

吴焕萍. GIS 技术在气象领域中的应用[J]. 气象, 2010, 36(3): 90-100.

GIS 技术在气象领域中的应用^{*}

吴焕萍

国家气象中心预报系统开放实验室, 北京 100081

提 要: 地理信息系统(GIS)作为一门重要的信息技术,近年来在气象气候领域内引起了广泛的关注并得到了初步应用。作者从国内外学术研究、技术应用等方面综合分析了 GIS 在气象、气候的研究和应用现状,并从 GIS 技术发展的角度对 GIS 应用的一些基本问题进行了深入讨论。结合 GIS 功能特点,就 GIS 应用于气象信息系统建设的一般方法进行了分析。最后给出了结论,以期 GIS 这门信息技术引起广泛的重视,并能得到更深入的应用。

关键词: GIS 趋势, 数据共享, 空间分析, 应用模型, 气象信息系统, GIS 应用方法

Application of GIS in Meteorology

WU Huanping

Forecast System Laboratory, National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: Geographic Information System (GIS) as an important information technology is attracting more and more attentions and widely used in meteorological field during the past years. This paper firstly gives an overview of academic trends and technical application of GIS in meteorology and climate, and then addresses some fundamental issues for GIS further available for meteorology and climate application, such as GIS data model and meteorological data sharing, GIS spatial analysis and meteorological application model, GIS visualization and meteorological information science visualization. Lastly, it proposes some general principles and methods for constructing meteorological information system based on GIS capabilities. In conclusion, some new trends of GIS, which will be applied in meteorology, are discussed.

Key words: GIS trend, data sharing, spatial analysis, application model, meteorological information system construction, GIS application method

引 言

地理信息技术(GIS)由 20 世纪 60 年代的加拿大测量学家罗杰·汤姆林森首先提出,其基本思想是将纸质地图变成数字形式地图,以便于计算机进一步处理与分析,它在最近 30 多年内取得了迅速发展,最终成为一门描述、存储、分析和输出空间信息的新兴交叉学科,是分析、模拟和再现各种具有空间特征现象和过程的通用技术。调查统计,现实生活中将近 80%的数据与空间位置相关,处理空间信息

的 GIS 技术自然发展成为了一门重要的应用技术,广泛应用于资源调查、环境评估、区域发展规划、公共设施管理、交通安全等领域。2004 年 1 月“Nature”杂志发表文章“Map Opportunities”指出,以 GIS 技术为主导的空间信息技术、纳米技术和生物技术一起成为当今最为新兴重要和最具发展前景的三大技术领域,将对 21 世纪人类生活产生深远影响。而 2006 年 2 月“Nature”又再次刊登了文章“The Web-Wide World”讨论了 Google Earth 以及 GIS 的未来发展。目前 GIS 这一门综合信息技术在气象领域也得到了一定的关注,国内外气象工作者

* 科技部项目 2006BAK01A29、2006BAK01A18、2006BAD04B10、2007BAC29B06、气象局新技术推广项目 CMATG2009MS33 资助
2008 年 7 月 11 日收稿; 2009 年 9 月 9 日收修定稿
第一作者: 吴焕萍,主要从事气象信息系统开发与 GIS 应用技术研究. Email: whp@pku.org.cn

正在积极探讨GIS技术服务于气象行业的科学研究与技术应用问题。本文综合分析了GIS技术近年来在气象(气候)领域的国内外应用与研究现状,并讨论了该技术在气象领域研究的基本问题与一般方法,以期GIS这门信息技术能够在该领域引起足够的重视,并能得到广泛深入的应用。

1 GIS的现状与发展

GIS是一门采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的综合性技术,它的概念和基础来源于地理学和测绘学,其技术支撑是计算机技术,经过短短几十年的发展,GIS技术从它的雏形——地籍数据库与土地信息系统到逐渐形成了比较成熟的地理信息系统。从地理信息系统(GI System)扩展到了地理信息科学(GI Science)以及目前的地理信息服务(GI Service)^[1]。从具有一整套的较为成熟的理论,到逐渐形成产业规模的应用,从最初的地理、环境、国土资源等领域,到后来的规划与管理、电力电信、森林防火等众多领域都得到了广泛的应用,并发挥了越来越重要的作用。

从技术的角度来看,GIS一直在随着计算机技术的发展而不断的发展,也一直影响着领域用户使用GIS技术的方式与水平。GIS已经从原来的单机单用户即终端式GIS过渡到网络GIS,特别是已经从WebGIS(浏览型或简单查询型)发展到了网络服务GIS(Web Services GIS),即以服务为主导的分布式计算GIS,从而使用户能够完成复杂的、基于网络的GIS应用系统;同时出现的移动GIS(Mobile GIS)技术,允许用户在移动计算环境、有限处理能力的移动终端条件下,接受移动中的、分布式的、随遇性的移动地理信息服务,这种具有移动性、客户端多样性、服务实时性、数据资源分散、多样性等特点,进一步推进了大众化GIS的发展与应用;面向对象技术以及软件设计模式的引入,促进了GIS软件开发方法朝着组件化GIS发展,使得用户在获取GIS相关组件的基础上可以进行自由、灵活地重组,构建高效无缝的面向应用领域的集成系统。

从综合学科交叉发展的角度来看,GIS已经与其他技术相互融合形成了面向特定学科发展的GIS研究热点。作为“数字地球”(DE)的基础核心技术,3D GIS以及时态GIS(或称为4D GIS系统)已经成为GIS理论和应用研究热点;虚拟现实(Virtual

Reality)技术的发展促进了虚拟GIS的研究,其方法就是将GIS与虚拟现实技术结合,将虚拟环境带入GIS,使得GIS用户可以在计算机上就能够处理客观世界的虚拟环境并能更有效地管理、分析空间实体数据,体验到多媒体化效果。多S集成系统则是以GIS技术为主导的信息集成系统,如GIS与专家信息系统(EIS),GIS与信息管理系统(MIS)、GIS与决策支持系统(DSS)、GIS、RS以及GPS集成系统、GIS与空间数据仓库系统(SDW)。

总之,当前GIS已经朝着网络化、组件化、多维化、集成化、领域应用专业化、社会应用大众化方向发展。

2 GIS技术在气象领域的应用

国内外很多学术团体、气象组织、公司企业、以及教育机构均对GIS应用于气象领域的潜力表现出了极大的兴趣,从研究与技术应用等方面已经作了较多的研究与探讨,下面分别介绍。

