



移动扫码阅读

张慧杰,霍中刚,舒龙勇,等.构造煤发育区 K_1 值低指标煤与瓦斯突出原因分析[J]. 煤炭科学技术,2019,47(7):82-87.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.07.009

ZHANG Huijie, HUO Zhonggang, SHU Longyong, et al. Cause analysis on coal and gas outburst in low index with K_1 value of tectonic coal developed area [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(7): 82-87. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.07.009

构造煤发育区 K_1 值低指标煤与瓦斯突出原因分析

张慧杰^{1,2}, 霍中刚^{1,2}, 舒龙勇^{1,2}, 闫志铭³, 王晓东³, 朱南南^{1,2}

(1.煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院,北京 100013;2.煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,北京 100013;3.阳泉煤业(集团)有限责任公司,山西 阳泉 045000)

摘要:工作面突出危险性预测及效果检验是煤与瓦斯突出防治的最后一道“关卡”,预测及效检结果的准确性是突出防治成功与否的关键。针对构造煤发育区“低指标突出”现象频发问题,现场跟踪测试掘进工作面钻屑瓦斯解吸指标 K_1 并采集构造煤及原生煤煤样进行 K_1 指标实验室测试,分析发现相同吸附平衡压力条件下构造煤的 K_1 值明显高于原生煤, K_1 值与构造煤发育程度关系密切,构造煤越发育, K_1 值越大。为研究“低指标突出”问题的内在原因,采用恒温瓦斯放散试验对构造煤的瓦斯放散初期特征进行研究,基于试验结果对 K_1 测定结果偏离真实值的技术原因进行分析,结果表明:采用巴雷尔公式计算 K_1 的理论存在局限性;不同钻孔深度及不同结构类型煤体的钻屑混合是 K_1 值测试结果偏离真实值的原因之一;煤样暴露时间越长, K_1 值测试结果与实际偏离越大。研究成果揭示了构造煤发育区“低指标突出”现象的技术原因,可为煤与瓦斯突出预测技术的改进提供技术支撑。

关键词:构造煤;低指标突出;突出预测;钻屑瓦斯解吸指标 K_1 ;瓦斯放散特征

中图分类号:TD713

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)07-0082-06

Cause analysis on coal and gas outburst in low index with K_1 value of tectonic coal developed area

ZHANG Huijie^{1,2}, HUO Zhonggang^{1,2}, SHU Longyong^{1,2}, YAN Zhiming³, WANG Xiaodong³, ZHU Nannan^{1,2}

(1. Mine Safety Technology Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China;

3. Yangquan Coal Industry (Group) Co., Ltd., Yangquan 045000, China)

Abstract: This paper focuses on revealing the technical reason of the phenomenon that coal and gas outburst occurred frequently in low index with K_1 value in tectonic coal developed area. Drilling cutting gas desorption index K_1 of the working face was tracked and tested using laboratory tests on coal samples of both tectonic coal and original coal. It is found that the drilling cutting gas desorption index (K_1) of the tectonic coal is significantly higher than that of the original coal under the same adsorption equilibrium pressure. The value of K_1 is proportional to the development degree of the tectonic coal. The initial characteristics of gas emission in tectonic coal were also studied using constant temperature gas emission experiments. Based on the test results, the technical reasons for the deviation of the K_1 measurement were analyzed. The results show that the Barriar formula has limitations in calculating K_1 . The drill cuttings mixing of different drilling depths and different structural types is an important reason that cause deviation of K_1 from the actual value. The longer coal sample exposure time is associated with greater deviation between the tested K_1 value and the actual value. This research will provide technical support for the improvement of coal and gas outburst prediction technology.

