

李丰, 刘黎平, 王红艳, 等. C 波段多普勒天气雷达地物识别方法. 应用气象学报, 2014, 25(2): 158-167.

C 波段多普勒天气雷达地物识别方法

李 丰^{1)*} 刘黎平¹⁾ 王红艳¹⁾ 杨 川²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

²⁾(中国航天科工集团第二十三研究所, 北京 100854)

摘 要

地物回波对雷达数据应用会造成负面影响,是影响定量降水估测等产品精度的重要因素,识别并剔除地物回波是雷达基数据质量控制的一个重要内容。该文在现有 S 波段雷达地物识别方法的基础上,使用长治、哈尔滨两部 CINRAD/CC 雷达 2011 年观测数据,对 C 波段雷达地物回波特征进行分析,改进识别参量的隶属函数,建立适合 C 波段多普勒天气雷达的地物识别方法(MCC 方法),并对该方法进行效果检验。结果表明:S 波段及 C 波段雷达地物回波与回波强度有关的参量分布较为相近,与降水回波的参量分布有明显区别;S 波段雷达地物识别方法与回波强度有关的参量可用于 C 波段雷达地物的识别,与速度有关的参量中仅中值速度可用于 C 波段雷达。通过统计分析 with 个例分析,相对于现有 S 波段雷达识别方法,MCC 方法可显著提高 C 波段雷达地物回波的识别正确率,并可减少层状云降水回波的误判。

关键词: 地物回波; 模糊逻辑; 质量控制

引 言

天气雷达在现代气象业务中发挥着越来越重要的作用,在探测到雨、雪等气象回波的同时,天气雷达的返回信号中也包含了地物等常见的非气象回波。这些非气象回波对雷达数据造成了污染,对雷达产品应用产生了一定的负面影响。如何有效识别地物等非气象回波,改善雷达资料的应用效果,人们做了大量工作。Mueller 等^[1]和 Collier 等^[2]研究了不同雷达回波的水平、垂直梯度变化,Hogg^[3]和 Smith^[4]对回波的垂直、水平及时间连续性进行了分析。Hall 等^[5]和 Joss 等^[6]对信噪比、反射率因子、速度与谱宽等参数的纹理变化进行了研究。Steiner 等^[7]引入了新的基于回波强度的参量,对回波的三维结构进行了分析,并评估了雷达回波的垂直伸展、反射率因子的空间变化、垂直梯度等参数。Zhang 等^[8]在文献[7]的基础上,提出用实际高度代替仰角

参与计算,可进一步减少波束的展宽影响。

Kessinger 等^[9-10]在文献[7]的基础上,发展了基于模糊逻辑方法的回波分类技术,并讨论了两个最低仰角之间的垂直差异及应用。美国国家大气研究中心(NCAR)使用了采用多种参量的基于模糊逻辑的回波分类技术,这些参量由反射率因子、径向速度和速度谱宽导出,广泛应用于超折射回波、晴空回波、海浪回波等的识别^[11-12]。此外,也有人基于神经网络和偏振雷达的雷达回波识别方法进行了研究^[13-14]。

我国新一代天气雷达网已初步建成,并广泛应用于降水估测、风场反演、数值预报等方面^[15-18]。为更好地发挥新一代天气雷达网的作用,用于多普勒天气雷达的地物识别方法也得到了发展。刘黎平等^[19]和江源等^[20]开展了基于模糊逻辑的地物回波识别方法研究。王佑兵等^[21]进行了基于回波的水平及垂直变化的非降水回波识别和降水损失补偿的质量控制方法研究。何彩芬等^[22]对宁波地区的地

2013-03-05 收到, 2013-12-10 收到再改稿。

资助项目:中国气象科学研究院基本科研业务费专项(2011Y003),中国气象局“新一代天气雷达建设业务软件系统开发项目”,十二五国家科技支撑计划课题(2012BAC22B00)

* email: lifeng@cams.cma.gov.cn

物回波特点及识别方法进行了研究。但目前国内的地物识别方法多基于 S 波段雷达,因 C 波段天气雷达通常采用双 PRF 方法(双重复脉冲频率方法),以拓展径向速度最大不模糊速度,分辨率及速度扫描模式等与 S 波段雷达也不同,现有地物回波识别算法对于 C 波段天气雷达的适用性还没有研究,本文在现有 S 波段雷达地物识别方法的基础上,对 C 波段天气雷达的地物回波特征进行了分析,建立了适合 C 波段多普勒天气雷达的地物识别方法,并对该方法进行了效果检验,改进了 C 波段雷达的地物识别效果。

1 资料与方法

本文选用山西省长治市、黑龙江省哈尔滨市两部 CINRAD/CC 雷达 2011 年共 156 个体扫数据进行分析。首先人为对回波进行分类,确定用于特征统计与效果分析的数据样本。不同回波的分类依据为地物回波主要出现在较低的仰角,速度较小,没有明显移动,为了与晴空回波相区别,本文认为强度达到 10 dBZ 的回波为地物回波。对于降水回波,分为层状云和对流云降水回波两类,一般认为层状云降水回波的强度为 15~35 dBZ,对流云回波强度在 35 dBZ 以上。图 1 为地物、层状云、对流云回波同时出现的典型个例(本文所用时间均为北京时)。由图 1 可以看出,雷达站北部同时出现了层状云与对

流云降水,雷达站周边的晴空回波中夹杂大量的地物回波,回波分类结果如图 1c 所示。按照上述原则建立了回波样本,共包含 84466 个地物回波点,57978 个对流云降水点,302718 个层状云降水点。

