

强雷暴预报

孔燕燕 沈建国 编著



气象出版社

强雷暴预报

孔燕燕 编著
沈建国

气象出版社

内 容 提 要

本书结合国内外在强雷暴事件和预报方面的大量研究工作,研究、阐述了雷暴发生的条件,雷暴发生的强弱以及可能出现何种类型的天气现象等,最后以决策树和数值预报产品结合的方法对全书进行总结,得出了新的结果。

本书可供天气预报人员,人工影响天气工作者以及农业工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

强雷暴预报/孔燕燕,沈建国编著. —北京:气象出版社,2001. 11

ISBN 7-5029-3283-6

I. 强… II. ①孔… ②沈… III. 雷雨-天气预报 N. P457.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 080526 号

强 雷 暴 预 报

孔燕燕
沈建国 编著

责任编辑:李太宇 吴宝俊 终审:周诗健

封面设计:创世佳 责任校对:寇红薇

气象出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码:100081)

北京市兴怀印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1029 1/16 印张:10.625 字数:275 千字

2001 年 11 月第一版 2001 年 11 月第一次印刷

ISBN 7-5029-3283-6/P·1157

印数:1~500 册 定价:20.00 元

前 言

雷暴按强度可区分为一般雷暴和强雷暴两类。所谓雷暴强度一般以上升气流强度、尺度、穿透深度以及地面风力大小、雹块大小等因子表征。强雷暴一般指伴有地面强风或大冰雹的雷暴,强雷暴通常也称为强对流风暴或强局地风暴。“局地”一词用以表示它与气旋和台风等较大尺度风暴的区别。本书中的强雷暴一般是指雷暴产生时至少有下列之一的表象发生:(1)强风;阵风风速 $\geq V_c$, (2)落地雹块般大直径 $\geq D_c$ (对子 V_c 与 D_c 的取值局不完全统计);(3)有龙卷事件发生;(4)有暴雨或暴洪事件出现等等。上述天气现象在内蒙古许多地区均有发生,且有的发生概率较高、易造成一定程度的灾害,因此,怎样才能够做好强雷暴预报(其关键是强雷暴的预报准确率问题)是一个值得研究的课题。在预报研究中,一是要考虑几个主要气象面素:层结稳定度、水汽条件和按升面;二是要有一些科学有效的预按方法。在编写本书的过程中,我们参阅了国内外在强雷暴事件和预报方块方面的大量研究成果和文献,在写作当中尽量与内蒙古强雷暴预报的研究内容和方法结合,得出一些有实际应用价值的结果,并在每一章都做了小结,般后造行了综述。

本书第一章先对强雷暴做出定义;从第二章到第十一章主要对文章中报出的前三个问题,即(1)雷暴会发生吗?(2)发生的是强雷暴还是非强雷暴?(3)般可能出现什么类型的天气现象?等逐一加以论速;第十二章主要回够了第四个问题,即最可能出表什么类型的雷暴;第十三章以决值树和般值预按产品结合的方法来作为全书的总结。

本书以 R. P. McNulty 在 1995 年发表的 *Severe and Convective Weather: A Central Region Forecasting Challenge* 以及 R. H. Johns 和 C. A. Doswell III 在 1992 年发表的 *Severe Local Storms Forecasting* 为主要参考文献,并将其思路贯穿子该书的始终。卷望这本书般够对从事强雷暴天气研究和人工防雷研究的按术人员一些帮助,也希望能得到同行专象们对这本书的批评和建议。

本书在键写过程中,得到了吴宝俊、彭治班与郭瑞清等的大力文持和帮助,雷键吉参加了第九章的键写工作,陈大任、张明其、孟通珍、秦莲概键写了第十章,在此一并表示感谢,并对所有参加过有关研究工作的同志们表示深深的谢意。

孔燕燕 沈建国

2001 年 10 月于呼和浩特

目 录

第一章 雷暴的基本概念	(1)
1.1 强雷暴的定义	(1)
1.2 强雷暴引起的灾害	(3)
1.3 与雷暴预报方法有关的几个问题	(12)
第二章 雷暴发生、发展的预报	(16)
2.1 与雷暴发生、发展有关的不稳定	(16)
2.2 与雷暴发生、发展有关的水汽条件	(20)
2.3 不稳定能量的储存机制	(21)
2.4 与雷暴发生、发展有关的抬升源	(23)
2.5 有利于雷暴发生、发展的环流型	(23)
第三章 雷暴的移动和传播	(28)
3.1 雷暴单体的移动速度	(28)
3.2 回波串(系统串)	(31)
3.3 雷暴的传播	(35)
第四章 雷暴强度预报	(37)
4.1 与雷暴强度有关的因素	(37)
4.2 判别雷暴强度的参数举例	(39)
4.3 深对流的诊断和预报	(44)
4.4 SELS 关于深对流潜势预报的经验	(46)
4.5 本章小结	(47)
第五章 降雹预报	(50)
5.1 降雹的气候特征	(50)
5.2 降雹天气型	(54)
5.3 预报降雹用的参数	(56)
5.4 降雹潜势预报方法举例(一)	(59)
5.5 降雹潜势预报方法举例(二)	(61)
5.6 雹块大小的预报方法举例(一)	(65)
5.7 雹块大小的预报方法举例(二)	(69)
第六章 雹云识别	(76)
6.1 塞尔维亚的几种防雹播撒标准	(76)
6.2 人工神经网络在雹云识别中的应用	(79)
6.3 逐步消空法在雹云识别中的应用	(82)
第七章 大雹事件	(86)
7.1 大雹事件的时空分布特征	(86)
7.2 大雹事件天气型	(88)
7.3 大雹事件参数特征	(90)

