

金沙江流域气象服务业务系统设计与实现

寸焕才¹, 钱宝敏², 吉 平³, 元 超¹

¹丽江市气象科技服务中心, 云南 丽江

²丽江市天气雷达站, 云南 丽江

³丽江市气象灾害防御中心, 云南 丽江

收稿日期: 2024年6月12日; 录用日期: 2024年7月17日; 发布日期: 2024年7月25日

摘要

随着金沙江流域气象服务需求的日益增长, 传统的业务系统已无法满足精细化和时效性的要求。本文设计并实现了一套针对金沙江流域的气象服务业务系统, 该系统通过引入气象大数据和GIS技术, 不仅实现了气象要素的实时监测、查询与统计分析, 还精准监测流域面雨量, 提供分级预警和中短期精细化预报服务。系统采用VS开发环境结合C#语言和ArcGIS二次开发技术, 通过气象大数据云平台天擎提供的服务接口, 高效获取和处理气象数据, 实现数据可视化展示。本研究创新地将气象大数据技术、GIS技术与传统气象服务相结合, 为金沙江流域提供了更为精准、及时的气象服务, 不仅提升了流域气象服务能力, 也为类似系统的设计与开发提供了有价值的参考。

关键词

金沙江流域, 气象服务, 大数据, ArcGIS, 数据可视化

Design and Implementation of Meteorological Service System for Jinsha River Basin

Huancai Cun¹, Baomin Qian², Ping Ji³, Chao Yuan¹

¹Lijiang Meteorological Science and Technology Service Center, Lijiang Yunnan

²Lijiang Weather Radar Station, Lijiang Yunnan

³Lijiang Meteorological Disaster Prevention Center, Lijiang Yunnan

Received: Jun. 12th, 2024; accepted: Jul. 17th, 2024; published: Jul. 25th, 2024

Abstract

With the increasing demand for meteorological services in the Jinsha River basin, traditional

文章引用: 寸焕才, 钱宝敏, 吉平, 元超. 金沙江流域气象服务业务系统设计与实现[J]. 计算机科学与应用, 2024, 14(7): 84-96. DOI: 10.12677/csa.2024.147166

business systems can no longer meet the requirements of refinement and timeliness. In this paper, a meteorological service business system tailored for the Jinsha River basin is designed and implemented. By incorporating meteorological big data and GIS technology, this system not only enables real-time monitoring, querying, and statistical analysis of meteorological elements but also provides precise monitoring of basin-wide rainfall, graded warnings, and short to medium-term refined forecasting services. The system utilizes the VS development environment combined with C# programming language and ArcGIS secondary development technology. Through the service interface provided by the Tianqing meteorological big data cloud platform, it efficiently acquires and processes meteorological data, enabling data visualization. This study innovatively integrates meteorological big data technology, GIS technology, and traditional meteorological services, providing more accurate and timely meteorological services for the Jinsha River basin. This not only enhances the basin's meteorological service capabilities but also offers valuable references for the design and development of similar systems.

Keywords

Jinsha River Basin, Meteorological Service, Big Data, ArcGIS, Data Visualization

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金沙江流域作为长江上游流域，是中国西南地区重要的水资源宝库和生态安全屏障，其气象服务的准确性、及时性和精细化水平对流域内的农业生产、水电能源开发、防洪减灾以及生态环境保护具有重要意义。随着全球气候变化的影响日益加剧，金沙江流域面临的气象灾害风险不断上升，对气象服务的需求也随之增长。因此，设计并实现一套高效、精准的金沙江流域气象服务业务系统，对于提升流域气象服务能力和平，保障流域安全和可持续发展具有迫切的现实意义。

在国内外，针对流域气象服务业务系统的研究与实践已取得了一定的成果。陆明等人在浙江省水文气象服务业务系统设计与实现中，探讨了水文气象数据集成、业务服务流程优化等方面的问题，为流域气象服务提供了有益的参考[1]。邓红等人则深入分析了流域气象服务业务建设与发展面临的挑战与机遇，强调了技术创新在提升流域气象服务能力中的作用[2]。这些研究为金沙江流域气象服务业务系统的设计与实现提供了重要的理论支撑和实践经验。

然而，既有文献中针对金沙江流域这一特定区域的气象服务业务系统研究相对较少，且多数研究侧重于气象数据的收集、处理和分析，对于气象服务的精细化、个性化和智能化发展关注不够。因此，本文在深入分析金沙江流域特殊需求的基础上，结合现代信息技术、GIS 地理信息技术和传统气象服务，设计并实现了一套基于气象大数据平台和 GIS 技术的金沙江流域气象服务业务系统。该系统不仅实现了气象要素的实时监测、查询与统计分析，借助 ArcGIS 的 GIS 技术，对气象信息进行空间分析和直观的可视化展示，有效提升了流域气象服务的准确性和时效性。

