

于怀征,陆桂荣,王风梅,等.山东省一次强致灾对流性天气过程分析[J].陕西气象,2020(4):9-14.

文章编号:1006-4354(2020)04-0009-06

山东省一次强致灾对流性天气过程分析

于怀征¹,陆桂荣¹,王风梅²,吴立滨²

(1.日照市气象局,山东日照 276826;2.莒县气象局,山东莒县 276500)

摘要:利用常规气象资料、新一代多普勒雷达资料、区域自动站资料及 NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对 2016 年 6 月 13—14 日山东省强致灾对流性天气过程进行诊断分析。结果表明:此次强对流天气是在东北冷涡和地面气旋共同作用下产生的,上冷下暖的形势有利于对流天气的发生,近地面层的逆温层为强对流发生积累了能量,适宜的湿球温度 0°C 层和 -20°C 层高度是大冰雹出现的典型配置;大气对流有效位能和干暖盖指数等物理量对强对流天气产生有较好指示意义;较长时间的低层强烈的水汽辐合和大气可降水量激增预示着此次强对流天气过程伴随着强降水的产生;产生大冰雹的超级单体风暴具有较强的反射率因子、三体散射、有界弱回波区、旁瓣回波、回波悬垂和反射率因子梯度大值区等特征。

关键词:强对流;东北冷涡;三体散射;有界弱回波区

中图分类号: P458.11

文献标识码: A

山东省地处中纬度华东沿海,境内地形中间高、四周低,中部为凸起的山地,东部为起伏的丘陵,西南和西北部属于平原地区,形成了以山地丘陵为主的地形地貌。山东省属于暖温带季风气候,春末夏初冷空气多交汇于此。在特殊地形和冷暖空气频繁交汇的条件下极易产生局地强对流天气,造成较大经济损失。由于强对流天气时空尺度小、局地性强,其预报难度非常大。近年来,随着新一代多普勒雷达和区域自动气象站等新资料的分析应用,人们对强对流天气形成机理、维持机制、灾害落区等有了进一步的认识。为进一步提高强对流天气形成机理的认识和提升该类天气的预报水平和能力,国内外很多专家对强对流天气进行了大量的研究^[1-4]。吴芳芳等^[5]指出,冰雹的形成和增长与对流风暴中存在中气旋有很好的对应关系。郭兰^[6]对三门峡一次冰雹天气过程进行分析,指出强的不稳定层结是对流天气发展和维持的重要原因。陈小婷等^[7]认为,低层强的西

南气流和暖平流有利于对流风暴发生。张晶等^[8]则认为在高层干冷、低层暖湿的配置下,如果 0°C 和 -20°C 适当,则有利于大冰雹的产生。鲍向东等^[9]认为冰雹发生在高空急流出口区左侧。郑旭程等^[10]对冰雹发生的天气环境条件和识别指标进行了分析,认为大的对流有效位能、低层逆温层以及 0°C 和 -20°C 特征层的高度等与冰雹的产生、维持、发展关系较为密切。万红莲等^[11]分析了陕西省冰雹的时空分布特征,指出夏秋冰雹出现的现象最多,且山地和平原与山地的过渡地带发生的冰雹次数明显多于平原。万占鑫^[12]等指出,低空急流输送的水汽在暴雨区辐合为暴雨的产生提供了水汽和不稳定能量。覃靖等^[13]、吴海英等^[14]、黄俊杰等^[15]、曲良璐^[16]对致灾冰雹的超级单体进行了分析,指出中尺度辐合线、地面干线将触发对流,对流层中层侵入干冷空气是冰雹产生、维持、发展的重要因素。刘慧敏等^[17]指出,CAPE 值越大,大气越不稳定。支树林等^[18]指出,形成地面降雹的有

