

张正秋, 祝从文, 苏京志, 等. 气候动力诊断和分析系统设计与应用. 应用气象学报, 2021, 32(5): 542-552.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20210503

# 气候动力诊断和分析系统设计与应用

张正秋 祝从文\* 苏京志 刘伯奇 蒋 宁 陈昊明

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 摘 要

气候动力诊断和数值模拟是认识气候变化规律、提高短期气候预测与科学决策服务水平的重要手段。但基于气候模拟的动力诊断技术在气候预测业务中还未得到广泛应用, 缺乏支撑科研成果转化为业务应用的中试平台。为此, 通过集成多种现代计算机通信协议、可视化编辑和气象数值计算等技术, 研发可视化交互气候动力诊断和分析系统(Climatic Dynamic Diagnosis and Analysis System, CDDAS), 以促进气候模拟的动力诊断技术在气候业务中的广泛应用。该系统具有结构开放、诊断方法集成度高、方便易用等特点, 包括数据更新备份、气候动力诊断、多模式数值模拟、结果分析 4 个功能模块, 并设计了一种远程交互控制脚本语言, 为用户二次开发提供语言环境, 可实现本地客户端、服务器端和超级计算机三者交互通信控制可视化。该系统使用便捷, 目前已在国家级业务和科研单位获得应用, 在气候异常成因分析、气候预测和气候决策服务中可显著提高工作效率。

**关键词:** 气候动力诊断; 数值模拟; 可视化

## 引 言

气候业务(气候监测、气候预测和气候决策服务)是现代气象业务体系的重要组成部分, 在国家防灾减灾与应对气候变化工作中占有重要地位。随着我国经济的发展, 极端气候事件对社会和经济发展等方面影响大、关注度高。区域气候变化数值模拟和归因分析是全球变化与区域响应研究中的重要科学问题之一, 利用气候模式开展气候异常诊断是认识气候变化规律、提高短期气候预测与科学决策服务水平的重要手段。

气温和降水的异常变化会导致极端高温、旱涝等气候事件, 是气候异常动力诊断和气候预测中的重要对象。目前, 我国气候监测业务已基本具备全面监测大气、海洋、陆面、冰雪圈气候变化的能力, 但在气候动力诊断业务方面依然以数理统计分析模型技术为主<sup>[1-3]</sup>。虽然统计理论可以揭示气温和降水与气候系统各成员之间的变化关系, 但无法从物理

上认识海温和海冰等外源强迫因子对区域降水和气温变化的影响, 进而制约着对区域气候变化特征及其演变规律的深入认识。大量研究表明, 关键区海温(如 ENSO、印度洋海温、黑潮海温等)和海冰的异常变化对东亚地区的气温和降水产生复杂多变的影响<sup>[4-7]</sup>, 利用大气环流模式开展基于数值模拟的动力诊断是气候异常归因分析的有效手段。但气候模式系统复杂, 使用需要具有较高专业技能; 且气候模式通常在超级计算机运行, 实现客户端与超级计算机之间的实时通讯存在困难。上述困难限制了数值模拟在气候监测和诊断业务中的广泛应用。因此, 基于数值模拟的动力诊断可视化系统是当前气候研究及业务工作的迫切需求。

近年我国气象现代化建设取得了丰硕成果, 国家气象中心开发的 MICAPS(Meteorological Information Comprehensive Analysis and Processing System, 气象信息综合分析处理系统)和国家气候中心开发的 CIPAS(Climatic Interactive Plotting and Analysis System, 气候信息处理与分析系统)显

2021-05-10 收到, 2021-07-16 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41830969), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406019), 中国气象科学研究院基本科研业务专项(2021Z04)

\* 通信作者, 邮箱: zhucw@cma.gov.cn

著提高了天气和气候的分析及诊断效率。但业务系统重点针对业务应用,对科研成果的转化应用和评估中试能力不足。虽然国外发展了多种气象模式 and 数据分析软件<sup>[8-9]</sup>,但均无法直接应用于我国自行研发的气候业务支撑系统,同时众多的气候动力气候诊断理论和方法<sup>[10-13]</sup>需要中试平台转化为业务应用。数据可视化能够提高人们对数据的感知<sup>[14]</sup>,并在我国气象业务中得到应用<sup>[15-17]</sup>,但气候动力诊断分析仍缺少可视化工具。

气候动力诊断和分析系统(Climatic Dynamic Diagnosis and Analysis System, CDDAS)是一个可视化交互系统,与现有的其他气象应用系统设计理念不同,CDDAS 在集成传统气候动力诊断技术的基础上,开发基于数值模式的动力诊断功能模块,用

户可自行搭建个性化子系统并设计应用接口,有利于提高科研成果转化和应用的时效性。同时系统界面友好且操作简便,借助该系统的可视化环境,用户可以像编辑演示文稿(如 Microsoft Office PowerPoint,微软 PPT)一样,设计交互操作界面;使用系统自主设计的远程交互控制脚本语言,用户可实现客户端与服务器间的交互控制,并提供远程服务。

### 1 系统总体架构

CDDAS 包括客户端和服务器端两部分,客户端为可视化操作环境,服务器端则由 4 个功能模块组成,系统结构如图 1 所示。

客户端以 PC(personal computer,个人计算机)