本研究借鉴了国内外相关研究的先进理念和经验，同时也针对金沙江流域的实际情况进行了创新和改进。通过 GIS 技术的应用，实现了气象信息的直观展示和个性化服务；通过优化用户界面和交互流程，提升了用户体验和工作效率；在面雨量的精准监测与预警上，引入了泰森多边形等面雨量算法，在金沙江上游气象监测站点较少的情况下提供更合理的面雨量计算和分析。

2. 系统需求分析

在设计金沙江流域气象服务业务系统时, 功能需求作为系统能否满足最终用户实际工作的关键。系统必须具备流域内气象站点数据实时监测能力, 能够实现对流域内气象站点的降水、气温、风速、湿度等基础气象要素的实时收集[3], 同时系统还应对流域内气象要素进行精细化预报和面雨量预警, 系统功能需求涉及到以下几个方面:

气象要素实时监测。系统能够实现实时采集、处理并展示包括温度、湿度、风速、风向等在内的多种气象要素数据。这些数据不仅需要高精度, 还需要具备高时效性, 以便用户能够根据最新信息作快速的决策。系统还应提供历史数据查询功能, 帮助用户分析气象数据的变化趋势。

面雨量监测。金沙江流域的地形复杂, 降雨分布不均, 面雨量的实时监测对于水电气象服务、防洪减灾和水资源管理具有重要意义。系统需要能够实时监测金沙江流域内各个关键区域的平均降雨量, 并以直观的方式展示给用户。用户可以根据降雨情况及时调整防洪措施, 确保人民生命财产的安全, 同时为防洪和水资源管理提供科学依据。

中短期天气预报。准确的中短期天气预报对于金沙江流域气象服务来说至关重要。系统需要提供未来一段时间(如未来 24 小时至 7 天)的天气预报, 包括降雨和气温分布、风力风向等关键信息。为了确保预报的准确性, 系统需要采用先进的天气预报模型和技术, 并结合金沙江流域的特定气候条件进行本地化优化。同时系统还应支持实时更新和订正预报数据。

面雨量预报和预警。除了常规的天气预报外, 金沙江流域的面雨量预报和预警对于防洪、水资源管理以及农业灌溉等具有重要的意义。系统需要能够预测未来一段时间内的面雨量分布情况, 包括降雨的中心位置、强度以及影响范围等。

3. 系统设计

3.1. 总体架构设计

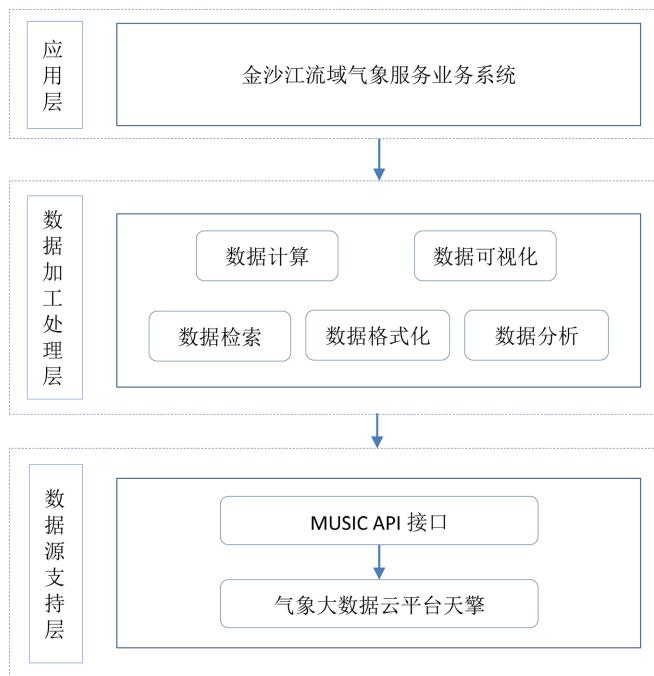


Figure 1. Overall system architecture

图 1. 系统总体架构

系统核心架构由数据源支持层、数据加工处理层和应用层三个层次组成(图 1)。

数据源支持层：负责存储和管理气象数据，包括实时气象数据、历史气象数据和预报数据等。数据源支持层以“天擎”的数据环境为基础，“天擎”数据环境包含地面、高空、雷达、数值预报、行业共享数据等 14 大类的数据集和数据产品，数据源支持层通过气象大数据天擎提供的数据接口获取数据，并进行相应的数据处理和存储操作。

数据加工处理层：负责处理气象数据和生成预报产品。处理数据的逻辑，包括数据的读取、处理、分析和可视化。这一层可以使用 C# 和 ArcGIS 的 API (ArcObjects 或 ArcGIS Runtime SDK for .NET) 来实现，数据加工处理层是整个系统的核心模块，它按照一定的频次，通过用户的任务请求，以 API 接口实现数据通信。

应用层：负责与用户进行交互，显示气象数据和预报产品。应用层通过图形化界面，将复杂的气象数据转化为图表、图像和动画，以直观、易懂的方式展示给用户，同时接收用户的操作指令，实现与用户的互动。这些可视化工具包括温度、降雨量、风向风速等。

