

气象信息科学视算环境及其若干问题*

王洪庆 张焱 郑永光 陶祖钰

(北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

摘 要

多维动态气象数据的科学视算环境通过多视角的图形、图像表达方式, 能够直接、准确地展示复杂多样的天气过程及其时空演变, 辅助解释人员和预报人员形成天气系统的四维空间/时间结构, 已成为天气系统分析的重要工具。文中首先讨论了描述天气系统和天气过程的常用图形、图像表达方式, 然后通过若干典型天气系统数值模拟结果的示例分析, 介绍了目前气象信息科学视算环境的主要功能, 最后结合当前的应用状况和气象科学发展的需求, 讨论了气象信息科学视算环境中的若干问题及其解决方案, 并展望了未来气象信息科学视算环境的发展前景。

关键词: 多维动态数据, 科学视算, 智能解释。

1 引 言

大多数天气系统的研究和预报是建立在大量的常规和非常规观测资料以及数值模拟和预报产品的基础上。随着研究的深入, 对资料的种类以及空间和时间分辨率都提出了更高的要求, 使资料的数量在近年来飞速地增长, 如何快速地解读高达数千兆的资料成为一个急待解决的问题。气象观测和模拟资料是典型的多维动态数据集, 直接、快速地用易于理解的图表形式表达数据中内含的复杂天气系统和物理过程的空间分布和时空演变, 是气象科学视算系统(环境)设计、研制所要解决的基本问题。由于天气系统是一个三维空间分布的时间动态过程, 传统的二维剖面式图形表达(如常规的地面和高空天气图)远远不能满足气象科学的需求。为了帮助气象学家和业务预报人员从描述天气系统的动态数据中获取信息, 认识天气系统的四维空间/时间结构, 已经研制出多个运行在不同操作环境下的气象科学视算系统和视算环境。如: Unix 操作环境下的 Vis5D, VisAD, McIDAS^[1~4], NCAR- Graphics, WSI^[4], METView^[5], TriVis, Visual^[6,7] 等; Windows 操作环境下的 Weather3D, PG-Vis5D^[8~10],

Surfer 等; 既可以在 Unix 环境下运行又可以在 Windows 环境下运行的 GrADS(美国海洋-陆地-大气研究中心)、Micaps(中国气象局)等。

本文首先对表述天气系统(过程)的常用图形表达方式进行讨论, 然后结合个人计算机环境下的气象信息科学视算环境 PG-Vis5D, 给出了科学视算环境对若干典型天气系统数值模拟的分析结果, 最后讨论了目前气象信息科学视算环境中的若干问题及其解决方案, 并展望了未来气象信息科学视算环境的发展方向。

2 气象信息科学视算环境

2.1 气象信息表达方式

描述天气系统和大气物理过程的观测数据和模拟数据是典型的多维动态数据集。表达数据集内含物理过程变化趋势和变化规律的最直接方式是用图形方式表达数据。气象多维数据集中包含标量和矢量两种要素, 其表达方法多种多样^[4,7]:

(1) 单站一维表达: 通常用于表达单站要素值的垂直变化和时间变化。

(2) 空间二维表达: 特定高度(或气压)层的二维空间水平分布(水平剖面), 多位置点高度变化构

* 初稿时间: 2004 年 8 月 30 日; 修改稿时间: 2004 年 9 月 15 日。

资助课题: “十五”国家重点科技攻关项目(2001BA607B04), 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2001AA633020)和国家自然科学基金重点项目(40233036)。

成的二维空间垂直分布(垂直剖面)。表达标量剖面最直接的方式是提取出要素值二维空间分布的等值线和按照要素值变化的彩色或灰度图像。

(3) 空间三维表达: 描述天气系统的三维空间规则网格称为体数据。虽然多个水平、垂直剖面的空间对比分析能够展示要素场的三维空间分布, 但三维标量场的最直接的表达方式是提取出描述要素值三维分布的空间等值面。

