

船舶柴油机曲轴系的动力学仿真*

戎瑞亚

(浙江海洋学院 船舶与建筑工程学院, 浙江 舟山 316000)

摘要: 为分析船舶柴油机轴系振动及对船体结构的影响, 运用 SolidWorks 和 ADAMS 软件构造了 4160 型船用柴油机轴系的刚体动力学模型, 利用虚拟样机技术对曲轴系进行了运动学和动力学仿真, 研究了活塞的运动学、连杆和曲柄销载荷的仿真曲线。仿真结果表明, 建立的仿真模型与实际相符, 为进一步研究船舶柴油机整机振动提供了一种新的设计方法。

关键词: 船用柴油机; 曲轴系; ADAMS; 动力仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)04-0035-03

Dynamical simulation of marine diesel crankshaft system

RONG Rui-ya

(School of Naval Architecture and Civil Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract: Aiming at vibration analysis of marine diesel engine shaft systems and effects on hull structure, the dynamics model of rigid body in the marine diesel engine shaft systems of type 4160 were built by the software of SolidWorks and ADAMS. The motions and dynamics of crankshaft system were simulated based on virtual prototype, and the simulating curves of pistons motions, action force on the link and crank-pin were studied. The results indicate that simulation model conforms to its reality, and a new design method is given for further study of the diesel engine vibration.

Key words: marine diesel engine; crankshaft system; ADAMS; dynamical simulation

0 引 言

船舶柴油机轴系是由曲轴及连于其上的活塞、连杆、飞轮等构件组成, 它直接影响柴油机的运行品质。轴系动力学性能好则柴油机运转平稳, 反之会使柴油机振动加大, 加剧船体振动。为提高柴油机的性能, 要求其各运动机构具有较高的强度、刚度与良好的动态特性。以往船舶柴油机的曲柄连杆机构的动力学分析都是建立在静力学等效原则的基础上对各构件进行动力学分析, 计算出各自产生的旋转惯性力和往复惯性力, 与气体爆发压力合成后求解出对船舶的作用力以及曲轴系振动的激振力, 这不仅是一个十分繁琐的过程, 而且由于曲柄连杆机构的受力情况非常复杂, 一旦

出错, 查找错误很难。但近年来, 以优化、动态、定量为特点的仿真方法已经在军用、船用、车用柴油机的设计时得到广泛采用。文献[1-2]对柴油机曲轴进行了动态仿真研究。在曲轴有限元模型上施加模拟实际工作状态的边界约束和载荷条件, 利用振型叠加法对其进行动态响应分析, 并与设计指标对比, 采用灵敏度分析方法对原曲轴结构参数进行动力修改。文献[3]利用船用柴油机仿真结果, 了解柴油机装船后的振动特性, 有的放矢地采用各种措施减小振动对船体结构的影响。文献[4-5]采用有限元方法对船舶柴油机曲轴进行自由模态分析, 为曲轴的结构动力学分析和曲轴的优化设计提供理论依据。文献[6]研究曲轴含裂纹前后两种状态下的动力学特性, 为曲轴裂纹的识别提供了判断依据。在船舶轴系设计过程中引入虚拟样机技

术可以实现计算机对船舶轴系在各种工况下随载荷变化的运行状态及随时间变化过程的仿真模拟,得到仿真输出参数和结果,以此估计和推断实际运行的各种数据,对船舶轴系进行动态分析和计算有一定参考价值。

本研究以 4160 型渔船柴油机轴系为模型,运用 SolidWorks 和 ADAMS 软件构造柴油机主要运动部件及船舶轴系多刚体系统的动力学模型,进行柴油机轴系运动仿真,并分析其动态特性。

1 轴系建模

船舶柴油机轴系是船舶推进装置的主要组成部分,其任务是将主机的功率传给螺旋桨,同时又将螺旋桨所产生的推力传给船体,以实现船舶推进运动。船舶柴油机轴系包括中间轴、尾轴、推力轴、螺旋桨、齿轮箱、曲轴、飞轮及弹性联轴节或万向节等连接件。为研究方便,本研究省略了曲轴自由端的传动机构及输出端的减速器等,并对模型进行了合理简化。根据各部件的相对运动关系,笔者运用 SolidWorks 完成轴系的三维建模,并把模型数据保存成 ParaWorks 格式后,导入 ADAMS 仿真软件。轴系模型简图如图 1 所示。

