

含有坑木煤层指标气体优化研究

朱令起, 王鑫源, 刘可忻, 周艺婷

华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山
Email: 1002991386@qq.com

收稿日期: 2020年12月11日; 录用日期: 2021年1月11日; 发布日期: 2021年1月18日

摘要

为提高含有坑木煤层的煤矿巷道指标气体预测预报的准确性和精准度, 以唐山矿7250巷道为研究对象, 利用程序升温氧化实验系统, 将朽木、煤及其混合物升温的氧化气体进行分析比较, 结果表明: 随着朽木含量的增加, CO、CO₂、O₂、C₂H₆、C₂H₄、CH₄体积分数随温度的变化没有单调性, 不适用于作为混合物的燃烧状态的预测指标气体, CO/CO₂比值呈单调递减变化趋势, 受朽木含量的影响较小, 可作为巷道火灾预测预报的指标气体。研究结果对含有腐朽坑木的巷道火灾的预测预测具有一定的指导作用。

关键词

腐朽坑木, 程序升温, 指标气体, 预测预报

Study on Gas Optimization of Coal Seam Index with Mine Wood

Lingqi Zhu, Xinyuan Wang, Kexin Liu, Yiting Zhou

College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei
Email: 1002991386@qq.com

Received: Dec. 11th, 2020; accepted: Jan. 11th, 2021; published: Jan. 18th, 2021

Abstract

In order to improve coal mine roadway index gases containing rotten timbers forecasting accuracy and precision, in Tangshan mine roadway 7250 as the research object, using temperature programmed oxidation experiment system, the dead wood, coal and the analysis of the oxidation gases that are heating up the mixture, the results show that with the increase of the content of deadwood, CO, CO₂, O₂, C₂H₆, C₂H₄ and CH₄ volume fraction without monotonicity, along with the change of temperature does not apply to as a predictor of gas mixture combustion status. CO/CO₂ ratio is monotone decreasing trend, to which the influence of content of deadwood is small, can be used as

fire forecast index of roadway gas. The results of this study have a certain guiding role for the prediction of roadway fire with decayed pit timber.

Keywords

Rotten Wood, Program Heating, Index Gas, Prediction

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

煤自燃严重威胁着井下作业人员的安全,煤层燃烧状态的预测预报对井下作业人员的安全撤离和及时有效的防止火灾的发生与蔓延至关重要。选取能反应燃烧状态的指标气体对煤矿火灾对预测预报具有重大意义。众多学者通过各种煤样在氧化升温过程中产生的各种气体随温度的变化规律进行分析,多数煤种以 CO 、 CO_2 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 CH_4 等气体作为预测煤层自燃的预测辅助指标气体[1] [2] [3] [4]。为了排除环境的影响,曹胜[5]、翟小伟[6]、杨朔[7]、宁政权[8]等采用比值分析法,得出多数煤样可以利用 CO/CO_2 、烷烯等体积分数的比值作为煤层自然的比值指标气体,可以很好的反应煤矿现场火灾的燃烧情况。指标气体过多也会影响预测的精准度和准确度,由此,王月红[9]等通过研究不同煤种生成的气体,通过各指标气体数据拟合和关联度分析,多数煤种可以以 CO 、 C_2H_6 等单一气体和 $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_4$ 比值作为预测煤层自燃的指标气体。众多学者通过实验选取适用于多数煤种的煤层自燃预测预报的指标气体,然而却忽略了煤矿当中不止一种可燃物,并没有学者选取两种可燃物和混合物的角度来研究指标气体的变化,当煤层和巷道朽木混合时,各种指标气体的生成量可能会发生变化,引起预测的误差,为了更加准确的运用指标气体,就需要从混合物的角度来研究指标气体的变化趋势。本文另辟蹊径,以唐山矿 7250 巷道中含有大量坑木的煤层为研究对象,从坑木和煤混合物的角度,通过氧化升温实验,对混合物生成的气体体积分数随温度的变化规律进行探讨,通过比较分析,确立预测预报指标气体,为提高该煤矿的指标气体预测准确度提供了参考依据,为类似巷道的研究开辟了新的研究思路。

