

# 湘西北地区页岩气钻井防喷井控技术研究

彭粲璨, 唐建军

(湖南省煤田地质局油气资源勘探队, 湖南 长沙 410014)

**摘要:**随着湘西北地区页岩气勘探开发步伐的不断推进, 钻井技术作为页岩气勘探开发的龙头地位日益突显, 在页岩气探井钻井实施过程中, 井控防喷始终是钻井技术安全中的重中之重。湘西北地区页岩气相比常规油气具有低压、低渗、低饱和度的“三低”特征, 钻井过程中所采用的井控防喷技术有本质的不同。通过从井控技术的源头出发, 建立起页岩气钻井井眼地层压力理论计算模型, 提出相应的井控技术工艺措施和装备, 结合湘西北页岩气预探井慈页 1 井井控实例和成熟的常规油气井控技术, 制定一套相应的井控技术工艺措施, 做到安全、节约、高效的页岩气钻井。

**关键词:**页岩气钻井; 井控; 防喷; 慈页 1 井; 湘西北地区

**中图分类号:** TE28; P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)03-0015-05

**Study on Blowout Prevention and Well Control Technologies of Shale Gas Drilling in Northwest Hunan/PENG Cancan, TANG Jian-jun** (Oil and Gas Resources Exploration Team, Hunan Bureau of Coal Geological Exploration, Changsha Hunan 410014, China)

**Abstract:** Along with the continuous shale gas exploration and development in northwest Hunan, the position of drilling technology becomes more and more important. In the drilling process of shale gas exploration well, the well control and blowout prevention have been the most important part in the safety drilling technology. Comparing with the conventional oil and gas, shale gas of northwest Hunan has “three low levels” characteristics of low pressure, low permeability and low saturation, the used well control and blowout prevention technologies are different from those used in oil and gas exploration in the essence. Starting from the source of well control technology, the theory calculation model of formation pressure near shale gas well is established and the corresponding well control technical measures and equipments are suggested. Based on the example of well control in shale gas prospecting well - CY1 in northwest Hunan and the mature conventional oil and gas well control technology, a set of well control technical measures are formulated to ensure safe, saving and efficient shale gas well drilling.

**Key words:** shale gas well drilling; well control; blowout prevention; well - CY1; northwest Hunan area

## 0 引言

目前, 随着常规油气资源的不断枯竭和消耗, 越来越多的目光转向页岩气, 湘西北地区页岩气资源丰富, 勘探开发前景巨大<sup>[1]</sup>, 而页岩气勘探开发的钻井技术, 尤其是钻井防喷井控技术, 国内尚未统一形成系统的标准和规范, 现主要借鉴的是常规油气勘探和固体岩心钻探标准, 但 2 个行业对钻井防喷井控技术认识有很大的差别, 常规油气钻井具有成熟、完善的钻井井控配套技术标准, 而固体岩心钻探技术对井控防喷没有太多的要求。页岩气属于非常规天然气勘探范畴, 赋存状态以吸附态或游离态为主, 其中游离态占 20% ~ 85%<sup>[2]</sup>, 存在一定的井控风险。

井控技术是一种钻井安全防范技术, 历年来发生过不少的钻井井喷失控事故, 造成过巨大的损失。2003 年 12 月, 发生在重庆开县的中石油四川石油

管理局罗家寨 16 号井天然气钻井井喷失控事故, 井喷失控夺走了 212 条人命, 27011 多人中毒就医, 10 万人连夜疏散, 直接经济损失达 9200 万元<sup>[3]</sup>, 现如今页岩气勘探开发处于起步阶段, 如果对页岩气钻井井控防喷技术掌握不完善, 勘探开发钻井就存在一定的井控风险, 因此, 在页岩气勘探钻井方面需要引起足够的重视。

## 1 湘西北地质及地层压力特点

### 1.1 地质概况

湘西北区块大地构造位置属扬子准地台。其东侧为江南地轴, 系一长期隆起区; 西侧相对坳陷。区内主题构造呈北北东方向, 元古界及下古生界地层广泛分布; 上古生界及三叠系中、下统主要分布在大庸、永顺、保靖、花垣一线以西, 中、新生界分布较零星。在地层分区上, 基本上为下寒武统分布的武陵

