

系统与附件

柴电混合动力系统电力推进模式下离合器柔性
接排启动轴系过程仿真研究张艺川^{1,2}, 刘佳彬^{1,2}, 周晓洁^{1,2}, 郭丰泽^{1,2}

(1. 上海齐耀科技集团有限公司, 上海 201108; 2. 七一一研究所, 上海 200090)

摘 要: 以某公务船柴电混合动力系统为研究对象, 利用 AMESim 软件建立动力系统仿真模型, 开展电力推进模式下轴系接排启动过程的仿真研究。仿真分析了采用柔性接排技术后, 轴带电机在齿轮箱离合器高速接排启动轴系过程中所受冲击的大小变化, 并和试验数据进行比较。结果表明: 柔性接排可有效降低接排过程中轴带电机所受的冲击, 保证系统可靠运行; 仿真模型动态精度大于 90%, 仿真模型有效。

关键词: 柴电混合动力系统; 电力推进; 轴带电机; 接排

中图分类号: U664.142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)03-0041-04

Simulation Study on the Process of Clutch Soft Jointing to Actuating Shafting
on Diesel-Electric Hybrid Propulsion System in PTH ModeZhang Yichuan^{1,2}, Liu Jiabin^{1,2}, Zhou Xiaojie^{1,2}, Guo Fengze^{1,2}

(1. Shanghai Qiyao Science Technology Group Co., Ltd., Shanghai 201108 ;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: Aiming at the diesel-electric hybrid power system for a public service ship, AMESim software was used to build the power system simulation model, and simulation research on the actuating process of the shafting jointing in PTH mode was carried out. It was simulated that with the use of soft jointing technology, the impact change of shaft generator during the process of gear case clutch jointing to actuating shafting at high speed. The simulation results were compared with the test results, which showed that the soft jointing technology could effectively reduce the impact suffered by shaft generator during jointing, thus ensured reliable operation of the whole system. The dynamic accuracy of this simulation model was larger than 90%, which verified the effectiveness of the simulation model.

Key words: diesel-electric hybrid power system; electric propulsion; shaft generator; jointing

0 引 言

柴电混合动力推进为由柴油机和可逆轴带电机混合推进的新型动力型式, 其主要有三种运行模式: (1) 正常航行时, 轴带电机作为发电机, 吸收柴油机功率, 称为 PTO (Power Take Off) 模式;

(2) 加速或在冰区航行时, 轴带电机作为电动机与柴油机共同推进, 称为电力助推 (Booster) 模式; (3) 柴油机故障等紧急情况时, 轴带电机作为电动机单独推进, 称为应急 (Power Take me Home, PTH) 模式。Booster 和 PTH 模式都是将轴带电机作为电动机使用, 两者又统称为 PTI (Pow-

收稿日期: 2016-08-04; 修回日期: 2016-11-14

基金项目: 国家科技支撑计划课题资助 (2014BAG04B02)。

作者简介: 张艺川(1990-), 男, 工程师, 主要研究方向为船舶动力系统集成技术, E-mail: 15801955238@126.com。

er Take In) 模式。

柴电混合动力推进船舶启动电力推进模式 (PTH) 后, 螺旋桨保持脱排并静止, 轴带电机加速至额定转速, 再通过齿轮箱离合器接排启动螺旋桨轴系。由于两者转速差较大, 直接接排会产生较大冲击, 可能引发电机保护分闸, 甚至导致电机失步、损坏。为降低电机带动螺旋桨轴系启动带来的冲击, 通过系统优化设计, 轴带电机与螺旋桨之间选取了具有二级接排功能的离合器。在电机空载启动至额定转速后, 在保证离合器摩擦片散热的前提下, 先采用低油压接排, 驱动螺旋桨缓慢启动并加速至额定转速后, 再提高油压, 满足额定运行工况大扭矩的运行需求。通过控制离合器充油速率, 有效降低接排过程的冲击扭矩。

某公务船采用柴电混合推进的新型推进型式, 配置双轴系推进, 每轴系均配置一台柴油机、一套齿轮箱、一台同步电机和可调距桨。同步电机以电动模式运行时, 将直接从电站或另一轴系的同步电机中取电, 全船无变频器。本文以该公务船动力系统为研究对象, 根据设备技术规格书所提供的参数, 建立单轴系动力系统仿真模型, 开展 PTH 模式中轴带电机和螺旋桨接排过程的仿真研究。仿真计算接排过程中离合器所受冲击大小, 并和试验数据进行比较, 验证仿真模型的准确性。

