

周成,郭俊建,孟宪贵,等.山东省气象业务一体化平台设计与实现[J].海洋气象学报,2021,41(2):109-118.  
ZHOU Cheng, GUO Junjian, MENG Xiangui, et al. Design and implementation of integrated meteorological operation platform in Shandong [J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(2): 109-118. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.02.011. (in Chinese)

## 山东省气象业务一体化平台设计与实现

周成<sup>1,2,3</sup>, 郭俊建<sup>1,2</sup>, 孟宪贵<sup>1,2</sup>, 马继望<sup>1,2</sup>, 李刚<sup>1,4</sup>

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室,山东 济南 250031;2.山东省气象台,山东 济南 250031;3.德州市气象局,山东 德州 253000;4.山东省气象局,山东 济南 250031)

**摘要:**山东省气象业务一体化平台(简称“一体化平台”),是在气象业务系统集成化、自动化、智能化的建设要求下,为满足山东气象现代业务发展要求,解决山东气象业务运行中的诸多关键问题,利用互联网技术,面向山东全省天气预报业务设计研发的高度集约化的智能业务平台。一体化平台实现了基于内网 WebGIS 的气象数据渲染,基于 CIMISS、Oracle、Redis 的三级数据库架构,基于 FTP、SMTP、传真服务器、阿里短信等技术的一键式发布引擎,基于 WebOffice 的智能网格预报定制化气象服务,建立了山东短时和临近预报业务体系,融合了山东省气象部门近年来的多项科研成果。在此基础上实现了实况监测、短时临近预报、山洪预警、网格预报、产品制作发布、预报共享、预报检验和业务管理等功能。一体化平台支撑了“省—市—县”三级台站的天气预报业务和重大活动气象保障服务,提升了监测分析、短时和临近预警、决策服务能力。

**关键词:**一体化平台;天气预报业务;短时临近预报;监测预警;互联网技术;地理信息系统

**中图分类号:** P4;TP319 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2021)02-0109-10

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.02.011

## Design and implementation of integrated meteorological operation platform in Shandong

ZHOU Cheng<sup>1,2,3</sup>, GUO Junjian<sup>1,2</sup>, MENG Xiangui<sup>1,2</sup>, MA Jiwang<sup>1,2</sup>, LI Gang<sup>1,4</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031, China; 3. Dezhou Meteorological Bureau, Dezhou, 253000, China; 4. Shandong Meteorological Bureau, Jinan 250031, China)

**Abstract** With the requirements of intensification, automation and intelligentization in the meteorological operations, a highly intensive integrated meteorological operation platform has been designed and put into application, which meets the needs of the meteorological modernization in Shandong Province and solves many key problems in daily meteorological operation. Meteorological data rendering based on Intranet WebGIS, three-level database architecture based on CIMISS, Oracle and Redis, one-click issuing engine based on FTP, SMTP, FAX, Ali SMS and other technologies, intelligent grid forecast customized meteorological service based on WebOffice are realized in the integrated platform. The system of short-time forecasting and nowcasting has been established by integrating a number of scientific research achievements from Shandong Meteorological Bureau in recent years. Based on this, the functions

收稿日期:2021-02-15; 修订日期:2021-04-15

基金项目:山东省气象局重点科研项目(2017sdqzx01)

第一作者:周成,男,工程师,从事中短期天气预报、系统建设开发工作,zhoucheng\_999@126.com。

通信作者:李刚,男,高级工程师,主要从事气象业务管理工作,yantailigang@126.com。

including real-time monitoring, short-term weather forecast, mountain torrent warning, gridpoint forecast, preparation and release of weather information, forecast sharing, forecast verification and operations management are realized. The integrated platform supports the weather forecast operation and meteorological services for major events in three-level ( province, city and county ), improving the capabilities of monitoring and analysis, early warning in short-time forecast and decision-making services.

**Key words** integrated platform; weather forecasting; short-term weather forecast; monitoring and early warning; internet technology; Geographic Information System

## 引言

气象业务系统是气象业务的基础支撑。随着信息技术的发展,气象业务平台呈现了集约化、自动化、智能化的发展趋势,同时由于网格预报业务的推进,不断对业务系统提出了新需求,各省份都在开展气象业务系统的建设。李雪丁等<sup>[1]</sup>利用高分辨率的近、远海智能网格预报建立福建省智能网格海洋预报业务系统;陈有利等<sup>[2]</sup>通过短时和临近技术引进、统筹业务应用功能建立了宁波市短时和临近业务平台;于连庆等<sup>[3]</sup>利用最新移动互联网技术,面向决策服务部门和一线服务人员开发了中央气象台决策气象服务智能移动终端。这些平台可以很好地解决某一方面气象业务、预报服务上的关键问题,但系统功能不够完善,解决的问题比较单一,不能有效地提高业务人员工作效率、减轻工作压力,同时系统功能单一势必增加系统开发数量,增加了运维难度和开发成本,不符合集约化业务的思路。此前山东气象部门最主要的气象业务平台为2010年开发的灾害性天气监测预警平台<sup>[4-5]</sup>,该平台大部分内容为静态网页,只有基于站点实况数据的报警,交互性能不足,自动化、智能化程度已经不能满足现有业务。为实现精细化格点预报业务建设,解决省一市一县在现代天气业务运行中的诸多关键问题,如:现代化的天气预报、短时和临近预报预警、山洪预警及气象服务支撑不足,格点预报检验不健全、缺乏新型预报技术方法的有效集成及GIS技术、WEB交互技术、数据存储技术应用不足,业务平台智能化、自动化水平不高、省一市一县三级气象部门业务联动不足等,根据山东省“三三三—”10项重点工作<sup>[6]</sup>中要推进气象预报业务现代化,强化实时监测和短时临近预警以及中短期重大灾害性天气监测预警,推进影响预报和风险预警业务能力建设及建立新一代气象业务一体化平台的要求,山东省气象部门组织技术人员设计、研发了山东省气象业务一体化平台(简称“一体化平台”),

