

文章编号: 1671-251X(2025)02-0019-08

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2024120047

# 煤矿井下长钻孔保压取样器研制与应用

王冕<sup>1,2</sup>, 何伟<sup>1</sup>, 王红涛<sup>1</sup>, 赵永超<sup>3,4</sup>, 于红<sup>5</sup>

(1. 义煤集团新安县云顶煤业有限公司, 河南 洛阳 471800; 2. 重庆大学 资源与安全学院, 重庆 400044;  
3. 郑州慧矿智能科技有限公司, 河南 郑州 450048; 4. 郑州市瓦斯高效抽采工程技术研究中心,  
河南 郑州 450048; 5. 河南工程学院 资源与安全工程学院, 河南 郑州 451191)

**摘要:** 针对煤矿井下长钻孔取样过程中存在的瓦斯损失量大、孔内条件复杂、煤样钻取率低等技术难点, 设计了以高压水为驱动力、以活塞为驱动装置、以球阀为密封装置的保压取样器。该取样器通过钻杆传递水压的变化控制球阀的开启和关闭, 实现煤样的高效钻取和密封保压。采用该取样器分别进行了3组常规钻孔和18组长钻孔取样试验, 最大取样深度为297 m, 取样过程煤层暴露时间均控制在5 min内, 所取煤样瓦斯含量测定结果表明: 在同一工作面, 采用保压取样器取样比常规取样方式取样测试的煤层瓦斯含量大0.01~1.34 m<sup>3</sup>/t, 且长钻孔取样深度对煤层瓦斯含量测试数值无明显影响, 表明保压取样器在取样成功后具有良好的密封保压性能, 达到了煤矿井下长钻孔取样测试煤层瓦斯含量的目的。

**关键词:** 煤层瓦斯含量测定; 长钻孔取样; 保压取样器; 球阀密封; 活塞驱动

中图分类号: TD712

文献标志码: A

## Development and application of a pressure-preserving sampler for long boreholes in coal mines

WANG Mian<sup>1,2</sup>, HE Wei<sup>1</sup>, WANG Hongtao<sup>1</sup>, ZHAO Yongchao<sup>3,4</sup>, YU Hong<sup>5</sup>

(1. Yima Coal Industry(Group) Xin'an Yunding Coal Mine Co., Ltd., Luoyang 471800, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

3. Zhengzhou Huikuang Intelligent Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450048, China;

4. Zhengzhou High Efficient Gas Extraction Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450048, China;

5. School of Resources and Safety Engineering, Henan University of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

**Abstract:** In underground coal mine long borehole sampling, significant challenges include substantial gas loss, complex borehole conditions, and low coal sample drilling rates. To address these issues, a pressure-preserving sampler is designed, integrating high-pressure water as the driving force, a piston drive, and a ball valve seal. This sampler controls the opening and closing of the ball valve through water pressure changes transmitted via the drill rod, enabling efficient coal sample drilling and pressure-preserving sealing. Experiments using the sampler included three sets of conventional borehole samples and eighteen sets of long borehole samples, with a maximum sampling depth of 297 meters. The sampler ensured coal seam exposure time during sampling was controlled within 5 minutes. Seam gas content measurement results indicated that, within the same working face, the gas content measured by the pressure-preserving sampler was 0.01-1.34 m<sup>3</sup>/t higher than that from conventional methods. Additionally, the sampling depth of long boreholes showed no significant impact on gas content values, demonstrating the sampler's effective sealing and pressure-preserving performance post-

收稿日期: 2024-12-15; 修回日期: 2025-02-13; 责任编辑: 胡娴。

基金项目: 河南省重点研发专项资助项目(241111320700); 河南工程学院博士基金资助项目(Dkj2018020)。

作者简介: 王冕(1985—), 男, 河南信阳人, 高级工程师, 博士研究生, 现从事矿井瓦斯灾害防治管理工作, E-mail: [yo\\_chur@126.com](mailto:yo_chur@126.com)。

引用格式: 王冕, 何伟, 王红涛, 等. 煤矿井下长钻孔保压取样器研制与应用[J]. 工矿自动化, 2025, 51(2): 19-26.

WANG Mian, HE Wei, WANG Hongtao, et al. Development and application of a pressure-preserving sampler for long boreholes in coal mines[J]. Journal of Mine Automation, 2025, 51(2): 19-26.



扫码移动阅读

sampling. The pressure-preserving sampler successfully fulfills the objective of measuring coal seam gas content in underground coal mine long borehole sampling.

