

# B2 Coal Seam Natural Ignition Mark Gas and Critical Value Determination

Likui Zhang Mengqiao Chen Le Zhang

Kuangou Coal Mine of Shenhua Tiandian Mining Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831215, China

## Abstract

Taking B2 coal seam of Kuangou coal mine as the research object, the law of coal oxidation to produce CO, olefins and alkynes is studied by temperature programmed experiment, and the natural ignition marker gas of B2 coal seam is optimized. Combined with the long-term observation data of gas concentration in key areas of B2 coal seam working face, the critical value of natural ignition marker gas of B2 coal seam is determined.

## Keywords

temperature-programmed experiment; spontaneous ignition sign gas; critical value

# B2 煤层自然发火标志气体及临界值确定

张立魁 陈梦乔 张乐

神华天电矿业有限公司宽沟煤矿，中国·新疆 昌吉 831215

## 摘要

以宽沟煤矿B2煤层为研究对象，利用程序升温实验研究煤氧化生成CO、烯烃、炔烃等规律，优选出B2煤层自然发火标志气体，并结合B2煤层工作面重点区域气体浓度长期观测数据，确定B2煤层自然发火标志气体临界值。

## 关键词

程序升温实验；自然发火标志气体；临界值

## 1 引言

《煤矿安全规程》(2016)规定：“开采容易自燃和自燃煤层时，必须开展自然发火监测工作，建立自然发火监测系统，确定煤层自然发火标志气体及临界值，健全自然发火预测预报及管理制度。”目前，中国学者对煤自然发火研究主要集中在自然发火标志性气体优选，对煤发火临界值研究甚少。基于此，以宽沟煤矿 B2 煤层实验研究和现场观测相结合的方法确定 B2 煤自然发火标志气体及临界值，也为矿井自然发火标志气体及临界值确定提高一种方法。

## 2 自然发火标志气体优选

### 2.1 CO 气体生成规律

CO 是煤氧化最早出现的气体产物，并贯穿整个氧化过程中；煤温超过 62℃后，CO 浓度开始加速增长，且超过 62℃后煤温开始高于炉温，表明了 62℃为 B2 煤层自然发火的临界温度。在煤温超过 62℃后，煤体的升温速度将快速增加，在 215℃以前，CO 产生浓度与煤温之间表现为单一

递增的变化规律。当煤温超过 215℃后，呈现出一种增长更快的关系。C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 出现以后，进入加速氧化阶段，C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 产生后煤温进入激烈氧化阶段，之后煤温迅速达到燃点，并在短时间内煤温达到峰值。

### 2.2 烯烃气体生成规律

在煤的吸附气体中，没有烯烃气体。煤氧化产生 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 和 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 气体的临界温度分别在 110℃和 140℃左右，与 CO 气体相比，有一个明显的时间差和温度差。C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 出现，标志着煤氧化进入加速氧化阶段，煤温在超过 253℃后迅速升高至 332℃。从气体浓度变化上表现为出现突起的陡峰，这是煤剧烈燃烧的象征。

### 2.3 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体产生规律

C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体在矿井中常作为煤自然发火的重要的标志气体，实验煤样产生 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体初始温度为 330℃左右，这与 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 相比又有一个明显的温度差。C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 是煤进入燃烧阶段的标志，因此，一旦出现 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体，采取措施时一定要谨慎，避免采取直接剥挖火源的办法，以免高温煤体引发瓦斯或煤尘爆炸事故。

### 2.4 煤自然发火标志气体优选

① CO 作为预测预报煤自然发火的指标气体，其预测的

【作者简介】张立魁(1988-)，中国新疆乌鲁木齐人，本科，工程师，从事煤矿一通三防管理研究。

温度范围为常温至 215℃。CO 出现的临界温度较低，为 27℃左右，并在整个自燃发火过程中都有 CO 产生，应特别加强观测。

② 烯烃气体 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 和 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 气体预测的温度初始温度分别在 110℃ 和 140℃ 左右，C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 气体和 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 气体的出现标志着煤氧化进入激烈氧化阶段的标志。在有 CO 存在的前提下，只要出现 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 或 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>，必须采取切实有效的灭火措施。

③ C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体生成临界温度为 330℃ 左右，C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体出现标志着煤已完全处于燃烧或阴燃阶段。

④ 综上所述，选择 CO、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 作为 B2 煤层自然发火的标志气体。

### 3 自然发火标志气体现场观测

#### 3.1 采空区自然发火标志气体观测

##### 3.1.1 采空区埋管方式

在 B2 煤层 I010203 工作面回风顺槽埋设 3 趟束管，并用 φ20mm 无缝钢管进行保护。在每个采样点位置设置一个取气三通，为防止被水或煤泥堵塞，每个取气三通需抬高至离底板 1m 高位置，同时与每个采空区束管采样点同步设置测温热电偶，以对采空区内不同位置的温度进行持续监测。

##### 3.1.2 观测结果及分析

通过 3 个测点采集气样分析采空区气体变化规律。观测结果分析可知，I010203 采空区回风侧散热带范围为 0~4m，氧化带范围为 4~47.2m，超过 47.2m 的区域则为室熄带。

#### 3.2 回风隅角自然发火标志气体观测

根据回风隅角 CO 出现波动但未呈现持续增长趋势，均稳定在 24 × 10<sup>-6</sup> 以下。通过数理统计分析可得，回风隅角 CO 平均浓度为 11 × 10<sup>-6</sup>。

