

3500 m 岩心钻探装备在油气井勘查中的示范应用

任启伟, 刘凡柏, 高鹏举, 赵 远, 伍晓龙

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 3500 m 岩心钻探装备(YDX-6 型钻机)是我国自主研发的深部矿产资源勘查技术装备,采用 N 级口径钻深可达 3500 m,其最大特点是采用长油缸钻进和起下钻。本文主要介绍了该钻机在油气井勘查中生产试验情况,同时对矿区地层、钻孔结构、钻进过程、钻进效果、遇到的主要问题及解决办法等进行了介绍。

关键词: 3500 m 岩心钻探装备;油气井勘查;井控装置;录井设备;绳索取心

中图分类号: P634.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)10-0057-05

Demonstration Application of 3500m Core Drilling Rig in Oil and Gas Well Exploration/REN Qi-wei, LIU Fan-bai, GAO Peng-ju, ZHAO Yuan, WU Xiao-long (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: 3500m core drilling equipment (YDX-6 drilling rig) is independently developed in China for deep mineral resources exploration, by which, the drilling depth can reach 3500m with N standard drilling scheme, and the important feature is the use of long cylinder drilling and tripping. This paper mainly introduces YDX-6 drilling rig about its production test in oil and gas well exploration, and elaborates the mining area structure, borehole structure, drilling process, drilling effect, major problems encountered and the solutions.

Key words: 3500m core drilling equipment; oil and gas well exploration; well control device; logging equipment; wire-line coring

0 引言

3500 m 岩心钻探装备(即 YDX-6 型钻机,后文统一用 YDX-6 型钻机表示 3500 m 岩心钻探装备)是由中国地质科学院勘探技术研究所设计并制造的新型全液动力头式深孔用地表岩心钻机,是“京津冀一体化协同发展区地质保障工程”重点项目“京津冀综合地质调查”中子项目“华北平原重点地区地面沉降调查”的研究成果,是我国自主研发的深部矿产资源勘查技术装备^[1]。为了考核验证钻机主要技术性能和设计制造质量,该钻机进行了 2 轮野外生产试验。首轮试验在山东招远市阜山镇牛草涧矿区,于 2015 年 8 月 28 日—2015 年 11 月 11 日,完成一个终孔口径 122 mm、终孔孔深 619.2 m 的生产勘探孔^[2];第二轮试验是在辽宁金羊盆地施工“羊 D1 井”油气勘查孔,于 2016 年 3 月 1 日—2017 年 1 月 2 日,完成一个终孔口径 99.5 mm、终孔深为 2019.22 m 的油气勘探孔。期间 2016 年 11 月 3 日

该项目成果通过了中国地质调查局华北地区地质调查管理办公室组织的专家验收。验收意见认为:完成的 YDX-6 型钻机,采用长油缸钻进和起下钻,结构新颖,在升降系统、提下钻方式等方面有较大的技术创新,具有较高的机械化、自动化水平,满足金刚石绳索取心、冲击回转、定向钻进等深孔地质钻探工艺要求。现将该钻机的第二轮试验情况详细介绍如下,与大家共享交流。

1 试验应用情况

1.1 矿区地理、交通位置及钻场布置

钻探生产示范区位于辽西地区金羊盆地,辽西地区金羊盆地走向长约 200 km,东西宽约 39 km,面积约 5530 km²,呈 NE 向展布,部署的“羊 D1 井”处于金羊盆地西南天门断裂带中部,位于北票章吉营子乡北西约 5 km 处^[3]。

交通位置:辽宁省北票市上园镇土宝营村史家

收稿日期:2018-07-17

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“华北平原重点地区地面沉降调查”(编号:12120113016500)(项目原名称为“3500 m 深部地质勘查全液压钻探装备配套示范”)

作者简介:任启伟,男,汉族,1990 年生,工程师,机械设计制造及其自动化专业,从事钻探设备的研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,rqw1990@163.com。

