

文章编号:1671-251X(2017)07-0093-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.07.020

一种煤矿自动化预警综合分析方法

李亚茹¹, 卢东贵², 韩安²

(1. 神华宁夏煤业集团能源工程有限公司, 宁夏 银川 750001;

2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

摘要:针对现有煤矿综合自动化系统缺少故障报警溯源机制、难以排查故障原因等问题,提出了一种煤矿自动化预警综合分析方法。该方法基于事故致因理论,通过构建异常事件关联图,对系统故障报警信息进行因果前后向推理,从而得出导致异常事件发生的原始原因,并预测出该异常事件可能引发的其他事件,实现了对异常事件关联信息的联动监视。

关键词:煤矿综合自动化;自动化预警;物联网;事故致因;事件关联

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2017-06-27 17:19

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170627.1719.020.html>

A comprehensive analysis method for automatic pre-alarming of coal mine

LI Yaru¹, LU Donggui², HAN An²

(1. Shenhua Ningxia Coal Mining Group Energy Engineering Co., Ltd., Yinchuan 750001, China;

2. Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: For problems that existing integrated automation system of coal mine could not trace to source of failure warning and checked failure causes difficultly, a comprehensive analysis method for automatic pre-alarming of coal mine was proposed. The method, which is based on accident-causing theory, takes forward and backward inference of failure warning information of the integrated automation system through constructing abnormal event correlating graph, so as to check primordial cause of the abnormal event and forecast other events caused by the abnormal event. The method realizes linkage monitoring of correlative information of abnormal event.

Key words: integrated automation of coal mine; automatic pre-alarming; Internet of things; accident-causing; event correlation

0 引言

煤炭开采是融合了地理地测、地质构造、安全环境监控、电力监测、自动化控制、信息系统等学科的综合性工程,所涵盖的安全生产运营子系统众多,设备之间的关系错综复杂,往往一个故障可能引发大量的报警信息,造成监控人员难以及时、准确定位故

障根源。如何根据报警信息溯源并分析出重要数据,在第一时间实现故障原因排查与后续可能的报警分析及预警,对于煤矿安全生产尤为重要^[1-2]。

煤矿综合自动化系统是煤矿各安全生产运营子系统的系统集成与综合应用平台^[3-4]。该系统的安全生产预警主要基于煤矿安全形势评估^[5],没有在综合各监测点数据的基础上建立面向物物关联性的

收稿日期:2017-01-16;修回日期:2017-05-12;责任编辑:李明。

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司/天地科技股份有限公司科技创新基金资助项目(2016ZHKSIX-03);天地(常州)自动化股份有限公司技术研发项目(2017GY006)。

作者简介:李亚茹(1990—),女,宁夏银川人,现主要从事煤矿自动化系统应用与管理工作,E-mail:fightingsdu@163.com。

引用格式:李亚茹,卢东贵,韩安.一种煤矿自动化预警综合分析方法[J].工矿自动化,2017,43(7):73-96.

LI Yaru, LU Donggui, HAN An. A comprehensive analysis method for automatic pre-alarming of coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(7): 93-96.

自动化故障报警溯源机制,如在矿井电力调度系统异常或发生故障情况下,大量与该事件关联的异常信息涌入调度中心,调度员面对大量数据,难以排查故障或报警原因及制定处理措施,往往错失事故处理良机,造成不必要的损失,甚至会造成次生事故,给企业安全生产带来较大隐患。针对该问题,本文提出一种煤矿自动化预警综合分析方法,利用物联网规则,基于事故致因理论,通过事件关联表示对各类事故基元状态因素进行综合分析,实现快速报警溯源,并及时给出故障原因及处理方案。

1 事件关联表示

1.1 事件表达

事件是对某种物质在多种状态下的统称。事件表达以关联图方式描述物质各种状态,是一种相关性知识表示方法,用于定义各种事件状态、原因及结果的描述,实现对各事件的过程推理和预警分析。

