

改进定子曲线对燃油泵流量特性的影响

张守印¹, 汤春梅², 张峻峰³

(1. 万达文化旅游规划研究院有限公司, 北京 100022; 2. 北京联合思力科技有限公司, 北京 100016;
3. 兰州理工大学 温州泵阀工程研究院, 浙江 温州 325105)

摘要:分析了电动燃油泵(下述简称燃油泵)定子曲线的优缺点,在定子曲线满足滚柱不脱空的前提下,采用曲线拟合过渡的方法,得到了完全无冲击和低噪声的高次定子曲线。研究表明,针对曲线突变点改进的定子曲线,消除了滚柱在过渡曲线上出现的软冲点和硬冲点,与高次(八次)定子曲线比较,改进的定子曲线拥有同样的优越性能,其燃油泵的瞬时流量高低差值为 0.96 L/min(改进前的瞬时流量高低差值为 1.2 L/min),流量脉动减少了 0.24 L/min,进而达到了减小冲击和磨损,降低燃油泵噪声的目的。

关键词:燃油泵;定子曲线;软冲点;硬冲点

中图分类号:TH 137 文献标志码:A

Effects of High-order Stator Curve on Flow Pulsation Characteristic of Fuel Pump

ZHANG Shouyin¹, TANG Chunmei², ZHANG Junfeng³

(1. Wanda Cultural Tourism Planning & Research Institute Co., Ltd, Beijing 100022, China; 2. Beijing United Thinking and Technology Co., Ltd, Beijing 100016, China; 3. Engineering Institute of Wenzhou Pump & Valve, Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, China)

Abstract: Analyzed the advantages and disadvantages of fuel pump's stator curve, based on that the roller on this stator curve has eliminated the void point, by using curve fitting transitional method, got the high order stator curve which has no attacks completely and lower noise. The results showed that improving the catastrophe point of roller's stator curve can eliminate the void point including the soft and hard impact point of the roller on the stator transitional curve. Compared the eighth-power stator curve with the improved stator curve, the improved curve also has the same superior performance curves. On the improved stator curve, the difference value of the roller pump's instantaneous flow is 0.96 L/min and the difference value is 1.2 L/min before the improvement, the flow pulsation could be decreased by 0.24 L/min, with that, the abrasion of the roller, the impact of the pump and the noise of the pump can be reduced.

Key words: roller pump, stator curve, soft impact point, hard impact point

燃油泵的基本功能是连续不断地把燃油从汽油箱吸出,给燃油系统提供规定压力和流量的燃油,其结构如图 1 所示。基于燃油泵的功能可知,燃油泵性能的好坏将直接影响发动机的工作性能。就燃油泵及其同类型泵而言,定子曲线至关重要,其决定了产品能否正常运转,同时,其还可影响泵的噪声大小和使用寿命长短;因此,进行燃油泵定子曲线的研究与优化有重要的理论意义和工程应用价值。通过对某型号燃油泵产品中燃油泵定子曲线的分析,改进了其定子曲线,以消除滚柱在过渡曲线上存在的脱空点和软、硬冲点,减小冲击、噪声和磨损^[1]。

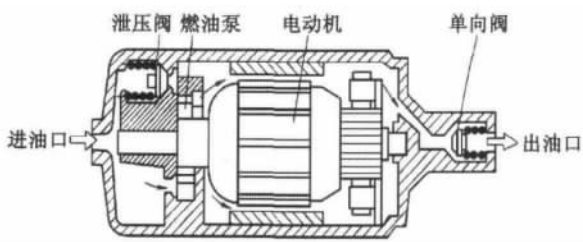
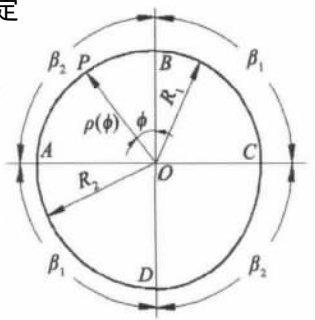


图 1 燃油泵的内部结构

1 扫描定子曲线分析

1.1 扫描定子曲线的确定

燃油泵定子扫描所得到的定子曲线如图 2 所示,定子曲线的 2 段椭圆弧正好对应着燃油泵的进、出油口。曲线的研究主要针对过渡曲线,为了便于分析讨论燃油泵定子过渡曲线的特性,曲线方程采用极坐标来表示。定子中心 O 到曲线上任一点 P 的矢径 $\rho(\phi)$ 是转子转角 ϕ 的函数,转子转角 ϕ 的起始从燃油泵定子过渡曲线起点 B 所在的径向线算起,其变化范围是 $\beta_b \sim \beta_a$,其中, $\beta_1 = \beta_b$, $\beta_2 = (\beta_a - \beta_b)$, β_2 是过渡曲线的范围角(或称幅角)^[2]。



