

胶莱盆地白垩纪科学钻探施工技术探讨

朱朝发^{1,2}, 杨甘生¹, 杨海雨¹, 李志军¹, 丁付利^{1,3}

(1. 中国地质大学(北京)国土资源部深部地质钻探技术重点实验室, 北京 100083; 2. 武警黄金第四支队, 辽宁 辽阳 111000; 3. 武警黄金第六支队, 河南 三门峡 472000)

摘要:结合胶莱盆地白垩纪科学钻探工程钻遇地层的复杂情况, 介绍 JK1 号钻孔使用的钻孔结构、钻具组合、冲洗液选型、钻进技术参数等钻探施工技术措施。针对钻进中遇到的泥岩地层水化分散、钻孔超径和钻头泥包等难点, 着重探讨了超前孔裸眼钻进、低固相抑制性冲洗液和钻头选型等解决方案。

关键词:科学钻探; 超前孔裸眼钻进; 冲洗液; 钻头泥包; 胶莱盆地白垩纪科学钻探

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)12-0036-04

Discussion on the Technologies Used in Cretaceous Strata Scientific Drilling in Jiao - Lai Basin/ZHU Chao-fa^{1,2}, YANG Gan-sheng¹, YANG Hai-yu¹, LI Zhi-jun¹, DING Fu-li^{1,3} (1. Key Laboratory on Deep Geodrilling Technology of the Ministry of Land and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. No. 4 Detachment of the Gold Army, CAPF, Liaoyang Liaoning 111000, China; 3. No. 6 Detachment of the Gold Army, CAPF, Sanmenxia Henan 472000, China)

Abstract: Based on the complicated geological conditions in Cretaceous strata scientific drilling in Jiao - Lai basin, the paper introduces the construction about the borehole structure, BHA, flushing fluid selection and drilling technical parameters. According to the difficult problems of hydration dispersion in mudstone strata, oversized diameter caused by borehole collapse and bit balling, the solutions for advanced open borehole drilling and the selection of low solid inhibited flushing fluid and drill bit are mainly discussed.

Key words: scientific drilling; advanced open borehole method; flushing fluid; bit balling; Cretaceous strata scientific drilling in Jiao - Lai basin

胶莱盆地白垩纪科学钻探工程是中国地质科学院地质研究所承担的“胶东地区白垩纪区域地质、盆地发育与区域岩石地层系统调查研究”项目的主要工作内容之一。该工程旨在采集高质量岩心样品, 为调查胶莱盆地充填序列、岩石地层组成, 及研究胶莱盆地不同时期的原盆地形态、岩相古地理、古环境、古生态, 以及火山夹层、事件地层、层序地层特征、沉积搁架等工作提供第一手钻探资料。

1 概述

1.1 工程概况

胶莱盆地白垩纪科学钻探工程 JK1 号钻孔位于山东省胶州市城区内北侧, 地处胶东半岛沾河冲积平原。施工工区海拔为 2 ~ 24 m, 地形北高南低, 区内水系较发育。JK1 号钻孔设计孔深 1000 ~ 1500 m, 设计倾角 90°, 实际钻至 664.70 m 即钻穿目标地层, 终孔孔径 76 mm, 实际岩心采取率为 98.13%, 其他各项指标均满足白垩纪科钻工程施工质量要

求。

1.2 地层情况

胶莱盆地白垩纪科学钻探工程预期钻穿地层自下而上分别为中生代白垩纪王氏群、新生代古近纪五图群和第四系地层。

王氏群自下而上为林家庄组、辛格庄组、红土崖组、金岗口组及胶州组。其岩石组成主要包括杏仁状玄武岩、细粒玄武岩、泥质粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩、泥灰岩、粉砂岩、砂岩、含砾砂岩。

五图群自下而上为朱壁店组、李家崖组、小楼组。其岩石组成主要包括中粒砂岩、砂砾岩、粗砂岩、含砾砂岩、泥岩、泥质细砂岩、粉砂质泥岩。

第四系地层主要由砂砾层、含砾砂土层及亚砂土、亚粘土组成。

2 施工难点与重点

JK1 号钻孔地层复杂, 泥、砂岩质地层厚度大, 互层频繁; 无历史钻探记录, 设计依据严重不足, 给

收稿日期: 2013-06-17

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目“胶东地区白垩纪区域地质、盆地发育与区域岩石地层系统调查研究”(1212011120106)