收稿日期: 2020-02-24

作者简介: 于怀征(1974—),男,汉族,山东莒县人,高工,硕士,从事灾害性天气研究。

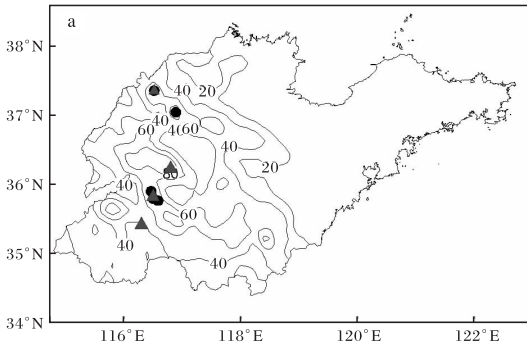
基金项目: 中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-040);中国气象局预报员专项(CMAYBY2014-038);山东省气象重点课题(20155dqxz03);山东省气象局面上课题(2013sdqx04)

利环境条件与适宜的特征层(0℃、-20℃)高度和“喇叭口”的结构配置密切相关。

2016年6月13—14日,山东省出现一次大范围的强对流天气,多地出现强降水并伴有冰雹,损失惨重。小麦、玉米等农作物和蔬菜、水果等经济作物受到不同程度灾害,部分房屋倒塌,多地的塘坝、道路被冲毁,一些地区的供电线路受损。本文利用常规气象观测资料和区域自动气象站资料、新一代多普勒雷达产品资料和NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对此次强对流天气过程进行分析,以期对山东省强对流天气预报积累经验。

1 天气实况及影响

受地面气旋和高空冷涡共同影响,2016年6月13—14日,山东省12个地市出现强对流天气,



多地出现超过100 mm以上的大暴雨天气,局地伴有9~10级的雷雨大风和冰雹(图1)。此次强对流天气,全省平均降雨量41.2 mm。最大降雨量出现在泰安湖屯气象观测站,达167 mm,降水量超过100 mm的有平阴、郓城、肥城3站,超过50 mm降水的县(市、区)则达到38个,最大小时雨强达到76.6 mm/h,出现在临邑。菏泽、聊城、济南、潍坊、济宁等部分地区还出现冰雹,冰雹最大直径达8 cm。强对流天气造成全省330个乡镇(街道)受灾,受灾人口达92.2万人,死亡2人;作物受灾面积67 760 hm²,成灾面积30 590 hm²,绝收面积5 090 hm²;房屋受损1 743间,倒塌107间;山东省直接经济损失高达11.17亿元,其中仅农业损失就高达9.17亿元。

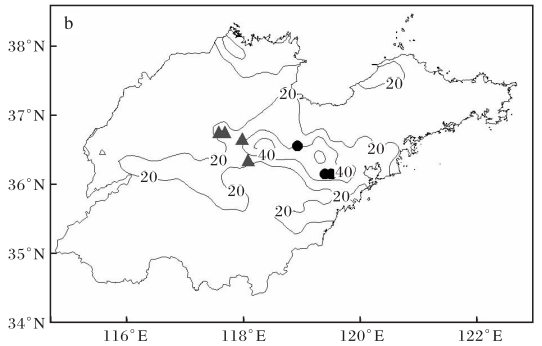


图1 山东省过程降雨量(等值线,单位:mm)、1 h超过60 mm的站点(黑点)、冰雹(三角)
(a 2016-06-13T08—14T08;b 2016-06-14T08—15T08)

2 天气形势

6月13日08时,500 hPa图上(图2a),在黑龙江省东北部有东北冷涡存在,自冷涡到山东省西北部有一西风槽,山东处在西北气流控制范围内。西北气流携带冷空气源源不断向山东上空输送,山东上空的温度低于-10℃。同时,新疆到河套以北大风速带携带冷空气沿西北方向入侵山东大部地区。

700 hPa(图2b)与500 hPa形势基本一致,山东中部有冷温槽存在。新疆到河套以北地区出现了最大风速带,不断向山东境内输送冷空气。鲁西北西部、鲁中西部和鲁南等地区位于东北冷涡底部的西北气流控制下。

850 hPa(图2c)上,河套附近有低涡存在,低涡到山东中部有一暖式切变,暖式切变南侧的西南气流源源不断地向山东输送暖湿空气,使山东

低层处于高温和高湿状态,为山东产生强对流天气提供不稳定能量。14日08时,山东出现急流,温度露点差逐渐减小到4℃以下。从温度场来看(图略),山东受16℃暖脊控制, $T_{850-500} \geq 26^\circ\text{C}$,根据山东省统计指标^[19],发生较强对流的可能性较大。

