

Coal Spontaneous Ignition Identification Model

Zi Rao, Xu Yang

Junlian Sichuancoal Furong Xinwei Coal Industry Limited Company, Yibin Sichuan
Email: raozi_2010@163.com

Received: Apr. 5th, 2018; accepted: Apr. 20th, 2018; published: Apr. 27th, 2018

Abstract

Based on the combination of laboratory test and field test, this paper puts forward a model of spontaneous combustion of coal in white rubber coal mine. The heating experiment of different size coal samples showed that CO appeared at normal temperature, C₂H₆ began to appear at 50°C, C₂H₄ began to appear at 125°C, C₂H₂ appeared at 50°C, C₂H₆ began to appear at 50°C, and C₂H₂ did not appear in the range of experimental temperature. The concentration of CO increased exponentially with the increase of temperature, and the change trend was obvious when the temperature was greater than 120°C. The concentration of CH₄ reached the maximum at 130°C - 150°C, and then decreased gradually. The concentration of CH₄ reached the maximum at 130°C - 150°C, and then decreased gradually. At the initial stage of experiment, there was no C₂H₆ and C₂H₄ gas, and only a small amount of C₂H₆ gas appeared at 50°C or so. CO₂ has high temperature desorption phenomenon at the whole experimental stage. The desorption amount of CO₂ is the largest at about 110°C - 120°C, and the desorption is basically completed at about 140°C. With the increase of temperature, the value of C₂H₄/C₂H₆ and CH₄/C₂H₆ increases gradually, and the value of CO₂/CO increases with the increase of temperature, and reaches the peak at 38°C. As the temperature continues to rise, the CO₂/CO value decreases and reaches the valley value at about 12°C degrees. According to the laboratory test results and practical experience of coal body natural heating process, CO and C₂H₄/C₂H₆ are used as indicators to identify the natural ignition of coal, with CO as the main and C₂H₄/C₂H₆ as the supplement.

Keywords

Natural Ignition, Gas Index, Identification Model

煤体自然发火判识模型

饶孜, 杨旭

筠连川煤芙蓉新维煤业有限公司, 四川 宜宾
Email: raozi_2010@163.com

收稿日期: 2018年4月5日; 录用日期: 2018年4月20日; 发布日期: 2018年4月27日

摘要

本文采用室内试验和现场试验结合, 提出白胶煤矿煤体自然发火判识模型, 对不同粒度煤样进行升温实验表明, CO在常温下既有, C₂H₆在50℃开始出现, C₂H₄在125℃开始出现, C₂H₂在50℃开始出现, C₂H₆在50℃开始出现, C₂H₂在试验温度范围内未出现; CO浓度随温度升高基本呈指数规律增加, 温度大于120℃时变化趋势明显。CH₄浓度在130℃~150℃时达到最大值, 随后逐步下降。实验初始阶段没有C₂H₆和C₂H₄气体, 在50℃左右温度下才出现少量的C₂H₆气体。CO₂在整个实验阶段存在高温脱附现象, 在110℃~120℃左右CO₂脱附量最大, 在140℃左右脱附基本完成; 随着温度的升高, C₂H₄/C₂H₆、CH₄/C₂H₆值逐渐增大; 随着温度升高CO₂/CO值明显增加, 到38℃达到峰值。随着温度继续升高, CO₂/CO值呈下降趋势, 到120℃左右达到谷值。根据煤体自然升温过程实验室测试结果和现场实践经验, CO和C₂H₄/C₂H₆作为判识煤体自然发火的指标气体, 其中以CO为主, C₂H₄/C₂H₆为辅。