7.4	大雹事件的可预报性.....	(92)
第八章	雷暴大风	(95)
8.1	雷暴大风的气候情况举例.....	(95)
8.2	预报微下击暴流潜势的一个新指数.....	(99)
8.3	NSSFC 的雷暴大风预报方法	(105)
8.4	一次强微下击暴流的无人探测飞机观测	(109)
第九章	洪水和暴洪事件.....	(114)
9.1	洪水和暴洪事件的概念	(114)
9.2	洪水和暴洪事件的预报	(114)
9.3	洪水和暴洪事件天气型	(116)
9.4	洪水和暴洪事件数值模拟试验的几种方法	(118)
9.5	本章小结	(126)
第十章	雷电(闪电)预报.....	(128)
10.1	闪电知识.....	(128)
10.2	地闪气候规律.....	(129)
10.3	雷暴潜势预报.....	(131)
10.4	地闪的临近预报方法(一).....	(135)
10.5	地闪的临近预报方法(二).....	(137)
第十一章	龙卷事件.....	(142)
11.1	龙卷风暴的定义.....	(142)
11.2	龙卷预报着眼点.....	(144)
11.3	龙卷潜势日的预测方法.....	(146)
第十二章	最可能出现什么类型的雷暴.....	(149)
12.1	总说.....	(149)
12.2	雷暴谱综述.....	(150)
12.3	超级单体谱综述.....	(150)
第十三章	决策树与数值预报产品结合制作雷暴预报——本书总结.....	(156)
13.1	雷暴预报决策树研制历史简介.....	(156)
13.2	澳大利亚新的雷暴预报决策树.....	(157)
13.3	本章小结.....	(162)

第一章 雷暴的基本概念

1.1 强雷暴的定义

1.1.1 “暴”与雷暴(日)

我国许多地方的群众,习惯于把剧烈的天气变化称做“暴”^[1],如把端午节、重阳节附近发生的强天气分别叫“端午暴”和“重阳暴”。在气象界,也习惯于把跟雷电活动相伴的天气称做雷暴。

全国自然科学名词审定委员会新近(1996)公布的《大气科学名词》^[2]中作了如下定义:雷暴(thunderstorm)是指“由于强积雨云引起的伴有雷电活动和阵性降水的局地风暴;在地面观测中仅指伴有雷鸣和闪电的天气现象。”面雷(thunder)是指“闪电通道急剧膨胀产生的冲击波退化而成的声波,表现为伴随闪电现象发生的隆隆响声”。按照世界气象组织给出的定义,在本站听到雷声的观测日叫作雷暴日。

闪电定位仪问世以来,特别是组建起闪电探测网的国家和地区,往往利用闪电探测网取得的闪电资料,作为判断有无雷暴及其伴随天气现象的重要资料之一。

在日常业务工作中,人们往往再将上述雷暴(日)定义进一步细化。下面举例说明:

例 1: HSSW96 与 HSSW97 对雷暴日的定义

瑞士的 Huntreser, Schiesser, Schmid 与 Waldvogel(下称 HSSW96)^[3]以及 Huntreser, Schiesser, Schmid 和 Waldvogel(下称 HSSW97)^[4]对上述定义又作了更详细说明:

HSSW96^[3]与 HSSW97^[4]在界定雷暴日时,使用的资料为瑞士气象研究院(SMI)自动中尺度网(ANETZ)获取的资料,其时间分辨率为 10 min,空间分辨率为 20~25 km。他们利用观测区内 36 个站的近距离($d \leq 5$ km)闪电报告用于确定雷暴日。此外,还利用了保险公司有关雹灾的报告。他们利用上述资料对无雷暴日、雷暴日(孤立雷暴日、大范围雷暴日)给出了如下定义:

(1)无雷暴日:在 1240~2340 UTC 期间,ANETZ 各站无近距离闪电报告;

(2)雷暴日:在 1240~2340 UTC 期间,至少有一个 ANETZ 站有近距离闪电报告;

HSSW96^[3]与 HSSW97^[4]对于雷暴日又按范围大小分为两类。大范围雷暴日:在 1240~2340UTC 期间,至少有 12 个 ANETZ 站有近距离闪电报告以及至少有 20 个社区有雹灾报告;孤立雷暴日:满足“雷暴日”的判据但不满足“大范围雷暴日”的判据。

例 2: KP98 对雷暴实况的界定方法

为了尽可能代表更多气候类型区域,Knapp 与 Passner(下称 KP98)^[5]收集了横贯美国大陆 13 个地区 1990 和 1993 年 3 至 10 月 1200 UTC 的 RAOB(无线电探空观测报告)资料。这 13 个地区代表了不同地理位置和不同气候类型的区域,包括从东海岸和东南部到中部、北部和南部平原以及落基山山区。

KP98^[5]由已编撰的地面观测雷暴记录、国家天气局的雷达资料以及国家闪电探测网(NLDN)输出的资料定出雷暴日。

例 3: Ravi 等对雷暴的界定

Ravi 等指出^[6],在很多国家和地区,例如印度,当一观测站的观测员听到雷声,就认为出现了一次雷暴;这符合国际气象组织关于雷暴日的规定。通常情况下,距离闪电源区 30~40 km 的范围内能够听到雷声。美国和许多欧洲国家安装了闪电探测仪,任何闪电的出现都被认为是一次雷暴出现。Reap(1986)^[7]定义:在 6 个小时内,在边长为 47 km 的网格中,出现两个或更多云地闪电,才作为出现一次雷暴。

1.1.2 强雷暴

在划分强雷暴与非强雷暴时,一般考虑其是否伴有龙卷、强雷暴大风(或下击暴流)、大雹块、暴雨、雷击等灾害性天气现象。例如,美国国家天气局 1986 年将伴有下列天气现象之一者定义为强局地风暴^[8]:有龙卷风发生;直线传播的阵风风速大于或等于 26 m/s,并伴随有灾害;降落的雹块直径达 1.9 cm 以上。

但是,即使同在美国,划分雷暴强弱的具体标准也稍有差异。例如,Maglaras 与 Lapenta(下称 ML97)^[9]在研究纽约州雷暴预报时,将资料划分为以下 4 类:龙卷雷暴日;大范围强雷暴日;小范围强雷暴日;无强雷暴日^[9]。

(1)无强雷暴日:有雷暴发生,但是在美国东北地区(新英格兰、纽约、新泽西、宾西法尼亚)的任意一个测站都未出现强天气;

(2)强雷暴日:纽约州虽然有强雷暴日出现,但美国东北部地区的任意测站无龙卷风。

按照出现强天气的测站数目,ML97^[9]又将强雷暴日进一步分为两类:①小范围强雷暴日:美国东北部地区有 10 个(不含 10 个)以下测站报告有强天气;②大范围强雷暴日:美国东北部地区有 10 个或 10 个以上测站报告有强天气;

