

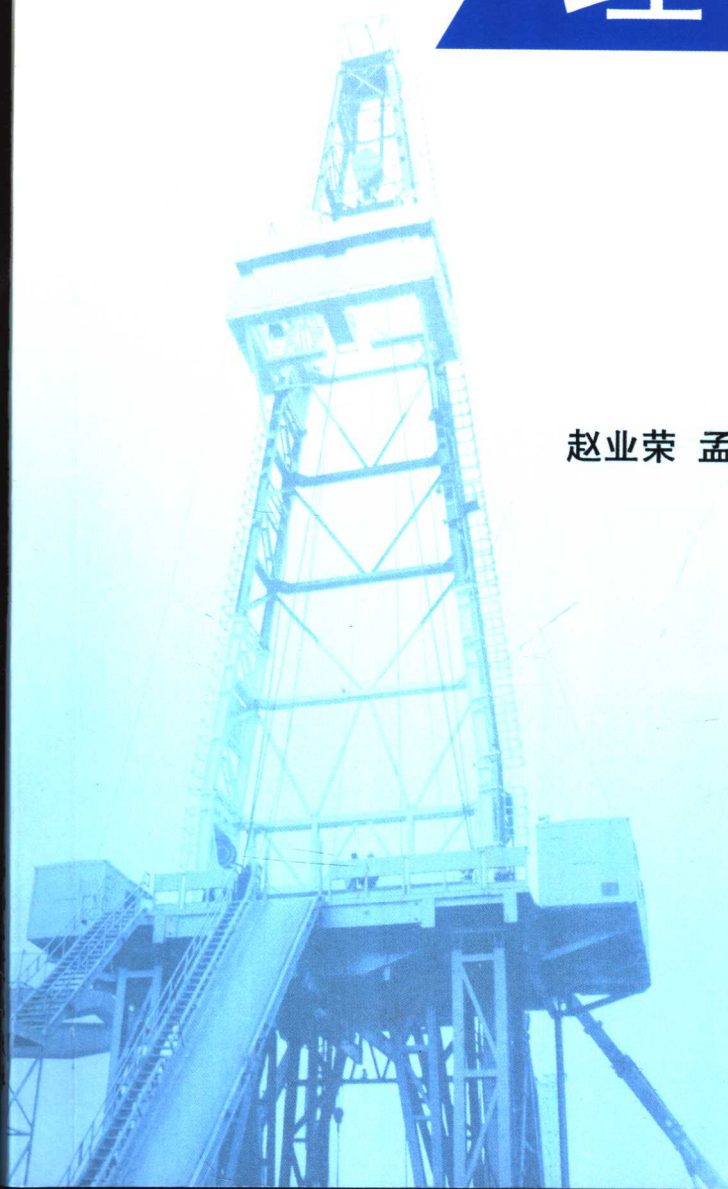
QITI ZUANJING LILUN YU SHIJIAN

气体钻井

理论与实践

赵业荣 孟英峰 雷 桐 唐 贵 张汉林◎编著

石油工业出版社



气体钻井理论与实践

赵业荣 孟英峰

雷 桐 唐 贵 张汉林 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书结合长庆油区气体钻井研究成果与现场实践,详细介绍了气体钻井中注气参数的计算方法、井下燃爆的预测与预防、井壁稳定性的评价、地层出水的预测与处理、气体钻井井斜理论与防斜措施、钻头选型,以及气体钻井装备配套、现场施工组织及安全环保等关键问题。

本书可作为欠平衡钻井专业人员进行钻井设计和现场施工的参考用书,也可作为石油院校相关专业教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

气体钻井理论与实践/赵业荣等编著.

北京:石油工业出版社,2007.9

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6193 - 4

I. 气…

II. 赵…

III. 气体钻井 - 研究

IV. TE242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 139132 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:9

字数:200 千字 印数:1—2000 册

定价:48.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

我国的欠平衡钻井技术开始于 20 世纪 60 年代,由于当时技术和装备落后,因此这项技术在 70 年代后期被基本放弃。随着我国钻井技术水平的提高,特别是井控技术的发展和成熟,欠平衡钻井技术在我国再次引起人们的极大兴趣,并在近几年得到较快发展。但是,与美国、加拿大等钻井技术发达的国家相比,我们还存在很大的差距。一方面,我们的气体钻井研究起步晚,规模小,没有形成一套成熟的理论;另一方面,我们的装备大多数由国外引进,国产化率低,对国外技术的依赖性较强,这不仅增加了钻井成本,而且使我们处于受制于人的境地。因此,加强气体钻井基础理论研究以及气体钻井设备国产化是我国钻井界的当务之急。

