



中华人民共和国国家标准

GB/T 44819—2024

煤层自然发火标志气体及临界值确定方法

Method for determining the spontaneous combustion indicator gas and critical
value in coal seams

2024-10-26 发布

2025-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 煤层自然发火标志气体指标优选方法 3

 4.1 方法摘要 3

 4.2 煤层自然发火标志气体色谱分析 3

 4.3 煤层自然发火标志气体指标优选 3

5 煤层自然发火标志气体临界值确定方法 3

 5.1 概述 3

 5.2 临界值确定内容 3

 5.3 临界值考察地点 4

 5.4 现场观测方法 4

 5.5 临界温度确定方法 5

 5.6 临界值计算方法 6

 5.7 临界值确定程序 7

附录 A（资料性） 煤层自然发火临界值确定示例 8

 A.1 煤层自然发火标志气体及指标优选 8

 A.2 现场观测与参数统计 8

 A.3 临界温度 T_0 、 T_1 和 T_2 9

 A.4 T_0 处 CO 临界值 10

 A.5 T_1 处 CO 临界值 11

 A.6 结果汇总 11

 A.7 现场评估 11

参考文献 12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国煤炭工业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国矿业大学（北京）、中煤科工集团沈阳研究院有限公司、煤炭科学研究总院有限公司、国家能源集团乌海能源有限责任公司、开滦（集团）有限责任公司、中国安全生产科学研究院、北京科技大学、华能煤炭技术研究有限公司、山西潞安化工集团余吾煤业有限责任公司。

本文件主要起草人：朱红青、梁运涛、谭波、田富超、周勇、陆新晓、武建国、周福宝、王海燕、宋双林、孙勇、王伟、李峰、龙增、权红星、胡兵、贺明新、艾兴、苏伟伟、王海燕（女）、雷柏伟、牛会永、吴刚、史波波、曲宝麟、李瑞、李天泽、谢林昊。

引 言

我国煤炭资源丰富,成煤时期多,开采煤层地质特征多样化,开采容易自燃、自燃煤层的矿区分布广,自然发火危险性大。近年来煤矿自燃火灾事故以及采空区、巷道高冒区自燃事故表明,由于未能及时早期预警煤炭自燃发生而导致未能及时采取应对措施,是自燃事故主要致因之一。《煤矿安全规程》第二百六十一条、《煤矿防灭火细则》第七条和第五十二条规定,开采容易自燃和自燃煤层时,必须确定煤层自然发火标志气体及临界值,综合分析自然发火监测系统、安全监控系统和人工检查结果,优选确定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,实现井下火情早发现、早处置。但是相关的规范、方法文件缺失,为此,本文件优化了煤层自然发火标志气体的选择方法,建立了煤层自然发火复合指标气体判据,给出了煤层自然发火标志气体临界值的确定方法,可作为煤炭自燃火灾事故早期预警并及时采取应对措施的技术依据。

煤层自然发火标志气体及临界值确定方法

1 范围

本文件给出了矿井煤层自然发火标志气体指标优选方法和临界值确定方法。

本文件适用于各类矿井煤层自然发火监测、报警、预警和防治,也适用于其他地点煤层自然发火防治。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- AQ/T 1019 煤层自然发火标志气体色谱分析及指标优选方法
- AQ 1029 煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范
- AQ 1044 矿井密闭防灭火技术规范
- KA/T 757 煤矿自然发火束管监测系统通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自然发火 spontaneous combustion

由于煤炭或其他易燃物质自身氧化蓄热,发生燃烧而引起的火灾。

[来源:AQ/T 1019—2006,3.1]

3.2

煤自燃倾向性 coal spontaneous combustion tendency

煤在常温下氧化能力的内在属性。

[来源:AQ/T 1068—2008,3.1]

3.3

火灾气体 fire gas

煤炭自然发火过程中所产生的的气体的混合物的总称。

[来源:AQ/T 1019—2006,3.3]

3.4

自然发火标志气体 indicator gas of spontaneous combustion

由于自然发火而产生或因自然发火而变化的,能够在一定程度上表征自然发火状态和发展趋势的火灾气体,以下简称标志气体。

[来源:AQ/T 1019—2006,3.4]

3.5

煤层煤样 coal seam-sample crossing

按规定在采掘工作面、探巷或坑道中从一个煤层采取的煤样。

[来源:GB/T 482—2008,3.1]