(4) 多要素空间综合表达: 在理解大气中发生的物理过程时, 经常需要多个要素综合分析, 即: 多个要素的二维、三维空间的综合表达。例如, 将涡度三维等值面按照等值面上风速数值的大小进行着色, 这样既可以观察到涡度的空间分布, 同时又可以观察涡度大小和风速数值之间的关系。

(5) 风矢量场表达: 表达风矢量空间分布最常用的方式有箭头、风羽和按照矢量空间变化规律追踪得到的流线方式。表达风矢量场时间演变最直接的方法是上述 3 种方式的动画。除此之外, 按照风矢量时间变换规律追踪得到的空气块(质点)运动轨迹是一种更有用的矢量场动态表达方法。它不仅非常直观地展示大气在三维空间中的运动, 而且在有其他物理变量相配合的情况下, 轨迹可以揭示出大气中发生的物理过程。例如, 通过轨迹的前、后向追踪可以观察沙尘的来源和移动路径等。

(6) 时间动态表达: 上述表达方式的时间动画可以观察天气系统和天气过程的时间动态演变。例如, 单站垂直廓线的时间变化构成的 $T-H$ (Time-Height) 图, 表达了测站垂直分布的时间演变; 要素场三维等值面的时间动画, 可以直接观察该要素场三维空间分布的时间变化; 空气团(质点)运动轨迹的时间动画, 可以观察空气团随时间的三维空间运动。

(7) 观测资料和模拟数据: 在气象领域中有两大类数据即: 观测资料和模拟数据。模拟数据为规则网格资料, 不需要复杂的定位和校准, 是简单数据格式。观测资料通常是不规则网格资料。关键的问题是二者如何综合叠加显示? 对于卫星和雷达获取的资料, 可以重新定位将其变为空间位置上规则的网格数据, 但是大多数的观测资料(如探空资料)不能规格化, 这样每个域值需要附带地理信息以指示其空间位置。当然, 也可以通过客观分析(插值方法)将不规则观测资料变为规则网格资料。

(8) 地理投影变换: 在气象信息科学视算中,

为了避免资料位置的错误, 所有的数据必须采用同样的地理投影变换, 按照统一的经纬度-高度地理坐标进行空间对比分析。例如, 兰勃特投影、麦卡托投影等。

(9) 垂直坐标系: 气象三维空间垂直坐标既可以是高度坐标, 也可以是气压坐标。垂直间隔既可以是等间距的, 也可以是不等间距的。例如, 标准等压面层的气压数值分布就是不等间距的垂直坐标。

2.2 气象信息科学视算环境

能够用于气象信息图形表达的科学视算系统有很多。从运行环境考虑: 有只能在 UNIX 操作系统下运行的(如: Vis5D, METView 等), 也有只能在 Windows 操作系统下运行的(如: PG-Vis5D, Surfer 等), 也有在 UNIX 和 Windows 操作系统下有不同版本的(如: GrADS, Micaps 等); 从应用领域划分: 有针对整个地球科学的(如: Surfer 等), 也有专门针对气象科学的(如: NCAR-Graphics, WSI, METView 等); 从用户使用划分: 有主要侧重于最终用户的(如: Vis5D, PG-Vis5D, MetView, Visual 等), 也有主要侧重于开发环境的(如: AVS, IDL, MatLab 等); 从用户群划分: 有针对科学研究的(如: Vis5D, PG-Vis5D, Visual 等), 也有针对业务应用的(如: WSI, TriVis, Micaps 等); 从功能划分: 有针对二维的(如: Surfer, GrADS, NCAR-Graphics 等), 也有支持多维的(如: Vis5D, PG-Vis5D, Visual 等); 从气象资料种类划分: 有针对观测资料的(如: WSI, TriVis 等), 也有针对数值模拟数据的(如: Vis5D, PG-Vis5D 等)。

