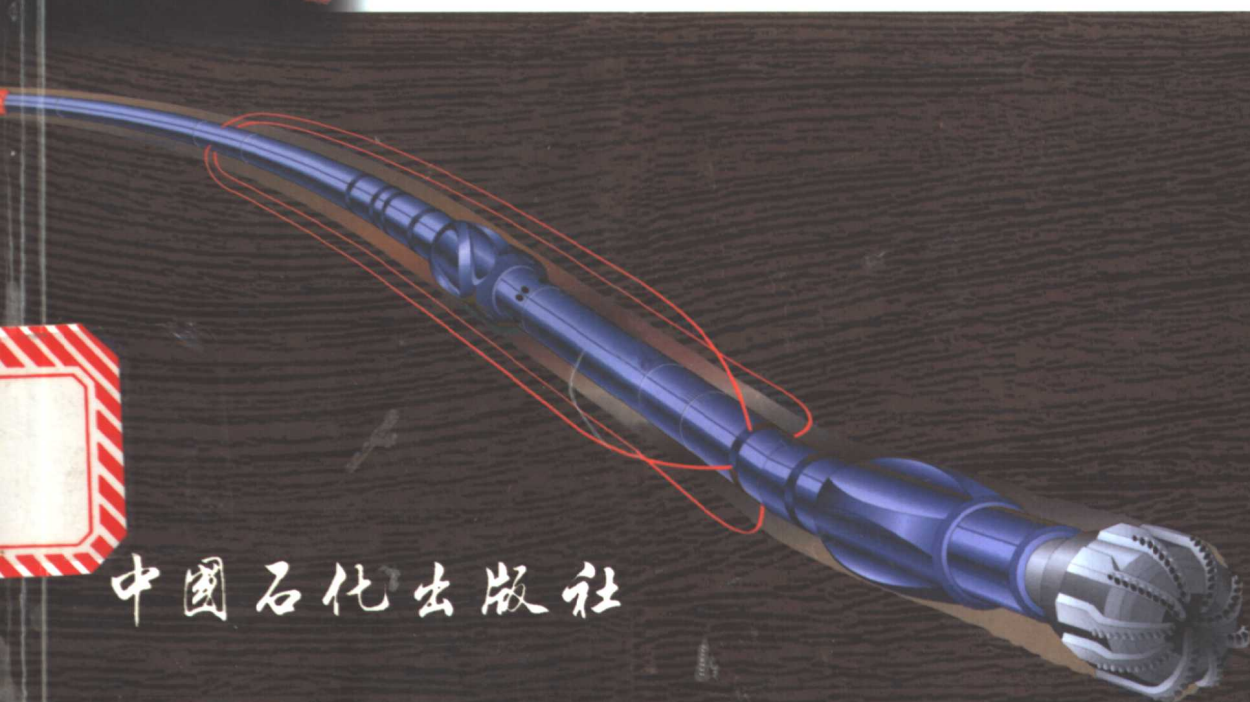
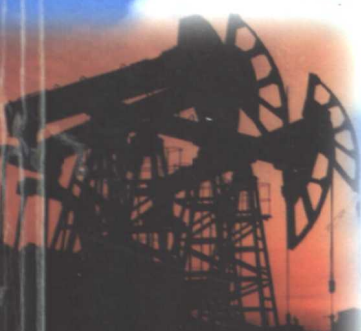


国内外

钻井与采油工程

新技术

大港油田集团钻采工艺研究院 编 ●



中国石化出版社

国内外钻井与采油工程新技术

大港油田集团钻采工艺研究院 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书分上、下两篇,即国内外钻井工程新技术和国内外采油工程新技术。内容涵盖了钻井、采油工程两大专业二十多项技术,重点介绍了近十年来国外钻井、采油工程新技术的发展应用情况,对国内新技术发展现状也做了简述,对读者全面了解与研究当今钻井、采油新技术具有重要的参考价值。

本书可供石油行业各级领导、工程技术人员、相关管理人员及院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

国内外钻井与采油工程新技术/大港油田集团钻采工艺研究院编.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-259-7

I. 国… II. 大… III. ①油气钻井-新技术-世界 ②石油开采-新技术-世界 IV. ① TE242-39 ② TE35-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 058798 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

<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

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 356 千字 印 1—3000

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

《国内外钻井与采油工程新技术》

编委会成员

主 任 刘延平

副 主 任 杨希军 徐学军 张全立

成 员 郭志勤 韩振元 许素莉 王 雷

陈福明 韩 莉 宫英杰 李国韬

聂 锴 杨 勇 姬 智 于庆红

王冬梅 王庆菊 郭元庆 李青一

李 民 杨小平

编 写 郭志勤 韩振元

技术顾问 马双才 瞿锡先 尹肇学 李延美

郑花锡 付吉如 杨起泽 申青蓉

朱景萍 张永忠 崔会凯 张胜传

李洪俊 于成水 于永生 赵 庆

苏秀纯 张 平

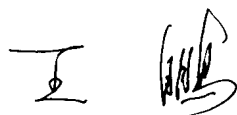
序

为了迎接知识经济的挑战,克服石油企业资源劣化所带来的困难,世界各大石油公司都在千方百计地进行技术创新,使得国内外石油钻井、采油作业领域新技术、新工艺、新产品、新材料更新速度越来越快。从发展趋势来看,谁掌握了新技术,谁就会在市场竞争中占据主动地位。目前国外各大石油公司遵循超前研究、提前储备的原则,重视信息资料的收集,跟踪世界前沿技术的发展情况,以获取最新的技术及市场需求,并迅速投入科研研究,抢先占领技术市场。实践证明,科学技术成果成熟期越来越短,一个企业要想在新的环境生存发展,就必须掌握技术发展的最新动态,了解市场需求,不断进行技术创新。