3.6

链烷比 chain alkyl ratio

火灾气体中,位于 $C_1 \sim C_4$ 范围内的烷烃气体,某一长链烷烃单一组分的浓度与甲烷或乙烷浓度之比值。

[来源:AQ/T 1019—2006,3.7]

3.7

烯烷比 ratio of alkene and alkyl

火灾气体中,烯烃气体浓度与某一碳链大于或等于该烯烃的烷烃浓度之比。

注:常用的是 C_2H_4/C_2H_6 。

[来源:AQ/T 1019—2006,3.8]

3.8

标志气体浓度增率 growth rate of indicator gas concentration

在矿井煤层自然发火过程,单一组分标志气体浓度单位时间内的增率。

3.9

程序升温 programmed-temperature heating

煤样所在控温箱的温度按预先设定的升温速率进行升温。

[来源:AQ/T 1068—2008,3.3]

3.10

潜伏期阶段 incubation period

煤体在与空气接触后,吸附其中的氧并形成不稳定的氧化物,但不显现煤温和环境温度升高的过程。

3.11

缓慢氧化升温阶段 slow oxidation and warming stage

煤体温度略高于环境温度,标志气体浓度缓慢增加的过程。

3.12

加速氧化升温阶段 accelerated oxidation and warming stage

煤体温度加速升高,标志气体浓度显著增加的过程。

3.13

剧烈氧化升温阶段 intense oxidation and warming stage

煤体温度急剧升高,标志气体浓度急剧增加的过程。

3.14

临界温度 critical temperature

煤氧化升温过程中,利用煤自然发火模拟实验气体产物分析方法,最早检测出标志气体或煤氧化阶段辅助标志气体变化速率突变或呈现明显特征的煤温。

3.15

临界值 critical value

煤自燃过程中,根据煤层自然发火具体情况通过实验研究、现场测试和统计分析进行确定的临界温度及其对应的标志气体的浓度和增长率等表示煤自燃特征突跃性变化的关键指标。

4 煤层自然发火标志气体指标优选方法

4.1 方法摘要

煤层自然发火标志气体的种类采用煤层自然发火模拟实验气体产物分析方法进行确定,并对气体指标进行优选,主要测试原理为:一定量的煤样在实验条件下进行程序升温,循环分析各温度段气体产物种类、浓度及煤样温度变化特性,据此优选适用的自然发火标志气体及其指标。

4.2 煤层自然发火标志气体色谱分析

煤层自然发火标志气体色谱分析按 AQ/T 1019 的规定,用色谱分析方法分别进行煤自然发火气体产物实验室模拟分析、煤自然发火气体产物现场分析,确定煤层自然发火标志气体种类并对气体指标进行优选,注意科学选择载气和标准气,并搭建适用的测试分析系统,以保证测试结果精度的重复性和再现性。测试过程和测试结果还应满足以下要求:

- a) 同等实验条件下,如果同一气样连续两个重复性测定差值超过 AQ/T 1019 规定的精密度,则重新测试;
- b) 根据采空区不同区域氧浓度的分布特性,在 21%、12%、10%、7%、5%、3% 氧浓度的空气条件下进行煤自然发火气体产物模拟实验;
- c) 同等时间条件下,每组实验测试 3 次,相对误差应小于或等于 5%,取 3 次的算术平均值作为测定结果,如果相对误差大于 5%,则重新进行测试。

4.3 煤层自然发火标志气体指标优选

煤层自然发火标志气体指标优选内容包括:确定适用的标志气体种类、指标及其使用的温度范围。

- a) 标志气体种类包括:CO、烷烃、烯烃和炔烃气体等。
- b) 标志气体指标包括:标志气体组分浓度、标志气体浓度增率、标志气体产生的临界温度、链烷比及其峰值温度、烯烷比及其峰值温度、各氧化阶段的特征温度范围及标志气体等。
- c) 标志气体优选原则宜优先考虑 CO、C₂H₄、C₂H₂ 三种标志气体及其指标的适用性;当煤层赋存瓦斯中含有较高量的重烃组分时,应用链烷比和烯烷比时宜考虑重烃释放时间的影响,并考察其适用性;低变质程度的褐煤、长焰煤、气煤和肥煤,宜优先考虑烯烃及烯烷比标志气体及其指标;中变质程度的焦煤、瘦煤及贫煤,宜优先考虑 CO、烯烃及烯烷比标志气体及其指标;高变质程度的无烟煤,宜优先考虑 CO 及其派生指标。

