

邹书平,张芳钧. TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取和应用[J]. 气象,2011,37(4):481-489.

TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取和应用^{*}

邹书平 张芳钧

贵州省人工影响天气作业指挥中心, 贵阳 550002

提 要: TWR-01 型天气雷达是小型数字化雷达,具备 GIS 和 GPS 功能,可适应移动式、固定式的增雨防雹作业指挥和气象保障服务。TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取技术是基于影像的目标轮廓提取方法。目标轮廓提取方法在图像识别与图像分析中占有重要地位,广泛应用于测量和遥感领域。TWR-01 型天气雷达回波特征参数提取的技术方法是按照分层分强度提取和描述回波的几何结构,具有通用的文本数据接口,实现了图像与数据的同步保存,解决人工读取回波数据和数据分析的技术难题。TWR-01 型天气雷达特征参数的提取应用,可以定量分析回波的演变趋势和变化规律,监测局地天气变化、增雨防雹预警作业指挥及作业效果的物理评估等,并在此基础上研制了 TWR-01 天气雷达增雨防雹局地作业预警指挥系统。
关键词: TWR-01 型天气雷达, 回波特征参数, 目标轮廓提取, 增雨防雹, 作业预警指挥

On Extraction and Application of Echo Characteristic Parameters of TWR-01 Weather Radar

ZOU Shuping ZHANG Fangjun

Weather Modification Operation Command center of Guizhou Province, Guiyang 550002

Abstract: TWR-01 Weather Radar, a computerized small-scale digital radar, has the function of GIS and GPS, and it is suitable for the mobile or fixed anti-hail operation command and meteorological safeguard and service. The technique of the extraction of echo characteristic parameters of TWR-01 Weather Radar is based on the way of the target outline extraction of images. The way plays an important role in image recognition and image analysis and is widely used in the field of measurement and remote sensing. The technique of the extraction of echo characteristic parameters of TWR-01 Weather Radar is to extract and describe the geometric structure of radar echo according to its layer and intensity, thus possessing general text data connection, achieving then synchronous conservation of images and data and solving the technical problems of echo data and data analysis finished through manpower. The extraction and application of echo characteristic parameters of TWR-01 Weather Radar can help quantitatively analyze the evolution trend of echo and the law of echo change, monitor the change of local weather, conduct anti-hail and warning operation, and assess the result of the operation. Based on this, the command system of anti-hail local operation warning of TWR-01 Weather Radar is set up.
Key words: TWR-01 Weather Radar, echo characteristic parameters, target outline extraction, anti-hail, operation warning command

引 言

天气雷达是探测降水系统的主要手段,以其高时空分辨率、及时准确的遥感探测能力成为灾害性

天气,特别是中小尺度灾害性天气监测和预警极为有效的探测工具。新一代天气雷达以比常规数字天气雷达获取更多的天气信息,特别是风场信息,对强对流天气的判别和预警起着重要作用^[1]。我国地域辽阔,地形地貌差异大,天气变化多端,特别是在我

^{*} 贵州省社会发展科技攻关项目(黔科合 S 字[2007](1002))资助
2010 年 3 月 6 日收稿; 2010 年 8 月 12 日收修定稿
第一作者:邹书平,主要从事天气雷达、人工影响天气业务技术应用研究. Email:zsping99@qq.com

国广大的西部地区和山区,现有的新一代天气雷达站网还不能全覆盖,存在探测盲区,特别是对局地突发性灾害性天气不能进行全程、连续、有效的监测,不能适应对局地灾害性天气快捷、高效监测以及迅速响应的要求。因此,小型化和移动化的常规数字化天气雷达以其投入成本低、灵活方便等优势仍然在气象保障业务中广泛应用。TWR-01 型天气雷达是小型数字化雷达,具备地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)功能,可适应移动式、固定式的增雨防雹作业指挥和气象保障服务^[2]。因其体积小、重量轻、机动性好、集成化程度高而得到县级气象部门的青睐^[3]。目前,百余部 TWR-01 型天气雷达在北京、湖南、贵州、广西、新疆等十多个省市区投入业务应用。

随着强对流天气预报预警技术和人工影响天气作业预警指挥技术的深入研究和应用,天气雷达回波自动跟踪、回波强中心定位、回波强度变化等自动识别技术日趋成熟,各地建立临近灾害性天气预报预警系统和人工影响天气作业指挥系统^[4-8]。近年来,基于图像目标的轮廓提取技术,在天气雷达业务、科研等方面的应用渐渐受到关注。兰红平等^[9]将雷达 CAPPI 数据采用二值化图像数据方法,利用计算机图像识别技术对图像数据进行边界检测,建立基于雷达资料的雷暴自动识别和追踪系统;陈大任等^[10]利用新一代天气雷达体扫数据,自动形成组合“RHI”产品功能,为业务提供回波垂直分布信息。

