

# 攀西地区“7.7”暴雨雷达回波演变特征剖析

邓 波<sup>1</sup> 顾清源<sup>2</sup> 罗菊芳<sup>3</sup>

(1. 四川省凉山州气象台, 西昌 615000; 2. 四川省气象台; 3. 西昌雷达站)

**提 要:** 通过对攀西地区 2006 年 7 月 6—7 日暴雨过程的环流形势及新一代天气雷达回波演变特征分析表明: 暴雨过程开始前本地大气中储存着丰富的不稳定能量, 高低空风存在垂直切变, 在地面冷空气和青藏高原切变线触发下对流强烈发展形成大范围暴雨。强降水超级单体风暴回波强度可达 60dBz, 暴雨回波长时间持续的主要机制是降雨回波不断地新生和合并, 暴雨回波成熟时在强回波中存在较强的上升运动, 暴雨云团中大于 40dBz 的强回波高度可达 9km, 顶高超过 12km, 垂直液态含水量达  $45\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 与此相对应的速度图上有逆风区、小气旋、辐合区等强降水特征出现。  
**关键词:** 暴雨 雷达回波 特征分析

## Anatomy of the Evolution of Radar Echo at “7.7” Heavy Rain in the Western Panzhihua

Deng Bo<sup>1</sup> Gu Qingyuan<sup>2</sup> Luo Jufang<sup>3</sup>

(1. Liangshan Meteorological Observatory, Xichang 615000; 2. Sichuan Meteorological Observatory;  
3. Xichang Radar Station, Sichuan Province)

**Abstract:** The general circulation and the evolution characteristics of new-generation radar echo of the heavy rain on Jul. 7, 2006 (simply called as “7.7” rainstorm) in the western Panzhihua (called Panxi) are analyzed in detail. The result shows that before raining, there was a plenty of unstable energy, and a vertical westerly shear in the atmosphere. Near-surface cold air and a shear line over the Tibetan Plateau triggered an intensive convection and led to a heavy rain in a large area. The echo intensity of the super cell storm could reach to 60dBz. Long-sustained radar echo was the result of new genesis and merging of the echo. During the mature stage of radar echo, significant ascending movement took place within the strong echo area. The height of strong echo over 40dBz could be as high as 9,000 meters with its top height above 12,000 meters. Meanwhile, the amount of liquid water in the air column reaches  $45\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  and there were reverse wind, small-size cyclone and convergence as seen in the velocity chart.

**Key Words:** heavy rain radar echo characteristic analysis

## 引言

暴雨是在有利的大尺度环流形势下,由各种尺度天气系统相互作用的产物。对于暴雨天气过程的新一代天气雷达回波演变特征,国内气象专家进行了深入研究,取得了若干有意义的成果。郑秀云等<sup>[1]</sup>研究了2003年淮河流域暴雨中- $\beta$ 尺度的雷达回波特征,周雨华等<sup>[2]</sup>研究了副高边缘暴雨的多普勒雷达回波特征,侯瑞钦等<sup>[3]</sup>分析了暴雨中尺度系统的雷达回波特征。

暴雨是攀西地区的主要灾害性天气,预报难度大。本文利用西昌新一代天气雷达探测资料,对2006年7月6日20时至7日20时发生在攀西地区的暴雨天气过程(以下简称“7.7”过程)进行分析,意在探寻出该地区大范围暴雨的雷达回波特征。西昌新一代天气雷达的型号为CHINA/CD,位于西昌东面昭觉县境内(27°52′47″N、102°24′38″E),海拔高度2688m,在雷达东面80.6°、89.3°方位角上存在4.37°的遮挡角。

## 1 天气实况

在攀西地区“7.7”暴雨天气过程中,冕宁、昭觉每小时的最大雨强均超过40mm,冕宁最大雨强为41.5mm·h<sup>-1</sup>(图1),出现在6日21—22时,昭觉最大雨强为44.1mm·h<sup>-1</sup>,出现在7日01—02时。本次过程攀西地区21个县(市)中就有15个县(市)产生了暴雨,冕宁还发生了大暴雨,安宁河流域面雨量达到创纪录的68.9mm,在攀西地区历史上10次大范围暴雨站数及面雨量排序中(表1,面雨量采用泰森多边形方法计算),这次暴雨过程是攀西地区有气象记录以来暴雨范围最大、暴雨站数最多的一次区域性大范围暴雨天气过程,同时也是攀西地