关键词

自然发火, 气体指标, 判识模型

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤自燃是一个复杂的自加热过程, 是煤氧化放热与环境散热这对矛盾运动发展的结果, 受煤体自身性质、煤矿地质条件、生产方式、矿井通风等多种因素影响。矿井煤层自然发火, 一般发生在距煤体暴露面一定距离的深部, 具有很强的隐蔽性, 而且在自然发火区域, 受温差作用能够产生气体热力循环, 形成自然对流自供氧, 维持火灾持续进行。同时, 煤层自然发火往往范围较大, 一旦出现自燃就意味着蓄存着大量热能, 且在火风压作用下, 煤层自燃高温点通常位于比较高的位置, 一般的水、浆等流体灭火难以起效。因此, 矿井煤层自燃治理十分困难, 一般发生自然发火, 容易形成稳定的火源, 成为瓦斯爆炸隐患。杨关艳[1]研究了矿井自然发火因素及规律, 通过分析煤层自燃危险性与采深、地温、煤体变质程度等因素的关系, 研究煤层开采深度与自然发火规律。杨明等[2]提出了复杂条件下自然发火隐患治理相关理论和研究。赵庆杰等[3]总结出了一套自然发火早期预测预报的方法, 通过合理布置CO报警仪, 加强日常CO监测数据的管理, 可以发现CO浓度的微小变化, 实现早期预报, 辅之以红外测温和经验可以定位火源位置。梁运涛等[4]分析了煤炭自然发火的反应粒子、颗粒内孔、单煤颗粒、颗粒聚团、堆积煤体的多尺度行为和特征, 提出了破碎煤体堆积系统自然发火的介尺度概念, 并探讨了描述型、关联型和极值型3种多尺度方法在煤炭自然发火介尺度研究中的适用性。邬剑明等[5]以平朔矿区4个煤层煤样为研究对象, 利用程序升温试验重点研究CO、C₂H₄、H₂气体在煤氧化自燃过程中的变化规律, 认为CO和C₂H₄可作为检测煤炭自燃的标志气体。胡楠[6] [7]通过对矿煤层自然发火特性及CO涌出规律研究得到了煤层低温氧化气体产物H₂O、CO₂、CO、CH₄和C₂H₄的生成温度范围, 探索了煤样低温氧化自燃生成气体的浓度与温度关系, 建立了以CO为主、C₂H₄为辅的自然发火指标气体。秦毅等[8] [9]通过煤氧化升温热解实验对其升温过程中各气体随温度的变化规律进行了分析, 建立了煤自然发火预测预报体系。

本文采用室内试验和现场试验结合, 提出白皎煤矿煤体自然发火判识模型, 对不同粒度煤样进行室内升温实验和现场试验, 提出对于煤体自然的判识模型。

2. 煤体自然发火危险性分析

在对白皎煤矿地质条件、煤层赋存、煤层自然发火危险性、生产条件等进行调查基础上, 对矿井的自然发火危险性进行分析, 发现白皎煤矿具有严重自然发火危险性。

1) 煤层极易自燃。白皎煤矿层具有高瓦斯、高硫、高发火的自燃危险特征。根据白皎煤矿 B4 煤层自然发火实验结果, 以 25℃ 为起始温度时, 该煤层实验自然发火期大约为 60 天, 最短约 18 天, 因此在适宜的条件下, 很容易发生煤层自燃。

2) 煤层间距小。白皎煤矿为近距离煤层群开采, 主采的 B2 煤层厚度为 0.8~1.4 m, 平均厚度 1.1 m; B3 煤层厚度为 1.0~1.8 m, 平均厚度 1.3 m; B4 煤层厚度为 1.6~2.4 m, 平均厚度 1.8 m。二、三煤层层间距 0.8~0.0 m; 三、四煤层层间距 1.6~4.0 m。开采本煤层时, 本煤层采空区的冒落带和裂隙带容易与上邻近层沟通, 造成上邻近煤层采空区自然发火, 威胁本煤层安全生产。

3) 地质构造复杂。白皎煤矿井田范围内地质构造比较复杂, 在勘探、基建及生产中, 共发现落差大于 0.7 m 的断层 197 条, 勘探时在现生产采区(东采区、西一采区)仅发现 3 条断层, 而在开采过程中已揭露断层 121 条。这些地质构造对矿井防灭火工作造成极大困难。当井下巷道穿过地质构造带时, 由于煤体破碎、漏风比较严重, 并且这些区域支护比较困难, 通常需要架棚支护, 棚顶及两侧推积了大量松散煤体, 自燃危险性比较大。另外, 受地质构造影响, 矿井回采工作面推进速度较慢, 采空区遗煤在氧化带中停留时间较长, 容易发生自然发火。

4) 煤层厚度不稳定。开采煤层厚度不稳定, 回采过程中局部区域顶部留煤较厚, 导致采空区遗煤较多, 容易给采空区自然发火留下安全隐患。

5) 存在较多的联络巷道。白皎矿生产过程中布置有较多的联络巷, 联络巷的密闭容易被压裂而引起采空区漏风, 并且联络巷与工作面进、回风巷道相交处煤体容易破碎, 在联络巷附近容易发生煤层自燃。

