

基于 GIS 的雷达回波提取及人工降雨作业点确定方法研究

芮小平^{1,2} 宋现锋² 于雪涛³

摘要

结合 713 型雷达数据,探讨了基于 GIS 技术和雷达数据的人工降雨预警方法.通过雷达数据分析云系中的含水量、云系强度,通过多幅天气雷达数据判断云的走向和速度,并制定跟踪路线,结合地面炮点位置确定人工降雨作业的最佳时机和用弹量.以 MapX 作为 GIS 2 次开发工具,实现了可以实时判断人工降雨条件的平台,实施效果良好.

关键词

713 型雷达数据;人工降雨;预警系统

中图分类号 TP301

文献标志码 A

0 引言

Introduction

我国地跨 5 个气候带,是气候灾害最多的国家之一,每年的气象灾害造成的损失占各种自然灾害损失的 70% 以上,经济损失占 GDP 的 3% ~ 6%. 在气候灾害中,又有 7 成左右是旱灾,干旱给农业造成的损失最大,严重影响和制约了工农业的发展^[1]. 随着现代科技的发展,人们开始采用人工降雨的方法,来缓解局部地区的旱情. 开展人工降雨作业必须要有科学的参考依据,气象人员要知道在何时何地进行何种作业、如何作业等,不可能凭空想象地作业^[2]. 此外,进行人影作业后,其效果如何,如何对效果进行评估和查询等又是一个问题.

一种常用的人工降雨的方式是在地面布置很多高炮,当有效云层进入炮点射程范围内时,通过放炮的形式将催化剂打到云层位置,对大气云层施加催化作用,促使云中更多的水分变成雨滴降落下来. 如何判断有效云层的区域,并结合地面炮点位置信息,有效实施降雨,是这种降雨方式必须要思考的问题. 地理信息系统可以对空间数据进行管理与分析,为人工降雨提供相应的空间信息,因此,可以将人工降雨与地理信息系统相结合,把整个区域的人工影响天气综合信息集成于地理信息系统平台,进行分析、查询与管理,为区域的气象部门提供一个区域的人工影响天气的综合信息分析处理平台,可全面反应该区域的气象状况,大大提高人影工作的时效性,减少灾害损失,提高劳动效率,为该区域的气象部门提供强有力的决策支持^[3-4]. 本文以 MapX 作为 GIS 2 次开发工具,结合 713 型雷达数据,探讨了基于 GIS 技术和雷达数据的人工降雨方法,通过雷达数据分析云系中的含水量、云系强度,通过多幅天气雷达数据判断云的走向并制定跟踪路线,结合地面炮点位置确定人工降雨作业的最佳时机.

1 雷达回波图的绘制

Rendering of radar echoes

对雷达数据解析,是进行人工降雨预警的前提. 本文使用的气象雷达是 713 型雷达^[5]. 雷达数据具有统一的格式,主要体现在文件名、文件头及数据区这 3 个部分. 713 型雷达数据文件的文件名基本形式为 xyymddhh. mms,通过对雷达数据文件名的解析,可以判定雷达数据的云图类型和获取时间.

收稿日期 2009-06-21

资助项目 教育部留学回国人员科研启动基金
作者简介

芮小平,男,博士,副教授,研究方向为地理信息系统理论及应用. ruixp@yahoo.com.cn

1 中国科学院 生态环境研究中心,北京,100085

2 中国科学院研究生院 资源与环境科学学院,北京,100049

3 中国矿业大学 资源与地球科学学院,徐州,221008

雷达的文件头共1 024个字节,记录了雷达数据的基本信息,包括国名、省名、站名、区站号、雷达型号、天线所在经纬度、海拔高度、扫描方式(高显、平显和体显)、扫描层数、扫描观测开始时间及结束时间、站代码等信息.这些信息所占用的字节数都是固定的,可以自定义1个结构体,用于存储1幅雷达图像的基本信息.

雷达数据文件中除最前面1 024个字节的之外,其余就是数据区.数据区由多条记录构成(按极坐标径向线排列),记录由记录头和数据2部分组成.