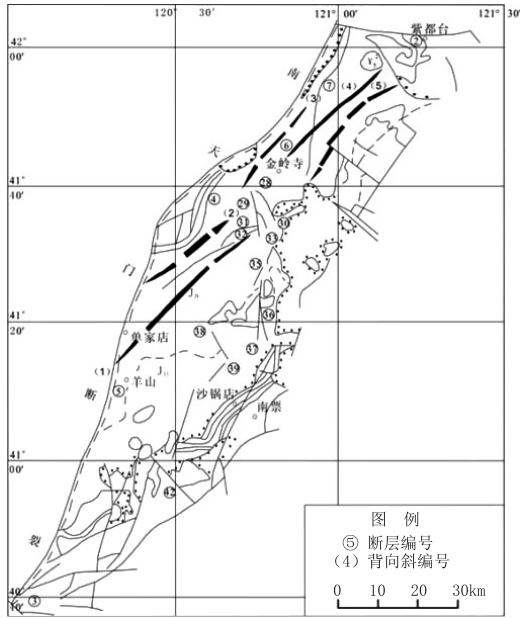


图1 金羊盆地示意



图2 金羊盆地构造分区与羊D1井位置示意

梁屯。北票市境内的锦承铁路可直通北京、沈阳、大连、锦州、承德等城市,国道 101、305 线和长深高速贯穿城乡。中心城区距朝阳机场 45 km、距锦州港口 150 km。

气象水文:工作区地处中纬段,属于温带大陆性季风气候区。北部受蒙古高原高压影响较大,气候大陆性特征特征显著。东南部距渤海虽不足百公里,但由于受燕山山脉阻隔,南来暖湿气流不能流入境内,所以形成半干旱半湿润的易旱地区。境内四季雨热同期,日照充足,昼夜温差较大。

风力:2~3 级,最大可达 3~7 级。

气温、降雨:气温在 -20~40 °C,工区冬季有发生暴雪可能,有轻雪灾的灾害天气,春、夏季需要预防大风、沙尘天气及瞬时集中降雨形成的泥石流灾害。

为顺利地完 成示范钻探工程,按照设计要求组织施工人员,将设备、器材运进现场,做好开钻前的准备工作,如修通道路、平整场地,建好现场值班室、仓库,架设好供电线路,安装好水泵站、泥浆循环系统、储水池、废浆池等。钻场布置见图 3,施工现场图见图 4。

1.2 地质情况

本次生产示范所施工的钻探孔编号为 YD01,设计的倾角为 90°,设计深度为 2500 m。地层情况为:0~2 m 为第四系;2~1100 m 为土城子组,以凝灰质砂岩、泥砂质胶结砾岩夹砂岩、页岩夹粉砂岩为主;1100~1200 m 为髻髻山组,以火山岩段为凝灰岩、凝灰质集块岩,沉积岩为炭质泥岩和煤线为主;1200~2450 m 为北票组,以砾岩,砾岩夹泥页岩、煤层和煤线为主;2450~2500 m 为兴隆沟组,以角砾岩、安山集块岩、安山质角砾岩、安山岩为主。岩石可钻性

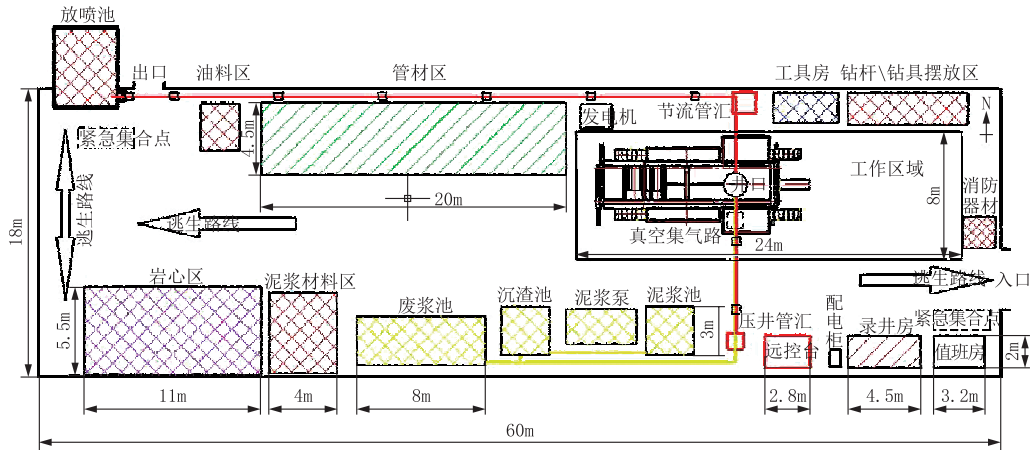


图3 钻场布置图



图 4 施工现场图

3~7 级,局部研磨性特强,该区局部构造较为完整。

1.3 钻孔结构

依据地质资料预算、YDX-6 型钻机设计钻探能力、同时考虑井控装置中套管与防喷器级别的匹配,钻孔拟采用二级成孔。表面覆盖层开孔直径 194 mm,采用牙轮钻头和 $\text{O}89$ mm 标准钻杆全面钻进,钻深 25 m,下入 $\text{O}178$ mm 孔口管。一开采用金刚石绳索取心钻进,钻孔直径 122 mm,采用 P 规格金刚石绳索取心钻杆、钻具、钻头钻进至 1450 m。二开采用金刚石绳索取心钻进,钻孔直径 97 mm,采用 H 规格加强型金刚石绳索取心钻杆、钻具、钻头钻进至设计孔深。钻孔结构示意图见图 5。