2. 程序升温氧化实验

本实验由自行研制加热炉和 KSS-5690A 气相色谱仪共同完成。加热炉部分主要是对煤自热的全过程进行检测模拟,对煤样进行加热升温 and 程序升温,并用球胆收集产生的气体,气相色谱仪对产生的气体组分进行分析检测。

使用碎煤机将唐山矿 5 煤层 7250 巷道坑木和煤分别破碎至 60~80 目。朽木 80 克为一组;将煤与坑木混合 80 g 为一组,共三组,比例分别为 4:4、6:2 和 7:1。每一组实验都是当天制备样品,保持变量的一致性。将制备好的实验样品放入升温氧化炉内。30℃开始收集气体,在 160℃之前每 10℃收集一次,160℃之后每 20℃收集一次,随着实验的进行也可再次调整为 10℃收集一次,320℃停止升温。收集的气体由气相色谱仪进行分析检测,最后导出实验数据,关闭仪器,结束实验。

3. 实验结果分析

通过程序升温过程中的气体变化及实验现象,将坑木升温过程分为三个阶段:无机物升温阶段、有机物升温反应阶段、燃烧阶段。分析坑木在整个反映阶段对不同比例混合物气体产生规律的影响分析,选取坑木混合物火灾预测指标气体。

3.1. 坑木氧化升温阶段的划分

由图 1 可见, 当坑木升到 150℃时开始有 CO 出现, 由图 2 可知 150℃之前氧气含量基本没有变化, 则 30℃~150℃之间为无机物升温阶段;

150℃进入有机物反应阶段, 150℃~200℃之间 CO 生成量缓慢增加, 有机物缓慢反应, 200℃后 CO 产生量略有加快, 220℃~290℃阶段 CO 生成量大量增加, 有机物加速反应, 随着有机物消耗量的增加, CO 生成量呈先增加后减少的趋势, 且在 230℃左右 CO 生成量达到最大值, 达到 240℃附近进入燃烧阶段, 则 150℃~240℃为有机物反应阶段;

300℃以后 CO 消失, CO₂ 含量与空气中含量基本保持一致, 由图 2 可知, O₂ 含量与空气含量保持一致, 此时坑木全部燃尽, 则 240℃~300℃为燃烧阶段。

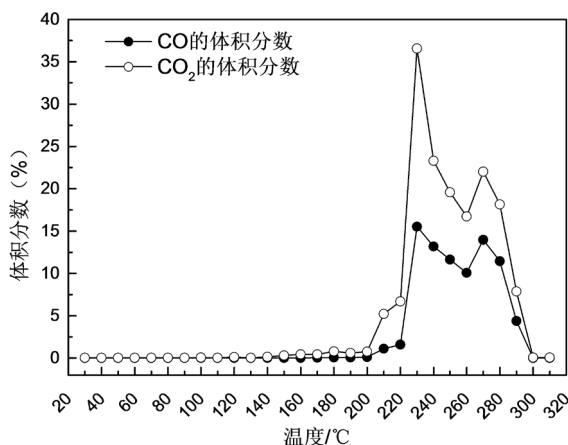


Figure 1. Relationship between temperature and CO and CO₂ in exhaust gas
图 1. 温度与尾气中 CO、CO₂ 关系

