

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.

DOI: 10.11898/1001-7313.20190211

国家级天气预报检验分析系统建设与应用

韦青^{1)*} 李伟¹⁾ 彭颂²⁾ 薛峰¹⁾ 赵声蓉¹⁾
张金艳¹⁾ 齐丹¹⁾

¹⁾(国家气象中心,北京 100081)

²⁾(北京聚创高科技技术有限公司,北京 100160)

摘 要

为了适应精细化预报和业务管理的发展需求,国家气象中心建设开发了基于 Web 的国家级天气预报检验分析系统。系统分为预报检验、检验文件解析处理、检验数据查询分析与检验平台管理 4 个功能模块,关键技术包括标准化的数据管理、开放式的算法模块管理与调度和检验数据的可视化分析。系统建立了规范高效的检验业务数据流程,兼容处理预报分析制作系统(MICAPS)数据、GRIB2 数据、城镇报数据、自动气象站数据等其他专业气象数据,涵盖了国家级省级智能网格预报、全国城镇天气预报、定量降水预报、大城市空气质量预报等数十项检验业务产品,给出了空间分布、柱状图及数据表格等展现形式。系统为全国各级预报员、模式开发人员和管理人员提供预报检验反馈信息,为各省以及国家级预报业务考核提供了信息支撑;同时系统提供逐旬、月、年度的智能网格预报以及城镇天气预报的检验结果对比,有力支撑了智能网格预报产品业务研发和业务试验。

关键词: 检验方法; 系统; 架构; 数据流程

引 言

随着气象事业的不断发展,对业务预报水平的考核要求也越来越高,预报产品质量是衡量天气预报业务水平的重要指标,也是业务体系中重要一环。对于管理者,检验工作对客观衡量主客观预报产品质量和科学有效的管理起到重要的作用;公众则可以通过检验结果了解预报产品的性能,有利于其使用时作出决策;对于预报员,通过对其预报产品和各类数值预报产品的检验以及检验结果的比对评估,使预报员清楚了解预报的不足与成功之处,提升预报员的预报能力和信心。因此,产品质量检验工作在国内外受到广泛关注。

1884 年 Finley^[1] 对美国落基山脉东部龙卷预报进行了检验评估,目前检验方法得到长足发展,检验理论在 20 世纪 80 年代后期发展迅速^[2]。检验方法在预报业务中的应用,各国不同尝试。世界气

象组织(WMO)WWRP/WGNE(World Weather Research Program/Working Group on Numerical Experimentation)联合检验工作小组专门立项支持澳大利亚建立了 WMO 的检验网站,广泛宣传检验基本知识,促进各国检验理论的发展和创新^[3]。目前欧洲中期天气预报中心及其成员国、美国、澳大利亚和加拿大等均建立了自己的检验系统。这些检验系统在数值天气预报改进、预报准确率提高、面向公众的宣传等方面发挥了重要作用。其中,美国国家天气服务中心创建了一个针对所有预警和预报产品(如火险天气、航线、公共预报等)的在线检验评估工具,该工具可以制作包括均方根误差在内的一套统计方法和评分^[3]。芬兰气象局从 2003 年开始对格点、站点数据进行月、季节、年的检验,包括预报员和模式以及模式和模式之间的检验对比,并建成基于 Web 的菜单驱动交互的实时检验系统^[4]。印度气象局对城市、旅游天气及季风爆发日期等预报业务均开展了检验^[5]。

2018-10-16 收到,2019-01-02 收到再改稿。

资助项目:中国气象局预报关键项目(YBGJXM(2018)06-2,YBGJXM(2018)03)

* 邮箱: weiqing@ema.gov.cn

在国内,对天气预报产品,我国较早开展的短期预报业务检验开始于1987年,当年5月起每月公布短、中、长期预报检验评分结果,1988年起正式对中央气象台主观综合降水预报业务开展每年的预报客观检验^[6-7]。20世纪80年代束家鑫等^[8]、董克勤等^[9]对中央气象台的热带气旋路径主观综合预报进行预报质量检验分析,从1991年起中央气象台开展了热带气旋路径主观业务预报同美国、日本国家业务中心的主观业务预报客观检验的对比分析工作^[10]。中国气象局自2005年起开始业务化的中短期天气预报质量检验办法建立了主要天气预报产品的检验业务软件,但对检验结果的综合分析能力,以及对智能网格预报等新业务检验支持等方面存在不足。

1 系统建设需求和业务定位

在国家级预报业务部门,针对各项预报业务的检验虽然都已开展,但检验业务仍然分散在不同的二级预报业务部门且各项检验业务的运行环境参差不齐,编写语言有 Fortran 或 MATLAB 等,使用的实况和预报、站点等数据不统一,流程不优化,不利于程序的移植和准确地评价预报产品的质量。由于缺乏规范标准的业务产品检验工作流程和定常的检验业务及定期制作的检验报告,无法及时全面了解各项预报产品的整体质量。最重要的是缺乏统一的产品质量检验系统,无法对于实况和预报数据进行溯源管理,不能直观简便地获取检验结果,也无法对预报检验进行深度分析和评估。

为了解决上述问题,国家级天气预报检验分析系统构建了统一的检验数据环境以实现实况、预报和检验结果数据的统一管理和服务;研发了开放式的检验算法调用框架和算法集,支持 TS 和 ETS 评分、准确率、命中率、空报率、预报偏差(Bias)、相关系数、空间时间模糊、SEEPS(stable equitable error in probability space,概率空间中的稳定公平误差)等面向不同要素预报近30类检验指标计算;同时建设预报员和管理人员以及模式开发人员等可以实时查询检验结果的平台,从而实现了智能网格预报、定量降水预报、中期延伸期预报、台风预报、强对流天气预报、气象灾害预警、灾害性天气落区、精细化客观要素等和各省发布的城镇天气预报、大城市精细

