

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。本论文除了文中特别加以标注和致谢的内容外，不包含其他人或其他机构已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京信息工程大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。其他同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了声明并表示谢意。

学位论文作者签名：戴乐

签字日期：2011.6.10

关于论文使用授权的说明

南京信息工程大学、国家图书馆、中国学术期刊（光盘版）杂志社、中国科学技术信息研究所的《中国学位论文全文数据库》有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，并通过网络向社会提供信息服务。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权南京信息工程大学研究生部办理。

公开 保密（____年____月）（保密的学位论文在解密后应遵守此协议）

学位论文作者签名：戴乐

签字日期：2011.6.10

指导教师签名：沈克明

签字日期：2011.6.10





目录

目录	I
摘要	III
Abstract.....	IV
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外现状	1
1.3 研究目的	3
1.4 研究内容	3
1.5 拟解决的主要问题.....	4
第二章 系统相关技术介绍.....	5
2.1 Borland Delphi 开发工具.....	5
2.1.1 Delphi 概述.....	5
2.1.2 面向对象的 Pascal 语言.....	5
2.2 SQLServer2000 数据库.....	6
2.3 ADO 技术访问数据库.....	7
2.3.1 ADO 概述	7
2.3.2 ADO 体系结构.....	7
2.3.3 ADO 技术特点.....	8
2.4 系统体系架构	8
第三章 自动气象站实时监测.....	10
3.1 无线传感器网络技术.....	10
3.1.1 无线传感器网络.....	10
3.1.2 无线传感器网络的结构.....	10
3.1.3 利用无线传感器网络监测交通气象条件的可行性.....	11
3.2 自动气象站数据质量控制算法.....	12
3.2.1 疑似误差信息的标注.....	13
3.2.2 方法	13
第四章 系统设计与开发	17
4.1 系统需求分析	17
4.1.1 系统建设的目的和原则.....	17
4.1.1.1 系统建设的目的.....	17
4.1.1.2 系统建设的原则.....	18
4.1.1.3 系统总体设计目标.....	18
4.1.2 系统 E-R 图.....	19
4.2 系统设计	19
4.2.1 系统开发和运行环境.....	19
4.2.2 系统总体设计.....	20

4.2.3 系统功能模块的设计.....	20
4.3 数据库的设计.....	21
4.4 系统数据窗口设计及 ADO 应用.....	29
4.5 前台功能实现.....	31
4.5.1 数据库配置界面设计.....	31
4.5.2 登录界面设置.....	31
4.5.3 系统主窗体.....	32
4.5.4 设备管理界面.....	33
4.5.5 人员权限界面.....	34
4.5.6 数据更新界面.....	36
4.5.7 数据字典界面.....	38
4.5.8 串口接收.....	39
第五章 数据分析与处理.....	40
5.1 统计分析.....	40
5.2 单站气象要素预测研究.....	43
5.2.1 BP 神经网络与学习算子.....	44
5.2.1.1 神经网络概述.....	44
5.2.1.2 BP 神经网络.....	47
5.2.1.3 BP 神经网络学习算子.....	47
5.2.1.4 BP 算法的改进.....	49
5.2.2 基于时间序列和改进 BP 算法的短期温度、湿度、风速预测.....	50
5.2.2.1 数据预处理.....	51
5.2.2.2 时间序列神经网络预测模型.....	52
5.2.2.3 网络训练与仿真.....	54
5.3 天气预警.....	60
第六章 总结与展望.....	63
6.1 本文总结.....	63
6.2 研究展望.....	64
致谢.....	65
参考文献.....	66
论文清单.....	70

摘 要

公路交通在国民经济建设中的作用越来越重要,而灾害性天气对道路交通安全的影响越来越成为人们关注的热点,必须对气象要素进行连续地、自动地观测,并对这些来自现场的实测采集数据进行快速而有效地存储、管理、分析、处理和共享。为此,本文针对我国目前交通气象环境监测工作对气象观测数据从人工到计算机智能化管理的实际需求,设计了交通气象实时监测与数据管理系统,为交通气象的监测预警决策提供依据。主要内容如下:

采用 Client/Server 体系结构,以 SQL Server2000 作为本系统开发的数据库平台,对监测数据进行实时审核统计、分类存储,为表单建立索引,实现用户对气象数据的快速访问,并对数据库中的用户、表空间及数据文件进行管理;在 Window XP 操作系统上,采用 Delphi7.0 编程语言完成对系统各模块的设计与开发;使用 ADO 控件完成了应用程序与中心数据库之间的连接,采用 Delphi 与 Office 软件相结合的方法及 Delphi 中 Timer 控件的定时功能实现了气象数据的智能化管理。对系统的功能、模块、系统流程等进行了分析,以实际业务和相关技术的实现为例,验证了方案的可行性。

系统实现了气象数据的实时接收,质量检查,以及存储、处理、分析;提供了查询功能包括历史数据的条件查询,并采用如报表、曲线等进行直观显示;实现了数据的备份、还原等功能。

根据近期的历史数据,利用时间序列和神经网络法实现气象要素短期预测,为预警服务提供支持;根据预测的数据及时准确的进行实时气象报警,如高温、大雨和沙尘暴等,供决策者参考,使恶劣天气带来的损失降到最低。

论文首先对交通气象产业的世界和国内发展状况作以概述;其次,对系统涉及到的相关技术作以概述;然后,详细介绍了交通气象实时监测和数据管理系统的设计与开发过程;随后的两个章节中,介绍了数据处理的相关内容:单站气象要素预测和天气预警。介绍了神经网络中 BP 网络和 BP 算法、BP 网络设计、训练以及结合时间序列法的神经网络预测。单站预测为进行单站天气预警提供了基础。最后,论文对课题进行了总结讨论,指出了后续工作中应努力提高和改善的地方。

关键词:交通气象, BP 网络, Delphi, SQL Server, 系统设计

Abstract

Function of highway traffic is more and more important in national economic construction. However, severe weather effects on road traffic safety has increasingly become the focus of attention. Meteorological elements must be continuously and automatically observed, and also the data observed should be quickly and efficiently stored, managed, analyzed, processed and shared. With regards to this, according to the actual demand to meteorological data management from manual to computer intelligent of domestic traffic weather monitoring job currently, a suit of real-time traffic monitoring and meteorological data management system is designed for weather monitoring and warning of traffic decisions. Main contents are as follows.

Client/Server architecture were selected. SQL Server2000 is selected as the system's database platform. The monitoring data are audited and counted in real-time, stored according to their sort, and the indexes are created on the tables, so that the users can access weather data quickly, and users, tablespace and datafile of database are managed. In Window XP, Delphi7.0 is utilized for designing and developing the system module. The connection between application program and the database of the central station is completed using ActiveX Data Objects (ADO). A method which combines the use of Delphi and Office software and uses the component of Timer in Delphi is determined to make the meteorological manage intelligently. The paper analyzed the function of this system, module, system processes and so on. And the actual implementation of business and related technology, for example, verified the feasibility of this solution.

This system achieves real-time reception of meteorological data, the check of data and the storage of meteorological data, data processing and analysis; provides a search function including the conditions of the show of historical data, and using such report, curves for visual display; to achieve a data backup, restore and other functions.

According to recent historical data, using time series and neural networks to achieve short-time forecast of meteorological elements, to provide support services for the early warning. Based on the predicted data for timely and accurate real-time weather alarm, such as high temperature, heavy rain and sandstorms, etc., and for decision makers, so that the losses caused by bad weather to a minimum.

First, the paper describes traffic weather industry in the world and domestic developments; Second, the paper introduces related technology systems involved; then, it recommends the

details of real-time traffic monitoring and meteorological data management system design and development process; the next two chapters, describes the data processing related content:single station meteorological elements and weather forecasts warning. Introducing the neural network BP algorithm and BP network, BP network design, training, and combined with neural network time series prediction. Single-station weather forecast provides the basis for early warning.Finally, the paper summarizes the topics discussed and points out the follow-up should strive to improve and areas for improvement.

Key words: Traffic weather, Back Propagation network, Delphi, SQL Server, system design



第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

气象信息一直是人们最为关心的问题之一，在现代信息产业领域占有独特地位。掌握和利用气象信息不仅可以预防灾害性天气带来的不利影响，还会给社会和经济带来巨大效益。

近年来，我国高速公路的发展十分迅速。但是，随着高速公路的快速发展，道路交通安全问题日益突出^{[1][2]}。在我国，高速公路事故率比普通公路高出3倍多，而世界发达国家高速公路死亡事故率仅为普通公路的1/2—1/10。高速公路交通事故发生的原因涉及人、车、路、交通环境及管理等多种因素，而因气候恶劣引起的高速公路交通事故更是屡见不鲜。恶劣的天气及气候条件，如雨、雪、雾、高温、冰冻和沙尘暴等对高速公路安全运行的危害很大，尤其在大雾和雨雪的恶劣气候条件下，高速公路交通事故明显呈现多发趋势^[3]。随着高速公路的发展以及高速公路网的形成，灾害性天气对道路交通安全的影响越来越成为人们关注的热点。因此，需要对交通气象进行实时监测，配以科学的数据分析方法和气象信息展示手段，达到全局掌握交通气象信息，实时监测预警及气象历史资料积累，对预防高速公路交通事故的发生，降低事故率，提高高速公路运输效率，保障交通安全具有重大意义。

自动气象站实时资料已完全融入到了气象业务、科研、服务工作中，所以其质量也倍受关注。但是由于交通气象数据量庞大，数据处理困难，所以并没有能够充分发挥出它应有的功能和作用。受江苏省产学研前瞻性项目“基于手机平台的交通气象检测及信息分发关键技术研究”的资助，展开了交通气象实时监测与数据管理系统的研究。如何从这些种类多样，格式复杂的大量数据资料中快速得到格式统一、模式一致的信息用于分析和决策，以便更好地参与信息交换，是一个亟待解决的问题。

1.2 国内外现状

道路天气问题以及在各种天气下的行车安全问题在上世纪50年代就引起了人们的重视^[4]。目前，国际上通用的方式是建立道路气象信息系统(Road Weather Information System, RWIS)对高速公路沿线的气象条件进行监测和监控^[5]。

国外发达国家都在陆续建立以RWIS为主的各种不同形式的公路气象服务系统，有些国

家的交通机构把 RWIS 与他们自己的智能交通系统进行整合,通过获取更多的气象信息来提高交通管理水平。例如,丹麦很早就建立了道路气象系统 Road Condition Model System(RCMS),瑞典建立了 Slippery Road System Information (SRIS),奥地利建立了 VorEWa 系统,芬兰建立了 VARO,比利时建立了 DWTC-CP/40,法国建立了 SARI IRCAD 等等,而且随着欧洲一体化进程的发展,欧洲国家达成了一些协议,建立覆盖欧洲的道路气象监测控制系统,并命名为“公路网恶劣气象实时监测控制系统”^{[6] [8][9][10]}。比较典型的是瑞士的道路气象信息系统:系统的监测数据每天 7 点、11 点和 15 点定点公布,除了正常预报外,当出现暴雨、冻雨或严重结冰时,信息将在 3 小时内传送到信息中心,然后由信息中心传送到维护部,由维护部门再进行相应的道路维护工作^[7]。

我国在公路气象方面的研究起步比较晚,与国际先进水平仍有很大差距,但是我国政府、科学研究人员和工程技术人员也做了大量的工作。2003 年国家气候中心组织召开了“国际公路气象与气候研讨会”,对灾害性天气气候监测、预警和预报等问题进行了专门的探讨和研究。张清、黄朝迎^[11]研究了我国交通运输气候灾害的特点、类型、分布及其影响,列举了各种气候灾害对公路、铁路、水运、民航交通的影响,又具体分析了暴雨洪水对公路交通的影响特点及类型,建立了公路路基水毁长度与受涝、成灾面积的统计模型^[12];蒋燕针对上海的气候特征和高速公路的实际情况,讨论了减少高速公路气象灾害事故的应对措施^[13];李盾等研究了武汉地区雾的天气气候特征,利用武汉的交通运输量及交通事故的资料,估算了雾对武汉地区交通安全所造成的损失^[14];孟燕军等分析了北京地区高速公路能见度气候特征^[15];张振维^[16]等研究了沈大高速公路沿线气象因子的特征;周石砾^[17]等分析了公路雪冰的基本特征,并根据日本雪冰灾害防治的实践经验,提出公路雪冰灾害防治对策。针对我国西部地区恶劣天气条件,胡新民、白惠星、付清华等人研究了高速公路大风、沙尘暴等灾害性天气^{[18][19][20]}。除了理论研究外,近年来我国各级工程技术人员纷纷开展了交通气象监测系统的研制和应用,其中以沪宁高速气象监测系统为代表的高速公路气象监测系统已投入使用。

目前我国交通气象信息系统主要存在以下几个问题:

- (1) 交通气象信息标准不统一;
- (2) 系统完整性差:由于标准不统一,各地的交通气象信息系统只能根据当地高速公路的情况,针对影响严重的气象因素进行监测,缺少对监测到的气象信息进行后续处理和利用;
- (3) 功能单一:只能监测单一气象要素,缺少监测网络的多功能设计和综合应用考虑;
- (4) 通信技术手段落后;
- (5) 交通、气象、规划等相关部门间的协作仍然不紧密,对交通气象信息的具体需求把

握不够明确^[21]。

以上问题的存在，影响着交通气象的发展，影响着交通气象灾害的有效防御。

1.3 研究目的

我国高速公路建设迅速发展，对我国的经济发展、国防建设和人民生活水平的提高发挥了显著的作用。现代交通运输追求快速、高效与安全，受到气象条件的影响和制约，恶劣的天气会造成不良的路面交通状况，影响车辆的正常驾驶，酿成重大交通事故，危及驾乘人员和行车的安全。恶劣的天气条件使高速公路的通行能力也有所下降，影响高速公路自身的经济效益，也有可能产生不良的社会影响。因此，在公路全线布设交通气象监测站，实时采集道路沿线的能见度、温度、相对湿度、风向、风速、雨量、路面温度等气象要素，开展公路气象灾害实时监测，为公路管理部门及时提供各路段的天气和路面状况。由于实时采集到的气象因子是零碎的、杂乱无章的，无法直接看出它们是否对公路交通造成不良影响，因此，必须及时将这些数据传送到远程数据中心；另一方面过于简单的气象数据处理也越来越不能满足现代人们对气象信息精细化服务的需求。

本文所设计的交通气象实时监测系统可实现交通沿线气象环境数据的实时传输，对实时数据进行分析、存储、统计、查询和可视化的图形；数据管理解决“海量”气象数据的分析、存储、管理和统计使用，进行单站天气预测预警，实现服务产品自动分发，为预报、管理部门的决策服务和用户出行等提供支持，使信息、资源得到充分共享。

1.4 研究内容

针对我国高速公路气象信息系统存在的问题，本文主要在以下几个方面进行研究：

- (1) 交通数据采集：通过无线传感器网络实时接收数据，对实时数据进行质量检查；
- (2) 对交通气象实时监测和数据管理系统进行了详细的需求分析和设计；
- (3) 对实时数据进行及时的分析处理。为了对数据进一步加工整理，开发了后台分析程序，对数据进行分析，为用户提供有价值的气象数据信息；
- (4) 数据管理中，利用大量历史数据，通过建立 BP 神经网络模型，实现单站气象要素简单的预测，并实现了简单的实时预警；

为了保证数据的安全，通过为客户制定不同的角色，对客户的权限进行限制。对于正确的数据进行相应的备份管理，以便日后进行查阅。

1.5 拟解决的主要问题

本文通过实际的项目对交通气象实时监测与数据管理系统进行了需求分析、总体设计和实现，提出了基于 C/S 模式下的监测和数据管理系统。该系统由数据通讯子系统、监测管理子系统及数据库子系统三部分组成，形成了数据传输、存储、分析、展示等几个主要步骤于一体的完整体系。

论文主要完成以下几部分工作：

- (1) 自动气象站的实时监测系统的研究；
- (2) 实时数据和历史数据的分析与处理，设计相应的算法，通过软件设计，使系统可以正常运行，为日后生成相应的产品提供参考。

第二章 系统相关技术介绍

2.1 Borland Delphi 开发工具

2.1.1 Delphi 概述

Delphi 被称为是第四代编程语言，它具有简单、高效、功能强大的特点。凭借其强大的功能、易用性以及开发数据库和网络应用程序上的极大优势，先后在低端战胜了 VB，在高端战胜了 PowerBuilder，成为了 Windows 平台下最好的开发工具之一。作为一个优秀的、体贴的、以人为本的开发工具，Delphi 一直坚持复杂问题简单化的思想，而且不隐藏其细节以适应不同层次的程序员 [2]。

Delphi 发展至今，从 Delphi 1.0、Delphi 2.0 到现在的 Delphi 7.0，它的第六个版本是 Windows 平台上第一个全面支持最新 Web 服务的快速开发工具，而在该版本中它又成为了第一个正式支持 .NET 的开发工具，使得 Delphi 程序员能够开始发展他们为 .NET 开发的技巧，而不必抛弃他们目前在 Windows 平台上的工作和技巧。同时，Delphi7 继续加强了对 Web 服务程序开发的支持。无论是企业级用户，还是个人开发者，都能够利用 Delphi7 轻松、快捷地构建新一代电子商务应用。Delphi 7.0 众多的优势当中，它在数据库方面的特点显得尤为突出：Delphi7 强大的数据库组件使得开发数据库系统显得从所未有的容易。Delphi7 对于开发不同的数据系统提供了相应的组件集合。其中最有用的就是 ADO 组件集合，它完整地封装了 ADO 底层，并提供了快捷、方便而且高效的接口让我们能够很容易地开发出高效的数据库系统。

2.1.2 面向对象的 Pascal 语言

面向对象的程序设计(Object-Oriented Programming, 简记为 OOP)是 Delphi 诞生的基础。OOP 通过给程序中加入扩展语句，把函数“封装”进 Windows 编程所必需的“对象”中。面向对象的编程语言使得复杂的工作条理清晰、编写容易。

早期的具有 OOP 性能的程序语言如 C++，Pascal，Smalltalk 等，与用户交互能力较差，程序员仍然要编写大量的代码，而 Delphi 会自动完成绝大多数的工作。

Delphi 7.0 采用面向对象的 Pascal 语言作为开发应用程序的语言。Pascal 语言是 70 年代由 Nicholas Wirth 开发出的一种结构化程序设计语言。它具有思路清晰、结构紧凑等特点，

因此被广泛使用。Pascal 是一种编译性语言，可以高效地执行代码，编译速度是所有编程语言中最快的语言。Object Pascal 是在 Pascal 语言基础上通过引入面向对象的特征发展而来的。所以，Object Pascal 不但保留了 Pascal 的所有优点，还具有便于应用程序开发的面向对象的特征。

面向对象编程虽然不能使得代码容易编写，但是它使代码更容易维护，同时将代码与数据结合在一起，使代码的调试和定位变的简单，从而提高程序的性能。一般面向对象要实现以下三个概念：

(1) 封装：把相关的数据和代码结合在一起，并隐藏了实现的细节，它的好处就是有利于程序的模块化。

(2) 继承：是指一个新对象从父对象中获取属性和方法，同时能在父对象上建立独立与父对象的属性与方法，它的好处是能共享代码。

(3) 多态性：指调用一个对象变量的方法时，实际被调用的代码与实际在变量中的对象的实例有关。

2.2 SQLServer2000 数据库

数据库是将许多具有相关性的数据以一定的组织方式存储在一起形成的数据集合，数据库管理系统 (Database Management System, 简称 DBMS) 是支持建立、使用、组织、存储、检索和维护数据库的软件系统，它包括数据库模型、数据模型、数据库与应用的接口语言等。

庞大的气象数据的收集、分发、存档、检索都离不开高性能数据库的支持，同时对数据的管理、实时访问等提出了很高的要求，必须建立分级分布式数据库系统才能满足系统的要求。

SQL Server 2000 是 Microsoft 公司推出的 SQL Server 数据库管理系统的最新版本，具有使用方便，可伸缩性好与相关软件集成程度高等优点，可跨越从运行 Microsoft Windows 98 的膝上型电脑到运行 Microsoft Windows 2000 的大型多处理器的服务器等多种平台使用。区别于 FoxPro、Access 小型数据库，SQL Server 是一个功能完备的数据库管理系统。它包括支持开发的引擎、标准的 SQL 语言、扩展的特性 (如复制、OLAP、分析) 等功能。而像存储过程、触发器等特性，也是大型数据库才拥有的。

SQL Server 关系型数据库系统管理的数据，其结构较为简单，数据本身以二维表的形式并行存储，表之间的数据联系是通过一个表的码与另外一个表的码连接来实现。关系数据库系统为其管理的数据提供并发控制、应急恢复和可伸缩性等功能，提供了强大的查询

功能以及能十分方便、易于使用的查询语言 SQL。SQL Server 还提供了基于用户接口、向导程序、重复性任务作业调度以及面向脚本化应用操作的 SQL-DMO 的强大管理模型。SQL Server 采用 C/S 结构，可以通过 ADO、DAO、OLEDB、ODBC 技术进行连接。

2.3 ADO 技术访问数据库

数据库应用程序必须与数据库之间进行数据交换，一个数据库应用程序在逻辑上通常由两部分组成：一是数据库访问链路（Delphi 中的数据模块），二是用户界面。数据模块（Data Module）的作用是把用户界面和后台的数据库连接起来。本文通过 ADO 访问数据库技术实现交通气象业务信息化、程序化。

