

“羊 D1”油气勘探井井控装置的连接设计

汤小仁, 王庆晓, 古卫鹏

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:在地质勘探钻井中一般不需要进行井口压力控制。辽西金羊盆地“羊 D1”钻井采用地质勘探井的钻井工艺方法进行油气勘探,需要预备有井口压力控制措施。地质钻井设备和井控装置如何耦合是本文讨论的重点。以该井为例,介绍了用全液压岩心钻机全孔金刚石绳索取心钻进工艺施工油气勘探井的施工工艺。钻进中综合考虑了 YDX-6 型全液压岩心钻机平台的下方空间尺寸、井身结构设计以及本钻井的井口压力控制等要求,选择和设计了一套满足小口径取心钻探施工要求的井控装置。

关键词:油气勘探井;井控;全液压岩心钻机;金刚石绳索取心钻进;防喷器

中图分类号:P634;TE28 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)12-0063-05

Connection Design of the Wellhead Pressure Control Device for Oil and Gas Exploration Well Drilling/TANG Xiao-ren, WANG Qing-xiao, GU Wei-peng (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Generally, it is unnecessary to control wellhead pressure in geological exploration drilling, while for Yang D 1 well in Jinlingsi Yangshan basin of west Liaoning, the oil and gas exploration was carried out with the drilling method of geological exploration wells, wellhead pressure control measures should be prepared, and the coupling of geological drilling equipment and well control device is the focus of this paper. Take this well as the example, the construction process of oil and gas exploration well with full hydraulic core drilling rig for full hole diamond core drilling is presented. The space dimension below YDX-6 full hydraulic core drilling machine platform, casing program design, wellhead pressure control and some other requirements were taken into account in drilling operation, a set of well control equipment is determined and designed, which can meet small-diameter core drilling construction.

Key words: oil and gas exploration well; wellhead pressure control; all hydraulic core drilling machine; diamond wire-line core drilling; blowout prevention device

0 引言

井口压力控制是石油与天然气勘探开发过程中的重要环节,自 20 世纪初开始,由于钻井技术的不断成熟,世界石油天然气勘探开发活动日益活跃,勘探领域从陆上到海上,从浅部地层到深部地层,从老区到新区迅速延伸。在钻井数量不断增加、勘探领域逐渐扩大的过程中,井喷失控日益成为威胁钻井安全的关键因素。

世界上第一例公开报道的井喷失控发生在 1901 年 1 月 10 日,美国得克萨斯州东南部的博蒙特,一口油井在起钻过程中发生井喷,巨大的压力把井内还未起出的 213 m 钻具冲出井口,油气柱喷达到 3.05 m,最终喷出原油 8 万 m³并引发着火。我国解放后发生的比较严重的天然气井的井喷失控是在

1957 年 2 月 2 日,重庆巴 9 井,起钻未灌钻井液引发强烈井喷,井内 216 m 钻具全部冲出,与井架撞击着火,火焰高达 120 余米,先后经过 3 次空中爆炸才将大火扑灭^[1]。

实践证明,单纯靠经验来处理井控问题已无法避免和减少因井喷和井喷失控造成的巨大损失。因此,油气井的压力控制引起人们的极大关注,随着现代钻井工艺技术的不断发展,逐渐形成了较系统的井控理论和压力控制技术。

1 钻井概况

1.1 钻井目的

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

收稿日期:2016-05-20;修回日期:2016-11-21

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“辽宁金羊盆地油气基础地质调查”(编号:12120115001301-01)

作者简介:汤小仁,男,汉族,1988 年生,工程师,工程机械专业,从事小口径全液压钻探设备、非开挖施工设备的研发工作,河北省廊坊市金光道 77 号,103107161@qq.com。

D1”钻井处于金羊盆地西界南天门断裂中部,位于北票县章吉营子乡北西约 5 km 处。该钻井主要目的有以下几点。

(1)揭露金羊盆地西部章吉营子凹陷火山岩覆盖区目的层,下侏罗统北票组沉积特征,建立北票组地层层序;

