

史彩霞,陈剑飞,李勇,等. 岩滩水库径流量监测预报系统设计与开发[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):122–126.
Shi Caixia,Cheng Jianfei,Li Yong,et al. Design and development of runoff monitoring and forecasting system for Yantan Reservoir[J].
Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(2):122–126.

岩滩水库径流量监测预报系统设计与开发

史彩霞¹, 陈剑飞^{1*}, 李 勇¹, 万家权², 钟利华¹, 王振国¹

(1.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530001; 2.南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要:以 JAVA、WEB 等技术为依托,建立基于 CesiumJS 的岩滩水库径流量监测预报系统,并对其构建流程和功
能模块进行了详细的介绍。系统的建成实现了“水电+气象”的三维场景融合应用和产品共享,提高了水电气象服务效
率和质量,为水电站优化调度、防灾减灾决策工作提供技术支撑。

关键词:径流量;网格预报;监测;气象服务

中图分类号: P49 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.21

前言

水电是清洁能源^[1-5],在推动社会经
济发展和能源发展中发挥了重要作用。红水河是珠江水
系西江的主要干流,水量丰富,落差大,水能蕴藏量
大。大力发展红水河水电能源是广西能源战略的重点
之一,而气象信息服务在水电能源工程建设和水电
站运营管理中都发挥着重要的作用。许多专家^[6-16]
针对红水河在水电梯级开发对水质累积影响、水电
站发电水量平衡、水库汛末优化调度策略、暴雨时期
电站优化调度方案、径流量与降水量变化特征、径流
量预测模型等方面做了详细分析和研究。岩滩水电
站作为红水河流域广西电力部门直接调度的第一个
季调节水电站,其库区精准的径流量监测预报信息
对流域水库群联合优化调度起到重要的作用,有利
于提高水库群发电效益和供水安全。因此,将气象
信息与水电调度的工作紧密相连,以广西对流尺度
数值预报产品和智能网格预报产品^[17-19]为依托,基
于业务应用需求,设计和开发了一套基于 C/S 和 B/
S 混合架构下的岩滩水库径流量监测预报系统,通
过此系统,驱动耦合气象-水文-机器学习的径流量

预报模型,实现流量实况及短临、短期逐时预报数据
实时更新和订正预报服务,为岩滩水电站提供更精
准、及时的库区流量监测预报产品,满足岩滩水电站
业务需求。

1 资料与处理

(1)地理信息资料

采集凤山水文站盘阳河上游断面、甲篆水文站
盘阳河下游断面、绿兰水文站九曲河中游断面、罗富
水文站罗富河下游断面、龙滩水电站和岩滩水电站
的地理信息,以及岩滩水库流域范围内的水系对应
的地理信息。利用 GIS 技术将岩滩水库流域划分甲
篆库区、罗富库区、岩滩上库区、岩滩中库区和岩滩
下库区共五个流域区间并提取边界数据。

(2)模式产品资料

利用广西 1km 对流尺度数值预报产品、广西智
能网格预报产品、EC 细网格预报产品和 GRAPES
预报产品,提取并计算出每个时段内岩滩流域面雨
量预报并生成相应数据集,为加工制作服务产品提
供驱动数据支撑。

(3)自动气象站资料

收稿日期: 2022-05-08
基金项目: 2020 年广西区部合作项目“行业气象服务基础支撑平台建设”、广西气象局科研重点项目(桂气科 2021Z04)
作者简介: 史彩霞(1975—),女,高级工程师,主要从事专业气象服务系统研发工作。E-mail:14557000@qq.com
* 通讯作者: 陈剑飞(1975—),男,高级工程师,主要从事专业气象技术服务及管理工作。E-mail:497933494@qq.com

利用 GIS 技术, 提取岩滩流域范围的广西区域自动站地理信息, 利用全国智能网格逐小时实况产品通过格点与站点的转换规则获取逐时降水资料并形成相应数据集。

2 岩滩水库径流量监测预报系统总体结构

系统整体框架如图 1, 工作方式采用 B/S+C/S 混合架构, 实现水文气象信息采集、传输和发布共享; 网络设计具有良好的可扩展性。系统主要包括: 水文数据自动采集程序、气象数据自动采集程序、岩滩水库径流量监测预报系统共三大部分。