山过渡区,隶属于扬子区和江南区的过渡地带<sup>[4]</sup>。

湘西北区内出露地层由老到新有板溪群、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第四系。岩性以砂岩、泥岩、页岩、砂砾岩和灰岩为主,大部分岩石的可钻性不高,能较好地钻进。

湘西北地区页岩气勘探目的层的埋深较浅,下志留统龙马溪组页岩有效厚度 30~60 m 之间,页岩有效厚度呈现为中间最厚,可达 45 m,向东西页岩厚度逐渐降低,减至 30 m 左右,湘西北下志留统龙马溪组黑色页岩埋深在 500~2000 m,局部地区遭受剥蚀,下寒武统牛蹄塘组黑色页岩埋深在 2000~3500 m 之间变化。因此,湘西北地区页岩气钻井深度目的层在 3500 m 以浅,平均在 3000 m 左右。

### 1.2 井身结构

湘西北地区的页岩气探井普遍采用三开井身结构,如图 1 所示。

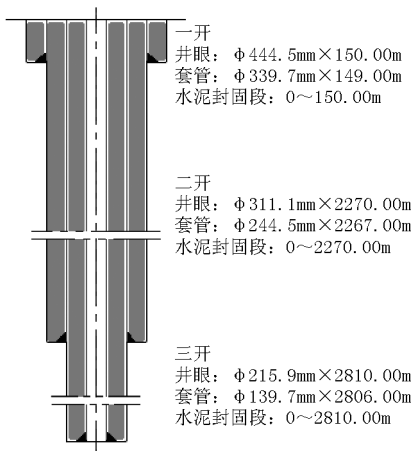


图 1 湘西北页岩气井身结构示意图

一开采用  $\Phi 444.5\text{ mm}$  钻头钻穿表层松散地层,进入志留系下部泥岩稳定基岩地层,下入  $\Phi 339.7\text{ mm}$  表层套管,预计井深 200 m 左右。目的是封固地表疏松易垮地层及地表水层,固井水泥返至地面。固井后在井口安装防喷器组及相关设备、管线,为二开钻井作业创造条件。

二开采用  $\Phi 311.1\text{ mm}$  钻头钻穿奥陶系及寒武系灰岩层段,进入下寒武统泥页岩层 20~50 m,下入  $\Phi 244.5\text{ mm}$  技术套管,封固上部易漏失灰岩地层,为三开泥页岩层段安全钻进创造条件,同时考虑到了井控的需要,水泥返至地面。固完井后安装防喷器组和井口装置,以保证下一开次钻井的安全施工。

三开采用  $\Phi 215.9\text{ mm}$  钻头钻穿主要目的层页岩后进入下部地层 30 m 完钻,下入  $\Phi 139.7\text{ mm}$  生产套管固完井,固井水泥返至地面。

### 1.3 地层压力

地层压力预测方法是基于压实理论、均衡理论及有效应力理论。利用地震资料和已钻井资料进行预测,结合 Eaton 法预测地层压力<sup>[5]</sup>,建立湘西北区块地层压力剖面,指导湘西北地区的钻井设计和施工。Eaton 法预测压力的公式如下:

$$P_p = P_0 - (P_0 - P_n)(\Delta t_n / \Delta t)^c$$

式中:  $P_p$ ——地层压力,MPa;  $P_0$ ——上覆岩层压力,MPa;  $P_n$ ——静液柱压力,MPa;  $\Delta t_n$ ——该深度点正常趋势线上的声波时差、 $\Delta t_c$ ——地层实际声波时差,us/ft;  $c$ ——伊顿指数。

其中静液柱压力  $P_n$  的算法,主要与液体介质的密度、液柱的垂直高度有关,即:

$$P_n = 0.00981\rho/h$$

式中:  $\rho$ ——液体介质的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $h$ ——液柱的垂直高度, m。

其中伊顿指数  $c$  的算法公式如下:

$$c = \frac{\ln(P_0 - P_p) / (P_0 - P_n)}{\ln(\Delta t_n / \Delta t)}$$

式中:  $P_p$ ——实测的地层孔隙压力,MPa。

其中的上覆岩层压力  $P_0$  的算法公式如下:

$$P_0 = 0.00981D[(1 - \varphi)\rho_{ma} + \varphi\rho]$$

式中:  $D$ ——地层的垂直深度, m;  $\varphi$ ——岩石孔隙度, %;  $\rho_{ma}$ ——岩石骨架密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