作者简介: 朱朝发(1988-), 男(汉族), 甘肃会宁人, 中国地质大学(北京)硕士研究生在读, 武警黄金第四支队助理工程师, 地质工程专业, 从事科学钻探、取心及钻具设备方面的研究工作, 北京市海淀区学院路 29 号。

钻孔孔身结构设计及施工带来较大困难;弱胶结地层多,易坍塌、掉块;泥岩地层水敏性强,易水化分散引起钻孔超径;泥岩地层钻进过程中易形成钻头泥包,影响钻进效率。

3 钻探施工技术

3.1 施工设备及配套

采用 XY-2000 型立轴钻机, BW250 型泥浆泵, SGX-17 型直斜两用塔, KXP-2 型电子罗盘测斜仪。

JK1 号钻孔依据设计属于中深孔, 所有钻探设备均以深孔标准配备。同时, 还配有 100 kW 发电机 2 台、自制搅拌器、泥浆测试仪等设备。

3.2 钻孔结构及套管护壁

根据胶莱盆地沉积岩地层复杂、无历史施工记录、设计依据不足等情况, 结合钻孔设计深度、终孔直径等要求, JK1 号钻孔设计采用五开孔径、四级套管的多级钻孔结构。其中, 一至三开采用旧标准规格尺寸, 设计参数及钻进地层分别为: 开孔口径为 150 mm, 钻穿第四系覆盖层, 钻进深度为 5~10 m; 二开采用 $\phi 130$ mm 孔径钻进, 钻进地层为五图群上部未胶结、弱胶结地层和中下部具强分散特性的泥岩和较为稳定的砂岩地层, 钻进深度为 300~500 m; 三开采用 $\phi 110$ mm 孔径钻进, 钻进地层为强分散、坍塌的王氏群泥岩和砂岩地层, 钻进深度 600~800 m; 四开使用新标准 H 规格口径, 主要作为复杂地层处理预留孔径; 五开使用新标准 N 规格口径钻进, 钻穿白垩纪砂岩、玄武岩地层, 钻进深度至终孔。在实际施工过程中, 王氏群沉积岩层于 629 m 处提前钻穿, 与理论计算深度存在较大偏差。白垩纪科学钻探工程采用了超前孔裸眼钻进方法, 根据复杂地层厚度较预期大幅度减少的情况, 实际钻孔结构在原设计基础上减少一级孔径, 简化了孔身结构、减少下套管的数量, 从而降低施工成本, 缩短了施工工期。实际钻孔结构见图 1。

胶莱盆地白垩纪科学钻探仅依靠冲洗液护壁是很难保证的, 科学合理的套管设计是顺利完成施工任务的有力保证。JK1 号钻孔第一级套管(即孔口管), 规格为 $\phi 146$ mm, 采用无接箍直连结构, 下入深度为 7.90 m, 使用水泥浆液完全封固; 第二级套管规格为 $\phi 127$ mm, 采用接箍结构, 下入深度为 395.80 m, 该级套管坐落在无支撑能力的松散泥质粉砂岩地层, 使用水泥浆液封固套管根部 30 m, 并在水泥封固段上部 10 m 处加工反丝接手, 便于自由段套管回收;

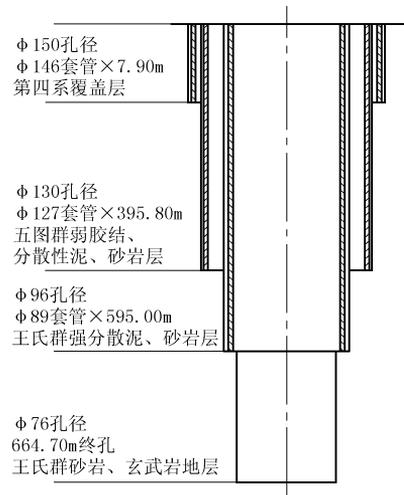


图 1 钻孔结构

第三级套管直接使用 H 规格绳索取心钻杆做护壁套管, 规格为 $\phi 91$ mm, 下入深度为 595.00 m, 坐落于坚硬的砂岩层上。绳索取心钻杆力学性能好, 配合底出刃钻头使用便于复杂坍塌地层套管下放及回收。所有套管在孔口均使用焊接或夹板方式固定。该钻孔在施工过程中没有出现套管跑落、脱扣等事故, 并且在终孔后按照设计顺利回收。

