

地勘取芯过程中煤的瓦斯解吸规律研究

秦玉金^{1,2}

(1. 辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 煤炭科学研究总院 沈阳研究院, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:利用地勘取芯过程煤样瓦斯解吸模拟装置,研究了泥浆介质中煤的瓦斯解吸规律,针对瓦斯压力、泥浆压力、提钻速度及煤样粒度等因素进行了一系列煤的瓦斯解吸模拟实验,得出了地勘取芯提钻过程中煤芯瓦斯解吸的初始条件($0.01 \text{ MPa} \leq P_{\text{mud}} - P_{\text{CH}_4} \leq 0.15 \text{ MPa}$)、不同影响因素与瓦斯解吸的关系及非等压过程泥浆介质条件下煤芯瓦斯解吸特征。实验表明,在非等压过程泥浆介质条件下煤的瓦斯解吸曲线呈现出类宽缓型“S”形态或类双曲正切函数 $\text{th}x = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$ 形状。

关键词:地勘取芯; 瓦斯含量; 泥浆介质; 非等压解吸

中图分类号: TD712 文献标志码: A 文章编号: 1672-3767(2011)05-0001-05

Desorption Regularity of Gas in Coal in the Process of Exploration Coring

QIN Yujin^{1,2}

(1. College of Safety Science & Engineering, Liaoning University of Engineering & Technology, Fuxin, Liaoning 123000, China;
2. Shenyang Branch of the Central Coal Mining Research Institute, Shenyang, Liaoning 110016, China)

Abstract: The desorption regularity of gas in coal of slurry medium was studied by means of the simulation device of gas desorption in the process of exploration coring. A series of experiments on gas desorption simulation were conducted according to such factors as gas pressures, slurry pressures, velocities of rod-lifting and sizes of coal samples, obtaining the initial conditions of $0.01 \text{ MPa} \leq P_{\text{mud}} - P_{\text{CH}_4} \leq 0.15 \text{ MPa}$ for gas desorption in the process of exploration coring, the relationship between different influencing factors and gas desorption, and the gas desorption features in coal cores under the condition of non-isobaric slurry medium. The experiment showed that the curves of gas desorption under condition of non-isobaric slurry medium appeared a similar S shape or a similar shape of hyperbola and tangent functions $\text{th}x = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$.

Key words: exploration coring; gas content; slurry medium; non-isobaric desorption

煤芯瓦斯在地质勘探取芯过程中的解吸是经过两个过程完成的^[1]:①在泥浆介质中非等压状态(压力线性下降)煤的瓦斯解吸;②在空气介质中等压(大气压力下)状态下煤的瓦斯解吸。而在提钻过程中影响煤的瓦斯解吸的因素主要分为两类:一类为内在因素,包括煤的原始瓦斯压力、煤吸附瓦斯性能、煤的破坏类型、粒度和煤的内在水分含量^[2];另一类为外在因素,包括钻孔泥浆压力、提钻速度、孔内泥浆温度。鉴于此,采用实验室模拟的方法,通过改变环境参数(包括煤层原始瓦斯压力、泥浆压力、取芯提钻时间等)来研究泥浆介质中煤的瓦斯解吸规律。

