

# 煤田绳索取心钻探应建立新的行业钻探体系

黄才启<sup>1</sup>, 熊青山<sup>2</sup>, 黄全宜<sup>3</sup>

(1. 安徽工业经济职业技术学院, 安徽 合肥 230051; 2. 安徽地质矿产勘查局 321 地质队, 安徽 铜陵 244033;  
3. 北京多牛互动传媒股份有限公司, 北京 100089)

**摘要:** 煤炭仍然是世界主要能源资料, 煤田地质勘探必将向深部发展, 绳索取心钻探技术是深部钻探优质高效的首选方法。目前煤田绳索取心钻探技术未能全面采用, 存在若干不适应煤田地层的技术问题, 但都能采取措施解决。煤田地质钻探钻遇地层普遍存在水敏现象, 导致泥浆含砂、含泥量过高使性能变坏。煤田绳索取心钻探还存在与“水敏”、“砂害”伴随着的泵压高、泥浆流速快、冲刷严重、冲洗液动力学效应负作用大等问题, 采用非煤地质勘探标准钻具(柱), 强度低, 能力弱, 难以抵抗负面作用。为此, 不仅需要优选适应地层抑制其水敏性的泥浆配比, 更重要的是解决除砂除泥问题。同时要打破旧有思维, 建立新体系, 扩大钻孔直径, 增大配套间隙, 提升装备动力, 用大功率去克服问题。

**关键词:** 煤田地质; 煤田勘探; 绳索取心钻探; 泥浆净化; 环状间隙

**中图分类号:** P634    **文献标识码:** A    **文章编号:** 2096-9686(2021)09-0072-10

## Coalfield wire-line drilling should be established as a new drilling system

HUANG Caiqi<sup>1</sup>, XIONG Qingshan<sup>2</sup>, HUANG Quanyi<sup>3</sup>

(1. *Anhui Technical College of Industrial Economy, Hefei Anhui 230051, China;*

*2. Anhui Geology and Mineral Exploration Bureau 321 Geological Team, Tongling Anhui 244033, China;*

*3. Beijing Infinitas Interactive Media Co., Ltd., Beijing 100089, China)*

**Abstract:** Coal is still the world's major source of energy. Geological exploration for coal resources will ultimately go to the deeper earth, and wire-line coring drilling technology has always been the first option for deep exploration due to its high quality and efficiency in deep drilling. Currently, wire-line core drilling technology has not been fully used in the coalfield because of some technical problems with coalfield strata. However, measures can be taken to solve them. Water sensitivity is a common phenomenon in the coalfield's geological exploration, leading to high sand and mud content in drilling mud and deteriorating performance of drilling mud. There are also problems associated with "water sensitive" and "sand damage" in coalfield wire-line core drilling, such as high pump pressure, high mud flow rate, severe erosion, serious negative effect from flushing fluid dynamics. The low strength and poor capacity of non-coal geological exploration standard drilling tools (drilling stems) cannot cope with the above adverse effects. Therefore, it is necessary to optimize the makeup of drilling mud for water-sensitive formation; more importantly, removal of sand and mud should be solved. In addition, it is necessary to break conventional thought and build a new system, such as enlarging the diameter of the drilling hole, increasing the clearance between the matching bit sizes, improving the power of the equipment so as to overcome the problems with high power.

**Key words:** coal geology; coal exploration; wire-line drilling; mud purification; annular space

**收稿日期:** 2021-01-19; **修回日期:** 2021-08-23    **DOI:** 10.12143/j.ztgc.2021.09.008

**作者简介:** 黄才启, 男, 汉族, 1964年生, 教授级高级工程师, 探矿工程专业, 长期从事深孔钻探技术研究和岩土工程教学工作, 安徽省合肥市梁园路1号, hcq837@126.com。

**引用格式:** 黄才启, 熊青山, 黄全宜. 煤田绳索取心钻探应建立新的行业钻探体系[J]. 钻探工程, 2021, 48(9): 72-81.

HUANG Caiqi, XIONG Qingshan, HUANG Quanyi. Coalfield wire-line drilling should be established as a new drilling system[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9): 72-81.

## 0 引言

绳索取心钻进是一种优质高效低耗的先进钻探方法,有利于稳定复杂地层孔壁、减少钻杆螺纹磨损和钻孔事故(包括次生事故)、提高纯钻时间利用率、降低劳动强度,在非煤地质勘探中得到广泛应用,尤其是深孔钻探时优点更加显著。

近年来煤田勘探向着深部发展,绳索取心钻进是首选的钻进方法。然而绳索取心钻进技术未被煤田勘探业界重用。绳索取心技术在煤田地质勘探应用自20世纪80年代以来探索不止,但效果不甚理想,普遍认为是煤系地层水敏性较强。笔者认为水敏问题是客观的,固然重要,但更重要的是没有形

成符合煤田勘探自身特点的绳索取心钻探体系,需要建立新的理论体系及其相应的装备体系。

笔者曾主持研究了安徽省地矿局科技项目“深孔煤田钻探绳索取心钻进工艺技术研究”课题,本文在此成果基础上,提出了建立“煤田绳索取心钻探(理论)体系”的见解和观点,供业界行家参考、讨论。

