

# 机车远程监测与故障诊断应用研究\*

谢利<sup>1</sup>,洪晟<sup>2</sup>,谢经广<sup>1</sup>,董先明<sup>1</sup>

(1.中车戚墅堰机车有限公司,江苏常州 213011;2.北京航空航天大学网络空间安全学院,北京 100191)

**摘要:**通过分析机车远程监测和故障诊断的现状,结合机车专业领域知识,以出口机车的远程运维作为研究对象,分析机车远程运维的需求,重点介绍车载终端装置、多通道融合的数据传输,利用专业领域知识构建机器学习与故障处理知识库,构建面向机车远程运维的预测与健康管理(Prognostics and Health Management, PHM)平台,进行机车远程监测及故障诊断应用。

**关键词:**故障诊断;故障处理知识库;远程运维;PHM平台

中图分类号:TP277

文献标识码:A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2022.04.006

引用格式:谢利,洪晟,谢经广,等.机车远程监测与故障诊断应用研究[J].信息技术与网络安全,2022,41(4):39-44,51.

## Application research for remote monitoring and fault diagnosis of locomotive

Xie Li<sup>1</sup>, Hong Sheng<sup>2</sup>, Xie Jingguang<sup>1</sup>, Dong Xianming<sup>1</sup>

(1. CRRC Qishuyan Locomotive Co., Ltd., Changzhou 213011, China;

2. School of Cyber Science and Technology, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Through analyzing the present situation of the remote monitoring and fault diagnosis of locomotives, utilizing expertise on locomotives, taking the remote operation and maintenance of export locomotives as the research object, this paper analyzes the requirements of remote operation and maintenance of locomotives, emphasizes the introduction of on-board end instruments, multi-channel data transmission. Machine learning and fault processing knowledge base is established using domain know-how, and Prognostics and Health Management (PHM) platform for remote locomotive operation and maintenance is constructed to carry out remote monitoring and fault diagnosis of export locomotives.

**Key words:** fault diagnosis; fault processing knowledge base; remote operation and maintenance; PHM platform

### 0 引言

出口机车在交付海外客户之后无法实现远程实时监测,难以快速、准确地响应在途机车故障。机车出口单位需要投入大量的人力、物力、财力、精力来解决海外在途机车的故障处理。且当前海外机车用户,很多不具备独立的机车维修能力,在机车出保后,往往还需要由机车出口单位继续提供机车的故障解决及机车维修等服务。因此机车出口单位迫切需要一套信息平台,能够实时监控和分析海外机车运行状态及故障数据,并以此为基础进行故障的维修及预测<sup>[1]</sup>。

### 1 机车远程监测与故障诊断现状

近年来,全球主要的铁路企业纷纷开展轨道交通远程数据采集、运行监视及运用故障诊断等的研究与应用<sup>[2]</sup>,如欧洲开展了 RoMain、TrainCom 和 InteGRail 等项目,引入了先进的概念,搭建系统的框架。各个大公司在此框架下开发了自己的产品,如西门子的 EFLEET,阿尔斯通的 ETRAIN,庞巴迪的 CC REMOTE,GE 开发的 RM&D 系统,日本的三菱等也开发了自己的产品。这些信息化系统都具备机车故障的远程报警、机车运行状态的远程实时监测、机车运行故障专家诊断等功能,该类信息系统的装车应用,在很大程度上提高了机车的利用率,并对机车运用管理机制产生了重要的影响。

\* 基金项目:国家重点研发计划(2019YFB1706001)

目前国内的机车运用主要依靠传统的方式,在机车调度、检修、事故救援及在线技术支持方面需要大量的人力,效率低,对机车的运用质量缺乏准确、科学的判断,机车出段后也不能及时掌控机车的质量状态,缺乏对在途机车实时有效的监测。

随着我国铁路里程的增长,轨道交通装备也越来越多,以及海外机车的运行,对轨道交通装备及车载设备的可靠性、可用性、可维护性、安全性等方面的要求也越来越高。其生命周期成本,尤其是维护和保障成本越来越高,迫切需要研究车载系统的数据监视、数据统计分析等功能<sup>[3]</sup>。

