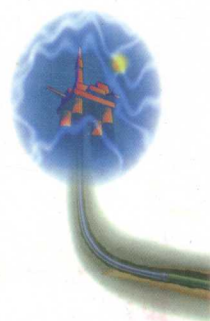
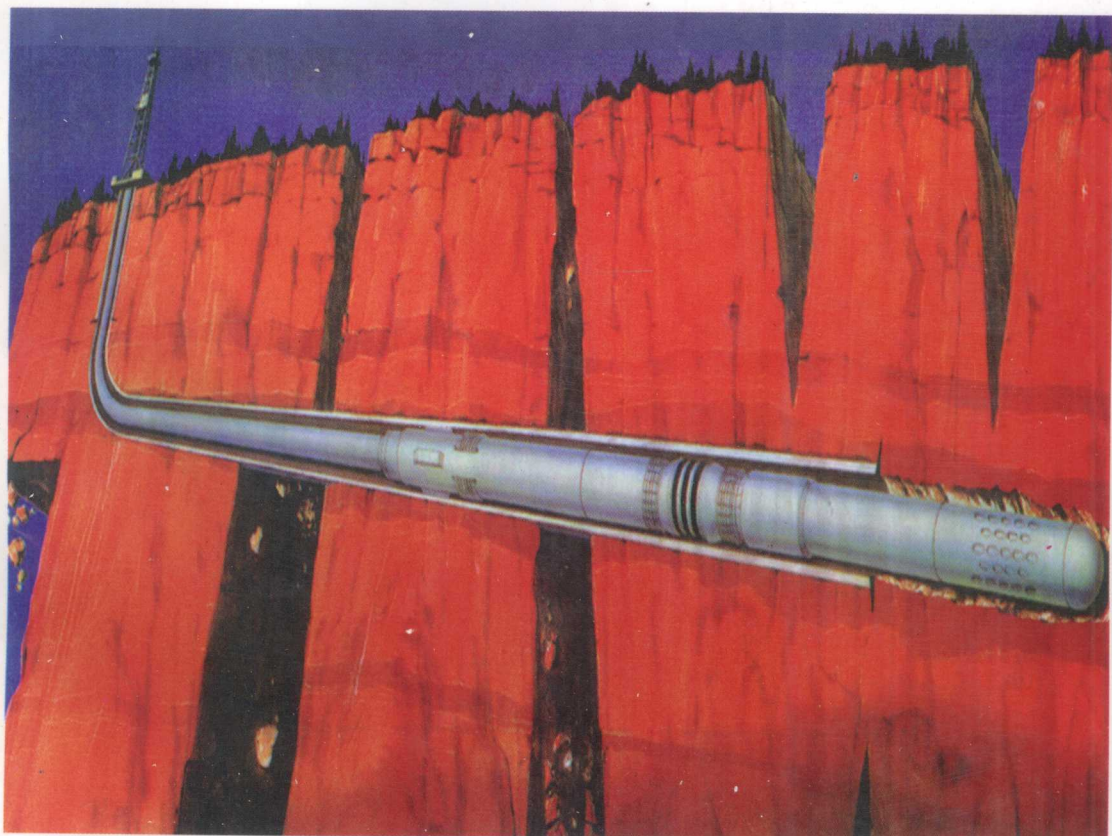


# 小井眼和连续油管技术的 进展与应用



刘海浪 柯仲华 赵振峰 编著



石油工业出版社

# 小井眼和连续油管技术的 进展与应用

刘海浪 柯仲华 赵振峰 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书在参考国内外大量资料的基础上,分上下两篇系统地介绍了小井眼和连续油管技术的发展历程、技术现状及前景,同时阐述了设备装置及工具、技术规范、现场应用等,并结合在油气田勘探开发中的具体应用进行了详细分析。本书提出的小井眼和连续油管技术是90年代突破性技术之一,具有良好的发展前景,对于我国今后该项技术的研究与应用具有重要的借鉴意义。

本书可供油(气)田钻井、采油(气)、井下作业和油(气)田开发研究、设计技术人员应用和参考,也可供石油院校教学参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

小井眼和连续油管技术的进展与应用/刘海浪等编著.  
北京:石油工业出版社,1998.1

ISBN 7-5021-2210-9

I. 小…

II. 刘…

III. ①油气钻井-小口径钻进-概论②连续油管-概论

IV. TE246

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00438 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

地矿部河北地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 11 $\frac{1}{4}$ 印张 305 千字 印 1—1000

1998 年 1 月北京第 1 版 1998 年 1 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2210-9/TE·1852

定价:20.00 元

## 序

现代科学技术的迅猛发展,有力地促进了石油工业勘探开发技术的发展,各种新工艺、新技术的开发应用,不但在油气勘探开发中发挥了重大作用,而且为最终实现经济高效地开发油气田提供了重要的技术保证。

长期以来,世界各地的油气藏经营者一直以积极的姿态,投入大量的人力物力于开发既经济又高效的油气藏新工艺和新技术。小井眼和连续油管技术经过几十年的探索与研究,发展到今天已逐步趋于成熟,并通过近年来的应用,在油气田开发中逐步确立了成熟技术的地位,并显示出巨大的生命力。与目前的常规钻井、完井及开采技术不同,小井眼和连续油管技术具有设备简单、作业周期短、操作方便、投资少、应用范围广等特点,并已逐步扩展到油气勘探开发的各个领域。