#### 3.3 回风流自然发火标志气体观测

I010203 工作面割煤、放煤等生产阶段对回风流气体组分影响较小，几乎可以忽略不计，回风流 CO 浓度平均为

4 × 10<sup>-6</sup>。

### 4 自然发火标志气体临界值

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 等气体在常温下并不产生，且一旦产生，该气体组分有无就可判断采空区遗煤所处的自燃状态。因此，确定 B2 煤层自然发火标志气体临界值为 CO 气体的临界值。采煤工作面 CO 气体来源主要分为三个方面：① 采空区遗煤氧化；② 生产过程中煤体氧化；③ 支架顶煤氧化、放炮和无轨胶轮车等其他外部因素产生，据此可建立 [CO] 浓度计算数学模型：

$$[CO] = x \frac{V_{co}^1 + V_{co}^2 + V_{co}^3}{Q_g}$$

式中，x——修正系数；Q<sub>g</sub>——目标区域风量，m<sup>3</sup>/s；V<sub>co</sub><sup>1</sup>——采空区遗煤氧化 CO 生成速率，m<sup>3</sup>/s；V<sub>co</sub><sup>2</sup>——推采时煤体氧化 CO 生成速率，m<sup>3</sup>/s；V<sub>co</sub><sup>3</sup>——放炮等其它生成 CO 速率，m<sup>3</sup>/s。

根据采空区现场观测并采用数理统计法可得，散热带内遗煤平均温度为 22.2℃，氧化带遗煤平均温度为 24.41℃。工作面割煤期间对 CO 产生可忽略不计，生成速度为 0。工作面进风量为 1064.61m<sup>3</sup>/min，回风量为 1503.48m<sup>3</sup>/min，工艺巷进风量为 237.38m<sup>3</sup>/min，回风隅角过风量为 309.15m<sup>3</sup>/min，氧化带过风量为 42.12~101.09m<sup>3</sup>/min，散热带过风量与隅角过风量相等。单位炸药导致 CO 产生速度为 0.02 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s。根据实验数据，B2 煤层 CO 生成速率以氧气浓度 10%（71℃）和氧气浓度 20.9%（62℃）时的 CO 平均生成速度，计算得 4.57 × 10<sup>-6</sup> mol/(m<sup>3</sup>·s)。

综合上述，将各参数代入公式，得到表 1 内的理论计算结果。

将表 1 内数据代入公式，可分别计算出不同区域的修正系数，如表 2 所示。

在非预裂爆破影响时间段内，并利用表 2 修正系数和

表 1 工作面正常条件下不同区域 CO 标志气体浓度

区域	煤氧化 CO 产生速率	煤量	CO 产生速率 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s		理论过风量 m <sup>3</sup> /s		理论值 × 10 <sup>6</sup>		实际值 × 10 <sup>6</sup>		备注
	mol/(m <sup>3</sup> ·s)		m <sup>3</sup>	产生速率	爆破产生速率	最小	最大	最小	最大	最小	
散热带	4.25 × 10 <sup>-7</sup>	1583.5	15.07	0.02	1.68	5.15	20.76	63.49	10	37	实际值为观测期内平均值
氧化带	3.59 × 10 <sup>-7</sup>	11423.7	91.86		0.70	1.68	54.53	130.86	51	160	
回风隅角			106.94		5.15		20.75		11.18		
回风流			106.94		25.06		4.27		2.25		

表 2 修正系数计算结果

序号	区域	修正系数		平均
		最小	最大	
1	散热带	0.48	0.58	0.53
2	氧化带	0.94	1.22	1.08
3	回风隅角	0.54		
4	回风流	0.53		

表1数据代入公式计算得到B2煤层自然发火标志气体CO临界值如表3所示。

表3 不同煤温下工作面不同区域CO气体临界值

区域	煤温 ℃	煤氧化CO 产生速率	煤量	CO产生速率 ×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s		临界值 (×10 <sup>-6</sup> , 取整)
		mol/(m <sup>3</sup> /s) ×10 <sup>-7</sup>	m <sup>3</sup>	产生速 率	爆破 产生 速度	
散热带	30	4.25	1583.5	15.07	0.02	57
氧化带	35	3.59	11423.7	91.86		287
回风隅角				106.94		23
回风流				106.94		5

## 5 结论

① CO、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>可以作为B2煤层自然发火的标志气体或发火指标，选择

CO、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>作为B2煤层自然发火的标志气体。

② CO在常温25℃就可产生，CO预测的温度范围从常温至215℃；C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>气体产生时对应煤温为110℃，是煤进入激烈氧化阶段的标志气体；C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>气体产生时对应煤温为332℃，是煤已经开始燃烧或阴燃的标志气体。

③采空区散热带CO发火临界值为57×10<sup>-6</sup>，氧化带CO发火临界值为287×10<sup>-6</sup>，回风隅角CO发火临界值为23×10<sup>-6</sup>，回风流CO发火临界值为5×10<sup>-6</sup>。在CO存在前提下，只要C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>和C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>出现，必须采取切实有效的灭火措施。

## 参考文献

- [1] 王伟.煤层自然发火标志气体及临界值确定[J].煤矿安全,2020,51(12):219-223.
- [2] 凌紫城,施式亮,鲁义,等.铁箕山煤矿2号煤层自然发火标志气体及临界值确定[J].能源与环保,2020,42(8):33-36+41.
- [3] 连现忠.煤层自然发火标志气体及其临界值的实验研究[J].内蒙古煤炭经济,2019(24):162.