

混合动力汽车动力总成试验台测控系统*

周健豪¹ 袁银男^{1,2} 陈笃红¹ 邵 斌³ 王存磊³

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013; 2. 南通大学机械工程学院, 南通 226019;
3. 上海华普汽车有限公司, 上海 201501)

【摘要】 设计了汽车动力总成试验台架:采用2台负载电动机安装在差速器两端模拟行驶阻力,1台驱动电动机模拟内燃机驱动动力传动系。应用LabVIEW软件开发台架测控软件,对动力传动系主控制器CAN信息和基于MODBUS和USS协议的台架电气传动系统串口信号进行实时同步采集与监控。系统集多种通讯协议于统一平台,具有良好的可移植性和可扩展性。将试验台架应用于ISG型混合动力总成系统可靠性试验和电磁耦合动力合成箱关键部件性能测试以及工况模拟试验,可为其控制策略制定、参数优化提供有价值的参考。

关键词: 混合动力汽车 动力总成 试验台 测控系统

中图分类号: U469.79; U467.5⁺24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)07-0036-05

Measurement and Control System for Vehicular Powertrain
Testbench in HEV Applications

Zhou Jianhao¹ Yuan Yinnan^{1,2} Chen Duhong¹ Shao Bin³ Wang Cunlei³

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China
2. School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China
3. Shanghai Maple Automobile Company, Shanghai 201501, China)

Abstract

Vehicular powertrain testbench was designed by utilizing two load motors installed at both ends of the differential which simulated the driving resistance, and one drive motor which drove the powertrain system instead of I. C. engine. A LabVIEW based measurement and control system for the testbench were developed. CAN signals of powertrain's master controllers, serial signals of electric driven system based on USS and MODBUS protocol were sampled and monitored at real-time and synchronously. The system integrated various communication protocols in one platform and had a good portability and scalability. This testbench was used in applications of reliability test for hybrid powertrain system with ISG (integrated starter/generator). The basic performances of key components of electromagnetic coupling power synthesis box, and the dynamic performance on simulated working condition were also tested so as to provide a valuable reference for control strategy formulation and parameter optimization.

Key words Hybrid electric vehicle, Powertrain, Testbench, Measurement and control system

引言

对于不同方案的混合动力汽车动力传动系,无论是ISG型混合动力总成系统^[1]还是基于电磁耦合技术的双电动机无级变速型传动系统^[2~3],关键零

部件之间的优化匹配、协调,稳态及瞬态工况调节,系统传动效率优化,内燃机最佳经济环保区域优化标定,可靠性等试验都必不可少,而这些研究都必须通过台架试验来验证。目前,国外AVL、FEV、GIF等公司已相继开发出汽车动力总成测试台架,但鲜有报道^[4~6]。

收稿日期: 2010-06-28 修回日期: 2010-08-09
* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA11A128,2008AA11125)
作者简介: 周健豪,硕士生,主要从事混合动力总成电控系统研究,E-mail: zhou_jianhao@163.com
通讯作者: 袁银男,教授,博士生导师,主要从事新能源汽车电控系统研究,E-mail: yuanyan@ujs.edu.cn

LabVIEW 软件对各种仪器、试验设备广泛兼容,模块化的思想使其具备良好的二次开发能力^[6]。本文采用 LabVIEW 8.5 软件,开发将多种通讯协议集成于统一平台的车辆动力总成试验台架测控系统。

1 动力总成试验台架设计

1.1 电气传动设备方案

为模拟内燃机,在传动系的动力输入端接入交流变频驱动电动机;为模拟汽车行驶阻力,在变速器两端连接直流负载电动机,台架系统框图如图 1 所示。同时,为了能够在台架试验中反映动力系统的动态性能,在变速器与负载电动机之间各增加了一

个机械惯性飞轮来模拟整车质量,同时设计了飞轮制动器以满足试验的要求。加入惯量飞轮,其作用表现在:①维持台架系统转速的相对稳定性。②避免复杂的加速阻力矩的计算,从而提高整个系统的控制精度和响应速度。③简化负载电动机的控制。