我国从 60 年代起就开始了小井眼钻井的研究试验工作,大庆、吉林等油田近年来进行了较大规模的小井眼技术攻关。到目前为止,已钻小井眼井 100 多口,配套的工具、装备和工艺也取得了一定的进展,克拉玛依油田的几口 60 年代钻的  $\varphi 88.89\text{mm}(3\frac{1}{2}\text{in})$  小套管井已正常生产了 30 年。这些实践为以后小井眼技术的应用打下了良好的基础。一些油田也陆续引进了国外连续油管装置,用于油气井排液、测试等作业,但应用连续油管进行压裂酸化作用和钻水平井仍不多见。

《小井眼和连续油管技术的进展和应用》通过对这两个领域内技术发展历程及状况的回顾,对两项技术的研究与应用进行了全面介绍,内容涉及工艺设备、基础实验资料、技术规范、新工艺新技术的发展以及应用实例等,具有很强的实用性和可操作性,从深度和广度上都达到了较高的水平。该书的出版,对于在国内广泛应用这两项技术,提高我国在该领域内的研究与应用技术水平,使该类新工艺技术在油气勘探开发中发挥更大作用有着重大意义。

刘振武

1997.8

## 前 言

现代油藏经营的目标是实现经济高效地开发油气藏,提高采收率。世界范围内,长期以来各石油公司都在为此努力寻求有效的技术方法和手段。近十几年来,随着小井眼和连续油管技术的发展完善,使之成为国外油气田开发中的一项热点技术,在油气田开发中发挥着越来越重要的作用。

小井眼和连续油管技术之所以逐渐发展成为一项实用技术,除受经济和环保两大因素影响外,主要是由于现代科学技术进步及特殊或低渗油气藏的开发,促使该项技术在制造工艺和工艺技术方法等方面取得重大突破,为该项技术的发展与应用提供了良好契机并奠定了技术基础,从而使其工艺简单、操作方便、经济实用的特点得以明显发挥,特别是在特殊条件下具有常规开采技术不可比拟的优点。

本书结合小井眼和连续油管技术的发展历程回顾、发展与展望,对该技术进行了全面介绍,内容涉及设备工具设计、基础实验、工艺方法、技术标准、安全操作规范、生产用途及发展方向等诸多方面。本书作为一种尝试,突出了理论性、实用性和可操作性相结合的特点,目的是希望能给读者提供参考和启迪,促进小井眼和连续油管技术的进一步研究和完善,并推动我国在该技术领域方面的研究与应用工作。

由于作者水平所限,书中难免存在疏漏和错误,敬请广大读者批评指正。

作 者

1997.8

# 目 录

## 上篇 小井眼技术的进展与应用

一、小井眼技术的发展 .....	(3)
二、小井眼钻井技术 .....	(4)
三、小井眼钻井液体系 .....	(30)
四、小井眼钻井设备 .....	(33)
五、小井眼测井与射孔 .....	(34)
六、小井眼井控 .....	(38)
七、小井眼技术的经济评价、发展障碍及前景展望 .....	(45)

## 下篇 连续油管装置在油气田生产中的应用

一、连续油管发展综述 .....	(58)
二、连续油管作业安全操作规范 .....	(63)
三、连续油管制造及使用性能 .....	(70)
四、连续油管冲洗作业 .....	(81)
五、连续油管人工举升 .....	(89)
六、连续油管测井及射孔完井作业 .....	(98)
七、连续油管挤水泥作业 .....	(105)
八、连续油管井下扩孔及除垢作业 .....	(114)
九、连续油管打捞作业 .....	(120)
十、连续油管速度管柱 .....	(128)
十一、连续油管生产管柱的应用 .....	(133)
十二、连续油管增产作业 .....	(142)
十三、连续油管防砂技术 .....	(148)
十四、连续油管钻井技术 .....	(156)
十五、连续油管作业的最新发展 .....	(167)
参考文献 .....	(182)

# 上 篇

## 小井眼技术的进展与应用





## 一、小井眼技术的发展

小井眼钻井技术迄今已有 40 多年的发展历史,最早的小井眼钻井是用于采矿工业,以后才传到石油工业。

从 1942 年到 1959 年期间,Stekoll 石油公司就已完成了井深从 91.44~1524m 不等的小井眼井 1000 多口。这些井采用  $\varphi 73.03\text{mm}(2\frac{7}{8}\text{in})$  套管, $\varphi 25.4\text{mm}(1\text{in})$  油管完井,并安装抽油机和有杆泵采油。

到 1961 年,有 131 家公司在世界范围内已钻成了 3216 口、 $\varphi 161.93\text{mm}(6\frac{3}{8}\text{in})$  或更小的井眼井,平均深度为 1376.1m,其中很大部分井深在 3658m。在这期间,小井眼钻井异常兴旺,相应地开发出小井眼多种完井技术(同时可下三层套管柱)和专门的卡瓦、吊卡、防喷器、封井器和井口等,并能在小井眼内进行如下的施工操作:

- ① 多层管柱完井;
- ② 注或挤水泥固井;
- ③ 抽汲和测试;
- ④ 伽马和井径测井;
- ⑤ 喷砂和射孔;
- ⑥ 增产措施;
- ⑦ 抽油泵和气举设备;
- ⑧ 可回收和跨式封隔器的操作;
- ⑨ 取心。

与常规井相比,小井眼可降低成本 25%~75%,主要有以下几点原因:

- ① 较小的投资费用;
- ② 使用小型钻机及小井场;
- ③ 钻进速度和起下钻速度高;
- ④ 缩小套管等尺寸,减低了管材成本;
- ⑤ 减小钻头、钻井液和水泥等消耗材料的费用。

由于当时无 PDC(聚晶金刚石复合片)钻头或 TSD(热稳定金刚石)钻头,对于直径小于  $\varphi 152.4\text{mm}(6\text{in})$  的井眼钻进,牙轮钻头轴承易损坏,否则小井眼费用节约会更多。