2.1 NCAR的GIS应用研究

美国大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)为了将GIS技术引入到大气科学,于2001年成立了由一些交叉学科人员组成的GIS研究组织,目标是为了形成交叉学科的应用、空间数据互操作,以及GIS知识共享,最终架起大气科学与GIS技术、以及数据管理的桥梁^[2]。迄今为止,以“地理信息系统在天气、气候及其影响研究中应用”为主题的研讨会已经召开了三次。首次研讨会于2002年8月12—14日在科罗拉多博尔德召开,来自美国各研究机构、GIS企业以及政府部门的70多位代表出席了会议。会议讨论了地理信息系统在大气科学的应用潜力,以及气象资料、可视化、系统间的互操作问题,并提出了研究方向。2005年7月6—8日举行了第二次研讨会,来自不同部门共65人参加了讨论,评估了第一次研讨会以来GIS技术在大气科学、与空间相关的地理学、社会学方面的集成与应用现状,进一步确定了空间信息领域研究和教育需求,并提出了大气及地球系统科学中海量数据管理与数据挖掘等应用问题^[3]。最近一次研讨会于2008年10月27—28日召开,此次会议除了继续讨论了数据模型、GIS分析与可视化技术的应用

外,着重讨论了大气科学数据与定量的社会经济数据的集成应用,实现可视化评价其影响性、脆弱性以及适用性等问题,并重点关注了 GIS 应用于气象灾害与气候变化的方法。

NCAR 在应用示范项目方面,负责组织了国际水文计划(IHOP)“GIS 环境下的数据共享试验”,系统集中存储了中尺度地面观测网、航空探测、机载通量测量、雷达、陆地卫星、高空观测、风廓线仪等数据;而 NCAR 的另一气候变化项目(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC/GIS),也给对 GIS 感兴趣的气象领域研究人员提供了全球气候变化数据,用户通过选择区域、时间、数据类型等参数来下载 GIS 数据集(如 shape 文件),来进一步开展气象数据可视化、分析与制图,IPCC/GIS 已经成为了 IPCC 组织的气候数据集成共享与分发的重要组成部分。

因此可以看出,NCAR 对 GIS 技术的重视与发展已经持续了多年,应用 GIS 技术也从最初的数据共享发展到更高的空间分析等气象应用研究。

2.2 COST-719 的 GIS 气象应用研究

欧洲科学技术研究中心(European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, COST)也认识到了 GIS 已逐渐成为信息与通讯技术的主流技术之一,于 2001 年初成立了 COST-719 行动组织专门致力于 GIS 在气候、气象中研究和应用,该小组成员主要由欧洲各国气象局的主要应用部门组成^[4-5],形成了很好的应用与交流机制。COST-719 主要研究目标就是要进一步扩展和增强 GIS 在气候和气象方面的应用,并且强调汇集和增强各类资料的处理过程和能力,强调质量控制和与气候相关的其他资料应用能力。

COST-719 成立了三个研究小组(WG),分别致力于空间数据互操作与空间信息基础设施(WG1)、气象要素插值方法(WG2)、以及 GIS 在气象中的应用模式研究(WG3)。WG1 主要跟踪了 GIS 技术的发展与应用,试图建立气象气候数据与 GIS 的接口(如元数据标准),并开发了相应的工具提供给气象用户;WG2 讨论了基于 GIS 技术以及数理统计的、适应于气象气候应用的要素插值方法的选择应用,并分析了应用方法的差别;WG3 则关注了 GIS 应

用于气象气候的示范项目及其原型系统的建设,还探讨了未来发展方向。

目前,COST-719 组织的主要工作于 2006 年底基本结束,剩余的工作交给了法国的 University of Grenoble 进行管理。COST-719 取得的一系列成果均在欧洲地学联盟(European Geosciences Union, EGU)年会以及 ECSN(European Climate Support Network)等学术会议上作过重要报告。COST-719 还组织出版了学术专著“GIS 在气象气候中的应用”^[6],组织了以“GIS 应用于气象气候”为主题目的应用专刊^[7],其内容发表在欧洲气象学会(EMS)主办的气象应用杂志(Meteorological Applications)上。

2.3 ESRI 与 SIG 组织的 GIS 应用研究

美国环境系统研究所(ESRI)是一家著名的 GIS 软件提供商,也很关注 GIS 技术在气象气候方面的应用。ESRI 于 2003 年 7 月在其国际软件用户大会上专门成立了大气科学专业组(Atmospheric Special Interest Group, SIG),吸引了 UCAR、NCAR、Raytheon、Unidata 以及 NOAA 等多个组织内将近 40 人参加。SIG 目标致力于建立基于 GIS 技术的大气科学数据显示方法,如时态数据管理、以及 ESRI 软件如何更好地支持栅格数据等。SIG 组织每年召开一次大气科学数据建模(Atmospheric Data Model, ADM)研讨会,主要依托于 ESRI 全球用户大会(UC)以及美国气象学会(AMS)组织的气象年会中的 IIPS 分会(Interactive Information and Processing Systems)。最近的一届会议于 2008 年 1 月在美国新奥尔良市召开,大会主要讨论了未来新版本的 ArcGIS 软件在大气应用领域应用的相关功能建设内容,此外还讨论了关于出版大气科学与 GIS 应用专著的事宜,以进一步推动气象领域专家的 GIS 应用水平。

总体看来,ESRI 组织下的 SIG 经过多年来的努力,取得了一系列初步研究成果,尤其是他们提出了大气科学数据模型的概念框架(如图 1 所示)以及相应的专题数据层,给出了 GIS 技术所能表达的数据格式、空间关系、比例尺以及最终数据的表现形式(可视化)^[8-9],其提出的大气科学数据模型的概念框架如图 1 所示。