为新形势下天气预报、短时和临近预警预报、山洪预警以及气象服务提供支撑平台;建立格点预报检验,实现新型预报技术方法的有效集成,加大对GIS技术、Web交互技术、数据存储技术的应用,提高业务平台智能化、自动化水平,加强省一市一县三级气象部门业务联动能力,提高信息化、集约化水平。本文分5个部分,分别介绍了一体化平台的总体设计结构、主要功能、关键技术和逻辑、推广应用和效益,最后总结全文并讨论相关问题和下一步工作计划,为进一步完善和建设山东气象业务系统提供新经验,探索相关建设、应用的新思路。

## 1 平台设计

### 1.1 需求分析

利用以往的开发、使用经验,并按照山东省气象业务和服务发展的需要,综合山东省内外业务系统的特点<sup>[7-18]</sup>,通过技术专家和业务人员的评选、优化,整合各类系统的优点并以省一市一县集约化业务流程为主线,凝练出以下几点需求:

- 1) 预报、服务不分家,实现预报、预警、决策、专业服务的一键式发布,服务材料可定制化生成,提高业务人员工作效率,减轻工作压力,提高服务质量。

- 2) 气象数据时效性高、稳定性好、速度快,填图质量高,支持动态缩放,地理信息数据准确、精细。

- 3) 提高监测预警智能化、自动化水平,实现基于雷达、闪电等数据的灾害性天气的识别,同时能够简化区域联防操作,并提供报警消息推送功能。

- 4) 各类气象要素客观方法需融入智能网格预报,加大客观预报检验,为预报提供更多参考。

### 1.2 总体设计

结合需求对一体化平台进行整体框架设计,继续采取“一级部署、三级应用”模式<sup>[5]</sup>。基于B/S架构在运行维护和安全保障体系的支撑下,一体化平台共分为:基础支撑、数据资源、应用支撑、业务应用和用户等5个层次(图1)。

### 1.2.1 基础支撑层

基础支撑层构建软、硬件网络环境与运行环境,是支撑一体化平台运行的基础。其中,硬件主要包括 12 台实体机服务器和 11 台省局资源池虚拟

主机,共 23 台服务器(含内网 19 台、DMZ 区 4 台),服务器搭载 Linux CentOS7 操作系统,并根据分工搭建对应的 Oracle、Redis 数据库和 Tomcat、ArcGIS 等软件。

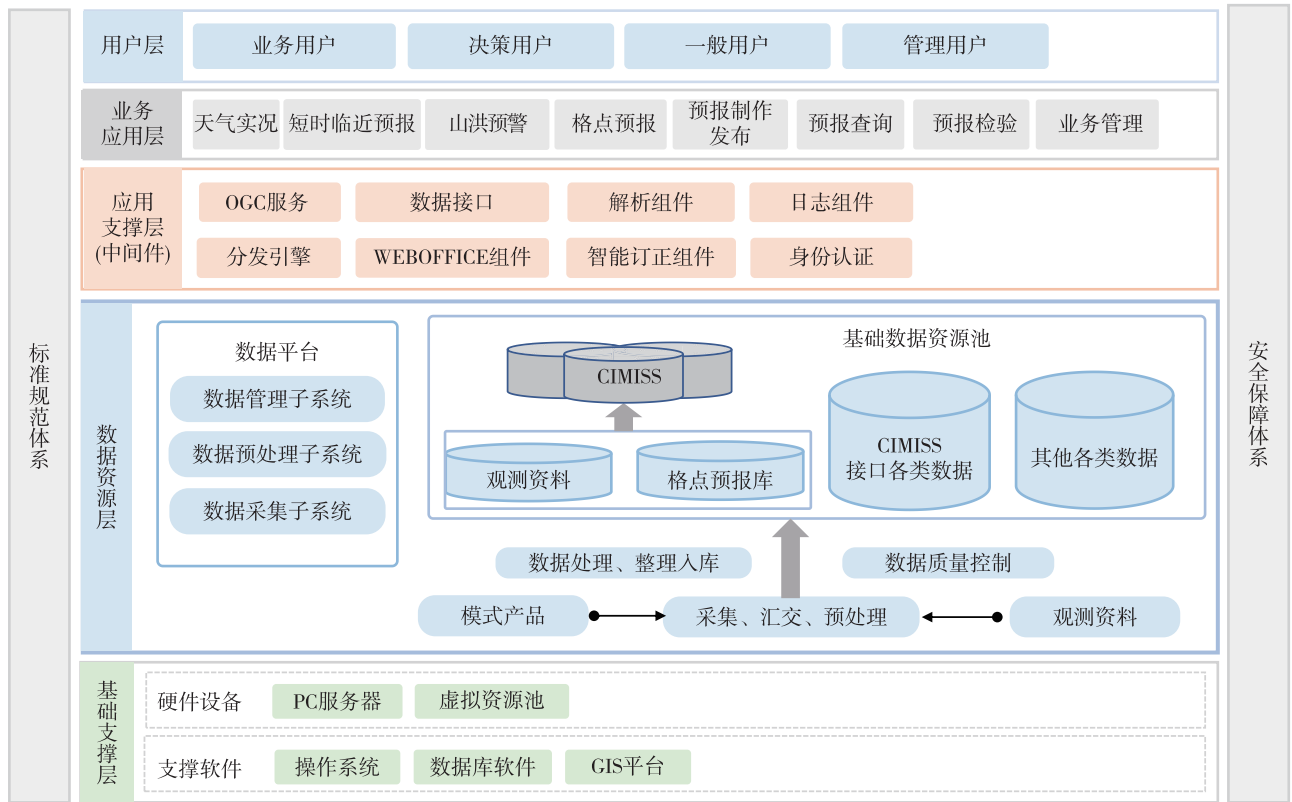


图 1 山东省气象业务一体化平台系统架构图

Fig.1 Architecture of Shandong integrated meteorological operation platform

### 1.2.2 数据资源层

数据资源层在基础支撑层上搭建系统数据环境,并通过各个子系统对地面自动气象观测、多普勒天气雷达、卫星云图、闪电定位、危险天气现象、卫星遥感反演疑似火点(以下简称“火点”)等气象数据进行采集、分析、存储、管理、提供对外数据通信接口,并汇集预报产品资源,实现结构与非结构化的气象数据有机集成、科学管理和有序共享。