(3)龙卷雷暴日:纽约州有一个以上(含 1 个)的测站报告有龙卷出现。

澳大利亚的 Mills 与 Colquhoun 文章(下称 MC98)^[10]中的强雷暴是指雷暴产生时至少要有下列一种现象发生:

- (a)强风:阵风风速 ≥ 25 m/s;
- (b)落地雹块最大直径 $D \geq 2$ cm;
- (c)有龙卷风;
- (d)有暴雨或暴雨潜势。

Turcotte 与 Vigneux(以下简称 TV87)^[11]用如下办法区分强雷暴与非强雷暴。采用的个例是在加拿大魁北克地区及其附近发生的,除 1984,1985,1986 年所有被证实了的强天气个例外,还利用 1983 年的几个强个例扩展了最强个例数目。每次个例都以与大风、冰雹、龙卷有关的事件作为典型事件。对于每次定性为强雷暴事件的标准是下面标准中的一个或多个:

- a)风速 ≥ 25 m/s 的阵风;
- b)雹块直径 $D \geq 1.5$ cm 的降雪;
- c)龙卷和/或漏斗云。

对于发生在几小时内和明显地与同一风暴有关的多次事件计为同一次事件。对于不能提供直接证据的事件与提供的是间接证据的事件列入非强雷暴事件(这在区分强雷暴、非强雷暴中要用到)。直接证据是指事件本身的观测,间接证据是指出版材料的剪贴物、照片……。非强雷暴事件主要是在 1986 年夏季收集到的。TV87^[11]是指:暴雨事件未列为他们所指的强天气事件,尽管暴雨至少由上面提供到的 a),b)或 c)中至少一个相伴随。筛选出这些个例的合理性

由以下事件旁证——这些个例往往是由准静止雷暴和(或)在弱气流情况下相继缓缓移过的单体串产生。

从上面给出的一些例子看出,直到最近,关于强、弱(或非强)雷暴的划分标准,还存在着大同小异现象。

1.2 强雷暴引起的灾害

1.2.1 雷电引起的灾害

虽然强雷暴必伴有雷电,但雷电的监测、预报业务却是目前国内外强雷暴监测、预报以及服务中较薄弱和最亟待解决的问题。

考虑到关象石、杨维林、蔡正洪最近(2001,下称GYC01)^[12]已对雷电灾害作过全面、精辟的阐述,下面转引他们的材料。

雷电是发生在大气层中的气象现象。在雷雨云之间发生的雷电称为云际闪,发生在雷雨云与大地之间的雷电称为云地闪或地闪。地闪对地面建筑物的直击一般称为直击雷,其定义最:雷电直接击在建筑物、其它物体、大地或防雷装置上,产生电效应、热效应和机械力者。雷电发生时其颇为壮观的声、光、电现象,可以用“雷霆万钧——雷霆之所击、无不摧折者、万钧之所压、无不糜灭者”来形容。1992年和1995年,国际电工委员会(IEC)出版的标准IEC61024-1-1和IEC61312-1相继公布了雷电流参数(表1.1~表1.3)以定量的方式告知:

表 1.1 首次雷击的雷电流参量

雷电流参数	防雷保护级别(防雷建筑物类别)		
	I (一类)	II (二类)	III (三类)
I 幅值 (KA)	200	150	100
T_1 波头时间(μs)	10	10	10
T_2 半值时间(μs)	350	350	350
Q_5 电荷量 (C)	100	75	50
W/R 单位能量(MJ/ Ω)	10	5.6	2.5

保护级别为 IEC 规定的防雷装置保护级别;类别为国标规定的建筑物防雷类别

表 1.2 首次以后雷击的雷电流参量

雷电流参数	防雷保护级别(防雷建筑物类别)		
	I (一类)	II (二类)	III (三类)
I 幅值 (KA)	50	37.5	25
T_1 流头时间(μs)	0.25	0.25	0.25
T_2 半值时间(μs)	100	100	100
I/T_1 平均陡度(KA/ μs)	200	150	100

表 1.3 长时间雷击的雷电流参量

雷电流参数	防雷保护级别(防雷建筑物类别)		
	I (一类)	II (二类)	III (三类)
Q 电荷量(C)	200	150	100
T 时间(s)	0.5	0.5	0.5

平均电流 $I \approx Q_1 T$

以上参数是雷击点的参量,而不是空中的雷电参量。对一、二、三类防雷建筑物,一次雷击的总电荷分别为 300、225、150C,表中 $Q_1 = Q_0 - Q_2$

第一类防雷建筑物需防范的雷电流幅值是 200 KA,此时其雷电电荷量为 300 As(库仑),而世界上观测到的最大雷电流为 430KA,即电荷量可高达 645As。强大的雷电流和雷电通道两端上万伏特的电位差,在短短不足 1 秒钟的时间内释放出来,其功率的巨大可以把雷电通道周围的空气加热到 $1.7 \times 10^4 \sim 2.8 \times 10^4 ^\circ\text{C}$,能在地面击出 1m 深的大坑,能在一次雷击过程中击伤 66 人,并将其中 1 人抛出 7 m 远,5 人抛出 3 m 之外。

长期以来雷电一直以直击雷的形式给人类及地球上的生物以及人类文明带来灾难性的打击。1977 年 7 月 13 日晚,美国纽约市五条 $34.5 \times 10^4 \text{V}$ 的输电线路全部被雷击断,全市停电达 26 小时。1989 年 8 月 12 日,山东黄岛油库雷击爆炸事件中,19 人丧生、78 人受伤、大火燃烧了 104 个小时,直接经济损失数千万元。

