

# 绳索取心振动防堵钻具的试验研究

王志祥, 韩庆, 欧涛

(四川省第七地质大队深地资源勘查研究中心, 四川乐山 614099)

**摘要:** 常规绳索取心钻具在钻进破碎地层时易发生岩心堵塞, 回次长度缩短, 钻进效率降低, 深孔时则尤为明显。现阶段绳索取心液动锤技术具有优秀的岩心防堵功能, 但因其结构复杂、技术要求高、价格偏贵等原因普及度不高, 缺乏具有良好岩心防堵功能的绳索取心钻具。研制了HQFD型绳索取心振动防堵钻具, 其中防堵内管总成是研究核心, 保持与常规H规格内管总成长度与直径不变进行定尺寸研发, 利于实现内管总成间的高效替换。该钻具高效振动的泵量需求与H规格规范推荐泵量吻合度高, 附加泵压低, 能以最小投入实现岩心防堵功能。初步完成了HQFD型振动防堵钻具的振动原理选择、功能机构布局、振动效果测评等工作, 为绳索取心岩心防堵提供了新的选择。

**关键词:** 绳索取心; 岩心防堵; HQFD型振动防堵钻具; 滚珠振动; 回次长度

**中图分类号:** P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0143-07

## The development of wireline coring barrel vibration anti-blocking drilling tools

WANG Zhixiang, HAN Qing, OU Tao

(The 7th Geological Brigade of Sichuan, Leshan Sichuan 614099, China)

**Abstract:** When drilling in fractured formations, conventional wireline coring tools are prone to core jamming, shortened round length, and reduced drilling efficiency, which is particularly obvious in deep holes. At present, the wireline coring hydraulic hammer technology has an excellent core anti-jamming function. However, due to its complex structure, high technical requirements, and high price, its popularity is not high. In practice, there is a lack of wireline coring tools with good core anti-jamming functions. The project has developed a new HQFD type wireline coring vibration anti-jamming coring tool. Among them, the anti-jamming inner tube assembly is the core of the research. The fixed-size development is carried out while keeping the length and diameter of the conventional HQ inner tube assembly unchanged, which is conducive to the efficient replacement between the inner tube assemblies. The pump volume requirement for the efficient vibration of this tool is highly consistent with the recommended pump volume in the HQ specifications and standards, and the additional pump pressure is low, which can achieve the core anti-jamming function at the minimum cost. The first generation of the HQFD type vibration anti-jamming coring tool has completed the research and development work such as the selection of the vibration principle, the layout of the functional mechanism, and the evaluation of the vibration effect. The new coring tool provides a new option for the core anti-jamming of wireline coring.

**Key words:** wire-line coring; core anti-blocking; HQFD type vibration anti-blocking drilling tool; ball vibration; round trip length

## 0 引言

现阶段地质岩心钻探已普及绳索取心钻进技

术, 其具有钻进效率高、辅助时间短、劳动强度低、取心质量好等诸多优点。近20年来, 常规绳索取心

收稿日期: 2024-07-10; 修回日期: 2024-07-16 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.021

第一作者: 王志祥, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 硕士, 长期从事钻探技术研发及服务, 四川省峨眉山市峨九街87号, 182352585@qq.com。

引用格式: 王志祥, 韩庆, 欧涛. 绳索取心振动防堵钻具的试验研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 143-149.

WANG Zhixiang, HAN Qing, OU Tao. The development of wireline coring barrel vibration anti-blocking drilling tools[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 143-149.

钻具结合工程应用不断优化改进,耐用性、可靠性得到大幅提升<sup>[1-5]</sup>。该钻具为单动双管钻具,即钻具外管旋转带动钻头克取岩石,钻具内管则保持相对静止,以减少岩心磨损。当钻进破碎地层时,岩心沿节理面可产生相对滑移,易在静止内管壁形成卡阻,出现岩心堵塞而被迫中止钻进。岩心堵塞致使单回次可实现的进尺被迫多回次才能实现,大幅度增加打捞岩心、投放内管、循环冲孔等辅助时间,特别在深孔钻进时将严重影响施工效率。

