

彭力,赵强,陈小婷,等. 陕西4月冰雹天气学特征及对流潜势指标分析[J]. 陕西气象,2021(3):1-6.

文章编号:1006-4354(2021)03-0001-06

# 陕西4月冰雹天气学特征及对流潜势指标分析

彭力<sup>1,2</sup>,赵强<sup>3</sup>,陈小婷<sup>3</sup>,徐浩天<sup>1,2</sup>

(1. 铜川市气象局,陕西铜川 727000;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3. 陕西省气象台,西安 710014)

**摘要:**利用2015—2020年陕西4月99站地面观测资料、灾情报告,高空探测资料,多普勒雷达资料等,对陕西4月冰雹天气发生的天气形势、对流潜势指标及雷达回波特征进行统计分析,结果表明:陕西4月冰雹多发生在午后至傍晚(12—20时),降雹相对高频区位于陕北南部和关中;按环流形势将冰雹天气分为槽后西北气流型和冷槽型两类,槽后西北气流型主要特征表现在中层强的干冷空气侵入造成强热力不稳定层结,冷槽型冰雹天气产生的主要原因为高层冷空气叠加于低层暖湿气流上,造成强的位势不稳定,天气尺度抬升促进对流进一步发展;共筛选出11个指标为4月冰雹天气潜势预报提供参考,业务应用中重点分析相比气候平均值差异较大的K指数、总指数、对流稳定度指数,作为冰雹天气潜势预报中不稳定层结及低层水汽条件的判别指标,同时需注意其他指标的配合使用,应用CAPE值做强对流天气潜势预报时必须经过探空订正;降雹云团受地面中尺度系统触发,槽后西北气流型冰雹的雷达回波分散、持续时间短,冷槽型冰雹的雷达回波范围广,持续时间长。

**关键词:**陕西;4月;冰雹;天气形势;潜势指标;触发机制

**中图分类号:**P458

**文献标识码:**A

陕西冰雹天气有明显的季节变化和空间分布差异,冰雹一般出现在4—9月,冰雹灾害主要集中在分布在关中平原及以北的地区<sup>[1-2]</sup>。强对流天气的发生需要不稳定层结、垂直风切变、初始的抬升触发机制和适当的水汽补充条件。孙继松等<sup>[3]</sup>从预报实践的角度讨论了与强对流有关的一些基本概念、基础理论;俞小鼎等<sup>[4]</sup>总结了不同类型强对流天气发展的环境条件、中尺度结构特征等;王秀明等<sup>[5]</sup>研究了大气层结不稳定与对流,雷暴触发机制与抬升作用及天气系统的关系等问题。在此基础上,许爱华等<sup>[6]</sup>对中国中东部强对流天气的天气形势进行了分类,总结了各类强对流天气的基本要素配置;路亚奇等<sup>[7]</sup>建立了陇东强对流

天气概念模型,归纳了两种强对流天气的物理量阈值;对于冰雹天气发生时的天气学特征和多普勒天气雷达特点,许庆娥等<sup>[8-11]</sup>进行过详细的分析研究;鲍向东等<sup>[12]</sup>还对河南冰雹天气的环流形势进行了分型,统计了冰雹天气发生前的环境参量;此外,许新田等<sup>[13]</sup>对陕西初夏冰雹气候特点和降雹同期的环流背景进行了分析,指出了地面影响系统对降雹的指示意义;赵强等<sup>[14]</sup>对商洛市初夏和盛夏冰雹天气形势进行了分析,统计了与商洛冰雹天气关系密切的11个物理量指标;姚静等<sup>[15]</sup>统计分析了陕西雷暴、冰雹等对流性天气的气候特征,探讨了强对流天气发生时的物理量指标。近年来,陕西四月多次出现了冰雹天气,由于

**收稿日期:**2020-11-16

**作者简介:**彭力(1990—),男,汉族,陕西商洛人,学士,工程师,主要从事灾害性天气预报研究工作。

**基金项目:**陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究课题基金(2021Y-12,2019Z-1);中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z034);中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-129)

