

BINGBAO HE BINGBAOYUN

冰雹和冰雹云

张强 康凤琴 孙旭映 廖远程 编著



气象出版社

冰雹和冰雹云

张 强 康凤琴 编著
孙旭映 廖远程

气象出版社

内 容 简 介

本书在甘肃省气象局和中国气象局兰州干旱气象研究所多项研究成果的基础上,以中国西北地区气象常规观测的冰雹事实为背景,从甘肃冰雹云的外场加密观测、甘肃冰雹云的卫星观测、闪电定位网观测和天气雷达的观测事实出发,比较全面系统地归纳总结了甘肃冰雹天气和气候特征,并以数值模式为手段,探索了这些冰雹天气的理论成因,还用大量图片说明了典型的甘肃冰雹云雷达回波特征、冰雹切片特征以及甘肃冰雹灾情特征等等。本书涵盖了甘肃冰雹研究的最新成果,可以为从事云物理研究和灾害性天气预报的科研和业务技术人员、在校研究生以及大专院校的师生提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

冰雹和冰雹云/张强等编著. —北京:气象出版社,
2006.9
ISBN 7-5029-4076-6

I. 冰... II. 张... III. ①雹-研究-甘肃省 ②雹-对流云-研究-甘肃省 IV. P426.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091869 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编: 100081)

总编室: 010-68407112 发行部: 010-62175925

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

责任编辑: 陈 红 汪勤模 终审: 成秀虎

封面设计: 刘 扬 版式设计: 陈 红 责任校对: 宋春香

*

北京中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 3.75 彩插: 6 字数: 107 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定价: 40.00 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

前 言

甘肃位于我国黄土高原、内蒙古高原与青藏高原的交汇处，其西南部祁连山和甘南高原处于青藏高原东北边缘，海拔在 3000m 以上，东南部的陇南山地属秦岭山脉的西延部分，海拔 2000～3500m，中部和东部的黄土高原，海拔大都达 1500～2500m。高原、高山、丘陵地形地貌分布较广，容易形成冰雹天气，冰雹是主要的自然灾害之一。冰雹天气来势凶猛，常伴有雷雨和大风，破坏力强，给农业生产造成很大的威胁。长期以来，甘肃民间就使用土炮防雹消雹，相传已有 300 多年的历史。1958 年，在甘肃省政府的关怀下，开始了有组织的人工防雹科研和业务工作。迄今为止，甘肃省气象局和中国气象局兰州干旱气象研究所已经分别在永登、岷县、定西、平凉、永昌等地进行冰雹云的地面、探空观测和雷达观测，积累了大量宝贵的资料，取得了一大批科研成果，极大地提高了甘肃防雹消雹业务的科技含量。近年来，甘肃省已逐渐形成了兰州、张掖、天水、西峰和嘉峪关的新一代天气雷达监测网，覆盖全省绝大部分地区，为甘肃省的冰雹研究提供了翔实的观测资料。另外，卫星遥感、闪电定位等先进的观测技术和数值模拟方法也已逐渐应用在甘肃冰雹灾害的科学研究中。本书综合目前观测研究和数值模拟研究的成果来阐述甘肃冰雹和冰雹云的物理和形态特点，以期甘肃防雹消雹业务提供更加可靠的科学依据，提高甘肃防雹消雹业务的科技水平。同时，也为继续探索冰雹形成、发展的深层

次理论问题打下基础。

本书的完成得到了科技部科研院所社会公益类研究项目“西北地区人工防雹消雹技术”项目资助，并且得到了甘肃省气象局、甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室和中国气象局兰州干旱气象研究所的大力支持，本书第1章3.3小节由刘治国执笔，第1章第5节由张杰执笔。陈乾研究员和董安祥研究员及周嵬同志对本书做了认真细致的校对，本书内容还引用和参考了渠永兴、赵红岩、李照荣、刘德祥、黄倩、周嵬等同志的研究成果，杨增梓同志为本书做了大量的资料整理工作，在此，一并表示衷心地感谢。

作 者

2006年4月24日

目 录

前 言

第 1 章 冰雹云物理特征	(1)
1 冰雹云的结构特征	(1)
2 降雹的气候特征	(2)
2.1 空间分布特征	(2)
2.2 时间分布特征	(5)
2.3 时空异常特征	(9)
2.4 冰雹与地温场和地震的关系	(16)
2.5 年雷暴日和年冰雹日的关系	(20)
3 雹云的雷达回波特征	(21)
3.1 雷达气候学特征	(21)
3.2 雷达天气学特征	(32)
3.3 多普勒雷达回波特征	(42)
4 闪电特征	(52)
4.1 闪电强度变化特征	(52)
4.2 闪电频次日变化特征	(55)
4.3 闪电密度分布特征	(57)
5 卫星遥感特征	(61)
5.1 光谱与亮温特征	(61)