煤矿综合自动化系统将传感器采集的过程变量(如瓦斯浓度、一氧化碳浓度、风速、温度、水位、风门状态、风筒状态等)实时数据与历史数据相结合,反映某一事件在监测过程中的状态变化。传感器监测的过程数据是预警推理的初始证据,系统根据采集数据定量地描述事件的各种状态,如水仓水位事件,其具体表达见表 1。

表 1 水仓水位事件表达

Table 1 Expression of water level event in water sump	
变量名称	水仓水位
状态	Over, Below, Fastincrease, Fastdecrease, Increase, Decrease, Normal
状态时间	时间
物联网信息	摄像头图像,瓦斯浓度,水泵开停,水流流量...
数值	实时监测值

表 1 中,变量名称为水仓水位,即被控过程变量;状态反映水仓水位事件的状态值,Over 表示变量超出上限,Below 表示变量超出下限,Fastincrease 表示变量正在迅速增大,Fastdecrease 表示变量正在迅速减小,Increase 表示变量正在增大,Decrease 表示变量正在减小,Normal 表示变量没有变化;状态时间描述状态当前时间,与实时监测值一一对应;物联网信息用于查看事件发生状态下关联测点的状态及实时监测值;数值为实时监测值,即当前传感器输出值。

状态、时间、数值均从煤矿综合自动化系统实时数据库中读取^[5]。水仓水位事件的事件状态判定规则由煤矿综合自动化系统根据管理需求进行自定义

设置,如水仓水位设置的上限报警门限为 3.8 m,若某日 12:39:23 监测水位为 3.82 m,则根据状态判定规则,当前水仓水位事件状态为 Over,从系统实时数据库获取的状态、时间、数值分别为 Over,12:39:23,3.82。

1.2 事件关联表示方法

根据事件致因理论,一个事件的发生均存在多种基元或与致因事件有关,同时该事件可作为原因引起其他事件发生。因此,根据因果关系可将某一事件具体描述为与之相关的原因事件或结果事件。某一事件的关联图如下:

<事件关联图>::=(<标记><事件><原因><结果>)
<标记> ::= Marked | Unmarked
<事件> ::= (<变量名称><状态><状态时间><传感器数值>)
<原因> ::= (<事件>) | (<事件><事件串>) | (AND <事件><事件串>) | NIL
<结果> ::= (<事件>) | (<事件><事件串>) | NIL
<变量名称> ::= <标志符>
<状态> ::= Over | Below | Fastincrease | Fastdecrease | Increase | Decrease | Normal
<周期计数> ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
<传感器数值> ::= <实数>
<事件串> ::= <事件> | <事件><事件串>

每一个事件以事故树的方式表达,而某一个事故树的根节点又作为另一个事件的事故基元,形成复杂的事件关联网,从而构成煤矿综合自动化系统的事件知识库^[6-7]。以水仓水位事件为例,当水仓水位事件状态为 Over 时,其产生的原因可能是某路或多路来水的涌水量(水文监测系统中的流量事件)过大,也可能是水泵房抽水能力(主排水系统中的抽水事件)不足等;而水泵房抽水能力不足可能是因为当前水泵开机(主排水系统中的设备开停事件)数量不足,也可能是某水泵出现故障(主排水系统中的水泵故障事件),无法满负荷工作等。同时,水位过高可能会导致其他事件状态改变,如水仓发生溢水、巷道被淹没、设备被淹没等。

1.3 事件关联图表示

采用 XML(eXtensible Markup Language,可扩展标记语言)来描述异常事件的关系^[8],并建立煤矿综合自动化系统事件知识库,将所描述事件关联关系以 XML 文件形式存储到对应的目录。按事件关联图描述,每一个事件关联图的 XML 文档类型定义结构如下:

<! ELEMENT E (Mark,Event,Cause,Result)>
<! ELEMENT Mark (#PCDATA)>

```

<! ELEMENTEvent (Event_Name, Attribute, Time,
Data)>
<! ELEMENTCause (Event | (Event, Events) | (and
(Event, Events) | NIL>
<! ELEMENTResult (Event | (Event, Events) |
NIL>
<! ELEMENTEvent_Name (#PCDATA)>
<! ELEMENTAttribute (#PCDATA)>