5 煤层自然发火标志气体临界值确定方法

5.1 概述

煤层自然发火标志气体临界值由实验室测试、现场观测和统计分析共同确定。临界值考察参数的内容较多,由于早期预警是控制煤炭自燃事故发生的关键,本文件仅提供潜伏期阶段、缓慢氧化升温阶段、加速氧化升温阶段、剧烈氧化升温阶段 4 个阶段 3 个临界温度(T_0 , T_1 , T_2)和 2 个临界值($[CO_{L0}]$, $[CO_{L1}]$)的确定方法。

5.2 临界值确定内容

在煤自燃过程中标志气体临界值包括临界温度与临界温度相对应的标志气体浓度临界值或浓度增率临界值,具体确定内容如下:

- a) 潜伏期阶段至缓慢氧化升温阶段临界温度 T_0 以及标志气体浓度临界值或浓度增率临界值；
- b) 缓慢氧化升温阶段至加速氧化升温阶段临界温度 T_1 以及标志气体浓度临界值或浓度增率临界值；
- c) 加速氧化升温阶段至剧烈氧化升温阶段临界温度 T_2 。

5.3 临界值考察地点

临界值考察地点包括但不限于以下地点：

- a) 与煤层煤样采样地点相对应采煤工作面回风隅角；
- b) 采煤工作面回风侧采空区自燃“氧化带”；
- c) 巷道易发生的冒顶区域内；
- d) 密闭区内。

5.4 现场观测方法

5.4.1 概述

临界值现场观测手段主要采用人工采样色谱分析方法，当人工采样方法无法实现时，可采用煤矿安全监控系统实时数据采集方法和束管监测系统采样分析方法。

5.4.2 测点布置要求

5.4.2.1 采煤工作面采空区内部测点布置

采空区内部采样测试采用束管监测系统采样分析方法时按 MT/T 757 进行，并满足下列要求：

- a) 测试地点应在回风侧采空区内，测试地点的测点间距布置合理；
- b) 每个测点监测束管应采用套管保护，束管入口应采取防堵措施；
- c) 取样束管之间的连接应做到阻力小，密封可靠。

5.4.2.2 回风隅角、高冒区及其他测点布置

回风隅角、高冒区及其他测点布置满足下列要求：

- a) 与煤层煤样采样地点相对应的采煤工作面回风隅角的测点，距离巷壁面不应小于 0.2 m，不应影响行人和行车，并满足 MT/T 757 和 AQ 1029 要求；
- b) 高冒区测点深入内部的距离不应小于 0.5 m；
- c) 回风巷道测点应距离巷道口 10 m~15 m 处；
- d) 密闭区观测点应距离底板高度为墙高的 2/3 处，并满足 AQ 1044 要求。

5.4.3 气体采样和分析方法

5.4.3.1 煤矿安全监控系统实时数据采集方法

煤矿安全监控系统实时数据采集方法按照 AQ 1029 进行。

5.4.3.2 束管监测系统采样分析方法

束管监测系统采样分析方法按照 MT/T 757 进行，并符合 AQ/T 1019 的规定。

5.4.3.3 人工采样色谱分析方法

人工采样色谱分析方法应符合 AQ/T 1019 的规定。

5.4.4 现场观测要求

5.4.4.1 一般要求

现场观测的一般要求为：

- a) 测试地区：进行现场观测验证标志气临界值时，应在固定检测地点，选择采煤工作面采空区、回风隅角、回风巷道、密闭区等作为关键测试区域；
- b) 测试环境：周围无腐蚀性气体；无显著震动、冲击的场合；
- c) 测试参数： O_2 浓度、 N_2 浓度、风量、 CO 浓度、 CO_2 浓度、 C_2H_4 浓度、 C_2H_2 浓度、 CH_4 浓度、 C_2H_6 浓度、 C_3H_6 浓度、 C_3H_8 浓度以及温度；
- d) 统计参数：煤厚、回采率、回采速度、采煤工作面倾向长度、采空区自然发火“三带”、自然发火期；
- e) 测试时间：采样要求满足 5.4.3，现场观测总时间不少于 30 d；采用人工采样色谱分析方法，每天采样 2 次，每次 3 个平行样，采样时间宜为每天统计大气压最高值和统计大气压最低值时，并及时分析；采用束管监测系统采样分析方法时束管监测需每天至少每班采样一次，并及时分析；煤矿安全监控系统需保持 24 h 连续正常监测；
- f) 统计分析：以人工采样色谱分析方法的测试结果为主，结合煤矿安全监控系统实时数据采集方法和束管监测系统采样分析方法的测试结果，对日常 CO 涌出量进行统计分析。

