

DQ-90DB 交流变频顶部驱动钻井装置结构选型研讨*

□ 张洪生 □ 路通 □ 曹立宏

兰州理工大学 机电工程学院 兰州 730050

摘要:选择钻井名义深度 9 000 m 的交流变频顶部驱动装置作为研究方向,在借鉴 DQ-40BS、DQ-60D 和 DQ-70BS 成功经验和成熟技术的基础上,设计出 DQ-90DB 交流变频顶驱装置,将对复杂地质条件下的油气田勘探开发有非常深远的影响。

关键词:顶部驱动钻井装置 交流变频驱动 技术参数 结构

中图分类号:TH122;TE924

文献标识码:A

文章编号:1000-4998(2013)12-0020-04

20 世纪 80 年代以来,顶部驱动钻井装置逐步发展成为世界石油采钻行业前沿技术之一。顶驱装置的出现对钻井技术的进步有巨大的影响,成为深井、复杂井钻井以及出国钻井作业的必配设备之一。而顶驱装置凭借优越的性能、适用范围极广的特点,从 2 000 m 到 12 000 m 的井深都可以使用顶部驱动钻井系统。随着现代社会对石油需求不断增加,如今石油天然气能源的开采呈现向陆地深层和深海发展的趋势,因此顶驱技术的开发和研究,对复杂地质条件下的油气田勘探开发具有非常深远的影响。

* 兰州市科技计划项目(编号 2008-1-168)

收稿日期:2013 年 7 月

1 顶部驱动钻井装置结构

9 000 m 顶部驱动钻井装置主要由以下部分组成:水龙头-钻井马达总成(关键部件);导向滑车总成(关键部件);管子处理装置总成(体现最大优点的部件);平衡系统;冷却系统;顶部驱动钻井装置控制系统;可选用的附属设备^[1]。其主体结构示意图如图 1 所示。

2 主要技术参数

名义钻井深度:9 000 m(114 mm 钻杆);

最大载荷:6 750 kN(750 t);

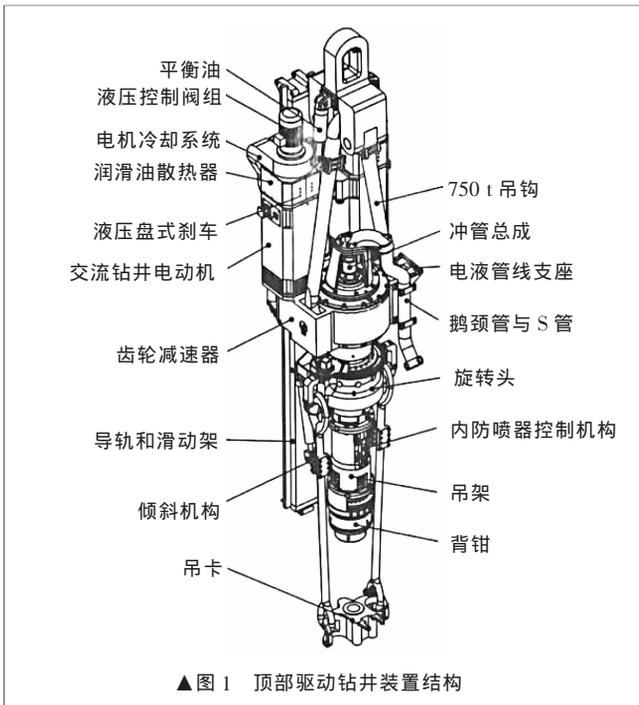
单方便、简洁明了,使原本复杂的工作空间计算轻而易举地得以解决。该并联机床的基本结构是 3-PTT 型并联机构,具有 3 个移动自由度,工作空间形状规则,有效空间较大,无空洞和空腔,适合于长方形工件的加工。由雅克比矩阵可知,该并联机床在整个运动空间内无运动干涉和耦合,无奇异点,可操作性良好,具有较好的实用性,适用于长方形工件的加工、工业搬运等领域。

参考文献

- [1] 朱伟,马履中,吴伟光,等.新型 3-PUU 并联机构的运动学和动力学分析及建模仿真[J].机床与液压,2007,35(9):17-19.
- [2] 郭宗和,段建国,郝秀清,等.4-PTT 并联机构位置正解解与工作空间分析[J].农业机械学报,2008,39(7):144-148.
- [3] CAO Yonggang, ZHANG Yuru, M A Yunzhong. Workspace Analysis and Parameter Optimization of 6-RSS Parallel Mechanism [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(1): 19-23.

