

三米取心筒在煤层气取心井中的应用研究

孙跃蒙

中国煤炭地质总局一二九勘探队 河北 邯郸 056004

【摘要】：我国煤层气资源储量丰富，是优化能源结构、保证非常规天然气供应的重要资源，煤层气勘探开发中，取心作业是获取储层原始参数、准确评价储层物性的关键环节。根据山西某煤层气区块煤岩强度低、易破碎、裂隙发育、遇水易崩解的特点以及传统取心工具岩心收获率低、岩心完整性差、作业效率低的技术难题，本文开展了三米取心筒适配性设计及现场应用的研究工作。根据煤层气取心井地层特点和技术要求，完成三米取心筒结构优化和室内性能测试，用现场取心井应用验证其实操效果。结果表明，三米取心筒可以很好地适应煤层地质条件，平均岩心收获率大于95%，比传统的取心工具提高15个百分点，单次取心作业时间缩短了30%，取得的煤岩心完整度高、原生结构保存完好，可以为储层含气性评价、裂隙发育特征分析、储量核算等提供高质量的岩心资料，解决了煤层气取心的技术难题，为同类煤层气区块的取心施工提供可靠的参考。

【关键词】：煤层气；取心井；三米取心筒；岩心收获率；储层评价

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.040

引言

煤层气是清洁高效的非常规天然气资源，加快煤层气勘探开发速度，既是能源产业绿色转型的需要，也是保障国家能源安全的途径。煤层气藏勘探评价、开发方案编制全过程中的取心作业所获得的原始煤岩心，是分析煤层孔隙度、渗透率、含气性、裂隙发育规律等核心参数的主要依据，其质量及收获率直接影响到储层评价的准确性，进而影响到后续开发部署是否合理。与常规油气储层相比，煤层具有机械强度低、脆性大、胶结性差、遇水易崩解等天然特点，再加上部分区块煤层夹研发育、井眼稳定性差，传统的短筒取心筒、常规双管取心工具施工时很容易造成岩心破碎、脱落、堵塞，从而导致岩心收获率无法保证，作业时间延长，勘探成本增加。随着煤层气勘探开发向复杂地质区块推进，取心工具的岩心保护能力、作业效率、地层适应性都成了问题。

1 煤层气取心井的特点与核心技术要求

三米取心筒是为满足煤层气取心需要而研制的一种新型长筒取心工具，通过改善双管结构、岩心固定装置和切削部件，实现了取心长度、岩心保护和施工便利性的综合考虑，在复杂的煤层中具有明显的优势。本文以山西某煤层气区块为试验场地，对煤层气取心井的技术特点进行分析，阐述三米取心筒的结构设计和性能优势，结合现场应用数据总结其应用效果及实操注意事项，为煤层气取心技术优化、勘探开发效率提高提供实践依据。

1.1 煤层气取心井的地质与施工特点

煤层气储层的特殊地质性质，给取心井施工带来诸多技术难题，也是影响取心效果的关键所在。

第一，煤岩物理性质特殊，煤层主体为脆性煤体，机械抗压、抗剪切强度远低于常规砂岩、灰岩储层，在取心钻头切削、钻具振动、井内液柱压力作用下，极易发生破碎、断裂，难以

形成完整连续的岩心，部分极软煤层甚至会出现岩心完全溃散的情况，直接导致取心失效。

第二，煤层内部结构复杂，大多数煤层发育有天然裂隙、层理，部分区块还夹杂着泥岩、砂岩等研石层，软硬交错的地层会加大取心过程中岩心受力不均的情况，从而提高取心难度，同时夹研层也会对切削部件的钻进稳定性造成影响，容易导致钻具偏移、岩心错位。

第三，井眼施工条件受限，煤层气开发井大多为中浅井，井壁围岩稳定性差，钻进过程中容易出现井壁坍塌、缩径等问题，不但会造成钻具摩阻增大，还会给取心筒的下入和起钻带来困难，影响作业的顺利进行。第四，煤岩水敏性强，常规钻井液的冲刷、浸泡会加快煤岩崩解，破坏岩心原始结构，降低岩心代表性及实验分析价值。

