

庆深气田深层勘探钻井配套技术研究与应用

王昌真¹, 刘永贵²

(1. 大庆油田有限责任公司采油一厂地质大队, 黑龙江 大庆 163413; 2. 大庆石油管理局钻探集团钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对庆深气田深部地层的地质特点,开展深层天然气勘探钻井配套技术研究。在非储层试验深层提速配套钻井技术、空气钻井工艺技术;在储层采用欠平衡钻井、充气钻井工艺和储层保护技术。通过近 2 年来在庆深气田深探井试验了 23 口井深层提速钻井配套技术,13 口井欠平衡钻井技术,1 口充氮气钻井技术,1 口空气和充空气钻井技术,大幅度提高了钻井速度,及时发现和有效保护了气层,取得了重大的技术突破,为松北深层徐家围子地区天然气勘探展现 1000 亿 m³ 储量规模起到了关键技术作用。

关键词:庆深气田;欠平衡钻井;充气钻井;空气钻井;储层保护;井底压力

中图分类号:TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)09-0016-05

Research and Application of Systematic Technologies for Deep Exploration Drilling in Qingshen Gas Field/WANG Chang-zhen¹, LIU Yong-gui² (1. Geological Brigade of No. 1 Oil Production Plant under Daqing Oilfield Company Limited, Daqing Heilongjiang 163413, China; 2. Drilling Technology Research Institute under Drilling Engineering Group of Daqing Petroleum Administration Bureau, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: According to the geological characteristics of deep formation in Qingshen gas field, research was made on systematic technologies for deep exploration drilling. In recent 2 years, through the tests on systematic technologies for deep drilling with higher ROP, underbalanced drilling, nitrogen filled drilling; air and air filled drilling, important technical breakthrough was made with penetration rate greatly increased, and gas layer was found and protected in time, which has played a key role in the demonstration of reservoir of 1.0×10^{12} m³ natural gas in Songbei district.

Key words: Qingshen gas field; underbalanced drilling; air-filled drilling; air drilling; reservoir preservation; bottomhole pressure

为实现油田持续发展,大庆油田在开发之初就非常重视深层勘探工作,勘探钻井在不断地向深层探索,20 世纪 60 年代钻成的松基 6 井是当时全国最深的一口井,完钻井深 4718.77 m。“八五”以来,随着深层天然气勘探力度的不断加大,深井钻井数量逐年增多,平均井深 3345 m 以上深井 17 口。进入“九五”以来,随着勘探向深部气层的发展,钻深井的数量和深度有了大幅度增加,平均井深 3850 m 的深井 30 口,5500 m 井 1 口,形成了以葡深 1 井、达深 1 井为代表的深井钻井完井技术,提高了深井技术水平。1995 年升深 2 井在营城组火山岩获得自然产能 32.7×10^4 m³/d 的高产工业气流,揭示出松北深层火山岩及其砾岩岩性圈闭这一新的勘探对象。

“十五”以来,松辽盆地北部深层天然气勘探取得了重大进展。按照 2003 年 3 月中油股份公司勘探技术座谈会“以寻找经济规模储量为目标,加强

前期、注重技术、突出重点、积极有效,努力实现新发现的勘探工作要求”,在松辽盆地北部深层扎实工作,将徐家围子断陷寻找千亿方规模的天然气地质储量的工作目标稳步推进,不断取得新发现与新突破,通过新技术的试验与应用,有利于储层的发现和保护,提高了钻井速度,保障了大庆油田在 2005 年提交 1000 亿 m³ 探明天然气地质储量,也同时为加快第二个 1000 亿 m³ 探明储量提供了先进适用的勘探钻井配套技术。

1 庆深气田深层地质特点及对勘探钻井的要求

1.1 庆深气田深层地质特点

庆深气田位于大庆市徐家围子断陷,面积大约 6700 km²,深层分布一系列火石岭组-营城组断陷,勘探钻井钻探目的主要是在埋藏深度 > 2500 m 的白垩系下统泉头组一二段、登娄库组、营城组、沙河子组、侏罗系上统火石岭组及基底等 6 大储层寻找