系统通过交流变频电动机输出功率,电动机转速由交流变频器通过改变电动机频率来控制,也可以通过计算机控制自动过程,其控制过程为先输出设定值,再根据设定值与实际测量值进行比较,通过 PID(内环)运算后调节变频器的频率来控制转速。通过两台四象限直流调速系统调节负载电动机的反馈电流实现转矩的控制,在计算机的控制下可以实现闭环控制和程序给定控制。

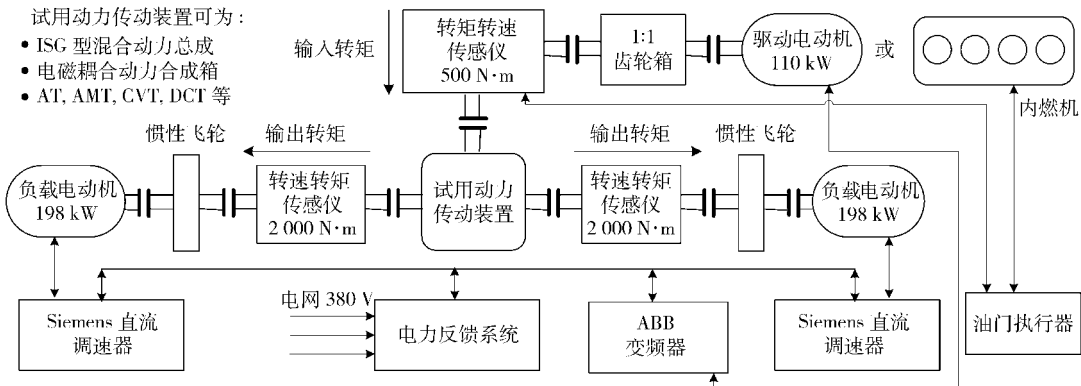


图 1 车辆动力总成系统试验台架系统框图

Fig. 1 Block diagram of vehicular powertrain system testbench

1.2 转速转矩传感仪

输入转矩的测量通过安装在电动机与被试总成系统间的转速转矩传感仪(500 N·m)来实现,可以直接读取转速、转矩的测量值。传感仪可以设置转速、转矩的报警值(上限报警)。输出转矩的测量通过安装在两侧半轴后的传感仪(2 000 N·m)来实现。输入输出端传感仪的基本原理是通过弹性轴与两组磁电信号发生器生成两组交流信号,该信号的频率与转速呈正比,相位差与转矩呈正比。

1.3 功率分析仪

稳态效率试验采用功率分析仪测试电源电压、电流以及车用逆变器(如:12 V DC/42 V AC)端的输出功率。在台架试验中应配置 NORMA 分析仪采集模拟电源的电压、电流,并通过两表法采集逆变器的输出功率。还可以通过分析仪的频率通道接口直接采集转速转矩传感仪输出的转矩、转速信号。

2 测控软件开发

2.1 控制器 CAN 网络监控系统

以 ISG 型混合动力轿车为例,目前基于 SAE J1939 协议共定义了 5 帧数据^[7],分别来自整车控

制器 HCU 与发动机控制器 ECU。ISG 电动机控制器 MCU 不接收 MMSA 和 MMSB 两帧数据,但为了监控需要,将其数据发送到 CAN 总线上。如表 1 所示,MMSC 将指令发送给 MCU,主要包括转速/转矩指令、电动机工作模式选择、命令、传统模式/混合动力模式切换等参数。MMSA 和 MMSB 为发动机开关信号,主要包括发动机转速、发动机估算转矩、节气门位置、发动机进气压力、冷却水温度。MCU 发送 ISGCA 和 ISGCB 两帧数据到 CAN 总线,这两帧数据所包含的 ISG 电动机参数主要有母线电流、母线电压、电动机温度和 MCU 温度。利用 LabVIEW 8.5 软件可以通过编程实现与 CAN 接收卡的通讯,

表 1 混合动力轿车控制器 CAN 报文设计

Tab.1 Design of CAN message for HEV controller

CAN 报文	ID	发送节点	接收节点
MMSA	0C142700	MMS	ISGC
MMSB	0C152700	MMS	ISGC
MMSC	08FF0427	MMS	ISGC
ISGCA	0C2927A4	ISGC	MMS
ISGCB	0C2927A4	ISGC	MMS