2.3.1 ADO 概述

ADO 是 Active 数据对象（Active Data Objects）的简称，是一种提供访问各种数据类型的连接机制^[22]。虽然 OLE-DB 允许程序员存取各类数据，是一个非常良好的架构，但是由于 OLE-DB 太底层化，而且在使用上非常复杂，需要程序员拥有非常高超的技巧，这样 OLE-DB 无法广为流行。为了解决这个问题，Microsoft 同样以 COM 技术封装 OLE-DB 为 ADO 对象，简化了程序员数据存取的工作。从形势上看，ADO 已经成为业界的标准，在 Delphi 中使用 ADO 也相当方便。ADO 设计为一种极简单的格式，可以直接访问各种数据库，也可以通过 ODBC 的方法同数据库接口。可以使用任何一种 ODBC 数据源，即不止适合于 SQL Server、Oracle、Access 等数据库，也适合于 Excel 表格、文本文件、图形文件和无格式的数据文件。ADO 是基于 OLE-DB 之上的技术，因此 ADO 通过其内部的属性和方法提供统一的数据访问接口方法。同时，它也是本系统所采用的方法。

2.3.2 ADO 体系结构

ADO 一般有七种对象：连接（Connection）对象，命令（Command）对象，记录集（Record）对象，域（Field）对象，参数（Parameter）对象，错误（Error）对象和属性（Property）对象，其中连接对象是其他对象的基础。ADO 的总体结构如图 2-1 所示。

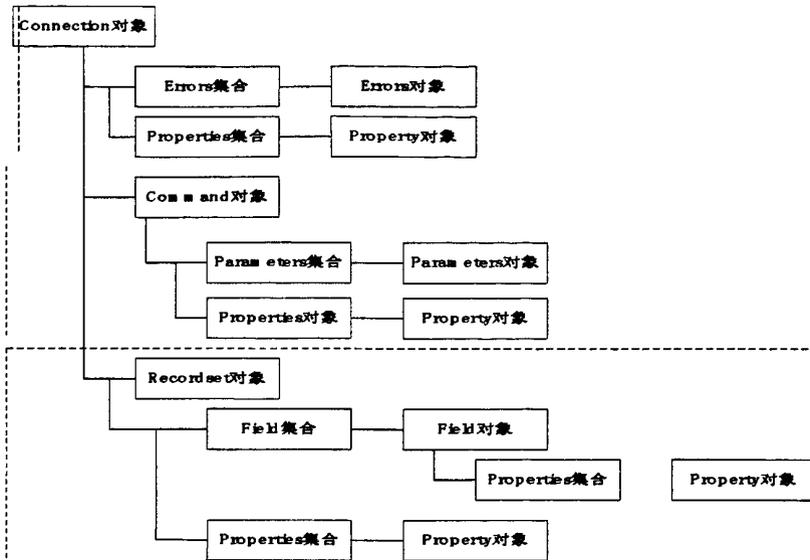


图 2-1 ADO 的总体结构

2.3.3 ADO 技术特点

ADO 技术是访问数据库的新技术，具有易于使用、访问灵活、应用范围广的特点。ADO 访问数据库的特点如下：

- (1) 易于使用；
- (2) 可以访问不同的数据源，且高速访问数据源；
- (3) 可以用于 Microsoft Active；
- (4) 程序占用内存少；

鉴于上述特点，ADO 在当前 C/S 结构的对数据库访问中被广泛应用。本系统也将采取 ADO 作为访问数据库的技术。

2.4 系统体系架构

为了能及时高效地访问中心数据库中的各种气象数据与产品，提供两种架构，一种是 C/S 模式(Client/Server 客户端/服务器)，一种是 B/S 模式(Browser/Server 浏览器/服务器)。典型的 C/S 模式应用系统网络结构如图 2-2；典型的 B/S 模式应用系统网络结构如 2-3 所示：

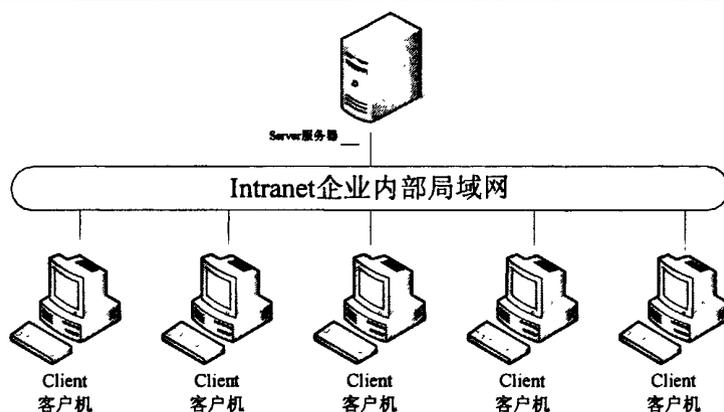


图 2-2 典型的 C/S 模型应用系统

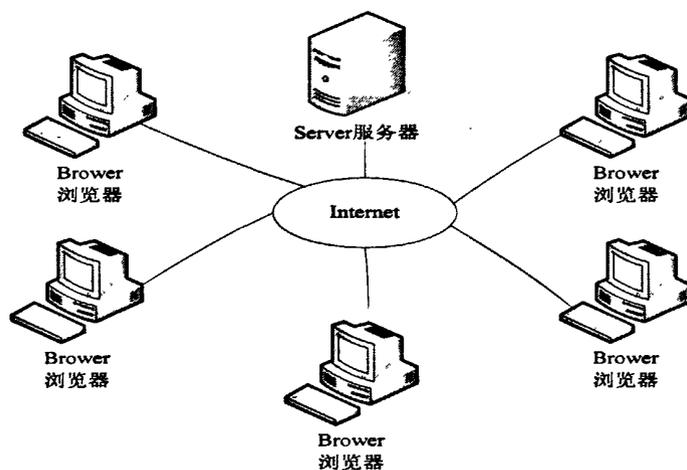


图 2-3 典型的 B/S 模型应用系统

C/S (Client/Server) 结构与 B/S (Browser/Server) 结构相比较有以下优点^[2]:

(1) 服务器运行数据负荷较轻

最简单的 C/S 体系结构的数据库应用由客户应用程序和数据库服务器程序两部分组成。客户端具有一定的数据处理和数据存储能力，通过把应用程序的计算和数据合理地分配在客户机和服务器两端，可以有效地降低网络通信量和服务器运算量；

(2) 数据的存储管理功能较为透明

在数据库应用中，数据的存储管理功能由服务器程序和客户应用程序分别独立进行，在服务器程序中不集中实现；

(3) C/S 界面具有很好的交互性

天生的交互性优于 B/S, 对于频繁使用者，提供了很大的便利，就如同 MS Office 客户端界面一样。

鉴于 C/S 架构的以上优点，本系统采用了 C/S 架构。

第三章 自动气象站实时监测

实时监控的内容包括主要观测资料的收集、信息传输和分发等过程的监控。无论是交通工程建设前期的气候背景调查分析、交通建设运营与气象的相互影响的评估,还是工程施工建设及运营的气象保障,都离不开气象观测资料,这些表征当地及周边真实气象状况的数据,是交通气象灾害研究、评估、论证及预报、预测、预警的基础,有效获取正确的观测数据并实时传输到各相关部门和人员手中,是有效防御交通气象灾害的重要手段^[21]。交通气象实时监测与数据管理系统对探测数据的实时性要求非常高,如果不能及时获取气象数据,天气预警也就无从谈起。自动气象站具有人工观测无法相比的优点,一般由传感器、变换器、数据处理装置、资料发送装置、电源等部分组成。变换器将传感器感应的气象要素(风、温、湿、气压、太阳辐射、降雨等)转换成电信号;数据处理装置则对这些电信号进行处理,再转换成数字化的气象要素值。自动气象站数据采集具有精度高、数据量相对较小、可靠性高、温度性能好、低功耗等特点。

现有的气象实时监测,大多使用传统的传感器技术,工作在有线方式,在实际的气象监测应用时,由于需要密布传感器节点,才能实现对监测区域的有效覆盖,这将导致设备内部线缆纵横交错,监测系统施工难度大,安装及维护成本急增。

3.1 无线传感器网络技术

3.1.1 无线传感器网络

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络^[23]。无线传感器网络具有众多类型的传感器,传感器节点可探测包括温度、湿度、能见度、风速、风向、压力等人们感兴趣的物理现象,每个节点都具有数据采集与路由功能。节点最后将这些信息发送到网关节点,网关负责融合、存储数据,并把它传送到 Internet/Intranet 或者卫星网络上,从而将采集到的信息回传给远程的终端用户。用户管理节点可以远程接收、分析,进行监测预报。传感器网络的三个基本组成包括:传感器、感知对象和观察者。

3.1.2 无线传感器网络的结构

传感器网络系统通常包括传感器节点(sensor node)、汇聚节点(sink node)和管理节

点。传感器节点用来监测高速公路的气象信息，并将信息传送到汇聚节点——数据采集器，数据采集器将接收到的传感器监测信息传送到信息处理中心。数据采集器主要由无线通信模块和数据处理计算机组成，无线通信模块用来和无线传感器网络通信，数据处理计算机用来对接收到的气象监测信息进行处理。本文采用 RS-232 实现无线通信模块和计算机之间的数据传送。当传感器网络与用户网络距离较远时，通常需要借助网络基础设施，如 Internet、GSM、卫星网等进行连接，来实现它们之间的相互通信。此时，汇聚节点充当传感器网络 WSN 与主干网之间互联的桥梁。汇聚节点除了将数据传到上位机外也可将传感数据经 Internet、GSM 或卫星等途径传送给用户所在的任务管理节点。用户也可以通过任务管理节点对传感器网络进行管理和配置、发布监测任务或者收集回传数据。如图 3-1 所示。

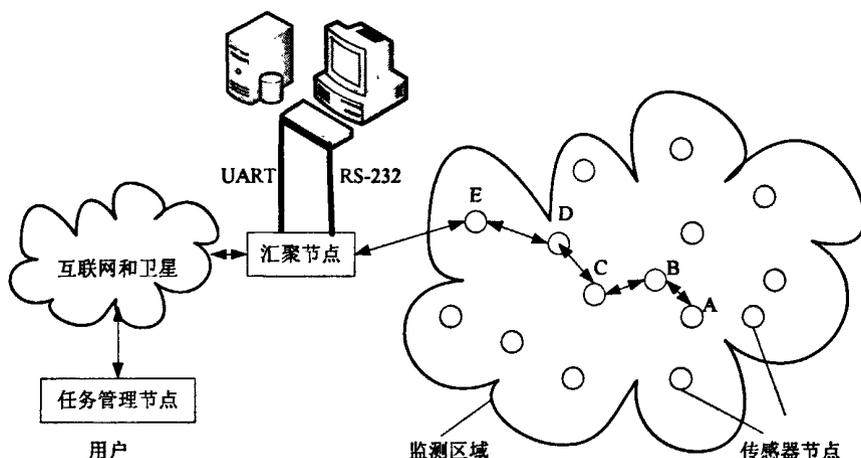


图 3-1 传感器网络结构

3.1.3 利用无线传感器网络监测交通气象条件的可行性

无线传感器网络主要用来监测和收集某一特定目标范围内的环境信息，所以可以用来对交通气象进行监测和收集，和其高速公路气象监测系统相比，利用无线传感器网络进行高速公路气象监测具有如下优点^[29]：

(1) 网络自成体

无线传感器网络可以不依赖其他网络实现监测数据的传输，对现有的高速公路网络通信系统不作任何变动，施工简单，应用方便；

(2) 节点密度大

低功耗、微型化、高度集成、低价格的传感器节点，可以密集部署在自动气象站内部，实现实时监测；

(3) 检测信息准确

由于传感器节点密度大，相互之间的距离比较小，所以可以得到比较准确的公路沿线气象信息；

(4) 施工简单

WSN 具有无基础设施，所以施工简单方便，适合对没有气象监测系统的高速公路进行改造；

(5) 扩展性大

随着无线传感器网络技术的发展，可以在现有的传感器网络中增加相应声音、图片等传感器即可。

3.2 自动气象站数据质量控制算法

数据质量控制应在数据收集和传输的各个主要环节进行，然后数据才能用于分析和分发。自动气象站数据以两种方式进行传输，一是每小时上传的数据称为实时资料；二是每月上传的数据文件称为非实时资料^[23]。

国外许多学者对气象数据质量控制做过研究^[24]，我国任芝花、王新华等人对非实时资料进行了质量控制研究^{[25][26]}，王海军、杨志彪等人对实时数据质量控制进行了研究^[27]。WMO（世界气象组织 World Meteorological Organization）认为^[28]，自动气象站实时数据资料的质量控制主要分为两部分，一是在观测台站进行的基本质量控制；第二就是在数据处理中心进行，数据处理中心除采用综合时间一致性、内部一致性等方法检查外，还应对测量值是否超出传感器测量范围进行评估。根据我国气象业务体制，除了基层台站进行基本质量控制外，实时数据传输到数据处理中心后，应该对自动站实时资料进行全面系统质量控制^{[29][30]}。

自动气象站数据资料质量控制包含的要素有：风速、风向、气温、地温、相对湿度、能见度等。质量控制的方法包括：范围检查、极值检查、内部一致性检查、空间一致性检查、气象学公式检查、统计学检查、均一性检查等。质量控制应用在资料的实时或近实时的获取和处理中。在时间上，质量控制贯穿于数据流程中的各个节点，从台站到各级资料处理中心，本文主要强调的是单站数据质量控制。数据的质量控制一般可以分为四个级别，如表 3-1 所示。

表 3-1 数据质量控制的级别

级别	质量控制
0 级	时间序列, 完整性检查 (文件)
1 级	文件数据格式检查
2 级	文件数据极值检查
3 级	文件数据时间一致性/空间一致性检查

由于严格的数据质量控制可能需要较长的分析和处理时间, 而时间对于实时监测又至关重要, 因此对于实时监测数据的质量控制方法必须在效果和效率上进行折中。

3.2.1 疑似误差信息的标注

用 x 表示气象要素或某时刻气象要素测量值。对一个气象要素测量值经过质量控制后, 可包括六种情况: 正确 (good)、不一致 (inconsistent)、可疑 (doubtful)、极可疑 (more doubtful)、错误 (erroneous)、丢失数据 (missing value)。用不同的代码进行标注, 0 表示数据正确, 1 表示数据不一致, 2 表示数据可疑, 3 表示数据极可疑, 4 表示数据错误, 5 表示丢失数据。原始数据还保留, 将错误数据存在数据库中的错误数据表中。本文在数据正确时不标注为 0, 也就是不对正确数据进行标注。

3.2.2 方法

实时数据质量控制响应速度要快, 质量控制过程不能受到人工干预, 能完全自动完成。所以实时数据质量控制算法必须简单快速, 不能过多使用前期的数据。根据以上的原则, 本文主要采用了原始数据范围检查、瞬时值范围检查, 瞬时值时间一致性检查、瞬时值变化的最小值检查、内部一致性检查^[32]。

①原始数据范围检查

对由采集器传来的实时数据, 首先进行传感器测量范围值的检查。设自动气象站传感器测量范围 $[\text{minrange}, \text{maxrange}]$, 对于一个测量数据 x , 必须满足:

```
if ( $x \leq \text{maxrange}$  AND  $x \geq \text{minrange}$ )
```

```
continue;
```

```
else
```

```
{Mark=4;};
```

②测量值瞬时值范围检查

对于一个气象要素的瞬时值 x , 变化范围应该满足:

空气温度: $-80^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$

露点温度: $-80^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$

地表温度: $-80^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$

土壤温度: $-50^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$

相对湿度: $0\sim 100\%$

站点气压: $500\sim 1100\text{hPa}$

风向: $0\sim 360^{\circ}$

风速: $0\sim 75\text{m/s}$

太阳辐射 (辐照度): $0\sim 1600\text{W/m}^2$

降水量 (一分钟): $0\sim 40\text{mm}$

当数值超过上述范围极限时, 将被标记为错误。

设某一个物理量的上下限分别为 U_p 和 Low , 则算法描述如下:

```
if ( $x > Low$  and  $x <= U_p$ )
```

```
continue;
```

```
else
```

```
{Mark=4;};
```

③瞬时值最大允许变化的时间一致性检查

对于测量值 x 的连续两次测量值 x_{i-1} 和 x_i , 差值为 $\Delta x = x_i - x_{i-1}$ 应该不大于表 3-2 中所列数值的绝对值。

表 3-2 测量值差值绝对极值限范围

气象要素	可疑极限	错误极限
空气温度	3°C	
露点温度	2°C 或 3°C	4°C
地表温度	5°C	10°C
5cm 土壤温度	0.5°C	1°C
气象要素	可疑极限	错误极限
10cm 土壤温度	0.5°C	1°C
20cm 土壤温度	0.5°C	1°C
50cm 土壤温度	0.3°C	0.5°C
100cm 土壤温度	0.1°C	0.2°C
相对湿度	10%	15%
气压	0.5hPa	2hPa
风速 (2min 平均)	10m/s	20m/s

太阳辐射 (辐照度)	800W/m ²	1000W/m ²
------------	---------------------	----------------------

设可疑极限和错误极限分别为 $\text{Threshold}_{\text{doub}}$ 和 $\text{Threshold}_{\text{err}}$, 根据上面的判断, 算法可以表示为:

```
if (fabs(x) > Thresholddoub and fabs(x) <= Thresholderr)
```

```
    Mark=3;
```

```
if (fabs(x) > Thresholderr)
```

```
    Mark=4;
```

④瞬时值变化的最小值检查

对于一个测量值 x , 用 x_i 和 x_{i-1} 表示当前时刻和 60min 前的测量值, 其差 $\Delta x = x_i - x_{i-1}$ 。

对于不同气象要素, 应该分别大于下面的值 (Threshold):

气温: 0.1℃

露点温度: 0.1℃

地表温度: 0.1℃ (只有当地表温度不再 [0.1℃ + 0.1℃] 间隔内, 上述公式成立, 对于融雪可能产生等温的情况, 此时极限值应是 0℃, 即连续 60min 地表温度可以没有变化。)

相对湿度: 1% (只有当相对湿度的测量小于 95% 时)

气压: 0.1hPa (长于过去 60min)

风向: 10°

风速: 0.5m/s (只有当在此间 10min 的平均风速大于 0.1m/s)

根据上面的判断, 算法表示为:

```
if (fabs(xi - xi-1) >= Threshold)
```

```
    continue;
```

```
else
```

```
    {Mark=4;};
```

⑤内部一致性检查

对于同一时刻不同气象要素值应该满足下面的关系:

露点温度 ≤ 气温;

(风速=00) and (风向=00);

风速 ≠ 00 和 风向 ≠ 00;

阵风速 ≥ 风速;

如果总云量=0 和降水量>0, 两者都可疑 (或者大于雨量刻度的最小分辨率, 考虑到露水的积累);

如果总云量=0 和降水时间>0, 两者都可疑¹; (或者大于雨量刻度的最小分辨率, 考

虑到露水的积累);

如果总云量=8 和日照时间>0, 两者都可疑¹;

如果日照时间>0 和太阳辐射=0, 两者都可疑¹;

如果太阳辐射>500W/m² 和日照时间=0, 两者都可疑¹;

如果降水量>0 和降水时间=0, 两者都可疑¹;

如果降水时间>0 和天气现象是不同于降水类型, 两者都可疑¹;

(上标 1 表示: 只可能用于数据不超过 10min 长度时)

第四章 系统设计与开发

4.1 系统需求分析

气象因素对于高速公路交通安全畅通有着举足轻重作用，交通气象服务越来越成为世界各国重视的问题。目前，道路两边建立了很多座自动气象站，数量仍在不断增加，每天上传大量的实时气象数据。气象数据是气象业务工作的重要基础，在开展天气预报、气象服务和气象科学研究中，对气象数据提出的应用需求是各种各样的。然而，由于气象数据具有分布范围广、数据种类多、时间序列长、数据量大、一致性要求高等特点，所以如何有效组织和充分利用所有气象数据资源，为交通部门服务，是目前迫切需要解决的问题。本系统的目的就是利用无线传感器网络和数据处理技术，研究开发一套交通气象实时监测和数据处理系统，在提供高速公路路段气象实时监控能力的同时，实现气象数据存储、后台处理、数据发布等功能。

4.1.1 系统建设的目的和原则

4.1.1.1 系统建设的目的

高速公路里程长，路径区域多，沿线地理环境和地势环境复杂，气象变化会更加复杂，经常产生局部性气象变化，所以对高速公路沿线气象变化的预测和预报更加困难。交通气象实时监测和数据处理系统就是为了监测高速公路沿线的气象条件而建立的，所以系统的目标是为了保证高速公路的通行安全，对影响高速公路通行的、沿线的气象条件（包括：风、雾、雨、雪、冰、温度等）进行监控和监测，并将监测到的气象信息准确及时地传送到数据处理中心，由处理中心进行分析处理，并根据历史数据进行简单的天气预测，生成产品为交通管理提供一定的借鉴。系统应具有以下的功能：

(1) 用户管理：对系统用户进行增加、修改等管理，其中用户信息包括姓名、性别、年龄、住址、身份证号等信息。同时，为了保障系统的安全，设置权限管理，包括增、删、修改权限和分配权限。对系统权限分组管理，如系统管理员组，一般用户组，查询人员组，并具体分配这些组能够完成的工作，并将人员信息和权限组进行关联；

(2) 对从无线传感器网络传来的实时数据通过 RS-232 串口接收，进行相应的处理（如极值检查）、入库、显示；

- (3) 维护外场气象设备的基本信息：添加，删除，修改和查询设备；
- (4) 数据查阅：可以按照客户的要求查找实时和历史气象数据，如按时间、站点查询等；
- (5) 统计分析：对原始数据汇总，进行历史统计分析，生成统计报表，并且自动根据所选择气象要素生成曲线图等直观产品，为使用者提供直观的结论，方便快捷；
- (6) 气象预警：对局地性、突发性强，生消演变迅速，发展移动快，破坏性大的暴雨、大雪、沙尘暴等突发性天气进行预警；
- (7) 气象预测：根据历史数据，对未来的气象进行预测；
- (8) 日志管理：对系统记录的日志信息进行查询等管理，便于了解系统运行情况；
- (9) 数据维护：对数据库进行管理，防止系统出现操作失误或系统故障导致数据丢失，进行数据库的备份与恢复；
- (10) 系统信息：设置系统信息，包括设置系统权限，数据字典，修改密码等。

