



煤层瓦斯含量测定技术及装备研究进展

孙四清 杨帆 郑玉岐 张庆利

引用本文:

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 Siqing, YANG Fan, ZHENG Yuqi. Research progress of coal seam gas content determination technology and equipment[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(4): 164–176.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12438/cst.2024-0170>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

煤矿井下碎软煤层空气复合定向钻进技术与装备

Air compound directional drilling technology and equipment for soft-fragmentized seam underground coal mine

煤炭科学技术. 2019(2) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/86878f74-743c-4e96-9598-bf6579aa4529>

基于特征选择和机器学习融合的煤层瓦斯含量预测

Coal seam gas content prediction based on fusion of feature selection and machine learning

煤炭科学技术. 2021, 49(5): 44–51 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/7394977c-8ec1-4c08-bef9-d856bfe500e1>

松软煤层瓦斯抽采钻孔“同心环”加固密封技术研究与应用

Research and application of “concentric ring” reinforcement and sealing technology for gas drainage boreholes in soft coal seams

煤炭科学技术. 2022, 50(5) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/b3da092a-f8e4-4d14-9535-9547fef5a184>

断层对煤层瓦斯封闭性定量方法研究

Research on the quantitative method of fault sealing to coal seam gas

煤炭科学技术. 2023, 51(2): 193–203 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-1516>

深部煤层原位保压保瓦斯取心技术装备及初步应用

Technology and application of in-situ pressure and gas maintaining coring for deep coal seam

煤炭科学技术. 2024, 52(4): 143–154 <https://doi.org/10.12438/cst.2024-0156>

碎软低渗煤储层强化与煤层气地面开发技术进展

Technology processes of enhancement of broken soft and low permeability coal reservoir and surface development of coalbed methane

煤炭科学技术. 2024, 52(1): 196–210 <https://doi.org/10.12438/cst.2023-0997>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



移动扫码阅读

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 Siqing, YANG Fan, ZHENG Yuqi, *et al.* Research progress of coal seam gas content determination technology and equipment[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(4): 164–176.

煤层瓦斯含量测定技术及装备研究进展

孙四清^{1,2}, 杨帆^{1,2}, 郑玉岐^{1,2}, 张庆利^{1,2}

(1. 煤炭科学研究总院, 北京 100013; 2. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 瓦斯含量是煤与瓦斯突出危险预测、煤层瓦斯资源量估算、矿井瓦斯治理工程设计的重要参数。围绕如何在大区域准确快速测定煤层瓦斯含量, 依托国家科技重大专项、国家自然科学基金和煤炭企业联合基金等项目科技攻关, 在取样、测试方面取得了一定进展。主要表现在如下 4 个方面: ①煤层瓦斯含量测定取样经历了孔口接样、岩心管定点取样、压力引射定点取样和密闭取样 4 个阶段, 密闭取样装备保压能力达到 11.5 MPa, 煤心直径达到 38 mm; ②针对不同煤层地质条件, 发展形成了顺煤层定向长钻孔密闭取样、底板穿层钻孔密闭取样和顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样 3 种取样技术; ③在河南焦作和山西晋城矿区硬煤层中, 顺层定向长钻孔取样深度达到 516 m, 密闭取样法测得煤层瓦斯含量较常规取样法分别平均提高了 0.44 倍和 1.04 倍。在安徽淮南矿区碎软煤层中, 穿层钻孔密闭取样深度达到 209 m, 测得煤层瓦斯含量较常规取样法平均提高了 0.26 倍; 在安徽淮北矿区碎软煤层中, 顶(底)板梳状钻孔密闭取样深度达到 484 m, 测得煤层瓦斯含量较常规取样法平均提高了 0.19 倍, 密闭取样法在煤层瓦斯含量测定精度、探测范围上优于常规取样法; ④在瓦斯含量测试方面, 除了传统解吸法测试, 发展了系列煤矿井下瓦斯含量快速测试装备, 可实现最快 30 min 内测得煤层瓦斯含量, 一般用于百米孔内的瓦斯含量测试。提出了煤层瓦斯含量测定密闭取样装备需向小型化、轻量化的方向发展, 并能实现随钻密闭取样。在测试上, 应根据实际情况确定合理的解吸终止限, 并将测试装备和密闭取样装备进一步结合, 以实现深孔瓦斯含量快速准确测定。密闭取样技术已成为煤层瓦斯含量大区域精准勘查、预测的主要手段, 是煤炭安全高效开采的重要技术保障。

关键词: 煤层瓦斯含量; 定点取样; 密闭取样; 碎软煤层; 硬煤

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2024)04-0164-13

Research progress of coal seam gas content determination technology and equipment

SUN Siqing^{1,2}, YANG Fan^{1,2}, ZHENG Yuqi^{1,2}, ZHANG Qingli^{1,2}

(1. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. CCTEG Xi'an Research Institute(Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: Gas content is an important parameter for the prediction of coal and gas outburst risk, the estimation of coal seam gas resource, and the design of mine gas control engineering. Focusing on how to accurately and quickly determine the gas content of coal seams in large area, and relying on the National Science and Technology Major Project, the National Natural Science Foundation of China, the Joint Fund of Coal Enterprises and other projects to develop scientific and technological research, some progress had been made in sampling and testing, and the main manifestations were as follows. ① The development of sampling for gas content determination in coal seam has gone through four stages, namely, orifice sampling, core tube spot sampling, pressure injection spot sampling, and sealed sampling. The pressure holding capacity of the sealed sampling equipment reached 11.5 MPa, and the diameter of coal core reached 38 mm. ② According to different geological conditions of coal seams, three types of sampling techniques had been developed, including directional long borehole sealed sampling along coal seam, floor cross-layer borehole sealed sampling, and comb-shaped directional long borehole sealed sampling

收稿日期: 2024-01-31

责任编辑: 宫在芹

DOI: 10.12438/cst.2024-0170

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-002-002); 中煤科工西安研究院(集团)有限公司科技创新基金资助项目(2018XAYZD09)

作者简介: 孙四清(1977—), 男, 河南新县人, 研究员, 博士。E-mail: sunsiqing@cctegxian.com

in roof or floor. ③ In the hard coal seams of Jiaozuo mining area in Henan Province and Jincheng mining area in Shanxi Province, the sampling depth of the directional long borehole along the seam reached 516 m, and the gas content of the coal seam measured by the sealed sampling method was increased by an average of 0.44 and 1.04 times compared with the conventional sampling method, respectively. In the broken soft coal seam of the Huainan mining area in Anhui Province, the sealed sampling depth of the cross-layer borehole reached 209 m, and the measured gas content of the coal seam was increased by 0.26 times on average compared with the conventional sampling method. In the broken soft coal seam of the Huaibei mining area in Anhui Province, the comb drilling sealed sampling depth reached 484 m in roof or floor, and the measured coal seam gas content was 0.19 times higher than that of the conventional sampling method. The sealed sampling method was superior than the conventional sampling method in terms of determination accuracy and detection range of coal seam gas content. ④ In terms of gas content testing, in addition to the traditional natural desorption test, a series of coal mine gas content rapid test equipment had been developed, which can measure the gas content of coal seam within 30 min at the earliest, and was generally used for gas content testing in 100-meter hole. It is proposed that the sealed sampling equipment for coal seam gas content determination needs to be developed in the direction of miniaturization and lightweight, and it can realize sealed sampling with the drilling. In the test, a reasonable desorption termination limit should be determined according to the actual situation, and the testing equipment and sealed sampling equipment should be further combined to achieve the rapid and accurate determination of gas content in deep hole. Sealed sampling technology has become the main means of accurate exploration and prediction of coal seam gas content in large areas, and it is an important technical guarantee for the safe and efficient coal mining.

