



N. R. 戈克海爾 著

雹暴和雹塊生長

科學出版社

雹暴和雹块生长

N. R. 戈克海尔 著

中国科学院兰州高原大气物理所 译

科学出版社

1981

内 容 简 介

本书系统地介绍了近代有关雹块和雹暴研究的主要成果。全书共分十一章, 主要介绍冰雹气候、冰雹报告网及雹击带的分布, 雹块的物理特性及内部结构, 雹暴的雷达分析, 各种雹块生长模式, 同位素分析, 冰雹的预报和防雹等。

本书可供从事云雾物理和人工影响天气方面工作的专业人员、大专院校气象和大气物理专业师生及其它气象工作者参考。

N. R. Gokhale

HAILSTORMS AND HAILSTONE GROWTH

State University of New York Press

Albany, 1975

雹 暴 和 雹 块 生 长

N. R. 戈克海尔 著

中国科学院兰州高原大气物理所 译

责任编辑 侯建勤

科学出版社出版

北京朝内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1981年8月第一次印刷 印张: 10 3/4 插页: 1

印数: 0001—1,700 字数: 243,000

统一书号: 13031·1633

本社书号: 2241·13—15

定 价: 1.80 元

译 者 的 话

雹暴是雷暴天气发展的一个特殊阶段,它是一种中尺度的灾害性天气,雹暴内积雨云的发展和演变主要受到气流、水汽、温度等条件的制约,是一种宏观物理变化过程。雹块是雹云中水成物(泛指云滴、雨滴、雪、雹粒等液、固态水汽凝结体)演变中的一个最终复杂形态,它主要受到云中上升气流、成冰核、含水量、雹胚性质等条件的制约,是一种微观物理变化过程。现代的冰雹研究已开始将宏观和微观两种变化过程联结起来考虑,为的是使人们对雹暴和雹块生成演变规律的了解逐步深化。本书的命题反映了这方面的一种趋势。

本书作者在人工冰核的实验室研究和雹块生长机制研究方面很有经验(见书中五、八、十一诸章)。比较起来,本书的第五章写得最为仔细,其中详细地介绍了雹块微物理研究中制作雹块切片的关键性技术及一系列结晶学的研究方法,这部分资料在别的书籍或文献中是很难看到的,估计会引起国内冰雹工作者的很大兴趣。我们感到本书有些不足之处。作者虽然广为介绍了国外冰雹研究方面的结果,但大致是截至60年代底至70年代初期的情况,因此书中所述只是代表了70年代初的国外研究水平,事隔又近十年,国外又有许多新的研究成果和动向(如雹暴分类、雷达特征、飞机探测、数值试验等)未能反映出来。另外,本书的文字叙述方面,似乎拘泥于一般介绍和求通俗,而使许多必须用物理和数学语言表达的地方,却局限于文字叙述,使读者不能透彻理解(如七、八二章)。

我国开展防雹研究工作已有二十余年的历史,全国已有许多专业队伍,并且正在不断成长和壮大,他们在与群众防雹工作结合的过程中,已取得了丰富的实践经验,现今普遍对如何提高防雹效率和如何评价防雹效果等问题感到很大的兴趣。本书十一章中,作者用大量篇幅介绍了苏联60年代的防雹成功经验,这些做法国内工作者已深为熟悉,作者虽然也提到一些防雹负效果的例子,但未予评论,看来作者是倾向于相信苏联防雹经验的。这一点,恐怕已不合时代要求。实际上,近年来,国外对防雹效果的争论已很多,例如,美国国家冰雹研究实验的1972—1974年防雹试验表明,用雹雨分离器在播撒日测得的雹量平均增加60%;在最近的苏联文献中,他们自己也承认对强烈风暴的防雹存在困难,有时防雹失败以及在某些条件下降雹反而增加。因此,我们在考虑防雹试验时,应当按照我们自己的实践经验来吸收国外合理的东西,切不可盲目跟随。不管怎么说,这点是肯定无疑的,目前防雹工作尚处在试验阶段,必须持慎重和客观的态度。另外,欲究防雹之效果,必得加强雹暴和雹块形成规律方面的研究。

本书由中国科学院兰州高原大气物理研究所集体译出。由于水平不够,译文中错误和不当之处一定不少,请读者批评指正。参加本书翻译和校订的同志有:郭昌明(序),刘欣生(第一章),刘欣生、白德宝、赵彤(第二章),胡隐樵(第三章),叶宗秀、李丁华(第四章),杨颂禧(第五章),言穆弘、原永泉(第六章),葛正模、徐文俊(第七章),刘棠福(第八、九章),张喜轩(第十章),黄孟容、徐隆家(第十一章),黄孟容、卢昆亮(附录A, B, C)。全书各章先由杨颂禧、蔡启铭、郭昌明、葛正模同志分工校阅,而后由高由禧同志抽校。

