

基于CINRAD/CB雷达基数据的反射率因子地学可视化研究

朱雷平¹,朱黎明²,于雪涛³,江皖²,陈卫林²

1. 徐州工程学院,徐州 221008
2. 安徽理工大学测绘学院,淮南 232001
3. 石家庄铁道大学交通运输学院,石家庄 050043

摘要 为了高效显示雷达回波图,本文剖析CINRAD/CB新一代天气雷达(以下简称CB雷达)基数据文件存储结构,介绍了CB型雷达基数据文件中反射率因子数据的存储格式,结合地学中矢量数据与栅格数据的特点,研究了极坐标系下的反射率因子数据向直角坐标系下的转换方法,并设计了基于矢量数据格式和基于栅格数据格式的CB雷达反射率因子可视化方法。对鄂尔多斯CB雷达反射率因子的可视化进行验证,结果表明,两种方法均能充分显示反射率因子回波特征。其中,栅格数据方法的显示效率高,可分析性差;矢量数据的可分析性强,显示效率较低,可根据不同应用需求选取不同的方法。

关键词 CINRAD/CB;天气雷达;基数据;地学可视化

中图分类号 P413.2*1

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.19.006

Geo-visualization of Base Reflectivity Data of CINRAD/CB

ZHU Leiping¹, ZHU Liming², YU Xuetao³, JIANG Wan², CHEN Weilin²

1. Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China
2. School of Geodesy and Geomatics, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China
3. Transportation Institute, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China

Abstract In order to show radar echoes efficiently, this paper states the reflectivity storage format after analyzing the basic data of a kind of new weather radar CINRAD/CB. Then the CB radar's basic reflectivity data, this paper describes two visualization methods depending on the characteristics of vector data and raster data. Moreover, this paper also studies the conversion of reflectivity data from the polar coordinate system to the Cartesian system, and designs a method to show the radar echoes with vector data format and raster data format. Finally, the basic reflectivity data of the CINRAD/CB weather radar in Ordos City are taken as an example, and the result shows that the two methods both can accurately display the reflectivity echo, and that the raster method has a higher efficiency while the vector method is more analytic, each being applicable to its appropriate applications.

Keywords CINRAD/CB; weather radar; base reflectivity product; geo-visualization

天气雷达是探测降水状况的主要工具,其反射率因子图的特征是识别冰雹、大风、龙卷、暴洪等强对流天气的重要依据。中国气象部门重点规划布设的新一代天气雷达为组网天气雷达,该雷达具有高精度时空分辨率,在短时天气预报、灾害性天气警报等工作中起着重要作用。

新一代天气雷达包含了S和C波段8个型号的雷达,不同

型号的雷达有着不同的保存数据方式,从而生成不同的基数据文件^[1]。由于新一代天气雷达的基数据文件结构复杂,从中提取数据比较困难,通常采用多普勒雷达产品显示程序(PUP)软件显示,而PUP软件不能提供基于地学尤其是地理信息系统(GIS)技术的自动分析功能,从而限制了该类产品的广泛应用^[2,3]。因此,充分解析、可视化该类数据也就成为

收稿日期:2014-02-21;修回日期:2014-05-19

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAC25B01);江苏省产学研联合创新资金——前瞻性联合研究项目(BY2013023);安徽理工大学科研基金项目(2012CH01)

作者简介:朱雷平,讲师,研究方向为控制工程、图像处理,电子信箱:zlp@xzit.edu.cn;朱黎明(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为地理信息系统的应用与开发,电子信箱:zhuliming0101@126.com

引用格式:朱雷平,朱黎明,于雪涛,等.基于CINRAD/CB雷达基数据的反射率因子地学可视化研究[J].科技导报,2014,32(19):43-47.

气象和地学研究者共同面临的重要问题。陈海泉等^[4]根据美国国家气候数据中心编制的新一代天气雷达第三级存档数据格式文档,深入解析了雷达产品数据的格式,但未对该数据进一步可视化。崔晓东等^[5]研究了雷达产品数据转换到TGA图像格式的转换方法;李红玉等^[6]研究了雷达产品数据中小范围内的组网拼图技术。但未对雷达数据拼图及评价进行深入研究。于雪涛等^[7]针对雷达的二次产品数据分析了S波段SA型天气雷达数据的存储格式,提出基本反射率数据可视化方法。

