DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.03.009

基于AMESim的SSS离合器的建模与仿真

肖 民,吴启泉

(江苏科技大学 能源与动力工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘要:同步自换档(SSS)离合器的动态特性是影响舰船机动性与可靠性的重要因素。针对采用 Matlab/Simulink 建模的传统方法难以简单、细致地考虑SSS离合器内部结构作用的问题,利用高级软件 AMESim进行了建模仿真分析。通过分析离合器内部螺旋花键的接触应力和运行特性,推导并建立了更加贴近实际的数学模型,在此基础上用 AMESim 建立了仿真模型并进行了实时仿真。通过与计算、实验结果相比较,仿真结果表明,运用 AMESim 软件对 SSS离合器进行建模和仿真是可行的,且更易于考虑结构因素对 SSS离合器动态特性的影响。

关键词: SSS离合器; AMESim; 实时仿真; 动态特性 中图分类号: U463.22⁺1; TH132.2⁺2; TP391.9; TH39 文献标志码: A

文章编号:1001-4551(2013)03-0288-04

Modeling and simulation of SSS clutch based on AMESim

XIAO Min, WU Qi-quan

(Academy of Energy and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: The ship maneuverability and reliability are affected by the dynamic characteristics of the synchronization self shift (SSS) clutch. Aiming at the problem of being unable to consider the inner structure of the SSS clutch carefully and simply by Matlab/Simulink in traditional, the AMESim was used in simulation analysis. According to the analysis of internal spiral spline structure's contact stress and operating characteristics of the SSS clutch, a mathematical model was derived which is closer to the actual model. On that basis, the simulation model was established by AMESim. By comparison of calculated and experimental results, the real-time simulation results indicate that it is feasible for using AMESim software to model and simulate the SSS clutch and easier to consider the impact of structural factors on the dynamic characteristics of the SSS clutch.

Key words: synchronization self shift(SSS) clutch; AMESim; real-time simulation; dynamic characteristics

0 引 言

同步自换挡离合器简称 SSS 离合器,其啮合和脱 开完全依靠自身结构作用而无需借助外力,结构简单, 同步啮合和脱开迅速,工作可靠,因此被广泛运用于船 舶动力装置内燃机与驱动器之间的动力传输部件。随 着近几年燃气轮机在舰船上的应用,SSS 离合器也作为 其与驱动器之间的动力传输部件。本研究就是以某一 舰船上的 SSS 离合器作为研究对象的。作为船舶传动 系统的重要部件,其特性直接影响船舶推进系统的动 态响应。很多研究人员运用不同方法对 SSS 离合器的 动态特性进行了研究,魏军波、李承江等^[1]主要通过实 验手段对SSS离合器的动态特性进行研究,此类研究 方法所需的硬件成本较高;蒋得松、田颖等^[2-5]通过 Matlab/Simulink建立数学模型对其进行了实时仿真研 究,由于SSS离合器内部结构复杂,像Simulink这种底 层仿真软件很难细致考虑SSS离合器内部结构的作 用,建模过程繁琐、工作量大。

本研究通过高级仿真软件AMESim建立SSS离合 器模型并对其进行实时仿真,在建立仿真模型过程中 考虑SSS离合器的内部结构作用与螺旋花键接触力的 影响,并考虑到前人所用数学模型不适宜AMESim软

作者简介:肖 民(1969-),女,湖北沙市人,教授,硕士生导师,主要从事船舶动力机械、轮机设备和系统的性能优化与计算机仿真方面的研 究. E-mail:Xiaomin.just@126.com

收稿日期: 2012-09-19

件建模,因此本研究重新推导并建立新的数学模型。

1 SSS离合器数学模型的建立

SSS离合器主要由主动件、从动件和中间件3部分 构成。中间件位于主动件和从动件之间,分为内外两 侧,内侧为螺旋花键,与主动件外侧的螺旋花键相连, 依靠螺旋花键的机构作用实现螺旋前进运动。外侧 与从动件相连,外侧两端分置棘爪和驱动齿轮,与从 动件的棘轮和从动齿轮相互对应,依靠这两个部件与 从动件相连。

SSS离合器的基本工作原理可比拟为螺母拧在螺 栓上:如果螺栓转动时螺母是自由的,则螺母将随螺 栓一同转动,如果螺母受限制而螺栓继续转动,则螺 母将沿螺栓作直线运动;在SSS离合器的输入轴上有 一螺旋齿起到对应螺栓作用,而安装在螺旋齿上的是 一滑动组件,起到类似螺母的作用。