建立极坐标系,扫描所得定子曲线的极坐标方程为:

$$\rho(\phi) = \begin{cases} R_1 & (0 \leq \phi < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{R_1 R_2}{(R_2^2 \sin^2 \phi + R_2^2 \cos^2 \phi)^{1/2}} & (\frac{\pi}{2} \leq \phi < \pi) \\ R_2 & (\pi \leq \phi < \frac{3\pi}{2}) \\ \frac{R_1 R_2}{(R_1^2 \sin^2 \phi + R_2^2 \cos^2 \phi)^{1/2}} & (\frac{3\pi}{2} \leq \phi < 2\pi) \end{cases} \quad (1)$$

1.2 扫描定子曲线的运动特性

计算得出滚柱在定子曲线上的径向速度 v 、径向加速度 a 和加速度变化率 J ，计算式分别如下：

$$v(\phi) = \frac{d\rho}{dt} = \frac{d\phi}{dt} \frac{d\rho}{d\phi} = \omega \frac{d\rho(\phi)}{d\phi} \quad (2)$$

$$a(\phi) = \frac{d^2\rho}{dt^2} = \frac{d\phi^2}{dt^2} \frac{d^2\rho}{d\phi^2} = \omega^2 \frac{d^2\rho(\phi)}{d\phi^2} \quad (3)$$

$$J(\phi) = \frac{d^3\rho}{dt^3} = \frac{d\phi^3}{dt^3} \frac{d^3\rho}{d\phi^3} = \omega^3 \frac{d^3\rho(\phi)}{d\phi^3} \quad (4)$$

式中， ω 是角速度； $v(\phi)$ 、 $a(\phi)$ 和 $J(\phi)$ 分别反映泵定子过渡曲线对滚柱径向运动速度、惯性力及助振作用的影响^[3]。

本燃油泵的设计参数为 $R_1 = 15 \text{ mm}$ ， $R_2 = 17 \text{ mm}$ ，转速 $n = 2\ 070 \text{ r/min}$ 。将式 1 分别代入式 2~式 4，求得得到扫描定子曲线速度 v 、加速度 a 和加速度变化率 J 与转子转角 ϕ 的关系函数。代入设计参数，速度、加速度和加速度变化率曲线如图 3~图 5 所示^[4]。

针对吸油区，速度曲线在 $\phi = \beta_b$ 和 $\phi = \beta_a$ 处存在速度突变现象，产生较大流量脉动；加速度曲线在 $\phi = \beta_b$ 和 $\phi = \beta_a$ 处存在加速度突变现象，产生较大柔性冲击；加速度变化率曲线在 $\phi = \beta_b$ 和 $\phi = \beta_a$ 处存在加速度变化率突变现象，产生激振作用。