基于图像的二维、三维提取技术,特别是目标轮廓提取技术,在图像识别与图像分析中占有重要地位,广泛应用于测量和遥感领域。目标轮廓提取技术在图像识别和计算机分析中十分有用。边缘能够勾画出目标物体,使观察者一目了然;图像边缘蕴含了丰富的内在信息(如方向、形状、阶跃性质等),是图像识别中抽取图像特征的重要属性^[11]。TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取方法正是基于图像的三维目标轮廓提取技术,通过特征参数的提取获取回波强度、高度、尺度,实现雷达回波自动检测和识别。本文着重分析 TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取方法,把目标轮廓提取方法作为图像解析的重点,并在此基础上成功研制出 TWR-01 天气雷达增雨防雹局地作业预警指挥系统。该系统在贵州清镇、开阳、普定、黎平、独山、普定、金沙等县(市、区)投入业务应用,为提升基层气象业务能力建设和科技支撑能力起到积极的作用,在人工增雨防

雹作业方面取得明显成效。

1 TWR-01 型天气雷达系统

1.1 雷达系统组成

TWR-01 型天气雷达由天线、收发控制器、信号处理终端微机、二次产品终端微机及其应用软件所组成。其中,信号处理终端控制雷达高压、扫描方式、图像保存等;二次终端保持与信号处理终端的数据通信、数据保存、二次产品处理和图形显示等。

1.2 主要技术参数

- * 工作频率为 9410 MHz
- * 脉冲重复频率为 400 Hz
- * 脉冲宽度为 1 μ s
- * 脉冲功率 6 kW
- * 波速宽度 3.0°
- * 天线直径 1 m
- * 最大探测距离 120 km
- * 雷达天线水平转速为 2 转/分
- * 雷达天线俯仰速度为 15 次/分
- * 目标物距离测量误差小于 200 m

1.3 扫描方式

TWR-01 型天气雷达具有平面位置显示器(PPI)和 T 扫两种观测模式。PPI 模式属于锥(扇)形扫描模式,在划定的区域内做定仰角水平方向扫描(见图 1a)。T 扫模式属于扇形立体扫描模式,在划定的立体扫描区域内每隔 1°做一次仰角 45°的俯仰扇形扫描(见图 1b)。根据天线的转速,通常完成

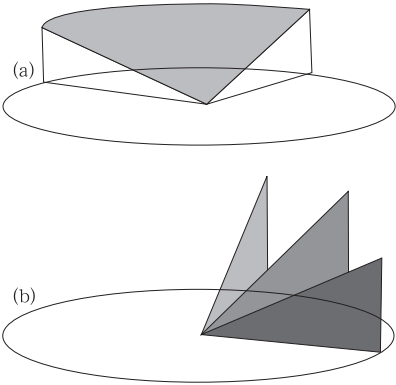


图 1 TWR-01 型天气雷达扫描方式
PPI 模式(a)和 T 扫模式(b)
Fig. 1 TWR-01 Weather Radar
scanning model (a) PPI, (b) T

一次全方位(360°)PPI 模式扫描需要 30 s,T 扫模式需要 24 分钟。因此,T 扫模式对划定区域的单体回波的处理更具时效性。

1.4 数据格式

TWR-01 型天气雷达观测的数据可以保存为位图和数据两种方式。位图图像由信号处理终端手动控制来完成;数据文件由二次产品终端来完成。二次产品终端通过 IPX/SPX 协议实现与信号处理终端的通讯。二次产品终端开启后,自动保持与信号处理终端的同步通讯,每完成一次 PPI 扫描或 T 扫描,系统自动将两种不同类型的数据分别保存在两个不同的文件夹中。

文件的数据格式由起始标志、扫描方式、观测日期、时间、方位、仰角、距离数据库、结束标志等组成。两种不同类型的数据文件命名格式相同,通过扫描方式代码进行识别,文件名为 YYYYMMDDh-hmmss.STD(如 2008 年 4 月 21 日 16 时 39 分 42 秒扫描的文件名为 20080421163942.STD)。

1.5 性能特点

TWR-01 型天气雷达除具有常规数字化天气雷达的特点外,同时借鉴新一代天气雷达的观测模式和处理技术,其主要特点如下:

(1) TWR-01 型天气雷达立体扫描模式不同于新一代天气雷达的体扫模式。它是在划定扇形区域内做垂直剖面扫描,得到的是多方位 RHI 数据集的组合。而新一代天气雷达体扫模式则得到的是多仰角 PPI 数据集的组合。

(2) PPI 模式实现对目标全部或局部的自动探测和定位搜索;T 扫模式能够对划定区域内的局地强对流天气系统进行连续跟踪观测。

(3) 具有 GPS、GIS 和电子罗盘功能,适用于快速移动观测响应。GPS 能够精确定位雷达所处的地理位置;GIS 能快速完成各距离档地图制作,其地理信息分辨率可达乡村,利于精细化服务;电子罗盘能够自动标校雷达的正北方位角,保证雷达观测范围与实际空间位置相吻合。

(4) 配合火箭、高炮进行人工增雨、防雹作业,通过连续观测可以获取完整的个例资料,为作业效果提供科学依据。

虽然 TWR-01 型天气雷达能够在观测区域内对局地强对流天气连续跟踪观测,配合火箭、高炮进行人工增雨、防雹作业,但是仍然存在如下几个方面的问题:

(5) 对大面积回波进行 T 模式扫描观测时,耗

时长,易造成回波移出选定扫描区域以及 PPI 数据线展宽等问题。

(6) 雷达信号处理终端是雷达观测的主控台,只能保存观测界面的截图,且图像的抓取和保存不能自动完成,常造成资料的缺失。

2 回波特征参数提取方法

2.1 目标图像轮廓提取方法

目标物体轮廓提取方法就是针对二值图像(即黑与白或“0”和“1”)进行轮廓提取。二值图像的轮廓提取的原理:如果原图中有一点为“1”,且它的 8 个相邻点皆为“1”,则将该点删除。在进行轮廓提取的时候,如果 8 个邻域的像素点的灰度值和中心像素点的灰度值相同,就认为该点是在图像的内部,可以删除,否则,认为该点在图像的边缘,需要保留。依次处理图像中的每一个像素,最后剩下的就是图像的轮廓。如图 2 中, $f(i,j)$ 点的像素值与邻域的 8 个点的像素值相同,经过轮廓提取其值为“0”,其邻域 8 个点的像素值仍然为“1”,最后得到的边界值即是图像的轮廓。

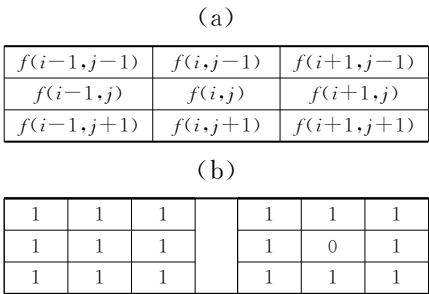


图 2 目标物体轮廓提取方法的像素点坐标 (a) 和处理前后像素值 (b)
Fig. 2 Method of target outline extraction (a) pixel point coordinate; (b) pixel values of pre (left) and post (right) processing

对于非二值图像,用阈值法先进行二值化图像处理,公式如下:

其中, L 为指定的阈值,小于 L 则像素值为黑色,大于 L 则像素值为白色^[11]。

$$f(i,j) = \begin{cases} 0, & f(i,j) < L \\ 255, & f(i,j) \geq L \end{cases}$$

2.2 回波特征参数提取概念模型

2.2.1 强度等级分层和数据提取

图 3 是描述回波中心强度为 30 dBz 的特征参数提取算法的数学模型示意图,其方法如下:

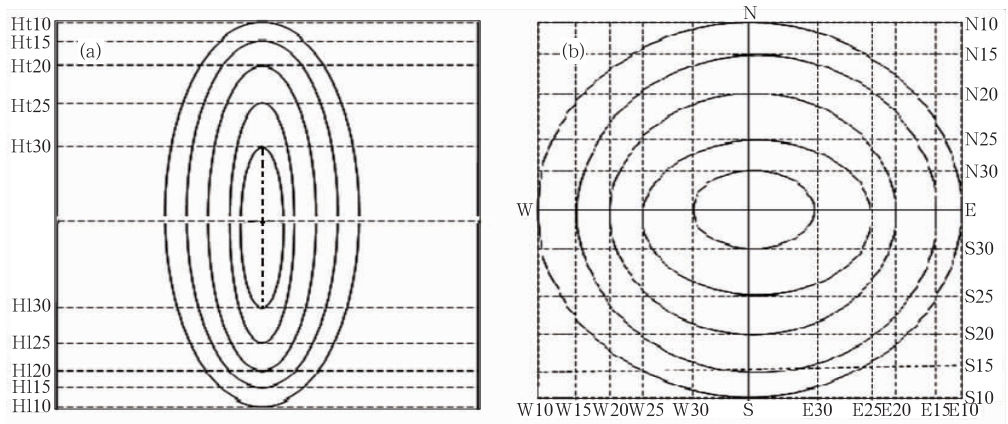


图 3 回波特征参数强度分层提取垂直高度(a)和水平尺度(b)示意图
Fig. 3 Extraction method of echo characteristic parameters for intensity layered
(a) vertical height; (b) horizontal scale

