

“智慧水利”背景下流域级水利工程信息化平台架构设计与数据融合研究

李文强

南涧彝族自治县水利工程建设管理局, 中国·云南 大理 675700

摘要: 智慧水利背景下, 流域级水利工程信息化平台架构设计以及数据融合十分重要。合理地进行架构设计可以达到水利信息高效管理、共享的目的, 提高水利工程的运行效率。研究主要针对平台架构设计原则、方法以及数据融合策略展开论述, 从数据采集、传输、存储、处理等各方面着手, 创建起科学合理的信息化平台, 给流域水利工程智能化发展给予支持。

关键词: 智慧水利; 流域级水利工程; 信息化平台架构设计; 数据融合

Architecture Design and Data Integration Research of Watershed-Level Water Conservancy Project Information Platform under the Context of "Smart Water Resources"

Li Wenqiang

Nanjian Yi Autonomous County Water Conservancy Construction Management Bureau, China Yunnan Dali 675700

Abstract: Under the context of smart water resources, the architecture design of watershed-level water conservancy project information platforms and data integration are crucial. A well-designed architecture enables efficient management and sharing of water-related information, thereby improving the operational efficiency of water conservancy projects. This study focuses on the principles, methods of platform architecture design, and data integration strategies, addressing aspects such as data collection, transmission, storage, and processing to establish a scientific and rational information platform that supports intelligent development of watershed water conservancy projects.

Keywords: Smart water resources; Watershed-level water conservancy projects; Information platform architecture design; Data integration

0 引言

在当今科技迅猛发展的时代, 智慧水利成了水利行业发展的主要方向。随着流域级水利工程规模越来越大, 传统的管理模式已经不能满足需要了。信息化平台创建以及数据融合, 成了改进水利工程管理水准的重要手段。创建科学的信息化平台架构, 可以将各种水利数据进行整合, 从而达到信息实时共享、高效利用的目的。但是目前的架构设计和数据融合还存在着很多问题, 例如架构不合理、数据标准不统一等。因此, 在智慧水利背景之下, 对流域级水利工程信息化平台架构设计以及数据融合进行研究, 有十分重要的现实意义。

1 平台架构设计理论基础

1.1 相关概念与内涵

智慧水利依靠物联网、大数据、云计算等新一代信息技术对传统水利业务进行全面的升级改造, 流域级水利工

程信息化平台是智慧水利体系中重要的载体, 它面向全流域范围统筹各种水利工程实体, 包括水库、堤防、闸坝、灌区、水文监测站点等各个方面的水利设施, 整合流域水文监测、工程调度、防汛减灾、水资源管理、工程运维等多项业务。该平台冲破了单一水利工程单独运作的业务模式, 把流域当作管控单元, 达成多工程之间的业务协同以及信息互通。平台内涵不是简单的硬件设备和软件系统叠加, 而是在业务流程、监测数据、调度决策一体化的基础上, 实现数据汇聚处理、业务流程办理、可视化展示、辅助决策输出等各方面能力的整合, 为流域水资源优化配置、水旱灾害防御、工程安全运行提供信息化支撑。

1.2 设计原则与目标

流域级水利工程信息化平台架构设计以实用性、整体性、安全性、可拓展性为基本原则, 实用性要求架构设计要符合流域水利真实的业务需求, 不能出现脱离业务场景

的功能冗余设计。整体性原则即从流域整体角度出发统筹各个水利子工程,打通各个层次的业务系统,实现上下业务联动。安全性原则对网络传输、数据存储、业务访问的全过程进行防护,防止出现网络攻击和数据泄露的情况。可扩展性要求架构留有接口,以适应后期新增的监测站点和业务模块。平台建设目标就是建立统一的流域信息底座,完成多源异构水利数据的汇聚融合,实现流域水利工程运行状态的动态感知,提高防汛调度、水资源调配的决策科学化水平,简化工程运维业务办理流程,逐步实现流域水利治理模式由经验判断向数据驱动转变。

1.3 架构设计的重要性

科学完备的架构设计是流域级水利工程信息化平台稳定运行的前提,也是决定平台后续业务扩展、数据处理、系统维护等各方面效果的基础。流域范围内水利设施分布范围广,原有的各个水利工程分别属于不同的管理单位,历史上的业务系统标准千差万别,若缺乏顶层架构的约束,新建平台就会产生系统碎片化的问题,不能实现跨工程的信息互通。合理设置的顶层架构可以统一业务标准和接口规范,给后面多源数据融合提供底层框架支持,减少后期系统迭代升级所要付出的改造成本。如果架构设计有缺陷,就会出现模块耦合度高、数据流通不畅、安全防护不到位等状况,从而导致平台不能承载流域海量的监测数据,也不能支撑复杂的调度业务运行。