## 1 煤炭勘探任重道远

### 1.1 国家发展仍然需要煤炭能源的支撑

国家建设、社会发展、人类生存离不开能源。BP世界能源统计<sup>[1-2]</sup>显示,煤炭仍然是世界主要能源之一,中国需求更为突出,但中国探明的储量远低于世界水平,向深部勘探成为必然(参见表1)。

表1 世界煤炭资源信息(2009-2019)

Table 1 World coal resources information (2009-2019)

年度	国别	消费量			产量			储量			全球位次	储采比
		总量/ EJ	占比/ %	十年均 增长/%	总量/ EJ	占比/ %	十年均 增长/%	总量/ 亿万t	占比/ %	十年均 增长/%		
2009	全球		100	3.8	93.74	100	4.4	8260	100	-1.7	/	119
	中国		46.9	8.9	64.39	45.6	9.2	1145	13.9	0	3	38
2019	全球	157.86	100	0.9	167.58	100	1.6	10696	100	2.6	/	132
	中国	81.67	51.7	1.5	79.82	47.3	2.2	1416	13.2	2.1	4	37

(1)全球煤炭消费量和开采量近10年仍呈增长趋势,中国目前占世界1/2左右。

(2)煤炭仍然是发电最主要的能源,占全球总发电量的36%。中国发电量及增幅世界第一(发电量占世界总量的27.8%),且燃煤发电占全球燃煤发电总量的49.4%。

(3)中国探明储量近10年平均增长仅2.1%,低于世界2.6%的水平,储采比仅为37,远低于全球的132,说明我国煤炭储备远远低于全球。

(4)中国人均能源消耗量居世界第63位,居较低位置,具有很大增长空间。

(5)据中国煤化工网数据显示,我国近年煤制油、煤制烯烃、煤制天然气、煤制乙醇等项目产能持续上升,未来煤化工需求量将进一步大幅提升。煤炭有了新的使用价值,需要有足够的煤炭资源储备。

### 1.2 向深部勘探成为必然

煤炭资源开采必然向深部进发,煤炭勘探必然先行一步,向深部进军。深部的资源探求具有未知性,必须有先进可依靠的勘查技术方法<sup>[3]</sup>。前期课

题研究成果表明,因受地层断裂错动、褶皱扭曲或倒转等地质构造影响,采用无岩心钻进会导致层位错判,可能出现“无为有”或“有为无”的错误结果,地质成果不可靠,或许会造成不可估量的损失。绳索取心是最值得信赖的先进技术方法之一,既优质高效,又避免盲目。

## 2 非煤资源绳索取心钻探技术体系已十分成熟

(1)非煤和油气类资源勘探中推广绳索取心技术十分成功,尤其在非煤固体矿产勘探中已基本全面普及,在深部钻探中已显示出强大的生命力。

(2)几十年的探索追求,煤田勘探绳索取心钻进成功案例并不鲜见,发现的问题和行之有效的解决方法积淀了基础<sup>[4-9]</sup>。

(3)现代的基础工业为绳索取心钻进技术装备(机械、工具、器具)制造提供了强有力的支撑。钻机、钻架、泥浆设备的性能和功率都得到大幅提升。生产工具机械化、生产设备智能化有望代替传统的人力劳动。工业管材系列已满足套管和杆具系列配

套需要。

(4)高效生产力方式一直成为人们的追求,行业的技术工作者仍在不断努力,一直在积极探索中。

所以,煤田勘探绳索取心钻探是可行的,技术是

先进的,其钻进效率已接近甚至高出无心钻探。普通无岩心钻进与绳索取心钻进效率对比见表2<sup>[7-8,10-11]</sup>。

表2 普通无岩心钻进与绳索取心钻进效率对比

Table 2 Comparison of efficiency between conventional full face drilling and wire-line core drilling

期间	完成工作量/m	平均开动钻机/台	平均孔深/m	钻月效率/m	无心进尺比例/%	钻探工艺	口径/mm	备注
“四五”	12280189	616.6	386	344	31.8			
“五五”	16290468	751.9	445	368	40.5	普通取心	91~110	
“六五”	10807779	659.8	435	303	21.8			
“七五”	6357537	409.7	401	284	15.7	少量绳索取心	91	
“八五”	3620334	205.8	343~463	298~365	16.6~20.5	心	S75~91	
开工时间	矿区	孔号	孔深/m	钻月效率/m	取心说明	钻探工艺	口径/mm	备注
2008.12	刘X矿区	ZK185	1283.70	308				
2010.12	X桥矿区	ZK503	1148.45	387				安徽某队普通
2011.08	X集矿区	ZK33B7	1321.25	328	仅煤层取心	普通取心	91	钻进无心钻
2013.04	钱X矿区	ZK447	1492.84	396				探数据
2013.07	张X矿区	ZK210	1498.72	338				
2013.03	科研	K1	1157.27	351	第四系无心		S80	同上一单位
2013年	豫伊川		737	204	全取心	绳索取心	S77	非液压钻机
2009年前	黑依兰	3个孔	2376	403			S77	台效504 m
2005—2013	晋沁水 <sup>[11]</sup>	23个孔	1200	/	无心+绳索		216/78	PDC钻头

