

普光气田气体钻井集成配套技术新进展

张克勤 侯树刚

中国石化集团公司中原石油勘探局钻井工程技术研究院

张克勤等.普光气田气体钻井集成配套技术新进展.天然气工业,2010,30(5):77-80.

摘 要 气体钻井在钻井提速、防漏治漏、发现和保护油气层方面优势明显,已成为国内勘探开发的一项实用性先进技术。为此,介绍了气体钻井集成配套技术,包括空气锤及配套钻头研制、雾化钻井(雾化基液的基础配方:雾化剂为0.1%~0.3%、抑制剂为0.3%~0.7%、气雾稳定剂为0.05%~0.15%、增黏剂为0~0.15%、固结剂为0~1.5%)、泡沫钻井、空气钻井燃爆监测预警、空气钻井取心以及气体钻井钻具失效预防技术现状及取得的进展。电磁波随钻测量技术、延长气体钻井使用井段技术和用气体钻井发现和提高油气井产量技术是气体钻井今后发展应用的重点和方向。

关键词 气体钻井 空气锤 雾化 泡沫 空气钻取心

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.05.019

以川东北普光气田为代表的南方海相酸性气田的大规模的勘探开发为气体钻井技术的试验、应用、推广以及集成配套提供了广阔的平台。总体来看,气体钻井技术在试验应用中不断完善,实施推广应用效果显著,钻井平均机械钻速较之常规钻井液钻进提高3~8倍,单井钻井周期缩短60 d以上,严重漏失、井斜等复杂问题得到较好控制,及时发现了具有开发价值的工业油气流构造。

1 气体钻井集成配套技术进展

2006年以来,气体钻井技术在普光气田及川东北工区试验、推广应用取得成功,成为加快川东北及普光气田勘探开发的核心钻井技术。围绕气体钻井现场实施,在纯空气钻井成功应用的基础上开展了空气锤及配套钻头研制、雾化钻井、泡沫钻井、空气钻井燃爆监测预警、空气钻井取心以及气体钻井钻具失效预防技术等科研攻关,取得了明显进展,初步形成了气体钻井集成配套技术。

1.1 空气锤钻井技术

鉴于空气锤独特的技术优势^[1-2],中原油田钻井工程技术研究院开展了CND型空气锤的研制,具有结

构简单、故障率低、可靠性高、技术支持及时等特点,主要技术性能指标处于国内领先水平。已完成285A、285B、275A、275B、 $\varnothing 180$ mm 3种型号5种规格空气锤设计、研制。配套加工 $\varnothing 444.5$ mm、 $\varnothing 406.4$ mm、 $\varnothing 320$ mm、 $\varnothing 314.3$ mm、 $\varnothing 311.1$ mm、 $\varnothing 241.3$ mm、 $\varnothing 215.9$ mm 7种规格空气锤钻头。开发研制了多种形式钻头防掉落安全机构,有效防止钻头断裂入井。独创设计了两种钻头保径齿结构形式,有效降低了钻头径向磨损,提高钻头寿命。自主设计了空气锤配套工具:高压定量注油机和液压链钳^[3]。

针对 $\varnothing 444.5$ mm井眼大排量雾化空气钻井施工需要,研制了气举旁通阀和液液分离器。气举旁通阀安装于距井底200~300 m位置,可以降低循环压力,避免环空堵塞。气液分离器安装于空气锤上方或集成于空气锤上接头,可使雾化液和空气分离,满足大尺寸井眼钻进需要^[4-5]。

CND空气锤及配套钻头在普光、大湾区块试验应用10多井次,平均机械钻速是空气牙轮钻头2倍以上,使用中安全可靠,各项性能指标达到国内领先水平(表1)。

基金项目 中国石化“十条龙”项目专题“提高普光气田开发井钻井速度技术研究”(编号:P06065)。

作者简介 张克勤,1959年生,高级工程师;1983年毕业于原西南石油学院钻井工程专业;现任中原石油勘探局钻井工程技术研究院副院长,主要从事钻井工程技术研究。地址:(457001)河南省濮阳市中原石油勘探局钻井工程技术研究院。电话:(0393)4899603。E-mail:houshugang@sina.com