- [4] Yunjiang Lou, Dongjun Zhang, Zexiang Li. Optimal Design of a Parallel Machine Based on Multiple Criteria [C]. International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, 2005.
- [5] 姜铭.并联双自由度转动机构机理分析及研究[D].南京:东南大学,2009.
- [6] 张辉,李强,宋春玉,等.并联机床工作空间的分析仿真[J].机电产品开发与创新,2009,22(5):170-171.
- [7] 叶东明,李开明.新型三自由度并联机构工作空间分析[J].机械设计与制造,2012(2):199-200.
- [8] 袁立鹏,赵克定,许宏光.Stewart 平台铰点工作空间的研究[J].航空学报,2006,27(5):979-984.
- [9] 王霄,韩亚峰,林跃强,等. Delta 型并联运动激光切割机床的工作空间分析[J].农业机械学报,2007,38(1):154-157.
- [10] 赵燕江,张永德,姜金刚,等.基于 Matlab 的机器人工作空间求解方法 [J]. 机械科学与技术,2009,28 (12):1657-1661.

(编辑 功成)



▲图 1 顶部驱动钻井装置结构

连续钻井扭矩: 70 kN·m;
 最大卸扣扭矩: 125 kN·m;
 转速范围: 0~200 r/min
 背钳夹持钻杆范围: 86~216 mm;
 额定功率: 500 kW×2(两台交流电机);
 电源电压: 600 V/AC;
 钻杆规格: $2\frac{7}{8} \sim 6\frac{5}{8}$ in (1in=24.5 mm);
 上部内防喷器: $7\frac{5}{8}$ in API REG box~pin, 70 MPa;
 下部内防喷器: $7\frac{5}{8}$ in API REG box~pin, 70 MPa。

3 总体方案设计

目前,顶驱在国内外的应用已经达到一定范围,顶驱技术也经过了数次更新。每个品牌的顶驱都有各自的技术优势。通过对以往国内外顶驱装置结构和使用情况的分析,对当前应用最多的各个顶驱优缺点进行比较,提出最优设计方案。

3.1 水龙头-钻井马达总成

水龙头-钻井马达总成是顶部驱动钻井装置的主体部件,由水龙头、马达和减速箱组成。

3.1.1 马达(电机)选择

根据顶部驱动装置的驱动形式区分,目前市场上在用的和正在生产的顶驱,有液压驱动和电驱动两大类。在电驱动顶驱中,又可分为直流(AC-SCR-DC)电驱动和交流变频(AC-SCR-AC)电驱动两种形式^[2]。在交流变频电驱动中,根据电机类型又可分为交流变

频感应电动机驱动和交流变频永磁电动机驱动两种形式。实际上可以分为 4 种驱动形式的顶驱,见表 1。

表 1 4 种驱动形式的优缺点

对比项	驱动方式			
	液压驱动	直流电驱动 AC-SCR-DC	交流变频感应电动机驱动 AC-SCR-AC	交流变频永磁电动机驱动 AC-SCR-AC
输出性能	输出性能差。低速情况下输出较大扭矩,在一定程度上满足作业现场对于抗火花、抗振等要求	扭矩大,过载能力差,功率因数较低,防爆性能差	功率利用率高,动力消耗少,调速方便、范围宽,启动转矩大	功率因数高,无机械减速机构,调速方便、范围宽,启动转矩大
控制情况	控制方便,响应较慢	控制方便	控制方便,响应快	控制方便,响应快
可靠性	差	差	高	高
质量体积	自身重量一般,体积较大	体积和质量较大	体积小,质量轻	体积小,质量轻
使用成本	维护成本较高	总成本较高	较低	一般(国内永磁电机技术还不能满足顶驱应用要求)
典型机型	加拿大 TESCO 650HC/HCI	美国 VARCO TDS-1, 国内北石 DQ-60D	国内北石 DQ-70BS, 美国 TDS-9S, TDS-11S	加拿大 TESCO 650ECL

相比较而言,交流顶驱在性能上的优点是:1) 更高的扭矩范围和更宽的转速范围;2) 维护费用低;3) 零转速时的扭矩高,且可以有效制动;4) 安全性好;5) 更小的整体尺寸和更轻的重量;6) 精确的速度和扭矩控制。