4.1.1.2 系统建设的原则

本系统的建立应遵循以下原则：

- (1) 准确性。高速公路气象监测系统检测到的沿线气象信息应该能准确反映高速公路气象环境的真实情况，误差应根据具体的气象现象控制在某一个范围之内；
- (2) 实用性。系统的实用性是系统顺利运行的关键问题。系统的实用性主要体现在系统的功能较强，与业务要求相吻合；系统灵活性好，适应能力强；提供友好的用户操作界面，具备直观易用的人机界面；
- (3) 及时性。系统能对气息变化做出及时反映，随时监测高速公路沿线的气象变化，并能将气象变化信息及时传送到信息处理中心；
- (4) 可维护性。考虑到本系统还是刚刚起步，将来业务还需要进一步的完善和扩充，因此，软件的设计应该更加灵活，系统应易于扩展，以满足不断增加的用户需求；
- (5) 安全性。整个系统具有良好的安全管理功能，通过用户权限管理、数据备份等，确保系统数据和网络的安全可靠。

4.1.1.3 系统总体设计目标

- (1) 数据准确；
- (2) 系统运行可靠，能长时间连续工作；
- (3) 界面美观，操作简单快捷，数据能够及时响应，做出相对较高的预测分析。

4.1.2 系统 E-R 图

E-R 图即实体-联系图 (Entity Relationship Diagram), 是指提供了表示实体型、属性和联系的方法, 用来描述现实世界的概念模型。通常, 使用实体-联系图来建立数据模型, 即 E-R 模型。E-R 图中包含了实体 (即数据对象)、关系和属性等 3 种基本成分, 通常用矩形框代表实体, 用连接相关实体的菱形框表示关系, 用椭圆形或圆角矩形表示实体的属性, 并用直线把实体 (或关系) 与其属性连接起来。根据系统的需求分析, 给出本系统的 E-R 图, 如图 4-1 所示。实体的属性参见数据库设计部分。

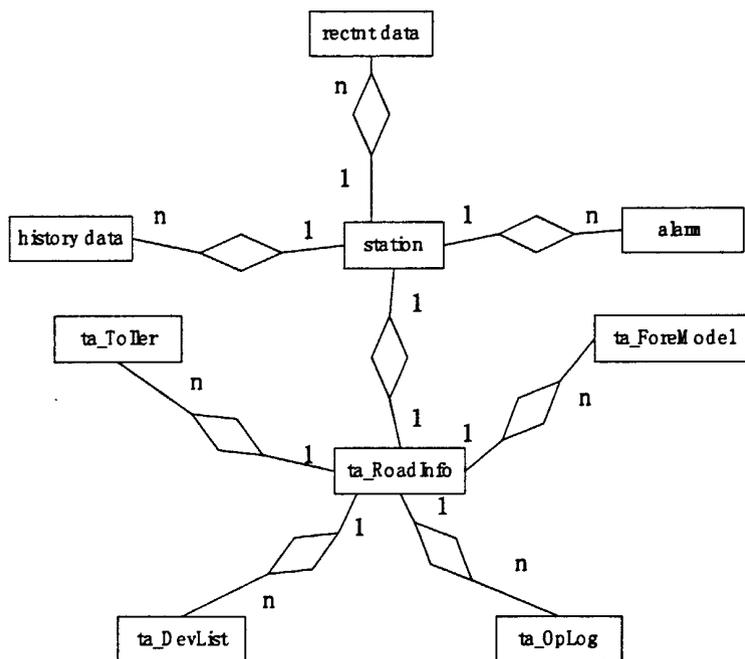


图 4-1 系统 E-R 图

4.2 系统设计

4.2.1 系统开发和运行环境

1、硬件环境:

(1) 服务器端

CPU Pentium IV 以上的专用服务器, 硬盘 80G 以上, 内存 512M 以上;

(2) 客户端

CPU Pentium II 以上微机, 硬盘 40G 以上, 内存 128M 以上。

2、软件环境：

(1) 后台服务器

后台服务器系统主机的操作系统采用 Windows 2003server。数据库采用 SQL Server2000；

(2) 客户端

前台多媒体计算机操作系统采用采用 WindowsXP，应用开发采用 Delphi7.0。

4.2.2 系统总体设计

系统总体设计如图 4-2 所示。

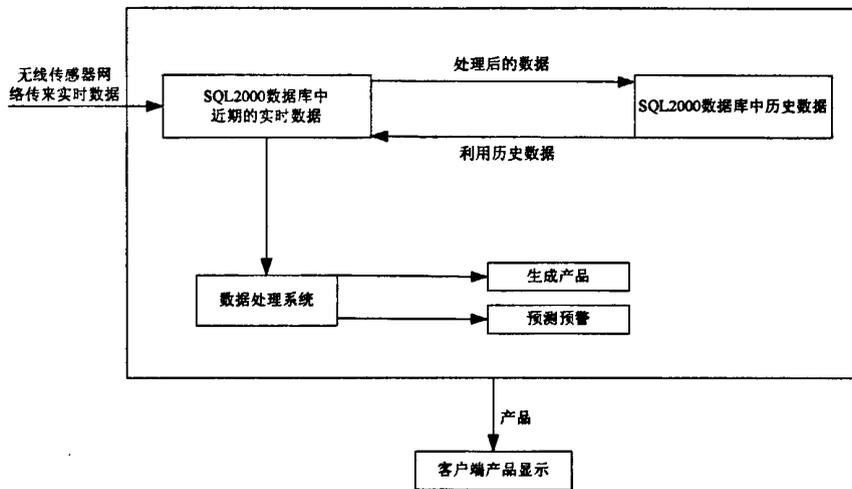


图 4-2 系统总体设计

4.2.3 系统功能模块的设计

本系统软件主要由三部分构成：数据通讯子系统、监测管理子系统及数据库子系统。

数据通讯子系统主要负责接收无线传感器网络传来的数据；监测管理子系统主要负责对采集到的实时数据进行处理，对数据进行综合分析以及预测预警，对系统使用人员、维护人员、设备基本信息进行基本维护，对相关数据查询及生成相应报表；数据库子系统对数据进行存储管理并完成日常的定期备份功能。系统功能如图 4-3 所示。

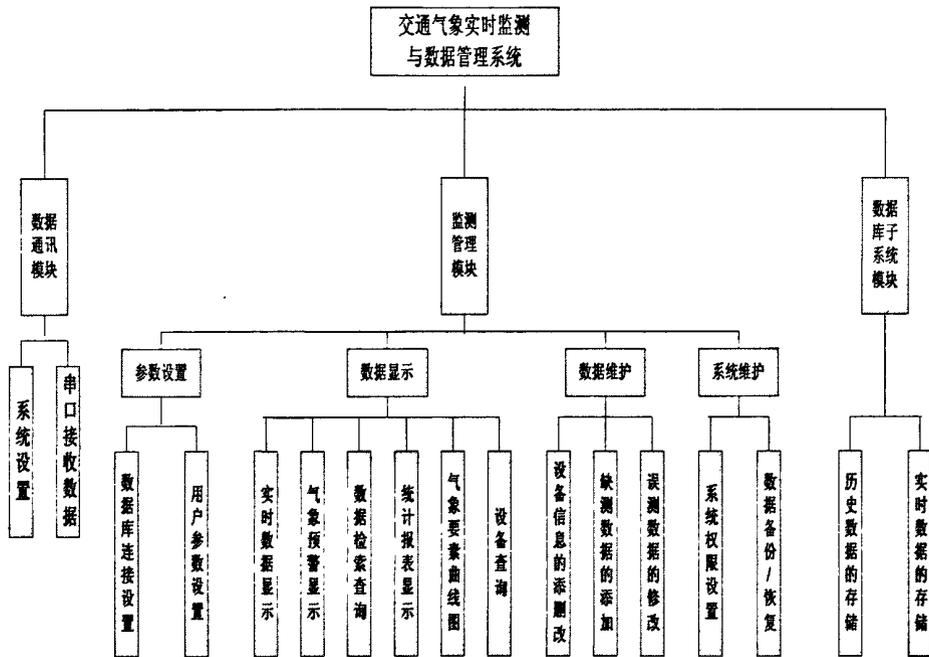


图 4-3 系统功能模块图

4.3 数据库的设计

数据库是信息系统的核心和基础，把系统中大量的数据按一定的模型组织起来，提供存储、维护、检索数据的功能，使系统可以方便、及时、准确地从数据库中获得所需的信息。数据库设计是信息系统开发和建设的重要组成部分。

本系统在设计数据库时，先进行需求分析，创建 E-R 图和数据字典，然后进行数据库的逻辑设计，即表和字段的设计。进行表设计时，要遵守 3NF（Third Normal Form）标准，即每个表只包括其本身基本的属性，当不是它们本身所具有的属性时需要进行分解，表之间的关系通过外键相连接。

对于得到的关系模式再做进一步的完善。首先为了保证存储数据的准确性和相容性，需要保证数据库的完整性。为维护数据库的完整性，DBMS 必须提供一种机制来检查数据库中的数据，看其是否满足语义约束规定的条件。这些加在数据库数据之上的语义约束条件称为完整性约束条件，它们作为模式的一部分存入数据库中。完整性约束条件作用的对象可以是关系、元组和列三种，其状态可以是静态的，也可以是动态的。所谓静态约束是指数据库每一确定状态时的数据对象所应满足的约束条件。它是反映数据库状态合理性的约束，这是最重要的一类完整性约束。动态约束是指数据库从一种状态转变为另一种状态时，新、旧值之间所应满足的约束条件。在 SQL Server 中，通过约束（constraint）、默认

对象 (default)、规则对象 (rule)、触发器 (trigger)、标识列 (identity column)、数据类型 (data type)、索引 (index) 和存储过程 (stored procedure) 等数据库对象来保证数据的完整性。约束又分为：默认值约束、空值约束、检查约束、主键约束、唯一性约束和外部关键约束等。

图 4-4 是数据库的关系图，以及部分主要基表属性。

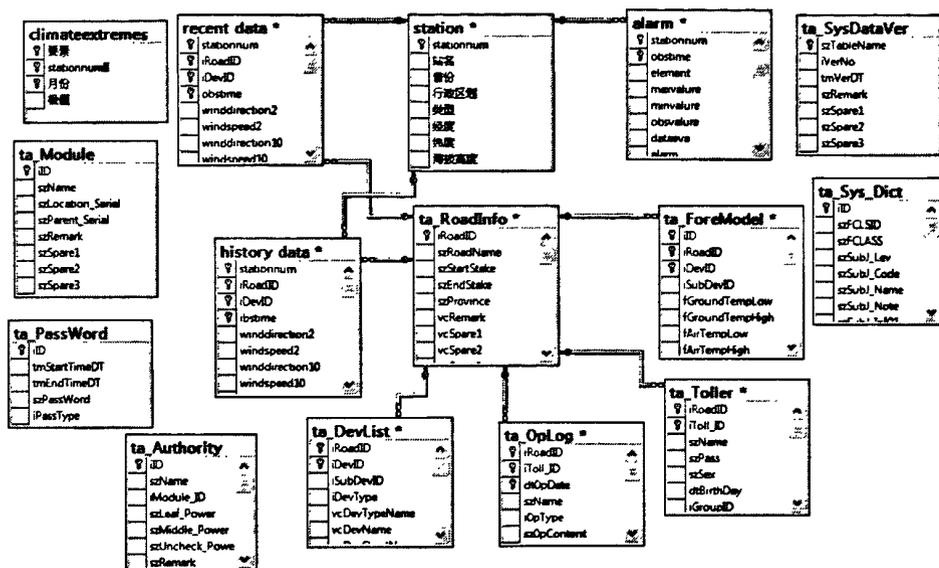


图 4-4 数据库关系图

表 4-1 权限定义表 ta_Authority

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iID	int	4		序号，主键
szName	varchar	100	√	组名称
iModule_ID	int	4	√	模块编号
szLeaf_Power	varchar	500	√	左节点
szMiddle_Power	varchar	500	√	中节点
szUncheck_Power	varchar	500	√	未选中模块
szRemark	varchar	50	√	备注
szSpare1	varchar	20	√	备用 1
szSpare2	varchar	20	√	备用 2
szSpare3	varchar	20	√	备用 3

表 4-2 设备信息表 ta_DevList

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iRoadID	int	4		主键，路段地区编号

iDevID	int	4		主键, 设备编号
iSubDevID	int	4	√	子设备编号
iDevType	int	4	√	设备类型
vcDevTypeName	varchar	50	√	类型名称
vcDevName	varchar	50		设备名称
vcDevShortName	varchar	20		设备简写
vcRoadName	varchar	30	√	路段地区名称
vcModel	varchar	10	√	设备类型
vcDirection	Varchar	20	√	所在方向(上行, 下行)
vcStakeNo	varchar	20	√	桩号
iCom	int	4	√	串口
iBaundRate	int	4	√	波特率
vcSerialParam	varchar	50	√	串口参数
vcIP	varchar	50	√	设备地址
dLastOpDate	datetime	8	√	上次操作日期
dLastFailed	datetime	8	√	上次失败时间
dLastCheckDate	datetime	8	√	上次检查日期
iStatus	tinyint	1	√	设备状态: -1 新加, 0 正常, >0 故障
iValid	tinyint	1	√	设备是否有效: 0 无效, 1 有效
iGroup	int	4	√	设备分组(用于多线程处理设备)
vcRemark	varchar	50	√	备注
vcSpare1	varchar	20	√	预留 1
vcSpare2	varchar	20	√	预留 2
vcSpare3	varchar	20	√	预留 3

表 4-3 系统模块信息表 ta_Module

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iID	int	4		编号, 主键
szName	varchar	50	√	模块名称
szLocation_Serial	varchar	250	√	本节点
szParent_Serial	varchar	250	√	父节点
szRemark	varchar	50	√	备注
szSpare1	varchar	20	√	备用 1
szSpare2	varchar	20	√	备用 2
szSpare3	varchar	20	√	备用 3

表 4-4 操作日志表 ta_OpLog

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iRoadID	int	4		路段地区编号, 主键
iTollID	int	4		人员编号, 主键
dtOpDate	datetime			操作时间, 主键
szName	varchar	20	√	人员名称
iOpType	int	4	√	操作类型: 0 登录, 1 退出, 2 警告信息
szOpContent	varchar	500	√	操作内容
iTransferFlag	int	4	√	传输标志: 0 为传输, 1 已 传输
iExportFlag	int	4	√	导出标志: 0 未导出, 1 已 导出
vcRemark	varchar	50	√	备注
vcSpare1	varchar	20	√	预留 1
vcSpare2	varchar	20	√	预留 2
vcSpare3	varchar	20	√	预留 3

表 4-5 数据编码表 ta_PassWord

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iID	int	4		编号, 主键
tmStartTimeDT	datetime	8		启用日期
tmEndTimeDT	datetime	8	√	结束日期
szPassWord	varchar	20		编码
iPassType	int	4	√	编码类型

表 4-6 道路基本信息表 ta_RoadInfo

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iRoadID	int	4		路段地区编号, 主键
szRoadName	varchar	50	√	道路地区名称
szStartStake	varchar	50	√	开始桩号
szEndStake	varchar	50	√	结束桩号
szProvince	varchar	50	√	所在省市
vcRemark	varchar	50	√	备注
vcSpare1	varchar	20	√	预留 1
vcSpare2	varchar	20	√	预留 2
vcSpare3	varchar	20	√	预留 3

表 4-7 数据字典表 ta_Sys_Dict

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iID	int	4		序号, 主键
szFCLSID	varchar	20	√	类别 ID
SzFCLASS	varchar	20	√	类别名称 (“基础类别”为根类名称, 不能改变)
szSubJ_Lev	varchar	40	√	项目等级
szSubJ_Code	varchar	40	√	项目编码
szSubJ_Name	varchar	40	√	项目名称
szSubJ_Note	varchar	100	√	项目备注
szSubJ_Inf01	varchar	40	√	备用
szSubJ_Inf02	varchar	40	√	备用
szSubJ_Inf03	varchar	40	√	备用
szSubJ_Inf04	varchar	40	√	备用
szSubJ_Inf05	varchar	40	√	备用

表 4-8 数据版本信息表 ta_SysDataVer

列名	数据类型	长度	允许空	说明
szTableName	varchar	20		表名称, 主键
iVerNo	int	4	√	当前版本
TmVerDT	datetime	8	√	版本日期
szRemark	varchar	50	√	备注
szSpare1	varchar	20	√	备用
szSpare2	varchar	20	√	备用
szSpare3	varchar	20	√	备用

表 4-9 人员信息表 ta_Toller

列名	数据类型	长度	允许空	说明
iRoadID	int	4		路段地区编号, 主键
iTollID	int	4		人员编号, 主键
szName	varchar	20	√	人员名称
szPass	varchar	20	√	登录密码
szSex	varchar	2	√	性别
dtBirthDay	datetime	8	√	生日
iGroupID	int	4	√	用户组 ID
dtRegDT	datetime	8	√	登记日期
szPaperName	varchar	20	√	人员证书
szPaperID	varchar	20	√	证书编号
szEduLevel	varchar	20	√	学历

szSchool	varchar	50	√	毕业院校
szTel	varchar	20	√	联系电话
szIntroduceMan	varchar	20	√	介绍人员
szAddr	varchar	50	√	住址信息
iValid	int	4	√	是否有效
szRemark	varchar	50	√	备注
szSpare1	varchar	20	√	备用 1
szSpare2	varchar	20	√	备用 2
szSpare3	varchar	20	√	备用 3

表 4-10 站点信息 ta_station

列名	数据类型	长度	允许空	说明
stationnum	float	8		站台号, 主键
stationnum	nvarchar	255	√	站台名称
province	nvarchar	255	√	所属省份
administrative	nvarchar	255	√	所属行政区
type	nvarchar	255	√	台站类型
longitude	float	8	√	经度
latitude	float	8	√	纬度
altitude	float	8	√	海拔高度

表 4-11 气象报警表 ta_alarm

列名	数据类型	长度	允许空	说明
stationnum	float	8		主键, 站台号
obstime	float	8		主键, 观测时间
element	char	10		主键, 气象要素
maxvalue	float	8	√	极大值
minvalue	float	8	√	极小值
obsvalue	float	8	√	观测值
alarm	varchar	50	√	报警说明

4-12 气候极值范围表 ta_climateextremes

列名	数据类型	长度	允许空	说明
element	nvarchar	255		主键, 气象要素
stationnum	float	8		主键, 站台号
month	nvarchar	2		主键

extrenum	float	8	√	极值
----------	-------	---	---	----

历史数据表 ta_history data 和近期数据表的属性相同,唯一的区别是,近期数据表里存放的最近 24 小时的数据,历史数据表中存放的则是历史上所有的数据。表的属性如下:

表 4-13 近期数据表 ta_recentdata 和历史数据表 ta_history

列名	数据类型	长度	允许空	说明
stationnum	int	4		主键, 站台号
obstime	smalldatetime	4		主键, 观测时间
winddirection2	smallint	2	√	当前时刻的 2 分钟风向
windspeed2	real	4	√	当前时刻的 2 分钟平均风速
winddirection10	smallint	2	√	当前时刻的 10 分钟风向
windspeed10	real	4	√	当前时刻的 10 分钟平均风速
maxwinddirection	smallint	2	√	每 1 小时类 10 分钟最大风速的风向
maxwindspeed	real	4	√	每 1 小时类 10 分钟最大风速
maxwindtime	smallint	2	√	最大风速出现时间
instantaneouswinddirection	smallint	2	√	当前时刻的瞬时风向
instantaneouswindspeed	real	4	√	当前时刻的瞬时风速
exmaxwinddirection	smallint	2	√	极大风速的风向
exmaxwindspeed	real	4	√	极大风速
exmaxwindtime	smallint	2	√	极大风速出现时间
precipitationmount	real	4	√	指定时段内的雨量累计值
airtemperature	real	4	√	当前时刻的空气温度
maxairtemperature	real	4	√	每 1 小时内的最高气温
maxairtemperaturetime	smallint	2	√	每 1 小时内的最高气温出现时间
minairtemperature	real	4	√	每 1 小时内的最低气温
minairtemperaturetime	smallint	2	√	每 1 小时内的最低气温出现时间
relativehumidity	smallint	2	√	当前时刻的相对湿度
minrelativehumidity	smallint	2	√	每 1 小时内的最小相对湿度值
minrelativehumiditytime	smallint	2	√	每 1 小时内的最小相对湿度出现时间
vaporpressure	real	4	√	当前时刻的水汽压值
dewpoint	real	4	√	当前时刻的露点温度值

stationpressure	real	4	√	当前时刻的本站气压值
maxstationpressure	real	4	√	每 1 小时内的最高本站气压值
maxstationpressuretime	smallint	2	√	每 1 小时内的最高本站气压出现时间
minstationpressure	real	4	√	每 1 小时内的最低本站气压
minstationpressuretime	smallint	2	√	每 1 小时内的最低本站气压出现时间
grasstemperature	real	4	√	当前时刻的草面（雪面）温度值
maxgrasstemperature	real	4	√	每 1 小时内的草面（雪面）最高温度
maxgrasstemperaturetime	smallint	2	√	每 1 小时内的草面（雪面）最高温度出现时间
mingrasstemperature	real	4	√	每 1 小时内的草面（雪面）最低温度
mingrasstemperaturetime	smallint	2	√	每 1 小时内的草面（雪面）最低温度出现时间
groundsurface temperature	real	4	√	当前时刻的地温温度值
maxgroundsurface temperature	real	4	√	每 1 小时内的地面最高温度
maxgroundsurface temperature	smallint	2	√	每 1 小时内的地面最高温度出现时间
mingroundsurface temperature	real	4	√	每 1 小时内的地面最低温度
mingroundsurface temperature	smallint	2	√	每 1 小时内的地面最低温度出现时间
groundtemperature5cm	float	4	√	当前时刻的 5 厘米地温值
groundtemperature10cm	float	4	√	当前时刻的 10 厘米地温值
groundtemperature15cm	float	4	√	当前时刻的 15 厘米地温值
groundtemperature20cm	float	4	√	当前时刻的 20 厘米地温值
groundtemperature40cm	nvarchar	4	√	当前时刻的 40 厘米地温值
groundtemperature80cm	nvarchar	4	√	当前时刻的 80 厘米地温值
groundtemperature160cm	nvarchar	4	√	当前时刻的 160 厘米地温值
groundtemperature320cm	nvarchar	4	√	当前时刻的 320 厘米地温值
evaporationamount	real	4	√	每 1 小时内的蒸发累计值
sealevelpressure	real	4	√	当前时刻的海平面气压值

visibility	nvarchar	4	√	当前时刻的能见度
minvisibility	nvarchar	4	√	每 320 厘米地温值 1 小时内的最小能见度
minvisibilitytime	smallint	2	√	每 1 小时内的最小能见度出现时间

