

doi: 10.11835/j.issn.1000-582X.2020.264

超长煤巷监测数据背景 CO 筛查及自燃预判研究

李 腾^{1a,2}, 李宗翔^{1a,1b}, 王继仁^{1a}, 杨富强³, 张春华^{1a}, 贾进章^{1a,1b}

(1. 辽宁工程技术大学 a. 安全科学与工程学院; b. 安全科学与工程研究院, 辽宁 阜新 123000; 2. 苏州金像电子有限公司, 江苏 苏州 215000; 3. 昊华红庆梁煤业有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 014300)

摘要:为了解决超长双煤巷自燃发热的早期预报问题,在自燃标志气体分析法失效的情况下,运用井下监测系统大数据的 CO 趋势分析法。为了筛除井下柴油机动车尾气产生 CO 的波动干扰,创新提出能够仅反映煤相对缓慢氧化的背景 CO 体积分数的概念;对矿井某一独立通风的考察区域,在某一足够长的时间段内,总能找到所有柴油车都不工作的极端时刻(或不受尾气干扰的情况),且 CO 体积分数值被监测系统记录到,从而建立了背景 CO 体积分数的筛查方法;经时间单元周期为 0.125 d 和 0.5 d 时的筛查结果对比,随着考察时间单元的取大,CO 体积分数曲线越来越低,波动减小,背景 CO 体积分数曲线越来越清晰,证明其客观存在性。以最短自然发火期的一部分为考查期,依据背景 CO 体积分数的趋势走势来预判煤柱自然发火,结合红庆梁煤矿经验,得到 CO 趋势递增率 $k_1^* = 0.607 \times 10^{-6} \text{ d}^{-1}$,以此作为自燃危险预判的临界指标,将自燃危险预警分三级,即当 $k_1 \geq k_1^*$,一级预警,启动重点巡查,将超长距离巷道每天全面巡查,改升级到为有针对性加大人力物力的重点巡查;当 $k_1 < k_1^*$,二级预警,查明原因;当 $k_1 \leq 0$,无自燃危险。预测结果满足工程要求。

关键词:煤巷自燃;柴油尾气;隐蔽性自燃;自燃预判;背景 CO 体积分数;监测预警

中图分类号:TD752.2

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2022)02-094-09

Study on background CO screening and spontaneous combustion prediction in monitoring data of super long coal roadway

LI Teng^{1a,2}, LI Zongxiang^{1a,1b}, WANG Jiren^{1a}, YANG Fuqiang³, ZHANG Chunhua^{1a},
JIA Jinzhang^{1a,1b}

(1a. College of Safety Science and Engineering; 1b. Research Institute of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, P. R. China; 2. Suzhou Gold Circuit Electronics Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215000, P. R. China; 3. Haohua Hongqingliang Coal Industry Co., Ltd., Erdos, Inner Mongolia 014300, P. R. China)

Abstract: To realize early prediction of spontaneous combustion of overlong double coal roadway, this paper proposes a CO trend analysis method based on the big data of the underground monitoring system when the spontaneous combustion mark-gas analysis method is invalid. Meanwhile, to screen out and

收稿日期:2020-06-22 **网络出版日期:**2020-10-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51774170, 51574143);国家重点研发计划项目(2018YFC0807901)。

Supported by National Natural Science Foundation of China(51774170, 51574143) and the National Key Research and Development Program of China(2018YFC0807901).

作者简介:李腾(1989—),男,硕士研究生,从事安全工程研究,(E-mail)171575720@qq.com。

通讯作者:李宗翔,男,教授,博士生导师,从事煤矿重大灾害理论和灾变矿井通风研究,(E-mail)lzx6211@126.com。

remove fluctuation disturbance of CO caused by underground diesel vehicle exhaust, the concept of background CO volume fraction which can only reflect the relatively slow oxidation of coal is put forward. The background CO volume fraction screening method is established on the basis that for an independent ventilated investigation area of a mine, there is always an extreme moment that no diesel vehicle works (or exhaust gas does not interfere all diesel car) in a long enough time, and the CO volume fraction value is recorded by the monitoring system. Through the comparison of the screening results of a 0.125-day time unit cycle and a 0.5-day time unit cycle, it is found that as the time unit increases, the CO volume fraction curve becomes lower, the fluctuation decreases, and the background CO volume fraction curve becomes clearer, suggesting the objective existence of background CO volume fraction. Taking a part of the shortest spontaneous combustion period as the examination period, the spontaneous combustion of coal pillars is predicted based on the trend development of the background CO volume fraction. Combined with the experience of Hongqingliang coal mine, the CO increasing trend (increasing rate $k_1^* = 0.607 \times 10^{-6} \text{ d}^{-1}$) is obtained as the critical index of spontaneous combustion risk pre-judgment. The spontaneous combustion risk warning is divided into three levels. When $k_1 \geq k_1^*$, it is first-level warning, which triggers key inspections, and upgrades the daily comprehensive inspection to the targeted inspection with more manpower and material resources. When $k_1 < k_1^*$, it is second-level alert, which requires to find out the causes. When $k_1 \leq 0$, there is no spontaneous combustion risk. The predicted results meet the engineering requirements.