随着我国加入 WTO,石油市场的竞争将越来越激烈。而在市场竞争中,信息滞后,技术创新及企业技术储备的不足,会使国内各石油企业参与竞争时感到力不从心,“闭门造车”式的研究方式难以跟上时代的步伐,因此对石油钻井及采油工程新技术进行跟踪调研,随时掌握国际、国内石油钻井及采油工程技术的最新动态是我们提高技术水平和增强市场竞争力的基础。

本书对 20 世纪 90 年代以来国内外钻井、采油工程两大专业的新技术进行了系统调研、分析,重点介绍了国外油田钻井及采油工程新技术的发展方向和趋势、主要技术发展应用情况及国内油田配套技术现状。通过这本书的阅读分析,使大家能够及时掌握目前国内外钻井、采油工程的先进技术,找出我们在技术方面存在的主要差距及研究发展方向,把握国内外热点技术,加快国内各油田钻井与采油新工艺、新技术、新材料、新工具的研究、开发。

本书为目前国内石油行业比较系统、全面介绍钻井、采油工程新技术信息的图书。相信这本书的出版,能对国内石油行业各级领导、工程技术人员、管理人员及院校师生研究钻、采新技术具有一定的参考价值。



目 录

上篇 国内外钻井工程新技术

一、小井眼钻井技术·····	(3)
二、大位移井钻井技术·····	(19)
三、水平井钻井技术·····	(31)
四、欠平衡钻井技术·····	(42)
五、深井、超深井钻井技术·····	(54)
六、分支井钻井技术·····	(63)
七、连续管钻井技术·····	(68)
八、地质导向技术·····	(76)
九、自动化(闭环)钻井技术·····	(81)
十、套管钻井技术·····	(86)
十一、激光钻井技术·····	(92)
十二、微钻井技术·····	(95)
十三、其他·····	(97)
参考文献·····	(117)

下篇 国内外采油工程新技术

一、试油技术·····	(121)
二、压裂技术·····	(128)
三、酸化技术·····	(140)
四、防砂技术·····	(148)
五、调剖堵水技术·····	(154)
六、大修技术·····	(163)
七、分注工艺技术·····	(175)
八、举升工艺技术·····	(190)
九、储层测试技术·····	(206)
参考文献·····	(212)
附录1 钻井、井下工程新技术信息管理系统介绍·····	(214)
附录2 相关计量单位换算·····	(220)

上 篇

国内外钻井工程新技术

一、小井眼钻井技术

(一) 90 年代以来，国内外小井眼钻井技术的发展方向和趋势

近 10 年，随着油气生产费用的提高，以及石油工程领域不断向边远地区扩展和钻井工艺水平的提高，钻小井眼井开采油气的优越性更加明显，使得小井眼钻井技术成了继水平井钻井技术之后的又一研究热点。截至目前，世界上已钻成小井眼井上万口，最大垂直井深超过 6000m。小井眼钻井具有诸多的优点，见表 1。目前，在国内外该技术已应用于水平井、深井钻井中，如侧钻小井眼多分支水平井等，国外已开始用连续管钻小井眼。

表 1 小井眼钻井技术情况表

井场占地面积	钻井设备	钻井作业人员	钻井费用	钻进岩屑量	其 他
< 1200m ²	小型化、重量轻，利于偏远地区的钻井，钻机和其他辅助设备不足 200t	8 ~ 10 人/d	井场各项费用减少 60%，节约钻井成本 15% ~ 40%，边远和交通困难地区，这个比例高达 70%	一口 2500m 深的井其岩屑为 60t，常规井为 700 ~ 1200t	适合于开发各类油气藏，但不适用于高产井，可用于采矿行业的连续取心

目前小井眼钻井技术比较发达的国家有：美国的 Amoco 公司、Baker Hughes 公司、Nabors 工业公司、英国的 BP 公司等。近年来，国外公司为了配合小井眼钻井，开发和研制了一系列适合小井眼钻井的配套设备，主要集中在钻头及马达、固井、井控、取心、小井眼水平钻井等方面。研究发展的小井眼先进技术归纳起来有：带有顶部驱动的小井眼钻机；井下动力钻具；采用井控专家系统控制和预防井喷；采用连续取心钻机进行小井眼取心作业；采用高强度固定齿的新型钻头。目前小井眼钻井技术已比较成熟，工具设备配套齐全，已有可用于 76.2mm(3 in)井眼的钻井工具，以及多种连续取心钻机和混合型钻机。挪威还准备向北海南部深层的高温、高压气藏发展小井眼钻井。