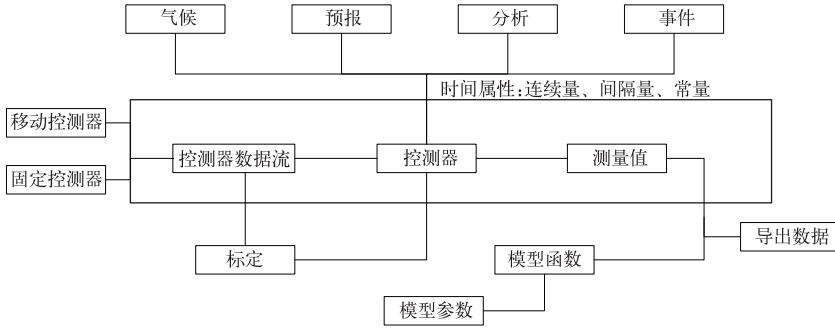
图 1 大气科学数据模型的概念框架^[9]

Fig. 1 Conceptual framework of atmospheric data model

2.4 气象教育领域的 GIS 课程

GIS 技术在气象教育领域也得到了高度重视。美国有气象类的高校大部分开设了 GIS 应用于气象气候的专门课程,如美国乔治梅森大学(George Mason University, GMU)、马里兰大学(University of Maryland, UM)、美国圣道大学(University of the Incarnate, UI)等。其中,GMU 地理学院的 Scott T. Shipley 教授等早在 1998 年的 ESRI 用户大会上就提出了 GIS 气象学的概念,希望引起气象科学家更多的关注。他们开设了“地理信息系统在气象应用”课程(GEOG 309),让学生了解 GIS 系统、用户界面、基本功能,从而使用 GIS 来学习、分析处理气象数据,分析天气条件与天气现象以及数值天气预测、预报,并将气象数据导入到 GIS 系统中去。课程实习主要内容包括:天气图、高空图、遥感云图、 T - $\log p$ 图、雷达和降水、数值模式、强风暴、气候变化和冰河时代、大气污染等^[10-12]。美国 UI 大学的气象学中也同样开设了 GIS 在气象中的应用课程(METR 3310、METR 4371),培养学生应用 GIS 技术于气象决策支持方法的能力,加深对 GIS 如何更好的应用于相关天气分析的理解。

从国内来看,南京信息工程大学、成都信息工程学院等气象高校近年来也陆续开设了 GIS 本科专业来培养复合型人才,其中南京信息工程大学在研究生招生方面开设了 3S 集成与气象应用等培养方向。

2.5 气象业务中的 GIS 应用

GIS 作为一门重要的信息技术,已经在如天气预测应用、气候区划应用、人工影响天气、地质灾害气象预报、气象灾害评估、台风信息分析、气象资料

管理与站点选址分析以及综合气象服务系统等气象业务方面,并表现出了良好的应用前景,下面分别介绍。

2.5.1 天气预报应用

GIS 在数值天气预报(NWP)业务中开始发挥越来越多的作用。首先可以先将单点实时观测数据进行网格化,并根据不同的应用需求,建立不同的模式方程,同时,在方程中将地理数据、气象数据等数据源作为自变量进行空间分析与计算,从而得出不同的预报要素,最后通过 GIS 的加工、处理及显示功能,制作出数字化的多媒体天气预报图件或图表。利用 GIS 技术的绘制、分析、可视化能力,还可以进一步帮助气象专家解释天气数据与天气形势,得出更加准确的天气预报^[13]。

2.5.2 气候区划应用

以第三次全国农业气候区域划分为契机,GIS 技术在农业气候区划领域得到较好应用。农业气候区划的基本流程是首先确定区划对象、确定区划指标,然后建立区划模型,进行气候资源小网格推算,最后进行分析制图。在整个流程中,GIS 可以管理空间上离散点(气象监测站)的基本气候资料,包括热量条件、水分条件、光照条件、辐射条件等,可以管理基本地理资料,包括各站点的地理位置、地区的区界、以及高程、坡度、坡向等数据;GIS 可以提供多种方式的从离散点到格点的插值方法;GIS 还提供了多种方式制图输出能力来丰富气候区划产品^[14-15]。

2.5.3 人工影响天气应用

人工影响天气是一门综合性科学,它涉及到气象、遥感、地理背景、社会经济等多种学科信息,而传统信息管理系统很难管理如此种类繁多、类型复杂、格式多样的信息资料。基于 GIS 的信息集成技术,则可以很好地管理海量地理数据,实现多源数据的

叠加、显示、查询、运算、分析等功能,最终建立适合于飞机、高炮、火箭人工增雨作业的科学决策、实时监控、信息查询、效益评估的人工影响天气平台。国家气象中心、中国气象科学研究院、北京市人影办、河南、山东、陕西等省气象局人工影响天气部门均采用 GIS 技术建立了相应的应用集成系统^[16-17]。

2.5.4 地质灾害气象预报应用

目前 GIS 技术的地质灾害气象预报已经形成了较为成熟的方法^[18]。一般在地质灾害调查区划成果基础上,利用 GIS 生成地质灾害易发程度区划图,完成区域内地质灾害易发分区;将影响灾害的地质环境条件和气象条件在 GIS 中叠加分析,判定诱发地质灾害的气象条件(如日暴雨、暴雨型和前期累积降雨型);应用气象灾害数据统计分析,结合易发分区条件构造简明实用的预警指标以及预警标准综合判别方法。2006 年,国家气象中心与成都山地所进行的合作开发^[19-20],以滑坡和泥石流发育的环境背景基础数据库和典型灾害数据库为背景,以滑坡和泥石流形成条件分析为基础,分析建立了滑坡和泥石流区域预报模型,并以 GIS 技术和数值天气预报为手段,研究建立了滑坡和泥石流区域短期预报应用系统,并进行了业务化运行,取得了良好的社会效益。

2.5.5 台风预报分析应用

中国气象局上海台风研究所作为我国从事热带气旋基础研究和应用基础研究的重要科研部门,也非常注重 GIS 技术。他们与华东师范大学合作开发建立了基于 GIS 技术的西北太平洋热带气旋信息系统,充分利用 GIS 的空间分析能力,实现了关键台风区路径查询、相似路径查询、热带气旋影响分析(大风及降水)和源地分析等功能;结合遥感和 GIS 技术,还初步建立了能集成多种数据资料和多种算法的热带气旋客观定位系统,并采用数学形态学等算法来综合提高热带气旋定位的客观化和自动化程度^[21-23]。另外在公共服务方面,上海市防汛信息中心建立了 1921—1998 年对上海有重要影响的台风及 1998 年以来历史台风数据库,并采用网络 GIS 作为台风信息共享平台,完成了台风路径自动生成和动态告警、网上距离量算、风圈半径影响分析、相关信息综合查询、相似路径智能查找等功能。系统操作简单方便,显示直观形象,为气象信息发布、水情预报和防汛指挥决策提供了有效的科学依据^[24]。