化预报、大城市空气质量预报业务等天气预报业务的检验评估,并提升各项业务产品检验的准确性及合理性,进一步确立国家级检验结果的权威性。

检验结果一方面提供给管理部门,对各级预报员进行考核评估以管理调控优化配置资源投入;另一方面给预报员提供对未来预报有参考价值的、历史天气过程的不同空间时间尺度各要素的预报水平评估,以改善预报,同时也可以给模式开发人员提供不同模式的预报水平的对比以改进模式。官方发布的定常的月、季度、年检验报告、临时的检验服务材料以及针对预报员的考核评估所需数据均由检验系统提供。国家级和省级预报员可以通过检验系统实时查询到各项业务产品的检验评分,各级管理部门及各省检验业务人员也可以通过检验系统获悉标准权威的各省市县级台站的考核结果。

2 系统实现的关键技术

2.1 总体结构

国家级天气预报检验分析系统以标准化、规范化为建设基础,在系统建设中强调统一规范、统一接口,从而规范系统建设的基本功能、业务流程、数据模型和数据编码等信息标准,增强系统的可扩展性,既要满足当前业务需求,也需要考虑到业务长期发展,为不断增加新的检验产品模块提供较为灵活的可扩展应用框架和二次开发接口。

2.1.1 系统功能结构设计

系统架构遵循规范化、开放性、模块化、易扩展等设计原则采用分层架构,自下而上依次是数据层、平台层、服务层、表现层,安全规范体系及开发标准规范贯穿每一层。各部分之间独立统一,形成相互依赖但又可单独运行的模式,不仅有利于系统独立运行,降低各功能模块之间的耦合度,同时有利于系统的维护和管理。系统整体结构设计如图1所示。

数据层主要为平台层提供源数据包括预报和实况数据以及数据持久化存储服务。平台层是整个系统的核心组成部分,包括检验模块和文件解析模块。检验模块采用多线程并发工作模式对采用动态函数库封装的检验算法进行调度,处理预报和实况数据。文件解析模块通过配置化方案,对预报检验模块生成的评分统计文件进行解析处理,将解析后的文件

数据录入到 Oracle 数据库中持久化保存,同时实现文件型数据的归档转存,转存过程保存原有目录层级结构。

服务层主要为表现层提供统一通用的 Rest 接口服务,以及系统的后台管理维护功能,包括对评分统计文件的目录配置、站点管理、栏目管理、产品配置等。通过检验平台管理,可以方便灵活地管理配

置检验平台,在遵循规范化标准化系统建设的基础上,可通过数据字典不断增加新的预报检验产品模块。表现层主要通过调用 Rest 服务请求接口将解析入库后的检验结果数据通过网页进行数据的可视化呈现,提供丰富多样的图表统计分析报表,包括柱状图、折线图、热力图、箱线图、空间分布图等。

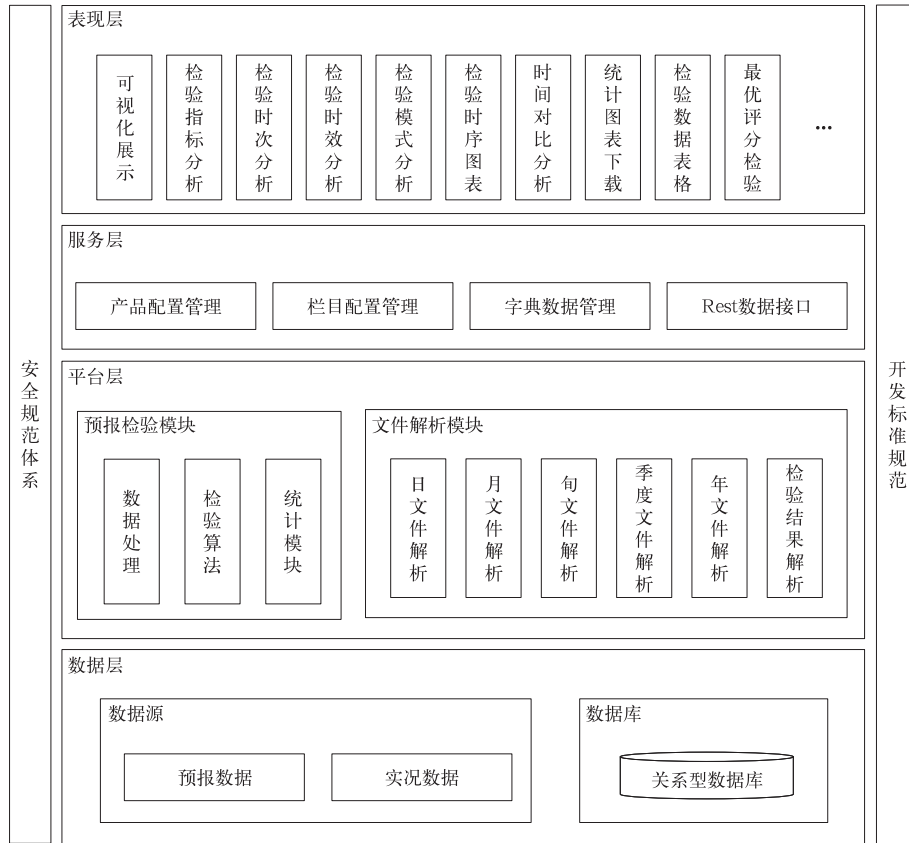


图 1 国家级天气预报检验分析系统结构

Fig. 1 Structure of National Verification System in CMA

2.1.2 系统数据流程

国家级天气预报检验分析系统的数据流程中,实况数据和预报数据以数据文件形式存放,实况包括人工观测、自动气象站数据,以及各项专业气象业务实况数据。预报数据包括 MICAPS 数据、城镇报数据、大城市预报以及其他专业预报产品数据。随着智能网格预报业务的发展,检验系统处理的预报数据量有很大幅度增长,为了最大限度减少数据存储空间,系统增加了 GRIB2 格式的预报文件,格点检验结果也采用 GRIB2 文件形式。经过预报检验

模块生成站点与格点的检验结果数据,并对之进行不同指标的时空维度的统计计算,实现降水、温度、风等要素的相应指标的时间(日、旬、月、季度、年等)和空间(省、气象区划、站点、格点等)的统计计算,最终的检验统计结果以文件的方式进行存储。系统数据流程如图 2 所示。

在计算量较少而用户需求较大的模拟,如定量降水检验模块以连接挂载盘形式实现了更新升级前平台的动态评分查询功能,可以提供任意起止时间、任意省区范围及任意站点检验评分的查询,该功能