Key words: coal seam gas content; fixed-point sampling; sealed sampling; broken soft coal seam; hard coal seam

0 引言

煤层瓦斯含量是评价煤层瓦斯抽采效果好坏的最直接参数,其测定的准确与否直接关系煤层瓦斯治理是否达标,指导了后续包括煤层瓦斯抽采、石门揭煤、工作面开采、通风管理等一系列工作^[1]。要实现煤层瓦斯含量的准确测定,关键在于取样方法和测试方法的选择。煤层瓦斯含量测定取样方法主要分为开放式取样和密闭式取样2大类。开放式取样测定的瓦斯含量由损失气量、解吸气量和残余气量3部分构成,因取样过程煤样处于暴露状态,且受外界各种因素的干扰,造成损失气量一直难以估算准确,导致最终瓦斯含量测定不准^[2-3];为解决损失气量估算难题,发展了密闭式取样,从根源避免了瓦斯损失量估算。

开放式取样主要经历了孔口接样、岩心管定点取样、压力引射定点取样3个阶段^[4]。在不断发展过程中,岩心管定点取样主要解决了孔口接样易造成的混样问题,压力定点引射取样则主要解决了岩心管取样速度慢的问题,同时提高了取样的深度。目前开放式取样在一定程度上实现了煤矿井下瓦斯含量的快速测定,但由于取样过程的开放性以及要求整个取样过程煤样暴露时间不超过5 min,这决定了开放式取样装备取样深度只能在100 m左右。对于更大深度的取样难题,袁亮等^[5]、齐黎明^[6]发明了一种黏液式密闭取样装置,主要在取心筒内提前内置黏液室和真空室,取样完成后及时打开2室,真空室及时回收解吸逸散的瓦斯,黏液室及时释放黏液

包裹煤样防止其进一步解吸。林柏泉等^[7]发明了一种梯形嵌入式堵头密闭取样装置。张丁亮等^[8-9]研发了一种双筒单动式的密闭取样装置。孙四清等^[10-12]设计试制了地面井煤层气密闭取样装置,同时进一步研发了适用于煤矿井下长钻孔瓦斯含量测定的三筒单动式密闭取样装置。装置在现场得到了广泛应用,煤矿井下开始有了一套较完整的密闭取样装备。近年来,在装备保压能力提升、自触发密闭等方面开展了进一步的研究。高明忠等^[13]、黄伟等^[14]结合牟合方盖的几何原理设计了一种翻板阀式保压取样装置。刘贵康等^[15]设计了阀盖和阀座安装密封永磁体的密闭取样装置。针对煤层超前区域瓦斯治理评价的现实需求,目前已经发展形成了系列密闭取样技术,主要包括顺煤层定向长钻孔密闭取样技术、底板穿层钻孔密闭取样技术以及顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样技术,在河南焦作^[16]、山西晋城^[12, 17-18]、安徽淮南^[19]、淮北^[20-21]等矿区开展了相关工程应用,并取得较好效果。

目前煤层瓦斯含量测试主要采用解吸法,主要包括地勘解吸法^[22-23]、井下解吸法^[24]、自然解吸法^[25-26]、加温解吸法^[27]以及密闭取样解吸法^[28],从煤矿安全角度出发,当前主要使用井下解吸法,其通过井下和地面相结合的方式对煤层瓦斯含量测试,由于装备限制和测试流程的复杂性,往往测试的耗时较长,无法满足当前煤矿高效生产的安全需求。对于测试装备的发展,目前已研发了DGC^[29]、CYW50^[30]、CHP50M^[31]等煤矿井下瓦斯快速测试装备,上述装备测试原理与传统井下解吸法有所不同,大多是通

过传统解吸法测定系列瓦斯含量数据,并经过数据回归分析得到相关回归系数,输入测试仪器中用于后续同一煤层的瓦斯含量测试,很大程度上提升了煤矿井下现场测试的效率。但现有井下快速测试装备配套使用取样方式仍然是开放式取样,取样测试的深度受到限制。

在当前煤矿安全高效开采的大背景下,煤层瓦斯测定不仅要“测得准”,还要“测得快”,更要“测得远”。在“测得准”方面,现有的瓦斯快速测试装备配合开放式取样技术和装备可满足孔深100 m左右的瓦斯含量准确测定,或采用井下解吸法配合密闭式取样技术和装备可实现孔深500 m左右的瓦斯含量准确测定。在“测得快”方面,当前已研发的瓦斯快速测试装备测试速度要远高于解吸法,满足标准对煤样暴露时间的规定,但其取样测试深度仅有100 m左右。在“测得远”方面,密闭式取样装备已实现孔深500 m左右的瓦斯含量测定,但其配套使用的解吸法测试速度较慢。如何解决“测得准”“测得快”“测得远”三者之间的矛盾,是当前煤矿瓦斯含量测定技术和装备发展的关键问题。基于此,笔者系统回顾了近十年来煤层瓦斯含量取样、测试技术及装

备的发展情况,分析了不同取样方法、测试方法的特点,并指出现阶段煤矿井下取样、测试技术及装备存在的问题及未来发展趋势。

1 开放式取样装备

开放式取样主要包括孔口接样法、岩心管定点取样法、压力引射定点取样法等。这些方法一般取样深度较浅,工作流程相对简单,在早期地质勘探的瓦斯含量测定发挥了重要作用。

1.1 孔口接样法

孔口接样法最早被 Bertard C 于 1970 年提出^[32],一般采用麻花钻杆、三棱钻杆或光面钻杆进行钻进,通过一定的手段将孔底煤屑排出,在孔口将煤样收集至解吸罐并密封。其中,麻花钻杆排渣主要通过钻杆旋转形成螺旋轨迹将孔底煤屑输送至孔口(图1),取样深度一般在10 m以内;三棱钻杆和光面钻杆由于自身旋转输送能力有限,一般在钻杆内部压风或者通入高压水,然后风流或高压水携带孔底煤屑从钻杆和孔壁间隙排出,取样深度在30 m左右。在现场应用中,麻花钻杆、三棱钻杆主要用于碎软煤层取样,光面钻杆主要用于中硬煤层取样^[4]。

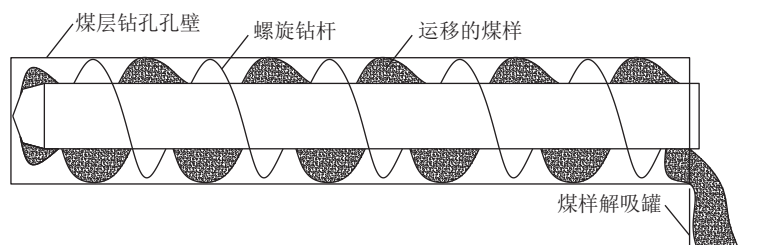


图1 螺旋钻杆孔口取样过程

Fig.1 Spiral drill pipe orifice sampling process

该方法操作简单,工作效率高,可及时满足生产中瓦斯含量测定需求,取样深度较浅,取到的煤样一般为粉状。但在取样过程中煤屑在钻孔内是一个连续运移过程,极易发生混样问题,无法实现定点取样。此外,取样时若采用螺旋排渣,容易造成煤样发热,可能使煤样解吸过度或直接发生热变质导致后期无法再解吸;若采用风力排渣,可能存在冷却效果不佳的问题;若采用水力排渣,高压水容易造成瓦斯封堵发生喷孔事故。

1.2 岩心管定点取样法

1.2.1 提钻取心法

提钻取心法主要通过钻杆先钻进至指定位置,然后退出钻具,并排尽孔内残粉,然后换上岩心管,依靠岩心管与钻孔煤壁的摩擦钻进取心,期间一般

配有风力或水力排渣,岩心管取到煤样后退钻,将煤样装入密封罐密封进行解吸。该方法是地勘时期井下煤层瓦斯含量测定取样的主要手段,要求煤样在空气中暴露的时间不超过8 min^[23]。

