

# 破碎地层取心钻具研究现状及展望

施山山, 闫家, 李宽, 王文, 李鑫淼, 汪凯丽

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

**摘要:**数十年来,国内外专家学者针对破碎地层取心技术做了大量的研究,在提高岩心采取率、增加回次进尺、降低进心阻力、提高机械钻速等方面取得了显著成效。但针对破碎地层岩心频繁卡堵的解决方法研究相对较少,虽然以 JamBuster 为代表的解堵取心工具,通过增加衬管的方法在一定程度上缓解了岩心卡堵情况,增加了回次进尺,但仍未从根本上解决卡堵问题。本文总结了近年来国内外针对破碎地层取心的研发现状,分析了其中存在的不足,提出了几点发展完善建议。

**关键词:**破碎地层;取心工具;岩心卡堵;岩心解堵;岩心采取率

**中图分类号:**P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)07-0056-06

## Research status and prospects of coring tools for broken formation

SHI Shanshan, YAN Jia, LI Kuan, WANG Wen, LI Xinmiao, WANG Kaili

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Experts and scholars at home and abroad have conducted lots of research on coring in broken formation for many decades, leading to notable results in terms of decreasing core entry resistance, increasing core recovery, extending footage per run, increasing ROP, etc. However, less research has been made on solutions to core jamming incidents. To some extent the jam-releasing coring tools represented by JamBuster alleviated the core plugging problem, and extended the footage per round by adding liners, but the problem of core jamming hasn't been fundamentally solved. This paper summarizes the research state of the special coring tools and technologies for broken formations in the past, analyses their shortcomings, and puts forward some suggestions for improvement.

**Key words:** broken formation; coring tools; core jamming; jam release; core recovery

## 0 引言

无论是地质钻探还是石油钻井,都会面对破碎地层取心问题。常规取心钻具在此类地层取心作业时,或因破碎岩心尺寸小于钻具卡簧尺寸,或当卡簧收敛时岩心变形过度,导致卡簧不能对岩心产生足够的卡紧力,造成岩心部分脱落甚至发生“打空管”。破碎的岩心块体还会在管内形成卡堵,阻碍岩心正常进入内筒。岩心卡堵现象在破碎地层中极为常见,是导致机械钻速和回次进尺锐减、岩心严重自磨耗损的根本原因。

国内地勘、钻井科研院所和相关钻探企业,针对

破碎地层取心难点做了很多研究工作。如中国地质科学院勘探技术研究所的 KT 系列取心钻具,中石化、中石油、中海油所属各勘探研究院研发的专用取心钻具<sup>[1-5]</sup>,吉林大学、湖南科技大学等高校申请的多项有关海底沉积物、水合物等地层取心的钻具,中国地质科学院探矿工艺研究所及北京中资环钻探有限公司针对破碎性地层申请的取心钻具的专利<sup>[6-7]</sup>,许俊良等人研制的堵心取心报警装置及堵心后两层内筒自动错动取心钻具等,均在一定程度上缓解了岩心卡堵的问题<sup>[8]</sup>。国外也研发了一些用于松软易破碎地层的取心钻具。但这些取心工具操作复

收稿日期:2020-04-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.07.009

基金项目:中国地质科学院勘探技术研究所科技项目“干热岩坚硬破碎地层高效取心钻具研制”(编号:YB202008);中国地质调查局地质调查项目“苏皖赣地区页岩油气战略选区调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20201171)

作者简介:施山山,男,汉族,1993年生,石油与天然气工程专业,硕士,从事钻探工艺与钻探器具相关研究工作,河北省廊坊市金光道77号,shiss3@sina.com。

引用格式:施山山,闫家,李宽,等.破碎地层取心钻具研究现状及展望[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):56-61.

SHI Shanshan, YAN Jia, LI Kuan, et al. Research status and prospects of coring tools for broken formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(7):56-61.

