

# 大型泵站群自主可控远程集控系统 研究与设计

沈昌荣<sup>1</sup>, 夏修萍<sup>2</sup>, 刘兆峰<sup>2</sup>

(1. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029;

2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106)

**摘要:**以自主可控、维护简便、实时性、可用性为导向,研究并设计大型泵站群集控系统。集控系统的设计基于分布式架构的数据库体系,进行多机冗余管理、权限管理,采用远动通讯协议的网络通信架构,高性能实时数据与历史数据的存储与访问机制,利用平台消息总线、服务总线实现基础集控功能,同时支持图形展示、报表展示、事件及报警、泵站联合调度及可视化应用等各类业务的互通互融,为大型泵站群安全稳定运行提供有力支撑。

**关键词:**大型泵站群; 集控系统; 自主可控; 分布式架构; 多机冗余

中图分类号:TV882.9

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)02-0011-0006

## Research and design of autonomous and controllable remote centralized control system for large-scale pumping station group

SHEN Changrong<sup>1</sup>, XIA Xiuping<sup>2</sup>, LIU Zhaofeng<sup>2</sup>

(1. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd., Nanjing 210029, China; 2. NARI Group Corporation/State Grid Electric Power Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** This paper studies and designs a cluster control system for large-scale pumping station group, which is guided by autonomous control, easy maintenance, real-time and availability. The centralized control system design is based on the database system of distributed architecture, carries out multi-machine redundancy management and authority management, adopts the network communication architecture of remote communication protocol, the storage and access mechanism of high-performance real-time data and historical data, uses the platform message bus and service bus to realize the basic centralized control function, and supports the interoperability and integration of various businesses such as graphic display, report display, event and alarm, joint scheduling and visualization application of pumping stations, providing strong support for the safe and stable operation of large-scale pumping station groups.

**Key words:** large-scale pumping station group; centralized control system; autonomous and controllable; distributed architecture; multi-machine redundancy

收稿日期: 2023-10-19

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021006)

作者简介: 沈昌荣(1972—),男,高级工程师,本科,研究方向为泵站工程管理、自动化。E-mail:435158349@qq.com

## 1 概 述

大型泵站群主要应用于大规模跨流域调水<sup>[1]</sup>,如我国的南水北调工程、延安黄河引水工程、东江与水库联网供水水源工程及引江济淮工程等。跨流域调水工程的大型泵站群一般具有规模宏大、结构复杂、功能综合、影响因素多等特点,如何对工程进行科学高效的运行管理,是工程综合效益能否充分发挥的关键<sup>[2-3]</sup>。泵站远程集中监控系统是将计算机信息技术与工业控制技术耦合到泵站运行系统的一种集数据采集、数据处理分析和实时监控于一体的工业控制系统。

大型泵站群集控系统主要用于泵站群的生产调度控制,通过整合泵站、水库等资源,实现工程现地监控指令下达与远程监测控制,完成对沿线的闸、阀、泵等的实时自动控制,是自动化输水的核心。通过调研国内典型工程系统建设情况,如南水北调江苏段工程采用Intouch监控软件,东江与水库联网供水水源工程采用WinCC监控软件,东深供水工程采用ViewStar2000监控软件,延安黄河引水工程采用国产监控系统软件KingSCADA,但依赖Windows操作系统,总结发现国内大型泵站群集控系统主要依赖欧美发达国家的控制器芯片、操作系统、数据库等产品,无法实现自主可控。近年国际局势持续变化,增加了软硬件供应链的不确定性。在此背景下,需要研究自主可控的远程集控系统,避免关键核心技术“卡脖子”,为大型泵站群的安全可靠运行提供坚实保障。

本文基于近年来国内在泵站自主可控软硬件方面的经验积累,结合边缘计算、信息模型、时间敏感工业控制网络等新技术,研究并设计了一套在国产服务器、操作系统、数据库等支撑环境下运行的大型泵站群集控系统。

