

中国气象局 南京信息工程大学共建项目资助精品教材

江苏省高等教育教改研究（2015JSJG521）资助项目

高等院校信息技术规划教材

气象信息处理 与系统设计基础

马利 赵立成 王保卫 编著



清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

气象信息处理 与系统设计基础

马利 赵立成 王保卫 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书为有关气象信息处理与系统设计基础领域的首部教材。内容包括气象信息系统概述、气象要素预报、气象资料、气象图形图像软件 GrADS、Fortran95 程序设计、气象信息系统开发实例、Python 统计实例共 7 章内容。本书内容覆盖面广泛、丰富、体系严谨,体现了当前气象信息技术的最新成果。本书信息量大,多采用案例、图、表等方式进行表达,逻辑性强,易于读者理解。本书将基础性、时代性、系统性、启发性、应用性融为一体。气象信息处理、气象业务现代化、气象信息系统工程三部分内容交叉融合,力求形成“理论、实践、应用”相统一的教学体系。

本书可作为普通高等院校各类专业气象特色课程的教材使用。

本书是中国气象局和南京信息工程大学共建项目资助精品教材,并获得江苏省高等教育教改研究(2015JSJG521)资助。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

气象信息处理与系统设计基础/马利,赵立成,王保卫编著. —北京:清华大学出版社,2017
(2018·9重印)

(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-48316-8

I. ①气… II. ①马… ②赵… ③王… III. ①气象—信息处理—高等学校—教材 ②气象—管理信息系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①P4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 218389 号

责任编辑:袁勤勇

封面设计:常雪影

责任校对:胡伟民

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:河北纪元数字印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:12

字 数:295千字

版 次:2017年11月第1版

印 次:2018年9月第3次印刷

定 价:39.00元

产品编号:071491-01

本书是中国气象局和南京信息工程大学共建项目资助精品教材,并获得江苏省高等教育教改研究(2015JSJG521)资助,内容包括气象信息系统概述、气象要素预报、气象资料、气象图形图像软件GrADS、Fortran95程序设计、气象信息系统开发实例、Python统计实例共7章内容。全书内容由浅入深。第1章为气象信息系统概述,从我国气象信息系统的基本概念入手,进而讲解国内外气象信息系统的发展过程,描述气象信息系统的现状,依托以上三个方面对气象信息系统进行概括性介绍。第2章为气象要素预报,气象要素预报的内容很多,主要包括风、气温、雾、云和降水等气象要素的预报,本章在分析几种主要气象要素形成的宏观条件的基础上,简要介绍依据不同的气象要素所运用的不同预报方法。第3章为气象资料,气象资料是气象信息的主要组成部分之一,是气象业务的基础资料,是国家的重要信息资源。实现气象资料的科学有序管理与共享服务是气象信息系统的基本要求,也是基本职责。本章对气象资料的概念、加工处理技术、业务与规范、管理与服务等进行概要描述。第4章为气象图形图像软件GrADS, GrADS(Grid Analysis and Display System)是一款在气象界应用广泛的数据处理和显示绘图软件,该软件具有气象数据分析功能强、地图投影坐标丰富、高级编程语言使用简单、图形显示快速,并具有彩色动画功能等特点,适用于目前流行的各种操作系统,已经成为国内外气象数据显示的标准平台之一。本章包含GrADS软件包、GrADS数据、编写ctl文件、编写gs文件、gs文件的基本内容,对系统运行环境的参数设置和功能定义进行了描述,并给出大量应用实例。第5章为Fortran95程序设计, Fortran语言是在科学计算领域广泛使用的计算机编程语言。灵活使用Fortran语言进行程序设计,对气象科学计算领域的编程人员来说是一项非常重要的基本技能。本章给出与气象信息处理相关的大量实例。第6章为气象信息系统开发实例,本章以实例引导学生开发。第7章为Python统计实例,本章引入Python语言,给出Python在气象统计中的应用实例。

本书力求反映气象信息系统及技术发展的趋势,充分反映本学科领域的最新科技成果。本书信息量大,多采用案例、图、表等方式进行表达,逻辑性强,易于读者理解。本书将基础性、时代性、系统性、启发性、应用性融为一体。气象信息处理、气象业务现代化、气象信息系统工程三部分内容交叉融合,力求形成“理论、实践、应用”相统一的教学体系。