区流域面雨量最大的一次暴雨天气过程。

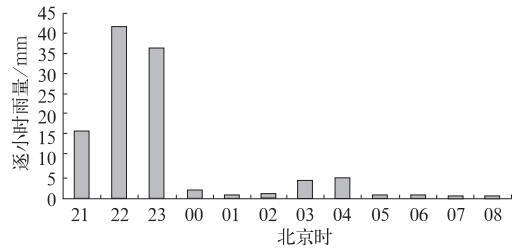


图1 冕宁2006年7月6日20时至7日08时逐小时降水量

表1 攀西地区历史上10次大范围暴雨站数及面雨量

暴雨日期	暴雨站数	面雨量/mm
2006年7月7日	15	68.9
1998年7月6日	11	51.3
1998年6月30日	10	46.8
2005年7月9日	9	44.5
1998年7月1日	9	42.8
2002年8月9日	8	41.9
2005年9月17日	8	40.7
2000年7月30日	7	42.8
2003年7月19日	6	47.5
2004年9月4日	6	38.7

## 2 暴雨天气过程的高低空环流结构

分析大范围暴雨天气过程临近时刻的高低空环流结构图(图略),表明:

(1) 攀西地区在对流层高层150hPa层上受强大的南压高压控制,200hPa攀西地区的散度值为 $127 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (T213模式初始场的客观分析场,下同),南压高压所形成的高层强辐散有利于对流风暴的高空出流和对流发生发展。

(2) 在对流层中层500hPa层上,在攀西地区东南侧有稳定的副热带高压存在,虽然副热带高压位置比较偏南,脊线位于21°N(脊线与110°E的交点),但是由于此时在我国台湾岛以东的太平洋上正有一热带风暴向偏北方向移动,其共轭作用造成副热带高压很稳定<sup>[4]</sup>,副热带高压西北侧的西南气流控

制了整个攀西地区,构成这次攀西地区大范围暴雨稳定的能量、水汽输送带。在攀西地区西北侧有一发展的青藏高原切变线存在,切变线位于红原经甘孜到林芝一线,该切变线伴随有 $-3^{\circ}\text{C}$ 的变温中心和 $-50\text{gpm}$ 的变高中心,冷平流加强了切变线的斜压性,使切变线发展,这种发展着的青藏高原切变线在攀西地区产生了散度值达 $-44 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 的辐合,有利于攀西地区上升运动的形成维持和发展。

(3) 在对流层低层 700hPa 上,攀西地区位于不断加深的西南低涡东侧。暴雨过程前西南低涡位于九龙附近,巴塘、西昌  $\Delta H_{24}$  分别为 $-30\text{gpm}$ 、 $-20\text{gpm}$ ,巴塘站高度从 6 日 08 时的 3070gpm 下降到 20 时的 3050gpm,在西南低涡后部和北部有冷平流侵入。6 日 14 时地面图上,温江、林芝、巴塘  $\Delta T_{24}$  分别为 $-4$ 、 $-5$ 、 $-8^{\circ}\text{C}$ ,冷平流的侵入加深了西南低涡,所形成的低层强辐合达到 $-111 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ ,触发了攀西地区不稳定能量的释放,诱发对流发展,有利于上升运动的形成维持和发展。

(4) 7 月 6 日 20 时西昌  $T\text{-log}p$  图上(图 2),攀西地区的沙氏指数为 $-3.1$ ,能量  $E_k$  值达到了 1207.4J,表明本地大气中储存着丰富的不稳定能量,而且该地区 500hPa 层以上为西北气流,500hPa 层以下为西南流场控制,在 700~500hPa 层之间存在明显的高空风垂直切变。

