

液压电机泵电机转子转速的数值分析

冀宏, 任威, 孙东宁, 王文璐

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对研制的 11 kW 液压电机泵, 通过理论计算与流场解析, 并运用电磁仿真软件 Ansoft 中 RMxpert 模块对电机转子的转速进行数值分析. 研究发现: 浸油负载导致液压电机泵浸油电机带载启动, 造成的功率损失较大, 随油温升高, 该项损失会快速减小; 转子鼠笼导体材料的电阻率对转速影响较大, 额定压力下, 紫铜鼠笼电机的转速能够提高 81 r/min, 采用电阻率小的导体可有效提高其转速及电机泵总效率.

关键词: 液压电机泵; 电机转子; 转速; 浸油负载; 鼠笼

中图分类号: TH137; TM343

文献标志码: A

文章编号: 1004-0366(2014)01-0071-04

液压电机泵是将电动机与液压泵集成为一体的新一代液压动力单元, 具有结构紧凑、噪声低、无外泄漏等优点. 一些发达国家企业推出了一些液压电机泵的相关产品^[1-3], 但是, 有关液压电机泵的文献较少. 文献[4]中针对研制出的液压电机叶片泵进行试验, 测试了液压电机泵的转子转速、噪声、功率和效率等. 文献[5]中分析了复合笼型转子的复合层不同材料和厚度的选取对电动机性能的影响. 文献[6]中运用流体力学的理论, 推导出了潜油电机的机械损耗计算公式. 文献[7]中采用环形缝隙粘性流动模型, 解析了气隙及油液粘度对电机泵效率的影响.

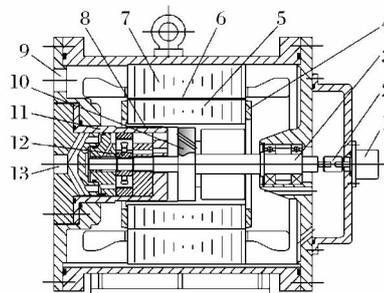
液压电机泵中的转子为电机转子与泵转子的复合体, 且在浸油环境下运转, 其转速特性直接影响电机泵的性能(流量、效率等), 这是电机泵的一个共性问题. 文章针对研制出的液压电机泵, 运用 Ansoft 中 RMxpert 模块对电机泵转速特性进行分析, 准确地计算出了电机泵转子的转速.

1 液压电机泵浸油负载

1.1 液压电机泵结构

液压电机泵的端盖外侧安装了磁性旋转编码器 1(防护等级为 IP68), 其旋转轴伸入至电机泵内部, 通过耦合器 2(螺纹线弹性联轴器)与样机主轴 3 联结在一起. 液压电机泵的内部结构见图 1. 电机转子 5 的内

侧和泵芯座 11 的外侧之间为密封间隙 8, 其外径为 96 mm、径向厚度为 0.5 mm、轴向长度为 58 mm.



1.磁性旋转编码器 2.耦合器 3.主轴 4.端环 5.电机转子
6.气隙 7.电机定子 8.密封间隙(离心泵径向间隙)
9.进油口 10.孔板离心泵 11.泵芯座 12.主泵 13.出口

图 1 液压电机泵内部结构

Fig. 1 Structure of the electric motor-pump

液压电机泵运转工作时, 电机转子处在浸油环境中, 电机泵中存在浸油负载, 浸油负载产生的功率损耗为电机泵的浸油损耗, 浸油损耗的两个重要组成部分为间隙粘性损耗和其他流体损耗. 浸油损耗导致电机带载启动. 为此, 计算出电机泵的粘性负载及其损耗, 进而准确地对电机泵的转速特性进行仿真分析.

