

8-25-2019

Accurate test technology and device for coal seam gas content in long boreholes in underground coal mines

SUN Siqing

Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China

ZHANG Qun

Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China

LONG Weicheng

Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://cge.researchcommons.org/journal>



Part of the [Earth Sciences Commons](#), [Mining Engineering Commons](#), [Oil, Gas, and Energy Commons](#), and the [Sustainability Commons](#)

Recommended Citation

SUN Siqing, ZHANG Qun, LONG Weicheng, et al. (2019) "Accurate test technology and device for coal seam gas content in long boreholes in underground coal mines," *Coal Geology & Exploration*: Vol. 47: Iss. 4, Article 2.

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.04.001

Available at: <https://cge.researchcommons.org/journal/vol47/iss4/2>

This Special Issue Article is brought to you for free and open access by Coal Geology & Exploration. It has been accepted for inclusion in Coal Geology & Exploration by an authorized editor of Coal Geology & Exploration. For more information, please contact 380940179@qq.com.

Accurate test technology and device for coal seam gas content in long boreholes in underground coal mines

Authors

SUN Siqing, ZHANG Qun, LONG Weicheng, ZHENG Kaige, and HEI Lei

“国家科技重大专项成果转化及应用”专题 编者按 “十一五”“十二五”两个阶段，国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”在煤与煤层气勘探开发理论和技术等方面已取得了突破，“十三五”阶段任务旨在通过应用实践，实现理论和技术成果转化。专题依托“十三五”国家科技重大专项课题(2016ZX05045-002)部分任务，集中报道煤层气(瓦斯)在勘探开发领域部分技术成果应用实践，选取云南、贵州、河南等构造复杂低渗煤储层中的煤层气开发系列技术，旨在增强行业学术交流，推动全国范围内尤其是前景区煤层气资源的有效开发和利用，以期促进我国煤层气产业化快速发展。

文章编号: 1001-1986(2019)04-0001-05

煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试技术及装置

孙四清, 张 群, 龙威成, 郑凯歌, 黑 磊

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对煤矿井下大范围超前探测煤层瓦斯含量的实际需求, 提出了煤矿井下煤层瓦斯含量测试密闭取心方法, 设计并试制了适合于煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试的“三简单动、球阀密闭”的密闭取心装置, 装置外径 89 mm, 采取煤心直径可达 38 mm; 密闭能力达到 11 MPa 以上, 满足于煤矿井下煤层瓦斯含量测定密闭取样要求。井下工程试验结果显示, 该装置的煤层密闭取心取样深度达到 360.5 m, 5 组密闭取心法测得的煤层瓦斯含量为常规取心法测值的 1.26~3.07 倍, 平均 2.25 倍。该技术将为我国煤矿井下煤层瓦斯含量大范围精准探测、区域瓦斯治理及效果检测提供一种有效的技术手段。

关键词: 煤层瓦斯含量; 密闭取心; 精准测试; 长钻孔取样; 煤矿井下

中图分类号: TD712.62 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.04.001



Accurate test technology and device for coal seam gas content in long boreholes in underground coal mines

SUN Siqing, ZHANG Qun, LONG Weicheng, ZHENG Kaige, HEI Lei

(Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to get actual gas content of underground coal mine during large-scale advanced detection, the sealed coring method for gas content was proposed. The sealed coring device of “three-cylinders, single motion and ball valve sealing” suitable for accurate test of gas content of long boreholes in underground coal mines was designed and trial-produced, the outer diameter of the device is 89 mm, and the diameter of the coal core can reach 38 mm, the pressure holding capacity of the sealed coring device is above 11 MPa, which satisfies the requirement of sealing sampling for the determination of coal seam gas content in underground coal mines. By using the sealed coring device to carry out the test of gas content determination of underground coal coring in typical coal mines in China, the depth of coal coring in coal coring reached 360.5 m. The coal seam gas content measured by 5 groups of sealed coring method was 1.26~3.06 times higher than that of conventional coring method, with an average of 2.25 times. This technology will provide an effective technical means for test of the effect of extensive accurate detection of gas content and regional gas control in underground coal mines in China.