3.3 钻进方法与钻具组合

JK1 号钻孔除开孔使用单管取心钻进外, 主要采用超前孔裸眼钻进法配合 H、N 规格绳索取心钻进。超前孔裸眼钻进法是由前苏联钻探专家提出和使用, 并在大陆科学钻探成功实施的一项科学的施工方法。这种施工方法配合绳索取心钻进的特点是: (1) 采用 H 或 N 规格绳索取心钻进, 一是可保证较高的钻进效率, 二是减少机台钻具及绳索取心钻杆储备量, 减轻机台管材使用压力; (2) 具有很好的灵活性, 如果地层稳定, 尽量采用长裸眼钻进方式, 以减少套管的层次, 简化井身结构, 最终降低施工成本, 对于可能遇到的复杂地层, 采取了预留套管层次的措施^[1]; (3) 绳索取心钻进井壁环状间隙小, 当扩孔孔径与取心孔径相差级别不大于两级时, 可以在原方法基础上省去活动套管的安放。

具体操作程序为: 在孔口管下放到位后, 下入 $\phi 108$ mm 套管作为活动套管, 使用 H 规格绳索取心钻具钻进。在穿过五图群地层后由于钻孔超径、断钻等问题很难继续钻进, 选择起拔活动套管, 使用 $\phi 130$ mm 扩孔钻具扩孔至原孔深, 下入 $\phi 127$ mm 套管。然后继续采用 H 规格绳索取心钻具钻进, 钻至 595.00 m 处时出现胶结程度好、性质稳定的完整砂岩, 该情况与地质方面提供的地层信息有较大出入。

项目部通过研究分析,考虑到上部地层超径现象严重影响施工效率,且为预防下部地层潜伏复杂情况出现,决定采用H规格绳索取心钻杆作为临时活动套管,使用N规格绳索取心钻具钻进,直至终孔。本钻孔采用超前裸眼钻进省去 $\varnothing 110$ mm孔径的扩孔钻进和相应套管的下放,有效地避免了理论计算与实际地层厚度误差引起的工程浪费。同时使用H规格绳索取心钻杆作为临时活动套管后,上部岩层水化分散引起的超径问题得到有效解决,钻进速度较原来提高75%。

该孔钻具组合包括取心钻具组合和扩孔钻具组合两大系列。

(1) $\varnothing 150$ mm单管取心钻具组合:水龙头+主动钻杆+变径接手+ $\varnothing 150$ mm厚壁岩心管+ $\varnothing 150$ mm硬质合金取心钻头。

(2)H口径绳索取心钻具组合:水龙头+主动钻杆+H规格绳索取心钻杆+H规格绳索取心钻具+ $\varnothing 96$ mm金刚石钻头和复合片钻头。

(3)N口径绳索取心钻具组合:水龙头+主动钻杆+N规格绳索取心钻杆+N规格绳索取心钻具+ $\varnothing 76$ mm金刚石钻头。

(4) $\varnothing 130$ mm扩孔钻具组合:水龙头+主动钻杆+H规格绳索取心钻杆+变径接手+9 m $\varnothing 127$ mm厚壁岩心管+ $\varnothing 130$ mm自制扩孔导正钻具和二级金刚石钻头。

3.4 冲洗液选用与管理

JK1号钻孔冲洗液护壁重点是预防弱胶结地层坍塌、掉块和抑制水敏性泥岩层水化分散、坍塌。关键孔段为0~80、258~539 m。以上孔段岩层主要为泥岩、粉砂质泥岩和含砾砂岩,对冲洗液防塌性和抗分散抑制性能要求较高。