针对现有生成雷达回波图的可移植性差和再分析困难等问题^[8-10],通过分析C波段CB型新一代天气雷达基数据的

存储格式,拟采用地学中矢量数据绘制方式,将反射率因子数据在极坐标系下绘制成矢量图;然后通过研究极坐标系下的反射率因子数据向直角坐标系的转换方法,采用地学中栅格数据的成图方式将反射率因子数据生成栅格格式反射率因子图,并对两种方法做简要的对比分析。

1 基数据介绍

CB型天气雷达基数据文件采用了固定长度的帧数据格式,帧的长度为4132字节,每一帧代表一条径向数据,图1(a)和(b)所示为CB雷达的一条径向数据及其在基数据文件中的存储方式。

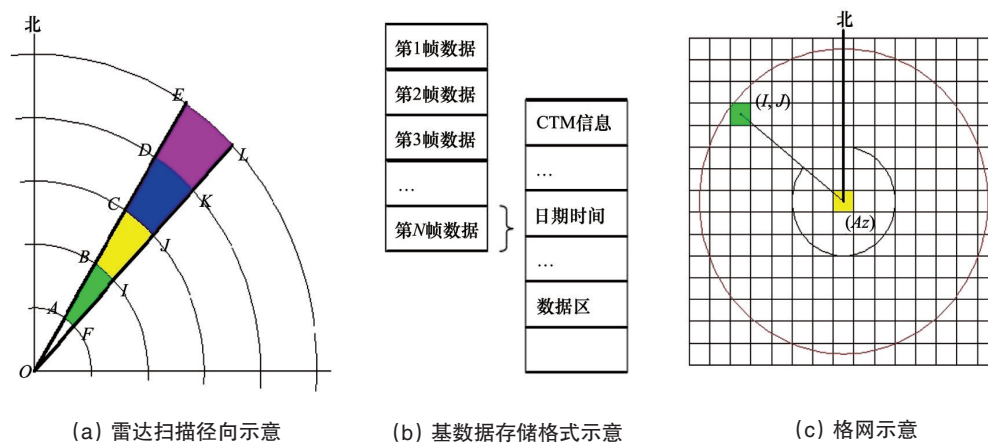


图1 雷达扫描示意、基数据存储格式示意和格网示意

Fig. 1 Radar radial, basic data storage format and the grid

在每一帧数据中,存储了雷达扫描该径向时的参数信息,包含雷达信息、数据收集时间信息、方位角度信息、扫描状态信息、回波参数信息、数据状态、雷达体扫的模式、数据区的数据等。其中,第37、38字节存储了极坐标系表示的方位角数据,即该条径向数据的方位,也是新一代天气雷达基数据的坐标方式。存储的角度为编码后的数据,读取时需要进行转换,转换公式为

$$Az = 180(Data/8)/4096 \quad (1)$$

式中, $Data$ 为数据区数据, Az 为径向方位角, $^{\circ}$ 。第41、42字节存储径向数据的位置状态,分别为用0、1、2、3、4区分的5种状态:0为该仰角第一条径向数据;1为该仰角中间数据;2为该仰角最后一条数据;3为雷达进行体扫后第一条数据;4为体扫结束时最后一条数据。第43、44字节存储该模式下的仰角值,编码形式与式(1)一致。第73、74字节存储体扫(VCP)模式标识字符:VCP11是在5 min内完成对14个仰角的扫描,VCP21是在6 min内完成对9个仰角的扫描,VCP31和VCP32是在10 min内完成对5个仰角的扫描^[6],不同模式下的仰角不同。

数据区存储的数据可用作识别天气的依据,包括基本反

射率因子数据、平均径向速度数据以及速度谱宽数据。其中数据区的基本反射率因子数据为反射率因子拼图所需的数据,也是本文研究的重点,当反射率因子数值为0时,表示对应位置无回波数据(低于信噪比阈值);为1时表示存在距离模糊的情况。基数据文件中的反射率因子数据采用固定形式的编码方式,运用时需要将其转换为真实的回波功率,转换公式表示为

$$N = (Data - 2)/2 - 32 \quad (2)$$

式中, N 为转换后的回波功率,dBZ。

雷达每个体扫模式的扫描结束后会按照上述文件格式存储一个单独的基数据文件,以径向数据的方式进行排列,从低仰角到高仰角。对于CB型天气雷达,反射率数据的距离库长为500 m,每条径向距离库的个数为800个。完成基数据文件的解析,即可对反射率因子进行可视化。