将所有信息解析后显示到上位机界面上^[8]。

2.2 电气传动设备监控系统

2.2.1 变频器监控

交流变频器与上位机采用串口通讯,应用层数据交互采用 MODBUS 总线协议中的 RTU 传输模式。上位机发送控制字与给定值至变频器控制器,变频器控制器则实时返回状态字与相应的实际值至上位机。部分寄存器地址及内容如表 2 所示。台架中变频器的地址已经设置为 1,MODBUS 数据地址以零为基准,保持寄存器的第一个数据地址编号为:40001 对应地址 0。每个发送字节均需通过 CRC 算法校验。MODBUS 报文帧结构如表 3 所示。

表 2 部分寄存器地址及内容

Tab.2 Part of the registers' addresses and contents			
控制器至电气传动单元		电气传动单元至控制器	
保持寄存器	内容	保持寄存器	内容
40001	控制字	40004	状态字
40002	给定 1:转速	40005	实际值 1:转速
40003	给定 2:转矩	40006	实际值 2:转矩
40007	给定 3	40010	实际值 3:错误字 1
40008	给定 4	40011	实际值 4:错误字 2
40009	给定 5	40012	实际值 5:报警字

表 3 MODBUS 报文帧结构

Tab.3 Message frame format of MODBUS protocol			
ADR	FUC	DATA	CRC
1 字节	1 字节	252 字节	2 字节

利用 LabVIEW 程序开发底层软件,通过调用 MODBUS 底层驱动函数(即动态链接库函数,DLL 文件),初始化 MODBUS,对 MODBUS 报文数据包进

行解析。利用此模块可以实现上位机对驱动电动机的恒转速控制。具体的指令通讯过程有:①初始化串口。②读取当前变频器状态(即状态字)。③设置启动方式(转速或转矩启动)。④设定值(由程序界面发送)。⑤退出(对应于启动方式)。

2.2.2 调速器监控

直流调速器将三相 380 V 交流电源调制成直流供给负载电动机的直流电枢回路,同时将分解得到的单相 380 V 交流电源整流为负载电动机励磁。

直流调速器与上位机采用串口通讯,应用层数据交互采用 USS 通讯协议^[9],其报文帧结构如表 4 所示。其中,起始字节(STX)默认为 02,默认调速器地址(ADR)为 03,BCC 校验为全字节异或校验。具体的指令通讯过程有:①授权修改(修改为“允许参数修改”)。②选择控制方式(远程或本地控制)。③控制回路选择(转速或转矩)。④设定转动方向。⑤设定值(由程序界面发送)。⑥退出(控制字清零,控制方式改为本地,并解除参数修改授权)。

表 4 USS 报文帧结构

Tab.4 Message frame format of USS protocol				
STX	LGE	ADR	DATA	BCC
1 字节	1 字节	1 字节	N 字节	1 字节

