

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.009

基于 OpenGL 技术的滑动轴承油膜特性可视化研究

王增胜, 杨汉嵩, 刘万福
(黄河科技学院 工学院, 河南 郑州 450063)

摘要: 为解决滑动轴承油膜厚度场、温度场和压力场的可视化问题, 将 OpenGL 图形技术应用到滑动轴承油膜特性三维模型的显示中, 研究开发了流体动压径向滑动轴承油膜特性的三维可视化仿真系统。模型中将轴瓦简化为略去厚度的圆柱面来处理; 为便于观察, 厚度场、温度场和压力场建立在轴瓦曲面的外表面, 并以“高度+颜色”的组合方法表现了油膜特性参数的大小, 给出了各模型的具体建立方法; 通过人机交互的方式控制模型的缩放、旋转, 并给出了模型旋转、缩放的具体方案。研究结果表明, 该仿真系统实现了对流体动压径向滑动轴承的油膜特性可视化模型的观察分析及交互操作, 可方便、直观地研究轴承油膜的工作性能, 有助于对滑动轴承进行故障分析从而提高其设计质量。

关键词: OpenGL; 滑动轴承; 油膜特性; 可视化研究

中图分类号: TH133.37 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)02-0164-03

Visualization research on oil film characteristics of sliding bearing based on OpenGL

WANG Zeng-sheng, YANG Han-song, LIU Wan-fu
(College of Engineering, Huanghe S&T College, Zhengzhou 450063, China)

Abstract: In order to solve the problem of sliding bearing oil film thickness field, temperature field and pressure field of visualization, the OpenGL graphic technology was applied to the oil film of sliding bearing characteristics of three-dimensional model of the display, the hydrodynamic sliding bearing oil film characteristics of 3D visual simulation system was researched and developed. The model was simplified to omit bearing thickness cylindrical surface to handle. For ease of observation, the thickness field, temperature field and pressure field based on bearing curved was built in the outer surface, the "high + color" combination method was used to show the characteristics of oil film parameter, the specific method of establishing model was given, model scaling, rotating through the man-machine interactive mode control, a model of rotation, scaling scheme was given. The research results show that simulation system realizes the observation analysis and interactive operation of fluid dynamic pressure radial sliding bearing oil film visualization model, can conveniently, visually research the bearing oil film performance, contribute to the sliding bearing fault analysis so as to improve the quality of design.

Key words: OpenGL; sliding bearing; film characteristic; visualization research

0 引言

动、静载特性参数的研究是滑动轴承研究中的重点, 国内外的科研机构就此问题作了大量的研究, 同时也有许多相关计算软件出现。但这些软件主要以油膜特性的分析和科学计算为目的, 大多采用 FORTRAN, C 等计算机语言进行软件编写。近年来, 也出现了滑动轴承油膜特性可视化方面的研究。例如, 中

南大学研究设计了“HS-B 滑动轴承实验台微机测试系统”, 提出了一种滑动轴承油膜周向压力分布的仿真方法, 获得了仿真曲线^[1]。西安交通大学设计了“滑动轴承实验台模拟、测量及多媒体 CAI 系统”, 实现了用于滑动轴承实验台模拟和计算机辅助教学的多功能系统, 以面向对象技术和多媒体技术理论为基础, 对实验原理、实验过程进行了模拟^[2]。江苏大学开发了“动载滑动轴承的热流体动压 (THD) 润滑油膜可视

收稿日期: 2012-08-14

作者简介: 王增胜(1980-), 男, 山西介休人, 讲师, 主要从事机电一体化方面的教学和研究工作。E-mail: 93611898@qq.com

化计算软件”,以 ObjectARX3.0 工具为中介,以 VisualC++6.0 和 AutoCAD2000 绘图平台实现了油膜特性的可视化^[3]。

上述系统中对油膜特性的可视化仅以平面图形或是基于 Matlab 的三维图形而出现。平面图形不够直观,无法全面反映滑动轴承整体的油膜厚度场、温度场和压力场;基于 Matlab 的三维图形不利于用户的交互控制,也不便于观察;两者都不便于移植。而基于 OpenGL 的油膜特性可视化系统则不多见,鉴于此,本研究对流体动压径向滑动轴承的油膜特性进行研究,以 OpenGL 为工具开发其可视化系统。

