

基于DCOM架构的动环监控系统 设计与应用

王宁, 向浩然, 赵斌

(陕西省气象数据中心, 陕西, 西安 710014)

摘要: 数据中心承载着关键业务与海量数据的存储, 机房设备需要7×24小时稳定运行, 因此要求运维自动化、一体化。为了便于运维人员查看设备参数、定位设备故障, 提出基于DCOM架构搭建的动环监控系统。首先, 通过嵌入式主机采集动力、环境、视频监控数据, 并上传至云端; 其次, 经数据预处理、监测分析等过程生成三维可视化运维界面, 实现自动化监控与三级告警。在气象大数据应用中心(西安)的实践中发现, 近6个月内共产生了65 535条告警, 其中严重告警750条, 紧急告警118条, 严重和紧急告警的命中率达100%, 证明了所提系统能高效协同监控、精准定位故障、提升运维效率、保障机房稳定运行。

关键词: 运维自动化; DCOM架构; 动环监控; 机房运维

DOI: 10.11907/rjtk.251249

中图分类号: TP311.52

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2026)007-0066-06

扫描二维码阅读全文:



Design and Application of the Power Environment Monitoring System Based on DCOM Architecture

WANG Ning, XIANG Haoran, ZHAO Bin

(Shaanxi Meteorological Data Center, Xi'an 710014, China)

Abstract: The data center carries the storage of critical business and massive data, and the equipment in the data center needs to operate stably 24/7. Therefore, it requires automated and integrated operation and maintenance. In order to facilitate operation and maintenance personnel to view equipment parameters and locate equipment faults, a power environment monitoring system based on DCOM architecture is proposed. Firstly, power, environment, and video surveillance data are collected through an embedded host and uploaded to the cloud; Secondly, through data preprocessing, monitoring and analysis, a three-dimensional visual operation and maintenance interface is generated to achieve automated monitoring and three-level alarms. In the practice of meteorological big data application center (Xi'an), it was found that a total of 65535 alarms were generated in the past 6 months, including 750 severe alarms and 118 emergency alarms. The hit rate of severe and emergency alarms reached 100%, proving that the proposed system can efficiently coordinate monitoring, accurately locate faults, improve operation and maintenance efficiency, and ensure stable operation of the data center.

Key Words: operation and maintenance automation; DCOM architecture; power environment monitoring; computer room operation and maintenance

0 引言

动环监控系统(Power Environment Monitoring System, PEMS)作为数据中心基础设施管理的重要组成部分, 核心价值在于能全面监控与智能管理动力系统、环境参数^[1]。

该系统通过集成不间断电源(Uninterruptible Power Supply, UPS)、空调、配电等关键动力设备, 实时监测温湿度、空气质量等环境指标, 从而构建了一个多维度的监控网络^[2]。这种集成化的监控体系不仅能有效预防因设备故障或环境异常引发的系统宕机风险, 还为数据中心的稳定运行提供了可靠保障。

收稿日期: 2025-06-04

作者简介: 王宁(1994-), 男, 硕士, 陕西省气象数据中心助理工程师, 研究方向为信息网络与系统维护; 向浩然(1998-), 男, 硕士, 陕西省气象数据中心助理工程师, 研究方向为信息网络与系统维护; 赵斌(1991-), 男, 陕西省气象数据中心助理工程师, 研究方向为信息网络与系统维护。本文通讯作者: 向浩然。

动环监控系统经历了从单一功能到集成化、智能化的演进过程。褚鸿锐^[3]率先设计了一个集中化的动力环境监控平台,成功实现了多机房环境监控主控设备的统一集成与管理,为后续研究提供了参考依据。在此基础上,鲁霞等^[4]创新性地基于 Zabbix 开源架构开发了可视化监控系统,通过全天候的关键要素监控与故障预警,显著提升了运维效率。此外,易秉虔等^[5-7]分别从不同角度完善了动环监控系统的功能与应用模式,推动了该技术的快速发展与广泛应用。目前,动力设备的状态采集与监控技术已趋于成熟,成为了数据中心运维管理不可或缺的基础工具^[8]。

