

文章编号: 1006-4354 (2006) 05-0028-04

# 陕西冰雹实例垂直累积液态含水量指标分析

房春琴<sup>1</sup>, 孙田文<sup>1</sup>, 肖湘卉<sup>2</sup>

(1. 铜川市气象局, 陕西铜川 727031; 2. 临渭区气象局, 陕西渭南 714000)

**摘要:** 利用 2005 年 5 月 30 日和 8 月 1—3 日陕西 4 次冰雹过程的多普勒雷达产品中垂直累积液态含水量 ( $Q_{VIL}$ ) 资料, 分析了 14 个回波中心与实况对应关系, 初步得到降雹的  $Q_{VIL}$  指标: 在多普勒雷达回波图上, 雷达探测范围 50~150 km 内,  $Q_{VIL} \geq 50 \text{ kg/m}^2$  会出现降雹,  $Q_{VIL} \geq 60 \text{ kg/m}^2$  时可出现大冰雹,  $Q_{VIL}$  最大可达  $80 \text{ kg/m}^2$ ; 降雹前后,  $Q_{VIL}$  值一般都较大;  $Q_{VIL}$  大值区对冰雹落区及强度有较好的指示作用。分析还发现距离雷达 50 km 以内、150~200 km 的范围, 雷达回波对  $Q_{VIL}$  值估计过低, 这些区域  $Q_{VIL} \geq 25 \text{ kg/m}^2$  时, 就有可能产生冰雹, 应用时要注意订正。

**关键词:** 多普勒雷达产品;  $Q_{VIL}$ ; 冰雹; 指标

**中图分类号:** P457.9

**文献标识码:** A

垂直累积液态含水量 (vertically integrated liquid 缩写为 VIL, 用  $Q_{VIL}$  表示) 是多普勒雷达的一个导出产品,  $Q_{VIL}$  是反映降水云体中, 在某一确定的底面积的垂直柱体内液态水总量分布的图像产品。它是判断强降水、冰雹等灾害性天气的工具之一<sup>[1]</sup>。2004 年夏陕西第一部多普勒雷达在西安投入使用。因多普勒雷达对  $Q_{VIL}$  产品探测的最大范围为 230 km, 本文只对以西安为中心、半径 200 km 以内的回波图像进行分析, 寻找  $Q_{VIL}$  在陕西冰雹预报中的指标。

## 1 过程概况

2005-05-30, 陕西省榆林、延安、铜川、西

安、渭南、咸阳等市的 22 个县出现了强冰雹天气, 个别地方伴有大风, 最大冰雹直径达 60 mm。

2005-08-01—04, 陕西省榆林、延安、铜川、渭南、咸阳、宝鸡、商洛等市又出现了 4 d 的冰雹天气, 部分地方伴有大风, 最大冰雹直径在 10~50 mm 之间, 其中, 铜川市连续 4 d 都有雷雨、冰雹天气出现。这 4 次强冰雹天气, 给陕西农业、种植业、人民群众的生命财产带来了巨大损失。

## 2 高空形势简述

2005-05-30T08 高空 500 hPa 图 (图略) 上, 河套地区为西北气流, 陕西中北部地区有冷平流, 对应 700 hPa 有切变, 地面有冷锋过境, 由于切变

**收稿日期:** 2006-06-15

**作者简介:** 房春琴 (1966-), 女, 陕西甘泉人, 天气气候工程师, 从事天气预报及预报方法的研究。

## 4 结论

2 次连阴雨天气在降水出现时间及持续时间上有明显不同, 且大降水落区也不同; 但 500 hPa 形势场比较相似, 在西太平洋副高的有利配置下, 台风的间接影响是 2 次连阴雨中出现大降水的突出特征, 高空辐散、低空辐合为大降水提供强烈上升运动, 利于强对流天气的发生和发展。

### 参考文献:

[1] 张弘, 孙伟. 2003 年陕西持续性暴雨环流特征及成

因分析 [J]. 灾害学, 2004, 19 (3): 55-60.

[2] 方建刚, 白爱娟, 陶建玲, 等. 2003 年陕西秋季降水特点及环流条件分析 [J]. 应用气象学报, 2005, 16 (4): 509-517.

[3] 侯建忠, 鲁渊平, 王川, 等. 台风路径及频次与陕西关中秋淋天气相关分析 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 70-73.