通过网站与数据库交互实现。如果计算时间段跨月、跨季度或跨年,则在月、季度、年表的基础上计算以提高计算效率。

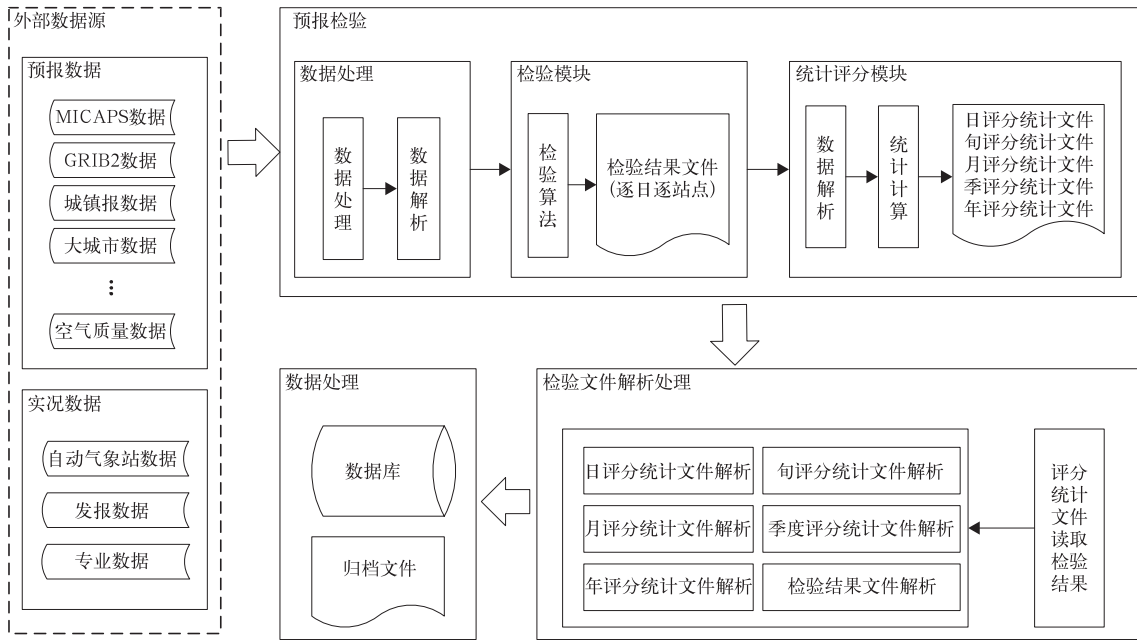


图2 国家级天气预报检验分析系统数据流程

Fig. 2 Data flow of National Verification System in CMA

2.1.3 技术架构设计

国家级天气预报检验分析系统部署在3台Linux

服务器上,分别为Web服务器,数据库服务器、数据处理服务器,具体架构如图3所示。其中数据处理服

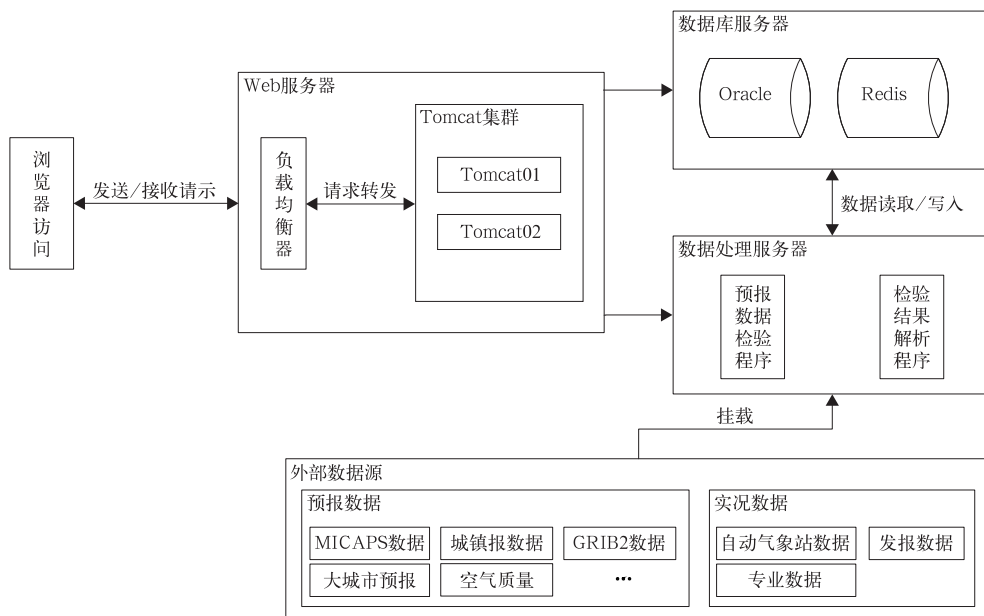


图3 国家级天气预报检验分析系统架构设计

Fig. 3 Deployment structure of National Verification System in CMA

务器负责预报检验和检验结果解析;数据库服务器部署有 Oracle12c 数据库与 Redis 数据库,承担数据的存储任务。Web 服务器则为用户提供网络查询检索请求服务。预报与实况数据以挂载方式实现,将其他服务器(Windows 或者 Linux)上的共享目录,挂载到预报检验服务器上,检验模块也在预报检验服务器上运行。

2.2 关键技术

通过对全国天气预报质量检验平台的更新升级,很好地解决了由于智能网格预报业务发展引起的检验数据量骤增导致的数据库冗余问题,将各检验模块重新整合,对检验所需预报及实况产品到报情况进行实时监控,集约相同预报要素检验模块以避免重复建设,规范了算法及检验结果文件,提高了统计查询结果效率,检验系统的交互响应更加快速,业务化流程更加完整规范。以全国城镇天气预报检验模块中晴雨(雪)预报的技巧评分为例,全国天气预报质量检验平台查询 1 个月检验结果需要 5 s,而更新升级后少于 2 s 即能出结果图表。

