

## 土壤墒情(旱情)监测与预测预报系统的设计与开发

杨绍辉<sup>1,2</sup> 王一鸣<sup>2</sup> 孙凯<sup>2</sup> 冯磊<sup>2</sup>

(1.集美大学 机械工程学院,福建 厦门 361021; 2. 中国农业大学 信息与电气工程学院,北京 100083)

**摘要** 以组件式 GIS 软件为开发平台,建立了北京地区土壤墒情监测与预测预报系统。该系统包括土壤墒情信息采集、土壤墒情站信息管理、土壤墒情空间分布显示、土壤墒情监测、土壤墒情预报及土壤墒情信息输出等功能模块,可对土壤墒情进行实时监测,做出土壤墒情分布图、等值面图等,直观反映北京地区土壤墒情趋势。同时,系统还可利用增退墒模型、人工神经网络模型和时间序列模型进行土壤墒情预测和预报。现该系统已有 38 个墒情固定站和 120 个墒情巡测站,并已投入使用。实际应用结果表明,该系统解决了目前墒情固定站投资过高且数量不足的问题,能够满足北京市土壤墒情预测预报要求,可为北京地区防旱、抗旱提供可靠的科学依据。

**关键词** 墒情监测; 预测预报; 土壤墒情; 旱情

中图分类号 S 157; TP 18

文章编号 1007-4333(2007)04-0075-05

文献标识码 A

## Design and development of a soil moisture content monitoring and forecasting system

Yang Shaohui<sup>1,2</sup>, Wang Yiming<sup>2</sup>, Sun Kai<sup>2</sup>, Feng Lei<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Based on GIS software development technique, a soil moisture content monitoring and forecasting system for Beijing area was designed. The system has many functions, such as soil moisture collection, soil moisture sites supervision, soil moisture content monitoring and forecasting, soil moisture content information output and so on. By using this system the soil moisture content in Beijing can be monitored and the distribution map and the isoline chart of soil moisture content can be plotted in time. At the same time, three forecasting models including a soil moisture increasing and decreasing model, a time series model and an artificial neural network model were used to predict soil moisture content. One hundred and twenty mobile soil moisture sites and thirty three immobile soil moisture sites have been set up and begin to work, which show that the system will decrease the investment, enhance forecasting veracity and provide reliable and scientific foundation against drought in Beijing.

**Key words** soil moisture content monitor; forecast; soil moisture content; drought

实现土壤墒情(旱情)监测及预测预报的自动化、信息化已经成为世界性课题。目前,国内外土壤墒情的监测方法主要分为 3 类。第 1 类为移动式测墒监测,即用移动便携式仪表在不同采样点进行不定期测墒,通过数理统计分析和地统计分析得到区域土壤墒情<sup>[1-2]</sup>;第 2 类为遥感监测土壤墒情,即利用卫星和机载传感器从高空遥感探测地面土壤水

分<sup>[3-4]</sup>;第 3 类为建立固定墒情站测定固定点土壤墒情,先在多个固定点连续测量土壤墒情,然后利用空间插值法计算监测区域内土壤墒情<sup>[5-6]</sup>。移动式测墒方法只能监测小范围土壤墒情;遥感监测方法测墒精度不够;固定站测墒监测方法虽然精度较高,但投资较大,需要大量资金支持。

笔者以北京地区为研究对象,拟采用移动式测

收稿日期: 2006-11-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2002AA2Z4071);集美大学科研基金资助项目(C60644)

作者简介: 杨绍辉,博士,讲师,主要从事土壤水分采集、墒情监测和智能控制等方面的研究,E-mail: yangshaohui1979@163.com;

王一鸣,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事智能化检测与控制技术等方面的研究,E-mail: ym.wang@263.net

墒与固定站测墒相结合的方式,并结合土壤墒情预报模型<sup>[7]</sup>完成土壤墒情预测预报工作,旨在建立既节省投资又能在大面积区域进行较准确监测的土壤墒情监测系统,为北京地区防旱抗旱领导决策提供科学依据。目前本系统已建成并投入使用。