[4] 段桂兰, 陶建玲. 对 2000—2003 年陕西三场洪灾暴雨天气的对比分析 [J]. 灾害学, 2004, 19 (增刊): 24-28.

及冷锋的动力抬升作用, 造成大范围冰雹灾害。

2005-08-01—04 全省区域性冰雹天气, 是由于贝湖冷涡分裂冷空气维持数日, 造成 500 hPa 槽后形成强冷平流 (图略), 强冷平流与低层暖湿层叠加, 形成强的不稳定层结, 产生强对流。

### 3 降雹过程 $Q_{VII}$ 分析

#### 3.1 5月30日过程分析

2005-05-30T17—18, 雷达垂直累积液态含

水量回波图上, 有回波从北部逐渐移入, 18: 24 在雷达探测范围的正北方, 距离 150~200 km 之间, 从西峰经富县到黄龙, 有一东西走向的带状回波 (图 1 a), 该回波带与锋面云系对应, 以后该  $Q_{VII}$  回波带东南移并维持东西走向 (图 1 b), 先后有 4 个大值中心。

3.1.1 第 1 个  $Q_{VII}$  大值中心 18: 42 从宜君、黄陵、洛川交界处 (13.7°, 132.8 km) 开始, 途经

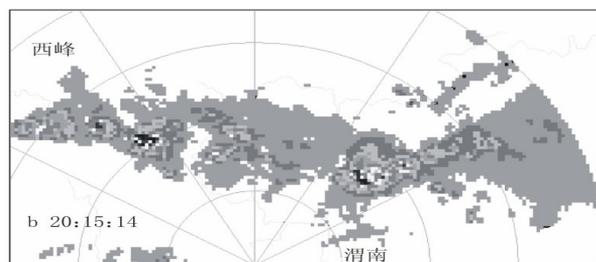
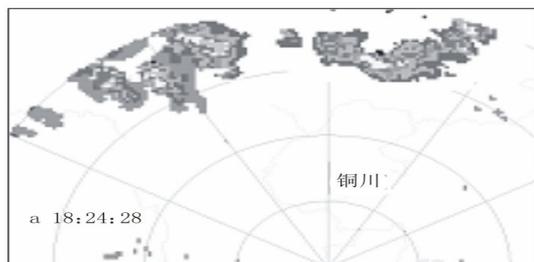


图 1 2005-05-30 西安雷达站  $Q_{VII}$  回波图

宜君、黄陵→白水→蒲城→大荔→华阴。19: 07 最大值增到  $69 \text{ kg/m}^2$ , 面积扩大, 19: 26 最大值达到  $80 \text{ kg/m}^2$ , 最强时有 25 个像素点的  $Q_{VII} \geq 50 \text{ kg/m}^2$ , 其中有 11 个像素点的  $Q_{VII} \geq 70 \text{ kg/m}^2$ 。  $Q_{VII}$  大值区在宜君的东部地区约持续 20 min; 19: 38,  $Q_{VII}$  大值区进入白水中部, 约持续 12 min; 19: 50 后大值中心在  $55 \sim 65 \text{ kg/m}^2$  之间升降变化移动, 21: 16, 降到  $40 \text{ kg/m}^2$  以下。

$Q_{VII}$  的大值区所经地黄陵、宜君、蒲城、大荔、华阴等区域相继出现了降雹天气 (表 1),  $Q_{VII}$  大值区与降雹区域对应较好。

分析中还注意到, 在白水  $Q_{VII}$  不但值很大, 而且大值区的面积也很大, 并且白水距雷达的距离与宜君相差不大, 但白水仅出现了小范围的弱冰雹天气 (表 1), 这与黄陵、宜君的强冰雹天气差异较大。是什么原因使得  $Q_{VII}$  大值降小雹? 这要归功于白水的人工防雹作业取得了显著效果。据白水防雹站提供, 该日 18: 14 后, 白水组织 8 个作业点进行了防雹作业, 发射炮弹 166 发, 火箭 1 枚。