系统将种类繁多的源头数据、检验结果进行了有效地组织管理;统一调度了针对不同物理量的检验算法,也可以开放地兼容将来新的检验方法;最终实现了检验结果的直观可视化。

2.2.1 标准化的数据管理

标准化的数据管理主要包括两方面:①数据处理标准化。针对站点数据,将实况进行对应站号转换,对预报数据取极值或累加合并;针对格点数据,调整格点经纬度方向与范围,并且进行插值处理,从而将数据处理为检验算法所需要的格式。②存储结果标准化。输出的检验结果文件按照统一规范与标准生成到指定目录下,其中降水站点结果文件 1 个站点(省/区域)1 行检验结果,分 19 列代表 19 个降水量级(分级降水 6 列,累加降水 4 列,降雪 6 列,一般性降水、暴雨(雪)以上、晴雨(雪));温度结果文件输出 1 列预报实况的差值;而格点结果文件使用 MICAPS 第 4 类格式规范,同一量级输出 1 个文件。

2.2.2 开放式的算法模块管理与调度

对不同的检验算法定义标准接口编译为动态库从而形成系统的检验算法库,分为检验算法库及统计算法库。检验算法为服务程序(默认在 Linux 系统中运行/支持 Windows),根据配置进行自动执行

(可以按时间间隔/定时执行),主要功能是根据实况数据对预报数据进行日常检验;统计计算程序可以自动执行也可以单独使用命令行执行,主要功能是根据逐日检验结果进行一段时间检验结果的统计计算。目前检验动态库涵盖了降水、气温、风等基础要素以及空气质量、水文气象、灾害预警等专业气象的检验。针对不同的检验对象又分别细分出站点实况对站点预报;格点实况对格点预报;站点实况对格点预报 3 类接口。系统通过混合编程调用检验动态库,并能进行自定义配置,同一检验算法库可以被重复调度使用。

2.2.3 检验数据的可视化

数据可视化是将各类预报检验结果数据以更加直观的图形图像进行表示,使数据更加客观,更具说服力。检验数据的可视化功能主要包括 GIS 地图可视化、格点数据可视化、柱状图、折线图、热力图、箱线图、数据统计表等。

分省、分区域、分站点以及格点检验结果数据采用 WebGIS 方式进行展现,根据检验指标的评分高低采用不同颜色在地图上进行标注显示,对于分省、分区域、分站点的检验可以在地图上点击标注点弹窗显示该点的检验指标结果时序图表,同时在地图展示页面也提供了对所有数据的排行统计分析功能。在页面上提供多种条件组合查询功能,组合查询条件包括时间选择、时次选择、时效选择、检验对象、检验指标、省份选择、站点类型选择。

格点检验数据为 GRIB2 格式的文件,范围为 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}N, 70^{\circ}E \sim 140^{\circ}E$,格距为 0.05° 。格点数据可视化使用最新的 html5 前端 WebGL 显示引擎结合 Leaflet 框架实现。整个数据流程为前端发送 http 请求至后端服务器,后端服务根据请求数据类型调用欧洲中期天气预报中心提供的 GRIB API 读取相应的 GRIB2 格点检验结果文件数据返回至前端,前端通过 Leaflet 框架的 Leaflet.CanvasLayer.Field 插件功能实现。同时提供滑动取值功能,鼠标在地图上任意点滑动即可显示该格点的检验指标值,在地图上点击任意点将弹窗显示该经纬度在一段日期范围内的时间序列图。格点数据展示页见图 4。

柱状图、折线图、热力图、箱线图则是采用百度开源的 Echarts 图表库实现,可提供丰富的图表类型。同时支持将图表下载为 PNG 格式的图片保



图4 格点数据展示页

Fig. 4 Display page of grid data

存到本地。

3 系统对实时业务的支持

国家级天气预报检验分析系统的主要目标用户有国家级、省级预报员。各级预报员可以从系统中查询到空间分布、柱状图及数据表格等形式展现的TS评分、ETS评分、空报率、漏报率、预报准确率等按日、月、季度及年的检验量结果。历年的质检报告以及检验相关的发文和说明也可以从系统查询。系统对中国气象局核心实时业务的支持主要包括以下业务产品的检验。

3.1 智能网格预报检验

针对智能网格预报产品的检验方法,其中降水预报的检验包括传统的基于站点实况的站点对站点与邻域检验,以及基于网格实况的格点对格点检验。基于站点实况的检验,选用临近点插值方案,有多个距离相等的格点取东北角格点的预报值;邻域方法不对预报和实况空间严格匹配,而是依据预报格点

为中心的一定范围内是否出现评定事件的站点评定该格点预报正确。划定10 km为最小扫描半径范围,如果扫描半径内邻站数少于3个则加大扫描半径,直到半径范围内有3个邻站为止,最大扫描半径不超过50 km,预报格点半径范围内出现匹配实况站点即判定预报准确。基于网格实况的检验实况选用国家信息中心发布的CMPAS(CMA Multisource merged Precipitation Analysis System,中国气象局多源融合降水分析系统)三源融合降水实况。气温、风等气象要素预报的检验包括传统的基于站点实况的站点对站点检验与基于网格实况的格点对格点检验。气象要素网格实况为信息中心发布的CLDAS(CMA Land Data Assimilation System,中国气象局陆面数据)陆面同化实况。试验性质的检验方法还包括模糊检验的升尺度^[1]检验方法。

3.2 全国城镇天气预报检验

该模块对各省上传的地市县级城市降水及最高、最低气温进行检验。对各省考核侧重晴雨(雪)、一般性和暴雨(雪)以上降水量级及最高、最低气温

相对于国家气象中心发布精细化气象要素客观预报^[12]的技巧检验。2018 年晴雨预报的技巧评分如图 5 所示。对于跨降水量级的天气现象预报,一律取大量级降水。出现降水时的雨雪实况结合逐 3 h 的天气现象、08:00(北京时,下同)的过去天气以及加密观测进行判定。其中 08:00—20:00 根据 4 次天气现象观测,如果 4 次天气现象均为降雪,则该时段实况为降雪,4 次天气现象均为降雨则为降雨,其余情况定为雨雪混合。2014 年地面气象观测业务调整,取消了夜间观测。因此,20:00—次日 08:00

