

类比分析法在防灭火工程中的实践与应用

杨占山

山西朔州平鲁区应急局, 山西 朔州

Email: 844052102@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19日

摘要

针对后安煤矿90303工作面上隅角出现CO气体的实际情况,采取类比分析法分别对90303采空区遗留煤炭自燃情况、邻近的90302采空区以及902采区CO情况、强矿压作用下从大空间采场覆岩结构上分析4#煤层采空区CO对90303工作面影响情况进行了逐一分析。分析原因后并采取了针对性的治理对策收到了良好的治理效果,保证了矿井的安全生产。

关键词

类比分析法, 实践, 应用

Practice and Application of Analogy Analysis Method in Fire-Fighting Engineering

Zhanshan Yang

Emergency Bureau of Pinglu District, Shuozhou Shanxi

Email: 844052102@qq.com

Received: Dec. 11th, 2020; accepted: Jan. 11th, 2021; published: Jan. 19th, 2021

Abstract

Aiming at the actual situation of CO gas in the upper corner of 90303 working face in Houan Coal Mine, and according to the actual situation, analogy analysis was adopted to analyze the spontaneous combustion of coal remaining in the 90303 goaf, the adjacent 90302 goaf and the CO in the 902 mining area. Under the action of strong mine pressure, analyze the influence of CO on the 90303 working face in the 4[#] coal seam goaf from the overburden structure of the large space stope. After analyzing the reasons and adopting targeted treatment countermeasures, good treatment results have been received and the safe production of the mine is guaranteed.

文章引用: 杨占山. 类比分析法在防灭火工程中的实践与应用[J]. 矿山工程, 2021, 9(1): 22-30.

DOI: 10.12677/me.2021.91004

Keywords

Analogy Analysis, Practice, Application

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

煤矿火灾被认为是影响矿井安全生产的五大灾害之一[1]。煤矿如果不小心引起火灾,其火势一般较难控制,并且影响的范围也比较广泛,不仅会给煤炭资源造成一定的损失,打乱煤矿的正常生产部署,而且严重时还会引起瓦斯爆炸,并进一步使灾害的程度和范围扩大,对矿井的安全生产造成一定的危害[2]。

煤矿矿井火灾的危害

1) 产生大量有害气体。矿井火灾对人身体的危害主要是在火灾发展过程中产生大量的有毒有害气体。煤炭燃烧会产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、烟尘等[3]。另外,坑木、橡胶、聚氯乙烯制品的燃烧也会产生大量的一氧化碳、醇类、醛类及其他有机化合物。这些有毒有害气体随风流动,有时可能波及相当大的区域甚至整个矿井,从而伤及井下工作人员。据统计,在矿井火灾事故中遇难者 95% 以上是死于烟雾中毒[4]。

2) 在火源及近邻处产生高温[5]。矿井火灾发生时,火源及近邻处的温度通常达 1000℃ 以上,高温往往引燃附近的可燃物,使火灾范围迅速扩大。

3) 发生火灾后,可能形成火风压,造成井下风流紊乱,使灾区范围扩大,伤亡人数增加[6]。

4) 能够引起瓦斯、煤尘爆炸[7]。矿井火灾不仅提供了瓦斯、煤尘爆炸的引火热源,而且由于火的干馏作用使可燃物(如煤、木材)放出氢气、甲烷和其他多种碳氢化合物等爆炸性气体,同时火灾还可以使沉积的煤尘重新悬浮,从而引起瓦斯、煤尘爆炸事故。

