

郑永光,陈炯,沃伟峰,等. 改进的客观分析诊断图形软件[J]. 气象,2011,37(6):735-741.

改进的客观分析诊断图形软件^{* 1}

郑永光¹ 陈 炯¹ 沃伟峰¹ 韩 雷^{2,3} 陶祖钰³

1 国家气象中心,北京 100081

2 中国海洋大学,青岛 266101

3 北京大学物理学院大气科学系,北京 100081

提 要: 客观分析诊断图形系统是一款面向气象科研,得到广泛应用的二维气象绘图软件。根据气象科研工作和强对流天气分析研究的新需求,对该软件进行了改进,主要包括增加新数据接口、增加新算法、改进算法、简化操作等。改进的软件增加了静止卫星、新一代天气雷达和二进格式点加工数据 GRIdded Binary 2(GRIB2)等多种数据接口,增加了等熵面分析,交叉相关回波移动计算(CTREC)矢量计算,雷暴识别、追踪、分析和临近预报(TITAN)对流风暴追踪、强对流天气的监测和统计、多种新图形和图形裁剪等新算法,改进了等值线、流线、矢量、地图、不规则数据分布图等的生成、显示和编辑功能,还改进了软件中的数据处理、操作方式和输出图像效果。新软件仍存在一定不足,其功能还需要进一步增强。

关键词: 气象绘图, 客观分析, 风暴追踪, 监测统计

Updated Objective Analysis and Graphic Software

ZHENG Yongguang¹ CHEN Jiong¹ WO Weifeng¹ HAN Lei^{2,3} TAO Zuyu³

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Ocean University of China, Qingdao 266101

3 Department of Atmospheric Sciences, Physics School, Peking University, Beijing 100871

Abstract: “Objective Analysis and Graphic System” is a populated two-dimension meteorological plotting application with friendly graphic interface, which runs on Microsoft Windows. The updated software supports many new kinds of meteorological data interface, such as the geostationary satellite data, the new generation weather radar data, and the GRIdded Binary 2 (GRIB2) format data. Some new meteorological algorithms were developed in the new software, which are the isentropic analysis, the CTREC vector calculation, the TITAN convective storm tracking, lots of new kinds of graphs, the graphic clipping, and so on. The creation, drawing and editing of the contour, streamline, vector, post, geographic maps were improved in the new software. The data processing, the operation of user, and the output images were also bettered in the new software. However, the new software has also some shortages and need to be further improved in the future.

Key words: meteorological plotting, objective analysis, storm tracking, monitoring satatistics

引 言

气象数据分析和图形软件是现代气象业务、科

研工作的必备工具。目前国内有较多气象数据和图形处理软件^[1-5],其中气象信息综合分析处理系统(Meteoroloical Information Comprehensive Analysis and Processing System, MICAPS)是我国使用

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906003,GYHY200906004)和国家自然科学基金项目(40875019)共同资助
2010年4月21日收稿; 2010年12月29日收修定稿
第一作者:郑永光,主要从事强对流天气研究. Email:zhengyg@cma.gov.cn

最为广泛的天气预报业务气象图形软件系统,目前最新版本是 3.1^[6]。MICAPS 系统功能强大,数据兼容性好,使用方便简捷,是主要的天气预报业务工作平台。在气象科研工作上经常使用的气象绘图软件还有 GRADS 和 Surfer。GRADS 是一款免费跨平台气象绘图软件,获得了较为广泛的应用,目前它的最新版本为 2.1,该软件主要使用命令行和脚本编程方式工作。美国 Golden Software 公司开发的 Surfer 软件是一款应用极为广泛的 3D 地质绘图软件,目前最新版本为 9.0。Surfer 操作界面友好,但不是专门的气象绘图软件,因此许多方面不能满足气象绘图的需要,例如 Surfer 本身不能生成地图、不能绘制流线图等。

北京大学大气科学系曾在 Windows 32 操作系统下开发了操作界面友好的客观分析绘图软件——客观分析诊断图形系统^[1,4],该软件主要面向天气分析科研工作,与天气分析业务软件系统 MICAPS 功能互补。该软件不仅能够对常规气象地面、探空数据进行客观分析诊断,且能够处理多种格式的气象数据和方便简捷地绘制各种常用气象图形,获得了较为广泛的应用。但随着大气科学探测技术的迅猛发展,新的气象探测资料在天气预报业务中广泛应用,特别是为我国新一代静止气象卫星和新一代天气雷达的业务运行提供了大量遥测气象数据,而旧版本的客观分析诊断图形系统已经不能适应目前气象业务和科研的需求,因此,在该背景下,我们对客观分析诊断图形系统软件做了进一步的改进与完善。