2 采用地学方法生成反射率因子图

采用地学中矢量数据与栅格数据的生成方法,分别对雷达探测数据中的反射率因子数据进行可视化,得到两种格式的反射率因子图。生成步骤如图2所示。

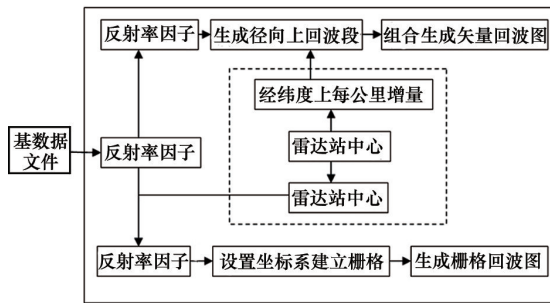


图2 技术路线

Fig. 2 Roadmap

2.1 生成矢量图

最初的雷达反射率因子数据所采用存储坐标系为极坐标系,地学中矢量数据的绘制具有灵活性特点,对坐标系的要求较少^[11,12]。因此,可直接在极坐标系下对反射率因子图进行绘制。图1(a)为一条雷达径向数据示意图,本文将同一条径向上反射率因子大小一致、且相邻的距离库看作一个四边形,如图1(a)中 $ABIF$ 区域所示,通过对这样的四边形进行绘制来完成反射率因子数据的可视化。以四边形 $ABIF$ 的绘制为例,由于雷达距离库的库长以长度为单位,而绘制四边形需要确定每个顶点的经纬度值,因此首先要计算雷达中心所在位置在经纬度方向上1 km的经度增量 $1\text{ km}dx$ 和纬度增量 $1\text{ km}dy$,CB型雷达反射率扫描半径为400 km,在误差允许情况下,可近似认为经纬度上的增量在雷达的扫描范围内变化是均匀的。经纬度增量的计算公式为

$$\begin{cases} 1\text{ km}dx = 360/[40075.67 \cos(\text{center}Y \cdot \pi/180)] \\ 1\text{ km}dy = 360/40000 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\text{center}Y$ 为雷达中心纬度值。新一代多普勒天气雷达反射率距离库的库长为0.5 km,进一步计算单位库长在经度、纬度上的增量 $XPer$ 、 $YPer$,公式为

$$\begin{cases} XPer = \cos \alpha \cdot 1\text{ km}dx/2 \\ YPer = \cos \alpha \cdot 1\text{ km}dy/2 \end{cases} \quad (4)$$

式中, α 为雷达扫描时的仰角角度。至此,根据雷达中心的坐标以及顶点 AB 边对应的距离库个数,便可确定四边形 AB 边的两个顶点的坐标;再由扫描的方位角大小可确定 IF 顶点坐标,与 AB 边计算方法一致。理论上,每一个距离库长的增量所表示的扫描范围都可能存在回波,都可以用上述方法进行显示,但对于第一个距离库(以 OAF 为例),是一个三边形形状范围,对类似于 OAF 的距离库,可将其看作是 OAF 四边形,然后对其进行可视化。

为了提高算法运行效率,本文提出的矢量绘制方法在绘图前对回波进行了判断。如对区域 OAF 反射率因子回波的绘制,首先判断 OAF 所处距离库对应的反射率因子是否为空,若是则不进行绘制;反之则进行绘制,通过该方法可减少不必要的计算。

2.2 生成栅格图

2.2.1 获得反射率数据

img格式的栅格数据实际为直角坐标系下的二维矩阵,

而雷达基数据是按照极坐标系存储的数据^[13,14],如何将极坐标系下的反射率因子数据转换为直角坐标系下的数据,也就成了采用栅格数据格式显示反射率因子图的研究重点。

首先,定义一个三维数组 $RData$,按照仰角、方位角和距离库读取基数据文件中反射率因子数据。根据雷达中心的坐标,抽象地假设存在一个覆盖雷达扫描范围的二维网格,用来代表反射率因子图,可用二维数组表示这个二维网格。其中网格的中心为雷达站的中心,如图1(c)所示。根据雷达反射率距离库的库长0.5 km,结合保存反射率分辨率的原则,本文将网格设置为 $0.5\text{ km} \times 0.5\text{ km}$,由此确定二维网格数组的大小为 1602×1602 。