5) 矿井火灾事故有的还烧毁生产设备和煤炭资源,甚至造成停产,造成巨大损失[8]。

重大煤矿火灾事故的发生,对我国的煤炭生产产生了较大的负面影响,也对我国煤炭企业的经济效益产生难以估量的影响[9]。因此,在矿井生成过程中要有效的加强煤矿火灾的防治工作,保证煤矿安全有效的进行生产,这就要求我们在煤矿的生产过程中熟知火灾的引起因素和一些必要的防治措施,尽量避免煤矿火灾的发生。目前国内外针对煤矿采煤工作面采空区煤炭自燃常用的防灭火方法有注氮防灭火、注浆防灭火、注凝胶防灭火、注阻化剂防灭火、注液态 CO₂ 防灭火、注液态氮气防灭火、均压通风防灭火、封闭火区等防灭火方法。一般情况下煤矿会根据自身地质条件、环境条件、煤层厚度、煤层倾角、回采工艺、设备、资金、人员素质等综合因素选择适合本矿实际的防灭火技术。

2. 矿井及工作面概况

2.1. 矿井概况

山西朔州平鲁区后安煤炭有限公司后安煤矿位于朔州市平鲁区东南约 14.5 公里陶村乡王高登村附近,行政隶属于平鲁区陶村乡管辖。井田面积 4.8336 平方公里,批准开采 4[#]煤层~11[#]煤层,现核定生产能力 500 万吨/年。井田采用斜井开拓方式,有主斜井、副斜井、行人斜井和回风立井四个井筒。矿井共设两

个开拓水平，一水平标高为+1135 m，开采井田范围内的4[#]煤层，二水平标高为+1072 m，开采9[#]煤层和11[#]煤层。矿井通风方式为中央分列式，通风方法为机械抽出式，主扇为2台FBCDZ-10-No30型对旋式轴流通风机，一台工作，一台备用，配备电机型号为YBF630S1-10，功率280 KW×2。矿井回采工作面采用全负压通风，掘进工作面采用压入式通风，矿井风量及各用风地点风量满足矿井生产需要，且通风系统正常运转。根据2019年瓦斯等级鉴定结果，矿井瓦斯绝对涌出量为2.95 m³/min，相对瓦斯涌出量为0.43 m³/t，属低瓦斯矿井。煤层自燃倾向等级均为II类，均属自燃煤层，自然发火期为83天，煤尘均有爆炸危险性。矿井采掘机械化程度100%。目前4[#]煤层布置1个综放工作面、1个掘进工作面，9[#]煤层布置1个综放工作面，5个掘进工作面。

2.2. 工作面概况

90303工作面位于井田东北部，东为90302采空区；西为90304备采工作面；南为903采区轨道、回风、胶运巷；北为矿界保安煤柱。对应上覆4号层8505、8507、北辅采空区，煤层厚度在12.80~14.05 m，平均煤厚13.2 m。

90303工作面所采煤层为9[#]煤，采用综采放顶煤走向长壁采煤方法开采，顶板管理采用全部垮落法，割底留顶煤，走向长度412.6 m，工作面长度173.2 m，工作面通风采用一进一回的U型负压通风方式，工作面需风量为1080 m³/min。

3. 问题的提出

90303综放工作面于2020年5月30日开始回采，截止到目前为止已经生产2个月，工作面推进长度251 m。2020年7月25日瓦斯检查员在工作面上隅角检查气体浓度时发现上隅角出现了CO气体，瓦斯检查员用多种气体测定管对上隅角CO浓度进行测定，气体浓度为11 ppm，用CO便携仪测定上隅角CO浓度为13 ppm。8月3日~5日瓦斯员对90303综采面上隅角传感器处、上隅角切顶柱处、后溜尾处、回风流4个取样点采集气样，通风区化验室对采集气样进行了化验分析，化验结果显示CO浓度在12~16 ppm范围内，无C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、等其它自燃标志气体。

4. 原因分析

4.1. 90303工作面上隅角出现CO的可能原因

1) 采空区遗留煤炭在氧气进入的情况下发生缓慢氧化发生阴燃，产生大量的CO气体，并随着风流涌入工作面上隅角。

2) 在90303工作面回采过程中采空区受矿压影响，导致90303采空区与相邻90302采空区、902采区的采空区相连通，最终相邻采空区内CO气体受通风负压影响涌入90303采空区，继而从90303上隅角涌出，导致90303上隅角出现CO气体。