3.4.1 冲洗液选择与应用

根据地层特性,该工程选用了多种冲洗液,主要包括适合第四系地层钻进的细分散冲洗液;适合砂岩、玄武岩等完整稳定岩层钻进的PHP无固相冲洗液;适合弱胶结地层钻进的粗分散防塌冲洗液;针对泥岩孔段水化分散、坍塌特性选用的抑制性防塌冲洗液。其中抑制性防塌冲洗液主要选用吉林省岩科新技术研究开发有限公司生产的PAB无固相冲洗液和北京探矿工程研究所推荐的新型成膜抑制冲洗液体系。

PAB无固相冲洗液仅由PA和PB两种聚合物组成。冲洗液中高聚物大分子呈网状结构,循环时成膜速度快,分子膜致密,胶结性强,防塌性能

好^[2]。但该冲洗液配置程序复杂,预泡时间长,搅拌要求高,需要足够的浸泡容器,浸泡或搅拌不充分会导致冲洗液性能快速降低,因此该孔仅在395~418 m处使用过。

新型成膜抑制冲洗液体系主要配置材料包括钠膨润土、包被剂、成膜抑制剂、接枝淀粉、聚丙烯腈铵盐和改性沥青。该冲洗液体系所加处理剂比较全面,各项性能指标较好,同时加入了成膜抑制剂后具有更强的抑制性能,对容易分散、坍塌的泥岩地层具有很好的抑制防塌作用。但该冲洗液配置成本相对较高。

3.4.2 冲洗液性能指标

冲洗液性能指标见表1。

表1 冲洗液性能指标

地层	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粘度 /s	pH 值	失水量/[$\text{mL} \cdot$ (30 min) $^{-1}$]	含砂量 /%
第四系	1.12~1.15	30~35	9	15	0.6
砂岩	1.02~1.05	20~22	9	8	0.4
泥岩	1.05~1.10	22~25	9	6	0.4
玄武岩	1.02~1.05	19~21	9	10	0.3

3.4.3 冲洗液循环系统

沉积岩地层钻进排出的岩屑粒径较小,质量轻,易悬浮于冲洗液中,因此要求冲洗液循环系统沉淀性能好,且利于冲洗液性能维护。白垩纪科学钻探使用20 m循环槽+3个小型沉淀池+沉淀面积为3 m \times 3 m大型沉淀池+标准池。并有浸泡池一个和配置容器若干。标准池和浸泡池使用WQD15-7-1.1型污水泵间隔搅拌,实时保证冲洗液各项性能保持最优。

3.5 钻进技术参数

胶莱盆地沉积岩层可钻性等级为1~4级,硬度低,研磨性不强。具体钻进技术参数见表2。

表2 钻进技术参数

岩性	钻进方法	钻压 /kN	转速 /($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	泵量 /($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)
沉积岩	金刚石钻进	8~12	300~700	90
	复合片钻进	5~9	200~500	90
	金刚石扩孔	8~10	100~300	145
玄武岩	金刚石钻进	9~13	400~800	90

4 钻头泥包问题

钻头泥包问题是影响白垩纪科学钻探施工钻进效率的重要因素之一,主要表现为泥岩地层进尺速度慢,增大或减小钻压和转速对钻进速度无明显影响,钻压较大即会引起憋泵现象,严重时孔底岩屑会

挤入钻具内外管之间。

针对钻头泥包问题,JK1号钻孔主要使用了尖齿形孕镶金刚石钻头、三角片复合片钻头和底喷式尖齿形金刚石钻头。实践证明,在不改变钻头水眼模式的前提下,仅仅改变钻头齿形和碎岩方式对钻进速度并无明显效果。采用流线形水眼的底喷金刚石钻头并适当减小水眼尺寸、采用无水口的卡簧座,对消除钻头泥包起到了一定作用,能够小幅度提高钻进速度^[3]。

JK1号钻孔在395~418 m孔段泥岩地层使用PAB无固相冲洗液钻进,钻头无泥包现象,之后使用其他泥浆钻速明显减慢。为提高钻速,在保证抑制岩层水化分散的基础上,将新型成膜抑制冲洗液体系配方做适当调整,减小膨润土加量,降低冲洗液固相含量、粘度和切力,钻速提升较显著。