6) 工作面搬迁时间较长。采煤工作面设备较多, 工作面停采后, 撤离工作面时间较长, 当停采线附近破碎煤体较多时容易在停采线附近发生自然发火; 另外, 采煤设备安装所需时间较长, 且工作面初始推进过程中容易产生各种问题, 推进速度较慢, 因而在切眼容易发生自然发火。

3. 煤体自然发火指标气体确定

煤炭自燃指标气体是指能预测和反映煤炭氧化和燃烧程度的某种或某几种气体, 这些气体的产率随煤温的上升而发生规律性的变化, 可以利用指标气体产生量及其变化率和相互间的关系, 来进行煤层火灾的早期预报。煤在氧化升温过程中气体的释放因煤种、煤岩性质、地质条件等内外因素的不同而有差别, 因此不同的矿井具有不同的自然发火指标气体。目前, 国内外煤矿使用的自然发火指标气体如表 1 所示, 我国煤矿所用的气体检测设备(气相色谱仪)主要检测 O_2 、 N_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_2H_4 、 C_2H_2 等九种气体。

Table 1. Natural ignition index gas in China

表 1. 中国自然发火指标气体

指标气体	
主要指标气体	辅助指标气体
CO 、 C_2H_4	$CO/\Delta O_2$ 、 C_2H_6/CH_4

3.1. 煤体自然升温过程实验室测试

为了研究白皎煤矿煤层自然发火预报指标及其表征参数, 在白皎煤矿瓦斯含量最高、发火危险性最高的 B₄ 煤层中采集煤样 2.5t, 用塑料编织袋包装, 托运至西安科技大学进行了相关实验研究。

试验过程中, 将原煤样在空气中破碎并筛分出粒度为: 1#(0 mm~0.9 mm)、2#(0.9 mm~3 mm)、3#(3 mm~5 mm)、4#(5 mm~7 mm)、5#(7 mm~10 mm) 的五种煤样, 以及 5 种粒度煤样各 220g 组成的 6#(混合) 煤样, 然后进行升温实验, 实验分析结果见图 1~图 2 所示。

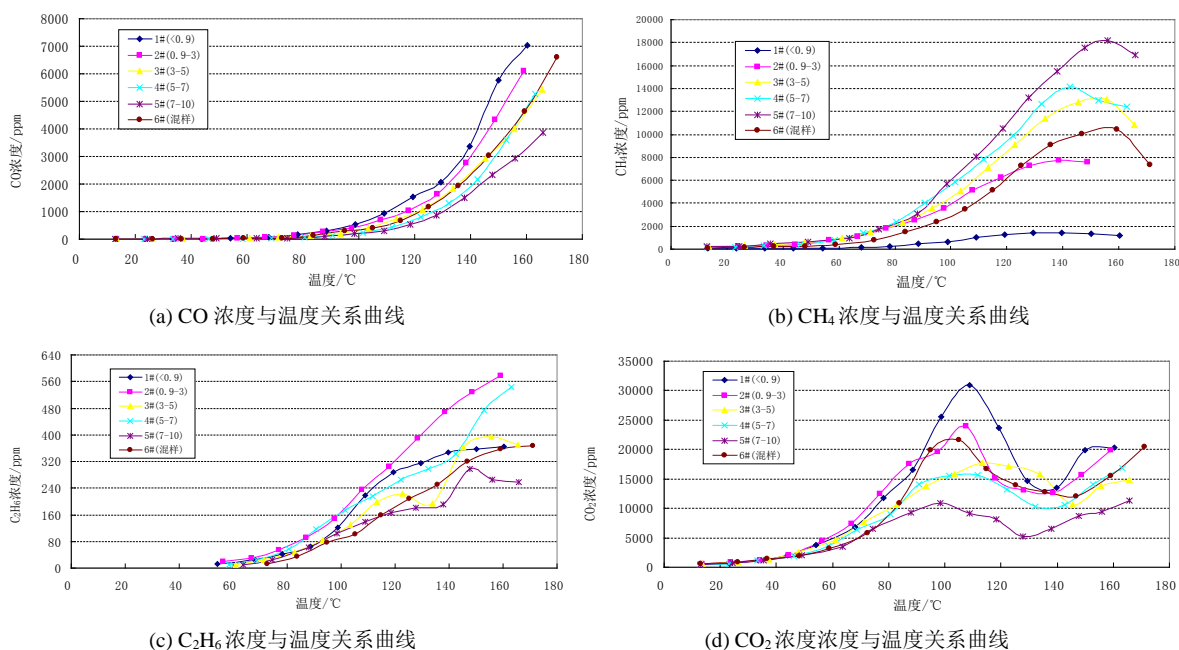


Figure 1. Curve between concentration and temperature of different particle size coal samples