1 地勘取芯过程煤样瓦斯解吸模拟方式

为了研究泥浆介质中煤芯瓦斯解吸规律,在实验室建立了一套地勘取芯过程煤样瓦斯解吸过程模拟装

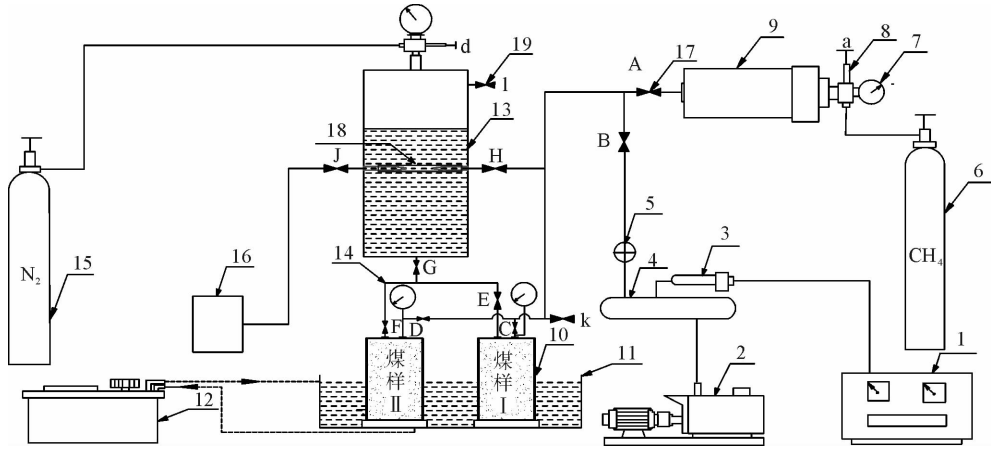
收稿日期:2011-05-18

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB201206)。

作者简介:秦玉金(1975—),男,内蒙古乌兰察布人,高级工程师,博士,主要从事瓦斯灾害治理及煤层气开发方向的研究。

E-mail: qinyujin2561@sina.com.

置(图1)。利用泥浆罐模拟钻孔,罐内泥浆(地质勘探队实际用泥浆)模拟钻孔泥浆,煤样罐及罐内煤样模拟煤芯管及管内煤芯,开启泥浆罐与煤样罐间的连通阀模拟钻孔见煤过程。煤样原始瓦斯压力、钻孔泥浆压力、提钻速度、泥浆温度和煤样粒度在模拟试验装置上采用如下方式来模拟实现。



1. 复合真空计; 2. 真空泵; 3. 真空管系; 4. 真空硅管; 5. 玻璃三通阀; 6. 高纯瓦斯瓶; 7. 精密压力表; 8. 针形三通阀; 9. 充气罐; 10. 煤样罐; 11. 水浴; 12. 恒温器; 13. 泥浆罐; 14. 注浆管; 15. 氮气瓶; 16. 解吸仪; 17. 针形二通阀(A-K); 18. 胶管; 19. 压力调节阀

图1 地勘取芯过程中煤样瓦斯解吸模拟装置结构示意图

Fig. 1 The sketch of experimental facility for desorption simulation of gas in coal samples in process of exploration coring

- 1) 煤层原始瓦斯压力: 利用模拟试验装置中的吸附平衡单元对煤样罐中煤样瓦斯进行加压式定量吸附, 达到吸附平衡时的压力作为原始瓦斯压力;
- 2) 泥浆压力: 通过向泥浆罐内泥浆注入高压 N_2 来实现;
- 3) 提钻速度: 通过释放泥浆罐气室中 N_2 模拟泥浆压力下降的过程, 提钻速度的变化可通过压力调控阀调节气室压力下降速度来实现;
- 4) 泥浆温度: 采用恒温水浴保持煤样罐恒温方式来模拟泥浆温度;
- 5) 煤样粒度: 考虑到煤芯管所取煤芯和地勘解吸法地面瓦斯解吸测定用煤样均是混合粒度的原始煤样, 测试用的煤样采用井下或地面用煤芯管采取的实体煤煤芯样品。

2 地勘取芯过程煤的瓦斯解吸规律分析

2.1 煤芯解吸瓦斯的初始时间

我国煤田地质勘探和煤层气资源勘探所采用的煤层瓦斯含量的测定方法是地勘解吸法^[3], 其基本原理及依据为: ①煤层原始瓦斯含量由取芯过程煤样漏失瓦斯量、地面解吸瓦斯测定量和残存瓦斯量构成; ②在一定时间内, 煤样在地面的解吸瓦斯量与解吸时间之间遵循 $Q \sim \sqrt{t}$ 线性关系; ③煤芯提至钻孔深度的一半时开始解吸瓦斯; ④取芯过程中煤样瓦斯漏失量可按 $Q \sim \sqrt{t}$ 关系推算。在推算时假定煤芯提至钻孔深度一半时开始解吸瓦斯^[4], 在模拟测试中对提钻过程中煤芯开始瓦斯解吸的条件进行了考察。图2是模拟取芯提钻测试过程中煤芯原始瓦斯压力与作用在煤芯上的泥浆压力之间关系的散点图。