软件的改进主要包括增加新数据接口和新算法、改进算法、简化操作等。增加新数据接口和新算法是为了进一步满足气象业务和科研的需求;改进算法是为了提高算法的可靠性、效率与显示效果;简化操作是为了进一步提高用户工作效率。

1 软件新增数据接口

新软件系统除了能够支持常规气象地面和探空观测原始数据、MICAPS 格式数据、美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)再分析格点数据、VIS5D 格式格点数据等数据外,也可以处理二进制格点加工数据(GRIdded Binary, GRIB)的 GRIB2 格式和 GRADS 格式的 NCEP 数据, FY2C、FY2D 和 MT-

SAT(Multi-functional Transport Satellite)地球静止卫星和雷达基数据,同时也能处理这些数据的压缩格式数据。

新软件能够读取的地球静止卫星数据包括国家卫星气象中心下发 AWX(AWX 是指由国家卫星气象中心所生成的卫星产品)格式的多种类型静止卫星云图资料与辐射亮温(black body temperature, TBB)产品,国家卫星气象中心的 HDF 格式标称圆盘图像资料,星地通公司的 GPF 格式资料,北京大学大气科学系的 GMS-5、GOES-9、MTSAT-1R 格式资料,日本 KoChi 大学的 GMS-5、GOES-9、MTSAT 资料。读取的云图资料根据通道的不同既可以绘制云图(见图 1 左下),也可以绘制 TBB 或者反照率等值线。

新软件可以读取敏视达公司 SA/SB 雷达基数据和 3830 CINRAD C 波段雷达基数据,并可以根据读取的基数据形成多个雷达产品和三维直角网格数据,也可以直接选择直线绘制垂直剖面图形(见图 1 中下)。

新软件不仅可以处理以上列举的多种未压缩格式的数据,也可以读取以上数据的压缩格式数据。可处理的压缩格式主要有 ZIP、RAR、7Z、BZ2、ARJ、ARC、CAB、GZIP、Z、TAR 等格式。

不同数据接口绘制的具有相同地理坐标的图形不仅可以相互叠加显示,而且可便捷地编辑图形属性和调整显示次序。

2 软件新增算法

为了适应天气分析科研工作的需要,新软件增加了多种算法,既包括客观分析诊断算法、雷达产品算法、强对流天气监测和临近预报算法,也包括新图形绘制和图形生成算法。

新软件中增加了等积 Lambert 地图投影算法、 $T\text{-log}P$ 图中对流不稳定能量(CAPE 和 CIN)和各种指数(K 指数、SI 指数等)计算、等熵面物理量(300~350 K 等熵面位势涡度、气压和风)客观分析、探空数据的时间剖面 and 垂直剖面制作等新算法。

新软件不仅能够读取雷达基数据,还能够计算组合反射率因子、垂直积分液态水含量(vertically integrated liquid, VIL)、回波顶高(echo tops, ET)等雷达数据产品,也能够利用雷达基数据进行交叉相关回波移动计算(CTREC)^[7]矢量计算,雷暴

