

# 中国主导的IODP航次取心所遇问题分析及探讨

王诗竣<sup>1,2,3</sup>, 宋刚<sup>\*1,2,3</sup>, 王瑜<sup>2</sup>, 韩泽龙<sup>3</sup>, 田英英<sup>3</sup>, 蒋亚峰<sup>3</sup>, 张欣<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;  
3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

**摘要:** 本文针对中国主导的IODP349、367、368/368X航次的钻探取心存在的问题, 通过详细分析取心数据, 分别对沉积岩和硬岩地层所采用的取心器具、影响岩心采取率、岩心质量、取心效率等因素进行具体分析, 分类总结了大洋钻探取心受岩性、工艺器具和外部环境等多方面综合影响的原因和程度, 初步提出了相应的改进措施。

**关键词:** 大洋钻探; 岩心采取率; 岩心质量; 取心器具; 沉积岩; 硬岩

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 2096-9686(2023)01-0010-08

## Analysis and discussion of the coring problem for China-led IODP voyages

WANG Shijun<sup>1,2,3</sup>, SONG Gang<sup>\*1,2,3</sup>, WANG Yu<sup>2</sup>, HAN Zelong<sup>3</sup>, TIAN Yingying<sup>3</sup>, JIANG Yafeng<sup>3</sup>, ZHANG Xin<sup>3</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** In view of the coring problem for the China-led IODP349, 367, 368/368X voyage, through analyzing the coring data, the coring tools and factors affecting the core recovery, core quality and cored efficiency in sedimentary rock and hard rock are researched, the causes and degree of the influence factors such as lithology, technical tools and external environment etc. which affect the ocean drilling coring are classified and summarized. The corresponding improvement measures are put forward.

**Key words:** ocean drilling; core recovery; core quality; coring tools; sedimentary rocks; hard rocks

### 1 中国主导的航次简介

大洋科学钻探计划始于1968年, 先后经历深海钻探计划 DSDP (1968—1983)、大洋钻探计划 ODP (1985—2003)、综合大洋钻探计划 IODP (2003—2013)、国际大洋发现计划 IODP (2013—2023) 四个阶段<sup>[1-5]</sup>。钻探取心技术是大洋钻探计划的核心技术, 是了解海洋地质、气候演变、板块构造、古海洋学、古地磁学等最直观的方式。1998年4

月, 我国正式加入了 ODP, 成为了 ODP 的重要成员<sup>[6]</sup>。1999年2月我国开启南海钻探计划的第一个航次——ODP184航次, 该航次由我国科学家汪品先院士设计并主持, 以“东亚季风演变”为钻探目标, 建立南海自渐新世以来的高分辨率古气候记录。2003年 ODP 时期结束并正式进入 IODP 时期, 我国成为继美国、日本、欧盟之后的第四位参与成员国, 2013年10月, 大洋钻探计划 IODP 的发展进

收稿日期: 2022-09-05; 修回日期: 2022-11-22 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.01.003

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“深海钻探工程关键技术支撑”(编号: DD20221721)

第一作者: 王诗竣, 男, 汉族, 1998年生, 中国地质大学(北京)硕士在读, 地质工程专业, 主要从事地质钻探、海工装备研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 623983263@qq.com。

通信作者: 宋刚, 男, 汉族, 1970年生, 正高级工程师, 博士, 主要从事地质钻探、海域天然气水合物钻探工艺器具、海工装备等方面的研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 379012534@qq.com。

引用格式: 王诗竣, 宋刚, 王瑜, 等. 中国主导的IODP航次取心所遇问题分析及探讨[J]. 钻探工程, 2023, 50(1): 10-17.

WANG Shijun, SONG Gang, WANG Yu, et al. Analysis and discussion of the coring problem for China-led IODP voyages[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 10-17.

入新阶段——国际大洋发现计划 IODP,我国在 IODP 的地位也从大洋钻探的参与成员变为全额成员<sup>[7]</sup>。在汪品先院士的积极建议和推动之下,在 2014 年初由李春风教授等人牵头,“乔迪斯·决心号”重返南海开启中国南海的第二个航次——IODP349 航次,该航次的钻探目标是“南海海底环扩张成因”<sup>[8]</sup>。2014—2018 的 5 年中,在孙珍、Hans Christian Larsen、汪品先、林间、李春风等科学家牵头下,以“聚焦于南海扩张之前的大陆破裂”为目标,我国又完成 IODP367、368/368X 航次。20 多年中完成 4+1 个航次,共钻探 17 个站位,获取岩心近 10000 m,最大钻探水深达 4200 m,为我国深海大洋钻探的发展积累了宝贵的经验<sup>[9]</sup>。