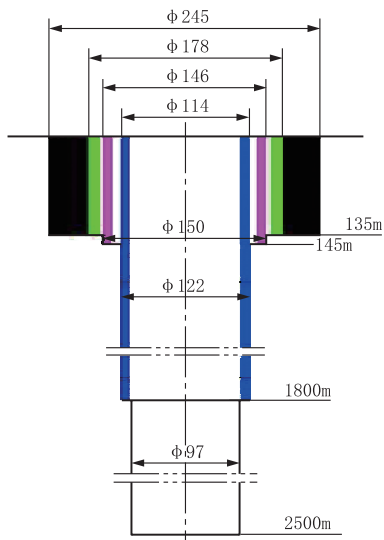


图 5 钻孔结构示意图

为施工中能安全可靠下入套管,包括套管头内各层套管的悬挂座封逻辑、下入次序等关系。选用 $\text{O}178$ mm 的 API 套管作为固井套管,固井深度 150 m。在一开至 300 m 时拔出孔口管,进行 245 mm 口径扩孔下套管,之后进行固井作业,为安装井控装置做准备。为了保证进行 $\text{O}122$ mm 口径钻进时返浆速度 ≤ 0.3 m/s,在 $\text{O}178$ mm 套管内插入 150 m 口径为 146 mm 的地质套管,以减小 $\text{O}178$ mm 套管内的环状间隙从而提高返浆流速^[4]。

1.4 主要设备及器具

钻机主要参数见表 1,主要配套器具见表 2,主要施工工具见表 3。

表 1 YDX-6 型钻机主要技术参数

项 目	主要参数	项 目	主要参数
钻深	NQ3500 m	动力	194+194+93+30 kW
给进力	80 kN	提升力	750 kN
给进行程	20000 mm	提升立根长度	18 m
动力头转速	0~600 r/min	动力头扭矩	3000~13000 N·m
工具卷扬提升力	30 kN	绳索绞车提升力	30 kN
液压系统压力	35 MPa	泥浆泵	500 L/min-20 MPa

表 2 施工主要配套器具

序号	名称	型号规格	数量	运转情况
1	全液压岩心钻机	YDX-6	1 套	正常
2	泥浆泵	BW500/20	2 台	正常
3	测斜仪	QXY-4	1 套	正常
4	发电机	11 kW 雅马哈	1 台	正常
5	发电机	35 kW 康明斯	1 台	正常
6	振动筛	400 L/min	1 台	正常
7	离心机	1.5 m ³ /h	1 台	正常
8	远程控制台	FK125-3	1 套	正常
9	气测录井仪	ZSY2008	1 套	正常
10	荧光录井	FWS-2000 型	1 台	正常
11	泥浆测试仪	ANY-1	1 套	正常
12	泥浆失水量测定仪	NS-1	1 套	正常
13	定向测井绞车	3000 m	1 台	正常

表 3 主要施工钻具

序号	名 称	型号规格	数量	运转情况
1	高强度绳索取心钻杆	HQ 加强型	2700 m	正常
		PQ 加强型	1900 m	
2	绳索取心钻具总成	J95	2 套	正常
		JS122	2 套	
3	外平水井钻杆	114 mm	300 m	正常
4	API 石油钻杆	73 mm	1500 m	正常
5	螺杆马达	95 mm, 1.5°, 1.25°	2	正常
6	无磁钻铤	95mm	1	正常

1.5 钻进过程与冲洗液

本井于2016年3月1日开钻,2016年3月23日经过245 mm口径扩孔、安装井控、侧钻、下套管、固井等阶段一开完钻。一开使用 $\text{O}122\text{ mm}$ 孕镶金刚石钻头,进尺1476.7 m。一开扩孔采用 $\text{O}216/245\text{ mm}$ PDC钻头,先进行 $\text{O}216\text{ mm}$ 孔径扩孔,后进行 $\text{O}245\text{ mm}$ 扩孔。扩孔完成后下 $\text{O}178\text{ mm}$ 套管固井,安装35 MPa井控装置。一开钻至1476.7 m下 $\text{O}114\text{ mm}$ 套管1475.4 m,实施固井作业。