Key words: tectonic coal; low-index outburst; outburst prediction; drill cuttings gas desorption index K_1 ; gas emission characteristics

收稿日期:2019-03-26;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804207);国家自然科学基金青年基金资助项目(51704164);国家科技重大专项资助项目(2016ZX05067004)

作者简介:张慧杰(1987—),男,山东滨州人,硕士。E-mail:zhjwell@126.com

0 引言

工作面突出危险性预测及效果检验是我国“四位一体”综合防突措施的重要内容,同时也是煤与瓦斯突出防治的最后一道“关卡”,国内煤矿多采用钻屑瓦斯解吸指标 K_1 作为预测/效检指标, K_1 测试过程的便捷性在一定程度上提高了突出预测和效检效率,但在现场测试过程中也存在一些问题,最为引人关注的就是“低指标突出”现象^[1],即进行工作面突出危险性预测或防突措施效果检验时,预测或检验指标虽处于临界值以下但在采掘作业过程中发生了煤与瓦斯突出的现象。阳泉矿区的寺家庄矿是“低指标突出”典型矿井,15 号煤层构造煤广泛发育,且具有条带状分布的特点,构造煤特别是糜棱煤显著发育的南翼采区多次发生中型突出事故,突出发生地点的钻屑瓦斯解吸指标 K_1 的测试结果多低于突出临界值,如 2019 年 6 月 19 日 15203 内错尾巷第 4 联络巷处因放炮诱发煤与瓦斯突出事故,突出煤量 260 t,涌出瓦斯量为 2.74 万 m^3 ,突出事故发生前 K_1 值测试结果为 $0.33 \text{ cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$ 。“低指标突出”现象引起了专家学者的注意,已有研究表明,钻孔布置、采样、操作和参数环境的改变是影响 K_1 值测定误差的主要因素^[2-4],但更深层次的技术原因并未厘清。构造煤是原生结构煤在构造作用下发生变形、破坏而形成的^[5-9],国内外已有研究表明,绝大部分煤与瓦斯突出事故的发生与构造煤分布密切相关^[10-14],构造煤发育区是煤与瓦斯突出防治的重点区域。笔者在对历史统计资料分析时发现,“低指标突出”现象的发生地点多为构造煤发育区,构造煤与原生煤瓦斯放散特征的显著差异已被诸多专家学者所证实^[15-19],基于构造煤与原生煤的 K_1 值测试及恒温瓦斯放散试验,从计算理论、钻屑混合、暴露时间 3 个方面对可能导致 K_1 值测定问题的技术因素进行分析,尝试探索“低指标突出”现象的内在原因。

1 构造煤与原生煤 K_1 值测定结果的差异

1.1 测定原理

钻屑瓦斯解吸指标 K_1 是预测煤层突出危险性的钻屑瓦斯解吸指标之一,综合反映煤层瓦斯含量及卸压初期瓦斯解吸速度的大小,将含瓦斯煤样暴露于大气环境下,用特定仪器测定钻屑试样在卸压初期一段时间(5 min)瓦斯解吸曲线的斜率表示,单位为 $\text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$ 。煤样的瓦斯解吸规律服从巴雷尔公式:

$$Q = K_1 \sqrt{t} \quad (1)$$

式中: t 为煤样暴露时间, min; Q 为单位质量煤样自暴露时刻起到 t 时刻的累积瓦斯解吸量, cm^3/g 。

煤样暴露时间 t_i 按下式计算:

$$t_i = t_0 + 0.5i \quad (2)$$

式中: t_i 为煤样自放气开始至测量第 i 个数据时的暴露时间, min; t_0 为煤样自放气开始至开始测量解吸量的时间, min。

自煤样暴露 t_0 时刻起的瓦斯解吸累积量与在 t_0 时刻前煤样已解吸的瓦斯量符合下式:

$$Q_i = K_1 \sqrt{t_i} - W \quad (3)$$

式中: Q_i 为自煤样暴露 t_0 时刻起至 t_i 时刻的瓦斯解吸累积量, cm^3/g ; W 为 t_0 时刻前单位质量煤样的瓦斯解吸累积量, cm^3/g 。