(2)尽可能打穿盆地西部章吉营子凹陷火山岩覆盖区下的北票组,对所取得的北票组暗色泥页岩进行综合评价,暗色泥岩厚度应不少于钻遇沉积岩厚度的 20%;

(3)了解所钻遇地层的岩性、物性及沉积特征、古生物及有机质特征;

(4)了解盆地火山岩及其下覆地层的生、储、盖组合特征及含油气情况;

(5)了解中侏罗统髫髻山组、海房沟组,下侏罗统北票组之间的接触关系;

(6)为盆地下一步油气勘探部署提供依据。

1.2 钻进工艺与井口压力控制装置耦合问题的提出

本井使用金刚石绳索取心钻进工艺,该工艺常用于固体矿产勘探孔,而油气勘探与固体矿产勘探的不同点之一是有可能钻遇高压油气地层,针对地层可能出现高压的情况,根据油气勘探钻井规程,本钻井需要在钻井设计中增加井口压力控制系统。

油气勘探井施工用钻机一般都有较高的作业平台,平台下方以及孔口均有足够空间安装较大尺寸的井口压力控制装置,而本井使用的是我所自主研发的 3500 m 全液压岩心钻机,在钻机的设计中预留了一定的空间安装井控装置,而普通的地质岩心钻机与地面之间一般没有安装井控装置的空间,因此如何将地质岩心钻机与井口压力控制装置进行耦合以便进行油气勘探井施工,是本次工程施工的一个重要课题。

2 “羊 D1”钻井井身结构设计

为了符合工程任务要求,参照 3500 m 全液压钻机(YDX-6)的设计能力,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 $\Phi 89$ mm 标准地质钻杆全面钻进,下入 $\Phi 178$ mm 孔口管,孔深 25 m。

一开孔径 122 mm,采用 $\Phi 114$ mm 金刚石绳索取心钻具钻进,下入 $\Phi 114$ mm 套管,下深约 1250 m。

二开孔径 97 mm,采用 $\Phi 91$ mm 金刚石绳索取心钻具钻进,至终孔深度 2500 m。井身结构如图 1 所示。

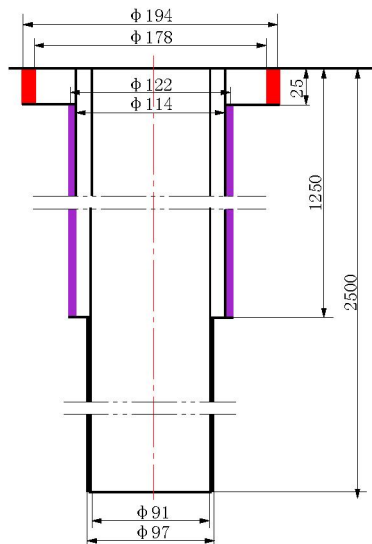


图 1 “羊 D1”钻井井身结构示意图

针对深部有钻遇极其复杂地质条件的可能,预留 $\Phi 76$ mm 口径作为三开备用。采用 NQ 钻具,金刚石绳索取心钻进,确保获得全孔的岩心。

井身结构设计是对施工风险的预见和防范,以终孔直径做为拟定钻孔结构的标准,对照理想岩层剖面自下而上拟定各段的口径和开孔直径。在保证钻孔质量和安全钻进的前提下,尽可能地采用泥浆护孔从而减少或不下套管和少换径,最大限度地简化钻孔结构。设置孔口管,简化套管程序,合理设置套管尺寸和间隙,提高套管柱的强度,降低环空压降,为后续的施工提供充分的空间尺寸^[2]。

其次,钻孔结构的设计也充分考虑井控装置中套管头与防喷器级别的匹配,以便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。综合考虑 YDX-6 型钻机能力以及依据地质资料测算,选用 $\Phi 178$ mm 的 API 套管作为固井套管,固井深度 150 m。在一开至 300 m 时,拔除孔口管,进行 $\Phi 245$ mm 口径扩孔,下入固井套管并下入水泥塞,之后进行固井作业,为安装井控装置做准备。为了保证进行 $\Phi 122$ mm 口径钻进时返浆速度 ≤ 0.3 m/s^[3],在 $\Phi 178$ mm 套管内插入 150 m 口径为 146 mm 的地质套管,以减小 $\Phi 178$ mm 套管内的环状间隙从而提高返浆流速。