一开主要钻遇上侏罗统土城子组、中侏罗统髻髻山组,由于上部易垮塌,可能含有浅层气,采用满眼钻具组合防斜,旋转开孔,并采用轻压吊打的方。充分循环携砂,根据井深和钻速情况不断调整泵量。及时调整钻井液性能满足井下携砂要求,保证泥浆泵钻进上水良好。为保证下套管顺利,一开完钻后进行起下钻扫孔,充分循环钻井液清洗井底。上侏罗统土城子组二段50.45~500.52 m、上侏罗统土城子组一段500.52~1207 m井段地层较软,地层容易缩径、垮塌,钻井液配置:1 m³水+2%~3%膨润土+0.3%纯碱+0.3%~0.5%LV-PAC+0.2%~0.3%K-PAM+0.5%铵盐。在1000~1050 m发生垮塌后掉套管导致施工无法继续,决定采用侧钻避开该井段。侧钻采用氯化钾钻井液体系:1 m³水+2%~3%膨润土+0.3%纯碱+0.4%~0.5%K-PAM+5%~7%KCl+0.8%~1%LV-PAC,孔壁较稳定,顺利完成测钻。

二开主要钻遇中侏罗统髻髻山组,地层较硬,裂隙较多,多为方解石填充,容易反生井漏、井塌。二开井眼尺寸: $\text{O}99.5\text{ mm}$,井段:1476.7~2019.22 m。2016年9月24日二开开钻,2017年1月2日由于井下情况复杂,钻孔风险极大,二开完钻,完钻井深2019.22 m。钻具组合:ST-04水龙头+转换接头+H规格绳索取心钻杆+H规格绳索取心钻具+ $\text{O}99.5\text{ mm}$ 金刚石钻头。采用氯化钾强抑制钻井液体系,随钻加入多种堵漏材料效果均不理想。二开配合测井四次,由于井内孔壁极不规则,四次通井作业均未能顺利下放测井仪器,为保证测井仪器安全,仅实施了部分测井项目。

1.6 钻进效果

该井终孔深度2019.22 m,完成取心共计677回次,岩心长度总计2010.39 m,全井岩心采取率最低75%,最高100%,平均取心率高达99.56%。孔深与回次数关系见图6。

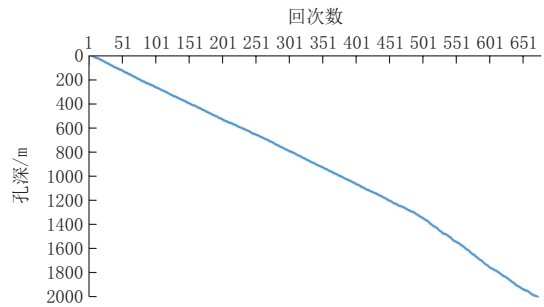


图6 孔深与回次数关系图

2 YDX-6型钻机与井控设备衔接

井控设备一般包括钻井四通、防喷器组、防溢管及对应管线等,安装这些需要一定高度,需满足防喷器管线的出口位置从井口贴地面而出^[5]。由于地质岩心钻机在设计时一般不会考虑安装井控设备,因此钻机平台下部没有足够空间,而YDX-6型钻机1.8 m高的平台为井控设备提供足够的安装空间,可满足石油天然气行业钻井要求,即井控设备安装以后内控管线应贴地面而出。本井在固井时,将固井套管与套管头连接螺纹设计在地表之下,完成固井之后,再通过钻井四通与防喷器、防喷管线、节流压井管汇连接。井口装置见图7。



图7 井口防喷器

3 YDX-6型钻机与录井设备衔接

按照地质设计,工程设计等相关规范要求本项目需开展岩心荧光、钻时、转速、扭矩、泵压、井深、泵冲、气测、泥浆性能、井温与井口油气观察等多项地

质综合录井工作。这些参数中与设备有关的项目包括钻时、转速、扭矩、井深、泵冲、泵压等参数,若使用常规岩心钻机需增加各个功能的传感器,而 YDX-6 型钻机采用数字化操作,钻进过程中对各个钻进参数实时监控,系统框图见图 8,同时 YDX-6 型钻机提供 RS-232 接口,录井设备通过 RS-232 串口实时调用钻机的钻探参数。