3) 随着90303工作面推进，采空区顶板垮落，使对应地表塌陷或者出现裂缝，导致90303采空区与上覆4[#]煤层8505、8507采空区、北辅采空区及地表连通，形成漏风通道，造成上覆采空区内CO气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区，又从采空区向上隅角涌出。

4.2. 针对不同情况采用类比法具体原因分析

类比分析法的工作原理是利用与拟建项目类型相同的现有项目的设计资料或实测数据进行工程分析的方法。是工程分析常用的方法，也是定量结果较为准确的方法。但该方法要求时间长、工作量大。在评价时间允许、评价工作等级较高、又有可资参考的相同的或相似的现有工程时，应采用此法。采用此法时，应充分注意分析对象与类比对象之间的相似性，如：

1) 工程一般特性的相似性。包括建设项目的性质、建设规模、车间组成、产品结构、工艺路线、生产方法、原料、燃料来源与成分、用水量和设备类型等。

2) 污染物排放特性的相似性。包括污染物排放类型、浓度、强度与数量, 排放方式与去向, 以及污染方式与途径等。

类比法也常用单位产品的经验排污系数计算污染物排放量。但是采用此法必须注意, 一定要根据生产规模等工程特征和生产管理等实际情况进行必要的修正。

a) 针对采空区遗留煤炭自燃原因分析。

I) 运用类比法进行分析, 由于 90303 综放工作面与其相邻的 90302 工作面都是回采的 9#煤层, 所开采煤层的厚度、倾角、地质构造基本相同, 并且 90302 综放工作面切眼长度与 90303 综放工作面切眼长度一样也是 173.2 m, 同样都是采用的综采放顶煤回采工艺, 采空区都遗留了大量的煤炭, 因此具有很大的相似性和可比性。90302 综放工作面于 2020 年 5 月 18 日回采结束开始铺网回撤到 2020 年 7 月 4 日工作面回撤结束历时 46 天, 整个工作面在既没有回采并且又不断地通风的情况下采空区遗留煤炭未发生阴燃, 上隅角也未出现 CO 气体, 那么通过类比可知相同条件下 90303 工作面采空区遗留煤炭不可能发生阴燃。

II) 按采煤工作面采空区内浮煤自燃危险性的不同, 可将采空区划分为散热带、自燃带和窒息带。在采煤工作面推进过程中, 采空区自燃“三带”范围和宽度随采煤工作面漏风量、氧浓度、浮煤厚度和采空区温度等因素动态变化。

目前采空区自燃三带划分有三个指标: 漏风风速、氧气浓度、温升。划分如下:

① 散热带是指采空区漏风风速大于 0.24 m/min, 氧气体积浓度大于 18%, 温升 $\Delta T < 1^\circ\text{C}/\text{d}$ 且靠近工作面区域;

② 自燃带是指漏风风速在 0.10~0.24 m/min, 氧气体积浓度为 10%~18%, 温升 $\Delta T \geq 1^\circ\text{C}/\text{d}$ 的区间;

③ 窒息带是指漏风风速小于 0.10 m/min, 氧气体积浓度小于 10%, 温升 $\Delta T < 1^\circ\text{C}/\text{d}$ 的采空区压区。

重庆煤科院为后安煤矿 9#煤层采空区自燃三带的进行了具体划分, 后安煤矿 9#煤层的散热带为紧靠工作面 0~26 m, 自燃带为 26~105 m, 窒息带为支架后方采空区 105m 以里的空间。90303 综放工作面以每天 3.8 m 的速度向前不间断地推进来计算(即 $105 \div 3.8 = 27.6$ 天, 取整为 28 天), 则工作面连续推进 28 天即可将采空区遗留煤炭甩进采空区的窒息带。9#煤层的自然发火期为 83 天, 所以采空区遗留煤炭在远远小于自然发火期(83 天)的时间内就进入了采空区的窒息带(即进入窒息带时间为 28 天), 根本来不及自燃就已经被甩入窒息带, 所以可以排除本煤层采空区自燃的情况。