### 1.2.3 应用支撑层

应用支撑层为一体化平台提供公共的基础功能组件,并整合成为中间件,根据需求进行面向系统的架构设计,通过地图组件、数据接口、解析组件、日志组件、分发引擎、WebOffice 组件等应用组件进行有效的整合和管理,待开发系统可基于组件快速搭建相关系统,并可供其他平台开发使用。

### 1.2.4 业务应用层

业务应用层为实现业务应用层功能,根据需求

进行独立开发,并通过用户层控制访问权限,达到用户管理和系统管理的目的。一体化平台采用前后端完全分离架构,前端开发主要采用 HTML、CSS、JavaScript,后端主要采用 Java、Python 等程序设计语言,结合 Vue、Spring、JEE 等框架,同时为保证平台具有优良的互联互通性、可管理性、易用性和易维护性,整个采用跨平台程序设计,与软件系统、设备无缝连接。此层共有 8 个主要功能系统:天气实况、短时临近预报、山洪预警、格点预报、预报制作发布、预报查询、预报检验和业务管理。其中,格点预报系统相关技术和功能可自成体系。本文重点介绍平台整体设计思路和相关技术在格点预报业务基础上的应用,因此不在文中对格点预报模块相关内容进行说明。

### 1.2.5 用户层

用户层在保证数据安全、系统稳定的前提下,为满足不同级别、岗位、职责用户的使用要求,将用

户分为业务、决策、一般、管理共4类,每类按级别分为省、市、县三级用户,4类用户通过各级管理账户进行管理,并通过数据库链表、多表应用技术,结合应用层的业务管理功能实现对不同用户浏览、操作权限的管理和控制,以及对应信息的设定,实现不同用户登录、浏览、使用同一个平台,所显示的界面、地图、功能不同,生成服务产品的各类信息不同,满足不同用户的需求,保证各类用户业务的安全和稳定,并减少开发成本,方便用户管理。

## 2 系统功能

为满足省、市、县三级用户在常规气象业务中的不同需求,解决目前天气监测、短时和临近预报、灾害天气报警、预警信号、山洪预警及气象服务产品制作发布智能化、自动化水平不高等问题,平台按应用层的8个系统功能分类,经过设计开发、多次迭代和测试,最终实现了下列功能。

### 2.1 天气实况

重点强化多种观测数据深层次开发应用,主要基于GIS和数据缓存等技术,实现多普勒天气雷达、卫星云图、不同级别气象观测站点(省内、外的基本、基准、一般、区域、省内非考核气象观测站以及国际交流气象观测站共1726站)观测数据的快速

查询、浏览和统计,闪电定位、火点、天气现象、雷达外推产品的叠加显示,站点数据时序演变的弹窗显示、数据自动分析,包括定制气象要素突出显示、色斑图绘制、数据质量控制、格式化输出、雷达回波剖面制作以及流域雨量、过程雨量以及其他气象要素统计等功能;此外为了操作体验方便,增加了包括GIS图层、站点信息控制、气象要素快速切换等丰富的功能,通过一个页面就可以实现几乎所有气象观测数据的查阅,一键可实现常用观测数据的查询。

### 2.2 短时临近预报

短时临近预报功能模块主要实现灾害性天气识别报警(图2)和预警信号制作发布功能。利用灾害性天气自动识别技术,建立起适合三级业务台站、流程清晰、高度定制并基于气象观测站点实况、多普勒天气雷达、闪电定位、网格预报的灾害性天气自动识别报警功能。灾害性天气包括强降水、高温、低温、大风、大雾、雷电、冰雹。为满足省—市—县三级业务流程和要求,分页面显示报警信息,针对不同用户定制不同的站点、灾害性天气和报警阈值,靶向发布报警信息和短信,提升灾害性天气监测预警能力,满足基层业务中对灾害性天气的识别与报警需求,加强上下级短时和临近业务互动,为短时和临近监测提供有力支撑。

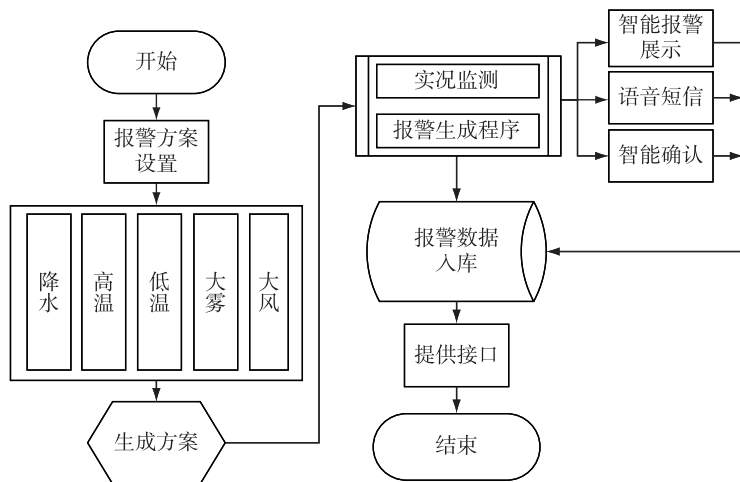


图2 灾害性天气自动识别报警设计流程图

Fig.2 The flowchart of automatic discrimination and alerting on severe weather

预警信号制作发布功能(图3)可实现全省各级气象部门预警信号制作、发布、监控、变更、解除、指导与共享,利用山东省突发事件预警信息发布平台(以下简称“省突”)接口,解决了与国家突发事件预警信息发布系统(以下简称“国突”)的对接,同时支持预警模板的个性化定制,用来满足不同级