的雨雪实况首先根据不定时启动的加密观测判定,判定方法与白天时段一致。假如夜间没有加密观测,则采用 08:00 的过去天气观测。然后将预报和实况根据检验表(表略)中的对应关系得到检验结果。温度实况数据为与预报时段对应的逐小时最高、最低气温中取得的 24 h 最高、最低气温数据。降水实况数据优先取 08:00,20:00 人工观测数据,若缺测,则取自动气象站逐小时降水数据累加得到 24 h 降水量。

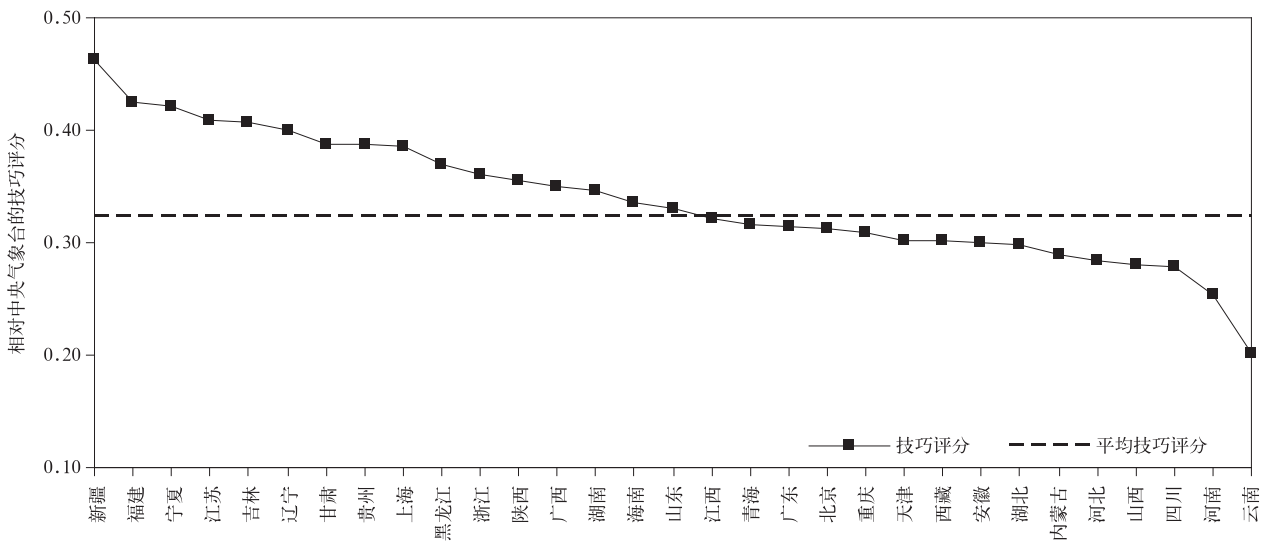


图 5 全国城镇天气预报 2018 年晴雨预报检验结果

Fig. 5 The rain/no-rain forecast verification result of SPCC in 2018

3.3 集合降水预报检验

集合降水预报检验包括两个方面:一是与一般单一确定性预报比较,检验集合预报系统是否具有优势^[13];二是对来自中国气象局、欧洲中期天气预报中心、美国国家环境预报中心的 3 个集合预报系统针对同一区域的预报能力。该模块同时满足了这两个层面的要求,对预报员及 3 家集合预报系统的降水的融合预报,平均值及概率匹配平均产品进行了检验。将网格预报产品用双线性方法插值到实况站点,并进行检验计算。同时对分级降水计算 BRIER 评分,并进行可靠性检验,绘制了相对作用特征曲线^[14-15]。

3.4 班下定量降水预报检验

为了推进国家气象中心的预报业务能力,客观地评估预报员的预报技术水平,开发了班下定量降

水预报^[16]检验模块。预报员通过这个模块上传预报文件,查看逐日、逐月及任意时间段的动态评分,各项排名及最高、最低分。管理人员可以查看所有参与考核的人员的评分及排名。评分办法是各降水量级的 TS 评分^[17-18]按权重得到 TS 总分及欧洲中期天气预报中心 TS 总分,通过两者计算得到技巧评分,最终分数技巧评分占 70%,TS 评分占 30%。根据总分进行奖励评定。

图 6 给出了上传预报文件及查看评分结果的模块界面。预报经验少于 3 年的年轻预报员,参与北京站、西宁站、成山头站、成都站和广州站的城市预报,预报内容为最高气温、最低气温、风向、风速及灾害性天气,预报员直接在网站上填写预报内容,根据正确预报项的多少得相应的分数。