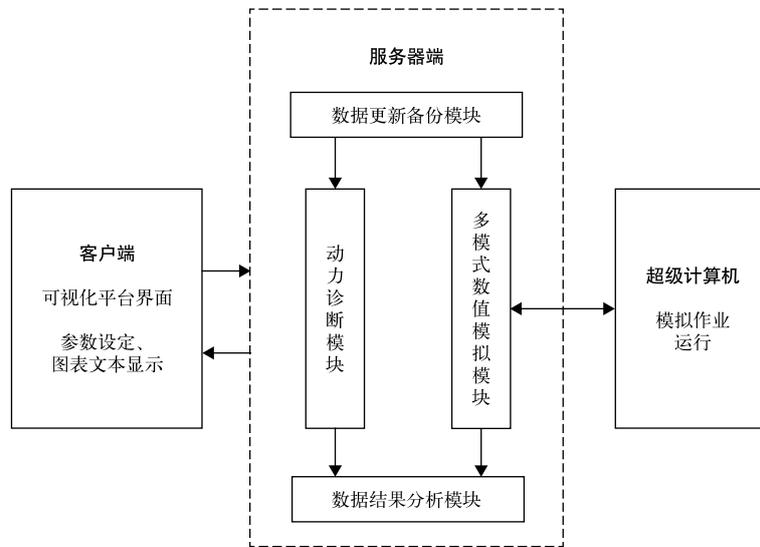


图 1 系统架构和模块

Fig. 1 System structure and modules

客户端为主,用户调用远程交互页面,输入相关参数、提交命令、运行远程服务器中的各种计算程序。

服务器端包括数据更新备份、动力诊断、基于多个模式进行数值试验模拟(简称多模式模拟)和模拟结果分析 4 个模块。这 4 个模块相互关联,为数值模拟动力诊断自动化提供保障。服务器端通过相应脚本命令调用超级计算机中的气候动力模式,形成服务器端与超级计算机之间的交互。

超级计算机主要用于数值模式计算,通过服务器,客户端可实时监控模式运行状态并可将模拟结果下载至服务器,进行诊断分析。

### 2 动力诊断功能

基于数值模式的动力诊断功能可在服务器端实现。服务器端集成了数据更新备份、动力诊断(即传统动力诊断)、多模式数值模拟和结果分析等功能模块。通过远程交互页面,客户端对这些功能模块进行控制运行和管理。

#### 2.1 数据更新备份模块

为了便于气候动力诊断和数值试验,本系统建立数据下载和更新备份模块。下载和更新备份可采用

两种方法:自动下载更新数据和客户端手动操作激发后台自动下载。根据需要,下载的数据集也可以是其他数据集,只需在服务器端改变数据源链接即可。系统默认的下集数据集为 CRA(CMA's Global Atmospheric ReAnalysis, 中国气象局全球大气再分析数据)<sup>[18]</sup>。数据保存至相应的数据管理系统。

## 2.2 动力诊断模块

该动力诊断模块主要集成目前科研业务中采用的常规统计动力诊断方法,包括水汽通量、大气热量、大气能量、大气角动量、波通量等物理量诊断计

算和绘图及降水诊断分析。该模块可用于再分析资料和模拟结果的显示和诊断分析,其客户端交互界面如图 2 所示。此外,该模块还提供大气动力和热力诊断、降水分析、温度分析和相似分析等交互操作。建立动力学和热力学诊断变量分析数据源,该数据源可随时更新。诊断分析时,用户只需在客户端的远程交互界面上填写被诊断的区域范围、标准大气分层高度以及时间等参数,提交即可获得相应诊断结果。

