

胡争光,薛峰,金荣花,等,2020. 智能网格预报应用分析平台设计与实现[J]. 气象,46(10):1340-1350. Hu Z G,Xue F,Jin R H,et al,2020. Design and implementation of Gridded Forecast Application Analysis Platform[J]. Meteor Mon,46(10):1340-1350(in Chinese).

智能网格预报应用分析平台设计与实现^{*}

胡争光 薛峰 金荣花 孙靖 宋文彬 高博晗

国家气象中心,北京 100081

提 要: 无缝隙全覆盖智能网格预报是中国气象局现代天气业务的重要业务体系与支撑。为了提升智能网格预报在全国天气预报及服务的业务应用水平,提高高时空分辨率智能网格预报数据的显示分析应用水平,设计并实现了智能网格预报应用分析平台(MOAP),通过分析无缝隙全覆盖智能网格预报数据海量、实时等特点,采用浏览器/服务器架构设计,并通过分布式流式计算处理、WebGL 高效渲染、GIS 空间分析等关键技术,实现了短时、中短期及延伸期等海量智能网格数据的高效加工处理、网络共享服务、可视化分析、影响分析、产品制图等业务功能。MOAP 平台已在中央气象台实时业务中运行,为全国预报服务业务人员高效提供了无缝隙智能网格预报业务指导、应用分析、产品服务 etc 日常业务支撑,并在上海合作组织青岛峰会、九寨沟地震气象服务、台风登陆等气象保障服务工作中发挥了重要业务作用。

关键词: 智能网格预报,决策气象服务,分布式流式计算,分析平台

中图分类号: TP39

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.10.008

Design and Implementation of Gridded Forecast Application Analysis Platform

HU Zhengguang XUE Feng JIN Ronghua SUN Jing SONG Wenbin GAO Bohan

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Seamless smart gridded forecast is the important content and support for the China Meteorological Administration modern weather operation. To enhance the application of gridded forecast in the forecast service operation, and improve the efficiency of the fine gridded forecast data visualization and analysis, we designed and implemented the Gridded Forecast Application Analysis Platform, analyzed the characteristics of the seamless gridded forecast data and the platform, adopted the browser/service (B/S) design mode, and took key technologies such as the real-time distributed process computation, WebGL and GIS spatial analysis, achieving the functions such as the efficiently massive gridded forecast data process and analysis, web service, visualization, impact analysis, mapping and so on. This platform has already been stably applied in national and provincial meteorological decision service operations, such as, typhoon, storm and other disasters emergency service, which has illustrated the platform's strong practicability.

Key words: smart gridded forecast, decision meteorological service, real-time distributed computation, analysis platform

^{*} 国家自然科学基金项目(41401098)和国家重点研发计划(2018YFC1507506)共同资助

2019 年 9 月 4 日收稿; 2020 年 9 月 2 日收修定稿

第一作者: 胡争光, 主要从事气象预报服务平台研究工作. E-mail: westlifehu@126.com

引 言

随着数值模式及模式释用技术方法的提升与气象服务需求的多样性要求,网格预报数据时空分辨率越来越高,预报服务精细化水平也得到了很大提高,基于精细化网格预报的现代天气预报逐渐替代了传统的城市站点天气预报业务体系,智能网格预报是目前中国气象局发展现代天气业务的重要业务体系和天气预报的未来发展方向(金荣花等,2019)。从 2016 年开始,中国气象局开展了全国精细化格点预报业务,经过近两年的实践,初步在全国形成了智能网格预报的业务数据规范、流程规范、网格预报方法、预报编辑平台等。国内一些气象业务部门在网格预报平台方面作了大量的研发。2014 年,国家气象中心基于 MICAPS3.2 框架研发了格点编辑平台,其实现了对格点场单点、区域的编辑修改;并提供了等值线压缩、伸拉变形、整体移动、删除等编辑功能(高嵩等,2014),2018 年国家气象中心联合福建、陕西基于 MICAPS4 研发了智能网格预报编辑平台(贺雅楠等,2018;高嵩等,2017),并在全国推广应用。部分省(市)研发了适合本地业务的精细化格点预报平台,如上海市基于浏览器/服务器(B/S)架构的大城市精细化格点预报系统,建立了依赖基准站的曲线订正反演模型和站点预报影响模型,将模型中基准站点反演到“面”预报,实现多时次预报快速订正(王海宾等,2016),广东省面向应急指挥决策服务建立了精细化格点预报服务一体化系统(陈炳洪等,2018),张宏芳等(2017)把百度 WebGIS 应用于网格预报数据的展示,以上省级业务系统在预报方面发挥了重要作用。在国外,Mass(2003)在人机交互预报准备系统(Interactive Forecast Preparation System,IFPS)中应用基于可视化工具 Advanced Weather Interactive Processing System/Graphical Forecast Editor(AWIPS/GFE)来实现网格预报编辑功能,澳大利亚、美国建立了基于高级天气交互预报系统(AWIPS II/GFE)(朱小祥等,2014),系统提供了智能化工具对不同气象要素之间的预报结果进行协同处理,最终输出文字、图形化预报产品。

综合分析国内外研究现状,主要存在以下几方面的问题:(1)目前平台在预报方法和要素预报订正技术方面居多,而针对智能网格在预报指导和分析、服务应用、影响分析等方面研究较少,未能较好衔接

网格预报和其应用分析服务工作;(2)上述平台仅限于网格预报要素产品显示和编辑分析,对历史站点、网格实况、数值模式、网格预报等海量格点/站点数据融合处理和一体化显示分析研究较少,未能形成一套支持“历史-现在-预报”一体化的网格预报气象大数据应用分析系统。(3)现有平台缺少面向 Web 应用系统的海量气象数据高效处理、交互分析与服务共享能力,缺少面向多终端应用服务(客户端、浏览器、移动终端)的网格实况预报产品共享服务接口和应用服务体系。

基于上述背景,结合智能网格预报多源、海量数据特征,本研究采用 B/S 架构,在 MICAPS4 网络平台框架的基础上(胡争光等,2018)扩展研发了智能网格预报数据分布式流式计算处理和高效渲染框架,并结合网络地理信息技术,设计并实现了智能网格预报应用分析平台(MOAP),平台提供基于实时检验结果的网格预报和数值模式定量对比分析;实现中国区域任意位置的精细化预报要素快速提取并对下预报业务指导;支持兴趣点的“历史-现在-预报”一体化分析和显示;气象灾害影响区域的各类数据统计及智能展示功能,为预报及服务人员提供相关的信息参考材料。

