

# 采煤机在线监测与故障诊断系统研究

桑建伟<sup>1</sup>, 刘 赟<sup>2</sup>, 郜 彤<sup>2</sup>

(1. 山西天地王坡煤业有限公司, 山西 晋城 048021; 2. 中煤信息技术(北京)有限公司, 北京 100120)

**摘要:**以物联网、云计算和机器学习为技术基础,建立了采煤机从设备到顶层应用的系统架构,基于现有数据采集情况,构建了采煤机健康管理指标体系,建立单指标波动率异常预警模型和基于波动率的层次聚类故障诊断模型,能够实时发现采煤机异常情况,掌控采煤机的健康状态。研究成果应用在王坡煤矿,效果较好。

**关键词:**在线监测;故障诊断;物联网;系统架构;指标体系

中图分类号:TD67

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Online Monitoring and Fault Diagnosis System of Shearers

SANG Jianwei<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>2</sup>, GAO Tong<sup>2</sup>

(1. Tiandi Wangpo Coal Industry Co., Ltd., Jincheng 048021, China;

2. Information Technology (Beijing) Co., Ltd., China Coal Group, Beijing 100120, China)

**Abstract:**Based on Internet of Things, cloud computing, and machine learning, a system architecture from devices to top-level applications has been established; based on collected data, a health management index system for the shearers has been constructed. Establishing a single index abnormal volatility early warning model and a volatility-based hierarchical clustering fault diagnosis model can discover the abnormal situation and grasp the health status of the shears in real time. The application has good effects in Wangpo Coal Mine.

**Key words:**online monitoring; fault diagnosis; Internet of Things; system architecture; index system

目前,煤矿综采工作面装备日趋大型化、自动化,国家不断加大综采工作面智能化的建设力度,采煤机作为综采工作面的关键机电装备之一,在煤炭生产中占有非常重要的地位。但在实际生产中,采煤机不仅受到煤块的冲击,还受到水、瓦斯、煤尘等的侵蚀<sup>[1]</sup>,经常出现故障停机的情况<sup>[2]</sup>,所以对采煤机进行在线监测与预测性故障诊断,使采煤机工作在最佳状态,减少突发事件的次数,提高采煤机工作的可靠性,是煤矿安全、高产、高效的重要保障<sup>[3]</sup>。在“中国制造2025”战略背景下,采煤机在线监测与故障诊断作为智慧矿山的组成部分,具有重要的现实意义<sup>[4]</sup>。

## 1 采煤机检测故障诊断的挑战

### 1.1 数字化程度低

采煤机缺少采集关键部位运行状态的传感器,数字化程度较低。设备运行状态仅仅局限于简单的煤矿工人敲击触摸监测,单纯凭借工人的经验来判断故障,可靠性较低。

### 1.2 数据缺失

设备运行数据没有存储和上传,无法实现科学的监测和诊断。调研发现,由于矿井环网建设落后,很多矿井采煤工作面数据无法实时上传;部分矿井虽然安装了设备监测系统,但仅实时显示数值,并没

\* 收稿日期:2020-01-14

作者简介:桑建伟(1977—),男,山西晋城人,本科,助理工程师,从事矿山救护、应急救援、智能矿山工作,E-mail:595238263@qq.com。

有存储长期运行的历史数据。

### 1.3 采煤机故障诊断模型落后

数据驱动的采煤机在线监测和故障诊断是一项新技术,相关理论和技术研究较落后。现场主要凭经验对采煤机进行诊断分析,根据经验设定单指标的报警限值,当设备达到警限值时,发出预警信号。此方法局限大、科学性差。

随着物联网<sup>[5]</sup>和云计算<sup>[6]</sup>等技术的发展,获取数据、传输数据、存储数据的成本和难度大大降低,采煤机运行过程中产生的大量状态信息、位置信息、传感器信息都可以通过工业互联网实时传送到调度室。将数据存储InfluxDB等数据库中,为采煤机在线监测与故障诊断研究奠定了重要的数据基础<sup>[7]</sup>。

## 2 系统构建

采煤机结构复杂,采煤工作面环境恶劣,对其运行状态在线监测和故障诊断是一个非常复杂的过程。本研究基于矿井工业环网和物联网技术,构建了采煤机在线监测和故障诊断系统,系统从下到上分为设备层、采集层、传输层、数据层、服务层和应用层,采煤机在线监测和故障诊断系统结构见图1。

