

【美】William C.Lyons/Boyun Guo/Frank A.Seidel 著

# 空气和气体钻井手册

(第二版)

曾义金 樊洪海 译

## AIR AND GAS DRILLING MANUAL

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 空气和气体钻井手册

(第二版)

【美】 William C. Lyons/Boyun Guo/Frank A. Seidel 著

曾义金 樊洪海 译

中国石化出版社

著作权合同登记 图字:01-2005-0269号

**Air and Gas Drilling Manual/William C. Lyons/Boyun Guo/Frank A. Seidel**

**ISBN: 0-07-039312-5**

Copyright © 2001 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. printed in the United States of America. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字版权为中国石化出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司共同拥有,由中国石化出版社独家出版。未经出版者预先书面许可,任何人或机构不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

#### 图书在版编目(CIP)数据

空气和气体钻井手册:第2版/(美)莱昂斯(Lyons, W. C.)等著;曾义金等译.  
—北京:中国石化出版社,2006  
书名原文:Air and Gas Drilling Manual  
ISBN 7-80229-014-7

I. 空… II. ①莱… ②曾… III. 空气钻井-技术手册  
IV. P634.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 028890 号

#### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 26 印张 632 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定价:108.00 元

(购买时请认明封面防伪标识)

## 译者的话

欠平衡钻井技术在国外特别是加拿大发展较早并日趋成熟，我国全面开展欠平衡钻井技术是在“十五”时期，并成为发现低压低产储层、保护油气层、提高油气产量、减少井内漏失和提高钻速的重要手段。随着欠平衡钻井技术的发展，空气和气体钻井技术应运而生，是欠平衡钻井技术的提高和完善，并成为环境监测和净化作业一项重要工具，《空气和气体钻井手册》对指导我国刚刚兴起的气体钻井技术具有重要意义。

《空气和气体钻井手册》1984年第一版出版的目的是指导油气开发钻井，第二版对于水井、矿井、地质探井和油气井中开展空气和气体钻井设计和施工都是一本很好的指导书。翻译本书有两个目的，一是给从事空气和气体钻井作业的工程师和地球科学家们提供有关设计和作业方法，使用这些计算方法有助于成功完成钻井作业；二是为主管工程的有关领导、钻井工程师、高等院校老师和在校学生了解空气和气体钻井技术提供参考。

全书共分十二章，主要内容包括基本工艺、空气和气体钻井的基本原理和深井作业三部分，另有附录“量纲与单位换算因数”、“API 钻铤和钻杆参数”、“套管参数”、“年均大气情况”、“正循环最小体积流量”五部分。为了方便读者对照原著作阅读，译文中数学约定与符号、平面图中的符号、计量单位等均与原著作一致。

中国石油大学(北京)硕士研究生于玲玲、毕文欣、闫吉曾、崔立巍、张明、滕长征、杨雄文参与了翻译工作，党军、毕文欣、于玲玲、闫吉曾、何辉参加了校对工作，张媛媛参与了统稿，郑晓庆参与了图件的整理工作，在此表示感谢。

翻译的过程也是我们重新学习的过程，每一个参加这项工作的人都从中受益匪浅，对空气和气体钻井技术有了更深的认识和理解，原书中也存在一些错误，我们在翻译的过程中都一一做了修正。由于经验不足，水平有限，难免存在错误、不妥之处，欢迎批评指正。

# 前言

本书是《空气和气体钻井手册》的第二版。第一版 1984 年由 Gulf 出版公司在得克萨斯州的休斯敦出版。本书第一版主要是为了油气开发钻井工业。本书的第一版比较受欢迎，最初的印刷到 20 世纪 80 年代末期就销售一空。然而，九十年代初欠平衡钻井成为油气开发钻完井的一项重要技术。而且大约在同时，空气和气体钻井技术成为环境监测和净化作业一项重要工具。这些因素促使我们出版了《空气和气体钻井手册》的第二版。

第二版的《空气和气体钻井手册》对于那些从事于浅井和深井的空气和气体钻井设计和施工的工程师和地球科学家来说是一本工程实践教材。本书的第一个目标就是给工程师和地球科学家们提供空气和气体钻井作业的基本知识，以及能被用于设计将来作业的计算方法。并且这种计算方法的应用结果能有助于成功完成钻井作业。本书给出了许多的例子用来示范这种计算方法。任何技术上具备旋转钻井基本知识的人都可以轻松的掌握这种计算方法，公英制两种单位的基本公式也已推导出。

这本书是现在的市场上流行的两本钻井专用教材《地下水开发手册》(Roscoe Moss 公司 John Wiley 出版)和《欠平衡钻井手册》(一个气体研究学会 Gas Research Institute 出版)的较好的补充，对于工程师和科学家们感兴趣的浅井的正反循环钻井，本书描述了《地下水开发手册》提到的使用设备和现场技术所必需的详细计算。同样，对于那些工程师们感兴趣的深井欠平衡正循环钻井，本书也描述了《欠平衡钻井手册》提到的使用设备和现场技术所必需的详细计算。