2.5.6 气象灾害评估分析应用

GIS 技术可以管理丰富的空间属性信息(如某一区域内的河流、铁路、商业区等),若该区域有气象灾害发生时,则可以根据 GIS 空间分析功能快速的计算出受灾面积,结合社会、经济信息可以进一步进行区域经济损失分析,最终完成区域气象灾害评估。福建省气象局基于 GIS 技术建立了新一代福建省气候监测与灾害预警系统^[25],它由信息采集、实时监控、灾害预警、存储与检索、交互与展示、统计与诊断、图形与分析等功能模块和实时、历史、灾情三个空间数据库及一个空间信息平台所构成,并于 2002 年开始在福建省气象台应用,系统对辖区内发生的各种气象灾害和异常气候事件进行了监测预警。

2.5.7 气象资料管理与站点选址分析

GIS 的空间数据管理能力已经在气象监测站、历史与实时资料、卫星影像数据等方面得到了初步应用。国家气象信息中心、以及部分省级气象部门^[26-28]分别将我国的国界、省界、县界、县城位置等各类比例尺的基础地理信息和国家标准气象站、加密气象站、以及自动站有关信息加载到 GIS 系统中,分图层进行管理,从而建立了全国气象站网信息库,供天气预报员进行天气分析,同时也为利用 GIS 进行有关大气科学、环境科学及其他相关科学研究提供了基础信息。此外,对于新一代天气雷达选址及其责任区划分方法也运用了 GIS 空间分析技术。美国国家天气服务中心(NWS)为了应用 GIS 技术进行 NEXRAD 雷达的选址分析,开发 NEX2SHP 数据转换组件,并形成 ArcGIS Model Builder 建模工具的插件,以流程化的方式得出合理的分析结果。在国内,河北省气象台也利用 GIS 技术,结合高分辨率的数字高程模型,快速绘制雷达遮蔽角图、等射束高度图和多个雷达站等射束拼图,大大减少了获取原始数据的工作量和劳动强度,具有精度高、快速、准确等特点^[29-32]。

2.5.8 卫星气象应用

GIS 与遥感(RS)和全球定位系统(GPS)被誉称为“3S”新技术,尤其是 GIS 技术则凭借其良好的空间数据管理、分析与可视化能力与 RS 的结合,作为应用支撑体系,最大限度的发挥了卫星气象的功能和潜力,进一步增强了卫星云图、探空、测风和辐射等卫星探测资料的管理与应用水平。基于卫星气象遥感技术的全球自然和人工植被监测、灾害(水灾、旱灾、森林火灾、沙漠化等)监测以及农作物估产

等方面的应用, GIS 技术都较好的起到了建模分析与系统支持的作用^[33-36]。近期,由国家卫星气象中心组织建设并已经业务运行的“风云三号卫星数据存档与服务系统(FY-3MAS)”,除基于提供传统文件方式的卫星数据检索下载服务外,在 GIS 技术的支持下,建立了海量的时空一体化的空间数据库,实现了卫星遥感数据空间发布与订购,并提供了全球观测数据的二维和三维实时发布能力。

2.5.9 综合气象服务系统

公司企业也积极探索 GIS 技术分析和天气服务领域的应用,出现了多种基于 GIS 技术的天气服务系统^[37-38]。美国明尼苏达州 Meteorlogix 公司运用 GIS 技术建成了决策支持系统,解决了大量涉及气象的复杂商业问题。该系统主要包括从气象数据到 GIS 数据的转换系统、气象信息可视化(如 Meteorlogix StormPro System,并成为电视播出系统)系统、信息分析系统(MxAnalyst)、基于位置的天气警报信息发布系统(如台风、洪水区域及时间)。通过应用,他们认为 GIS 技术在融合气象与商业资产评估、复杂的时空分析、以及临近灾害性天气影响分析方面表现了较强的能力。国家气象中心作为提供天气预报与公众气象服务的重要部门,一直积极探索 GIS 技术在天气预报及气象服务方面的应用潜力。2005 年初开展了基于 GIS 技术的新一代决策气象服务系统建设^[39],系统实现了各类天气预报及服务产品的交互式分析与制图输出。文献^[40]也探讨了基于地理信息服务技术(Geographical Information Web Services)的全国气象业务服务系统框架,以期地理信息服务技术在气象业务运行系统中得到初步应用。

3 GIS 技术在气象领域应用中的几个基本问题

3.1 GIS 数据模型与气象数据共享

模型是人们对现实世界的一种抽象,数据模型是现实世界向数字世界转换的桥梁。数据模型决定了信息系统的数据库结构和对数据可施行的操作。气象领域内的科学数据,大多空间分辨率和几何位置不十分精确,但往往数据的时间刻度却相差很大,有几分钟一次的天气实况观测数据,也有跨世纪时间长度的数据(如通过模型建立气候变化的研究),是一种典型的多时序、多变量的三维空间数据。目前

大气科学领域主要有 VisAD、NetCDF、HDF、FITS、McIDAS、Vis5D 等多维数据模型^[41-42],分别存储了大量的气象科学领域数据;而在 GIS 领域,往往关注二维、静态数据,需要进行复杂、精确的空间查询检索与分析,因此对几何实体的表现要求很高,并且还要求具有较强的空间拓扑操作能力;此外,传统 GIS 大多存储表达时间变化缓慢的地理数据,不能很好地表达时间序列的变化数据。

国际开放地理信息联盟(OGC)将 GIS 数据模型分为两种,一种是以几何实体为基本概念的要素模型(Feature,如点、线、面几何要素),一种是覆盖模型(Coverage)。覆盖模型是一种更为通用的数据模型,更适用于气象领域基于场的的数据建模,但 Coverage 模型不能很好地支持气象数据时态特征。尽管三维 GIS 技术得到了一定的发展,也从研究的角度提出了许多的三维数据模型,如面模型(Facial Model)、体模型(Volumetric Model)和混合模型(Mixed Model),但还远远不能支持气象的多维、动态应用。

