

摆线泵内转子理论型线参数方程及内外转子的建模

徐义华, 陈为国, 韩守磊

(南昌航空工业学院航空与机械工程学院, 江西南昌 330063)

摘要: 论述了各种摆线形成原理, 建立了各种摆线参数方程, 阐述了摆线转子泵内转子廓线的形成原理, 并建立其理论廓线的参数方程, 利用参数方程建立了摆线转子的三维模型。

关键词: 摆线泵; 理论型线; 参数方程; 建模

中图分类号: TH326 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2008)1-106-2

Parameter Equation of Cycloid Pump Inner Rotor Theoretic Profile Curve and Modeling of Inner-outer Rotor

XU Yihua, CHEN Weiguo, HAN Shoulei

(Aeronautic and Mechanical Engineering College, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang Jiangxi 330063, China)

Abstract: Based on discussing the forming principle of all sorts cycloid and establishing their parameter equation, the forming principle of cycloid pump inner rotor profile curve was introduced and its theoretic profile curve parameter equation was established, and the three dimension model of the inner-outer rotor was set up by making use of the parameter equation.

Keywords: Cycloid pump; Theoretic profile curve; Parameter equation; Modeling

0 前言

摆线转子泵具有体积小、结构紧凑、零件少、重量轻、噪声低、工作平稳、自吸性强及良好的高转速特性等特点, 广泛用于纺机、印机、机床、轻工机械等需低压连续润滑或间断供油润滑的机械设备上。近年来有不少文献^[1-11]对摆线转子泵的工作原理及设计做了详细的阐述, 但由于摆线转子齿廓的特点^[12], 其设计在二维 CAD 绘图实践中, 因软件不能产生摆线形状, 摆线轮廓的齿形通常用样条曲线来模拟, 不但费时费力而且影响直观效果。本文根据摆线泵内转子齿廓形成原理, 建立其理论型线参数方程, 在三维实体造型软件 Pro/E 中利用参数方程建立摆线泵内外转子的实体模型。

1 内外转子基本参数及各参数之间的关系

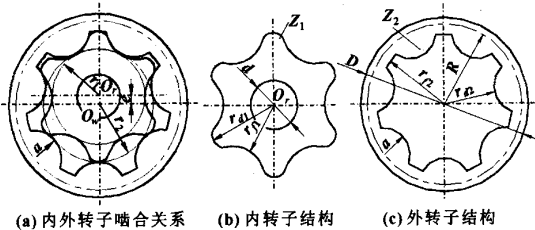


图1 内、外转子结构及啮合关系

摆线泵的工作原理参见文献 [2], 图1(a)为内、外转子啮合关系图, 图1(b)、图1(c)分别为内、外转子结构参数图, 由图1可知, 内、外转子啮合时有

一偏心距 e , r_1 、 r_2 分别为内、外转子节圆半径。外转子主要参数有: a 为齿形半径, R 为创成圆半径, r_f 为齿根圆半径, r_{a1} 为齿顶内切圆半径, D 为外转子半径, Z_2 为外转子齿数; 内转子主要参数有: r_{a1} 为齿顶外切圆半径, r_f 为齿根内切圆半径, d 为传动轴孔径, Z_1 为内转子齿数。由内、外转子的啮合关系, 可得各参数之间的关系如下:

$$Z_2 = Z_1 + 1 \quad (1)$$

$$R = a + r_f + e = a + r_{a1} - e = a + r_f - 2e = a + r_{a2} \quad (2)$$

$$e = (r_{a1} - r_f) / 2 = r_2 - r_1 = r_1 / Z_1 = r_2 / Z_2 \quad (3)$$

确定摆线泵转子结构的基本参数为 Z_1 , R , e , a 及 D , d 。

2 摆线的形成原理及参数方程

当一滚圆沿一条线(导线)作纯滚动时, 滚圆上任意点的轨迹称为摆线, 当导线为直线时, 形成的摆线称为平摆线, 如图2所示, 其参数方程为

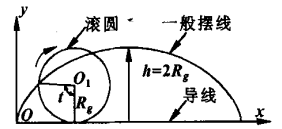


图2 一般摆线的形成

$$\begin{cases} x = R_g(t - \text{sint}) \\ y = R_g(1 - \text{cost}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: R_g 为滚圆半径, t 为滚角, 方程(4)表明摆线是由无限多支相同的分支组成的, 每一分支称为摆线的一拱, 一拱宽度为 $2\pi R_g$, 拱高(也称为幅高)为 $2R_g$ 。

