.8	0.09	11.29	0.54	7.57	0.16	4.80	0.20	22.03	0.67
12月	0.3	0.01	3.06	0.15	1.97	0.07	1.80	0.07	6.51	0.20

在全省5个区域,大、暴雨月平均站次最高的是滇西南(5区),其次依次为滇东南(2区)、滇中(3区)、滇东北(1区)和滇西北(4区)。从主汛期(6~8月)站次率看,仍是滇西南最高,滇东南和滇东北次之,滇中和滇西北最低。如果考虑地质条件和地形起伏等下垫面因素,暴雨泥石流最有可能出现在滇西南和滇东北,其次为滇东南、滇中和滇西北。

1.1.1.4 云南暴雨年际、年代际演变特征

为了进一步研究云南暴雨的年际、年代际演变特征,我们计算了云南1961~1995年的1~12月累计暴雨站次,并对其进行了5年滑动平均,绘制了云南暴雨的年际、年代际演变图(图1.1)。

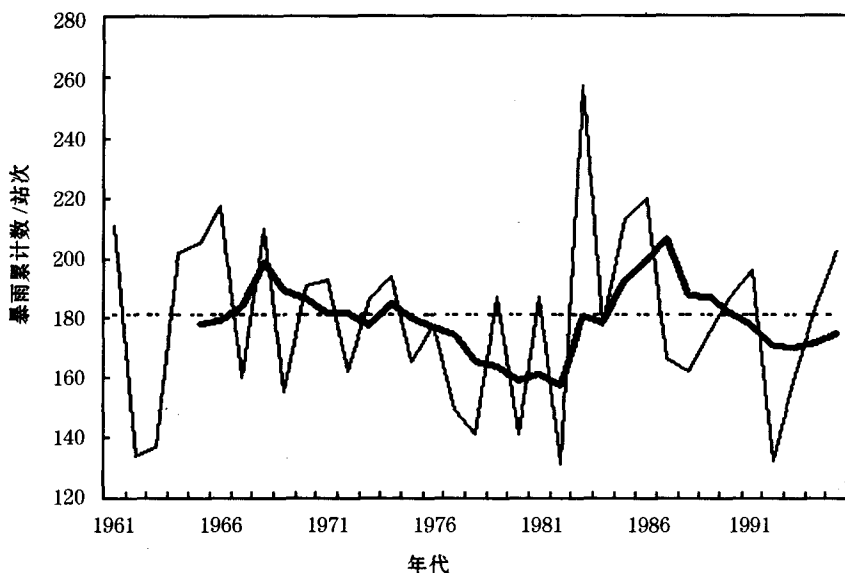


图 1.1 1961~1995 年云南暴雨年际、年代际演变图(单位:站次)
(直虚线:多年平均值,细折线:云南逐年暴雨站数,粗折线:5 年滑动平均)

从 1961~1995 年云南暴雨年际、年代际演变特征图上可以清楚看出,云南暴雨存在明显的年际和年代际特征。从云南逐年累计暴雨的变化曲线来看,1961~1995 年 35 年间云南累计暴雨发生的站次最多的年份是 1983 年,为 257 站次,累计暴雨站次最少的年份是 1982 年,为 131 站次。云南累计暴雨站次的多年平均值为 181 站次,累计暴雨多于 210 站次的年份有 1961 年、1966 年、1968 年、1983 年、1985 年和 1986 年;累计暴雨少于 150 站次的年份有 1962 年、1963 年、1977 年、1978 年、1980 年、1982 年和 1992 年。从云南累计暴雨的 5 年滑动平均曲线来看,20 世纪 60 年代中叶到 70 年代中叶(1966~1974 年),云南累计暴雨处于一个偏多的时期,70 年代中叶到 80 年代中叶(1975~1984 年),云南累计暴雨处于一个偏少的时期,80 年代中叶到 90 年代初(1985~1990 年),云南累计暴雨处于一个偏多的时期,90 年代初以后(1991 年后),云南累计暴雨又转入一个偏少的时期。

1.1.1.5 云南 127 站全年暴雨频率空间分布

前面就大、暴雨全省和区域的月际变化进行了讨论,给出了月平均的站次、站次率及过程次数,同时讨论了云南暴雨的年际和年代际变化特征,对云南大、暴雨的活动规律有了总的认识。现给出 1961~1995 年云南暴雨以上降水的频数空间分布(见图 1.2)。