一是获取回波强中心区域的强度、顶高、底高、水平尺度,确定强中心所处的方位、距离等;

二是根据回波强度的分层等级把强度分成多个间隔的图像区间,选择对应强度的阈值,用阈值法先进行二值化图像处理;

三是经过边界轮廓检测得到回波强度分层等级的高度、尺度等特征参数。

2.2.2 提取分层回波高度

图 3a 是描述分层回波高度的提取算法,通过对上下边缘检测分别得到不同强度的顶高和底高的数据。其中, Hlxx、Htxx 分别表示强度为 xx dBz (注:xx=10 dBz,15 dBz,20 dBz,25 dBz,30 dBz, ..., 以下同)所对应回波的底高和顶高。

2.2.3 提取分层回波水平尺度

图 3b 是描述分层回波水平尺度的提取算法,通过对水平边缘检测分别得到不同强度的水平尺度。其中,Exx、Wxx 分别表示强度为 xx dBz 所对应回波的东、西方向水平尺度,Exx+Wxx 表示强度为 xx dBz 的 X 尺度;Sxx、Nxx 表示强度为 xx dBz 所对应回波的南、北方向水平尺度,Sxx+Nxx 表示强度为 xx dBz 的 Y 尺度。

2.2.4 应用程序设计

按照上面的提取方法和数学概念模型,利用 VC 和 VB 语言就能够实现 TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取。该算法以移植在 TWR-01 型天气雷达二次终端系统中,随雷达二次终端软件一并提供给用户。只要运行 TWR-01 型天气雷达二次终端系统就能够获取雷达回波特征参数(注:参考文献[11]中提供 VC++编程代码,在此略)。

2.3 数据存储格式

为了方便用户接口和使用,按照一定的文本格式来描述回波的特征数据,其自定义数据格式如下:

xxx'最强回波方位
xxx'最强回波距离
xxx'最强回波顶高
xxx'最强回波底高

10,xx,xx,xx,xx'10 dBz 强度指示,顶高,底高,X 尺度,Y 尺度

15,xx,xx,xx,xx'15 dBz 强度指示,顶高,底高,X 尺度,Y 尺度

20,xx,xx,xx,xx'20 dBz 强度指示,顶高,底高,X 尺度,Y 尺度

.....

文件名为 YYYYMMDDhhmmss.TXT。其中,回波特征参数文件的前缀名与 T 扫文件名前缀名相同,后缀名为 .TXT。

2.4 回波特征参数提取过程实例分析

在业务应用中,回波特征参数的提取有利于建立回波强度、高度、尺度检测和目标跟踪。我们以 2008 年 4 月 21 日贵州清镇 TWR-01 型天气雷达的一次天气过程的两个典型观测时次为例,通过提取特征参数与图像数据的验证比较,分析该算法的业务可用性。

(1) 按 PPI 数据格式读取数据文件,搜索和查找强中心数据集,确定强回波方位和距离,从而确定距离高度显示(RHI)的方位角。图 4 是 16:37 强回波中心定位提取的 PPI 和 RHI 图,其回波中心的最大强度为 43 dBz、方位 288°、距离 33.2 km。

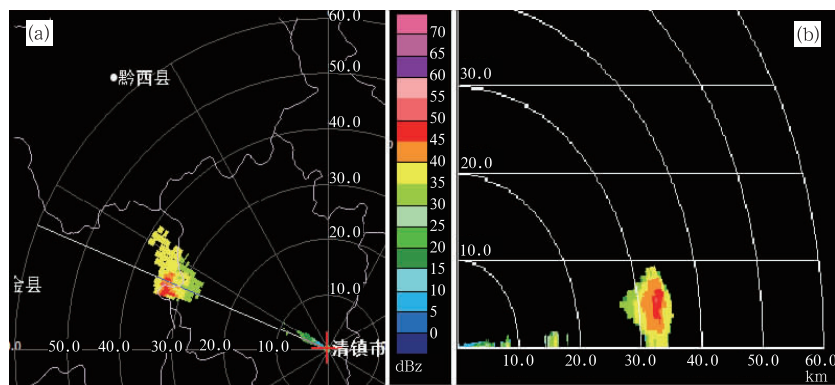


图 4 16:37 强回波中心定位提取的 PPI(a)和 RHI(b)图

Fig. 4 Extraction for echo intensity center locating at 16:37 BT 21 April 2008
(a) PPI, (b) RHI

