

文章编号:1674-2869(2009)09-0045-05

带传动试验机试验的仿真

徐建生,王馨,秦襄培,王仕仙,张浩

(武汉工程大学机电工程学院,湖北武汉430074)

摘要:介绍了VRML语言的特点,研究了利用CAD软件和VRML建立虚拟静态模型和动态模型的方法与原理,并以PJD-4型带传动试验机操作过程为例,重点阐述实现带传动的弹性滑动和打滑现象仿真的关键技术。

关键词:VRML;带传动试验机;仿真

中图分类号:TP 393.0 **文献标识码:**A

0 引言

随着经济全球化和Internet技术的发展以及先进技术的不断完善,产品的更新换代越来越快,生产周期越来越短,而用户对于产品的个性化和多样化的需求却在不断增加^[1]。在这种形势下,产品的设计和制造要以满足多样化和个性化的用户需求为首要目标。为了增强学校竞争力,适应高速发展的机械制造业的需要,应该培养学生的创新能力和动手能力^[2]。而试验设备价格昂贵,难以及时购进足够数量先进的试验器材,因此有必要构建机械虚拟试验机。

虚拟试验机的研究和应用得到许多研究机构及软件供应商的重视,国内外有代表性的成果有^[3]:(1)虚拟工程/科学实验室。该虚拟实验室是由JohnsHopkins大学建立,基于WWW(World Wide Web)面向教育的工程/科学实验环境,可完成逻辑电路、两节机器人控制、热传递过程、声波传播过程、桥梁设计等多种实验。(2)远程实验环境。实时参与在General Atomics的DIHID托马克进行的实验。(3)德国Ruhr大学网络虚拟实验室。该实验室是一个有父控制工程的学习系统,它通过直观的三维实验场景视觉效果,依赖各虚拟实验设备的仿真特性,实现对虚拟实验的交互式操作。国内虚拟试验机的建设这几年也得到了迅速的发展,最具代表性的是一些著名大学开发出的远程教学虚拟试验机,涉及物理、化学、生物、医学等多门学科^[4]。

这里提出的虚拟试验机是指利用VRML技

术构建的虚拟实验环境,其实验效果基本等价于真实环境中所取得的效果。与传统实验室相比,虚拟试验机有诸多优点^[5]:(1)能充分利用现有软硬件资源节约开支;(2)容易实现技术更新;(3)自动化智能化程度高;(4)功能齐全,使用方便;(5)实验精度高,可以避免传统实验中因仪器设备引起的误差;(6)实验效率高;(7)实验时间灵活且不受地点限制。本文以PJD-4型带传动试验机操作过程为例,说明VRML实现面向Web的虚拟现实环境下带传动的弹性滑动和打滑现象仿真的原理。

1 PJD-4型带传动试验机仿真的实现

通过VRML和Pro-E联合建立数字模型,模拟带传动的弹性滑动和打滑现象^[6]。带传动的弹性滑动和打滑动画制作思路:带传动的弹性滑动和打滑动画要受到外部载荷的影响,它的转速、转动时间长短都要受试验者调节控制,因此,仅用VRML Orientation-interpolator节点制作出来的动画是固定的,无法调节,所以必须利用Script节点来制作这些可调节的动画。简而言之,带传动的弹性滑动和打滑动画需要结合VRML中的空间插补节点和Script脚本节点。其实现的基本原理是:先创建一个Script脚本节点和时间传感器节点TimeSensor,将这个TimeSensor加入到Script的域中,使Script节点能控制时间传感器的开始时startTime、停止时间stopTime和循环周期cycleInterval,再创建一个空间旋转插补节点,以便形成旋转动画,然后通过事件路由机制将TimeSensor节点和空间旋转插补节点关联起来,

收稿日期:2009-03-06

基金项目:国家自然科学基金项目(50175083);湖北省教育厅科研项目资助(Q20081507)