本研究将SSS离合器分为主动件、中间件、从动件 三大主要部件,建立其数学模型。

(1) 主动件的数学模型。

主动件与主机相连,主动件的转速与主机转速保 持一致:

$$n_1 = n_{\pm} \tag{1}$$

$$\omega_1 = \omega_2 \tag{2}$$

$$\boldsymbol{v}_1 = \boldsymbol{w}_{\pm}$$
 (2)

(2) 中间件的数学模型。

根据AMESim软件的建模特点,本研究需要对螺旋花键接触力进行全新的力学方程推导,不同于使用 Simulink建模时所用的力学方程^[68],即:

$$Wz = -(W_1 - W_2)$$
(3)

式中: W_1 一主动件角速度, W_2 一从动件角速度, W_2 一从动件角速度, W_2 一从动件角速度。

在螺旋花键作用下,中间件相对主动件有轴向移动,螺旋花键旋转一周,中间件的轴向位移为^[9-10]:

$$L = \pi \cdot D \cdot \tan\beta \tag{4}$$

易得:

$$Vz = D_i \cdot Wz \cdot \tan\beta/2 \tag{5}$$

$$V_{y} = V_{z} \cdot \cos\beta \tag{6}$$

式中: β —螺旋花键升程角, D_i —螺旋花键分度圆直径, V_j —螺旋花键法面速度, V_i —中间件法面速度。

设 k 为螺旋花键接触刚度,由胡克定律得螺旋花键的轴向力为:

$$F = k \cdot \left[V_{y} d_{i} \right] \tag{7}$$

$$F_3 = F \cos\beta \tag{8}$$

$$F_a = \frac{M_s}{C_\beta} \tag{9}$$

令 M_s 为螺旋齿上的阻力矩, F_a 为所产生的轴向力,摩擦力的轴向分力为:

$$F_{f} = \frac{M_{s} \cdot \tan \theta}{C_{\beta} \cdot \tan \beta}$$
(10)

$$F_{3} = F_{a} - F_{f} = \frac{M_{s}(\tan\beta - \tan\theta)}{C_{\beta} \cdot \tan\beta}$$
(11)

所以:

$$M_{s} = \frac{F_{3} \cdot C_{\beta} \cdot \tan\beta}{\tan\beta - \tan\theta}$$
(12)

对于中间件轴向推力,应用牛顿第二定律,得: $M(\tan\beta - \tan\theta)$

$$\frac{f(\tan\beta - \tan\beta)}{C_{\beta} \cdot \tan\beta} - F_{R} = m_{a} \cdot a_{s}$$
(13)

其中:

$$C_{\beta} = D_{\iota}/2 \tan\beta$$
, $\theta = \mathrm{tg}^{-1} f/\cos\alpha$.

式中: f -摩擦系数, $\alpha -$ 螺旋齿法面压力角, $F_R -$ 油尼阻力, $m_a -$ 中间件质量, $a_s -$ 中间件加速度。

由于离合器从动件的旋转角度 ω_2 和旋转加速度 ξ_2 分别等于中间件的绝对角速度和角加速度,即:

$$M_r - M_2 = J_2 \xi_2 \tag{15}$$

$$\xi_2 = \frac{\mathrm{d}\omega_2}{\mathrm{d}t} \tag{16}$$

式中: J_2 —从动件的旋转转动惯量, ξ_2 —从动件的旋转转动惯量,

2 SSS 离合器仿真模型的建立

本研究采用高级仿真软件 AMESim 建立 SSS 离合器的仿真模型。AMESim(Advanced Modeling Environment for Simulation of engineering systems)为多学科领域复杂系统建模仿真软件^[11],该软件具有丰富的元件设计库(32个模型库,4000多个元件),每个元件由基本的数学方程组成,可以直接、方便地调用。对于元件中不存在的数学模型,研究者可以利用 AMESim 中的两个基本元件库(信号库和机械库)结合其数学模型进行构建。该软件图形化的特点使数学模型形象易懂。在建模时研究者还可以方便地利用其丰富的元件使模型合理复杂化和简化,这大大缩短了模型构建时间。SSS离合器结构^[12]如图1所示。