## 1 土壤墒情监测站分布

土壤墒情固定站的建设需要大量资金且建设周

期较长,因此,在北京每个区县都建立合理数量的土壤墒情固定站需要一个长期的过程;但是,在一定面积区域内没有足够的土壤墒情监测数据就不能真实客观地反映该地区墒情及其变化趋势。

在土壤墒情固定站数量不足的情况下,本研究采用土壤墒情巡测站进行弥补,即在固定站数目较少的地方,配备较多的巡测站,以保证土壤墒情数据的数量和质量。北京地区土壤墒情监测站分布情况见表1。

表1 北京地区土壤墒情监测站分布情况

Table 1 Distribution of soil moisture content monitoring station in Beijing

区县名	区域面积/km <sup>2</sup>	固定站数	固定站名	巡测站数目
朝阳	470.8	2	仰山、三间房	4
丰台	304.2	2	长辛店、王佐	5
海淀	426.3	2	白家疃、北庄子	7
通州	907.0	5	徐辛庄、牛堡屯、马驹桥、觅子店、郎府	9
大兴	1 012.0	3	芦城、北臧村、魏善庄	6
顺义	980.0	5	后沙峪、仁和、河南村、唐指山、高丽营	9
房山	1 866.7	2	十渡、长阳	12
门头沟	1 331.3	2	清水、何各庄	14
昌平	1 430.0	2	沙河、响潭	8
延庆	1 980.6	2	白河、香村营	12
怀柔	2 557.3	7	宝山寺、庙城、宰相庄、喇嘛沟门、口头、南年丰水厂、汤河口	12
密云	2 355.6	2	庙牌、西田各庄	12
平谷	1 075.0	2	兴隆庄、马坊	10
合计		38		120

## 2 系统组成结构

土壤墒情监测系统按其各部分的分工可分为3级,土壤墒情固定站和土壤墒情巡测站为第1级。土壤墒情固定站采集该区域土壤墒情信息并向远程监控系统传送,这些站点建立在对于北京市土壤墒情具有代表性的地方,每隔4h采集1次地表下10、20和50cm土壤深度的土壤水分值以及从气象部门收集的当天的气象数据。土壤墒情固定站成本较高,但能够定点长期观测,测量精度较高。土壤墒情巡测站采用土壤水分空间分布快速测试仪<sup>[8]</sup>,可以测量不同采样点地表下0~100cm不同深度的土壤水分值,其测量精度和土壤墒情信息采集精度与远程监控系统一样均为±2%。土壤墒情巡测站设备成本较低,操作简便,与GPS结合使用,具有较大的灵活性。土壤墒情固定站点的建设按照规划进行,

而土壤墒情巡测站点则不受位置限制,根据需要确定。土壤墒情固定站和土壤墒情巡测站相结合,可以得到均匀覆盖的北京全市的土壤墒情数据。土壤墒情固定站和土壤墒情巡测站通过GSM网络将数据上传到区县级土壤墒情管理中心。

区县级土壤墒情管理中心是系统的第2级组成,主要负责将土壤墒情巡测站和固定站上传的数据进行初步统计和分析;还可以手动通过GSM网络控制土壤墒情固定站,不定期召测墒情数据。经过初步分析的数据通过Intel网或者GSM网络上传给市(省)级墒情管理中心,其数据传送格式为:采样序号,墒情站名称,采样时间,经度,纬度,采样土壤深度,土壤水分值。市(省)级土壤墒情管理中心通过网络和无线接收模块接收到数据后,将数据保存在SQL数据库的不同数据表中。区县级墒情管理中心在系统中起着“承上启下”的作用。

北京市墒情(旱情)管理中心是本系统中最高一级,它对各区县墒情管理中心上传的墒情信息进行汇总和分析,做出土壤墒情分布图、等值面图、历史曲线图等直观反映北京地区土壤墒情趋势的图表,进行土壤墒情监测和预报,直接为防旱抗旱指导提供依据。本研究的系统软件安装在市(省)级土壤墒情管理中心中。