杂、使用成本较高,技术上也还存在一定的不足之处。

## 1 破碎地层取心钻具研究现状

破碎地层由于岩心破碎不成柱状(见图 1),在取心作业过程中容易出现岩心卡堵及丢心情况。国内外自 20 世纪 80 年代起,就已经致力于解决复杂破碎地层取心技术难题,并形成了系列具有代表性的工具及技术,部分工具及技术也较好地解决了破碎地层易丢心的问题。



图 1 破碎地层岩心获取情况

Fig.1 Cores taken from broken formation

### 1.1 橡皮套取心工具

20 世纪 80 年代,Eastman Christensen 公司为针对松散破碎地层取心研制了橡皮套取心工具,以解决常规取心工具取心时岩心磨心、扰动破碎的问题。后来为了解决橡皮套容易被破碎岩心块体的锋利棱角破坏的问题,该公司用金属丝网代替橡皮套来包裹岩心,并在加利福尼亚州开展了现场试验。该套工具曾被引进至国内使用,但由于操作复杂、取心效果不理想等原因现已放弃不用<sup>[9]</sup>。

### 1.2 解堵取心工具

国外在 20 世纪 90 年代设计了专门用于解决破碎地层岩心卡堵问题的 JamBuster 取心工具。该工具除了常规的内管外还额外增加了两层铝合金材质的衬筒,且两层衬筒与内管之间可相对错动。当岩心与衬筒发生卡堵时,该衬筒与岩心将一同错动上行,后续的岩心将进入另一层衬筒或内管中,直至内管被岩心充满或岩心与内管又发生卡堵。卡堵发生 3 次后立管压力发生变化,提示作业人员停止钻进起钻出心。该钻具提高了回次取心进尺与岩心采取率,避免了常规取心钻具遭遇岩心卡堵即需起钻的缺陷,在一定程度上也避免了岩心自磨的发生<sup>[9-10]</sup>。

胜利油田许俊良等人为提高破碎地层岩心采取

率先后研制了堵心监视装置和解堵取心工具,类似于国外的 JamBuster 取心钻具。堵心监视装置主要是在岩心发生堵卡时可提醒地面作业人员,避免发生磨心的情况<sup>[11-12]</sup>。虽然该装置可起到岩心堵卡报警的作用,但未解决岩心堵卡的问题,现场仍需要起钻来解决。所以为了解决岩心堵卡导致回次取心进尺低的问题,胜利油田后来又研制了类似于 JamBuster 取心工具的解堵取心工具,其内管由多层可相互错动的衬管组成,使得该工具在遭遇 2~3 次堵卡之后仍可继续钻进。胜利油田在 2004 年综合堵心监视装置和解堵取心工具两种技术开展了现场试验,最终平均岩心采取率高达 100%<sup>[5,8]</sup>。

### 1.3 保形取心钻具

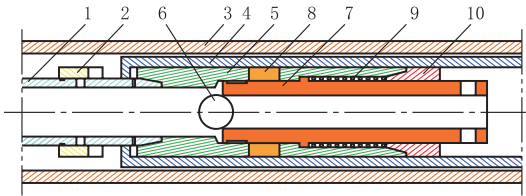
保形取心工具的实质是采用低摩阻材质的玻璃钢、PVC 管等作为岩心内管或置于内管内的衬管,降低内管或衬管内壁对岩心的摩擦力,减小岩心入筒的阻力,使得岩心在进入内管时受到的扰动更小、卡堵机率更低。国外贝克休斯、哈利伯顿等公司曾开展过保形取心技术的研发与现场应用工作<sup>[13]</sup>,贝克休斯采用玻璃钢等材料作为衬筒并研制了一把抓式岩心爪,在降低岩心入筒阻力、减小卡堵机率的同时也提高了岩心采取率<sup>[14-15]</sup>。

