

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.018

# 污水处理厂网一体化异构网络数据融合及容错技术

杨卫民<sup>1</sup>, 李 贝<sup>2</sup>, 邓 凯<sup>2</sup>, 朱海洋<sup>1</sup>, 张雄辉<sup>1</sup>, 周 威<sup>1</sup>,  
万 祥<sup>1</sup>

(1. 武汉科迪智能环境股份有限公司, 湖北 武汉 430058; 2. 武汉市城市排水发展有限公司 北湖污水处理厂, 湖北 武汉 430082)

**摘 要:** 以武汉北湖污水处理厂(处理规模 $80\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )和配套大东湖污水隧道各预处理站为例,对生产监控系统涉及的各网络节点、站点和数据特征进行深入分析和研究。采用异构网络融合技术对厂内自控SCADA系统、厂用电监控系统(ECS)和视频图像VMS系统进行了数据中心数据接入融合,并扩展延伸到厂外大东湖污水隧道各预处理站的信号融合接入和厂内管理部门、厂外上级部门、监管部门的生产信息发布。同时广泛采用容错技术保证各节点信号传输的可靠性、稳定性和准确性。数据中心基础设施采用超融合虚拟化技术对监控系统实时数据服务器、历史数据服务器、WEB发布服务器进行虚拟池化部署,并采用面向对象的组件实现方法,在数据中心层面对设备多种属性进行归一化处理、一体化发布,方便运行人员更直观地通过一个数据中心平台监控全厂及管网泵站(预处理站)设备工艺自控信号、电气运行参数和视频图像信号,消除了传统生产监控系统因多系统部署导致信息割裂的“孤岛现象”。武汉北湖污水处理厂自2020年11月通水生产以来,该示范项目技术应用运行稳定,完全达到预期效果。

**关键词:** 北湖污水处理厂; 大东湖污水隧道; 预处理站; 异构网络; 一体化融合; 容错技术

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2024)02-0106-09

## Data Fusion and Fault Tolerance Technology of Heterogeneous Network in WWTP & Pipe Network Integration

YANG Wei-min<sup>1</sup>, LI Bei<sup>2</sup>, DENG Kai<sup>2</sup>, ZHU Hai-yang<sup>1</sup>, ZHANG Xiong-hui<sup>1</sup>,  
ZHOU Wei<sup>1</sup>, WAN Xiang<sup>1</sup>

(1. Wuhan Kedi Intelligent Environment Co. Ltd., Wuhan 430058, China; 2. Wuhan Beihu Sewage Treatment Plant, Wuhan Urban Drainage Development Co. Ltd., Wuhan 430082, China)

**Abstract:** Taking Wuhan Beihu sewage treatment plant (STP) with treatment capacity of  $80\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  and the pre-treatment stations of the supporting Dadonghu sewage tunnel as an example, the network nodes, sites and data characteristics involved in the production monitoring system are deeply analyzed and studied. Heterogeneous network integration technology is applied to integrate not only the data center access of the networks within the STP such as station automatic control SCADA system, electrical monitoring ECS system and video image VMS system, but also the signal fusion access of the pre-treatment stations of Dadonghu sewage tunnel network outside the STP as well as the production information release of the management department, the outside superior department and the supervision department. Fault tolerance technology is widely applied to ensure the reliability, stability and accuracy of

signal transmission at each node. Super integration and virtualization technology is applied to implement virtual pooling deployment of real-time data servers, historical data servers and WEB servers of the monitoring system in data center infrastructure. Object-oriented component realization method is applied to normalize and release various equipment attributes in the data center for the operators to monitor industrial control signals, electrical operation parameters and video image signals of equipment in the whole STP and pipe network pumping stations (pre-treatment stations) more intuitively through a data center platform, thus to eliminate the isolated information island caused by multi-system deployment in traditional production monitoring systems. Since Wuhan Beihu STP started operation in November 2020, the technology has been operating effectively to fully achieve the expected results.

**Key words:** Beihu sewage treatment plant; Dadonghu sewage tunnel; pre-treatment station; heterogeneous network; integration; fault tolerance technology

城镇排水系统由排水管网和污水处理厂串联组成,需要两者统筹建设和协调运行,才能完整发挥其水环境保障功能。但是,目前我国大多数城市的污水处理厂与排水管网仍分属不同单位运营管理,由于运营目标和管理考核不同,也就产生了厂网统筹建设及协调运行方面的诸多问题,导致城镇排水系统不能完全发挥其应有的功能。针对这个问题,北京排水集团早在2010年就率先提出了“厂网一体化”运营的概念,经过不断研究和实践,初步形成了较为完备的“厂网一体化”运营管理模式<sup>[1]</sup>。同时,以物联网、移动互联网、云计算、大数据为代表的新兴技术的发展,进一步推动城市水务系统智慧化信息系统的建设和实践。智慧水务将为城市提供更为优质的供排水、防汛排涝、水质污染管控、环境保护、防灾减灾等公共服务,同时提升水务部门的工作效能与工作质量,管控和及时处理各种应急水务事件,提升水务服务水平与群众满意程度,优化资源配置,实现各类水务活动的数据化、信息化与智慧化管理<sup>[2]</sup>。