进入 60 年代中后期,小井眼钻井开始失宠,并沉默了近 15 年之久。这主要是由于小井眼直径牙轮钻头寿命短和井控问题两项障碍,以及高油价的刺激,需要大直径井眼开采的错误概念而致。

到了 80 年代中后期,随着钻井技术的进步,以及降低钻井成本压力的增加,小井眼钻井作为一项综合工程,由于能较大幅度地降低钻井成本、改善油气田的经济环境而再受重视,并在全世界掀起热潮。近年来,新的小井眼钻机已经出现,改进的热稳定金刚石钻头、刮刀钻头和聚晶金刚石复合片钻头可以在高转速(600~900r/min)下使用,井控问题已经得到了关注,并已经研制出了新的小井眼测井仪器和随钻测量设备,小井眼钻井技术有了长足进步,应用领域较为广阔。早期的小井眼主要用于浅井,现在也能应用于中深井和深井;不但能钻小井眼直井,而且也能用于小井眼定向钻井和水平井;不仅用于探井,也可用于开发井;不仅用于打新井,也可

用于老井加深和开窗侧钻。因而,小井眼钻井技术被称为 90 年代突破性钻井技术之一。

在勘探领域,由于目前世界范围内探井的成功率只有 13%左右,使得勘探成本高、风险大。特别是在勘探新区、边际油气田和一些地面条件恶劣的地区,如沙漠、沼泽、海滩、丛林、山区等,大量的钻井设备、工具和材料的运输问题更增加了钻井的难度,因而使用成本低廉的小井眼技术对勘探钻井来说,尤其具有吸引力。

关于小井眼的定义,不同的国家,甚至各大油公司都有不同的理解,有的根据环空尺寸,有的是依据井径,有的则根据 90%或更多井段用小于  $\varphi 177.8\text{mm}$ (7in)钻头钻进的井眼来定义。比较普遍的定义是:90%的井身直径小于  $\varphi 177.8\text{mm}$ (7in)或 70%的井身直径小于  $\varphi 127\text{mm}$ (5in)的井为小井眼井。

## 二、小井眼钻井技术

### (一)典型小井眼钻井系统

目前,发展和采用的小井眼钻井系统有三种基本形式,如图 1-1 所示。

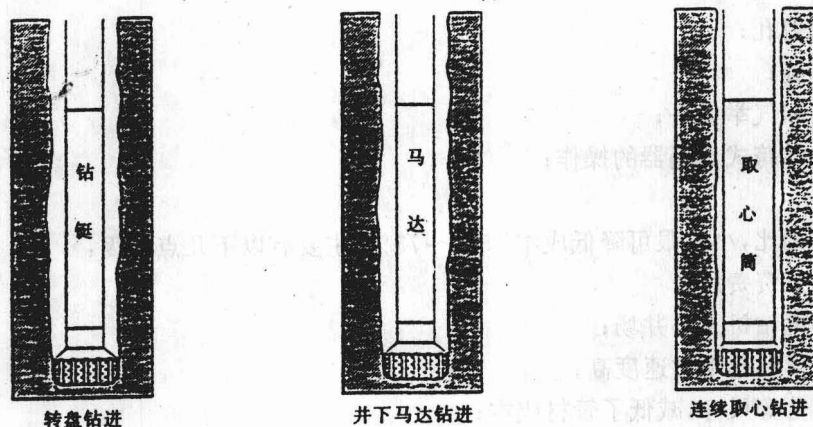


图 1-1 小井眼钻井系统

这些小井眼钻井系统的主要优点是采用小型钻机和高转速钻进,并减少了套管费用,所以,钻井成本仅为现用常规钻井系统的 30%~60%。然而,这几种小井眼钻井系统都有各自的优缺点。

#### 1. 转盘钻进

旋转取心小井眼钻井系统首先是由 Microdrill 公司发展的。该钻井系统采用小直径钻柱,在高转速下旋转金刚石钻头,钻速一般可达到 6.1m/h。可在  $\varphi 50.8\text{mm}$ (2in)井眼内取心并进行钻柱测试,如果该层有生产能力,然后扩眼到  $\varphi 60.33\text{mm}$ ( $2\frac{3}{8}\text{in}$ ),下套管(外径为 54.1mm),进行酸化,并安装有杆泵生产。

该公司采用这种钻井系统钻了 207 口  $\varphi 50.8\text{mm}$ (2in)的小井眼井,井深从 200 到 2438m 不等。这些小井眼井减少了 75%的钻井成本。

Tri-State 油井服务公司采用这种钻井系统来加深 20 口小井眼气井。他们在原

$\varnothing 200.03\text{mm}$  ( $7\frac{7}{8}\text{in}$ ) 井眼固  $\varnothing 114.3\text{mm}$  ( $4\frac{1}{2}\text{in}$ ) 生产套管内, 采用  $\varnothing 85.73\text{mm}$  ( $3\frac{3}{8}\text{in}$ ) 钻头加深钻井, 如图 1-2 所示。

