

刘海瑞, 钟千有, 谢津平, 等. 知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台研究与应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(S1): 484-490.

LIU Hairui, ZHONG Qianyou, XIE Jinping, et al. The construction and application research of knowledge-driven intelligent operation and maintenance management platform for cascade pumping stations[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(S1): 484-490.

# 知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台 研究与应用

刘海瑞<sup>1</sup>, 钟千有<sup>2,3</sup>, 谢津平<sup>1</sup>, 张弋扬<sup>1</sup>, 付超<sup>1</sup>

(1. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222; 2. 天津大学 水利工程智能建造与运维  
全国重点实验室, 天津 300072; 3. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 长距离引调水工程对于缓解地区水资源紧张和促进区域经济社会发展具有重要意义, 其中梯级泵站群是确保引调水工程正常运行和高效输水的关键设施。以南水北调东线山东干线梯级泵站群的信息化建设为例, 提出一个知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台。通过分析南水北调东线山东干线梯级泵站群信息化建设的需求, 梳理实际工程对象之间的关系, 构建梯级泵站群运维知识图谱, 实现梯级泵站群运维过程中多源异构数据的智能化管理与优化调度。案例研究结果表明, 该平台能够提高梯级泵站群的效率与可靠性, 减少故障和损失, 同时实现运维过程中的智能化管理。

**关键词:** 梯级泵站群; 知识图谱; 信息化建设; 管理平台

**DOI:** 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.S1.074

中图分类号: TV62; TV882.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2025)S1-0484-07

## The construction and application research of knowledge-driven intelligent operation and maintenance management platform for cascade pumping stations

LIU Hairui<sup>1</sup>, ZHONG Qianyou<sup>2,3</sup>, XIE Jinping<sup>1</sup>, ZHANG Yiyang<sup>1</sup>, FU Chao<sup>1</sup>

(1. China Water Resources Beifang Investigation, Design, and Research Co., Ltd., Tianjin 300222, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Intelligent Construction and Operation, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Long-distance water diversion projects are of great significance for alleviating regional water resource shortages and promoting regional economic and social development. Cascade pumping stations are key facilities to ensure the normal operation and efficient water transfer of these projects. Taking the informatization construction of the cascade pumping station group on the Shandong main line of the East Route of the South-to-North Water Transfer Project as an example, a knowledge-driven intelligent operation and maintenance management platform for cascade pumping stations was proposed. By analyzing the informatization construction needs of the cascade pumping station group and sorting out the relationships between actual engineering objects, a knowledge graph for the operation and maintenance of the cascade pumping station group is constructed. This enables intelligent

收稿日期: 2024-07-08

基金项目: 水利部重大科技项目“长距离引调水工程梯级泵站群运行调度数字孪生关键技术研究”(SKS-2022133); 天津大学自主创新基金“数字孪生驱动的水利工程智慧运维理论与关键技术”(2023XJD-0065)

作者简介: 刘海瑞(1979—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水利工程信息化研究。E-mail: 12400828@qq.com

通信作者: 钟千有(2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水利数字化与智能化。E-mail: 1290570561@qq.com

management and optimized scheduling of heterogeneous multi-source data during the operation and maintenance of the pump station group. The research results show that this platform can improve the efficiency and reliability of the cascade pumping station group, reduce faults and losses, and achieve intelligent management during the operation and maintenance process.

**Keywords:** cascade pumping station group; knowledge graph; informatization construction; management platform

## 0 引言

在梯级泵站群的运行维护过程中,面临着复杂多变的挑战,这主要体现在对多维度数据的依赖上,包括但不限于供水需求、设备状态、运维记录及气象水文数据。目前,这些信息的收集、验证及归档过程主要依赖于人工操作,例如运维人员的实地巡检、手动记录和电子化输入,随后进行分级核对和存档处理。然而,由于这些数据来源多样且格式各异,导致数据交换和共享的不畅,同时也增加了信息检索和访问的难度。在实现泵站群智能化管理和优化调度的过程中,迫切需要大量的知识信息支持,以便于快速检索和有效关联相关数据。因此,建立一个全面、有效的信息组织与表达系统,以及深入挖掘梯级泵站群运维数据的潜在价值,成为了当前急需解决的技术难题。