本书可作为普通高等院校各类专业气象特色课程的教材。

本书由马利、赵立成、王保卫编著,赵立成编写第1章和第3章,马利、王保卫编写其余章节。杨慧杰、韩瑾、胡媚同学负责全书的录入、插图和校正。在编写过程中,本书还得到了国家气象信息中心沈文海、李湘、孙婧、赵芳、高峰的大力支持和帮助,正是他们的支持和帮助,使本书得以顺利编著出版。在此,笔者谨向他们表示最真挚的感谢。

本书的编辑出版还得到了清华大学出版社的倾心支持,在此一并感谢。

由于时间紧迫以及作者的水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评、指正。

编者

2017年7月

目录

Contents

第 1 章 气象信息系统概述	1
1.1 气象信息系统的基本概念	1
1.1.1 资料库	1
1.1.2 程序库	2
1.1.3 图形图像库	2
1.1.4 预报员	2
1.2 气象信息系统发展的历程	2
1.2.1 通信网络的发展	2
1.2.2 高性能计算机的应用	4
1.3 气象信息系统现状概述	7
1.3.1 气象信息系统的组成	8
1.3.2 气象信息业务布局	8
第 2 章 气象要素预报	18
2.1 大气的基本要素	18
2.1.1 温度	18
2.1.2 气压	19
2.1.3 湿度	19
2.1.4 风	20
2.2 气象要素预报	21
2.2.1 降水预报	21
2.2.2 云雾预报	21
2.2.3 温度及相关气象预报	22
2.2.4 风的预报	22
2.2.5 其他天气预报简介	22
第 3 章 气象资料	24
3.1 气象资料概述	24

3.1.1	气象资料的定义	24
3.1.2	气象资料的种类	24
3.1.3	气象资料的属性	25
3.2	气象资料处理技术	25
3.2.1	数据编码	25
3.2.2	数据压缩	26
3.2.3	资料质量控制	26
3.2.4	资料均一性检验与订正	26
3.2.5	多源资料融合与同化	27
3.2.6	资料格点化	28
3.2.7	资料可视化	28
3.3	气象资料产品研发	31
3.3.1	国内气象数据产品研发现状	31
3.3.2	气象数据产品研发的主要问题	32
3.3.3	综合数据产品研发方向	32
3.4	气象资料存储管理	34
3.4.1	数据库系统结构	34
3.4.2	数据库系统布局	37
3.4.3	数据库业务流程	39
3.4.4	实时数据库	41
3.4.5	综合数据库	43
3.4.6	数据库系统应用实例	45
3.5	中国气象数据网	49
第4章	气象图形图像软件 GrADS	52
4.1	GrADS 简介	52
4.2	GrADS 软件包简介	53
4.3	GrADS 数据简介	54
4.3.1	Binary 无格式数据	54
4.3.2	netCDF 格式数据	54
4.3.3	GRIB 格式数据	54
4.4	编写 ctl 文件	55
4.5	编写 gs 文件	58
4.5.1	gs 文件的基本内容	58
4.5.2	系统运行环境的参数设置和功能定义	60
4.5.3	实例应用	70

第 5 章 Fortran 95 程序设计	75
5.1 Fortran 95 简介	75
5.1.1 Fortran 发展过程	75
5.1.2 Fortran 的主要版本及差别	75
5.1.3 Fortran 语言的编译环境	76
5.1.4 Visual Fortran 6.6 介绍	77
5.2 Fortran 数据类型	80
5.2.1 Fortran 数据类型的概念	80
5.2.2 整型数据 (INTERGER)	80
5.2.3 实型数据 (REAL)	81
5.2.4 复数数据 (COMPLEX)	83
5.2.5 字符型数据	83
5.2.6 逻辑型数据	85
5.3 Fortran 的基本程序结构	85
5.3.1 简单程序	85
5.3.2 字符集与保留字	86
5.3.3 输入/输出语句	87
5.4 流程控制与逻辑运算	90
5.4.1 运算符	90
5.4.2 IF 语句	92
5.4.3 SELECT CASE 语句	98
5.5 循环结构	99
5.5.1 DO 循环结构	99
5.5.2 DO WHILE 循环结构	100
5.5.3 循环的流程控制	101
5.5.4 循环的应用	103
5.6 数组	106
5.6.1 数组的定义与引用	106
5.6.2 数组的逻辑结构与存储结构	108
5.6.3 数组的输入输出	108
5.6.4 给数组赋初值	110
5.6.5 动态数组	111
5.6.6 数组的应用	114
5.7 函数	117
5.7.1 子程序	117
5.7.2 自定义函数 (FUNCTION)	118
5.7.3 关于函数中的变量	119

