

氮气钻井完井实用新技术

DANQI ZUANJINGWANJING SHIYONG XINJISHU



主编：许期聪 王多金 候 伟
杨兰平 徐 英 何 纶

电子科技大学出版社

石油新技术丛书

石油新技术丛书

氮气钻井完井实用新技术

主编 许期聪 王多金 侯 伟
杨兰平 徐 英 何 纶



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

氮气钻井完井实用新技术 / 许期聪等主编·成都:
电子科技大学出版社, 2011.6
ISBN 978-7-5647-0857-3

I. ① 氮… II. ① 许… III. ① 氮气-油气钻井② 氮气
-完井 IV. ① Te2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第104104号

内 容 提 要

本书较为详细地介绍了油气田开发中氮气钻井应用技术所涉及的技术要点和相关的理论知识。近年来国内在大量开展气基流体钻井的基础上, 总结出一套有利于油田安全、快速钻井, 且有利于保护油气层的氮气钻井完井实用新技术。本书以中石油、中石化在不同地区的氮气钻井技术应用为实例, 结合国内外其他油田的氮气钻井实例, 客观地反映了近年来国内氮气钻井技术领域研究成果和技术进展状况的基础上, 提出了一套实用性较强的氮气钻井完井技术方案。氮气不仅在钻常规直井的储层中发挥了技术优势, 特别是在钻水平井储层中起到了不可低估的作用。在油气开发的二、三次采油中, 氮气的应用领域也得到了拓宽, 可用于气体非混相驱替及钻井平台的惰气保护等多个环节。

书中的内容包括: 国内外氮气用于石油开采的技术发展状况、氮气钻井设计、石油钻探用制氮装备及其配套设备、氮气钻井工艺技术、氮气钻井现场实例、氮气在完井中的应用技术、气基流体在钻井过程中的井壁稳定探讨等。

本书可作为油气田开发、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以及现场作业指导的参考书, 尤其适合从事钻井工程、完井采油工程、油气田开发工程的技术人员和钻井液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。

氮气钻井完井实用新技术

许期聪 王多金 侯伟 杨兰平 徐英 何纶 主编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策 划: 左 峰
策划编辑: 张蓉莉
责任编辑: 张蓉莉
主 页: www.uestcp.com.cn
电子信箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川和乐印务有限责任公司
成品尺寸: 180mm×260mm 印张 17 字数 279.8千字
版 次: 2011年10月第一版
印 次: 2011年10月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-0857-3
定 价: 58.00元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

目 录

第一章	绪论	1
第二章	国内外氮气用于石油开采的技术发展状况	10
第三章	氮气钻井工艺设计方案要求	27
第四章	石油钻探用制氮装备	82
第五章	氮气钻井工艺技术	109
第六章	气基流体氮气钻井的应用效果	130
第七章	利用润湿反转原理解决井壁失稳的对策探讨	183
第八章	氮气在完井中的应用	214
第九章	氮气钻井完井作业HSE管理体系	225

第一章 绪 论

气体钻井是近年来发展起来的一种欠平衡钻井方式，是用气体压缩机向井内注入压缩气体，依靠环空高压气体的能量，把钻屑从井底带回地面，并在地面进行固、气体分离，将分离出的可燃气体燃烧释放、除尘、降噪的一种钻井方式，氮气钻井技术是气体钻井方式之一。

我国的气体钻井技术是在20世纪末开始，从最初的空气钻井技术、柴油机尾气钻井技术，经装备不断更新配套，到现在已经发展成包含以空气、氮气、天然气、柴油机尾气、充气流体、雾化液、泡沫等多种气体型流体介质作为循环流体的钻井技术，同时气体钻井技术已成为提速、治漏、保护和发现油气藏等多种功能于一体的增效技术手段，特别是氮气钻井技术因有利于井下作业安全和保护油气层的优势成为当前气体钻井的主流技术而被推广和应用。该项技术的应用在我国起步最早的是四川油田，以后陆续在新疆、长庆、吐哈、川渝等油气区得到了较为广泛的应用。目前川庆钻探工程有限公司、中原油田、胜利油田等钻井公司已具备了纯空气钻井、雾化钻井、泡沫钻井、充气钻井、天然气钻井、氮气钻井的欠平衡钻井设计和服务能力。

