

Ø89 mm 等壁厚螺杆钻具实验分析

黄玉文, 张德龙

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:等壁厚螺杆钻具与现有常规螺杆钻具相比具有长寿命、大扭矩、适用范围更广的特点。目前等壁厚螺杆钻具相关的研究工作都还停留在理论分析的阶段。本文系统地介绍了螺杆钻具的理论特性和实际工作特性,并结合室内实验及现场应用分析了等壁厚螺杆钻具的性能特点,验证了Ø89 mm等壁厚螺杆钻具的理论性能,建立了等壁厚螺杆钻具容积效率、转速、扭矩、功率的计算模型。可以为等壁厚螺杆钻具设计及现场钻进参数优化、钻具选型提供指导和参考。

关键词:等壁厚螺杆钻具;参数性能;容积效率

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)11-0063-04

Experimental Analysis on Uniform-thickness PDM/HUANG Yu-wen, ZHANG De-long (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Compared with conventional PDM, uniform-thickness PDM has wider application range with long service life and high torque. The related research on uniform-thickness PDM is still in the stage of theoretical analysis. This paper introduces the theoretical performance and the actual working performance of PDM, analyzes the performance characteristics of 89mm uniform-thickness PDM based on the laboratory tests and field experiments and establishes the calculation models of volumetric efficiency, speed, torque and power, the results verify the accuracy of the theoretical performance of the uniform-thickness PDM, which could provide guidance and reference for uniform-thickness PDM design and drilling tools selection.

Key words: uniform-thickness PDM; performance parameter; volumetric efficiency

0 引言

螺杆钻具又称定排量马达,是一种容积式井下动力钻具,通常由旁通阀、马达节、传动轴、万向轴等组成。其中,马达由定子和转子构成,其作用是将泥浆的水力能转化为钻头旋转破岩的机械能^[1]。采用螺杆钻具进行复合钻进可大幅提高机械钻速^[2],因而在石油、煤田地质等钻探施工中应用十分广泛^[3]。

等壁厚螺杆钻具是近年来国内外发展起来的一种新型螺杆钻具,其结构组成与常规螺杆钻具相似,不同之处在于等壁厚螺杆马达定子外壳内表面采用预轮廓的形式,形成与转子相配合的螺旋曲面,在螺旋曲面上浇铸厚度均匀的橡胶衬套,与转子配合形成等壁厚马达,因此又称为预轮廓马达^[4-5]。

等壁厚螺杆钻具与常规螺杆钻具相比具有扭矩更大、寿命更长的优点,在深井、大位移井、丛式井、

短半径水平井、小井眼钻探中应用有明显的优势。等壁厚螺杆钻具自研究成功以来,得到了迅速发展,国内相关学者在理论研究方面做了大量工作,但是试验研究工作匮乏,为了满足钻井现场需要,本文开展了等壁厚螺杆钻具实验研究。

1 螺杆钻具工作特性

1.1 螺杆钻具理论特性

螺杆钻具是一种容积式机械,其理论基础是液压传动的帕斯卡原理。在不考虑水力损失、无摩擦、无漏失的理想情况下,根据容积式机械工作原理,按能量守恒定律,在一定的时间内钻头输出的机械能应等于螺杆钻具输入的水力能^[1],则有:

$$M_T \omega_T = \Delta p Q \quad (1)$$

根据容积式机械的工作原理,可得:

$$n_T = 60Q/q \quad (2)$$

收稿日期:2016-08-24

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“小口径孔底动力钻进关键技术攻关及应用研究”(编号:12120113017500)

作者简介:黄玉文,男,汉族,1968年生,大口径研发中心常务副主任,高级工程师,探矿工程专业,主要从事大口径旋挖钻具及地质钻探器具、工艺的研发工作,北京市海淀区学院路29号, huangyuwen1968@163.com。

根据旋转角速度与转速的关系,可得:

$$\omega_T = \pi n_T / 30 \quad (3)$$

则根据以上3个公式可得出:

螺杆钻具的理论扭矩:

$$M_T = \Delta p q / (2\pi) \quad (4)$$

螺杆钻具的理论功率:

$$N_T = \Delta p Q \quad (5)$$

式中: M_T ——螺杆钻具理论扭矩, $N \cdot m$; ω_T ——钻头旋转理论角速度, rad/min ; n_T ——钻头理论转速, 即螺杆钻具输出转速, r/min ; Δp ——螺杆钻具进、出口的压力降, MPa ; q ——螺杆钻具每转排量, 仅与马达的线型和几何尺寸有关, L/min ; Q ——流经螺杆钻具的流量, 即工作排量, L/min ; N_T ——螺杆钻具的理论功率, kW 。