然而,机车数据具有维度高、与业务紧密耦合、领域知识复杂、故障多样化长尾分布的显著特点<sup>[4]</sup>,而目前机车远程运维的数据采集仍然存在以下问题:(1)车载各设备之间较独立,时间不同步导致各设备间的数据分析不准确;(2)数据分析工作繁琐,各类数据之间的整合度和关联度不佳;(3)机车状态与故障无法实时传输到地面,难以准确掌握机车的状态<sup>[5]</sup>。

随着通信技术、3G 网络技术和其他信息技术的发展,建设机车远程监视与诊断系统具备了比较完善的基础。以机车远程运维为突破口,运用物联网、大数据、云计算、机器学习、人工智能、应用开发等新技术<sup>[6]</sup>,采集机车运行状态数据,及时处理机车运行过程的预警信息、报警信息、故障信息,对机车进行诊断和维护<sup>[7]</sup>,以保障机车安全运行,提高机车检修整备效率,提升机车利用率<sup>[8]</sup>。

## 2 机车运行数据采集

要实现机车远程运维和故障诊断,首先需要通过车载终端收集机车运行数据,并将移动设备上采

集的数据通过多种通信方式传输到地面,才能进行机车运行数据的清洗、筛选、存储、分析,检测机车及关键零部件的运行状态,进行故障诊断及预测性维修维护。

机车采集的数据主要有机车运行数据、关键零部件(系统)状态数据、事件数据三类。机车运行数据主要是指机车当前位置、当前运行速度、运行工况、环境温度等数据。关键零部件(系统)状态数据主要是整车、走行部、柴油机、辅助、牵引、制动等系统的运行状态信息,包括压力、转速、温度、功率、电流、电压等数据,用于分析零部件(系统)的状态和发展趋势,建立机理模型,提前预测可能出现的故障,给出运维策略。事件数据主要是机车运行的故障、报警、预警数据,及时推送到相关人员,并提供应急处理措施,指导运维人员及时进行处置,确保机车行车安全。

机车车载数据传输分为两大类,一类是通过 3G 以及卫星直接将实时数据发送到数据中心,另一类由于信号问题无法实时发送采集数据,则可在机车入库时通过无线网络将采集的数据发送到现场机务段,然后发送到数据中心<sup>[9]</sup>。

### 2.1 车载终端装置

车载终端是机车与地面服务器的无线信息传输通道,具备无线网络通信接口,车载终端对机车各类运行信息进行采集,并将采集的信息经过解析、筛选、重组、格式化、压缩及加密等一系列处理后,通过无线数据通信接口发送到国内数据中心<sup>[10]</sup>。同时车载终端具备实时定位功能,可实时对机车进行定位,通过无线数据通信接口将定位信息报告到地面服务器。车载终端工作原理框图如图 1 所示。