Keywords: coal seam gas content; sealed coring; accurate test; sampling from long borehole; underground coalmine

收稿日期: 2019-06-10

基金项目: 国家科技重大专项任务(2016ZX05045-002-002); 中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目(2018XAYZD09)

Foundation item: National Science and Technology Major Project(2016ZX05045-002-002); Science and Technology Innovation Fund of Xi'an Research Institute of CCTEG(2018XAYZD09)

第一作者简介: 孙四清, 1977 年生, 男, 河南新县人, 博士, 研究员, 从事煤矿瓦斯治理及煤层气勘探开发。E-mail: sunsiqing@cctegxian.com

引用格式: 孙四清, 张群, 龙威成, 等. 煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试技术及装置[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(4): 1-5.

SUN Siqing, ZHANG Qun, LONG Weicheng, et al. Accurate test technology and device for coal seam gas content in long boreholes in underground coal mines[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(4): 1-5.

瓦斯(煤层气)含量是表征煤储层特征的关键参数之一^[1],是煤层瓦斯灾害危险程度评价^[2]、矿井瓦斯治理工程设计^[3]、矿井瓦斯储量估算和煤层瓦斯预抽效果评估^[4]的重要依据。煤矿井下煤层瓦斯含量测定遵循 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》^[5],据该标准可知,煤层瓦斯含量总体上由损失量、解吸量和脱气量(煤样粉碎前脱气瓦斯量和煤样粉碎后脱气瓦斯量)3 部分构成,其中解吸量和脱气量是由煤样实测所得,而损失量是利用煤样井下早期解吸数据按照一定方法估算所得。为提高煤样损失瓦斯量估算的准确性,标准要求煤样定点采取且时间控制在 5 min 内,对取样深度较小的钻孔一般能满足,而对取样深度较大(孔深大于 100 m)的钻孔就无法实现。随着煤矿采掘速率的提升和煤矿瓦斯区域超前治理及效果检测的需要,亟需在井下对煤层瓦斯进行大范围的超前探测。因此,开展煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试技术及装置研究具有重要的现实意义。

对于煤层瓦斯含量测定前人进行了大量研究工作。R. M. Barrer^[6]研究得出煤中累计吸附量或解吸气体量与时间的平方根成正比,Н. И. ВСТИНОВ^[7]提出了描述煤矿井下采落煤块瓦斯解吸气体量模型。根据我国煤层实际情况国内学者^[8-10]对这两种模型进行深入研究,形成了我国煤矿井下煤层瓦斯含量直接测定中损失量估算的理论基础。相关学者针对煤矿井下煤层特殊取样及瓦斯参数测试也进行了大量探索,胡千庭等^[11]研究了井下双层取心管采取煤样及瓦斯含量快速测定方法,林柏泉等^[12]提出了一种煤矿密封取样装置及使用方法,王兆丰等^[13]研制出煤与瓦斯突出定点取样器,文光才等^[14]研究了深孔瓦斯的快速取样系统,其现场应用表明最大取样深度达 93 m^[15]。张宏图等^[16]总结分析了我国煤层瓦斯含量测定定点取样方法。中煤科工集团西安研究院有限公司^[17-19]“十一五”“十二五”期间在国家科技重大专项的资助下开展了煤矿井下煤层瓦斯含量测定密闭取样装置研究工作,笔者在此研究工作的基础上,开展了煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量精准测试技术及装置的研究和试验工作。

1 煤矿井下长钻孔煤层瓦斯密闭取心精准测试原理

依据 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》中关于煤层瓦斯含量构成可知,损失量是煤样装罐密封前暴露情况下逸散丢失的气体体积量,是根据煤样装罐后早期解吸气量数据采用 \sqrt{t} 法或幂函数法估算所得。因损失量估算模型本身假设条件的局限性给损失量估算结果带来误差,导致煤层瓦斯含量测试结果不准^[20-21];另外,井下深孔退钻取样时间一般较长,在此过程中煤样处于开放式岩心管中,大量吸附态瓦斯开始解吸并逸散,利用 \sqrt{t} 法或幂函数法估算的损失量与实际相差很大,估算结果不可靠。为此,借鉴油气勘探取样方法,提出了煤矿井下煤层瓦斯密闭取样和精准测试方法,该方法原理是,在煤样进入取心筒后采用特殊装置将其密封,防止煤样瓦斯解吸逸散丢失;然后逐根退出钻杆,从钻孔中取出密闭的取心筒;将密闭的取心筒运到地面,打开阀门进行解吸,计量瓦斯量,实现煤矿井下长钻孔取样煤层瓦斯含量精准测试。

