

□ 董贤勇 编著

# 连续油管基础理论 及应用技术

LIANXU YOUGUAN JICHU LILUN  
JI YINGYONG JISHU



中国石油大学出版社

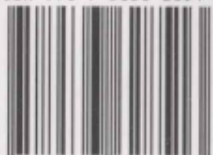
责任编辑：袁超红 秦晓霞

封面设计：赵志勇

# 连续油管基础理论 及应用技术

LIANXU YOUGUAN JICHU LILUN  
JI YINGYONG JISHU

ISBN 978-7-5636-2851-3



9 787563 628513 >

定价 38.00元

LIANXU YOUGUAN JICHU LILUN JI YINGYONG JISHU

# 连续油管基础理论 及应用技术

董贤勇 编著

中国石油大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

连续油管基础理论及应用技术/董贤勇编著. —东营:  
中国石油大学出版社, 2009. 5  
ISBN 978-7-5636-2851-3

I. 连… II. 董… III. 油管—研究 IV. TE931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 081716 号

书 名: 连续油管基础理论及应用技术  
作 者: 董贤勇

---

责任编辑: 袁超红 秦晓霞  
封面设计: 赵志勇

---

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东东营, 邮编 257061)  
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>  
电子信箱: [shiyoujiaoyu@126.com](mailto:shiyoujiaoyu@126.com)  
印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司  
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)  
开 本: 180×235 印张: 13.5 字数: 268 千字  
版 次: 2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷  
定 价: 38.00 元

## P R E F A C E

# 【 前 言 】

现代连续油管应用技术出现于20世纪60年代。20世纪60年代至70年代属于连续油管技术的探索阶段,在其发展过程中遇到了大量的难题,由于连续油管本身的强度及技术不完善,作业故障频繁发生;80年代是连续油管技术发生重大转折的关键时期,随着金属材料技术的进步和机械制造工艺的重大突破,连续油管技术迅速发展并陆续投入油田应用,应用范围及领域也不断扩大;90年代是连续油管技术成熟发展的阶段,工艺技术的不断进步与完善、技术理念的提升与转变、应用于连续油管的井下服务工具的不断研发和配套等有力地促进了该技术向更广、更深的领域拓展。现在连续油管技术已成熟应用于水平井钻井、侧钻井、完井、试油、开采、修井等各领域,在石油工程技术领域发挥着越来越重要的、不可替代的独特作用。

进入新世纪以来,连续油管在石油工业领域的成功应用引起了国内相关人士的高度关注,我国迅速启动了连续油管制造及配套装置与工具的研发、应用工作。连续油管技术的研发被列入国家“863”计划,在一系列技术领域取得了突破,申请了多项专利,填补了国内空白;国产装备的现场应用也逐渐趋于成熟。相信在不远的将来,连续油管应用技术和装备在国内各油田会有更广阔的应用和发展,并将为我国石油工业的技术进步发挥巨大的作用。

本书对连续油管基础理论和连续油管应用技术两大部分进行介绍。全书共5章,包括连续油管基础知识、连续油管应用基本理论、连续油管地面设备及井下工具、连续油管装置在油气田开发生产中的应用、连续油管钻井技术等内容。本书对从事陆上和海上油气田开发、连续油管钻井工作的管理和技术人员具有较好的参考价值。

作 者

2009年3月

## CONTENTS

# 【目 录】

### 第1部分 连续油管基础理论

第1章 连续油管基础知识	3
1.1 连续油管技术的设备组成及优越性	3
1.1.1 连续油管作业机结构简介	3
1.1.2 连续油管技术应用简介	6
1.1.3 连续油管技术的优越性	8
1.2 连续油管技术与装备的发展现状	9
1.2.1 国外连续油管技术的发展现状	9
1.2.2 国内连续油管技术的发展概况	15
1.2.3 连续油管材质的发展现状	18
1.2.4 连续油管制造技术的发展现状	19
1.2.5 连续油管技术的发展趋势和前沿技术	20
第2章 连续油管应用基本理论	22
2.1 连续油管工作特性	23
2.1.1 连续油管弯曲分析	23
2.1.2 连续油管弯曲计算	26
2.1.3 连续油管抗内压强度分析	34
2.1.4 连续油管挤毁压力分析	37
2.1.5 连续油管直径增长分析	40
2.1.6 连续油管伸长(缩短)分析及卡点计算	41
2.2 连续油管失效分析及疲劳寿命计算	45
2.2.1 连续油管失效分析	45
2.2.2 连续油管疲劳寿命计算	48
2.2.3 提高连续油管使用寿命的方法	52
2.3 连续油管作业流体力学特性分析	55
2.3.1 连续油管作业流体力学特点	55