1 智能网格预报数据分析和平台需求

1.1 智能网格预报数据特征分析

智能网格预报业务数据是国家气象中心基于多模式数据(EC 模式和 GRAPES 模式)集成,采用模式释用技术最终形成的一套预报产品(代刊等,2016),其具有时空分辨率高、实时性高、要素种类多、数据量大等特点。产品包括全球网格预报产品、国家级网格预报指导产品(含陆面、责任海区)、省级网格预报产品(含定时、实时)、全国网格预报逐时滚动更新产品等各业务环节产品。面向应用服务,最终包括全球网格预报、经过省级订正、实况滚动更新的中国区域陆面要素网格预报、中国责任海区要素网格预报等。具体业务数据类型见表 1,其中全球网格预报包括 3 h 降水、相对湿度、最小相对湿度、最大相对湿度、最低温度、最高温度、温度、平均气温、风等 9 类要素产品,该类产品覆盖范围广,时间间隔为 3 h 或 24 h,空间分辨率 10 km,预报时效为 10 d;中国区域陆面要素网格预报包括基本气象要

素预报、强对流天气预报、环境气象预报等,具体包括温度,最高温度,最低温度,湿度,24、12、6 和 3 h 降水,降水相态,风向风速,天气现象,云量,冰雹,短时强降水,雷雨大风,雷暴,沙尘,雾,霾和能见度等 23 类要素,其中,基本要素空间分辨率为 5 km,预报时效长达 30 d,强对流和环境预报产品预报时效

为 3 d,空间分辨率为 10 km,该类产品每天数据量达到了 50 GB;中国责任海区要素网格预报包括能见度、阵风、有效波高、天气现象、海风等 5 类产品,预报时效为 7 d,空间分辨率为 10 km。以上各产品采用二进制通用规则分布信息表 GRIB2 格式存储。

表 1 智能网格预报数据特征分析
Table 1 Grid data types and feature analysis

数据类型	要素	空间范围	时间间隔 /h	预报时效 /d	分辨率 /km	每天数据量 /GB
中国区域陆面要素 (基本要素)	降水及相态、温度、 风、湿度、云量	0°~ 60°N、 70°~140°E	1	0~1	5	10
			3	1~10	5	30
	24 h 降水	0°~ 60°N、 70°~140°E	24	10~30	5	0.5
中国区域陆面要素 (强对流天气、环境)	最高温度、最低温度	0°~ 60°N、 70°~140°E	24	0~30	5	1.2
	雾、霾、沙尘、能见度、 雷暴、短时强降水、 冰雹、雷雨大风等	0°~ 60°N、 70°~140°E	3	0~3	10	0.5
中国责任海区要素	能见度、阵风、有效波高、 天气现象、海风	10°S~45°N、 95°~140°E	6	0~1	10	0.4
			12	1~3	10	0.6
			24	4~7	10	0.3
全球网格预报要素	降水、湿度、温度、风 最低温度、最高温度	全球	3	0~10	10	1.2
			24	0~10	10	0.5

1.2 平台需求

MOAP 平台涉及的业务数据种类多、数据量大、实时性高。因此,平台首先需要解决智能网格预报应用分析中海量气象数据的高效实时加工处理分析、网络传输、网络共享服务等问题;还需要解决无缝隙智能网格“一张网”数据高效显示和制图输出等问题;同时,通过空间分析和统计方法,融合其他行业数据,提供一套在高交互模式下的影响分析应用技术方案,可以为国家级、省级等用户提供融合实况监测、预警、网格预报、影响分析等业务应用等需求。

1.2.1 智能网格预报数据高效加工处理需求

直接从全国综合气象信息共享平台(CIMISS)数据库中获取、解码、网络传输、前端显示网格数据标准化文件,会对网络传输造成巨大压力,显示分析性能低下,无法满足预报服务业务人员的实时预报服务需要。因此,MOAP 平台需要高效准确地获取海量数据,并通过分层分块等加工处理,处理结果以内存流式方式并经压码传输,直接提供给平台前端使用,平台的数据加工处理时间及业务人员高交互获取实况预报服务信息的时间总体不超过 10 s。

1.2.2 任意位置的智能网格数据网络共享服务需求

智能网格预报为基于位置服务的按需气象服务提供了基础和条件,MOAP 平台需要通过融合实时网格实况和预报数据,以标准网络服务协议方式实现国内任意位置的气象数据网络共享服务。通过研发建立气象数据网络共享服务接口,不仅可以提供给预报业务系统、气象服务系统共享调用,在移动终端为决策气象服务人员即时提供精细化到街道级别的实况天气、天气预报等综合信息服务;同时,为了保证平台共享服务的效率,接口需支持秒级响应能力和达到 800 个用户并发访问的要求。

1.2.3 “历史-现在-预报”一体化气象大数据显示分析需求

平台需要综合融合历史站点、网格实况、数值预报、网格预报等海量格点/站点数据,其中历史站点数据涵盖 2418 个国家级自动站从建站以来的气象要素值、历史极值及 30 年(1981—2010 年)标准值(降水、平均温度、最高温度、最低温度)等信息,形成一套支持“历史-现在-预报”的一体化的网格预报气象大数据应用分析系统。

1.2.4 智能网格预报数据可视化和影响分析需求

平台需要实现网络环境下高时效网格数据和 GIS 大数据动态可视化表达及交互操作,预报人员从获取数据到可视化显示时间总体不超过 1.5 s,充分满足不同气象应用服务场景下的显示需求。同时,通过融合行业数据,采用 GIS 空间分析,需要对灾害天气影响区域的各类数据统计及智能展示,包括受影响区的人口经济、重要目标物等,以满足辅助决策支撑需求并提供相应的决策参考等。

因此,为满足以上应用需求,本文将从架构设计、功能组成、平台采用的气象大数据可视化技术、海量网格数据分布式实时计算等关键技术方面深入研究,解决以上问题和难点,构建智能网格预报应用分析平台。