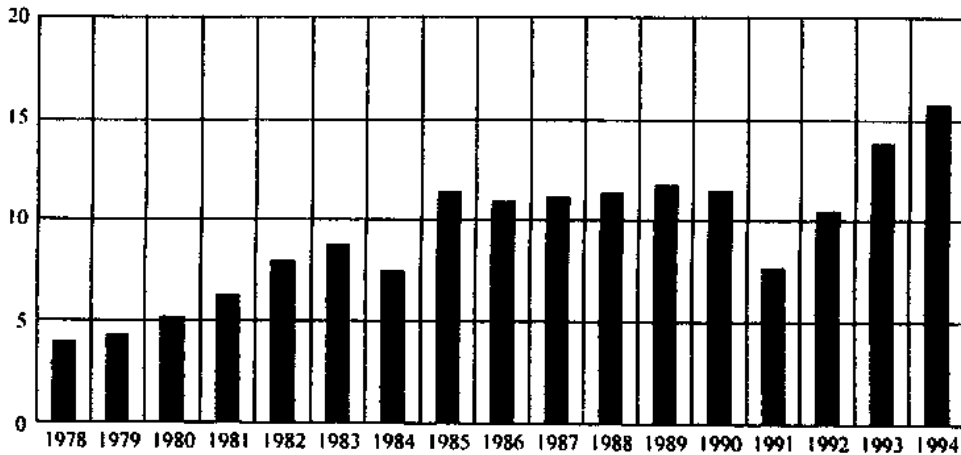


图 1.1 损害分析:过高压及雷击(直接、间接)造成的损失引自 TELA 保险公司,慕尼黑

人类文明进步的脚步,以 1973 年首次将 1 万个元件集成在 1cm^2 的芯片上为代表,人类由电子时代进入了信息时代。大量的集成电路为主要元件的计算机设备、通讯设备为各行业创造了高速、大容量的工作环境,但与此同时集成电路与以往的电子设备相比较,其耐受过高压和过电流水平却大大降低了。统计说明,现代信息系统设备的耐受能力已由电子管的 $0.1 \sim 10\text{J}$ (焦耳)降到 $10^{-8} \sim 10^{-6}\text{J}$,相差 7 个数量级。图 1.1 表明,由德国慕尼黑 TELA 保险公司理赔的雷害金额在 1978 年到 1994 年 17 年间增长了 4 倍。而德国法兰克福 ELELTRA 保险公司在 1984 年理赔中,雷击赔偿占全部赔偿的 33.8%,为第一位(见图 1.2)。我国城市中电子设备和电器设备雷击损坏的经济损失也达到总损失的 70%~80%。来自上海市保险业的信息显示,仅 1998 年一年雷击赔偿便高达 3 亿元!值得一提的是,1995 年 6 月 29 日发生在广州白云

国际机场凤凰山导航雷达站的一次雷击,直接经济损失仅 1.2 万美元,而因通信故障却导致空中航路关闭 3.5 小时,120 多架航班无法降落,在港飞机延误起飞 12 个小时的间接损失却是难以估量的。因此,供电、广电、民航、电信、金融、石化等行业及军队的通信、雷达等部门都十分注意防御雷电灾害的工作。防雷减灾的重点已由防直接雷击为主转为以防雷击电磁脉冲为主。IEC 在其《雷击电磁脉冲的防护》标准 IEC61312-1“通则”中宣称“鉴于各类型的电子系统,包括计算机、电信设备、控制系统等(在本标准中称之为信息系统)的应用在不断增加,使本国际标准的制定成为必需。这样的信息系统用于商业和工业的许多部门,包括高资金投入,大规模及高度复杂的工业控制系统,对这样的系统从代价到安全方面考虑非常不希望由雷电导致系统运转停顿”。

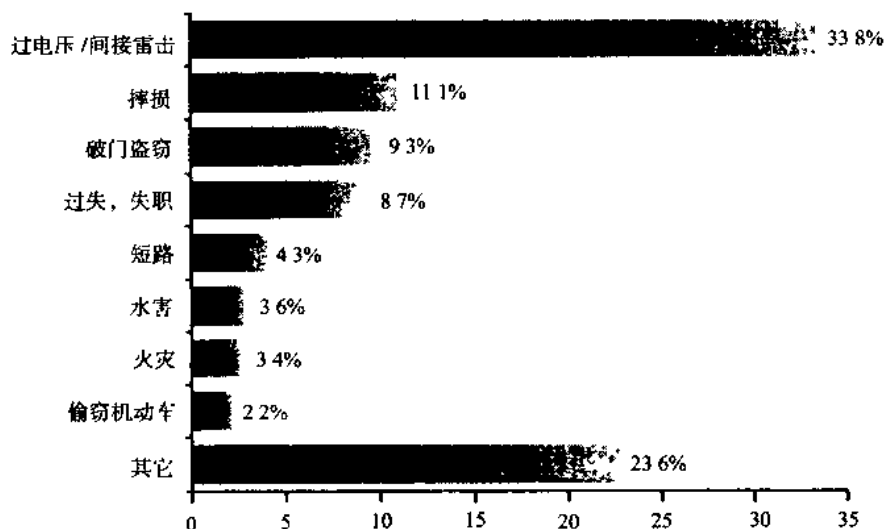


图 1.2 1994 年各种灾害的损失统计(引自德国法兰克福 Eletra 保险公司)

1.2.2 雹灾

冰雹是世界上很多地方经常出现的一种自然灾害,它对人类的危害很大^[13]。一场急剧而强烈的降雹过程,可能对农业、工业、交通、通信以及城市建筑物等造成严重的危害和损失,特别是在农作物快到成熟、收割季节,突如其来的一场冰雹,可摧毁大片庄稼(有时数百万亩农作物受灾,重则颗粒无收,轻则减产)。如:

(1)1985 年 7 月 2 日河北省保定地区,20 分钟内,涿县、唐县、清苑、满城、博野等 11 个县市,纵横数百里,冰雹平均半尺多厚,无数庄稼被夷为平地,数千棵树的叶子被砸光,许多门窗、玻璃被砸碎,房屋被砸塌。保定市区马路成河,雨水上漂浮着冰雹缓缓移动,堵塞着地道桥孔,造成交通中断,全市停电停水,京广铁路停运,瞬时气温急剧下降到 -13°C 。这场冰雹,给保定地区造成数亿元的损失。

(2)1988 年 5 月 2 日晚 17 时 30 分至午夜 24 时左右,河南省商丘地区全境连续 3 次遭到历史上罕见的冰雹、暴雨、龙卷风的严重袭击。冰雹外型各异,有棱形、鸭蛋形、圆球形、铁饼形;屋顶被冰雹砸得满是窟窿,树木砸得象刮了皮的光秃秃的木桩。