别、不同服务用户的预警服务产品的需求,结合一键式发布引擎,可在3min内完成预警信号的“一键式”传播。

### 2.3 山洪预警

系统集成近年来山东地区山洪灾害风险普查的成果,实现了包括中小河流洪水、山洪和地质灾

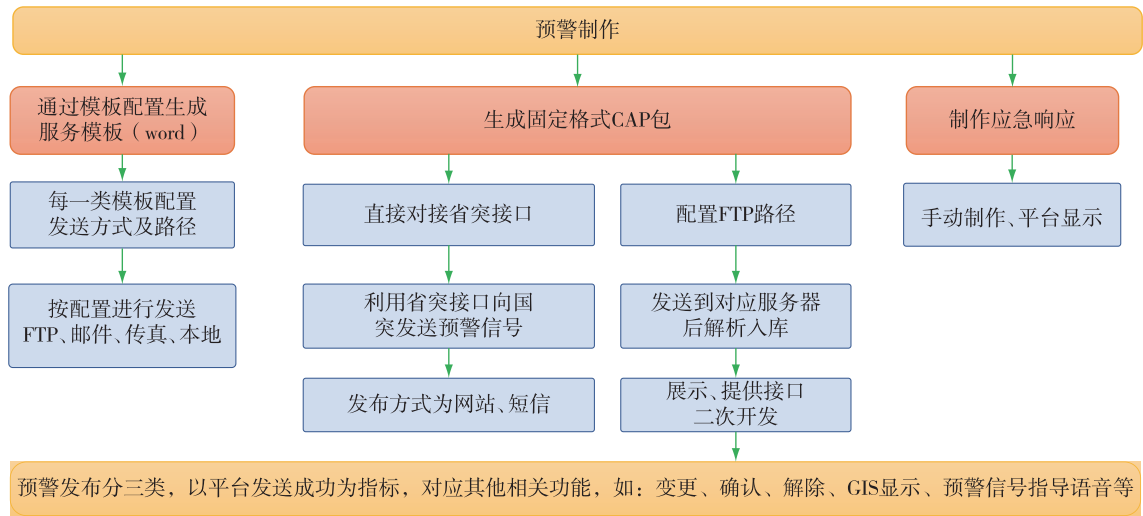


图 3 预警信号制作发布设计流程图

Fig.3 The flowchart of preparation and releasing of early warning signal

害风险普查、致灾阈值、风险预警产品、风险区划图谱等服务产品制作、显示、查询、上传和应用的功能 (图 4)。实现与省气候中心灾害风险普查数据库的实时对接,能够实时展示包括气象灾害、气象灾害风险、气象防灾减灾重点单位、防灾减灾救灾设施、气象防灾减灾救灾人员共 5 大类数据。通过对接统一数据库,实现市一县级业务人员信息与平台同

步。系统应用山东省中小河流、山洪沟、地质灾害山洪致灾阈值,基于全省智能网格精细化预报与高精度的实况格点产品,实现了动态生成中小河流洪水、山洪和地质灾害风险客观指导产品。实现基于 GIS 的产品展示及格点编辑功能、山洪预警产品制作功能,业务人员通过平台可以实时订正、上传风险预警产品,为灾害风险预警产品客观生成,省、市