2 煤层瓦斯密闭取样装置设计和试制

根据煤矿井下长钻孔煤层瓦斯含量测定密闭取样及测试要求,设计密闭取心器为“三筒单动、球阀密闭”结构,装置整体上由取心外筒、取心内筒和取心中间筒构成,密闭取样装置结构示意图如图 1 所示。取心外筒两端分别与钻探取心钻杆和密闭取心钻头相连,传递钻压和扭矩,确保钻进过程中煤样能进入密闭取心装置。取心内筒是非旋转筒,是煤样及其解吸气体量的存储容器,取心内筒容积大小以满足煤层瓦斯含量测定煤样量采取的需要,取心内筒上下端与密封球阀和解吸阀门连接,密封球阀对装入取心内筒的煤样进行保压密封,解吸阀门是测量取心内筒中煤样瓦斯量的连接口。取心中间筒是液压推动筒,在钻杆连接端用销子与悬挂总成相连,传递液压动力,推动取心内筒上下端球阀联动关闭,实现煤样密封。密闭取心装置前端是密闭取心钻头,在钻压和扭矩作用下,密闭取心钻头切削煤层形成钻孔,煤样通过取心钻头中间的圆孔进入取心内筒,完成取心钻进的煤样采集。

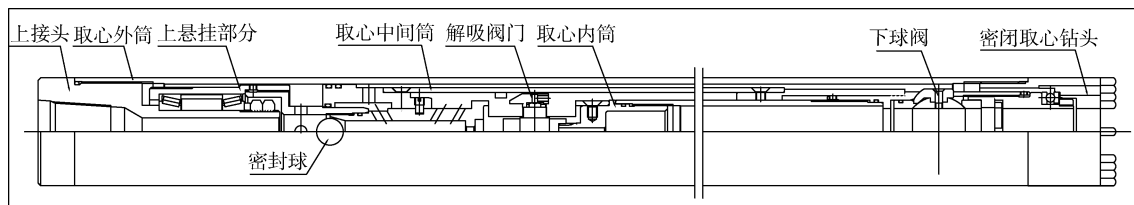


图 1 煤矿井下密闭取心装置结构

Fig.1 Structure of sealed coring device for underground coalmine

密闭取心装置不仅要能密封住瓦斯而且还要有一定保压能力, 防止煤样解吸出的气体压力将密闭球阀撑开, 造成煤样密封失效。各个矿区煤层瓦斯地质条件不同, 煤层瓦斯压力差异也比较大, 要求密闭取心装置在密闭保压能力上要有一定富余系数。密闭取心装置研制完成后对其密闭保压能力进行了试验检测, 检测方法是向密闭取心内筒中注入一定量的高压氮气, 注气后切断高压气源, 连续观测密闭取心内筒中气体压力变化, 当观测压力表值无明显变化后, 将充有高压氮气的取心内筒置于清水中观测是否有气泡现象。本次气密性检测试验注入的氮气压力为 11.3 MPa, 气密性检测过程中, 取心内筒气体压力随时间的变化曲线如图 2 所示, 注入初期压力有小幅下降, 然后稳定在 11 MPa 以上, 且取心内筒在清水中观测无气泡现象; 初期气体压力小幅下降, 分析认为是因注气过程取心内筒及其内部气体温度变化所致, 后期监测压力稳定。气密性检测结果表明, 密闭取心装置的密闭保压能力在 11 MPa 以上, 满足我国煤矿井下煤层瓦斯含量测定密闭保压采样的需要。

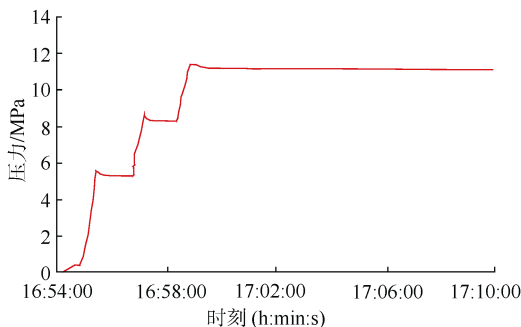


图2 密闭取心器密封性压力监测曲线

Fig.2 Relationship between sealing pressure and holding time of sealed coring device

