

德州降雹物理特征量的观测分析

王雨增

李凤声

(中国气象科学研究院, 北京 100081) (山东省德州地区防雹降雨办公室)

提 要

根据山东德州 1988. 9. 17 和 1990. 6. 23 降雹过程的冰雹样品和雹谱资料, 研究了降雹物理特征量与冰雹灾害的关系。

关键词: 冰雹 物理特征量 雹谱资料

前 言

山东德州是我国主要的产棉区, 冰雹是德州的主要自然灾害之一, 据 1949—1986 年统计, 平均每年受灾面积达 53 万亩, 重灾年份受灾面积超过 180 万亩。频繁的冰雹灾害引起当地政府的关注。在政府和群众的支持下, 该地区开展了对冰雹、冰雹云的观测研究。本文根据山东德州 1988 年 9 月 7 日和 1990 年 6 月 23 日降雹过程的冰雹样品和雹谱资料, 研究冰雹物理特征量和雹灾的关系。

1 冰雹尺度与形状

1.1 冰雹尺度

冰雹尺度的大小决定了降雹强度。表 1 是德州地区两次降雹过程的冰雹尺度分布。

表 1 德州冰雹尺度分布

冰雹直径(D/mm)	数量/个	百分比/%
$5 \leq D \leq 10$	209	52.9
$10 < D \leq 15$	129	32.7
$15 < D \leq 20$	45	11.4
$20 < D \leq 25$	12	3.0
D_{max}	25	
总数	393	

国内外一些地区观测结果表明, 冰雹直径大多在 2cm 以下, 如河北满城在 3692 个冰雹样品中, 小于 2cm 的占 92.9%, 甘肃 90% 的冰雹直径在 2cm 以下, 加拿大(阿尔伯塔)、法国(西南部)等国类似资料也表明, 冰雹直径小于 2cm 的占优势。

从表 1 可见, 山东德州地区冰雹尺度与

上述地区差不多, 直径大于 2cm 的只占 3%, 小于等于 1cm 的占 52.9%。

1.2 冰雹形状

表 2 是各地冰雹形状分布。由于各地天气气候的不同, 不同地区的冰雹形状的频率分布很不一致, 如山东德州与新疆昭苏 2 次降雹过程的锥形冰雹(见表 2)德州只占 4.5%—5.8%(图略), 而昭苏却占 16.4—39%。

从表 2 还可以看出, 在同一地区不同时间, 由于天气条件不一样, 冰雹形状的频率分布也是不同的。

2 冰雹谱分布

1988—1990 年采用照相与测雹板法获得 2 次降雹过程的雹谱资料, 通过计算表明, 雹谱呈指数递减律的特征。

从表 2 可见, 德州地区 2 次降雹过程的冰雹形状是以圆球形和椭球形为多, 两者共占总数 80% 以上。为简化计算, 非球形冰雹以等效直径办法处理, 采用球形冰雹有关公式统计研究冰雹谱分布。

2.1 球形冰雹下落末速度(V)

$$V = \left(\frac{8\rho_{\text{冰}} g}{3\rho_{\text{空}} C_D} R \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

对于椭球形冰雹, 令长短半轴分别为 a 、 b

则有:

$$V = \left(\frac{4\rho_{\text{冰}} g}{3\rho_{\text{空}} C_D} D_e \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

表2 冰雹形状分类表

地 区	时 间	样品总数	圆球形 (百分比%)	椭球形 (百分比%)	线 形 (百分比%)	不规则形 (百分比%)
德州(山东)	1988.9.7	206	60.2	26.7	5.8	7.3
	1990.6.23	89	13.5	70.8	4.5	11.2
万全(河北)	1980.7.20	449	21.4	56.3	3.3	14.5
	1980.8.22	35	8.6	20.0	62.9	8.5
昭苏(新疆)	1980.7.28	111	27.0	30.0	39.0	4.0
	1982.6.5	1012	53.9	12.5	16.4	17.2
满城(河北)	1987.6.29	182	29.7	55.5	2.2	12.6
	1990.5.25	259	76.1	12.0	8.9	3.0
阿尔伯达(加拿大)	1969.7.12	92	5.0	10.0	74.0	11.0
	1969.7.20	252	6.0	83.0	3.0	8.0