该模块提供气温和降水相似分析功能。根据气

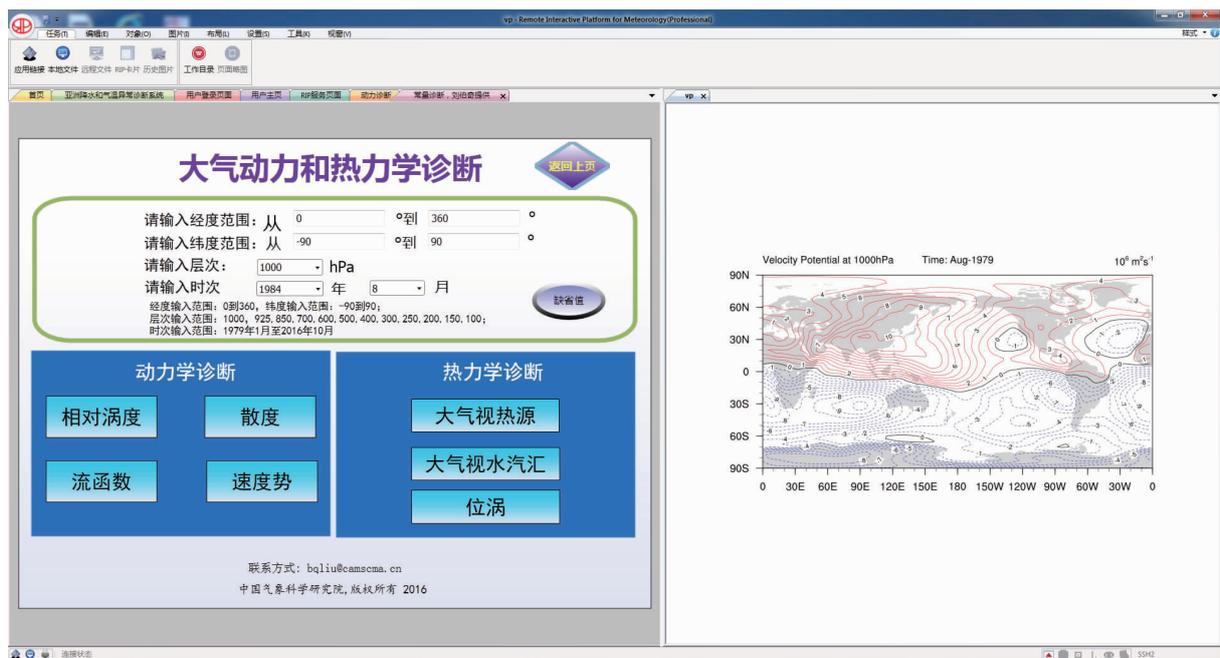


图 2 大气动力和热力诊断交互界面

Fig. 2 Interface of atmospheric dynamic and thermal diagnosis

温或降水要素在某一时期的分布特征,通过交互式诊断分析,找到具有相似特征的其他年份,以确定模式试验参数,探讨具有这类相似特征的天气气候事件的产生成因。在诊断分析时,用户通过查找某一时期气温或降水相似年份,作为模式试验参数,分析研究某一时段某个区域气温或降水异常的成因。

## 2.3 多模式数值模拟模块

基于多个大气环流模式,开发海温、海冰异常强迫的数值模拟模块。目前系统包含 BCC\_AGCM2.1 (Beijing Climate Center\_Atmospheric General Circulation Model, 中国国家气候中心大气环流模式)<sup>[19]</sup>, ECHAM5 (Max-Planck-Institute fur Mete-

orological Atmospheric General Circulation Model, 德国马克斯-普朗克研究所大气环流模式)<sup>[20]</sup> 和 CAM5 (The Community Atmosphere Model, 美国国家大气研究中心的共同体大气模式)<sup>[21]</sup> 等模式。

### 2.3.1 数值模拟模块

该模块提供多个可选输入窗口,通过后台将用户选取的输入参数传递给数值模拟脚本,采用远程控制方式向超级计算机提交多模式模拟试验,一键式完成模式设置、模式提交、模拟结果实时下载及显示等操作,并可进行模拟状况实时监控等自动化管理。该模块实现了客户端、服务器端、超级计算机三者之间信息的实时互动传输。

### 2.3.2 数值模拟诊断分析流程

数值模拟诊断分析流程相对复杂,是系统提供的一项重要功能。数值模拟诊断过程包括相似年选取、关键区选取、海温海冰合成、数值试验设置、数值试验监控、模拟结果显示 6 个环节。

相似年选取是通过挑选历史气温或降水具有相似特征的年份,作为模式的模拟参数;关键区选取是设置数值试验关键区域,考察关键区的影响;海温海冰合成是通过二者的合成得到数值试验的初始场,供后续分析;数值试验设置是设置各种数值试验情景,以便进行敏感性试验;数值试验监控是监测模式

数值试验进度,管理各个模式模拟结果;模拟结果显示是调用绘图软件包实现客户端显示。

### 2.3.3 强迫场多区域灵活组合

数值试验中,可实现强迫场多个不同区域灵活组合,便捷实现多样化的海温海冰驱动场合成(图 3)。试验区设置的参数包括起始经纬度、终止经纬度以及数值变换系数等。如果区域存在重叠,重合区取最后那个叠加的区域设置参数。通过工具条上的箭头按钮,可改变图形的放置顺序。如果用户定义若干个不同区域,最终合成结果为各区域叠加。