III) 如表 1 所示, 为 90303 工作面上隅角 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日 CO、CO₂、O₂ 气体浓度观测情况一览表。

Table 1. 90303 List of corner gas conditions on working surface

表 1. 90303 工作面上隅角气体情况一览表

观测日期	观测地点	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
2020.08.01 (10 点)	上隅角	15	1.7	17
2020.08.02 (15:20 分)	上隅角	18	1.32	15
2020.08.03 (10:20 分)	上隅角	14	1.2	16
2020.08.04 (10:20 分)	上隅角	16	1.3	15.8
2020.08.05 (10:30 分)	上隅角	12	1.04	17
2020.08.06 (15:30 分)	上隅角	19	1.42	15.7

Continued

2020.08.07 (9:20 分)	上隅角	28	1.8	14.3
2020.08.08 (9:30 分)	上隅角	19	1.52	14.8
2020.08.09 (9:30 分)	上隅角	14	1.24	16
2020.08.10 (9:30 分)	上隅角	17	1.29	15.4
2020.08.11 (9:30 分)	上隅角	14	1.53	16.3
2020.08.12 (10:30 分)	上隅角	25	1.47	15.9
2020.08.13 (23:30 分)	上隅角	17	1.49	15.7
2020.08.14 (9:30 分)	上隅角	19	1.63	15.3

图 1、图 2、图 3 分别为 90303 工作面上隅角 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日 CO、CO₂、O₂ 浓度变化趋势图，其中横坐标代表从 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日的观测日期，纵坐标分别代表 CO、CO₂、O₂ 的浓度，由图 1 可知 CO 浓度最高点在 28 ppm，最低点为 12 ppm，平均值在 16 ppm 左右，但是总体趋势未出现快速上升趋势，这与采空区遗留煤炭发生自燃的规律不相符合，一般情况下如果采空区煤炭出现自燃现象，工作面的上隅角及回风顺槽的 CO 浓度会在短时间内呈现快速增长之势，最后出现烟雾和明火，但是在将近半个月的观察期内并未发现 CO 浓度快速增长，因此也可以排除采空区煤炭自燃的可能性。另外由图 2、图 3 分析可知 CO₂ 浓度始终 1.5% 左右，而 O₂ 浓度 15.5% 左右，明显低于 18% 的标准

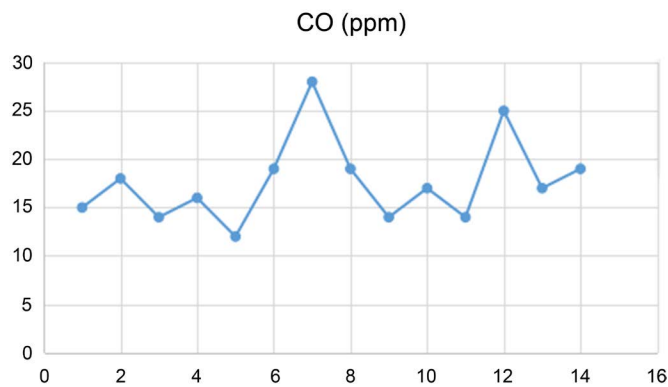


Figure 1. The trend of CO concentration in the corners of the 90303 working surface
图 1. 90303 工作面上隅角 CO 浓度变化趋势图

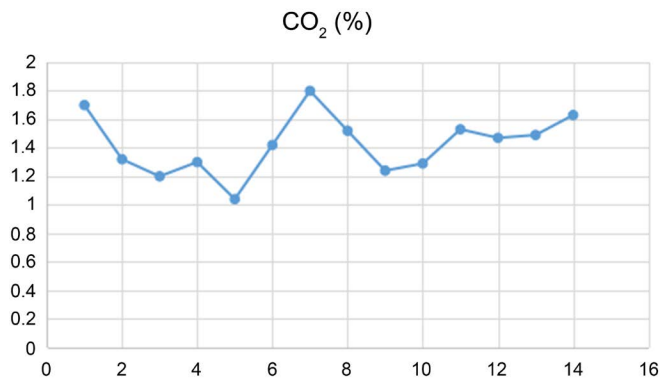


Figure 2. The trend of CO₂ concentration change in the corner of 90303 working surface
图 2. 90303 工作面上隅角 CO₂ 浓度变化趋势图

