

基于 Matlab 的机织物结构相三维仿真

吕 珍, 祝双武*

(西安工程大学 纺织与材料学院, 陕西 西安 710048)

摘 要:为真实、快速、形象地显示织物,基于 Peirce 及其衍生模型采用正弦函数模拟了纱线屈曲状态;利用圆形和椭圆形分别描述纱线截面形态,避免了纱线弯曲处出现尖角或交叉;加入织物多类控制参数,实现了不同纱线直径、经纬密、结构相、纱线线密度的快速变换控制。基于坐标变换原理,建立了以空间曲面描述织物三维形态的模型;采用 Matlab 语言进行编程,基于所建数学模型进行三维结构形态模拟;加入颜色插值、添加光源等,更好地进行了仿真效果呈现。

关键词:机织物结构相;三维仿真;MATLAB;教学演示

中图分类号:TS101.97;TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2015)02-0099-04

织物组织结构对织物设计与生产具有重要意义,且织物结构的三维建模是纺织 CAD 研究领域的热点。在纺织复合材料领域研究织物组织结构对预测和掌握纺织复合材料的力学性能、摩擦性能等具有重要意义^[1]。而当下市场上多是纺织过程管理软件^[2]、织物二维显示软件^[3],对织物三维显示的研究很少见。且是进行纹理映射于物体表面,无法详细观察织物组织,或是利用 3DMAX^[4]、OpenGL^[5]等三维建模软件进行复杂点线绘制,不仅耗时还需要绘图人员具有专业作图技能。

本文分析了平纹织物的结构特性、交织原理,并利用计算、绘图均功能强大的 Matlab 进行建模仿真,仅需进行编程,设置变量参数,即可定量定性实现织物表示。此法可应用于织物组织结构分析,成品场景展示^[6]等多方面。对于大多数织物纱线由于挤压产生形变或有部分重叠现象出现不易进行仿真,但对于平纹类织物经大量切片实验研究得知纱线的形态走势类似于正弦曲线,且不存在重叠现象^[7],故本文以平纹组织为例进行机织物结构相三维仿真。

1 平纹织物中纱线走势及形态

纱线在织物组织中的几何形态即将织物沿经向剖面的截面图如图 1 所示,呈正弦走势且纱线有轻微挤压变形。纱线在织物中弯曲形成屈曲波,波峰与波谷的垂直距离称为织物中纱线的屈曲波高,经(纬)纱的

屈曲波高为 h_j (h_w);经(纬)纱直径为 d_j (d_w);经(纬)纱截面长、短直径为 d_{jl} 、 d_{js} (d_{wl} 、 d_{ws});织物纱线几何密度为 l_j (l_w)。屈曲波高描述了织物内经纬纱的交织形态,经(纬)纱直径描述了织物内纱线的截面形态。

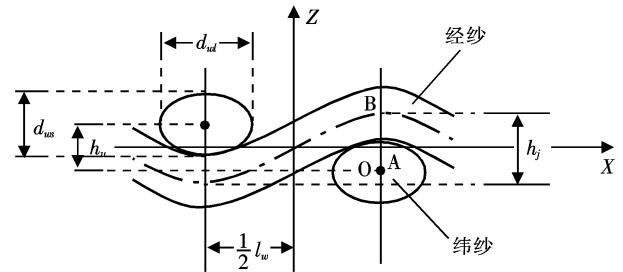


图 1 纱线在织物组织中的几何形态

1.1 纱线截面方程

根据织物几何结构形态建立纱线截面方程,为简化建模假定每根纱线沿着轴心分布,其形状大小保持不变即为均匀直径纱线。设 X 轴平行于经向, Y 轴平行于纬向, Z 轴垂直于织物平面, f_j 、 f_w 分别为圆(椭圆)的圆心,即经纱轴心在 Z 轴上移动距离; (x, y, z) 为纱线轴心位置坐标,以此为基准建立三维坐标系。本文以平纹织物为例仅对圆形及椭圆形截面进行模拟,即基于 Pierce 模型的模拟。