为此,开展了岩心防堵技术的研究。

## 1 问题的提出

### 1.1 研究意义

岩心防堵技术可提升钻进效率,根据相关报表及经验,在不同孔深条件下按不同回次长度进行钻进耗时统计分析,并做如下合理假设:(1)地层破碎程度、可钻性等级一致,纯钻进时效统一设定为2 m/h;(2)将单回次耗时工序分为纯钻进、内管打捞、取出岩心、内管投放、开钻前冲孔等,设定各工序效率一致,则内管打捞时间、内管投放时间与钻孔深度成正比例关系,取出岩心时间基本固定,开钻前冲孔时间随钻孔深度略有增加。耗时合计数据如图1所示。

由图1可知,当孔深一定时,3 m进尺耗时随回次钻进长度增加明显降低,例如孔深2000 m时,按0.2、0.5、1、2、3 m的不同回次进尺钻进3 m,所用时间可从1815 min逐渐降低到780、435、262.5、205 min,钻进效率提升明显。该统计数据假设为正常返水孔,实际施工中若为漏水孔,提升回次进尺长度,可减少开钻前冲孔次数,将降低冲洗液消耗,也

利于施工安全。因此,研究绳索取心岩心防堵技术具有重要现实意义。

### 1.2 岩心防堵技术现状

绳索取心液动锤技术具有优秀的岩心防堵功能,该技术在常规绳索取心内管总成上端增加了长约1 m的液动锤,液动锤利用冲洗液产生高频冲击,绝大部分冲击能量通过承冲环传到外管钻头以达到加速碎岩的效果,少部分冲击能量可传到内管以实现岩心防堵功能<sup>[6-9]</sup>。该技术整体优点突出,但普及度不高,原因是:(1)钻具结构复杂,液动锤各组件环状间隙小,冲洗液中若存在固相粗颗粒,则易形成卡阻而无法工作,恢复功能需要频繁拆卸清洗;(2)技术要求高,对泥浆泵的泵量泵压、钻杆强度等都有一定要求,钻具尺寸太长增加了操作流程复杂度,打捞岩心需在孔口分两段进行;(3)钻具高效碎岩功能随金刚石钻头技术进步优势不再明显,购置价格偏贵;(4)模块化便携式钻机逐渐普及,该技术匹配度不够。

除此之外,钻具内管内壁进行抛光镀膜等减阻措施有利于岩心防堵,但卡簧组件却需要加大摩阻以提升岩心拔断力,因此该方案无法在岩心通道上进行彻底优化,至今未见应用效果数据对比分析的报道<sup>[10-11]</sup>。

### 1.3 研究目标

以H规格研发新的HQFD型绳索取心振动防堵钻具,技术成熟后再推广到其它口径。该钻具利用冲洗液提供振动能量,振动机构带动内管振动,以达到防止岩心堵塞的目的。为最大程度利用现有钻具的外管总成、内管、卡心组件等,需进行钻具

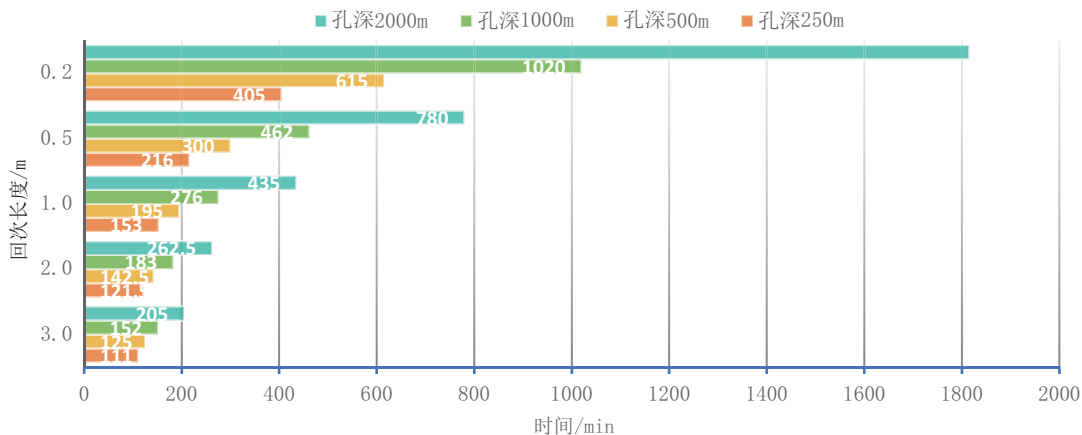


图1 不同孔深条件下按不同回次长度钻进3m进尺耗时统计

定尺寸研发,防堵内管总成是研究核心。常规H规格绳索取心钻具的内管总成在近1 m长度上设计了捞矛机构、弹卡机构、单动机构、调节机构、悬挂机构、到位报信机构、岩心堵塞报信机构等,各机构组件设置已非常紧凑成熟。新防堵内管总成需保持原内管总成长度直径不变,完成防堵机构研究、原有机构重布等诸多工作,以利于新老内管总成实现高效替换。