本书覆盖了正反循环作业，同样，本书也涉及了空气和气体钻井技术的各个方面(例如：空气和气体钻井、充气钻井、稳定泡沫钻井)。本书的第二个目的是让油气开发钻井工程师了解在过去的几十年来应用于浅井作业中的一些重要技术知识。同样的，本书也给浅井作业的工程师和科学家们提供一些用于深井钻井的重要技术知识。

最初的解释性的范例计算使用了商业软件包 MathCad。作者认为该软件为论证计算技巧提供了一种方便的计算工具。当然，也有其他的商业软件可以提供解决方案(如：MS Excel, MatLab)。

本书从 1997 年开始着手准备，也获得了许多作业和服务公司的工程师和科学家的合作。尤其要感谢伯灵顿资源的 San Juan Division、菲利普石油公司、OXY USA、Chevron USA、Patterson Resource、Oil Tools International、Mountain Air Drilling、Symbol Incorporated 和 MI Air Drilling 的经理和员工。

也有许多人为本书的出版给予了很大的帮助。Anna Edwards、Ann Gardner 和 Georgia Eaton 为本书做了大量的美化工作；Tanya Cases、Adrienne Garcia、Ryan Robinson 和 Julie Seaman 为本书提供了许多的图表；新墨西哥州的矿业技术学院的学生为我们提供了许多的说明性的例题计算。在此，最要感谢的是 Heru Danardatu，他帮助我们进行了许多复杂的计算。

本书的草稿由毕业于新墨西哥州矿业技术学院且有 20 年以上工作经验三位工程师 Allen Hains、Chris Russell 和 Robert Schwering 审稿，他们为本书的作者们提出了一些重要而且有价值的建议。作者也特别感谢 Laurie Barr，她不顾本书最初的稿件的拼写和语法的种种错误，认真的审读了本书的几乎所有的章节。

作者也很感谢 McGraw-Hill 公司的编辑和全体员工们，尤其是主编 Ken McCombs 和 Bob Esposito 在原稿撰写过程中的鼓励和帮助，以及高级编辑监督 Frank Kotowski Jr. 的专业能力终使这本手稿得以印刷出版。

作者愿意鼓励工厂和现场的工程师和科学家们对本书进行评论，我们也对于原稿中潜存的一些错误表示歉意。我们知道我们这本书不是完美无缺的，但是我们也知道这个版本是完善的。

William C. Lyons

Boyun Guo

Frank A. Seidel

# 目 录

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 第一部分：基本工艺           | ( 1 )   |
| 第 1 章 绪论            | ( 3 )   |
| 第 2 章 地面设备          | ( 15 )  |
| 第 3 章 井下设备          | ( 28 )  |
| 第 4 章 压缩机           | ( 51 )  |
| 第 5 章 浅井钻井应用        | ( 77 )  |
| 第二部分：空气和气体钻井的基本原理   | ( 129 ) |
| 第 6 章 正循环模式         | ( 131 ) |
| 第 7 章 反循环模式         | ( 148 ) |
| 第 8 章 空气、气体及不稳定泡沫钻井 | ( 162 ) |
| 第 9 章 充气液钻井         | ( 204 ) |
| 第 10 章 稳定泡沫钻井       | ( 248 ) |
| 第三部分：深井作业           | ( 293 ) |
| 第 11 章 专用钻井设备       | ( 295 ) |
| 第 12 章 定向钻井作业       | ( 336 ) |
| 附 录                 | ( 349 ) |
| 附录 A 量纲与单位换算因数      | ( 349 ) |
| 附录 B API 钻铤和钻杆参数    | ( 352 ) |
| 附录 C 套管参数           | ( 363 ) |
| 附录 D 年均大气情况         | ( 379 ) |
| 附录 E 正循环最小体积流速      | ( 382 ) |
| 符号说明                | ( 396 ) |

# 第一部分 基本工艺



# 第 1 章 绪 论

本工程操作手册是为那些从事现代旋转钻井施工的工程师、地球科学家以及技术人员们准备的。本书推导并举例说明了和空气、气体钻井技术有关的工程计算技巧。因为本书适用于多专业而且有潜在的、更广的适用性，所以编者尽量避免使用经验方程，而且，本书中应用的专业词汇对于从事于这门技术的人更加易懂。在本书的各章节中，方程式基本上适用于各种不同的单位制。尽管大多数的例子中用的是英制单位，但是，读者可以依据附录 A，把英制单位轻松地转换成公制单位。

空气和气体钻井技术是，利用被压缩的空气和其他气体作为钻井循环流体，把井底随钻头的钻进而产生的岩屑携带到地面。被压缩的空气或其他气体(如氮气、天然气)可以单独使用，也可以注入井内与不可压缩流体，如淡水、地层水或地层油，混合使用。该技术包括三种不同的应用方式：空气和气体钻井作业(只用压缩空气或其他的气体作为循环流体)、充气钻井作业(把空气或其他气体与不可压缩的液体混合)和稳定泡沫钻井作业(把压缩的空气或其他气体与不可压缩的液体混合，产生一种连续的泡沫循环流体)。