随着自然语言处理、机器学习和分布式计算等信息技术的迅速发展,国内互联网公司阿里巴巴、百度、腾讯等开始构建知识管理平台,知识图谱也逐渐出现在了水利行业从业者的视野中。知识图谱是一种融合了统计学、信息科学、语义分析、智能识别等不同领域技术和理论的新兴研究方法,随着人工智能技术的不断发展和应用,知识图谱技术进一步演化与完善,其在水利设施管理和运维方面的智能分析和智能推理方面的应用变得更加可行和高效,为水利领域的智能应用带来巨大的价值和效益。其中,知识图谱按照应用领域的不同,可分为通用知识图谱与领域知识图谱两类。通用知识图谱是指覆盖广泛领域的知识图谱,包含各种普遍性的概念、实体和关系,其涉及的知识范围广泛,旨在构建一个全面、多领域的知识表示和关联模型。相反,领域知识图谱是指针对特定领域的知识进行建模和组织,并在该领域内提供深入的知识表示和关联,与通用知识图谱相比,领域知识图谱更专注于一个特定的领域,例如医学、金融、水利、交通等。其中知识图谱在水利领域的应用可以涵盖五大方面:水文水资源管理、水利设施运维管理、水质监测与污染源追踪、水灾风险评估与应急管理、水资源规划与决策支持;同时随着信息技术的不断发展和数据的积累,水利行业将迎来更多智能化和高效性的应用场景。

针对上述问题,本文从南水北调东线山东干线梯级泵站群信息化建设出发,通过分析泵站群信息化建设需求,梳理泵站群运维的业务流程,提出并构建了一个知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台。该平台整合了泵站群运维过程中的多源异构数据,通过构建梯级泵站群运维知识图谱,实现基于规则的知识匹配,进一步挖掘和利用隐藏在梯级泵站群知识图谱中的隐性知识。最后,将这一平台应用于南水北调东线山东干线梯级泵站群(南四湖至东平湖段长沟、邓楼、八里湾三座泵站)的信息化建设中,其显著提升了梯级泵站群的运维效率与可靠性,实现了梯级泵站群运行维护过程中的智能管理,赋能数字孪生工程基础建设。

## 1 需求分析与技术概述

### 1.1 梯级泵站群信息化建设现状

通过前往南水北调东线山东段两湖三站梯级泵站群进行实地调研,了解南四湖至东平湖段长沟、邓楼、八里湾三座泵站的数字孪生建设基本情况,并与现场泵站运维人员进行了相关交流。调研发现在泵站运行过程中均会进行相关数据监测,其中包括流量、水位、扬程、功率、振动、摆度、温度和压力等数据。然而,这些运维数据并未得到有效的管理与利用,无法真正为泵站运维管理提供支持,进行深层次的知识挖掘。因此目前在梯级泵站群信息化建设中存在以下问题。

(1) 运维数据分散:各泵站的数据分散在不同的系统和纸质文件中,缺乏统一的管理平台,导致各个泵站的运维数据无法互通与共享;

(2) 智能化水平低:目前的泵站运维管理主要依赖人工操作和专家经验判断,缺乏智能化的数据分析和决策支持工具;

(3) 数据利用率低:大量的监测数据未得到有效挖掘与利用,难以发挥其在泵站故障预测、水量调度优化等方面的作用;

(4) 历史运维数据整理不足:虽然每个泵站都有维护日志、调度日报等运维记录文件,但缺乏系统化的整理与分析,因此未能有效应用于梯级泵站群的运维管理。

## 1.2 需求分析

根据梯级泵站群信息化建设现状与存在的问题, 分析在梯级泵站群运维过程中存在的数据需求, 对确保梯级泵站群的高效运行、优化调度等方面至关重要。

(1)运行数据: 泵站运行数据是泵站日常运维的基础数据, 其中包括流量、水位、扬程、功率、振动、摆度、温度和压力等。这些数据能够帮助泵站运维人员实时了解泵站的运行状态, 从而及时发现并处理异常情况;

(2)环境数据: 环境数据如气象数据、水文数据和噪声数据等, 这些数据用于评估外部环境对泵站运行的影响, 制定更加有效的调度计划;

(3)视频监控数据: 视频监控数据可以确保泵站的安全运行, 实时监控每个泵站的物理状态, 记录和分析运维人员的操作行为, 确保其操作规范和安全;