## 2 防堵机构原理

防堵机构工作原理选择至关重要,其受产品形状尺寸、驱动方式、应用场景等诸多因素影响,经初步分析可采取方式有:射流(吸)冲击、涡轮振动、滚珠振动,其中涡轮振动器和滚珠振动器技术通常采用高压气体驱动,以液体驱动且为循环使用不清洁的冲洗液还未见任何报道。各类原理工作特点如下:

(1)射流(吸)冲击:具有冲击能量高、泵量泵压要求高、结构组件复杂等特点,绳索取心液动锤即通过冲锤巨大冲击力实现了优秀的岩心防堵功能,但尺寸要求大,不适合该研究所需的小尺寸设计。

(2)涡轮振动:具有振动频率高、尺寸要求小、结构组件较复杂等特点,为进行初步验证,按内管总成的悬挂接头外形,研制了一件涡轮振动器小样,高压空气驱动振动效果好,液体驱动极易被杂质卡阻而不工作。

(3)滚珠振动:具有振动频率高、尺寸要求小、结构简单等特点,同样研制了一件滚珠振动器小样,高压空气驱动振动效果略逊于涡轮振动,液体驱动被杂质卡阻情况相对更少。

新设计的两种振动器小样可替代原内管总成的悬挂接头使用,结构示意图如图2所示,外观如图3所示。

经过综合对比分析,选则滚珠振动作为防堵机构工作原理。滚珠振动利用冲洗液驱动内部滚珠,使其沿竖直轨道剖面产生高速圆周运动,重复经过轨道上顶点与下顶点,其对轨道上顶点器壁作用力

