

# 双作用椭圆轨道滚柱泵输出特性\*

柯尊荣 陈 舰 陈 凯

(南昌大学机电工程学院, 南昌 330031)

**摘要:** 基于椭圆面积弧长特性分析, 推导出双作用椭圆轨道滚柱泵的容积公式, 继而求得该泵的流量及脉动; 通过仿真, 研究了该泵结构尺寸对流量脉动的影响, 并对脉动程度作出分析。结果表明: 该泵的流量输出是相同尺寸径向柱塞泵的5倍以上, 是相同尺寸叶片泵的1.5倍以上, 而脉动率只是微增; 该泵配流角度与一般柱塞泵或叶片泵的配流角度之间存在一个相位差, 差值为 $13^\circ$ ; 脉动主要受滚柱个数影响, 一般趋势是随个数增加而降低, 但滚柱个数为4的倍数时脉动较大。该泵输出特性的分析结果为滚柱泵结构的优化及减振降噪等提供了理论依据。

**关键词:** 滚柱泵 椭圆轨道 输出特性

**中图分类号:** TH137 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0320-08

## 引言

随着农业机械化程度的提高, 农业生产中液压泵的应用越来越广泛, 对液压泵的工作稳定性、排量、使用寿命、作业效率等需求也越来越高。传统液压泵多采用柱塞式、叶片式或齿轮式结构, 结构往往比较复杂, 振动及噪声控制往往难以令人满意, 且故障概率也较高。径向柱塞泵与叶片泵工作时, 都没能完全利用定子内部周期性变化的体积<sup>[1-5]</sup>。双作用椭圆轨道滚柱泵是一种容积式转子泵, 结合了两种泵体的结构特点, 充分利用了定子内周期性变化的体积, 是一种大排量容积泵, 且该泵具有结构简单、磨损小、耗功少、故障率低寿命长等特点<sup>[6-9]</sup>。本文针对其容积变化、流量及脉动等输出特性进行理论推导和仿真分析。

## 1 工作原理

双作用椭圆轨道滚柱泵如图1所示。定子内壁是椭圆轨道。滚柱沿定子内壁滚动, 轨道为椭圆。转子径向开有数个滚柱槽, 滚柱可在槽内来回运动。

该泵为双作用定量滚柱泵。工作时, 转子顺时针转动, 滚柱沿定子内壁滚动, 并在滚柱槽内来回运动。以滚柱为例, 它受离心力和液压力影响与定子内壁形成密封, 再受科氏力和液压力作用与上侧挡板形成密封, 而下侧挡板与滚柱之间没有形成密封。所以由滚柱和两侧挡板形成的柱塞腔和滚柱、定子、转子形成的叶片腔连通。共同形成一个体积周期性

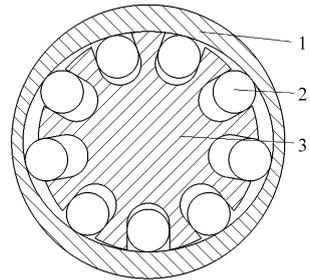


图1 双作用椭圆轨道滚柱泵工作原理

Fig.1 Working principle of double-acting elliptical orbit roller pump

1. 定子 2. 滚柱 3. 转子

变化的密闭容积。转子转动一圈, 该容积可以进行两次吸水 and 排水<sup>[10-12]</sup>。

## 2 容积分析

滚柱泵的容积变化决定了泵的排量, 是泵输出特性的一个重要参数。该泵的总容积是两个腔容积之和, 由于该容积的轴向尺寸是一致的, 所以通过其椭圆轨道的特殊性质, 可以计算出其截面面积, 从而得出容积的关系。

### 2.1 椭圆轨道分析

如图2所示以 $O$ 为原点,  $\widehat{NPM}$ 为椭圆轨道的一段弧长,  $\widehat{FBM}$ 是半径等于椭圆长轴的圆弧。 $P$ 为滚柱的圆心在椭圆轨道上的任意一点。故 $\angle POM$ 为滚柱的转角 $\lambda$ ,  $\angle BOM$ 为椭圆参数方程中的 $\theta$ ,  $\angle PAM$ 为椭圆 $P$ 点的曲率半径与 $X$ 轴的夹角 $\beta$ 。

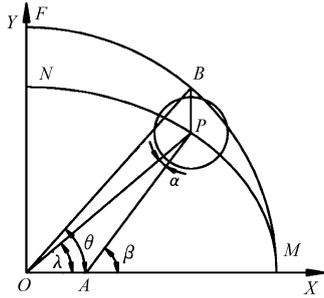


图 2 椭圆轨道性质分析

Fig. 2 Properties of elliptical orbit

滚柱圆心椭圆轨迹的参数方程

$$\begin{cases} x = a \cos \theta \\ y = b \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

式中  $a$ ——椭圆长轴

$b$ ——椭圆短轴

由图 2 中角度关系推导出  $\theta$  与  $\lambda$  的关系

$$\theta = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \lambda \right)$$

设  $\theta_1$  为椭圆上的任意一个角度, 则  $\theta_2$  就是与该滚柱相邻逆时针方向的下一个滚柱的角度, 即

$$\theta_1 = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \lambda \right) \quad (2)$$

$$\theta_2 = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \left( \lambda + \frac{2\pi}{n} \right) \right) \quad (3)$$

