

望云煤矿 15106 综采工作面采空区“三带”划分及防灭火技术应用

邢奇凯

(山西兰花科技创业股份有限公司望云煤矿分公司)

摘 要:望云煤矿 15#煤为 II 级自燃煤层,为更好的对采空区采取有效的防灭火技术措施,杜绝采空区自燃发火,通过研究 15106 采空区的自然发火规律,圈划高温区域,通过数值模拟技术和 O_2 指标气体浓度场模型模拟,分化出 15106 采空区自燃发火“三带”,从而进一步改进了对应的防灭火技术措施,为 15106 综采工作面的正常回采提供了基本支持。

关键词:自燃煤层;三带;防灭火;阻化

1 望云煤矿 15106 综采工作面情况简述

望云煤矿 15#煤层煤尘无爆炸性,自燃发火倾向等级为 II 级,属自燃煤层,煤层自然发火期为 116 天。15106 工作面巷道布置“一面两巷”,即运输顺槽(进风顺槽)、回风顺槽。工作面运输顺槽、回风顺槽均为矩形断面,沿煤层倾向、顶板布置,采用“锚杆+金属网”联合支护,运输顺槽宽 5.0m,高 4.5m;回风顺槽宽 5.0m,高 4.5m;工作面推进长度 1070m,走向长度 180m,可采长度 937m。

2 15106 工作面煤样自然发火特征参数

2.1 煤的基础参数

通过实验室测定(本实验数据由中国矿业大学实验室提供,下同)煤的水分(M_{ad})1.216%、空气干燥基灰分(A_{ad})19.229%、空气干燥基挥发分(V_{ad})11.213%和干燥无灰基挥发分(V_{daf})14.095%、比热容为 $1.13 \text{ KJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 、导热系数为 $0.31 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。

2.2 煤低温氧化实验

通过测定不同粒径煤样在升温氧化过程中的出气口侧氧气浓度的变化,得出了煤样在升温氧化过程中的氧气消耗速率在 185°C 左右急剧升高,氧化放热强度也在 185°C 左右急剧升高,从而为采空区遗煤自然发火数值模拟提供参数。

2.3 最短自然发火期的实验测算

在流量为 500ml/min 的条件下,进行了相关测试,共计测试 3 组。测试完成后,按照煤的最短自然发火期数学解算模型测算 15 号煤样的最短自然发火期为 84 天(此数据仅为 15106 工作面煤样实验数据)。

2.4 不同阻化剂浓度下阻化剂效果实验分析

在流量为 100ml/min 的条件下,分别测试添加阻化剂浓度为 0%、10%、20% 的 3 组煤样的升温氧化情况,通过气体成份分析以及该实验流量条件下自然发火期的测算结果分别为 83 天、129 天、369 天。

3 工作面通风参数与漏风规律分析

3.1 工作面风量计算

将液压支架简化为前端和后端两部分,分别测

出每个部分的风速和面积,然后得出两个部分的风量,它们之和即为测点的风量,将工作面长度,每隔 9 架支架选择一个测点,这样既可避免工作面风速分布不均匀导致测风不准确的问题,同时也能更好地了解工作面的风流流动情况,计算结果如表 1 所示。

每个测点的风量可表示为:

$$Q=S_1v_1+S_2v_2$$

式中:Q—工作面风量,m³/s;

S1—前端面积, $S_1=H_1\times L_1$,m²;

v1—前端风速,m/s;

S2—后端面积, $S_2=H_2\times L_2\times 0.5$,m²;

v2—后端风速,m/s。

由图表可知,15106 工作面的风量先减小后增大,在工作面进风口和回风口附近变化较大,中间变

表 1 15106 工作面风量、漏风量及风温汇总

测 点	累计距离(m)	工作面风量 $Q(m^3\cdot min^{-1})$	漏风量(m^3/min)	风流温度($^{\circ}C$)
进风口	0	1589.13		16.1
1	10	1530.90	58.23	16.2
9	24	1479.67	51.23	16.4
18	39.75	1446.86	32.81	16.5
27	55.5	1422.45	24.41	16.5
36	71.25	1416.89	5.56	16.6
45	87	1413.72	3.17	16.8
54	102.75	1409.19	4.53	17.2
63	118.5	1411.84	-2.65	17.7
72	134.25	1416.74	-4.9	18.4
81	150	1440.48	-23.74	19.1
90	165.75	1467.77	-27.29	19.6
99	181.5	1508.30	-40.53	20.1
107	195.5	1554.88	-46.58	20.3
回风口	205.5	1578.96	-24.08	20.5