电机泵中电机的设计参数见表 1, 定子、转子铁心均采用 DW540_50 硅钢片, 转子的鼠笼导体采用黄铜材料. 电机的定子冲片形状与 11 kW 标准 Y2 系列异步电动机的定子冲片形状完全相同, 转子冲

收稿日期: 2013-05-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(51075194); 甘肃省科技支撑项目(1011GKCA041)

作者简介: 冀宏(1972-), 男, 陕西陕县人, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为现代液压元件基础理论及应用.

E-mail: wwwrrr007@163.com

片的内径由主泵及泵芯座的外形尺寸限定,其槽型自行设计.

表1 液压电机泵中电机的设计参数

设计参数	数值
额定功率/kW	11
额定电压/V	380
额定转速/(r·min ⁻¹)	1 460
工作频率/Hz	50
相数	3
级数	4
联结	△
定子槽数/个	36
定子外径/mm	260
定子内径/mm	170
气隙/mm	0.7
转子内径/mm	105
转子槽数/个	26
铁心长度/mm	155
端环径向长度/mm	20

1.2 间隙粘性负载的理论计算

液压电机泵间隙粘性损耗的计算模型如图2所示.

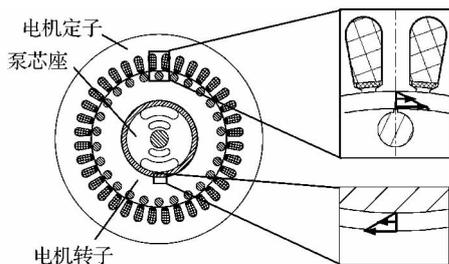


图2 液压电机泵间隙粘性负载计算模型

Fig. 2 Model of interstice viscous load

间隙粘性负载由气隙粘性负载和密封间隙粘性负载两部分组成,电机泵的气隙和密封间隙均较小,故电机泵运转时间隙中粘性负载损耗较大.间隙粘性负载由牛顿内摩擦力公式^[8]为

$$f = \mu A \frac{du}{dy}, \quad (1)$$

其中: f 为内摩擦力(间隙粘性负载); A 为内摩擦力作用面积; μ 为油液的动力粘度,为任一点的速度梯度.由于气隙、密封间隙中油液的雷诺数 Re 均小于2 320,可认为二者内部为层流流态,内部油液的速度呈线性分布.

间隙粘性负载(油液粘性产生的内摩擦力)及间隙粘性损耗为

$$f = \frac{\pi}{60} \mu A n d h^{-1}, \quad (2)$$

$$P = \frac{\pi^3}{3 \cdot 600} \mu L n^2 d^3 h^{-1}, \quad (3)$$

式(2)、式(3)中: n 为电机泵的转速; d 为旋转面直径; h 为间隙厚度; L 为间隙长度; P 为功率损耗(间隙粘性损耗).

由式(3)计算得出如表2所列的间隙粘性损耗.电机泵的转速均取值为同步转速1 500 r/min.

表2 间隙粘性损耗计算值

进口油温/ /°C	动力粘度/ (Pa·s)	密封间隙 损耗/kW	气隙损耗 /kW
21	0.091 16	0.128	1.877
23	0.084 71	0.120	1.745
25	0.077 92	0.111	1.605
31	0.054 90	0.078	1.130
40	0.039 56	0.043	0.628

1.3 其他流体损耗的流场解析

其他流体损耗主要反映为油液与端环之间的摩擦损耗,建立端环接触面的流动损耗计算模型如图3所示.

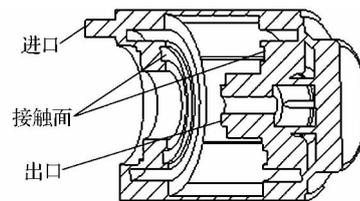


图3 端环接触面的流动损耗计算模型

Fig. 3 Model of contact area around end ring

采用Fluent中 $k-\epsilon$ 湍流模型,进口边界条件为速度进口,其值为0.072 m/s;出口边界条件为自由出流;油液的密度为860 kg/m³;端环接触面设置为旋转面,旋转速度为1 500 r/min.采用gambit软件对模型进行网格划分,模型的网格数为400万,最差网格质量为0.76.