Keywords: spontaneous combustion of coal roadway; diesel exhaust; hidden spontaneous combustion; prediction of spontaneous combustion; background CO volume fraction; monitoring warning

神东-鄂尔多斯矿区的煤层埋藏条件好,开采规模大。以吴华集团红庆梁煤矿为例,采煤工作面长达 300 m,推进总长度达 4 300 m,采用双煤层巷布置,井下辅助运输大量使用柴油工作车。该矿区随着采深增加,地应力显现明显。红庆梁煤矿采深超过 450 m,留 15 m 煤柱时巷道变形严重,超长双巷掘进和回采期间更易于引发煤巷自燃,在 11301 首采过程中出现 4 次煤巷煤柱自燃现象,给矿井安全生产带来不利影响。由于超长双煤巷布置煤暴露面太大,巡查战线过长,依靠人工每天例行巡检,难度大。长期以来国内外关于煤巷自燃问题开展了大量的研究^[1-2],具体在煤柱自燃火源位置的红外探测与定位^[3-5]、煤柱自燃温度分布^[6-7]、巷道自燃危险区域划分等^[8-9],以及煤柱自燃防灭火方法等^[9-12],经文献检索,现有的研究针对的都是传统矿区的中短尺度开采的煤巷,而超长多煤巷自燃火灾管控另有其特殊性,即煤巷自燃治理和日常巡查战线超长,自燃防治不能有的放矢。另一方面,受井下机电设备和机动车的放热干扰,远程光纤测温技术很难在煤巷发热早期预报方面发挥作用^[13]。显然,超长多煤巷自燃防治关键仍然是自燃的早期发现^[1],目前,超长双煤巷自燃综合预判研究尚待研究^[13-15],缺少相关报道,问题亟待解决。

CO 作为煤自燃灾害气体,最早被用于自燃早期预判,并积累了大量经验^[14-17],但在井下大量使用柴油车的矿井如何排除尾气干扰,发挥传统方法作用,这里结合红庆梁矿的工程实际,提出一种筛选出背景 CO 气体体积分数的方法,利用井下监测系统连续监测的大数据,根据其变化趋势进行自燃预判。

1 超长煤巷自燃预测面临的问题及其解决对策

如图 1 所示,红庆梁煤矿超长距离双煤巷布置,连同接替工作面掘进准备,煤巷数目多达 6~8 条,管理范围很大,煤巷自燃(包括煤柱自燃)严重。

有多条超长煤巷的自燃隐患排查战线过长,单纯依靠人工巡检,一来人手不足,二来长时间工作极容易涣散注意力,三是煤体内自燃点发热隐蔽性很强,容易漏掉,如图 2 所示,解决对策是自燃的早期预测。

首先,作为全矿井煤自然发火预警体系,通过实验获得红庆梁煤矿 3-1 煤的自燃产气与温度的关系,选出煤的自燃升温标志性气体,详细见表 1,为预防判断采空区遗留煤和煤巷煤炭自燃预警提供了依据。

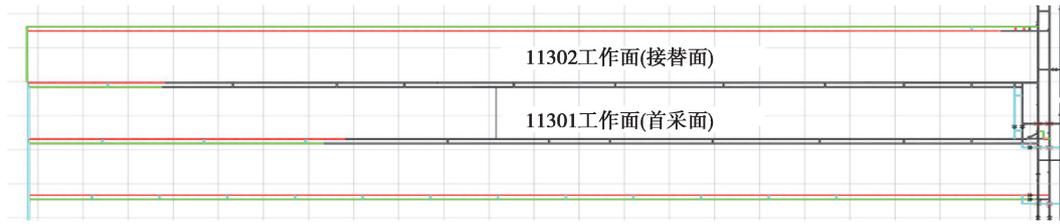


图 1 红庆梁煤矿 11301 工作面回采巷道的布置(网格距 200 m)

Fig. 1 The layout of the working face 11301 in Hongqingliang coal mine

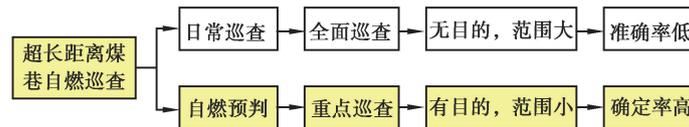


图 2 煤巷自燃人工巡查与提前预判的关系

Fig. 2 The relationship between artificial inspection and advance prediction of spontaneous combustion in coal roadway

表 1 红庆梁煤矿 3-1 煤标志性气体自燃预警指标

Table 1 Early warning index of 3-1 coal mark gas of spontaneous combustion in hongqingliang coal mine

预测预报等级	气体种类名称	对应温度/°C	备注
1	丙烷 C ₃ H ₈ 、乙烯 C ₂ H ₄	86	同时出现
2	乙烷 C ₂ H ₆	116	可靠
3	乙炔 C ₂ H ₂	177	不稳定,有时不出现