本文对国内现有 S 波段雷达地物识别方法^[20]所使用的 6 个参量进行统计分析,对隶属函数进行改进。本文识别方法以数据图形为基础,参量计算过程中,回波强度、径向速度、谱宽作为量纲为 1 的量进行计算。这 6 个参量包括与回波强度有关的 3 个参量:回波的纹理变化(T_{DBZ})、垂直变化(G_{DBZ})、沿径向的库间变化程度(S_{PIN}),与速度有关的 3 个参量:经过中值滤波的径向速度(M_{DVE})、速度谱宽(M_{DSW})以及径向速度的方差(S_{DVE})。这些量的定义如下:

$$T_{DBZ} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (Z_{i,j} - Z_{i,j+1})^2}{N_A \times N_R}, \quad (1)$$

$$G_{DBZ} = W(R)(Z_{up} - Z_{low}), \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} S_{PIN} &= \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} M_{SPIN}}{N_A \times N_R}, \\ M_{SPIN} &= \begin{cases} 1, & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| > Z_{thres}, \\ 0, & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| \leq Z_{thres}, \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$S_{DVE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (V_{i,j} - M_{DVEi,j})^2}{N_A \times N_R}}. \quad (4)$$

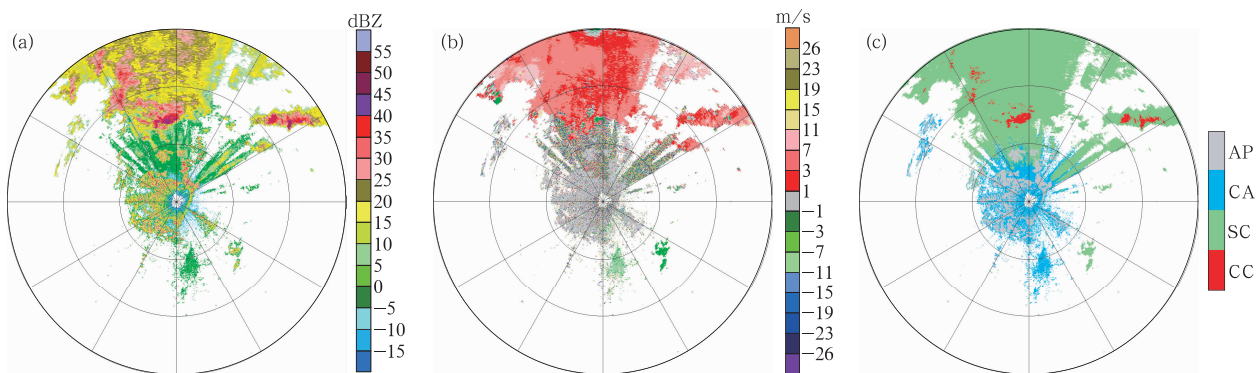


图 1 2011 年 7 月 2 日 07:00 长治雷达观测数据(距离圈间隔 50 km)
 (a)0.5°仰角反射率因子,(b)0.5°仰角径向速度,(c) 0.5°仰角回波分类
 (AP 为地物,CA 为晴空回波,SC 为层状云,CC 为对流云)

Fig. 1 PPI of Changzhi radar at 0700 BT 2 Jul 2011(range rings at 50 km intervals)
 (a)reflectivity at 0.5° elevation,(b)radial velocity at 0.5° elevation
 (c)echo classify at 0.5° elevation
 (AP shows ground clutter,CA shows clear air echoes,SC shows stratiform cloud,CC shows convective cloud)

其中, N_A, N_R 为方位和距离方向的计算范围, $Z_{i,j}$ 为任意点的回波强度, T_{DBZ} 主要反映回波强度的局地变化程度, Z_{up} 和 Z_{low} 为本层和上层对应的回波强度, $W(R)$ 为与距离有关的权重, G_{DBZ} 反映了回波强度在垂直方向上的变化。 Z_{thres} 为库间回波强度变化的阈值, S_{PIN} 反映了回波强度在径向上的变化程度, $M_{DVE,i,j}$ 为某点的中值速度, S_{DVE} 为径向速度的方差。对于与回波强度有关的量, $N_A = 5, N_R = 5, Z_{thres} = 4$ dBZ。对于与速度有关的量 $N_A = 5, N_R = 9$ 。

2 参量统计与特征分析

本文选取样本数据中的一部分数据用于参量的

特征统计,用于统计的地物回波点有 43056 个,对流云回波点有 28996 个,层状云回波点有 151044 个。由于 C 波段天气雷达存在正负径向速度混淆的问题,在计算与径向速度相关参量前,对其径向速度进行质量控制^[23],各参量的概率分布如图 2 所示。

因为地物回波形状不规则,分布不连续,与降水回波相比,其局地变化较大。 T_{DBZ} 是反映回波局地变化情况的参量,由图 2 可以看出,层状云与对流云回波的 T_{DBZ} 值基本在 20 以下,地物回波的值多在 40 以上,地物回波的 T_{DBZ} 值明显大于降水回波,这与回波的局地实际变化情况一致。 S_{PIN} 是反映回波沿径向变化程度的量,地物回波的径向变化程度明显大于降水回波。如图 2 所示,在沿径向的变