国际水协(IWA)在2021年发布的《人工智能赋能数字水务》白皮书提出了“人工智能赋能数字水务将以业务指导、数据驱动、顶层设计、统一标准为原则,以智慧管理、高效服务为主旨,充分利用人工智能、大数据、云计算、物联网、数字孪生、AR等新型信息化技术,深化业务流程优化和工作模式创新,搭建覆盖原水、制水、供水、污水、雨水等全业务流程的大系统,实现水务信息化和数据资源整合利用,增进数据的深度挖掘,最终推动水务企业实现智能化转型”的顶层规划。

白皮书提供的人工智能赋能数字水务解决方案的总体架构包括基础云平台、基础技术平台和智能化应用。同时,为有序推进水务信息化建设,总体架构还包括网络安全保障体系和标准规范体系。其中业务终端及基础云平台旨在完成不同业务场景多源数据信息的接入,包括物联接入、服务器、存储、网络设备等,支撑企业信息沟通、服务传递和业务协同。基础技术平台是实现新兴技术对水务企业赋能的核心,以大数据平台为基础,实现水务数据的汇聚、存储、计算、分析和挖掘,基于统一的“数据湖”打通传统水务“数据孤岛”,统一管理数据资产;以机器学习为核心,搭建人工智能平台,通过视觉智能、数据智能、数字孪生等能力平台,沉淀机理模型、AI模型,支撑水务管理标准化和对外赋能;以GIS平台为技术支撑,实现各业务板块基于一张图的统一管理;借助工业互联网平台,打造高附加值、高科技含量的智慧水务体系,推动企业向智能化发展,重塑企业发展格局。

由于排水管网泵站和污水处理厂通常处于不同的地理位置,造成“厂网一体化”运营调度生产信息需要采用不同的传输路径和传输方式才可以汇聚融合。另一方面,生产调度涉及厂区和管网泵站自控SCADA系统、厂用电监控系统(ECS)、VMS视频图像系统等多个基础专业,传统设计根据专业划分而建立多种系统,造成调度中心中控室生产监控存在“信息孤岛”现象,设备信息割裂、运行人员顾此失彼的现象时常发生。在污水处理厂普遍减员增效的要求下,运行管理压力明显加大,容易因为设备故障或突发工况时响应缓慢,造成运行事故。

同时也不利于对生产过程信息进行综合分析,影响调度决策优化。

综上所述,市政污水处理“厂网一体化”生产运营监控涉及多个专业和多个节点数据,这些节点数据具有分布分散化、网络异构化、数据特征多样化的特征,需采用异构网络融合技术和系统容错技术对网络节点数据传输、系统基础设施进行容错设计,保证数据传输高效、稳定、安全、可靠,并为实现被监控对象多种属性的统一融合、生产监控和调度运行的多种综合应用打下基础。

以武汉北湖污水处理厂及配套大东湖核心区污水传输系统工程各预处理站生产监控为例,详细描述了北湖污水处理厂生产综合监控系统对大东湖污水调度中心和预处理站、厂区进水泵房、厂区生产工艺各构筑物、厂用电监控系统、视频图像监控系统以及上级主管部门等多节点异构化网络数据融合的实现和采取的容错保障措施。在一个数据中心平台上实现了被监控对象多种属性的归一化融合处理、一体化应用发布。

### 1 项目简介

武汉北湖污水处理厂近期主要服务于武昌沙湖、二郎庙、落步嘴、白玉山等地区生活污水系统,服务面积为130.35 km<sup>2</sup>,服务人口约为248万人,近期建设污水处理规模为80×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。结合大东湖核心区污水传输系统工程的总体布局,二郎庙、落步嘴和白玉山片区的污水经预处理站处理后,通过深隧输送至北湖污水处理厂,白玉山青化路以北区域的污水则通过地表系统传输至北湖污水处理厂。全厂工艺流程见图1。



图1 北湖污水处理厂总工艺流程

Fig.1 General flow chart of Beihu sewage treatment plant

武汉市大东湖核心区污水传输系统工程跨越武昌区、洪山区、东湖风景区、青山区4个行政区。地面处理系统包括沙湖提升泵站、二郎庙、落步嘴、武东等预处理站,并经地下超过30 m深的大东湖污

水传输隧道传输至北湖污水处理厂。深隧系统主干道总长约17.6 km,直径约3.4 m,一条支隧总长约1.7 km,直径约1.5 m,其中,还包括7座工艺竖井,具体见图2。



