

浅谈数字孪生在驷马山乌江站水位动态监控中的应用

李 辉

安徽省驷马山引江工程管理处 安徽和县 238251

摘 要: 数字孪生 (Digital twin) 是利用数字化方式创建物理实体的虚拟模型, 通过虚实交互反馈、数据融合分析以及决策迭代优化等手段, 将物理体与数字体协同工作达到系统设计功能和目标。本文对数字孪生原理进行分析, 基于数字孪生五维模型研究驷马山乌江站水位动态监控的建模和调度问题, 为了提高水闸泵站水位监控的工作的效率, 提出了一种动态调度数字孪生水闸泵站水位控制算法, 并设计了数字孪生水闸动态调度系统, 为智能泵站的建设和发展提供了一种新的应用设计思路和参考。

关键词: 水闸泵站; 水位控制; 数字孪生; 动态调度

Application of digital twin in water level dynamic monitoring of Wujiang station in Simashan

Li Hui

Anhui Simashan River Diversion Project Management Office, He County, Anhui 238251

Abstract: Digital twin is to create a virtual model of physical entities by means of digitalization. Through virtual real interaction feedback, data fusion analysis, decision iterative optimization and other means, physical entities and digital entities work together to achieve system design functions and objectives. This paper analyzes the digital twin principle, studies the modeling and scheduling of the dynamic water level monitoring of Simashan Wujiang station based on the five-dimensional digital twin model, proposes a dynamic scheduling digital twin water level control algorithm for the water level monitoring of the sluice pump station, and designs a digital twin water level dynamic scheduling system, It provides a new application design idea and reference for the construction and development of intelligent pumping station.

Keywords: Sluice pump station; Water level control; Digital twins; Dynamic scheduling

引言:

随着全球气候变化和能源危机, 极端天气频发, 高温、干旱、洪涝等在世界范围内交替出现。我国是水旱灾害最为严重国家之一, 水利工程的重要性越来越突显。安徽省驷马山引江工程是安徽省“三横二纵”水资源配置骨干网之一, 是集滁河分洪、引江灌溉、城乡供水、兼顾航运等综合利用的大型水利工程。驷马山灌区系全国最大的提水灌区, 乌江站作为驷马山灌区渠首站, 在为灌区服务方面发挥出重要作用。未来水利工程发展将向信息化、智慧化发展, 特别是数字孪生平台, 水利部部长李国英提出加快推进数字水利工程建设, 我们驷马山乌江站于2022年完成了乌江站信息化改造, 初步建成了数字孪生平台, 在未来的智慧水利工程发展战略中具有重要的作用。水闸泵站的安全高效运行成为了一个重要

的研究内容, 水闸泵站水位的控制是智能水闸泵站的重要组成部分, 直接关系到灌区内工农业生产和人民生活。传统的水闸泵站水位控制系统根据监测系统上传的数据控制水闸泵站节制闸闸门和机组进行工作, 实现对水位的控制, 没有和其他系统进行联合, 水闸泵站是由闸门、启闭机、水泵、电机及控制设备、发电机、变压器、开关设备以及辅助系统等构成的复杂强耦合的系统, 但是各个系统之间的数据信息存在一定的信息孤岛, 数据共享难度大。本文在数字孪生技术发展的背景下, 利用数字孪生模型对水闸泵站各个部分的数据进行集成和融合, 满足水闸泵站信息物理系统集成、信息物理数据融合、虚实双向连接以及交互的需要, 满足水闸泵站对水位控制的需要, 同时降低运行管理人员的劳动强度, 提高水闸和机组泵群的工作效率。

一、数字孪生技术与可视化分析

1. 数字孪生技术分析

数字孪生技术是充分利用物理模型、传感器更新、历史运行等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，利用得到的采集数据在在虚拟空间中完成对应实体的全生命周期映射。数字孪生技术是对现实世界物体通过数字化的手段构造一个在虚拟世界中一模一样的模型，通过模型对现实物体进行分析和优化。