从图中可以清楚看出,云南暴雨频数由南向北显著减少,大值区主要集中于红河州南部、思茅地区的东南部和西部,最少暴雨区主要位于滇西北的迪庆州、大理州北部。另外,我们还可以看出,云南暴雨频数大于 100 站次的中心有 6 个,分别是滇东北的盐津、滇东的罗平、滇南的河口~江城一线、滇西南的西盟~澜沧一线、滇西的盈江~龙陵一线以及滇北的华坪。云南暴雨频数最高的是思茅的西盟,达 337 次,平均每年近 10 次;其次是河口、金平、禄春、江城一带,达 225 次,平均每年近 6.4 次,另外还有罗平(189 次)、盈江(125 次)、华坪(117 次)、盐津(106 次)等暴雨活动的高频率区。从滇中到滇西北是云南暴雨频数较小的区域,其中滇西北的德钦,35 年来仅出现 1 个暴雨日。总之,云南暴雨的多发生区主要位于曲靖市南

部、文山州、红河州、思茅地区、西双版纳州、德宏州、临沧地区、丽江市东部及昭通市北部。

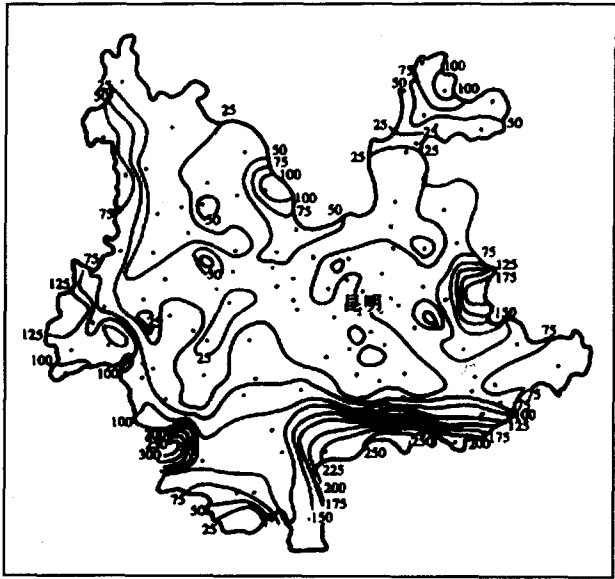


图 1.2 1961~1995 年云南暴雨频数分布

1.1.1.6 造成云南暴雨的主要天气系统

造成云南大、暴雨的天气系统有切变线、冷锋、西风槽、西南涡、孟加拉湾风暴、南海西行台风和两高(压)之间的辐合区。表1.4 的统计数字表明,切变线和冷锋是云南强降水的最主要天气系统,其次是两高之间的辐合区和西南涡。从季节看,初夏(5~6月)和深秋(9~10月)主要天气系统是切变线、冷锋和孟加拉湾风暴;盛夏(7~8月)主要天气系统是切变线、冷锋和辐合区;西南涡和南海西行台风则主集中于主汛期(6~8月)。

表 1.4 1985~1998 年各月造成云南大、暴雨的主要天气系统次数

	切变线	冷锋	西风槽	西南涡	孟湾风暴	南海台风	辐合区
5月	9	16	3	5	8	0	0
6月	17	11	1	8	3	3	9
7月	19	10	2	14	0	4	14
8月	14	11	5	7	0	7	19
9月	12	12	4	3	1	1	9
10月	8	15	4	0	7	0	0
合计	84	82	20	37	26	15	51

1.1.1.7 云南强降水概念模型

第一类概念模型:500hPa 青藏高原东南部的横切变配合 700hPa 川滇低涡切变型(图略)。500hPa 上东亚西风槽在东移过程中在青藏高原东南部的黑河、昌都、成都一线形成横切变,700hPa 川滇之间同时出现东西向切变,并与巴塘、丽江附近的低涡或低压环流相连,青藏高原中西部高压脊控制,脊前的西北风冷平流输送明显。白天青藏高原在高压脊控制下,天气晴好;夜间高原的辐射冷却使得高压脊前的冷平流输送进一步加强,促使位于黑河、

昌都、成都一线的横切变加强并向东南方向移动,由于动力作用,使700hPa上的低涡切变同时向东南方向移动,造成全省性大、暴雨过程。该类型的强降水分布特点是雨量大,范围广。大、暴雨多发生在20时以后,静止卫星云图上表现出在低涡切变附近有较强的对流云系发展并向东南方向移动侵入我省。滇中和滇东南是大、暴雨的主要落区。

第二类概念模型:两高辐合区。在500hPa上,当青藏高原和副热带高压都比较强时,最易在云、贵、川之间形成辐合区。青藏高原引导冷空气南下,副热带高压向北输送暖湿气流,冷暖空气交汇形成较大范围大、暴雨,其落区视辐合区的位置,一般是东西向摆动。当青藏高原较弱或开始减弱时,滇缅之间往往容易形成高压,滇缅高压和副热带高压之间也可能形成辐合区,产生较强降水。

