

许晶,孔文甲,周志花,等.一次雹灾天气过程的三体散射研究[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(4):57-63.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.04.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



一次雹灾天气过程的三体散射研究

许晶¹,孔文甲^{2*},周志花²,赵海波¹,李林惠²,张连霞¹,郭艳梅¹,訾倩倩¹

(1.鄂尔多斯市气象局,内蒙古 鄂尔多斯 017010;2.内蒙古气象局,内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:利用自动气象站资料、CINRAD/CD 多普勒雷达资料、实地冰雹调查资料及 NCEP/NCAR 再分析资料,分析 2020 年 7 月一次呼和浩特市托克托县地区强冰雹事件发生时出现的三体散射与风暴云团三维结构、发展特征,结果表明:(1)C 波段雷达较 S 波段雷达容易出现三体散射。(2)三体散射现象和 55 或 60 dBZ 等强回波密切相关,尤其是 60 dBZ 强回波出现时,三体散射现象也随之出现。(3)60 dBZ 冰雹云体积即使在 50 km³ 以下也会出现三体散射。(4)在本个例中发现多重三体散射,其特征是在雷达径向上三体散射长度较长,为强回波距地高度的 3~5 倍,随着多重散射次数的增加,散射越来越弱,故多重三体散射强度沿着强回波径向上逐渐减弱。(5)三体散射现象首次出现后,开始出现冰雹,下沉气流使冰雹云回波顶高迅速下落,其中 60 dBZ 回波顶高下落最为明显,垂直厚度减少最为严重。大冰雹降落后 60 dBZ 回波底高迅速抬升,体积急剧减小,之后风暴云团回波顶高、体积进入平稳阶段。

关键词:冰雹;多重三体散射;体积变化

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)04-0057-07

多普勒天气雷达上可以观测到强烈雹暴产生的三体散射现象。Lemon^[1]提出利用“三体散射长钉(three-body scatter spike,缩写为 TBSS)”识别大冰雹的雷达预警技术,这种在雷达图像上观测到的虚假回波是探测大冰雹的充分非必要条件。三体散射为冰雹预报提供了新的线索,三体散射回波的出现意味着对流单体内存在大冰雹。诸多气象专家对 TBSS 与冰雹的关系做了大量的分析研究。Lemon^[1]指出,在观测到三体散射后的 10~30 min 地面可能出现 >2.5 cm 的冰雹,同时往往伴随有地面的灾害性大风。朱敏华等^[2]指出,首次观测到三体散射后,可立即预报有大冰雹将降落到下游地区,提前量在

20 min 以上。何炳伟等^[3]对 10 次强雹暴过程中 404 次三体散射样本分析,TBSS 是强冰雹特有的特征,12 次强雹暴对流事件中 10 次观测到 TBSS 特征。王令等^[4]也通过个例分析观测和研究了三体散射,王晓君等^[5]研究了 C 波段天气雷达中地面降雹与三体散射的对应关系。郭艳^[6]研究表明 TBSS 作为 ≥19 mm 大冰雹的预警指标具有很好的应用效果。廖玉芳等^[7]提出将三体散射的出现作为更大尺寸降雹和风害的预警因子。陈秋萍等^[8-14]认为 TBSS 是冰雹云的典型特征之一。廖玉芳等^[15-18]认为 TBSS 是预警大冰雹很好的指标。郑育琳等^[19-21]指出临近预报中三体散射特征对于识别冰雹非常重要。陈瑞敏等^[22-25]提出三体散射持续时间是强冰雹预警的关键因素之一。三体散射的研究对冰雹预报预警积累了很重要的经验^[26],但是对 C 波段 CINRAD/CD 多普勒雷达中产生 TBSS 的雹云的三维结构、按回波强度解析的特征分析还未深入研究。

2020 年 7 月 27 日 20:37 呼和浩特市托克托县地区遭受冰雹灾害,双河镇、新营子镇、五申镇等 5

收稿日期:2021-10-26;修回日期:2021-12-23

基金项目:内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxjcx202201, nmqxjcx202210);内蒙古自治区自然科学基金项目(2022MS04021)

