

“双孔方案”在沧州盐矿深部取心钻探的应用

景龙, 李伟, 崔国树
(河北省地矿局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000)

摘要:在沧州深部盐矿普查项目中,施工完成的ZK002孔,500~3290 m孔段进行取心工作。钻探过程中,设计了深、浅“双孔方案”,分别采用地质和石油钻探设备,将常规岩心钻探技术与钻井取心技术组合,实现了两类设备、不同取心工艺之间的优势互补,最终降低了施工风险、确保了钻孔质量、节约了施工成本、缩短了工期。

关键词:深部钻探;取心技术;盐矿普查

中图分类号:P634 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2017)11-0016-05

Application of Double-hole Design in Deep Coring Drilling in Cangzhou Salt Mine/JING Long, LI Wei, CUI Guo-shu
(Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources No. 4 Hydrological Engineering Geology Team, Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: In Cangzhou deep salt mine survey project, coring in 500~3290m section of the completed ZK002 was carried out. Deep and shallow double-hole was designed and geological and petroleum drilling equipments were used respectively. The conventional core drilling technology and drilling coring technology were combined to realize the complementary advantages of 2 types of equipment and different coring processes, the construction risk reducing, drilling quality ensuring, construction cost saving and construction period shortening.

Key words: deep drilling; coring technology; salt mine survey

沧州深部盐矿普查工作始于2012年。截止2016年底,已先后施工完成CY-1孔、ZK001孔、ZK002孔3个勘探孔,钻孔深度均达到深及特深孔级别^[1]。以沧州盐矿普查钻探工程为依托,我队开展了沧州深部钻探、大口径盐矿取心钻进技术研究,通过对已完钻孔的施工总结研究,指导后期取心工作。特别在2016年指导施工完成ZK002孔钻探取心工作,采用了“双孔方案”,将常规岩心钻探技术与大口径钻井取心技术组合应用,最终钻探深度3290.12 m,应用效果良好。

1 组合取心技术方案

1.1 钻遇问题分析

以往完成了CY-1孔,孔深3000 m,取心段1650~3000 m;ZK001孔,孔深3451 m,取心段2300~3451 m。2016年计划施工ZK002孔,设计500 m至终孔全部取心。这种超3000 m全孔段的钻探取心工作,在工区内尚属首例,据以往经验,钻进中将遇到如下问题。

(1)地质条件复杂。工区是典型的新生界沉积

盆地,勘探目的层为古近系沙河街组。区内连续沉积了新生代各组地层,包括第四系、新近系的明化镇组和馆陶组、古近系东营组和沙河街组(甚至钻达孔店组)等,不同时代成岩性的差异很大,缩径、坍塌、漏失、溶蚀将是施工面临的主要问题。在单孔内完成500 m至终孔的全部取心工作,即要克服上述所有的施工问题,风险大大增加。

(2)钻孔结构设计困难。重视钻孔结构设计,是保证安全高效施工的关键^[2]。按照常规技术思路,浅部为非稳定地层,不同特性的地层需要套管层层护壁,每下一层套管孔径即要小一级,终孔要求矿层取心直径达到90 mm以上,如此计算,开孔直径需要很大,需要不断地取心再扩孔、下套管,如此施工难度倍增。

(3)工期难以保证。全孔段的深部钻探取心,施工速度慢,2016年内很难完工。

(4)资金难于确保。由于地质条件、工期、施工难度等综合因素的影响,按照CY-1孔、ZK001孔的全孔段大口径钻井取心方法施工,勘探经费明显不足。

1.2 技术方案

收稿日期:2017-02-21;修回日期:2017-10-08

基金项目:沧州市科技局项目“沧州深部钻探技术研究”(编号:151305001);河北省地矿局科技项目“沧州深部大口径盐矿钻进技术研究”(编号:454-0601-YBN-MU6P)