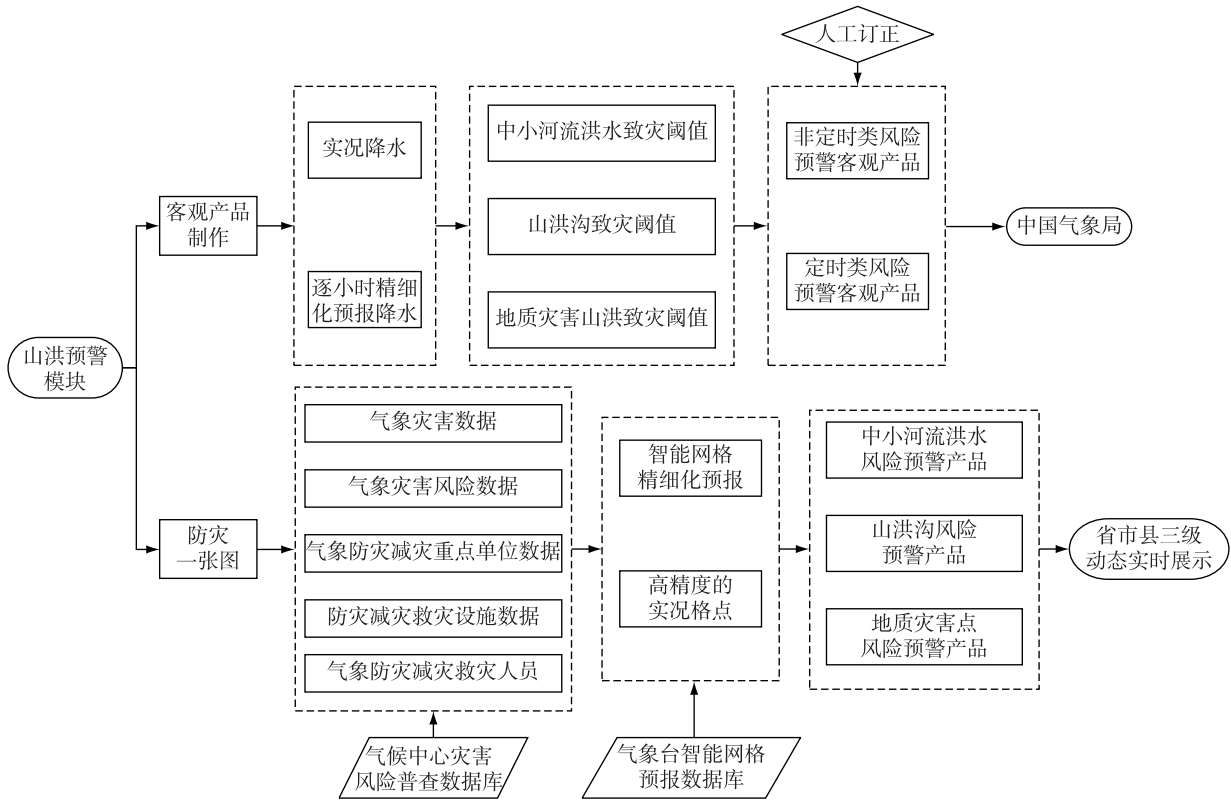


图 4 山洪预警设计流程图

Fig.4 The flowchart of mountain torrent warning operation

两级制作发布风险预警的业务提供支撑。

#### 2.4 预报制作发布

基于智能网格预报,通过产品模板配置、产品生成、产品共享、快速发布实现气象服务材料的制作和共享。产品模板配置可根据用户要求,按照对应标签生成产品模板,按照配置的模板实现各类预报服务产品的生成。为了实现产品共享,通过编写智能网格解析接口实现网格预报的调取,基于 GIS 平台“融合”获取的格点预报产品实现城市预报、定点预报和交通预报的展示,配合 GIS 调节展示范围,提升展示效果。为提高产品质量,设计了出图服务系统,将格点预报数据和站点实况数据图形化和表格化,同时具有图像在线编辑、移动、地图切换功能,可以根据缓存内容自动加载设置参数,实现一次配置多次使用的效果,支持参数配置保存到服务器,实现不同终端的图像参数共享,减轻业务人员操作负担。为进一步减轻预报服务压力,平台可以通过一键发布引擎实现定制产品、外部产品的多渠道快速发布,渠道包括网盘、FTP、传真、邮箱和

短信。

#### 2.5 预报查询

通过平台生成或外系统导入的预报、预警服务材料汇集到系统的共享界面中供全省浏览查看,其他平台也可将不同类型的服务材料通过 FTP 传输,存放在指定服务器中供系统同步、调用,实现与全省其他业务系统的对接。

#### 2.6 预报检验

检验主要包括数值预报、客观预报产品、各级智能网格预报产品的实时检验功能。特别是针对各类降水、温度的要素检验(表1);检验方式分为站点检验、格点检验、差值检验和单点检验;表现形式有表格、列表和折线图、色斑图、其他图像等方式。检验产品有国家级指导报、省级指导报、市级订正产品、各类数值预报、本地客观方法预报、偏差订正预报、最优集合预报。系统可按需要增加其他模式产品检验,可作为智能网格预报业务调整和客观预报产品业务化应用的依据。

表1 预报检验要素信息表

Table 1 Verification forecast parameters

检验类型(格点、站点)	检验属性	检验时效/h
气温	小于1℃准确率、小于2℃准确率、平均绝对误差(MAE)、均方根差(RMSE)、技巧评分	3、24
晴雨	空报率(FAR)、漏报率(PO)、预报准确率(PC)、技巧评分	3、12、24
分级降水	空报率(FAR)、漏报率(PO)、技巧评分、TS评分	3、12、24
累加降水	空报率(FAR)、漏报率(PO)、技巧评分、TS评分	3、12、24

#### 2.7 业务管理

实现了预报业务排班、考评、统计、科研评分、业务软件管理等功能,同时负责平台用户的权限设置,此项功能作为平台使用操作的基础,采用分级管理制度,不同权限对应不同的功能,通过超级管理员管理各部门管理员。各部门管理员管理部门内业务人员,各级用户的权限由高级别账号确定。低级别账号不能对高级别账号设定的内容进行修改、删除操作,保证功能权限、排班、考评、业务等数据的准确性、安全性。

### 3 关键技术与逻辑

为解决现平台 GIS 技术、Web 交互技术、数据存储技术应用不足,短时和临近预报、灾害天气报警、预警信号发布业务自动化、智能化水平不高,决策气象产品质量不高、发布效率低等问题,一体化

平台设计开发过程中采用了以下关键技术。

#### 3.1 Web 开发应用技术

一体化平台采用后端负责业务逻辑,前端负责展现和交互逻辑的前后端独立开发模式,使得同一份后端代码搭配不同的前端展示,在提高可扩展性的同时,实现后台的重复利用,减少代码冗余,降低后期开发成本,并且高效地开发出符合山东气象业务要求的界面。开发以 JavaScript 为前端脚本语言,结合 Chrome 浏览器的 JavaScript 引擎——解析器,为平台增加动态展示、扩展应用交互、监听等功能,并基于 HTML5 以 Leaflet 类库为二次开发基础,配合 Canvas 插件结合后台服务器实现气象数据在 GIS 上的交互操作及数据编辑功能,结合 CSS 增强系统的显示与互动效果,改进业务应用效果。

#### 3.2 数据库开发技术

一体化平台采用基于 Oracle 的基础数据库,开

放配置功能,灵活设置数据存储属性,物理上各库可分开或合并存储,并采用追加服务器的方式对数据库进行扩容,有良好的兼容性和扩展性,基础数据库配有监控平台,保证平台运行的稳定。

数据环境采用 CIMISS、Oracle、Redis 三级数据库架构,既保留 CIMISS 数据丰富和接口标准化的优势,也利用了 Redis 数据库基于内存能够快速响应的特点,并使 Oracle 作为 CIMISS 和 Redis 之间的缓冲层,确保 Redis 发生故障时数据的快速恢复能力,三级数据库相互补充为数据快速存取提供有力保障,目前在省气象信息中心的大力支持下,已通过利用 CIMISS 数据地址、账号、密码、接口信息与大数据云平台数据进行无感切换。

为满足实况、短时和临近等业务系统低时延、高流量的刚性需求,基于 Redis 内存数据库技术搭建 Redis 数据库集群,设计出一种适合气象数据特性的数据存储结构模型,使高频次访问的数据直接从内存中读取,减少数据查询响应的时间,提高数据的检索查询效率,提前对热点统计数据进行处理并长期存储于内存中,有效地减少基础数据库读取和运算次数,提高响应速度,增强吞吐量。

