

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.047

耐高压双向椭圆齿轮微小流量计研究*

丁凡 邓民胜 刘硕 丁川 满在朋 李其朋

(浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 提出了一种基于低偏心率椭圆齿轮转子适用于高压下微小流量计量的双向椭圆齿轮流量计结构, 阐述了该种流量计的工作原理, 给出了低偏心率椭圆齿轮转子的节曲线及齿廓方程, 并设计了样机进行实验研究。实验表明, 在 31.5 MPa 以下, 0.05 ~ 3 L/min 流量范围内的计量精度可达 $\pm 0.5\%$, 在 0.03 ~ 3 L/min 流量范围内的计量精度可达 $\pm 1\%$, 具有耐高压、结构简单、精度高、脉动小、可双向计量等优点。

关键词: 椭圆齿轮流量计 低偏心率 微小流量 耐高压 高精度

中图分类号: TH814+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)06-0327-07

High-pressure Bi-directional Oval Gear Tiny-flow Meter

Ding Fan Deng Minsheng Liu Shuo Ding Chuan Man Zaipeng Li Qipeng

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: With the popularity of high pressure hydraulic system and the increasing requirements for the efficient and automatic control, the measure of tiny flow under the high pressure condition is more and more important. And the relevant research also has great importance for the development of domestic flow meters industry. A bi-directional oval gear flowmeter used for the measurement of tiny flow under high pressure condition was presented, which used a pair of low eccentricity oval gears as the core components and used hall sensors for the non-contact signal-detection. The designed flowmeter was with a lower displacement in order to measure tiny flow. A fully closed measurement volume was built so that the flowmeter can endure high pressure. A complete CAD model was established for the CNC machining of oval gear in order to ensure the high accuracy, including the pitch curve equation of oval gear and the solution of tooth profile based on the converted method. In order to validate the design and research the flowmeter's metrological characteristics, experiments on a prototype fabricated were performed. And a modification method of flow coefficient was proposed on the basis of least square method. The experiments results showed that the maximal pressure loss was 0.46 MPa at flow rate of 3 L/min, and the flowmeter was with a relative error less than 1% over a flow rate range of 0.03 ~ 3 L/min, and 0.5% over a flow rate range of 0.05 ~ 3 L/min.

Key words: Oval gear flowmeter Low eccentricity Tiny flow Enduring high pressure High accuracy

引言

近年来,随着精细化工、医药工程等行业的兴起,以及工农业生产中对节能环保、自动化控制要求的日益提高,微小流量的高精度计量需求逐渐凸显^[1-2]。通常,能用于微小流量计量的仪表主要有

容积式、热式、动压式、浮子式等^[2-3]。其中,容积式流量计能够用于高压工况,测量范围相对较大,在微小流量仪表中占有重要地位^[4-6]。当前,国内外对于容积式微小流量测量装置的研究多把重点放在对已有产品的改造上,使仪表的使用界限向下延伸到更小的流量范围,并相应开发了一系列产品^[7-12]。

收稿日期: 2014-08-02 修回日期: 2014-09-05

* 国家自然科学基金创新研究群体科学基金资助项目(51221004)和流体动力与机电系统国家重点实验室开放基金资助项目(GZKF-201315)

作者简介: 丁凡,教授,博士生导师,主要从事液压元件及伺服系统研究, E-mail: fding@zju.edu.cn

对于椭圆齿轮流量计,一般用于较大流量的计量,目前最小测量流量为 0.6 L/min 左右,并且结构难适用于高压工况。

本文提出一种以低偏心率椭圆齿轮转子为核心部件的双向容积式流量计,基于折算齿形法推导椭圆齿轮的齿廓方程,并建立其 CAD 模型,使用高精度数控加工工艺加工,确保流量计较大流量范围内的高精度计量。最后设计流量计样机,进行相关实验研究。

