

# 凸轮转子泵转子型线设计

李扬辉 张志臣  
(天津工业大学机械工程学院 天津 300387)

**摘要:** 转子型线的参数及组成部分可利用圆弧转子泵的圆弧转子分析得出,而转子的实际型线的方程则可以结合共轭原理推出的圆弧转子的理论型线方程得出,参照型线的参数方程,借助MATLAB绘制出二维转子型线,最后,通过三维软件创建出实体模型,根据软件中的模拟功能对三维实体模型进行运动模拟,模拟结果显示:转子型线之间无干涉且间隙匀称。

**关键词:** 凸轮转子泵 型线方程 运动模拟

中图分类号: TH326

文献标识码: A

文章编号: 1674-098X(2013)09(b)-0083-03

## Design of rotor profile of lobe rotor pump

LI Yanghui ZHANG Zhichen  
(Department of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic university, Tianjin 300387)

**Abstract:** This article analyzed the composition and parameters of the circular rotor in a circular lobe rotor pump. Based on conjugating principle, the theoretical curve equation was deduced, furthermore, the curve of the rotor in practical use was generated. Based on parametrical equation of the curve, two-dimensional rotor curve was plotted with MATLAB, then three-dimensional solid model was established using three-dimensional software, and movement simulation was conducted with software Autodesk Revit. The results show that no interference is found between the curves of the rotor, and uniform gap exists.

**Key words:** lobe rotor pump curve equation movement simulation

利用一对齿轮,其转动比为1,相互啮合转动,这样就实现了两个转子同步反向旋转,同时,其在转动的过程中,真空度也就是吸力在进口处产生,由此完成吸入其所需物料的输送。在实际操作中,流质输送的不均匀性可以通过增加转子叶数或选用扭叶来达到改善的效果。和国外相比,国内的采用圆弧转子的产品还不成熟,还处在测绘国外产品仿制阶段,理论研究不全面,性能与国外产品相比也存在较大的差距。因此,加

强对转子型线方面的研究,就会真正提高圆弧转子泵的性能。

### 1 圆弧转子型线设计

#### 1.1 基本尺寸关系

圆弧转子型线包括叶峰和叶谷。叶峰呈圆弧线,叶谷为圆弧包络线。叶峰的位置在节圆以外,叶谷在以内,叶峰和叶谷在节圆的地方相接。圆弧型线的叶峰圆弧的圆心位于长轴之上。如图1。

$z$ 可设为转子的叶数, $R_m$ 设为转子叶顶圆半径, $r$ 设为转子叶峰圆半径,两个转子的中心距设为 $2a$ ,转子叶峰圆弧的圆心到转子中心之间的距离设为 $b$ 。以上参数间的关系为:

$$r = R_m - b \quad (2.1)$$

$$a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \frac{\pi}{2z} = r^2 \quad (2.2)$$

根据以上两方程式,可得:

$$b = \frac{R_m^2 - a^2}{2 \left( R_m - a \cdot \cos \frac{\pi}{2z} \right)} \quad (2.3)$$

