

王 勇, 王宝鉴, 刘维成, 等. SWAN 和甘肃省气象风险预警产品在岷县一次强对流过程中的应用[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 151-156, [WANG Yong, WANG Baojian, LIU Weicheng, et al. Application of SWAN and Meteorological Risk Warning Products of Gansu Province in a Strong Convective Process in Minxian County[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(1): 151-156], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0151

# SWAN 和甘肃省气象风险预警产品在岷县一次强对流过程中的应用

王 勇, 王宝鉴, 刘维成, 伏 晶, 周晓军

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:**介绍了临近预报系统(SWAN)和甘肃省中小河流洪水和山洪地质灾害气象风险预警平台的产品特征及其在2012年5月10日甘肃岷县强对流天气过程中的应用。SWAN系统表明,在强回波影响岷县期间,监测到最大反射率因子达到50 dBZ以上,其对应的高度为9 km;风暴体内垂直积分含水量和回波顶高的极值分别达到 $15 \text{ kg/m}^2$ 和18 km,表明风暴在影响岷县期间发展旺盛;TITAN风暴产品也较为准确地预测了风暴的发展方向 and 趋势;定量降水预报产品 QPF 对本次过程的降水落区预报较为准确,但是降水量级预报偏小。总体来看,SWAN系统在本次强对流天气过程中发挥了很好的监测预警功能。甘肃省中小河流洪水和山洪地质灾害气象风险预警平台在云图、雷达、自动区域站的多资料融合监测中也发挥了重要作用,其暴雨云团加强显示、降水估测等功能都对强对流风暴有很好的监测预警作用。

**关键词:**SWAN;强对流天气;气象风险预警平台

**文章编号:**1006-7639(2014)-01-0151-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0151

**中图分类号:**S42

**文献标识码:**A

## 引 言

灾害天气短时临近预报系统 SWAN (Severe Weather Auto Nowcasting)是在气象信息综合分析处理系统 MICAPS (Meteorological Information Comprehensive Analysis and Processing System)平台基础上,融合了数值模式产品和雷达、卫星、自动站等探测资料,提供大量的短时临近预报产品。甘肃省中小河流洪水及山洪地质灾害气象风险预警平台通过 GIS 技术,通过融合技术综合应用雷达、卫星云图、自动气象站、山洪地质灾害信息等数据,实现了业务人员对中小河流洪水及山洪地质灾害的实时、临近预报预警。该平台具有实时监测报警、诊断分析、预警预报服务等功能。本文以2012年5月10日甘肃岷县强对流天气过程为例,详细介绍 SWAN 及甘肃省中小河流洪水和山洪地质灾害监测预警平台的功能特点及其应用。在此基础上,分析了影响此次过程的

典型产品特征和系统演变情况。

## 1 平台介绍及资料

### 1.1 平台介绍

SWAN 和甘肃省中小河流洪水及山洪地质灾害气象风险预警平台(以下简称气象风险预警平台)提供了丰富的产品和功能,了解这些产品的分类及特征,有助于在实际业务应用中更好地做好预警服务工作,对它们的使用能促进算法的本地化和改进。

#### 1.1.1 SWAN 功能及产品

SWAN 系统在灾害天气短时临近预报方面具有一定的能力,它的主要功能和产品包括提供实时强天气和强回波区域的自动报警,对雷暴体的高频自动识别、跟踪和临近预报,提供雷达定量降水估测和临近预报,并可对相关短临预报产品进行实时检验。此外,系统还支持地理信息数据,具有雷暴单体和灾

收稿日期:2013-05-19;改回日期:2013-12-18

基金项目:由2012年公益性行业(气象)科研专项“青藏高原东侧易发山洪小流域监测预警方法研究(GYHY201206029)”和中国气象局关键技术集成与应用项目“西北东部短历时强降水和冰雹天气的预报预警关键技术集成应用(CMAGJ2013Z09)”及甘肃省气象局气象科研项目“基于配料法的河东短历时强降水短期预报方法研究”共同资助

