

雷电灾害数据可视化分析系统研制

王智刚¹ 唐 瑶^{1,2} 曾向红³ 彭 洁⁴

(1. 湖南省防雷中心,长沙 410007; 2. 国防科技大学计算机学院;
3. 湖南省气候中心; 4. 湖南湘西自治州气象台)

提 要: 随着社会和经济的发展,雷电灾害造成的经济损失和社会影响越来越大。为了研究雷电灾害发生、发展规律和分布特征,实现相关数据可视化分析,通过基于GIS和ActiveX自动化技术的等值线绘制技术、基于数据库的闪电密度图和极性图绘制策略、基于自绘图层的多普勒雷达图快速绘制方法和基于GIS的闪电数据与雷达回波数据叠加等多种技术手段,研制了雷电灾害数据可视化分析系统VASLDD(Visualized Analysis System of Lightning Disaster Data)。该系统使用图表、GIS专题图、等值线、密度图等多种方式,实现雷灾调查数据、雷暴日数据、雷达数据、闪电定位数据的可视化分析,为防雷部门业务和科研工作提供有力的技术支撑。

关键词: 可视化 雷电灾害 分析系统

Research and Development of Visualized Analysis System of Lightning Disaster Data

Wang Zhigang¹ Tang Yao^{1,2} Zeng Xianghong³ Peng Jie⁴

(1. Lightning Protection Center of Hunan Province, Changsha 410007;
2. Computer Department of National University of Defense Technology;
3. Climate Center of Hunan Province; 4. Xiangxi Meteorological Bureau of Hunan Province)

Abstract: With the development of society and economy, lightning disasters become more and more influential in the economic losses and society. In order to investigate the distribution characteristics and development law of lightning disasters and realize the visualization analysis of lightning disasters, a visual analysis system for lightning disaster data, named VASLDD, was established by means of the rapid rendering method for Doppler radar figure based on user draw layer, the drawing strategy of lightning density figure and polarity figure based on database, rapid merging display technology of Doppler radar data and lightning

本文受中国气象局新技术推广项目(No. CMATG2008M46)湖南省局重点课题(No. 200602)共同资助。

收稿日期:2008年8月10日; 修定稿日期:2009年2月24日

direction finder data. By means of graph, thematic map of GIS, contour map and choroplethic map etc, the system realizes the visual analysis of lightning disasters, thunderstorms day, lightning etc. VASLDD has become a powerful tool for operational and research work.

Key Words: visualization lightning disaster analysis system

引 言

雷电是伴随着强对流天气过程发生的一种天气现象。因其强大的电流、炙热的高温、猛烈的冲击波以及强烈的电磁辐射等物理效应而能够在瞬间产生巨大的破坏作用,常常危及人身安全,对财产造成重大损失。湖南地处亚热带季风湿润气候区,冷暖空气交汇非常剧烈,年均雷暴日 50~60 天,最高达 90 天以上,属于高雷击区,雷电灾害发生率列全国第八位,造成的财产损失和人员伤亡相当严重。

为满足社会和公众对防雷减灾工作的迫切需求,近几年气象部门加强了雷电监测预警工作,基本形成了覆盖全省的雷电监测网。获得了类型多、结构复杂的大量监测数据。利用雷电监测数据,国内相关科研工作主要在以下几个方面开展:强雷暴过程的个例分析^[1-2];雷暴日数据或者闪电数据的统计分析^[3-4],或者结合雷灾分析,以期得到雷灾发生规律^[5-6];基于 GIS 的闪电数据实时监测预警平台^[7-8]研制。

由于目前雷电灾害数据可视化处理存在技术手段落后,绘制速度慢,实时交互性差等缺点,很难形象直观地揭示数据背后的规律。因此加强可视化技术的应用,有利于雷电灾害发生规律和形成机理的研究,以满足不断发展的雷电气象业务和服务发展的需要。基于上述原因,开发了雷电灾害数据可视化分析系统(VASLDD)。VASLDD 侧重于对雷灾相关数据的可视化技术研究,采用了图表、GIS 专题图、等值线图 and 色斑图,Flash 动画等多种可视