1979年4月于兰州

序

雹暴和雹块生长是一个我们的认识和理解正在迅速发展着的课题。现在看来有可能对降雹过程采取一定的控制措施,但如果要对降雹过程进行有效的人工影响,就必须对雹块生长所涉及的物理过程有一个全面的了解,为了总结过去 20 年来在这个领域里的进展和展望今后的发展前景,作者写成了这本书。

要是没有世界各地几个从事于这个问题研究的团体的辛勤努力,也不可能得到我们的认识。在给出关于雹暴和雹块生长的研究问题的最新评述时,作者对很多国家已经取得了共同的结论的工作表示敬意。

在过去十年中,只有少数几篇专论与这个课题的某些方面有关,但没有一篇是像本书所力求作到的尽可能地广泛。本书是这类工作的第一本参考书。它把近代广泛而详细的研究雹块和雹暴的报道收集成一本书,并作了广泛的评论。

在雹块的形态学、冰雹的内部和外部结构、雹暴和降雹的空间和时间特征、雹暴的雷达特征、预报以及防雹等问题的讨论中,还用了一些别处没有的事实和统计数字。正文中包括有这个课题的综合报道和截止到 1975 年底以前的主要参考著作。

撰写本书兼顾了两个主要目的。其一是想把它作为这个课题的研究生的进修课本,以供那些学过普通气象学及云和降水物理学而且下功夫了的理工学生用,希望为这些学生指明进行独立工作所必须的基础知识。其二,本书援引了大量近期论文,以期为雹暴和雹块生长方面的研究工作者提供一本有用的参考书,并希望科学团体将冰雹研究的注意力集中在最重要和最迫切的问题上。

谨向南非*物理研究所的 A. E. Carte 博士,加拿大阿尔伯达研究协会的 G. Goyer 博士,法国 Clermond-Ferrand 大学的 R. G. Soulage 教授以及在奥尔巴尼纽约州立大学的我的同事 H. Hamilton 博士和 J. E. Jiusto 表示感谢。他们都看了本书的原稿并对各个部分提出了许多有益的建议。我也高兴地向 Sally Young 女士表示感谢,在预备原稿过程中,她给予了极宝贵的帮助。

承蒙一些团体和出版社允许复制大量图表,作者在此表示谢意。

Narayan R. 戈克海尔

1975 年 11 月于纽约州

* 南非(阿扎尼亚)(在白人种族主义者统治下)(下同)。——译者注

目 录

译者的话	i
序	ii
第一章 绪论	1
第二章 冰雹气候学	3
2.1 美国的雹暴	3
2.1.1 雹暴-雷暴的比例	3
2.1.2 年变化和日变化	5
2.1.3 雹暴造成的经济损失	5
2.1.4 冰雹气候的差异	7
2.1.5 美国中部的冰雹气候	7
2.2 加拿大阿尔伯达的冰雹气候	8
2.3 欧洲的冰雹气候	9
2.4 其他国家的雹暴	13
2.4.1 阿根廷	13
2.4.2 苏联	14
2.4.3 热带的降雹情况	15
2.4.4 非洲	15
2.4.5 印度、巴基斯坦和孟加拉国	19
2.5 降雹的开始时间	20
2.6 降雹的持续时间	21
2.7 冰雹量	23
2.8 雹块的浓度	23
2.9 小结	24
第三章 雹暴降雹的图型	25
3.1 冰雹报告网	25
3.1.1 丹佛地区	25
3.1.2 伊利诺斯州中部	26
3.1.3 加拿大阿尔伯达	26
3.1.4 南非德兰士瓦	28
3.2 雹迹和雹击带	29
3.3 降雹的间断性	34
3.4 雹击带和降雨的关系	36
3.5 小结	36
第四章 雹块的物理特性	38
4.1 冰雹的分类	38
4.1.1 冰雹	38
4.1.2 雹块	38