作者简介:徐建生(1955-),男,河北威县人,教授,博士,研究方向:摩擦学系统理论研究、纳米润滑技术。

这样通过 Script 脚本节点就可以控制主轴旋转动画的开始、停止、转速和转动时间。在 VRML 中运行的效果如图 1、2 所示。

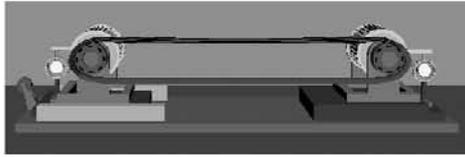


图 1 弹性滑动和打滑动画图 a

Fig 1 elasticity gliding and skidding picture a



图 2 弹性滑动和打滑动画图 b

Fig 2 elasticity gliding and skidding picture b

2 带传动试验机的数学模型建立

2.1 带传动试验简介

带传动是靠带与带轮间的摩擦力来传递运动和动力的。在传递转矩时传动带的紧边和松边受到的拉力不同^[7]。由于带是弹性体,受力不同时,带的变形量也不相同。紧边拉力大,相应的伸长变形量也大。在主动轮上,当带从紧边转到松边时,拉力逐渐降低,带的弹性变形逐渐变小而回缩,带的运动滞后于带轮。也就是说,带与带轮之间产生了相对滑动。而在从动轮上,带从松边转到紧边时,带所受的拉力逐渐增加,带的弹性变形量也随之增大,带微微向前伸长,带的运动超前于带轮。带与带轮间同样也发生相对滑动。这种由于带的弹性变形而引起的带与带轮之间的滑动,称为弹性滑动。这种弹性滑动在带传动中是不可避免的,其结果是使从动带轮的圆周速度低于主动轮的圆周速度,使传动比不准确,并引起带传动效率的降低以及带本身的磨损。

PJD-4 型带传动试验机主要技术参数如下:

- (1) 直流电机功率: 2 台 \times 50 W.
- (2) 主动电机调速范围: 0~1 800 r/min.
- (3) 额定转矩: $T=0.24 \text{ N} \cdot \text{m}=2 450 \text{ g} \cdot \text{cm}$.
- (4) 电源: 220 V 交流.
- (5) 带轮直径: $D_1=D_2=92 \text{ mm}$.



图 3 PJD-4 型带传动试验机的实物图片

Fig 3 PJD-4 belt machinery trial mechanism

带传动试验的实验目的是:

- (1) 实际观察带传动的弹性滑动和打滑现象.
- (2) 通过对滑动曲线(ϵ - F 曲线)和效率曲线(η - F 曲线)的测定,认识带传动特性、承载能力、效率及其影响因素.

2.2 带传动试验机的数学模型的建立及求解

2.2.1 机械结构 动带轮安装在电动机的输出轴上,电动机安装在实验台的固定支座上;从动带轮安装在加载器(磁粉制动器)的输入轴上,加载器安装在实验台的可移动支座上。两个带轮直径相等。实验前可通过螺旋调整机构使移动支座沿滚珠导轨方向左右移动,从而保证安装在主、从动轮上的 V 带获得所要求的张紧力。锁紧装置可以保证实验中两带轮的中心距不变。调节加载器输入电压的大小,即可改变加载器上的电磁吸力,从而实现改变 V 带负载的目的。

实验台机械部分如图 1 所示,两台直流电机中一台作为原动机,另一台则作为负载的发电机,原动机由可控硅整流装置供给电枢以不同的端电压,可实现无级调速。主、从动带轮分别装在原动机和发电机的转子轴上,实验用的平带套在两带轮上,两带轮直径相等。带传动工作时,发电机发出的电能送入一并联电阻电路,每按一下“加载”按键,即并上一个负载电阻,由于发电机的输出功率为 $P=U_2/R$,因此可通过并联负载电阻(减小总电阻)的方法来增加发电机的负载。发电机负载的增加,使得电磁转矩增大,从而起到了增大带传动输出转矩的作用。

2.2.2 张紧力的确定 发电机固定于支座上,原动机的支座设计成浮动结构 $F=\frac{2T_1}{D_1}$ 构(滚动滑槽),与牵引钢丝绳、定滑轮(放大比 $i=3$)、砝码一起组成带传动的张紧力形成机构。改变砝码的质量,通过钢丝绳拉动滚动支座,可以使带获得不同的张紧力 F_0 。

2.2.3 滑动率的测定 两台电机的转速传感器(红外光电传感器)分别安装在带轮背后的环形槽中(图未表示),由此可获得主动带轮的转速 n_1 和从动带轮的转速 n_2 。由于两带轮直径相等,可以得出带传动的滑动率 ϵ 为

$$\epsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_2} = \left(1 - \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1}\right) \times 100\%$$

2.2.4 转矩和有效拉力的测定 两台电机均为悬挂支承,当传递载荷时,作用于原动机定子上的转矩 T_1 和发电机上的转矩 T_2 迫使拉簧作用于拉力传感器,传感器输出的电信号正比于 T_1 、 T_2 的