化方式,类似的业务化平台在相关文献中尚未见到。因此,VASLDD 研制开发工作具有较好的创新性、实用价值和推广价值。

1 雷灾相关数据来源

1.1 雷灾数据

雷灾数据由湖南省各级防雷部门通过雷灾调查收集,包括 2002 年至今,湖南省内雷灾发生的时间、地点、经纬度位置、雷灾等级、雷击类型、经济损失、伤亡人数、受灾原因、灾情描述、灾情照片等信息,部分雷灾还有视频信息。

1.2 雷暴日数据

雷暴日是气象台站观测数据,一天内只要监测到一次以上的雷声就定义为一个雷暴日。湖南省已经积累了全省 97 个观测站建站以来的观测资料,数据积累时间长,有利于揭示雷暴分布时空特征和规律。由于雷暴日是依靠观测员耳闻得到数据,观测站的地理位置和周边环境对雷暴日的观测数据存在一定影响,但总体观测数据客观有效。

1.3 闪电数据

湖南省目前有 10 台闪电定位仪,能够实时监测全省闪电情况,包括闪电的经纬度、强度、正负特性、陡度等数据。闪电数据虽然近几年(湖南省 2006 年开始)才有,但是数据客观翔实,对研究雷电活动规律有重要的意义。

1.4 雷达数据

湖南省目前有四部多普勒天气雷达,分别

位于长沙、常德、怀化、永州,监测范围基本上覆盖全省。多普勒天气雷达是监测和预警灾害性天气的重要手段,雷达数据时空分辨率高,对研究多种尺度的天气,特别是强对流天气的发生发展内在机理有着十分重要的作用。

2 系统的基本功能

VASLDD 的功能模块见图 1。

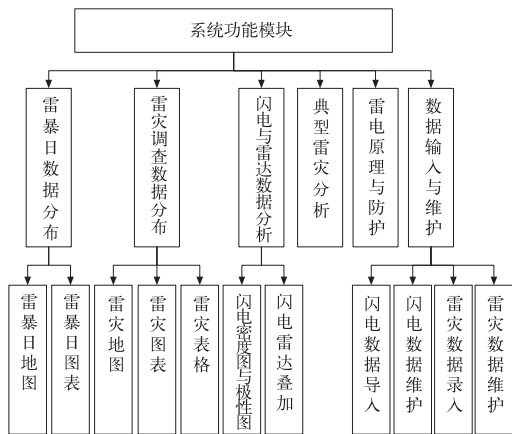


图 1 VASLDD 功能模块图

2.1 数据输入与维护模块

本模块提供了数据的输入与查询维护功能。VASLDD 的数据保存在 SQL Server 数据库中,对雷灾数据,需要将雷灾调查结果手工输入到数据库中;对闪电数据,需要将闪电定位仪生成的每日闪电数据导入到数据库中;雷暴日数据则需要手工入库。

2.2 雷暴日数据分布模块

本模块采用了地图和图表两种可视化方式。雷暴日地图以等值线和色斑的方式显示了全省指定时间段内的雷暴日地理分布情况。对色斑图有三种配色方案:红黄绿、红橙黄和红色渐变,并能将地图输出为图形文件。雷暴日图表是根据用户的查询,以图表方式展示出来,并能够将图表导出为图形文件。

2.3 闪电与雷达数据分析模块

本模块包括闪电密度图/极性图子模块与闪电雷达数据叠加子模块。

闪电数据地图包括密度图和极性图。根据定义,闪电密度图和极性分布图是 1km² 内的闪电个数与极性情况。VASLDD 能够显示某个时段内的闪电密度图和极性图,并且能够设定显示范围为某市、某县或者某个矩形区域。

闪电雷达数据叠加图能够很好地反映雷暴天气发展状况,VASLDD 提供了基于 GIS 的雷达回波图与指定时间段闪电数据叠加功能。

2.4 雷灾调查数据分布模块

本模块分为雷灾地图、雷灾图表和雷灾表格三部分。

雷灾地图是以 GIS 专题图的形式,展示雷灾数据在全省各市州的分布情况。雷灾图表与其他模块的图表类似。雷灾表格是以表格方式,列出查询到的雷灾数据。对于有照片和录像的雷灾数据,本模块能浏览图片和播放录像。

2.5 典型雷灾分析

本模块通过对一些典型雷灾的详细展示,使用 Flash 针对对每个雷灾制作了动画,在 VASLDD 中浏览和播放这些动画文件,并配以必要的文字说明,以达到直观、有效地宣传防雷知识的目的。