4月并非陕西强对流天气的多发时段,加之在汛期值班之前,冰雹的预报常常容易被忽视。以往对陕西4月强对流天气过程的总结较少,本文从潜势预报及短临预报角度分析和探讨在汛前陕西冰雹天气预报需要关注的重点,总结陕西4月冰雹天气发生的天气形势特征,凝练冰雹天气潜势预报指标,从而为陕西4月冰雹天气预报预警提供参考。

## 1 资料及方法介绍

以陕西省内99个国家自动气象站2015—2020年4月的地面观测资料、地面危险报、灾情报告为研究对象,统计陕西近6a内4月冰雹天气的典型个例。国家自动气象站1站以上有冰雹记录或冰雹灾情记录记为一次冰雹过程。国家自动气象站1站以上1h降水量 $\geq 20$  mm记为一次短时强降水过程。共统计4月冰雹过程8次,其

中冰雹并伴有短时强降水过程有1次。利用常规气象观测资料、卫星、雷达资料等,在考虑热力、动力、水汽条件的基础上,对典型相似冰雹个例的高低空系统配置进行分型,总结出陕西4月冰雹天气的概念模型。统计陕西探空站点08时探空资料中的物理量,筛选具有指示意义的热力不稳定层结、能量、水汽、垂直风切变等环境参数,凝练陕西4月冰雹潜势预报的指标。

## 2 冰雹天气特点及天气学特征

对2015—2020年陕西4月冰雹个例进行统计(表1)发现,陕西4月雹发生的主要时段在午后至傍晚(12—20时)。从降雹地域分布来看,陕北、关中、陕南均有冰雹出现,其中陕西南部、关中南降雹次数较多,为4月陕西降雹的高频区。8次降雹过程仅有1站次冰雹伴有短时强降水(2020年4月9日),出现在陕南。

表1 2015—2020年陕西4月典型冰雹天气过程统计

| 日期         | 出现时间段       | 降雹地点                  | 天气形势 | 触发条件   |
|------------|-------------|-----------------------|------|--------|
| 2015-04-20 | 13:20—14:20 | 富县                    | 西北气流 | 辐合线    |
| 2015-04-21 | 15:10—15:30 | 礼泉、泾阳、淳化              | 西北气流 | 辐合线    |
| 2015-04-26 | 13:30—18:10 | 富县、甘泉、延安、彬县、乾县、兴平、临渭区 | 冷槽   | 辐合线    |
| 2016-04-27 | 12:20—15:30 | 富县、铜川、耀州、蒲城、合阳        | 西北气流 | 干线、辐合线 |
| 2017-04-12 | 14:21—14:33 | 韩城市                   | 西北气流 | 辐合线    |
| 2018-04-26 | 15:15—16:12 | 淳化、礼泉                 | 西北气流 | 辐合线、干线 |
| 2019-04-24 | 13:00—14:00 | 米脂、绥德、清涧              | 冷槽   | 冷锋、辐合线 |
|            | 16:02—16:08 | 凤县                    |      |        |
|            | 18:19,20:13 | 城固、镇坪                 |      |        |
| 2020-04-09 | 18:55—19:29 | 商南、洛南                 | 冷槽   | 辐合线    |

由于降雹的主要时段在午后至傍晚,因此利用降雹日08时的高低空气象观测资料对陕西4月冰雹个例的天气学特征进行分析。按环流形势和影响系统将4月冰雹天气类型分为槽后西北气流型和冷槽型2种。统计(表1)发现,槽后西北气流型在4月降雹过程中最为常见,占比达到62.5%;冷槽型占比为37.5%。分别针对槽后西北气流型和冷槽型冰雹天气过程选取典型个例,在高低空系统配置及环境场对比分析的基础上凝练出陕西4月冰雹天气的概念模型。