3.2. 功能模块设计

在流域气象服务业务系统的功能模块设计中，明确系统功能与业务定位是提升系统服务效率的关键。系统主要包括六个核心功能模块，分别是实况监测模块、实时查询模块、统计分析模块、面雨量监测和预警模块、中短期精细化预报模块以及用户交互模块。实况监测模块通过气象大数据云平台接口收集流域内的气象要素，如温度、湿度、风速等，并通过 GIS 技术实现空间位置与气象数据的关联，提供气象要素的分布图和趋势变化。实时查询模块允许用户依据时间、地点、气象要素等多维度条件进行数据检索，查询结果直观展现在地图和表格中。统计分析模块利用大数据分析算法对历史气象数据进行挖掘，为流域水文和水资源管理提供决策支持。

面雨量监测和预警模块能够实现对流域分区内降水量的实时监控，并结合地形地貌及历史数据分析，进行雨量分布的模拟和预测。依据预定的面雨量预警标准，系统将自动发布不同等级的雨量预警信息。中短期精细化预报模块提供未来 10 天的降水、气温、湿充、风速等气象要素变化，为用户提供流域内的农业生产、水电生产、防灾减灾等多个领域气象服务，充分利用气候资源，对灾害性天气及其次生灾害进行风险评估，达到防灾减灾的目的。

3.3. 界面设计

在流域气象服务业务系统中，界面设计是连接用户与系统的核心环节。良好的界面设计不仅提高用户体验，而且可以有效地指导用户快速获取信息、做出决策。针对金沙江流域气象服务业务系统的界面设计，确立以“简洁明了、操作便捷、信息直观、响应迅速”作为设计原则[4]。依托于 ArcGIS 的强大 GIS 功能，结合 C# 语言的灵活性，设计的用户界面满足了气象信息查询、显示、分析等多方面的需求(图 2)。

在系统登录界面，采用清晰的布局，强调了使用的简便性，使得操作人员能快速、准确地登入系统。灵活地利用用户权限管理，保障了系统数据的安全性。在进行气象要素的实时监测界面设计时，注重实时性和全局性，呈现的地图视图和要素层级结构清晰，在不同等级的流域区域，能够快速定位和显示气象要素的实时数据，例如气温、湿度、风速等。对于查询功能，实现了时间、区域、气象要素的三维组合检索，操作人员可以依据不同条件灵活组合查询过往记录，系统将以表格和图形的形式呈现查询结果，辅以交互功能，如点击图形上的点可查看该时间点的详细数据。

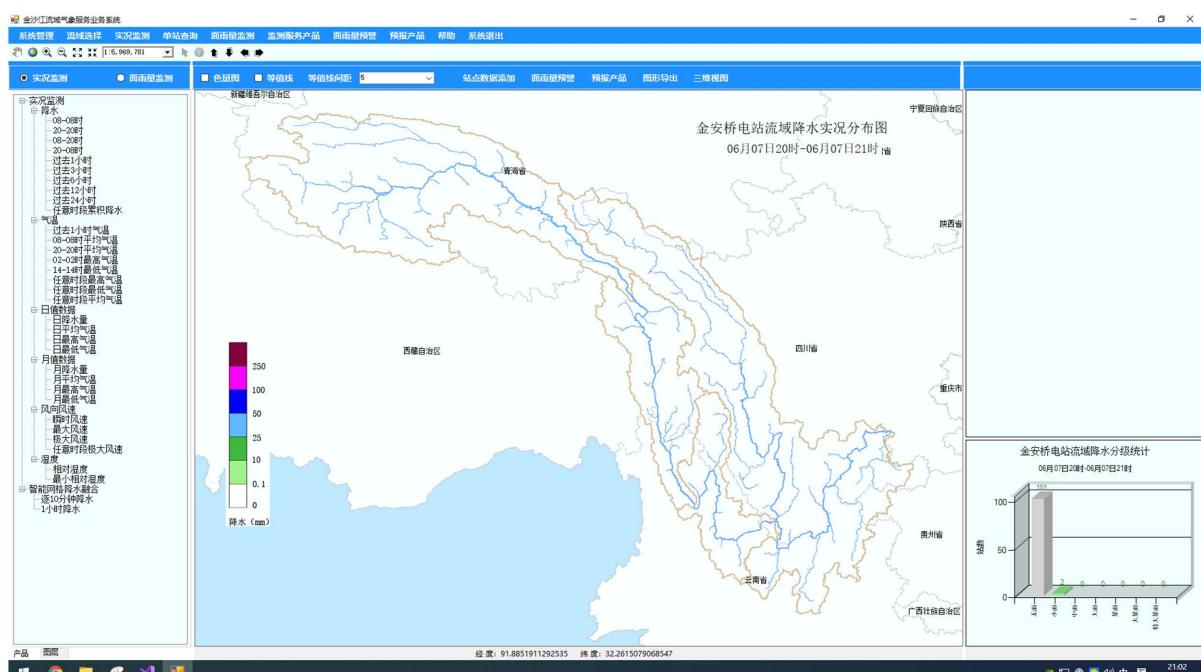
在流域面雨量实况监测与分级预警界面，以色阶图的方式直观表现各级雨量数据，当某区域达到预