注:最后一项为煤层气项目,实现超大直径绳索取心

### 3 当前制约煤田绳索取心钻进技术普及应用的问题分析

笔者研究了数十个煤田(煤炭、煤层气)绳索取心钻探案例资料,跨越30年(1989—2019年),地域分布全国十几个产煤大省,研探的内容包括:钻探技术层面、效率与成本层面、机具力学与制造层面、综合技术管理层面,分析归纳如下<sup>[4-6]</sup>。

#### 3.1 综合层面问题

(1)当前社会大部分涉煤基层单位在经济压力下往往只注重眼前局部经济效益,不愿意在技术研究上投入。

(2)目前煤炭资源还多是在原资源地进行扩展性勘探,地质地层条件基本查明,为了节省,一般采用全面无心钻进。

(3)地质工程师主导勘探,受专业制约,钻探知识更新少;钻探人无力推进新方法。

(4)绳索取心技术在煤田中应用仍存在一些问  
题,成效不显著,推行有阻力。

#### 3.2 技术层面问题

(1)煤系地层水敏、不稳定。这些岩组水敏特性有相近相异之分,往往一个钻孔要反复穿过这些相近或相异地层,尤其是针对相异地层的措施往往是相互矛盾或抵触的。

(2)采用旧标准地质钻探钻具,不能很好适应煤系地层钻进。

①钻孔结构系列直径分布紧密,间隙过小,流体力学特性不好,易造成高流阻、高泵压、高流速、高冲刷和高“激动”压力等现象,从而必须采取降低泥浆泵流量(限流)等措施。

②限流则产生排屑不畅问题,钻孔深部沉屑多、钻具钻头磨损严重,甚至钻具难以扫孔到底。排屑不畅也可能引发孔内和机械事故。

③管材套用非煤地质钻探系列,几乎清一色

Ø108 mm/Ø89 mm/Ø77 mm配置。因为没有煤田勘探理论体系和标准体系,造成煤田勘探管材系列缺失。

④空间限制导致钻具结构紧凑,部件强度低,抵抗高流速冲刷破坏作用能力小,克服复杂地层阻力的能力小。

(3)不重视泥浆性能的优化与固控净化。煤系地层钻进岩屑颗粒粗大,呈(粉细)砂状悬浮于泥浆当中,传统煤田地质钻探泥浆固控净化不力,泥浆含砂量大,污染严重,经常失效,危害极大<sup>[12-13]</sup>。

①小间隙高流速冲刷破坏作用强,一则钻具损坏寿命短、机件性能易失效;二则孔壁泥皮难形成,或形成的护壁泥皮无韧性,也或局部被冲刷破坏。

②限流致使钻杆内流速低,钻杆高速旋转的离心作用使钻杆内壁结垢,内钻具打捞卡阻,或引起事故;也或投放不到位而打空管。

③泥浆滤失量大,或粉渣泥皮易脱落,引发坍塌埋钻事故;或粘性地层膨胀缩径,引发吸附卡钻事故。

(4)钻头寿命影响提大钻间隔指标。目前钻头制造技术有所提高和创新,但抗冲刷耐磨损、广谱适应性还不是很好,与钻进效率呈负相关,影响经济指标。

(5)事故多由技术问题未能全面解决而引发。事故是绳索取心钻进效率的最大影响因素,是推高成本的根本原因,是阻止绳索取心推广应用的基本原由。

### 3.3 解决技术层面问题就是解决根本问题

技术层面决定了综合层面,是根本问题。技术问题是直接表象,是影响绳索取心应用的根本要素。解决技术问题首当其冲,是最直接、最有成效的切入点。

## 4 技术问题的症结

煤田地层软弱特性决定了钻探对象的复杂性。目前煤田勘探的钻探技术问题不外乎恐水、惧砂、钻具(小,强度)弱(笔者称之为“弱具”)3个方面。

(1)恐水——岩石结构力弱,遇水膨胀、散坍、剥落、溶解、浸蚀等水敏现象,导致了空间异常变形——缩径或超径,其介质改变了作为初始目的冷却、携屑、润滑作用的钻进液的性状。此为“水损”。

(2)惧砂——不同粒径的钻屑颗粒,在钻进过

程中多具负作用——冲刷毁蚀、沉积埋具、砂化浆液,表现为“乳状”泥浆变“砂浆”,对钻探工作具有极大的伤害性。一是冲刷破坏作用,不仅冲刷毁损钻杆(具),也冲刷毁损护壁泥皮;二是使护壁泥皮糠渣无韧性,易散脱。此谓“砂害”。

(3)钻具弱——钻具结构小,强度弱,其抵御、抗衡“水损砂害”及其负作用能力小。钻探是在长度型的线性窄小空间工作,传统的地质勘探指导思想和考虑经济性,决定了要使用小口径,钻探设施轻小,特别是钻杆(具)几何尺寸受限,强度弱小,能力不足。煤田钻探也依据这个思想使用小口径(而且还是同一系列的小口径),其强度远不足以抗衡制约煤田地质岩组弱结构性对钻探的伤害。“弱具”必然采用小规程,小规程必然使得克服问题的力度不够。

通览3大因素可以看出,这是一个系统性的问题。岩层“恐水”,导致“砂害”。“恐水”是主因,不可避免,采用“弱具”不能有效克服“砂害”。应该采用强力措施,抑制伤害,应对客观。因此,笔者认为,目前煤田勘探绳索取心钻探的使用困局在于没有独立的煤田绳索取心钻探理论体系,没有深度思考系统解决问题的途径。