**Key words:** seam gas content measurement; long borehole sampling; pressure-preserving sampler; ball valve seal; piston drive

## 0 引言

准确测定煤层原始瓦斯含量是精准开展区域防突措施设计、瓦斯治理效果评判、瓦斯涌出量预测的前提<sup>[1-5]</sup>。目前煤层瓦斯含量测定主要是采用孔口接粉取样+井下直接解吸法,但该取样方式混样严重,无法实现定点取样。煤心管取样方法虽然可以实现定点取样,但由于退钻过程中瓦斯损失量较大,目前只适用于浅孔取样<sup>[6-9]</sup>。

为解决上述问题,相关学者从取样技术和瓦斯损失量推算等方面开展了大量研究。陈绍杰等<sup>[10]</sup>基于“正转取样,反转密封”的思想,研制了密封取样装置,成功实现了密闭取样。朱家铎<sup>[11]</sup>根据瓦斯在低温状态下逸散低的特点,研制了冰冻密闭保压瓦斯含量测定取心器,为瓦斯含量测定取样提供了新思路。龙威成等<sup>[12]</sup>研制了干式密闭取样装置,该装置取样过程中采用压风进行排渣、钻头冷却和封堵球输送作业,以压风和高压水 2 种动力驱动取样装置密闭,为碎软煤层井下长距离测定瓦斯含量提供了一种新途径。孙四清等<sup>[13]</sup>、郑凯歌等<sup>[14]</sup>研制了用于地面井煤层气含量测定的密闭取心器和密闭取心钻头,最大取样深度超过 700 m,提高了地面煤层气井煤层含气量的测试精度。上述研究一定程度上降低了井下煤层瓦斯含量测定取样过程中的瓦斯损失量,但由于取样器结构复杂、取样过程繁琐、技术要求高等问题,导致其应用门槛相对较高<sup>[15-18]</sup>。针对上述问题,本文研发了一种煤矿井下长钻孔保压取样器,该装置结构简单、性能可靠,设计的球阀密封系统以水压为驱动,可实现煤样筒取样前密闭、取样时开启、取样后退钻前再次密闭的动作,一定程度上解决了长钻孔取样煤层瓦斯含量测试结果不准确的问题。

## 1 井下长钻孔取样难点

井下长钻孔取样是指通过千米定向钻机施工取样钻孔后,采用取样器获取煤样。其优点是可以扩大井下煤样采集的范围,减少参数测试过程中因取样需要而开展的岩巷掘进,大幅度降低井下瓦斯治理成本。但相对于常规钻孔取样,井下长钻孔取样具有以下难点:

1) 取样后退钻时间过长,瓦斯损失量大。完成煤样钻取工作后,需经过长时间的退钻工作,煤样暴露时间远超过相关标准要求,在此期间煤样瓦斯大量逸散,无法满足瓦斯含量测试要求。

2) 孔内条件复杂,钻孔内积水、积渣容易污染煤样。目前井下长钻孔多采用千米定向钻机钻进,钻进期间孔内倾角起伏变化,孔内积水、积渣现象较为普遍,需防止在取样器送至孔底的过程中或在取样前剥离暴露煤层时误取钻孔内的积水、积渣及暴露时间过长的煤层,导致瓦斯含量测试结果不准确。

3) 钻孔倾角小,煤样钻取率低。进行长钻孔取样时,由于轨迹设计需要,取样角度往往较小,甚至部分情况为负角度,所以取样时煤样无法靠自重落入取样器内,导致取样率低,取样量无法满足相关标准要求。

## 2 煤矿井下长钻孔保压取样器设计

### 2.1 总体结构设计

根据井下千米定向钻孔施工所采用的钻机、泵车、钻杆、定向钻孔的轨迹特点,以及 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》中的取样要求,设计了煤矿井下长钻孔保压取样器。取样器外筒材质选用 42CrMo 合金钢,能够适应孔内压、扭、拉等机械载荷,保压取样器的主要技术参数见表 1。

表 1 保压取样器的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of pressure preserving sampler

参数名称	参数值
总长度/mm	1 054
总质量/kg	33
取样钻头中通内径/mm	46
取样筒容积/cm <sup>3</sup>	1 250
取样筒保压能力/MPa	3
配套钻杆直径/mm	73, 89
适用钻孔孔径/mm	≥120
驱动水压/MPa	4.0

保压取样器主要包括取样钻头、球阀密封系统、内筒、外筒、活塞驱动系统,如图 1 所示。剥离暴露

煤样时采用压风排渣,压风通过压风阀、活塞内部、内外筒缝隙从钻头流出进行排渣、降温工作。取样作业时停止压风,接入高压水,水压通过钻杆向取样器传递;活塞在高压水的作用下向前滑动推动内筒筒体,同时压缩复位弹簧;内筒筒体向前滑动的同时,筒体内部球阀通过两端齿轮与外筒齿轮导向板的啮合驱动球阀开启,保持水压顺时针钻进取样;取样钻头收集切削下的煤样,煤样从钻头中部煤样通道经过球阀进入取样器内筒;完成取样工作后关闭泵车卸压,复位弹簧驱动活塞和内筒筒体向后移动,球阀关闭。