警阈值时，系统能够自动弹出预警信息，同时在界面上以闪烁红点形式予以标识，确保了预警信息的显著性和紧急性。

针对中短期精细化气象预报，设计以预报时间轴、预报区域和要素筛选作为主要控制，用户可以很容易地选择希望了解的时间段和区域，再通过要素筛选得到个性化的预报结果显示。系统还提供了结果图形导出功能，方便用户记录和共享信息。

此外，为保障服务系统能更加稳定高效地运行，界面设计中还融入了错误处理机制，如网络中断、数据延迟等异常情况的提示，以及简单的故障排除指导。在系统后台，结合气象大数据云平台天擎的接口信息，进行了数据传输效率和稳定性的优化，从而确保了用户在前台操作时的流畅体验。

金沙江流域气象服务业务系统的界面设计符合现代气象服务的需求，不仅提高了用户操作的便捷性，保证了信息传递的准确性，更通过人性化的设计思路，提升了整个系统的应用价值和实用性。



地图来源：全国 1:25 万公众版地图数据

Figure 2. Main interface of the system

图 2. 系统主界面

4. 系统实现

4.1. 开发环境与工具选择

在流域气象服务业务系统的开发中，环境选择对于系统稳定性、扩展能力以及后期维护工作具有至关重要的影响[5]。综合当前技术发展水平和项目需求，系统开发环境选定为 Visual Studio，这是微软推出的一个集成开发环境，具有强大的代码编辑、调试功能，并支持多种编程语言，易于开发团队进行快速的版本迭代和功能性测试。在编程语言选择上，C#因其强类型、面向对象的特性和良好的安全性，被选为主要开发语言，可以保障代码的可读性以及模块的维护性[6]。

针对地理信息系统(GIS)功能的实现，本研究选择以 ArcGIS 为基础进行二次开发[7]，因其广泛的应用和丰富的功能库使得系统在执行复杂地图处理和空间数据分析时具有高效率。利用 ArcGIS Engine，我

们不仅可以呈现高精度的地图,还能实现对地理信息的精细操作,大大提升了流域气象信息的展示效果。

数据获取是系统开发中的基础也是关键,为了实现对实时气象数据的快速响应和处理,系统接入了气象大数据云平台天擎的数据接口。天擎平台提供了丰富的气象数据资源和便捷的数据服务接口,可以实现实时数据的自动采集并保障数据质量和时效性。同时,使用标准化 API 接口减小了数据传输所需时间,并简化了数据处理流程。

整个系统的开发环境和工具的选择充分考虑了系统的综合性能和未来的可持续发展。通过对现有技术的深入分析和合理利用,不仅强化了系统功能,也确保了开发过程的效率和质量,极大促进了流域气象服务系统的实现。

4.2. 数据获取与处理

系统通过气象大数据云平台天擎提供的数据接口,实时获取金沙江流域内的气象数据。“天擎”作为气象部门的核心业务系统,用于构建气象大数据云平台为“云”,为气象业务应用系统“端”提供基础平台支撑,气象大数据云平台广泛汇聚国内外气象数据、行业数据、经济社会数据、社会观测数据等,数据完整权威(图 3)。获取到的原始数据经过预处理后,存储到数据库中供后续分析和预报使用。预处理操作包括数据清洗、格式转换和数据归一等步骤,以确保数据的准确性和可用性。

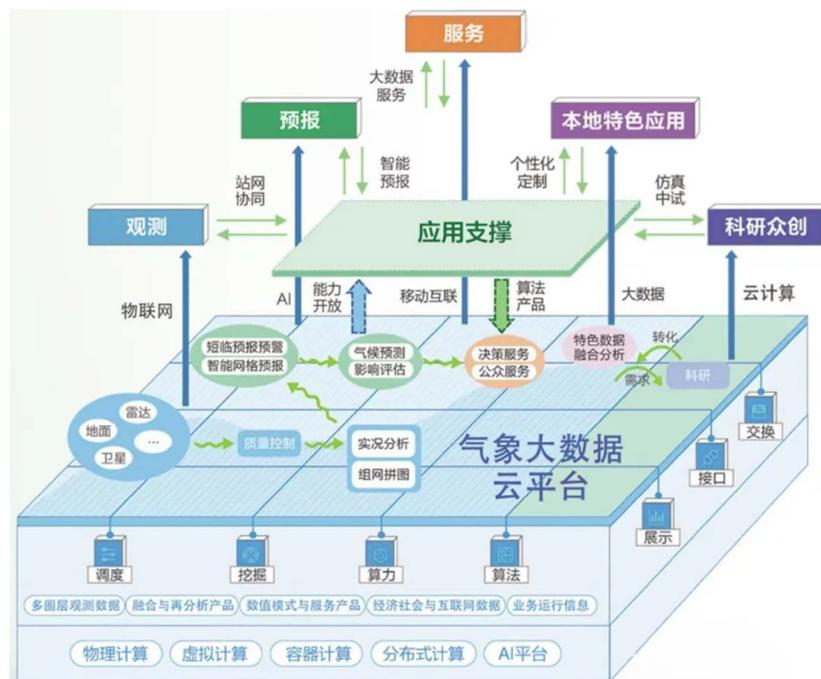


Figure 3. The architecture of the meteorological big data cloud platform

图 3. 气象大数据云平台结构

在 VS 开发中加入 SDK 开发包,在编写调用代码时首先引入 cma. music. Data Query Client 类,生成 client 客户端对象并根据需要初始化各种客户端参数,然后再使用该对象的特定方法,指明方法调用的接口名称(interfaceId),最后执行方法获取返回结果数据。

