

# Ø89 涡轮钻具的性能评价

赵志涛, 翁炜, 黄玉文, 杨鹏, 张德龙  
北京探矿工程研究所, 北京, 100083

涡轮钻具自 1923 年由前苏联研制成功以来, 得到了迅速发展, 目前涡轮钻井技术已成为俄罗斯基本的钻井方法, 涡轮钻井的年进尺量达到总进尺量的 80%, 机械钻速比转盘钻井提高 3~5 倍, 在深部复杂高温地层表现尤其出色 (成海等, 2008; 杨世奇等, 2002)。

目前我国已拥有外径为 240、195、175 和 165mm 共 4 种规格型号的涡轮钻具 (符达良等, 2000; 杨世奇等, 2002; 冯定等, 2007)。目前国内尚无 89mm 涡轮钻具, 国外也仅有 Neyrfor 公司有成熟的产品。Ø89 的涡轮钻具, 不仅可应用于石油领域小井眼钻探, 而且在地质钻探领域也具有较好的应用前景。特别在地热和干热岩等高温硬岩地层钻探中, 涡轮钻具更可以发挥其高转速、耐高温的优势。

## 1 Ø89 涡轮钻具的结构

涡轮钻具, 是一种将钻井液动能转化为机械能的液力式机械, 其物理基础是液力传动的欧拉方程式。涡轮钻具主要由涡轮节、支承节组成, 部分附带减速节。单级涡轮由定子和转子组成, 转子和定子叶片形状相同, 但弯曲方向相反。定子起到导流作用, 将高压流体导向转子推动转子旋转。带有减速器的涡轮钻具中转子系与涡轮轴相连, 将旋转扭矩传递到涡轮轴, 涡轮轴与减速器相连, 经过减速器, 可以降低转速, 增大扭矩, 再传递给钻具主轴, 输出到钻头。

研制的 Ø89 涡轮钻具, 采用全金属材质, 由 3 个涡轮节和支承节两部分组成, 各节壳体之间采用螺纹连接; 各节轴体之间采用花键式连接, 它具有较高的承载能力, 定心精度高, 导向性能好, 适合涡轮高转速运行和定心要求。其中, 涡轮节采用独

立悬挂式结构, 即在涡轮节安装止推轴承, 承受水力载荷并且使各涡轮节定转子间隙调节互不干涉, 降低间隙调节难度。支承节, 轴承作为易损件, 采用 PDC 止推轴承和 TC 扶正轴承, 以提升钻具整体寿命。

## 2 Ø89 涡轮钻具的性能

钻具的性能参数, 在此处中采用数值模拟的方法进行分析预测。

### 2.1 模拟原理

涡轮钻具流场的数值模拟, 是以计算流体力学 (简称 CFD) 为基础的。计算流体动力学是基于离散化数值计算的学科, 利用计算机对流体相对于不同固体边界的内外流场进行数值模拟和分析。其基本原理是把用在时间域及空间域上连续的速度场和压力场等, 用一系列有限个离散点上变量值的集合来代替, 并通过一定的原则和规律建立起关于这些离散点的场变量之间的关系, 从而组成这些常变量之间关系的代数方程组, 然后求解这些方程组, 来获得这些场变量的近似值。

涡轮定转子叶片之间流道复杂, 为降低数值模拟对计算机计算能力和计算时长的要求, 一般采用对单级定转子的单个流道的流场进行模拟分析 (赵志涛等, 2013)。

### 2.2 CFD 模拟过程

尽管目前有多种 CFD 软件可以对涡轮定转子进行数值模拟分析, 但模拟过程都十分相似, 主要几何造型、生成网格、物理定义、求解和后处理分析 5 个步骤。

其中, 几何造型根据叶片结构角、安装角等叶栅参数, 得到定转子的三维造型, 目前也有多种软

注: 本文为中国地质调查 (编号 12120113017500) 项目和国家国际科技合作专项 (编号 2011DFR71170) 项目资助的成果。

收稿日期: 2015-02-20; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 赵志涛, 男, 1984 年生。硕士, 工程师, 地质工程专业。Email: zhaoz36@126.com。

件可以自动生成,如 CAD、solidworks 以及 BladeGen 等。另外,定转子上下间隙,应合理设置。物理定义主要进行分析类型和模型的选择,设定转子转速、不同密度和粘度的流体介质以及边界条件。边界条件一般采用入口设定流量,出口设定压力,为与实际工况更加接近,出口压力设置合理的压强。涡轮钻具定转子流道是一种三维、非稳态的工程湍流模型,适用于  $k-\epsilon$  湍流模型,其中  $k$  和  $\epsilon$  的值从湍动能方程和湍动能耗散方程中求解(谢龙汉等, 2012)。

目前,常用的 CFD 软件有 Fluent、CFX 等,可以简单快速完成上述过程。

### 2.3 钻具特性曲线

根据上述过程,分别设定流量为 6L/s 和 7L/s,可以模拟出流体介质为清水(密度为  $1\text{g/cm}^3$ )时,不同转速下的扭矩、功率、压降等性能参数,从而得到涡轮节的输出特性,绘制钻具的特性曲线,见图 1。