数字孪生的系统主要包括物理实体层、数字孪生层和功能服务层，数字孪生系统架构如图1所示。

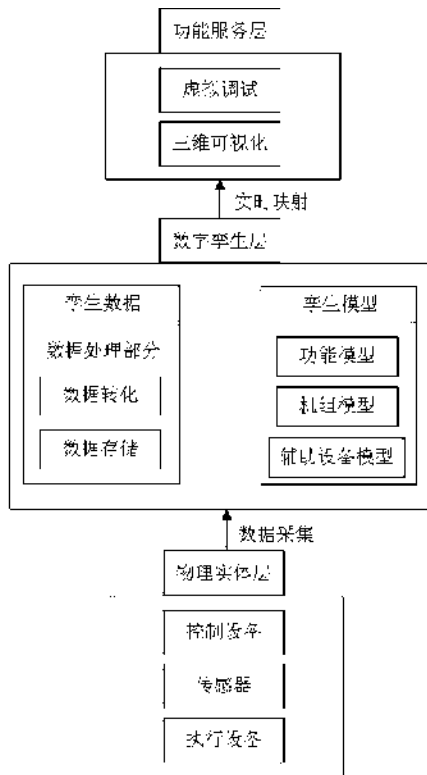


图1 数字孪生系统架构

2. 数字孪生可视化技术

可视化模块的构建即系统模型在Web界面的可视化，实现这个功能首先需要在可视化界面上进行场景渲染及模型加载；其次，需要实现控制系统与可视化模块之间的信息交互。数字孪生系统可视化模块的技术路线如图2所示。

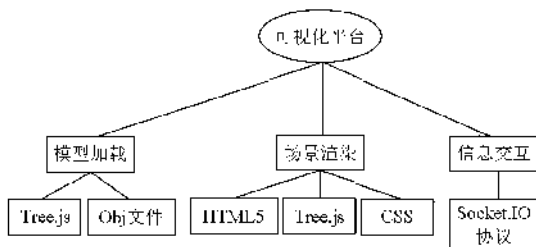


图2 数字孪生系统可视化模块的技术路线

Three.js 技术发展之前，Web端常用WebGL技术进行三维场景和模型的展示，但是该技术对开发人员的要求非常高——必须掌握大量图形学知识以及WebGL原生的接口内容。因此，Three.js技术在WebGL的基础上封装接口以及简化各种接口，使得开发者无需掌握繁冗的图形学知识便可实现三维场景的渲染，进而成为了Web端三维渲染的主要应用技术。可视化模块运行流程如图3所示。

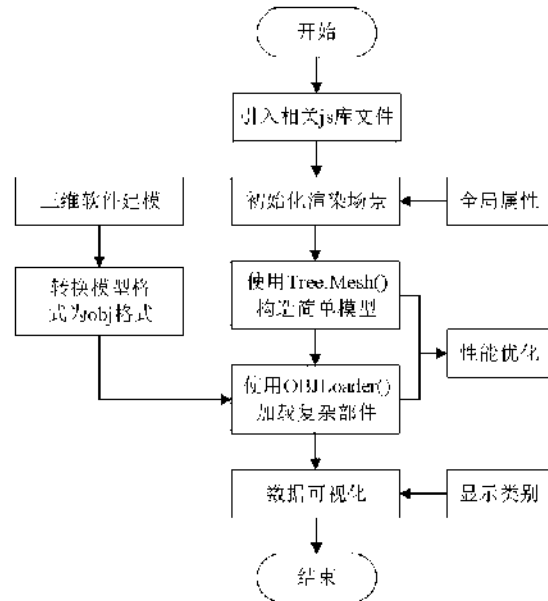


图3 可视化模块运行流程

结合乌江站实时有效管理的要求，提供全局数据服务和工程数据服务。全局数据服务包括工程概要类信息服务，乌江站内的水位、雨情、水量类等信息服务。工程数据服务包括电站主机组、辅机、闸门开停状态信息类，视频监控类等信息服务。