根据上述公式可得到螺杆钻具的理论工作特性曲线,如图1所示:

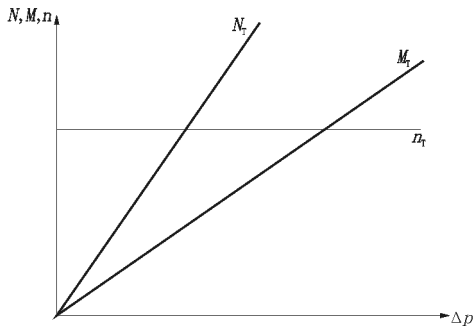


图1 螺杆钻具理论工作特性曲线

从螺杆马达理论计算公式可得出螺杆钻具的性能特征如下。

(1) 螺杆钻具的输出转速只与工作排量和马达结构有关, 而与其他钻进参数(钻压、扭矩等)无关; 工作扭矩与钻具压降和自身结构有关, 而与输出转速无关, 工作转速和扭矩是相互独立的2个参数。

(2) 螺杆钻具具有一定的硬特性: 压降增加可使工作转矩 M 变大, 不因负载增大而降低转速, 具有良好的过载能力。

(3) 工作扭矩变化, 螺杆压降变化, 因此可由泵压数值的改变来推断井下钻具的工作状态。

(4) 转速与排量呈线性关系, 随着排量的增加而增大, 可通过调节工作排量来调节井下钻具的工作转速。

(5) 螺杆钻具的工作转速和扭矩均与钻具自身结构有关, 提高螺杆马达的每转排量, 可降低钻具输出转速, 提高输出扭矩。螺杆钻具的头数越多, 每转

排量越大, 马达的转速越低、扭矩越大。

1.2 螺杆钻具的实际工作特性

根据容积式机械原理, 从螺杆钻具的自身结构来看, 每个腔之间是互相密封的。但是, 从实际角度来讲, 各容腔间的接触面或线在泥浆压差的作用下必然发生变形, 产生一定的间隙, 导致一定量的泥浆通过密封腔间的微小间隙漏失掉, 从而造成螺杆钻具的输出转速相应降低^[6-8]。在工作过程中, 受泥浆侵蚀、固相磨损, 马达定子间的间隙也会进一步增大^[9]。同时, 螺杆钻具其他组成部件因加工、装配精度等方面的误差或缺陷, 也必然产生一定的机械损失。螺杆马达的容积效率可用 η_v 来表示, 其实际工作转速可以表示为

$$n = n_T \eta_v \quad (6)$$

$$\eta_v = (Q - Q_1) / Q \quad (7)$$

式中: Q_1 ——通过密封腔间的间隙漏失的钻井液量, L/min 。

由于 $n_T = 60Q/q$

$$\eta_v = n/n_T = qn/(60Q) \quad (8)$$

众所周知, 对于同一螺杆钻具而言, 钻井液的漏失量随着压降的增加而增加, 可表示为:

$$\eta_v = qn/(60Q) = f(\Delta p) \quad (9)$$

螺杆钻具工况复杂, 很难通过理论计算得出其实际的容积效率, 必须通过实验的方式来获得。

2 等壁厚螺杆钻具实验分析

2.1 实验目的与方法

钻探技术的发展对螺杆钻具的工作性能提出了更高的要求, 既要满足长寿命井下钻进工作, 又要保证更佳的工作性能, 因此需要对螺杆钻具的实际工作特性有更加深入的认识, 这样才能针对不同的钻进工况, 合理选择螺杆钻具及配套工具, 从而达到提高机械钻速, 降低施工风险的目的。仅通过理论计算的方法无法获得螺杆钻具的实际工作特性, 只能采用实验的方法来完成^[10-11]。在实验过程中通过对不同流量下钻具输出参数的分析可以更好地掌握钻具性能^[12]。

为了进一步掌握等壁厚螺杆钻具的实际工作特性, 研究等壁厚螺杆钻具与现有常规螺杆钻具性能的差异, 本文选取 $\varnothing 89$ mm 四头等壁厚螺杆钻具分别在流量 $Q = 5$ L/s 和流量 $Q = 8$ L/s 的条件下进行了台架性能测试实验, 测试了扭矩、转速、压降等参

数变化。

2.2 实验设备

本文选用的动力钻具测试平台包括加载系统、循环系统、夹持机构、测控系统、测试工装、数据管理系统,如图 2 所示。该实验平台能够进行自动化控制、采集、计算和分析实验数据,准确性高,可操作性强。



图 2 动力钻具测试系统

2.3 实验结果与分析

2.3.1 流量 $Q=5\text{ L/s}$ 条件下钻具各参数变化

在实验室以清水为工作介质、离心泵流量 $Q=5\text{ L/s}$ 的条件下,对 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具的输出特性参数进行了台架测试。图 3 为相应的输出特性参数曲线。