R 、 $\rho_{冰}$ 、 $\rho_{空}$ 、 C_D 分别为球形半径、冰雹密度($0.9g \cdot cm^{-3}$)、空气密度($1.11 \times 10^{-3}g \cdot cm^{-3}$)、阻力系数,球形取 $C_D=0.45$,椭球形 $C_D=0.65$ 。 g 为重力加速度, D_e 为等效直径:

$$D_e = a \left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{1}{3}}$$

利用公式(1)和(2)分别计算冰雹下落末速度,详见表3。

表3 冰雹直径与下落末速度对应表

直径 D/mm	下落末速度 $V/m \cdot s^{-1}$
5	10.85
7	12.83
9	14.45
11	16.09
13	17.49
15	18.78
17	20.00
19	21.14
21	22.23
23	23.26

表4 两次降雹过程的谱参量表

日 期	$n(\text{个} \cdot m^{-2})$	$N(\text{个} \cdot m^{-3})$	N_0	λ	r
1988.9.7	1920	0.2162	0.1912	0.1943	-0.9413
1990.6.23	3024	0.2094	0.1075	0.1262	-0.7796

注: $n(\text{个} \cdot m^{-2})$,单位面积上的冰雹个数; r :相关系数; $N_0(m^3 \cdot mm^{-1})$, $\lambda:(mm^{-1})$ 为冰雹谱参量

2.3 谱分布的数字表达式

由表4和附图可知,德州地区2次降雹过程的谱分布均呈指数递减型。

1988年9月7日雹谱的数字表达式:

$$N = 0.1912e^{-0.1913D} \quad (4)$$

1990年6月23日雹谱的数字表达式:

$$N = 0.1075e^{-0.1262D} \quad (5)$$

2.2 冰雹空间浓度(N)

$$N(D_i) = n_i/s \cdot t \cdot v_i \quad (3)$$

n_i :取样面积上第 i 种直径的冰雹个数; s :取样面积(m^2); t :取样持续时间(s); v_i :直径为 D_i 的冰雹下降末速($m \cdot s^{-1}$); $N(D_i)$:单位体积内,平均直径为 D_i 的个数。

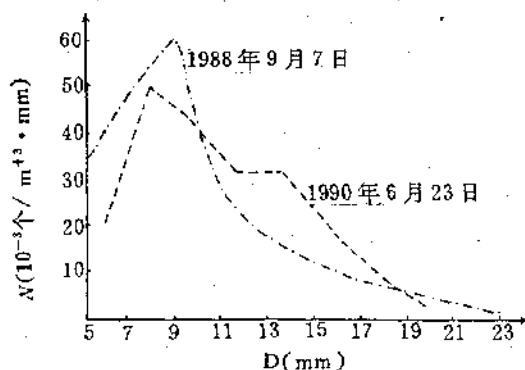
表4列出了2次降雹过程的谱参量值。

从附图看出:1988年9月7日冰雹谱呈单峰型分布,峰值直径为9mm;1990年6月23日冰雹谱呈双峰型分布,最大峰值直径为8mm,随着冰雹尺度的加大,对应的冰雹空间浓度迅速减小。

相关系数(r)的绝对值分别为0.9413和0.7796,采用 t 检验,检验 r 的显著性水平。 $r = n-2$ 为自由度。

经计算,查 t 分布表得到,相关系数的显著性水平都超过0.02, N 与 D 的相关性好的。

式(4)与(5)中 D 为冰雹直径(mm), N



附图 冰雹空间浓度与尺度分布曲线
是直径为 D 的冰雹空间浓度 ($\text{个} \cdot \text{m}^{-3}$)。

3 降雹特征量

从70年代中期起,国内外一些地区选用降雹特征量作为人工防雹效果检验的基本量。

利用冰雹大小、数密度以及降雹持续时间,计算落地冰雹动能(E_T)、动能通量(E_T)、冰雹质量以及冰雹质量通量等降雹特征量。

3.1 冰雹落地动能与动能通量计算公式^[1]:

设单位面积(m^2)上落地冰雹动能为 E_T ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)

$$E_T = k \sum_{i=1}^p n_i D_i^4 \quad (6)$$

$$\text{令 } k = \frac{\pi \rho_i^2 g}{9 C_D \rho}$$

$$E_T = E_T / \Delta t \quad (7)$$

在华北、山东地区 $k = 4.16 \times 10^{-5}$, n_i 第 i 档冰雹个数 ($\text{个} \cdot \text{m}^{-2}$), D_i 第 i 档冰雹直径 (mm), E_i 第 i 档冰雹动能 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$), E_T 冰雹动能通量 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Δt 降雹持续时间 (s) (下同)。