2.3 通讯集成

最后,需要将 CAN、USS、MODBUS 的底层通讯软件与上位机测控软件进行集成,后台程序的主流程框图如图 2 所示。

3 台架控制

3.1 行驶阻力模拟控制

台架试验时,通过转速传感器、角加速度传感器

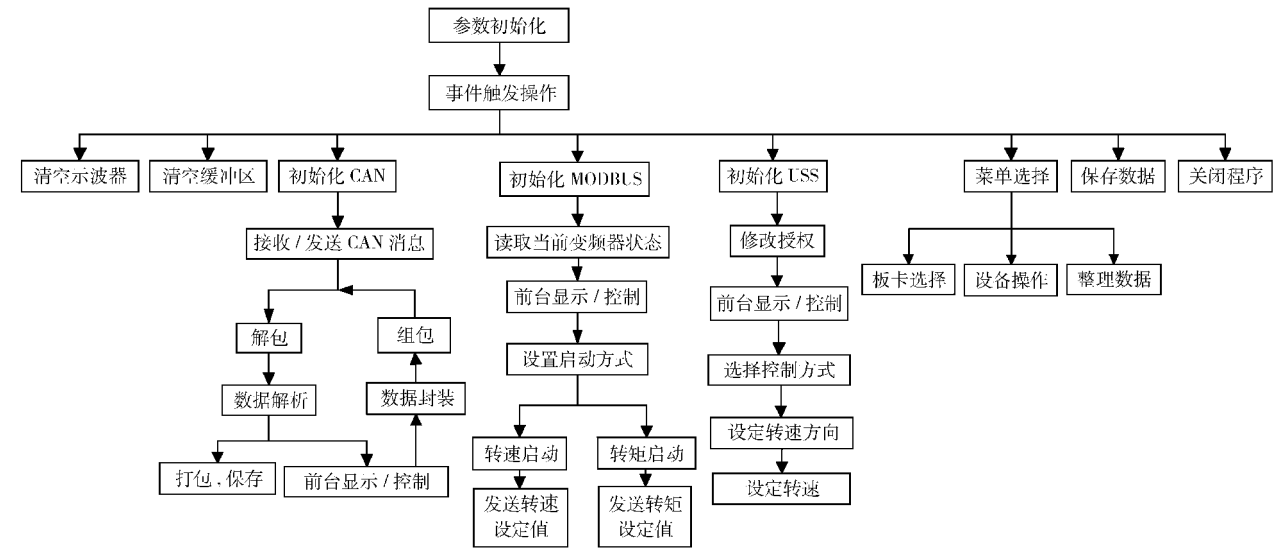


图 2 测控系统后台程序主流程框图

Fig.2 Main flowchart of back panel of measurement and control system

实时监测负载电动机运行的状况,然后根据电动机转速、角加速度以及软件设定的行驶道路坡度、汽车各参数等计算出汽车行驶过程中所受到的各种行驶阻力^[9]。各种阻力及其功率,再由 LabVIEW 编写行驶阻力加载控件,根据计算出来的理论行驶阻力和已经由负载电动机模拟的行驶阻力之间的差值,采用 PID(外环)控制方式调节测功机的励磁电流,从而控制电动机的负载转矩,使理论上的行驶阻力(或功率)和台架试验所模拟的行驶阻力(或功率)趋于一致,起到实时模拟行驶阻力的作用。

3.2 试验过程管理

试验过程管理系统将协调所有模块执行自动试验过程。如通过驾驶功能系统和 HCU 控制混合动力整车动力系统,双负载电动机系统可以模拟不同驾驶习惯的整车起步、加速、匀速、减速、滑行和制动等行驶状态。应用 LabVIEW 软件定义试验内容,包含由用户定义的用于给定驾驶循环进行模拟的死循环试验^[10]和用户定义的对整车驾驶模拟系统进行控制模拟的开环试验。

4 试验应用

4.1 ISG 型混合动力总成

ISG 型动力总成采用超级电容作为储能装置,集成 ISG(启动/发电一体化电机)、超级电容、双离合器、自动变速箱等部件。试验台架布置如图 3 所示,将盘式一体化 ISG 电动机转子与发动机曲轴输出端直接联接,定子则固定在发动机机体上,差速器两端安装负载电动机,采用工况点恒转矩控制。根据台架试验获得“转速-节气门开度 MAP”,按照工况车速需求,计算出发动机转速,然后控制电子节气门开度以控制发动机转速,并采集模拟的车速,与理论车速作比较进行闭环控制。图 4 为试验台架模拟的 EUDC 道路工况各参数的测量值。从测得的模拟车速来看,与理论工况车速的误差基本在所允许的