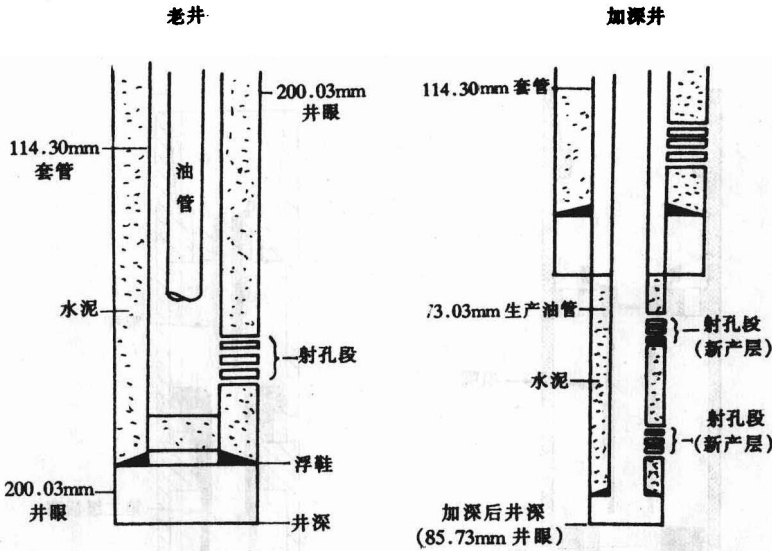


图 1-2 Tri-state 公司小井眼加深钻井技术

这些小井眼是采用空气钻井加深, 并进行测井, 然后下  $\varnothing 73.03\text{mm}$  ( $2\frac{7}{8}\text{in}$ ) 生产油管当套管, 并固井到井口。这些小井眼加深钻井最终在费用方面节约 55%~60%。

## 2. 井下马达钻井系统

小井眼国际钻井公司等是最早采用小型井下马达 [ $38.1\text{mm}$  ( $1\frac{1}{2}\text{in}$ )~ $85.73\text{mm}$  ( $3\frac{3}{8}\text{in}$ )] 来快速钻小井眼井 [ $\varnothing 50.8\text{mm}$  ( $2\text{in}$ )~ $\varnothing 114.3\text{mm}$  ( $4\frac{1}{2}\text{in}$ )]。这些井下马达一般是以转速 500~1000r/min 钻进的, 且在许多地层钻进比转盘钻进快 3~5 倍。图 1-3 为典型的马达钻井系统井下钻具组合示意图。

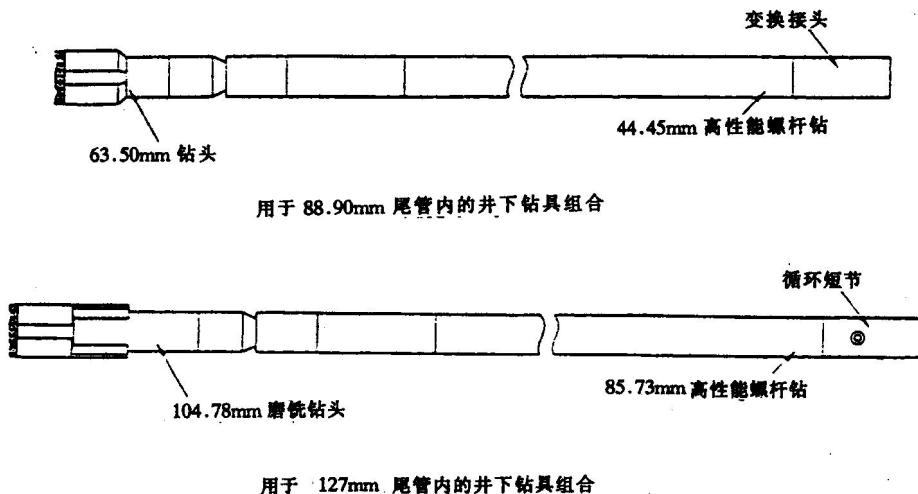


图 1-3 小井眼井下钻具组合

在采用井下马达钻井系统代替转盘钻井系统钻小井眼时,为降低钻柱的纵向振动和减少井下钻具组合中所需的钻铤的数量,以及提高水力作用,准确控制钻压,近年来开发出了液力加压器。图 1-4 为单级和双级液力加压器示意图,表 1-1 为液力加压器技术规范。