同时,在软泥岩中钻进,应尽量采用低钻压、高转速、大排量,保证金刚石钻头充分清洗与冷却,没有必要盲目使用高钻压去追求钻速^[4]。

5 钻孔超径问题

钻孔超径后,特别容易引发孔内事故,给钻进工作带来很大困难。钻孔超径的主要特征是钻进过程中,在某一个或几个孔段连续发生断钻具事故,且钻杆的断头常常找不到或对不上^[5]。JK1号钻孔超径引发多次断钻事故,事故详细数据见表3。引起该孔超径事故的原因主要有:300~375 m孔段使用的粗分散防塌冲洗液与所钻地层不匹配,抑制性能较弱,造成该孔段水敏性地层逐渐分散超径;410~416 m孔段使用的PAB无固相冲洗液由于浸泡及搅拌不充分,高分子材料在泵入孔内后胶凝成团随冲洗液排入沉淀池,冲洗液性能迅速下降,造成该段地层分散坍塌。

表3 断钻事故统计

序号	钻头位置/m	断点位置/m	事故处理时间/h
1	384.00	332.50	16
2	391.40	360.80	8
3	397.20	355.00	141
4	478.30	414.70	8
5	492.70	414.20	11

超径事故一旦发生后处理较困难。常用的处理方法主要有水泥封闭和套管护壁。在地下水发育地层,水泥封闭成功率很低。当围岩较软时,透孔过程很难沿着原孔轨迹钻进。本钻孔主要使用套管护壁,但该方法耗时长、工艺繁琐、成本较高,不宜频繁

使用。

超径事故重在预防,预防措施主要为使用优质防塌抑制冲洗液。在有历史钻孔参考资料的情况下,做好各个地层的岩样浸泡实验,在复杂地层即将出现之前替换适合该地层的优质冲洗液。在没有参考资料的情况下,实时观察岩心和冲洗液变化,当岩心出现易分散坍塌岩性,或冲洗液出现粘度增大迹象时,及时调整冲洗液性能。如果冲洗液粘度增加迅速,应该暂时停止钻进,待有合适冲洗液材料时再进行钻进,避免过长的复杂地层孔段裸露于不匹配的冲洗液中,发生严重超径事故。

6 结语

(1)在沉积岩复杂地层钻进,当复杂岩层的层数、深度、厚度不确定,钻孔设计依据不足的情况下,宜采用超前孔裸眼钻进方案。该方法为钻孔孔身结构设计留有余地,可应付复杂情况。如果岩层稳定,可尽量采用小尺寸钻头钻进,一则钻进效率高;二则简化孔身结构、减少下套管数量,从而降低施工成本^[6]。超前孔裸眼钻进法使用的前提是钻进地层应当适合高效率扩孔,因此不适合普通地质钻孔在完整、坚硬、扩孔速度慢等地层使用。

(2)泥岩地层钻进所遇到的水化分散、坍塌、钻孔超径、钻头泥包以及间接引起的频繁断钻、钻进效率低下等问题皆与冲洗液性能密切相关。施工时,应通过冲洗液性能测试、岩样浸泡实验、实践总结等方法,选择合适的冲洗液。新型成膜抑制冲洗液体系抑制性能好,抗水化分散性强,不易形成钻头泥包,适用于复杂泥岩地层钻进。

(3)由钻头泥包导致的钻进速度缓慢的问题,首选措施是使用强抑制性的无固相冲洗液或低固相冲洗液,降低冲洗液固相含量、粘度和切力;其次是选用合适的钻头型号和优化钻探技术参数。

参考文献:

- [1] 张伟,王达.科钻一井套管和钻进施工程序设计技术[J].石油钻探技术,2006,34(3):4-7.
- [2] 李景东.哈达门沟金矿区复杂地层中深孔钻进实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):20-23.
- [3] 滕子军.提高金刚石绳钻在软塑性岩层钻进效率的方法探讨[J].山东煤炭科技,2001,(3):57-58.
- [4] 张金龙,于占国,吴志怀,等.钻头泥包原因及对策分析[J].石油地质与工程,2008,22(3):97-102.
- [5] 刘春仁.缩径事故与超径事故的预防及处理[J].科技资讯,2007,(19):14.
- [6] 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,(3):58-61.