

精细化武汉铁路气象服务决策系统设计与开发

鲁 静

湖北省气象服务中心 湖北武汉 430025

摘 要：铁路在运行过程中面临着诸多气象灾害的威胁，如强降水、雨雪冰冻、雷电等。这些气象灾害不仅会影响列车的正常运行，导致晚点、停运等情况发生，还可能危及行车安全，引发铁路设施损坏、轨道变形、接触网故障等严重后果。构建精细化的武汉铁路气象服务决策系统，通过整合多源气象数据、运用先进的气象预报技术和智能算法，为中国铁路武汉局提供精准、及时、场景化的气象服务，以有效应对气象灾害对铁路运输的影响，保障铁路运行的安全与高效。

关键词：铁路；气象服务；系统设计

引言

中国铁路武汉局集团有限公司共管辖线路 113 条，包括 10 条高速铁路，11 条普速干线，以及 74 条支线和联络线。线路总营业里程 6929.5 公里，其中高铁 2190.6 公里。辖区内铁路经常受暴雨、冰雹、雷电、大风等气象灾害，以及由强降水引发的次生灾害影响。这些气象灾害不仅会影响列车的正常运行，导致晚点、停运等情况发生，还可能危及行车安全，引发铁路设施损坏、轨道变形、接触网故障等严重后果，铁路的安全运营受到严重威胁。

2024 年中铁武汉局继续与湖北省气象服务中心深化合作，在已有的铁路专业气象服务系统上，重新设计系统架构和界面，引入分钟级的预警预报模型，构建了全新的精细化武汉铁路气象服务决策系统。通过整合多源气象数据、运用先进的气象预报技术和智能算法，为武汉铁路部门提供精准、及时、个性化的气象服务，一方面，能够为铁路部门提供精准、及时的气象信息，使其提前做好应对措施，合理调整列车运行计划，有效减少气象灾害对铁路运输的干扰，保障旅客的出行顺畅与安全；另一方面，有助于优化铁路运营管理，提高运输效率，降低运营成本，增强铁路运输在复杂气象条件下的可靠性和稳定性，推动我国高速铁路事业持续健康发展。

1 系统结构设计

1.1 总体架构设计

精细化武汉铁路气象服务决策系统是一个以数据为核心，时效性要求极高的复杂应用系统。本系统基于 WebGIS 技术，主要采用 SOA（面向服务的体系结构）和 J2EE 架构

进行分层次、组件化的应用软件构建。前端门户网站及管理界面采用 J2EE 技术架构和 Java 编程语言，基于 Vue3 前端框架进行系统开发，后端的产品加工制作、数据存储管理等功能采用 C/C++ 编程语言进行开发，以满足系统的性能要求。

（1）基于 Leaflet 二维地图框架，面向自动站、台风路径、强对流识别、高空，雷达、卫星、数值模式等数据的可视化，研发了标值、等值线、填色、渐变、风羽、风流场等多种 WebGIS 可视化组件，支持气象数据交互选客户端碰撞监测动态抽稀渲染、动态效果演变，色斑图及路线反演。

（2）采用 GBASE 数据库存储气象数据和产品，满足数据储存量大，可进行航向扩展，实现负载均衡，高可用的存储机制，检索速度快，检索方式丰富。兼容关系型，非机构化数据，文本等数据，以 ES 存储为依托，通过分布式调度任务及 spark 流式计算进行高效实时数据处理，通过 spring cloud 及 dubbo 微服务对整体业务分离，实现服务层的负载均衡，高可用。

（3）针对气象业务定时采集处理任务时间分辨率要求高，数据分析、存储分散的业务场景，应用轻量级框架 XXL-JOB 的分布式任务调度加工模型处理产品，能够满足多源数据处理，定时采集，定期批处理，周报月报生成，固定频率执行等业务需求，兼容天擎加工流水线。

1.2 业务流程设计

系统的总体业务流程如下，气象数据实时监控由系统通过天擎接口自动调取自动气象站数据、卫星云图及雷达拼图进行显示，气象值班人员定时进行预报产品的制作发布，并根据监测和预报流程，研判有高影响天气时及时制作发布