5.7.4	全局变量	123
5.8	Fortran 的应用	126
5.8.1	熟悉 Fortran90 软件的开发环境	126
5.8.2	与子程序有关的应用	129
5.8.3	与 GrADS 相关的应用	133
5.8.4	数据文件的转换及数据描述文件的建立	144
第 6 章	气象信息系统开发实例	148
6.1	Java 开发及实例	148
6.1.1	仿照实现 Micaps 3 主界面	148
6.1.2	实现三线图的界面	160
6.2	C# 开发及实例	166
第 7 章	Python 统计实例	178
7.1	Python 操作基础	178
7.2	Python 统计实例	178
7.2.1	计算两个气温之间的相关系数	178
7.2.2	冒泡排序	180
7.2.3	逐步回归计算实习	181

气象信息系统概述

本章从我国气象信息系统的基本概念入手,进而讲解国内外气象信息系统的发展过程,并描述气象信息系统的现状,依托以上三个方面对气象信息系统进行概括性介绍。本章涉及的基本概念包括气象信息系统、信息系统、气象业务系统及气象信息业务系统等。

1.1 气象信息系统的基本概念

顾名思义,气象信息系统就是所有与完成某个气象专业工作相关的事物按某种特定规则(或关系)所组成的整体;简而言之,就是完成某个特定气象业务系统的总体。

气象信息系统工程要求对气象信息从资料收集、检索到处理、分析、预测,包括预报员对计算机天气产品的理解、裁决以及预报结论的可视化提交等均应以计算机软件系统的形式存储在计算机中,形成一套完整的系统工作流程,具体包括气象资料库、气象应用程序库、图形图像库及预报员四个基本要素。

1.1.1 资料库

气象资料库是气象工程学与现代天气预报学的基础。资料库应包括实时资料与历史资料。检索与回放资料包括实时检索、动态检索、智能化搜索与可视化检索等技术。

最初,数据只有四个基本类型:整数类型(integer)和实数类型(real)分别为计算机可表示的范围内的整数和实数,布尔类型(boolean)的取值为真(true)与假(false),字符类型(char)的取值为可表示的字符串。随着图形图像技术的发展,数字化图形图像数据已经成为一种专门的类型,从资料库内容上划分,应包含原始资料、一级加工资料(如要素库资料)、二级加工资料(如分区资料、分成资料、专项资料等)、三级加工资料(如数值预报产品资料)等,资料库并非许多资料或文件的集合。资料文件的动态与静态生成、检索与存取、文件的管理、资料的多种载体的转换与共享技术(多媒体技术)、记码格式的互换技术、资料的压缩存放与复原技术等都属于资料库与多种资料加工处理的内容。

1.1.2 程序库

气象专用程序是气象系统工程中的基础。通常,一个气象程序库包含基本数学分析与计算方法库、专用气象程序库及输入/输出资料界面接口方法库三项内容。其中气象

专用程序库可回答预报人员和科研人员在天气分析预报和科学研究中要解决的一些基本问题,如对气象要素场初值进行客观分析、运动学分析、动力学分析、热力学分析、大气参数诊断分析及给出预报方法的程序等。程序库的设计及其动态链接运行技术是天气预报系统中的重要支持技术。

1.1.3 图形图像库

看图识天气是天气预报员的基本功之一。天气图上绘制了各种各样代表不同天气的天气符号。

然而,传统天气图是二维纸面上的静态天气形势的分析。实际大气运动过程远比这种二维解析表达复杂得多。大气过程的发展和变化无论在时间还是空间上都是一种多尺度并存的运动,以及多尺度运动之间的相互作用与转换。

在如今的计算机图形图像系统中,对天气变化的动态重放、捕捉雷暴发展演变过程或表达西风带长波系统的东移,对发生于大气中的快速或缓慢的变化都能转换为中速运动,以适应人的感觉速度,并进行卓有成效的分析。这就是现代天气图形图像学的概念与意义。

现代天气图形图像库研究的内容包括大气环流与天气系统的结构分析、动态天气分析和预测、天气过程的三维表达、快速与慢速动态回放等。

1.1.4 预报员

在系统工程建设中,预报员的作用不可低估。在定义系统工程的要素中强调预报员的意义十分重要。天气系统设计首要是以天气的现代诊断、表达、预测为核心。在任何从事天气预测的系统或平台的设计中,离开或忽略预报员的核心作用常常会导致设计的失败。这说明了在系统(包括引进的系统)设计中,人员水平、技术思路及发展更新非常重要。

