

石油新技术丛书

气体钻井应用技术



■ 主编 魏 武 乐 宏 许期聪 何 纶

• 中国石油大学出版社

石油新技术丛书

QI TI ZUAN JING YING YONG JI SHU

气体钻井应用技术

.....

魏 武 乐 宏 许期聪 何 纶 主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

气体钻井应用技术/魏武等主编. —东营:中国石油大学出版社,2008.7

ISBN 978-7-5636-2632-8

I. 气… II. 魏… III. 钻井—研究 IV. TE242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 098736 号

书 名: 气体钻井应用技术

作 者: 魏武 乐宏 许期聪 何纶

责任编辑: 潘海源 (电话 0546—8395779)

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: haiyuanpan@163.com

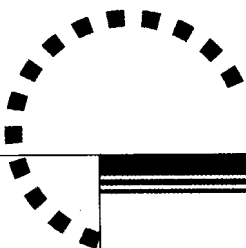
印 刷 者: 莱芜市圣龙印务有限责任公司

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392565, 8399580)

开 本: 180×235 印张: 18 字数: 370 千字

版 次: 2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 39.00 元



编委会名单

主 编：魏 武 乐 宏 许期聪 何 纶

副主编：邓 虎 刘 榆 艾惊涛 周凤山 侯 伟 何 仲

贺芷然 孙海芳

编 委：徐忠祥 黄宁生 马光长 周华安 李道芬 余 良

程地奎 叶 艳 汪世国 李晓阳 李中华 杨兰平

唐仕忠 张 坤 李家龙 李先锋 张 怡 李 竟

余加水 林 桦 张 志 牛 晓 张 娟 朱 晨

蒲洪兵 高 峰 王 凯 徐 征 张洪霞 宋建元

马鹏彪 徐 东 许振波 董殿斌 李永林

主 审：鄢捷年

顾 问：罗平亚 石仲华 伍贤助 樊世忠 陈忠实 王忠生

郑有成 刘德胜 李 杰 邓传光 苏长明 王奎才

孙金声 王书琪



内 容 提 要

本书较全面地阐述了油气开发中气体钻井应用技术所涉及的技术要点和相关理论知识,并主要以川渝地区油气田气体钻井技术的应用发展为主线,结合国内外其他油田的气体钻井技术实例,客观地反映了近年来国内在气体钻井技术领域的研究成果和技术进展状况。书中内容主要包括:国内外气体钻井技术的发展状况、气体钻井特殊专用配套设备、气体钻井井壁稳定性和相关参数的计算、气体钻井设计与工艺技术的应用、气体钻井防漏与治漏技术、气基流体应用技术及流体转换工艺配套技术等。

本书可以作为油气田开发、钻井、完井、修井、试修、采油等作业领域的技术人员和领导干部的工作指南及现场作业指导的参考书,尤其适合从事油气田开发、采油、钻井、完井工程的技术人员和钻井完井液应用化学方面的专业人员、高等院校师生、研究院(所)和从事油气田开发、钻井工程和油气层保护研究的广大科技人员参考使用。



我国国民经济的持续高速发展引发了油气需求不断增加,油气生产供应不足的问题日趋突出,若不能及时解决将可能发展成为制约我国社会、经济发展的重要“瓶颈”,并将严重危及国家安全。因此增加油气探明储量、增加油气产量已成为国家发展的迫切需求。但是国内油田大部分开发进入中后期,无论是陆相还是海相地层的新老油气区,其勘探和开发难度都越来越大,目前大部分属于“难动用”资源,即难发现、难开发的油气资源。这些问题为钻井技术的进步提供了良好的契机,加速了气体钻井技术的发展和运用。目前,气体钻井技术在国外油田的应用及其明显的效果已被广泛认可,而且逐渐成为世界各国勘探开发油气资源的关键性技术。