5.2	云光学厚度和粒子有效半径特征	(63)
5.3	云相态特征	(66)
5.4	冰雹云的宏观特征	(67)
5.5	雹暴指数	(68)
5.6	雹暴监测模型	(70)
第 2 章	数值模拟特性	(73)
1	冰雹云的中尺度特征	(73)
1.1	选取典型个例	(73)
1.2	模拟方案	(76)
1.3	模拟效果验证	(77)
1.4	模拟结果分析	(81)
2	地形对冰雹云的触发机制	(85)
2.1	地形强迫下的垂直速度场分布	(86)
2.2	地形对热力对流活动的影响	(90)
3	冰雹微物理过程数值模拟研究	(94)
3.1	模式初始条件设置	(95)
3.2	模拟结果和分析	(97)
3.3	冰雹产生和增长的微物理过程分析	(101)
第 3 章	冰雹切片和冰雹云图片	(111)
1	冰雹切片	(111)
1.1	以霰为核心	(111)
1.2	以冻滴为核心	(113)
2	冰雹云	(116)
3	雹灾实况	(120)
参考文献		(123)

第 1 章 冰雹云物理特征

1 冰雹云的结构特征

雹云过境时,气象要素发生急剧变化,气压跃升、温度急降、湿度猛增,地面单站风会发生显著变化,转风向或风速加大后几分钟到十几分钟地面对应的降水量迅速增大、地面出现降雹降雨。

中小尺度分析表明,降雹区在降雹前局地是一个辐合风场,一旦降雹结束后,辐合风场也随之破坏,雹云中垂直气流速度随高度的分布近似抛物线,垂直气流速度随高度的增加而增大,在雹云中上部达到极大值,往上垂直气流速度又迅速减小,出云后有一段持续而微弱的下沉气流。综合探空、雷达和地面资料推测上升气流从雹云的移行前方右侧底部进入雹云,通过雹云主体从云层上部移行的前方离开雹云,下沉气流从雹云后部、云层中部进入雹云,又从雹云底部离开雹云。

对比分析 1973 年 9 月 4 日雹云内高空风与 09:00 高空风,雹云内各层水平风速比 09:00 测得的各层风速小得多;12km 以上高空风速比 09:00 探测结果偏大;雹云中部以下的高空风与 09:00 相比有较大的风向切变,雹云顶部位于最大水平风速层下约 1km;冰雹云的移向,与平均风向基本一致,略有偏角;从 09:00 测风资料分析,近地层风向为 NEN,风速约 3m/s;5.5~18km 为偏西气流,3~6km 有明显的风向切变,切变的极大值出现在 5~6km;6~12km 有明显的风速切变,风速切变

极大值出现在9~10km高度；10~14km为高空急流区；14km以上风速迅速减小，风向作逆时针旋转，24km以上为偏东气流。由此推测1973年9月4日典型冰雹云结构见图1.1（廖远程等，1982）。