1.1.2 云南冰雹的时空分布

冰雹灾害是一种局地性强、季节性明显,对农业、交通、建筑设施,甚至生命财产等均可能造成严重危害的气象灾害。云南因特殊的山地气候背景,大范围的强对流天气极为少见,但局部地区的强对流天气经常发生,掌握强对流天气——冰雹演变的一些规律,对于云南的防灾减灾工作有着重要意义。

作者近几年对于云南冰雹天气做过一些个例研究,对云南冰雹气候特征有了初步认识。在此,我们利用(1961~1997年1~12月)历年逐月冰雹日数资料较详细地研究云南冰雹日数的气候特征,加深对其气候规律的认识。

1.1.2.1 云南冰雹的地理分布特征

从全省1961~1997年各站冰雹日数累计值分布图(图1.3)可以看出,全年降雹较多的地区主要在保山、临沧中西部、红河西南部、曲靖、玉溪、昆明、中甸、昭通的镇雄和思茅的江城、西盟等地,平均每年有雹日2~4d,最多冰雹的县站是思茅的西盟,平均每年有雹日5d左

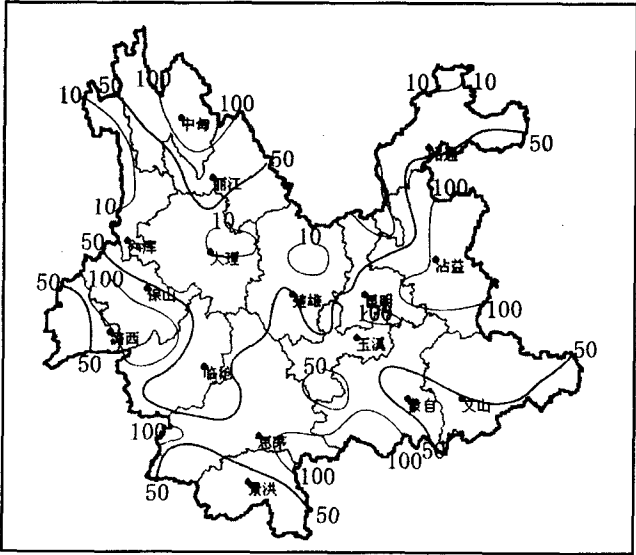


图1.3 云南1961~1997年各站冰雹日数累计值分布图(单位:天)

右。少雹区主要分布在怒江、大理、楚雄、昭通、西双版纳、德宏等地,平均每年雹日在1d以下,最少冰雹的县站是大理的宾川,几乎不出现冰雹天气。冰雹日数从滇西北到滇东南大致

有多一少一多一少相间隔的区域分布特征。这种分布特征与云南主要影响系统和地形有着密切关系。滇西北地区常受高原上东移小槽影响,同时该地区又处于横断山区,较易出现一些局地对流天气;另一个偏多区主要是由于该地区昆明准静止锋活动频繁,在静止锋附近较易出现对流性天气。

1.1.2.2 云南冰雹的月际变化

图 1.4 为云南多年月平均冰雹日数演变图,从图中可以清楚看出,云南冰雹的发生具有明显的季节性和群发性特征。云南全年各月都有冰雹发生,12 月至次年 4 月逐月增多,主要集中于 2 月、3 月和 4 月,占全年冰雹日数的 63.3%。全年冰雹日数最多的月份是 4 月,多年平均月雹日为 45 天左右。从季节分布来看,云南属典型的春雹发生区,春季(2~4 月)冰雹日数占全年冰雹日数的 63.3%;冬季(11~1 月)次之,占全年冰雹日数的 14.7%;夏季(6~8 月)占全年冰雹日数的 14.2%;秋季(9~10 月)最少,仅占全年冰雹日数的 7.8%,从图中还可以看出,云南省的各区具有相似的月际变化特征,冰雹天气都主要集中在 2~5 月份,其中滇西南是冰雹发生最频繁的地区,占全省冰雹日数的 30.4%,主要集中于 2~4 月;其次是滇中占 23.8%,主要集中于 1~4 月;滇东南占 19.2%,集中于 2~4 月;滇西北丽江地区、大理地区和中甸地区部分测站冰雹天气发生频率最小,仅占 11.8%,集中于 3~5 月。这可能是由于春季大气环流系统不稳定,云南省位于高原东南侧,春季易受高原南侧西风槽的影响,同时春季北方冷空气南下,易在云南境内形成昆明准静止锋,造成了云南冰雹主要发生于春季。