2.6 雷电原理与防护

本模块与典型雷灾分析模块类似,同样以 Flash 动画展示雷电原理和防护知识。

3 数据可视化技术与实现

VASLDD 采用 Delphi 编程,SQL Serv-

er2000 做数据库服务器,结合 MapX, Surfer, 采用图表、GIS 专题图、等值线图 and 色斑图、Flash 动画等多种方式,实现了雷电数据的可视化处理,具有直观、快速、界面友好等特点,业务应用表明效果显著。

3.1 使用图表方式展示数据

作为经典的数据表现方式,图表以其直观、简单的优点,有着不可替代的地位。在 VASLDD 中,雷灾数据、雷暴日数据、闪电数据都能通过图表来表现。

图表可以使用 Delphi 附带的控件实现,但能够实现的功能有限。VASLDD 采用了第三方控件 TeeChart 实现。TeeChart Pro

是一个强大的 VCL 图表组件,提供上百种 2D 和 3D 图形风格、40 种数学和统计功能,加上无限制的轴和 22 种调色板组件可供选择。TeeChart 还包括一个强大的、完整的编辑对话框,几乎可用于每个组件和子组件,有助于快速地设计复杂图表应用程序。

TeeChart 中的主要组件是 TChart,而它是用来存放 TChartSeries 组件的。TChartSeries 即 Series(序列),是 TeeChart 中的重要概念,代表图表的数据序列。TeeChart 中另一个重要的概念是 axis,用来设置图表的坐标轴。掌握了这两个重要的概念,就可以对 TeeChart 进行设置和编程了。

图 2 是 VASLDD 的图表界面。

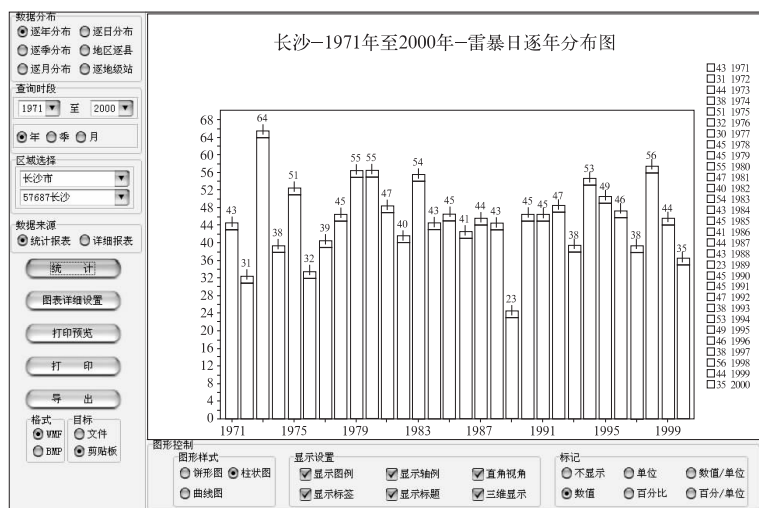


图2 雷暴日图表界面

VASLDD 对闪电数据,雷暴日数据,雷灾数据都应用了图表展示,通过查询,得到需要的数据,再通过 TeeChart 对数据进行展示。能对图表外观做详细设置,也能通过 TeeChart 本身提供的对话框对图表做全面的设置。

3.2 雷达数据在 GIS 地图上显示

VASLDD 需要在基于 MapX 的湖南省

电子地图上显示多普勒天气雷达回波图。如果采用普通图层来显示雷达图,存在显示速度很慢的问题。原因在于多普勒天气雷达产品回波图和雷达估测雨量图的网格定义为 $500\text{m} \times 500\text{m}$,这样就需要创建许多面对象来构图,显示速度自然比较慢,而且占用系统资源。

VASLDD 采用绘制图层 (UserDraw Layer) 实现雷达回波图的绘制。UserDraw

图层允许在独立于任何地图图元的图层中绘制对象。UserDrawLayers 和 DrawUserLayer 事件一起联合使用,后者在需要绘制图层时触发。

创建绘制图层:

```
lyr:=map.Layers.AddUserDrawLayer  
(LayerName,map.Layers.Count);
```