和使用传统水基钻井液钻井相比，用气体型流体钻井有更多的优点：能提高机械钻速，减少或避免井漏，延长钻头寿命，减少井下复杂事故，减少完井增产措施，降低钻井综合成本，保护油气产层，增加油气产量等。仅从2005~2009年国内空气钻井井300余口井，而氮气钻井方式因能有效避免井下燃爆而确保储层钻井的安全作业，因此其氮气钻井作业井数呈逐年上升趋势，2010年氮气钻井的比例有明显的提高。

气体型流体欠平衡钻井技术始于20世纪50年代，初期发展最快的是美国，据统计，近几年来美国全年约有四分之一的油气井和地热井均不同程度地使用了气体欠平衡钻井技术，特别是用氮气钻井的方式占有相当大的比例。

氮气钻井完井技术是为了避免空气钻井在进入油气产层时容易引起井下着火爆炸等事故而开始研究的一门技术。美国与加拿大的很多油田在空气钻

井和修井过程中均发生过井下失火、燃爆等事故，因而这一度成为气体钻井和修井技术的障碍。针对这些事故，国外在20世纪90年代前常采用以氮气为气基流体的钻井技术，从而解决了井下燃爆的问题，人们将气体型流体进一步扩展，在气体钻井作业过程中，更注重选择氮气作为钻井的气基流体，或将氮气作为充气钻井流体的一个组分。主要原因是氮气优于空气的主要特点是其与气态烃的混合物不可燃，可以消除井下着火的可能性，同时还可以防止腐蚀的发生。

目前使用最多的气体钻井方式是空气钻井，但空气钻井在钻遇产层时，空气与天然气混合后容易造成井下工具损坏。产生井下燃爆的原因主要有以下三点：氧气、温度和可燃物。而钻井的最终目的是钻达产层，产层所产生的油、气都是易燃物，由于在钻井作业中无法降低井下的地层温度，要解决燃爆问题，只有从隔绝氧气这方面进行考虑。因此，对气体钻井而言，利用氮气不易引起燃爆的特性，使用氮气作为钻井循环流体（循环介质）是隔绝氧气、解决燃爆的有效办法。21世纪初，随着空气钻井技术的推广应用，为了防止井下燃爆，保护油气层，实现产层欠平衡钻井，开发研究了氮气钻井完井技术这样一门专业技术。2006年国内部分油田开始运用氮气钻井技术进行现场试验，取得了一定的效果，至2009年国内氮气钻井达百余口。而国外早在20世纪90年代前采用以氮气为气基流体的钻井技术，从而解决了井下燃爆的问题，人们将气体型流体进一步扩展，在气体钻井作业过程中，开始尽可能选择氮气作为钻井的气基流体，或将氮气作为充气钻井流体或氮气泡沫流体的一个组分。21世纪初国内已用气基流体氮气成功的在水平井中进行了应用，氮气钻井在整个气体钻井作业中的比例逐年上升。

近年来，国内加快了气体钻井作业的步伐，非产层前用气体钻井方式成功解决了潜在性漏失地层漏失严重、地层岩石坚硬所致机械钻速低、储层渗透率低不易采取储层保护措施这三大钻井难题。目前部分油田采用空气钻井应用在提高非储层段的机械钻速和对付非储层段的井漏问题。四川、中原、胜利、长庆、玉门、吐哈等油田都进行了气体钻井的研究和实践。但目前某些油气区如川渝地区的川东北气田，若采用空气钻井方式，仅能用于须家河以上的陆相地层，还不具备钻穿含有天然气层的须家河组地层；而须家河地层又恰好是四川地区钻速最慢的井段，因此，为了安全的开展气体钻井作