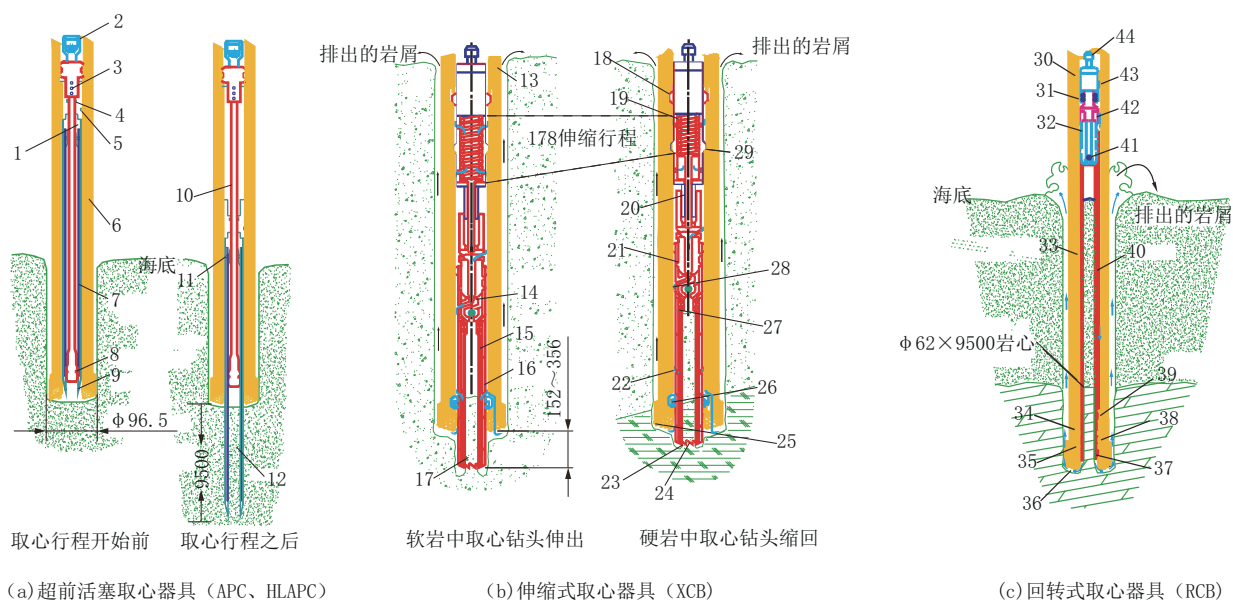
## 2 中国主导的航次钻探取心出现的问题

### 2.1 大洋钻探取心器具简介

大洋钻探取心可分为沉积岩取心和硬岩取心,沉积岩取心器具主要使用超前活塞取心器具 (APC)、半长超前活塞取心器具 (HLAPC)、伸缩式

取心器具 (XCB) 和回转式取心器具 (RCB),硬岩取心使用回转式取心器具 (RCB) (见图 1)<sup>[10]</sup>。超前活塞取心器具 (APC) 和半长超前活塞取心器具 (HLAPC) 是液压驱动活塞取心器具,通过钻杆内孔施加泵压,切断剪切销,将岩心筒压入地层中,在极软沉积岩中回收岩心样品;伸缩式取心器具 (XCB) 用于软硬交互的沉积岩地层,使用一个整体式取心内钻头修整岩心,在软沉积岩中取心内钻头位于主取心钻头的前面,可以有效降低泥浆对岩心的冲刷,但在坚硬沉积岩地层时,会缩回至主钻头;回转式取心器具 (RCB) 是旋转取心系统,主要使用在坚硬沉积岩和火成岩基底中回收岩心样品。

地层结构是客观的条件且无法改变,因此在钻探时根据现有的地质资料选择合适的站位,针对地层结构选择取心器具 (见表 1)。在我国主导的 4+1 航次中,沉积岩和硬岩取心面临的共同问题是岩心采取率低、岩心质量差以及取心器具故障引发的事故,硬岩地层还包括钻进效率问题。



1—快速释放机构;2—定向打捞头;3—销钉;4—内密封;5—外密封;6—光 I.D 钻铤;7—透明塑料内管;8—活塞头和密封;9—取心内钻头;10—活塞杆;11—泥浆孔;12—岩心;13—外管;14—文丘里通气装置;15—不回转内管;16—变径接头;17—岩心卡簧;18—弹卡;19—弹簧;20—心轴;21—快速释放机构;22—取心内钻头通道;23—循环喷嘴;24—取心内钻头;25—牙轮钻头;26—钻头密封;27—直线轴承;28—流体循环通道;29—悬挂台肩;30—可调的弹卡套;31—轴承组;32—快速释放机构;33—不回转内管;34—支撑轴承;35—钻头密封;36—取心钻头;37—岩心卡簧;38—浮阀;39—悬挂支承;40—岩心内管;41—单向阀;42—长度调节机构;43—弹卡;44—打捞头