图2 武汉市大东湖核心区污水传输系统

Fig.2 Sewage transmission system of Dadonghu core area in Wuhan

北湖污水处理厂深隧泵房接收和泵送从大东湖核心区污水传输系统工程深隧的进水主管来的污水并提升输送至泵站出水池,再进入污水处理厂进行处理,接收深隧系统最大来水量约70×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。此部分污水已经过大东湖污水隧道各预处理站的预处理,再经大东湖污水隧道末端北湖污水处理厂内深隧泵房提升后,直接汇入厂区配水井。

白玉山地表管道进水累计最大流量约10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。此部分污水未经预处理,进入厂区后先经过粗格栅、细格栅和曝气沉砂池等处理后,汇入厂区配水井。

北湖污水处理厂采用传统污水处理和膜的组合工艺路线,即A/A/O+深度处理(40×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)+MBR(40×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)组合工艺,传统工艺深度处理采用高效反应沉淀池+深床滤池,尾水消毒采用次氯酸钠。污水处理厂处理尾水在满足再生水利用要求后,旱季利用尾水箱涵和自排闸排至长江,雨季则利用尾水泵站抽排至长江。

本项目原设计监控系统分为大东湖核心区污水传输系统调度中心和厂区生产调度中心。大东湖核心区污水传输系统调度中心设在距离北湖污水处理厂26 km外的二郎庙,汇聚沙湖、武东等4个预处理站信息。北湖污水处理厂内生产调度中心分别设计深隧泵房监控系统、厂区(含距离厂区5 km外的尾水排江泵站)自控系统、泥区自控系统、厂用电监控系统和厂区视频图像监控系统。

本示范项目在原设计基础上进行了二次深化设计,采用异构网络融合技术对大东湖核心区污水



传输系统调度中心、北湖污水处理厂深隧泵房监控系统、厂区(含距离厂区5 km外的尾水排江泵站)自控系统、泥区自控系统、厂用电监控系统和厂区视频图像监控系统进行了一体化融合,并广泛采用容错技术保证各网络节点数据传输的稳定性和可靠性,增加了生产监控信息对外发布系统。

## 2 监控系统节点分布及特征

监控系统涉及节点按照区域划分为厂区内和厂区外两部分,厂区外包括大东湖核心区污水传输系统调度中心和排江泵站系统,厂区内包括分布在厂内各工艺段构筑物的自控系统现场控制站、视频图像监控系统和全厂供配电系统。

厂区内自控系统监控范围包括大东湖深隧提升泵房提升大东湖深隧经预处理后的管道污水、白玉山地表污水进水及配套一级处理设施、总配水井、常规处理A/A/O生化池和深度处理高效沉淀池、深床滤池及配套加药消毒工艺、MBR膜生化处理和配套清洗、加药设施(包括膜格栅、膜设备间、膜生化处理池、配套鼓风机曝气机房、PAM/PAC/柠檬酸加药间等)、污泥处理区、全厂除臭系统和全厂智能照明系统。

其中各构筑物自控系统现场控制站采用西门子S7-400系列全冗余结构,同时包括部分单体设备厂家自供的设备控制系统,如鼓风机LCP控制柜、格栅机控制器等。

全厂供配电由厂区110 kV变电站通过厂内深隧泵房、鼓风机房、二次提升泵房等7个10 kV配电房实现分区供电。厂用电监控系统通过各配电房内中低压开关柜上配套继电保护装置和多功能电表监控配电回路和设备用电信息。

全厂设备图像视频监控通过配电房内设置的视频监控分站汇聚安装在各构筑物及单体设备上的摄像头图像视频,并最终汇总到厂区生产调度指挥中心。

厂区生产调度指挥中心同时需要向排水公司、环保局、水务局等上级监管单位发布重要生产信息。

全区监控点共80多个,监控设备对象4 600多个。

综上所述,监控系统网络涉及的节点分布范围很广,各节点接入设备特征多样(PLC控制站、通信

管理机、智能仪表),网络状态包括局域网和广域网,通信协议涉及IEC103/Modbus TCP/IP、工业专用协议S7、流媒体通信协议等,从而具有网络节点分散化、网络设备多样化、网络状态多样化、网络通信协议多样化的特征。

## 3 监控网络划分、带宽分配和异构网络融合

厂区生产监控网络根据网络各节点物理地址分布、数据量、重要性进行网络划分,分别为厂外广域网、厂内自动化控制信号网和视频图像信息网。

其中厂区自动化系统控制网络以构筑物为网络节点,各构筑物之间采用单模、四芯光缆组网,并形成冗余环形网络。主干通信网网络带宽1 000 MB/s,各分支通信网网络带宽100 MB/s。主干网络节点采用管理型交换机。