由于国内永磁电机方面的技术还不能满足顶驱应用要求,并且目前顶驱的主流应用还是以交流(AC-SCR-AC)变频感应电动机驱动形式为主,因此,选用以交流变频感应电动机驱动形式的顶驱。

3.1.2 计算

钻井深度: 9 000 m, 即 $L=9\ 000$ m; 选用 7 in 钻头钻进。

1) 钻头破碎岩石需要的功率 N_1 ^[3]:

$$N_1 = \frac{KWD_{\text{头}}}{3} \times \frac{n}{71.62} \times 0.746 \text{ (kW)} \quad (1)$$

式中: K 为摩阻因数,取 0.15; n 为转速,取 200 r/min; $D_{\text{头}}$ 为钻头直径,取 17.8cm; W 为钻压,取 28 t。

由式(1)得:

$$N_1 = \frac{0.15 \times 28 \times 17.8}{3} \times \frac{200}{71.62} \times 0.746 = 51.91 \text{ kW}$$

2) 旋转钻杆所需功率 N_2 :

引用蒲氏公式^[3]:

$$\gamma = 1.2 + 0.51g/L' \quad (2)$$

$$N_2 = 1.15 \times 10^{-5} \gamma L n^{1.6} \text{ (kW)} \quad (3)$$

式中: γ 为泥浆密度; L 为钻柱长度,取 9 000 m; n 为动力输出轴转速,取 200 r/min; L' = 9 km。

由式(2)、(3)得:

$$\gamma = 1.2 + 0.151g9 \approx 1.7 \text{ g/cm}^3$$

$$N_2 = 1.15 \times 10^{-5} \times 1.7 \times 9 \times 000 \times 200^{1.6} = 845.35 \text{ kW}$$

3) 电机所需总功率 $N_{\text{总}}$:

$$N_{\text{总}} = (N_1 + N_2) K_N \quad (4)$$

式中: K_N 为功率储备系数,取 1.2。

由式(4)得:

$$N_{\text{总}} = (51.91 + 845.35) \times 1.2 = 1\ 076.71 \text{ kW}$$

该功率即为所选电机功率。参考国内 DQ70 系列顶驱电机功率值,选定两台电机功率均为 500 kW,相对输出轴来说,即总功率为 1 000 kW。

3.1.3 水龙头总成设计

水龙头总成集合了转盘钻井装置中的几个功能,其中的冲管总成是整个顶驱静止部分和旋转部分的一个连接件。通过水龙头总成的泥浆通道,可以在钻进过程中注入泥浆至钻柱内。水龙头总成的主止推轴承位于变速箱内部的大齿圈上方,上部台阶坐在主止推轴承上,可以支撑钻柱负荷。主轴和鹅颈管之间有一个冲管总成,用来完成静部和动部的连接。冲管总成外部有支承座,把鹅颈管的重量传递给齿轮箱箱体。钢质的水龙头提环连接在顶驱本体上,可以使水龙头相对变速箱垂直移动。这种布置使主要部件的受力最小化,由箱体承载并传递给井架,提高了系统的安全性和可靠性。

水龙头总成属于标准的成型产品,国内外都有厂家对此进行单独开发和制造。本设计中,为使设备具有更好的通用性,使用通用的水龙头总成。水龙头总成结构示意图如图 2 所示^[4]。

3.1.4 减速箱设计

为获得大扭矩,顶驱装置一般都有减速(变速)箱装置,采用单速或双速齿轮传动。较早的顶驱装置采用直齿圆柱齿轮传动,目前国外大多数 500 t 以上顶驱采用噪声小,使用寿命长的斜齿轮传动。