作者简介:王勇(1980-),男,甘肃白银人,工程师,从事天气预报服务工作。E-mail:feihu163@163.com

害天气的地理定位功能,借助该系统还能制作并发布灾害天气预警和短临预报,在突发性强降水和强对流天气的预报服务中具有重要的应用价值。

SWAN 系统包括 6 大类产品:第 1 类是实况探测产品以及基于实况资料的分析产品,如雷达三维拼图、垂直积分含水量、定量降水估测、对流云识别产品等;第 2 类为以外推技术为主的临近预报产品,如 1 h 定量降水预报、1 h 内反射率因子预报场、风暴识别与追踪、TITAN 算法等;第 3 类为数值模式与雷达探测等资料的融合产品,如 3~6 h 定量降水预报(利用模式风场与 COTREC 矢量场对比,以实况雷达回波订正模式提供的预报回波)、强天气概率产品等;第 4 类为客观检验类产品,如对反射率因子预报、定量降水预报、风暴识别与追踪产品的实时检验分析;第 5 类为灾害性天气的综合自动报警类产品,SWAN 系统利用自动站资料、雷达探测和反演产品、危险报等,对强降水、雷雨大风、冰雹、高温、寒潮等灾害性天气进行自动报警;第 6 类为基于上述产品的强对流落区分析、短时临近预报预警产品制作和发布<sup>[1]</sup>。在对 SWAN 产品进行分类和特征分析的基础上,根据不同产品的优点和缺点,建议对多个产品进行组合。恰当的产品组合,既能够弥补单一产品的缺陷,又可以全面地、多角度地分析对流天气过程。

### 1.1.2 气象风险预警平台产品分类及功能

气象风险预警平台是通过 GIS 技术,将雷达、卫星云图、自动气象站、山洪地质灾害点信息等数据通过融合技术,实现业务人员对山洪地质灾害的实时、临近预报预警,平台具有实时监测报警、诊断分析、预警预报服务等功能。

该平台包括 3 大类的产品:第 1 类是实况监测产品,主要包括卫星云图、雷达拼图、单站雷达监测、自动气象站监测、重要天气报监测、综合分析等功能;第 2 类是诊断分析产品,包括 T639 数值诊断分析、探空资料诊断分析、对数压力图分析等;第 3 类是预警预报服务,包括实时预警、短临预警、短时预警、短期预警、短时临近产品制作与发布等功能。

### 1.2 资料选取说明

SWAN 和气象风险预警平台主要利用的资料是雷达实时监测数据资料,文中选用 2012 年 5 月 10 日甘肃兰州和天水雷达资料,2 个雷达站距主要对流区域均在 170 km 以内。另外还选用 FY2D 卫星云图资料、自动站数据和地面观测的重要天气报告。

## 2 天气实况及环流形势

### 2.1 天气实况

2012 年 5 月 10 日强对流天气过程中,甘肃省普降小到中雨,河东大部分地方出现了雷电和短时强降水,局部地方伴有冰雹,43 个乡镇出现大雨(图 1)。定西市岷县 10 日 17~21 时降雨量最大的 3 个乡镇分别是:麻子川乡为 69.2 mm、清水乡为 25.5 mm、茶埠镇为 19.7 mm。此次过程具有以下 5 大特点:(1)历时短,主要降水时段为 3 h,集中在 10 日 17~20 时;(2)强度强,观测资料显示,受灾严重的麻子川乡在 10 日 17~18 时,1 h 最大降水量就达 42 mm,5 月上旬末出现这种情况在甘肃极为少见;(3)突发性强,强降水 17 时开始,18 时就出现了灾情;(4)局地性强,暴雨主要出现在岷县的麻子川乡;(5)多灾种并发,雷电、短时强降水、冰雹、阵性大风同时出现。

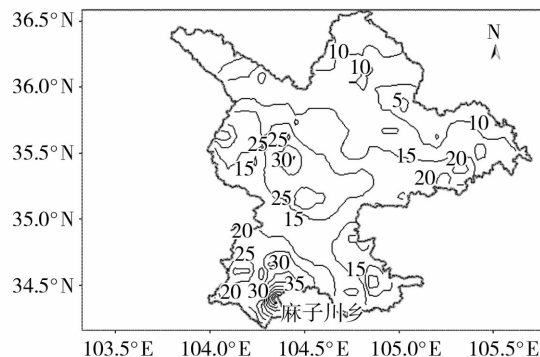


图 1 2012 年 5 月 10 日定西市累计降水分布

Fig. 1 The distribution of accumulated precipitation in Dingxi of Gansu Province on May 10, 2012