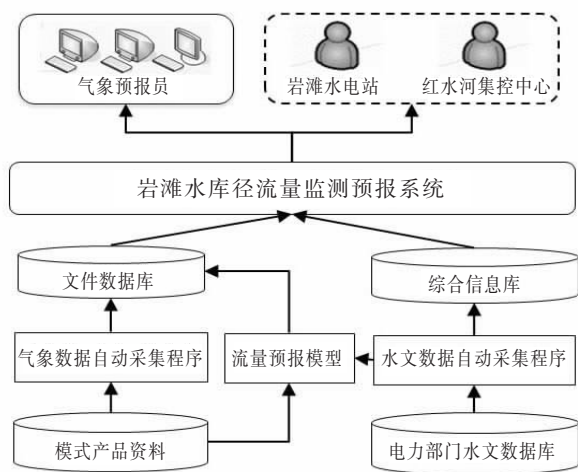


图 1 系统整体框架图

3 系统主要关键技术

3.1 三维地图可视化技术

WebGL 是免插件、跨平台、免费、高性能的 JavaScript API, 可使浏览器无需安装插件即可直接展示三维场景。基于 WebGL 开发的 CesiumJS 是一个开源的轻量级的三维地图 JavaScript 库, 提供了丰富全面的地理信息数据加载展示接口。它支持 WebGL 硬件加速, 可跨浏览器使用, 支持地形、影像、矢量、注记、三维模型、点云等数据的展示, 可采用开放标准的 WMTS、GeoJSON、地形服务和 3DTiles 服务等作为数据源, 为后续开发扩展和应用提供便利^[20-22]。

天地图是国家地理信息局提供的在线地图服务, 可以通过 WMS 服务形式调取地图瓦片服务以作为本地基础地图使用, 岩滩水库径流量监测预报系统通过 CesiumJS 提供的 WMS 服务接口调取在线

的天地图遥感影像服务并加载, 实现三维地图场景的加载、无级缩放、平移、旋转等。WebGL 可以支持浏览器调用 GPU 进行数据渲染加速, 从而实现大体量数据的快速渲染。通过在 CesiumJS 中自定义 WebGL 图层, 依托 WebGL 强大高效的数据渲染能力, 实现大体量数据的高性能加载与展示。系统通过使用 WebGL 自定义 Shader 绘图技术, 在三维地理信息场景内实现广西智能网格降雨实况色斑图、岩滩流域自动站站点填值、岩滩水库流量预报色斑图、水库流量流向图、流量水系变化图等水文气象数据多元展示形式的高性能绘制与加载。

3.2 数据存储与接口服务技术

系统数据库分为文件数据库和 MySQL 综合信息库, 流量预报、降水预报/实况、流域面雨量预报/实况、水电站图标、基础地理信息等存储在文件数据库, 流量实况共享数据、用户信息等存储在综合信息库。Restful 是 web 服务的一种设计风格, 是 http 动作与服务功能结合的创新, Restful 接口简洁、容易理解、约定了规则^[23-24]。系统对外提供统一的 Restful 数据服务接口, 以方便三维地理信息场景、图表等前端展示模块进行数据的调取及解析。Restful 数据服务接口在接收到不同的调取参数时, 对文件系统、数据库对应数据进行读取、解析, 形成统一数据格式进行返回, 以实现多元数据的标准化传输。

3.3 径流量预报产品生成

每日每小时 50 分, 利用广西 1km 对流尺度数值预报产品、当前时次的水库入库流量实况和降水、气温、气压、风速、相对湿度等实况, 驱动径流量短临预报模型, 生成 JSON 格式的未来 3h 逐小时径流预报产品、流量预报产品, 以及岩滩流域面雨量短临预报产品。