厂区构筑物内的主控制站通过冗余光纤接入节点管理交换机光端口。构筑物内子控制单元和设备附属智能控制单元采用星形结构组网,光纤接入节点管理交换机电端口。其中构筑物内的部分子控制单元为单网络结构。该类设备控制单元接入冗余环网中的主网A网。辅助系统单网络设备如智能照明系统、除臭系统等单通信节点接入冗余环网中的辅助B网。在满足厂区生产运行监控要求的同时,适当均衡分配网络流量。

距厂区5 km外的厂外尾水排江泵站通过两根1 km光缆从厂区主干通信环网节点接出,经过排江泵站主控制系统节点接回厂区主干通信网另一个节点,厂区自控网络节点和厂外排江泵站节点形成冗余环形网络。排江泵站6个泵组控制子站采用星形结构组网,通过尾水排江泵站节点冗余管理型交换机接入。

厂区外大东湖核心区污水传输系统各预处理站通过大东湖深隧二郎庙调度中心采用广域网组网接入厂区生产调度指挥中心。跨区租用有线网络运营商VPN 100 MB/s带宽专线集中上述各站点数据。通过前置数据采集服务器、工业防火墙隔离后经由VPN专线进入北湖污水处理厂。

厂区供配电系统除设置110 kV变电站外,还设置6个就地配电监控站。110 kV变电站作为大电网节点纳入国家电网湖北省调度中心监控,厂区10 kV配电由厂用电监控系统监控。厂区内配电监控站的电气信息通过电气专用通信管理机/就地监控

值班后台系统就近接入厂区主干环网交换机电口。端口带宽 100 MB/s。同时配电室就地设置当地监控功能。

110 kV 变电站主要运行信息通过站内电网调度 RTU 独立端口单独光缆就近接入厂区自控网络环网交换机。

厂区视频图像监控系统各摄像头、周边安全防护系统等采用 1 000 MB/s 光缆独立组网。除在厂区 6 个电气就地值班点设置图像视频监控点以外,在中控室设置流媒体服务器,将视频网络图像信息传

递进中控室。

中控室生产调度指挥中心是生产综合监控系统网络的核心节点,除承担厂区自控系统(包括深隧泵房)生产数据采集传输以外,同时需要汇聚厂用电监控、视频图像、管网泵站(大东湖深隧调度中心)以及厂区生产管理 WEB 信息发布等功能,是实现厂区自控、厂用电监控、管网泵站(大东湖深隧调度中心)、厂区设备视频图像监控等异构网络统一融合的核心。

厂网一体化生产监控系统网络节点分布见表 1。

表 1 厂网一体化生产监控系统网络节点分布

Tab.1 Network node distribution of STP and pipeline network integrated production monitoring system

节点名称	节点位置	网络特征	网络协议	网络带宽/ (MB·s <sup>-1</sup> )
大东湖深隧污水调度中心	厂区外 25 km	电信广域网 VPN 隧道	OPC 协议	100
厂区深隧泵房	厂区内深隧泵房	自控冗余环形网络	Siemens Snap7	1 000
厂区各构筑物现场自控系统控制站	厂区内对应构筑物	自控冗余环形网络	Siemens Snap7	1 000
厂区外尾水排江泵站自控系统控制站	厂区外尾水泵站	自控冗余环形网络	Siemens Snap7	1 000
厂区内配电房电力通信管理机	厂区内各配电房	自控冗余环形网络	IEC104	100
厂区外尾水排江泵站电力通信管理机	厂区外尾水泵站	自控冗余环形网络	IEC104	100
厂区内除臭系统控制站	厂区内构筑物	自控冗余环形网络,B 网	Siemens Snap7	100
智能照明网关	厂区内各构筑物	自控冗余环形网络,B 网	Modbus TCP/IP	100
数据中心 IO 采集服务器	厂区内中控室	自控冗余环形网络	Siemens Snap7、IEC104、Modbus TCP/IP、	1 000
厂区视频监控流媒体服务器	厂区内中控室	厂区视频图像网络	视频图像协议	1 000
OS 操作员站、ES 工程师站	厂区内中控室	系统平台 ES/OS 网络	内部协议	1 000
大屏幕控制器	厂区内中控室	系统平台 ES/OS 网络	内部协议	1 000
WEB 发布服务器	厂区内中控室	系统平台 ES/OS 网络	OPC、MQTT	1 000
厂区办公网客户端	厂区办公区	内部局域网	HTTP 协议	100
环保局环保在线	厂外	广域网 WAN	OPC/MQTT	100
水务局	厂外	广域网 WAN	OPC/MQTT	100
排水公司调度中心	厂外	广域网专线	OPC	100

以上大东湖输水调度中心数据传输广域网、厂区自控网络、厂区视频图像网络、厂区办公局域网分属于不同的网段,因此在中控室冗余设置 3 层核心交换机实现厂区外广域网、厂区内局域网和视频图像网络的融合汇聚。