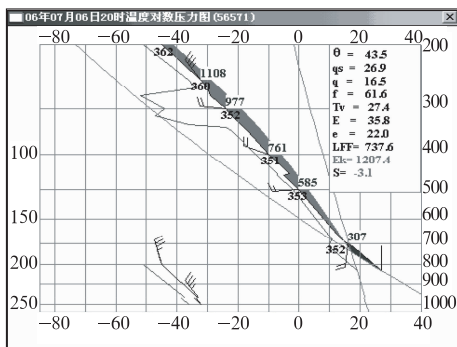


图 2 2006 年 7 月 6 日 20 时西昌站  $T\text{-log}P$  图

### 3 雷达回波演变特征分析

#### 3.1 强降雨回波的初生阶段

暴雨过程临近时攀西地区空气湿度大,热力对流发展旺盛,6 日 16 时在攀西地区北部就不断有零星积云对流单体生成,17 时 30 分对流单体开始慢慢发展,18 时 05 分在木里、冕宁、甘洛、越西境内分别形成了几块面积大小不等、强度小于  $35\text{dBz}$  的阵雨降水回波(图 3a,见彩页)。

#### 3.2 强降雨回波的发展成熟阶段

##### 3.2.1 强降雨回波发展阶段

6 日 19 时后回波发展较快,20 时 03 分大暴雨产生区域的冕宁县城附近的回波强度发展到  $45\text{dBz}$ (图 3b,见彩页),在速度图中有转动速度达  $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的气旋性辐合存在(图 4a,见彩页),垂直液态含水量不断增大,多层显示(图 4b,见彩页)表明此时回波高度还较低,特别是大于  $40\text{dBz}$  的强回波高度仅达到 5km 左右。而木里县北部的回波虽然强度只有  $35\text{dBz}$ ,但却有逆风区<sup>[5]</sup>出现(图 4a,见彩页),说明在该高度区间内存在着风的垂直切变和强的辐合气流,回波将进一步发展。

##### 3.2.2 强降雨回波的成熟阶段

6 日 20 时 22 分,冕宁县城的降雨回波继续加强,强度达  $50\text{dBz}$ ,大于  $40\text{dBz}$  的强回波高度达 5.5km,顶高达到 10km(图略),垂直液态含水量迅速增大至  $45\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,范围有所增大,径向速度图上有中尺度的纯辐合存在。对应的地面降水量加强,20—21 时冕宁的 1 小时降水量为 15.6mm。

21 时 06 分冕宁县城附近的回波进一步发展加强,强度达  $55\text{dBz}$ (图 3c,见彩页),22 时 05 分发展成为强降水超级单体风暴<sup>[6]</sup>(图

3d,见彩页),回波中心强度超过 60dBz,与此相对应的径向速度图上存在辐合区(图 5a,见彩页),垂直剖面图上有 V 型缺口的弱回波区 WER<sup>[6]</sup>出现(图 6a,见彩页),表明风暴中存在很强的上升运动,大于 40dBz 的强回波高度达 7km,顶高超过 12km,强回波中心垂直液态含水量达  $45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。此时该回波在冕宁县城附近产生了强降水,21—22 时冕宁县地面降水量达 41.5mm,22—23 时降水量达 36.2mm。

23 时以后,造成冕宁强降水的超级单体减弱,演变为稳定型降水回波,回波主体缓慢向南移至喜德及西昌北部地区,降水回波中有强度大于 50dBz 的中、小尺度强降雨带(图 7a,见彩页),与此相对应的径向速度图上暴雨云团中有逆风区、小气旋、辐合区等强降水特征出现(图 7b,见彩页),同时木里、盐源境内又有新的回波生成(图 3e,见彩页)。