收稿日期:2008-01-06

作者简介:王昌真(1970-),男(汉族),山东郓城人,大庆油田有限责任公司采油一厂地质大队工程师,大庆石油学院在读硕士研究生,油藏工程专业,从事油田开发工程技术研究工作,黑龙江省大庆市八百垅, yangshujing@cnpc.com.cn。

气源。在井深方面,登娄库组顶界 2658 ~ 2702 m, 营城组顶界 2909 ~ 3100 m, 侏罗系顶界 3380 ~ 3915 m, 这些地层总体上比较稳定, 在深层不同层位存在致密砂岩、砂砾岩、火山岩、花岗岩及变质岩风化壳等 5 大类储层, 钻井井深为 3700 ~ 4700 m。深部泉二段以下地层硬、研磨性强、岩性不均质, 并且含有大段砾石层, 岩石可钻性级值高达 6 ~ 10 级, 地层硬度高达 2500 ~ 5000 MPa。该区地温梯度高, 平均地温梯度 4.1 °C/100 m, 4000 ~ 5000 m 的深井, 井底温度 160 ~ 200 °C。储层具有低压低孔低渗的特性, 主力气层压力系数 1.0 左右, 孔隙度 2% ~ 10%, 渗透率 0.04 ~ 2.574 md。以纵向裂缝为主, 缝宽 0.5 ~ 1.0 mm, 缝长 5 ~ 10 cm, 属低孔渗裂缝性气藏, 所钻深井平均井深 4300 m 左右, 完钻层位为沙河子组、侏罗系或基岩。

勘探实践表明, 庆深气田徐家围子断陷具备形成大型气田非常有利的资源条件, 具有较大的勘探潜力, 是勘探的主战场。2005 年已经探明第一个 1000 亿 m³ 天然气储量, 勘探前景广阔。

1.2 勘探对钻井技术的要求^[1]

(1) 尽可能降低井筒内的压差, 降低对储层的污染程度, 解放气层, 有利于钻井过程中直接发现气层和录井评价储层, 来达到发现和保护储层的目的;

(2) 有利于保持井眼规则, 降低井径扩大率, 创造良好的测井环境, 提高测井采集精度, 进而提高勘探精度;

(3) 实现优质快速钻井, 避免井下复杂和事故的发生, 缩短钻井周期, 减少储层浸泡时间, 降低对储层污染深度;

(4) 深层天然气由于自然产能较低, 需要进行压裂改造等增产措施才能获得高产气流, 因此需要采用固井方式进行完井。要求固井质量优质, 不允许存在窜槽, 为实施大规模压裂改造等增产措施创造条件。

2 深层勘探钻井配套技术研究

为了加快天然气勘探开发的步伐, 满足“原油硬稳定、天然气快发展”的要求, 近几年来, 先后开展了有利于发现和保护储层的欠平衡钻井技术、充气钻井技术、储层保护技术的研究, 开展了有利于提高深井钻井速度的配套技术和空气钻井技术的研究, 取得了突破性的进展, 已经探明 1000 亿 m³ 的储量, 形成了庆深气田勘探钻井配套技术。

2.1 地层压力预测与分析技术

准确掌握地层压力对安全、优质、快速, 实现低成本钻井具有重要的意义。探井地层压力具有许多不确定性, 为了实现安全钻井和更好保护储层必须精确预测和分析地层压力, 才能科学的设计泥浆程序、井眼结构和套管程序、增加钻井速度、省钱增效、评估地层的安全可钻性、评估油气层的经济可采性, 确定钻井过程中钻井液密度、压井液密度等。

目前, 国内外地层压力预测分析技术的方法很多, 结合实际情况, 伊顿法是当前地层压力预测比较准确的方法, 它是采用钻前地震资料和测井资料进行预测, 利用钻井数据、随钻压力预测来实时校正预测的地层压力, 利用钻井后的试井实测数据进行压力分析, 为今后钻井积累经验。

在钻井设计前, 利用伊顿法进行 3 个压力预测技术, 就是将地震数据和测井数据相结合, 利用地层压力预测软件进行钻前预测, 来确定井身结构和钻井液密度, 针对钻井现场作业中不同的工况, 通过关井求压法, 利用立压套压达到稳定式的数据来计算地层压力, 来达到校正分析的目的。