二、乌江站水位监控建模与系统实现

1. 数字孪生建模方法

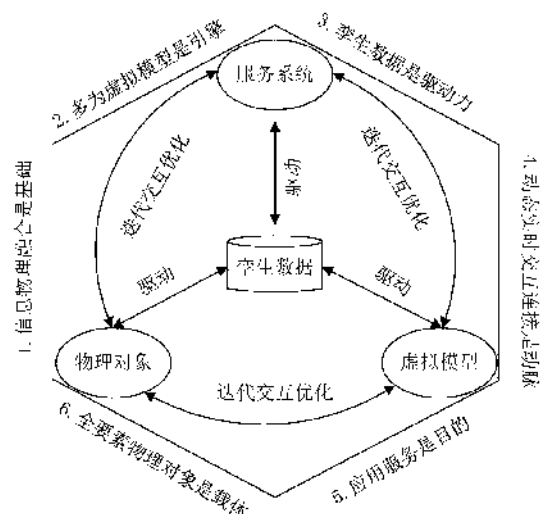


图4 五维孪生体模型

数字孪生的应用首先就是需要建立模型，本文在原有的三维模型的基础上进行扩充，添加孪生数据和连接两个维度，得到的数字孪生五维模型如图4所示。

根据数字孪生使用的语境环境，知道模型是本体，物理实体作为参考对象，数据是对研究对象特征信息的反映，仿真是进行模拟演化过程中使用到的工具和方法。

根据乌江站水位监控数字孪生体模型的建立，需要经过设计阶段、施工阶段和反馈修正阶段，模型的整个建立过程如图5所示。

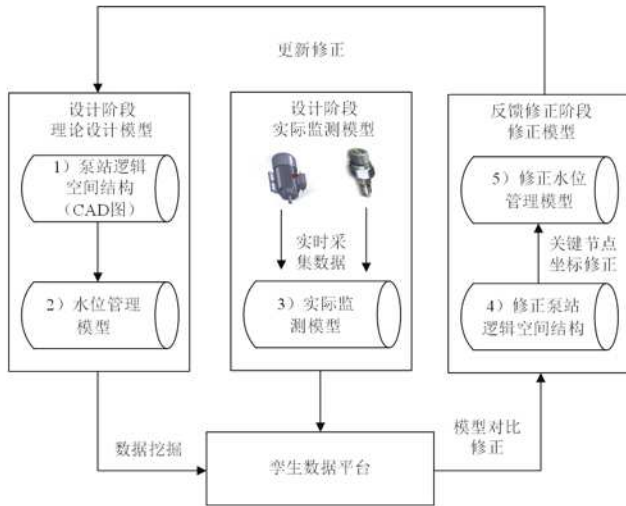


图5 乌江站水位监控数字孪生体模型建立过程

2. 模型组成分析

根据图4的数字孪生五维模型中主要包括虚拟实体 (VE)、服务 (Ss)、孪生数据 (DD)、物理实体 (PE) 以及各部部分之间的连接 (CN)，可以得到的数字孪生

五维模型的表示式为：

$$Model = \{PE, VE, Ss, DD, CN\} \quad (1)$$

(1) 物理实体 (PE)

物理实体是数字孪生模型的基础，在乌江站水位控制模型中需要结合控制过程对实体进行分析，使用传感器仪表主要有流量仪表、压力仪表、液位仪表以及控制设备等。

(2) 虚拟实体 (VE)

在模型中虚拟实体是物理实体的映射，从多维度、多空间尺度和多时间尺度对物理实体进行描述，数学表示式为：

$$VE = \{G_v, P_v, B_v, R_v\} \quad (2)$$

在式(2)中， G_v 是对物理实体的模型描述的几何参数； P_v 表示的是物理属性、特征和构建模型使用的约束条件等，起到对模型的进一步优化； B_v 是对物理实体在受到外部干扰情况下的反应； R_v 是基于历史关联数据、规律规则和工作流程。

(3) 服务 (Ss)