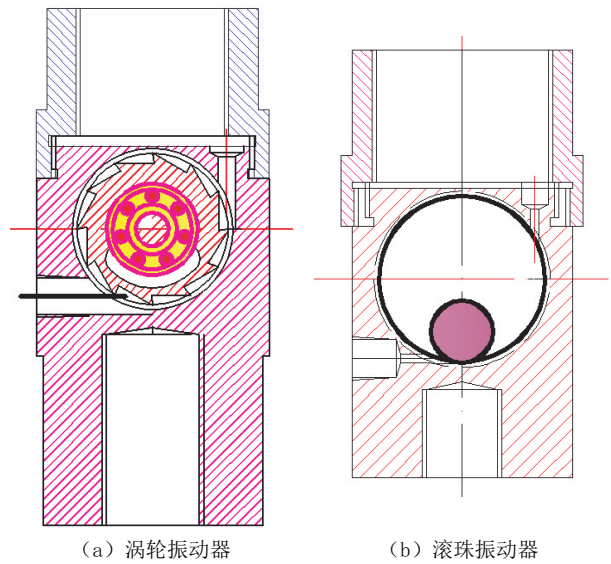


图2 涡轮振动器与滚珠振动器结构示意图



图3 涡轮振动器小样与滚珠振动器小样外观

为离心力减滚珠重力,对轨道下顶点器壁作用力为离心力加滚珠重力,滚珠速度越高则离心力越大,周期性作用力变化产生高频振动效果。

## 3 防堵内管总成设计<sup>[12-13]</sup>

### 3.1 防堵内管总成结构

经过多次测试调整,防堵内管总成结构示意图如图4所示,外观如图5所示。

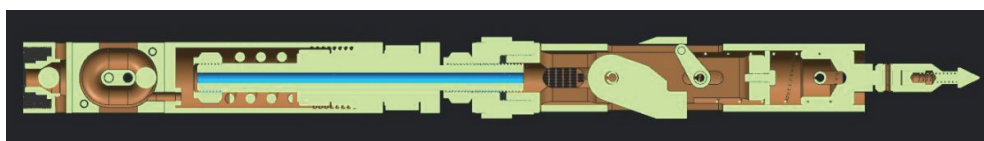


图4 防堵内管总成结构示意图

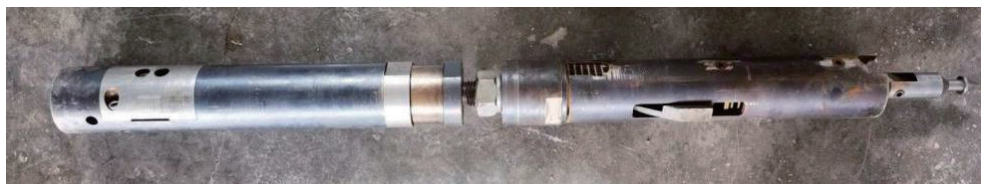


图5 防堵内管总成外观

### 3.2 振动器水路轨道设计

通过前期滚珠振动器小样测试,振动器尽量远离悬挂环而靠近内管,则有利于增强内管振动效果。常规绳索取心内管总成在悬挂接头位置设置进出水口,仅作为冲洗液循环通道。新防堵内管总成仍在悬挂接头上端设置进水口,并通过长度调节螺杆将冲洗液引到远端的振动器。振动器内部优化设计包括:(1)增加滚珠轨道长度以提升振动效果,受钻具直径限制,将圆形轨道改进成半圆+矩形+半圆的轨道;(2)将出水口由圆形改成窄长矩形,双排对称设计,可防止滚珠因杂质和抽吸作用形成卡阻,提升振动器运行可靠度;(3)增设轨道中间限位柱,避免滚珠高速运转出现悬空状况;(4)增设轨道下切圆弧槽,将滚珠与轨道接触方式由单点接触改为两点接触,同时避免对进出水口产生碰撞,其滚珠轨道切面渲染如图6所示。

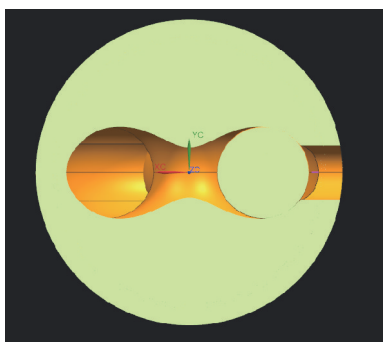


图6 滚珠轨道切面渲染图

### 3.3 功能机构布局

滚珠振动器的加入对内管总成影响很大,弹卡机构以下做了大幅调整:(1)增加进水端滤网,减少钻井液中粗颗粒的进入;(2)振动器悬挂接头去除了悬挂环,采用阶梯型密封设计;(3)去除了悬挂接头内用以实现到位报信功能的钢球架和钢球;(4)加粗调节螺杆,增设内部过水通道;(5)针对两盘外露单动轴承设计了轴承保护套,防止损坏后阻碍内管打捞;(6)去除了作为减震和岩心堵塞报信机构

易变形损坏的橡胶减震圈。

## 4 振动效果测评

### 4.1 振动测评方法

滚珠振动器振动能力对钻具防堵效果起着决定性作用,包括进出水口大小形状、匹配泵量等调节参数尤为重要又相互影响,现暂无历史数据可参考。因此设计了一套测评方法:新HQFD型振动防堵钻具包括外管总成、内管总成、扩孔器、钻头在内的所有配置,但为更清楚地观察振动效果,测评时仅保留外管总成上的弹卡挡头、弹卡室、座环,使防堵内管总成尽可能裸露出来,连接泥浆泵供水并采用测振仪记录振动参数。振动效果测评可采用带内管测评和不带内管测评,测试情况如图7所示。



图7 振动效果测评

### 4.2 振动参数变化规律

通过正交实验法对进水口、出水口、泵量等设计不同调节参数,拟找到钻具振动运转可靠、强度适宜、泵量适中、附加泵压低的最优参数,采用BW250型泥浆泵进行测试分析。具体调节参数如表1所示,振动参数如表2所示。