## 5 技术理论体系的建立

建立理论体系要有认识高度,总揽全局,依据科学,建立配套规则,系统解决问题。煤田勘探绳索取心必须建立具有行业特点的钻探体系,这个体系必须要有科学理论为依据,并要有可实践性。

### 5.1 要有分析认知体系

(1)首先要有分析问题现象、揭示问题本质的体系,找出问题的根,揭出问题的因。

前述岩层的水敏特性问题,其使得钻探必须要使用泥浆,也使得泥浆的含砂、含泥量甚高(砂糊状),这是客观原因,不可回避。(这方面理论都很成熟,本文不作赘述。)

(2)其次要有解决问题的措施体系。

提出解决问题的措施,并分析其有效性,需要理论作指导,运用科学知识全面透彻地加以解决。笔者认为,措施体系的核心是:摒弃陈旧固有的小口径思维,解决“弱具”问题,用“大而强”的动能体系去解决煤田绳索取心钻探所面临的客观问题。

### 5.2 要有基础理论体系

比如,现阶段小口径思维做法,对于煤田绳索取

心钻探有许多弊端,需要进行分析研究。我们选择一个常见的高泵压问题来做分析,并对比在有限条件下稍微扩大钻孔直径的效果。

根据流体力学<sup>[14]</sup>,将钻杆内外沿程水头损失进行比较。

静态理想状态雷诺数:

钻杆内:

$$Re_n = \frac{v_n d_n}{\nu} = \frac{v_n d_n \rho}{\mu}$$

钻杆外:

$$Re_w = \frac{v_w (D_k - d_w)}{\nu} = \frac{v_w (D_k - d_w) \rho}{\mu}$$

式中: $Re_n$ ——钻杆内静态理想状态雷诺数; $Re_w$ ——钻杆内静态理想状态雷诺数; $v_n$ ——钻杆内泥浆流速, m/s; $v_w$ ——钻杆外泥浆流速, m/s; $d_n$ ——钻杆内径, m; $d_w$ ——钻杆外径, m; $D_k$ ——钻孔直径, m; $\mu$ ——动力粘度系数, mPa·s; $\nu$ ——运动粘性系数,  $m^2/s$ 。

现行的绳索取心工艺泥浆的动力粘度基本集中在1.5~8 mPa·s之间,且大多在2~5 mPa·s之间,以粗略均值3.5 mPa·s计算雷诺数。通过简化,计算出的现行S77/S95常用普通绳索取心钻进工艺的几个水力参数见表3。

表3 现行S77/S95常用普通绳索取心钻进几个参数简化计算结果

Table 3 Simplified calculation results of several parameters of current common S77/S95 wire-line core drilling

孔径 $D_k$ / mm	钻杆内径 $d_n$ /mm	钻杆外径 $d_w$ /mm	泵量 $Q$ / (L·min <sup>-1</sup> )	泥浆密度 $\rho$ /(g·cm <sup>-3</sup> )	动力粘度 $\mu$ /(mPa·s)	杆内流速 $v_n$ /(m·s <sup>-1</sup> )	环空流速 $v_w$ /(m·s <sup>-1</sup> )	杆内雷诺 数 $Re_n$	杆外雷诺 数 $Re_w$
77	61	71	90	1.15	3.5	0.51	2.15	10287	4240
77	61	71	60	1.15	3.5	0.34	1.43	6858	2827
95	78	89	120	1.15	3.5	0.42	2.31	10727	4547
95	78	89	90	1.15	3.5	0.31	1.73	8045	3410

宾汉流体的临界雷诺数  $Re_c=2100$  或静状圆管偏心缝隙  $Re_c=1000$ ,实际由于钻杆在不停地公转+自转及所产生的摆动、振动,临界雷诺数更低。表3说明,无论钻杆内还是钻杆外环空,泥浆都呈湍流状态流动,因此泥浆的沿程阻力(水头损失)与雷诺数无关。

沿程水头损失公式为:

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

式中: $h_f$ ——沿程水头损失, m; $v$ ——泥浆平均流速, m/s; $l$ ——钻杆长度, m; $d$ ——通道当量直径, m; $g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>; $\lambda$ ——沿程阻力系数。

现行S77/S95常用普通绳索取心工艺沿程阻力简化计算结果见表4。

表4 现行S77/S95常用普通绳索取心钻进沿程阻力简化计算结果

Table 4 Simplified calculation results of flow resistance for current common S77/S95 core-drilling

孔径 $D_k$ /mm	钻杆内径 $d_n$ /mm	钻杆外径 $d_w$ /mm	泵量 $Q$ / (L·min <sup>-1</sup> )	钻孔深 度 $l$ /m	阻力 系数 $\lambda$	杆内流速 $v_n$ /(m·s <sup>-1</sup> )	环空流速 $v_w$ /(m·s <sup>-1</sup> )	杆内沿程 阻力 $h_{in}$ /m	杆外沿程 阻力 $h_{out}$ /m	相对变化/%	
										杆内	杆外
77	61	71	90	1200	0.032	0.51	2.15	8	1510	100	100
80	61	71	90	1200	0.032	0.51	1.41	8	430	100	28.6
80	61	71	120	1200	0.032	0.68	1.87	15	764	187.5	50.6
95	78	89	90	1200	0.040	0.31	1.73	3	1222	100	100
98	78	89	90	1200	0.040	0.31	1.13	3	350	100	28.6
98	78	89	120	1200	0.040	0.42	1.51	6	623	200	51.0