## 2 设计原则

(1)自主可控。全面采用国产服务器、数据库、操作系统与第三方应用支撑,建立满足自主可控要求的集控系统软硬件环境。

(2)维护简便。减少维护环节,降低沟通成本。避免集控与泵站间的协调,降低对双方维护人员的要求,提高维护工作效率,缩短维护周期。

(3)实时性。系统下发的遥控/遥调命令具有较高的实时性要求,DL/T 60870-5-104协议的实时性对于保障安全生产具有重要的意义。

(4)可用性。集控系统必须具备较高的可用性,采用节点与通道等关键要素冗余设计与分布式架构,在系统发生局部故障的情况下保持系统功能的正常运行。

## 3 结构设计

### 3.1 总体架构

大型泵站群集控监控系统基于国产服务器、操作系统、数据库,采用架构简单、功能逻辑清晰的分布式监控系统架构,可设计为3个层次,如图1所示。

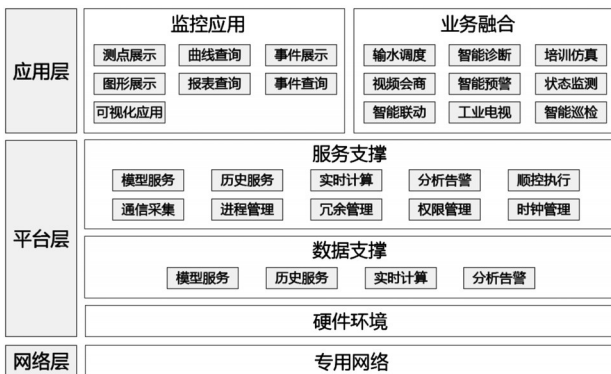


图1 总体架构

在网络层,可依托国产化网络及安全设备建立网络硬件环境,基于远动通讯协议的网络通信架构,为数据资源统一管理及应用系统高效运行提供数据支撑。

在公共服务平台层,优化系统网络架构,设计建立高性能实时数据与历史数据的存储与访问机制,为运行监视与智能化应用提供统一的资源服务。

在智能应用层,基于现有的数据资源和基础应用组件,利用平台消息总线、服务总线来实现基础集控功能,支撑可视化、水量调度等各类业务互通互融。

### 3.2 支撑环境选型

#### 3.2.1 操作系统选型

国产化操作系统产品的选型需要遵循适用性原则,选型的标准是对泵站控制应用最优,而不是对各家产品优劣进行简单的排序。泵站控制系统用于实现现场设备运行状态的监视与控制,其应用场景与电力控制调度系统类似,因此对操作系统的实时性、稳定性、安全性较为敏感,同时需要较高的兼容性,能够适应国产化环境下其他软硬件环境。操作系统选型对比情况如表1所示,相关产品在安全等级方面表现都较好。统信系统在企业应用方

表1 操作系统选型对比

	凝思操作系统	麒麟操作系统	统信操作系统
基础系统	Debian	FreeBSD	Debian
发布时间	2004 年	2001 年	2004 年
应用领域	广泛应用于电力、政府、金融、铁路、电信等重点行业	广泛应用于电力、政府、金融、铁路、电信等重点行业	之前主要聚焦桌面版,企业应用发展较晚
控制调度应用案例	电力调度系统	未见相关信息	未见相关信息
安全等级	等级保护4级	等级保护4级	等级保护4级
服务支持	专人驻场支持	电话支持	电话支持

面起步较晚,且应用案例较少,因此选型中不考虑统信系统。电力控制调度系统与泵站监控系统的应用场景最为接近,而凝思操作系统在电力调度系统中广泛应用,因此可选用凝思操作系统产品作为远程集中监控系统的操作系统。

3.2.2 数据库选型

国产化数据库产品的选型同样需要遵循适用性原则,选型的标准是对泵站控制应用、现场实施最优。基于操作系统选型的调研成果总结数据库选型要求,具体包括实时性、稳定性、安全性、兼容性。其中兼容性主要指对进口关系库常用接口的兼容程度。

数据库软件选型对比情况如表2所示,从扩展

性上看各数据库在支持协议及容器化部署方面较一致。从安全审计方面看各数据库软件均支持权限与审计功能;从功能上看,除 GaussDB 相对弱外,其余国产化数据库软件功能均具备替代国外数据库软件的能力,其中达梦数据库软件更是实现了自己的 RAC 功能。考虑到电力调度系统与泵站监控系统的应用场景最为接近,而达梦与麒麟数据库软件在电力调度系统中广泛应用,因此重点对比达梦与麒麟数据库软件。由于达梦数据库软件采用类似 oracle 数据库软件的架构,其 jdbc/oci 接口也可以与 oracle 数据库接口无缝替换,可快速替换现有应用软件,加上达梦数据库软件基于非阻塞 IO 性能比金仓略高,因此可选择达梦数据库软件作为远程集