4.1.3	冰丸	38
4.1.4	雪丸	38
4.2	雹块的形状	40
4.3	雹块的末速度	42
4.4	雹块的大小	46
4.5	雹块的密度	46
4.6	雹块的硬度	47
第五章	雹块的内部结构	48
5.1	瑞士冰雹风洞	48
5.2	研究内部结构的实验技术	49
5.3	冰沉积的型式	51
5.4	雹块的胚	52
5.5	雹块的分层	53
5.6	晶体大小和形状	55
5.7	晶体的取向	57
5.8	气泡	59
5.9	瓣状结构	61
5.9.1	尖顶瓣	61
5.9.2	冰柱瓣	62
第六章	雹暴的雷达分析	65
6.1	冰雹回波的特征形状	65
6.2	反射率和高度	65
6.2.1	新英格兰雹暴	66
6.2.2	沃金厄姆 (Wokingham) 风暴	68
6.2.3	伊利诺斯雹暴	69
6.2.4	南达科他西部雹暴	70
6.2.5	阿尔伯达雹暴	71
6.3	高空最大反射率的意义	75
6.4	多波长技术识别冰雹和估计大小	75
6.5	其他技术	78
6.5.1	偏振	78
6.5.2	使用脉冲多普勒雷达	79
第七章	雹块生长模式	80
7.1	雷暴计划	81
7.1.1	不规则的雷暴和飏线雷暴	81
7.1.2	雷暴单体的发展	81
7.1.3	冰雹	83
7.2	雹块生长模式	83
7.2.1	多次进入模式	83
7.2.2	Schumann 的雹块生长理论	84
7.2.3	Ludlam 对热平衡和雹块生长的计算	85
7.2.4	海绵状生长	88

7.2.5	R. H. Ludlam 的模式	89
7.2.6	Dessens 的模式	93
7.2.7	Hitschfeld 和 Douglas 的模式	93
7.2.8	Sulakvelidze及其同事们提出的模式	95
7.2.9	数值模式	97
第八章	雹块生长新模式	98
8.1	上升气流的结构和速度	98
8.2	模式云	99
8.2.1	云底高度和温度	99
8.2.2	质点的下落速度	99
8.2.3	过冷水滴区和冻结水滴区	100
8.2.4	上升气流廓线	101
8.2.5	液态含水量	101
8.3	发展旺盛的上升气流上部大量水汽凝结体的生长和积累	101
8.3.1	毫米大小水滴的生长	101
8.3.2	水汽凝结体的积累	102
8.4	雹胚的来源	103
8.5	冰雹的生长区	104
8.6	强上升气流中的云滴生长	104
8.7	雹块生长曲线	105
8.8	内部结构的演变	106
8.8.1	干生长	106
8.8.2	湿生长	106
8.8.3	例 1	107
8.8.4	例 2	108
8.8.5	一般的分层生长	109
8.8.6	雹块下落时的湿生长层和蒸发	109
8.9	水平辐散	109
8.9.1	径向速度	110
8.9.2	稳定上升气流中质点位移的一个特例	111
8.9.3	大雹块的浓度	111
8.10	风切变和冰雹生长	111
8.11	结论	112
第九章	雹块的同位素分析	113
9.1	同位素分析	113
9.2	理论	113
9.3	实验方法	114
9.3.1	质谱仪	114
9.3.2	实验程序	114
9.4	同位素资料的分析	114
9.4.1	雹块生长的轨迹	116
9.4.2	对“一个雹块分析”的评论	116

第十章 冰雹预报	121
10.1 潜在不稳定性	121
10.2 湿球冻结层的离地高度	123
10.3 低层大气的水汽	123
10.4 云底温度	123
10.5 冻结高度	124
10.6 高层的强风	125
10.7 雷达反射率的最大高度和雷达反射率的强度	125
10.8 最近的研究	125
10.9 公共的冰雹预报服务机构	125
10.10 识别有雹雷暴的新建议	127
10.10.1 冰雹的发生	128
10.10.2 估算雹块大小的列线图	129
10.10.3 结论	129
第十一章 防雹	131
11.1 火箭发射	131
11.2 防雹的构想	131
11.2.1 对风暴的过量播撒	132
11.2.2 播撒凝结核	132
11.2.3 增加雹胚数	132
11.3 由接触成核造成小水滴冻结	133
11.4 防雹计划	134
11.4.1 美国的计划	134
11.4.2 苏联的计划	135
11.4.3 阿根廷的计划	140
11.4.4 法国西南部计划	140
11.4.5 瑞士的计划	141
11.4.6 巴伐利亚的计划	141
11.4.7 肯尼亚的防雹计划	142
11.5 小结	144
附录 A 雹块的冲并效率	145
附录 B 雹块的融化	148
附录 C 国家冰雹研究实验 (NHRE)	150
附录 D 常用的物理常数	152
参考文献	155

第一章 绪 论

雷暴是剧烈而壮观的大气对流现象,雷暴总是联带着大雨、阵风及闪电,它还下雹,偶而还伴有陆龙卷。虽然产生大的和中等冰雹的风暴总与雷暴有关,但小冰雹却可以从非雷暴云中降下来。另外,在雷暴发展的某一阶段也可能包含有小冰雹,但雹胚可能局限于某些区域,它们在到达地面前就融化了,因此,就比较难于明确确定出现雷暴和雹暴之间的关系。