作者简介:景龙,男,汉族,1978年生,探矿工程专业,从事钻探及钻井技术和管理工,河北省沧州市新华区蔡御街,jing_longd@163.com。

1.2.1 取心方式选择

借鉴目前类似工程,获取岩心的方式可采用绳索取心及提钻取心。分析了河南盐矿绳索取心方法^[3-4]发现,其取心直径无法满足我们目的层岩心直径要求。大口径绳索取心的应用在铀矿深钻、科钻一井等^[5-7]工程均有应用,多数均是成岩性较好的地层,地层固结、孔壁稳定。与工区地层相近的大口径绳索取心方法,在河北赵县地热井施工中有所应用,然进尺短、打捞频繁,影响施工效率^[8]。即使下部成岩段使用绳索取心方式,上部的松散半胶结层仍需下套管护壁,会提高护壁成本;购置满足岩心直径要求的大口径绳索取心钻具,其强度及钻机的提升能力都是问题,且钻具价值不菲。综合比较,采用绳索取心的方式不可行,因此选用提钻取心。该方法在石油天然气钻井取心、盐矿取心中广泛应用^[9-13],且在CY-1孔^[14]、ZK001孔取心施工中已成熟应用。

1.2.2 组合取心技术选择

确定了提钻取心方式,即要考虑在此方式前提下提高施工效率的问题。参考科钻施工案例^[6,15-17],我们也设计采用了双孔方案。双孔方案即由2台钻机同时施工,共同完成ZK002孔取心工作,在浅部500~2000 m取心由常规岩心钻机完成,该段施工非目的层,对岩心直径无特殊要求,取心直径可适当减小,常规岩心钻机即可完成。2000 m至终孔为近目的层孔段,因岩心直径的特殊要求,需使钻孔口径增加、孔深增加,采用大功率石油钻机完成。因此ZK002孔设计成ZK002-1主孔(深部)和ZK002-2副孔(浅部),深、浅钻孔间距59 m,在同一场地同时施工,将大口径钻井取心与常规小口径钻探取心技术进行组合应用,完成取心任务。双孔孔身结构见图1。

1.3 可行性分析

综合分析,采用双孔取心方案可降低单孔长段取心所遇的地质风险,简化钻孔结构,以确保工期,

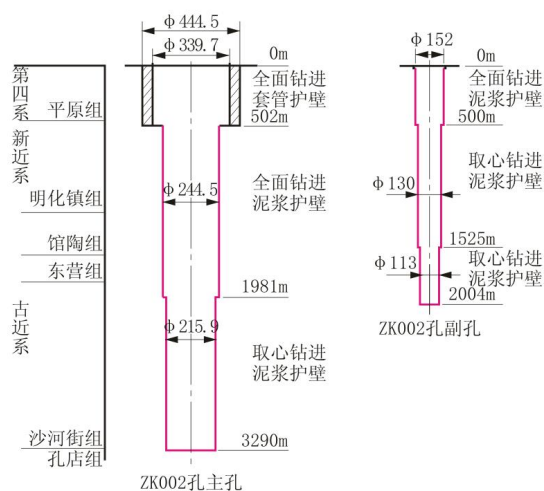


图1 ZK002孔孔身结构示意图

降低成本,切实可行。

(1)双孔方案完全满足目的层内岩心直径(> 90 mm)的要求。

(2)浅部2000 m以浅采用常规小口径取心钻进,比采用大功率石油设备钻井取心可明显节约成本^[16]。

(3)深、浅2孔同时施工,施工速度明显提高,可确保工期。

(4)取心段不同,选用设备不同,最大限度地发挥了设备优势。

(5)施工安全得到了保证。风险较高的主孔,取心段缩短,2000 m以浅段采用全面钻井工艺,快速穿过松散层,其成孔质量可靠,能够为下部目的层取心创造优良的钻孔条件。将上、下孔段分开,主孔可以借鉴CY-1孔、ZK001孔以及石油钻井取心的施工经验,副孔取心可借鉴以往工区内2000 m以浅的地质取心经验,相对施工风险大幅降低。