随着气象大数据应用中心(西安)的建成,大量信息化设备的集成对机房运维工作提出了一站式、自动化的要求,亟需引入动环监控系统,通过实时监控机房设备的动力系统参数和环境参数,自动评估机房设备的运行状态,以简化运维工作。为此,本文研究搭建了一套分布式、可视化的动环监控系统,辅助运维工作实现从人工单机检测异常向统一管控、自动化检测异常的转变,为运维人员高效决策提供了数据支撑,可保障气象大数据应用中心(西安)各项业务系统稳定运行。

1 系统设计

1.1 设计需求

动环监控系统需采集、分析影响设备稳定性的各类环境参数和设备状态参数,从而全面评估数据机房的实际运行状态,一旦相关参数超过阈值,系统将立即向运维人员发出告警信号。因此,动环监控系统应当满足以下功能:①支持集中监控,对分布在各区域的机房实现跨区域的集中监控管理^[9];②参数采集,通过传感器采集、监测动力设备的运行参数,包括机房内漏水、温湿度、电压、电流、功率、烟雾浓度等环境参数值;③分析告警,分析采集的参数,并根据预警阈值发送告警,自动执行处置方案;④故障精准定位,精准定位故障设备、故障原因,以提升故障排查效率;⑤支持远程访问和操作,可保证远程访问的安全性;⑥良好的软硬件兼容性,能适配市面上主流的温湿度传感器、电力监测仪、烟雾报警器等设备,支持多种通信接口,便于迭代升级;⑦支持与现有的机房运维管理系统、企业办公自动化系统集成,以实现数据共享与流程协同,保障机房管理连贯性;⑧支持分布式存储、处理数据,以提升数据处理效率^[10];⑨动环监控系统具备 7×24 小时不间断运行的能力;⑩多渠道通报,支持通过短信、邮件、声光报警等渠道向运维人员发送告警信息和相关通知,确保在第一时间将重要信息传达给相关人员。

1.2 基于 DCOM 架构的动环监控

为了满足大量分布式设备的数据实时传输需求,动环监控系统采用了 DCOM 分布式架构^[11]。该架构凭借其核

心特性,可良好兼容现有 IT 基础设施,简化了分布式系统的复杂度,在企业系统最小化改造的基础上实现了分布式系统开发和平滑升级。具体地:位置透明特性机制突破了组件调用的物理位置限制,客户端无需关注服务端组件的部署位置,仅需通过统一的接口进行交互;语言无关性特征支持异构编程环境,允许不同开发语言编写的组件通过标准化接口实现协同工作,有效提升了系统组件的复用性和集成灵活性;基于身份认证和传输层数据加密的双重机制,以保障跨网络通信数据的完整性与机密性。

动环监控系统通过 DCOM 分布式架构,将数据采集、告警处理、设备控制等功能模块封装为独立组件,部署在不同的服务器,通过优化后的二进制协议进行通信,从而提升系统的稳定性和处理性能。同时,DCOM 通过远程过程调用,将不同协议的设备封装成标准化的 DCOM 组件,以简化设备接入过程。

据已有研究和业务逻辑可知,动环监控系统可分为数据采集层、传输层、数据存储层、应用服务层和交互展示层,如图 1 所示^[1]。



Fig. 1 Logical architecture of power environment monitoring system
图 1 动环监控系统逻辑架构

数据采集层部署在嵌入式主机中,用于实时采集各类设备的状态参数和环境参数,并传输给数据存储层。采集参数的设备主要包括:动力类设备(UPS、配电柜、变压器等)、环境传感器(漏水检测传感器、温湿度传感器、烟感传感器等)、视频监控。动力类设备、环境传感器均通过串行通信协议 RS-485 总线将信息传至嵌入式主机^[13];视频监控先通过网络将视频资源传至硬盘录像机中,再通过 TCP/IP