1 仿真模型的建立和校核

本文研究的动力系统主要包括柴油机、齿轮箱、轴带电机和螺旋桨等部分。模拟一机带双桨的运行模式, 即由一台柴油机推进并带动轴带电机以 PTO 模式发电, 发出的电能驱动另一轴系上的电机以 PTH 模式推进。主要研究 PTH 启动至额定转速后与螺旋桨接排的过程, 整个过程螺旋桨螺距保持为 0, 船舶静止, 在仿真模型中柴油机只作为 PTO 的动力源。

动力系统仿真模型如图 1 所示。为简化模型, 负载惯量主要考虑轴系和螺旋桨两个部分的惯量, 而齿轮箱中齿轮的惯量相对较小, 可以忽略。

该动力系统各部分主要参数如表 1~3 所示。

表 1 柴油机主要参数

型号	MAN 14V32/40
型式	四冲程, V 型、60°
气缸数	14
(缸径 × 冲程) / (mm × mm)	320 × 400
额定转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	750
最大功率/kW	7 000

表 2 轴带电机主要参数

电机型号	ZDDX-2000/400-4
相数	3
频率/Hz	50
极数	4
额定电压/V	400
同步转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	1 500
额定功率/kW	2 000 (发电) / 1 800 (电动)
额定电流/A	2 886 (发电) / 2 735 (电动)

表 3 螺旋桨部分主要参数

桨径大小/mm	3 850
额定转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	195
零螺距转动惯量 (含轴系) / ($kg \cdot m^2$)	5 740

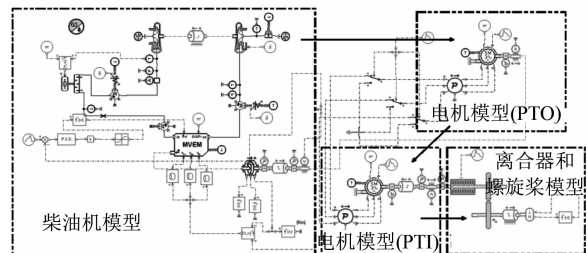


图 1 PTH 接排过程仿真模型

各部分稳态校核结果如图 2~4 所示。

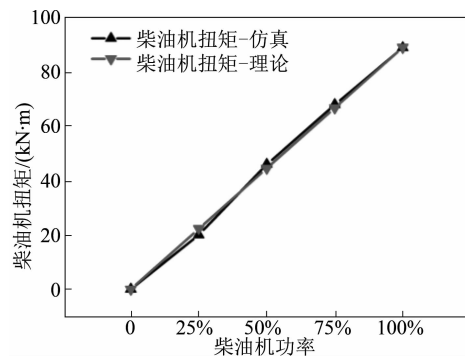


图 2 柴油机模型校核

上述校核结果表明: 仿真模型各部分稳态精度均达到 95% 以上, 满足动态特性仿真计算的精度要求。

2 接排过程仿真计算

接排过程开始时, 轴带电机以电动模式从空载启动至额定转速 ($1\,500 (r \cdot \min^{-1})$), 此时轴带电机与螺旋桨未接排, 螺旋桨在水中保持静止。离合器具有二级接排功能, 接排开始时, 离合器油压第一次上升, 油压从 0% 瞬间升高至 30% (充油过程时, 主动端将带动离合器内冷却油转动, 带动从动端低速转动, 直到摩擦片接触开始滑摩), 当油

压上升至所传递力矩足以克服螺旋桨和轴系的静摩擦力后, 螺旋桨开始转动, 并在轴带电机的带动下逐渐加速至额定转速; 当轴带电机和螺旋桨转速一致后, 离合器传递扭矩下降, 螺旋桨以额定转速敞水; 随后离合器油压第二次升高, 但此时离合器两端已接排完成, 油压上升中系统保持稳定运行。