(4)维护和调度记录: 维护和调度记录包括日报、月报、年报和调度日志等, 这些数据提供了历史运行数据和维护信息, 可为泵站群调度优化与故障预测提供重要依据。

同时, 为了确保上述数据的可用性和一致性, 需要建立一个统一的运维管理平台, 将不同来源和格式的泵站运维数据进行整合与共享。然而, 数据整合只能提供静态的数据汇总, 无法充分应对泵站的复杂运行情况与动态运维需求。

因此本文采用数字孪生技术与知识图谱融合的方法, 通过泵站中的传感器设备、物联网设备等实时采集各种泵站运行数据, 对泵站运行状态进行实时监控。而知识图谱则可以将这些监测数据进行结构化表示, 构建一个具有关联性的知识网络, 从而提供深层次的知识挖掘与智能推理能力。通过将数字孪生技术与知识图谱相结合, 可以对梯级泵站群的运行状态进行实

时监控和动态模拟, 提供智能化的决策支持和优化调度, 实现对梯级泵站群的全面、精准和智能化管理。

## 1.3 需求分析

数字孪生技术(Digital Twin Technology)是指通过数字化手段在虚拟空间中创建与现实物理系统对应的数字模型, 实现对物理系统的模拟与监测; 数字孪生技术通过传感器、物联网设备以及数据分析等手段获取物理系统的各种运行数据, 并将其转化为数字模型中的输入数据, 实现了物理系统的静态复制与动态行为的实时映射, 可为各类工程管理与运维提供有效支持。

在运维管理平台的实际应用中, 知识图谱提供了结构化的知识表示能力, 而数字孪生提供了数据监测和动态模拟能力, 将知识图谱和数字孪生结合起来, 形成一个智能的运维管理系统。知识图谱可以将泵站群运维管理中各类数据进行结构化表示, 形成一个具有关联性的知识网络。同时, 通过数字孪生技术实时监测泵站群的运行状况, 知识图谱可以动态更新相关运维知识, 实现对知识图谱的动态维护。因此, 将知识图谱与数字孪生技术相结合, 可实现对梯级泵站群运维的智能化管理, 进一步提升梯级泵站群的运行效率与可靠性。

## 2 知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台

### 2.1 平台整体架构

梯级泵站群智能运维管理平台基于 B/S 架构, 采用前后端分离模式进行开发, 系统前端采用 ElementUI 框架, 后端采用 ThinkPHP 框架。平台框架可以分为三个层次: 表示层、应用层和数据层, 其中表示层是系统呈现给用户使用和交互的层级(见图 1), 应用层涵盖系统所有业务逻辑功能, 数据层主要实现