湘西北页岩气的实测压力系数  $< 1.1$ , 利用慈页 1 井井旁道速度谱点 Eaton 指数和趋势线拟合图(见图 2、图 3), 预测本地区的地层压力系数为 1.1。

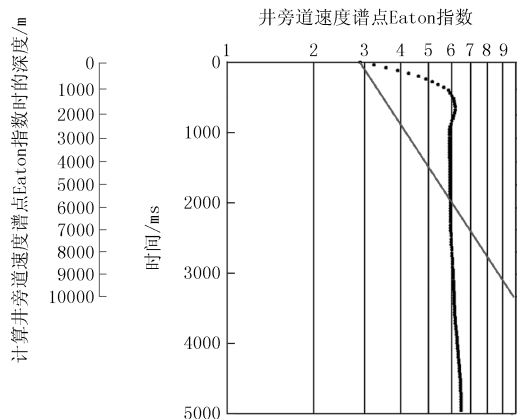


图 2 Eaton 指数和趋势线拟合图

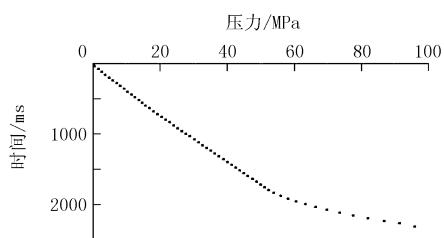


图 3 湘西北地区实测地层压力图

## 2 钻井防喷井控技术难点

湘西北地区可供参考的井控技术资料较少,根据地质资料提示本地区目的层段地层压力系数为 1.1 左右,但进入目的层可能有高压情况,在实际的钻进过程中根据实际情况及时调整钻井液密度,确保安全钻井。

### 2.1 低渗低压的井控难题

长期以来,井控技术工作向来以高压、高渗和含硫储层作为井控工作的重点,而对于低渗、低压储层,可参照的资料和工艺技术相对较少。

湘西北页岩气储层具有低压、低渗的特点,通常渗透率数值在 0.1 ~ 10 m/d 范围内。面对新的勘探储集层,现场的技术人员往往井控意识比较淡薄,而井控意识淡薄通常是造成井控事故的主要原因<sup>[6]</sup>。

页岩气井开采的关键技术是水平井技术和压裂技术,而压裂技术需要使用大功率的压裂设备将压

裂液压入地层原有的孔隙和裂缝中,改变原有的地层压力系统,带来不可预知的防喷井控风险。这种改变地层压力的压裂技术增加了井控工作的不确定性、难度和复杂程度,是具有低渗、低压特征的页岩气储层所需要面对的井控难题。

### 2.2 新区地层压力预测不准

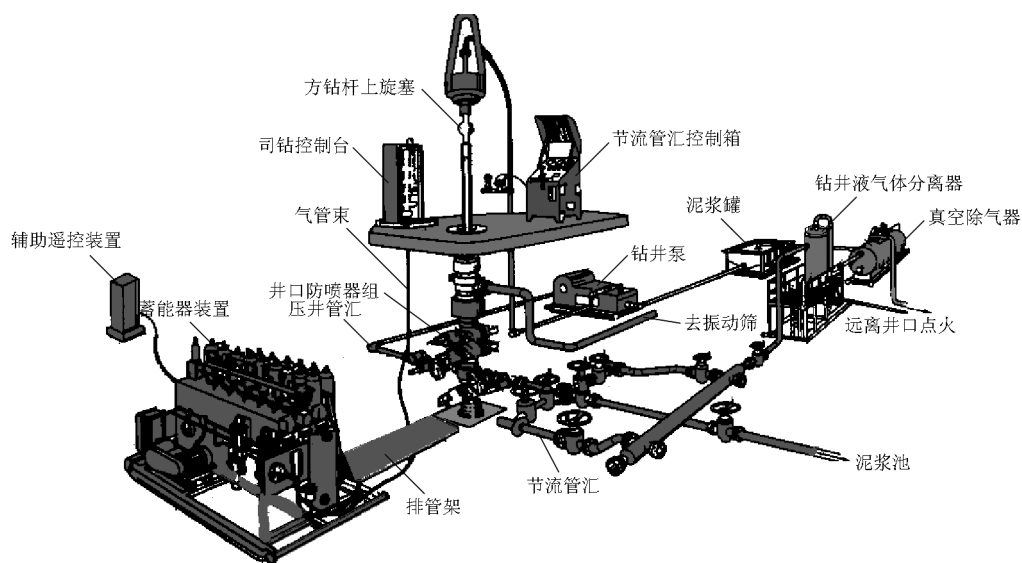
湘西北地区为新的页岩气勘探区块,页岩气钻井资料空白,以往的可参考的石油钻井资料也较少,可参考的深部地层压力资料基本空白,而地层压力的预测是钻井井控工作的关键。湘西北地区构造相对复杂,断层相对较多,这进一步增加了井控工作的难度。