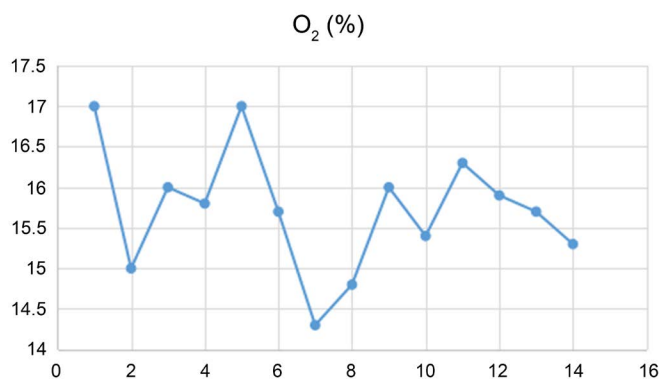


Figure 3. The trend of O_2 concentration change in the upper corner of 90303 working surface
图 3. 90303 工作面上隅角 O_2 浓度变化趋势图

要求。工作人员在工作面上隅角工作有可能存在缺氧造成窒息的危险，因此上隅角是重点防范的区域。

综上所述，基本上可以排除本工作面采空区遗留煤炭自燃的可能性。

b) 针对在 90303 综采工作面回采过程中相邻 90302 采空区、902 采区的采空区涌入 CO 气体的原因分析。

1) 表 2 是后安煤矿 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日利用束管检测系统对 90201 胶运顺槽密闭内的 CO、CO₂、O₂ 的气体浓度进行观测情况的一览表。902 采区其他采空区均为发现 CO 气体，因此在此不予考虑。

Table 2. List of gas conditions in the airtight groove of 90201 glue transportation

表 2. 90201 胶运顺槽密闭内气体情况一览表

观测日期	观测地点	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
2020.08.01	胶运顺槽密闭内	18	3.08	9.9
2020.08.02	胶运顺槽密闭内	11	2.0	5.96
2020.08.03	胶运顺槽密闭内	5	2.7	5.5
2020.08.04	胶运顺槽密闭内	3	2.9	5.7
2020.08.05	胶运顺槽密闭内	0	2.5	5.9
2020.08.06	胶运顺槽密闭内	8	2.48	4.85
2020.08.07	胶运顺槽密闭内	7	2.04	3.98
2020.08.08	胶运顺槽密闭内	4	1.96	3.5
2020.08.09	胶运顺槽密闭内	5	1.87	2.76
2020.08.10	胶运顺槽密闭内	5	1.79	2.79
2020.08.11	胶运顺槽密闭内	4	1.76	2.81
2020.08.12	胶运顺槽密闭内	3	1.8	2.9
2020.08.13	胶运顺槽密闭内	6	1.92	2.35
2020.08.14	胶运顺槽密闭内	0	1.67	2.73

图 4、图 5、图 6 分别为 90201 胶运顺槽 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日 CO、CO₂、O₂ 浓度变化趋势图，其中横坐标代表从 2020 年 8 月 1 日至 8 月 14 日的观测日期，纵坐标分别代表 CO、CO₂、O₂ 的浓度，由图 4 可知 CO 浓度最高点在 18 ppm，最低点为 0 ppm，平均值在 5 ppm 左右，由此可见 90201 胶运顺槽的 CO 浓度远远低于 90303 工作面上隅角的 CO 浓度，一般来说气体运动规律是从高浓度区域向低浓

