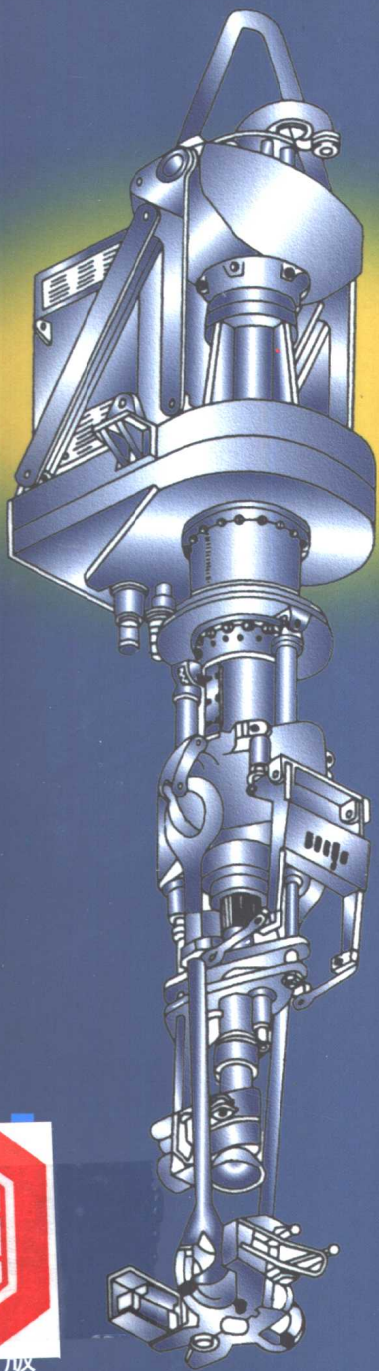


陈朝达 编著

# 顶部驱动钻井系统



版社

# 顶部驱动钻井系统

陈朝达 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

采用顶部驱动钻井装置钻井与传统转盘钻井相比具有许多优点,是对传统转盘钻井的一次革命。本书详细介绍顶部驱动钻井装置的结构组成、操作使用和安装连接;给出了国内外典型顶部驱动钻井装置的技术特点和技术参数;同时对顶部驱动钻井装置进行了技术评价。最后简要介绍了轻便顶部驱动钻井装置在修井机上的应用及典型部件的设计计算。

本书可供钻井、机修、供应等部门的相关人员阅读,同时可供机械所工程技术人员和院校钻井、矿机等专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

顶部驱动钻井系统/陈朝达编著.

北京:石油工业出版社,2000.11

ISBN 7-5021-3162-0

I. 顶…

II. 陈…

III. 顶部驱动-油气钻井-装置

IV. TE242.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 72099 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)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168 毫米 32 开本 5.625 印张 120 千字 印 1—2000

2000 年 11 月北京第 1 版 2000 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3162-0/TE·2402

定价: 15.00 元

## 作 者 的 话

本书的初稿曾用作我院机 96 级大学生毕业设计指导参考教材，也作为机械系其他班级开设讲座时的主要参考教材。同时，应中原油田井下作业公司及教培科的邀请，作者以本书初稿作为教材对油田科技人员讲授“顶部驱动钻井装置”。油田钻井、修井及机修工程技术人员及工人对本书提出了不少宝贵的修改意见，这对初稿修改、完善很有帮助，在此表示感谢。

作者曾有较长时间在油田从事钻机大修工作，以后在高等学校从事石油矿场机械的教学和科研，深切体会到钻井和机械工程技术人员的、工人们对于钻机机械化、自动化的期盼。希望本书在推动钻机自动化方面起到应有作用。它可以作为工程技术人员的科技读物，也可供油田订货、使用、修理顶部驱动钻井装置时参考，并可作为大学师生学习及机械制造厂家、设计单位、油田培训职工时的参考书。

