

文章编号:1671-8879(2009)02-0107-04

## 钣金型液力变矩器内部流场的分析

惠记庄,焦生杰,邹亚科,纪真

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

**摘要:**通过对某型号钣金型液力变矩器结构进行简化,借助 Unigraphics、Gambit 软件平台,结合现代计算流体力学理论,利用流体仿真软件 FLUENT 对变矩器内部流场进行了数值计算。结果表明:这种方法的计算结果与试验结果具有很好的一致性;在启动工况和最高效率工况下,泵轮入口附近,非工作面和外环附近出现了高速高压区,工作面与外环相交处有低速低压区,涡轮的内环面与工作面相交的地方出现了脱流和回流,流道曲率变化最大的地方出现了高压区;导轮在启动工况下,非工作面上有脱流和低速区,最高效率工况下,速度和压力分布相对较好。

**关键词:**机械工程;变矩器;内流场;性能

**中图分类号:**TU62 **文献标志码:**A

### Analysis on flow field of fabrication hydraulic torque converter

HUI Ji-zhuang, JIAO Sheng-jie, ZOU Ya-ke, JI Zhen

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on the Unigraphics and Gambit platform, and modern computational fluid dynamics theory. This paper simplifies the frame of the fabrication hydraulic torque converter, and calculates the inner flow field with emulation software FLUENT. The results show that: there is a good coherence between calculation results and experiment ones; in the condition of the start and the most efficiency working state, there are high velocity and pressure fields near the entrance, non-working face and shell of the pump, and the biggest change of the curvature of the turbo, low velocity and pressure fields near the intersect of the working face and shell; there are reverse flow and off flow near the intersect of the shell and working face; in the condition of the start working state, there are off flow and low velocity flow on the non-working face of the stator, in the condition of the most efficiency working state, there is a good disposal of the velocity and pressure on the stator. 2 tabs, 4 figs, 10 refs.

**Key words:** mechanical engineering; torque converter; inner flow field; performance

## 0 引言

液力变矩器是工程机械传动系统中的关键部件之一,其主要作用是将发动机的动力平稳、高效的传

递到终传动<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着中国车辆制造行业竞争的不断加剧,使得主机生产商对变矩器的工作性能要求不断提高。钣金型液力变矩器以其制造精度高、成本低、体积小、工作性能好、适合大批量生产的

收稿日期:2008-05-15

基金项目:陕西省自然科学基金项目(SJ08E206)

作者简介:惠记庄(1963-),男,陕西富平人,教授,工学博士研究生,E-mail:wsjdb01@chd.edu.cn.

特点,逐渐代替了传统的铸造型液力变矩器。但是,钣金型液力变矩器设计和制造难度较大,而设计先进的液力变矩器的关键则是分析液力变矩器的内部流场<sup>[3-4]</sup>。为此,本文针对现有某型号钣金型液力变矩器,对其结构进行简化,采用UG(Unigraphics软件的缩写)进行三维流道建模,结合现代计算流体力学理论,通过流体仿真软件FLUENT进行了变矩器内部流场的数值计算。

## 1 计算模型的建立

液力变矩器主要由涡轮、泵轮、导轮、变矩器壳体、扭转减震器、活塞和从动齿圈等构成。液力变矩器内部流场分析的难点是流道封闭的透平机械,涡轮、导轮和泵轮三级叶栅按各自的转速转动(在变矩工况导轮锁止,在偶合工况导轮自由旋转),每级叶栅的流道都相当复杂,流道内环、外环和叶片面都为复杂曲面,变矩器的性能是由这些复杂曲面构成的流道几何机构所决定的。

### 1.1 基本假设

工作油液在液力变矩器中的流动十分复杂,本文在对液力变矩器内部流场的分析中做如下假设:

(1)液力变矩器中所有的构件为绝对刚体。

(2)工作介质在任何工况下密度 $876.6 \text{ kg/m}^3$ 不变;粘度 $0.005066 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 为常数。

(3)变矩器工作过程是等温的,工作介质的内能在工作过程中没有变化,本文只求连续方程和动量方程,没有对流场中的温度场进行研究。

(4)除了进口面和出口面外,工作介质不能从任何其他地方进入流道。

(5)忽略2个叶轮间无叶栅区的泄漏,从上游流出的工作油液完全等量地进入下游叶轮。

(6)在同一工况下,同一叶轮每个流道的流场特性相同;每个工作轮的流道分别由一个叶片的承压面、相邻叶片的背压面、外环面、内环面、进口面和出口面6个曲面组成<sup>[5-6]</sup>。

