

沧州深部盐矿钻探施工关键技术探讨

景龙, 徐树, 常林祯, 刘超, 李伟, 高文庆

(河北省地矿局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000)

摘要:河北省沧县枣园勘查区石盐资源普查项目钻探施工中存在取心难度大、泥浆护壁困难、施工成本高等问题。在首眼钻孔的施工中,选择庆申-98-II型双管钻具,硬质合金刮刀、复合片钻头,提钻取心的方法完成取心施工。通过临界钻时的应用、岩心堵塞预防等措施提高了工效,采用分段泥浆护壁方法确保了孔壁稳定。该孔的钻探施工实践为沧州地区深部盐矿勘探积累了经验。

关键词:深部盐矿钻探;取心;孔壁稳定;临界钻时;岩心堵塞

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)05-0008-05

Discussion of Essential Technologies for Drilling Construction in Deep Salt Mine of Cangzhou/JING Long, XU Shu, CHANG Lin-zhen, LIU Chao, LI Wei, GAO Wen-qing (No.4 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: In the halite resources survey project in Cang County of Hebei Province, the construction cost was high because it was difficult in coring and wall protection by mud. In the first borehole, Qingshen-98-II double tube core barrel, carbide scraper, PDC bit and coring by drill string lifting were selected for coring operation. The construction efficiency was improved by critical drilling time and core plugging prevention; wall stability was ensured by sectional wall protection with mud.

Key words: deep salt mine drilling; coring; wall stability; critical drilling time; coreplugging

“河北省沧县枣园勘查区石盐资源普查项目”是我局地质找矿突破“6661”工程的组成部分。根据项目部署,前期在沧州境内完成勘探孔(CY-1)1眼,钻探深度3000 m,其中1650~3000 m全段取心,以寻找深部盐矿资源。

护壁方案。

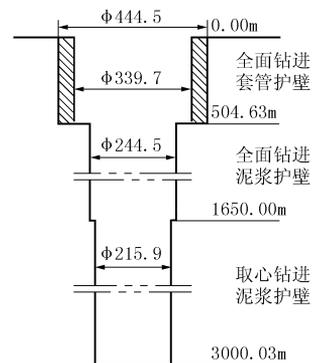


图1 钻孔结构图

1 施工难题

1.1 取心难度大

全国盐矿勘探的工程案例不少,多数项目单孔累计取心在200~500 m^[1-3],且各地地层差异较大,加之沧州地区如此深度的取心地层勘探尚属首例,因此钻探取心无成熟经验。石盐矿层埋藏于古近系沙河街组内,地层胶结强度差异性大,上段地层松软,局部破碎,取心质量不宜控制,许多关键技术还需完善。3000 m深度的岩心钻探工程在我队乃至全局是先例,对每一位施工参与者都是严峻考验。

1.2 钻孔护壁困难

经过多方论证,采用三级孔径的施工方案,最终钻孔结构见图1。施工钻遇的新近系、古近系岩层处于微固结~半固结状态,施工中往往出现缩径、坍塌事故。长时间、大段裸眼条件下需要合理的泥浆

1.3 施工成本高

本孔设计取心长度1350 m,属于深孔钻探,要求岩心直径>90 mm,该孔取心段长、岩心直径大,采用普通岩心钻探设备无法施工,必须选用功率强大的石油钻机,这种设备的日均成本将大幅提高,因此必须提高施工效率来降低成本。

2 施工关键技术

为满足勘探要求,我们选用钻深能力3000 m的

收稿日期:2013-02-06

作者简介:景龙(1978-),男(汉族),河北怀安人,河北省地矿局第四水文工程地质大队工程师,探矿工程专业,主要从事岩心钻探、地热钻井、水文地质等工程施工技术及管理,河北省沧州市新华区冷冻厂东街, jing_longd@163.com。

RT/30 型石油钻机、3NB - 1300 型泥浆泵完成钻探工程。开孔采用 $\varnothing 444.5$ mm 钻头快速钻进至 504 m 下管,水泥封固;二开开孔采用 $\varnothing 244.5$ mm 钻头全面钻进至 1650 m;下部开始取心钻进。下面就取心施工的几个关键问题进行阐述。