1999 年,中国石油天然气集团公司首次立项对气体钻井进行系统研究。该项目由长庆石油勘探局和西南石油大学共同承担。2004 年,该项目又升级为国家级科研项目。长庆石油勘探局与西南石油大学在携岩、井眼净化、钻头破岩和散热、气体钻井井壁力学、防斜、井下燃爆以及气体钻井随钻储层评价等方面进行了系统的理论研究,建立了注气参数、钻头选型、地层稳定性、地层出水定量计算模型,形成了气体钻井设备配套标准和现场操作规程,取得了大量的成果。2000 年,首次在陕 242 井进行了以天然气为循环介质的气体钻井试验,获得成功;2003 年,长庆石油勘探局首次提出利用气体钻井技术大幅度提高机械钻速、有力促进苏里格气田有效开发的设想,并在苏 19-14-1 井进行试验,取得了明显的效果,试验段的平均机械钻速是邻井液基循环介质钻井的 7 倍多。截至 2005 年底,长庆石油勘探局共进行了 8 口井气体钻井试验,其中,以储层保护、提高单井产量为目的的试验了 2 口井;以提高钻速、降低成本为目的试验了 5 口井;同时为了证明气体钻井的携水能力,试验了 1 口井,并对气体钻井新出现的问题,进行了深入的、有价值的研究。

气体钻井技术在长庆油田取得突破后,在国内其他油田迅速发展,在某些区域已经成为一项高效勘探开发的首选技术。

赵业荣同志组织编著的《气体钻井理论与实践》一书,从气体钻井技术发展现状、注气参数计算、可行性评价(地层稳定性、出水量定量技术等)、钻头选型、防斜以及气体钻井 HSE 管理等方面进行了系统的论述,这是几年来他们潜心研究、积累的成果和经验,填补了我国气体钻井领域研究的空缺。可以确信,本书的出版对推动我国气体钻井理论研究和实践具有积极的意义。



2007 年 8 月

前 言

气体钻井是以气体(空气、天然气、氮气等)为循环介质的钻井技术。

20 世纪 50 年代在美国出现了空气钻井技术,被广泛应用于提高机械钻速和防止井漏。至 20 世纪末,出现了以氮气代替空气,专用于油气储层钻进的气体钻井技术,被广泛用于提高勘探发现率和提高单井产能。

我国气体钻井技术研究起步较晚。从 1999 年开始,在中国石油天然气集团公司科技发展部、中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司等部门和单位的高度重视和大力支持下,我们对天然气钻井、空气钻井技术进行了系统研究。先后被列为中国石油天然气集团公司重大科研与现场试验项目和国家级科研项目,并且试验了 8 口井。2000 年,首次在陕 242 井进行了以天然气为循环介质的气体钻井试验,获得了成功;2003 年首次提出了利用气体钻井技术大幅度提高机械钻速的设想,并在苏 19-14-1 井进行了试验,取得了很好的效果,试验段的平均机械钻速是邻井液基循环介质钻井的 7 倍多。

通过几年的潜心研究与试验,我们积累了一些经验,也有一些值得探讨的问题。为此,我们根据几年来的研究成果,立足于长庆油田气体钻井实践,组织编著了《气体钻井理论与实践》一书。本书从携岩、井眼净化、钻头破岩和散热、气体钻井井壁力学、防斜、井下燃爆以及气体钻井随钻储层评价等方面进行了系统论述,给出了注气参数、钻头选型、井壁稳定性、地层出水定量计算模型、气体钻井设备配套标准和现场操作规程。

本书由赵业荣教授级高级工程师主持编著,负责全书书稿的组织、审定工作;唐贵博士负责编写第一、二、三、四章;雷桐高级工程师负责编写第五、六、七、八章;张汉林高级工程师负责编写第九章;全书由孟英峰教授负责审查。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请读者在使用本书过程中批评指正。