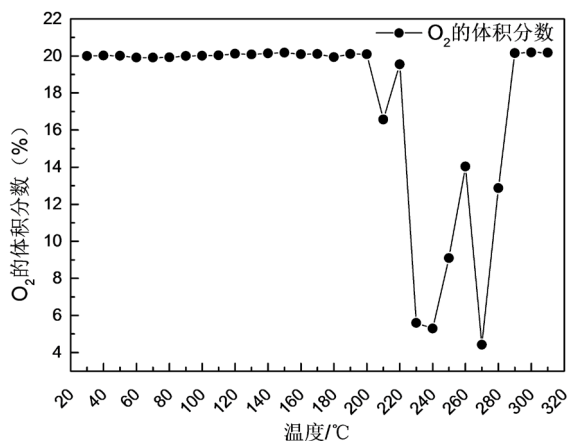


Figure 2. The relationship between temperature and O₂ in exhaust gas
图 2. 温度与尾气中 O₂ 关系

3.2. 坑木氧化升温气体体积分数变化规律分析

1) CH₄、C₂H₆、C₂H₄ 体积分数变化分析

由图 3 可知, 坑木在 220℃检测到了 CH₄ 的存在, 并且在 240℃前存在上升趋势, 应为温度升高, 坑木中的有机物反应加快, 随着有机物的消耗, 240℃后甲烷含量开始减少并在 300℃左右达到最低值 0,

由图 4 可知, C_2H_6 、 C_2H_4 与 CH_4 、变化趋势保持一致, 且出现的温度点分别为 $222^\circ C$ 、 $230^\circ C$ 、 $220^\circ C$ 且在 $280^\circ C$ 范围内随温度升高呈上升趋势。

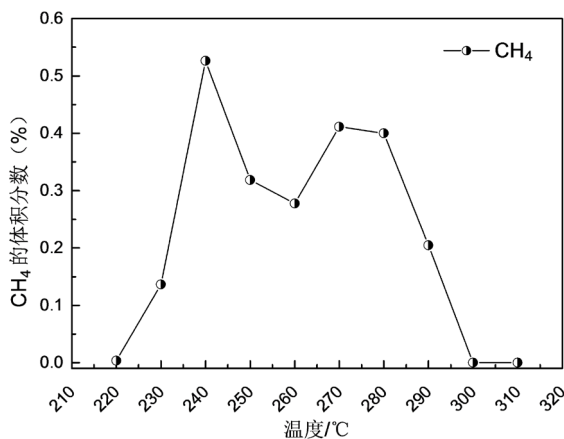


Figure 3. The relationship between temperature and CH_4 in exhaust gas
图 3. 温度与尾气中 CH_4 关系

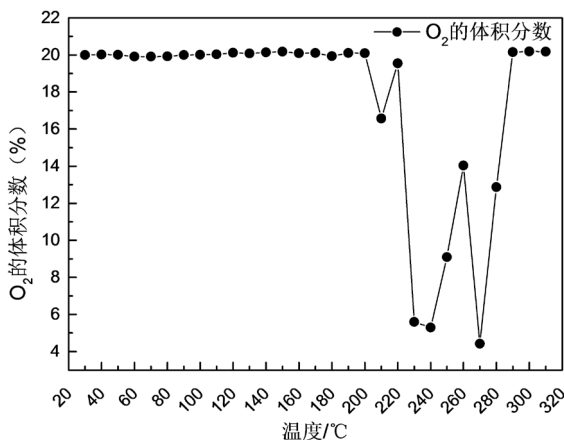


Figure 4. The relationship between temperature and C_2H_6 and C_2H_4 in exhaust gas
图 4. 温度与尾气中 C_2H_6 、 C_2H_4 关系

2) CO_2/CO 比值分析

CO_2 、 CO 均易受外界环境的影响。在同样情况下, 采用二者的比值则消除了外界环境的影响, 相比而言 CO_2 、 CO 的变化趋势则显得更为符合实际, 腐朽坑木 CO_2/CO 比值如图 5 所示。图 5 表明, 当该比值小于 35 时, 表明此时温度在 $150^\circ C$ 以上, 朽木开始进入有机物反应阶段; $150^\circ C$ 以后, 随着温度的升高, CO_2/CO 的比值呈现指数形式下降, 随着氧气的降低, 坑木发生氧化反应不充分, CO 产生量快速增大, 当温度达到 $230^\circ C$ 以后, CO_2/CO 的比值小于 2。此时伴随着 C_2H_6 出现, $230^\circ C$ 出现 C_2H_4 , 进入燃烧阶段比值稳定在 1:1 附近, 直至 $300^\circ C$ 有机物消耗殆尽, 比值降为 0。