在气象科学领域, 20 世纪 70 年代由美国 Wisconsin 大学空间科学工程中心完成, 目前在全球仍广泛使用的“人机交互数据存取系统: McIDAS^[2,3]”是 UNIX 操作系统下经典的多维动态气象资料可视化系统。该系统由多个应用模块构成, 主要侧重于气象科研和气象教学中多种气象资料的处理、分析和综合显示, 包括: 卫星、雷达、地面实况、探空、数值预报模式等数据。Vis5D 和 VisAD 是在 McIDAS 基础上发展起来的气象信息科学视算环境。Vis5D 主要侧重于数值预报产品的多维动态显示; VisAD 来自于面向对象的思想, 是跨平台的气象资料处理、分析和可视化系统。

下面侧重介绍北京大学在 Vis5D 基础上建立起来的“基于 Windows 平台的气象信息科学视算环

境: PG-Vis5D^[8-10]”。通过 PG-Vis5D 对几个典型天气系统分析的应用示例, 可以了解目前气象信息科学视算环境的主要功能。

(1) 主要模块结构: 图 1 给出了 PG-Vis5D 的主要模块, 包括: 资料的格式转换和网格管理、图形、图像生成器(可视化环境)、运行控制、输出与打印等,

其中图形、图像生成器和运行控制是 PG-Vis5D 的核心。图形、图像生成器的主要功能是气象信息的四维空间/时间结构表达, 用于展示复杂的天气系统。运行控制包括交互运行控制和自动运行控制等。

(2) 交互式运行界面: 图 2 给出了 PG-Vis5D

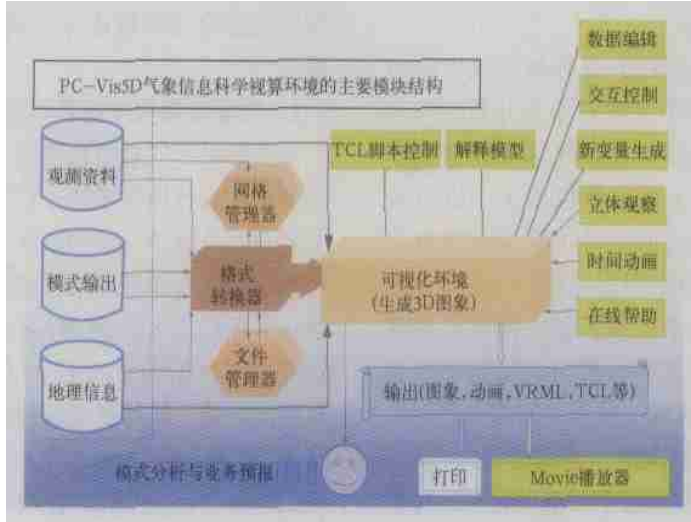


图 1 PC-Vis5D 科学视算环境的主要模块结构

Fig. 1 The main framework of PC-Vis5D

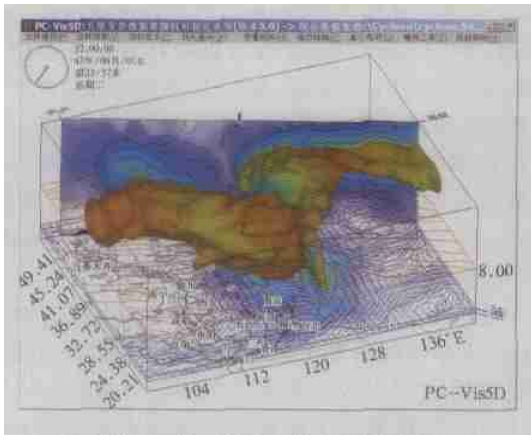


图 2 PC-Vis5D 的交互运行界面

(其中的图像产品为一次气旋过程的三维风场, 包括用风羽和等值线表示的低空水平剖面上的风矢量和风速、高空水平剖面上的流线、垂直剖面上的风速等值线及风速为 35 m/s 的三维等值面)

Fig. 2 The interface of PC-Vis5D

(3D image of East-Asia cyclone, includes: horizontal barbs slice of wind field and horizontal contour slice of wind speed at low level, horizontal streamlines slice of wind field at high level, vertical contour slice of wind speed, and iso-surface of wind speed at 35 m/s)