$\alpha$  为椭圆轨道的压力角, 由图 2 可知  $\alpha = \beta - \lambda$ 。

由于  $\tan \beta = \frac{1}{y'} = \frac{a}{b} \tan \theta$ , 故  $\alpha = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \theta \right) - \lambda$ , 所以两个滚柱的压力角分别为

$$\alpha_1 = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \theta_1 \right) - \lambda \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \arctan \left( \frac{a}{b} \tan \theta_2 \right) - \left( \lambda + \frac{2\pi}{n} \right) \quad (5)$$

式中  $n$ ——滚柱数

$OP$  是椭圆极径, 其大小随转角  $\lambda$  改变, 即

$$\rho(\theta) = \sqrt{a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta} \quad (6)$$

椭圆轨道的曲率半径

$$M_1(\theta) = \frac{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta)^{3/2}}{ab} \quad (7)$$

通过轨道与定子内壁的关系, 可推导出定子内壁的曲率半径

$$M_2(\theta) = \frac{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta)^{3/2}}{ab} + r \quad (8)$$

## 2.2 容积分析

如图 3 所示泵的有效容积

$$V = [(S_0 + S_1) - (S_2 + S_3 + S_4 + S_5)]h \quad (9)$$

$h$  是泵的轴向尺寸为定值, 即截面面积等效于体积。

由于  $S_0 = S_{\Delta 1} + S_{\Delta 2}$

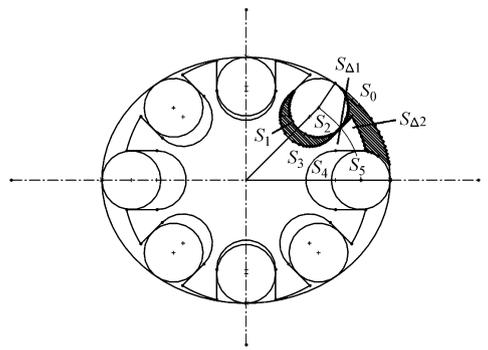


图 3 滚柱泵容积分析

Fig. 3 Analysis of roller pump volume

$$\text{其中 } S_{\Delta 1} = \int_{\lambda}^{\lambda + 2\pi/n} \frac{1}{2} \rho^2(\theta) d\lambda = \frac{1}{2} ab(\theta_2 - \theta_1) \quad (10)$$

$$S_{\Delta 2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} r \frac{M_1(\theta) + M_2(\theta)}{2} d\beta \quad (11)$$

联立式(7)、(8)、(11)得

$$S_{\Delta 2} = r \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta} d\theta + r \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{r}{2} d\beta \quad (12)$$

式中  $r$ ——滚柱半径

由于  $\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta} d\theta$  是椭圆的弧长积分, 常规方法无法得到结果, 所以这里采用数值积分的方式编程计算<sup>[13-18]</sup>, 即

$$S_{\Delta 2} = arE(\theta_2, e) - arE(\theta_1, e) + r \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{r}{2} d\beta \quad (13)$$

式中  $e$ ——椭圆的离心率

$S_5$  的面积与  $S_2$  的面积都是圆的扇形面积, 它们夹角分别为  $\pi - \alpha_1$ 、 $\pi + \alpha_2$ , 即

$$S_5 = \frac{1}{2} (\pi - \alpha_1) r^2 \quad (14)$$

$$S_2 = \frac{1}{2} (\pi + \alpha_2) r^2 \quad (15)$$

$S_1$  与  $S_4$  其面积相当于滚柱转子在 U 型槽中移动的距离乘以滚柱半径, 得

$$S_1 = r(\rho(\theta_2) - b) \quad (16)$$

$$S_4 = r(\rho(\theta_1) - b) \quad (17)$$

$S_3$  的形状是不规则的, 可通过转子圆的面积减去  $n$  个 U 型槽的面积推导出来。U 型槽可看作 4 个方程(坐标轴原点为转子圆心)围成的面积, 即

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = (b+r)^2 & (-r < x < r, y > 0) \\ x = -r \\ x = r \\ x^2 + (y-l)^2 = r^2 & (-r < x < r, y < l) \end{cases} \quad (18)$$

式中  $l$ ——U 型槽圆心到原点的距离

所以建立的面积积分公式为

$$S_u = \int_{-r}^r [\sqrt{(b+r)^2 - x^2} - (l - \sqrt{r^2 - x^2})] dx$$

$$\text{解得 } S_u = -2rl + \frac{1}{2}\pi r^2 + (b+r)^2 \arcsin \frac{r}{b+r} + \frac{(b+r)^2}{2} \sin\left(2\arcsin \frac{r}{b+r}\right) \quad (19)$$

U型槽的个数为  $n$ , 推导出  $S_3$  的表达式为

$$S_3 = \frac{\pi(b+r)^2 - nS_u}{n} \quad (20)$$

综合前面得出的各部分体积, 可分别求出两个腔的体积为

$$V_1 = 2S_1h \quad (21)$$

$$V_2 = [S_0 - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)]h \quad (22)$$

式中  $V_1, V_2$ ——柱塞腔与叶片腔体积

## 2.2 容积及排量仿真

通过 Matlab 对推导结果进行仿真, 研究各个变量对泵排量的影响。取  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $r = 18 \text{ cm}$ ,  $n = 7$ 。不同转角的容积变化如图 4 所示。