采用 MapX 绘制雷达回波图主要就是根据雷达数据创建一个新的图层,并且为每个图层的图元赋予 dBz 等属性值.从 713 型雷达数据的格式可知,对于平显图,它的数据区有 $512 \times 250 = 128\,000$ 个数据,用 128 000 个图元来表示雷达回波图的每个 dBz 值是绘制雷达数据最直观的方法,但是如果直接绘制,在普通的微机上 MapX 控件中的 RedrawInterval 属性(即重绘间隔)至少为 100 ms,也即在 MapX 控件上每次画完图元后必须要间隔 100 ms,所以花费的系统时间至少是 $128\,000 \times 100\text{ ms}$,即 21.33 min,这样的系统时间消耗对用户来说是不能接受的,必须要对雷达云图的绘制算法进行优化才能是(使)云图绘制达到实用化的效果.

通过对 713 型雷达回波数据的分析可知,回波图中每根扫描线的回波数据主要集中在扫描线的前半部分,扫描线后半部分的值绝大多数都是 119,即表示没有回波数据.因此,不需要绘制 dBz 值为 119 的图元.此外,每根扫描线上的数据有很大的相关性.在每根扫描线上,有很多一样 dBz 值的数据连在一起,这也说明了云的变化具有相关性和渐变性.对于多个相邻且 dBz 值相同的数据,可以用 1 个图元来表示,因此,可以采用行程编码压缩算法的思想绘制雷达回波图.

所谓行程编码,又称为游程长度编码,是栅格数据压缩的重要编码方法,在行程编码中,将原图只表示属性的数据阵列变成数据对 (S_i, L_i) ,其中 S_i 为属性值, L_i 表示行程.这种压缩算法的特点是属性的变化愈少、行程愈长,则压缩的比例越大.可以有 2 种方式对雷达数据进行行程编码:第 1 种是在扫描线的方法,逐个判断 dBz 值,把连续 dBz 值相同的数据用小线段表示,判断完 1 根扫描线后再判断下 1 根扫描线,直到所有 512 根扫描全部进行行程编码为止;第 2 种是在圆环的方向,对各个扫描线的相同位置的值进行

判断,每个圆环是 512 个 dBz 值,采用行程编码对其压缩,圆环上相同的值用 1 个多边形表示,这样直到 250 个圆环都进行行程编码为止.由于第 1 种方式是采用线图元绘制图形,当图形放大时,扫描线之间会出现缝隙,因此,本文采用环状行程编码压缩算法绘制云图.通过该方法对云图绘制进行改进后,系统绘制云图的时间大大缩短,对于普通的平显图,时间的开销大约为 20 s 左右.绘制雷达高显图的方法与平显图绘制类似,这里不再赘述.图 1 和图 2 分别给出了用环状行程编码绘制的平显图和高显图.