5.4.4.2 特殊情况

煤层自然发火标准气体临界值确定方法宜注意以下特殊情况的影响：

- a) 为排除井下爆破、井下燃油机车尾气、其他可燃物的氧化与燃烧、火区气体运移、注惰、瓦斯抽放、气压变化等因素影响，可采用单一组分的标志气体浓度、标志气体浓度增率、 CO/CO_2 、链烷比、烯烷比等标志气体指标，进行临界值修正；高瓦斯矿井不用链烷比；二氧化碳异常涌出矿井不用 CO/CO_2 ；
- b) 在低变质程度煤的矿井资源开采过程中，即使生产落煤及采空区遗煤处于常温状态，低温氧化产生的 CO 浓度也较高（部分矿井采空区可达 0.06% 以上，回风隅角超过 0.01%，回风流超过 0.005%），在确定现场标志气体 CO 临界值时，充分考虑该情况。

5.5 临界温度确定方法

5.5.1 概述

该部分给出了现场观测、实验室测试、统计分析确定临界温度 T_0 、 T_1 和 T_2 的方法。

5.5.2 T_0 确定方法

临界温度 T_0 应通过现场观测、实验室测试和统计分析三种方法之一确定，如：

- a) 日常测试地点没有标志气体 CO 时， T_0 取初次检测到 CO 时的温度值；
- b) 临界温度 T_0 取煤自然发火气体产物模拟实验确定标志气体 CO 产生的温度值，实验方法按照 AQ/T 1019 进行；
- c) 日常测试地点一直存在标志气体 CO 时， T_0 取在 1 d 内 CO 浓度增率大于 0 时对应的最高温度值。

5.5.3 T_1 确定方法

临界温度 T_1 应根据煤自然发火气体产物模拟实验中， CO 浓度随温度变化趋势曲线发生突变点时

刻温度方式确定,或基于交叉温度点测试方法确定表观活化能突变温度点,即为临界温度 T_1 。

- a) 如果 $T_1 \leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_1 即为 CO 浓度突变点时刻温度;
- b) 如果 $T_1 > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 临界温度 T_1 取 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.4 T_2 确定方法

临界温度 T_2 为采用煤自然发火气体产物模拟实验检测出 C_2H_4 的最低温度。

5.6 临界值计算方法

5.6.1 T_0 处 CO 临界值

1 d 内 CO 浓度增率大于 0 时对应的初始 CO 气体浓度,或根据统计分布算法计算的 T_0 处 CO 浓度临界值。统计分布算法是根据数据的概率分布进行阈值设置的方法,计算出回风隅角等地点 CO 日常监测数据的均值,通过均值及修正系数来确定 T_0 处 CO 浓度临界值,根据式(1)进行计算:

$$[\text{CO}_{\text{L}0}] = k_0 C_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $[\text{CO}_{\text{L}0}]$ ——潜伏期至缓慢氧化升温阶段的 CO 临界值, 10^{-6} ;
- C_m ——回风隅角等地点排除环境影响后的 CO 日常监测数据的均值, 10^{-6} ;
- k_0 ——修正系数。