注:查莫迪图<sup>[14]</sup>知(取表3雷诺数区间4000~10000)沿程阻力系数  $\lambda=0.030\sim0.035$

由表4可以看出:(1)沿程阻力几乎全为钻杆外环状间隙阻力,钻杆内阻力极小。(2)钻孔直径增大3 mm,同级流量沿程阻力降70%以上。这大大降低了泥浆泵的负荷,因此可大大提升泥浆泵的钻孔适应能力,大大提高泥浆泵的能效。(3)扩大孔径,可以提高泥浆流量,增加携粉能力,有利于孔底清洁和钻头克取岩石的有效性,还可提高钻杆内流速,有利

于阻止杆内结垢。

在实践中,多采用 $\text{O}108\text{ mm}/\text{O}89\text{ mm}/\text{O}75\text{ mm}$ 口径级配,加大钻头外径,起到了一定的效果:泵压降低、糊钻减少。但受套管级配的限制,钻头直径加大也是有限度的。这里选录几个案例(见表5<sup>[5,15-16]</sup>)说明千米深绳索取心钻进增径降压的效果。

表5 加大环隙(钻头)降低泵压案例

Table 5 Cases of increasing annulus (bit) to reduce pump pressure

项目名称	孔深/m	套管/钻具简化配套	钻头直径/mm	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa
内蒙古X煤矿区	1100~1400	O118/S75 O127/S95	81	90~100	下降2~3
			98		
河南X煤矿区	800~1400	O108/S95	96	90~100	2.1~3.5
安徽X煤矿区/科研	1150	外箍O91/S77	80	90~100	2.2
案例4	500~600	O89/S75	75	50~60	3.0~3.4
			76	50~60	2.5~3.5
			77	50~60	1.0~1.5
			77	80~90	1.5~2.0

还有诸如绳索取心高流速的冲刷破坏问题,钻杆(具)强度低的问题,等等,这些都需要深入地进行量化模型分析。

### 5.3 要提高泥浆净化重要性的认识<sup>[17]</sup>

泥浆是钻探的“血液”,绳索取心钻进对泥浆的要求更高。泥浆净化是保持泥浆指标、维持泥浆功能的必要措施。

钻探使用泥浆主要是用于护壁,其次用于携屑。泥浆形成的护壁泥皮属于弱护壁层,极易受到破坏,如提钻抽吸负压和刮刷、钻进中压漏、缝隙高速流冲刷、孔壁吸水物化离析或膨胀、钻杆撞击等作用使其破坏。这是一个多因素的复杂的问题,首先应该重视和搞好泥浆本身的性能质量。

提高泥浆的适用性,保持泥浆的洁净性,维持泥浆应有的性能,是发挥泥浆有效作用的关键。我们日常中,绝大多数地勘队伍不重视泥浆工作,尤其是不重视泥浆的净化工作,鲜有单位配备净化设备的,偶有配置一台简易旋流除砂器已是很不错的了。其原因:一是认识不到位,依靠经验主义;二是缺乏知识,基础薄弱;三是装备稀缺或低端。对于泥浆的净化,已有的泥浆理论体系研究与科普极少。

搞好泥浆,首先要选对泥浆类型和有效配方。

泥浆需要根据岩层吸水物化破坏作用类型选对

配方,应具有强抑制性。一个钻孔往往反复穿越数层不同水敏特性岩层,差异性较大,有些彼此矛盾,抑制作用相互抵触,组合配方尤为重要,解决局部问题的同时要兼顾整体抑制效果。实践中配制各类抑制性浆液已很成熟,表6是我们研究项目配制的泥浆<sup>[13]</sup>。

其次是净化,保持泥浆的纯净。配方确定后,净化是决定性工作。

泥浆中的砂,即钻进岩屑和水化脱离物或结合物等,会使得泥浆失去原有的性能,没有了应有的“润”的观感、触感和效果,粘粒与粉粒、砂粒胶混一起,粘润性能被破坏,不分散变粗分散,粘稠变离析。

泥浆中的泥,通常粒径20~74  $\mu\text{m}$ ,一般是泥砂混体。泥质分散越彻底,颗粒越细小,活性越大,占据消耗了泥浆中有益成分——抑制作用的高分子链,使其失去抑制孔壁作用和效果。

泥浆中的泥和砂有许多负作用:(1)使泥浆失去应有的性能和功能;(2)使泥皮粉渣化、厚而散,无韧性,增加了流动阻力,且碰撞易散落;(3)增大了泥浆的密度,增大了水头压力,易压漏地层;(4)减弱了岩屑悬浮和携带作用;(5)在过流窄小断面处(如绳索取心钻具悬挂机构、钻头)产生极强的冲刷破坏作用等。