1.2 气象信息系统的发展历程

业务需求和技术发展推动气象信息化不断向前迈进。

1.2.1 通信网络的发展

我国在 20 世纪 80 年代建设了气象专用通信网,开始建立计算机通信网络。20 世纪 90 年代建设了 9210 工程,实现了“专网为主、公网为辅”,建成计算机局域网。2005 年起,我国建成宽带网,实现了“公网为主、专网为辅”,建设国家级存储检索系统(MDSS)。2007 年起,我国设计建设了全国综合气象信息共享平台 CIMISS 系统,加强数据库和应用软件的建设。2016 年 12 月 20 日,由国家气象信息中心牵头建设的全国综合气象信息共享平台(CIMISS)正式业务化运行。

气象通信网络经过近 60 年的发展,其业务与采用的技术均发生了翻天覆地的变化,气象通信的手段、方式和能力等方面在不断地改进与提高,有力地推动了气象现代化的进程,为气象业务的发展提供了保障与支撑。

享有“金气工程”之誉的气象卫星综合业务系统(9210 工程)自 1992 年开始筹建,并于 1999 年正式投入业务运行。9210 工程实质上是新一代气象通信系统工程,采用了卫星通信、计算机网络、分布式数据库、数字程控交换等先进技术,建设了一个以卫星通信为主,地面通信为辅,以专网为主、公网为辅的集中控制、分级管理的现代化综合气象信息网络系统。系统的突出特点是传输信息量大、时效快、覆盖面广等,大大改善了国内的气象通信能力。

9210 工程由北京通信主站、31 个省级站和 297 个地(市)级站组成。卫星广域网利用卫星通信桥接技术将国家气象中心、区域气象中心、省气象台和地(市)气象台的局域网互联形成一个广域网,上行速率为 1Mb/s,下行速率为 512Kb/s。卫星话音网是一个网状结构的标准话音网,除承担话音业务外,还可以召开全国气象部门内部电话会商与电话会议。卫星单向数据广播网承担国家级预报产品和全球实时观测数据的广播分发,广播速率为 2Mb/s。

1999 年,9210 工程全面业务化运行。全国建成 2400 个卫星广播数据接收站,气象卫星综合应用业务系统在我国气象通信和业务发展中发挥了重要作用。使气象信息的收集和分发时效大大提高,为 21 世纪我国气象事业的大发展奠定了良好的基础,9210 工程网络总体结构示意图如图 1-1 所示。