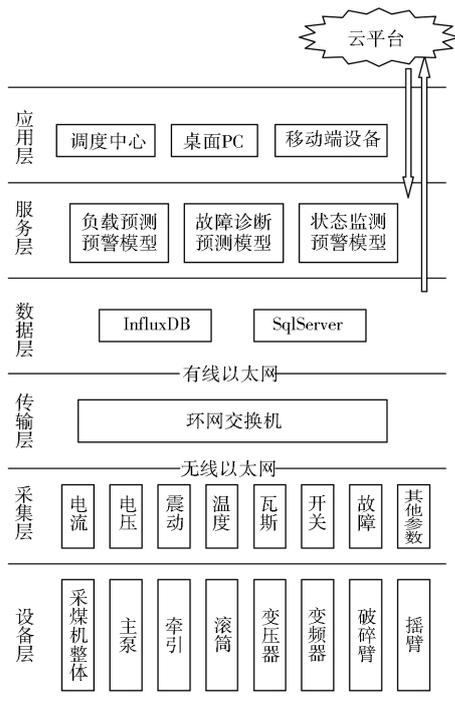


图1 采煤机在线监测和故障诊断系统结构

Fig. 1 Shearer online monitoring and fault diagnosis system structure

设备层,重点关注采煤机的重要机械结构。主要包括:采煤机总体状态、主泵、左右牵引部、左右滚筒、左右摇臂、变压器、变频器和破碎机等其他辅助部件。各部分密切配合,完成采煤机移动、落煤、装煤、降尘等主要生产工作,任何一个机械结构产生故障,都会影响生产,需要实时关注。

采集层,通过传感器采集采煤机和工作面主要参数。包括各机械结构的运行状态,电子元件的开关状态,电气设备的电流、电压、功率等参数,工作面风速、瓦斯浓度等信息。

传输层,主要负责将采集的信息实时传送到地面处理中心。数据从数据采集设备通过无线通信接入工作面环网交换机,经井下环网接入地面环网,接入各个终端设备,实时展示采煤机健康状态,为调度和检修决策提供直接参考。

数据层,主要作用是数据的分发和存储。InfluxDB着力于高性能地查询与存储时序性数据,主要用于传感器等设备的监控数据、物联网行业实时数据等场景。SQL Server关系数据库,主要存储设备属性数据,模型参数等信息。数据层负责将存储的数据上传到云平台,进行综合分析。

服务层,业务核心逻辑实现功能。包括状态监测预警模型、故障诊断预测模型和负载预测预警模型。该层接受数据库实时数据,模型分析结果对应用层提供访问接口,并与云平台交互,不断更新云平台对模型参数的优化。

应用层,可视化展示功能。实时展示采煤工作面环境和采煤机运行状态信息,通过访问接口,展示服务层分析结果和统计信息。移动端方便随时随地掌握采煤机的健康、维修状态信息。

## 3 监控指标体系

构建一个合理的采煤机健康管理指标体系是在线监测和故障诊断的基础。采煤机本身是一个非常复杂的系统,长期在恶劣的环境中工作,各个核心部件的各项历史数据、实时数据一定程度上反应了采煤机各个部件以及整体的健康状态。根据各项数据的突变情况,也可以快速定位采煤机的故障位置和类型,方便对这个复杂系统进行预测性维护。本研究遵循指标构建体系构建基本原则,结合众多专家学者的建议和煤矿采煤机采集、上报数据现状,构建采煤机健康管理评估指标,如表1所示。

表 1 采煤机健康管理指标体系  
Table 1 Health management index system of shearers

| 管理名称 | 指标元素                                 |
|------|--------------------------------------|
| 采煤机  | 牵引方向,牵引速度,当前负荷,电流,液压油箱油温,喷雾冷却水压力     |
| 主泵   | 电流,温度,输出压力                           |
| 左滚筒  | 温度,电机轴承温度                            |
| 右滚筒  | 温度,电机轴承温度                            |
| 左牵引部 | 电流,温度,电机轴承温度,油温,变频输出功率,变频输出电流,变频输出频率 |
| 右牵引部 | 电流,温度,电机轴承温度,油温,变频输出功率,变频输出电流,变频输出频率 |
| 变压器  | 温度,运行状态                              |
| 左变频器 | 温度,环境温度,实际频率,实际速度,运行状态               |
| 右变频器 | 温度,环境温度,实际频率,实际速度,运行状态               |
| 破碎机  | 电流,温度,电机轴承温度                         |
| 左摇臂  | 电流,温度                                |
| 右摇臂  | 电流,温度                                |