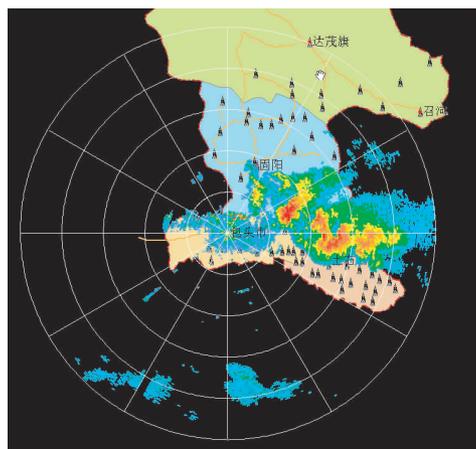


图 1 雷达平显图

Fig. 1 PPI of 713 radar echoes

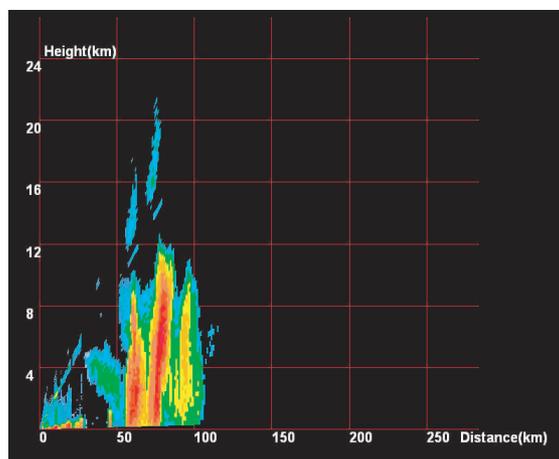


图 2 雷达高显图

Fig. 2 RHI of 713 radar echoes

2 基于雷达回波的人工降雨条件判断方法

Methods of judging artificial rainfall conditions based on radar echoes data

绘制出雷达数据的平显图和高显图,可以根据

雷达回波图的 dBz 值判断云块是否达到人工降雨作业条件^[6]. 人工降雨作业条件的判断可以分为手动判断和自动判断,这 2 种判断方式的实现思想如下.

2.1 手动判断雷达回波的人工降雨条件

在高显图中圈住 dBz 值可能达到高显人工降雨标准的云块,然后利用 MapX 控件的范围搜索函数,搜索出高显云图中被圈范围内的所有雷达回波图元,并统计计算出有用的信息,包括回波宽度、强回波高度、强回波顶高、回波强度和云层厚度. 回波宽度是圈住的区域的宽度,强回波高度是 dBz 值最大的点的高度,强回波顶高是圈住的区域的最高处的高度,回波强度是圈住区域内 dBz 值大于 30(该阈值可以由系统根据用户的要求设定)的数据所占的百分比,云层厚度是圈住区域的最高处与最底处的差值.

在平显图中圈住 dBz 值可能达到人工降雨标准的云块,然后利用 MapX 控件自身的范围搜索函数,搜索出平显云图中被圈范围内的所有图元,并统计计算出有用的信息,包括云体强度和云体面积,云体强度与高显预警的一样,也用百分数表示. 云体面积是圈定区域的面积,可以利用 MapX 中面图元的 Area 属性获得此区域的面积. 如果所有的指标均达到人工降雨的阈值,则系统报警,再判断哪些炮点是否需要实施人工降雨的作业.

2.2 自动判断雷达回波的人工降雨条件

自动判断主要通过计算机自动判断雷达回波图是否达到人工降雨预警条件,判断的步骤如下:

1) 用 3×3 的中值滤波模板对雷达数据进行滤波. 经过中值滤波后,雷达噪声数据被去除,而且云图的边缘保护得比较好.

2) 定预警阈值 30 dBz,将图上小于等于 30 dBz 的云全部去掉,云图上剩下几个单独的强云体. 可以判断强云体的数据是否达到预警要求,如果达到,则需要确定强云体的边界并在此基础上进一步进行炮点预警.

3) 确定强云体的边界. 运用数学形态学中腐蚀运算的边缘提取算法对云图数据进行腐蚀运算(采用 3×3 模板元素对图像进行腐蚀),使云图强云体边缘上的灰度得到加强,再用没腐蚀前的强云图减去腐蚀后的图像,得到强云图的边缘. 通过对边缘数据的连接,可以构造出矢量的多边形.

3 需要实施人工降雨的炮点判断

Methods of judging rain-making artillery operating sites

当雷达回波数据达到人工降雨作业的要求时,

可以进一步判断未来一段时间内在云的走向上有哪些炮点可以实施作业. 由于炮点位置是固定的,故该过程的核心思想实际上是判断云在某一时刻可以允许大炮作业的多边形范围. 针对用雷达回波判断云块是否达到人工降雨方法的不同,待实施作业炮点判断的方式也分为手动判断和自动判断 2 种.