最近,支持时序、多维数据的 NetCDF 数据模型,在美国 NCAR 等研究单位的应用推动下,主流 GIS 供应商 ESRI 公司的 ArcGIS9.2 以上版本的软件开始支持该格式。用户在 ArcGIS Desktop 软件中就可以将 NetCDF 格式的数据模型导出为 ArcGIS 支持的要素模型或者栅格模型,供 GIS 用户作进一步的分析,并具有初步的时空数据动态显示能力。ArcGIS 对 NetCDF 的支持,给气象科学数据的 GIS 互操作提供了一条重要共享途径。

国内南京大学城市与资源学系的刘品高等^[43]分析了 GIS 在气象应用并不很成功的主要原因在于现有 GIS 不能很好地处理气象时态数据,不能很好地支持气象应用模型的集成等,因此他们结合气象业务的需求,探讨了气象地理信息系统的设计与实现方案,致力于底层重新开发,所做工作尽管难度很大,但很有开创意义。

从国内 GIS 应用于气象领域数据分析来看,由于多年以来形成了气象行业专有的数据格式,尤其以预报业务平台 MICAPS 系统(气象信息综合处理系统)的格式诸多,这些格式是目前通用的 GIS 软件不能共享与访问的,形成较大的应用瓶颈,因此从气象业务系统建设的角度出发,下一步国内也应该积极探索气象信息与 GIS 系统共享的解决方法。

3.2 GIS 空间分析能力与气象应用模型

气象预报结合详细的地理信息,增加空间要素的融合可以进一步提高预报准确率,而专业气象服务(面向行业用户)、决策气象服务(面向政府决策)等气象服务在面向服务过程中,实际上需要使用气象变量和服务对象变量,通过各种有效的模型最优化处理实现应用气象服务能力(如水文气象、交通气象、卫生气象等)。因此气象应用模型的合理准确有效地与 GIS 的空间分析集成应用就显得尤为重要,并成为应用 GIS 技术的关键技术问题之一。

空间分析是地理信息系统的核心功能,具有对地理信息(特别是隐含信息)强大的提取、表现和传输能力,如空间图形数据分析、非空间属性的数据运算以及基于空间和非空间数据的联合运算,它运用了几何的逻辑运算、数理统计分析、代数运算等多种手段,最终解决涉及到地理空间的实际问题,特别是隐含信息的处理。因此,这些空间分析能力也为各种类型的应用气象模型的建立提供了很好的基础^[44]。

GIS 通用空间分析能力,还有很多的分析方法在气象领域不能很好地应用,如空间插值方法。欧洲 COST-719 组织第二工作组对 GIS 应用于气象领域中的插值分析方法进行了深入分析,分别讨论了温度、降水、湿度、能量平衡、风场、要素日数等气象要素在不同时空尺度下的常用插值分析方法,如基于物理过程的降尺度插值方法(NWP)、人工神经网络插值方法(ANN),指出了通常 GIS 空间分析能力还较弱,需要进一步增强插值分析能力^[45-47],同时也指出各类插值方法可能要考虑数字地形模型的影响。因此,进一步研究适应于气象领域的 GIS 空间分析模型也是 GIS 深度应用的方向。

3.3 GIS 可视化技术与气象信息科学可视化

在气象领域,用于表达天气系统或者大气物理过程的实时观测资料和数值模拟数据属于多维动态数据集,包含了标量和矢量两种要素,可以采用科学可视化方法进行表现。文献^[48]总结了几种方法:如一维方式可以表达单站要素值的垂直变化和时间变化;空间二维方式可以表达特定高度(或气压)层的二维空间水平分布(水平剖面)或者多位置点高度变化构成的二维空间垂直分布(垂直剖面);空间三维方式可以表达三维空间要素场如空间等值面、多

要素二维、三维空间综合表达以及天气系统与天气过程的时间动态表达。对于三维表达,其垂直坐标系要求既可以是高度坐标,也可以是气压坐标,垂直间隔要求既可以是等间距的,也可以是不等间距的。因此,这些实质上是对气象科学可视化能力上提出更高的要求。

由于受计算机二维图形软硬件显示技术的发展所限,GIS 可视化早期主要指地图的可视化,即采用一定的符号将地理空间数据的图形进行表现,大量的研究放在图形显示算法上,如画线、颜色设计、符号填充等技术上。继二维可视化研究后,进一步发展为对地学等值面(如数字高程模型)的三维图形显示技术的研究,主要通过三维到二维的坐标转换、隐藏线、面消除、阴影处理、光照模型等技术,将三维空间数据投影显示在二维屏幕上,即通常所说的 2.5 维可视化,但其仍然无法表达现实世界诸如大气、地质体、矿山、海洋等地学真三维数据场^[49]。因此 20 世纪 90 年代初以来真三维 GIS 及其体可视化成为了 GIS 研究热点,相继提出了规则体元(如结构实体几何 CSG、体素 Voxel、规则块体 Regular block),以及非规则体元(四面体网格 TEN、实体 Solid 等)的可视化技术,也形成了采用 OpenGL、JAVA3D、DirectX 等一系列较为成熟的三维可视化平台,以及 VRML、GeoVRML 等三维建模语言。但研究成果表明仅仅在三维地学模拟(3DCMS)以及三维城市构建有一定应用^[46],对于气象信息科学可视化要求多维、动态变化的,仍然属于难点问题。

可以看出,高度关注于地图可视化技术的 GIS 技术能够满足气象信息科学一、二维可视化的要求,一方面能使科研人员方便、快捷地分析和研究气象数据和模式结果,另一方面可以让更多的公共气象服务产品形象生动;但与此同时,GIS 可视化技术还远远不能满足气象领域时序、三维等数据可视化的要求。

4 气象信息系统建设中的 GIS 技术

下面将从气象应用系统的 GIS 平台确定、GIS 功能应用两个方面讨论 GIS 技术应用于气象信息系统建设的一般方法,并给出了国家级决策气象服务系统的建设思路与功能框架。