调度指挥中心自动化监控系统平台采用施耐德 AVEVA 公司 Wonderware® System Platform 系统平台构建。其 IO 实时数据采集服务器、历史数据服务器冗余配置并采用超融合方式对相关资源进行虚拟池化、私有云方式部署,实现硬件设施 1+N 冗余,系统任何一个服务器故障均可自动切换到其他服务器承担其任务。

调度中心 OS 操作员站、ES 工程师站通过独立网络接入数据中心,实现人机交互操作且避免与控制系统实时数据网络发生碰撞。

重要生产信息办公区域局域网发布采用经过数据隔离的 WEB 发布服务器,经厂内办公专网发布。同时通过防火墙,由通信运营商专网发布到排水公司生产调度中心。

环保局环保在线、水务局在线数据经过数据隔离的 WEB 发布服务器、边界防火墙、工业路由器数据加密后,由通信运营商广域网发布,且为只读方式。

全厂生产监控系统网络拓扑结构见图 3。



图3 调度中心生产监控系统网络拓扑结构

Fig.3 Network topology diagram of dispatch center production monitoring system

#### 4 系统容错设计

整个系统容错设计由网络容错设计、IO扫描引擎扫描规则容错设计和系统平台硬件设施容错设计构成。

##### 4.1 网络容错设计

厂区自控网络作为生产调度指挥中心和厂区内现场自控系统控制站之间信息交互传输的核心环节,对网络传输可靠性、安全性有着极高的要求。北湖污水处理厂是在原北湖湖区沉积基础上建成,其地质条件复杂,地面沉降时有发生,对地埋电缆管沟中的通信光缆造成很大威胁。同时厂区外5 km的尾水排江泵站通信光缆通过市政管网电缆井敷设,容易因为暴雨积水、道路施工等造成故障。

因此,厂区自控网络采用冗余环形网络设计。厂区内各节点现场控制站均采用双网冗余结构。各节点网络交换机采用管理型交换机。节点之间通过双回路1 000 MB/s 光纤连接。

环网上的任何一个节点单侧故障均不会导致该节点信息传输中断。任何一个节点双侧或者任意两个节点双侧故障时,节点信息可以通过冗余网络传输,从而极大地保证了通信可靠性。

环网上所有入网系统或设备根据预先分配的IP地址和逻辑地址进行管理和识别,通过交换机管理系统,配置网络所有交换机内部通信子网,通过内部通信子网来管理网络上各交换机之间的逻辑结构,包括交换机性能指数、交换机之间的网络树型拓扑结构、冗余侧链路等。通过对环网网络设备进行逻辑配置,可以准确地进行环网调控,防止因环形链路而造成的网络风暴,及时识别诸如环网断环异常、环上节点丢失、环上节点数据吞吐量异常、环上设备报警等故障导致的网络数据交互缓慢甚

至网络崩溃的现象,同时快速定位故障点。

接入网络的设备采用在线动态识别,防止非法设备接入导致网络地址冲突、数据碰撞甚至节点故障瘫痪网络。

通过将端口、IP地址、MAC地址三者联合绑定,可以防止设备的非法接入,在不影响双环网正常运行的同时,最大限度地对现有网络设备进行正常监控与保护。

中控室OS操作员站、ES工程师站网络和数据中心IO采集自控网络分开,且采用冗余网络接入数据中心端口,保证操作员站和工程师站操作指令安全可靠地下达到数据中心,并通过IO采集服务器传输到现场控制站。

##### 4.2 监控系统IO服务器及IO网络容错设计

数据中心综合监控系统平台采用AVEVA公司Wonderware® System Platform系统平台。系统平台作为一个整体,访问所有外部数据(包括第三方数据源、软件应用程序、第三方控制器),它由应用服务器、Historian Server关系型数据库服务器和通信驱动程序组成。

系统平台客户端从系统平台访问信息。它由监督客户端、Historian Client、Historian Client Web等组成。

Wonderware® System Platform系统平台采用实时数据库满足现场大容量、高实时的数据采集和查询要求,同时支持实时数据库分布式部署方式。单个实时数据库最大容量可以达到200万点(Tag),吞吐率为 $30 \times 10^4$  Tag/s。实时数据经过专用旋转压缩算法无损压缩后(压缩比98%)存储于关系型数据库,形成历史数据库(Wonderware Historian),可用于实时报警查询、历史报警查询和趋势查询。

北湖污水处理厂生产综合监控系统涉及监控设备对象4 200个左右。直接监控点实时变量高达49 000 Tag。IO采集周期 $\leq 2$  s。采用两对冗余IO采集服务器设计,同时根据网络各节点现场控制站的数据量和网络状态进行IO服务器采集数据量分配及内部IO扫描引擎分配以达到负载均衡的目的。系统历史数据库同样采用冗余设计。