“十五”期间,我国在多个油田开展了关于气体钻井技术的室内研究和现场试验,积累了较丰富的现场经验。尤其是在川渝地区,由于地质构造复杂,地层条件差,采用常规钻井技术时常钻遇长段低压或破碎性地层并引起严重井漏,不仅钻井速度慢,而且存在因井漏而造成钻井工程报废引起的巨大经济损失,而利用气体钻井有利于解决潜在性复杂地层的严重井漏以及钻井速度慢等问题,并在此基础上更好地发现和保护低压、低渗油气层,提高油气产量,延长钻头寿命,降低钻井成本,提高油气勘探开发的综合效益。气体钻井技术从最初的空气钻井技术,经过逐步完善,到现在已发展成包含了以空气、氮气、天然气、柴油机尾气、混合气体、雾化液、充气、泡沫等多种气体型流体介质作为循环流体的钻井技术。同时,气体钻井技术也已成为集治漏、提速、保护和发现油气藏、防止井漏等多种功能于一体的增产增效的技术措施。

本书是一部详细论述气体钻井在石油天然气勘探开发领域的应用技术专著,也是作者多年从事石油气体钻井工作的经验结晶和升华。书中较系统地收集、整理了国内外气体钻井应用技术的理论知识和实践经验,国内主要以川渝油气田的气体钻井技术为主线,并结合现场气体钻井应用技术实例,从气体钻井的设备配套到工艺技术,从气体型流体的分类到详细的现场应用实例,涉及面宽,覆盖面广,包含气体钻井各方面的内容,较客观地反映了近年来国内外气体钻井技术领域研究成果和技术进展状况。

同时,书中还介绍了四川及其他油田进行气体钻井的一些先进的管理经验。这是一本理论联系实际,对气体钻井现场实践有很好指导意义和参考价值的书,可作为从事气体钻井的石油工程技术人员学习培训用书,也可供高等院校师生作为参考书使用。

此书的出版将对我国气体钻井应用技术的发展和完善起到一定的推动作用。



2008年6月

本书主要针对气体钻井的应用技术进行讨论,重点对以空气、氮气、天然气、柴油机尾气、雾化液、充气、稳定泡沫为循环流体介质的工艺技术方案设计及其应用技术进行了较为详细的总结,对气体钻井的专用配套设备也做了细致介绍,通过大量应用实例使气体钻井在提高钻井速度、防塌、保护油气层等方面的优点清晰明了。此外,书中还介绍了在气体钻井过程中,如发生地层出水而井壁垮塌等问题时需要转换成常规钻井方式的流体替换工艺配套技术。四川石油管理局从20世纪90年代初开始对气体钻井技术进行了大量试验,并将现场使用经验进行归纳整理,为此书提供了大量的素材和数据。本书对全国各大油田开展的气体钻井作业进行归纳总结,参考了中国石油天然气集团公司近年来出版的《钻井承包商协会论文集》中气体钻井应用技术方面的资料,检索了国内《钻井液与完井液》、《天然气工业》、《石油勘探与开发》、《钻采工艺》等各类期刊中的相关资料,此外,还借鉴了石油院校的相关研究报告,较为系统、全面地对气体钻井应用技术进行了论述。

在本书编写的过程中,我们查阅了大量国内外相关资料,其中国外资料主要涉及美国、加拿大等国的气体钻井,国内资料则主要来源于川渝、新疆、胜利、长庆、辽河、吐哈、中原等油气田,但还不能全面概括国内外所有油田气体钻井技术的发展及应用情况,仅供参考借鉴。书中重点以四川油气田气体钻井工艺技术在川渝地区的应用为实例,同时也包括了长庆、吐哈、胜利等油田的部分气体钻井的实例,并介绍了四川及其他油田开展气体钻井的一些管理经验。由于气体钻井技术在我国是近几年迅速发展起来的一门钻井新技术,在实践过程中还存在许多制约因素。为了解决钻井中存在的这些难题,拓展气体钻井技术的应用范围,使其能够在更广泛的区域发挥作用,今后需要我们对气体钻井进行更加深入的研究和探索,使气体钻井作业的技术水平得到近一步的提高。

本书主要分八个部分对气体钻井应用技术进行介绍:

第一章为绪论,概述气体钻井技术;第二章介绍国内外气体钻井技术的发展状况;第三章介绍气体钻井特殊专用配套设备;第四章论述气体钻井井壁稳定性和相关参数

的计算;第五章论述气体钻井设计及工艺技术的应用;第六章论述气体钻井防漏与治漏技术;第七章介绍气基流体应用技术及流体转换工艺配套技术;第八章介绍了气体钻井作业 HSE 管理体系。本书主要由魏武、乐宏、何纶、许期聪、刘榆、孙海芳、邓虎、艾惊涛等编写。全书经多位编写组成员反复修改、讨论后,由何纶、周凤山、贺芷然、何仲统稿,由魏武最终定稿,由中国石油大学(北京)鄢捷年教授主审。

