

国内外技术发展水平跟踪与分析

石油钻采设备

中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会
甘肃环球能源节能技术开发设计研究所

学(北京)

32

11

~~国内外技术发展水平跟踪与分析~~

石油钻采设备

机械工业部兰州石油机械研究所
南京石油机械总厂
中国海洋石油总公司南海东部石油公司
胜利石油管理局工程机械总厂
油田油气水处理设备工程公司

中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会
甘肃环球能源节能技术开发设计研究所

内 容 提 要

本书重点介绍了近期国内外陆地与海洋石油钻采设备新产品、新技术、新工艺的技术发展水平,并对其进行了对比分析。对我国今后石油钻采设备的发展,提出了看法和建议。

本书可供石油钻采机械行业从事教学、科研、设计、生产、制订技术经济政策、编制技术发展规划及油田方面的科技人员、技术管理干部等参考。

石 油 钻 采 设 备

*

主 编 张阳春

副主编 杨志康 廖谟圣

责任编辑 张阳春

*

兰州市委印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.85 字数 450 千字

1993 年 12 月兰州第一版 1993 年 12 月兰州第一次印刷

62

32.00

编 委 会 成 员

主任委员	唐尚谋							
副主任委员	董奇影	杨志康	金世望	李昌文	冯福本	张阳春	廖谟圣	张仁俊
	苑绍文	张本权						
委 员	陆 军	陈异普	蒋乾勋	陈文驹	刘陆一	康明金	刘建国	孙先忠
	辛复泰	蔡承武	夏华德	剪占鳌				

主 编	张阳春							
副 主 编	杨志康	廖谟圣						
编写人员	廖谟圣	张阳春	李君裕	屠由义	陈传溥	易松林	李昌文	陆 军
	杨志康	李保鼎	陈 尧	唐先发	谢敏修	李汉兴	何渊清	李天增
	邓开 桑	刘陆一	李玉珊	肖荣书	李 宁	方洪祖	杨 茁	刘国柱
	茅 冲	丁伟民	徐安波	倪基善				

审 定	金世望	张仁俊	苑绍文
-----	-----	-----	-----

前 言

1989年编辑出版的国内外技术发展水平跟踪与分析《石油采油设备与钻采工具》，受到石油钻采机械行业厂矿企业、高等院校、科研院所和政府有关部门的欢迎、赞誉与好评，分别荣获石油钻采机械行业、原机械电子工业部第三装备司和科技司的优秀科技情报成果奖。

为了继续对国内外近期石油钻采机械技术发展水平进行跟踪调查研究，使全行业连续、系统、集中地了解、掌握、分析国内外石油钻采机械近期技术发展动态与水平，从而为推动和促进我国石油钻采机械的技术进步，提高我国石油钻采机械产品质量，更好地为我国石油工业“稳定东部，开发西部”服务，继《石油采油设备与钻采工具》出版之后，我们又在全行业开展了第二轮国内外石油钻采机械技术发展水平的跟踪工作。第二轮跟踪内容的重点是：1986年以来国内外陆地石油钻井机械、海洋石油钻采机械和1988年以来国内外陆地采油机械的最新发展情况。

根据在规定的时间和专业范围内“有什么跟什么，有多少跟多少”的原则，这次编辑出版的《石油钻采设备》中，着重介绍了国内外石油钻机、井控设备、固控设备、钻杆动力旋扣钳、井下石油动力钻具、新型石油钻井系统、新型水平钻井系统、抽油杆、有杆抽油泵、电动潜油泵、修井设备、新型热采设备、注水设备、海洋石油钻井平台与机械、海洋采油平台与机械、海洋采油平台燃气轮机、海洋油气集输设备、海洋石油钻采工程管理、环境保护与安全等近期发展的新技术、新产品、新工艺等方面的情况。

这本《石油钻采设备》的特点是，除介绍了国内外近期发展的新情况外，还对国内外的技术发展水平进行了对比分析，对我国今后石油钻采设备的发展提出了看法和建议。

在本书中，除计划跟踪的内容外，还选择性的介绍了有关石油院校、科研院所、油田及制造企业部分专家近期的新技术、新成果。

非常遗憾的是这次未能按原计划编入抽油机、固井压裂等设备近期国内外的的发展情况，

决定在下轮跟踪时一并介绍。

我们衷心希望这本国内外石油钻采机械技术发展水平跟踪分析,对全行业的科研、教学、生产及上级决策部门在制订技术经济政策、对全行业进行宏观指导、编制行业技术发展规划等方面有所裨益。