令:

$$X_i = \sqrt{t_i} \quad (4)$$

K_1 可按式(5)、式(6)、式(7)计算:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (Q_i - \bar{Q})(X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

$$\bar{Q} = (\sum_{i=1}^{10} Q_i) / 10 \quad (6)$$

$$\bar{X} = (\sum_{i=1}^{10} X_i) / 10 \quad (7)$$

1.2 构造煤发育区的 K_1 值现场测试

跟踪考察寺家庄矿 4 条掘进工作面的突出预测及构造煤发育情况,采用构造煤厚度这一指标来表征构造煤发育情况,并将单位长度内存在的构造数量定义为构造密度,其中所统计的构造包含断层、褶曲及陷落柱,以 400 m 巷道长度为一个研究区间,各区间内构造密度、构造煤厚度均值以及 K_1 均值统计见表 1,构造煤厚度及 K_1 均值随构造密度变化情况如图 1 所示。

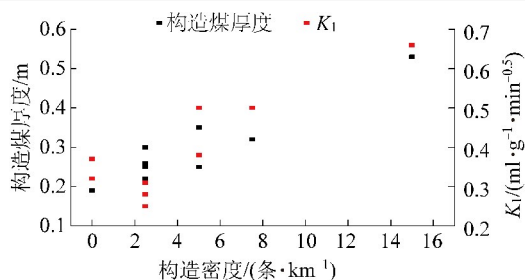
由图 1 可知,构造密度自 0 条/km 增加至 15 条/km 时,构造煤平均厚度自 0.19~0.22 m 增加至 0.53 m, K_1 均值自 0.32~0.37 $\text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$ 增大至 0.66 $\text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$,构造煤厚度及 K_1 值与构造密度均呈正相关关系,即地质构造越发育,构造煤厚度越大,钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值亦越大。

1.3 构造煤的 K_1 值实验室测试

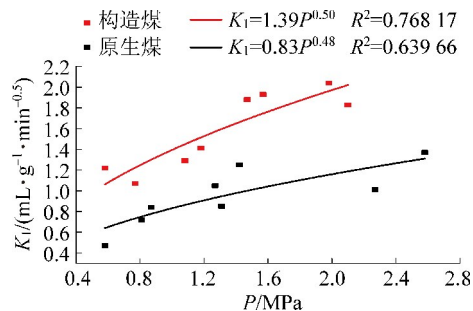
为研究构造煤发育区钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值的测试结果,采集寺家庄矿 15 号煤层 15106 进风巷、15117 回风巷构造煤与原生煤煤样,在实验室分

表 1 寺家庄矿构造密度、构造煤平均厚度及 K_1 平均值统计Table 1 Statistical table of tectonic density, average thickness of tectonic coal and average K_1 value of Sijiazhuang Mine

巷道	区间编号	区间长度/m	构造数量/个	构造密度/(条·km ⁻¹)	构造煤平均厚度/m	K_1 均值/(cm ³ ·g ⁻¹ ·min ^{-1/2})
15106 进风巷	1	400	6	15.0	0.53	0.66
	2	400	3	7.5	0.32	0.50
15106 回风巷	1	400	1	2.5	0.25	0.31
	2	400	2	5.0	0.35	0.38
15117 进风巷	1	400	2	5.0	0.25	0.50
	2	400	0	0	0.19	0.32
	3	400	1	2.5	0.22	0.28
15117 回风巷	1	400	0	0	0.22	0.37
	2	400	1	2.5	0.26	0.25
	3	400	1	2.5	0.30	0.25

图 1 寺家庄矿构造煤厚度、 K_1 值随构造密度变化情况Fig. 1 Variation of tectonic coal thickness and K_1 value with structural density in Sijiazhuang Mine

别测定不同吸附平衡压力条件下的钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值,分析可知,随吸附平衡压力提高,构造煤与原生煤的 K_1 值均呈增大趋势,相同吸附平衡压力条件下构造煤的 K_1 值明显高于原生煤,为量化比较构造煤与原生煤在同一吸附平衡压力条件下的 K_1 值差异,采用幂指数函数^[20-21]对 K_1 值与吸附平衡压力 P 进行拟合分析(图 2)。

图 2 寺家庄矿不同煤样 K_1 指标测试值与瓦斯压力 P 的关系Fig. 2 Relationship between K_1 test value and gas pressure of different coal samples in Sijiazhuang Mine