1 OpenGL 技术在油膜特性可视化中的实现

可视化需要解决的问题有科学计算结果数据的后处理、科学计算结果数据的实时处理及显示、科学计算结果数据的及时绘制及交互处理等。

油膜特性的可视化,包括油膜厚度场的可视化、油膜温度场的可视化、油膜压力场的可视化等。

1.1 三维空间数据场可视化的基本流程

尽管三维空间数据的类型各不相同,数据分布及连接关系的差别也很大,但是其可视化的基本流程却大体相同,三维空间数据可视化的几个主要步骤如图 1 所示^[4-6]。

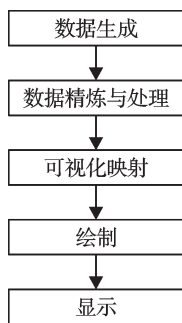


图1 数据场可视化基本流程

1.2 油膜特性可视化模型的表现方案

油膜特性的可视化模型可以用3种方式来表示:①高度表示法以高度的不同来表现油膜的厚度、温度和压力,这里作为三维立体模型则表现为空间曲面的起伏,直观地表现出其相应数值的大小;②颜色表示法也常用来表现数值的大小,对不同大小的数值赋予不同的颜色来表示;③“高度+颜色”双重表示法是用高度和颜色同时表示数值的大小。本研究采用第3种方案。

1.3 OpenGL 建模技术

该模型包括轴瓦模型、膜厚场空间模型、压力场空间模型、温度场空间模型、油膜动力学特性随载荷

及轴颈转速变化而变化的线图。

轴瓦模型简化为圆柱面来处理,略去其厚度,为方便绘制和观察,本研究将膜厚场、温度场和压力场建立在轴瓦曲面的外表面上,即将膜厚、压力、温度的值由轴承表面向外生长表现出来^[7-8]。

1.3.1 轴瓦曲面模型

轴瓦绘制原理如图2所示。本研究以数值计算程序划分网格的划分为标准,即以角度为单位沿轴瓦周向将其划分为若干份,以长度为单位沿轴瓦轴向划分为若干份,便完成了整个轴瓦的网格划分。由轴承半径可以得到圆柱面上各节点的 X 、 Y 坐标,加入该节点在轴向的位置便得到了节点的空间位置坐标,即 $(r \cos \theta_i, r \sin \theta_i, -l_i)$ 。由于轴瓦是规则的圆柱面,这里仅需要轴向两个端面上节点的坐标,前端面坐标为 $(r \cos \theta_i, r \sin \theta_i, 0)$,后端面坐标为 $(r \cos \theta_i, r \sin \theta_i, -l)$,而后以长四边形来逼近圆柱面即可,四边形的顶点坐标即上述节点坐标,用到的 OpenGL 库函数为 $\text{glBegin}(\text{GL_POLYGON})$ ^[9]。

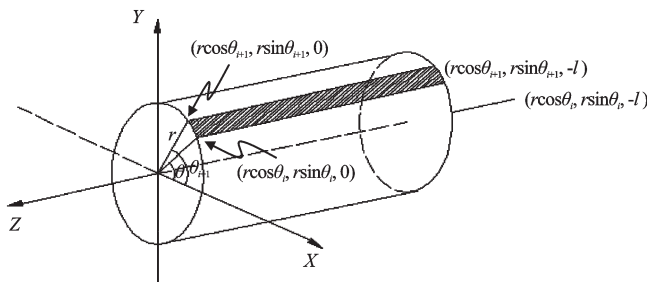


图2 轴瓦曲面绘制原理图

1.3.2 膜厚场曲面模型

以上瓦为例,笔者绘制的原理图如图3所示,以轴瓦曲面为基础,向外生长,考虑到膜厚分布沿轴向是均匀的,故也可用长四边形来逼近膜厚曲面,前后端面节点的空间位置坐标分别为 $\{(r+h_i) \cos \theta_i, (r+h_i) \sin \theta_i, 0\}$ 、 $\{(r+h_i) \cos \theta_i, (r+h_i) \sin \theta_i, -l\}$ 。