保形取心在 20 世纪 90 年代中期成为国外主导的取心技术,国内也在 90 年代开展了保形取心技术研究与应用。胜利油田为了解决疏松砂岩取心难题,研制了低摩阻岩心内筒,并于 90 年代中期在南海海域进行了取心试验,岩心平均采取率高达 94%,相比常规取心工具提高了 60%以上<sup>[11,16]</sup>。辽河油田根据油藏地层特点也专门研制了玻璃钢取心工具,以及 BX-125 型液压式松散地层保形取心工具。玻璃钢取心工具由于采用低摩阻内管且岩心爪可封闭内管,使得岩心入筒更顺利且不易发生卡堵、丢心情况<sup>[17]</sup>;BX-125 型取心工具不仅采用了低摩阻的玻璃钢或 PVC 材料作为内衬管,还设计了液压加压式割心与隐藏式全封闭岩心爪<sup>[18]</sup>。四川石油管理局在碳酸盐岩等裂缝性、破碎性地层取心时,专门研制了针对裂缝性破碎地层的保形取心钻具,在强破碎性碳酸盐岩地层进行了取心应用。这套取心工具内设置有岩心保形管,由于保形管内壁光滑摩阻低,从而可显著减小岩心入筒阻力与卡堵机率。另外四川石油管理局经过技术调研采用了涂层技术,对钢制岩心内管表面喷涂化学材料以降低岩心

进入时的阻力<sup>[19-21]</sup>。

#### 1.4 全封闭取心工具

全封闭取心工具是国外针对松散地层研发的,并在20世纪90年代后期成为美国松软地层取心的主导技术,国外 Baker Hughes INTEQ 公司与 Security DBS 公司均开展了全封闭取心技术研究<sup>[22-23]</sup>。其中前者研制了 Hydro-Lift 全封闭取心工具,并在墨西哥海湾进行了应用,岩心采取率高达100%。钻具的液力提升机构如图2所示。后者研制的 Posiclose 全封闭式取心工具,在我国秦皇岛区块进行了取心应用,岩心采取率平均高出常规取心钻具约50%<sup>[10,14]</sup>。Hydro-Lift 全封闭取心工具与 Posiclose 全封闭式取心工具的现场安装均较为复杂,且不适用于在硬脆地层、极度松散地层中取心<sup>[16]</sup>。



1—提升轴;2—旁通套;3—外筒;4—提升套;5—锁套;  
6—钢球;7—滑套;8—锁块;9—弹簧;10—弹簧座

图2 Baker Hughes INTEQ 公司研制的  
液力举升全封闭取心工具提升部分示意

Fig.2 The lifting part of the hydro-lift full  
closure core catcher developed by Baker Hughes INTEQ

国内也有很多单位开展了全封闭取心技术研究。中原油田针对常规单一卡板或卡箍式取心钻具进行了改进,采用卡箍和卡板双配套岩心爪组合,避免抽心和掉心现象<sup>[24]</sup>。四川石油管理局与新疆石油管理局研制了全封闭岩心爪。前者采用卡箍与瓣式岩心爪双重组合,并在取心钻进时隐藏于内管外壁不与岩心接触,取心钻进结束后卡箍式岩心爪割心,瓣式岩心爪封闭内管防止丢心<sup>[25]</sup>。后者设计了一种隐藏式卡板岩心爪,该岩心爪在取心钻进时隐藏在卡箍式岩心爪外侧,在割心的时候才露出并封闭钻头内部通孔。一方面确保岩心爪不阻碍岩心进入内管,另一方面在起钻时能实现对内管的全封闭,避免丢心<sup>[26]</sup>。胜利油田研制的机械加压机式割心的 R-8120 型取心工具,取心钻进结束后内筒下行迫使岩心爪收缩为锥形防止掉心,并且该取心工具的内管采用了涂层工艺,减小了进心阻力<sup>[27]</sup>。2009年,中国地质大学(北京)地质超深钻探实验室牛军辉结合绳索取心钻具与压卡式取心钻具,研制出了