图 1. 不同粒径煤样各参数浓度与温度关系曲线

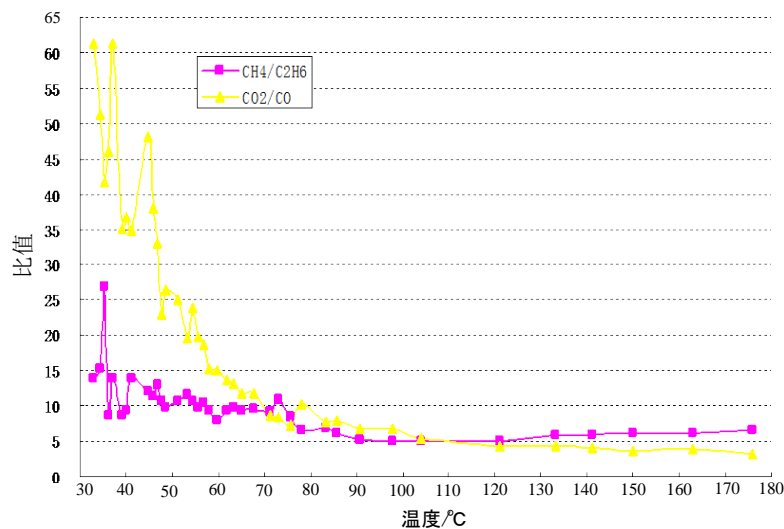


Figure 2. The curve between the characteristic gas ratio and the coal temperature during the natural heating process of the white coal samples

图 2. 白皎煤样自然升温过程中标志性气体比值与煤温的关系曲线

1) 自然升温过程中, 各气体出现温度

白皎矿煤层及围岩中赋存有大量的瓦斯, 主要是 CH_4 , 因此甲烷一般不作为自燃标志气体。 CO_2 在空气中含量比较大, 一般不以其有无来判断自燃。各气体出现温度如下: CO 开始出现温度: 常温下即有; C_2H_6 开始出现温度: 50°C ; C_2H_4 开始稳定出现温度: 125°C ; C_2H_2 开始出现温度: 在实验温度范围内(常温 180°C), 未检测到 C_2H_2 。

2) 自然升温过程中各气体浓度随温度变化规律

① CO 浓度随温度升高基本呈指数规律增加, 温度大于 120°C 时变化趋势明显。

② CH_4 浓度在 $130\sim 150^\circ\text{C}$ 时达到最大值, 随后逐步下降。 CH_4 主要是煤中吸附气体脱附的结果, 温度升高会加速脱附。但是, 随着大量瓦斯脱附, 煤中残存的吸附瓦斯量减少, 从而使脱附产生的瓦斯减少。

③实验初始阶段没有 C_2H_6 和 C_2H_4 气体, 在 50°C 左右温度下才出现少量的 C_2H_6 气体。说明白皎煤矿煤样富含一定浓度的 C_2H_6 气体, 而随后在高温阶段产生的 C_2H_4 气体主要是煤样高温裂解的气体, 这与煤样的裂解温度有关。

④ CO_2 在整个实验阶段存在高温脱附现象, 在 $110^\circ\text{C}\sim 120^\circ\text{C}$ 左右 CO_2 脱附量最大, 在 140°C 左右 CO_2 气体脱附基本完成, 在 140°C 之后产生的 CO_2 气体应该为脱附气体与氧化反应生成的气体之和。

3) 各标志气体的比值

链烷比是研究指标气体浓度与温度关系的重要依据之一, 其可以消除因单一指标气体由于井下风流及条件影响而无法准确判断等影响因素。白皎煤样在自然升温中变化为:

① C_2H_6 在 50°C 左右开始出现, 100°C 左右以后可以稳定地检测到 C_2H_4 、 C_2H_6 。随着温度的升高, $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ 值增大。

② CO_2/CO 值从实验开始就出现, 随着温度升高 CO_2/CO 值明显增加, 到 38°C 达到峰值。随着温度继续升高, CO_2/CO 值呈下降趋势, 到 120°C 左右达到谷值。