### 2.2 环流形势

5 月 10 日 08 时 500 hPa 高空图上(图 2),在新

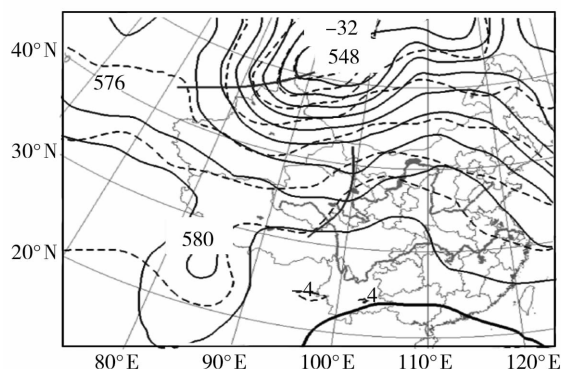


图 2 5 月 10 日 08 时 500 hPa 高空图

Fig. 2 The upper-air chart of 500 hPa at 08:00 on May 10, 2012

疆北部有一低涡,不断有冷空气沿低涡槽前部短波下滑,河东大部受高原槽影响,为西南暖湿气流控制,湿度条件好;700 hPa 切变线位于高原东侧,至 20 时,高原槽东移,700 hPa 切变线也由高原向东移动到定西一带,使得大气层结处于不稳定状态,加之午后的热力作用,促使对流云发展旺盛<sup>[2-3]</sup>。

系统高低空配置如图 3 所示,5 月 10 日 08:00~20:00,500 hPa 高空槽自西向东移动,20 时已移过岷县,岷县也由 08 时受西南气流控制转为西北气流控制;700 hPa 切变线和地面辐合线由高原向东移

动,20 时已移动到定西东部,为强对流的发生提供了很好的抬升条件;伴随系统的东移,显著湿区也规律东移。在高层 200 hPa,存在一支高空急流,到 20:00 定西正好位于高空急流的出口区右侧,低层辐合上升、高层辐散“抽吸”作用十分有利于强烈上升运动的发生和维持<sup>[4-5]</sup>。700 hPa 暖湿舌向北向东伸展,700 与 500 hPa 的温度差也显著增大,高空槽后的冷空气叠加在低层暖湿空气之上,增加了该区域的不稳定度。以上条件共同作用,造成了岷县强对流天气的发生。

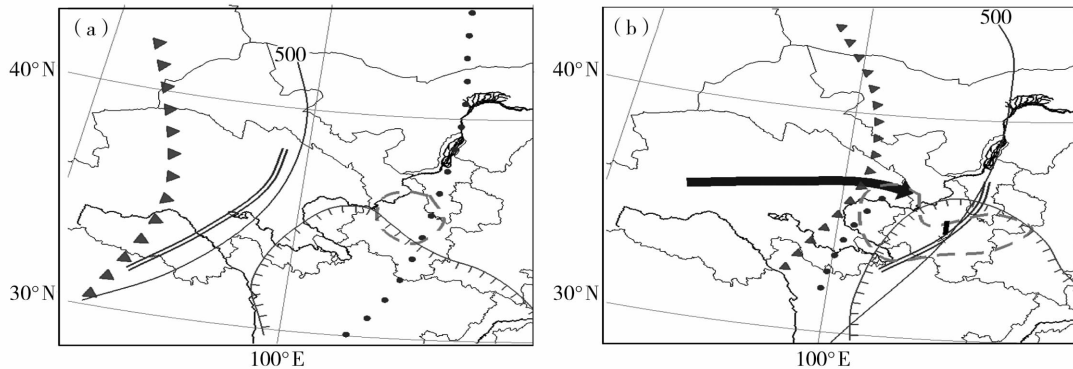


图 3 2012 年 5 月 10 日 08:00(a) 及 20:00(b) 天气系统配置图

Fig. 3 The configuration diagram of weather system at 08:00 (a) and 20:00 (b) on May 10, 2012