定义好二维数组,对数组进行遍历搜索赋值,从左上角坐标开始依次搜索。由于网格在空间上的范围大于雷达扫描半径,因此需要判断网格是否在扫描半径内,可通过计算当前网格 (I, J) 到雷达坐标中心的距离 $rang$ 来进行判断,公式为

$$rang = \sqrt{(I/2 - Radius)^2 + (J/2 - Radius)^2} \quad (5)$$

式中,将网格数换算为当前网格到雷达站所在格网的距离,即 $I/2$ (或 $J/2$)为对应的千米数; $Radius$ 为雷达扫描有效半径。此时,雷达在平面上的有效半径 $avaRadius$ 为

$$avaRadius = Radius \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

当 $rang$ 在平面上有效半径之外时,将此点格网的反射率属性赋值0,继续搜索;反之,由格网尺寸和CB雷达距离库的库长来计算格网在雷达扫描中距离库的库数,公式为

$$num = 2rang \quad (7)$$

接着,进一步判断此格网点在雷达扫描范围内所对应的方位角。实际情况中,扫描的旋转角并不是按照理论设计的固定角度进行,存在误差,随着扫描径向数的增加,会产生累计偏差,因此在计算时要根据实际旋转角计算^[15-17]。计算方位角可采用分象限、区间进行考虑,方位角按照测量学中坐标方位角的计算方法计算即可,不再叙述。

最后,由已知格网点的雷达仰角、距离库库数以及所在的方位角,即可将三维数组 $RData$ 中的反射率因子数据提取出来,完成极坐标系下的反射率因子数据向二维直角坐标系下的转换。

2.2.2 生成img栅格

通常雷达反射率因子图分为16个等级,即需要用16种不同颜色来区分不同等级的反射率因子回波。根据等级划分原则,可采用ArcGIS中特定值绘制象元法来进行单波段雷达反射率绘制。参考中国天气网上反射率回波的颜色分级,建立反射率因子RGB颜色表与分级对应。选用C Sharp编程语言,结合ArcGIS Engine建立单波段栅格文件,生成步骤如下:

- 1) 确定雷达中心坐标作为格网的中心坐标;
- 2) 定义网格大小,根据CB型雷达反射率距离库长,选择 $0.5\text{ km} \times 0.5\text{ km}$ 网格,计算出栅格图像的起始坐标,定义与获取二维数组的大小一致的格网数;
- 3) 设置通用的坐标系统,可选择指定的投影坐标系或是

地理坐标系;

- 4) 创建栅格工作空间与栅格数据集;
- 5) 将获得的反射率二维数组赋值给栅格数组对应的字段内。

3 结果与分析

采用以上两种方法,对内蒙古自治区鄂尔多斯市雷达气象站的CB雷达基数据文件,分别生成矢量数据格式和栅格数

据格式的反射率因子图。查询当地气象资料,鄂尔多斯市2013年6月30日发生了较大规模降雨,当天的雷达反射率回波强度较大,便于对本文提出方法进行验证。因此,本文选取2013年6月30日05:10和2013年6月30日09:12 CB雷达生成的两组基数据文件,分别生成栅格数据格式和矢量数据格式的反射率因子图,并对生成的反射率因子图进行唯一值渲染、设置透明度,然后加载显示。效果如图3和图4所示。