岩心管可分为单层岩心管和双层岩心管。对于单层岩心管,其质量较小,施工方便,但也存在煤样发热变质和瓦斯封堵造成的喷孔问题,并且压风取样时经常因为风压控制不当导致岩心管取不到煤样(图2a);对于双层岩心管,一般为双管双动结构,取心时可以从取心内管和外管环空进风或进水,然后经过钻孔底部携带煤渣从外管和孔壁间隙排出,取心内管则可以钻取煤样,其相比单层岩心管在一定程度上解决了煤样过度发热问题和取样困难的问题(图2b)。胡千庭等^[33]改进设计了一种双管单动岩

心管,取心过程中内管固定,降低取心时对煤样的扰动,同时在钻头两侧增加了压风和压水2个通道,整体的冷却排渣效果更好。

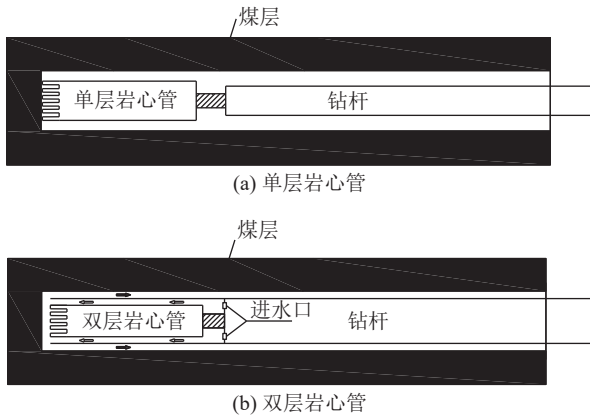


图2 岩心管提钻取心过程

Fig.2 Mining core tube lifting coring process

提钻取心法相比孔口接样法避免了混样问题,基本实现了定点取样,在瓦斯含量测定准确性上要

优于孔口接样法,见表1。该方法取样深度最大在50 m以内,获取的煤样一般为碎块状或块状。但无论单层岩心管还是双层岩心管,整个取心过程中岩心管处于敞口状态,仍存在瓦斯损失气量估算难题,同时此方法一般适用于上仰孔、水平孔的取心,俯向孔取心则比较困难,可能出现无法取到煤心的情况,并且在碎软煤层取心过程中容易发生埋管的问题。

1.2.2 绳索取心法

煤矿领域的绳索取心最早在煤田地质勘探中使用,主要为了查明煤炭及煤层气资源量。该装置最早在地面进行使用,在测定煤层气(瓦斯)含量时要求井深每100 m的提心时间不超过2 min,到达地面后要求在10 min内将煤心装入解吸罐^[36]。绳索取心装置属于一种双层岩心管结构,可通过打捞机构实现连续取心操作。但该装置在地面使用时需要较大的施工场地,并且内管总成和打捞机构也主要依靠重力下放,而井下作业空间有限,导致地面绳索取心装置在井下使用受到限制。借鉴地面绳索取心装置,

表1 岩心管提钻取心和孔口接样试验对比^[33-35]

Table 1 Comparison of mining core tube lifting coring and orifice sampling tests^[33-35]

取样地点	取样方式	取样深度/m	瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)	同组瓦斯含量比值
祁南煤矿	岩心管提钻取心	32.80	7.15	1.30
	孔口接样	32.00	5.49	
	岩心管提钻取心	24.00	9.56	1.33
	孔口接样	23.40	7.20	
	岩心管提钻取心	34.00	6.60	1.25
	孔口接样	33.00	5.29	
	岩心管提钻取心	23.70	6.98	1.89
	孔口接样	22.90	3.69	
	岩心管提钻取心	23.70	11.16	1.28
	孔口接样	23.20	8.71	
潘一煤矿	岩心管提钻取心	20.00	2.70	1.93
	孔口接样	20.00	1.40	
	岩心管提钻取心	16.00	1.30	0.88
	孔口接样	13.00	1.47	
	岩心管提钻取心	16.00	1.63	1.02
	孔口接样	13.00	1.60	
赵庄煤矿	岩心管提钻取心	12.80	0.55	1.17
	孔口接样	12.80	0.47	
	岩心管提钻取心	12.10	1.51	1.25
	孔口接样	12.10	1.21	
	岩心管提钻取心	12.40	0.61	1.15
	孔口接样	12.40	0.53	

煤炭科学研究总院西安研究院殷新胜等^[37]发明了一种坑道近水平孔用绳索取心钻具(图3),一定程度上

解决了钻杆在水平钻进时受自重影响导致其与孔壁摩擦的问题和井下狭小空间内管总成长度受限问题^[38]。

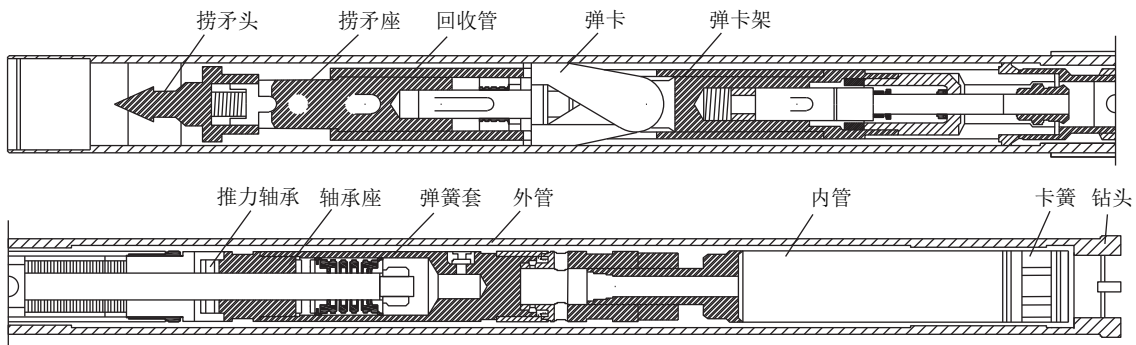


图3 煤矿井下绳索取心结构^[38]

Fig.3 Wire-line coring structure in underground coal mine^[38]

煤矿井下绳索取心可以进行水平或俯向取心,不适用上仰孔取心,一般可以取到较完整的块状或柱状煤心。在连续取心时,与提钻取心法相比有一定优势,但整个取心的流程较提钻取心更繁琐,耗时也更长,所以也很少应用于深孔煤层瓦斯含量测定取样,更多时候用于探查煤层和地层赋存情况^[39-40]。

1.3 压力引射定点取样法

岩心管定点取样法虽然基本实现了定点取样功能,但整体耗时仍较长。为进一步缩短深孔定点取样时间,袁亮等^[41]发明了一种通过压风方式采集煤样的方法;胡千庭等^[42]设计了一种正负压联合引射取样装置(图4),在常规钻进时采用压风的方式使煤渣经钻杆和孔壁间隙吹出,取样时通过切换空气阀和负压引射器的作用使双壁钻杆内通道产生负压,

从而携带煤样进入钻杆内通道,经过气固分离,最终得到煤样。相关装备在多个矿区进行了应用,并取得了较好的效果,见表2。

压力引射定点取样法与孔口接样法相比,在测定瓦斯含量准确性上有一定的优势;同时与岩心管定点取样相比,该方法在取样深度、取样耗时上更有优势,并且实现了真正意义上的定点取样。该方法取样最大深度在100m左右,整个取心过程可以控制在5min内,有效缩短了深孔定点取样时间,同时该方法在上仰孔、水平孔及俯向孔都具有较好的适应性。但由于取样过程中主要依靠风压获取煤样,其取的煤样一般为粉状或碎粒状,不能获取较完整的柱状煤样,导致煤样密封前的瓦斯解吸逸散较严重,不利于煤层瓦斯含量的准确测定。