## 4 监测诊断模型

### 4.1 波动率监测预警

波动率反应了单个指标的的稳定状态,波动率变化越小,表示设备越稳定,目前性能较好;若波动率变化剧烈且频繁,则可能是出现故障的前兆。波动率计算公式是为:

$$V = \ln(Y_t/Y_{t-1}) \quad (1)$$

式中: $V$  表示采煤机指标的波动率; $Y_t$  表示  $t$  时刻监测指标的值; $Y_{t-1}$  表示  $t-1$  时刻指标值。

基于历史数据,计算各个指标波动率值的均值和方差,利用正太分布  $3\sigma$  法则或者分位数法确定指标的正常波动区间,变化过程中超过正常波动区间的视为超限异常。在稳定工况下,监测的输入(或者监测值波动率)落在正常控制限外,则表明采煤机的健康出现了较大的异常波。

### 4.2 基于波动率的层次聚类故障诊断模型

层次聚类属于无监督机器学习方法。本研究采用 AGglomerative NESTing 层次聚类算法构建采煤机故障诊断模型(见图 2)。

AGNES 故障诊断模型构建:

1) 获取表 1 中采煤机健康管理指标历史数据。对缺失数据、异常值等进行适当的数据预处理。

2) 计算各指标的波动率。将各指标历史数据代入公式(1),得到各指标的波动率数据。

3) 确定样本距离度量函数  $d$  和聚类簇数  $k$ 。聚类簇数一般设为 1,之后结合聚类谱系图确定。

4) 计算各个聚类簇的平均波动率  $\bar{V}_i$ 。

$$\bar{V}_i = \{\bar{V}_i^1, \bar{V}_i^2, \dots, \bar{V}_i^m\}, t = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

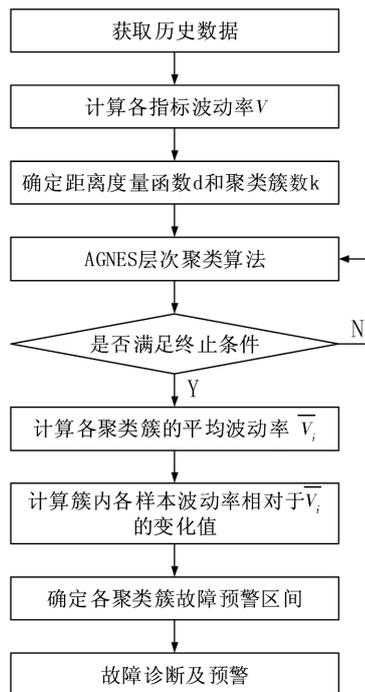


图 2 故障诊断模型

Fig. 2 Fault diagnosis model

$$\bar{V}_i = \frac{1}{n} \sum_j V_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

5) 计算簇内各个指标波动率相对于簇平均波动率的变化值  $V_{ij}^t - \bar{V}_i$ 。

6) 运用分位数法确定故障预警区间<sup>[8]</sup>。选择 2.5%, 97.5% 分位点作为其预警阈值点。

以每班生产时间为单位,对每个指标异常情况进行统计分析,基于每班异常情况的平均值和波动情况进行故障分析。若采煤机的各部件都出现异常,则可能地质环境变化较大,或者采煤机整体性能下降,通常不是采煤机自身故障引起的。各部件异常情况进行横向对比,若只有少数部件指标异常,例如:采煤机左滚筒电机轴承温度指标在某班生产中出现较大异常,其他部件均无异常或异常较小,则可以预测采煤机左滚筒出现故障的可能性较大,建议检修班重点检查维修。如果出现某部件每班异常数量增多,维修频率提高,该部件可能进入损伤阶段,对其寿命进行预警。

## 5 结束语

在数字矿山、智慧矿山及无人工作面的行业发展背景下,采煤机在线监测与故障诊断系统以工业互联网和物联网技术为基础,在矿井重要设备安全

(下转第 58 页)