从高低空配置(图2d)来看,山东处于200 hPa、500 hPa和850 hPa急流的交汇处,高低空急流耦合有利于上升运动发展、加强。500 hPa温度槽位于山东西部,山东省为冷平流区,对应850 hPa山东地区为暖脊,形成了明显的上冷下暖形势。从湿度场来看,850 hPa山东为湿舌区,表明山东省低层湿度较好,为强降水产生提供了水汽条件。综上所述,山东省低层高温高湿,对应高空为干冷空气入侵,形成了上冷下暖的对流形势,如下垫面受热不均匀或者有地面系统触发,极易产生强对流天气。

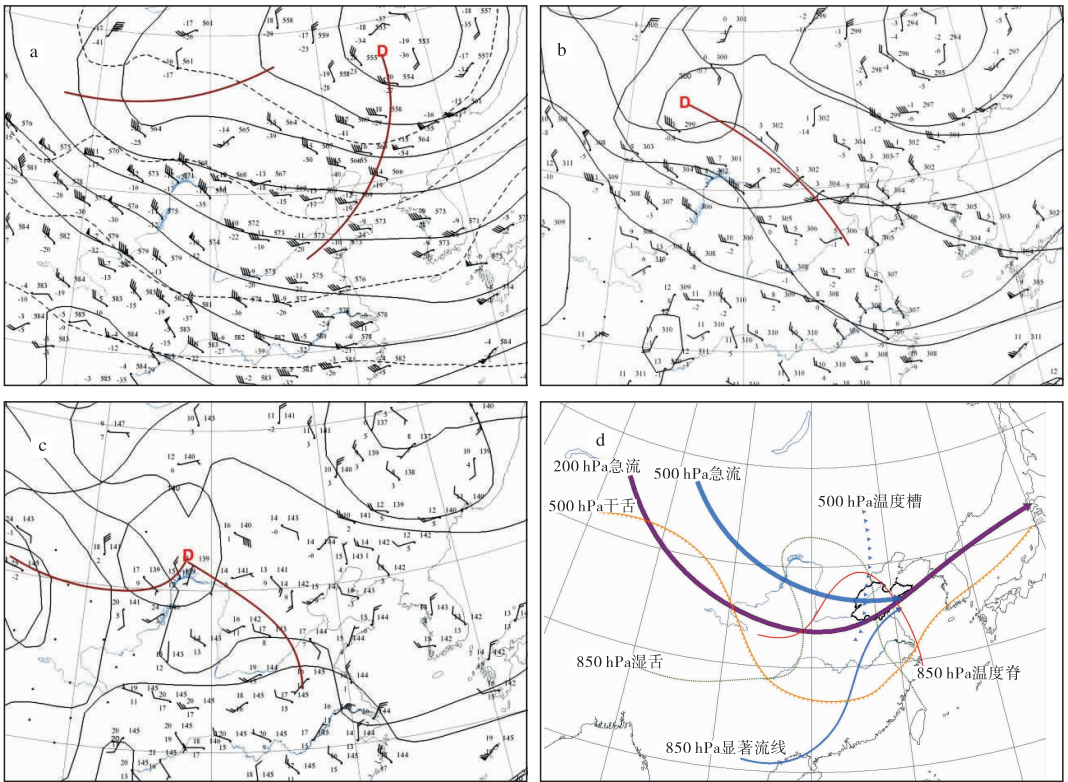


图2 2016-06-13T08 500 hPa(a)、700 hPa(b)、850 hPa(c)的天气形势和高低空配置(d)

3 大气稳定性

大气不稳定性主要是通过分析探空资料来实现,大气中风向风速随高度的变化、干暖盖指数(LS)、对流有效位能(CAPE)值、状态曲线与层结曲线的分布、抬升指数(LI)、沙氏指数(SI)等对大气的稳定性具有非常重要的指示作用^[20]。