2 信息化平台架构设计

2.1 总体架构设计思路

流域级水利工程信息化平台总体架构采取分层化的设计思想,从下到上可以分成感知层、基础设施层、数据层、业务应用层和展示交互层五个层次。感知层指的是流域内分布的水文、水位、雨量、大坝变形、渗流等各种监测终端,对工程实体和水文环境的原始监测数据进行采集。基础设施层依靠云计算服务器、存储设备、网络设备给算力和存储硬件赋予支撑。数据层是对全流域各种水利数据进行集中管理的场所,是数据清洗、数据融合等业务所依托的场所。业务应用层面面向防汛调度、工程安全监测、水资源管理、运维管理等具体的水利业务来建立业务逻辑。展示交互层给各级水利管理人员提供大屏可视化、网页客户端、移动端等多种访问方式的大屏展示功能。

2.2 功能模块架构设计

功能模块架构以流域水利主要业务为基础,分成工程安全监测模块、水情雨情监测模块、流域调度决策模块、工程运维管理模块、综合可视化模块、系统管理模块六个

主要业务模块。工程安全监测模块接收到水库、堤防、闸坝等各个工程的各类安全监测数据之后,可以对工程中的异常情况进行识别并发出报警。水情雨情监测模块把全流域的雨量站、水文站的数据全部纳入进来,从而达到对流域水雨情态势的实时掌控。流域调度决策模块是水库群联合调度、水资源分配等业务的实现载体,用融合后的数据作为调度的依据。工程运维管理模块记载工程巡检、维修保养、隐患处置全过程的业务,对流域内各个水利工程的运维工作进行规范。综合可视化模块将流域地图、工程状态、监测指标统一地用可视化的形式来表现。系统管理模块主要是对用户的权限进行控制、接口进行配置以及日志进行审计,从而达到对整个平台的访问和接口进行统一管理的目的。各个模块之间保持低耦合、高内聚,模块之间通过统一的数据接口进行信息交流,单个模块的升级不会对其余的业务模块造成太大的影响。

2.3 网络架构设计要点

网络架构要适应流域水利站点分布广、部分野外监测点位通信条件差的实际情况,将业务内网、监测采集网、互联网三个网络区域分开,不同区域之间设置安全隔离设备,严格控制跨区域数据访问行为。野外监测终端根据现场通信条件选择 4G、5G 或者北斗短报文进行数据回传,偏远无公网覆盖的监测点位用北斗通信保证监测数据稳定上传。业务内网承载平台的核心业务服务器和数据库只对水利内部管理人员开放,核心业务不直接暴露在公网环境中。面向移动端、外网访问的业务设置安全隔离边界,用网闸、防火墙做数据单向交互,防止外网直接访问内网数据库。同时做好网络带宽规划,在汛期监测数据激增的情况下留出带宽余量,保证汛期大量的监测数据可以稳定地传输,完整地记录网络访问日志,为网络安全事件的追溯提供依据。

3 数据融合策略与方法

3.1 数据采集与预处理

流域级水利工程信息化平台要采集的数据源类型众多,有水文雨量监测数据、大坝渗流位移等工程安全监测时序数据,水库闸坝调度业务台账,工程巡检运维文本记录,遥感影像、视频监控多媒体数据,还有来自上下级水利部门的业务报表数据。各种原始数据采集之后都会出现数据缺失、数值跳跃、时间戳错乱、格式不一致等问题,在预处理阶段对多源原始数据进行质量鉴别,找到由于设备故障造成的异常监测值,对缺少的监测记录按照业务规则做标记处理,将不同监测设备输出的时间格式、计量单

位统一起来,剔除重复的、冗余的记录。经过预处理之后的数据消除了原始数据中的噪声,提高了数据集的整体质量,为之后开展多源数据融合打下了可靠的基石。

3.2 数据融合技术选择

根据流域水利多源异构数据特征分层选择合适的融合技术,在数据层进行数据级融合,将不同监测站点、不同水利工程同类监测时序数据进行对齐归并,统一时空基准,实现同一流域要素信息的汇聚。特征层融合提取水情、工程安全监测数据中变化特征,把水位、雨量、大坝变形等各类指标特征结合起来,发现单一数据源不能体现的内在联系。决策层融合流域防汛、工程安全研判业务,用多源特征综合研判。时序监测类数据先用加权融合和时空对齐算法,文本台账类业务数据用本体映射技术实现语义融合,遥感影像多媒体数据用像素级和特征级相结合的方式进行融合。技术选型要考虑到野外监测数据质量参差不齐的实际状况,能够应对部分数据有轻微缺失的情况,不能因为某一个数据出现异常就影响到整个融合输出结果。