在过去，空气和气体钻井作业是工业钻井的一个小部分，在钻水井作业和钻环境监测井作业中，钻井液选用的是淡水和淡水泥浆。在深的油气井钻井中，井底的孔隙压力会很大，循环流体选用的是水基和油基加重泥浆。只在采矿业中，利用压缩空气钻井才具有竞争力。在采矿业中，轻便式的空气压缩机出现后，空气钻井很快在浅探井钻井中得到应用。

气动传输首先应用于借助空气的流动来运移物体。气流是由蒸汽作为动力，带动扇叶旋转产生的，它是 16 世纪早期工业革命的产物。到 19 世纪 60 年代末，气动传输已成规模，对高压力的空气和其他气体的需求，导致了 19 世纪 70 年代末期的空气压缩机的诞生，这些早期的压缩机，都是靠蒸汽来产生动力的。自内燃机出现以后，出现便携式的往复式压缩机和旋转式压缩机也成了可能。在 19 世纪 80 年代末期，人们首次使用了便携式压缩机。

## 1.1 旋转钻井

旋转钻井是一种在地壳岩层中钻探井眼的一种方法。这种方法是 1863 年法国土木工程师 Rudolf leschot 最先使用的，首次使用淡水作为循环流体钻探水井。到今天为止，这种方法是惟一钻超过 3000ft 的深井眼的钻孔技术。当首次用空气压缩机钻水井的时候，人们对这种方法还是未知的，但是，在 19 世纪 21 年代，便携式压缩机开始应用在钻探石油和天然气井时，这种方法才被人们所认知。

现在，旋转钻井被用于钻各种各样的井眼，大多数水井和环境监测井都采用旋转钻井。在采矿业中，旋转钻井用于钻矿体井和试验井，这样，可以有助于大的垂直井钻进。为了铺设那些从河流、公路和其他天然和人工的障碍下通过的水、油、气和其他的液体管道，曾用旋转钻井技术来钻此类的孔洞。尤其是，最近以来，旋转钻井被用来为在城镇或工业区等人

口建筑密集的地区铺设纤维光学和通信管线而钻孔。旋转钻井最复杂的应用是钻深井，其主要目的是为了发现原油、天然气和地热蒸汽、地热水等自然资源。要发现流体资源，钻井深度至少需3000ft，甚至要达到20000ft。

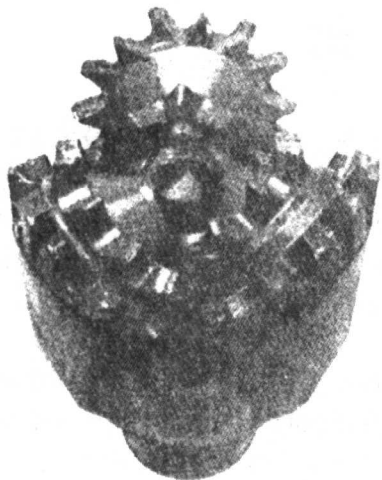


图 1-1 白齿 7/8 英寸三牙  
轮碾压机钻头 IADC 代码是 126  
(由瑞德钻岩钻头公司提供)

旋转钻井具有很强的适用性，旋转钻井适用火成岩、变质岩和沉积岩的钻探。然而，为发现原油和天然气，深井钻探大部分是沉积岩，寻找地热蒸汽和地热水，钻探则是上述三种岩层。旋转钻井需要岩石切削或岩石破碎的钻头。图 1-1 是典型的三牙轮锥形钻头，此类钻头只用来钻沉积岩。

为保证钻头在岩石中的顺利钻进，需要运用钻头的轴向力和钻头的扭矩，并且要让循环流体及时地清理钻头在钻岩石的过程中产生的岩屑。(过程见图 1-2)

各种钻机都可用于旋转钻井。可以是小型的单钻杆钻机，也可以是较大型的“双钻杆”或“三钻杆”钻机，现在大多数的陆地钻机都是具有折叠钻塔的可移动式钻机。一台单机的钻塔，其纵向空间仅仅能排放单根钻杆，双钻杆钻机其纵向空间可排放两单根连起来的钻柱，三钻杆钻机其纵向空间可排放三个单根连起来的钻柱，表 1-1 给出了钻铤和钻杆 API 长度范围。

图 1-3 是一台单钻杆钻机。这种小型的单钻杆钻机具有很好的可移动性，主要用来钻深度小于 3000ft 的水井、环境监测井、采矿孔和地热孔。这种钻机通常是自动推进的。应用的钻铤和钻杆是表 1-1 中的范围 1。

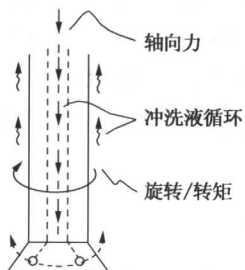


图 1-2 回转钻进三个必要的分力

表 1-1 钻铤和钻杆的 API 长度范围

| 范 围  | 最小长度/ft | 最大长度/ft |
|------|---------|---------|
| 范围 1 | 18      | 22      |
| 范围 2 | 27      | 30      |
| 范围 3 | 38      | 45      |