一般地，滚圆平面内与滚圆固定相连的一点所画出的平面曲线叫做摆线类曲线，通常亦简称为摆线，如图 3 所示，其曲线的参数方程可写成

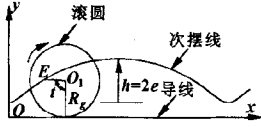


图 3 次摆线的形成

$$\begin{cases} x = R_g t - e \sin t \\ y = R_g - e \cos t \end{cases} \quad (5)$$

式中 e 为动点 E 到滚圆圆心 O_1 的距离，当 $e = R_g$ 时，摆线即为一般平摆线；当 $e < R_g$ 时，曲线幅高小于一般平摆线幅高，因此曲线称为短幅平摆线；相反，当 $e > R_g$ 时，曲线幅高大于一般平摆线幅高，曲线称为长幅平摆线。短幅平摆线和长幅平摆线统称为次摆线。

当导线为圆时，滚圆在导圆内做纯滚动，滚圆上的任意点的轨迹曲线称为内摆线，如图 4 所示，其参数方程为

$$\begin{cases} x = (R_b - R_g) \cos t + R_g \cos(R_b/R_g - 1)t \\ y = (R_b - R_g) \sin t - R_g \sin(R_b/R_g - 1)t \end{cases} \quad (6)$$

式中 R_b 为导圆半径。滚圆在导圆外做纯滚动时，滚圆上的任意点的轨迹曲线称为外摆线，如图 5 所示，其参数方程为

$$\begin{cases} x = (R_b + R_g) \cos t - R_g \cos(R_b/R_g + 1)t \\ y = (R_b + R_g) \sin t - R_g \sin(R_b/R_g + 1)t \end{cases} \quad (7)$$

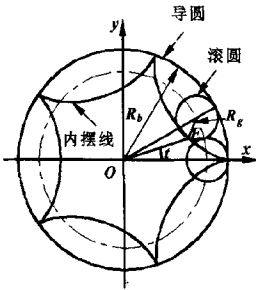


图 4 内摆线的形成

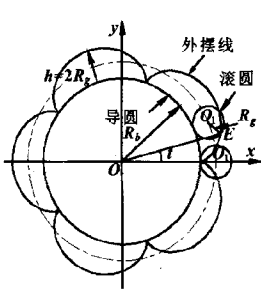


图 5 外摆线的形成

当导圆的半径为滚圆半径的整数倍时，在导圆的圆周上分布的摆线正好是整数个摆线拱。内外摆线的次摆线参数方程分别为

$$\begin{cases} x = (R_b - R_g) \cos t + e \cos(R_b/R_g - 1)t \\ y = (R_b - R_g) \sin t - e \sin(R_b/R_g - 1)t \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x = (R_b + R_g) \cos t - e \cos(R_b/R_g + 1)t \\ y = (R_b + R_g) \sin t - e \sin(R_b/R_g + 1)t \end{cases} \quad (9)$$

式中 e 为动点到滚圆圆心 O_1 的距离，当 $e = R_g$ 时，摆线即为一般内（外）摆线；当 $e < R_g$ 时，曲线称为短幅内（外）摆线；相反，当 $e > R_g$ 时，曲线称为长幅内（外）摆线。