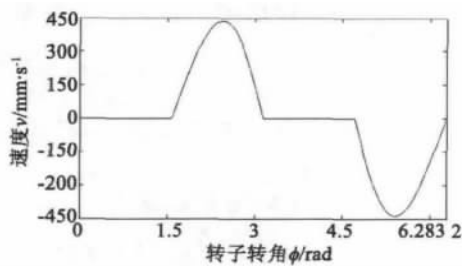


图 3 扫描定子曲线的径向速度 v 与转子转角 ϕ 的关系

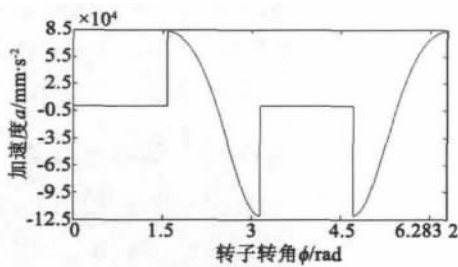


图 4 扫描定子曲线的加速度 a 与转子转角 ϕ 的关系

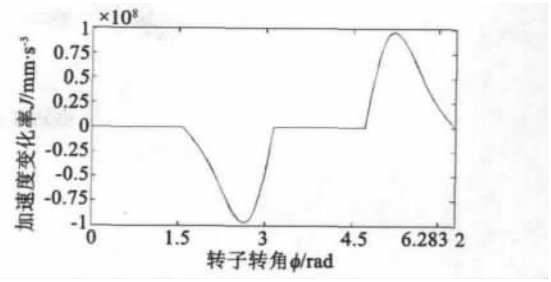


图 5 扫描定子曲线的加速度变化率 J 与转子转角 ϕ 的关系

2 改进定子曲线及运动特性

2.1 改进方法

1)通过使定子曲线处光滑连续且利用拐点处的公切线，消除径向速度的突变；2)当 $\phi = \beta_b$ 时，令 $a(\beta_b) = 0$ ，以 $\phi = (\beta_a - \beta_b)/2$ 为对称轴，采用对称的径向加速度曲线，从而避免径向速度的突变，消除由径向速度突变而引起的径向加速度突变；3)保证滚柱受力良好，限制最大加速度 a_{\max} ，使径向加速度变化率曲线的两端为零值，消除径向加速度变化率的突变。

2.2 定子曲线极坐标方程

改进后的定子曲线极坐标方程和采用八次过渡曲线的定子曲线极坐标方程分别为：

$$\rho(\phi) = \begin{cases} R_1 & (0 \leq \phi < \frac{\pi}{2}) \\ \left\{ \begin{aligned} & \frac{108\ 444\ 494}{2(R_1 + R_2)[(R_1 + R_2)\sin 4\phi + R_1 R_2]^{1/2}} + \\ & 165\ 515 \times \frac{(5\pi/8 - \phi)^6}{3} - 29\ 707\phi^2 + \\ & 123\ 050\phi - 151\ 015 \} / 5\ 019 \\ & (\frac{\pi}{2} \leq \phi < \frac{3\pi}{4}) \\ & \left\{ \begin{aligned} & -\frac{108\ 444\ 494}{2(R_1 + R_2)[R_1 R_2 - (R_1 + R_2)\sin 4\phi]^{1/2}} - \\ & 165\ 515 \times \frac{(7\pi/8 - \phi)^6}{3} + 29\ 707\phi^2 - \\ & 156\ 932\phi + 391\ 455.5 \} / 5\ 019 \\ & (\frac{3\pi}{4} \leq \phi < \pi) \\ & R_2 & (\pi \leq \phi < \frac{3\pi}{2}) \\ & \left\{ \begin{aligned} & -\frac{108\ 444\ 494}{2(R_1 + R_2)[(R_1 + R_2)\sin 4\phi + R_1 R_2]^{1/2}} - \\ & 165\ 515 \times \frac{(13\pi/8 - \phi)^6}{3} + 29\ 707\phi^2 - \\ & 309\ 705\phi + 991\ 394.2 \} / 5\ 019 \\ & (\frac{3\pi}{2} \leq \phi < \frac{7\pi}{4}) \\ & \left\{ \begin{aligned} & \frac{108\ 444\ 494}{2(R_1 + R_2)[R_1 R_2 - (R_1 + R_2)\sin 4\phi]^{1/2}} + \\ & 165\ 515 \times \frac{(15\pi/8 - \phi)^6}{3} - 29\ 707\phi^2 + \\ & 343\ 586\phi - 1\ 017\ 056.7 \} / 5\ 019 \\ & (\frac{7\pi}{4} \leq \phi < 2\pi) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right. \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho(\phi) = \begin{cases} R_1 & (0 \leq \phi < \frac{\pi}{2}) \\ R_1 + 8(R_2 - R_1) [11(\frac{\phi}{\pi/2})^4 - 60(\frac{\phi}{\pi/2})^5 + 152(\frac{\phi}{\pi/2})^6 - 192(\frac{\phi}{\pi/2})^7 + 96(\frac{\phi}{\pi/2})^8] & (\frac{\pi}{2} \leq \phi < \frac{3\pi}{4}) \\ R_2 - 8(R_2 - R_1) [7 - 80(\frac{\phi}{\pi/2}) + 402(\frac{\phi}{\pi/2})^2 - 1140(\frac{\phi}{\pi/2})^3 + 1991(\frac{\phi}{\pi/2})^4 - 2196(\frac{\phi}{\pi/2})^5 + 1496(\frac{\phi}{\pi/2})^6 - 576(\frac{\phi}{\pi/2})^7 + 96(\frac{\phi}{\pi/2})^8] & (\frac{3\pi}{4} \leq \phi < \pi) \\ R_2 & (\pi \leq \phi < \frac{3\pi}{2}) \\ R_2 - 8(R_2 - R_1) [11(\frac{\phi}{\pi/2})^4 - 60(\frac{\phi}{\pi/2})^5 + 152(\frac{\phi}{\pi/2})^6 - 192(\frac{\phi}{\pi/2})^7 + 96(\frac{\phi}{\pi/2})^8] & (\frac{3\pi}{2} \leq \phi < \frac{7\pi}{4}) \\ R_1 + 8(R_2 - R_1) [7 - 80(\frac{\phi}{\pi/2}) + 402(\frac{\phi}{\pi/2})^2 - 1140(\frac{\phi}{\pi/2})^3 + 1991(\frac{\phi}{\pi/2})^4 - 2196(\frac{\phi}{\pi/2})^5 + 1496(\frac{\phi}{\pi/2})^6 - 576(\frac{\phi}{\pi/2})^7 + 96(\frac{\phi}{\pi/2})^8] & (\frac{7\pi}{4} \leq \phi < 2\pi) \end{cases} \quad (6)$$