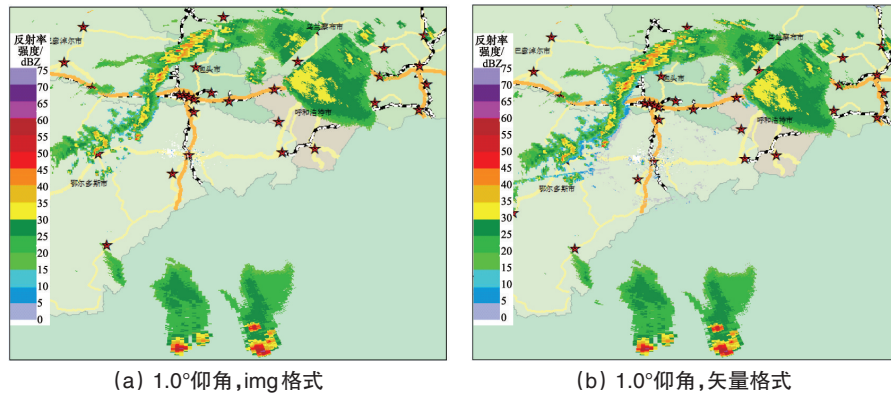


图3 2013年6月30日09:12 鄂尔多斯站反射率因子

Fig. 3 Charts of basic reflectivity in Erdos at 09:12 am, June 30, 2013

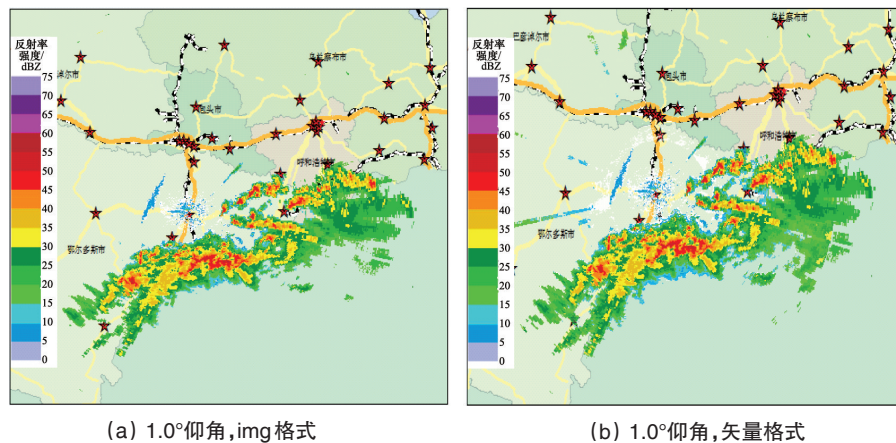


图4 2013年6月30日05:10 鄂尔多斯站反射率因子

Fig. 4 Charts of basic reflectivity in Erdos at 05:10 am, June 30, 2013

通过对两种方法生成图像的对比,发现两种方法均能准确显示CB雷达回波反射率因子回波。其中,基于矢量数据格式的可视化方法能够较好地显示细微地方,基于栅格数据格式的

可视化方法显示的效率更高效。本文在同一台电脑上对两种方法生成文件的详细优缺点进行了对比分析,分析结果见表1所示。

表1 矢量生成方法与栅格生成方法的对比分析

Table 1 Comparison between vector method and raster method

对比内容	矢量类型	栅格类型
生成精度	精度高,不存在坐标转换误差	精度较低,存在坐标转换产生的误差
生成效率	执行效率高,耗时少	执行效率较低,耗时长
显示效率	执行效率低,1~3 s不等	执行效率高,0.5 s以内
文件管理	文件个数多,包括shp、dbf、prj、sbn、shx和sbx共6个文件,不利于文件管理	文件个数少,仅包括img和img.vat.dbf两个文件,利于管理
数据分析	易于回波量算、回波分块和回波追踪,不易于多部雷达组网拼图、空间分析	易于进行空间分析和回波模拟、组网拼图,不易于投影转换

4 结论

通过对CB天气雷达基数据存储格式的剖析,结合地学中地理数据可视化原理,设计了基于CB雷达基数据反射率因子数据可视化的两种方法:矢量数据格式方法和栅格数据格式方法。以内蒙古自治区鄂尔多斯市的雷达气象站CB雷达为实验对象,采用两种方法均实现了雷达反射率因子图的显示。其中,栅格格式数据加载更快,矢量数据方法显示的反射率因子图更完整。在气象业务应用过程中,当仅需要显示雷达反射率因子时,可选择栅格数据格式的显示方法;当需要对数据进行进一步空间分析和数据挖掘时,可选择矢量数据格式的方法。本文重点研究了CB型雷达反射率因子的可视化方法,对基数据中径向速度数据以及谱宽数据未做显示研究,若能够结合这3种数据的图像实现对天气进行短时预报,将具有更大意义,这也是本课题进一步研究的方向。

参考文献(References)

