

文章编号:1000-582X(2011)11-020-05

# CVT 轿车液力变矩器的整车匹配优化设计

罗虹,孙新龙,李兴泉,李英强,王腾腾

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

**摘要:**针对 CVT(无级变速器)轿车,提出了一种通过整车匹配优化液力变矩器的方法,即将发动机、液力变矩器和传动系作为一个系统,以整车动力性、经济性为目标进行匹配来优化液力变矩器的参数。这种匹配方法以液力变矩器的循环圆直径为设计变量,选择汽车 0~100 km/h 加速时间和 GB 18352.3—2005 循环工况油耗作为整车匹配的评价指标。优化得到了液力变矩器最优的循环圆直径。对某轿车的液力变矩器的循环圆直径优化后,仿真结果表明整车的加速时间和循环工况油耗均有所降低。表明了这种匹配方法对液力变矩器的匹配工作有一定的指导意义。

**关键词:**液力变矩器;无级变速器;控制策略;优化

**中图分类号:**TH137.5

**文献标志码:**A

## Vehicle matching and optimization of hydraulic torque converter in CVT car

LUO Hong, SUN Xin-long, LI Xing-quan, LI Ying-qiang, WANG Teng-teng

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** A new method is proposed to optimize the hydraulic torque converter of CVT (continuously variable transmission) cars by matching the whole vehicle, i. e., regarding engine, hydraulic torque converter and transmission system as a system and taking the whole vehicle's dynamic property and economical efficiency as the target to optimize and improve the parameters of hydraulic torque converter. The designing variable is the circulatory diameter of hydraulic torque converter. Choosing 0~100 km/h accelerate time of full throttle and GB18352.3—2005 cycle fuel consumption as the evaluation indicators of vehicle matching. The best circulatory diameter is obtained by optimizing. The simulation results indicate that optimized accelerating time and fuel consumption reduce, which means this method is helpful for the matching of hydraulic torque converter.

**Key words:** hydraulic torque converter; CVT; control strategy; optimization

液力变矩器是汽车自动变速系统中最重要的部件之一,液力变矩器的匹配工作是影响汽车动力性、经济性和舒适性的重要因素。以往在匹配液力变矩器时,主要是通过通过对发动机和液力变矩器进行合理匹配,研究两者共同工作的输出特性以及共同工作点的算法,优化液力变矩器的结构参数,以便充分发挥各自的优点,使两者匹配达到最好<sup>[1-4]</sup>。另外使用

CFD 软件对液力变矩器的内部流场进行分析也是优化液力变矩器的有效途径,使得液力变矩器在不同工况下达到最佳性能,对其匹配工作也起到了辅助性作用<sup>[5-6]</sup>。

这些匹配方法主要针对于发动机和液力变矩器组成的动力复合系统,选用功率输出系数和单位燃料消耗量系数或者以动力性和经济性为目标,选用

新的评价指标<sup>[7]</sup>作为这两者匹配的评价指标。但是存在一个缺陷,即没有考虑到液力变矩器的闭锁工况或者对闭锁工况不能进行有效地评价。

针对于此,笔者提出了一种匹配液力变矩器的新方法,即将发动机、液力变矩器和传动系作为一个系统匹配来优化液力变矩器参数的方法,这样匹配时能够解决液力变矩器的闭锁工况的问题。

## 1 整车匹配设计变量的选取

笔者采用的整车匹配方法适用于无极变速器(CVT)的汽车。CVT可以在一定范围内实现任意的传动比。理论上只要确定了合理的 CVT 的控制策略,在任何工况下 CVT 都可以提供最理想的传动比,能确保 CVT 与发动机之间达到合理的匹配<sup>[8-10]</sup>。

整车匹配中通过调整液力变矩器的特性以实现最好的匹配。影响液力变矩器特性的主要结构参数有循环圆直径、叶片进出口角等<sup>[6]</sup>。其中,循环圆直径对液力变矩器的特性影响较大。因此,选取循环圆直径为设计变量,对液力变矩器进行了优化设计。