创建绘制图层后,DrawUserLayer 事件触发,在该事件中添加绘制图层的代码。

采用此种方法来显示多普勒天气雷达回波产品图,速度提高到 10 倍以上,极大提高了程序运行时效,并减少了系统资源的占用。

图 3(见彩页)是 VASLDD 显示长沙雷达的回波效果图。

为方便用户使用,VASLDD 除了提供电子地图放大、缩小、漫游等 GIS 系统常见功能之外,还提供了鹰眼功能,鹰眼图又名缩略图,顾名思义,在鹰眼图上可以像从空中俯视一样查看地图框中所显示的地图在整个图中的位置。图 3(见彩页)左上小图即鹰眼图。

3.3 闪电密度、极性图的显示速度问题

每年全省的闪电个数达几十万个,闪电密度图和闪电极性图需要统计每平方千米的闪电个数与极性,由于闪电数目的巨大,显示一个县的年闪电密度需要 1 分钟以上。绘制速度太慢影响了闪电数据的业务应用。

VASLDD 较完美地解决了闪电密度图和极性图的显示速度问题。方法如下:

(1) 根据定义,闪电密度图和极性分布图是 1km^2 内的闪电个数与极性情况。事先建立了一个图层文件,在湖南境内生成覆盖全省的一组方格面对象,每个方格面对象大小为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 。每个方格面对象都有一个惟一编号 FeatureID。

(2) 在闪电表中添加一个字段 MapInfo_ID,用于表征该闪电是位于哪个方格面对象的范围内。闪电入库程序将闪电记录入库

时,先判断该闪电位于哪个方格面对象,并在 MapInfo_ID 字段中填入该面对象的 FeatureID 编号。

(3) 当用户需要绘制密度图或者极性图时,采用 SQL 语句中的 group by 语句,得到每个方格对象的闪电个数、正闪个数、负闪个数。例如,要得到全省 2007 年的闪电统计情况,对应 SQL 语句如下:

```
select count(ldDayHour) as Density,  
MapInfo_ID from gtld_xx  
where year(lddayhour) = 2007 and  
(MapInfo_ID>0) and (QiangDu>0)  
group by MapInfo_ID
```

得到闪电统计情况后,再按统计结果,根据 FeatureID,对每个方格面对象的颜色进行设置即可。

采用上述方法,绘图速度得到了很大的提高,绘制一个县年闪电密度图的时间从 60 多秒提高到仅需不到 5 秒钟时间。该方法的优点还在于:由于数据库系统擅长数据查询,在数据查询量增加几倍甚至几十倍的情况下,查询时间并不会显著增长,如 VASLDD 绘制全省年闪电密度图只需约 12 秒。闪电密度图和闪电极性图绘制效果见图 4(见彩页)、图 5(见彩页)。

3.4 GIS 专题图显示^[11]

专题地图是使用各种图形样式(如颜色或填充模式)图形化地显示地图基础信息的一类地图,它是分析和表现数据的一种强有力的方式,用户可以通过使用专题地图的方式将数据图形化,使数据以更直观的形式在地图上体现出来。当使用专题渲染在地图上显示数据时,用户就可以清楚地看出在数据记录中难以发现的模式和趋势,为决策支持提供依据。

MapX 提供了强大的专题地图功能,可以方便的创建专题地图,显示各种地理要素。

在 MapX 中,可以创建应用程序实现以下专题图类型,它们是:范围值、等级符号、点密度、独立值、直方图和饼图等六种方式。每一种类型都有其自己的用途和各自独立的属性。例如,当创建范围专题图时,MapX 对数据集中的数据分组形成范围,为每个相应范围内的记录对应的图元分配颜色、符号或线对象。这样就可以在地图上直观地看出数据的区域分布情况。

VASLDD 中,专题图主要用于雷灾调查数据可视化。先根据用户选择的数据分类和时间范围,搜索得到要显示的数据集。然后用 DataSets. Add 方法在地图上加载这个数据集。一旦这个数据集被加载到地图上,就可以用 Themes. Add 语句创建各种专题图了。还可以设置专题图的属性,提高专题图的美观。