表6 研究项目现场使用泥浆配方与性能参数

Table 6 Mud formulations and properties used at our research project site

序号	适用地层	配方/(kg·m <sup>-3</sup> )							性能参数				
		LBM	FT-1	NH <sub>4</sub> -HPAN	GPS	润滑剂	碱	粘度/s	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	失水量/ (mL·min <sup>-1</sup> )	泥皮 厚/mm	含砂 量/%	pH 值
1	破碎带或炭质 岩层、煤层	40	2	4	5	5	1	23~27	1.06	8~10	0.8	<1	8.5
2	泥岩类地层	30	1	2	3	5	1	20~22	1.05	10~12	0.5	<1	8.5
3	砂岩类地层	15	1	1	3	5	1	18~20	1.03	12~16	0.5	<1	8.5

净化,即除砂除泥,首当除砂,其次除泥,包括混入(渗入、溶入)地层中的损害泥浆性能的物质。相比而言,除砂较容易,除泥常被忽视。实践中除泥最困难,细分散的泥质颗粒紧紧附着高分子链,或高分子链卷曲包裹着泥质颗粒聚积成团,脱离困难;现实中除完砂后泥浆依然呈砂糊状,其中的泥质和粉质未能去除;从普钻延传下来的传统认识——不重视除泥的思想根深蒂固,认为泥(其实并非真正的“泥”)是泥浆中有效成分,这种错误的认识一直指导着大多数人的思想,从而忽视除泥这一工作。另一方面,资金投入也是制约泥浆净化设备使用的因素。

#### 5.4 大空间大功率是解决煤田绳索取心钻探困局的有效措施体系

小口径,小空间,必须限制钻杆(具)结构尺寸,自然限制了整体强度问题,对于绳索取心钻具就显得更为明显。钻杆(具)强度低,能力弱<sup>[18]</sup>,不足以抗衡煤田地层固有的阻力,与之匹配的装备动力自然不能强大,功率小、能效差(解决不了问题而空耗)。这是其致命缺陷。

“钻具弱”只能小功率、小规程(小钻压、小流量)作业,其抗御负面作用能力小,甚或成为附加负作用(比如发生机械性孔内事故)。就实践数据揭露的实际境况,煤田地质弱岩钻探特性在常规条件下,其阻碍钻探的能量是有限度的,往往通过单一小措施就可以解决,说明提高钻具强度、使用较大功率配套装备是能很好解决问题的。

众所周知,煤田钻探以快速高效为好,缩短孔壁地层水化作用时间,利于避免孔壁坍塌的风险。煤田地层的弱岩克取以体积破碎为优,体积破碎应选择切削或者刮削方式,不宜选用磨削方式如金刚石钻进,因此需要大钻压、低转速、大扭矩钻进和大流

量排屑;另外,许多钻探事故都是因排泄不畅引起粘钻、糊钻、烧钻或埋钻,都是因阻力大而功率小所致。说明无论是钻机回转,还是冲洗液循环都需要大功率驱动。大能量、大功率驱动,需要有足够强度的钻杆(具)相配套,以抵抗地层客观因素的不利作用。

而现行实际多是采用小口径金刚石钻进的绳索取心工艺,这种适宜于磨削钻探工艺吃硬不吃软,效率出不来,实践中采用切削或刮削方式的大切入量的钻头,效率往往大幅提高,但钻杆强度跟不上而常常折断,泥浆中固相成分因无良好净化而快速增加,钻机负荷继而增大而降低钻深能力;泥浆泵负荷大幅上升,常成为糊钻甚或烧钻的祸因。小功率的金刚石绳索取心钻进在煤田钻探中效率并不理想,也是绳索取心难以推广的因素之一。

大空间有利于增强整体钻杆(具)强度,攻克“水损砂害”具有强大优势。有足够强度的钻杆(具)和足够自由流畅的空间,尤其是对于绳索取心钻具结构复杂紧凑、部件强度相对较弱的状况,这点十分重要。因此,通过增大口径,增大空间,增强钻杆(具)强度是十分有效的措施。

增大口径,增大空间,增强钻杆(具)强度,就可增大配备驱动功率,增强攻克力度。

地质勘探绳索取心钻探钻具标准,从1984年地矿部《绳索取心金刚石岩心钻探管材螺纹》(DZ 1.2—84)及相关系列,经1997年国家技术监督局《金刚石绳索取心钻探钻具设备》(GB/T 16951—1997),再到国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会《地质岩心钻探钻具》(GB/T 16950—2014),有了全面提升,系列和序列有了扩充,覆盖面扩大了不少,参见表7。

表7 绳索取心钻探钻具之套管钻杆参数和间隙数据  
Table 7 Wire-line core drilling casing and drill rod parameters and clearance