配置 client.config 文件,添加服务地址、端口号、存储挂载方式、挂载目录位置等。

#//(1)服务地址 ip

music_server=10.40.17.54

```

//(2)服务端口 port
music_port=80
//(3)连接超时, 超时自动断开
music_connTimeout=3000
//(4)数据读取超时设置, 请求在设置的时间内未还回结果, 将失败
music_readTimeout=30000
//(5)defaultServiceId sod, 默认服务节点
music_ServiceId=NMIC_MUSIC_CMADAAS
//(6)是否为存储挂载方式, 0 文件将上传到服务端, 1 文件通过本地挂载盘写到服务端
music_store_backstage=0
//(7)如果为 true, 必须填写挂载目录对应位置
music_local_mount=F://CIMISS
//(8)如果为 true, 服务端挂载目录位置
music_server_mount=/CIMISS

```

考虑到数据处理的实时性和准确性, 引入了多线程并发处理机制, 使系统能够同时处理多个数据请求, 显著提高了数据处理效率[8]。为了优化数据检索性能, 对数据表建立了高效的索引策略, 充分利用了数据库管理系统的空间数据类型和索引, 使气象查询和统计分析能够在秒级响应。

此外, 面对流域面雨量和其他气象要素的空间特性, 系统采用了地理信息系统(GIS)技术, 通过 ArcGIS 的二次开发, 实现了气象数据的空间分析和可视化[9]。GIS 模块对流域气象要素进行了栅格化处理, 并把实况气象数据与 GIS 栅格相匹配, 完成数据空间化的步骤, 从而为流域面雨量的实况监测和流域气象要素的中短期精细化预报产品奠定了基础。

数据获取与处理环节构建了一个稳定、高效的数据处理流程, 为流域气象服务业务系统的实时监测与预警、数据分析与决策提供了有力支持。通过这项研究, 不仅优化了数据流从采集到分析的全过程, 也确保了流域气象服务的及时性、准确性与科学性, 对提升流域气象服务业务系统的整体性能具有重要意义。

气象要素实况监测实现。系统通过用户需求调用数据接口获取实时气象数据, 并将数据以图表和地图的形式展示给用户。图表展示包括折线图、柱状图和饼图等多种类型, 以满足用户对不同数据展示方式的需求。地图展示则通过 Arcengine 平台实现, 通过等值线填色, 实现气象要素的可视化显示, 可以直观地展示金沙江流域的气象要素分布情况。绘制等值线主要代码如下:

```

using ESRI.ArcGIS.Geodatabase;
using ESRI.ArcGIS.Smoothing;
public void CreateContour(IFeatureLayer featureLayer, double interval)
{
    IRasterLayer rasterLayer = featureLayer as IRasterLayer;
    IRaster raster = rasterLayer.Raster;
    ISmoothedLineWorkspace2 smoothedLineWorkspace = new RasterSmoothingLineWorkspace();
    ISmoothingEnv smoothingEnv = new SmoothingEnvClass();
    smoothingEnv.interval = interval;
    ISmoothedLine smoothedLine = smoothedLineWorkspace.CreateSmoothedLine(raster, smoothingEnv) as
    ISmoothedLine;
    IFeatureLayer contourLayer = new FeatureLayerClass();

```

```
contourLayer.FeatureClass = smoothedLine as IFeatureClass;
contourLayer.Name = "Contour Layer";
axMapControl1.AddLayer(contourLayer);
}
```

4.3. 气象要素实况监测、查询、统计分析模块

流域气象要素的实况监测、查询与统计分析是流域气象服务业务系统的关键组成部分。该模块集成了多种气象监测数据，通过数据处理算法，实时采集流域内的温度、湿度、风速、降水量等要素信息（图 4）。系统采纳模块化思维设计，确保了不同功能之间的独立性和协调性，提高了整个系统的稳健性和灵活性。



