

夏文梅, 王晓君, 孙康远, 等. 2016. V 型缺口在 C 波段多普勒雷达中的应用研究. 气象, 42(1): 67-73.

# V 型缺口在 C 波段多普勒雷达中的应用研究<sup>\*</sup>

夏文梅<sup>1</sup> 王晓君<sup>2</sup> 孙康远<sup>1</sup> 段 鹤<sup>2</sup>

1 江苏省气象科学研究所, 南京 210008

2 云南省普洱市气象局, 普洱 665000

**提 要:** 利用普洱 CIND3830-CC 天气雷达资料、地面观测资料进行统计分析, 研究 2004—2013 年普洱 C 波段天气雷达中 V 型缺口的统计特征、V 型缺口与地面降雹的对应关系, 并对 V 型缺口在冰雹预警方面的应用及其对短时临近预报预警的影响进行探讨, 结果表明: (1) V 型缺口的最佳观测仰角为  $0.5^{\circ} \sim 2.4^{\circ}$ , 垂直高度上, V 型缺口的高度出现在 2.1~6.5 km。 (2) 将 V 型缺口分为 2 种类型, 第一类为块状强回波单体径向向后侧的 V 型缺口, 第二类为片状或块状多单体回波径向向后侧的 V 型缺口。 (3) 第一类 V 型缺口的组合反射率(CR)为 50~66 dBz, 普遍  $\geq 55$  dBz, 出现冰雹的几率为 69%。 (4) 第二类 V 型缺口的 CR 为 47~64 dBz, 普遍为 50~55 dBz, 出现冰雹的几率为 29%。 (5) 当出现 V 型缺口、 $H_{45 \text{ dBz}} \geq 7.5$  km、 $CR \geq 55$  dBz 时, 可预报有冰雹出现, 准确率达 100%, V 型缺口对冰雹预警的时间提前量为 5~102 min。此外, 得出了 V 型缺口内冰雹回波的识别方法。

**关键词:** 天气预报, C 波段天气雷达, 冰雹, V 型缺口, 统计分析, 预警

中图分类号: P412

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.01.008

## Application Study of 'V' Notch Used in C Band Doppler Radar

XIA Wenmei<sup>1</sup> WANG Xiaojun<sup>2</sup> SUN Kangyuan<sup>1</sup> DUAN He<sup>2</sup>

1 Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210008

2 Pu'er Meteorological Office of Yunnan Province, Pu'er 665000

**Abstract:** Based on the statistical analysis of the CIND3830-CC CINRAD data and surface observation data, the statistical characteristics of 'V' notch and the relationship between the 'V' notch and surface hail event at Pu'er observation during 2004—2013 are analyzed. The application of 'V' notch for hail early warning and the influence of 'V' notch for short-term forecast are discussed as well. The results show that: (1) The best observation elevation ranges of the 'V' notch are from 0.5 to 2.4 degree elevation while the height that the 'V' notch occurs ranges from 2.1 to 6.5 km. (2) The 'V' notch can be divided into two types, the first one is at the radial back of massive echo cell while the second one is located in the radial back of schistose or massive echo multi-cells. (3) The composition reflectivity of type I 'V' notch ranges from 50 to 66 dBz, generally equal or greater than 55 dBz, with a hail occurrence probability of 69%. (4) The composite reflectivity of type II 'V' notch ranges from 47 to 64 dBz, generally around 50 to 55 dBz, with a hail occurrence probability of 29%. (5) Hail event can be forecasted when the 'V' notch is observed and  $H_{45 \text{ dBz}} \geq 7.5$  km,  $CR \geq 55$  dBz with the rate of accuracy up to 100%. The early warning for 'V' notch is 5—102 min early. In addition, the identification method for hail echo in 'V' notch is studied.