感谢美国 Varco BJ 公司北京代表处、宝鸡石油机械厂设计所及陕西延长油矿给予的热忱帮助。

特别感谢胡再英教授和徐永亮同学在绘图、整理文稿、校对及计算等方面的具体帮助。

对于本书中的疏漏、不妥，甚至谬误之处，恳请读者不吝指出，作者表示衷心谢意。

陈朝达

2000年8月于西安石油学院

# 目 录

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| <b>第一章 概述 .....</b>            | <b>(1)</b>  |
| 第一节 顶部驱动钻井装置的发展历程 .....        | (1)         |
| 第二节 各型顶部驱动钻井装置简介 .....         | (14)        |
| 第三节 顶部驱动钻井装置的优越性 .....         | (31)        |
| <b>第二章 顶部驱动钻井装置的结构 .....</b>   | <b>(46)</b> |
| 第一节 水龙头—钻井马达总成 .....           | (46)        |
| 第二节 导向滑车总成 .....               | (55)        |
| 第三节 钻杆上卸扣装置总成 .....            | (57)        |
| 第四节 平衡系统 .....                 | (67)        |
| 第五节 顶部驱动钻井装置控制系统 .....         | (72)        |
| 第六节 可选用的辅助设备 .....             | (73)        |
| 第七节 钻杆、立根、套管处理装置 .....         | (78)        |
| <b>第三章 顶部驱动钻井装置操作过程 .....</b>  | <b>(80)</b> |
| 第一节 钻进 .....                   | (80)        |
| 第二节 起下钻操作 .....                | (83)        |
| 第三节 倒划眼操作 .....                | (83)        |
| 第四节 井控操作程序 .....               | (85)        |
| 第五节 下套管及接卸井底钻具组合 .....         | (87)        |
| 第六节 使用钻杆起升大钳接入立根 .....         | (90)        |
| <b>第四章 顶部驱动钻井装置的安装连接 .....</b> | <b>(93)</b> |
| 第一节 在井架上安装顶部驱动钻井装置 ...         | (93)        |

|            |                                                  |              |
|------------|--------------------------------------------------|--------------|
| 第二节        | 井架上动力管线的架设 .....                                 | (95)         |
| 第三节        | 钻机电路、机械和结构安装的局部改动<br>及安装要领 .....                 | (96)         |
| <b>第五章</b> | <b>典型顶部驱动钻井装置的技术参数 .....</b>                     | <b>(98)</b>  |
| 第一节        | TDS-3S 型顶部驱动钻井装置的<br>技术参数 .....                  | (98)         |
| 第二节        | TDS-9S 型顶部驱动钻井装置的<br>技术参数 .....                  | (104)        |
| 第三节        | TDS-11SA 型顶部驱动钻井装置的<br>技术参数 .....                | (105)        |
| <b>第六章</b> | <b>国产 DQ-60D1 型顶部驱动钻井装置<br/>        简介 .....</b> | <b>(109)</b> |
| 第一节        | 主要技术参数 .....                                     | (110)        |
| 第二节        | 部件组成 .....                                       | (111)        |
| 第三节        | 维护保养以及操作注意事项 .....                               | (129)        |
| 第四节        | 排除故障的一般规则 .....                                  | (132)        |
| 第五节        | DQ-60D1 型顶部驱动钻井装置常用<br>易损件 .....                 | (133)        |
| <b>第七章</b> | <b>顶部驱动钻井系统的经济技术<br/>        评价 .....</b>        | <b>(137)</b> |
| 第一节        | 一般经济技术评价 .....                                   | (137)        |
| 第二节        | 有形钻井操作与无形钻井操作<br>评价 .....                        | (142)        |
| <b>第八章</b> | <b>轻便顶部驱动钻井装置在修井机上<br/>        的应用 .....</b>     | <b>(149)</b> |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| <b>第九章 水龙头—钻井马达总成设计计算 .....</b> | <b>(153)</b> |
| <b>第一节 水龙头—钻井马达总成的结构</b>        |              |
| <b>及功能 .....</b>                | <b>(154)</b> |
| <b>第二节 行星齿轮传动副的设计及校核 .....</b>  | <b>(155)</b> |
| <b>第三节 行星齿轮副的润滑系统设计 .....</b>   | <b>(162)</b> |
| <b>第四节 电动机的功率计算及选型 .....</b>    | <b>(163)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>(169)</b> |