1.2 煤层气取心的核心技术要求

根据煤层气取心井的特殊性，所选取心工具和技术必须具备以下四个方面的特性，才能保证取心质量以及作业效率。

一是加强岩心保护能力，取心工具要具有缓冲减振、减少摩擦的作用，最大限度地减小切削、起钻时对岩心的机械破坏，防止钻井液直接冲刷岩心，保持岩心原始结构和含气状况。

二是提高地层适应性，可以应对软煤层、软硬互层、夹研发育等复杂地层条件，防止由于地层变化而造成取心中断、岩心堵塞等问题，保证单筒取心的连续性。

三是考虑取心效率和实际操作性，在保证单筒取心进尺足够的基础上，简化工具结构，便于现场组装、下入、起钻，缩短单次作业时间，降低总体施工成本。

四是保证工具的可靠性，取心筒要有足够的抗扭、抗压强度，符合煤层气井钻进参数的要求，防止施工过程中工具变形、损坏，保证作业安全有序进行。

2 三米取心筒的结构设计与性能优势

2.1 三米取心筒的核心结构设计

三米取心筒根据煤层气取心的核心需求做专项结构优化，整体为双筒分层结构，主要由外管、内管、自锁卡簧、金刚石复合片切削齿、扶正机构五个核心部件组成，各个部件互相配合完成高效的取心和完整的护心任务。

外管为主体受力件，用高强度合金结构钢加工而成，通过改善壁厚和材质热处理工艺来提高工具整体的抗扭、抗压、抗振动能力，可以承受煤层气井钻进过程中各种复合载荷，防止在软硬交错地层中出现变形、开裂，外管外径与煤层气井常规井眼尺寸匹配，保证下入和起钻过程的顺利进行，不会对井壁造成过大的摩擦。内管为岩心专用容纳通道，用薄壁光滑结构，内壁做镜面抛光和耐磨涂层处理，大大减小岩心进入管体时的摩擦阻力，防止岩心在进入过程中被刮擦破碎，内管与外管之间留有环形间隙，形成钻井液流通通道，实现钻井液与岩心的分离，杜绝钻井液直接冲蚀岩心。

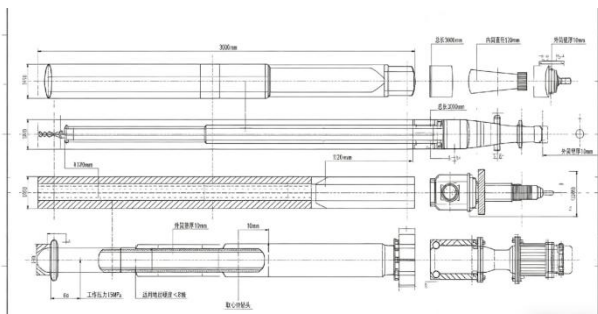


图1 三米取心筒的核心结构

自锁卡簧用弹性合金材料制成，为锥形自锁结构，安装在内管尾部，取心时岩心顺利进入内管，卡簧会自动收缩锁紧岩心底部，起钻时不会因为岩心自重、振动而脱落，完全解决了传统取心工具岩心容易掉落的问题。切削齿用高耐磨性金刚石复合片，采用螺旋式排列方式，改善切削角度和进尺比例，可以迅速切削煤岩，减小切削过程中对岩心的振动冲击，适应夹矸层切削要求，提高工具地层适配性，延长切削部件使用寿命。扶正机构均匀分布在外管外壁上，可以保证取心筒在井眼中居中运动，防止钻具偏斜造成岩心断裂、井壁坍塌，提高取心垂直度和连续性。