在本书编著过程中,得到中国工程院院士罗平亚教授的指导并为本书作序,同时受到石仲华、伍贤柱、樊世忠、王忠生、郑有成、邓传光、李杰、苏长明、孙金声、王书琪、王奎才、刘德胜等诸多专家、教授的协助,并作为高级顾问为本书的编写付出了辛勤的劳动。此外,油田现场技术人员提供了大量宝贵的现场技术资料并且给予我们积极的支持和帮助,在此一并深表诚挚的谢意。

由于首次编写气体钻井应用技术的专著,经验不足且收集的资料有限,书中有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008.6

第一章 绪论	1
第二章 国内外气体钻井技术的发展状况	3
第三章 气体钻井特殊专用配套设备	12
第一节 气体钻井中特殊配套装备的发展情况	13
第二节 气体钻井主要配套设备	15
第三节 气体钻井用空气锤	41
第四节 气体钻井配套装备及地面管汇的平面布置	48
第四章 气体钻井井壁稳定性和相关参数的计算	57
第一节 气体钻井井壁稳定性研究	58
第二节 空气钻井工艺技术研究与应用	76
第五章 气体钻井设计与工艺技术的应用	85
第一节 空气钻井设计与工艺技术的应用	86
第二节 氮气钻井设计与工艺技术的应用	123
第三节 天然气钻井设计与工艺技术的应用	143
第四节 柴油机尾气钻井设计与工艺技术的应用	157
第五节 充气、稳定泡沫、雾化钻井设计与工艺技术的应用	172
第六章 气体钻井防漏与治漏技术	204
第七章 气基流体应用技术及流体转换工艺配套技术	220
第一节 钻井循环流体的分类	221
第二节 国内外气体型流体的应用概况	222
第三节 气体型流体钻井的循环系统	224
第四节 气基流体空气的工艺技术	225
第五节 气基流体氮气的工艺技术	232
第六节 气基流体天然气的工艺技术	234
第七节 气基流体柴油机尾气的工艺技术	236

第八节 气基流体雾化液的工艺技术.....	238
第九节 气体钻井中的流体转换工艺配套技术.....	240
第八章 气体钻井作业 HSE 管理体系	252
参考文献.....	274

第一章

绪 论

20 世纪 30 年代气体钻井技术在国外,特别是在美国、加拿大、前苏联开始应用,50 年代日趋成熟,并开始应用于石油钻采工业。国内气体钻井技术起步较晚,20 世纪 60 年代中期才开始在四川地区初步尝试应用空气钻井技术。到 20 世纪 60 年代末期,我国在川中和川西南试验空气、天然气钻井仅有 27 口井,但在气体配套设备上进行了大胆尝试,取得了一些喜人的经验和成果,自行研制了气体钻井的专用配套设备,如自封头、单向导流装置(旋转防喷器)、单向旋风除砂器等。这些在国内均属首创,为我国气体钻井技术积累了丰富的经验,为以后气体钻井的发展奠定了良好的基础;但由于认识不足,装备未形成较为完善的配套,工艺技术也不完善,以及安全措施不健全等一系列因素,气体钻井技术的发展和使用时一度陷入停滞状态。20 世纪末,国外气体钻井技术的应用更加普遍,国内的气体钻井技术则紧跟国外的发展步伐。“十五”期间,我国较全面地开展了对气体钻井技术的研究和应用,四川油田、新疆油田、胜利油田、长庆油田和中国石油大学相继进行了这方面的室内试验研究和现场实践工作。气体钻井技术主要用于解决提高机械钻速和复杂地质条件下的井漏等重大钻井难题,并成为发现低压低产储层、保护油气层、提高油气产量的重要手段。

气体钻井技术随着欠平衡钻井技术的发展应运而生,并且在一定程度上提高和完善了欠平衡钻井技术。气体钻井技术是利用气体型流体(纯空气、氮气、天然气、柴油机尾气、混合气体、雾、泡沫、充气流体等)作为钻井循环流体介质,在地层条件许可的前提下,根据不同的循环流体分别合理组合空压机、增压机、雾化泵、尾气处理设备、膜制氮设备、井口设备等系列专用配套设备进行钻进的一种钻井方式。它能有效解决钻井工程中部分地层的恶性井漏、压差卡钻、机械钻速慢和油层伤害等钻井技术难题,特别能大幅度提高钻井速度,有利于发现和保护油气层以及开采低压油气层。

