

文章编号: 0253-9721(2007)12-0041-05

纬平针织物的计算机三维模拟

刘夙, 龙海如

(东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘要 为探索计算机模拟纬平针织物的新方法, 更加真实地反映其三维结构, 在 Pierce 二维纬编针织线圈模型的基础上, 根据针织物空间几何结构的特点, 建立了三维几何线圈模型。它由几段用参数方程表示的空间圆弧和曲线连接组成, 通过 OpenGL 程序设计和库函数中的球体模型, 在 Visual C++ 编程环境下实现该线圈模型。研究和模拟结果表明, 采用这种建模和实现方法, 无需消隐处理, 可较为逼真地显示出纬平针织物线圈在三维空间中相互串套的效果。

关键词 纬平针织物; 线圈模型; OpenGL; 三维模拟

中图分类号: TS181.8 文献标识码: A

Three dimensional computer simulation of plain weft knitted fabric

LIU Su, LONG Hairu

(College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In order to explore a new method of computer simulation on plain weft knitted fabric and to show its real three-dimensional structure, based on Pierce's 2-D weft knitted loop model and the feature of knit geometry configuration in space, a 3-D geometry loop model is constructed. Comprising several spatial arcs and curves represented by parameter equations, the model is implemented under the VC++ programming circumstance by OpenGL drawing program and the spheroid technique in its library functions. The result of research and computer simulation indicate that the modeling and implementing method can give vivid effect of plain knitted fabric with 3-D intermeshed loops without the need of concealment processing.

Key words plain weft knitted fabric; loop model; OpenGL; three-dimensional computer simulation

针织物的仿真和图案效果的模拟是羊毛衫计算机辅助设计(CAD)中一个重要的组成部分。早期的羊毛衫 CAD 软件比较侧重于对衣片工艺单的生成这一部分^[1], 而之后的软件则增添了对织物组织模拟以及试穿方面的功能, 但是大多数软件的模拟效果并不十分理想, 仅限于产生一种平面的效果, 这并不能表现织物的真实感。要想达到一种比较逼真的效果, 首先应该从三维的角度构建一个线圈的模型。本文使用 OpenGL^[2]建立了三维针织平针线圈模型, 作为模拟纬平针织物的基础。

1 线圈模型的建立

在针织领域的研究中有不少线圈模型, 如圆弧

连直线模型、圆弧切直线模型, 其中较为常用的是 Pierce 的二维线圈模型(如图 1 所示)^[3]。这个模型由直线与圆弧组成, 能够代表线圈一定的特性, 模型的建立也比较简单, 但是针织物是一个三维对象, 用三维的线圈模型表达可在计算机上得到最好的织物仿真模拟效果^[4]。史晓丽等人在 Pierce 模型的基础上, 圈柱用圆柱代替, 圈弧用圆弧代替, 建立了三维的线圈模型, 并通过光照、消隐等方法实现了针织线圈的模拟^[5]。张克和等人运用有限元法对针织物建模进行系统分析, 模拟出了平针、罗纹、双反面组织的三维效果^[6]。他们所建立的模型都是三维的线圈模型, 为了表现出织物的串套关系, 运用深度排序的方法对线圈进行消隐处理, 但是并没有在织物的厚度方向上表现出圈弧与圈柱的起伏情况, 因此, 本文