3 煤层瓦斯密闭取心工艺技术与含量测试方法

3.1 煤层瓦斯密闭取心工艺技术

密闭取心前将取心内筒两端球阀置于打开状态, 便于钻进时煤样能够顺利进入取心内筒。当钻孔钻到煤层预定深度后, 利用钻杆将密闭取心装置送到孔底, 开启泥浆泵利用高压水排掉取心筒内及周围煤粉, 开始一段无心钻进后进行煤层密闭取心钻进。在钻压的推动作用下煤样不断进入到取心内筒, 通过取心内筒末端球阀不断将其内部空气及泥浆液排挤掉。取心钻进过程中泥浆液通过取心内筒与取心外筒之间的间隙流入取心钻头末端的水眼, 冷却钻头, 避免取心钻进中的切削、研磨导致煤样温度升高; 另外, 泥浆携带取心钻头切削掉的煤粉

经过钻孔孔壁与取心外筒之间的环状间隙流出孔底。当取心钻进长度达到设计值时, 向钻杆内部放置一定直径的轻质球, 利用泥浆液将轻质球送入到密闭取心器末端球座, 堵住密闭取心器上端水眼, 使得钻杆内泥浆液压力升高, 当压力升高到一定值后切断取心中间筒与悬挂总成之间的连接销钉, 依靠销钉剪断时瞬间提供的能量推动取心中间筒向前运动, 带动取心内筒上下端球阀联动关闭, 取心内筒煤样被密封; 在球阀联动关闭的同时, 密闭取心器水路再次被打开, 泥浆液压力下降。煤层样取心、密闭完成后, 退钻提出密闭煤样, 进行煤层瓦斯含量的相关测试工作。

3.2 煤层瓦斯含量测试方法

取心钻杆将密闭取心装置从钻孔深部提出后, 拆卸掉密闭取心装置的外筒和取心中间液压推动筒, 检查密闭取心内筒上下端球阀的密闭性; 确认取心内筒上下端密闭球阀无漏气现象后, 将瓦斯解吸计量装置与密闭取心内筒上端的解吸阀门连接。首先, 对煤样进行井下现场解吸气测试, 测量提钻过程中取心内筒煤样解吸并封存于取心内筒中的游离气以及煤样压力降至常压下解吸气含量 Q_1 , 并记录井下现场空气温度和压力; 然后将密闭煤样提至地面, 测试煤样粉碎前脱出的瓦斯气含量 Q_2 ; 最后对煤样进行粉碎, 测量粉碎过程中及粉碎后脱出的瓦斯气含量 Q_3 。煤样井下现场解吸气含量、煤样粉碎前脱气含量和煤样粉碎后脱气含量之和就是煤层瓦斯含量, 即: $Q_m = Q_1 + Q_2 + Q_3$ 。

4 现场工程试验及结果分析

4.1 现场工程试验

a. 试验矿井煤层特征 试验矿井是我国典型高突矿区, 目标煤层为二叠系下统山西组 3 号煤, 煤的镜质体最大反射率为 4.17%~4.36%, 平均 4.24%。煤层厚度 4.45~8.75 m, 平均 6.31 m, 煤层含夹矸 1~3 层。煤体呈钢灰色, 似金属光泽, 煤岩成分以亮煤为主, 暗煤次之, 宏观煤岩类型为半亮型煤。井下煤壁观测煤体结构总体较好, 原生结构或碎裂结构, 局部发育较薄层的碎粒煤或糜棱煤; 研究区硬煤^[22]的坚固性系数为 1.05~1.88, 平均 1.37, 构造软煤^[22]的坚固性系数为 0.35~0.55。地面井测得煤层埋深 200~400 m 段煤层瓦斯含量 4.75~20.89 m³/t, 平均 11.32 m³/t, 煤层埋深 403~695 m 段煤层瓦斯含量 7.67~25.76 m³/t, 平均 19.12 m³/t, 煤层埋深 300 m 井下测得瓦斯压力 1.81 MPa。煤层开采前采用定向钻机对煤层瓦斯进行区域预抽, 抽

采效果达标后再进行巷道掘进。

b. 密闭取心工程设计及主要设备 本次试验是利用研制的煤矿井下密闭取心装置对煤层瓦斯预抽 3~6 个月后的煤层瓦斯含量进行效果检测, 并采用常规取心法在同钻孔同深度处采集煤样进行煤层瓦斯含量测定。密闭取心钻进设备采用 ZDY12000-LD 型定向钻机, 主要参数: $\Phi 89$ mm 中心通缆钻杆和 $\Phi 89$ mm 无磁钻杆, $\Phi 120$ 钻头。选用 3NB-300/12-