如果采用 CO 浓度增率而不是采用瞬时最大值来进行监测,当 CO 浓度增率在 1 d 内大于 0 时,则可认为存在煤炭自燃隐患。

5.6.2 T_1 处 CO 临界值

T_1 处 CO 临界值是缓慢氧化升温阶段至加速氧化升温阶段重要的标志气体临界值,采空区和回风隅角等地点的 T_1 处 CO 浓度临界值按照式(2)进行计算。

$$[\text{CO}_{\text{L}1}] = \frac{k_1(aL_1 + bL_2)LH(1 - \varphi)V_{\text{CO}}V_m \cdot 10^3}{\eta Q_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $[\text{CO}_{\text{L}1}]$ ——缓慢氧化升温阶段至加速氧化升温阶段的 CO 临界值, 10^{-6} ;
- k_1 ——修正系数,取值范围 1.0~1.2,受到工作面生产状况等影响;
- a ——采空区氧化带内遗煤氧化修正系数,一般取 0.05~0.15;
- b ——采空区散热带内遗煤氧化修正系数,一般取 0.01~0.08;
- L_1, L_2 ——采空区回风侧煤自燃氧化带、散热带的宽度,单位为米(m);
- L ——采煤工作面长度,单位为米(m);
- H ——采煤工作面采高,单位为米(m);
- φ ——采煤工作面回采率,一般取 0.8~1.0;
- V_{CO} ——采煤工作面根据实验确定的 T_1 温度时煤体 CO 产生速率,单位为摩尔每立方厘米秒 $[\text{mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})]$;
- V_m ——理想气体摩尔体积,单位为升每摩尔(L/mol),一般取 22.4;
- η ——采煤工作面漏风系数,一般取 0.06~0.10;
- Q_0 ——临界值测试时的测试地点风量,单位为立方米每秒(m^3/s)。

还可以将 CO 标志气体增率式(3)作为 T_1 处 CO 浓度增率临界值。

$$I_r = k_2 \frac{C_2 - C_1}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- I_r ——CO 标志气体浓度增率, $10^{-6}/\text{min}$;
- k_2 ——修正系数, 取值范围为 $[1.0, 1.4)$, 根据煤自燃倾向性等取值, 煤自燃倾向性越高取值越小;
- C_2 ——实验中煤温 T_1 处标志气体浓度, 10^{-6} ;
- C_1 ——实验中煤温 $(T_1 - 5^\circ\text{C})$ 处标志气体浓度, 10^{-6} ;
- Δt ——实验中煤温从 $(T_1 - 5^\circ\text{C})$ 升至 T_1 所需要时间, 单位为分 (min)。

公式(3)中 I_r 指标是根据煤自然发火气体产物模拟实验确定, 正常生产矿井未出现 CO 浓度连续增加应采用该实验临界值; 如果现场生产中不改变防灭火措施, 发现 CO 浓度连续 3 d 持续稳定增加, 可认为现场由缓慢氧化升温阶段进入加速氧化升温阶段, 应采用 3 d 现场的最大 CO 标志气体增率修正该临界值。

5.6.3 临界值的风量修正

当临界值采用 CO 标志气体浓度或 CO 标志气体浓度增率时, 现场应用时均应根据现场风量进行修正, 修正后临界值为风量修正系数乘 CO 标志气体浓度。其中风量修正系数按照式(4)进行计算。

$$k_q = \frac{Q_0}{Q_1} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- k_q ——风量修正系数;
- Q_1 ——现场日常实际的采煤工作面风量, 单位为立方米每秒 (m^3/s)。

5.7 临界值确定程序

煤层自然发火临界值确定程序如下：

- a) 根据本文件第 4 章, 完成煤层自然发火标志气体优选实验, 分析气体产生规律, 优选标志气体及指标;
- b) 选取矿井考察地点, 进行现场观测, 每天采样 2 次, 每次 3 个平行样, 按照 5.4.4 要求进行测试, 给出 30d 测试汇总结果; 完成煤厚、回采率、回采速度、采煤工作面倾向长度、回风侧氧化带宽度、回风侧散热带宽度、自然发火期、风量、漏风系数、回风巷道断面积等参数统计和测试;
- c) 根据现场观测数据和实验室数据按照 5.5 确定临界温度 (T_0, T_1, T_2) ;
- d) 日常情况下, 对采煤工作面回风隅角 CO 气体浓度进行连续 30d 的现场观测, 经过统计分析, 按照 5.6.1 确定 T_0 温度处 CO 浓度或浓度增率临界值;
- e) 按照 5.6.2 确定 T_1 温度处 CO 浓度或浓度增率临界值;
- f) 对以上结果每天进行汇总记录并备案。

现场应用应按照 5.6.3 根据测试地点的现场风量进行修正。

临界值确定实例见附录 A。

附 录 A
(资料性)
煤层自然发火临界值确定示例

A.1 煤层自然发火标志气体及指标优选

根据本文件第 4 章内容,完成某煤矿某煤层自然发火标志气体优选试验,分析气体产生规律,优选标志气体及标志气体指标。标志气体为:CO、CO₂、C₂H₄、C₂H₂;标志气体指标为:各氧化阶段的临界温度及标志气体浓度或浓度增率,例如 CO 临界温度、CO 浓度、CO 浓度增率、C₂H₄ 临界温度、CO/CO₂。