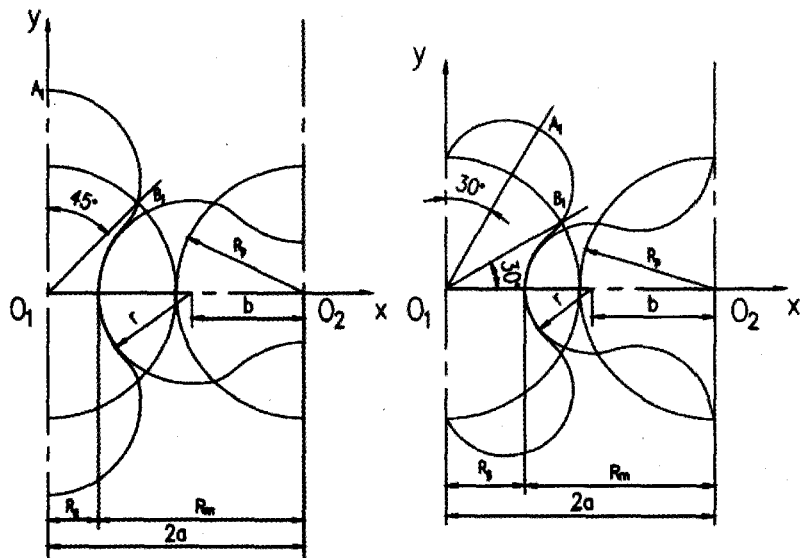


图1 两、三叶圆弧型线

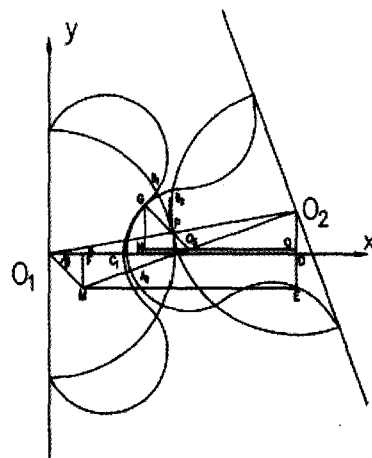


图2 圆弧型线转子啮合示意图

表1 径距比的合适选取范围

转子类型	两叶转子	三叶转子
径距比范围	$1.2368 < \frac{r_a}{a} < 1.6698$	$1.1196 < \frac{r_a}{a} < 1.4770$

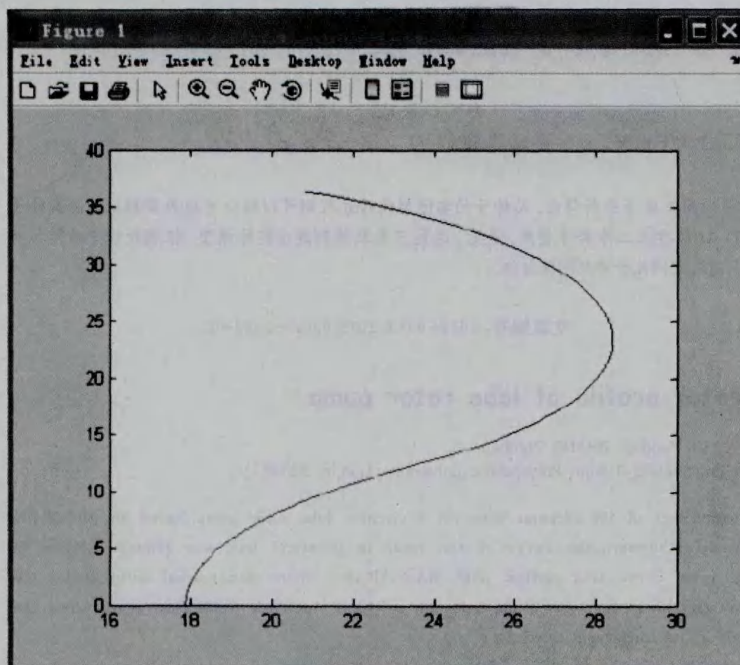


图3 MATLAB绘制的圆弧型线

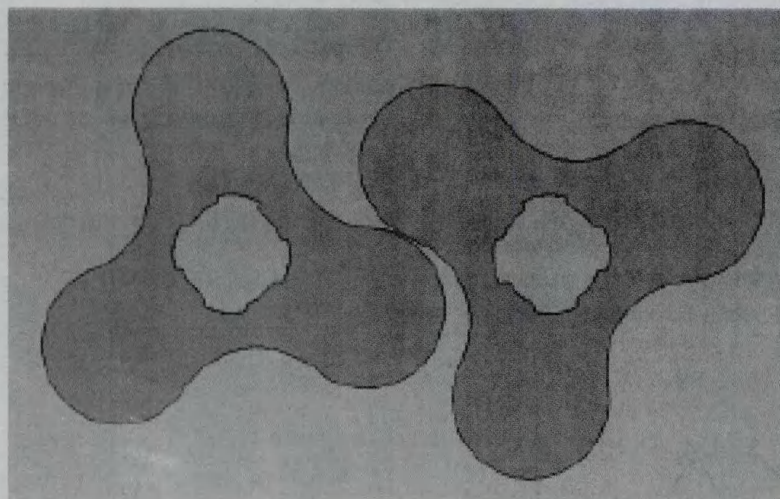


图4 运动模拟过程中的一般位置

$$r = \frac{R_m^2 + a^2 - 2a \cdot R_m \cdot \cos \frac{\pi}{2z}}{2(R_m - a \cdot \cos \frac{\pi}{2z})} \quad (2.4)$$