### 3 系统软件开发

#### 3.1 开发环境

土壤墒情(旱情)监测与预测预报系统采用螺旋式开发模式。在 Windows 操作平台下,系统以 Visual Basic 为编程语言,选择超图公司的 comGIS 组件作为系统的编程开发平台。

#### 3.2 系统数据库设计

系统数据库的设计是系统建设的重要环节,本系统采用 SQL 数据库进行数据的管理和存储,不同的数据整理后保存到相应的数据表中。系统数据库结构见图 1。通过信息采集得到的数据包括土壤墒情固定站和土壤墒情巡测站测量的地表下 10、20、50 cm 的土壤墒情数据,从各个气象部门获得的降雨量、日照时间、气温和空气湿度等气象数据,还包括各个土壤墒情站的设备管理以及站点的具体地理位置数据等。预报模型库主要完成对土壤墒情预报模型参数的保存和获取,如保存各墒情站人工神经网络模型的权值和阈值、时间序列模型各阶系数,以及增退墒模型的参数等。

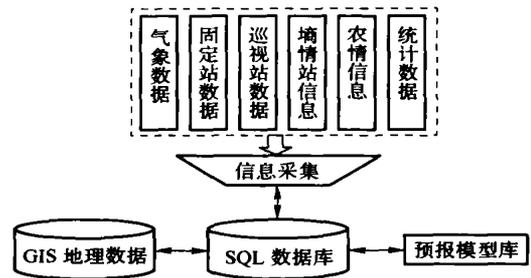


图 1 系统数据库结构

Fig. 1 Structure of database

GIS 地理数据不同于其他数据,它并不保存在 SQL 关系型数据库中,而是直接保存在专门的地理信息系统数据库中,数据内容包括矢量图、栅格图等。GIS 地理数据只能通过 GIS 组件进行读取、保存和修改。

#### 3.3 系统建设目标与功能设计

系统的建设目标是建立一个覆盖北京全市的土壤墒情(旱情)监测及抗旱信息管理系统。系统应能够及时发现旱情,实时监测旱情发展过程,掌握抗旱动态,提出有科学依据的土壤墒情预报模型;能够进行准确的区域土壤墒情预报,从而防止或减轻旱情旱灾对农业、林业造成的经济损失。系统建成后,将实现土壤墒情信息的自动化管理,实现墒情数据的查询、分析和预报,并将结果以点土壤墒情布图,等值线、等值面、面分布图,统计图表等方式生动直观地显示出来,为抗旱决策和抗旱工作提供科学依据。系统功能结构见图 2。

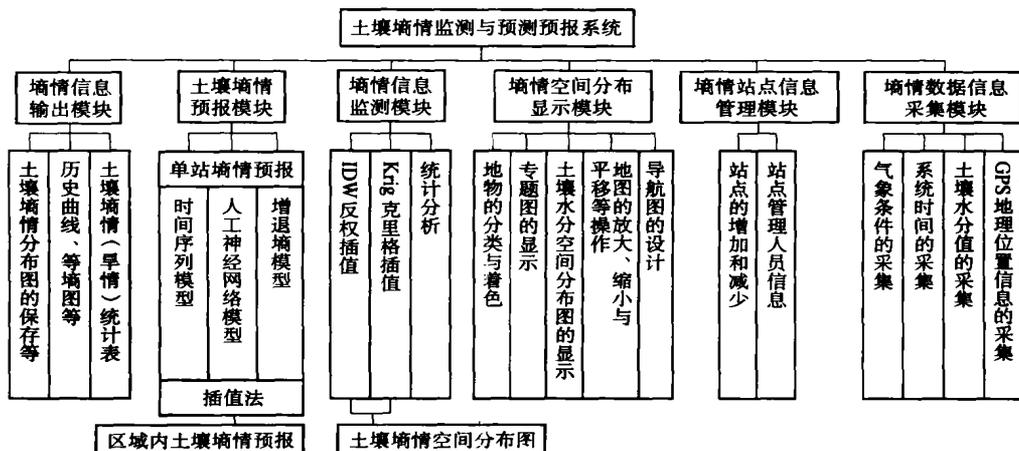


图 2 系统功能层次结构

Fig. 2 Function map of system

#### 4 系统的应用

系统运行界面与 Windows 操作系统风格一致。菜单栏包括系统管理、土壤墒情监测、土壤墒情信息管理、土壤墒情预报、地图操作、帮助等。通过菜单,用户可以切换到不同运行界面,完成不同功能。

