

基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定技术

薛伟超^{1,2}

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司 煤矿火灾及瓦斯防控国家矿山安全监察局重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

摘要: 煤层瓦斯含量是煤矿日常生产、瓦斯动力灾害防治和瓦斯资源利用的基础数据。为提高煤层瓦斯含量测定结果的准确性,通过分析现行测定方法存在的问题,基于区域定点和原位环境保持的技术要求,研制了定点保压取样装置,提出了一种基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定方法,测定过程包括装置连接、钻孔钻进、钻孔取芯、钻孔退钻、煤层瓦斯含量测定等5个步骤。采用现场试验的方法将定点保压取样与传统取样方式进行对比分析,结果表明:采用传统取样方式测得的二₁煤层瓦斯含量为2.61~3.09 m³/t,平均瓦斯含量为2.83 m³/t;采用定点保压取样方式测得的二₁煤层瓦斯含量为3.09~3.63 m³/t,平均瓦斯含量为3.32 m³/t,较传统取样方式平均增加了17.31%。基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定技术无孔壁杂质干扰,取样过程中煤样暴露时间极短,提高了煤矿井下大范围区域煤层瓦斯含量测定准确度,为煤层区域瓦斯治理和瓦斯抽采达标评判等提供了技术支撑。

关键词: 定点保压;煤层瓦斯含量;定向钻孔;区域煤层;精准测定

中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1003-1251.2025.05.013

Precise Determination Technology of Coal Seam Gas Content Based on Position Fixed and Pressure Maintenance Sampling

XUE Weichao^{1,2}

(1. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. National Mine Safety Administration Key Laboratory of Coal Mine Fire and Gas Disaster Prevention and Control, CCTEG Shenyang Research Institute, Fushun 113122, China)

Abstract: The determination of coal seam gas content is fundamental to daily production in coal mines, prevention and control of gas dynamic disasters, and the utilization of gas resources. To enhance the accuracy of coal seam gas content measurements, a position fixed and pressure maintenance sampling device was developed based on the technical requirements for regional fixed-point and *in-situ* environmental preservation. This development was based on an analysis of existing challenges in current measurement methods. A precise method for determining coal seam gas content using position fixed and pressure maintenance sampling was proposed, with the process comprising five steps: device connection, drilling, core sampling, drill withdrawal, and gas content determination. Field experiments were conducted to compare the position fixed and pressure maintenance sampling method with traditional sampling techniques. The results indicated that the gas content of the No. 2-1 coal seam measured by the traditional method ranged from 2.61 to 3.09 m³/t, with an average of 2.83 m³/t. In contrast, the position fixed and pressure maintenance sampling method

yielded a range of 3.09 to 3.63 m³/t, with an average of 3.32 m³/t, representing a 17.31% increase over the traditional method. The precise determination technology based on position fixed and pressure maintenance sampling eliminates interference from hole wall impurities and minimizes coal sample exposure time during sampling, thereby improving the accuracy of large-scale regional coal seam gas content determinations in underground coal mines. This technology provides essential technical support for regional gas control and gas drainage compliance evaluation in coal seams.

Key words: position fixed and pressure maintenance; coal seam gas content; directional drilling; regional coal seam; precise determination

煤炭是我国的主体能源,在我国能源结构中占比为56%^[1]。瓦斯是煤炭开采中伴生的气体,以吸附态和游离态赋存于煤的孔隙中,其主要成分为甲烷,是一种可以开发利用的非常规天然气——煤层气。煤矿开采过程中可能发生瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出等瓦斯动力灾害,而煤层瓦斯含量是进行矿井瓦斯涌出量预测、矿井瓦斯抽采设计和通风设计的重要基础参数,也是保障工作面安全回采、进行煤岩瓦斯动力灾害评价的核心参数。此外,瓦斯是极其重要的清洁能源,其抽采利用可以减少温室气体的排放。鉴于我国以煤炭为主的能源结构和“碳达峰、碳中和”政策对清洁能源使用的要求,煤层气资源开发利用前景十分广阔。我国煤层气资源丰富,2 000 m以浅煤层气资源量为 30.05×10^{12} m³^[2],而煤层瓦斯含量是煤层气资源总量和资源丰度计算的基础数据。因此,准确测定煤层瓦斯含量是指导煤矿日常生产、瓦斯动力灾害防治和煤层气资源勘探及开发利用的基础^[3-7]。

目前煤层瓦斯含量的测定方法主要有直接法和间接法,其中直接法是先钻取煤层煤样,再通过解吸方法测定煤层瓦斯含量,测定结果更为准确。根据钻孔施工方式不同,直接法可分为地勘法、井下直接测定法;根据解吸方式的差异,直接法可分为自然解吸法、高温解吸法、真空解吸法等^[8]。

采用直接法进行测定时将煤层瓦斯含量分为损失量、解吸量和残存量,分别进行测量,测量误差主要来自于损失量的测量。在煤样采取过程中不可避免地会将原位状态的煤样暴露在空气中,导致煤层瓦斯向周围空间逸散,造成瓦斯损失,实际测得的煤层瓦斯含量小于真实含量^[9-10]。损失量通常采用测定的其他参数由理论公式或经验公式估计,但随着钻孔深度和取样时间的增加,损失量估计误差增大,瓦斯含量测定准确率下降,下降幅度甚至达到20%~60%^[11-13]。