本次强对流过程主要出现在鲁中、鲁西和鲁南地区,因此选取能较好代表此区域的章丘站的探空资料进行分析。13日08时章丘探空站资料(图3a)显示,近地面层有逆温,形成干暖盖。干暖盖是局地暴雨、强风暴等强天气发生的一个重要特征。一般用干暖盖指数LS来表征其强度,LS越小,逆温层越强,越有利于积累不稳定能量和水汽,此时济南探空站的LS为 -32.2°C ,对积累不稳定能量较为有利。从未订正的探空图上还可以看出,CAPE值为 112 J/kg ,抬升指数(LI)为 -2.1°C ,沙氏指数(SI)为 2.48°C ,不利于对流的产生。但利用当天章丘最高气温对08时的探空图进行订正(图3b)后发现,CAPE值明显增

大,达 1577.7 J/kg ,表明午后出现雷暴的可能性非常大。从风随高度的分布来看,850 hPa东南风,而700 hPa为西南风,两层之间风向随高度顺时针旋转,表明850~700 hPa之间有暖平流。700 hPa高度以上,风随高度逆时针旋转,表明中高层有冷平流。中高层的冷平流和低层的暖平流形成了上冷下暖的形势。通过分析层结曲线和露点曲线发现,两条曲线在850 hPa以下较近,但是在850~700 hPa之间又分开,呈现出低层湿、中层干的配置。

国内外很多专家指出,冰雹的融化层更接近于湿球温度 0°C 层而不是干球温度 0°C 层,且湿球温度 0°C 层高度是影响冰雹尺寸的重要因素之一^[21]。从23日08时济南探空图上看, -20°C 层和干球温度 0°C 层分别位于400 hPa和600 hPa附近,高度分别为7.18 km和3.96 km,而湿球温度 0°C 高度为3 km左右,湿球温度 0°C 高度对于6月中旬的山东是一个较低的融化层高度,特征层高度的分布非常有利于冰雹的发生。

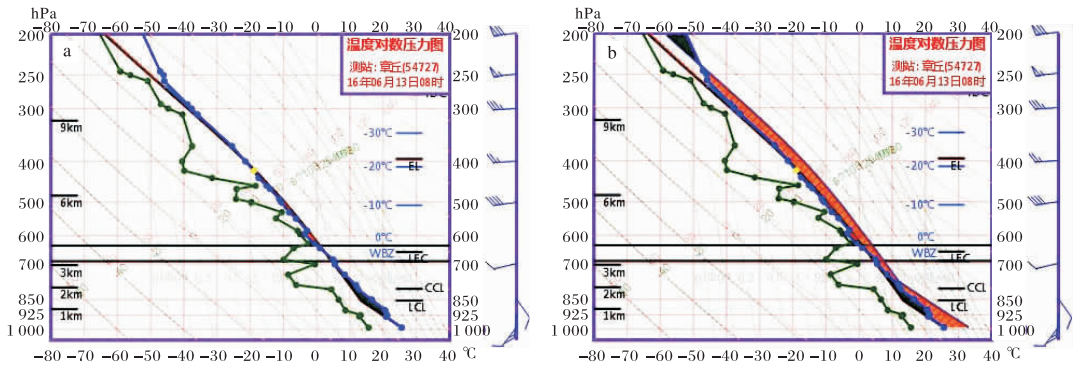


图3 2016-06-13T08 章丘订正前(a)和订正后(b)的探空图

4 水汽条件

强冰雹天气对低层水汽条件要求不高,低层的水汽条件较充沛是比较适合冰雹的生长的。用 NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料对济南的水汽通量散度进行分析。通过济南站的水汽通量散度时空分布(图 4a)来看,13—14 日,水汽辐合主要在 850 hPa 以下,说明此次降水的水汽来源主要来自大气低层。从时间分布来看,水汽辐合主要出现在 13 日午后到 14 日上午,最强水汽辐合出现在 14 日 02 时的近地面层,达到 $-80 \times 10^{-8} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^2)$, 14 日 14 时以后,水汽辐合明显减弱。