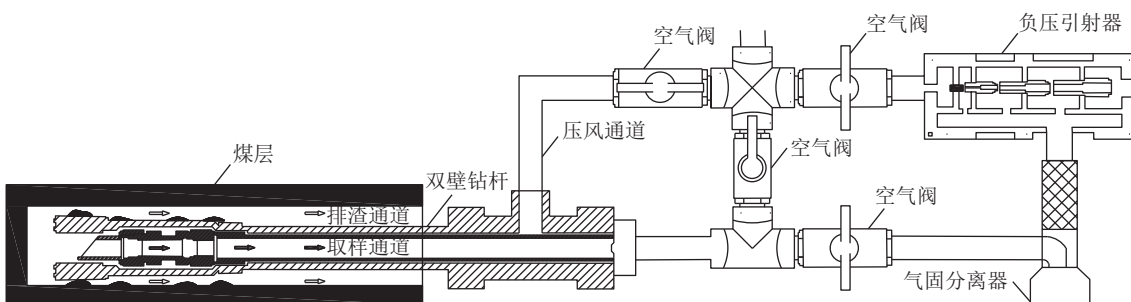


图4 正负压联合取样装置结构^[42]

Fig.4 Structure of positive and negative pressure combined sampling device^[42]

2 密闭式取样装备

上述开放式取样装备都面临一个共性问题,即需要进行瓦斯损失量的估算。而在实际取样过程中,取样的环境都较复杂,受煤心发热、高压风或高压水等多因素影响,煤心瓦斯解吸规律往往不确定,难以通过公式估算瓦斯损失量。密闭取样可从

根源上避免这一问题,其主要通过一定方法将取样装置在孔底直接密闭,使煤样尽可能少的暴露在空气中。目前在现场应用较多的为机械式球阀密闭,即通过物理机构的动作将取样筒的密闭球阀在孔底进行关闭,装置结构工作可靠,是目前煤矿主要密闭取样手段。

表 2 压力引射取样和孔口接样试验对比^[43-45]
Table 2 Comparison of pressure ejection sampling and orifice sampling tests^[43-45]

取样地点	取样方式	取样深度/m	取样时间/min	瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)	同组瓦斯含量比值
河南某矿	压力引射取样	80	4.0	8.93	1.47
	孔口接样	78	5.2	6.08	
	压力引射取样	78	3.3	9.52	1.32
	孔口接样	76	4.5	7.21	
	压力引射取样	93	4.2	10.21	1.52
	孔口接样	91	5.0	6.72	
平煤十矿	压力引射取样	23	1.0	8.80	2.14
	孔口接样	23	—	4.11	
	压力引射取样	24	3.0	6.80	1.16
	孔口接样	24	—	5.86	
	压力引射取样	65	5.0	9.53	1.77
	孔口接样	65	—	5.38	
大湾煤矿	压力引射取样	72	5.0	4.16	1.23
	孔口接样	72	—	3.37	
	压力引射取样	62	2.0	8.89	1.42
	孔口接样	62	—	6.26	
	压力引射取样	56	3.0	9.41	1.23
	孔口接样	56	—	7.63	
压力引射取样	48	3.0	12.26	1.49	
孔口接样	48	—	8.25		

中煤科工西安研究院在“十一五”—“十三五”期间先后研发了适用于煤矿井下煤层瓦斯含量测定的双筒单动式和三筒单动式的密闭取样装置^[9, 12, 46]，其技术参数见表 3。在装置不断发展过程中，其结构尺寸不断优化，以满足更小孔径的密闭取样要求，同

时保压能力也在不断提升，进一步增加了煤层瓦斯含量测定的准确性。装置主要采用了球阀密闭结构，在取样完成后通过向钻杆内投放封堵球改变水路，进而使泥浆压力升高剪断销钉，带动球阀旋转，达到密闭煤心的目的，具体工作流程如图 5 所示。

表 3 不同密闭取样装置技术参数对比
Table 3 Comparison of technical parameters of different sealed sampling devices

结构类型	外筒尺寸/(mm×mm)	内筒尺寸/(mm×mm)	球座直径/mm	球阀关闭压力/MPa	保压能力	
双筒单动	USC- I 型	ø121×1 250	ø50×800.0	22	3.0 ~ 4.5	4.0 MPa以上
	USC- II 型	ø100×1 359	ø40×558.5	18	3.0 ~ 4.5	
三筒单动	ø93×1 260	ø42×600.0	18	8.0 ~ 10.0	11.5 MPa	

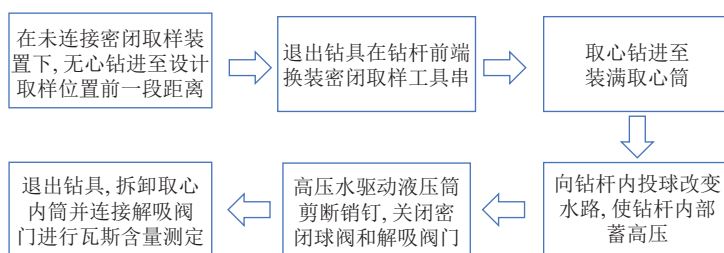


图 5 密闭取样装置工作流程

Fig.5 Working flow chart of sealed sampling device

目前已研发的三筒单动密闭取样装置(图6、图7),取心直径为38 mm,保压能力达到11.5 MPa。装置主要由取心内筒、取心外筒、液压传动筒、悬挂总成、解吸阀门、密闭球阀等组成。取心内筒两端分别连接解吸阀门、密闭球阀;取心外筒两端分别连接钻杆和取心钻头;液压传动筒在钻杆连接端通过销钉与悬挂总成连接,主要负责传递液压力。

在取样工作过程中,钻杆带动取心外筒转动并传递扭矩至钻头,而取心内筒与液压推动筒不发生

转动,降低了取样时对取心内筒中煤心的扰动,保证了样品的完整性。为保证密闭球阀可以顺利关闭,取样前会根据煤体的坚硬程度估算剪断煤心需要的剪断力,选配相应动力的销钉以产生足够的抗剪力,进而保证取心内筒取样钻进时敞开、打压时关闭,提高取样成功率。在取心内筒完成取样后,通过液压传动筒动作剪断销钉,实现取心内筒两端的解吸阀门和密闭球阀同时关闭,保证煤心解吸瓦斯不会逸散到取样筒外。

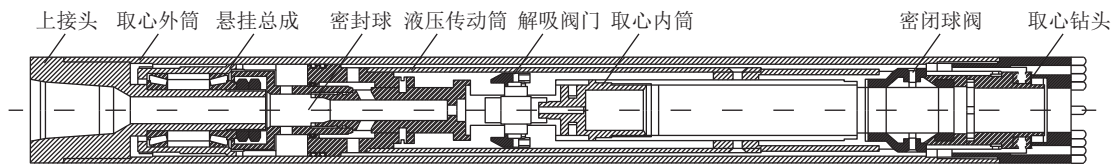


图6 “三筒单动”密闭取样装置结构^[12]

Fig.6 Structure of “three-cylinder single-acting” sealed coring device^[12]