投球压卡式绳索取心钻具,采用压卡式岩心爪实现对内管的封闭,保证了破碎地层的岩心采取率<sup>[28]</sup>。

#### 1.5 井下动力取心工具

1887年,德国人沃·布什曼利用泥浆液能冲击器实现了冲击回转钻进。苏联在20世纪初就开始了液动冲击回转钻进研究,匈牙利在20世纪60年代研制了双作用液动冲击器用于坚硬地层的冲击回转钻进。而我国率先从事此方面研究的是原地质矿产部勘探技术研究所(现为中国地质科学院勘探技术研究所),在1956年至1965年的9年时间内,研制出了7种不同结构形式的冲击器。20世纪80年代以来,勘探技术所研制了多个系列的绳索取心冲击回转钻具,在提高钻进效率,尤其是提高岩心采取率方面效果显著。国内其他很多单位自1983年后也相继研制了系列绳索取心式液动潜孔锤,在坚硬地层取心成果显著,并缓解了岩心卡堵的问题<sup>[29]</sup>。河北省地矿局综合研究地质大队为提高取心钻探效率、增加回次取心进尺,历经多年研发了 SZG-59 型绳索取心冲击回转钻具<sup>[30]</sup>。2005年,吉林大学在贯通式潜孔锤反循环连续取心技术的基础上,研发了多工艺结合的潜孔锤技术,在坚硬、破碎地层取心试验效果较好<sup>[28]</sup>。2007年,中国地质科学院勘探技术研究所研发了双喷嘴复合式液动潜孔锤绳索取心钻具,现场取心效果极佳<sup>[31-32]</sup>。

中国地质科学院勘探技术研究所针对“科钻一井”地层坚硬复杂且局部有破碎与裂隙充填的特征,首创了 KZ 型单动双管取心钻具(如图3所示),采用“高速螺杆马达+液动锤”复合动力驱动,钻具在承受马达的径向震动同时受到液动锤轴向的冲击作用,取心回次进尺、岩心获取率均得到有效提高<sup>[33-34]</sup>。为了避免“松科二井”施工过程中的“小径取心,大径扩孔”,又研制了大口径的 KT 系列取心钻具,并首次在国内科学钻探深井中采用涡轮驱动取心钻进,显著提高了岩心采取率<sup>[35]</sup>。据中国地质调查局官方公开报道资料,2019年勘探技术所 KT 系列取心工具配合涡轮钻具在新疆玛页1井中进行了取心应用,岩心采取率高达100%。

#### 1.6 其它取心工具与技术

川庆钻探工程公司针对常规密闭取心工具在破碎、高温高压地层取心时易出现岩心卡堵、磨心以及拆卸风险等问题,对常规密闭取心工具进行改进完善,研制了破碎地层高温高压密闭取心工具<sup>[36]</sup>。



图 3 勘探技术所 KZ 系列取心工具结构示意图

Fig.3 KZ series coring tool developed by Institute of Exploration Techniques

国土资源部承担的汶川地震科学钻探项目,由于岩层极度破碎,为保证岩心原状性采取了半合管取心技术,现场应用效果较好<sup>[37]</sup>。

青海省有色地勘局通过在心轴上设置调节螺母用于调节内管返流量,研制了喷射式局部反循环绳索取心工具,减小了岩心入筒阻力,一定程度上减轻了岩心卡堵情况<sup>[38]</sup>。

针对钻具震动加重岩心破碎导致岩心卡堵甚至是磨心的问题,中石化华北石油局在取心工具与钻铤之间增加一个钻具稳定器以避免钻具的大幅横向摆动,减小钻具震动对岩心的破坏<sup>[39]</sup>。中国地质科学院勘探技术研究所闫家申请了一种带有震荡机构的防堵取心钻具专利,该设计在取心钻具中增加小幅震荡机构,使岩心内管处于低频、低强度的震荡状态,以缓解岩心堵塞现象进而提高岩心采取率和回次进尺<sup>[40]</sup>。