图 6(见彩页)是 VASLDD 的专题图效果图。

3.5 GIS 等值线及色斑图的显示

3.5.1 实现原理

在雷暴日的图形显示中,需要在 GIS 地图上绘制等值线图 and 色斑图。MapX 本身没有提供绘制等值线和色斑图的功能,需要用户自己实现。

实现的途径有两种,一种是编程实现等值线算法,难度大,而且效果一般不够好。第二种是使用动态链接调用 Surfer 等软件,生成等值线图层和色斑图图层,再加载到地图上即可。Sufer 绘制的等值线美观而准确,保证了系统的可用性。

具体实现步骤如下:

第一步:使用 Surfer 生成一个包含湖南范围矩形区域的图形文件。

第二步:使用 MapInfo 的栅格图片配准功能得到 Tab 文件。

第三步:系统运行时,调用 Surfer 覆盖

之前生成的图片文件,注意要使用同一个经纬度范围。

第四步:在 MapX 中重新载入这个栅格图层即可。为了美观,这里使用了个技巧,选一个完整的全国地图文件,删除湖南的面对象,相当于在湖南开个窗;加载时,把这个图层加载在栅格图层的上方。这样就实现了仅显示湖南范围的等值线或色斑图。

图 7 是等值线图的生成过程示意图,图 8(见彩页)是 VASLDD 中等值线图的生成效果。

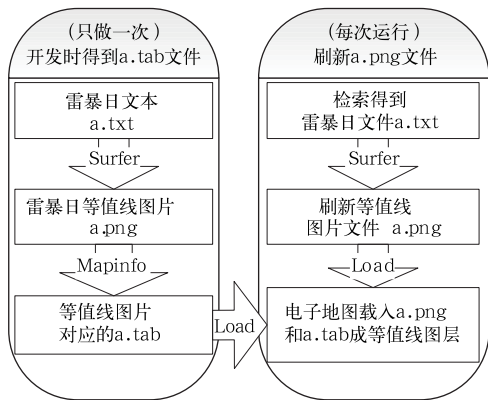


图 7 等值线图生成示意图

3.5.2 调用 Surfer 生成等值线或色斑图的方法^[9-10]

Surfer 提供了许多 ActiveX 对象供外部应用程序进行调用。

Application 对象代表 Surfer 应用程序实例,是其他 Surfer 对象的根源。在 Delphi 中,用 CreateOleObject() 创建对象,用 GetActiveOleObject() 函数来获取对象。

Document 对象是一个基类对象,不能直接使用。可以从它派生出的具体 Document 对象。

Shape 对象为绘图元素对象的基类。Surfer 中的绘图元素很多,如坐标轴、等值线、色标、网格线、文本等等。

以下代码是 Delphi 面向对象技术控制

Surfer 对象,实现了雷灾等值线图形的绘制,并输出生成相应的等值线图形文件:

```
SurferApp = CreateoleObject('Surfer.
Application'); //创建 Surfe 应用程序
SurferApp. Visible = False; //显示
Surfer 应用程序主窗口
SurferApp. WindowState = 2; //主窗
口状态
Plot = SurferApp. Documents. Add
(1); //创建 Plot 文档对象
Shapes = Plot. Shapes; //获取 Plot 文
档对象的绘图元素对象集合
//对原始数据文件进行网格化;
SurferApp. GridData (DataFile = txt-
PathFileName, Algorithm = 2, XMin =
108.78, XMax = 114.26, YMin = 24.63,
YMax = 30.13, ShowReport = False, Out-
Grid = grdPathFileName);
//创建等值线对象
MapFrame = Shapes. AddContourMap
(grdPathFileName);
ContourMap = MapFrame. Overlays.
Item(1); //建立等值线对象
ContourMap. FillContours = True;
plot. Export (FileName = pngPath-
FileName, Options = 'width = 3000, Keep-
Aspect = 1, ColorDepth = 24'); //输出图像
SurferApp. Documents. closeall; //关
闭所有文档窗口
SurferApp. quit; //退出
```

4 应用实例

4.1 天气背景与灾情

受东风波扰动和切变线等天气系统共同影响,2008年7月13日从16时23分开始至17时26分,在醴陵西部出现了较强的雷暴天气,16时30分左右醴陵站上空有6成

积雨云。从区域自动站记录神福港当天出现了22.2mm降水量。

16时40分左右,株洲醴陵市西部大约14km左右神福港镇,元瑞出口烟花制造有限公司的烟花爆竹生产加工厂房发生爆炸,造成该厂厂房全部受损,大部分厂房倒塌,厂内的设备、成品、半成品全部被毁。爆炸造成附近5km范围内的民宅受到不同程度的损坏,37名人员受伤的重大事故。