与大面积采空区漏风流场煤自燃氧化的情况不同,巷道煤体内的自燃具有很强的隐蔽性。超长距离局部段煤巷煤体内部自燃氧化产物气体绝对量有限,自燃阴燃阶段标志性气体的外泄绝对量很少,超长距离大断面煤巷的通风量至少在 500 m³/min(掘进巷风量)以上,自燃标志性气体衰减大;另一个因素是该矿区普遍为不黏煤,不黏煤的指标气体的产气绝对量更少,与短巷情况相比,尽管超长巷道多点高温释放标志气体,还存在标志气体累积的情况,但从本矿的实际情况看,多次发生巷道自燃均无法测到标志性气体,如 2018 年在 9 月 3 日 11302 辅运顺槽二联巷东帮第一次发生煤柱自燃火灾,为了加强对超长距离掘进煤巷道自燃预判工作,在 11302 掘进准备的多条掘进巷道的总回风交汇点处(11302 第二联巷回风侧)增设了标志气体取样点,每天取样化验 3 次,但直到 2018 年 11 月 19 日 11302 新回顺里段 82 排煤帮发热,和 2019 年 3 月 14 日 11302 新回顺外段 100 排煤帮发热,均未检测到风流中的指标气体,未能对自然发火提前预报。可见,就本矿超长距离巷道自燃预测预报来说,单纯依靠在回风流中取样检测自燃产物气体很容易漏报,因此,在预测预报管理上,还应拓宽预判的信息渠道,提出以矿井监测系统 CO 记录数据为可用条件,为煤巷自燃的早期判断和预警提供依据。

2 监测系统 CO 干扰与背景 CO 体积分数筛选

2.1 柴油机动车尾气干扰下监测系统 CO 的波动性

红庆梁煤矿主采 3# 煤层,煤的变质程度为贫瘦煤、自燃倾向性为易自燃。井下普遍使用柴油工作车、铲车和皮卡等机动车辆(以下简称柴油车),排放的汽车尾气对井下 CO 气体的干扰非常大,煤氧化产生 CO 气体隐含在嘈杂的监测数据当中。如图 3 所示,据 2018 年 11 月 23 日在井下 11302 回风煤巷实地记录,1 d 中回风传感器平时显示值为 1.1×10^{-5} ,当有车经过车经过传感器时传感器 CO 体积分数值显示为 1.9×10^{-5} ;图 3 中全程监测记录(最小值曲线峰值)高达 4.8×10^{-5} 。车辆排放的尾气的影响与车辆所在位置和发动机工

作有关,距离传感器越远,尾气 CO 干扰峰值就越小。

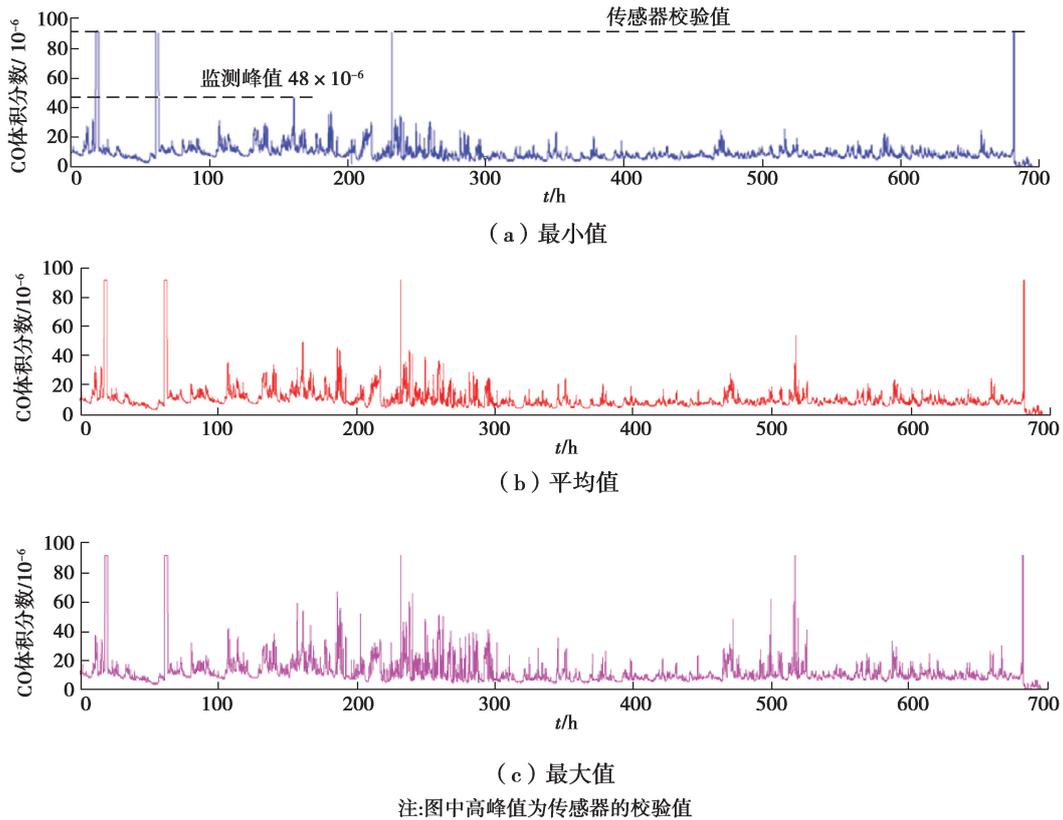


图3 11302新掘工作面CO体积分数原始监测曲线(最小-平均-最大)