# 第一章 概 述

近 20 年来, 顶部驱动钻井装置 TDS (TOP DRIVE DRILLING SYSTEM) 显著提高了钻井作业的能力和效率, 并已成为石油钻井行业的标准产品。目前在世界上不少国家的大、中型钻机上, 将它用于打中深井 (井深  $L = 2000 \sim 4500$  m)、深井 (井深  $L = 4500 \sim 6000$  m)、超深井 (井深  $L = 6000 \sim 9000$  m) 的日益增多。该产品自 20 世纪 80 年代初开始研制, 现在已发展为最先进的整体顶部驱动钻井装置 IDS (INTEGRATED TOP DRIVE DRILLING SYSTEM)。全世界目前已有上千台顶部驱动钻井装置在海上和陆上使用, 充分显示了它的强大生命力。

应当说, 从世界钻井机械的发展趋势上看, 为适应钻井自动化的进步需求, 顶部驱动钻井装置和井下钻头加压装置, 必将成为 21 世纪世界钻井机械发展的重要方向, 它符合新世纪钻井自动化的历史潮流。据悉, 目前我国赴国外工作的钻井队, 如钻机上未安装顶部驱动钻井装置者, 投标竞争中将不允许中标, 可见顶部驱动钻井装置已到了非用不可的地步。

## 第一节 顶部驱动钻井装置的发展历程

### 一、什么是顶部驱动钻井装置

顶部驱动钻井装置是美国、法国、挪威近 20 年来

相继研制成功、正在推广应用的一种顶部驱动钻井系统。它可从井架空间上部直接旋转钻柱，并沿井架内专用导轨向下送进，完成钻柱旋转钻进，循环钻井液，接立根，上卸扣和倒划眼等多种钻井操作，参见图 1-1。该图表明顶部驱动钻井装置主要由三个部分组成：导向滑车总成、水龙头—钻井马达总成和钻杆上卸扣装置总成。

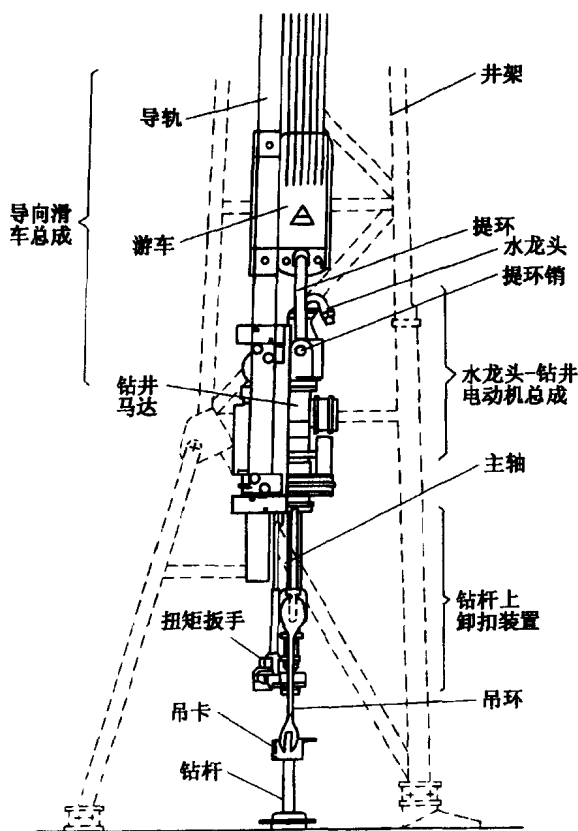


图 1-1 顶部驱动钻井系统

该系统是当前钻井设备自动化发展更新的突出阶段成果之一。钻井实践表明：这种系统可节省钻井时间 20%~25%，并可预防卡钻事故的发生，用于钻斜井，钻高难度的定向井时经济效果尤为显著。