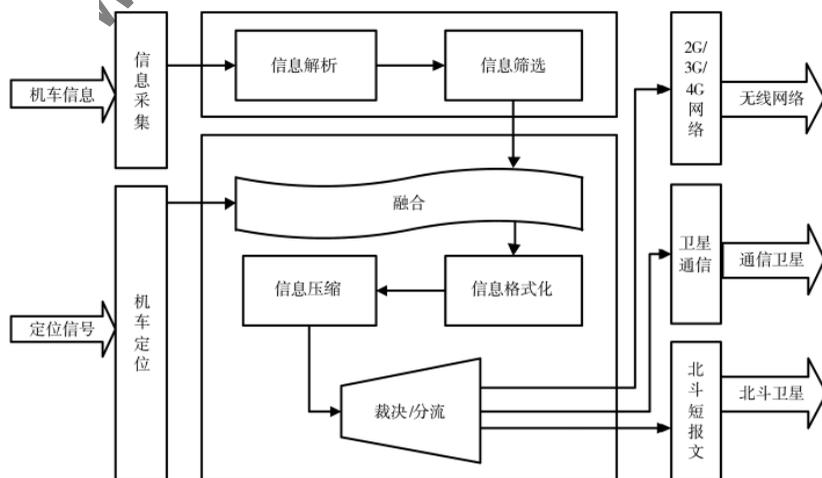


图 1 车载终端工作原理框图

车载终端包含电源管理、信息采集、无线网络通信、北斗通信、主控模块及记录模块等<sup>[11]</sup>。电源管理主要是进行电压转化,为车载终端各模块提供电源<sup>[12]</sup>;信息采集单元具备各种通信接口,对机车各种信息进行初步处理后将数据传输给主控单元做进一步处理;主控单元接收信息采集单元及北斗单元的机车信息及定位信息,通过发送指令控制无线通信接口将数据发送至地面服务器;无线网络通信单元为车载终端与地面服务器的无线网络通信接口,实现地面服务器与车载终端之间实时的大容量数据交互;北斗单元实现北斗定位及北斗短报文功能,可通过北斗卫星实时定位机车位置;记录单元实时记录机车及车载终端的实时工作状态。

车载终端装置安装方案如图2所示。通过现场数据采集,实现监测微机数据及机车状态数据、走行部数据、柴油机数据、主发电机数据、牵引电机数据、整流柜数据、冷却系统数据、通风系统数据等的采集<sup>[13]</sup>。

## 2.2 多通道融合的数据传输

海外出口机车涉及不同地域,各种无线通信手段覆盖情况不同,需要综合利用目前常用的远程无线通信技术(适合分别或集成满足通信卫星、2G/3G/4G移动通信系统、北斗短报文、WiFi)来满足机车远程监测的需求。数据传输功能结构如图3所示。

机车运行过程中,把车载终端装置采集的机车运行状态数据、预警信息、报警信息、故障信息等实时信息通过2G/3G/4G、北斗短报文、通信卫星传输到数据中心。

## 2.3 数据存储

在企业外网出口区建立前置机,通过互联网端

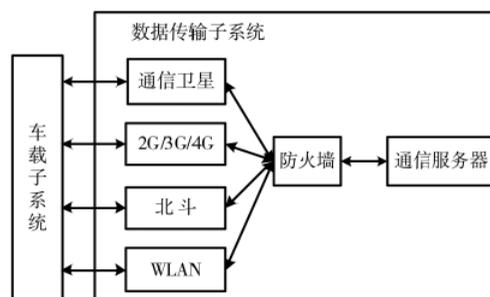


图3 数据传输子系统结构图

口接收加密车载数据,并且通过网闸摆渡将前置机接收的车载数据接入到企业内网数据中心的数据库中,通过PHM平台进行海量数据解析、分析利用。

## 3 机车故障诊断与远程运维

### 3.1 故障处理知识库构建

建立以物料清单(Bill of Material, BOM)为核心的功能系统部件物理关联模型,依据功能流程建立关键零部件及其失效模式、故障发生过程及后果、状态属性异常模式及报警事件关系、报警事件及故障树、报警事件和失效模式相关关系为核心的知识库,并将物理关联模型与报警事件、故障评价体系进行映射,形成数字孪生,实现设备对异常状态模式及异常评价指标的检测,发现功能的失效等,然后给出相应的处理方法。

本文平台采用neo4j作为图数据库进行知识库的存储和检索,实现基于知识库元素和元素间关系结构的描述以及对于知识的快速、高效检索。

### 3.2 故障机理分析模型建立

在机理知识图谱的基础上,提炼出异常模式,并对正常和异常数据进行特征学习,分析出关键分类特征,利用数据挖掘及聚类分析技术来逐步确定异常模式的指标边界,最终分析正常和故障数据的