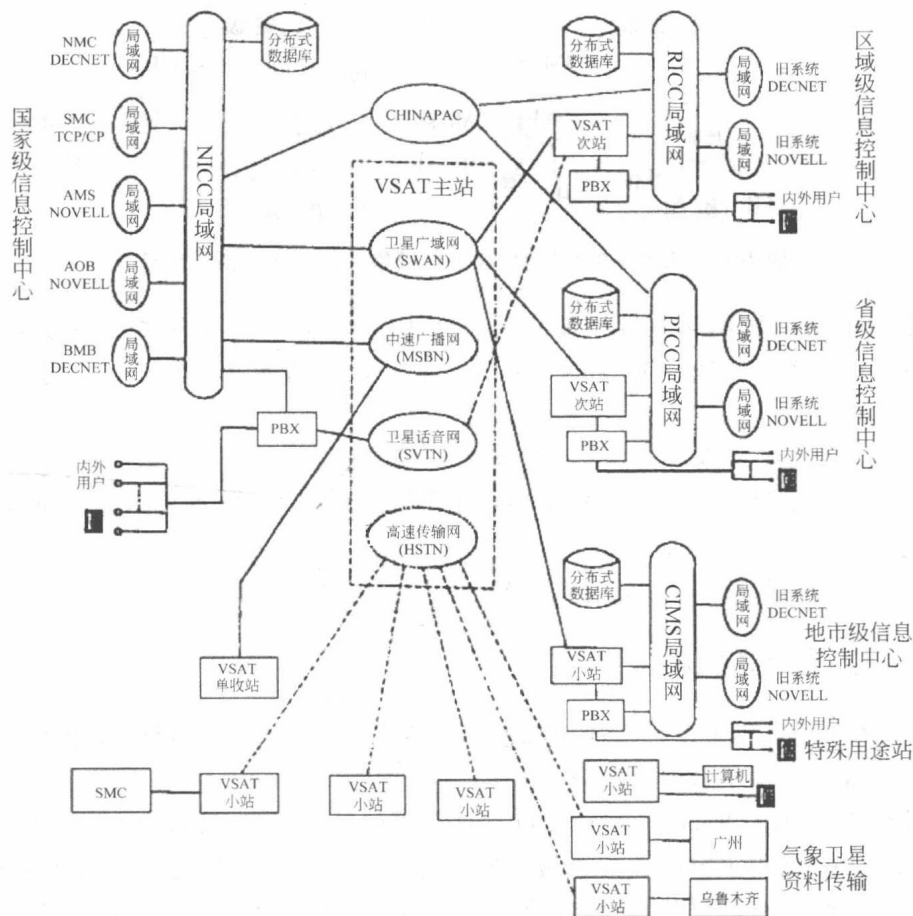


图 1-1 9210 工程网络总体结构示意图

目前我国建成了“天地一体化”的气象通信网络系统,如图 1-2 所示,覆盖国家、省、地、县四级气象部门,支持气象数据和产品传输、共享服务和县级综合业务平台等集约化业务应用。

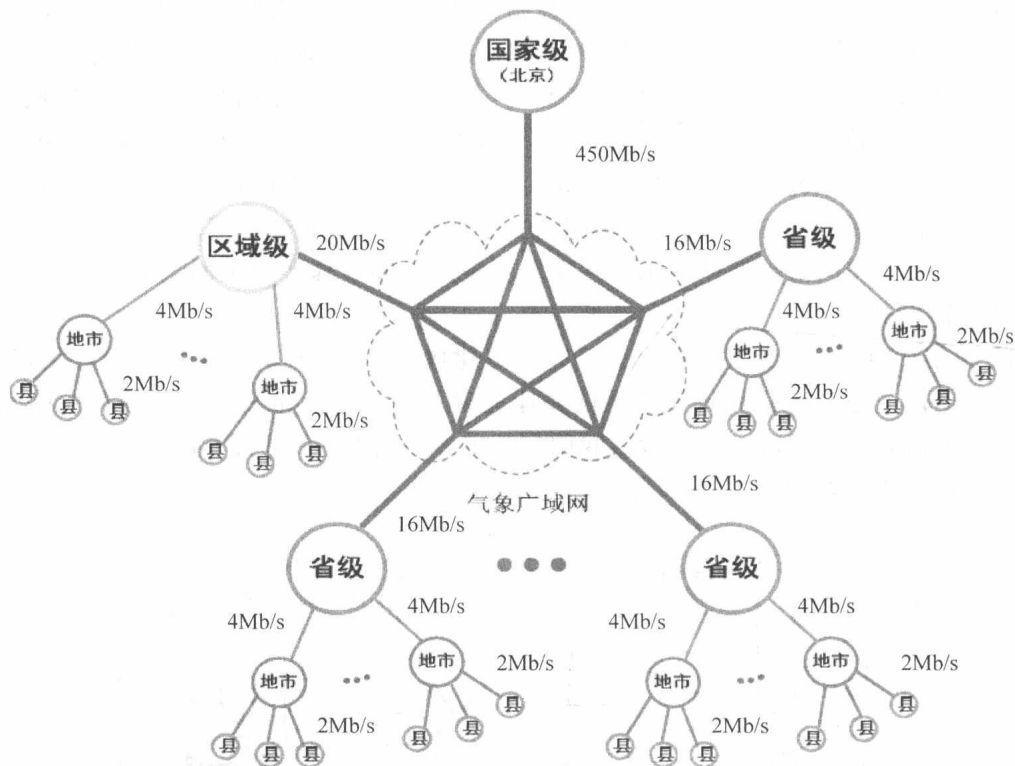


图 1-2 “天地一体化”的气象通信网络系统总体结构示意图

- 全国地面广域网络：国家级接入速率为 450Mb/s, 区域级为 20Mb/s, 省级为 16Mb/s, 省—地线路速率为 4Mb/s, 地—县线路速率 2Mb/s (江苏 20Mb/s, 10Mb/s)。
- 局域网络：国家级为 10Gb/s, 省级为 10Gb/s。
- 气象数据卫星广播系统(CMACast)注册接收站 2538 个, 播发数据量 300GB/日。
- 建立省际共享业务。
- 收集观测资料数据量：雷达 172 站, 56GB/日；区域自动站 40776 站, 5.3GB/日。