每日 08 时, 利用最新的 EC 细网格预报产品、Grapes 预报产品和智能网格预报产品、前 24h 逐小时的水库入库流量、降水、气温、气压、风速、相对湿度等实况, 驱动径流量短期预报模型, 生成 JSON 格式的未来 72h 逐小时径流预报产品和流量预报产品, 以及岩滩流域面雨量短期预报产品。生成的所有预报产品都推送到文件数据库中。

4 系统功能模块建设

4.1 基于 B/S 的岩滩水库径流量监测预报系统建设

岩滩水库径流量监测预报系统采用 B/S 架构, 利用 JAVA、WEB、CesiumJS 等技术进行功能模块开

发。系统主要具有实况监测、产流预报、短临预报、流量预报、降水预报检验、径流预报检验、面雨量预报订正、用户管理等功能模块。

(1) 实况监测模块主要三维展示最新的自动站降水实况、上游龙滩水电站出库流量和岩滩水电站入库流量实况,同时可以叠加显示降水色斑和水系标注,并可实现三维全球影像和二维行政地图切换显示。

(2) 产流预报模块主要三维展示时间分辨率为未来 72h 逐小时空间分辨率为 5km 的岩滩区域产流预报,可单独显示水系产流预报,并可用方向箭头显示产流流向,以及 4 个断面点产流预报,并可以色斑或数值显示产流预报。可按 1 倍、1.5 倍、2 倍的速率动画显示产流预报,水电站值班人员可以直观地了解整个岩滩流域产流变化情况。

(3) 短临预报模块主要以柱状图和曲线图的形式显示未来 6h 逐小时短临面雨量预报、径流量预报和过去 24h 逐小时面雨量实况和岩滩入库流量实况、龙滩出库流量实况、区间流量实况。

(4) 流量预报模块主要以柱状图和曲线图的形式显示未来 72h 逐小时面雨量预报、径流量预报和过去 7d 逐小时面雨量实况和岩滩入库流量实况、龙滩出库流量实况、区间流量实况。

(5) 降水预报检验模块主要以图表形式展示过去 10d 内(可任选时段)智能网络、EC、Grapes 三种模式预报产品对五个流域的面雨量预报与实况,以及对应的评分。

(6) 径流预报检验模块是通过自动或主动选取某个时间段,实现对某个时间段径流预报数据的读取、分析、处理。通过 echarts 绘制成图表进行展示。默认起始时间至结束时间跨度为 10d(当前时间至 10d 前)。可按需求自行查询需要的时间段。点击查询,则根据所选时间段读取、分析、处理所需数据,并绘制成图表进行展示。鼠标滑到图表上,可以展示当前时刻的具体信息。

(7) 面雨量预报订正模块主要是在地图对应的五个流域中实现对未来 3d 面雨量预报的订正。点击预报日期和分流域,则在右侧显示对应分流域前 3d 逐日面雨量历史实况图、基于智能网格、EC 和 Grapes 模式产品分别生成的未来 24h 面雨量预报及前 15d 预报平均的绝对误差评分图,作为订正参考依据。点击提交,修改后的面雨量预报数据会在指定目录下生成一份特殊文件,监控程序每 5min 对指

定目录进行监控,发现有特殊文件后,自动触发径流量预报模型程序,重新计算生成最新的径流量预报产品,并将对应的特殊文件删除。该模块主要是提供给预报员使用,方便其在客观预报出现偏差时,进行主观预报订正。

(8) 用户管理模块主要是针对系统使用权限的管理。

4.2 水文数据自动采集程序建设

水文数据自动采集程序是采用 C/S 架构,利用同步共享技术采用 JAVA 开发数据采集、传输、存储等功能模块。通过在电力部门数据库服务器上部署数据服务发布模块,允许外部程序通过 Restful 数据服务接口获取水文数据,并在每次被调取后清空数据库数据临时存储表。在气象部门数据库服务器上部署数据调取模块,数据调取模块通过定时任务触发数据调取功能,从电力部门数据服务发布模块的 Restful 接口获取最新水文数据,并在解析后写入气象部门数据库,从而实现水文数据同步共享。图 2 为水文数据同步流程图。