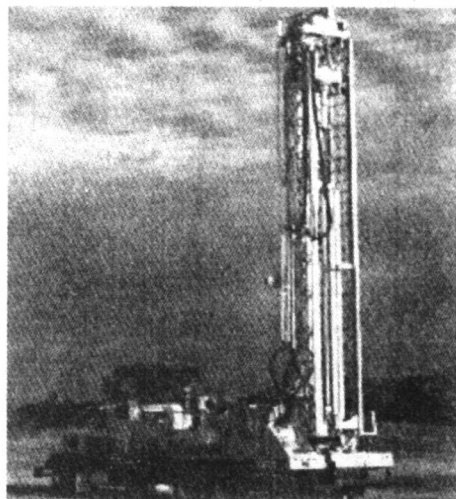


图 1-3 典型的自动推进单钻杆钻机  
(由乔治 E Failing 公司提供)

这种钻机既可用钻井平台上的空气压缩机,也可用钻井平台上的泥浆泵,有时压缩机和泥浆泵同时采用。这种钻机在钻井平台上有的有一个专用的主发动机,有的配备一个动力牵引系统(其中绞车是主要的动力牵引系统)。这种小型钻机由钻柱通过链式驱动下拉系统或液压下拉系统向钻头提供轴向力。下拉系统把设备重力的一部分转传到钻杆的顶部,然后再传给钻头。钻柱的顶部扭矩和转动是由液压顶驱获得,这种顶驱通过链式驱动下拉系统使钻柱上下移动。许多单钻杆钻机都可以使钻柱在与垂直方向上成  $45^\circ$  倾角状态下工作。这种钻机的主要燃料是柴油。

图 1-4 是一台典型的双钻杆钻机,这种钻机也是可移动的和自动推进的,图 1-5 所示是一台自动推进双钻杆钻机示意图。

这种双钻杆钻机的钻深能力为 10000ft 左右,可用于油气钻井作业、地热钻井作业、深采矿和地球技术钻井作业以及水井钻井作业。此类钻机的钻杆和钻铤的标准是表 1-1 中的范围 2。这种钻机装备了主发动机,可用来操作轮盘、绞车和泥浆泵。钻头上的轴向力是由钻铤提供。钻杆顶部的扭矩和转动由方钻杆和转盘提供。这种钻机大约在井架中部有“井架望台”或“井架平台”,所以,这种钻机可以完成两钻铤或者两钻杆的连接,可以用钻井泥浆或压缩空气或气体钻井液进行钻井作业。一小部分这种钻机中可以在与垂直方向成  $45^\circ$  的时候进行钻探。这种钻机的主原发动机燃料一般是柴油,但是

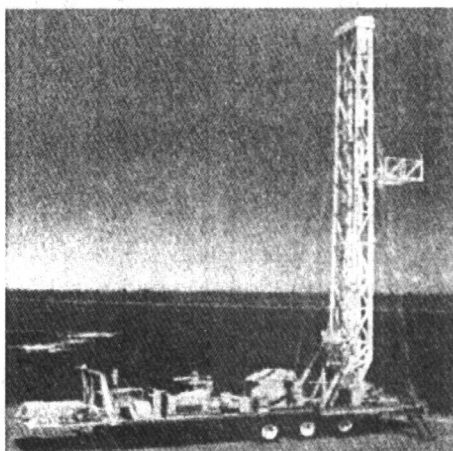


图 1-4 典型的拖拉悬挂式钻机  
(由 George E. Failing 公司提供)

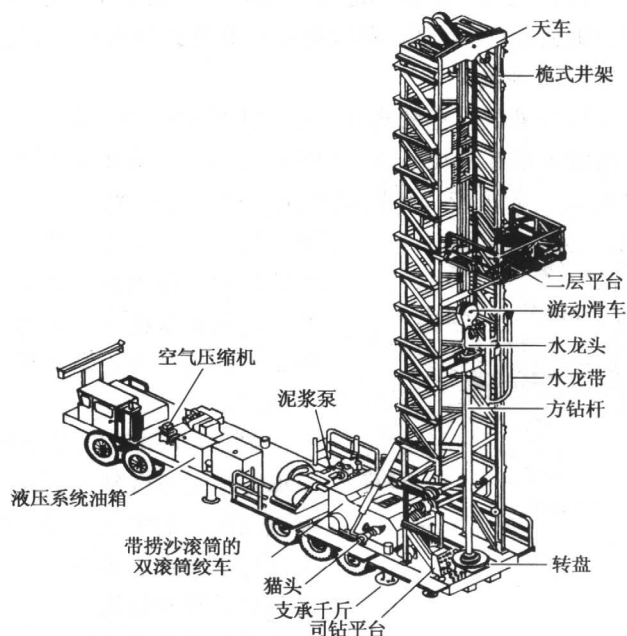


图 1-5 典型的自动推进的双钻杆钻机示意图

极易转换成丙烷和天然气体燃料。

三钻杆钻机有着不同的外形。几乎所有的此种类型的钻机都是由预先做好的散件组装而成的。这种钻机上其纵向塔式结构叫做井架。小型的三钻杆钻机的钻深为 20000ft, 配用的钻铤和钻杆为表 1-1 中的范围 2 所示的标准。大型的三钻杆钻机通常用于海上平台, 这种钻机的钻铤和钻杆型号选用表 1-1 中的范围 3。