1 流量计结构原理

1.1 流量计结构

提出的耐高压双向椭圆齿轮微小流量计的核心部件为一对相互啮合的椭圆齿轮副,还包括上下端盖、壳体、转轴、轴承、传感器和螺钉等辅助部件,其结构如图 1 所示。

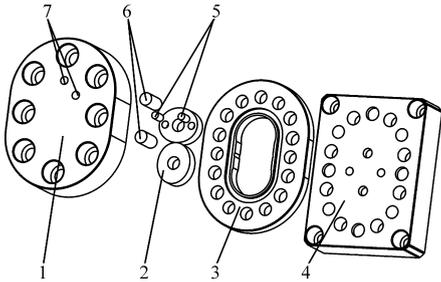


图 1 耐高压双向椭圆齿轮微小流量计结构示意图

Fig. 1 Structure of high-pressure bi-directional oval gear tiny-flow meter

1. 上端盖 2. 转子 3. 壳体 4. 下端盖 5. 永磁体 6. 转轴
7. 传感器孔

容积式流量计的计量容腔由上、下端盖,壳体与椭圆齿轮转子围成。椭圆齿轮转子绕转轴啮合转动输送流体,布置于转子中的永磁体用于转子转动的检测,上端盖上的 2 个传感器孔放置检测传感器。壳体与上下端盖之间加装密封圈,防止测量流体外泄漏。流量计外壳高度略高于椭圆齿轮转子,并且该高度差严格控制,防止过小引起转动摩擦阻力增大,或过大增加内泄漏,影响计量精度。另外,因转子转动过程中不可避免地要与上、下端盖产生摩擦,因此上、下端盖与转子选取同样性质,具备高耐磨性的材料制作,以使流量计能够在较长使用寿命内保证高精度计量。

该流量计的计量原理同一般容积式流量计,椭圆齿轮啮合输送流体的过程如图 2 所示。被测液体由进口口进入容腔,并推动转子转动,从而将流体连续分割为相同体积的液块后由出油口输出。转子每旋转一周,流量计输出图中 4 个计量腔等容积的流体,通过测量椭圆齿轮转子的转动圈数即可得到流过流体的体积流量。

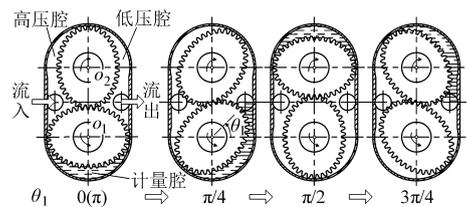


图 2 椭圆齿轮啮合输送流体过程示意图

Fig. 2 Process of oval gears meshing and fluid transmission

1.2 转子转动信号检测

传统椭圆齿轮流量计不适用于高压工况的主要原因是其转子转动需通过机械传动机构导出后进行积算和显示,因此需要采取特别的密封措施,而该密封在较高压下都存在阻力或泄漏过大的问题,使流量计性能显著降低。

为使流量计能够适用高压工况,并保持良好的测量性能,本文设计的椭圆齿轮流量计采用非接触方式对转子转动圈数进行检测,通过放置于上端盖内的磁敏传感器(双极性霍尔)和预置于转子中的永磁体实现。其结构如图 3 所示。采用该结构还有简化流量计结构,信号便于传输处理、用于自动化控制等优点。

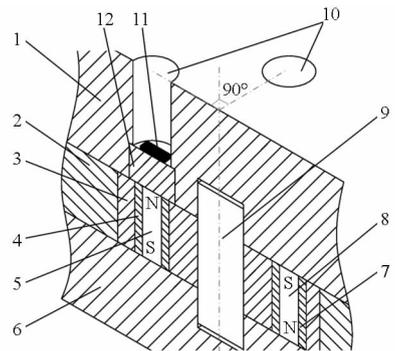


图 3 非接触转子转动检测结构示意图

Fig. 3 Structure of non-contact detection of rotors' rotation

1. 上端盖 2. 壳体 3. 转子 4, 7. 隔磁套 5, 8. 永磁体 6. 下端盖 9. 转轴 10. 传感器孔 11. 传感器 12. 隔磁块

椭圆齿轮转子和上、下端盖,壳体都使用同种材料制作,具有导磁性;转子上沿长轴对称分布两个永磁体 5、8,且两磁体的 N 极和 S 极反向布置;上端盖上 2 个传感器孔按绕转动中心相差 90° 相位布置,且转子转动过程中,永磁体能够到达传感器正下方位置;隔磁套使用非导磁材料制作,用来将永磁体与具有导磁性的齿轮本体隔开,减少漏磁;隔磁块同样是非导磁的,通过焊接与本体相连,在保证耐高压的前提下构造出能够使磁敏传感器感知永磁体位置变化的磁路。基于以上结构,当转子中的永磁体位于传感器正下方时所构造磁场的磁路如图 4 所示。