设节圆半径为  $R_p$ , 叶根圆半径为  $R_g$ , 则有:

$$R_p = a \quad (2.5)$$

$$R_g = 2a - R_m \quad (2.6)$$

## 1.2 圆弧转子理论型线方程

叶峰理论型线方程。如图1所示, 在坐标系  $xO_1y$  中, 叶峰的理论型线  $A_1B_1$  的参数方程为:

$$\left(x - b \cdot \cos \frac{\pi}{z}\right)^2 + \left(y - b \cdot \sin \frac{\pi}{z}\right)^2 = r^2 \quad (2.7)$$

式中,  $a \cdot \sin \frac{\pi}{2z} \leq y \leq R_m \cdot \sin \frac{\pi}{z}$ 。

叶谷理论型线方程。如图2所示, 把转

子  $O_1$  作为参照, 建立坐标系  $xO_1y$ , 当转子  $O_1$  沿逆时针方向转过角度  $\alpha$ , 转子  $O_2$  绕轴心  $O_2$  顺时针转过角度  $\alpha$ 。

叶峰  $A_2B_2$  与叶谷  $C_1B_1$  在啮合点  $G(x, y)$  啮合, 在  $G$  点处的两共轭曲线的公法线必通过节点  $P$ , 并经过叶峰  $A_2B_2$  的圆心  $O_3$ , 因此点  $G, P, O_3$  在同一条直线上。

过点  $O_1$  做  $GO_3$  的平行线  $O_1M$ ,  $O_2O_3$  与  $O_1M$  交于点  $M$ ,  $O_1M$  与  $O_1x$  的夹角为  $\beta$ 。过点  $O_2$  做  $O_1y$  的平行线  $O_2D$ ,  $O_2D$  与  $O_1x$  交于点  $D$ 。过点  $O_3$  做  $O_1x$  轴的平行线  $O_3Q$ ,  $O_3Q$  交  $O_2D$  于点  $Q$ 。过点  $M$  做  $O_1x$  轴的垂线  $ME$ ,  $ME$  交  $O_2D$  的延长线于点  $E$ , 然后做  $O_1x$  轴的垂线  $MF$ 。过点  $G$  做  $O_1y$  轴的平行线  $GN$ ,  $GN$  与  $O_3Q$  在  $O_3Q$  的反向延长线上的点  $N$  相交。线段  $O_1O_2$  的中点为点  $P$ , 最后写出:

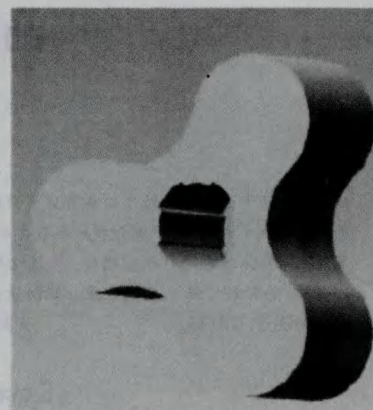


图5 转子三维模型

$$\begin{aligned} \overline{OF} &= \overline{OD} - \overline{ME} = \overline{OD} - 2\overline{OQ} \\ &= \overline{O_1O_2} \cdot \cos \alpha - 2\overline{O_1O_2} \cdot \cos 2\alpha \\ &= 2a \cdot \cos \alpha - 2b \cdot \cos 2\alpha \\ \overline{MF} &= \overline{O_1E} - \overline{O_2D} = \overline{O_1M} \cdot \sin 2\alpha - \overline{O_1O_2} \cdot \sin \alpha \\ &= 2\overline{O_1O_2} \cdot \sin 2\alpha - \overline{O_1O_2} \cdot \sin \alpha \\ &= 2b \cdot \sin 2\alpha - 2a \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

$$\overline{OM} = \left[ (\overline{OF})^2 + (\overline{MF})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 2\sqrt{a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \alpha}$$