2 平台总体设计

2.1 架构设计

MOAP 平台上游对接的是国家级网格预报业务指导产品和国省融合拼接产品,并综合实况和数值模式等业务数据,为国家级、省级等预报人员提供以网格预报应用为核心的实况监测预警、数值预报分析、影响分析等业务应用功能。平台采用 B/S 架构,基于 MICAPS4 网络平台框架研发,并对该框架进行了智能网格预报专业应用的框架定制和扩展实现, MICAPS4 网络平台提供通用模块和良好扩展接口,主要包括服务端数据处理接口、界面框架接口和图形渲染接口(胡争光等,2018)。平台总体结构分为三层,第一层为数据层,主要来源 CIMISS 数据环境和基础地理信息数据库;第二层为服务层,指服务器端的支撑服务和应用服务;第三层为表示层,主要采用 MICAPS4 网络前端框架提供的数据库模型、图形渲染接口、界面框架接口等定制开发了智能网格预报数据应用分析、可视化等一系列前端功能。具体架构和数据流如图 1 所示。

2.1.1 数据层

数据层主要为 MOAP 平台所需的业务数据,包括全球网格预报、经过省级订正、实况滚动更新的中国区域陆面要素网格预报、中国责任海区要素网格预报等网格预报数据、国家气象信息中心的多源融

合实况分析产品(潘旻等,2018)、历史和实况站点数据,以及基础地理信息数据(全国行政区域、人口、经济、水库等)等,其中网格预报、网格实况、历史站点数据来源于 CIMISS,网格预报、网格实况数据存储为标准化命名的文件系统,历史站点数据存储为关系型数据库,基础地理信息数据存储为 Oracle 空间数据库,平台使用统一数据访问接口和引擎,实现对数据层的智能网格/站点数据文件、基础地理信息等数据的统一访问和快速解码、数据组织、索引管理等一系列处理,进入服务器服务层。

2.1.2 服务层

包括支撑服务和应用服务程序,其中支撑服务程序主要实现了智能网格预报产品加工处理系统,其在 MICAPS4 网络平台服务器处理框架基础上扩展实现了针对智能网格预报数据的分布式实时处理计算模块,包括智能网格预报、网格实况、数值预报数据预处理、加工处理等,针对数据加工处理的中间产品存储在服务器内存库和缓存管理器;应用服务程序主要包括数据服务、地理信息服务、空间分析服务、服务管理、缓存处理、算法服务及消息管道等服务组件,数据服务组件提供对气象数据解析、加工处理分析、网络传输、前端显示的服务组件,例如自动站显示和统计分析、云图雷达浏览、自动站客观分析、网格产品等值线分析填色、裁剪等算法分析。地理信息服务包括常用 GIS 服务组件,可实现地图浏览、地图缩放、GIS 空间分析等。MOAP 平台服务器里面的各服务组件可以由服务管理器来管理和运行,服务管理器还包括日志管理、权限管理、系统运行监控、版本发布管理等功能。同时,系统通过消息管道机制可以实时响应浏览器用户请求消息。在服务器和浏览器之间的请求响应和信息交互中,平台使用标准网络协议方式处理和传输,并将处理结果返回给表示层。

2.1.3 表示层

主要为用户提供浏览器端业务操作功能,实现对智能网格预报应用分析业务产品的显示和交互操作、网络共享服务、产品检索等功能,其实现主要业务功能模块包括全球网格预报、中国区域网格预报等业务产品高交互显示模块,以及共享服务及快速检索、预报对比分析、时间剖面分析、基于智能网格的影响分析、产品制图、地理信息等模块。

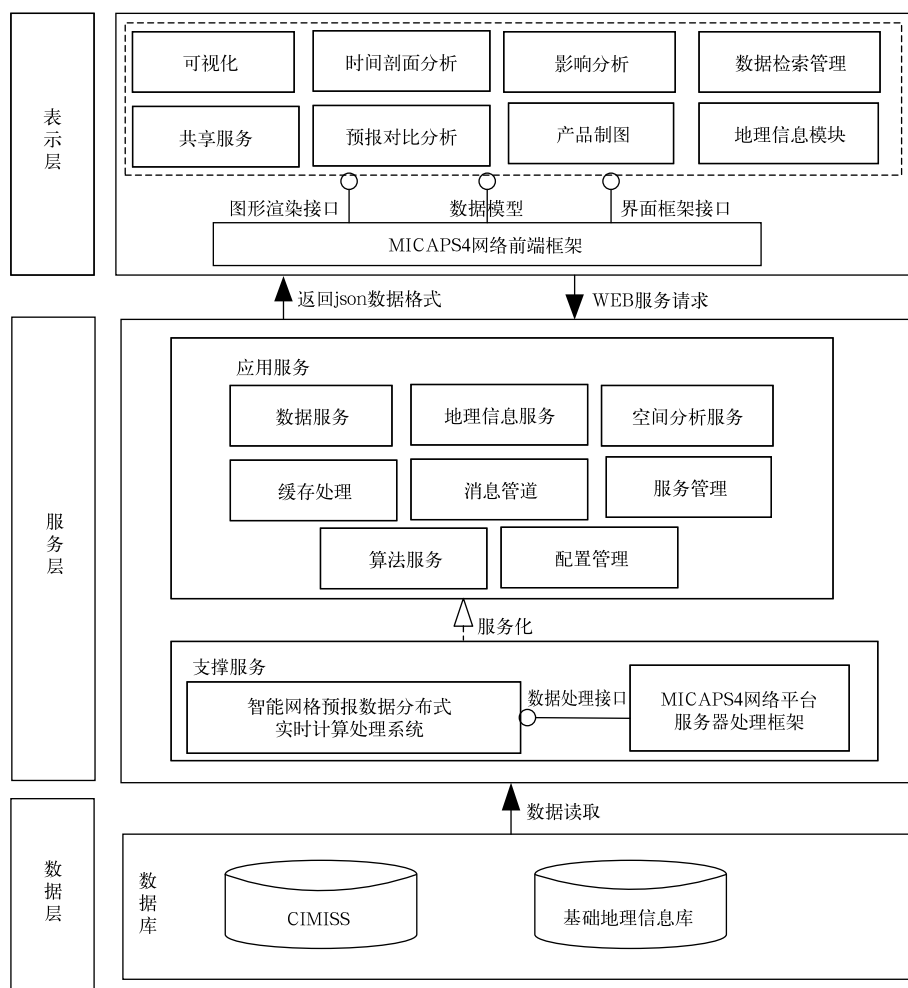


图 1 智能网格预报应用分析平台总体架构

Fig. 1 The framework of MOAP Platform

2.2 功能组成

MOAP 平台功能主要分为无缝隙网格预报数据处理及可视化、网格预报对比分析、时间剖面分析及共享服务、影响分析、产品制图等 6 个专业化模块,涵盖了上百种专业预报及服务产品的共享和高效检索等功能。具体功能组成如下:

2.2.1 无缝隙智能网格预报数据处理

使用预处理和实时处理的方式对智能网格进行处理,对常规文件存储的数据采取预处理的方式;对分布式数据库存储的数据优先采用实时处理的方式,在数据范围大精度高,实时处理达不到时效性需求时,则辅以预处理方式。

2.2.2 无缝隙智能网格预报数据可视化

支持在 WebGIS 交互方式下实现全球网格预报、中国区域网格预报等各类气象要素的高效显示;而且在“一张图”基础上对实况格点和网格预报产品

的一体化显示功能,并融合了站点历史(温度、降水等)数据对比显示分析,实现历史、实况、预报一体化综合显示分析功能;提供便捷的产品选择、时间选择、前后翻页、动画播放、图层叠加、底图切换等功能,提高了产品的应用分析服务能力。

2.2.3 网格预报对比分析

支持以四分屏或六分屏的方式显示智能网格预报和数值模式产品及实时检验结果,以便对同一预报时效的多模式产品和智能网格预报进行定量对比分析。预报员可以快速获取网格预报和数值模式(降水、温度、风速和相对湿度等要素)的实时检验指标(TS 评分等 10 个指标),从而帮助其快速分析及挑选过去几天内预报性能最好且稳定的网格预报,作为天气预报的参考;同时,还提供便捷的选取预报要素、模式种类和预报时效的界面控件,通过要素图层叠加地图的方式显示产品,支持同步漫游、缩放、信息拾取等高交互功能。

2.2.4 时间剖面分析及共享服务

支持在高交互模式下,对任意点的实时气象要素值快速拾取和对所在行政信息快速定位,同时,提供了该兴趣点的时间剖面快速分析和提取,时序剖面包括 10 d、逐 3 h 预报数据,包括降水、气温、风、相对湿度、云量等要素。分析结果支持时序图和表格两种视图方式,并可导出为 Excel 文件。时序图支持交互选取任意要素叠加显示、光标滑动拾取各要素值,以及控制显示的时间范围。同时,通过对时间剖面数据进行封装,以标准网络服务接口的方式对外提供共享服务,供外部预报服务系统或者移动终端业务应用系统共享调用。

2.2.5 基于智能网格的影响分析

采用地理信息空间分析技术,综合网格实况预报数据和社会、人口、经济、重要目标物等行业数据融合,实现了针对决策气象服务的影响分析,支持人口、经济、机场、地质灾害点等信息与预报产品叠加显示;自动分析提取影响区域及落区统计信息,给用户精确的影响分析结果。结果以表格、地图、图表等大数据可视化方式进行多样化表达。

2.2.6 产品制图

以所见即所得的方式提供高质量的产品制图功能。提供便捷的选取预报时效和出图区域的界面控件,并智能地添加制图标题及其他描述信息,选取连续多个预报时效时,自动输出预报产品 GIF 动态图片;时间剖面等分析产品显示控件也提供一键制图功能,方便用户下载和分享使用。

3 关键技术

3.1 智能网格数据分布式实时计算处理技术

平台需要的气象站点观测数据及智能网格数据(实况和预报)具有异构、海量、时效性高等特点(高嵩等,2014),这些数据的数据解析、处理分析、元数据提取等过程差异较大。MICAPS4 网络平台后端数据处理系统提供了针对站点数据、卫星、雷达、数值模式等数据的通用处理分析模块,但未能实现针对智能网格数据加工处理和融合分析模块,MOAP 平台研究采用了 STORM 分布式实时计算处理系统(赵菲等,2016;孙大为等,2014),在 MICAPS4 网络平台后端数据处理框架基础上,扩展实现了一套统一的智能网格数据高效分布式实时计算处理系

统,可以对智能网格实况预报数据进行解析、内存数据结构定义和组织、处理分析、图形加工、元数据提取等。图 2 是 MOAP 平台处理系统在 STORM 框架的实现流程。首先,平台处理系统实现了对消息的实时监控和管理,包括对 CIMISS 分布式文件数据在库中的生成、删除、更新、追加等消息进行实时处理和元数据描述,监控结果以消息队列的方式进入索引库进行存储。在实际业务中,系统采用 Redis(郎泓钰和任永功,2016)作为消息索引存储库。MOAP 平台处理系统在 STORM 框架下实现了智能网格数据处理拓扑、融合分析拓扑两类拓扑的开发。智能网格数据处理拓扑主要完成智能网格实况和预报产品的实时解析、瓦块算法、等值线分析处理,处理结果参照网络瓦块地图服务(TMS)(胡争光等,2014)方式存储为格点瓦块数据方式;融合分析拓扑完成站点的极值统计分析、站点实况监测、预警信息关联分析统计等。以上实时计算分析的结果,在数据云服务区可以为浏览器实时提供数据和分析请求服务。目前中央气象台后端数据处理采用三台服务器作为分布式集群,其中一台当主节点,另外两台为工作节点。分布式实时计算处理技术为用户提供了高效即时的产品服务和高质量体验效果,3.3 节提供了部分数据处理的性能指标。

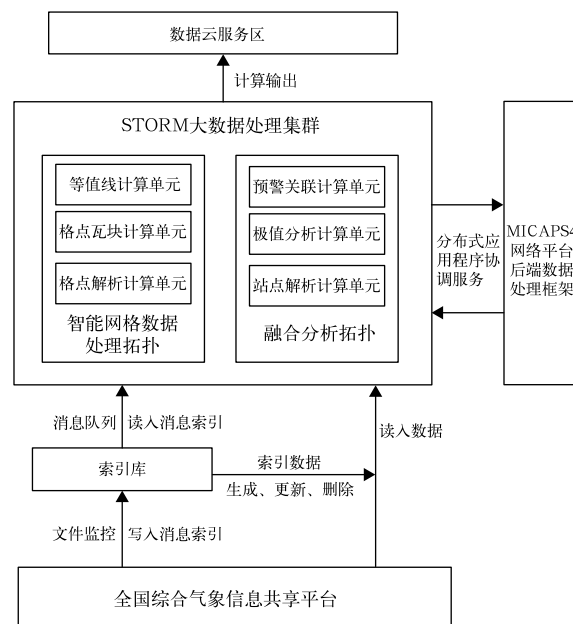


图 2 STORM 框架下的智能网格数据实时加工处理流程

Fig. 2 The grid product processing based on STORM frame

3.2 基于 WebGL 的智能网格预报高效可视化技术

Web Graphics Library(WebGL)可以为浏览器提供硬件 3D 加速渲染(黄若思等,2014),支持在浏览器端对数据进行可视化绘制标记元素来实现画布功能,对于大数据量的实时绘制渲染具有较强性能。基于 WebGL 对网络环境下高时效网格预报数据动态可视化进行了研究,MOAP 平台对基于 Web 的智能网格预报数据绘制等提供了一套高效的可视化技术流程。

