

# 羊毛衫线圈三维模型的建立

赵华菲, 刘哲

(中原工学院, 河南 郑州 450007)

**摘要:**通过对皮尔士线圈结构的分析, 研究构建具有较好模拟效果的羊毛衫三维线圈模型。首先构建基于皮尔士线圈结构的二维模型, 在此基础上采用关键点控制法建立羊毛衫线圈的三维模型, 给出了三维线圈整体描述及分段描述公式, 最后采用VB6.0编程验证了该算法的有效性, 并对其效果进行了分析。结果表明, 该模型可较好模拟羊毛衫线圈, 能显现出线圈相互穿套的效果, 具有计算量小、模拟速度快、模拟效果较为逼真的特点。

**关键词:**羊毛衫; 线圈; 三维模型; 关键点; 分段函数

**中图分类号:** TS 941.26

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-4033(2012)04-0021-04

羊毛衫组织的计算机仿真模拟是毛针织服装 CAD 领域的一个研究热点, 可代替试织以达到降低企业设计与生产成本的目的。羊毛衫组织模拟是否逼真的关键是如何对线圈进行有效的三维模拟, 为此科研工作者做了较多工作, 提出了不同的线圈理论模型。刘夙<sup>[1]</sup>等人提出在织物厚度方向建立线圈模型以表现圈弧与圈柱的起伏情况, 但这种模拟方法计算量较大, 并缺乏灵活性。史晓丽等人<sup>[2]</sup>考虑纱线参数以及光照等条件的三维针织线圈模型和光照模型, 对平针组织进行了较为逼真的模拟, 但该方法并不适合毛针织品的三维仿真。张克和等人<sup>[3]</sup>运用有限元法对针织物结构建模方法进行系统分析, 获得一般针织物结构的数学模型, 但并未对最小线圈进行分析, 并且计算量也较大, 限制了其实用性。汪秀琛<sup>[4]</sup>提出了一种新的基于

二维线圈模型的羊毛衫花型仿真模拟算法, 但没有考虑线圈细微部分的立体感, 放大很多倍时, 线圈的立体感不能显示。

针对这种情况, 本文提出通过控制关键点建立分段函数的方法构建羊毛衫线圈三维模型。首先建立基于皮尔士(Peirce)线圈结构的羊毛衫线圈二维模型, 然后给出了基于关键点及分段函数的羊毛衫线圈三维模型, 最后采用 VB6.0 编程验证了该算法的有效性, 得出了该模型可较好模拟羊毛衫线圈, 具有计算量小、模拟速度快、模拟效果逼真的特点。

## 1 二维线圈模型的建立

要建立三维线圈仿真模型, 需先研究线圈的二维模型。本文根据皮尔士线圈结构<sup>[5]</sup>进行二维建模。皮尔士线圈结构是一种理想状态下的线圈结构, 如图 1 所示, 假设织物处于完全松弛时线圈中的纱

线均匀一致, 线圈均匀对称。每一个线圈由针编弧、沉降弧和圈干组成, 针编弧和沉降弧分别是由两个半圆形成的, 纱线圈干假设为二元三次曲线函数图象, 圆弧和曲线在切点连接, 且该模型假设上一横列的针编弧和下一横列的沉降弧相切, 即一段完整的线圈弧线包括 AB、BC、CD、DE、EF 共 5 段, 其中 AB、CD、EF 为半径相等的 3 段圆弧, BC、DE 两段为曲线段。

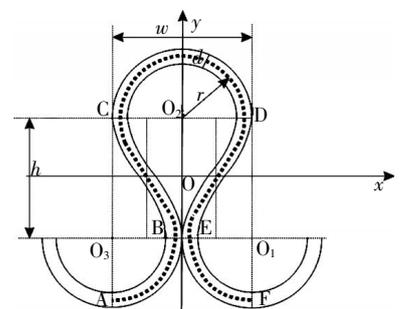


图 1 皮尔士线圈结构

假设针编弧半径为  $r$ , 纱线直径为  $d$ , 且  $r=1.5d$ , 线圈横距为  $w$ ,

作者简介: 赵华菲(1988—), 女, 硕士研究生。主要从事数字化服装技术的研究。

线圈纵高为 $h$ , BC段、DE段数学模型系数为 $a$ , 纱线紧密排列, 则通过圆弧周长与三角形之间关系可以求出线圈横距 $w=2r+d$ ,  $a=4h/d^3$ , 纵距 $h$ 可自由调节以控制线圈的松紧度, 将线圈放在二维坐标中进行模拟, 则AB段、BC段、CD段、DE段、EF段线圈函数如式(1)~(5)所示。

AB段:

$$\left(x+r+\frac{1}{2}d\right)^2 + \left(y+\frac{1}{2}h\right)^2 = r^2 \quad (1)$$