从图 4 可以看出,该结构可以使永磁体产生的部分磁通通过传感器,而传感器所在位置的磁感应

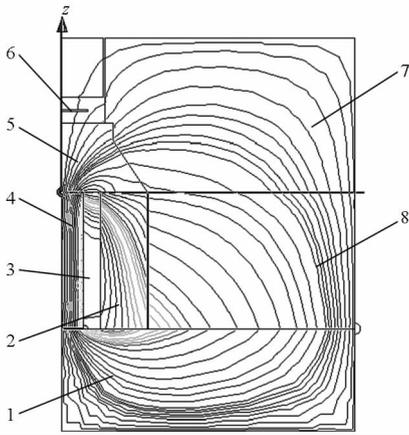


图4 磁敏检测磁路示意图

Fig. 4 Magnetic circuit for detection

1. 下端盖 2. 转子 3. 隔磁套 4. 永磁体 5. 隔磁块 6. 传感器
7. 上端盖 8. 壳体

强度则由隔磁套厚度与隔磁块的厚度、直径共同决定：隔磁套越厚，隔磁块的直径越大、厚度越薄，则磁感应强度越强。本设计中，受制于流量计转子结构紧凑，需综合考虑空间布置要求，隔磁块耐受高压的能力，以及所使用传感器的灵敏度，结合磁场有限元仿真分析结果选取合适参数。

基于以上设计，在流量计正常工作时，2枚极性相反的永磁体随椭圆齿轮转子连续转动，在传感器所处位置形成交替变化的磁场，不断触发磁敏传感器输出与交变磁场变化频率相同的方波。通过对该方波信号的测量，即可得到转子的转数。

另外，因2个磁敏传感器绕转动中心存在90°的夹角，故两传感器输出的方波信号存在特定相位差。并且，当转子沿正向与反向转动时，该相位差存在差异，如图5所示。

从图5可以看出，正向转动时，两方波信号从高电平变为低电平相差T/4相位；而反向转动时相差3T/4相位。据此，在处理方波信号时即可辨别通过流体的方向，实现双向测量^[13]。

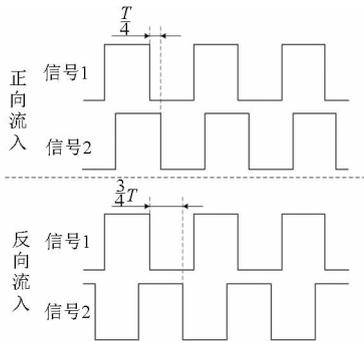


图5 正反向流动输出电平信号对比

Fig. 5 Comparison of output signal for forward and reverse flow

1.3 椭圆齿轮转子的设计

椭圆齿轮流量计采用的是二阶椭圆齿轮转子，

具有传动平稳、噪声小，加工方便等优点。对于通常的椭圆齿轮流量计，为获得较大的排量，偏心率一般取为0.2~0.3，转子相对扁长，从而使流量计用于较大流量测量时转速不至于过高，以降低压力损失。本文所研究的流量计同样采用二阶椭圆齿轮转子作为计量部件，但为适应小流量的计量需求，同时兼顾机械机构的空间布置，选取的椭圆齿轮偏心率较小。

另一方面，通常的椭圆齿轮是设计节曲线后使用成形刀具加工而成，其齿廓由加工刀具决定。本设计中，为提高齿面精度，椭圆齿轮转子的加工通过建立CAD模型后使用数控机床实现。这也有利于设计参数的自由优化，而不受标准刀具限制。建立椭圆齿轮的CAD模型，首先需要完整的齿形方程，包括节曲线方程和齿廓方程。

二阶椭圆齿轮节曲线即为二阶椭圆曲线，可根据几何原理从普通椭圆演变而成。保持普通椭圆上某点的向径不变，而将其极角缩小2倍，即可得二阶椭圆齿轮^[14-16]，如图6所示。

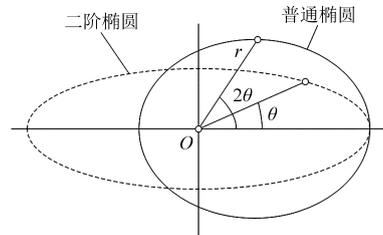


图6 二阶椭圆曲线的形成

Fig. 6 Formation of second-order ellipse

其方程为

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 - e \cos(2\theta)} \quad (1)$$