作者简介:许晶(1979—),女,高级工程师,主要从事强对流预报预警研究。E-mail:522177566@qq.com

通信作者:孔文甲(1973—),男,高级工程师,主要从事短临技术、雷达产品开发研究。E-mail:635065635@qq.com

个镇先后出现了直径 2 cm 的冰雹,其中羊群沟乡冰雹灾情严重,最大直径 5 cm,平均积雹深度 8 cm,据不完全统计,533 hm² 玉米减产,200 多只羊受灾。分析雷达回波图发现三体散射现象维持 1 h 以上。通过对三体散射风暴云团三维结构、定量发展特征解析和三体散射发生的成因进行分析,总结三体散射出现规律,提高冰雹预警时效性。

1 资料分析方法

为研究三体散射与强回波及强回波体体积的定量关系,对 CINRAD/CD 多普勒雷达基数据进行处理分析。

1.1 坐标转换

呼和浩特 CINRAD/CD 多普勒雷达观测基数据存储方式为球坐标,为便于统计分析,本文用插值方法把球坐标转化为三维直角坐标。垂直方向上采用线性插值方法,水平方向上采用双线性插值方法。 X 轴为东西向,向东为正, Y 轴为南北向,向北为正, X 、 Y 轴数据分辨率为 1 km, Z 轴为上下方向,向上为正。内蒙古地处中高纬度地区,假定对流发展高度最大为 15 km,取 250 m 一层数据,即垂直方向数据分辨率为 250 m,有 60 层数据。所有分析资料都是雷达观测到的地面以上 AGL 数据。

1.2 对流单体外形建模及体积计算与测量

对流单体是三维的,对流单体的外形分别用长方体、圆柱体和椭球体建模其体积差别很大,为检验各模型的准确度,统计了对流单体 dBZ(x, y, z) 的体积,因为是逐一统计,故称为枚举法。

对流单体以 30 dBZ 体积为例分别应用长方体、圆柱体和椭球体测量方法得到的数据(图 1)。对流单体以椭球体为模型得到的体积最接近真实体积。因此各回波强度特征值外形按椭球体处理,体积计算公式为:

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (1)$$

式中,长半径 a 在 X 轴,短半径 b 在 Y 轴,椭球体的高半径 c 在 Z 轴。

在三维直角坐标系中对流单体回波强度可表示为 dBZ(x, y, z),采用“双面相切法”测量对流单体半径,以长半径 a 的计算为例:先确定 Y 轴、 Z 轴组成的平面,然后沿 X 轴由西向东推进,当检测到某一数据 dBZ(x, y, z) 符合要求时记录 x 的值,该值认为是对流单体的西边界 L_1 ,然后沿 X 轴由东向西推进,当检测到某一数据符合要求时记录 x 的值,该值

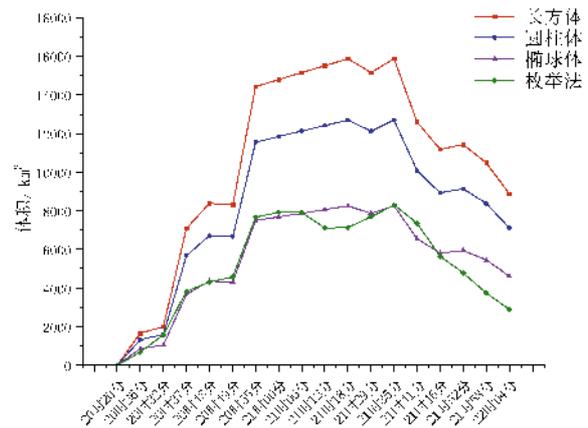


图 1 30 dBZ 对流单体体积值比较
(红色代表长方体模型体积;蓝色代表圆柱体体积,紫色代表椭球体体积,绿色是枚举法统计的体积)

认为是对流单体的东边界 L_2 ,东西长为 $L_2 - L_1$,半径 $a = (L_2 - L_1) / 2$,该方法在数学上可理解为椭球体与两个垂直于 X 轴的平面相切,两个平面的 X 轴的值即两切点间距为长轴,除以 2 则为椭球体长轴半径 a ;其余类似,则可得椭球体的 3 个半径。