$$\text{经纱圆形截面方程 } \frac{y^2}{(\frac{1}{2}d_j)^2} + \frac{(z-f_j)^2}{(\frac{1}{2}d_j)^2} = 1 \quad (1)$$

$$\text{纬纱圆形截面方程 } \frac{x^2}{(\frac{1}{2}d_w)^2} + \frac{(z-f_w)^2}{(\frac{1}{2}d_w)^2} = 1 \quad (2)$$

$$\text{经纱椭圆截面方程 } \frac{y^2}{(\frac{1}{2}d_{jl})^2} + \frac{(z-f_j)^2}{(\frac{1}{2}d_{js})^2} = 1 \quad (3)$$

收稿日期:2014-10-08;修回日期:2014-10-23

基金项目:陕西省教育厅专项基金项目(12JK0942);博士启动基金(BS1004)

作者简介:吕 珍(1989-),女,在读硕士研究生,主要研究方向:数字化纺织技术及图像显示。

* 通信作者:祝双武(1971-),男,安徽宁国人,教授,博士,主要研究方向为数字化纺织技术,E-mail:zhushuangwu@263.net。

$$\text{纬纱椭圆截面方程} \frac{x^2}{(\frac{1}{2}d_{wl})^2} + \frac{(z-f_w)^2}{(\frac{1}{2}d_{ws})^2} = 1 \quad (4)$$

1.2 纱线轴心走向形态

织物内纱线的屈曲形态随织物组织、纱线密度、纱线线密度、纤维原料及上机张力等不同,其表现出的形态也各异。一般认为,每根纱线在织物内的屈曲形态可以概括为正弦曲线形态与直线段形态的组合。为建模方便,这里直接用正弦曲线来近似表示纱线轴心线的屈曲形态。观察图1结合织物交织原理构建出中心线方程^[8]:

$$f_j = \frac{1}{2}(d_{js} + d_{ws} - h_w) \times \sin(\frac{\pi}{F_1 \times l_w} x) \quad (5)$$

式中, h_w 为纬纱的屈曲波高,其与织物的几何结构有关;若经纬纱直径相等且为 d , 则经纬纱屈曲波高与几何结构相的关系如表1所示。

表1 经纬纱屈曲波高与织物几何结构相的关系

| 屈曲波高 | 结构相 | | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| h_w | 2d | 7d/4 | 3d/2 | 5d/4 | 1d | 3d/4 | d/2 | d/4 | 0 |
| h_j | 0 | d/4 | d/2 | 3d/4 | 1d | 5d/4 | 3d/2 | 7d/4 | 2d |
| A_j | 0 | d/8 | d/4 | 3d/8 | d/2 | 5d/8 | 3d/4 | 7d/8 | d |
| A_w | d | 7d/8 | 3d/4 | 5d/8 | d/2 | 3d/8 | d/4 | d/8 | 0 |

2 纱线模型构建

2.1 纱线截面模拟

已知轴线方程即纱线中心线的走向,把圆柱按轴线分若干段,在每个断面画圆即为模拟的纱线截面,圆的法线就是轴线的切线方向对应模拟截面,如图2所示。

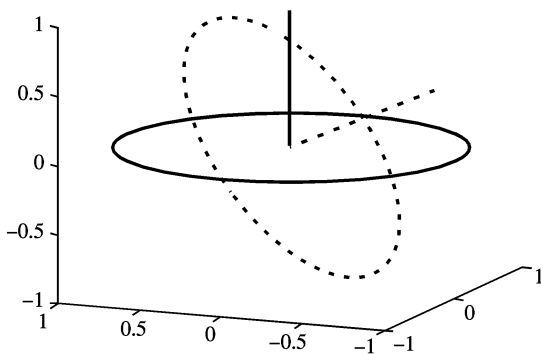


图2 正弦线圈模型简易演示图

图2中实线、虚线各为一组。实线为一简易模拟,位于 xy 平面,垂直法线经圆心位于其上;虚线为空间圆是一更为普遍的模拟纱线的截面,法线切中心轴线过其截面中心,已知直径后控制圆形截面的生成。对