## 2 现有取心工具的不足

橡皮套取心工具、保形取心工具、全封闭取心工具主要针对岩心内管及岩心爪等进行了特殊设计与改进,通过包裹岩心、降低进心阻力、封闭岩心内管等方式减少磨心现象、避免岩心丢失,从而有效保证岩心采取率。但是这 3 类取心工具未针对在破碎地层取心时易出现的岩心卡堵情况提出解决措施。

解堵取心工具虽然通过在内管中设置多层衬管的形式,使得取心钻进时可遭遇 2~3 次岩心卡堵情况而不用立即起钻解决卡堵,一定程度上增加了回次进尺。但该钻具实质上并未实现解堵的目的,只是将卡堵的岩心连同衬管一同上移,后续岩心继续进入其它衬管或内管中。

井下动力取心工具虽然在坚硬地层具有机械钻速高、回次进尺长、岩心采取率高的特点,但在破碎地层取心时仍然无法解决岩心卡堵的问题,甚至会因井底动力钻具持续的震动导致管内岩心扰动后破碎从而加剧岩心卡堵情况。虽然勘探技术所闫家提出了一种带有震荡机构的防堵取心钻具思路,但该钻具在取心钻进过程中处于低频持续的震荡状态,

实际也会对岩心造成扰动,进而可能会引起岩心卡堵等意外情况。

虽然数十年来国内外针对破碎地层取心开展了大量的研究,形成了一系列专用取心工具,并在破碎地层取心应用中取得了极为显著的成效。但针对破碎地层岩心易卡堵的问题,鲜有报道较好的解决方案,尤其是可实现随钻解堵解卡的方案。

## 3 展望与建议

钻探取心是当前认识地层物性参数最为直观且有效的方法,是油田勘探开发评价与深部地质科学研究的主要依据<sup>[36]</sup>。随着国家对油气勘探开发力度的加强,油气勘探开发逐步向深地、深海进军。由于深部地层地应力、地质构造复杂等原因导致深部地层尤为坚硬,且部分层段岩石极为破碎或极脆易碎,而针对破碎地层的取心作业一直以来都被视为世界性难题。

针对破碎地层研制的特殊钻具,大部分解决了岩心从内管中掉落的丢心问题,但对岩心卡堵的解决方案仍非特别见效。虽然部分特殊钻具通过设置多层可错动内管的方式解决了单层内管出现卡堵后无法再进心的情况,相对增加了岩心采取率,但仍未从根本上解决取心过程中的岩心卡堵问题,当频繁遭遇卡堵时此类钻具也无法有效应对。且此方案因需钻具要有较大的设计空间,难以在地质岩心钻探中实现。

因此,针对破碎地层取心作业,当前的取心钻具应解决以下几个方面的问题:

- (1)设计特殊取心钻头并配合适当工艺,保证较高机械钻速。
- (2)对内管内壁进行特殊设计,例如内壁电镀等,使得岩心进入阻力更小。
- (3)对岩心卡取机构进行改善,实现内管全封堵,同时不会阻碍岩心进入。
- (4)对取心钻具进行针对性设计,解决在取心作业过程中随时可能会出现的岩心堵卡事故,可在内管上端设置一非连续振动机构,通过泵压的调节实

现对内管上端的有效冲击,实现遇卡解卡、遇堵解堵,以保证较高的岩心采取率。

(5)实现内外管的单动,尽量减少内管的频繁晃动、振动现象,避免由于内管的不稳定导致对管内岩心造成扰动从而造成岩心破碎、卡堵加剧。

#### 4 结论

经过大量文献资料调研,总结了当前国内外破碎地层特殊取心钻具研究现状,并分析了各类特殊取心钻具的优势与不足。

(1)国内外针对岩心卡取机构、特殊内管设计等方面开展了相关研究,例如橡皮套取心工具、保形取心工具、全封闭取心工具等在降低进心阻力、提高岩心采取率方面取得了显著效果。