2 三体散射特征分析

2.1 三体散射在各仰角回波图出现情况

此次冰雹过程从 0.5°~6.0°仰角均出现三体散射,其中 1.5°仰角三体散射现象出现次数最多,20:32—21:52,持续 1 h 有余(表 1)。

雷达气象方程:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \theta \Phi h}{1024 (\ln 2) \pi^3 r^2} K \psi \Sigma \sigma \quad (2)$$

式中, P_r 为雷达回波功率; P_t 为雷达发射功率; G 为天线增益; θ 、 Φ 为波束半功率点间的角宽度; h 为雷达发射脉冲长度; r 为雷达至目标物的距离; $\Sigma \sigma$ 为反射率,即单位体积内全部散射粒子后向散射截面的总和; K 为路径衰减因子; ψ 为波束充实因子。

当一部雷达按标准制造后 P_t 、 G 、 θ 和 Φ 可看作常量,山体遮挡等因素会影响波束充实因子 ψ 的变化从而影响雷达对冰雹云及三体散射的观测。呼和浩特 CINRAD/CD 多普勒雷达站净空条件良好,雷达与托克托县之间无遮挡,两者相距约 80 km,当波束宽度为 1°,80 km 处展宽 1.3 km,高 1.3 km,有效照射厚度 150 m,因此雷达有效照射体积是 0.25 km³。由表 1 可知,对流体发展高,中间无遮挡,可以判定雷达波束完全处于冰雹云的上下边界之间,充实因子 ψ 在本个例中均为 1,不会因为波束充实因子 ψ 的变化而影响雷达对冰雹云及三体散射的观测,即

三体散射出现与否只与冰雹云的强度变化有关。

1.5°仰角三体散射现象出现次数最多的原因:对流单体距雷达 80 km 左右,按雷达测高公式计算可知在 1.5°仰角、80 km 处高度约 6 km,冰雹云 60 dBZ 回波顶高最大值 7.25 km(AGL),大多数在 6 km(AGL)左右(表 1),1.5°仰角正好观测到本次冰雹天气 60 dBZ 强回波核心,所以出现三体散射现象次数最多。

此外发现三体散射出现与 60 dBZ 回波特征值关联度最大,当有 60 dBZ 回波时三体散射也随之出现。在瑞利散射条件下,大粒子贡献了大部分回波强度,呼和浩特 CINRAD/CD 多普勒雷达波长 5 cm,在大冰雹情况下应用米散射条件,由于缺乏冰雹平均大小,单位体积冰雹数量等数据,无法通过米散射条件下雷达气象方程深入研究,但可以确定 55、60 dBZ 强回波与大冰雹粒子密切相关。

2.2 三体散射与各特征值及其体积关系

三体散射与冰雹云回波强度及其规模有关。图 2 是各强回波体积与三体散射时间序列图。1.5°仰角三体散射从 20:37 出现至 21:52 结束。该时间序列

表 1 2020 年 7 月 27 日各仰角回波图三体散射出现情况与 60 dBZ 回波特征值统计

时间	0.5°仰角	1.5°仰角	2.4°仰角	底高/m	顶高/m	长度/km	宽度/km	体积/km ³
20:20	无	无	无	0	0	0	0	0
20:26	无	无	无	0	0	0	0	0
20:32	无	无	无	0	0	0	0	0
20:37	无	有	有	750	6 250	5	7	161
20:43	有	有	有	750	5 500	7	9	216
20:49	有	有	有	750	1 250	7	10	48
20:55	有	有	有	1 750	5 750	3	6	20.4
21:00	有	有	有	750	5 250	9	7	106.4
21:06	有	有	有	750	5 750	9	8	302.4
21:12	有	有	有	750	4 750	6	7	142.8
21:18	有	有	无	750	6 500	13	9	561.6
21:29	无	有	无	750	6 500	6	8	230.4
21:35	无	有	有	1 000	7 250	9	11	514.8
21:41	有	有	有	1 000	7 000	10	12	600
21:46	无	有	有	1 000	6 750	10	10	480
21:52	无	有	无	1 000	5 250	7	8	201.6
21:58	无	无	无	0	0	0	0	0
22:04	无	无	无	0	0	0	0	0