大气可降水量是指空气柱里含有水汽的总量

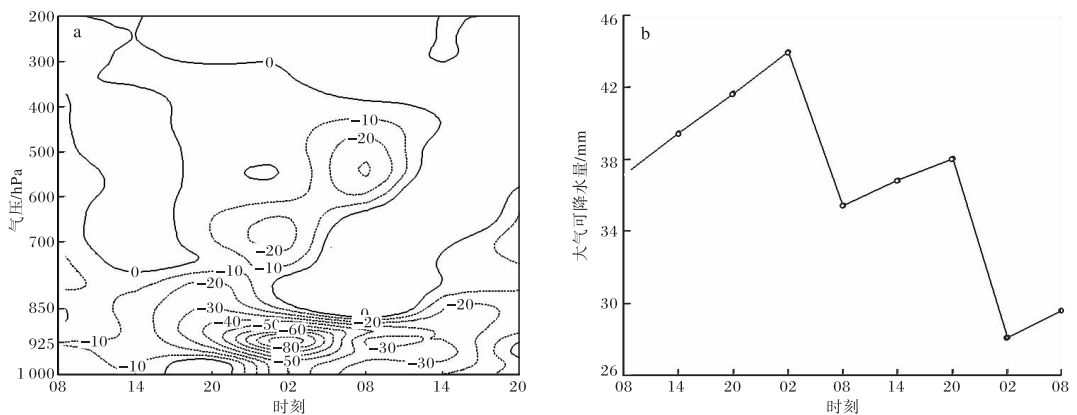


图4 济南站 2016-06-13T08—14T20 水汽通量散度时间剖面(a,单位为 $10^{-8} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^2)$)和 2016-06-13T08—15T08 大气可降水量时间变化曲线图(b,单位为 mm)

5 多普勒雷达产品

从济南 SA 雷达 1.5° 仰角的基本反射率因子演变(图 5)来看,2016 年 6 月 13 日 13:52,雷达站西北侧的平原、陵县北部地区出现单体回波,最大回波强度超过 65 dBz,回波顶高超过 16 km,位于距离雷达 70 km 处,并出现三体散射特征,此

全部凝结为雨、雪降落到地面所能形成的降水量。根据杨军建等^[22]分析,大气可降水量与实际降水量具有很好的对应关系,当大气中水汽含量达到一定的数值,明显的水汽含量激增往往对应强降水的产生。利用 NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料对大气可降水量分析(图 4b)发现,13 日 08 时,济南站大气可降水量为 37 mm,14 时达到了 40 mm,20 时达到了 42 mm,14 日 02 时,达到最大的 44 mm,表明 13 日 08 时至 14 日 02 时,大气含水量达到较高的数值且呈明显的增加趋势,结合水汽通量散度时空分布,强降水主要出现在 13 日 20 时到 14 日 02 时,与实况极为吻合。

时平原、陵县出现强冰雹。强冰雹特征持续到 14:15,之后回波向东南方向移动,并迅速合并加强,造成了德州部分区县出现短时强降水,局部地区出现暴雨,其中临邑站出现了 76.6 mm/h 的短时强降水。16:18,济南北部出现强回波,回波中心强度达到 50~60 dBz,回波顶高为 12 km,强回

波高度约为 6.2 km;从该时刻 0.5°仰角径向速度图来看,该强回波在雷达偏北 40 km 处出现速度模糊,退模糊后,最大不模糊速度为 -30.5 m/s,没有出现明显的径向辐合。16:42,该强回波略有南移和发展,中心到达雷达站偏北 25 km 附近,范围明显扩大,最大回波强度为 67 dBz,回波顶高为 12 km,最强回波强度为 8 km;从该时刻 0.5°仰角的径向速度来看,强回波区域出现明显的气旋式辐合,雷达东北方向约 50 km 处出现速度模糊,最大不模糊速度为 -30.5 m/s。此时济南北部地区先后出现较大范围的降雹,部分地区出现短时强降水,冰雹覆盖区域主要分布在济南北部区县,济南主城区影响不大。同时,在雷达西南侧的茌平县东南出现一超级单体,并向东南方向移动,此时超级单体出现弱的三体散射特征。