4.2 雷暴分布特征

利用 VASLDD 的雷暴日分析模块,可以得到雷灾发生点的气候背景,图9(见彩页)为醴陵附近30年年平均雷暴分布图,图10(见彩页)为醴陵附近2007年闪电密度分布图。可以看出,雷灾发生点为雷灾高发区。

图11(见彩页)为醴陵附近7月13日16时雷达闪电叠加资料,(a)为小范围图,(b)为大范围图。从图中可见,在7月13日16—17时之间,在株洲醴陵市西部14km处半径大约10km范围内发生了强雷暴天气,有10km²左右的强回波位于醴陵的西面,其中最强回波达到50dBz,对应的基本速度图上存在明显的辐合,回波顶高为11km,对流发展强盛,刚好位于神福港镇上空,为典型的雷暴回波。该时间段闪电具有频次高、强度大的特点。

通过 VASLDD 可视化技术的应用,用户可以对雷灾发生地的闪电定位数据,雷达监测数据等实时资料进行综合分析;还可以通过历史资料可视化分析,得到该地的气候历史信息,从而能够快速准确得出雷灾分析报告。

5 小结

总体来说,VASLDD有以下特点:具有操作直观的可视化界面及功能子模块;采用

功能强大的 TeeChart 控件实现了美观实用的图表功能,运用 Surfer 实现了等值线和色斑图的绘制,并运用 MapX 控件实现了 GIS 功能,在 GIS 地图上显示等值线、专题图、雷达图,闪电密度图等,并解决了闪电密度图大批量数据的显示速度问题和雷达图的显示速度问题。

数据可视化是雷灾分析系统的发展方向,VASLDD 不论对防雷业务工作和防雷科研工作,还是对防雷业务的宣传,都有较好的应用和推广价值。随着防雷业务和科研的进一步发展,对数据的可视化的要求将会进一步提高。VASLDD 在下一步工作中,将加强如下方面的研究:数据挖掘技术的应用;基于 Web 的可视化系统;三维可视化技术的应用等等。

致谢: 湖南省气象台叶成志高工对本文提出了许多建议和指导,在此谨表衷心感谢。

参考文献

- [1] 许爱华,李玉塔,郑婧,等.两次致灾雷电天气过程对比分析[J].气象,2008,34(4):71-78.
- [2] 黄海波,米永胜,郑永光.乌鲁木齐国际机场一次强雷暴天气分析[J].气象,2006,32(7):58-63.
- [3] 林建,曲晓波.中国雷电事件的时空分布特征.气象[J].2008,34(11):22-34.
- [4] 张艳,肖本权.咸宁市雷暴活动的气候特征分析[J].湖北气象,2003,22(3):16-17.
- [5] 曾山泊,肖稳安,李霞.苏州地区雷暴活动规律和雷灾分析[J].气象科学,2006,26(5):517-524.
- [6] 郭虎,熊亚军,付宗钰,等.北京市自然雷电与雷电灾害的时空分布[J].气象,2008,34(1):12-17.
- [7] 吕伟涛,孟青,张义军,等.雷电临近预警系统研制及其应用[C].广州:第六届中国国际防雷论坛论文摘编,2007:162-163.
- [8] 宋培国,李宁.基于 GIS 的城市雷电灾害监测预警系统研究[J].应用基础与工程学报,2006,14(增刊):352-359.
- [9] 张玉婕,吴桑云,刘健强.基于 Mapinfo 与 Fortran 和 Surfer 相结合的海洋水文数据空间可视化集成技术方法研究[J].海岸工程,2006,25(2):39-46.
- [10] 林伙海,吴陈锋.基于 surfer8.0 实现雨量图形可视化[J].气象,2006,32(7):115-118.
- [11] 齐锐,屈韶琳,阳琳.用 MapX 开发地理信息系统[M].北京:清华大学出版社,2003:248-272.