2016年4月27日08时陕西南部、关中的冰雹天气类型为槽后西北气流型,其概念模型图(图1a):500 hPa天气图上在110°E以东有低槽东移,槽后有冷温度槽配合,温度槽冷中心小于一20℃;陕西上空盛行西北气流,陕西中部存在风速超过20 m/s的西北风急流,500 hPa西北风急流给陕西中部带来明显的干冷空气;陕西上空700 hPa以西北气流为主,850 hPa处于湿区中;地面图上陕西为气压场的低值区。500 hPa西北风急流带来强的干冷空气叠加在低层暖湿区之

上,形成上冷下暖强的位势不稳定层结,陕北南部、关中 $t_{(850-500)}$ 达到 $30^{\circ}\text{C}$ 以上。随着午后地面辐射增温,大气不稳定性进一步加大,在地面中尺度系统(辐合线、干线)触发下,产生对流,新生对

流沿 $500\text{ hPa}$ 西北气流引导,向东南方向移动并不断增强,在关中北部产生降雹。槽后西北气流型冰雹天气的特点主要表现为中层强的干冷空气侵入,造成强热力不稳定层结。

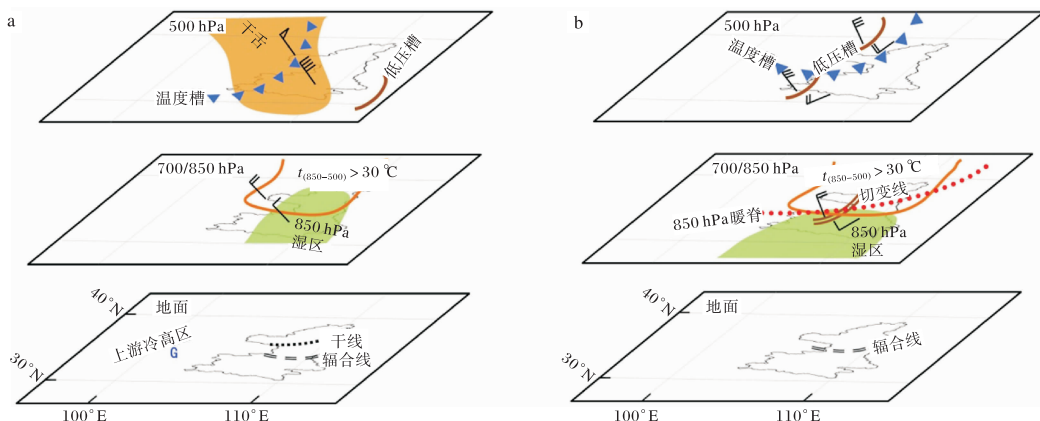


图1 陕西4月冰雹天气典型概念模型(a 槽后西北气流型;b 冷槽型)

2015年4月26日08时陕北南部、关中的冰雹天气类型为冷槽型,其概念模型图(图1b); $500\text{ hPa}$ 天气图上陕西上空有冷槽东移,冷槽后部冷中心强度小于 $-16^{\circ}\text{C}$ ,槽后冷空气侵入陕西中部上空; $700/850\text{ hPa}$ 陕西中部上空有切变线配合,陕北南部、关中位于切变线右侧偏南气流中; $850\text{ hPa}$ 华北至陕北南部存在温度脊,陕北南部—陕南为湿区; $500\text{ hPa}$ 槽后冷空气叠加低层暖湿中心,形成上暖下冷的位势不稳定层结,陕北南部、关中 $t_{(850-500)}$ 达到 $30^{\circ}\text{C}$ 以上,在地面辐合线触发下,易产生对流,高空槽前正涡度平流配合低层切变线附近的动力抬升,对流快速发展。高层冷空气叠加低层暖湿气流,配合低层天气尺度动力抬升是冷槽型冰雹天气产生的主要原因。

### 3 冰雹天气潜势指标

冰雹产生的环境条件包括大气热力不稳定层结、水汽分布、触发机制和适宜的 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 层高度。热力不稳定层结决定了产生对流风暴的强度和类型,对流能量决定了对流上升气流的强度和对流发展的程度,因此分析大气热力不稳定层结、对流能量、水汽、 $0^{\circ}\text{C}$ 和 $-20^{\circ}\text{C}$ 层高度可以为冰雹潜势预报提供有效指标。陕西4月冰雹天气主要出现在午后至傍晚(12—20时)。选取08时陕西探空站为研究对象,分别对延安(53845)、泾