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006.
Yu Xiaoding, Yao Xiuping, Xiong Yannan, et al. Principle and application of doppler weather radar[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [2] 张文煜,袁九毅.大气探测原理与方法[M].北京:气象出版社,2007.
Zhang Wenyao, Yuan Jiuyi. Principle and application of atmospheric detection[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [3] 郭达志.地理信息系统原理与应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2002.
Guo Dazhi. Principle and application of geographic information system [M]. Xuzhou: China Mining University Press, 2002.
- [4] 陈海泉,廖仕湘.新一代天气雷达产品数据格式分析[C]//中国气象学会.中国气象学会2007年年会气象综合探测技术分会场论文集.北京:气象出版社,2007.
Chen Haiquan, Liao Shixiang. Analysis of cinrad products data format [C]//Chinese Meteorological Society. Proceedings of 2007 Annual Conference on Meteorological Comprehensive Detection Technologies of Chinese Meteorological Society. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [5] 崔晓东,于海磊,王莉萍,等.利用三次卷积方法实现新一代天气雷达产品电视播出[J].气象科技,2009,37(3):369-373.
Cui Xiaodong, Yu Hailei, Wang Liping, et al. TV broadcast of new generation radar products with cubic convolution method[J]. Meteorological Science and Technology, 2009, 37(3): 369-373.
- [6] 李红玉,李晓勇,刘鹏.跨省区新一代多普勒天气雷达PUP产品调用与拼图实现[J].西华大学学报:自然科学版,2009,28(5):78-82.
Li Hongyu, Li Xiaoyong, Liu Peng. Inter-province PUP products call and puzzles implementation by means of new generation doppler weather radar[J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2009, 28(5): 78-82.
- [7] 于雪涛,奚砚涛,芮小平,等.新一代天气雷达基本反射率产品的地学可视化[J].测绘科学,2012,37(1):153-155,127.
Yu Xuetao, Xi Yantao, Rui Xiaoping, et al. Geo-visualization of the base reflectivity products of CINRAD[J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(1): 153-155, 127.
- [8] 张德玉,魏荣妮,付有智,等.新一代天气雷达二次产品浏览系统设计与实现[J].计算机系统应用,2010,19(1):127-130,160.
Zhang Deyu, Wei Rongni, Fu Youzhi, et al. Design and realization of new generation of weather radar secondary product browsing system[J]. Computer Systems & Applications, 2010, 19(1): 127-130, 160.
- [9] 赵瑞金,杨洪平,郭亚田.新一代天气雷达产品在MICAPS中的显示与调用[J].气象,2005,31(2):31-34.
Zhao Ruijin, Yang Hongping, Guo Yatian. Display and application of CINRAD product in MICAPS[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(2): 31-34.
- [10] 肖艳皎,刘黎平,杨洪平.区域雷达网同步观测对比分析[J].气象学报,2007,65(6):919-927.
Xiao Yanjiao, Liu Liping, Yang Hongping. A contrast analysis of synchronous observations from regional radar network[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2007, 65(6): 919-927.
- [11] 肖艳皎,刘黎平,杨洪平.基于天气雷达网三维拼图的混合反射率因子生成技术[J].气象学报,66(3):470-473.
Xiao Yanjiao, Liu Liping, Yang Hongping. Technique for generating hybrid reflectivity field based on 3-D mosaicked reflectivity of weather radar network[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 65(6): 919-927.
- [12] 芮小平,宋现锋,于雪涛.基于GIS的雷达回波提取及人工降雨作业点确定方法研究[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2009,1(2):156-160.
Rui Xiaoping, Song Xianfeng, Yu Xuetao. Study on methods for acquisition of radar echoes and judgment on artificial rainfall operating sites based on GIS[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2009, 1(2): 156-160.
- [13] 周海光.新一代多普勒天气雷达三维数字化拼图系统研究[J].计算机应用研究,2007,24(12):226-227.
Zhou Haiguang. Research of radar mosaic software system based on CINRAD[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(12): 226-227.
- [14] 何红红,刘宪勋,李洪绩.天气雷达回波区域拼图实现方法[J].气象科技,2004,32(1):52-56.
He Honghong, Liu Xianxun, Li Hongji. Method for realizing composition of radar echo images[J]. Meteorological Science and Technology, 2004, 32(1): 52-56.
- [15] 杨洪平,张沛源,程明虎,等.多普勒天气雷达组网拼图有效数据区域分析[J].应用气象学报,2009,20(1):47-55.
Yang Hongping, Zhang Peiyuan, Cheng Minghu, et al. The valid mosaic data region of the CINRAD network[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(1): 47-55.
- [16] 胡胜,伍志方,刘运策,等.新一代多普勒天气雷达广东省区域拼图初探[J].气象科学,2006,26(1):74-80.
Hu Sheng, Wu Zhifang, Liu Yunce, et al. The primart study about the Guangdong Province refional CINRAD mosaic[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2006, 26(1): 74-80.
- [17] 于雪涛,余志伟,芮小平,等.基于GIS的内蒙古中部地区多源雷达回波拼图[J].科技导报,2011,29(28):37-42.
Yu Xuetao, Yu Zhiwei, Rui Xiaoping, et al. Mosaics of multi-source radar echoes in central region of Inner Mongolia based on GIS[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(28): 37-42.

(责任编辑 王媛媛)