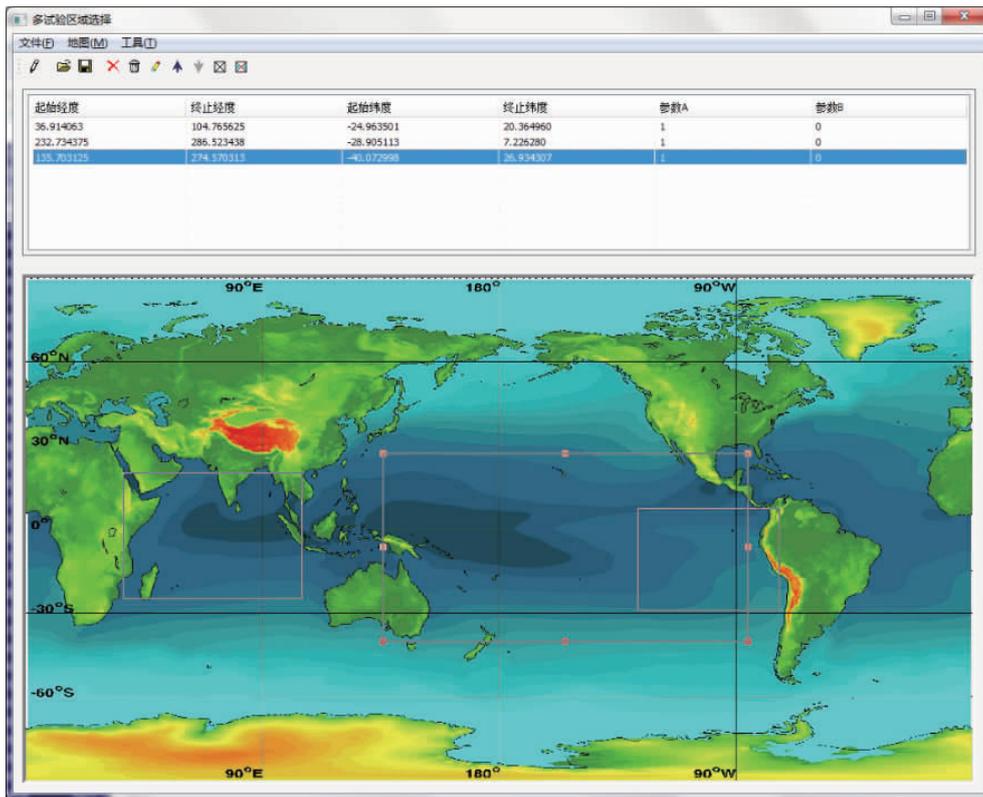


图 3 多试验区域选择设置对话框

Fig. 3 Multiple experimental area selection settings

### 2.3.4 数值模拟结果综合显示

数值模拟结果显示模块(图 4)可展示降水、2 m 气温、10 m 风场、海平面气压等要素的二维图形,以及风场、高度场、温度、湿度等要素的三维图形。如同大气动力学和热力学诊断分析一样,若要显示某气象要素的图形,需要设置地理区域的经纬度范围、标准大气层次及时间。

## 2.4 气候动力诊断自动化流程设计与实现

CDDAS 实现了气候动力诊断自动化,有效提高气候异常成因诊断的工作效率和便捷性(图 5)。

通过远程服务文件浏览对话框可便捷地浏览相似年份参数、模拟结果显示参数交互页面等文件。其中,模拟结果显示对话框可以根据需要选择要素。用户可根据显示选取相似年份,也可以根据显示选

取试验关键区,进行海温海冰合成并进行数值试验。 一步气候诊断分析。  
 试验完成后,模拟结果被保存到数据管理系统,供进

图 4 用于显示数值模拟结果的远程交互对话页面

Fig. 4 Remote interactive dialogue page for displaying numerical modeling results

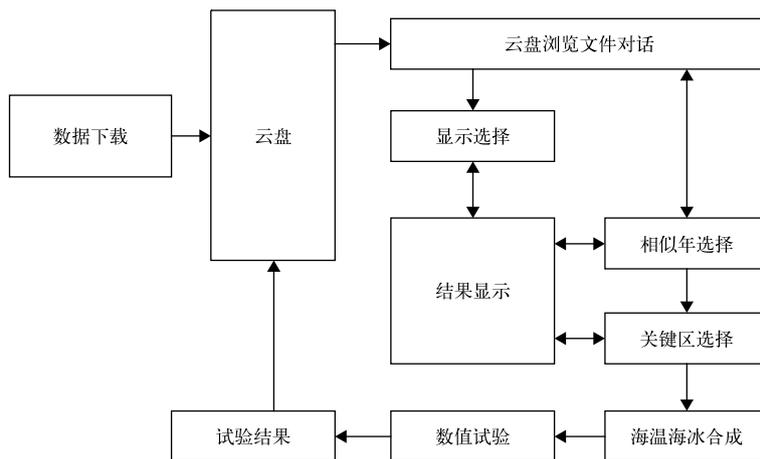


图 5 数值模式动力诊断流程

Fig. 5 Flow of numerical model dynamic diagnosis

### 3 可视化远程交互关键技术

#### 3.1 可视化编辑管理

CDDAS 为用户提供了一个系统开发工具,用于可视化交互界面设计。通过可视化交互界面编辑

器用户可自行搭建交互界面(图 6),编辑器包括控制工具栏、可视化工具窗口、交互页面编辑窗口、页面略图窗口、可视化控件控制脚本编辑窗口、当前编辑脚本控件略图窗口、控件属性窗口和控件标识窗口及鼠标右键菜单等。



①控制工具栏 ②交互页面略图 ③当前编辑脚本控件略图 ④交互页面编辑窗口  
⑤脚本编辑窗口 ⑥可视化工具窗口 ⑦控件标识窗口

图 6 可视化交互界面编辑窗口

Fig. 6 Windows for visual interface editing

### 3.2 远程交互控制脚本语言

目前常用系统软件均拥有自己的解释器,即具有与系统相匹配的解释语言,如 MATLAB (Matrix Laboratory,矩阵实验室)<sup>[22]</sup>、GrADS(Grid Analysis and Display System,格点分析和显示系统)<sup>[23]</sup>、NCL(NCAR Command Language,美国国家大气研究中心的命令语言)<sup>[24]</sup>和 Python<sup>[25]</sup>等。拥有解释器的系统具有较强的灵活性,为用户提供较灵活的二次开发框架。而缺乏解释器的系统,功能相对固定,不利于系统扩展,也不利于气象科研成果及时转化供业务应用。

为此,系统包含一种自主设计的远程交互控制脚本语言。该语言可以对字符串进行解释,用户使用该语言实现本地与远程交互控制。系统提供了脚本编辑器,在编辑器窗口脚本关键词可高亮显示;输入关键词时,系统自动弹出提示菜单,帮助用户选择相应的控制函数。

远程交互控制脚本语言支持循环语句、条件语句、数组、系统函数和函数定义、四则运算等,为远程控制提供极大方便。远程交互控制包括多种方式:鼠标响应、从控件显示字符串与控制脚本交互、本地与远程数据交互。使用远程交互控制脚本语言可从服务器中调取实时绘制的天气图制作动画。脚本语

言与可视化编辑配合使用。远程交互控制脚本语言的控件管理通过系统自动生成唯一标识号实现(图 6)。根据标识号控制脚本可访问交互页面控件,改变控件显示效果和状态。

### 3.3 可视化交互系统二次开发

CDDAS 为用户提供二次开发环境,用户可使用该系统搭建自己的可视化子系统,搭建过程如图 7 所示。

首先在服务器端预备各种运行脚本,如模式运行脚本、绘图软件(如 MATLAB, NCL, GrADS 等)控制脚本。其次,创建一个母版文件,将模式运行脚本或绘图软件控制脚本的关键词使用标识符号替代(如 xxx1 标识 a, xxx2 标识 b, xxx3 标识 c)。第三,设计远程服务交互页面,使用系统远程交互控制脚本语言,对交互页面的控件以及预备的运行脚本编写调用脚本,创建远程交互页面文件,并上传至服务器端,实现远程服务系统搭建。相关技术详见文献[26]。