图清楚显示了强回波与三体散射的时空关系。

当三体散射出现时,冰雹云 45 dBZ 的体积最大值为 2 094 km³,最小值为 910 km³。50 dBZ 的体积最大值为 2 023 km³,最小值为 712 km³,有 4 次在 1 000 km³ 以下。55 dBZ 的体积最大值为 1 136.8 km³,最小值为 360 km³,有 2 次在 500 km³ 以下。60 dBZ 冰雹云的体积最大值为 561.6 km³,最小值为 21.4 km³,出现 4 次在 100 km³ 以下。出现三体散射需要强回波,本次冰雹云若以 60 dBZ 为三体散射出现阈值,其体积最小在 50 km³ 以下也会出现三体散射。20:55 由于大冰雹下落后,60 dBZ 体积迅速减小,而 45~55 dBZ 云团体积仍然在增大,也会产生三体散射。

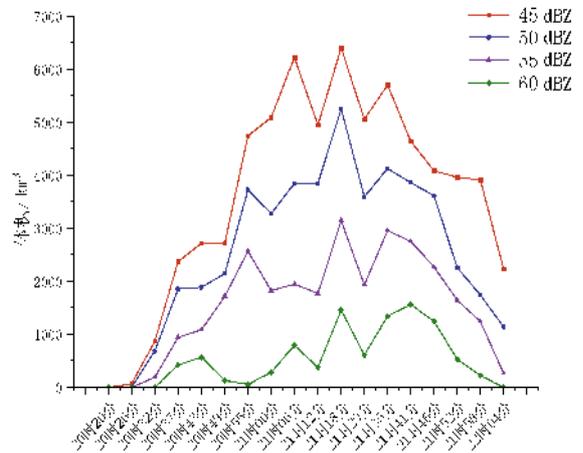


图 2 45、50、55、60 dBZ 体积与 1.5°仰角三体散射 (红色代表 45 dBZ 体积,蓝色代表 50 dBZ 体积,紫色代表 55 dBZ 体积,绿色代表 60 dBZ 体积)

2.3 多重三体散射特征

本次三体散射在 0.5°仰角回波图中出现时间如表 2。20:43 出现三体散射且首次发现多重三体散射,该回波强中心方位为 187°,距离为 77.6 km,高度为 3.1 km,回波值为 60 dBZ,括号内的值是无抑制回波值 63 dBZ,一般无抑制回波值大于回波值,发现四重三体散射(图 3),多重三体散射参数见表 2。

三体散射是强回波核与地面反射电磁波形成的,理论上当强回波核足够强时,电磁波在强回波核与地面之间会被多次反射从而形成多重三体散射,图 3b 中紫色为>60 dBZ 的区域近似正方形 ABCD,边长 5.5 km,中心点记为 O,三体散射近似长方形的 4 个顶点记为 A₁、B₁、C₁、D₁,强中心 ABCD 的底边 CD 到三体散射 A₁B₁C₁D₁ 的顶边 A₁B₁ 的距离记为 L,则三体散射长度等于 A₁D₁+AD/2+L,其中 A₁D₁ 是

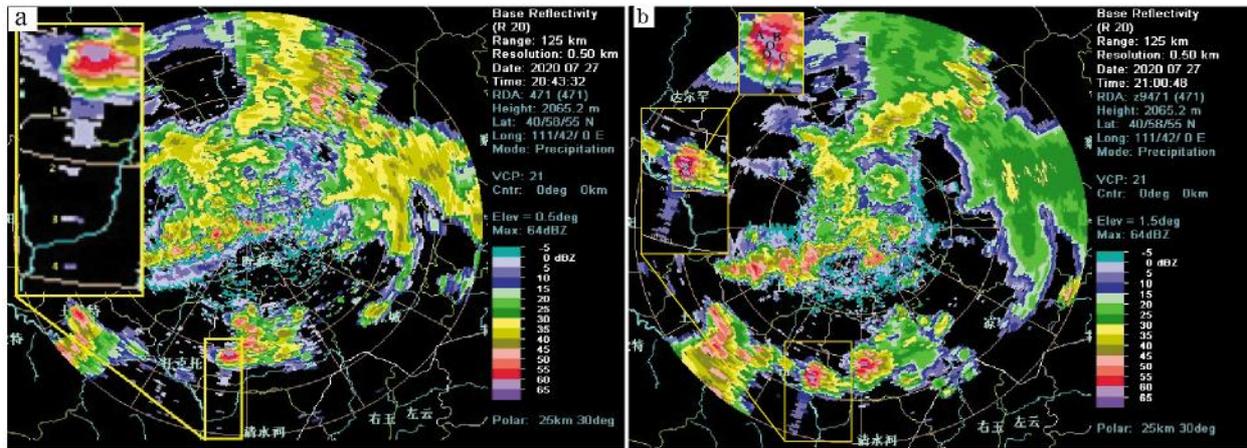


图3 20:43 三体散射及局部放大(a)和 21:00 1.5°仰角三体散射(b)