传至嵌入式主机。

传输层主要由接口网关和一系列应用程序接口(Application Programming Interface, API)组成。其中,接口网关既能将机房设备采用的多种通信协议转换为指定通信协议,减少了多种设备导致的复杂性;又能实现机房设备的接入;还能将动环监控系统发出的控制命令转换成机房设备能识别的数据格式传回,实现对机房设备的远程控制^[14]。类似地,门禁、安防、视频等第三方系统均可基于提供的 API 开发相应的接口和驱动程序,与动环监控系统进行集成。

数据存储层用于存储配置数据、设备数据、管理数据。为了实现多类型数据的快速访存,数据存储层采用了多种数据库。首先,将 MongoDB 作为配置管理数据库,以存储系统配置、网络配置、服务配置等,这些是系统运行维护的基础^[15];其次,采用关系型数据库存储结构化的监控数据,例如用户信息、设备信息、告警记录、巡检记录等;再次,采用时序数据库存储设备运行状态数据、环境监控数据、性能指标、日志数据等时间序列数据;最后,采用缓存存储用户临时或频繁访问的数据,用于提升访问速度。

数据分析层用于管理数据分析任务。其中,任务调度模块可并发执行各类分析任务;故障分析、环境分析、能效分析模块能根据云端情报库和算法,自动生成各类机房设备的阈值,发现传入数据中的越限值并产生告警;关联分析用于挖掘不同告警之间的关系,以减少冗余并定位故障;算法库存储了系统调用的各类算法,为各分析模块提供支撑;日志管理模块用于记录系统日志。

应用服务层为用户提供交互服务。其中,设备接入用于配置各类接入的设备属性;告警处置产生各类告警数据并通报运维管理人员;实时监控支持将各类设备进行三维可视化并显示实时参数值;数据管理支持查看历史数据;报表管理支持自定义报表模板并导出报表;系统管理提供了登录、用户管理、权限管理等基础功能。

1.3 功能模块设计

本文根据设计需求,将系统分为 6 个功能模块:设备接入、告警处置、实时监控、数据管理、报表管理、系统管理等功能,如图 2 所示。

2 系统实现

由于设备接入、数据管理、报表管理、系统管理功能模块均属于常规业务开发,本文将聚焦实时监控、告警处置这两个核心功能模块,详细讨论其监控内容、实现原理。其中,实时监控对象包括高低压配电柜、UPS、蓄电池、新风系统、精密空调等设备和环境参数^[16];告警处置用于判断设备和环境参数是否超过阈值,并按照告警等级进行多渠道通报。

2.1 实时监控模块

(1) 高低压配电柜监控。高低压配电柜的监控对象包括:高低压配电柜电量参数、防雷器状态及主要开关状态。监控内容包括:①电量参数。例如,输出相电压、电流、频率、各类功率、谐波率、功率因素等^[17];②开关状态。例如,断路器的通断状态、隔离器开关状态;③防雷器状态。用于判断系统能否发现并处理雷击或电涌威胁。

目前,动环监控系统通过高低压配电柜的电量仪和串行接口,采用手拉手的连接方式,将多个电量采集设备连接到一个嵌入式数据采集终端,以集中采集不同位置的设备电量数据,并将其传入动环监控系统来深入分析电量数据^[18]。

(2) UPS 监控。首先,通过嵌入式数据采集终端运行的数据和状态数据;其次,将数据处理后发布至对外数据接口,供动环监控系统读取,以实时监控 UPS 运行状态。监控内容包括:①模拟量。例如,输入相电压、输出相电压等参数;②数字量。例如,输入电压越限、输出电压越限、输出频率越限、电池运行模式、电池高电压、电池低电压等^[19]。

(3) 蓄电池监控。蓄电池监控用于监控 UPS 的配套电池,通过电池监控主机与电池传感器,在线监测每节蓄电池的电压、内阻、温度、蓄电池组电流、组端电压,并记录蓄电池组的放电全程^[20]。