7 日 00 时 09 分木里县境内的新生回波继续发展、范围不断扩大(图 3f,见彩页),向偏东方向移动,01 时 13 分与主体回波合并(图 3g,见彩页),主体回波得到加强,回波覆盖面积进一步扩大,垂直剖面图中存在有界弱回波区<sup>[6]</sup>BWER(图 6b,见彩页),表明强降水回波中有较强的上升运动,大于 40dBz 的强回波高度达 9km,顶高超过 12km,强回波中心的垂直液态含水量达  $45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。02 时 00 分盐源新生回波与主体回波合并,使主体回波停滞和稳定发展(图 3h,见彩页)。径向速度图(图 5b、c,见彩页)中显示暴雨云团中有逆风区、小气旋等强降水特征出现,此时降水区域进一步扩大。

6 日 23 时至 7 日 02 时为强降雨回波发展成熟阶段,表现为回波覆盖区域不断扩大、有新生回波移入合并、高垂直液态含水量区域扩大、回波强度稳定少变、移动缓慢。该阶

段主体回波覆盖区域内的喜德测站 6 日 23 时至 7 日 02 时降水量达 41.6mm。

### 3.2.3 强降水的持续阶段

7 日 02—08 时为连续性降雨的持续阶段,从反射率因子演变图分析可知(图略),在测站西部不断有强度为 25dBz 左右的新生回波移入与主体回波合并,使主体降水回波较长时间在攀西地区停滞。02 时以后攀西地区为混合型降水回波覆盖(图 8,见彩页),降水回波中有多个中心强度维持在 35~45dBz、顶高小于 6km、垂直液态含水量为  $10\sim 25\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  的强降水回波云团。暴雨产生地区的西昌、德昌、普格、布拖等县该时段内的雨量在 31~50mm,最大的 1 小时降水量出现在西昌(03—04 时降水量为 16.1mm),为持续对流性降水过程。由于攀西地区南北间有 1000m 的地形高度差,北高南低,对南来的西南暖湿气流具有明显的抬升作用,有利于强降水的持续。

### 3.3 强降雨回波的消亡阶段

冷平流对强降雨对流云团生消作用明显,强降雨回波的消亡主要是由于对流层中低层冷平流作用的消失。这点可以从风廓线图清楚地看到,在强降雨回波生成、发展、成熟阶段,攀西地区整个对流层中低层都是偏北风(图 9a),表明该地区在对流层中低层有冷平流侵入,而在强降雨回波的消亡阶段,攀西地区整个对流层中低层都是西西南风(图 9b),表明该地区在对流层中低层的冷平流侵入中止,转为暖平流。08 时 08 分后主体回波移至攀西南部,北部降水结束。同时,随着高空系统的减弱、地面冷空气减弱变性,对流降水所需的冷平流逐渐消失,降水回波面积不断缩小强度不断减弱,到 12 时降水回波减弱到 15dBz 以下,降水过程结束。

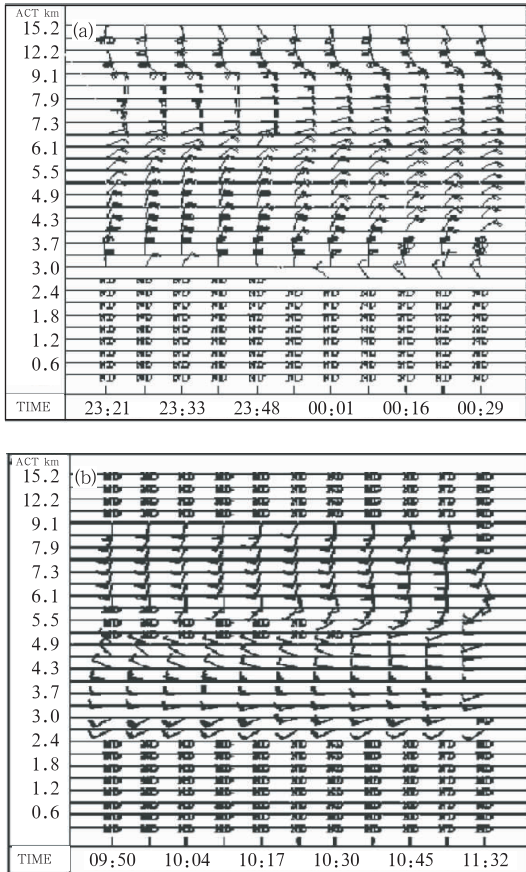


图 9 2006 年 7 月 6 日 23 时 21 分  
至 7 日 00 时 29 分风廓线图(a)  
和 7 日 09 时 50 分至 11 时 32 分风廓线图(b)