业,提高机械转速,针对不同的地区和构造特点,选择钻井流体的类型显得尤为重要。

从安全的因素考虑,氮气钻井是气体钻井作业的首选技术措施,近年来川渝地区在广安构造、龙岗构造、普光构造、河包场构造、剑门构造、大塔场构造等开展了氮气钻井作业,取得了长足的进展。同时还开展了氮气水平井的特殊钻井作业,逐渐配套完善了氮气钻井设备,为提高气体钻井技术打下了坚实的基础。

现代石油工业中,氮气技术的快速发展使它广泛应用于油气生产的许多环节。与常规方法相比,主要表现在保护和发现储层、提高油气产量和采收率、提高钻井速度,在储层钻井中可减少或避免井下漏失等。氮气钻井技术具有安全、省时、快捷、高效和经济等优点。由于氮气密度低、稳定性好、易压缩等特点,而且与油、水互不相溶,来源广泛,是气体非混相驱提高油气采收率的重要气源。所以氮气在石油和天然气特别是在油田和气田系统中的应用非常广泛,可用于氮气钻井、二、三次采油、有利于油井、气井保护、保持压力和储存气体、容器内气氛的置换、钻井平台的惰气保护、管路及设备的吹扫、易燃、易爆物品运输时的保护气氛、溶剂回收等。随着膜法制氮这一高新技术的日趋成熟,特别是移动式制氮系统的诞生,更加适应灵活多变的应用现场,而且具有流程简单、膜组件寿命长、能耗低、体积小、露点低、可靠性高、操作弹性大、能适应各种恶劣环境、开启迅速、浓度和流量可在线监控等特点。同时所用原料是取之不尽、用之不竭的空气,所以采用膜法可以得到价廉、洁净、质量稳定、易于控制的富氮气体。氮气浓度一般在92%~99.9%范围内,同时也可满足任意所需的浓度等,近年来氮气钻井完井技术在许多油田已经开始广泛应用,积累了丰富的经验。

2000年12月,胜利油田钻井四公司在云参科研1井(云南武定县)首次采用氮气钻井技术钻井获得成功,拉开了中国氮气钻井的序幕。此项新技术以较快的速度在国内开始了现场推广应用。2005年开始到目前已由中国石油天然气集团公司和中国石油化工集团公司针对川渝地区上三迭统和侏罗系储层低孔、低渗、非介质性强及易于伤害等地层特点,在七里北构造(七北101、102、103)、大邑构造(大邑1井、3井)、川中的广安鲜度河构造的10余口井,川西南地区的河包场构造(如包浅201井、包浅205井、包浅206井、包浅207井)以及在吐哈红台地区构造(红台2-15井、红台2-4井)和塔

里木油田的满东2井等井使用氮气钻井技术，获得勘探重大突破。仅以川渝油气田气体钻井数据粗略统计氮气钻井井数见表1-1。

表1-1 四川某油气区氮气钻井统计

年度	气体钻井 数量（井次）	空气钻井 （井次）	氮气钻井 （井次）	氮气钻井占气 体钻井的比例%
2005年	25	13	12	48%
2006年	49	31	18	36.7%
2007年	71	51	28	39.4%
2008年	94	62	50	53.2%
2009年	36	28	11	30.6%

近年国内以更快进度用气体钻井方法在广安、普光、元坝、龙岗、大邑、邛西、榨西、五宝浅、大塔场等川渝地质构造上选择气基流体氮气进行钻井作业，这是在充分总结空气钻井的技术经验的基础上，完善和提高了氮气钻井完井的工艺技术措施，逐渐配套完善制氮设备，保证了井下安全作业，取得了提高钻速的技术效益，即与常规钻井方式相比，可以提高5~10倍以上，有效解决储层钻井过程中的漏失及压差卡钻的技术难题，及时保护和发现了油气藏，提高油气井的单井产量达3倍以上的显著效果。

为满足油田现场氮气钻井连续用气的需要，目前世界范围内的油气田经过多年实践总结经验，认为膜制氮设备相对其它制氮方式具有能耗低、可靠性强、较少维护、体积小、重量轻、增容简单、技术成熟、自动化管理等优点。油田用户也不断总结氮气设备在油气生产领域的应用，大致可归纳为以下几方面的应用：