河(57131)、汉中(57127)、安康(57245)(其中延安站代表陕北,泾河站代表关中,汉中、安康站代表陕南)的探空资料进行统计分析,共筛选出了11个指标(表2)在陕西4月冰雹天气潜势预报中有较好的指示意义,这些指标代表了产生冰雹天气的热力不稳定层结、能量、水汽、垂直风切变等环境条件。

#### 3.1 水汽条件

用 $850\text{ hPa}$ 露点温度( $t_{d850}$ )表示低层大气的水汽条件。统计发现陕北、关中降雹日 $t_{d850}$ 的平均值在 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 左右,陕南降雹日 $t_{d850}$ 平均值达到了 $15^{\circ}\text{C}$ ,陕南降雹前低层水汽条件优于陕北、关中。对比4月 $t_{d850}$ 的气候平均值,陕北、关中降雹日的 $t_{d850}$ 偏高 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,陕南偏高达 $10^{\circ}\text{C}$ ,这表明降雹之前,大气低层水汽有明显增加;陕南纬度偏南,同时由于秦岭山脉地形的阻挡作用,陕南大气低层的水汽很难输送到关中、陕北,造成了秦岭两侧降雹前低层水汽明显的差异。

#### 3.2 不稳定条件

分析降雹日 $850\text{ hPa}$ 与 $500\text{ hPa}$ 温度差( $t_{(850-500)}$ )。降雹日陕北 $t_{(850-500)}$ 达到 $30^{\circ}\text{C}$ 以上,关中 $t_{(850-500)}$ 在 $28^{\circ}\text{C}$ 左右,陕南为 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 。与4月气候平均值相比较,陕北、关中降雹日 $t_{(850-500)}$ 偏高 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,陕南偏高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ,表明陕

表2 陕西4月冰雹天气潜势预报指标

| 指标                               | 延安        |          | 泾河        |          | 汉中        |          | 安康        |          |
|----------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                                  | 降雹日<br>平均 | 4月<br>平均 | 降雹日<br>平均 | 4月<br>平均 | 降雹日<br>平均 | 4月<br>平均 | 降雹日<br>平均 | 4月<br>平均 |
| $t_{d850}/^{\circ}\text{C}$      | 1.7       | -3.2     | 2.8       | -1.0     | 15.0      | 4.7      | 15.0      | 4.3      |
| $t_{(850-500)}/^{\circ}\text{C}$ | 30.3      | 24.8     | 28.5      | 24.7     | 26.0      | 22.9     | 25.0      | 22.5     |
| K指数/ $^{\circ}\text{C}$          | 22.7      | 7.9      | 19.2      | 11.4     | 28.8      | 18.5     | 31.0      | 17.1     |
| 总指数/ $^{\circ}\text{C}$          | 51.0      | 37.3     | 46.8      | 37.4     | 50.3      | 40.0     | 49.1      | 39.3     |
| SI指数/ $^{\circ}\text{C}$         | 1.1       | 8.0      | 2.5       | 7.5      | -3.2      | 5.9      | -2.5      | 6.4      |
| 对流稳定度指数/ $^{\circ}\text{C}$      | -1.2      | 8.9      | -1.1      | 8.4      | -17.8     | 5.5      | -16.1     | 6.3      |
| CAPE/(J/kg)                      | 22.7      | 1.5      | 0.0       | 1.7      | 289.3     | 16.9     | 0.0       | 4.2      |
| 强天气威胁指数                          | 127.5     | 83.0     | 85.6      | 81.8     | 224.7     | 104.9    | 201.7     | 113.1    |
| 瑞士第一雷暴指数                         | 3.8       | 11.3     | 6.0       | 10.5     | 0.7       | 8.7      | -0.1      | 9.2      |
| 瑞士第二雷暴指数                         | 4.4       | 13.7     | 7.4       | 12.5     | 5.6       | 10.0     | 2.1       | 10.7     |
| 0 $^{\circ}\text{C}$ 层高度/m       | 2 948.2   | 3 098.6  | 3 440.1   | 3 299.5  | 4 187.6   | 3 469.2  | 4 398.5   | 3 429.2  |
| -20 $^{\circ}\text{C}$ 层高度/m     | 5 742.7   | 6 289.0  | 6 352.5   | 6 623.7  | 7 268.8   | 6 807.6  | 7 341.1   | 6 823.5  |