2.2 三米取心筒的核心性能特点

与传统的1~2米短筒取心工具相比，三米取心筒由于结构的改进而具有主要优势，完全符合煤层气取心的要求。单筒取心长度适配性好，三米单筒既满足单次取心的进尺要求，又减少全井取心的起下钻次数，不因管体过长而造成组装、运输、下入困难，兼顾取心效率和现场操作便利性。

岩心保护效果好，双管分离结构加光滑内管设计，实现钻井液分流和低摩擦进心，从源头上减少岩心机械损伤和流体冲

蚀，最大限度地保留岩心原始结构、裂隙和含气特征，保证岩心质量。

作业效率明显提高，优化后的切削结构钻进速度更快，单筒取心进尺更长，自锁卡簧可靠保证取心不出现失效返工，整个作业周期比传统工具短30%左右，大大降低了钻井时效成本。四是结构可靠易维护，整体部件模块化设计，没有复杂的传动和液压机构，现场组装、拆卸、检修方便，部件耐磨，可重复利用率高，适合煤层气井野外施工的实操环境。在正式现场使用前，对三米取心筒进行室内抗压、抗扭、摩擦系数检测及模拟取心试验，结果表明工具各项性能指标均达到煤层气取心施工标准，抗载荷能力合格，岩心通过内管顺畅，自锁卡簧锁紧力稳定，可以投入现场工业化使用。

3 三米取心筒在煤层气取心井中的现场应用

3.1 应用区块概况与施工方案

本次现场应用选取的是山西主力煤层气区块，该区块主力开采煤层埋深适中，煤阶以中高阶煤为主，整体机械强度偏低，内生裂隙和外生裂隙均较发育，部分层段夹杂有薄层泥岩矸石，属于典型的复杂煤层取心工况，前期采用传统短筒取心工具施工，平均岩心收获率只有80%左右，岩心破碎严重，无法满足储层评价的需求。本次试验选择区块内煤层气取心井，统一使用三米取心筒进行取心作业，施工前根据区块地质特点优化钻进参数，控制合理的钻压、转速和钻井液排量，防止钻压过大造成岩心破碎、转速过快引起钻具振动，选用低失水、低侵性的钻井液，减少煤岩心水敏破坏。施工流程严格按照现场规范进行，完成取心筒组装、下入、钻进、割心、起钻全过程操作，全过程记录岩心收获率、作业时间、岩心完整度等主要指标，与传统取心工具施工数据进行对比分析。

3.2 现场应用效果

试验井现场应用结果表明，在该区块复杂的煤层条件下，三米取心筒有较好的应用效果，各项主要指标都比传统的取心工具好。从岩心收获率看，5口井单筒岩心收获率全部大于92%，平均收获率大于95%，比区块以前的取心作业提高了15个百分点，彻底解决了软煤层、裂隙发育煤层取心收获率低的问题。就作业效率而言，单筒取心作业平均时长比传统的工具缩短近三分之一，全井取心总起下钻次数减少40%，大大缩减了钻井周期，削减了人工和设备租赁等综合施工成本。

从岩心质量上看，取出的煤岩心连续完整，没有大面积破碎、溃散的现象，煤层原生裂隙、层理结构清楚可见，夹矸层和煤层分界分明，岩心表面没有明显的刮擦、冲蚀痕迹，完全符合实验室孔隙度、渗透率、含气性测试的样品要求，给区块储层精细评价、储量核算提供真实可靠的资料基础。从工具适配性上看，三米取心筒可以顺利地适应软煤层、软硬互层、薄层夹矸等各种地层条件，在施工过程中没有出现工具变形、卡

簧失效、岩心堵塞等问题,井下运行稳定,现场操作人员认为工具组装方便、操作简单,不需要复杂的调试,满足野外大批量施工的需求。

3.3 应用注意事项与优化方向

根据现场施工过程中不同煤层地质条件的不同,在总结长期实操经验的基础上,确定三个主要的应用注意点,并针对工具后续改进优化的方向提出建议,以提高取心效率、保证岩心完整性,满足各种复杂的煤层施工要求。