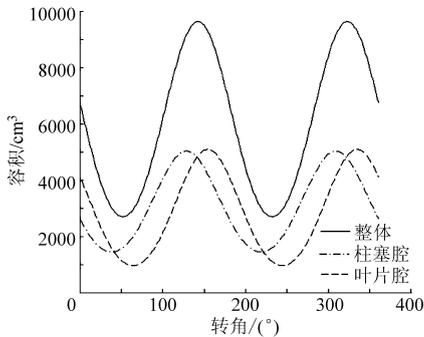


图 4 不同转角的容积变化

Fig. 4 Changes in volume with different angular

图 4 中 3 条曲线分别为整体容积及柱塞腔和叶片腔容积的变化情况。总体容积为柱塞腔、叶片腔容积的叠加, 通过上图比较可以直观得出, 此滚柱泵吸、排水量比一般的柱塞泵有很大的提高。由于两部分容积的极值不是出现在同一个转角上, 所以叠加后的整体容积峰值转角应该在两个腔峰值的转角之间。因此, 本文提出的滚柱泵在配流上也应该相应的出现一个相位差。由图 4 数据获得的整体容积极值与柱塞腔极值的相位差为  $13^\circ$ 。

当  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $n = 9$ ,  $r$  在  $0 \sim 18 \text{ cm}$  范围内取不同值时泵容积的变化如图 5 所示。由图 5 可以看出, 总排量随转子半径  $r$  增加而缓慢增加, 但 2 个腔的体积变化受转子半径影响比较快。随着  $r$  的增大, 柱塞腔的排量直线上升, 而叶片腔的排量则逐渐减小, 当  $r = 14$  的时, 两个腔的排量差不多。

当  $r$  缩小到无穷小时柱塞腔的体积几乎为零,

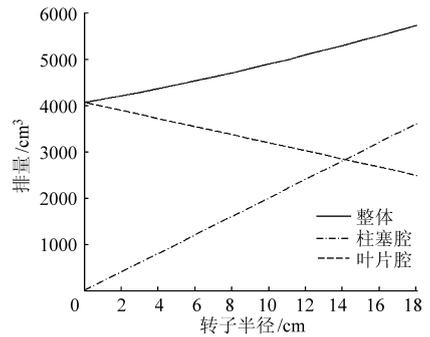


图 5 不同滚柱半径的排量变化

Fig. 5 Changes in displacement with different roller radius

则该泵与叶片泵类似。然而  $r$  是有取值范围的,  $r$  的最小值要保证能与侧面挡板接触才能保证两个腔的密封。

故  $r$  的最小值满足

$$\begin{cases} a - r = b \cos \theta \\ \tan \theta = \frac{r}{b} \end{cases}$$

求解得  $r > 11$ 。

所以在  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$  结构下,  $r$  要大于  $11 \text{ cm}$ 。

当  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $r = 14 \text{ cm}$ ,  $n$  在  $6 \sim 12$  范围内不同转子个数  $n$  对容积的影响如图 6 所示。

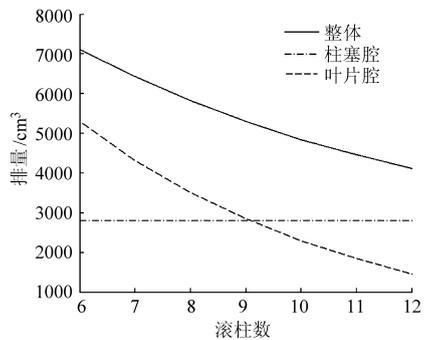


图 6 不同滚柱个数的排量变化

Fig. 6 Changes in displacement with different roller numbers

通过图 6 中曲线可以看出滚柱数  $n$  的变化不影响柱塞腔的排量, 而叶片腔的排量却随着  $n$  的增大而减小, 因此转子数不宜取过多, 不然容积的优势则体现不出来。但是如转子数太少必然会加大脉动率, 且整体排量会降低, 所以要合理选择转子的数量。

当  $n = 7$ ,  $r = 14 \text{ cm}$ ,  $a = 58.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ , 离心率  $e$  在  $0.1 \sim 0.8$  时的变化对排量的影响如图 7 所示。

离心率直接影响转子椭圆轨道的变化, 由图 7 可以看出, 随着  $e$  的增大, 整体以及各个部分的排量都有很大的提升, 但  $e$  过大也会导致脉动过大。

当  $r = 14 \text{ cm}$ ,  $a = 58.5 \text{ cm}$ ,  $b = 68.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ , 滚柱数  $n$  在  $6 \sim 12$  范围内变化时, 滚柱泵一次完整排水量的变化如图 8 所示。

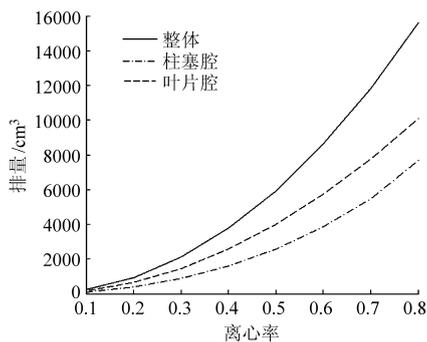


图 7 不同离心率的排量变化

Fig. 7 Changes in displacement with different eccentricity

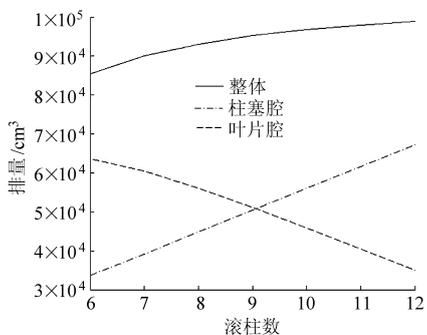


图 8 滚柱数对泵完整工作一圈排量的影响

Fig. 8 Changes in displacement of full working circle with different roller numbers