1 提高采收率

世界范围内，各大油田大都经过了一次采油，二次采油，随着油田不断开发，油田利用自然和人工能量开采的阶段完成后，目前逐步进入提高油田采收率的三采阶段，三次采油的方式主要有热力驱，气驱与化学驱等；其中热力驱宜用于油藏较浅或稠油开采；气驱的发展方向，从国外的经验来说是

非烃气代替烃类气，其中 CO_2 是效果最好的，但由于 CO_2 来源有限，不便于现场连续生产，而且易产生腐蚀等问题，所以价廉物美的 N_2 氮气的应用越来越受油气客户的青睐，油气田客户常使用氮气在如下生产作业中来提高采收率：

(1) 稠油蒸汽吞吐井注入氮气

蒸汽吞吐注蒸汽作业时，往油套环空中连续注入氮气，并于高压蒸汽同时进入油层不仅起到良好的井筒隔热效果，既保护套管不至超过高温极限而导致损坏，又减少井筒热损失从而提高井底蒸汽温度，增加吞吐增产效果。更重要的是注入油层中的氮气，促使氮气加热带体积扩大，而且在回采过程中起到助排油水的作用。因此将大幅增加吞吐周期产量及日产量，提高油气比等经济效益。

在油井蒸汽吞吐作业中，由油套环空气中注入氮气，油管中注入蒸汽并加入高温泡沫剂（表面活性剂），在油层井段形成泡沫状蒸汽流，产生吸入剖面的调整效果。原来吸气多的高渗透层或汽窜层将减少吸气量，原来吸气少或不吸气的层段，由于井底注入压力差升高而增加吸气量，从而扩大了吸气厚度，提高蒸汽吞吐开采的效果。

(2) 蒸汽泡沫调剂技术

在蒸汽驱动开采过程中，由注气井注入蒸汽的同时，加入高温泡沫剂，并从油套环空注入氮气，不仅起到井筒隔热的效果，而且在油层中产生蒸汽泡沫驱油的效果，增加油量，提高原油采收率。

(3) 在油井酸化、压裂过程中，同时注入氮气，再反排废酸液及回采时，起到氮气强化助排作用，从而起到良好的解堵、增产效果

(4) 在某些油藏注水开发过程中，同时注入氮气泡沫剂，可以有效地控制油层中注入水的窜进，提高水驱波及系数驱油效率，从而增油控水，提高原油采收率

(5) 用车载式代替空气压风机，可以进行各种油井井下作业中的气举作业，如诱喷投产、举出压井液、泡沫液洗井、油井解堵等，这样可以避免空气入井引起的爆炸事故。进行其他油井增产作业，如油井堵水，压水锥作业

(6) 压力保持

经过长时间的开采，油井井下自然压力降低，注入氮气则可保持地下油

层的压力。存在气体冷凝现象的地层必须增压到现存碳氢化合物的露点以上，否则就会因为气体冷凝而影响正常开采。依靠注氮提高油藏压力，可使气体含量较低的油井因增压而提高原油产量。

(7) 氮气驱

由于氮气同油和水不相混合，因此注氮工艺或氮气驱能够将不易开采的碳氢化合物从注入井驱赶到生产井，从而实现连续采油。

(8) 气体举升

通过引入氮气作为油井环形空间或附属管柱中的气体举升机体，可使流体静压头减轻，从而提高压力已经降低的油井的产量。

2 气体钻井（气基流体氮气作为循环工程流体的钻井作业）

气体钻井是欠平衡钻井的一种类型。欠平衡钻井技术是20世纪90年代在国际上成熟并迅速发展的一项高新钻井技术，正在海上和陆地钻井中获得广泛地应用。这种技术是把钻井和采油作业结合在一起。这种方法不同常规钻井中井下液压力高于地层压力。而欠平衡钻井时，钻井流体压力低于地层压力，这就可使钻进流体和地层产物，通过一个可控制的封闭系统循环系统流回地面。这种技术对储量损害少（甚至无损害），油气产量高且可延长油气井寿命。此外，有价值的碳氢化合物在钻井期间即开始生产出来，而不是在完井作业后，氮气可单独使用或者同其它钻井流体一起使用来减轻和控制流体静压力和井下压力。