通过CFD流场解析得出端环接触面的负载转矩,记为 T ,则计算得到其他流体损耗为

$$P = \frac{\pi}{30} n T, \quad (4)$$

其中: P 为其他流体损耗; n 为电机泵的转速; T 为接触面的转矩.

表3给出了不同进口油温下(进口温度的取值与表2相同)的其他流体损耗,该值由式(4)计算得出.

表 3 其他流体损耗解析值

Table 3 Power loss under other viscous load

进口油温/℃	动力粘度/(Pa·s ⁻¹)	端环接触面负载转矩/(N·m ⁻¹)	其他流体损耗/kW
21	0.091 16	2.566	0.409
23	0.084 71	2.433	0.387
25	0.077 92	2.287	0.363
31	0.054 90	1.748	0.277
40	0.039 56	1.300	0.206

2 电机转子转速的仿真解析

2.1 计算模型

运用 Ansoft 中的 RMxprt 电机分析模块,对液

压电机泵中电机进行建模仿真,电机的计算模型如图 4 所示.图 4 中,转子铁心的槽型为开口槽结构,槽的直径为 10.2 mm.由浸油负载计算可知,进口油温 40 ℃时电机泵的浸油损耗为 0.877 kW(间隙粘

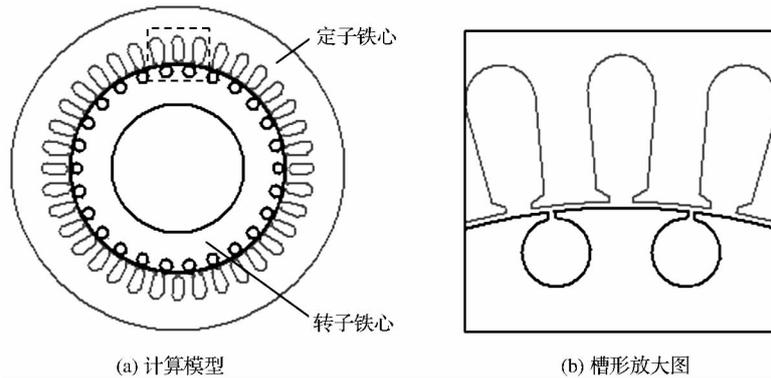


图 4 液电电机泵中电机剖面图

Fig. 4 Cross-section of motor in electric motor-pump

性损耗与其他流体损耗之和),机械摩擦损耗按经验值取为 0.1 kW,故模型的机械损耗设置为 0.977 kW.其他参数设置:风损耗为 0,杂散损耗百分比为 0.02,初始速度为 1 450 r/min,负载类型为恒功率负载.

2.2 计算结果

液电电机泵电机(40 ℃油温)的机械特性曲线如图 5 所示.

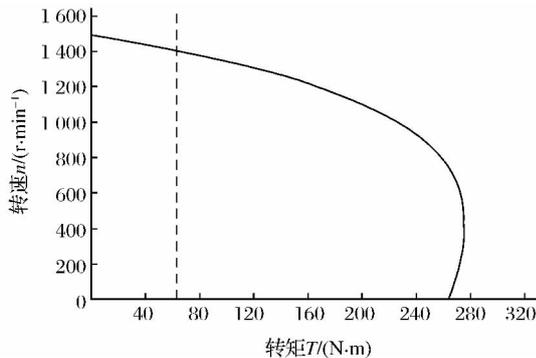


图 5 液电电机泵电机的机械特性曲线

Fig. 5 Mechanical characteristic of rotor

由电机泵的输出压力和流量可得,额定压力 22 MPa时电机泵主泵的输入转矩为 63 N·m,在此点对应的电机转速为 1 384 r/min;空载下电机转子的转速为 1 492 r/min.

鼠笼采用电阻率小的紫铜材料,仿真得到紫铜鼠笼导体电机的机械特性曲线如图 6 所示.