将式 5 和式 6 分别代入式 2~式 4 进行求导, 分别得到改进定子曲线和八次定子曲线的速度 v 、加速度 a 和加速度变化率 J 与转子转角 ϕ 的关系函数。代入设计参数, 速度、加速度和加速度变化率曲线如图 6~图 8 所示。

针对扫描定子曲线突变点改进的定子曲线, 消除了滚柱在过渡曲线上出现的软冲点和硬冲点, 与八次定子曲线进行比较, 改进曲线拥有同样的优越性能。

3 改进定子曲线对燃油泵流量的影响

3.1 燃油泵理论瞬时流量的计算

对于本燃油泵, 将滚柱视为叶片, 可应用单作用叶片泵理论计算公式进行计算。滚柱的安放相当于叶片泵中的叶片倾角为 0° , 因此, 燃油泵的瞬时流量可表示为:

$$Q_{sh} = B\omega(R^2 - r^2)/2 - BS(\sum_{i=1}^n V_i) \quad (7)$$

式中, R 是定子的长半径; r 是定子的短半径; B 是滚柱的宽度; ω 是转子的角速度; S 为滚柱厚度; $\sum_{i=1}^n V_i$ 是同时处于排油或吸油油腔所有滚柱的径向

速度之和。

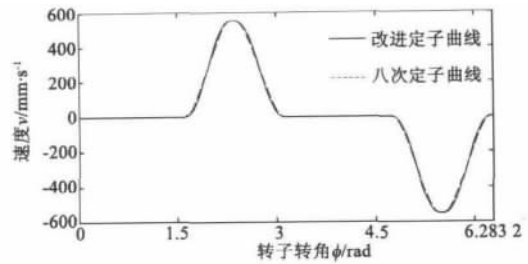


图 6 改进定子曲线、八次定子曲线的径向速度 v 与转子转角 ϕ 的关系

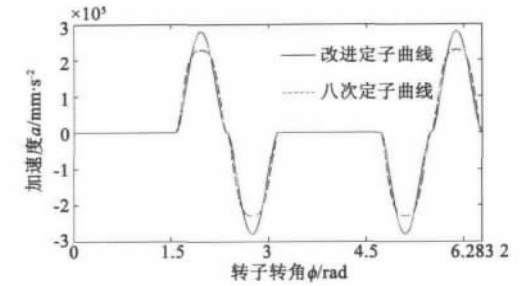


图 7 改进定子曲线、八次定子曲线的加速度 a 与转子转角 ϕ 的关系

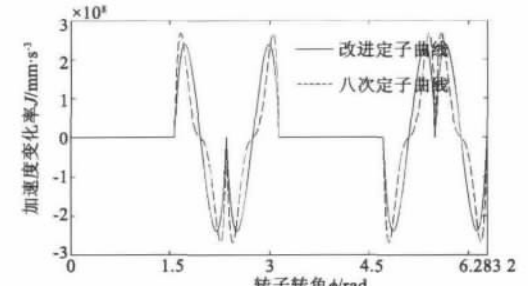


图 8 改进定子曲线、八次定子曲线的加速度变化率 J 与转角 ϕ 的关系

从式 7 可以看出, 燃油泵的瞬时流量 Q_{sh} 值受

到 $\sum_{i=1}^n V_i$ 的影响, 如果 $\sum_{i=1}^n V_i$ 随转子转角 ϕ 的变化量为常量, 输出流量均匀且脉动较小; 反之, 则输出流量不均匀且脉动较大。