3.1 手动判断待作业的炮点

根据现场实际作业的要求,手动判断待作业的炮点需要判断云块下游 5~8 km 处的是否有炮点符合降雨作业的要求,即把下游 5~8 km 区域内形成的矩形简单认为是允许大炮作业的多边形范围(图 3). 首先在第 1 幅平显图上圈定已经判定达到人工降雨条件的云块,并指定这块云的 1 个明显的控制点 C_1 ; 然后在第 2 幅平显图继续圈住这块云,并指定上 1 幅平显图中那块云的控制点 C_1 在第 2 幅图中的对应位置 C_2 . 2 个控制点就确定了云块的移动距离和方向,由于在平显图文件名中能获得 2 个文件的扫描时间,故可以计算出云块的移动速度.

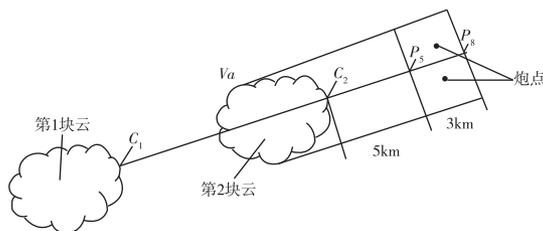


图 3 手动判断可作业的炮点

Fig. 3 Manual judgment on workable artillery operating sites

根据第 1 个和第 2 个控制点的连线,可以在下游处第 2 个控制点移动 5 km 后和移动 8 km 后的坐标,即 P_5 和 P_8 . 然后遍历圈定的第 2 个多边形中在控制点连线 C_1C_2 上部的所有顶点 V_i , 计算由 V_i 、 C_2 和 P_5 组成的三角形的面积,计算得到面积最大的那个点 V_a , 该点就是与控制点连线 C_1C_2 垂直距离最远的顶点,过点 V_a 做与控制点连线平行的直线,此直线与过 P_5 和 P_8 与控制点连线垂直的 2 条线的交点就是要求的矩形框的上面 2 个顶点. 求矩形下面的 2 个顶点方法类似.

3.2 自动判断待作业的炮点

所谓自动判断待作业的炮点,是指首先根据 2 个相邻时间的雷达数据,经过雷达回波数据自动判断后在图上分别生成达到人工降雨条件的多边形云图,然后求出云的走向和速度,再把时间稍晚的多边形云图沿着云的走向顺推,判断特定时刻下游有哪

些炮点可以实施人工降雨作业. 由于云是随着时间变化的, 相邻时间 2 幅云图上的云多边形大小和数量不同, 因此, 该过程的难点是用计算机全自动判断云的走向. 为了实现自动判断待作业的炮点, 本文假设云的变化是渐变的, 当云发生数量变化时, 如果是几片云聚合成 1 片云, 则认为是原来距离较近的云合到了一起, 如果是 1 片云变成几片云, 则认为这几片云距离较近. 待作业炮点自动判断的步骤如下:

1) 分别计算 2 个云图上各个多边形的重心坐标, 分别在 x 和 y 方向根据多边形重心坐标对多边形位置进行排序.

2) 判断 2 个云图上的云多边形数量是否相同, 如果是相等, 根据多边形在 x 方向上的位置关系建立两幅云图云多边形之间的对应关系.

3) 图的多边形数量不相等, 则可以在多边形较少的云图上根据多边形在 x 和 y 方向的排序来寻找另 1 幅云图上与之对应的多边形. 这种情况下, 较少多边形的云图上 1 片云在较多云多边形上可能有多片云与之对应(如图 4 所示). 首先分别计算 2 幅云图能够包围所有多边形的最小包围盒, 判断 2 幅云图在横向和纵向的缩放比例 ΔZ_w (即 W_2/W_1) 和 ΔZ_h (即 H_2/H_1). 然后从较少多边形云图内的第 1 个多边形开始, 判断它和下 1 个云多边形的距离 Δd_i , 将 Δd_i 乘以 2 幅云图的缩放比 $\Delta d_i \times \Delta Z_w$ (一般情况下可以只比较横向的情况, 如果 2 个多边形在横向距离小于特定的阈值, 则再考虑 2 个多边形在纵向的情况), 判断较多云图中第 1 个多边形后 $\Delta d_i \times \Delta Z_w$ 距离内的多边形有哪些和较少云多边形内的第 1 个多边形对应, 判断方法是将较多云图中第 1 个多边形后 $\Delta d_i \times \Delta Z_w$ 距离内的多边形根据横向坐标从小到大排列, 然后按照该顺序依次把这些多边形归为与较少多边形云图第 1 个多边形相对应的多边形, 直到该距离范围的所有多边形都被确定关系或者剩下的多边形数目和较少云多边形内还未比较的多边