图 1 取心器具

Fig.1 Coring tools

表1 取心器具与地层匹配情况<sup>[11]</sup>

Table 1 Matching condition between the drilling tools and the formation

取心工具	取心筒长度/m	适应地层
APC/HLAPC	9.5/4.7	适合极软的粘土、粉砂类、碳酸盐岩类沉积岩
XCB	9.5	适合软硬交互的砂岩、粘土岩
RCB	9.5	适合坚硬沉积岩和火成岩基底

## 2.2 沉积岩地层取心问题统计

沉积岩指成层堆积的松散沉积物固结而成的岩石,包括陆地、水和盆地中的松散碎屑物,如砾石、砂、粘土、灰泥和生物残骸等,沉积岩种类很多,其中最常见的是页岩、砂岩和石灰岩。结构跨度大,岩性复杂,岩心采取率波动大。中国主导的IODP航次取心情况以及取心器具的使用情况见表2。超前活塞取心器具(APC)和半长超前活塞取心器具(HLAPC)都是液压驱动的活塞取心器具,区别在于岩心筒长度不同,在淤泥地层采用取心长度为9.5 m的APC取心器具,地层渐变至较硬泥质地层时,采用4.7 m的半长HLAPC取心器具,APC和HLAPC都是针对淤泥质地层的器具,取心情况APC和HLAPC一起统计。APC和HLAPC共使用146次,整体的岩心采取率表现良好,可达到80%以上;在软硬交互地层采用的XCB取心器具,分别在U1431、U1499、U1501和U1505站位中使用共141次,岩心采取率波动较大,为50%~100%;RCB使用次数最多,共597次,但岩心采取率极差,平均岩心采取率在50%以下。

## 2.3 硬岩地层取心问题统计

我国主导的航次中,硬岩地层取心均采用RCB取心器具,349航次中取心钻进深度为200.3 m,取得硬岩岩心79.31 m,岩心采取率仅有39.6%,硬岩的平均钻进速度约为1.5 m/h;367、368/368X航次取心钻进深度为444.05 m,取得硬岩岩心290.83 m,岩心采取率为65.5%,硬岩平均钻进速度为2.2 m/h,总体取心效果统计见表3。

硬岩种类有花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等。4+1航次钻进的是玄武岩,体积密度为2.8~3.3 g/cm<sup>3</sup>,压缩强度可高达300 MPa。使用

表2 中国主导的IODP航次沉积岩地层取心统计<sup>[12-27]</sup>

Table 2 Statistical table of core taking from sedimentary strata by China-led IODP voyages

航次	站位	取心工具	总次数	取心段/m	岩心长度/m	岩心采取率/%
349	U1431	APC	26	228.5	225.61	98.7
		XCB	48	448.1	236.50	52.8
		RCB	35	338.7	198.84	58.7
	U1432	APC	12	110.0	88.74	81.0
	U1433	APC	20	188.3	168.79	89.6
		RCB	63	609.4	412.85	67.7
	U1434	RCB	8	83.0	23.47	28.3
	U1435	RCB	32	300.0	171.37	57.1
	U1499	APC	18	162.4	167.46	103
		XPC	53	496.8	249.59	50.2
		RCB	44	426.8	150.64	35.3
		RCB	89	712.9	257.43	36.1
	U1500	APC/HLAPC	41	276.0	265.14	96.1
		U1501	XCB	23	204.9	199.53
RCB			26	210.8	78.77	37.4
U1502	RCB	42	394.5	180.38	45.7	
U1503	RCB	67	602.7	134.90	22.4	
U1504	RCB	40	277.3	80.49	29.0	
U1505	APC/HLAPC	69	504.8	514.81	102	
	XCB	17	163.2	160.40	98.3	
总计			884	7383.5	4333.85	58.7

表3 中国主导的IODP航次硬岩地层取心统计表<sup>[12-27]</sup>

Table 3 Statistical table of core taking from hard rock strata by China-led IODP voyages

航次	站位	取心段/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	耗时/d	钻进速度/(m·h <sup>-1</sup> )
349	U1431	104.80	46.16	44.1	≈2.9	1.5
	U1433	63.00	30.19	47.9	≈2.1	1.3
	U1434	32.50	2.96	9.1	≈0.6	2.3
367、368/368X	U1500	150.00	114.92	76.6	≈3.7	1.7
	U1502	181.79	128.00	70.4	≈3.2	2.4
	U1503	112.26	47.91	42.7	≈1.7	2.8

RCB钻进取心,该器具采用牙轮钻头作为切削刀具,牙轮的冲击破碎原理易对岩心产生扰动,在回转取心时会使岩心片状化和破碎,造成岩心筒堵塞、岩

心损失等,大块岩屑排出钻孔难度大,易发生卡钻、埋钻等事故。

在硬岩取心钻进方面,为减少孔内钻头失效的风险并确保孔径符合要求,需要定时更换钻头。如在 U1500 站位钻进硬岩,每工作 50 h 更换一次钻头,累计使用 3 只牙轮钻头<sup>[28]</sup>,钻探取心所用时间占 28.8%,更换钻头所用时间占 23.9%,此站位硬岩钻进时间统计见表 4。