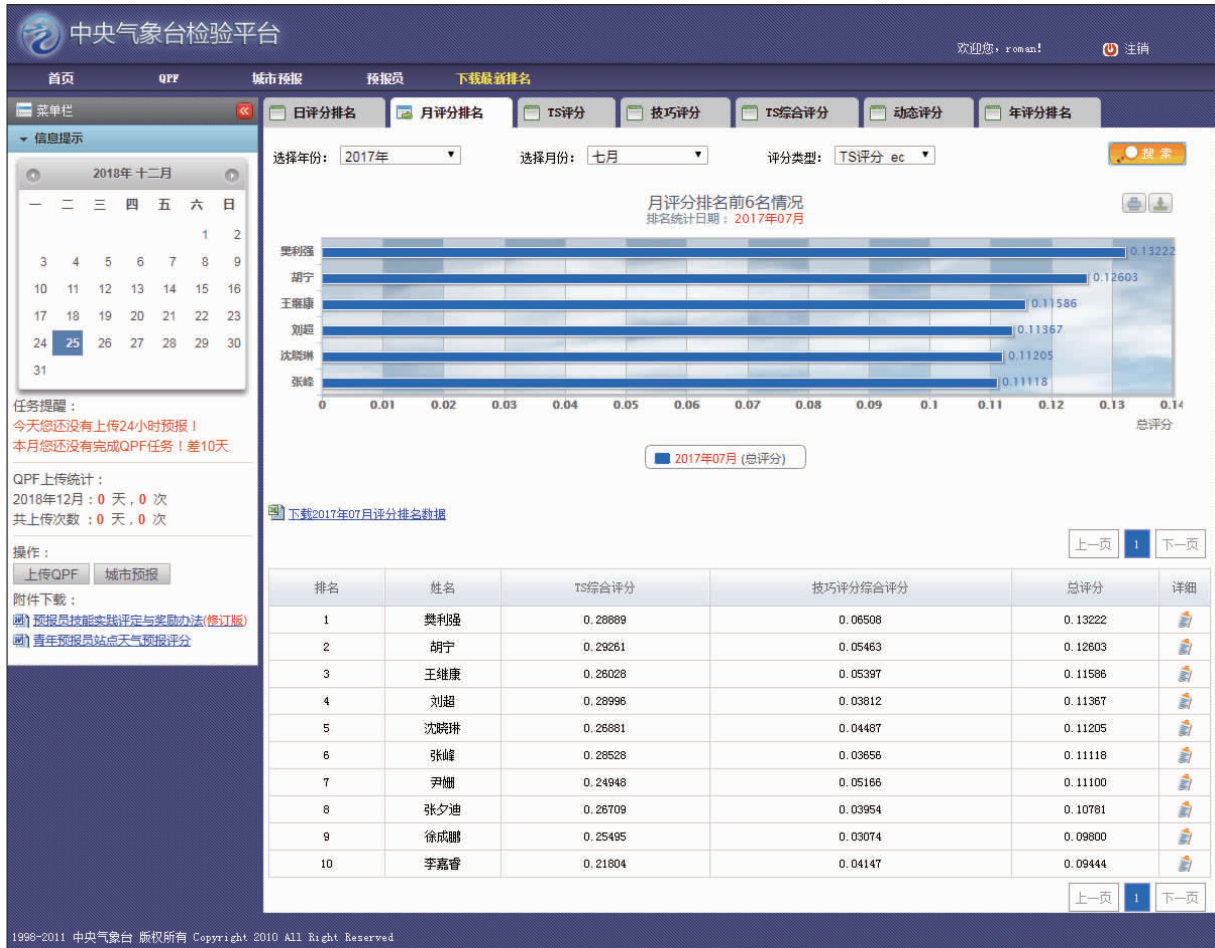


图6 班下定量降水预报检验模块界面

Fig. 6 Main interface layout of off duty quantitative precipitation forecast competition module

3.5 大城市精细化预报检验

城市天气预报预报的精细化水平不高,不能满足气象服务需求的问题仍然突出。因此,在直辖市、省会城市和计划单列市开展逐6h精细化气象要素预报业务,提高24h时效内的预报时间分辨率和预报要素的定量化水平。该模块检验的区域便是开展这项预报业务的全国36个大城市。除了传统的最高、最低气温和晴雨(雪)的检验,针对量化的降水预报,增加降水量检验。这一项在预报或实况都出现降水时进行评分,将降水量预报和实况都转换成降水量区间,根据预报实况的区间对应关系得相应分值,然后结合晴雨雪结果得到降水检验结果。

3.6 全国暴雨预报检验

针对当前暴雨检验方法采用二分类事件检验方法存在的评分过低,未考虑我国暴雨可预报性及时空分布不均的问题,不便于对比分析不同区域暴雨预报能力等问题,开发了基于可预报性的暴雨评分

方法。通过引入e指数函数构建暴雨预报评分基函数,预报检验点与观测站进行30km半径范围的邻域匹配,同时利用e指数函数计算了邻域半径范围内不同观测站点的距离权重。如图7显示,该方法的逐日演变特征与传统暴雨TS评分相似,与预报员和公众的心理预期更加吻合。

3.7 大城市空气质量预报检验

随着国家经济发展和人民生活条件的改善,大中城市迅速发展的同时面临环境保护等重大科学问题^[19]。为了提高重点城市空气质量预报业务水平,各省会城市、计划单列市(深圳除外)气象部门空气质量预报检验考核内容分空气质量指数(AQI)等级考核和首要污染物考核两种。对这两个预报量的数据传输时效、首要污染物正确性评分、AQI预报级别正确性评分、首要污染物预报技巧评分、AQI等级预报技巧评分、AQI预报数值误差评分按照权重进行综合评定排名。

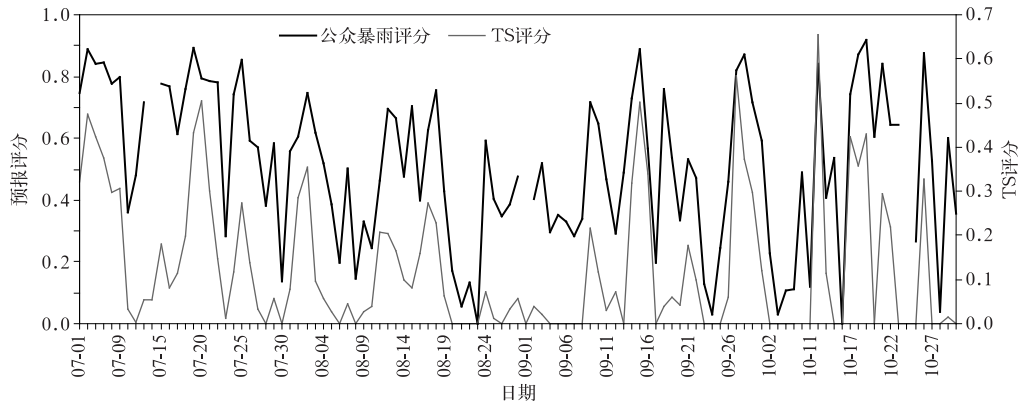


图 7 2016 年 7—10 月全国公众暴雨预报评分和 TS 评分

Fig. 7 Daily heavy rainfall forecast score and TS score of heavy rainfall location forecast in China from Jul to Oct in 2016

4 应用情况和业务效益

国家级天气预报检验分析系统自 2012 年 8 月正式投入业务运行以来,为各省以及国家级预报业务考核提供了权威的客观依据,在系统检验结果基础上向各职能司及管理部门提交了《智能网格预报检验报告》、《全国城镇天气预报质量检验报告》、《中央气象台天气预报质量检验报告》、《班下定量降水预报考核检验报告》、《全国大城市空气质量预报检验报告》等,管理部门根据实时检验结果判断相关工作的改变对预报质量的影响,调控设备资源、预报员培训及奖励、预报模式改进等,助力改进预报