### 1.2 流道模型的建立

变矩器的流道模型是通过逆向工程获得。本文选择的钣金型液力变矩器,叶片参数见表1。首先采用三维坐标仪扫描单个叶片得出点云,然后将点云数据导入UG中,再拟合成片体(图1)。通过计算,可以得到泵轮、涡轮和导轮流道的圆周角分别为 $16.79^\circ$ 、 $12.50^\circ$ 、 $21.17^\circ$ 。由于泵轮、导轮叶片为等厚度的钣金件,所以在UG中,如将叶片的一个工作面沿工作旋转方向做对应圆周角大小的旋转,即可得到泵轮、涡轮单个流道模型。变矩器的流道模型如图2所示。

表1 叶片参数

叶片参数	泵轮	涡轮	导轮
进口厚度/mm	0.8	0.8	0.2
出口厚度/mm	0.8	0.8	1.0
叶片数/个	21	28	17
叶片材料	08F-II-P-GB 710-88		ZL106 GB 1173-86

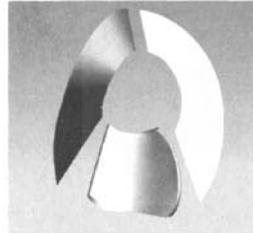


图1 叶片片体

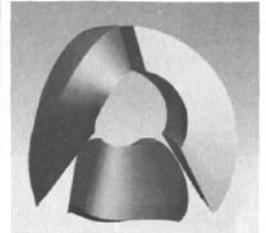


图2 变矩器的流道模型

## 2 内流场的数值计算

### 2.1 计算网格

将在UG中生成的流道模型导进Gambit软件

中,进行网格划分。网格是计算模型的几何表达形式,也是数值模拟和分析的载体。为了提高计算的精度,本文通过反复计算对比,最终确定本模型采用六面体网格。网格模型如图3所示。泵轮、涡轮和导轮单元体数量分别为222 568、158 119、77 646个。

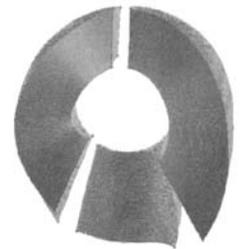


图3 网格模型

### 2.2 控制方程

控制方程为时均Navier-Stokes(N-S)方程和湍流动能-湍流耗散率( $k-\epsilon$ )湍流方程。

### 2.3 湍流模型

湍流模型选取标准 $k-\epsilon$ 模型,同时使用标准近壁函数,离散格式为二阶迎风格式(这样可以提高解算精度),压力-速度耦合选用SIMPLE算法。

### 2.4 边界条件

根据假设(1),流道的叶片面及内、外环面是不可变形的固体壁面,因此这些面上的边界条件为相对边界内部网格无滑移的壁面条件。将入口面设为速度入口,出口面设为压力出口,流道的切割面应用周期面边界条件,各工作轮流道的进、出口面为混合平面模型连接<sup>[7-8]</sup>。

### 2.5 收敛准则

流场的计算是通过不断迭代求解整个流场空间

离散单元的线性方程组来实现流体动力学非线性方程组的求解,所以必须建立合适的收敛准则。

(1)计算结束前,控制方程的残差要低于  $10^{-3}$ ,并且收敛过程相对稳定平滑。

(2)计算结束前,连续两次循环计算的 3 个叶轮对应出口面上的平均速度的相对误差应小于  $10^{-2}$ [9-10]。

在实际数值模拟过程中,一次性计算很难收敛,往往需要多次调整松弛因子变量值,才能达到较好的收敛效果。

### 3 计算结果与试验结果对比

进行仿真计算时,按照不同转速比工况,对泵轮、涡轮流道分别进行求解,可以得出各流道上的转矩值;根据假设,可以近似计算出泵轮、涡轮的转矩,从而可以拟合出仿真计算下的特性曲线。仿真结果见表 2。将仿真结果下的特性曲线与试验标定下该产品的特性曲线进行比较(图 4),可以看出,计算结果与试验结果基本吻合。其中,效率、变矩比和泵轮公称力矩最大误差分别为 6.5%、5.2%和 5.7%,这说明了三维流场分析的正确性。结果中存在一定的误差,这主要是由于在建立流道模型的过程中,对流道进行了一定的简化;另外,混合平面上的流动情况与实际的流动情况也还存在一定的差异。

