

# 西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示

陈师逊, 翟育峰, 王鲁朝, 仲崇龙  
(山东省地矿局第三地质大队, 山东 烟台 264003)

**摘要:**通过对西藏罗布莎科学钻探施工过程中遇到的技术问题进行分析, 阐明深孔钻探施工中经常遇到或需要深入思考的技术问题, 总结并提出了对复杂地层施工的经验 and 解决思路。

**关键词:**科学钻探; 深部钻探; 绳索取心; 压力平衡钻进; 孔内事故; 钻探设备; 封孔; 罗布莎

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2012)11-0001-03

**Enlightenment to Deep Drilling Technology from Scientific Drilling in Luobusha of Tibet/CHEN Shi-xun, ZHAI Yu-feng, WANG Lu-zhao, ZHONG Chong-long** (The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China)

**Abstract:** By the analysis on the technical problems encountered in the scientific drilling construction in Luobusha of Tibet, the paper elucidates the technical problems that are often encountered in deep drilling construction and need to be carefully considered; summed up the construction experience in complex formations and the countermeasures.

**Key words:** scientific drilling; deep drilling; wire-line coring; pressure balanced drilling; downhole accident; drilling equipment; hole sealing; Luobusha

## 0 引言

西藏罗布莎科学钻孔是“大陆科学钻探选址与科学钻探实验”项目中施工难度最大的钻孔。隶属于国家重大科技专项“深部探测技术与实验研究”。该项目于 2009 年 6 月开始施工, 2012 年 9 月结束, 共施工 2 个钻孔, 终孔孔深分别为 1477.80 和 1883.79 m, 该孔深虽然在内地不算最深的, 但在青藏高原上被称为“第一深孔”。该科学钻探项目的施工和提供的实物资料为揭示印度板块和亚洲板块碰撞边界和过程、研究雅鲁藏布江蛇绿岩带的形成与侵位机制, 进而为铬铁矿找矿突破前景提出重要理论依据, 为开展西藏雅鲁藏布江缝合带中超镁铁岩体的深井钻探 (>5000 m) 和资源评价奠定基础。

该科学钻探项目的施工对深部钻探技术带来许多启示, 作为施工单位, 我们有以下几点认识。

## 1 绳索取心钻杆的强度( 扭矩和丝扣拉力) 潜力大

国内推广小口径钻探以来, 虽然在地质岩心钻探规程中列出了最小公称口径为 30 mm, 还有 38、48 mm 等小口径系列, 但在实际生产中很难遇到。这主要是由于没有与之相匹配的高强度钻杆, 特别是绳索取心钻进, 口径越小, 钻杆直径要相应减小, 强度也会降低。可以想象一下, 如果设计一种与 30

mm 口径配套的绳索钻杆, 钻进能力很难超过 50 m。在以往的地质勘探中, 由于探矿深度较浅( 一般孔深 < 1000 m), 最常用的是 56 mm 口径( 老规范)。随着新时期国内深部探矿战略的实施, 设计钻孔深度逐步加深, 国内 56 mm 口径的绳索取心钻杆强度已经不能适应孔深要求, 钻孔终孔口径逐步被 75 mm(NQ) 口径替代, 同时采取各种手段和措施提高钻杆强度。目前国内最高 NQ 绳索取心钻杆设计强度可以满足 3000 m 孔深需要。

在罗布莎科学钻探项目施工中, 采用 NQ 绳索取心钻进至 1533.92 m, 由于地层严重破碎、坍塌, 无法继续钻进, 采用了许多技术措施也没有很好的效果。经研究采用了把 NQ 钻杆下入作为套管使用, 用 56 mm 孔径绳索取心继续钻进, 本来是一种探索性的试验, 如果钻杆扭矩达不到, 还可以考虑采用阶梯钻杆等措施, 结果一直钻进至 1853.79 m 终孔, 这在以往是不可想象的, 这说明我们对钻杆强度的理解过于保守。我们在“中国岩金第一深钻”施工中, 用设计钻深强度 3000 m 的 NQ 钻杆施工至 3300 m, 也远远超出设计孔深。