注:计算测点断面积的时候均已减去测量人员的断面积 0.4m²。

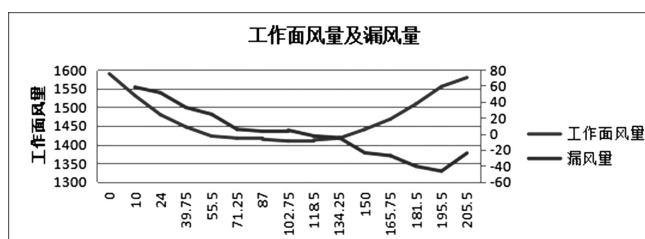


图1 15106工作面风量、漏风量曲线

化平缓。到某一点后漏到采空区的风流又流出汇合到总风量中,此后风量增加,总体呈U型的变化趋势。测定的工作面进风量为 $1589.13\text{m}^3/\text{min}$,回风顺槽风量为 $1578.96\text{m}^3/\text{min}$,两个数据相接近(差值仅为 $10.17\text{m}^3/\text{min}$),结果表明,测定15106工作面的风量是比较准确而可靠的。

3.2 工作面漏风规律

工作面漏风情况的主要方法是断面单元法:同样将工作面108架支架分成若干个单元,每9架为一个单元,测定每个进风断面测点和出风断面测点的风量,二者之差即为所在单元的漏风量,累计即可得到整个工作面的漏风情况。

为减小计算和测量误差,取漏入和漏出风量的平均值,计算得到15106工作面漏风量为 $57.65\text{m}^3/\text{min}$,占总风量($1589.13\text{m}^3/\text{min}$)的3.63%。

由图表可知,在靠近15106工作面进回两侧漏风量较多,采空区中部漏风量较少,从进风口漏入到采空区内部的风流最终流出汇入到回风流中,这与现场实际情况相符合。

3.3 工作面风温

从图表可以看出,风温在靠近进回风口的区域温度变化较大,而工作面中段温度变化较小。这是由于漏风主要集中在靠近进、回风处造成的,特别是靠近回风处,由于采空区内遗煤升温所加热的空气又回流到工作面引起靠近回风侧的工作面风温明显增大。

15106工作面进风口温度为 16.1°C ,回风口温度为 20.5°C ,进风温度低,回风温度高,最高温差 4.4°C 。

风温分布呈现出靠近进、回风口处温度变化较大,而工作面中段温度变化较小的趋势。这是由于漏风主要集中在靠近工作面的进、回风处。

4 采空区自燃“三带”划分及指标依据

4.1 15106工作面采空区自燃“三带”划分方案

目前采空区自燃“三带”的划分尚无具体的统一指标参数,按照《煤矿防灭火细则解读》,可通过以下三种划分方法:

(1)根据采空区漏风风速划分:这种方法主要通过实验室模型实验,模拟采场的实际条件来进行。而现场实际测定则由于采空区设点的困难,测量仪器精度,采空区风流方向的不可预见性等的影响而尚无法进行。根据国内外学者对采场漏风的研究认为采空区自燃“三带”的范围根据采空区风速划分一般为:

散热带的风速:大于 0.04m/s ($0.24\text{m}/\text{min}$);

氧化带的风速: $0.017\sim 0.04\text{m/s}$ ($0.1\text{m}/\text{min}\sim 0.24\text{m}/\text{min}$);

窒息带的风速:小于 0.016m/s ($0.1\text{m}/\text{min}$)。

虽然本次研究对工作面风量及漏风量进行了测定,也验证了风量计算和测定符合理论依据,但采空区漏风量和采空区空间范围等条件限制,故漏风量只能作为辅助依据,不能作为“三带”划分主要依据,下面设立以氧气浓度为指标的依据指标进行“三带”划分。