4.4 系统数据窗口设计及 ADO 应用

第二章已经介绍 ADO 相关技术,本系统为了实现访问数据更高的效率,选择基于 ADO 技术的 OLEDB 接口做为前台系统与数据库的链接方式。

系统建立之前先建立一个 Data Module 用于管理用到的 ADO 控件。包括开发过程中经常用到的 ADO Connection 控件,建立与数据库的连接。通过 ADO Connection 建立数据库连接,其他控件直接连 ADO Connection 就可以了。所以在程序开发之前我们先建立一个 Data Module 窗体,用来放置 ADO 控件。下面这个函数用来连接数据库,此后访问数据库时可以直接连接这个 ADO Connection 控件,也可以读取 ini 文件里的连接串。

```
function TpubDM.SetConnStr(FileName: String): Boolean
var
  s,ConnStr : String;
begin
  //数据库连接配置文件存在
  If FileExists(FileName) then begin
    ConnStr := GenConnStr(ReadConStrFromIni(FileName));
  AdoCon.Connected      := False;
    AdoCon.LoginPrompt   := False;
    AdoCon.KeepConnection := False;
    AdoCon.ConnectionString := ConnStr;
  Try begin
    AdoCon.Connected := True;
    WriteConStrToIni(GenServerInfo(ConnStr),FileName);
    Result := True;
  Exit; //连接成功,退出配置
  end;
  Except begin
    //配置数据库连接字符串
```

```
end;
End;
end;
//数据库连接配置文件不存在, 或者配置有错误
s := '数据库连接配置文件不存在, 或者有错误, 需要重新配置吗? ';
If MessageDlg(s,mtConfirmation,[mbYes,mbNo],0)=mrYes then begin
    AdoCon.Connected      := False;
    AdoCon.LoginPrompt   := False;
    AdoCon.KeepConnection := False;
    AdoConEd.EditConnectionString(AdoCon);
    ConnStr := AdoCon.ConnectionString;
    Try begin
        AdoCon.Connected := True;
        WriteConStrToIni(GenServerInfo(ConnStr),FileName);
        Result := True;
        Exit;    //连接成功, 退出配置
    end;
    Except begin
        //s := '您的配置不成功, 程序将终止执行! '
    end;
End;
end;
//不重新配置, 或者重新配置不成功, 程序终止执行
Result := False;
s := '没有重新配置数据库连接, 或者配置不成功, 程序将终止执行! ';
MessageDlg(s,mtConfirmation,[mbOK],0);
Application.Terminate;
end;
```

利用 ADO 与数据库连接后, 就可以在数据库前台对数据库进行操作了, 下面介绍本系统的前台设计。

4.5 前台功能实现

前台界面是用户操作的窗口，应该做到美观实用，没有复杂的操作就可以得到想要的数据和结果，因此，Delphi 设计窗口界面时，用到大量的第三方软件 VclSkin5.30、EhLib_4.1.4、Raize_4.3.2、lmd_tools_special_edition_6_1 等。以下就是前台功能界面的设计。

4.5.1 数据库配置界面设计

方便用户通过可视化界面进行数据库的连接。界面如图 4-5 所示。

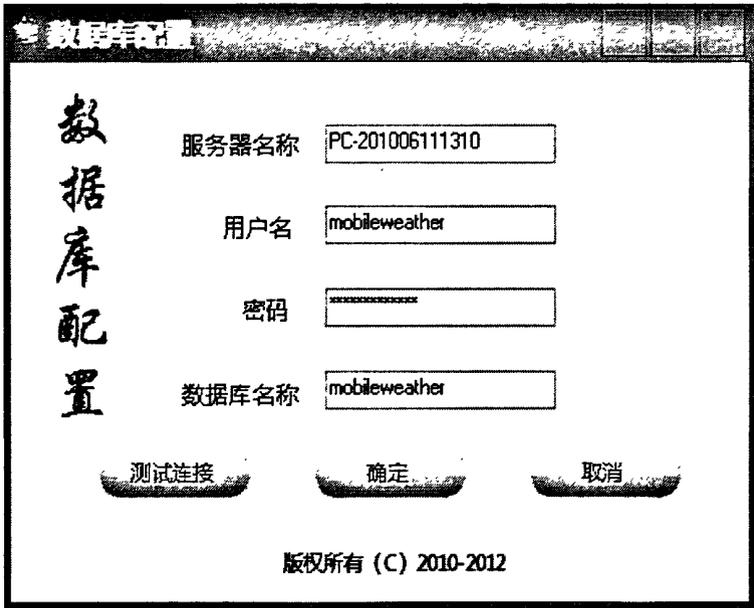


图 4-5 数据库配置界面

4.5.2 登录界面设置

用于验证用户登录信息及赋予使用系统权限。如系统管理员、网络管理员、管理员、用户等，不同的用户拥有不同的权限。根据登录时的用户名决定其相应的权限，在密码输入正确后显示不同的系统主窗体。如果用户名或登录密码不正确将弹出提示框，若连续三次输入登录密码不正确，客户端将提出警告并自动退出该客户端。系统登录界面如图 4-6 所示。

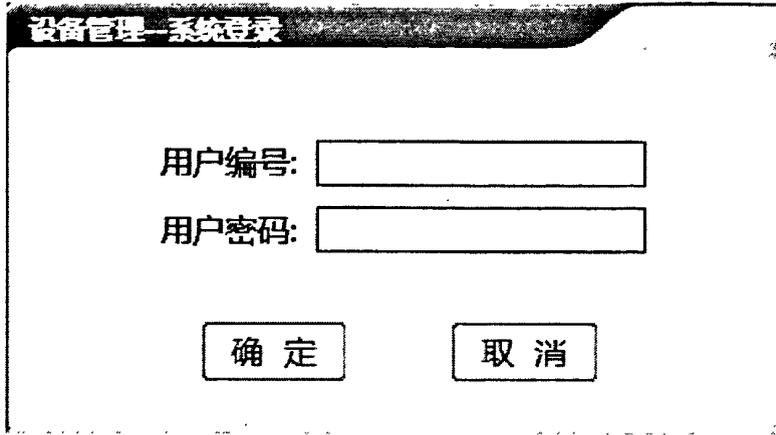


图 4-6 系统登录界面

4.5.3 系统主窗体

用户登录后，将进入系统主窗体。系统主窗体根据登录用户的权限，开放相应的功能模块使用权，如系统管理员具有所有功能模块的使用权限，而其他用户在不具有操作所选择的这个功能时，系统将会弹出提示框“抱歉，您没有该项使用权限！”。如图 4-7 所示。常用功能设成功能快捷方式置于第一行中。

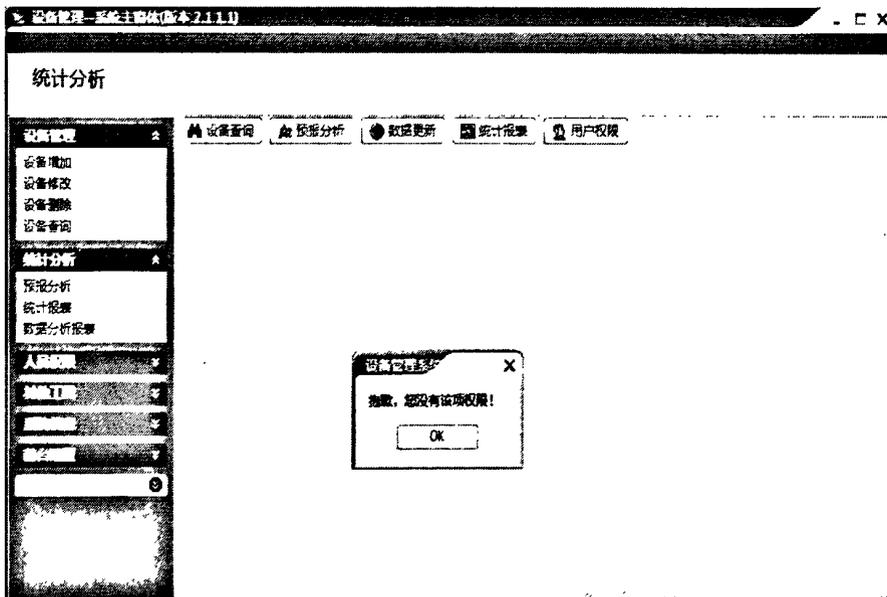


图 4-7 系统主窗体

4.5.4 设备管理界面

对外场气象设备的基本信息进行维护，包括：设备操作（添加、修改、删除）、查询设备、以及对设备有效和设备状态的变更。系统会自动将修改后的信息保存到数据库中，而且会进行相应的检查，可以保证没有重复的设备信息。如图 4-8 所示。

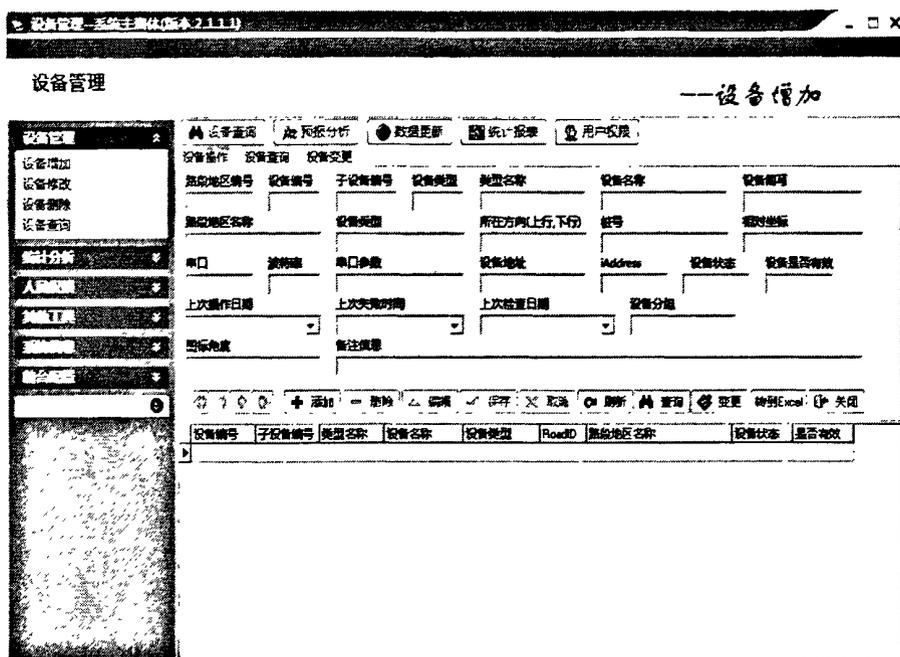


图 4-8-1 设备管理——设备操作

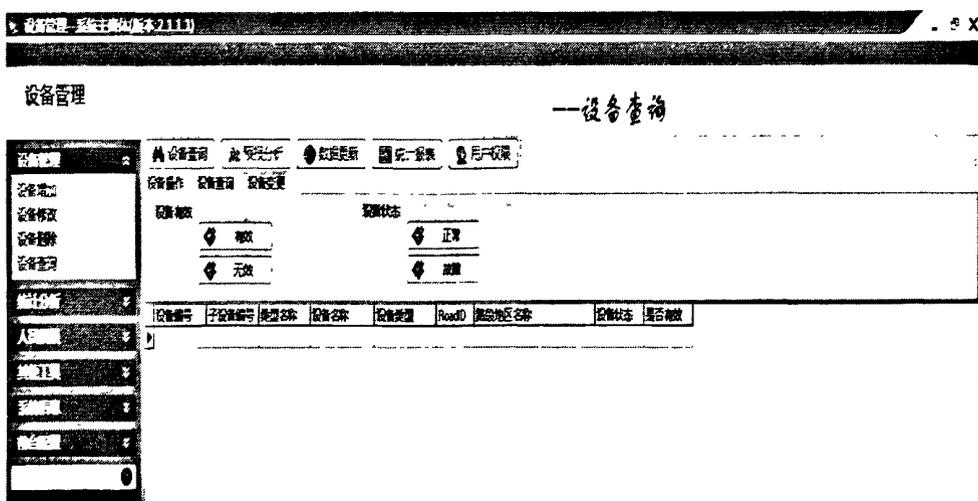
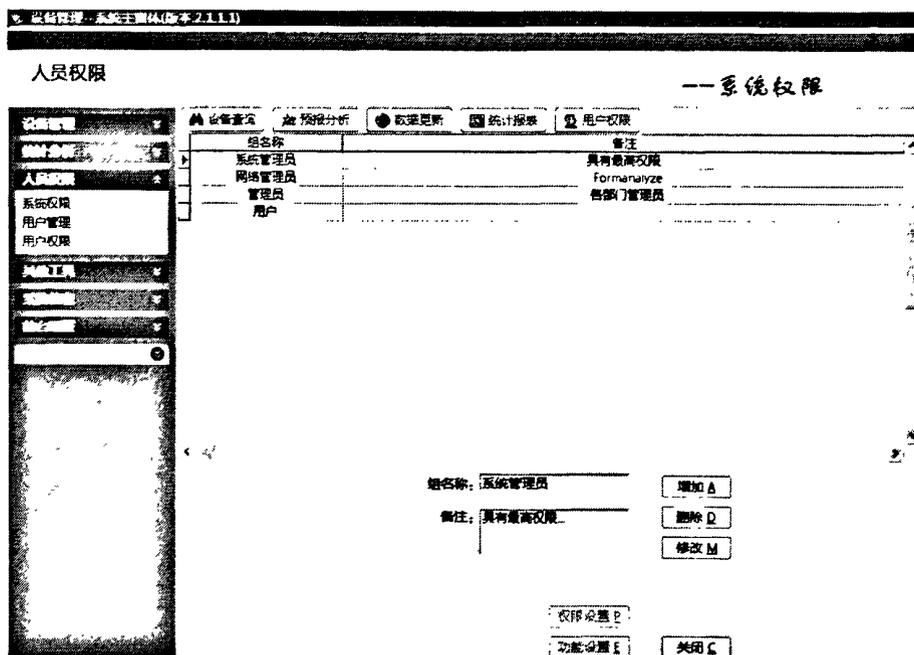


图 4-8-2 设备管理——设备变更

4.5.5 人员权限界面

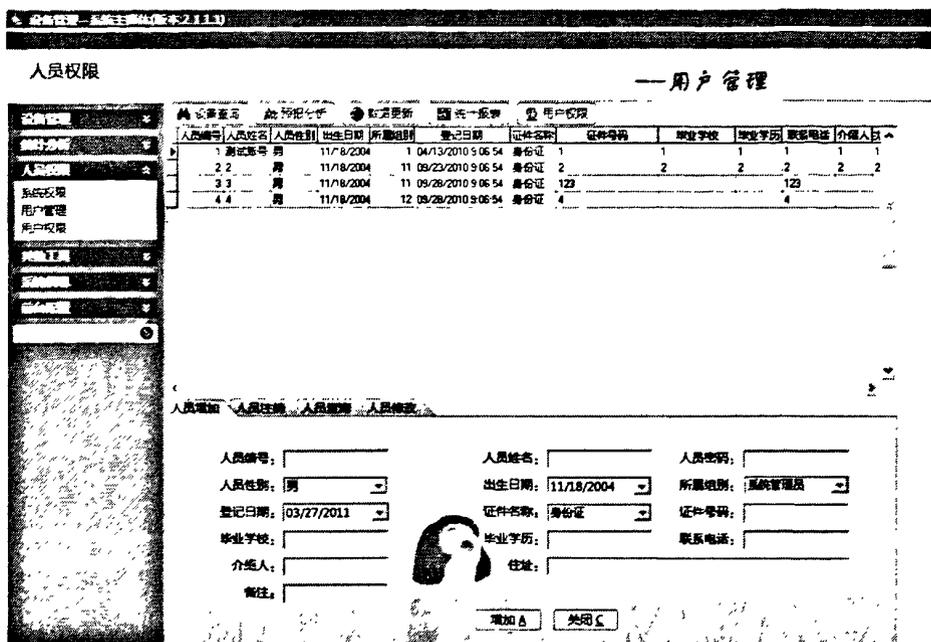
此界面由系统权限、用户管理以及用户权限三部分组成。提供完成的安全性管理，可以根据实际情况灵活的对权限进行分配定义为不同的角色。对用户的权限控制，可以使用预定义的角色进行权限分配，也可以手动对用户的所有权限进行分配，以保证系统的安全性。

由系统管理员对用户进行管理，可以进行用户的添加、删除以及权限分配等操作，用户口令使用加密保存，保证了密码的安全性。操作员只有输入正确的口令，才能进入系统，进行该用户权限内的操作。系统权限界面如图 4-9 所示。



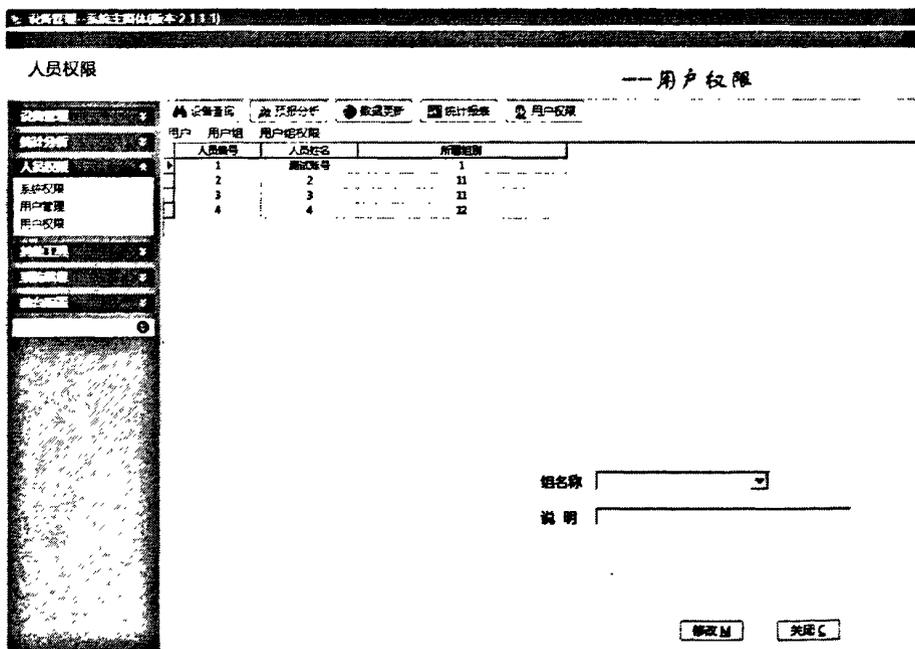
4-9 系统权限界面

用户管理界面如图 4-10 所示。可以对人员进行添加，注销，查询及修改。

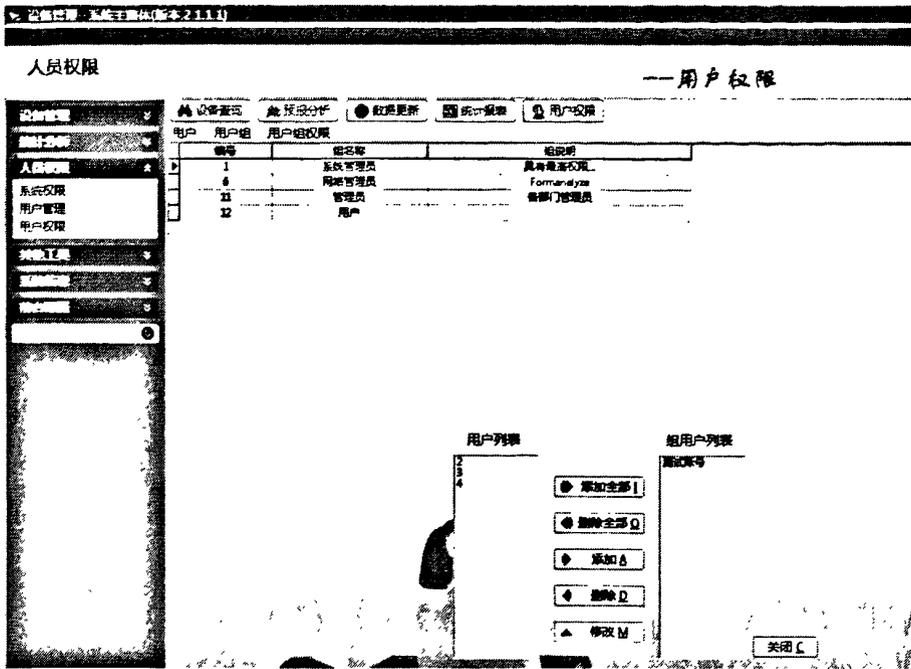


4-10 用户管理界面

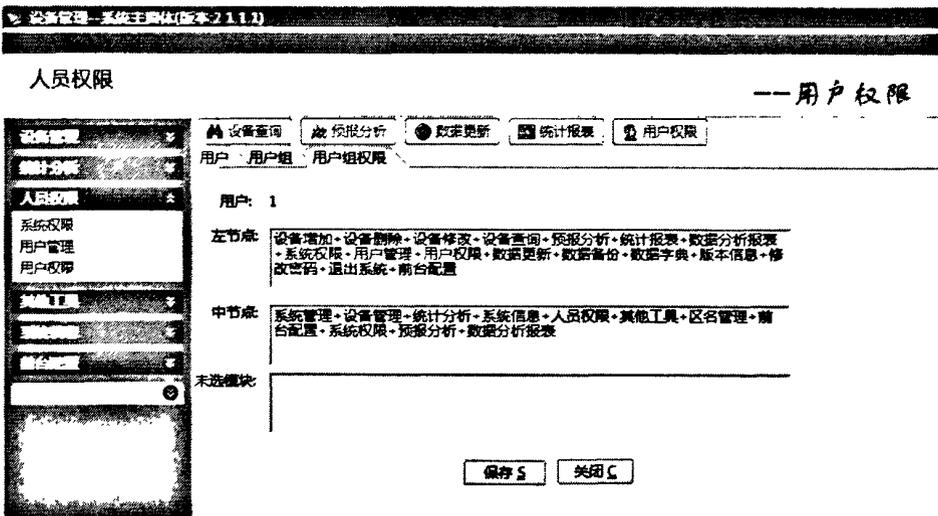
用户权限界面如图 4-11-1 至 4-11-3 所示。为用户选择合适的用户组，并为用户组设置相应的权限。