表 1 CND 空气锤规格及参数表

规格型号	CND285A-II	CND285B-II	CND275A-II	CND275B-II	CND180-II
适用井眼/mm	∅406.4~559	∅406.4~508	∅311.1~406.4	∅311.1~406.4	∅200~305
空气锤外径/mm	∅285	∅285	∅275	∅275	∅180
锤身最大外径/mm	∅339	∅339	∅295	∅295	∅192
安装长度/mm	2220	2025	2115	1 920	1 584
耗气量/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	140~180	140~180	90~140	90~140	60~90
连接扣型	∅139.7 mm REG PIN				NC46 PIN

1.2 雾化钻井技术

空气钻井钻遇地层水时出现粉尘粘附在钻具上,易堵塞环空通道或造成井眼缩径、井壁坍塌掉块等复杂。雾化技术的出现解决了空气钻井钻遇地层水时的井壁坍塌和泥包问题,其技术关键是雾化基液的防塌和防泥包性能。井壁稳定是实施雾化钻井的前提,雾化钻井没有支撑井壁的能力,只能通过强化化学防塌技术达到稳定井壁的目的。研制了具有强化学抑制作用的低分子量阳离子聚合物和具有吸附成膜作用的大分子聚合物,利用具有不同防塌机理的防塌剂之间的协同作用,通过配伍性研究,确定了雾化基液的基础配方:雾化剂为 0.1%~0.3%、抑制剂为 0.3%~0.7%、气雾稳定剂为 0.05%~0.15%、增黏剂为 0~0.15%、固结剂为 0~1.5%。开展了雾化工艺技术研究,其基液配方、基液排量和气体排量根据井径、井深、钻遇地层岩性、出水量、钻时情况进行调整,基液排量一般控制在 35~80 L/min,第 1 次开钻 ∅444.5 mm 井眼气体排量控制在 140~175 m^3/min ,第 2 次开钻 ∅320 mm 井眼气体排量控制在 120~200 m^3/min 。

针对川东北地层特点研究的雾化基液具有较强的防塌和防泥包性能,可满足川东北上部地层空气钻井钻遇水层时实施雾化钻井的需要。根据钻遇地层岩性、出水量、钻时情况,研究形成了雾化钻井技术及相关技术措施,在川东北地区现场应用取得良好的效果。应用雾化钻井期间全井钻井参数正常,立管压力、扭矩稳定,使用牙轮和空气锤钻进顺利;携砂、带水效果良好。在普光、大湾等区块 14 口井上应用,钻井速度提高了 5~6 倍,地层出水量最大达到 40 m^3/h 时仍可安全施工,形成一套完善的气体钻井雾化工艺技术和技术规程。

1.3 泡沫钻井技术

当地层出水量大到雾化携水能力不能满足要求时,则需要转为泡沫钻井。泡沫钻井施工要求是:①具有良好的发泡能力;②较强的泡沫稳定性;③抗温、抗污染能力强;④较高的携带岩屑、携水能力;⑤抑制性

强,保持井壁稳定。

设计了泡沫钻井流体性能评价模拟实验装置,建立了泡沫流体实验室,可模拟现场进行泡沫流体携带岩屑、携水、循环利用等方面的评价试验。经反复试验和不断优化,开发出具有良好的抗温、抗污染能力的强抑制性空气泡沫流体配方:0.3%~0.7% TP-1+0.1%~0.15% HXC+0.01%~0.03% YIM+0.3%~0.5% GXG+0.2%~0.6% AP-1+0.2%~0.4% FWJ。