3 内转子摆线齿廓形成原理及理论廓线参数方程

摆线泵内转子的齿廓形线是由短幅外摆线而来，如图 6 所示，当滚圆由 x 轴上位置以逆时针方向沿半径为 R_b 的导圆滚动一个周长到 $O_1 l$ 位置时，该滚圆内距 O_1 为 e 的动点 E 则画出了一拱短幅外摆线，此摆线即为内转子理论廓线，其幅高 $h = 2e$ 。沿短幅外摆线上取若干点为圆心，并以 a 为半径画若干圆，这些圆的内侧的包络线即是内转子的一个齿廓，即为内转子实际廓线，该廓线称为短幅外摆线圆内等距线。由此可知，内转子理论齿廓曲线的参数方程形式为式 (9)，从图 6 可看出， $R = R_b + R_g$ ， $R_b/R_g = Z_1$ ，则内转子理论齿廓曲线的参数方程可写成

$$\begin{cases} x = R \cos t - e \cos(Z_1 + 1)t \\ y = R \sin t - e \sin(Z_1 + 1)t \end{cases} \quad (10)$$

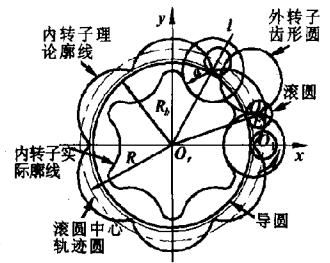
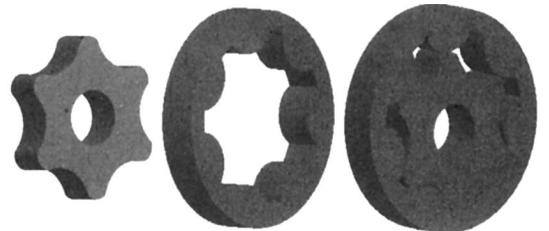


图 6 摆线齿廓的形成

4 内外转子三维实体建模

在摆线转子泵的设计中，先确定基本参数 Z_1 、 R 、 e 、 a 及 D 、 d ，再在三维造型软件（如 Pro/E）中利用参数方程建立内转子理论廓线，然后把理论廓线向内偏移 a 得到内转子实际廓线，由实际廓线拉伸成三维实体模型，如图 7(a) 所示。外转子所有结构线均为圆弧，模型的建立相对简单，此处不再叙述，其实体模型如图 7(b) 所示，内外转子的三维装配关系如图 7(c) 所示。



(a) 内转子实体模型 (b) 外转子实体模型 (c) 内外转子三维装配关系

图 7 三维实体模型

5 结束语

摆线转子泵的应用较为广泛，其三维造型给优化设计带来方便、直观等优点，本文给出的内转子理论廓线的参数方程是准确画出摆线泵三维图形的基础。

参考文献

[1] 毛增光, 舒正平. 油泵用摆线内外转子的开发 [J]. 粉末冶金技术, 2001, 19 (5): 297-282.
 [2] 毛华永, 李国祥, 等. 摆线转子泵的工作原理及特点 [J]. 山东内燃机, 2002 (3): 33-35.

程中和保压后换向返回时,经分析可能有两个主要原因:

(1) 液压控单向阀 7 可能存在不断地开、关的转换造成主缸下行速度快慢变化引起振动和噪声。当主缸开始下行时因滑块重力作用而加速运动,泵供油不及而使上腔出现负压,液控单向阀 4、6 可能会自然打开而不需要压力。因此点 *N* 压力也会随之下降造成液控单向阀 7 关小甚至闭合,主缸就会减速甚至瞬间停留,上腔负压消失,随后点 *N* 压力再增大,缸 9 再度加速下行、上腔再度出现负压。这样循环就会出现缸 9 下行速度时快时慢,从而引起系统振动和噪声。

(2) 主缸 9 在保压后转换上行时,因上腔压力很大,油路突然换接产生液压冲击也会造成很大的震动和噪声。

第二个问题是主缸 9 压制速度不可调,不能满足某些零件的压制速度工艺的要求。因为系统采用的是定量泵又未设置调速回路。要解决该问题要么用变量泵要么在适当位置加装流量阀。其三,在压制需要压边拉延的工件时,时常有拉延开裂的情况发生而造成废品。经反复测试后分析其原因可能是阀 3 是普通的 YF 型液流阀,压力调节精度低,而且是远程调压,其管路长,泄漏和阻力变化大也造成压力波动,在压制工艺要求较高时不能满足要求。