为提高瓦斯含量测定准确度,可通过优化瓦斯放散模型或改进取样取芯方式以尽可能减少取

样过程中的瓦斯损失^[14]。取样过程中影响瓦斯放散的因素很多,瓦斯放散模型优化较为困难,目前的重点研究方向是改进取样方式。常见的取样方式有螺旋钻杆取样、岩芯管取样、反循环风取样^[15-16]、负压引射^[17-18]、冷冻取样^[19-20]等。李泉新等^[21]将定向钻进与密闭取芯技术结合,增加了取样深度,最大可达491 m。但该方法在钻孔成孔后需要更换取样钻头,工艺操作复杂,退钻、进钻时间长,退钻过程中暴露的煤层向钻孔内部逸散瓦斯,导致实测瓦斯含量较真实值偏小。粘液密闭取样方法^[22]可提高煤层瓦斯含量测定的准确性,但密封取样的成功率不高,粘液密封的可靠性有待改善。陈绍杰等^[23]研制了“封-开-封”型密封取样装置,送钻过程中钻头前方处于封闭状态,解决了取样过程中的“混样”问题,最大取样深度达到70 m,但长距离钻孔取样时间较长,如满足取样时间条件则取样深度无法满足要求。郭昆明^[24]研制了新型深孔密闭取样装置,解决了钻孔深度问题与取样过程中的“混样”问题,试验取样深度达到了600 m,但仍存在成孔后退钻、更换取样钻头的问题。谢和平等^[25-26]针对深部开采的形势要求,提出了原位保压取样技术,研发了适用“保真”取样的技术装备,但目前的密闭取芯和“保真”取样工艺操作复杂,取样时间长,难以在煤矿井下大面积推广应用。

近二十年来,煤矿开采逐渐进入深部开采阶段,而煤矿深部开采时瓦斯灾害更加严重,对煤层瓦斯含量精准测定提出了更高的要求。同时,随着高产高效工作面开采技术的不断推广和采掘接替局势的紧张,区域瓦斯治理技术不断涌现,提出了区域煤层瓦斯含量测定的技术要求。针对大范围区域煤层取样过程中煤样的原位压力和瓦斯释放导致煤层瓦斯含量测定结果失真问题,亟需研发一种新型的、适合大范围区域煤层瓦斯含量精准测定的取样装置和测定方法。

鉴于现有瓦斯含量测定存在的问题,本文基

于定向钻孔远距离钻进的特点,采用区域煤层定点保压取样装置进行瓦斯含量的精准测定^[21,27],以期提高大范围区域煤层瓦斯含量测定的准确度,并与传统取样方式进行对比分析。

1 取样装置及测定方法

1.1 装置组成

区域煤层定点保压取样装置如图1所示,主要包括工具上接头、压差滑动机构、外筒、外接试

验接头、取芯内筒、球阀密封机构、取芯钻头等。工具上接头主要用于连接钻杆和取芯装置;压差滑动机构采用液力加压结构,用于关闭密封球;外筒主要用于传递扭矩;外接试验接头主要用于连接瓦斯解吸测定装置,实现取芯内筒中的压力释放并收集相应气体;取芯内筒主要用于容纳煤芯;球阀密封机构主要用于取芯内筒的密封,在钻进完成后,关闭取芯内筒的右侧取芯口,防止取芯内筒中的压力释放;取芯钻头主要用于破煤并形成柱状煤芯。

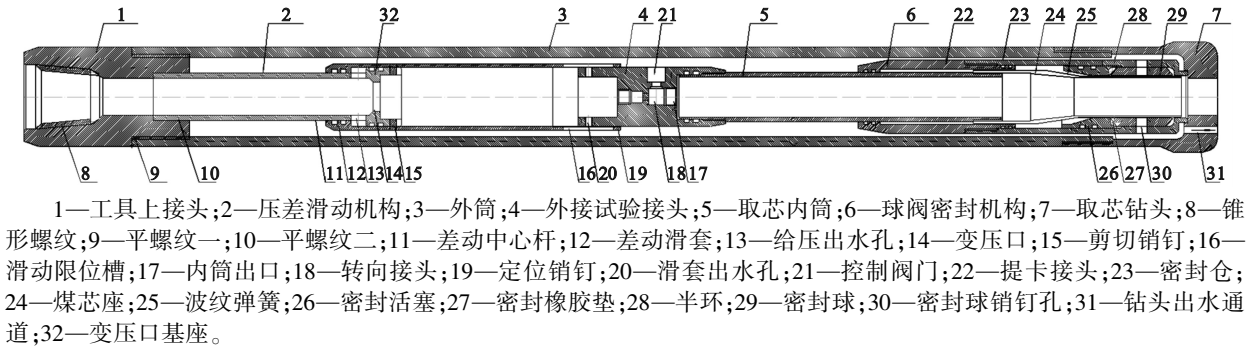


图1 煤层定点保压取样装置图

Fig.1 Schematic of the position fixed and pressure maintenance sampling device for regional coal seams

压差滑动机构包括差动中心杆、差动滑套、剪切销钉。差动中心杆与差动滑套密封连接,连接处可滑动,两者设有尺寸一致的圆孔,可用剪切销钉洞穿定位。差动中心杆上有给压出水孔、变压口、变压口基座,差动滑套上有滑动限位槽。

外接试验接头包括内筒出口、转向接头、定位销钉、滑套出水孔、控制阀门。

球阀密封机构包括提卡接头、密封仓、煤芯座、波纹弹簧、密封活塞、密封橡胶垫、半环、密封球、密封球销钉孔。提卡接头与密封活塞之间采用波纹弹簧压紧连接,密封活塞与密封橡胶垫之间采用粘贴连接,密封球通过其轴孔内填塞球轴固定在密封仓上,保证密封效果。取芯钻头上设置钻头出水通道。