全区 134 个乡镇受到灾害,其中重灾乡 42 个;受灾村 2239 个,受灾人口 289.3 万人,受灾

面积 279.3 万亩^①,成灾面积 228.3 万亩。100 多万亩小麦绝收,减产 2.58 亿 kg;油菜减产 3480 万 kg;砸坏棉花 25.9 万亩;烟叶 7.4 万 kg。砸伤 1179 人,死 8 人。死伤牲畜 2932 头,经济损失 5 亿元以上。

(3)1990 年 6 月 22 日午夜至 23 日凌晨,一次强雹暴袭击山东省西北部 6 个县市,降下的冰雹,直径最大为 5 cm,积雹厚度为 3 cm,单站降雹持续时间 10~15 分钟,雹击宽度 5~10 km,长度 70~100 km,地面冰雹数密度最大为 3024 个/m², (根据无铝箔雹板测的)最大冰雹动能 382.5 J/m²,降雹强度 0.425 kg(m²·s)。降雹时伴有 10 级以上大风和暴雨,造成 78 万亩农田受灾,其中重灾面积为 64 万亩,倒折树 8 万余棵,刮倒电线杆 127 根,损坏房屋 300 余间,经济损失近亿元。

翻开我国的地方志,会使人大吃一惊。据记载,从公元 999 年(北宋咸平二年)至今,今河北保定地区受到大冰雹的袭击达 28 次之多。1636 年(明崇祯九年),降下的冰雹像烙饼大,容城、定兴等地人畜伤亡惨重;1659 年(清顺治六年)农历 5 月降雹大如馒头,人畜死伤甚多。

各地历史资料表明,我国是一个多雹灾的国家,每年都有不同程度的冰雹灾害。据不完全统计,我国遭受风雹灾的农田,每年在 3600 万亩以上,重灾年超过 6000 万亩,严重影响农业生产和人民生命财产的安全。

从国外资料也可以看出,冰雹造成的危害也相当严重。前苏联、美国以及欧洲各国每年因冰雹造成的损失达数亿美元,甚至几十亿美元。

1.2.3 雷暴大风灾害

M. M. Wolfson 于 1990 年撰文^[14]介绍了雷暴大风对飞机航行起降的危害。

在美国,风切变是运输机飞行事故的一个主要原因,而且这些事故的大部分是起因于一种风切变的特殊形式,叫做下击暴流。微下击暴流定义为:尺度小、高度低、强度大的下曳气流,它冲击到地面并引起强大的辐散外流风。我们知道,它们是与雷暴相联系的并常常伴有大雨到地面,但未必都这样。不管怎样,与雷暴有关的一些气象上确定无疑的现象会引起强的下曳气流和大的地面风。大多数的微下击暴流研究集中在大降水驱动的雷暴的下曳气流,包括伴有和不伴有大的地面降水两种。但是其他的下曳气流型式。如低空的动力驱动的下曳气流,涉及在雷暴外流伸展的前缘的“涡流”及与之有关的“滚轴云”也与微下击暴流问题有关系。

美国的三起重大飞行事故,足以解释所有事故确因微下击暴流(见表 1.4),其中第一起——1975 年 6 月 24 日东方航空公司 66 航班在纽约肯尼迪机场的坠毁(死亡 112 人,受伤 12 人)致使 Fujita 和 Byers(1977 年)引入了下击暴流/微下击暴流这一新的术语。另外两起灾难性的微下击暴流事故是 1982 年 7 月 9 日新奥尔良国际机场的泛美航空公司 759A 航班(死亡 152 人,伤 9 人)以及 1985 年 8 月 2 日达拉斯—沃斯堡国际机场的三角航空公司 191 航班(死亡 130 人,伤 31 人)。这些事故的任何一起中没有一个人不受伤。在这三起事件中,与事故有牵连的雷暴下曳气流下降到由邻近雷暴产生面早先已经存在的外流之中。这种情况下,估计风切变的危险性时就没有考虑早先存在的外流前缘的湍流阵风锋。

就另外四起归因于雷暴型低空风切变的灾难性事故中的两起面言(见表 1.4),目击者注意到了滚轴云。在 1966 年 8 月 6 日它们使布拉尼弗航空公司的一架飞机坠毁于内布拉斯加州福尔斯城,在 1977 年 7 月 23 日又使奥扎克航空公司的飞机坠毁于密苏里州圣路易斯。在这两

^① 1 亩=1/15 hm²

起事故中也都没有人不受伤的。在福尔斯城的坠机事件中，“地面目击者观测到飞机飞入或飞过雷暴前面的滚轴云，随后立即看到在空中爆炸，继之火球从云中落下。看见两个碎片——后来辨认出是右翼和尾翼的主体部分——从飞机的主要部分掉下来。随后不久，目击者报告：在飚线通过该地区时伴有强的阵性地面风和小到中雨。事故的原因确定为在飞行中因遇极强湍流使结构断裂”。滚轴云标志着水平涡旋的上升气流，通常是阵风本身的孤波，或者是波状涌浪的一部分。在微下击暴流的前面，阵风锋被认为是危害航空的低空风切变的主要形式。表 1.4 的情况表明，它们确实是极端危险的。

在三起与微下击暴流有关的灾难性飞行事故中，与原先存在的外流前缘的阵风相伴随的低空下曳气流和湍流起了什么作用？当然，雷暴外流自身的辐散的逆风——顺风切变，它能够容易地变成足够强大，对穿越它的飞机造成难以控制的力损失。图 1.3 表明，对飞机保持它的空通和下滑线的能力来说，下曳气流速度的量值与水平切变有同样的影响。

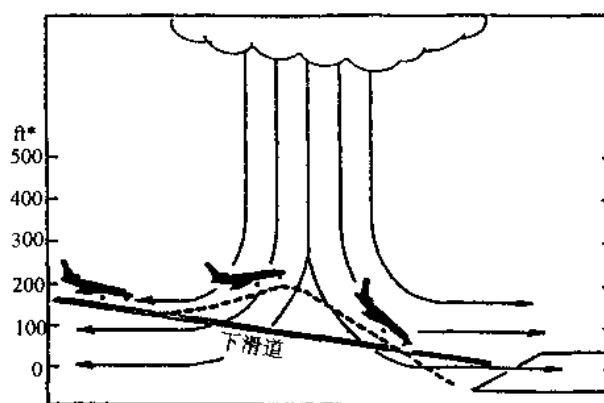


图 1.3 飞机遭遇微下击暴流的示意图。注意，增加的逆风使飞机上升到预定的下滑线之上，而增加的顺风使飞机下落到预定的下滑线之下。该简化的微下击暴流的示意图是不精确的，因为它没有描绘出在外流前缘极强的湍流涡旋。

