

文章编号:1000-582X(2011)05-026-05

## 轿车液力变矩器循环圆改进设计方法

邓兆祥<sup>1,2</sup>, 李兴泉<sup>1</sup>, 罗虹<sup>1</sup>, 孙新龙<sup>1</sup>, 朱建华<sup>3</sup>

(1. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆 400039;

3. 重庆红宇精密工业有限责任公司, 重庆 402760)

**摘要:**提出了一种能减小循环圆宽度的轿车液力变矩器设计方法。根据一元束流理论,证明适当减小循环圆宽度,对液力变矩器输出特性影响不大;分析循环圆传统设计方法,发现第1、第3段圆弧半径的经验公式不合理是导致轴向尺寸过大的根本原因;通过国外成熟产品循环圆的研究,提出了新的经验公式,并最终建立了轿车液力变矩器循环圆的改进设计方法。运用该方法对某轿车液力变矩器进行改进设计,结果表明:在保证输出特性基本不变的同时,循环圆宽度减小26%,说明改进方法更能满足轿车用液力变矩器扁平设计的要求。

**关键词:**汽车;液力变矩器;循环圆;扁平率

**中图分类号:**U270.2

**文献标志码:**A

## Improvement of circulatory circle design method for automobile hydraulic torque converters

DENG Zhao-xiang<sup>1,2</sup>, LI Xing-quan<sup>1</sup>, LUO Hong<sup>1</sup>, SUN Xin-long<sup>1</sup>, ZHU Jian-hua<sup>3</sup>

(1. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing

400044, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Automotive NVH and Safety Control, Chongqing 400039,

P. R. China; 3. Chongqing Hongyu Precision Industrial Co., Ltd., Chongqing 402760, P. R. China)

**Abstract:** A design method to reduce the circulatory circle axle size for automobile hydraulic torque converters is proposed. According to the beam flow theory, the variety of the axle size has little effect on the characteristics of torque converters. Based on analyzing traditional design method, it's found that the basic reason for oversize of axle is the unreasonable semi-empirical expression of the first and third arc radius. An improved design semi-empirical expression is proposed for passage car torque converters based on the analysis of several foreign mature torque converters, and an improved design method is established. The improved method is used to design a torque converter, and the results show that the circulation circle axle size reduces about 26% in the condition of keeping the same characteristics of the traditional method. It means the improved design method can better meet the design requirement of automobile torque converters.

**Key words:** automobiles; hydraulic torque converters; circulatory circle; flatness ratio

收稿日期:2010-12-20

基金项目:重庆市科技攻关重大项目(CSTC,2009AC6002)

作者简介:邓兆祥(1962-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事汽车动力学及控制、振动噪声方向的研究,

(E-mail)zxdeng@cqu.edu.cn.

轿车结构紧凑,要求尽量减小各部件的几何尺寸。因此,在满足一定性能要求的条件下,如何减小轿车液力变矩器的轴向尺寸,即减小循环圆的宽度,成为当前液力变矩器研究的重要内容之一。循环圆的设计一般先根据一元束流理论进行初步设计,再采用三维流场数值分析及测试技术进行详细设计<sup>[1-2]</sup>。国外,液力变矩器的设计方法比较成熟,丰田、ZF 等公司已研制出了具有较小循环圆宽度和较高性能的轿车液力变矩器<sup>[3-5]</sup>;Murin 等<sup>[6-8]</sup>进一步研究了液力变矩器循环圆宽度等参数与发动机、变速器的匹配问题。但循环圆等参数的具体设计方法属于企业的保密技术,很少见国外相关文献报道。国内对液力变矩器的研究主要集中在流场分析及改进设计方面<sup>[9-10]</sup>。对循环圆设计,闫清东等研究了液力变矩器的宽度比敏感性,结果表明变矩器宽度比对低速比区的透穿性有一定的影响<sup>[11]</sup>。王彦、刘春宝等发现了循环圆传统设计方法不满足轿车液力变矩器设计要求的问题,并作了一定的改进努力<sup>[12-13]</sup>。王欢等<sup>[14]</sup>分析了某超扁平化液力变矩器泵轮流场主流特征。

笔者将一维束流理论与国外液力变矩器成熟产品具体参数相结合,提出满足轿车性能和尺寸要求的液力变矩器一维初步设计方法,为后续的流场分析及改进设计打下良好的基础,并对掌握轿车液力变矩器设计核心技术,提高企业核心竞争能力具有重要的现实意义。