(4) 精密空调监控。机房精密空调监控用于监测空调运行状态,实现远程控制。监控内容包括:①运行参数。例如,空调运转状态、压缩机运转状态、乙二醇运行时间、

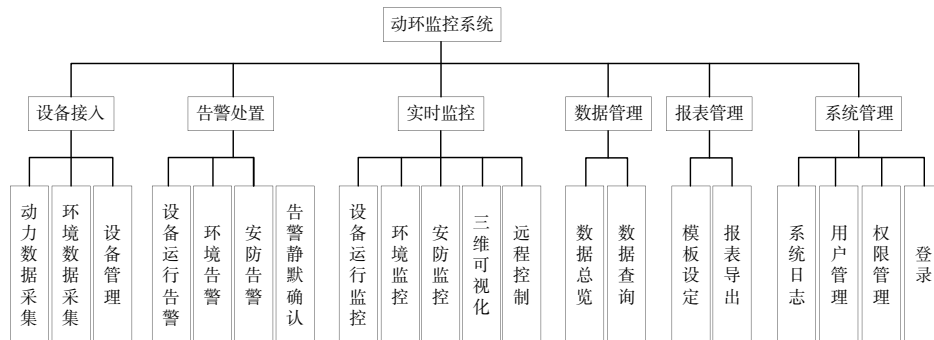


Fig. 2 Functional modules of power environment monitoring system

图 2 动环监控系统功能模块

加热百分比、冷却百分比等;②温湿度参数。例如,回风温度及上下限、回风湿度及上下限、温湿度及上下限等;③控制参数。例如,空调的远程启停、温湿度的远程设定。

(5)新风监控。新风监控用于控制机房内的压差,新风机和排风机的运行状态。监控内容包括:①新风的温度和湿度;②新风中的污染浓度如PM2.5、二氧化碳、挥发性有机物等;③新风系统的风机、阀门、过滤器等组件的运行状态,包括设备启停状态、转速、电流、电压等运行参数值。实际上,压差监控借助新风机滤网处的微压差传感器,通过转换模块将数据传入嵌入式数据采集终端进行检测,并通过开关量采集模块管控新风机启停。

(6)环境监控。环境监控是利用机房内布置的各种传感器采集和处理环境数据,例如温湿度传感器、液冷漏水监测控制器、烟雾传感器、火焰探测器等。监控内容包括:①空调漏水监控。针对机房内精密空调下方的漏水情况,采用HW-58型非定位式漏水监测控制器与适配长度的漏水感应绳,将感应绳绕空调下方挡水围堰一圈,实现全方位检测。当检测到漏水时,系统会立刻告警,显示漏水位置,并触发继电器动作;②温湿度监控。对机房内各个区域的温度、露点温度及相对湿度进行监测,并记录各传感器检测的温湿度数值及短时间变化曲线;③烟雾及明火信号。一旦烟雾传感器、火焰探测器检测到异常,系统会立刻发出紧急告警,并联动消防系统采取应急措施;④氢气浓度质量监控。机房电池间通过氢气传感器检测氢气浓度;⑤液冷漏水监控。在液冷系统的关键部位安装漏液传感器,并检测服务器液冷系统的压力变化,以感知是否存在漏液现象。

2.2 告警处理模块

告警处理模块主要比较系统设定的阈值和采集的参数值,以判断是否出现异常。本文根据异常严重程度发出不同类型、不同等级的告警,并通过网页通知、手机短信等形式告知运维人员。具体地,异常严重程度分为紧急、重要、一般3个告警等级。其中,紧急告警通过拨打值班电话和私人手机、发送短信的方式告知运维人员;重要告警通过系统语音告知运维人员,并由运维人员推送至运维团队工作群;一般告警则记录在系统日志,由运维人员定期巡检。此外,如果告警频率或持续时间超出了规定范围,告警将会自动升级。通过这种方式,可将异常控制在一定的范围内,避免异常升级。