(2) 根据回波强度等级,用阈值法对图 4 进行二值化图像处理,其处理结果如图 5 所示(注:PPI 图中水平、垂直网格间距为 5 km;RHI 图中垂直网格间距为 1 km)。

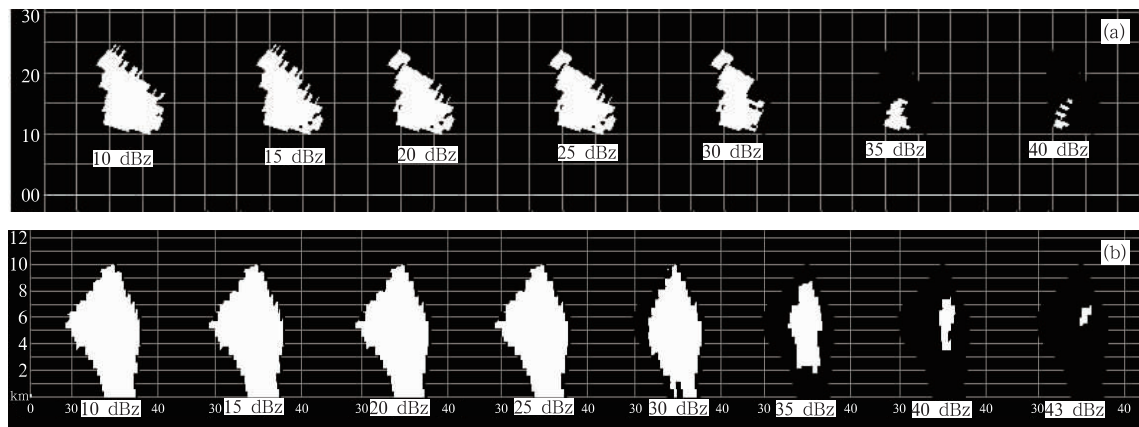


图 5 图 4 二值化图像处理的 PPI(a)和 RHI(b)图

Fig. 5 Binary image processing of Fig. 4
(a) PPI, (b) RHI

(3) 按照强度等级读取垂直高度、水平尺度的特征参数(见表 1)。

表 1 图 4 和图 5 回波特征参数对照表

Table 1 Comparison of echo characteristic parameters between Fig. 4 and Fig. 5

特征参数	提取值			读取值			误差					
最大强度/dBz	43			43			0					
最强回波高度/km	3.0			3.0~3.6			区间内					
最强回波方位/°	288			290			2					
最强回波距离/km	33.2			33~36.1			区间内					
分层强度/dBz	顶高/km			底高/km			X 尺度/km			Y 尺度/km		
	提取	实际	误差	提取	实际	误差	提取	实际	误差	提取	实际	误差
10	9.4	9.6	0.2	0	0	0.0	6.4	8.5	2.1	9.6	12	2.4
15	9.4	9.6	0.2	0	0	0.0	6.4	8.5	2.1	9.6	12	2.4
20	9.4	9.6	0.2	0	0	0.0	6.4	8.5	2.1	9.6	12	2.4
25	9.4	9.6	0.2	0	0	0.0	6.4	8.2	1.1	9.6	12	2.4
30	8.6	9.2	0.6	2.0	0	2.0	6.4	6.0	0.4	9.6	12	2.4
35	8.0	8.2	0.2	2.0	1.8	0.2	3.0	3.0	0.0	4.8	6.0	1.2
40	7.2	7.6	0.4	2.8	2.4	0.4	1.8	2.0	0.2	2.4	4.0	1.6