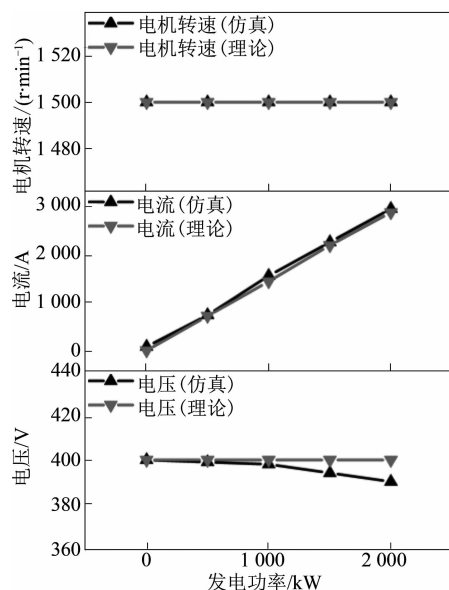


图3 PTO模型校核

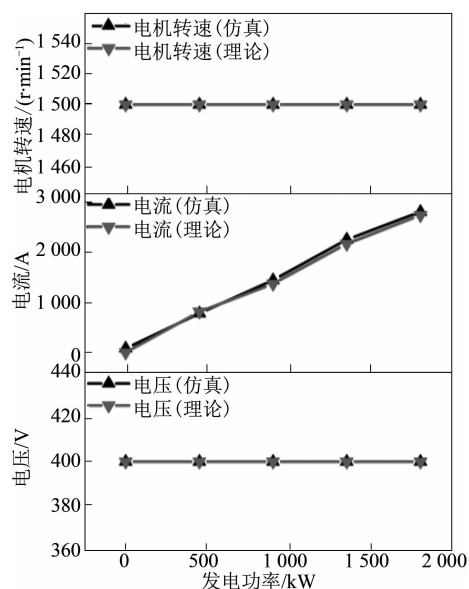


图4 PTH模型校核

PTH 接排过程参数变化仿真计算结果如图5所示。0 s 离合器油压上升后, 电机负荷突加, 转速和电压分别出现了 1% 和 10% 以内的波动; 8 s 离合器两端接排完毕, 电机负荷突卸, 系统逐渐稳定。

二级接排相对于传统的一级接排而言, 能有效降低轴带电机所承受的冲击扭矩。图6为离合器采

用一级接排轴带电机的电流计算结果, 可见: 轴带电机在接排过程中产生接近 4 000 A 的电流, 超过电机额定电流的 50%, 将对电机元部件产生较大的危害, 甚至使电机失步等。但降低接排扭矩后, 二级接排传扭不足, 螺旋桨加速慢, 接排时间变长, 离合器内部热量激剧增加, 直接影响到离合器的使用寿命。