3.1.2 第 2 个  $Q_{VII}$  大值区 大值区从甘肃进入旬邑, 途经旬邑→淳化→泾阳、礼泉。19: 50, 当

表 1 2005-05-30 陕西部分县降雹实况

地点	降雹时间	冰雹直径	降雹面积
黄陵	19: 00	30 mm	4 个乡
宜君	19: 20—20: 00	20 mm	3 个乡
白水	下午	5 mm	小范围
蒲城	下午	未成灾	小范围
大荔	20: 43	6 mm	测站
华阴	21: 10—21: 30	拇指大	部分乡
旬邑	20: 00—21: 00	60 mm	7 个乡
淳化	21: 00—22: 00	15~20 mm	2 个乡
泾阳	21: 00—22: 00	15~20 mm	2 个乡
礼泉	21: 00—22: 00	15~20 mm	2 个乡
彬县	无	无	无
耀州	无	无	无

$Q_{VII}$  大值区移入旬邑西北方 (距雷达约 120 km) 时,  $Q_{VII}$  最大值已达  $70 \text{ kg/m}^2$ , 有 18 个像素点  $\geq 50 \text{ kg/m}^2$ 。随后向南偏东的方向移动, 维持在  $65 \text{ kg/m}^2$  左右; 20: 15 有所加强, 在距雷达 105 km 附近 (旬邑的西北)  $Q_{VII} \geq 70 \text{ kg/m}^2$ , 21 个像素点  $Q_{VII} \geq 50 \text{ kg/m}^2$ 。大值区在旬邑持续近 40 min, 进入淳化向东南移动, 数值在  $45 \sim 55 \text{ kg/m}^2$  之间变化, 21 时后中心位于淳化、礼泉、泾阳的交界处 (距雷达约 65 km),  $Q_{VII}$  最大值  $69 \text{ kg/m}^2$ ,  $\geq 50$

$\text{kg}/\text{m}^2$  的像素点增加到了 22 个, 21: 41 减弱。

降雹实况(表 1), 旬邑、淳化、泾阳西部、礼泉北部山区出现雷雨大风冰雹, 与降雹落区、时间和强度与  $Q_{\text{VIL}}$  大值区对应非常好。

另外两个  $Q_{\text{VIL}}$  大值区分别位于彬县和耀州区, 最大值  $55 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 分别持续 20 min 和 12 min。彬县出现了雷雨天气; 耀州区西南部出现弱冰雹。

3.1.3 4 个大值区综合分析 综上所述,  $Q_{\text{VIL}}$  是在不断升降变化的, 降雹基本出现在  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  以上,  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  的持续时间长, 降雹的时间长、强度强, 短时间的出现  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 有雷雨天气, 降雹的可能性小。降雹前后  $Q_{\text{VIL}}$  突升突降。

3.1.4 远距离  $Q_{\text{VIL}}$  分析 据灾情调查, 30 日下午富县大部分乡镇遭受冰雹袭击, 其中, 北道德、羊泉、交道乡受灾较重。30 日 18: 50, 洛川县菩堤乡等 4 个乡镇出现冰雹, 降雹时间 3~5 min, 雹径 3~8 mm。分析发现, 17—18 时大块的  $Q_{\text{VIL}}$  回波位于富县境内, 最大值为  $47 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 最多时有 21 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 45 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。18—19 时洛川境内  $Q_{\text{VIL}}$  回波的最大值只有  $35 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 两地  $Q_{\text{VIL}}$  小值却出现较大冰雹。根据雷达探测原理, 富县距离雷达 150~200 km, 洛川距离雷达 120~190 km, 在远距离处最低仰角的底层高度已经较高, 与回波顶高度之间的厚度减小, 其次, 雷达波速宽度也随距离不断增大, 导致对  $Q_{\text{VIL}}$  值估计过低, 表现在  $Q_{\text{VIL}}$  回波图上, 这两地的  $Q_{\text{VIL}}$  小于  $45 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。在使用  $Q_{\text{VIL}}$  回波产品时, 应注意距离。

### 3.2 8 月 1—3 日冰雹过程分析

据灾情资料, 8 月 1 日宜君县部分乡镇在 15 时后出现了冰雹、大风天气, 以小雹为主, 风灾重, 雹灾小。由于 14: 30—17: 00 的资料短缺, 无法分析。

3.2.1 8 月 2 日冰雹 宜君、耀州区、韩城出现了冰雹天气, 仅对雷达观测范围内的  $Q_{\text{VIL}}$  进行分析(图 2), 由于资料中断, 曲线图终止于 18: 17。图 2 中  $Q_{\text{VIL}}$  有 2 个峰值, 一个与宜君冰雹、大风出现的时间(17 时左右)基本一致; 另一个峰值位于耀州区的中部, 与耀州区冰雹出现的时间(17:

50—19: 00)也基本一致。韩城已处于 200 km 边缘, 资料中断, 无法分析。

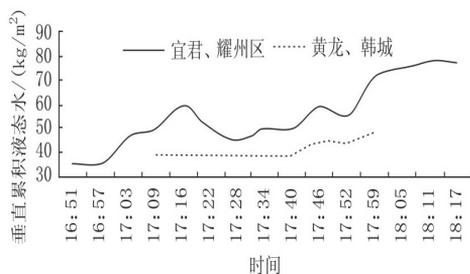


图 2 2005-08-02 各地垂直累积液态含水量大值中心随时间演变图

3.2.2 8 月 3 日冰雹 该日是几天中冰雹最强的一天, 渭南、铜川、咸阳、商洛的 17 个县出现了强冰雹天气。雷达  $Q_{\text{VIL}}$  回波图上(图略), 回波比较分散, 与 5 月 30 日的带状回波差别较大。强  $Q_{\text{VIL}}$  回波主要集中在铜川、咸阳两市, 另外, 千阳、柞水、镇安、合阳也分别有强回波。

3.2.2.1 铜川地区  $Q_{\text{VIL}}$  分析 铜川有 3 块  $Q_{\text{VIL}}$  大值区发展。第 1 块 12: 41 位于耀州区中部; 13: 36 达最大, 有 10 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 2 个像素点达  $73 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 距离雷达约 65 km; 14: 25 该回波移到耀州区的南部,  $Q_{\text{VIL}}$  下降到  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。大  $Q_{\text{VIL}}$  区维持近 2 h, 位置和数值变化都不大。此期间耀州区的 42 个行政村出现了冰雹, 最大冰雹直径达 20 mm。第 2 块  $Q_{\text{VIL}}$  回波位于印台区, 距离雷达 85~95 km, 12: 59  $Q_{\text{VIL}}$  增大为  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 以后  $Q_{\text{VIL}}$  数值在  $50 \sim 71 \text{ kg}/\text{m}^2$  之间升降变化; 14: 37 减弱到  $25 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。14 时前后, 印台区金锁关镇的 11 个村降雹, 持续时间约 4~10 min, 冰雹直径 10~20 mm, 密度较大。第 3 块  $Q_{\text{VIL}}$  回波位于宜君县境内, 距离雷达 95~114 km,  $Q_{\text{VIL}}$  数值在  $40 \sim 58 \text{ kg}/\text{m}^2$  之间变化, 持续时间 1 h 左右; 14: 44  $Q_{\text{VIL}}$  最大, 有 11 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。宜君棋盘镇 4 个行政村遭受大风、冰雹袭击, 风灾重雹灾小。

3.2.2.2 咸阳地区  $Q_{\text{VIL}}$  分析 第 1 块大值区路径为: 三原→泾阳→礼泉、兴平→乾县→武功。 $Q_{\text{VIL}}$  回波图上, 只有在 50 km 距离圈附近及以外有大于  $50 \text{ kg}/\text{m}^2$  的大值回波。 $Q_{\text{VIL}}$  达到  $50 \text{ kg}/$

$\text{m}^2$ , 出现在 16: 35, 距离雷达 54 km, 大值中心在礼泉维持 30 min, 向乾县境内移动; 17: 12—17: 18, 在乾县中东部地区 (距雷达 50~65 km),  $Q_{\text{VIL}}$  最大值达  $73 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 35 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 以后  $Q_{\text{VIL}}$  值略有下降, 向武功方向移动; 17: 37 降到  $50 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 17: 49 最大值为  $76 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 位于武功及兴平西部边界地带 (距雷达 60~67 km); 18: 07 下降到  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 移出武功。

15: 52—17: 50 礼泉县 11 个乡镇出现了强冰雹, 最大雹径 35 mm; 17: 30—18: 45 乾县 8 个乡镇出现了强冰雹天气, 最大冰雹直径 20 mm; 17: 56—18: 20 武功县 4 个乡镇出现了强冰雹天气, 最大冰雹直径 30 mm, 同时伴有 8 级左右大风。