4-11-1 用户权限——用户



4-11-2 用户权限——用户组



4-11-3 用户权限——用户组权限

4.5.6 数据更新界面

对实时数据进行质量检查后，若发现缺测或错误数据，可以通过数据输入与修改，或从外部导入 EXCEL 表格数据，以保证气象数据的正确。根据选择条件出现相应的数据，选中需要修改的记录，可以对它进行添加，删除，修改，修改后的记录都将保存在后台数据库中，或将所有气象数据包括修改的记录以 EXCLE 表导出保存，便于日后查询使用。

系统具有数据备份功能，实时将重要的数据进行备份，并自动进行时间标识。一旦系统受到破坏，可以尽快地恢复系统运行。可人工进行数据备份如图 4-12 所示；也可自动备份，利用 SQL server2000 的作业功能，新建一个作业，每天的凌晨定时备份一次数据，并保存到其他存储器上。

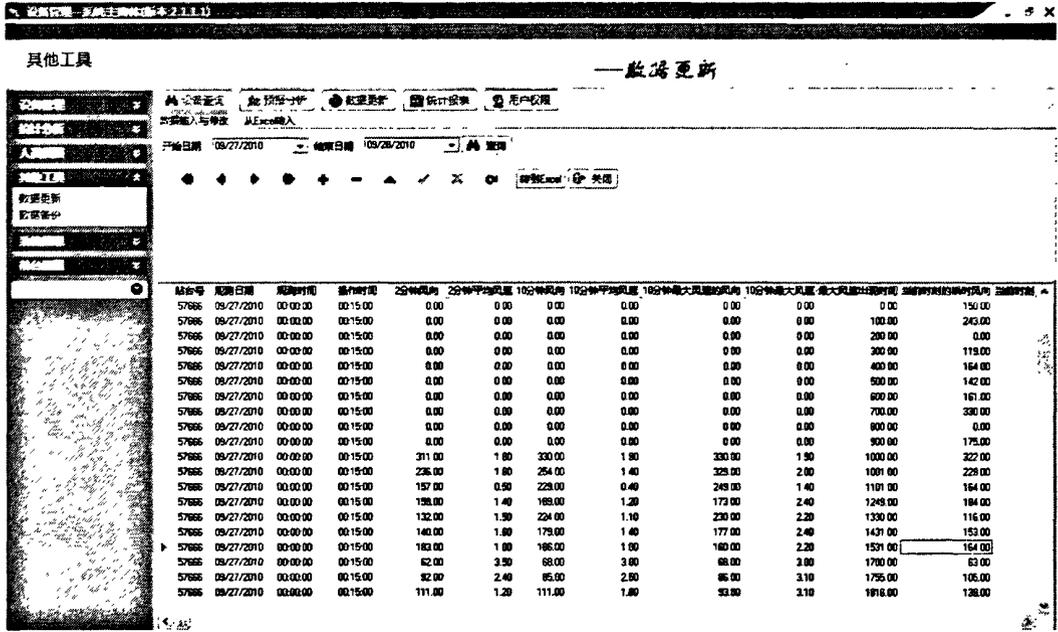


图 4-12-1 数据输入与修改

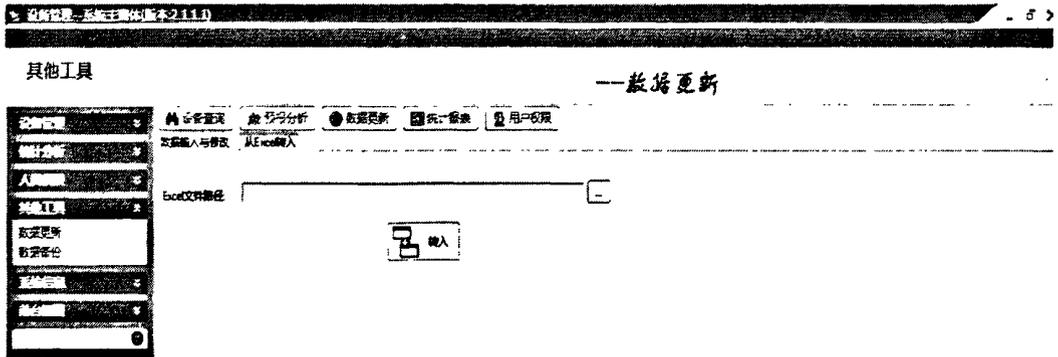


图 4-12-2 从外部导入批数据

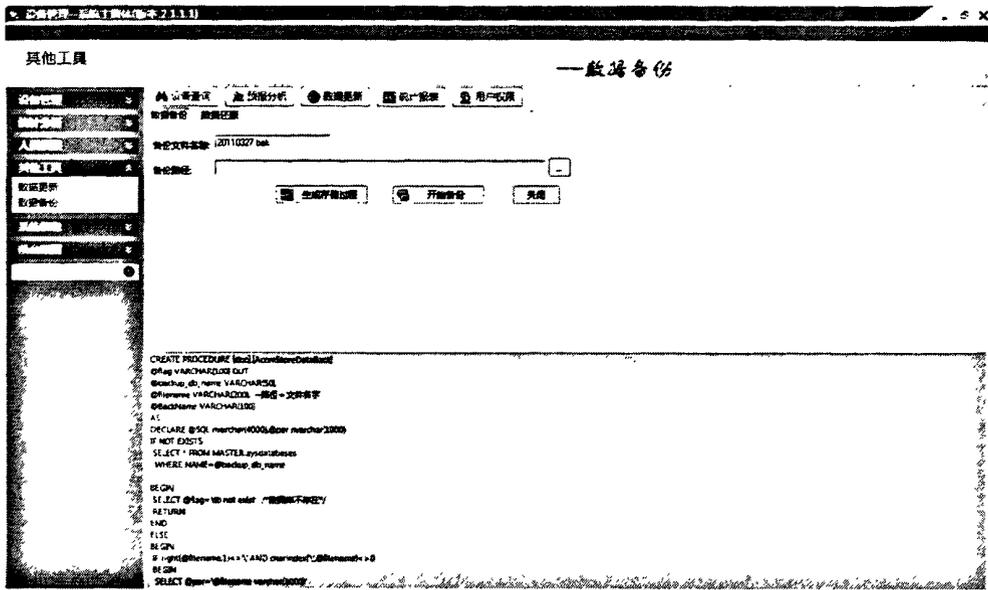


图 4-12-3 数据备份

4.5.7 数据字典界面

对数据类别：基础类别、设备类别、证件名称添加、删除、修改、保存。以证件名称为例，如图 4-13 所示。

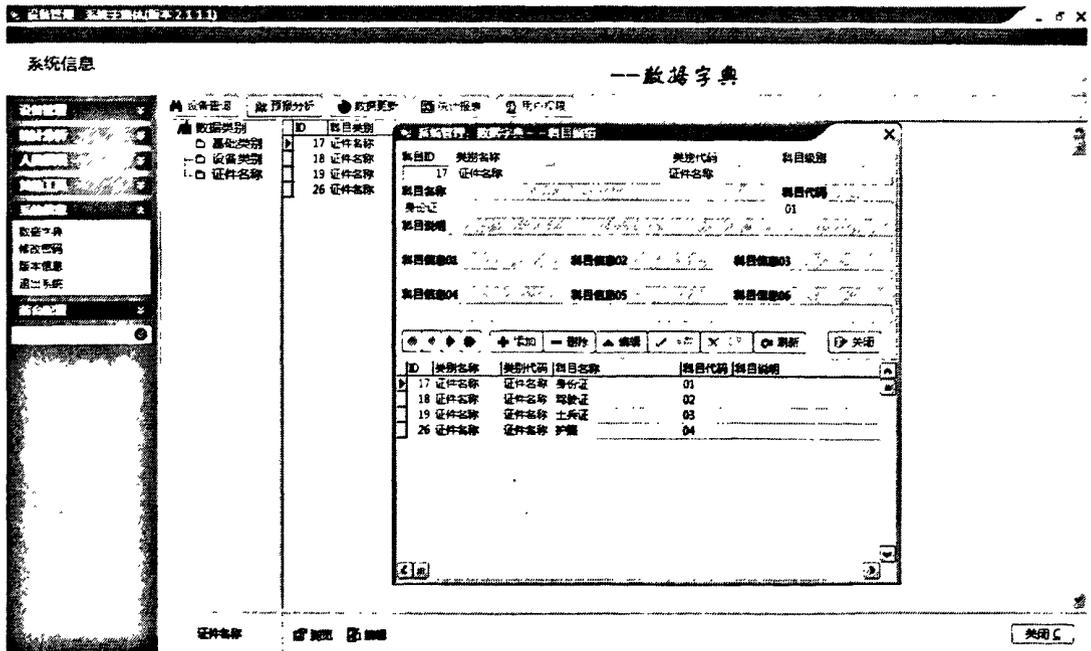


图 4-13 数据字典——证件名称编辑

4.5.8 串口接收

利用 Delphi 提供的第三方控件 SPCOMM 接收从 RS-232 传来的实时数据。串口通信窗口如图 4-14 所示，串口，波特率，检验位，数据位和停止位可以进行相应的选择。

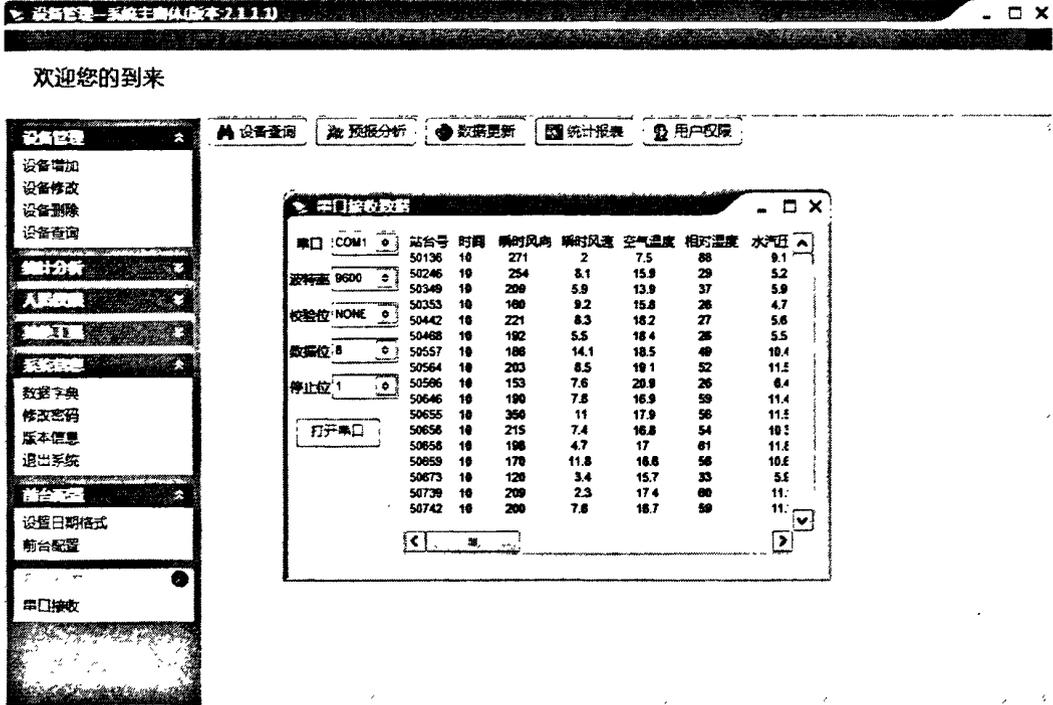


图 4-14 串口通信

第五章 数据分析与处理

5.1 统计分析

随着气象事业的发展,气象数据的记录越来越精确、及时,由此也带来了数据存储和统计分析等难度加大问题。气象数据既与社会生产、人们生活密切相关,也对交通控制的研究分析具有相当重要的作用。因此,如何利用现有的气象数据,如何准确把握气象短中长期变化趋势,以及如何给相关部门提供更有现实意义的与交通控制相关的情况,成为统计分析的基本意义。

该系统统计分析具有以下功能:

- (1) 详细全面记录并管理主要气象因子的观测记录;
- (2) 方便使用的数据查询功能,可查询实时数据,并显示到目前为止的主要气象要素如风速、风向、气温、气压、能见度、总辐射、降水量的最大值、最小值、平均值,根据3.2节数据质量控制算法进行检查,对可疑和错误的数,以红色标记出,并存入 error 表中,供工作者进一步处理;也可查询历史数据,通过操作员输入的时间段、站点号等查询条件自动编辑显示相应的历史数据;也可以对设备记录进行查询;
- (3) 根据要求,通过数据生成和输出各类报表和曲线,反映各点气象变化的各种状况,从而达到更好的管理目的。查询结果使用表格方式、曲线图等方式直观的显示;
- (4) 能够数据还原和数据备份。数据导出是根据用户的需求把历史气象数据导出为 EXCEL 文件供用户使用。