4.1 气象应用系统的 GIS 平台确定

软件选型是 GIS 技术应用气象信息系统项目

开发中的重要环节。“没有最好的,只有最合适的”。GIS平台的选型要从功能、性能、二次开发能力和技术支持甚至经济性等多方面综合考虑。文献[49]讨论了目前国内外众多商业软件(如 ArcGIS、MapInfo、SuperMap、MapGIS等),很有借鉴意义。信息技术发展极大地促进了GIS技术的迅速发展,其中组件式GIS技术的出现支持了快速气象应用系统构建;分布式GIS技术则很好地支持了以网络为体系结构的气象信息共享与发布系统构建;开源GIS社区及项目的出现(如 MapServer、GRASS、GDAL/OGR、OSSIM、GEOS、PostGIS、QGIS、MapGuide OpenSource、SharpMap、MonoGIS、GeoServer、uDig以及 OpenLayer等),则大大地降低了气象应用系统的建设成本^[51]。

4.2 气象应用系统的GIS功能应用

GIS处理的对象是具有空间特征的目标或实体。气象要素如风速、温度、气压等均具有空间和统计特征,因此从本质上来讲,气象信息都是地理信息,从而气象信息的描述、存储、分析以及输出均可以依托GIS技术。

从气象信息管理功能的角度,GIS为气象领域提供了统一空间参考坐标下的多源数据集成分析环境,如气象数据的高效存储、灵活编辑、以及实时更新。尽管MICPAS 3.0版本已经支持了部分GIS格式的数据显示能力,但目前各类气象观测与预报信息基本上以MICAPS格式进行组织与管理,这给基于GIS技术的应用系统建设带来了一定的困难,因此首先要解决数据格式问题。一方面,我们可以将现有的MICAPS文件数据按GIS矢量模型和栅格模型进行组织,如MICAPS中1类、3类、7类、8类、14类均可以转换成矢量数据进行读入,形成Shape文件, MICAPS中4类(如云图、雷达以及模式输出产品)等则可以转换栅格数据,形成格点(GRID)文件,而MICAPS中14类数据由于存储了预报员交互产生的数据,是一种较为复杂的文件格式,它存储了很多信息,如普通线、封闭线、点符号、线符号以及文本,需要将其转换组织形成多个图层;另一方面,我们可以从数据源的角度开展工作,将实况观测和预报数据按GIS数据模型(矢量与栅格)进行重新组织,并形成空间数据(库)服务器,供应用系统访问,这将从根本上解决气象领域与GIS数据共享瓶颈,从而提高互操作能力。目前看来,商业软

件ArcGIS的空间数据引擎AcrSDE以及开源软件PostgreSQL都能很好的解决气象空间数据的高效管理与组织。从国外的应用经验来看,美国NOAA的NWS于1999年6月就开设了GIS技术论坛(NWS@GIS Forum),并在NWS在网络上提供了GIS格式的各类天气实况监测(如雷达)、天气预报、预警数据的GIS Shape格式数据下载,最近在其网站上又推出了支持Google Earth叠加显示的各类天气信息的标签(KMZ)文件(如雷达、台风、降水量等),这很好的满足了各类用户,特别是公众用户的进一步GIS分析与可视化需求。

从气象信息分析功能的角度,GIS丰富的空间分析能力,也为海量气象科学观测数据提供了信息分析技术。GIS通过高效的图形图像算法有效地实现了各类空间分析与操作,从简单的地图量测(距离、方位、面积)到较高层的空间分析,如查询分析、缓冲区分析、叠加分析、路径分析、可视性分析、网络分析、空间插值、统计分类等,这些均给气象信息分析提供了较强应用手段。GIS多种空间插值算法(反距离加权插值法、Kriging插值法、自然邻点插值法、多元回归法、三角网法、移动平均法、以及局部多项式法)给各类气象要素的空间分布研究如温度、降水、风场等提供了较为灵活的选择^[52];空间叠加分析则为气象信息与经济社会、人口以及其它要素进行影响评估分析提供了有力的工具(如分析某一气象要素所能影响的区域,并统计该区域内所属行政区域(省、市、县)内面积、人口以及经济信息);基于空间位置的查询分析则能较好地实现如台风的发源地的属地分析、登陆分析以及相似路径检索分析;可视性分析表达了空间某一点所能够观察到的位置,它则给新一代雷达选址这样的气象应用提供了快速分析能力;缓冲区分析表明了一定规则范围内空间要素的邻域,中央气象台台风与海洋气象服务中心发布的未来96小时台风预警产品则充分利用了动态缓冲技术来高效生成预警的空间区域;空间统计分类分析则在气候区划中可以得到较好的应用;随着空间数据挖掘技术的出现,基于粗糙集技术的气象资料分析、基于关联规则的灾害天气预测和气象遥感数据挖掘也成为了可能。

从气象信息表达功能的角度,GIS高质量的可视化表达能力,为展现各种天气、气候现象和过程提供了优秀的表现方式。GIS可视化表达主要依托类型多样的符号样式、丰富的专题信息表达以及图幅

配置甚至制图综合等技术来完美表现空间信息^[53]。因此,要实现较好的气象信息表达,首先需要利用 GIS 符号建库能力定制一套符合气象概念的天气符号库,目前 ArcGIS 对于通用的气象信息符号给予了较好的支持(如天气分析中的锋面、槽线等),但对于更复杂的应用需求,则需要作进一步定制;对于气象专题图,如降水量分布图、温度分布图、天气落区预报图 etc 则可充分利用 GIS 多类专题表达能力。一般 GIS 均提供了按要素性质、数量、空间分布和时间变化的专题图设计能力,如根据气象要素可以创建单值、分段、等级符号、点密度、统计、标签、自定义等专题图来实现气象预报与服务产品的高质量可视化;随着 GIS 可视化技术朝着动态、三维化方向发展,气象信息可视化在 GIS 技术框架内又有了更多的意义,如 ArcGIS 的 Tracking Analysis 则以动画的形式提供了时态气象信息的动态表现能力,而其 3D Analysis 则以表面三维模型的方式提供了全

球框架内的气象信息表达能力,而 Google Earth 以及 World Wind 这样被誉为大众化 GIS 平台则以更加直观形象的形式渲染了各类综合气象信息,极大地提高了用户应用气象信息的三维交互式体验效果。

4.3 基于 GIS 技术的决策气象服务系统建设

决策气象服务系统(MEteorological Services Information System, MESIS)为中国气象局近年来连续支持的重点项目建设成果,主要面向决策气象以及专业气象服务人员。MESIS 的交互分析与制作系统主要运用了 GIS 技术,数据库、多媒体和 WEB 等综合技术,实现了服务产品的显示与系统集成、统计分析检索、服务产品制作、服务产品分发,以及重大气象灾害辅助决策支持功能。MESIS 交互分析系统主要结构与功能如图 2 所示。