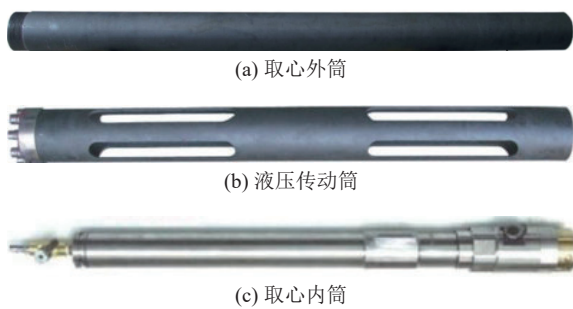


图7 “三筒单动”密闭取样装置实物

Fig.7 “Three cylinder single action” sealed coring device object

该装置在水平孔、上仰孔及俯向孔取样均适用,在上仰孔取样时,为提高密闭球阀关闭的可靠性,一般改用传统钢球为轻质橡胶球进行投球操作,以便风力或水力进行远距离输送。

3 密闭取样技术及工程应用

“十一五”期间,西安研究院开展了定向钻进成套技术和装备的研发,并逐步形成了系列多元化的定向钻机,同时形成了包括回转钻进、滑动定向钻进、复合钻进等钻进工艺技术^[47],极大丰富了煤矿井下坑道钻探技术体系。这也为煤矿井下不同地质条件下的煤层密闭取样提供了可实现的路径。针对不同坚固性系数的煤层及顶(底)板特征条件,目前已经发展形成了顺煤层定向长钻孔密闭取样技术、底板穿层钻孔密闭取样技术以及顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样技术。其中,硬煤层取样深度达到516 m^[18],碎软煤层取样深度达到484 m^[21]。

3.1 顺煤层定向长钻孔密闭取样技术

该技术利用定向钻机的定向功能直接顺煤层施工长钻孔至设计取样位置前一段距离的位置,然后退出钻具,钻孔内下入密闭取样装置进行钻进取心,取心筒装满后利用球阀剪断煤心,在井底实现取心筒密闭。技术在硬煤层中进行了多次应用,已取得了较好的效果,见表4。表中常规取样主要采用岩心管定点取样中的提钻取心法。

目前已开展工程实践表明,在煤层瓦斯含量测定方面,在硬煤中顺煤层定向长钻孔密闭取样技术较常规取样有着较明显的优势,测定结果普遍高于常规取样。在以原生结构为主的煤体中,浅部密闭取样的优势一般要高于深部密闭取样,测定的瓦斯含量比常规取样的更高;在有一定裂隙发育,以原生结构和碎裂结构为主的煤体中,深部密闭取样的优势一般要高于浅部密闭取样,随着深度的增大,密闭取样和常规取样测定的瓦斯含量比值有增大的趋势。

此外,在实际测定比较时,若常规取样采用穿层钻孔,则密闭取样的优势会被明显削弱,因为短距离(一般30 m内)的开放式取样满足煤样从暴露到装罐时间不超过5 min的时间要求。在实际应用中,若可以实现穿层短钻孔常规取样,为提高工作效率可以按此方法测定瓦斯含量,测定结果与密闭取样相差较小。

3.2 底板穿层钻孔密闭取样技术

常规顺煤层定向长钻孔密闭取样技术在硬煤中的应用效果较好,但对于煤层坚固性系数较低的碎软煤层则在钻进过程中容易发生孔壁坍塌事故,密

表4 密闭取样和常规取样试验对比^[12, 16, 18]
 Table 4 Comparison of sealed coring and conventional coring tests^[12, 16, 18]

取样地点	煤体结构	取样方式	取样深度/m	瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)	同组瓦斯含量比值/%	备注	
河南焦作矿区	煤体主要为原生结构， f值为0.86~1.92	密闭取样	100	9.38	1.80		
		常规取样		5.20			
		密闭取样	300	9.04	1.28		
		常规取样		7.05			
		密闭取样	400	5.40	1.24		
		常规取样		4.37			
山西晋城矿区	煤体以原生结构、 碎裂结构为主， f值为1.0~2.0	密闭取样	120	9.73	1.26	常规取样为顺煤层 定向长钻孔	
		常规取样		7.70			
		密闭取样	180	7.34	2.38		
		常规取样		3.08			
		密闭取样	304	11.68	2.81		
		常规取样		4.16			
		密闭取样	360	11.18	1.71		
		常规取样		6.52			
		密闭取样	150	7.08	1.03		
		常规取样		23			6.86
		密闭取样	200	7.42	0.97		
		常规取样		28			7.62
		密闭取样	300	7.03	1.07		常规取样在煤层底板巷 采用穿层短钻孔
		常规取样		25			
密闭取样	350	7.14	1.04				
常规取样		24		6.86			
密闭取样	400	7.38	1.01				
常规取样		31		7.30			

闭取样的成功率较低。为解决这一问题，龙威成等^[19]提出了从煤层底板打穿层钻孔进入煤层进行密闭取样，同时为减小传统高压水在排渣过程中对钻孔孔壁稳定性的影响，采用了以压风代替压水的方式进行钻孔排渣、钻头冷却和封堵球输送，同时使用风水联动的方式进行密闭球阀关闭。

该技术在淮南某矿区进行了应用，矿区煤体主要以碎粒结构、糜棱结构为主，煤体坚固性系数为0.45~0.92，属于典型碎软煤层，为查明开采煤层瓦斯含量开展了底板穿层钻孔密闭取样技术。钻孔取样深度在175~209 m，结果表明密闭取样测定的瓦斯含量为6.65~7.82 m³/t，常规取样测定的瓦斯含量为5.11~6.45 m³/t^[19]，平均提高了0.26倍。

3.3 顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样技术

底板穿层钻孔密闭取样技术一定程度上解决了碎软煤层钻进过程中的易塌孔问题，但钻进过程中由于缺乏对煤层起伏变化的判断，可能造成较多的

无效进尺，并且无法实现单孔多次取样，一般是穿层钻进一次取样一次。受碎软煤层顶板梳状长钻孔水力压裂瓦斯抽采的启示，中国煤炭科工集团西安研究院提出了顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样技术。首先在赋存相对稳定、岩性较好的煤层顶(底)板施工定向长钻孔作为主孔，然后在主孔一侧施工探查分支孔，帮助查明碎软煤层上下起伏变化情况，最后由主孔施工分支孔进入煤层密闭取样。该方法可实现单孔多次取样，同时有效提高了碎软煤层密闭取样的成功率。

该技术在施工过程中使用了无线随钻测量定向钻进技术，通过及时采集钻孔轨迹参数和钻具的状态参数，实现在顶(底)板钻进时对钻孔轨迹的精准调控^[48]，避免主钻孔过早进入到煤层中，同时帮助减少探查分支孔的无效进尺。

在淮北矿区碎软煤层中开展了顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样试验。柴建禄^[21]进行了3次密闭

取样,成功率为67%,取样深度达到484 m;褚志伟等^[20]进行了2次密闭取样,取样深度分别为178、238 m,测定的瓦斯含量分别比常规取样提高了12.4%、25.2%。该技术在碎软煤层瓦斯含量测定中发挥了较好的作用,探索了一条碎软煤层密闭取样的新路径。

4 煤层瓦斯含量测试技术

要实现煤层瓦斯含量的准确快速测定,除了具有良好密闭性能的取样装备以及成熟的密闭取样技术,还需要更加快速便捷的测试技术与装备。测试技术及装备同样直接关系到煤层瓦斯含量测定能否及时满足煤矿井下的安全生产需要。在煤炭开采的不同历史时期,随着取样技术和装备的发展,相继制定了系列测试技术相关的国家标准和行业标准,同时研发了更加便捷的测试装备。

4.1 解吸法测试技术

已有标准规定的测试方法大致可分为地勘解吸法、井下解吸法、自然解吸法、加温解吸法及密闭取样解吸法,各方法在适用范围、测试过程、取心方式及煤样暴露时间规定等方面有所不同,见表5。

上述解吸法根据瓦斯含量测定目的不同大致可以分为2类,地勘解吸法和井下解吸法为一类,自然解吸法、加温解吸法及密闭取样解吸法为一类。前者测定的瓦斯含量主要为煤矿安全生产提供指导,在取样质量要求上较宽松,要求不少于400 g,但在暴露时间和解吸测试时间上要求更高,要求煤样暴露时间不超过5 min,同时测试过程中采用加温脱气