气体钻井技术可以解决常规钻井方式无法解决的在复杂地层的钻井难题。例如,在四川西南地区褶皱交汇带的须家河以上地层压力系数低,过去常因钻遇长段低压或破碎性地层而引起严重漏失。由于漏失层段多、井段长、漏层连续不断,又没有有效手

段确定特定的漏层位置,采用常规水基钻井液钻进时,往往造成“有进无出”的全部漏失局面。特别是在川东构造上以常规钻井方式所钻的井,大部分都有发生过严重井漏的情况,因井漏而造成的经济损失十分巨大。通过近年来气体钻井作业的实践证明,类似这种情况,选择气体钻井方式来解决潜在性漏失井、长段裸眼漏失以及复杂地层钻速低的井的防漏治漏和提高机械钻速等难题已成为必然趋势。

20 世纪 90 年代,针对复杂地质的特征,为了防止井下燃爆,并能在含少量 H_2S 的非产层以及储层安全地进行钻井作业,国内研究了采用氮气、柴油机尾气等惰性气体进行钻井修井作业的工艺技术。在此期间,四川油气田开展了柴油机尾气钻井修井作业,初步完成柴油机尾气钻井、柴油机尾气泡沫钻井及修井等工艺技术的理论研究。在 20 世纪 60 年代中期至 70 年代初期气体钻井试验的基础上,90 年代中期开始,四川油气田又经过近 10 年的气体钻井技术研究与现场应用,在气体钻井技术逐步成熟配套的基础上,进行了 100 多口井的气体型流体的钻井作业探索。2005 年,随着气体钻井设备的升级和换代,中石油和中石化在川渝油气田的气体钻井技术取得了很大的发展,气体钻井的应用范围不断得到拓展,开发力度逐渐加大,钻井进尺逐年增加。与此同时,国内其他油田也陆续应用气体钻井。例如,继四川石油管理局 20 世纪 60~70 年代在邓井关 38 井、自贡自 13 井、兴隆场兴 12 井等多口井上进行天然气钻井后,长庆油田于 2000 年使用气基流体纯天然气作为循环流体,在位于内蒙古境内的鄂尔多斯盆地的陕 242 井进行了天然气钻井作业,初步形成了一套具有长庆油田特色的天然气钻井工艺技术,进一步完善了我国的天然气钻井工艺技术。2005 年以来,吐哈油田在吐哈红台地区进行了气基流体纯氮气全过程气体钻井,在吐哈三塘湖地区开展了多口井的充空气钻井等现场作业,取得了良好的应用效果。近几年,中石油、中石化主要在川渝地区七里北构造、龙岗构造、普光构造、老君山构造、河包场构造、邛西构造、平落坝构造、元坝构造、清溪构造等构造上广泛应用气体钻井工艺技术,体现了气体钻井工艺技术广阔的应用前景,并促进了该技术的进一步发展。

气体钻井方式具有采用水基钻井液的钻井方式所不具备的诸多优点。以气体型流体作为循环介质,一方面能大幅度提高钻井机械速度;另一方面作为循环介质的流体密度低,对井眼形成的压力相对较低,在钻井过程中可减少因压差而引起的钻井流体的漏失,能有效解决潜在性长段低压破碎性地层的钻井液漏失问题。此外,利用气体钻井技术还有利于解决复杂地层和勘探作业区工作中钻速低的问题,大幅降低因井漏等复杂事故引起的损失,加快钻井工程进度,缩短建井周期,提高油气勘探效益。特别是对于缺乏充足水源地区的钻井,气体钻井技术的优势尤其突出。