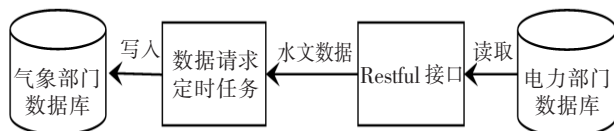


图 2 水文数据同步流程图

4.3 气象数据自动采集程序建设

气象数据自动采集程序是采用 C/S 架构,采用 JAVA 技术开发气象数据采集解析和传输等功能模块,采用多线程并行处理技术,自动定时对各类模式产品采集,并按照格点与站点、格点与流域转换规则,自动解析出逐时自动站降雨实况和流域面雨量实况,推送到文件数据库。

5 应用服务

岩滩水库径流量监测预报系统已于 2021 年 12 月开始投入业务试运行,每天 08 时发布未来 3d 流量预报产品。2022 年 5 月 11—13 日、27—28 日、30—31 日广西发生三次降雨过程,受降雨影响,珠江流域西江上游龙滩水库 5 月 30 日 11 时入库流量涨至 $10900\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,依据水利部《全国主要江河洪水编号规定》,编号为“西江 2022 年第 1 号洪水”,为今年我国大江大河首次发生编号洪水。岩滩水电站作为红水河梯级电站中龙滩水电站的下一级梯级电

站,受龙滩水电站出库流量影响非常大,为做好防洪安全工作,更加迫切需要精细的径流量预报产品。表 1 给出在三次降雨过程中岩滩水库日径流量相对误

差情况,从表 1 可见,3 次降雨过程日径流量预报平均相对误差为 11%,根据陈剑飞^[1]等的模型检验方法,合格率为 85.7%,达到甲级预报精度。

表 1 岩滩水库 2022 年 5 月 11—13 日、27—28 日、30—31 日 3 次降雨过程日径流量预报及相对误差

强降水出现时间 (年-月-日)	日径流量实况 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	日径流量预报 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	日径流量预报 相对误差(%)
2022-05-11	2488.53	2336.76	6
2022-05-12	2257.92	2020.73	11
2022-05-13	1991.59	1864.62	6
2022-05-27	2608.47	2493.23	4
2022-05-28	3037.57	3232.21	6
2022-05-30	3376.35	4370.14	29
2022-05-31	4970.60	4226.65	15

6 结论

本文叙述了岩滩水库径流量监测预报系统采用的 CesiumJS、Restful 等关键技术,并对系统构建流程和功能模块进行了详细的介绍。系统实现了“水电+气象”的三维场景融合应用、水文气象融合产品共享和订正预报服务的功能。

岩滩水库径流量监测预报系统业务试运行以来,为水电部门及时提供径流量预报等各类产品的共享服务,使岩滩水电站值班人员及时掌握其库区精准的径流量监测预报信息,为水电站在制订发电计划、优化调度、防灾减灾决策工作中提供强有力的技术支撑。

径流量预报模型业务运行还没有经过完整的汛期检验,今后将进一步评估模型算法并对模型相关参数进行调整订正,以期提高径流量预报准确率,同时在业务中不断优化系统,丰富水文气象融合产品,从而更进一步提升水电气象服务能力。

参考文献:

[1] 陈剑飞,李勇,刘俊江,等.耦合陆面水文模型和机器学习方法的岩滩水库径流量预报及应用[J].气象研究与应用,2022,43(1):1-7.

[2] 李佳蕾,陈小彤,陈星,等.清洁电力生产的生态效益评价方法研究[J].全球能源互联网,2021,4(3):273-283.

[3] 黄涛珍,商波.生态优先的公共资源开发多主体合作博弈及利益共享研究——基于水电能源基地建设的分析[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2019,21(6):73-79,111-112.

[4] 卫魏,罗红英,余权威,等.西藏水电能源开发问题分析

[J].高原农业,2021,5(3):301-308.