1.2 测定原理

大功率、长距离定向钻进技术催生了高产高效集约化工作面的区域煤层瓦斯“四位一体”综合治理技术,传统钻机施工钻孔长度有限,难以满足区域煤层瓦斯治理的要求。采用定向钻机可以基于煤矿井下现有巷道钻场向没有巷道布置的大范围区域煤层施工定向钻孔,实现单钻场多孔取样和厚煤层单钻孔多点取样。通过随钻测量装置实现钻孔轨迹测量,将定向钻机钻头钻进设计取样点位,利用密闭保压取样装置采集原位环境煤样,

尽可能减少取样过程中的瓦斯损失量;将包含原位煤样的取样装置取出后,在煤矿井下进行现场解吸,计算解吸量;将解吸后的煤样密封送至实验室进行瓦斯组分分析和残存量测定。损失量、解吸量、残存量之和即为煤层瓦斯含量。基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定原理如图2所示。

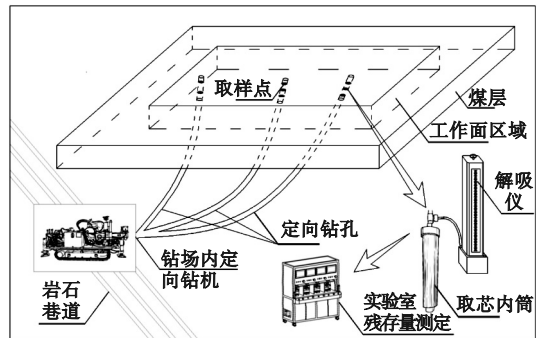


图2 基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定原理图

Fig.2 Schematic of precise measurement of coal seam gas content based on the position fixed and pressure maintenance sampling technology

1.3 测定方法

基于定点保压取样装置,提出一种瓦斯含量精准测定方法,其工艺流程如图3所示,具体包括以下5个步骤。

1) 装置的连接。通过工具上接头将煤层定点保压取样装置连接到定向钻机的钻杆上。具体过程为:将密封球固定在球仓上,球仓内放入波纹弹簧及活塞,活塞有橡胶密封的一面压向球面;将提卡接头套在内筒上,连接煤芯座;将球仓与提卡接头连接,内筒上端连接测试接头;测试接头母扣端连接内筒,公扣端连接差动结构;装配差动机构,外部滑套上有 $\Phi 7\text{ mm}$ 的孔,内外孔对齐,插入黄铜销钉锁住;将差动机构与测试接头连接,测试接头上有销钉,通过销钉调节连接长度;将差动机构与上部接头连接;通过滑动球阀密封机构调整工具上接头到球阀机构下端的长度,理论最佳长度为 $1\ 914\text{ mm}$;转动差动机构与测试接头之间的螺纹,使两者之间的长度差保持 $230\sim 232\text{ mm}$;将内筒机构插入外筒,在球阀上安装半环,半环长度较大的一面靠向钻头方位;上钻头,正常扭矩为 $3\ 500\sim 4\ 500\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

2) 钻孔钻进。采用定向钻机施工钻孔,将连接好的取样装置送入设计取样点位。

3) 钻具取芯。钻具到达设计取样点位后,充分循环,保证钻孔孔壁稳定;下压钻头上的堵头,直接钻进,钻进进尺不得超过 0.8 mm 。停止钻进,从钻机处将外露的钻杆卸开一节,投入循环钢球进行差动控制,钢球直径不小于 35 mm ;循环钢球卡在变压口,水压升高,给予差动滑套向后运动的力,水压升高至 $1\sim 2\text{ MPa}$ 时可剪断剪切销钉;剪切销钉剪断后,在差动滑套向后拉动的联动动作下,取芯工具会在半环滑轨内向后滑动并旋转,最终使半环的密封面卡在密封活塞的密封橡胶垫上,实现对所取煤芯的保压密封。

4) 钻孔退钻。利用钻机退钻,直至将取芯工具及钻头取出钻孔。

5) 煤层瓦斯含量测定。取芯工具取出后,拆卸取芯钻头,拆卸半环和上部接头,抽出内筒,从差动机构和测试接头处卸开,将瓦斯解吸仪连接测试接头,打开球阀,进行定点原位采取煤样的瓦斯解吸量测定。

重复上述步骤,测试不同钻孔或者同一钻孔内不同设计点位的煤层煤样。

2 技术应用

为了掌握区域煤层瓦斯赋存情况,基于定点保压取样方式测定煤层瓦斯含量,并与采用传统

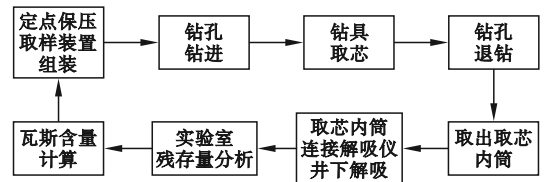


图3 基于定点保压取样的煤层瓦斯含量精准测定工艺流程

Fig.3 Process flow of precise measurement of coal seam gas content based on position fixed and pressure maintenance sampling technology