1.2.2 高性能计算机的应用

通用计算机的应用主要包括通信和填图自动化、资料处理自动化、气象卫星资料处理自动化、气象科研的平台四个部分。

20 世纪 70 年代后期,由于高性能巨型计算机的问世,使气象科学在某些领域(如数值天气预报领域)获得了突破性的进展。鉴于计算机在气象中如此重要的地位和作用,世界各国总是把气象部门作为巨型计算机最新成就的优先用户之一。高性能计算机在气象领域的应用十分广泛,主要有数值天气预报、气候预测与预估、人工智能、计算机视

觉化等方面。以我国数值预报业务系统的发展为例,其发展的各个阶段均离不开高性能计算机。随着数值预报水平的不断提高,对计算能力的需求也随之成倍增长。根据试验,数值天气预报模式的分辨率每提高一倍,其计算量将增加 16 倍以上。此外,数值天气预报的业务运行对计算机也有较高的时效要求,不同的预报模式要求在各自限定的时间内完成全部计算任务,否则将直接影响到预报结果的时效性和可用性。

1. 国家级高性能计算机系统建设

自 20 世纪 90 年代中期以来,高性能计算机的运算能力明显增强。国家级气象业务中心先后建成了银河 II、CRAY J90、CRAY EL98、CRAY C92、IBM SP2、IBM SP、曙光 1000A、银河 III、神威 I、神威新世纪-32I、神威新世纪-32P 以及 IBM Cluster 1600 等高性能计算机系统,在开展数值预报业务和研究等工作中发挥了重大作用。同时,我国建立了国家级北京高性能计算机应用中心,并向全社会开放。到 2004 年底,国家气象信息中心运行的高性能计算机的聚合能力达到 23 万亿次/秒浮点运算。

从 20 世纪 90 年代初到 2005 年,气象部门国家级计算能力的增速基本达到每 5 年增长 1 个数量级,2005 年底,21.5 万亿次的高性能计算机系统投入业务应用,用于业务和科研的计算能力相比 1978 年提高了近 2300 万倍,相比“九五”期间提高了近 200 倍。

改革开放 30 年来,中国气象局进行了 6 次较大规模的计算机系统建设,实现了气象数值预报业务发展的 6 次飞跃。

1978 年 11 月,中国气象局引进了一台每秒百万次运算能力、内存为 4MB、磁盘容量为 2.1GB 的日立 M-170 计算机,这在当时属于国内综合性能最强的计算机系统,主要用于气象数据处理和运行 MOS 数值预报模式,从此结束了我国没有数值预报业务的历史。1980 年 7 月,A 模式(欧亚区域模式)开始投入业务运行;1983 年 8 月,B 模式(亚洲区域模式)开始投入业务运行。以上标志着我国的数值天气预报全面进入实用化阶段。

1989 年和 1991 年,作为中期数值天气预报系统工程建设中最重要的技术装备——CDC 公司的 CYBER962(每秒 1480 万次)和 CYBER992(每秒 3460 万次)计算机先后安装,这是经美国总统特批后出口到中国的最高性能的大型计算机,其中,Cyber992 字长 64 位,内存为 64MB,磁盘容量为 36GB,峰值性能为 34MIPS,并带有向量处理部件,峰值向量运算性能达 57MFLOPS(每秒百万次浮点运算),采用的操作系统是 NOS/VE。CYBER 计算机的安装为 T42L9 中期数值天气预报业务提供了良好的计算机运行环境,从此正式建成了我国第一代中期数值天气预报业务系统。1991 年,T42L9 中期数值预报业务系统终于研制成功,正式制作 5 天范围内的全球天气预报,使我国成为当时世界上仅有的 9 个能够制作中期数值天气预报的国家之一。自 1991 年 6 月 15 日开始,T42L9 模式和有限区 LAFS 降水模式的数值预报产品发向省、地气象局,对天气形势预报起到了指导作用。

1988 年 3 月 12 日,国家气象中心与国防科技大学签订了购买单 CPU 的银河 II 计算机系统合同。1992 年 4 月补签合同,升级为双 CPU;1993 年 7 月又补签合同,再升级为 4 CPU。1993 年 8 月,国产银河 II 巨型计算机 YH2(每秒 4 亿次浮点运算)在中国气象局安装成功。同年 9 月 14 日,T63L16 中期数值预报业务系统在 YH2 上建成。同年

10月14日,第二代中期数值天气预报模式 T63L16 在 VAX-Cyber-YH2 构成的计算机系统上运行。银河-II 在国家气象中心的安装和使用,结束了我国气象部门没有国产巨型计算机的历史,为后来打破西方国家对我国在计算机技术上的封锁创造了有利条件,标志着我国气象现代化迈上了一个新的台阶。