**Key words:** weather forecast, C band weather radar, hail, 'V' notch, statistical analysis, early warning

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006004 和 GYHY201306025)共同资助

2014 年 11 月 20 日收稿; 2015 年 7 月 10 日收修定稿

第一作者: 夏文梅, 主要从事多普勒雷达资料分析与应用的研究. Email: njxiawm@sina.com

## 引言

V型缺口回波可分为有两种,一种是超级单体中由于强烈的入流或出流造成的V型无回波区或弱回波区。另一种是由于云中大冰雹、大水滴等大粒子对雷达波的强度衰减作用,雷达探测时电磁波不能穿透主要的大粒子区,在大粒子的后部形成V型缺口,此类V型缺口在C波段雷达中较为常见。本文研究的是后一种V型缺口。

早在1983年Lemon等(1983)就在文章“用风暴结构来识别冰雹”中提到了V型缺口,将其视为冰雹的识别指标。随着我国C波段雷达的广泛应用,V型缺口特征被大量观测到,1991—2013年,内蒙古、四川、北京、云南、广东、河南、湖北、安徽、吉林、广西、贵州、陕西等地的刊物中(巴特尔等,1991;陈群等,1995;曹亚平等,2012;康玉霞等,2002;张素芬等,2003;袁芝华等,2010;汤兴芝等,2009;唐勇等,2008;孙瑞等,2009;乔琪等,2011;莫爱颢等,2010;李银芳,2008;李静等,2012;李向红等,2010;刘亚礼,1992),先后多次出现V型缺口与冰雹对应关系的分析,王令等(2006)、胡胜等(2006)、张腾飞等(2006)、万文龙等(2009)、潘留杰等(2013)的研究也表明V型缺口是冰雹云的重要识别和预警指标。但目前对V型缺口的研究仅局限于个例分析,且分析仅停留在冰雹过程是否有V型缺口对应的层面,对V型缺口与冰雹的统计关系、以及V型缺口作为冰雹指标的应用研究,国内较为罕见。

本文利用云南省普洱市2004—2013年的地面观测和雷达资料进行统计分析,根据V型缺口前侧回波的不同特征,对V型缺口进行分类,并研究地面降雹与V型缺口之间的对应关系,对V型缺口在冰雹预警方面的应用进行探讨。

## 1 资料

选取2004—2013年普洱、西双版纳地区所有组合反射率 $\geq 45$  dBz的回波进行分析。实况取自普洱、西双版纳观测数据和灾情直报数据。雷达资料选取普洱天气雷达2004—2013年采集的所有资料,包括相对径向速度、反射率因子、垂直累积液态水含量(VIL)、垂直剖面等产品。

普查2004—2013年普洱、西双版纳地区的所有

回波,发现共出现33次V型缺口,其中有16次出现冰雹,表明出现V型缺口时对应冰雹出现的概率仅为48%。

普查2004—2013年普洱、西双版纳地区的所有回波,发现共有29次冰雹过程,49块冰雹云[冰雹云:满足滇南冰雹云识别指标的回波(段鹤等,2014)],其中有17块冰雹云出现V型缺口,表明出现冰雹时对应V型缺口出现的概率为仅为35%。

V型缺口出现在3—8月,其中3月10次,占30%,4月18次,占55%,5月2次,6、7和8月各1次。普洱、西双版纳V型缺口的出现时间与冰雹出现的时间均集中在3—4月(段鹤等,2014)。

## 2 V型缺口的统计特征

普洱C波段雷达中V型缺口内往往残留有强度为0~15 dBz的回波,整体形态接近V型(图1),因此将普洱C波段雷达中V型缺口定义为:远离雷达一侧出现的呈近似于V型的缺口,缺口内无回波或存在0~15 dBz的弱回波。将V型缺口分为2种类型,第一类为块状强回波单体径向后侧的V型缺口,共出现16次,例如2013年5月4日18:10出现的V型缺口(图1a);第二类为片状或块状多单体回波径向后侧的V型缺口,共出现17次,例如2010年3月28日17:39出现的V型缺口(图1b)。

### 2.1 第一类V型缺口在雷达资料上的统计特征

第一类V型缺口对应的块状强回波单体的最大组合反射率(CR)为50~66 dBz,普遍 $\geq 55$  dBz,仅有1次V型缺口对应的回波中心强度为50 dBz(2010年3月28日00:26—00:40),其余V型缺口对应的回波中心强度均 $\geq 55$  dBz,V型缺口出现在距雷达中心15~107 km之间(表1)。

第一类V型缺口在 $0.5^\circ \sim 2.4^\circ$ 仰角上较为明显,例如2014年4月14日17:56出现的V型缺口(图2a),即V型缺口的最佳观测仰角为 $0.5^\circ \sim 2.4^\circ$ 。垂直高度上,V型缺口的高度出现在2.1~6.5 km。垂直高度上共18次扫描到明显的V型缺口特征,例如2014年4月14日17:56、2004年4月10日15:25,强回波径向后侧出现明显缺口(图2b、图4),出现V型缺口的回波顶高为7.4~12.5 km(表1)。