在 1950 年以前,雹暴的起源及其控制的研究很少引起大气科学家的重视,虽然有时能听到造成作物损失、毁坏窗户、破坏屋顶以及砸坏车辆的异常雹块的报道,但对雹暴并没有进行过任何系统的研究,有时也听到致命的大雹块杀死或伤害鸟与动物的消息。

因为全球到处都有雹暴出现,所以增进冰雹形成问题的知识具有世界范围的意义。如所周知,这些风暴通常在夏季的午后或傍晚发展起来,这些风暴经常出现在中纬度地区的大陆内部,在海上和接近两极的地区,其出现几率减少。然而,应当强调的是,后面这些地区对风暴的观测很少。

由于人们需要认识和控制雹暴,所以应当对这种现象进行广泛的研究,因为每年在很多国家中冰雹造成大量的破坏,所以防雹具有经济意义。在美国,冰雹每年对作物和财产造成的破坏估计达 3 亿美元,超过典型年份由陆龙卷造成的损失。雹灾给作物带来的损失可能超过雹灾造成的总损失的 80% 以上,这个百分比除了取决于雹暴出现的频数外,还和受影响的耕作面积占总的受影响面积的百分比、作物的价值及其耐冰雹破坏的能力等许多因素有关。例如,在科罗拉多州和怀俄明州有强雹暴,但它造成的破坏却远低于堪萨斯州。因为在堪萨斯州,虽然雹暴不强,但往往出现在小麦正成熟的季节。在北卡罗来纳州降雹的频数是最低的,但对于贵而易受损害的烟草所造成的破坏却很严重,这是一个不愉快的巧合,即在美国,强冰雹往往出现在作物极易受损伤的时间。如 7 月在中西部产玉米的地区,而 8 月在北部产小麦的地区。在美国,作物的冰雹保险费高达作物总价值的 20%。因此减缓雹暴的某些成功足以补偿在冰雹研究中所花费的任何基金。

冰雹是飞行员面临的最严重的危险之一,因为飞机表露的轻金属可因冰雹打击而造成严重的破坏,特别当飞机以高速飞行时更是如此。当然,借助于机载雷达,飞行员现在可以力求避免进入强雷暴区,但有时仍会意料不到地碰到冰雹和剧烈湍流,因而付出很大代价。

近年来,雹暴研究中已增加了新的手段。经常很容易用雷达,研究飞机及其他仪器来跟踪一个和大的锋面系统不相联的孤立雹暴。在雹暴的发展期,成熟期及消散期的整个阶段内(通常不超过几小时)能对它的结构的某些方面进行研究。此外,这些年来对雹暴认识的增加以及发展破坏雹块生长过程的触发技巧方面的某些成功也给研究工作很大的促进。

因此有很多研究人员正在研究对雹暴的观测、认识和预报以及最终的人工影响等问题。在美国,冰雹的危害是一个全国性的问题,这个事实已得到官方承认。最近联邦政府

的很多部门支持一个国家冰雹实验计划（NHRE）以研究雹暴和审查防雹的可能性。

冰雹形成的研究在于鉴别产生雹暴的大气条件以及有关雹块生长的云微物理过程。至今还不能提出一个完整的雹暴模式，能从雹暴形成到最后消散和降水的各个阶段中，分别考虑进空气运动和质点块的空间与时间分布。然而我们尽力仔细地综合世界各地研究者所获得的雹暴方面的零星资料，以期得到一个比较一致的认识，这就是以后各章的目标。在这些章节中介绍了雹块形态、雹暴和降雹的空间与时间特征、雹块的内部和外部结构、雹块的生长模式、冰雹的雷达特征及冰雹预报、防雹等方面的一般评论。

第二章 冰雹气候学

如在绪论中所提到的,雹暴经常出现在中纬度的大陆内地,在热带和两极地区以及海上都很少出现。在热带,发展旺盛和完善的积雨云比较少见,在云下层的融化作用最大。在寒冷气候区,云的水汽和旺盛发展都受到限制。在海上,由于缺少强烈的地表加热作用而抑制了能产生大雹块的强上升气流的发展。这样,在高纬度及海洋气候中冰雹应当是很少发生的,但关于这些地区遭遇冰雹的资料很少。这种分布型式有重要意义,因为人们认识到,人和作物都集中在易受雹暴危害的中纬度地区。最易遭受雹灾的地理区域包括有:美国落基山脉以东的大平原,加拿大,欧洲,印度的中部和北部,阿根廷的涝沛大草原,肯尼亚,南非,苏联和中国。