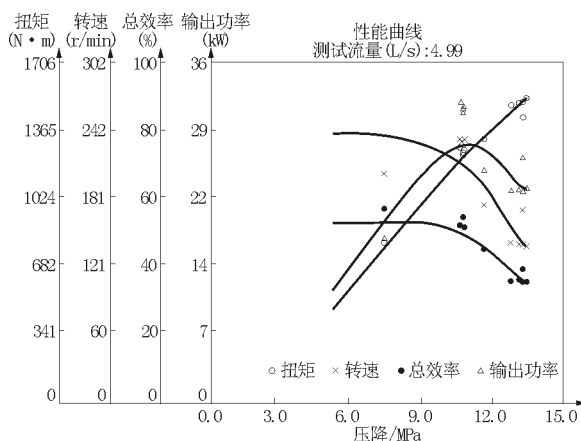


图 3 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具的输出特性参数($Q=5\text{ L/s}$)

在流量 $Q=5\text{ L/s}$ 的情况下,通过对实验数据进行分析得到 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具输出特性回归方程如下:

$$\begin{cases} n = -3.563\Delta p^2 + 52.23\Delta p + 64.72 \\ M_T = -6.867\Delta p^2 + 261.0\Delta p - 698.1 \\ N_T = -0.794\Delta p^2 + 15.98\Delta p - 50.72 \\ \eta_v = \frac{qn}{60Q} = -0.0166\Delta p^2 + 0.2437\Delta p + 0.3020 \end{cases} \quad (10)$$

2.3.2 流量 $Q=8\text{ L/s}$ 条件下钻具各参数变化

在实验室以清水为工作介质、离心泵流量 $Q=8\text{ L/s}$ 的条件下,对 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具的输出特性参数进行了台架测试。图 4 为相应的输出特性参数曲线。

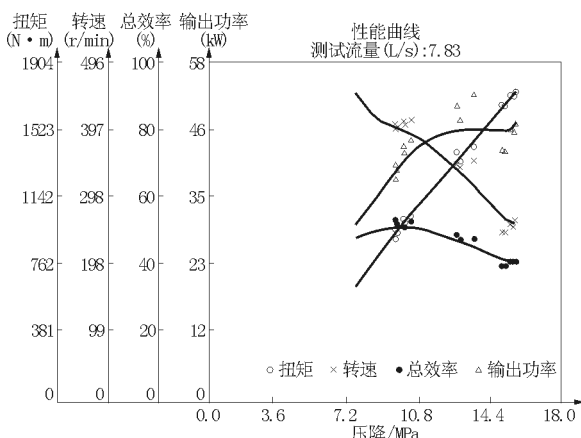


图 4 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具的输出特性参数($Q=8\text{ L/s}$)

在流量 $Q=8\text{ L/s}$ 的情况下,通过对实验数据进行分析得到 $\text{Ø}89\text{ mm}$ 等壁厚螺杆钻具输出特性回归方程如下:

$$\begin{cases} n = -2.589\Delta p^2 + 36.98\Delta p + 287.7 \\ M_T = -0.553\Delta p^2 + 1.45.1\Delta p - 367.0 \\ N_T = -0.677\Delta p^2 + 17.43\Delta p - 63.31 \\ \eta_v = \frac{qn}{60Q} = -0.0076\Delta p^2 + 0.1079\Delta p + 0.8397 \end{cases} \quad (11)$$

2.3.3 实验结果分析

(1)如图 3、图 4,在流量不变的条件下,随着压降的增加,钻具的泄漏量逐渐增大,容积效率减小,容积效率随压降变化趋势呈二次函数关系。螺杆钻具转速与容积效率呈线性关系,在流量不变的条件下,随着压降的增加,钻具的转速逐渐下降。

(2)如图 3、图 4,在流量不变的条件下,随着压降的增加,钻具扭矩迅速增大,但是其变化曲线逐渐向下凹,亦即随着压降的增加,其扭矩增大的速率逐渐降低;扭矩随压降变化趋势呈二次函数关系。

(3)如图 3、图 4,在流量不变的条件下,随着压降的增加,钻具输出功率呈抛物线状,钻具输出功率随压降变化趋势呈二次函数关系。当钻具输出功率最大时即为最优工况,随着流量的增加,螺杆钻具最优工况会向后移动,即钻具的扭矩和转速都有所增加。