空气泡沫流体不能在井壁形成滤饼从而在水敏性泥页岩地层钻进时极易造成井壁失稳。在形成泡沫流体体系的基础上,开展了空气泡沫流体井壁稳定性研究,旨在延长空气泡沫钻井的使用周期。研发了空气泡沫钻井抑制剂 GXG 和井壁稳定剂 FWJ,形成了具有良好抑制性和井壁稳定性的空气泡沫钻井流体,可在井壁形成一层稳定的保护膜,阻止或减少自由水向地层的渗透,有效抑制泥页岩水化膨胀,增强泥页岩强度,利于井壁稳定。根据泡沫钻井现场施工流体产生量大、不易及时消泡、不利于环境保护等突出问题,开展机械消泡装置的研制。自主研发了环隙式机械消泡器并申请国家专利,室内试验消泡效率达到 80% 以上,该装置的研发成功,对泡沫钻井现场推广应用及消泡技术的发展提供了强有力的技术支撑。泡沫钻井技术在大湾 405-2 井、普陆 1 井、元坝 10 井现场进行了试验应用,试验过程中空气泡沫流体均匀、致密,泡沫质量及携水携砂效果好,井壁稳定,消泡器现场消泡效果显著,确保了现场安全顺利施工。

1.4 空气燃爆监测预警技术

空气钻井燃爆监测预警系统工作原理是实时在线监测井口返出气体,通过检测 CO_2 、 CO 、 O_2 、 H_2S 、 CH_4 等气体体积分数的变化来判断是否有地层气体进入井眼和是否发生井下燃爆^[3]。该系统主要由气样采集及净化装置、气体监测仪、压力传感器、图像监测仪、无线传输模块、监测平台(监测数据采集、显示与存储)等组成。需要采集的数据包括:①井深;②二氧化碳含量;

③一氧化碳含量;④氧气含量;⑤甲烷等可燃气含量;⑥硫化氢含量;⑦温度;⑧湿度。同时还装备有摄像头监视泄流管口的流体形态,并在数据采集系统上同步显示其视频。作为一部可利于司钻台上的智能化监测系统,具备良好的人机交互界面,可以实现监测数据、图像的远传(无线),随钻监测数据可以实时显示、存储与回放。该系统具有超限报警功能,其阈值可以进行合理设定; O_2 体积分数测量范围为 $0\sim 25\%$; CO 体积分数测量范围为 $0\sim 500\times 10^{-6}$; CO_2 体积分数测量范围为 $0\sim 5\%$; H_2S 体积分数测量范围为 $0\sim 100\text{ L/mg}$;高 CH_4 体积分数测量范围为 $4\%\sim 100\%$;低 CH_4 体积分数测量范围为 $0\sim 4\%$;排砂管线取样口压力测量范围为 $0\sim 400\text{ kPa}$ 。通过检测 CO_2 、 CO 、 O_2 、 H_2S 、 CH_4 等气体体积分数的变化来早期预警判断是否可能发生井下燃爆。当发生井下燃爆时,返出气体中的 CO_2 、 CO 气体体积分数会显著升高,而 O_2 气体体积分数会明显降低。

1.5 空气钻井取心技术

空气钻井取心与常规钻井液钻井取心不同,它是直接用大气中的空气作为循环介质来冷却钻头和携带岩屑,满足钻井取心需要的一种特殊取心方法。相比较常规取心,在取心配套工具、取心钻井参数存在诸多难题:①取心工具因为没有钻井液的润滑,导致悬挂轴承易失效,工具易磨损;②岩心爪长期与岩心摩擦形成高温,不利于降温,提前造成岩心爪损坏,割心难以保证成功;③空气取心具有空气钻井的优点,钻时很快,但对割心位置的岩性难以判断。在普光气田进行了两口井的空气钻井取心试验,使用川 7-5 取心工具,机械钻速为 3.24 m/h ,而常规钻井液取心机械钻速只有 0.5 m/h 。钻具组合为 $\varnothing 241.3\text{ mm}$ (或 $\varnothing 215.9\text{ mm}$) PDC+川 7-5 取心工具+ $\varnothing 158\text{ mmDC}\times 3\text{ 根}$ + $\varnothing 127\text{ mmHWD}\times 15\text{ 根}$ + $\varnothing 127\text{ mmDP}$ 。空气钻取心技术参数:钻压为 $20\sim 30\text{ kN}$;转速为 35 r/min ;排气量为 $120\sim 130\text{ m}^3/\text{min}$;立管压力为 $2.2\sim 2.4\text{ MPa}$ (表 2)。