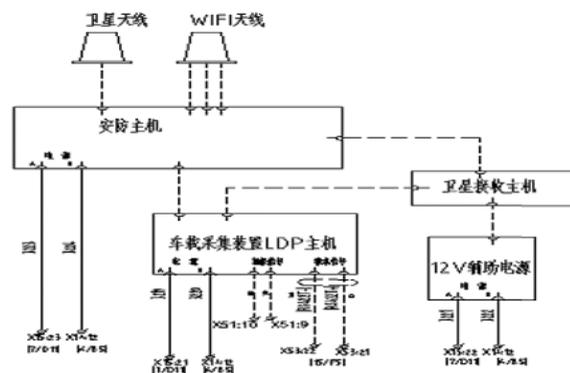
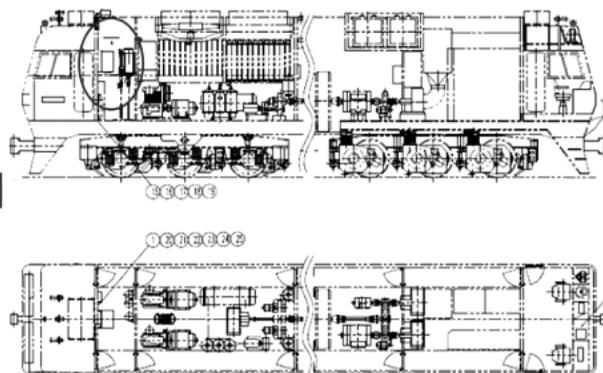


图2 现场数据采集装置安装方案



因果性和相关性,发现、评价及搜索报警事件之间的关系,确定故障相关事件之间的关系,最终构建出故障机理分析模型。

下面以轴温机理模型的建立为例,基于机器学习算法与轴温表现机理,以机车的实时运行工况、环境条件为输入,通过数据处理、统计、信号分析和机器学习算法对历史正常数据进行统计及学习,建立数据内部的映射关系和异常数据的监测机制,生成针对各个测点的轴温预测数学模型,预测轴温表现,从而构建了一套较为成熟的轴温故障预警机制(轴温机理模型建立过程如图4所示),可以在轴温发生异常的初期给出报警信息,作为维护工作的指导和补充。

通过对历史时刻车辆工况和环境的持续分析与学习,系统调用轴温预测算法,准实时预测任一时刻、任一轴温、任一工况的理论健康值。结合轴温预测值与实际轴温输出结果,系统自动判断当前状态下轴温是否发生显著异常偏差(轴温预测如图5所示)。最佳性能时可较车载系统报警提早一周左右,并给出预警的紧急程度,为远程排故与维护预留了充足的时间。

## 4 实验和结果

### 4.1 PHM 平台搭建

本项目研究的 PHM 平台按照工业互联网技术架构,基于云化、分布式和微服务化技术进行搭建,其技术架构如图6所示。基于该技术路线,轨道机车的数据、模型和业务功能等能够以合适的颗粒度被开发、管理、运行和调用,架构设计中采用面向服务的模块化设计理念,服务模块之间保持松耦合状态,便于系统的扩展以及满足针对不同角色进行个性化定制,能够更好地满足轨道机车行业运维服务需求和创新应用需求。

平台 SaaS 层建设 PHM 平台一般应用,包括大屏展示、数据采集、监控中心、事件中心、分析中心、模型管理、后台管理、移动 APP 应用等功能,如图7所示。PaaS 层部署服务组件,如搭建数据采集与解析、系统管理等基础微服务。IaaS 层实现 IT 资源的精细化、量化管理,通过对基础计算、存储、网络资源的池化和虚拟化,搭建统一资源池,为上层的应用和服务提供统一资源调度和监控管理<sup>[14]</sup>;支持按需分配与弹性扩展,并通过标准化接口向上层提供计算、存储等基础服务,提高 IT 资源的易用