### 2.3 湘西北作业环境受限

湘西北地区地处湖南省西北部,以山区丘陵地形为主,人口居住相对比较密集。钻井井场一般地处村庄,交通条件一般,周围有群众,村庄的应急疏散难度较大,钻井井喷失控后果难以估计。

## 3 页岩气井控技术装备

预防页岩气钻井井喷的最有效的办法是安装井控装置。井控装置(包括井口装置、井控管汇、其它井控装置和井控作业专用设备)的安装包括钻井井口装置的安装、井控管汇的安装、钻具内防喷工具的安装等。目前,钻井井口装置主要包括防喷器、防喷器控制系统、四通及套管头等(如图 4 所示)。

图 4 页岩气钻井防喷井控装置示意图<sup>[7]</sup>

目前,井控装置广泛应用于常规石油与天然气行业,页岩气钻井大部分沿用常规油气的井控装置,

国内暂时没有专门针对页岩气钻井而制造的井控装置。

我国现有的井控装置的相关标准和规范基本参照常规石油与天然气行业的,页岩气行业暂未出台相关的标准和规范。与页岩气有着相近成藏特点的煤层气在钻井防喷方面现主要也是参照常规油气标准来执行,因煤层气井深较浅,所选用的井控装置防喷器压力级别不是太高,大都在 35 MPa 以下。国内就页岩气是否安装防喷器以及安装多大压力级别的防喷器暂未形成统一的认识。中石油在四川威远—长宁页岩气区块大都是以常规油气标准来设计和安装井控设备,选择的防喷器压力级别大都以 70 MPa 为主;中石化的重庆涪陵页岩气区块的页岩气钻井防喷井控装置也参照常规油气的井控标准,基本选用的井控防喷器压力级别以 70 MPa 为主;湖南省煤田地质局第一勘探队在湘西北慈利县施工的慈页 1 井的井控装置防喷器压力级别则选用的是 35 MPa。

在页岩气的调查评价和勘探启动的初期阶段,因部分钻井施工采用的是岩心钻机设备,如 XY-4 型、XY-6 型等。岩心钻机主要针对的是固体矿产勘探,钻机本身的设计未考虑到气体矿产方面的“井控”概念,钻机平台底座低,地面井口与平台底座之间无法安装常规油气钻井的井控装置。部分页岩气钻井采用煤层气钻机,如美国雪姆公司的 TXD 系列钻机,存在着同样的问题。综合而言,页岩气参照常规油气的井控标准来设计和安装井控装置,还存在诸多难以适应的问题。

## 4 页岩气井控技术工艺措施

井控技术源于常规油气钻井,而页岩气属于新的矿种,其勘探钻井也离不开井控技术。在国内的页岩气勘探技术暂未形成统一标准的情况下,页岩气钻井井控技术暂时还是参照常规油气的井控技术。湘西北页岩气储层地层压力低,其钻井井控风险相对于常规油气来说较低,但湘西北页岩气区块内邻井可参考的钻井资料少,存在着未知的钻井井控风险,预探井的钻井井控技术依据常规油气的“高标准、严要求”执行。

### 4.1 调配合适的钻井液密度

做好一次井控工作,根据实钻情况合理调节钻井液密度。页岩气钻井施工前应根据钻井前预测的地层压力梯度当量密度曲线绘制设计钻井液密度曲线;施工中随钻检测地层压力梯度,并绘制当量密度曲线和实际钻井液密度曲线;依据监测结果和钻进

过程的实际情况及时调整钻井液的密度。

在钻进过程中调配合适的钻井液密度,关键是预防井喷、漏失、掉块垮塌等。现场钻井液工程师应提前作好计划,精心组织好现场施工,并根据现场实际情况,以小型试验为依据,优化配方,精心维护处理,以优质的钻井液质量,确保施工的安全顺利进行。