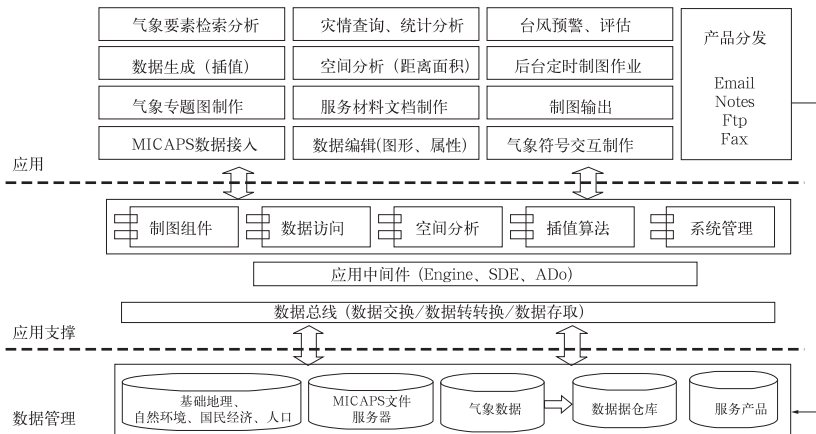


图 2 MESIS 功能框架^[52]

Fig. 2 Function framework of MESIS software

MESIS 整个软件体系结构中, GIS 技术得到较好的运用。其中,对于空间数据的管理采用了空间数据引擎 ArcSDE,可以较好地管理气象业务数据库、基础地理信息数据以及社会经济、人口数据。应用支撑则采用了 ArcGIS Engine 组件式开发方法将地图管理、查询操作、专题制图、气象要素空间插值、影响区域分析等通用功能进行了二次开发封装,它为应用层的 GIS 底层支持,并在一定程度上提供了气象应用组件的可重用能力。应用层则是面向决策用户,直接为决策气象服务提供服务产品制作、决策动态模拟、分析评价等服务。

而服务产品后台加工制作功能的实现,则充分利用了 ArcGIS Desktop 高质量的制图输出能力,以及 Model Builder 的工作流方式的地理分析建模过程。系统集成多源、多格式气象观测与预报数据,用户可以通过可视化方式(所见即所得)进行制图模板定制、多类专题图制作设计、产品加工流程设计、任务管理配置与运行监控调度等功能操作,最终实现无人工干预、高质量的制图与加工能力。该子系统的日常业务定时运行,已经为中国天气网、NMC 网站、中央气象台的各类决策气象服务材料以及公众气象服务材料中提供了较高质量的图形服务产品。

5 结 语

通过对GIS在气象气候领域的学术团体、气象组织、公司企业、教育领域、以及业务系统建设等方面的综述与分析,可以看出GIS这门重要的信息技术在气象领域已经得到了初步应用,并形成了一系列的应用成果。GIS一体化的空间数据管理与集成能力、丰富的空间分析能力、以及高质量的可视化能力等特性为气象业务系统建设发挥了重要作用,较好地提升了气象信息系统建设的水平。但与此同时也可以看到,GIS通用的数据模型还远远不能够很好地支持多动态气象数据的存储与管理,部分空间分析能力对于气象复杂的应用模型的支持力度还不够,GIS可视化技术与气象信息科学可视化总体要求还存在一定的差距,这些问题都一定程度上阻碍了GIS深度应用于气象气候的水平。放眼未来几年,随着GIS技术在气象领域的不断深入应用,GIS技术本身也将得到不断发展,特别是近年来网络GIS、虚拟GIS、开放式GIS、真三维和时空四维数据结构等这些GIS技术研究成果的推出和不断完善,相信GIS技术应用于气象气候领域将会走得更深更远。

参考文献

[1] 黄杏元, 黄平. GIS内涵的发展[J]. 测绘与空间地理信息, 2008(2):58-59.

[2] Wilhelmi O V and Brunskill J C. GIS in weather, climate and impacts [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 2003,84(10): 1409-1414.

[3] Wilhelmi O. Report from the 2nd NCAR Workshop on GIS in Weather, Climate and Impacts[R], NCAR, 2006, www.gis.ucar.edu/05workshop/index.html.

[4] COST-719. The use of GIS in climatology and meteorology [R]. <http://www.knmi.nl/samenw/cost719/>.

[5] Dobesch H, Tveito O E, Bessemoulin P. Geographic information systems in climatological application[R]. Final Report Project(No. 5) in the framework of the climatological projects in the application area of ECSN,2001. 12. 31.

[6] Hartwig Dobesch, Pierre Dumolard, Lzabela Dyras. Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology [M]. Published by Great Britain and United States in 2007, ISTE L. td.

[7] John Thornes. Special issue on the use of GIS in climatology and meteorology [J]. Meteorological Applications, 2005 (12): i-iii.

[8] Olga Wilhelmi, Jennifer Boehnert, Terri Betancourt. GIS Initiative; Developing an Atmospheric Data Model for GIS[C], Unidata Seminar, August 30, 2004.

[9] Olga Wilhelmi, Terri Betancourt, Jennifer Boehnert, et al. ArcGIS Atmospheric Data Model, Draft[R]. Jan 2005. <http://www.gis.ucar.edu/sig/index.html>.

[10] Shipley S. T. Classroom Exercises in GIS Meteorology[C]. 15th Symposium on Education of the 86th AMS Annual Meeting, 2006. 1. 29. P1. 26.

[11] Shipley S T. Weather Radar Terrain Occultation Modeling Using GIS[C]. 21st IIPS, Paper J9. 5, AMS Annual Meeting, San Diego, CA. 2005.

[12] Shipley S T, Graffman I A, and Ingram J K. GIS Applications in Climate and Meteorology[C]. ESRI 2000 Users Conference. San Diego, California, USA.

[13] Saseendran S A, Harenduprakash L, Rathore L S and Singh S V. A GIS Application for Weather Analysis and Forecasting [R]. www.gisdevelopment.net/application/environment/conservation/envm0004.htm.

[14] 孙文堂. GIS在气候资源分析和农业气候区划中的应用研究[D]. 硕士学位论文. 南京:南京气象学院,2004. 5.