钻孔风排取样方式的瓦斯含量测定结果进行对比分析。

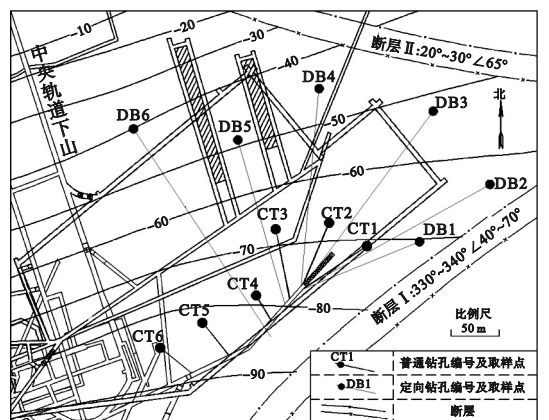
2.1 工程概况

河南某矿为煤与瓦斯突出矿井,矿井开采的 2_1 煤层为突出煤层。矿井核定生产能力为 1.80 Mt/a ,采用中央并列-对角混合式通风,采用放顶煤采煤法。

矿井 2_1 煤层平均厚度为 5.80 m ,煤层倾角为 $7^\circ\sim 13^\circ$,平均倾角为 11° 。实测最大煤层瓦斯含量为 $12.76\text{ m}^3/\text{t}$,最大煤层瓦斯压力为 0.46 MPa ,煤层透气性系数为 $0.0267\sim 0.0485\text{ m}^2/(\text{MPa}^2\cdot\text{d})$,百米钻孔瓦斯流量衰减系数为 $10.378\sim 10.558\text{ d}^{-1}$,煤的坚固性系数为 $0.18\sim 0.41$,煤层瓦斯放散初速度为 $10.8\sim 18.25\text{ mmHg}$ 。

2.2 实施方案

测定地点选在中央轨道下山下部东侧区域,利用-110运输大巷、-110坑代房施工钻孔,进行瓦斯含量测定,钻孔布置方式如图4所示。根据《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》(AQ/T 1047—2007),同一测点的2个钻孔间距超过 20 m ,本方案瓦斯含量测点参照该标准布设,实际最小钻孔间距为 45 m ,远大于 20 m ,确保了钻孔之间不存在相互影响。



(a) 钻孔布置平面图

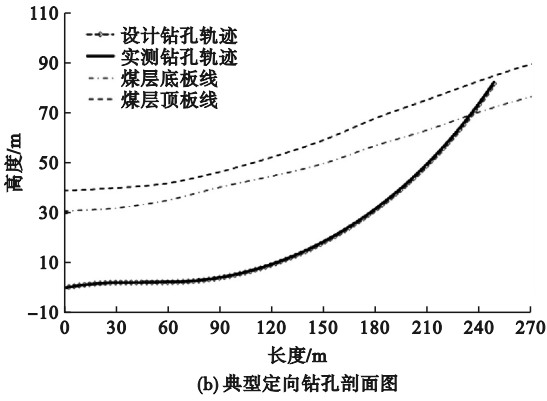


图 4 取样钻孔布置方式

Fig. 4 Layout of the sampling holes

2.3 测定结果与分析

根据《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》(GB/T 23250—2009),采用区域煤层定点保压取样方式(定保取样)和传统钻孔风排取样方式(传统取样)测定中央轨道下山下部东部二₁煤层瓦斯含量,结果如表 1 所示,表中定向钻孔倾角为钻孔轨迹切线与水平线所夹的最大锐角。

表 1 不同取样方式下瓦斯含量测定结果

Table 1 Gas content results of different sampling methods

孔号	方位角/ (°)	倾角/ (°)	总孔深/ m	煤孔段/ m	瓦斯含量/ (m ³ ·t ⁻¹)	取样 方式
CT1	56.0	+29.0	100	82~99	2.76	传统取样
CT2	22.5	+34.5	90	74~89	3.09	传统取样
CT3	348.5	+32.5	97	78~96	2.69	传统取样
CT4	328.5	+49.5	53	41~52	2.77	传统取样
CT5	321.5	+41.5	65	52~64	3.05	传统取样
CT6	309.0	+34.0	59	45~58	2.61	传统取样
DB1	68.0	+15.3	144	126~141	3.09	定保取样
DB2	61.0	+11.1	228	215~228	3.60	定保取样
DB3	36.5	+13.7	234	225~234	3.63	定保取样
DB4	4.8	+14.7	219	206~219	3.22	定保取样
DB5	344.2	+15.4	192	171~192	3.09	定保取样
DB6	326.4	+6.4	270	250~270	3.27	定保取样

由表 1 可知,采用传统取样方式测得的二₁煤层瓦斯含量为 2.61~3.09 m³/t,采用定保取样方式测得的二₁煤层瓦斯含量为 3.09~3.63 m³/t。

为保证取样方式的单因素分析有效性,研究本区域煤层埋深和断层构造(测点至断层边界的水平距离)对本文煤层瓦斯含量测定结果影响的显著性。

一般而言,随着埋藏深度的增加,煤层瓦斯压力逐渐增大,煤岩体中赋存的游离瓦斯量增大,在

“吸附=解吸”动态平衡作用下,煤岩体中的吸附瓦斯量也增大。因此,在达到极限吸附埋深前,煤层瓦斯含量随煤层埋深的增大而增加。本文测得煤层瓦斯含量随埋深变化如图 5 所示,对测量结果进行线性拟合,拟合结果示于图中,拟合方程式中 W_{db} 和 W_{ct} 分别表示定保取样和传统取样时测点的瓦斯含量, H 表示埋深。