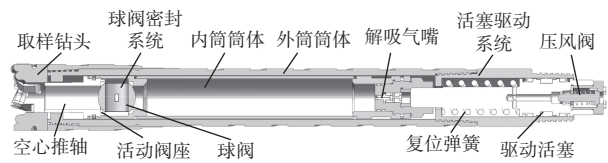


图 1 保压取样器结构  
Fig. 1 Structure of pressure preserving sampler

2.2 活塞驱动系统

活塞驱动系统以通过密封钻杆传递的水压为动力,在复位弹簧的配合下实现轴向往复运动,进一步驱动球阀的开启和关闭,其驱动参数主要包括弹簧回弹力和驱动水压。

完成煤样收集后,复位弹簧通过弹力驱动球阀旋转,切断煤心,完成密封。因此在忽略摩擦阻力的情况下,弹簧驱动齿轮所产生的扭矩应大于球阀切断完整煤心所需的扭矩,即

$$F_1r_1 > F_2r_2 \tag{1}$$

$$F_2 = \sigma_c s \tag{2}$$

式中: $F_1$  为弹簧回弹力, N;  $r_1$  为齿轮半径, m;  $F_2$  为剪断煤柱所需的剪切力, N;  $r_2$  为球阀半径, m;  $\sigma_c$  为煤心抗剪强度, Pa;  $s$  为煤心截面积,  $\text{m}^2$ 。

煤岩在无轴向应力载荷的情况下,其抗剪强度一般不超过 2.5 MPa。根据取样器设计参数,齿轮半径取 20 mm,球阀半径取 22 mm,煤心直径取 36 mm。将参数代入式(1)、式(2)计算可得球阀在取样期间所需的最小扭矩为 116.73 N·m,对应的弹簧回弹力应不低于 5 836 N。据此对复位弹簧进行选型,弹簧材质为 AISI304,相关参数见表 2。

根据设计参数,取样前弹簧需被压缩至 88.6 mm 才能将球阀完全打开,此时弹簧弹力为 6 266 N,因此,高压水对活塞导向杆的驱动力不应小于该值,活塞的设计直径为 61.5 mm,计算得到最低驱动水压为 2.12 MPa。

表 2 弹簧参数  
Table 2 Spring parameters

参数名称	参数值
螺旋中径/mm	50
线径/mm	9
圈数	6.5
劲度系数/(N·m <sup>-1</sup> )	102 060
原始长度/mm	150
安装长度/mm	120
压缩行程/mm	31.4

2.3 球阀密封系统

2.3.1 系统结构

球阀总成位于内筒前段,主要提供煤样进入取样内筒的通道,并在煤样进入取样内筒后对内筒进行密封。球阀总成主要由球阀阀体、固定阀座、活动阀座、空心推轴、驱动齿轮等构成,形成一个独立且完整的可旋转球阀结构,通过驱动齿轮的旋转实现球阀开合,如图 2 所示。球阀执行开启动作时,尾部的活塞驱动系统推动内筒整体向前产生轴向位移,驱动齿轮与外筒上的齿轮槽啮合后产生旋转,实现开启动作;完成取样后,关闭活塞驱动系统的水压供给,活塞驱动系统内部复位弹簧驱动内筒整体向后产生轴向位移,使球阀关闭。

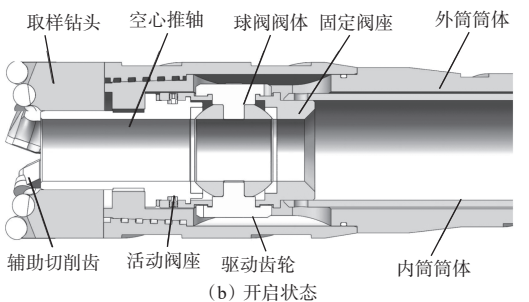
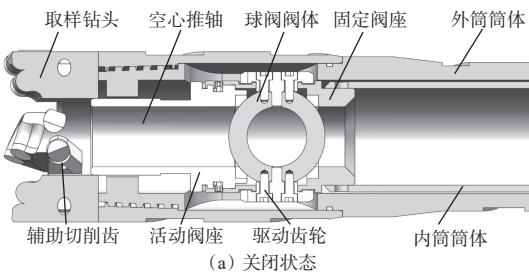


图 2 球阀密封系统结构

Fig. 2 Structure of ball valve seal system

2.3.2 球阀密封性能分析

球阀密封的基本原理是通过不同方式阻止介质在阀体和阀座密封面上的渗漏。影响球阀密封性的因素主要有 4 种:①密封面的质量;②流体介质的物理性质;③密封面上的比压;④密封副的结构和尺寸。



1) 阀座受力分析。球阀密封力  $Q$  是作用于密封面的沿介质流动方向的合力, 其大小决定球阀的密封性、可靠性和使用寿命。阀座受力分析如图 3 所示, 整体力学关系为<sup>[19-20]</sup>

$$Q = Q_p + Q_T - Q_f - Q_j \quad (3)$$

式中:  $Q_p$  为由流体介质工作过程中对球座背面的推力;  $Q_T$  为阀座预紧力;  $Q_f$  为阀座滑动摩擦力;  $Q_j$  为流体静压力作用在密封面余隙上的力。