由图 8 可以看出随着  $n$  的增加总体排量缓慢上升, 柱塞腔排量则直线上升, 而叶片腔排量逐渐下降。所以在  $n$  取值比较小的时候, 容积排量比一般的泵增大了很多。当  $n = 9$  时两个腔的排量最接近。图中曲线中的总排量要小于两个腔的排量之和是因为两个腔之间有一个相位差, 导致两个腔无法同时到达容积的最大最小值, 故总体容积要比它们之和偏小一点。

当  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $r = 10 \sim 18$ ,  $n = 8 \sim 12$  时, 两个腔容积相近时  $r$  与  $n$  的取值如图 9 所示。

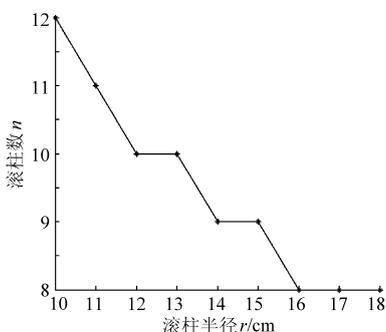


图 9 不同  $r$ 、 $n$  时两个腔排量比较

Fig. 9 Comparing displacement with two chambers under different values of  $r$  and  $n$

图 9 中描点为柱塞腔与叶片腔体积相等时  $r$  和  $n$  的取值。该描点折线有平缓下降的趋势,  $r$  与  $n$  的取值关系到各个部分的容积变化。取折线左方的

$r$  与  $n$  时叶片腔容积大于柱塞腔容积; 而取右方  $r$  与  $n$  值时, 柱塞腔容积大于叶片腔容积。

### 3 流量及脉动分析

#### 3.1 流量及脉动理论分析

$Q$  是泵的瞬时流量即容积的变化率, 通过容积对时间求导获得, 由于  $\lambda = \omega t$ ,  $\omega$  为定值, 所以

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\lambda}{\omega} \quad (23)$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = b \left( \frac{dS_0}{dt} + \frac{dS_1}{dt} - \frac{dS_2}{dt} - \frac{dS_3}{dt} - \frac{dS_4}{dt} - \frac{dS_5}{dt} \right) \quad (24)$$

$$S_0 = S_{\Delta 1} + S_{\Delta 2} \quad (25)$$

联立式 (10)、(13)、(23)、(24)、(25) 得

$$\frac{dS_0}{d\lambda} = \frac{dS_{\Delta 1} + dS_{\Delta 2}}{d\lambda} = \frac{d \int_{\lambda}^{\lambda + 2\pi/n} \frac{1}{2} \rho^2(\theta) d\lambda + d \int_{\beta_1}^{\beta_2} r \left( M(\theta) + \frac{r}{2} \right) d\beta}{d\lambda} \quad (26)$$

化简得  $Q_0 = \frac{dS_0}{d\lambda} = \frac{1}{2} (\rho^2(\theta_2) - \rho^2(\theta_1)) + \frac{d \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta} d\theta}{d\theta} \frac{d\theta}{d\lambda} + r \frac{d \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{r}{2} d\beta}{d\beta} \frac{d\beta}{d\lambda}$  (26)

由式 (16)、(24) 得

$$Q_1 = \frac{dS_1}{d\lambda} = \frac{d(r(\rho(\theta) - b))}{d\lambda} \Big|_{\lambda = \lambda + \frac{2\pi}{n}} \quad (27)$$

由于

$$\begin{cases} \frac{dS_1}{d\lambda} = \frac{dS_1}{d\theta} \frac{d\theta}{d\lambda} \\ \frac{dS_1}{d\theta} = - \frac{r(2a^2 \cos \theta \sin \theta - 2b^2 \cos \theta \sin \theta)}{2(a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{a(\tan^2 \lambda + 1)}{b \frac{a^2 \tan^2 \lambda}{b^2 + 1}} \end{cases}$$

解得

$$Q_1 = - \frac{r \sin(2\theta_2) (a^2 - b^2)}{2(a^2 \cos^2 \theta_2 + b^2 \sin^2 \theta_2)^{\frac{1}{2}}} \frac{a \left[ \tan^2 \left( \lambda + \frac{2\pi}{n} \right) + 1 \right]}{b \frac{a^2 \tan^2 \left( \lambda + \frac{2\pi}{n} \right)}{b^2 + 1}} \quad (28)$$

$S_4$  的流量与  $S_1$  同理。

故  $Q_4 = \frac{dS_4}{d\lambda} = \frac{d(r(\rho(\theta) - b))}{d\lambda} \Big|_{\lambda = \lambda}$

最后得

$$Q_4 = -\frac{r \sin(2\theta_1) (a^2 - b^2)}{2(a^2 \cos^2 \theta_1 + b^2 \sin^2 \theta_1)^{\frac{1}{2}}} \frac{a(\tan^2 \lambda + 1)}{b \frac{a^2 \tan^2 \lambda}{b^2 + 1}} \quad (29)$$

$S_2$  与  $S_5$  都随压力角的变化而改变, 所以其瞬时流量为

$$\frac{dS_2}{d\lambda} = \frac{d\left(\frac{1}{2}(\pi + \alpha)r^2\right)}{d\lambda} \Big|_{\alpha = \alpha_2}$$

$$\frac{dS_5}{d\lambda} = \frac{d\left(\frac{1}{2}(\pi + \alpha)r^2\right)}{d\lambda} \Big|_{\alpha = \alpha_1}$$

