

Y型通风条件下工作面自燃“三带”划分与防治措施研究*

杨根发, 史东瑞, 吕永强

(华亭煤业集团有限责任公司东峡煤矿, 甘肃 华亭市 744100)

摘要: 针对随着开采深度的增加, 井下温度升高, 自燃倾向性等级较高的煤层采空区易发生火灾的问题, 以甘肃某矿 11091 回采工作面为研究背景, 通过现场实测分析发现, 随着工作面的不断推进, 二氧化碳浓度维持在 0.04%~0.29%, 甲烷浓度最终稳定在 2.7%~3.7%, 氧气呈明显下降趋势。当测点 1、测点 3 在工作面分别推进至 46.4 m、64.8 m 时, 氧气浓度依次降至 18%; 当工作面分别推进至 91 m、100 m 时, 测点 1、测点 3 氧气浓度依次降至 8%, 测点 3 后方采空区“三带”划分出现拖尾现象。综合分析, 最大自燃宽度在 36.2~44.6 m 之间, 出于安全考虑, 工作面安全推进速度应低于 0.52 m/d, 同时需要加强对工作面采空区自燃标志性气体的监测工作。

关键词: 采空区; 自燃“三带”; 现场监测; 火灾防控

0 引言

采空区遗留煤体与浮煤气体在满足一定供氧、蓄热条件下, 自发产生物理与化学变化, 从而导致火灾的发生。采空区自燃的发生地点难以确定, 且火灾导致的高温分布区域较大, 简单的防灭火措施难以起到良好的控制效果^[1-2]。采空区自燃“三带”分布规律为当前防灭火重点区域提供了重要的理论依据, 国内学者对自燃“三带”测定方法进行梳理, 以升温速度、氧气浓度、漏风风速三类指标作为判定标准^[3-4]。同时专家学者们对不同条件下采空区自燃“三带”的测定及其分布规律进行了大量研究。白铭波、付田田、桂小红、张清清等针对采煤工作面 U 型与 Y 型通风条件下采空区自燃“三带”的分布规律进行研究^[5-8]; 赵建波针对采空区自燃“三带”测定情况, 提出安全推进速度与相关防火技术措施。除此之外, 众多学者也对灭火措施、“三带”测定方法等进行了相关研究^[9-14]。

因煤层赋存条件有所差异, 其自燃“三带”分布规律也会随之变化, 本文以甘肃某矿 11091 工作面为研究背景, 对采空区自燃“三带”进行了现场测试, 采用现场埋管的方式, 现场抽取采空区内气体样品, 并通过理论分析以及数据整理分析得出了工作面采

空区的自然发火规律, 为制定具有针对性的防灭火技术方案提供了理论依据。

1 工程概况

矿区地形迭宕起伏、切割强烈, 属于构造侵蚀的低中山地貌。含煤地层一般出露标高为 +900 m 至 +1100 m, 呈较开阔的纵向谷或缓坡地形。矿井可采煤层共有 7 层, 自上而下分别是 1, 3, 4, 5, 7, 9, 15 号煤层, 均存在煤与瓦斯突出风险。当前开采工作面为 11091 工作面, 位于 9 号煤层, 通风方式为 Y 型通风, 煤层吸氧量为 0.62 cm³/g, 自燃倾向性等级为 II 类自燃煤层。工作面走向长度约 400 m, 倾向长度约 120 m, 因其采空区漏风通道更加复杂多变, 无法掌握采空区漏风量对自然发火规律的影响。相邻煤层 4 号、9 号、15 号煤层特征情况见表 1。

2 采空区自燃“三带”划分依据

采空区煤自燃“三带”分为散热带、氧化带和窒息带, 其分布范围与分布状态的精准预测是采空区自燃防治的重要基础。采空区氧气浓度可作为自燃“三带”划分的重要依据, 其浓度的变化直观反映采空区的漏风情况或遗留煤体的氧化环境。采空区自燃“三带”以氧气浓度划分的标准是: 散热带漏风充