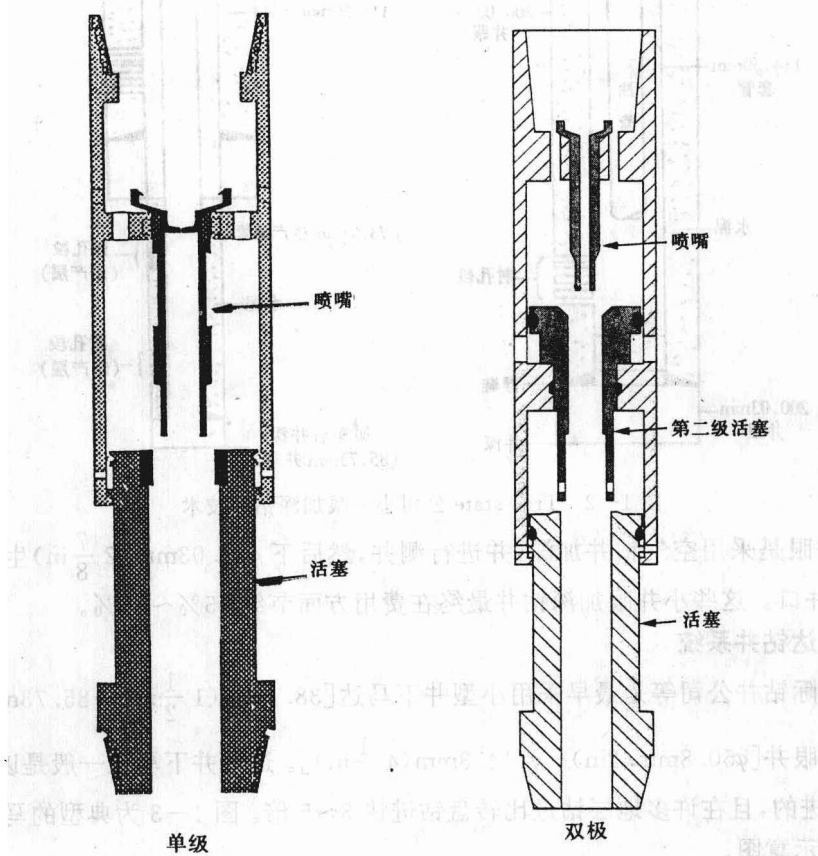


图 1-4 液力加压器示意图

表 1-1 小井眼液力加压器技术规范

尺寸 [mm(in)]	类型	排量 (L/min)	转速 (r/min)	压力降 (MPa)	扭矩 (kN·m)
42.86mm(1 $\frac{11}{16}$ )	Mach2	45~190	150~630	3.5	105
44.45mm(1 $\frac{3}{4}$ )	Mach2	75~190	830~2100	4.0	410
60.33mm(2 $\frac{3}{8}$ )	Mach1	100~400	200~500	4.8	400
95.25mm(3 $\frac{3}{4}$ )	Mach1	250~700	120~340	6.5	1200
95.25mm(3 $\frac{3}{4}$ )	Mach1P	400~800	156~310	6.8	2040
95.25mm(3 $\frac{3}{4}$ )	Mach4	300~700	620~1440	7.3	462

除下入 MWD 仪器,液力加压器是接在 MWD 工具之上,以便 MWD 工具的传感器紧靠钻头外,该液力加压器应尽可能靠近钻头安装。

液力加压器类似一个活塞,当钻井液循环通过该工具时,它可以保持一个加压力量,其原理如图 1-5 所示。钻压与通过液力加压器的压力降成正比,并能通过改变流量、钻头的总流量(动)面积和使用的井下马达系统的类型来调节。当液力加压器中的活塞到达每级时,司钻可通过观察立管压力就能检测该液力加压器的工作状况。当钻柱下放达井底时,立管压力就上升,表明液力加压器内部压降增加,钻柱进一步下放,直到该压降等于钻压所需的循环压降为止。如进一步下放钻柱,会导致液力加压器处于完全闭合位置,这时液力加压器失去作用。为了避免出现这种情况,在液力加压器内部装有一个闭合位置定位器,当液力加压器中的活塞抵达该位置时,会产生急剧的压力下降,这时,司钻可上提钻柱,使液力加压器处于准确的工作位置。

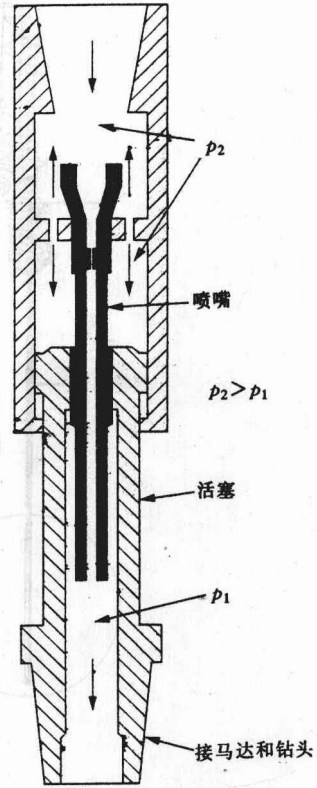


图 1-5 液力加压器工作原理示意图

双级液力加压器除进入第二级时产生辅加的钻压外,其工作原理同单级液力加压器完全相同。

由于减少了所需钻铤的数量,因而使用液力加压器时的钻压不是钻柱压力的函数,同时钻铤的数量和重量的减少提高了系统的水力作用和降低钻井液当量循环密度。这样,在高压环境和易漏失的地区钻井,保持一个低的当量循环密度是尤为重要的。

上述小井眼井下马达钻井系统也常与连续油管钻机配合使用,以提高起下钻速度,并维持井下马达起下井眼时的连续循环。图 1-6 为连续油管钻井示意图。有关详细内容请参见下篇介绍。

使用这种井下马达钻井系统在许多地区钻井成本可降低 50%~75%。

### 3. 连续取心钻井系统

Amoco 公司是最早采用薄壁钻杆和电缆可回收岩心筒的小井眼连续取心钻井系统。图 1-7 为 Amoco 公司小井眼取心钻井示意图。

该矿业液力钻机采用顶部驱动来旋转外平钻杆,转速可达到 2250r/min,钻压为 13.34~44.48kN。一般采用 400~800r/min 的转速,环空间隙小于 12.7mm 以稳定小直径、薄壁钻杆。

采用电缆可回收岩心筒和  $\phi 111.13\text{mm}$  ( $4 \frac{3}{8}\text{in}$ ) 的取心钻头(图 1-8)得到的连续岩心可达 12.19m 长。在打开发井中,平均取心率为 98.3%。

## (二)小井眼钻井与完井技术

从 1942 年到 1959 年,Stekoll 石油公司就已完成了井深从 91.44~1524m 不等的小井眼井 1000 多口。这些井是采用  $\phi 73.03\text{mm}$  ( $2 \frac{7}{8}\text{in}$ ) 套管、 $\phi 25.4\text{mm}$  (1in) 油管完井,安装抽油机和井下有杆泵生产(如图 1-9 所示),并能在  $\phi 73.03\text{mm}$  ( $2 \frac{7}{8}\text{in}$ ) 套管内进行如下作业。

