

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.12.006

三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴的运动仿真分析^{*}

杨福芹,束 放,常德功^{*}

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:针对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴结构复杂,难以采用传统的图解法、解析法获得其运动规律的问题,采用 Pro/E 软件,在充分考虑各构件之间的相互约束关系的基础上,对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴整体进行了三维建模,仿真分析了传动轴中关键零件钢球的运动规律,得到了输入轴和中间轴分别在 10°、20°和 30°夹角下钢球中心的位移、速度和加速度等运动曲线。仿真结果表明,钢球随输入轴的等速回转做近似周期性的简谐运动,并且两个联轴器夹角越大,各运动参数波动的幅度也越大;该仿真结果为合理设计三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴,有效解决其应用中的摩擦、磨损、润滑问题打下了基础。

关键词:传动轴;球笼式万向联轴器;三叉杆滑移式万向联轴器;运动仿真

中图分类号:TH133.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)12-1453-04

Kinematic simulation analysis about the tripod-ball type universal joint drive shaft assembly

YANG Fu-qin, SHU Fang, CHANG De-gong

(College of Mechanical & Electrical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the problem of it being difficult to obtain the movement law of the tripod-ball type universal joint drive shaft assembly by traditional graphic or analytical method because of its complicated structure, its three-dimensional modeling was made and kinematic simulation analysis of the steel ball was completed by Pro/E software on the base of considering constraint relations among the links. The displacement curves, velocity curves and acceleration curves of the steel ball center were obtained when the angle between the input shaft and the intermediate shaft was 10°, 20° and 30° respectively. The simulation results show that the steel ball do approximate periodic harmonic motion along with the constant speed rotation of the input shaft. With the two joint angle increasing, the range of each motion parameter fluctuations is also bigger. The simulation result has reference significance for reasonable design of the tripod-ball type universal joint drive shaft assembly and can effectively solve the key technologies like friction, wear and lubrication in the automobile industry.

Key words: drive shaft; Rzeppa universal joint; the tripod sliding universal joint; kinematic simulate

0 引 言

等速万向联轴器传动轴总成是汽车传动系统的重要组成部分^[1-2]。笔者研究的万向联轴器传动轴包括三叉杆滑移式万向联轴器、中间轴和球笼式万向联轴器。汽车行驶时,由于路面不平以及车轮转向等原因,两个等速万向联轴器的轴间夹角会经常发生变化,使得零部件间相对滑动或滚动,从而造成振动和噪音,影响车辆的舒适性;产生摩擦磨损,并进一步带来能耗增

加、传动效率降低的不良后果。尽管目前针对三叉杆式万向联轴器^[3-6]或球笼式万向联轴器^[7-11]进行运动学方面的研究较多,但这些研究没有充分考虑两个万向联轴器组成传动轴总成后各构件之间的相互约束关系,不能切实反映各构件的实际运动工况,因此有必要对等速万向联轴器传动轴总成进行运动特性的研究。

鉴于三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴总成结构复杂,采用解析方法进行运动学研究比较困难,本研究运用 Pro/E 软件对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴整体

收稿日期:2016-06-29

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2015EM037);山东省科技发展计划项目(2013GGX10305)

作者简介:杨福芹(1972-),女,山东烟台人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事新型传动机构及计算机辅助设计方面的研究。E-mail:y_f_q@163.com

通信联系人:常德功,男,教授,博士生导师。E-mail:hyg867@163.com

进行三维建模,仿真分析传动轴中钢球的运动规律。

1 三维实体建模

本研究采用三维绘图软件 Pro/E 对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴进行三维实体建模,如图 1 所示。