表2 数据库软件选型对比

	达梦	金仓	南大通用	GaussDB
对标产品	Oracle	PostgreSQL	Informix	PostgreSQL
发布时间	2000 年	1999 年	2004 年	2002 年
应用领域	广泛应用于电力、政府、金融、铁路、电信等重点行业	广泛应用于电子政务、国防军工、能源、金融、电信领域	广泛应用于金融、电信、政务、国防、企事业等领域	应用于金融、电信、政府、能源、医疗、制造、交通等领域
接口兼容	支持Jdbc/odbc	支持Jdbc/odbc	支持Jdbc/odbc	支持Jdbc/odbc
SQL兼容	强	强	强	较好
事务性	保证ACID	保证ACID	保证ACID	保证原子性、强一致性
RAC	支持	未见相关信息	未见相关信息	未见相关信息
多副本	多副本	多副本	多副本	2副本
物化视图	支持	支持	支持	支持
自动分区	支持	支持	支持	不支持
安全审计	支持	支持	支持	支持
国产操作系统	支持	支持	支持	未见相关信息
控制调度应用方案	电力调度系统	电力调度系统	未见相关信息	未见相关信息

中监控系统的数据库基础。

### 3.2.3 其他支撑环境

由于我国芯片技术的发展,国产服务器、交换机及网络安全设备在功能与性能方面与进口同类产品相近,国产交换机出现东土、瑞斯康达、华为、华三等交换机品牌,国产服务器涌现出浪潮、曙光等品牌,具备了使用国产设备替代进口设备的能力。在国产软件方面,国产GIS产品也日趋成熟,具备了替代进口ArcGIS软件的能力。

## 3.3 支撑组件功能设计

### 3.3.1 分布式实时数据库

传统水利水电一体化平台实时库在启动时一次加载,如果发生修改需要通过重启生效,同时各节点需要手工同步数据库文件。为了简化现场维护工作,提升系统可用性与稳定性,可对现有监控应用实时数据库进行改造,建立分布式实时数据库用于实现模型信息修改的在线更新与动态发布。

采用变量池设计,建立基于分布式架构的实时数据库体系,实现实时数据跨计算机节点的动态存储、发布与更新机制,并通过索引与锁机制,提升系统访问效率。同时引入分区概念,对实时数据进行分块处理,不同分区的实时数据可以部署在不同服务器上,从而最大化地发挥分布式实时数据的计算与同步效率。

### 3.3.2 多机冗余管理

随着先进的理论与技术在泵站控制系统中的应用不断深入,传感器、测控、计算机、通信等方面的技术取得了长足的进步,为大型泵站群项目的建设奠定了良好基础<sup>[4]</sup>。由于泵站群大量应用了先进的传感器与测控技术,监控系统测点规模不断膨胀,随之而来的实时数据处理压力增大,对计算机监控系统的实时性、稳定性提出了更高的技术要求<sup>[5-6]</sup>。为了确保系统的运行效率,需要设计一种新的冗余架构,实现实时数据与计算资源的统一管理,满足大型泵站群监控系统高效、易用、稳定、可扩展的需求。

设计大型泵站群集控监控系统多机冗余机制(图2),每个节点上均部署完整的实时数据库。简化冗余功能架构,不设立管理节点,实时数据库按现地控制单元(LCU)划分为若干基础数据单元,通过预定策略确定服务器所接管的基础数据单元。服务器采集本机接管基础数据单元的实时数据,完成数据处理并发布到实时数据总线,同时接收其他服务器发布到数据总线的信息。当某台服务器停

止工作后,相应基础数据单元会按照预定策略切换至其他在线服务器接管,相应的实时数据采集、处理与发布功能也会切换到该服务器接管。

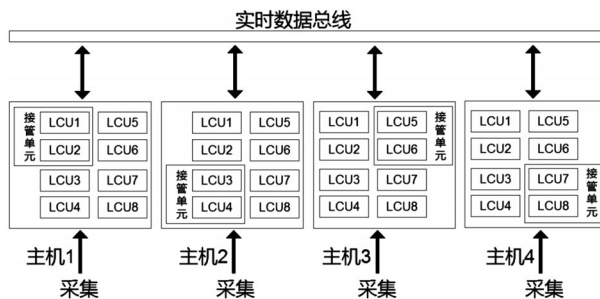


图2 多机冗余功能示意

### 3.3.3 权限管理

权限管理是系统的重要组成部分,它连接各个组件,为系统的操作者和各个功能提供统一的身份认证,实现系统操作身份的统一管理,是建立可信的网络环境的核心措施之一。

权限管理是系统安全稳定运行的重要保证,作为一种公共服务可为各应用提供一组权限管理服务公共组件,强化权限管理的灵活配置功能,为用户提供可灵活配置的、多级多角色权限管理服务。

(1)提供用户、角色管理功能,并能提供全方位多粒度的权限控制,包括菜单、应用、类型、属性、数据、流程等方面的权限控制。

(2)提供用户、组、角色等不同维度的权限管理功能以及系统通用配置功能,可设置不同的安全等级对访问和操作权限进行控制与管理,并可对用户访问和操作进行记录与审查,也可以通过权限管理实现工程各自动化系统的单点登录。