2 施工工艺

2.1 施工机具

主要施工设备型号及参数见表1。

表1 钻探取心机具

孔号	施工机具		取心孔段/m		孔段/m	岩心直径/mm
	施工设备	钻具组合	设计	实际		
ZK002-1	钻机:RT30/1700; 泥浆泵:3NB-1300、F-500	Ø180 mm 双节单动双管 + Ø165 mm 钻铤 + Ø114 mm 钻杆	2000 ~ 3000	1981 ~ 3290	1981 ~ 3290	92 ~ 100
ZK002-2	钻机:THJ-2000; 泥浆泵:NBB-260/7	Ø108、89 mm 单管 + Ø83 mm 加重杆 + Ø68 mm 加重杆 + Ø60 mm 钻杆	500 ~ 2000	500 ~ 2004	500 ~ 1525	90

注:ZK002-1孔选择庆申-98-II型取心筒,为单动双管结构,岩心筒外筒Ø180 mm × 144 mm × 18 mm(外径 × 内径 × 壁厚),内筒Ø127 mm × 112 mm × 7.5 mm,单节筒9 m左右。

2.2 施工关键技术概述

2.2.1 主孔施工

2.2.1.1 长筒取心

采用双节筒取心,力求提高回次进尺。经统计,主孔取心段内进尺达到16 m以上的为56个回次,达到8~16 m的23个回次,8 m以下仅13个回次(多数为机械故障),满管取心占绝对优势,一定程度上提高了施工效率,且岩心呈完整柱面,主孔岩心见图2,实测岩心直径为95~98 mm。



盐矿层段



非矿层段

图2 主孔岩心

2.2.1.2 钻头优选

合理选择钻头类型,以适应不同的地质层段。经过几年来在沧州深部钻探施工经验总结,将工区内揭露的地层划分为若干层段单元,适应不同层段^[18],定型了薄片硬质合金、大小齿PDC复合片等4种类型的钻头,根据每个回次取心钻速、钻头切削刃磨损情况及时进行钻头选型。

2.2.1.3 充分发挥泥浆护壁作用

主孔从开孔的松散层逐步钻穿至微胶结、半胶结、胶结性砂泥岩、钙质泥岩、石膏泥岩、石膏盐岩等地层,各段地层不稳定因素不同。我们采用了四段式的泥浆体系^[19-20],最终确保了长裸眼段孔壁的稳定,各段性能见表2主孔分段泥浆性能一览表,同时按照钻井工艺常规技术要求,采用振动筛、除砂器、离心机三级固控,确保泥浆性能稳定。

2.2.1.4 钻进参数优化

由于钻遇地层各段成岩特征具有较大区别,表现在钻进特性上的不同。经在典型孔段内反复试验调整,最终确定了最优钻进规程,主孔取心钻进参数详见表3。

2.2.1.5 动力改造

为降低施工成本,将用于主孔施工的石油钻机进行动力改造,原出厂配套的2台1000 kW 195柴油机动力,改造成由2台355 kW电动机并车的动力输入

表2 主孔分段泥浆性能

编号	孔段/m	钻进方法	泥浆类型	泥浆性能				
				粘度/s	密度/(g·cm ⁻³)	失水量/[mL·(30 min) ⁻¹]	含砂量/%	pH值
I	0~502	全面钻进套管护壁	细分散泥浆	30~35	1.20~1.29		<3	8
II	502~1981	全面钻进泥浆护壁	聚合物泥浆	33~45	1.20~1.25	8~12	<1	8~9
III	1981~2722	取心钻进泥浆护壁	粗分散盐水泥浆	45~62	1.28~1.35	5~9	<0.5	9~11
IV	2722~3290	取心钻进泥浆护壁	粗分散欠饱和盐水泥浆	48~55	1.32~1.36	4~7	<0.5	9~10

表3 主孔取心钻进参数

钻进孔段/m	岩性	钻头类型	钻压/kN	转数/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	平均钻速/(m·h ⁻¹)
1981~2442	泥岩、钙质泥岩为主	硬质合金	30~40	52	1680	1.07
2442~2871	钙质泥岩、石膏盐岩为主	硬质合金、复合片	40~60	43~52	1680	0.71
2871~3290	石膏盐岩为主	复合片	60~80	52	1380~1680	0.47