### 3.4 可视化客户端设计

CDDAS 客户端(图 8)具有较强的文件管理和图像处理功能,可将数据管理系统的数下载至本地,通过图像管理窗口,进行图像分割、合并重组。通过区域选择窗口,使用鼠标拖曳设置数值模式试验区域经纬度。

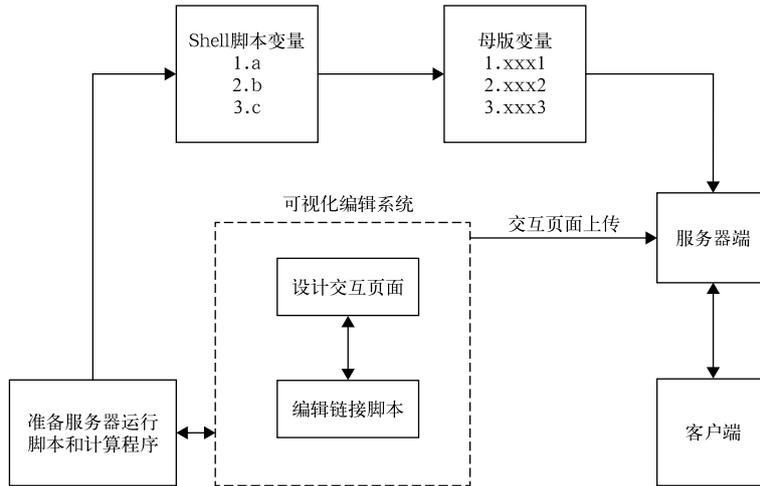
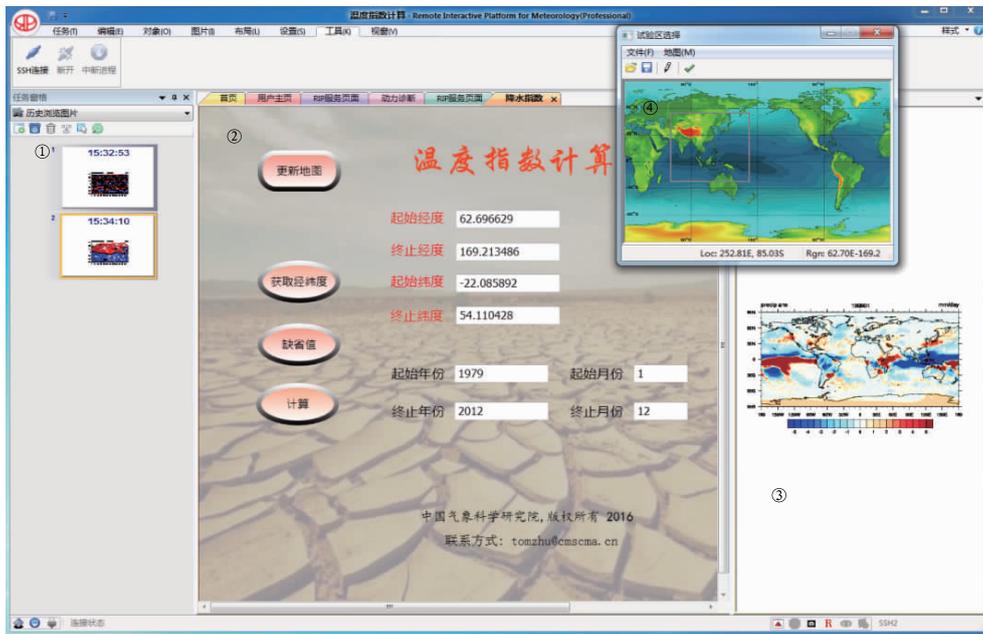


图 7 交互系统搭建流程

Fig. 7 Interactive system of building process



①图像管理窗口 ②交互界面窗口 ③图形显示窗口 ④区域选择窗口

图 8 CDDAS 系统客户端

Fig. 8 CDDAS client

### 4 系统及数据更新

CDDAS 可提高用户科研成果更新发布时效性,便捷地向相关业务部门推广。在使用过程中 CDDAS 客户端无需重新下载升级,只需在后台进行子系统开发构建或完善升级。子系统构建升级完成后,将新的子系统在后台挂接到 CDDAS,供用户

实时调用。

CDDAS 的数据更新部分,前期系统备份的全球海表温度数据主要包括 Hadley 中心数据、OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature, 最佳插值海面温度)数据、ERSST(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, 扩展海面温度)数据等,自 2018 年起将 ERSST 数据从版本 4 升级到版本 5,保证用户所采用海温数据的一致性。CD-

DAS 备份的大气再分析数据包括 NCEP(National Centers for Environmental Prediction, 美国国家环境预报中心)数据、JRA(Japanese reanalysis, 日本再分析数据)数据、ERA5(ECMWF reanalysis 5, 欧洲中期天气预报中心第 5 代再分析数据)等数据。