2.1 美国的雹暴

根据国家天气局的记录,在美国的几乎所有地区都有雹暴出现,然而在某些州雹暴出现和作物受灾的比率却远大于另一些州。Flora (1956) 讨论了雹暴地区分布的详细情况。作物总受雹灾量中堪萨斯州居于全国首位,其次是在落基山脉和密西西比河之间其他几个州。已试图找出作物受灾和风暴猛烈程度之间的相关性,然而这种统计的意义是有限的,因为受灾情况取决于受影响的作物种类及在作物生长期中风暴出现的时间。

2.1.1 雹暴-雷暴的比例

众所周知,冰雹-雷暴比是随地理和季节而变的。40 年的资料(1947 年,美国天气局水文气象报告第 5 号)指出,虽然临墨西哥湾各州,每年的雷暴频数最大,但这个地区和大西洋沿岸地区冰雹频数却是最少的。随着地区向西移动冰雹频数也增加,到落基山正东的大平原达到最大值。在太平洋沿岸地区有一个次极大值,然而只包括少许风暴,而且这些风暴只产生小冰丸而不是中或大冰雹。

图 2-1 表示 40 年里美国全国雷暴频数、冰雹频数及雹暴-雷暴比的月变化。海岸风暴中雹暴-雷暴比的季节变化是最小的。而中西部风暴中雹暴-雷暴比的季节变化超过 20%。雷暴频数和冰雹频数分别在 7 月和 5 月达到最大。有趣的是,图 2-1 的第三条曲线表示,雹暴-雷暴比最小值出现的时间几乎与雷暴频数峰值出现的时间相同,这一点现在还无法解释。

雹暴频数-雷暴频数比的资料对单点而言是有用的资料。然而,当描绘区域分布图时,如果雹

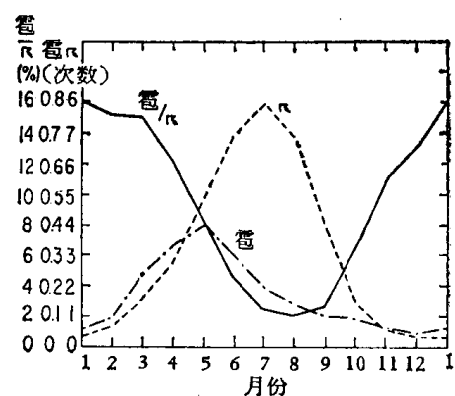


图 2-1 美国 (1904—1943 年) 雷暴 (R) 频数的月平均值与造成冰雹的雷暴月平均值的百分比

(资料引自国家天气局水文气象报告第 5 号, 1947)

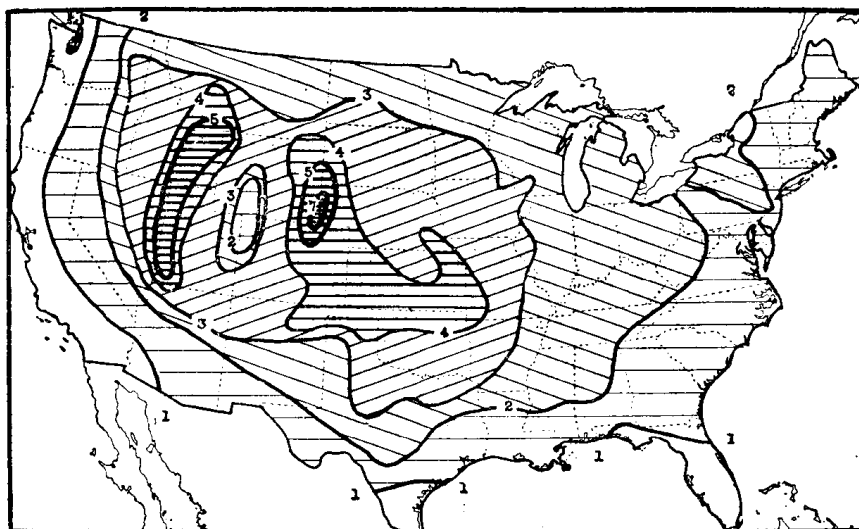


图 2-2 美国各地每年的一般雹日数
(引自 Visser, 1966)

暴日数是从单站报告的就会引入一定的偏差。此外，对一给定区域内用网络报告方法比用单站报告方法更能描绘出比较真实的降雹图形(图 2-2)。

Beckwith (1960) 报告了在一个协作报告网帮助下得到的 1949—1958 年丹佛地区雹暴出现频数的分析结果。表 2-1 (a) 第二行里表示的雹暴-雷暴比是一个有用的指标，但它有上面所讨论过的偏差。当不存在这种偏差时，10 年中 1:8.0 的比例要减少到 1:1.7。表 2-1 (b) 表示出丹佛地区冰雹的区域频数与单站频数的对照。表中第三栏是天气局报告的官方雹日数。区域频数与单站频数比的 10 年平均值是 4.4:1.0。