TDS-11SA 顶驱传动



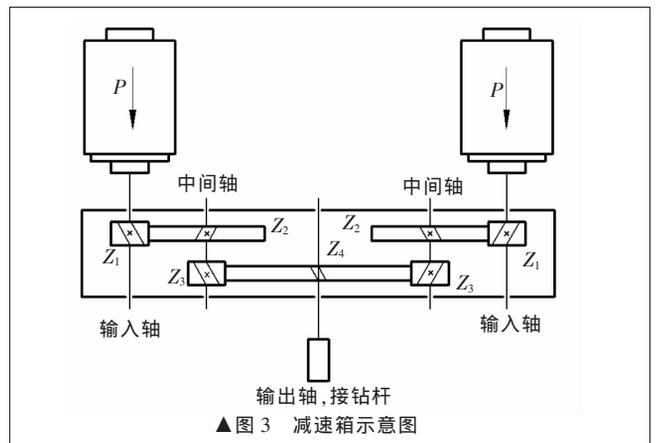
▲图 2 水龙头总成结构图

箱和水龙头总成内部是单级双减速齿轮系统,从电机到主轴的减速比为 10.5:1。轴承和齿轮由一个安装在箱体上的油泵强制润滑。一个低速液压马达驱动油泵,过滤后的润滑油通过主支撑轴承、扶正轴承、小齿轮和复合齿轮轴承及齿轮的齿面连续循环。油热交换是空冷式,传动箱上安装有油位指示器可监视油面高度。

IDS-1 顶驱传动箱和水龙头总成内部是行星齿轮减速系统,从电机到主轴的减速比为 6.0:1。而 CANRIG 1050E 顶驱除了一个双级减速系统外,还有一套增扭器装置,用于上卸扣时增加辅助的扭矩。轴承和齿轮的润滑采用浸入和飞溅方式。

DQ70BS 顶驱传动箱和水龙头总成内部是二级齿轮减速系统,传动比大(10.5:1),两对齿轮均为斜齿轮,硬齿面,传递扭矩大,噪声小,以适应崩扣时大扭矩的要求。所有轴承均采用 SKF 轴承,抗振动冲击。润滑系统采用摆线齿轮油泵强制润滑,由一个主电机输出轴驱动,正反转都可输出润滑油^{[5][6]}。

本设计采用展开式二级减速斜齿轮系统,使传动更加平稳,而且,此减速系统结构简单,便于维护和修理。减速系统示意图如图 3 所示。



▲图 3 减速箱示意图

3.2 管子处理装置总成

管子处理机主要用来取送钻杆和进行上卸扣作业,它可以在任意位置通过液压马达实现上卸扣功能,管子处理机最能体现出顶驱钻机的先进性与优越性。管子处理机装置为钻杆钻进作业服务,是顶驱装置的重要组成部分。它由旋转机构、背钳、吊环取送机构等组成。