地图来源：全国 1:25 万公众版地图数据

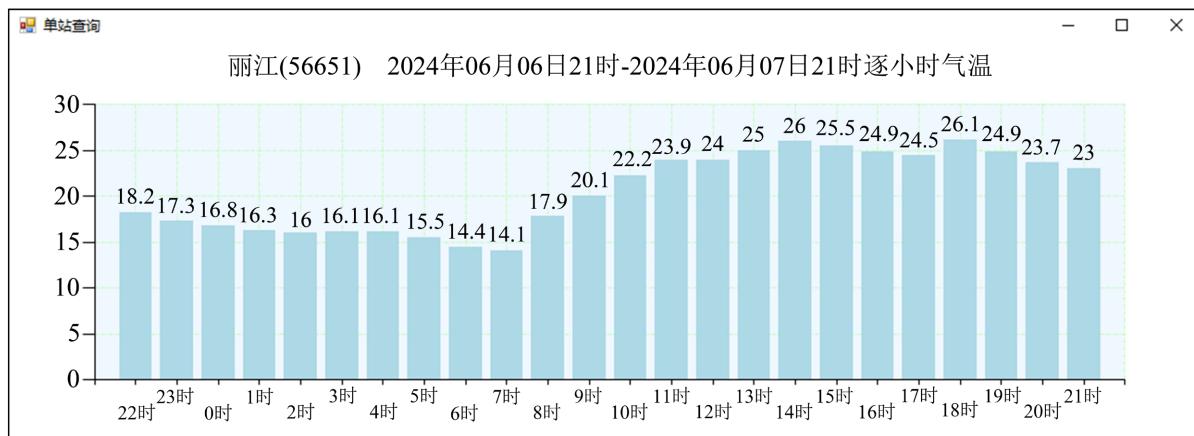
Figure 4. Actual distribution map of meteorological parameters

图 4. 气象要素实况分布图

在数据处理方面，针对接收到的原始气象数据，系统通过高效的清洗、校验、插值和融合分析，以排除数据误差。为进一步提升数据处理能力，系统还融合了一体化的时间序列分析工具，可完成对历史气象数据的回溯分析，以便为查询和统计分析提供充分的数据支撑[10]。

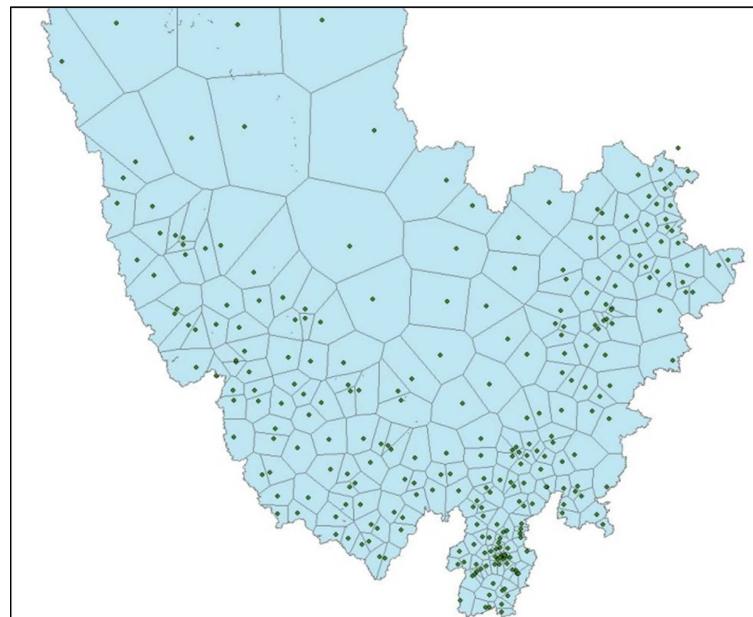
查询功能实现了对实时和历史气象数据的快速检索，用户可以根据自定义的时间范围、气象要素类型等进行筛选，系统将在毫秒级返回查询结果。此外，模块还提供多维度的数据展示，包括表格视图、时间序列图和分布图等(图 5)，以满足用户从不同角度分析数据的需求。

统计分析功能的实现，则依托于强大的计算框架，支持包括均值计算、极值分析、频率统计、趋势预测和相关性分析等。运用机器学习和数理统计方法，系统能从时间和空间两个维度全面分析气象要素变化规律，在流域气象服务中提供更为科学的决策支持。

**Figure 5.** Change chart of meteorological elements**图 5. 气象要素变化图**

系统在设计时充分考虑到了用户体验，界面设计合理，交互流程顺畅，使得用户在进行复杂数据操作时也能够得到良好的体验。无论是专业的气象人员还是普通的用户，均可便捷地利用此模块进行气象信息的查阅和分析，提升了流域气象监测和服务的效率。

4.4. 流域面雨量实况监测模块

**Figure 6.** Generate thiessen polygons**图 6. 创建泰森多边形**

目前水文、气象学领域面雨量计算最常用的方法有 3 种：算术平均法、泰森多边形法和等雨量线法。算术平均法简单直接，但要求雨量站分布均匀，计算区域地形起伏不大。金沙江流域地形起伏大，高差达 5000 多米，且气象站点分布不均，特别是在金沙江上游地区，气象站点分布较少，因此采用算术平均法存在一定的误差。本文采用泰森多边形法计算面雨量，基于 ArcGIS 平台二次开发，提高计算结果的精确度。

