

基于二次函数环量分配的液力变矩器叶片设计方法^{*}

刘伟辉 刘春宝 汪清波 马文星 褚亚旭

【摘要】 提出了基于二次函数环量分配的液力变矩器叶片设计方法,并给出了应用实例。计算液力变矩器流道过流断面面积及建立三维实体模型后,与传统的等环量分配叶片设计法相比,在同等叶片加厚条件下,新方法设计出的叶形更合理,流道过流面积变化更为平缓。应用CFD软件计算了用2种方法设计叶片的液力变矩器的三维流场,基于三维流场数值解计算出液力变矩器的特性,并与传统设计方法设计的变矩器特性进行了对比分析。

关键词: 液力变矩器 叶片设计 环量分配 二次函数

中图分类号: TH137.332

文献标识码: A

Design Method of Torque Converter Blade Based on Quadratic Function Distribution

Liu Weihui¹ Liu Chunbao² Wang Qingbo³ Ma Wenxing² Chu Yaxu⁴

(1. Hangzhou Advance Gearbox Group Co., Ltd., Hangzhou 311203, China 2. Jilin University, Changchun 130025, China 3. Shenyang Mining Machinery Group Co., Ltd., Shenyang 110042, China 4. Beihua University, Jilin 132021, China)

Abstract

The design method of torque converter blade based on quadratic function distribution of momentum was put forward. The torque converters have been designed by using both new and traditional methods. The 3-D model of torque converter was established and the flow section area was calculated. Compared with the traditional method, not only the blade profile of new method was more reasonable under equal blade thickening, but also the change of flow section area was more gently. The flow field of torque converters has been numerical simulated by CFD software. Based on the flow numerical solution, the performances of torque converters designed by new and traditional methods have been predicted. The comparison and analysis of the results have been carried out.

Key words Torque converter, Blade design, Distribution of momentum, Quadratic function

引言

叶片几何参数是决定液力变矩器性能的关键参数。环量分配法是液力变矩器叶片设计的主要方法之一,环量的分配规律决定着叶片的形状,因此,尽管叶片进出口角等基本参数相同,若采用不同的分配法也会生成不同的叶形,从而引起变矩器性能的变化。本文提出基于二次函数环量分配的液力变矩

器叶片设计方法,并给出应用实例,利用CFD软件对新方法和传统方法设计叶片的变矩器三维流场进行数值模拟,计算其原始特性曲线,并进行对比分析。

1 基于二次函数环量分配的叶片设计方法

传统的等环量分配叶片设计法的理论基础是束流理论,认为按选定的设计速比在循环圆上设定元线,循环圆中间流线上两元线间每增加相同的弧长,

收稿日期: 2007-11-23

^{*} 国家自然科学基金资助项目(项目编号:50175042)

刘伟辉 杭州前进齿轮箱集团有限公司 高级工程师, 311203 杭州市

刘春宝 吉林大学机械科学与工程学院 博士生, 130025 长春市

汪清波 沈阳矿山机械集团有限公司 工程师, 110042 沈阳市

马文星 吉林大学机械科学与工程学院 教授 博士生导师

褚亚旭 北华大学机械工程学院 教授, 132021 吉林省吉林市

液流沿叶片中间流线应增加相同的环量,以保证流道内的流动状况良好^[1]。

在设计工程机械系列化液力变矩器时,需通过叶栅系统组合达到能容分档目的^[2],设计过程中部分叶片出现狭长和较大扭曲,尤其是在叶片进出口附近,且曲率变化较大。为解决此问题,本文改变传统的等环量分配变矩器叶片设计方法,选取环量基于二次函数分配的新方法进行叶片设计。计算叶轮过流断面面积变化情况,利用 CFD 软件计算变矩器三维流场和性能,综合考虑液力变矩器效率 η 、泵轮转矩系数 λ_B 、变矩比 K 等参数,选取各个叶轮的环量分配函数。

定义叶片在中间流线上与进口无因次距离为 x ,取值范围为 0~1,0 代表叶片进口,1 代表叶片出口。

定义泵轮和导轮环量沿 x 方向无因次变化量为 $f(x)$,且

$$f(x) = \frac{\Gamma_i - \Gamma_1}{\Gamma_2 - \Gamma_1} \quad (1)$$

式中 Γ_1 、 Γ_2 ——叶轮进口、出口环量, m^2/s

Γ_i ——沿 x 方向第 i 条元线处环量, m^2/s

由于涡轮内进口环量高于出口环量,定义涡轮环量沿 x 方向无因次变化量为 $f(x)$,且

$$f(x) = \frac{\Gamma_i - \Gamma_2}{\Gamma_1 - \Gamma_2} \quad (2)$$

泵轮和导轮传统的等环量分配法为 $f(x) = x$ 的直线,而涡轮为 $f(x) = -x + 1$ 的直线。经计算分析,如图 1a 所示,设计泵轮环量的二次函数分配规律为