### 5 CDDAS 应用实例

2018 年 7 月我国北方地区发生了持续性极端高温事件, 东北南部地区的高温频率和强度均创历史极值, 形成当年夏季我国独特的异常气候现象, 极端高温同时也波及周边国家, 带来严重影响, 引起社会普遍关注<sup>[27]</sup>。为快速诊断此次东北亚极端高温的成因机理, 利用 CDDAS 开展了相关诊断分析。

在此次高温事件成因诊断分析中, 利用 CDDAS 进行常规的动力热力分析(如图 2 操作对话框)。通过绘制 2018 年 7 月的大气环流场和位势高度场水平分布图, 发现西北太平洋副热带高压偏北。通过绘制位势高度区域指数序列, 发现 2018 年 7 月西北太平洋副热带高压偏北异常为 1958 年以来历史最高值。初步推断副热带高压异常偏北是 2018 年 7 月东北亚极端高温的主要环流因子。

利用 CDDAS 开展相应数值模拟的动力诊断分析。在相似年定义中, 考虑到 2018 年 7 月东北亚高温为历史极值, 仅选取 2018 年当年为相似年。在关键区选取中, 通过绘制海温异常, 发现 2018 年夏季在北大西洋海区海温呈显著的三极子异常分布结

构, 由此选取北大西洋区域海温作为关键因子(图 9)。同时也选取印度洋和太平洋多个区域作为海温关键区, 并进行相应的数值试验作为对照, 但这些区域海温的模拟结果均未能展示出东北亚极端高温的形态和相应的环流形势, 故后期排除了这些区域海温异常对当年东北亚极端高温的可能影响。需要说明的是, 该试验中海冰设为气候态, 即海冰异常为 0。在数值试验设置中, 选用 ECHAM5 模式, 进行 16 组集合试验。在数值试验运行中, 可随时查看作业进度。在模拟结果分析中, 通过绘制气温和位势高度异常的水平分布(图 10), 发现北太平洋三极子海温异常导致欧洲上空的异常大气波源, 该波源通过向东传播的大气定常波列导致西北太平洋副热带

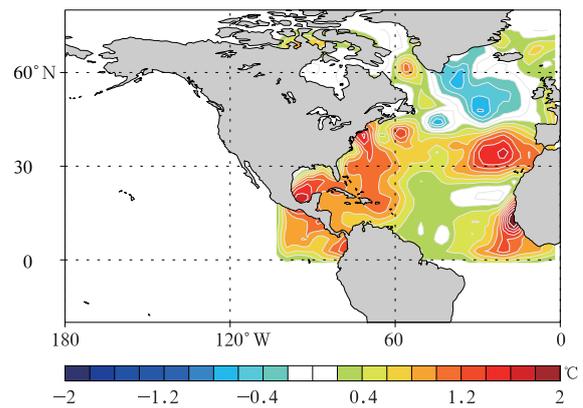


图 9 2018 年 7 月北大西洋海温异常  
Fig. 9 Sea surface temperature anomalies in the North Atlantic during Jul 2018

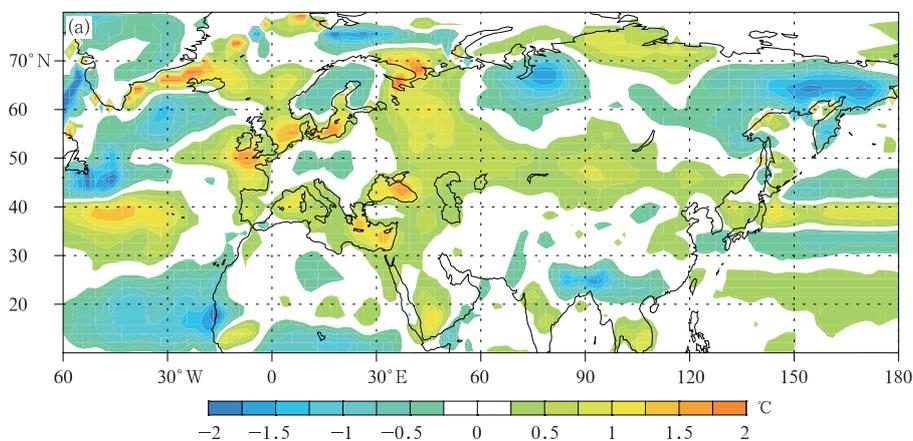
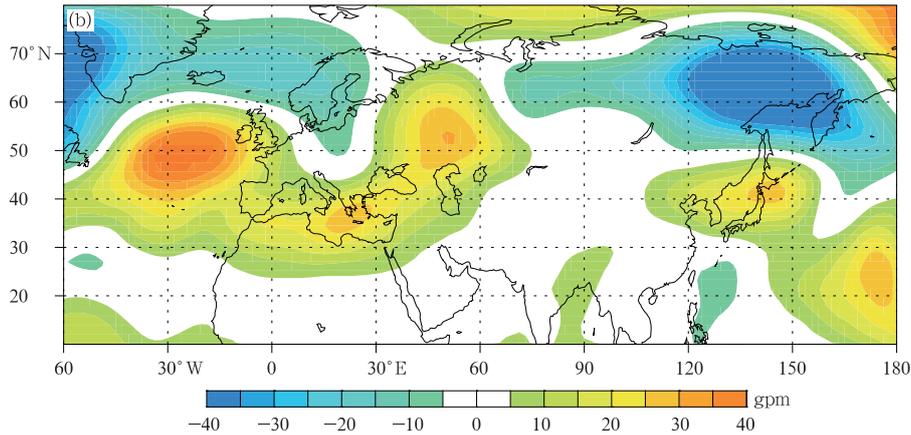