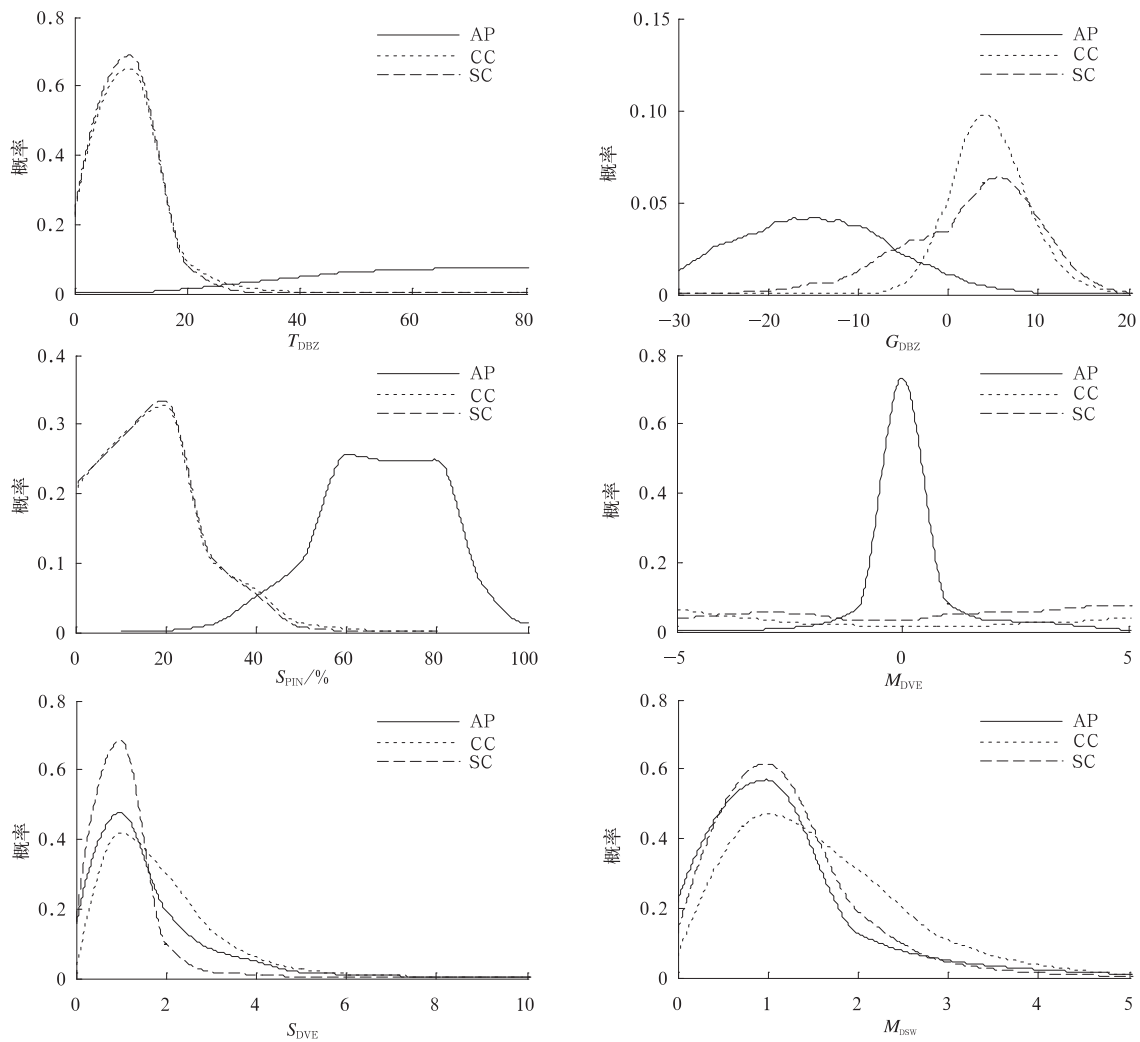


图 2 各参量的概率分布

(AP 为地物, CC 为对流云, SC 为层状云)

Fig. 2 Probability distribution of characteristic parameters

(AP shows ground clutter, CC shows convective cloud, SC shows stratiform cloud)

化上,地物回波表现出了较大的 S_{PIN} 值,多在 50% 以上,而降水回波的值基本在 40% 以下。地物回波多出现在低层,仰角升高以后,地物回波一般明显减弱或消失。因此对于反映回波垂直变化的参量 G_{DBZ} ,地物回波的值基本为负值,且大部分地物回波的 G_{DBZ} 绝对值较大,而降水回波的 G_{DBZ} 多为正值。地物与降水回波的 G_{DBZ} 有明显区别。因为地物回波多为静止的,其径向速度较小,且接近于 0,地物的中值速度 M_{DVE} 主要分布在 0 附近,降水回波一般具有明显的速度。由图 2 可以看出, M_{DVE} 的分布与实际情况一致。但地物回波的 M_{DSW} , S_{DVE} 分布与降水回波没有明显差别。

与 S 波段雷达的参量分布^[19-20] 进行比较,S 波段与 C 波段雷达地物回波与回波强度有关的 3 个参量 T_{DBZ} , G_{DBZ} , S_{PIN} 均与降水回波差异明显。C 波段雷达地物回波 T_{DBZ} 值要明显高于 S 波段雷达,两类雷达地物回波的 G_{DBZ} 分布较为接近,基本为负值。C 波段与 S 波段天气雷达的地物回波 S_{PIN} 值也明显高于降水回波。受所选个例及雷达型号差异等因素的影响,其他地区的地物回波是否具有类似特征需要进一步分析验证。以上分析表明,对于与回波强度有关的 3 个参量,C 波段与 S 波段雷达的地物回波特征分布较为一致,可用于地物回波的识别。此外,CINRAD/CC 雷达径向分辨率为 0.3 km, S 波段天气雷达为 1 km,当将 CINRAD/CC 雷达数据插值到 0.9 km 的径向分辨率时,CINRAD/CC 雷达地物回波的分布特征与未插值前基本一致。因为插值会使算法运行效率降低,且插值后参量的识别正确率会降低,因此本文只分析不进行数据插值的情况。

对于与速度有关的参量,C 波段雷达地物回波除中值速度 M_{DVE} 与降水回波有明显差异外,中值谱宽 M_{DSW} 、速度方差 S_{DVE} 与降水回波没有明显差别,这与 S 波段雷达有明显不同,S 波段天气雷达地物回波的中值谱宽 M_{DSW} 、速度方差 S_{DVE} 与降水回波有显著差异。对于 S 波段天气雷达地物回波中值谱宽 M_{DSW} 、速度方差 S_{DVE} 都较小,多在 1 以下,而 C 波段天气雷达的地物回波的 M_{DSW} , S_{DVE} 在 1 以上都有较多的分布。本文对 S 波段、C 波段两类雷达的相邻库径向速度差异进行了比较,用于表示相邻库速度差异的两个参量为 V_D , P_V ,其定义如下:

$$V_D = |V_{i,j} - V_{i,j-1}|, \quad (5)$$

$$P_V = \frac{N_V}{N_A}. \quad (6)$$

其中, $V_{i,j}$ 为任意点的径向速度, N_A 为速度样本点总个数, N_V 为 V_D 小于某个值的样本个数。 V_D 表明了相邻库之间的速度变化情况, P_V 表示了相邻库速度差异小于某个值的样本在总样本中所占比例。用于分析的个例为长治 C 波段、郑州 S 波段两部雷达在扫描重合区域同时观测到的降水过程。这两个量的分布如图 3 所示。