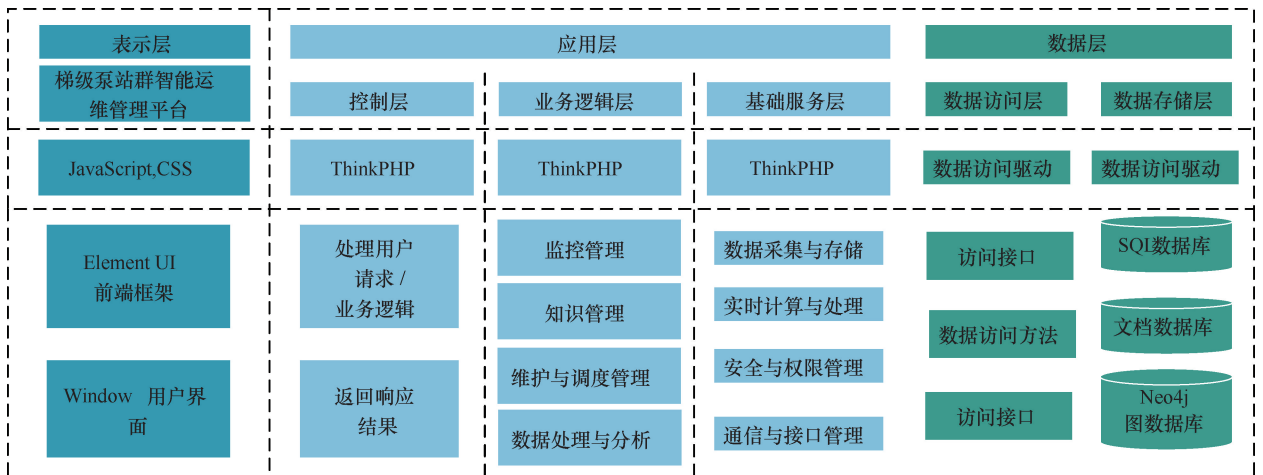


图 1 知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台架构

对数据的存储、访问与管理。整个平台框架建立在柔性基础环境之上,通过虚拟化技术将传统的软硬件资源整合成统一的资源池,其中包括云主机、云存储、云安全、可配置网络等,实现资源的弹性扩展和平台的快速部署。此外,PC、智能移动端等设备可通过网络访问平台以进行各种协同与交互操作。

### 2.1.1 表示层

表示层是指用户与系统交互的人机界面,位于架构的最外层。该层主要用于接收用户输入的数据并发出请求,以及显示处理后的数据结果,其主要提供对业务逻辑层的访问接口。通过表示层,用户能够方便地进行各种操作,实现对系统功能的有效利用。

### 2.1.2 应用层

应用层包括控制层、业务逻辑层和基础服务层。

(1)控制层:负责调度与控制,根据用户的请求处理不同的业务,并将处理后的信息发回客户端。主要任务是协调用户与系统之间的交互,确保请求得到正确的处理,并将结果通过系统界面反馈给用户。

(2)业务逻辑层:系统架构核心价值的关键部分,主要关注与业务需求相关的系统设计。业务逻辑层反映了系统的领域逻辑,是系统运作的核心,其可确保顺利执行业务流程与满足相关业务需求。

(3)基础服务层:通过中间件的接口服务,提供系统平台所需的通用业务接口模块,从而支持不同业务需求的实现,以确保系统具备灵活的扩展性和优秀的服务能力。

### 2.1.3 数据层

数据层是梯级泵站群智能运维管理平台的核心部分,包含数据存储层和数据访问层。

数据存储层由关系数据库、文档数据库和 Neo4j 图数据库组成。关系型数据库通过表的形式组织数据,支持复杂查询和事务处理;图数据库支持关联数据查询与处理,能够直观地表示梯级泵站群中各种实体及其关系,便于知识的存储和检索。

数据访问层的功能是负责数据库访问,其可提供标准化的数据访问接口,确保应用层能够高效便捷地访问和操作相关数据。

## 2.2 功能划分

在知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台中,为了确保平台能够高效运行和满足业务需求,对系统的功能模块进行划分。针对梯级泵站群运维业务流程所需的主要功能模块介绍如下。

### 2.2.1 知识管理

知识管理模块负责收集和管理梯级泵站群在运维

过程中积累的各类知识,其中包括运维记录、故障处理记录、调度报告等。具体功能包括:(1)知识库建设:建立梯级泵站群运维知识库,其中涵盖泵站机组参数、运维记录、调水总结报告等文档;(2)知识共享:提供一个知识共享平台,方便泵站运维人员进行查阅与学习;(3)知识更新:定期更新知识库中的内容,确保知识的时效性。

### 2.2.2 规则管理

规则管理模块用于管理泵站运维过程中的各类规则,其中包括操作规范、安全准则、调度策略等。具体功能包括:(1)规则说明:说明各种泵站运维规则和标准操作流程;(2)规则执行:以规则链的形式确保泵站运维人员能够严格按照正确的规则和流程进行操作;(3)规则更新:根据实际情况和新技术发展,不断更新和优化泵站运维规则。

### 2.2.3 模型管理

模型管理模块负责对实体抽取模型和关系抽取模型进行管理,并对知识库和规则库中的知识进行抽取,以构建和维护泵站运维知识图谱。具体功能包括:(1)模型构建:根据泵站运维的实际需求,建立实体抽取模型和关系抽取模型;(2)知识抽取:通过构建的实体抽取模型和关系抽取模型,对知识库和规则库中的文档进行批量知识抽取,抽取的结果包括结构化的实体和关系数据,用来构建知识图谱(见图2);(3)模型应用:将抽取的知识应用于泵站群运维管理的各个环节,支持故障预测、调度优化、知识查询等应用,提高平台的智能化管理水平。(4)模型管理:维护和更新实体抽取模型和关系抽取模型,确保其准确性和适用性。根据实际需求和进展,不断优化模型参数和算法,提升知识抽取的质量和效率。