表 2 仿真计算结果

转速比 $i$	泵轮转矩/ (N·m)	涡轮转矩/ (N·m)	变矩比 $k$	效率 $\eta/\%$
0	28.375	12.391	2.29	0
0.13	29.068	14.176	1.98	0.254
0.28	29.751	17.398	1.71	0.479
0.34	29.891	20.061	1.49	0.507
0.45	29.035	20.592	1.41	0.634
0.56	28.954	22.620	1.28	0.717
0.64	28.159	22.709	1.24	0.794
0.71	26.754	24.322	1.13	0.802
0.80	24.638	24.440	0.92	0.784
0.86	21.392	26.409	0.87	0.697
0.91	16.854	22.176	0.76	0.691

### 4 计算结果分析

本文仅取启动工况( $i=0$ )和最高效率工况( $i=0.72$ ),对比分析变矩器的流场。

#### 4.1 泵轮流道流场分析

$i=0$  时,泵轮的速度场入口附近,非工作面和外环附近出现了一个高速流动的区域;在进口附近,

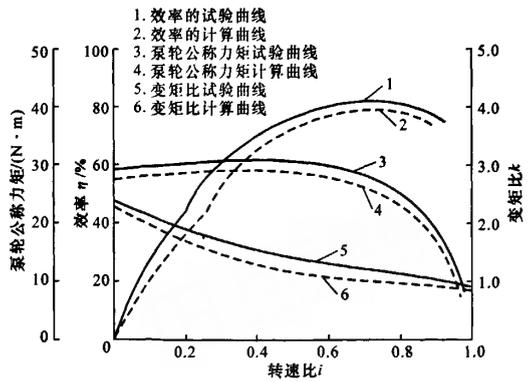


图 4 变矩器性能曲线

工作面与外环面相交处有一个低速流动区域,并且这个区域由进口向出口、由工作面向非工作面方向扩散。出现这种情况的主要原因是:从导轮流出的液流的方向基本上是沿着导轮叶片的出口方向的,这样液流就会高速冲击到泵轮流道的非工作面上,形成一个高速区;而进口的工作面处没有受到液流的直接冲击,所以出现了一个相对的低速区。泵轮的压力场:在入口附近,进口面和非工作面交界的地方出现了一个高压区,这是液流冲击叶片引起的;进口面和工作面交界的地方则出现了一个低压区,这个低压区在内环上由工作面向非工作面方向扩散;在液流中部,外环和工作面交界处存在一个高压区。

$i=0.72$  时,泵轮的流场速度分布与启动工况相近,出现高速流动、低速流动的区域位置和范围大小都基本一致。但是,随着转速比的增大,入口和出口面上的平均速度值逐渐降低。出现这种情况的主要原因是:①导轮是静止的,从导轮流出的液流的流动方向基本上是沿着导轮叶片出口方向的;②在高转速比工况下,变矩器的流量要比低转速比工况下的流量小,所以在垂直于过流断面的速度分量也就小。泵轮的流场压力分布情况与启动工况相似,出现高压、低压的区域位置和范围大小也基本一致。

#### 4.2 涡轮流道流场分析

$i=0$  时,涡轮的速度场内环面与工作面相交的地方出现了一个脱流区和回流区;在流道的前半段,非工作面处液流的速度很高,其中最高速度出现在非工作面与外环相交的地方,非工作面附近的流速在主流方向上逐渐降低,并且在流道的后半段趋于均匀。脱流区域对应着涡轮流道曲率变化最大的地方,也是流场最复杂的地方。在涡轮流道的后半段,低压区主要集中在非工作面和内环处。在出口处工作面附近速度较高,从工作面向非工作面逐渐递减。

涡轮的压力场非工作面和外环面的相交处出现了一个范围很小的高压区,这是由于进口油液有一小部分冲击到了外环上靠近非工作面侧的地方。下游非工作面附近的压力要明显低于这部分的压力,使得下游速度迅速升高,于是在非工作面和外环相交的地方出现了局部的高速液流。在流道中部拐点附近工作面和外环交界处出现了高压区,这个高压区对应着流道曲率变化最大的地方。