在落实第二轮跟踪计划的过程中,得到了赵国珍教授及石油钻采机械行业有关单位的大力支持,仅致衷心地谢意。

由于我们的经验和水平所限,其中错误和遗漏之处在所难免,恳请行业同仁指正。

编者

目 录

第一章 石油钻井设备	(1)
第一节 石油钻机	(1)
第二节 井控设备	(27)
第三节 固控设备	(40)
第四节 钻杆动力旋扣钳	(59)
第五节 井下石油动力钻具	(66)
第六节 新型石油钻井系统	(69)
第七节 新型水平井钻井系统	(72)
第八节 石油钻井仪器仪表	(79)
第二章 石油采油设备	(81)
第一节 抽油杆	(81)
第二节 有杆抽油泵	(107)
第三节 电动潜油泵	(120)
第四节 修井设备	(132)
第五节 新型热采设备	(151)
第六节 注水设备	(160)
第三章 海洋石油钻采设备	(164)
第一节 海洋石油钻采设备技术发展综述	(164)
第二节 海洋石油钻井平台	(189)
第三节 海洋石油钻井机械	(207)
第四节 海洋石油采油平台	(235)
第五节 海洋石油采油机械	(247)
第六节 采油平台燃气轮机装置	(260)
第四章 海洋油气集输设备	(273)
第一节 概述	(273)
第二节 单点系泊系统	(274)
第三节 多相混输泵	(277)
第四节 油气单相管道输送和油气双相混输	(279)
第五节 天然气的其它输送方式	(282)
第六节 我国的海洋油气集输设备	(283)
第五章 海洋石油钻采工程管理、环境保护、安全及其它	(286)
第一节 标准化管理、组织与规划	(286)
第二节 成本与效益	(287)
第三节 安全与环境保护	(288)
第四节 对比与建议	(290)

第一章 石油钻井设备

随着世界石油勘探开发难度的不断增大,对石油钻井设备也不断地提出了许多新的要求,因而促进了钻井设备的不断改进和创新,并向着高效能、高技术和机电一体化方向发展。

80年代中后期以来,法国、英国、美国、日本、比利时、加拿大、西德等国,分别研制成功一批技术先进、自动化程度高的自动化钻机、超深井钻机、直升飞机吊运钻机、全液压微机控制的小井眼钻机、斜井钻机。

此外,在石油钻机绞车、泥浆泵、顶部驱动和侧部驱动钻井系统、密闭钻井泥浆固控系统、新一代闸板防喷器、钻柱内防喷器及井控专家系统、用微处理机控制的新一代钻井数据采集和监控系统、带轻型螺杆的新型螺杆钻具和原理全新的正弦槽滚球减速器涡轮钻具等石油钻井设备方面也得到迅速发展和进一步完善,并研制成功一批新成果。

石油钻井设备的发展,明显的提高了钻井效率,降低了钻井成本,并为高效、安全地进行钻井作业提供了保证。

第一节 石油钻机

一、国外的发展情况

1. 自动化钻机

自动化钻机经过了漫长的发展历程。进入80年代,由于计算机和微机处理技术的更广泛应用,使其在技术上取得了一些重大进展,并研制出一些新钻机。

目前,整套自动化钻机的研制方案是把钻井设备按照不同的自动化功能分成模块,这些模块包括:提升系统、泥浆系统、钻进系统、钻杆操作系统、防喷系统、定向钻井系统、动力控制系统、数据采集系统和中心控制室。这些模块按自动化功能,大致可分为5类:即动力系统、执行元件、传感器、控制信号处理和控制电缆。图1-1表示典型的自动化钻机模块系统。

动力系统:以电动设备为主,包括用于危险地区的防爆设备。

执行元件:对钻杆和泥浆操作系统等设备进行移动、定位、加速、加扭矩和改换操作的部件都是执行元件。执行元件可以电动、液动和气动方式获得动力,以输出设计的扭矩、压力、作用力、速度和流量等。

因为大部分的自动化装置是建立在带电信号输出的电子控制器和传感器基础上,所以常见的连接方法是使用电动执行元件,如电马达、线性执行元件。

传感器:传感器用以检测位移、速度、扭矩、压力、流量、深度、张力、冲程、温度、加速度等物理参数。目前使用的最可靠、最精确的传感器是产生电信号输出的半导体元件。这种类型的传感器与电子信号控制系统和闭路控制系统连接方便。