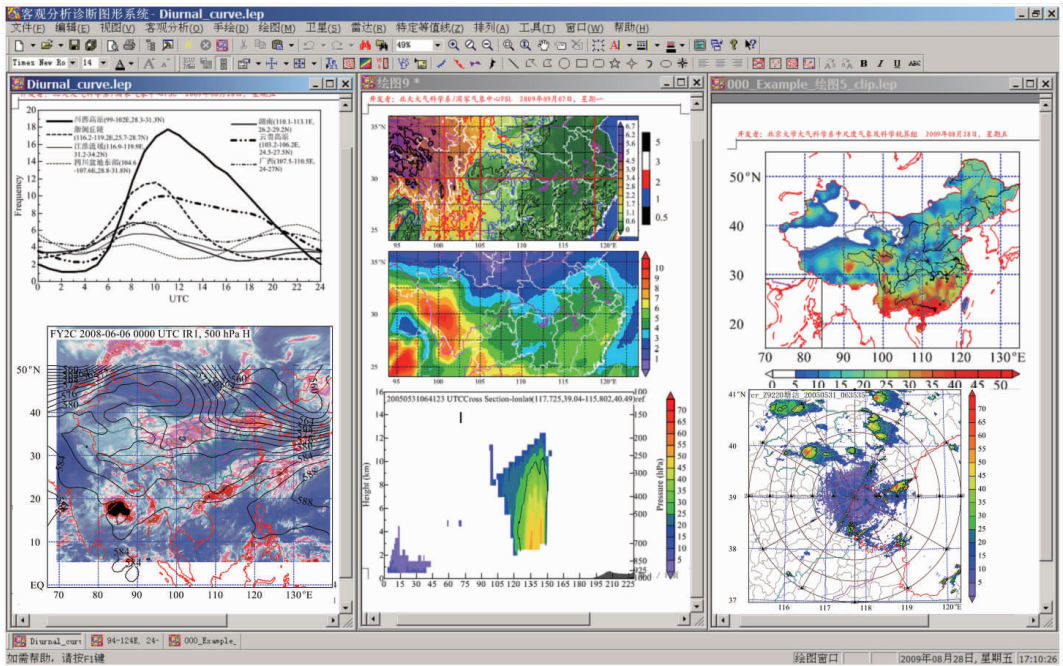


图 1 改进的客观分析诊断图形系统操作界面及其绘制的图形

图中左上为不同地区(3°×3°平均)夏季深对流频率日变化(横轴为时间,UTC;纵轴为频率,单位:%);左下为 2008 年 6 月 6 日 00 UTC 500 hPa 位势高度(单位:dagpm)和 FY2C 红外 1 云图;中上为我国副热带地区地势分布(单位:km);中中为我国副热带地区深对流气候频率分布(单位:%);中下为 2005 年 5 月 31 日 06:35 UTC 天津雷达成观测的北京雹暴反射率因子沿 315°方位角垂直剖面(单位:dBz);右上为利用 2006 年 4—9 月常规观测统计的雷暴日分布(单位:d);右下为 2005 年 5 月 31 日 06:35 UTC 天津雷达成观测的组合反射率因子分布(单位:dBz)

Fig. 1 Interface of the updated "Objective Analysis and Graphic System" and

some plots created by this software

(The left-top chart is the deep convection frequency over different areas (the abscissa axis is time in UTC, and ordinate axis frequency in %); the left-bottom map is the 500 hPa geopotential height and IR1 image of FY2C of 00 UTC 6 June 2008; the central-top map is the topography of subtropics in China in km; the central-central map is the deep convection frequency over subtropics in China in %, the central-bottom map is the vertical cross section of Tianjin radar reflectivity in dBz along 315 azimuth at 06:35 UTC, 31 May 2005; the right-top map is the thunderstorm day distribution during the period of April—September 2006 in day; and the right-bottom map is the composite reflectivity in dBz from Tianjin radar at 06:35 UTC, 31 May 2005

识别、追踪、分析和临近预报(TITAN)^[8]雷暴追踪和临近预报;并能够利用 MICAPS 格式数据和气象探测中心提供的闪电数据对冰雹、大风、闪电和短时强降水等强对流天气进行监测和统计。

CTREC 算法^[7]将反射率因子场分成若干个大小相当的“区域”。将这些在上一时刻的“区域”分别与下一时刻的各个“区域”做空间交叉相关,以找出此刻与上一个时刻的特定区域相关系数最大的“区域”,从而来确定整个区域中不同网格点处的回波移动矢量。

TITAN^[8]使用单体质心算法来识别和追踪一个被看作三维实体的风暴。在风暴的检测上,TITAN 使用类似三维聚类技术识别风暴,没有考虑风

暴的虚假探测和漏测的问题。为了追踪风暴随时间的演变,TITAN 将追踪问题转化为组合最优化问题来计算相邻两个雷达图像内风暴体的匹配关系,并且通过一种特殊的、基于风暴体质心位置的几何方法来识别风暴的分裂、合并。对于风暴位置的预报,TITAN 使用风暴体在不同时刻的质心位置进行外推预报。在一般情况下,TITAN 可以取得较好的追踪结果。图 2 为 TITAN 算法对 2008 年 9 月 23 日 08:18 UTC 热带气旋“黑格比”中对流风暴的识别与追踪结果。新软件也可以对 TITAN 算法的雷暴追踪结果进行统计分析。