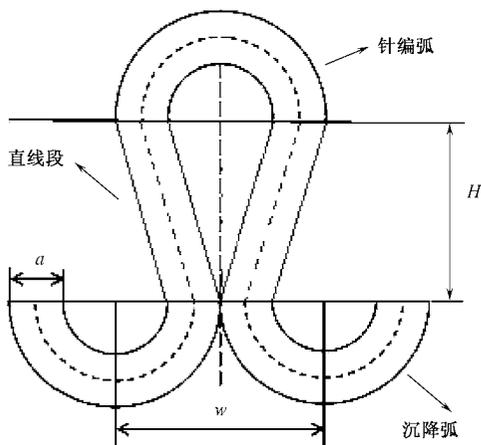


图 1 Pierce 线圈模型

Fig.1 Pierce's loop model

考虑在 Pierce 模型的基础上增加一定的三维起伏效果,建立三维立体的线圈模型,如图 2 所示。

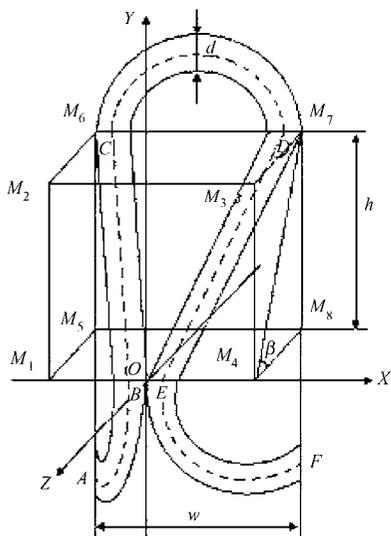


图 2 三维线圈模型

Fig.2 3-D loop model

三维线圈模型由空间的圆弧 AB、CD、EF 和空

间的曲线 BC、DE 组成。由于线圈与线圈之间是相互串套的,根据针织物形成的原理,圈柱靠近针编弧的一侧应该沉下去,而靠近沉降弧的一侧应该浮上来,以确保下一横列的线圈能够与之串套。这个模型是以 1 个立方体($M_1 - M_8$)为基础建立的,立方体的高是圈高 h ,立方体的宽是圈距 w ,而立方体的厚则取决于圈弧起伏的程度(用 β 角来衡量),纱线直径为 d ,具体表示为:

$$M_1 M_8 = h \times \cot \beta \quad (1)$$

这个模型以模拟针织物线圈在空间中的立体结构为基础,更加直观地表现出线圈在空间中的真实状态,不需进行消隐处理,自然就会显现线圈相互串套的效果。

2 模型参数化

以 O 点为原点,建立三维坐标系, X、Y、Z 坐标方向如图 2 所示。为了解决圈柱与圈弧相衔接处平滑过渡的问题,考虑在 Z 轴方向上使用正弦函数来表现线圈模型的起伏,线圈中轴线在 YOZ 平面上的投影如图 3 所示,式(2)为该投影曲线的函数表达式。

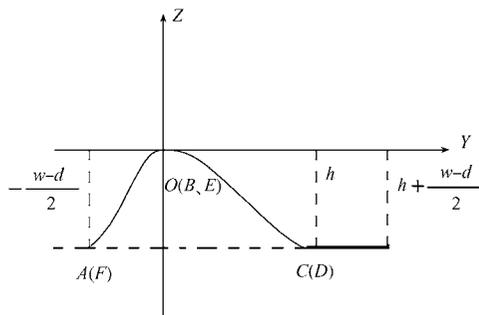


图 3 线圈中轴线在 YOZ 平面的投影

Fig.3 Projection of loop's axes in plane YOZ

$$z = \begin{cases} \frac{M_1 M_8}{2} \sin \left[\frac{2y}{w-d} \pi + \frac{\pi}{2} \right] - \frac{M_1 M_8}{2} & \left| -\frac{w-d}{2} \leq y < 0 \right| \\ \frac{M_1 M_8}{2} \sin \left[\frac{y}{h} \pi + \frac{\pi}{2} \right] - \frac{M_1 M_8}{2} & (0 \leq y < h) \\ -M_1 M_8 & \left| h \leq y \leq h + \frac{w-d}{2} \right| \end{cases} \quad (2)$$

该模型中圈柱部分在 XOY 平面上的投影为 1 条直线,而在空间中实际为 1 条曲线。线圈模型中轴线各段可通过参数表达式进行计算。

2.1 AB 段

假定 AB 段在 XOY 平面上的投影恰为四分之一圆弧,设定 1 个变量 $\theta \left| 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \right|$, 则 AB 段曲线可

以用关于变量 θ 的参数方程表示,结合图 2-3 得到:

$$\begin{cases} x = \frac{w-d}{2} \cos \theta - \frac{w}{2} \\ y = -\frac{w-d}{2} \sin \theta \\ z = \frac{h \cot \beta}{2} \sin \left| \frac{1}{2} + \sin \theta \right| \pi - \frac{h \cot \beta}{2} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 BC 段