吸附平衡压力均为 0.74 MPa 条件下,构造煤的 K_1 值是原生煤的 1.66 倍。现场及实验室测试结果表明构造煤发育区的 K_1 值明显高于非构造煤发育

区,这与 AQ 1065—2008《钻屑瓦斯解吸指标测定方法》中“局部预测钻孔和效果检验孔宜布置在软分层中”的要求相一致,笔者开展了构造煤与原生煤的恒温瓦斯放散试验,试图从构造煤与原生煤的瓦斯放散特征的差异中找到答案。

2 构造煤与原生煤的恒温瓦斯放散试验

2.1 试验煤样

于寺家庄矿 15 号煤层 15106 进风巷、15117 回风巷采集构造煤及原生煤煤样,编号并测试各煤样基本信息(表 2),按照 GB 474—2008《煤样的制备方法》规定,筛分出粒度为 1~3 mm 的煤样,干燥备用。

2.2 试验方法

构造煤和原生煤的恒温瓦斯放散试验采用煤科院自主搭建的恒温瓦斯放散试验装置完成,装置由充气单元、脱气单元、温度控制单元和吸附-解吸单元组成(图 3),煤样质量为 50 g,气密性检测合格后在恒温水浴中充入 CH_4 ,吸附平衡至目标压力后(≥ 24 h)进行放散试验,记录自初始时刻起每分钟的瓦斯解吸量,并按照式(8)将瓦斯解吸量换算成标准状况下的体积。

$$Q_1 = \frac{273.15 Q'_1 (P_{\text{atm}} - 9.81 h_w - P_0)}{101\,325 (273.15 + t_w)} \quad (8)$$

式中: Q_1 为瓦斯解吸总量 Q'_1 换算成标准状态下的解吸量, cm^3/g ; Q'_1 为解吸仪测得单位质量煤样的瓦斯解吸总量, cm^3/g ; t_w 为试验进行时的室温, $^{\circ}\text{C}$; P_{atm} 为进行试验时的室内大气压力, Pa; h_w 为解吸仪内液柱高度, mm; P_0 为温度 t_w 下的饱和水蒸气压力, Pa。

表 2 煤样基本信息
Table 2 Basic information of coal samples

编号	取样地点	煤体结构 类型	工业分析						瓦斯放散 初速度	坚固 性系 数 f
			灰分 $A_{ad}/\%$	水分 $M_{ad}/\%$	挥发分 $V_{daf}/\%$	真密度/ $(t \cdot m^{-3})$	视密度/ $(t \cdot m^{-3})$	孔隙率/ $\%$		
1-D	15117 回风巷 27 测点以里 111 m	碎粒煤	6.88	3.09	7.01	1.46	1.39	4.55	28.9	0.38
1-N	15117 回风巷 27 测点以里 111 m	原生煤	11.04	2.22	7.68	1.53	1.46	4.80	29.1	0.61
2-D	15106 进风巷 31 测点以里 110 m	糜棱煤	6.92	3.07	7.08	1.47	1.40	4.75	29.2	0.34
2-N	15106 进风巷 31 测点以里 110 m	原生煤	11.06	2.24	7.72	1.53	1.45	5.00	31.6	0.63