图 1-5 是一台典型的自动推进双钻杆钻机。这台钻机装配了一台用来循环钻井泥浆的泥浆泵。有一台运载车来运载钻机, 运载车同时向转盘、绞车和泥浆泵提供动力。对于这种钻机, 这些动力带液压泵打出高压通过向液压发动机提供流体驱动液压马达来操作转盘、绞车和泥浆泵。井架上的二层平台可以完成两钻杆的连接工作。这种钻机, 利用转盘和方钻杆向钻柱提供扭矩, 由钻柱底部的钻铤的重量提供轴向力。示例中的钻机所配置的设备, 只能用钻进泥浆或者是净化水作为循环流体。安装在钻机前端的小型压缩机可以用于钻机的气动操作。这种钻机完全适用于空气和气体钻井作业。已经配备泥浆泵的这种钻机, 为了完成空气钻井作业, 需要安装一台辅助的外部空气压缩机。空气钻井作业时, 通常由专门的分包商提供压缩系统及其相关的设备。

## 1.2 循环系统

泥浆钻井系统和空气或气体钻井系统采用两种类型的循环技术: 正循环和反循环。

### 1.2.1 正循环

图 1-6 是旋转钻井的示意图, 典型的双钻杆(三钻杆)钻机采用正循环泥浆系统。正循环需要把泥浆或净化水从泥浆泵中流出, 依次经过井架上的立管、转盘、方钻杆上的水龙头并顺方钻杆、钻杆和钻铤流下, 然后, 通过底部的钻头进入井眼与钻柱外部的环空。钻井液携带岩屑并在环空中上返, 把岩屑携带到地面, 然后通过地面泥浆振动筛把岩屑从钻井液中除掉, 最后泥浆返回到泥浆罐(泥浆泵会再次把泥浆循环到井内)。用在这种双钻杆(三钻杆)钻机上的泥浆泵为正置换活塞泵。

对于单钻杆钻机, 钻井液是, 把淡水放在地面上的池子中, 并接上密闭的塑料管。一根高压水龙管从泥浆泵的吸入端接到泥浆池上(图 1-5 示)。钻井液从泥浆池中抽出, 依次经过泵、钻机上的管线系统、水龙带, 然后在水压驱动下进入到钻杆内, 再经由钻头到达井

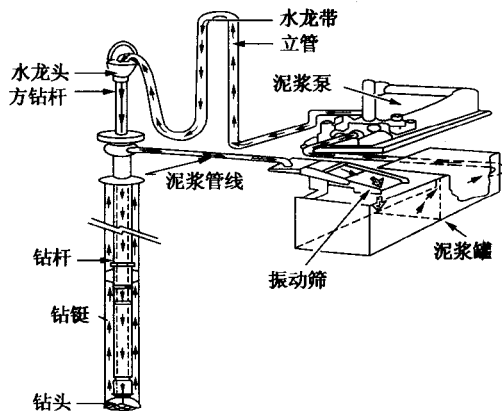


图 1-6 正循环泥浆系统

底。钻井液在钻杆外部与井眼的环空携带岩屑到达地面。在地面, 夹带岩屑的泥浆返回到泥浆池, 在泥浆池中, 岩屑沉淀到池的底部。这种钻机上的泵是小型正置换往复式活塞或离心式活塞。

图 1-7 是用在双钻杆或三钻杆钻机上的正循环压缩空气钻井系统的详细示意图。由压缩机压缩过的大气, 进入井架上的立管内, 依次经过水龙带、水龙头, 进入到方钻杆内, 然后再沿钻杆和钻铤下流, 最后经由底部钻头返到钻柱外部和井眼形成的环空。经过压缩的空气夹带岩屑返到地面, 通过排出管路进入到泥

浆池, 然后再进入到地面上的废气燃烧坑, 这些池子之间用密封的塑料管线连接。

如果用天然气作钻井液, 在主要天然气管线和钻机之间要连一条气体管线。通常在这条管线上装备增压(辅助)压缩机, 目的是, 让管线中的气体到达钻机的立管之前达到较高的压力。

### 1.2.2 反循环

反循环旋转钻井(用钻井泥浆或者压缩空气或气体)和正循环一样, 也是一种很好的循环方法。反循环技术尤其适用于大口径的浅井。典型的反循环作业是用钻井泥浆。钻井泥浆(净化水)从污水泵(或泥浆泵)中流出, 返到井眼和钻柱外部之间环空的顶部, 到达井眼底部。在井底, 夹带岩屑的钻井泥浆通过钻头上的大喷嘴, 沿钻柱内部空间上返到地面。在地面, 岩屑由泥浆振动筛从钻井泥浆中除去, 泥浆重新返回到泥浆罐(在泥浆罐中污水泵会再次把泥浆循环到井中)。