控制信号处理:微处理机具有接受多路输入和按预定程序产生相应输出的能力。因此

是目前自动化钻机中最理想的信号控制处理设备。

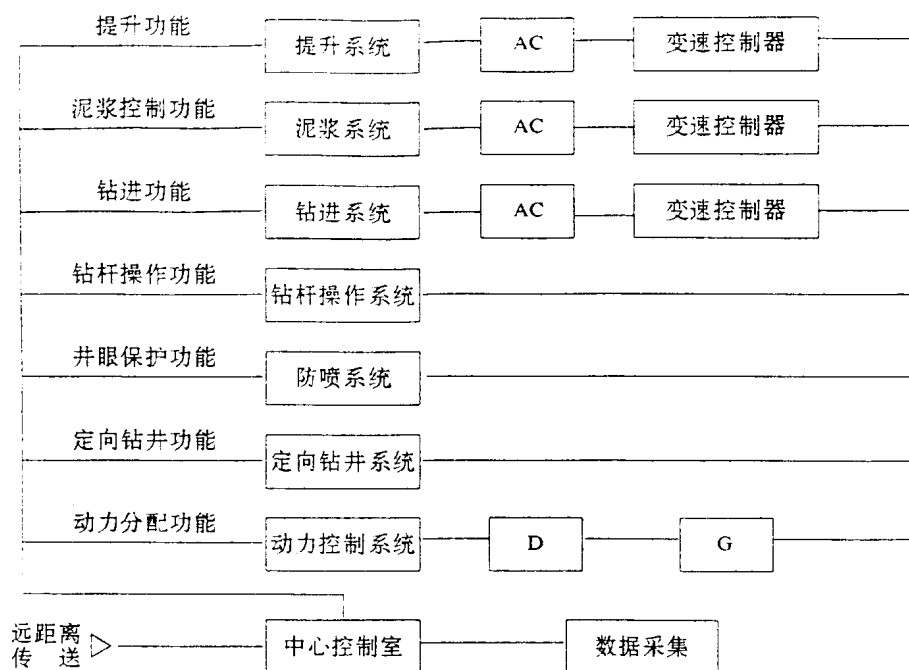


图 1-1 自动化钻机模型系统

控制电缆：控制电缆是控制系统中重要的元件之一，它能将低功率信号从传感器传到控制器和执行机构。模拟信号和数字信号一般采用屏蔽双股电缆。但在电噪声比较大的环境中(如钻台)则采用光纤电缆传送信号。

80 年代以来，法国 Forasol 公司、日本海洋工业协会等 12 家日本公司、英国 Strachan & Henshaw 有限公司和美国 W-N Apache 联合公司都研制了自动化钻机。这些新钻机具有的共同特点是：普遍采用了顶部驱动系统和钻杆自动操作系统，由计算机控制钻井作业。

法国 Forasol 公司在研制 FORAMATIC 1 号机械驱动的半自动化钻机的基础上，于 1985 年研制成 FORAMATIC 2 号自动化钻机。

FORAMATIC 2 号钻机是一台可控硅(SCR)电驱动自动化钻机，可钻井深 2438m。由两台交流发电机提供动力，每台发电机由一台 551.5kw(750hp)的 GM16V9-2 型柴油机驱动。交流电通过可控硅整流系统整流，供给 5 台直流电动机电力，以便分别驱动绞车、泥浆泵和液压装置。

钻机采用拖车模块结构。钻机的 20 个运载件(包括井下设备)可快速地从—个井场搬运到另一个井场。

该钻机采用液压顶部驱动钻井系统，没有转盘、人力大钳、卡瓦及二层平台等设备。只需 3 人操作。钻机的所有柴油机都用隔音板密闭，距离 300m 处的噪声只有 45 分贝。

FORAMATIC 2 号钻机实现了钻杆自动操作和自动化钻井作业。同时还采用了“AS-cofar”实时钻井参数监测系统。该系统由 Forasol 公司与 Syminex 公司和 IFP 公司合作开发，可协助司钻进行钻井作业。AS-cofar 系统不仅能显示地面和井下传感器传来

的各种信息,还具有数据采集、计算、存储、报警等功能。司钻可迅速地、十分方便地读出系统显示的所有实时参数,并利用这些参数在恰当的时候作出正确的决定,从而提高钻井质量,避免发生事故。

英国 Strachan & Henshaw 有限公司设计的 RA-D 型自动化钻机,已完成制造,1991 年下半年开始在现场使用。

RA-D 型自动化钻机可钻井深 6100m,钻定向井 3100m。额定提升能力为 454t,防喷器工作压力 345bar,井架高 35m,采用顶部驱动钻井系统,钻机作业由微机自动控制。该钻机主要用于海上钻井。

RA-D 型自动化钻机的关键部分是重量较轻的管子操纵系统,它可操作、运送各种钻井用管材如钻杆、套管、油管和无磁钻铤,并通过计算机和控制系统使管子按正确的钻井次序排放。

存管架摆放在钻井平台上,其运载装置可依次把每组装满管子的存管架运到处于水平位置的管吊臂下,管吊臂将管子移到井架内。

美国 W-N Apache 联合公司研制的 Apache 自动化钻机,钻井深度约 1829m(6000ft),通过改进设计,目前可钻井深 6096m(20000ft)。该钻机重量轻、体积小,比同等大小的普通钻机运移载荷减少三分之一,安装和拆卸时间减少 50%。钻机搬家到新井位后,4 小时内即可开钻。

该钻机的钻杆自动操作系统,可在 1 分钟左右完成接单根作业。钻机可提升各种直径的钻杆以及直径 660.4mm(26in)的套管。

该自动化钻机比普通钻机节省常规钻井作业时间 12%~15%,作业费用降低 8%~10%。整台钻机只用 2~3 人操作。

2. 超深井钻机

80 年代石油钻机新进展的标志之一是研制了许多超深井钻机。美国、德国、罗马尼亚等国都研制了超深井钻机。超深井钻机的钻井深度为 9000~15000m。

美国 NSCO 公司在原来钻深能力为 7620m 的 1625-DE 型钻机基础上,于 1986~1987 年又推出了 2050-E 型 SCR 电驱动超深井钻机。

该钻机额定钻井深度 6096~15240m,绞车输入功率 2941.99kw(4000hp),钢丝绳直径 44.45mm(1 3/4in),采用两台电磁涡流刹车,还配备了 1470.5kw(2000hp)的泥浆泵,最大泵压达 41.3MPa,最大排量 3459L/min。

80 年代中期,罗马尼亚“五一”工厂也推出了 F-580 型和 F-900 型超深井石油钻机,以代替过去的 F-500 型和 F-800 型钻机。

F-580 型超深井钻机大钩载荷为 580t,钻井深度 8000~9000m,绞车输入功率 2941.99kw(4000hp),配备两台 1176.79kw(1600hp)泥浆泵。井架高 44m,底座高 9.5m。