2.1 取心方法

充分分析工区地层特性,借鉴以往盐井施工经验,最终选择常规自锁式提钻取心方法。

2.1.1 取心工具

在取心工具上力求强度高、操作方便、回次进尺长,选择庆申 - 98 - II 型取心筒(见图2),该取心筒

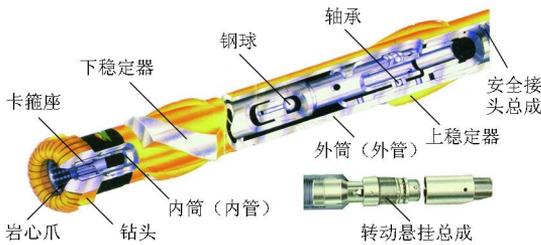


图2 庆申 - 98 - II 型取心筒结构图



(a) H-1型钻头



(b) H-2型钻头



(c) F-1型钻头

图3 取心钻头

注:钻头类型为现场编号,H代表硬质合金类,F代表复合片类

1560 ~ 2075 m 段(1 ~ 34 回次)主要采用硬质合金钻头,钻速偏低,钻速 < 1 m/h。从所选的钻头中,H - 1 钻头的综合效率最高,钻速稳定,耐磨损。该型钻头为对称六翼刮刀式结构,翼片呈三阶梯状,切削刃为矩形薄片状硬质合金,其焊接强度高,不易崩落,且各阶梯切削面积相近,可发挥各片硬质合金的作用。

2075 ~ 2466 m(35 ~ 62 回次)使用的主要钻头为 H - 2 型,钻速较高,回次平均钻速 > 1 m/h。该类钻头为四翼四阶梯式,翼片斜切胎体嵌入焊接,加工 16 个水眼,硬质合金为半圆薄片状。这种结构的剪切破碎能力明显加强,与孔底接触面积小,在松软状泥岩内更易发挥切削作用;水眼增多,可保证全面

为典型的单动双管结构。该类岩心筒外筒 $\varnothing 180$ mm \times $\varnothing 144$ mm \times 18 mm(外径 \times 内径 \times 壁厚),内筒 $\varnothing 127$ mm \times $\varnothing 112$ mm \times 7.5 mm,单节筒 9 m 左右,施工时多数采用双节,配套 $\varnothing 165$ mm 钻铤、 $\varnothing 114$ mm 钻杆。经现场使用,该取心筒性能可靠,经久耐用。

2.1.2 钻进参数

在参考相关规范的同时也进行了实钻效果分析,现场确定的最优钻进参数:钻压 40 ~ 60 N,转数 75 r/min,泵量 23 L/s。

2.2 钻头选型

钻头是钻进碎岩的工具,对钻速起着决定性作用。根据地层的成岩性,上部 1650 ~ 2466 m 段松软泥岩主要使用硬质合金系列钻头以实现剪切破碎,下部 2466 ~ 3000 m 段胶结较好的层段主要使用复合片钻头实现压切破碎。

2.2.1 分段使用情况

在取心中先后选用了 11 种型式的 $\varnothing 215.9$ mm 钻头,现场使用较多且效果较好者主要有 3 种(见图3)。不同结构类型的钻头在钻速上存在较大差异。

冲洗孔底,除屑效率高。在使用中该型钻头易磨损,主要表现为硬质合金崩落。累计使用该类钻头 16 只,且修复多次,在多个回次中由于掉落的硬质合金块进入内筒而磨损岩心。

2466 ~ 3000 m 段(63 ~ 96 回次)主要采用了复合片型钻头,其切削刃为短柱状复合片,各排呈圆弧型 - 阶梯型排布,底喷式水眼。该型钻头以压碎 - 剪切形式碎岩,多数回次时效均 < 1 m/h,各回次钻速比较均匀;钻头磨损较小,整体结构强度高,取心质量可靠。