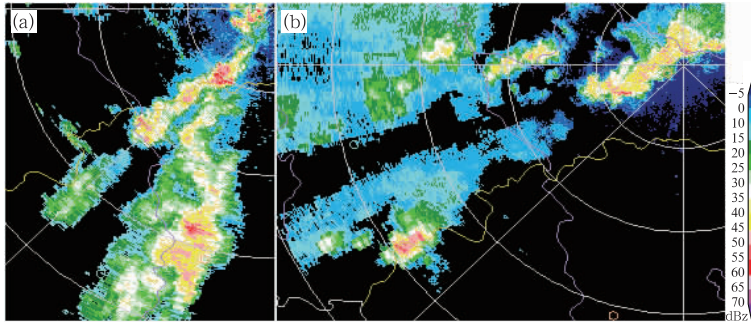


图 1 2013 年 5 月 4 日 18:10 基本反射率(a)、2010 年 3 月 28 日 17:39 基本反射率(b)中的 V 型缺口  
Fig.1 The ‘V’ notch in basic reflectivity at 18:10 BT 4 May 2013 (a) and 17:39 BT 28 March 2010 (b)

表 1 第一类 V 型缺口出现日期、时间、回波最大 CR、高度范围、距雷达中心距离、仰角、有无降雹等特征

Table 1 Date, time, max CR of echo, altitude range, distance from the center of radar, elevation and the hail feature for type I ‘V’ notch

日期/年、月、日	时间	CR/dBz	高度/km	距雷达中心距离/km	仰角/°	有无冰雹
2004.04.14	17:32—17:44	56	2.5~5.4	45~50	0.5~3.4	有
2004.04.14	17:56—18:14	58	2.5~6.5	51~65	0.5~4.3	有
2004.04.15	17:39—18:00	60	2.4~4.1	41~63	0.5~2.4	有
2005.03.21	14:26—14:57	65	2.2~3.8	15~53	0.5~2.4	有
2007.04.07	21:35—21:46	66	2.4~5.0	48~48	0.5~3.4	有
2008.04.14	18:25—18:57	56	3.6~5.4	93~107	0.5~2.4	有
2008.04.14	19:54—20:15	55	3.1~4.9	92~94	0.5~2.4	无
2009.03.31	18:54—19:42	61	2.7~5.2	60~75	0.5~2.4	有
2009.03.31	19:47—20:18	57	2.7~5.8	59~94	0.5~2.4	有
2010.03.28	00:26—00:40	50	2.4~4.1	45~52	0.5~2.4	无
2010.03.28	01:13—01:37	55	2.2~3.2	30~33	0.5~3.4	无
2010.03.28	17:27—17:51	55	2.1~2.8	20~27	0.5~2.4	无
2010.04.23	21:22—21:32	55	2.9~5.5	75~80	0.5~2.4	无
2013.04.15	15:13—15:25	60	2.1~2.7	20~24	0.5~2.4	有
2013.05.04	17:50—18:20	61	2.3~3.3	31~35	0.5~2.4	有
2013.05.04	17:03—17:15	57	3.1~5.7	65~67	0.5~2.4	有

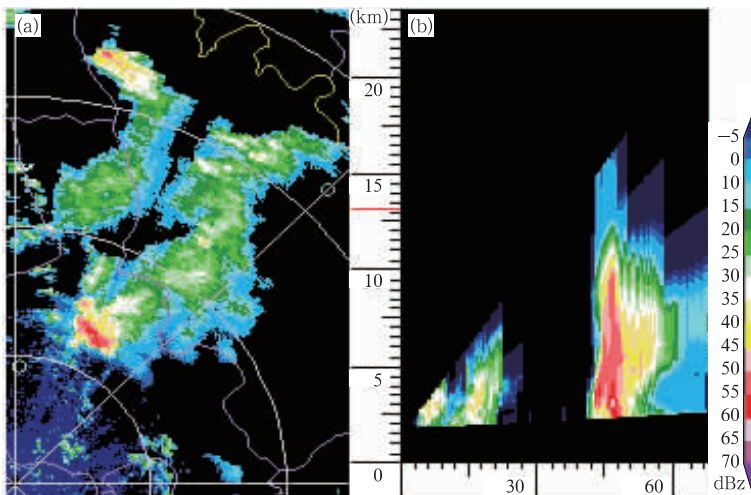


图 2 2014 年 4 月 14 日 17:56 在 0.5°仰角上的基本反射率(a)和基本反射率垂直剖面(b)  
Fig.2 Basic reflectivity (a) and vertical section of basic reflectivity (b) in the 0.5° elevation on at 17:56 BT 14 April 2014