近年来，国内各油田也开始重视和研究小井眼钻井技术。小尺寸 PDC、TSD 及金刚石钻头已在我国大部分油田推广应用。随着我国小井眼钻井井数的增多，小井眼早期井涌预警、检测技术也越来越受到重视。在钻井液和完井液技术上，国内各油田根据各自地层特征进行了专项研究，其体系配方基本能够达到安全钻进和保护油气层的目的。国内不少学者在小井眼水力学方面也做了很多工作，但大多数是对国外模式的修正。大庆油田完成的 287 口井，在其平均井深比全部开发井的平均井深多 129.4m 的情况下，平均机械钻速基本持平，平均钻机月速却提高了 7.17%，获得的效益非常明显。胜利油田小井眼套管开窗定向侧钻技术已步入了大规模的应用阶段。新疆油田和大港油田在深层(> 4000m)成功地钻成了部分小井眼井。

通过对调研资料的统计，小井眼技术有以下几个研究和发展方向：小井眼钻头与马达的研制；小井眼完井与井控技术；小井眼钻机研制。根据大港油田的实际情况，大港油田小井

眼钻井技术的发展方向有：老井加深小井眼钻井技术；老井侧钻小井眼或小井眼水平井钻井技术；钻探边井小井眼钻井技术。

(二) 主要技术发展应用情况

1. 国外主要技术发展应用情况

为了解决小井眼给钻井带来的诸如钻头性能差、机械钻速低、钻井液体系不当导致当量循环密度高和立管压力高及井涌不能及时发现等问题，着重研究了一系列关键技术。

(1) 井身结构

国外公司采用的典型小井眼井身结构如表 2 示。

表 2 国外小井眼钻井技术发达国家典型小井眼井身结构

BP 公司 1000m 井			
常 规 井		小 井 眼 井	
井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm	井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm
444.5	339.7	158.8	139.7
311.1	244.5	120.6	98.0
215.9	139.7	85.9	73.9
Amoco 公司 2400m 井			
常 规 井		小 井 眼 井	
井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm	井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm
444.5	339.7	215.9	177.7
311.1	142.9	152.4	127.0
215.9	114.3 钻杆	111.1	93.9
Nabors 公司 3000m 小井眼井		Texaco 公司 3000m 小井眼井	
井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm	井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm
311.1	244.5	311.1	244.5
209.6	177.8	215.9	177.8
155.6	127.0	139.7	127.0
104.8	93.9 钻杆	103.2	93.9
		77.0	69.9

(2) 钻进方式

小井眼钻进方式有旋转钻进、井下马达钻进、连续取心钻进。国外各石油公司已开发了多种小井眼钻井系统。图 1 为 Shell 公司和 Bake Hughes 公司联合开发的一种小井眼钻井系统，该系统使用改进固定式牙轮钻头和高强度钻杆，包括先进的井涌监测系统。该系统钻机可选择改进的常规钻机、专用小井眼钻机、修井机和连续管钻机。

图 2 为改进的连续取心矿用钻井系统，Amoco 公司开发的水力学模型和井涌监测系统及井涌控制技术，利用高性能的油管再加上改型的矿用钻井系统，钻深可达 14000 ft(4270m)。