### 2.4 取心施工相关事故统计

取心过程中多次造成取心器具故障,严重时引

表 4 U1500 站位钻进的时间分配情况  
Table 4 Drilling time allocation of U1500 station

作业内容	取心段/ m	岩心长 度/m	岩心采取 率/%	耗时/h
准备套管/部署 器具组装/重入				≈96.5 ≈15
更换钻头				≈142
	569.9	190.89	33.5	≈52
取心钻进	47.9	46.39	96.8	≈44
	48.3	35.66	73.8	≈28
钻机维修				≈2
测井				≈28.5
辅助时间				≈187.2
合计	666.1	272.94	40.9	≈595.2

发孔内事故。松散破碎地层易发生塌孔、埋钻、卡钻、缩孔;软硬交互地层造成取心内钻头损坏;因取心器具的可靠性及稳定性问题引发的钻杆接头故障、取心内钻头丢失、绞车的离合器摩擦片失效、绞车轴承故障等,事故及影响统计见表 5。

### 3 钻探取心问题原因分析及探讨

#### 3.1 沉积岩地层取心问题原因分析及探讨

沉积岩由于地层结构存在裂缝、风化严重、岩层松散、固结性差,在进行钻进时其防振性和抗冲击性较差,容易出现污染、振动、冲击、液化等情况,使岩心大量流失,影响采取率。

沉积岩地层结构跨度大,岩性复杂,影响岩心质量因素较多。RCB 取心器具对岩心施加回转力破坏岩心原始结构(图 2a);APC/XCB 取心器具在剪切地层时因地层较软引起岩心边缘呈向上的拱形结构(图 2b 和 2c);沉积岩与岩心筒之间高剪切力使沉积物流动注入裂缝形成虚假的地层(图 2c 和 2d);软硬交互地层岩心边界混合变形(图 2e);沉积岩砂质地层液化、海水侵蚀、钻探船的垂直升降破坏岩心内部结构(图 2f、2g、2h);岩心平躺在甲板上液化发生沉积物颗粒的垂直沉降分层(图 2i);细小破碎地层海水侵蚀破坏岩心原始结构(图 2j)。

APC 取心时,因遇到坚硬地层取心不完全,取

表 5 中国主导的 IODP 航次事故及影响统计表  
Table 5 Statistics of accidents and impacts of China-led IODP voyages

航次	站位	事故内容	事故处理/事故影响	处理事故用时/h	
349	U1431	取心内钻头损坏	钻孔报废		
		卡钻	清孔、扩孔、循环泥浆/高扭矩、不稳定	4	
	U1432	卡钻、地层坍塌	下套管失败、重返系统受损、钻孔报废	362.5	
	U1433	钻杆接头故障	104 根钻杆无法使用	46	
	U1434	卡钻	清孔、扩孔、循环泥浆/高扭矩、不稳定	1.3	
367、368/368X	U1499	取心内钻头损坏、丢失	影响岩心采取效率		
		绞车离合器摩擦片失效	停止取心,维修绞车	24.5	
		卡钻	清孔、扩孔、循环泥浆/结束作业	9	
			重返遇阻	顶驱旋转扩孔、循环泥浆	
	U1500	扩孔器切削结构损坏	扭矩增大、钻进速率减慢		
		绞车离合器摩擦片失效	停止取心,维修绞车	14	
		重返遇阻	提钻处理		
U1501	绞车离合器摩擦片失效	停止取心,维修绞车	13		
U1502		重返遇阻	顶驱旋转扩孔、循环泥浆	3	
		绞车离合器摩擦片失效	停止取心,维修绞车	8.5	