### 4.2 配备齐全的井控设施

虽然目前国内没有专门针对页岩气井控的防喷设备,但暂时可参照常规油气的标准来选用相应级别的井控装置。要根据湘西北地区不同井底地层压力选用不同压力级别的防喷器装备和组合形式,同时节流管汇的压力级别和组合形式要与防喷器压力级别和组合形式相匹配。此外,页岩气探井还必须安装液气分离器和除气器,并将液气分离器排气管线接出井场以外,同时井控设施的配置及安装应符合《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》(SY/T 5964—2006)中的相应规定。

### 4.3 严格执行安装试压标准

井控装置在出厂前,在室内应用清水进行严格的试压,防喷器、节流管汇和压井管汇试压到额定工作压力,试压稳压时间  $\leq 10$  min,允许压降  $\geq 0.7$  MPa,密封部位无渗漏。闸板防喷器应做低压试验,试压值为 0.7~2.1 MPa,稳压时间  $\leq 3$  min,压降  $\geq 0.07$  MPa,密封件部位无渗漏。全套井控设施在钻井现场安装好后,再进行清水试压,试验压力不能超过套管抗内压强度的 80%。在此前提下,环形防喷器试压到额定工作压力的 70%,闸板防喷器、压井管汇试压到额定工作压力,节流阀后的部件比其额定工作压力低一个压力等级试压。

### 4.4 坚持 24 h 坐岗制度

湘西北页岩气钻井在进入目的层前 50 m 要进行 24 h 坐岗制度,凡坐岗人员上岗前必须经过技术培训,坐岗记录包括时间、工况、井深、起下立柱数、钻井液灌入量、钻井液增减量、原因分析、记录人、值班干部验收签字等,发现异常情况应立即报告司钻。

### 4.5 井控工程技术措施

在钻井过程中非目的层每小时测量一次钻井液增、减量。进入目的含气层前 50 m 开始每 15 min 测量一次钻井液增、减量,做好各种原始记录。进入目的页岩气层后,提钻前要进行“试提钻”8~10 柱钻杆不灌钻井液,再下钻到井底洗井观察后效情况,

检测页岩气上窜速度。若有明显后效,则按一个循环周  $0.02 \text{ g/cm}^3$  的密度台阶均匀加重。钻进中遇到钻速突然加快、放空、憋钻、跳钻、气测异常及气、水显示异常等情况,应立即停钻观察。设立专人检查提钻灌钻井液制度,提钻时要连续灌浆,环空始终保持灌满状态。如有溢流,应立即停止起钻作业,及时关井求压;如井漏,应及时采取相应措施。起完钻要及时下钻,检修设备时应保持井内有一定数量的钻具,并安排专人观察井口。

如溢流发生后,应遵照《钻井井控技术规程》(SY/T 6426—2005)标准来进行溢流处理与压井作业,应立即按钻井井喷应急预案要求迅速控制井口,根据关井立压计算压井钻井液密度,并立即组织加重,尽快进行压井作业。

## 5 实例分析

慈页 1 井是中国地质调查局油气资源调查中心部署在湘西北石门—慈利地区的一口页岩气预探井,施工地点位于湖南省张家界市慈利县景龙桥乡杨家垭村 9 组,距离慈利县城 35 km。

根据慈页 1 井预测地层压力选择井控装置压力等级,慈页 1 井依据井底压力预测计算结果如表 1,选择的井口装置压力等级为:闸板防喷器 35 MPa,环形防喷器 35 MPa,井控管汇压力等级为 35 MPa。

表 1 慈页 1 井控装置选择依据

| 开钻<br>次序 | 设计完钻<br>垂深/m | 钻头直径/<br>mm | 预测地层<br>压力系数 | 井底压力/<br>MPa |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 二开       | 2270         | 311.1       | 1.08         | 22.5         |
| 三开       | 3008         | 215.9       | 1.08         | 27.8         |

