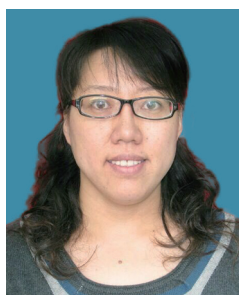


# 电磁计量泵驱动机构的动静态特性研究

对一种新型电磁计量泵的线圈驱动机构进行了深入研究。通过解析法给出了静态电磁力参数的计算过程,运用ANSOFT电磁场有限元分析软件计算了静态力-位移关系曲线,并采用Maxwell 2D软件包对电磁驱动机构进行了静态特性分析。同时运用ANSOFT/Maxwell 2D/Transient软件包对电磁计量泵的动态工作过程进行了仿真,并搭建了电磁驱动线圈动态特性实验台,实验结果证明了仿真计算的正确性。

张丽珍/山西电力职业技术学院



张丽珍/讲师

普通计量泵的工作原理是以电动机为驱动源,通过减速器及连杆机构推进柱塞,从而实现泵的流量控制。然而,这种工作机构存在诸如外形尺寸大、内部机械机构复杂、泵液易泄漏、耗电多和故障率高等弊端,因此计量泵的应用推广具有较大的局限性。采用电磁计量泵,通过螺线管线圈通电后产生的电磁力来驱动柱塞做往复直线运动,电磁计量泵具有直驱式的特点,无须机械运动转换装置,同时还减少了机械损耗及振动噪声<sup>[1-2]</sup>。这种计量泵结构简单,便于维修和养护,已经受到越来越多的关注,它在测绘与仪表计量行业中的应用非常广泛。

## 关键词/Keywords

电磁计量泵·  
有限元分析·  
静态力·  
电磁驱动·

从驱动源类型上,计量泵基本上可分为电磁驱动式、液压驱动式和机械驱动式三种,其中机械驱动式计量泵又可细分为机械驱动式隔膜计量泵和机械驱动式柱塞计量泵两类。电磁计量泵的关键结构主要包括驱动电源、电磁驱动机构和液压泵驱动端三部分,三维剖面示意图如图1所示。当输入电源的幅值和相位信号发生交变时,此时通电后的电

磁驱动机构励磁线圈产生了变化的电磁场,该磁场通过泵的外部壳体与动铁构成了闭合路径,从而实现了驱动装置柱塞的直线往复运动。

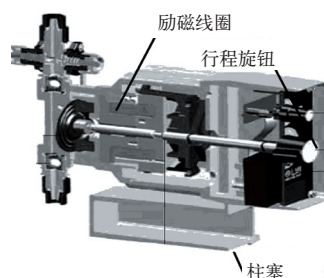


图1 电磁计量泵剖面示意图

## 电磁驱动机构的静态特性研究

电磁驱动装置中,动铁通过直线运动对外做机械功,其机械运动源是电磁机构通电后产生的电磁吸力本身,而电磁驱动机构计量泵的工作特性是静态力-位移特性,也是设计电磁驱动装置性能的关键点。电磁力 $F_e$ 的计算公式<sup>[3-4]</sup>为

$$F_e = kB^2 S_0 \quad (1)$$

式中, $k$ 为系数; $B$ 为磁感应强度,T; $S_0$ 为动铁垂直于磁场方向的面积, $m^2$ 。

根据安培环路定理,匝数为 $N$ 的线圈通过电流 $I$ 产生的磁场表达式为

$$\oint B dx = \mu_0 IN \quad (2)$$

式(2)表明, $B \propto IN$ 和 $B \propto 1/\delta$ 。气隙长度 $\delta$ 是封闭曲线 $x$ 的一部分。由式(1)知 $F_e \propto B^2$ ,因此 $F_e$ 与 $B$ 之间的关系可表示为

$$\begin{cases} F_e \propto (IN)^2 \\ F_e \propto 1/\delta^2 \end{cases} \quad (3)$$

$F_e$ 减去摩擦力及其他阻力损失后即

为最大柱塞力 $F_z$ ,  $F_z$ 与柱塞直径及泵可达到的最大排出压力满足的关系式为<sup>[5]</sup>

$$F_z = \pi d^2 p / 4 \quad (4)$$

式中,  $d$ 为柱塞直径;  $p$ 为泵最大排出压力。

工作过程中, 给定电磁计量泵动铁的最大行程为4 mm; 给定垫片厚度为0.5 mm。所以动铁的起始位置( $x=0$  mm) 对应最大气隙长度( $\delta=4.5$  mm), 动铁位移 $x$ 与实际气隙 $\delta$ 的关系为 $\delta=4.5-x$ 。

采用Maxwell 2D的参数扫描功能Parametric Analysis计算电磁力的结果, 如图2所示。图2中给出了线圈通电电流分别为100 mA、200 mA时的静态力-位移特性。

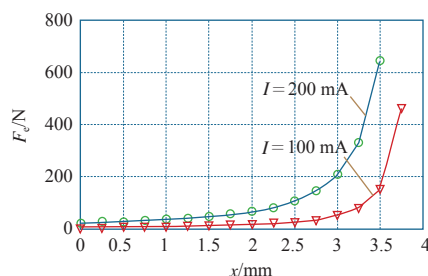


图2 静态力-位移关系曲线

通过静态力-位移特性曲线的关键点参数计算可以发现, 随着动铁位移 $x$ 的增大(相应的气隙 $\delta$ 在减小), 动铁的静推力也逐渐变大, 电感变化率的绝对值可以理解为是慢慢增大的, 当线圈电流 $I$ 恒定不变时, 动铁所受到的电磁力仍然会继续变大。在不同静态力-位移特性曲线上的同一动铁位移 $x$ 处, 电磁力与磁动势 $F_0$ 的二次方成正比。通过实验装置进行数据采集, 实际测量得到的静态力-位移特性结果如图3所示。在实验中还需要不断进行电源电压幅值微调, 以保证实验测试电流恒为 $I=200$  mA。图3表明, 理论计算