表 2 普光 3011-5 井空气取心分段统计表

回次	井段/m	进尺/m	心长/m	收获率/%	机械钻速/ $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$	钻头型号
1	2 828.00~2 836.50	8.50	8.42	99.06	1.70	4PC0876
2	2 836.50~2 845.40	8.90	8.90	100.00	2.28	4PC0876
3	2 845.40~2 860.00	14.60	3.08	21.10	2.37	4PC0876
4	3 164.00~3 172.50	8.50	7.82	92.00	3.95	DC386
5	3 172.50~3 180.95	8.45	8.65	102.37	7.04	DC386
6	3 180.95~3 188.00	7.05	6.87	97.45	3.53	DC386
7	3 188.00~3 194.50	6.50	5.85	90.00	2.79	DC386

1.6 钻具失效预防技术

气体钻井施工中钻具断裂频率远高于钻井液钻井。钻具断裂不仅部分抵消了气体钻井技术的提速效果,而且给井下安全带来隐患。预防和减少钻具断裂,对于提高井下安全以及推广应用气体钻井技术具有重要意义。对多只断裂钻具进行理化性能检验、金相分析、扫描电镜和能谱分析、腐蚀产物 XRD 分析发现:失效钻具的化学成分、金相组织等均符合相关标准;仅个别钻杆的屈服强度和纵向冲击功不符合 API Spec 5D 标准;钻杆为疲劳或腐蚀疲劳断裂;钻铤为典型的疲劳断裂;钻具腐蚀类型为氧腐蚀。气体钻井钻具失效的主要原因是^[4]:①氧腐蚀和冲蚀。气体钻井中,注入气体中含有约 20% 的氧气,若钻进井段地层出水或进行雾化、泡沫钻井时,则极易发生氧腐蚀。②钻柱反转。钻具质量不平衡、钻柱转动时产生的离心力以及钻柱与井壁间的摩擦力是引起钻柱反转的三要素。反

转使钻具承受高频高幅交变弯曲应力。当钻柱沿井壁作纯滚动时,反转速度最高。反转运动对钻具失效有严重影响。气体钻井中,钻柱与井壁间几乎为干摩擦,因而更容易产生反转运动,这是气体钻井比钻井液钻井钻具失效频率高的原因之一。牙轮钻头钻井所用转盘转速(一般为 $50\sim 80\text{ r/min}$)比空气锤钻井所用转速(一般为 $15\sim 30\text{ r/min}$)高。因此,牙轮钻头钻井中钻柱反转运动更剧烈,这是牙轮钻头钻井远比空气锤钻井钻具失效频率高的原因之一。③钻柱纵向振动。钻柱振动是导致钻柱疲劳破坏的主要因素,主要包括横向振动、扭转振动和纵向振动,在直井中以纵向振动为主。牙轮钻头钻硬地层时会引起两种频率的纵向振动,因钻头轮齿滚动而产生的高频小位移纵振和因波状井底引起的低频大位移纵振。前者对碎岩有利,而后者对钻具寿命影响很大。造成牙轮钻井钻具失效频率高。④井眼弯曲。当井斜较大,存在严重狗腿,钻杆

在弯斜井段旋转时,承受交变弯曲应力,且狗腿以上井段钻具断裂次数少,狗腿以下井段钻具断裂次数明显增多。⑤钻铤螺纹连接弯曲强度比不足。按照 API 标准, $\varnothing 203.2$ mm、 $\varnothing 228.6$ mm 钻铤应分别采用 NC56、NC61 螺纹,但普光气田所用的同规格钻铤分别使用 $\varnothing 168.3$ mm REG、 $\varnothing 193.7$ mm REG 螺纹,其 BSR 远低于 NC56、NC61 螺纹。现场所用钻铤螺纹连接弯曲强度比低和牙根应力集中程度高,是钻铤多在母扣根部而非公扣处断裂的主要原因。⑥缺乏探伤和精细管理,钻具的使用时间可能超过了疲劳寿命。提出了气体钻井预防钻具失效措施,主要包括空气锤冲旋钻井技术、优化参数钻柱防共振技术、加强钻铤螺纹探伤及选用高质量钻具等。这些技术的应用取得了明显的效果。钻具失效频率逐年降低(表3)。