的方式加快残余瓦斯量的解吸,一方面有利于提高煤层瓦斯含量测试效率,但另一方面95~100℃的高温也可能导致煤样发生变质影响瓦斯含量测定结果准确性。相反,后者测定的瓦斯含量与前者目的有所不同,主要从煤层瓦斯(煤层气)资源量评价的角度出发,其对取样质量要求更高,要求不少于800 g,而对煤样暴露时间和解吸测试时间要求相对宽松,解吸过程主要采用自然解吸法、加温解吸法或密闭取样解吸法,瓦斯含量测试效率一般低于地勘解吸法和井下解吸法。此外,密闭取样解吸法中的煤样采集使用了地面密闭取样装置,不涉及到瓦斯损失气量估算问题,相比自然解吸法和加温解吸法在测试准确度上更有优势。

从安全角度出发的地勘解吸法和井下解吸法,仅自然解吸过程要求连续观测60~120 min或解吸量小于 $2\text{ cm}^3/\text{min}$ 。从资源评价角度出发的自然解吸法和加温解吸法,也规定了不同煤阶煤层瓦斯含量测试的解吸终止限。对于低煤阶的煤其本身变质程度较低,内部赋存瓦斯含量较低,自然解吸过程的解吸终止限为连续3 d平均每天解吸气量不大于 5 cm^3 ;对于中、高煤阶的煤则自身变质程度较高,瓦斯含量也较高,自然解吸过程的解吸终止限为连续7 d平均每天解吸气量不大于 10 cm^3 。两类解吸法虽然瓦斯含量测试效率有所差异,但总的来说瓦斯含量测试时间耗费较长。

4.2 煤层瓦斯含量快速测试技术

由于实验室测试装备的限制,上述解吸法的测试过程大部分需要在地面完成,整体测试时间较长,

表5 煤层瓦斯含量测试方法对比^[22-28, 36, 49]

Table 5 Comparison of measurement methods of coal seam gas content^[22-28, 36, 49]

解吸法	标准	适用范围	取样方式	暴露时间/ min	取样质量/g	测试方式		煤层瓦斯含量组成
						温度	残余气确定	
地勘解吸法	AQ 1046—2007 GB/T 23249—2009	地质勘探钻孔 测定	地面提钻	≤8	≥400	常温95~100℃ 恒温	真空脱气+粉碎后 自然解吸	损失气量+ 解吸气量+ 脱气量
井下解吸法	GB/T 23250—2009	煤矿井下直接 测定	井下提钻	≤5	≥400			损失气量+ 井下解吸气量+ 脱气量/常压解吸气量
自然解吸法	NB/T 10018—2015 GB/T 19559—2004 GB/T 19559—2008 GB/T 19559—2021	低煤阶煤层含 气量测定 烟煤、无烟煤 煤层气含量 测定	地面提钻	≤10	≥800	常温	粉碎后自然解吸	损失气量+ 解吸气量+ 残余气量
加温解吸法	GB/T 28753—2012	烟煤、无烟煤 煤层气含量 测定	地面提钻	≤10	≥800	50℃或储层温度	粉碎后恒温解吸	损失气量+ 解吸气量+ 残余气量
密闭取样解吸法	GB/T 35053—2018	地面煤层气含 量测定	地面提钻或绳 索打捞	—	≥800	常温	粉碎后自然解吸	解吸气量+ 残余气量

瓦斯含量测定工作一般都需要数天才可完成,导致了煤层瓦斯含量测定结果往往滞后于现场的生产工作。为此,相关学者在进一步提升煤层瓦斯含量测试效率方面开展了相应的研究工作。中国煤炭科工集团重庆研究院^[29]研发了一种井下和地面结合使用的DGC型瓦斯含量快速测定装置。在此基础上,隆清明^[30]研发了CYW50瓦斯含量快速测定仪,其主要通过前期DGC型测定装置测定的瓦斯含量数据进行回归分析,得到回归系数,将其输入仪器后用于后续瓦斯含量测定。杨宏民等^[31]通过采取煤样现场测定瓦斯解吸速度特征参数以及该参数与实验室测定的瓦斯含量线性回归得到回归系数,最后得到回归方程用于后续瓦斯含量测定,并基于此原理研制了CHP50M型便携式瓦斯测定仪,可在30 min测出煤层瓦斯含量。周福宝等^[50]通过建立分数阶模型估算瓦斯损失量,并据此研发了CWH12型一体化瓦斯含量测定仪,测试时间控制在1.5 h内。具体测试结果见表6。

当前已发展的系列煤矿井下瓦斯含量直接测试装备测定的瓦斯含量基本接近实验室测试值,而且相比传统实验室测试省略很多繁琐的测试步骤,在测试效率上有了很大的提高,瓦斯含量测试时间最快可缩短至30 min内,基本可满足井下生产需求。但现有的测试装备测试时仍采用传统开放式取样方法,煤样在空气仍然会暴露,但现行标准GB/T 23250—2009规定煤样暴露时间不超过5 min,这决定了瓦斯含量测试时取样的深度有限,取样深度在100 m左右,而对于深孔煤层瓦斯含量测定过程中的瓦斯损失量仍难以估算准确,现有的瓦斯含量直接测试装备仍无法满足要求。

5 发展趋势

随着煤矿智能化工作的持续推进,工作面装备不断升级改造,矿井生产能力大幅度提升,大采高超长工作面成为常态,同时我国煤炭开采深度正以每年10~25 m的速度不断向深部延伸^[52]。由此带来的瓦斯治理难度在不断增加,煤矿瓦斯区域化治理、超前探测成为趋势,这对煤层瓦斯含量测定技术和装备提出了更高的要求,瓦斯含量测定不仅要“测得准”,还要“测得快”,更要“测得远”。

5.1 煤矿井下取样技术与装备发展需求

5.1.1 取样装备小型化、轻量化

煤矿井下作业环境复杂,各种生产工序大多会同步进行,导致井下巷道、工作面等地瓦斯含量测定

表6 各煤矿井下瓦斯含量直接测试试验对比^[30-31, 50-51]

Table 6 Comparison of direct test of gas content in underground coal mines^[30-31, 50-51]

取样地点	测试方式	瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)	同组瓦斯含量比值
大转湾煤矿	DGC测试	8.59	1.09
	实验室测试	7.90	
兴凤煤矿	DGC测试	6.66	1.08
	实验室测试	6.18	
宏福煤矿	DGC测试	7.36	0.89
	实验室测试	8.31	
大湾煤矿	DGC测试	4.50	1.05
	CYW50测试	4.30	
	DGC测试	5.40	1.06
	CYW50测试	5.08	
	DGC测试	4.18	1.00
	CYW50测试	4.17	
DGC测试	5.23	0.98	
CYW50测试	5.36		
晋城成庄矿	CHP50M测试	13.15	1.01
	实验室测试	13.02	
焦作古汉山矿	CHP50M测试	5.99	1.02
	实验室测试	5.89	
洛阳何庄矿	CHP50M测试	4.82	1.07
	实验室测试	4.52	
潘三矿	CWH12测试	2.61	1.21
	井下+地面测试	2.16	
	CWH12测试	2.02	0.97
	井下+地面测试	2.08	
朱集东矿	CWH12测试	2.77	1.09
	井下+地面测试	2.54	
	CWH12测试	5.02	1.00
	井下+地面测试	5.03	

的作业空间有限,同时,井下取样的施工位置随着生产的需求可能经常变动。现有密闭取样装备外形尺寸在1.2 m以上,整体重量仍较大。未来应开发更多小型化、轻量化的密闭取样装备,以做到根据生产需要,随时随地进行密闭取样测定煤层瓦斯含量。