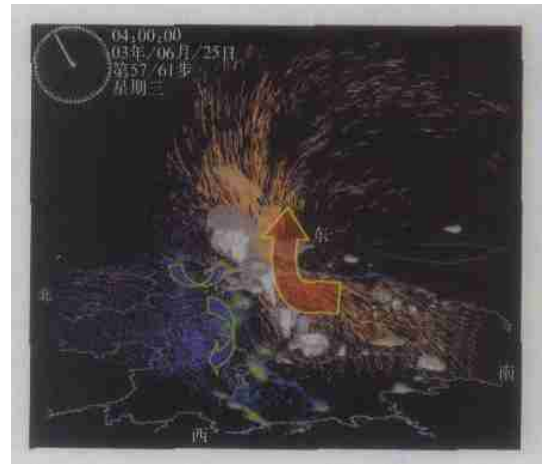


图 3 PC-Vis5D 分析得到的梅雨期锋面两侧冷、暖空气运动的轨迹

(蓝色: 冷空气; 红色: 暖湿空气; 白色: 空中的雨水; 观察视角: 从西往东)

Fig. 3 The particle trajectories of cold and warm air mass at both sides of mei-yu-front

(blue: cold air, red: warm air, white: iso-surface of rainwater, visual angle: from west to east)

的运行界面和天气系统的图形表达方式示例。在图

形表达方式示例中, 包含了描述天气系统空间结构的三维等值面、描述天气系统底层和中层结构的水平剖面、描述天气系统北侧垂直剖面等。

(3) 锋面结构分析: 图 3 给出了 2003 年长江中游梅雨期中(6 月 25 日)的一次锋面结构(从西往东观察), 其中包括锋面两侧冷、暖气团中空气块的运动轨迹(蓝色指示冷空气, 红色指示暖空气)、用白色的三维等值面表示锋面附近的雨水分布等。该图直观地展示了梅雨期中来自西南方向的暖空气和来自北方的冷空气在长江中游交汇后上升形成降雨的空间图像。

(4) 台风结构分析: 图 4 给出了 1999 年 5 月 1 日影响中国南海的 Leo 台风中空气运动的三维结构(从南往北观察), 其中气块运动的轨迹包含了两种表达方式: 线状和球状。此图清楚地展示了台风内空气的螺旋运动, 它在地面附近一边旋转一边迅速地向台风中心方向辐合, 然后逆时针方向螺旋式上升到高空后向东、西两个方向流出。图中的轨迹按照垂直速度着色后(蓝色指示下沉运动, 红色指示上升运动), 可以看到这个台风中的上升运动集中在它的东部一个相对较小的范围内。



图 4 PC-Vis5D 分析得到的台风内部空气的螺旋运动

(线、球代表台风内空气块的运动轨迹, 轨迹按照垂直运动着色, 红色: 上升, 蓝色: 下沉)

Fig. 4 The spiral motion around typhoon eye shown by particle trajectories

(trajectories were shown as lines and small balls, with coloring proportional to the vertical motion field: red for upward going and blue for downward going particles)

(5) 气旋结构分析: 图 5 给出了 1993 年 6 月 1 日发生在中国黄海海域的一次东亚爆发性气旋的三维结构, 其中包括: 冰水三维等值面、10 km 高度层

的风场流线。其中冰水三维等值面按照水平风速着色, 红色指示风速大于 30 m/s, 蓝色指示风速小于 30 m/s。从冰水三维等值面可以观察到气旋逗点状云系的 3 个组成部分: 斜压叶云区、锋面云带、勾状云区。由斜压过程产生的叶状云区位于气旋东北部的暖锋上方, 其云顶最高; 勾状云区位于气旋中心的西北侧并向西南伸展, 并清楚地展示出其云顶高度明显低于斜压叶; 冷锋云带一直延伸到华南沿海, 云带的冷空气一侧很陡峭, 云带上有一个个突起的与中尺度对流相联系的冷云顶。