度区域流动, 比较图 1 和图 4 可以发现 90201 胶运顺槽密闭内的 CO 浓度远远小于 90303 工作面上隅角 CO 的浓度, 因此可以推断出 90303 工作面上隅角的 CO 不可能是从 90201 采空区涌入。另外另外由图 5、图 6 分析可知 CO₂ 浓度始终 2.4% 左右, 而 O₂ 浓度 5.7% 左右, 对 90303 工作面上隅角的 CO₂、O₂ 有一定影响, 由于 90201 采空区注入大量 N₂, 极有可能是 90201 采空区的 N₂ 和部分 CO₂ 气体涌入到 90303 工作面上隅角, 从而导致 90303 工作面上隅角的 O₂ 浓度下降, CO₂ 的浓度有一定的升高。

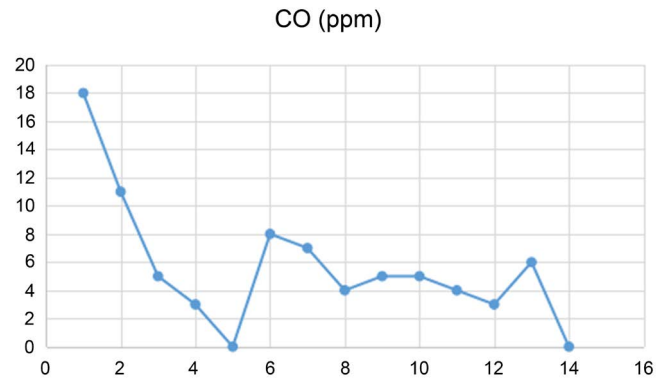


Figure 4. CO concentration change trend diagram in the airtight groove of 90201 glue transportation
图 4. 90201 胶运顺槽密闭内 CO 浓度变化趋势图

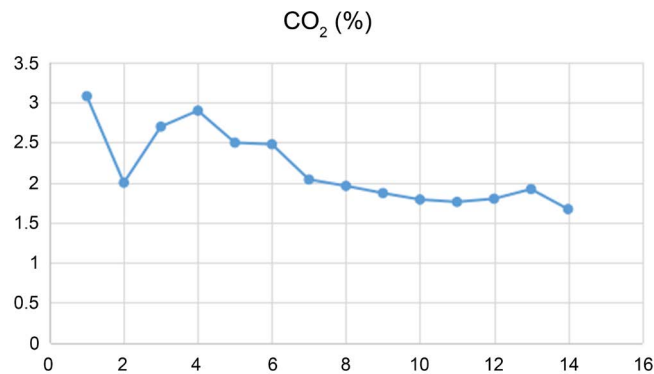


Figure 5. CO₂ concentration change trend diagram in the closed groove of 90201 glue transportation
图 5. 90201 胶运顺槽密闭内 CO₂ 浓度变化趋势图

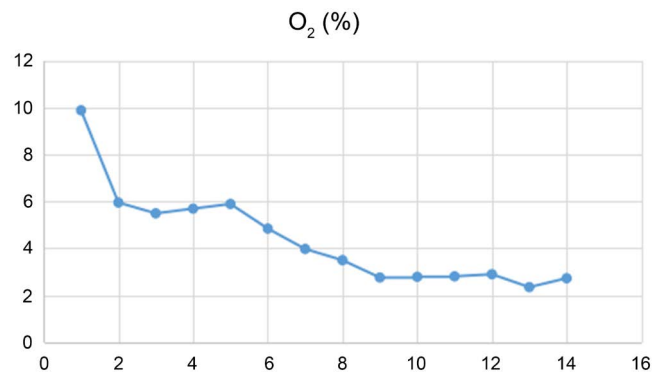


Figure 6. The O₂ concentration change trend diagram in the closed groove of 90201 glue transportation
图 6. 90201 胶运顺槽密闭内 O₂ 浓度变化趋势图