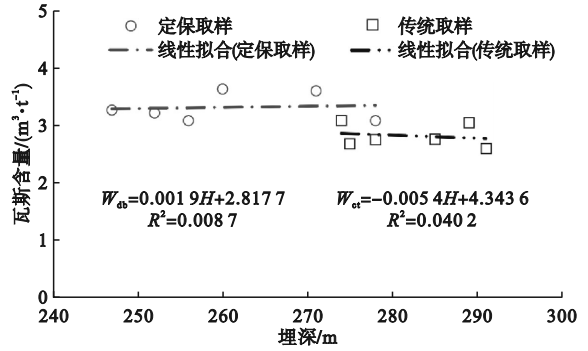


图 5 埋深对煤层瓦斯含量的影响

Fig. 5 Effect of burial depth on coal seam gas content

由图 5 可以看出:在测试区域范围内,所有传统取样测点的平均埋深为 282 m,测得二₁煤层平均瓦斯含量为 2.83 m³/t;所有定保取样测点的平均埋深为 261 m,测得二₁煤层平均瓦斯含量为 3.32 m³/t;采用定保取样方式测得的瓦斯含量整体较传统取样方式测得的瓦斯含量高,平均增加了 0.49 m³/t,增量百分比为 17.31%。定保取样测点平均埋深小,平均瓦斯含量反而大,这与一般的煤层瓦斯含量随埋深变化规律不符。

定保取样测点瓦斯含量 W_{db} 整体随着埋深 H 增大而增大,大致服从 $W_{db} = 0.0019H + 2.8177$ 的变化规律,百米瓦斯含量变化梯度为 0.19 m³/(t·hm);传统取样测点瓦斯含量 W_{ct} 整体随着埋深 H 增大而减小,大致服从 $W_{ct} = -0.0054H + 4.3436$ 的变化规律,百米瓦斯含量变化梯度为 -0.54 m³/(t·hm)。定保取样和传统取样方式下测得的百米瓦斯含量变化梯度一正一负,变化方向不一致,且定保取样测点平均埋深仅比传统取样测点小 21 m,而测得的平均煤层瓦斯含量却增加了 0.49 m³/t,等效百米瓦斯含量变化梯度为 2.33 m³/(t·hm),明显大于上述两种取样方式下线性拟合得到的百米瓦斯含量变化梯度,说明采用本文方法测得的煤层瓦斯含量增大主要受取样方式影响,埋深对测定结果影响不显著。

断层地质构造破坏煤层的连续性,使煤层赋存瓦斯的逸散条件发生变化,有的断层利于瓦斯

向外逸散,有的断层成为瓦斯散逸的屏障。煤层遇断层等地质构造时,断层附近的煤层瓦斯含量会有所变化。本文测试区域范围内主要存在两个边界断层——东南部的断层 I 和东北部的断层 II。为确定断层对本文测试结果的影响,研究煤层瓦斯含量与测点至断层边界的水平距离(包括测点与断层的最小距离和测点至断层的平均距离)的相关性,测量结果如图 6 所示,对测量结果进行线性拟合,拟合结果示于图中,拟合方程式中 D_{\min} 和 D_{avg} 分别表示测点与断层的最小距离和测点至断层的平均距离。

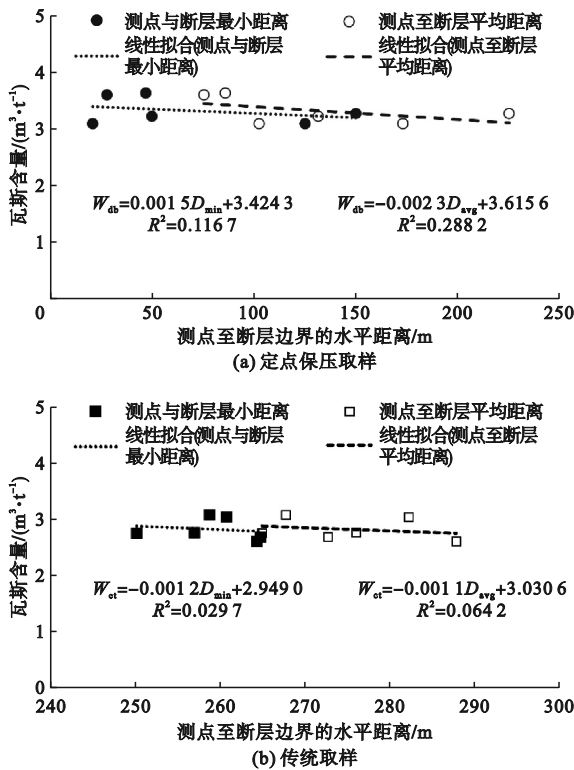


图 6 断层对煤层瓦斯含量的影响

Fig. 6 Effect of burial depth on coal seam gas content

由图 6(a) 可见:随着测点与断层最小距离 D_{\min} 的增大,定保取样测得的煤层瓦斯含量 W_{db} 逐渐减小,大致服从 $W_{\text{db}} = -0.0015D_{\min} + 3.4243$ 的变化规律;随着测点至断层平均距离 D_{avg} 的增大,定保取样测得的煤层瓦斯含量 W_{db} 逐渐减小,大致服从 $W_{\text{db}} = -0.0023D_{\text{avg}} + 3.6156$ 的变化规律。

由图 6(b) 可见:随着测点与断层最小距离 D_{\min} 的增大,传统取样测得的煤层瓦斯含量 W_{ct} 逐渐减小,大致服从 $W_{\text{ct}} = -0.0012D_{\min} + 2.9490$ 的变化规律;随着测点至断层平均距离 D_{avg} 的增大,传统取样测得的煤层瓦斯含量 W_{ct} 逐渐减小,

大致服从 $W_{\text{ct}} = -0.0011D_{\text{avg}} + 3.0306$ 的变化规律。

综上所述可以看出,随着测点至断层距离的减小,定保取样时测点煤层瓦斯含量逐渐增大,测试范围内最大百米瓦斯含量变化梯度为 $0.23 \text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{hm})$ 。传统取样时测点至断层的平均距离为 177 m,定保取样时测点至断层的平均距离为 132 m,较传统取样近 45 m,而测得的平均煤层瓦斯含量增加了 $0.49 \text{ m}^3/\text{t}$,等效百米瓦斯含量变化梯度为 $1.09 \text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{hm})$,明显大于测试范围内最大百米瓦斯含量变化梯度 ($0.23 \text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{hm})$),说明采用本文方法测得的煤层瓦斯含量增大主要受取样方式影响,断层对测定结果影响并不显著。