2.3.2	连续油管作业压力及水功率传递过程	56
2.3.3	连续油管作业钻井液流型	57
2.3.4	连续油管作业液体流速	57
2.3.5	循环系统压力损耗	58

## 第2部分 连续油管应用技术

第3章	连续油管地面设备及井下工具	71
3.1	BDK 连续油管地面设备及井下工具	71
3.1.1	BDK 连续油管地面设备	71
3.1.2	BDK 连续油管常用井下工具	79
3.2	Halliburton 公司连续油管地面设备及井下工具	112
3.2.1	连接器	112
3.2.2	基本连续油管工具	114
3.2.3	流动控制工具	116
3.2.4	打捞工具	118
3.2.5	洗井工具	120
3.2.6	井下工具定位器	121
第4章	连续油管装置在油气田开发生产中的应用	123
4.1	连续油管冲洗作业	123
4.1.1	洗井液体系	124
4.1.2	冲洗液的筛选	125
4.1.3	冲砂方式优选	126
4.1.4	液体及固体的运动	127
4.1.5	同心连续油管用于水平井清砂	128
4.2	连续油管打水泥塞挤水泥作业	130
4.2.1	油田挤水泥作业类型	130
4.2.2	作业方案设计	130
4.2.3	挤水泥作业程序	132
4.2.4	连续油管挤水泥作业后水泥的冲洗	134
4.2.5	连续油管挤水泥作业后处理措施	134
4.3	连续油套管下扩眼及防垢作业	134
4.3.1	井下扩孔系统	134
4.3.2	配套工具	136

4.3.3	冲洗液选择 .....	137
4.3.4	井下扩孔作业 .....	138
4.4	连续油管打捞作业 .....	139
4.4.1	连续油管打捞的优缺点 .....	140
4.4.2	连续油管打捞作业设计 .....	141
4.4.3	打捞作业质量控制 .....	142
4.5	连续油管增产作业 .....	144
4.5.1	地层伤害评价 .....	144
4.5.2	伤害机理 .....	144
4.5.3	连续油管增产措施 .....	145
4.5.4	酸化作业设计 .....	146
4.5.5	连续油管酸化工艺在伊朗 Ahwaz 油田的应用 .....	149
4.6	连续油管防砂技术 .....	151
4.6.1	防砂技术类型及适用条件 .....	152
4.6.2	机械法砾石充填 .....	153
4.6.3	化学胶结地层 .....	156
4.6.4	树脂涂敷砂浆充填 .....	157
4.7	连续油管人工举升 .....	160
4.7.1	人工举升设计 .....	161
4.7.2	举升技术 .....	163
4.8	连续油管测井及射孔完井作业 .....	168
4.8.1	发展简史 .....	169
4.8.2	连续油管测井的优点 .....	169
4.8.3	操作规范 .....	170
4.8.4	测井方案设计 .....	171
4.8.5	测井工具的选择 .....	172
4.9	连续油管速度管柱 .....	173
4.9.1	速度管柱设计 .....	174
4.9.2	速度管柱安装 .....	175
4.10	连续油管气举 .....	178
4.10.1	气举选井条件 .....	178
4.10.2	气举工具及设备 .....	179
4.11	连续油管修井作业 .....	182
4.11.1	作业设计 .....	184



4.11.2	前期设计及测试 .....	185
4.11.3	作业程序 .....	186
<b>第5章</b>	<b>连续油管钻井技术</b> .....	<b>189</b>
5.1	连续油管钻井技术的发展及应用 .....	189
5.1.1	发展历程 .....	189
5.1.2	连续油管钻井的优缺点 .....	190
5.1.3	连续油管钻井的特点 .....	191
5.1.4	连续油管钻井的应用范围 .....	191
5.1.5	连续油管钻井的应用条件 .....	192
5.1.6	连续油管钻井的评价与未来技术发展 .....	192
5.2	连续油管钻井装置 .....	193
5.2.1	地面设备 .....	193
5.2.2	井下钻具组合及辅助工具 .....	195
5.2.3	连续油管钻机供应商 .....	197
5.2.4	VIPER 连续油管钻井系统 .....	199
5.2.5	电动连续油管钻井系统 .....	200
5.2.6	ARCO 公司在普鲁德霍湾的典型连续油管井下钻具组合 .....	201
5.3	连续油管钻井实例 .....	202
<b>参考文献</b>	.....	<b>205</b>