图 3 为连续管钻井系统，可与井下马达钻井系统配合使用，提高起下钻速度，并维持井下马达起下井眼时的连续循环。

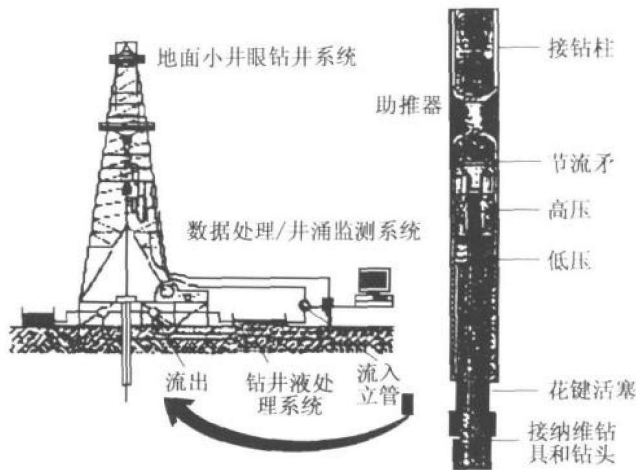


图 1 Shell 公司和 Baker Hughes 公司开发的小井眼钻井系统

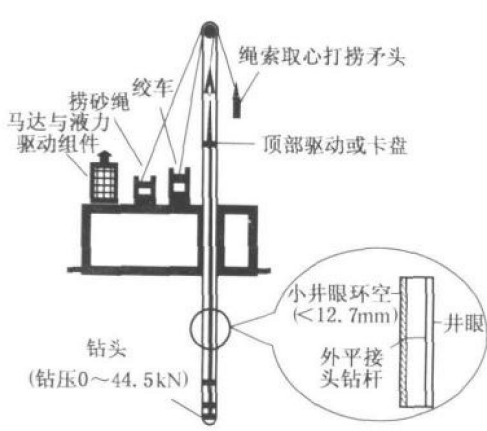


图 2 Amoco 公司连续取心钻井系统

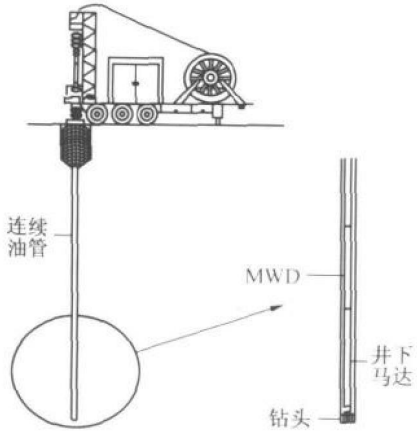


图 3 小井眼连续油管钻井系统

(3) 小井眼钻机

目前，专用的小井眼钻机不多，改进的小井眼钻机仍占多数，原因主要是这类设备缺乏设计规范和公认的标准，加之常规钻机能力过剩，在很大程度上抑制了小井眼石油钻机发展。国外小井眼钻机类型有小型常规石油钻机、采矿式连续取心钻机、修井机、连续管钻机和专用小井眼钻机。20 世纪 60 年代之前，国外不少公司使用常规钻机钻小井眼井，70 年代末开始进行小井眼钻机研制及钻机改进，90 年代后出现了特制专用的小井眼钻机，瑞典、美国、德国、加拿大、比利时、意大利、澳大利亚和罗马尼亚等国家均开发应用了新型小井眼石油钻机，并取得了较好的使用效果和钻井经济效益。

一般来说，国外小井眼钻机采用常规旋转钻井设备，如前开口井架、液压绞车、三缸泥浆泵、防喷器组、固相控制设备、取心装置等等，另加其他先进的自动化装置。固控设备的配置要比常规井高一级别，在常规固控设备运转良好的前提下，再配备一台小型离心机，清

除有害固相，对井下安全有利，是地面设备减少损坏、降低循环压耗的有效办法。国外小井眼钻机特点有：①设备体积小，占地面积少；②设备一机多能，既可钻井又可修井，所用钻柱既可钻小井眼又可连续取心；③采用专用小型测试装置；④现代化程度高。

具有代表性的国外公司小井眼钻机主要有：

① 意大利 Soilmec 公司推出的 G—100、G—100HD、G—150、G—200 和 G—250 型系列小井眼钻机，是目前世界上惟一的小井眼钻机系列。图 4 为 G—100 钻机总成。该系列钻机选用 4 台隔音柴油机作动力，采用液压驱动形式，利用 4 台液压马达同时驱动顶驱，充分满足小井眼钻井工艺的需要。钻机用长冲程千斤顶液缸、滑轮组和可伸缩式轻便井架代替常规绞车、游动系统和井架。该钻机可用于钻小井眼井、水平井、斜井和丛式井，还可用于修井作业，目前已取得美国专利和国际专利权。美国专利号：US 5375667；国际专利号：92121752.7—T094A000489—T095A000164。新系列小井眼钻机技术参数及使用情况见表 3、表 4。

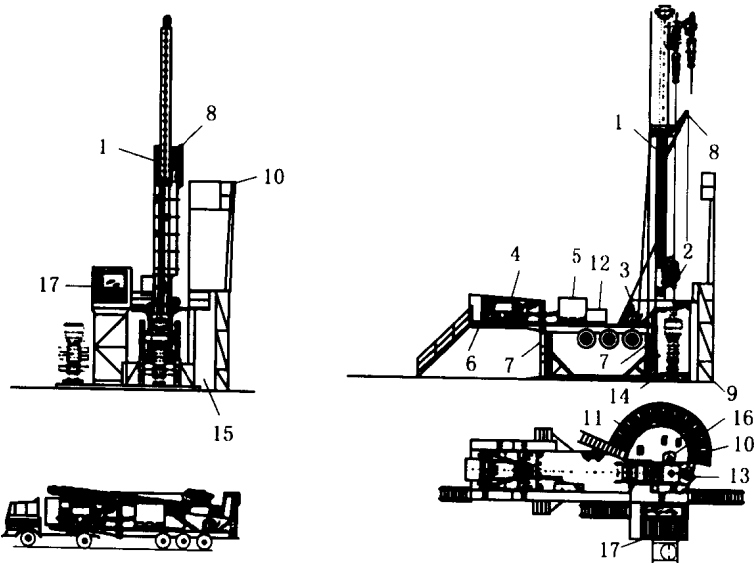


图 4 G—100 钻机总成

1—伸缩式井架；2—顶部驱动；3—挡砂滚筒；4—液压动力总成；5—液压油罐；6—半拖车；7—具有机械安全锁紧的液压水平千斤；8—钻台液压吊车；9—容器平台；10—钻杆(套管)；11—储存钻铤；12—液压油冷却器；13—鼠洞上的液压卡；14—BOP 小车；15—伸缩底座；16—动力大钳；17—值班房

表 3 Soilmec 公司新型小井眼钻机系列技术参数

钻机型号	G—100	G—100HD	G—150	G—200	G—250
大钩静载荷/kN	891.8	1107.4	1332.8	1783.6	2205.9
钻井动载荷/kN	588.0	735.0	882.0	1225.0	1470.0
液压动力功率/kW	367.6	514.7	661.7	882.3	1102.9
顶驱扭矩/(kN·m)	36	36	36	36	36
顶驱行程/m	15	15	16	16	16