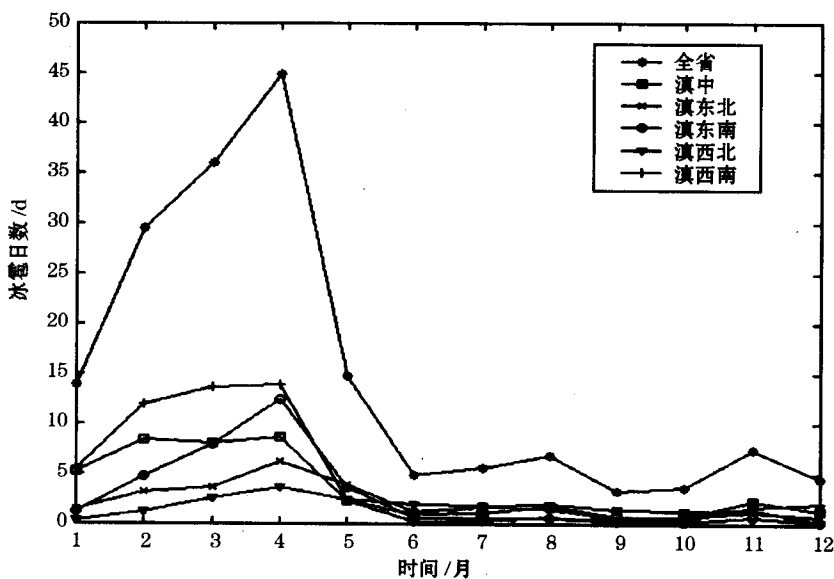


图 1.4 云南 1961~1997 年多年月平均冰雹日数演变图

1.1.2.3 云南冰雹的年际变化

从以上的分析可知,云南冰雹主要发生在春季 2~4 月,因此,我们对云南 2~4 月的冰雹进行了年际特征的分析(如图 1.5 所示)。

从全省 2~4 月逐年冰雹累计演变图(图 1.5)可以看出,云南每年春季虽然都有冰雹天气发生,但其年际间的变化差异却很大,2~4 月多年平均全省冰雹总日数为 110d 左右。1984 年出现冰雹日数最少,仅有 19d;1990 年出现冰雹日数最多,达到 191d。在 1961~1997 年的 37 年间,全年累积冰雹出现日数超过 176d 的年份有 8 年,分别为 1967 年、1968 年、1973 年、

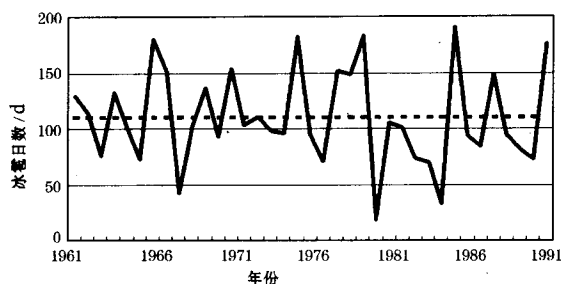


图 1.5 云南 2~4 月逐年冰雹累计日数演变图

(实折线:实测值 虚线:多年平均值)。

1978 年、1981 年、1983 年、1990 年和 1997 年,称多雹年;全年累积冰雹出现日数不足 75d 的年份有 8 年,分别为 1966 年、1969 年、1980 年、1984 年、1987 年、1988 年、1989 年和 1996 年,称少雹年;1962 年、1965 年、1970 年、1974 年、1975 年、1976 年、1985 年和 1986 年全年累积冰雹出现日数在 $110 \pm 10\text{d}$ 左右,称为正常年。