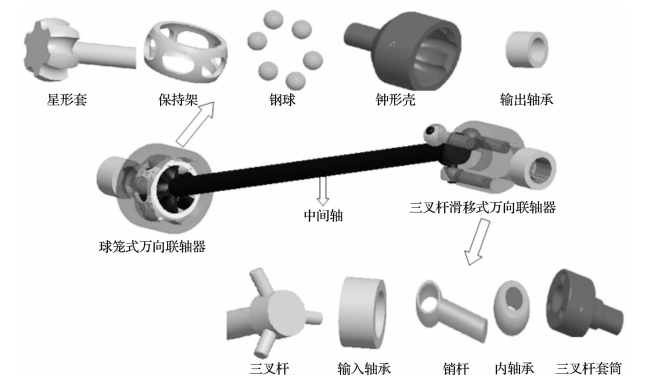


图 1 三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴

图 1 中,三叉杆-球笼式万向联轴器主要包括三叉杆、输入轴承、销杆、内轴承和三叉杆套筒,球笼式万向联轴器主要包括星形套、保持架、钢球、钟形壳和输出轴承。钟形壳和保持架之间构成的球面副与保持架和星形套之间构成的球面副的回转球心均相同,即是星形套轴线和钟形壳轴线的交点。

2 基于 Pro/E 的运动仿真

Pro/E 的运动学分析模块 Mechanism 可以对装配体进行运动学仿真,仿真结果可以以动画或者图表曲线的形式显现出来,也可以直接显示出零件的运动轨迹图。

运动副直接决定了机构运动形式的差异,建立好各个构件之间的运动副是进行准确的运动学仿真的关键。根据实际运动规律对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴系统添加运动副如表 1 所示。

表 1 构件之间的运动副	
构件	运动副
输入轴轴承和输出轴轴承	“固定”装配
三叉杆套筒和输入轴轴承	“销钉”连接
销杆和三叉杆套筒	“滑动杆”连接
内轴承和滑移销	“球”连接
内轴承和三叉杆叉杆臂	“圆柱”连接
钢球和星形套、钟形壳之间	“槽”连接
钢球和保持架	“点对点”约束
钟形壳和输出轴轴承	“销钉”连接
中间轴和星形套、三叉杆之间	“固定”连接

本研究建立好运动副之后,在输入端加载伺服电机作为驱动,设定输入轴每秒钟回转一圈,在不考虑受力的情况下进行运动学仿真。

3 钢球的运动仿真结果分析

经过创建模型、添加运动副和约束、检测模型、运

动学仿真、提取结果及回放等步骤,笔者得到了三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴总成输入轴和中间轴分别在 10°、20°和 30°的夹角下钢球中心的运动曲线。

3.1 位移仿真结果分析

输入轴转动一圈的过程中,球笼式万向联轴器钢球中心的位移变化曲线如图 2 所示,其中钢球中心相对于回转中心的位移曲线如图 2(a)所示,钢球中心沿滑道的位移曲线如图 2(b)所示。

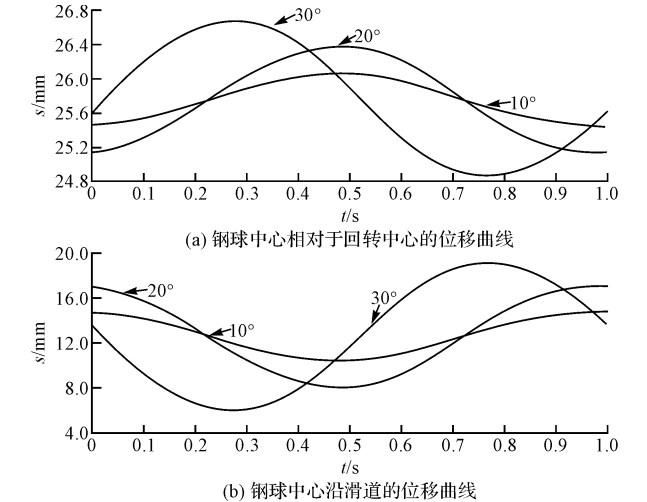


图 2 钢球中心的位移曲线图

从图 2 中可以看出,两种位移曲线都是按简谐运动规律呈周期性变化的,并且输入轴转动一圈,钢球的位移变化 1 个周期。输入轴和中间轴的夹角不同,位移波动的幅度也不相同,夹角越大,位移波动的幅度也越大。两种位移曲线的不同之处在于图 2(a)中,钢球中心相对于回转中心的位移以 25.8 mm 为中心类似于正弦曲线变化,图 2(b)中,钢球中心沿滑道的位移以 12 mm 为中心类似于余弦曲线变化,且相同的夹角下,前者位移波动的幅度小于后者位移波动的幅度。

