

doi:10.3969/j.issn.1008-0813.2020.02.001

# 3500HP 型钻井泵液力端的研究与展望

张洪生 褚正宾

(兰州理工大学 机电工程学院,甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 随着科技的发展和进步,石油、天然气和页岩气等能源已成为全球所有国家的命脉。然而想要拥有足够的能源,就必须具备先进的开采技术,因此钻井泵的发展尤为重要。钻井泵被誉为钻机的“心脏”,对于钻机来说至关重要,而对于钻井泵来说其液力端易损件的使用寿命与钻井泵的工作效率和使用寿命息息相关,因此只有提高钻井泵液力端易损件的使用寿命才能确保钻井泵的正常钻进、较高的工作效率和使用寿命。随着信息技术的发展和各行各业的相互促进与相互影响,在未来钻井泵也会向着信息化、自动化、轻量化、人性化和智能化的方向发展。

**关键词:** 钻井泵液力端;使用寿命;工作效率;人性化

**中图分类号:** TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2020)02-0001-04

## Research and Prospect on the Hydraulic End of 3500HP Drilling Pump

ZHANG Hong-sheng, CHU Zheng-bin

(School of Mechanical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** With the development and advancement of technology, energy has become the lifeblood of all countries in the world, such as oil, natural gas and shale gas. However, in order to have sufficient energy, advanced mining technology is required, so the development of drilling pumps is particularly important. The drilling pump is known as the “heart” of the drilling rig, which is very important for the drilling rig. For the drilling pump, the service life of the hydraulic end consumables is closely related to the working efficiency and service life of the drilling pump, so only the drilling is improved. The service life of the fluid end of the pump can ensure the normal drilling of the drilling pump, high working efficiency and service life. With the development of information technology and the mutual promotion and mutual influence of various industries, in the future, drilling pumps will also develop in the direction of informatization, automation, lightweight, humanization and intelligence.

**Key words:** hydraulic end of drilling pump; service life; work efficiency; humanization

## 1 概述

随着时代的进步和信息技术的发展以及钻井工艺技术的提高,大功率、高泵压、大排量变成了钻井泵发展的必然趋势,尤其伴随着一些新技术和新工艺的发展如高压喷射钻井、丛式定向钻井、近平衡钻井和水平井等。正是由于科技和信息技术的共同带动之下使得各行各业能够紧密配合,协调发展。因此随着信息技术的飞速发展钻井泵也将向着信息化、自动化、轻量化、人性化、智能化的方向发展。

能源对当今世纪的每一个国家来说都是重中之

重,是因为能源是这个世界发展所不可或缺的关键因素。通过对全球主要大型石油公司和国际能源机构历年所发布的世界能源展望报告进行梳理和总结,可以得到2030年世界能源发展的格局将不会发生大变化<sup>[1]</sup>。世界能源消费的主体仍是占全球能源消费总量80%左右的石油、天然气、煤炭等化石能源。在“一带一路”战略下中国与周边国家在能源双边合作上取得了重大进展,而且深化能源合作机制、推进能源共同市场建设、促进能源设施互联互通,共同推动周边绿色发展。因此大功率高泵压钻井泵的发展对我国来说是非常重要的。经过了这一百多年不断地改进和完善,钻井泵从单缸单作用泵到双缸双作用泵再到现在各种类型的钻井泵,这么多年来不仅提高了钻井效率,也更加促使了钻井工艺和技术的不断发展。最近十几年来钻井泵主要向高泵压、大功率、轻量化、机电融合技术等方向发展。如图1为2015年我国部分能源的新增探明储量以及现有技术可开采量。