- [6] 任帅,翟英达,贾鹏,等.综放首采工作面矿压规律监测分析[J].煤炭技术,2014,33(8):108-110.  
REN Shuai,ZHAI Yingda,JIA Peng,et al. Monitoring and Analysis of Mine Pressure Law in the First Mining Face of Fully Mechanized Caving[J]. Coal Technology,2014,33(8):108-110.
- [7] 汤树成,张杰,张恒,等.光纤光栅传感技术在煤矿安全监测系统中的应用[J].工矿自动化,2014,40(7):41-44.  
TANG Shucheng,ZHANG Jie,ZHANG Heng,et al. Application of Fiber Bragg Grating Sensing Technology in Coal Mine Safety Monitoring System[J]. Industry and Automation,2014,40(7):41-44.
- [8] 王涛,李川,倪建明,等.基于FBG传感器网络的煤矿巷道在线监测系统设计[J].传感器与微系统,2014,33(5):115-117,124.  
WANG Tao,LI Chuan,NI Jianming,et al. Design of On-line Monitoring System for Coal Mine Roadway Based on FBG Sensor Network[J]. Transducer and Microsystem,2014,33(5):115-117,124.
- [9] 王涛. FBG传感网在煤矿巷道监测分析系统中的研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
- [10] 赵鹏,谢凌志,熊伦.无煤柱开采条件下煤岩体支撑压力的数值模拟[J].煤炭学报,2011,36(12):2029-2034.  
ZHAO Peng,XIE Lingzhi,XIONG Lun. Numerical Simulation of Bearing Pressure of Coal and Rock Mass Under Coal Pillar-less Mining Conditions[J]. Journal of China Coal Society,2011,36(12):2029-2034.
- [11] 马静.煤矿井下矿压综合监测系统的研究与应用[D].阜新:辽宁工程技术大学,2012.
- [12] 宋振骥,崔增娣,夏洪春,等.无煤柱矸石充填绿色安全高效开采模式及其工程理论基础研究[J].煤炭学报,2010,35(5):705-711.  
SONG Zhenqi,CUI Zengdi,XIA Hongchun,et al. Study on the Safe and Efficient Mining Mode of Coal Without Coal Pillars and Its Engineering Theory[J]. Journal of China Coal Society,2010,35(5):705-710.
- [13] 刘艺平,祖国林.井下无线射频技术分析与抗干扰方案的探讨[J].煤矿安全,2009,40(2):86-87.  
LIU Yiping,ZU Guolin. Discussion on Underground Radio Frequency Technology Analysis and Anti-interference Scheme [J]. Coal Mine Safety,2009,40(2):86-87.
- [14] 孙天佑.基于以太网的煤矿顶板动态监测系统研究[D].青岛:山东科技大学,2006.
- [15] 陈冬梅.光纤光栅分布式传感系统及其在煤矿安全监测中的应用[D].济南:山东大学,2006.
- [16] 韩可琦,王玉浚.中国能源消费的发展趋势与前景展望[J].中国矿业大学学报,2004(1):4-8.  
HAN Keqi,WANG Yuxi. The Development Trend and Prospect of China's Energy Consumption[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2004(1):4-8.

(编辑:樊敏)

(上接第53页)

监测和故障诊断预警方面做出了积极探索。本研究提出了采煤机在线监测和故障诊断系统架构,构建了健康管理指标体系,研究了单指标波动率异常预警模型和基于波动率的层次聚类故障诊断模型,能

够实时发现采煤机异常情况,掌控采煤机的健康状态。为采煤机合理工况条件的设定、预测性维修、快速故障诊断等提供重要参考。

## 参考文献:

- [1] 季瑞.采煤机健康管理关键技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.
- [2] WANG G,REN H. New Development of Sets Equipment Technologies for Coal Mine Long-wall Face in China[J]. Journal of Coal Science and Engineering(China),2012,18(1):1-9.
- [3] 刘煜.露天矿破碎站协同调速破碎技术研究与应用[D].北京:中国矿业大学,2018.
- [4] 王国法,赵国瑞,任怀伟.智慧煤矿与智能化开采关键核心技术分析[J].煤炭学报,2019,44(1):34-41.  
WANG Guofa,ZHAO Guorui,REN Huaiwei. Analysis on Key of Intelligent Coal Mine and Intelligent Mining[J]. Journal of China Coal Society,2019,44(1):34-41.
- [5] CHUI M,LOER M,ROBERTS R. The Internet of Things[J]. Mc Kinsey Quarterly,2010(2):1-9.
- [6] 潘越.基于云计算FFT的机械故障诊断系统设计与实现[D].北京:北京邮电大学,2019.
- [7] 丁建伟.数据驱动的复杂装备异常检测方法[D].北京:清华大学,2015.
- [8] 王东杰.大数据视角下的粮食安全预警研究[D].北京:中国农业科学院,2017.

(编辑:樊敏)