

SF₆ 示踪气体在快速密闭漏风检测中的应用

Application of Detection Technology Through SF₆ Tracer Gas in Air Leakage Passage

杨征¹ 张建忠² 谢永利¹ 蒋上荣² 陈真¹ 王江龙¹

Zheng Yang¹ Jianzhong Zhang² Yongli Xie¹ Shangrong Jiang² Zhen Chen¹ Jianglong Wang¹

1. 陕西小保当矿业有限公司 中国·陕西 榆林 719302

2. 陕西煤业化工技术研究院有限责任公司 中国·陕西 西安 710000

1. Shaanxi Xiaobaodang Mining Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719302, China

2. Shaanxi Coal and Chemical Technology Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

摘要: 煤矿井下密闭墙的气密性对于防治采空区自然发火具有十分重要的意义,为了检测煤矿井下综采工作面辅运顺槽联巷柔模泵送混凝土快速密闭的密闭性能,以陕西小保当矿业有限公司一号煤矿的综采工作面辅运顺槽联巷快速密闭为研究背景,以该矿 112207 综采工作面 14 号、15 号顺槽联巷快速密闭为研究对象,采用 SF₆ 示踪气体技术分析该工作面辅运顺槽 14 号、15 号联巷快速密闭不存在漏风现象,气密性良好,杜绝了采空区自然发火隐患,为现代化矿井的安全高效生产提供了有力保障。

Abstract: The air tightness of underground sealing wall in coal mine is of great significance for the prevention and control of spontaneous combustion in goaf, in order to test the sealing performance of flexible formwork pumped concrete in the auxiliary transportation chute joint roadway of fully mechanized mining working face in coal mine, taking the rapid sealing of the comprehensive mining working face of the No.1 coal mine of Shaanxi Xiaobaodang Mining Co., Ltd. as the research background, taking the fast sealing of 14# and 15# combined roadway in 112207 fully mechanized mining working face of the mine as the research object, the SF₆ tracer gas technology is used to analyze that there is no air leakage in the fast sealing of 14# and 15# combined roadway in the auxiliary transportation of the working face, the air tightness is good, the hidden danger of natural ignition in the goaf is eliminated, and a strong guarantee is provided for the safe and efficient production of modern mine.

关键词: 工作面; 顺槽联巷; 快速密闭; SF₆ 示踪气体

Keywords: working face; combined roadway; rapid sealing; SF₆ tracer gas

DOI: 10.12346/etr.v4i1.5164

1 引言

煤炭资源是不可再生能源,是中国能源布局的基石,煤炭开采在明代著名科学家宋应星所著的《天工开物》里就有详细记载,煤炭资源自古以来就是中国能源结构的主要组成部分,在今后相当长时期内仍将作为中国的能源主体。随着国民经济的快速发展,中国对煤炭资源仍保持高需求、高消费,煤矿开采技术及装备也随之推陈出新,现代化煤矿生产能力进一步增强的同时,掘进和回采工艺的改进也给矿井密闭工作带了新的问题和挑战^[1,2]。

陕西小保当矿业公司一号煤矿位于中国陕北榆神矿区中

心地带,主采煤层 2² 煤为全区最厚的煤层,平均厚度 6.1m,平均倾角 1°,平均埋深 313~400m。与大多数现代化井工煤矿一样,该矿工作面胶运顺槽与辅运顺槽采用连采机双巷掘进,两巷之间联巷较为密集(平均每 100m 就有一个),目前该矿的综采工作面辅运顺槽联巷封闭采用两堵砖混墙厚均为 1m,中间充填黄土厚 3m;外墙距辅运顺槽 5m。因此,生产过程中需要及时封闭,工人劳动强度高、工作量大,且封闭质量难以保证,容易造成采空区大面积相互连通,导致遗煤自燃;为了提高工作面永久密闭的质量,防止向采空区漏风,采用 1.5m 厚的柔模泵送混凝土快速密闭替代了的“1m 混

【作者简介】杨征(1984-),男,中国陕西神木人,工程师,从事矿井安全生产管理研究。

凝土墙+3m黄土+1m砖墙”传统密闭。一般为了准确检测快速密闭墙的密闭性,防止采空区漏风,导致采空区遗煤自然发火,一般采用漏风检测,通常用的漏风检测方法有风表检测法和示踪气体检测法,风表检测时易受巷道构筑材料及断面形状的影响,造成检测误差较大,还有对于采空区、密闭墙封闭等空间人员不便进入检测,漏风检测普遍使用示踪气体检测^[3,4],论文采用SF₆示踪气体对陕西小保当矿业有限公司一号煤矿112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联络巷快速密闭进行漏风检测。