式中 a——普通椭圆的长轴半径

e——普通椭圆的偏心率

2个相同的二阶椭圆啮合时，其中心距为

$$A = 2a \quad (2)$$

根据方程(1)，可得节曲线各点的曲率半径为

$$\rho = \frac{\left[r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 \right]^{3/2}}{r^2 + 2 \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 - r \frac{d^2r}{d\theta^2}} = \frac{\rho \left[(1 - e \cos(2\theta))^2 + 4e^2 \sin^2(2\theta) \right]^{3/2}}{(1 - e \cos(2\theta))^3 (1 + 3e \cos(2\theta))} \quad (3)$$

由式(3)计算所得到的曲率半径若为正值，则说明节曲线在该点外凸，由此可对所设计节曲线进行凸性校验。

根据式(1)还可计算二阶椭圆齿轮的节曲线长度为

$$L = 4a \sqrt{1 + 3e^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{4e^2}{1 + 3e^2} \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (4)$$

式(4)可以通过计算机的数值积分方法解出,或查询椭圆积分表求解。

二阶椭圆齿轮通常采用渐开线齿廓,在选取设计参数时,应始节曲线的长度 L 与齿轮模数 m 、齿数 z 应满足

$$L = \pi m z \quad (5)$$

同时,考虑到椭圆齿轮的实际啮合情况,其齿数应设计为 $4C + 2$ (C 为自然数)。

根据已知的齿数及节曲线方程,就可以确定各齿廓在节曲线上的位置,从而通过折算齿形法得出齿廓方程。折算齿形法是一种常用的非圆齿轮齿廓近似确定方法,即以节圆半径等于齿廓在节曲线上位置点处节曲线曲率半径的当量圆齿轮的齿形作为非圆齿轮在该位置点的齿形^[17-18]。

如图7a所示, M 点为节曲线上 P 点的当量节圆圆心, ρ 为当量节圆半径,即 P 点二阶椭圆节曲线的曲率半径。根据坐标变换原理,渐开线齿廓上的一点在节曲线建立坐标系 Oxy 中的方程可表示为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta \\ r \sin \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (6)$$

而

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta & -\cos \beta \\ \cos \beta & \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\rho \sin \beta \\ -\rho \cos \beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\beta = \pi - \mu - \theta \quad (8)$$

其中

$$\mu = \arctan \frac{1 - e \cos(2\theta)}{-2e \sin(2\theta)} \quad (9)$$

式中 μ —— P 点处向径与切线正方向的夹角

如图7b所示,根据渐开线形成原理,可得坐标系 $Px_m y_m$ 中渐开线的参数方程为

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \rho_1 \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon - \gamma) + \varepsilon \sin(\varepsilon - \gamma) \\ \pm [\sin(\varepsilon - \gamma) - \varepsilon \cos(\varepsilon - \gamma)] \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中

$$\rho_1 = \rho \cos \alpha_0$$

式中 ρ_1 ——基圆半径

ε ——参数 γ ——常值

α_0 ——渐开线齿廓压力角,取 20°

其中“ \pm ”分别对应齿轮的两侧齿廓。

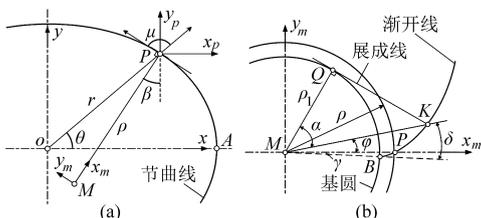


图7 渐开线齿廓方程推导

Fig.7 Derivation of involute tooth profile equation

于是,联立式(6)、(7)、(10)即可得二阶椭圆齿轮的渐开线齿廓方程

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r \rho \cos \theta \sin \beta \\ -r \rho \sin \theta \cos \beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin \beta & -\cos \beta \\ \cos \beta & \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_1 [\cos(\varepsilon - \gamma) + \varepsilon \sin(\varepsilon - \gamma)] \\ \pm \rho_1 [\sin(\varepsilon - \gamma) + \varepsilon \cos(\varepsilon - \gamma)] \end{bmatrix} \quad (11)$$

此外,在设计椭圆齿轮时,还需考虑其压力角在适当范围,以获得良好的啮合传动特性。由式(11)确定的左右两侧渐开线齿廓压力角分别为

$$\alpha_1 = -\mu + \alpha_0 - \frac{\pi}{2} \quad (12)$$

$$\alpha_2 = \mu + \alpha_0 + \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