本研究通过分析SSS离合器的结构特点和运行特性,仿真模型使用AMESim中的传动库、机械库、信号



库及液压库(HCD)构建。

SSS离合器的啮合过程可分为同步运行和结合缓冲两个阶段。本研究按照这两个阶段来建立仿真模型。SSS离合器的中间件与从动件皆做旋转运动,旋转部件的旋转特性受其转动惯量直接影响,建立模型时使用机械库中的旋转元件,且考虑旋转部件的转动惯量。

(1)同步阶段。本研究使用速度测量传感器来对 主动件和从动件的转动速度进行监测,通过信号库中 的比较元件对两者速度进行比较,当主动件转速高于 从动件时,棘轮与棘爪相接触,棘轮、棘爪接触时间很 短,是一个碰撞过程。由于本研究侧重对SSS整体运 行传动特性的研究,忽略了棘轮和棘爪接触的碰撞过 程。对于棘轮、棘爪接触的处理,笔者认定:当主动件 转速高于从动件时,棘轮和棘爪是相互接触的。由于 存在转速差,中间件在螺旋花键结构作用下移动。 AMESim没有符合螺旋花键特性的传动元件,本研究 利用AMESim的信号库,结合其数学方程建立了螺旋 花键的仿真模型。当中间件外侧齿轮与从动件内侧 齿轮接触时,同步阶段结束。

(2)结合缓冲阶段。同步阶段结束后,棘轮与棘 爪分开。处于中间件外侧一端的齿轮与图1中的从动 件齿轮(3)进行啮合,此时动力全部由啮合的齿轮传 递。本研究使用机械库中的带限制位移的质量元件 来考虑中间件的质量与滑移过程中产生的滑动摩擦, 本研究使用传动库中的齿轮啮合元件来表示中间件 和从动件齿轮啮合特性。与此同时,液压油阻尼力取 代滑移摩擦力对中间滑移件的位移起主要缓冲作用。 图1中的双向阻尼油腔(6)结构不仅减小了轴系扭振的 影响,而且还影响着中间件啮合、脱开过程中的滑移速 度特性,起着双向缓冲的作用,从而对SSS离合器啮合 与脱开的运行特性起着关键作用。本研究通过分析其 结构特点,利用 AMESim 中的 HCD 库中的单向液压腔 元件进行构建。图1中的中间件左端有液压油(5),本 研究使用机械库中的单向阻尼弹性元件来考虑该部分 的缓冲作用。当中间件滑移至末端时,结合缓冲阶段 结束。

本研究对于图1中液压油源(4)和液压油输送管 道(7),使用液压库中的液压源元件来考虑液压油的 压力源,使用液压油源元件为液压油定义属性,使用 管道元件定义液压油输送管道的输送特性。

本研究构建的仿真模型如图2所示。



图2 SSS离合器仿真模型

3 SSS离合器仿真分析

在自动同步离合器啮合和脱开过程中,中间件的 轴向位移随时间的动态变化直接反映了主机切换过 程的动态变化,也是验证计算结果正确与否的主要依 据。本研究将所建仿真模型与主机、螺旋桨模型连 接,并进行实时仿真,给出了某工况下的啮合曲线。 如图3中实线所示,中间滑移件由于主从件转速不同, 在螺旋花键作用下,受到推动力,产生轴向位移,在前 面0~10 mm时中间件受到的液压阻尼力很小,对滑移 件轴向运动起主要作用的是摩擦力,在轴向推动力作 用下,中间件移动速度较快,从中间件滑移至10 mm 处开始直至移动到末端,由于受到阻尼油腔的作用, 液压油阻尼力成为主要阻力,中间件在液压阻尼力的



作用下,滑移件速度降低,减速前进。CODAG物理模 拟试验台主机切换啮合过程中的中间滑移件试验曲 线如图3中虚线所示。

从图3中可发现,两图的位移曲线走势一致,仿真 曲线和试验曲线能够很好地吻合。当t=0~0.3s,位移 曲线斜率较大;当t=0.3s时刻,中间件移至10 mm处, 液压油阻尼力开始起作用,斜率下降,产生拐点;当 t=0.3~0.68s,中间件移至末端,位移保持在15 mm。 由于仿真中未考虑振动因素的影响,仿真曲线较试验 曲线平滑。以上分析印证了本研究SSS离合器仿真模 型的正确性。

4 结束语

仿真结果表明,本研究所推导的数学模型和建立的 仿真模型是正确的,运用AMESim软件对SSS离合器的 进行仿真是可行的,为接下来建立船舶推进系统完整仿 真模型打下了基础。基于AMESim软件的仿真特点,本 研究可以更加简便、细致地对结构细节进行仿真处理, 如双向缓冲油腔、液压油源等,更加接近实际运行情况。

参考文献(References):

[1] 魏军波.船用大功率自动同步离合器实验[J].热能动力 工程,1997,12(5):351-353.