## 1 循环圆传统设计方法存在的问题

### 1.1 循环圆传统设计方法

液力变矩器循环圆一般由 3 段圆弧组成,左右对称。循环圆传统设计方法是根据液力变矩器的有效直径(循环圆最大直径) $D$ 、循环圆外环最小直径 $d_0$ ,确定循环圆的外环的宽度、各段圆弧的圆心和半径;再根据循环圆各处的过流截面面积近似相等的原则计算内环和中间流线的坐标;最后确定各工作轮的进出口位置<sup>[13]</sup>。图 1 是按传统方法设计的液力变矩器循环圆。

图 1 中,实线为按传统方法设计的循环圆,虚线为参考轿车液力变矩器的循环圆的内外环。其中,传统方法设计的循环圆泵轮由圆心分别为  $O_1$ 、 $O_2$ ,半径为  $r_1$ 、 $r_2$  的 2 段圆弧  $\widehat{ab}$ 、 $\widehat{bc}$  组成;涡轮与泵轮对称,导轮由圆心为  $O_3$ ,半径为  $r_3$  圆弧  $\widehat{c_1c_2}$  组成。3 段圆弧的关系是:第 1 段圆弧经过循环圆最高点  $a$ ,第 3 段圆弧经过循环圆最低点  $d$ ,第 2 段圆弧与上下两段圆弧相内切,切点为  $b$ 、 $c$  两点。循环圆宽度为

$B$ ,高度等于线段  $\overline{ad}$  的长度。

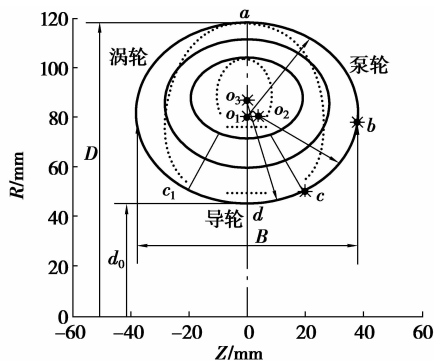


图 1 循环圆传统设计

### 1.2 循环圆传统设计存在的问题及根源

由图 1 可见,根据循环圆最大和最小直径的要求,按传统方法设计的循环圆呈扁圆形,宽度大于高度,轴向尺寸较大,该方法主要用于工程类机械用的液力变矩器设计。而对于要求轴向尺寸较小的轿车液力变矩器,传统设计方法不能满足要求,需要对其进行改进。分析循环圆呈扁圆形的原因,主要是传统循环圆设计的经验公式存在如下问题。

由图 1 可见,第 1 段圆弧和第 3 段圆弧的圆心纵坐标分别为

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= D/2 - r_1, \\ R_3 &= d_0/2 + r_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中, $r_1$ 、 $r_3$  的经验计算公式为

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= (0.46 - 0.363d_0/D)D/2, \\ r_3 &= (0.401 - 0.12d_0/D)D/2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

同时要求满足  $d_0/D=0.28\sim 0.48$ ,

因此

$$R_1 - R_3 < -0.00576D < 0,$$

则  $R_1 < R_3$ ,即第 1 段圆弧圆心  $O_1$  的纵坐标小于第 3 段圆弧圆心  $O_3$  的纵坐标,如图 1 所示。当  $R_1 - R_3$  增大时,即  $O_1$  与  $O_3$  趋于重合,循环圆高度不变的情况下,宽度减小且趋于与高度相等,此时循环圆由扁圆形趋于圆形;而随着  $R_1 - R_3$  的减小,循环圆在高度不变的情况下宽度方向增大。

由此可见,按传统经验公式设计的液力变矩器循环圆必定呈扁圆形,宽度较大。需对其设计基本理论进行研究,探讨循环圆的改进设计方法。

## 2 轿车液力变矩器循环圆改进设计

### 2.1 循环圆改进设计动力学基础

由前面的分析可见,按传统方法设计的循环圆宽度较大,不能满足轿车布置要求。按液力变矩器

设计的一维束流理论,研究循环圆宽度变化与其整体性能的关系,从而探讨循环圆宽度设计的改进方法。

根据液力变矩器设计的一维束流理论,由叶片式水力机械的欧拉方程可知,单位质量的液体在工作轮中流过时受叶片作用的能头为<sup>[13]</sup>

$$H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}, \quad (3)$$

式中  $v$ 、 $w$ 、 $u$  分别表示液流进出口处的绝对速度、相对速度和牵连速度,下标 1、2 分别表示工作轮的进口和出口。

由式(3)可看出,液体流经工作轮的流量变化由 3 个因素确定:1)液体质点在进入工作轮前和离开工作轮时,由于绝对速度  $v$  变化所引起的动能变化;2)液体质点在流道中作相对运动时,由于流道断面变化引起相对速度  $w$  变化时,所引起的压力能变化;3)液体质点在牵连的旋转运动中,由于离心力的作用引起的牵连速度  $u$  变化导致的压力能变化。