泰森多边形法是一种计算流域平均降雨量的方法,由气候学家 A.H. Thiessen 提出。该方法通过将所有相邻气象站连成三角形,并作这些三角形各边的垂直平分线,将每个三角形的三条边的垂直平分线的交点(即外接圆的圆心)连接起来得到一个多边形。这个多边形内所包含的一个唯一气象站的降雨强度用来表示这个多边形区域内的降雨强度,这个多边形被称为泰森多边形(图 6)。泰森多边形法的基本假定是流域上各点的雨量用离该点最近雨量站的降雨量代表。通过将流域划分为若干个多边形,并以各个多边形的面积为权数,计算各站雨量的加权平均值,作为流域的平均降雨量。这种方法比单纯算术平均法更为精确。具体到计算公式,泰森多边形法通过计算每个泰森多边形内的平均雨量,即该多边形内的雨量站雨量乘以权重(即该多边形面积值除以流域面积),然后将所有多边形内的平均雨量相加,再除以多边形个数得到结果。

$$P = (a_1p_1 + a_2p_2 + \dots + a_np_n) / A;$$

式中: a_1, a_2, \dots, a_n —各测站控制面积;

p_1, p_2, \dots, p_n —为各站点同期降水量;

A —流域总面积(km^2);

P —流域平均降水量(mm)。

4.5. 流域面雨量分级预警模块

流域面雨量分级预警模块是针对突发性水文气象灾害的主动防范模块,采用先进的大数据分析技术和复杂网络算法,实时监测流域面雨量数据,并在异常情况发生时及时发出预警信息。模块内置多级预警机制,可以根据雨量强度、持续时间智能判定作出预警。

预警模块的核心是计算出过去 12 小时、24 小时时段内的雨量变化趋势,按照流域面雨量等级进行面雨量预警(表 1)。预警模块根据监测数据并参考相应的阈值,自动触发预警功能。

Table 1. Rainfall intensity grade for small and medium-sized basins

表 1. 中小流域面雨量等级

中小流域面雨量等级	3 h 面雨量值(mm)	6 h 面雨量值(mm)	12 h 面雨量值(mm)	24 h 面雨量值(mm)
小雨	0.1~1.4	0.1~1.9	0.1~2.9	0.1~5.9
中雨	1.5~4.4	2.0~6.9	3.0~9.9	6.0~19.9
大雨	4.5~14.9	7.0~19.9	10.0~24.9	20.0~39.9
暴雨	15.0~29.9	20.0~39.9	25.0~49.9	40.0~79.9
大暴雨	30.0~79.9	40.0~99.9	50.0~119.9	80.0~179.9
特大暴雨	≥ 80.0	≥ 100.0	≥ 120.0	≥ 180.0

流域面雨量预警模块是流域气象服务业务系统不可或缺的组成部分,它不仅提升了气象服务的时效性和准确性,而且增强了流域灾害防控的主动性和针对性。

4.6. 气象要素中短期精细化预报产品模块

在金沙江流域气象服务业务系统的建设中,气象要素中短期精细化预报产品模块是系统一项重要的功能模块,该模块提高了流域气象预报的精确度和有效性,针对中短期范围的降水、气温、湿度、风速等气象要素变化(图 7),预报产品满足了不同用户群体对预报精细化程度的具体需求。

模块主要依托气象大数据平台的高分辨率的数值天气预报模型输出结果。该结果由先进的动力学模型计算得出,可以捕捉到流域内局部气象特征和小尺度天气系统的动态,模型能够更准确地描绘出流域