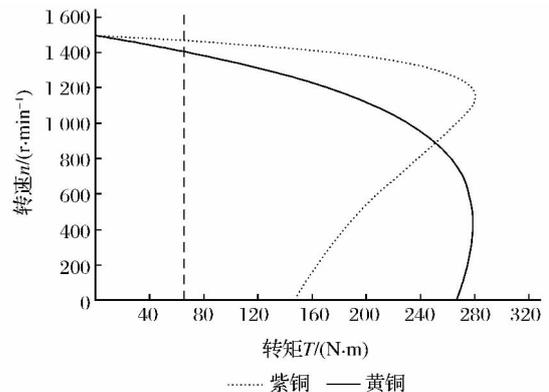


图 6 鼠笼导体材料对机械特性曲线的影响

Fig. 6 Effect of Squirrel-Cage material on mechanical characteristic

在额定压力 22 MPa 下,紫铜鼠笼导体电机的转速为 1 465 r/min,原电机(黄铜鼠笼导体)的转速为 1 384 r/min,电机的转速提高了 81 r/min. 由此可以得出,鼠笼电阻是电机泵转速下降的主要因素.

3 结论

通过理论计算、流场解析和电机仿真计算,获得如下主要结论:

(1) 液压电机泵中的电机转子在浸油环境中工作,浸油负载会造成较大比重的功率损失,随油温升高该项损失减小.

(2) 转子鼠笼电阻是影响电机泵转速的最主要因素. 当鼠笼采用电阻率小的紫铜材料时,在额定压力下电机泵的转速明显提高.

(3) 通过减小转子鼠笼电阻、减少浸油负载,可增强电机泵转子转速的刚性,并大幅提高电机泵的输出流量和总效率.

参考文献:

- [1] Wehner D, Helduser S. Integrated Electric-hydraulic Drives for Power and Motion Control[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Fluid Power Transmission and Control, Hanzghou, China, 2005:81-84.
- [2] 冀宏,张立升,王峥嵘,等. 电动液压动力单元的一体化演变[J]. 机床与液压, 2011, 39(19):117-120.
- [3] 江木正夫,萧欣志. 日本液压技术动向[J]. 液压气动与密封, 2004, 24(1):11-14.
- [4] 冀宏,李志锋,王峥嵘,等. 液压电机叶片泵样机的性能试验[J]. 农业机械学报, 2009, 41(11):48-51, 56.
- [5] 胡岩,刘涛,吴伟,等. 复合笼型转子异步电动机起动性能[J]. 电工技术学报, 2012, 27(12):199-204, 212.
- [6] 徐永明,孟大伟,李国辉. 潜油电机机械损耗的分析与计算[J]. 电机与控制学报, 2004, 8(4):370-372.
- [7] 冀宏,孙磊,王峥嵘,等. 液压电机泵浸油电机的负载效应[J]. 兰州理工大学学报, 2009, 35(4):52-56.
- [8] 罗惕乾. 流体力学[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.

Numerical Analysis of Rotational Speed of Rotor of a Hydraulic Motor-Pump

JI Hong, REN Wei, SUN Dong-ning, WANG Wen-lu

(School of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Aimed at the 11 kW hydraulic motor pump prototype, the rotational speed of the motor rotor is numerically analyzed by using the CFD (Computational Fluid Dynamics) technique and the RMxpert module of the software Ansoft. The study showed that viscous load caused the load starting of the motor and thus the loss of power, and the loss decreased rapidly with the increase of the oil temperature, and that the resistivity of the rotor squirrel cage conductor material had a great impact on the rotational speed, and the speed of the copper squirrel cage motor increased by 81 r/min. Thus, the use of material with lower resistivity could effectively improve the speed and efficiency of the motor pump.

Key words: Hydraulic motor pump; Motor rotor; Rotational speed; Viscous load; Squirrel-cage