第二章

国内外气体钻井技术的发展状况



一、国外气体钻井技术现状

20 世纪 30 年代气体钻井技术在国外,特别是在美国、加拿大、前苏联开始应用。在美国,气体钻井技术的发展经历了三个阶段。第一阶段是 20 世纪 30 年代,以气基流体空气为循环介质的气体钻井主要应用于非储层处理复杂钻井事故,提高钻井速度,缩短建井周期,降低钻井成本。在这一阶段,气体钻井的年进尺占全年总钻井进尺的 16.7%(美国能源部有关数据统计)。第二阶段开始于 20 世纪 90 年代。针对空气及充空气钻井在钻开产层时存在一定的井下燃爆危险,以及可能造成钻具的氧化腐蚀等问题,90 年代后又开发研究了采用氮气及充氮气(或氮气和氧气按一定阻燃比例混合的气体)进行钻井的方式,专用于以勘探、开发为主要目的的储层钻进。至该阶段,气体钻井的年进尺占全年总钻井进尺的 30% 左右。第三阶段,进入 21 世纪后,美国的气体钻井已经发展到开始与水平井、分支井相结合,在勘探、开发方面发挥更大的效益,以至越来越多的油田推广应用气体钻井技术。

以气基流体空气作为循环介质的钻井作业获得成功,技术人员发现在相同地层条件下,气体钻井中所用钻头的使用寿命和机械钻速比用普通水基钻井液钻井均有明显提高;在以前使用常规水基钻井液钻井无油气显示的地层的同一地区,使用气基流体空气钻井后发现了工业性油流和天然气流。同一时期,在水基钻井液中或在水和处理剂配制的基液中进行充空气的钻井作业也开始采用,但直到 20 世纪 80 年代以旋转防喷器、旋转控制头等为代表的欠平衡钻井装备发展成熟后,气基流体干气体钻井和充空气及稳定泡沫流体钻井技术才在国外得到广泛应用。

20 世纪 60 年代,美国开始使用气体型流体泡沫钻井,但由于当时的勘探开发形势(人们的注意力在高压、高渗、高产油气田上),直到 90 年代以后,该技术才得到前苏联、

美国、加拿大等国的重新重视。继此之后,应用空气、空气-天然气、雾、充气和稳定泡沫流体等气体型流体作为循环介质的钻井技术先后在美国、加拿大和前苏联等国相继采用,并不断发展完善。同时,专用配套设施与其他钻井技术(如水平井连续管钻井)相结合,对增加低压油田的单井产量、提高采收率发挥了显著的作用。当时,美国的纯气体、充气和泡沫钻井数占钻井总数的10%以上。

利用空气钻井进行特殊作业的技术在国外也进行过研究与应用。美国某油田使用气基流体空气和雾化液在下套管的Swan Lake-1st直井中进行欠平衡开窗侧钻,侧钻这口井的主要目的是减少原有井对所钻Toolachee、Epsilon、Patchawarra和Tirrawarra地层的损害,并随钻发现产层,设计总井深为10 092 ft。原有直井采用常规法钻成,并已进行了中途测试,测得的综合产气量为0.83 MMscf/d($2.35 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$)。由于直井段的套管被挤扁,如继续钻井则需要较高的空气注入量,这与设计是不相符的。鉴于这个问题,此井未钻到设计井深就完钻了。尽管如此,该井使用空气钻井方式进行侧钻后,对侧钻井段的裸眼流动测试,测得的产气量是原直井段综合产气量的10倍,效果显著,这也表明利用空气侧钻明显降低了对地层的损害。

为有效开发低孔、低渗、低压油气田,最大限度地发挥原始产能,国内外都付出了努力,而大量实践最终证明,气体钻井正是一种解决此类问题十分可行的钻井工艺技术。据美国某油气田部分资料统计,美国埃克森公司在得克萨斯州威乐逊县的玛萨里纳瑞克油田钻了24口井,该油田为裂缝性油藏,油层孔隙度为4%~9%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (国外规定渗透率小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为低渗透油田),井深为2 500 m左右。这24口井中有21口井采用常规水基钻井液钻井(19口井为普通钻井液体系,2口井为加重盐水钻井液体系),剩余的3口井中有2口采用气基流体雾化液作为循环介质,另外1口采用气体型流体充气、泡沫钻井。据奥斯丁白垩系地层完井的10口井统计,用普通钻井液完井6口,开采24个月,占总开采量的18%,平均每井每月占总开采量的0.1%;而用雾化方式钻进的2口井,开采了23个月,占总开采量的69%,平均每井每月占开采量的1.5%,比前者增加15倍。自那以后,该地区使用以气体型流体作为钻井循环流体的钻井方式进行钻井完井作业的比例逐年增加。