## 2 整车匹配评价指标的确定

在传递动力时,液力变矩器能减缓负荷变化,使车辆具有自动适应性能。尤其在转速和扭矩波动大、变化快时,液力变矩器能更充分地发挥作用。

在起步加速工况中,发动机的扭矩变化大,液力变矩器起到了自动调节的作用,对动力性的影响较大。因此,起步加速时间可以较好地反映出起步工况的动力性。

在循环工况中,转矩和转速变化频繁,液力变矩器一直发挥着作用,并且循环工况的油耗体现了整车的经济性。

汽车 0~100 km/h 加速时间和 GB 18352.3—2005 循环工况油耗,分别代表着整车的动力性与经济性,适合轿车运行的工况。因此,选择这 2 个参数作为整车匹配的评价指标。

## 3 液力变矩器循环圆直径的优化

### 3.1 整车模型

CRUISE 软件用于汽车开发过程中动力系统的匹配、汽车性能预测和整车仿真计算,笔者利用该软件完成整车匹配分析。通过对某轿车液力变矩器循环圆直径匹配优化过程来说明这种优化方法。

在 CRUISE 软件中选择相应的发动机、液力变矩器、变速器、主减速器、车轮等模块,建立某轿车的整车模型(图 1)。

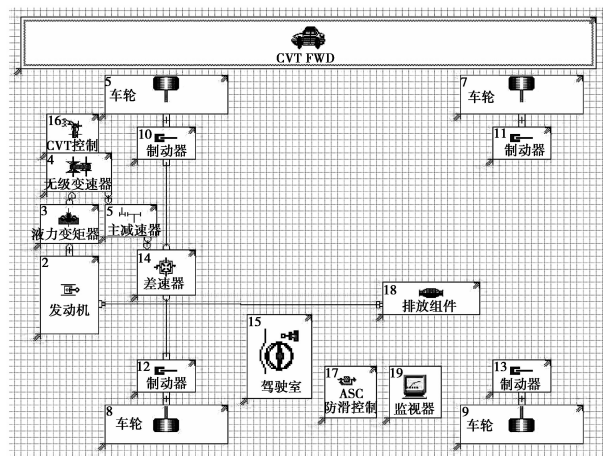


图 1 整车模型

### 3.1.1 发动机模块

在发动机模块中,输入对应的外特性、油耗特性、油耗率特性等数据。上述参数均是从万有特性曲线得到。该轿车发动机试验测得的万有特性曲线如图 2 所示。

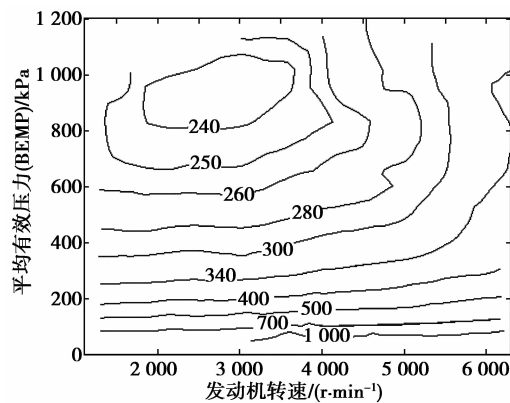


图 2 发动机万有特性图

### 3.1.2 液力变矩器模块

在液力变矩器模块中,输入泵轮定转速试验时不同速比对应的变矩比  $K$  和泵轮转矩  $M_B$ 。整车中液力变矩器的循环圆直径  $D$  为 236 mm,最高效率  $\eta$  为 86.7%,起动机变矩比  $K$  为 1.86。液力变矩器试验对应的性能特性如图 3 所示。

以循环圆直径  $D$  为设计变量,当循环圆直径  $D$  在一定范围内变化时,变矩比  $K$  对应的曲线不变,而泵轮的转矩  $M_B$  随着循环圆直径  $D$  的变化、泵轮的能容系数  $\kappa$  的相应变化而变化,计算式为

$$\frac{k}{k_0} = \left(\frac{D}{D_0}\right)^{\frac{5}{2}},$$

$$M_B = \frac{n^2}{k^2},$$

22

http://qks.cqu.edu.cn

重庆大学学报

第 34 卷

式中： $D_0$  为初始的循环圆直径， $D_0 = 236 \text{ mm}$ ； $\kappa_0$  为循环圆直径 236 mm 对应的泵轮的能容系数； $n$  为泵轮定转速试验中的转速。