由图 3a 可以看出,对于 C 波段雷达,相邻库的速度差异很小,将近 40% 的样本与其相邻库的速度无差异,对于 S 波段雷达,只有不到 20% 的样本与其相邻库无速度差异。对于 C 波段雷达, V_D 不超过 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的样本比例分别为 67.6%, 84.9%; 对于 S 波段雷达,对应的比例分别为 38.8%, 55.7%。分析表明, C 波段雷达的径向速度库间差异要小于 S 波段雷达,这在一定程度上对速度方差 S_{DVE} 的分布造成影响。

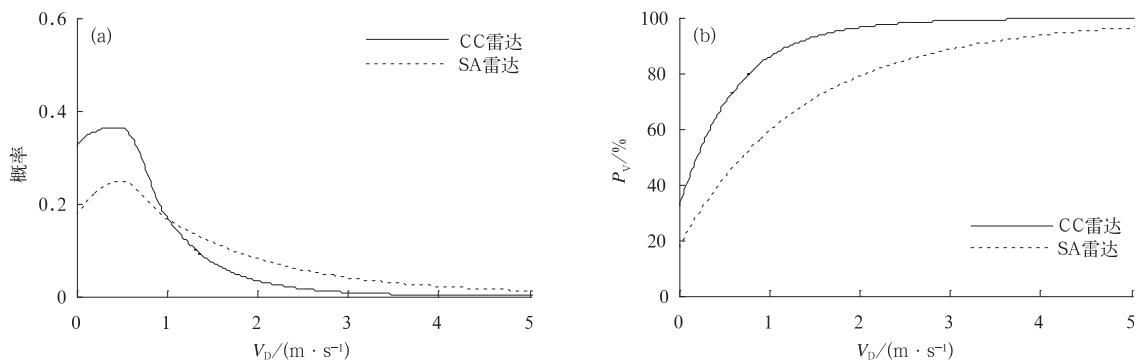


图 3 V_D 的概率分布(a)及其小于某值的样本比例(b)

Fig. 3 Distribution of V_D (a) and percentage of V_D below some value (b)

此外,对于 C 波段雷达,与速度有关的参量分布可能受到雷达空间分辨率、速度精度及双 PRF 速度扫描模式的影响,也可能与选取的个例有关。因

此,本文采用 T_{DBZ} , G_{DBZ} , S_{PIN} , M_{DVE} 4 个参量用于 C 波段雷达地物回波的识别。在阈值为 0.5 的情况下,各参量的隶属函数如图 4 所示。

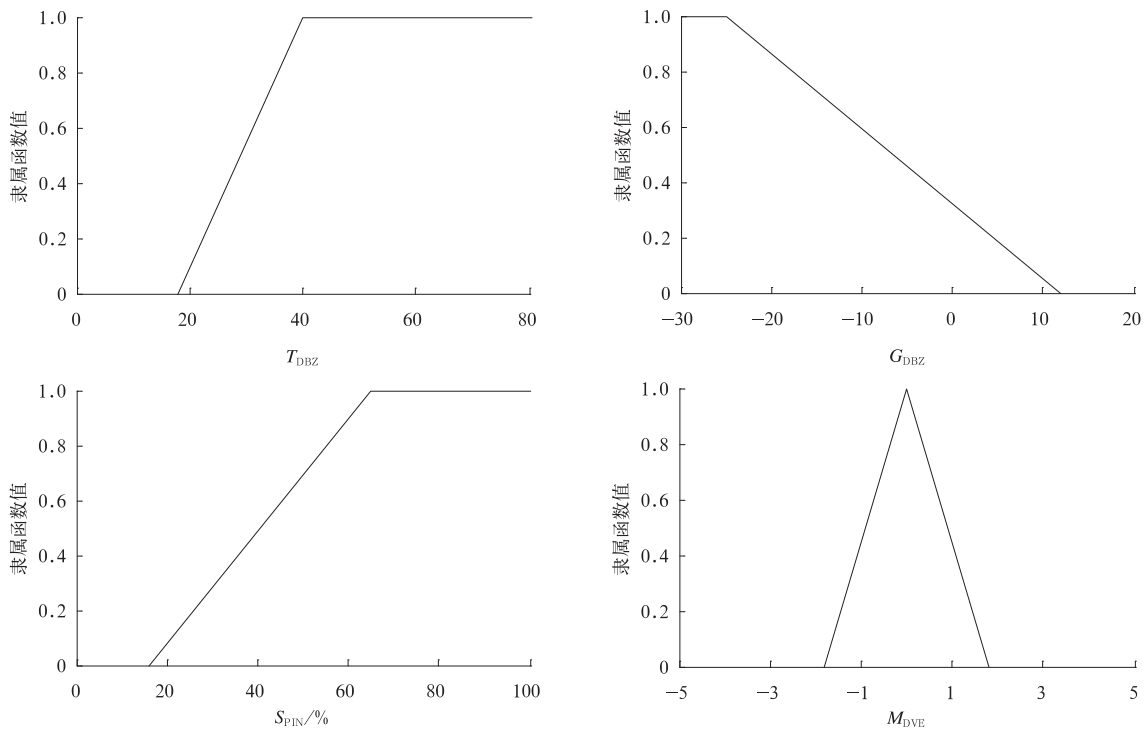


图 4 参量的隶属函数

Fig. 4 Membership function of characteristic parameters

3 效果分析

3.1 统计分析

使用样本数据中另外一部分数据进行效果分析,其中用于效果检验统计的地物回波点有 41410 个,对流云回波点有 28982 个,层状云回波点有 151674 个,各参量的识别正确率如表 1 所示。本文所用方法(MCC)与现有 S 波段识别方法(MSA)的总样本正确率如表 2 所示。此外,本文对同时使用 MSA 方法的 6 个参量,但隶属函数根据 C 波段雷达资料特点进行调整的情况也进行了统计(表 2 中 MCC 方法)。由表 2 可以看出,虽然 MCC 方法比 MSA 方法使用的参量少 2 个,但由于对隶属函数进行了改进,在保证降水回波误判较少的前提下,明显提高了 C 波段雷达地物回波的识别正确率。对于 MCC 方法,隶属函数根据资料特点进行了调整,但 C 波段雷达的地物、降水回波 S_{DVE} , M_{DSW} 分布差异