$$f(x) = -0.080(x - 6.750)^2 + 3.645 \quad (3)$$

如图 1b 所示,设计的涡轮环量二次函数分配规律为

$$f(x) = -0.093(x + 4.850)^2 + 3.188 \quad (4)$$

如图 1c 所示,设计导轮环量二次函数分配规律为

$$f(x) = -0.2(x - 3)^2 + 1.8 \quad (5)$$

按上述规律进行环量分配后,即可计算出中间流线上各点叶片角度,进而按反势流分布理论计算出内外环上各点叶片角。将角度进一步换算,则得叶片叶形坐标。

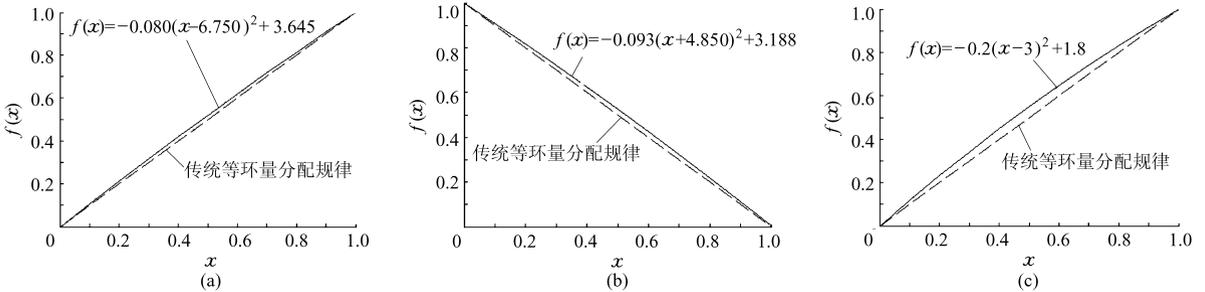


图 1 环量二次函数分配规律

Fig. 1 Quadratic function distribution of momentum

(a) 泵轮 (b) 涡轮 (c) 导轮

2 应用实例

将基于二次函数环量分配的叶片设计方法应用于工程机械系列化液力变矩器叶片设计。其中 YJ305 系列变矩器循环圆形状如图 2 所示。

通过编写 Matlab 程序实现环量分配法的计算过程^[3]。得到叶片空间坐标后,利用三维建模软件建立叶片三维模型。

2.1 泵轮叶片设计

图 3 为 2 种方法设计出的泵轮叶片。如图所示,泵轮叶片进出口角度相差较大时,传统方法叶片的进口附近曲率变化较大,叶片较长。新方法设计结果进口附近曲率变化平缓,同样叶片进出口角度情况下,叶片变短,更易加工。图 4 为新、旧方法流道过流断面面积变化对比。如图所示,新方法设计结果过流面积变化更为平缓。

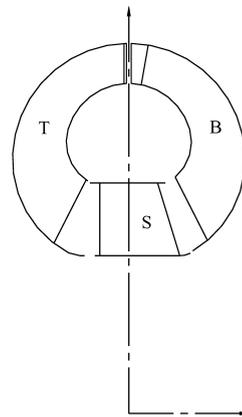


图 2 YJ305 变矩器循环圆图
Fig. 2 Torus profile of torque converter YJ305

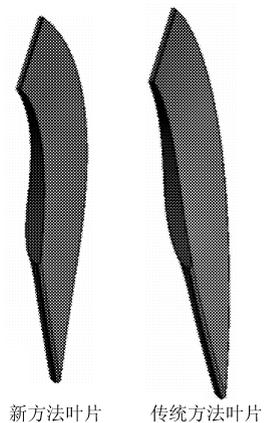


图 3 新、旧设计方法设计结果对比
Fig. 3 Blades of pump designed by new and traditional methods

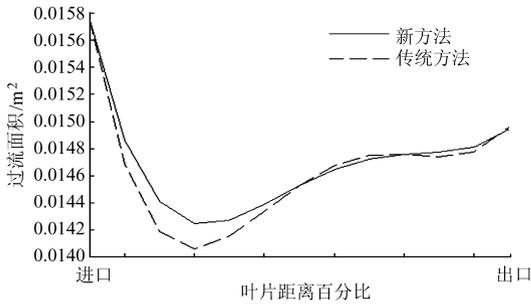


图 4 泵轮流道过流断面面积变化对比

Fig. 4 Comparison of flow section areas of pump passage

2.2 涡轮叶片设计

图 5 为新、旧方法设计出的涡轮叶形对比图。如图所示,传统设计方法叶片的中后部及出口附近叶片曲率变化大,叶片狭长,制造困难且精度不易保证。新设计方法明显消除了叶片中后部及出口附近的叶片大曲率的状况,在叶片角度不变情况下,叶片较短,叶形更为合理,便于制造。图 6 为新、旧方法流道过流断面面积变化对比,如图所示,新方法大大减少了涡轮叶片中部的面积突变,在整个叶片距离上过流面积变化更为平缓。