#### 4 结 论

(1) 暴雨过程开始前本地大气中储存着丰富的不稳定能量,高低空风存在垂直切变,在冷空气和高原切变的触发下有利于暴雨的

形成。

(2) 产生强降水的超级单体风暴回波强度可达 60dBz,1 小时就可造成大—暴雨。

(3) 暴雨回波长时间持续的主要机制是降雨回波不断地新生和合并,暴雨回波成熟时在强回波中有较强的上升运动存在,暴雨云团中大于 40dBz 的强回波高度可达 9km,顶高超过 12km,垂直液态含水量达  $45\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(4) 在大范围暴雨过程,大于 50dBz 的强回波和速度图上的逆风区、小气旋、辐合区等中小尺度强对流特征与强降水相对应,在短临预报中具有指示意义。

(5) 在此次持续对流性降水过程中,攀西地区北高南低的地势有利于上升运动的维持,地形对强降水回波的停滞和稳定发展起到了加强作用。

#### 参 考 文 献

- [1] 郑云秀,王建捷,何金海,等. 2003 年 7 悦淮河流域暴雨中- $\beta$  尺度特征的观测分析[J]. 气象,2006,32(1): 36-43.
- [2] 周雨华,黄小玉,黎祖贤,等. 副高边缘暴雨的多普勒雷达回波特征[J]. 气象,2006,32(1):12-17.
- [3] 侯瑞钦,景华,张迎新,等. 05.7.23 河北暴雨中尺度分析[J]. 气象,2006,32(7):88-94
- [4] 顾清源,肖递祥,祁生秀. 西南低涡生成过程中形成“7.8 达州大暴雨”的机理分析[G],中国气象局预测减灾司天气预报技术文集,2006:134-137.
- [5] 周雨华,刘志雄,谭一洲,等. 湖南新邵太芝庙乡特大致洪暴雨分析[J]. 气象,2006,32(11):81-87.
- [6] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006:109-115.