假定 BC 在 XOY 平面上的投影为直线,且一端在直线 $M_1 M_4$ 上靠近 O 点处,另一端在直线 $M_6 M_7$ 上靠近 M_6 处,那么可根据此假定,求得 x 的取值范围是: $-\frac{w-d}{2} \leq x \leq -\frac{d}{2}$,这样相应的 y, z 关于变量 x 的参数方程为:

$$\begin{cases} y = -\frac{2h}{w-2d} \left| x + \frac{d}{2} \right| \\ z = \frac{h \cot \beta}{2} \sin \left| -\frac{2x+d}{w-2d} + \frac{1}{2} \right| \pi - \frac{h \cot \beta}{2} \end{cases} \quad (4)$$

2.3 CD 段

假定 CD 为 $M_5 M_6 M_7 M_8$ 平面上一段规则半圆弧,设定 1 个变量角 $\theta (0 \leq \theta \leq \pi)$,得到:

$$\begin{cases} x = \frac{w-d}{2} \cos \theta \\ y = \frac{w-d}{2} \sin \theta + h \end{cases} \quad (5)$$

由于该半圆弧在平面 $M_5 M_6 M_7 M_8$ 上,因此 z 的值始终不变, $z = -M_1 M_5 = -h \cot \beta$.

2.4 DE 和 EF 段

同理,根据模型的对称性,能够得到 DE、EF 段的参数方程,分别为:

$$\begin{cases} y = \frac{2h}{w-2d} \left| x - \frac{d}{2} \right| \\ z = \frac{h \cot \beta}{2} \sin \left| \frac{2x-d}{w-2d} + \frac{1}{2} \right| \pi - \frac{h \cot \beta}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} x = -\frac{w-d}{2} \cos \theta + \frac{w}{2} \\ y = -\frac{w-d}{2} \sin \theta \\ z = \frac{h \cot \beta}{2} \sin \left| \frac{1}{2} - \sin \theta \right| \pi - \frac{h \cot \beta}{2} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\frac{d}{2} \leq x \leq \frac{w-d}{2}$; $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$.

3 用 OpenGL 实现参数化的模型

以前所建立的很多模型,例如在前面提到的史晓丽^[5]以及曹辉^[7]所建立的三维线圈模型,均使用

圆环来代替圈弧和圆柱来代替圈柱。在本文所建立的模型中,由于使用正弦函数来表现线圈的起伏效果,圈柱部分变成了一条曲线,不能用简单的圆柱来代替,沉降弧也不能用简单的圆环来代替。由于 OpenGL 本身带有很多的库函数,球体模型的建立非常容易,因此整个线圈都采用球体模型来组成,即在中轴线上每隔一段距离都绘制 1 个球体,这样建立的模型不但解决了圆柱与圆环相衔接处要用球体连接的问题,而且只需调用 OpenGL 库函数中的球体模型即可,省去了建立圆环、圆柱、球体多种模型的步骤,线圈模型实现的主要代码如下:

```
# define PI_ 3.14159265358979323846
double h, w; //圈高、圈径
double x, y, z; //所绘制球体圆心坐标
double angle1; //θ角
double d; //纱线直径
double angle //β角
angle = angle * PI_/180;
int i, divide;
divide = 30; //每一段绘制球体的个数
//右圈柱
for(i=0; i <= divide; i++)
{
    angle1 = PI_ * i/ divide;
    x = i * (w/2 - d)/ divide + d/2;
    y = (x - d/2) * h/(w/2 - d);
    z = h/tan(angle)/2 * sin(angle1 + PI_/2) - h/tan
(angle)/2;
    glLoadIdentity();
    glTranslatef(x, y, z);
    glutSolidSphere(d, 10, 10);
}
//上圆弧
for(i=0; i <= divide; i++)
{
    angle1 = PI_ * i/ divide;
    glLoadIdentity();
    glTranslatef(0.0, h, 0.0);
    glTranslatef((w/2 - d/2) * cos(angle1), (w/2 - d)
* sin(angle1), - h/tan(angle));
    glutSolidSphere(d, 10, 10);
}
//左圈柱
... ..
```

```

//左下圆弧
for(i = 0 ;i < = divide ;i + + )
{
    angle1 = PI _ * i/ divide/2 ;
    glLoadIdentity() ;
    glTranslatef(( w/2 - d/2) * cos( angle1) - w/2 , -
(w/2 - d/2) * sin( angle1) ,
    h/ tan( angle)/2 * sin( PI _/2 - 2 * angle1) - h/
tan( angle)/2) ;
    glutSolidSphere( d ,10 ,10) ;
}
//右下圆弧
... ..