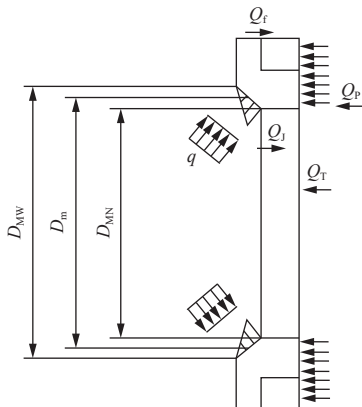


图 3 球阀阀座受力分析

Fig. 3 Force analysis of ball valve seat

取样器在井下环境工作, 压力较小, 且阀座与其他结构无摩擦接触, 因此计算中可认为  $Q_p$  和  $Q_f$  为 0。

2) 密封比压计算。球阀的密封比压分为许用比压  $[q]$ 、必需比压  $q_b$ 、设计比压  $q$ , 三者关系应满足  $q_b < q < [q]$ 。其中许用比压表示密封面单位面积上允许承受的最大压力, 其值由阀座密封材料决定。本装置阀座材料为聚四氟乙烯, 许用比压为 8.75 MPa<sup>[21]</sup>。必需比压为满足密封要求的最小比压, 其值与密封面的表面质量、尺寸、工作压力和温度相关, 可通过经验公式计算<sup>[22]</sup>:

$$q_b = m \left( \frac{a + cP}{\sqrt{b}} \right) \quad (4)$$

式中:  $m$  为与流体性质有关的系数 (对于常温水,  $m=1$ ; 对于高温液体和气体,  $m=1.4$ );  $a, c$  为与密封材料相关的系数;  $P$  为流体介质工作压力, MPa;  $b$  为密封面在垂直流体流动方向上的投影宽度, mm。

取样器选用聚四氟乙烯作为密封材料,  $a$  和  $c$  分别取 1.8 和 0.9<sup>[23]</sup>,  $m$  取 1.4,  $b$  取 4 mm, 经计算, 取样器球阀密封必需比压  $q_b$  为 3.15 MPa。取样器球阀设计比压应满足 3.15 MPa  $< q$   $< 8.75$  MPa。

3) 阀座预紧力计算。根据式 (3), 阀座预紧力为

$$Q_T = Q + Q_j \quad (5)$$

$$Q = \frac{q\pi(D_{MW}^2 - D_{MN}^2)}{4} \quad (6)$$

$$Q_j = \frac{\pi P}{4}(D_m^2 - D_{MN}^2) \quad (7)$$

$$D_m = \frac{D_{MW} + D_{MN}}{2} \quad (8)$$

式中:  $D_{MW}$  为阀座密封面外径, mm;  $D_{MN}$  为阀座密封面内径, mm;  $D_m$  为密封面平均直径, mm。

根据取样器球阀密封座设计尺寸,  $D_{MW}$  取 44 mm,  $D_{MN}$  取 36 mm,  $P$  取值区间为 0~3 MPa, 经计算, 取样过程中  $Q_j$  的极限变化区间为 0~1 503.15 N, 球阀预紧力区间为 3 085.15~4 396 N。为保证球阀结构的密封性能, 同时防止球阀密封垫损坏, 对球阀预紧力的要求相对苛刻, 因此设置球阀预紧力时应进行严格、准确的测试与验算。

## 2.4 取样钻头

由于长钻孔取样时倾角较低, 煤屑靠自重无法进入取样器, 所以取样钻头应具备主动收集煤屑的功能。同时为避免送钻和剥离暴露煤层时岩屑进入钻头内部, 堵塞或污染新鲜煤样, 取样钻头应具备开闭设计。据此设计了四翼内旋开闭式 PDC 取样钻头。送钻和剥离暴露煤样时辅助切削齿处于关闭状态 (图 2(a)、图 4(a)), 以阻止岩屑进入钻头内部; 取新鲜煤样时, 高压水驱动活塞向前产生轴向运动, 驱动球阀开启的同时, 空心推轴向前进入空心钻头内部, 推动辅助切削齿处于开启状态 (图 2(b)、图 4(b)), 旋转取样时内旋式切削齿将新鲜煤样向钻头中部推送, 进而收集至取样器内筒中。

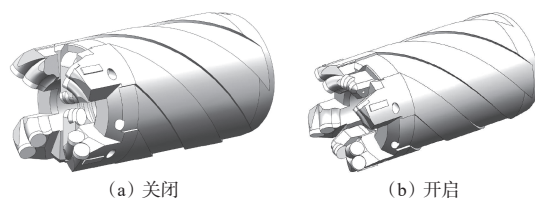


图 4 钻头状态

Fig. 4 States of drill bit

## 3 取样工艺流程及技术优势

1) 定向钻孔揭煤后, 退出所有钻杆, 将取样器连接钻杆送入孔底。送钻过程中密封球阀保持关闭, 防止孔内积水、杂物进入取样器内筒, 影响瓦斯正常解吸。取样器送至孔底后, 保持球阀和辅助切削齿关闭状态, 旋转钻进 0.5 m 剥离已暴露的煤样。

2) 打开定向钻机配套泵车, 通过钻杆向取样器尾部驱动活塞施加水压。水压驱动活塞带动取样器内筒向前移动, 移动过程中齿轮装置与齿轮导向板啮合, 带动球阀阀体打开, 同时空心推轴推动辅助切削齿打开, 保持水压, 向前钻进。取样钻头切削下的