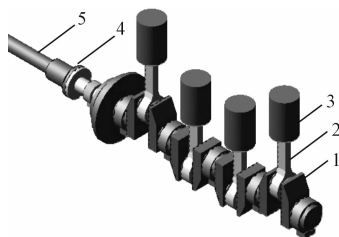


图 1 4160 渔船柴油机轴系模型图

1—曲轴;2—连杆;3—活塞;4—弹性联轴节;5—船舶轴系

2 轴系动力仿真

根据各构件之间的实际运动关系,对导入的船舶轴系的仿真模型添加约束和载荷,并对模型赋予材料属性,使其运动符合实际情况,得到船舶轴系的动力学模型。

仿真分析主要围绕柴油机曲轴系的运动学和动力学展开,即对柴油机曲轴系活塞的位移、速度、加速度进行运动仿真;在活塞顶部施加燃气压力,对连杆受力、曲柄销的切向力和法向力进行动力学分析。由于柴油机在运转工作时各缸的运动规律相同,仅相差发火间隔角,因此在保证 4 只缸同时加载时,仅分析一个气缸在柴油机运转时的运动情况和动力特性,就能了

解柴油机的整体性能。现以第一气缸为例进行分析。

由文献[7]可查得 4160 型渔船柴油机的主要技术规格和数据,额定转速为 750 r/min,活塞行程为 225 mm。在该额定转速时,得到活塞的位移和速度仿真曲线如图 2、图 3 所示,该曲线呈现正弦规律。从仿真曲线可以看出,该缸活塞的最大速度为 9.0 m/s。

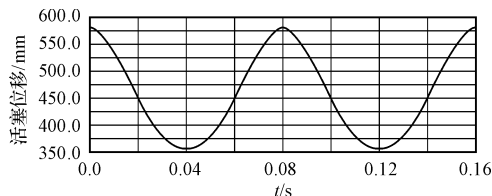


图 2 活塞的位移仿真曲线

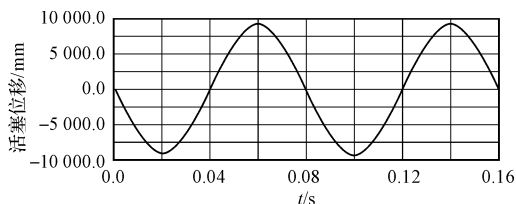


图 3 活塞速度仿真曲线

由于柴油机的作用力主要来自气缸内的气体压力和运动部件产生的惯性力。气体压力作用于活塞表面,形成气体力作用于活塞销上,分解成垂直于气缸表面的柴油机侧推力(图 5 中的 Z 向)与连杆中心线方向的连杆力(图 5 中的 Y 向)。连杆力传向曲柄销后,沿曲柄切向和法向分解成切向力(图 6 中的 Z 向)和法向力(图 6 中的 Y 向)。往复惯性力是由于活塞的加速度存在而产生的。其中缸内气体压力是影响曲轴系统动力学的重要因素之一,决定仿真结果的精确度。为提高仿真精度,利用第一气缸示功图数据。柴油机额定转速时,0% 负荷时的实测气缸燃气压力曲线如图 4 所示。该曲线即为活塞顶部受力曲线。活塞在曲轴旋转 15° 附近沿其轴向受力最大,为 57.5 kN,这与柴油机的发火顺序、发火间隔角、工作周期有关。

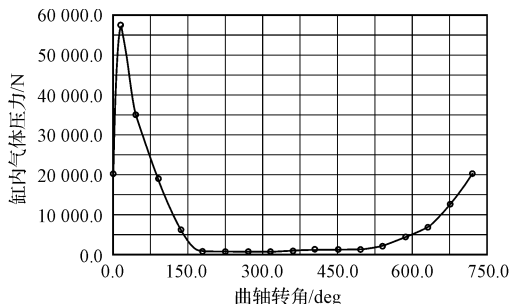


图 4 燃气压力理论曲线

第一缸的燃气压力曲线通过 ADAMS^[8] 样条曲线功能实现对曲柄销和连杆受力的仿真计算。

连杆小端受力仿真曲线如图5所示,可以看出活塞连杆小端受力沿轴向(Y向)的受力最大,其幅值约为42.4 kN,气缸侧向(Z向)受力较小,其幅值接近6.4 kN,只有轴向的1/7,沿曲轴中心线方向(X向)受力为零,这与理论规律一致。可作为连杆有限元、强度设计和曲柄连杆机构优化设计的依据,也可据此进行曲轴强度计算。活塞对气缸的侧推力计算是设计中的一个重要问题,侧推力使气缸在连杆对气缸中心线倾斜时受到活塞的侧向推压,它对活塞和气缸壁之间的磨损有很大影响。同时,侧推力呈周期性变化将使得缸体产生振动,根据对侧推力的简谐分析就可以决定支承结构的频响特性,以减小倾覆力矩产生的振动危害。