[15] 郭兆夏,朱琳,叶殿秀,等. GIS在气候资源分析及农业气候区划中的应用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2000, 8(4): 357-359.

[16] 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, 2: 265-270.

[17] 黄毅梅, 陈跃, 周毓荃, 等. 基于 ArcGIS 的人工影响天气综合分析平台[J]. 气象, 2007, 33(12): 116-119.

[18] 陈百炼, 杨胜元, 杨森林, 等. 基于 GIS 的地质灾害气象预警方法初探[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005. 11: 93-96.

[19] 中国气象局国家气象中心, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 云贵川渝泥石流滑坡预测预报系统工作报告[R], 2006, 8, 北京.

[20] 李芳, 姜月红, 程晓露. 陕西省地质灾害气象预报预警系统研制及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 6: 115-118.

[21] 王远飞, 陆涛, 佘伟杰, 等. 基于 GIS 技术的热带气旋信息系统设计与实现[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2006 (4): 137-140.

[22] 鲁小琴, 雷小途. 热带气旋客观定位系统初步研究[C]. 推进气象科技创新加快气象事业发展——中国气象学会 2004 年年会论文集(下册), 2004 年.

[23] 张伟, 罗向欣, 邵德民, 等. 基于 GIS 的西北太平洋热带气旋影响研究[J]. 测绘科学, 2008, 9: 49-50.

[24] 郑晓阳, 高芳琴. 基于 WebGIS 的台风信息服务系统研究[J]. 上海水务, 2006, 1: 39-42.

[25] 杨林. 基于 GIS 的福建省气候监测与灾害预警系统[J]. 气象科技, 2005, 33(5): 475-477.

[26] 曾燕, 邱新法, 刘明丽. 基于 GIS 的中国地面气象台站网[J]. 气象科学, 2001, 9: 338-342.

[27] 何婉文, 石小英, 梁苑苑, 等. 基于网络地理信息系统的常规气象资料共享系统[J]. 广东气象, 2006. 5: 50-52.

- [28] 李航, 薛允传. 基于 GIS 和大型数据库的气象自动站数据综合处理系统[J]. 中国科技信息, 2007, 1:16-17.
- [29] Scott T. Shipley, Ira A. Graffman, and Robert E. Saffle. GIS Tools for Radar Siting and Analysis[C]. 22nd International Conference on Interactive Information Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology. J11. 3.
- [30] Shipley, S. T. Weather Radar Terrain Occultation Modeling Using GIS[C]. 21st IIPS, Paper J9. 5, AMS Annual Meeting, San Diego, CA. 2005.
- [31] 赵瑞金, 杨彬云. 地理信息系统(GIS)在新一代天气雷达选址中的应用[J]. 气象, 2003, 29(6):30-32.
- [32] 杨洪平, 肖艳娇. 新一代天气雷达选址客观分析软件的结构及说明[R]. 新一代天气雷达选址客观分析软件评审会. 武汉, 1999.
- [33] 纪瑞鹏, 班显秀, 冯锐, 等. 应用 NOAA/AVHRR 资料监测土壤水分和干旱面积[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, (6):157-161.
- [34] 李兴华, 韩芳, 杨丽萍. 内蒙古极轨气象卫星遥感监测业务应用系统[J]. 内蒙古气象, 2006, 32(1):39-41.
- [35] 周红妹, 葛伟强, 杨文悦, 等. 基于遥感和 GIS 信息的上海城市绿地生态改善效应研究[J]. 高原气象, 2009, 28(4):458-462.
- [36] 黄签, 郑新江, 刘诚. 中国在气象卫星非气象领域遥感应用的发展与展望[R]. 遥感新进展与发展战略. 中国航天, 1997(07).
- [37] Ronald J Sznajder. Operational Uses of Weather Information in GIS Based Decision Support Systems. Meteorlogix White Paper, March 2005.
- [38] Product Catalog MxInsight GIS Weather[R], 2006 DTN. Meteorlogix. <http://www.meteorlogix.com>.
- [39] 吴焕萍, 罗兵, 王维国, 等. GIS 支持下的决策气象服务系统建设研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(3):380-383.
- [40] 吴焕萍, 罗兵, 曹莉. 地理信息服务及基于服务的气象业务系统框架探讨[J]. 应用气象学报, 2006, 17(S1):137-142.
- [41] Stefano Nativi, Blumenthal M B, Caron J, Domenico B, et al. Differences Among the Data Models Used by the Geographic Information Systems and Atmospheric Science communities[C]. 20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology. 2004. 1.
- [42] 黄春林, 李新. HDF-EOS 数据格式在处理空间数据中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2001, 12:252-259.
- [43] 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.
- [44] 周秉荣, 李凤霞, 申双和. 青海高原雪灾预警模型与 GIS 空间分析技术应用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3):373-379.
- [45] Ole Einar Tveito, Wolfgang Schöner. Applications of Spatial Interpolation of Climatological and Meteorological Elements by the Use of Geographical Information Systems[R]. OSLO. 2006. 07. 26.
- [46] Ole Einar Tveito et al. Spatialisation of Climatological and Meteorological Information by the Support of GIS [R]. COST719 FINAL Report WG2 Spatialisation. 2006. 7.
- [47] 马轩龙, 李春娥, 陈全功. 基于 GIS 的气象要素空间插值方法研究[J]. 草业科学, 2008, 11:13-19.
- [48] 王洪庆, 张焱, 郑永光, 等. 气象信息科学视算环境及其若干问题[J]. 应用气象学报, 2004, 15(5):708-719.
- [49] 邬伦, 刘瑜. 地理信息系统:原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社, 2005. 1.
- [50] 吴焕萍, 潘懋, 陈小红, 等. 浅析三维地理信息系统技术[J]. 地理信息世界, 2005(2):42-50.
- [51] Paul Ramsey. The State of Open Source GIS. Refractions Research[R]. www.refractions.net. 2007. 9.
- [52] 徐晶, 姚学祥. 流域面雨量估算技术综述[J]. 气象, 2007, 33(7):15-21.
- [53] 王智刚, 唐瑶, 曾向红, 等. 雷电灾害数据可视化分析系统研制[J]. 气象, 2009, 35(5):97-104.
- [54] 项目验收报告. 2007 年中国气象局轨道项目《全国决策气象服务系统一期建设》验收报告[R]. 国家气象中心编写, 北京, 2008. 3.