王智刚等：雷电灾害数据可视化分析系统研制

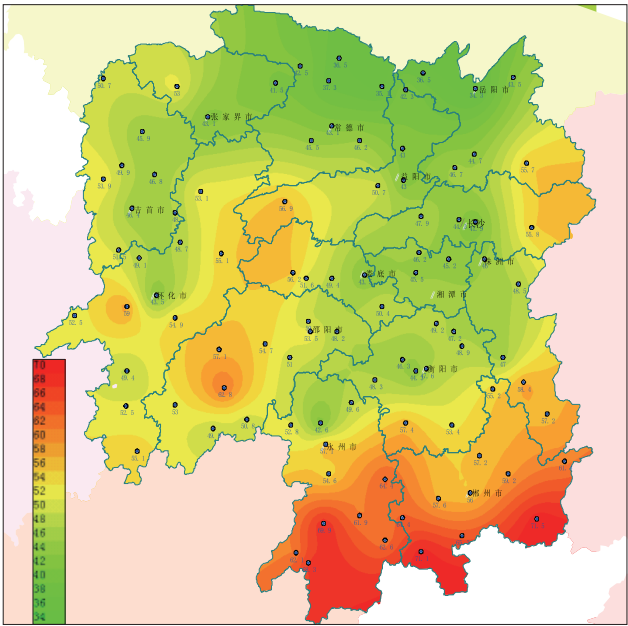


图 8 1971—2000年湖南省年雷暴日分布图

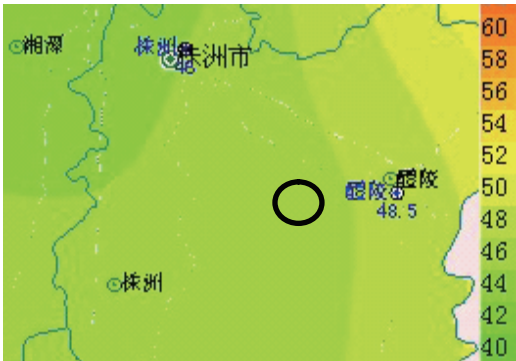


图 9 醴陵附近30年年平均雷暴分布图

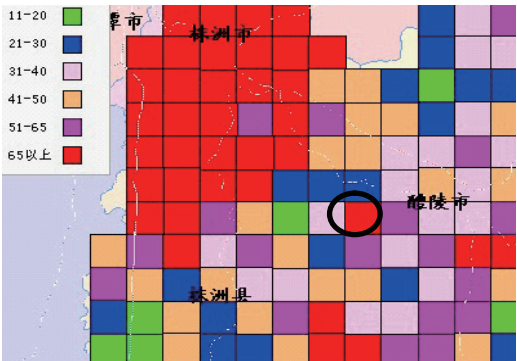


图 10 醴陵附近2007年闪电密度分布图

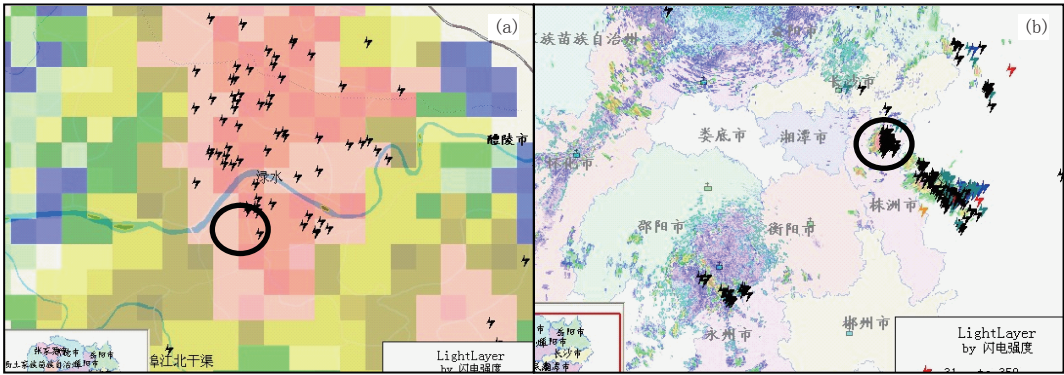


图 11 醴陵附近7月13日16时雷达闪电叠加资料
(a) 小范围；(b) 大范围