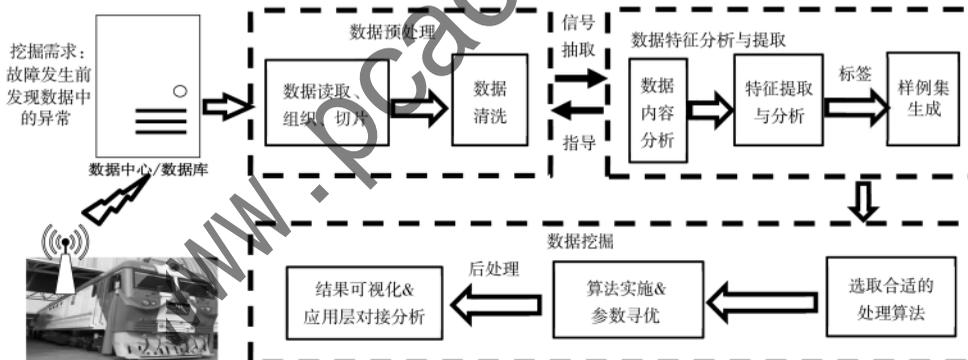


图4 轴温机理模型建立过程

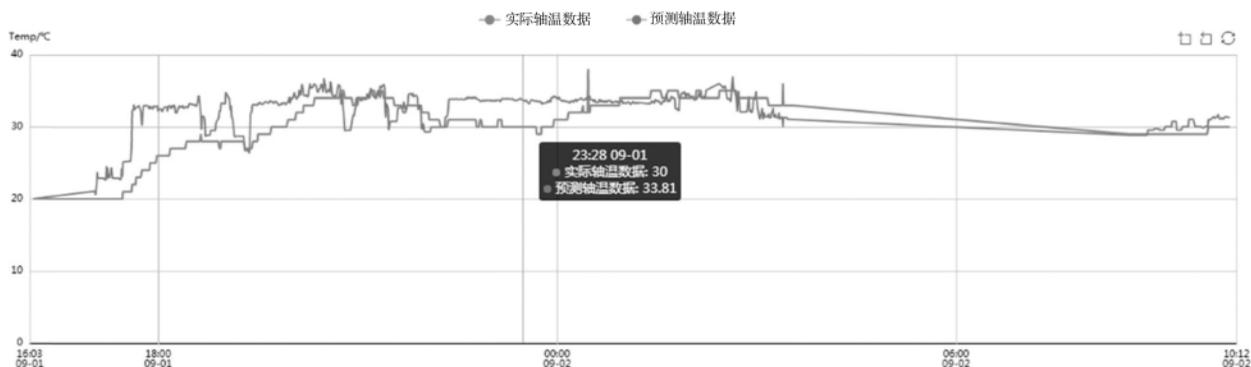


图5 轴温预测功能(局部)

性和敏捷性。AaaS 层通过车载数据采集装置、多通道融合的数据传输,实现列车的数据接入、处理与存储。

#### 4.2 应用效果

本文介绍的 PHM 平台和机理模型已广泛应用于机车运行数据采集、故障诊断和机车运行维护、机车修理的业务过程。

##### (1) 数据接入

已接入出口海外 48 台机车的运行数据并进行清洗、存储、分析、展示等,具备后续与企业不同车型、不同采集数据顶点的接入能力。

##### (2) 机理模型建立与故障诊断案例

通过工业大数据分析<sup>[15]</sup>、机器学习,建立了机车轴温、机油系统等机理模型,构建了一套较为成熟的故障预警机制,可以在发生异常的初期发出报警信息,使运维人员可以及时进行相关零部件维修或更换,避免故障发生造成损失。

根据实时采集轴温数据,机理模型自动判断当

前状态下轴温是否发生显著异常偏差,系统提前一周给出预警,以便及时更换相关部件,已成功避免了多起走行部轴承故障造成机车停运。通过对主发电机温度数据进行采集分析,及时发现并处理主发电机尼龙绳断裂问题。通过对牵引电机转速和微机监测机车速度等数据的采集分析,解决磁削失控乱动作故障等。监测采集数据状态趋势分析如图 8 所示。