F-900 型超深井钻机,大钩载荷 900t,钻井深度 15000m,绞车输入功率 3309.75kw(4500hp),配备了两台 3PN-2500 型三缸泥浆泵,其最大功率达 1838.75kw(2500hp),最大泵压达 70MPa。

这两种超深井钻机均有两种供电方式,一种是由电网供电,另一种是由柴油机发电机组供电。

80 年代后期,美国国民油井公司还为南斯拉夫制造了一台超深井 AC-SCR-DC 电

驱动钻机,可钻井深达 7620m(25000ft)。该钻机采用 Varco 公司的顶部驱动钻井系统,井架为塔式,大钩载荷 726t,绞车功率为 2205.9kw(3000hp),使用液压盘式制动器,配备了 3 台功率各为 1176.5kw(1600hp)的三缸泥浆泵。由 4 台 Caterpillar 公司的柴油发动机驱动。

1988 年,德国开始实行一项耗资 2.5 亿美元,历经 8 年,由 4 家德国公司参加的大陆深井计划(KTB),该计划预计 1996 年完成。

为实行这项计划,设计了一台钻深 14000m 的超深井电驱动钻机。该钻机井架高 75m,额定大钩载荷为 5500kN。井架采用全封闭式,减少了对环境的影响,改善了工作区域的条件,保护了设备并减少了噪音的传播。转盘至游车之间的空间为 60m,可排放两组 5in 钻杆柱,设计使用的单根长度为 40m,可使用顶部驱动系统。

绞车功率 2900kw(4000hp),用伺服机构遥控,确保了控制的精确性,即使刹车带磨损,伺服机构也能保证必要的刹车力。转盘开口直径为 698.49mm(27 1/2in),转速范围为 0~300r/min,最大扭矩为 40000N·m。循环系统采用 2 台三缸泥浆泵,每台泵的最大功率为 1193kw。

该钻机钻台面积 12.5m×12.5m,钻台离地面 11m,底座的下部空间高度为 9.6m,它容纳绞车、防喷器以及其它设备。

代表原苏联超深井钻机水平的是乌拉尔重型机器厂研制的 Y-15000 型超深井钻机。最大钻深 15000m。

该钻机采用了电网供电的 SCR 电驱动方案。绞车输入功率 2200kw(2992hp),滚筒直径 935mm,大钩负荷 400t,转盘通孔直径 760mm,采用 4 台双缸双作用泥浆泵,泵输入功率 1250kw(1700hp),最高压力为 39.2MPa,最大排量 51.4kg/s,井架高 58m,钻台高 6m,钻杆使用铝合金。另外该钻机还采用了 ACII-6 型立根排放系统,利用电子计算机控制,根据钻柱重量的变化,自动选择最佳提升速度。

综上所述,80 年代国外超深井石油钻机具有以下两个特点:

①普遍采用可控硅直流电机驱动,即 AC-SCR-DC 驱动方案。采用这种方案的主要优点是钻机可在较大范围内调速,省去了庞大而昂贵的钻机变速装置,有效地提高了钻井设备的总功率(一般机械传动总效率约为 75%,而 AC-SCR-DC 传动总效率可达 86%),传动控制方便,过载保护简单,节约燃料等。

②配备了大功率泥浆泵,最大功率可达 1838.7kw(2500hp)。压力高、排量大。便于采用高压喷射钻井,从而可大大提高钻井效率。

3. 直升飞机吊运的钻机

美国 Parker 钻井公司在 1990 年 9 月~1991 年 1 月间,建造了一台世界上钩载能力最大,由直升飞机运载的 AT-2000E 系列 228 钻机。

该钻机大钩静载能力为 544t,使用直径 127mm 的钻杆,其额定钻深达 7163m。它是迄今用直升飞机运载的各种钻机中钻井最深的一种钻机。

该钻机钻台高 8.5m,能为防喷器组提供最大的空间。钻机有 6 个盘式滚筒刹车,1 个单独驱动的转盘和新型红外线天车保护系统。盘式滚筒刹车有两个与天车保护系统连用的应急弹簧加载刹车,可避免天车受到碰伤。此外,这种系统还能避免刹把的突然运动,保证钻井人员的安全。

司钻控制台可监控 210m^3 的泥浆系统和 SCR 动力机组。泥浆系统由 3 台各为 588kw(800hp)的三缸泥浆泵驱动,但对常规的陆用钻机也可使用 3 台各为 1176.5kw(1600hp)的三缸泥浆泵。SCR 系统可将 6 台各为 551.5kw(750hp)的发动机的机械能转换成为钻机各功能部件所需要的电能。此外,该钻机还配有电驱动转盘,工作压力为 70.3MPa,通径为 346.07mm 的防喷器组。泥浆系统配有泥浆振动筛、除砂器、泥浆清洁器和离心机,不需泥浆池。