45 型泥浆泵为煤层深孔钻进和密闭取心球阀联动关闭的动力源。

c. 密闭取心工程试验及结果 密闭取心煤层瓦斯含量测定按照 3.2 节的测试方法进行, 常规取心方法煤层瓦斯含量测试依据 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》执行。共计开展了 4 个钻孔、采取 5 组样品的煤层瓦斯含量测试对比试验, 结果如表 1 所示。

表 1 煤矿井下密闭取心与常规取心煤层瓦斯含量测试结果对比
Table 1 Comparison of gas content between sealed coring and conventional coring in underground coalmine

钻孔 编号	取样 方式	取样 深度/m	球阀关闭 压力/MPa	球阀 关闭状态	煤层瓦斯 含量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	密闭取心与常规 取心瓦斯含量之比	煤样 质量
1号	密闭取心	120~121.5	10	密闭	9.73	1.26	合格
	常规取心	120~121.5			7.70		合格
2号	密闭取心	180~181.5	7	密闭	7.34	2.38	合格
	常规取心	180~181.5			3.08		合格
	密闭取心	360~361.5	8	密闭	11.18	1.71	合格
	常规取心	360~361.5			6.52		合格
3号	密闭取心	195~196	13	密闭	14.15	3.07	合格
	常规取心	195~196			4.61		合格
4号	密闭取心	304~305.2	14	密闭	11.68	2.81	合格
	常规取心	304~305			4.16		合格

注: 煤样质量符合 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》要求。

4.2 试验结果分析

根据表 1 可知, 4 个钻孔 5 次煤矿井下密闭取心试验的煤样采取深度为 120~361.5 m, 推动密闭球阀关闭时的泵压达到 7~14 MPa, 平均 10.4 MPa, 现场检查密闭取样装置球阀处于完全关闭状态, 实现了球阀密封煤样避免气体解吸逸散的目的, 5 次密闭取心和常规取心采集到的煤样质量符合煤层瓦斯含量测试规范要求。5 组密闭取心与常规取心煤层瓦斯含量测试结果对比试验表明, 密闭取心法测得的煤层瓦斯含量是常规取心法测得的 1.26~3.07 倍, 平均 2.25 倍。

煤矿井下密闭取心煤层瓦斯含量测定工程试验结果表明: 采用自主研发的煤矿井下煤层密闭取心装置能够实现煤样的定点、密闭采取和瓦斯含量精准测试, 规避了常规取心法损失量估算不准、长钻孔煤样暴露时间过长而无法准确测定煤层瓦斯含量的现实问题; 长钻孔(钻孔深度超过 100 m)常规取心法测得的煤层瓦斯含量较煤储层实际瓦斯含量存在较大差异, 其测试结果不能有效指导生产。

5 结 论

a. 提出了煤矿井下长钻孔煤层瓦斯密闭取心

精准测试方法和工艺技术。

b. 研制了适合于煤矿井下煤层瓦斯含量测定“三简单动、球阀密闭”密闭取心装置, 该装置密封气体压力达 11 MPa, 取心装置外径 89 mm, 煤心直径可达 38 mm。

c. 利用密闭取心装置在我国典型矿区开展了煤矿井下煤层密闭取心瓦斯含量测试工程试验, 试验钻孔密闭取样深度达到 361.5 m。测试结果表明, 密闭取心法测得的煤层瓦斯含量是常规取心法的 1.26~3.07 倍, 平均 2.25 倍, 密闭取心测试结果较好地反映了检测区域煤层瓦斯抽采效果。

参考文献

- [1] 张群, 冯三利, 杨锡禄. 试论我国煤层气的基本储层特点及开发策略[J]. 煤炭学报, 2001, 26(3): 230~235.
ZHANG Qun, FENG Sanli, YANG Xilu. Basic reservoir characteristics and development strategy of coalbed methane resource in China[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(3): 230~235.
- [2] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 煤矿瓦斯抽采工程设计规范: GB 50471—2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.