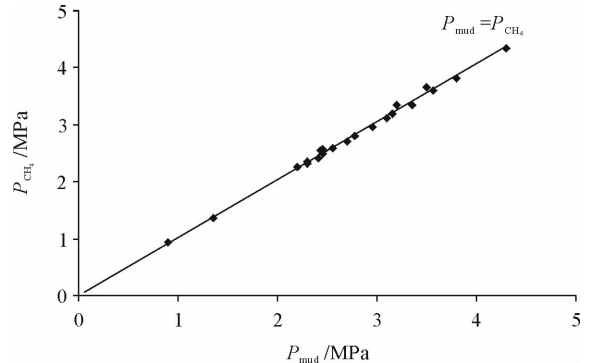


图2 开始解吸瓦斯时瓦斯压力与泥浆压力关系图

Fig. 2 The relationship between gas pressure and slurry pressure in beginning of gas desorption

从图 2 可以看出,在泥浆介质中提钻取芯时,只有当煤芯瓦斯压力大于作用于煤芯上的泥浆压力时,煤中瓦斯才能解吸。提钻取芯过程中煤芯开始解吸瓦斯的条件为

$$0.01 \text{ MPa} \leq P_{\text{mud}} - P_{\text{CH}_4} \leq 0.15 \text{ MPa} \quad (1)$$

其中: P_{CH_4} —煤芯原始瓦斯压力,MPa; P_{mud} —作用于煤芯上的泥浆压力,MPa。

2.2 煤样粒度与瓦斯解吸的关系

在实验室条件下对鹤壁六矿的煤样按 1~3 mm, 3~6 mm, 6~10 mm 粒度筛分成的试样及原始取芯煤样进行了瓦斯解吸过程模拟测定,其他参数如下:解吸温度为 30 °C、瓦斯吸附平衡压力为 5.0 MPa、提钻速度为 24 m/min。按照模拟实验的数据绘制了鹤壁六矿二₁煤不同粒度煤样瓦斯解吸总量随时间的变化曲线,如图 3 所示。

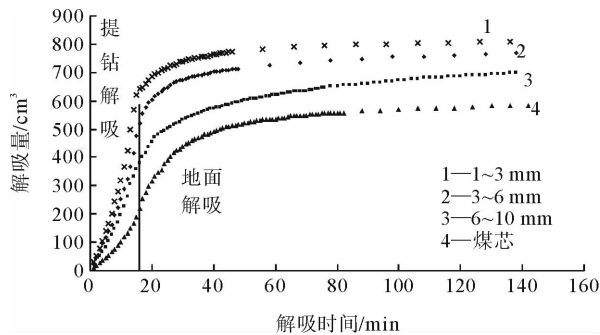


图 3 不同粒度煤样解吸量随时间变化曲线图

Fig. 3 The change curves of desorption quantity of different particle sizes with time

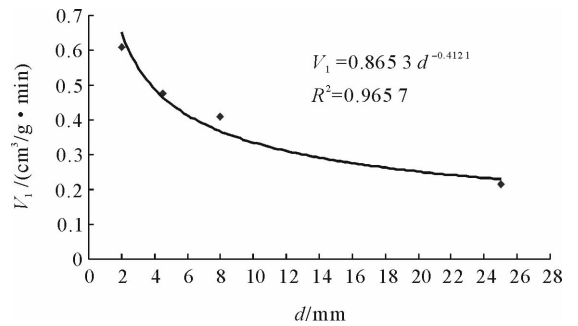


图 4 煤样粒度 d 与瓦斯解吸初速度 V_1 关系曲线图

Fig. 4 The relation curve between particle size d of coal sample and initial speed V_1 of gas desorption