第一类 V 型缺口在雷达方位角  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$  之间出现 13 次,占 81%, $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$  之间(2007 年 4 月 7 日 21:35)、 $180^{\circ}\sim 270^{\circ}$  之间(2013 年 5 月 4 日 18:05)、 $270^{\circ}\sim 360^{\circ}$  之间(2013 年 5 月 4 日 17:09)各出现 1 次(表略)。从表 1 可知, $0\sim 30$  km 之间出现 4 次 V 型缺口, $31\sim 60$  km 之间出现 8 次, $61\sim 90$  km 之间出现 2 次, $91\sim 120$  km 之间出现 2 次, $121\sim 150$  km 之间未观测到 V 型缺口。

## 2.2 第二类 V 型缺口在雷达资料上的统计特征

第二类 V 型缺口共出现 17 次,V 型缺口对应的块状强回波单体的最大组合反射率(CR)为 47~64 dBz,普遍为 50~55 dBz,仅有 1 次 V 型缺口对应

的回波中心强度大于 60 dBz(2007 年 4 月 10 日 15:05—15:40),V 型缺口出现在距雷达中心 32~102 km 之间。

第二类 V 型缺口的仰角范围、垂直高度上 V 型缺口的高度、出现 V 型缺口的回波顶高与第一类 V 型缺口较为接近。

第二类 V 型缺口在雷达方位角  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$  之间出现 9 次,占 53%, $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$  之间出现 1 次、 $180^{\circ}\sim 270^{\circ}$  之间 6 次、 $270^{\circ}\sim 360^{\circ}$  之间出现 1 次。从表 2 可知, $0\sim 30$  km 之间未观测到 V 型缺口, $31\sim 60$  km 之间出现 8 次, $61\sim 90$  km 之间出现 7 次, $91\sim 120$  km 之间出现 2 次, $121\sim 150$  km 之间未观测到 V 型缺口。

表 2 第二类 V 型缺口出现日期、时间、回波最大 CR、高度范围、距雷达中心距离、仰角、有无降雹等特征  
Table 2 Date, time, max CR of echo, altitude range, distance from the center of the radar, elevation and the hail feature for type II 'V' notch

日期/年、月、日	时间	CR/dBz	高度/km	距雷达中心距离/km	仰角/ $^{\circ}$	有无冰雹
2006.07.29	20:37—20:57	50	2.4~3.8	45~47	0.5~2.4	无
2007.04.08	19:03—19:13	50	2.8~5.0	68~72	0.5~2.4	无
2007.04.10	15:05—15:40	64	2.9~5.3	75~76	0.5~2.4	有
2008.04.18	17:07—17:32	50	2.3~4.0	32~35	0.5~3.4	无
2008.04.18	17:18—17:53	50	2.8~5.4	62~64	0.5~2.4	无
2008.06.24	17:31—18:01	52	2.8~5.4	64~66	0.5~2.4	无
2009.03.31	19:53—20:08	55	2.7~5.2	60~75	0.5~2.4	有
2009.03.31	20:24—20:36	55	3.3~5.3	94~102	0.5~1.5	有
2009.04.12	17:22—17:32	55	2.6~4.3	58~59	0.5~2.4	有
2010.03.28	16:50—17:15	49	3.1~6.1	86~90	0.5~2.4	无
2010.03.28	19:24—19:44	50	2.9~5.2	64~65	0.5~2.4	无
2010.04.18	17:17—17:47	55	2.6~4.6	60~62	0.5~2.4	无
2010.04.18	17:33—17:53	48	2.6~4.6	45~47	0.5~2.4	无
2010.04.24	18:12—18:32	50	3.2~6.1	90~91	0.5~2.4	无
2010.04.24	18:17—18:37	50	2.4~3.8	45~46	0.5~2.4	无
2012.08.07	20:38—20:53	47	3.4~5.2	95~97	0.5~1.5	无
2013.04.15	15:36—15:46	57	2.4~4.2	45~49	0.5~2.4	有

