DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.06.006

基于 CFD 的调速型液力偶合器设计方法*

何延东1 马文星2 邓洪超2 刘 刚3

(1. 辽宁石油化工大学机械工程学院,抚顺 113001; 2. 吉林大学机械科学与工程学院,长春 130025;3. 辽宁省农业机械化研究所,沈阳 110161)

【摘要】 提出基于 UG 和 CFD 的调速型液力偶合器参数化设计和优化设计方法。建立了调速型液力偶合器 参数化模型和优化设计流程。基于流场数值解与实验结果的原始特性曲线吻合较好,故 CFD 可用于复杂的液力偶 合器气液两相流动计算。针对 3 个不同的参数方案,对制动工况、牵引工况和额定工况进行流场数值计算及原始 特性预测,并与基型偶合器对比,得到方案 2 的流动分布较合理,压力差与速度差较小,泵轮转矩系数较大,为基型 偶合器的合理优化方案。

关键词:调速型液力偶合器 计算流体动力学 参数化设计 优化 中图分类号:TH137.331 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2010)06-0031-06

Design Method of Variable Speed Hydrodynamic Coupling Based on CFD

He Yandong¹ Ma Wenxing² Deng Hongchao² Liu Gang³

(1. School of Mechanical Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China

2. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

3. Liaoning Provincial Institute of Agricultural Mechanization, Shenyang 110161, China)

Abstract

The parametric design and optimum design method of variable speed hydrodynamic coupling based on UG and CFD was proposed. The parametric model and optimum design flow of variable speed hydrodynamic coupling were established. The original characteristic curve based on flow-field numerical solution matched with the experiment result well, so CFD could be used for the complex gas-liquid twophase flow of hydrodynamic coupling. Numerical simulation and performance prediction were conducted respectively to three different parametric schemes under brake condition, traction condition and rated condition, and compared with the base-type coupling. The second scheme had a more reasonable flow distribution, its pressure and velocity difference was smaller, pump torque coefficient was larger, and was the reasonable optimization scheme of base-type coupling.

Key words Variable speed hydrodynamic coupling, Computational fluid dynamics, Parametric design, Optimum

引言

传统的液力偶合器设计方法是在初步选型的基础上,凭借经验确定过程参量,通过计算,最终确定 液力偶合器的基本参数,其设计结果是否合理还有 待实验检验。随着流体力学、数值计算技术和计算 机软硬件技术的高速发展,计算流体动力学(CFD) 方法得到了迅速发展^[1-5]。数值计算不需要耗费人 力物力制作模型进行流体动力学实验,通用性强,程 序标准化,运算时易于改变输入变量,可求得多种情 况下的结果,计算精度较高。

三维设计建立在 CFD 计算基础之上,主要包括

* 国家"863"高技术研究发展计划资助项目(2007AA05Z256)

收稿日期: 2009-06-15 修回日期: 2009-10-22

作者简介:何延东,讲师,博士,主要从事液力传动与自动变速研究,E-mail: heyandong@gmail.com

模型建立、CFD 分析和流场分析。偶合器的现代设 计方法必须将计算机技术和 CFD 方法相结合,计算 机技术可以解决偶合器复杂的内部流场的计算问 题,CFD 方法可以进一步了解和掌握偶合器内部流 动的客观规律,以便进行偶合器的优化设计。

基于 CFD 方法的设计,需要在知道前期一些基 本参数的基础上,建立三维虚拟模型,通过仿真计算 得到能够评价好坏的结果,其主要优势在于可以通 过修改部分模型的参数,重新计算来获得一个较优 的结果,而无需像传统设计那样耗费较长时间生产 样机来进行实验,再将实验结果反馈回设计中进行 修改。

1 液力偶合器参数化设计

参数化设计是 CAD 技术应用领域内的关键技 术之一,是通过修改尺寸来实现修改图纸的设计方 法。在参数化设计过程中,由 CAD 系统自动完成整 个图形约束集的分析和求解。参数化设计的驱动机 制为参数,通过修改参数可以对图形和几何数据进 行修改并且满足产品的约束条件^[6]。参数化设计 不仅可以使 CAD 系统具有交互式绘图功能,而且具 有自动绘图的功能,从而大大提高设计速度,并减少 信息的存储量。参数化设计方法有利于提高设计速 度,降低设计成本。

本文利用 UG 的二次开发实现三维模型参数化 设计。二次开发的过程主要包括:建立交互界面 UserInterface、利用汇编软件建立程序框架、编写数 据资源程序、执行 GRIP 语言的几何建模等。

本系统三维参数化设计的要求是给定偶合器的 5 个参数:有效直径 D、腔型半径 ρ 、叶片缩进距离 S、 叶片数量 m、泵轮与涡轮间隙 Δ 。图 1 为偶合器参 数化设计界面,图 2 为运行结果。

ø 🛞	(A68	, saken	(
40	$\bigcirc +$		
	12111		
	and the second se	100 0000	1
	471212	450,0000	
	半 径	58,0000	
	0C.ww	0.0000	
	e a	3,0000	
	叶片数量	48	1
	annw.	4 5000	
	101634	4,0000	
		na.ctz Book	1
		URIE AKAR	
	3		ø