3.2 速度仿真结果分析

输入轴转动一圈的过程中,球笼式万向联轴器钢球中心的速度变化曲线如图 3 所示。

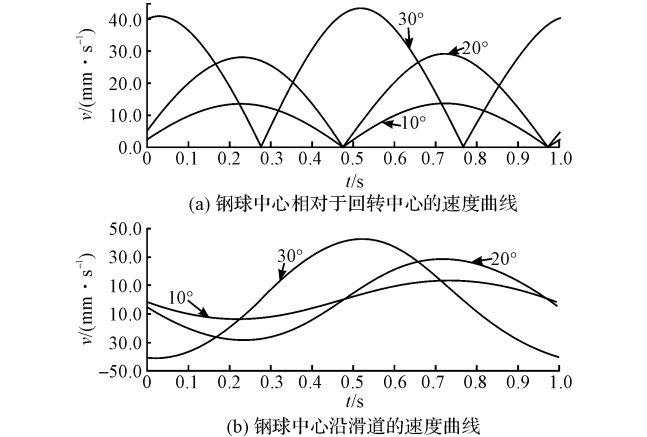


图 3 钢球中心的速度曲线图

其中钢球中心相对于回转中心的速度曲线如图 3(a) 所示,钢球中心沿滑道的速度曲线如图 3(b) 所示。从图 3(a) 和 3(b) 中可以看出,两种速度曲线都是按简谐运动规律呈周期性变化的,并且输入轴和中间轴的夹角不同,速度波动的幅度也不相同,夹角越大,速度波动的幅度也越大。在相同的夹角下,两种速度波动的幅度相当。但输入轴转动一圈,图 3(a) 中钢球中心相对于回转中心的速度以 0 为最小值周期性变化 2 次,说明钢球中心相对于回转中心的运动方向没有发生改变;而图 3(b) 中钢球中心沿滑道的速度曲线以 0 值为中心周期性变化 1 次,0 值点即为钢球运动方向发生改变的点,说明输入轴运动一周的过程当中,钢球在滑道中往返运动一个来回。

3.3 加速度仿真结果分析

输入轴转动一圈的过程中,球笼式万向联轴器中钢球中心的加速度变化曲线如图 4 所示。

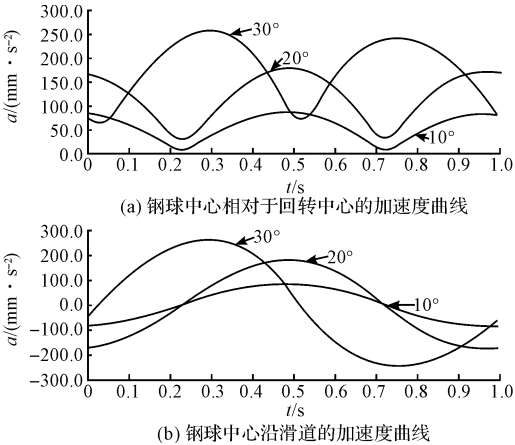


图 4 钢球中心的加速度曲线图

从图 4(a) 可以看出,输入轴转动一圈,钢球中心相对于回转中心的加速度周期性变化 2 次,并且输入轴和中间轴的夹角越大,加速度的最小值和最大值越大,加速度波动的幅度也越大。从图 4(b) 可以看出,输入轴转动一圈,钢球中心沿滑道的加速度曲线以 0 值为中心周期性变化 1 次,并且输入轴和中间轴的夹角越大,加速度波动的幅度也越大。但在相同的夹角下,两种加速度波动的幅度相当。