其中,  $x \in \left(-r-\frac{1}{2}d, -\frac{1}{2}d\right)$ ,  $y \in$

$\left[-\left(r+\frac{1}{2}h\right), -\frac{1}{2}h\right]$ 。

$$\text{BC段: } y = -a(x+d)^3 \quad (2)$$

其中,  $x \in \left(-r, -\frac{1}{2}d\right)$ ,

$y \in \left(-\frac{1}{2}h, \frac{1}{2}h\right)$ 。

$$\text{CD段: } x^2 + \left(y - \frac{1}{2}h\right)^2 = r^2 \quad (3)$$

其中,  $x \in (-r, r)$ ,  $y \in \left(-\frac{1}{2}h, \frac{1}{2}h+r\right)$ 。

$$\text{DE段: } y = a(x-d)^3 \quad (4)$$

其中,  $x \in \left(\frac{1}{2}d, r\right)$ ,  $y \in \left(-\frac{1}{2}h, \frac{1}{2}h\right)$ 。

EF段:

$$\left(x-r-\frac{1}{2}d\right)^2 + \left(y+\frac{1}{2}h\right)^2 = r^2 \quad (5)$$

其中,  $x \in \left(\frac{1}{2}d, r+\frac{1}{2}d\right)$ ,  $y \in$

$\left[-\left(r+\frac{1}{2}h\right), -\frac{1}{2}h\right]$ 。

## 2 三维线圈模型的建立

根据以上所建立的线圈二维模型, 继续采用空间建模方法对线圈进行三维建模。如图2所示, 该模型是皮尔士线圈结构在一个立方体框架内变形出的三维线圈结构, 针编弧半径为 $r$ , 立方体的高是圈高 $h$ , 立方体的宽是圈距 $w$ , 而立方体

的厚度为 $t$ , 取决于圈弧起伏的程度(用 $\theta$ 角来衡量), 纱线直径为 $d$ 。

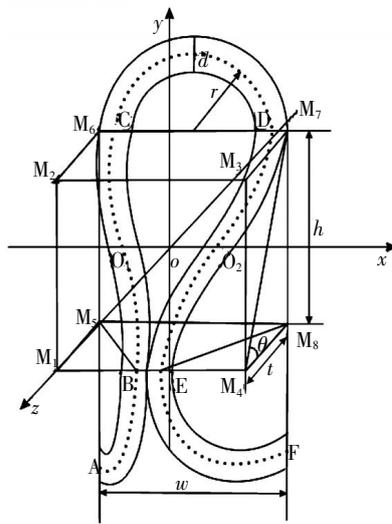


图2 三维线圈模型

首先建立该线圈三维坐标系, 以立方体的中心 $o$ 点为原点,  $x, y, z$ 为坐标轴, 如图2所示, A位于 $M_6M_5$ 的延长线上, B、E在 $M_1M_4$ 上且关于该线中点对称,  $O_1O_2$ 在 $x$ 轴上且相互对称, F在 $M_7M_8$ 的延长线上, C、D两点在 $M_6M_7$ 上。其中弧AB在 $xoy$ 上的投影是以 $M_5$ 为圆心的四分之一圆弧, 弧EF在 $xoy$ 上的投影是以 $M_8$ 为圆心的四分之一圆弧, 弧CD是与 $M_5M_6M_7M_8$ 在同一平面上的二分之一圆弧, 三次函数BC、DE分别是过 $O_1, O_2$ 的两条曲线, 且C点距离 $M_6$ 点、D点距离 $M_7$ 点、B点和E点距离 $M_1M_4$ 中点均为 $d/2$ 。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。假设圈高 $h=r$ ,  $r=1.5d$ , 通过对模型的分析可以得到: 线圈厚度 $t=h \times \cot\theta = 1.5d \times \cot\theta$ ,  $w=2r+d=4d$ 。为了方便函数求值, 线圈在 $yo z$ 上的投影如图3所示。

其中弧线AB、EF段可以考虑利用正弦函数求解, 曲线BC、DE利用三次曲线函数求解, CD段在 $yo z$ 平面上是一条直线段。

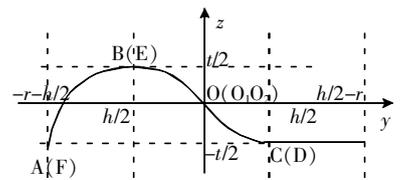
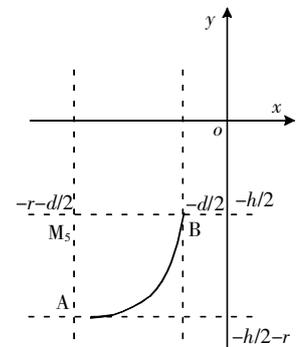


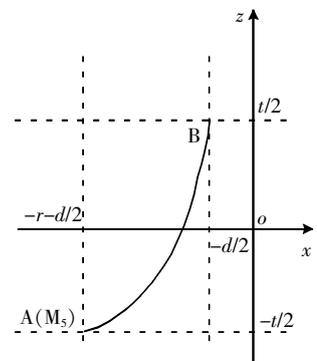
图3 线圈在 $xoy$ 上的投影

### 2.1 AB段

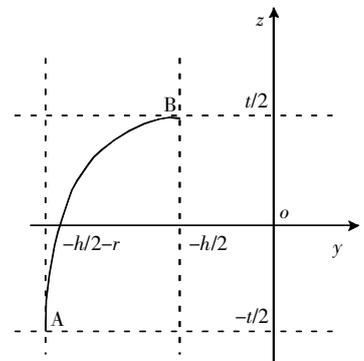
AB段是半径为 $r$ 的四分之一圆弧, 如图4所示, 结合图3可知, AB段在 $xoy$ 上的投影也为四分之一圆弧, 设半径 $r$ 与 $x$ 轴的夹角为变量 $\theta$ , 则AB段关于变量 $\theta$ 的参数方程如式(6)所示。