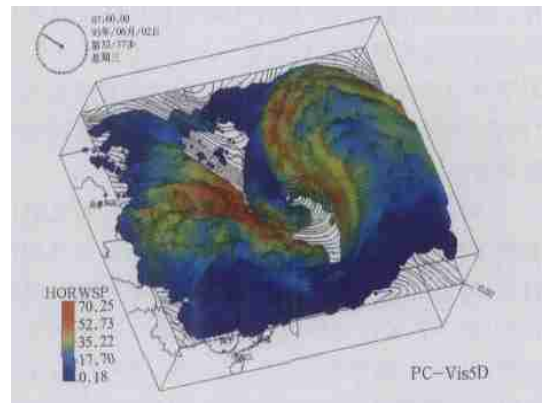


图 5 PC-Vis5D 分析得到的东亚爆发性气旋结构

(云水等值面按照水平风速着色, 叠加了 10 km 高度层的流线, 视察视角: 西南到东北)

Fig. 5 The structure of East-Asia cyclone (iso-surface of cloud-water was colored by the wind speed, wind streamlines at 10 km, visual angle: from southwest to northeast)

2.3 目前的问题与发展前景

虽然气象信息科学视算环境近几年有了迅速的发展, 天气过程的表达和展示手段不断丰富, 在天气系统理解和分析研究中发挥了重要的作用。但目前仍然存在许多问题, 主要包括:

(1) 非实时性: 目前的气象信息科学视算环境实质上是天气系统(过程)的非实时虚拟现实展示, 是脱离数值预报模式本身的。未来的气象信息科学视算环境应该与数值预报模式同步运行, 嵌入到数值预报模式内。例如, 当硬件资源保证模式运行速度足够快的情况下, 模式的任何初始条件改变(对比试验), 视算环境都能够迅速展示改变后的天气系统变化情况。计算、显示同步实时进行, 无论对于模式研究人员还是对于气象教学都是非常有意义的。

(2) 有限的气象资料: 大多数的气象信息科学视算环境主要侧重于数值预报产品的解释。天气形

势和天气系统的分析与预报还需要常规、非常规观测资料,如:地面实况、探空资料、雷达资料以及卫星资料等。因此,未来的气象信息科学视算环境应该是一个能接收多种气象资料的综合显示、分析和解释环境。

(3) 不被业务预报人员认可:目前的气象信息科学视算环境的设计思路主要针对气象科学研究,为了追求丰富的功能以适应科学研究中每个侧重点的需要,提供了许多难以被业务预报人员掌握并在预报准备阶段实时应用的交互操作和运行参数选择。因此,目前绝大多数的气象信息科学视算环境尚没有被业务预报人员接受。另外,业务预报人员对于特定天气系统的数值预报产品的解释通常具有“固定”的解释思路,而目前大多数气象信息科学视算环境还不能表达这种经验式的解释思路。

(4) 无自学习和智能解释能力:目前的气象信息科学视算环境虽然能够以多种方式表达天气物理过程,辅助解释人员形成天气系统的四维空间/时间结构,但不具备自动形成知识的能力。未来的科学视算环境不仅能够提供“看”的功能,还可以自动对多维动态数据进行分析,根据内部已有的多种天气系统的分析“经验”,自动提取天气系统的简单概念模型,自动提供异常天气信息等。因此,未来的气象信息科学视算环境需要具备自动学习、接收专家经验的能力,对于特定的天气系统具有智能解释的能力。例如,对输入到视算环境的模式资料,系统能够快速分析给出可能的异常天气警报,并通过对异常

天气的空间分析和时间追踪,给出异常天气系统的生成、发展和演变过程的框架式的概念模型。天气警报主要用于业务预报,而概念模型对于天气分析和天气系统的研究是非常有帮助的。

3 总结

描述天气系统和大气物理过程的观测数据和模拟数据是典型的多维动态数据集,传统的二维剖面表达方法不能满足气象科学的需求。本文通过对描述天气系统和天气过程的图形表达方式的讨论以及若干天气系统的分析示例介绍了目前气象信息科学视算环境的主要功能,并通过对现有气象信息科学视算环境的问题分析,指出了未来气象信息科学视算环境的发展方向。