煤屑通过取样钻头进入取样器内筒, 钻进行程约为 1 m。

3) 关闭水压, 此时取样器内筒在复位弹簧的弹力驱动下移动复位, 复位过程中齿轮装置带动球阀阀体关闭, 完成密封。

密闭取样过程如图 5 所示。

保压取样器采用大通径球阀对钻取的煤样进行密封, 并根据球阀的密封理论, 结合取样条件对相关力学参数、密封材料进行计算、优选。在实际取样过程中通过控制水压变化和复位弹簧的弹力, 实现取样装置在取样前关闭球阀、取样时开启球阀、取样后关闭球阀, 确保所取煤样为未受污染的新鲜煤样, 长钻孔保压取样器与常规密闭取样装置技术对比见表 3。

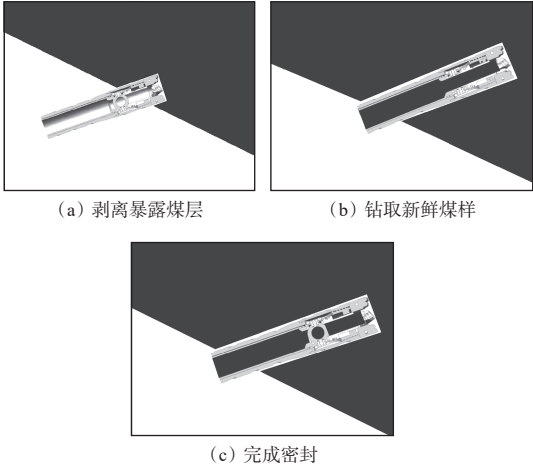


图 5 密闭取样过程

Fig. 5 Sealed sampling process

表 3 取样器技术特征对比  
Table 3 Comparison of technical characteristics of samplers

主要功能	取样装置	实现方式	技术特征
系统控制	长钻孔保压取样器	水压驱动控制	通过控制水压变化驱动活塞, 配合复位弹簧完成开闭动作, 相关力学参数可精确计算, 可根据实际需求调整水压, 系统简单, 动作可多次重复
	现有密闭取样装置	旋转驱动控制	通过钻机带动钻杆旋转, 驱动取样装置内部结构完成取样封闭动作, 其旋转扭矩无法控制, 容易导致密封垫圈等关键装置损坏
		电驱动控制	通过内置电动机、电控系统驱动取样装置开闭, 系统复杂, 工作环境要求高, 成本高
密封性能	长钻孔保压取样器	大通径球阀密封	根据球阀的密封理论, 结合取样条件对相关力学参数、密封材料进行计算、优选, 能够适应长钻孔取样条件, 密封效果更加可靠
	现有密闭取样装置	密封板密封	密封板配合柔性密封胶圈, 在钻取煤样时取样装置内部高应力、高温条件下密封件容易损坏失效
取样操作	长钻孔保压取样器	闭-开-闭式操作	在取样装置送至孔底及剥离暴露煤样期间, 取样装置处于密闭状态, 在钻取新鲜煤样时球阀打开, 确保所取煤样为未受污染的新鲜煤样
	现有密闭取样装置	开-闭式操作	由于取样装置只能执行密封动作, 将取样装置送至孔底时, 取样装置需处于开启状态, 在此期间钻孔内岩屑、积水容易进入取样装置
煤样钻取	长钻孔保压取样器	内旋开闭式钻头	通过内旋设计实现煤屑主动收集, 确保取样量满足要求, 通过开闭式设计防止剥离暴露煤样时煤屑堵塞钻头
	现有密闭取样装置	常规取心钻头	取样钻孔角度较小时煤屑收集率较低, 所取样品无法区分暴露煤样和新鲜煤样

4 现场应用

为验证长钻孔保压取样器的井下应用效果, 本文选取义煤集团云顶煤矿 13030 工作面进行实际取样。试验工作面位于 13 采区东翼, 开采二<sub>1</sub> 煤层, 二<sub>1</sub> 煤层埋深+550~+580 m, 平均埋深 565 m, 平均煤厚 5.87 m, 工作面外段宽 210 m, 内段宽 385 m, 呈“刀把”形。该工作面未布置底板岩石巷, 开展区域预测工作时无法通过常规取样方式取样并测试煤层瓦斯含量, 因此计划在相邻的 13050 工作面机巷底抽巷采用定向长钻孔配合保压取样器取样, 测试煤层瓦斯含量。