地层压力:

$$P_p = P_m + P_{w1} = P_m + P_{B1} \quad (1)$$

式中: P_{w1} —关井求压套压稳定值, MPa; P_{B1} —关井求压立压稳定值, MPa。

2.2 欠平衡钻井技术

针对庆深气田深层火山岩储层实施欠平衡钻井的特点和难点, 1999 年开始欠平衡钻井技术科研攻关, 通过 13 口欠平衡钻井现场实践, 建立了欠平衡度设计计算数学模型和井底欠压值与排量、井口压力、立压的关系。确定了井眼稳定与钻井液密度等参数之间关系。进行了欠平衡钻井工艺流程、接单根作业程序、压井作业程序、井控技术、井底欠压值控制技术、紧急情况应急措施等欠平衡钻井工艺技术的研究, 形成了适合大庆油田的深层欠平衡钻井工艺技术, 指导欠平衡钻井的现场施工^[2]。有 11 口井在钻井过程中随钻点火成功, 及时发现和保护了储层。

针对深层欠平衡气探井钻井井底负压控制技术, 开展实时采集钻井过程中的相关参数并结合地层参数和实时的井眼参数, 实时进行采集、监测、分析和处理技术。研制成功了欠平衡随钻井底压力和温度测试工具, 能够适时测量并存储井下测量点的井下压力、温度^[3]。结合监测分析数据进行综合分析、处理解释, 得出实际地层压力、环空压力、密度分布和井底负压值, 建立了环空岩屑影响井底负压控

通过改进 PDC 钻头切削齿角度、加强钻头保径等,提高了单只钻头钻进指标,钻头进尺提高了 17.9%,机械钻速提高了 18.3%。徐深 401 井在钻井液密度相对较高的情况下,二开用一只 PDC 钻头钻达井深 2590 m,在单只钻头进尺和钻井深度上,创该地区最好水平。同时,还积极采用国外先进技术,引进瑞德公司的 PDC 钻头,在徐深 8、升深 202 两口井使用中,累计进尺 1048.51 m,与牙轮钻头相比,钻达相同的层位,机械钻速提高了 53.5%,钻头进尺提高了 659.8%,创出了 PDC 钻头在泉二段以下地层使用的最好水平。

2.5.3 复合钻井试验技术

复合钻井和转盘钻井相比,具有钻杆和井壁间旋转摩擦小、钻具平稳、井底钻头钻速高、马刀大、改善了钻井设备工作条件、减少动力消耗、可提高钻头寿命等优点^[8]。在升深 2-17 井 1854~2383 m 井段,进行了国产 Ø311.2 mm G535DQ PDC 钻头配合 Ø244 mm 螺杆的复合钻井试验,钻头进尺 529.65 m,机械钻速 6.12 m/h,机械钻速与牙轮钻头相比提高了 3 倍。在徐深 801 井和徐深 902 井,泉一到登三段地层,进行了引进 DSX259 PDC 钻头配合 Ø172mm 螺杆的复合钻井试验,平均钻头进尺 432.16 m,平均机械钻速 4.65 m/h,在泉一段、登四段、登三段平均机械钻速分别为 6.07、4.59 和 3.68 m/h,分别是邻井使用效果最好牙轮钻头的 3.21、2.47 和 2.09 倍。引进 PDC 钻头采用复合钻井技术

是提高深井泉二段至登娄库组地层钻速的主要手段。

2.6 空气钻井技术

空气钻井是把空气作为钻井循环介质的一种低压钻井方式,包括纯空气钻井、空气雾化、空气泡沫和充空气钻井。利用空气钻井技术可以大幅度提高机械钻速,避免和控制易漏失地层的井漏事故,并减少和避免压差卡钻等井下复杂情况的发生,能有效改善钻头工作环境,延长钻头使用寿命,可以保证水敏性地层的井壁稳定性,防止井壁垮塌等事故的发生。