2.2.2 钻头评价

综合上述钻头使用情况,从钻进成本、时效等综合因素考虑:

1650~2466 m段为松软泥岩层,H-1及H-2型钻头钻进效果较好,但在机械钻速上与先进^[4~6]仍有差距,平均钻速分别为0.87、1.17 m/h,以后需要结合H-1和H-2型钻头结构上的优势进行改型;复合片型钻头在松软地层内曾试验性使用5个回次,钻速明显偏低。

2446~3000 m段主要采用F-1型钻头,平均钻速为0.60 m/h,有待于在后续工作中研究改进以期提高钻速。

3种钻头钻效情况见图4。

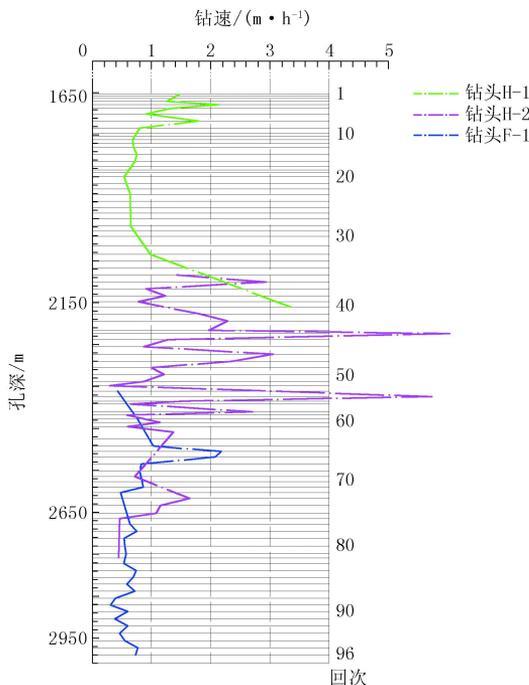


图4 钻头机械钻速曲线

注:(1)回次线取各回次对应孔段的中点深度;(2)钻速=回次进尺/回次纯钻时间;(3)钻头型式参见图3

2.3 临界钻时的应用

在取心工艺一定的情况下,合理把握回次起钻时机对提高钻效尤为关键。采取提钻取心的方法,随着钻孔的加深,起下钻辅助时间必然增加,增加回次钻进长度,力求减少起下钻时间是提高钻效、降低成本的基本途径。

2.3.1 计算方法

一般钻头轻微磨损或地层变化,虽钻速降低,但仍可进尺,岩心堵塞时也可据实际情况加压试钻进解堵,但程度严重时强行钻进往往产生安全隐患,一切应以保持最优综合钻进效率为前提。施工中发现钻时大幅增加时一般预示出孔内的异常情况,从工区或某钻孔的实际钻效合理确定临界钻时 T_x ,当实际钻时 $T < T_x$ 时,立即提钻会降低综合效率,当 T

$> T_x$ 时,孔内很有可能出现了异常,继续钻进综合效率降低,宜起钻^[7]。临界钻时计算如下:

$$T_x = \frac{H}{V_1 h} + \frac{H}{V_2 h} + \bar{T} \quad (1)$$

式中: T_x ——决策点处临界钻时,h/m; H ——决策点孔深,m; V_1 ——起钻速度,实测为545 m/h; V_2 ——下钻速度,实测为650 m/h; h ——单回次理想进尺条件下的剩余长度,m,理想回次进尺17 m左右(岩心管最大许可进尺18 m); \bar{T} ——相同条件下已钻孔段的平均钻时,h/m,根据不同型式的钻头及对应地层在正常钻进情况下进行统计确定。

为能够使临界钻时具有实用性,将取心段分成1800、2000、2200、2400、2600、2800、3000 m共7个界限,对应剩余进尺处临界钻时大小见图5。根据各点对应实际钻时与计算钻时比较,很方便地进行判断,以指导现场施工。