该钻机可拆装成 50 个重量不超过 3t 的部件,用直升飞机运输。

4. 小井眼钻机

80 年代中后期,由于小井眼钻机在钻浅井中具有显著的经济效益而得到迅速发展。

瑞典 Microdrill 公司研制的 MD-3 型小井眼钻机。所钻井眼只有 51~76mm,钻井深度不超过 1500m。MD-3 型钻机采用液压驱动,带有顶部驱动钻井系统。使用两台三缸泥浆泵,排量 $3.8\text{L}/\text{S}(60\text{UKgal}/\text{min})$,最大压力为 35.2MPa(5000 lbf/in²)。钻机重 13t,井架高 11m,井场面积为 306.6m^2 ,比常规陆地钻机井场减少了 70%。在边远地区钻井,可用直升飞机运输。

80 年代中后期,英国石油勘探公司分别在英国北部和东南亚使用过这种小井眼钻机钻井,取得了较好的经济效益,与常规陆地钻机相比,节约钻井费用 30%~40%,钻机的安装和拆卸时间也减少了 60%~70%。

比利时 Diamant Boart 公司于 80 年代中期,研制成功一种用微机控制的全液压小井眼钻机,其最大钻井深度 2000m。该钻机由 3 部分组成:钻机本体、动力机组、控制台。这 3 部分之间由液压传动系统和电气系统联接。由一台转速在 2150r/min 时额定功率为 188kW 的柴油机作动力,一台 24V 蓄电池提供控制用电。

钻机的所有动作都是由微处理机通过电磁阀进行操纵,反应迅速灵敏,钻杆的上卸扣也均为自动化。

控制台的设计完全是新式的,采用了推拉操作按钮、电位计、指示灯、压力表和数字显示。按钮依工作性能编组,并用不同颜色区分开来。

液压系统的设计方法是每种功能的控制都是独立的,它们之间的协调是靠微处理机来实现。这样就使得液压系统的油路很简单,维修也很容易。该钻机只使用 4 种不同型号的电磁阀,并把必须更换的零件数限制在最少范围内,这些阀都是标准的,便于互换。

电子系统与其他同样性能的钻机的不同之处是,它的自动编程机位于操纵台下面,它不直接控制电磁阀,而是通过继电器控制,所需电流很小。这种设计避免了微处理机内部过热,并提高了整个系统的可靠性。

微处理机还有另外一个非常重要的作用,就是检查钻工选择各种功能的一致性,如果新选择某项功能与原来确定的各项功能相一致,微处理机便自动工作,如果不一致就自动停止工作。这样可减少事故。

该钻机曾在挪威与斯匹次卑尔根群岛间极地海域进行岩心钻探,水深 400m,波浪高达 6.7m,经受住恶劣环境的考验。

DBH1500 型全液压钻机目前已投入批量生产。

澳大利亚 Longyear 公司研制的 HD600 型新型油、气勘探钻机可提供连续取芯 3048m(10000ft)的地层资料。

该钻机也为全液压式,一次送钻长度 3.35m(11ft),绞车承载能力为 30t,绳索绞车承载能力为 10t,由 147kw(200hp)8 缸风冷式柴油机驱动,井架可自动起升,高 17.68m,立根长 12.19m,采用双缸泥浆泵,取芯泵采用三缸泵,配有两台防喷器,通径为 181mm(7 $\frac{1}{8}$ in),工作压力为 34.48MPa(5000 lbf/in²).

HD600 型小井眼钻机重量为 13.62t,可用直升飞机运输或卡车运输.

美国一家大石油公司曾使用该钻机,在新墨西哥州沉积岩中取芯钻探油、气井,井径 110mm,井深 2438m.取芯钻进工程为地质师和工程师们掌握井下地质实况提供了宝贵资料.这种钻机搬迁容易,尤其适用于运输条件困难、成本高、地质情况不明的边远地区勘探油、气田.

5. 斜井钻机

代表 80 年代斜井钻机水平的是加拿大钻机有限公司研制的 1800S 型斜井钻机.该钻机采用了电子、液压、机械等方面的先进技术.钻井效率与自动化水平较高,是目前较先进的斜井钻机.

1800S 型斜井钻机可钻垂直井深 1800m,斜井倾斜角为 0°~45°,钻机可分 7 个部分,分别装在 7 个拖车上.其中钻机拖车的载重量为 47.6t,泥浆泵拖车为 31.8t,其余拖车载重量为 22.7t.绞车由一台或两台液压泵驱动,工作压力为 26.7MPa.绞车最大提升负荷为 90.7t,最大提升速度 60.96m/min.采用电驱动顶部驱动系统,最大扭矩 3796.3N·m,最大转速 300r/min.可控硅整流装置控制绞车、泥浆泵与顶部驱动系统.

1800S 型斜井钻机采用微处理机控制钻机操作,可自动控制钻压、转速、泵压、排量等钻井参数,并可自动寻找与排除故障.成功的控制了电力、液压和机械系统.钻台还配有液压卡瓦、卸扣器,并由微机控制机械手移运钻具.钻机操作每班只需要 3 个人.由于所有设备均装在拖车上,所以钻机移运方便、机动性、灵活性较好.

6. 钻机绞车

80 年代以来,国外石油钻机绞车在技术参数和结构设计等方面主要有以下进展:

① 额定功率提高

根据美国 NSCO 公司资料计算,每千米绞车额定功率 80 年代比 70 年代大约提高 20%,钻深在 3500m 以内的平均为 242.65kw(330hp);在 6000m 以内的平均为 294.12kw(400hp);在 8000m 以内的平均为 367.65kw(500hp).