由于

$$\frac{d\alpha}{d\lambda} = \frac{a^2 \tan^2 \lambda + 1}{b^2 a^4 \tan^2 \lambda} - 1$$

解得

$$Q_2 = \frac{r^2}{2} \left[ \frac{a^2 \tan^2 \left(\lambda + \frac{2\pi}{n}\right) + 1}{b^2 a^4 \tan^2 \left(\frac{\lambda + \frac{2\pi}{n}}{b^4 + 1}\right)} - 1 \right] \quad (30)$$

同理可得

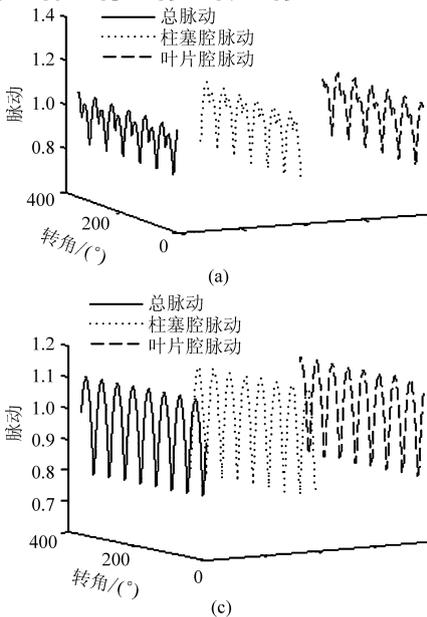
$$Q_5 = \frac{r^2}{2} \left[ \frac{a^2 \tan^2 \lambda + 1}{b^2 a^4 \tan^2 \lambda / (b^4 + 1)} - 1 \right] \quad (31)$$

$S_3$  是一个与  $\lambda$  无关的值, 故

$$Q_3 = \frac{dS_3}{d\lambda} = 0$$

得出

$$Q = Q_0 + Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 \quad (32)$$



### 3.2 瞬时流量及脉动仿真分析

当  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $r = 18 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $n = 7$  时, 该泵的瞬时流量如图 10 所示。

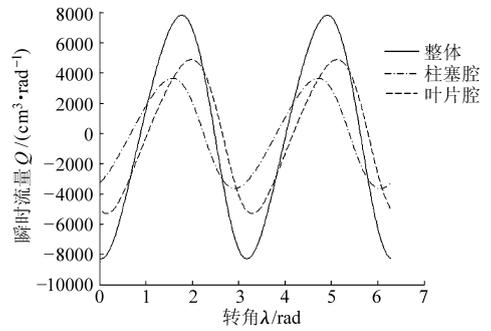


图 10 瞬时流量

Fig. 10 Instantaneous flow

图 10 为泵的一个转子在任意角度产生的瞬时流量, 3 条曲线分别为总流量以及两个腔分别产生的瞬时流量, 总流量等于两个腔流量之和。仿真可知, 两个腔的流量极值都不在一个角度上, 故整体流量的最大, 最小值都在两个腔的极值之间。叶片腔流量的变化量大于柱塞腔流量的变化量, 可以推测出叶片腔的脉动也比柱塞腔大。

当  $a = 68.5 \text{ cm}$ ,  $b = 58.5 \text{ cm}$ ,  $r = 18 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $n = 6 \sim 9$  时,  $n$  的变化对泵以及两个腔脉动的影响如图 11 所示。

图 11 为  $n = 6, 7, 8, 9$  时的仿真脉动曲线。可以看出脉动变化的一般趋势为  $n$  越大, 脉动越小, 而且奇数转子数的脉动要小于偶数转子数的脉场。特别是  $n = 8$  时, 其各部分脉动都很大, 这是由于椭圆的对称结构造成的, 所以在  $n$  取值时尽量避免取 4 的

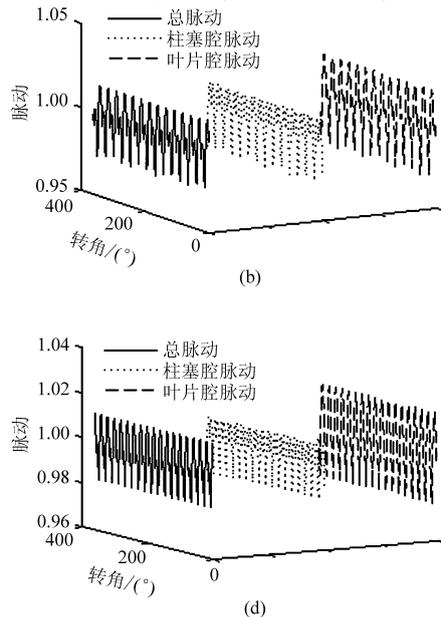


图 11 滚柱数对脉动的影响

Fig. 11 Changes in pulsations under different roller numbers

(a)  $n = 6$  (b)  $n = 7$  (c)  $n = 8$  (d)  $n = 9$

倍数。

通过比较两个腔的脉动可以看出,叶片腔的脉动一般都要大于柱塞腔的脉动,且受奇偶个数变化影响要小于柱塞腔。当  $n = 8$  时叶片腔的脉动要小

于柱塞腔以及总脉动,而柱塞腔的脉动与总脉动变化类似,所以柱塞腔的脉动是影响总脉动的主导因素。

当  $a = 68.5 \text{ cm}, b = 58.5 \text{ cm}, n = 7, h = 10 \text{ cm}, r = 12、14、16、18 \text{ cm}$  时,脉动曲线如图 12 所示。