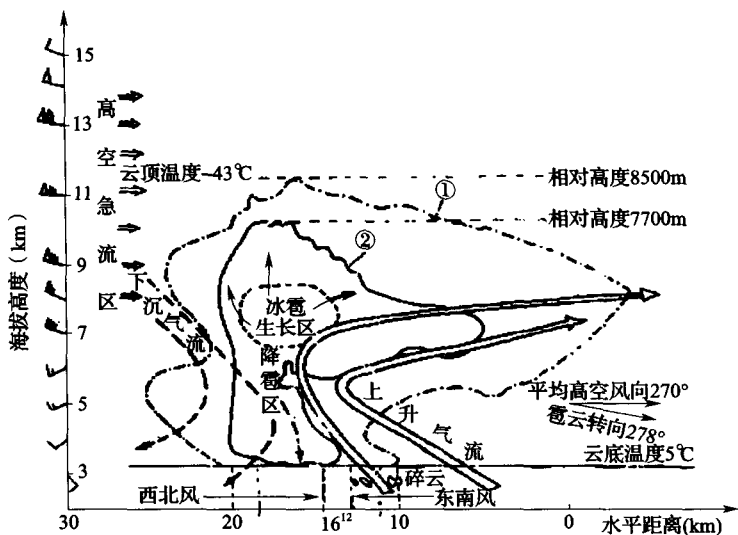


图 1.1 1973 年 9 月 4 日冰雹云结构

2 降雹的气候特征*

2.1 空间分布特征

冰雹日数的空间分布与海拔高度、地形和下垫面性质等有密切联系，总的分布特征是高原和高山多，河谷、盆地、沙漠和平川

* 除非特殊说明，下面分析所用的资料均为西北地区资料年代较长的 85 个地面气象观测站 1961—2001 年冰雹实测资料。

少。西北地区年平均冰雹日数在 22 天以内 (图 1.2)。青海省东南部、甘肃省甘南高原、祁连山东段为多冰雹区, 年平均雹日数为 5~20 天, 多雹中心的曲麻莱为 20 天, 这个多雹区是青藏高原中部的多冰雹区向东延伸的部分, 是仅次于青藏高原的全国第二个多雹区。这个多雹区处在夏季青藏高原上 5000m 高空东西向辐合线的平均位置, 也是夏季切变线、低涡等天气系统活动频率最大的地区, 加之这一带又是地形复杂的高原和海拔高的山区, 所以冰雹特别多。另一个多雹地区在新疆天山和南疆西部山区及阿尔泰山区、昆仑山等山区, 一般为 1~11 天, 个别地方 (如昭苏) 高达 22 天。甘肃的河东、宁夏、陕西中北部为 1~2 天。冰雹最少的地区是准噶尔盆地和塔里木盆地、柴达木盆地、甘肃的河西走廊、陕西的关中和陕南, 平均不到 1 天 (刘德祥等, 2004)。

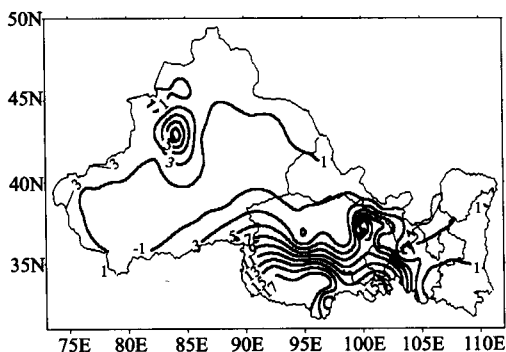


图 1.2 西北地区年平均冰雹日数空间分布 (单位: d)

西北年冰雹日数与海拔高度呈显著的正相关, 相关系数高达 0.7839, 海拔高度越高, 年冰雹日数越多。海拔高度在 3500m 以上时, 绝大多数站的年冰雹次数超过 15 次。同时, 冰雹的分布还与山脉的走向及气流有关, 多雹中心一般位于东—西向山脉的南坡, 南—北向山脉的东坡, 一般背风坡多于迎风坡。

冰雹与气温和降水也有明显的关系,分析表明:冰雹次数与年平均气温呈显著的负相关,相关系数高达 -0.7016 ,年平均气温越低,年冰雹次数越多。年平均气温在 3.5°C 以下时,绝大多数站的年冰雹次数在10次以上。年降水量小于 250mm 和大于 600mm 的站冰雹次数较少,年降水量在 $250\sim 600\text{mm}$ 之间时,年降水量与年冰雹次数呈正相关,降水量大,年冰雹次数也多。

20世纪70年代西北各站冰雹天气次数距平分布图(图1.3)表明,青海的清水河和新疆的巴音布鲁克为正距平中心,分别为4.9和3.1,说明冰雹呈明显的增加;青海的兴海有一个 -5.1 的负距平中心,说明冰雹呈明显减少的趋势;80年代,青海的曲麻莱有一个4.4的正距平中心,说明冰雹增加趋势较为明显,其余地方为弱的正距平,增加的趋势不明显;90年代,有三个负距平中心,青海的治多 -6.2 ,班玛 -3.8 ,新疆的昭苏 -3.2 ,说明冰雹呈明显减少的趋势。总的趋势是,新疆大部分为弱的正距平,其余大部分为负距平,说明冰雹呈减少的趋势,尤其是青海的西南部减少得很明显(郭江勇等,2005)。