$i=0.72$ 时,涡轮的流场与启动工况相比,速度和压力的分布相对均匀些。因为此时,液流无冲击进入涡轮,使得流动状况有明显地改善。

#### 4.3 导轮流道流场分析

$i=0$ 时,导轮的速度场非工作面上存在脱流和低速流动现象,尤其在进口面上,脱流区范围比较大,这与启动工况下液流的入射角度有直接关系;在流道出口处靠近工作面的一侧存在高速流动区域。导轮的压力场:在导轮流道进口附近工作面和内环交界处有一个高压区域,这是由于液流冲击叶片引起的。在导轮流道后半段非工作面和外环交界处存在一个低压区域。总的来说,导轮流场的压力分布是比较均匀的。

$i=0.72$ 时,导轮流场的速度分布比较理想,流场中没有出现脱流现象,只是在流道拐角处的速度相对低一些,这是合理的。另外,在流道出口处靠近工作面一侧也存在着高速流动区域。导轮流场的压力分布与启动工况相比,在分布位置和范围上基本一致。

## 5 结 语

(1)借助 Unigraphics、Gambit 软件平台,通过流体仿真软件 FLUENT 模拟钣金型液力变矩器内部流场,计算结果与试验结果具有很好的一致性。

(2)液力变矩器在启动工况和最高效率工况下,泵轮入口附近,非工作面和外环附近都出现了一个高速、高压区域,工作面与外环面相交处有一个低速、低压区域。

(3)液力变矩器无论在启动工况和最高效率工况下,涡轮在内环面与工作面相交的地方出现了一个脱流区和回流区,在流道中部拐点附近工作面和外环交界处出现了高压区,这个高压区对应着流道曲率变化最大的地方。

(4)液力变矩器导轮在启动工况下,非工作面上存在脱流和低速流动现象,尤其在进口地方,脱流区范围比较大;最高效率工况下,导轮流场的速度分布

比较理想,压力分布相对较为均匀。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 严 鹏,吴光强.液力变矩器性能分析[J].同济大学学报:自然科学版,2004,32(11):1504-1507.  
YAN Peng, WU Guang-qiang. Performance investigation of torque converter[J]. Journal Tongji University: Natural Science, 2004, 32(11): 1504-1507.
- [2] 严 鹏,吴光强,谢 硕.液力变矩器泵轮流场数值分析[J].汽车工程,2004,26(2):183-186.  
YAN Peng, WU Guang-qiang, XIE Shuo. Numerical analysis on pump flow field in a torque converter [J]. Automotive Engineering, 2004, 26(2): 183-186.
- [3] By R R, Kunz R, Lakshminarayana B. Navier-stokes analysis of the pump flow field of an automotive torque converter[J]. Journal of Fluids Engineering, 1995, 117(1): 116-122.
- [4] Dong Y, Lakshminarayana B. Steady and unsteady flow field at pump and turbine exits of a torque converter[J]. Journal of Fluids Engineering, 1998, 120(3): 538-548.
- [5] 田 华,葛安林,马文星,等.液力变矩器泵轮内流场的数值分析[J].吉林大学学报:工学版,2004,34(3): 378-382.  
TIAN Hua, GE An-lin, MA Wen-xing, et al. Numerical analysis on internal flow field in pump wheel of a torque converter [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2004, 34(3): 378-382.
- [6] 王 健,葛安林,雷雨龙,等.基于三维流动理论的液力变矩器设计流程[J].吉林大学学报:工学版,2006, 36(3): 315-320.  
WANG Jian, GE An-lin, LEI Yu-long, et al. Design flow of torque converter based on three dimensional flow theory[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2006, 36(3): 315-320.
- [7] Ejiri E, Kubo M. Performance analysis of automotive torque converter elements[J]. Journal of Fluids Engineering, 1999, 121(2): 266-275.
- [8] 田 华.液力变矩器现代设计理论的研究[D].长春:吉林大学,2005.
- [9] Alexander Y, Ronald D F, Warren D C. Average velocity measurements in six automotive torque converters, part II: turbine measurements [J]. Tribology Transactions, 2001, 44(4): 615-625.
- [10] 崔志军.越野车液力变矩器流场分析及其导轮流场实验研究[D].长春:吉林大学,2005.