

Optimization of Coal Spontaneous Combustion Index under Different Oxygen Concentration

Wenxiong Tian¹, Yiting Zhou^{2*}

¹Yangchangwan Coal Mine, Ningxia Coal Industry Company, Yinchuan Ningxia

²School of Mining Engineering, North China University of Technology, Tangshan Hebei

Email: *zytdouer@163.com

Received: Jul. 2nd, 2020; accepted: Jul. 17th, 2020; published: Jul. 24th, 2020

Abstract

The spontaneous combustion of coal often occurs in the mined-out area. The most notable feature is the change in oxygen concentration. In order to judge the influence of oxygen concentration on the selection of index gas, the experimental design of 17%, 14%, 12%, 8% oxygen concentration environment was used to conduct the temperature program experiment of coal, optimizing coal spontaneous combustion index under different oxygen concentrations by gray correlation method.

Keywords

Index Gas, Gray Correlation, Temperature Program, Variable Oxygen Concentration

不同氧浓度下煤自燃指标优选

田文雄¹, 周艺婷^{2*}

¹宁夏煤业公司羊场湾煤矿, 宁夏 银川

²华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山

Email: *zytdouer@163.com

收稿日期: 2020年7月2日; 录用日期: 2020年7月17日; 发布日期: 2020年7月24日

摘要

煤炭自燃常发生在井下采空区, 采空区最显著的特点是其“三带”氧浓度的不同。常见的预测预报煤自燃

*通讯作者。

燃方法主要为指标气体法, 为判断氧浓度对指标气体选择的影响, 实验设计17%、14%、12%、8%氧浓度环境进行煤的程序升温实验, 采用灰色关联度方法进行不同氧浓度下煤自燃指标优选。

关键词

指标气体, 灰色关联度, 程序升温, 变氧浓度

Copyright © 2020 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

矿井火灾是矿井五大灾害之一, 矿井火灾又分为外因火灾和内因火灾, 煤炭在外部氧气充足情况下, 通过自身的物理化学变化, 积聚热量, 当热量无法扩散并积聚到一定程度时就会引发煤炭自燃, 这是典型的煤矿内因火灾。因此研究煤炭自然发火规律, 建立煤自燃发火预测预报体系, 优化煤自燃发火指标可以有效预防矿井内因火灾的发生。

目前, 国内常用的预报方法主要为指标气体法, 其应用简单, 只通过检测 CO、CH₄、C₂H₄ 等气体出现温度点或其浓度变化就可进行该煤层的自燃预测预报[1] [2] [3] [4]。前期主要通过煤的程序升温实验获得各气体释放规律, 确定其变化趋势, 在实际应用过程中根据气体量判断煤体温度进行预测预报。

对于影响煤氧化升温实验中的气体释放规律的研究主要围绕煤种、粒径、通气气体成分等几个方面。李绪萍[5]通过热重实验取得的 TG-TSG 曲线将煤自燃阶段分为失水、氧化、燃烧三个阶段, 将其煤氧化阶段最大表观活化能作为煤自燃倾向性指标。朱建国[6]针对浸水煤进行了煤自燃预测预报指标气体研究。陈兴[7]研究煤粒径对氧化升温实验进程的影响, 煤粒径越小, 各气体生成量在干裂温度后涨幅越大。郝宇[8]对不同变质程度煤样进行程序升温, 探究其 CO 生成初始温度和生成量与煤样变质程度的关系。张九龄[9]对不同含水量煤样分别进行程序升温实验, 在增水量 1%~7% 范围内, 煤样 CO 产量增加。文虎[10]对不同粒径煤样通入不同空气流量进行程序升温实验。

前人对煤自燃研究主要围绕煤变质程度等几个方面, 对于模拟采空区变氧浓度环境的煤自燃气体释放规律研究较少, 因此为探究氧浓度对煤氧化升温过程中气体释放规律的影响与不同氧浓度下煤自燃指标的情况, 设计不用氧浓度下的煤的程序升温氧化实验, 确定其适用的指标气体。