```

2 煤矿自动化预警综合分析方法实现

2.1 事件因果前后向推理

事件因果前后向推理主要根据事件状态,对事件前因后果的一系列属性关系进行溯源推理。推理结论:①引起事件状态改变的原始原因事件,为反向推理或前向推理;②造成其他事件状态改变的结果事件,为正向推理或后向推理。以水仓水位事件状态 Over 为例,根据煤矿综合自动化系统的事件知识库进行反向推理,可找出导致水位过高的原因,得出水位过高处理措施;通过正向推理可得出可能引发的其他事件,如水仓溢水、巷道淹没、设备淹没等,并对其他事件进行结果分析和预警。

事件状态改变与监测数据采样存在时间序列关系,如水文监测系统监测到涌水量过大,一般发生在水仓水位 Over 事件发生的前 1 个或多个周期,水仓溢水事件可能发生在水仓水位过高的后几个周期。

事件状态变化推理过程中,使用 4 个子算法 Get, Match, Examine1, Examine2, 以及原因事件 CausesList 和结果事件 PossibleResultsList 这 2 个集合进行判定。算法及集合定义: Get(E)——获取煤矿综合自动化系统实时数据库中事件 E 及事件 E 各状态; Match(E)——在事件知识库中根据字典或命名查找事件 E 的事件关联图; Examine1(E)——在煤矿综合自动化系统实时数据库中判定事件 E 是否发生,如果没有发生返回 NO, 否则返回 YES; Examine2(E)——在煤矿综合自动化系统实时数据库中检索近几个采样周期内事件 E 是否发生过,如果是则返回 YES, 否则返回 NO; CausesList——反向推理的事件基元集合,用于在完成推理后存储事件 E 状态改变的基元,初始值为空; PossibleResultsList——正向推理的可能事件集合,用于存储事件 E 将来可能造成的事件及事件状态改变,初始值为空。

2.2 推理算法

煤矿自动化预警综合分析方法的推理算法^[9-10]如图 1 所示。首先从煤矿综合自动化系统实时数据库中获取某状态改变事件,如事件 E,判断其是否存

在。如存在,则在系统事件知识库中检索事件 E 的事件关联图,分别进行因果前后向推理,得出事件 E

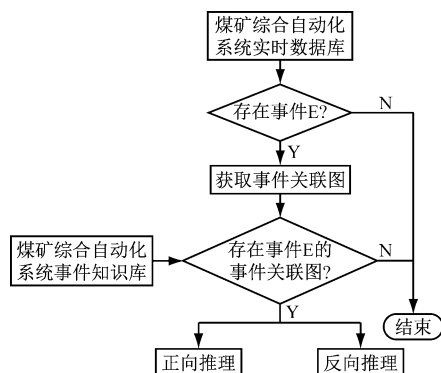


图 1 煤矿自动化预警综合分析方法的推理算法
Fig. 1 Reasoning algorithm of comprehensive analysis method for automatic pre-alarming of coal mine

的原因及可能引发的后果。

以水仓水位事件为例,说明事件推理过程。某煤矿综合自动化系统水仓水位设置的上限报警门限为 3.8 m,某日 12:28 从系统实时数据库中获取当前水位为 3.82 m 及水仓水位事件 A 状态为 Over,则在系统事件知识库中通过 Match(A)算法查找水仓水位 Over 事件的事件关联图。如存在关联图,则针对配置情况查询事件关联图中对应的原因事件,如涌水量事件 F。采用反向推理,通过 Examine1(F), Examine2(F)算法查看事件 F 当前或近期内是否发生报警信息,如是,则在 CausesList 集合中记录事件 F,并根据标记检查事件 F 的原因事件,得到导致水仓水位事件 A 状态改变的最终原因事件——水泵排水量事件 G。根据系统事件原因分析知识库,得到事件 G 的处理措施——增加水泵开机数量。调度室人员根据事件 A 的物联属性,查看对应视频信息、监测点实时信息、正反推理过程相关事件的当前值与状态,并通过调度或集控平台开启相应水泵。