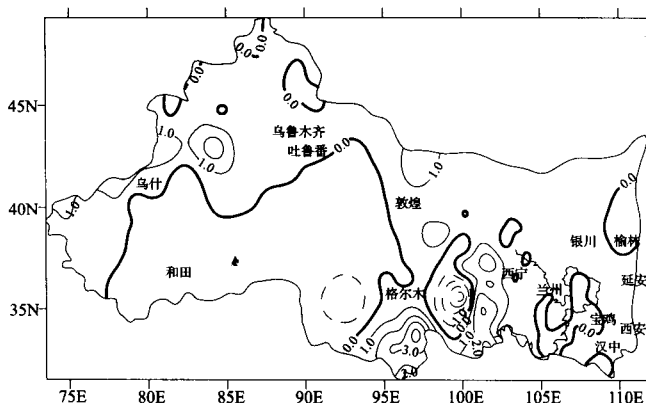


图 1.3 20 世纪 70 年代西北年平均冰雹日数距平分布图 (单位: d)

2.2 时间分布特征

2.2.1 年际变化

1971—2000年西北185个气象站的冰雹总站次时间演变曲线(图1.4)呈明显的8峰8谷型,年际间变化振幅十分明显,最大值出现在1973年为733站次,最小值出现在1997年为298站次,最多年的冰雹站次是最少年的2.5倍,次大值出现在1983年为721站次,次小值出现在2000年为332站次。总体上,20世纪70年代为冰雹多发期,80年代呈减少的趋势,90年代呈持续减少的趋势。

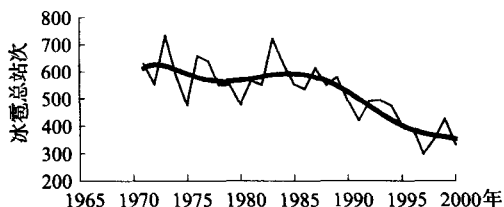


图 1.4 西北地区 1970—2001 年冰雹总站次数年际变化 (细线为冰雹次数, 粗线为 5 阶拟合)

1970—2001年西北区域平均年冰雹日数距平年际变化呈持续减少趋势(图1.5), 1970—1989年是冰雹偏多时段, 在这一时期只有1975年和1980年是偏少的, 其余年份基本上是偏多的, 1990年以来呈持续偏少趋势, 各年均比平均值偏少(郭江勇等, 2005)。

为了理解这种变化与大气环流的关系, 利用对比分析方法, 对多雹期和少雹期、多雹年和少雹年的成因进行了诊断分析。结果认为: 多雹期和多雹年北半球500hPa极涡弱, 乌拉尔山至巴尔喀什湖高度场和温度场均为正距平, 雅库次克至贝加尔湖高度场为负距平, 西北地区上空盛行西北气流, 冷平流强, 温度偏低, 层结不稳

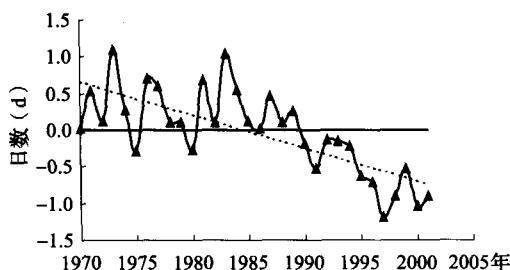


图 1.5 西北地区 1970—2001 年冰雹总站

次数距平年际变化 (曲线为冰雹日数距平, 虚线为变化趋势, 单位: d)

定, 易触发强对流天气。少雹期和少雹年北半球 500hPa 极涡强, 乌拉尔山至巴尔喀什湖高度场和温度场均为负距平, 雅库次克至贝加尔湖高度场和温度场均为正距平, 西北地区上空受高压脊控制, 温度偏高, 层结稳定, 对流难以发展。在 $40^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 中高纬度 700hPa 到 200hPa 的温度 20 世纪 90 年代比 70 年代偏高, 西北地区上空各层 90 年代也是升温的, 这可能是西北地区 90 年代冰雹持续减少的重要原因。

由此推论: 在全球变暖背景下, 赤道气温变化小, 北半球中高纬度升温大, 北半球南北气温梯度在减小, 南北气压梯度在减小, 冷空气活动在减弱; 与此同时, 我国北方地区 (包括西北和华北) 自 1986 年以来持续 16 个暖冬, 冬季升温幅度大, 相比较, 同时期夏季升温幅度小。与 20 世纪 50~70 年代相比, 冬夏温差变小, 年变化变小, 冷空气活动偏弱。冷暖空气交锋, 形成系统性辐合及上升运动, 这是多数冰雹形成的机制。因此, 冷空气活动偏弱和连续的全球气候变暖导致的上升运动减弱是年冰雹日数持续减少的两个重要物理原因。预测未来气候继续变暖, 冷空气活动将偏弱。因此, 与 20 世纪后 30 年均值相比较, 总体上未来西北地区冰雹偏少 (刘德祥等, 2005)。