在气体钻井作业过程中，钻井深度达到产层附近时，使用氮气被用来替换空气，以防止由于空气同井眼里的碳氢化合物起反应而造成井下起火和爆炸。氮气是作为一种很轻的钻井流体，可降低钻头的负载，产生高渗透率。而且，当使用氮气时因所用的水基钻井液减少，井眼和地层更为清洁。由于气体钻井流体中的气体可在地面点燃并且可很快地对返回的岩屑样品进行分析，因此钻井效果更易发现碳氢化合物气体。所需氮气流量可根据井眼直径、井深和排量及地层结构而改变。

结合国内外氮气体钻井实际应用情况及其成果表明：气体钻井相对于常规钻井，其优势主要表现在提高机械钻速、减少或避免井下复杂事故的发生、延长钻头寿命、保护和发现储层等方面。结合气体钻井特点，研究认为氮气钻井适合在地层条件为常压、低压气藏，油气藏产量不能太高，储层水敏性强，地层稳定性好，井壁不易坍塌，高陡背斜构造，不含硫化氢或少含

硫化氢的地区进行。氮气钻井具有下述优点：

(1) 提高机械钻速

气体钻井井筒液柱压力的大幅度降低，井底岩石三相应力状态发生改变，使得井底破岩效率更高。也有助于减少“压持作用”，使钻头继续切削新岩石而不是碾压已破碎的岩屑，从而提高机械钻速。

(2) 减少或避免井漏

井漏可能大大增加钻井工程的成本，若钻井液漏进裂缝、低压油层或高渗油藏，就增加了额外的钻井液成本，同时堵漏费工费钱，更不用说漏失的钻井液会对地层带来伤害。在欠平衡工况下液柱压力小于地层压力，从而可以减小或避免井漏问题。气体钻井体系的当量压力梯度为 $0.001\sim 0.90\text{ g/cm}^3$ ，低密度窗口范围很大，易于在各种地层段实现欠平衡工况，因此，空气钻井或氮气钻井能减少或避免井漏。

(3) 延长钻头寿命

高速气流对钻头的冷却效果很好，气体钻井过程中井底处于负压状态，有利于已破碎岩石离开井底，避免钻头与岩石的重复切削，减少岩石对钻头的磨损，延长钻头的使用寿命。

(4) 减少井下复杂事故

气体钻井速度快，缩短了钻井时间，从时间上减少了对钻具和扶正器的磨损；钻压低使得钻具负荷轻，从强度上减轻了钻具磨损和疲劳损坏，延长了钻具的使用寿命；注气压力低，避免了钻具的刺漏，确保了钻具使用的安全。因此，减少了井下复杂事故的发生。

(5) 减少完井增产措施

由于在氮气钻井过程中井底为负压值，实现了欠平衡钻井，没有固相颗粒及液相进入地层，达到了保护储层的目的，因而不需要再进行进一步的增产措施，减少了相关作业的费用。

(6) 降低钻井综合成本

虽然气体钻井需要特殊的装备，增加额外运行成本，但气体钻井能提高机械钻速，减少井漏等井下复杂事故，减少水基钻井液使用量，特别是氮气钻井可适用于某些低压储层的开采，保护油气层，提高产能。总体经济效益明显，能大幅度降低钻井综合成本。

(7) 保护和发现储层

由于储层伤害是不可逆过程，井筒周围一旦发生伤害，就不易消除。因氮气钻井循环介质为气相（混气相），井底压力低于周围地层压力，为负压，在这种情况下，驱使钻井液中的固相和液相进入产层的正压差消除了，产层流体还可以进入环空，并循环到地面。因此氮气钻井能起到保护和及时发现储层的作用。

3 其他方面的应用

（1）保护气体

应用氮气化学性质稳定的特点，作为保护气体，在油气生产领域也有许多应用，比如管线的吹扫与置换，易燃易爆容器的气体置换与气封，油气管线的试压等。

（2）完井作业

在完井作业中，氮气用于固井、压力测试设备、下入封隔器和其他压力驱动设施以控制水泥浆重量。氮气还用于引爆射孔弹。低密度高压力的氮气还是油井清洗和流体置换的理想介质。