(4) 保存文本数据。

图 6 是 17:49 通过强中心提取的 PPI 和 RHI 雷达观测数据,回波中心的最大强度 38 dBz、方位

69°、距离 13.2 km,其二值化图像处理结果如图 7 所示(注:PPI 图中水平、垂直网格间距为 2.5 km;RHI 图中垂直网格间距为 1 km)。

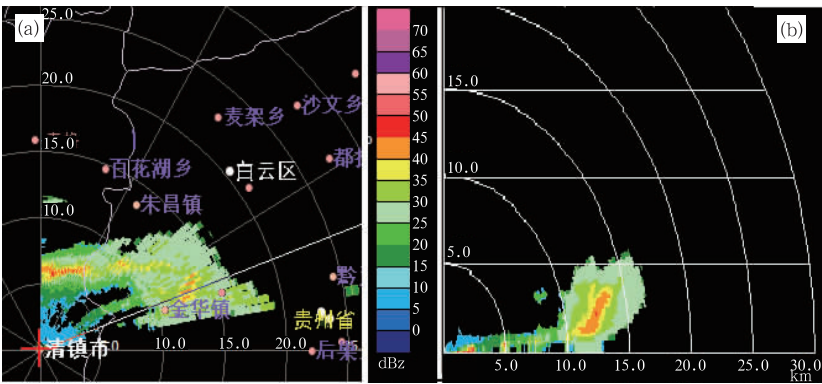


图 6 17:49 强回波中心定位提取的 PPI (a) 和 RHI (b) 图

Fig. 6 Extraction for echo intensity center locating at 17:49 BT 21 April 2008
(a) PPI, (b) RHI

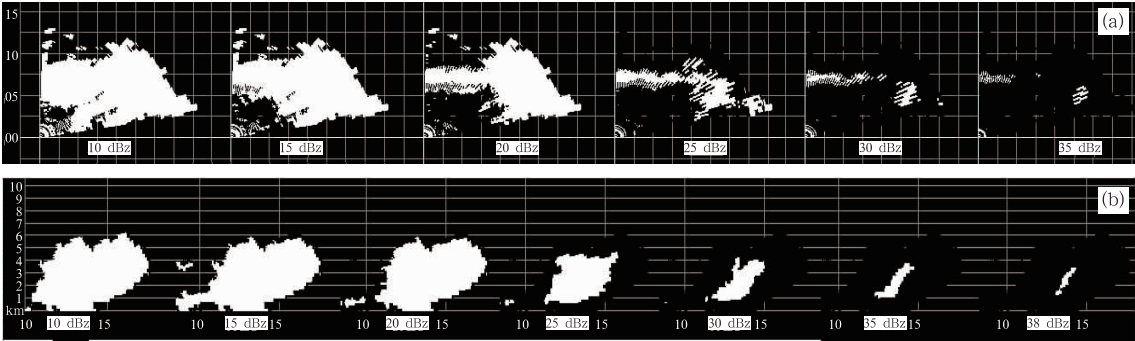


图 7 图 6 二值化图像处理的 PPI (a) 和 RHI (b) 图

Fig. 7 Binary Image processing of Fig. 6
(a) PPI, (b) RHI

表 2 图 6 和图 7 回波特征参数对照表

Tabel 2 Comparison of echo characteristic parameters between Fig. 6 and Fig. 7

特征参数				提取值			读取值			误差		
最大强度/dBz				38			38			0		
最强回波高度/km				2.6			1.4~3.4			区间内		
最强回波方位/°				69			70			1		
最强回波距离/km				13.8			13.5~14.3			区间内		
分层强度/dBz	顶高/km			底高/km			X尺度/km			Y尺度/km		
	提取	实际	误差	提取	实际	误差	提取	实际	误差	提取	实际	误差
10	5.5	6.0	0.5	0	0	0.0	6.8	15.0	8.2	5.8	12.0	6.2
15	5.4	5.8	0.4	0	0	0.0	6.8	12.0	5.2	5.8	10.0	4.2
20	5.3	5.8	0.5	0	0	0.0	6.6	10.0	3.4	5.8	8.0	2.2
25	3.9	4.6	0.7	0	0.6	0.6	1.4	6.0	4.6	2.6	6.0	3.4
30	3.6	4.0	0.4	2.0	0.8	1.2	0.8	6.0	5.2	0.4	4.0	3.6
35	3.2	3.7	0.5	2.0	1.1	0.8	0.7	4.0	3.3	0.4	4.0	3.6

数据结果分析和业务应用表明:① 回波强中心强度、方位、距离定位准确,其波动范围位于强中心区域内;② 10 dBz 以下的回波和 30 dBz 以上的

回波提取高度值与实际误差小;③ 强回波水平尺度误差小,弱回波水平尺度误差大。主要原因:① 10 dBz 主要反映回波整个轮廓和外貌,回波高度极

值处于边沿的顶端和底端,相对误差小;② 强回波区的梯度变化大,跃增明显,结构密实,易于分割,其水平尺度、垂直高度值相对误差小;③ 弱回波区域数据离散,数据不易分割,误差大,特别是水平尺度的提取尤为明显;④ 地物及遮挡物对算法造成的影响;⑤ 图形显示分辨率对数据读取的影响。