不大, MSC 方法地物识别正确率比 MCC 方法略高,但

表 1 各参量识别正确率(单位:%)

Table 1 Identifiable accuracy of each characteristic parameter(unit:%)

参量	总样本正确率	地物识别正确率	对流云误判率	层状云误判率
T_{DBZ}	98.4	97.0	1.84	0.12
G_{DBZ}	91.7	82.7	2.1	5.5
S_{PIN}	97.4	96.1	3.0	1.0
M_{DVE}	92.8	89.1	4.7	5.9

表 2 整体识别正确率(单位:%)

Table 2 Identifiable accuracy for ground clutter echoes and false detection of precipitation echoes(unit:%)

识别方法	总样本正确率	地物识别正确率	对流云误判率	层状云误判率
MCC	99.2	97.8	0.31	0.03
MSA	87.4	62.3	0.03	0.18
MSC	98.5	97.9	1.64	0.69

降水的误判率要明显高于 MCC 方法。

3.2 个例分析

个例 1 是晴空回波与地物回波同时出现的情况。由图 5 可以看出,在 0.5°仰角雷达周围的晴空回波中夹杂着地物回波,雷达北部,特别是南部也存在

在明显的径向速度在零附近的地物回波(图 5a 中黑色虚圈内大于 10 dBZ 的回波)。当仰角升高到 1.5°后,地物回波消失。MSA 与 MCC 两种方法都能识别出大部分的地物回波,但 MSA 方法未识别的地物回波明显多于 MCC 方法(图 5e 中灰色实线圈)。

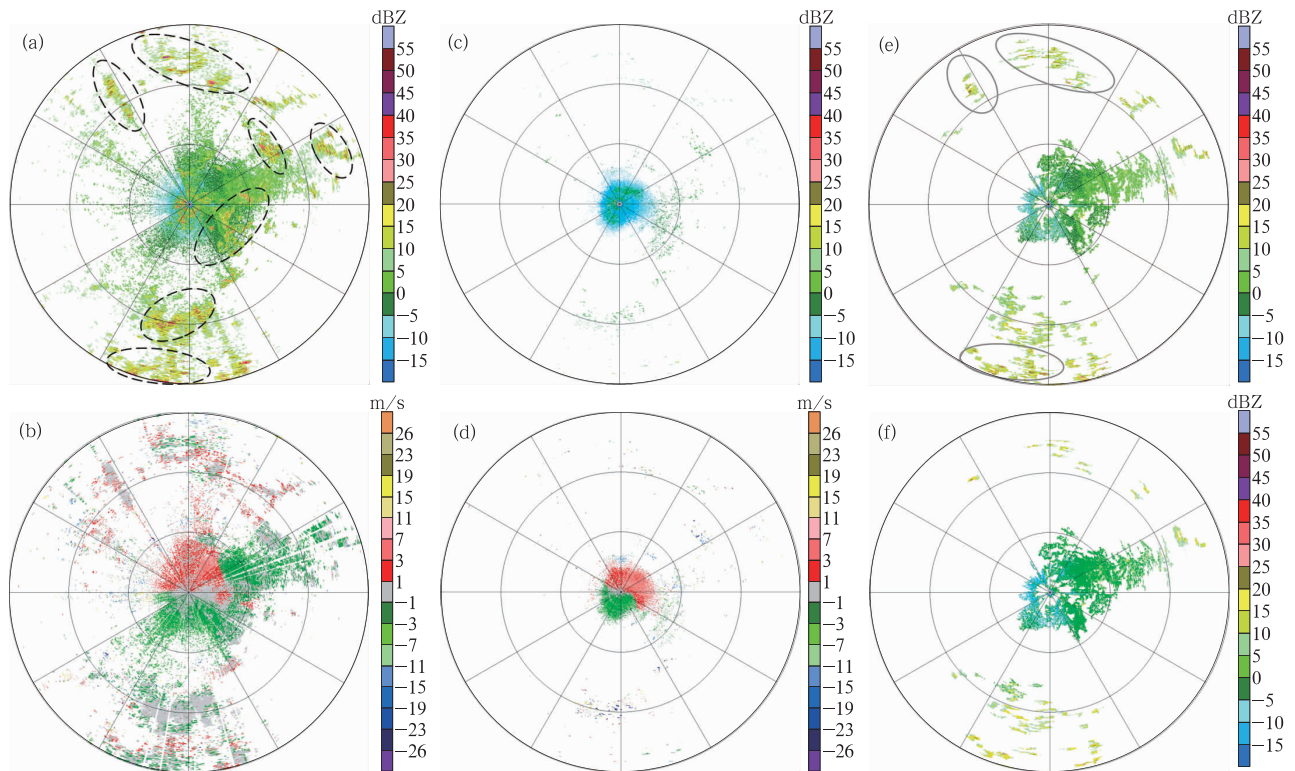


图 5 2011 年 07 月 25 日 07:01 哈尔滨雷达识别效果(距离圈间隔 50 km)

(a)0.5°仰角反射率因子,(b)0.5°仰角径向速度,(c)1.5°仰角反射率因子,(d)1.5°仰角径向速度,
(e)MSA 方法识别后 0.5°仰角反射率因子,(f)MCC 方法识别后 0.5°仰角反射率因子

Fig. 5 PPI of Harbin radar at 0701 BT 25 Jul 2011(range rings at 50 km intervals)

(a)reflectivity at 0.5° elevation,(b)radial velocity at 0.5° elevation,(c)reflectivity at 1.5° elevation,
(d)radial velocity at 1.5° elevation,(e)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MSA,
(f)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MCC