文献[28]的研究结果表明,钻孔定点密封取样测得的瓦斯含量较传统风排孔口取样高 11.3% ~ 22.3%。本文中采用传统取样方式测得二₁煤层平均瓦斯含量为 $2.83 \text{ m}^3/\text{t}$,采用定保取样方式测得二₁煤层平均瓦斯含量为 $3.32 \text{ m}^3/\text{t}$,较传统取样方式增加了 17.31%;采用传统取样方式测得二₁煤层最大瓦斯含量为 $3.09 \text{ m}^3/\text{t}$,采用定保取样方式测得二₁煤层最大瓦斯含量为 $3.63 \text{ m}^3/\text{t}$,较传统取样方式增加了 17.48%。本文研究结果与已有的研究结果大体一致,验证了取样方法的可靠性。从钻孔参数来看:传统取样方式下钻孔长度短,一般不超过 100 m,定向钻孔一般长 300 ~ 500 m;钻孔越长,取样过程中的瓦斯放散时间也越长,瓦斯损失量越大,基于瓦斯损失估算模型计算的瓦斯含量准确度越低;定保取样时钻孔长,取样时间更长,但其采用密闭保压的方式尽可能保持煤样的原位环境。从取样方式来看:传统取样方式下孔口所接粉状煤样夹杂着钻杆外壁与孔壁上的煤样杂质;定保取样是一种原位取样方式,原位取样后密闭保压,煤样保存在取芯内筒中,退钻过程中无孔壁杂质干扰,获得的煤样更加纯正,测定结果更加准确。从煤样暴露时间来看:定保取样的钻孔长,取样时间更长,但实际影响煤层瓦斯含量测定准确性的主要因素是取样过程中煤样的暴露时间,定保取样时煤样密闭保压在原位环境,实际的煤样暴露时间极短,损失量很小。按照《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》(GB/T 23250—2009)中取样期间的煤样暴露时间计算方法得到的煤样暴露时间并不是真实数值,真实的煤样暴露情况随着钻进过程有所不同,暴露时间是一个范围,无法准确计算,故影响煤层瓦斯含量的测定准确度,此外损失量估算模型也存在误差,因此实测煤层瓦

斯含量较真实值偏小。综上,采用定保取样更有利于煤层瓦斯含量的精准测定。

3 结论

1) 研制了区域煤层定点保压取样装置,其主要结构有工具上接头、压差滑动机构、外筒、外接试验接头、取芯内筒、球阀密封机构、取芯钻头。

2) 考虑煤层赋存的原位瓦斯环境,提出了一种区域煤层瓦斯含量定点保压精准测定方法,测定过程包括装置连接、钻孔钻进、钻孔取芯、钻孔退钻、煤层瓦斯含量测定等5个步骤。

3) 采用传统取样方式测得的 二_1 煤层瓦斯含量为 $2.61 \sim 3.09 \text{ m}^3/\text{t}$,平均瓦斯含量为 $2.83 \text{ m}^3/\text{t}$;采用定保取样方式测得的 二_1 煤层瓦斯含量为 $3.09 \sim 3.63 \text{ m}^3/\text{t}$,平均瓦斯含量为 $3.32 \text{ m}^3/\text{t}$,较传统取样方式平均增加了17.31%。

4) 区域煤层瓦斯含量定点保压精准测定方法无孔壁杂质干扰,煤样暴露时间极短,提高了煤矿井下大范围区域煤层瓦斯含量测定的准确度。本文煤层瓦斯含量测定方法可为矿井瓦斯灾害防治和瓦斯资源利用提供更加可靠的技术支撑。

参考文献 (References):

[1] 袁亮. 我国煤炭主体能源安全高质量发展的理论技术思考[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(1): 11-22.
YUAN L. Theory and technology considerations on high-quality development of coal main energy security in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(1): 11-22. (in Chinese)

[2] 吴裕根, 门相勇, 委钰. 我国“十四五”煤层气勘探开发新进展与前景展望[J]. 中国石油勘探, 2024, 29(1): 1-13.
WU Y G, MEN X Y, LOU Y. New progress and prospect of coalbed methane exploration and development in China during the 14th Five-Year Plan period[J]. China Petroleum Exploration, 2024, 29(1): 1-13. (in Chinese)

[3] 吴平, 武磊. 瓦斯隧道穿越突出煤层安全技术研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2021, 40(3): 90-94.
WU P, WU L. Study on safety technology of gas tunnel passing through outburst coal seam[J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2021, 40(3): 90-94. (in Chinese)

[4] DAI L C, LEI H Y, CHENG X Y, et al. Prediction of coal seam gas content based on the correlation between gas basic parameters and coal quality indexes[J]. Frontiers in Energy Research, 2023, 10: 1096539.

[5] LU Z, WANG L, LV M Z, et al. Experimental study on coal and gas outburst risk in strong outburst coal under different moisture content[J]. Frontiers in Earth Science, 2022, 10: 782372.

[6] OUYANG Z Y, WANG H C, SUN B, et al. Quantitative prediction of deep coalbed methane content in Daning-Jixian block, Ordos Basin, China[J]. Processes, 2023, 11(11): 3093.