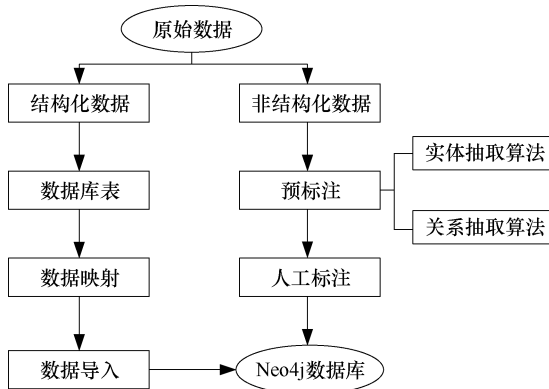


图2 知识抽取流程

### 2.2.4 图谱管理

图谱管理模块负责构建和维护梯级泵站群运维知识图谱,将各类泵站运维数据与知识进行结构化表

示。具体功能包括：(1)知识图谱构建。将泵站信息、运维记录、故障记录等数据进行结构化表示，构建关联性的知识网络。(2)知识关联：通过知识图谱展示不同数据和知识之间的关联，便于泵站运维人员查询。(3)动态更新：根据监测数据，动态更新知识图谱内容，保持其准确性和实时性。

### 2.2.5 运行分析

运行分析模块在前述知识图谱构建的基础上，对平台中整理好的知识进行相关分析，构建知识模型，利用其对梯级泵站群的运维决策过程进行优化。

(1)知识分析：对整理好的知识进行深入分析，展示不同数据和知识之间的关联，可以帮助泵站运维人员更好的理解数据的相互关系。

(2)方案推荐：基于知识图谱和结构化数据，通过分析历史运行数据和实时监测数据，结合各泵站机组特异性参数，推荐出最优的泵站运行方案。

(3)决策支持：提供详细的决策支持信息，通过可视化界面展示分析结果，帮助运维人员了解推荐方案的依据和预期效果。

(4)持续优化：基于实时数据和历史数据的反馈，持续优化知识模型，以提高推荐方案的准确性和有效性。

通过运行分析模块，平台能够对整理完成的知识数据进行深度分析，提供智能化的调度方案推荐功能，显著提升梯级泵站群的运维效率和智能管理水平。

## 3 系统应用

原型平台使用 PHP、JavaScript、C# 等语言开发，同时在 Web 设计中引入了响应式设计。协作平台的核心运行在 Windows 操作系统上，Web 服务器使用 Nginx。此外，还使用了三个数据库系统：Windows 上运行的 Microsoft SQL Server 和 MongoDB 数据库，以及 Neo4j 图数据库。

### 3.1 工程概况

南水北调东线第一期工程南四湖至东平湖段输水与航运结合工程位于山东省南部。该工程包含梯级泵站群“两湖三站”（长沟泵站、邓楼泵站、八里湾泵站，见图3），输水渠道主要由梁济运河和柳长河组成，线路全长 108.23 km，本段工程规模为大(1)型，工程等别为 I 等。

该工程沿线行政区划主要包括山东省济宁市的微山县、鱼台县、任城区、市中区、嘉祥县、汶上县、梁山县，枣庄市的滕州市，以及泰安市的东平县等 3 个地市的 9 个县、市、区。该工程位于淮河沂沭泗流域的南四湖水系，输水线路按途径湖泊和河流可分为三部分：南四湖湖内部分、梁济运河部分和柳长河部分。

### 3.2 数据获取

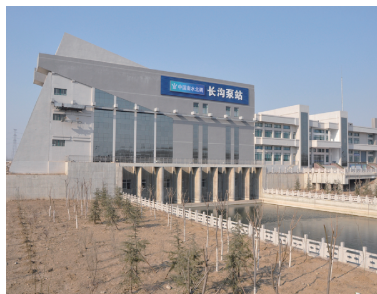
梯级泵站群智能运维管理平台的知识来源主要包括以下三个方面。

(1)南四湖至东平湖段长沟、邓楼、八里湾三座泵站的现场采集数据(数据通过现场监测设备、传感器等进行采集，例如泵站运行状态、泵的工作参数、水位、压力等数据可通过监测仪器进行采集)；