表2 7月27日 0.5°仰角三体散射特征值

时间	方位/ (°)	距离/ km	高度/ km	dBZ 值 (无损)	备注
20:43	187	77.6	3.1	60(63)	回波强中心
	187.5	96.3	3.5	5(8)	一重三体散射
	188.4	102.1	3.5	0(3)	二重三体散射
	188	111.1	3.8	0(3)	三重三体散射
	187.1	121.9	4.1	0(2)	四重三体散射
20:49	184.2	75.2	3.1	60(63)	回波强中心
	184.4	98.8	3.6	0(3)	三体散射
20:55	181.9	76.5	3.1	60(63)	回波强中心
	181	111.5	3.8	5(8)	三体散射
21:00	178.6	80	3.2	55(58)	回波强中心
	178.6	105.5	3.7	5(8)	三体散射
21:06	178.2	80	3.2	60(63)	回波强中心
	178	113.1	3.9	0(3)	三体散射
21:12	175	82.8	3.2	60(63)	回波强中心
	175.3	110.4	3.8	5(8)	三体散射
21:41	170.1	89.8	3.4	60(63)	回波强中心
	168.5	113.3	3.9	5(8)	三体散射

对流单体之外可识别的三体散射长度为 23 km,取正方形近似中心点 O , $AD/2$ 长度为 $5.5/2=2.75$ km, L 为中心点 O 到对流单体外界长度为 6.3 km,故三体散射总长度是 32 km。同样计算,在图 3a 中三体散射第一段长度为 22 km,在多个时次(21:00、21:06、21:35)出现三体散射长度 >30 km。21:35 2.4°仰角出现三体散射,长度是 34.6 km。朱敏华等^[2]指出当能识别出三体散射时,三体散射距离反射率因子核的最近距离与该反射率因子核的高度相当,三体散射长度通常 <14 km,所以本个例中超长部分应该认

定为多重三体散射即电磁波在强回波核与地面之间被多次反射从而形成多重三体散射,否则无法解释三体散射长度 >20 km、大多数 >30 km 的现象。图 3a 中 1、2、3、4 所标在延长线上呈小块矩形的弱回波即为多重三体散射,一重三体散射方位为 187.5°,距离为 89.9 km,高度为 3.5 km,回波值为 5 dBZ,无抑制回波值为 8 dBZ。多重三体散射是第一次被发现,与冰雹大小、相态和形状等要素有关,在局部放大图中有四重三体散射,这一现象可解释为此次冰雹太强,一重三体散射的电磁波被地面又反射回来,经回波强中心再次散射依然能被雷达接收,所以出现二重三体散射,以此类推。

多重三体散射的特征是在雷达径向上三体散射长度几倍于强中心距地的高度,随着多重散射次数的增加,散射越来越弱,即三重比二重弱……以此类推。1.5°仰角 20:55 回波图也有多重反射现象。

图 3b 中三体散射的宽度为 5.7 km, >60 dBZ 回波宽度(5.5 km),说明三体散射的宽度与 60 dBZ 回波宽度接近。图 4 中也可以看出三体散射的宽度与 55 dBZ 回波宽度接近,说明 55、60 dBZ 强回波与三体散射密切相关。

2.4 三体散射现象首次出现后冰雹云回波顶高下落
本次冰雹天气过程发生地托克托县距离呼和浩特雷达站约 80 km,由测高公式可以计算得到冰雹天气过程发生地托克托县的地球曲率盲区高度为 750 m 左右,即地面~750 m 无雷达数据。

20:37—20:43 雷达图 1.5°~3.4°仰角第一次出现三体散射,把冰雹云按 20~70 dBZ 每隔 5 dBZ 进行分析。有针对性地选取雹云中 45、50、55、60 dBZ 进行研究。首先分析云团最低高度、顶高、垂直厚度(表 1)。60 dBZ 云团雷达监测回波的最低高度均是 750 m,判断三体散射出现时冰雹落地。