3 液压系统的改造

笔者根据以上分析制定了改造的方案。

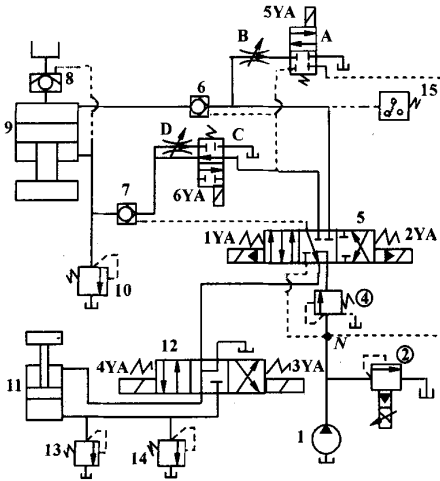


图2 改造后液压系统

如图2所示是改造后的液压系统,与原系统相比有以下的改进:

(1) 将单向阀 4 换为顺序阀。这样不管液压缸 9 上腔是否出现负压,点 *N* 就总能保持一定的压力。而且可以根据实际情况调整其压力,而不像单向阀改变开启压力要靠更换弹簧实现。

(2) 设置卸压回路。如图2中增加换向阀 A 和

节流阀 B。当 5YA 带电同时延时继电器记时,上腔通过节流阀 B、换向阀 A 卸压,其卸压快慢由节流阀 B 调节;卸压时间由时间继电器调节。卸压时间到,再使 2YA 带电,液压缸 9 上行。

(3) 增加一个节流阀 D 和一个换向阀 C 组成出口节流调速回路可以实现调节压制时主缸的速度,满足加工多种工件的不同压制速度的要求,扩大设备的应用范围。

(4) 将原系统中的调压阀 2、3 用一个比例溢流阀替换。既实现了调压的方便性又能保证压力调节的精确度。

4 改造后的效果

系统改造后经过实际应用,振动和噪声大为减小,压边拉延开裂现象也大为减少。其合格率可以达到 80% 以上。通过调节压制速度可以实现更多品种的工件压制和拉延工艺的要求。系统压力稳定性改善了很多,压力调节精度比改造前提高了很多。

这次改造是在原系统的基础上进行的,尽量利用原有元件,花费少、周期短、效果好。经实际应用证明是一次成功的改造。

参考文献

- [1] 何存兴. 液压传动与气压传动 [M]. 华中科技大学出版社, 2000. 8.
- [2] 雷天觉. 新编液压工程手册 [M]. 北京理工大学出版社, 1998. 12.

(上接第 107 页)

- [3] 徐学忠. 摆线泵基本参数的优化设计 [J]. 液压与气动, 2003 (12): 6-7.
- [4] 毛华永, 李国祥, 等. 摆线转子泵盖油腔的设计 [J]. 摩托车技术, 2002 (8): 9-10.
- [5] 毛华永, 李国祥, 等. 摆线转子式齿轮泵的设计 [J]. 粉末冶金技术, 2003, 21 (5): 282-286.
- [6] 徐学忠. 摆线转子泵滑动系数的研究 [J]. 煤矿机械, 2004 (8): 25-27.
- [7] 徐学忠. 摆线齿轮泵啮合特性分析 [J]. 液压与气动, 2004 (10): 46-48.
- [8] 张维光, 雷新叶, 等. 圆弧-摆线齿廓转子泵啮合的计算分析 [J]. 机床与液压, 2004 (10): 150-151.
- [9] Yao L, Ye Z, Cai H, et al. Design of a milling cutter for a novel three-lobe arc-cycloidal helical rotor [J]. Proceedings of the I MECH E Part C Journal of Mechanical Engineering Science, 2004, 218 (10): 1233-1241.
- [10] 徐学忠, 管建峰. 摆线泵排量的理论计算 [J]. 设计与计算, 2005 (2): 65-66.
- [11] 毛华永, 李国祥, 等. 摆线转子泵转子结构参数的确定 [J]. 农业机械学报, 2006, 37 (2): 45-47.
- [12] 孙桓, 傅则绍. 机械原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.