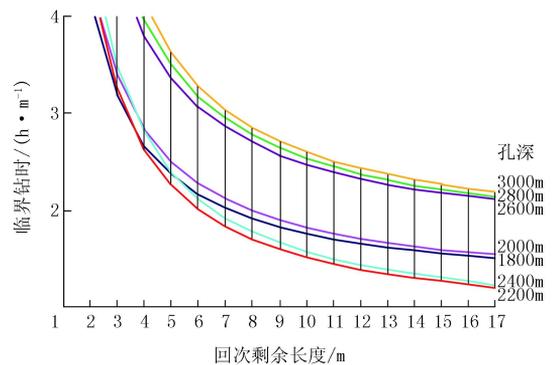


图5 临界钻时曲线

2.3.2 现场应用

本孔取心初期,施工经验不足,取心质量差,很多回次进尺偏低,无法对临界钻时进行分析。随着一些技术措施的实施以及操作技术的熟练,取心质量得以保证,遂对最优起钻时机进行了分析,确定了临界钻时计算方法。以58~72回次为例分析,实际钻时与临界钻时进行对比(见图6)。其中5个回次(58、59、61、62、72回次)进尺仅为8~15 m,均因超越临界钻时起钻,其中58、59、72回次为堵心原因,取出岩心发现,底部岩心极其破碎,61、62回次钻头硬质合金严重崩刃。可见,应用临界钻时有效避免了孔内复杂工况,可保持最优钻进效率。

2.4 岩心堵塞及预防

2.4.1 堵塞原因分析

岩心堵塞在本孔施工中普遍存在,岩心堵塞带来巨大危害:使机械钻速大幅降低;岩心呈柱性差,内部结构扰动,严重时导致岩心重复破碎或磨损,

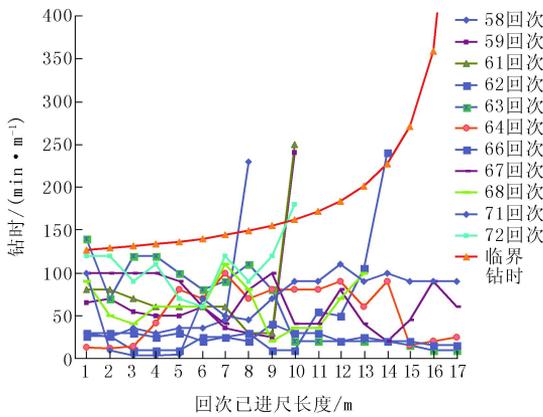


图 6 2400 ~ 2600 m 孔段临界钻时、实际钻时对比图

注:(1)由于机械故障被迫起钻的回次未分析;(2)平均钻时经统计取 97 min(对应平均机械钻速 0.62 m/h);(3)回次已进尺长度 = 18 m - 回次剩余长度;(4)58 ~ 72 回次对应孔段为 2346.47 ~ 2609.05 m

采取率降低乃至丢心。岩心堵塞后一般只能提钻退心,使钻进效率大幅降低。从实际分析,岩心堵塞原因如下。

(1)岩心粘附堵塞。软泥岩遇水膨胀,与内筒及岩心爪将产生粘附作用,随进尺长度的增加,粘附力逐渐增大,使岩心进入内筒的阻力增加,因此造成钻速降低乃至岩心堵塞。

(2)地层破碎堵塞。局部层段裂隙发育,一旦钻头揭开,引入内筒的岩心往往呈碎块状。碎块楔嵌于岩心爪、钻头内壁、内筒内壁以阻碍岩心的进入。通过对取出的岩心观察发现,堵塞段一般比较破碎。

(3)硬质合金崩落堵塞。在钻进中采用了多种型式的硬质合金钻头,由于加工缺陷,个别钻头出刃偏高,时常造成硬质合金崩落情况,硬质合金块随岩心进入内筒,产生卡堵作用。部分回次岩心表面出现明显刮痕(见图 7),使钻速放缓以致堵塞。



图 7 硬质合金磨损岩心现象

(4)取心筒弯曲影响。采用 18 m 长度的双节取心筒,虽加设了稳定器,但在较大钻压下也难免产生一定弯曲,外筒带动内筒弯曲;特别是在内筒底面与钻头内台肩间隙调整不合理时,内筒也将受压弯