收稿日期: 2019-03-28

基金项目: 2014年兰州理工大学高水平科技项目培育基金项目

作者简介: 张洪生(1962-),男,甘肃武威人,教授级高级工程师,学士,研究方向:主要从事现代设计方法、工业机器人和石油机械设备等方面的教学与研究工作。

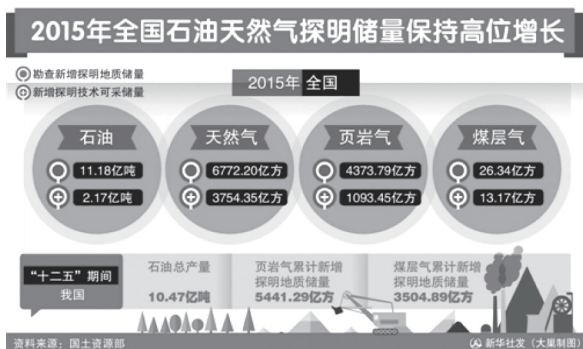


图 1 2015 年我国部分能源的新增探明储量以及现有技术可开采量

由图 1 可知我国的石油、天然气、页岩气和煤层气的新增探明技术可开采量远远达不到勘查新增探明地质储量的一半,因此大功率高压钻井泵的发展尤为重要,我们只有拥有了先进的高智能技术才能拥有更多的能源,才能更好地谋求长远的发展。而对于钻井泵来说其液力端易损件的使用寿命与钻井泵的工作效率和使用寿命息息相关,因此只有提高钻井泵液力端易损件的使用寿命才能确保钻井泵的正常钻进和较高的工作效率和使用寿命,则 3500HP 型钻井泵液力端的研发是钻井泵发展的必然趋势。如表 1 为 3500HP 型钻井泵的技术参数,该基本参数是我们通过对钻井泵的设计计算和优化总结所得出。

## 2 钻井泵的工作原理

钻井泵的重要组成有动力端和液力端,它们各有其独特的功能。拥有传递动力和转换运动方式这类独特功能的是动力端,并为液力端提供动力支撑。拥有将机械能转化成液体的动能,以输送高压泥浆这类独特功能的是液力端。如图 2 为钻井泵的工作原理示意图。

由图 2 容易看出钻井泵的工作原理是利用曲柄滑块机构来完成的,当曲柄滑块机构的滑块即活塞到达最远点后在曲柄即曲轴总成的带动下往回运动时吸入阀打开排出阀关闭,泥浆从泥浆入口进入到活塞缸中,直至滑块运动到最近点便完成了泥浆的吸入过程,然后在曲柄的带动下滑块向最远点开始运动,此时液缸内压力变大,此时排出阀便会打开,吸入阀便会关闭,