原始信号,在电测箱的窗口上可读出 T_1 、 T_2 的值。带传动的有效拉力可近似由下面的公式计算:

$$F = \frac{2T_1}{D_1}$$

2.2.5 带传动效率 η 的测定 带传动的效率为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 n_2}{T_1 n_1}$$

式中 P_1 为带传动的输入功率(原动机的输出功率), P_2 为带传动输出功率(发电机的输入功率)。

2.2.6 带传动中滑动的程度用滑动率 ϵ 表示 其表达式为

$$\epsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_2} = \left(1 - \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1}\right) \times 100\%$$

式中 v_1 、 v_2 分别为主动轮、从动轮的圆周速度, m/s; n_1 、 n_2 分别为主动轮、从动轮的转速, r/min; D_1 、 D_2 分别为主动轮、从动轮的直径, mm。

如图 2 所示,带传动的滑动随有效拉力(有效圆周力) F 的增减而增减,表示这种关系的 ϵ - F 曲线称为滑动曲线(曲线 1)。当有效拉力 F 小于临界点 F' 时,滑动率 ϵ 与有效拉力 F 成线性关系,带处于弹性滑动工作状态。当有效拉力 F 超过 F' 点以后,滑动率急剧上升,此时带处于弹性滑动与打滑同时存在的工作状态。当有效拉力等于 F_{max} 时,滑动率近于直线上升,带处于完全打滑的工作状态。图中曲线 2 为带传动的效率曲线,即表示带传动效率 η 与有效拉力 F 之间关系的 η - F 曲线。当有

效拉力增加时,传动效率逐渐提高,当有效拉力超过点 F' 时以后,传动效率急剧下降。

带传动最合理的状态,应使有效拉力 F 等于或稍低于临界点 F' ,这时带传动的效率最高,滑动率 $\epsilon=1\% \sim 2\%$,并且还有余力负担短时间(如起动)的过载。图 2 中曲线 1 为滑动曲线、曲线 2 为效率曲线。

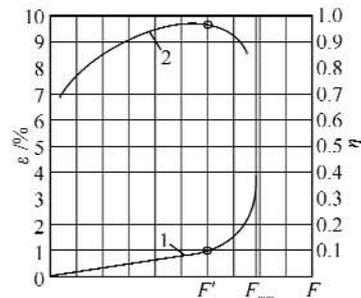


图 4 滑动曲线和效率曲线

Fig. 4 The glide curve and the efficiency curve

2.3 带传动试验机的数学模型建立

主要通过对滑动曲线(ϵ - F 曲线)和效率曲线(η - F 曲线)的测定,认识带传动特性、承载能力、效率及其影响因素。因此,重点分析滑动曲线(ϵ - F 曲线)和效率曲线(η - F 曲线)的仿真绘制及误差分析。
2.3.1 滑动曲线(ϵ - F 曲线)和效率曲线(η - F 曲线)的绘制 在建立好的虚拟试验机上做试验,当张紧力选定为 10.5 N 的时候,采集 8 组数据如表 1 所示。

表 1 虚拟机上测得的实验数据

Table 1 The experimental data of the virtual machine

序号	$n_1 / r \cdot \min^{-1}$	$n_2 / r \cdot \min^{-1}$	$T_1 / N \cdot m$	$T_2 / N \cdot m$	n_0	V	$\epsilon / \%$	η	F
1	304	301	4.12	3.00	3.85	6.0	0.99	0.71	86.57
2	303	298	4.74	3.64	4.68	8.0	1.65	0.76	103.04
3	302	296	6.03	4.94	5.85	10.0	1.99	0.80	131.09
4	302	294	7.48	6.80	7.92	12.0	2.65	0.89	162.61
5	303	292	9.04	7.92	11.36	14.0	3.63	0.84	196.52
6	296	282	9.98	8.18	13.60	15.0	4.73	0.78	216.96
7	299	282	10.97	8.70	17.36	16.0	5.69	0.75	238.48
8	305	281	12.17	9.65	23.95	17.0	7.87	0.73	264.57

通过数值计算和图形分析^[8],分别得到滑动率 ϵ 、传动效率 η 与有效拉力 F 关系式:

$$\epsilon = 0.1698e^{(0.0106F)} \quad (1)$$

$$\eta = (3.0E-9)F^4 - (2.0E-6)F^3 + 0.0005F^2 - 0.0442F + 2.1375 \quad (2)$$

其变化特点如下:

- a. ϵ - F 曲线随着 F 的增加而上升,但上升的速度由慢到快。
- b. 当 F 趋于 F_{max} 时,滑动率 ϵ 趋于直线上升。
- c. 带传动效率 η 随着有效拉力 F 的增加而增加。

d. 当有效拉力超过临界点 F_{max} 时,传动效率 η 急剧下降。

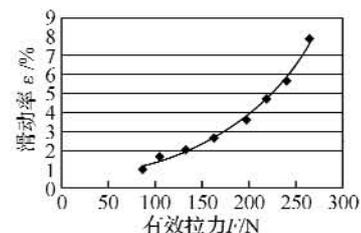


图 5 滑动曲线

Fig. 5 The glide curve after fitting

表 2 实际测量实验数据

Table 2 The actual operational experimental data

序号	$n_1 /$ $r \cdot \text{min}^{-1}$	$n_2 /$ $r \cdot \text{min}^{-1}$	$T_1 /$ $\text{N} \cdot \text{m}$	$T_2 /$ $\text{N} \cdot \text{m}$	n_0	V	$\epsilon / \%$	η	F
1	304	300	4.03	3.05	3.74	6.10	0.99	0.75	87.61
2	302	297	4.73	3.66	4.62	8.20	1.66	0.76	102.83
3	301	295	6.00	4.91	5.74	10.10	1.99	0.80	130.44
4	303	295	7.41	6.62	7.88	12.00	2.64	0.87	161.09
5	304	291	9.11	8.04	11.34	14.00	4.28	0.84	198.04
6	298	283	9.97	8.22	13.40	15.00	5.03	0.78	216.74
7	301	283	10.9	8.52	17.50	16.00	5.98	0.73	236.96
8	302	285	12.01	9.44	24.10	17.00	7.28	0.72	261.09

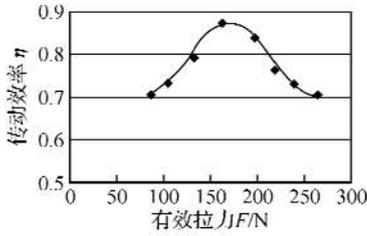


图 6 传动效率曲线

Fig. 6 The efficiency curve after fitting

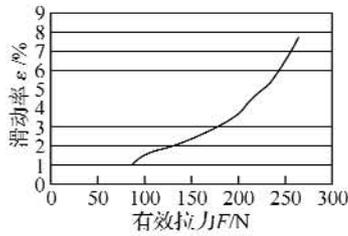


图 7 实际操作试验的滑动曲线图

Fig. 7 The glide curve of actual operation

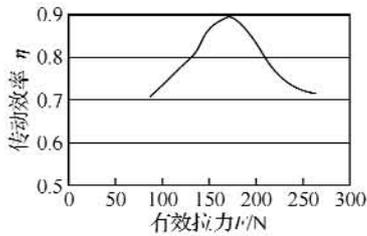


图 8 实际操作试验的效率曲线图

Fig. 8 The efficiency curve of actual operation

2.3.2 试验误差分析 显然,检验虚拟带传动试验机正确性的最有效方法是将仿真结果与实际结果进行对比分析可知,仿真曲线和实际曲线基本上具有相同的趋势,但也存在一定的误差。

误差产生的主要来源有:曲线拟合的经验公式(1)、(2)与虚拟试验测得数据的偏差,即拟合误差;数学模型中忽略了摩擦力及其他条件引起的误差,即模型误差;还有测量时的观测误差等。

设虚拟试验机上测得的滑动率 ϵ 与拟合公式(1)的偏差为 $\delta_1 (= \epsilon - f_1(F))$, 设虚拟试验机上测得的传动效率 η 与拟合公式(2)的偏差为 $\delta_2 (= \eta - f_2(F))$ 建立如表 3 所示的数据。

表 3 误差分析的数据

Table 3 The errors in experimental of the data

序号	虚拟试验机上测得的 $\epsilon / \%$	式(2)中计算得到的 $\epsilon = f_1(F)$	偏差 δ_1	虚拟试验机上测得的 η	式(3)中计算得到的 $\eta = f_2(F)$	偏差 δ_2
1	0.99	0.99	0.00	0.71	0.75	-0.04
2	1.65	1.66	0.01	0.76	0.76	0
3	1.99	1.99	0.00	0.80	0.8	0
4	2.65	2.64	0.01	0.89	0.87	0.02
5	3.63	4.28	-0.65	0.84	0.84	0
6	4.73	5.03	-0.30	0.78	0.78	0
7	5.69	5.98	-0.29	0.75	0.73	0.02
8	7.87	7.28	0.59	0.73	0.73	0