表1 调节参数

进水口		出水口		泵量	
直径/mm	面积/mm <sup>2</sup>	长×宽/mm	面积/mm <sup>2</sup>	挡位	流量/(L·min <sup>-1</sup> )
9.00	64	40×4	160	1速	66
8.35	55	35×4	140	2速	92
7.65	46	30×4	120	3速	130
6.85	37	25×4	100	4速	180
6.00	28	20×4	80	/	/
/	/	15×4	60	/	/

表2 振动参数

进水口直径/mm	挡位/泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	振动参数	出水口规格/mm						数据统计	
			40×4	35×4	30×4	25×4	20×4	15×4	平均值	标准差
9.00	1速/66	附加泵压/MPa	0.200	0.200	0.200	0.200	0.400	0.500	0.28	0.13
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	12.675	8.625	11.275	12.350	13.425	12.325	11.78	1.69
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	5.550	3.350	3.950	4.325	5.150	5.125	4.58	0.84
		位移/mm	0.065	0.084	0.085	0.113	0.126	0.155	0.10	0.03
	2速/92	附加泵压/MPa	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	1.000	0.83	0.08
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	24.600	21.225	23.875	21.875	23.625	24.650	23.31	1.43
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	7.950	9.800	14.225	4.750	6.050	3.500	7.71	3.90
		位移/mm	0.129	0.139	0.195	0.080	0.072	0.069	0.11	0.05
	3速/130	附加泵压/MPa	1.500	1.600	1.500	1.600	1.700	2.000	1.65	0.19
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	36.375	35.550	36.425	35.850	33.225	32.900	35.05	1.58
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	11.725	12.275	8.650	9.700	15.175	6.850	10.73	2.95
		位移/mm	0.198	0.317	0.125	0.151	0.241	0.154	0.20	0.07
4速/180	附加泵压/MPa	2.900	2.900	3.000	3.000	3.100	3.500	3.07	0.23	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	59.125	67.650	54.450	53.475	47.125	54.075	55.98	6.88	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	24.650	22.750	16.575	10.900	12.875	13.925	16.95	5.58	
	位移/mm	0.401	0.596	0.444	0.277	0.275	0.388	0.40	0.12	
8.35	1速/66	附加泵压/MPa	0.200	0.300	0.300	0.300	0.300	0.500	0.32	0.10
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	24.275	18.325	16.850	13.575	10.050	12.275	15.89	5.09
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	4.925	6.625	6.175	6.150	4.675	4.750	5.55	0.86
		位移/mm	0.097	0.142	0.158	0.172	0.124	0.132	0.14	0.03
	2速/92	附加泵压/MPa	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	1.000	0.92	0.04
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	33.750	31.225	28.600	24.850	15.725	17.925	25.35	7.26
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	7.700	10.975	8.925	9.300	6.325	6.525	8.29	1.79
		位移/mm	0.104	0.136	0.107	0.090	0.093	0.074	0.10	0.02
	3速/130	附加泵压/MPa	1.800	1.700	1.700	1.700	1.800	2.000	1.78	0.12
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	53.000	43.850	38.500	35.050	24.725	31.150	37.71	9.91
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	13.325	17.225	20.800	12.850	10.550	7.975	13.79	4.61
		位移/mm	0.315	0.201	0.304	0.155	0.177	0.136	0.21	0.08
4速/180	附加泵压/MPa	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.700	3.53	0.08	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	90.225	82.300	63.450	58.950	46.050	44.900	64.31	18.63	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	25.150	13.118	23.300	20.550	23.000	25.350	21.74	4.57	
	位移/mm	0.376	0.448	0.512	0.319	0.487	0.446	0.43	0.07	
7.65	1速/66	附加泵压/MPa	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.600	0.52	0.04
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	22.325	18.625	15.850	13.475	12.775	12.950	16.00	3.82
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	7.675	5.225	3.200	5.150	5.575	5.675	5.42	1.43
		位移/mm	0.110	0.085	0.059	0.075	0.126	0.159	0.10	0.04