用空气或气体作为循环流体的钻井方法, 也可以采用反循环的方式。图 1-8 是用空气或气体(烟雾或者非稳定泡沫)作为钻井液的反循环的典型例子。这个例子所示的是双层管(双层钻杆)的密闭反循环系统。密闭空间指的是, 外部管子的内部和内部管的外部之间的空间。这是一种专用的反循环系统, 通常只用在井架底部有旋转驱动的单钻杆或双钻杆钻机上。双层管和双层钻杆是由美国 and 世界上其他地方的部分制造商制造(见第三章的钻杆详细介绍)。

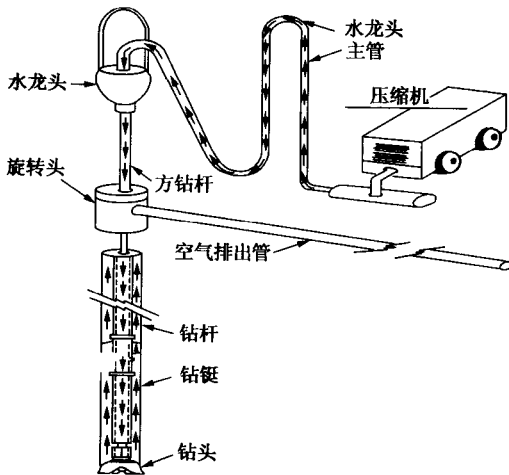


图 1-7 正循环空气钻井系统

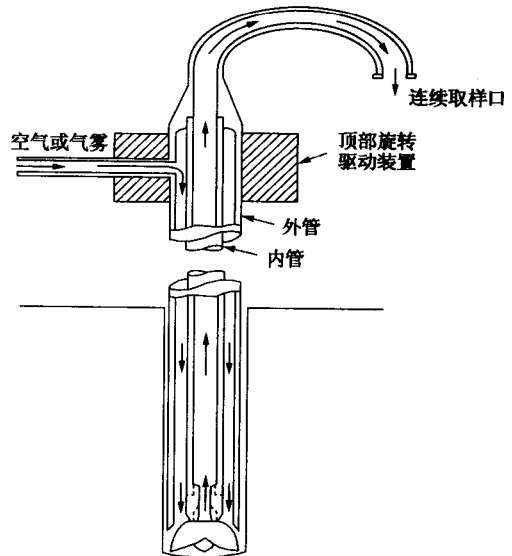


图 1-8 双管(双钻杆)封闭反循环作业

反循环钻井作业需要用专门制造的钻头。图 1-9 是反循环使用的三牙轮旋转钻头的内流道的示意图, 这类牙轮钻头, 正像那些用于正循环的钻头(见图 1-1)。然而, 这种钻头的中心处有一个大的流道, 可以让夹带岩屑的循环流体, 从井底由这个流道进入钻柱的内部空间并到达地面。

如图 1-9 所示, 大多数三牙轮钻头, 其流道的设计直径是  $5\frac{3}{4}$  英寸或者是更小。

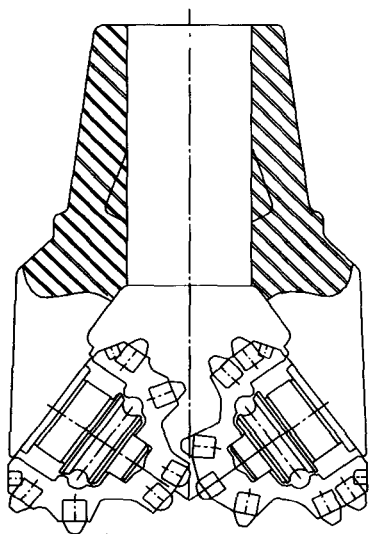


图 1-9 为进行反循环作业设计的三牙轮旋转钻头内流道的示意图  
(由史密斯跨国公司提供)

图 1-1 是用于正循环典型的三牙轮钻头。通常正循环所用的都是配备三个喷嘴的三水眼钻头。用于反循环作业的三牙轮旋转钻头直径是  $4\frac{1}{2}$  英寸 ~ 31 英寸。用于反循环的、较大直径的钻头要专门设计和制造。双管反循环作业需要专门的有缘钻头, 这种有缘钻头, 用于特殊的钻井作业时, 要需要专门定做。大多数用于反循环的三牙轮钻头, 是由专门制造地球技术和采矿钻井设备公司生产的。

### 1.3 泥浆钻井和空气钻井的对比

一般主要对比正循环方式下的泥浆钻井和气体钻井。

#### 1.3.1 优点和不足之处

泥浆钻井和空气钻井都有一些基本的优缺点。最早的认识是, 气体钻井相比于泥浆钻井能够提高机械钻速。图 1-10 是各种不同的钻井液(前四种含有气体钻井技术)及其对机械钻速的影响。最轻的钻井液在列表的顶部, 最重的在底部。一般而言, 钻井液越轻机械钻速就越大。在环空(输送岩屑)中, 液柱作用越轻, 钻头切削面上的围压就越低。围压越低, 越有利于钻头破岩(见第三章中的详细介绍)。