1.1.2.4 云南五区春季 2~4 月冰雹年际变化

前面我们描述了春季 2~4 月云南整体冰雹日数年际演变特征,下面我们将对云南五个区域春季 2~4 月冰雹日数的演变特征进行分析(图 1.6)。

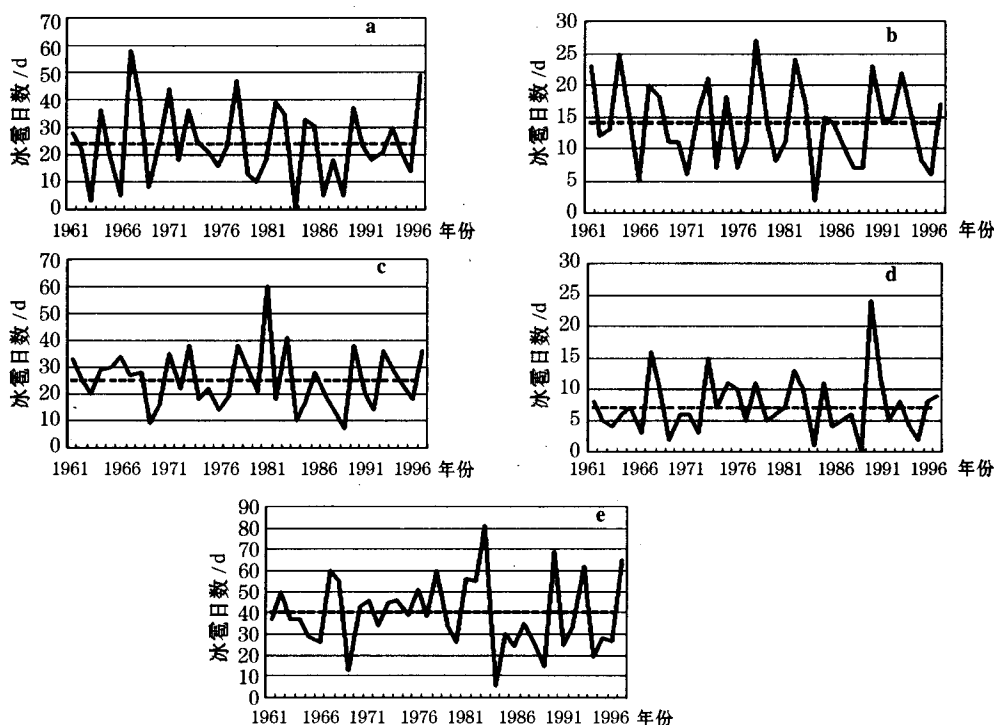


图 1.6 云南滇中(a)、滇东北(b)、滇东南(c)、滇西北(d)、滇西南(e)

2~4 月逐年冰雹累计日数演变图(实折线:实测值 虚直线:多年平均值)

图 1.6(a~e)与图 1.5 相比可知,虽然云南五区冰雹日数的年际变化各有特色,但多雹年或少雹年的年代云南的大部分区域基本一致且与总体的年际变化相吻合。从滇中的演变图(图 1.6a)中可以看出,云南滇中的年际变化差异很大,2~4 月平均冰雹日数为 24d 左右,

冰雹日数最多的1967年的58d与冰雹日数最少的1984年的0d相比相差58d。在1961~1997年37年间冰雹日数大于35d的有10年,分别是1964年、1967年、1968年、1971年、1973年、1978年、1982年、1983年、1990年、1997年;冰雹日数小于10d的有7年,分别是1963年、1966年、1969年、1980年、1984年、1987年、1989年。17年中有13年与云南全省平均的多(少)雹年相符。从滇东北的演变图1.6b中可以看出,云南滇东北的年际变化差异没有滇中大,2~4月平均冰雹日数为14d左右,冰雹日数最多的1978年的27d与冰雹日数最少的1984年的2d相比仅相差25d。在1961~1997年37年间冰雹日数大于20d的有8年,分别是1961年、1964年、1967年、1973年、1978年、1982年、1990年、1993年。冰雹日数小于8d的有9年,分别是1966年、1971年、1974年、1976年、1980年、1984年、1988年、1989年、1996年。17年中有10年与云南全省平均的多(少)雹年相符。从滇东南的演变图1.6c中可以看出,云南滇东南的年际变化差异大于滇东北,与滇中接近,2~4月平均冰雹日数为25d左右,冰雹日数最多的1981年的60d与冰雹日数最少的1989年的7d相比相差53d。在1961~1997年37年间冰雹日数大于35d的有8年,分别是1971年、1973年、1978年、1981年、1983年、1990年、1993年、1997年;冰雹日数小于15d的有6年,分别是1969年、1976年、1984年、1988年、1989年、1992年。14年中有10年与云南全省平均的多(少)雹年相符。从滇西北的演变图(图1.6d)中可以看出,云南滇西北的年际变化差异是云南五区中最小的,2~4月平均冰雹日数为7d左右,冰雹日数最多的1990年的24d与冰雹日数最少的1989年的0d相比仅相差24d。在1961~1997年37年间冰雹日数大于13d的有5年,分别是1967年、1973年、1982年、1990年、1993年;冰雹日数小于3d的有6年,分别是1966年、1969年、1972年、1984年、1989年、1995年。11年中有7年与云南全省平均的多(少)雹年相符。从滇西南的演变图(图1.6e)中可以看出,云南滇西南的年际变化差异在云南五区中最大,2~4月平均冰雹日数为40d左右,冰雹日数最多的1983年的81d与冰雹日数最少的1984年的6d相比相差75d。在1961~1997年37年间冰雹日数大于60d的有6年,分别是1967年、1978年、1983年、1990年、1993年、1997年;冰雹日数小于27d的有10年,分别是1966年、1969年、1980年、1984年、1986年、1988年、1989年、1991年、1994年、1996年。16年中有12年与云南全省平均的多(少)雹年相符。