在雷雨、冰雹等临近灾害性天气监测预警中,冰雹云初期回波和强回波都出现在 0°C 层到 -5°C 之间,在云体的中上部;而雷雨云初期回波出现高度低,强回波区一般在云的中下部。在人工影响天气作业指挥系统中,各地主要依据雷达强回波区的强

度、顶高、跃增、形状等指标作为识别冰雹云的方法和判据^[12-14]。因此,目标物体轮廓提取方法用于回波特征参数的提取能够满足初始回波预警、作业预警和作业指挥等实际业务的需要。

3 回波特征参数提取技术的业务应用

利用 TWR-01 型天气雷达回波特征参数的提取技术,研制了 TWR-01 型天气雷达局地增雨防雷作业预警指挥系统(见图 8)。下面就初始回波预警、作业预警指挥、回波特征参数变化介绍其在业务

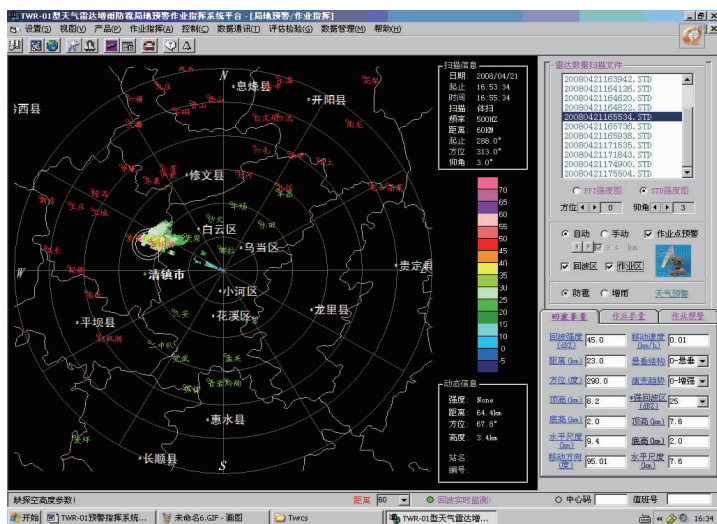


图 8 TWR-01 天气雷达局地作业预警指挥系统主界面
Fig.8 The command system of anti-hail local operation warning of TWR-01 Weather Radar

应用中的情况。

3.1 初始回波预警

初始回波预警采用 360° PPI 观测模式, 根据雷达站的站址条件, 将仰角固定在典型观测仰角上, 自动进行 PPI 扫描, 通过设定的强度和高度预警条件以实现初始回波预警 (语音报警)。

图 9 是 2008 年 4 月 21 日 15 时 25 分, 贵州省清镇市 TWR-01 型天气雷达在 PPI 模式下回波预警实例。系统设定的回波报警参数强度是 35 dBz, 高度是 2.5 km, 实际观测的 PPI 回波特征参数为中心强度 43 dBz、中心高度 3.5 km、中心方位 324.2°、中心距离 18.1 km, 满足初始回波预警条件。

3.2 作业预警指挥

月 21 日 16:37—17:59 回波图。16:48, 中心强度是 45 dBz, 高度是 8.2 km, 流长和梨倭两个点进入冰雹作业预警区域, 并于 16:58—17:01 进行作业; 17:15, 中心回波强度 50 dBz, 高度 6.4 km; 17:49, 中心回波强度 38 dBz, 高度 5.5 km。作业后短时间内除回波略有增强外, 高度明显降低, 并逐渐减弱, 取得较好的作业效果。

3.3 特征参数变化与作业效果物理检验

人工影响天气作业效果的检验,包含“统计检验”和“物理检验”方法。物理检验主要目的在于为评估效果提供相应的物理学证据,对作业催化前后雷达回波形态、强度、顶高或雷达回波综合指标等特征参量的变化进行对比,为统计检验结论提出物理解释和佐证^[15]。

图 10 是清镇市 TWR-01 型天气雷达 2008 年 4

图 11 是 2008 年 4 月 21 日 16 时 37 分至 17 时

数的方法。本文主要介绍单体回波特征参数的提取方法,按强度为 5 dBz 的步进对回波进行二值化图像处理,依据强度等级计算垂直高度和水平尺度等数据,实现了图像与数据的同步保存,解决人工读取回波特征参数和数据分析的技术难题。其初步研究成果已应用于雷达初始回波预警和局地增雨防雹作业预警指挥系统中,取得一定的效果。

业务应用表明,目标轮廓提取技术对结构紧密、边缘清晰,强度梯度变化大的回波单体描述准确。鉴于回波结构复杂性,本算法还难以对各种形状的回波进行准确的描述,还有待于在业务实践中不断分析、改进和完善,增强业务应用能力,更好地发挥 TWR-01 型天气雷达的作用。

参考文献

[1] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2001:388-395.