注:本表只统计取心钻进孔段,以沙河街组地层为主;钻头外径为215.9 mm(8 1/2 in),内径101 mm;平均钻速=该孔段内钻进长度m/纯钻时间h。

方式,同时保留一台柴油机动力备用。通过施工检验,这种改造可以满足深部钻井取心期间小泵量、低钻压、低转速的运转工况。动力改造后,大幅降低了设备的动力费用。参考CY-1孔施工期间柴油动

力耗油量,折合2016年柴油价格,同样钻机月均电动力费用仅是柴油机动力费用的36%。

2.2.2 副孔施工

2.2.2.1 孔斜控制

副孔施工虽然也是采用钻铤加压的方式,但由于整体加重钻具细,其刚度远不及主孔钻具,因此孔斜控制是难题。通过钻进过程测斜检测,顶角偏斜较大的孔段往往发生在塑性较强的层段内,例如钻进至 1350 ~ 1370 m 段时,顶角由 8.5° 突增至 12.0°,该处正处于进尺极慢的大段泥岩层内。最终导致该孔在钻进至 1069、1508 m 时进行了纠斜。塑性层段现场主要以增加钻具刚度、控制钻压为主,增加 Ø105 mm 钻铤,控制钻压上限不超钻铤悬量的 70%,同时加长岩心管,利用粗径钻具的导正作用确保钻孔垂直度。

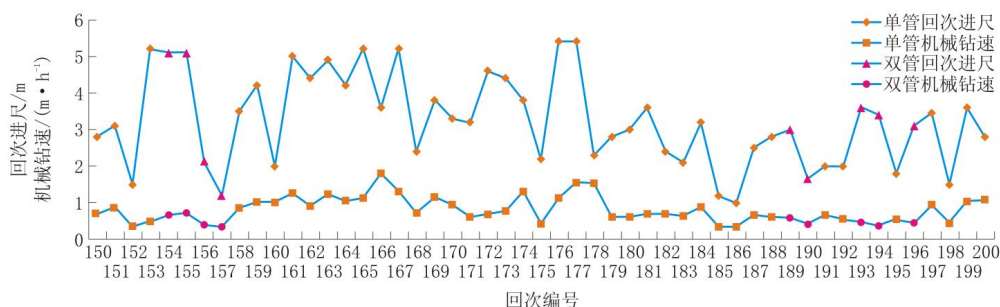
2.2.2.2 水敏性泥岩段取心质量控制

工区 1800 m 以浅地层(明化镇组和馆陶组)成岩性差,富含大段水敏性地层,其钻进特性是钻速低、孔壁坍塌,取心质量差。分析认为,因采用单管取心钻具,在钻速较低时,单回次钻进时间的增长加剧了泥浆对岩心的冲蚀,加之成岩性较差,导致岩心

表面冲蚀呈沟槽,严重时不成柱状,而钻速较快的回次不存在此现象。改进措施主要是以取出的岩心质量为标准,严格控制回次纯钻时间。通过在 750 ~ 1659 m 不同深度钻进试验,一般回次纯钻时间控制在 2 ~ 3 h 时即可保证岩心质量。以纯钻时间来控制回次进尺,使取心质量得到了提高。而非水敏性孔段,进尺放宽。

2.2.2.3 单、双管钻具的应用

在单管取心质量较差的孔段,参考类似案例^[21],试验性地应用了单动双管钻具。对比 1195 ~ 1361 m (对应 150 ~ 200 回次)段内单、双管钻具取心情况,单、双管取心效率对比见图 3,可见单动双管钻具取心钻进机械钻速普遍较低。在该段内统计单管取心 42 个回次,平均采取率 95%,双管取心 9 个回次,平均采取率 94%,取心质量相近,因此浅孔内未普遍采用。双管钻进取心方法还有待以后进一步完善并研究试用。