偏差 $\pm 3.2\text{ km/h}$ 以内。

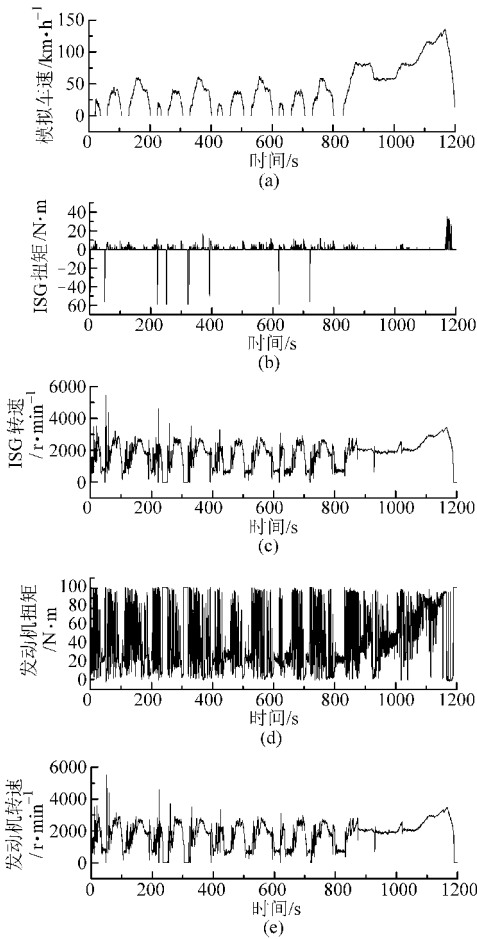


图 4 模拟 EUDC 道路循环工况试验

Fig.4 Simulated EUDC driving cycle experiment

4.2 电磁耦合动力合成箱

电磁耦合动力合成箱通过充电泵升单元、转矩伺服装置以及整车闭环控制逻辑的相互协调工作,调节发电机和电动机的转矩,实现无级变速的功能,并在功率平衡区使发动机始终运行在最佳经济区上,以达到节能减排的目的,测控系统结构如图 5 所示,驱动电动机模拟了内燃机,采用恒转速控制。

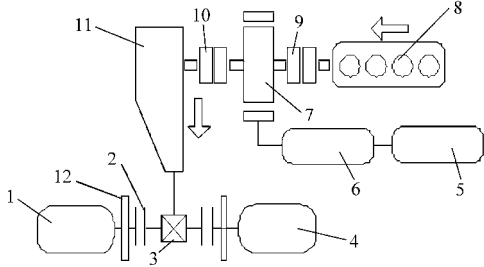


图 3 ISG 型动力总成台架测控系统框图

Fig.3 Block diagram of measurement and control system for powertrain with ISG

1. 负载电动机 2. 转矩传感器 3. 减速器和差速器 4. 负载电动机 5. 超级电容 6. ISG 控制器 7. ISG 8. 发动机 9. 电控离合器 10. 离合器 11. 自动变速箱 12. 惯性飞轮

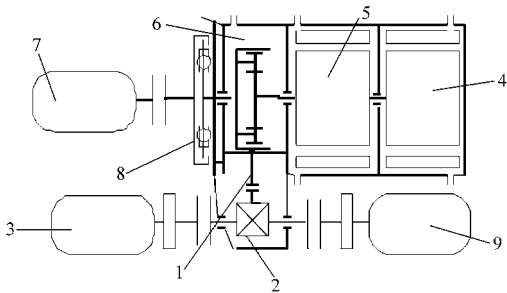


图 5 动力合成箱测控系统框图

Fig.5 Block diagram of measurement and control system for power synthesis box

1. 主减速器 2. 差速器 3、9. 负载电动机 4. 电动机 5. 发电机 6. 行星齿轮机构 7. 驱动电动机 8. 阻尼减振器

首轮主要进行的电动机试验包括:①稳态试验。评价车用逆变器的稳态效率以及整个电动机系统的综合效率,绘制逆变器、电动机的转速、转矩以及效率的 MAP。试验获得的电动机外特性曲线如图 6 所示,发电机的转矩响应曲线如图 7 所示。②动态试验。包括工况道路循环试验与动力性能试验,结合整车运行的工况以及整车控制策略,直流电动机模拟为动态负载。图 8 和图 9 分别为 UDDS 循环工况下,电动机和发电机的转矩输出曲线。由图可知,电动机转矩范围宽,大的负转矩为再生制动时发出。