3.4 速度相对于位移仿真结果分析

输入轴转动一圈的过程中,球笼式万向联轴器钢球中心的速度相对于位移的变化曲线如图 5 所示。

从图 5(a) 可以看出,当输入轴和中间轴成一定夹角时,钢球中心相对于回转中心的速度随位移的曲线近似形成 2 个半椭圆,并且这 2 个半椭圆大小形状差异很小,特别是输入轴和输出轴夹角较小时,2 个半椭圆几乎是重合的,说明输入轴回转一圈的过程当中,严格来说速度不是周期性变化 2 次,因为这 2 次变化中

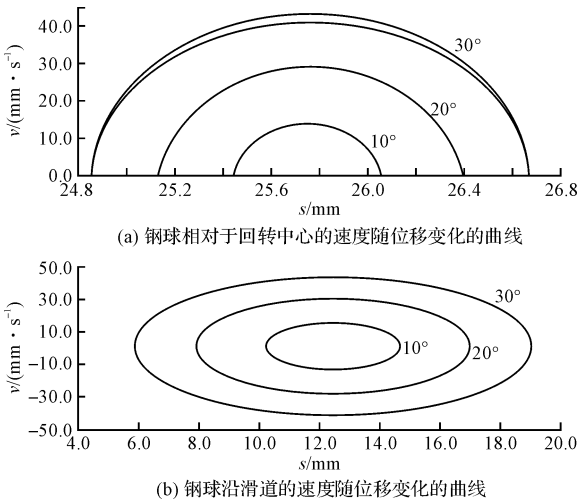


图 5 钢球中心的速度相对于位移的变化曲线图

速度大小不是绝对相同。

由图 5(b) 可以看出,输入轴和中间轴在不同的夹角下,钢球中心沿滑道的速度相对于位移均形成封闭的椭圆形曲线,这些椭圆完全关于中心对称。当位移在最小值和最大值处时,速度的值为 0。正行程中随着位移的增大,钢球中心沿滑道的速度先增大后减小;随后,钢球在轨道中返回,速度随位移的曲线的变化规律跟正行程时相同,但数值相反。

整体来看,图 5(a) 的半椭圆和图 5(b) 的椭圆均是等距曲线,说明钢球中心相对于位移的速度变化规律不受夹角大小的影响。

3.5 加速度相对于位移仿真结果分析

输入轴转动一圈的过程中,球笼式万向联轴器中钢球中心的加速度相对于位移的变化曲线如图 6 所示。

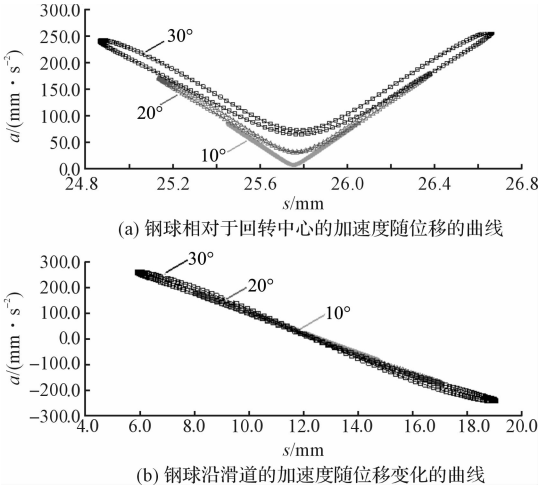


图 6 钢球中心的加速度相对于位移的变化曲线图

图 6(a) 表明,当输入轴和中间轴成某一夹角时,相对于回转中心,钢球中心的加速度随位移的变化曲线类似于 2 条以位移中点处的竖直线作为对称轴的 V

型闭合曲线,并且其大小形状差异很小,特别是输入轴和输出轴夹角较小时,2 个 V 型几乎是重合的,说明输入轴回转一圈的过程中,钢球相对于回转中心的加速度严格来说不是周期性变化 2 次,因为这 2 次变化中加速度大小不是绝对相同。位移最小时,加速度取极大值。随后加速度随着位移的增大先增大后减小,当位移到达最大时加速度取最大值。