服务是数字孪生五维模型在三维模型的基础上增加的一个维度，是数字孪生系统的主要驱动来源，依靠虚拟空间算法库、数据库以及知识库等对乌江站中水位控制设备进行控制，实现对水位控制系统中主要的泵站和机组的调度。服务主要是完成输入输出功能的运算判断，经过外部对象读取数据、形成数据库、进行运算决策、修改数据库、向外部提供保准的输出，工作流程如图6所示。

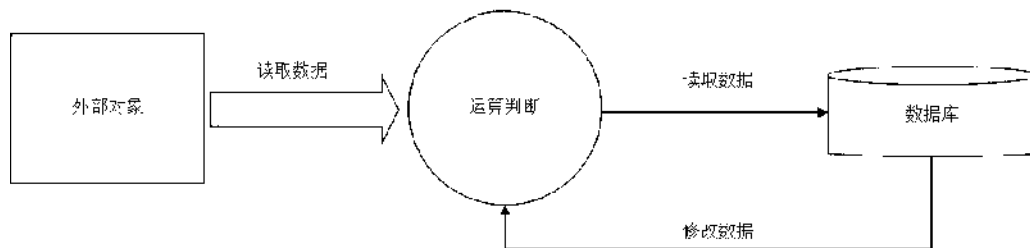


图6 乌江站水位监控数字孪生服务工作流程

(4) 孪生数据 (DD)

孪生数据主要包括物理实体数据。虚拟数据、服务数据、知识数据和融合衍生数据，数学表示式为：

$$DD = \{D_p, D_v, D_s, D_k, D_f\} \quad (3)$$

在式(3)中， D_p 代表的是物理实体的规格、功能和性能等物理属性，可以反映出物理实体的运行情况、环境参数等； D_v 表示的是虚拟实体的相关数据，包括设备对应的规格、载荷和特征对应的数字孪生模型数据；

D_s 表示的经过算法和规则训练后的数据； D_k 主要是使用的专家知识、规则约束和算法库中与模型相对应的数据； D_f 表示的是经过预处理、连接、转换等手段后得到的衍生数据。

(5) 连接 (CN)

连接是数字孪生模型中各个部分之间的互连互通，由实体、虚拟实体和服务构成结点，结点之间相互连接形成数字孪生的拓扑结构，连接的数学表示式为：

$$CN = \begin{cases} CN_PD, CN_PV, CN_PS, \\ CN_VD, CN_VS, CN_SD \end{cases} \quad (4)$$

在式(4)中, CN_PD 表示的是实体和孪生数据之间的交互, 通过系统中的采集传感器和检测设备收集数据; CN_PV 表示的是实体和虚拟实体两者之间的交互, 利用网络协议是实现数据的传输; CN_PS 是实体和服务之间的交互, 数据通过服务分析后传输给用户; CN_VD 代表的是虚拟实体和数据两者之间的交互, 虚拟实体进行仿真的数据通过 JDBC、ODBC 等数据库接口进行存储, 用于数据库历史数据分析; CN_VS 代表的是虚拟实体和服务之间的交互, 利用网络通信对仿真数据进行传输, 为乌江站的水位控制提供了控制依据; CN_SD 代表的是服务和数据之间的交互, 通过数据存储保留数据对模型进行训练。

3. 监控系统数据库设计与实现

数据库管理主要需求包括建库管理、数据输入、数据查询输出、数据维护管理、代码维护、数据库安全管理、数据库备份恢复、数据库外部接口等, 是数据更新、数据库建立和维护的主要工具, 也是在系统运行过程中进行原始数据处理和查询的主要手段。

根据对数字孪生建模方法和模型主要部分的分析, 乌江站水位监控根据数字孪生五维模型构建流程主要包括确定物理实体、建造虚拟实体、设计数据、建立连接和实现服务五个主要的步骤, 研究人员根据一般对软件的开发过程结合数字孪生建模方法进行开发完善, 开发流程如图7所示。