3.2 冰雹质量与质量通量计算公式^[1]

设单位面积上落地冰雹质量为 M_T ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

$$M_T = \sum_{i=1}^p n_i m_i = 0.47 \times 10^{-6} \sum_{i=1}^p n_i D_i^3 \quad (8)$$

$$M_T = M_T / \Delta t \quad (9)$$

在式(8)与(9)中, n_i 、 m_i 、 D_i 分别为第 i 档冰雹个数 ($\text{个}/\text{m}^2$)、冰雹质量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) 和冰雹直径 (mm)。

M_T : 落地冰雹质量通量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

3.3 测雹板取样资料

山东德州地区采用无铝箔测雹板收集冰雹大小和数密度资料。

1990.6.23 在山东平原县王村店取雹谱,其降雹持续时间为15分钟($1^{50}-2^{03}$),冰雹数密度 $3024 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,冰雹空间浓度是 $0.2094 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。同日在雹击带的另一测雹板点(大史庄)测得冰雹数密度为 $560 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,众数直径 10 mm ,冰雹空间浓度 $0.062 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,降雹持续时间为10分钟。

3.4 计算结果

应用公式(6-9)分别计算了1988.9.7和1990.6.23两次降雹过程的特征量,详见表5、表6。

1990.6.23 降雹特征量为

王村店: $E_{\text{王}} = 382.5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, $E_{\text{王}} = 0.425 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $M_{\text{王}} = 2.930 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, $M_{\text{王}} = 0.0033 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

大史庄: $E_{\text{大}} = 23.3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, $E_{\text{大}} = 0.039 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $M_{\text{大}} = 0.174 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, $M_{\text{大}} = 0.00029 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4 降雹实况与雷达回波

4.1 1988年9月7日13—16时山东陵县、临邑、济阳、平原、武城、夏津6县相继遭受风雹袭击。大雹如鸡蛋,地面积雹达10cm厚。陵县、济阳等县有29个乡镇、864个自然村受灾,重灾面积达3.8万公顷,损坏林果树2.3万株,棉花最为惨重,有2.6万公顷基本绝产,全部砸光了叶。

4.2 1990年6月23日凌晨,强降雨袭击了山东省西北部6个县,降下的冰雹最大直径达5cm,单站降雹持续时间达15分钟,雹击宽度5—10km,雹击带长约60km,造成5.2

万公顷农田受灾,其中重灾面积达4.2万公顷。降雹时,伴有10级以上大风和暴雨,8万余间房屋被损坏,造成的经济损失达数千万元。

表5 1988.9.7降雹特征量

D/mm	$N_i/\text{个} \cdot \text{m}^{-2}$	$E_i/\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	$E_i/10^{-3} \cdot \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$M_i/\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	$M_i/10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
5	208	0.541	0.9	0.0122	0.02
7	384	3.835	6.39	0.0619	0.10
9	512	13.947	23.29	0.1754	0.29
11	272	16.567	27.61	0.1702	0.28
13	160	19.010	31.68	0.1652	0.28
15	144	30.326	50.54	0.2284	0.38
17	112	38.914	64.86	0.2564	0.43
19	64	34.697	57.83	0.2063	0.34
21	48	38.834	64.72	0.2089	0.35
23	16	18.626	31.04	0.0915	0.15
合计	1920	215.324	358.87	1.579	2.63

注:降雹时间10分钟

表6 1990.6.23降雹特征量

D/mm	$N_i/\text{个} \cdot \text{m}^{-2}$	$E_i/\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	$E_i/\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$M_i/\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	$M_i/10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
6	224	1.208	1.34	0.023	0.03
8	608	10.360	11.51	0.146	0.16
10	608	25.293	28.10	0.286	0.32
12	496	42.786	47.54	0.403	0.45
14	544	86.437	96.60	0.702	0.78
16	288	78.517	87.24	0.554	0.62
18	144	62.885	69.87	0.395	0.44
20	112	74.547	82.83	0.421	0.47
合计	3024	382.5	425.0	2.930	3.3