Fig. 3 Original monitoring curve of CO volume fraction in 11302 newly excavated working face (min-average-max)

2.2 井下CO产生来源分析

井下柴油车尾气的干扰是强烈的,随机的,无规律可循。与此波动相对比,煤体缓慢自燃氧化产生的CO是持续不断的,是相对稳定的;CO的变化趋势也随着自燃进程的成长发展而缓慢增加。通过对大量监测数据的观察分析得到,尽管受通风、大气压变化和生生产条件变动等因素的干扰CO存在很大的波动,但都是呈现阶段性的,每个阶段内的波动变化的趋势仍然是增加的,在这种情况下,所表现的背景CO体积分数变化趋势也是随着自燃的发展呈逐渐缓慢上升的趋势。

井下实际监测总的CO体积分数包含如下几部分,即

$$C = C_0 + C_J + C_F, \text{ 且 } C_b = C_0 + C_F, \quad (1)$$

式中: C 为监测的CO体积分数, 10^{-6} ; C_0 为煤巷围帮氧化释放CO体积分数, 10^{-6} ; C_J 为井下柴油机动车尾气释放产生CO的体积分数, 10^{-6} ;一般 C_J 为随机波动值,在井下CO气体观测中是干扰因素; C_F 为可能发生的其他因素局部释放出CO体积分数, 10^{-6} ; C_b 为相对稳定的背景CO体积分数, 10^{-6} 。

实际矿井的CO来源很复杂,除了柴油车尾气CO排放外,井下涂刷油漆、爆破及烧焊等临时作业也会产生CO,这些影响时间短,因此 C_F 可根据时间在短期内消失判断容易排除。

2.3 尾气干扰下背景CO体积分数的概念

所谓背景CO体积分数是指在有柴油机动车工作的矿井某一独立通风区域,在某一足够长的时间段的某一时刻,所有柴油车都不工作(不受尾气干扰的极端情况),且被监测系统记录到的CO体积分数值。这里将该时间段称为时间单元,某一时刻是监测系统采集数据的时间点。同时做出假设:1)在井下同时存在有限个柴油车工作的场所,总有一时刻是所有柴油车同时不工作的短暂熄火时间,即总能找到至少一个背景CO体积分数值;2)在没有柴油车尾气排放的短暂时刻,忽略其他CO产生源,只有煤氧化生成的CO;3)在足够长的时间单元内,即便找不到柴油车同时暂停工作的暂停短暂时间空隙,也是柴油车工作台面最少、更接近于背景CO体积分数的值。假设(3)是假设(1)的条件补充。

在考察时间单元确定后,监测数据中背景 CO 体积分数可表达为

$$C_{b,i} = \min_{0 < j < n_i} \{C_i\}, n_i = \text{int}\left(\frac{\tau_i}{\tau_d}\right), \quad (2)$$

式中: $C_{b,i}$ 为背景 CO 体积分数的观测值, 10^{-6} ; i 为筛查时间单元序列号,无因次; j 为监测系统的时间序列点,无因次; n_i 为第 i 考察时间单元内的监测数据点的个数; τ_i 为第 i 考察时间单元的时间, min ,按经验取值,一般取一天或数小时; τ_d 为监测系统采集数据的间隔时间, min ,一般取 5 min。

有柴油车工作的矿井,背景 CO 体积分数是一个井下抛开柴油车尾气干扰的 CO 体积分数基底值。在某一独立通风超长煤巷区域的回风点处,背景 CO 体积分数是本区超长煤巷自燃-氧化释放 CO 的体积分数。因此,这里引入背景 CO 体积分数概念的意义很大,它是排除机动车尾气强烈干扰 CO 源的关键。

2.4 从监测系统数据中筛选背景 CO 体积分数的方法

在对监测系统记录下来监测大数据中筛查,就是找到这个最低值——背景 CO 体积分数,这样就可以筛除汽车尾气干扰因素。再根据背景 CO 体积分数的变化趋势,观察是否有自燃现象。

运用 CO 气体作为自燃预报的关键在于获得背景 CO 体积分数,其中最重要的是如何选取时间单元。井下巷道中的各种柴油车都在不停地工作,筛选背景 CO 体积分数的时间单元周期越长,筛分出煤氧化生成的 CO 的可能性就越大;即便是找不到所有柴油车全停歇时间(实际上不大可能),那得到的也是柴油车工作台数最少时的结果,对 CO 的干扰最小。背景 CO 体积分数值,还可以通过井下实测得到,就是利用交接班时间令所测区的所有柴油工作车停车熄火半个小时,然后记录在无尾气干扰时 CO 体积分数值,但这样做会影响生产。实际上监测系统记录下来背景 CO 体积分数多为这个时刻,因此两者也不存在矛盾。

对监测系统大量数据,按时间单元筛分的背景 CO 体积分数的原理或可表达成

$$C_{CO,i} = \min_{\tau_{i,0} < \tau < \tau_{i,24}} \{C(\tau_i)\}, \quad (3)$$

式中: $C_{CO,i}$ 为包含煤氧化产生 CO 气体的背景 CO 体积分数, 10^{-6} ; $\tau_{i,0}$ 、 $\tau_{i,24}$ 分别为筛查时间单元周期内的起、止时间, min ,一般为数小时或 1 d; $C(\tau_i)$ 为监测系统的时间点上 CO 观测值, min ; i 为监测系统的时间序列点, min 。