### 3 SWAN 产品分析

针对西北地区的强对流天气已经有很多的研究,如杨庆红<sup>[6]</sup>、纪晓玲<sup>[7]</sup>等分析了强对流天气的大气物理量、雷达回波特征;王伏村等<sup>[8]</sup>分析了河西走廊中部冰雹天气的环流和多普勒雷达产品特征,指出河西走廊中部 VIL 值  $> 35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  时一般有强冰雹出现,用风暴跟踪产品的风暴位置预报和 VIL 产品大值区叠加,可以做冰雹的落区临近短时预报;吴剑坤等<sup>[9]</sup>总结了产生强冰雹的环境条件,包括 0~6 km 的垂直风切变、0 °C 层的高度以及 50 dBZ 回波的伸展高度等;朱平等<sup>[10]</sup>总结了青海东部的强对流天气的多普勒雷达特征:最大液态含水量第一次爆发式增长随即降低对应强降水开始,第二次降低对应冰雹降落;吴爱敏<sup>[11]</sup>分析和比较了甘肃庆阳市 2 次连续暴雨过程中雷达回波强度、速度、云顶高度、垂直积分液态含水量的特征,得出冰雹和连续性暴雨的雷达回波特征。随着 SWAN 系统的广泛应用与推广,其丰富的产品为更准确地监测预报强对流天气提供了可能。

#### 3.1 组合反射率和三维拼图产品

5 月 10 日 15:00 开始在合作东部出现了比较强的回波单体,强度达到 45 dBZ 左右,并在东移的

过程中不断加强,到 17:00 左右,在岷县西南方向又监测到一块回波,随后 2 块回波相对移动过程中合并经过岷县,造成岷县的短时强降水。

从回波单体的 6 min 时序演变过程(图 4)可以看出,初始监测到单体阶段,单体已经发展得较为旺盛,强度较强,达到了 47 dBZ,到 15:36,回波强度达到了最大值为 51 dBZ,此时在 SWAN 的冰雹产品上监测到临潭附近有 15.6 mm 的冰雹,可见回波强度对强对流天气具有很好的指示意义。组合反射率

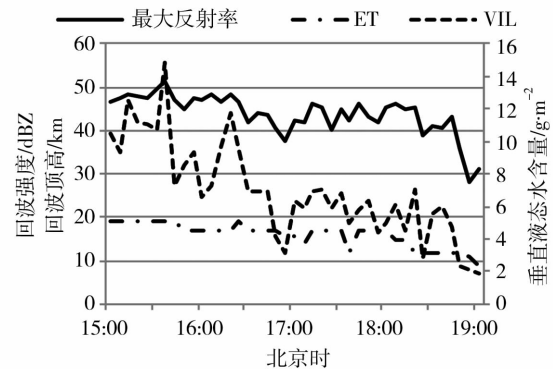


图 4 最大反射率因子、回波顶高和垂直液态水含量时间序列图

Fig. 4 The time series of maximum reflectivity factor, ET and VIL from 15:00 to 19:00 on May 10, 2012

16:36 开始减弱,由于雷达的原因,单体主体移出监测范围,所以回波强度有所减弱,从 17:00 开始,单体进入天水雷达监测范围,因此从单体的 6 min 时序演变过程看,回波强度又开始增强,强度维持在 50 dBZ 左右,分别在岷县的西北和西南方向出现了 2 块强回波,随后不断东移合并,造成岷县的短时强降水。

CAPPI 三维拼图产品上在 17:42 的 5 km CAPPI 中这条回波呈西北—东南向(图略),强回波主要在岷县东南方向,这也是位于岷县东南方向的麻子川乡出现最强降水的时段。通过分析垂直剖面产品发现,回波最大反射率因子达到 50 dBZ 左右,强回波核心区在 7~9 km,最高发展到 9 km,是超级单体发展最旺盛的时段,这时强降水已经发生并将维持。

### 3.2 回波顶高和垂直液态含水量产品

分析回波顶高序列发现,回波顶高从 15:00 开始就达到了 19 km,到 15:48 开始下降到 17 km,在 16:48~17:06 回波顶高降到 15 km 左右,从 17:12 开始,回波顶高又开始升高,17:42 在岷县东南部回波顶高达 18 km,回波面积也在不断增大,且继续发展和东移,17~18 时麻子川乡出现了 42 mm 的降水。可见回波顶高与强降水有较好对应关系,特别是当回波顶高达 18 km 时,会引起短时强降水天气。