为确保瓦斯含量数据取样测试的准确性, 先在 13050 工作面机巷底抽巷施工 3 组短钻孔, 分别采用孔口接粉取样和保压取样采样, 对比 2 种取样方式

实测瓦斯含量值, 验证保压取样器的可靠性, 然后进一步进行长钻孔取样应用。

4.1 取样对比试验

在 13050 工作面机巷底抽巷施工取样钻孔, 预计见煤孔深 56.50~58.20 m, 在钻孔施工至见煤后采用孔口接粉进行常规取样, 记录取样深度, 井下环境气压、温度, 煤样暴露时间, 煤样开始解吸时间等。常规取样完成后, 退出钻杆, 将钻杆连接保压取样器, 通过钻机推送至孔底, 钻进约 1 m, 将暴露煤样剥离后打开水泵, 升压至 8 MPa, 调整钻机转速为 120 r/min, 进给速度为 30~40 cm/min, 开始取样钻进, 钻进距离超过 90 cm 后停止钻进, 停泵卸压, 此过程为煤样暴露时间。保压取样完成后退出钻杆, 卸下取样器, 用解吸气嘴连接解吸仪, 开始煤样井下解吸量测

定。瓦斯含量测定按照 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》进行,3 组煤样的解吸数据见表 4。

表 4 瓦斯含量测定结果对比  
Table 4 Comparison of gas content measurement results

孔号	见煤孔深/m	取样深度/m	取样方式	煤样暴露时间/s	退钻时间/min	瓦斯含量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$
1	56.50	56.80	常规取样	202	—	2.21
		57.50	保压取样	234	23	3.55
2	57.90	58.20	常规取样	198	—	4.22
		58.90	保压取样	221	36	4.23
3	58.20	58.50	常规取样	201	—	3.61
		59.00	保压取样	334	34	4.07

由表 4 可看出,采用保压取样时,煤层瓦斯含量测定值比采用常规取样时高  $0.01 \sim 1.34 \text{ m}^3/\text{t}$ ,表明保压取样器成功钻取煤样后,在约 30 min 的退钻时间内瓦斯含量基本无损失,验证了保压取样器密封的可靠性。

#### 4.2 长钻孔取样工程应用

在 13050 工作面机巷底抽巷和 13050 工作面切抽巷采用 ZDY-12000LD 定向钻机施工长钻孔取样

试验孔,钻孔在二<sub>1</sub>煤底板岩层中延伸至指定位置后,上调角度,穿煤取样。共施工定向钻孔 18 个,定向钻进总进尺为 4 365 m,采用保压取样器成功取出干煤样 18 个,取样成功率为 100%。现场取样过程如图 6 所示,钻孔施工轨迹如图 7 所示。



(a) 取样钻机



(b) 现场解吸



(c) 取出煤样

图 6 现场取样过程

Fig. 6 On site sampling process

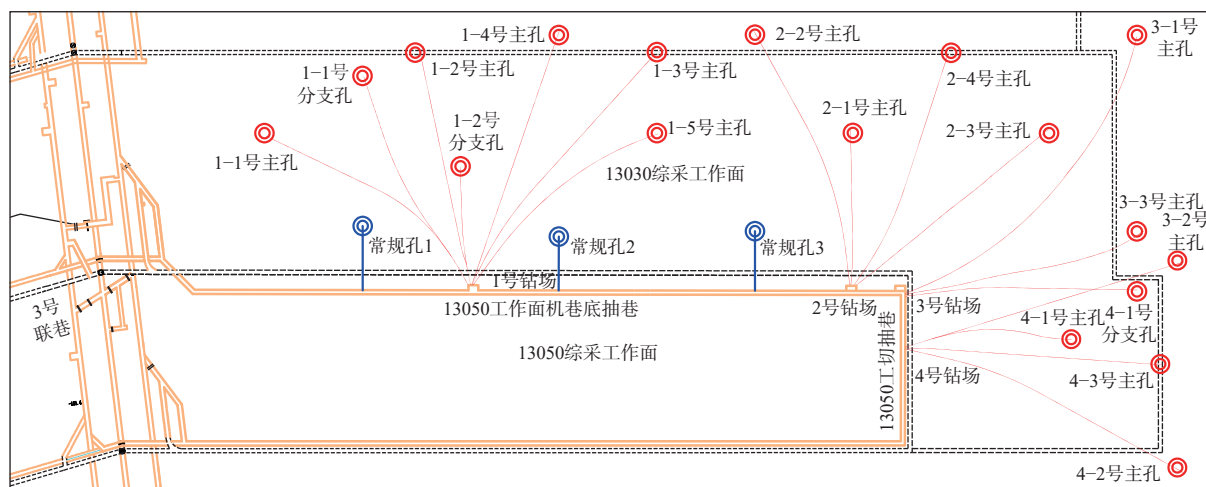


图 7 定向钻孔施工轨迹

Fig. 7 Directional drilling construction trajectory

密闭取样煤样瓦斯含量测定参数见表 5。可看出,长钻孔保压取样器在深度接近 297 m 处仍可成功取样,取样瓦斯含量测试结果与常规钻孔密闭取样测试结果一致,表明在长钻孔取样中保压取样器保压效果良好,避免了退钻过程中瓦斯逸散损失,提高了瓦斯含量测试结果准确性。

## 5 结论

1) 设计了以高压水为动力、通过活塞驱动球阀

开闭的保压取样器,通过控制水压变化使取样器在孔内执行一系列取样动作,实现了长钻孔保压取煤样,避免长钻孔定点取样时退钻时间过长导致瓦斯损失量过大,满足了煤层瓦斯含量测试取样要求。