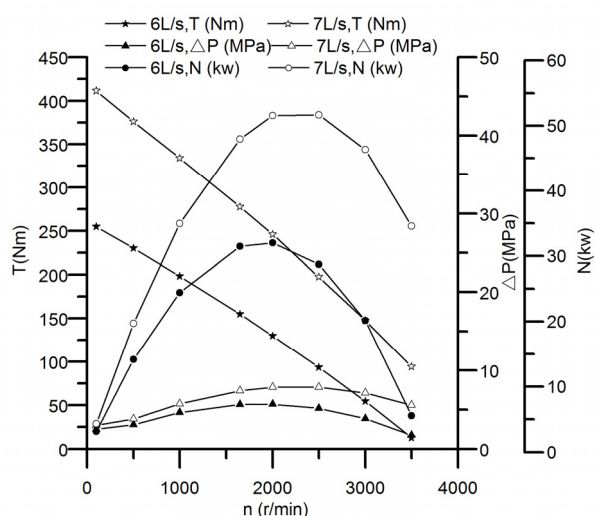


图 1 该涡轮钻具的特性曲线

由图中看出,扭矩-转速( $T-n$ )曲线呈现斜率为负数的直线状,扭矩随着转速变大,而逐渐变小;功率-转速( $P-n$ )曲线呈抛物线状,功率随着转速增大,先增大后减小涡轮钻具的理论特性曲线相符。流量为 7L/s 时涡轮钻具的输出扭矩值、功率值、压降值皆高于 6L/s 时的指标值。可见,提高钻井液排量是提高涡轮钻具输出扭矩和功率的方法之一。

流量为 7L/s 时,涡轮钻具制动扭矩为 441N·m,最高转速为 4500r/min,最高功率为 52kW,压降 7.5MPa;流量为 6L/s 时,涡轮钻具制动扭矩为

267N·m,最高转速为 3700r/min,最高功率为 32kW,压降 5.7MPa;涡轮钻具输出特性满足设计预期。

值得说明的是,这些性能指标还应该与台架测试、现场试验相互论证和补充,以便得到钻具的实际输出特性。

## 3 与国外产品的对比分析

目前,国内外仅有 Neyrfor 公司出产成熟应用的  $\Phi 89$  涡轮钻具。该公司的 3-3/8 T1 MK2 FBS 型涡轮钻具,在以 10L/s 至 13L/s 的密度为  $1.92\text{g/cm}^3$  的流体为流体介质时,功率为 79kw,制动扭矩为 720 N·m,最高压降 19.6MPa。所研制的  $\Phi 89$  涡轮钻具,以 7L/s 的清水为介质时,涡轮钻具制动扭矩为 441N·m,最高功率为 52kw,最高压降 7.5MPa。根据涡轮钻具性能指标和流体密度的关系,如果流体介质变为  $1.92\text{g/cm}^3$  时,相应指标变为原来的 1.92 倍,则制动扭矩应为 846N·m,最高功率约为 100kw,最高压降 14.4MPa。如果流量提升为 10L/s 至 13L/s 则相应性能还有很大提升。因此,相对于 Neyrfor 公司 3-3/8 T1 MK2 FBS 型涡轮钻具的相应指标,所研制的钻具最大功率和制动扭矩较大,而压降小。

对于转速,在实际操作中,根据钻压来进行控制。不同的钻具,可根据不同钻压达到相同的输出转速,满钻钻头破岩要求。另外,国内涡轮钻具受到泥浆泵泵压和流量制约,使其性能受到一定限制。

综上所述,所研制的  $\Phi 89$  涡轮钻具性能指标优于 Neyrfor 公司相同尺寸的 3-3/8 T1 MK2 FBS 型涡轮钻具。

## 参 考 文 献 / References

- 成海, 郑卫健, 夏彬. 2008. 国内外涡轮钻具钻井技术及发展趋势. 石油矿场机械, 37(4): 28~31
- 冯定. 2007. 国产涡轮钻具结构及性能分析. 石油机械, 35(1):59~61.
- 符达良, 张晓东, 符彦惟. 2000. 涡轮钻井技术有巨大的技术经济潜力. 石油学报, 21(1): 81~88.
- 谢龙汉, 赵新宇, 张炯明. 2012. ANSYS CFX 流体分析及仿真. 北京电子工业出版社:8~20
- 杨世奇, 薛敦松, 蔡镜仑, 赵宁, 谭春飞. 2002. 涡轮钻井技术的新进展. 石油大学学报(自然科学版), 26(3):128~132
- 赵志涛, 翁炜, 黄玉文, 杨鹏, 岳伟民, 徐军军. 2013.  $\Phi 89$  涡轮钻具叶栅设计及性能预测. 地质与勘探, 49(6):1176~1180