慈页 1 井是湘西慈利区块部署的一口页岩气预探井,主要探明寒武系下统的牛蹄塘组目的层。进入目的层前 30 ~ 50 m,根据预告的地层压力,及时调整好钻井液密度和性能,做到能及时地发现溢流,液面监控装置准确、可靠,做到溢流  $1 \text{ m}^3$  报警,  $2 \text{ m}^3$  关井。钻开目的层前 50 m,直到完井交井全过程,班组设立液面坐岗监测制度,定人、定时观察井口及钻井液液面变化情况,并做好记录,保证及时发现溢流。落实井队干部 24 h 值班制度,发现问题及时处理。每次起下钻要对闸板防喷器及管汇闸阀开、关活动一次,检查钻杆内防喷专用工具,保证灵活好用。在页岩气层钻进中,方钻杆接上下旋塞,配备防喷短节和旁通阀,钻具尽量不在裸眼井段静止不动,

必要时将钻具起至套管鞋内,接好方钻杆或钻具止回阀,杜绝了空井井喷并随时保持井内钻井液灌满。

在目的层钻进过程中实施监测了油气上窜速度,钻头在井底静止 4 h,静止期间活动钻具,做好防卡工作。静止 4 h 以后测后效,计算油气上窜速度。循环测量后效(排量  $26 \text{ L/s}$ ,泵压 12 MPa,密度  $1.17 \text{ g/cm}^3$ ,粘度 50 s)。气测值高峰 65.77 万 ppm,正常气测值在 2 ~ 3 万 ppm 之间。循环观察,钻井液密度  $1.18 \text{ g/cm}^3$ ,粘度 52 s。计算出油气上蹿速度  $96 \text{ m/h}$ ,在安全可控的范围之内。

慈页 1 井钻井现场项目建立了安全生产管理组织网络、HSE 管理领导小组,井控应急领导小组,对全员进行 HSE 和井控知识培训。同时根据钻井设计要求,参照常规石油天然气井控管理规定,安装 35 MPa 井口防喷器装置并按设计要求做好试压工作。分派安全员 24 h 值班,定期对所有人员进行入门安全教育、派发安全手册,定期举行各种应急预案演练,将安全意识植入每个员工的内心,期间未发生任何安全事故。慈页 1 井的井控技术对以后在湘西北地区页岩气勘探开发过程中的井控安全,提供了可靠的依据和经验,对降低该区块钻井复杂、事故率,提高钻井速度有重要的指导意义。

## 6 结论及建议

(1) 湘西北地区页岩气的勘探开发进入了实质性的钻井阶段,鉴于页岩气的低压、低渗、低饱和度的特点,为了高效地把页岩气开采出来,需要采用大功率的设备将支撑介质压入地层原有的孔隙和裂缝中,地层的原始压力系统发生了重大变化,这种变化给井控工作增加了不确定性、复杂程度和难度,因此井控技术更应采取积极的井控理念。

(2) 湘西北地区的井控设计应根据物探资料及地区构造邻近井和邻构造的钻探情况,提供本井全井段预测的地层压力系数、浅气层、有毒有害气体资料和复杂情况,设计合理的井身结构和套管程序,绘制各次开钻井口装置及井控管汇安装示意图,并提出相应的安装、试压要求。

(3) 湘西北页岩气钻井应安装防喷器,宜选用压力级别为 21 或 35 MPa 单闸板或双闸板液压防喷器及其配套的液压控制系统和节流管汇,其安装、

(下转第 24 页)

表 2 各钻头水平段钻进每米成本统计

| 钻头型号      | 钻头<br>单价/<br>万元 | 单只<br>进尺/<br>m | 纯钻进<br>时间/<br>h | 行程钻<br>速/(m·<br>h <sup>-1</sup> ) | 水平<br>段周<br>期/d | 每米<br>成本/<br>万元 |
|-----------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| FX55D(进口) | 26.0            | 543.81         | 106.5           | 4.12                              | 11.12           | 0.133           |
| P5235MJH  | 4.7             | 271.85         | 60.6            | 3.34                              | 13.71           | 0.122           |
| GD1605TX  | 4.7             | 282.84         | 80.0            | 2.80                              | 16.36           | 0.142           |
| S1353FC   | 8.0             | 184.30         | 41.6            | 3.03                              | 15.11           | 0.159           |
| GD1306TX  | 8.0             | 325.90         | 52.5            | 4.39                              | 10.43           | 0.104           |