总之,云南各区域2~4月冰雹累计日数年际演变趋势各有特色,但多雹年或少雹年云南的大部分区域基本一致,所以1.1.2.3节所选取的多雹年或少雹年(图1.5)具有很好的代表性。

1.1.2.5 云南冰雹天气的气候背景分析

根据上面的讨论,取1967年、1968年、1973年、1978年、1981年、1983年、1990年和1997年为典型多雹年;1966年、1969年、1980年、1984年、1987年、1988年、1989年和1996年为典型少雹年,1962年、1965年、1970年、1974年、1975年、1976年、1985年和1986年为正常年,分别对环流特征指数、500hPa环流场进行偏多年、偏少年和正常年的合成分析,并求距平值,同时引用t-检验法(屠其璞等,1984)对环流特征指数偏多年和偏少年的差异进行显著性检验。

1.1.2.5.1 大气环流特征量分析

在云南多雹年、少雹年和正常年的2~4月,亚洲极涡强度、北半球极涡中心强度、青藏高原(25°N~35°N, 80°E~100°E)500hPa高度指数、印缅槽(15°N~20°N, 80°E~100°E)500hPa高度指数、西太平洋副高脊线,西太平洋副高强度指数等大气环流特征量距平平均值有着明显差异(见表1.5)。

表 1.5 云南多雹年、少雹年和正常年 2~4 月大气环流特征量距平平均值

类型	亚洲极 涡强度 (10gpm)	北半球极涡 中心强度 (10gpm)	青藏高原 500hPa 高度指数 (10gpm)	印缅槽 高度指数 (10gpm)	西太平洋 副高脊线 (度)	西太平洋 副高强度 指数
多雹年	-2.20	-1.02	-6.08	-2.33	-0.55	8.47
少雹年	1.47	0.81	2.67	1.13	0.70	4.97
正常年	0.09	-0.23	-2.08	-0.92	-0.03	-6.45

从表1 可以清楚看出,云南冰雹天气的发生与大气环流特征的异常有着密切的联系。云南多雹年、少雹年及正常年大气环流特征有着明显的差异。云南多(少)雹年份 2~4 月亚洲极涡强度偏强(弱),北半球极涡中心强度偏强(弱),正常年份基本接近多年平均值。这表明在多雹年,极涡强度偏强,易生成冷空气。另外,青藏高原(25°N~35°N,80°E~100°E)500hPa 高度指数在多(少)雹年呈低(高)指数,正常年也为低指数,但较多雹年偏高,说明云南多雹年高原低槽系统活动多于少雹年和正常年,这更易使冷空气侵入云南境内,同时低值系统容易促使对流性天气的产生;在云南少雹年低槽系统活动相对较弱。在中低纬度,云南多(少)雹年份 2~4 月印缅槽(15°N~20°N,80°E~100°E)500hPa 高度指数呈低(高)指数,正常年为弱的负指数,这说明多雹年春季印缅地区的低值系统较为活跃;另外云南多(少)雹年份 2~4 月西太平洋副高脊线偏南(北),正常年份接近平均值,西太平洋副高强度指数多雹年偏强于少雹年和正常年,这样在多雹年西太平洋副高容易西伸,在云南省形成副高外围的不稳定天气。这也说明在多雹年,南支槽系统较为活跃,既从印度洋带来丰富的水汽,又为冰雹天气的发生提供了动力机制;同时,副高也从南海为其提供丰富的水汽。

对表1.5 中的各项环流指数进行t-检验,亚洲极涡强度、北半球极涡中心强度、青藏高原高度指数、印缅槽指数、西太平洋副高脊线位置均通过检验,其显著水平分别达到 90%、90%、95%、90%、90%。这表明多雹年和少雹年青藏高原 500hPa 高度指数、500hPa 印缅槽指数和北半球极涡中心强度存在显著差异,是造成云南冰雹中最为关键的因素。

1.1.2.5.2 北半球 500hPa 环流场分析

为了进一步说明云南省多雹年、少雹年及正常年份大气环流的形势,分析它们之间的异同,我们绘制了 2~4 月多雹年、少雹年及正常年份北半球 500hPa 高度距平场(如图 1.7)。