(2)针对破碎地层取心钻进提速方面,国内外研制并应用了潜孔锤、螺杆马达、涡轮等动力工具,显著提高了在坚硬破碎地层取心钻进的机械钻速。

(3)针对在破碎地层取心易出现岩心卡堵的问题,国内外研制了解堵取心工具以及堵心报警工具等,在一定程度上提高了回次取心钻进的进尺,避免了常规取心钻具遇岩心卡堵之后无法再继续进心的问题。但由于结构及尺寸等限制,解堵取心工具一般只能解决2~3次的岩心卡堵问题,在多次遭遇卡堵之后仍旧会出现无法再继续进心的问题。

(4)结合破碎地层取心钻具研究现状与取心技术难题,认为坚硬破碎地层取心有长寿命高钻速钻头、全封闭岩心卡取机构、低摩阻岩心内管、岩心随钻解卡解堵机构等4大关键技术难题有待攻破,其中破碎地层取心钻进时岩心卡堵问题亟需解决。

#### 参考文献(References):

[1] 王稳石,朱永宜,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):28-31.  
WANG Wenshi, ZHU Yongyi, JIA Jun, et al. Coring drilling technology in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(9):28-31.

[2] 万旭文,迟宇洲.强力反循环钻具在破碎地层中的使用效果[J].新疆有色金属,2008,31(S1):70.  
WAN Xuwen, CHI Yuzhou. Application effect of powerful reverse circulation drilling tool in broken formation[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2008,31(S1):70.

[3] 张国丽,罗军,王俊明,等.提高松散地层取心收获率技术[J].特种油气藏,2010,17(B12):162-163.  
ZHANG Guoli, LUO Jun, WANG Junming, et al. Techniques for improving the core recovery rate of loose formation [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010,17(B12):162-163.

[4] 和鹏飞,李振坤,刘杰,等.渤中凹陷太古界潜山破碎地层取心技术[J].石油钻采工艺,2018,40(S1):115-117.  
HE Pengfei, LI Zhenkun, LIU Jie, et al. Coring technology of the Archean buried-hill fractured strata in Bozhong sag[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018,40(S1):115-117.

[5] 蒋庆祥,宋维华,许俊良,等.防堵报警取心工具在吉林油田的应用[J].石油矿场机械,2008,37(6):78-81.  
JIANG Qingxiang, SONG Weihua, XU Junliang, et al. Application of coring system with alarming and plug removal in Jilin Oil Field[J]. Oil Field Equipment, 2008,37(6):78-81.

[6] 张伟,樊腊生,贾军,等.一种改善破碎地层取心钻进效果的组合式取心钻具:201320102086.X[P].2013-08-21.  
ZHANG Wei, FAN Lasheng, JIA Jun, et al. Combined coring drill tool for improving coring drilling effect of broken formation: 201320102086.X[P]. 2013-08-21.

[7] 张绍和,钱书伟,郝志斌,等.一种适用于极破碎、软弱地层的取心钻具:201210069646.6[P].2012-07-18.  
ZHANG Shaohu, QIAN Shuwei, HAO Zhibin, et al. One core drilling tool suitable for extremely broken and weak formation: 201210069646.6[P]. 2012-07-18.

[8] 许俊良,蒋庆祥,薄万顺.解堵取心装置研究[J].石油钻采工艺,2005,27(2):76-77.  
XU Junliang, JIANG Qingxiang, Bo Wanshun. Study on plug removal coring apparatus[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005,27(2):76-77.

[9] 司英晖.防堵取心技术研究与应[D].青岛:中国石油大学(华东),2009.  
SI Yinghui. The study and application of anti-blockage coring technology[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2009.

[10] 李倩.新型双动双管取心钻具的研制[D].长沙:中南大学,2014.  
LI Qian. The design of new double-barreled and double-acting coring tool[D]. Changsha: Central South University, 2014.