表 4 Soilmec 公司新型小井眼钻机系列使用情况

钻井速度	正常条件下，一口 2300～3000m 井，需 190h。
钻井方式	顶驱钻井
操作人员	钻机大班人员 4 人，即钻井领班、柴油机司机、电工和勤杂工每个钻井班需要司钻、副司钻和井架工各 1 名

钻井成本	钻井统计结果表明,与常规大直径钻杆钻井相比,小井眼钻机钻井总成本下降 24%,钻井和钻机移运时间减少 30%,每口井的非生产时间从 450h 下降到 120h; Soilmec 公司认为,用 G 系列小井眼钻机钻井,节省钻井总成本最多可达 40%
环境污染情况	柴油机采用隔音措施,现场实测噪音为 82dB,对周围环境危害较小;此外,由于小井眼钻井的钻井液用量和钻屑量均较少,对环境的污染也较小
钻井综合效益	与常规钻机相比,用小井眼钻机钻井,钻井成本减少 50%~75%,下套管成本减少 13%,完井费用减少 37%,占用井场面积减少达 70%,钻机拆装移运时间减少 60%~70%,钻小井眼评价井,建井费用减少达 50%,钻井综合效益显著
实施地区	已经在意大利北部的米兰、威尼斯、热那亚三角地区以及西西里岛的油气田地层中钻完 18 口井

Soilmec 公司小井眼钻机优点:钻井速度快,技术经济指标先进,自动化程度高,工作安全可靠,钻井成本低,移运性好,对环境污染程度小。

② 法国钻井承包商 Forsol 用拖车装钻机 W-NApach 小井眼钻井取得了成功。这种高度自动化钻机有一个 19.5m 高的桅杆式井架,一个筒式操作系统和 408kW 顶部驱动装置,该钻机可钻井深 2438m,只需常规钻井 1/3 的工作人员,整部钻机及井下设备仅 15 辆卡车便可搬运。1994 年 4 月法国在巴黎盆地还使用了 Foraslim 小井眼钻机,其主要技术参数见表 5。

表 5 Foraslim 小井眼钻机主要技术参数

型 号	额定钻深/m	井场面积/m ²	井架额定载荷/t	底座高度/m	绞车功率/kW	人 数
Foraslim	3500	850	100	6	441	1

③ 瑞典石油勘探公司(Microdrill 公司)于 70 年代末到 80 年代初,在 Gotland 岛使用装有小型防喷器的 Diamc-700 小井眼液压钻机钻了 207 口井径 2~3 英寸、井深 217~2666m 的小井眼井,比常规钻井节省费用 75%,主要技术参数如表 6 所示。80 年代末,该公司又研制了 MD-1500 钻机和 MD-2000 钻机,改进的 MD4 小井眼钻机重量 13t 左右,使用螺杆钻具,Φ85.7mm 井眼可连续取心至 3200m。

表 6 瑞典微型小井眼钻机主要技术参数

型 号	重 量/t	操作高度/m	提升能力/t	井眼直径/mm	井 深/m
Diamc-700	5	6.5	3.5	51~52	700
Diamc-1000			5	51~52	1066.8

④ 表 7 为低成本的美制 Kenting 井眼钻机性能参数。

表 7 美制 Kenting 井眼钻机性能参数表

型 号	额定钻深/m	井场面积/m ²	大钩载荷/t	作业高度/m	钻井液系统/m ³	人 数
Kenting	3500	850	100	26	50.88	3

⑤ Amoco 公司和 Nabor 公司小井眼石油钻机。Amoco 公司和 Nabor 公司共同研究开发了 Rig170 型小井眼石油钻机,它最主要的特点是钻机上配有数控系统(DCS)和专家井控系统(XWC)。DCS 系统收集钻机上液压传感器、压力差传感器、应变仪、位置传感器、磁性流量计、热电偶转速仪、钻井液池液面高度传感器、温度传感器的数据,该系统还包括数据收集

计算机和监测器、司钻控制台、司钻监测器、人机联作系统数据控制软件。专家井控系统包括阿莫科公司处理数据控制系统中数据的专利软件，这套井控专家系统能够判断是否发生了井涌，是否通知司钻，以便司钻可以采取合适的井控措施，如果司钻在预定的时间段(10s)中没有作出反应，井控专家系统会自动采取井控措施。井控专家系统也可以随时停用，以便完全由司钻进行控制。

主要技术参数及结构特点：大钩载荷 975kN，绞车功率 350kW，钻井泵功率 165kW，井架高 26.2m，全液压驱动，钻井液净化系统为清洁器和离心机。自动送钻装置是一个承载能力 725kN 的液缸，固定在井架上面，送钻性能较好。采用两挡速顶驱和计算机井控装置。设计制造的岩心搬运机，可进行连续取心作业。