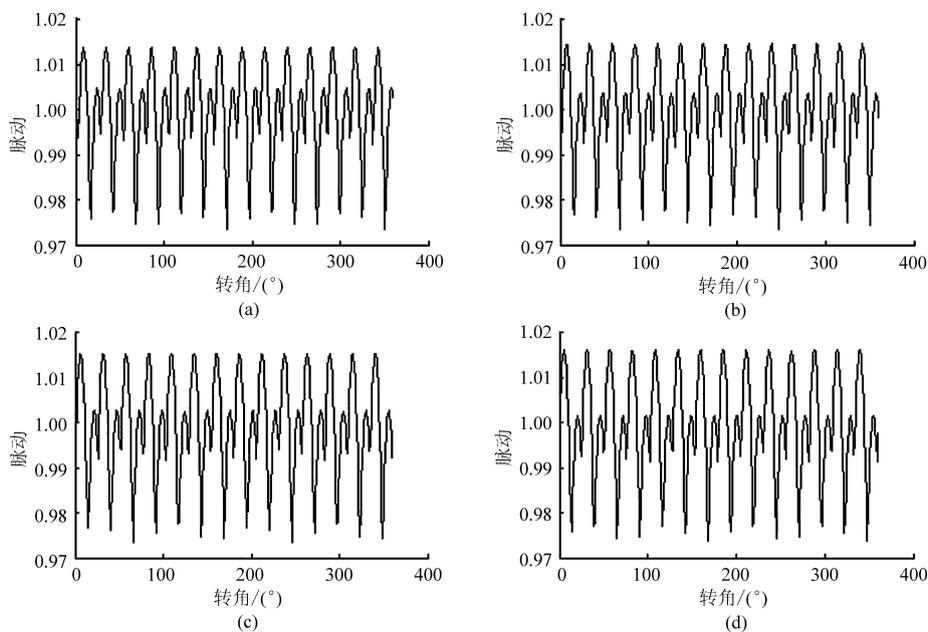


图 12 滚柱半径对脉动的影响

Fig. 12 Changes in pulsations under different roller radius

(a)  $r = 12 \text{ cm}$  (b)  $r = 14 \text{ cm}$  (c)  $r = 16 \text{ cm}$  (d)  $r = 18 \text{ cm}$

比较图 12 中曲线可以看出,随着  $r$  的增大,脉动也有少量增加。故在选定  $r$  值时,要考虑到其对泵脉动的影响。

当  $a = 68.5 \text{ cm}, r = 14 \text{ cm}, n = 7 \text{ cm}, h = 10 \text{ cm}, e = 0.2 \sim 0.7$  时,脉动曲线如图 13 所示。

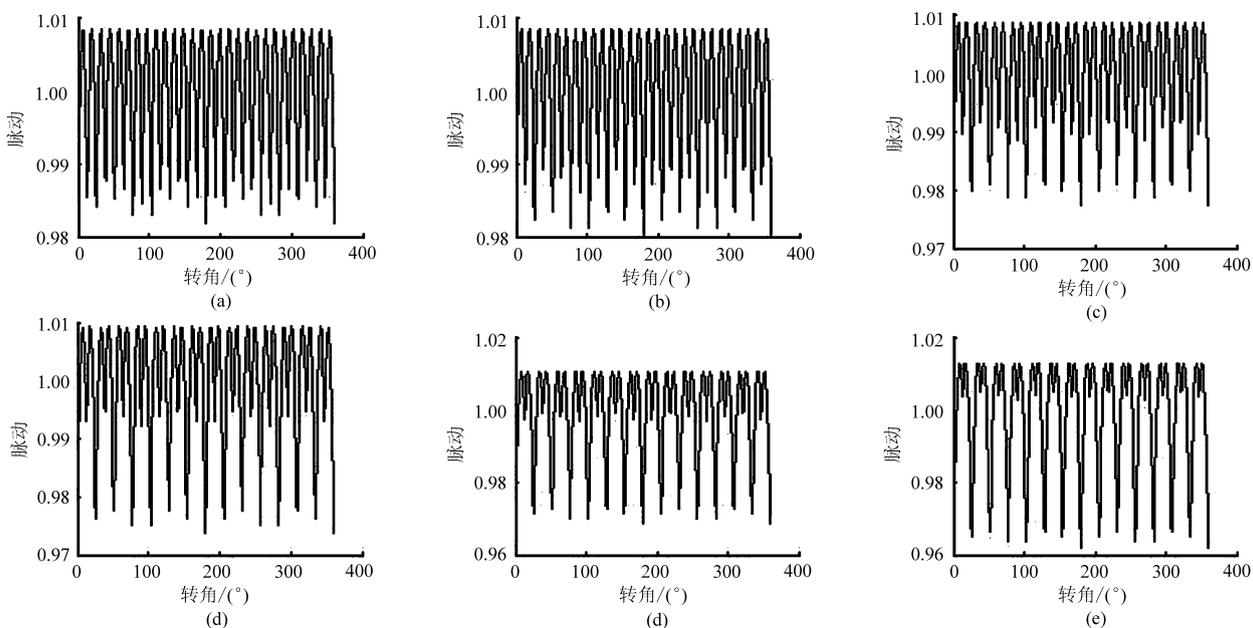


图 13 离心率对脉动影响

Fig. 13 Changes in pulsations under different eccentricity

(a)  $e = 0.2$  (b)  $e = 0.3$  (c)  $e = 0.4$  (d)  $e = 0.5$  (e)  $e = 0.6$  (f)  $e = 0.7$