##### (3) 数据服务能力

通过 PHM 平台已向部分用户单位推送其机车运行过程中发生的预警、报警、故障数据和处理操作过程服务,赢得了客户的青睐,取得了较好的经济效益。

通过智能采集、物联网技术、大数据多模型分析,集成车辆各类动态和静态信息,形成列车全生命周期数据库,建设企业基于工业互联网技术架构的机车 PHM 平台,进行机车运行数据的采集与解析,全车及各主要部件状态的监控,事件及故障的诊断

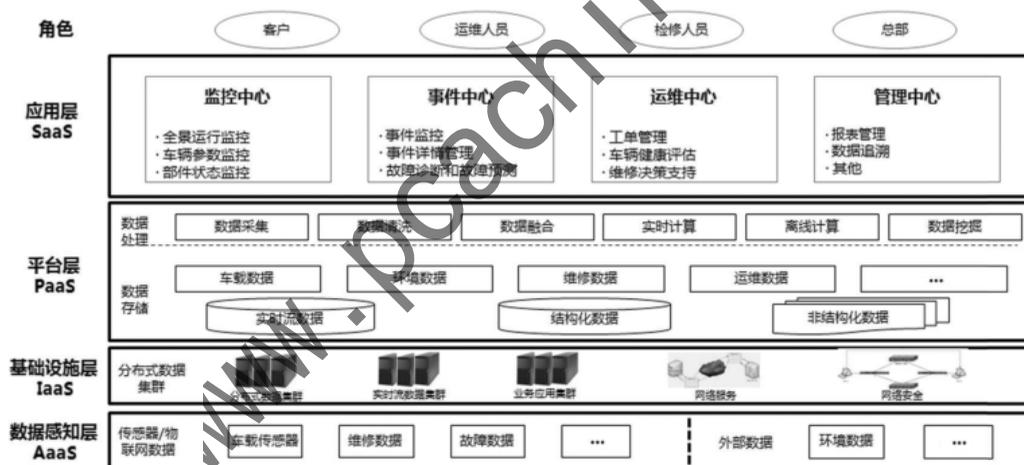


图 6 PHM 平台技术架构

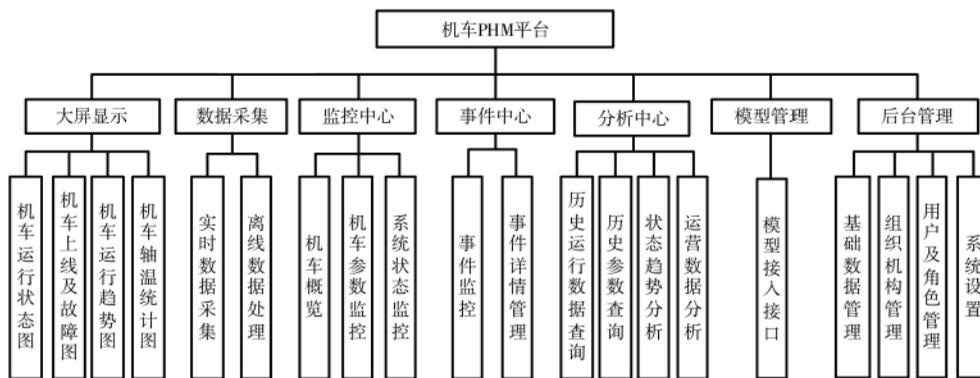


图 7 PHM 平台功能架构

与消息推送,历史数据的分析,机理模型的管理等功能,评估机车健康情况,给出机车运维策略,提升公司检修运维能力,保障机车运行安全,助力企业向“制造+服务”转型。

### 5 结论

通过对机车走行部、重联状态、重联故障等系统运行状态数据的分析与诊断,发现并提前处理了包括磁削失控、牵引电机轴承温度异常等多个故障,减少了海外常驻维保人员,降低了公司售后成本。从“按车修”向“按件修”转变,从“过度修”向“状态修”转变,从“响应式”服务向“主动式”开拓经营转变<sup>[16]</sup>,初步实现机车实时数据的有效集成与分析挖掘,实现了远程监测、诊断等全生命周期服务支持,探索出一整套集车载终端、车载通信卫星天线、基于数据挖掘的机车故障诊断系统于一体的完整解决方案。建立企业机车智慧运维体系,通过智能采集、物联网技术、大数据多模型分析,集成内燃机车各类动态和静态信息,形成机车全生命周期数据库和专家诊断数字化平台。