表3 普光气田气体钻井各年度钻具失效频率对比表

年度	进尺/m	失效次数	失效频率/ 次·(1 000 m) ⁻¹	失效频率降 低百分比/ %
2006	27 778.48	21	0.756	
2007	61 520.02	29	0.471	37.7
2008	28 033.01	9	0.321	57.5

2 气体钻井重点攻关方向

2.1 电磁波随钻测量技术

电磁波随钻传输方式因不受钻井液性质影响的优势而得以快速发展,但目前国内还没有自主研发的电磁波随钻传输成熟产品和技术,相关研究院所正在进行科研攻关。2005年中国地质大学从俄罗斯引进了 ZTS-172M 电磁波随钻测量系统并在胜利油田进行了现场试验。该系统成功地接收到试验1井地下1 200 m、试验2井地下1 600 m 深处发射的电磁波信号。2008年,中国石油天然气集团公司川庆钻探工程公司在广安 002-H8 井目的层水平井段应用电磁波随钻测量仪实现了气体钻井条件下井眼轨迹的随钻监测,首次在国内实现气体介质地质导向钻井。

2.2 延长气体钻井使用井段技术

气体钻井在钻井提速、防漏治漏、发现和保护油气层方面优势明显^[5],但气体钻井技术也有它的局限性。井壁稳定性就是其中最为突出的问题之一。在常规钻井液钻井过程中,井筒与地层孔隙压力之间存在正压差对井壁起到支撑作用,在一定程度上抑制了井壁坍塌,有利于井壁稳定。而在气体钻井中这种支撑作用

并不存在。在雾化、泡沫钻井施工中,由于地层出水也会导致井壁失稳。因此,在气体钻井施工过程中由于井壁失稳而造成井下复杂将严重影响气体钻井的应用井段。

2.3 用气体钻井发现和提高油气井产量技术

川庆钻探工程公司钻采工艺技术研究院在国内率先开展了气体欠平衡钻完井新技术,实现了从钻井到完井全过程储层无外来流体的伤害,将储层伤害减小到最低程度。广安 002-H8 井在水平井段($\varnothing 152.4$ mm 井眼)采用氮气欠平衡钻井,获测试天然气产量 26.9×10^4 m³/d(油压为 9.5 MPa),是邻近直井储层改造前产量的 10~20 倍,储层改造后产量的 3~6 倍。白浅 111H 井是我国第 1 口用天然气钻井技术钻成的水平井,测试日产量为同井场采用常规钻井技术钻成的 3 口井平均日产量的 13 倍。包浅 201 井采用氮气钻井,首次在荷包场构造发现工业性油气流。广安 4 井、广安 9 井利用氮气钻井快速穿越须家河组设计目的层位,创造该区块钻井速度新纪录。

3 结论与认识

1)气体钻井在钻井提速、防漏治漏、发现和保护油气层方面优势明显,成为一项实用性先进技术。

2)在纯空气钻井成功应用的基础上开展了空气锤及配套钻头研制、雾化钻井、泡沫钻井、空气钻井燃爆监测预警、空气钻进取心以及气体钻井钻具失效预防技术等科研攻关,取得明显进展,初步形成了气体钻井集成配套技术。

3)电磁波随钻测量技术、延长了气体钻井使用井段技术和用气体钻井发现和提高油气井产量技术,是气体钻井今后发展应用的重点领域和方向。

参 考 文 献

- [1] 艾惊涛,余锐,廖兵,等.四川油气田气体钻井技术现状及发展方向[J].天然气工业,2009,29(7):39-41.
- [2] 侯树刚,李铁成,舒尚文,等.空气锤及空气钻头在普光气田的应用[J].天然气工业,2007,27(9):65-67.
- [3] 李铁成,刘东峰,胡建均,等.川东北地区空气钻井燃爆分析与预防[J].天然气工业,2009,29(5):78-81.
- [4] 王文龙,赵勤,李子丰,等.普光气田气体钻井钻具失效原因分析及预防措施[J].石油钻采工艺,2008,30(5):38-43.
- [5] 侯树刚,刘新义,杨玉坤.气体钻井技术在川东北地区的应用[J].石油钻探技术,2008,36(3):24-28.