A.2 现场观测与参数统计

A.2.1 现场观测

选择某矿井某采煤工作面回风隅角作为现场测试区域。

测试地区井下相对湿度为 90%;周围无腐蚀性气体;无显著震动、冲击的场合;经过统计发现,该矿所在地区的大气压的最高值出现在 8:00 左右,而大气压的最低值出现在 16:00 左右。

记录观测点处的 CO 浓度、CO₂ 浓度、C₂H₄ 浓度、C₂H₂ 浓度、CH₄ 浓度、C₂H₆ 浓度、C₃H₈ 浓度、温度;人工采样色谱分析结果如下:

每天采样 2 次(上午 8:00 和下午 16:00),每次 3 个平行样,按照 5.4.4 要求进行测试,表 A.1 给出 30 d 测试汇总结果。

表 A.1 _____ 矿井 _____ 采煤工作面回风隅角 CO 浓度观测数据

地点	日期	时间	CO/10 ⁻⁶	温度/℃	时间	CO/10 ⁻⁶	温度/℃	备注
回风隅角	11 月 1 日	8:00	9.1	19.3	16:00	9.0	18.9	
回风隅角	11 月 2 日	8:00	9.2	19.0	16:00	9.1	20.0	
回风隅角	11 月 3 日	8:00	9.0	19.6	16:00	8.5	19.5	
回风隅角	11 月 4 日	8:00	9.1	20.5	16:00	8.9	19.8	
回风隅角	11 月 5 日	8:00	9.2	19.9	16:00	9.1	20.0	
回风隅角	11 月 6 日	8:00	9.4	20.7	16:00	9.3	20.1	
回风隅角	11 月 7 日	8:00	9.5	21.1	16:00	8.9	19.5	
回风隅角	11 月 8 日	8:00	9.4	22.0	16:00	9.2	21.4	
回风隅角	11 月 9 日	8:00	9.3	20.2	16:00	9.2	20.5	
回风隅角	11 月 10 日	8:00	9.5	20.9	16:00	9.1	20.2	
回风隅角	11 月 11 日	8:00	9.6	22.0	16:00	9.3	21.2	
回风隅角	11 月 12 日	8:00	9.1	21.5	16:00	9.2	21.0	
回风隅角	11 月 13 日	8:00	9.3	22.2	16:00	9.5	20.5	
回风隅角	11 月 14 日	8:00	9.6	21.7	16:00	9.7	20.7	
回风隅角	11 月 15 日	8:00	9.9	22.1	16:00	10.3	21.5	
回风隅角	11 月 16 日	8:00	10.3	21.3	16:00	10.5	21.4	

表 A.1 _____ 矿井 _____ 采煤工作面回风隅角 CO 浓度观测数据（续）

地点	日期	时间	CO/ 10^{-6}	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间	CO/ 10^{-6}	温度/ $^{\circ}\text{C}$	备注
回风隅角	11 月 17 日	8:00	10.6	20.4	16:00	10.6	20.7	
回风隅角	11 月 18 日	8:00	10.5	19.8	16:00	10.5	19.5	
回风隅角	11 月 19 日	8:00	10.7	20.3	16:00	10.6	21.5	
回风隅角	11 月 20 日	8:00	10.8	21.6	16:00	11.0	20.9	
回风隅角	11 月 21 日	8:00	10.6	20.9	16:00	11.0	21.3	
回风隅角	11 月 22 日	8:00	10.9	19.6	16:00	10.5	20.1	
回风隅角	11 月 23 日	8:00	10.5	21.1	16:00	10.6	21.4	
回风隅角	11 月 24 日	8:00	10.2	20.0	16:00	10.3	20.5	
回风隅角	11 月 25 日	8:00	10.1	21.7	16:00	10.0	19.5	
回风隅角	11 月 26 日	8:00	10.2	18.8	16:00	9.8	19.3	
回风隅角	11 月 27 日	8:00	9.9	21.1	16:00	10.1	21.2	
回风隅角	11 月 28 日	8:00	9.7	19.4	16:00	9.5	19.6	
回风隅角	11 月 29 日	8:00	9.7	19.9	16:00	9.6	20.3	
回风隅角	11 月 30 日	8:00	9.6	22.3	16:00	9.4	22.1	