(2)泵站群历史数据(包括运行记录、维护记录、故障记录等，其通常由运维人员进行记录和整理，用于分析和评估泵站的性能和运行情况)；

(3)水利专家知识(泵站的设计、运行和维护需要专业知识和经验，专家知识可以通过文献、专利、技术报告等形式进行收集，并整理成知识图谱中的数据)。

这些资源中包含了许多关于泵站群的数据和知识，可作为泵站知识图谱的知识来源。相应的，在建立泵站群知识图谱时，需要进行数据整合、清洗和处理，将不同来源的数据进行结构化，并进行关联和链接以实现数据资源整合，形成数据目录库、基础数据库和业务共享数据库，实现在泵站群数据中心的集中



(a) 长沟泵站



(b) 邓楼泵站



(c) 八里湾泵站

图3 两湖三站梯级泵站群

存储,形成“一个数据库”。

### 3.3 系统应用实例

在收集完成两湖三站梯级泵站群运维数据后,对其进行了系统的整理与归档,将这些数据有序地导入到运维管理平台中的各个功能模块中。通过该平台对数据进行统一管理和深度应用,确保梯级泵站群运维数据的有效利用和智能化管理。这一过程提高了泵站运维数据的可访问性和共享性,为后续的知识管理、规则管理、模型管理、图谱管理和运行分析提供了有力的数据基础。下面将具体介绍各个模块的应用实例。

#### 3.3.1 知识管理

在知识管理模块中负责存储和管理梯级泵站群的运行数据、调度信息、机组参数等相关数据,泵站管理人员可对这些文件进行新增、删除和修改操作,以保证数据的准确性和时效性。该模块通过对两湖三站梯级泵站群的多源数据进行分类和组织,可有效减少数据的碎片化,进一步提升数据的层次性。

知识管理模块不仅限于对文本数据的管理,还包括对多种格式数据的处理和存储,如图像、传感器数据等。通过对这些数据进行统一管理和整合,知识管理模块能够为梯级泵站群的运维管理提供全面的数据支持,从而提高知识的利用效率,确保梯级泵站群运维管理过程中的可靠性。

#### 3.3.2 规则管理

规则管理模块负责存储和管理梯级泵站群的调度规则以及河网非恒定水流水力模拟等规则。泵站管理人员可以对这些规则进行新增、删除和修改操作,确保规则的准确性和适时性。规则管理界面提供了直观的规则管理工具,使得泵站管理人员能够方便地进行规则操作和维护。

同时,在规则引擎部分中,泵站运维规则将被流程化,以规则链的形式展示在前端界面。其中,规则链将复杂的规则流程分解为多个节点,以灵活应对实际泵站运维中的需求和变化。规则链对梯级泵站群的运行进行严格约束,以确保各项操作符合相关的标准与规范,同时为后续的运行分析模块提供重要依据。

#### 3.3.3 模型管理

模型管理模块负责对实体抽取模型和关系抽取模型的管理,对模型信息进行创建、删除和修改操作,以保持模型的更新与优化,确保知识图谱的准确性和完整性。

模型管理使得管理员能够便捷地管理模型的各项属性。模型管理确保了知识抽取模型的准确性,还对

模型版本、输入参数、和输出结果进行详细的管理;同时,对模型的输出结果进行严格管理,确保生成的知识图谱数据的有效性。通过对模型进行管理,梯级泵站群知识平台能够持续优化与完善梯级泵站群运维知识图谱,提升梯级泵站群运维管理的智能化水平,为泵站群智能化运维提供了可靠的知识基础。

#### 3.3.4 图谱管理

图谱管理模块负责管理与应用构建完成的梯级泵站群运维知识图谱,其中知识可视化将复杂的泵站群运维知识通过直观、易于理解的图谱数据库方式展示给用户。通过可视化技术,泵站运维人员可以更加高效便捷地查询和理解梯级泵站群的运行状态和管理信息,从而提升了泵站群的决策效率与管理水平。

在 Neo4j 数据库中展示了邓楼泵站运维知识图谱;在知识图谱中展示了泵站开停机运行、机电设备运行、泵站运行事故及不正常运行处理等节点及其关系,清晰地反映了泵站群的运行规律和管理机制。