(2)根据氧气浓度划分:这是常用的现场实测方法,《煤矿防灭火细则解读》中推荐以临界氧浓度指标法,确定的煤自然发火的临界氧浓度划分为:

散热带氧气浓度:大于18%;

氧化带氧气浓度:5%~18%;

窒息带氧气浓度:小于5%。

(3)其实采空区的风速指标和氧气浓度指标实

质上是一致的,二者都是以采空区内漏风流情况为划分“三带”的依据。只是在采空区内测量漏风风速较难做到,按漏风速划分“三带”的标准通常用在理论数值上较多,而测量采空区内氧气浓度相对容易些,所以在实测分析中多通过测定采空区氧气浓度的大小,作为划分氧化自燃“三带”的依据。由于束管监测系统的应用,使之变的简便可行,通过采空区预设取样束管,结合气相色谱仪,对采空区气体成份进行监测分析,这是目前应用得最广泛的一种方法,也是最有效的实测方法。

(4)采空区自燃“三带”范围的测定,应采用合理的布置方法,对15106工作面的采空区自燃“三带”的划分采用氧气浓度指标进行判定。通过现场束管实测采空区的气体数据,确定氧浓度的变化规律。利用数值模拟软件分析采空区的氧浓度场分布特征,提取氧浓度数据综合分析15106工作面采空区自燃“三带”的分布特点。

如图2所示,在15106工作面进、回风隅角分别设置一个测点,随工作面的向前推进,两测点被逐渐埋入采空区,在工作面前方约100m处利用气泵抽取采空区两测点的气体后,在实验室对气体成分进行分析。

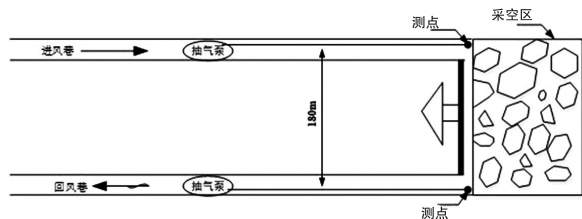


图2 15106工作面采空区自燃“三带”
测点布置示意图

测点观测探头布置方法如图2所示,测点内布置一根束管,为了防止采空区积水堵塞束管,加工短管,将测点抬高,短管和三通将每个测点的探头抬高一定高度,同时在探头外用留有孔的铁管罩住,以防挤压。采用 $\varphi 8$ 规格束管进行采气,穿入DN40钢管,

钢管作为保护套管。根据现场实际条件选取适合地点作为取气点。

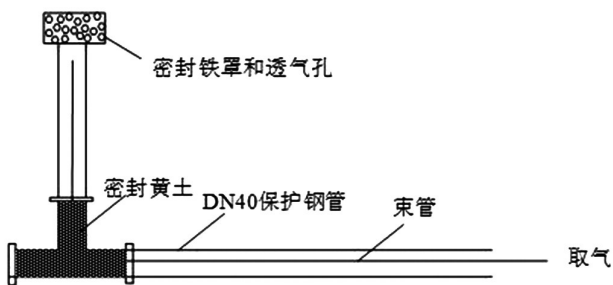


图3 15106工作面测点埋管观测探头布置示意图

4.2 15106工作面采空区自燃“三带”划分结果

4.2.1 15106工作面进风侧采空区氧气浓度分布规律

15106工作面进风侧预埋束管监测氧气浓度的变化如图4所示,其中氧气浓度随测点埋深的增加呈下降趋势。在进风隅角处,氧气浓度为20.85336%;当测点埋深在为19.2m时,氧气浓度为18.00359%;当测点埋深为74.4m时,氧气浓度为5.00742%。这里,以氧气浓度作为采空区自燃“三带”的划分指标,则进风侧的散热带范围为工作面后方0~19.2m的采空区,氧化带范围为19.2~74.4m的采空区,窒息带范围为74.4m以后的采空区。