[11] 许俊良,薄万顺,王智锋,等.堵心监视装置的研制[J].石油钻采工艺,2005,27(1):72-73.  
XU Junliang, Bo Wanshun, WANG Zhifeng, et al. Research of core barrel blockage alarm device[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005,27(1):72-73.

[12] 许俊良.疏松及破碎地层取心新技术[J].钻采工艺,2009,32(1):22-23.  
XU Junliang. New coring technology for unconsolidated and broken formations[J]. Drilling & Production Technology, 2009,32(1):22-23.

[13] 周刚,刘彬,邹强,等.川式保形取心技术的发展及应用[J].钻采工艺,2009,32(1):17-18.  
ZHOU Gang, LIU Bin, ZOU Qiang, et al. Development & application of Chuan-type form-keeping coring technique[J]. Drilling & Production Technology, 2009,32(1):17-18.

[14] 杨玉坤,成伟.国外松软地层取心技术浅谈[J].石油机械,2002,30(10):65-67.  
YANG Yukun, CHENG Wei. Discussion on coring technology in soft formation abroad[J]. China Petroleum Machinery, 2002,30(10):65-67.

[15] 许俊良,宋淑玲,成伟.国外钻井取心新技术(一)[J].石油机械,2000,28(9):53-56.  
XU Junliang, SONG Shuling, CHENG Wei. New technology of drilling and coring abroad(1)[J]. China Petroleum Machinery, 2000,28(9):53-56.

[16] 张绍先.松散地层取心工具研制与应用[D].大庆:大庆石油学院,2009.  
ZHANG Shaoxian. The development and application of unconsolidated formation coring tools[D]. Daqing: Daqing Petroleum College, 2009.