- [2] 蒋得松,田 颖,张正一,等. CODOG系统的三S离合器的 一种数学模型[J]. 哈尔滨工程大学学报,2001,22(4): 22-24.
- [3] 张 彪.柴-燃联合动力装置(CODOG)的仿真与实验研究 [D].哈尔滨:哈尔滨工程大学动力工程系,1997.
- [4] 卢成委. 船用大功率离合器结合过程仿真研究[D]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院,2003.
- [5] 王 乐,黄 河.异型柴油机双机并车中的模型设计仿真 [J].船海工程,2010,39(5):84-87.
- [6] 苏文斗. 自动同步离合器的啮合动力学问题[J]. 热能动 力工程,1989,4(6):40-46.
- [7] 田 颖,牛中毅,张正一,等.柴-燃联合动力装置自动同步离合器动态特性实验研究[J].热能动力工程,2002,17
 (1):37-40.
- [8] 张仁兴,王明新,马 俊. 全燃动力装置特性仿真研究 [J]. 燃气轮机技术,2007,20(1):43-46.
- [9] 刘文进. 划痕损伤电机轴性能的仿真分析与研究[J]. 现 代制造技术与装备,2012(1):30-32.
- [10] 夏天凉,王金娥. 基于 Maplesim 的喷气织机开口机构建模 与仿真[J]. 轻工机械,2011,29(2):29-32.
- [11] 付永领,祁晓野. AMESim系统建模和仿真一从入门到精 通[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [12] 陈国钧,曾凡明. 现代轮机工程[M]. 北京:国防科技出版 社,2001.

[编辑:张 翔]

(上接第280页)

本研究在固定风场面积内布置前后串联的风力 机时,选择不同叶片数的风力机需要综合考虑单个风 力机功率、轴承安全性和尾流速度恢复至来流速度的 距离等因素,以保证处于整个风场的输出功率性能。

参考文献(References):

- [1] 李 岩. 垂直轴风力机应用及其发展前景[J]. 可再生能 源,2009,27(6):118-120.
- [2] HOWELL R, QIN N, EDWARDS J, et al. Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine [J].
 Renewable Energy, 2012, 35(2):412-413.
- [3] 杨从新,巫发明,王立鹏,等.设计参数对直叶片垂直轴风 力机功率系数的影响[J]. 兰州理工大学学报,2009,35 (5):47-50.
- [4] MCLAREN K, S TULLIS, ZIADA S. Measurement of high solidity vertical axis wind turbine aerodynamic loads under high vibration response conditions [J]. Journal of Fluids and Structures, 2012, 32(7):12-26.
- [5] 赵振宙,郑 源,高玉琴.风力机原理与应用[M].北京: 中国水利水电出版社,2011.
- [6] MCLAREN K, TULLIS S, ZIADA S. Computational fluid dynamics simulation of the aerodynamics of a high solidity,

small-scale vertical axis wind turbine[J]. Wind Energy, 2012,15(3):349-361.

- [7] 王子云,钟星灿,喻 渝.H型垂直轴风力机气动设计参数 分析[J].新能源及工艺,2009(6):31-33.
- [8] CASTELLI M R, ENGLARO A, BENINI E. The darrieus wind turbine: proposal for a new performance prediction model based on CFD [J]. Energy, 2011, 36 (8) : 4919-4921.
- [9] 张庆麟.风力机叶片三维气动性能的数值研究[D].北京: 清华大学热能工程系,2007.
- [10] 王超荣,洪 滔,候海鹏. 模具液流悬浮加工区流场仿真 研究[J]. 轻工机械,2011,29(3):10-12.
- [11] 徐 鹏,魏修亭,李春花. 离心泵内部流场数值模拟与性能分析[J]. 现代制造技术与装备,2012(3):72-73.
- [12] GUPTA R, BISWAS A. Computational fluid dynamics analysis of a twisted three-bladed H-Darrieus rotor[J]. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2010, 2 (4) : 043111-043126.
- [13] 周 宇,钱炜祺,邓有奇,等. k-ω SST两方程湍流模型中
 参数影响的初步分析[J]. 空气动力学学报,2010,28(2):
 213-214.

[编辑:张 翔]