图 10 2018 年 5—7 月北大西洋海温异常强迫下大气环流模式(ECHAM5)模拟的 7 月 2 m 气温异常(a)和 200 hPa 位势高度场异常(b)

Fig. 10 Temperature anomalies of 2 m(a) and geopotential height anomalies of 200 hPa(b) in Jul 2018 simulated by ECHAM5 with the forcing of sea surface temperature anomalies in the North Atlantic from May to Jul in 2018



续图 10

高压北抬,进而形成东北亚极端高温事件。

CDDAS 主要优势在于便捷快速地进行诊断分析,得到影响气候异常的最可能潜在因子(这里为北大西洋海温异常)。

## 6 小 结

气候动力诊断和数值模拟是认识气候变化规律、提高短期气候预测与科学决策服务水平的重要手段。自主研发的气候动力诊断和分析系统(CDDAS)较传统的气象业务系统优势明显:

1) CDDAS 提供数据更新备份、动力诊断、多模式数值模拟、结果分析等 4 个功能模块,这些模块相互关联,为数值模拟动力诊断自动化提供保障。实现了客户端、服务器端、超级计算机三者之间的数据流双向通信,实现气候动力诊断和数值模拟的实时交互。

2) CDDAS 关键技术包括可视化编辑管理、远程交互控制脚本语言和系统及数据更新的自动化等。该系统应用可视化编辑和远程交互控制脚本语言,构建与其他气象分析和模式系统的联络,提供天气气候动力诊断分析和多模式模拟功能及二次开发接口,便于功能扩展和更新,具有较好的可扩展性和便捷性。提供的可视化技术和脚本语言方便用户自行维护系统。

3) CDDAS 在次季节-季节监测诊断分析中有效提高了气候动力诊断效率,表现出良好的应用前景,是气象科研成果向业务应用转化中一种有效的支撑工具。

## 参 考 文 献

- [1] 魏凤英. 气候统计诊断与预测方法研究进展——纪念中国气象科学研究院成立 50 周年. 应用气象学报, 2006, 17(6): 736-742.  
Wei F Y. Progresses on climatological statistical diagnosis and prediction methods— In commemoration of the 50 anniversaries of CAMS establishment. *J Appl Meteor Sci*, 2006, 17(6): 736-742.
- [2] 李清泉, 孙丞虎, 袁媛, 等. 近 20 年我国气候监测诊断业务技术的主要进展. 应用气象学报, 2013, 24(6): 666-676.  
Li Q Q, Sun C H, Yuan Y, et al. Major advances of China climate monitoring and diagnosis operation in recent 20 years. *J Appl Meteor Sci*, 2013, 24(6): 666-676.
- [3] 陈丽娟, 赵俊虎, 顾薇, 等. 汛期我国主要雨季进程成因及预测应用进展. 应用气象学报, 2019, 30(4): 385-400.  
Chen L J, Zhao J H, Gu W, et al. Advances of research and application on major rainy seasons in China. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(4): 385-400.
- [4] Jiang N, Zhu C. Asymmetric changes of ENSO diversity modulated by the cold tongue mode under recent global warming. *Geophys Res Lett*, 2018. DOI:10.1029/2018GL079494.
- [5] Guo L, Zhu C, Liu B. Possible causes of the flooding over south China during the 2015/2016 winter. *Int J Climatol*, 2019, 39: 3218-3230.
- [6] Yu M, Zhu C, Jiang N. Subseasonal mode of cold and wet climate in South China during the cold season: A climatological view. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2019. DOI:10.1080/16742834.2019.1568164.
- [7] 祝从文, 刘伯奇, 左志燕, 等. 东亚夏季风次季节变化研究进展. 应用气象学报, 2019, 30(4): 401-415.  
Zhu C W, Liu B Q, Zuo Z Y, et al. Recent advances on sub-seasonal variability of East Asian summer monsoon. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(4): 401-415.