效果。

预报员通过对检验结果监控反馈得以随时掌握预报质量,对以往天气过程的预报检验总结可为今后预报提供参考。追踪连续一段时间检验效果较好的站点以及效果不理想的站点,分析原因,提炼造成预报结果差距的经验,为预报准确率的提升提供参考。另外,也增加了对预报模式、集合预报等客观预报中优势劣势的进一步理解,提供模式研究者及开发人员更多的信息参考以提升模式水平。图 8 以全国城镇天气预报检验结果为例,显示检验系统业务运行以来预报水平稳步提升,检验系统对提高预报准确率起到了促进作用。

国家气象中心按照中国气象局精细化预报业务

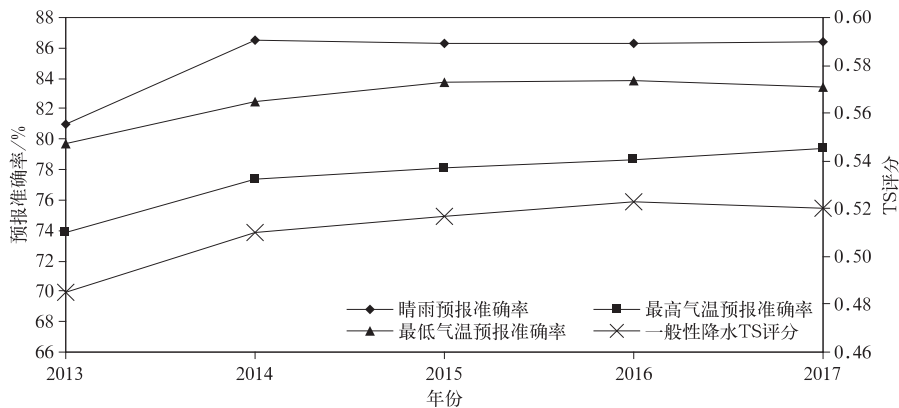


图 8 2013—2017 年全国城镇天气预报逐年检验结果

Fig. 8 Verification of weather forecast in China during 2013—2017

建设总体要求,为推进精细化气象格点预报业务与技术发展,从 2014 年开始研发格点化气象要素预报技术方法,并建立了相应的格点化气象要素预报系

统,最初预报系统水平分辨率为 10 km,2015 年 5 月开始实现 5 km 分辨率,并于 2016 年 4 月通过业务化评审。从智能网格预报产品研发到业务运行,

格点化气象要素预报系统开发人员通过国家气象中心业务产品检验系统获取其各气象要素不同分辨率的预报产品的检验评估,进而改进预报方法以改善检验结果,从而达到其业务化运行的检验标准,促进智能网格预报准确率提高。

为了保证城镇天气预报服务效果,需要实现智能网格预报和城镇天气预报单轨运行,建立全国预报和服务统一数据源的智能网格气象预报“一张网”业务流程,根据站点与格点的对应关系,形成融合站

点的国家级、省级网格预报订正产品,提高智能网格预报产品预报准确率。各省气象部门通过国家级天气预报检验分析系统查询到逐日、逐旬、逐月以及季度、年度智能网格预报以及城镇天气预报的检验结果对比,并根据结果改进预报方法及业务流程。由图9可以看到,2017年7月—2018年3月两者差距逐月缩小,智能网格预报效果逐月得到提升,对智能网格预报业务单轨运行起到了业务支撑作用。

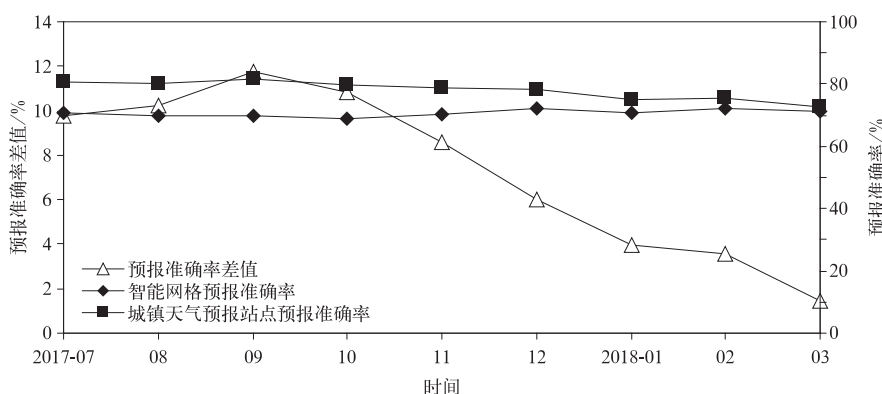


图9 2017年7月—2018年3月智能网格最高气温预报与城镇天气最高气温预报逐月检验结果对比

Fig. 9 Monthly forecast accuracy of maximum temperature of gridded forecast and weather forecast in China from Jul 2017 to Mar 2018

5 小结

从检验业务现状及发展需求出发,研制了国家级天气预报检验分析系统,该系统具有以下应用优势和技术先进性:

1) 系统建立了规范高效的检验业务数据流程,兼容处理 MICAPS 数据、GRIB2 数据、城镇报数据、自动气象站数据等其他专业气象数据,涵盖了国家级省级智能网格预报、全国天气预报、定量降水预报、大城市空气质量预报等数十项检验业务产品。系统给出了空间分布、柱状图及数据表格等展现形式。

2) 检验系统共由4个部分组成,包括预报检验、检验文件解析处理、检验数据查询分析与检验平台管理。系统对各项数据进行了有效地组织管理;统一调度了检验算法,兼容未来新的检验方法;实现检验结果的直观可视化,关键性技术包括标准化的数据管理,开放式的算法模块管理与调度,检验数据的可视化分析。本检验系统是国家级集约化程度

最高的实时化检验业务系统,具有检验权威性和实时业务流程高度融合、自动化程度高、数据分析比对能力强、系统结构高度开放等特点,可以根据业务需要定制组合自动化检验流程。

3) 国家级天气预报检验分析系统对中国气象局核心实时业务的支持部分详细描述了各项检验业务包括智能网格预报检验、全国城镇天气预报检验、集合降水预报检验、班下定量降水预报检验、大城市精细化预报检验、全国暴雨预报检验、大城市空气质量预报检验等模块包括的具体的检验方法及实时运行中的细节处理,为省级开发相关检验系统提供参考。