距雷达 50 km 以内的三原、泾阳及兴平和礼泉的部分地区, 14—17 时,  $Q_{\text{VIL}}$  最大值除个别像素点达到  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$  外, 普遍在  $20 \sim 30 \text{ kg}/\text{m}^2$  之间。而该日 14: 20—17: 00, 三原县的嵯峨、新兴两乡镇 40 多个行政村出现了强冰雹, 最大雹径 25 mm; 泾阳县西部的 8 个乡镇出现了强冰雹, 最大雹径 50 mm; 16: 40—17: 00 兴平市 3 个乡镇出现了强冰雹, 最大雹径 20 mm。在  $Q_{\text{VIL}}$  小于  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$  的情况下产生强冰雹, 是由于这几个地方距离雷达观测点太近, 使得  $Q_{\text{VIL}}$  值被低估。

第 2 块大值区从永寿北部发展经过永寿 (距雷达 70~100 km) 进入乾县北部, 17: 24  $Q_{\text{VIL}}$  增大到  $58 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 17: 43 有 7 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ ,  $Q_{\text{VIL}}$  最大值  $70 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 18: 44 降到  $45 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。该日 17: 30—18: 13 永寿县永平乡、监军镇两乡遭受冰雹灾害, 最大雹径 20 mm, 降雹 20 min 左右。

第 3 块大值区从柞水东南发展移到镇安东北 (距雷达 110~125 km), 情形与第 2 块相似, 在  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  大值区所经地柞水、镇安县出现冰雹和大风灾害。

第 4 块大值区在千阳境内发展 (距雷达 165~175 km), 16: 23  $Q_{\text{VIL}}$  增大到  $55 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 6 个像素点的  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 16: 29—16: 35,  $Q_{\text{VIL}}$  维

持在  $60 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 以后下降, 16: 54 下降为  $25 \text{ kg}/\text{m}^2$ ,  $Q_{\text{VIL}}$  在  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$  以上持续 30 min 左右。该日 16: 30—17: 00 千阳县张家塬镇等 4 个乡镇遭到短时大风、冰雹袭击, 降雹约 10 min, 冰雹大如杏核。降雹时间与  $Q_{\text{VIL}}$  的大值区基本一致。千阳距离雷达超过 150 km,  $Q_{\text{VIL}}$  值仍较大, 说明此处对流旺盛, 云发展高度较高。

第 5 块回波在合阳、韩城 (距雷达 150 km 左右), 15—17 时  $Q_{\text{VIL}}$  在这两个县的最大值始终处于  $35 \sim 45 \text{ kg}/\text{m}^2$ ; 16: 11 在合阳与韩城的交界只有一个像素点的  $Q_{\text{VIL}}$  达到了  $50 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。虽然  $Q_{\text{VIL}}$  值不大, 但韩城在 15: 47 左右出现了 5 mm 的降雹, 同时 1 人因雷击死亡。合阳在 16: 15—16: 47 之间, 3 个乡镇出现了大风和冰雹天气, 最大雹径  $25 \sim 30 \text{ mm}$ 。

#### 4 结论

通过对 4 次冰雹过程的 14 个回波体分析, 得到陕西降雹的  $Q_{\text{VIL}}$  初步指标。

4.1 在多普勒雷达回波图上, 雷达探测范围 50~150 km 内,  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  会出现冰雹天气, 当  $Q_{\text{VIL}} \geq 60 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 并且面积大, 将产生强冰雹天气,  $Q_{\text{VIL}}$  最大可达  $80 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。一旦  $Q_{\text{VIL}} \geq 40 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 就应密切监视它的变化。

4.2 利用  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  面积的大小、位置可以指示实际冰雹出现的面积与地域。

4.3 利用相邻时次  $Q_{\text{VIL}}$  移动距离、方位可以预测未来  $Q_{\text{VIL}}$  位置, 用以预报冰雹落区。

4.4 在距离雷达 50 km、150~200 km 的范围内, 雷达回波对  $Q_{\text{VIL}}$  值估计过低, 这些区域内  $Q_{\text{VIL}}$  一般小于  $40 \sim 45 \text{ kg}/\text{m}^2$ , 当  $Q_{\text{VIL}}$  达到  $25 \text{ kg}/\text{m}^2$  就可能发生冰雹。

4.5 降雹前后,  $Q_{\text{VIL}}$  值一般都较大, 并且升降变化也较大。

4.6 在距雷达 50~150 km 范围, 短时间 (几分钟到十几分钟) 出现  $Q_{\text{VIL}} \geq 50 \text{ kg}/\text{m}^2$  时, 一般伴有雷雨天气, 有时也出现弱雹。