优点：试验证明，钻机和钻井成本均较低，环境污染少，钻井性能好。

⑥ 欧共体小井眼石油钻机。欧共体 Thermie 规划 Euroslim 项目，为降低成本和减少环境污染，使用小井眼钻井开发油田，同时研究开发了小井眼石油钻机。

主要技术参数及结构特点：大钩载荷 1000kN，绞车功率 600kW，采用顶驱钻井，最高转速 600r/min。采用 SH111、SH66 高强度钻杆，配备了取心装置、录井和测井装置、井涌监测仪和报警系统。

优点：在不同地理环境和不同地质条件钻井，环境污染最低。

⑦ 英国钻井设备公司研制的小井眼钻机，采用液力驱动，大钩载荷 980kN，钻深能力 3000m，配有新式钻杆排放系统和先进检测仪器，既可钻井又可取心，只需 3 名钻工。

(4) 钻头

① 牙轮钻头。早期小井眼钻井，一般使用小尺寸牙轮钻头。但其不适应高转速，钻头轴承磨损快，进尺少，寿命短，为此，国外采用改进的钨合金镶齿(TCI)牙轮钻头，如：美国贝克休斯公司研制出的能适应转速为 200r/min 的 98.4mm 牙轮钻头，具有较厚的锥形外壳和直径较小的轮轴，具有较高的锁紧能力和转速能力，钻头长度由常规的 146mm 减小到 121mm，增强了侧钻能力，减小了井底钻具弯曲时钻头损坏程度，寿命增加了 30%~40%。

② 单牙轮钻头。主要通过增加牙轮钻头轴承直径，增加钻头寿命。阿曼油田在水平井中(中硬地层)使用 IADC437 单牙轮钻头，水平钻进平均机械钻速达 60ft/h。加拿大使用的 4 $\frac{1}{2}$ in IADC637 单牙轮钻头钻研磨性硬砂岩，16.25h 内钻进 105ft，相当于 2 只 IADC737 三牙轮钻头的总进尺。从目前发展情况，单牙轮钻头将会成为一种适用于在各种各样的地层中钻小井眼的低成本高效率的钻井工具。

③ 金刚石钻头。60 年代以后，许多钻井承包商发现使用 PDC 聚晶金刚石钻头配合液力加压器和井下马达，钻头寿命是同尺寸牙轮钻头的 4.6 倍。于是金刚石钻头以其使用时间长、进尺多、机械钻速高、不易出井下事故，逐步被人们采纳。尤其在小于 $\Phi 152.4$ mm 的井眼全面钻进中，牙轮钻头已逐渐被金刚石钻头所取代。以 DBS 公司、克里斯坦森公司等为代表的公司，专门研制了抗偏转的小尺寸 PDC 钻头、热稳定聚晶金刚石钻头(TSP 钻头)和天然金刚石钻头。这三种钻头能适应高转速，可用于连续取心和与螺杆钻具配合使用，能减轻钻头在钻进过程中产生的强烈振动，提高钻井效率。新型的 PDC 聚晶金刚石钻头和 TSD 金刚石钻头，对深层、中硬地层钻井及扩眼效果很好，在降低扭矩、钻头冷却方面比普通的 PDC 和 TSD 钻头效果好。穹形设计的金刚石钻头，在耐磨结构上更紧凑，更适用于较硬岩石。壳牌公司经验表明，采用小型聚晶金刚石钻头不需要限制钻压。Amoco 公司开发出了避免小型聚晶金刚石过早损坏的抗涡旋钻头，在穿透能力方面取得了突破性进展。小型聚晶

金刚石将成为小井眼技术的一个发展方向

① 混合型 PDC/TSP 钻头。美国 Maurer 工程公司为美国能源部研制了一种混合型 PDC/TSP 高效钻头, PDC 切削齿置于齿前排上, 以高速度钻软地层, 而 TSP 切削齿置于 PDC 切削齿的后排, 用于钻那些通常会损坏 PDC 切削齿的硬夹层。该钻头在特定的大功率马达带动下能有效破岩, 试验中在低强度地层钻速为 $100 \sim 150 \text{ ft/h}$, 在密西西比灰岩地层钻速为 $1 \sim 12 \text{ ft/h}$ 。

⑤ 小井眼连续取心钻头。在连续取心作业中, $1000 \sim 3000 \text{ m}$ 的井, 59% 使用金刚石取心钻头, 目前国外 1000 m 以上的井眼井段多用连续取心钻头。硬质合金钻头应用于小井眼取心还在继续研究, 这种钻头成本低廉。BP 公司一直用聚晶金刚石和 tripdax 设计取心钻头来改进小井眼的取心性能和钻进速度。国外还研制了能提高取心质量的双体钻头, 这种钻头可通过绳索打捞器, 改变钻头塞而改变钻头性能, 使钻头可进行全面钻进或取心钻进。

(5) 井下马达系统

目前国外已有高、中、低三种转速 ($500 \sim 1000 \text{ r/min}$) 和多种直径 ($38.1 \sim 171.5 \text{ mm}$) 的小井眼井下马达, 其抗高温性能已经超过了 200°C 。为了解决钻柱振动问题, 以便将更多的能量传递到钻头上, 提高钻进效率, 同时还配套使用了井下液力加压器, 使得钻头寿命更长, 在许多地层钻进都比转盘钻进快 $3 \sim 5$ 倍, 钻井成本可降低 $50\% \sim 70\%$ 。该系统也常与连续油管钻机配合使用。