[7] WANG C J, LI X W, LIU L T, et al. Dynamic effect of gas initial desorption in coals with different moisture contents and

energy-controlling mechanism for outburst prevention of water injection in coal seams[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2023, 220: 111270.

- [8] 孙四清, 杨帆, 郑玉岐, 等. 煤层瓦斯含量测定技术及装备研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(4): 164-176.
SUN S Q, YANG F, ZHENG Y Q, et al. Research progress of coal seam gas content determination technology and equipment[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(4): 164-176. (in Chinese)
- [9] 周福宝, 康建宏, 王有湃, 等. 煤层瓦斯含量井下一站式自动化精准测定方法[J]. 煤炭学报, 2022, 47(8): 2873-2882.
ZHOU F B, KANG J H, WANG Y P, et al. Method of underground integrated automatic and accurate determination of coalbed gas content[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(8): 2873-2882. (in Chinese)
- [10] 赵发军, 刘彦伟, 郝富昌, 等. 常压法测定煤层瓦斯含量的误差分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(3): 102-108.
ZHAO F J, LIU Y W, HAO F C, et al. Analysis on measurement error of gas content in coal seam by normal atmosphere method[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(3): 102-108. (in Chinese)
- [11] 刘志伟, 冯康武. 地勘时期煤层瓦斯含量修正方法探讨[J]. 煤炭工程, 2012, 44(11): 105-108.
LIU Z W, FENG K W. Discussion on correction method of seam gas content during geological exploration period[J]. Coal Engineering, 2012, 44(11): 105-108. (in Chinese)
- [12] 秦玉金, 陈煜朋, 姜文忠, 等. 深部煤层瓦斯赋存机制研究现状及展望[J]. 煤矿安全, 2020, 51(5): 10-15.
QIN Y J, CHEN Y P, JIANG W Z, et al. Research status and prospect of gas occurrence mechanism in deep coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(5): 10-15. (in Chinese)
- [13] 陈学习. 井下煤层瓦斯压力与含量直接测定技术研究进展[J]. 华北科技学院学报, 2023, 20(5): 1-14.
CHEN X X. Research progress of direct measurement of gas pressure and content in underground coal seams[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2023, 20(5): 1-14. (in Chinese)
- [14] 张东旭. 瓦斯含量测定取样技术研究现状及展望[J]. 煤炭技术, 2021, 40(6): 147-149.
ZHANG D X. Present situation and prospect of research on gas content measurement and sampling technology[J]. Coal Technology, 2021, 40(6): 147-149. (in Chinese)
- [15] 韩承强. 反循环原位快速取样技术在煤层瓦斯含量准确测定中的应用研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(1): 111-114.
HAN C Q. Study on application of reverse circulation in situ rapid sampling technology in accurate determination of gas content in coal seam[J]. Coal Technology, 2022, 41(1): 111-114. (in Chinese)
- [16] 黄鹤, 袁勇猛, 张东旭. 气水可切换式深孔定点快速取样装置在西马煤矿的应用[J]. 煤矿安全, 2021, 52(8): 123-127.
HUANG H, YUAN Y M, ZHANG D X. Application of gas-water switchable deep hole quick sampling device in Xima Coal Mine[J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(8): 123-127. (in Chinese)
- [17] 李辉, 伊嘉辉, 王熔华, 等. 煤层瓦斯含量负压定点取样规律研究及应用[J/OL]. 采矿与安全工程学报, 2024: 1-14 [2024-11-06]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1760.TD.20240912.1401.002>.
- [18] LI H, YI J H, WANG R H, et al. Research and application of negative pressure fixed-point sampling law for coal seam gas content[J/OL]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2024: 1-14 [2024-11-06]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1760.TD.20240912.1401.002>. (in Chinese)
- [18] 温志辉, 张宏图, 魏建平, 等. 负压定点取样煤层瓦斯含量测定损失量推算方法[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46