### 参考文献

[1] 徐振辉,许忠,高玉水,等.一种基于小波和神经网络

的故障诊断系统[J].火炮发射与控制学报,2006(S1):42-45.

[2] 陈建校.机车在途状态监视中心系统设计与实现[J].湘潭师范学院学报(自然科学版),2009,31(3):32-35.

[3] 申瑞源,龚利.中国机车远程监测与诊断系统(CMD系统)总体方案研究[J].中国铁路,2017(3):9-15.

[4] 杜林明,刘光涛.RCM和PHM混合故障诊断分析方法在机车远程运维的应用[J].中国高科技,2019(7):103-106.

[5] 石岩松,邓亚波,邓志峰.一种新型电力机车远程监视及专家数据分析系统[J].控制与信息技术,2018(1):65-70.

[6] 杨记周.一种室内移动机器人定位和路径规划的算法优化[D].合肥:中国科学技术大学,2019.

[7] 郭紫林.机车安全信息采集平台的设计开发[D].成都:西南交通大学,2012.

[8] 王庆武,唐国平.机车远程监视与诊断系统研究与设计[J].机车电传动,2012(3):42-44,57.

[9] 郑平.存储区域网络技术及其应用[J].信息系统工程,2002(1):26.

[10] 汪伟,张宏建,周洪亮,等.核事故应急移动实时数

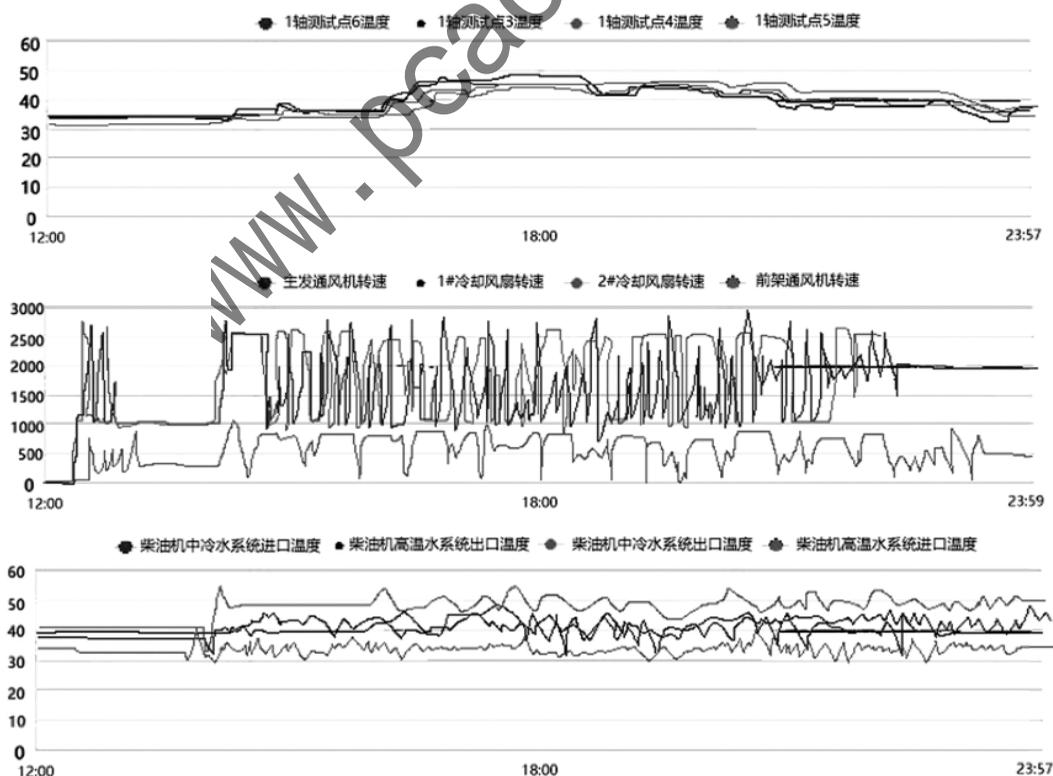


图8 监测采集数据状态趋势分析

(下转第51页)