(4)如图 3 可得出在 5 L/s 的排量下该 $\text{Ø}89\text{ mm}$

四头等壁厚螺杆钻具的工作参数为:工作扭矩 500 ~ 1500 N·m,工作转速 250 r/min。国内某厂 Ø89 mm 四头常规螺杆钻具在 5 L/s 排量下的工作参数为:最大工作扭矩不超过 1025 N·m,工作转速 232 r/min。通过对比可以发现,本文采用的 Ø89 mm 四头等壁厚螺杆钻具在 5 L/s 的排量下性能参数明显优于常规螺杆钻具。

(5)如图 4 可得出在 8 L/s 的排量下该 Ø89 mm 四头等壁厚螺杆钻具的工作参数为:工作扭矩 500 ~ 1800 N·m,工作转速 400 r/min。国内某厂 Ø89 mm 四头常规螺杆钻具在 8 L/s 排量下的工作参数为:最大工作扭矩不超过 1025 N·m,工作转速 328 r/min。通过对比可以发现,本文采用的 Ø89 mm 四头等壁厚螺杆钻具在 8 L/s 的排量下性能参数明显优于常规螺杆钻具。

通过分析可以得出,转速—压降、扭矩—压降、功率—压降、容积效率—压降均为多项式函数关系,同一钻具在不同的流量下转速、扭矩、功率、容积效率与压降的关系基本一致,说明转速、扭矩、功率、容积效率与压降有较好的相关性及其变化规律。通过对比试验钻具与常规螺杆钻具的性能参数可以发现,在相同的排量下,等壁厚螺杆钻具性能参数明显优于常规螺杆钻具。

3 现场应用分析

该 Ø89 mm 四头等壁厚螺杆钻具配合 PDC 钻头在河南某矿区进行了钻进实验。现场主要钻井设备:ZJ40LDB 型钻机,3NB-1600 型泥浆泵。施工井段:2273 ~ 2347 m。地层岩性为白云质泥岩,泥质白云岩。钻井液体系为抗盐防塌钻井液,粘度 34 s,密度 1.14 g/cm³。钻具组合为:Ø 118 mm PDC 钻头 + Ø89 mm 螺杆钻具 + Ø79.40 mm 加重钻杆 + Ø73 mm 钻杆。为降低对螺杆钻具的磨蚀磨损,在上部钻杆加装钻杆滤清器。钻进参数:钻压 40 kN,排量 6 L/s,泵压 10 MPa。平均机械钻速 9.87 m/h。相同条件下,与 Ø95 mm 常规螺杆钻具相比平均机械钻速提高 38.1%。

现场应用情况表明,该等壁厚螺杆钻具性能优异可靠,可大幅提高机械钻速。

4 结论与建议

(1)等壁厚螺杆钻具的输出特性符合常规螺杆钻具的机械特性,其性能参数明显优于常规螺杆钻具。

(2)本文通过实验,分析了 Ø89 mm 等壁厚螺杆钻具的工作特性,建立了参数性能回归方程,可以作为钻进参数优化的参考。

(3)现场试验结果表明,等壁厚螺杆钻具相比常规螺杆钻具性能更突出,因此适用范围更广。

(4)目前国内针对等壁厚螺杆钻具性能的相关研究较少,建议进一步加大研发投入和现场应用。

参考文献:

- [1] 苏义脑. 螺杆钻具研究及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:12-14.
- [2] 徐波. 螺杆钻具和 PDC 钻头组合在鄂尔多斯工区定向井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(10):16-17, 35.
- [3] 李奇龙. 螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3):56-58.
- [4] 韩传军, 邱亚玲, 刘清友, 等. 螺杆钻具等壁厚衬套性能分析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2008, 30(4):163-165.
- [5] 韩传军, 邱亚玲, 刘清友, 等. 螺杆钻具等壁厚衬套的设计及仿真分析[J]. 钻采工艺, 2007, 30(6):88-90.
- [6] 马立, 付建红, 罗飞, 等. 螺杆钻具输出特性分析[J]. 断块油气田, 2008, 15(4):101-104.
- [7] 许斌. 螺杆钻具输出性能分析与现场应用研究[D]. 四川成都. 西南石油大学, 2007:29-30.
- [8] 万朝晖. 螺杆钻具工作特性和结构参数的分析研究[J]. 石油机械, 2001, 29(10):10-13.
- [9] 岳伟民, 史新慧, 黄玉文, 等. 螺杆钻具转子表面磨损规律研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10):46-48, 63.
- [10] 汪芸, 姚宁平, 王敬国. 煤矿用螺杆钻具性能测试及应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(2):60-62.
- [11] 王春阳, 黄继庆, 陆天明, 等. 螺杆钻具整机性能试验研究[J]. 钻采工艺, 2010, 33(1):73-75, 8.
- [12] 张强, 何成刚, 常焕强. 不同流量下螺杆钻具特性分析及预测[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(6):149-152.