美国 HP 公司、NSCO 公司、DRECO 公司等均研制和使用了输入功率为 2941.12kw(4000hp)的大功率绞车.罗马尼亚研制了输入功率为 3308.82kw(4500hp)的绞车.为满足超深井钻井的需要,Paker 公司采用 3676.47kw(5000hp)大功率绞车.

② 广泛采用盘式液压刹车系统

随着钻井深度和大钩负荷的增加,绞车上采用传统的带式刹车已不能满足需要.1986 年美国 Galveston-Houston 公司研制了绞车盘式刹车装置,即 GH-TTE 型盘式刹车,该系统由 5 部分组成,即液压动力装置、两个相对的硬盘和间隔环、刹车手柄总成、两个刹车卡块总成和两个自动防止故障的卡块.该系统的主要特点是具有较大的静刹车扭矩和动刹车扭矩及较大的刹车扭矩调节范围,刹车灵敏,操作刹把省力,更换刹车衬垫方便,维修省时,并可基本消除噪音.

该制动系统可用于各种钻机上,但特别适用于陆地深井钻机和海上钻机等大钩负荷很

大的钻机上。

③ 辅助刹车

绞车的辅助刹车有水刹车和电磁涡流刹车两种。在现代钻机中,大型钻机已普遍采用电磁刹车,在中、小型钻机中则仍较多地采用水刹车。

电磁刹车近年研制出风冷式,其最大优点是以风代水进行冷却,不论高速或低速运转均可保证制动有力,而且制动扭矩调节方便。

在水刹车方面,美国 Baylor 公司研制出 Hyolro-Torque 2200 型高效能水刹车,该水刹车通过合理的设计,大大提高了刹车容量,减轻了重量和体积,简化了结构,装拆方便。

④ 主要零部件使用寿命提高

美国 CH-TTE 型刹车鼓采用高合金钢,薄壳淬火 HRC50-52。在恶劣工况下(钩载超过 3334kN),刹车鼓磨损量小变形小,使用寿命可达 2~3 年,是一般刹车鼓使用寿命的 2 倍。美国 Sfindco 公司生产的刹车块使用寿命 2 年以上,绞车链条一般也可以使用 2 年以上。盘式刹车使用性能好,使用寿命更长。

7. 钻井泥浆泵

为了满足喷射钻井、井下动力钻具钻井、深井和超深井钻井作业的要求,80 年代以来国外三缸泥浆泵得到广泛应用,基本取代了双缸泥浆泵。泥浆泵在基本参数、结构设计、制造工艺、使用寿命等方面,都有很大改进,并研制和开发了一些新型泥浆泵。其主要的进展为:

① 提高了泥浆泵的基本参数

80 年代国外泥浆泵基本参数的主要特点是功率高(最高可达 1838.24kw 即 2500hp)、冲程长(250~300mm、冲数低(100~120min⁻¹)、泵压高(在 39.2MPa 以上)、吸入效率高(97%~99%)、排量大(在 50.5L/S),能满足各种井深钻井作业的要求。

具体表现在:70 年代泥浆泵最大输入功率为 1176.5kw(1600hp),80 年代美国、罗马尼亚研制了输入功率分别为 1470.6kw(2000hp)和 1838.24kw(2500hp)的泥浆泵。

美国 Oilwell 公司的 HD1400-PT 型三缸泵,冲程长度从 254mm 增大到 305mm,冲次从 150min⁻¹下降到 120min⁻¹,最大泵压也有所增加。

NSCO 公司的 10-P-130 型三缸泵,最大缸套直径从 158.8mm(6 1/4in)增大到 171.5mm(6 3/4in),12-P-160 型三缸泵,最大泵压从 351.5 × 10⁵Pa 增加到 527.3 × 10⁵Pa。

GDCO 公司的三缸泵,在额定功率不变的情况下,各种规格三缸泵的最大泵压均提高了 15%。PZ-8-750 型泥浆泵的最大缸套直径从 158.8mm (6 1/4in) 增大到 177.8mm (7in)。而泥浆泵冲次从 165min⁻¹下降到 145min⁻¹。

② 改进结构设计

在泥浆泵结构方面的主要改进是,采用刚性好的双墙板泥浆泵壳体和重量较轻的钢板焊接泵架结构。泵壳体经过有限元应力分析、应力测试和动力分析计算,以保证壳体的刚性。如美国 DRECO 公司设计了双层墙板泥浆泵壳体,采用 25.4mm(1in)钢板两层支撑,比单墙板壳体刚性好。

泥浆泵液力端除采用直通式和 L 型结构外,80 年代中期美国 Mattco 公司推出一种 T

型液力端,该液力端的主要特点是吸入阀水平布置,更换吸入阀方便。结构紧凑、重量较轻,以 955.9kw(1300hp)三缸泵为例,L 型液力端重 4380kg,直通式液力端重 3960kg,T 型液力端重只有 3660kg,比直通式轻 300kg,比 L 型轻 720kg。T 型液力端经过自增强处理,具有较高的疲劳强度,使用寿命 8 年以上。