一是对于极软、高裂隙煤层的施工注意事项。此类煤层的主要特点就是煤层强度小、结构松散、裂隙发育容易造成岩心破碎、散落,因此施工时要重点控制施工参数。钻压要根据现场煤层的实际强度合理降低,不能因为钻压过大而直接压碎岩心;钻进速度要放慢到常规速度的60%到80%,同时严格控制岩心进入内管的速度,防止切削过快、岩心受力不均造成内管堵塞,或者受力过大导致岩心断裂。另外还要适当调节钻井液排量,控制在合适的范围内,既要保证井内清洁,又不能使液流对管内岩心造成冲刷、扰动,防止岩心被液流冲破,保证岩心可以完整地进入内管并保存。

二是对厚层夹矸、硬度较高的煤层段施工注意事项进行研究。厚层夹矸和煤层硬度差别大,部分夹矸硬度高,如果沿用常规切削参数,容易造成金刚石复合片磨损过快,不但会增加施工成本,还会因为切削效率降低、切削力度不均而造成岩心破碎、取心不完整。因此要根据夹矸实际硬度来调节切削参数,改变切削速度、切削深度,防止长时间高速切削造成复合片磨损加重;如果检测到夹矸硬度超出了切削齿的适配范围,则需

要采取分段取心的方式,确定合理的取心段长,每次取完一段后立即清理切削齿,防止夹矸碎屑堆积影响下一次切削,保证每一段岩心的完整性,给地质分析提供准确的样本依据。

三是起钻过程中操作注意事项。起钻过程对岩心不脱落起着决定性的作用,应全程以均匀的速度、缓慢的动作进行操作,严禁突然停止、突然提起或突然放下,避免由于强烈的震动引起自锁卡簧受力松动或变形,使岩心在管内滑动或掉落,从而影响到取心的效果。起钻时要随时观察起钻压力的变化,如果出现压力异常波动,就要立刻减缓起钻速度,找出岩心卡阻的原因,待压力恢复到正常水平后才可继续进行,保证起钻过程的平稳有序。

4 结论

煤层气储层低强度、易破碎、裂隙发育、水敏性强等特点,决定了取心作业要兼顾岩心保护、效率和地层适配性,传统的取心工具不能满足复杂煤层的取心要求,三米取心筒的针对性结构设计,可以有效地解决煤层气取心的技术难题。三米取心筒采用高强度双管、自锁卡簧、金刚石复合片切削齿的优化结构,具有抗载荷能力强、岩心保护效果好、作业效率高、操作方便等特点,在室内性能测试和现场试验中均满足煤层气取心井施工的要求。山西某煤层气区块5口井现场应用结果表明,三米取心筒平均岩心收获率大于95%,作业时间比以前减少30%,岩心完整度和代表性明显提高,可以为煤层气储层精细评价、开发部署提供高质量岩心资料,具有较好的工业化应用价值。该工具对于极软煤层、高硬度夹矸地层还有改进之处,经由改变结构参数、升级部件材质,可使它的应用范围得到扩展,给类似复杂煤层气区块的取心施工赋予成熟的技艺参照。

参考文献:

- [1] 赵义,刘海龙,李春,等.深层煤层气保压取心技术及应用研究[J].钻探工程,2024,51(S1):158-165.
- [2] 陈岳,张杰丰,董凯飞,等.大口径绳索取心钻探技术在煤层气参数井勘探中的应用[J].地质装备,2024,25(04):28-33.
- [3] 王西贵,邹德永,杨立文,等.煤层气保温保压保形取心工具研制及现场应用[J].石油钻探技术,2021,49(03):94-99.
- [4] 朱庆忠,苏雪峰,杨立文,等.GW-CP194-80M型煤层气双保压取心工具研制及现场试验[J].特种油气藏,2020,27(05):139-144.
- [5] 李小洋,张永勤,王汉宝,等.煤层气调查评价钻探保压取心钻具设计与试制[J].地质与勘探,2019,55(04):1045-1050.