从图 1.7 中也可以看出多雹年、少雹年和正常年 500hPa 环流场形势有着明显差异。在多雹年高纬度(60°N~90°N)极涡偏强(存在“-4”以上的负距平)且面积较大,极涡中心主体位于西半球并延伸到东半球的乌拉尔山附近,这就有利于冷空气在极地不断生成;由于巴尔喀什湖和贝加尔湖一带高度场较常年偏高,致使冷空气不易东移,同时青藏高原的高度场较历年同期偏低,这就有利于冷空气沿高原向东南侵入;另外,高原南侧的南支西风系统——印缅槽较常年明显活跃,有利于将印度洋的暖湿空气向云南境内输送,同时西太平洋副高强度偏强但位置较为偏南。而少雹年极涡中心主体位于东半球的贝加尔湖以北地区;同时青藏高原的高度场较历年同期偏高,这样使得冷空气即使南下,由于其位置偏东,也不易影响云南地区;同时,印缅槽相对较弱,西太平洋副高强度偏强但位置较为偏北偏西,我省为一正距平带控制;在正常年中高纬的形势与多雹年有些相似,但明显偏移西半球,并且相对较弱,乌拉尔山附近的负距平也弱于多雹年,西太平洋副高强度明显偏弱位置偏南,整个低纬度地区为负距平带控制。

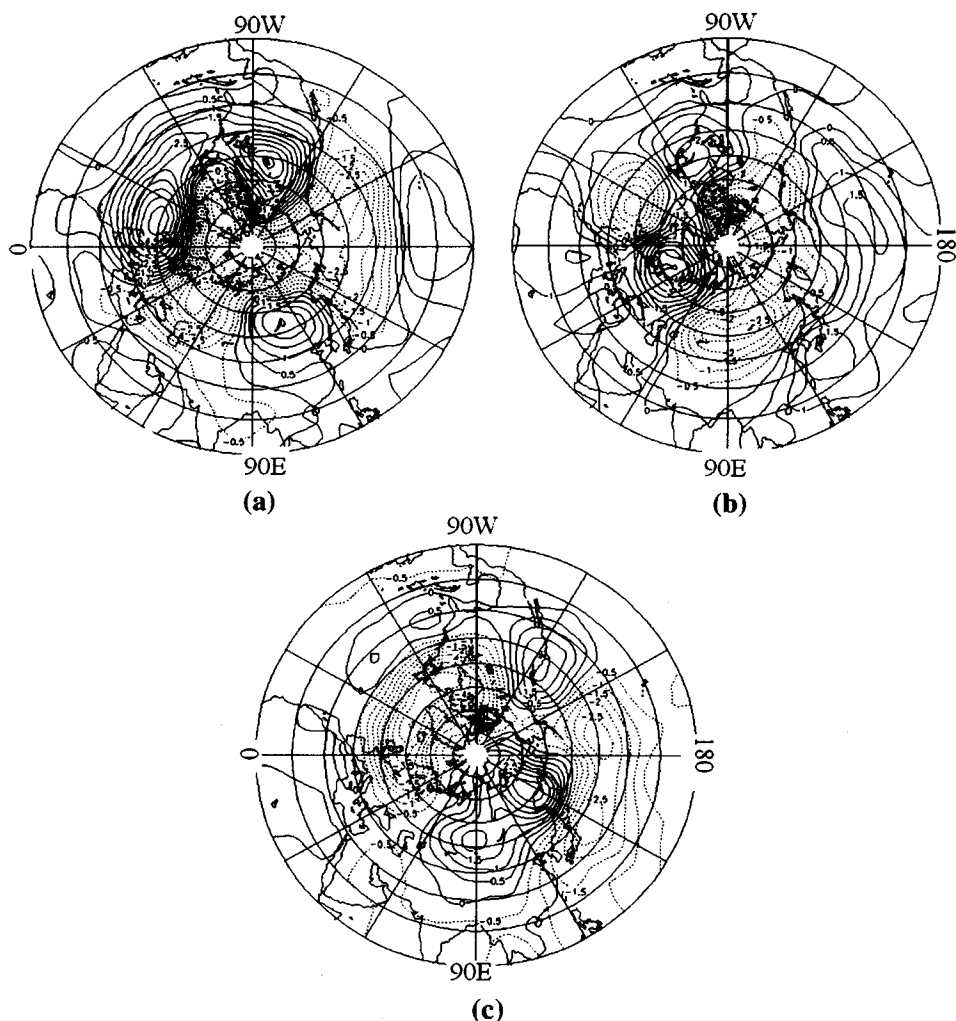


图 1.7 云南多雹年、少雹年和正常年(2~4 月)北半球 500hPa 高度距平场
(a:多雹年,b:少雹年,c:正常年,实线:正距平,虚线:负距平,单位:10gpm)