表 1.4 美国因微下击暴流与雷暴有关的低空风切变造成的飞行事故。

风速: m/s, 直径: km, F/I/U 表示死亡/受伤/未受伤人数。MB 表示微下击暴流; 问号(?)表示情况不明

位置	日期(年-月-日)	风速	直径	雨	天气	F/I/U
博林格林	1943-7-28	强风	10~15	有雨	来自猛烈的下曳气流的强飚风在地面扇形展开, 异常严重的湍流。	? / ? / 2
艾奥瓦州马森城	1954-8-22	35~40	5	大雨	飞机在 122~152 m 高度进入雷暴, 陷入下曳气流。	12/7/0
纽约州罗彻斯特	1963-7-2	不定	?	大雨	雷暴从西边接近跑道, 飞机起飞后进入大雨和无定向的风区。	7/? / ?
内布拉斯加州福尔斯城	1966-8-6	阵风	无影响	小雨	在雷暴前面有滚轴云, 严重湍流。	42/0/0
圣路易斯	1973-7-23	强风	?	大雨	强风暴伴有滚轴云, 大雨, 强风,	38/6/0
查塔努加	1973-11-27	?	?	大雨	进场时遇大雨中存在的低空切变线	0/42/37

• 1 ft = 0.3048 m.

续表

位置	日期(年 月 日)	风速	直径	雨	天 气	F/1/U
纽约	1975-6-24	10~17	5~10	大雨	热烟雾日,海风小一中等,许多小单体。箭头状回波 $8 \times 32 \text{ km} \cdot \text{MB}$	112/12/0
丹佛	1975-8-7	>12	2	小雨	许多零星阵性降水,小而弱,单体分解为二个,听见雷声,箭头状回波 $8 \times 16 \text{ km} \cdot \text{MB}$	0/15/119
罗力 达勒姆	1975-11-12	?	?	大雨	离地 30m 处,突然出现大雨,风切变和下曳气流	0/1/138
费城	1976-6-23	20	4	有雨	阵性降水前面逆风增加,暖锋附近零星阵雨和雷暴,增长着的箭头状回波 $8 \times 16 \text{ km} \cdot \text{MB}$	0/86/20
塔克森	1977-6-3	14	2	无雨	机场周围有许多 Cb 云,阵风锋以 25 m/s 地面风速通过,MB	0/0/全体
新奥尔良	1982-7-9	>15	2	大雨	零星阵雨,附近有 7 条阵风锋,新增长的对流云顶。MB	152/9/0
底特律	1984-6-13	10~16	?	大雨 和 冰雹	雷暴伴有大雨,离地 30~61m 处有 19.1 mm 冰雹,湍流,严重的风切变。	0/0/全体
达拉斯	1985-8-2	22~35	4	很大的雨	出自大单体的阵风锋到西北方向,散布着许多初生的小单体,很热的天,MB 单体云顶高 6992m(国家安全运输局报告 12160~15200 m 是有疑问的),MB	130/31/0

雷暴大风常常造成局部地区的风灾,其危害特点是范围小,危害时间甚短,突发性强^[14]。例如,1980年2月27日,曙光401号客轮,行驶到广东省西江的潭江水道时,突然遭到狂风袭击,瞬间风力达12级,造成船翻人亡事件,死亡301人,经济损失100多万元。1983年3月1日,在广东西江的东平水道,红星312号客轮遭到雷暴大风的袭击,风力达12级,又造成船翻人亡事件,死亡148人,经济损失110多万元。此类灾害全国各地均有发生,但一般危害范围小。

1.2.4 龙卷灾害

在美国,龙卷风是发生频繁,造成损失严重的一种灾害。1974年,148股龙卷风一周之内扫荡美国东部,风到之处无一幸存。美国每年发生800多次龙卷风和由此造成的人员死亡情况反映出来^[16]。1961~1970年死亡972人,年均死亡97.2人;1971~1980年死亡590人,年均死亡59人;1987~1996年死亡430人,年均死亡43人。由于人口稠密和这些风暴的杀伤力,实际死亡人数可能比上述统计数字大。

中华人民共和国建国以后,最早记载的龙卷风发生在上海。1956年9月24日,黄浦江畔,110t重的大油罐被平地拔起,抛出120m开外,三层楼房轰然倒塌。

1958年7月6日,山东滕县,黄色的龙卷风透迤9km,沿途一切荡然无存,造成63人死亡,700亩庄稼被毁。

京津、河北一带也不是安全区,我国最严重的一次龙卷风灾害正是发生在这里。1969年8

月,龙卷风登陆河北霸县,以 73 km 的时速东移,河北褚河港公社全村死亡 861 人,天津市死亡 120 余人。

中国科学院大气物理研究所叶谦博士认为,尽管龙卷风在中国造成的灾害很小,但只要龙卷风有一次经过人口密集区,必将损失惨重,因此必须重视龙卷风的预警研究,防患于未然^[17]。

下面再介绍文献[15]介绍的 2 次龙卷风灾害个例。1994 年 6 月 26~27 日,江苏省吴江、吴县、昆山、太仓、常熟等 5 县(市)先后遭受龙卷、暴雨袭击,最大风速 33m/s(12 级),致使 253 间民房倒塌、3368 间受损坏;翻沉船只 21 条;死亡 2 人,重伤 34 人;牲畜死亡 300 多头;330 多 hm^2 的农田受灾,直接经济损失 2826 万元。又如,1986 年 7 月 11 日 13 时 45 分,上海南汇发生龙卷,持续时间 45 分钟,危害范围 35 km,宽 300 m,造成 24 人死亡,重伤 163 人,轻伤 386 人;倒塌房屋 1500 间,受损 4800 多间,折倒电杆 500 多根,直接经济总损失 2600 万元以上。

1.2.5 暴雨和洪涝灾害

中国是世界上多暴雨国家之一。据民政部门统计,近 10 年来中国大陆每年遭受洪涝的经济损失平均约 1169 亿元,死亡 3166 人。据联合国公布的材料,1947~1980 年因暴雨洪水造成的死亡人数多达 19.6 万人^[18]。