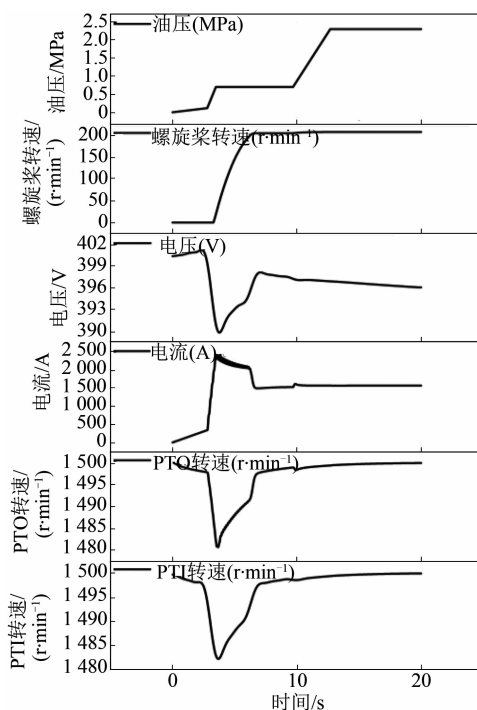


图5 接排过程仿真计算结果

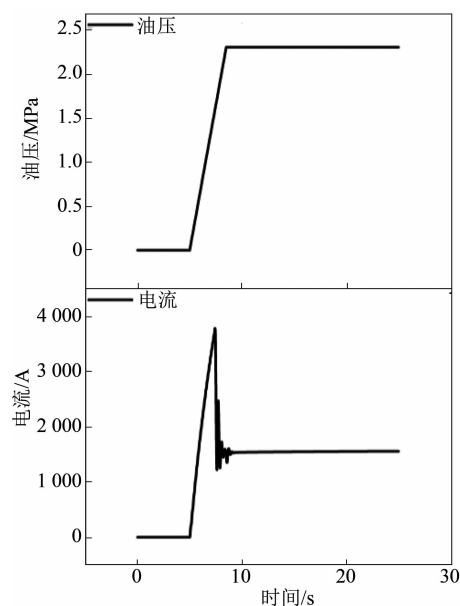


图6 直接采用一级接排的仿真计算结果

3 仿真结果与试验结果的对比分析

图7为仿真结果与试验结果的比较。表4为仿

真与试验结果中主要参数的对比,可得出以下结论。

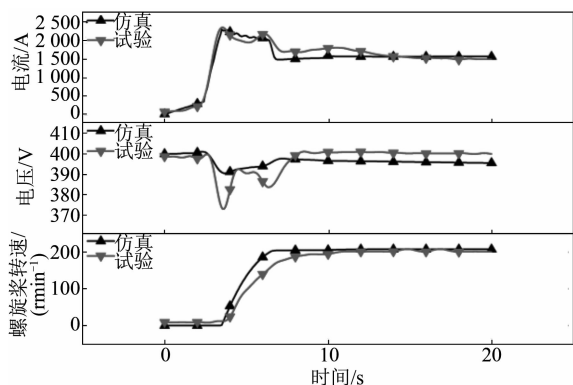


图 7 仿真结果与试验结果的比较

表 4 仿真与试验对比结果

参数	时间/s	仿真	试验	误差
电机电压低值/V	3.5	390	360	7.7%
电机电流峰值/A	3.5	2 359	2 308	2.2%
电机加速时间/s	0~6.5	6.5	6.5	0%
电机电流趋势	5.5~6.5	趋向平稳	逐渐增加	-
电机电流趋势	15~20	趋向平稳	逐渐下降	-
电机稳定电流/A	20	1 515	1 508	0.5%

(1) 在第一级接排过程中,试验结果中电流先达到峰值后下降,后轻微上扬。这是因为从离合器第一次充油完成后到第二级接排开始前,螺旋桨转速逐渐上升,相应负载也随之上升,故电机电流也随之上升。而在模型中离合器部分采用函数 $T = \tanh(x)$ 简化,使滑摩过程中,负载趋于平稳,电机电流亦随之平稳,和试验结果不完全吻合。

(2) 接排过程的电压仿真部分,当电机加载时,试验结果的电压波动比仿真结果的稍大些,说明电机 AVR (Automatic Voltage Regulator 自动电压调节器) 中所设的比例系数 P 较小,故波动较大;

而模型内设置的参数 P 较大,跟随性较好。

(3) 接排完成后,试验结果中电机电流逐渐下降,因为螺旋桨加速完毕后,在其附近范围内产生了水涡流,降低了敞水阻力,故电流下降。仿真部分并无考虑螺旋桨附近形成水涡流方面的因素。

(4) 从仿真结果与试验结果均可看出:二级接排可以有效降低接排过程中轴带电机所受的冲击,有效减小了工作电流,保证了系统的可靠运行。

(5) 根据表 4 中主要参数的对比,得出模型动态仿真精度大于 90%,验证了仿真模型的有效性。

4 结 论

本文以某公务船柴电混合动力系统为研究对象,建立动力系统仿真模型,开展电力推进模式中轴系接排启动过程的仿真研究。仿真计算采用柔性接排技术后,轴带电机在齿轮箱离合器高速接排启动轴系过程中所受冲击的情况。仿真结果表明:二级接排可以有效降低接排过程中轴带电机所受的冲击,有效减小了工作电流,保证系统的可靠运行。仿真结果和试验结果的对比显示:仿真模型动态精度大于 90%,验证了仿真模型的有效性。

参考文献

- [1] 周庆波,艾钢,赵同宾,等. 柴-电混合动力系统应急推进模式仿真研究 [J]. 船舶工程, 2011, 33 (4): 16-19.
- [2] 周晓洁,赵同宾,陈金涛,等. AMESim 仿真技术在船舶推进系统中的应用 [J]. 船舶工程, 2009, 31 (6): 28-31.
- [3] 张艺川,赵同宾,周晓洁,等. 船舶柴电混合动力系统在电力助推模式下的性能仿真研究 [J]. 柴油机, 2015, 37 (3): 29-32.