MICAPS4 网络平台前端框架基于 HTML5 Canvas 和 WebGL 两种渲染方式实现了一套标准绘图容器(胡争光等,2018),MOAP 平台则基于 MICAPS4 网络平台前端框架扩展实现了针对智能网格预报数据绘制显示接口。首先在服务器采用分布式实时计算技术对数据进行加工处理和等值线分析,形成栅格图层需要的数据模型和文件,通过 Web 服务器发布为 TMS 标准切片网络服务,然后在浏览器端向服务端发送请求后,前端只拼接浏览器视窗范围内所需的那些数据瓦片,并以二进制数据流传输并保存在网页端的内存;网页端可按照用户自定义配置渲染方式、颜色模板、气象符号等样式文件,对气象数据进行绘制,针对网格预报数据绘制显示,因其分辨率高、数据量大,因此选择网页端 WebGL 渲染加速方式,最终将视图地理范围、视图比例尺、地图投影、数据拼接得到的纹理、调色板、气象符号库等传递到 WebGL,采用格点图层实现网格预报数据的格点插值、像素填色等地图模式下的渲染,这样即大大节省了网页端的数据传输时间和解码时间,保证了数据的高效传输,又发挥了硬件加速的高效渲染优势。具体实现的关键技术如图 3 所示。

3.3 基于 GIS 空间分析的智能网格预报影响分析

无缝隙智能网格预报研发了不同预报时效及不同预报尺度的无缝隙、精细化网格预报技术框架,包括:对 0~4 h 预报时效,主要基于雷达拼图和 GRAPES-Meso 模式预报,发展临近分钟级滚动外推预报技术,例如采用光流法实现外推预报的有效提取;对 4~24 h 预报时效,主要基于 GRAPES-Meso、GRAPES-3 km 等高分辨率中尺度模式系统,发展逐小时滚动订正的短时预报技术,例如基于实时频率匹配订正技术对降水预报模式后处理等

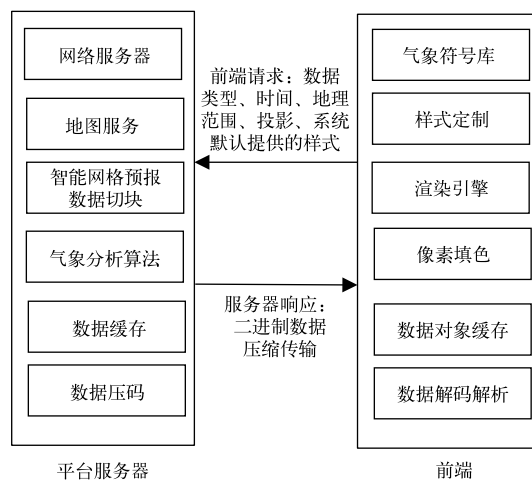


图 3 基于 WebGL 的智能网格预报高效可视化

Fig. 3 Grid forecast data plot with WebGL

(金荣花等,2019;赵瑞霞等,2020);对 1~10 d 预报时效,主要基于多中心全球确定性和集合中期数值模式系统,发展订正和集成的中短期预报技术等。

MOAP 平台在以上研发的智能网格预报数据体系的基础上,实现了一套基于 GIS 空间分析的智能网格预报影响分析技术。首先,后端服务器采用 GIS 空间化处理,实时对网格预报数据按照等值线阈值自动分析提取全国范围内强降水、大风、高温、低温、雷暴、沙尘等气象灾害影响区域信息,该类信息具有时空尺度和属性等多维特征;另一方面,MOAP 平台对省、市、县行政区域信息、人口、经济、重要目标物、地质灾害隐患点等基础地理信息和行业数据按照 GIS 空间实体点、线、多边形等空间数据模型进行高效存储、索引和处理,采用地理信息叠加分析中的矢量叠加分析方法,对以上气象灾害区域和地理信息基础数据两类空间图层信息进行空间关系和属性关系的空间关联计算,可以得到达到气象灾害阈值的区域影响分析信息。根据空间叠加分析对象图形特征的不同,分为点与多边形的叠加、线与多边形的叠加、多边形与多边形的叠加三种,对于机场、地质灾害隐患点、灾情信息等行业数据和气象灾害区域叠加,平台采用点与多边形的叠加计算可以快速确定气象灾害区域范围里面影响的地质灾害隐患点、机场等关联信息;而对于行政区域、人口、经济等空间数据和气象灾害区域叠加,平台采用多边形与多边形叠加计算,并对新的图层进行空间拓扑重新构建,可以得到气象灾害区域所影响的行政区域信息(省、市、县)、人口经济、所在流域等关键信

息。MOAP 平台提前对基础地理信息数据和行业数据进行内存化处理和封装,并采用开源 GIS 空间分析包 Java Topology Suite ,对平台需要的矢量叠加分析等分析功能进行定制研发现实,分析结果在 MICAPS4 网络平台前端框架支持下,支持人口、经济、机场、地质灾害点等信息与预报产品的叠加显示;同时提供了表格、图表等大数据可视化方式进行多样化表达,提高了产品的应用服务能力。具体可实现的关键技术如图 4 所示。

综合以上关键技术设计,MOAP 平台服务器端采用 J2EE 技术开发,浏览器前端采用 HTML5 语言(Lawson and Sharp, 2010; David, 2010)开发,在 MICAPS4 网络平台框架基础上,结合海量气象数据分布式实时计算处理、GIS 空间分析等关键技术,开发实现了智能网格预报应用分析平台整体功能。目前,该平台已经在中央气象台天气业务内网业务运行,界面友好、操作简单,已融入到国家与全国各省实时气象预报服务业务中,平台的请求响应平均耗时在 1.5 s 内,平均每天提供服务次数约 8000 次。如表 2 所示的 MOAP 平台部分数据处理输出效率,其中数据处理时间指从获取数据、解析到分布式实时计算处理的时间;请求响应时间指数据网络服务化、网络传输、前端显示的时间。