韩雷,郑永光等^[9-10]对 TITAN 算法进行了改进。改进的 TITAN 算法基于数学形态学的识别方

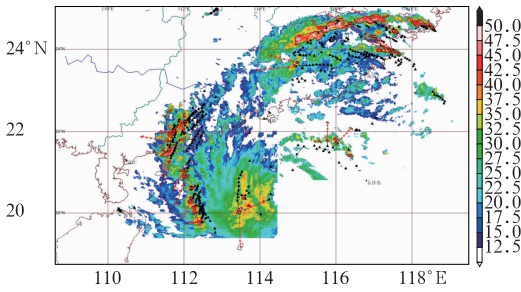


图 2 2008 年 9 月 23 日 0818UTC 热带气旋“黑格比”广东雷达拼图组合反射率因子(单位: dBz)和 TITAN 算法的对流风暴的识别与追踪结果

三角形为历史对流风暴中心,红色圆点为预报对流风暴中心,黑色线为历史路径,红色线为预报路径,黑色多边形为当前时刻对流风暴边界,棕色多边形为预报对流风暴边界

Fig. 2 Composite reflectivity (unit: dBz) and thunderstorm identification, tracking, and forecasting in tropical cyclone “Hagupit” of 0818 UTC, 23 September 2008

The triangles denote the past center of thunderstorm, red dots forecasting center, black lines past tracks, red lines forecasting tracks, black polygons the current boundary of thunderstorm, and brown polygons forecasting boundary of thunderstorm

法。该方法首先使用第一级阈值进行单阈值识别;其次,对识别得到风暴体执行基于动态卷积模板的腐蚀操作,以消除虚假合并;然后,使用高一阈值进行识别,并对识别得到的风暴体进行膨胀操作,当风暴体的边界在膨胀的过程中相互之间接触,或接触到了原来较低阈值识别的风暴体的边界时,则停止膨胀过程;最后,逐次使用更高级别的阈值进行识别,并在每一个级阈值的识别过程中执行腐蚀和膨胀操作。试验的结果表明,改进的 TITAN 算法能够成功地识别出虚假合并风暴体,也能从风暴簇中分离出相距较近的风暴单体。

强对流天气的监测和统计功能不仅可以在天气业务中实现强对流天气的实时监测,也可以使用历史数据进行各类强对流天气时空分布统计^[11]。目前该功能已经应用到国家气象中心强天气预报中心的实时业务中,取得了较好的业务效果。该功能输入和输出数据都为 MICAPS 格式数据文件,可直接与气象业务平台 MICAPS 衔接;该功能可以监测积云、雷暴、闪电、冰雹、龙卷、大风、短时强降水和深对流云的最近 1、3、6、12 和 24 小时的分布,该功能根

据资料的观测时次进行时间滑动监测;可以进行月、旬、候等强对流天气分布监测;也可以设置为任意时次、任意天数的强对流实况监测。图 3 为本软件监测的 2009 年 6 月 3—4 日大风、冰雹和短时强降水分布。

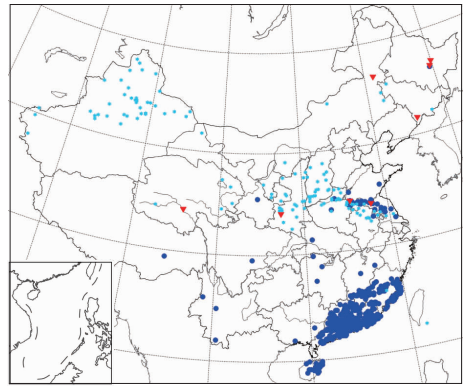


图 3 强对流天气监测功能监测的 2009 年 6 月 3 日 00 UTC 至 4 日 00 UTC 大风分布(淡蓝色六角形)、冰雹(红色倒三角)、短时强降水($\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$),蓝色圆点

Fig. 3 The severe convective weather distribution during the period of 3—4 June 2009
light blue hexagons denote high winds, red triangles hailstones, and blue dots heavy rainfall $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

积云是大气不稳定状态的反映,其中以鬃积雨云发展最为强烈。但积云能否发展为强对流天气还与大气的的不稳定程度、触发机制和大尺度环境条件密切相关。监测积云的分布可为强对流天气预报提供大气是否稳定的重要前期信息。积云的监测主要依靠常规地面观测资料完成,包括基本站、基准站和一般站的观测资料。