16:59,雷达站北侧的强回波继续向东南方向移动,范围进一步扩大,但是强度略有减弱,最大回波强度为 60 dBz;从该时刻的 0.5°仰角径向速度图来看,此强回波内部出现明显的气旋式辐合和 中层辐合区特征,位于雷达东偏北方向约 50 km 处出现速度模糊,退速度模糊后,最大径向速度为 30.5 m/s。同时雷达站西南侧的超级单体移到齐河和东阿交界处,出现明显的三体散射特征,最大回波强度达到 61 dBz。沿图中红线对该超级单体进行的剖面分析发现,最强回波约位于 7.5 km,5 km 高度上出现反射率因子梯度大值区,超级单体回波呈现出有界弱回波区、三体散射、旁瓣回波、回波悬垂等特征,此超级单体造成东阿和齐河交界的部分地区出现短时强降水和局地冰雹天气。18:33(图略),位于雷达西南侧的超

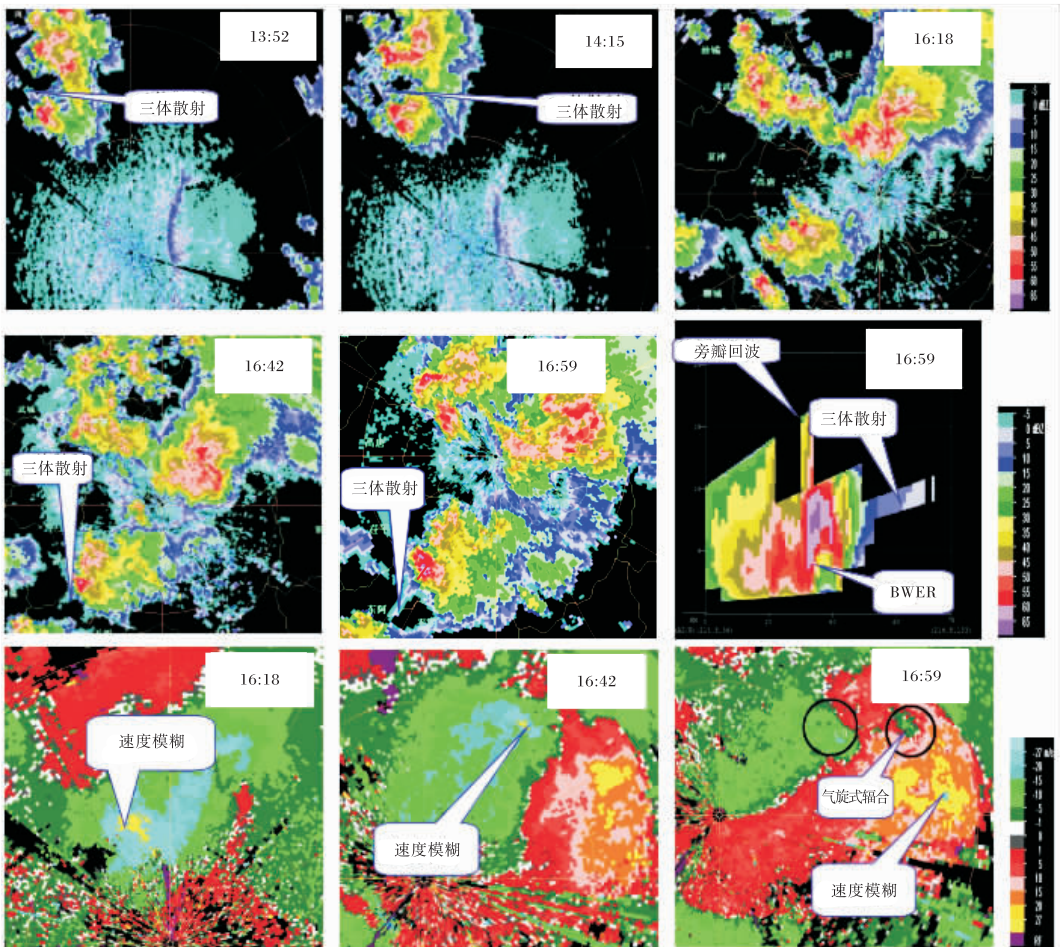


图5 2016-06-13 济南 SA 雷达 1.5°仰角反射率因子和 0.5°仰角径向速度图
及 16:59 雷达西南侧的超级单体核心反射率因子剖面图

级单体移到肥城,最大回波强度达到了 63 dBz,有明显的三体散射特征,之后与雷达西方的回波合并,东移南下造成了肥城、嘉祥、汶上等县出现冰雹和强降水,其中肥城的冰雹直径达到 8 mm。23 时,回波减弱且移出山东,山东强对流天气结束。