II) 90302 采空区的气体情况, 根据瓦斯检查员对密闭内 CO 气体观测发现尽管有一定 CO 气体存在,

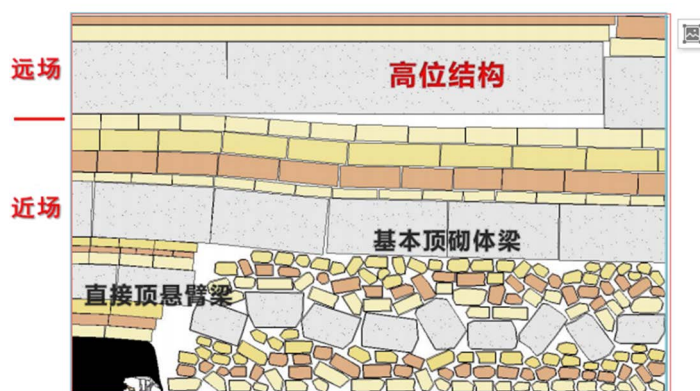
但是平均浓度在 7 ppm 左右, 因此根据气体运动规律是从高浓度区域向低浓度区域流动的原理可以排除从 90302 采空区涌入 90303 工作面上隅角的可能性。

综上所述, 基本上可以排除从相邻的 90302 采空区和 902 采区的采空区涌入的可能性。

c) 针对从地表和上覆 4[#]煤层 8505、8507 采空区、北辅采空区内 CO 气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区, 又从采空区向上隅角涌出的原因分析。

I) 利用数学上的排除法可以分析, 既然排除了前两种情况的可能性, 那么 90303 工作面上隅角 CO 增大的原因必然是从上覆的 4[#]煤层 8505、8507 采空区、北辅采空区内 CO 气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区, 又从采空区向上隅角涌出。

II) 90303 综放工作面上覆岩层有炭质泥岩、中细粒砂岩, 并且距离 4[#]煤层平均间距 46 m, 而且 4[#]煤层上覆岩层为中粒砂岩, 属于坚硬顶板管理类型。根据大尺度原位连续监测技术研究成果, 即大空间覆岩“悬臂梁+砌体梁+高位结构”特征, 从大空间采场覆岩结构出发建立力学模型如图 7 所示, 揭示了远近场结构失稳的矿压作用机理, 为岩层控制提供了理论依据, 同时也为 90303 工作面上隅角 CO 增大的原因必然是从上覆的 4[#]煤层 8505、8507 采空区、北辅采空区内 CO 气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区, 又从采空区向上隅角涌出提供了科学依据。



大空间远近场覆岩结构特征

Figure 7. Large space far and near field overlying rock structure mechanical characteristics model diagram
图 7. 大空间远近场覆岩结构力学特征模型图

由图 7 大空间采场覆岩结构出发建立力学模型可以分析出来, 在近场“悬臂梁+砌体梁”结构破断呈现大小周期复合矿压, 小周期在 12~20 m 范围内, 大周期在 30~60 m 范围内, 作用于工作面煤壁和支架上; 而远场覆岩失稳影响范围广, 超前影响范围 100 m, 采空区滞后影响范围 160~200 m, 矿压作用强度大, 引发强矿压。而 90303 综放工作面于 2020 年 5 月 30 日开始回采, 截止到目前为止已经生产 2 个月, 工作面推进长度 251 m, 正好是在出现强矿压之后的这个阶段, 此时在强矿压的作用下地表至 4[#]煤层采空区、90303 采空区之间会出现大量的裂隙, 使对应地表塌陷或者出现裂缝, 导致 90303 采空区与上覆 4[#]煤层 8505、8507 采空区、北辅采空区及地表连通, 形成漏风通道, 造成上覆采空区内 CO 气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区, 又从采空区向上隅角涌出。

5. 治理对策

1) 综合办、地测科、通风区加强地面塌陷检查巡视, 安排相关人员用黄土对地面塌陷、裂缝及时进行回填, 从源头上杜绝地面塌陷区向老空区漏风。

2) 加强采面上隅角及其回风流中 CO 及其它有毒有害气体检测检查。瓦斯员每班必须测定工作面上隅角及其回风流中的 CO 及其它有毒有害气体浓度, 并及时向通风调度室汇报。