所需要钻头起下钻次数更少。但是由于其高昂的钻头单价,导致其每米成本不但高于 GD1306TX 型,而且高于机械钻速与进尺都不甚理想的 P5235MJH 型钻头。

4 结论

(1)在太原组地层的施工中,刀翼鼻部和肩部切削齿会因为大的冲击载荷导致崩齿,增加刀翼数量、降低复合片尺寸不可避免地会影响钻头的初始机械钻速,但是冲击载荷被分散到更多的复合片上了,这样就大大有利于延长钻头使用寿命、增加钻头进尺,从而达到减少起下钻次数,降低钻井成本。

(2)不管从钻井周期上来说还是从每米成本来计算,GD1306TX 型钻头更有利于降低钻井成本,而且缩短施工周期对井下安全更加有利,所以 GD1306TX 型钻头更适用于大牛地气田太原组水平

段的施工。在下步施工中可以优先考虑选用。

(3)GD1306TX 型钻头还有需要改进之处,下步可以通过借鉴 FX 系列的优势,选用更加抗研磨的材料,对钻头做进一步改进。从而继续提高机械钻速,可以在太原组水平段的施工中继续提速提效。

参考文献:

[1] DPT-27-1. 钻井工程设计[Z]. 华北分公司工程技术研究院.  
[2] 李天明,李大佛,陈洪俊,等. 用于砾石夹层钻进的新型 PDC 钻头的研制与使用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(8):57-60,63.  
[3] 高绍智,张建华,李天明,等. 适用于砾石夹层钻进的 PDC 钻头[J]. 石油钻采工艺,2006,28(4):20-28.  
[4] 黄继庆,魏向辉,周东,等. 复杂地层 PDC 钻头研究[J]. 石油机械,2008,36(12):11-15.  
[5] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2007.  
[6] 王红波,段隆臣,杨道合,等. 适用于硬岩的 PDC 全面钻头特点分析[J]. 矿山机械,2009,(17):20-22.  
[7] 数据来源于相关井的《钻井井史》.  
[8] 申守庆. 看美国 PDC 钻头技术最新进展(一)[J]. 石油与装备,2010,(6):80-82.  
[9] 周礼. 国外进口哈里伯顿 PDC 钻头在云安 006-X5 井的应用与认识[J]. 内江科技,2013,(10).  
[10] 刘天恩,付有义,等. 钻头选型新思路[J]. 油气田地面工程,2011,30(1):87-88.

(上接第 19 页)

验收与管理参照《钻井井控装置组合配套安装调试与维护》(SY/T 5964—2006)标准的相关规定执行。

(4)目前国内的专门针对页岩气的钻井井控技术基本空白,页岩气井控防喷技术主要参照常规石油与天然气的井控技术,介于页岩气不同的成藏特性,需要有针对性强的井控防喷技术。

参考文献:

[1] 何红生,何大芳,李志能. 湖南页岩气资源研究进展与问题[J]. 中国矿业,2013,22(3):8-11.  
[2] 张金川,薛会,卞昌蓉,等. 中国非常规天然气勘探综述[J]. 天然气工业,2006,26(12):53-56.  
[3] 姜晓佳,胡强,杨雷. 开县井喷事件应急救援行动分析[C]//2013 年第二届全国危险物质与安全应急技术研讨会论文集,2013:460-464.

[4] 肖正辉,杨荣丰,冯涛,等. 湘西北下寒武统牛蹄塘组页岩气成藏条件及其勘探潜力分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2012,27(1):50-54.  
[5] 杨振平,吴波,王勇. Eaton 法预测 M 油田地层孔隙压力[J]. 石油与天然气学报,2012,34(9):181-187.  
[6] 孙学军,温育明. 超低渗油藏积极的井控措施[J]. 石油科技论坛,2012,(6):33-36.  
[7] 孙振纯,王守谦,徐明辉. 井控设备[M]. 北京:石油工业出版社,1997.  
[8] 许张斌. 浅析井控安全技术 在钻井过程中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,(4):114.  
[9] 左星,何世明,黄桢,等. 泥页岩地层孔隙压力的预测方法[J]. 断块油气田,2007,(1):24-26,90.  
[10] 孙学军,温育明. 超低渗油藏积极的井控措施[J]. 石油科技论坛,2012,(6):33-36,71.  
[11] SY/T 5964—2006,钻井井控装置组合配套安装调试与维护[S].  
[12] SY/T 6426—2005,钻井井控技术规程[S].