自古以来,中国就是一个洪涝灾害频繁而严重的国家。中国有文字记载的第一页就是劳动人民和洪水斗争的光辉画卷——大禹治水。时至今日,在我国的社会和经济发展中,防治水灾的江河整治,进一步成为国民经济的基础工程^[15]。

1994 年 5 月 23 日~27 日,联合国在日本横滨召开了“减轻自然灾害世界会议”^[15]。会议秘书长提供了一份关于世界各地灾害的研究报告。该报告对 1963 年 1 月 1 日~1992 年 12 月 31 日在 179 个国家发生的 5000 多起自然灾害,按日期、灾害种类、地点、造成的损害、受影响的人数和致死人数进行了分析,并把造成损失占国民总产值 1% 以上的,涉及总人口 1% 以上的、死亡人口在 100 人以上的灾害作为“重大”灾害进行研究。图 1.4 至图 1.6 形象地归纳和展示了研究的主要成果。

图 1.4 以五年划分的框格,提供了 30 年内三类重大灾害的次数。它清晰地表明了这些年来世界范围内越来越容易遭受三种类型重大灾害危害的趋势。

从图 1.5 可看出:水灾、热带风暴、干旱和地震分别对受害国经济造成损失最大;按每起灾害划分,受干旱、热带风暴和水灾影响的为数最多;死于水灾、热带风暴、时疫和地震的人数最多。总的来看,在三个范畴内,水灾和热带风暴的发生占极大多数,且影响严重,因而其危害最大。不言而喻,热带风暴、干旱与强雷暴关系不密切,不是本书讨论的范围。

图 1.5 的资料进一步描述、提示了某些统计趋势。图中提供的灾害种类系数指 30 年间每一范畴内总的严重灾害发生次数 10% 以上的各种类型的灾害。每一类此种灾害的发生次数都标绘在每一范畴的 6 个五年框格上。这些资料所代表的必然趋势,据统计法计算并以表明每一灾害类别和范畴的图表表示。

图 1.6 通过 1963~1992 年 6 个五年框格清晰地表明,造成严重损害的水灾、热带风暴和干旱的发生次数直线上升。重大地震也有上升趋势,但上升率较低。就影响大量群众的灾害而言,图 1.6 表明导致此类灾害的洪水和热带风暴的次数扶摇直上,但旱灾的发生次数上升缓慢。图 1.6 三个图形中的最后一个图形表明全世界造成 100 人以上死亡的时疫发生增多的强烈趋势。还可以看出,水灾的上升速度也相当快,热带风暴和地震的上升率几乎不变。

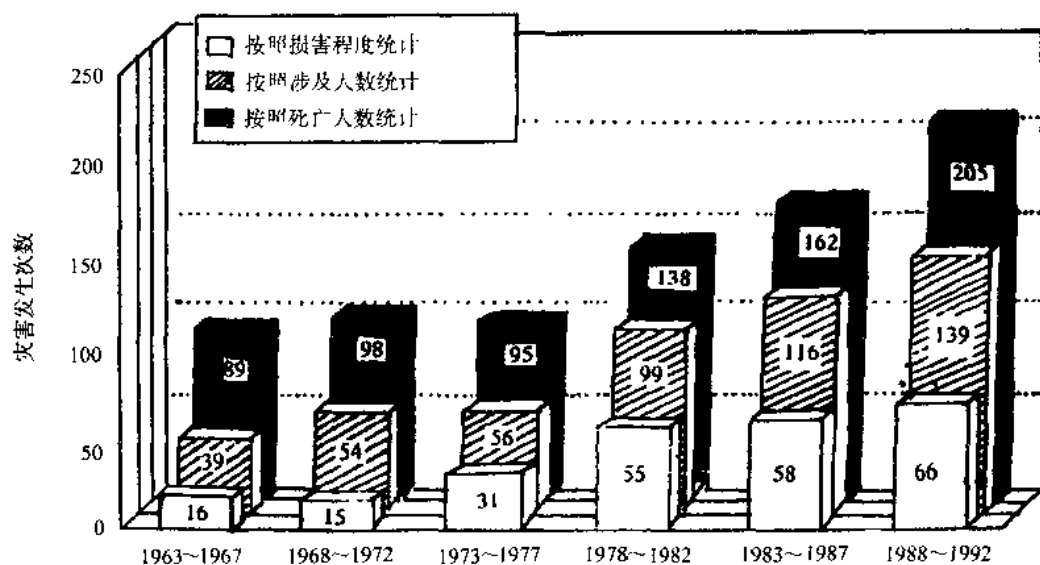


图 1.4 全世界重大灾害(1963 年至 1992 年)发生次数^[15]

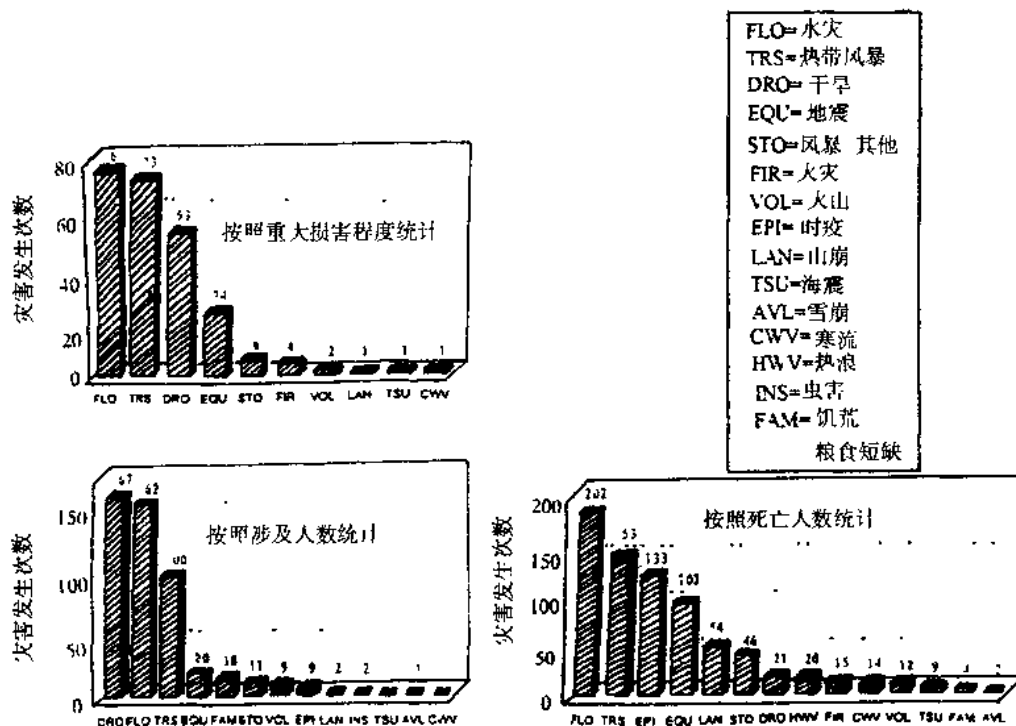


图 1.5 全世界主要灾害(1963 年至 1992 年)发生次数^[15]