雷暴是最为普通的强对流天气。本监测系统监测的雷暴,既包括普通雷暴,也包括常规观测的闪电、冰雹、龙卷等强对流天气,是各种强对流天气的总和。雷暴的监测主要依靠常规地面观测资料 and 重要天气报告完成,包括基本站、基准站和一般站的观测资料。

闪电的监测区分为总地闪、负地闪和正地闪监测,并计算各类闪电的闪电密度。一般来说,较强的对流天气过程其闪电密度也较高。闪电资料的来源主要是中国气象局气象探测中心提供的全国闪电监测网闪电数据。

冰雹是我国暖季较常见的强对流天气,其监测

资料来源是常规地面观测资料和重要天气报告,冰雹监测包括冰雹的发生时间和直径大小,监测结果如图 3。龙卷的监测资料来源也是常规地面观测资料和重要天气报告,但从 2009 年的监测结果来看,几乎没有监测到龙卷。大风的监测资料来源也是常规地面观测资料和重要天气报告,目前没有区分大风的性质,大风监测所取的风速阈值为 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

短时强降水的监测资料主要来源于自动站的 1 小时降水资料。短时强降水监测等级区分为三类,分别为: $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$;系统也对每一个自动站进行最近 3、6、12 和 24 小时降水累积。

深对流云监测主要来自我国的风云静止卫星资料。2009 年使用的是 FY2C 资料,2010 年以来使用 FY2E 资料。深对流云的监测资料有两种,一种是使用国家卫星气象中心下发的云分类产品,提取其中的密卷云和积雨云生成深对流云产品;另一种使用红外 1 和水汽通道亮温资料,设定红外 1 通道的亮温阈值为 $-32 \text{ }^{\circ}\text{C}$,红外 1 通道和水汽通道的亮温差小于 0。

新软件中增加了绘制风矢端图、格点图像、曲线、各种锋面和天气符号等新的图形类型,并在图形合并的基础上增加了图形组合功能。风矢端图可以更直观地了解垂直风切变大小和冷暖平流情况;格点图像直接使用格点数据文件绘制填充图像,不需要提取等值线,适用于格点数较多的数据绘图,比如卫星数据、雷达数据和高分辨率的数值模式数据等;格点图像可以根据需要选择图像透明度。图形组合功能可以把文字等图形对象与气象图形组合成一幅图形处理,方便编辑图形时的选定和移动操作。

新软件中用户可以根据需要选择地理区域裁剪图形(如图 1 中右侧上部图形为对中国陆地区的裁剪),也可以自定义裁剪范围;裁剪操作既可以保留多边形内图形(比如中国陆地区域裁剪),也可以保留多边形外图形(比如青藏高原大地形裁剪等)。

新软件在图形输出操作中增加了一次操作可以生成多幅 EMF、GIF 或者 PNG 等格式图像,或者生成矢量格式的可保存多个页面的 Postscript 图形,也可以利用时间序列数据生成的一系列图像制作动画 GIF 文件等。

3 软件改进的算法

新软件中改进的算法主要有图形绘制、图形生

成和离散点生成格点数据算法等。

新软件改进了图形的绘制方式。旧软件中只能使用 Windows GDI 进行绘图,新软件可使用 GDI 绘图也可使用 GDI+ 绘图,默认使用 GDI+ 绘图。GDI 绘图的优势是绘图速度较快、需要内存少,但绘制的图形没有线条和字体“反走样”,在计算机屏幕上图形显得较为粗糙,不精美;GDI+ 绘图的优点是绘制的图形中线条和字体可以使用“反走样”功能,图形比较精美细腻,但绘图速度较慢、需要较多系统内存。由于目前计算机的速度和内存都有了很大提高,因此新软件推荐使用 GDI+ 绘图。

新软件对不同类型图形的生成也做了较大改进。对于等值线图形,等值线生成时可以处理缺测数据,在缺测格点处等值线自动中断、填充颜色(默认使用白色显示)。软件读取格点数据时,某个格点数值不小于 1×10^{35} ,则认为该格点数值缺测。对于生成的等值线图形,用户不仅可以进行等值线修改、等值线标值位置移动、格点数据显示和格点数据修改,也可以在编辑等值线图形时打开新的格点数据文件,提高软件对图形的编辑能力。