为了加快深层勘探开发的需要,于 2005 年 10 月 8 日在徐深 21 井试验了空气、充空气钻井技术,在井深 2550 m,进行了 2 次气举试验,井眼干燥 8 h。开始纯空气钻进,钻进井段 2550~2918 m,注气量 92~96 m³/min,转盘转速 50~60 r/min,钻压 50~120 kN,该井段钻井进尺 368 m,纯钻时 29 h,平均机械钻速 12.68 m/h。钻进至井段 2810~2918 m 出口不返尘空气潮湿,转盘扭矩波动较大,说明地层出水,转换成充空气钻进。井段 2918~3001 m,注气量 46~47 m³/min,泥浆注入量 0.8 m³/min,钻压 160~200 kN,转速 50~70 r/min,注压 4~6 MPa。

空气钻井试验历时 8 h 时间,实际纯钻进时间 2.05 天。采用空气、不同气液比的充气钻井共 451 m,平均机械钻速为 9.15 m/h,取得了较好的试验效果,见表 1。

表 1 徐深 21 井空气、充空气钻井机械钻速对比表

井段/m	循环介质	进尺/m	气液比	机械钻速 /(m·h ⁻¹)	临井机械钻速 /(m·h ⁻¹)	平均机械钻速 提高倍数	备注
2550~2855	空气	305		13.27	2.2	6.00	
2855~2918	空气	63		10.55	2.58	4.09	地层出水
2918~2921	充气	3	46:1	4.16	2.13	1.95	
2921~2922	充气	1	56:1	5.55	2.13	2.61	
2922~2958	充气	36	65:1	5.02	2.13	2.36	
2958~2981	充气	23	50:1	2.75	2.13	1.29	
2981~3001	充气	20	65:1	5.02	2.13	2.36	

3 勘探钻井配套技术的实施及效果

通过几年的科研攻关和现场试验,在 23 口井试验了深层提速配套钻井技术,在 13 口井应用了欠平衡钻井配套技术,在 2 口井应用了充气和气体钻井技术,取得了较好的勘探效果。

(1) 及时发现油气层,及时对产层进行随钻测试评价,缩短勘探进程。

卫深 5 井 3089 m 三开钻完水泥塞,在循环洗井

过程中出现井涌,点火成功。在以后的钻进过程中,基本上处于燃烧状态,在钻进 3182 m 处原钻具中途测试,5 mm 油嘴日产气 8 万 m³。营城组 3082.0~3112.0 m 井段压后求产 46.1 万 m³,折算无阻流量 102 万 m³。

(2) 减少了对产层的损害,有效的保护了油气层。

在 13 口欠平衡井的三开钻进过程中,水包油钻井液的密度基本控制在了 0.90~0.94 g/cm³ 之间,

这是大庆油田钻井液史上钻井液密度使用的一个突破。加之通过套压的控制,保持了井底负压值基本在 $-2 \sim -4$ MPa,保证了全井段的欠平衡状态,减少了对产层的损害,有效的保护了油气层。

(3)在庆深气田深层试验深层提速配套钻井技术,使平均机械钻速达到了 3.45 m/h,提高了 15.97% 。在泉二段至登三段试验空气和充空气钻井技术,大幅度提高钻井机械钻速,与同区块同井段机械钻速相比可以提高 $4 \sim 6$ 倍。

(4)深井设计技术明显提高,井身结构设计符合率达到 100% ,深井建井周期明显缩短。可使深井钻井平均机械钻速达到 3.50 m/h 左右,使 4500 m 深井建井周期达到 153 天。在徐深 14 井 4170 m 仅用了 98 天,满足了加快勘探开发的步伐。

4 结语

(1)在庆深气田勘探钻井中应用欠平衡、充氮气钻井配套技术,能够起到及时发现和保护油气层的作用,取得了较好的勘探成果。

(2)推广应用深层提速配套钻井技术,试验了空气、充空气钻井技术,大幅度提高钻井速度,大大

缩短了深井建井周期,满足了加快勘探开发的步伐。

(3)应继续推广先进的配套钻井技术,试验钻井技术。

(4)建议进一步开展气体钻井技术的研究与应用,进一步提高深井钻井速度、实现缩短钻井周期的目的。

参考文献:

- [1] 孔凡军,周英操,张书瑞,等.松北深层天然气勘探钻井技术[J].中国石油勘探,2004,(4):38-43.
- [2] 周英操,王广新,翟洪军.欠平衡钻井技术在大庆油田卫深5井中的应用[J].石油学报,2003,24(6):90-93,97.
- [3] 刘永贵,邵天波.井下压力温度测试工具的开发应用[J].石油钻探技术,2004,32(6):27-31.
- [4] 刘永贵,周英操,王广新,等.欠平衡钻井环空岩屑对井底负压的影响[J].石油学报,2005,26(6):96-98,103.
- [5] 刘永贵,周英操,孔凡军,等.深层多压力层系气层判断新方法[J].石油钻采工艺,2005,27(2):1-4.
- [6] 周英操,翟洪军.欠平衡钻井技术与应用[M].北京:石油工业出版社,2003,11.
- [7] 耿晓光,郑涛,郝立志.水包油钻井液在宋深101井负压钻井中的应用[J].石油钻探技术,2001,29(4):44-45.
- [8] 孔凡军,杨智光,张书瑞,等.徐家围子抗高温深井复合钻井技术试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11):51-53.

集展览、论坛、颁奖典礼及专题活动于一体的亚洲顶级矿业论坛暨展览会 ——“2008(第十届)中国国际矿业大会”即将召开

本刊讯 由国土资源部主办的“2008(第十届)中国国际矿业大会”将于2008年11月11~13日在北京隆重召开。大会包括高峰论坛、行业展览和专题活动,将有来自世界近50个国家和地区的4000多位注册参会嘉宾、400多位展商参加此次盛会,共享矿业大会十周年庆典。

经过多年的发展,中国国际矿业大会及同期举办的中国矿业博览会已经发展成为世界四大矿业盛会之一,是亚洲最大的矿产勘探、开发交易平台,为国内外矿业企业相互合作提供了良好的机会与渠道。

一、高峰论坛精彩纷呈

作为大会的众多亮点之一,来自全球多个国家的矿业部长将出席大会期间举办的“部长论坛”。论坛上部长们将就各国矿业发展的前景与趋势进行探讨,并解释相关政策和法律法规。截至目前,来自中国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯、南非、莫桑比克、塔吉克斯坦、阿富汗、印度尼西亚等国的矿业部长已确认将参与这一论坛。

与之相呼应的“国家与区域投资论坛”将向与会嘉宾展示在澳大利亚、加拿大、中亚、东南亚、南美和中国等国家和地区的最具价值的投资机会并同您分享国内外的投资经验和相关规定。

同往年一样,主旨演讲(CEO)论坛仍将是备受瞩目的论坛之一,来自全球重要矿业企业的高级管理人员将被邀请参

与论坛,并进行精彩发言。

作为大会的另一大亮点,今年矿业大会新增设了“矿产品专题论坛”,相关领域的专家和分析人士将就当前国内外矿产品市场,如:黄金、铀、铝、煤层气、铜、锌、铅、铁矿石和镍等产品进行专题讨论和展望。

此外,2008年的矿业大会还将讨论其他全球热点矿业话题,包括中外矿业产业趋势、矿业政策实务、矿业和资本市场、海外投资、矿权评估、地质勘察、地质冶炼新技术新设备、矿山安全、矿权评估和信息技术服务等。矿业公司的代表也将在大会进行项目及公司展示,吸引投资机会。

二、行业展览规模空前

中国国际矿业大会行业展览为所有与会嘉宾搭建了一个绝佳的商务平台,与国内外顶尖矿业行业的企业、政府官员以及行业协会面对面进行交流,了解矿业行业最新动向,挖掘国内外投资机会,结识新客户。

目前加拿大、澳大利亚、南非等主要矿产资源国家都预定了国家展团,展位规模空前。行业展区还专门设立设备展区,为设备展商提供与国内外买家交易机会。

三、专题活动丰富多彩

在中国国际矿业大会期间,组委会还将组织中国矿业国际合作奖颁奖暨庆典晚宴、十周年成就展、矿业人才日、矿山考察、高尔夫球赛等丰富多彩的专题活动。