2. 实验设计及实验过程

本实验采用自行设计的程序升温 - 气相色谱联用装置进行实验(图 1)。程序升温实验前进行煤的元素分析与工业分析, 确定其煤种及自燃倾向性。实验受煤样粒径、通入气体流量与升温速率的影响, 因此实验过程中确定通气条件。

本实验根据井下常见变氧浓度环境, 即采空区常用区分自燃“三带”和窒息带氧浓度设计实验氧浓度分别为 17%、14%、12%、8%。原煤样采用具有良好的自燃倾向性的低变质程度烟煤。其基础参数如表 1 所示。原煤样经过破碎, 筛分取粒径为 0.18~0.25 mm (60~80 目)分为四组 200 g 煤样, 每次实验取 80 g。将煤样放置在煤样罐内, 煤样罐放入升温氧化箱内, 检查气密性后通入气体, 流量为 100 ml/min, 升温速率为 0.3℃/min, 每 10℃进行一次气样采集并用气象色谱仪进行分析。

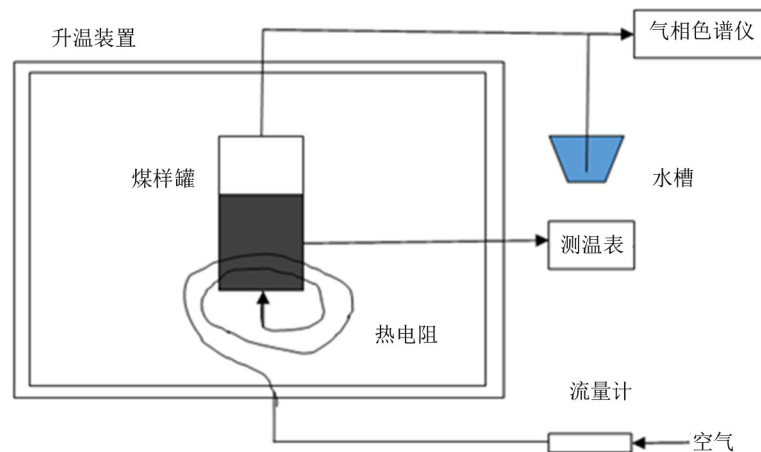


Figure 1. The program of temperature program
图 1. 程序升温装置图

3. 煤样基础参数

氢元素代表着煤的年轻程度,一般在煤的质量分数中占到 1%~6%,越是变质程度低的煤,其氢元素含量越多,该煤样氢元素含量较高,变质程度较低。林南仓矿中煤层中氢元素含量都相对较多,说明林南仓的煤层确实比较年轻,属于变质程度低的煤层。该煤样挥发分为 35.12%,属于高挥发分烟煤。煤的吸氧量与煤的自燃倾向性有关,煤样干燥无灰基挥发分大于 18%时自燃倾向性分类,该煤吸氧量 $0.40 < V_d \leq 0.70 \text{ cm}^3/\text{g}$,煤样自燃倾向性属于自燃,属于 II 类自燃倾向性。

Table 1. Basic parameter table
表 1. 基础参数表

元素分析	N%	C%	S%	H%
	0.81	57.49	0.456	4.227
工业分析	Mad%	Ad%	Vd%	Vd/(cm ³ /g)
	2.44	19.14	35.12	0.61

4. 指标气体释放规律

根据煤自燃氧化升温实验中不同气体的出现时间及浓度变化作为依据,确定煤自燃指标气体,并在煤自燃不同阶段采用不同标准,因此为确定指示煤自燃温度关联性最强的指标气体,采用灰色关联度分析法对煤在不同氧浓度条件下的各阶段指标气体进行分析。