图 1-11 是各种不同的钻井液及他们在避免地层损害的相应潜力。在流体资源的勘探(如水井、环境检测井、石油和天然气以及地热井等)中, 地层损害是一个重要的问题。在携带岩屑的环空中, 液柱越轻, 地层损害的程度就越小。当液柱作用在井眼底部的压力高于岩层的孔隙压力时, 就会产生地层损害。这较高的井底压力, 就导致钻井泥浆沿裂缝或者孔隙进入到所钻的岩层中, 于是, 井眼附近区域就有了新的特征, 这种破坏叫做“表皮效应”, 它损害了地层流体流到井眼中的能力, 从而降低了井的产能。

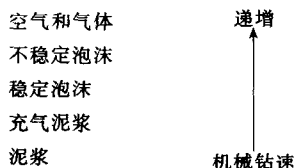


图 1-10 逐步提高机械钻速

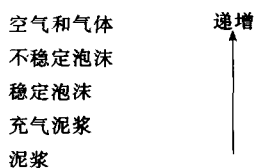


图 1-11 避免地层受损的能力

图 1-12 是各种不同的钻井液防漏失能力示意图。当钻井液或净化水在钻到有裂缝或者大的、连通性好的孔隙或溶洞岩层时, 就会发生漏失, 如果这些裂缝或孔隙足够大而且没有被地层液充满, 那么, 在环空中本该循环回地面的钻井液就会进入这些裂缝或孔隙当中, 这样将导致没有钻井液(携带岩屑)返出地面。岩屑滞留井底就会在钻头和底部钻柱形成卡钻。如果这种情况没有被及时察觉, 在井眼内的钻柱就会发生扭曲, 从而产生机械破坏, 甚至切断钻柱, 导致井内打捞钻柱的工作。

对于深部油气开发井, 漏失将产生更多的灾难性的结果。如果钻井液漏入漏层, 环空液面的下降导致井底压力很低, 低压就会诱导高压油气或地热流体涌入环空。这种溢流必须及

时的,小心的循环出环空,否则,就会发生井喷失控,这时,更密度钻井液常常又导致更加严重的漏失(箭头所指方向更易于避免漏失)。

图1-13是各种不同的钻井液控制高孔隙压力地质区域的相应能力。在石油、天然气和地热的钻探作业中,都会遭遇到高孔隙压力。在石油、天然气和地热的新开采的过程中,也会遇到高孔隙压力的问题。为了顺利的钻探,就要采用更高密度的钻井液。在环空中,用重液柱产生的高井底压力来平衡高孔隙压力。

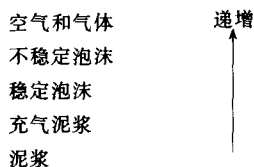


图 1-12 避免漏失的能力

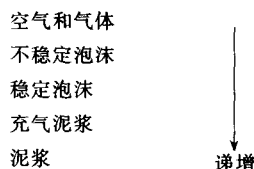


图 1-13 控制较高孔隙压力的能力

图1-13表明,环空中液柱越重,钻井液平衡孔隙压力的效果就越好(箭头越向下表示控制孔隙压力能力越高)。但,使用多重的钻井液也是有限制的,太重的钻井液会导致过平衡,从而产生储层伤害;然而,过平衡钻井的一个更大的风险在于,如果钻井泥浆太重,在裸眼段的岩层会破裂。这种破裂就会导致井漏,进而导致井喷。

在过去的十年里,人们发现,在钻井过程中,钻井液产生的井底压力低于地层孔隙压力的时候,往往可以获得最好的结果。这种类型的钻井称作欠平衡钻井。欠平衡钻井允许在钻井过程中有地层液产生,这样就可以避免或减轻储层伤害,减小产生地层破裂和漏失的可能性。一般来说,当地层孔隙压力高时,就可以通过调节钻井液密度来确保实现欠平衡。当然,当地层孔隙压力不是很高的时候,就需要使用气体钻井技术来减轻环空液柱压力。

图1-14是各种不同的钻井液阻止地层水流入到井内相应的潜能。当钻到地下目标深度时,经常会遇到地层水。地层水存在于目的层以上岩层的裂缝或孔隙中,如果用泥浆作循环流体,环空液柱压力通常可以有效阻止地层水从井眼裸露的岩层中渗出。钻井液越轻,井底压力就越小,作用在已钻井壁的裂缝和孔隙中的压力就越小。图1-14所示,越重的钻井液在克服地层水进入井眼的能力越大(箭头向下指向更好的控制地层水的能力)。

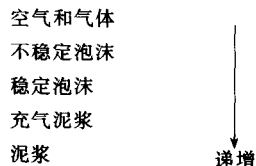


图 1-14 控制地层水流入的能力

### 1.3.2 流动特征

以下是在深井中泥浆钻井和空气钻井的流动特性对比。图1-15是一个示例。这口井深度是7000ft,下API 8 $\frac{5}{8}$ in套管(28.00 lb/ft),使用7 $\frac{7}{8}$ in钻头钻出套管鞋。对比深度是10000ft。钻柱结构:7 $\frac{7}{8}$ in钻头+6 $\frac{3}{4}$ in钻铤(ID=2 $\frac{13}{16}$ in) $\times$ 500ft+4 $\frac{1}{2}$ in API钻杆(16.60 lb/ft,外加厚-S135,NC50) $\times$ 9500ft。