编 者

2007 年 8 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 欠平衡钻井技术概述	(1)
一、欠平衡钻井技术的概念	(1)
二、欠平衡钻井技术的分类	(1)
第二节 气体钻井技术概述	(3)
一、气体钻井技术的分类	(3)
二、气体钻井的优势与局限性	(5)
三、气体钻井技术的应用	(8)
第二章 气体钻井流体力学分析	(11)
第一节 气体的主要参数	(11)
一、气体的组成	(11)
二、气体的主要参数	(12)
三、气体状态方程	(12)
四、气体的压缩系数	(14)
第二节 气体钻井井内流体力学	(16)
一、气体钻井循环系统	(16)
二、气体钻井井内流动模型	(17)
第三节 气体钻井循环系统压力计算	(20)
一、环空压耗计算	(20)
二、钻头压降计算	(22)
三、钻杆压耗计算	(23)
第四节 气体钻井最小注气量计算	(25)
一、携岩的环空“关键点”	(25)
二、气体钻井中岩屑的运移	(25)
三、最小注气量计算方法	(28)
第五节 气体设备的配置	(33)
第六节 气体钻井随钻储层评价技术	(35)
一、随钻储层评价数学模型	(35)
二、随钻储层评价数学模型的求解	(37)
第三章 井下着火与爆炸	(41)
一、井下燃爆的危害	(41)
二、井下着火与爆炸的原因	(41)

第一节 井下燃烧方式概述	(43)
一、热自燃	(43)
二、点火燃烧	(44)
第二节 井下燃爆机理与井下灭火	(47)
一、气体钻井井下燃爆机理	(47)
二、井下灭火	(51)
第四章 井壁稳定性分析	(53)
第一节 气体钻井井壁力学分析	(53)
一、井眼与地层坐标系的地应力转换	(53)
二、井眼围岩应力分布	(55)
三、井壁主应力计算	(56)
四、井壁围岩位移	(57)
第二节 岩体破坏准则	(58)
一、井壁围岩的压剪破坏准则	(58)
二、井壁围岩的张性破裂准则	(61)
第三节 泥页岩稳定性分析	(62)
一、泥页岩的基本特性及物理模型	(62)
二、泥页岩水化反应的系统仿真模型建立	(63)
第五章 地层出水预测与井眼净化机理	(68)
第一节 地层出水预测概述	(68)
一、根据地质水文资料分析	(68)
二、利用测井资料预测	(68)
三、射开水层测试	(71)
四、欠平衡钻开水层的随钻测试和综合录井	(71)
第二节 地层出水时井眼净化机理分析	(72)
一、岩屑团的形成	(72)
二、泥饼圈的形成	(72)
三、泥饼圈的危害及预防措施	(73)
四、纯气/雾化/泡沫钻井携岩、携水研究	(73)
第六章 气体钻井防斜理论初探	(80)
第一节 气体钻井井斜原因分析	(80)
第二节 气体钻井动力学模型	(81)
一、下部钻具组合动力学基本模型	(81)
二、光钻铤动力学模型	(83)
三、屈曲模式和临界钻压	(84)
四、转子质量偏心距的确定	(85)
五、由转子动力学特性决定的钻头作用力	(85)

第三节 气体钻井与钻井液钻井对比分析	(86)
一、光钻铤钻具组合	(86)
二、计算结果分析	(86)
三、气体钻井与钻井液钻井钻铤动力学特征比较	(87)
第四节 气体钻井预弯曲动力学防斜打快技术特点分析	(89)
一、钻压影响规律	(89)
二、转速影响规律	(92)
三、 L_2 对防斜力的影响	(92)
四、结构参数和施工参数优化	(93)
第七章 气体钻井钻头选型研究	(94)
第一节 气体钻井破岩机理分析	(94)
一、地层孔隙压力	(94)
二、应力分析	(94)
第二节 影响气体钻井钻速的因素	(96)
一、岩性对钻速的影响	(96)
二、钻井参数对钻速的影响	(97)
三、地层出水对钻速的影响	(97)
四、钻头选型对钻速的影响	(97)
五、影响钻头寿命的因素	(97)
第三节 气体钻井钻头优选	(98)
一、热交换冷却方式	(98)
二、焦耳—汤姆逊效应	(100)
第八章 气体钻井 HSE 管理	(101)
第一节 气体钻井仪器设备的安全管理	(101)
一、气体钻井井口设备配套及钻具结构	(101)
二、必要的仪器	(101)
三、安全钻井措施	(101)
第二节 气体钻井现场 HSE 管理	(102)
一、现场管理机构	(102)
二、岗位职责	(103)
三、风险识别	(103)
四、风险评估	(103)
五、风险控制措施	(103)
第九章 气体钻井技术实践	(105)
第一节 长庆油田气体钻井基本情况	(105)
一、苏里格气田气藏地质概况	(105)
二、苏里格气田储层潜在的伤害评价结果	(106)