6 小结

(1)此次强对流天气是在东北冷涡和地面气旋共同作用下产生的。

(2)近地面层若有逆温存在的情况下,08 时探空图计算出的对流有效位能 CAPE 应订正使用;湿球温度 0 °C 层和 -20 °C 层高度有利于大冰雹出现。

(3)近地面层的逆温、较大的对流有效位能和干暖盖指数能较好地预示强对流天气的发生。

(4)大气可降水量达到较高的数值且呈明显增加的趋势和较长时间明显的低层水汽辐合,对强降水的产生具有很好的指示意义。

(5)较强的雷达回波、明显的有界弱回波区、三体散射长钉、旁瓣回波、回波悬垂和反射率因子梯度大值区等雷达回波特征表明有大冰雹产生,强回波高度较高预示着对流天气较强,上升运动较强。

参考文献:

[1] 朱乾根,寿绍文,林锦瑞,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,2007:1-649.

[2] 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):311-337.

[3] 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,2006:109-116.

[4] 寿绍文,杜秉玉,肖稳安,等. 中尺度对流系统及其预报[M]. 北京:气象出版社,1993:311-140.

[5] 吴芳芳,俞小鼎,张志刚,等. 对流风暴内中气旋特征与强烈天气[J]. 气象,2012,38(11):1330-1338.

[6] 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.

[7] 陈小婷,赵强,刘瑞芳,等. 关中一次阵风锋触发的

强对流天气分析[J]. 陕西气象,2019(5):6-11.

- [8] 张晶,姚文,何晓东,等. 营口一次百年一遇的大冰雹天气过程分析[J]. 陕西气象,2018(3):7-10.
- [9] 鲍向东,王国安,王君,等. 河南冰雹天气环境参量特征分析[J]. 陕西气象,2019(4):17-20.
- [10] 郑旭程,达布希拉图,苏立娟,等. 冰雹发生的天气环境条件及识别指标[J]. 干旱区资源与环境,2018,244(12):311-337.
- [11] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等. 陕西地区 1368—2013 年冰雹灾害时空分布特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,222(2):117-122.
- [12] 万占鑫,肖万有,乔戈,等. 青藏高原东侧边坡地区一次强对流天气过程中尺度分析[J]. 陕西气象,2020(1):1-7.
- [13] 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.
- [14] 吴海英,陈海山,刘梅,等. 长生命史超级单体结构特征与形成维持机制[J]. 气象,2017,43(2):657-667.
- [15] 黄俊杰,苟阿宁. 鄂西北一次超级单体风暴过程的观测分析[J]. 暴雨灾害,2018,37(5):462-469.
- [16] 曲良璐,谭甜甜,周雪雁. 阿克苏地区一次强对流天气卫星云图及雷达特征分析[J]. 陕西气象,2017(5):6-12.
- [17] 刘慧敏,李晓利,张建康,等. 陕北黄土高原夏季 2 次典型强对流天气环境参量对比[J]. 陕西气象,2018(6):22-26.
- [18] 支树林,许爱华,张娟娟,等. 一次影响江西的致灾性飑线天气成因分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):352-359.
- [19] 曹钢锋,张善君,朱官忠,等. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988:180-208.
- [20] 张小雯,郑永光,盛杰,等. 极端天气指数在强对流天气中的应用及检验[J]. 气象科学,2018,38(6):768-779.
- [21] 俞小鼎. 关于冰雹的融化层高度[J]. 气象,2014. 40(6):649-654.
- [22] 杨军建,姚宜斌,许超铃,等. 大气可降水量与实际降水量的关联系数分析[J]. 测绘地理,2016,40(6):649-65.