北、关中大气层结更加不稳定。分析降雹日850 hPa温度与4月气候平均值差异,陕北、关中偏高1~2 $^{\circ}\text{C}$ ,陕南偏高6 $^{\circ}\text{C}$ 。4月大气低层温度较低,当高层有较强冷空气自北向南侵入时,容易形成上冷下暖的热力不稳定层结;高空冷空气强度自陕北向陕南逐渐减弱,低层温度自陕北向陕南逐渐增加,大气上下温差自北向南减小,陕北—关中高低层温度递减率较陕南更大,更易形成强的热力不稳定层结。

K指数、总指数与大气温度递减率和低层水汽条件密切相关。统计结果表明,降雹前陕北K指数达到了22 $^{\circ}\text{C}$ ,总指数达到50 $^{\circ}\text{C}$ ;关中K指数达到19 $^{\circ}\text{C}$ ,总指数达到47 $^{\circ}\text{C}$ ;陕南K指数达到28~31 $^{\circ}\text{C}$ ,总指数达到49 $^{\circ}\text{C}$ 以上。对比4月K指数、总指数的气候平均值,陕北降雹日的K指数偏高15 $^{\circ}\text{C}$ ,关中偏高8 $^{\circ}\text{C}$ ,陕南偏高10~14 $^{\circ}\text{C}$ ;陕北降雹日的总指数偏高14 $^{\circ}\text{C}$ 左右,关中、陕南偏高10 $^{\circ}\text{C}$ 左右。由于陕北温度递减率更大,陕南低层水汽条件更好,陕北及陕南K指数、总指数均大于关中。分析SI指数表明,陕北降雹日SI指数为1 $^{\circ}\text{C}$ ,关中在2 $^{\circ}\text{C}$ 左右,陕南SI指数<-3 $^{\circ}\text{C}$ 时降雹可能性大。计算对流稳定度指数,陕北、关中降雹日对流稳定度指数在-1 $^{\circ}\text{C}$ 左

右,陕南为-18~-16 $^{\circ}\text{C}$ 。

冰雹的发展主要取决于强的上升气流,而强的上升气流则由环境热浮力(对流不稳定能量CAPE)转化而来。不同的季节,CAPE作用不同。统计CAPE分析发现,4月降雹前,08时代表探空站的CAPE值均较小,因此不能直接用来判断大气不稳定能量的大小。CAPE较小,主要由于低层温度较低影响,午后随着辐射增温,CAPE明显增大。利用午后14时地面温度和露点温度对降雹地代表探空站进行订正,订正后的CAPE达到500~1 500 J/kg,因此,4月将CAPE在强对流天气潜势预报中应用时必须经过探空订正。

强天气威胁指数(SWEAT)、瑞士第一雷暴指数(SWISS00)、瑞士第二雷暴指数(SWISS12)是表征大气水汽条件、不稳定条件、垂直风切变的综合指数。统计发现这几种指数在冰雹天气出现前有较好的指示意义。降雹日陕北SWEAT在120左右,关中有80左右,陕南在200~220,陕北、陕南较气候平均值明显偏多。SWISS00、SWISS12陕北为4左右,关中为6~7左右时,容易出现冰雹,陕南出现冰雹时SWISS00在0左右,SWISS12在2~5。