第二节 长庆油田气体钻井设备配套	(107)
第三节 长庆油田气体钻井概况	(109)
第四节 设计及施工中应考虑的问题	(113)
一、设计中考虑的问题	(113)
二、施工中应注意的问题	(117)
第五节 气体钻井出现的问题及对策	(119)
一、冰堵问题	(119)
二、地层出水问题	(121)
三、钻头选型及使用	(124)
四、井斜问题	(127)
五、替换钻井液过程中的遇阻卡问题	(129)
六、天然气钻井地面上的安全问题	(130)
参考文献	(132)

第一章 绪 论

第一节 欠平衡钻井技术概述

一、欠平衡钻井技术的概念

目前,大多数油气井采用旋转钻井技术完成。循环介质从钻柱进入井筒,并携带着钻头在井底破碎的岩屑沿钻柱与井壁之间的环形空间返出地面。由于其自身的重量以及流动时所受到的摩擦阻力,循环介质会在井内产生一定的压力。如果井内循环介质作用于井底的液柱压力等于地层孔隙压力,则井内处于平衡状态;如果井内循环介质作用于井底的液柱压力略大于地层孔隙压力,则井内处于近平衡状态;如果井内循环介质作用于井底的液柱压力略低于地层孔隙压力,则井内处于欠平衡状态。

在常规过平衡钻井作业中,一般以钻井液作为循环介质。钻进中,钻井液不仅仅起携带岩屑、清洁井底的作用,还能够稳定井壁、冷却钻头。在钻井过程中,为了防止井喷等事故的发生,通常要调节钻井液的组分及性能,使井内流体的液柱压力高于地层孔隙压力,因此,钻井液还有控制井底压力的作用。在这种过平衡或近平衡情况下,地层流体不会侵入井筒,但钻井液会进入地层,对地层造成伤害。

在欠平衡钻井过程中,则是有意识地让井内循环液柱压力低于地层孔隙压力,当钻遇有供给能力的地层时,地层流体会源源不断地进入井筒,参与井内流动。因此,欠平衡钻井(underbalanced drilling, UBD)可以这样定义:利用自然条件或采取人工方法,在可以控制的条件下,使井筒内钻井流体液柱压力低于地层孔隙压力,从而在井底形成负压差的钻井技术。

二、欠平衡钻井技术的分类

按照不同的标准,欠平衡钻井技术有不同的分类方式。

1. 按实现欠平衡的方法来划分

欠平衡钻井的目的是使井底有效压力(包括静液柱压力和循环动压)低于储层压力。实现的主要手段有:

(1) 降低钻井液密度法:对于中高压储层(压力梯度大于 $1.2\text{MPa}/100\text{m}$)的情况,只需适当降低钻井液的密度,使其当量钻井液密度低于储层压力梯度即可。

(2) 注气减轻法:对于异常低压的储层(压力梯度小于 $0.9\text{MPa}/100\text{m}$)的情况,采用向钻井液内注入气体的方法,使其当量密度小于储层压力梯度。根据注入气体与注入液体的体积比例,调整钻井液密度减轻的程度。

(3) 减轻材料混入法:对于轻度欠压的低压储层(压力梯度在 $0.9 \sim 1.2\text{MPa}/100\text{m}$ 范

围内)，为了避免采用复杂、昂贵的地面注气系统，出现了在水基钻井液中混入减轻材料来减轻钻井液密度的方法。减轻材料有固相和液相两大类。液相主要有清水、原油、柴油，固相减轻材料主要有中空固体材料和低密度固体材料。

2. 按所用循环介质的种类来划分

显然，要进行欠平衡钻井，关键是要控制井内流体的压力，使其低于地层孔隙压力（以下简称地层压力），因此，需要根据地层压力选择循环介质。如果所钻地层压力较高，利用低密度的普通水基钻井液就能在井底产生欠平衡状态；如果地层压力较低，就需要使用降密度剂来调整循环介质的密度，以产生欠平衡状态。这类降密度剂通常是非冷凝气体，如氮气、天然气、空气或烟道气，通过钻柱或寄生管与钻井液同时注入井内。这些方法通过不同的工艺改变循环钻井液的密度，让钻井液柱压力梯度小于地层压力梯度。因此，欠平衡钻井时的钻井流体可以是气、液单相，也可以是气、液两相混合物，采用什么样的欠平衡钻井方式主要取决于地层的压力以及施工条件。

根据钻井所用的循环介质种类，欠平衡钻井可按图 1-1 进行分类。由于不同的欠平衡钻井方式所采用的循环介质的密度不同，因此对应的当量密度也有所不同，其密度范围大致如表 1-1 所示。实际应用中还需要根据地层以及施工的要求对其密度进行调整。