模型开发完成后需要对乌江站水位监控系统框架进行搭建, 利用 Spring 的中间件对数据进行处理, Spring 框架的组成如图8所示。

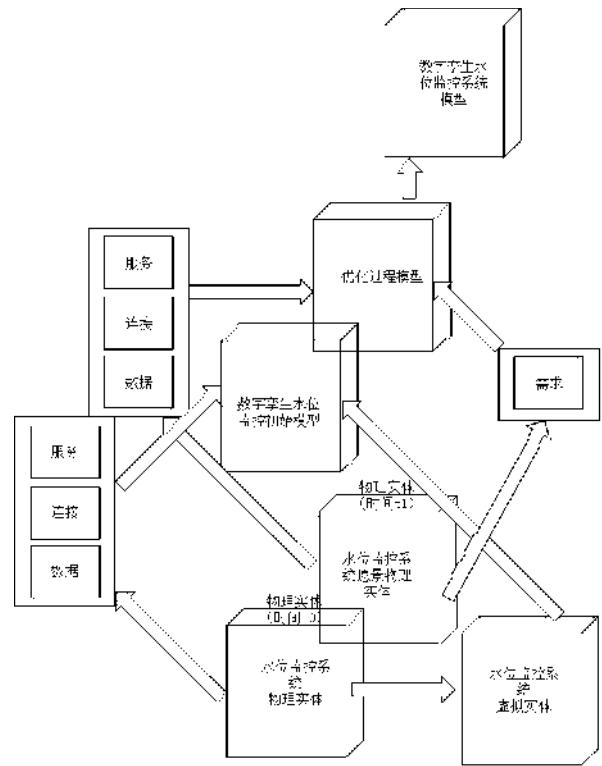


图7 水位监控系统数字孪生模型开发流程

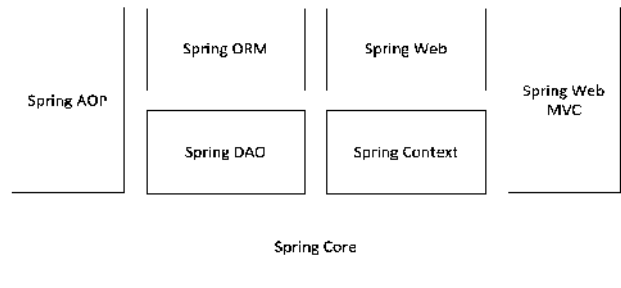


图8 Spring 架构组成图

泵站综合数据库主要包括专用数据库和公共数据库两大类。专用数据库包括泵站工业数据库、管理处工业

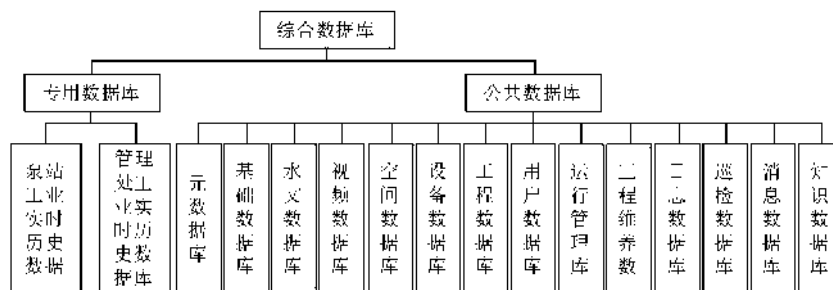


图9 综合数据库内容

数据库; 公共数据库包括元数据库、基础数据库、水文数据库、视频数据库、空间数据库、设备数据库、工程数据库、用户数据库、运行管理库、工程维修养护数据库、日志数据库、巡检数据库、消息数据库、知识数据