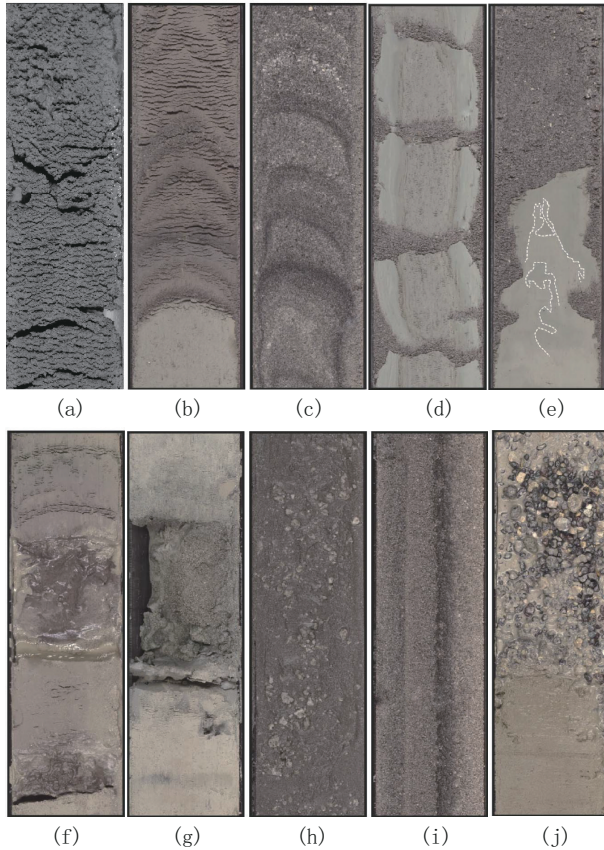
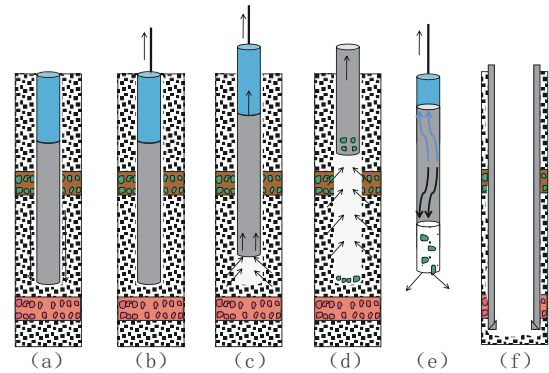
图2 岩心扰动类型<sup>[29]</sup>

Fig.2 Types of core disturbances

心长度未达到9.5 m,此时岩心筒像注射器一样,将岩心向上吸入一段距离(图3),使岩心中未固结的部分分割、液化,还会导致基底流入、地层损失,干扰未取心的地层;连续取心需要在极短的时间内估算出未受干扰的实际长度,但分析岩心需要一定时间,与连续取心冲突,这样下一回次取心将在前一回次取心段的末端,错误计算岩心长度;在无隔水管作业中,沉积物将被作为“岩屑”排出到海底,因此这一段的地层将不会被取心。

装有岩心的岩心筒在运输过程中,会受到多种不同的运动状态干扰岩心,高速绞车在回收岩心筒因加速和减速使砂质岩心液化、片状岩心破碎化,易通过爪簧流出;岩心筒回到甲板时,因岩心筒的倾斜、翻滚、垂直变水平、甲板运输、岩心排水、旋转、沉淀等造成岩心干扰(图4)。

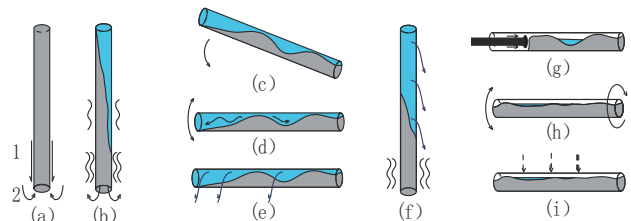
钻探技术的发展对钻探样品提出了更高的要求。不仅要求更高的岩心采取率,还要保证岩心质量和岩心原始结构的稳定。完善工艺和器具无干扰



(a)顶部流入海水;(b)回收岩心筒;(c)岩心位置发生变化,基底流入;(d)沉积岩被吸入岩心筒;(e)垂直应力释放,重力作用使沉积岩回落;(f)加深并孔钻进行作业。

图3 岩心筒部分取心时的取心扰动示意<sup>[29]</sup>

Fig.3 Schematic diagram of the core disturbance in core barrel



(a)基底吸入;(b)岩心流出;(c)垂直变水平;(d)甲板运输;(e)岩心筒排水;(f)岩心液化流动;(g)岩心处理;(h)岩心旋转;(i)岩心静止沉降

图4 岩心在操作运输过程中的取心干扰示意<sup>[29]</sup>

Fig.4 Schematic diagram of the core disturbance during operation and transportation

取心技术,防止取心器具钻进时以及运输过程中发生倾斜、冲蚀、振动、自磨、翻转、旋转、错位、丢失、沉淀等现象。为确保松散、破碎的地层中岩心的质量和钻进安全,除正确选择并使用取心器具和泥浆外,还应注意以下几点:在松散地层使用APC/XCB取心器具时,岩心筒使用全封闭管堵,防止基底吸入;在使用RCB回转器具钻进松散地层取心时应减小泵量、降低转速、控制钻压,保证岩心采取率以及岩心质量;保证取心器具和钻孔的同心度,应具有良好的扶正装置,减少在钻进过程中的扰动;钻进松散、未固结性地层时,必须控制回次进尺,还应控制回次钻进时间,防止因进尺速度慢、进尺时间过长,导致岩心液化变细,难以卡取,影响岩心采取率以及岩心质量;提钻时慎防敲击、撞击岩心筒,在运输过程中