当然, 钻杆承受的扭矩和拉力不仅是由孔深决定的, 孔内阻力、钻进参数等都是影响扭矩和拉力的主要因素。在实际施工过程中, 一定要因地制宜, 不

收稿日期: 2012-11-10

基金项目: 国家重大科技专项“深部探测技术与实验研究”之“大陆科学钻探选址与科学钻探实验”

作者简介: 陈师逊( 1965-) 男( 汉族), 山东博兴人, 山东省地矿局第三地质大队副总工程师、研究员, 探矿工程专业, 博士, 从事地质岩心深孔钻探技术研究和管理工作, 山东省烟台市莱山区捷爱斯路 10 号, chshixun@126.com。

能盲目超过钻杆强度能力钻进,要充分考虑钻孔内的状况,尽量减小钻进参数,以免造成断钻杆事故的发生。

## 2 加大环状间隙,实现绳索取心压力平衡钻进

压力平衡钻进技术是由石油钻井引进到岩心钻进中来的。主要技术原理是控制环状间隙内的冲洗液压力(环空外压力),使之等于或接近于地层压力,并保证在任何情况下,都小于地层的破裂压力,达到保持孔壁稳定,防止环空压力过大造成冲洗液漏失,压垮孔壁,或环空压力过小造成孔壁垮塌。环空外压力的大小和变化与环状间隙有密切关系。绳索取心钻进方法的主要特点是内管从钻杆内投放和打捞,内管外径比较大,导致环状间隙太小,容易造成环空压力的剧烈变化,实现压力平衡钻进相对较难,对一些软弱、漏失地层,采用绳索取心钻进容易出现泵压较高、压漏、孔壁坍塌等,甚至造成孔内事故,所以在深孔绳索取心钻进中一定要注意加大钻头的使用。钻头加大会增加钻头的底唇面积,影响钻进效率,因此钻头是否加大,加大多少尺寸还要根据地层情况决定。

罗布莎科学钻深 LSD-02 孔施工中,在 967.50~1469.17 m 孔段采用 S75 绳索取心钻杆配  $\varnothing 95$  mm 钻头的钻进方法收到了良好效果。下入  $\varnothing 108$  mm 套管之后,换 S95 绳索取心钻进,采用无固相冲洗液,有些粗颗粒岩粉携带不上来,出现泵压高、漏失、孔壁不稳、坍塌。原计划用  $\varnothing 95$  mm 口径钻进至 1400 m 后下入  $\varnothing 89$  mm 套管。当钻进到 967.50 m 时由于孔内沉渣太多,泵压很高,孔壁被压裂,漏水,几次封孔也没有效果,已经很难继续施工下去。针对地层较软的状况,设计了一种边钻进边扩孔的钻进工艺方法,即用 S75 绳索取心钻进工艺的同时,在钻头外部连接一个 S95 钻头用来扩孔。加工的扩径钻头如图 1 所示。这样就相当于增大了环状间隙,既实现了绳索取心,又有利于实现压力平衡钻进,同时把冲洗液换成更有利于保护孔壁和携带岩粉的 LBM 低固相泥浆。用此工艺钻进至 1469.71 m,没有出现任何问题,钻进效率高,效果很好。

要实现压力平衡钻进,光靠增大环状间隙还是不够的,还要控制泵量、控制提下钻速度等一些措施。

## 3 事故是影响深孔钻探效率的主要因素

钻探生产中有句俗语“不怕慢,就怕站”,特别



图1 现场加工的特殊钻头

是对深孔钻探,一旦没有进尺,就很可能意味着孔内有事故或孔内不正常,处理孔内事故和状况有的较为简单,但遇到孔壁不稳定状况时就很麻烦,如果措施不当,往往会使孔内越来越复杂,造成更大事故甚至报废。深孔钻进施工周期长,钻遇的地层类型多,孔内事故是难免的,也因投入较大不能轻易报废,因此事故的次数和处理方法成为影响深孔钻探效率的主要因素。