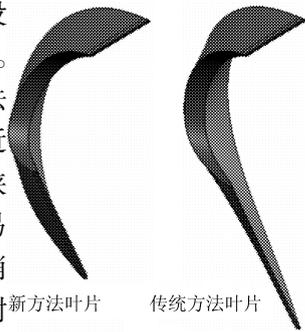


图 5 新、旧设计方法涡轮叶形对比

Fig. 5 Blades of turbine designed by new and traditional methods

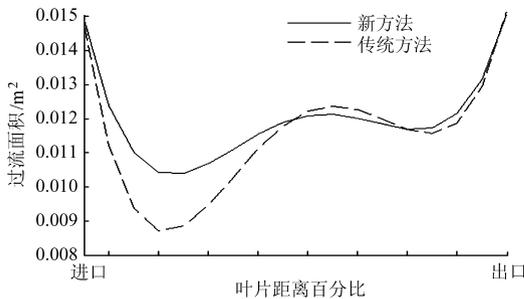


图 6 涡轮流道过流断面面积变化对比

Fig. 6 Comparison of flow section areas of turbine passage

2.3 导轮叶片设计

图 7 为新、旧方法设计出的导轮叶形对比,如图所示,新方法设计出叶片出口附近大曲率变换被消除,叶形更为合理。图 8 为新、旧设计方法设计结果过流面积对比。

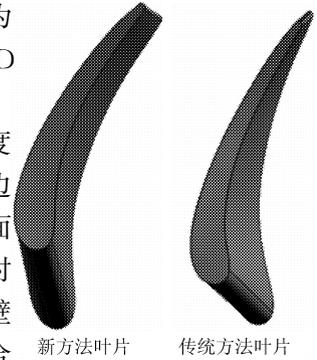


图 7 新、旧设计方法导轮叶形对比

Fig. 7 Blades of stator designed by new and traditional methods

方法的效果^[4~5]。图 9 为液力变矩器三维流场 CFD 计算流程图。

在流道入口设置速度边界条件,出口为压力边界条件,流道的叶片表面以及内、外环表面为相对边界内部网格无滑移的壁面条件。压力-速度耦合算法选用 SIMPLE 算法,湍流模型选择标准 $k-\epsilon$ 模型。对于控制方程的离散格式,扩散项采用中心差分格式,而对流项则采用二阶上游迎风格式。为了对各个叶轮流动进行耦合计算,在各个流道交接面设置混合平面。图 10 为起动工况流场计算结果。

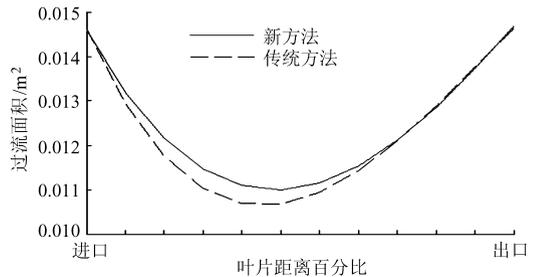


图 8 导轮流道过流断面面积变化对比

Fig. 8 Comparison of stator passage flow section areas

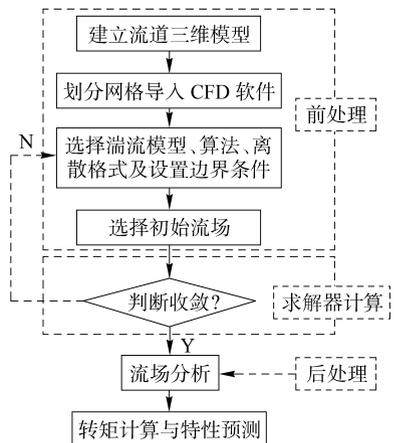


图 9 CFD 计算流程图

Fig. 9 Flow chart of numerical simulation using CFD software

3 CFD 性能预测

利用 CFD 软件,对液力变矩器三维流动进行数值模拟,在三维流动数值解的基础上计算叶轮转矩,进而预测设计变矩器性能,以进一步验证新的设计

在变矩器三维流场速度、压力数值解的基础上,对所有叶片表面单元上的转矩进行积分得到各叶轮的转矩。计算出转矩后,进一步计算出两种设计方法设计出的液力变矩器原始特性,如图 11 所示。将计算结果对比分析可得,新方法设计的变矩器起动变矩比 K_0 与泵轮转矩系数 λ_B 有较大幅度提高,