---

# 第 1 部分 连续油管基础理论

第 1 部分 连续油管基础理论



## 连续油管基础知识

连续油管(coiled tubing, CT)也称为挠性油管、蛇形管或盘管<sup>[1]</sup>,是由若干段长度在百米以上的柔性管通过对焊或斜焊工艺焊接而成的无接头连续管<sup>[4]</sup>。连续油管是相对于用螺纹连接下井的常规油管而言的,长度一般可达几百米至几千米。它可以卷绕在卷筒上,拉直后直接下井。连续油管作业最初的概念是在油气井的生产油管内下入小直径的连续油管,完成特定的修井作业(如洗井、打捞等)。连续油管及其操纵设备称为盘管作业机或连续油管作业机(coiled tubing unit,CTU)。

### 1.1 连续油管技术的设备组成及优越性

#### 1.1.1 连续油管作业机结构简介

连续油管作业机是移动式液压驱动连续油管起下运输设备。它的基本功能是在连续油管作业时向生产油管或套管下入和起出连续油管,并把起出的连续油管卷绕在卷筒上以便运移。连续油管作业机基本组成如图 1-1 所示,包括卷筒、牵引起下设备、防喷器组、动力机组和控制台等主要设备。

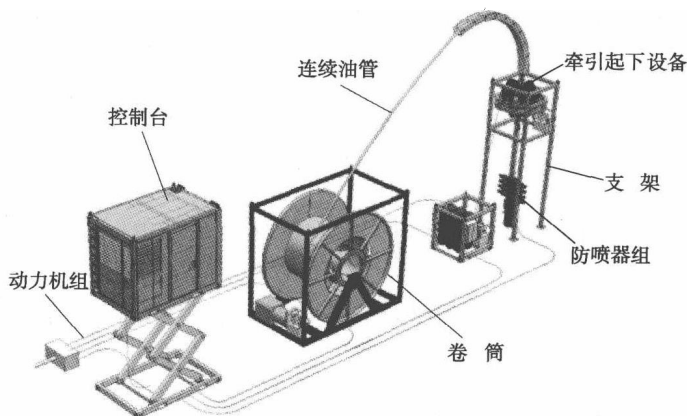


图 1-1 连续油管作业机基本组成示意图

1) 牵引起下设备

牵引起下设备的基本功能有：

- ① 克服向生产油管或套管下入或起出连续油管过程中,其与井壁的摩擦力和井筒中流体的浮力,将连续油管下入或起出井筒；
- ② 在不同井况下控制连续油管的下井速度；
- ③ 悬持油管并加快连续油管从井内起出速度。

牵引起下设备由油管导引架、链条牵引总成和填料盒组成。链条牵引总成(图 1-2)是液压驱动反向旋转的双链条夹持牵引式油管起下装置。在牵引链条的外侧嵌装油管卡子(管卡),管卡的轮廓与连续油管周边线一致。一系列的液压压辊把管卡压紧在油管上,以产生必需的摩擦牵引力。两条牵引链条的驱动链轮由两台液压马达传动。两台马达旋转方向相反,链条转动并牵引油管起下。