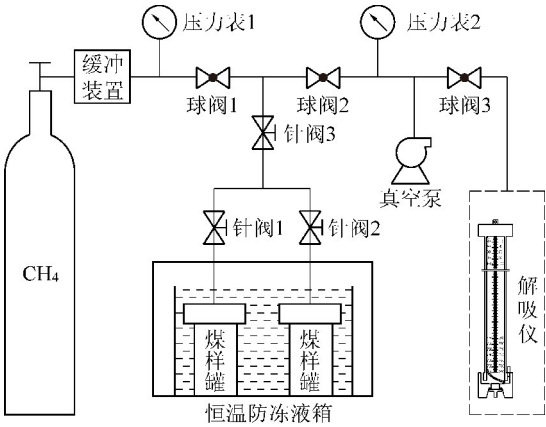


图 3 恒温瓦斯放散试验装置示意

Fig. 3 Schematic diagram of constant temperature gas emission experiment device

2.3 数据分析

恒温瓦斯放散试验能够得到煤样的瓦斯解吸量随时间的变化关系,可依据试验结果得到瓦斯放散曲线,钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值是采用巴雷尔公式对瓦斯放散初期数据进行最小二乘法拟合分析得到,自煤样暴露至测量结束这一时间间隔是研究重点,不妨取 10 min 的瓦斯放散过程为研究对象,为更直观反映巴雷尔公式对于瓦斯放散初期的适用程度,以 $t^{0.5}$ 为横坐标,以累积瓦斯解吸量为纵坐标,并进行线性拟合,结果如图 4 所示,拟合参数见表 3。

寺家庄矿构造煤与原生煤的瓦斯放散初期曲线存在很大差异,采用巴雷尔公式对构造煤及原生煤煤样的瓦斯放散过程进行拟合,平均拟合度分别为 0.737 5 与 0.993 7,由此可知,巴雷尔公式在构造煤的瓦斯放散初期适用性有限,这与部分学者的研究结论相一致^[15-16],利用巴雷尔公式计算构造煤的钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值是有待商榷的。

表 3 煤样恒温瓦斯放散试验数据拟合参数
Table 3 Fitting parameters of constant temperature gas emission test parameters

煤样 编号	吸附平衡 压力/MPa	拟合 K_1 值/ $(cm^3 \cdot g^{-1} \cdot min^{-1/2})$	拟合度	平均 拟合度
1-D	0.55	0.838 4	0.714 1	0.713 6
	1.05	1.128 0	0.699 8	
	1.93	1.659 2	0.727 0	
1-N	0.71	0.650 0	0.994 0	0.993 9
	1.05	0.793 7	0.991 9	
	1.56	1.003 4	0.995 8	
2-D	0.50	0.871 4	0.734 1	0.761 3
	1.00	1.335 4	0.779 2	
	2.20	2.123 4	0.770 5	
2-N	0.42	0.510 6	0.988 2	0.993 4
	1.05	0.687 4	0.993 3	
	2.07	0.850 9	0.998 8	

3 构造煤发育区“低指标突出”现象技术原因分析

造成“低指标突出”现象的原因既包含人员操作、仪器精度、钻孔布置等非技术方面因素,同时也包含理论误差、钻屑混合、暴露时间、临界值不合理等技术方面因素,对于前者,可采用加强管理、提高人员素质等手段予以消除,而对于后者,只能通过技术手段进行修正,“低指标突出”的技术原因亦是煤矿生产技术人员最为关心的问题。构造煤发育区是煤与瓦斯突出重点区域,亦是“低指标突出”现象频发区域,这一现象的发生既有偶然性,也有必然性,临界值不合理这一因素可通过现场考察确定,暂不讨论,现从计算理论、钻屑混合、暴露时间 3 个方面的技术因素进行分析。

1) 计算理论。煤粒恒温瓦斯放散试验结果表明,钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值的理论计算方法对于构