个例 2 是降水回波边缘存在大片地物回波的情况,图 6 是长治雷达 2011 年 7 月 2 日 07:05 的观测数据识别效果。雷达站北部出现了对流性降水,在 0.5°仰角雷达周围有大片的地物回波(图 6a 中黑色虚线圈内大于 10 dBZ 的回波),仰角升高到 1.5°后,大部分地物回波强度减弱,但在雷达西侧仍有明显的剩余。由图 6 可以看出,直接使用现有 S 波段方法识别时,可以识别出大部分的地物回波,但仍有明

显剩余(图 6e 中灰色实线圈)。用 MCC 方法识别后,地物回波基本无剩余,但 MCC 方法也有降水回波被误判(图 6f 中红色实线圈)。

个例 3 是降水回波中包含地物回波的情况,图 7 是 2011 年 6 月 3 日 11:05 哈尔滨雷达观测数据。由图 7 可以看出,在 0.5°仰角的观测数据中,雷达站周围出现的层状云降水中夹杂了明显的地物回波(图 7a 中黑色虚线圈内大于 25 dBZ 的回波)。在

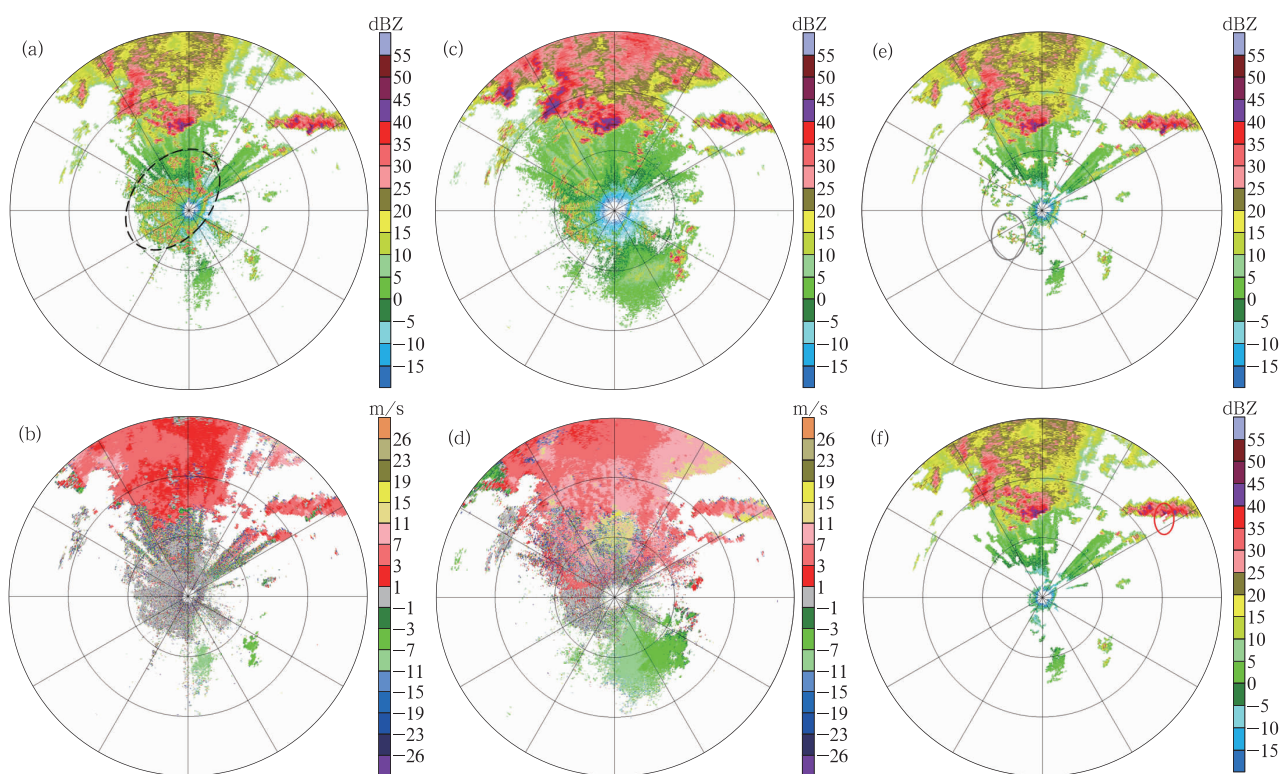


图6 2011年7月2日07:05长冶雷达识别效果

(a)0.5°仰角反射率因子,(b)0.5°仰角径向速度,(c)1.5°仰角反射率因子,(d)1.5°仰角径向速度,
(e)MSA方法识别后0.5°仰角反射率因子,(f)MCC方法识别后0.5°仰角反射率因子

Fig. 6 PPI of Changzhi radar at 0705 BT 2 Jul 2011(range rings at 50 km intervals)

(a)reflectivity at 0.5° elevation,(b)radial velocity at 0.5° elevation,(c)reflectivity at 1.5° elevation,
(d)radial velocity at 1.5° elevation,(e)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MSA,
(f)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MCC