3.3 数据融合质量评估

数据融合质量评估是检验多源数据融合输出成果是否可靠的手段,建立适合水利业务场景的多维评估体系,从数据完整性、时空一致性、业务合理性三个方面进行综合评价。完整性维度统计融合之后的数据集有效记录占整体的比例,检验原始的有效信息在融合的过程中是否被丢失。时空一致性校验在同一时间断面内,流域上下游、相邻工程监测数据变化的逻辑是否符合水文物理规律,找出融合后出现逻辑矛盾的数据记录。业务合理性评价把输出结果同流域实际水情、工程运行工况的契合度纳入考量范围,着重检验汛期、工程调度发生改变时融合的效果。根据评估发现的质量缺陷回溯融合全流程定位是原始数据源问题还是融合算法参数设置问题,迭代调整融合策略,不断改善数据融合输出质量。

4 平台应用与发展前景

4.1 平台在水利工程中的应用

流域级水利工程信息化平台可应用于流域水旱灾害防御、水库群联合调度、水利工程安全监管、水资源集约管控等各个业务场景。汛期阶段,平台把流域内所有水雨情和工程安全监测数据汇集起来,清楚地显示流域的总体水势,帮助管理人员做好洪水演进预测,支持水库群联合泄洪调度。工程安全监管业务中,平台把多座水库、堤防安全监测融合数据融合起来,达成跨工程风险统一识别,对工程渗流、位移出现异常变化的点位立刻发出告警。水资

源管理业务利用融合后全流域来水、用水数据进行流域水量统一分配,推进灌区供水和生态流量保障业务实施。平台可以将各个工程的运维信息进行统一的归集,实现流域内水利工程巡检养护工作的统筹管理,提高整个流域水利治理工作的协同水平。

4.2 面临的挑战与对策

流域级水利工程信息化平台建设运行还存在诸多现实问题,流域水利监测站点建设年代不同,部分监测设备的通信协议不一致,历史存量数据标准各异,给数据采集融合造成障碍,野外监测站点受到恶劣自然环境的影响,容易出现设备故障导致数据中断的情况,跨部门业务数据共享协调也存在着客观存在的困难。为了解决以上问题,需要制定流域统一的数据和接口标准,对存量老旧监测设备进行标准化改造,不能改造的增设协议转换网关完成数据适配。改进野外站点运维保障机制,加大偏远监测站点巡检频率,加强终端设备的环境适应性。创建起跨部门常态化的数据共享协同机制,确定各单位数据报送的内容和频率,健全平台的安全防护体系,分层设定数据访问权限,在保证数据安全的基础上推进业务数据有序共享。

4.3 未来发展趋势展望

随着智慧水利建设的不断推进,流域级水利工程信息化平台会向着智能化、虚实联动、全域协同的方向不断发展,未来会进一步引入数字孪生技术构建流域虚拟映射模型,把平台融合后的实时监测数据驱动虚拟模型推演流域水文演变、工程运行演变的过程,提高调度仿真模拟能力。人工智能算法会深入到数据融合和业务研判环节中去,依靠算法自动识别出水情和工程安全存在的风险点,从而减少对人员经验的依赖。平台还会打通省级、市级、工程站点多级业务链路,使上下级平台之间可以相互传输数据。同时平台会更重视轻量化移动端业务能力的建设,把核心告警、查询研判能力向移动终端延伸,不断拓展平台业务覆盖场景,持续提高流域水利数字化智慧化治理能力。

5 结语

本文以智慧水利为背景,对流域级水利工程信息化平台架构进行设计,并对数据融合进行了研究。经过本文研究得出平台架构设计的理论基础和方法、数据融合的策略和技术。虽然目前已取得一定成果,但仍需不断探索与完善。未来要继续加强技术创新,提高平台稳定性、可靠性,推进水利数据深度融合、应用,为流域水利工程可持续发展提供有力保障。

参考文献:

- [1] 陈阳, 张金锁, 周建等. 面向流域治理的 AI 智慧水利指挥中心数据融合机制[J]. 数字技术与应用, 2026, 44(2):85-87.
- [2] 洪德法, 赵世军, 阮宝民等. 流域级地理空间大数据平台建设研究与应用[J]. 工程勘察, 2025,53(12):71-77.
- [3] 冶运涛, 蒋云钟, 曹引等. 智慧水利理论体系与数字孪生流域虚拟模型研究成果述要[J]. 中国水利, 2024(5): 41-51.
- [4] 全强, 牟小龙, 孙立新等. 流域多维度水系连通与智慧水利耦合研究进展[J]. 内蒙古水利, 2023(12):4-5.
- [5] 廖晓玉, 高远, 金思凡等. 松辽流域智慧水利建设方案初探[J]. 中国防汛抗旱, 2022,32(2):40-43+53.

作者简介: 李文强 (1979.06.15), 男, 汉族, 云南弥渡, 本科, 副高级工程师, 研究方向: 水利水电工程与建筑。