预警信息，系统将自动加预警信号对铁路部门进行提醒，防洪办值班员将信息通过微信群发的形式通知沿线工作人员。根据实际需要，气象值班员不定期制作发布专题服务产品，铁路部门根据需要可以随时查看当前气象数据及根据气象产品辅助决策管理。当有重大天气过程或对天气预报结果有疑问时，进行天气过程会商。

2 系统实现

2.1 系统主界面

本系统界面由工具栏、主显示区、功能按钮三大部分组成，主界面如图所示。首页主要展示实况监测和预警，包括气象信息监测（雨量、温度、湿度、大风监测、卫星云图、雷达回波）、铁路线分布和地质灾害隐患点分布。气象信息监测采集分布在铁路沿线自动气象站数据（数据来源为铁路

沿线两侧 3KM 范围内区域自动气象站和国家站数据），实现雨量、温度、风向、风速实时监测功能。可以在功能区设置不同报警阈值，当气象监测值超过阈值时，以图像闪烁方式实现雨强、高温、大风等报警功能。

卫星和雷达按钮提供卫星云图和天气雷达图播放功能，用于辅助铁路部门工作人员了解大范围云量、天气分布状况及中小尺度天气系统发展的趋势，提前掌握短时强对流天气发生、发展情况。在 GIS 地图上标绘出了武汉铁路局辖区铁路沿线地质灾害隐患点（滑坡、泥石流、坍塌分布情况，当强降雨天气过程发生时，通过“一张图”功能叠加灾害点信息和雨量信息，便于及时了解强降雨落区情况，通过设置的地质灾害隐患点雨强报警阈值，实现地质灾害风险预警功能。



图 1 精细化武汉铁路气象服务决策系统界面

充分考虑铁路用户的实际操作需求，设计简洁直观、功能强大的用户交互界面。采用可视化技术，将复杂的气象数据和分析结果以直观易懂的图表、地图等形式呈现，方便铁路工作人员快速获取关键信息；同时，支持多终端访问，包括电脑端、移动端，确保用户随时随地便捷使用系统服务。

2.2 分钟级预报预警

针对湖北省及周边地区复杂的地形地貌和多变的气候特征，研发适用于本系统的铁路气象服务精细化数值预报模型。模型充分考虑地形、城市热岛效应、水系等因素对气象要素的影响，结合机器学习算法对预报结果进行实时订正，显著提高气象灾害预报的准确率和精细化程度。系统每日定时启动气象预报流程，基于多源数据融合分析，运用精细化数值预报模型，生成未来 10 天的铁路沿线气象预报产品。

在预报时效上，会根据要求显示不同精度的预报信息，前 3 小时预报精确到分钟级，3 天内精确到小时，后续时段预报精度适度放宽，但仍确保关键气象要素的可靠性。

为确保数据的实时性，系统设置了灵活的数据刷新频率，用户可根据需求在 1 分钟至 15 分钟之间自主选择。在气象条件稳定时，可适当延长刷新间隔，减轻系统负担；而在灾害性天气来临或气象变化剧烈时段，如暴雨、大风等突发天气，系统自动将刷新频率调至 1 分钟，确保铁路部门能够第一时间获取最新气象动态，迅速做出应对决策，有效避免因气象灾害导致的铁路运行事故。

2.3 预警信号

基于多源监测和各类预报预警信息，采用阈值法、权重法制定了分灾种分区域的智能报警规则，基于客观预警规

则自动提供天气类型、级别、落区信息,应用时空推理技术生成客观预警产品,实时相前台界面推送。当系统监测到或预测到灾害性天气即将发生时,立即启动预警生成流程。依据武汉局管区气象灾害阈值标准,结合实时监测数据与数值预报结果,快速判定灾害类型、强度、预计发生时间及影响范围。例如,通过对雷达回波、卫星云图的持续追踪分析,精准识别强对流云团发展趋势,当判断其将在3小时内影响铁路沿线某区域,且可能引发短时强降雨、大风等灾害时,迅速生成预警信息。