在得到各个土壤墒情监测站的土壤水分数据后,系统利用 comGIS 组件的 2 种插值方法——IDW 法和普通 Krig 法<sup>[9]</sup>,完成区域内土壤墒情的实时监测功能;通过地统计插值法结合土壤墒情预

报模型,实现区域内土壤墒情的预测预报功能。

系统可根据需求分别使用增退墒模型、人工神经网络模型和时间序列模型进行土壤水分监测和预测预报。增退墒模型对系统和数据要求较低,但预报精度较差;人工神经网络模型和时间序列模型虽然要求的数据量较大,建模过程较复杂,但预报精度较高,其平均绝对误差均小于 1%<sup>[10]</sup>。图 3 示出系统分别利用实测数据和人工神经网络预报模型的预报数据,结合普通 Krig 插值法得到的实际土壤墒情监测结果和 1 日、1 月后土壤墒情的预报结果。

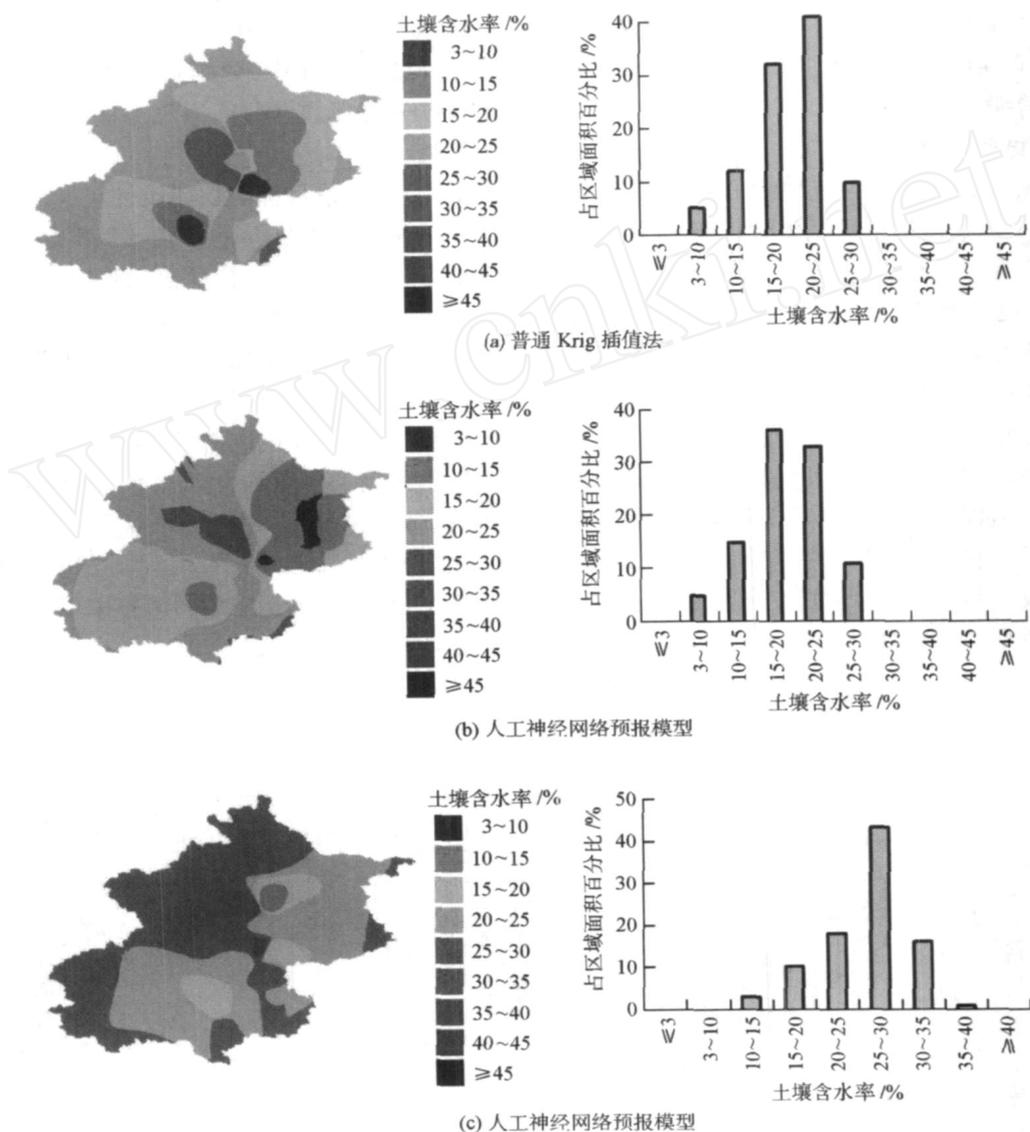


图 3 不同方法得到的 2004-04-12 北京地区地表下 20 cm 处土壤墒情实际监测结果 (a) 及 1 日后 (b)、1 月后 (c) 预报结果

Fig. 3 Distribution map of soil moisture content underground 20 cm of Beijing in 2004-04-12: (a) result of actual monitoring, (b) forecasting result of one day later, (c) forecasting result of one month later

## 5 结 论

本系统可实现增退墒模型、人工神经网络模型和时间序列模型3种预报模型的土壤墒情监测和预测预报,可实现土壤墒情信息的自动管理、统计和分析。系统解决了目前墒情固定站投资过高且数量不足的问题,既节省投资又可较准确地进行大区域土壤墒情监测,能够满足北京市土壤墒情预测预报要求,可为北京地区防旱抗旱领导决策及开展农田变量灌溉提供及时可靠的科学依据。该系统现已用于北京市防旱抗旱工作,系统运行稳定,使用方便。