5.1.2 发展随钻密闭取样

煤层瓦斯含量要想实现“测得远”的目标,发展随钻密闭取样是重中之重。当前密闭取样过程中,存在一段先退钻再进钻的“空窗期”,这段时间钻孔底部裸露的煤壁发生瓦斯解吸,造成最终瓦斯含量测定结果存在误差,并且随着取样深度的增加,这种

误差会进一步增大,同时取样的效率也会因此大打折扣。所以亟需发展随钻随取的密闭取样技术,避免取样过程中的退钻-再进钻,直接一次性钻进至取样位置进行密闭取样,进一步提高瓦斯含量测定的准确性以及取样效率。

5.2 煤矿井下测试技术与装备发展需求

5.2.1 确定合理的解吸终止限

在测试技术上,无论标准规定的哪一种解吸法,整个瓦斯测试过程都比较繁琐,耗时都较长,其中一个重要的原因是没有从现场安全生产过程出发规定一个相对合理的解吸终止限,现行标准中设置的解吸终止限未考虑煤矿井下实际情况,“一刀切”式的瓦斯解吸测试标准并不适用于所有矿井工作面的瓦斯含量测定。如对于一些通风状况良好以及煤层本身瓦斯含量较低的工作面,标准中的解吸终止限可能偏长。需要结合工作面实际通风情况和煤层瓦斯含量将解吸终止限适当地调整缩短,以能够在保证生产安全的前提下更及时的给出煤层瓦斯含量测试结果。

5.2.2 测试与密闭取样装备结合

在瓦斯区域化治理的大背景下,深孔瓦斯含量测定成为趋势,密闭取样和测试相关装备都需要进一步提升。目前密闭取样装备可以实现孔深500 m左右的煤层取样,但测试大部分环节仍需要在地面进行;相反,现有的测试装备也基本实现了井下测试,但其取样方法仍然是传统的开放式取样,取样深度受到了限制。为解决煤层深孔瓦斯含量测定中取样和测试之间的矛盾,需要进一步将测试装备和密闭取样装备相互结合,打通关节,让两者的装备能够有效的配合,使之在瓦斯含量测准的基础上,不仅能够测得更快,同时测得距离更远。

6 结 论

1)为测定煤层瓦斯含量,已经发展了煤层开放式取样和密闭式取样2类主要取样装备,其中开放式取样主要包括孔口接样、岩心管定点取样、压力引射定点取样;密闭式取样则主要为机械式密闭取样。机械式密闭取样解决了煤层瓦斯测定过程中损失气量估算带来的误差问题,其中球阀密闭目前被广泛使用,已研发的三筒单动密闭取样装置保压能力达到11.5 MPa,测定的煤层瓦斯含量是常规取样的1.26~1.71倍。

2)在密闭取样技术方面,主要发展形成了顺煤层定向长钻孔密闭取样技术、底板穿层钻孔密闭取

样技术、顶(底)板梳状定向长钻孔密闭取样技术,已实现单孔多次定点取样,其中在硬煤层取样深度达到516 m,碎软煤层取样深度达到484 m。

3)在煤矿井下瓦斯测试方面,目前主要使用的是井下解吸法,其大部分测试工作需要在实验室完成,整体耗时较长。此外,也研发了一系列用于井下直接测试的装备,但配套使用的取样方法仍为开放式取样,面临瓦斯损失气量的估算问题,远距离取样无法满足煤样暴露时间不超过5 min的要求。

4)结合当前我国煤炭高强度开采形势,指出了煤矿井下取样、测试技术及装备的发展趋势。取样装备应该进一步小型化、轻量化,可实现井下随时随地密闭取样的需求;同时进一步发展随钻密闭取样。在瓦斯测试方面,应根据矿井实际通风情况及瓦斯赋存情况确定更加合理的解吸终止限,并且将测试装备和密闭取样装备进一步结合,从而实现煤矿井下深孔定点瓦斯含量快速测定。

参考文献(References):

- [1] 苏现波,宋金星,郭红玉,等.煤矿瓦斯抽采增产机制及关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(12):1-30.
SU Xianbo, SONG Jinxing, GUO Hongyu, *et al.* Increasing production mechanism and key technology of gas extraction in coal mines[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(12): 1-30.
- [2] 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.
- [3] 范章群,张群,卢相臣,等.煤层气损失气含量及其影响因素分析[J].煤炭科学技术,2010,38(3):104-108.
FAN Zhangqun, ZHANG Qun, LU Xiangchen, *et al.* Analysis on gas lost content of coal bed methane and influenced factors[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(3): 104-108.
- [4] 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.
- [5] 袁亮,薛俊华,尹尚先,等.一种井下卸压密闭煤芯取样器[P].中国:CN201020046987.8,2011-04-27.
- [6] 齐黎明.卸压密闭煤层瓦斯含量测定技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2011:65-67.
QI Liming. Research on the measuring gas content technology of stress-releasing and sealed coal core[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011: 65-67.
- [7] 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[P].中国:CN201310062688.1,2013-05-22.
- [8] 张丁亮,黑磊,张培河,等.一种井下煤层密闭取心装置及其使

- 用方法[P]. 中国: CN201010101528. X, 2010-07-07.
- [9] 张丁亮. 煤矿井下煤层密闭取心装置[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(7): 80-81, 87.
ZHANG Dingliang. Study on coal seam airtight coring facility in coalmines[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(7): 80-81, 87.
- [10] 孙四清. 煤层气含量地面井密闭取心与快速测定技术研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2018: 50-55.
SUN Siqing. Study on surface well sealed coring and fast measurement for coal seam gas content[D]. Beijing: China Coal Research Institute, 2018: 50-55.
- [11] 孙四清, 张群, 郑凯歌, 等. 地面井煤层气含量精准测试密闭取心技术及设备[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7): 2523-2530.
SUN Siqing, ZHANG Qun, ZHENG Kaige, *et al.* Technology and equipment of sealed coring for accurate determination of coalbed gas content in ground well[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2523-2530.
- [12] 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.
- [13] 高明忠, 陈领, 凡东, 等. 深部煤矿原位保压保瓦斯取芯原理与技术探索[J]. 煤炭学报, 2021, 46(3): 885-897.
GAO Mingzhong, CHEN Ling, FAN Dong, *et al.* Principle and technology of coring with in-situ pressure and gas maintaining in deep coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(3): 885-897.
- [14] 黄伟, 陈领, 李佳南, 等. 煤矿井下水平保压取心保压触发装置研制与试验研究[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(8): 39-46.
HUANG Wei, CHEN Ling, LI Jianan, *et al.* R&D and experimental research of pressure-preserved triggering device for horizontal pressure-preserved coring in coal mines[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(8): 39-46.
- [15] 刘贵康, 李聪, 游镇西, 等. 煤矿井下原位磁控多向保压取心原理与技术[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(8): 13-20.
LIU Guikang, LI Cong, YOU Zhenxi, *et al.* Principle and technology of in-situ magnetically controlled multidirectional pressure-preserved coring in the coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(8): 13-20.
- [16] 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.
- [17] 芦伟, 龙威成, 康锴, 等. 中硬煤层井下长距离密闭取心瓦斯含量测定技术应用研究[J]. 煤炭技术, 2021, 40(12): 153-156.
LU Wei, LONG Weicheng, KANG Kai, *et al.* Application of gas content measurement technology for long-distance sealed coring in medium hard coal seam[J]. Coal Technology, 2021, 40(12): 153-156.
- [18] 龙威成. 井下煤层长距离定点密闭取心技术及应用研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2022, 41(1): 9-16.
LONG Weicheng. Research of long distance fixed-point sealed coring technology and application in underground coal seam[J]. Journal of Henan Polytechnic University(Natural Science), 2022, 41(1): 9-16.
- [19] 龙威成, 孙四清, 陈建. 碎软煤层井下长距离定点密闭取心技术研究[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(8): 93-98.
LONG Weicheng, SUN Siqing, CHEN Jian. Study on long-distance fixed-point sealed coring technology in broken-soft coal seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(8): 93-98.
- [20] 褚志伟, 龙威成, 贾秉义, 等. 煤层底板孔多分支点取样钻进技术及应用研究[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(5): 153-158.
CHU Zhiwei, LONG Weicheng, JIA Bingyi, *et al.* Study and application on multi branch point sampling drilling technology of coal seam floor borehole[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(5): 153-158.
- [21] 柴建禄. 基于梳状定向钻孔的碎软煤层瓦斯含量测定取样技术[J]. 煤矿安全, 2022, 53(6): 96-100, 107.
CHAI Jianlu. Sampling technology for measuring gas content in broken soft coal seam based on comb-shaped directional borehole[J]. Safety in Coal Mines, 2022, 53(6): 96-100, 107.
- [22] 煤炭科学研究总院抚顺分院. AQ 1046—2007 地勘时期煤层瓦斯含量测定方法[S]. 国家安全生产监督管理总局, 2007.
- [23] 煤炭科学研究总院抚顺分院. GB/T 23249—2009 地勘时期煤层瓦斯含量测定方法[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2009.
- [24] 煤炭科学研究总院抚顺分院, 煤炭科学研究总院重庆研究院. GB/T 23250—2009 煤层瓦斯含量井下直接测定方法[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2009.
- [25] 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司, 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司, 等. NB/T 10018—2015 低煤阶煤层含气量测定方法[S]. 国家能源局, 2015.
- [26] 中煤科工集团西安研究院有限公司. GB/T 19559—2021 煤层气含量测定方法[S]. 国家市场监督管理总局, 2021.
- [27] 中煤科工集团西安研究院, 中煤科工集团沈阳研究院. GB/T 28753—2012 煤层气含量测定 加温解吸法[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2012.
- [28] 中煤科工集团西安研究院有限公司. GB/T 35053—2018 煤层气含量测定用密闭取心方法[S]. 国家市场监督管理总局, 2018.
- [29] 罗培荣, 谢飞. DGC型瓦斯含量快速测定技术在区域防突措施设计中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(4): 37-39.
LUO Peirong, XIE Fei. The application of DGC type gas content rapid determination technology in the design of regional outburst prevention measures[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2012, 39(4): 37-39.
- [30] 隆清明. 煤层瓦斯含量间接快速测定方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018: 107-111.
LONG Qingming. Study on indirect rapid determination method of