本文主要研讨确定管子处理装置核心部件背钳的结构,结合目前国内外顶驱装置采用的背钳产品进行详细对比,选择最优方案。

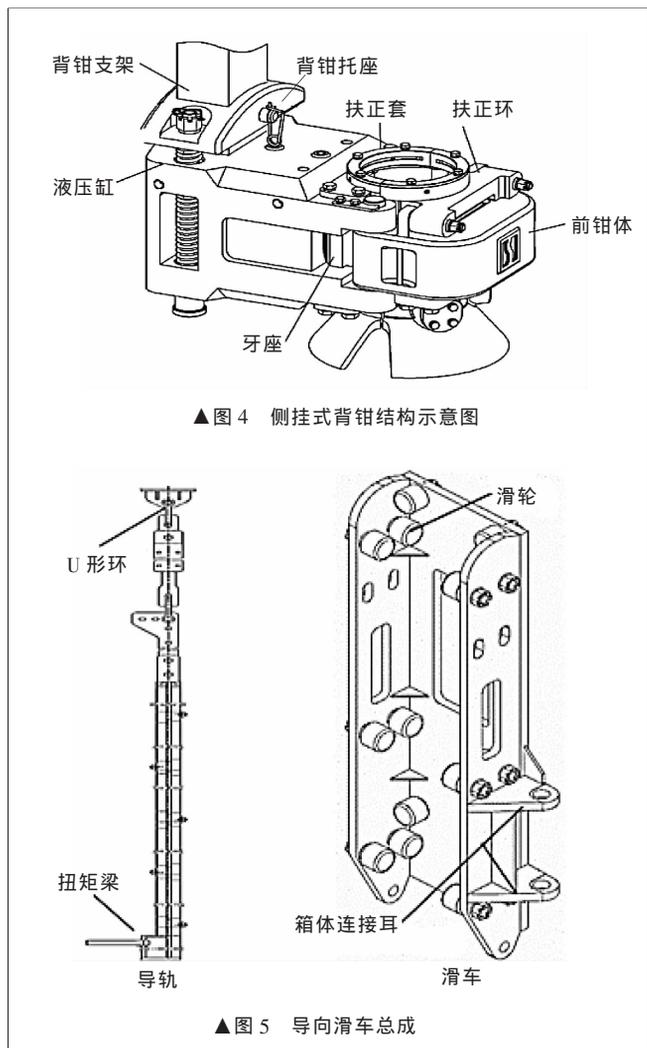
3.2.1 环形背钳和侧挂式背钳的比较

国内外的背钳产品主要有环形背钳和侧挂式背钳两种形式,由于环形背钳的结构中心和顶驱装置的旋转中心相同,所以环形背钳能够实现结构的自动对中

功能,而不需要设计定心扶正机构,简化了背钳系统的机械结构。但是环形背钳有一个天生的缺陷就是维护和保养十分不便,钻机大多数时间是在非常恶劣的条件下工作,所以顶驱钻机的各个设备的故障率都很高,这就要求工人经常对各个设备进行必要的保养,而侧挂式背钳可以很好地解决这个问题。侧挂式背钳只要拆掉背钳外壳之间的连接销就可以打开背钳体,方便更换钳牙,使维修变得简单易行,背钳体还可以滑动以拆装保护接头、手动和自动防喷短节^[7]。

3.2.2 背钳的选择

本设计采用侧挂式背钳,为双向浮动式液压背钳,主要用于夹紧钻杆接头,实现钻杆与顶驱保护接头上卸扣的功能。还可以上下滑动以拆装保护接头、手动和自动防喷短节。其特点是:可以上下移动到指定的工作位置,并在该位置固定后上下双向浮动,拆卸保护接头和防喷短节易于操作。上卸扣时背钳可以随螺纹旋合时的轴向运动而上下移动,可以在螺纹旋合时防止螺纹牙形的损坏,延长钻杆使用寿命。该背钳牙座为敞开



▲图4 侧挂式背钳结构示意图

▲图5 导向滑车总成

式,两半扶正环径向浮动可以导向,牙板和液压大钳的牙板可以互换使用,使得该背钳现场使用、维护方便,尤其在检修或更换IBOP(内防喷器)时简单快捷,大大减化了系统结构,并减少了机械故障几率及检修费用,侧挂式背钳结构示意图如图4所示。

3.3 导向滑车总成结构

这一总成的主要作用是承受顶驱工作时的反扭矩,并将扭矩通过导轨传递给井架。早先这一总成是一个马达支架,上面带有滚动装置,与导轨相连,整个顶驱在马达支架的约束下在导轨上面上下来回运动。当前,顶驱这一总成采用导向滑车的结构形式,导轨上部用U形环与天车底梁后耳板向量,下部直接与井架扭矩梁相连,将扭矩传递到井架下部,避免井架上部承受扭矩,结构示意图如图5所示。

顶驱减速箱体连接滑车,滑车被穿入导轨与导轨连接,顶驱随着滑车在导轨上面上下活动,结构简单合理,给顶驱的安装维护带来很大方便。

4 技术特点

采用交流变频技术,双电机一对一控制,转速控制和转矩控制自动切换,实现了在额定转矩下连续堵转运行,提高了顶驱系统应对井下复杂工况和事故处理的能力。使用通用的水龙头总成,备具有更好的通用性;采用展开式二级减速齿轮系统,传动更加平稳,结构简单,维修方便,通用性更好;背钳只需要能够实现卡紧功能即可,无需卡紧后的旋扣动作,钳头处机构原理比较简单,安装、维修方便。

参考文献

- [1] 陈朝达.顶部驱动钻井装置(二)[J].石油矿场机械,2000,29(3):1-5.
- [2] 白新海.顶部驱动钻井装置性能评述[J].机械设计与制造,2009(2):261-263.
- [3] 陈朝达.顶部驱动钻井系统[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [4] 陶涛.7000米顶部驱动钻井装置设计计算[D].东营:中国石油大学,2011.
- [5] 沈泽俊,白光利,邹连阳,等.DQ-70BS交流变频顶部驱动钻井装置[J].石油机械,2005,33(2):39-41.
- [6] 邹连阳,刘广华,李一心,等.DQ40BC交流变频顶部驱动钻井装置研制与应用[J].石油机械,2006,34(11):41-43.
- [7] 效志辉.钻井顶驱系统背钳机构研究.[D].长春:吉林大学,2012.
- [8] 梁应红,王中杰,张亚强,等.Tesco液压顶部驱动装置的优点及现场应用[J].石油矿场机械,2005,34(4):81-83.

(编辑 丁 罡)