美国 Maurer 工程公司为美国能源部研制的大功率小井眼泥浆马达, 输出功率和转速是常规泥浆马达的 2 倍, 所研制的 $3 \frac{3}{8} \text{ in}$ 小井眼泥浆马达, 输出功率为 73 马力, 而常规泥浆马达的输出功率仅 28 马力。使用这种大功率泥浆马达时, 只要钻机配备的泥浆泵能够输出该泥浆马达所需的高循环压力, 配合 PDC/TSP 高效钻头, 能使钻速提高 2 倍, 如图 5 示。

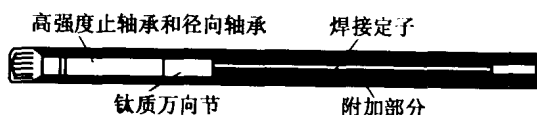


图 5 大功率小井眼泥浆马达

Anadrill Schlumberger 公司和 Shell U.K 研究开发机构开发了一套仪表化的井下导向马达以提高地质导向的效果。该工具是在动力端和轴承外壳之间插入一个带近钻头传感器短节的常规螺杆导向钻具。这个短节包含近钻头传感器、电路、动力源和电磁遥测系统。该马达将钻井和地层评价测量相结合, 可进行井斜、马达转速、温度、伽玛射线和两个电阻率测量。仪表化马达具有一个双弯弯外壳系统, 其中固定弯外壳被直接安置在马达轴承端的上部, 而地面可调弯外壳被装在传感器短节和马达的动力端之间。设计这种固定和可调弯外壳系统组合可使钻具具有多种造斜率, 最大可超过 $15^\circ/100 \text{ ft}$ 。

(6) 减小钻柱振动和疲劳破坏技术

主要采用的配套工具及技术有: 抗偏转的 PDC 钻头、柔性转盘或顶驱钻机减小扭转振动、钻井液马达和液力加压器 (如图 6)、耐疲劳新型钻杆接头。

① 液力加压器。配套使用井下液力加压器, 可增加钻头寿命, 在许多地层钻进都比转盘钻进快 $3 \sim 5$ 倍, 钻井成本可降低 $50\% \sim 70\%$ 。现在已出现了串联的液力加压器, 目前最多到三级, 其作用原理与单级相同, 当然在二、三级液力加压器上可作

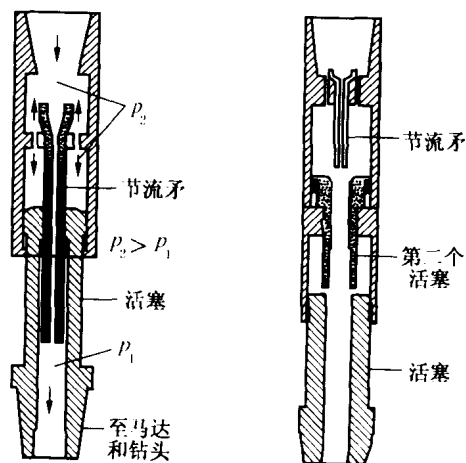


图 6 小井眼液力加压器

用更大的钻压，见表 8 与图 6。

表 8 液力加压器主要技术参数表

规格/ mm	最大推进力/ kN	最大操作压力/ Pa	最大扭矩/ (N·m)	最大冲程/ mm	孔/ mm	最大拉力/ kN
95.25	50	150	4000	1500	14.9	400
120.63	166.5	150	8000	1500	38.1	500

② 工具接头。经验证实，小井眼可以用 NC26 与 PACDSI 工具接头及非 API 的 SLH90 与 AOH 接头，应注意避免工具接头损坏，主要参数见表 9。

表 9 工具接头参数表

工具接头	外径/mm	内径/mm	扭转屈服/(N·m)	上扣扭矩/(N·m)
NC26	85.7	44.4	9248	4624
PACDSI	79.4	38.1	7945	3972

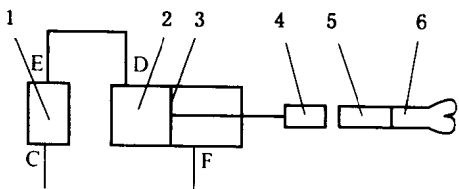


图 7 射流冲击器工作原理简图

1—元件(喷嘴系统)；2—缸体；3—活塞；
4—冲锤；5—砧子；6—钻头

(7) 射流冲击器

在小井眼钻井过程中，配套使用射流冲击器，利用冲击一回转联合钻进既可以提高钻井速度，又可以防止井斜，从而达到提高钻井质量，降低钻井成本的目的，如图 7。

(8) 小井眼打捞、震击技术

目前已根据需要研制出了多种适合小井眼的打捞筒和震击器等，如用于打捞 $\Phi 83.2$ 和 $\Phi 89.6\text{mm}$ 钻具的 $\Phi 104\text{mm}$ 打捞筒，高压小井眼用各种尺寸井下循环接头/液力倒扣接头，液压及裂缝圆盘接头以及安全接头。耐高压用的震击器有单作用和双作用液力震击器，可受压也可拉伸，现已研制出 $\Phi 150.4 \sim \Phi 160\text{mm}$ 井眼用的 $\Phi 121.6\text{mm}$ 双作用液力震击器， $\Phi 150.6 \sim \Phi 112\text{mm}$ 井眼用的单作用液力震击器。主要技术参数见表 10。