泥浆便从泥浆出口向外排,直至活塞运动至最远点便完成了泥浆的排出过程。以上便是钻井泵的工作过程,钻井泵就是利用吸入泥浆和排出泥浆这两个过程来完成泥浆的持续输出。

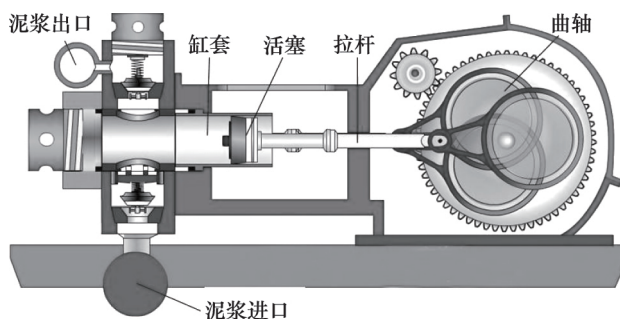


图 2 钻井泵的工作原理示意图

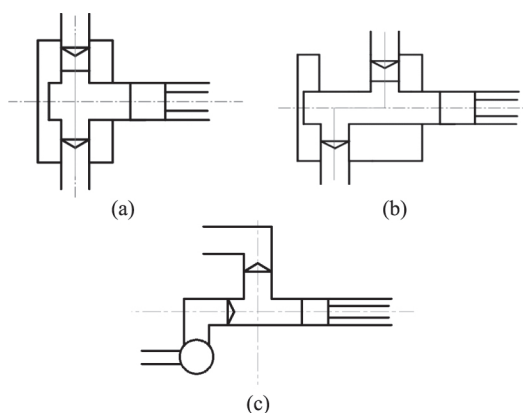


图 3 液缸不同类型示意图

## 3 钻井泵液力端总成

### 3.1 液力端简介

液力端是钻井泵的重要组成部分。液力端的类型分为 I 型(直通型)、L 型和 T 型如图 3 所示,图 3a 为 I 型(直通型)液力端优点是结构紧凑,重量较轻,缸内余隙流道长度短,有利于自吸,缺点是检修比较困难,因为在更换吸入阀座时必须拆除上面的排出阀。图 3b 为 L 型液力端与图 3a 相比恰好相反,其检修和维护方便,因为吸入阀可单独拆卸,但是结构不紧凑,缸内余隙流道长,重量大,自吸能力较差。图 3c 为 T 型液力端其特点是泵头结构紧凑,内部余隙容积较小,重量较轻,这是因为其吸入阀水平布置,排出阀垂直布置,但是更换

表 1 3500HP 型钻井泵的技术参数

项目	额定输入功率 /kW	额定冲次 /min <sup>-1</sup>	冲程 /mm	最大工作压力 /MPa	最大排量 /(L/S)	缸套直径/mm		缸套相应压力/MPa	
						最大	最小	最大	最小
参数	2608	100	390	56	75.5	224	166	30.467	56

吸入阀时需要卸下吸入液缸和弯管,泥浆漏失较多。

液力端作为钻井泵的重要组成部分,对于钻井泵来说至关重要,其易损件的使用寿命与钻井泵的工作效率和使用寿命息息相关,因此只有提高钻井泵液力端易损件的使用寿命才能确保钻井泵的正常钻进、较高的工作效率和使用寿命。液力端主要部件有吸入管、排出管、液缸、活塞杆、活塞总成、阀总成、缸套等。部分零部件如图4所示。

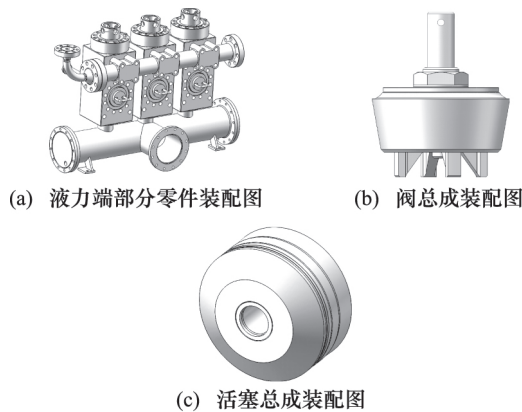


图4 液力端主要零部件

由于钻井泵液力端易损件不过关从而导致机械钻速缓慢,限制了大功率高泵压钻井泵的发展。因此,延长易损件的寿命是大功率高泵压钻井泵发展首要解决的关键问题。因此我们就必须要改进液力端密封件的性能,并保证各个元件具有耐腐蚀、耐高温和耐磨损的性质。同时要完善密封元件的受力状况,则需要设计精确的结构,只有精确的密封结构才能保证液力端密封元件具有高的承载力、耐高温、抗老化、摩擦系数小和自润滑性能好等特点。

泵压的直接影响因素之一便是液力端密封元件,而且密封不良将会花费非常大的劳动维护量,进而影响钻井泵效率。衡量液力端密封能力的指标有密封的极限压力和在该压力下液力端密封元件的可靠性和使用寿命<sup>[2-3]</sup>。因此对于大功率高泵压钻井泵液力端的零部件来说,其易损件不仅要具有耐腐蚀和耐磨损的性能,还要能够承受足够高的压力,拿液力端活塞来说,在钻井泵液力端的泵压超过42 MPa时就要采用柱塞或盘根形式,因为以往的橡胶活塞无法承受高压。在现实环境中,液力端不仅要有足够的密封能力,液缸的抗疲劳强度和使用寿命也至关重要。