从图 3 可以看出,瓦斯解吸总量随着试样粒度的减小而增大,瓦斯解吸量随时间变化曲线属于有上限的单调增函数;随着粒度的增大,煤样瓦斯解吸初速度 V_1 ($t=1$ min 时的解吸速度)减小,但粒度增大到某一值 d_0 后, V_1 值几乎不改变,如图 4 所示,文献[5]和文献[6]同样得出类似结论。

2.3 提钻速度与煤的瓦斯解吸的关系

图 5 为模拟得到的沁水煤田石门沟煤矿 3# 煤煤芯提钻过程瓦斯解吸量与提钻速度关系曲线,模拟条件为:煤芯原始瓦斯压力 4.0 MPa,初始泥浆压力 8.0 MPa(相当于孔深 666 m),煤芯重量 50 g。图中横坐标原点为取芯提钻时间起点,A 为煤芯在泥浆钻孔中开始损失瓦斯的时间起点,B 点代表煤芯提至地面,C 点代表煤芯装罐后开始瓦斯解吸测定。

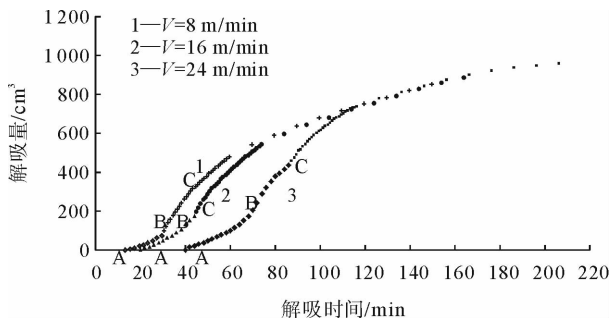


图 5 煤芯瓦斯解吸量与提钻速度关系曲线图

Fig. 5 The relation curves between gas desorption of coal cores and the speed of rod-lifting

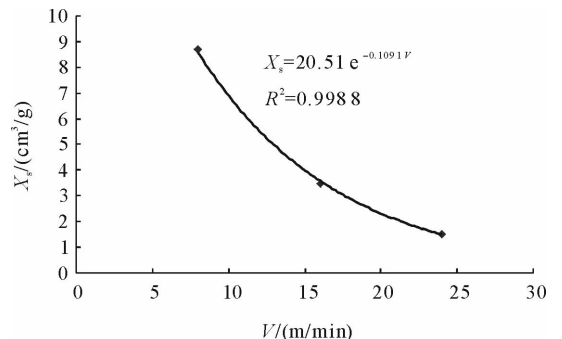


图 6 提钻过程 $V-X_s$ 关系曲线图

Fig. 6 The relation curve between V and X_s in process of exploration coring

从图5可以看出,在其它条件均相同时,提钻取芯过程煤芯瓦斯损失量(B 点对应的纵坐标值除以煤芯重量)随着提钻速度的增加而减少;经回归分析,两者之间遵循如下关系:

$$X_s = A_1 e^{-B_1 V} \quad (3)$$

其中: X_s —提钻过程煤芯损失瓦斯量, cm^3/g ; V —提钻速度, m/min ; A_1, B_1 —系数。

图6为沁水煤田石门沟煤矿3#煤的 $V-X_s$ 关系曲线($A_1 = 20.51, B_1 = 0.1091$)。式(3)所表述的 $V-X_s$ 关系的形式适合于所有煤层,但不同的煤层条件下,系数 A_1, B_1 会有所不同。

