基于 SOLIDWORKS 与 ADAMS 的瓦楞辊动力学仿真

魏效玲[1]，李 波[1]，陈 蕊[1]，王泽仁[1]，王朋宇[2]
(1. 河北工程大学，邯郸 056038；2. 邯郸市康创电气有限公司，邯郸 056038)

摘要：运用 SOLIDWORKS 优秀的建模功能和 ADAMS 的动力学仿真功能，对瓦楞辊运动过程进行了建模仿真。利用 ADAMS 中的 IMPACT 函数对辊齿间的接触进行定义，通过 Hertz 弹性碰撞理论确定了 IMPACT 函数中的各参数。从仿真结果中得出了瓦楞辊运动啮合时中心距的变化曲线，从而分析了瓦楞辊的运动过程对瓦楞纸芯成形质量产生的影响。

关键词：瓦楞辊；动力学仿真；中心距
中图分类号：TB486；TB487　**文献标识码：**A　**文章编号：**1001-3563(2013)11-0077-03

Dynamics Simulation of Corrugated Roller Based on SOLIDWORKS and ADAMS

WEI Xiao-ling[1], *LI Bo*[1], *CHEN Rui*[1], *WANG Ze-re*[1], *WANG Peng-yu*[2]
(1. Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Handan Kangchuang Elec. Co., Ltd., Handan 056038, China)

Abstract: Motion process of corrugated roller was simulated using SOLIDWORKS excellent modeling function and ADAMS dynamics simulation function. ADAMS IMPACT function was used to define the interdental contact of the roller. Parameters of the IMPACT function were determined by Hertz elastic collision theory. Meshing center distance changing curve of the corrugated roller was obtained from the simulation results. The impact of corrugated roller motion on quality of corrugated paper was analyzed.

Key words: corrugated roller; dynamics simulation; center distance

瓦楞辊是瓦楞纸板生产线中单面机的核心部件，瓦楞辊辊齿的形状是瓦楞纸芯成形的关键要素，通过对瓦楞辊辊齿齿廓形状的分析，可以得出瓦楞辊的啮合曲线不同于齿轮的标准共轭曲线，因此瓦楞辊的中心距是不固定的。文中利用 SOLIDWORKS 丰富的建模功能对瓦楞辊造型进行建模，然后导入 ADAMS 进行运动学和动力学分析。通过对瓦楞辊辊齿啮合过程中中心距的变化曲线进行分析，研究瓦楞辊辊齿的啮合特性对纸芯成形产生的影响，对以后提高瓦楞纸芯成形的质量提供数据帮助和理论支持。

1　瓦楞辊模型的建立

以某型号瓦楞辊参数进行建模，参数如下：齿顶圆直径 $R_1=317.14$ mm；齿沟圆直径 $R_2=313.78$ mm；齿顶圆弧半径 $r_1=1.5$ mm；齿沟圆弧半径 $r_2=1.9$ mm；上下瓦楞辊齿数 $Z=114$；楞高 $H=2.8$ mm；主动辊转动角速度 $\omega=21$ rad/s；分度角 $\varphi=2\pi/Z=\pi/57$ rad；瓦楞辊长度 $L=1650$ mm；原纸的厚度 $B=0.2286$ mm。

ADAMS 是一款优秀的机械系统动力学分析软件，但造型功能较弱，采用 SOLIDWORKS 进行建模得到瓦楞辊装配图（见图 1），然后保存为 Parasolid 格式导入 ADAMS 中，见图 2。

2　动力学模型的建立

在 ADAMS 环境中，设置瓦楞辊的材料为 45CrMo

收稿日期：2013-04-02
基金项目：国家自然科学基金资助项目（61240050）；河北省自然科学基金资助项目（F2010001047）
作者简介：魏效玲（1963－），女，山西河津市人，河北工程大学教授，主要从事机械设计理论及方法的研究。

图 1 瓦楞辊装配图

Fig. 1 Assembly drawing of corrugated roller

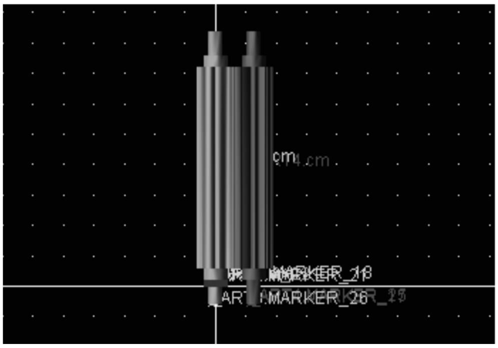

图 2 瓦楞辊样机模型

Fig. 2 Prototype model of corrugated roller

钢,下瓦楞辊为主动辊,上瓦楞辊为从动辊,在两者之间添加旋转副。因为辊齿啮合曲线不是共轭曲线,所以上下辊之间不能添加齿轮副。为了模拟辊齿间的啮合运动需要添加接触载荷和拉压弹簧阻尼器,保证辊齿运动过程中保持接触。