2 SF₆ 示踪气体漏风检测原理

采用示踪技术测量矿井风量的基本原理为示踪气体质量守恒方程。示踪气体释放后与巷内空气迅速而充分混合,巷道内空气密度不发生变化;假如巷道风量一定,那么在一定时间后,接收点的示踪气体浓度将为1个常数。连续恒量释放法就是在某一段测试巷道进风风流中,恒定连续释放SF₆气体,然后分别在所测巷道的下风流方向设置的采样点收集气体。若沿途各测点风流中的SF₆气体浓度恒定不变,则表明沿途向外漏风或不漏风;若沿途各测点风流中气体浓度呈下降趋势,则表明有漏风涌入,通过分析,求得沿途漏风量,从而找出漏风规律^[5-7]。示踪气体的释放速率为 q ,假定采样时示踪气体已与空气充分均匀混合,通过某一采样点A的风量为 Q_A ,示踪气体的浓度为 C_A ,沿途有风流漏入,下一采样点B的风量为 Q_B ,SF₆的浓度为 C_B ,则这两个点之间的漏风量 ΔQ 为:

$$\Delta Q = Q_B - Q_A = \frac{q}{C_B} - \frac{q}{C_A}$$

设漏风率为 $K(\%)$:

$$K = \frac{Q_B - Q_A}{Q_B} \times 100 = \frac{\Delta Q}{Q_B} \times 100$$

$$K = \frac{C_A - C_B}{C_A}$$

3 SF₆ 示踪气体漏风检测

为了检测工作面联络巷密闭墙内外,采空区的漏风方向、漏风通道以及漏风量、风速等参数,采用“气示踪气体瞬时释放法”方法来测定联络巷密闭墙密闭性。

示踪气体瞬时释放法(瞬时释放SF₆方法)。瞬时释放法是在可能存在的漏风通路的主要进风口(漏风源),一次瞬时释放一定量的SF₆气体,同时在预先估计的漏风通路出口(漏风汇)进行检测,通过分析所检测到的SF₆信号、检测时间、SF₆浓度等,确定存在的漏风通道和通道漏风风速。

此次联络巷密闭墙漏风探测方法的实质是用一定浓度的示踪气体标识某一部分进风气流,当这一气流进入采空区掺混后,通过在各回风地点取样分析示踪气体的有无以及浓度

变化即可具体确定漏风通道和漏风量。

井下漏风风流是从高压侧向低压侧流动的,因此示踪气体应考虑在井下较高位能点或其附近向采空区内释放。释放示踪气体漏风通道检测,可以分为瞬时释放法和连续定量法两种^[8-10]。

①瞬时释放法。第一,在释放点将SF₆气瓶中的示踪气体一次释放完毕。第二,在取样地点使用小号球胆取气样。通过分析气样中是否含有示踪气体以及示踪气体浓度大小,具体确定漏风通道和漏风量。

②连续定量释放法。利用定量释放装置在需要检测的井巷风流中连续、定量、稳定地释放示踪气体,释放时应在气体容器口装上卸压阀和流量计控制释放速率和释放量。在连续稳定释放5min后,各采样地点同时取样。根据各采样点*i*取样分析得出的气体浓度,计算各点的风量,然后计算出*i*和*i+1*两取样点的漏风量和*i+1*点的风量,找出漏风规律。

3.1 SF₆ 气体定量释放装置

SF₆示踪气体为标准气体,规格:压力,10.0±0.5MPa;体积,8L;组分,SF₆:100.7×10⁻⁶;N₂:平衡气。

SF₆气体连续恒定释放系统由示踪气体及SF₆气体钢瓶1、减压阀2、稳压阀3、稳流阀4和流量计5等组成。释放装置经过二级稳压和一级稳流,保证释放流量稳定及连续可调。流量范围可控制在10~500mL/min,如图1所示。

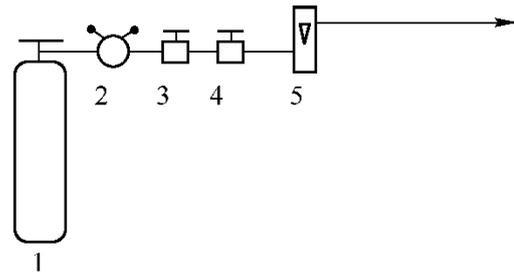


图1 SF₆ 示踪气体连续释放装置示意

3.2 SF₆ 示踪气体检测方法

SF₆示踪气体检测采用Smart Pro10便携式气体检测仪。该仪器是一款高端多功能气体分析仪,一次充电后可连续开机使用60h,内置抽气泵,采用原装进口传感器,测量精准,仪器配备2GB数据存储,可现场打印检测数据,使用操作简单,广泛应用在应急检测、医疗、冶金、消防、石化、市政、涂料、油漆、化工等各个领域。