表 2-1 (a) 雹暴-雷暴的比例 (引自 Beckwith, 1960)

报 告 方 式	总 雹 日 数	总 雷 暴 日 数	比 率
10 年, 非官方, 网络区域	225	391	1:1.7
10 年, 官方, 单站	51	391	1:8
59 年, 官方, 单站	4*	43*	1:11

* 指年平均数

表 2-1 (b) 雹日的区域频数与单站频数的对照 (引自 Beckwith, 1960)

年 份	网络的雹日数	官方的雹日数	区域与单站的比
1949	33	4	8:1
1950	23	3	8:1
1951	34	9	4:1
1952	16	2	8:1
1953	21	7	3:1
1954	9	4	2:1
1955	26	9	3:1
1956	13	3	4:1
1957	25	6	4:1
1958	25	4	6:1
总 计	225	51	4.4:1*

* 指 10 年平均值

2.1.2 年变化和日变化

从9月到来年4月初雹暴是比较少见的,仅占全年总数的15%,图2-3表示出雹暴数的年变化。许多州的雹暴活动季节是5,6,7和8月,这些月份的雹暴数占全年总数的85%。美国中部地区频数的变化将在2.1.5节详细讨论。

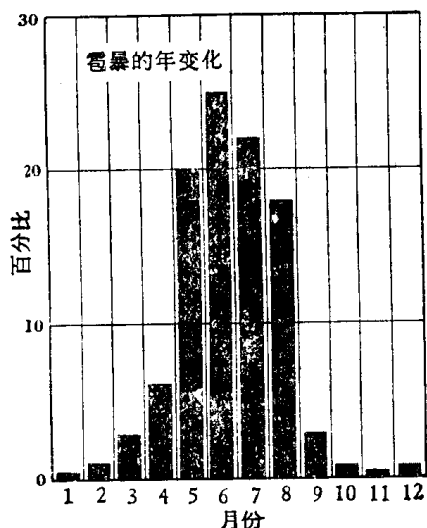


图 2-3 美国雹暴数的年变化

从9月到4月雹暴比较少见。(引自 Petterssen, 1969)

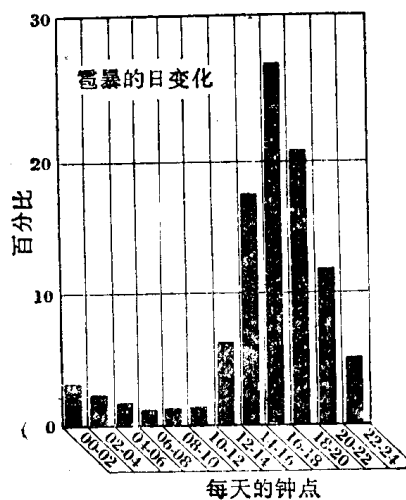


图 2-4 美国雹暴的日变化

约有85%的雹暴出现在中午和下午10时之间。
(引自 Petterssen, 1969)

图2-4表示出雹暴的日变化,在正午至下午10时之间有一个急剧升高,以致这个时间内雹暴数占雹暴总数的85%。直方图表示频数最大值是在下午4—6时之间。科罗拉多州东北部的雹暴证实了这个倾向 (Goyer 与 Wood, 1972)。

2.1.3 雹暴造成的经济损失

在美国,由各种形式的恶劣天气产生的经济损失是难以确定的,因此,在这个问题上可以利用的资料非常少。虽然作物遭受的雹灾损失是确定得比较好的,因为有保险公司

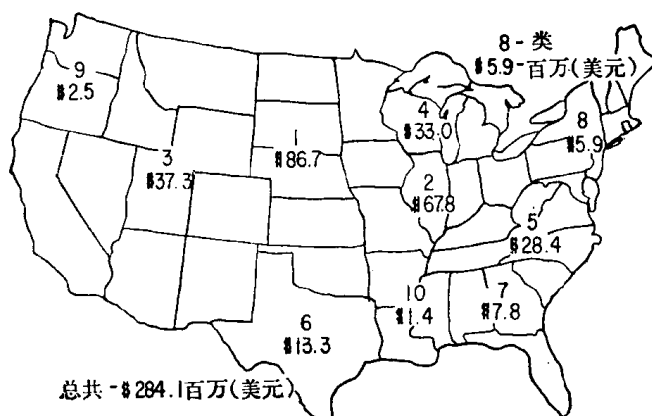


图 2-5 (1948—1967年) 各地平均每年雹灾损失数及其排列次序
(引自 hangnon, 1971)