[2] 王俊国,郭文华. TWR01 计算机自解参数火箭增雨综合应用[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007,26(增刊):161-163.

[3] 刘国强. TWR01 型天气雷达简介[J]. 贵州气象,2007,31(6):46-47.

[4] 韩雷,王洪庆,谭晓光,等. 基于雷达数据的风暴体识别、追踪

及预警的研究进展[J]. 气象,2007,33(1):3-10.

[5] 王改利,刘黎平. 暴雨云团的多尺度识别方法及其在临近预报中的应用[J]. 大气科学,2007,31(3):400-409.

[6] 朱平,李生辰,肖建设,等. 天气雷达回波外推技术应用研究[J]. 气象,2008,34(7):3-9.

[7] 魏慧娟 崔新建 杨国锋,等. 市(地)级人工增雨决策指挥系统[J]. 气象,2007,33(12):112-114.

[8] 叶田,夏福华,臧传花,等. 淄博市人工影响天气作业决策指挥系统[J]. 气象,2001,27(10):45-48.

[9] 兰红平,孙向明,梁碧玲,等. 雷暴云团自动识别和边界相关追踪技术研究[J]. 气象,2009,35(7):101-111.

[10] 陈大任,陈刚,吴峥嵘. 基于体扫模式组合 RHI 自动实现算法[J]. 气象,2010,36(2):109-112.

[11] 杨淑莹编著,边莫英主审. VC++图像处理程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2005:58-62,161-175.

[12] 张沛源,杨洪平,胡绍萍. 新一代天气雷达在临近预报和灾害性天气警报中的应用[J]. 气象,2008,34(1):4-11.

[13] 张晰莹,张礼宝,安英玉,等. 弱冰雹云雷达回波结构特征分析[J]. 气象,2008,34(2):38-42.

[14] 李云川,张文宗,王建峰,等. 数字化雷达人工影响天气作业指挥系统[J]. 气象科技,2005,33(3):264-266.

[15] 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材[M]. 北京:气象出版社,2003:233-236.



征稿简则

- 1 《气象》主要刊登气象科学研究领域的综合评述及研究论文;天气、气候诊断分析与预报技术;气象业务技术及业务现代化建设经验;气象灾害的规律及防灾减灾决策;公共气象服务和专业气象服务技术方法;气象科技信息动态等。
- 2 来稿注意事项
- 2.1 来稿务必论点明确,数据可靠,文字精炼。文章的书写顺序为:中文题目(不超过 20 个汉字)、作者姓名、单位名称、邮政编码、中文提要(200~300 字)、关键词(3~8 个);英文题目、作者姓名、单位名称、邮政编码、英文提要及英文关键词;引言;正文;结论和讨论;致谢;参考文献。文章首页页脚处附作者信息,即姓名、从事专业工作和研究方向。Email 等。
- 2.2 正文标题用阿拉伯数字连续编号,不同层次数字间用圆点间隔,如“1”,“1.2”,“2.1.3”等。标题左顶格,在数字编号后空一格再写标题,末尾不加标点符号。
- 2.3 基金资助的研究项目,请注明省部级以上基金名称和项目编号。
- 2.4 文稿的单位制采用《中华人民共和国法定计量单位》。图、表中量和单位间用“/”隔开,表示物理量的符号用斜体表示,并注意文种、大小写、正斜体、上下角码等。
- 2.5 科技术语和名词应使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。
- 2.6 文稿只附必要的图表。图、表要求准确,清晰,美观。在文中相应的位置插入图、表。图、表附相应的中英文图题、表题。附表请使用三线表。
- 2.7 参考文献按在文内出现顺序连续编码。在期刊上发表的文献书写格式为:[序号] 作者姓名(列出前 3 位). 题名[J]. 期刊名,年,卷(期):页码. 在专著、教科书上发表的文献书写次序为:[序号] 作者姓名. 译者姓名. 文题名. 书名[M]. 出版地:出版社,出版年:页码。
- 3 请勿一稿两投。本刊一般不退稿,若 6 个月内未见刊用通知,可自行处理。
- 4 本刊收取发表费,并付稿酬,所付稿酬包含纸质版、数字版稿酬和刊物内容网络服务报酬等。凡不同意将其稿件纳入此两种版本进行交流者,请书面说明。
- 5 通讯地址:北京市中关村南大街 46 号《气象》编辑部 邮政编码:100081
网上投稿地址: <http://219.234.83.5>
电话:(010)68407936 58993789 68407336 Email:qixiang@cams.cma.gov.cn