### 3.3 0℃、-20℃层高度

降水强回波扩展到0℃等温层以上,才会对降雹潜势有较大贡献,积云伸展到-20℃层以上有利于大冰雹产生,适宜的0℃、-20℃层高度是冰雹产生的重要参数<sup>[16]</sup>。统计发现4月降雹日陕北0℃层高2.9 km,-20℃层高5.7 km;关中0℃层高3.4 km,-20℃层高6.4 km;陕南0℃层高4.2~4.4 km,-20℃层高7.3 km。对比4月0℃、-20℃层高度气候平均值,陕北降雹日0℃、-20℃层高度明显偏低,陕南降雹日0℃、-20℃层高度明显偏高,这是由于陕北受高层强冷空气影响,陕南受低层暖湿空气影响所致。陕西6—9月冰雹天气发生当日的0℃、-20℃层高度分别在4 km左右和7 km左右<sup>[15]</sup>。相比而言,4月陕北、关中0℃、-20℃层高度较6—9月明显偏低,这主要是冷空气活动较频繁所致,较低的0℃、-20℃层高配合4月午后陕北、关中较强的不稳定层结,利于冰雹雹胚的生长。

## 4 冰雹天气触发机制及雷达回波特征

从4月冰雹天气的雷达回波来看,造成冰雹天气的对流云团大多数在降雹地上游地区被触发,随后向下游移动不断增强,造成降雹。槽后西北气流型冰雹天气,雷达回波较为分散,局地性更

强,持续时间较短;冷槽型冰雹天气由于低层天气尺度动力抬升配合,雷达回波范围更广,持续时间更长。分析对流云团的触发机制,对流云团均为地面中尺度系统(辐合线、干线、锋面)触发(表1),对流云团被触发后,常移出初生地并不断增强,在移动过程中重新触发新生对流。从产生降雹对流云团形态来看,降雹主要由普通单体风暴、多单体风暴、线风暴造成,其中以多单体风暴为主。多单体风暴及线风暴中降雹对流单体最大反射率因子强度达到60 dBz以上,单体中大于50 dBz的强回波扩展到-20℃层高度以上,垂直累积液态水含量达到30 kg/m<sup>2</sup>以上。以2015年4月26日午后冷槽型冰雹天气过程发展为例,强对流天气发生前,高层冷空气叠加在低层暖湿空气上,中层有切变线配合,大气层结具有明显的位势不稳定。08时地面天气图上,陕西位于海上高压后部,风场上延安中南部存在地面辐合线,受太阳辐射增温影响,大气不稳定度增加,11时地面风场上辐合线(图2a)依然存在,11:46左右地面辐合线附近(延安西北部及南部)有对流回波被触发(图2b),对流单体在切变线辐合抬升作用下迅速发展,多个单体合并,沿500 hPa引导气流向东移动,逐渐加强为多单体风暴及线风暴。

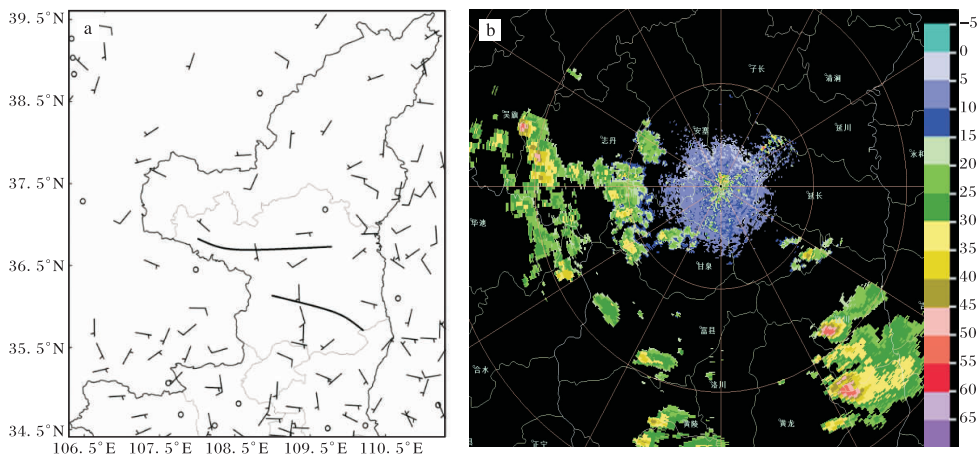


图2 2015年4月26日11时地面风场(a 风羽,单位为m/s,黑色实线为地面辐合线)和11:46延安多普勒天气雷达组合反射率因子(b 单位为dBz)