应做到慢提轻放,防止破坏岩心<sup>[30]</sup>。

### 3.2 硬岩地层取心问题分析及探讨

硬岩地层钻进时,由于RCB取心器具的旋转和振动,对岩心有破坏作用,使其难以成柱状顺利进入岩心筒<sup>[31]</sup>;泥浆对破碎岩心的冲蚀,会造成小颗粒损失;破碎地层的岩心承载能力小,随着进入岩心筒岩心长度的增加,摩阻力和岩心自重逐渐增大,使岩心筒堵塞,阻止岩心进入<sup>[32]</sup>。

硬岩地层的岩心质量影响因素主要包括以下几个方面:岩心筒取心不完全时,破碎的岩心之间会有缝隙,细小的碎岩会在重力的作用下进入缝隙中,堆积在岩心筒底部,岩心原始结构改变;岩心在回转力作用下受力状态发生变化,释放的地应力使岩心碎裂,阻碍岩心顺利出筒,原始岩心结构被破坏;取心钻进作业时岩屑排出钻孔难度大,易发生卡钻、埋钻等事故,此时需要提钻作业回收钻具组合,该操作需要泥浆维护孔壁稳定,但此作业过程会产生大扭矩影响钻具组合的疲劳强度,并且在清孔时施加高泵压易造成岩心筒弯曲,同时对岩心结构造成破坏。

中国主导的航次中影响钻进效率的因素:钻压过低,牙轮切削速度缓慢;切削齿的选型与地层不匹配;钻进过程中钻头切削齿磨损失效频繁更换钻头;钻进采用顶驱驱动方式,钻杆暴露于海水之中,过高转速会导致钻杆离心力过大,极易造成钻杆疲劳断裂,引发事故;随着深海钻探过程中孔深的增加,机械钻速较低、作业时间较长,导致施工成本增加;钻具组合重入过程中会遇阻、卡钻、清孔。

综上所述,为提高硬岩中破碎地层岩心采取率,岩心筒可以设计多段全封闭管堵,防止破碎的岩心堆积在岩心筒底部;取心环境恶劣的硬岩地层,缩短取心长度降低取心干扰,提高取心质量;及时使用泥浆冲孔排渣,保持孔底干净,降低事故风险;研制孔底动力中空螺杆取心器具、涡轮驱动取心器具、液动冲击回转取心器具,选择新型PDC与牙轮复合钻头<sup>[33]</sup>,提高钻进效率,还可以采用复合钻进提高钻进效率;研制侧壁取心技术,优化测井技术,改善断层、裂缝岩心采取率低、无岩心信息的问题;研发钻头监测预警技术,提前预知事故风险等措施。

### 3.3 取心施工作业相关问题分析及探讨

#### 3.3.1 孔壁稳定性问题分析及探讨

为了降低钻探取心的风险以及孔内事故的发生,必须要维持孔壁的高效稳定性。“乔迪斯·决心

号”作为三大钻探船之一,采用的是无隔水管的钻探工艺<sup>[34]</sup>,深孔钻探取心时,安装套管维护孔壁。在松散、破碎地层由于海水冲蚀作用易出现钻孔缩径、孔内坍塌,导致卡、埋钻事故;孔壁稳定性也会影响岩心的质量,当孔壁坍塌时,就会出现坠落的岩心结构,改变原始地层结构。

为维护孔壁稳定,需先钻进一个先导孔确定地层结构,以此确定下入套管的深度;采用跟管钻进技术<sup>[35]</sup>,避免传统套管下入中缩径、孔壁坍塌的问题,节约时间和经济成本;采用隔水管技术,优化泥浆的反循环系统<sup>[36]</sup>,降低海水对岩心的侵蚀;在松散、破碎的地层及时泵入泥浆清孔,为下入套管提供稳定孔壁环境;钻进时需做好防止意外发生的准备,并且时刻通过水下监测系统监测泥垫和重入锥状态。

#### 3.3.2 取心器具问题分析及探讨

大洋钻探取心工作环境恶劣,随着钻探取心深度的不断增加,孔内的工作环境愈加复杂,根据上述表4和表5统计,取心过程中取心内钻头、岩心筒损坏丢失,增加了提钻打捞等作业难度;因结构设计问题导致岩心采取率低、岩心质量差、岩心卡堵、岩心采取困难等问题,因此对取心器具提出了更高的质量要求。

首先,提高取心器具的可靠性和稳定性,保证在钻探取心过程中的安全钻进;其次,合理控制岩心筒的投放、打捞、取心等作业环节的辅助时间<sup>[37]</sup>,提高钻探取心的效率;最后,对取心器具的结构性能以及目前所遇到的问题进行优化改进:优化岩心的卡取机构;针对岩心卡堵问题,创新研发新的结构,解决卡堵难题;保证岩心筒的稳定性,避免岩心扰动造成岩心破碎、卡堵的问题;针对不同的地层剖面结构,研制特定取心器具以及配套的钻头和工艺,提高钻进效率<sup>[38]</sup>;优化升降补偿系统,降低取心干扰;研发电动钻杆割刀,在发生卡埋钻事故时可以快速处理,避免钻探船无法移动造成的后续问题。