## 3 V 型缺口预报冰雹的效果

统计发现,是否出现 V 型缺口与回波的强度无明显对应关系;出现 V 型缺口时降雹的概率为 48%;V 型缺口的大小与强回波面积的对应关系较好,但与回波强度和是否降雹无明显对应关系;出现 V 型缺口且降雹的过程中,V 型缺口较大时,往往对应大冰雹或降雹密度较大的冰雹,但 V 型缺口较小时,也有大冰雹出现的个例(表略)。

### 3.1 V 型缺口预报冰雹的时效

假定出现 V 型缺口时,就开始发布回波未来影

响区域有冰雹出现,将开始出现 V 型缺口的时间和开始降雹的时间之差视为 V 型缺口对冰雹的最短提前预警时间,将开始出现 V 型缺口的时间与冰雹结束时间之差视为 V 型缺口对冰雹的最长提前预警时间。那么 16 次有 V 型缺口特征并出现降雹的过程中,V 型缺口对冰雹预警的时间提前量为 5~102 min(表略)。

### 3.2 V 型缺口预报冰雹的效果

#### 3.2.1 第一类 V 型缺口预报冰雹的效果

统计发现,第一类 V 型缺口与冰雹有较好的对应关系,16 次第一类 V 型缺口对应的强回波中,有 11 次出现冰雹(见表 1),占 69%。第一类 V 型缺

口对冰雹的识别和预警有一定的指示意义。

### 3.2.2 第二类 V 型缺口预报冰雹的效果

统计发现,第二类 V 型缺口与冰雹无明显的对应关系,17 次第二类 V 型缺口对应的回波中,有 5 次出现冰雹(见表 2),仅占 29%。第二类 V 型缺口作为 C 波段雷达中冰雹的预警指标的效果较差。

上述分析表明,普洱 C 波段雷达中,V 型缺口并非冰雹的充分或必要条件,单独的 V 型缺口特征不能视为冰雹的预警指标。

### 3.3 V 型缺口与其他雷达回波特征的综合应用

统计 V 型缺口的回波特征,尝试将 V 型缺口与其他雷达回波特征结合起来预报预警冰雹。

对照滇南地区的冰雹识别和预警指标(段鹤等,2014),统计分析所有 V 型缺口发现,导致 V 型缺口出现的回波均具有垂直液态水含量(VIL)、垂直液态水含量密度( $D_{VIL} = VIL/H$ ,  $H$  为回波顶高;俞小鼎等,2001)较大的特征,均达到或超过滇南地区冰雹的识别指标。该特征也验证了 V 型缺口是由云中冰雹、大水滴等大粒子的对雷达波的强度衰减作用而形成。而 V 型缺口出现的时间集中在 3—4 月(85%),该时段内  $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$  层高度利于冰雹的形成,6—8 月形成的 3 次 V 型缺口对应的  $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$  层高度也利于冰雹的形成。此外,V 型缺口对回波的径向速度特征、宽度特征等冰雹相关识别指标有影响,在此不作讨论,因此,重点讨论

$H_{45\text{ dBz}}$  和  $CR$ 。

统计分析出现第一类 V 型缺口且降雹的回波发现,回波均满足 45 dBz 回波伸展高度  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  且  $CR \geq 55\text{ dBz}$ ,例如 2005 年 3 月 21 日 14:36 出现的 V 型缺口(图 3a、3b)。而出现第一类 V 型缺口但未降雹的回波中, $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$ ,即出现第一类 V 型缺口时,若  $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$  时,无冰雹对应,例如 2008 年 4 月 14 日 20:05 出现的 V 型缺口(图 3c、3d)。

统计分析出现第二类 V 型缺口且降雹的回波发现,回波均满足 45 dBz 回波伸展高度  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  且  $CR \geq 55\text{ dBz}$ 。而出现第二类 V 型缺口但未降雹的回波中,有 1 次的  $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$ , $CR \geq 55\text{ dBz}$ ;有 11 次  $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$  且  $CR < 55\text{ dBz}$ ;即出现第二类 V 型缺口时,若  $CR < 55\text{ dBz}$  或回波的 45 dBz 伸展高度  $< 7.5\text{ km}$  时,无冰雹对应(图 4)。