- [8] Sonuc E, Sen B. Verifying regional climate model results with web-based expert-system. *Procedia Technology*, 2012, 1: 24-30.
- [9] Mehrotra R, Johnson F, Sharma A. A software toolkit for correcting systematic biases in climate model simulations. *Environmental Modelling and Software*, 2018, 104: 130-152.
- [10] 宋艳玲, 王建林, 田靳峰, 等. 气象干旱指数在东北春玉米干旱监测中的改进. *应用气象学报*, 2019, 30(1): 25-34.  
Song Y L, Wang J L, Tian J F, et al. The spring maize drought index in Northeast China based on meteorological drought index. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 25-34.
- [11] 伍红雨, 邹燕, 刘尉. 广东区域性暴雨过程的量化评估及气候特征. *应用气象学报*, 2019, 30(2): 233-244.  
Wu H Y, Zou Y, Liu W. Quantitative assessment of regional heavy rainfall process in Guangdong and its climatological characteristics. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(2): 233-244.
- [12] 刘伯奇, 祝从文. 中国夏季降水预测因子潜在技巧分布图及应用. *应用气象学报*, 2020, 31(5): 570-582.  
Liu B Q, Zhu C W. Potential skill map of predictors applied to the seasonal forecast of summer rainfall in China. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(5): 570-582.
- [13] 危国飞, 刘会军, 吴启树, 等. 多模式降水分级最优权重集成预报技术. *应用气象学报*, 2020, 31(6): 668-680.  
Wei G F, Liu H J, Wu Q S, et al. Multi-model consensus forecasting technology with optimal weight for precipitation intensity levels. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(6): 668-680.
- [14] Kieran Healy. *Data Visualization: A Practical Introduction*. Princeton: Princeton University Press, 2019.
- [15] 韦青, 李伟, 彭颂, 等. 国家级天气预报检验分析系统建设与应用. *应用气象学报*, 2019, 30(2): 245-256.  
Wei Q, Li W, Peng S, et al. Development and application of national verification system in CMA. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(2): 245-256.
- [16] 吴门新, 庄立伟, 侯英雨, 等. 中国农业气象业务系统(CAgMSS)设计与实现. *应用气象学报*, 2019, 30(5): 513-527.  
Wu M X, Zhuang L W, Hou Y Y, et al. The design and implementation of China agricultural meteorological service system (CAgMSS). *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(5): 513-527.
- [17] 李德泉, 李抗抗, 李宏宇, 等. 飞机作业监测移动应用系统的设计与实现. *应用气象学报*, 2019, 30(6): 745-758.  
Li D Q, Li K K, Li H Y, et al. Design and implementation of mobile application for real-time monitoring of weather-modification aircraft operations. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(6): 745-758.
- [18] 王旻燕, 姚爽, 姜立鹏, 等. 我国全球大气再分析(CRA-40)卫星遥感资料的收集和预处理. *气象科技进展*, 2018, 8(1): 158-163.  
Wang M Y, Yao S, Jiang L P, et al. Collection and pre-processing of satellite remote sensing data in CRA-40 (CMA's Global Atmospheric ReAnalysis). *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2018, 8(1): 158-163.
- [19] Wu T, Yu R, Zhang F, et al. The Beijing Climate Center atmospheric general circulation model: Description and its performance for the present-day climate. *Climate Dyn*, 2010, 34: 123-147.
- [20] Roeckner E. The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5. Part 1: Model Description. Report No. 349, Max-Planck-Institute für Meteorologie, 2003: 1-127.
- [21] Eaton B. User's Guide to the Community Atmosphere Model CAM-5.0. NCAR, 2020.
- [22] Borse G J. *Numerical Methods with MATLAB*. Boston: PWS Publishing Company, 1997.
- [23] Tsai P, Doty B E. A Prototype Java Interface for the Grid Analysis and Display System (GrADS). Fourteenth International Conference on Interactive Information and Processing Systems, 1998.
- [24] NCAR. The NCAR Command Language (Version 6.6.2). Colorado: UCAR/NCAR/CISL/TDD, 2019.
- [25] Chun W J. *Core Python Applications Programming (Third Edition)*. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Pear Education, Inc, 2012.
- [26] 张正秋, 祝从文, 苏京志. 气象应用可视化远程交互系统使用指南. 北京: 气象出版社, 2018.  
Zhang Z Q, Zhu C W, Su J Z. A Guide to the Use of Visual Remote Interactive Platform for Meteorological Applications. Beijing, China Meteorological Press, 2018.
- [27] 刘伯奇, 苏京志, 马双梅, 等. 2018年夏季我国华北持续性高温的成因和未来趋势展望//2018年全国优秀决策气象服务材料汇编. 北京: 气象出版社, 2019: 48-49.  
Liu B Q, Su J Z, Ma S M, et al. Causes and Future Trend of Persistent High Temperature in North China in the Summer of 2018//Compilation of National Excellent Meteorological Service Materials for Decision Making in 2018. Beijing: China Meteorological Press, 2019: 48-49.

## Designing and Implementation of Climate Dynamic Diagnosis and Analysis System

Zhang Zhengqiu Zhu Congwen Su Jingzhi Liu Boqi Jiang Ning Chen Haoming

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

### Abstract

Climate dynamic diagnosis and numerical simulation are important means to understand the rules of climate variability and improve the service efficiency of short-term climate prediction and scientific decision-making. However, the dynamic diagnosis technology based on climate simulation has not been widely used in routine climate service, and almost no platforms can transform scientific research results into the use in climate operation conveniently. Therefore, by integrating various technologies such as modern computer communication protocols, visual editing and meteorological numerical simulation, Climate Dynamic Diagnosis and Analysis System (CDDAS) is developed, which can promote the dynamic diagnosis technology of climate simulation to be more widely used in climate operation. The system has the features with opening structure, high integration of diagnosis methods and high usability. Four functional modules are developed, including data management, climate dynamic diagnosis, multi-model numerical simulation and result analysis. Also, an interactive controlling language is designed, which can provide an easy method for user's further development. In the system, a communication toll among local PC (personal computer) client, remote server and supercomputer is built, which can be managed visually. Visual editing and management functions are provided to users to edit or design the interactive operation interfaces between local terminal and remote server, so as to provide online services according to their own needs. The script language provided by the system can control the visual buttons on the operation interface, the cloud computing in remote server and data network transmission, and it supports four arithmetic operations, logical judgment, numerical circulation and other statements, integrates a variety of network communication protocols, and provides a series of drawing, string processing, and window display control functions. Assisted programming and a fine interface designing tool is also provided. The client of the system can help users to manage interactive pages and graphics, and can make comparative analysis of climate diagnosis results. The system lays a good foundation for the automation of dynamic climate diagnosis. In particular, the establishment of multi-model numerical simulation module and the realization of visualization operation provide an effective way for the dynamic diagnosis and numerical simulation of climate models to be used in climate operation departments. At present, the system has been used in the national climate operation and scientific research units, which has significantly improved the efficiency and convenience of climate operation in the diagnosis of climate anomalies, climate prediction and climate decision-making services.

**Key words:** climate dynamic diagnosis; numerical simulation; visualization