在美国得克萨斯州西南有个开采了20年的老气田,储层压力已降到11.6 MPa,井深4 267 m,压力系数为0.272。在这样低的压力下,用常规钻井方式(以普通水基钻井液为循环流体)钻井和修井实际上是不可行的,因为水和水基钻井液会损害地层和淹没气井。所以在原来油井附近又钻了一口补充井,用气体型流体稳定泡沫作为钻井循环流体钻开生产地层。稳定泡沫钻井流体明显降低了对地层的损害。在裸眼完井后还未进行酸化压裂,这口井的产气量就达到了 $7.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

从国外气体钻井的经验来看,要达到提高钻井速度、防止地层漏失的效果,气体型流体类型的选择、气量的大小、配套装备的精良程度均与之密切相关;同时,为了最有效地保护储层,减少对储层的伤害,气体钻井工艺技术中至关重要的技术之一是合理的钻

具组合及钻井参数。使用小钻具及小套管钻深裸眼井段结构,能够减小井底压力。当钻低孔隙压力的成熟油气田时,井底压力的减小是非常重要的问题。用气基流体空气或天然气钻低孔隙压力储层时会导致储层伤害,但良好的钻具组合设计经常能避免这些损害。在美国,西得克萨斯(Ellenberger 地层)现有的一口 17 000 ft 深气井的一个侧钻井,此井的套管和裸眼剖面是:从地面至 8 900 ft 下 $9\frac{5}{8}$ in 套管,8 900~12 000 ft 挂 $7\frac{5}{8}$ in 尾管,12 000~15 900 ft 挂 $5\frac{1}{2}$ in 尾管,15 900~17 000 ft(井底)是 $4\frac{1}{2}$ in 裸眼井段。此井的钻柱结构(当钻到 17 000 ft 时)是:从地面至 7 900 ft 是 $4\frac{1}{2}$ in 钻杆,7 900~10 500 ft 挂 $3\frac{1}{2}$ in 钻杆,10 500~17 000 ft 挂 $2\frac{7}{8}$ in 钻杆。钻井气体是惰性气体(相对空气密度约为 0.95),井内的体积流量约 2 300 scfm(标准立方英尺每分钟),地面海拔约 3 300 ft,没有注入水和添加剂。预计地面注入压力是 1 245 psi (1 psi=6.89 kPa,下同),实际为 1 000~1 300 psi;预计井底压力为 576 psi。另一口西得克萨斯现有气井(Ellenberger 地层)的一个侧钻井,其井深为 14 900 ft。套管和裸眼段剖面是:地面至 13 200 ft 下 $5\frac{1}{2}$ in 套管,13 200~14 900 ft(井底)为 $4\frac{1}{2}$ in 裸眼井段。此井的钻柱结构(当钻到 14 900 ft 时)是:地面至 14 480 ft 为 $2\frac{3}{8}$ in 钻井管,14 480~14 600 ft 为 $2\frac{1}{2}$ in 钻杆,14 600~14 900 ft 为 $3\frac{1}{8}$ in 钻铤。循环流体为相对大气密度 0.86 的天然气。注入井里的天然气体积流量约 1 400 acfm(实际立方英尺每分钟),地面海拔约 3 300 ft,大气温度约 60 °F。没有注入水和添加剂。预计地面注入压力为 659 psi,实际注入压力约 700 psi;预计井底压力为 218 psi。

加拿大的油气田也有很多成功应用空气、天然气、充气等流体进行钻井的实例,且主要以提高机械钻速,保护油气层为目的;为了防止在储层中钻井会引起井下燃爆,还研究了混合气体钻井的应用技术。加拿大使用气基流体和低密度钻井流体的钻井技术主要在西部碳酸盐岩油气藏及裂缝性油气藏。1994 年,加拿大用气体型流体钻井技术共钻井 230 口,1995 年钻井 330 口,1996 年钻井 425 口,1997 年钻井 525 口,1998 年钻井约 1 500 口;其钻速比常规钻井提高 2~10 倍,无表皮伤害,油层渗透率提高 5 倍以上,有利于保护油气层。此外,在 Rigel Halfway Pool(产层是三叠系 Halfway 砂岩,平均渗透率为 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度为 15%~20%)的作业中采用天然气作为钻井循环介质,实现了表皮零伤害。钻井过程中,采用顶部驱动钻机,可以连续溢流,岩屑随油流返到地面。岩屑上返速度高,减少了岩屑固相对产层的污染。正式投产时,该井产量为邻近直井的 10 倍。随后,又在附近钻了一口井,并取得了类似的产量,从而验证了气体钻井在这种地层中的增产、保护油气层等效果。