曲,增加了岩心进入内筒的阻力。随进尺长度的增加阻力逐渐增大,从而增强了岩心粘附堵塞及破碎堵塞作用。

(5)二次树心。采用双节取心筒,中途接单根时需要割心将钻头提离孔底,接完单根再重新树心钻进,一次割心时岩心爪已然自锁,二次树心需将其岩心爪顶开,局部地层强度偏高,拔心自锁力较大,再次顶开岩心爪失败将造成堵心。主要表现在回次进尺至 9 ~ 10 m 段时钻时增大,其中 16、34、46、56、59 回次均钻遇此现象。

(6)操作不当。取心初期,由于操作经验不足,送钻不均,使钻具回转振动加剧以致岩心碎裂;钻进期间频繁提钻观测悬重,使已装入的岩心频繁拔断。这些操作均增强了岩心破碎程度,增加了岩心进入内筒的阻力。

2.4.2 岩心堵塞预防措施

(1)及时检查更换取心工具各部件,对卡箍座、岩心爪、内筒及悬挂结构进行重点检查,根据磨损情况及时选型更换。各回次起钻后检查内、外筒磨损情况,确保岩心筒不变形、无裂纹,螺纹完好,内筒内壁光滑;转动总成灵活,工具组装后内、外筒台阶面间隙控制在 17 ~ 20 mm 之间;各部件按照规定的工具及力矩上紧丝扣;检查岩心爪,确保具备良好的弹性性能;同类钻头增加备用,回次提钻检查钻头磨损及水眼畅通情况,一旦产生磨损缺陷及时更换,减少硬质合金崩落机率。

(2)精确记录钻时,随时观察钻时、钻压、泵压与钻盘扭矩变化,发现异常果断处理。

(3)对钻压进行核算,严禁超限,降低取心筒弯曲、振动程度。

(4)组织司钻进行培训,减少操作失误,完善操作要领;下钻到底充分循环泥浆,确保孔内干净无沉淀;保证送钻均匀,钻压逐渐增加,严禁一次到位,严防溜钻;遇憋、跳钻情况,适当调整钻进参数予以消除;钻进中无特殊情况,不停泵、不停钻,直到回次终止。

(5)钻进中实时控制泥浆性能,通过降低失水抑制泥岩膨胀,改善泥浆润滑性能,减小回转及岩心进入内管阻力。

(6)进行成本、质量综合分析,根据不同时段确定临界钻时,准确把握起钻时机。

通过上述预防措施,后期施工堵心情况明显减少。

2.5 泥浆护壁

本孔泥浆护壁主要经历了4个阶段,采用分段护壁方法,各阶段泥浆类型及性能参数见表1。

表1 各阶段泥浆类型及性能参数

施工孔段/m	泥浆类型	基本配方	主要性能
0~504	普通淡水水泥浆	膨润土 15%, Na ₂ CO ₃ 1.5%, CMC 3%, NaOH 1%	密度 1.07~1.10 g/cm ³ , 粘度 32~36 s
504~1650	聚合物淡水水泥浆	膨润土 15%, Na ₂ CO ₃ 2%, FT-1 1%, NH ₄ -HPAN 1.5%, KPAM 1%, NaOH 1%	密度 1.10~1.21 g/cm ³ , 粘度 32~54 s, 失水量 5~18 mL/30 min, pH 值 8~10
1650~2387	低浓度盐水水泥浆	膨润土 10%, SMP-2 1%~2%, FT-1 2%, FCIS 2%~3%, NaOH 3%, NaCl >4%, PAC 适量	密度 1.16~1.25 g/cm ³ , 粘度 40~65 s, 失水量 7~13 mL/30 min, pH 值 9~11
2387~3000	欠饱和盐水水泥浆	膨润土 5%, 凹凸棒土 2%~3%, SMP-2 3%~4%, FT-1 1%, PAC 1%, FCIS 2%~3%, NaOH 3%, NaCl >26%	密度 1.21~1.40 g/cm ³ , 粘度 46~64 s, 失水量 7~14 mL/30 min, pH 值 9~10