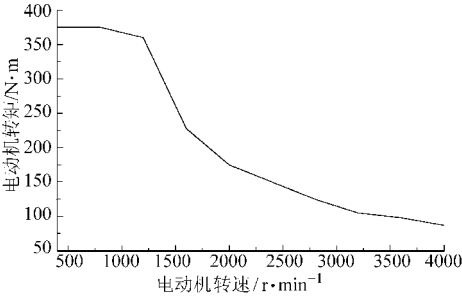


图 6 电动机外特性曲线

Fig. 6 Curve of outer characteristics of the motor

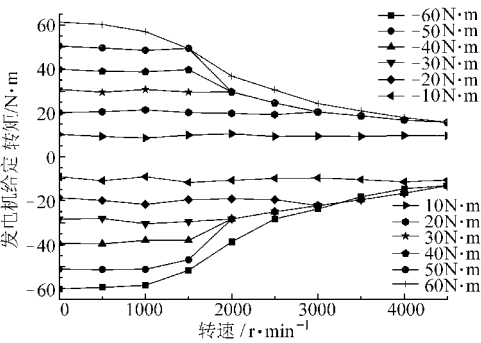


图 7 发电机转矩响应曲线

Fig. 7 Curves of generator torque response

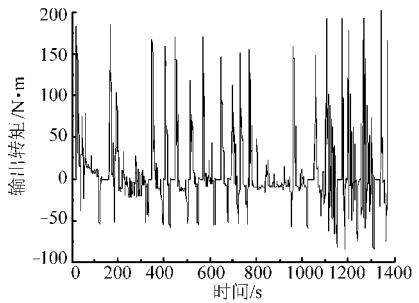


图 8 电动机转矩输出曲线

Fig. 8 Curves of output torque of electric motor

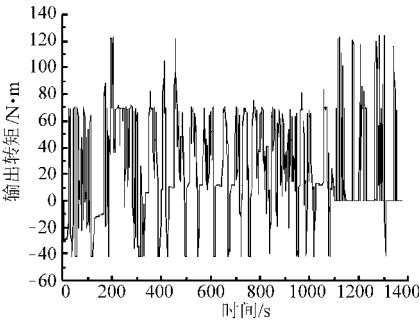


图 9 驱动电动机转矩输出曲线

Fig. 9 Curves of output torque of driving motor

5 结 论

(1)将多方通讯协议集成于统一平台,不仅实现了对混合动力总成系统各控制器信号的实时同步采集,而且实现了对台架电气传动系统的同步监控;利用 LabVIEW 开发的测控系统界面友好,操作、修改方便,易于扩展和移植。

(2)测试系统应用于 ISG 型混合动力总成以及电磁耦合动力合成箱的关键部件基本性能测试以及动态工况模拟试验,可为其控制策略制定、参数优化提供有价值的参考。

参 考 文 献

1 张彤,袁银南,朱磊,等. 基于超级电容的并联混合动力轿车的开发[J]. 内燃机工程,2008,29(1):1~5.
Zhang Tong, Yuan Yinnan, Zhu Lei, et al. Development of parallel hybrid electric vehicle with ultra capacitor [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2008, 29 (1):1~5. (in Chinese)

2 王锋,冒晓建,卓斌,等. 电磁耦合混合动力公交车运行点协调控制[J]. 中国公路学报,2009,22(1):109~115.
Wang Feng, Mao Xiaojian, Zhuo Bin, et al. Operating point coordinated control of electromagnetic coupling hybrid electric bus [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(1):109~115. (in Chinese)

3 李练兵,陈鹏,史广奎,等. 混合动力汽车用双转子电动机的建模与仿真[J]. 电动机与控制学报,2008,12(4):403~408.
Li Lianbin, Chen Peng, Shi Guangkui, et al. Modeling and simulation of double-rotor motor applied to the system of hybrid electric vehicle [J]. Electric Machines and Control, 2008,12(4):403~408. (in Chinese)

4 Li Jun, Luo Yutao, Zhao Kegang, et al. Performance analysis of electromagnetic continuously variable transmission [J]. Journal of System Simulation: English Edition, 2008, 20 (3):771~776.

5 Ceraolo M, Capozzella P, Baronti F. CAN LabVIEW based development platform for fine-tuning hybrid vehicle management systems[C]//Vehicle Power and Propulsion, 2005 IEEE Conference, 2005:433~438.