（3）修井作业

低产井常常通过酸化压裂来增压。氮气是在高压下注入井下的表面活性剂的理想载体及高压氮气能用替换水基钻井液，降低流体压头，使油井开始生产。洗井作业应用氮气可使对地层的损害极少甚至无损害，可增加油井生产，延长油井寿命。

（4）天然气开采中的应用

气体顶驱：通过注入氮气来替代气顶天然气可以回收天然气，并且油藏压力也得到保持，这样一来可以不必等到抽尽石油就能将天然气回收。

气体循环：用氮气替代天然气来保持凝析油层的压力，把油气分离出来，可以回收残留天然气。

（5）连续油管作业的应用

许多年以来依靠旋转设施进行的常规钻井和修井作业，现在可由连续管装置来实现。这种方式有效地利用连续油管，而不再是一串连接在一起的油管或管柱。在现场配备高压气体增压机的氮气发生装置可产生气态氮气，以满足钻井作业要求的连续几天甚至几周不间断的氮气供应，特别是以用于边远或难于进入的井位及海上作业。对于连续油管作业，油管腐蚀格外引人注意，因为该系统还用于将酸和易反应化学品输入井中。连续油管装置还能可

靠的进行驱替、洗井、气举及许多其它修井作业。

(6) 煤层气的开采

近20年来国外兴起采用先采气后采煤的开采煤层气的方式，充分利用甲烷气。将高压氮气注入被吸附于煤层中的甲烷气中，形成许多契子，在契子内压力很高，压开煤层，使煤层部分的甲烷气压力降低，甲烷从煤层中移动到契子中，随着氮气和水流到井眼中，可极大的提高甲烷气的产量，并且可开采煤层气中的绝大部分气体。

随着氮气在油田的广泛应用，特别是氮气作为气基流体用于钻井作业，在油田的各类钻井方式已取得明显效果。相信不断总结经验，氮气将会在油田的众多领域里有越来越广泛的用途。

第二章 国内外氮气用于石油开采的技术发展状况

众所周知，氮气钻井技术是为了避免空气钻井在进入油气产层时容易引起井下着火爆炸等事故而开始研究的一门特殊工艺技术。美国与加拿大的很多油田过去曾在空气钻井和修井过程中均发生过井下失火、爆炸等事故，因而这一度成为完井作业压井和修井技术的障碍。针对这些事故，国外在20世纪90年代前开始尝试采用以氮气为气基流体的钻井技术，从而解决了井下燃爆的问题。但由于氮气钻井成本过高，选用氮气作为气基流体的主要目的是防止井下着火，但制取大量的氮气需要花费昂贵的成本。因此为降低成本又能防止井下燃爆，研究了使用混合气体以氮气为主的钻井方式。而实验表明，如果混合气体中氧气的浓度低于某一临界浓度，空气、氮气和气态烃的混合物就不会燃烧。在大气压下，氧气、氮气和甲烷气的混合物中氧气的含量至少达到12.8%才可能引起燃烧。加拿大HUSKY公司委托CALGARY大学火燃油层实验室，进行氮气与空气的混合气体的井下燃爆试验，找到了空气混合60%氮气的阻燃比例，即以空气与氮气按60:40比例混合而成的气体作为钻井循环流体不会引起井下着火或燃爆。因此，在进入产层或在含 H_2S 地层钻井，目前除选用氮气进行作业外，也可以用空气与氮气的混合气体进行钻井，国内目前开展氮气钻井作业主要采用现场膜滤器法，纯度可以控制在90%~96%的范围，国外对其纯度控制进行了一系列研究，科学地得出答案，认为采用适当的混合气体可以降低成本。