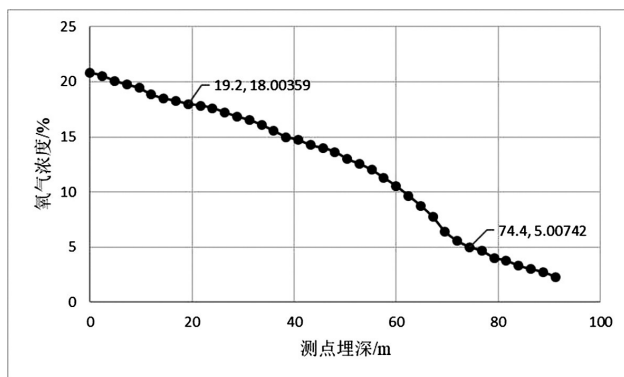


图4 进风侧采空区氧气浓度变化规律

4.2.2 15106工作面进风隅角氧气浓度分布规律

15106工作面回风侧预埋束管监测氧气浓度的

变化如图5所示,其中随着测点逐渐埋入采空区深部,氧气浓度下降明显。在回风隅角处,氧气浓度为20.27624%;当测点埋深为14.4m时,氧气浓度为18.01247%;当测点埋深为62.4m时,氧气浓度为4.98372%。这里,以氧气浓度作为采空区自燃“三带”划分指标,则回风侧散热带范围为工作面后方0~14.4m的采空区,氧化带范围为14.4~62.4m的采空区,窒息带范围为62.4m以后的采空区。

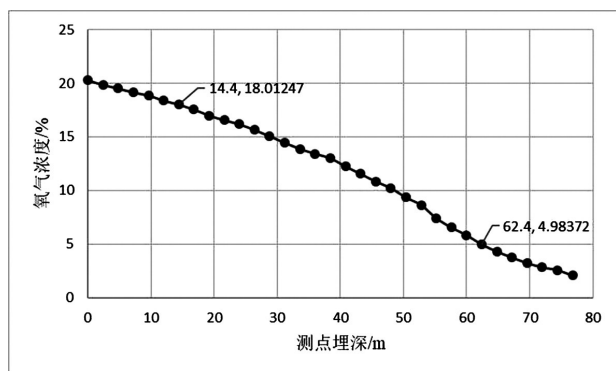


图5 回风侧采空区氧气浓度变化规律

在色谱分析过程中始终未检测到 C_2H_4 , C_2H_2 , C_3H_8 , C_4H_{10} 等气体,说明15106工作面采空区浮煤没有发生剧烈氧化升温,在该推进速度下发生自然发火的风险较低。

4.2.3 15106工作面采空区自燃“三带”实测划分结果

以氧气浓度作为划分指标,散热带:氧气浓度 $>18.0\%$;氧化带: $18.0\% \geq \text{氧气浓度} \geq 5.0\%$;窒息带:氧气浓度 $<5.0\%$ 作为依据,综合分析15106工作面采空区自燃“三带”范围如表2所示。

表2 15106工作面采空区自燃“三带”实测划分结果

氧气浓度/%	自燃“三带”	进风侧测点埋深/m	回风侧测点埋深/m
>18	散热带	0~19.2	0~14.4
5~18	氧化带	19.2~74.4	14.4~62.4
<5	窒息带	>74.4	>62.4

4.3 数值仿真结果

基于现场建立采空区物理模型并进行网格划分。根据15106工作面实际情况,在尽可能还原现场的基础上对模型进行简化,设置进、回风巷及工作面尺寸。构建坐标系时,选择底板与回风隅角相交处作为原点,工作面推进方向为X轴负方向,工作面风流方向为Y轴负方向,垂直于煤层向上为Z轴正方向。

利用中国矿业大学研发的氧浓度场的三维可视化仿真系统对氧浓度场的三维可视化仿真,结果如图6所示,其中选取采空区前100m的氧气浓度分布进行自燃“三带”辨识,如图7所示。