对液力变矩器的泵轮、涡轮和导轮而言,式(3)仍然成立,现以泵轮为例来说明。根据泵轮进出口处的速度三角形关系,进、出口处的牵连速度  $u$  的计算式为

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{2\pi R_{B1} n_B}{60} = \omega_B R_{B1}, \\ u_2 &= \frac{2\pi R_{B2} n_B}{60} = \omega_B R_{B2}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中:  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  分别表示泵轮进、出口处的中间流线的半径;  $n_B$ 、 $\omega_B$  表示泵轮的转速,它们都与循环圆宽度无关。

进、出口处相对叶片骨线方向的速度  $w$  的计算式为

$$\left. \begin{aligned} w_1 &= \frac{Q}{a_{B1} b_{B1} z_B}, \\ w_2 &= \frac{Q}{a_{B2} b_{B2} z_B}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中:  $a_{B1}$ 、 $a_{B2}$  分别表示进、出口处叶片流道间的最短距离;  $b_{B1}$ 、 $b_{B2}$  表示进、出口处轴面上流道的宽度;  $z_B$  表示泵轮叶片数,它们都与循环圆宽度无关。

进、出口处绝对速度  $v$  是牵连速度和相对速度的向量和,计算为

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \sqrt{w_1^2 + u_1^2 + 2w_1 u_1 \cos\beta_{B1}}, \\ v_2 &= \sqrt{w_2^2 + u_2^2 + 2w_2 u_2 \cos\beta_{B2}}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中:  $\beta_{B1}$ 、 $\beta_{B2}$  分别表示泵轮进出口叶片角,它们都与循环圆宽度无关。

将式(4)–(6)代入式(3),即可得到泵轮旋转过程中流道内流体因叶片作用获得的能头  $H$ 。由以上

推导可见,该能头与循环圆上泵轮的宽度无关。按同样的方法也可以推导涡轮和导轮的能头也是与循环圆宽度无关的量。

同时,流体在流经工作轮流道的过程中,不可避免地存在一定的摩擦损失、扩散和收缩损失、回流损失等,但在流道宽度和形状变化不大的情况下,这些损失比较小,泵轮总体能头减去这些损失后的大部分能量传递给了涡轮从而保持液力变矩器正常工作。

由以上分析表明,液力变矩器循环圆宽度的变化对各工作轮传递的总体能量影响较小,因此,可以适当减小循环圆的宽度,在保证一定性能要求的前提下尽量满足轿车尺寸布置要求。

## 2.2 轿车液力变矩器循环圆设计规律

对现有轿车液力变矩器循环圆的分析表明,其循环圆大致满足如图 2 所示的设计规律。

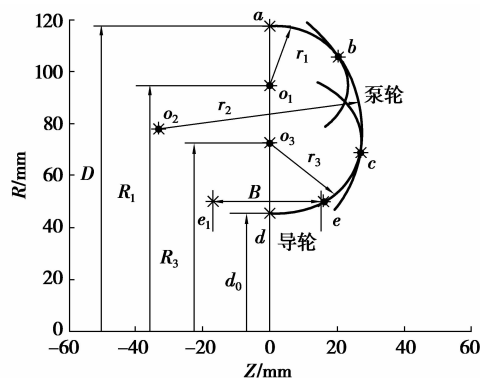


图 2 轿车液力变矩器循环圆外环形状

1)循环圆仍由 3 段圆弧  $\widehat{ab}$ 、 $\widehat{bc}$ 、 $\widehat{cd}$  组成,因此,轿车液力变矩器循环圆设计仍然可以沿用传统循环圆设计的基本思想。