## 4 结论

本文根据中国主导的IODP航次,分别从沉积岩和硬岩两个方面存在的取心问题进行了分类分析探讨,并提出了优化建议,具体如下:

影响沉积岩地层岩心采取率和岩心质量的因素:地层因素包括裂缝、风化、松散、固结性差;取心器具因素包括APC/XCB取心器具岩心筒的高剪切

力,RCB取心器具的回转力;外界因素包括沉积岩夹层间流动、泥浆海水侵蚀污染、液化、钻探船垂直升降扰动,运输处理过程中岩心筒倾斜、冲蚀、振动、自磨、翻转、旋转、错位、丢失、沉淀。

影响硬岩地层岩心采取率、岩心质量和钻进效率的因素:地层因素包括破碎、脆性、裂缝;取心器具因素包括RCB取心器具旋转和振动对岩心的破坏阻碍岩心进入岩心筒,牙轮齿形不匹配磨损严重导致更换钻头;外界因素包括细小碎岩堆积在岩心筒底部破坏原始岩心结构,岩心筒堵塞阻碍岩心出筒,卡钻埋钻高泵压清孔对岩心冲蚀,泥浆冲蚀造成颗粒损失,钻压低,顶驱钻进钻杆暴露于海水之中,高转速会导致离心力过大造成钻杆疲劳断裂,随深度的增加机械钻速低作业时间长,孔内事故频发。

关于提高钻效、取心质量和减少事故方面,建议完善现有工艺并研究新装备新技术新工艺:研制无干扰取心器具;优化取心器具和岩心筒结构;研制井下动力器具;研发PDC和牙轮一体式复合钻头以提高切削钻头的适应范围;研发侧壁取心技术,优化测井技术,采用隔水管技术和进一步提高升沉补偿系统性能等。

中国主导的IODP航次存在的取心问题,也是整个IODP取心的一个缩影,我国万米钻探船即将入列,不久将全面开启我国大洋钻探新阶段,分析取心存在的问题并针对性地进行持续性优化改进,才会使大洋钻探技术越来越完善,效率越来越高。

### 参考文献(References):

- [1] 汪品先, 翦知潜. 探索南海深部的回顾与展望[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(10): 1590-1606.  
WANG Pinxian, JIAN Zhimin. Exploring the deep South China Sea: Retrospects and prospects[J]. Scientia Sinica Terrae, 2019, 62: 1473-1488.
- [2] 汪品先. 大洋钻探五十年: 回顾与前瞻[J]. 科学通报, 2018, 63(36): 3868-3876.  
WANG Pinxian. Fifty years of scientific ocean drilling: Review and prospect[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(36): 3868-3876.
- [3] 汪品先. 我国参加大洋钻探的近十年回顾与展望[J]. 地球科学进展, 2014, 29(3): 322-326.  
WANG Pinxian. China's participation in the ocean drilling program: Decade retrospect and future prospect[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(3): 322-326.
- [4] 汪品先. 大洋钻探与中国的海洋地质[J]. 海洋地质与第四纪质, 2019, 39(1): 7-14.  
WANG Pinxian. Ocean drilling and marine geology in China[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2019, 39(1): 7-14.
- [5] 拓守廷, 温廷宇, 张钊, 等. 大洋钻探计划运行的国际经验及对我国的启示[J]. 地球科学进展, 2021, 36(6): 632-642.  
TUO Shouting, WEN Tingyu, ZHANG Zhao, et al. The experience of scientific ocean drilling operation and its enlightenment to China[J]. Advances in Earth Science, 2021, 36(6): 632-642.
- [6] 海洋科学和技术综合专题组. 2020年中国海洋科学和技术发展研究[C]. 2020年中国科学和技术发展研究(上), 2004: 737-761.  
The Comprehensive Task Force of Marine Science and Technology. Research on China's marine science and technology development in 2020[C]. Research on China's Scientific and Technological Development in 2020-Scientists Symposium, 2004: 726-750.
- [7] 孙枢. 10年来中国IODP专家委员会工作简要回顾[J]. 地球科学进展, 2014, 29(3): 317-321.  
SUN Shu. A brief review of the ten years' work of IODP-China scientific committee[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(3): 317-321.
- [8] 李春峰, 宋晓晓. 国际大洋发现计划IODP349航次[J]. 上海国土资源, 2014, 35(2): 43-48.  
LI Chunfeng, SONG Xiaoxiao. International Ocean Discovery Program (IODP) expedition 349[J]. Shanghai Land & Resources, 2014, 35(2): 43-48.
- [9] 孙珍, 林间, 汪品先, 等. 国际大洋发现计划IODP367/368/368X航次推动南海国际化海洋科考成果[J]. 热带海洋学报, 2020, 39(6): 18-29.  
SUN Zhen, LIN Jian, WANG Pinxian, et al. International collaboration of ocean exploration in the South China Sea enhanced by International Ocean Discovery Program expeditions 367/368/368X[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2020, 39(6): 18-29.
- [10] 叶建良, 张伟, 谢文卫. 我国实施大洋钻探工程的初步设想[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 1-8.  
YE Jianliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary thoughts on implementation of the ocean drilling project in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2): 1-8.
- [11] 董刚, 龚建明, 苏新. 海洋天然气水合物钻探取心工艺[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(3): 48-51, 69.  
DONG Gang, GONG Jianming, SU Xin. Coring technology for marine gas hydrate[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(3): 48-51, 69.
- [12] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.101.2018>.
- [13] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.102.2018>.
- [14] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.103.2018>.
- [15] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org