白皎煤矿自然发火过程中的特征温度及其气体表征见表 2 所示。

3.2. 煤矿现场实践经验

根据白皎煤矿往年煤炭自燃情况分析, 自然发火过程中伴随有明显 CO 的释放, 其变化情况为:

①当温度升高, 出现微量 CO 和有煤油味时, CO 临界值为 $0.0046\sim 0.04$;

②煤油味加重, 自热严重时, CO 报警值为 $0.041\sim 0.09$;

③出现灼热烟雾, 处于阴燃状态时, CO 值 > 0.09 。

Table 2. The characteristic temperature and its gas characterization in the spontaneous combustion process of the Baijiao coal sample

表 2. 白皎煤样自然发火过程中的特征温度及其气体表征

特征温度 名称	自然发火实验			备注
	表征参数	温度范围	极值温度	
瓦斯脱附温度	CH_4 浓度极大	$30\sim 40$	35.3	瓦斯脱附速度加快
临界温度	CO 和 CO_2 浓度增大; O_2 浓度降幅加大	$50\sim 65$	64.3	耗氧加剧; 化学反应速度加快
干裂温度	O_2 浓度剧降; CO 、 CO_2 浓度剧增; 出现 C_2H_4 、 C_2H_6 浓度; 温度变化率剧增	$90\sim 100$	97.7	侧链、桥键等断裂和裂解加快
裂变温度	温度变化率进一步增大; C_2H_4 、 C_2H_6 浓度增大	$140\sim 170$	156.5	环状结构断键加快

3.3. 煤层自然发火判识

根据白皎矿煤体自然升温过程实验室测试结果和现场实践经验, CO 和 C_2H_4/C_2H_6 作为判识煤体自然发火的指标气体, 其中以 CO 为主, C_2H_4/C_2H_6 为辅。

4. 结论

1) 不同粒度煤样进行升温实验表明, CO 在常温下既有, C_2H_6 在 50℃ 开始出现, C_2H_4 在 125℃ 开始出现, C_2H_2 在 50℃ 开始出现, C_2H_6 在 50℃ 开始出现, C_2H_2 在试验温度范围内未出现。

2) CO 浓度随温度升高基本呈指数规律增加, 温度大于 120℃ 时变化趋势明显。 CH_4 浓度在 130℃~150℃ 时达到最大值, 随后逐步下降。实验初始阶段没有 C_2H_6 和 C_2H_4 气体, 在 50℃ 左右温度下才出现少量的 C_2H_6 气体。CO₂ 在整个实验阶段存在高温脱附现象, 在 110℃~120℃ 左右 CO₂ 脱附量最大, 在 140℃ 左右脱附基本完成。

3) 随着温度的升高, C_2H_4/C_2H_6 、 CH_4/C_2H_6 值逐渐增大; 随着温度升高 CO₂/CO 值明显增加, 到 38℃ 达到峰值。随着温度继续升高, CO₂/CO 值呈下降趋势, 到 120℃ 左右达到谷值。

4) 根据煤体自然升温过程实验室测试结果和现场实践经验, CO 和 C_2H_4/C_2H_6 作为判识煤体自然发火的指标气体, 其中以 CO 为主, C_2H_4/C_2H_6 为辅。

参考文献

- [1] 杨关艳. 矿井自然发火因素及规律研究[J]. 山东煤炭科技, 2017(8): 113-114.
- [2] 杨明, 陈福辉. 复杂条件下自然发火隐患治理研究[J]. 中国煤炭工业, 2017(9): 57-59.
- [3] 赵庆杰, 吴士坤, 扈振波, 等. 煤炭自然发火早期发现技术及分析[J]. 科技创新导报, 2017(29): 63-65.
- [4] 梁运涛, 王树刚, 林琦, 等. 煤炭自然发火的介尺度现象分析及建模[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(5): 979-987.
- [5] 邬剑明, 彭举, 吴玉国. 平朔矿区煤自然发火指标气体选择的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 67-69.
- [6] 胡楠. 红庙矿煤层自然发火特性及 CO 涌出规律研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2012.
- [7] 吕文陵, 杨胜强, 程涛, 等. 煤层自然发火指标气体分析[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(7): 28-30
- [8] 秦毅, 杨胜强, 黄维, 等. 煤自燃特性及自然发火预测预报指标体系研究[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(7): 34-36.
- [9] 吴兵, 苏赞, 王金贵, 等. 煤炭自然发火预报指标气体研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(11): 76-80.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: me@hanspub.org