```

4 纬平针织物的模拟效果

利用上述方法建立的模型,在 VC++ 编程环境下,可以比较真实地反映出线圈在三维空间中的串套情况,如图 4 所示。

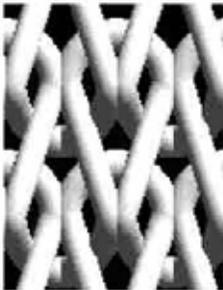


图 4 线圈模拟效果

Fig. 4 Simulating effect of loop

通过使用 C 语言中的 for 语句以及 OpenGL 中平移函数 `glTranslatef(x,y,z)`,多次调用所建立的线圈模型,得到的纬平针织物正面也达到了较为逼真的效果,如图 5(a) 所示。根据所建立的正面线圈模型的原理,在 Z 轴方向上求反, X、Y 轴保持不变,同样可以建立一个反面线圈模型,利用这个反面线圈模型,可以得到纬平针织物的反面模拟效果,如图 5(b) 所示。所建立的模型中圈高(w)、圈距(h)、纱线直径(d)以及线圈起伏程度衡量角(β)都是作为变量出现的,因此通过改变这些变量的值就可以改变纬平针织物中线圈的高度、宽度、纱线粗细甚至是织物的厚度。由于启用了 OpenGL 中的光照效果使织

物具有三维的立体感,还可以使用函数 `glMaterialfv()` 来改变材质属性,使纱线呈现不同的颜色。

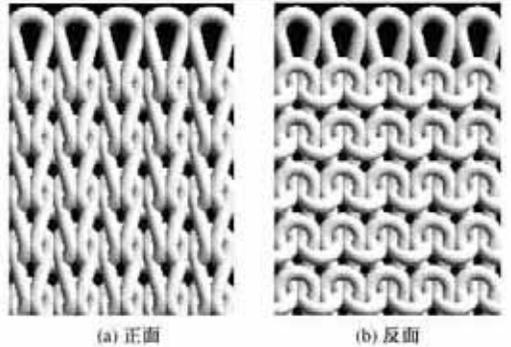


图 5 纬平针织物模拟效果

Fig. 5 Simulating effect of plain knitted fabric.

(a) The front ; (b) The back

5 结 语

本文描述了如何用 OpenGL 建立一个纬编针织线圈模型,直接利用 OpenGL 库函数中的球体模型,能够较为真实地表现出线圈之间在三维空间中的串套关系,模拟出的纬平针织物也较为逼真。在此模型基础上作适当的改动,可以模拟更加复杂的结构花型,如罗纹、绞花、阿兰花等。还可使用 OpenGL 中材质属性函数使不同的区域纱线显示不同的颜色,进而模拟提花以及嵌花织物的花型效果。FZXB

参考文献:

[1] 王元瑾. 计算机辅助羊毛衫设计[D]. 上海: 东华大学, 2001 .

[2] Shreiner D, Woo M, Nerder J, et al. OpenGL 编程指南 [M]. 4 版. 邓郑祥, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2005 .

[3] Peirce F T. The geometry of cloth structure[J]. Journal of the Textile Institute : Transaction ,1937 ,28(3) :T45 - T96 .

[4] Goktepe O, Harlock S C. Three-dimensional computer modeling of warp knitted structure[J]. Textile Research Journal , 2002 , 72 (3) :266 - 272 .

[5] 史晓丽, 耿兆丰. 针织三维效果仿真的研究及实现[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2003 ,29(3) :47 - 50 .

[6] 张克和, 方圆. 针织物结构研究与计算机仿真[J]. 浙江理工大学学报, 2006 ,23(1) :8 - 12 .

[7] 曹辉. 计算机辅助针织毛衫工艺设计与织物结构模拟[D]. 上海: 东华大学, 2000 .