A.2.2 参数统计

查阅矿井地质资料、一通三防技术报告和现场观测确定煤厚 d 、回采率 φ 、回采速度 v 、采煤工作面倾向长度 L 、回风侧氧化带宽度 L_1 、回风侧散热带宽度 L_2 、自然发火期 t 、风量 Q_0 、漏风系数 η 、回风巷道断面积 S 等,统计结果见表 A.2。

表 A.2 确定 T_1 的统计参数

煤层	L_1/m	L_2/m	v/md^{-1}	L/m	φ	$Q_0/\text{m}^3\text{min}^{-1}$	η	d/m	t/d	S/m^2
4#煤层	130	40	3	240	0.80	1 800	0.06	8	30	10

A.3 临界温度 T_0 、 T_1 和 T_2

A.3.1 T_0 确定

根据现场观测结果,该测试区域一直存在标志气体 CO,选择 1 d 内 CO 浓度增率大于 0 时对应当天对应的温度值,约为 21 $^{\circ}\text{C}$ 。

A.3.2 T_1 确定

根据实验结果,通过绘制常温至 100 $^{\circ}\text{C}$ 的 CO 浓度变化曲线,如图 A.1 所示。直接观察发现 CO 浓度突变点时刻温度为 70 $^{\circ}\text{C}$,故按照 5.5.3 确定 T_1 为 70 $^{\circ}\text{C}$ 。

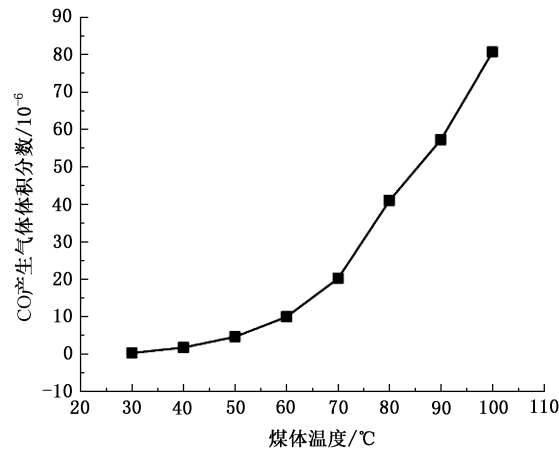
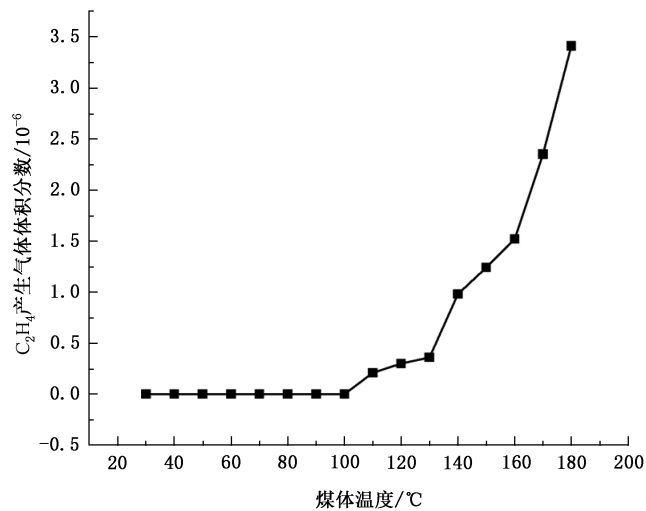


图 A.1 30 °C ~ 100 °C 温度范围内 CO 体积分数变化曲线

A.3.3 T_2 确定

根据实验检测出 C_2H_4 最低温度为 110 °C, 如图 A.2 所示。按照 5.5.4 确定 T_2 为 110 °C。

图 A.2 30 °C ~ 180 °C 温度范围内 C_2H_4 体积分数变化曲线

A.4 T_0 处 CO 临界值

CO 浓度增率在 11 月 12 日内大于 0 时对应的 CO 气体浓度为 9.1×10^{-6} 。

回风隅角 CO 日常监测数据的均值 $C_m = 9.78 \times 10^{-6}$ 。由于煤层自燃倾向性属于 II 类自燃煤层, 修正系数 k_0 取 1.2。根据式(1)计算:

$$[CO_{L0}] = k_0 C_m = 9.78 \times 10^{-6} \times 1.2 = 11.74 \times 10^{-6} \approx 11.7 \times 10^{-6}$$