分析表明,出现 V 型缺口,但未出现冰雹的回波均具有以下特征或以下特征之一: $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$ 、 $CR < 55\text{ dBz}$ 。即普洱 C 波段雷达中出现 V 型缺口时,仍需满足滇南冰雹云中  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  和  $CR \geq 55\text{ dBz}$  的指标(段鹤等,2011),才能判断地面出现降雹。

因此,可用 V 型缺口、 $H_{45\text{ dBz}}$ 、 $CR$  配合识别和预警冰雹:当出现 V 型缺口、 $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$ 、 $CR \geq 55\text{ dBz}$  时,可预报有冰雹出现,准确率达 100%。

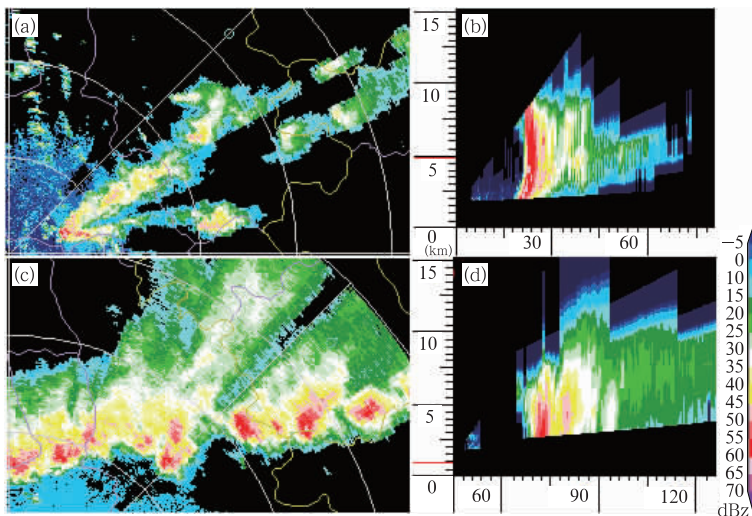


图 3 2005 年 3 月 21 日 14:36 基本反射率(a)、基本反射率垂直剖面(b),  
2008 年 4 月 14 日 20:05 基本反射率(c)、基本反射率垂直剖面(d)

Fig. 3 The basic reflectivity (a) and vertical section of basic reflectivity (b) at 21 March 2005, the basic reflectivity (c) and vertical section of basic reflectivity (d) at 20:05 BT 14 April 2008



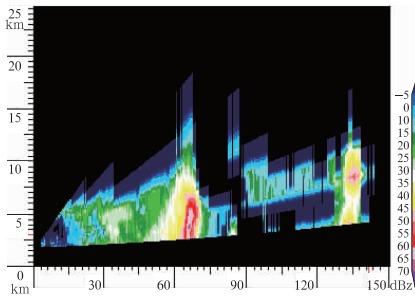


图4 2004年4月10日15:25基本反射率垂直剖面

Fig. 4 Vertical cross section of basic reflectivity at 15:25 BT 10 April 2004

#### 4 V型缺口区内冰雹的预报预警方法的探讨

出现V型缺口时,缺口区内回波出现空缺或严重衰减,对预报预警有如下影响:(1)导致缺口区内晴雨预报错误或降水预报量级偏小。(2)导致缺口区内冰雹、雷暴、大风等漏报。33次V型缺口过程中,第一种情况普遍存在,第二种情况中冰雹漏报出现2次(2007年4月10日、2009年4月12日,雷暴、大风因统计资料不全,不作讨论),例如2007年4月10日15:25,在距雷达64 km处出现CR达64 dBz

的块状强回波单体,该回波出现冰雹并导致V型缺口出现,在其径向后侧135 km处的回波显著衰减(图4),致使该处大冰雹漏报,漏报冰雹直径达10 cm,地面堆积冰雹达15 cm厚,造成直接经济损失1614万元。

分析33次V型缺口发现,未出现导致V型缺口的回波及其后侧强回波沿同一径向移向雷达中心的情况,在出现V型缺口前1~3个体扫时段内,距雷达较远的强回波无衰减现象,此外,由于V型缺口区外的回波不会出现衰减,可尝试分析出现缺口前的回波特征和缺口区左右两侧及上下部分的回波特征来对回波进行识别和预报。