通常要求 μ 的范围在 $45^\circ \sim 135^\circ$ 之间,此时的压力角不超过 65° 。

确定节曲线、齿数、齿廓方程后,选取合适的齿根高和齿顶高,即可得到确定的二阶椭圆齿轮,并建立其 CAD 模型。

2 流量计实验

2.1 实验样机及实验系统

为验证所设计流量计特性,设计了如图8所示的椭圆齿轮微小流量计样机,并搭建了实验系统对样机性能进行测试,样机主要设计参数如表1所示。

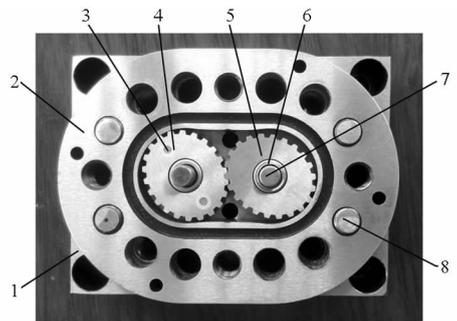


图8 样机实物图

Fig.8 Photo of designed flowmeter

1. 下端盖 2. 壳体 3. 永磁体 4. 隔磁套 5. 转子 6. 轴承
7. 转轴 8. 固定螺钉

表1 椭圆齿轮微小流量计样机设计参数

Tab.1 Design parameters of oval gear tiny-flow meter

参数	数值
齿轮副中心距/mm	24
偏心率	0.085
齿轮齿数	22
齿轮厚度/mm	8
排量/mL	1.92

设计流量计实验平台,系统原理如图9所示,该平台通过测量流经流量计的流体质量换算成体积后对所设计流量计样机进行标定^[19]。实验系统使用 L-HM 46 型抗磨液压油,油液由 63SCY14-1B 型

排量可变量阻塞泵供应, 实验过程中泵的流量调节为 10 L/min, 最高压力 31.5 MPa。

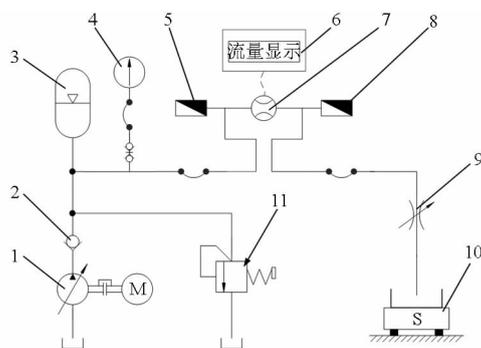


图9 实验系统原理图

Fig. 9 Schematic diagram of experimental system

1. 变量泵 2. 单向阀 3. 蓄能器 4. 压力表 5, 8. 压力传感器
6. 二次仪表 7. 被测流量计 9. 节流阀 10. 电子天平 11. 溢流阀

如图9所示, 通过溢流阀与节流阀可以调节流量计的进口压力及通流流量的大小, 压力表显示系统压力, 压力传感器用于流量计进出口油液压力的高精度测量, 电子天平(精度 0.01 g)测量通过流量计的流体质量。

实验过程中, 通过调节溢流阀的溢流压力与节流阀的开度可以改变流量计的进口压力与通流流量, 但在小流量时, 由于节流阀的阀口开度很小, 为使流量稳定, 避免阻塞, 应确保系统油液经充分过滤。溢流阀和节流阀调节稳定后, 记录进出口压力传感器显示数据, 并称量特定时间内流经流量计的油液质量, 流量计中磁敏传感器的输出脉冲信号数量通过二次仪表记录。重新调节溢流阀与节流阀, 重复操作, 测量得到一系列进口压力与通流流量下的实验数据。

数据处理时, 将所测油液质量除以油液密度得到油液实测体积, 该体积除以测量时间后得到流量计实测流量, 除以二次仪表记录脉冲数量得实测流量系数; 二次仪表记录脉冲数量乘以理论流量系数得到理论油液体积, 再除以测量时间后得到流量计显示流量; 压力传感器记录进出口压力信号, 作差得进出口压力损失。

2.2 流量计压力损失特性

被测流体通过流量计时, 由于推动转子转动、克服摩擦力做功以及存在流体粘性阻力等原因, 会造成一定的能量损失, 因此导致流量计的进出口存在一定压差。该压力损失的存在会引起流量计内泄漏, 影响误差特性, 因此是衡量流量计性能的一项重要参数。