由图 13 可以看出,离心率越大,泵的脉动也就越大。前面分析得知  $e$  越大,流量越大,所以在  $e$  的

取值也要综合考虑流量与脉动的变化<sup>[19]</sup>。

当  $a = 68.5 \text{ cm}, b = 58.5 \text{ cm}, r = 14 \text{ cm}, h =$

10 cm,  $n = 6 \sim 9$  时, 脉动的波峰数如图 14 所示。

噪声与脉动的峰值以及脉动的波峰数量都有关系<sup>[20-21]</sup>。由图 14 可以看出, 奇数转子数的波峰多而矮, 而偶数转子数的波峰少而高。尤其是当  $n = 8$

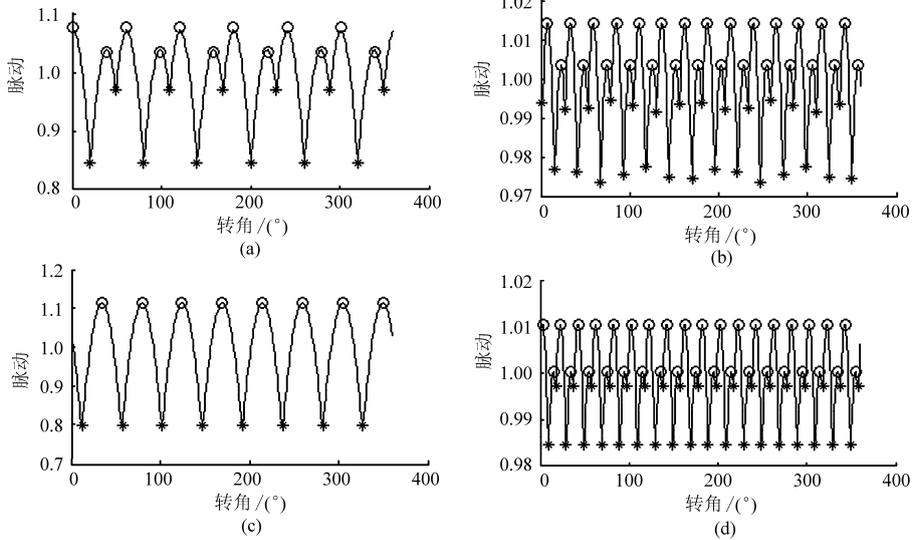


图 14 滚柱数与脉动波峰数的关系

Fig. 14 Changes in the number of pulsation peaks under different roller numbers

(a)  $n = 6$  (b)  $n = 7$  (c)  $n = 8$  (d)  $n = 9$

## 4 结论

(1) 该滚柱泵排量大于一的柱塞泵以及叶片泵。且由于总体容积由两个腔构成, 它们吸压转换时存在相位差, 所以该泵的配流与一般椭圆轨道泵的配流角度不同, 也存在一个角度差。

(2) 该泵脉动受滚柱转子数目影响大, 且柱塞

时波峰波谷的数目都是 8, 但其脉动峰谷值却高达 1.1 和 0.8。

当  $n = 6$  时波峰数量为 12 个;  $n = 7$  时波峰数量为 28 个;  $n = 8$  时波峰数量为 8;  $n = 9$  时波峰数量为 36。

腔脉动是影响总体脉动的主要方面。奇数滚柱数时脉动远远小于偶数滚柱数的脉动; 滚柱数为 4 的倍数时, 脉动很大。

(3) 奇数滚柱数时, 脉动的波峰小而多, 波峰数为 4 倍的滚柱数; 偶数非 4 的倍数滚柱数时, 脉动的波峰较少且较高, 波峰数为 2 倍的滚柱数; 滚柱数为 4 的倍数时, 脉动的波峰少而高, 波峰数等于滚柱数。

## 参 考 文 献

- 1 娄光伟, 方宏生, 林彬彬, 等. 双作用滚柱转子泵定子型线研究与优化[J]. 流体机械, 2008, 36(10): 11-12.  
Lou Guangwei, Fang Hongsheng, Lin Binbin, et al. Research and optimization on stator profile of two-acting roller rotary pump[J]. Fluid Machinery, 2008, 36(10): 11-12. (in Chinese)
- 2 曹道鑫. 偏心滚柱泵理论流量公式和适用条件的探讨[J]. 煤炭工程师, 1996(2): 16-20.  
Cao Daoxin. Probing into theoretical flow formula of eccentric roller pump and its applicabl conditions[J]. Coal Engineer, 1996(2): 16-20. (in Chinese)
- 3 Francesco Moscato, Francesco M Colacino, Maurizio Arabia, et al. Pressure pulsation in roller pumps: a validated lumped parameter model[J]. Medical Engineering & Physics, 2008, 30(9): 1149-1158.
- 4 张生昌, 林彬彬, 林界, 等. 电动喷雾器用双作用滚柱泵的试验研究[J]. 机械设计与制造, 2009(4): 117-119.  
Zhang Shengchang, Lin Binbin, Lin Jie, et al. The experimentation study of double-action roller pump for electrical sprayer-used[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(4): 117-119. (in Chinese)
- 5 张生昌, 连加佛, 邓鸿英, 等. 滚柱转子油泵滚柱与配流盘间隙的计算[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(1): 35-39.  
Zhang Shengchang, Lian Jiadi, Deng Hongying, et al. Calculation of gap between roller and valve plate for roller rotary oil pump[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(1): 35-39. (in Chinese)
- 6 闻德生, 吕世君, 闻佳, 等. 宽、双滚柱、滑块型、单作用、双输出、双定子变量泵和马达的原理研究[J]. 现代制造工程, 2005(增刊): 144-145, 41.  
Wen Desheng, Lü Shijun, Wen Jia, et al. Theoretic research of the variable displacement pump and motor of the same width and with double-roller, sliders, single-action, double-output and double-stators[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2005(Supp.): 144-145, 41. (in Chinese)
- 7 Zhang Xiaogang, Quan Long, Yang Yang, et al. Output characteristics of a series three-port axial piston pump[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 25(3): 498-505.