为解决网格预报数据量大,内存和基础数据库服务器的空间和性能不足,无法单纯通过数据库技术来实现存储和读取的问题,设计开发了一套流文件的数据存取和管理技术,主要是将格点预报文件通过特定的规则分散到多个“碎文件”中,通过建立索引规则进行定位,实现大文件的快速读取。

### 3.3 数据接口开发应用技术

一体化平台消息区通过调用接口来实现发送和接收。开发了一系列 Webservice 接口并基于 XML、SOAP、UDD、WDSL 等网间传输协议标准,针对不同用户提供不同的数据查询、数据录入、数据分析等服务,实现前端交互出图、展示,同时满足任意数据可被其他平台和软件调用。这种接口化的开发方式加强了平台的可扩展性,数据库的复用性,节省了硬件、软件资源,增强业务系统集约化。

同时,针对常用的统计数据通过数据预处理,整合成气象统计数据存储数据库,供前端调用,极大地提高了数据获取速度,增强了用户体验感。

### 3.4 GIS 应用技术

一体化平台中天气实况、短时临近预报、山洪预警、格点预报、预报产品发布、预报查询、预报检验等7大系统都使用了动态 GIS 地图作为主页面,并且有强大的 GIS 交互功能,友好的 GIS 展示界面,

以及地理信息控制工具。根据各级行政边界对数据进行处理、浏览、查询、展示,为了确保集约化、标准化、用户体验等各项要求主要采用以下关键技术。

1)搭建内外网 WebGIS 地图服务器:通过第三方切图程序将地理信息数据按对应参数切片供多系统调用,同时基于 ArcGIS Server 发布地图服务供多平台调用,并为不同用户提供对应区域的 GIS 地图服务。

2)多用户并发访问技术:应用前端地理信息数据缓存技术,同时在后端使 GIS 服务器与 ISAPI 配合,完美实现服务器对大量并发访问请求的有效响应。

3)GIS 功能封装模块化技术:GIS 前端设计采用开源 Leaflet 为底层框架,将其绝大部分功能重新封装成 Leaflet-Weather GIS 功能组件供多平台调用,并且支持扩展。

4)建立标准 GIS 数据集:按照中国气象局 GIS 标准化数据应用体系的总体要求以及业务平台的实际需要,定制开发了全省气象部门统一的 GIS 综合应用数据集。以国家气象信息中心统一下发的实体地图数据(审图号:GS2017(3320号))为底图,利用 ArcMap 软件各项功能,结合山东最新情况,通过最新国家统计局和测绘局发布的地理信息相关数据,经过查询、统计、替换后,完善相关数据,剔除重复信息;利用软件控件将地理信息数据进行要素转换、边界抽稀、边界平滑,在确保标准比例尺不失真情况下压缩数据大小,通过拓扑构面,空间关联、区域融合、坐标系投影转换等技术形成一套完整并且适合气象业务应用的省—市—县三级标准地理信息数据集供平台使用,解决平台地理信息数据不统一、加载缓慢、出图质量差等问题。

通过对各类 GIS 技术的综合使用(图5),使得各系统拥有高效的数据展示、查询、分析能力,满足多系统调用和各级业务人员使用。

### 3.5 灾害性天气识别与报警技术

一体化平台利用智能网格预报产品和格点实况分析数据,通过建立高温、低温、降水、大风、大雾等灾害性天气与常规要素的转换规则库,当气象要素数值达到报警阈值时进行报警,利用不同颜色图标来区分灾害性天气的种类。基于自动气象观测站实况数据和网格预报数据,建立各要素的实况报警、预报预警方案,根据气象灾害报警规则,配置有效时段、等级阈值、站点数量等相关参数,建立起山东灾害性天气指标体系。基于雷达数据的冰雹、短