3.3. 混合物气体体积分数变化规律分析

1) CO 、 CO_2 、 O_2 体积分数变化分析

煤与朽木 7:1 (80 g); 如图 6(a)所示。煤与朽木 6:2 (80 g), 如图 6(b)所示; 煤与朽木 4:4 (80 g), 如图 6(c)所示;

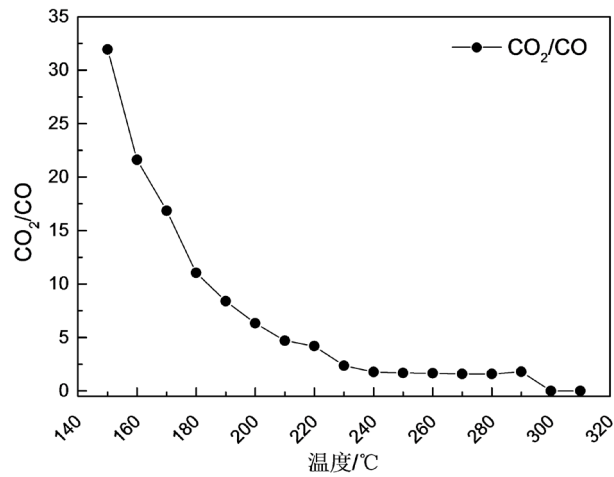


Figure 5. CO₂/CO change curve with temperature

图 5. CO₂/CO 随温度变化曲线

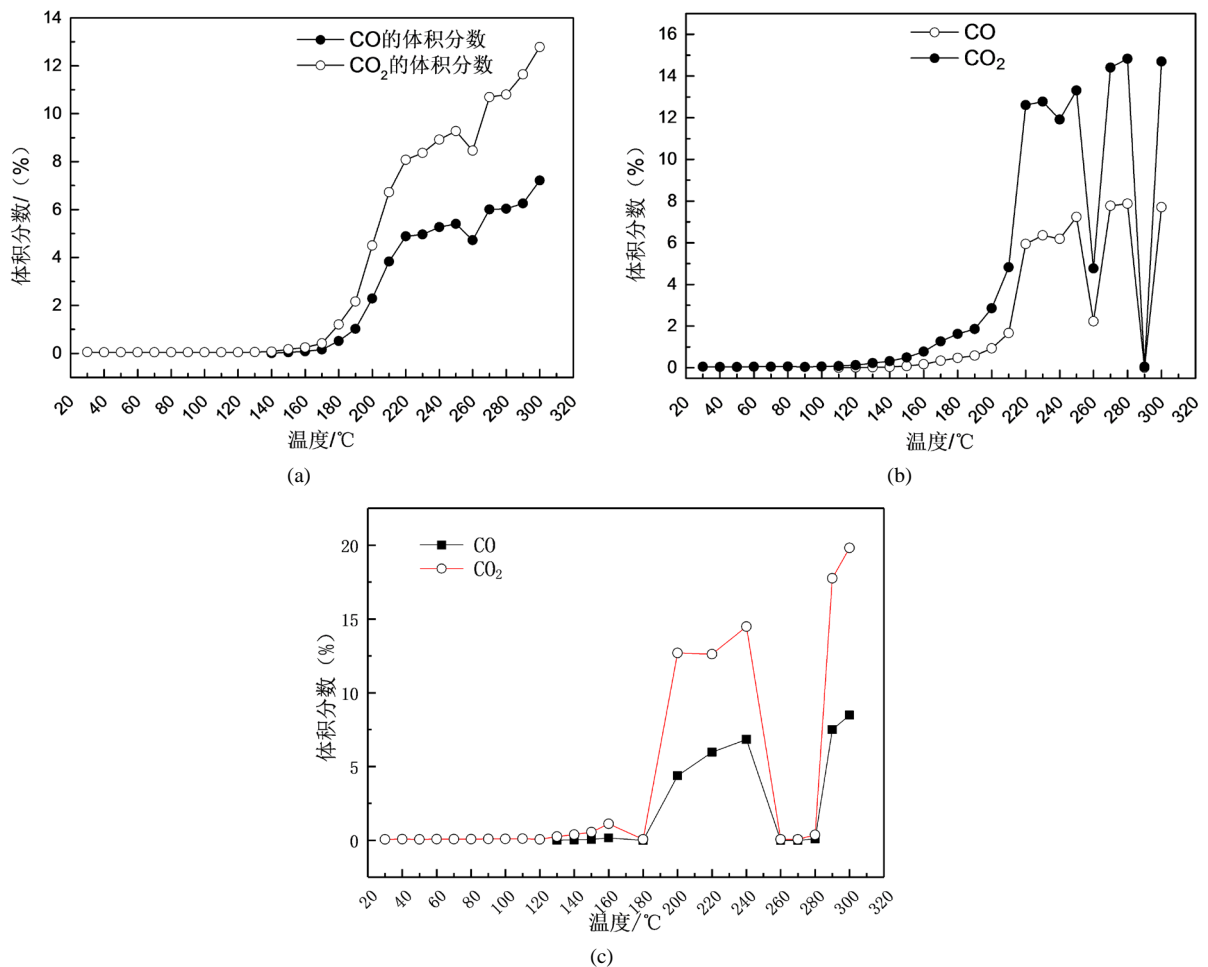


Figure 6. (a) The relationship between temperature and CO and CO₂ in exhaust gas (7:1); (b) The relationship between temperature and CO and CO₂ in exhaust gas (6:2); (c) The relationship between temperature and CO and CO₂ in exhaust gas (4:4)

图 6. (a) 温度与尾气中 CO、CO₂ 关系(7:1); (b) 温度与尾气中 CO、CO₂ 关系(6:2); (c) 温度与尾气中 CO、CO₂ 关系(4:4)

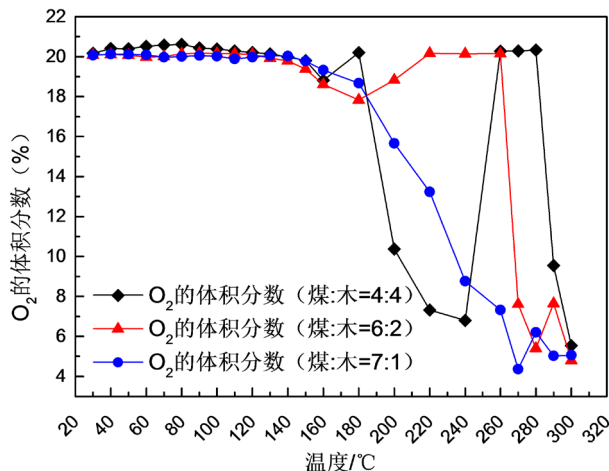


Figure 7. The relationship between temperature and O₂ in exhaust gas
图 7. 温度与尾气中 O₂ 关系