不同氧浓度下煤程序升温实验 CO、CO₂ 释放量情况如图 2~3 所示,高氧浓度煤样更早进入剧烈氧化阶段,CO 与 CO₂ 生成速度明显高于低氧浓度。由图 2 可以看出在前期 CO₂ 释放量呈波动状态,因此 CO₂ 不适宜作为 100℃ 前指标气体。由图 4 可以看出, $\phi(\text{CO})/\phi(\text{CO}_2)$ 随温升呈现上升趋势,在氧气较为充足的三个组别中,氧浓度越低其比值数值越小。如图 5,不同氧浓度下出现 C₂H₄ 的温度分别为 95℃、100℃、100℃、120℃,氧浓度越高, C₂H₄ 出现越早,且随着温度升高释放量增加,高氧浓度组 C₂H₄ 释放速度明显快于低氧浓度组,因此 C₂H₄ 可作为指标气体。如图 6,检测到 C₃H₈ 的温度为 100℃ 以上,氧浓度越低,检测温度越高,且高氧浓度煤样实验中 C₃H₈ 释出量更多。因此高氧浓度条件下煤样更易进入剧烈煤氧复合反应阶段,其自燃性明显更强,但 17% 与 14% 氧浓度条件下煤样自燃过程区别不明显,因此推断氧浓度过高时,氧浓度对煤自燃影响不大。