2.2.2 年变化

1991—2000年西北地区降雹总日数及站次的年变化(图1.6)表明,近93%的雹日出现在5~9月,尤以6月为最盛,占全年雹日总数的25%,7、8月分别为全年平均雹日总数的22%和17%。降雹多发于夏半年,这与日照强烈、地表增温明显、层结不稳定加强,容易发生对流性天气有关(赵红岩等,2005)。

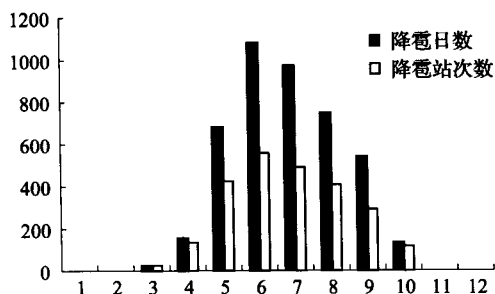


图 1.6 1991—2000 年西北地区总降雹日数及站次数年变化图

2.2.3 日变化

冰雹是强对流天气,具有明显的日变化。图1.7a是西北地区(1961—2002年)41年3~10月各时段85站冰雹总频数的日变化。可见,西北地区各月一日中12:00以后冰雹频数迅速增加,14:00~18:00最盛,20:00以后迅速减少,00:00~10:00最少。降雹主要发生在12:00~20:00,占总冰雹次数的75%~90%,尤其在午后至傍晚因地表受热对流最旺盛,降雹最多,所以14:00~18:00的降雹占总冰雹次数的50%~70%。夜间和早晨很少降雹,仅占总冰雹次数的3%~10%。图1.7b是西北地区几个代表站冰雹总频数的分布,冰雹日变化规律与上述是一致的,也是12:00~20:00降雹最多。

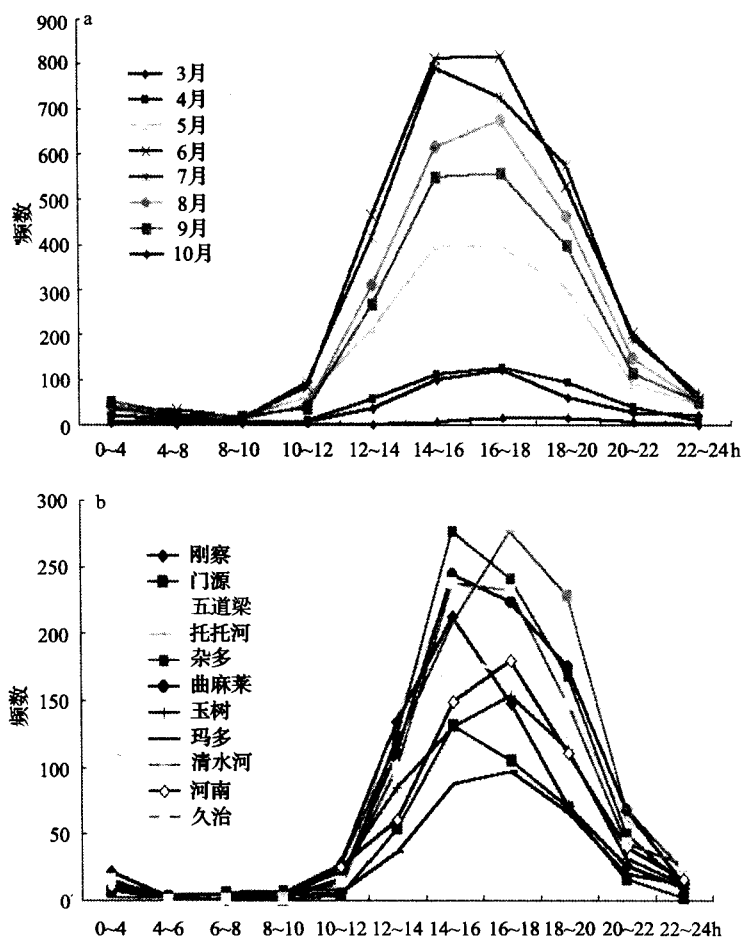


图 1.7 西北地区 (1961—2001 年) 冰雹频数日变化

a. 3~10 月各时段 85 站冰雹总频数的日变化;