由图 6 和图 7 可见, 在坑木有机物升温阶段, 混合物(4:4)在 130°C 左右时, CO 气体开始出现, 随着坑木含量的增加, 对混合物中 CO、CO₂ 和 O₂ 的体积分数没有显著影响; 在坑木有机物反应阶段, 混合物(4:4)在 180°C~240°C 生成量增加, 170°C 混合物反应加快, 并有湿空气出现, 朽木反应生成物随着湿空气一起流出吸附了气体中的 CO, 因此在 180°C 未检测到 CO, 180°C~240°C 混合中反应剧烈, 有大量 CO 生成, 此温度范围内 CO 生成量主要以朽木为主, 240°C 左右达到最大值。CO、CO₂ 的体积分数呈现单调递增变化, O₂ 消耗量单调增加, 产生速率逐渐加快, 此时仍然符合指标气体的选取原则; 在燃烧阶段, 混合物(4:4)在 240°C~280°C 时 CO 产生量急剧下降, 240°C 以后朽木中有机物逐渐消耗殆尽, 并有大量烟雾生成, CO 生成量逐渐降为 0, 在 260°C~270°C, 少量的 CO 生成量是由于煤氧符合反应生成的, 大量的朽木反应物呈碳黑色, 随着带有大量烟雾的湿空气流出, 把空气中少量的 CO 气体吸附或反应掉, 因此在 260°C~270°C 没有检测到 CO 气体, 280°C 后 CO 产生量大量急速增加, 随着坑木含量的增加, CO₂ 气体与其保持同步变化, CO、CO₂ 产生量和 O₂ 的消耗量变化无规律, 含量与有机物反应阶段有重复并且有 0 点出现。由以上分析可知 CO、CO₂ 和 O₂ 三种气体不适用于作为混合物的燃烧状态的预测指标气体。

2) CH₄ 体积分数变化分析

由图 8 可见, 煤与朽木 4:4、6:2 和 7:1 时, CH₄ 出现的温度分别在 200°C、180°C 和 140°C。随着坑

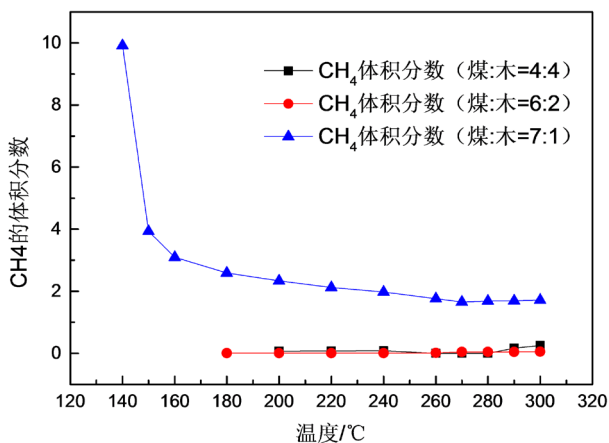


Figure 8. The relationship between temperature and CH₄ in exhaust gas
图 8. 温度与尾气中 CH₄ 关系

木的含量增加, CH_4 出现的越来越晚。进入有机物反映阶段开始出现 CH_4 出现, 随着坑木含量的增加, 气体体积分数趋于一条直线, 不随着温度的增加而发生变化, 不适用于作为混合物的燃烧状态的预测指标气体。

由图 9(a)可见, 进入坑木有机物反映阶段, 分别在 170°C 、 200°C 时出现 C_2H_6 和 C_2H_4 气体, 变化趋势趋于平缓; 进入燃烧阶段, 随着坑木含量的增加, 气体体积分数呈现先减少后增加的趋势变化, 280°C 以后气体体积分数突然增大。由以上分析可知, 在整个反应阶段变化趋势没有单调性规律, 不适用于作为混合物的燃烧状态的预测指标气体。