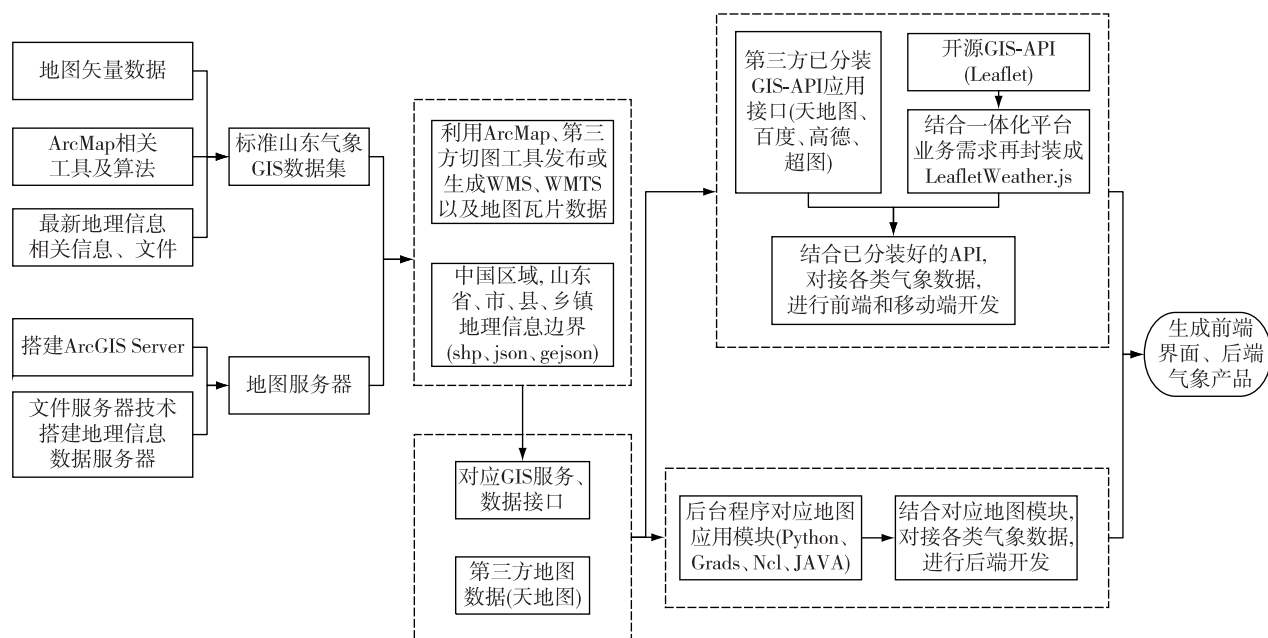


图5 GIS开发应用流程图

Fig.5 The flowchart of GIS application

时强降雨、高强度闪电等强对流天气的自动识别,再通过 WebGIS 展现报警站点、区域,预报业务人员在一个界面可以方便地获取各类灾害性天气报警信息,同时配合平台短信、阿里语音接口实现短信、语音报警,进行预报预警联防。

### 3.6 产品智能生成、一键发布技术

为实现预报、预警服务产品的智能生成,参考主流服务材料预设一套标签规则,省一市一县三级用户均可根据相应规则灵活配置所需产品模板,平台根据所配置的模板调用 WebOffice 插件,可智能生成预报、预警产品。为了实现各类产品的一键式发布,专门设计了独立的产品发布引擎,将网盘、短信、传真、FTP、邮件和国突系统等多种发布渠道集成到一起,发布引擎通过对接外部发布渠道的软硬件接口,实现多渠道产品发布的一键式操作。其中,通过口令加密对接运营商接口的方式发送短信;安装传真卡,搭建传真服务器的方式发送传真;使用代理服务器利用 FTP、SMTP 等协议实现各类文件和邮件的发送;国突发布则通过与省服务中心合作,对接省突接口来完成。同时,一键发布引擎支持外部制作产品的导入、分发,所有产品以非结构化数据存放在后台数据库,为微信、微博提供对应数据源。

### 3.7 基于雷达的灾害性天气自动识别技术和数据拼图技术

一体化平台融入了山东省气象台通过多年研

究得出的本地各类灾害性天气雷达回波判别阈值,通过阈值建立灾害性天气识别的算法模块,实时对雷暴、短时强降雨、冰雹和雷雨大风等强对流天气的发生时间、位置进行识别,通过 GIS 叠加显示报警信息。为提高监测强对流、台风等灾害性天气的实时性和准确性,还引入山东省气象信息中心逐仰角雷达流数据的近实时天气雷达拼图系统,实现了天气雷达拼图延时由 6 min 缩短到 1 min。

### 3.8 雷达估测、质控降水技术

一体化平台通过天气雷达回波强度估测降水,通过对比回波区域内站点降水量,对站点降水进行质量控制。当强降水站点出现无回波或弱回波,无降水或弱降水站点出现强回波时对该站点进行质量控制,减少错误站点雨量统计的干扰。在单站时序图中显示天气雷达降水估测值,为预报员提供参考。

### 3.9 基于开源 GIS 框架 Leaflet 前端绘图技术

基于开源 GIS 框架,对相关绘图 API 进行了改写和封装,应用于前端绘制色斑图、等值面图、流线图等,后台利用线性内插法得到分辨率为 5 km × 5 km 的气象要素网格数据,前端获取并绘制在 Canvas 图层中,支持对数据的缩放、移动、修改等功能,同时如果遇到降水分布不均匀或相关要素站点较少时可以人工配置前端插值参数,增加网格的分辨率,调整内插计算参数,使得填色图更加美观。



生成的图像可以通过标签方式配入对应服务材料中,减少用户操作,对于业务中定制化需求可以通过修改或自建 API 来满足业务需要。

#### 4 推广应用与效益

一体化平台于 2017 年 6 月开始建设,历经三年多时间,采用“边应用,边改进”的方案,经多次更新迭代,目前已经成为山东省各级气象台站、业务处室和管理机构的核心业务平台。一体化平台显著提升了气象数据显示的效果、数据加载速度、业务人员工作效率、集成各类科研成果,实现了实况监测、短时和临近预警、格点预报业务化、服务产品的一键发布。

相对于原来平台的静态网页、图像、表格,一体化平台采用了基于 GIS 的动态网页技术,并有强大的交互功能。由之前的站点预报、要素填值转变为基于智能网格预报的格点预报、格点填值,支持任意点预报的显示和生成。从手工上传本地服务材料到通过标签、服务模板配置,智能生成预报、预警服务材料;从预警信号的单独制作发布转变为使用标准格式 CAP 包,进行预警信号的解析、传输,实现与包括国突系统在内的各类平台的主动和被动对接;从基于实况的短时和临近站点报警转变为基于实况、格点预报、天气雷达数据、本地客观算法为一体的短时和临近单站、区域报警,建立山东短时和临近预报业务体系。数据共享方面由之前的独立平台独立数据库、数据结构,转为共享一套数据结构、数据库,通过接口调用方式对任意平台提供对应数据,大大提升数据的共享能力,增强系统的可扩展性,利用对应的 DMZ 区数据环境针对海洋、水利、农业、应急等多个部门的服务需求,搭建特色气象服务平台、重大活动气象保障服务平台等。在预报检验方面由之前的基于报文的站点预报检验转变为基于网格预报的格点预报检验,同时将基于报文的站点预报检验扩展为基于格点的主流数值预报产品和本地客观方法预报产品以及主观订正预报产品的检验,内容包括正确性、技巧性和误差分析检验,为智能网格预报业务单轨运行打下良好基础。

在 2019 年汛期超强台风“利奇马”影响期间,一体化平台在山东省各级气象部门防汛抗旱工作中发挥了重要作用,受到省、市、县相关部门的充分肯定。在 2020 年青岛海上卫星发射保障、全省各类活动专项气象服务、主汛期应急值班中为各级气象