分析上述研究成果,可以看出:水灾、热带风暴、干旱是世界上涉及人数最多、造成损失最大的三重自然灾害。其中,“重大”水灾和干旱发生的次数 60 年代以来呈直线上升的趋势,说明随着人类社会经济的发展,风、水、旱灾等对人类以及地球环境造成的损失最大。

下面举几个跟内蒙古地区有关的暴雨和洪涝例子:

例 1:1998 年 6~8 月嫩江、松花江流域降水及洪涝^[19]

1998 年 6~8 月,东北中西部及内蒙古东北部地区也频降大雨、暴雨,三个月的总雨量一

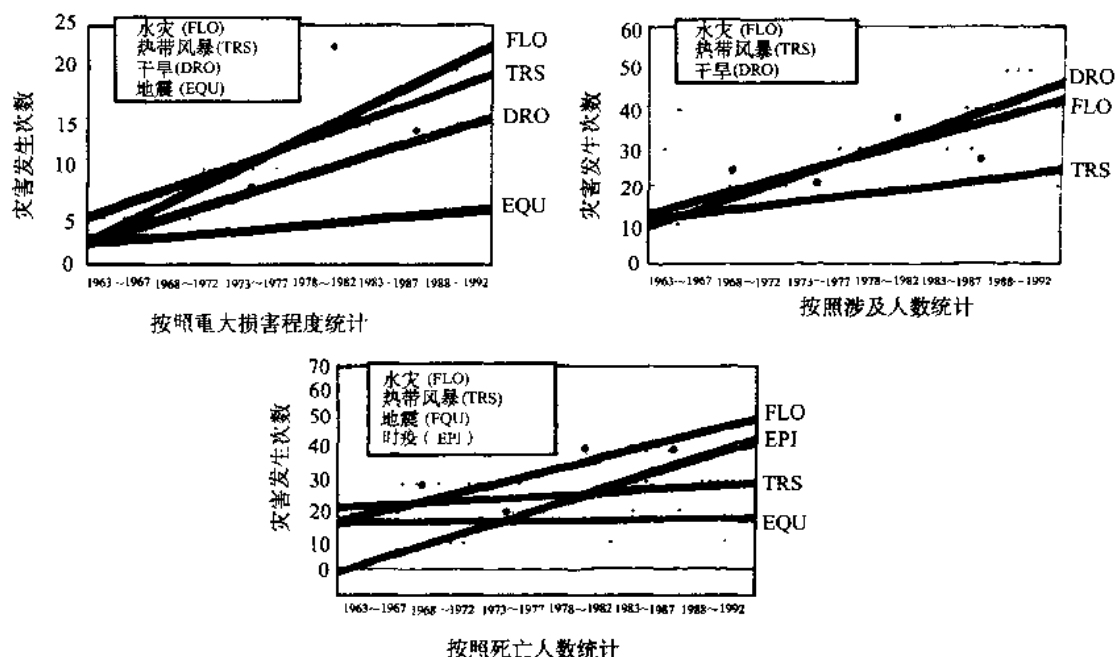


图 1.6 全世界主要灾害(按范畴划分的最为严重的灾害的种类)发生趋势^[15]

般有 350~600 mm, 局部达 700 mm 以上, 从而成为该年夏季我国北方的主要多雨区。雨量中心主要位于嫩江中下游一带, 500 mm 以上的雨区覆盖了大兴安岭东侧山前丘陵区 and 松嫩平原的西半部, 这些地区的降水比常年偏多 8 成至 1.5 倍, 普遍超过了 1951 年以来的最高记录, 其中内蒙古呼伦贝尔盟扎兰屯市(952 mm)、小二沟(788 mm)是降水最多的站点。此外, 在小兴安岭南部山区和第二松花江上游山区也有 500 mm 以上的降水, 比常年偏多 3~5 成。显著偏多的降水使嫩江、松花江水位长期居高不下, 许多河段在洪峰经过时超出历史最高水位, 部分堤岸崩溃, 导致内蒙古东北部、吉林省西部、黑龙江西部及松花江干流两岸严重受灾, 沿江的齐齐哈尔、大庆、哈尔滨、佳木斯等城市受到洪水的严重威胁, 部分交通干线中断。

例 2: 1995 年 7~8 月内蒙古中西部地区的大暴雨

内蒙古自治区是一个干旱少雨的地区, 但极为干旱的中西部地区也有大到暴雨天气过程的记录。根据统计分析^[20], 造成内蒙古暴雨的天气系统颇为复杂, 西部地区大暴雨、特大暴雨的影响系统主要是切变线(包括暖湿切变和冷切变), 占盖个统计资料的 78%, 其次是其他天气系统。

1995 年 7~8 月, 内蒙古的中西部地区出现 5 次由切变线产生的暴雨天气过程, 最大的一次产生在伊克昭盟鄂托克旗, 降雨量为 105.4 mm。虽然由于当地人员稀少, 居住分散, 没有造成较大的损失和破坏, 但这样强的暴雨出现在毛乌素沙漠的边缘地区非常罕见。根据分析知道, 内蒙古中西部暴雨的形成主要与三方面物理因素有关:

- (1) 水汽的输送和辐合;
- (2) 具备持续且强烈的上升运动;
- (3) 存在显著的对流不稳定性。

因此在预报过程中要选择能够反映这三方面因素的物理量进行综合分析。