- (4):776-782,802.
- WEN Z H,ZHANG H T,WEI J P, et al. Gas loss calculation method for gas content determination by sampling method based on negative pressure pneumatic conveying[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2017,46(4):776-782,802. (in Chinese)
- [19] 张鑫鑫,彭视明,孙铭泽,等.冰阀式保压取样器中冰阀形成数值模拟与试验[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(4):162-166.
- ZHANG X X,PENG J M,SUN M Z, et al. Numerical simulation and experimental studies on the formation process of ice valves for an ice-valve-based pressure corer[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2017,49(4):162-166. (in Chinese)
- [20] 王兆丰,王龙,董家昕,等.冷冻取芯过程含瓦斯煤样温度场演化规律模拟研究[J].煤炭学报,2021,46(1):199-210.
- WANG Z F,WANG L,DONG J X, et al. Simulation on the temperature evolution law of coal containing gas in the freezing coring process[J]. Journal of China Coal Society,2021,46(1):199-210. (in Chinese)
- [21] 李泉新,方俊,许超,等.井下长距离定点保压密闭煤层瓦斯含量测定取样技术[J].煤炭科学技术,2017,45(7):68-73,166.
- LI Q X,FANG J,XU C, et al. Sampling technology for measuring gas content in coal seam with long distance fixed-point pressure sealing in underground mine[J]. Coal Science and Technology,2017,45(7):68-73,166. (in Chinese)
- [22] 景兴鹏.煤层气含量密闭取芯测定装置及测试技术[J].西安科技大学学报,2019,39(4):603-609.
- JING X P. Testing device of methane content sealed coring and measuring technology[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology,2019,39(4):603-609. (in Chinese)
- [23] 陈绍杰,周婷,黄跃辉,等.“封-开-封”型密封取样装置及试验[J].华北科技学院学报,2024,21(3):1-5.
- CHEN S J,ZHOU T,HUANG Y H, et al. “Seal-open-seal” type seal sampling device and test[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology,2024,21(3):1-5. (in Chinese)
- [24] 郭昆明.新型长钻孔常闭式定点密闭取样装置研制及现场应用[J].煤矿机电,2024,45(2):30-34.
- GUO K M. Development and on-site application of a new type of long borehole normally closed fixed-point sealed sampling device[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology,2024,45(2):30-34. (in Chinese)
- [25] 谢和平,崔鹏飞,尚德磊,等.深部煤层原位保压取芯技术原理与瓦斯参数测定研究进展[J].煤田地质与勘探,2023,51(8):1-12.
- XIE H P,CUI P F,SHANG D L, et al. Research advances on the in situ pressure-preserved coring and gas parameter determination for deep coal seams[J]. Coal Geology & Exploration,2023,51(8):1-12. (in Chinese)
- [26] 谢和平,高明忠,张茹,等.深部岩石原位“五保”取芯构想与研究进展[J].岩石力学与工程学报,2020,39(5):865-876.
- XIE H P,GAO M Z,ZHANG R, et al. Study on concept and progress of in situ fidelity coring of deep rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2020,39(5):865-876. (in Chinese)
- [27] 郭怀广,薛伟超,曹焱林,等.一种区域煤层气含量定点精准保压测定装置及方法:CN118362702A[P].2024-07-19.
- [28] 张文康,赵伟,刘德成,等.定点密封取样装置在陈四楼煤矿的研究与应用[J].煤矿机械,2024,45(4):142-144.
- ZHANG W K,ZHAO W,LIU D C, et al. Research and application of fixed point sealing sampling device in Chensilou Coal Mine[J]. Coal Mine Machinery,2024,45(4):142-144. (in Chinese)

(责任编辑:宋颖韬)

(上接第88页)

- [13] 江泽华,袁志刚,谢东海,等.煤层底板突水预测的PCA-OPF模型[J].矿业工程研究,2021,36(1):49-54.
- JIANG Z H,YUAN Z G,XIE D H, et al. Prediction of coal seam floor water inrush based on PCA-OPF model[J]. Mineral Engineering Research,2021,36(1):49-54. (in Chinese)
- [14] 施龙青,史雅迪,李越.矿山压力控制理论的采场顶板初始突水量预测模型[J].山东煤炭科技,2020(10):176-178,181,184.
- SHI L Q,SHI Y D,LI Y. Prediction model of maximal water bursting discharge from stope roof[J]. Shandong Coal Science and Technology,2020(10):176-178,181,184. (in Chinese)
- [15] 刘艳冬,刘滢,卢兰萍,等.基于ZOA-CNN-GRU模型的煤层底板突水等级预测[J].中国煤炭,2024,50(6):44-51.
- LIU Y D,LIU Y,LU L P, et al. Prediction of water inrush grade of coal seam floor based on ZOA-CNN-GRU model[J]. China Coal,2024,50(6):44-51. (in Chinese)
- [16] ABDEL-BASSET M, MOHAMED R, ABOUHAWWASH M. Crested porcupine optimizer: a new nature-inspired meta-heuristic[J]. Knowledge-Based Systems,2024,284:111257.
- [17] 薛凯隆,崔欣超,祁云,等.基于DBO-SVM的采空区煤自燃危险性预测[J].沈阳理工大学学报,2024,43(6):85-90.
- XUE K L,CUI X C,QI Y, et al. Prediction of spontaneous combustion fire in goaf based on DBO-SVM[J]. Journal of Shenyang Ligong University,2024,43(6):85-90. (in Chinese)
- [18] 郭江峰,张梦奇,李永宏,等.基于GRA-MSWOA-SVM的煤与瓦斯突出危险性预测研究[J].煤炭技术,2024,43(7):159-163.
- GUO J F,ZHANG M Q,LI Y H, et al. Study on coal and gas outburst risk prediction based on GRA-MSWOA-SVM[J]. Coal Technology,2024,43(7):159-163. (in Chinese)
- [19] 陈巧军,余浩,李艳昌,等.基于KPCA-LSSVM的回采工作面瓦斯涌出量的预测[J].中国安全生产科学技术,2024,20(4):78-84.
- CHEN Q J,YU H,LI Y C, et al. Prediction of gas emission quantity in mining face based on KPCA-LSSVM[J]. Journal of Safety Science and Technology,2024,20(4):78-84. (in Chinese)
- [20] 李晨曦,鲁海峰.基于小样本数据机器学习的煤层底板突水预测[J].煤矿安全,2025,56(1):171-179.
- LI C X,LU H F. Prediction of water inrush from coal seam floor based on machine learning with small sample data[J]. Safety in Coal Mines,2025,56(1):171-179. (in Chinese)
- [21] 邓强,张君千,王震.基于门循环单元神经网络模型的煤层底板突水动态预测[J].太原理工大学学报,2021,52(5):810-816.
- DENG Q,ZHANG Z Q,WANG Z. Dynamic prediction of water inrush from seam floor based on gate recurrent unit neural network model[J]. Journal of Taiyuan University of Technology,2021,52(5):810-816. (in Chinese)
- [22] 张承斌.基于BP神经网络的煤层底板突水量等级预测[J].能源环境保护,2022,36(6):101-109.
- ZHANG C B. Prediction of the level of water inrush from coal seam floor based on BP neural network[J]. Energy Environmental Protection,2022,36(6):101-109. (in Chinese)

(责任编辑:宋颖韬)