两者间取最小值, T_0 温度的 CO 浓度临界值为 9.1×10^{-6} 。

A.5 T_1 处 CO 临界值

临界点 T_1 计算参数见表 A.3。

表 A.3 临界点 T_1 计算参数

煤层	临界 温度 $T_1/^\circ\text{C}$	回风侧 氧化带 宽度 L_1/m	回风侧 散热带 宽 L_2/m	氧化带 遗煤氧 化修正 系数 a	散热带 遗煤氧 化修正 系数 b	采煤工 作面长 度 L/m	回采 率 φ	采高 H/m	风量 $Q_0/$ m^3s^{-1}	漏风 系数 η	临界点 T_1 CO 产 生速率 $V_{\text{CO}} \times$ $10^{-11}/\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$	修正 系数 k_1
4#煤层	70	130	40	0.1	0.08	240	0.80	8	30	0.06	0.02	1.1

在空气氛围中临界点 T_1 CO 产生速率为 $0.02 \times 10^{-11} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$ ；该矿井生产区域存在断层分布，修正系数 k_1 取 1.1；该矿井目前属于容易通风时期，采煤工作面漏风系数 η 取 0.06；根据采空区束管监测系统结果，氧化带遗煤氧化修正系数 a 取 0.1，散热带遗煤氧化修正系数 b 取 0.08，根据式(2)计算可得：

$$\begin{aligned} [\text{CO}_{\text{L1}}] &= \frac{k_1(aL_1 + bL_2)LH(1 - \varphi)V_{\text{CO}} \cdot V_{\text{m}} \cdot 10^3}{\eta Q_0} \\ &= \frac{1.1 \times (0.1 \times 130 + 0.08 \times 40) \times 240 \times 8 \times (1 - 0.8) \times 0.02 \times 10^{-11} \times 22.4 \times 10^3}{0.06 \times 30} \\ &\approx 17.0 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

A.6 结果汇总

根据本文件规定的矿井煤层自然发火标志气体色谱分析方法、标志气体指标优选方法和标志气体临界值确定方法确定该矿井的临界温度和临界值，结果如表 A.4 所示。

表 A.4 采煤工作面回风隅角临界值表

编号	临界温度/ $^\circ\text{C}$	临界值
1	21	回风隅角 CO 气体浓度大于 9.1×10^{-6}
2	70	回风隅角 CO 气体浓度大于 17.0×10^{-6}
3	110	检测出 C_2H_4 ，并持续增加

A.7 现场评估

现场评估时，现场观测风量 Q_1 为 $32 \text{ m}^3/\text{s}$ ，临界值测试时的测试地点风量 Q_0 为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此，应按照 5.6.3 中式(4)进行风量修正：

$$\begin{aligned} k_q &= \frac{Q_0}{Q_1} = \frac{30}{32} = 0.9375 \\ [\text{CO}_{\text{L0}}]' &= [\text{CO}_{\text{L0}}] \times k_q = 9.1 \times 10^{-6} \times 0.9375 = 8.53125 \times 10^{-6} \approx 8.5 \times 10^{-6} \\ [\text{CO}_{\text{L1}}]' &= [\text{CO}_{\text{L1}}] \times k_q = 17.0 \times 10^{-6} \times 0.9375 = 15.9375 \times 10^{-6} \approx 16.0 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

由测试和计算结果可见，所测试矿井煤层回风隅角测点，现场检测到的 CO 气体浓度大于 16.0×10^{-6} ，可判定采空区遗煤氧化已进入加速氧化升温阶段。且从井下测试采煤工作面任一地点已检测到 C_2H_4 ，则可判定此采空区的遗煤氧化已进入剧烈氧化升温阶段。

参 考 文 献

- [1] GB/T 482 煤层煤样采取方法
 - [2] GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法
 - [3] KA/T 1068 煤自燃倾向性的氧化动力学测定方法
 - [4] MT/T 845 煤矿巷道用 SF₆ 示踪气体检测漏风技术规范
 - [5] 《煤矿防灭火细则》
-