部门提供了良好的平台支撑。通过平台中智能网格预报产品的共享,提升三级气象部门对外服务质量,提高专业气象服务经济效益。同时通过新平台的建设还锻炼了一批业务熟练、思想开阔、拥有技术和经验的系统开发人员和系统维护管理的骨干,为一体化平台在今后进一步完善以及新系统的开发建设打下了良好的人才基础。

#### 5 总结与讨论

本文主要介绍了山东省气象业务一体化平台的总体设计思路、相关逻辑、主要技术以及推广应用与效益,总结在建设开发过程中得到的各类经验,学到的相关技术和实现方式,以及平台设计的相关逻辑和流程。

1) 一体化平台基于动态 GIS 技术、气象数据综合处理分析技术、数据库技术、互联网技术、客观预报技术和智能识别技术,实现了综合气象数据的展示、分析,灾害性天气的智能监测报警,网格预报订正、检验,预警信号、服务材料一键式发布,服务产品共享等业务功能,为全省各级预报业务人员和业务管理人员提供了业务平台。

2) 一体化平台通过对开源 GIS 框架(Leaflet)的二次开发、封装,实现了在内网环境下气象数据、预警信号、报警信息的动态展示,提高了数据的展示效果和服务质量,保证了数据的安全性,增强了系统可移植性。采用 CIMISS、Oracle、Redis 三级数据库架构,结合三类数据库的优点使得数据调取更加稳定、高效。基于 FTP、SMTP、传真服务器、阿里短信等技术建设一键式发布引擎,配合省突接口实现预警信号、服务材料的一键发布。基于智能网格预报产品结合 WebOffice 插件、产品标签库定制化生成预报、预警服务材料。

3) 一体化平台业务化融入了近年来开发、研究的各项成果,如:气温、海上大风、降水相态、火点等不同要素和种类的客观预报方法、雷达冰雹算法、雷达流数据拼图、自动气象站降水质量控制、网格实况产品等,形成产、学、研闭环,实现研究成果业务化运行,不断延长平台的生命周期,保持平台的先进性。

4) 一体化平台通过对各类功能的高度封装、组件化、构建中间件,并为其他业务平台提供数据接口、功能组件,减少重复开发,降低了后续开发成本。

开发团队通过技术创新、应用方法创新、功能创新和流程创新,使平台功能更加全面、运行更加

高效、技术更加先进,满足了灾害性天气监测预警、联防、上下级业务交互、信息共享、业务管理等需要,有力支撑起山东气象集约化业务,并为其他平台的建设提供了更好的借鉴,但还有需要完善的地方。第一,随着业务发展的需要,一体化平台各系统需持续进行功能性和预防性维护,保证系统的先进性和可维护性,使系统功能适应气象业务和IT技术发展;第二,按需求和规定在数据安全的前提下不断更新和提供更准确的地理信息数据,对接各类气象相关数据;第三,提升一键式发布系统的稳定性,丰富预报、预警模板标签,继续提高三级气象部门预报、预警服务产品质量;第四,继续研发本地客观预报方法,加强智能网格预报的订正和应用,强化短时和临近预报产品自动化、智能化水平,提供更稳定、高效、优质的气象相关数据接口;第五,一体化平台功能非常丰富,各系统功能配置灵活,导致系统内逻辑极其复杂,系统的配置和使用需要业务人员提高自身基本素质和水平,各部门之间需要更加紧密的配合,相关部门需要多组织业务培训和交流,培养更专业的省—市—县三级系统管理、运维、开发人员,形成更加科学高效的业务流程,建设山东气象业务的新体系。

### 参考文献:

- [1] 李雪丁,曾银东,陈金瑞,等.福建省智能网格海洋预报业务系统实现与应用[J]. 海洋预报, 2021, 38(1): 10-18.
- [2] 陈有利,沃伟峰,钱燕珍.宁波市短临业务平台建设的思考[J]. 浙江气象, 2017, 38(3): 41-44.
- [3] 于连庆,胡争光,薛峰.中央气象台决策气象服务智能移动终端的设计与实现[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(1): 117-126.
- [4] 阎丽凤,周雪松,吴炜,等.灾害性天气监测预警平台设计与开发[J]. 气象科技, 2014, 42(5): 804-810.
- [5] 邱刚.灾害性天气监测预警平台研究与开发[D]. 成都:电子科技大学, 2016.
- [6] 山东省气象局.山东省气象局关于印发气象现代化“三三三”十项重点工作五项实施方案的通知:鲁气办发[2018]92号[A]. (2018-12-28) [2021-02-01].
- [7] 徐全军,谢志敏,李峥,等.基于决策树的雷暴天气短临预报[J]. 科研信息化技术与应用, 2017, 8(2): 72-78.
- [8] 于连庆.面向气象数据可视化的多功能绘图引擎研究与实现[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(3): 114-123.
- [9] 乌恩奇.内蒙古公共气象服务业务系统的设计[J]. 内蒙古气象, 2018(5): 37-39.
- [10] 吴飞.基于地理模型的交通气象灾害监测平台建设[J]. 地理空间信息, 2018, 16(6): 17-20.
- [11] 韩旭.基于开源 WebGIS 的葡萄园信息存储与可视化系统的构建[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2018.
- [12] 赵虎川,曲超.基于开源 Leaflet 的 WebGIS 客户端设计与实现[J]. 科技创新与应用, 2017(16): 56-57.
- [13] 刘宏宇.基于开源 WebGIS 平台的县级耕地信息系统的设计与实现[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学, 2017.
- [14] 李彦杰.基于 WebGIS 的灾害性天气监测预警平台的研发[D]. 青岛:山东科技大学, 2017.
- [15] 马俊闯.基于 WebGIS 的气象信息发布平台模型及关键技术研究与应用[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2016.
- [16] 贺彦玲.宁夏自动气象站观测资料分析应用系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2016.
- [17] 陈张建,张磊,黄桦,等.地质灾害气象风险预报(警)产品发布系统研究与应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 129-133.
- [18] 郑虹晖.自动气象站数据图形化应用研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2010.