通过对实验数据的处理, 得到实验样机的压力损失特性如图10所示。

由图10可见, 流量计进出口压力损失随通流流

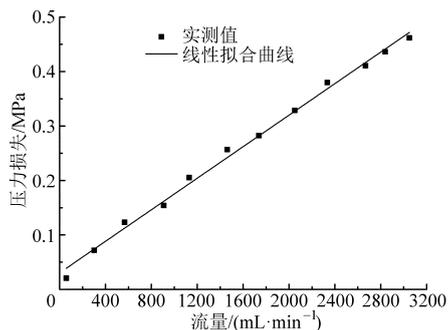


图10 不同流量下流量计的压力损失

Fig. 10 Pressure losses for different flow rates

量增加而增大, 并且呈近似线性关系; 当流量计通过最大流量 3 L/min 时, 进出口压力损失约为 0.46 MPa。压力损失增大的主要原因是流量增加后转子转速增加, 导致转动所需能量与油液克服机械摩擦做功增加。

2.3 流量计测量精度及量程

容积式流量计的流量系数是指流量计每输出一个脉冲信号所对应的通过流量计的流体体积。理论上, 在流量计不存在测量误差时, 其流量系数为一恒定值, 即理论流量系数。实际测量中, 因为流量计不可避免地存在测量误差, 因此其实际流量系数随测量压力、流量的不同而变化, 该变化即体现了流量计的测量性能^[20-22]。

流量计的理论流量系数由其机械结构决定, 取决于计量容腔的大小及传感器与永磁体的空间布置关系, 在完成流量计设计后即可计算出其设计理论流量系数。但实际上, 理论流量系数还受加工误差、安装误差等影响, 故其真实值是无法确定的。因此, 在实际测量中, 需要在测量范围内对流量系数进行标定, 以减小测量结果的相对误差。传统椭圆齿轮流量计中的调整齿轮机构即是用于此作用, 对于使用二次仪表进行流量积算和显示的流量计, 则调整二次仪表预置的理论流量系数即可。

流量计显示流量 Q_m 与理论流量系数 v_t 的关系为

$$Q_m = Nv_t \quad (14)$$

式中 N ——单位时间内的输出脉冲数

同理, 流量计实测流量 Q_s 与实际流量系数 v 的关系为

$$Q_s = Nv \quad (15)$$

因此, 流量计测量的偏差即为

$$\Delta Q = Q_s - Q_m = N(v - v_t) \quad (16)$$

产生此偏差的最主要原因在于流量计存在内泄漏, 即部分流体从流量计的入口进入后, 未经计量容腔而直接通过流量计内部的缝隙到达出口, 没有起到推动转子转动的作用。内泄漏的产生与流量计的加工精度、使用工况、所测流体性质等因素相关, 是

不可避免的。

根据式(16)可得流量计的示值相对误差为

$$\varepsilon = \Delta Q / Q_m = (v - v_i) / v_i \quad (17)$$

本实验中,根据实验数据处理结果,以流量计实测流量系数为纵坐标,以实测流量为横坐标,绘制不同流量计进口压力下的实测流量系数曲线如图 11 所示。

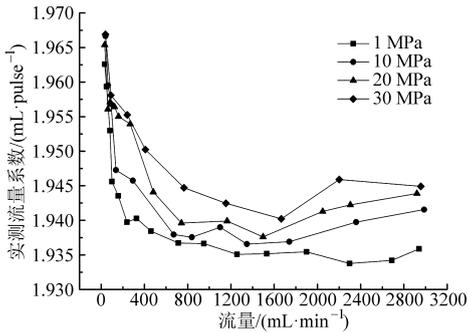


图 11 实测流量系数曲线

Fig. 11 Measured flow coefficient curves

从图中可以看出:①实测流量系数普遍大于设计理论流量系数 1.92。②小流量时流量系数较大,之后随着流量的增加,流量系数下降明显,并趋于恒定,而当流量较大时,流量系数又有增大趋势。③相同流量时,在较高压力下的流量系数较大。

其原因首先由于存在泄漏,因此实测流量系数普遍大于设计理论流量系数。当流量很小时,流量计的转子转动较慢,受动静摩擦力与角速度脉动的共同作用,不能保持均匀的转动速度,甚至会出现瞬时停滞的状态。所以导致在此区间的泄漏量相对通流流量较大,流量系数也偏大,误差较大。流量增加后,转子转动趋于平稳,泄漏量相对减小,因此流量系数降低并趋于恒定。随着流量的进一步增加,进出油口的压差增大,泄漏迅速增加,并且其增速超过流量的增速,故流量系数又随之上升^[23]。不同压力下的流量系数差异则在于较高压力会使流量计的机械结构静变形加剧,因而泄漏增加。