正常情况下,系统通过以太网控制网络主通信路径路由,经PLC控制站采集现场设备信号并传输控制信号。当网络上的站点发生故障或者站点主通信路径堵塞,系统可以有效识别并自动切换冗余



通信路径乃至切换冗余站点保证信号传输的持续性。冗余配置的服务器站点在主服务器故障宕机时,系统可以自动切换到从服务器继续完成和现场控制站的数据交互。图4给出了IO网络冗余扫描切换机理的案例示意。

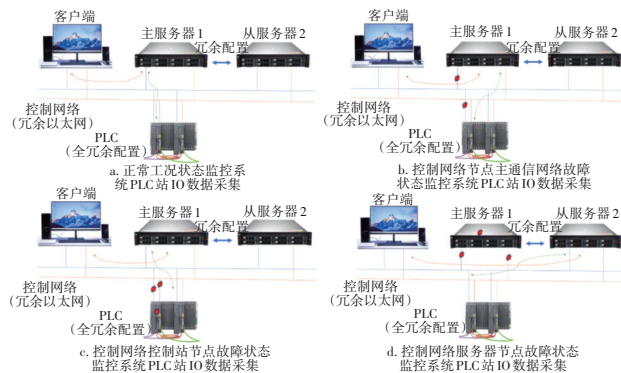


图4 系统IO网络冗余扫描切换机理

Fig.4 System IO network redundancy scan switching mechanism

#### 4.3 硬件基础设施容错设计

数据中心硬件设施采用超融合私有化部署方式构建数字云计算中心。一方面,通过虚拟化技术提升基础架构资源利用率;另一方面,通过统一的数据中心综合监控系统平台进一步聚焦生产过程信息和业务结合的创新,减少运行维保人力物力,数据中心通过承载系统核心业务系统,提供稳定、可靠和安全的运行保障。

针对北湖污水处理厂综合监控系统复杂的异构网络特征,数据中心利用超融合网络虚拟化扩展特性,在同一业务虚拟机中桥接多个隔离网络,通过虚拟机层将其打通,实现业务数据互通且达到一定程度的安全防护。

在网络信息安全方面,进行网络安全规划。其中通过部署硬件和虚拟防火墙,实现南北向、东西向的安全数据防护,并通过地址映射等策略与厂区网络打通。采用数据隔离网闸安全设备来限制内外访问策略,比如只开通生产数据信息由内向外发布,禁止由外向内的操作,实现数据安全双向管控。部署EDR杀毒响应平台,对业务系统进行终端安全防护。

超融合部署架构示意图见图5。数据中心采用4台具备底层信息安全防护超融合一体机,以集群的方式将整个监控系统所需要的网络、存储、计算、安全等资源池化后结合业务系统部署使用,在架构设

计中将数据采用双副本的方式存放在集群中,即当业务数据下发至超融合平台时,会自动生成一份副本数据,随机存放在其余主机中,从而实现1+N冗余策略(见图6):当集群内任一台主机故障时,为了保证业务的高可用性,首先将该故障主机上运行的业务虚拟机漂移到正常运行的主机上,从而保证业务的连续性,由于副本数据存放在其余正常主机中,故不会影响业务数据的完整性。且当故障主机修复后,只需上线该主机,会自动加入集群中进行数据同步任务,通过副本计算出丢失的业务数据。该任务在执行的过程中不会影响业务运行。最后通过集群内自带的负载调度功能,将繁忙主机上运行的业务虚拟切换回修复后的故障主机,保证每台主机的资源能够均衡利用,保障数据中心稳定运行。

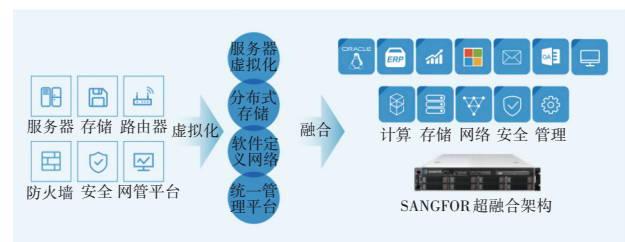


图5 超融合部署架构

Fig.5 Schematic of the hyperconverged deployment architecture

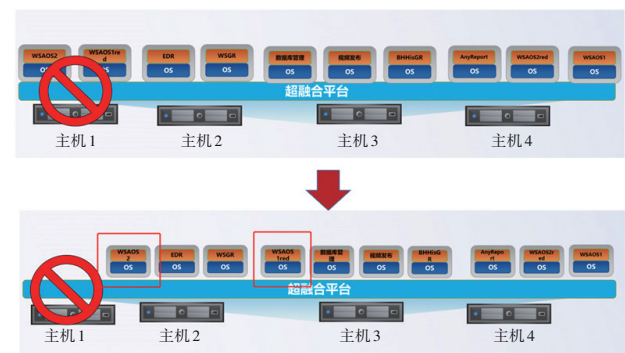


图6 超融合1+N故障切换原理

Fig.6 Hyperconverged 1+N failover principle

监控系统目前涉及实时监控量大约 50 000 Tag, IO 扫描周期 1~2 s, 其中需要存储的数据量约 25 000 Tag, 包括报警、趋势等历史数据。实时数据采集后需要存储的数据经过旋转压缩后存入历史数据库(关系型数据库)。测算得出年存储量约为 1~1.5 TB。