4 快速密闭漏风现场检测

4.1 工作面概况

112207综采工作面位于陕西小保当矿业有限公司一号煤矿2²煤11盘区,西部相邻112201采空区,东部布置的112208工作面正在掘进顺槽,北至2²辅运大巷,切眼中线距离南部井田边界26m。工作面可采走向长度5802m,倾斜长度350m,可采面积2030700m²。地面标高(m):

1276~1326m, 工作面标高(m): 940~995m。112207综采工作面辅运顺槽联巷共计40道, 各辅运顺槽联巷之间的间距为50~350m, 平均间距为140m。辅运顺槽联巷宽5.5m, 长20m, 高4.4m, 该工作面采用后退式单一走向长壁式采煤法, 全部垮落法管理顶板, 采用U型通风方式。

4.2 快速密闭漏风检测

以陕西小保当矿业有限公司一号煤矿2²煤112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联巷快速密闭为检测对象, 采用连续定量释放法释放SF₆示踪气体进行漏风检测。释放点为该工作面辅运顺槽14号、15号联巷快速密闭靠近辅运顺槽一侧, 检测地点均为112207综采工作面上隅角。

第一次检测: ①释放地点: 112207综采工作面辅运顺槽14号联巷快速密闭靠近辅运顺槽一侧; ②检测地点: 112207综采工作面上隅角; ③释放量: SF₆释放量为300ml/min; ④释放时间: 10:00开始释放, 连续定量释放5min, 检测时间为自释放气体开始进行连续检测, 第一次检测后, 间隔5min再次进行检测。检测结果见表1。

第二次检测: ①释放地点: 112207综采工作面辅运顺槽15号联巷快速密闭靠近辅运顺槽一侧; ②检测地点: 112207综采工作面上隅角; ③释放量: SF₆释放量为300ml/min; ④释放时间: 10:30开始释放, 连续定量释放5min, 检测时间为自释放气体开始进行连续检测, 第一次检测后, 间隔5min再次进行检测。检测结果见表2。

表1 112207综采工作面14号联巷快速密闭漏风检测表

序号	检测地点	检测时间	SF ₆ 浓度(10 ⁻⁶)%	风速(m/s)
1	上隅角	10:05	0	1.29
2	上隅角	10:10	0	1.30
3	上隅角	10:15	0	1.28

表2 112207综采工作面15号运输顺槽端头处漏风检测

序号	检测地点	检测时间	SF ₆ 浓度(10 ⁻⁶)%	风速(m/s)
1	上隅角	10:35	0	1.30
2	上隅角	10:40	0	1.31
3	上隅角	10:45	0	1.31

4.3 检测结果分析

由表1、表2可以看出: 在112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联巷快速密闭墙外侧处释放SF₆示踪气体后, 在112207综采工作面上隅角没有检测到SF₆气体。

说明在112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联巷构筑的柔模泵送混凝土快速密闭气密性能良好, 施工该类型密闭, 能够保证综采工作面安全高效的推采。

5 结论

通过使用SF₆示踪气体检测方法对陕西小保当矿业有限公司一号煤矿2²煤112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联巷柔模泵送混凝土快速密闭进行漏风检测, 得出以下结论: ①该矿112207综采工作面辅运顺槽14号、15号联巷快速密闭气密性良好, 不存在向采空区漏风现象。②在现代化井工煤矿, 推广应用柔模泵送混凝土快速密闭技术, 对保障矿井安全高效生产, 具有推广及借鉴意义。

参考文献

- [1] 徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [2] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- [3] 钱鸣高. 煤炭的科学开采[J]. 煤炭学报, 2010, 35(4): 529-534.
- [4] 吴玉国, 王涌宇. SF₆示踪气体瞬时-连续联合释放法在工作面漏风检测中的应用[J]. 中国煤炭, 2017, 43(9): 108-111.
- [5] 张国枢, 戴广龙. 煤炭自燃理论与防治实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [6] 王显政. 煤矿安全新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [7] 于树江, 杨成轶, 徐纪元. SF₆连续恒量释放法在矿井巷道漏风检测中的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(15): 58-61.
- [8] Xu G, Jong E C, Luxbacher K D, et al. Remote characterization of ventilation systems using tracer gas and CFD in an underground mine[J]. Safety Science, 2015(74): 140-149.
- [9] 孙珍平. 基于示踪气体技术的特厚煤层综放工作面漏风通道试验研究[J]. 煤矿安全, 2019(11): 14-17.
- [10] 姜文忠, 肖长亮. 煤矿井下灾区快速密闭技术及装备研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(11): 231-238.