如图 5-1-1~图 5-1-5 所示。

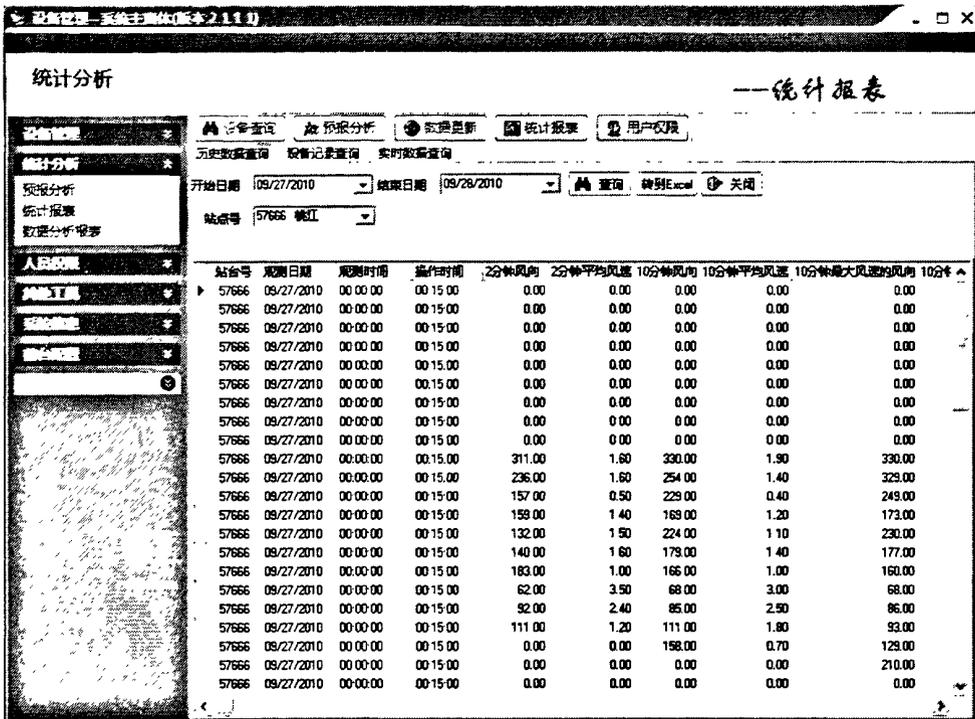


图 5-1-1 统计报表

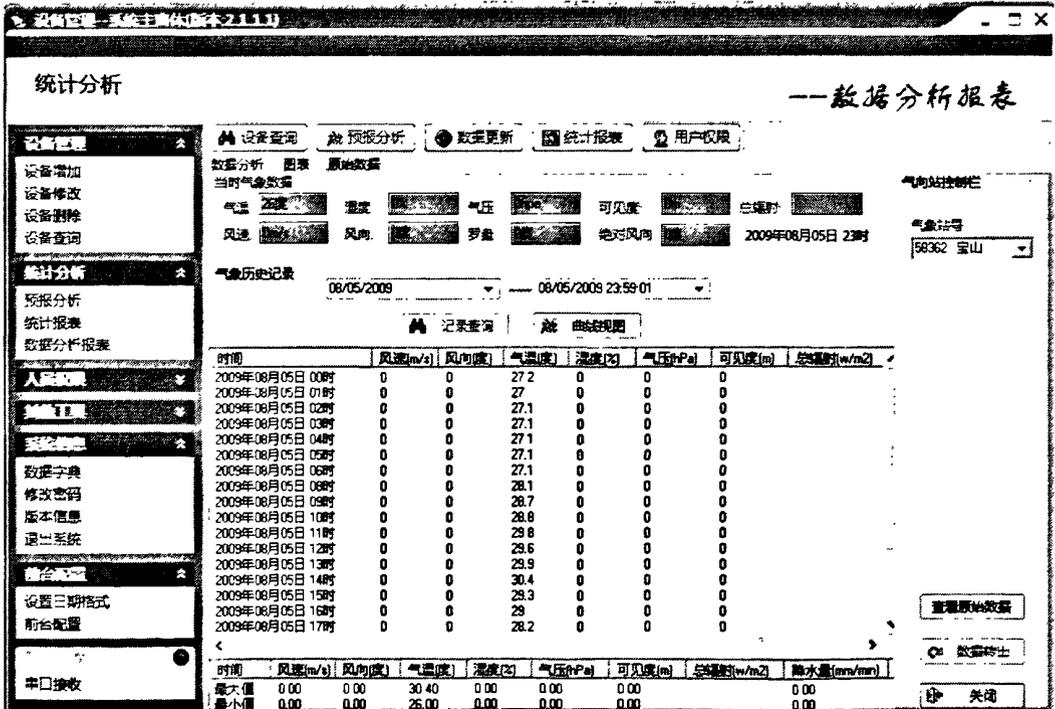


图 5-1-2 数据分析报表

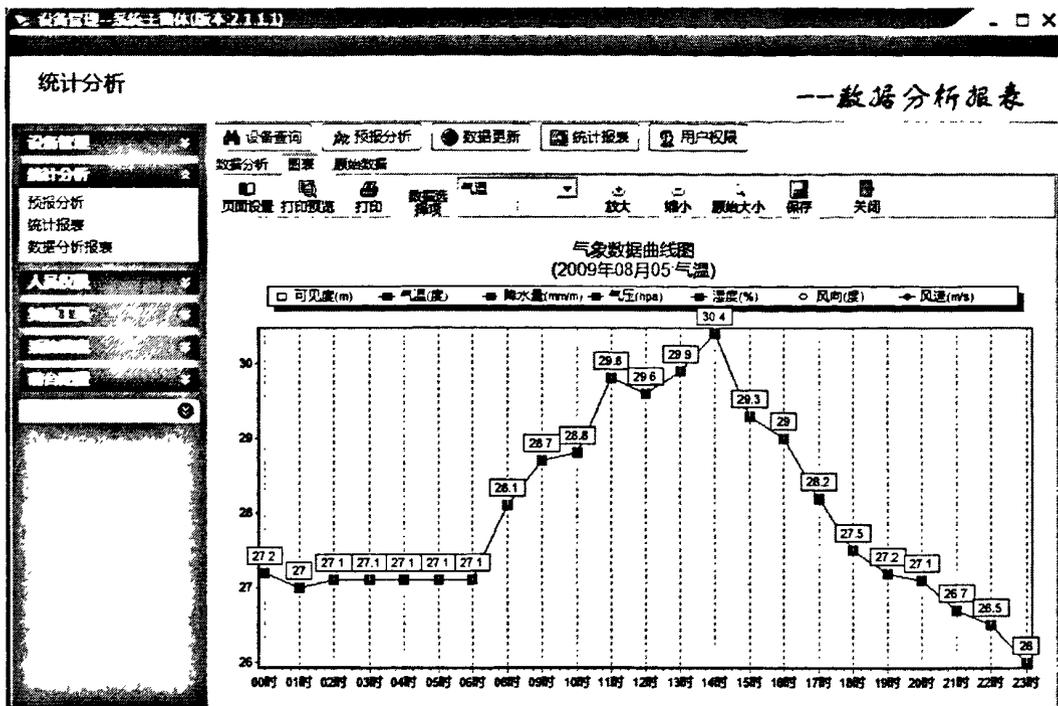


图 5-1-3 气温曲线图

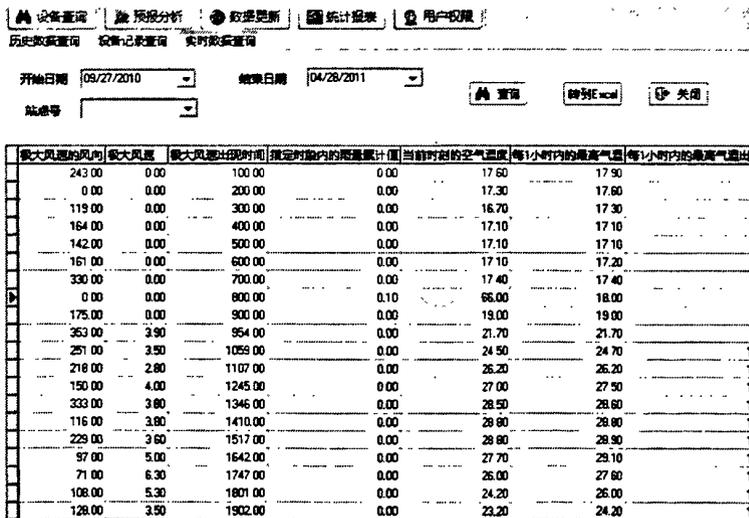


图 5-1-4 实时数据查询

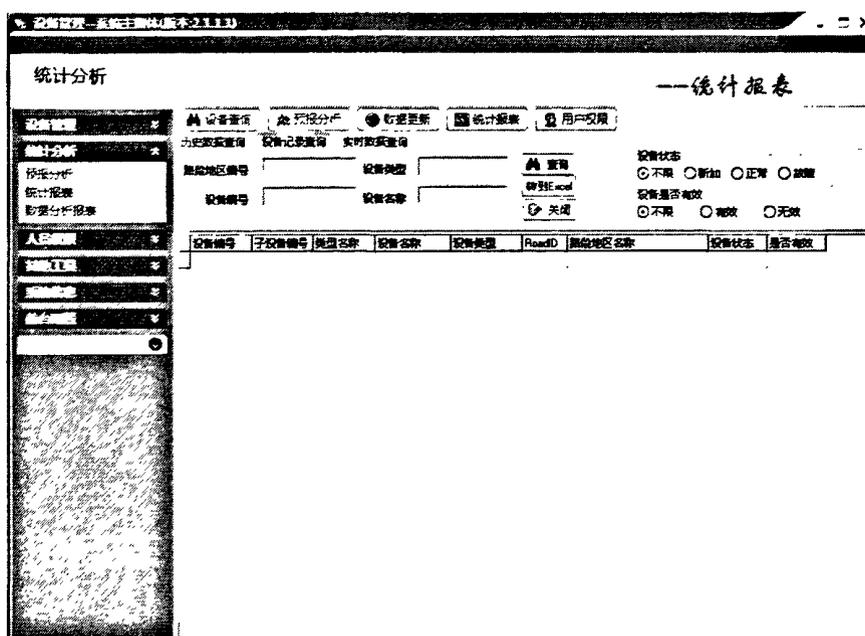


图 5-1-5 设备记录查询

5.2 单站气象要素预测研究

不同的地理环境，不同的季节，天气就不一样，所以为了研究某一地区未来气象要素可能的变化，对单站某些气象要素进行预测，以提高预警的可靠性。本论文研究涉及的气象预测，指的是以预测某一时段的某个气象要素数据作为预测输入，运用一定的数学模型得到预测气象要素下一时段的数据。目前可用于预测的方法有很多种，包括回归分析方法、时间序列预测方法、灰色预测理论、Markov 预测、神经网络预测以及卡尔曼滤波等，对预测方法的分类方法有很多种^[33]：

- (1) 按预测周期长度分：可分为长期、中期、短期预测；
- (2) 按预测性质分：可分为定量预测和定性预测；
- (3) 按交通流的动力学特性来分：可分为确定性、混沌、和随机预测；
- (4) 按预测原理来分：可分为有数学预测模型、无数学预测模型、组合预测。

时间序列分析方法的实质是指系统中某一变量的观测值按时间顺序排列成一个数值序列，展示其在一定时期内的变动过程。通过对历史数据的处理，寻找出前后数据之间的关系，建立关联模型，然后通过历史数据和所建立的关联模型来预测时间序列的未来值，进而预测事物未来的发展。时间序列分析有多种模型，常用的有三种，即 ARMA (m, n) 模型，AR (m) 模型和 MA (n) 模型，后两种模型是前一种模型的特例。传统的 AR 模型或

ARMA 模型必须对所处理的时间序列做平稳性假设；同时，由于它们属于参数预测法，必须先对模型结构做出假设，然后通过对模型参数的估计得到预测值。因此，模型结构的合理与否，直接影响到最终预测的精度。利用前向神经网络进行时间序列的预测是一种非参数预测方法，它无需建立数学模型的特点，因此在气象预测中得到了一定的应用。

作为交通气象实时监测与数据管理系统的基础组成部分，气象预测的精确度很重要。因此对气象要素预测输入数据的选择、处理，对预测模型选择，对预测结果评估有着重大意义。

5.2.1 BP 神经网络与学习算子

5.2.1.1 神经网络概述

人工神经网络 (Artificial Neural Networks) ANNs 也称神经网络 (NNS)，是模拟生物神经网络进行信息处理的一种数学模型。它是由若干个人工神经元通过相互连接形成一个具有特定输入、输出的信息处理系统^[34]。

神经网络通过传递函数对输入的训练样本进行叠加处理，产生输出信号，然后通过一定的评价标准（如误差评价，奖赏评价等）和学习算法对网络结构、权值和阈值进行调整，达到调整目的即完成对网络结构和参数的确定，最后通过训练的网络对测试样本数据进行处理。

1、人工神经元模型^[35]

人工神经元是人工神经网络操作的基本信息处理单位。人工神经元模型如图 5-2 所示，它是人工神经网络的设计基础：

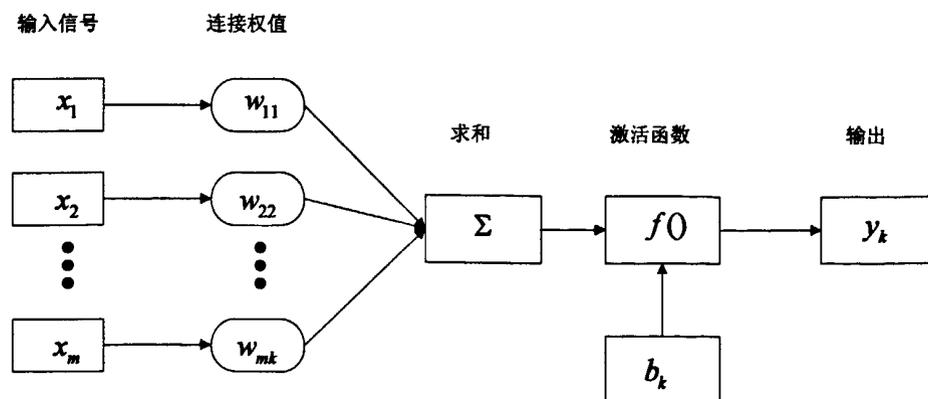


图 5-2 人工神经元模型

由图 5-2 可知，人工神经元由三种基本元素组成：

(1) 神经元的连接权值：各层神经元间的连接权值表示各神经元间的关联强度：权值可取正值也可取负值，一般取 $[-1, 1]$ 之间；

(2) 加法器：表示该神经元和上层所有神经元间的关系，即上层神经元的输出信号和该神经元输出信号间的关系。用于求输入信号对神经元的相应突触加权之和。

(3) 激活函数：用来限制神经元的输出振幅，它可以将其输入信号限制在某个范围之内。目前常见的激活函数有以下三种：

① 域值函数：即阶梯函数，当函数的自变量小于 0 时，函数的输出为 0；当函数自变量大于或等于 0，函数输出为 1。

$$f(v) = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ 0 & v < 0 \end{cases} \quad (5-1)$$

② 分段线性函数：当变量的值大于等于 1 时，函数输出为 1；当变量的值在 $[-1, 1]$ 之间时，函数的输出是介于 $[-1, 1]$ 间的一个系数，该函数在 $[-1, 1]$ 线性区内的放大系数 v 是一致的；否则函数输出为-1。

$$f(v) = \begin{cases} 1 & v \geq 1 \\ v & -1 < v < 1 \\ -1 & v \leq -1 \end{cases} \quad (5-2)$$

③ 非线性转移函数：常见的非线性转移函数是单极性 Sigmoid() 函数，tansig() 函数等。单极性 Sigmoid() 函数定义如下：

$$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (5-3)$$

双曲线正切函数定义如下：

$$f(v) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}} \quad (5-4)$$

(4) 神经元阈值：阈值的作用是根据其值的正或负，相应地增加或降低激活函数的网络输入作用。

一个神经元 k 可以用下列公式表示：

$$u_k = \sum_{i=1}^m w_{ik} x_i \quad (5-5)$$

$$y_k = f(u_k + b_k) \quad (5-6)$$

x_i 表示输入信号， u_k 表示输入信号通过加法器的输出， w_{ik} 表示神经元连接权值， b_k 表

示神经元阈值, $f()$ 表示激活函数, y_k 表示神经元的输出。

2、神经网络分类^[36]

(1) 根据神经元的不同连接方式, 可将神经网络分为分层网络和相互连接型网络。

①分层网络将一个神经网络模型中的所有神经元按照功能分成若干层。一般有输入层、隐含层、输出层。

输入层: 连接外部输入, 并由各输入单元传送给相连的隐含层各单元。

隐含层: 是神经网络的内部处理单元层, 隐含层可以有多个。

输出层: 产生神经网络的输出信息。

分层网络又可分为三种互连方式: 单纯的前向网络、具有反馈的前向网络、层内互连的前向网络。

单纯的前向网络: 指输入模式由输入层进入网络, 经过中间各层的顺序模式变换, 由输出层产生一个输出模式, 便完成一次网络状态的更新。最为简单的感知器就是单纯的前向网络。

具有反馈的前向网络: 反馈的结构形成封闭环路, 具有反馈的单元也称为隐单元, 其输出的称为内部输出, 而网络本身还是前馈型的。常见的 BP 神经网络就是这种网络。

层内互连的前向网络, 同一层内神经元的相互连接, 某一神经元的输出作为本层其它神经网络的一个输入; 从外部看这种神经网络还是前向网络。一些自组织竞争网络就采用这种网络结构, 如反向传播 BP 网络。

②相互连接网络

相互连接网络是指网络中任意两个单元之间都是相互连接的, 这种网络最为复杂, 其信息处理量最为复杂, 繁琐。

(2) 根据神经元学习方式不同, 可将神经网络分为有导师学习网络、无导师学习网络和强化学习网络。

①有导师学习网络: 也称为监督学习, 在有导师学习中, $\{x_1, t_1\}, \{x_2, t_2\}, \{x_3, t_3\} \dots, \{x_n, t_n\}$ 。其中, x_n, t_n 分别为网络的输入和相应的期望输出(目标值)。

有导师学习神经网络的训练数据包括输入数据和对应的期望输出数据, 通过比较一定输入数据下的网络实际输出与期望输出的偏差, 利用该偏差采取奖惩式的制度进行联接权值的调整, 其学习目的是通过对权值阈值调整使得输出偏差最小。

②无导师学习: 也称无监督学习, 网络的训练数据只有输入数据, 没有期望输出数据。神经网络接收到输入数据后, 按照输入数据的某些统计特性来调整权重, 可用输入数据的聚类分析或统计特征分布情况分析对输入数据进行处理。无导师学习的训练方式体现出神经网络的自组织和自学习功能。

③强化学习：这种学习介于上述两种情况之间，外部环境对系统输出结果只给出评价（奖和罚）而不是给出正确答案，学习系统通过强化那些受奖励的动作来改善自身性能^[36]。

5.2.1.2 BP 神经网络

BP 算法的多层前馈网络是至今为止应用最为广泛的神经网络。BP 网络具有输入层、隐含层、输出层，它的相邻层之间实现全连接，而各层神经元内部之间不存在连接。图 5-3 所示的单隐层网络的应用最为普遍。

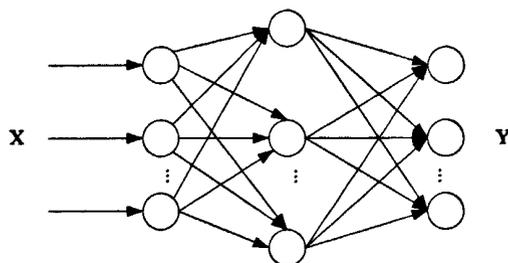


图 5-3 BP 单隐层网络结构图

BP 网络采用误差反向传播算法（简称 BP 算法），属于有教师学习方式，BP 算法的基本思想是：给定用于网络训练的输入与期望输出，前向逐层计算得到网络的实际输出，如果实际输出与期望输出存在偏差，就将偏差沿网络反向传播，即从输出层开始反向逐层修改连接权值和阈值，直至满足误差要求为止。

5.2.1.3 BP 神经网络学习算子

以图 5-3 为例，三层 BP 网络学习算法的实现步骤如下^[36]：

步骤 1：初始化，置所有权值为任意小的随机数，并设定初始阈值。

步骤 2：给定训练数据样本，包括输入向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ 和期望输出量 $D = (d_1, d_2, \dots, d_1) \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ 。

步骤 3：从输入层开始前向逐层计算输出。

对输入层各神经元：输入为 x_i ，输出为 $O_i = x_i$ ($i=1, 2, \dots, m$)， i 为输入层神经元的个数。

对隐含层各神经元：输入为 $x'_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} O_i - \theta_j$ ，输出为 $O_j = f(x'_j)$ ($j=1, 2, \dots, n$)， j

为隐含层神经元个数。

对输出层各神经元：输入为 $x_j = \sum_{j=1}^n w'_{jk} O'_j - \theta'_k$ ，输出 $y_k = g(x''_k)$ ($k=1, 2, \dots, 1$)， k 为输出层神经元个数。

出层神经元个数。

以上公式中， w_{ij} 为输入层到隐含层间的连接权值， w_{jk} 为隐含层到输出层间的连接权值，函数 $f()$ ， $g()$ 选择 Sigmoid 函数：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5-7)$$

步骤 4：按误差反向传播方向，从输出节点开始逐层反向调整权重。

定义网络误差函数为：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - y_k)^2 \quad (5-8)$$

对以上误差函数，按梯度算法进行权重调整：

$$w(t+1) = w(t) + (-\eta \Delta E(t)) \quad (5-9)$$

式中， $-\Delta E(t)$ 为 t 次训练中误差函数梯度变化的反方向。

对输出层到隐含层的权值 w'_{jk} ，调整公式为：

$$w'_{jk}(t+1) = w'_{jk}(t) + \eta y_k (1 - y_k) (d_k - y_k) O'_j \quad (5-10)$$

式中， η 为学习率 $\eta > 0$ ， d_k 为期望输出 ($k=1, 2, \dots, 1$)。

对隐含层到输入层的权值 w'_{ij} ，调整公式为：

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta O'_j (1 - O'_j) \sum_{k=1}^l \delta_k w'_{jk} O_i \quad (5-11)$$

式中， δ_k 为输出节点 k 的误差，该误差定义如下：

$$\delta_k = y_k (1 - y_k) (d_k - y_k) \quad (5-12)$$

步骤 5：返回步骤 2 重新计算，直到误差满足要求为止。

图 5-4 给出了 BP 算法的训练流程图。在训练的过程中，网络的连接权值和阈值被逐步调整，在训练结束之后，网络从输入样本中获得了信息并存储于连接权值和阈值中，根据这些参数和实际资料输入，就可以得到所需要的预报值。

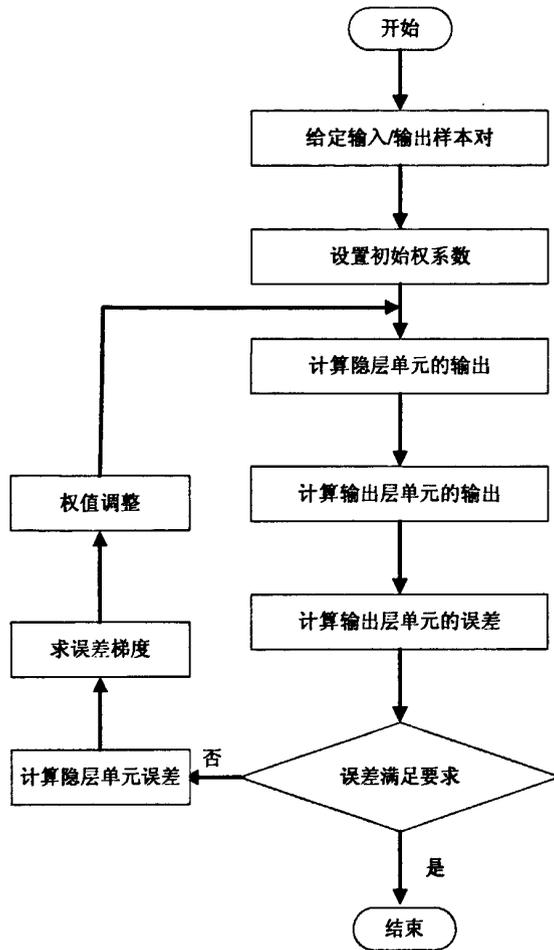


图 5-4 BP 算法训练流程图

5.2.1.4 BP 算法的改进

BP 算法用于具有非线性转移函数的三层前馈网，可以任意精度逼近任何非线性函数，这一优势使多层前馈网络得到越来越多的广泛应用。然而标准的 BP 算法在实际应用中暴露出不少缺陷，针对这个问题国内外已提出不少有效的改进算法^{[37][38]}：

(1) 增加动量项

为了提高网络的训练速度，根据 Rumelhart 的建议^[39]，可以在权值调整公式中增加一动量的特征因子变步长改进 BP 算法^{[40]-[44]}。该改进 BP 算法就是在反向传播的基础上在每个权值调整量上加上一项正比于前次权值变化量的值，并根据反向传播法来产生新的权值变化。

附加动量 BP 算法的权值修正公式表示为：（式中 α 为动量系数，一般 $\alpha \in (0, 1)$ ）

$$\Delta w(t+1) = \eta \delta x + \alpha \Delta w(t) \quad (5-13)$$

(2) 自适应学习速率^{[45][46][47]}

为了提高收敛速度,可以采用改变学习率 η (也称为步长),在标准 BP 算法中定为常数,然而在实际应用中,很难确定一个从始至终都合适的最佳学习率。可采用(5-14)所示的自适应方法调整学习率。

$$\begin{cases} \eta = \gamma\eta, \gamma > 1, \Delta E < 0 \\ \eta = \beta\eta, \beta < 1, \Delta E > 0 \end{cases} \quad (5-14)$$

其基本思想为:先设一初始步长,如果一次迭代后误差函数 E 增大,则步长乘以小于 1 的常数,沿原来方向重新计算下一个迭代点;如果一次迭代后误差函数 E 减少,则将步长乘以大于 1 的常数^{[47][48][49]}。

(3) 引入陡度因子^[50]

方法是在原转移函数中引入一个陡度因子 λ 。

$$o = \frac{1}{1 + e^{-net/\lambda}} \quad (5-15)$$

当发现 ΔE 接近零而 $d-o$ 仍较大时,可判断已进入平坦区,此时令 $\lambda > 1$;当退出平坦区后,再令 $\lambda = 1$ 。当 $\lambda > 1$ 时, net 坐标压缩了 λ 倍,神经元的转移函数曲线的敏感区段变长,从而可使绝对值较大的 net 退出饱和值。当 $\lambda = 1$ 时,转移函数恢复原状,对较小的 net 具有较高的灵敏度。

5.2.2 基于时间序列和改进 BP 算法的短期温度、湿度、风速预测

气象要素及其变化与人体舒适度变化有着显著的关系。在所有的气象要素中,气温是影响人体舒适度的最重要因子,其次是湿度、风、太阳辐射、能见度等对人体产生不同程度的影响^[51]。

人体对环境的感受一般是受温度、湿度和风力的综合影响,人体舒适度的计算公式可以表示为^[52]:

$$DI = 1.8 \times T + 0.55 \times (1 - U) - 3.2 \times \sqrt{V} + 27 \quad (5-16)$$

式中: DI 为人体舒适度指数; T 为气温, $^{\circ}\text{C}$; U 为相对湿度, %; V 为风速, m/s 。将预测出的每小时的温、湿、风代入公式(5-16),就可以算出此时人体舒适度。

本文采用上海宝山地区 2010 年夏季 7, 8 月份的温、湿、风数据,提出一种改进的 BP 算法以优化神经网络连接权,使网络具有快速全局收敛的能力。用前三天温、湿、风数据来预测下一日的数据,建立预测模型,利用 MATLAB 对模型进行预测仿真实验。由于在预测日的前一天中,是每隔一个小时对温度、相对湿度和风速进行一次取值,这样一来,一天

共测得 72 组数据。由于各个数据曲线相邻的点之间不会发生突变，因此后一时刻的值必然和前一时刻的值有关，除非出现重大事故等特殊情况。

5.2.2.1 数据预处理

所选择用于预测的数据值数据正常的状态，没有数据丢失或者异常突变的数据，且预测的数据不含噪声。

数据选择好后，在进行建模之前还需要对数据进行预处理。预处理就是对选择的干净数据进行增强处理的过程。对于神经网络来说，是将数据转化成一种能够被神经网络数据算法接受的形式。

由于 BP 神经网络的隐层一般采用 Sigmoid 转换函数，神经元具有饱和非线性特征。神经元作用函数的总输入是与其相连的其它神经元输出的加权，在使用 BP 算法时，要防止神经元进入饱和状态，必须限制与其相连的其它神经元的输出幅值。所以，为提高训练速度和灵敏性以及有效避开 Sigmoid 函数的饱和区，应对网络的输入样本进行归一化（或称正则化）处理。

在实际应用中，由于所采集的数据跨度较大，而根据神经元传递函数的不同，许多神经网络模型只接受 $[0,1]$ 和 $[-1,1]$ 范围的数值数据，为了便于网络训练，防止计算过程出现“过拟合”等问题；因此，需先将数据按比例缩小到这个区间内。