根据图 11 结果,可在流量计测量流量范围 0.03 ~ 3 L/min 内对理论流量系数进行标定。通常的标定的方法是将理论流量系数 v_i 乘以一个校准系数得到新的理论流量系数 v_i' 用于计算显示流量,即

$$v_i' = \lambda v_i \quad (18)$$

式中 λ ——修正系数

经标定后,将 v_i' 代入式(14)计算显示流量,与实测流量对比如图 12 所示。可见,所有数据点均位于将坐标轴 45° 平分线附近,偏移范围 $\pm 0.85\%$,说明流量计的示值准确,线性度较好。将 v_i' 代入

式(17)计算相对误差,绘制误差曲线如图 13 所示。由图可知,流量计测量的计量精度为 $\pm 1\%$ 。

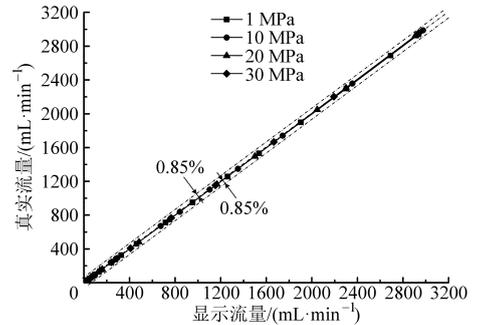


图 12 显示流量与实测流量对比

Fig. 12 Comparison of indicating flow rate and real flow rate

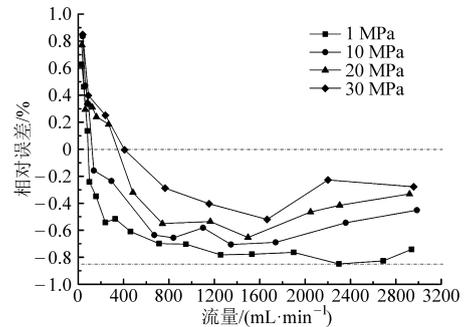


图 13 不同压力下的相对误差曲线

Fig. 13 Relative errors curves for different pressures

由于该流量计输出信号是经二次仪表处理后转换为输出示值显示,考虑到处理的可行性,可以在二次仪表中根据当前的流量值对理论流量系数进行实时修正,以进一步提高测量精度。因此,采用最小二乘法对 0.05 ~ 3 L/min 流量范围内的实测流量系数进行线性拟合,以作为理论流量系数,如图 14 所示。拟合后的理论流量系数 v_i'' 为

$$v_i'' = a + bQ_m \quad (19)$$

式中 a 、 b ——常数,即线性拟合系数

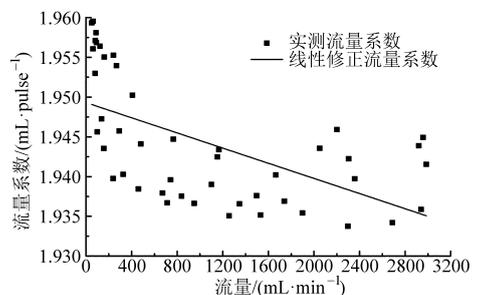


图 14 流量系数的线性拟合

Fig. 14 Linear fitting of flow coefficient

图 15 为将拟合系数修正后的理论流量系数 v_i'' 代入式(17)计算得到的流量计示值相对误差曲线。据图可知,流量计在 0.03 ~ 3 L/min 流量范围内,示值相对误差仍小于 $\pm 1\%$;在 0.05 ~ 3 L/min 流量范围内,示值相对误差范围减小,计量精度得到改善,提高到 $\pm 0.5\%$ 以内。

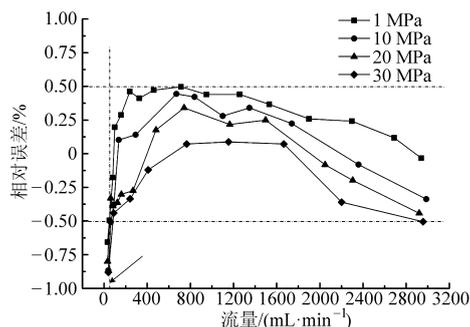


图15 线性拟合修正后的相对误差曲线

Fig. 15 Modified linear fitting relative errors curves

3 结束语

提出了一种基于低偏心率椭圆齿轮转子的椭圆齿轮流量计结构,阐述了该种流量计的工作原理,给出了低偏心率椭圆齿轮转子的节曲线及齿廓方程,设计了样机,实验表明在 31.5 MPa 以下,0.05 ~ 3 L/min 流量范围内的计量精度可达 $\pm 0.5\%$,在 0.03 ~ 3 L/min 流量范围内的计量精度可达 $\pm 1\%$,具有耐高压、结构简单、精度高、脉动小、可双向计量等优点。