* 收稿日期: 2023-03-28

作者简介: 杨根发(1986—), 男, 甘肃甘谷人, 工程师, 从事煤矿地质工作, E-mail: 1733836156@qq.com。

表 1 相邻煤层煤层 4 号、9 号、15 号煤层特征

煤层	最小~最大/平均		煤层倾角/ (°)	可采程度	稳定程度	自燃倾向 性等级	顶底板岩性	
	煤层厚度/m	煤层间距/m					顶板	底板
4 号	0.62~2.41/1.49	21.14~33.45/28.95	8~14	大部分可采	较稳定	II	细砂岩	泥岩
9 号	0.80~3.78/1.81	21.14~33.45/28.95	8~14	全区可采	较稳定	II	粉砂岩	泥岩
15 号	1.36~3.24/2.38	53.51~60.70/57.11	8~14	全区可采	较稳定	I	粉砂岩	泥岩

分,其氧气浓度大于 18%;自燃带的氧气浓度在 8%~18%之间;窒息带的氧气浓度小于 8%。自燃“三带”划分见图 1。

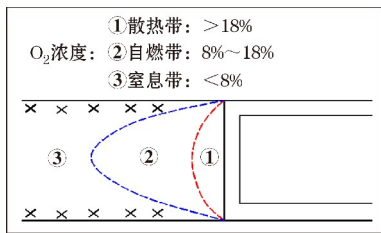


图 1 工作面自燃“三带”划分

3 测定方案与结果

3.1 采样点布置

本次观测先采用自动负压采样器对采空区内气样进行获取,抽取的气样由取样球胆承载送至地面进行色谱分析测试。测试分析的气体成分为:甲烷(CH_4)、氧气(O_2)、二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)。根据束管长度、孔径及自动负压采集器流量,对每根束管进行排气,10 min 后再进行取样,待采空区完全进入窒息带后,开始取样。现场采用局部布点法,于 11091 运输巷与回风巷内各布 2 个监测点,其中测点 1、测点 2 为运输巷监测点,测点 3、测点 4 为回风巷测点,后进行每日取样观测,为期 48 d,记录在册。此次分析主要以 1 号、3 号监测点数据进行分析,测点布置见图 2。

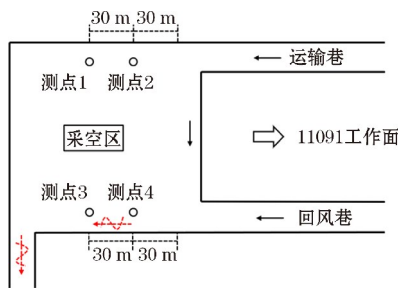
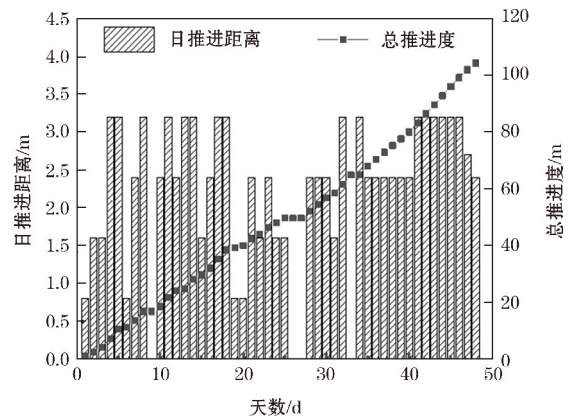