## 5 结论

对2015—2020年陕西省4月冰雹天气发生的天气学特征、对流潜势指标及雷达回波特征进

行统计分析,得出以下几点结论。

(1)陕西4月冰雹天气多发生在午后至傍晚(12—20时),降雹相对高频区位于陕西南部和关中。

(2)按典型个例环流形势将冰雹天气分为槽后西北气流型和冷槽型,槽后西北气流型的主要特征表现在中层强的干冷空气侵入造成强热力不稳定层结,冷槽型冰雹天气产生的主要原因为高层冷空气叠加低层暖湿气流造成强的位势不稳定,天气尺度抬升促进对流进一步发展。

(3)共筛选出 11 个指标为陕西 4 月冰雹天气潜势预报提供参考,这些指标代表了大气的热力不稳定层结、能量、水汽、垂直风切变等环境条件,实际业务应用中可重点分析相比气候平均值差异较大的 K 指数、总指数、对流稳定度指数,作为冰雹天气潜势预报中不稳定层结及低层水汽条件的判别指标,同时需注意其他指标的配合使用;CAPE 在强对流天气潜势预报中应用,必须要经过探空订正。

(4)降雹云团受地面中尺度系统触发,降雹单体中最大反射率因子达到 60 dBz 以上,大于 50 dBz 的强回波扩展到  $-20^{\circ}\text{C}$  层高度以上;槽后西北气流型冰雹的雷达回波分散、局地性强、持续时间短,冷槽型冰雹的雷达回波范围广、持续时间长。

#### 参考文献:

- [1] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [2] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等. 过去 2000 年来陕西地区冰雹灾害及其对农业的影响研究[J]. 高原气象, 2017,36(2):538-548.
- [3] 孙继松,陶祖钰. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题[J]. 气象,2012,38(2):164-173.

- [4] 俞小鼎,周小刚,王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报,2012,70(3):331-337.
- [5] 王秀明,俞小鼎,周小刚. 雷暴潜势预报中几个基本问题的讨论[J]. 气象,2014,40(4):389-399.
- [6] 许爱华,孙继松,许东蓓,等. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. 气象, 2014,40(4):400-411.
- [7] 路亚奇,焦美龄,李祥科,等. 陇东短时强降水与冰雹天气对比分析及预报方法研究[J]. 干旱区地理, 2016,39(2):317-326.
- [8] 许庆娥,李改琴,王春玲,等. 一次强冰雹天气成因分析[J]. 陕西气象,2018(3):1-6.
- [9] 张晶,姚文,何晓东,等. 营口一次百年一遇大冰雹天气过程分析[J]. 陕西气象,2018(3):7-10.
- [10] 郭兰. 三门峡一次致灾冰雹过程的中尺度分析[J]. 陕西气象,2018(4):18-22.
- [11] 王春玲,崔力,杜丽娅,等. 2017 年早春濮阳市一次冰雹过程诊断分析[J]. 陕西气象,2019(3):30-34.
- [12] 鲍向东,王国安,王君,等. 河南省冰雹天气环境参量特征分析[J]. 陕西气象,2019(4):17-20.
- [13] 许新田,宁志谦,唐波波,等. 陕西冰雹气候特点及环流特征分析[J]. 陕西气象,2002(5):4-6.
- [14] 赵强,郭莉. 商洛地区冰雹天气形势及潜势预报指标[J]. 陕西气象,2014(6):1-5.
- [15] 姚静,屈丽玮,朱庆亮,等. 陕西省强对流天气气候特征分析与对流指标探讨[J]. 陕西气象,2014(6):1-5.
- [16] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006.