内的气象要素变化。

模块还在用户体验方面进行了优化。通过友好的用户界面和个性化的配置选项，使得各类用户都能根据自己的需求，轻松获取预报产品。同时，预报结果以图形的方式可视化显示。

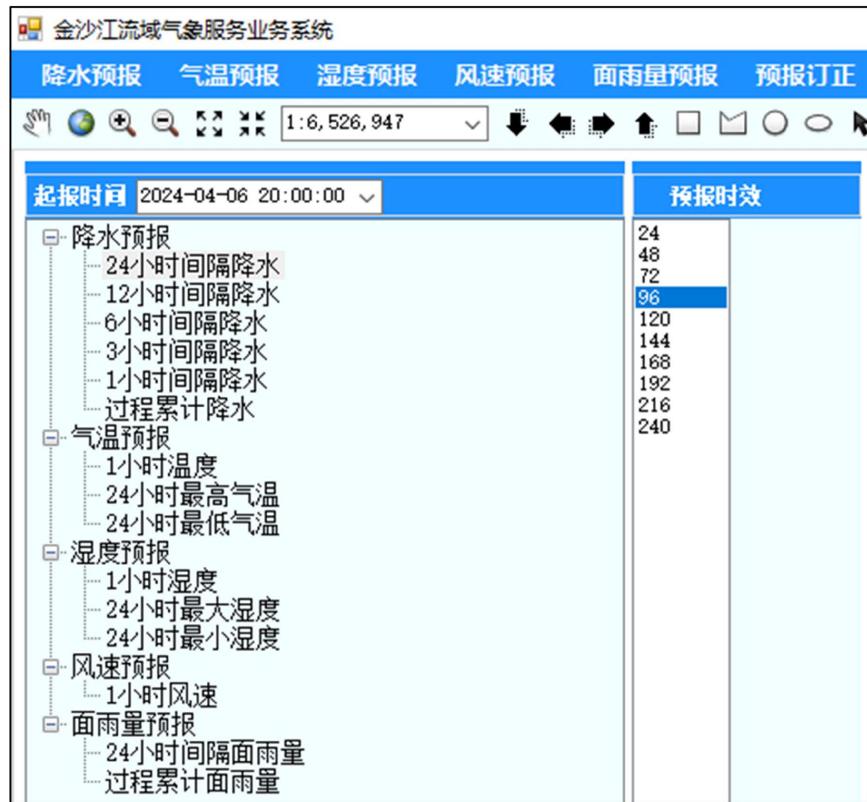


Figure 7. Forecast function of meteorological elements

图 7. 气象要素预报功能

气象要素中短期精细化预报产品模块在技术和应用层面均体现了一定的创新性和实用性，为金沙江流域气象服务的精细化管理和决策支持提供了强有力的工具，同时也为类似业务系统的设计与开发提供了宝贵的实践经验。今后，模块的维护和升级工作将持续优化其预报准确性与服务功能，以进一步满足流域气象服务日益增长的需求。

4.7. 流域面雨量预报模块

在流域气象服务业务系统中，流域面雨量预报模块不仅涉及到水资源的合理配置和调度，还直接关系到防洪减灾以及生态环境保护等多个方面。为了精确地判断未来的降水量预测，本模块调用数值天气预报格点产品数据，对数据进行预处理，包含数据同化、质量控制和栅格化处理，确保了数据的准确性和可视化性。

流域面雨量预报模块的核心成果之一是实现了预报结果的可视化，采用面雨量填色的形式，在 GIS 地图上直观展示预报结果(图 8)，使用户能够直接通过图形界面对降水信息作出快速反应。

流域面雨量预报模块的研究和实施，不仅丰富了气象服务业务系统的功能，提高了气象服务的智能化水平，更为相关领域如水文预报、灾害防控以及水资源管理等提供了强有力的技术支持，具有非常显著的社会和经济效益。



地图来源：全国 1: 25 万公众版地图数据

Figure 8. Forecast function of meteorological elements

图 8. 面雨量预报

5. 结语

本研究围绕金沙江流域气象服务业务系统的设计与实现展开，通过引入气象大数据和 GIS 技术，成功构建了一套功能全面、操作便捷的气象服务平台。该平台不仅实现了气象要素的实时监测、查询与统计分析，还实现了面雨量的精准监测与预警，并提供了中短期精细化预报服务。系统通过高效整合气象大数据云平台天擎提供的数据资源，结合 ArcGIS Engine 的 GIS 处理能力，为金沙江流域提供了更为精准、及时的气象服务，有效提升了流域气象服务的精细化水平和防灾减灾能力。

在系统设计与实现过程中，本研究充分借鉴了国内外相关研究的先进理念和经验，同时结合金沙江流域的实际情况进行了创新和改进。通过优化用户界面和交互流程，提升了用户体验和工作效率。本研究不仅为金沙江流域的气象服务提供了有力的技术支撑，也为类似流域的气象服务系统的设计与开发提供了宝贵的参考。未来，我们将继续致力于系统的优化升级和功能拓展，为流域气象服务提供更加高效、精准的服务支持。

基金项目

云南省气象局基层台站科技创新与能力提升计划项目(STIAP202250)资助。

参考文献

- [1] 陆明, 张钰, 张玮玮, 朱占云. 浙江省水文气象服务业务系统设计与实现[J]. 浙江气象, 2020, 41(3): 23-28
- [2] 邓红, 张蒙蒙. 浅析流域气象服务业务建设与发展[J]. 农业与技术, 2017, 37(21): 159-160

- [3] 梁慧, 潘习元, 黎直. 梧州西江机场气象服务系统设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(4): 38-42
- [4] 李永花. 青海气象服务移动应用系统设计与实现[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(7): 206-208
- [5] 陈亮, 魏晓雯, 莫云音, 陈升亭. 海南全域旅游气象服务系统设计及应用[J]. 气象科技, 2020, 48(5): 648-654
- [6] 程建平. 农业气象业务服务系统建设[J]. 北京农业, 2014(27): 165
- [7] 朱宏武, 罗丹, 贺炜, 刘晓波. 面向气象业务湖南省级 WEBGIS 平台的设计与实现[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12184-12186
- [8] 刘志邦, 白福宇, 于文洋, 等. 基于.NET 的营口市气象局综合气象资料信息服务平台设计与实现[J]. 浙江气象, 2019, 40(2): 32-39
- [9] 胡波, 周必高, 俞燎霓, 等. 气象服务系统数据统计功能二次开发的设计和实现[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(4): 38-42
- [10] 吴晓, 岳勇, 陈增境. 气象业务综合平台设计与实现[J]. 长江信息通信, 2022, 35(1): 107-109