目前的多维动态气象信息科学视算环境虽然能够辅助解释人员形成天气系统的四维空间/时间结构,帮助解释人员了解天气系统的空间分布和时间演变,但仍难以被业务预报人员接受,主要原因是:侧重气象科学研究导致过多的交互操作和运行参数设置,数据吞吐量和数据种类有限,不能与预报模式同步运行,不具备自学习和自动解释功能等。

未来的气象信息科学视算环境除了增加和完善天气系统的表达方法外,应该还能够实时展示天气的演变过程,支持经验式的特定天气系统的解释思路,具备智能异常天气警报和智能解释功能,通过自动分析能够自动形成特定天气系统的简单概念模型等。

参考文献

- 1 Hasler A F, Pierce H, Morris K R. Meteorological data field “in perspective”. Bull Amer Meteor Soc, 1985, 66: 795~ 801
- 2 Hibbard W. Computer generated imagery for 4- D meteorological data. Bull Amer Meteor Soc, 1986, 67: 1362~ 1369
- 3 Hibbard W, Santaek D. Visualizing large data set in the earth science. IEEE computer, 1989, 22 (8): 53~ 57
- 4 James A S, Thomas V P. Visualizing meteorological data. Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71: 1012~ 1020
- 5 Gilbert Camara, Lúbia Vinhas, et al. Multidimensional data visualization in meteorology, sixth workshop. proceedings on Meteorological Operational system ECMWF, November 1997, 4: 115~ 118
- 6 Philip C Chen. Portable and Desktop 3D Weather data Visualization systems in UNIX and non-UNIX Environments. proceedings on Meteorological Operational system of ECMWF, November 1997, 7: 195~ 201
- 7 William Ribarsky. The times they are a-changing: PC graphics moves. IEEE-Computer Graphics and Application, 1998 May/June, 6: 20~ 25
- 8 Wang Hongqing, Ka+Hon Lau, Wa+Man Chan, et al. A PG-based Visualization System for Coastal Ocean and Atmospheric Modeling. proceedings of 6th International Estuarine and Coastal Modeling Conference. New Orleans USA/1999, 1233~ 1243
- 9 王洪庆,张焱,陶祖钰等. 五维大型复杂数据集计算机可视化. 自然科学进展, 1998, 8(6): 742~ 747
- 10 王洪庆,张焱,陶祖钰. 黄海气旋数值模拟的可视化. 应用气象学报, 2000, 11(3): 280~ 286

METEOROLOGICAL DATA VISUALIZATION SYSTEM

Wang Hongqing Zhang Yan Zheng Yongguang Tao Zuyu

(*Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract

Meteorological data presents a substantial challenge for scientific visualization application, because of the very nature of the data itself. The visualization of meteorological data is the last element in the pipeline of meteorological data processing. It enables the forecaster or the researcher to understand the complex circumstances by representing the spatial distributions and temporal evolution of weather situation, and allows scientists to extract knowledge efficiently from rapidly expanding multidimensional data sets. With the amount of data increasing exponentially, a fundamental question is "What is the most efficient and most easily understandable way to examine these data sets?" It is difficult to use traditional methods designed for two dimensional data sets to extract scientific information from these multidimensional data sets. In this paper, a summarization of graphical representations of multidimensional data sets in meteorological area was presented, a powerful meteorological data visualization system running on PG Windows operating system was introduced, several typical weather (cyclone, typhoon, etc.) analysis of multidimensional data sets generated by numerical model were used to demonstrate some of the capability of this system. Although the visualization systems have played an important role in the understanding of complex weather situations, but there are still many limitations in current visualization system. For example, too many complex parameter adjusting are discommodious for the forecaster, can't support the experience or knowledge of the forecaster which formed in past analysis of weather situations (viz. intelligent analysis), there is a lack of ability to sum-up the conceptive models of special weather situation which are very important in practice, and can't have access to the full range of meteorological data, etc. At the end of this paper, these limitations, and expectations in improving were indicated.

Key words: Multidimensional data sets, Visualization system, Intelligent analysis.