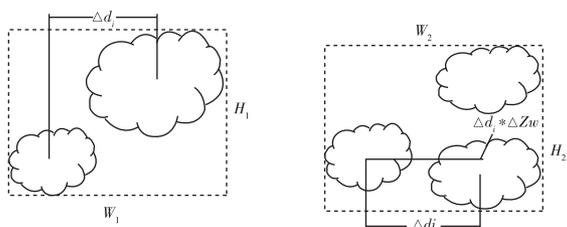


图 4 自动判断待作业的炮点

Fig. 4 Automatic judgment on artillery sites on which to operate

形数据相等. 依次类推, 直到确定较少多边形云图内所有多边形与较多多边形云图内的对应关系.

4) 算每个较少多边形云图内的云图在较多多边形内对应的多边形重心坐标的平均值, 用该值作为多个多边形的重心, 这样实际上是把较多多边形云图内可能出现多个多边形与较少多边形内 1 个多边形对应的情况简化为 1 对 1 的关系, 这是实现自动判断的关键. 后面的处理与手动判断的方法类似.

在 GIS 系统里面, 大炮数据用 1 个点图层来进行表示, 每个炮点都含有坐标信息. 一旦获得了云走向的下游区域的空间范围后, 就可根据 GIS 中点与多边形的位置关系来判断人工降雨的大炮是否在该区域内, 通过大炮的型号可以确定大炮的作业半径, 由此可以进一步判断大炮作业是否可以进入有效云区. 如果大炮的射程可以进入有效云区, 则进行预警, 准备实施人工降雨作业.

4 应用实例

Instances of application

根据本文所述方法, 采用 MapX 作为 GIS 2 次开发工具, 实现了可以实时判断人工降雨条件的平台, 该平台在我国西部地区的多个城市得到应用. 这里以包头市 2008 年 6 月 18 日 22 时 24 分(第 1 幅雷达回波数据图)和 2008 年 6 月 18 日 22 时 29 分(第 2 幅雷达回波数据图)的雷达数据为例进行说明. 图 5 显示了根据第 1 幅雷达回波数据自动判断得到的云多边形与地图底图叠加后的显示效果. 图 6 显示了用 2 幅云图推算出云移动方向和速度后, 第 2 幅雷达回波数据图在特定人工降雨阈值下云沿着其走向自动外推

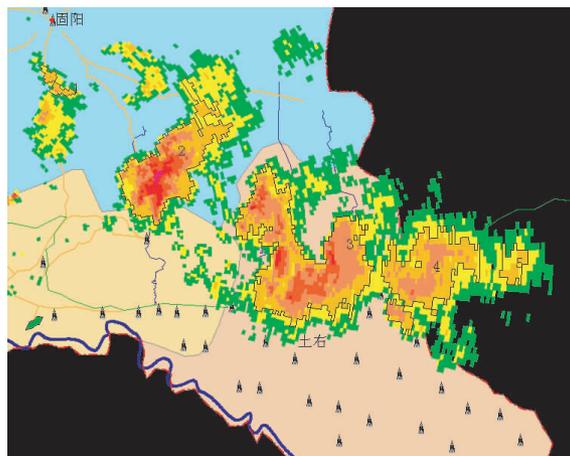


图 5 雷达回波数据降雨条件自动判断

Fig. 5 Automatic judgment of artificial rainfall conditions based on radar echoes data

的结果. 这样就可以进一步得到某一时刻需要实施人工降雨的炮点,并计算出不同炮点的作业仰角、发射距离以及用弹量等,这些参数可以存为 word 文档,可以为下面进一步分析人工降雨的效果提供依据.