所以有:

$$\begin{cases} \sin \beta = \frac{\overline{MF}}{\overline{OM}} = \frac{b \cdot \sin 2\alpha - a \cdot \sin \alpha}{\sqrt{a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \alpha}} \\ \cos \beta = \frac{\overline{OF}}{\overline{OM}} = \frac{a \cdot \cos \alpha - b \cdot \cos 2\alpha}{\sqrt{a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \alpha}} \end{cases} \quad (2.8)$$

因为  $O_1M \parallel GO_3$ , 所以  $\angle GO_3N = \beta$ , 啮合点  $G(x, y)$  在坐标系  $xO_1y$  中的坐标为:

$$\begin{cases} x = \overline{O_1D} - \overline{O_2Q} - \overline{NO_3} = 2a \cdot \cos \alpha - b \cdot \cos 2\alpha - r \cdot \cos \beta \\ y = \overline{O_2D} - \overline{O_2Q} + \overline{GN} = 2a \cdot \sin \alpha - b \cdot \sin 2\alpha + r \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (2.9)$$

啮合点  $G(x, y)$  在坐标系  $xO_1y$  中的坐标轨迹即为叶谷理论型线的参数方程, 其中

$$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2z}。$$

## 1.3 实际型线方程

两个转子间的间隙设为  $\delta$ , 设  $r_1$  为叶峰的实际半径,  $r_2$  则为形成叶谷实际型线的共轭圆弧半径, 所以:

$$r_1 = r - \frac{\delta}{2}$$

$$r_2 = r + \frac{\delta}{2}$$

参照式 (2-7), 可得出以下叶峰的方程:

$$\left(x - b \cdot \cos \frac{\pi}{z}\right)^2 + \left(y - b \cdot \sin \frac{\pi}{z}\right)^2 = r_1^2 \quad (2.10)$$

参照式 (2-9), 可得出以下叶谷的方程:

$$\begin{cases} x = 2a \cdot \cos \alpha - b \cdot \cos 2\alpha - r_2 \cdot \cos \beta \\ y = 2a \cdot \sin \alpha - b \cdot \sin 2\alpha + r_2 \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (2.11)$$

其中,  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2z}。$

## 2 径距比的选取

转子叶顶直径与中心距的比值称为径距比, 即  $\frac{r_a}{a}$ 。所影响转子泵性能的其转子

(下转87页)

## 参考文献

- [1] Miller TH, Pekoz TA. Behavior of Cold-Formed Steel Wall Stud Assemblies[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE 1993, 119(2): 641-651.
- [2] Miller TH, Pekoz TA. Behavior of Gypsum-Sheated Cold-Formed Steel Wall Stud Assemblies[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1994, 120(5): 1644-1650.
- [3] Miller TH, Pekoz TB. Unstiffened strip approach for perforated Wall Studs[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1994, 120(2): 410-421.
- [4] Miller TH. Behavior of cold-formed steel wall stud assemblies subject to eccentric axial loads. PhD thesis, Cornell Univ., 1990, Ithaca, N.Y.
- [5] Telue YK, Mahendran M. Buckling behavior of cold-formed steel wall frames lined with plasterboard. In Proceedings of the 4th International Conference on Steel and Aluminium Structures, Espoo Finland, 1999: 37-44.
- [6] Telue YK. Behavior and design of plasterboard lined cold-formed steel stud wall systems under axial compression. PhD Thesis, School of Civil Engineering, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, 2001.
- [7] Telue YK, Mahendran M. Evaluation of properties of gypsum plasterboard and its use in the analysis of cold-formed steel stud walls. In Proceedings of the 5th Asia Pacific Structural Engineering and Construction Conference, Johor Bahru, Malaysia, 2003: 319-330.
- [8] Tian YS, Wang J. An Experimental Study on the Axial Behavior of Cold-Formed Steel Wall Studs and Panels[J]. Thin-Walled Structure, 2004, 42: 557-573.
- [9] 刘前进, 何保康, 周天华, 等. 低层冷弯型钢房屋墙体立柱承载力试验研究[J]. 钢结构, 2004, 19(4): 26-29.
- [10] 秦雅菲, 张其林, 秦中慧, 等. 冷弯薄壁型钢墙柱骨架的轴压性能试验研究和设计建议[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(3): 34-41.
- [11] 石宇, 周绪红, 于正宁, 等. 冷弯薄壁型钢组合墙体墙架柱的轴压性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45(2): 60-67.
- [12] 冷弯薄壁型钢结构技术规范(GB50018-2002) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2002.
- [13] AISI S100-2007. North American specification for the design of cold-formed steel members[S]. American Iron and Steel Institute, 2007.