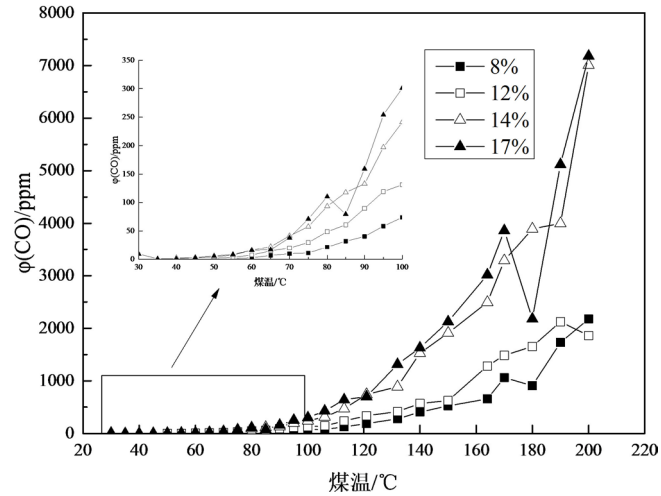


Figure 2. CO emissions
图 2. CO 释放量

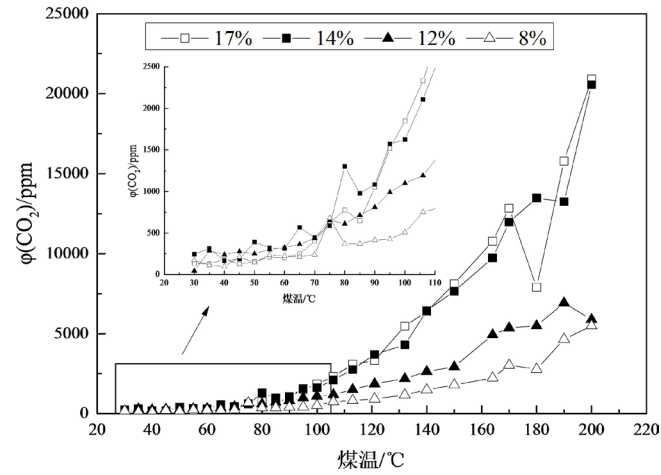


Figure 3. CO₂ emissions
图 3. CO₂ 释放量

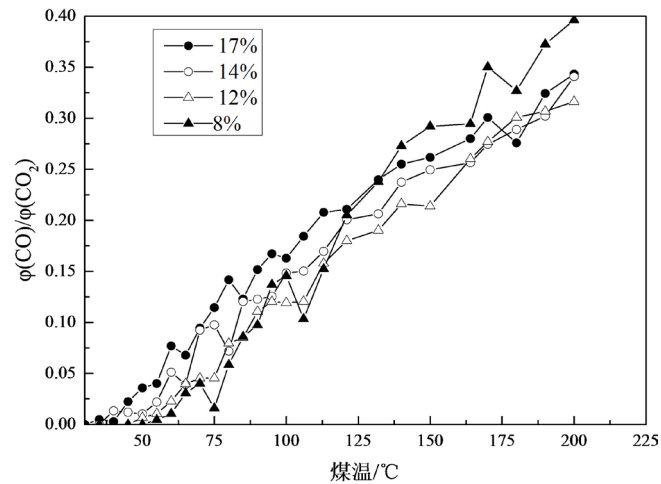


Figure 4. CO/CO₂ changes with temperature
图 4. CO/CO₂ 随温度变化图

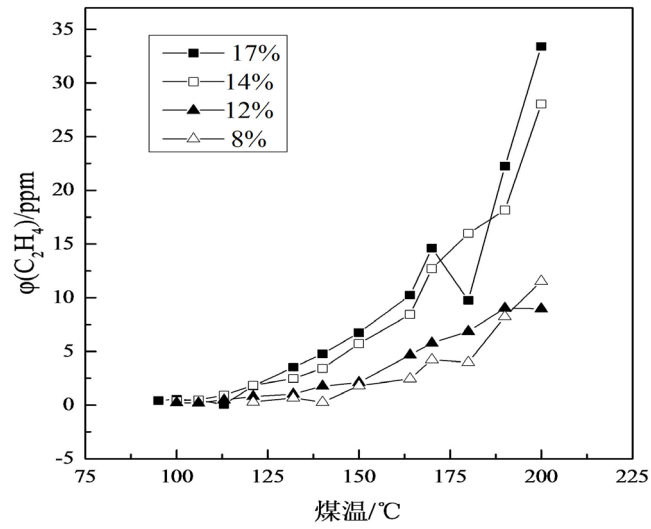


Figure 5. C₂H₄ changes with temperature
图 5. C₂H₄ 随温度变化图

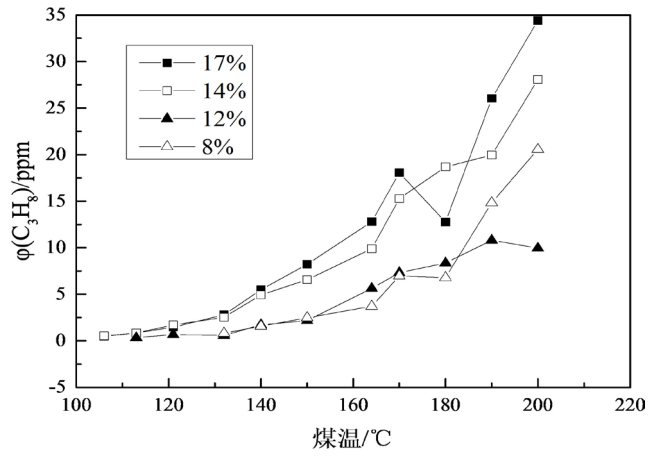


Figure 6. C₃H₈ graph with temperature
图 6. C₃H₈ 随温度变化图

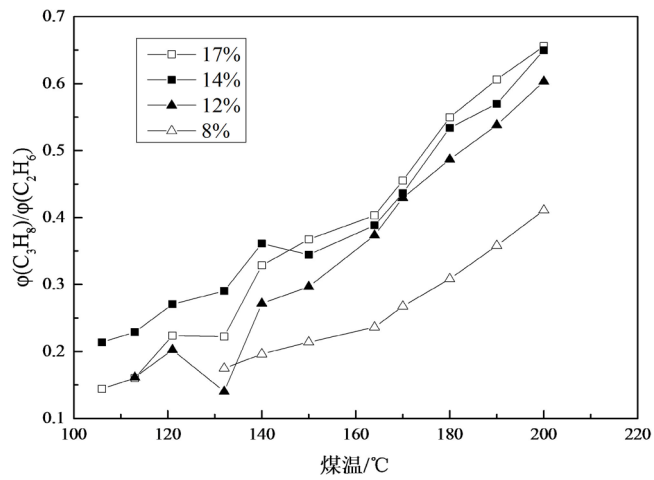


Figure 7. C₃H₈/C₂H₆ curve with temperature
图 7. C₃H₈/C₂H₆ 随温度变化曲线

如图 7, 在实验温度范围内, 各氧浓度煤样链烷比均呈现上升趋势, 其中“窒息带”氧浓度链烷比明显低于其他氧浓度组。100℃以后, 不同氧浓度组煤样生成气体量明显不同, 较高氧浓度条件下指标气体生成量明显多于低氧浓度。