1994年10月,中国气象局首次引进了 CRAY 公司的 CRAY C92 向量巨型计算机,该机峰值性能达到 2000MFLOPS,内存为 1GB,磁盘容量为 127GB,为新一代中期数值天气预报业务系统的建立和可靠运行奠定了基础。1997年6月,更高分辨率的 T106L19 中期数值预报业务系统建成,并投入业务运行,预报时效延长到 10 天。同时在该机上还运行了全球中期数值天气预报模式 T63L16 延伸预报、台风模式、暴雨模式、中尺度数值天气预报模式及部分科研任务,CPU 利用率长期保持在 90%以上。

中国气象局在充分应用传统向量巨型计算机的同时,一直密切关注着未来高性能计算机的发展方向,为此,中国气象局成立了专门领导小组负责此事。经过对国内外计算机技术发展趋势的广泛调研和深入分析,中国气象局决定把逐步装备和应用大规模并行计算机(MPP)作为气象部门高性能计算机应用的主要发展方向。为了打好 MPP 在气象领域应用的基础,本着科研开发先行的原则,在气象事业发展规划(1996—2010年)中超前把“加强在并行计算机系统环境下的并行计算方法、数据管理和系统管理等技术的开发研究”“以大规模并行计算机为基础的下一代数值预报预测、资料同化分析及产品应用业务系统的开发研究”等研究项目作为中国气象局 20 世纪 90 年代中后期科研开发的重点领域。中国气象局组织开展了数值预报并行计算技术的开发和业务应用。经过工程建设和科研开发,构成了由国产曙光 1000A 并行计算机(每秒 32 亿次浮点运算)、YH3 并行计算机(每秒 180 亿次浮点运算)和引进的 IBM SP 并行计算机(每秒 720 亿次浮点运算)等所组成的国内最大的多机型异构并行计算环境。在此环境下开发了为建立并行数值预报业务系统必需的一整套并行计算技术,包括并行同化分析系统、并行全球动力模式、并行有限区预报模式和中尺度预报模式。自主开发了采用奇异向量法的集合预报并行计算系统,并在国产高性能计算机上实现了准业务运行,其集合度水平与国际先进气象机构相当。

2004年9月,作为国家“九五”大中型建设项目《短期气候预测业务系统工程建设》的重点建设内容之一,中国气象局从 IBM 公司引进了 IBM Cluster 1600 高性能计算机系统,该系统共有 3200 个 CPU,其中 3152 个 CPU 用于计算,整体峰值计算能力高达 21.5TFLOPS,内存总容量为 8224GB,磁盘总容量为 30TB,当时居全球高性能计算机排名第六位。该系统具有高效的数据存储管理能力、强大的信息与作业吞吐能力和先进的并行作业管理能力,是目前国家级各类天气、环境数值预报和气候预测业务的首要运行载体,同时也是气候变化研究、各种数值模式研发与改进等多项科研任务的主要计算平台。多尺度和时空分辨率更高的 T639L31 新一代数值预报系统在该系统上运行以来,先后为汶川大地震抗震救灾和北京奥运会提供了全程、连续、滚动、精细化的特殊天气预报服务。该系统作为中国气象局的重大基础设施,对于大幅提升我国的气象信息系统、天气预报系统和气候预测系统的现代化水平作用巨大。

2. 区域和省级高性能计算机系统建设

根据全国气象事业发展设想,自 2000 年以来,区域和省级气象部门也根据业务发展需要和实际情况,先后进行了高性能计算机系统建设。到目前为止,全国共有 29 个省、市、自治区、计划单列市的气象部门共装备有 32 套高性能计算机系统。全国 7 个区域气象中心全部配有高性能计算机系统。区域气象中心和省级气象部门分别装备有银河Ⅲ、曙光 3000、IBM SP、曙光 TC1700、华云神箭、SGI Origin2000、SGI Origin 300、SGI Altix 3000、探索 108、YH-CS16、IBM P690、神威新世纪—32P、曙光 4000A、IBM cluster1600 等系统,系统峰值性能从 10 亿次/秒到 9.8 万亿次/秒浮点运算不等。在现有装备的高性能计算机系统中,性能在 10GFLOPS(每秒 100 亿次浮点运算)以下的有 2 套,10~100GFLOPS(每秒 100~1000 亿次浮点运算)的有 10 套,100GFLOPS~1TFLOPS(每秒 1000~1 万亿次浮点运算)的有 14 套,1TFLOPS(每秒 1 万亿次浮点运算)以上的有 6 套。