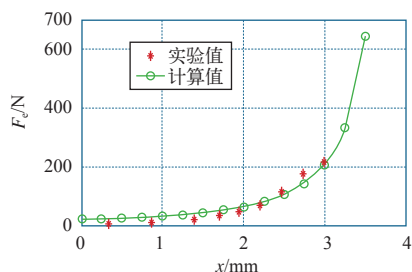


图3 静态力-位移特性实验和计算结果比较

与实验结果吻合。

## 电磁计量泵的动态特性实验

电磁计量泵动态特性实验原理如图4所示。示波器分别记录计量泵负载和取样电阻 $R_f$ 的电压波形。CH1通道连接负载两端, 以便获取负载端电压 $U$ ; CH3通道连接取样电阻 $R_f$ 两端, 以便获取负载电压 $U_{Rf}$ 。由于取样电阻 $R_f$ 是一个纯电阻, 所以取样电阻的电压 $U_{Rf}$ 波形和回路电流 $I$ 波形(即负载电流波形)的相位相同。由于 $I=U_{Rf}/R_f$ , 当 $R_f=1 \Omega$ 时, 回路电流 $I$ 与电压 $U_{Rf}$ 在数值上相同。电磁计量泵可以用电阻 $R$ 和电感 $L$ 串联的负载模型进行等效。实验时, 将幅值可调的工频交流电压施加到控制电路两端。

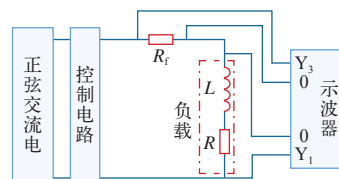


图4 动态特性实验原理

实验控制电压信号波形如图5所示。当 $\tau=0.15$  s、 $T=1$  s时, 示波器采样结果如图6所示。

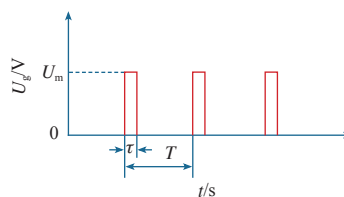


图5 控制电压信号波形

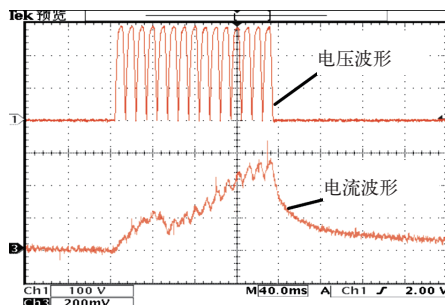


图6 动态特性实验结果

为了将计算与实验结果进行对比, Maxwell 2D Transient瞬态磁场分析软件包中仿真时间设定为0.4 s, 电磁线圈所加电压为全波整流输出电

压  $U_{dc} = 220\sqrt{2} \sin \omega t$ 。图7为线圈电压和电流的波形。对比图6和图7可以看出,实验结果与计算结果基本一致。

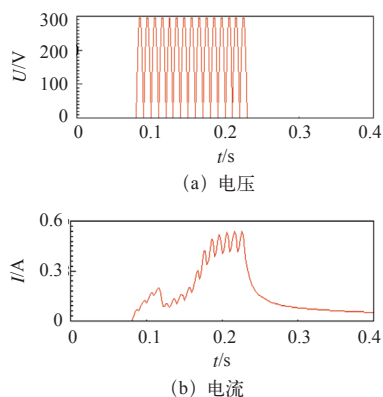


图7 电磁计量泵的电压与电流计算波形

## 结束语

本文采用ANSOFT/Maxwell 2D软件对电磁驱动机构进行了静态计算,并利用计算出的静态力-位移特性曲线进行了静态分析,通过分析得出,当线圈匝数一定时,使电磁驱动机构产生运动所需的最小磁动势,该结论可以为下一步的动态特性研究提供参考。同时,基于该软件还对电磁计量泵驱动机构的动态特性进行了分析,给出了动态特性的实验测量方法,实验结果验证了理论计算及仿真结果的正确性。

## 参考文献

[1] 卢庆. 新型加药成套装置研制 [J]. 电力建设,

1996 (9): 2-4.

[2] 路庆良,田青. 一种新型计量泵的研制 [J]. 北京石油化工学院学报, 2004, 12 (2): 12-14.

[3] Kirillov I R, Obukhov D M. Two dimensional model for analysis of cylindrical linear induction pump characteristics: model description and numerical analysis [J]. Energy Conversion and Management, 2003 (44): 2687-2697.

[4] 许建强,杨晓峰. 电磁驱动泵设计原理 [J]. 排灌机械, 2004 (2): 3-4.

[5] 《往复泵设计》编写组. 往复泵设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 228.

[6] Xu Y, Jones B. A simple means of predicting the dynamic response of electromagnetic actuators [J]. Mechatronics, 1997 (7): 589-598.

[7] 武安波,王建华,耿英三,等. 接触器用交流电磁铁三维磁场分析和静特性优化 [J]. 电工技术杂志, 2002 (6): 30-33.

[8] 杨永明,严欣平. 一种测量电感的新方法 [J]. 电工技术杂志, 1998 (3): 39-41.

[9] Sebastian Bohm, Wouter Olthuis, Piet Bergveld. A plastic micropump constructed with conventional techniques and materials [J]. Sensors and Actuators, 1999 (77): 223-228.

[10] Boldea I, Nasar S A. Linear electric actuators and generators [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999 (3): 712-715.

(收稿日期: 2015-04-10) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告