上式可以计算得到不同循环圆直径  $D$  对应的变矩比  $K$ 、泵轮的转矩  $M_B$ 。

图 3 液力变矩器性能特性

### 3.1.3 CVT 控制模块

CVT 控制模块包含 CVT 控制模式和液力变矩器闭锁控制两部分。

在设计 CVT 的控制模式时往往要综合考虑到汽车的动力性与经济性。CVT 控制模式表明不同的节气门开度确定了不同的传动比<sup>[11-13]</sup>。

当发动机节气门开度超过 85% 时，主要保证汽车的动力性，CVT 控制模式采用动力模式。发动机在一定节气门开度对应的最大功率的目标转速工作时，能够充分发挥其动力性。不同节气门开度与对应的目标转速，可以得到一条最佳动力线  $S$ 。当节气门的开度连续变化时，控制无级变速器的速比使发动机转速沿最佳动力线  $S$  变化，即 CVT 的动力模式<sup>[14]</sup>。

当发动机节气门开度低于 25% 时，以汽车的经济性为主，CVT 控制模式采用经济模式。按照同样的道理，根据发动机万有特性和燃油消耗试验，制定出对应的发动机最佳经济线和 CVT 的经济模式，从而确保了发动机的稳态工作点始终维持在最佳经济线上<sup>[15]</sup>。

当发动机节气门开度介于两者之间时，对动力性、经济性采用加权处理。发动机在接近于大节气门开度时，加权偏重于动力模式；在接近于小节气门开度时，加权偏重于经济模式；位于中间节气门开度时，动力性、经济性同等重要<sup>[16]</sup>。

笔者在 CVT 的动力模式和经济模式的基础上，

按照上面的方式制定了其控制模式。图 4 表示了一定节气门开度和车速时 CVT 控制模式对应的目标速比。

图 4 控制模式的目标速比

在这个模块中实现了液力变矩器的闭锁控制。考虑到液力变矩器低速时动力性能好，高速时效率低等因素<sup>[17]</sup>，闭锁控制规律主要根据车速进行控制：当车速为 20 km/h 左右时，锁止离合器闭锁，车速为 16 km/h 左右时，锁止离合器解锁<sup>[18]</sup>。根据汽车行驶的实际情况，计算汽车加速性能时采用节气门全开的发动机工况，计算循环工况油耗时，采用 CRUISE 软件中根据车速、路况等确定的节气门开度对应的发动机工况。这样就考虑了液力变矩器的闭锁工况。

### 3.2 仿真结果

将上述模块以及其他模块的数据输入后，仿真得到了整车的性能。在某轿车的匹配中，输入不同的液力变矩器的循环圆直径，得到了一系列的加速时间和循环工况油耗曲线。对仿真得到的动力性、经济性数据按 10 阶进行拟合，得到如图 5、6 所示的曲线。

图 5 动力性仿真

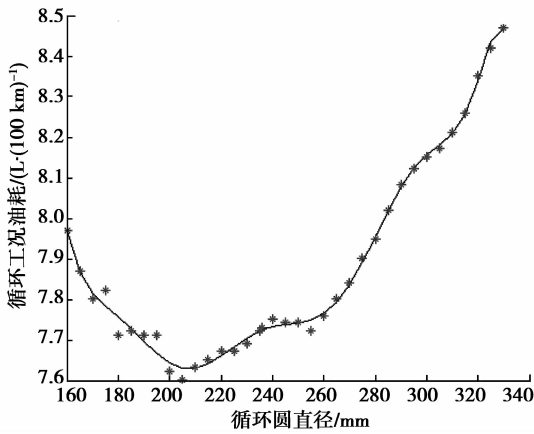


图 6 经济性仿真

图 5、6 可知,加速时间最小为 11.26 s,对应的循环圆直径为 220 mm;循环工况油耗最小为 7.6 L/100 km,对应的循环圆直径为 205 mm。加速时间和循环工况油耗可认为是循环圆直径的函数。