b. 几个代表站冰雹总频数分布

2.3 时空异常特征

在研究冰雹时空异常气候特征时,为了消除地理位置和地形对冰雹的影响,对各站历年冰雹日数首先进行标准化处理。为了更有效地分析冰雹日数空间异常特征和时间变化规律,这里采用文献(吴洪宝等,1995;王宝灵等,1995)中的方法对冰雹日数场进行自然正交函数分解(EOF)和旋转自然正交函数分解(REOF)。用二阶主值函数 $Y(t)$ 表示旋转主成分(RPC)随时间的变化趋势,即

$$Y(t) = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 \quad (1.1)$$

式中 t 表示年份序号, C_0, C_1, C_2 为系数,用最小二乘法求得。

2.3.1 空间异常分布

西北地区冰雹日数的空间分布特征是高原和高山多,河谷、盆地、沙漠和平川少。用年冰雹日数标准化序列资料经 EOF 展开后的前2个载荷向量分析西北地区年冰雹日数的主要空间异常特征。

第一载荷向量场(LV1)表明了大部分地区与南疆的差异(图1.8a)。正值中心在门源($37.3^\circ\text{N}, 101.6^\circ\text{E}$),中心载荷量为 $+0.25$;负值中心在且末($38.1^\circ\text{N}, 85.5^\circ\text{E}$),中心载荷值为 -0.13 ,零等值线在南疆,与阿尔金山形状大体一致。这主要是南疆处在青藏高原北侧,受青藏高原的阻挡,缺乏水汽来源,一年四季均为下沉气流(徐国昌等,1983),成为全国的降水最少的地方,也是冰雹最少的地方。第二载荷向量场(LV2)为 $+$ 、 $-$ 、 $+$ 分布,反映了青藏高原东部(青海省)和祁连山区与新疆东北部山区、河西走廊西段和西北东部(黄河以东)的差异(图1.8b)。第一个正值中心分别位于北塔山($45.3^\circ\text{N}, 90.5^\circ\text{E}$),中心载荷值为 $+0.23$,这里属于干旱气候,常年以西北气流为主,由于地形的动力作用,容易形成降雹条件。另一个正值中心分别位于佛坪($33.5^\circ\text{N}, 107.9^\circ\text{E}$),中心载荷值为 $+0.24$,这里属于季风气候,

水汽来源于偏南气流,形成冰雹的水汽条件较充分。负值中心在曲麻莱 (34.1°N , 95.7°E), 中心载荷值为 -0.26 。这里属于高原气候, 由于青藏高原的加热作用, 尤其是夏季白天的加热作用, 造成了高原的局地辐合上升运动, 增强了高原大气的不稳定性, 从而为对流性天气的发生发展提供了有利条件, 受独具特色的高原季风环流及区域性环流作用, 致使冰雹频繁发生, 成为西北地区冰雹最多的地方 (图 1.8b)。

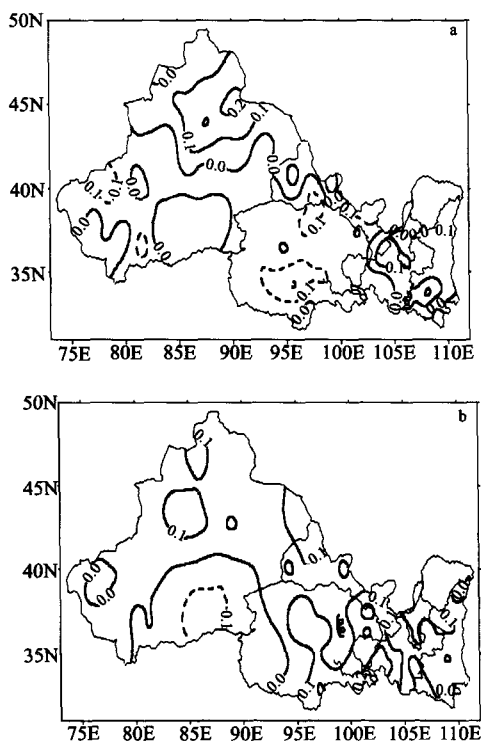


图 1.8 西北地区年冰雹日数载荷向量 (a 为 LV1, b 为 LV2)