1.3.3 温度场曲面模型

由于温度分布沿轴向也是均匀的,温度曲面的建立与膜厚曲面的相同,其绘制原理可参照图3的膜厚绘制原理,以前后端面节点为长四边形顶点由长四边形逼近而成,其顶点位置空间坐标为 $\{(r+t_i) \cos \theta_i, (r+t_i) \sin \theta_i, 0\}$ 、 $\{(r+t_i) \cos \theta_i, (r+t_i) \sin \theta_i, -l\}$ 。

1.3.4 压力场曲面模型

压力场的模型不同于膜厚场和温度场模型,因为压力在轴向不是均匀分布的,研究者不可用长度为轴承长度的四边形来逼近,本研究选择三角形片元,其节点坐标为 $\{(r+p_{ij}) \cos \theta_i, (r+p_{ij}) \sin \theta_i, -l_j\}$ 。

1.4 OpenGL 中的颜色及光照

本研究采用 RGBA 颜色模式,将颜色的 R 、 G 、 B 值

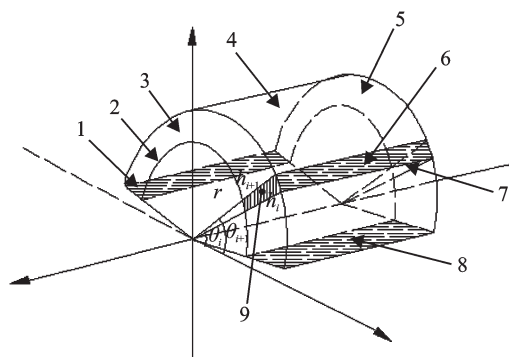


图3 膜厚场绘制原理图

1—膜厚场左端面;2—轴瓦曲面;3—膜厚场前端面;4—油膜表面;5—膜厚场后端面;6—膜厚场表面逼近四边形;7—膜厚场后端面逼近四边形;8—膜厚场右端面;9—膜厚场前端面逼近四边形

设为变量,即 $\text{glColor3f}(r, g, b)$, 设置不同的值域对应不同的 R, G, B 值以获得相应的颜色,对于不同的可视化模型,具体实现如下:

(1) 膜厚场可视化模型。判断膜厚曲面节点的坐标 $\{(r+h_i)\cos\theta_i, (r+h_i)\sin\theta_i, -l_i\}$ 中 h_i 所处的值域,匹配相应的颜色,匹配原则为膜厚的“大小”对应颜色的“暖冷”,即当膜厚从大到小时,对应的颜色从暖色系到冷色系。

(2) 温度场可视化模型。判断温度曲面节点的坐标 $\{(r+t_i)\cos\theta_i, (r+t_i)\sin\theta_i, -l_i\}$ 中 t_i 值所处的值域,匹配相应的颜色。

(3) 压力场可视化模型。判断压力曲面节点的坐标 $\{(r+p_{ij})\cos\theta_i, (r+p_{ij})\sin\theta_i, -l_j\}$ 中 p_{ij} 值所处的值域,匹配相应的颜色。

在真实世界中,三维物体的可见性是由物体自身的特性和加在物体上的光照共同决定的。如果没有光照,大多数的物体看起来根本没有三维效果。这里用到的是 $\text{glLightfv}()$ 函数。

1.5 油膜特性三维可视化模型交互控制的实现

1.5.1 模型的旋转

本研究调用函数 $\text{glRotatef}(q, xx, yy, zz)$ 结合 timer

控件分别实现了模型绕坐标轴的旋转。绕不同的转轴旋转时使对应转轴对应参数为1,其余为0即可, q 以一定角度递增。

1.5.2 模型的缩放

通过在高度模型前乘以比例因子的方法得以实现,例如对油膜厚度放大的数学模型为 $\{(r+(1+m)h_i)\cos\theta_i, (r+(1+m)h_i)\sin\theta_i, l_i\}$, 每点击一次放大按钮,可使 m 增加0.1,即放大到原来膜厚的1.1倍,缩小时只须改为 $1-m$ 即可。压力场和温度场可视化模型的缩放同理。