参 考 文 献

- 川田裕郎,小官勤一,山崎弘郎. 流量测量手册[M]. 北京:计量出版社,1987.
- 蔡武昌. 微小流量仪表性能及其应用[J]. 石油化工自动化,2009,4(4):1-5.
- 刘欣荣. 微小流量测量及其仪表[J]. 华北电力技术,1990(5):20-25.
- 肖汉卿. 容积式流量计[M]. 北京:中国计量出版社,1997.
- 袁文华,鄂加强,龚金科,等. 柴油机油耗量椭圆齿轮智能测量模型[J]. 农业机械学报,2006,37(7):39-41.
Yuan Wenhua, E Jiaqiang, Gong Jinke, et al. An intelligent fuel consumption measurement model using oval-shaped gear for diesel engine and its application[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006,37(7):39-41. (in Chinese)
- Hendrix A R. Positive displacement flowmeters—high performance with a little care[J]. Instrumentation Technology, 1982, 29(12): 47-49.
- Rasmussen A, Mavriplis C, Zaghoul M E. Simulation and optimization of a microfluidic flow sensor[J]. Sensors and Actuators A, 2001, 88(2):121-132.
- Roger C Baker, M Vivien Morris. Positive-displacement meters for liquids[J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 1985, 7(4):209-220.
- Shu Wang, Hisatoshi S, Aditya K. The optimal design in external gear pumps and motors[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2011, 16(5):945-952.
- 雷鸣. 容积式微小流量传感器[J]. 国外传感技术,2001,12(6):218-221.
- Herbert K, Heyn T. Oval gear flowmeter for small nominal diameters; US, 5323651 [P]. 1994-06-28.
- Rudolf A, Albert H, Karl H. Oval gear meter; USA, 7523660 [P]. 2009-04-28.
- 李宾,丁凡,李勇. 新型耐高压双向椭圆齿轮流量计的研究[J]. 传感技术学报,2007,20(1):220-223.
Li B, Ding F, Li Y. Research on new-type high pressure bi-directional elliptical gear flowmeter[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(1): 220-223. (in Chinese)
- 吴序堂,王贵海. 非圆齿轮及非匀速比传动[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 刘永平,吴序堂,李鹤岐. 常见的凸封闭节曲线非圆齿轮副设计[J]. 农业机械学报,2007,38(6):143-146.
Liu Yongping, Wu Xutang, Li Heqi. Study on some common close convex pitch curves of noncircular gear pair[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(6):143-146. (in Chinese)
- Chen-Fa C, Chung-Biau T. Computerized tooth profile generation and analysis of characteristics of elliptical gears with circular-arc teeth[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004,148(2):226-234.
- 蒋伯英,陈炳仁. 椭圆齿轮流量计主要参数的计算[J]. 大庆石油学院学报,1987(2):65-69.
- 姚文席. 非圆齿轮设计[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- 陶建军. 微小流量标准装置的研制[J]. 工业计量,2000(3):27-28.
- 刘硕,丁凡,丁川,等. 耐高压双向摆线转子流量计设计与试验[J]. 农业机械学报,2014,45(8):339-346
Liu Shuo, Ding Fan, Ding Chuan, et al. Design and experiment of high-pressure bi-directional cycloid rotor flowmeter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):339-346. (in Chinese)
- 苏彦勋,梁国伟,盛健. 流体计量与测试[M]. 2版. 北京:中国计量出版社,2007.
- Xia L, Zhiyao H, Zhenzhen M, et al. Oil-water two-phase flow measurement using a venturi meter and an oval gear flow meter [J]. Chemical Engineering Communications, 2009,197(2):223-231.
- 何君,门金来,陈杰. 容积式流量计性能及应用[J]. 机械设计与研究,2012,28(3):119-121.
He Jun, Men Jinlai, Chen Jie. Research on the characteristics and application of positive displacement flowmeter[J]. Machine Design and Research, 2012,28(3):119-121. (in Chinese)