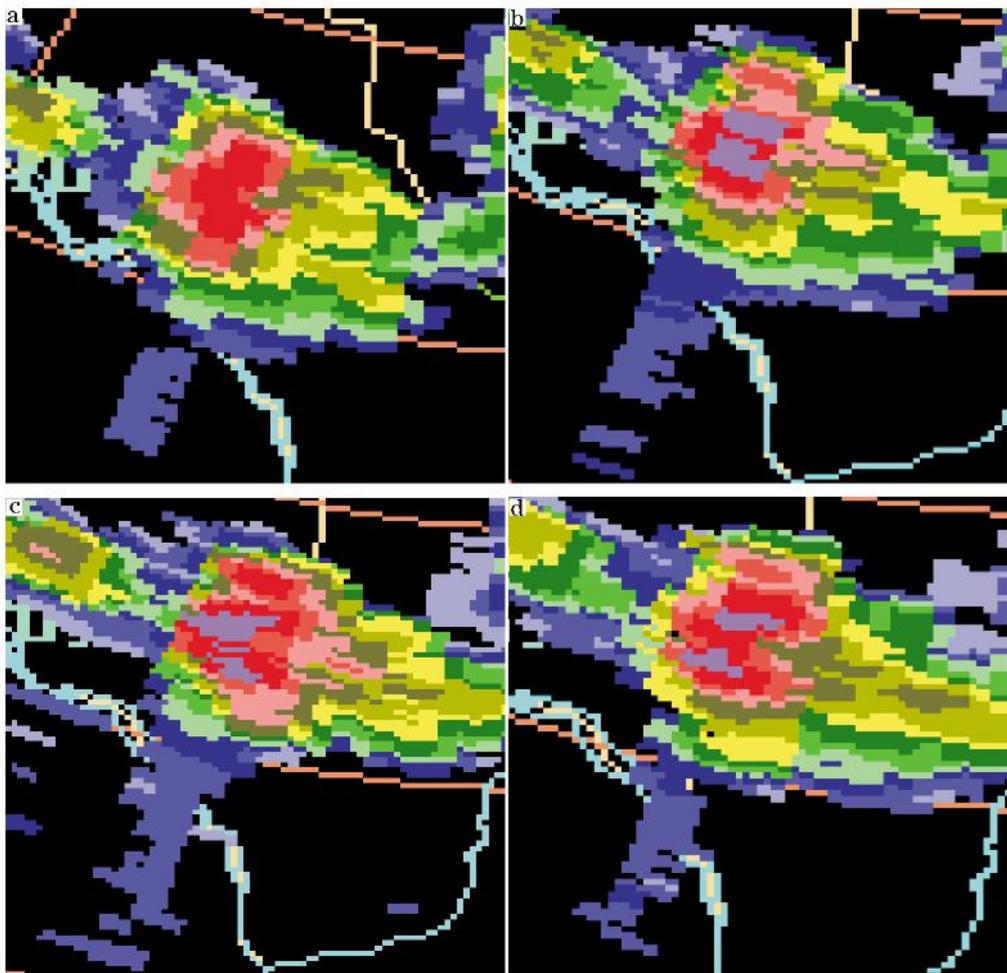


图4 20:55 2.4°仰角(a)、21时 2.4°仰角(b)、21:06 0.5°仰角(c)和 21:06 1.5°仰角(d)所示三体散射回波

20:37 出现三体散射时回波顶高达到第一次峰值,之后回波顶高下落,20:49 达到第一次低谷(图5)。其中 45、50、55 回波顶高下落 1 km,60 dBZ 下降 4.25 km,冲高回落最明显,冲高回落是由大冰雹下降引起的。各强度云团垂直厚度均在缩小,60 dBZ 缩小

最明显,为 5 km,垂直厚度缩小 87%;20:55,60 dBZ 的最低高度从 750 m 抬升到 1 750 m,体积减小到 20.4 km³(表 1),20:37 出现冰雹,经过 18 min,大冰雹降落后底高迅速抬升,体积急剧减小,大冰雹降落后,风暴云团进入平稳阶段。