魏勇等<sup>[12]</sup>对强对流天气研究发现,VIL 产品对强对流天气特别是冰雹落区有很好的指示作用。本次过程中,垂直液态水含量在 15:00 较高,为 10.5 kg/m<sup>2</sup>,随后随着单体增强而不断增大。到 15:36 达到最大为 14.8 kg/m<sup>2</sup>,随后出现了 VIL 突然降低的现象,这是高原东北侧冰雹云区别于一般雷雨云的特点<sup>[13]</sup>。而此时发现在 SWAN 的冰雹产品上 15:36 提示在临潭附近有 15.6 mm 的冰雹,到 17:00 前后又开始增大并维持在 6~8 kg/m<sup>2</sup> 之间。垂直液态水含量变化特征表现出与回波强度变化的一致性。

### 3.3 其他产品

1 h 降水预报产品 QPF (Quality Precipitation Forecast) 与麻子川站的逐小时降水量(图 5),预报 19:00 麻子川降水为 17.5 mm,实际降水为 42 mm,降水明显偏小,其余各时次降水预报均比实况偏小,但降水预报仍具有一定的指示意义,在业务应用中发现其预测位置基本符合,但是预报量值偏小,这可能与 SWAN 的 QPF 算法在高原边坡地区特有的地形误差有关系。

风暴追踪产品 TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting) 是采用雷达单体质心算法识别和追踪风暴的技术。17:06

SWAN 识别出 2 个风暴,分别位于岷县的北方和南方,TITAN 产品指示风暴向着岷县方向移动。17:18 岷县北部的风暴发展强盛,南面的有所减弱,到 17:36 2 个风暴已移动到岷县,不断加强,并有合并的趋势。随着风暴移过岷县,造成了岷县强降水。

由于甘肃省雷达布网位置和雷达探测距离的闲置,仅能在 18:24 的风场产品 TREC (Tracking Radar Echo by Correlation) 上,在岷县东南部探测到较短的西北—东南风中尺度切变线。切变线自西向东移动,对岷县强降水产生了重要抬升触发作用,是造成麻子川乡 1 h 暴雨的重要影响系统。

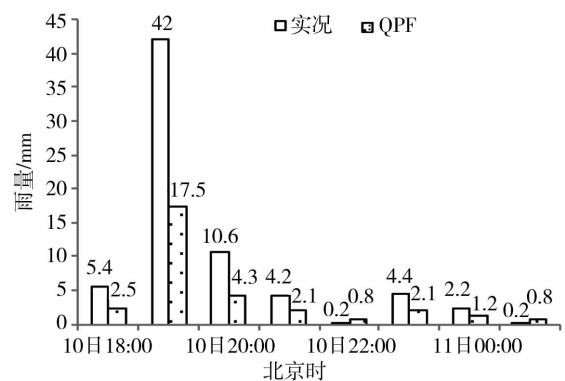


图 5 2012 年 5 月 10 日岷县麻子川逐时雨量与 QPF 产品  
Fig. 5 The precipitation value from QPF and hourly precipitation in Mazichuan of Minxian on May 10, 2012

## 4 气象风险预警平台产品分析

### 4.1 实时监测特征

从红外云图增强暴雨色彩监测产品上看出,此次强对流属于中尺度对流系统(MCS)<sup>[14]</sup>,从 15:00 开始在临洮出现强对流云团向东南方向移动,到 18:00,云团移动到岷县东北面,而且中心强度达到最强,范围最大,云图估测降水也达到了 27.4 mm,此时岷县强降水已经发生,降水中心与红外云图增强暴雨色彩监测产品对应较好(图略)。

综合分析产品是利用云图产品、雷达拼图产品、区域站雨量监测产品叠加显示实现综合分析,5 月 10 日 17 时综合分析产品显示主要系统及降水区都位于定西,为实时预警服务提供了很好的帮助。村级雷达显示产品可以看到,17:26,在梅川镇附近回波达到 50 dBZ,表明风暴发展旺盛<sup>[15-16]</sup>。