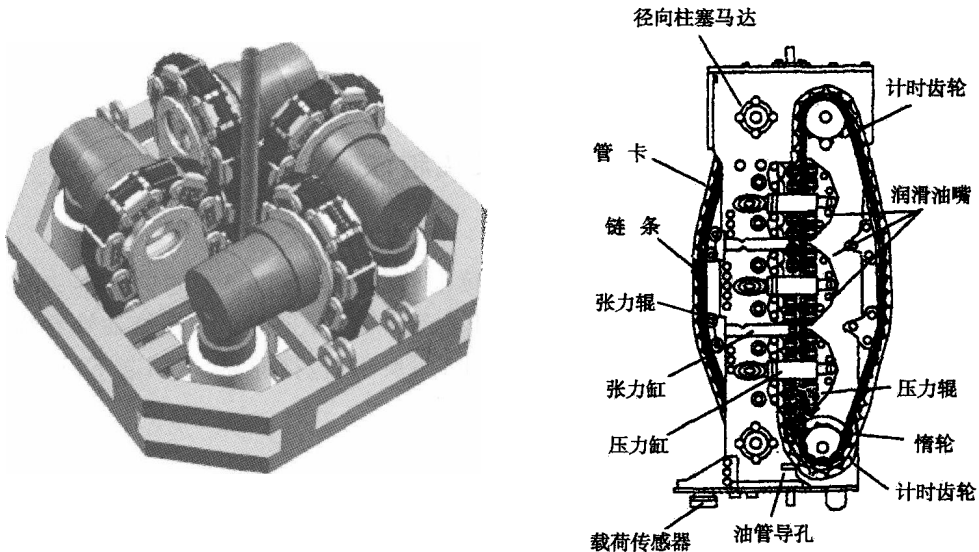


图 1-2 链条牵引总成

牵引起下设备的顶部装有油管导引架。油管导引架是由一系列滚子组成的弧形架,架的弯曲半径约等于卷筒直径。它的功能是把连续油管导入和导出牵引链条。在起下装置底部,沿连续油管的中心线装有液压操作的填料盒。填料盒(或称橡胶刮泥器)内有拼合式弹性元件,当油管通过时压紧油管可把连续油管的外环空与地面隔离。

载荷传感器装在链条牵引总成底部,信号传到控制箱,指示油管重量和提升力;双作用传感器可以计量轴向推力。卷筒上前方装有排管器,以保持油管有序地卷绕,并有计数器用于计量连续油管下入和起出的长度。

## 2) 卷筒

卷筒轴是空心的,中间由高压堵头隔开。空心轴的一端装高压气液旋转接头,与液体或气体泵送装置的出口连接。连续油管的首端经空心轴与旋转接头相通,可泵入液体或气体。这样,在连续油管整个作业期间就可连续泵送和循环。空心轴的另一端装旋转电接头。电接头与轴中间的高压堵头由多芯电缆连接。连续油管用于电缆作业时,电缆穿入连续油管内部,与油管一起下入井内。电缆的首端与高压堵头相接,以传输电信号。

卷筒的转动由液压马达控制。液压马达的作用是在连续油管起下时在油管上保持一定的拉力,使油管紧绕在卷筒上。当连续油管在卷筒和链条牵引总成间断裂时,可用液压马达或块式刹车制动卷筒。

## 3) 防喷器组

防喷器组(图 1-3)是连续油管作业机的重要组成部分。防喷器组总成有四套防喷器心子,一般最小工作压力为 68.947 MPa。四套心子由上到下排列,依次为:

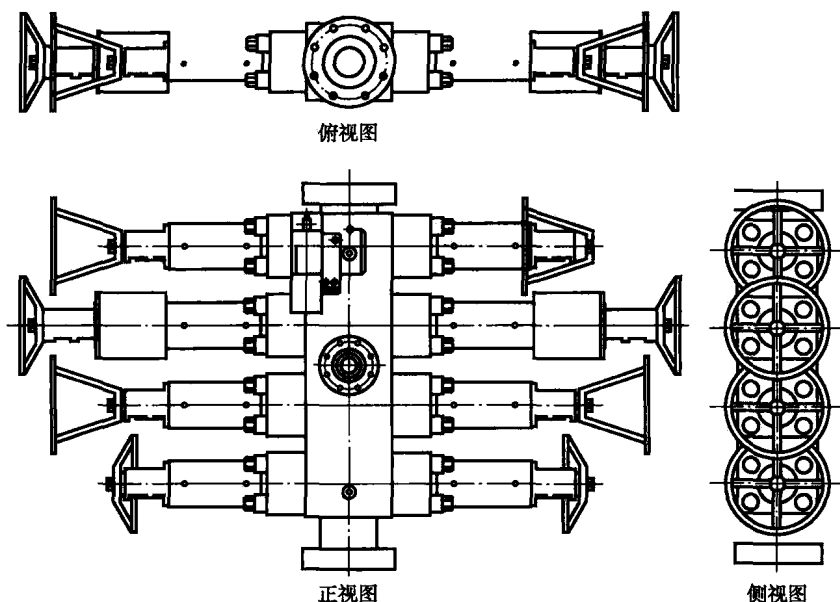


图 1-3 防喷器组

① 全封心子,用于井失控时在地面封井。心子的弹性密封元件彼此压紧,实现全封密封(全封)。全封时油管或其他物件不能穿过心座,全封只是封住来自井下的压力。

② 油管剪断心子,用于防喷器以下的油管卡死时或有其他需要时。机械截断时,剪切板围拢油管并加压,油管受剪切力断开。

③ 卡瓦心子,为单向齿,用于支撑管重。另外,当卡瓦压紧管子并将其固定时,可防

止井内高压将油管从井内冲出。

④ 不压井作业心子。它的密封弹性元件的尺寸与作业油管的外径相配。当密封元件紧靠油管时,可将油管外环空与地面隔离。

卡瓦心子上面的防喷器有法兰出口,用于井控时压井。防喷器组的下面装有排液三通,用于向地面返出循环液。用排液三通返出循环液可避免排出液所含杂质影响防喷器心子的效能。

由上述介绍可以看出,防喷器组是连续油管完成各种修井及其他作业必不可少的安全设备。

### 1.1.2 连续油管技术应用简介<sup>[11,14,17]</sup>

连续油管技术主要用于石油工业,是石油界探索和研究了 40 多年的产品。自 20 世纪 80 年代以来,基于生产的需要以及新技术的应用,连续油管技术作业领域不断扩大,除清蜡、酸化、压井、冲洗砂堵、负压射孔、试井、大斜度井电测、打捞以及作为生产油管等常规应用外,它还广泛应用于钻井、完井、采油、修井等作业的各个领域。连续油管各种工艺的应用情况如图 1-4 所示。该技术解决了许多常规作业技术难以解决的问题,应用效果明显。

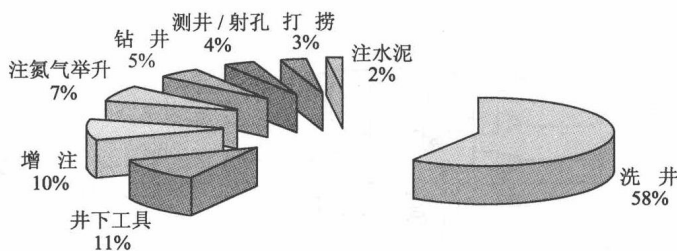


图 1-4 连续油管各种工艺的应用情况

① 冲砂洗井。冲砂洗井是将残存在生产油管或套管中的砂粒、钻井液和其他岩屑冲洗出来。用水泥车或其他液泵将清水、油或其他液体通过连续油管泵入井内进行冲洗。

② 清蜡。连续油管作业机与热油熔蜡车配套使用,循环热水、油或清蜡剂以溶解蜡垢物质。这种清蜡方法可以清除常规清蜡方法无法清除的蜡堵,既简便又经济,还可大大延长清蜡周期。

③ 酸化。一般低渗透油藏油井投产时必须对油井中封隔器以下或射孔井段进行酸化处理,可采用连续油管对地层注酸并调节所需的酸化压力。

④ 压井。通过连续油管循环注清水、盐水或压井液是一种已被证实了的、可行的压井方法。

⑤ 气举求产。连续油管作业机注液氮、泡沫工艺技术开辟了深井完井、重新完井及

修井的新领域,特别是对4 600 m以上的深井,可选择一种或几种液氮装置与连续油管装置并用,进行常规修井和井下强化作业。

⑥ 钻塞。当通过连续油管循环液体不能冲洗出致密的砂层、水泥、水锈以及各种固体填充物时,可用连续油管带动井下小型动力钻具来钻开堵塞物,这是一种很有效的方法。

⑦ 挤水泥封堵。采用连续油管可进行的挤水泥作业类型包括挤注环形空间、补注水泥(水锥和气锥)、封堵漏失层、报废井的封堵作业。

⑧ 斜井和水平井测井。连续油管具有较强的刚性,可将测井仪器下入到任何井段进行测井作业,并可循环流体以提高测井质量,同时还可消除电缆的冲击问题。采用连续油管已可进行中子测井、密度测井、伽马射线测井、声波测井、井径测井等测井作业。

⑨ 起下和坐封膨胀式封隔器。在完井、二次完井、修井、增产增注、测试和井下封堵等作业中,用连续油管起下和坐封膨胀式封隔器既适用又方便,并且在坐封和解封时不需要旋转运动。

⑩ 完井。随着连续油管向大直径方向发展,特别是外径为60.3 mm的连续油管出现以后,国外一些公司开始采用连续油管替代常规生产油管来进行完井作业。连续油管特别适用于水平井的完井及射孔作业。

⑪ 连续油管用做清洗管线。油气管线会因积蜡或水垢而堵塞,目前的解决方法是挖开堵塞段修复或更换,耗时费钱。国外已有采用连续油管作业机清洗含蜡输油管线的成功应用实例。

除了上述应用外,连续油管作业技术还有以下应用<sup>[67-69]</sup>:

- ⑫ 井底电视摄像。利用连续油管将摄像机运送到井底,进行井底摄像。
- ⑬ 小井眼井钻井。采用较大直径的连续油管可进行小井眼井钻井及取心。
- ⑭ 老井第二次钻井或加深钻井。
- ⑮ 套管开窗侧钻。连续油管可用于对现有井筒进行开窗侧钻。
- ⑯ 欠平衡钻井以及钻水平井和大位移井。
- ⑰ 输送管线。连续油管可用做集输管线。

连续油管作业技术现已成为世界油气工业技术研究与应用中的一个热点。世界上现有连续油管作业机的数量已达600多台,连续油管的年耗量近 $500 \times 10^4$  m<sup>[6]</sup>,连续油管的<sub>最大</sub>作业井深已超过9 000 m。国外连续油管作业技术已能对陆地和海上油气井进行20多种作业。利用连续油管修井代表着当今世界修井技术的发展方向,并将作为一种常规、高效的作业技术在世界范围内普及。近年来,连续油管钻井技术也已成为世界钻井技术的热点。目前连续油管的<sub>最大</sub>钻井深度已超过6 900 m。连续油管的外径也由原来的12.7 mm发展到现在的12.7~114.3 mm等十几种规格。可以说,世界石油工业正在经历一次连续油管作业技术的变革。



国外连续油管在钻井方面的应用得到了全面的发展。特别是 20 世纪 90 年代初,法国 Elf 公司利用连续油管技术进行老井加深、美国 Oryx 公司利用连续油管技术侧钻水平井以及 Ensco 公司利用连续油管技术进行欠平衡钻井的试验成功,极大地推动了连续油管钻井(coiled tubing drilling,CTD)技术的发展。由于连续油管无衔接接头,无需上卸扣,因此 CTD 具有更高的安全性,并可缩短起下钻时间。同时,CTD 占地面积小,不足常规钻井的 50%,并具有自动化程度高、效率高、资源浪费少等优点。虽然 CTD 不能代替常规钻柱钻井,但是它非常适用于小井眼钻井和老井重钻。连续油管技术的潜在应用还包括侧钻水平井、加深已有直井、延伸已有水平井等。

连续油管用做输油管线和集输管线也有较大的应用潜力。作为输油管线,连续油管具有安装简单、无漏失、可靠性高等优点。经过多年的发展,当前连续油管外径可选的范围为 22.23~168.28 mm,这也为连续油管用做输油管线提供了更多的选择。虽然连续油管在输油管线方面的应用日益增多,但连续油管不能完全替代输油管线,特别是对于大口径、长距离集输管道,连续油管的外径和操纵设备都还远未达到应有的水平。

随着连续油管相关技术的研究和完善,其应用逐步向纵、横两方面扩展,延伸到石油行业的诸多领域,需求量也逐步增大。以连续油管钻井为例,资料表明,2003 年全世界采用连续油管钻井 7 000 口,以后每年以 750~850 口的速度增加,对连续油管的需求更为明显。随连续油管消耗量的增加,市场对连续油管作业机的需求也稳步上升。据 ICO-TA 调查统计,2005 年世界年产连续油管作业机 50 台左右,在用的连续油管作业机约 1 182 台,并以每年 8% 的速度增长,几乎是常规钻机的 4 倍,显示出迅猛发展的势头。

### 1.1.3 连续油管技术的优越性

与常规作业技术和方式相比,连续油管作业技术具有许多明显的优势和特点,突出表现在<sup>[5]</sup>:

① 作业成本低。由于连续油管作业机设备少,搬迁、安装和作业准备时间短,加上连续油管起下作业速度快、工作量小,因此可直接降低成本。CTD 作业可节约费用 25%~40%。

② 增加油井产量。通过油管老井重钻或侧钻水平井,连续油管作业技术可使原本没有经济效益的老井增加产量。

③ 保护油层,作业安全。对一些敏感地层,连续油管作业安全可靠,可进行不放喷放压的带压连续作业,有效防止地层污染,保护环境,保护油层,增加产量。

④ 水平井、定向井作业中方便快捷。在水平井和大斜度定向井中,诸如电测和钢丝绳作业,或在水平井段中的冲砂洗井作业,连续油管技术具有方便作业的优势。

⑤ 海上作业优势明显。连续油管作业机占地面积小,特别适合于地面条件受限制的海上平台钻井和过油管钻井作业,不仅可缩短作业周期,而且可增加产量,降低成本。