2 油膜特性可视化系统实现

2.1 系统功能及程序流程

油膜特性可视化系统可实现可视化对象的选择、可视化模型模块的选择和模型的交互控制等功能。可视化对象的选择是指选择某种工况下的轴承,同时显示其油膜特性的数值计算结果;可视化模块的选择是选取膜厚场、压力场、温度场等对象;交互模块是指相应模型的旋转和缩放操作。

程序流程图如图4所示。

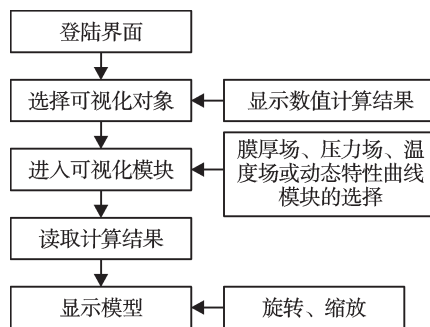
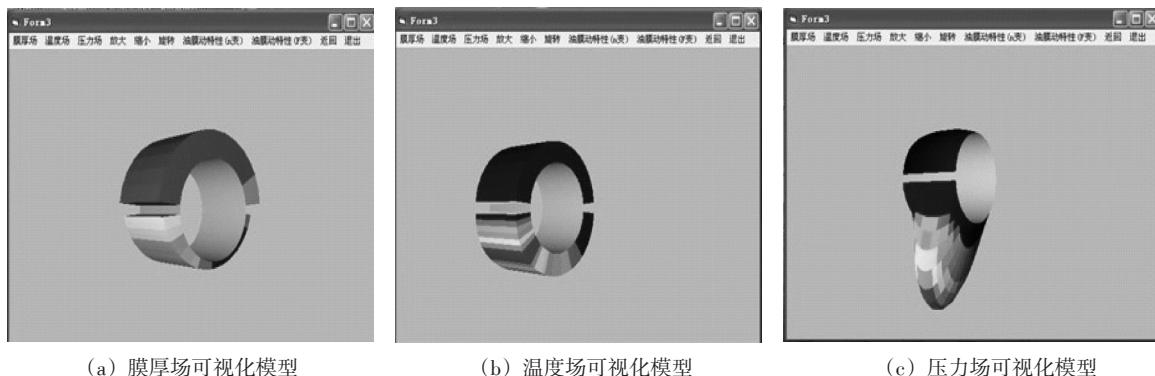


图4 程序流程图

2.2 仿真系统示例

用户进入登录界面后选择所要显示的轴承对象,同时显示其数值计算结果,并进入可视化界面,菜单栏可供选择的有膜厚场、温度场、压力场、油膜动特性等选项,选择后有二级菜单,可选整瓦、上瓦、下瓦的相应模型,选择膜厚场、温度场和压力场时的场景图如图5所示。



(a) 膜厚场可视化模型

(b) 温度场可视化模型

(c) 压力场可视化模型

图5 膜厚场、温度场、压力场可视化模型

(下转第191页)

就可以确定再启动的时刻。

该装置使用测距传感器所提供的距离参数来确定同步带停止的时间,从而实现协同控制,传感器把距离参数传给控制器。当该参数小于一固定参数时,停止同步带,便可以实现精确控制。实验结果证明,当距离为2.5 cm时停止同步带,能够达到最好的效果。

4 试验与分析

本研究的试验把衣物平整度作为评价叠衣效果的指标。本研究把由该装置处理的衣物与手工处理的衣物各放在一处,请来20位不了解两组衣物处理过程的参与者,要求他们选出平整度更好的一组衣物。结果有12人认为手工折叠后的衣物的平整度较好,8人认为机械折叠后衣物的平整度较好。因此,可以认为手工折叠与机器折叠的效果基本相同。

为了检验自动衣物处理装置的工作效率,本研究进行了相关的试验。经过多次测验,该装置完成整个流程用时30 s,而叠衣过程仅用时8 s。叠衣的效果与人工叠衣的效果相同。