3.2 燃油泵理论瞬时流量的分析

在 Excel 软件中, 首先, 将转子转角 ϕ 以 1° 为间隔分成 360 个角度段 ($1^\circ \sim 360^\circ$); 然后, 将曲线极坐标公式运用至对应的单元格中, 获得曲线的极坐标 ρ 值; 最后, 根据转子角速度 ω 和极坐标升程值 $\Delta\rho$, 计算获得各叶片的径向运动速度。在计算各滚柱的径向运动速度之和 $\sum_{i=1}^n V_i$ 时, 需要注意的是, 5 个滚柱中仅有 2 个同时处于吸油或排油油腔内; 因此, 计算 2 个滚柱运动速度之和即可。根据上述计算可分别获得扫描定子曲线、改进定子曲线、八次定子曲线所对应的数值表, 可绘出这 3 种定子曲线的流量脉

中低放射性废物桶标准化探讨

林一山, 林选明

(深圳中广核工程设计有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 中低放射性废物桶直接影响放射性废物运输和储存的安全, 是废物处理系统中的核心设备。由于我国中低放射性废物桶设计的多样化, 导致对其操作和处置管理方法也多样化, 不利于中低放射性废物的运输和处置; 因此, 对中低放射性废物桶标准化进行了研究, 提出了中低放射性废物桶的类型、基本尺寸和技术要求等。

关键词: 中低放射性废物桶; 标准化; 安全

中图分类号: TB 482.2 **文献标志码:** A

Discussion on Standardization of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Drums

LIN Ylshan, LIN Xuanming

Abstract: Low and intermediate level radioactive waste (LILRW) drum is a security screen barrier to transport and storage of radioactive waste, and it is the key technology equipment. Since there is not a united requirement for the waste drum design of the low and intermediate level radioactive in our country, those waste drum manufacturing process and corollary equipment are diversifications, which limit the LILRW drum to effectively apply in the engineering. Based on investigating the design of the LILRW drum at home and abroad, discussed the standard of the LILRW drum design and proposed the drum's type, size, and relative technical requirements to improve the application and population of the LILRW drum.

Key words: low and intermediate level radioactive waste drum, standardization, safety

随着核工业、军工及其他工业的快速发展, 中低放射性固体废物不断增加。目前, 国内已有 19 台核电机组在运行, 预计到 2020 年将会有近 40 台核电

组运行, 将会相应产生 4 000 m³/a 放射性废物; 此外, 还需将军事工业放射性废物、医疗放射性废物和工业放射性辐照源等放射性废物运转到处置厂处理。可

动特性曲线, 如图 9 所示。

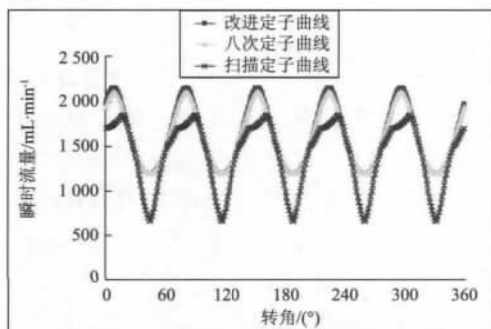


图 9 3 种曲线的流量脉动特性曲线

由上述计算分析可知, 改进定子曲线与八次定子曲线的流量脉动特性近似, 验证了改进定子曲线的优越性。3 种定子曲线所影响的瞬时流量高低差值分别为: 扫描定子曲线为 1.2 L/min, 改进定子曲线为 0.96 L/min, 八次定子曲线为 0.9 L/min。改进后的定子曲线上, 燃油泵的瞬时流量高低差值比改进前减少了 0.24 L/min。

4 结语

针对曲线突变点改进的定子曲线, 消除了滚柱在过渡曲线上出现的软冲点和硬冲点, 而且与八次定子

曲线比较, 改进的定子曲线拥有同样的优越性能。与八次定子曲线一样, 改进的定子曲线对流量脉动的影响极小。改进的定子曲线上, 燃油泵的瞬时流量高低差值为 0.96 L/min, 改进前的瞬时流量高低差值为 1.2 L/min, 流量脉动减少了 0.24 L/min, 进而达到了减小冲击和磨损, 降低燃油泵噪声的目的。

参考文献

- [1] 李少年, 魏列江, 冀宏, 等. 改进定子曲线对高压子母叶片泵特性的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 219-223.
- [2] 姜光伟, 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): 11-14.
- [3] 张生昌, 方宏生, 邓鸿英, 等. 电动喷雾器用高效低噪双作用滚柱转子泵研制[J]. 排灌机械, 2008, 26(4): 18-21.
- [4] 闻新, 周露. Matlab 科学图形构建基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

作者简介: 张守印(1978-), 男, 工程师, 主要从事游乐设备流体传动与控制等方面的研究。

通信作者: 张峻峰

收稿日期: 2013-12-30

责任编辑 李思文