在 ADAMS/View 中有两种接触力的计算方法,一种是补偿法(Restitution);另一种是冲击函数法(Impact)[1]。使用较多的是冲击函数法,冲击函数法是根据 Impact 函数来计算两个构件之间的接触力,接触力由两个部分组成:一个是由于两构件之间的相互切入而产生的弹性力;一个是由相对速度产生的阻尼力[2]。在 ADAMS 中运用冲击函数法需要确定以下参数:接触刚度(Augmented Langrangian)κ、指数(Force Exponent)e、阻尼(Damping)C_{max}和切入深度(Penetration Depth)d_{max},其中切入深度决定了阻尼何时达到最大值。在 Adams 中碰撞力的定义为 $F_n=k\delta^e+\mathrm{step}(\delta,0,0,d_{max},C_{max})\delta'$。

2.1 接触刚度 k 的确定

由文献[2]得:

$$k=\frac{4}{3}R^{\frac{1}{2}}E^{*} \tag{1}$$

R,E^* 由 Hertz 接触理论计算得:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2} \tag{2}$$

由文献[2]得:

$$\frac{1}{E^{*}}=\frac{1-\mu_1^{\ 2}}{E_1}+\frac{1-\mu_2^{\ 2}}{E_2} \tag{3}$$

式中:R_1,R_2 为 2 个辊齿碰撞接触点的曲率半径;μ_1,μ_2 为 2 个辊齿材料的泊松比;E_1,E_2 为 2 个辊齿材料的弹性模量。由于瓦楞辊的材料均为 45CrMo 钢,所以泊松比 $\mu_1=\mu_2=0.27$;弹性模量 $E_1=E_2=1.78\times10^5$ N/mm^2。将数据代入(1)(2)(3)得:$E^*=0.96\times10^5$ N/mm^2;$R=79.25$ mm;$k=6.41\times10^5$。

2.2 最大切入深度 d_{max}的确定

在 Impact 函数中,两物体发生接触碰撞,会产生碰撞阻尼 C,当阻尼 C 达到最大值 C_{max}时刺穿深度 δ 等于切入深度 d_{max}[3]。由此理论推导给出两物体碰撞的综合变形量:

$$\delta=d_{max}=\left(\frac{5v^2m}{4k}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{4}$$

其中:v 为齿面啮合碰撞速度,取两节点近似的啮合线速度,$v=(\omega_1r_1+\omega_2r_2)\cos\alpha$;$k$ 为接触刚度;m 为啮合两齿廓面曲率半径对应两圆柱体的综合质量。代入各个参数得:$\delta=d_{max}=0.023$ mm。

2.3 指数 e 和最大阻尼 C_{max}的确定

指数 e 指的是碰撞恢复系数,是碰撞过程中的能量损失,常用牛顿恢复系数来表示,通过实验和数值分析可得:

$$e=2.08\left(\frac{v}{v_y}\right)^{\frac{1}{4}},\ v_y=5.052\left(\frac{Y}{\rho E^4}\right)^{\frac{1}{2}}=2.0 \tag{5}$$

式中:Y 为材料的屈服强度;ρ 为材料的密度;v 为齿面啮合碰撞速度。

阻尼计算公式:

$$C=\frac{3k(1-e^2)}{4v}\delta^a$$

式中:e 为碰撞恢复指数;δ 为接触面法向变形量;a 为非线性阻力幂指数。代入参数得:$C_{max}=37$ Ns/mm。

2.4 拉压弹簧阻尼器的确定

拉压弹簧阻尼器添加在与上瓦楞辊配合的方块零件上,方块零件属于辅助零件,作用是使上瓦楞辊在运动工程中沿水平方向移动。弹簧的预紧力设置为 1 kN,其他参数设置为默认。