2.4 瓦斯压力与煤的瓦斯解吸的关系

为了探索瓦斯压力与煤的瓦斯解吸的关系,模拟了不同瓦斯压力下煤芯在泥浆介质中的瓦斯解吸过程,模拟参数如下:试样为老虎台煤矿本煤层,初始泥浆压力8 MPa(模拟钻孔深度为666 m),瓦斯压力分别为1.34, 2.31, 3.15和3.94 MPa,煤芯重量70.0 g,提钻速度8 m/min,模拟实测曲线如图7所示。

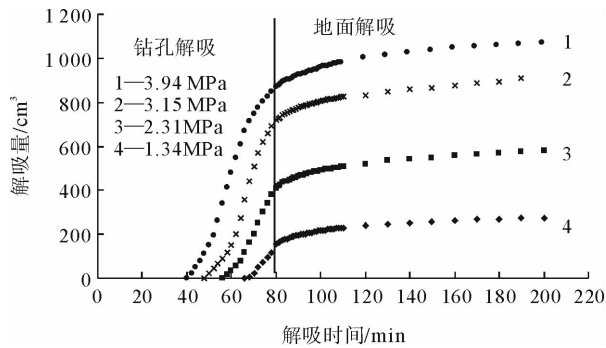


图7 煤芯瓦斯压力与解吸量关系曲线图

Fig. 7 The relation curves between gas pressure of coal core and the quantity of gas desorption

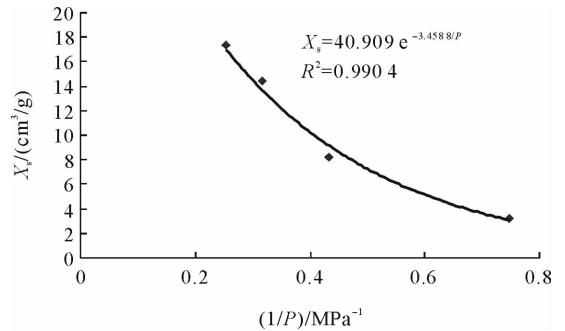


图8 煤芯提钻过程 $1/P-X_s$ 关系曲线图

Fig. 8 The realtion curve between $1/P$ and X_s in process of exploration coring

从图7可以看出,在其它条件相同时,取芯期间煤芯损失瓦斯量(B 点对应的纵坐标值除以煤芯重量)随着煤层原始瓦斯压力的增大而增大,两者之间经回归遵循如下关系:

$$X_s = A_2 e^{-B_2/P} \quad (4)$$

其中: P 为煤层原始瓦斯压力, MPa; A_2, B_2 为系数;其余符号意义同前。式(4)的关系形式是普遍存在的,但不同的煤层会有不同的系数 A_2 与 B_2 。图8为老虎台矿本煤层煤芯提钻过程 $P-X_s$ 关系曲线, $A_2 = 40.909, B_2 = 3.4588$ 。

2.5 煤的瓦斯解吸过程曲线形态特征分析

通过分析各煤样模拟提钻过程煤芯解吸瓦斯量 Q 与解吸时间 t 的实测曲线可以看出,无论煤质及模拟条件, $Q-t$ 曲线均符合图9的形态,并具有如下阶段性特征:①煤芯在开始解吸瓦斯后的某一段时间段($0, t_1$)内, $Q-t$ 曲线较为平缓,说明煤芯累计瓦斯解吸量 Q 和瓦斯解吸速度 V 均随时间的增加而增大,增幅较小;②在(t_1, t_2)解吸时段内, $Q-t$ 曲线忽然变的陡峭,煤芯累计瓦斯解吸量 Q 和瓦斯解吸速度 V 不但随时间增加而加大,且增幅较大;③当时间延长到 t_2 时, $Q-t$ 曲线有一个较为明显的“拐点”,使得曲线由凹变凸。当解吸时间大于 t_2 时,煤芯的瓦斯解吸总量虽然随解吸时间增加而增大,但瓦斯