续表

进水口直径/mm	挡位/泵量/ (L·min <sup>-1</sup> )	振动参数	出水口规格/mm						数据统计	
			40×4	35×4	30×4	25×4	20×4	15×4	平均值	标准差
6.85	2速/92	附加泵压/MPa	1.200	1.100	1.100	1.100	1.100	1.200	1.13	0.05
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	31.850	30.225	28.575	26.500	22.425	15.525	25.85	6.02
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	15.025	12.975	4.425	4.175	4.925	3.825	7.56	5.04
		位移/mm	0.307	0.143	0.067	0.058	0.106	0.073	0.13	0.09
	3速/130	附加泵压/MPa	2.300	2.200	2.100	2.300	2.200	2.500	2.27	0.14
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	60.550	55.550	50.325	43.525	38.800	26.875	45.94	12.21
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	25.075	11.375	9.200	9.175	7.500	13.050	12.56	6.43
	4速/180	附加泵压/MPa	2.300	4.000	/	/	/	/	3.15	1.20
		加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	66.775	94.100	/	/	/	/	80.44	19.32
		速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	29.800	37.275	/	/	/	/	33.54	5.29
		位移/mm	0.772	1.526	/	/	/	/	1.15	0.53
	1速/66	附加泵压/MPa	0.700	0.700	0.700	0.800	0.800	0.800	0.75	0.05
加速度/(m·s <sup>-2</sup> )		16.000	17.525	16.550	15.625	15.475	13.450	15.77	1.36	
速度/(mm·s <sup>-1</sup> )		10.875	8.950	4.625	3.900	4.225	4.775	6.23	2.94	
位移/mm		0.092	0.061	0.044	0.048	0.041	0.049	0.06	0.02	
2速/92	附加泵压/MPa	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.600	1.52	0.04	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	33.150	28.950	31.700	25.450	22.000	20.275	26.92	5.22	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	11.350	8.275	13.150	7.200	10.075	6.875	9.49	2.48	
	位移/mm	0.113	0.121	0.076	0.098	0.071	0.081	0.09	0.02	
3速/130	附加泵压/MPa	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.00	0.00	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	75.050	72.250	64.425	58.200	34.850	33.725	56.42	18.14	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	26.750	26.000	17.625	22.975	11.825	16.725	20.32	5.88	
	位移/mm	0.395	0.589	0.323	0.329	0.250	0.240	0.35	0.13	
1速/66	附加泵压/MPa	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	0.900	1.07	0.08	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	30.575	25.300	20.175	18.200	16.750	16.175	21.20	5.65	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	18.400	11.925	12.125	9.875	8.525	8.075	11.49	3.78	
	位移/mm	0.227	0.145	0.137	0.140	0.136	0.166	0.16	0.04	
2速/92	附加泵压/MPa	2.200	2.100	1.900	2.100	2.100	2.000	2.07	0.10	
	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	51.400	48.025	36.275	30.100	28.800	26.125	36.79	10.60	
	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	29.350	25.600	23.075	23.050	18.275	11.100	21.74	6.35	
	位移/mm	0.193	0.208	0.288	0.247	0.231	0.163	0.22	0.04	

注:上述测试为单矩形出水口,因为附加泵压过高,部分振动参数缺乏3速和4速的数据。

对表2数据进行整理分析,得出以下规律:

(1)附加泵压变化规律:进水口不变,附加泵压随泵量增加而增大,增幅先大后小,泵压增长幅度约为泵量增长幅度的2~2.5倍;泵量不变,附加泵压随进水口直径减小而增大,进水口直径越小,附加泵压增长幅度越大;相同进水口和泵量条件下,当出水口面积超进水口面积的5/4时,泵压随出水口面积变化几乎不变。

(2)加速度、速度、位移变化规律:进水口不变,振动参数值随泵量增加均呈增加趋势,同时位移参数离散程度小,速度和加速度参数离散程度大;泵

量不变,振动参数随进水口减小,极大值倾向于出现在出水口大的位置,说明出水口越大越利于振动效果的提升;相同进水口和泵量条件下,振动参数随出水口面积减小而减小。

(3)以H口径常规流量66 L/min和92 L/min为例,研究发现振动参数随进水口直径减小而增大,在进水口直径为6 mm时,泵量不变而振动参数值有跃迁突变现象,可能此时液体射流与滚珠、轨道等形成了最优匹配。

### 4.3 振动参数优化

以尽可能小泵量实现尽可能优的振动效果,且

附加泵压不高,是实验希望达到的目标。根据振动规律,进行以下优化:(1)6 mm 进水口时,振动效果有跃迁突变现象,选择该规格进一步实验;(2)当出水口面积超进水口面积的5/4时,其附加泵压、振动参数波动不大,甚至振动参数还随出水口面积增大而增强,考虑6 mm 进水口附加泵压偏高,在振动器