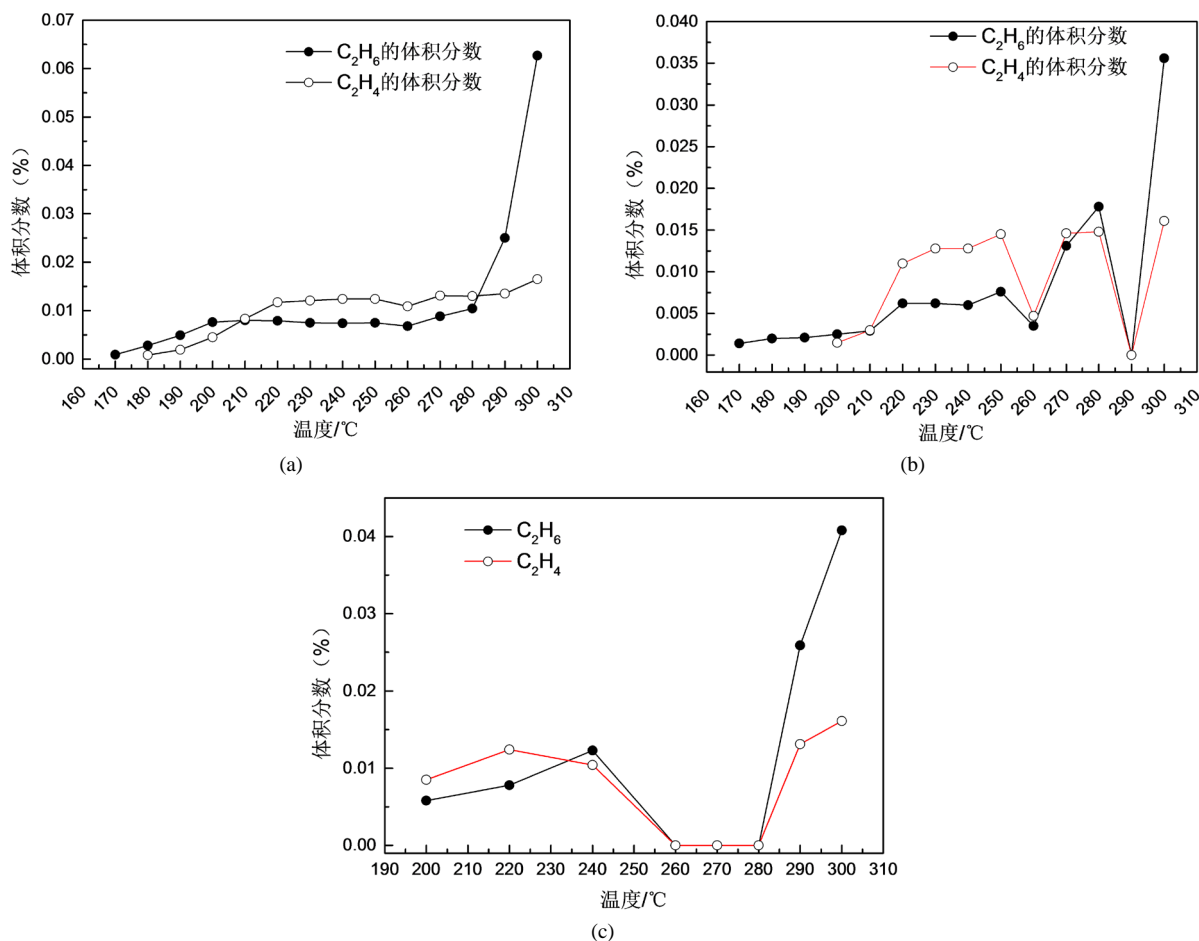


Figure 9. (a) The relationship between temperature and C_2H_6 and C_2H_4 in exhaust gas (7:1); (b) The relationship between temperature and C_2H_6 and C_2H_4 in exhaust gas (6:2); (c) The relationship between temperature and C_2H_6 and C_2H_4 in exhaust gas (4:4)

图 9. (a) 温度与尾气中 C_2H_6 、 C_2H_4 关系(7:1); (b) 温度与尾气中 C_2H_6 、 C_2H_4 关系(6:2); (c) 温度与尾气中 C_2H_6 、 C_2H_4 关系(4:4)