图 2 11091 工作面采空区测点布置

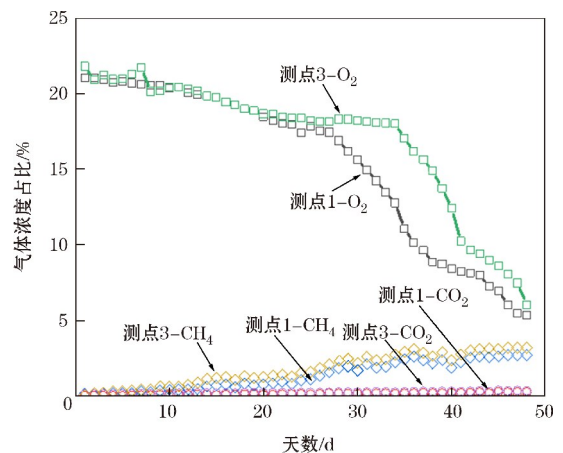
3.2 测试结果

图 3 为运输巷观测期间工作面推进情况与各气体组分浓度变化。由图 3 可以看出,工作面推进距

离为 0.8~3.2 m,平均约为 2.2 m,总体推进度为 104.3 m。由于推进度在发生变化,采空区气体样品也在不断变化。运输巷与回风巷所采的气样中 CO_2 与 CH_4 浓度变化呈同步增长趋势,其中二氧化碳浓度较低,且随着时间的增长,其浓度基本没有任何变化,维持在 0.04%~0.29%。甲烷浓度随天数的增加呈小幅度增长,其中前 10 d 变化不明显,15 d 开始明显增长,20 d 时甲烷浓度占比趋于稳定,最终稳定在 2.7%~3.7%,较测点 1 来看,测点 3 整体气体浓度占比变化幅度较大。随着时间的增长,氧气浓度变化幅度较大,呈明显的下降趋势,测



(a) 工作面推进情况



(b) 监测样品中各气体组分

图 3 运输巷观测期间工作面推进情况与各气体组分浓度变化

点1在23 d、43 d时氧气浓度分别降至18%与8%，而测点3在34 d、47 d时氧气浓度分别降至18%与8%，显然测点3下降趋势滞后于测点1，说明随着工作面的推进，采空区逐渐压实，氧气浓度逐渐降低，同时由于回风巷距离抽采管较近，加大了巷内漏风量，导致氧气浓度下降缓慢。

图4为氧气浓度随工作面推进的变化情况。由图4可以看出，运输巷氧气浓度随工作面的推进下降幅度较快，测点1气样中氧气浓度降幅最快区间在工作面推进60~75 m范围，而测点2气样中氧气浓度降幅最快区间在工作面推进65~82 m范围。当工作面推进至46.4 m时，测点1氧气浓度已经降至18%；当工作面推进至64.8 m时，测点3氧气浓度降至17.05%；当工作面推进至91 m时，测点1氧气浓度已经降至8%；当工作面推进至100 m时，测点3氧气浓度已经降至8%。综合分析可以看出：运输巷道中距测点1深46.4~91 m为自燃带区域，回风巷中距测点3深64.8~100 m为自燃带区域，回风巷中负压抽采增大了后方采空区的漏风现象，导致自燃带出现滞后现象。

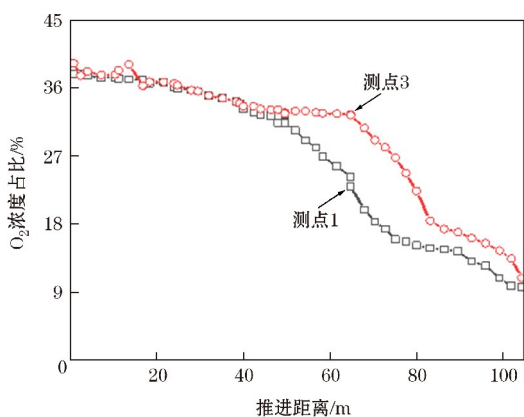


图4 氧气浓度随工作面推进的变化情况

图5为一氧化碳浓度随工作面推进的变化情况。由图5可以看出，运输巷中一氧化碳浓度变化总体呈先升后降的趋势，测点1进入到46.4 m左右时，开始迅速增加，最高达39.7%，进入到91 m后，开始迅速降低，最终降低至5.3%。回风巷中由于受抽采管的影响，整体一氧化碳浓度较低，在进入100 m前呈现整体缓慢上升趋势，最高浓度达28%，当超过100 m后，一氧化碳浓度迅速降低，最终浓度达5%。综合各气体组分浓度变化可以看出：氧气浓度与一氧化碳浓度对采空区自燃“三带”的划分有一定的数据支撑，自燃带氧气浓度范围在