注:单动双管取心分别是 154、155、156、157、189、190、193、194、196 回次,累计 9 个,其余为单管取心。

图 3 单、双管取心效率对比图

2.2.2.4 泥浆固控

钻进中地层造浆严重,泥浆质量的控制很关键,机台虽配备了振动筛、除砂器,但在局部孔段钻进期间,泥浆密度仍居高不下。现场采用定期排浆的方法,力求降低泥浆固相,以提高钻进效率。施工期间一般泥浆性能控制范围:马氏漏斗粘度 35 ~ 40 s、密度 1.10 ~ 1.25 g/cm³、失水量 10 ~ 15 mL/30 min,该性能范围基本可满足正常钻进效率。施工时重点关注密度指标,在现有固控措施下,密度超限时,即考虑排浆措施。

2.3 取心技术对比

通过 ZK002 孔深、浅孔段钻探实践,对两类工艺效果进行对比。以 2012 年 CY - 1 孔所用的钻井取心工艺与 2016 年 ZK002 - 2 孔常规岩心钻探取心工艺进行比较,同样钻进 1650 ~ 2000 m 段,两类方法施工效率、质量效果数据见表 4。就本工程而言,对比两类工艺,取心效率相近。岩心钻机与石油钻机相比,施工成本明显降低,因此 2000 m 以浅采用常规岩心钻探取心工艺是合理的。

以 ZK002 孔施工期间所获得的施工数据,对比两类钻机所代表的两种取心方法优劣势,见表 5。

表 4 取心效果对比

孔号	取心段/m	地 层	回次取心		岩心采取		施工历时/d	取 心 方 法
			单次进尺/m	回次数	岩心直径/mm	采取率/%		
CY - 1	1650 ~ 2001	新近系、古近系	2.5 ~ 17.3	30	90 ~ 95	86	41	石油钻机、双管提钻取心
ZK002 - 2	1650 ~ 2004	新近系、古近系	2.5 ~ 7.7	69	70	98	43	岩心钻机、单管提钻取心

表5 取心方法优劣势对比

钻探方法	完成工作量	优	势	劣	势
钻井取心工艺 (RT30/1700 钻机)	全面钻进 1981 m, 取心钻进 1309 m, 取心段 1981 ~ 3290 m; 试验取心 3 个回次, 正式取 心 89 回次	(1) 设备配套能力强, 采用 $\varnothing 114$ mm 钻杆可满足孔深 3500 m、终孔口径 216 mm 钻探能力, 可取大口径岩心; (2) 采用单动双管钻具, 可以增加回次进尺至 17 m 左右; (3) 取心质量可靠, 可以保证岩心的原状结构, 取心段内岩心采取率平均 97%; (4) 粗径钻具刚性较强, 钻孔垂直度可以保证, 3290 m 终孔顶角偏斜 1.07°		(1) 全套设备功耗大, 动力改造后额定功率(钻机与泥浆泵)为 710 kW, 动力成本高; (2) 采用双管钻具, 钻头破碎岩石面积较大, 塑性地层钻进效率低; (3) 提钻取心时, 起下钻作业对钻机损耗较大, 不适合频繁起下钻作业; (4) 钻孔孔径较大, 泥浆护壁难度大、成本高; (5) 设备结构复杂, 维护成本高, 施工临时占地大、施工噪声大	
常规岩心钻探 取心工艺 (THJ2000 钻 机)	全面钻进 500 m, 取心钻进 1504 m, 取心段 500 ~ 2004 m; 累计取心 339 个回次	(1) 设备功耗低, 额定功率(钻机与泥浆泵)为 120 kW, 动力成本低; (2) 起下钻过程对钻机损伤较小, 更适合频繁起下钻; (3) 全孔段由于孔径较小, 泥浆护壁成本较低; (4) 岩心采取率可以保证, 取心段内平均达到 95%; (5) 设备结构简单, 占地面积小, 仅为石油钻机占地面积四分之一, 现场噪声低		(1) 配套 $\varnothing 60$ mm 钻杆可满足孔深 2000 m, 终孔口径 113 mm 钻探能力, 岩心口径小; (2) 采用单管钻具, 钻头破碎塑性地层效率偏低; (3) 采用双管钻具钻进效率低, 采用单管钻进, 回次进尺最长 7.5 m, 局部取心质量较差, 扰动明显; (4) 钻孔垂直度不宜保证, 经 2 次纠斜, 2004 m 终孔顶角偏斜 4.9°	