## (上接84页)

型线的形状及大小是由径距比的选择所决定。当径距比过小时, 叶谷曲线平缓, 转子的排量比较小, 如果径距比过大, 其转子叶谷曲线上则会同时出现驻点和拐点, 凹凸并存, 但此时的叶谷曲线会出现自我交叉, 没有办法直接采用, 如果使用的话则需要对自我交叉处进行修改调整; 因此, 径距比一定要选择在一定范围内的才可以。保证转子叶谷曲线存在拐点而没有驻点, 才是理想的状态。

通过对型线方程的分析可以得到叶谷曲线的曲率半径为:

$$\rho = \frac{4e^3}{3c^2 - a^2 + b^2} + r$$

式中,  $e$  的值为  $O_3P$ 。可以得出径距比的合适选取范围, 其取值范围如表1所示。

## 3 利用MATLAB绘制二维转子型线

圆弧转子型线是一种复杂的曲线, 不能直接利用Auto-cad绘图, 须借助于MATLAB进行转子的辅助设计。根据转子型线设计方程, 编辑出转子型线的绘制程序, 然后在MATLAB中运行该程序, 在运行过程中按照提示输入计算好的转子型线参数即可在MATLAB中输出转子的型

线, 同时也得到了绘制曲线的坐标点的坐标矩阵。如图3所示将坐标矩阵数据导入到Auto-cad中, 通过绘制曲线命令自动生成转子型线, 并在Auto-cad中对转子型线进行完善。

## 4 圆弧转子的三维实体建模

根据以上圆弧转子的二维设计原则, 在三维设计软件中进行圆弧转子的三维实体建模, 绘制出的圆弧转子三维模型如图5所示。并且运用三维设计软件中的运动模拟功能, 即可对转子进行运动仿真。设定2个转子之间的相对位置初始位置关系, 设置运动方式为同步反向运动, 即可进行运动模拟。运动模拟过程中的2个转子一般位置如图4所示, 在运动模拟过程中2个转子之间始终存有间隙, 通过软件分析2个转子之间没有干涉, 且间隙均匀。

## 5 结语

该文利用共轭原理推导出圆弧形转子泵圆弧转子的型线方程。该型线方程简单明了, 无复杂的函数关系, 圆弧转子的实际型线方程就可以很快的算出来, 而且还可以便捷的在多种2D、3D的行业设计软件中创建参数方程曲线, 可以利用参数方程非常快

速方便的设计出各种尺寸和系列的产品。因此, 使用此参数方程进行圆弧转子泵转子的参数化设计要比利用测绘方式所设计的速度更快, 加工周期更短, 并且可形成系列化产品, 推动产品的宣传力度。

## 参考文献

- [1] 王晓东, 张洪信, 张铁柱. 无密封转子泵工作原理与结构[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2006, 21(3): 75-79.
- [2] 林洪义. 回转式容积泵理论与设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 207-210.
- [3] 孙恒, 陈作模. 机械原理[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 1996: 213-227.