图 1 设计界面 Fig. 1 Design interface



(a) 泵轮 (b) 涡轮

2 调速型液力偶合器优化设计

叶轮机械的现代设计方法与传统设计方法有很 大不同,传统的设计和模型实验均采用多方案比较 和优选,工作量大,开发周期长,且性能预测精度不 高。现代叶轮机械设计的数值计算很大程度上取代 了模型试验。计算机技术和 CFD 技术的发展, 三维 粘性流动计算技术的逐步成熟,可以较为准确地求 解叶轮机械内部三维粘性流场。通过对计算结果进 行分析处理可以得到叶轮机械的能量指标和内部各 部分的压力、速度以及流线分布,找出模型或初次设 计中能量损失发生的部位及发生的原因[7],对叶轮 机械进行优化。因此对叶轮机械的现代优化设计在 多数情况下不重新设计新的机械,而是对已有的叶 轮机械进行 CFD 分析;建立叶轮机械性能指标的目 标函数,根据 CFD 计算结果分析性能:通过对 CFD 计算进行后处理可以比较准确地预测内部流场中的 漩涡、脱流、分离等流动现象,采用 CAD 技术对叶轮 机械翼型进行修改^[8];要求各过流部件的压力分布 均匀、速度合理、流线通畅、无漩涡、较小的二次流, 并且能够较好地实现叶轮机械能量转换的流程;定 量分析效率、泵轮转矩系数,如能达到预期的要求, 则完成叶轮机械的优化设计。

基于 CFD 方法进行调速型液力偶合器优化设 计的基本思想是,根据 CFD 分析的结果,调整偶合 器的几何参数,使偶合器流道内的流态接近理想流 态,即:流道内压力、速度分布均匀;尽量少的二次流 与回流,因为二次流与回流意味着能量损失。在流 场分析结果中,压力分布反映了叶片上的载荷分配, 漩涡的大小和位置反映了叶片设计的合理性。通过 调整偶合器的几何参数,进而得到性能优异的偶合 器。采用 CFD 方法进行优化设计,能够较为准确地 在图纸设计阶段预测叶轮机械的性能以及内部流动 产生的漩涡、二次流、边界层分离、尾流、叶片振动等 不良现象,力求将可能发生故障的隐患消除在图纸 设计阶段。液力偶合器的优化过程如图3 所示。



Fig. 3 Optimization flow chart

以 YOCQ_z450 调速型液力偶合器作为基型,泵 轮与涡轮叶片均为平面径向直叶片,叶轮工作腔为 扁圆形,泵轮与涡轮叶片数分别为 48、46。拟基于 CFD 方法对基型 YOCQ_z450 调速型液力偶合器采用 3 种优化设计方案。

方案1:泵轮与涡轮叶片数量分别为46、44,工 作腔腔型为扁圆形,泵轮与涡轮间隙为4.5 mm。

方案 2:泵轮与涡轮叶片数量分别为 50、48,工 作腔腔型为扁圆形,泵轮与涡轮间隙为 4.5 mm。

方案 3: 泵轮与涡轮叶片数量分别为 48、46, 工作腔腔型为桃形, 泵轮与涡轮间隙为 4.5 mm。

按上述方法分别进行计算,得到相应的流场及 特性计算结果,判别优化结果优良的主要标准是:流 场中的压力、速度分布均匀,二次流、回流等流动恶 化现象出现较少,压力差与速度差不能过大;泵轮转 矩系数应尽可能大。按此标准对计算结果进行对比 分析。

3 优化设计结果及分析

3.1 制动工况对比分析

为了与基型 YOCO₂450 调速型液力偶合器流场 进行对比,利用 CFD 方法计算了3 种方案在输入转 速为1700 r/min、充液率为80%下制动工况、牵引 工况与额定工况的内流场,并基于流场数值解预测 了泵轮与涡轮在各个工况下的转矩值。图4与图5 分别为制动工况(传动比 i=0)下3种优化方案与 基型偶合器的压力与速度矢量分布图。由图中可以 发现,与基型相同,制动工况下3种方案的压力与速 度最大值均出现在交界面顶部,即泵轮出口与涡轮 进口处,但是最大压力与最大速度不尽相同。3种 方案不管是叶片数变化还是循环圆形状变化都使得 偶合器过流断面发生变化,进而引起压力速度的相 应变化。对比分析可知,3种方案都改进了基型叶 片吸力面一侧压力的不合理分布,低压区减少,方 案2中压力分布最为均匀。3种方案的速度分布大 体相近,但是最高速度都高于基型,方案2中最高速 度值最大。

由于制动工况下中间轴面流场易出现大量不规则流动,故对3种方案的中间轴面在制动工况下的 流场进行分析。图6与图7分别为3种方案与基型 偶合器中间轴面的压力与速度分布对比。