(3)提供基于人员角色的账户供应策略。能够根据人员的角色来部署人员在各个系统中的账户信息。

(4)动态响应人员信息的变化和策略的更改。如,当人员信息发生变化时(工作职责发生变化等),根据这些变化对应用系统的账号进行调整(账号添加、删除、角色变化等操作)。

(5)灵活定义人员账号的命名规则,可以针对后台不同的应用系统采用不同的账号命名规则。

(6)支持分级权限管理机制,可以按照组织机构、被管理资源等内容对人员和账户等进行分级授权管理机制。

(7)身份信息的存储和供应,支持关系数据库方式。可采用身份服务内部用户源,或与第三方系

统外部源交互。

### 3.3.4 实时计算

设计基于XML描述的运算方案解析组件,通过解析运算方案,将计算方案依次拆解成独立的子任务、运算条目和运算表达式脚本,通过构建强大的脚本引擎加载运算脚本,该引擎接收变量输入值并返回脚本的计算结果。脚本计算组件不断重新组合脚本引擎的运算结果,并组合成新的子任务作为输入提供给脚本引擎进行下一轮的运算,如此循环,直到运算方案完成。

### 3.3.5 历史数据服务

系统中涉及的数据分为持续性数据(即能够再次使用的数据)和非持续性数据。持续性数据一般采用数据库管理系统进行存储和管理,数据访问接口为应用系统提供统一的访问数据库数据的标准方式。根据数据库类型的不同,设计数据访问接口,能处理关系型数据库、层次型数据库、面向对象数据库和网状数据库中的数据。

统一的数据访问接口研究重点在数据库(特别是关系数据库)、XML访问上。在数据库访问接口上,功能服务的输入参数包括数据源名称、访问的用户名、密码等,输出可操作的数据库的链接,通过该链接可对数据操作;在XML访问接口上,应根据XML存储模式来对功能的输入和输出来进行设计。

### 3.3.6 系统进程管理

系统进程管理主要是用于管理和监视应用系统中的进程的运行情况,保证整个系统的正常运行。长时间不能接收进程报告则认为进程异常,对于系统中所有主要进程默认异常后启动自恢复,在必要的时候重新启动进程。并实时向系统报告进程运行的状态。

### 3.3.7 数据通信与处理

数据通信模块需要通过串口、以太网的连接方式,遵照标准DL/T634-1997(IEC60870-5-101)、DL/T645-1997(IEC60870-5-102)、DL/T667-1999(IEC60870-5-103)、DL/T476-2012(IEC60870-5-104)协议,读取业务中实时数据、时段数据和序列等数据,上传至通信服务端的实时数据和历史服务器,并且同时接收通信服务端下发的各类数据执行控制操作。数据通信模块由多个进程独立构成,多个通信进程按照7×24小时连续工作的目标进行设计,同时提供及时准确的通信日志记录,供系统意外时恢复数据和分析通信情况时使用。

## 3.4 系统功能设计

### 3.4.1 图形展示

平台图形组件设计采用Java编程,可在不同平台上实现图形编辑和显示的能力,同时可通过平台提供的基本服务接口连接到数据总线,访问实时数据库,进行实时数据的展示,直观展示所编辑图形的运行状态。用户可以根据需求绘制条形图、折线图、直方图等统计分析图形,进行数据信息展示,如机组监控、闸门监控、公用及辅机设备监控、供配电监控等。

### 3.4.2 报表展示

设计基于统一的报表支撑组件进行组织和管理,报表支撑组件可作为独立于业务的中间件承载上层专业报表的运算和展示,设计分为数据运算引擎和格式化分析展示两大核心,具有模板固定、数据统计方法明确、定期制作发布、模板按需定制的基本特点。通过报表系统函数库提供时间函数、算术计算、各种专业计算等函数,进行数据报表计算和输出,自动计算数据并按格式生成报表,如机组温度报表、机组运行监测报表、效益统计报表等,满足各种专业报表计算和展示的需要。

### 3.4.3 事件及报警

设计报警功能,要使其能够在线监视系统的数据和设备运行情况,对数据越限和设备异常等事件经报警设备自动告警,并能对报警事件进行确认、保存和查询。

报警功能包括数值越限、变幅越限的报警,计算机网络及通信通道故障中断报警等,功能设计如下:支持图形、语音、短信的形式输出报警事件,支持多种类型的报警。报警客户端可操作性强,方便用户配置报警参数和调整报警接收组。可分级报警,报警级别升高或降低时可以分别告警,且不同级别的报警应采用不同的文字内容、图形颜色等加以区别。提供灵活、方便的告警输出方式,按照预定义的通知策略即时通知到对应的责任人,以缩短事故处理时间和提高事故处理能力,是监视全厂运行实况的专业辅助系统。