- [4] 孙四清. 煤矿区煤层气抽采效果检测指标及评价[J]. 煤矿安全, 2017, 48(5): 173-176.
SUN Siqing. Detection indexes of coalbed methane drainage effect and evaluation method in coal mine area safety in coal mines[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(5): 173-176.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 煤矿井下煤层瓦斯含量直接测定方法: GB/T 23250—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [6] BARRER R M. Diffusion in and through solid[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1951.
- [7] ВСТИНОВ Н И. 煤矿沼气涌出[M]. 宋世钊, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1983.
- [8] 杨其奎. 煤屑瓦斯放散随时间变化规律的初步探讨[J]. 煤矿安全, 1986(4): 3-11.
YANG Qiluan. Preliminary discussion on the change of gas dispersion with time[J]. Safety in Coal Mines, 1986(4): 3-11.
- [9] 苏文叔. 矿井瓦斯涌出[J]. 煤炭工程师, 1989(2): 7-14.
SU Wenshu. Emission of coal seam gas in coalmine[J]. Coal Engineer, 1989(2): 7-14.
- [10] 王涛, 黄文涛. 煤层瓦斯含量测定方法的改进意见[J]. 煤田地质与勘探, 1996, 24(4): 21-24.
WANG Tao, HUANG Wentao. Suggestions on improvement of methodology for measuring coal seam gas content[J]. Coal Geology & Exploration, 1996, 24(4): 21-24.
- [11] 胡千庭, 邹银辉, 文光才, 等. 瓦斯含量法预测突出危险新技术[J]. 煤炭学报, 2007, 32(3): 276-280.
HU Qianting, ZOU Yinhui, WEN Guangcai, et al. New technology of outburst danger prediction by gas content[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 276-280.
- [12] 林柏泉, 刘谦, 朱传杰, 等. 一种煤矿密封取样装置及其使用方法: CN103115797A[P]. 2013-05-22.
- [13] 王兆丰, 王裕清, 柏发松, 等. 煤与瓦斯突出预测定点取样器: CN201210117[P]. 2009-03-18.
- [14] 文光才, 康建宁, 隆清明, 等. 深孔瓦斯的快速取样系统: CN101975060A[P]. 2011-02-16.
- [15] 李建功, 吕贵春, 隆清明, 等. 深孔定点快速取样技术在瓦斯含量测定中的应用效果考察[J]. 工业安全与环保, 2014, 40(11): 5-7.
LI Jiangong, LYU Guichun, LONG Qingming, et al. Application effects research on deep hole fixed-point fast sampling technology in gas content measurement[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2014, 40(11): 5-7.
- [16] 张宏图, 魏建平, 王云刚, 等. 煤层瓦斯含量测定定点取样方法研究进展[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(1): 186-192.
ZHANG Hongtu, WEI Jianping, WANG Yungang, et al. Sampling methods for coalbed gas content direct determination[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(1): 186-192.
- [17] 张丁亮, 黑磊, 张培河, 等. 一种井下煤层密闭取心装置及使用方法: CN101769134A[P]. 2010-07-07.
- [18] 景兴鹏. 机械密闭取心瓦斯含量测定集成技术研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(11): 59-63.
JING Xingpeng. Study on integrate technique of mechanical sealed coring and methane content measuring[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(11): 59-63.
- [19] 龙威成. 煤层密闭取心瓦斯含量测试技术及其在定向长钻孔中的应用[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2018, 37(6): 16-21.
LONG Weicheng. Study on gas content measurement technology with sealed coal coring and its application in long borehole of directional drilling[J]. Journal of Henan Polytechnic University(Natural Science), 2018, 37(6): 16-21.
- [20] 张群, 范章群. 煤层气损失气含量模拟试验及结果分析[J]. 煤炭学报, 2009, 34(12): 1649-1654.
ZHANG Qun, FAN Zhangqun. Simulation experiment and result analysis on lost gas content of coalbed methane[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1649-1654.
- [21] 杨兆彪, 秦勇, 王兆丰, 等. 钻井液条件下煤心煤层气解吸-扩散模型及逸散量求取[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(2): 171-177.
YANG Zhaobiao, QIN Yong, WANG Zhaofeng, et al. Desorption-diffusion model and lost gas quantity estimation of coalbed methane from coal core under drilling fluid medium[J]. Science China: Earth Sciences, 2010, 40(2): 171-177.
- [22] 汤友谊, 田高岭, 孙四清, 等. 对煤体结构形态及成因分类的改进和完善[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2004, 23(3): 161-164.
TANG Youyi, TIAN Gaoling, SUN Siqing, et al. Improvement and perfect way for the classification of the shape and cause formation of coal body texture[J]. Journal of Henan Polytechnic University(Natural Science), 2004, 23(3): 161-164.

(责任编辑 晋香兰)