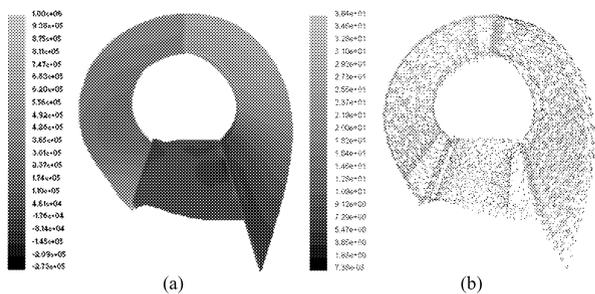


图 10 起动工况流场计算结果

Fig. 10 Numerical solution of pressure and velocity at speed ratio 0
(a) 压力分布 (b) 速度分布

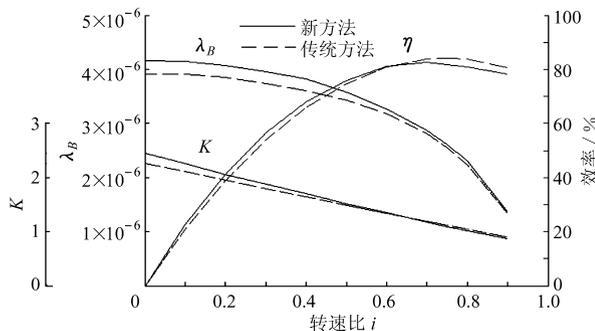


图 11 新、旧方法特性对比

Fig. 11 Comparison of the characteristics of new and traditional methods

最高效率 η^* 仅略有下降,表明新方法设计出的液力变矩器性能提高。

4 结束语

采用基于二次函数环量分配设计法设计出的叶

片,从叶片三维模型上看消除了传统设计方法的不合理之处;流道过流断面面积变化更加平缓。对比分析 CFD 软件计算的两种设计方法设计出的液力变矩器特性也表明,新设计法可有效提高变矩器性能。

参 考 文 献

- 1 马文星,罗邦杰,吴淑荣. 液力变矩器叶片设计和特性计算的通用程序及其应用[J]. 汽车技术,1989(12):1~4.
Ma Wenxing, Luo Bangjie, Wu Shurong. A general program for design and characteristic calculations of hydraulic converter blade and its application[J]. Automobile Technology, 1989(12):1~4. (in Chinese)
- 2 褚亚旭,马文星,刘春宝,等. 基于 W305 液力变矩器的系列化设计[J]. 汽车技术,2006(1):14~16.
Chu Yaxu, Ma Wenxing, Liu Chunbao, et al. Seriation design of W305 torque converter [J]. Automobile Technology, 2006(1):14~16. (in Chinese)
- 3 Shieh T, Perng C, Chu D, et al. Torque converter analytical program for blade design process[C]. SAE Paper 2000-01-1145, 2000.
- 4 Seunghan Yang, Sehyun Shin, Incheol Bae, et al. A computer-integrated design strategy for torque converters using virtual modeling and computational flow analysis[C]. SAE Paper 1999-01-1046, 1999.
- 5 才委,马文星,褚亚旭,等. 液力变矩器导轮流场数值模拟与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(8):11~14.
Cai Wei, Ma Wenxing, Chu Yaxu, et al. Numerical simulation and experimental research on flow field in the stator of a torque converter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):11~14. (in Chinese)

(上接第 69 页)

- 4 马希金,王洪亮,赵学. 轴流式油气混输泵压缩级流场 CFD 模拟分析[J]. 农业机械学报,2006,37(2):41~43.
Ma Xijin, Wang Hongliang, Zhao Xue. CFD numerical simulation of flow in the stage of axial gas-oil multiphase pump[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(2): 41~43. (in Chinese)
- 5 Gao H, Lin W L, Ye F M. CFD investigation of global performance and three dimensional flows in a water-jet axial flow pump[C]//Proceedings of 2005 ASME FEDSM, 2005:1 140~1 148.
- 6 Tang F P, Wang G Q. Influence of outlet guide vanes upon performances of water-jet axial-flow pump[J]. Journal of Ship Mechanics, 2006, 10(6):19~26.
- 7 Myers K J, Ward R W, Bakker A. A digital particle image velocimetry investigation of flow field instabilities of axial-flow impellers[J]. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 1997, 119(3):623~632.
- 8 Melling A. Tracer particles and seeding for particle image velocimetry[J]. Meas. Sci. Technol., 1997, 8(12):1 406~1 416.