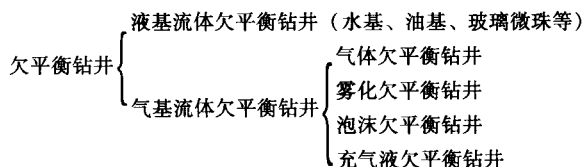


图 1-1 欠平衡钻井分类法

表 1-1 欠平衡钻井流体的当量密度

单位：g/cm³

分 类	当 量 密 度	分 类	当 量 密 度
干 气	0.001 ~ 0.01	充气液	0.60 ~ 0.90
雾 化	0.01 ~ 0.03	玻璃微珠，塑料微珠	>0.70
泡 沫	0.03 ~ 0.46，有回压时更高	液 体	0.96 以上

对于气液两相流体，尤其是液相比比例稍大的两相流体（如充气液、泡沫），其当量密度的大小与井深有很大的关系。例如，对于充气液，1500m 井深其最低当量密度可达 0.6g/cm³，而对于 3000m 井深，其最低当量密度不会小于 0.9g/cm³。

3. 国际钻井承包商协会的分类法

国际钻井承包商协会（IADC）欠平衡钻井、完井和修井委员会提出的欠平衡钻井分类为：

0 级——只提高钻井作业速度和保证钻井作业安全，不存在含碳氢化合物的地层。

1 级——井内流体依靠自身的能量不能流到地面，井眼稳定并且从安全角度来说属低级危险情况。

2 级——井内流体依靠自身的能量可以流到地面，但利用常规的压井方法可以有效制止，并且在设备严重失效的情况下也只产生有限的后果。

3 级——地热和非碳氢化合物开采。最大关井压力低于旋转控制头等作业设备的额定工作压力，设备严重失效时会产生直接严重后果。

4 级——油气开采。最大关井压力低于旋转控制头等作业设备的额定工作压力，设备严重失效时会产生直接严重后果。

5 级——最大设计井口压力超过旋转控制头的额定工作压力，但低于防喷器组的额定工作压力。

第二节 气体钻井技术概述

一、气体钻井技术的分类

气体钻井（gas drilling）技术是指在钻井过程中以空气、天然气、氮气、尾气等气体作为循环介质来实现钻进的技术。根据钻井所使用的气体类型不同，可以将气体钻井分为空气钻井、氮气钻井、天然气钻井、柴油机尾气钻井等。

1. 空气钻井

空气是气体钻井中使用较多的循环介质，主要用于非储层段钻进。钻进时，空气压缩机从大气中吸入空气，经增压以及冷凝析水后入井。由于空气可以直接从周围环境中获取，所以该项技术的成本相对较低。但是，如果钻进过程中遇到可燃气体，则井下有发生燃爆的危险，因此在钻进时需要密切监视返出物中烃类含量的变化。典型的空气钻井地面管汇如图 1-2 所示。

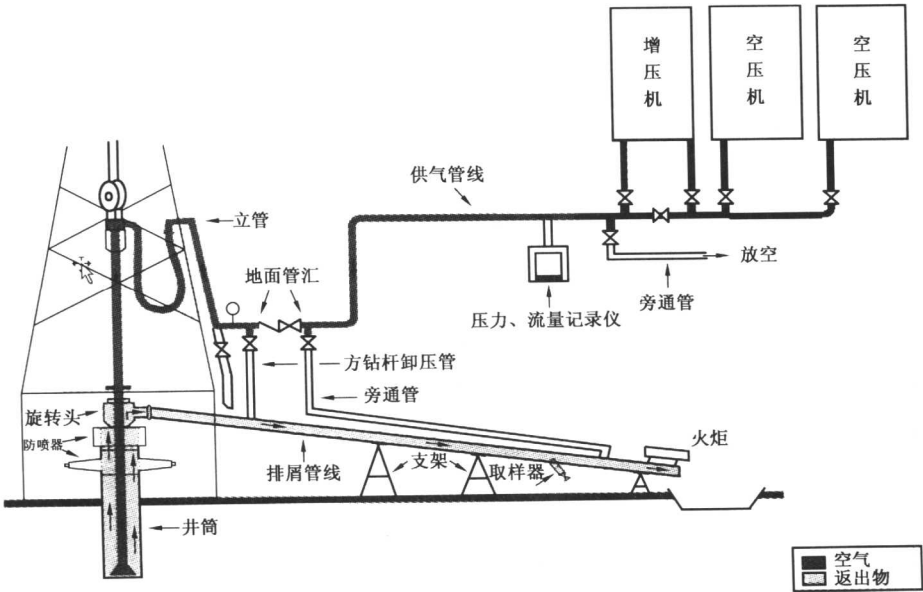


图 1-2 空气钻井地面管汇示意图

2. 氮气钻井

在钻井过程中，氮气既可以单独作为循环介质，也可以与其他流体一起入井。氮气优于空气的地方在于氮气与烃类混合时不会燃烧，因此氮气钻井可有效地避免井下燃爆。钻井过程中氮气的来源一般有低温供氮和膜分离制氮两种。