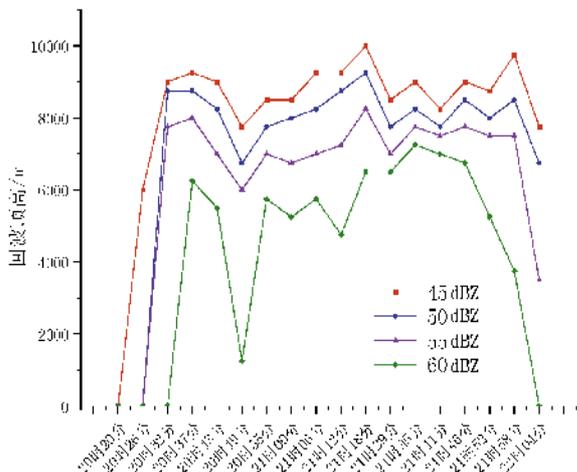


图5 45、50、55、60 dBZ 云团回波顶高时间变化

3 结论及讨论

利用自动气象站资料、CINRAD/CD 多普勒雷达资料、实地冰雹调查资料及 NCEP/NCAR 再分析资料,分析了呼和浩特市托克托县 2020 年一次强冰雹事件的三体散射特征。

(1)C 波段雷达较 S 波段雷达容易出现三体散射。

(2)三体散射现象和 55 或 60 dBZ 等强回波密切相关,尤其是 60 dBZ 强回波只要出现,三体散射现象也随之出现。

(3)三体散射出现时需要 60 dBZ 冰雹云体积最小,可以在 50 km³ 以下。本个例中出现多重三

体散射现象,其特征是在雷达径向上三体散射长度较长,为强回波距地高度的3~5倍,随着多重散射次数的增加,散射越来越弱,故多重三体散射强度沿着强回波径向上逐渐减弱。

(4)三体散射现象首次出现后冰雹云冲高回落,60 dBZ 雹云最为明显,垂直厚度减少最为严重。大冰雹降落后底高迅速抬升,体积急剧减小,大冰雹降落后,风暴云团进入平稳阶段。

由于呼和浩特 CINRAD/CD 多普勒雷达波长为5 cm,当降水粒子直径远小于此波长时,可按瑞利散射计算回波强度与反射功率;当出现大冰雹时,瑞利散射条件不成立,应改用米散射处理回波强度与反射功率关系,由于冰雹大小、单位体积冰雹数量、冰雹形状及融化程度等方面缘由,目前还没有更多实测数据,所以三体散射与冰雹的定量关系有待继续研究。

参考文献:

[1] LEMON L R.The radar “three-body scatter spike”:An operational large-hail Signature [J].Wea Forecasting, 1998, 13: 327-340.

[2] 朱敏华,俞小鼎,夏峰,等.强烈雹暴三体散射的多普勒天气雷达分析[J].应用气象学报,2006(2):215-223.

[3] 何炳伟,胡振菊,高伟,等.常德多普勒天气雷达强雹暴三体散射统计分析[J].气象,2018,44(3):455-462.

[4] 王令,康玉霞,焦热光,等.北京地区强对流天气雷达回波特征[J].气象,2004(7):32-36,66.

[5] 王晓君,夏文梅,段鹤,等.三体散射长钉(TBSS)在C波段雷达中的应用研究[J].气象,2014,40(11):1380-1388.

[6] 郭艳.大冰雹指标TBSS在江西的应用研究[J].气象,2010,36(8):40-46.

[7] 廖玉芳,俞小鼎,郭庆.一次强对流系列风暴个例的多普勒天气雷达资料分析[J].应用气象学报,2003,14(6):656-662.

[8] 陈秋萍,陈齐川,冯晋勤,等.“2012.4.11”两个强降雹超级单体特征分析[J].气象,2015,45(1):25-33.

[9] 冯晋勤,罗保华.一次冬季降雹的CINRAD/SA回波特征

[J].气象,2004,30(5):21-23.

[10] 马中元,苏俐敏,湛芸,等.一次强飏线及飏前中小尺度系统特征分析[J].气象,2014,40(8):916-929.

[11] 陶岚,戴建华,孙敏.一次雷暴单体相互作用与中气旋的演变过程分析[J].气象,2016,42(1):14-25.