## 二、历史性的新跨越

20 世纪初，美国人首先应用旋转钻井法钻油井获得成功，常规钻机由转盘带动方钻杆进行钻进，较顿钻是历史的飞跃。据统计，在美国有 63% 的石油井是用旋转钻井法打成功的，转盘钻井方式立下了历史性的巨大功劳。但在延续近百年的转盘钻井方式中，它也有两个突出的矛盾未能得到有效解决。其一，由于起下钻不能及时实现循环旋转功能，遇上复杂地层，或是岩屑沉淀，往往造成卡钻。卡钻成了长期困扰钻井工人的问题。我国近千台钻机，每年因卡钻造成的损失难以计数。其二，由于常规钻机在钻进中依靠转盘推动方钻杆旋转送进，方钻杆的长度限制了钻进深度，故每次只能接单根，因而费工效率低，劳动强度大。而所谓的顶部驱动，则是把钻机动力部分由下边的转盘移到钻机上部的水龙头处，直接驱动钻具旋转钻进。由于取消了方钻杆，无论在钻进过程中，还是起下钻过程中，钻柱可以保持旋转以及循环钻井液。因而，由于各种原因引起的遇卡遇阻事故均可以得到及时有效的处理。同时，可以进行立根钻进，大大提高了钻速，平均提高钻井时效 25% 左右。国外于 1982 年采用顶部驱动钻井装置第一次成功地钻了一口井斜  $32^{\circ}$ 、井深 2981 m 的定向井，之后，迅速发展，不仅在海洋及深井、定向井采用，而且

在 2000 m 钻机上也开始大批应用，全世界陆续已有上千台顶部驱动钻井装置在海上和陆上使用，显示了势不可挡的强劲势头。生产顶部驱动钻井装置的厂商也由当初的美国、挪威扩展到法国、加拿大等 4 个国家的 7 家公司。之后，中国、英国也加入到顶部驱动装置的生产行列，人类实现了钻机自动化进程的阶段性跨越。

总之，顶部驱动钻井装置是当今石油钻井中的前沿技术与装备，是近代钻井装备的三大技术成果之一，另两项技术成果为交直流变频电驱动系统（AC - SCR - DC 电驱动）和井下钻头增压系统。

### 三、顶部驱动钻井装置研制过程

#### 1. 钻井自动化进程推动了顶部驱动钻井法的诞生

首先让我们简单回顾一下中国和世界石油钻井业的发展概况。

众所周知，我国是世界上钻井发展得很早的一个国家，有史料可考的，公元前 250 年，中国人即用手工凿井。北宋中期，在四川用简单顿钻冲击打气井，钻到 160 m。宋人沈括在其名著《梦溪笔谈》一书中，介绍了陕西延长地区的“脂水”，第一次命名它为“石油”，并预言“此物后必大行于世”。1907 年，我国使用日本钻机在延长地区（今延长油矿）打出中国大陆第一口油井，井深 81 m，“见旺油”，这就是著名的“延一井”。我国陆上石油的近代工业化开采实际开始于此。新中国成立后，我国石油、天然气工业有了巨大的进步，从 1957 年太原矿山机器厂制造了国产第一台 1200 m 轻型钻机开始，旋转钻机逐渐得到了普遍的应用。现在我国

已经成为世界第五大产油国。

就世界油气钻探历史而言，顿钻、旋转钻、冲击回转钻进，称为近代油气钻探的三大重点技术。世界公认的第一口油井，是美国人 1859 年用顿钻法钻成功的。大约 1900 年转盘钻井法在美国开始出现，钻井工艺得以革新，出现了伟大的转折。1901 年美国首先钻出世界上第一口高产油井。

但是与钻井业进步并存的是，繁重艰苦的钻井劳动，笨重的钻机、钻具操作以及安全等等问题，使得实现钻机自动化，成为了几代钻井人的长期愿望。石油钻井多年以来一直采用标准的转盘和方钻杆钻井方法，利用转盘、方钻杆、钻杆大钳、卡瓦、卡瓦座和方补心接单根，从而把钻柱连接在一起。除了如方钻杆旋扣器这样小的改进外，这种接单根的方法几十年中实际上并没有发生重大的变化。