### 3.3 循环圆直径优化

确定以液力变矩器的循环圆直径为设计变量时,需要综合考虑加速时间和循环工况油耗两方面,这就要求对动力性和经济性的多目标问题进行处理。笔者采用目标规划法<sup>[19]</sup>将多目标问题转化为单目标问题进行求解,建立如下统一目标函数。

$$\min f(D), D = [160, 330],$$

$$\text{s. t. } f_1(D) \geq f_{1\min}, f_2(D) \geq f_{2\min},$$

其中

$$f(D) = \frac{(f_1(D) - f_{1\min})^2}{f_{1\min}^2} + \frac{(f_2(D) - f_{2\min})^2}{f_{2\min}^2},$$

式中:  $f(D)$  为循环圆直径为  $D$  时综合动力性经济性的统一目标函数;  $f_1(D)$  为循环圆直径为  $D$  时对应的加速时间;  $f_2(D)$  为循环圆直径为  $D$  时对应的循环工况油耗;  $f_{1\min}$  为最小加速时间,  $f_{1\min} = 11.26$  s;  $f_{2\min}$  为最低循环工况油耗,  $f_{2\min} = 7.6$  L/100 km。

以不同循环圆直径为横坐标,优化统一目标函数  $f(D)$  如图 7 所示。

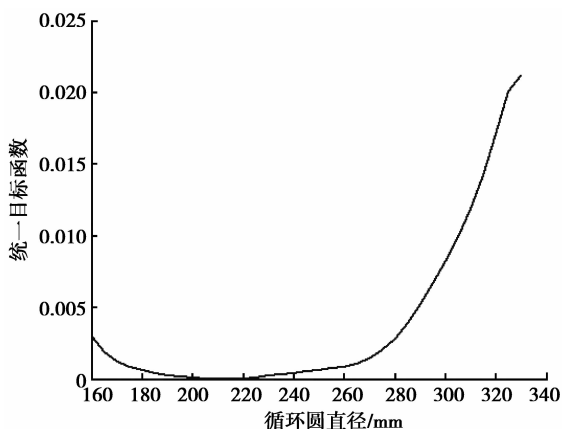


图 7 循环圆直径的优化

结果表明,液力变矩器的循环圆直径优化为 212 mm。

### 3.4 结果对比

将循环圆初始直径 236 mm 和优化后直径 212 mm 仿真得到的加速时间和循环工况油耗进行对比,结果如表 1 所示。

表 1 动力性经济性对比

直径 /mm	加速时间 /s	循环工况油耗 / $(L \cdot (100 \text{ km})^{-1})$
236	11.37	7.73
212	11.32	7.65

从表 1 可知,优化后加速时间减少了 0.44%,循环工况油耗减少了 1.03%。循环圆直径的尺寸也减小了 10.17%,有助于减小液力变矩器的尺寸,在整车布局中节省了宝贵的空间。表明优化后整车匹配的动力性和经济性均有所改善。

## 4 结 语

通过将发动机、液力变矩器和传动系统一起匹配来优化液力变矩器的循环圆直径,解决了发动机与液力变矩器两者匹配时没有考虑液力变矩器闭锁工况的问题。采用这种方法进行优化,结果表明整车性能有所提高,循环圆直径也有所减小。

### 参考文献:

- [1] 常绿, 王国强, 张英爽. 基于 ADVISOR 软件的液力变矩器仿真模块的开发[J]. 系统仿真学报, 2006(12): 3396-3398.  
CHANG LV, WANG GUO-QIANG, ZHANG YING-SHUANG. Development of simulation module for performance of torque-converter based on ADVISOR software[J]. Journal of System Simulation, 2006(12): 3396-3398.
- [2] WU H R, FENG L, ZHANG H S. Computer aided calculation of matching between engine and hydraulic torque converter [C] // Proceedings of 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Wuhan, China. [S. l.]: 2010, 2: 6-9.
- [3] 李春蒂, 陈慧岩, 陶刚, 等. 发动机与液力变矩器匹配工作点算法研究[J]. 农业机械学报, 2009(3): 11-15.  
LI CHUN-FU, CHEN HUI-YAN, TAO GANG, et al. Arithmetic of the cooperating point of engine and torque converter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009(3): 11-15.