2.5　积分求解器的选择

目前 ADAMS 中常用的积分器有 3 种：GSTIFF，WSTIFF，BDF。最常用的是 GSTIFF，也是系统默认的，计算效率最快，选用 GSTIFF 积分器。积分格式选用 SI2 精读最高，积分误差设置为 0.001 为宜。所有参数确定以后，添加约束模型见图 3。

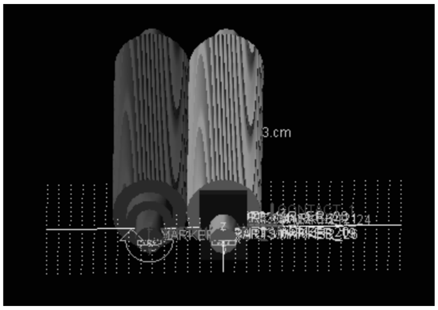

图 3　瓦楞辊添加约束模型

Fig. 3 Model of corrugated roller with constraint

3　仿真结果分析

仿真条件：主动辊输入转速为 30 d/s，从动辊施加负载转矩为 250 000 N · mm。由于直接施加这么大的负载容易产生陡变，这里借助于 STEP 函数，使负载在 0.2 s 达到规定值，起到一定的平缓作用。即：step(time，0，0，0.2，250 000)，仿真时间 $t=1$ s，step = 100，进行仿真计算，得出在接触力的作用下中心距的变化曲线见图 4。

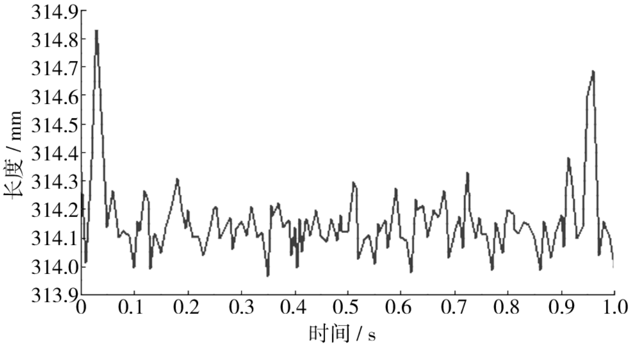

图 4　中心距变化仿真曲线

Fig. 4 Simulation curve of centre distance variation

从仿真结果可以看出，上下瓦楞辊刚接触时 0 ~ 0.05 s 和结束运动时 0.95 ~ 1.0 s 之间在碰撞力的作用下中心距的波动范围较大，0.05 ~ 0.95 s 之间在一个趋于稳定的范围内波动，也证明了瓦楞辊的啮合曲线不是共轭曲线。图 4 中曲线的波动幅度在 313.9658 ~ 314.8642 mm 之间整体波动微小，可以推测出瓦楞辊顶弧和沟弧是瞬间接触和分离交替连续传动的。

4　结语

从瓦楞辊运动仿真可以得出，瓦楞辊开始(结束)工作的时候生产出来的瓦楞纸芯是不符合标准的，这是因为瓦楞辊啮合力突然增加(失去)碰撞力，导致啮合力突然增大(减小)，瓦楞辊啮合不完全，生产出来的瓦楞纸芯楞高度减小，降低了纸芯的抗压性能。此外，该仿真结果也说明：在以后研究辊齿啮合特性时，不能完全参照齿轮啮合的方法进行理论研究，这对后续辊齿的齿形设计和优化有一定的参考价值。

参考文献：

[1] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京：国防工业出版社，2006.
LI Zeng-gang. ADAMS Introductory Explanation and Examples[M]. Beijing：National Defence Industry Press，2006.

[2] JOHNSON K L. 接触力学[M]. 徐秉业，译. 北京：高等教育出版社，1992.
JOHNSON K L. Contact Mechanics[M]. XU Bing-ye，Translation. Beijing：Cambridge University Press，1992.

[3] 方子帆，舒刚，何孔德，等. 齿轮传动多体接触动力学模型[J]. 机械传动，2009(1)：15-18.
FANG Zi-fan，SHU Gang，HE Kong-de，et al. Gear Transmission Dynamics of Multi-body Contact Model[J]. Mechanical Transmission，2009(1)：15-18.

[4] 龚发云，张哲，魏春梅，等. 高速单面瓦楞机瓦楞辊机构的中心距方程[J]. 包装工程，2008，29(7)：43-45.
GONG Fa-yun，ZHANG Zhe，WEI Chun-mei，et al. High-speed Single-side Corrugated Corrugated Roller Center Distance Equation of the Organization[J]. Packaging Engineering，2008，29(7)：43-45.