然而,Neo4j 数据库的复杂性和专业性使泵站操作人员在实际操作和管理中面临一定的技术问题。为了解决这一问题,在运维管理平台中连接 Neo4j 数据库,以实现知识图谱的集成。这一集成使得泵站操作人员可以通过更加友好的界面进行知识图谱的查询与应用,方便地获取所需的运维知识,从而进一步提升梯级泵站群运维管理的效率与准确性。

通过这一集成,知识图谱不仅能够为泵站运维管理提供有力的数据支持,还能够通过直观的展示与便捷的操作,显著提升泵站操作人员的工作效率和管理水平。Neo4j 数据库集成到运维管理平台后,便可在平台中便可进行查询相关知识图谱,如查询“电动机故障”时,可得到电动机故障相关信息及解决方案。

#### 3.3.5 运行分析

运行分析模块在知识图谱构建的基础上,对平台中整理好的知识进行相关分析。基于导入的梯级泵站群运维结构化数据,构建一个考虑机组特异性的知识模型,实现梯级泵站群运行方案的智能推荐,从而优化梯级泵站群的运维决策过程。通过对各泵站机组特异性参数的分析,结合梯级泵站群运维知识图谱中的历史运行数据,推荐出最优的泵站运行方案,提高了梯级泵站群的整体运行效率和可靠性。

将泵站运行的约束条件(目标提水量、泵站扬程、运行时间)映射到知识图谱中的实体中,结合梯级泵站群运维知识图谱中各个机组的历史运行数据,推荐出每个泵站机组的最优泵站运行方案,其中包含叶片安放角、流量、功率、效率等参数(见表1)。

表1 泵站机组最优运行方案推荐结果

序号	泵站名称	机组编号	叶片安放角/(°)	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	功率/kW	效率/%	时间
1	邓楼泵站	1 <sup>#</sup> 机组	-6.3	33.2	1 196	66.63	2024-06-06 至 2024-06-08
2		1 <sup>#</sup> 机组	-5.9	34.1	1 205	67.89	
3		2 <sup>#</sup> 机组	-7.8	30.4	1 121	68.72	
4		2 <sup>#</sup> 机组	-7.8	30.5	1 126	71.98	
5		3 <sup>#</sup> 机组	-7.8	32.6	1 248	65.02	
6		3 <sup>#</sup> 机组	-7.9	33.1	1 228	68.15	
7		4 <sup>#</sup> 机组	-6.0	36.6	1 290	70.35	
8		4 <sup>#</sup> 机组	-6.1	36.9	1 296	71.99	

此外,该知识模型还具有持续学习和更新的能力,随着新数据的引入不断优化自身性能。通过这种方式,该知识模型为梯级泵站群运维管理提供了有力的决策支持,可显著降低运维成本,提升管理效能。

## 4 结论

本文以南水北调东线山东干线梯级泵站群的信息化建设为例,探讨了如何将知识图谱和数字孪生技术应用于梯级泵站群运行维护管理中,得到以下结论:

(1)基于知识图谱和数字孪生技术构建的梯级泵站群智能运维管理平台,有效解决了梯级泵站群运维过程中数据分散、智能化水平低、数据利用率低等问题。通过整合多源异构数据,实现泵站运维过程中的数据统一管理、知识共享和智能调度。

(2)知识图谱技术在梯级泵站群运维管理中的应用,通过构建关联性的知识网络,对梯级泵站群运维

过程中的多源数据进行结构化表示和深层次挖掘。结合数字孪生技术的动态监测和实时模拟能力,实现在泵站群运维过程中的智能分析和优化决策。

(3)通过对泵站群运维知识图谱的构建和应用研究,验证了知识图谱技术在水利设施管理中的实际价值。平台中的知识管理、规则管理、模型管理、图谱管理和运行分析模块,为泵站群运维过程提供了全方位的支持,确保了泵站运维管理的智能化、系统化。

综上所述,本文提出的知识驱动的梯级泵站群智能运维管理平台,不仅为泵站群运维管理提供了新思路和新方法,还具有广泛的应用前景。同时,在未来工作中,可进一步完善知识图谱构建方法,结合深度学习技术提升知识抽取和推理能力,实现更加智能化的泵站群运维管理系统,为水利工程的信息化和智能化发展提供有力支撑。

(责任编辑 王璐)