针对事件 A 的事件关联图结果事件,进行正向推理,在 PossibleResultsList 集合中记录可能造成的结果,如水仓水位溢水事件 L,通过 Examine1(L)和 Examine2(L)算法检索是否造成事件 L,如是则进行标记,同步检索事件 L 的事件关联图及事件 L 可能引发的结果事件。若事件 L 尚未发生,则进行持续监测推理。事件 A 结束时,按照系统“持续事件跟踪周期”的全局参数定义进行周期计数跟踪,如事件 L 不存在,则该事件结束,如事件 L 存在,则进行事件 L 的正向与反向推理。

异常事件处理完后,将该事件状态改变以时间为基点记录到煤矿综合自动化系统处理知识库中。该知识库可作为矿井异常事件处理经验库^[11]。

3 结语

基于事故致因理论的煤矿自动化预警综合分析方法在煤矿综合自动化多系统数据融合的基础上,实现了对煤矿异常事件的原因及预警分析。该方法根据事件关联关系,实现了对异常事件原因及结果的推理分析,可检查出导致异常事件发生的原始原因,并对未来可能发生的事件进行预测,降低了系统操作及故障排查的复杂性;通过物联关系有效实现了对异常事件关联信息的联动监视,辅助操作人员及时做出异常事件处理决策,提升矿井安全生产管理水平。

参考文献(References):

- [1] 韩建国,杨汉宏,王继生,等. 神华集团数字矿山建设研究[J]. 工矿自动化,2012,38(3):11-14.
HAN Jianguo, YANG Hanhong, WANG Jisheng, et al. Research of construction of digital mine of Shenhua Group[J]. Industry and Mine Automation, 2012,38(3): 11-14.
- [2] 朱超,吴仲雄,张诗启. 数字矿山的研究现状和发展趋势[J]. 现代矿业,2010(2):25-27.
ZHU Chao, WU Zhongxiong, ZHANG Shiqi. Current research situation and development trend of digital mine[J]. Modern Mining,2010(2):25-27.
- [3] 张雪平,杨兴全. 基于物联网的煤矿安全监测系统研究[J]. 电子测试,2014(11):40-42.
ZHANG Xueping, YANG Xingquan. Research of coal mine safety monitoring system based on Internet of things[J]. Electronic Test,2014(11):40-42.
- [4] 张滔. 煤矿综合自动化智能预警系统[D]. 徐州:中国

矿业大学,2016.

- [5] 康瑛石,吴吉义,王海宁. 基于云计算的一体化煤矿安全监管信息系统[J]. 煤炭学报,2011,36(5):873-877.
KANG Yingshi, WU Jiyi, WANG Haining. Overall coal mine safety monitoring and management system based on cloud computing[J]. Journal of China Coal Socitey, 2011,36(5):873-877.
- [6] 马凡庆. 煤矿安全生产管理体系及信息系统研究[D]. 青岛:山东科技大学,2015.
- [7] 丁名雄. 煤矿安全生产事故的致因分析[J]. 煤矿安全,2011,42(5):187-189.
DING Mingxiong. Analysis of causes resulting in coal mine production accidents[J]. Safety in Coal Mines, 2011,42(5):187-189.
- [8] 胡海静,王育平. XML 技术精粹[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [9] 沈宇,王祺. 基于大数据的煤矿安全监管联网平台设计与实现[J]. 矿业安全与环保,2016,43(6):21-24.
SHEN Yu, WANG Qi. Design and implementation of coal mine safety supervision networking platform based on big data [J]. Mining Safety and Environmental Protection,2016,43(6):21-24.
- [10] 郑磊. 基于云计算的省级煤矿安全生产监管信息平台建设思路[J]. 中州煤炭,2016,50(8):110-113.
ZHENG Lei. Building ideas of provincial coal mine work safety information platform based on cloud computing [J]. Zhongzhou Coal, 2016, 50 (8): 110-113.
- [11] 牛立东. 资源整合煤矿安全监管信息化模型研究与实践[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2014.