- 8 唐生利,王耘,沈舟. 基于逆向工程的滚柱泵型腔曲线反求设计[J]. 现代机械,2007(2):59-61.  
Tang Shengli,Wang Yun,Shen Zhou. Reverse design of a roller pump's cavity curve based on reverse engineering[J]. Modern Machinery,2007(2):59-61. (in Chinese)
- 9 闻德生,潘景升,吕世君,等. 柱塞式滚柱泵的原理研究[J]. 机床与液压,2005(4):95-96.  
Wen Desheng,Pan Jingsheng,Lü Shijun,et al. Theoretical study of the plunger-type roller pump[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2005(4):95-96. (in Chinese)
- 10 刘振华,关中杰. 滚柱式定量油泵[J]. 煤矿机械,1989(7):4-5.  
Liu Zhenhua,Guan Zhongjie. Quantitative-roller oil pump[J]. Coal Mine Machinery,1989(7):4-5. (in Chinese)
- 11 李天德. PYB-14 滚柱泵在农业生产中的应用[J]. 现代化农业,1985(2):24-25.
- 12 吴忠仁. 滚柱泵[J]. 液压与气动,1986(1):56-57.
- 13 过家春,赵秀侠,徐丽,等. 基于第二类椭圆积分的子午线弧长公式变换及解算[J]. 大地测量与地球动力学,2011, 31(4):94-98.  
Guo Jiachun,Zhao Xiuxia,Xu Li,et al. Calculating meridian arc length by transforming its formulae into elliptic integral of second kind[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2011,31(4):94-98. (in Chinese)
- 14 安新源,周宗潭,胡德文. 椭圆拟合的非线性最小二乘方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(18):188-190.  
An Xinyuan,Zhou Zongtan,Hu Dewen. Ellipse fitting based on non-linear least squares[J]. Computer Engineering and Applications,2009,45(18):188-190. (in Chinese)
- 15 韩潮,殷建丰. 基于相对轨道要素的椭圆轨道卫星相对运动研究[J]. 航空学报,2011,32(12):2244-2258.  
Han Chao,Yin Jianfeng. Study of satellite relative motion in elliptical orbit using relative orbit elements[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011,32(12):2244-2258. (in Chinese)
- 16 吕茂烈. 任意两个无定向椭圆轨道之间的最佳过渡[J]. 力学学报,1981,13(2):146-152.  
Lü Maolie. Optimum impulsive transfer between two arbitrary oriented elliptical orbits[J]. Acta Mechanica Sinica, 1981, 13(2):146-152. (in Chinese)
- 17 Florian Heß, Andreas Stein, Sandra Stein, et al. The magic of elliptic curves and public-key cryptography[J]. Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung,2012,114(2):59-88.
- 18 过家春,张庆国,章林忠,等. 基于第二类椭圆积分的椭圆弧长公式变换与应用[J]. 数学的实践与认识,2011,41(24): 210-215.
- 19 陈仰贤,严克明,李明. 滚柱泵的设计参数及容积和瞬时流量分析[J]. 甘肃工业大学学报,1993,19(1):46-52.  
Chen Yangxian,Yan Keming,Li Ming. Analysis of design parameters, volume, and instantaneous flow of roller-pumps[J]. Journal of Gansu University of Technology, 1993,19(1):46-52. (in Chinese)
- 20 闻德生,吕世君,刘晓晨,等. 等宽双定子泵和马达的原理研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008,40(11):1840-1844.  
Wen Desheng,Lü Shijun,Liu Xiaochen,et al. Theoretic research on variable displacement of equal-width double-stators pump and motor[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2008,40(11):1840-1844. (in Chinese)
- 21 杨国来,王伟健,王连波,等. 低噪声径向柱塞泵的设计与研究[J]. 液压与气动,2007(2):1-3.  
Yang Guolai,Wang Weijian,Wang Lianbo,et al. Design and research on the lower noise radial piston pump[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2007(2):1-3. (in Chinese)

## Output Characteristics of Double-acting Elliptical Orbit Roller Pump

Ke Zunrong Chen Jian Chen Kai

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** The new kind of roller pump is the combination of radial ball piston and vane pump. Based on the characteristics analysis of elliptical area and length, the volume formula of double-acting elliptical orbit roller pump was deduced, and the flowing and pulsating of the pump were obtained. At last through the simulation, the effect of the structural dimensions on the flowing and pulsating of the pump was received. The analysis results indicated that the flowing of the pump is the five times of that of radial piston pump, and the 1.5 times of vane pump at the same structural dimensions. And the pulsation rate was slightly increased. There was a phase difference comparing with radial piston pump and vane pump, which was  $13^\circ$  in the article. The pulsation was generally reduced with the increasing of rollers' number, but it was larger with the number being a multiple of 4. The output characteristics of the analysis results provided a theoretical basis for the roller pump structure optimization and noise and vibration reduction.

**Key words:** Roller pump Elliptical orbit Output characteristics