### 3.2 泵阀的研究与展望

严重制约着钻井泵向大功率、大排量、高泵压方向发展的主要因素之一是泵阀,因为其使用寿命短更换

次数频繁。阀体与阀座的冲击磨损是泵阀失效的主要原因,因此为了更好的加强泵阀的设计理论,延长泵阀的寿命,我们必须对泵阀各部分间的冲击问题以及阀隙流场进行研究。

泵阀是控制泥浆单向流动的液压闭锁结构,寿命短更换次数频繁,严重制约着生产效率的提高。因此,对泵阀做冲击动态仿真研究意义重大。当伸出厚度取0.5 mm左右时,泵阀具有良好的冲击性能;当阀体锥角取60°时,阀体最大等效应力值最小;当阀体锥角取55°时,阀座最大等效应力值最小<sup>[4-6]</sup>,因此通过研究泵阀的冲击特性,可以更好的完善泵阀的结构,进而降低冲击磨损对泵阀所造成伤害,延长泵阀的使用寿命,这样便可以提高液力端的使用寿命和工作效率。

为了应对不同功率、不同型号钻井泵泵阀设计难的问题,我们需对泵阀做参数化虚拟设计,这可以完备泵阀的系列化生产。因此,提出泵阀的参数化虚拟设计,不仅实现了泵阀的理论计算、理论校核和绘图的一体化,而且还解决了多种型号钻井泵泵阀的设计难题,更缩短了泵阀的研发时间,这对泵阀来说意义重大。

### 3.3 缸套的研究与展望

钻井泵主要易损件之一缸套质量和性能的好坏,不仅直接影响钻井工作的正常进行,而且与建井周期长短和钻井成本的高低密切相关。

#### 1) 缸套的失效原因

缸套的失效是由磨损造成的,其磨损主要分为三个阶段,初始阶段为表面磨损,主要为疲劳磨损,当疲劳磨损达到一定程度后转变为第二阶段的磨粒磨损,而到了最后阶段便是由于前期磨损所造成的裂纹以及缸套内壁必然存在的疏松孔洞、夹杂物等缺陷,一起加速了泥浆对缸体的腐蚀作用,因而造成泥浆泄露,泵压下降,从而致使缸套失效。

现今钻井泵向着大功率、高泵压、人性化和智能化的方向发展,因此,钻井泵的工作压力非常高,而且钻井泵输送的泥浆含有大量的泥沙,泥浆因其地层深度的不同酸碱度也不一样,具有很强的腐蚀性会加速活塞和缸套的摩擦,从而致使缸套失效。

#### 2) 缸套寿命的提高

缸套受到工作环境和工作方式的限制,其磨损失效是必然的,因此只有通过应用耐高温、耐磨损和耐腐蚀的新型材料作缸套内衬才能提高缸套的性能和使用寿命。陶瓷的硬度大多在1500HV以上,熔点大多在2000℃以上,而且陶瓷的化学性能很稳定,在高温下不易氧化,并对酸性、碱性和盐类物质有着良好的抗腐蚀

能力,这些特性远远优于金属材料。因此采用陶瓷制作缸套内衬可大大提高缸套的性能和使用寿命。

### 3) 组装式陶瓷缸套结构的优点

(1) 组装式陶瓷缸套结构的左右端金属外套都是很普遍且成本较低的金属材料,而且该金属缸套还可以重复使用,有效的提高了材料的利用率。

(2) 组装式陶瓷缸套结构的缸套内衬,是由缸套内衬的钢管外套与陶瓷内衬经过高技术生产工艺制造生成,该缸套内衬充分发挥了钢管外套和陶瓷内衬的优点,陶瓷内衬的优点是高硬度、高耐磨、耐腐蚀、耐热性好,钢管外套的优点是强度高、韧性好、耐冲击、焊接性能好,总之就是该方法克服了陶瓷韧性差、钢管外套硬度低、耐磨性差的特点。

(3) 该设计结构避免了将缸套整体更换,当组装式陶瓷缸套结构达到寿命期限后,我们只需将缸套内衬更换即可,这样也大大减少了对材料的浪费,同时还节省了人工。因此,我的这种设计方法对材料的利用率和人力的节省有了很大的改善,这很好的遵循了可持续发展理念,同时还可以大大提高缸套的使用寿命,可以满足各类工业生产需求。