- [4] WU H R, ZHU X N. Design and analysis on automatic hydraulic transmission system of port tractor[C] // Proceedings of 2010 International Conference on Computer Design and Applications, June 25-27, 2010, Qinhuangdao, China. [S. l.]. IEEE Press, 2010, 3: 106-109.
- [5] 褚亚旭, 马文星, 刘春宝, 等. 越野车液力变矩器流场分析与实验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009(7): 212-214.  
CHU YA-XU, MA WEN-XING, LIU CHUN-BAO, et al. Analysis and experimental research on flow field of torque converter equipped in off road car[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009(7): 212-214.
- [6] LIU Y, MA W X, LIU C B, et al. Calculation and analysis of internal characteristics of torque converter coupling[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(1): 70-74.
- [7] 何仁, 商高高. 液力变矩器特性参数的优化方法[J]. 中国公路学报, 2001(S1): 116-119.  
HE REN, SHANG GAO-GAO. Optimal method of characteristic parameters of hydraulic converter [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001(S1): 116-119.
- [8] TANIQUCHI T, TSUKAMOTO K, HABUCHI R, et al. Toyota's new belt-drive continuously variable transmission for 1. 3-liter FWD cars [C] // Proceedings of SAE World Congress and Exhibition, April 3-6, 2006, Detroit, MI, USA. [S. l.]; IEEE Press, 2006: 287-290.
- [9] SONG J C, WANG C Z. Modeling and simulation of hydraulic control system for vehicle continuously variable transmission [C] // Proceedings of 2008 Industrial Electronics and Applications, June 3-5, 2008, Singapore. [S. l.]; IEEE Press, 2008: 799-803.
- [10] THEO H, MAARTEN S, ROELL V, et al. Design of CVT-based hybrid passenger cars [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(2): 572-587.
- [11] YANG X H. Electro-mechanical control devices for continuously variable transmission of vehicle[C/OL] // The 2008 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress, Shanghai, China, June 2008: impact on SAE International [2008-06-23]. <http://papers.sae.org/2008-01-1687/>.
- [12] 董其慧, 胡建军, 秦大同. 液力机械自动变速传动系统快速原型控制[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(12): 13-18.  
DONG QI-HUI, HU JIAN-JUN, QIN DA-TONG. Rapid prototype control of hydraulic automatic transmission system based on DSPACE[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2006, 29(12): 13-18.
- [13] DEUR J, PETRI J, ASGARI J, et al. Recent advances in control-oriented modeling of automotive power train dynamics [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2006, 11(5): 513-523.
- [14] 罗勇, 孙冬野, 胡丰宾. 无级变速汽车最佳动力性优化控制策略[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(3): 1-6.  
LUO YONG, SUN DONG-YE, HU FENG-BIN. Optimal control strategy of CVT equipped vehicle for maximum power performance[J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(3): 1-6.
- [15] ADACHI K, OCHI Y, KANAI K. Development of CVT control system and its use for fuel-efficient operation of engine[J]. Asian Journal of Control, 2006, 8(3): 219-226.
- [16] 蒋小华, 秦大同, 胡建军. 液力机械自动变速传动综合控制策略[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2004, 27(9): 1-5.  
JIANG XIAO-HUA, QIN DA-TONG, HU JIAN-JUN. Integrated control strategy of hydraulic-mechanical automatic transmission [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2004, 27(9): 1-5.
- [17] 胡建军, 杨雪梅, 张青. 双模式无级变速车辆起步控制方法[J]. 重庆工学院学报: 自然科学, 2008(9): 10-14.  
HU JIAN-JUN, YANG XUE-MEI, ZHANG QING. Control method of dual state CVT vehicle for standing start [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology: Natural Science, 2008(9): 10-14.
- [18] YANG N J, QIAN L J, WU D J. Lock-up control simulation of torque converter with lock-up clutch[C] // Proceedings of 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Wuhan, China. [S. l.]; IEEE Press, 2010, 1: 290-292.
- [19] 马超, 项昌乐, 刘辉. 液力变矩器闭锁点的优化设计[J]. 北京汽车, 2004(5): 8-13.  
MA CHAO, XIANG CHANG-LE, LIU HUI. Optimization of locking points of hydraulic torque converter [J]. Beijing Automotive Engineering, 2004(5): 8-13.