新软件对不规则分布离散点填图图形的生成也做了改进。离散点填图图形既可以标注数值,也可以标注文本,还可以绘制风羽或者箭头矢量,这些改进极大地提高了软件的功能和灵活性。新软件中用户可以根据需要对数据文件进行编辑,用户还可以根据数据文件自主选择数据所在列,也可以选择绘图的坐标范围(比如对于全球地面观测数据,可以只选择显示中国地理范围内的数据进行绘图)与填图数据的数值范围(比如可以选择只填图 50 mm 以上的降水数据等)。由于离散的数据点可能分布比较稠密,因此在显示时可能出现较多数据叠加在一起的情形,导致不能清楚显示离散点数据。新软件增加了自动设置离散点数据显示密度算法,用户放大图形时可显示较多的数据,缩小图形时可显示较少数据;用户可以根据需要自主选择是否使用此功能。

新软件除了在使用探空数据生成的 $T\text{-log}P$ 图中增加了多个物理量值显示外,还增加了风矢端图、位温层结曲线、假相当位温层结曲线和饱和假相当位温层结曲线,并可以对这些曲线设置是否显示和线条类型。新软件可以任意选择和设置气块抬升曲线的起始气压、温度和露点温度。

新软件对地图图形进行了改进和完善,新软件中可以添加各国国界与国内的河流到地图中,也可

以选择添加自定义的数据。此外,地图可以选择显示高分辨率或低分辨率地势,或者地势等值线(见图 1 中上)。

本软件可以在图形页面中使用鼠标直接绘制多种图形形状(比如直线、折线、多边形、三角形、矩形等),新软件中增加了对这些鼠标绘制图形控制点的编辑修改功能,并增加可以直接与气象图形合并的功能,方便用户直接标注气象图形的重点特征。

新软件中增加了流线图和格点矢量图相互转换功能。流线图属性编辑功能中增加了可设置流线箭头疏密和角度大小的选项。格点矢量图编辑功能中增加了可以根据图形缩放大小自动设置矢量显示密度的算法,用户放大图形时可显示较多的格点矢量,缩小图形时可显示较少格点矢量;用户也可以选择是否使用此功能。在编辑流线图和格点矢量图属性时,用户可以根据需要选择是否绘制 U 、 V 分量和风速的等值线。

本软件具有对不规则分布离散点数据进行格点化、绘制等值线的功能,新软件改进了该算法。新软件中进行离散点数据格点化时可以选择是否为连续变量(比如温度、气压等)或者突变变量(比如降水、天气现象)。新软件中离散点格点化对话框中还提供了选择数据列的功能,用户可以对多列数据文件自主选择地理坐标和数值所在的数据列。

4 改进的软件操作

改进软件操作是为了使软件操作更便捷,包括提供多种途径实现一种操作、批量生成图形图像等。

新软件主窗口工具条按钮中增加了多个线条属性、文字属性、窗口缩放、属性编辑、坐标轴编辑、图形大小编辑等按钮,并有多个按钮具备下拉菜单。在窗口查看方面,既可以选择页面显示,也可以选择不显示页面;既可以选择矩形区域放大到整个图形窗口,也可以拖动鼠标放大,还可以使用鼠标实时移动图形窗口显示内容。用户还可以选择最小化主窗口时隐藏主窗口,在双击 Windows 开始工具条右下方托盘中相应图标可以恢复主窗口。主窗口中还添加了资源管理器窗口和多剪切板窗口,用户可以在资源管理器窗口中直接启动客观分析进行数据处理或者 NCEP 数值模式资料处理等,多剪切板窗口可以记录用户的复制操作,类似微软 Office 中的多剪切板功能。

新软件中增加了用户是否选择把图形中的线条和文字随窗口进行缩放的功能,这是一项非常实用的功能。在用户只需要查看气象物理量场分布细节时,选择不缩放线条和文字功能,这样在放大图形后,线条和文字不跟随放大,可以更清楚地展示气象物理量场的分布特征,这跟 MICAPS 的缩放功能是一致的;当用户需要制作高分辨率的图像时,需要选择缩放线条和文字功能,这样在图形放大后,线条和文字一起跟随放大,可以获得更高分辨率的图像,这跟 Surfer 软件的缩放功能是一致的。