如图 4 所示,背景 CO 体积分数为阴影部分,原理一目了然。结合红庆梁煤矿 11302 回风掘进回风 CO 监测最小值波动监测曲线,从 2018 年 10 月 22 日—11 月 22 日巷帮自燃前一个月的监测系统 CO 数据,当取时间单元周期为 0.125 d 和 0.5 d 时的筛查背景 CO 体积分数作对比,由图 4(b)和图 4(c),随着考察时间单元的不断延长,CO 体积分数曲线越来越低,波动减小,背景 CO 体积分数曲线越来越清晰;证明了背景 CO 体积分数的客观存在性。这意味着柴油车尾气 CO 的干扰逐渐更接近于 0(被剔除)。

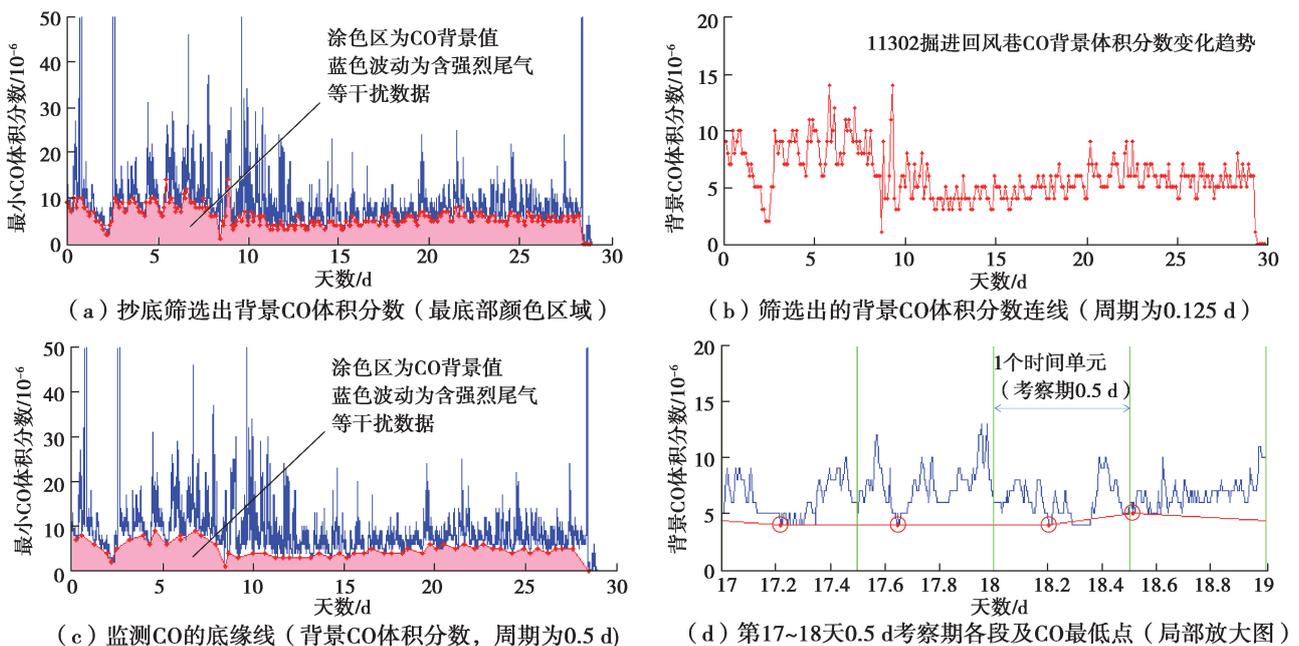


图 4 时间单元为 0.125 d 和 0.5 d 时背景 CO 体积分数筛选结果对比

Fig. 4 Comparison of background CO volume fraction screening results at 0.125 day and 0.5 day time units

图 4(c)中的红点线是处于 CO 波动的底缘,红点是时间单元(考察期段)的 CO 最低点,也就是图 4(b)和图 5(a)的点红线,红点线以上高出部分都属于波动较大的含干扰数据,予以筛除,波动抄底取底缘线以下部分(阴影区)作为背景 CO 体积分数,根据前面定义假设,其中绝大部分包含着煤自然氧化生成 CO 气体。

3 区域背景 CO 体积分数的趋势预测方法

3.1 背景 CO 异常和自燃预判准则

在一个系统相对稳定的自然发火考察时间内,背景 CO 体积分数一直在缓慢持续稳定增长。

所谓系统相对稳定期是指通风、人员施工管理和巷道系统等条件都不变的情况,当矿井系统各因素有明显变化,对自燃环境影响较大,背景 CO 体积分数变化的水平也产生明显差异,即不一定在一个水平上。

如图 5 所示,在十一放假停产期间最有利于煤柱的自燃氧化,节后的矿井恢复生产一段时间,背景 CO 体积分数偏高,波动也较大;随着生产逐渐正规,系统进入稳定状态,且恢复生产后及时进行重点巡检和发热区处理,背景 CO 体积分数随之大幅度降低,煤柱的自燃氧化也进入一个新的阶段(条件环境)。