应椭圆与之类似,加入正余弦参数控制即可。控制圆生成的向量 $P = [\sin(t); \cos(t); \text{zeros}(1, n)]$ 修改 \sin 或 \cos 系数即可。对应程序如下:

```
function section %生成纱线界面简易图函数
t=30;p=60;t=t/180 * pi;p=p/180 * pi; %参数设定
T1=[1,0,0;0,cos(p),-sin(p);0,sin(p),cos(p)];%控制纱线直径,生成截面
X=[0;0;1];
T2=[sin(t),-cos(t),0;cos(t),sin(t),0;0,0,1];
Rx=T1 * T2 * X;
N=100; %点的个数
t=linspace(0,pi * 2,N); %设定步长
P=[sin(t);cos(t);zeros(1,N)]; %生成圆的点
Rp=T1 * T2 * P; %圆心旋转,为绘制虚线部分准备
plot3(Rp(1,:),Rp(2,:),Rp(3,:), 'k');绘制虚线轴心切线
hold on; %图像保持
plot3(P(1,:),P(2,:),P(3,:), 'b'); %绘制实线轴心切线
axis([-1,1,-1,1,-1,1]); %设置坐标轴范围
plot3([0,X(1)],[0,X(2)],[0,X(3)], 'k', 'linewidth', 2); %绘制实线纱线截面
plot3([0,Rx(1)],[0,Rx(2)],[0,Rx(3)], 'k', 'linewidth', 2); %绘制虚线纱线截面
view([-67,14]); %设定观察视角
```

2.2 经纱的模拟

基于上述圆弧切直线模型,已知纱线的轴心走向方程:

$$\begin{aligned} f_j &= A_j \sin(\omega_j x) \\ &= \frac{1}{2}(d_j + d_w - h_w) \times \sin(\frac{\pi}{F_j \times l_w} x) \\ &= \frac{1}{2} h_j \times \sin(\frac{\pi}{F_j \times l_w} x) \end{aligned} \quad (6)$$

织物的屈曲波高之和为一恒等式:

$$h_j + h_w \equiv d_j + d_w \quad (7)$$

(1)单根纱线的模拟。如图3选取三个周期,每周取10个截面,利用 plot3 函数绘制。

(2)若采用 mesh 函数画出纱线曲面,则其平滑程度与所取像素点及所划分隔的数量有关。如图4取50分割,其横向中间有明显的断层,此由于中间快速的增

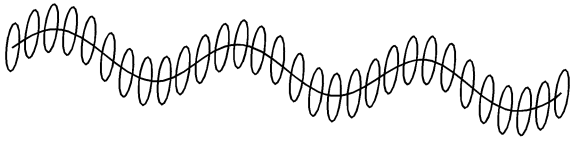


图3 每周期取10个截面的单纱模拟空间图

长而致;若增多其分割如图5,明显平滑流畅;加入颜色及光照控制后的模拟如图6。此处光照处理使用 Matlab 提供的光源 light 函数^[9]格式如下:Light('Color',选项1,'Style',选项2,'Position',选项3),flat 使得入射光均匀洒落在图像对象的每个面上,是默认选项; gouraud 先对顶点颜色插补,再对顶点勾画的面上颜色进行插补,用于表现曲面; phong 对顶点处的法线插值,再计算各个像素的反光,它生成的光照效果好但更费时;none 关闭所有光源,采用 gouraud 选项先对顶点颜色插补,再对顶点勾画的面上颜色进行插补,可较好表现曲面效果。主要程序如下:

```
light('Position',[-3 -1 -3],'Style','infinite');
```

```
light('Position',[3 1 2],'Style','infinite');%设定光源位置
```

```
lighting gouraud;%先对顶点颜色插补,再对顶点勾画的面上颜色进行插补,可用于较好表现曲面效果
```

```
shading interp;
```

```
colormap([.5 .5 .5]);%设定色谱颜色
```

```
axis off;%去掉坐标显示
```

```
axis equal;%坐标轴均分
```