氮气钻井是在空气钻井工艺技术基础上发展起来的气体钻井技术。因此近年与气体钻井配套的制氮装备又不断更新换代，美国、加拿大、日本在制氮膜技术领域里有了新的突破。国内在引进国外主要制氮设备的基础上，配套一些国产部件，降低设备成本，目前主要在川渝地区、新疆、塔里木等油气田逐步配套齐全制氮设备，通过数十口氮气钻井的实践，氮气钻井工艺技术的应用已由非产层钻井逐渐延伸到储层钻井、水平井钻井的不同钻井领域中，氮气钻井技术逐渐为人们接受。

1 在油气田生产中的氮气应用技术

氮气在油气生产方面的应用可主要概括为：一是利用氮气的稳定性，将空气与易燃易爆的气体隔离开，起到安全生产的作用；二是根据气体密度低的特点，调节入井液的密度，主要用于低压易漏层的作业，如混气冲砂等施工；三是依靠压缩气体卸压后的体积膨胀力，加强进入地层流体的返排，如泡沫压裂、泡沫酸化作业；四是作为驱替介质，用于保持地层压力，提高油气采收率；再就是兼有以上两种或三种特性，如氮气欠平衡钻井在非产层和储层中的应用等，以下分别简述氮气在各个领域的应用概况。

1.1 提高采收率

注气保持地层能量是油田开发中的常用方法，气驱能否实现不仅取决于油气藏与设备的条件，也取决于有无气源。氮气与油、水互不相溶，作为驱替介质可以避免氧气对原油和天然气的污染，而且来源广，是气体非混相驱提高采收率的重要气源。华北的雁翎油田采用氮气驱提高采收率，实施以来取得了一定的效果。凝析气藏采用注气方式开采比衰竭式开采采收率提高很多，一般采用回注干气的方法，而当干气短缺不能保证供给时，氮气就成为理想之选。混气水、泡沫液驱油则利用混注氮气的气阻效应控制注入水沿高渗区窜流，增大注入水的波及体积来提高采收率，目前基本处于实验阶段。例如美国Miday - Sunset油田的C26区实施了单井网蒸汽-N₂泡沫实验，连续注入近16个月，注入井射孔段的蒸汽分布更加均匀，所观测到的储层纵向和横向蒸汽驱效果都有了相当大的改善，这直接归因于深层泡沫的存在，试验期间共增油4293m³。

1.2 钻井

严重漏失地层多使用气体欠平衡钻井或氮气泡沫钻井。低成本的空气钻井在经济方面颇具吸引力，但在油层中钻进时，空气很容易引起燃烧或爆炸。有时也采用天然气钻开产层，但仍潜在着很大的安全隐患。用氮气取代空气则可消除着火和爆炸的危险，同时混气液或泡沫液密度较低，减轻了钻头载荷，提高了钻头的穿透力和钻井速度，钻成的井壁和油层都比较干净，对返出的钻屑样品的分析也更快。氮气欠平衡钻井中，气体的介入减少或取代了钻井操作中常用的水基钻井液，使钻井液柱的压力低于地层压力，能够及时发现油气显示，对油层造成的污染轻，油井可以保持较高的生产能力。20世纪90年代后，水平井、分枝井的迅速发展和连续油管钻井的崛起更为氮

气在钻井方面的应用提供了广阔的空间。

1.3 氮气在固井作业中的应用

低压易漏和裂缝发育地层的固井中如何防止水泥浆漏失、有效保护储层是个难题，目前多采用低密度水泥浆体系加以解决。其中，泡沫水泥浆是一种较新的体系，与添加固形物降密度相比，其减轻剂为氮气，能在较低的密度下保持较高的强度，而且导热率、渗透率低。泡沫水泥中的氮气以细小的、高度分散的稳定气泡存在，使浆体具有可压缩性，水泥套管地层间的胶结更为紧密，极大的改变了界面胶结质量。由于泡沫水泥较其他低密度水泥含水少，因此对敏感性粘土、页岩、岩盐层的危害较小，更扩大了它的应用范围。美国、前苏联等国对这一技术的应用较为成熟，国内的胜利、长庆等油田采用化学发气式泡沫水泥浆固井也取得了满意的效果。