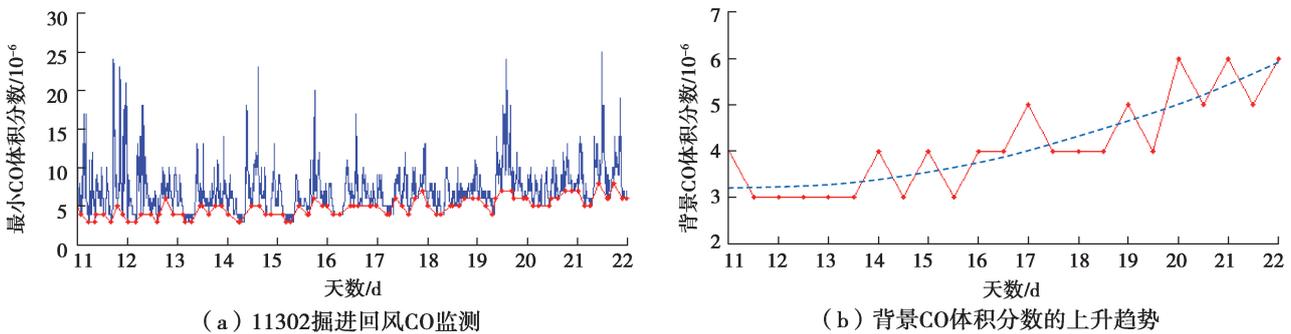


图 5 正常掘进时不同时间单元背景 CO 体积分数变化趋势(周期为 0.125 d)

Fig. 5 Variation trend of background CO volume fraction in different time units during normal driving

3.2 自然发火预判考察期的确定

所谓自然发火预测考察期,是指区别于外因火灾短时间发生的能反映内因火灾煤自燃缓慢持续增长的时间。自燃预测考察期的确定与煤的最短自然发火期有关,长则直接按煤的最短自然发火期,但此时可能煤已经发生了自燃,短则按其一部分,本矿实验 3-1 煤的最短自然发火期是 27 d,取 1 周或数周,这样可预测到自燃正在成长过程中,预测到早期发热阶段,视具体情况和经验而定。图 5 中是截取十一放假后恢复正常掘进时的 CO 监测值,连续 11 d 背景 CO 体积分数有持续升高趋势,直到出现煤柱自燃和多点发热。

煤炭自燃是缓慢的,如果背景 CO 体积分数在 10 d 左右考察期内连续走高,就可以断定沿途巷道有自燃高温热点,然后再有目的和针对性地在巷道沿途进行仔细排查。

如图 6 所示,新阶段经过从 8—22 日累计 16 d 的煤自燃考察期,背景 CO 体积分数渐且持续升高,接近之前的十一节后恢复生产期间(前一期)的背景 CO 体积分数水平,图 6 中趋势线是随着煤巷氧化线性增大,符合自然发火缓慢持续增长的特征,说明监测范围内巷道煤柱内有自燃趋势,有自燃热点存在。经过人工有目的地仔细巡查,确认 3 处发热点,煤壁温度分别为 27 °C、29 °C 和 31 °C,高于平时最高值 24 °C(隐蔽性很强不易被发现),经打钻取气样化验确认后注防火剂灭火,背景 CO 体积分数又逐渐下降。

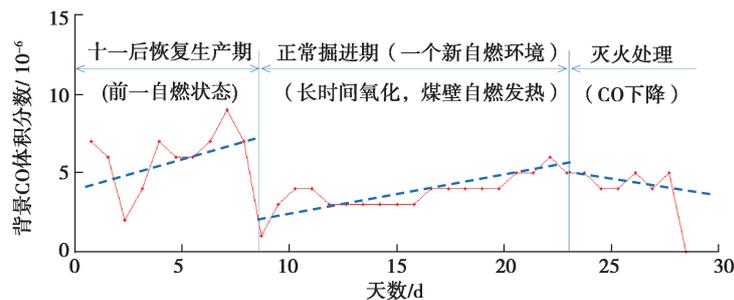


图 6 周期为 1 d 时的背景 CO 体积分数筛选结果与预测分析

Fig. 6 Screening results and prediction analysis of background CO volume fraction with a period of one day

3.3 趋势回归分析自燃预判及其斜率确定

在通风量等条件不变的前提下,监测系统时间序列的背景 CO 体积分数变化趋势回归预测模型

$$C_{\text{CO,E}} = k_1 \tau_k, \quad (4)$$

式中: $C_{\text{CO,E}}$ 为预测的背景 CO 体积分数值, 10^{-6} ; τ_k 为自燃考察天数,d; k_1 为预测考查期内 CO 体积分数变化的递增斜率, 10^{-6}d^{-1} ; k_1^* 为从实际火灾案例中获得的 CO 最低平均递增率, 10^{-6}d^{-1} 。

分三级预警:

$k_1 \geq k_1^*$,一级预警,存在自燃危险地点,启动重点巡查;

$k_1 < k_1^*$,二级预警,综合气体分析法信息,分析查明 CO 出现的原因;