### 4.2 降水估测产品

监测预警平台能够利用卫星资料和雷达资料估测过去 1 h 的降雨量,从其逐小时降水估算产品(图 6)可以看出,15 时主要降水落区位于临洮附近,降水中心为 30 mm,到下午 17 时,降水落区移动

到岷县北部,降水中心达到 40 mm,降水强度增强,到 18 时降水中心继续向东南方向移动,降水中心强度不变。短时强降水落区随着风暴的移动向东南方向移动,这与平台在卫星云图上识别的暴雨监测产品移动方向一致。对比检验降水估测产品,发现平

台估测的降水量落区与实际降水范围基本一致,降水中心位置略偏北。在业务应用中可以结合平台的云图暴雨色彩增强显示产品和降水估测产品综合判断强对流系统及其造成的短时强降水落区移动和发展趋势。

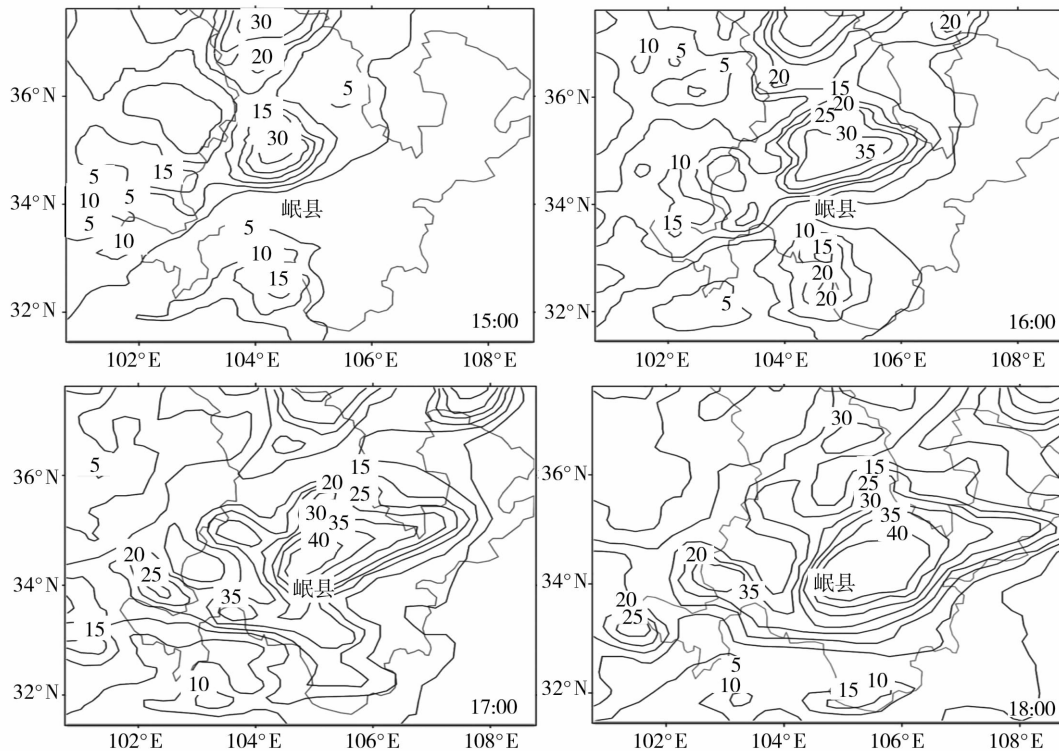


图6 5月10日15~18时过去1h估测降水产品

Fig. 6 The QPE products from 15:00 to 18:00 on May 10, 2012

## 5 小 结

(1)临近预报系统 SWAN 在此次过程中发挥了重要的作用:在强回波影响岷县期间(17:00~19:00),最大反射率因子达到 50 dBZ,其对应的高度为 9 km;风暴体内垂直积分含水量和回波顶高的极值分别为 10~15 kg/m<sup>2</sup> 和 18 km,表明这个风暴在影响岷县期间一直维持强盛。而 TITAN 风暴产品也给出了强回波的移动方向,QPF 产品给出了强降水落区,但是量级偏小。