低温供氮是将氮以液态方式运往井场。因为在常压下液氮的沸点为 -196°C ，所以在运输和存储时都必须使用低温罐。使用时，液氮首先由低温罐泵入换热器，在换热器内液氮受热蒸发。利用液氮罐车供氮时，泵氮装置取代了一系列的空压机组和增压机。由于氮气是以液态泵入，在标准条件下，可以准确计量氮气的排量，也能很好地控制排量。如果泵在环境温度下启动，那么就有一部分液氮会在冷却装置中损失掉。在冷却装置中，氮气以液态方式存在直到被排到换热器中才变成气体。在这以前，泵内形成的气态氮会降低泵效。

如图 1-3 所示，膜分离制氮是利用中空的聚合纤维对空气中的氮气进行分离。由于氧气及其他气体与氮气在纤维中具有不同的渗透性，渗透性好的氧气及其他气体在流经纤维管时率先从管壁渗透出来，氮气则从纤维管末端流出，从而实现将氮气分离出来的目的。分离出来的氮气通过增压机增压后入井，如图 1-4 所示。

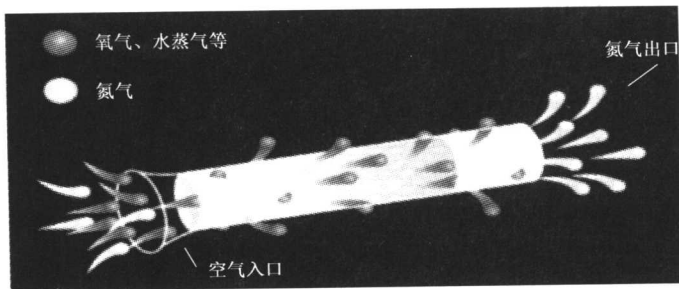


图 1-3 膜分离制氮示意图

由于低温供氮方法所能提供的氮气较少，因此很少用于长井段氮气钻井作业，在现场主要用于压裂作业。膜分离制氮装置能够在现场制氮，可满足连续钻进的要求，但制氮设备价格较为昂贵，相应地会增加钻井成本，因此一般用于钻穿产层段。

3. 天然气钻井

由于天然气钻井入井流体与地层产出的烃类之间不发生反应，因此在井下没有燃爆的危险。但是，如果井口有天然气泄漏，同样有可能发生危险，因此，也需要做好井口设备的密封工作。在排屑管线的出口，返出的天然气需要点火燃烧。

天然气钻井受气源井位置的限制。如果气源井压力过高，则需要考虑在气源管线上的节流以及节流后冰堵的影响。

4. 柴油机尾气钻井

柴油机尾气钻井又称为废气钻井，是利用柴油机的燃烧气作为循环介质的一种钻井技术。气体在经过一定的冷凝、净化除尘后，经增压机增压后入井。由于尾气为柴油在燃烧后的产物，以二氧化碳、氮气居多，氧气的含量很少，因此，可以有效地避免钻遇储层时井下着火现象的发生。