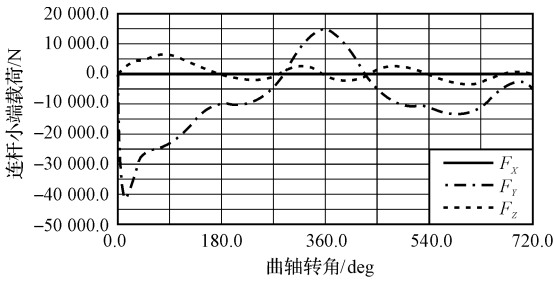


图5 连杆小端受力仿真曲线

F_x —一曲轴轴向力; F_y —连杆轴向力; F_z —气缸侧推力

连杆大端受力仿真曲线如图6所示^[9]。根据作用力与反作用力,可转化为曲轴销的受力。曲轴在合力作用下绕其中心线转动。曲柄销受到燃气爆发力的作用非常明显,在上止点处达到载荷最大值,由于曲轴受到活塞的往复加速度和自身回转加速度的影响,载荷会产生波动。

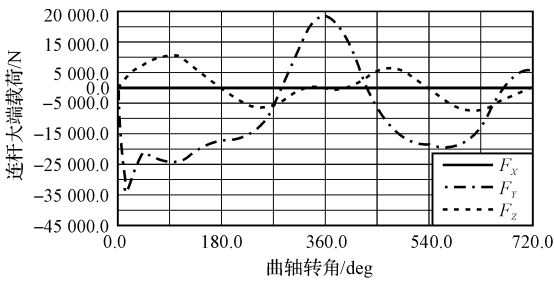


图6 连杆大端受力仿真曲线

F_x —一曲轴轴向力; F_y —一曲柄销法向力; F_z —一曲柄销切向力

1~4缸曲柄销载荷仿真曲线如图7所示,可以看出载荷随时间变化规律和4缸的工作次序是完全对应的。

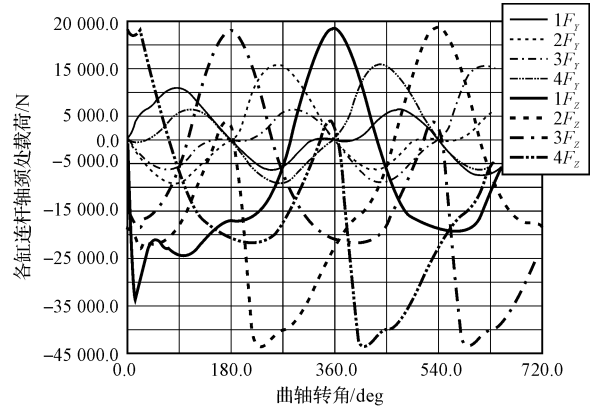


图7 1~4缸曲柄销载荷仿真曲线

F_x —一曲轴轴向力; F_y —一曲柄销法向力; F_z —一曲柄销切向力

3 结束语

本研究运用 SolidWorks 和仿真软件 ADAMS 建立了船舶柴油机及其轴系的虚拟样机模型,并进行运动学与动力学仿真,获取了仿真模型的运动学和动力学特性数据。仿真结果表明所建立的仿真模型与实际相符。本研究为柴油机核心部件曲轴-连杆-活塞机构的设计优化、性能评估提供了一种新的设计方法。利用该动力学模型,改变柴油机的支承条件,就可以研究其在隔振情况下的振动特性。通过将柴油机装船后,在曲轴飞轮输出端安装上联轴节、传动轴以及螺旋桨,形成包括动力装置在内的船体结构的仿真分析,可研究其在装船时的振动特性,以及柴油机的结构振动向船体的传递规律。

对船舶曲轴系更深入的扭振研究需要建立柔性体系模型,这是接下来要开展的工作。

参考文献 (References):

- [1] 崔志琴,景银萍. 军用柴油机曲轴的动态仿真研究[J]. 内燃机工程,2005,26(1):48-50.
- [2] 于洪亮. 船舶柴油机曲轴轴系多体动力学仿真研究[D]. 大连:大连海事大学轮机工程学院,2009.
- [3] 何江华. 计算机仿真导论[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 朱发新,林少芬,陈跃坡. 船舶柴油机曲轴的模态分析[J]. 船舶工程,2008,30(1):23-25.
- [5] 王东,徐小平,胡云波. 有限元及刚柔联合仿真在曲轴设计中的应用[J]. 机械,2008,35(10):41-43.
- [6] 赵国文,赵启元,蔡振雄,等. 船舶柴油机曲轴裂纹的有限元模态分析[J]. 舰船科学技术,2008,30(3):148-151.
- [7] 湛江水产学院. 渔船机械[M]. 北京:农业出版社,1983.
- [8] 王国强,张进平,马若丁. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002.
- [9] 郑子明,马晓建,周红波. 包缝机的曲轴平衡[J]. 轻工机械,2009(1):31-35.

[编辑:柴福莉]