4 业务应用

MOAP 平台于 2018 年 3 月在中央气象台正式

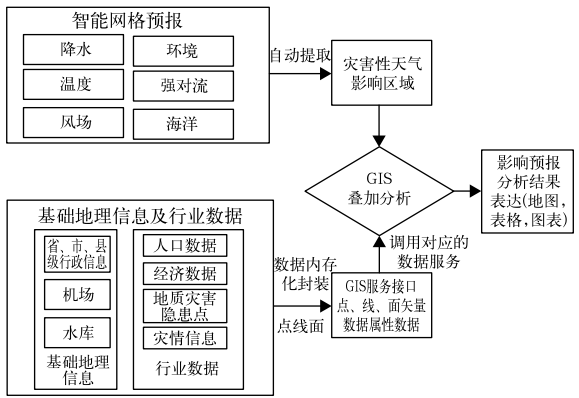


图 4 基于 GIS 空间分析的影响预报分析流程
Fig. 4 The grid product processing based on GIS spatial analysis

表 2 数据处理及请求响应效率
Table 2 Business data output efficiency

产品名称	数据处理 时间/s	请求响应 时间/s	合计时间 /s
中国区域网格预报:3 h 降水	4.3	1.1	5.4
中国区域网格预报:温度	5.0	1.3	6.3
中国区域网格预报:10 m 风	6.1	1.4	7.5
全球网格预报:3 h 降水	3.6	0.8	4.4
全球网格预报:最高温度	3.8	0.9	4.7

业务化运行(图 5~图 7),业务运行稳定,网格预报数据传输、显示、交互操作高效,较好地满足了国家级、省级实时预报服务业务需求,实现了涵盖智能网格实况预报等海量气象数据的高效处理、智能分析、传输、高效表达等全流程业务功能,其中,无缝隙智

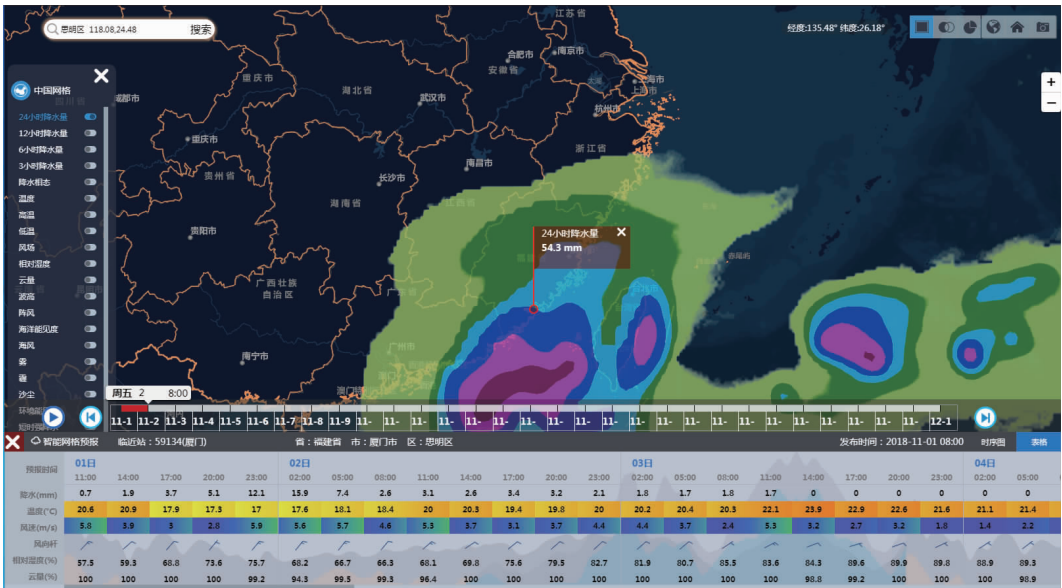


图 5 智能网格预报应用分析平台界面
Fig. 5 MOAP Platform Home Interface

能网格预报数据可视化、时间剖面快速分析和提取、基于智能网格的影响预报分析、网格预报对比分析、产品制图等功能模块已经成为预报服务业务人员日常使用的专业功能。在重大气象服务保障方面,平台在上海合作组织青岛峰会、台风登陆、九寨沟地震气象服务保障中发挥了较好作用,为预报人员提供了丰富的气象信息支撑,有利于快速分析研判。

图 5 是 2018 年 11 月 1 日台风玉兔来袭时,智能网格降水预报可视化表达及厦门未来 30 d 的网格预报综合信息等业务功能;在每日全国天气会商业务中,各级预报服务人员使用该平台,可以快速获取网格预报和数值预报的对比分析,为预报分析提供重要参考等,图 6 是 2020 年 3 月 20 日中央气象台预报人员针对江西、湖南等长江中游地区未来天气过