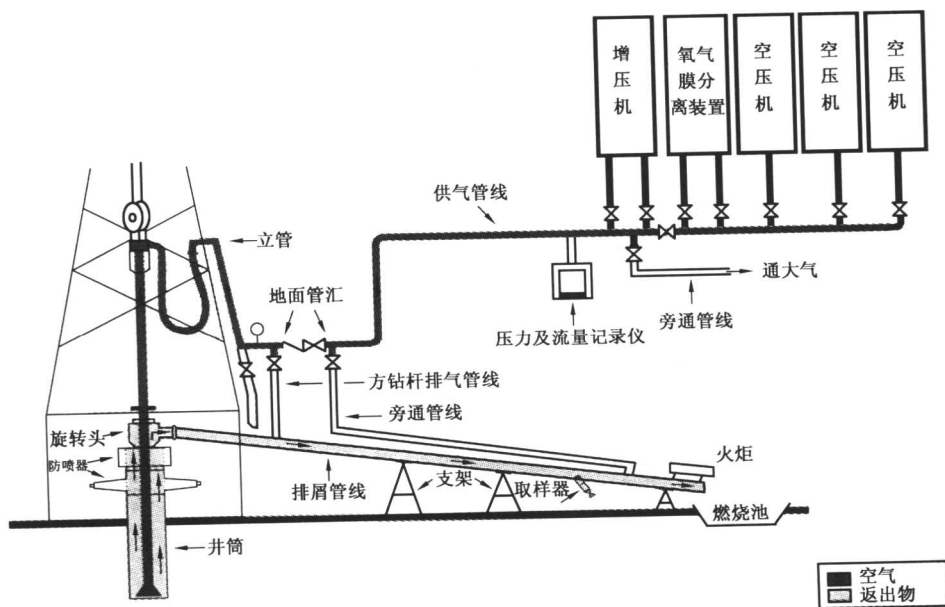


图 1-4 氮气钻井地面管汇示意图

二、气体钻井的优势与局限性

1. 气体钻井的优点

气体钻井技术的优点在于能够降低钻井成本，提高单井产量，具体表现在以下几个方面。

1) 提高钻井速度, 缩短建井周期

气体钻井提高钻速主要表现为以下几个方面的原因:

(1) 在气体钻井中,地层孔隙压力会在负压差条件下产生向井内的“推力”,该“推力”有促使井底岩石破碎(或崩离井底)的趋势。

该现象的实质是原始地层孔隙压力向井内气体压力过渡的“压降梯度”，类似于单井径向流中的“压降漏斗”。对于有可动流体的层位，该压降梯度由流体在多孔介质中的流动阻力所产生；对于有束缚流体的层位，该压降梯度则由液固界面张力和流体粘度所产生。该流动阻力产生的流固耦合应力使井底处岩石有脱离的趋势。

(2) 在气体钻井过程中, 井内几乎无重量的气柱大大改变了井底应力状态, 在钻头前方未破碎地层内产生很大范围的低应力区, 便于岩石破碎。

与充满液体的井筒相比,井内掏空(充满气体)时,井筒近井底应力状态沿井眼轴向在井底产生向上的拉应力,这个拉应力有“拉断岩石,使井底中间部位岩石跳离井底”的趋势。对于充满高密度液体的井筒,在井底沿井眼轴向产生很大的向下压应力,这个压应力“压住”井底岩石,阻碍其破碎空气钻井。沿井底平面方向的剪应力,也比钻井液钻井小得多(相差20~40倍),故空气钻井也有利于剪切破碎。在空气钻井中,沿井眼轴线方向在

钻头前方未破碎区产生深部的低应力区，有助于钻头破碎前方的岩石。

(3) 与液基循环介质相比，相同地层、相同岩性、相同埋深的井下岩体，在空气钻井条件下更易于破碎，且地层越硬、井越深，该特点越显著。

在数千米深的井筒内，充满着高密度液体与充满着气体，二者比较在井底产生的压力差距很大。以 3000m 井为例，前者为 40MPa 左右（钻井液密度为 1.3g/cm^3 左右），而后者不足 1MPa。

对于地下岩体，在高围压条件下普遍出现强度增大、硬度增大、研磨性增强，以及岩体由脆性向塑性过渡的特点。因此，相同深度、相同岩性的地层，在钻井液钻井条件下会出现高强度、高硬度、高研磨性、高塑性，这些都极不利于地层破碎；而在气体钻井条件下，则表现出低强度、低硬度、低研磨性和高脆性，从而使地层破碎容易。

表 1-2 为几种主要岩体的强度对比（以 3000m 井深、钻井液钻井井底压力 40MPa 为例）。

表 1-2 几种主要岩体的强度比较			单位：Pa
岩石强度	Creek 砂岩	Harsmak 云岩	Muddy 页岩
钻井液钻井时	4000	2800	2200
气体钻井时	1024	1500	600

(4) 气体钻井的冲击式破碎更有利于提高硬地层钻速，因为强研磨性硬地层，冲击式破碎的效率比剪切式高、破岩工具磨损小。在美国、加拿大，更多地采用空气钻井的空气锤和锤击钻头，可以更大幅度地提高钻速。美国能源部正在组织研制可转向的空气冲击式钻井系统，以用于气体钻水平井、定向井。