罗布莎矿区主要代表岩石是蛇纹石化橄榄岩,可钻性 5 级左右,属较软岩石,这类岩石对金刚石钻进来说非常容易,进尺很快,但施工效率却很低,主要原因是孔壁不稳定和孔内坍塌物太多造成无法连续钻进,事故率太高的原因,加之封孔待凝透孔等时间,LSD-2 号孔不能正常钻进的时间达 511 天,占总时间的 70%。表 1 列出了 LSD-2 号孔主要事故和处理所占用的时间。

表1 LSD-2 号孔主要事故和处理所占用的时间统计

序号	孔深 /m	生产状况	处理时间/h
1	195.64	孔内阻力大,断钻杆,孔底沉渣多,捞渣封孔	304
2	197.21	孔壁坍塌,埋钻扫孔阻力大	112
3	750.52	孔壁坍塌,多次封孔无法穿过,偏出重复钻进	1056
4	967.50	孔壁坍塌,泵压很高,钻具折断,封孔无效	480
5	1469.17	塌孔,断钻杆,找不到事故头,偏出重复钻进	1512
6	1533.92	塌孔,钻孔越打越浅封孔无效,换径	1968

我队其他深孔的施工也证明了这一点,一小孔段的破碎(不稳定)地层如果不能快速穿过,发生坍塌,破坏了其原有的结构,越处理越复杂,可能会占用很长时间,使台月效率成倍降低。在处理事故中求稳也是很重要的,不能急于求成。除了常用的一些方法外,磨灭、绕开、扩大等方法虽然速度较慢,但都是较为有效的。对浅孔来说,报废重打甚至比处理还要节约成本,但深孔则不然。因此要做好孔内事故的预防,一旦出现事故要尽快制定有效措施处理。

4 钻探设备应进一步改进,以满足深孔钻探需要

随着中国深孔钻探的逐步发展,钻探设备也迅猛发展起来,以适应深部找矿钻探的需要,如 20 世纪 80 年代我国岩心钻机机型主要为 XY-2、XY-3、XY-4 等立轴钻机,到目前已经发展到 XY-5、XY-6、XY-8 甚至 XY-9 为主,还发展了一大批不同型号的动力头钻机。水泵也从 BW-90 型到目前的 BW-250 甚至 BW-320 型。但在改型换代的过程中,“扩大”的成分较多,体现出的“创新”,“实用”成分不足。也就是说钻探设备技术参数应更合理,以适应深孔钻探生产需要。

立轴钻机的参数主要表现在转速的设置和动力的配备。深孔钻进一般钻孔结构比较复杂,浅部钻进时口径较大,转速无需太高,即可以满足钻头线速度的需要,深部口径小,但由于孔内阻力、钻杆强度等因素已无法实现高转速,因此钻机设计中一味追求高转速是不合理的。深孔钻探中最常用的转速应该在 200~500 r/min,而这一区间内的转速分布又非常不均匀,转速挡位有的只差几转,而有的相邻转速间差距又很大,显然是不符合深孔钻探生产需要的。如某深孔立轴钻机的转速为 81、140、217、225、373、389、605、1037 r/min。

高转速挡位无法使用,动力配备自然可以小一些。

深孔钻探中,随着孔深的增加,冲洗液循环阻力也增大,泵压升高。但在钻杆密封好的条件下,对冲洗液量的要求是不变的。而有些单位在选择水泵时,往往最注重基本参数——最大泵量,而忽视了额定泵压。如常用的 BW-150、BW-250、BW-320 型水泵其额定泵量变化是很大的,额定泵压却变化不大,均为 7 MPa 左右,而且正常的深孔绳索取心钻探泵量达到 40~90 L/min 就可以满足要求(使用孔底动力时会大一些),实际生产中形成了水泵只用最小挡位,泵压升高就损坏水泵的状况,既浪费了资源,又没有起到好的效果。