3 井控装置的选择与配套

井控装置的选择主要是考虑工作压力和最大通过能力以及套管层级,该钻井孔深 2500 m,按照地质资料测算并参考相邻的钻井,选择最大工作压力 35 MPa 级别的井控装置。防喷器选择液压双闸板防喷器组,防喷器组与四通的通径为 $\varnothing 180$ mm。双闸板防喷器的上部闸板为全封闸板,下部闸板为半封闸板,根据井身结构设计,半封闸板安装为 $\varnothing 114$ mm,另备一套 $\varnothing 89$ mm 半封闸板作为下一级 $\varnothing 97$ mm 口径钻进使用。对应不同的钻井设计,套管头应该单独进行选型和设计。本钻井中使用的套管头为双级套管头。可选分体式 and 整体式,本次选择为整体式双级套管头。主要是考虑安装空间以及应用情况,本钻井是勘探井不需要进行油气开采,另外钻机平台下部工作空间有限,因此选择整体式套管头。整体式套管头缺点在于造价比分体式高,维修相对复杂,优点是尺寸小便于安装,对空间要求较小。套

管头下端面与固井套管通过螺纹连接,下入的套管层级为 $\varnothing 146$ mm 地质套管和 $\varnothing 114$ mm 地质套管,依次通过相应的悬挂器悬挂坐封在套管头内部,其中 $\varnothing 146$ mm 套管管靴为 $\varnothing 150$ mm,因此套管头设计通径为 155 mm。

四通两端通过手动平板阀分别连接压井管汇和节流管汇,其中节流管汇为单翼手动节流阀,可以实现放喷和节流,压井管汇连接压井泥浆泵,此外预留一个出口作为备用放喷口^[4]。平板阀、节流阀等阀门均为手动阀,只有双闸板防喷器为液压控制。由于该类型的全液压地质岩心钻机一般不设计足够大的钻井平台空间,施工中也不需要配备气源,因此本钻井中防喷器控制装置不再配备司钻控制台,而是通过一个远程控制台来控制,远程控制台只需要 3 个出口即可,其中一个控制口作为备用,另外 2 个控制口分别控制双闸板防喷器的全封闸板和半封闸板的开闭。井控装置组装见图 2。