8%~18%，在此区间浮煤氧化速度较快，导致一氧化碳浓度迅速增加。依据该矿11091工作面测点所测数据，分析得到采空区自燃“三带”范围，见表2。

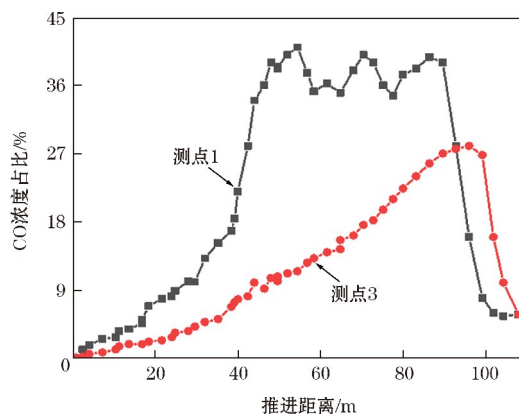


图5 一氧化碳浓度随工作面推进的变化情况

表2 实测条件下的采空区自燃“三带”的范围

位置 (距工作面)	自燃“三带”范围/m			最大自燃带 宽度/m
	散热带	自燃带	窒息带	
运输巷	<46.4	46.4~91	>91	44.6
回风巷	<64.8	64.8~100	>100	36.2

显然，回风巷的瓦斯抽采措施增加了回风巷侧后方采空区的漏风现象，停止抽采时，后方采空区难以进入窒息带，从而导致自燃“三带”的拖尾现象，影响防治措施的制定。因此在避免瓦斯防突的前提下，应合理布置抽采管的抽采范围，进而保证自燃“三带”稳定性。11091工作面自燃“三带”分布情况见图6。

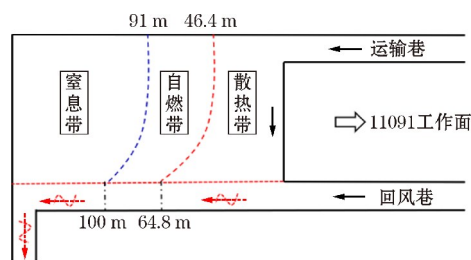


图6 11091工作面自燃“三带”分布情况

4 采空区自燃预控措施

4.1 安全推进速度

工作面的安全推进速度对采空区氧气浓度的变化有所影响，从而影响自燃带范围内浮煤的燃烧。依据自燃带最大宽度及其气体组分动态变化，确定工作面的安全推进速度。9号煤层最短发火期为70 d，自燃带最大宽度为36.2~44.6 m，正常条

件下的工作面安全推进速度,即:

$$V_{\min} = L_{\max} / \tau_{\min} \quad (1)$$

式中, V_{\min} 为工作面最小推进速度, m/d; L_{\max} 为煤自燃带最大宽度, 36.2~44.6 m; τ_{\min} 为浮煤最短自然发火期, 70 d。理论计算得出安全推进速度为 0.52~0.64 m/d。正常条件下, 工作面的推进速度大于临界值 0.52 m/d 时存在自然发火的风险; 当前 11091 工作面推进速度在 0.8~3.2 m/d, 远大于临界值, 存在自然发火的风险, 需加强监测并开展防灭火措施, 同时控制推进速度低于 0.52 m/d。

4.2 防灭火系统

在现有的防灭火措施与总体推进度的条件下, 采空区内浮煤自燃的可能性相对较低, 但日常仍需加强对工作面采空区自然发火标志性气体的监测预报工作, 防患于未然。目前国内煤矿防灭火主要包含注氮、灌浆、注凝胶防灭火三类^[15-16], 大致细分如下。

(1) 氮气可用于灭火和预防环节。国内煤矿常用井下固定式、移动式与地面固定式、移动式四类, 井下相对更具机动性, 且成本较低, 氮气输入效率更高, 因此设计常采用井下移动式制氮装置。

(2) 灌浆也可用于灭火和预防环节。其常用于正常回采期间的预防性灌浆。部分煤矿安装地面固定式灌浆防灭火系统, 系统包含螺杆输送、胶体制备、储存仓、输浆管网等部分。