图 6(b)表明,钢球中心沿滑道的加速度相对于位移近似为一条斜率为负值的线段,该线段以 0 加速度值为对称点向上下两侧延展。当输入轴和中间轴分别成 10° 、 20° 和 30° 夹角时,所对应的加速度线段几乎是重合的,并且夹角越大,线段越长,说明钢球沿滑道往返一个来回的行程中,对应着相同的位移加速度值是近乎相等的。在位移逐渐增大的正行程中加速度由大变小,位移中点处,加速度为 0。回程时,加速度则随位移的减小而增大。正负行程中加速度取极值的地方是钢球在轨道中的运动方向发生改变的位置。图 6(a)的 V 型曲线有相同的对称轴,图 6(b)的线段重合且有相同的对称点,说明夹角对钢球中心相对于位移的加速度变化规律几乎不产生影响。

4 结束语

本研究通过 Pro/E 对三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴进行了三维建模并做了运动仿真,仿真后提取了钢球中心的位移、速度和加速度等运动学曲线。运动学曲线分析表明:

(1)钢球中心相对于回转中心的运动以及钢球中心沿滑道的运动,均随输入轴的等速回转做近似周期性的简谐运动。

(2)输入轴回转一周,钢球中心相对于回转中心的位移曲线周期性变化 1 次,速度和加速度曲线分别周期性变化 2 次,钢球沿滑道的位移、速度和加速度均周期性变化 1 次。

(3)输入轴回转一周,钢球中心相对于回转中心的运动方向不发生改变,钢球沿滑道往返运动一个来回。

(4)输入轴和中间轴的夹角不同,位移、速度和加速度波动的幅度也不相同,夹角越大,各运动参数波动的幅度也越大。

该运动仿真结果对合理进行不同车型、不同应用

场合下的三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴的结构设计,有效解决其在汽车应用领域中的摩擦、磨损、润滑等关键技术问题打下了基础。

参考文献 (References):

- [1] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 王望宇. 汽车设计[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] WANG X F, CHANG D G. Kinematic and Dynamic Analyses of Tripod Sliding Universal Joints[J]. **ASME, J. Mech. Design**,2009,131(6):1-8.
- [4] WANG X F, CHANG D G, WANG J Z. Kinematic investigation of tripod sliding universal joints based on coordinate transformation[J]. **Multibody System Dynamics**,2009,22(1):97-113.
- [5] 王学锋,常德功,王江忠. 滑移型三叉式联轴器运动学建模[J]. 农业机械学报,2009,40(9):7-11.
- [6] 常德功,张启先. 三叉杆式万向联轴器采用调心轴承时的运动分析[J]. 北京航空航天大学学报,1993,19(4):91-97.
- [7] WATANABE K, MATSUURA T. Kinematic analyses of rzeppa constant velocity joint by means of bilaterally symmetrical circular-arc-bar joint[J]. **Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME**,2006(6):131-134.
- [8] ICHIKAWA K, WATANABE K. Kinematic analyses of the constant-velocity joint of double-offset type[J]. **Transaction of Japan Society of Mechanical Engineers**,1995,61(582):475-873.
- [9] WATANABE K, SHIROISHI H, SUZUKI A. Kinematic analyses of rzeppa constant velocity joint with clearance(1st Report, closed loop equations and two-ball kinematic model)[J]. **Transaction of Japan Society of Mechanical Engineers**,1998,64(624):3140-3148.
- [10] WATANABE K, SUZUKI A, SHIROISHI H, et al. Kinematic analyses of rzeppa constant velocity joint with clearance(2nd Report, closed loop equations and two-ball kinematic model)[J]. **Transaction of Japan Society of Mechanical Engineers**,2001,67(658):1956-1964.
- [11] WATANABE K, MATSUURA T. Kinematic analyses of rzeppa constant velocity joint by means of bilaterally symmetrical circular-arc-bar joint[J]. **Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME**,2006(6):131-134.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

杨福芹,束 放,常德功. 三叉杆-球笼式万向联轴器传动轴的运动仿真分析[J]. 机电工程,2016,33(12):1453-1456.

YANG Fu-qin, SHU Fang, CHANG De-gong. Kinematic simulation analysis about the tripod-ball type universal joint drive shaft assembly[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016,33(12):1453-1456.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>