表 10 震击器主要技术参数表

尺寸/mm	震击器类型	最大震击器负荷/kN	最大(放气)冲击/kN	震击器冲程/mm
88.9	FC	150	80	120
120.7	Jar King	360	200	152

(9) 小井眼连续取心技术

小井眼连续取心技术源于矿业连续取心技术，实质上就是绳索式取心。现在已经能在 104.8mm 或更小的井眼中取心，并采用钻柱抗振技术来提高岩心收获率。Amoco 是最早采用薄壁钻杆和电缆可回收岩心筒连续取心钻井系统的。该系统采用顶部驱动旋转外平钻杆，得到的连续岩心可达 12.19m 长，在开发井中平均取心收获率达 98.3% 。图 8 为 Amoco 公司小井眼取心井下钻具组合。一般来说，小井眼连续取心装备包括取心钻机、取心钻杆、取心钻头、岩心筒和其他所需工具。

① 钢丝绳连续取心钻机。钢丝绳连续取心钻机比油田使用的同样钻深能力的钻机轻、小、结构简单，不用常规岩心筒而用绳索式岩心筒，能够连续取心，克服常规石油钻机和常规岩心取心筒取心时需频繁起下钻的缺点。这类钻机既能全面钻进又能进行连续取心。

② 取心钻杆。一种薄壁无缝钢管，机械强度没有同直径的常规钻杆大，外径小、长度短、重量轻，具有外平内加厚接头，由于环空间隙很窄，这种钻杆在裸眼井中可作为可取回式技术套管使用，甚至作为永久性套管固井，然后用直径更小的矿业取心钻杆继续取心。

③ 取心钻头。小井眼连续取心作业中要保持较高的钻速，应选择适合低钻压、高转速的天然金刚石取心钻头、TSD 取心钻头或 PDC 取心钻头。天然金刚石取心钻头又分为孕镶和表镶两种。取心钻头的切削面很窄一般只有 38.1~25.4mm。Total 公司为 149.225mm、107.95mm 和 76.2mm 井眼选择的钻头转速分别为 350、450~500 和 600 r/min。

④ 取心岩心筒。连续取心筒与常规岩心筒一样，也由内筒和外筒组成。但与常规岩心筒不同的是，其内筒可以用钢丝绳打捞筒取出来，再将另一个内筒投入钻柱继续取心。为防止起出内筒时发生抽汲作用，通常是一边起内筒，同时一边向钻柱内泵送泥浆。连续取心岩心筒及其内筒和单筒岩心的长度一般为 3、6、9、12、13.5、15m，最长的达 27m。

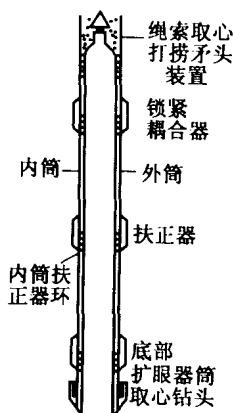


图 8 Amoco 公司小井眼取心井下钻具组合

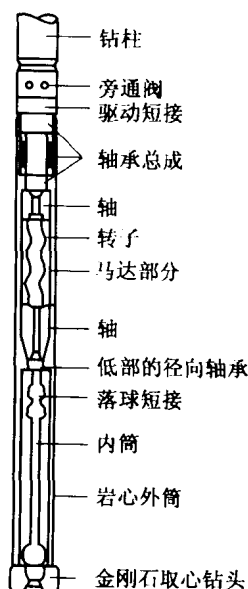


图 9 整体式取心马达装置

⑤ 整体式取心马达。整体式取心马达可进一步提高收获率，因为在取心作业中，防止了内筒的旋转，横向振动的减少使岩心能平稳地进入内筒。外岩心筒是由一个直接连在其顶部的井下钻井液马达驱动，如图 9。

为了保证小井眼钻井的安全，国外已改进和完善了小井眼井控防喷装置和除气器，研制出了先进的以探测进、出井钻井液流量为基础和以声波反射原理为基础的地层溢流检测系统，国外的井控装备有：全封、半封闸板防喷器和钻柱内防喷工具、动平衡压井所需除气装置和管汇，并储备有性能良好的重泥浆。Amoco 公司开发了小井眼井控专家系统(图 10)，利用计算机进行现场连续监测。此外 Smedving 公司研制了“Gas Kick Detect”系统，Baker Hughes INTEQ 公司研制了“Kick Detect”系统等。Shell 公司的井涌早期检测系统能测出 163 升的侵入量。

(10) 小井眼水平井钻井系统

① 小井眼水平井钻井系统。SlimDril 公司已研制出一套低成本小井眼水平钻井系统(如图 11)，包括：(a)钻头。带有保径齿和天然金刚石基体的侧钻用钻头，用于直井初始造斜，造斜完毕使用天然金刚石或热稳定聚晶金刚石(TSD)基体的 HT-1 钻头钻水平井，钻速为