3 系统应用

本文在动环监控系统建成后进行了功能测试、性能测试。在功能方面,各项功能与设计预期相符,且用户界面操作友好简洁;在性能方面,高并发场景下的动环监控系统响应速度快、运行稳定。图3为动环监控系统的主界面,在系统主页点击对应机房图标即可进入相应机房的三

维可视化界面,点击设备图标便可查看设备参数和告警详情(见图4)。



Fig. 3 Main interface of power environment monitoring system

图3 动环监控系统主界面

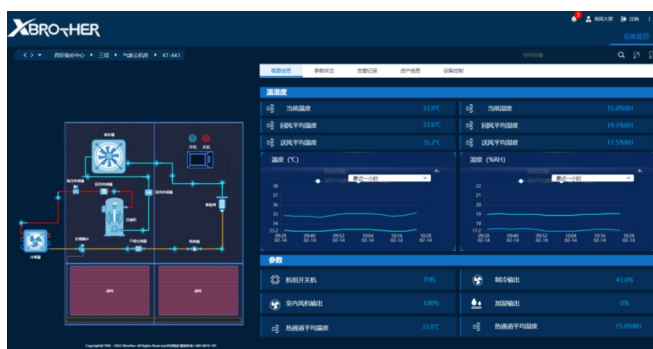


Fig. 4 Alarm details interface of power environment monitoring system

图4 动环监控系统告警详情界面

动环监控系统通过测试后,将其应用于气象大数据应用中心(西安),现已监控机柜74台,加湿器2台,空调配电柜3台,行级空调20台,房间级精密空调5台,监控摄像机28台,高低压配电柜28台,3台400KVAUPS等,实现了数据机房、配电室、电池室的自动化运维。

本文统计了动环监控系统2024年8月—2025年1月,共6个月的告警,包括一般告警64 667条,严重告警750条,紧急告警118条,共计65 535条。其中,一般告警数量主要由于服务器工作负载动态变化、设备间歇性散热温度波动、网络负载的高峰低谷时段差异明显等因素频繁触发告警造成,一般能自动恢复正常或在日常巡检进行处理;严重告警、紧急告警的命中率达到100%,并未出现无法识别的故障。据系统运维记录显示,紧急告警的处置时间平均在10 min内,重要告警的处置时间平均在30 min内。

本文为了优化系统的运维性能,还统计了各类告警数量以分析设备运行问题,如表1所示。由此可知,室内风机累计运行时间错误占比最高,主要集中在长期运行的空调系统中,反映了风机传感器精度不足或软件逻辑缺陷会导致运行时间记录碎片化或累计误差。压缩机运行状态错误和除湿加湿输出错误凸显了空调设备控制逻辑异常,源于设备老化、反馈信号丢失或控制策略冲突。AB线、BC线电压错误与CA线电压错误合计占比超9%,表明电网波

Table 1 Alarm statistics of power environment monitoring system

表1 动环监控系统告警统计情况

系统告警名称	系统告警数量	告警占比/%
温度过高报警	118	0.18
设备通讯中断	750	1.14
压缩机运行状态错误数据	5 859	8.94
除湿加湿输出错误数据	3 965	6.05
室内风机累计运行时间错误	20 860	31.83
PSU 数量错误数据	1 979	3.02
制冷输出错误数据	1 993	3.04
吸气压力错误数据	1 927	2.94
排气压力错误数据	2 025	3.09
加热器数量错误数据	1 966	3.00
电加热累计运行时间错误	1 999	3.05
加湿器数量错误数据	1 887	2.88
排水水泵累计运行时间错误	2 005	3.06
加热输出错误数据	1 974	3.01
水泵数量错误数据	1 874	2.86
CA 线电压错误数据	1 987	3.03
风机数量错误数据	1 968	3.00
电源频率错误数据	1 940	2.96
加湿器累计运行时间错误	2 002	3.06
AB 线、BC 线电压错误	3 985	6.08
回风过滤网累计运行时间错误	1 894	2.89
其它	578	0.89