上再新增一个40 mm×4 mm 矩形出水口,与原相同出水口对称排布并呈全开状态,以进一步降低附加泵压;(3)9 mm 进水口孔大,不易被杂质堵塞,且附加压力小,选择该规格作对比实验。采用BW150型泥浆泵进行测试,优化振动参数如表3所示。

表3 优化振动参数

进水口		出水口(两个)		泵量		附加泵	振动参数		
直径/mm	面积/mm <sup>2</sup>	规格/mm	面积/mm <sup>2</sup>	挡位	流量/(L·min <sup>-1</sup> )	压/MPa	加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	位移/mm
6	28	40×4×2	320	1速	32	0	7.340	22.360	1.388
				2速	47	0	18.880	78.700	>2
				3速	72	0.6	44.200	52.380	1.688
				4速	125	3	/	/	/
9	64	40×4×2	320	1速	32	0	4.300	3.080	0.144
				2速	47	0	6.340	5.560	0.1668
				3速	72	0	14.840	9.820	0.144
				4速	125	0.5	44.180	29.420	1.056

对表3数据进行整理分析,可得以下结论:(1)6 mm 和9 mm 进水口都可实现钻具振动功能,且前者振动效果更好;(2)6 mm 进水口匹配两个矩形出水口,其稳定高效振动的泵量需求与H规格规范推荐泵量60~90 L/min 吻合度高,附加泵压<1 MPa。

## 5 下一步工作计划

根据前期测试研究,振动防堵钻具基本具备岩心防堵功能的可能性,即使不工作也可作为普通钻具使用,有进一步研究价值,下一步拟进行以下工作:

(1)HQFD型振动防堵钻具仅进行了少量孔内测试,可实现正常打捞取心,单动问题引起取心质量不佳,目前正在改进当中。后期将进一步加大现场应用测试,对暴露出的技术问题做好优化改进。

(2)现仅设计制作了HQFD型振动防堵钻具,没有进行常用N规格和便携式钻机薄壁钻具规格进行设计,需要在后续工作中进一步开展设计研究。

## 参考文献:

[1] 薛倩冰,刘凡柏,张金昌,等.特深孔地质岩心钻探技术装备集成及示范[J].钻探工程,2023,50(2):8-16.

- [2] 石绍云,李杰,罗显梁,等.超深涌水水平孔绳索取心钻具投送和打捞技术[J].钻探工程,2021,48(11):1-7.
- [3] 李鑫森,胡建超,马莎莎,等.FDS-P型绳索取心钻具研制及试验研究[J].钻探工程,2021,48(S1):370-374.
- [4] 冯美贵,刘启栋,郭伟,等.钻井液离心机预防绳索取心钻杆内壁结垢研究[J].钻探工程,2024,51(3):118-124.
- [5] 陶归成,唐珂灵,陈琛,等.陆相沉积地层绳索取心钻进所遇问题及解决办法[J].钻探工程,2022,49(4):93-98.
- [6] 欧涛,郭如伦,王志祥,等.绳索取心动液锤在全漏失孔和返水孔中应用效果对比[J].四川地质学报,2022,42(S2):192-196.
- [7] 杨泽英,冯绍辉,苏长寿,等.绳索取心动液锤的研究与应用[M]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.地质出版社,2011:116-121.
- [8] 杨泽英.SYZX75型绳索取心动液潜孔锤的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):73-74.
- [9] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.高效岩心钻进的有效途径——液动潜孔锤钻探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):81-84,90.
- [10] 田志超,翟育峰,刘振新,等.辽宁丹东3000 m科学深钻施工技术[J].钻探工程,2023,50(S1):233-239.
- [11] 朱永宜,王稳石,张恒春,等.我国大陆科学钻探工程实施概况及其取心钻进技术体系[J].地质学报,2018,92(10):1971-1984.
- [12] 王志祥,韩庆,欧涛,等.一种振动防堵的绳索取心内管总成:CN202223037604.2[P].2023-02-17.
- [13] 王志祥,韩庆,欧涛,等.绳索取心防堵内管总成的振动结构:CN202223037549.7[P].2023-01-13.

(编辑 荐华)