[5] 刘云龙,何理,裴倩文,等.水电能源开发对雅鲁藏布江流域景观格局的影响[J].水力发电,2020,46(2):1-5.

[6] 李天主,李彩虹,姜杰,等.黄河干流径流量和输沙量的时空特征研究[J].环境科学与管理,2022,47(3):169-172.

[7] 薛联芳,顾洪宾,韦兵,等.红水河干流水电梯级开发对水质累积影响调查研究[J].水力发电,2013,39(4):9-12.

[8] 庞轶舒,张俊,秦宁生,等.长江上游夏季径流量年际增量预测模型及检验[J].应用气象学报,2022,33(1):115-128.

[9] 黄存宇.红水河梯级水电站发电水量平衡探讨[J].红水河,2016,35(2):16-25.

[10] 牟剑英,谢夜玉,龙宗志,等.红水河梯级水电站水库地震监测台网的建设与发展[J].地震地磁观测与研究,2020,41(5):128-140.

[11] 易灵,卢治文,黄锋,等.红水河龙滩、岩滩梯级水库汛末优化调度策略[J].武汉大学学报(工学版),2020,53(4):303-309.

[12] 沈潆英,邱辉,邢雯,等.三峡水库入库流量中期预报水文模型研究与应用[J].人民长江,2019,50(10):94-99,125.

[13] 陈晓兵,吕源,吴剑锋,等.暴雨时期红水河流域梯级电站优化调度方案探讨[J].红水河,2016,35(2):49-53.

[14] 陈良,毕晓英,周新志.基于 EMD-ATT-BiLSTM 的径流量预测模型研究[J].现代计算机,2022,28(1):18-24.

[15] 万远扬,吴华林.径流量变化对长江口北槽最大浑浊带影响分析[J].水利水运工程学报,2021(5):1-7.

[16] 黎颢智,李勇,李有华,等.基于 Echarts 的库区水文及气象数据监测系统的设计与应用[J].气象研究与应用,2021,42(2):68-72.

[17] 李有华,卢小凤,陈剑飞,等.基于智能网格产品的广西

- 行业气象服务集约化系统的设计与实现[J].气象研究与应用,2019,40(4):59-62.
- [18] 廖贤达,杨再位,唐明松,等.智慧气象助力提升革命老区气象服务能力的策略[J].气象研究与应用,2019,40(4):99-101.
- [19] 詹利群,任晓炜,黄志,等.广西气象业务内网功能设计与实现[J].气象研究与应用,2019,40(1):69-74.
- [20] 周友生,倪慧珠,王杰栋,等.一种大场景 Web 三维注记可视化技术[J].测绘通报,2020(7):130-133.
- [21] 李想,罗霄,特日根.基于 CesiumJS 的 Android 端三维地球研究与开发[J].测绘与空间地理信息,2022,45(2):166-170.
- [22] 李佳俊,黄祥志,赵亚萌,等.基于 CesiumJS 和 Electron 框架的三维可视化信息平台构建[J].湖北农业科学,2022,61(7):130-134.
- [23] 王昊,特日根.基于 RESTful Web API 服务架构的遥感影像检索技术研究[J].电子技术应用,2021,47(5):82-85,91.
- [24] 殷华杰,王凯,高平.基于 RESTful Web Service 的数据资源交换系统设计与实现[J].航空电子技术,2021,52(2):32-38.

Design and development of runoff monitoring and forecasting system for Yantan Reservoir

Shi Caixia¹, Cheng Jianfei^{1*}, Li Yong¹, Wan Jiaquan², Zhong Lihua¹, Wang Zhenguo¹

(1.Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China;

2.Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on Java, WEB and other technologies, this paper established the runoff monitoring and prediction system of Yantan Reservoir based on CesiumJS, and introduced its construction process and functional modules in detail. The completion of the system realizes the three-dimensional scene fusion application and product sharing of "hydropower + meteorology", improves the efficiency and quality of hydropower meteorological service, and provides technical support for hydropower stations in optimal dispatching, disaster prevention and reduction decision-making.

Key words: runoff; grid forecasting; monitoring; meteorological services