动或线路接触不良问题显著,尤其在三相负载不平衡场景下易引发电压偏差。PSU 数量错误、加热器、加湿器、水泵数量错误等设备数量统计异常,暴露了传感器采集模块故障或通信协议解析错误的共性问题^[21]。制冷输出错误、吸气、排气压力错误等告警,集中反映了精密空调运行状态监测失准,是由压力传感器漂移或校准失效所造成。温度过高告警虽占比低,但反映了行级空调因设备老化和未及时清灰会造成散热能力下降。设备通讯中断则集中于监控摄像机和配电柜,产生原因包括网络设备故障、传输介质损坏或电力供应不稳定。

总体来看,设备老化、传感器精度不足、控制逻辑冲突及电网波动是引发告警的核心因素,需对设备进行针对性维护。

4 结语

本文基于气象大数据应用中心(西安)建设的需要,设计了一套功能集成、三维可视的动环监控系统。该系统能实时监控动力设备和环境参数精准定位异常,依据异常严重程度产生三级告警,并通过多种渠道通报运维人员。

后期,将持续优化升级动环监控系统,引入先进的数

据分析算法来深入挖掘监控数据,为运维决策提供前瞻性建议并加强系统安全稳定性,保障其在复杂环境下仍然可靠运行。

参考文献:

- [1] ZHONG M L. Research on the design of power environment monitoring system based on Internet of Things and cloud computing[J]. East China Science and Technology, 2024(11):112-114.
钟妙玲. 基于物联网及云计算的动环监控系统设计研究[J]. 华东科技, 2024(11):112-114.
- [2] YANG L L, XUE J C, FENG R. Daily maintenance and management of uninterruptible power supply system in computer room[J]. Metallurgical Power, 2024(6):13-16.
杨玲玲, 薛金成, 冯睿. 机房不间断电源系统日常维护管理[J]. 冶金动力, 2024(6):13-16.
- [3] CHU H R. Design and implementation of dynamic loop centralized monitoring system in equipment room[J]. China Informatization, 2021(2):40-41.
褚鸿锐. 设备机房动环集中式监控系统设计与实现[J]. 中国信息化, 2021(2):40-41.
- [4] LU X, BAI T N, XU X, et al. Design of power environment monitoring system in meteorological data computer room under open source architecture[J]. Modern Information Science & Technology, 2022, 6(24):72-74.
鲁霞, 白铁男, 徐晓, 等. 开源架构下的气象数据机房动环监控系统设计[J]. 现代信息科技, 2022, 6(24):72-74.
- [5] YI B Q, CHEN H D, LI Z W, et al. Design and implementation of power environment monitoring system for data center computer room of electric power enterprise[J]. Information and Computer (Theoretical Edition), 2023, 35(13):153-155.
易秉虔, 陈海东, 李兆伟, 等. 电力企业数据中心机房动环监控系统的设计与实现[J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35(13):153-155.
- [6] WANG Y J. The necessity and construction idea of power environment monitoring system in the computer room of the financial media center[J]. TV Technology, 2023, 47(10):186-188, 200.
王宇嘉. 融媒体中心机房动环监测系统的必要性及建设思路[J]. 电视技术, 2023, 47(10):186-188, 200.
- [7] JIN Y R, XIE K W. Practice of network computer room monitoring platform construction in grassroots central banks[J]. Financial Technology Times, 2024, 32(12):62-64.
靳雅茹, 谢康文. 基层央行网络机房监控平台建设实践[J]. 金融科技时代, 2024, 32(12):62-64.
- [8] ZHAO J. Application and development of power environment monitoring system in data center[J]. Intelligent Building, 2020(5):31-34.
赵健. 动环监控系统在数据中心的应用和发展[J]. 智能建筑, 2020(5):31-34.
- [9] WEN W X. Design of power and environmental monitoring system of microwave room of radio and television station[J]. Television Technology, 2024, 48(10):210-214.
温卫宪. 广播电视台微波机房动力与环境监控系统设计[J]. 电视技术, 2024, 48(10):210-214.
- [10] WAN K C. Research on parallel computing and distributed storage technology in big data processing[J]. Information and Computer (Theoretical