王智刚等: 雷电灾害数据可视化分析系统研制

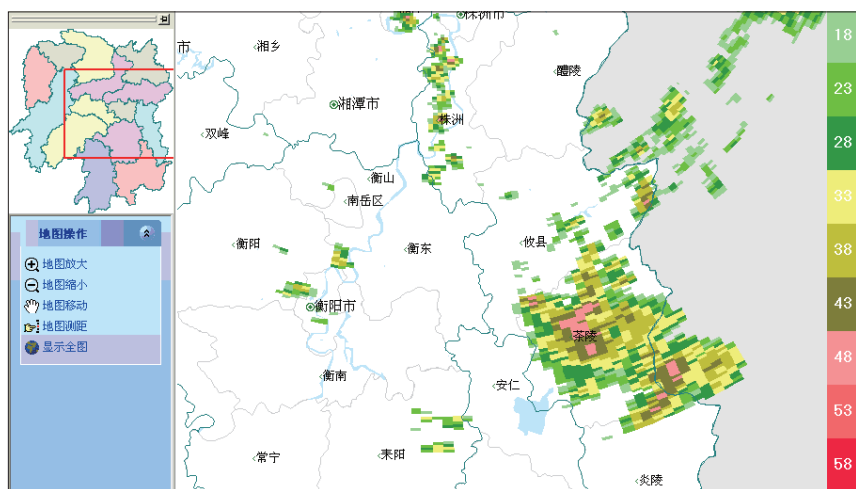


图 3 雷达回波显示效果图

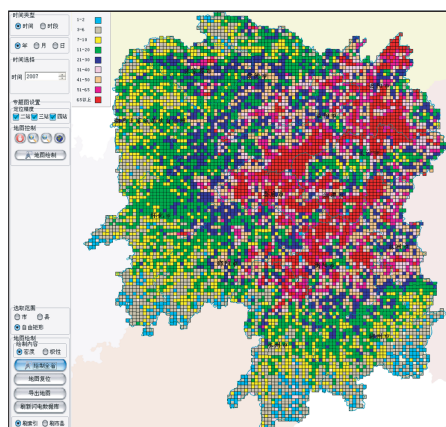


图 4 2007年闪电密度图

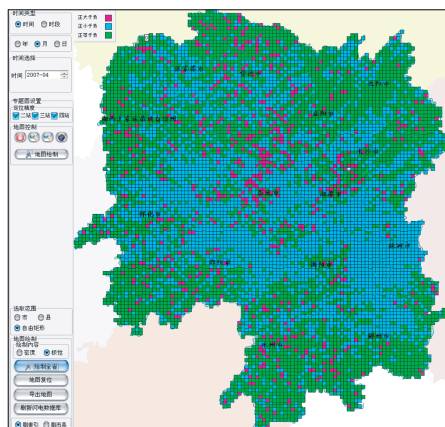


图 5 2007年4月闪电极性图

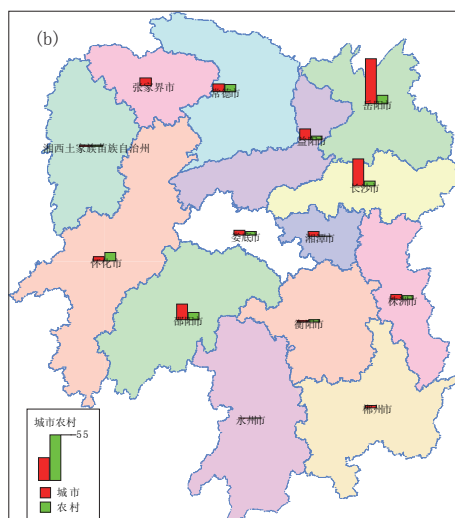
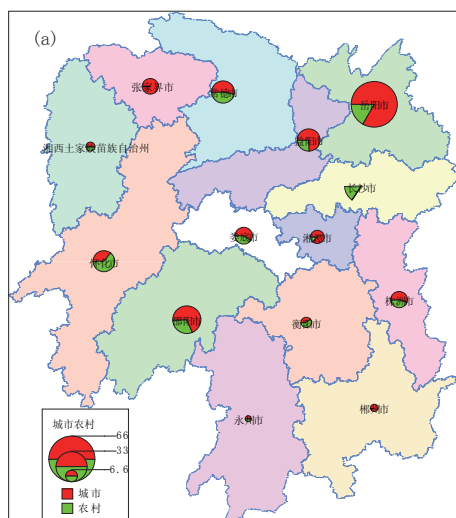


图 6 2007年湖南省雷电灾害城市农村对比专题图(a为饼状图, b为柱状图)