- [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.104.2018>.
- [16] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.105.2018>.
- [17] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.106.2018>.
- [18] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.107.2018>.
- [19] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.108.2018>.
- [20] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.367368.109.2018>.
- [21] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.368X.101.2020>.
- [22] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.368X.102.2020>.
- [23] Sun Z., Jian Z., Stock J.M., et al. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 367/368 publications.iodp.org [EB/OL]. <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.368X.103.2020>.
- [24] Li C.F., Lin J., Kulhanek D.K., et al. 2015 Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 349 publications.iodp.org [EB/OL]. doi:10.14379/iodp.proc.349.101.2015.
- [25] Li C.F., Lin J., Kulhanek D.K., et al. 2015 Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 349 publications.iodp.org [EB/OL]. doi:10.14379/iodp.proc.349.102.2015.
- [26] Li C.F., Lin J., Kulhanek D.K., et al. 2015 Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 349 publications.iodp.org [EB/OL]. doi:10.14379/iodp.proc.349.103.2015.
- [27] Li C.F., Lin J., Kulhanek D.K., et al. 2015 Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 349 publications.iodp.org [EB/OL]. doi:10.14379/iodp.proc.349.104.2015.
- [28] 刘协鲁,陈云龙,阮海龙,等.海底硬岩钻探的现状与前景分析[J].钻探工程,2022,49(1):72-78.  
LIU Xielu, CHEN Yunlong, RUAN Hailong, et al. Status and prospect of subsea hard rock drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(1):72-78.
- [29] Martin Jutzeler, James D. L. White, Peter J. Talling, et al. Coring disturbances in IODP piston cores with implications for offshore record of volcanic events and the Missoula megafloods[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2014, 15(9):3572-3590.
- [30] 程红文,朱恒银,王强,等.松软、松散及易溶地层钻进取心技术[J].安徽地质,2022,32(1):48-52.  
CHENG Hongwen, ZHU Hengyin, WANG Qiang, et al. Technology of drilling and coring in soft, loose and soluble formations [J]. Geology of Anhui, 2022, 32(1):48-52.
- [31] 段绪林,卓云,郝世东,等.对破碎地层取心预防磨心的认识与建议[J].钻采工艺,2019,42(1):99-100.  
DUAN Xulin, ZHUO Yun, HAO Shidong, et al. Understanding and suggestions on preventing coring from fractured stratum [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(1):99-100.
- [32] 王稳石,张恒春,闫家.科学超深井硬岩取心关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):9-12.  
WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, YAN Jia. Key technology of coring in hard rocks for scientific ultra-deep drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1):9-12.
- [33] 赵明,邵玉涛,宋刚,等.215.9 mm四牙轮取心钻头设计与应用[J].钻探工程,2022,49(1):41-48.  
ZHAO Ming, SHAO Yutao, SONG Gang, et al. Design and application of  $\varnothing 215.9$  mm four-cone coring bit [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(1):41-48.
- [34] 赵义,蔡家品,阮海龙,等.大洋科学钻探船综述[J].地质装备,2019,20(3):11-14.  
ZHAO Yi, CAI Jiapin, RUAN Hailong, et al. Summary of ocean scientific drilling ship [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019, 20(3):11-14.
- [35] 宋刚,崔淑英,谢文卫,等.钻孔重入与跟管钻进技术研究与应用[J].海洋地质前沿,2022,38(7):75-85.  
SONG Gang, CUI Shuying, XIE Wenwei, et al. Research and application of reentry cone and drilling-in casing [J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7):75-85.
- [36] 熊亮,谢文卫,于彦江,等.大洋钻探随钻扩孔下套管关键技术[J].海洋地质前沿,2021,37(3):74-80.  
XIONG Liang, XIE Wenwei, YU Yanjiang, et al. Key technology of drilling casing in ocean drilling [J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(3):74-80.
- [37] 李鑫淼,李宽,孙建华,等.国内外绳索取心钻具研发应用概况及特深孔钻进问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):15-23,39.  
LI Xinmiao, LI Kuan, SUN Jianhua, et al. Development and application of wireline coring tool and diagnosis of ultra-deep hole drilling problems [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):15-23,39.
- [38] 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.

(编辑 王文)