40 年以上保存得很好的纪录。然而应当认识到,用保险资料只能对总的雹灾损失进行近似的估计,因为作物价值的 80% 并没有被保险。

在美国,大多数生长的作物是易受雹灾危害的,有些如水果和烟草之类的作物比其他作物更易受灾。由 Changnon (1971) 报告的主要作物损失及损失的百分比(占 1963—1967 年全国总损失估计数的百分数)为:小麦——51%;棉花——11%;玉米——10%;大豆——9%;烟草——7%。

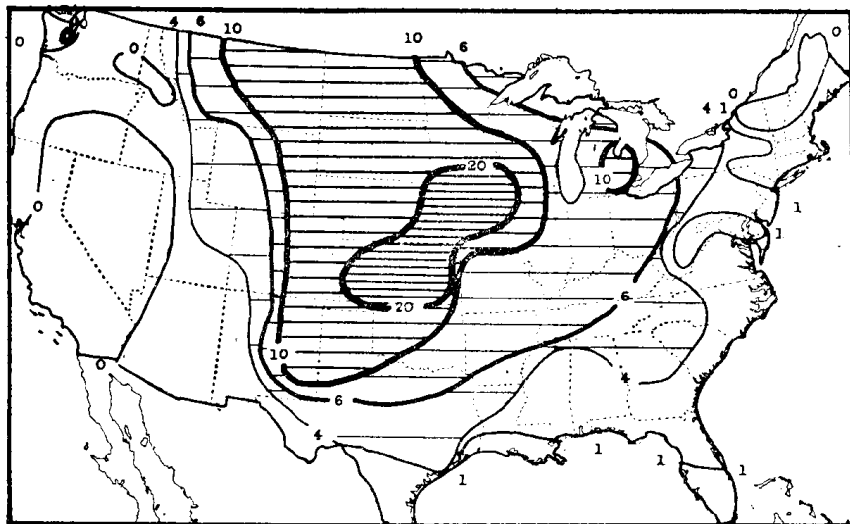


图 2-6 每生长季的多年平均雹暴数
(根据州平均数得出)(引自 Visher, 1966)

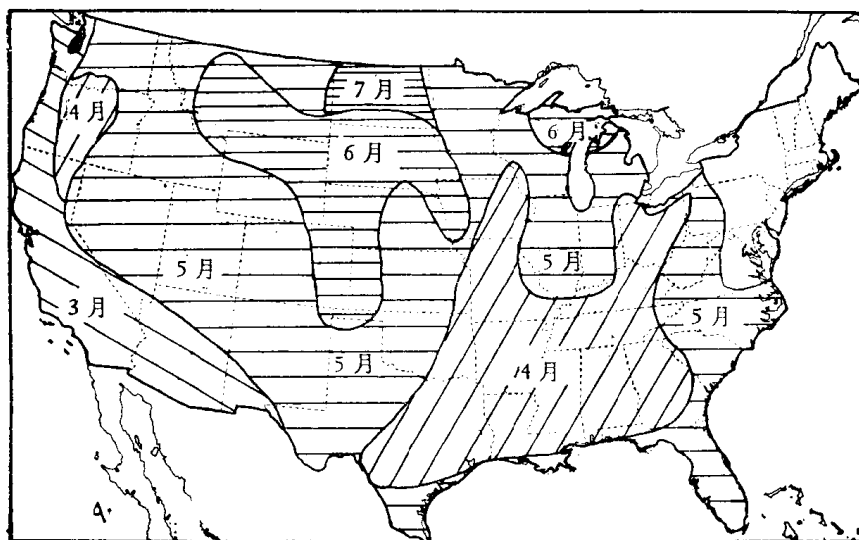


图 2-7 冰雹: 多年平均的最多雹暴月份
(引自 Visher, 1966)

由 Jones (1969) 估计的作物因雹灾而遭受的每年平均损失数是 284.1 百万美元(按 1968 年的价格计)。图 2-5 表示出美国各地的作物损失。大平原地区占全国的第一位,其次是玉米种植地带。这些最大损失正好在称为国家“面包篮”的那些州。

财产损失主要包括牲畜、树木,车辆和建筑物。没有全国规模的可利用的资料。然

而,在依利诺斯州的两个详细研究指出,作物-财产损失比是 9:1。利用每年 284.1 百万美元的作物损失数字,估计每年因雹灾而遭受的财产损失平均约为 31.6 百万美元。这样,在美国每年因雹灾而造成的总损失约为 315 百万美元。

2.1.4 冰雹气候的差异

美国的冰雹气候差异很大,可有许多小分隔区。这种差异可从图 2-6 表示的图形上看起来,雹灾主要限制在 4, 5, 6, 7 和 8 月几个月份。图 2-7 表示美国多年平均的最多雹暴的月份,在中部地区的南部,4 月的频数较大;而在中部地区的北部,7 月的频数较大。