罗布莎科学钻探施工均采用国产设备,钻机采用 HXY-8 型钻机,基本技术参数配置见表 2,实际动力配置为 75 kW 电动机。

水泵开始采用 BW-160/10 型,随孔深增加,泵压升高,最大至 10MPa,为了安全换用 BW-300/16 型,两种水泵技术参数如表 3。

表 2 HXY-8 型钻机基本技术参数配置

钻进深度/m	1000~3000	
立轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )	正转	95; 175; 250; 363; 264; 487; 695; 1011
	反转	77; 215
钻杆直径/mm	50; 60; 71; 89; 114	
立轴行程/mm	1000	
钻机移动行程/mm	690	
钻机最大起重力/kN	300	
钻机最大加压力/kN	141	
单绳最大提升力/kN	125	
卷筒最大容量/m	120	
钢丝绳规格/mm	Ø21.5	
卷扬机提升速度/(m·s <sup>-1</sup> )	0.663; 1.09; 1.693; 2.90; 1.761; 3.034; 4.713; 8.083	
电动机型号	Y2-280M-4	
电动机功率/kW	90	
电动机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	1480	
柴油机型号	YC6108ZLD(玉柴)	
柴油机功率/kW	134	
柴油机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	1800	
钻机外形尺寸/mm	配电动机: 3905×1692×2603; 配柴油机: 4105×1892×2803	
钻机质量/kg	7900	

表 3 水泵基本技术参数

型号	BW-160/10				BW-300/16				
型式	三缸单作用活塞泵								
泵速/(r·min <sup>-1</sup> )	200	132	83	55	216	171	110	68	37
流量/(L·min <sup>-1</sup> )	160	107	67	44	300	235	155	95	52
输出压力/MPa	2.5	4	6.5	10	4	6	8	13	16
驱动功率/kW	11				30				

5 水泥封孔是软弱地层护壁堵漏的主要技术措施

由于水泥具有货源广、成本低、无毒、使用方便、利于孔内灌注等诸多优点,长期以来就被广泛应用于钻孔护壁堵漏的固结材料。在罗布莎科学钻探施工中,由于几乎全孔段地层软弱、破碎、漏失,多次应用了水泥封孔护壁堵漏技术,在 128~960 m 孔段更是采用每间隔 10~50 m 打一段封一段的策略,起到了很好的效果。但是对于深孔封孔来说,由于水泥浆在钻杆内输送距离长易变性、环状间隙小水泥浆不宜上返、操作时间长水泥浆易初凝、循环压力损失大孔底水泥浆液面难以平衡、计算较复杂等等因素,使深部封孔技术难度很大,稍不注意就会出现封孔孔段不准、水泥强度不够等造成封孔失败。有时还会把封孔钻杆封在钻孔里,拉不上来,造成封孔事故。根据我们多次封孔的体会,深孔封孔时应注意以下几点:

(下转第 9 页)

动,当活塞到达保温保压筒顶部,保样筒及割心机构已经进入到球阀上边,设置在保温保压筒内的控制系统发出指令,球阀关闭,使保样筒处于密封腔室内,起到保温保压的作用。采用钻柱式水合物钻探取心装置可以实现在硬岩层中的连续取样,不受岩层深浅的限制。取心结束利用钻具上提取出心装置,在上提过程中,当保样筒内的压力降低时,压力补偿装置进行补偿压力,使岩心处于接近地层的压力,对岩心进行保温保压。该取心装置不仅具有压力补偿机构,而且在保压保温筒下边设置了温度压力记录仪,真实地反应出岩心在海底的温度压力状况。由于在该装置的保温保压筒的顶部设有悬挂轴承结构,在钻具带动取样钻头旋转时,保温保压筒及保样筒相对不转,有利于岩样收获率的提高。

DRPC 保压取样器的主要参数:

长度: 6 m;

直径: 130 mm;

质量: 550 kg;

岩心长度: 3 m;

岩心直径: 56 mm;