2) 常规钻孔中,采用保压取样器与常规取样方法进行对比测试,结果表明,采用保压取样器取样比常规取样方式取样时测定的煤层瓦斯含量大  $0.01 \sim 1.34 \text{ m}^3/\text{t}$ ,整体相差不大,表明保压取样器取样后具有良好的密封保压性能。



表 5 密闭取样煤样瓦斯含量测定参数  
Table 5 Measurement parameters for gas content in sealed sampling coal samples

孔号	实际 孔深/m	煤样暴 露时间/s	退钻时 间/min	煤样 质量/g	实测瓦斯 含量/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )
1-1号主孔	255	195	306	603	2.98
1-1号分支孔	234	211	256	561	2.73
1-2号主孔	213	186	203	860	3.62
1-2号分支孔	120	206	374	645	3.35
1-3号主孔	297	266	186	877	3.88
1-4号主孔	267	235	297	533	3.76
1-5号主孔	237	199	244	589	3.34
2-1号主孔	150	246	101	601	4.05
2-2号主孔	270	201	159	654	4.32
2-3号主孔	243	173	303	741	3.58
2-4号主孔	246	233	256	703	3.27
3-1号主孔	348	244	322	599	4.12
3-2号主孔	228	201	241	661	3.96
3-3号主孔	240	197	233	677	3.11
4-1号主孔	288	188	198	801	3.02
4-1号分支孔	183	209	189	555	2.81
4-2号主孔	294	288	301	528	3.29
4-3号主孔	252	249	279	536	3.79

3) 长钻孔取样应用结果表明, 保压取样器可实现超 200 m 孔深定点保压取样, 取样过程煤层暴露时间均控制在 5 min 以内; 采用保压取样器取样测定的瓦斯含量值随取样孔深变化无明显变化, 表明在长钻孔取样退钻过程中瓦斯基本无漏失, 保压取样器能够实现长钻孔取样。但保压取样器的煤样收集量偏低, 在后续工作中需要对取样器内筒容积和煤样通道进行优化。

参考文献(References):

[1] 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.

[2] 张嘉勇, 庞飞, 周凤增, 等. 钱家营矿煤与瓦斯突出关键因素分析[J]. 中国矿业, 2018, 27(2): 107-111.  
ZHANG Jiayong, PANG Fei, ZHOU Fengzeng, et al. Analysis of key factors of coal and gas outburst in Qianjiaying Mine[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(2): 107-111.

[3] 齐黎明, 陈学习, 程五一, 等. 新型煤层瓦斯含量准确

测定方法研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(1): 111-115.  
QI Liming, CHEN Xuexi, CHENG Wuyi, et al. Newly developed method for exact measurement of gas content[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(1): 111-115.

[4] 张淑同. 煤层瓦斯含量与瓦斯压力反算关系研究[J]. 中国矿业, 2012, 21(3): 116-118.  
ZHANG Shutong. Study on calculation relation between coal gas content and coal gas pressure[J]. China Mining Magazine, 2012, 21(3): 116-118.

[5] 程晓阳. 保德煤矿煤层瓦斯赋存参数精准预测及智能分析[J]. 中国矿业, 2023, 32(8): 115-122.  
CHENG Xiaoyang. Accurate prediction and intelligent analysis of coal seam gas occurrence parameters in Baode Coal Mine[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(8): 115-122.

[6] 张淑同. 井下瓦斯含量直接法测定关键技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(2): 328-332.  
ZHANG Shutong. Key technology for gas content direct determination method in underground mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(2): 328-332.

[7] 邓楠. 煤层瓦斯含量直接测定取样技术研究进展[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(4): 113-117.  
DENG Nan. Research status on direct measurement and sampling technology for coal seam gas content[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2021, 48(4): 113-117.

[8] 郑鹏飞, 王俊峰, 薛生, 等. 不同取样深度对煤层瓦斯含量测定值的影响[J]. 煤炭工程, 2015, 47(7): 101-103, 106.  
ZHENG Pengfei, WANG Junfeng, XUE Sheng, et al. Effect of different sampling depth in the same seam on the measured value of gas content[J]. Coal Engineering, 2015, 47(7): 101-103, 106.

[9] 韩承强. 深孔定点快速取样技术在钻屑瓦斯解吸指标  $K_1$  值测试中的应用[J]. 中国矿业, 2022, 31(3): 131-135.  
HAN Chengqiang. Application of quick sampling technology in deep hole at fixed point to test  $K_1$  value of drilling cuttings gas desorption index[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(3): 131-135.

[10] 陈绍杰, 徐阿猛, 陈学习, 等. 反转密封取样装置[J]. 煤矿安全, 2012, 43(10): 94-96.  
CHEN Shaojie, XU Ameng, CHEN Xuexi, et al. Inversion seal sampling device[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(10): 94-96.

[11] 朱家铎. 冰冻密闭保压瓦斯含量测定取心器研制[D]. 重庆: 重庆大学, 2022.  
ZHU Jiabin. Development of coring device for determination of gas content in frozen closed pressure keeping[D]. Chongqing: Chongqing University, 2022.