20 世纪 70 年代以来，出现了动力水龙头。由于改革了驱动方式，可用水龙头直接驱动钻具，在相当程度上改善了钻井工人的操作条件，加快了钻进速度。但是，早期的动力水龙头只是水龙头与钻井马达的结合，没有解决高效上卸钻杆扣的问题，即是说并未从根本上摆脱转盘，也不具备起钻后就能迅速旋转钻具、循环钻井液的能力，因此缺乏竞争力。同期先后出现的“铁钻工”装置、液压大钳等等，局部解决了钻杆移位、连接等等问题，但都没有达到石油人盼望的理想程度。

随着科学技术的进步，出现了现代化的顶部驱动钻井装置，和早期的动力水龙头完全不同，它除具有常规水龙头和钻井马达之外，更为重要的是：发展了钻柱上

卸扣技术，配备了特殊的钻杆上卸扣装置，传统的方钻杆、大钩、转盘已经淘汰，转盘一方钻杆打井模式已成历史，钻台上方的钻井设备面目为之一新。

## 2. 顶部驱动钻井装置研制过程

### (1) 美国 Varco BJ 公司的研制历程

Varco BJ 公司大致经历了两个阶段的研制发展过程：

第一阶段：20 世纪 80 年代。在 1981 年开始研制最初的 TDS-1 型顶部驱动钻井装置的系列马达原型，并作出了顶部驱动钻井装置 TDS-2 型的设计，但后者未能投产。1983 年生产了单速（速比为 5.33:1）的 TDS-3 型顶部驱动钻井装置，并由此形成了工业标准，这一标准改变了世界海洋与陆地钻探油气的方式。这个阶段历时 5 年，至 1988 年研制开发了具有新标准的 2 速（高速比 7.95:1，低速比 5.08:1）的 TDS-4 型顶部驱动钻井装置，同年还生产了单速（速比 6.67:1）的 TDS-5 型顶部驱动钻井装置，但当时它只是作为临时性措施而设计生产的一种产品。

至 20 世纪 80 年代末，出现了新式高扭矩马达，TDS-3H 型及 TDS-4 型两种顶部驱动钻井装置由于应用了这种新式马达应运而生，并在钻机上得以应用。

第二阶段：20 世纪 90 年代。这一阶段的特征是应用整体式水龙头、游车等等。在 1990 年首先生产出了整体式水龙头，装配在 TDS-3S（图 1-2）、TDS-4S 两种型号的顶部驱动钻井装置上，得到广泛应用。随着钻井深度的增加，要求驱动更大重量的钻柱，于是设计了双马达驱动的顶部驱动钻井装置，它具有单速传动

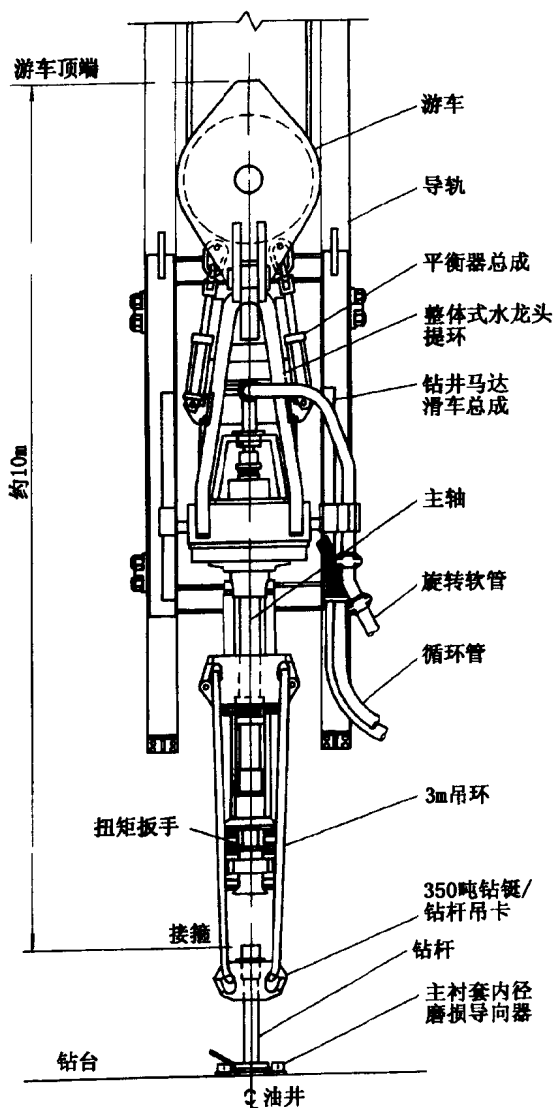


图 1-2 TDS-3S 型顶部驱动钻井系统总图

(速比 5.33:1), 命名为 TDS-6S 型, 用于深井钻机。1991~1992 年间, 应用了整体式水龙头和游车, 于是陆续又研制出 TDS-3SB、TDS-4SB、TDS-6SB 等诸型号的顶部驱动钻井装置。