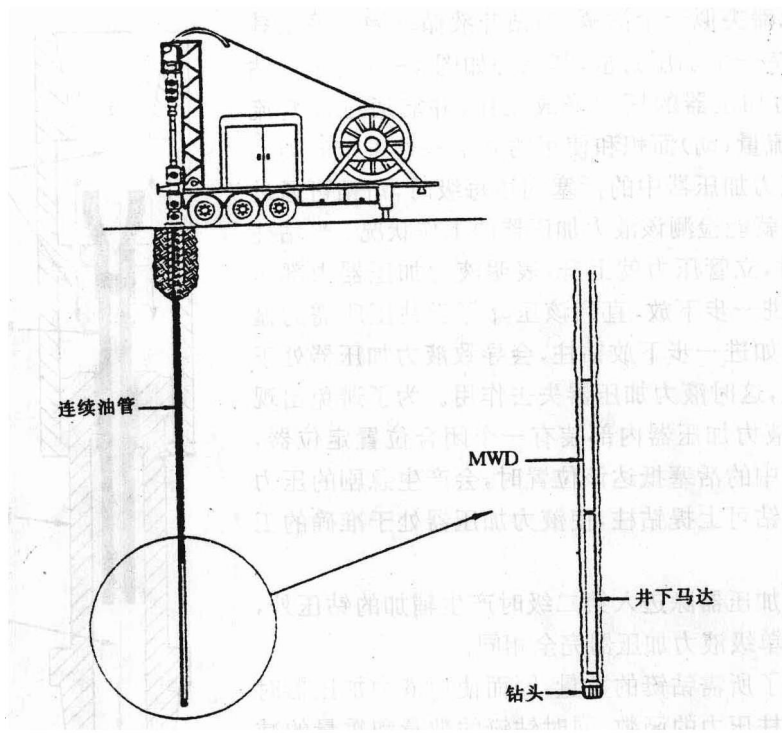


图 1-6 连续油管钻井示意图

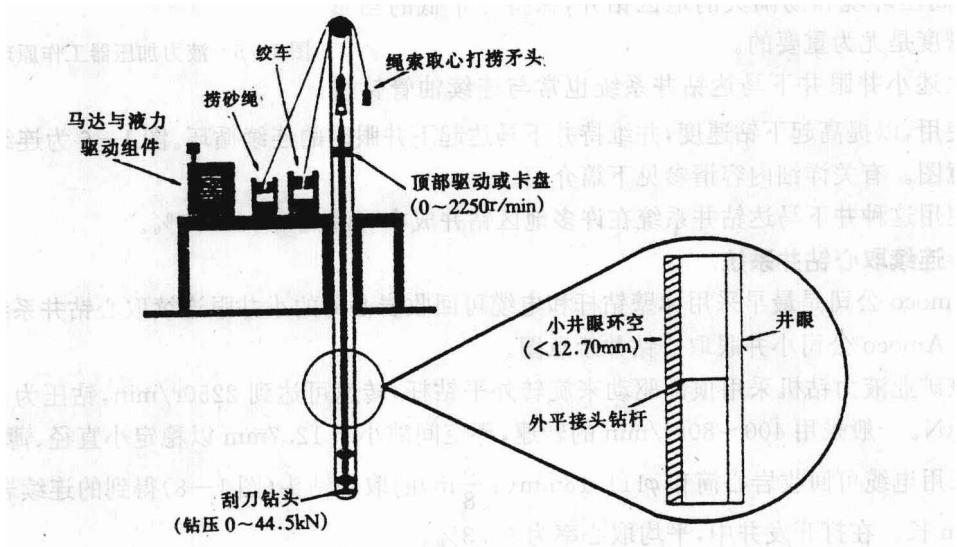


图 1-7 Amoco 公司矿业取心钻机示意图

- ①温度测试；
- ②射孔(也可喷砂)；
- ③伽马测井；
- ④示踪测试；
- ⑤可下钻头和钻进工具；
- ⑥下打捞工具；

- ⑦下捞砂筒和泵；
- ⑧下封隔器和水力锚。

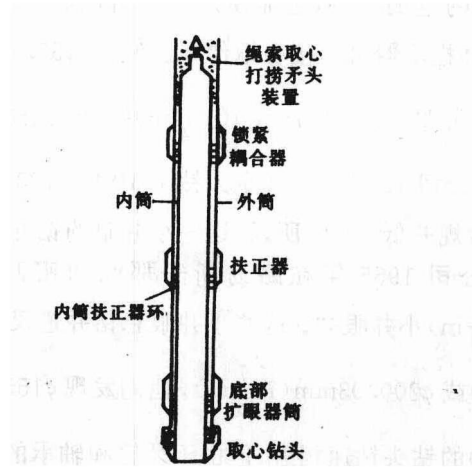


图 1-8 Amoco 公司小井眼取心装置

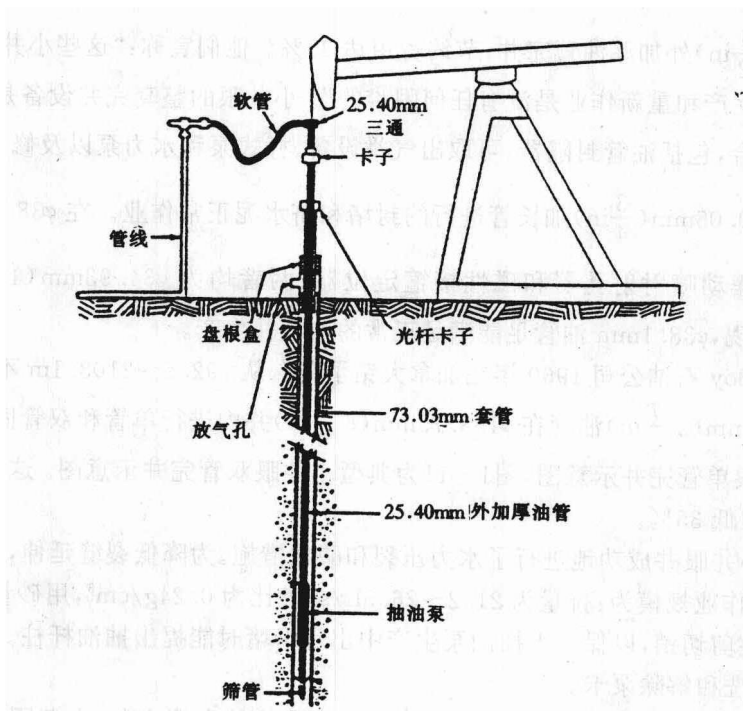


图 1-9 Stekoll 石油公司小井眼完井示意图

Tapco 钻井公司 1955 年建造了一台小井眼钻机，采用  $\varphi 31.75\text{mm}$  ( $1\frac{1}{4}\text{in}$ ) 的钻杆钻  $\varphi 73.03\text{mm}$  ( $2\frac{7}{8}\text{in}$ ) 井眼，井深为 1828.8m。由于刮刀钻头高扭矩的缘故，小直径钻杆易出现扭裂(断)问题。钻硬地层时，旋转速度为 50r/min，对于软地层，可达 150r/min。也使用了特制的带碳化钨的三片锥形刮刀钻头和  $\varphi 69.85\text{mm}$  ( $2\frac{3}{4}\text{in}$ ) 岩心筒取  $\varphi 41.28\text{mm}$  ( $1\frac{5}{8}\text{in}$ ) 的岩心。

由于在钻柱和井眼之间的环空间隙较小,认为小直径钻柱能更好稳定。同时,该钻机可使用小到  $\varnothing 25.4\text{mm}$  (1in) 的电测工具,也能使用电缆可回收岩心筒进行常规尺寸的岩心取心。 $\varnothing 19.05\text{mm}$  ( $\frac{3}{4}\text{in}$ ) 的漂移指示器可连接在钢丝绳上使用, $\varnothing 57.15\text{mm}$  ( $2\frac{1}{4}\text{in}$ ) 的地层抽汲器也可用于抽汲地层流体进入井眼,在  $\varnothing 31.75\text{mm}$  ( $1\frac{1}{4}\text{in}$ ) 钻杆上也成功地使用了松扣炸药包。

Socony—Vacuum 公司 1955 年在加拿大钻了 10 口  $\varnothing 120.65\text{mm}$  ( $4\frac{3}{4}\text{in}$ ) 的小眼井。然而,由于小井眼的钻速比常规井低 50%,所以,这些小井眼的钻井成本比  $\varnothing 228.6\text{mm}$  (9in) 井眼大。