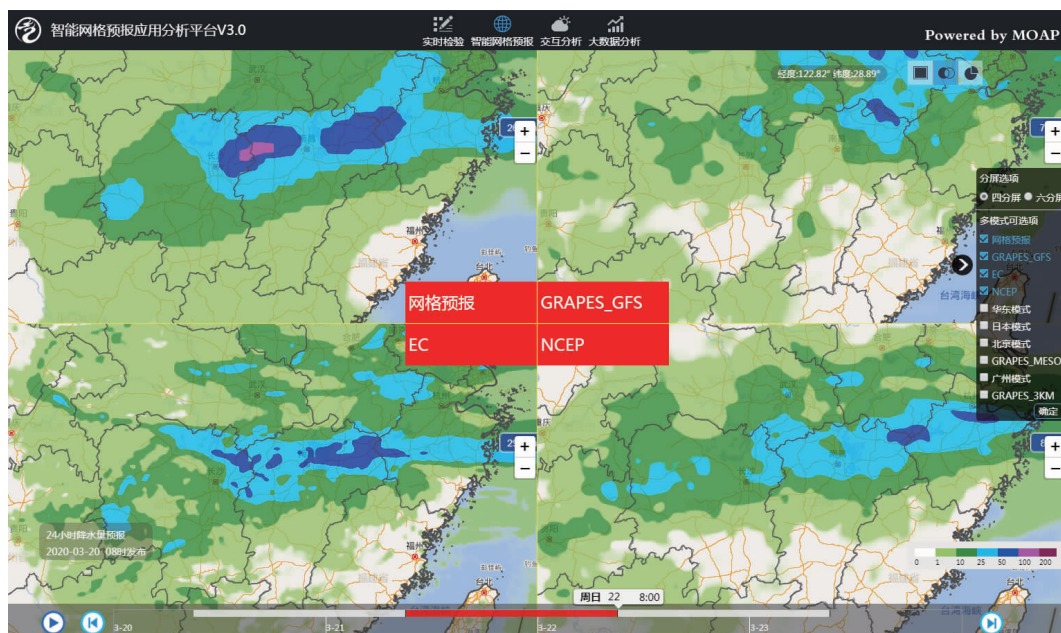


图 6 网格预报对比显示分析

Fig. 6 Grid forecast contrast display and analysis function

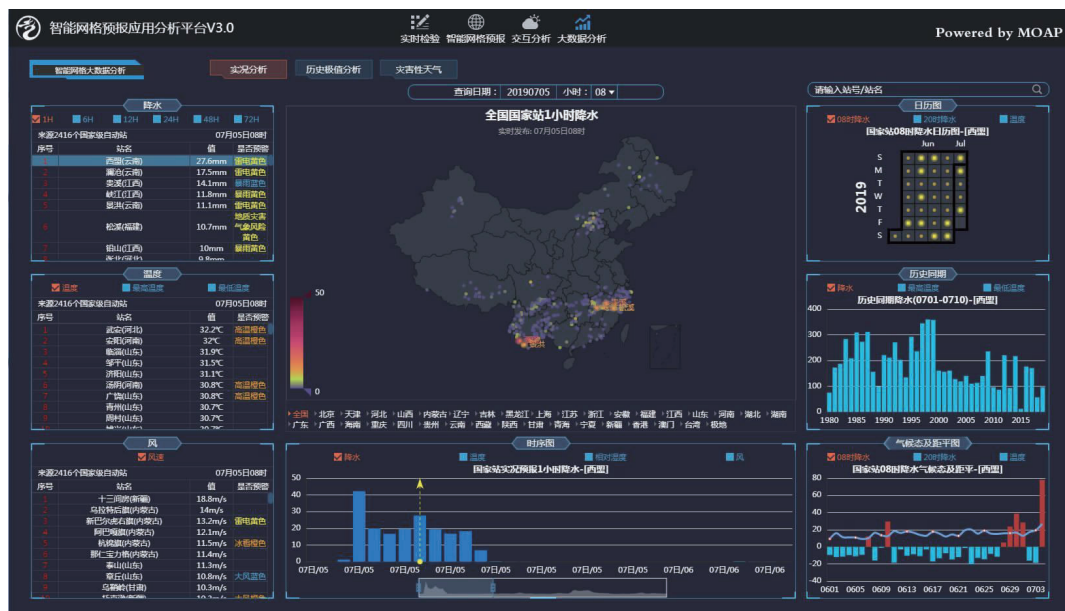


图 7 “历史-现在-预报”一体化显示分析

Fig. 7 “History-Reatime-Forecast” complex analysis function

程,使用该平台实时制作的 24 h 预报对比分析;同时,省级预报人员通过该平台“历史-现在-预报”一体化显示分析功能模块,可以快速获取感兴趣站点的历史极值、气候态、当前预警信息、格点实况、格点预报等数据的综合分析和大数据可视化表达。图 7 是平台“历史-现在-预报”一体化显示分析功能应用情况;在影响分析应用方面,MOAP 平台在“一张图”基础上,通过综合叠加分析人口、经济、机场、地质灾害点和暴雨落区等信息,实现以表格、图表等大数据可视化方式对影响分析结果进行科学、多样化表达,提高了网格产品的应用服务能力。

5 结 论

针对目前高时空分辨率网格预报应用服务欠缺等问题,通过基于互联网和智能网格预报服务构建,在 STORM 框架下扩充实现了面向智能网格数据分布式实时计算处理分析、高效索引和传输,并利用 MICAPS4 网络平台绘图引擎支持智能网格数据在网络端的高效可视表达,采用 GIS 空间分析技术对智能网格“一张网”和行业数据“一张图”综合分析提取影响分析结果。构建了融合各类气象数据(预警信息、智能网格实况、预报数据和历史站点数据)和行业数据的智能网格预报应用分析平台,提供了一系列无缝隙智能网格预报数据可视化、时间剖面快速分析和提取、影响预报分析、网格预报对比分析、产品制图等应用服务功能。MOAP 平台的创新性主要体现在以下几个方面:(1)平台助力国家级网格实况预报产品跨入互联网时代。在格点天气预报服务的支持下,可为多场景的服务应用提供精细化到街道级别的历史数据、实况天气、天气预报、预警提醒等一体化显示和分析。(2)围绕“影响预报”,深度融合了智能网格数据和行业数据,为智能化气象服务提供了精准辅助决策信息。(3)实现了一套面向无缝隙智能网格预报数据的气象大数据高效处理技术框架。随着平台逐步完善和推广应用,该平台将在智慧气象服务建设中发挥重要作用。

平台存在的不足和未来发展的趋势包括以下 3 个方面:(1)目前该平台未充分考虑短时临近网格预报,在后续的研发中,需要对集成短时临近预报网格产品做深入应用研究,加强短时临近产品和短期产品的时空协调一致性处理技术研究,真正形成无缝隙的网格预报应用体系;(2)该平台需要进一步丰富

预报服务产品,深入推进专业气象影响预报、覆盖全要素精细化网格预报在专业气象服务的应用(金荣花等,2019),提升预报服务产品的使用效率,提高中央气象台和各级台站的精细化分析和服务水平;(3)提升全球无缝隙智能网格预报数据产品在网格预报服务业务平台深入应用水平。目前,我国已建成中国区域的无缝隙智能网格预报业务,但全球智能网格预报业务体系未完全建立,目前中央气象台正在就中国区域与全球区域智能网格预报地理边界、时空分辨率一致性等问题展开研究,未来随着全球无缝隙智能网格预报产品体系完善,MOAP 平台也将集成应用全球无缝隙智能网格预报产品,实现中国区和全球区域产品的无缝切换,提供 0~10 d 全球 10 km 网格预报,包括 3 h 间隔的气温、降水、风、湿度和云量等要素预报,并且集成云量和降水量级与相态的天气现象,实现“全球监测、全球预报、全球服务”的能力。真正发挥智能网格预报在专业气象服务及决策气象服务中的作用,提升平台的智能化水平。