实现壁面边界层从进口到出口的不断增厚,较非结构网格模型具有更好的边界层边界。真实情况下,由于设置短叶片后起到了分流作用,在叶轮内由于逆向压力梯度的作用,使壁面边界层从进口到出口不断增厚,在离心力和哥氏力的作用下产生分离涡。说明结构网格模拟结果与设置短叶片后真实流动情况比较接近。

4 试验对比

由图 7 可知,结构网格模拟结果与试验值较为接近,非结构网格计算值所得扬程与试验值相差较大,分析看出由于模型泵非结构划分的网格质量较差,影响了收敛精度,从而导致模拟结果的差异性。

5 结论

(1) 通过比较两种网格模拟的外特性云图及曲线,可知结构网格模拟结果达到设计要求,叶轮流道

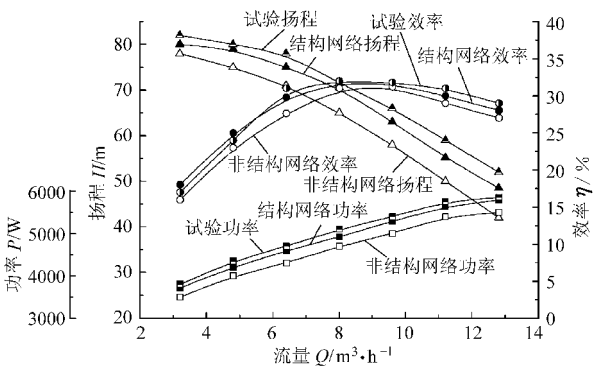


图 7 模型泵数值模拟性能曲线

Fig. 7 Performance curves of model pump

内特征更接近真实流动情况。

(2) 利用结构网格技术对三维泵模型进行整体块网格划分,与非结构网格模拟结构比较可知,在结构较复杂情况下,采用结构网格技术可以获得更高的网格质量,保证收敛精度、模拟的准确性。

参 考 文 献

1 Lin Hongwei, Tang Kai, Ajay Joneja, et al. Generating strictly non-self-overlapping structured quadrilateral grids [J]. Computer-aided Design, 2007, 39(9): 709 ~ 718.

2 Rantakokko J. Partitioning strategies for structured multiblock grids[J]. Parallel Computing, 2000, 26(12): 1 661 ~ 1 680.

3 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

4 Victor Yakhot, Orszag S A. Renormalization group analysis of turbulence. I: basic theory [J]. Journal of Scientific Computing, 1986, 1(1):3 ~ 51.

5 Miguel Asuaje, Farid Bakir, Smaïne Kouidri, et al. Numerical modelization of the flow in centrifugal pump: volute influence in velocity and pressure fields[J]. Interactional Journal of Rotating Machinery, 2005(3): 244 ~ 255.

6 Farrant T, Tan M, Price W G. Cell boundary element method applied to laminar vortex shedding from circular cylinders[J]. Computers and Fluids, 2001, 30(2):211 ~ 236.

7 Issa R I. Solution of implicitly discredited fluid flow equations by operator splitting[J]. Journal of Computational Physics, 1986, 62(1):40 ~ 65.

8 Nere N K, Patwardhan A W, Joshi J B. Prediction of flow pattern in stirred tanks: new constitutive equation for eddy viscosity [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, 40(7):1 755 ~ 1 772.

(上接第 40 页)

6 Zheng Ping, Liu Ranran, Wu Qian, et al. Magnetic coupling analysis of four-quadrant transducer used for hybrid electric vehicles [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2007, 43 (6): 2 597 ~ 2 599.

7 SAE J1939. Recommended practice for a serial control and communication vehicle network [S]. 2010-02-15.

8 张彤,朱磊,王存磊,等. 混合动力汽车集成式多能源管理监控平台[J]. 农业机械学报,2008,39(7): 42 ~ 46.

Zhang Tong, Zhu Lei, Wang Cunlei, et al. Monitoring platform of integrated multi-energy management system for PHEV [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39 (7): 42 ~ 46. (in Chinese)

9 Walter Möller-Nehring, Wolfgang Bohrer. Siemens universal serial specification interface protocol, [EB/OL] SIEMENS Edition 09.94[M].

10 Feng An, Matthew Barth, George Scora. Impacts of diverse driving cycles on electric and hybrid electric vehicle performance [C]. SAE Paper 972646, 1997.