常用的比例变换方法有以下三种^[53]。

(1) 把数据归一化到 $[0,1]$ 区间

设 x_{\max} 和 x_{\min} 分别代表原始数据中的最大和最小值， x' 为网络归一化前数据， x_i 为归一化后数据，则归一化公式为：

$$x_i = \frac{(x' - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5-17)$$

反归一化公式为：

$$y(t) = u(t) \times (x_{\max} - x_{\min}) x_i + x_{\min} \quad (5-18)$$

式中， $u(t)$ 为网络的输出， $y(t)$ 是网络输出反归一化后数据。

(2) 将数据归一化成平均值为 0，标准偏差为 1，归一化公式为：

$$x_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma^2} \quad (5-19)$$

其中 μ 、 σ^2 为原始数据的均值和方差。

(3) 把数据归一化到 $[-1,1]$ 区间, 归一化公式为:

$$x_i = \frac{x_i - 0.5(x_{\max} + x_{\min})}{0.5(x_{\max} + x_{\min})} \quad (5-20)$$

针对利用历史监测数据建立温、湿、风预测的具体情况, 本研究利用公式(5-17)将数据限定在 $[0,1]$ 区间内的方法, 来加快神经网络的收敛。输出层通过公式(5-18)反归一化换算回原始值。

5.2.2.2 时间序列神经网络预测模型

(1) 网络结构设计

实践证明 BP 网络的非线性映射能力可以通过增加隐含层的数目来提高, 但是当隐含层的数目超过一定数值时, BP 网络的性能反而会降低。Hecht - Nielson 在 1989 年给出了对于任何闭区间内都可以用一个隐含层的 BP 网络去逼近一个连续函数^[54]。即任意的 n 维到 m 维的映射可以通过一个三层的 BP 网络来完成。当样本数较多时, 减小网络规模增加一次隐层是必要的, 但 BP 网络隐层数一般不超过两层^[55]。因此本文采用含有一个隐含层的三层 BP 网络。

(2) 训练样本与测试样本的选择

上海宝山 2010 年夏季 7、8 月份数据作为神经网络训练和预测样本, 分别以温度、湿度、风速值作为输入建立 BP 神经网络, 并分别将 7 月 1 日~7 月 31 日之间的数据作为训练样本(24×31), 8 月 1 日~8 月 30 日之间的数据作为测试样本 (24×30)。

(3) 输入层设计

输入层神经元的个数一般根据需求解的问题和数据所表示的方式来确定。就本论文而言, 输入层节点数为 3, 即用前三天的温、湿、风数据来预测下一天 (24 小时) 的情况。

(4) 隐含层设计

一般来说, 隐含层的神经元越多, 结果越精确, 但是隐含层的神经元过多会大大的加大训练时间, 同时隐含层的神经元的增加会造成网络的容错能力下降, 因此隐含层神经元的数目必须要适当的选取, 不能太多, 也不能太少。按照 Charence N.W.Tan 和 Gerhard E.Wittig(1993)的说法, 一般情况下输入层、单个隐含层和输出层的神经元个数基本相等或呈金字塔结构时, BP 模型的运行效果较好^[56]。一般采取的原则是: 在能正确反映输入输出关系的基础上, 尽量选取较少的隐含节点个数, 这样可使网络尽可能简单。

隐层节点数的初始值可先由以下经验公式中的一个来确定^[57,58]。

$$(1) S = \sqrt{m+n+a} \quad (5-21)$$

$$(2) S = \sqrt{mn} + \frac{k}{2} \quad (5-22)$$

$$(3) S = \sqrt{0.43mn + 0.12m^2 + 2.54n + 0.77m + 0.35 + 0.51} \quad (\text{计算值需经四舍五入取整}) \quad (5-23)$$

$$(4) S = \sqrt{mn} + n_p \quad (5-24)$$

$$(5) K < \sum_I^n C\left(\frac{n}{I}\right) \quad (5-25)$$

$$(6) S = \log_2^n \quad (5-26)$$

$$(7) S \leq \sqrt{n(m+3)} + 1 \quad (5-27)$$

$$(8) S = \frac{1}{2}(n+m) + \sqrt{k} \quad (5-28)$$

式中: S 为隐层节点数, n 为输入层节点数, m 为输出层节点数, K 为学习样本数, a 为 1-10 之间的常数。

隐层结点数可根据公式(5-21)得出隐层节点数在 3~12 之间, 通过大量的实验后, 确定最佳隐层为 11。

(5) 输出层设计

用过去 3 天的数据预测未来 1 天值, 输出层节点数为 1。取序列 3 个相邻的样本为滑动窗口, 并将它们进行映射为 1 天的值, 这 1 个值代表该窗之后的 1 天的样本预测值。

(6) 激活函数(传输函数)

激活函数是 BP 算法中影响收敛的重要因素^[59], 而它的选取影响着 BP 算法的收敛速度。BP 网络常用的激活函数有 `tansig()`、`logsig()` 和 `purelin()`, 三者都是可导函数, 适用于 BP 训练的神经元。`tansig()` 为正切 sigmoid 激活函数, 它把神经元的输入范围从 $(-\infty, +\infty)$ 映射到 $(-1, 1)$; `logsig()` 为对数 sigmoid 激活函数, 可将神经元的输入范围从 $(-\infty, +\infty)$ 映射到 $(0, 1)$; `purelin()` 为线性激活函数, 可将神经元的输出范围映射到任意值。本文网络隐含层神经元传递函数都选择 S 型正切函数 `tansig`, 输出层神经元传递函数采用 S 型对数函数 `logsig`。温、湿、风数据归一化后位于 $[0, 1]$, 正好满足网络输入输出的要求。

(7) 初始权值

由于系统是非线性的, 初始权值对学习是否达到局部最小、是否能够收敛以及训练时间的长短有很大关系。如果初始值太大, 使得加权后的输入落在激活函数的饱和区, 从而导致其导数 $f'(x)$ 非常小, 而在计算权值修正公式中, 因为 δ 正比于 $f'(x)$, 而当 $f'(x) \rightarrow 0$ 时,

则有 $\delta \rightarrow 0$, 使得 $\omega \rightarrow 0$, 从而使得调节过程几乎停顿。所以一般总希望经过初始加权后的每个神经元的输出值都接近于零, 这样可以保证每个神经元的权值都能够在它们的 S 型激活函数变化最大之处进行调节。J.Caillon 等人强调限制连接权重的范围^[60], 将权重初值限制在 $[-0.5, 0.5]$ 区间内随机选取。

(8) 学习速率

学习速率决定每一次循环训练中所产生的权值变化量。大的学习速率可能导致系统的不稳定; 但小的学习速率导致较长的训练时间, 可能收敛很慢。一般情况下, 倾向于选取较小的学习速率以保证系统的稳定性, 其取值范围在 $0.01 \sim 0.8$ 之间^[61]。为了减少寻找学习速率的训练次数和训练时间, 本文采用自适应学习速率, 使网络的训练在不同的阶段自动设置不同学习速率的大小。

(8) 期望误差

在设计网络的训练过程中, 期望误差值也应当通过对比训练后确定一个合适的值, 较小的期望误差值需要依靠增加隐含层的节点和大量训练时间来获得, 而由于神经网络在训练过程中会出现过拟合现象, 如果过分追求训练集误差最小化会导致网络泛化能力降低。

(9) 学习算法

神经网络的学习算法采用了 `traingdx()` 算法, 该算法采用动量法和学习速率自适应调整两种策略, 从而提高了学习速度并增加了算法的可靠性^[62]。

Matlab 中的 NNbox 提供了建立神经网络的专用函数 `newff()`。用 `newff` 函数来确定网络层数、每层中的神经元数和传递函数。`newff` 在确定网络结构后会调用 `init` 函数缺省参数来初始化网络中各个权重和阈值, 产生一个可训练的前馈网络, 即该函数的返回值为 `net`。

5.2.2.3 网络训练与仿真

全部数据先按公式 (5-16) 进行归一化。

对于设计好的网络, 利用训练集输入向量 `P_train` 和目标向量 `T_train` 进行训练, 同时利用验证集输入向量 `P_test` 和 `T_test` 进行验证。在训练初始阶段, 验证集形成的验证误差通常会随着网络训练误差的减小而减小。但当网络开始进入过度训练时, 验证集误差就会增大, 当验证集误差增大到一定程度时, 即达到最佳训练次数时, 网络训练就会提前停止, 这时, 训练函数会返回当验证集误差取最小值时的网络对象。训练后的网络才有可能满足实际应用的需求。

(1) 温度

学习率设为 0.04, 误差设为 0.02。训练结果如图 5-5 所示;

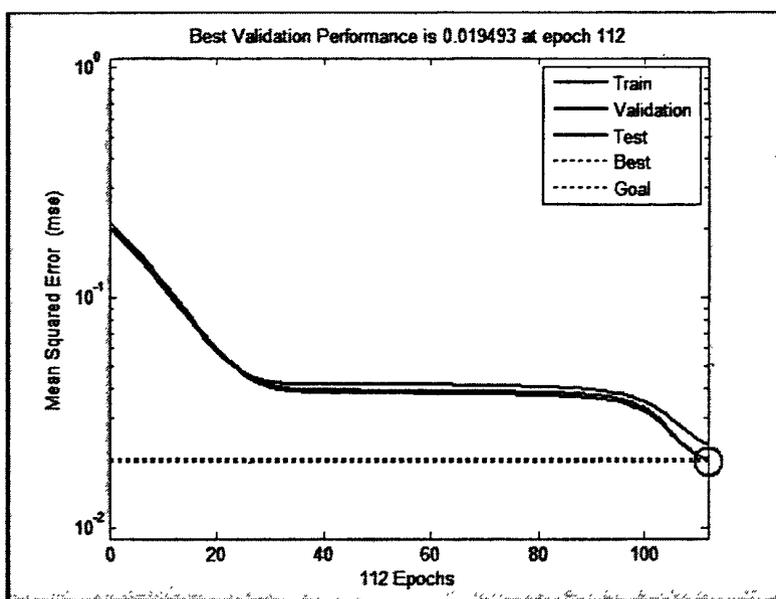


图 5-5 训练结果

可见，经过 112 次学习训练后基本达到期望的误差精度 0.02。网络训练结束后，还必须利用另外一组测试数据对其进行仿真，通过仿真可以检验训练后的网络对信号的逼近效果。所谓仿真，实际上就是利用仿真函数来获得网络的输出，然后通过模型输出与监测值的比较，来进一步验证所建网络模型的准确性与可靠性。图 5-6 反映了目标输出与监测值的吻合程度。

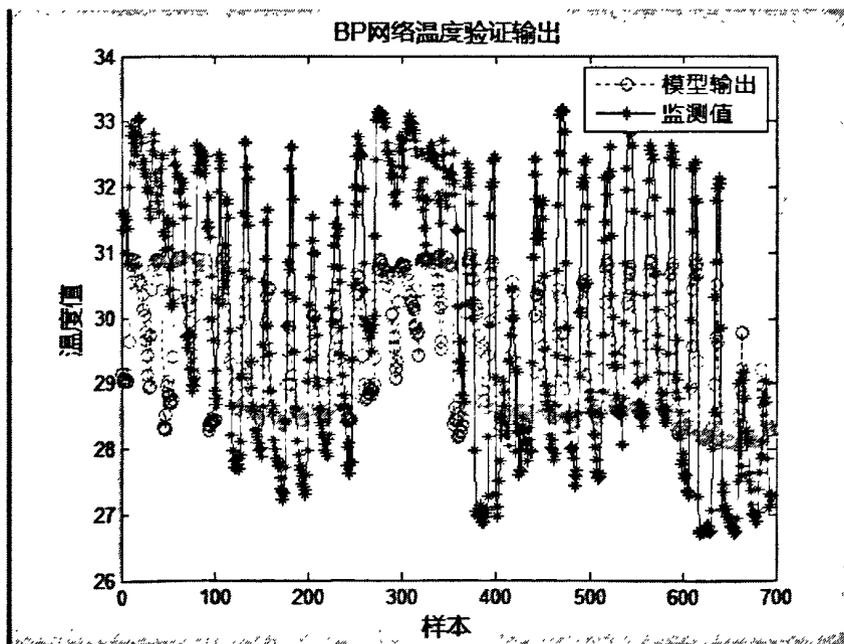


图 5-6 温度目标输出和监测值对比曲线

温度绝对误差如图5-7所示:

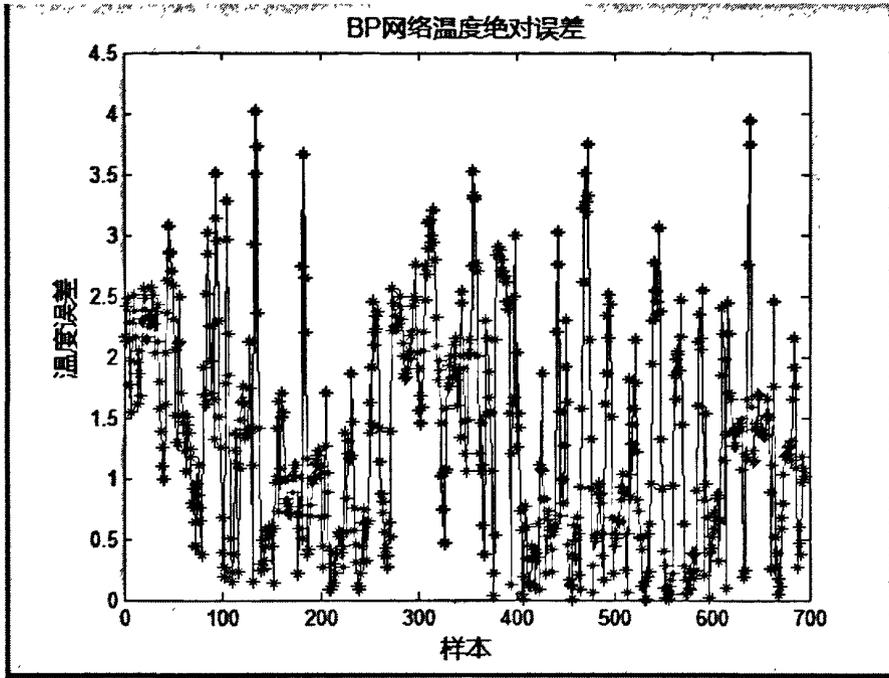


图5-7 温度验证误差

可见, 该模型最大绝对误差为4度左右。利用该模型对2010年8月数据进行预测, 部分预测值如表5-1所示。

表5-1 温度预测值与实际值比较

预测值	实际值
28.36	27
28.90	31.6
30.69	32.7
30.50	32.8
28.9	31.5
30.68	32.7

(2) 相对湿度

学习率设为0.01, 误差设为0.035, 训练曲线如图5-8所示;