5 结束语

自动衣物处理装置是一个符合市场要求和家居生活的机电设备。本研究基于DSP开发平台,设计了一种自动收叠衣系统,并进行了实验验证。实验结果表明,该设备可以初步代替人工进行收衣叠衣的工作,为服装处理的自动化和机械化提供了一种新的实现方法。

目前,该装置能处理一定尺寸范围内的衣物。在下一阶段,本研究将着重提高该装置的通用性,使其能够处理尺寸特殊或者样式特殊的衣物。同时,以提高折叠衣物的平整度为目标进行后续优化。

参考文献(References):

- [1] 田大秋,王耐敏. 自动化技术与纺织业[J]. 科技信息, 2008(15):28.
- [2] 吴永升,祝宪民,徐妙祥,等. 2010年中国国际纺织机械展览会暨ITMA亚洲展览会展品评估综述[J]. 纺织机械, 2010(6):3-5.
- [3] 计时鸣,陈承钢. 基于DSP和CPLD的伺服运动控制器[J]. 机电工程,2011,28(2):137-140.
- [4] 张秋燕,张学宽,张宁,等. DSP开发系统的研究[J]. 天津工业大学学报,2002,21(1):76-79.
- [5] 韩纪庆,杨子云,王承发,等. DSP开发工具综述[J]. 微处理机,1994(2):3-5.
- [6] 杨立诚,陶胜利. 电动自行车控制系统的优化配置[J]. 中国自行车,2006(5):37.
- [7] 李永东,曾毅. C2000系列DSP及其在电机调速中的应用[J]. 变频器世界,2005(1):6-9.
- [8] 张卫国,马丽萍. 基于DSP的分布式温度调节控制系统[J]. 轻工机械,2011,29(4):59-62.
- [9] 杜海江,石新春. 基于C2000系列DSP的数字电机控制研究与实践[J]. 电器电子教学学报,2002,24(5):61-63.
- [10] 张雄伟,陈亮,曹铁勇,等. DSP芯片的原理与开发应用[M]. 4版. 北京:电子工业出版社,2009.
- [11] 姚睿,王友仁,储剑波,等. DSP-C2000综合实验平台的研制与开发[J]. 沈阳理工大学学报,2005(2):22-25.

[编辑:张翔]

(上接第166页)

3 结束语

本研究利用可视化手段,以OpenGL为开发工具,研究开发了流体动压径向滑动轴承油膜特性的可视化系统。通过实例,笔者详细阐述了油膜特性可视化的实现过程,形象、直观地表现了油膜厚度、油膜温度、油膜压力的分布规律,从而为油膜特性的研究提供了新的手段,同时也丰富了可视化技术的应用领域。

参考文献(References):

- [1] 南亦民. HS-B滑动轴承实验台微机测试系统的设计与研究[D]. 长沙:国防科技大学机械工程学院,2004:25-30.
- [2] 杨洛伟. 滑动轴承实验台模拟、测量及多媒体CAI系统的设计和实现[D]. 西安:西安交通大学机械与动力工程学院,2000:18-20.
- [3] 何志霞,李德桃. 可视化技术在动载滑动轴承THD计算中的应用[J]. 小型内燃机与摩托车,2003,32(4):19-22.
- [4] 戴晨光,邓雪清,张永生. 海量地形数据实时可视化技术研究[J]. 测绘信息与工程,2004,29(6):6-9.
- [5] 戴光明,李庆华. 三维体可视化若干问题研究[J]. 计算机工程,2002,29(7):48-81.
- [6] 付平. 化工设备可视化管理系统功能模块的设计及实现[J]. 机械,2010,37(7):29-32.
- [7] 范红红,张小栋,李单龙. 基于OpenGL技术的滑动轴承油膜特性的可视化研究[J]. 润滑与密封,2008,33(11):81-83.
- [8] 赵栋,陈显频,兰秀菊,等. 基于MES的可视化质量管理体系[J]. 轻工机械,2011,29(2):123-127.
- [9] 王增胜. 基于OpenGL技术的滑动轴承油膜特性可视化研究[D]. 郑州:河南工业大学机电工程学院,2007:30-32.

[编辑:张翔]