(3) 凝胶材料具有冷却、堵塞、耐化学性能的特点, 可解决注水泄漏、灌浆泄漏等问题, 相关设备与材料放置较为方便, 适用于具有有限空间的井下条件。

5 结论

(1) 采取以氧气浓度作为采空区自燃“三带”的划分标准。由于推进度的变化, 采空区气体样品中氧气浓度也在不断变化, 测点 1 位置分别于 23 d、43 d 开始进入自燃带、窒息带, 测点 3 位置分别于 34 d、47 d 开始进入自燃带、窒息带。

(2) 随着工作面的不断推进, 二氧化碳浓度维持在 0.04%~0.29%, 甲烷浓度最终稳定在 2.7%~3.7%, 氧气的变化幅度较大, 随着工作面的推进呈下降趋势。当测点 1、测点 3 在工作面分别推进至 46.4 m、64.8 m 时, 氧气浓度依次降至 18%, 此时

采空区进入自燃带; 当工作面分别推进至 91 m、100 m 时, 测点 1、测点 3 氧气浓度依次降至 8%, 显然回风巷负压抽采增加了测点 3 后方采空区漏风, 出现拖尾现象, 最大自燃宽度在 36.2~44.6 m。

(3) 工作面的安全推进速度对采空区氧气浓度的变化有所影响, 通过理论计算得出工作面安全推进速度应低于 0.52 m/d。在现有的防灭火措施与总体推进度的条件下, 采空区内浮煤自燃的可能性相对较低, 但日常仍需加强对工作面采空区自然发火标志性气体的监测预报工作。

参考文献:

- [1] 侯树宏, 周艺婷. 实验模拟采空区煤自燃早期气体释放规律研究[J]. 煤炭技术, 2021, 40(3): 101-102.
- [2] 赵玉玲. 辛置煤矿 2-208 工作面采空区自燃三带分布规律实测分析[J]. 采矿技术, 2021, 21(1): 104-106.
- [3] 简俊常, 杨岩, 刘强, 等. 高地温矿井孤岛工作面漏风规律及煤自燃危险区域研究[J]. 煤炭技术, 2020, 39(12): 55-58.
- [4] 任梦莉. 三侧沿空孤岛工作面采空区瓦斯分布特性研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2020.
- [5] 白铭波, 蔡国斌, 高军伟, 等. 基于 FLUENT 数值模拟的综合采面采空区自燃“三带”研究[J]. 煤炭技术, 2020, 39(11): 143-146.
- [6] 付田田, 武光辉, 许永刚, 等. 易自燃特厚煤层分层开采工作面自燃“三带”划分及防治措施[J]. 煤矿安全, 2015, 46(3): 126-129.
- [7] 桂小红, 蔚世鹏. 综放工作面 Y 型通风方式下的采空区自燃“三带”研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(2): 49-53.
- [8] 张清清. Y 型通风抽采条件下采空区自燃“三带”研究[J]. 煤, 2023, 32(1): 57-60.
- [9] 赵建波, 赵学军, 赵文斌, 等. 瑞隆煤矿采煤工作面采空区自燃“三带”测定[J]. 煤炭科技, 2023, 44(1): 25-28.
- [10] 李东良. 综合防灭火技术在易自燃煤层综放回撤面的应用[J]. 采矿技术, 2010, 10(增刊 1): 111-112.
- [11] 司俊鸿, 王乙桥, 程根银, 等. 沿空留巷采空区煤自燃堵漏控风机制数值模拟研究[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(2): 40-45+51.
- [12] 杨燕. 某煤矿主采煤层自燃监测与防灭火技术研究[J]. 采矿技术, 2019, 19(4): 68-70.
- [13] 刘红威, 刘树锋, 陈黎明, 等. 切顶沿空留巷采空区自燃带分布特征及喷涂堵漏防灭火技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2022, 39(3): 624-633.
- [14] 李强. 官地矿 28412 工作面采空区综合防灭火技术[J]. 山东煤炭科技, 2021, 39(2): 99-101+114.
- [15] 代雪锋. 基于 Y 型通风综合防灭火技术的研究[J]. 能源与节能, 2020, 181(10): 150-151.
- [16] 高常华, 王成稳. 新河煤矿采空区自燃“三带”分布及防灭火技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(1): 116-118+128.