在目前的区域气象中心和各省级高性能计算机业务系统中,除了少数区域气象中心开发运行了台风、暴雨和快速循环等模式外,其他大部分运行的都是 MM5 和 GRAPES 等准业务区域模式。这些系统在省级气象业务的发展中已经发挥了较好的作用。

为满足国庆 60 周年庆典气象保障服务以及全球气候变化的评估分析工作的需求,2009 年,中国气象局安装了计算能力达每秒 15.75 万亿次的国产神威高性能计算机。GRAPES 快速同化分析系统和 GRAPES 云模式系统成功移植到神威高性能计算机上,有效地提高了模式运行速度,使数值预报系统的同化周期由 3 小时缩短为 1 小时,为国庆 60 周年气象预报服务提供更加精细化的强对流天气潜势预报、降水、气温、风速等气象要素预报,以及低云分布和云水结构等数值预报产品,为国庆期间的庆典和低空飞行活动的气象服务提供了有效的技术手段和参考产品。

为了提高我国气候变化的预测能力,建设我国的气候系统模式,使我国模式的预测水平达到发达国家模式的平均水平,将我国未来 50 年的气候变化预测时效提高一倍、气候变化预测集合能力提高一倍。

高性能计算机系统性能不断提升,国家级高性能计算机峰值运算能力已经达到每秒 1360.7 万亿次(其中 289 万亿次高性能计算机安装在华南区域中心,远程使用)。区域中心高性能计算机峰值运算能力从每秒 25 万亿次提高到 500 万亿次,其余各省高性能计算机和高性能服务器的运算能力在每秒 0.04~100 万亿次不等。

1.3 气象信息系统现状概述

本节内容包括目前气象信息系统的核心构成、各级气象信息部门的业务布局与分工,以及气象信息系统的结构。

1.3.1 气象信息系统的组成

目前气象行业内的气象信息系统主要由通信系统、网络系统、计算环境、数据管理与服务等部分组成,如不加说明,本书中的“气象信息系统”主要指该范围内的信息系统。

气象通信系统是气象信息系统的重要组成部分之一,从业务覆盖面上可分为国际气象通信系统、国内气象通信系统和同城用户服务系统等;从通信方式上又可分为地面宽带通信、卫星双向和单向广播通信、手机移动数据通信和短波数据传输通信等。气象通信系统主要承担着对各类观测资料、预报预测和服务产品等的收集与分发,对世界气象组织亚洲区域气象通信枢纽相关业务进行实时监控等功能。

气象网络系统主要包括世界气象组织全球电信系统(WMO GTS)、覆盖全国的气象广域网、各级气象部门的计算机局域网、Internet 接入网、电子政务外网接入网、与外部门的信息交换网以及网络综合应用系统(如电视会商系统、办公自动化系统)等,其主要功能是为气象信息的收集、分发与共享提供高效、安全的数据传输途径和能力,为基于网络综合应用系统和计算资源的共享提供有效、安全的支撑,并承担自身的监控功能。

计算环境由一组计算机、软件平台和相互联通的网络组成,这个环境能够处理和交换数字信息,允许外界访问其内部信息资源。气象计算环境主要是指为数值天气预报、气候预测与预估等业务和研究所提供的高性能计算资源,包括高性能计算机系统、计算语言编译软件和计算支持数学库、并行计算支撑软件、业务协同开发支撑和业务调度资源管理等系统。计算环境的功能是为数值模式计算提供强大、易用、稳定、可靠和可管理的计算资源。

数据管理是利用计算机硬件和软件技术对数据进行有效的收集、存储、处理和应用的过程。其目的在于规范、安全、有效地管理数据,充分发挥数据的作用。实现数据有效管理的关键是数据的组织。随着计算机技术的发展,数据管理经历了人工管理、文件系统、数据库系统三个发展阶段。在商用数据库系统中所建立的数据结构,充分地描述了数据间的内在联系,便于数据修改、更新与扩充,同时保证了数据的独立性、可靠性、安全性与完整性,减少了数据冗余,提高了数据共享程度及数据管理效率。

气象信息服务主要是指将预报、预测以及观测等信息进行再组织、评价、选择与再加工,并使之有序化,成为用户易于理解、方便利用和有价值的信息,并通过多种信息服务方式将信息传递给需要服务的用户。

1.3.2 气象信息业务布局

与气象业务布局类似,气象信息业务同样按照国家级、省级、地市和县等四级层次布局。

国家级气象信息系统主要由通信网络子系统(包含国际通信系统、国内通信系统、同