图4 选取50分割所画曲面图

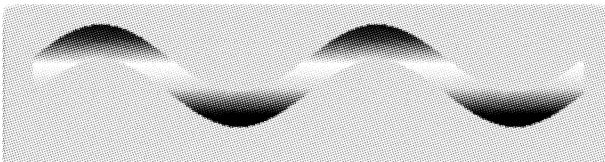


图5 选取更多分割模拟纱线图

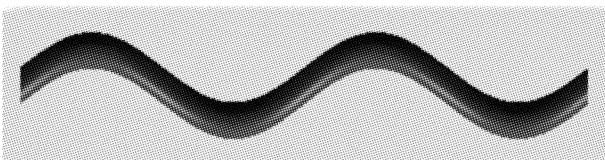


图6 加入颜色及光源后纱线模拟图

对于纬纱的模拟与经纱类似,在此不再赘述。

3 经纬纱线交织模拟

3.1 织物结构参数计算和交织模拟

实际应用中短纤(棉等天然纤维)用英支 N_e 表示,长纤纱线(化纤长丝及蚕丝等)用旦数 N_D 表示,换算公式:短纤 $N_t = 583/N_e$,长纤 $N_t = N_D/9$ 。

根据纱线的线密度计算出纱线的理论直径,此时纱线截面认为是规则圆形,纱线的理论直径计算 $d = K_d \sqrt{N_t}$, K_d 为常数^[10], N_t 为纱线的线密度。下面给出一则具体的计算,以说明模拟仿真织物参数的确定。

已知一棉纱为 30^s ,换算后为 19.43 tex ,其中 $K_d = 0.037$,每个像素点为 0.2 mm 。

$d = K_d \sqrt{N_t} = 0.037 \sqrt{19.43} = 0.163 \text{ (mm)}$,即直径为 0.163 mm ;单根纱线的中轴线方程 $f_1 = A \sin(\omega x)$,又由织物的性质得 $d = T/2 = \pi/\omega$,为易于在计算机中表示将直径值扩大100倍,则直径、半周期此时均为 16.3 mm ,计算得 $\omega = 0.193 \text{ mm}$ 。假设织物的经纬密均为 $300 \text{ 根}/10 \text{ cm}$,则织物的经向几何密度 $l_j = 100/p_j = 100/300 = 0.33 \text{ (mm)}$,即两根经纱之间的垂直距离为 0.33 mm ,对应像素点 $0.33 \times 100 \times 0.2 = 6.6 \approx 7$,则每个周期像素点 $16.3/0.2 = 81.5 \approx 82$ 。根据上述计算值进行编程,步长及总划分个数由像素点对应个数确定。

图7为初步模拟的织物图,可看出其模拟的曲面是由线构成的,不够光滑与均匀;图8为加入光照后的模拟图,其效果更近似于织物,且可用于展示外观图。

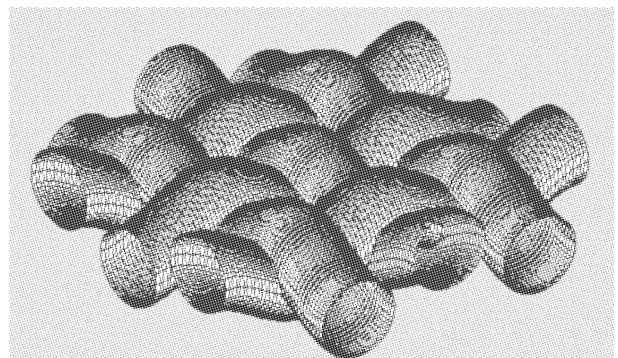


图7 交织物模拟图

3.2 九个结构相对应的仿真图

在机织物结构与设计基础学^[10]中有更详细的划分,可将整个结构向划分为21个,每次变化 $d/20$,但如此划分只会加重模拟过程中的工作量。通过经纬纱屈曲波高与织物几何结构相的关系,将模拟的织物从