- troleum Institute, 2009.
- [17] 董明利.适用于松散地层的玻璃钢取心工具[J].特种油气藏, 2004,11(5):81—84.  
DONG Mingli. Glass steel coring tool applied for weak formation[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2004,11(5):81—84.
- [18] 罗军.松散地层取心技术在小 M2 井煤层取心中的应用[J].钻采工艺,2007,30(4):159—160.  
LUO Jun. Application of ravelly ground coring technology in coal layer coring in Well Xiao M2[J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(4):159—160.
- [19] 李伟成,陈晓彬,陈立,等.提高碳酸盐岩破碎地层取心收获率技术[J].钻采工艺,2007,30(2):37—38.  
LI Weicheng, CHEN Xiaobin, CHEN Li, et al. Coring technology of improving core recovery in the fractured Carbonate Formation[J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(2):37—38.
- [20] 邹强,陈晓彬,陈立,等.保形可视取心工艺技术在哈萨克斯坦的探索[J].钻采工艺,2007,30(2):11—13.  
ZOU Qiang, CHEN Xiaobin, CHEN Li, et al. Application of conformal-visible coring technology in the Kenkyak 7001 Well[J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(2):11—13.
- [21] 李兵,蔡章伟.川式深井小井眼钻井取心工具技术特点与应用[J].钻采工艺,2007,30(1):13—15.  
LI Bing, CAI Zhangwei. Characteristics and application of deep slim hole coring tool in Sichuan[J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(1):13—15.
- [22] Tsao C C. Investigation into the effects of drilling parameters on delamination by various step-core drills[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008,206(1—3):405—411.
- [23] An Z S, Ai L, Song Y G, et al. Lake Qinghai scientific drilling project[J]. Scientific Drilling, 2002,2:20—22.
- [24] 成景民,冯会斌,王治中,等.深井灰岩破碎地层取心技术及应用[J].钻采工艺,2006,29(3):26—27.  
CHENG Jingmin, FENG Huibin, WANG Zhizhong, et al. Deep broken formation coring technology and its application[J]. Drilling & Production Technology, 2006,29(3):26—27.
- [25] 李兵,吴尚利.应用全封闭取心技术提高松软破碎地层岩心收获率[J].钻采工艺,1994(1):11—14.  
LI Bing, WU Shangli. Improving the core recovery rate of soft and broken formation by fully closed coring technology[J]. Drilling & Production Technology, 1994(1):11—14.
- [26] 杨树林,苏涛,许树谦.破碎地层取心工具的研制与应用[J].新疆石油科技,2003,13(4):1—4.  
YANG Shulin, SU Tao, XU Shuqian. Research and application of coring tool in broken formations[J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 2003,13(4):1—4.
- [27] 李新昌,李剑,洪黎,等.泌阳凹陷北部斜坡松散破碎地层取心技术[J].石油地质与工程,2010,24(3):111—113.  
LI Xinchang, LI Jian, HONG Li, et al. Loose broken formation coring technology in north slope block of Biyang sag[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010,24(3):111—113.
- [28] 张鹏.复杂地层绳索取心钻具的研制[D].北京:中国地质大学(北京),2014.  
ZHANG Peng. The design of wire-line coring rig in complex strata[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [29] 刘灿铭.国内破碎复杂地层钻进技术的研究现状与展望[J].甘肃科技,2010,26(14):78—80.  
LIU Canming. Current research status and its prospect on drilling technology of fractured and complicated formation in China[J]. Gansu Science and Technology, 2010,26(14):78—80.
- [30] 田锡玉.SZG-59 型绳索取心冲击回转钻具[J].探矿工程, 1987(4):6—9.  
TIAN Xiyu. SZG-59 wire-line coring percussion rotary drilling tool[J]. Exploration Engineering, 1987(4):6—9.
- [31] 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.  
SU Changshou, XIE Wenwei, YANG Zeying, et al. Fluid hammer drilling—an approach to high efficient core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1):81—84,90.
- [32] 周宗奇,熊家勤,余慎军.SYZX75 绳索取心液动锤在破碎地层中的应用[J].中国煤炭地质,2011,23(1):64—65.  
ZHOU Zongqi, XIONG Jiaqin, YU Shenjun. Application of wire-line coring hydraulic hammer in crumbling strata[J]. Coal Geology of China, 2011,23(1):64—65.
- [33] 朱永宜.KZ 型单动双管取心钻具的研制与应用[J].石油钻探技术,2006,34(3):19—22.  
ZHU Yongyi. Development and application of KZ single rotary and double tube core barrel[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006,34(3):19—22.
- [34] 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.  
ZHU Yongyi, WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, et al. Implementation overview of Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) project and technical systems of core boring[J]. Acta Geologica Sinica, 2018,92(10):1971—1984.
- [35] 闫家,王稳石,张恒春,等.松科 2 井带涡轮钻具取心钻进探索[J].钻采工艺,2019,42(1):31—34.  
YAN Jia, WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, et al. Practice of turbo-drill core drilling in Well SK-2[J]. Drilling & Production Technology, 2019,42(1):31—34.
- [36] 胡畔,何超,向贵川.破碎地层高温高压密闭取心工具的研制及现场应用[J].钻采工艺,2016,39(1):89—91.  
HU Pan, HE Chao, XIANG Guichuan. Research and field application of the closed coring tool with high temperature and high pressure in broken formation[J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(1):89—91.
- [37] 张伟.科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):7—12.  
ZHANG Wei. Technical problems and countermeasures for the drilling operation in complex formations of scientific deep drilling projects[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):7—12.
- [38] 刘成才.喷射式局部反循环绳索取心钻具[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):35—36.  
LIU Chengcai. Wire-line coring drilling tool with local rejecting reverse circulation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(9):35—36.
- [39] 王土权.塔深 1 井超深井段取心工艺[J].钻采工艺,2007,30(4):24—25,31.  
WANG Tushan. Coring technology of ultra deep section in TS1 Well[J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(4):24—25,31.
- [40] 闫家,王稳石,张恒春,等.一种带有震荡机构的防堵取心钻具:201720586518.7[P]. 2018—02—13.  
YAN Jia, WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, et al. An anti-blocking coring drill tool with vibrating mechanism: 201720586518.7[P]. 2018—02—13.