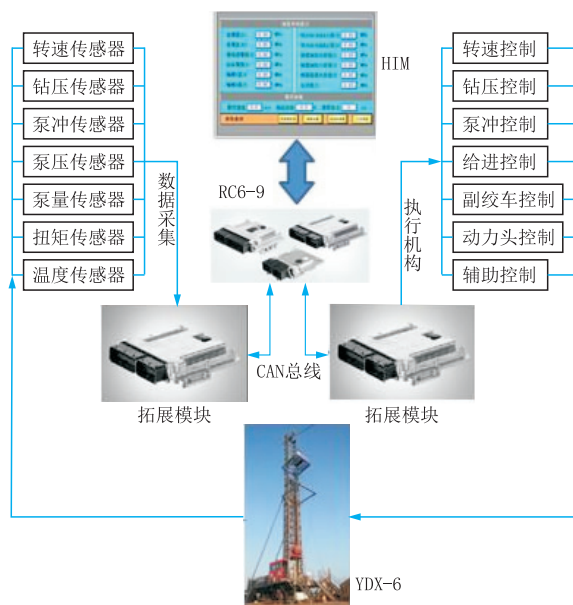


图 8 YDX-6 型钻机钻进过程参数监控系统框图

4 YDX-6 型钻机在生产示范应用中的性能表现

(1) 本轮实验采用 P 规格加强型绳索取心钻杆钻到为 1476.7 m, 采用 H 规格加强型钻杆钻到 2019.22 m, 基本达到钻机设计能力, 但是钻机整体性能还未能完全体现出来。

(2) 动力头工作稳定, 即使在夏天高温天气, 动力头整体温升也正常, 润滑系统工作可靠。

(3) 钻机液压系统采用负荷敏感控制系统、恒功率控制系统, 实际应用效果好。液压油散热系统工作可靠, 即使在室外最高温, 液压油温升一直在允许范围内。

(4) 在整个实验中 YDX-6 型岩心钻机主要性能表现见表 4。

5 结论及建议

(1) YDX-6 型钻机在第二次野外生产示范试

表 4 YDX-6 型钻机性能参数表

项 目	性能参数
整机累计正常运行时间	约 7000 h
经历室外最低温度	-30 ℃
经历室外最高温度	41 ℃
动力头最高工作转速	450 r/min
动力头最大扭矩	7000 N·m
动力头齿轮箱最高温度	61 ℃
辅助系统最高压力	25 MPa
主系统最高压力	20 MPa

验中取得成功, 展示了它的优良性能, 满足以金刚石绳索取心钻进为主体的深孔地质钻探工艺要求, 在深部矿产资源勘查、油气井勘查等中能够提供技术装备支撑。

(2) 该钻机为多功能钻探装备, 既可用于深孔岩心钻进, 也可用于我国浅部石油勘探, 以及新能源如煤层气、页岩气、干热岩等的勘探, 既可以打丛式井, 又可以钻进定向孔, 因此, 该钻机将有非常大的潜在市场。

参考文献:

- [1] 刘凡柏, 任启伟, 伍晓龙, 等. 3500 m 岩心钻探装备的研制及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(S1): 231-236.
- [2] 任启伟, 刘凡柏, 李宽, 等. 3500 m 岩心钻探装备在金矿勘查中的示范应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(S1): 237-242.
- [3] 张涛, 李永飞, 孙守亮, 等. 辽宁金羊盆地羊 D1 井油砂地球化学特征及意义[J]. 地质通报, 2017, 36(4): 582-590.
- [4] 汤小仁, 王庆晓, 古卫鹏. “羊 D1” 油气勘探井控装置的连接设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(12): 63-67.
- [5] 杨庆理, 等. 石油天然气钻井井控[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [6] 伍晓龙, 刘凡柏, 刘智荣. 3500 m 全液压岩心钻机动力头结构设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 13-17, 22.
- [7] 陈根龙, 张金昌, 刘凡柏, 等. 3500 m 钻机移摆管设计及动力学仿真研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(4): 56-60.
- [8] 任启伟, 刘凡柏. 3500 m 岩心钻探装备绳索取心绞车自动排绳器的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 61-64.
- [9] 古卫鹏, 刘凡柏, 张金昌. 绳索取心绞车技术发展综述[C]// 中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程) 学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2015.
- [10] 刘凡柏, 张金昌, 谢文卫, 等. 2000 m 地质钻探关键技术与装备的应用示范[J]. 地质装备, 2013, 14(6): 15-20.