单台超融合一体机为双核 CPU 主频 14 C 28

TB 2.4 GHz,内存 32 GB,硬盘 4 TB,可扩展至 16 TB。4 台超融合一体机内存 128 GB,硬盘总容量 16 TB,可扩展至 64 TB。

北湖污水处理厂网一体化生产监控系统运行两年后,硬盘存储 1.9 TB 左右。目前配置可以保证 10 年运行数据的存储要求。

### 5 面向设备对象的数据融合

数据集成的核心任务是将互相关联的分布式异构数据源集成到一起,使用户能够以透明的方式访问这些数据源。应用整合则是建立一个统一的综合应用,将完全不同、基于各种不同平台、用不同方案建立的应用和系统整合到一个系统中,使它们像一个整体一样进行业务处理和信息共享。将综合集成平台作为支撑,运用组件化技术将数据信息融合、信息应用功能组件化,在各组件之间通过数据流连接,灵活、快速地使用数据集成功能,对多源信息进行融合,为生产信息化系统整合信息应用提供服务的思考和实践<sup>[3]</sup>。

设备对象通常具有多种属性,这类属性往往需要通过上述不同的系统采集或人工录入,同时提供给污水处理厂运行人员、维保人员和管理者用于监控。图 7 给出了设备对象常见的属性。

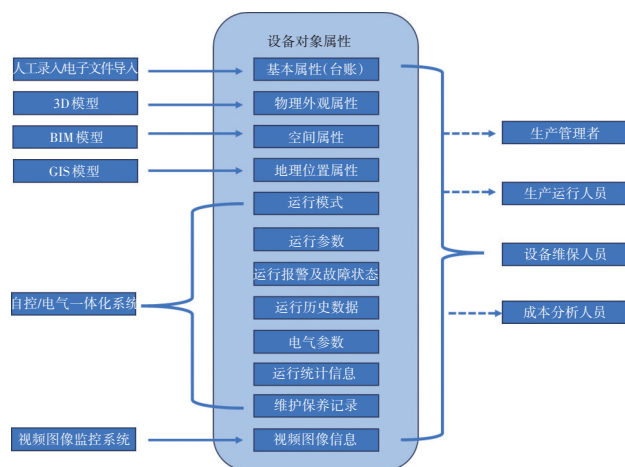


图 7 设备对象常用属性及用途

Fig.7 Common attributes and uses of device objects

本项目采用了“面向对象的组件实现方法”专利技术(专利号:202110677966.9),在数据中心层面完成设备多种属性采集录入后,对设备多种属性进行归一化处理、一体化发布。

设备对象的多重属性通过不同的数据源通道汇聚到控制中心数据服务器,如图 8 所示。

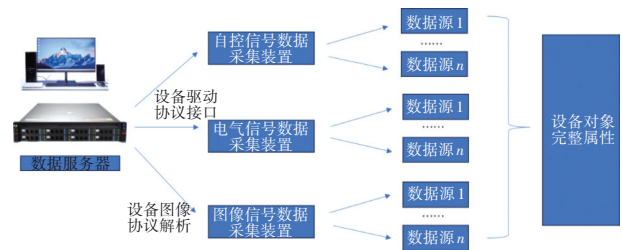


图 8 设备对象属性参数汇聚示意

Fig.8 Aggregation diagram of device object attribute parameters

数据中心采用面向对象的组件技术对这些设备对象的不同属性进行封装,并对应用层提供数据调用接口,使得这类属性可以被不同的使用者使用。

对于全厂任意一个设备必须给予一个唯一的设备 ID 号。ID 号遵循了特定的编码规则可以很方便地识别出该设备所处位置、类型和编号。

综上所述,设备对象不同属性虽然经过多种渠道采集和传输,通过异构网络融合技术实现了设备对象不同属性在数据中心服务器的融合汇聚,再经过数据中心融合处理后进行归一化封装,最终通过设备对象控件对应的标签接口进行呈现。

设备属性数据根据其不同特性从不同数据服务器数据库获取,实时/时序数据从实时/时序数据库获取,历史报警、事件和趋势从历史数据库(关系型数据库)获取,设备台账属性等结构化数据存储于关系型数据库,3D 模型画面以文件方式存储,视频图像信号通过摄像头流媒体信息解析。系统后续可扩展融合 BIM 系统、厂区管道 GIS 系统的空间数据库数据。