标准简称	类别	参数名称	套管			钻杆		
1984部标	有接箍	公称直径	130	110	91		91	75
		外径	127	108	89			71
		接箍内径	116.5	97.5	78.5			61
		壁厚	4.5	4.25	4			5
		外径	127	108	89			
	无接箍	内径	116.5	97.5	78.5			
		壁厚	4.75	4.5	4.25			
		管间或管杆间隙		4.25	4.25			3.75
		下级钻头直径		91	75			75
		型号规格	PX	HX	NX	PWL	HWL	NWL
X系列接箍	公称直径	146	120	95	120	95	76	
	外径	139.7	114.3	91	114.3	89	71	
	接箍内径	123.3	98.8	78	101.5	78	61	
	壁厚	6.2	5.7	5.5	6.4	5.5	5	
	型号规格	PW	HW	NW				
1997国标 W系列直接	公称直径	146	120	95				
	外径	139.7	114.3	91				
	内径	123.3	98.8	78				
	壁厚	8.2	7.75	6.5				
	管间或管杆间隙		4.5	3.9		4.9	3.5	
	下级钻头直径	120	95	76	120	95	76	
2014国标	X系列接箍	型号规格	C-PX	C-HX	C-NX	R-PCS	R-HCS	R-NCS
		公称直径	150	122	96	114	89	70
		外径	140	114	91	114.3	88.9	69.9
		接箍内径	127	104	82	101.6	78.1	60.3
		壁厚	6.5	5	4.5	6.35	5.4	4.8
		管间或管杆间隙	7	6	4	5.85	5.05	5.05
		下级钻头直径	122	96	76	122	96	76
W系列直接	型号规格	C-PW	C-HW	C-NW	R-HCPI	R-NCPI	R-HCPII	R-NCPII
	公称直径	150	122	96	91	71	89	71
	外径	140	114	91	91	71	89	71
	内径	126	99	80	81	61	77	58
	壁厚	7	7.5	5.5	5	5	5	5
	管间或管杆间隙	7	6	4	4	4.5	5	4.5
	下级钻头直径	122	97	77		122	97	77

说明

(1)表中数字单位均为mm;

(2)表格名称采用《地质岩心钻探钻具》(GB/T 16950—2014)命名;

(3)有接箍和无接箍或X系列和W系列套管、钻杆主体外径和内径规格相同的,未单列出内径;

(4)有箍或X系列的接箍内径与无箍或W系列的内径相同的,只列出一组间隙和钻头直径



从标准的变化可以看出:

(1)这些绳索取心钻探钻具标准都是针对金刚石钻进技术的,尽管2014年国家标准去掉了“金刚石”字眼,更加说明模糊和弱化了煤田地质勘探行业特点和特殊要求。

(2)套管直径有所增大,壁厚也有所增加,套管级别之间和套管钻杆之间这两个环形间隙有所增加,使得口径朝增大方向(趋势)发展,可以肯定口径级配更加科学合理,特别是改良了口径91 mm以上级的尺寸;但间隙改良主要体现在套管级别之间,而套管与钻杆之间间隙改变不大,还不能很好地适应煤田地质绳索取心钻探技术。

(3)钻杆改变不大,尤其是91 mm(含)以下小口径部分。杆体壁厚无大变,提高强度依赖于解决丝扣连接部分强度,如热处理、局部加厚,目的还是减轻钻杆整体质量,减轻设备负荷。

(4)最新国标《地质岩心钻探钻具》(GB/T 16950—2014)中没有制订P、S序列绳索取心钻探钻具标准,相当遗憾。

煤田地质勘探因取心(样)及采瓦斯样要求,钻孔口径基本要求不小于91 mm,宜选择大直径,应推荐参照采用2014国标H、P、S、U序列口径。在确定了口径序列以后,制订合理的钻具序列结构和规格标准,弥补新国标的缺憾。籍于此,大幅提升配套设备动力能力,制定动力配套规格标准、技术指标标准、检测规范和操作规程,建立起煤炭地勘行业标准体系。

增大空间,增大了钻孔直径,不仅解决了钻具小强度弱的问题,同时也增大了钻孔结构各级套管间隙和套管与钻杆间隙,改善了钻进畅顺度,有利于孔壁稳定钻孔安全,对钻压高低、钻液流速大小、冲刷影响程度、钻屑排泄效果、孔壁变形抑制等,都有积极的显著的作用。

## 6 结语

煤炭资源仍然是世界的主要能源。煤炭开发已向深部拓展。绳索取心是向深部勘探的优质高效方法。煤田地质勘探绳索取心钻进技术经过40年的探索,取得了长足的进展,单因素的困扰难题都能很好解决,并都取得了成功,有些还具有非常好的成效。

煤田绳索取心钻探技术还未普及,笔者认为,其

根本问题是认识和研究深度不够,需要换个角度观察、换种思维思考,因其地层软弱特有的制约因素,煤田绳索取心钻探应具有独特的理论体系,需要全新建立。

目前煤田绳索取心钻进存在的技术问题,可以简单地总结为7个字:恐水、惧砂、钻具弱。煤田地层弱结构特性决定了勘探工程与非煤领域有着很大的差别。地层的弱结构,水化水敏特性(客观因素),导致泥浆砂化或泥糊化(间隔客观因素),损害钻具、泥浆设备和钻孔弱护壁层。业界普遍仅从选择泥浆配比着手,鲜有做好除砂除泥工作的,更有认为“泥”(其实就是粉粒砂)是有益成分的错误观念。

对于绳索取心来说,采用小口径金刚石钻具系列,间隙小、钻具结构复杂、机构部件小,显得单薄强度低,更是惧怕泥砂。小口径,小空间,钻具的几何尺寸受限,强度偏弱,因此只能小动力,小规程作业。小钻具,小规程,不足以抗御固有的阻力,在这种复杂工况下,显然不合理,存在着许多致命的弊端,限制了绳索取心钻探技术的发挥。