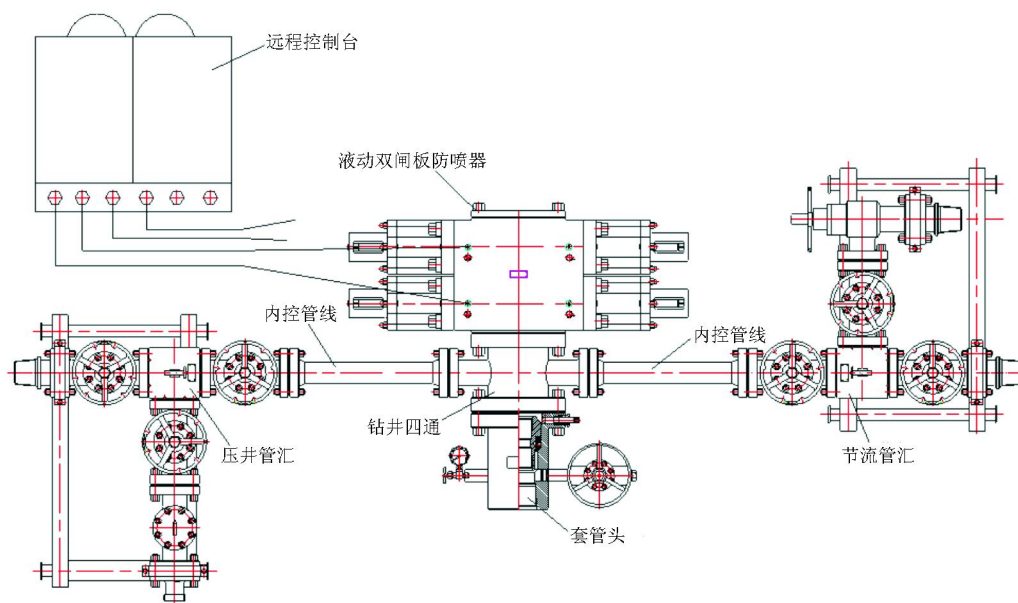


图 2 井控装置组装图

4 井控装置的安装与调试

井口压力控制装置的安装,应在完成固井施工之后,准备下一级钻进之前进行。井控装置在生产厂家出厂之前应进行压力试验,对远程控制台进行压力调试和设定,并出具试验报告、使用说明书以及其他资质材料^[5]。

如前文所述,由于地质岩心钻机在设计时一般不考虑安装井控设备,因此钻机平台下部没有足够

空间将井控设备裸露在地表之上。根据石油天然气行业钻井要求,井控设备安装以后,内控管线应贴地面而出,本钻井使用的 YDX-6 型全液压钻机在设计时对井控设备的安装有所兼顾,因此首先要确认安装空间足够,在固井设计中要充分考虑连接井口设备后管汇的高度问题。本钻井在固井时,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,通过下挖圆井,使套管头在地表之下与套管连接,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3。



图3 井口装置

将井口设备与管汇连接完成后,远程控制台应摆放在距离防喷器组远于25 m处^[4],通过一组液压管线连接防喷器组,本钻井为了连接便利,采用软管连接。远程控制台及压井管汇见图4。



图4 远程控制台及压井管汇

连接完成后,调试远程控制台,观察液压防喷器的开闭动作是否灵敏顺畅,压力储备等参数是否能达到要求。根据石油天然气钻井行业标准,防喷器控制装置需达到以下要求^[6]:

- (1) 闸板防喷器关闭时间 < 30 s。
- (2) 输出压力 ≤ 8.4 MPa。
- (3) 应能在15 min内将蓄能器从预充压力升压到控制装置的公称压力。
- (4) 溢流阀调定压力 ≥ 24 MPa,开启压力和闭合压力均不低于21 MPa。
- (5) 当调压阀的进口压力21 MPa,出口压力调定为8.5 MPa条件下,出口压力值波动应在0.5 MPa范围内。
- (6) 蓄能器充氮气压力为 $7 \text{ MPa} \pm 0.7 \text{ MPa}$,电源电压 $380 \text{ V} \pm 19 \text{ V}$ 。

(7) 当蓄能器组压力从21 MPa缓慢下降到 $18 \text{ MPa} \pm 0.5 \text{ MPa}$ 时,电机自动启动打压;当压力升至 $21 \text{ MPa} \pm 0.5 \text{ MPa}$ 时,自动停止。

(8) 蓄能器标准压力21 MPa,控制闸板防喷器压力10.5 MPa。

(9) 在停泵情况下,蓄能器组的储液量应大于关闭防喷器组所需液量的1.5倍。

(10) 耐压能力,蓄能器压力21 MPa、防喷器调压阀出口压力10.5 MPa、管汇压力21 MPa时,三位四通转阀在10 min内的压降在中位时不大于0.35 MPa,在开、关位时不大于0.7 MPa。

(11) 油箱有效容积,至少应大于蓄能器组液量的2倍。

5 井口装置与管汇试压

将井口装置和管汇连接并完成调试之后,应对其进行试压。对应本次钻井,应将加压泥浆泵溢流压力调定为35 MPa,通过压井管汇的压井口将泥浆充满整个试压管路。

下入套管头试压塞,提出钻杆,关闭全封闸板,关闭相应的阀门,开启泥浆泵,待泥浆压力上升至35 MPa,关闭泥浆泵,试压稳压时间 ≥ 10 min,通过管汇上的高压抗震压力表观察压降情况,允许压降 ≤ 0.7 MPa。完成试压后,打开放喷阀门,通过放喷口泄压。