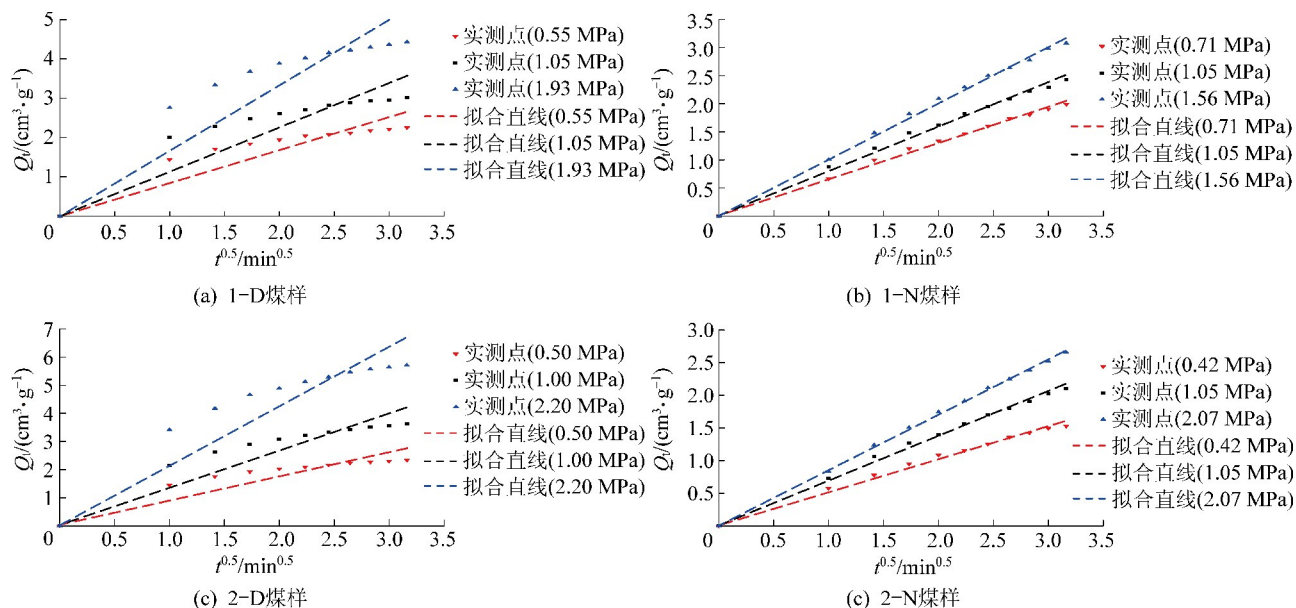


图4 寺家庄煤样恒温瓦斯放散试验结果

Fig. 4 Constant temperature gas emission experiment result of coal samples in Sijiazhuang Coal Mine

造煤存在局限性,巴雷尔公式并不能很好地描述构造煤瓦斯放散初期特征,拟合度最高仅为0.761 3,构造煤发育区的钻屑以构造煤为主,依据巴雷尔公式计算 K_1 值则存在较大误差。

2) 钻屑混合。测定钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值所需的煤样通常取自 $\phi 42$ mm 预测钻孔孔口处的钻屑,但由于钻孔内部构造的隐蔽性和煤层赋存条件的复杂性,常导致钻屑混合现象的出现,钻屑混合形式分2种:不同钻孔深度处的钻屑混合以及不同结构类型煤体的钻屑混合。不同钻孔深度处的钻屑具有不同的暴露时间,利用混合后的钻屑无法准确评价指定深度处的突出危险性,由于钻孔施工过程中钻杆晃动等因素导致钻孔剖面不规则(图8),钻进、传输过程的钻屑及孔壁剥离的钻屑易于混合,这些具有不同暴露时间的钻屑混合将对预测位置处的 K_1 值测试结果产生不同程度的影响。构造煤与原生煤的瓦斯放散初期特征存在显著差异,2种钻屑的混合会改变预测位置处的瓦斯放散特征,由于构造煤发育区钻孔施工过程中的塌孔、构造煤赋存的不规律性,常导致不同结构类型煤体的钻屑混合现象,这也是钻屑瓦斯解吸指标测试结果偏离真实值的原因之一。

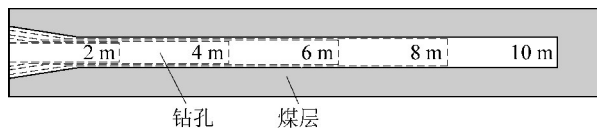


图5 突出预测钻孔剖面

Fig. 5 Coal and gas outburst prediction drilling profile

3) 暴露时间。钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值测试煤样的暴露时间包含2个部分——自放气开始至开始