纬支持面过渡到经支持面,模型方程(6),整个过程均匀分为 9 段, h_j 每次变化 $d/4$,则 A_j 变化 $d/8$ 。具体模拟如图 9 所示。

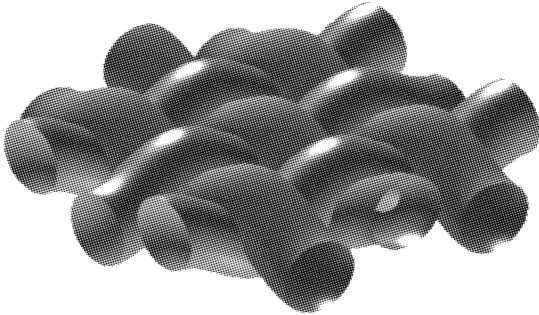


图 8 加入光源后织物效果图

| 结构相 | 模拟图 | 结构相 | 模拟图 |
|-----|-----|-----|-----|
| 一 | | 六 | |
| 二 | | 七 | |
| 三 | | 八 | |
| 四 | | 九 | |
| 五 | | | |

图 9 平纹织物九个结构相的模拟图

4 结论

利用类似切片的方法,采用 plot3 函数绘制纱线截面,并进行截面分布与轴线拟合来进一步模拟纬纱系统和各结构相时,所生成的顺序会影响面的覆盖,使图形错综,无法真实模拟。但此法可进行简单模拟织物切片过程,有利于教学演示。

采用 mesh 函数进行纱线面的模拟,可通过参数改变纱线细度、织物经纬密来实现织物不同结构相的模拟,具有快速、方便、准确的优点,方便组织设计者制作及分析,且可用于织物三维场景展示。

参考文献:

- [1] 任 莺. 国内外纺织 CAD 发展状况及动向[J]. 纺织学报, 1999, 20(6): 383—384.
- [2] 耿 亮, 孙 艳, 伯 燕. 织物设计预测系统开发[J]. 丝绸, 2011, 48(11): 22—25.
- [3] 袁慧芬, 顾春华, 王 旭. 基于 MATLAB 下组织图绘制初探[J]. 安徽工程科技学院学报, 2004, 19(2): 60—63.
- [4] 王爱民, 许志峰. 基于 3DMAX 和 OenGL 的遥操作机器人图形建模[J]. 工业仪器与自动化装置, 2007, (4): 77—80.
- [5] 王 鹏, 吴志明. 利用 OpenGL 与 3DS 集成技术构建服装 CAD 的三维人体模型[J]. 苏州大学学报(工科版), 2005, 25(1): 68—74.
- [6] 王伟荣. 家居产品的三维展示设计与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2013. 4—6.
- [7] 谢光银. 机织物设计原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 26—30.
- [8] 祝双武. 纺织 CAD/CAM[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007. 120—123.
- [9] 刘卫国. Matlab 程序设计与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 130—133.
- [10] 谢光银. 机织物结构与设计基础学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008. 20, 24—33.

Woven Fabrics Structural Phase 3D Simulation Based on Matlab

LV Zhen, ZHU Shuang-wu*

(School of Textile and Materials, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to present the woven fabric vividly and quickly, the yarn buckling was simulated using sin-cos function based on the Peirce model and the derived models. The yarn cross-section shape was described using circle and oval so as to avoid sharp corners or cross at yarn bend. The rapid change control of different yarn diameter, density, structural phase and yarn linear density were achieved by adding fabric control parameters. The space surface describing fabric three-dimensional shape model was established based on the principle of coordinate transformation. The mathematical models were developed to simulate woven fabrics structural phases of the three-dimension (3D) by Matlab programming language. Addition color interpolation and adding lighting were used to make the fabric more realistic.

Key words: woven fabric structural phase; 3D simulation; Matlab; teaching demonstration