(5) 气体钻井井底清岩效率高，岩屑不会水化粘结而泥包钻头或在井底形成渗滤性泥饼而被粘附，因此不会因为岩屑重复破碎而严重影响钻速。

2) 消除井漏对钻井的影响

井漏是指在钻井过程中循环介质不返出地面，而是漏失进入地层的现象。过平衡钻井中，井内液柱压力高于地层压力，钻井液会向地层发生轻微渗漏，如果钻遇高渗层或裂缝或溶洞型地层时，可能会造成大量钻井液流入地层，造成严重井漏或恶性失返，这不仅延长了钻井周期，而且会因钻井液的大量漏失而造成重大的经济损失。

气体钻井井内压力远低于地层压力，循环流体进入地层的作用力没有了，因此可以完全避免井漏的发生。气体钻井或者气基流体欠平衡钻井已经成为钻穿漏失层位的技术手段。

3) 克服水敏性页岩坍塌

水基流体钻井中，如果钻遇水敏性页岩，循环介质中的水相与页岩发生物理化学作用，使页岩强度降低，造成井壁坍塌。如果采用气体钻井，由于工作流体中无水基成分，钻进中不会对井壁的岩石强度造成影响，因此不会引起井壁的水化坍塌。

气体钻井技术在美国 Arco 盆地的应用以及我国在伊朗的气体钻井施工都是气体钻井钻穿水敏性地层成功范例。

4) 减轻或消除钻井流体对油气层的伤害，能随钻评价产层

由于井内液柱压力高于储层压力，用过平衡方式打开产层时，钻井液滤液和有害固相会

进入产层，堵塞油气流通道，对产层造成难以恢复的伤害。尤其是水相对产层的水相圈闭伤害会极大地降低地层的渗透率，甚至使地层完全无产。

由于气体钻井循环介质中不含水基流体，因此可以彻底地消除正压差伤害和水相圈闭对储层的伤害，而且钻井过程中由于地层流体流入使立管压力、出口返速等可观测参数发生改变，因此可以通过直接计量分析返出的地层流体来实现对产层的随钻评价。

气体钻井技术经过一段时间的发展，已经显示出了许多优异的特点。尤其是该项技术与井下空气锤、水平井、分支井技术结合后，不仅可大幅度提高钻井速度，而且也可极大地提高单井产量，已成为当前国际国内钻井界的热门技术之一。

2. 气体钻井的局限性

任何技术都有其一定的适应性，气体钻井技术也一样。除了以上的优势之外，气体钻井也有其技术和经济上的局限性。气体钻井的局限性主要表现在井壁稳定问题、地层出水问题以及井下燃爆问题上。

1) 井壁稳定问题

常规过平衡钻井时，钻井液会在井内产生相应的液柱压力，井内的这种液柱压力在一定程度上起到了支撑井壁的作用。气体钻井中，这种支撑作用失去了，井壁周围岩石是否稳定取决于地应力的状态、岩石强度、实际地层压力和井眼的几何形状等。对于大部分地层，采用气体钻井不会发生井壁失稳的问题，但是在某些高应力区（如断层、破碎带、超深井等）和弱岩地层（如低胶结强度松散砂岩、破碎性岩体、流变性岩体），则可能诱发井壁的力学失稳。

当地层含有大量的水敏性粘土矿物时，井壁易发生化学失稳。当用雾、泡沫或充气液钻井时，这些水敏性粘土矿物会从其中的水相中吸水。在这种情况下，页岩含水的改变会诱发近井壁地带的二次应力，促使井壁失稳。从理论上讲，可以调节水相的活度，例如，向液体循环介质中加入合适的页岩稳定剂，阻止或减少化学诱导应力发生，但是这种做法实际也受某些因素的影响。

总之，气体钻井的井壁稳定性较过平衡钻井时，更应引起充分重视，而且不同的地层，不同的钻井工况，其井壁失稳机理也不一样，这需要在气体钻井设计时，作井壁稳定性计算分析。

2) 地层出水问题

地层出水将增加循环气体的流动负荷，造成立管压力升高，这可通过观察钻进时立管压力的变化情况以及排屑管线的返出物加以判断。地层出水对气体钻井的影响主要表现在形成泥饼圈以及造成井壁坍塌两方面。

(1) 泥饼圈 (mud ring)。

在钻井过程中，如果压风机提供的气量不足以将井底产生的岩屑全部携带出井筒，岩屑就会在“关键点”处发生堆积，并且部分岩屑会向井底回落，造成钻头的重复破碎，降低钻井效率。

如果裸眼段有水层，或者钻井中向井内注入了一定量的水，则地层出水或注入水也会增加气体流动的负荷，造成携岩携水困难。如果钻遇的地层为泥页岩地层，岩屑遇水后会发生