新软件中增加了特定等值线和格点图像绘制功能,用户可以根据需求预先配置等值线属性和地图属性,在绘图时直接进行等值线或者格点图像绘制,并自动叠加地图。

新软件中增加了等值线、格点图像、流线、格点矢量和离散点填图等图形的数据编辑功能,可以进行数据编辑或者更改为新数据文件,这样可以在不改变图形设置情况下绘制新图形,方便用户操作。新软件中对所绘制的图形可以保存设置到用户指定的文件中,用户可以在属性编辑对话框中直接打开用户所保存的图形设置文件。此外,在各种图形属性对话框中还增加了右键快捷菜单功能,方便用户选择绘图等值线间隔、填充颜色、线型、字体、颜色等。

在数据处理方面,新软件也做了较大改进。新软件增加了批处理 NCEP 数据和雷达基数据功能;在格点物理量运算方面增加了多种物理量计算功能,比如大于阈值和小于阈值频率统计、 x 与 y 方向平均、计算水汽通量、假相当位温等。

5 未来发展

虽然新的客观分析诊断图形系统软件在天气分析方面功能已经较为成熟,但仍有许多不足之处。今后该软件还需要增加极轨气象卫星、MODIS 数据和雷达产品数据处理能力;软件的绘制时间演变曲线功能尚不足, T - $\text{Log}P$ 图功能有待进一步增强;软件需要改进命令行操作,需要增加绘制及输出图形命令和增强图形批处理的能力;软件也需要增加类似 MICAPS 中的综合图功能以方便用户使用及其同 MICAPS 软件的兼容性;软件还可以进一步密切与天气业务数据环境的关系,以增强业务数据的支持能力等。

6 总 结

改进的客观分析诊断图形系统是一款具有较强数据处理能力、使用方便快捷的二维气象绘图和数据分析软件系统。目前该软件主要在国家气象中心强天气预报中心使用。

改进的新软件中增加了多种数据接口,能够处理常规气象观测数据、MICAPS 格式数据、静止卫星、新一代天气雷达、VIS5D 格式数据和 NCEP 数值模式数据,以及相应压缩格式的数据等。这进一步提高了该软件的数据处理能力,尤其是提高了强对流天气数据的分析处理能力。

改进的新软件功能得到了较大增强,增加了多种新算法,包括等熵面分析、CTREC 矢量计算、TITAN 对流风暴追踪、强对流天气的监测和统计、图形裁剪等。新软件中还增加了风矢端图、格点图像、曲线、各种锋面和天气符号等新的图形。

新软件也改进了原软件中的多种算法,包括等值线、流线、矢量、地图、不规则数据分布图等的生成、显示和编辑功能。新软件还改进了软件的数据处理功能和操作方式,使得软件的方便快捷性进一步增强。

参考文献

- [1] 郑永光,王洪庆,陶祖钰,等. Windows 下二维气象绘图软件——客观分析诊断图形系统[J]. 气象,2002,28(3):42-45.
- [2] 郑永光,朱佩君,白洁,等. Windows 下静止卫星云图处理软件[J]. 气象,2003,29(6):16-21.
- [3] 刘淑媛,孙建,郭卫东,等. 多普勒雷达数据处理显示系统[J]. 气象,2004,30(7):44-46.
- [4] 郑永光,陈炯,王洪庆,等. 一个气象数据分析绘图软件的设计与开发[J]. 应用气象学报,2004,15(4):506-509.
- [5] 郑永光,陈炯,朱佩君. 改进的静止卫星云图软件处理系统[J]. 气象,2007,33(12):103-109.
- [6] 李月安,曹莉,高嵩,等. MICAPS 预报业务平台现状与发展[J]. 气象,2010,36(7):50-55.
- [7] Tuttle J D, Foote G B. Determination of the boundary layer airflow from a single doppler radar[J]. J Atmos Oceanic Technol,1990,7(2):218-232.
- [8] Dixon M, Wiener G. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting—A radar-based methodology[J]. J Atmos Oceanic Technol, 1993, 10(6):785-797.
- [9] 韩雷,郑永光,王洪庆,等. 基于数学形态学的三维风暴雨体自动识别方法研究[J]. 气象学报,2007,65(5):805-814.
- [10] 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象,2010,36(7):33-42.
- [11] 郑永光,张小玲,周庆亮. 强对流天气短时临近预报技术进展与监测技术[G]. // 端义宏,曲晓波. 2009年灾害性天气天气预报技术论文集. 北京:气象出版社,2010:87-100.