2)第 1 段圆弧的圆心  $O_1$  纵坐标  $R_1$  大于第 3 段圆弧圆心  $O_3$  的纵坐标  $R_3$ ,因此,使第 2 段圆弧  $\widehat{bc}$  由传统设计中的与第 1、第 3 段圆弧内切变成了与它们外切,切点分别为  $b$ 、 $c$  2 点。这主要是第 1、第 3 段圆弧半径  $r_1$ 、 $r_3$  变化的原因引起的,因此在轿车液力变矩器循环圆设计中,需要对  $r_1$ 、 $r_3$  传统经验公式进行改进。

3)泵轮和涡轮由 3 段圆弧  $\widehat{ab}$ 、 $\widehat{bc}$ 、 $\widehat{cd}$  组成,而传统循环圆只由 2 段圆弧组成。因此需要对循环圆导轮与泵轮、涡轮的位置进行重新划分。

## 2.3 循环圆改进设计

通过对循环圆传统设计方法的分析,发现第 1、第 3 段圆弧设计经验公式是导致其宽度较大的根本

原因;通过一维束流理论分析,表明循环圆宽度可以适当减小,在满足轿车尺寸布置要求的前提下其性能基本保持不变;通过对国外现有轿车液力变矩器成熟产品的设计规律研究,进一步说明了可以缩短循环圆宽度,以满足其尺寸和性能要求,并为第 1、第 3 段圆弧设计经验公式的具体改进提供了重要参考。

根据以上分析,提出了第 1、第 3 段圆弧半径的改进经验公式为

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= (0.35 - 0.4d_0/D)D/2, \\ r_3 &= (0.31 - 0.202d_0/D)D/2. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

相应地,对导轮宽度  $B$  也作了一定的修正。根据这几个关键参数,再结合循环圆的最大和最小直径,即可确定轿车液力变矩器循环圆的形状。

### 3 改进设计方法实例验证

某轿车用液力变矩器最大有效直径为  $D = 236 \text{ mm}$ ,最小直径为  $d_0 = 90 \text{ mm}$ 。根据修正以后的设计公式,其循环圆改进设计结果如图 3 所示。

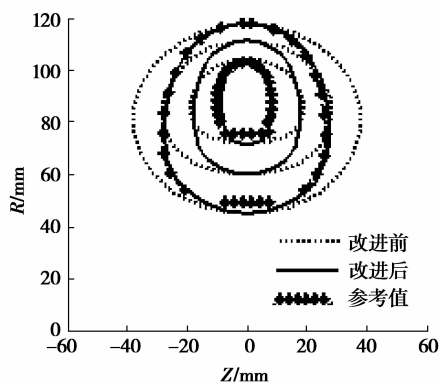


图 3 循环圆修正设计

由图 3 可见:

1)循环圆改进设计以后宽度减小,改进前的宽度为  $75.2 \text{ mm}$ ,改进后缩小为  $55.4 \text{ mm}$ ,减小近 26%的轴向距离,为轿车其他部件的布置节省了宝贵的空间。

2)改进设计的循环圆与参考模型的循环圆形状总体比较接近,其宽度较小,说明按修正公式设计的循环圆满足轿车液力变矩器的设计要求。

3)参考模型导轮内环和外环基本是由一条直线来代替,这主要是因为轿车液力变矩器由于轴向尺寸的减小,导轮宽度相对较小,为了使结构简化,其内、外环直接用直线代替。

4)参考模型泵轮和涡轮左右不完全对称,这主

要是由于测量误差和参考模型实际的加工误差产生的。

改进设计前后,表征液力变矩器输出特性的关键参数变化如图 4 所示。

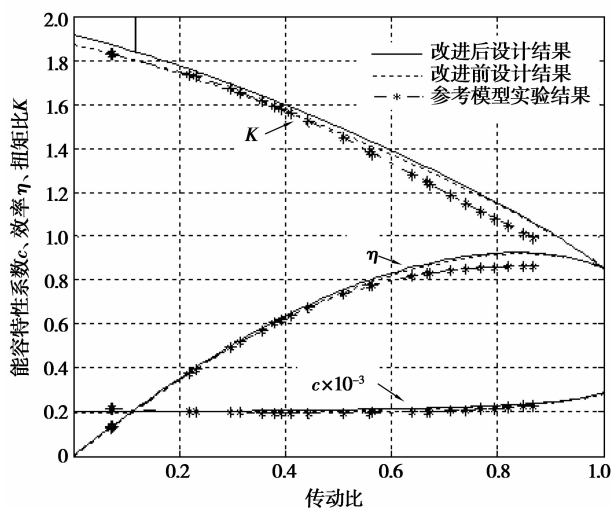


图 4 改进前后输出特性变化

图 4 表示循环圆设计改进前后对液力变矩器扭矩比  $K$ 、效率  $\eta$  和能容特性系数  $c$  的影响。由图可见:

1)改进后的输出特性(实线)与改进前的输出特性(虚线)很接近,说明改进方法在缩短了液力变矩器轴向尺寸的同时,保证了其输出特性基本不变,证明了循环圆宽度变化对液力变矩器输出特性影响不大的动力学理论。

2)改进方法所设计的轿车液力变矩器输出特性与参考模型的试验特性(带星号的点画线)比较接近,说明改进设计方法所设计的液力变矩器性能达到了国外同类成熟产品的水平。

### 4 结 论

分析了液力变矩器循环圆传统设计方法导致宽度较大的根本原因,根据束流理论证明了循环圆宽度变化对其输出特性影响不大,研究了现有轿车液力变矩器循环圆的设计规律,提出了轿车用液力变矩器循环圆改进设计的方法,通过实例验证表明,所提出的改进方法循环圆宽度缩短了 26%,并保证了较高的液力变矩器输出性能,该方法更能满足轿车用液力变矩器的设计要求。当然,液力变矩器内流场的分布并不完全满足一维束流理论的假设,因此,改进方法还有待于进一步的试验和流场数值计算来完善。

## 参考文献:

- [1] LIN Y J, COLELLO M. Exploring the transitional impacts of a 2D to 3D design environment for the development of torque converters [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 23(5/6): 389-398.
- [2] COURUTIER S. Design of a torque converter for a luxury motor car [D]. USA: University of Cranfield, 2007.
- [3] OCHI T, TAKEUCHI H, KIMURA H, et al. Development of a Super-flat torque converter for the new Toyota FWD 6-speed automatic transaxle [C]//SAE 2006 World Congress and Exhibition, April 3, 2006, Detroit, MI, USA. [S. l.]: SAE International, 2006.
- [4] WATANABE M, SASAKI K, MIYAMOTO K, et al. Toyota's new six-speed automatic transmission AB60E for RWD vehicles [C]// 2007 World Congress, April 16-19, 2007, Detroit, Michigan. [S. l.]: SAE International, 2007.
- [5] SCHERER H. ZF 6-speed automatic transmission for passenger cars [C] // 2003 SAE World Congress, March 3-6, 2003, Detroit, Michigan. [S. l.]: SAE international, 2003.
- [6] MURIN J. Some properties of a diesel drive line with hydrodynamic torque converters of the latest generation [J]. Mechanism and Machine Theory, 2005, 40(1): 99-117.
- [7] JAFRI F A, SHUKLA A, THOMPSON D F, et al. A numerical bifurcation study of friction effects in a slip-controlled torque converter clutch [J]. Non-linear Dynamics, 2007, 50(3): 627-638.
- [8] HAN W, YI S J. A study of shift control using the clutch pressure pattern in automatic transmission [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2003, 217(4): 289-298.
- [9] WU G Q, YAN P. System for torque converter design and analysis based on CAD/CFD integrated platform [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 21(4): 35-39.
- [10] 才委, 马文星, 刘春宝, 等. 基于三维流场计算的液力变矩器特性预测方法 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(3): 316-325.  
CAI WEI, MA WEN-XING, LIU CHUN-BAO, et al. Characteristics prediction of a torque converter based on three dimensional numerical calculation of flow field [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007, 28(3): 316-325.
- [11] 闫清东, 魏巍, 彭靖. 液力变矩器的宽度比敏感性数值研究 [J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(5): 413-416.  
YAN QING-DONG, WEI WEI, PENG JING. Numerical simulation of width sensitivity in a torque converter [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2006, 26(5): 413-416.
- [12] 王彦, 王玉鹏, 马文星. 液力变矩器循环圆的综合描述及导数修正法 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2002, 32(1): 80-82.  
WANG YAN, WANG YU-PENG, MA WEN-XING. Synthetic description of circulatory circle of hydrodynamic torque converter and method of differential amendment [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2002, 32(1): 80-82.
- [13] 刘春宝. 轿车扁平化液力变矩器研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [14] 王欢, 吴光强, 冀海燕. 超扁平化液力变矩器泵轮流场主流特征分析 [J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(5): 463-466.  
WANG HUAN, WU GUANG-QIANG, JI HAI-YAN. Main flow features analysis on impeller of super flat automotive torque converter [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009, 30(5): 463-466.

(编辑 张 苹)