2.1.5 美国中部的冰雹气候

Stout 和 Changnon (1968) 详细地描述了美国中部地区十七个州的冰雹气候。在落基山和阿巴拉契亚山之间的地区,冰雹造成的损失最大。

由于他们所使用的资料,比气象局出版的早期研究中所使用的多得多,所以这个研究具有重要意义。他们的图集包括了十九幅冰雹分布图,提供了空间和时间的变化资料。另外,还给出了 20 年月平均雹日和总雹日数分布图。

这些资料,来源于美国气象局(即现在的国家海洋和大气管理局气象服务中心),取自十七个州中的 1285 个站,列于表 2-2 中。这些观测结果,大部分是在 1910 年到 1960 年之间记录到的。大部分的州有 2 个到 5 个一级站,分布在这十七个州中的一级站的总数有 87 个。这些站由于配有培训过的气象员,提供的资料是可靠的。表 2-3 中列有逐月雹

表 2-2 各站的冰雹资料 (引自 Stout 和 Changnon, 1968)

州 名	台 站 数 目		总 数	每个站的 平方英里数*
	10—19 年的记录	超过 19 年的记录		
伊利诺斯	28	61	89	634
印第安纳	8	31	39	930
密执安	18	52	70	832
威斯康星	12	37	49	1145
密苏里	59	40	99	703
衣阿华	26	41	67	840
明尼苏达	40	38	78	1077
北达科地	53	36	89	794
南达科地	37	46	83	928
内布拉斯加	45	48	93	830
堪萨斯	52	59	111	741
俄克拉何马	19	32	51	1371
得克萨斯	62	28	90	2970
新墨西哥	22	27	49	2483
科罗拉多	16	38	54	1930
怀俄明	26	34	60	1632
蒙大那	77	37	114	1290
总 数	600	685	1285	21130

* 1 平方英里 $\approx$ 2.56 平方公里

日数的单站平均,又可看出某些地点的最大雹日数远比这个数目大,9月至来年1月冰雹频数最低,而4,5,6月冰雹频数最高。

表 2-3 20 年内各月雹日数的单站平均

月 份	20 年内雹日平均数	20 年内每年的最大雹日数及所在地点
1 月	<1	4 密苏里南部
2 月	1	1—7 科罗拉多西部、新墨西哥西北部、 >6 欧扎克高原
3 月	1	17 得克萨斯、俄克拉何马、堪萨斯、密苏里
4 月	8	20 地点同 3 月
5 月	10	40 夏安 25 丹佛
6 月	9	>15 蒙大拿的山区、怀俄明、达科他、丹佛
7 月	1	36 怀俄明东南部、夏安 10 明尼苏达、威斯康星、密执安、阿华、达科他
8 月	1	25 夏安、洛斯阿拉莫斯(新墨西哥)
9 月	<1	15 密执安半岛的上部
10 月	<1	20 密执安 12 科罗拉多、新墨西哥
11 月	<1	20 五大湖周围地区
12 月	≪1	4 新墨西哥南部中心地区

2.2 加拿大阿尔伯达的冰雹气候

正如已说过的那样,某个指定地区的冰雹分布真实指标可以从志愿观测者的稠密网报告中得到。由于气象台站数目有限而且十分分散,所以正规台站满足不了观测冰雹的目的。

阿尔伯达冰雹研究计划 (ALHAS), 在 1957—1966 年的 10 年时间里,收到了阿尔伯达中部 25,000 个农民观测网的 30,000 份以上的冰雹报告。表 2-4 列出了各种冰雹参数的逐月概况。主要的冰雹月份是 6 月、7 月和 8 月。本区有些地点出现冰雹的几率在 6, 7 月为最大。直径超过 2.5 厘米的大雹在 8 月份为最多。雹季在 9 月中旬实际上就结束了。在这个省的不同地区,冰雹频数变化在 1 和 6 之间。

Powell (1961) 提出过地貌和冰雹分布之间关系的报告。在背风坡和平坦谷地,冰雹出现的频数大些,而在湖泊周围和山脊附近出现的少些。这些结果与 Stout 和 Changnon (1968) 在美国中部地区所分析的观测结果正好相反。

阿尔伯达的雹灾给农业带来了一系列的问题 (Summer 和 Wojtiw, 1971)。在一个雹季该省一些地区,作物受灾先后可达 50 天。农田作物遭到的直接损失,估计每年可达 2,300 万美元之多。另外,在受影响的地区,由于一般商业活动的减少,造成了间接的损失。有