库。综合数据库内容如图9所示。

乌江泵站通过单向网闸将泵站的工业自动化数据同步到管理处信息中心的交换数据库中, 使得管理处的交换库能够通过通信网络将数据一部分同步到安徽省水利

厅水利信息化共享平台，数据交换过程如图10所示。

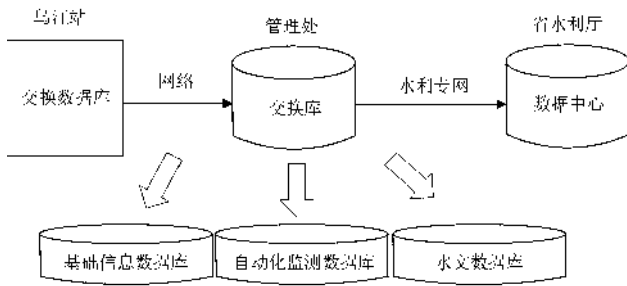


图10 数据交换过程

利用元数据库对乌江泵站的建筑、设备和仪表等属性信息进行描述，包括乌江泵站水工建筑物、水泵设备、机组设备、供电设备、供排水泵、空压机、RTU、MCU、视频设备、电气设备、水文站、水位计、液压启闭机、组织机构、供电设备、排水泵、空压机、滤水器、电磁阀、动力回路、供水管理、压力计、温度仪表、测温屏、示流信号器、叶片调节装置、LCU控制柜、上位机、拼接屏等，为数据库中的其他数据提供解释信息服务。

三、乌江泵站群动态调度研究

1. 调度规则设计

主要是利用水位控制的紧急程度对控制设备进行调度，利用 U 表示紧急程度，可以表示为：

$$U = \frac{H_e - H_0}{H_{\max} - H_e} \quad (5)$$

紧急程度越高表示乌江站水位发生溢流的可能性就越大， $U < 0$ 表示当前水位在警戒值以下，处于安全状态。

还需要考虑到不同位置的发生溢流造成的损失，损失越大的对应的控制设备启动的优先级越高；如果在损失相同的情况下，根据紧急程度确定优先级。

2. 动态调度决策过程

根据水的数字孪生模型对水位监控系统进行智能决策，根据检测到的水位数据、重要程度和优先级对乌江站水位控制设备进行调度，根据设计的动态调整策略实现对泵站中排水机组工作状态进行控制，避免发生溢流，设计的基于数字孪生乌江站水位控制调度决策如图11所示。

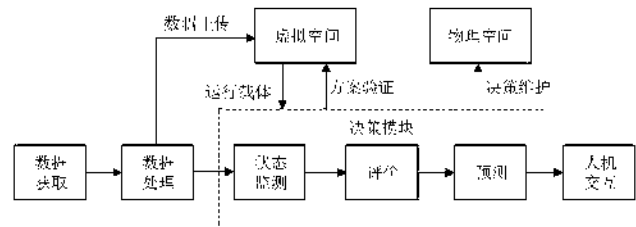


图11 基于数字孪生乌江站水位控制调度决策

四、结语

本文主要对数字孪生模型和主要组成部分进行了研究，分析了数字孪生技术、可视化技术以及模型的建模方法，并基于数字孪生模型对驷马山乌江站水位动态监控系统进行了设计，为了提高系统中的泵群和排水机组的工作效率，提出了一种动态调度方法，并给出了动态调度的规则和决策过程，为数字孪生在智能水利泵站的应用提供了参考。

参考文献：

- [1]张绿原, 胡露骞, 沈启航, 等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电, 2021(11): 58-62.
- [2]徐瑞, 叶芳毅. 基于数字孪生技术的三维可视化水利安全监测系统[J]. 水利水电快报, 2022, 43(1): 87-91.
- [3]李才, 管林杰, 杨坤, 等. 数字孪生架构下水工程数字底座建设研究[J]. 水利规划与设计, 2022(4): 70-73.
- [4]姚志武, 管林杰. 基于数字孪生的城市防洪排涝智能决策平台设计[J]. 水利水电快报, 2022, 43(5): 99-103.
- [5]He Z, Zhou J, Qin H, et al. A fast water level optimal control method based on two stage analysis for long term power generation scheduling of hydropower station[J]. Energy, 2020, 210:118531.
- [6]Huang D B, Zheng J S, Zheng C Y. Dynamic Simulation Method for Hydropower Computation and Unit Selection in Design of Hydropower Station[J]. Water Resources and Power, 2019.