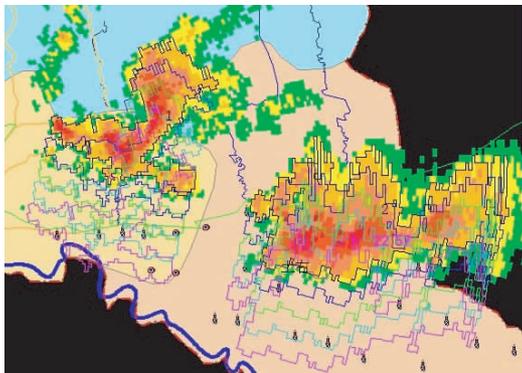


图 6 自动判断待作业的炮点

Fig.6 Automatic judgment of the artillery sites on which to operate

5 结论

Conclusion

基于 GIS 的人工影响天气综合信息分析处理系统的建立,将整个区域的人工影响天气综合信息集成于地理信息系统平台,在此平台上可以对各种气象数据进行分析、查询与管理,大大提高了人影工作的时效性,可为当地气象部门提供强有力的决策支持. 本文结合 MapX 技术,实现了基于 713 型雷达数据的手动预警和自动预警,将该方法应用到人影指挥系统中,可以有效的提高人影作业的科学性. 如何

进一步结合其他气象数据来提高预警的准确性是下一步工作重点需要研究的内容.

参考文献

References

- [1] 王柏忠,王广河. 基于人工影响天气的气象灾害减灾技术[J]. 自然灾害学报,2005,14(3):15-21
WANG Baizhong, WANG Guanghe. Meteorological disaster reduction techniques based on man-made weather modification [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 15-21
- [2] 张良,王式功,尚可政,等. 中国人工增雨研究进展[J]. 干旱气象,2006,24(4):73-81
ZHANG Liang, WANG Shigong, SHANG Kezheng, et al. Review of researches on rainfall enhancement in China [J]. Arid Meteorology, 2006, 24(4): 73-81
- [3] 刘品高,江南,谭萍,等. 气象地理信息系统的设计与实现[J]. 应用气象学报,2005,16(4):547-553
LIU Pingao, JIANG Nan, TAN Ping, et al. Design and implementation of a geographic information system for meteorological applications [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2005, 16(4): 547-553
- [4] 李艳萍. 基于 GIS 技术的人工影响天气业务系统的设计[J]. 广西气象,2005,26(4):35-37
LI Yanping. The design for weather modification operational system based on GIS technology [J]. Journal of Guangxi Meteorology, 2005, 26(4): 35-37
- [5] 王汉生,张立波. 713 天气雷达数字化系统与应用[J]. 内蒙古气象,1993,3:32-34
WANG Hansheng, ZHANG Libo. Digital system and applications based on 713 radar data [J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia, 1993, 3: 32-34
- [6] 陈怀亮,邹春辉,周毓荃. 人影决策指挥地理信息平台的建立和应用[J]. 南京气象学院学报,2002,25(2):265-270
CHEN Huailiang, ZOU Chunhui, ZHOU Yuquan. Establishment and application of the GIS platform for the decision and command of weather modification [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2002, 25(2): 265-270

Study on methods for acquisition of radar echoes and judgment on artificial rainfall operating sites based on GIS

RUI Xiaoping^{1,2} SONG Xianfeng² YU Xuetao³

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

2 College of Resources and Environment, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 School of Resources and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008

Abstract Based on the parsing of 713 radar data format, this paper researches the methods of simulated rainfall warning system combining GIS technology and radar data. Cloud water content and cloud intensity are determined through radar data analysis and these data can be used to judge whether it should start warning system or not according to the warning threshold values. It can determine the direction and speed of clouds moving through several radar maps and then obtain a follow-up line indicating the clouds moving direction. Combined with the judgment of rain-making artillery positions, it can determine the best time and amount of shelling for operation. This paper uses MapX5.0 as GIS secondary development tool to achieve the simulated rainfall warning system which can be used as a platform for making a real-time judgment on the conditions of the artificial rainfall operation with good effect.

Key words 713 radar data; artificial rainfall; warning system