由于系统进行预测预报时需要同时使用空间插值法和土壤墒情预报模型,计算量较大,耗时较多,因此需要进一步优化区域土壤墒情预报算法,以提高系统的整体运行效率。

## 参 考 文 献

- [1] 孙凯,王一鸣,杨绍辉,等. 区域墒情特征的研究[J]. 水利学报,2005,36(3):355-359
- [2] 孙凯,王一鸣,杨绍辉. 墒情监测取样方法的研究[J]. 农业工程学报,2004,20(4):74-78
- [3] 施建成,李震,李新武. 目标分解技术在植被覆盖条件下土壤水分计算中的应用[J]. 遥感学报,2002,10(6):412-416
- [4] Frate D, Ferrazzoli P. Retrieving soil moisture and agricultural variables by microwave radiometry using neural networks[J]. Remote Sens Environ, 2003, 84(2): 174-183
- [5] 梁凤国,高香凯,牟保全. 辽宁省土壤墒情测报与抗旱决策支持系统初步设计[J]. 东北水利水电,2002,20(12):3-4
- [6] 白美兰,乌兰巴特尔. 内蒙古地区农业干旱检索查询及早情实时监测系统[J]. 气象科技,2004,32(5):377-380
- [7] 尚松浩. 土壤水分模拟与墒情预报模型研究进展[J]. 沈阳农业大学学报,2004,35(5):455-458
- [8] 杨绍辉,王一鸣,冯磊. 土壤水分空间分布快速测试仪器的开发[J]. 中国农业大学学报,2005,10(2):23-25
- [9] 边馥苓. GIS地理信息系统原理和方法[M]. 武汉:测绘出版社,1996
- [10] 杨绍辉. 土壤墒情(旱情)监测技术与预报模型研究[D]. 北京:中国农业大学,2006