全封闸板试压后,对半封闸板进行试压。下入试压塞之后,钻杆不提出,在钻杆上端连接旋塞阀,并关闭旋塞阀。关闭半封闸板,重复全封闸板试压过程。试压稳压时间 ≥ 10 min,通过管汇上的高压抗震压力表观察压降情况,允许压降 ≤ 0.7 MPa。完成试压后,打开放喷阀门,通过放喷口泄压。

以上过程是在安装井口压力控制装置之后对闸板防喷器、四通、防喷管线、压井管汇、节流管汇以及以上各部件的连接密封处的承压试验,以及对液压控制油路做21 MPa可靠性试验,在稳压超过10 min之后,各个密封部位均无渗漏,液压控制压力和泥浆稳压压降 $\leq 0.7 \text{ MPa}$ ^[7]。

6 下入套管

根据本钻井的井身结构设计,在 $\varnothing 178$ mm固井套管内部插入 $\varnothing 146$ mm地质套管,因此井控装置安装试压完毕,下一级钻进开始前,要下入 $\varnothing 146$ mm

地质套管。

与油气开采钻井不同,本钻井只进行一次 $\varnothing 178$ mm 套管固井, $\varnothing 146$ mm 套管不固井,套管上端需要悬挂坐封在套管头内部,而下部套管靴需要立在孔底,因此对下套管过程提出了较高的要求。为了实现 $\varnothing 146$ mm 套管下入后上下两端同时承载套管重力,该级套管采用正扣连接,便于下入过程中实现短距离钻进,以补偿丈量后需要下入的套管长度与实际孔深之间的误差。

在本钻井的 $\varnothing 146$ mm 套管下入过程中,下最后一根套管之前,丈量悬挂器的一个悬挂点至已下入的套管最上端的螺纹紧固处的距离,选择一根比此尺寸稍大且最接近的长度的套管,下入此套管后,套管靴已经立在孔底,而悬挂器还未到达悬挂止动点,此时低转速缓慢回转钻进,直到悬挂器标记点位到达套管头的悬挂标记处,停止钻进。锁紧悬挂器,反转取出主动钻杆,至此 $\varnothing 146$ mm 套管下入完毕,可以进行下一级钻进。

7 结语

(1)井口压力控制来源于油气井的施工,本钻井为地质勘探井和油气勘探井相结合,全孔采取岩心,施工工艺采用地质岩心钻探比较成熟常用的绳索取心工艺。考虑到施工目的是进行油气勘探,因此有可能钻遇高压油气层,根据安全及保护油气层的要求,井口必须安装压力控制装置。在井口防喷装置的选择上,除套管头需要特殊设计之外,防喷器、四通、管汇、远控台均应选择国标产品。

(2)普通地质岩心钻机没有设计钻台机构,需要架设简易钻井平台,根据钻孔的压力级别、保护油气层的特殊要求,钻台高度应不小于1.5 m,并确保钻台下部留有井口装置和内控管线的安装空间。

(3)根据要求内控管线需从钻井四通贴地面引出,因此套管头要安装在地表以下。从地表下挖圆井,使套管头与固井套管在地表以下连接,保证钻井四通的左右两侧与地面平齐。

(4)石油开采钻井中,需要下入表层套管、技术套管、油层套管等套管,所有套管都需要固井,以防止混浆及污染油气层。本钻井用套管是需要回收的,因此套管的下入是本钻井施工的难点,既要保证套管头内部悬挂端密封到位,同时要保证套管下部不得悬空,因此套管应使用可短距离钻进的套管靴,若现场施工套管可不回收,则采用套管上部悬挂,下部悬空并水泥固井的方法下入套管。

参考文献:

- [1] 杨庆理,等.石油天然气钻井井控[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [2] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [3] 李世忠.钻探工艺学(上)[M].北京:地质出版社,1992.
- [4] 孙振纯,等.井控技术[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [5] 中国石油天然气总公司劳资局.井控技术[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [6] 张桂林.石油作业井控技术[M].山东东营:石油大学出版社,2003.
- [7] 孙振纯,等.井控设备[M].北京:石油工业出版社,1997.