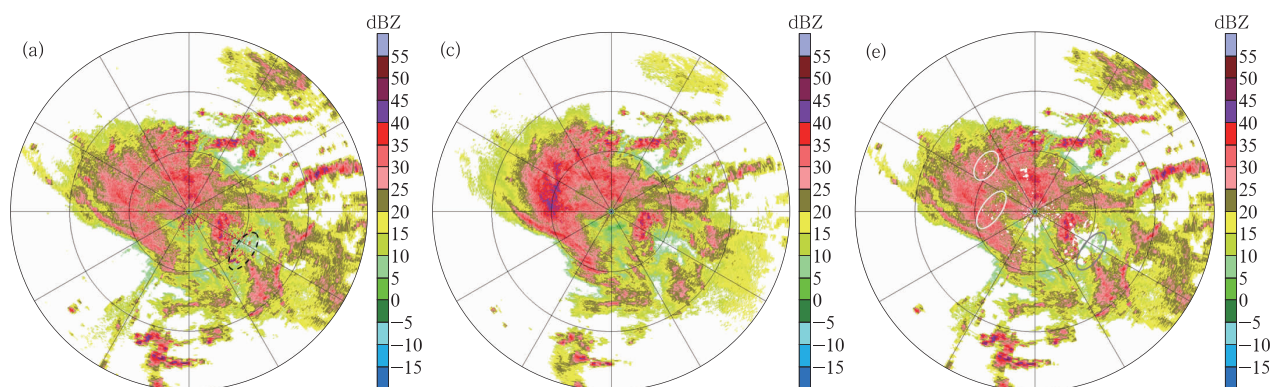
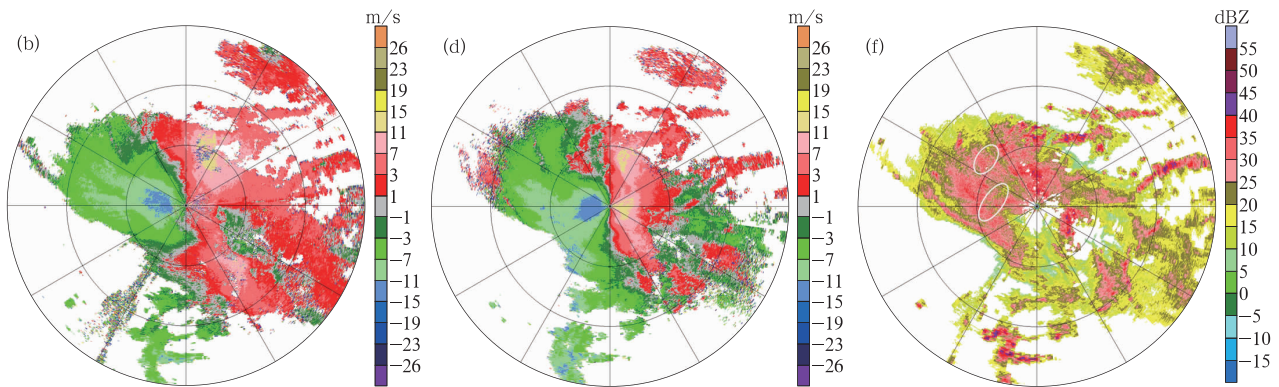


图7 2011年6月3日11:05哈尔滨雷达识别效果(距离圈间隔50 km)

(a)0.5°仰角反射率因子,(b)0.5°仰角径向速度,(c)1.5°仰角反射率因子,(d)1.5°仰角径向速度,
(e)MSA方法识别后0.5°仰角反射率因子,(f)MCC方法识别后0.5°仰角反射率因子

Fig. 7 PPI of Harbin radar at 1105 BT 3 Jun 2011(range rings at 50 km intervals)

(a)reflectivity at 0.5° elevation,(b)radial velocity at 0.5° elevation,(c)reflectivity at 1.5° elevation,
(d)radial velocity at 1.5° elevation,(e)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MSA,
(f)reflectivity at 0.5° elevation after echo identification with MCC



续图 7

1.5°仰角,地物回波基本消失。由图 7 可以看出,用 MCC 方法识别后,地物回波基本无剩余,用 MSA 方法识别后,夹杂在降水回波中的地物回波有少量剩余,如图 7e 中灰色实线圈所示。另外,对比图 7e 和图 7f, MCC 方法对层状云降水回波的误判要少于 MSA 方法。图 7e 中白色实线圈内的回波空洞为误判的降水回波,图 7f 中相应位置误判的降水回波要明显少于图 7e。

本文对降水回波的误判情况进行了分析。对于个例 2,图 6f 红色实线圈内误判的降水回波径向速度明显大于 0,对应的 G_{DBZ} 多为负值,但绝对值不大,回波的垂直变化不明显,其误判主要是由表示回波局地变化的 T_{DBZ} 和表示回波径向变化的 S_{PIN} 两个参量引起的。对于个例 3,图 7e 白色实线圈内的误判回波径向速度明显大于 0,对应的 G_{DBZ} 为正值,与个例 2 类似,降水回波误判也主要由表示回波水平变化的参量引起。

4 结 论

本文使用长治和哈尔滨两部 CINRAD/CC 雷达观测数据,在现有 S 波段雷达地物识别方法的基础上,对 C 波段雷达地物特征进行分析,对隶属函数进行调整,并与现有 S 波段雷达地物识别方法进行对比,结论如下:

1) 对于 CINRAD/SA 和 CINRAD/CC 雷达地物回波,与回波强度有关的参量 T_{DBZ} , G_{DBZ} , S_{PIN} 分布特征较为相近,并与降水回波特征有明显区别,可用于 CINRAD/CC 雷达的地物回波识别。

2) 对于 CINRAD/CC 雷达与速度有关的参量,地物回波的 M_{DSW} , S_{DVE} 分布与降水回波没有明显差别,不能用于地物回波的识别,这与 S 波段雷达有明显区别。

3) 本文在现有 S 波段雷达地物识别方法的基础上,对参量的隶属函数进行调整后,可显著提高地物回波的识别正确率,并在一定程度上减少层状云降水回波的误判。

同时,应注意到的是, MCC 方法会在降水回波边缘产生一定误判。不断改进地物回波的识别效果,降低降水回波的误判仍需继续研究。

参 考 文 献

- [1] Mueller E A, Sims A L. Statistics of High Radar Reflectivity Gradients. Preprints, 16th Radar Meteorology Conf, Houston, TX, Amer Meteor Soc, 1975: 401-403.
- [2] Collier C G, Lovejoy S, Austin G L. Analysis of Bright Bands From 3-Dradar data. Preprints, 19th Conf on Radar Meteorology, Miami Beach, FL, Amer Meteor Soc, 1980: 44-47.
- [3] Hogg W D. Quality Control and Analysis of An Archive of Digital Radar Data. Preprints, 18th Conf on Radar Meteorology, Atlanta, GA, Amer Meteor Soc, 1978: 150-154.
- [4] Smith P L. Precipitation Measurement and Hydrology: Panel Report // Radar in Meteorology. Atlas D. Amer Meteor Soc, 1990: 607-618.
- [5] Hall M P M, Goddard J W F, Cherry S M. Identification of hydrometeors and other targets by dual-polarization radar. *Radio Sci*, 1984, 19: 132-140.
- [6] Joss J, Wessels H. Ground Clutter Suppression for Weather Radar Data. COST Tech Rep 73/WD/130, 1990: 6.
- [7] Steiner M, Smith J A. Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of nonprecipitating ech-