Wolfe 和 Majee 公司 1955 年在路易斯安那州和密西西比州钻了 34 口  $\varnothing 120.65\sim\varnothing 155.58\text{mm}$  ( $4\frac{3}{4}\sim 6\frac{1}{8}\text{in}$ ) 小井眼井。这些小井眼总钻井进尺为 65532m,其中 15850m 为扩眼到  $\varnothing 155.58\text{mm}$  ( $6\frac{1}{8}\text{in}$ ) 或  $\varnothing 200.03\text{mm}$  ( $7\frac{7}{8}\text{in}$ )。他们发现  $\varnothing 155.58\text{mm}$  ( $6\frac{1}{8}\text{in}$ ) 的牙轮钻头钻进与  $\varnothing 120.65\text{mm}$  ( $4\frac{3}{4}\text{in}$ ) 的钻头钻速相近,但由于牙轮和轴承的设计和品质改进,最后钻头寿命延长两倍。这些小井眼的钻井成本比常规井少 15%~20%。

Humble 炼油公司 1956 年在  $\varnothing 142.88\text{mm}$  ( $5\frac{5}{8}\text{in}$ ) 的小井眼内,用  $\varnothing 114.3\text{mm}$  ( $4\frac{1}{2}\text{in}$ ) 套管和  $\varnothing 38.1\text{mm}$  ( $1\frac{1}{2}\text{in}$ ) 外加厚油管完井,节约费用达 35%。他们宣称:“这些小井眼进行钻进、打捞、测井、完井、生产和重新作业是没有任何困难的”。小井眼的整套完井设备是采用  $\varnothing 38.1\text{mm}$  ( $1\frac{1}{2}\text{in}$ ) 油管组合,包括油管封隔器、可取出气举设备、杆式泵和水力泵以及修井工具。电缆修井,包括采用  $\varnothing 19.05\text{mm}$  ( $\frac{3}{4}\text{in}$ ) 加长管进行的封堵和挤水泥正常作业。在  $\varnothing 38.1\text{mm}$  ( $1\frac{1}{2}\text{in}$ ) 油管上也可配装摆动喷射射孔器和磁性接箍定位器(两者均为  $\varnothing 34.93\text{mm}$  ( $1\frac{3}{8}\text{in}$ ) 的直径)。Humble 公司发现, $\varnothing 38.1\text{mm}$  油管足能满足正常的油气井生产。

Hudson's Boy 石油公司 1960 年在加拿大钻了井深从 792.5~2103.1m 不等的 36 口小井眼井,用  $\varnothing 73.03\text{mm}$  ( $2\frac{7}{8}\text{in}$ ) 油管在  $\varnothing 158.75\text{mm}$  ( $6\frac{1}{4}\text{in}$ ) 井内进行单管和双管固井完井。图 1—10 为典型小井眼单管完井示意图,图 1—11 为典型小井眼双管完井示意图。这些小井眼的费用比常规完井费用低 35%。

其中部分小井眼并成功地进行了水力压裂和酸化措施。为降低裂缝延伸,在压裂液内加入降滤失剂。平均作业规模为:排量为 21.2~26.5L/s,砂比为 0.24g/cm<sup>3</sup>,用砂量为 22680kg。在抽油泵上部安装剪切销,以保证当抽油泵生产中出现卡堵时能提出抽油杆柱。小直径管柱可用于循环井眼,清洗和解除泵卡。