(2)甘肃省中小河流洪水和山洪地质灾害气象风险预警平台从云图、雷达、自动区域站的监测,尤其是降水估测功能都对强对流风暴有很好的监测预警作用:在这次强对流天气过程中,村级雷达产品回波反射率因子达到 45 dBZ,系统估测降水中心值达到 30 mm 以上时,云图暴雨分析产品也出现了强风暴中心。

(3)在 SWAN 和甘肃省中小河流洪水和山洪地质灾害气象风险预警平台中,提供了大量的产品和

功能,充分了解这些产品的特点,有助于实际业务应用中扬长避短,更好地做好短时强对流天气的监测预警服务工作。

### 参考文献:

- [1] 胡胜,孙广凤,郑永光,等.临近预报系统(SWAN)产品特征及在2010年5月7日广州强对流过程中的应用[J].广东气象,2011,33(3):11-15.
- [2] 陈添宇,陈乾,付双喜,等.西北地区东部一次持续性暴雨的成因分析[J].气象科学,2009,29(1):115-120.
- [3] 王黎娟,管兆勇,何金海.2005年6月华南致洪暴雨的大尺度环流特征及成因探讨[J].南京气象学院学报,2007,30(2):145-152.
- [4] 郭大梅,方建刚,李萍云.西北地区东部一次持续性暴雨环流特征分析[J].安徽农业科学,2011,39(11):6566-6570.
- [5] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.
- [6] 杨庆红,彭九慧,刘园园.一次强对流天气的大气物理量及雷达回波特征分析[J].干旱气象,2010,28(3):322-327.
- [7] 纪晓玲,刘庆军,刘建军,等.一次蒙古冷涡影响下宁夏强对流天气分析[J].干旱气象,2005,23(1):26-32.
- [8] 王伏村,丁荣,李耀辉,等.河西走廊中部冰雹天气的环流和多普

- 勒雷达产品特征分析[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1344 - 1348.
- [9] 吴剑坤, 俞小鼎. 强冰雹天气的多普勒天气雷达探测与预警技术综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 197 - 205.
- [10] 朱平, 田成娟. 青海东部一次强对流天气的多普勒雷达特征分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 336 - 342.
- [11] 吴爱敏. 雷暴天气的多普勒雷达 VWP 资料特征分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 177 - 180.
- [12] 魏勇, 王存亮, 杨建成, 等. 准葛尔盆地南缘一次强对流天气的多普勒雷达特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 430 - 437.
- [13] 刘治国, 陶键红, 杨建才, 等. 冰雹云和雷雨云单体 VIL 演变特征对比分析[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1363 - 1372.
- [14] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 72 - 120.
- [15] 刘维成, 杨晓军, 史志娟, 等. 一次超级单体风暴的雷达回波特征分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 320 - 326.
- [16] 李晔, 沈晓辉. 一次强飚线天气过程的新一代天气雷达资料分析和临近预报[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 46 - 50.

## Application of SWAN and Meteorological Risk Warning Products of Gansu Province in a Strong Convective Process in Minxian County

WANG Yong, WANG Baojian, LIU Weicheng, FU Jing, ZHOU Xiaojun

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The products characteristics of Severe Weather Auto Nowcasting (SWAN) and the small and medium - sized rivers flooding and mountain torrents disasters meteorological warning platform in Gansu Province were introduced and their application in a strong convective weather process in Minxian county of Gansu Province on May 10, 2012 was analyzed. SWAN system showed when the strong echo occurred in Minxian, the monitored maximum reflectivity factor reached more than 50 dBZ, and its corresponding height was 9 km. The vertical integrated liquid water content and echo top extreme value reached 15 kg/m<sup>2</sup> and 18 km in the storm, respectively, which indicated that the strong storm developed actively when it went by Minxian. The storm products also predicted the development direction and trend accurately. The quantitative precipitation forecast products (QPF) forecasted rainfall area relatively accurate in this weather process, but the forecasted rainfall level was smaller. On the whole, SWAN system played a very good monitoring and early warning function in the strong convective weather process. The small and medium - sized rivers flooding and mountain torrents disasters meteorological warning platform in Gansu Province also played an important role in monitoring the storm weather, and its enhanced display of the rainstorm cloud and rainfall prediction function had good monitoring and early warning effect on strong convective storm weathers.

**Key words:** SWAN; severe convective weather; meteorological risk warning platform