2004年4月10日,图5a中红色圈内的强回波未出现衰减,回波满足冰雹云识别指标,对应地面降雹,回波的 $H_{45\text{ dBz}}$ 为11 km、CR为64 dBz、辐合切变量为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,图5b中红色圈内的强回波受紫色圈内强回波影响而出现衰减,但仍满足冰雹云识别指标,有地面冰雹对应,回波的 $H_{45\text{ dBz}}$ 为8.5 km、CR为63 dBz、辐合切变量为 $11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,图5c中V型缺口最为明显,红色圈内强回波衰减最为严重,仅能判断回波的 $H_{45\text{ dBz}}$ 为8.5 km,强回波的辐合切变量仍为 $11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,因衰减严重,不能利用常规的冰雹云识别指标来对其进行识别。

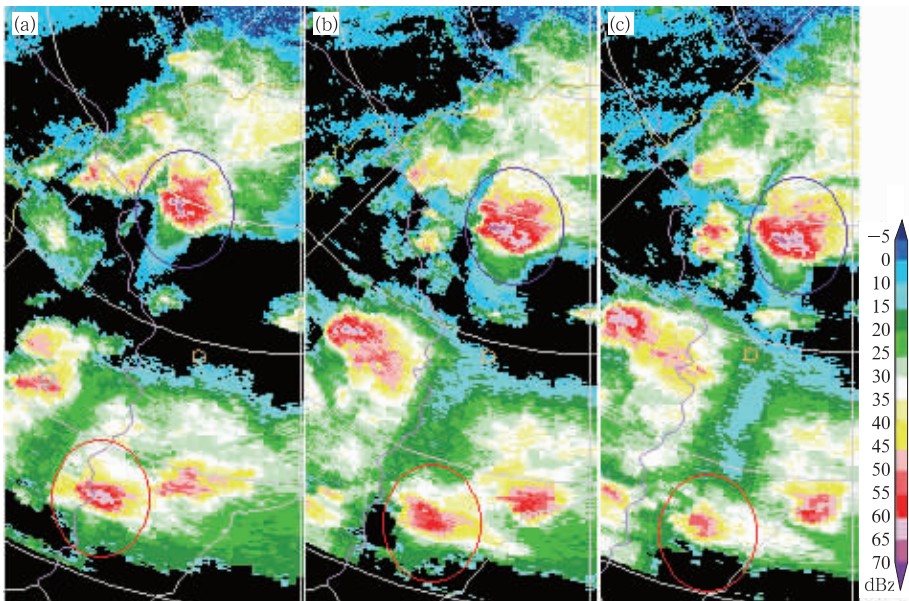


图5 2004年4月10日15:13(a)、15:19(b)、15:25(c)基本反射率

Fig. 5 The basic reflectivity at 15:13 (a), 15:19 (b) and 15:25 (c) BT 10 April 2004

尝试统计2004—2013年普洱C波段雷达中49次冰雹过程中 $H_{45\text{ dBz}}$ 、辐合切变量、VIL、 $D_{VIL}$ 、CR

等指标的变化特征,以找出V型缺口内冰雹回波的识别方法,统计发现:(1)41次(84%)冰雹过程中,

出现冰雹后  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  时冰雹维持,直至  $H_{45\text{ dBz}} < 7.5\text{ km}$  时冰雹消失。(2)所有冰雹过程中,辐合切变量维持时, $VIL$ 、 $D_{VIL}$ 、 $CR$  等变化不明显,辐合切变量增强或减弱时, $VIL$ 、 $D_{VIL}$ 、 $CR$  等相应增强或减弱。根据上述统计特征,结合2004年4月10日V型缺口内回波的变化特征及地面降雹实况,得出V型缺口内冰雹回波的识别方法:回波被衰减前出现降雹、被衰减回波的  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  且辐合切变量无明显减弱时,可预报有冰雹出现。由于个例较少,该预报方法有待进一步验证。

## 5 结 论

研究普洱C波段雷达中的V型缺口发现:

(1)V型缺口的最佳观测仰角为  $0.5^\circ \sim 2.4^\circ$ ,垂直高度上,V型缺口的高度出现在  $2.1 \sim 6.5\text{ km}$ 。