测量的时间以及自开始测量至结束测量的时间,第1部分时间由钻进速度、操作熟练程度等方面决定,一般在1~3 min,第2部分时间为固定值,设定为5 min。由煤粒恒温瓦斯放散试验结果可知,巴雷尔公式能够精确描述原生煤在瓦斯放散初期特征,煤样暴露时间对测试结果影响不大,但对于构造煤煤样,煤样暴露时间越长,测试结果与实际偏差越大,同一吸附平衡压力条件的构造煤初始1 min的瓦斯解吸量是原生煤的2.31~4.06倍。构造煤发育区钻孔施工更为困难,煤样暴露时间也更长, K_1 值测试结果偏低,这是造成“低指标突出”现象的重要原因。

4 结 论

1) 寺家庄矿钻屑瓦斯解吸指标 K_1 的实验室及现场测试结果表明,相同吸附平衡压力条件下构造煤的 K_1 值高于原生煤,突出预测指标 K_1 值与构造煤发育程度关系密切,构造煤越发育, K_1 值越大。

2) 构造煤与原生煤的瓦斯放散初期特征存在很大差异,采用巴雷尔公式对煤的瓦斯放散初期数据进行最小二乘法拟合的平均拟合度分别为0.737 5与0.993 7,巴雷尔公式在构造煤的瓦斯放散初期适用性有限。

3) 计算理论、钻屑混合、暴露时间是造成构造煤发育区“低指标突出”问题的3个主要技术因素——钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值的计算理论存在局限性;不同钻孔深度及不同结构类型煤体的钻屑混合是 K_1 值测试结果偏离真实值的原因之一;煤样暴露时间越长, K_1 值测试结果与实际偏离越大。

参考文献(References):