1.1.2.5.3 OLR 场分析

由于 OLR 场从 1974 年才有资料,因此我们取 1978 年、1981 年、1983 年、1990 年和 1997 年为典型多雹年;1980 年、1984 年、1987 年、1988 年、1989 年和 1996 年为典型少雹年,分析云南多雹年和少雹年 OLR 场的异同(如图 1.8)。

图 1.8 为云南多雹年与少雹年(2~4 月)OLR 距平差值合成图,从图中可以看出,青藏高原到我国大部的 OLR 场为相对正距平控制,而热带海洋多为相对负距平区。云南滇中以东及以北地区为相对正距平区,滇西和滇南为相对负距平区。这说明云南多雹年,青藏高原上的温度相对较高,较易生成热低压,可能会对云南滇中及以北地区造成一些对流天气。同时热带海洋的对流活动相对较强,有利于热带暖湿空气向北输送;云南滇西南地区的对流活动也相对较活跃,这些都有利于对流天气的生成。相反,在云南少雹年,青藏高原大部温度相对较低,积雪相对较多,大气层相对较为稳定;同时热带海洋的对流活动也相对较弱,这样就相对不易发生降雹天气。

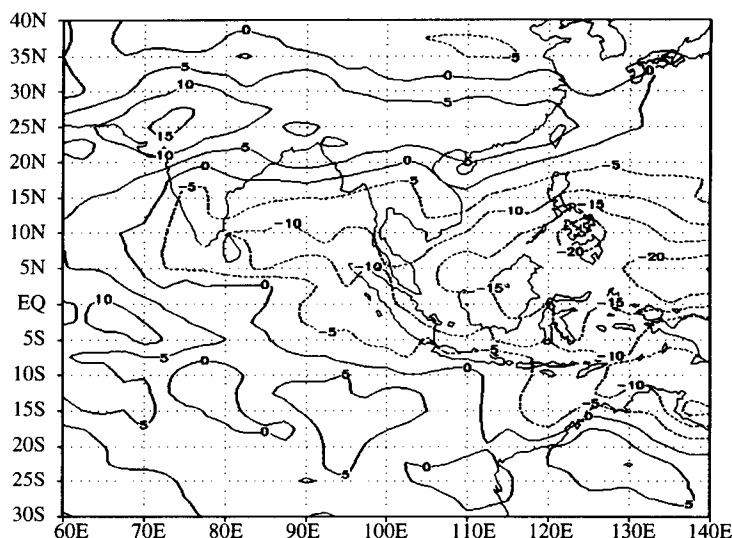


图 1.8 云南多雹年与少雹年(2~4月)OLR 距平差值图
(实线:正距平 虚线:负距平)

1.1.2.6 小结

(1)云南冰雹多发生在2月、3月和4月,是典型的春雹发生区,春季冰雹日数占全年冰雹日数的63.3%,其中以4月最为突出。滇西南是云南冰雹天气较为频繁的地区,占全省总冰雹日数的30.4%;滇西北较轻,仅占11.8%。

(2)云南春冰雹存在明显的年际变化。1967年、1968年、1973年、1978年、1981年、1983年、1990年和1997年为云南春冰雹较多的年份;1966年、1969年、1980年、1984年、1987年、1988年、1989年和1996年则是云南春冰雹较少的年份。另外,云南五区冰雹的年际变化存在着明显的不同。

(3)云南多雹年北半球高纬度极涡偏强,位置偏西,有利于北方冷空气的不断生成;青藏高原高度场偏低,有利于冷空气向南侵入;同时印缅槽较强;西太平洋副高强度偏强,脊线位置偏南,有利于热带地区的暖湿空气向云南境内输送。其中北半球极涡强度、青藏高原高度场、印缅槽是云南降雹的较为重要的因子,显著水平皆在90%以上。

(4)云南多雹年和少雹年的OLR场存在显著的差异。多雹年从青藏高原到我国大部的OLR场为相对正距平控制,说明高原上的温度相对较高,较易生成热低压,可能会对云南滇中及以北地区造成一些对流天气;同时热带海洋相对为负距平区,说明热带海洋的对流活动相对较强,有利于热带暖湿空气向北输送。少雹年则相反。

§ 1.2 低纬高原地区中尺度对流系统的时空分布

中尺度对流系统,简称为MCS(Mesoscale Convective Systems),是中国主要的暴雨系统之一。由于其生命史较短,只有数小时或十几个小时。因此,具有较高时间分辨率的地球同步卫星云图是监测和研究中尺度对流系统最有效的工具之一。近年来,对于MCS的研究主要有两个方面,一方面是对MCS的发生和发展的个例进行分析和数值模拟,特别是对其