通过双孔方案的实施, 可见 2 种取心工艺在沧州深部钻探中可以优势互补。

3 结论及认识

通过在 ZK002 孔中钻井取心和小口径钻探取心工艺的应用, 获得了以下认识体会。

(1) 把大口径钻井取心方法与小口径岩心钻探取心方法组合, 应用于工区的深部钻探, 深、浅结合, 发挥了各自设备、工艺优势, 方法可行, 可以确保质量, 有利于降低成本。

(2) 在深部全孔段取心作业中, 双孔方案明显降低了施工风险, 提高了施工效率。

(3) 四段式的泥浆护壁工艺适合沧州工区深部钻探施工, 可以满足大口径取心要求。

(4) 对于工区内连续大段水敏性地层的特性, 钻进效率偏低, 还需继续完善钻进技术、探索新的钻进方法。

(5) 浅孔段内双管钻具应用不成功, 还需进一步试用研究。

参考文献:

- [1] DZ/T 0027—2010, 地质岩心钻探规程[S].
- [2] 张金昌. 深部找矿关键钻探技术与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(11): 1-6.
- [3] 卢予北, 吴焯, 陈莹. 绳索取心工艺在大口径深部钻探中的应用研究[J]. 地质与勘探, 2012, 48(6): 1221-1228.
- [4] 陈鑫发, 陈莹, 程存平. 深部成盐盆地大口径绳索取心设备机具的选配[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 18-22.
- [5] 刘晓阳, 李大昌, 叶雪峰. 中国铀矿第一科学钻施工概况[J].

- 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 297-304.
- [6] 王达, 张伟. 科钻一井钻探施工技术总论[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(S1): 16-22.
- [7] 王年友, 谢文卫, 冯起赠, 等. 绳索取心、液动潜孔锤、螺杆马达“三合一”钻具[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(S1): 45-47.
- [8] 李晓辉, 程琳, 李艳丽, 等. 深孔及松软地层大口径绳索取心钻具的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(12): 49-52.
- [9] 仲玉芳, 赵岩. 宁晋-辛集勘探区 2-1 盐井的施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 24-27.
- [10] 靳红兵. 深部岩盐取心钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 10-12.
- [11] 王卫民, 仲玉芳. 深部石盐层取心技术[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(S1): 120-122.
- [12] 王振福, 卫中弟. “榆天探采 1 号”盐井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 143-145.
- [13] 蓝海峰, 鲜保安, 高彦尊. 盐岩层大直径岩心取心技术[J]. 钻采工艺, 2005, 28(4): 9-11.
- [14] 景龙, 徐树, 常林祯, 等. 沧州深部盐矿钻探施工关键技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(5): 8-12.
- [15] 张伟. 大陆科学钻探施工用钻探技术和施工战略[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2002, 29(3): 58-61.
- [16] 张秋冬, 朱永宜, 李旭东, 等. 松科一井(主井)钻探工程技术配套[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(12): 1-4.
- [17] 孙庆仁, 申胡程, 杨文斌, 等. 松科 1 井南孔钻井取心技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(5): 8-12.
- [18] 朱永宜, 王稳石. 松科一井(主井)取心钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9): 1-10.
- [19] 景龙, 李伟, 崔国树, 等. CY-1 孔盐水泥浆护壁技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 48-52.
- [20] 黄河, 乌效鸣, 景龙, 等. 深部盐矿勘探钻井液研究与应用[J]. 盐湖研究, 2016, 24(4): 16-22.
- [21] 刘晓阳, 段隆臣. 松辽盆地第三系含砾砂岩、砾岩层钻探硬质合金钻头的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2002, 29(4): 33-35.