3.4. CO/CO_2 体积分数比值变化规律分析

由图 10 可见, 当该比值小于 30 时, 表明此时温度在 110°C 以上, 混合物中朽木处于有机物升温阶段, CO 产量由煤产生, 随着温度的升高, CO_2/CO 的比值呈现指数形式下降; 140°C 时进入朽木有机物反应阶段, CO 主要由朽木产生, 随着氧气的降低, 坑木发生氧化反应不充分, CO 产生量快速增大, 当温度达到 220°C 以后, CO_2/CO 的比值小于 1。进入燃烧阶段比值稳定在 1:1 附近。

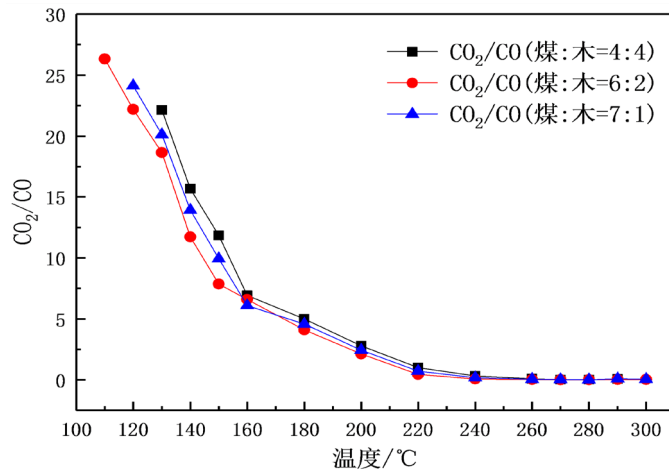


Figure 10. CO₂/CO change curve with temperature

图 10. CO₂/CO 随温度变化曲线

随着坑木含量的增加,混合物的 CO/CO₂ 比值变化趋势呈现单调递减趋势变化,坑木的含量对比值的大小几乎没有影响,符合指标气体选取原则,适用于作为混合物的燃烧状态的预测指标气体。

4. 结论

1) 通过实验,朽木燃烧状态分为三个阶段: 30°C~150°C, 无机物升温阶段; 150°C~240°C, 有机物反应阶段; 240°C~300°C, 燃烧阶段。

2) 通过实验得出混合物中, CO、CO₂、O₂、C₂H₆、C₂H₄、CH₄ 不适用于作为预测指标气体。可选取 CO/CO₂ 作为预测 7250 巷道的混合物燃烧状态的指标气体。

参考文献

- [1] 王怡, 谢军, 任广意. 采空区遗煤自然发火的指标气体研究[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(10): 118-122.
- [2] 朱令起, 周心权, 谢建国, 等. 自然发火标志气体实验分析及优化选择[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(4): 440-443+448.
- [3] 秦红星, 戴广龙, 张树川, 等. 基于煤低温氧化试验下的标志气体优选及应用[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(6): 65-70.
- [4] 任江朋. 豹子沟矿 11 号煤层自燃标志性气体实验研究[J]. 煤矿安全, 2018, 49(7): 16-18.
- [5] 曹胜, 王俊峰, 张玉龙, 王涌宇. $\varphi(\text{CO})/\varphi(\text{CO}_2)$ 作为气煤采空区低温氧化指标值的研究[J]. 太原理工大学学报, 2017, 48(4): 598-601.
- [6] 翟小伟, 成倬. 柴家沟 4~(-2) 煤层自燃标志气体优选实验研究[J]. 煤矿安全, 2019, 50(11): 18-23.
- [7] 杨朔, 戴广龙, 唐明云. 基于程序升温的煤自燃标志气体实验研究[J]. 煤矿安全, 2018, 49(7): 24-27+33.
- [8] 宁政权. 煤矿采空区自然发火指标气体的选择研究[J]. 煤炭科技, 2018(1): 53-55.
- [9] 王月红, 周宁, 张九零, 朱壮. 不同煤种自燃指标气体优化研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2020, 39(6): 10-15.