注:降雹时间15分钟

4.3¹⁾ 1990年6月22日午夜雷达观测到雹云雷达回波中心强度达60db以上,0db顶高15.2km,增益衰减30db回波顶高仍为14.1km。

23日零时07分,雷达PPI上出现指状回波,RHI上出现悬挂回波。零时50分,雷达增益衰减30db后,指状回波特征仍清楚可见。雷达观测表明,这次回波形状具有典型的强雹云特征。

5 分析与讨论

5.1 意大利、瑞士、加拿大等国根据降雹当天测雹板测出的冰雹动能值确定作物是否受灾。在测雹板取样中,只要有一块雹板测得的冰雹落地动能 $E_T \geq 15\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$,就认为这是一次冰雹灾害天气过程,对农作物造成损害,动能越大,作物受灾越厉害。

前苏联利用测雹板资料计算小麦、玉米受损程度的结果指出, $E_T < 10\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,小

1) 1988年9月7日雷达观测资料不全。

麦不易受害, $E_T < 20 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 玉米不易遭灾^[2]。

河北满城测雹板资料分析得到, $15 \leq E_T < 25 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 对农作物造成轻灾, $E_T > 60 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 作物遭受严重损害。

根据上述地区资料与德州两次降雹过程的冰雹资料对比分析表明, 1988. 9. 7 与 1990. 6. 23 是两次强冰雹天气过程, 它造成的危害是很严重的, 这个结论同实况吻合, 同当天雷达观测结果也是一致的。

5.2 在一次冰雹天气过程, 各降雹地区受灾程度不完全一样。从冰雹动能值与降雹强度的大小可以判别, 落地冰雹动能值大, 降雹强度强的地区, 受灾比较严重, 反之, 受灾比较轻。如 1990 年 6 月 23 日平原县大史庄村, 雹板测得 $E_{\text{平}} = 23.3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, $M_{\text{平}} = 0.00029 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 与王村店降雹特征量相比 ($E_{\text{王}} = 16.4 E_{\text{平}}$, $M_{\text{王}} = 11.4 M_{\text{平}}$) 是受灾比较轻的地区, 这个看法与降雹当天大史庄受灾较轻的实况基本上一致。

5.3 根据照相资料计算得到, $N = 3204$ 个 $\cdot \text{m}^2$, $E_T = 405.5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, $M_T = 3.106 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 与测雹板相比 (见表 6), 相对误差

为 5.7%, 这是因为 6 月 23 日测雹板雹迹边缘不清, 加上一些重叠造成的, 所以, 6 月 23 日采用测雹板资料计算得到的特征量 (相对照相资料) 偏小, 今后采用测雹板取样时, 对于强降雹过程, 一定要及时更换测雹板, 缩短一块测雹板取样时段, 避免或减少重叠等现象, 提高测量精度。

5.4 从上述资料分析得到, 冰雹落地动能是衡量作物受 (雹) 灾程度的一个重要标志, 若以 $E_T = 15 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 作为是否受灾的唯一判据, 就可能忽视了与灾情有关的其它特征量的作用。当 $D = 5 \text{ mm}$ 时, 则要求 $n \geq 5769$ 个 $\cdot \text{m}^{-2}$, 才会造成灾害, 若 $D = 34 \text{ mm}$, 只要 3 个这样大的冰雹, 其动能值就可以达到 $15 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 而这 3 个冰雹造成的损失不可能比 $D = 15 \text{ mm}$, $n = 71$ 时造成的损失大, 所以, 在分析灾情时, 除了考虑动能值外, 还要注意与降雹量及降雹持续时间有关的冰雹质量通量 (即降雹强度), 冰雹数密度等特征量。

参考文献

- 1 王雨增. 降雹过程的动能分析. 气象, 1989, 15(12).
- 2 M. I. TLISOV 等. 冰雹的动力特征及农作物损失. 世界人工影响天气新进展译文集. 北京: 气象出版社, 1990.

Hail Observation and Analysis of its Physical Characteristics

Wang Yuzeng

Li Fengsheng

(Academy of Meteorological Science) (Dezhou Hail Suppression Office)

Abstract

Based on the hailstone samples and hail spectrum data in Dezhou prefecture, Shandong province on Sept. 7 1988 and on June 23 1990, relationship between the hailfall characteristics and the hail damage was investigated.

Key Words: hail physical characteristics hail spectrum data