设备对象多重属性融合呈现的工程应用实例分别见图 9、10。

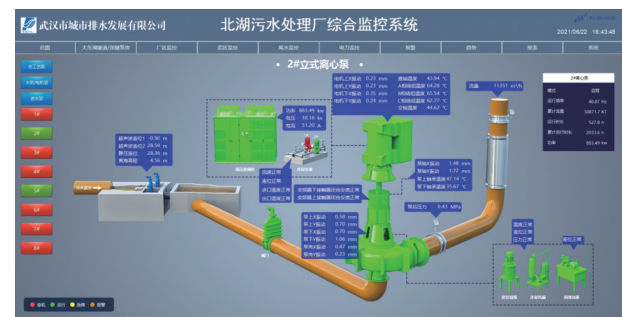


图 9 泵组综合特性监控

Fig.9 Monitoring of the comprehensive characteristics of the pump unit





图10 泵组运行操作控制

Fig.10 Pumping unit operation control

## 6 结语

市政污水处理的基础是工艺,设备是保障设计工艺可靠运行的关键,而设备参数完整性采集、融合和处理是保证设备可靠运行、达到设计要求的核心。

结合武汉北湖污水处理厂及配套大东湖核心区污水传输系统工程预处理站的实例,详细描述了厂网一体化背景下采用异构网络融合及容错技术实现管网预处理站、泵站、厂区自控系统、厂用电系统、厂区视频图像监控系统等涉及生产监控信息的多系统多节点数据传输汇聚,使得排水管网泵站、厂区污水处理区、污泥处理区、供配电、设备视频监控、净化处理排放各专业之间横向联通,完成现场设备层、就地控制层到调度指挥决策层纵向集成,实现了市政污水处理厂从现场设备到工艺段构筑物,从厂区到集团一体化整合、全方位监控。

在数据中心服务器集群实现了同一平台多系统融合,监控设备对象多重属性的归一化融合、处理,生产信息一体化发布至上级管理单位。

在网络节点各站点数据采集扫描机制上遵循了负载均衡的原则,在充分发挥系统平台多任务并发IO站点扫描能力的同时,通过扫描引擎及扫描连接参数的适配,保证IO采集服务器高效工作。同时采用了包括网络冗余、服务器端口冗余、服务器冗余的三重冗余机制等容错技术以应对网络通信节点故障、网络光缆故障、网络数据风暴、网络设备故障、服务器故障的挑战。

采用面向设备对象的组件技术通过数据中心对监控对象的多源属性进行归集,方便运行人员“一键弹窗”直接查看监控对象自控、厂用电、视频

图像、台账、报警、历史运行趋势等多种属性,可靠地消除了传统调度指挥中心常见的“信息孤岛”现象,运行人员和维保人员可以更加高效快速地动态观测被控对象的所有属性,提高了运行响应能力。

融合的全厂设备被控对象属性为后续进一步融合BIM建筑信息模型、GIS地理信息模型以及工艺仿真机理模型实现全厂数字孪生系统,为采用人工智能机器学习的技术分析、挖掘数据资产、优化运行策略、动态调整运行参数打下了良好基础。

## 参考文献:

- [1] 郑江. 城镇排水系统厂网一体化运营模式的研究与实践[J]. 给水排水, 2016, 42(10): 47-51.  
ZHENG Jiang. Research and practice on operation mode for the integration of urban drainage network-wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(10): 47-51 (in Chinese).
- [2] 谢善斌, 袁杰, 侯金霞. 智慧水务信息化系统建设与实践[J]. 给水排水, 2018, 44(4): 134-140.  
XIE Shanbin, YUAN Jie, HOU Jinxia. Construction and practice of intelligent water information system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 134-140 (in Chinese).
- [3] 严栋飞, 陈月妹, 张永进, 等. 综合集成平台下的多源信息融合及应用整合实例[J]. 水利信息化, 2016(1): 65-68.  
YAN Dongfei, CHEN Yuemei, ZHANG Yongjin, et al. Multi-source information fusion and application integration based on integrated platform [J]. Water Resources Informatization, 2016(1): 65-68 (in Chinese).

**作者简介:**杨卫民(1965—),男,江苏南京人,本科,正高级工程师,技术总监,中国三峡集团外部专家,武汉市3551创新(长期)人才,曾获中国华电集团多项科技进步奖,长期从事流程行业智能控制技术研究,目前主要从事市政水务行业人工智能控制及数字化技术研究。本项目技术获得施耐德 AVEVA 公司 2021 中国创新大赛一等奖。

**E-mail:** 962074153@qq.com

**收稿日期:** 2022-05-16

**修回日期:** 2022-06-19

(编辑:衣春敏)