$k_1 \leq 0$,无自燃危险,安全状态。

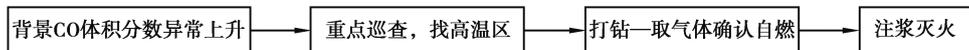
结合红庆梁矿的情况,如图 6 所示,受国庆节十一放假 7 d 后生产停顿的干扰(全矿停产,未正常掘进),自燃趋势急剧增长,CO 异常,可以推测,停止掘进对自燃高温点产生加速影响。这里选取随后的 11 d 的正常掘进时期的监测数据,得到预判临界递增斜率 $k_1^* = 0.607 \times 10^{-6} \text{d}^{-1}$ (回归相关系数为 0.772 1)。

3.4 可能有自燃危险(应重点加强巡查)的工作流程

超长煤巷自燃预判的重点关键是如何进入排查。如果有连续的 CO 体积分数超出背景 CO 体积分数预测线,且维持一定考察时间时,就应启动重点排查。

每一次的超长煤巷自燃预判应保留数据,继承经验,不断通过现场实际反复验证。运用该方法对红庆梁矿发生过的多起煤柱内部自燃煤帮升温现象进行了成功预报,例如 2018 年 12 月 16 日预测 CO 异常,用红外测温成像仪巡查发现原火点再次发热,煤壁表面温度最高 $42 \text{ }^\circ\text{C}$,2019 年 3 月 19 日 11302 新回风顺槽里段 407 排非开采帮有发热点,通过人工红外热成像仪观测巡查,在向煤体打钻探测与灭火中,均检测出有乙烯 C_2H_4 、乙炔 C_2H_2 、丙烷 C_3H_8 气体出现,以此确认煤体内部的确呈自燃状态。

以上工作过程的简单逻辑如下:



通过背景 CO 体积分数预测 CO 异常上升现象(本文主旨)→进入“重点巡查”这一步,找到高温区→对疑似火区打钻,用 C_2H_4 、 C_2H_2 、 C_3H_8 气体“确认内部呈自燃状态”→灭火处理。

4 超长煤巷自燃多渠道联合预警防灭火体系的探讨

实践证明,超长煤巷自燃预警还应坚持多渠道联合预警防灭火体系,即正规方法和监测监控系统识别相结合,如图 7 所示,人工日常巡查、气体取样分析和监测监控系统识别后重点排查多种方法的联合应用模式。其中,人工日常巡查是运用红外热成像仪照射煤壁检查发热情况,把监测监控系统识别背景 CO 体积分数预测自燃作为第一层的宏观看管掌控,以气体分析(C_2H_4 、 C_2H_2)判读自燃温度为辅助,一旦发现区域情况异常就动用一切手段进行重点排查,将超长距离巷道每天全面巡查,升级到有针对性加大人力物力的重点巡查;在确定疑似自燃位置后,向煤壁发热点打探测—措施钻孔(兼做备用灭火措施孔),抽取钻孔内气样分析指标气体 C_2H_4 和 C_2H_2 确认和判断自燃状态,用探测钻孔温度分布探明火源深度,同时在周围补打灭火钻孔注浆等措施。图 7 中在 1 个逻辑循环有 2 次用到气体分析法验证。

通过上述识别巡查,红庆梁矿多次发现过煤柱内部自燃煤帮升温现象,在向煤体打钻探测取气样,均检测出有 C_2H_4 、 C_2H_2 和 C_3H_8 气体出现,以此判断煤体内部呈自燃状态,然后灭火。

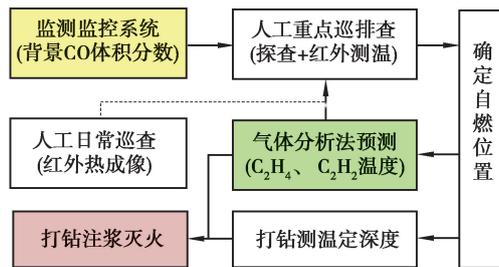


图7 多渠道预报融合煤巷自燃管控关系

Fig. 7 Multi-channel forecast and control of spontaneous combustion of fusion coal roadway

本文中的“自燃早期预测”的目的,是判断是否可以上升到“重点巡查”的环节,所谓重点巡查,就是已知危险的情况下,重新调配增加人员,多台仪器并行,增加巡查时间,提高注意力,使巡查工作有的放矢。同时结合其他因素手段,如暂停柴油车工作,进行分段排查;重点排查老旧火区等。

5 结 语

1)利用井下监测系统大数据筛选提取背景 CO 体积分数,以此预测自燃趋势,弥补了单纯用标志性气体方法不显现的问题,对超长煤巷隐蔽性自燃做出早期预判,使人工巡查工作有的放矢。用背景 CO 体积分数趋势法,可为煤巷自燃提供比标志性气体法更早期的自燃判读。

作为一种辅助的分析手段和渠道,应该与人员巡查、标志性气体跟踪检测,以及分布式光纤测温系统(DTS)在线监测等多手段联合使用。方法更精准信息提取还有待于进一步完善。

2)背景 CO 体积分数筛查的时间单元尽可能取大,这里取 1 d,满足过滤掉柴油车尾气强烈干扰的要求;根据最短发火期(一定折算比例)选取预测观察期,根据已有自燃案例数据确定背景 CO 体积分数上升变化率临界值,为超长煤巷自燃早期预报提供量化的依据。预判依赖矿井监测系统,也为监测系统管理提出更高的要求,保证监测数据的真实性,尤其在 CO 超限期间,不能随意调整监测的数据。