- oes in radar data. *J Atmos Ocean Technol*, 2002, 19: 673-686.
- [8] Zhang J, Wang S, Clarke B. WSR-88D Reflectivity Quality Control Using Horizontal and Vertical Reflectivity Structure. Preprints, 11th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, AMS, 2004, P5. 4.
- [9] Kessinger C, Ellis S, Andel J V, et al. The AP Clutter Mitigation Scheme for the WSR-88D. 31st International Conference on Radar Meteorology, Amer Meteor Soc, 2003.
- [10] Kessinger C, Ellis S, Andel J V. The Radar Echo Classifier: A Fuzzy Logic Algorithm for the WSR-88D. 3rd Conference on Artificial Intelligence Applications to the Environmental Science, Amer Meteor Soc, 2003.
- [11] Kessinger C, Ellis S, Andel J V, et al. NEXRAD Data Quality Optimization—Annual Report for Fiscal Year 2002. 2003.
- [12] Kessinger C, Ellis S, Andel J V, et al. NEXRAD Data Quality Optimization—Annual Report for Fiscal Year 2003. 2003.
- [13] Lakshmanan V, Fritz A, Smith T, et al. An automated technique to quality control radar reflectivity data. *J Appl Meteor Climatol*, 2007, 46(3): 288-305.
- [14] Gourley J J, Tabary P, Chatelet J P D. A fuzzy logic algorithm for the separation of precipitating from nonprecipitating echoes using polarimetric radar observations. *J Atmos Ocean Technol*, 2007, 24: 1439-1451.
- [15] 东高红, 刘黎平. 雷达与雨量计联合估测降水的相关性分析. *应用气象学报*, 2012, 23(1): 30-39.
- [16] 李华宏, 薛纪善, 王曼, 等. 多普勒雷达风廓线的反演及变分同化试验. *应用气象学报*, 2007, 18(1): 50-57.
- [17] 朱敏华, 俞小鼎, 夏峰, 等. 强烈雹暴三体散射的多普勒多天气雷达分析. *应用气象学报*, 2006, 17(2): 215-225.
- [18] 徐广阔, 孙建华, 雷霆, 等. 多普勒天气雷达资料同化对暴雨模拟的影响. *应用气象学报*, 2009, 20(1): 36-46.
- [19] 刘黎平, 吴林林, 杨引明. 基于模糊逻辑的分步式超折射地物回波识别方法的建立和效果分析. *气象学报*, 2007, 65(2): 252-260.
- [20] 江源, 刘黎平, 庄薇. 多普勒天气雷达地物回波特征及其识别方法改进. *应用气象学报*, 2009, 20(2): 203-213.
- [21] 王佑兵, 万玉发. 雷达体扫反射率场的自动质量控制. *气象科技*, 2006, 34(5): 615-619.
- [22] 何彩芬, 黄旋旋, 丁焯毅, 等. 宁波非气象雷达回波的人工智能识别及滤波. *应用气象学报*, 2007, 18(6): 856-864.
- [23] 杨川, 刘黎平, 胡志群, 等. C波段多普勒雷达双PRF模式速度混淆区识别和处理方法研究. *气象学报*, 2012, 70(4): 875-886.

Identification of Ground Clutter with C-band Doppler Weather Radar

Li Feng¹⁾ Liu Liping¹⁾ Wang Hongyan¹⁾ Yang Chuan²⁾

¹⁾ (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (The 23rd Research Institute, China Aerospace Science & Industry Corporation, Beijing 100854)

Abstract

The application of radar data is negatively affected by echoes caused by ground clutter, meanwhile these echoes from ground clutter have significant effect on rainfall estimation and radar data assimilation. As a result, it is important to identify and discriminate these echoes, which is an absolutely necessary part of radar data quality control. The ground clutter identifying algorithms in operation are mostly based on S-band Doppler weather radar, the resolution and velocity scanning mode of which are different from those of C-band radar. Few researches are carried out to discuss whether the method based on S-band is applicable to the C-band radar or not. Based on the current algorithm used for the SA radar, one method is developed for the CC radar using the data observed by radars of Changzhi and Harbin. The statistical characteristics of clutter are analyzed using data collected during 2011, and the membership functions are improved for C-band Doppler weather radar.

Results show that, for S-band and C-band Doppler weather radar, parameters about reflectivity of ground clutter are similar, and there are notable differences between ground clutter and precipitation echoes. For C-band ground clutter echoes, the parameter T_{DBZ} is greater than S-band. G_{DBZ} value of both kinds of radar is alike, mostly below 0. S_{PIN} value of ground clutter echoes is remarkably greater than that of precipitation echoes for both C-band and S-band radar. It shows that three parameters about reflectivity including T_{DBZ} , G_{DBZ} and S_{PIN} , can be used to identify and discriminate C-band radar ground clutter echoes.

For C-band radar ground clutter and precipitation echoes, only M_{DVE} , associated with velocity, could be used to distinguish these two kinds of echoes. For M_{DSW} and S_{DVE} , there is no notable difference between ground clutter and precipitation. In contrast, two parameters of ground clutter are different from that of precipitation echoes for S-band radar. For S-band radar, M_{DSW} and S_{DVE} are both very small, mostly below 1. There are considerable numbers of values above 1 for two parameters of C-band radar. The spatial resolutions of two kinds of radars are different, which may result in the fact that M_{DSW} and S_{DVE} could not be used to distinguish ground clutter echoes from precipitation echoes. Besides, the velocity scan mode, the dual pulse repetition frequency may cause the phenomenon to some extent. It can also be caused by the different precisions of two kinds of radars. The velocity precision of S-band radar is $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, while the velocity of C-band radar is $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. For S-band radar, the velocity changes more smoothly than that of C-band radar. Compared with the method based on S-band radar, the identification accuracy of ground clutter is improved notably and the false detection of stratiform cloud echoes is also reduced obviously.

Key words: ground clutter; fuzzy logical; quality control