解决这个问题,必须是:认识上,要有全新观念,透察老现象,辨识其本质,构筑新理论,建立新体系。技术上,应用新理论,指导实际工作。一要继续选用对的泥浆配方,全力以赴除砂除泥,尤其是除“泥”(除泥等于“除砂务尽”),保持泥浆固有的性能。二要选用大直径系列钻孔结构,推荐采用2014国标H、P、S、U序列口径,制订P、S、U序列钻杆(具)标准,使用高强度的钻具,以大功率设备驱动,强力克服煤田地层弱岩性所带来的困难,实践已证明大直径绳索取心钻探在煤田地层钻进中可以取得优质高效的成果<sup>[1]</sup>。此外,需要领导重视,敢于投资,积极推动新技术研究和应用。

## 参考文献(References):

- [1] 英荷壳牌石油公司.BP世界能源统计[Z].BP中国,2010.  
Royal Dutch Shell. BP Statistical Review of World Energy[Z]. BP China, 2010.
- [2] 英荷壳牌石油公司.BP世界能源统计年鉴[Z].BP中国,2020,第69版.  
Royal Dutch Shell. Statistical Review of World Energy[Z]. BP China, 2020, 69<sup>th</sup> edition.
- [3] 黄才启,刘良根.深部矿产勘探与受控定向钻进技术方法思考[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):122-124,129.  
HUANG Caiqi, LIU Lianggen. Thoughts on deep mineral ex-

- ploration and controlled directional drilling techniques[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(S1):122-124, 129.
- [4] 李宏. 低固相泥浆在福建煤田钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9):18-20.  
LI Hong. Application of low solid mud in Fujian coalfield drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9):18-20.
- [5] 潘小志. 陇东煤田绳索取心钻探的探索和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(11):28-31.  
PAN Xiaozhi. Exploration and application of wire-line core drilling in Longdong Coalfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(11):28-31.
- [6] 田长浮. 新疆煤田钻探中S95绳索取心的应用[J]. 探矿工程, 1990(5):36.  
TIAN Changfu. Application of S95 wire-line core drilling in Xinjiang coalfield drilling[J]. Exploration Engineering, 1990(5):36.
- [7] 陆拴喜. SJ75绳索取心钻具在豫西地区煤田钻探中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(5):54-57.  
LU Shuanxi. Application of SJ75 wire-line coring drilling tools in western Henan coalfield drilling [J]. Coal Geology of China, 2015, 27(5):54-57.
- [8] 刘矗. 关于煤田钻探效率的几点分析[J]. 煤炭技术, 2010, 29(2):140-141.  
LIU Chu. Some analysis of coal field drilling efficiency[J]. Coal Technology, 2010, 29(2):140-141.
- [9] 杜连宽. 煤田绳索取心钻进技术的实践与认识[J]. 煤田地质与勘探, 1991, 19(5):65-68.  
DU Liankuan. Practice and knowledge on the wire-line coring for coal drilling [J]. Coal Geology and Exploration, 1991, 19(5):65-68.
- [10] 李生红, 丁祥发. 中国煤炭地质钻探技术发展五十年[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(6):77-80.  
LI Shenghong, DING Xiangfa. 50 years development of coal-field drilling technology in China [J]. Coal Geology of China, 2003, 15(6):77-80.
- [11] 李云峰. 煤层气绳索取心工艺[M]//叶建平, 范志强. 中国煤层气勘探开发利用技术进展. 北京:地质出版社, 2006:145-148.  
LI Yunfeng. Wireline coring technology of CBM[M]// YE Jianping, FAN Zhiqiang. Progress in CBM Exploration and Utilization Technology in China. Beijing: Geological Publishing House, 2006:145-148.
- [12] 黄才启, 蔡知. 覆盖层无套管裸壁钻进综合技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2):338-341.  
HUANG Caiqi, CAI Zhi. Comprehensive technology for casing less barefoot drilling in loose overburden [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 38(S2):338-341.
- [13] 蔡知, 洪亚男, 丁传军. LBM钻井液在绳索取芯钻进中的应用[J]. 安徽地质, 2013, 23(9):20-23.  
CHAI Zhi, HONG Yanan, DING Chuanjun. Application of LBM drilling fluid in wireline core drilling [J]. Geology of Anhui, 2013, 23(9):20-23.
- [14] 闻建龙, 等. 工程流体力学[M]. 北京:机械工业出版社, 2017.  
WEN Jianlong, et al. Engineering Fluid Mechanics [M]. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [15] 林明辉. 绳索取芯金刚石钻探及其配套技术的研究[J]. 中国西部科技, 2008, 7(17):10-11.  
LIN Minghui. Research on wire-line coring diamond drilling and its supporting technology [J]. Science and Technology of West China, 2008, 7(17):10-11.
- [16] 谢永德, 贾永祥. 禹州煤田绳索取芯钻进技术探讨[J]. 西部探矿工程, 2012, 24(1):86-88.  
XIE Yongde, JIA Yongxiang. Discussion on wire-line core drilling technology in Yuzhou Coalfield [J]. West-China Exploration Engineering, 2012, 24(1):86-88.
- [17] 武汉地质学院, 等. 钻探工艺学(中册)[M]. 北京:地质出版社, 1981:20-98, 144-146.  
Wuhan College of Geology, et al. Drilling Technology (Volume 2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981:20-98, 144-146.

(编辑 荐华)