- [2] 怀进鹏.大数据是国家战略资源[J].中国经济和信息化,2013(8):49-50.
- [3] 白龙.工业互联网工业和信息化领域的大革命[J].现代工业经济和信息化,2013(17):72-73.
- [4] 国富,石英村.人工智能数据安全治理与技术发展概述[J].信息安全研究,2021,7(2):110-119.
- [5] 于成丽.工业互联网安全形势及监管政策浅析[J].保密科学技术,2020(5):16-19.
- [6] 胡国华.数据安全治理实践探索[J].信息安全研究,2021,7(10):915-921.
- [7] 张莹莹,曹禹.装备制造基础数据治理体系建设研究[J].国防科技,2021(4):28-33.
- [8] 董京波.跨境数据流动安全治理[J].科技导报,2021,39(21):9-17.
- [9] 朱光亮.探究工业互联网中的数据安全问题及解决方法[J].网络安全技术与应用,2022(1):60-61.
- [10] 张雪莹,杨帅锋,王冲华,等.工业互联网数据安全分类分级防护框架研究[J].信息技术与网络安全,2021,40(1):2-9.
- [11] 管晓宏.全面提升工业数据管理能力释放数据潜在价值[J].网络安全和信息化,2020(4):6-7.
- [12] 陈雪鸿,杨帅锋,柳彩云.工业互联网数据安全分类分级思考[J].网络安全和信息化,2019(8):112-114.
- [13] 王大宇,王金星,李云生,等.工程机械行业工业数据分类分级应用分析及研究[J].建筑机械,2020(9):8-11.

(收稿日期:2022-02-22)

## 作者简介:

马跃强(1984-),通信作者,男,硕士,高级工程师,主要研究方向:工业互联网安全、工控安全、数据安全。E-mail:mayueqiang@nsfocus.com。

陈怀源(1981-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:数据安全。

李晨(1983-),男,绿盟科技集团副总裁,中国网络安全产业联盟常务理事,CCF计算机安全专业委员会委员,主要研究方向:网络安全、云计算安全、数据安全等。

(上接第44页)

- 据监测系统[J].核电子学与探测技术,2006(1):91-94.
- [11] 何明,肖利君.智能公交信息服务系统设计[J].山西科技,2008(2):36-37,42.
- [12] 王震,杨东超,伊强.基于单片机的车载超级电容测试系统设计与实现[J].电子技术应用,2006,32(9):51-54.
- [13] 王常顺,肖海荣,潘为刚.CAN总线的船舶机舱监测报警系统设计[J].自动化与仪表,2010,25(10):24-27,41.
- [14] 于建坤.云环境下搜索引擎系统关键技术研究[D].南京:南京邮电大学,2017.

- [15] 王建民.工业大数据技术综述[J].大数据,2017,3(6):3-14.
- [16] 李建华,肖惠才,高帆.浅谈冶金企业关键设备运行状态在线监测诊断系统构建与实施[J].中国设备工程,2020(1):166-168.

(收稿日期:2022-02-26)

## 作者简介:

谢利(1974-),男,本科,正高级工程师,主要研究方向:企业信息化建设。

洪晟(1981-),男,博士,副教授,博士生导师,主要研究方向:工业互联网安全、信息网络安全、复杂系统安全性。

谢经广(1980-),男,工程硕士,正高级工程师,主要研究方向:机车产品设计。

# 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部  
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所