缸套作为液力端的易损件,它的寿命与钻井泵的使用寿命和钻井成本息息相关。对于缸套来说其最主要的特点是耐高压、耐磨损、抗腐蚀,以及对于配合尺寸精度的控制。随着时代的进步,缸套的发展历程为单金属缸套→双金属缸套→陶瓷缸套。为了使钻井泵发展能跟上时代的脚步,并能在硬岩层、深井、超深井以及海上钻井中发挥更好的工作效率,寿命长且性能价格比合理的缸套尤为重要<sup>[7]</sup>。工程陶瓷具有高硬度、高耐磨性、耐高温、耐腐蚀、摩擦系数小等优点,因此组装式陶瓷缸套的研究和发展是提高钻井泵的钻井成本和使用寿命的必然趋势。

## 4 总结

随着科技的进步钻井泵向大功率,大排量,高泵压的方向发展。随着信息技术的发展,以及各行各业的相互影响和相互促进,未来钻井泵也会向着信息化、自动化、轻量化、智能化和人性化的方向发展。为了适应恶劣的环境,也为了使各行各业能够紧密配合,协调发展,钻井泵的型式要更趋于多样化、技术更趋于先进化、设计更趋于人性化,因此3500HP型钻井泵的研发是钻井泵发展的必然趋势。

由于钻井泵液力端易损件不过关从而导致机械钻井速度缓慢,限制了大功率高泵压钻井泵的发展。因此,想

办法延长易损件的寿命,就是大功率高泵压钻井泵的发展首要解决的关键问题。因此我们就必须要改进液力端密封件的性能,而且要保证各个元件具有耐腐蚀、耐高温和耐磨损的性质。同时要完善密封元件的受力状况,则需要设计密封结构,只有精确的密封结构才能保证液力端密封元件具有高的承载力、耐高温、抗老化、摩擦系数小和自润滑性能好等特点。

泵阀失效的主要原因是阀体冲击阀座形成的冲击磨损,为了更好的加强泵阀的设计理论,延长泵阀的寿命,我们必须对泵阀各部分间的冲击问题以及阀隙流场进行研究。为了应对不同功率,不同型号钻井泵泵阀设计难的问题,我们需对泵阀做参数化虚拟设计,这可以完备泵阀的系列化生产。该方法不仅实现了泵阀的理论计算、理论校核和绘图的一体化,而且还解决了多种型号钻井泵泵阀的设计难题,更缩短了泵阀的研发时间,这对泵阀来说意义重大。

缸套作为液力端的易损件,它的寿命与钻井泵的使用寿命和钻井成本息息相关。对于缸套来说其最主要的特点是耐高压、耐磨损、抗腐蚀,以及对于配合尺寸精度的控制。随着时代的进步,缸套的发展历程为单金属缸套→双金属缸套→陶瓷缸套。为了使钻井泵发展能跟上时代的脚步,并能在硬岩层、深井、超深井以及海上钻井中发挥更好的工作效率,寿命长且性能价格比合理的缸套尤为重要。工程陶瓷具有高硬度、高耐磨性、耐高温、耐腐蚀、摩擦系数小等优点,因此组装式陶瓷缸套的研究和发展是提高钻井泵的钻井成本和使用寿命的必然趋势。

### 参考文献

- [1] 曹斌,李文涛,杜国敏,吴浩筠. 2030年后世界能源将走向何方?——全球主要能源展望报告分析[J]. 国际石油经济, 2016, 24(11): 8-15.
- [2] 张洪生,迟明,冯殿军,谷敏永. 3NB2200型大功率钻井泵的泵压分析研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(16): 4776-4779.
- [3] 李德清,翁卫东,李蓉,王荣修. 一种新型五缸钻井泵的设计[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(05): 60-62.
- [4] 朱修传. 往复泵总体设计中主要参数的确定[J]. 煤矿机械, 2007, 28(04): 29-30.
- [5] 钟功祥,武江瑜,骆家银. 基于ANSYS/LS-DYNA钻井泵泵阀冲击动态仿真研究[J]. 机械设计, 2017, 3(11): 42-47.
- [6] 莫丽,王晓兵,王军. 基于CFD的压裂泵泵阀结构特性分析[J]. 机械设计, 2015, 32(6): 75-78.
- [7] 杨杰,杨毅. 钻井泵陶瓷缸套的研制现状与应用[J]. 石油机械, 2002, 30(9): 54-56.