[12] 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.
- [13] 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.
- [14] 郑凯歌, 孙四清, 龙威成, 等. 地面钻井煤层气含量样品原位密闭取心装置及工艺研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(10): 141-145.
- ZHENG Kaige, SUN Siqing, LONG Weicheng, et al. In-situ sealed coring device and technology of CBM content sample in ground drilling[J]. Coal Engineering, 2022, 54(10): 141-145.
- [15] 俱养社, 马峰良, 华立. 钻孔瓦斯密闭保压取心器研制及应用[J]. 中国煤炭地质, 2022, 34(4): 79-83.
- JU Yangshe, MA Fengliang, HUA Li. Development and application of borehole gas airtight pressurized corer[J]. Coal Geology of China, 2022, 34(4): 79-83.
- [16] 杨冬冬, 赵江鹏, 王四一. 煤矿井下取心钻进技术与装备研究现状及发展趋势[J]. 煤炭工程, 2021, 53(6): 176-181.
- YANG Dongdong, ZHAO Jiangpeng, WANG Siyi. Research status and development direction of coring drilling technology and equipment in coal mine[J]. Coal Engineering, 2021, 53(6): 176-181.
- [17] 卢宗玮, 王清峰, 李彦明. 密闭取心装置研究现状与解决方案[J]. 煤炭技术, 2022, 41(5): 142-144.
- LU Zongwei, WANG Qingfeng, LI Yanming. Research and solution of closed sampling device[J]. Coal Technology, 2022, 41(5): 142-144.
- [18] 郭明功, 张鹏伟, 于红. 煤矿井下深孔密闭保压取样装置研制[J]. 工矿自动化, 2023, 49(10): 160-164.
- GUO Minggong, ZHANG Pengwei, YU Hong. Development of sealed pressure maintaining sampling device for deep holes in coal mines[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(10): 160-164.
- [19] 秦大同, 谢里阳. 现代机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- QIN Datong, XIE Liyang. Modern mechanical Design Manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [20] 偶国富, 肖定浩, 易玉微, 等. 硬密封球阀主密封副接触的特性分析[J]. 浙江理工大学学报, 2015, 40(9): 669-674.
- OU Guofu, XIAO Dinghao, YI Yuwei, et al. Characteristic analysis of primary seal and auxiliary contact the main seal in metal to metal sealed ball valve[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2015, 40(9): 669-674.
- [21] 成大先. 机械设计手册[M]. 6 版. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- CHENG Daxian. Handbook of mechanical design[M]. 6th ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2017.
- [22] 王孝天. 不锈钢阀门的设计与制造[M]. 北京: 原子能出版社, 1987.
- WANG Xiaotian. Design and manufacture of stainless steel valve[M]. Beijing: Atomic Press, 1987.
- [23] 陆培文. 实用阀门设计手册[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- LU Peiwen. Practical valve design manual[M]. 2nd ed. Beijing: China Machine Press, 2007.

(上接第 18 页)

- [32] 司亚文. 基于分布式光纤传感器的变形监测与应变场重构方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- SI Yawen. Research on deformation monitoring and strain field reconstruction based on distributed optical fiber sensor[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2019.
- [33] 田欢, 周平章. 弹性梁动载荷辨识方法研究[J]. 空天技术, 2023(2): 84-96.
- TIAN Huan, ZHOU Pingzhang. Research on dynamic load identification method of elastic beams[J]. Aerospace Technology, 2023(2): 84-96.
- [34] 张赐宝, 李涛, 滕申科, 等. 基于应变响应叠加原理的飞行载荷测量建模研究[J]. 应用力学学报, 2018, 35(1): 22-27, 224.
- ZHANG Cibao, LI Tao, TENG Shenke, et al. Research on modeling of flight load measurement based on strain response superposition principle[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2018, 35(1): 22-27, 224.
- [35] 尚琳, 何发东, 杨华保, 等. 基于神经网络的垂尾飞行载荷模型研究[J]. 强度与环境, 2011, 38(5): 49-53.
- SHANG Lin, HE Fadong, YANG Huabao, et al. Research on flight loads model of vertical tail based on neural networks[J]. Structure & Environment Engineering, 2011, 38(5): 49-53.
- [36] WANG Dongshu, TAN Dapei, LIU Lei. Particle swarm optimization algorithm: an overview[J]. Soft Computing, 2018, 22(2): 387-408.
- [37] 刘佳伟, 于明鑫, 祝连庆, 等. 基于深度学习的机翼蒙皮载荷计算方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2022, 36(4): 1-8.
- LIU Jiawei, YU Mingxin, ZHU Lianqing, et al. Calculation method of wing skin load based on deep learning[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2022, 36(4): 1-8.
- [38] 侯乔乔, 张清勇. 一种改进的载荷标定试验数据回归算法[J]. 工程与试验, 2018, 58(4): 22-24.
- HOU Qiaoqiao, ZHANG Qingyong. An improved regression algorithm for load calibration test data[J]. Engineering & Test, 2018, 58(4): 22-24.