Mclaughlin 1960 年宣称:采用小井眼钻井并用油管代替套管完井,在美国所钻成的井中占有很大的比重(约 2/3 以上)。

到 1961 年,小井眼已广泛地使用到 3658m 井深。Humble 炼油公司是小井眼钻井的先驱之一,他们在一个地区采用小井眼钻井已达到 70%。这时,由于小井眼钻井的蓬勃发展,《世界石油》杂志在 1961 年期间组织发表了关于小井眼从钻井到修井各个方面的 9 个系列专题研究文章,总结、研究和分析了当时小井眼技术的现状、问题或障碍,以及下一步发展的前景,起到了积极的推动作用。

图 1—12 表明单管和双管小井眼完井示意图,其中双管是采用同心管柱完井的。在这两种



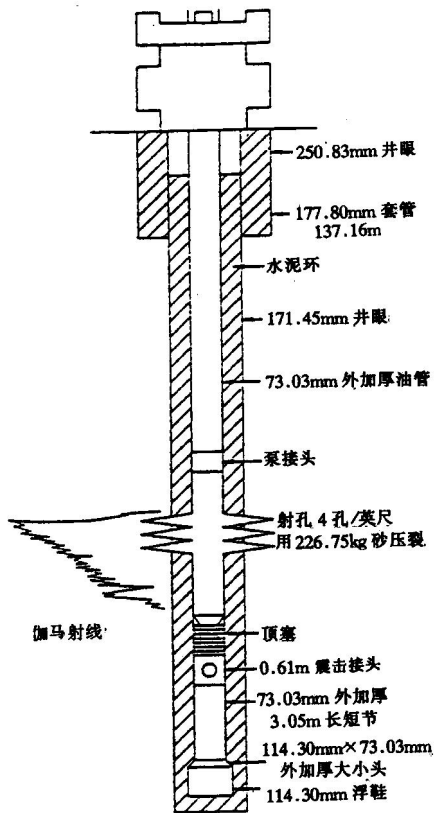


图 1-10 Hudson's Bay 公司小井眼单管完井示意图

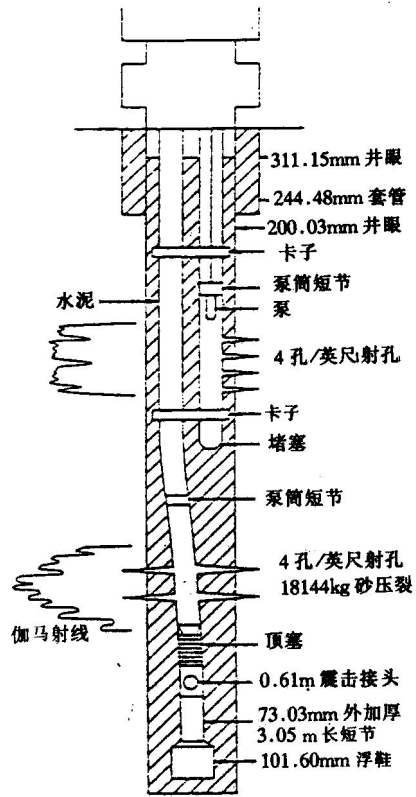


图 1-11 Hudson's Bay 公司小井眼双管完井示意图

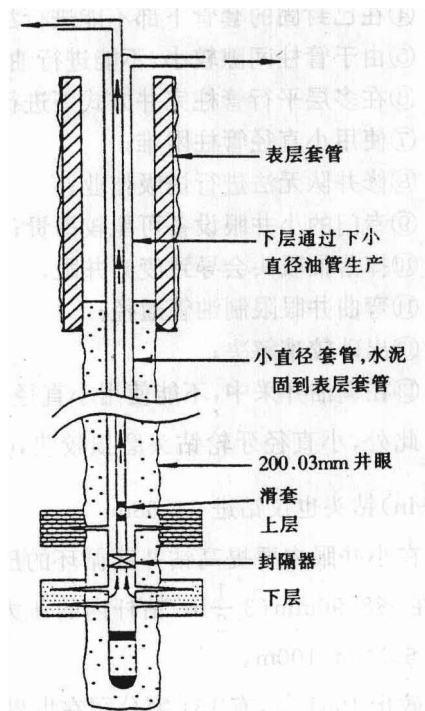
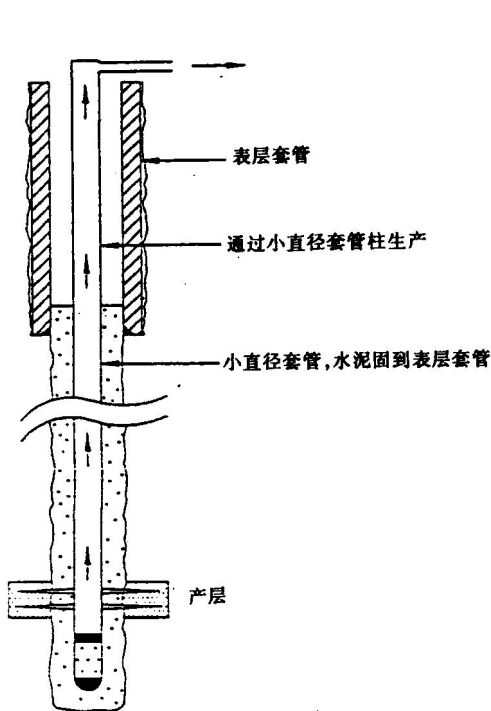


图 1-12 小井眼单管和双管完井示意图