### 3.4.4 泵站联合调度

系统以泵站、水闸为监控对象,在采集各机组、水闸的运行状态信息的基础上,结合区域内水情信息、水质信息、调度目标和调度原则,自动生成调度方案,通过自动化控制系统,实现对水闸、泵站的远程集中监控和联合调度,达到区域内防洪调度、水环境调度、兴利调度、供水调度、应急调度等水资源

统一管理目标。

基于自主可控环境设计水量调度的数据接口,实现对泵站联合调度功能的支撑。全线流量平衡是调度的目标,就是要在各供水口门需求流量变化情况下实时计算出泵站流量及对应的开机组合方案。

(1)人机接口。为方便运行人员操作,全线流量平衡和经济运行共用同一显示界面。界面可与后台计算进行数据交互,直观展示水量调度结果。

(2)全线流量平衡。计算机监控系统根据调度中心下达的各泵站输水量,在维持整个输水线路的输水量和前池水位基本不变的情况下,考虑沿线水工建筑物的水位等相关限制条件,按顺序自动启停水泵、闸门,并控制变速泵组的转速。

(3)智能控制。泵站联合控制功能是在泵站自动化建设已经完善的基础上泵站参与流程控制的机电设备均能在中控室及调度中心进行远程控制,机组实现流程化开停机,即控制室能在远方成功一键启停机组。该功能的实现均是基于机电测控二次系统反馈的信号,因此还要求机电测控设备务必准确、稳定、可靠,不能因为信号异常引发联合控制程序的误判断、误操作。

联合控制下发的是机组流程开停机控制指令,相关的断路器控制、辅机控制、变频器控制、阀门控制均由PLC的流程程序进行协同控制。

#### 3.4.5 可视化应用

采用自主可控技术路线,融合BIM与二三维一体化GIS技术,可实现大范围场景与精细小场景的无缝切换,两者实现联动。

二三维一体化GIS技术依托地理信息系统平台,集成流域不同比例的地图数据、影像数据,满足地形地貌及所有调度信息的直观显示需求,通过电子地图直观显示各站点实时监测数据、重要地面标志物等信息。

BIM可视化平台为整个智慧系统的表现层骨架,致力于在打通物联网、互联网、运算服务器的基础上整合各类数据资源,满足信息化建设需求。

BIM模型数据层负责管理BIM模型原始文件,并通过BIM轻量化平台提供的导出插件将BIM原始文件解析处理为轻量化文件;运维数据接入层采用数据服务中间件,接入各专业系统的运维数据,并进行标准化整编。中间件通过HttpREST、WebSocket、TCP/IP等多种接口协议提供数据请求/推送服务;BIM引擎服务层由BIM轻量化平台提供,向下负责解析模型数据层处理好的轻量化文件并形成WebGL支持的三维数据模型对象,负责接入中间件的各项数据服务;向上负责对展示层建立数据服务访问机制,提供WebGL渲染调度执行指令;BIM可视化展示层作为系统的感知与交互前端,紧密对接业务需求,负责三维可视化场景渲染,响应各系统的数据指标,执行丰富逼真的三维动效。负责协调各业务系统的流程串联,实现多系统的一体化综合调度与集成。

充分考虑新技术发展需求与应用业务需求,遵循自主可控、维护简便、实时性、可用性的原则,研究并设计高可靠性的大型泵站群远程集中监控系统,促进现代信息技术和大型泵站运行管理方式的深度融合,对实现工程安全运行、效益提升具有实践意义。

#### 参考文献:

- [1] 徐存东,李嘉明,王荣荣,等.开机组合对泵站前池水流场特性的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2022,50(2):11-16.
- [2] 侯召成,翟宜峰.南水北调中线干线自动化调度系统总体框架设计[J].水利信息化,2010(2):40-45.
- [3] 刘江啸,张进朝.泵站智慧管控一体化平台的研究[J].中国农村水利水电,2022(9):25-29.
- [4] 褚小强.新兴技术在闸泵站计算机监控系统中的应用展望[J].治淮,2023(6):40-41.
- [5] 陈华栋,张绿原.基于GEPLC热冗余配置的大型泵站监控[J].智慧工厂,2013(9):87-91.
- [6] 孟令明,彭菲,姜爽,等.计算机自动化及远程监控系统在水利泵站的应用[J].水电站机电技术,2023,46(2):33-35.