(2)将V型缺口分为2种类型,第一类为块状强回波单体径向后侧的V型缺口,出现在距雷达中心  $15 \sim 107\text{ km}$  之间,大部分位于雷达方位角  $0^\circ \sim 90^\circ$  之间,其对应的块状强回波单体的  $CR$  为  $50 \sim 66\text{ dBz}$ ,普遍大于  $55\text{ dBz}$ 。第一类V型缺口对冰雹的识别和预警有一定的指示意义,准确率为  $69\%$ 。第二类为片状或块状多单体回波径向后侧的V型缺口,出现在距雷达中心  $32 \sim 102\text{ km}$  之间,其对应的块状强回波单体的最大组合反射率( $CR$ )为  $47 \sim 64\text{ dBz}$ ,普遍为  $50 \sim 55\text{ dBz}$ ,第二类V型缺口对冰雹识别和预警的准确率仅为  $29\%$ 。

(3)当出现V型缺口、 $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$ 、 $CR \geq 55\text{ dBz}$  时,可预报有冰雹出现,准确率达  $100\%$ 。V型缺口对冰雹预警的时间提前量为  $5 \sim 102\text{ min}$ 。

(4)V型缺口内冰雹回波的识别方法:当回波衰减前出现降雹、被衰减回波的  $H_{45\text{ dBz}} \geq 7.5\text{ km}$  且辐合切变量无明显减弱时,可预报有冰雹出现。

## 参考文献

巴特,巩迪.1991.呼和浩特地区冰雹云雷达回波的统计特征.内蒙古气象,(2):23-29.  
陈群.1995.1994年初夏两次冰雹云雷达回波特征分析.四川气象,15(4):51-53.

曹亚平,赵小伟,林中庆,等.2012.“11.04.17”南沙区一次罕见强对流天气过程分析.广东气象,(4):18-21,34.  
段鹤,严华生,马学文,等.2014.滇南冰雹的预报预警方法研究.气象,40(2):174-185.  
段鹤,严华生,王晓君,等.2011.滇南中小尺度灾害天气的多普勒统计特征及识别研究.气象,37(10):1216-1227.  
胡胜,于华英,胡东明,等.2006.一次超级单体的多普勒特征和数值模拟特征对比分析.热带气象学报,22(5):466-472.  
康玉霞,王令,刘丰,等.2002.北京市区雷达探测冰雹云分析.北京气象学院学报,(2):46-50.  
刘正礼.1992.一次西南涡暴雨的雷达回波分析.四川气象,(1)54-55.  
李向红,唐熠,郑传新,等.2010.一次多种强对流天气过程的雷达回波特征分析.气象,36(8):61-71.  
李静,周毓荃,蔡森.2012.一次超级单体强雹暴发展演变过程的观测分析.气象与环境科学,35(2):1-7.  
李银芳.2008.长沙市一次强雷暴的多普勒雷达产品特征.广东气象,30(1):47-49.  
莫爱嫒,马丽征,蔡涛,等.2010.卢氏县冰雹天气特征分析.气象与环境科学,33(Z1):86-88.  
潘留杰,张宏芳,王楠,等.2013.陕西一次强对流天气过程的中尺度及雷达观测分析.高原气象,32(1):278-289.  
乔琪,汤俊.2011.春季两次强对流天气过程多普勒雷达回波中尺度特征分析.气象研究与应用,32(3):42-45,123.  
孙瑞,郑芬,黎淋.2009.春季一次典型强对流单体降雹雷达产品特征分析.云南地理环境研究,21(4):106-110.  
唐勇,王燕.2008.2008年7月10日曲靖市强冰雹天气过程分析.云南地理环境研究,20(Z1):89-91.  
汤兴芝,黄兴友.2009.冰雹云的多普勒天气雷达识别参量及其预警作用.湖北气象,28(3):261-265.  
万文龙,张杰,朱克云,等.2009.皖北地区一次强对流天气过程的综合分析.成都信息工程学院学报,24(6):588-595.  
王令,郑国光,康玉霞,等.2006.多普勒天气雷达径向速度图上的雹云特征.应用气象学报,(17):281-287.  
袁芝华,金岩岩,董金莲.2010.白城一次局地强对流天气的雷达回波特征分析.吉林气象,(2):13-14,18.  
俞小鼎,熊廷南,姚秀萍,等.2001.新一代天气雷达原理与应用讲义.中国气象局培训中心,158-243.  
张腾飞,段旭,鲁亚斌,等.2006.云南一次强对流冰雹过程的环流及雷达回波特征分析.高原气象,25(3):531-538.  
张素芬,张一平.2003.2002年夏季河南省冰雹回波特征.河南气象,(4):3-4.  
Lemon L R,沈文祥.1983.用风暴结构来识别冰雹.浙江气象,(4):38-41.