- coal seam gas content[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 107-111.
- [31] 杨宏民,王兆丰.井下便携式煤层瓦斯含量快速测定仪的应用[J].煤炭科学技术,2013,41(9):159-162.
YANG Hongmin, WANG Zhaofeng. Application of underground portable rapid determinator for gas content[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 159-162.
- [32] BERTARD C, BRUYET B, GUNTHER J. Determination of desorbable gas concentration of coal (direct method) [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1970, 7(1): 43-65.
- [33] 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 Yinwei, WEN Guangcai, et al. New technology of outburst danger prediction by gas content[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 276-280.
- [34] 陈绍杰,陈学习,高亮.2种取样方式测定煤层瓦斯含量对比分析[J].煤矿安全,2014,45(5):159-162.
CHEN Shaojie, CHEN Xuexi, GAO Liang. Comparative analysis on determining coalbed gas content with two different coal sampling methods[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(5): 159-162.
- [35] 李祝,段渊,解锡超.煤矿井下新型瓦斯含量定点取样装置研究[J].煤矿安全,2017,48(5):9-11.
LI Zhu, DUAN Yuan, XIE Xichao. Study on new spot sampling device of gas content in coal mine underground[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(5): 9-11.
- [36] 煤炭科学研究总院西安研究院,中联煤层气有限责任公司. GB/T 19559—2008 煤层气含量测定方法[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2008.
- [37] 殷新胜,石智军,魏欢欢,等.一种坑道近水平孔用绳索取心钻具[P].中国:CN201010243426.1,2010-11-17.
- [38] 魏欢欢,殷新胜.近水平坑道用绳索取心钻具[J].煤田地质与勘探,2011,39(3):74-76,80.
WEI Huanhuan, YIN Xinsheng. Wire-line coring drilling tool and pipe used in nearly horizontal boreholes in tunnel[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(3): 74-76, 80.
- [39] 陈功胜.煤岩地层绳索取芯装备研发及应用实践[J].中国安全生产科学技术,2013,9(12):102-106.
CHEN Gongsheng. Development and practice application of rope coring equipment in coal and rock seam[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013, 9(12): 102-106.
- [40] 吴金生,黄晓林,蒋炳,等.水平绳索随钻定向钻进技术研究与应[J].煤田地质与勘探,2021,49(5):260-264,271.
WU Jinsheng, HUANG Xiaolin, JIANG Bing, et al. Research and application of horizontal wire-line directional deviation correction while drilling[J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(5): 260-264, 271.
- [41] 袁亮,薛生,秦永洋,等.煤样采集装置及方法[P].中国:CN200910179643.6,2011-05-04.
- [42] 胡千庭,文光才,隆清明,等.正负压联合栓流定点取样装置[P].中国:CN201210291852.1,2012-11-28.
- [43] 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):5-7,51.
LI Jianguo, 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, 51.
- [44] 隆清明.深孔定点取样技术在平煤十矿的应用研究[J].矿业安全与环保,2015,42(1):83-86.
LONG Qingming. Application of long-hole fixed-point sampling technique in Pingdingshan No. 10 Mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2015, 42(1): 83-86.
- [45] 隆清明,李秋林,胡杰.深孔定点取样技术在大湾煤矿的应用研究[J].煤炭技术,2015,34(5):188-190.
LONG Qingming, LI Qiulin, HU Jie. Application of deep hole fixed-point sampling technique and device in Dawan Mine[J]. Coal Technology, 2015, 34(5): 188-190.
- [46] 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.
LI Quanxin, FANG Jun, XU Chao, 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.
- [47] 石智军,姚克,姚宁平,等.我国煤矿井下坑道钻探技术装备40年发展与展望[J].煤炭科学技术,2020,48(4):1-34.
SHI Zhijun, YAO Ke, YAO Ningping, et al. 40 years of development and prospect on underground coal mine tunnel drilling technology and equipment in China[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(4): 1-34.
- [48] 任海慧,李泉新,方俊.顶板高位定向钻孔无线随钻测量定向钻进技术及应用[J].煤矿安全,2018,49(9):110-113.
REN Haihui, LI Quanxin, FANG Jun. Technology and application of directional drilling with mud pulse measurement with drilling in high level directional drilling of roof[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(9): 110-113.
- [49] 煤炭科学研究总院西安研究院,中联煤层气有限责任公司. GB/T 19559—2004 煤层气含量测定方法[S]. 国家安全生产监督管理总局,2004.
- [50] 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 Fubao, KANG Jianhong, WANG Youpai, 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.
- [51] 刘志伟,何俊材,冯康武.瓦斯含量直接测定法在大方煤田的研究[J].中国煤炭,2011,37(1):99-101.
LIU Zhiwei, HE Juncan, FENG Kangwu. Trial research of gas-content direct mensuration in Dafang coal field[J]. China Coal, 2011, 37(1): 99-101.
- [52] 王国法,潘一山,赵善坤,等.冲击地压煤层如何实现安全高效智能开采[J].煤炭科学技术,2024,52(1):1-14.
WANG Guofa, PAN Yishan, ZHAO Shankun, et al. How to realize safe-efficient-intelligent mining of rock burst coal seam[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(1): 1-14.