假设,钻井液密度为10 lb/gal(75 lb/ft<sup>3</sup>),属于宾汉模型。钻井液屈服值10 lb/100ft<sup>3</sup>,塑性粘度30cPs。假设钻头有三个直径为13/32英寸的喷嘴,钻井液的循环流速为300gals/min。图1-16是不可压缩钻井液的压力和深度曲线。在图中还可看到钻柱内的压力曲线,

在井口处的压力大约 1400psig，而在钻头喷嘴以上的钻柱底部压力为 6000psig。在图上，也有一个环空压力曲线，在喷嘴以下，井底环空压力为 5440psig，在环空顶部的地面压力为 0psig。

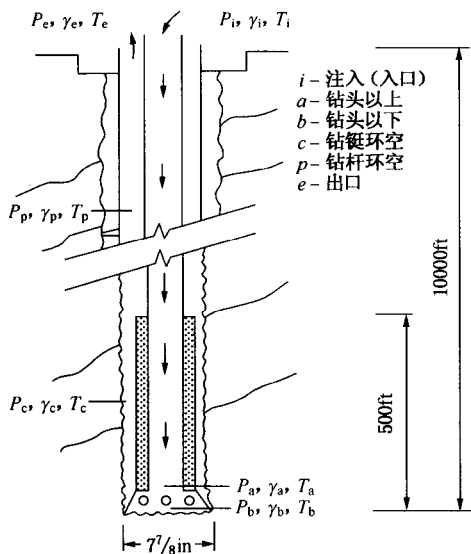


图 1-15 所举例子中井和钻杆的比较

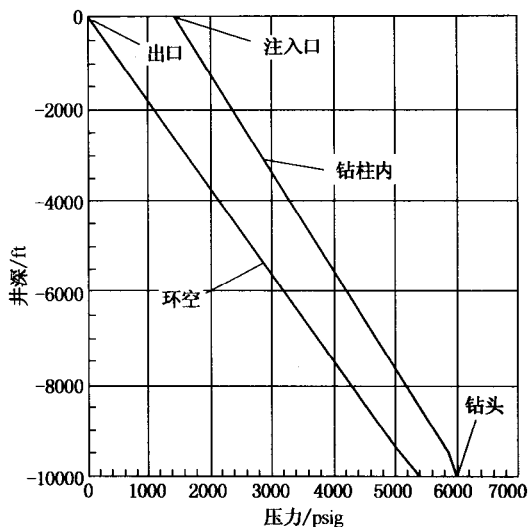


图 1-16 泥浆钻进时不同井深对应的压力

图 1-16 所示反映了泥浆静液柱重量以及钻柱和环空内表面流动阻力，由于摩擦力的作用，在这个过程中会有压力的损失。这种压力损失包括管壁、井壁和钻头水眼上的摩擦力的压力损失。这个例子的钻柱设计中，钻头上有光水眼或大喷嘴。示例中钻头压耗约为 700psi。更小的喷嘴，产生更大的压耗和更高的喷射力。

假设空气钻井在海平面上。用两台 1200scfm 的压缩机，则注入钻柱的总气量为

2400scfm。假设，钻头有三个光水眼（直径为

0.80in），则压缩气体的井深和压力的曲线关系

如图 1-17 所示。在图中，有一条是钻柱内的

压力曲线，在井口处的压力大约为 260psia，在

钻头水眼以上钻柱的底部压力为 270psia。在图

中，也有一条环空中的压力曲线，在钻头水眼

以下的井底环空压力大约为 260psia，在地面放

喷管线入口端（环空顶部）的压力约为 14.7psia。

和泥浆钻井例子一样，图 1-17 中的压力

反映了压缩空气的静重以及钻柱和环空的内表

面流动阻力，压力损失也是由于摩擦力的作

用，在这个例子里，流体是可压缩的。考虑流

体在钻柱内流动时，由于摩擦力和气柱的静重

影响，所以，地面上的喷射压力要小于作用在

钻柱的底部（钻头水眼以上钻柱内）压力。

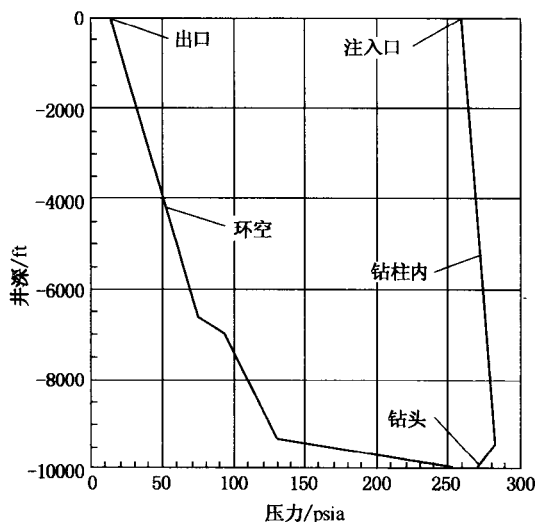


图 1-17 空气钻井时不同井深对应的压力