- Edition), 2024, 36(19):166-168.
- 万开成. 大数据处理中的并行计算与分布式存储技术研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2024, 36(19):166-168.
- [11] XIN W B. Research and implementation of remote monitoring system based on DCOM[J]. Digital Communication World, 2018(2):211.
- 信文博. 基于DCOM的远程监控系统的研究与实现[J]. 数字通信世界, 2018(2):211.
- [12] WANG W, ZHANG J F, WANG H X, et al. Research on life cycle prediction and evaluation of UPS based on improved nonlinear artificial neural network[J/OL]. Automation Technology and Application, 2024-12-30, <https://link.cnki.net/urlid/23.1474.TP.20241227.1458.048>.
- 王伟, 张剑飞, 王宏旭, 等. 基于改进非线性人工神经网络的UPS生命周期预测与评估研究[J/OL]. 自动化技术与应用, 2024-12-30, <https://link.cnki.net/urlid/23.1474.TP.20241227.1458.048>.
- [13] HE J H, GUO F, CUI J. Design of pipeline automatic control system based on mitsubishi FX5URS-485 communication[J]. Electrotechnical Studies, 2023(20):9-12.
- 贺建华, 国芳, 崔洁. 基于三菱FX5URS-485通信的流水线自动控制系统设计[J]. 电工技术, 2023(20):9-12.
- [14] CHEN S F, ZHANG R J, NIE J. Research on multi-protocol adaptive access method for heterogeneous devices[J]. Automation Expo, 2024, 41(4):66-69.
- 陈淑芳, 张人杰, 最佳. 异构设备多协议自适应接入方法研究[J]. 自动化博览, 2024, 41(4):66-69.
- [15] SHI Y C. Research on the design of non-relational database based on MongoDB[J]. Science & Technology Information, 2024, 22(8):40-42.
- 施莹超. 基于MongoDB的非关系型数据库的设计研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(8):40-42.
- [16] CHEN Y, HE Y Y, YIN B L. Influence of fresh air system on thermal environment of data room and its optimization strategy[J]. Telecommunication Engineering Technology and Standardization, 2024, 37(10):35-40.
- 陈玉, 何亚勇, 尹宝玲. 新风系统对数据机房热环境的影响及其优化策略[J]. 电信工程技术与标准化, 2024, 37(10):35-40.
- [17] ZHONG Y S, ZHOU J C. Application and practice of remote power environment monitoring system in microwave unattended station[J]. Radio and Television Information, 2024, 31(6):84-88.
- 钟逸思, 周景春. 远程动环监控系统在微波无人值守站的应用与实践[J]. 广播电视信息, 2024, 31(6):84-88.
- [18] MENG F J, PEI L. Design of integrated monitoring device for bus bar of high and low voltage distribution cabinet[J]. Electronic Components and Information Technology, 2024, 8(9):244-246.
- 孟凡杰, 裴蕾. 高低压配电柜母线综合监控装置设计[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(9):244-246.
- [19] ZHANG J. Power environment monitoring system of computer room based on association rules[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2020.
- 张金. 基于关联规则的机房动力环境监控系统[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2020.
- [20] PAN Z Q. Design and implementation of large-scale UPS system transformation and intelligent remote monitoring and alarm system[J]. TV Technology, 2023, 47(12):18-21.
- 潘志强. 大型UPS系统改造及智能远程监测报警系统设计与实现[J]. 电视技术, 2023, 47(12):18-21.
- [21] YU W L. Analysis on the improvement of MPU redundancy function of microcomputer control unit of HXD2 locomotive[J]. China New Communications, 2023, 25(1):29-31.
- 禹万林. HXD2机车的微机控制单元MPU冗余功能改进分析[J]. 中国新通信, 2023, 25(1):29-31.

(责任编辑:刘嘉文)