由表 3 可知:

滑动率 ϵ 的最大偏差为: $\max |\delta_k|_1 = 0.65$

传动效率 η 的最大偏差为: $\max |\delta_k|_2 = 0.04$

均方差为: $\sqrt{\sum \delta_k^2} = 0.97$

均方差为: $\sqrt{\sum \delta_k^2} = 0.05$

分析试验得到的结果以及误差,得知是在允许的误差范围内。因此,以上所建立的带传动虚拟试验机是科学的。

3 结 语

根据以上介绍的虚拟静态模型和动态模型原理,用 VRML 实现了虚拟现实环境下的 PJD-4 型带传动试验机的运动仿真,包括带传动的弹性滑动和打滑现象仿真。这个 PJD-4 型带传动试验机模型由于文件小,交互性强,运动逼真,可以发布到网上供用户从任何方向浏览并交互控制其运动。本文利用 VRML 实现了虚拟环境下的 PJD-4 型带传动试验机三维运动仿真,具有以下特点:①更逼真;②交互性强;③文件小,便于网上传输;④实现简单快捷;⑤对系统的要求较低。这种方法不仅在机构设计、运动仿真方面展示了其强大的功能,而且在网络时代的许多领域都有较大的应用前景。

参考文献:

- [1] David S K. Pro/ENGINEER 机械设计基础与实例教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [2] 陈定方. 虚拟设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 朱丽红,华斌. 基于 VRML 和 Java 技术的虚拟三维查询系统[J]. 计算机工程,2005,31(6):173-175.
- [4] 刘浩,戴居丰,杨磊,等. 虚拟现实技术及其应用研究[J]. 微计算机信息,2005,21(6):149-151.
- [5] 赛博科技工作室. VRML 与 Java 编程技术[M]. 北京:人民邮电出版社,1990.
- [6] 王仕仙,徐建生,卢霞. 基于 ANSYS 的滑动摩擦热结构耦合分析[J]. 武汉工程大学学报,2009,31(5):67-71.
- [7] 夏新念. 偏斜圆盘定轴转动时的动力学建模方法探讨[J]. 武汉工程大学学报,2009,31(1):76-78.
- [8] 秦襄培. MATLAB 图像处理与界面编程宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

The simulation of the belt machinery trial mechanism

XU Jian-sheng, WANG Xin, QIN Xiang-pei, WANG Shi-xian, ZHANG Hao

(School of Mechanical Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The feature of VRML is introduced in this paper and the method and principle of creating static and dynamic virtual model using CAD software and VRML is researched. The key technology of realizing movement simulation of elasticity gliding and skidding is emphasized, on the basis, the operational process of the PDJ-4 belt machinery trial mechanism.

Key words: VRML; belt machinery trial mechanism; simulation

本文编辑:陈晓革



(上接第8页)

Preparation of desulfurizer from iron slag

Xu Qi-ming¹, SHI Guo-fang², Chen Qi-ming¹, Hao Zhi-mou¹, Chen Jin-fang¹

(1. School of Chemical Engineering and Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Hubei Key Lab of Novel Chemical Reactor and Green Chemical Technology, Key Laboratory of Green Chemical Process of Ministry of Education, Wuhan 430074, China; 2. Jingzhou Institute of Technology, Jingzhou 434001, China)

Abstract: With an Industrial iron waste residue, seven water ferrous sulfate and calcium carbonate powder as raw material, after the oxidation reaction, we can gain a mixture. This product can be used as a desulfurization agent. The experimental results show that when the ratio of seven water ferrous sulfate amount; Calcium carbonate powder amount; Ferri waste residue amount = 1.6 : 1 : 1 (mass ratio), desulfurization effect of the obtained product is the best. Each gram of this kind of desulfurizer can completely absorb the sulfur element, which is included by 0.064 9 g five water sodium sulfide. This desulfurizer can be easily prepared with low cost, in line with the circular economy and green chemical requirements, which have certain economic and social benefits.

Key words: desulfurizer; iron slag; seven water ferrous sulfate; calcium carbonate; test of the desulfurization

本文编辑:张 瑞