由对比可知,方案1的压力分布与基型 YOCQ_z450调速型液力偶合器压力分布接近,均在 泵轮下部与涡轮上部出现低压区(区域A、B、C、D), 而方案2与方案3在该处的低压区已基本消除,相 反,二者在泵轮出口与涡轮入口产生局部高压区



图 4 制动工况压力分布对比 Fig. 4 Comparison of pressure distribution on brake condition (a) YOCQz450 (b) 方案 1 (c) 方案 2 (d) 方案 3 (区域 E、F);3 种方案的速度分布与基型偶合器相同,均出现大面积的低压区与局部的二次流,这是由于制动工况下涡轮静止不动,受来自泵轮的不规则 高速流体的冲击影响较大所致。

3.2 牵引工况对比分析

34

图 8 与图 9 为牵引工况(*i*=0.5)下的压力与速 度矢量分布图。

与制动工况相比,牵引工况下的压力分布有了 较显著的变化,方案1、方案3 与 YOCQ_z450 基型偶 合器的泵轮出口与涡轮进口处的高压区消失,而方 案2则在该处出现了明显的高压区(区域G),但总 体压力较其它方案小,且压差较小。由于牵引工况 涡轮以一定的转速旋转使得泵轮和涡轮之间的转速 差减小,涡轮内部流体产生的离心力增大,并且泵轮转速较高,故几种方案均没有出现二次流、回流等不规则流动现象。

3.3 额定工况对比分析

图 10 与图 11 为额定工况(*i* = 0.97)下的压力 与速度分布图。

对比可以发现,额定工况下3种方案与基型偶 合器的压力分布相同,均沿径向成比例分布,压力值 相差较大,YOCQ_z450 基型偶合器的最大压力值高 于其它方案,方案2的最大压力值相对较低;几种方 案的速度分布有较大差别,在泵轮出口与涡轮入口 处,方案3相比其它方案的高速区要少(区域 H), 但最大速度值较大。



(a) YOCQ_Z450 (b) 方案1 (c) 方案2 (d) 方案3





3.4 原始特性对比分析

图 12 为基于流场数值解与实验结果的原始特性曲线。由对比可知,二者吻合较好,对于复杂的液力偶合器气液两相流动而言,数值模拟计算的结果 是较为准确、可靠的。本文取充液率为 80% 时,对 3 种方案与基型 YOCQ_z450 调速型液力偶合器进行 数值计算,计算得到的原始特性曲线如图 13 所示。

由图 13 可以发现,4 条曲线的变化趋势相同,

3 种方案不同程度上都提高了基型偶合器的性能, 其中方案 2 的泵轮转矩系数 λ_B 在整个计算工况内 都高于其它方案。

从以上流场分析与数值计算结果综合来看,方 案 2 的流动分布比较合理,压力差与速度差较小,泵 轮转矩系数较大,故根据 CFD 计算结果,方案 2 为 基型 YOCQ_z450 调速型液力偶合器的合理优化方 案,其泵轮、涡轮叶片数分别为 50、48,工作腔腔型



4 结束语

提出了基于 UG 和 CFD 的液力偶合器现代设

计方法。开发了调速型液力偶合器参数化设计软件。 根据提出的3种方案基于 CFD 方法对基型液力偶 合器进行优化设计,根据流场计算结果得到方案2 为较优结果。

参考 文 献

1 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)

- 2 Bai L, Fieblg M, Mitra N K. Numerical analysis of turbulent flow in fluid couplings [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 1997, 119(3):569 ~ 576.
- 3 Mckinnon C N, Danamichele Brennen, Brennen C E. Hydraulic analysis of a reversible fluid coupling[J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2001, 123(2):249 ~ 255.
- 4 Huitenga H, Mitra N K. Improving startup behavior of fluid couplings through modification of runner geometry: part I fluid flow analysis and proposed improvement[J]. ASME Journal of Fluids Engineering,2000,122(4):683 ~688.
- 5 Huitenga H, Mitra N K. Improving startup behavior of fluid couplings through modification of runner geometry: part II modification of runner geometry and its effects on the operation characteristics [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2000, 122(4):689~693.
- 6 吴占阳,侯忠滨. UG 二次开发技术研究[J]. 现代机械,2005(5):48~50.
 Wu Zhanyang, Hou Zhongbin. Study of the quadratic exploitation technology based on UG[J]. Modern Machinery,2005(5): 48~50. (in Chinese)
- 7 艾志久,马海峰,贺会群,等. 基于 CFD 平台的旋流器优化设计系统开发[J]. 石油矿场机械,2007,36(5):40~43. Ai Zhijiu, Ma Haifeng, He Huiqun, et al. Development of hydrocyclone's optimize-design system based on CFD[J]. Oil Field Equipment,2007,36(5):40~43. (in Chinese)
- 8 万天虎,赵道利,梁武科,等. 基于 CAD/CFD 分析系统的流体机械翼型优化[J].流体机械,2005,33(11):37~39. Wan Tianhu, Zhao Daoli, Liang Wuke, et al. Aerofoil optimization of fluid machinery based on CAD/CFD system[J]. Fluid Machinery,2005,33(11):37~39. (in Chinese)