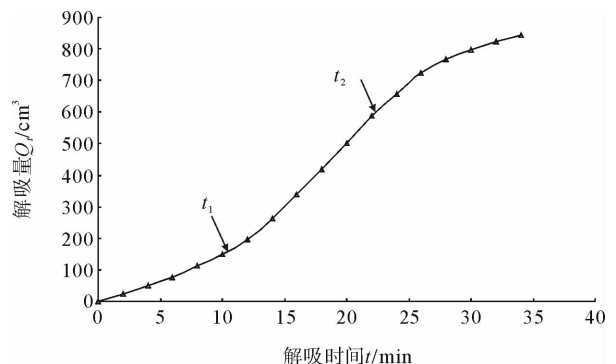


图9 泥浆介质中煤芯提钻过程 $Q-t$ 关系特征曲线示意图

Fig. 9 The sketch of characteristic relation curve of Q and t in process of exploration coring in slurry medium

解吸速度却随着解吸时间延长而减小。

在①、②阶段,煤芯的瓦斯解吸处于增速状态,解吸量与解吸速度均随时间的增加而增大。这种特征是煤在空气介质中解吸瓦斯时不存在的,属于泥浆介质中提钻过程煤芯瓦斯解吸的重要特征。在③阶段,煤芯瓦斯解吸进入到衰减期,其特征与空气介质中煤的瓦斯解吸特征类似。

从曲线的形态来看,泥浆介质中取芯提钻过程中,煤的瓦斯解吸 $Q-t$ 曲线呈现出类宽缓型“S”形态或类双曲正切函数 $\text{th}x = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$ 形状,但具有明显的不对称性。

3 结论

1)模拟实验结果表明:煤样粒度越小,相同时间段内的瓦斯解吸总量越大;提钻取芯过程煤芯瓦斯损失量随着提钻速度的增加而减少;提钻取芯过程煤芯瓦斯损失量随着煤层原始瓦斯压力增大而增大。

2)在泥浆介质中提钻取芯时,只有当煤芯瓦斯压力大于作用于煤芯上的泥浆压力时,煤中瓦斯才能解吸,煤芯开始解吸瓦斯的条件为: $0.01 \text{ MPa} \leq P_{\text{mud}} - P_{\text{CH}_4} \leq 0.15 \text{ MPa}$;提钻过程煤芯瓦斯解吸是典型的非等压解吸过程,整个解吸曲线呈现出类宽缓型“S”形态或类双曲正切函数形状,但具有明显的不对称性。

3)通过实验模拟,得出了提钻取芯过程中煤芯开始解吸瓦斯的条件及煤的瓦斯解吸过程特征曲线,为进一步完善地勘瓦斯含量测定方法提供了理论依据。

参考文献:

- [1]王兆丰.空气、水和泥浆介质中煤的瓦斯解吸规律与应用研究[D].徐州:中国矿业大学,2001.
- [2]赵东,冯增朝,赵阳升.煤层瓦斯解吸影响因素的试验研究[J].煤炭科学技术,2010,38(5):45-46.
ZHAO Dong, FENG Zengchao, ZHAO Yangsheng. Experiment study on affected factors to seam gas desorption law[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(5): 45-46.
- [3]中华人民共和国国家标准. GB/T 23249—2009,地勘时期煤层瓦斯含量测定方法[S].
- [4]贾东旭,王兆丰,袁军伟,等.我国地勘解吸法存在的问题分析[J].煤炭科学技术,2006,34(4):88-89.
JIA Dongxu, WANG Zhaofeng, YUAN Junwei, et al. Analysis on existing problems of sorption method in china geological survey[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(4): 88-89.
- [5]曹焱林,仇海生.碎屑状煤芯瓦斯解吸规律研究[J].中国矿业,2007,16(12):120-121.
CAO Yaolin, QIU Haisheng. Gas desorption law of clastic coal core study[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(12): 120-121.
- [6]姚有利,秦跃平,于海春.煤中瓦斯解吸渗透理论及实验研究[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(5):702-703.
YAO Youli, QIN Yueping, YU Haichun. Study on gas adsorption and desorption in coal sample[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2009, 28(5): 702-703.