3)煤自燃不是频繁大量出现的事件,红庆梁矿又是新投产矿井,尚不能用更多样本对预判准确度做概率统计分析(文中未能给出),今后还需要不断修正、总结和完善的。

参考文献:

- [1] 邓军,徐精彩,王洪权,等.综放面巷道煤层自燃预测技术研究[J].煤田地质与勘探,2002,30(2):9-11.
Deng J, Xu J C, Wang H Q, et al. Predicting techniques for coal spontaneous combustion in the gate close to gob of fully mechanized longwall top-coal caving face[J]. Coal Geology & Exploration, 2002, 30(2): 9-11. (in Chinese)
- [2] Beamish B, Barakat M A, St George J D. Spontaneous-combustion propensity of New Zealand coals under adiabatic conditions[J]. International Journal of Coal Geology, 2001, 45(2/3): 217-224.
- [3] Mansor S B, Cracknell A P, Shilin B V, et al. Monitoring of underground coal fires using thermal infrared data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(8): 1675-1685.
- [4] 王振平,程卫民,辛嵩,等.煤巷近距离自燃火源位置的红外探测与反演[J].煤炭学报,2003,28(6):603-607.
Wang Z P, Cheng W M, Xin S, et al. The calculation of close-range coal inflammation position at coal-roads based on infrared detecting and inverse heat conduction technology[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(6): 603-607. (in Chinese)
- [5] 程卫民,王振平,辛嵩,等.煤巷煤自燃火源红外探测的影响因素及判别方法[J].煤炭科学技术,2003,31(8):37-40.
Cheng W M, Wang Z P, Xin S, et al. Influence factors and identified method of infrared ray probing for coal spontaneous combustion in seam roadway[J]. Coal Science and Technology, 2003, 31(8): 37-40. (in Chinese)
- [6] 李宗翔.综放沿空巷周围煤体自燃升温过程的数值模拟[J].煤炭学报,2004,29(1):61-65.

- Li Z X. Numerical simulation of the temperature rise process caused by spontaneous combustion of coal body around roadways along comprehensive mechanized caving mining goaf[J]. Journal of China coal society, 2004, 29(1): 61-65. (in Chinese)
- [7] 朱红青, 汪崇鲜, 马辉, 等. 巷道煤柱自燃温度场数值模拟与火源定位的研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2007, 22(2): 1-4.
- Zhu H Q, Wang C X, Ma H, et al. Study on numerical simulation of spontaneous combustion temperature field and fire source position for coal pillar in roadway[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2007, 22(2): 1-4. (in Chinese)
- [8] 陈国新, 朱红青. 巷道煤柱高温点分布规律及五区定位法的研究[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(5): 49-51, 96.
- Chen G X, Zhu H Q. Study on distribution law of high temperature points in mine gateway coal pillar and five zone positioning method[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(5): 49-51, 96. (in Chinese)
- [9] 邓军, 徐精彩, 王振平, 等. 兖州矿区巷道自燃危险区域等级划分及防火对策[J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(5): 4-6.
- Deng J, Xu J C, Wang Z P, et al. Classification of spontaneous combustion hazard regions in roadways and fire prevention countermeasures in yanzhou coal mining area[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2002, 29(5): 4-6. (in Chinese)
- [10] 鹿凡玉, 刘来军, 张树杰. 易燃煤层大断面巷道防灭火[J]. 煤矿安全, 1999(9): 17-18.
- Lu F Y, Liu L J, Zhang S J. Fire prevention and extinguishing of large section roadway in flammable coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 1999(9): 17-18. (in Chinese)
- [11] Muduli L, Jana P K, Mishra D P. A novel wireless sensor network deployment scheme for environmental monitoring in longwall coal mines[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2017, 109: 564-576.
- [12] Singh A K, Singh R V K, Singh M P, et al. Mine fire gas indices and their application to Indian underground coal mine fires[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 69(3): 192-204.
- [13] 于庆. 分布式光纤测温技术在煤矿中的应用[J]. 工矿自动化, 2012, 38(4): 5-8.
- Yu Q. Application of distributed fiber temperature measurement technology in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(4): 5-8. (in Chinese)
- [14] Bhattacharjee S, Roy P, Ghosh S, et al. Wireless sensor network-based fire detection, alarming, monitoring and prevention system for Bord-and-Pillar coal mines[J]. Journal of Systems and Software, 2012, 85(3): 571-581.
- [15] Muduli L, Jana P K, Mishra D P. Wireless sensor network based fire monitoring in underground coal mines: a fuzzy logic approach[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2018, 113: 435-447.
- [16] Mishra D P, Sugla M, Singha P. Productivity improvement in underground coal mines: a case study[J]. Journal of Sustainable Mining, 2013, 12(3): 48-53.
- [17] 陈晓坤, 于志金. 煤自燃早期预报指标的研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(10): 13-17, 111.
- Chen X K, Yu Z J. Study and application on early prediction index of coal spontaneous combustion[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(10): 13-17, 111. (in Chinese)