2.4 雨情信息

强降雨天气对铁路的危害严重,短时间内的强降雨会影响列车行驶的平稳性,长时间的持续降雨还会引发山体滑坡、泥石流等地质灾害,掩埋铁路线路,使铁路运输中断。该模块融合气象和铁路2个部门的雨量监测数据,使得融合后的降水数据在服务系统空间展示上更加合理,既能反映局部强降雨特征,又能兼顾大范围降水趋势,提高降水预报精度,为铁路应对洪涝灾害提供有力支持。在暴雨洪涝灾害预警下,系统能快速给出应对方案。若预测某铁路区间降雨量将在短时间内超过50毫米,且可能引发积水、滑坡等次生灾害,系统自动生成限速、停运建议,确保列车安全有序运行。同时,雨情应急处置预案生成功能紧密围绕气象灾害类型与程度,为铁路部门提供全面、精准且可操作性强的应急处置方案,涵盖人员调度、物资调配、抢险流程等关键环节,确保在灾害发生时能够迅速响应、高效应对。

2.5 专题服务产品

专题服务产品主要是气象值班人员制作和发布的图文类气象服务产品,包括日常服务产品和重要天气服务产品的制作,日常服务产品是指未来指定时段的天气预报(含每日、未来三天、未来七天、旬月等)。重要天气服务产品不定时制作,针对武汉铁路局管区及相关可能影响铁路运行的天气系统范围,对回波强度与移动速度进行严密监控与分析,以及降水、降雪、大风、冰雹、能见度等关键气象要素监测方面,严格按照标准执行,当出现预报气象要素及相关指标已达阈值时,及时启动预警机制,加强监测密度,制作发布产品。同时,当天气过程结束后,开展重大天气的总结、数据分析及气候变化对铁路的影响等专题类的服务,并通过产品制作系统发布并进行展示。

3 结语

综上所述,精细化铁路气象服务决策系统在设计 and 开发、气象预报预警模型方面取得了创新和应用。系统总体设计遵循科学性、实用性、可扩展性原则,构建涵盖数据采集、处理、应用服务、用户界面四层架构,各层分工明确、协同高效,为海量气象与铁路数据的顺畅流转、深度融合、智能应用铺就通路。在需求分析阶段,深度洞察武汉地区独特的气象灾害季节性规律与多样灾害类型,精准把握铁路部门行车调度、设备维护、等多元业务诉求,为系统定向开发筑牢根基。关键技术应用方面,多源数据融合技术融合多元异构数据,保障数据精准可靠;精细化气象预报模型优化参数、引入先进算法,短临预报精准捕捉灾害动向;WebGIS技术实现气象与地理信息可视化融合,空间分析赋能风险预判与决策优化,全方位提升气象服务的精细化、智能化水平。此外,随着人工智能技术的不断进步,铁路监测预警系统还将进一步融合先进技术,实现更加智能化、准确化的监测预警预报服务,为铁路部门提供气象实况监测、滚动精细预报、分钟级区域靶向短临预警及气象风险提示等气象服务产品,确保铁路沿线在灾害性天气出现前能迅速响应和有效应对。

参考文献:

- [1] 田淙海. 山西铁路气象服务的需求分析及服务思考[J]. 科技创新与生产力, 2016(09):49-50.
- [2] 包云, 高歌, 李亚群, 等. 基于监测数据挖掘的高铁气象灾害风险评估方法研[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 44-53.
- [3] 李亚群, 王瑞. 物联网在高速铁路灾害监测领域应用现状及前景分析[J]. 铁路计算机应用, 2019, 28(3): 25-39.
- [4] 代娟, 崔新强, 刘文清, 等. 高速铁路气象灾害风险分析与区划方法探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 33-36.
- [5] 马祯, 包云, 李俊波, 等. 高速铁路灾害监测大数据分析系统及应用研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(6): 78-83+135.
- [6] 张洪宇, 孟亮, 戴贤春. 铁路高影响天气分析及应对策略研究[J]. 中国铁路, 2019(5): 12-16+26.
- [7] 徐拥军, 倪学磊. 铁路沿线气象灾害数据识别技术研究与应用[J]. 现代信息科技, 2024, 8(02):114-118.

作者简介:

鲁静(1980—), 男, 汉族, 湖北武汉, 高级工程师, 硕士, 研究方向为计算机应用。