高压腔最大压力: 20 MPa;

钻头外径: 244 mm。

3种工具于2010年10月在胜利油田的浅海区域进行了功能性试验,基本满足了设计要求,但也暴露出许多技术问题,为该工具改进提供依据。试验用钻杆采用特殊设计的 $\varnothing 177.8$  mm套管为管体,连接螺纹为特殊设计与加工,目的是为了便于连接和拆卸。

### 3 结论与建议

(1) 钻探取样技术是解决深水深孔取样的技术

(上接第3页)

(1) 使用较小直径的钻杆,增大环状间隙。一般封孔往往采用钻进时的钻杆作导管,对绳索取心钻杆来说,环状间隙太小。建议采用细管(如 $\varnothing 50$  mm钻杆)作导管,如果没有那么多的细管也可以在下部被封孔段连接一定长度的细管,以减小水泥浆在环状间隙内的流动阻力。

(2) 准确把握各项参数,掌握孔内液柱情况。封孔时水泥浆在导管内是一动态的水泥浆段,一定要根据水泥浆量、导管容积率、替浆水量、水泥浆密度、返水情况等参数,时时把握水泥浆处在什么位置,确保浆液到达预定位置后,再及时提钻。

(3) 严禁带钻头等大直径钻具封孔。

手段,根据海底土层的岩石性质设计不同结构的天然气水合物取样装置,该项技术国外发展较早,相对比较成熟,对国内发展具有可借鉴作用。

(2) 绳索保压取样器和钻柱式保压取样器只有利用钻探船才能施工,但可以获取更深层的岩样,若要进行深海油气的开发是必须要走的路径,所以国家要综合利用各家的资源,采用能源联合开发的策略,既能节约资源,又能获得更多的能源。

(3) 建议在今后的规划中要综合考虑,既要利用前期的研制成果,又要完善和合成所取得的技术,对需要继续研制的课题定要给予支持与帮助,否则却不能发挥先有的技术。

### 参考文献:

- [1] Collett T S. Energy resource potential of natural gas hydrates [J]. AAPG Bull 2002, 86(11): 1971-1992.
- [2] 唐中华, 张元泽, 钟水清, 等. 天然气水合物勘探及H型水合物的储藏特性研究 [J]. 天然气经济, 2004, (2): 33-35.
- [3] Kvenvolden K A. Gas hydrates-geological perspective and global chance [J]. Reviews of Geophysics, 1993, 31(2): 173-187.
- [4] 陈作义, 杨晓西, 叶国文, 等. 天然气水合物概况及最新研究进展 [J]. 海洋通报, 2002, 21(3): 78-85.
- [5] 雷怀彦, 王先彬, 房玄, 等. 天然气水合物研究现状与未来挑战 [J]. 沉积学报, 1999, (6): 493-497.
- [6] 蒋国盛, 等. 天然气水合物的勘探与开发 [M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [7] 吴小建, 荣耀, 殷琨. 海底液动冲击取样器的研究 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(10): 1418-1422.
- [8] 白玉湖, 李清平. 天然气水合物取样技术及装置进展 [J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 116-122.
- [9] 胡海良, 唐海雄, 罗俊丰, 等. 深水天然气水合物钻井及取心技术 [J]. 石油钻采工艺, 2009, (2): 27-30.
- [10] 张永勤, 孙建华, 赵海涛, 等. 天然气水合物保真取样钻具的试验研究 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 62-65.

(4) 水泥搅拌要均匀,灌注前要用筛网过滤。

(5) 灌注前要检查灌注设备,使保持良好工作状态。

### 6 结语

西藏罗布莎矿区地质条件复杂,地层严重破碎,钻孔漏失、坍塌、缩径等诸多困难同时存在,给钻探施工带来了很大的困难,是对钻探技术的极大挑战。我们通过采取一系列技术措施,解决了该项目施工中的许多技术难题,为以后深孔复杂地层钻探施工积累了一定经验,也得到很多启发,希望能为我们今后的深部钻探提供参考。