1993 年后, 研制的 IDS 型整体式顶部驱动钻井装置, 是一种具有单速比 6.00:1、紧凑的行星齿轮驱动的更先进的装置, 它是真正意义上的整体式顶部驱动钻井装置。由 TDS 发展到 IDS 型, 即由顶部驱动钻井装置, 发展到整体式顶部驱动钻井装置, 这在顶部驱动钻井装置的历史上实现了新的飞跃。1994 年开发的 TDS-9SA 型顶部驱动钻井装置, 起升能力为 400t, 为第一台双交流电动机驱动式。1996 年后该公司更研制出 500 t 的 TDS-11SA 型及轻便的 250 t 的 TDS-10SA 型顶部驱动钻井装置。其中尤以 TDS-11SA 型引人注目, 它具有低购置成本、轻便、高可靠性及低维护费等优越性, 其紧凑尺寸使它可用于小型修井机和轻便钻机上。TDS-11SA 型顶部驱动钻井装置是为快速轻便而设计的, 结构非常紧凑, 采用斜齿轮传动, 降低了噪音, 并可获得 550 r/min 的最高工作转速。值得称道的是, 该顶部驱动钻井装置由 2 台交流变频电机驱动, 电机上没有电刷、电刷齿轮或转换开关, 交流电机内没有产生电弧的装置, 同时顶部驱动钻井装置本身带有液压系统, 不需要单独的液压装置和液压油管汇, 这些新的设计降低了顶部驱动钻井装置的维护和配件费用。

这里需要指出的是, Varco BJ 公司在 1993 年之后, 就不再开发直流驱动马达的顶部驱动钻井装置, 而是转向交流变频电驱动的顶部驱动钻井装置研制。以 1994

年后生产的 TDS-9SA 型为例，它使用一对 350hp 的交流驱动电机，重量较轻，尺寸较小，是顶部驱动钻井装置的心脏，而产生的扭转特性却近于一台 1100hp 的直流电动机。选用交流电机具有明显的特点：它可靠性高，维护少，无污染、作业范围大，满扭矩负荷时可以长时间处于静止状态，过载能力达到 150%，时间可长达 1 min，而无电火花，安全性好，因此得到用户认同。还应看到，交流电动机既可使用钻机自身的动力装置带动，又可使用 750 V 直流电源，或直接用工业网电驱动，这种灵活性使得它使用范围宽广。

表 1-1 中以将 Varco BJ 公司的 IDS 型和 TDS 型顶部驱动钻井装置主要参数性能进行了对比。

## (2) 中国的研制发展过程

我国从 20 世纪 80 年代末开始跟踪这一世界先进技术，1993 年列入原中国石油天然气总公司重点科研计划，由石油勘探开发科学研究院北京石油机械研究所、宝鸡石油机械厂及大港石油管理局等单位联合承担试制开发任务。研制中科研人员与国内多家厂家积极合作，克服资料、材料不全等许多困难，认真按照计划执行。突出的是打破了国外关于空心电动机的垄断，解决了一批机、电、液、气一体化的技术难题，于 1995 年完成样机，并在台架试验中不断改进完善。1997 年 4 月样机安装在塔里木 60501 钻井队钻机上进行工业试验，适应多种复杂钻井要求，当年胜利完成任务，完钻井深 5649 m，垂深 5369 m，水平位移 550 m，井斜角 70°。该井在试验期间，起下钻约 50 次，多次遇阻遇卡，利用顶部驱动钻井装置均能顺利通过。国产顶部驱动钻井装置的