动力端各部件的密封采用飞溅重力自流润滑和齿轮输油泵喷油润滑的双重润滑系统。美国 Emsco 公司、Dreco 公司、EWC 公司的泥浆泵均采用这种双重润滑系统。

曲柄采用合金铸件,也有采用锻焊结构的,以提高强度和刚度。曲轴轴承座与泥浆泵壳体的联接形式,采用左右分瓣结构,再用螺栓与锥销加以紧固。这种新设计结构的特点是,螺栓和锥销不承受拉力,只承受工作时的剪切力,所以,曲轴不容易松动。

泥浆泵的齿轮采用双保险介杆密封结构,如美国 Dreco 公司的 10T-1000 型三缸泵。这种结构密封可靠,润滑油清洁,延长了齿轮的使用寿命。

③ 延长易损件的使用寿命

为了提高泥浆泵易损件的使用寿命,国外在泥浆泵易损件的结构设计、材料选用和热处理工艺方面下功夫。

美国泥浆泵活塞目前主要采用聚氨酯、聚氯丁橡胶、丁二烯-丙烯腈橡胶、丁二烯纳聚橡胶及天然橡胶等材料;活塞零件减少,省掉了卡箍,只有活塞芯、皮碗和压板 3 个零件。在活塞-缸套摩擦副冷却方式上,采用跟随冷却,大大提高了活塞使用寿命。

泥浆泵阀种类繁多,结构多种多样,可适用于不同压力、温度、工作介质。密封圈有丁腈橡胶、聚氨酯以及各种复合材料。阀体、阀座由优质合金钢(或优质碳素钢)整体锻造而成,并经过热处理,表面硬度高而心部强度大。

在泥浆泵缸套方面研制出新型陶瓷缸套,具有抗压强度高,耐磨性好,抗腐蚀能力强等特点。陶瓷缸套比一般双金属缸套使用寿命提高 3~4 倍。

目前国外泥浆泵主要易损件使用寿命指标为(泵压大于 $200 \times 10^5 \text{Pa}$ 工况条件下):

双金属缸套 600~800h,最高达到 2891h;陶瓷缸套 1800~2400h;活塞 250~350h;阀体和阀座 800~1000h,最高达到 2000h;阀密封圈 300~400h。

④ 研制新型泥浆泵

80 年代美国 Oilwell 公司推出 HD 系列两种新型三缸泵(HD1700-PT 型和 HD1400-PT 型),输入功率分别为 1250kw(1700hp)和 1029.4kw(1400hp),额定泵速 120min^{-1} ,冲程长度 305mm,最大缸套直径 191mm,最大排出压力 34.4MPa,最大排量 52.11L/S

HD 系列三缸泵适用于恶劣条件下的高泵压钻井,是专为英国北海及类似油田设计的,可在 -45°C 条件下正常作业。

瑞典 HK 工程公司与挪威 Norcem 海洋研究所共同研制了一种结构新颖的立式液压钻井泵,它是一种由变量液压泵驱动的双缸单作用活塞泵,其结构特点为泥浆泵活塞背面(直径较大)作为液压活塞,顶部的小液压活塞用于返回行程。每一单元泵包括两个泵缸活塞组,装有常规的泵阀。活塞下行时排出泥浆压力可达 34.5MPa,同时活塞加大部分作用于环形容积,将经单流阀供给的冲洗液,通过活塞下部,挤入泥浆流也就冲洗了泥浆活塞和缸壁。活塞上行在完成泥浆吸入行程的同时,环形容积也通过单流阀吸入冲洗液。液压控制系统可保持单元中两缸操作的协调。

这种泵的优点是:①活塞上下压差小, 活塞密封寿命长, ②采取水冲洗式密封可防止磨砾物进入环形区, 并将液压油与泥浆分隔开, 这种设计甚至在泥浆泵密封损坏时仍能保持无故障的活塞密封, ③整个泵的液力端及泵的液压传动装置内部压力保持平衡, 对运动部件的强度要求和重量都降低, 密封也大为简化, ④泵的低冲次, 具有良好的吸入性能。

二、国内的发展情况

80 年代中后期以来, 随着石油工业的发展, 我国石油钻机的标准化水平、技术水平、制造水平及研究开发能力、产品质量和品种, 有了较大的提高和发展。

1. 提高了石油钻机的标准化水平

为了满足我国石油工业发展的需要和缩小我国石油钻机与国际先进水平的差距, 1986 年, 原机械部与原石油部对实施了 6 年之久的国家标准 GB1806-79《石油钻机型式与基本参数》进行了修订, 并制订了 GB1806-86《石油钻机型式与基本参数》新的国家标准。其基本参数见表 1-1。