4) 系统为全国各省以及国家级预报业务提供了客观支撑,向各职能司及管理部门提交了各项检验报告,助力预报效果的改进。从智能网格预报产品研发达到业务运行检验标准,对智能网格预报各气象要素不同分辨率的预报产品进行检验评估。逐旬、月、年度的智能网格预报以及城镇天气预报的检验结果对比促进单轨业务运行进展,两者差距逐月缩小,智能网格预报效果逐月得到提升。

今后工作将重点针对新的预报产品开发相应的检验方法并融合进检验系统,包括能见度、云量、天气现象等要素的检验。将现有先进的检验方法集成入检验系统,如 SEEPS 检验评分,基于目标的空间检验等方法。另外,重点围绕智能网格预报产品研发能给出更多时空信息,能够更准确把握智能网格预报优缺点的检验方法。同时也致力于挖掘对预报员更具参考性的数据分析结果,在预报员制作预报时给出直观实用更有参考价值的统计信息。

参考文献

- [1] Finley J P. Tornado predictions. *Amer Meteor J*, 1884, 1: 85-88.
- [2] Stanski H R, Wilson L J, Burrows W R. Survey of Common Verification Methods in Meteorology // World Weather Watch Technical Report No. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 1989.
- [3] Jolliffe I T, Stephenson D B. Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science (Second Edition). New York: Wiley and Sons Ltd, 2011.
- [4] Nurmi P. Operational Verification System(s) at FMI. 6th International Verification Methods Workshop, 2014.
- [5] Yadav B P, Kumar N, Rathore L S. Operational Weather Forecast Verification at India Meteorological Department. 6th International Verification Methods Workshop, 2014.
- [6] 牟惟丰. 中央气象台一年来预报评分结果分析. *气象*, 1988, 14(11): 49-51.
- [7] 唐文苑, 周庆亮, 刘鑫华, 等. 国家级强对流天气分类预报检验分析. *气象*, 2017, 43(1): 67-76.
- [8] 束家鑫, 王志烈. 我国台风研究的十年进展 // 台风会议文集 (1981). 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 1-4.
- [9] 董克勤, 杨麟美, 周江兴. 台风路径预报现状分析. *气象*, 1986, 12(7): 2-6.
- [10] 许映龙, 张玲, 高栓柱. 我国台风预报业务的现状及思考. *气象*, 2010, 36(7): 43-49.
- [11] 李佰平, 戴建华, 张欣, 等. 三类强对流天气临近预报的模糊检验试验与对比. *气象*, 2016, 42(2): 129-143.
- [12] 刘还珠, 赵声蓉, 陆志善, 等. 国家气象中心气象要素的客观预报-MOS系统. *应用气象学报*, 2004, 15(2): 181-191.
- [13] 邓国, 龚建东, 邓莲堂, 等. 国家级区域集合预报系统研发和性能检验. *应用气象学报*, 2010, 21(5): 513-523.
- [14] 皇甫雪官. 国家气象中心集合数值预报检验评价. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 29-36.
- [15] 段明铿, 王盘兴, 吴洪宝. 夏季亚欧中高纬度环流的集合预报效果检验. *应用气象学报*, 2009, 20(1): 56-61.
- [16] 毕宝贵, 代刊, 王毅, 等. 定量降水预报技术进展. *应用气象学报*, 2016, 27(5): 534-549.
- [17] 林明智, 毕宝贵, 乔林. 中央气象台短期降雨预报水平初步分析. *应用气象学报*, 1995, 6(4): 392-399.
- [18] 董立清. 1991年江淮暴雨的定量预报检验. *应用气象学报*, 1993, 4(3): 333-340.
- [19] 杨元琴, 王继志, 侯青, 等. 北京夏季空气质量的气象指数预报. *应用气象学报*, 2009, 20(6): 649-655.

Development and Application of National Verification System in CMA

Wei Qing¹⁾ Li Wei¹⁾ Peng Song²⁾ Xue Feng¹⁾ Zhao Shengrong¹⁾
Zhang Jinyan¹⁾ Qi Dan¹⁾

¹⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

²⁾ (Beijing Jchuang Hi-tech Co., Ltd, Beijing 100160)

Abstract

National Verification System in CMA provides a unified verification data environment to realize unified management and service of the observation, forecast and verification data. A standardized and efficient verification operational process is established, which is compatible with multiple data including MICAPS data, GRIB2 data, NWFD data, automatic weather station data and other meteorological data. It works with dozens of verification operation such as national and provincial intelligent grid forecasting, urban weather forecast, quantitative precipitation forecast, and the air quality forecast in big cities. The verification products are displayed in spatial distribution map, histogram and data table.

Verification results can provide management departments with assessment and evaluation of forecasters from different departments, and support optimizing the management and allocation of resources. On the other hand, forecasters can also examine the verification results to improve future forecasting. Moreover, these results can also indicate forecasting capacity of different models for model developers. Regular annual and monthly verification reports issued by official departments, temporary verification reports required for the assessment and evaluation of forecasters are provided by the inspection system.

National Verification System is overall standardized and systematic. The construction of the system emphasizes unification of norms and interfaces, so as to standardize basic functions, operational processes, data models and data coding information standards of the system construction and enhance the expansibility of the system. The system is deployed on three Linux servers, namely Web server, database server and data processing server. By updating and upgrading the system, the efficiency of statistical query results is improved, the interactive response of the inspection system is faster, and the operational process is complete and more standardized.

The system consists of 4 functional modules: Forecast verification, analysis of verification documents, query and analysis of verification data and management of verification platform. The system organizes and manages all kinds of data effectively, dispatches the verification algorithm uniformly, and is compatible with new verification methods in the future. Key technologies include standardized data management, open algorithm module management and scheduling, and visual analysis of verification data.

In order to provide references for provincial development of relevant verification systems, the specific verification methods of each module and the detailed processing in real-time operation are also described in particular. At the same time, the system provides comparison between results of urban weather forecasting and ten-day, monthly and annual intelligent grid forecasting. And therefore, it strongly supports the operational research and development of intelligent grid forecasting products and operational tests.

Key words: verification method; system; framework; data flow