参考文献

- 陈炳洪,曾沁,张毅,等,2018. 广东省突发事件应急指挥决策辅助系统的建设[J]. 广东气象,40(1):39-42. Chen B H, Zeng Q, Zhang Y, et al, 2018. Development of emergency response decision support system in Guangdong[J]. Guangdong Meteor, 40(1):39-42(in Chinese).
- 代刊,曹勇,钱奇峰,等,2016. 中短期数字化天气预报技术现状及趋势[J]. 气象,42(12):1445-1455. Dai K, Cao Y, Qian Q F, et al, 2016. Situation and tendency of operational technologies in short- and medium-range weather forecast[J]. Meteor Mon, 42(12):1445-1455(in Chinese).
- 高嵩,毕宝贵,李月安,等,2017. MICAPS4 预报业务系统建设进展与未来发展[J]. 应用气象学报,28(5):513-531. Gao S, Bi B G, Li Y A, et al, 2017. Implementation and development plan of MICAPS4[J]. J Appl Meteor Sci, 28(5):513-531(in Chinese).
- 高嵩,代刊,薛峰,2014. 基于 MICAPS 3.2 平台的格点编辑平台设计与开发[J]. 气象,40(9):1152-1158. Gao S, Dai K, Xue F, 2014. The design and development of grid edit platform based on MICAPS3.2 system[J]. Meteor Mon, 40(9):1152-1158(in Chinese).
- 贺雅楠,高嵩,薛峰,等,2018. 基于 MICAPS4 的智能网格预报平台设计与实现[J]. 应用气象学报,29(1):13-24. He Y N, Gao S, Xue F, et al, 2018. Design and implementation of intelligent grid forecasting platform based on MICAPS4[J]. J Appl Meteor Sci, 29(1):13-24(in Chinese).
- 胡争光,高嵩,薛峰,等,2018. MICAPS4 网络平台设计与实现[J]. 应用气象学报,29(1):45-56. Hu Z G, Gao S, Xue F, et al, 2018.

- Design and implementation of MICAPS4 web platform[J]. J Appl Meteor Sci, 29(1):45-56(in Chinese).
- 胡争光, 郑卫江, 高嵩, 等, 2014. 气象 GIS 网络平台关键技术研究与应用[J]. 应用气象学报, 25(3):365-374. Hu Z G, Zheng W J, Gao S, et al, 2014. Research and implementation of key technology in Meteo GIS web platform[J]. J Appl Meteor Sci, 25(3):365-374(in Chinese).
- 黄若思, 李传荣, 冯磊, 等, 2014. 基于几何的 WebGL 矢量数据三维渲染技术研究[J]. 遥感技术与应用, 29(3):463-468. Huang R S, Li C R, Feng L, et al, 2014. Geometry based rendering of vector data with WebGL[J]. Remote Sens Technol Appl, 29(3):463-468(in Chinese).
- 金荣花, 代刊, 赵瑞霞, 等, 2019. 我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J]. 气象, 45(4):445-457. Jin R H, Dai K, Zhao R X, et al, 2019. Progress and challenge of seamless fine gridded weather forecasting technology in China[J]. Meteor Mon, 45(4):445-457(in Chinese).
- 郎泓钰, 任永功, 2016. 基于 Redis 内存数据库的快速查找算法[J]. 计算机应用与软件, 33(5):40-43, 52. Lang H Y, Ren Y G, 2016. A fast search algorithm based on Redis memory database [J]. Comput Appl Softw, 33(5):40-43, 52(in Chinese).
- 潘旻, 谷军霞, 宇婧婧, 等, 2018. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试验[J]. 气象学报, 76(5):755-766. Pan Y, Gu J X, Yu J J, et al, 2018. Test of merging methods for multi-source observed precipitation products at high resolution over China [J]. Acta Meteor Sin, 76(5):755-766(in Chinese).
- 孙大为, 张广艳, 郑纬民, 2014. 大数据流式计算: 关键技术及系统实例[J]. 软件学报, 25(4):839-862. Sun D W, Zhang G Y, Zheng W M. 2014. Big data stream computing: technologies and instances[J]. J Softw, 25(4):839-862(in Chinese).
- 王海宾, 杨引明, 范旭亮, 等, 2016. 上海精细化格点预报业务进展与思考[J]. 气象科技进展, 6(4):18-23. Wang H B, Yang Y M, Fan X L, et al, 2016. Development of fine gridded weather forecasting system in Shanghai[J]. Adv Meteor Sci Tech, 6(4):18-23(in Chinese).
- 张宏芳, 李建科, 陈小婷, 等, 2017. 基于百度地图的精细化格点预报显示[J]. 气象科技, 45(2):261-268. Zhang H F, Li J K, Chen X T, et al, 2017. Fine-mesh grid point forecast system based on Baidu Map[J]. Meteor Sci Technol, 45(2):261-268(in Chinese).
- 赵菲, 林穗, 高西刚, 2016. 面向大数据的 Storm 框架研究与应用[J]. 微型机与应用, 35(6):12-14. Zhao F, Lin S, Gao X G, 2016. The research and application of Storm framework for large data[J]. Microcomp Appl, 35(6):12-14(in Chinese).
- 赵瑞霞, 代刊, 金荣花, 等, 2020. OTS、MOS 和 OMOS 方法及其优化组合应用于 72 h 内逐 3 h 降水预报的试验分析研究[J]. 气象, 46(3):420-428. Zhao R X, Dai K, Jin R H, et al, 2020. Comparison of OTS, MOS, OMOS methods and their combinations applied in 3 h precipitation forecasting out to 72 h[J]. Meteor Mon, 46(3):420-428(in Chinese).
- 朱小祥, 刘震坤, 罗兵, 等, 2014. 美国 AWIPS II 系统开发进展及业务应用[J]. 气象科技合作动态(专集):1-30. Zhu X X, Liu Z K, Luo B, et al, 2014. Development and application of AWIPS II [J]. Coop Meteor Sci Tech:1-30(in Chinese).
- David M, 2010. HTML5: Designing Rich Internet Applications[M]. Boston: Focal Press.
- Lawson B, Sharp R, 2010. Introducing HTML5[M]. Berkeley: Pearson Education.
- Mass C F, 2003. IFPS and the future of the national weather service [J]. Wea Forecasting, 18(1):75-79.