# 邓波等：攀西地区“7.7”暴雨雷达回波演变特征剖析



图3 仰角1.5°反射率因子演变

a~h分别是2006年7月6日18:05、20:03、21:06、22:05、23:15、7日00:09、01:13、02:00;红圈为冕宁县城所在位置



# 邓波等：攀西地区“7.7”暴雨雷达回波演变特征剖析

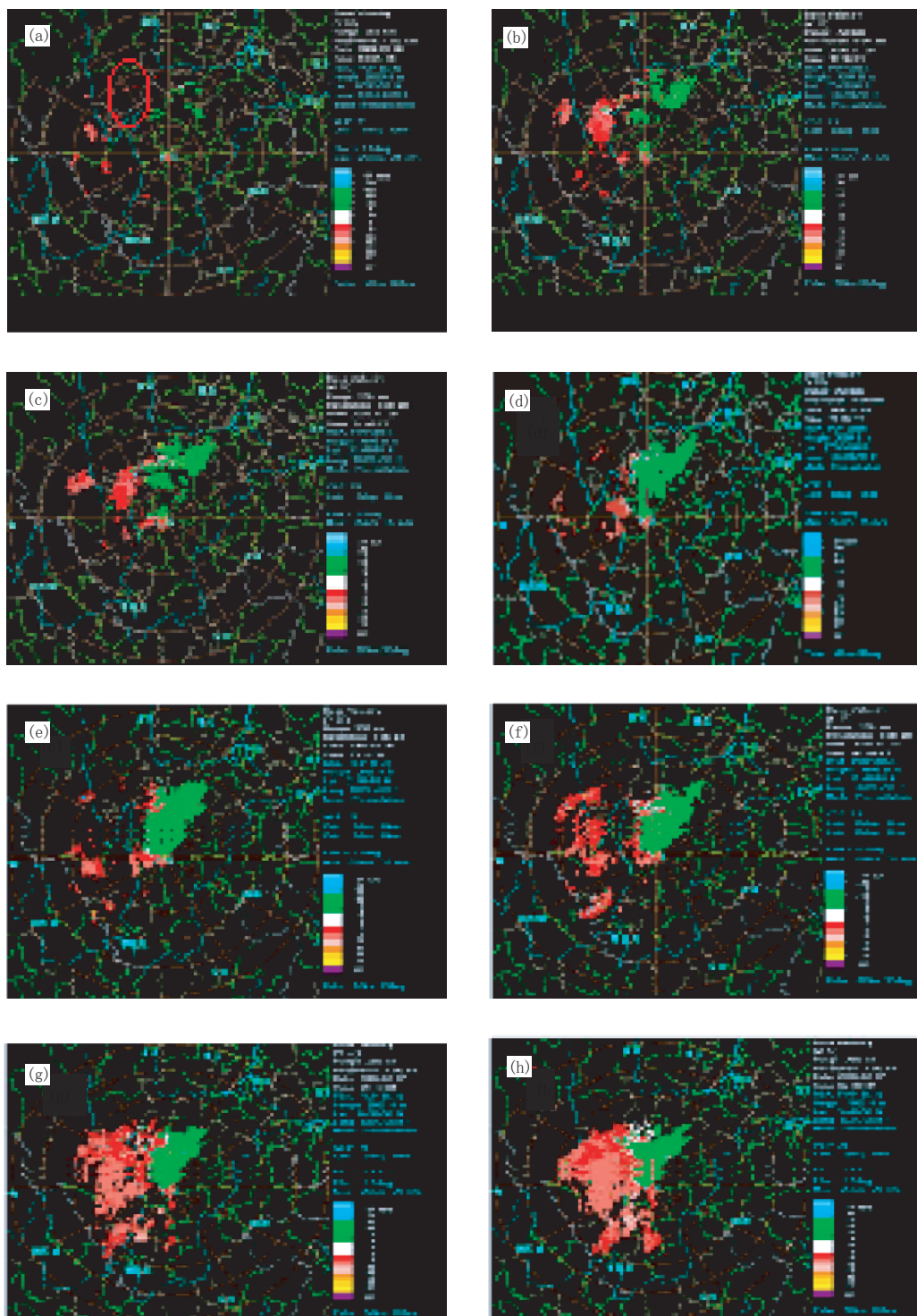


图5 仰角1.5°径向速度图

a~h分别是2006年7月6日18:05、20:03、21:06、22:05、23:15、7日00:09、01:13、02:00;红圈为冕宁县城所在位置

# 邓波等：攀西地区“7.7”暴雨雷达回波演变特征剖析

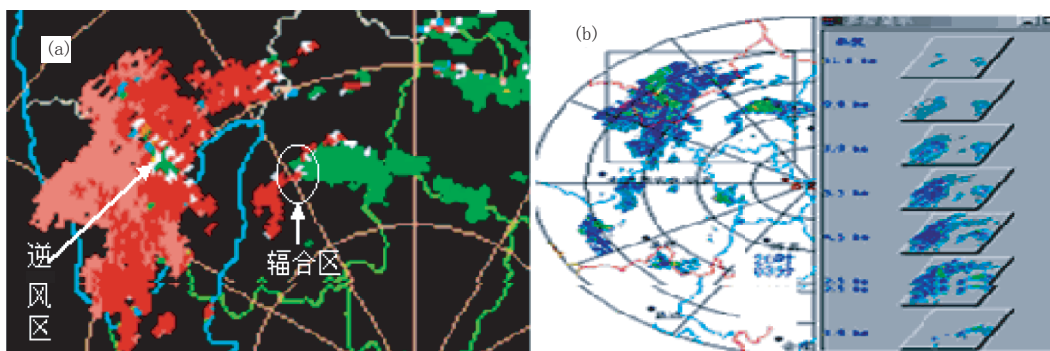


图4 2006年7月6日20时03分1.5°仰角径向速度图(a)和冕宁县城附近强回波剖面(b)