表 1-1 GB1806-86 石油钻机标准基本参数

级 别	15	20	32	45	60	80
名义钻深范围 (127mm 钻杆) (m)	900~1500	1300~2000	1900~3200	3000~4500	4000~6000	5000~8000
最大钩载(kN) (tf)	900(90)	1350(135)	2250(225)	3150(315)	4500(450)	5850(585)
最大钻柱重量(t)	50	70	115	160	220	280
绞车最大输入功率(kW)(hp)	260~330 (350~450)	400~510 (350~700)	740 (1000)	1100 (1500)	1470 (2000)	2210 (3000)
钻井有效绳数	8	8	8	10	10	12
最大有效绳数	8	8	10	12	12	14
钢丝绳直径(mm)	26	28.5	32.5	34.5	38	41.5
可配置的每台钻井泵的 功率(kW)(hp)	260~590 (350~800)	260~590 (350~800)	590,740,960 (800,1000,1300)	590,740,960 (800,1000,1300)	960,1180 (1300,1600)	1180 (1600)
转盘开口名义直径(mm)	445	445	520	520,700	700,950	950,1260
钻台高度(m)	3 4.5	3 4.5	4.5 6 7.5	4.5 6 7.5	6 7.5 9	7.5 9
井 架	各级钻机均可以采用提升 28m 立根的井架。对于 15、20 两级钻机也可以采用提升 19m 立根的可伸缩式井架					

GB1806-86 石油钻机标准规定:

我国石油钻机的级别, 分为 15、20、30、45、60、80 六种。每个级别的代号数字乘以 100, 即为石油钻机的名义钻深范围的上限值。

我国石油钻机的驱动型式, 分为机械驱动和电驱动两种。机械驱动是以柴油机为动力, 通过液力变矩器、链条、齿轮或三角胶带等不同组合的传统方式来实现。电驱动是用交、直流电动机驱动钻机的各工作机, 它包括电网供电或柴油发电机组供电两种方式。

修订后的标准具有以下几个特点:

(1) 增加了“15”级别的钻机

根据我国油层的分布情况, 1500m 以下的井深约占全国油层井深分布的 20%左右。

“15”级别的钻机对大庆、吉林等油田非常适合。另外“20”级钻机由于种种原因未能批量生产，不少浅井使用“32”级别的钻机钻井，很不合理，故增加“15”级的钻机是必要的。

从钻机系列分析，“15”级钻机多采用 127mm(部分用 114.3mm)钻杆，标准中取该级钻机的最大钻柱重量为 50t。对于小钻机，最大钩载与最大钻柱重量的比值一般 1.8 足够，所以“15”级别钻机的最大钩载定为 90t 符合 API 和 ISO 国际标准。

(2) 钻机的“名义钻深范围”作为钻机基本参数的第一参数

选用钻机时，对用户最直观的就是钻机的钻深能力。当然，采用不同尺寸的钻杆可以获得不同的钻深。但是，我国各油田目前广泛采用的是壁厚 9.19mm 的 127mm 无细扣钻杆，尤其是“20”级以上的钻机，除部分考虑用复合钻杆外，基本上都以 127mm 钻杆为主，因此，修订后的标准中，钻机的钻深能力是以 127mm 钻杆为计算依据的，即沿用原标准中的规定，按包括钻铤在内的钻柱的平均重量每米 36kg 计算。

修订后的标准中，钻深能力是以“名义钻深范围”给出的。每级钻机都有自己的钻深范围，以使用户根据油层深度和下套管的重量合理选用钻机。

修订后的标准中所列钻深范围，在相邻两级钻机之间留有重叠部分，所以 6 级钻机的钻深范围为 900~8000m 的油层深度，基本满足了我国目前油田的勘探开发需要。

标准中的各级钻机的钻深范围，只适用于钻直井。当用作钻定向井时，还要考虑提升时的摩擦阻力。

(3) 各级钻机的最大钩载符合 API 和 ISO 标准

原标准中各级钻机的最大钩载数值是根据当时的设备能力制定的，由于受到材料、工艺、测试等条件的限制，所以略低于世界先进水平。现在，国内的制造水平和配套能力，已具备达到 API 和 ISO 国际标准的水平。钻机最大钩载的提高有利于下较重的套管。

钻机的最大钩载，是指在规定的最大绳数下，进行解卡或下套管等特殊作业时，指重表上不允许超过的载荷数值。但是，考虑到井架、提升系统对动载的影响以及指重表系统的滞后现象，在许多情况下，指重表反映不出大钩的实际瞬时载荷。因此，建议套管柱重量按最大钩载的 75%左右设计，以保证套管柱在井下轻微遇卡时钻机仍有足够的提升能力。

(4) 保留了原标准中“最大钻柱重量”参数

在国外的标准或系列中没有“最大钻柱重量”这一参数，根据油田用户的意见保留了下来，以便油田工程技术人员配钻柱时参考。

“最大钻柱重量”，是指钻机在规定的钻井绳数下，正常钻井或进行起下钻作业时，允许大钩承受的最大钻柱在空气中的重量。其计算方法是用每米 36kg 乘以各级钻机名义钻深范围的上限值，并加以圆整。

在正常使用情况下，钻具重量不得超过最大钻柱重量，因为它会影响钻机零部件的疲劳寿命。

(5) 允许采用较大功率范围的钻井泵配置方案

修订后的标准中，每级钻机配置的单台钻井泵的功率不少于两种；对配置的台数不作规定，可补救钻井时排量的不足，同时泵的寿命也会提高。

(6) 每级钻机采用了 2~3 种不同高度的钻台方案

每级标准中，各级钻机的钻台高度偏低，不利于井口泥浆返回，不能满足组装防喷器