5. 指标气体灰色关联度分析

将煤自燃氧化分为前期与后期, CO、CO/CO₂ 适用于整个温度范围, C₂H₄、C₃H₈、C₃H₈/C₂H₆ 适用于煤温 110℃后的预测预报。在煤自燃氧化后期, 气体指标增多, 且各指标之间的增长趋势不同, 为确定不同氧浓度下 110℃~200℃之间各指标气体关联度是否有变化, 采用灰色关联度分析方法计算后期自燃氧化温度与对应指标气体之间的关联度。参考特征序列即为温度(t), CO(X_1)、CO/CO₂(X_2)、C₂H₄(X_3)、C₃H₈(X_4)、C₃H₈/C₂H₆(X_5)为比较序列。选取温度作为参考特征序列 $t = \{110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200\}$ 。计算中采用初值化法进行无量纲分析, 分辨率系数为 0.5。最终得出关联度系数表如表 2 所示。

Table 2. Correlation coefficient table

表 2. 关联度系数表

氧浓度	CO	CO/CO ₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₈ /C ₂ H ₆
17%	0.92	0.99	0.66	0.71	0.96
14%	0.80	0.99	0.67	0.62	0.97
12%	0.83	0.99	0.70	0.61	0.94
8% (130℃~200℃)	0.84	0.84	0.71	0.65	0.97

在高氧浓度中, CO、CO/CO₂、C₃H₈/C₂H₆ 作为煤样在剧烈氧化阶段的煤自燃预测预报指标具有较好的关联性, 当氧浓度间少 CO/CO₂ 与 C₃H₈/C₂H₆ 关联性较好, 尤其是链烷比在模拟“窒息带”氧浓度组中关联度依旧维持在 0.95 以上, 因此在煤出现 C₃H₈ 与 C₂H₆ 后, 以链烷比作为煤自燃预测预报指标较为合适。

6. 结论

煤自燃过程中氧浓度是决定煤自燃速度的关键因素, 氧浓度越高, 其越易进入煤氧复合阶段, 但当氧浓度低到一定程度时, 煤自燃极难发生, 因此其对煤自燃的影响减弱。在煤的剧烈氧化阶段, 高氧浓度条件下各气体生成量更多, 其中 CO/CO₂ 与 C₃H₈/C₂H₆ 是煤自燃预测预报优选指标。在本实验条件下, 不同氧浓度不会影响煤自燃预测指标的选择。

参考文献

- [1] 赵欢欢, 朱令起, 胡立新, 孙昕彤, 李慧, 刘康, 乔健. 林南仓矿煤层自然发火指标气体优选[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 34-40+46.
- [2] 张升文. 某矿煤自燃程序升温实验研究[J]. 山西化工, 2019, 39(1): 10-13.
- [3] 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.
- [4] 曾海利. 阳湾沟煤矿自燃标志气体及其指标体系的实验研究[J]. 煤炭工程, 2012(11): 112-114.
- [5] 李绪萍, 贺李炜, 张金山, 陈映光, 闫晓宇. Starink 法在煤氧化自燃过程中的应用[J]. 煤炭技术, 2020, 39(4): 129-132.
- [6] 朱建国, 戴广龙, 唐明云, 叶庆树, 李鹏. 水浸长焰煤自燃预测预报指标气体试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(5): 89-94.
- [7] 陈兴, 余明高, 马智会, 滕飞, 晁江坤. 粒径对煤氧化升温进程影响的试验研究[J]. 河南理工大学学报(自然科

学版), 2019, 38(4): 25-31.

[8] 郝宇. 不同煤阶煤自燃特性的实验研究[J]. 煤矿安全, 2020, 51(6): 55-59.

[9] 张九零, 朱壮, 范酒源, 朱定, 刘春雨. 含水量对煤自燃特性的影响实验研究[J]. 煤矿安全, 2019, 50(7): 42-45.

[10] 文虎, 徐青峰, 王秋红, 李海涛. 空气流量对不同粒径煤样氧化升温影响实验研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(9): 137-141.