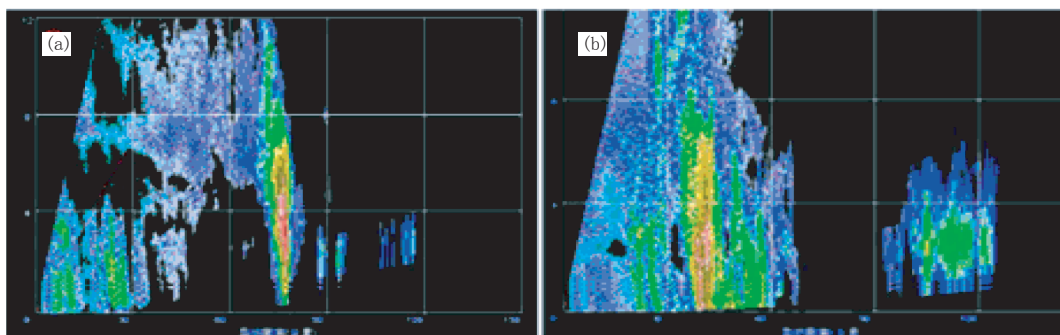


图6a 2006年7月6日22时冕宁县城附近雷达回波垂直剖面  
天线方位：339.94°，距离80km

图6b 2006年7月7日01时12西昌西北侧的垂直剖面图  
天线方位：317.62°，距离40km

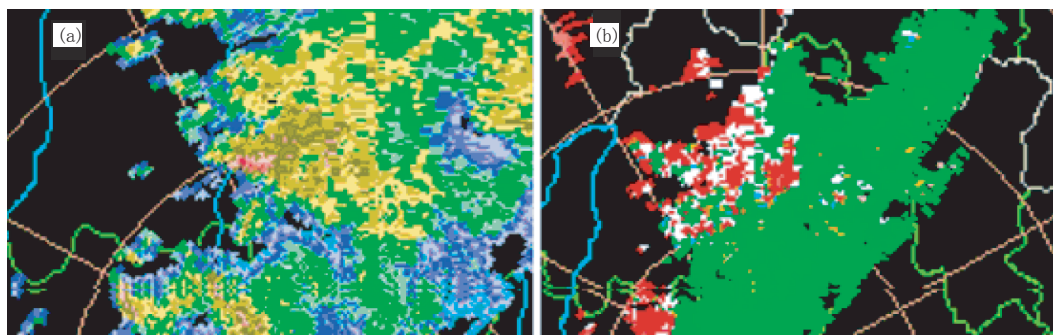


图7a 2006年7月6日23:48喜德境内1.5°仰角基本反射率因子

图7b 2006年7月6日23:48喜德境内1.5°仰角径向速度图

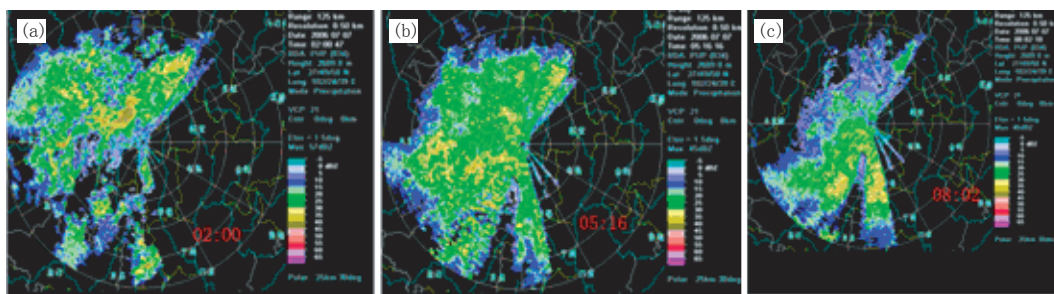


图8 2006年7月7日02:00、05:16、08:02的基本反射率(仰角1.5°)