注:粘度取马氏漏斗粘度。

针对本孔取心段长,石盐矿层埋藏深(2300 m以深)的特点,在第3阶段取心前,首先完成淡水向低浓度盐水水泥浆的转换,据淡水水泥浆随含盐量增加其性能变化特征^[8],首次转换控制泥浆含盐量达到4%以上,即使见矿,泥浆性能也不会突变,确保钻进安全。见矿后进入第4阶段,又完成了低浓度向欠饱和盐水水泥浆转换。矿层钻进配置盐水水泥浆时实测Cl⁻最高含量为 17.7×10^4 ppm,此时振动筛处不断析出盐粉粒,以此为标准,控制泥浆含盐量。后期注重泥浆维护,一直维持欠饱和状态钻进。实际取出石盐矿心未见溶解。

施工过程中我们注重对井壁稳定性检测。在取心段内96个回次的起下钻中,井壁未出现坍塌、缩径现象,各回次钻具均可顺利起下;取心钻进至2387 m时由于设备损坏,被迫停钻4天后下钻能够顺利到底,无遇阻现象;3000 m终孔后孔内静止4天,再次下钻仍然可顺利到底。由此可见泥浆在钻进中维持了孔壁稳定,保证了取心安全。

3 钻探效果

经统计,本孔矿心段采取率95%,非矿心段90%,平均采取率92%。矿心直径96~97 mm,终孔顶角最大偏斜2.8°。各项质量指标完全优于设计要求。

CY-1孔取心进尺1350.03 m,累计钻探96个回次,回次最低进尺4.34 m,最高17.60 m,取心开始至终孔累计施工142天,全孔平均机械钻速0.78 m/h。综合分析,纯钻耗时比重最大(见图8),均为1742~2001 m(10~30回次)及2527~3000 m(67~96回次)段钻速偏低所致。后期施工中,通过钻头改型、工艺改进等措施来提高钻效仍具潜力。

4 结语

工区首眼勘探孔的顺利完工,给后续钻探施工

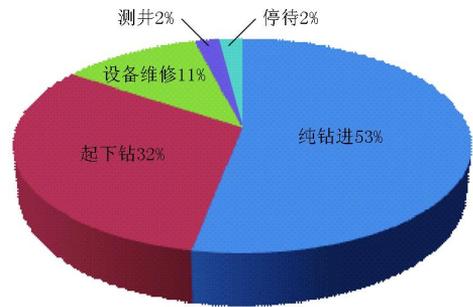


图8 钻探分项工作耗时比例图

提供了宝贵经验。本孔所选取心机具及方法可行,可以应用于深部钻探。施工中通过钻头改型、临界钻时应用、堵心预防等措施提高了工效。本孔泥浆护壁方案可行,确保了顺利钻进。

鉴于工区地层的特性,所选钻头机械钻速偏低,钻头型式有待改进。本孔在石盐矿层段钻进泥浆含盐量偏低,必然存在溶蚀扩径现象,今后施工中仍需提高含盐浓度至饱和状态,以彻底消除施工隐患。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王卫民, 仲玉芳. 深部岩盐取心技术[J]. 中国煤田地质, 2010, 22(S1): 120-122.
- [3] 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.
- [4] 孙庆仁, 申胡程, 杨文斌, 等. 松科1井南孔钻并取心技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(5): 8-12.
- [5] 王稳石, 朱永宜. 科学钻探复杂地层取心钻进技术[A]. 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[C]. 北京: 地质出版社, 425-431.
- [6] 朱恒银, 蔡正水, 王幼凤, 等. 2706.68 m 试验孔施工关键装备与技术[A]. 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[C]. 北京: 地质出版社, 127-135.
- [7] 张伟. 地质钻探领域应大力开展技术经济学研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 7-10.
- [8] 乌效鸣, 胡郁乐, 贺冰新, 等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2002. 117-118.