3) 综采队跟班队长、班组长、放煤工、探水队施工负责人及其他工作的负责人在 90303 工作面上隅角及轨道顺槽进行施工作业时必须佩戴便携式 CO、O₂ 检测仪, 并严格按照要求吊挂上隅角监控传感器, 综采队每班必须指定专人负责管理。支架工每次在机尾处拉架、放煤时, 瓦斯员必须检测 O₂ 及 CO 浓度及其他有害气体, 若气体浓度超限, 严禁作业, 采取措施进行处理。

4) 综采队当班班组长按要求在工作面上隅角、回风流中悬挂多功能气体检测报警仪。

5) 90303 综采面安全员负责机尾处过往人员的看护, 严禁人员在机尾处、上隅角逗留、休息。

6) 根据采煤工作面实际情况及时调整采面支架, 加强工作面支护质量管理, 及时清理工作面上下两巷的杂物, 减少巷道的通风阻力。

7) 工作面保持后溜机尾处与上隅角处畅通, 工作面人员清理后溜浮煤时, 瓦斯员必须先检测 CO 及氧气浓度, 确认安全后方可进行正常作业, 作业时不得少于 2 人, 二人并保持一定距离, 瓦斯检查员和安全员负责现场监督检查。

8) 采煤工作面必须加快推进速度, 使采煤工作面上部顶煤充分垮落, 如顶煤垮落不充分, 必须采取顶煤强制垮落。

9) 对工作面的风量进行合理分配, 在工作面支架到煤柱间设置风障, 使风流大部分经过后溜子道和工作面上隅角通过, 稀释和冲淡上隅角有害气体浓度。

10) 在 90303 采面上隅角安设射水器, 稀释和冲淡上隅角有害气体浓度。

11) 将挡风布帘悬挂到合适的位置, 引导风流进入上隅角稀释和冲淡上隅角有害气体浓度。

6. 结论

经过上面的系统分析可知 90303 上隅角 CO 增大的原因是由于在强矿压的作用下地表至 4[#]煤层采空区、90303 采空区之间会出现大量的裂隙, 使对应地表塌陷或者出现裂缝, 导致 90303 采空区与上覆 4[#]煤层 8505、8507 采空区、北辅采空区及地表连通, 形成漏风通道, 造成上覆采空区内 CO 气体在通风负压的作用下涌入到本煤层采空区, 又从采空区向上隅角涌出。因此必须针对这种情况采取有针对性的措施方可解决 90303 上隅角 CO 增大的技术难题, 收到有的放矢、事半功倍的效果, 通过技术分析并采取了有效的治理对策后 90303 上隅角的 CO 浓度从 12~16 ppm 降至 3~5 ppm, 确保了工作面安全、高效地回采。

参考文献

- [1] 徐精彩, 薛韩玲, 文虎, 李莉. 煤氧复合热效应的影响因素分析[J]. 中国安全科学学报, 2001, 11(2): 31-36.
- [2] 岑可法, 姚强, 骆仲泱, 等. 燃烧理论与污染控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 刘景书. 易自燃厚煤层综放工作面采空区自燃灭火技术[J]. 煤炭技术, 2009, 28(1): 105-106.
- [4] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [5] 常鸿, 周连春, 等. 采煤工作面回撤期间防治有害气体超限技术研究[J]. 煤矿机电, 2011(8): 19.
- [6] 史波波. 煤矿液氮防灭火技术应用及发展趋势[J]. 煤矿安全, 2014, 45(10): 154-157.
- [7] 文虎, 赵庆贤, 马砺, 等. 运河矿 1303 综放面煤层自燃灭火启封技术[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(4): 37-39.
- [8] 段春生, 雷炎云, 李世雄, 等. 不同风量下采空区自燃三带判定及防灭火技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 62-65.
- [9] 刘松, 蒋曙光, 王东江, 等. 采空区自燃“三带”变化规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(4): 69-73.