1.4 氮气在完井作业中的应用

油管传输负压射孔是目前常用的完井方法，一般情况下可通过控制井筒内液柱高度来实现射孔负压值。对于一些特殊类型的油气藏，如稠油、胶结差、速敏性强的储层在合理负压值的界定上还难以准确把握，若作业不当，会对储层带来较大的伤害，采用氮气负压射孔技术可较好地缓解这一矛盾，气柱调节射孔负压选值范围可以更宽一些，射孔后通过调节氮气放空速度来控制诱喷负压，氮气的稳定性也避免了与地层流体接触产生的危害。

氮气正压射孔是氮气负压射孔的进一步发展，它集正压射孔、负压反向冲击和气体压裂为一体，利用井内蓄集的高压氮气在射孔弹打开地层的瞬间，沿孔眼压开一定长度的裂缝，突破射孔压实带及钻井液污染带，随后卸压导流，诱导油气产出。由于裂缝的形成，改善了近井筒储层的渗流条件，在正、负压的双向冲击作用及压力大小的波动下，使堵塞于喉道处的污染物松动、脱落、冲散，随液流吞吐流入井筒，同时清洁孔眼，疏通泄油孔道，达到解堵、增产的目的。

1.5 有利于油气田的增产措施

低压、低渗、水敏性地层的增产处理对入井液的敏感程度较高，压裂液、残酸滞留于地层带来的伤害是影响施工效果的主要因素，如何提高入井液的返排能力成为工艺技术需要解决的关键所在。实践表明，采用混注氮气的方式能够有效提高入井液的返排速度和返出程度，其机理在于混注氮气的隔离、降滤、助排的综合作用有助于工作液克服毛细力的束缚，增强自身返

排源动力,起到保护储层和强化措施效果的作用。按照氮气在工作液中所占比例的不同分为混气液(硝化液)、泡沫液和雾化液,具体类型的选择依据施工井的地质条件和井况而定。相对而言,泡沫压裂、泡沫酸化技术近些年发展较快,增产效果好,在致密油气藏的商业开发中起到了决定性的作用,成为增产措施的主要发展方向之一。美国也曾在强水敏储层中试验过纯氮气压裂,成功地在裂缝中加入砂子,鉴于技术和经济方面的风险性,这一技术仍停留于试验水平。

1.6 氮气在修井作业中的应用

修井过程中压井液渗入储层,引起的水敏、水锁是造成储层伤害的主要原因。低渗油藏由于流动孔喉很细,毛管力的束缚力强,水锁引起的不利影响较难解除,高粘土矿物含量更增加了水敏的潜在危害。类似吐哈油田这样的“三低”油藏,油质轻,挥发性强,且埋藏较深,空气气举安全性差,常规抽汲排液速度慢,深度有限,难以满足需求。

氮气气举则是一种非常有效的排液手段,它可以完成中深井的快速掏空,形成大的返排负压,激励地层回流疏通渗流孔道,加快入井液的返排,解除水锁的影响,减轻水敏伤害。其他的一些修井作业,比如混气冲砂、负压洗井、混气水排液等工艺在高气油比、低压储层中也得到了成功的应用。

1.7 氮气垫测试

氮气是地层测试中控制测试压差的理想介质,与液垫相比具有以下优点:适用范围广,氮气垫平衡地层压力的能力非常强,不仅适用于正常压力系统地层,而且在异常低压、异常高压地层中也广为应用;调节压差能力强,由于氮气具有放空特性,因此在负压的选择范围上更为宽松;氮气垫测试可以防止压差过大,引起地层出砂堵塞测试工具,同时避免封隔器在瞬时反向压力下突动,坐封不严而导致测试失败;用氮气垫测试能够取得清洁的地层流体样品,液性不会受干扰,计量方面更为准确。

1.8 氮气置换技术

氮气化学性质稳定,一般不与其他物质发生反应,利用氮气这种惰性品质使它可以广泛应用于许多厌氧环境,比如用氮气将特定容器中的空气驱替置换,起到隔离、阻燃、防爆、防腐的作用,这项技术在轻烃装置检修、LPG工程、输气管道和液化气管网吹扫等工业、民用方面得以应用。作为一种良好的防腐剂,氮气常被替置于井下,以减缓管柱与地层流体接触所产生