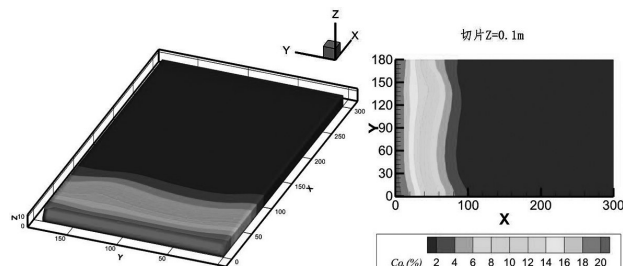


图6 15106工作面0~100m采空区氧气浓度分布平面图

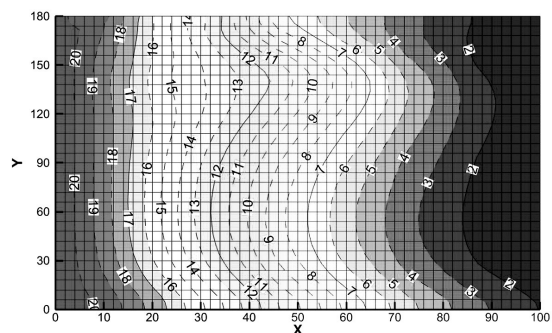


图7 15106工作面采空区氧气浓度分布平面图

对比分析工作面实际供风量下自燃“三带”分布的数值模拟与现场实际监测结果。在进风侧:模拟结果显示进入氧化带位置为18.4m,进入窒息带为74.8m,实际测得进入氧化带位置为19.2m,窒息带数据为74.4m;在回风侧:模拟结果显示进入氧化带

为 13.8m,进入窒息带为 60.2m,实际测得进入氧化带位置为 14.4m,窒息带数据为 62.4m。两者氧化带宽度比较相近,模拟结果比较可靠。数值模拟结果如表 3 所示。

表 3 15106 工作面采空区自燃
“三带”数值模拟划分结果

氧气浓度/%	自燃“三带”	进风侧/m	回风侧/m
>18	散热带	0~18.4	0~13.8
5~18	氧化带	18.4~74.8	13.8~60.2
<5	窒息带	>74.8	>60.2

4.4 综合判定采空区自燃“三带”

为了保证采空区自燃“三带”划分结果的准确性和合理性,综合实测与数值仿真结果,确定了最终的自燃“三带”划分结果,如表 4 所示。

表 4 15106 工作面采空区自燃
“三带”最终划分结果

氧气浓度/%	自燃“三带”	进风侧/m	回风侧/m
>18	散热带	0~18.4	0~13.8
5~18	氧化带	18.4~74.8	13.8~62.4
<5	窒息带	>74.8	>62.4

5 15106 工作面防灭火技术应用

以氧气浓度作为采空区自燃“三带”主要划分指标,利用现场实测和数值模拟相结合的方式,测定了 15106 工作面采空区自燃“三带”的分布规律,进风侧散热带分布范围为 0~18.4m,氧化带分布范围为

18.4~74.8m(氧化带的宽度约 56.4m),窒息带分布范围>74.8m;回风侧散热带分布范围为 0~13.8m,氧化带分布范围为 13.8~62.4m,窒息带分布范围>62.4m。根据最终确定的采空区自燃“三带”分布范围,计算了 15106 工作面的最小推进速度,其最小月推进速度为 20.14m。

同时通过对防灭火各类技术与材料优缺点进行比较后,最终确定了在工作面初末采期间进行黄泥灌浆,正常回采期间在工作面回风隅角布置束管,在上隅角、采空区设置束管探头,监测采空区日常氧化带的气体情况,每周人工抽气利用气相色谱仪进行采样气体检测,每日检修班在工作面喷洒阻化剂,综采面回采结束后及时封闭采空区等防灭火安全技术措施,为煤矿井下防灭火工作打下了坚实基础。

6 结语

本文通过对望云煤矿 15106 综采工作面煤样进行了自然发火参数测定,通过对工作面实际风量及漏风量进行测算及验证,同时以氧气浓度及用束管监测系统在采空区氧浓度进行测定,利用三维可视化仿真系统对氧浓度场的三维可视化仿真结果进行了氧浓度分布场的验证,最终确定了 15106 综采工作面采空区自燃“三带”,为确定工作面最小推进速度和各类防灭火安全技术措施提供了基础参数,保证了各类措施的行之有效,为矿井防灭火工作的开展奠定了基础。