[12] 陈贵川,湛芸,乔林,等.重庆“5·6”强风雹天气过程成因分析[J].气象,2011,37(7):871-879.

[13] 俞小鼎,王迎春,陈明轩,等.新一代天气雷达与强对流天气预警[J].高原气象,2005,24(3):456-464.

[14] 李向红,唐熠,郑传新,等.一次多种强对流天气过程的雷达回波特征分析[J].气象,2010(8):63-73.

[15] 廖玉芳,俞小鼎,吴林林,等.强雹暴的雷达三体散射统计与个例分析[J].高原气象,2007,26(4):812-820.

[16] 周泓,段玮,赵爽,等.滇中地区冰雹的多普勒天气雷达及闪电活动特征分析[J].气象,2014,40(9):1132-1144.

[17] 麻服伟.哈尔滨强冰雹雷达回波特征[J].气象,2007,33(2):88-92.

[18] 覃靖,潘海,刘蕾.柳州“4·09”致灾冰雹的超级单体风暴过程分析[J].气象,2017,43(6):745-755.

[19] 郑育琳,刘艳,栾亚睿,等.南疆西部2次冰雹过程对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(6):1-9.

[20] 陈军,李小兰,黎荣,等.贵州铜仁两次大范围冰雹过程的对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):30-36.

[21] 陈军,李小兰,喻义军,等.贵州铜仁地区一次罕见大范围冰雹过程分析[J].干旱气象,2016,34(6):1047-1053.

[22] 陈瑞敏,赵孝伟,于海磊,等.一次长生命史超级单体风暴的雷达观测特征[J].暴雨灾害,2021,40(4):419-429.

[23] 赵海军,潘玲,王庆华,等.临沂冰雹发生规律及预警技术研究[J].气象与环境科学,2018,41(2):83-90.

[24] 张桂莲,刘林春,赵斐,等.前倾槽背景下河套地区一次强冰雹天气成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):1-8.

[25] 李浚河,耿建军,刘璐,等.2013年北京地区一次强对流冰雹天气过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(2):25-30.

[26] 芦阿味.2011-06-11豫北强对流天气过程分析[J].气象与环境科学,2015,38(4):84-91.

Study of Radar Three-body Scattering in a Hail Damage Weather Process

XU Jing¹, KONG Wenjia², ZHOU Zhihua², ZHAO Haibo¹, LI Linhui², ZHANG Lianxia¹,
GUO Yanmei¹, ZI Qianqian¹

(1. Ordos Meteorological Bureau, Ordos 017010, China;

2. Inner Mongolia Meteorological Bureau, Hohhot 010051, China)

Abstract Based on the surface observations collected at various automatic meteorological stations, radar observations from CINRAD/CD Doppler weather radars, hail information obtained from field surveys, and the NCEP/NCAR reanalysis, we analyzed the formation mechanism of three-body scattering, the three-dimensional structure and development characteristics of storm cell of a rare and severe hailstorm in July 2020 in Tuoketuo County, Hohhot. The results show that: (1) The three-body scattering results easily from C-band weather radar rather than S-band weather radar; (2) The three-body scattering phenomenon is closely related to the strong echo of 55 or 60 dBZ, especially when the strong echo of 60 dBZ appears, the three-body scattering phenomenon also appears; (3) From the perspective of three-body scattering and volume of hail-cloud changes, volume of hailstorm clouds in 60 dBZ shows three-body scattering even if it is less than 50 km³; (4) The multiple three-body scattering is discovered, which is characterized by longer length that is three to five times height from the ground to strong echo of three-body scattering in the radial direction of the radar, scattering weakens gradually with the increase of multiple scattering times, therefore, intensity of multiple three-body scattering weakens gradually in the radial direction of the radar; (5) After the three-body scattering phenomenon appears for the first time, hail begins to appear, and the descending airflow makes the echo top height of hail cloud fall rapidly, and the 60 dBZ echo top height falls most obviously, and the vertical thickness decreases most seriously. After the hail falls, the echo bottom height at 60 dBZ increases rapidly and the volume decreases sharply. After that, the echo top height and volume of the storm cloud enters a stable stage.

Key words hail; multiple three-body scattering; volume variation