在国外的空气钻井修井作业过程中,均不同程度地发生过井下失火、爆炸等事故,这也成为低压钻井和修井技术的一大障碍。因此,在提高机械钻速并保护油气层的前提下,防止井下燃爆又成为油气开采作业中亟待解决的问题。

针对这个问题,加拿大 HUSKY 公司委托 CALGARY 大学火燃油层实验室进行氮气与空气混合的充气液井下燃爆试验,找到空气混合 60%氮气的阻燃比例。在加拿

大阿尔伯达的 Camrose 油藏, HUSKY 公司用充气钻井液钻成了一口水平井——Wainwright15B-44-4W4M, 其水平段长 1 800 ft。该油藏属低压油藏, 原来钻井中出现过严重井漏。考虑到钻井流体混合物井下着火的问题, 测试确定了安全混合物的组成是空气 85%、钻井液 9% 和碳氢化合物 6%。为了安全考虑, 最后将空气的体积分数降为 70%; 但是, 为了满足欠平衡钻井条件, 需要体积分数 95% 的空气。后来考虑到安全因素, 进一步作了测试, 结果将空气改为空气与氮气按 40 : 60 的比例混合, 按这种比例混合的气体与钻井液及井下的碳氢化合物组成的混合物不会在井下着火。该水平井完钻后经测试, 其产量是该地区直井产量的 2.5~6 倍。由此可见, 采用适当比例的混合气体作为钻井流体, 即能够防止井下燃爆的发生, 又能降低气源的成本; 同时证明了利用混合气体作为循环流体钻井有利于保护油气层和提高油气产能。

此外, 美国的一些研究机构对井下燃爆问题也进行了研究和室内试验, 找到了各种燃料(甲烷、天然气、原油蒸发气)含氧量的最低燃爆极限值。目前, 国际上采用的防止井下着火的方法主要有断氧法(即用天然气代替空气进行钻井修井作业或用惰性气体钻井修井, 采用液氮和现场制氮进行氮气钻井修井作业)、贫氧法(即在空气加入氮气, 降低氧气的体积分数而防火)和降温法(即增大注水量, 降低井下温度而防火)。实践证明, 这些方法都是行之有效的。因此, 井下燃爆问题不再是限制气体钻井技术发展应用的因素。

国外在气体钻井配套设备上进行了多年的研究, 如旋转防喷器、液气分离器、化学药剂注入泵、雾化泵应用技术成熟, 井下工具如空气锤的开发和应用方面。美国早在 20 世纪 50 年代就在 3 000~5 000 m 的深井钻探作业中成功地应用气体钻井配套设备, 解决了控制井斜等技术问题。目前, 气体钻井在发达国家是主流钻井技术的一个重要组成部分, 大约占 1/3 的进尺比例。气基流体天然气、氮气的钻井技术在加拿大、美国得到了进一步的推广和应用, 气基流体空气用于产层前的钻井作业也越来越普遍。



二、国内气体钻井技术现状

早在 20 世纪 60 年代中期, 四川石油管理局就在川中、川西南地区初次组织气体钻井试验研究, 进行空气钻井和天然气钻井的现场实践。经过 30 余口井的试验, 对气体钻井工艺技术有了初步尝试和摸索, 但在当时客观的工程技术状况下, 进展缓慢。因进一步发展气体钻井技术的涉及面颇宽、投资巨大、难度极大, 再加上当时气体钻井的装备和井下专用配套工具不完善、理论研究不深入、工艺技术不成熟、专业技术队伍缺乏、井控安全没有充分的保障等原因, 气体钻井技术在 20 世纪 70~80 年代的发展几乎停滞。当时的情况为: 理论研究欠缺; 专用设备配套简陋不完善, 井下工具不配套, 没有六棱方钻杆, 只有采用常规的四方方钻杆, 气体密封性不好, 有一定的危险性; 没有专用的空气锤, 井斜控制技术无法解决; 没有安全可靠的旋转防喷器(当时所用的旋风除砂器只能用于分离气体和砂, 不能分离液体), 岩屑取样器和液气分离器也没有研制成功。