- [1] 赵旭生.“低指标突出现象”原因分析及防范对策[J].煤矿安全,2007,38(5):67-69.
ZHAO Xusheng. Analysis of the causes of “low-index outburst” phenomenon and countermeasures[J]. Safety in Coal Mines, 2007, 38(5): 67-69.
- [2] 赵旭生,刘 胜.钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值测定误差的影响因素[J].矿业安全与环保,2002,29(2):3-5.
ZHAO Xusheng, LIU Sheng. Factors affecting the measurement error of K_1 value of drilling gas desorption index[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2002, 29(2): 3-5.
- [3] 陈进朝,王兆丰,杨宏民,等. K_1 值预测时低指标突出现象的原因分析及解决方法[J].煤矿安全,2012,43(6):145-147.
CHEN Jinchao, WANG Zhaofeng, YANG Hongmin, et al. The cause analysis and solutions of low-index outburst phenomenon during K_1 value forecast[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(6): 145-147.
- [4] 史广山,魏风清.钻屑瓦斯解吸指标 K_1 影响因素理论分析[J].安全与环境学报,2014,14(5):8-10.
SHI Guangshan, WEI Fengqing. Theoretical analysis of factors influencing the gas desorption index K_1 of drilling cutting[J]. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(5): 8-10.
- [5] 曹运兴,彭立世.顺煤断层的基本类型及其对瓦斯突出带的控制作用[J].煤炭学报,1995,20(4):413-417.
CAO Yunxing, PENG Lishi. Basic types of coal seam faults and their effect on controlling gas outburst zone[J]. Journal of China Coal Society, 1995, 20(4): 413-417.
- [6] 曹代勇,张守仁,任德峪.构造变形对煤化作用进程的影响[J].地质评论,2002,48(3):313-317.
CAO Daiyong, ZHANG Shouren, REN Deyi. The influence of structural deformation on coalification[J]. Geological Review, 2002, 48(3): 313-317.
- [7] 张玉贵,张子敏,曹运兴.构造煤结构与瓦斯突出[J].煤炭学报,2007,32(3):281-284.
ZHANG Yugui, ZHANG Zimin, CAO Yunxing. Deformed coal structure and control to coal-gas outburst[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 281-284.
- [8] 张玉贵.构造煤演化与力化学作用[D].太原:太原理工大学,2006.
- [9] 琚宜文,林 红,李小诗,等.煤岩构造变形与动力变质作用[J].地学前缘,2009,16(1):158-166.
JU Yiwen, LIN Hong, LI Xiaoshi, et al. Tectonic deformation and dynamic metamorphism of coal[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 158-166.
- [10] 郝吉生,袁崇孚,张子戎.构造煤及其对煤与瓦斯突出的控制作用[J].焦作工学院学报,2000,19(6):404-406.
HAO Jisheng, YUAN Chongfu, ZHANG Zixu. The tectonic coal and its effects on coal and gas outburst[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 2000, 19(6): 404-406.
- [11] 郭德勇,韩德馨.地质构造控制煤和瓦斯突出作用类型研究[J].煤炭学报,1998,23(4):337-341.
GUO Deyong, HAN Dexin. Research on the types of geological tectonic controlling coal-gas outbursts[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(4): 337-341.
- [12] 舒龙勇,王 恺,齐庆新,等.煤与瓦斯突出关键结构体致灾机制[J].岩石力学与工程学报,2017,36(2):347-356.
SHU Longyong, WANG Kai, QI Qingxin, et al. Key structural body theory of coal and gas outburst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(2): 347-356.
- [13] 邵 强,王恩营,王红卫,等.构造煤分布规律对煤与瓦斯突出的控制[J].煤炭学报,2010,35(2):250-254.
SHAO Qiang, WANG Enying, WANG Hongwei, et al. Control to coal and gas outburst of tectonic coal distribution[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(2): 250-254.
- [14] 闫江伟,张小兵,张子敏.煤与瓦斯突出地质控制机理探讨[J].煤炭学报,2013,38(7):1174-1178.
YAN Jiangwei, ZHANG Xiaobing, ZHANG Zimin. Research on geological control mechanism of coal-gas outburst[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1174-1178.
- [15] 富 向,王魁军,杨天鸿.构造煤的瓦斯放散特征[J].煤炭学报,2008,33(7):775-779.
FU Xiang, WANG Kuijun, YANG Tianhong. Gas irradiation feature of tectonic coal[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(7): 775-779.
- [16] 李云波,张玉贵,张子敏,等.构造煤瓦斯解吸初期特征实验研究[J].煤炭学报,2013,38(1):15-20.
LI Yunbo, ZHANG Yugui, ZHANG Zimin, et al. Experimental study on gas desorption of tectonic coal at initial stage[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(1): 15-20.
- [17] 李志强,王司建,刘彦伟,等.基于动扩散系数新扩散模型的构造煤瓦斯扩散机理[J].中国矿业大学学报,2015,44(5):836-842.
LI Zhiqiang, WANG Sijian, LIU Yanwei, et al. Mechanism of gas diffusion in tectonic coal based on a diffusion model with dynamic diffusion coefficient[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(5): 836-842.
- [18] 张慧杰,张 浪,汪 东,等.构造煤的瓦斯放散特征及孔隙结构微观解释[J].煤炭学报,2018,43(12):3404-3410.
ZHANG Huijie, ZHANG Lang, WANG Dong, et al. Gas emission characteristics of tectonic coal and microscopic explanation of pore structure[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(12): 3404-3410.
- [19] 王振洋,程远平.构造煤与原生结构煤孔隙特征及瓦斯解吸规律试验[J].煤炭科学技术,2017,45(3):84-88.
WANG Zhenyang, CHENG Yuanping. Experiment on pore characteristics and gas desorption law of structural coal and primary structure coal[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(3): 84-88.
- [20] 华福明,胡千庭.用钻屑量、钻屑瓦斯解吸特征预测煤与瓦斯突出时的临界指标值确定方法的探讨[J].煤矿安全,1991,22(10):15-17.
HUA Fuming, HU Qianting. Discussion on the method of determining the critical index value of coal and gas outburst with the amount of drillings and gas desorption index of drillings[J]. Safety in Coal Mines, 1991, 22(10): 15-17.
- [21] 胡千庭,文光才,徐三民.工作面突出预测敏感指标及临界值确定方法的研究[J].煤炭工程师,1998(S1):8-10.
HU Qianting, WEN Guangcai, XU Sanmin. Study on the method of determining the sensitive indicator and critical value of coal and gas outburst[J]. 1998(S1): 8-10.