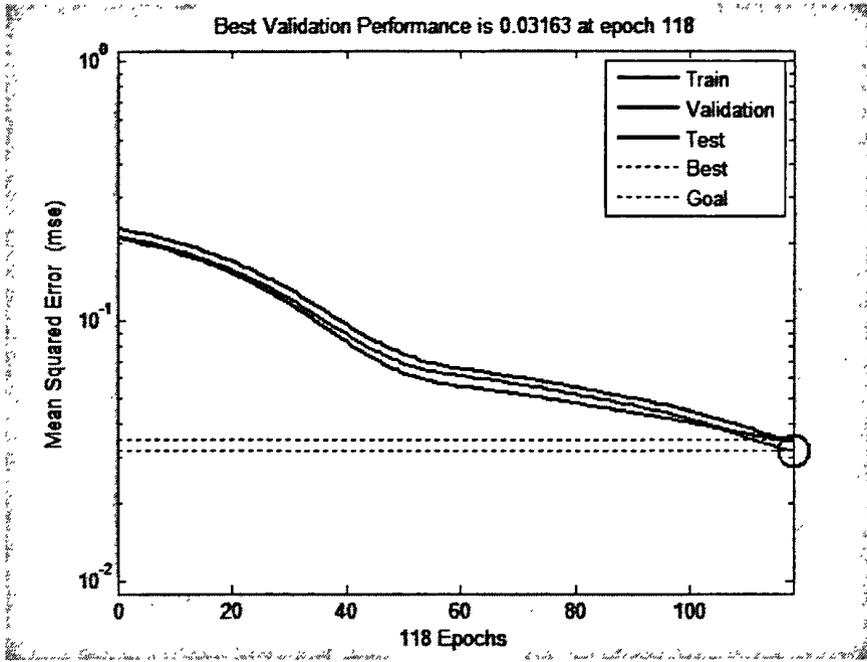


图5-8 相对湿度训练曲线

可见，经过118次学习训练后基本达到期望的误差精度0.035。用另外一组测试数据对其进行仿真，目标输出与监测值的吻合程度如图5-9所示。

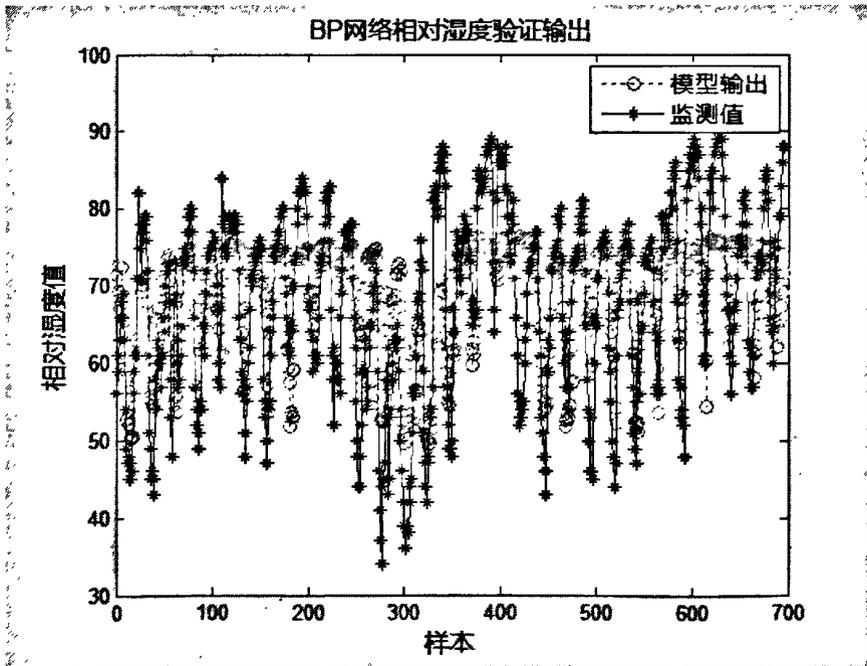


图5-9 相对湿度目标输出与监测值对比曲线

利用该模型预测的部分数据如表5-2所示：

表5-2 相对湿度预测值与实际值比较

预测值	实际值
68	71.4
73	72.4
66	69.4
65	67.2
73	72.5
58	52.6

(3) 风速

学习率为0.004，误差设为0.04，训练曲线如图5-10所示；

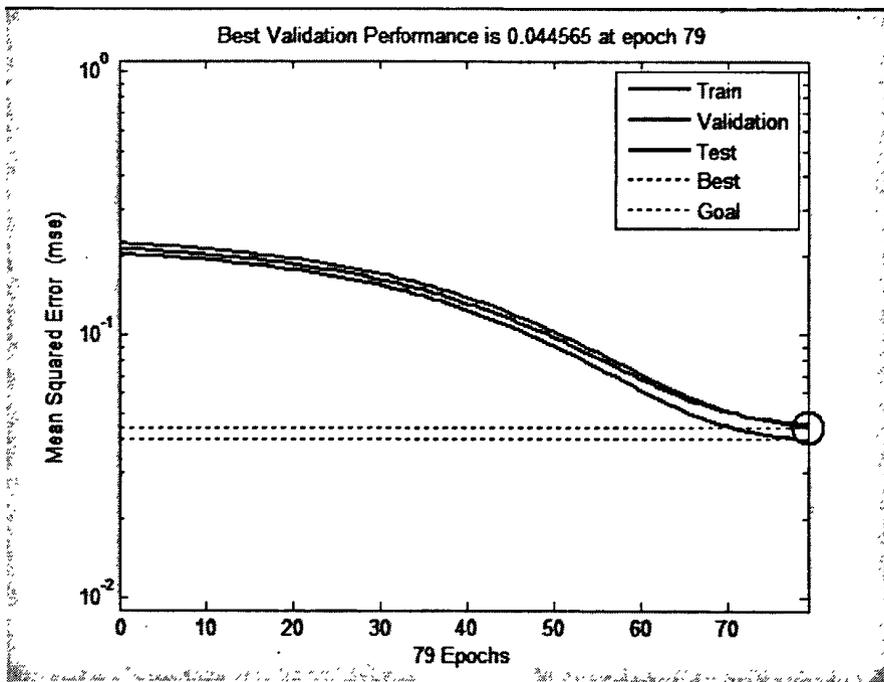


图5-10 风速训练曲线图

可见，经过79次学习训练后基本达到期望的误差精度0.04。用另外一组测试数据对其进行仿真，目标输出与监测值的吻合程度如图5-11：

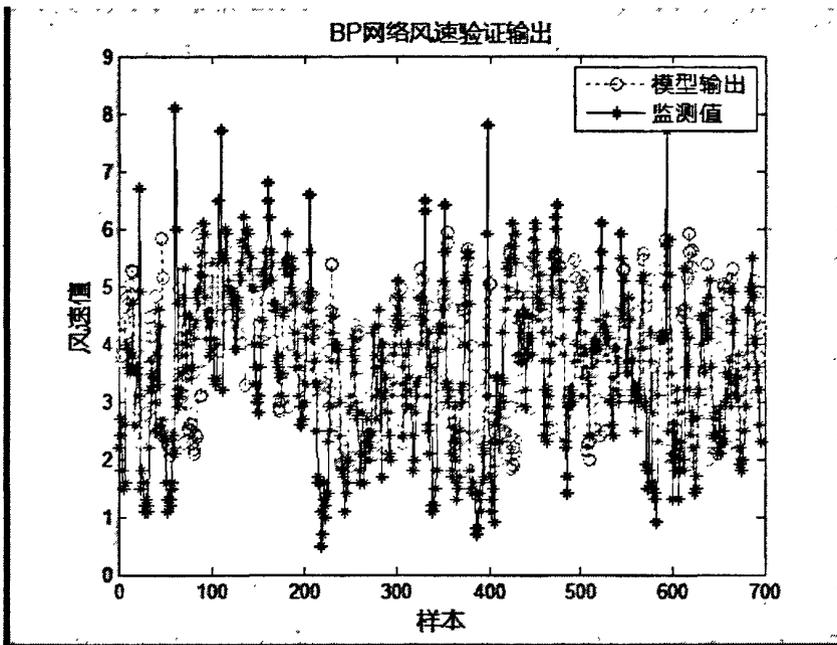


图5-11 风速目标输出与监测值对比曲线

风速绝对误差如图5-12所示：

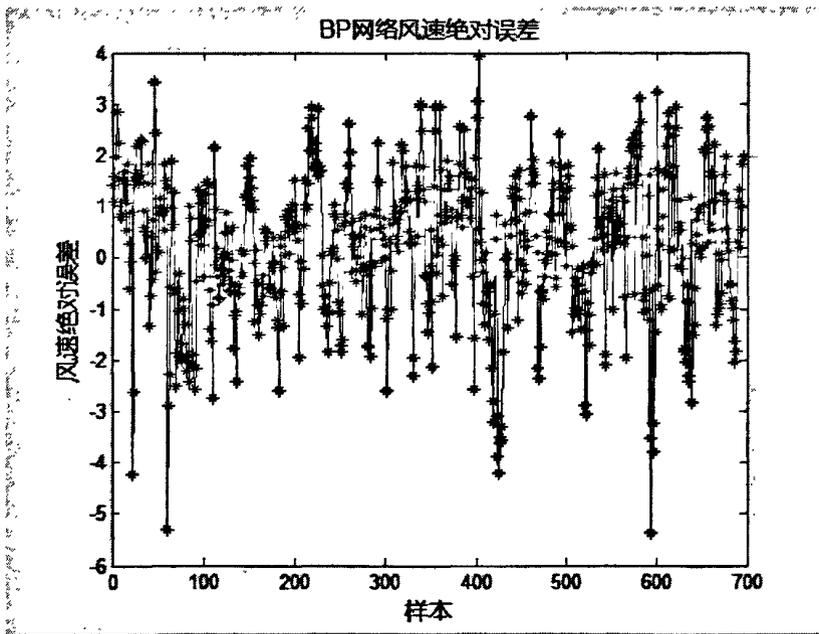


图5-12 风速验证误差

利用该模型预测的部分数据如表5-3所示：

表5-3 风速预测值与实际值比较

预测值	实际值
3.52	3.6
3.80	2.7
3.98	3.1
4.46	3.6
4.86	3.8
5.25	4.7

以此建立的温、湿、风模型较好的预测下一天24小时的温、湿、风，因此能利用近期三天的数据进行预测。预测出的数据可以计算出一天各个小时人体舒适度指数，为进一步预警服务。

5.3 天气预警

由于气象灾害对人类造成的损失巨大，气象部门的现行业务及社会对气象行业的需求就主要是对灾害性天气的监测预警，减少气象灾害对人类社会造成的破坏。目前为止都是气象部门对全国各地收集到的数据统一进行天气预警，在这里我们可以进行单站预警。

通过单站的气象要素的预测数据，对这24小时的气象数据进行分析处理，判断其天气状况，形成警示事件，提示监控人员进行处理。如表5-4天气预警算法表。

表5-4 天气预警算法表

雨	暴雨	24小时降水量为50~99.9毫米
	大暴雨	24小时降水量100~200毫米以下
	特大暴雨	24小时降水量200毫米以上
雪	小雪	下雪时水平能见距离等于或大于1000米，地面积雪深度在3厘米以下，降水量级为24小时降雪量在0.1—2.4毫米之间
	中雪	下雪时水平能见距离在500~1000米之间，地面积雪深度为3~5厘米，24小时降雪量达2.5~4.9毫米
	大雪	下雪时能见度很差，水平能见距离小于500米，地面积雪深度等于或大于5厘米，24小时降雪量达5.0—9.9毫米
沙尘暴	沙尘暴	24小时内能见度小于1000米
	强沙尘暴	12小时内能见度小于500米
	特强沙尘暴	6小时内能见度小于50米
强降温	蓝色预警信	24小时内最低气温将可能下降8℃以上，最

	号	最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ；或已经下降 8°C 以上，最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$
	黄色预警信号	24 小时内最低气温将要下降 12°C 以上，最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ；或已经下降 12°C 以上，最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$
	橙色预警信号	24 小时内最低气温将要下降 16°C 以上，最低气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ ；或已经下降 16°C 以上，最低气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ ，并可能持续降温；或最低气温 $\leq -30^{\circ}\text{C}$
风	大风	24 小时内平均风力可达 6 级以上，或者阵风 7 级以上；或者已经受大风影响，平均风力为 6~7 级，或者阵风 7~8 级并可能持续

由于用户理解能力的差异，在预警产品制作时尽量使产品生动，容易理解，多采用图形、图像、表格等比较直观的表现形式。我国根据中国气象局《突发气象灾害预警信号发布试行办法》规定，按照气象灾害严重性和紧急程度，分为四级预警，颜色依次为蓝色、黄色、橙色和红色，分别表示一般、较重、严重和特别严重。部分气象灾害的预警符号如图 5-13-1 所示。

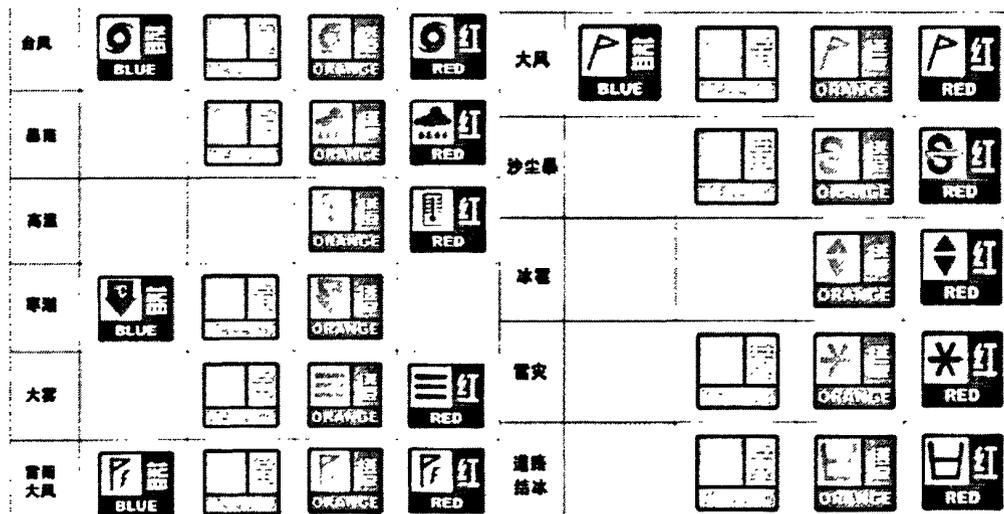


图 5-13-1 天气预警标志

预警界面如图 5-13-2 所示，形成警示事件，提示监控人员进行处理。

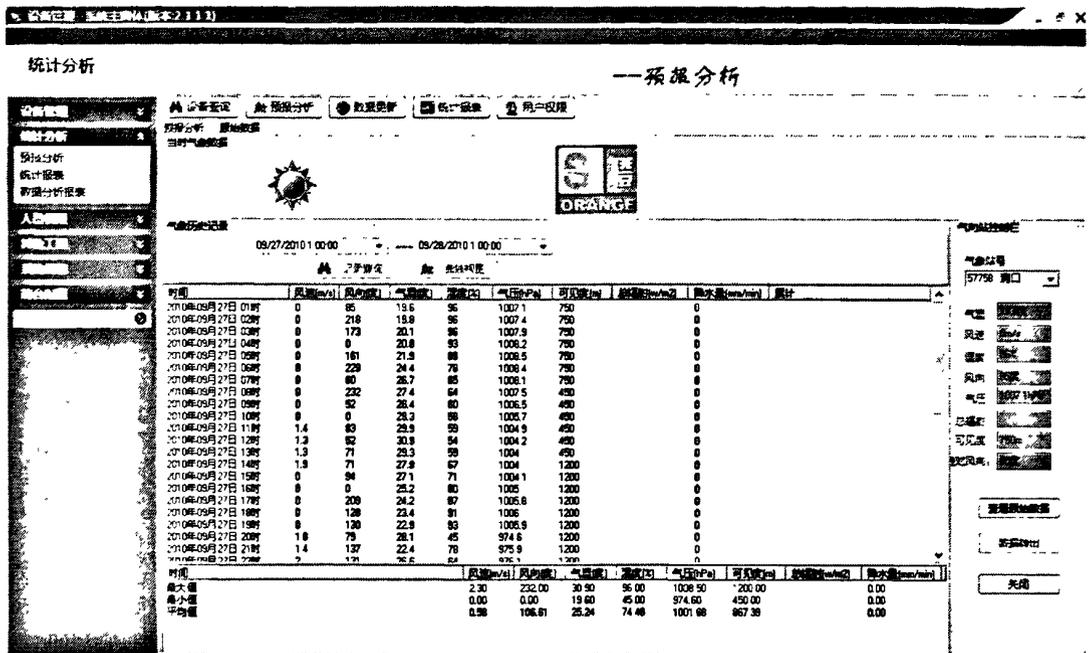


图 5-13-2 天气预警界面

第六章 总结与展望

6.1 本文总结

恶劣气象是造成高速公路交通事故的主要原因之一，由于气象原因造成的交通事故数量约占交通事故总量的四分之一。分析了目前我国交通气象发展的特点和现状，利用无线传感器网络这个全新的信息获取和处理技术，将实时监测的数据传送到数据处理中心，并借助现在流行的数据库技术和数据处理技术，设计了交通气象实时监测和数据处理系统。节省大量的人力、物力和时间，提高交通气象服务质量，并对可能影响交通的气象灾害及时做出反映。对于数据库中大量的历史气象数据，其中蕴藏着大量的气象规律，利用改进的 BP 神经网络建立温度、相对湿度、风速预测模型。

通过本系统的运行，本文已初步达到了预期的目标。建立的预测模型也取得了较好的效果。

论文中进行的主要工作有：

(1) 通过对交通气象实时监测和数据管理系统的需求分析开发出了一套实用的软件系统，该系统架构设计合理，结构清晰，可扩展性强。本系统软件主要由三部分构成：数据串口通讯子系统、监测管理子系统和数据库子系统构成。本系统除了具有串口接收实时数据，用户管理，权限管理，设备管理，日志管理，数据维护，统计分析等功能外，还可以根据气象数据进行简单的气象预测，自动气象预警，为气象工作和交通管理部门的决策服务和用户出行等提供支持，使信息、资源得到充分共享。

(2) 利用数据库系统，对实时数据和历史数据进行集中管理，利用 SQL Server2000 及存储过程的高效性和安全性，保证在服务器下运行的数据库系统具有高性能的数据存储服务。数据库，数据表的设计完全遵照兼容国家数据定义标准进行，充分保证了数据交换的顺利进行。

(3) 将神经网络技术应用到单站气象要素预测中，将一种数据挖掘技术应用到了另一完全不同的领域。由改进的 BP 算法建立的预测模型取得了较好的效果。

6.2 研究展望

虽然系统的开发取得了阶段性的成果，但是从发展的时间、空间、对象、需求等一系列趋势来看，仍然存在以下几个方面的问题有待解决。

(1) 本文是通过串口接收数据，以后可以设计成通过网络如 GPRS、TCP/UDP、3G 等接收数据；

(2) 本系统对气象预警研究还不够深入，应该加强对公路交通有重大影响的灾害性天气预报预警方法的研究，尤其要开展高速公路能见度、路面温度、积雪厚度、路面摩擦系数等预报方法的研究；

(3) 可以把地理信息系统 (GIS) 运用到本系统的建设中，使用 GIS 空间数据管理及分析技术实现实时气象资料可视化、气象要素空间分析，并生成专题地图进行信息共享，可以使用元数据技术实现对多数据源、多数据集的交通气象数据管理系统；

(4) 本文在建立 BP 神经网络预测模型时，只考虑了前 72 小的温度、相对湿度、风速对各自的影响，模型中没有考虑到辐射量、降雨的影响，必然会在一定程度上对预测结果产生影响。神经网络预测模型具有较高的预测精度，在以后的学习中，可以继续在这个方面深入研究。

致谢

在论文完稿之际，首先要向三年来给予我悉心指导，精心培养的导师唐慧强教授致以最衷心的感谢！在我撰写论文的过程中，唐老师倾注了大量的心血和汗水，无论是在论文的选题、构思和资料的收集方面，还是在论文的研究方法以及成文定稿方面，我都得到了导师悉心细致的教诲和无私的帮助，特别是他广博的学识、深厚的学术素养、严谨的治学精神和一丝不苟的工作作风使我终身收益，在此表示真诚地感谢和深深的谢意。

与此同时，我要感谢张炜师兄，在系统的设计和实现过程中给予了我很大的帮助，此外，在论文的写作过程中，也得到了许多同学的宝贵建议，在此一并致以诚挚的谢意。感谢实验室的师兄师姐们。

最后，我也要感谢我的家人，在我三年的研究生学习生活中给予我无限的支持和鼓励！

参考文献

- [1] 刘利花, 张金喜. 高速公路不良天气交通事故分析[J]. 道路交通与安全, 2006, 6(8):26~29
- [2] 柳本民, 张丽君, 黄晓清. 灾害性天气对道路运营安全的影响分析与车速控制[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2006, 3(2):18~23
- [3] Iowa Department of Transportation and Center for Transportation Research and Education. Weather Issues in Transportation[R]. Iowa: Iowa Department of Transportation, 2004
- [4] Tanner, J. C. Effect of Weather on Traffic Flow[J]. Nature, 4290:107
- [5] Western Transportation Institute. Assess CALTRANS RWIS[R]. Los Angeles: California Department of Transportation, 2001
- [6] COST. Real-time Monitoring, Surveillance and Control of Road Networks under Adverse Weather Conditions[EB/OL]
http://www.cost.esf.org/index.php?id=240&action_number=TU0702:2007.11~2008.1
- [7] Ulrich Schlup, Urs Keller. Road Weather Information in Switzerland[R], 2004. 3
- [8] Applied Research Associates, Inc. Use of Wireless Technology for Field Applications[R]. SD Department of Transportation Office of Research:2006. 6
- [9] Paul Pisano. An overview of surface transportation weather research[R]. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2003
- [10] Andrey J. Knapper Christopher. Weather and Transportation in Canada[M]. Waterloo: M&T Insta-Print (K-W) Ltd, 2003
- [11] 张清, 黄朝迎. 我国交通运输气候灾害的初步研究[J]. 灾害学, 1998, 13(3):43~46
- [12] 黄朝迎, 张清. 暴雨洪水灾害对公路交通的影响[J]. 气象, 2000, 26(9):12~14
- [13] 蒋燕. 高速公路气象灾害分析与对策研究[J]. 上海公路, 2003, (S1):206~211
- [14] 李盾, 万蓉. 武汉地区雾的特点及其对交通的影响[J]. 湖北气象, 2000, (3):20~22
- [15] 王淑英等. 北京高速公路大气能见度与气象条件的相关分析[J]. 气象科技, 2002, 30(5):306~310
- [16] 张振维, 李巍. 沈大高速公路沿线气象因子特征研究[J]. 环境保护科学, 2000, 26(2):45~46
- [17] 周石砾, 成田英器, 小林俊一. 黑龙江省公路雪冰基本特征与灾害防治对策[J]. 自然灾

害学报, 2005, 14(3):114~118

[18]艾力·斯木吐拉, 胡新民, 蒋松强. 灾害性天气对新疆高等级公路交通安全的影响[J].

长安大学学报, 2005, (3):70~72

[19]白惠星, 向鸣, 陈勇航. 塔克拉玛干沙漠公路气象灾害及其防御对策[J]. 新疆气象, 2000, 23(6):6~9

[20]付清华, 李娟. 甘肃省公路风沙灾害类型划分[J]. 甘肃科技纵横, 2005, 34(5):66

[21]刘聪, 卞光辉, 黎健, 包左军. 交通气象灾害, 北京, 气象出版社, 2009. 6:160~162

[22]陈志延. Delphi & SQL Server 管理系统程序设计, 南昌, 江西高校出版社, 2008:1~40

[23]Holger Karlb, Andreas Willing. 无线传感器网络协议与体系结构, 北京, 电子工业出版社, 2007. 1:6~10

[24]MARK A. SHAFER, CHRISTOPHER A. FIEBRICH, AND DEREK S. ARNDT. Quality Assurance Procedures in the Oklahoma Mesonet[J]. Journal of atmospheric and oceanic technology, 2000, 17:474~494

[25]任芝花, 刘小宁, 杨文霞. 极端异常气象资料的综合性质量控制与分析[J]. 气象学报, 2005, 63(4):526~533

[26]Igor Zahumensky. Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. Expertteam on surface technology and measurement techniques first Session Geneva, Switzerland, 2004. 10:13~16

[27]王海军, 杨志彪等. 自动气象站实时资料自动质量控制方法及其应用[J]. 气象, 2007. 10:102~109

[28]World Meteorological Organization. CBS/OPAG-IO/ET AWS-3/Doc. 4(1). Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations, 2004

[29]陶士伟, 徐枝芳. 加密自动站资料质量保障体系分析[J]. 气象, 2007, 33(2):34~41

[30]任芝花, 熊安元. 地面自动站观测资料三级质量控制业务系统的研制[J]. 气象, 2007, 33(1):19~24

[31]刘聪, 卞光辉, 黎健等. 交通气象灾害, 北京, 气象出版社, 2009. 6:66~90

[32]王玉彬, 周海光, 苏德斌等. 北京, 气象出版社. 2006. 9:185~190

[33]G. E. P. 博克斯等. 预测与控制, 北京, 中国统计出版社, 1997:20~40

[34]史忠植. 北京, 高等教育出版社, 2009:10~40

[35]施彦, 韩力群, 廉小亲. 神经网络设计方法与实例分析, 北京, 北京邮电大学出版社, 2009. 12

[36]胡守仁等. 神经网络导论, 实现技术, 应用技术(共三册)[M]. 长沙, 国防科技大学出版社,

1995

- [37] 王美玲, 王念平, 李晓, BP 神经网络算法的改进及应用. 计算机工程与应用, 2009, 45(35):47~49
- [38] 华冬冬, 陈森发. 一种改进的神经网络及其在交通流量预测中的应用[J]. 交通科技, 2005:71~73
- [39] Rumelhart D E, et al. Learning Representation by BP Errors. Nature, 1986, 7:149~154
- [40] 武妍, 施鸿宝. 一种模糊规则动态调整 BP 算法中参数的方法计算机研究与发展, 35(8):689~693
- [41] 张洪, 邹乐君, 沈晓华. BP 神经网络在测井岩性识别中的应用. 地质与勘探, 38(6):63~65
- [42] 黄胜伟, 董曼玲. 自适应变步长 BP 神经网络在水质评价中的应用. 水利学报, 2002, 10:119~123
- [43][46] T. P. Vogl, J. K. Mangis etc. Accelerating the convergence of the back propagation method. Biological Cybernetics, 1988(59):256~264
- [44][45] T. Tollenare. SuperSAB:Fast adaptive back propagation with good scaling properties. Neural Networks, 1990, 3(5):561~573
- [47] R. A. Jacobs. Increased rates of convergence through learning rate adaptation, Neural Networks, 1988, 1(4):295~308
- [48] 李绍滋等. 一种新型 BP 网络算法及其在故障诊断专家系统中的应用. 《厦门大学学报》, 1999, 2(2):13~18
- [49] 杨安华. BP 算法固定学习率不收敛原因分析及对策. 《系统工程理论与实践》, 2002, 12:22~25
- [50] 刘凯. 基于改进 BP 神经网络的短期负荷预测研究[D]. 河海大学硕士学位论文, 2005
- [51] 秦海超, 王玮, 周晖等. 人体舒适度在短期电力负荷预测中的应用[J]. 电力学报, 2006, 21(2):143~145
- [52] 王远飞, 沈愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度. 华东师范大学学报(自然科学版), 1998(3):60~66
- [53] 徐树安. 人工神经网络交通流量预测算法研究. 广西工学院硕士学位论文, 2010
- [54][57] 廖宁放, 高稚允. BP 神经网络用于函数逼近的最佳隐层结构. 北京理工大学学报, 1998. 18(4):476~480
- [55] Hecht Niclson R. Neurocomputing. Addison Wesley, 1990
- [56] 肖永山, 王维庆, 霍晓萍. 基于神经网络的风电场风速时间序列预测研究[J]. 节能技

术. 2007, 25(2):106~108

[58]袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京, 清华大学出版社, 1999:20~60

[59]向全国, 董道珍. BP 模型中的激励函数和改进的网络训练法. 计算研究与发展, 34(2):113~117

[60]Caillon J et al. Constrained back propagation, Neural Network Supplement:INNS Abstracts, 1998(I):539

[61]张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京, 机械工业出版社, 2009:123~125

[62]董长虹. MATLAB 神经网络与应用, 北京, 国防工业出版社 2005. 1:14~16

论文清单

[1] 基于B_S架构的交通气象实时监测系统研制。电子设计工程, 2011(5)

[2] 软件著作权申请