(a)



(b)



(c)

图4 AB段在3个平面上的投影

$$\begin{cases} x = \frac{3}{2}d \times \cos\theta - 2d \\ y = -\frac{3}{2}d \times \sin\theta - \frac{3}{4}d \\ z = \frac{3}{2}d \times \cot\theta \times t \times \sin\left(\frac{1}{2} + \sin\theta\right)\pi - \frac{3}{4}d \times \cot\theta \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $0 \leq \theta \leq \frac{1}{2}\pi$ 。

### 2.2 BC段

BC段为空间三次曲线图像,图5是BC段在3个平面上的投影,结合图4和图3可知,BC段数学函数方程如式(7)所示。

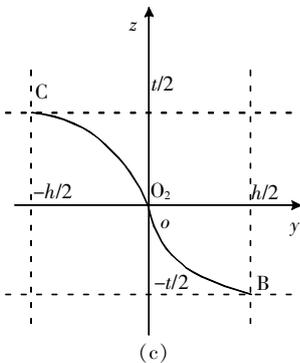
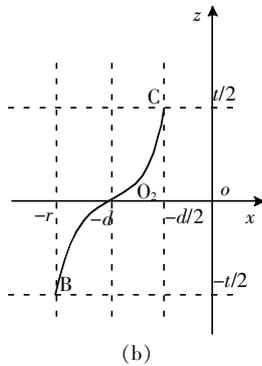
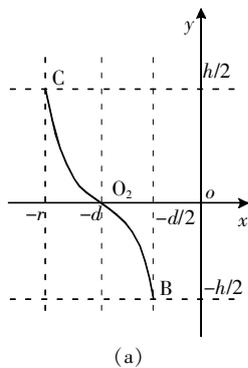


图5 BC段在3个平面上的投影

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{\frac{zd^3}{6\cot\theta}} - d \\ y = -\frac{6}{d^2}(x+d)^3 \\ z = -\frac{16\cot\theta}{9d^2}y^3 \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $-\frac{3}{2}d \leq x \leq -\frac{1}{2}d, -\frac{3}{4}d \leq y \leq \frac{3}{4}d, -\frac{3}{4}d \cot\theta \leq z \leq \frac{3}{4}d \cot\theta$ 。

### 2.3 CD段

CD段在3个平面上的投影如图6所示,结合图3可知,CD是与  $M_5M_6M_7M_8$  在同一平面上的二分之一圆弧,在  $xoy$  上投影为一个规则半圆,在  $xoz, yoz$  上投影均为长度为  $2r$  的一条直线,则CD段数学函数方程如式(8)所示。

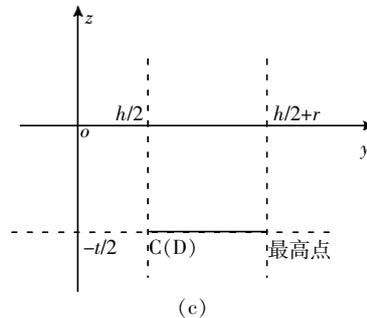
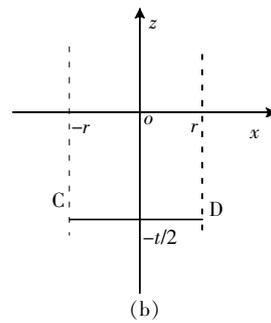
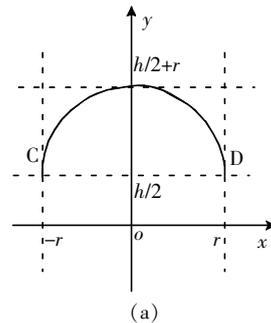


图6 CD段在3个平面上的投影

$$\begin{cases} y = \sqrt{\frac{9}{4}d^2 - x^2} + \frac{3}{4}d \\ z = -\frac{3}{4}d \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $-\frac{3}{2}d \leq x \leq \frac{3}{2}d, \frac{3}{4}d \leq y \leq \frac{9}{4}d$ 。

### 2.4 DE段

DE段空间图像与BC段相互对称,这里就不再绘制,其数学函数方程如式(9)所示。

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{\frac{zd^3}{6\cot\theta}} + d \\ y = \frac{6}{d^2}(x-d)^3 \\ z = -\frac{16\cot\theta}{9d^2}y^3 \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $\frac{1}{2}d \leq x \leq \frac{3}{2}d, -\frac{3}{4}d \leq y \leq \frac{3}{4}d, -\frac{3}{4}d \cot\theta \leq z \leq \frac{3}{4}d \cot\theta$ 。

### 2.5 EF段

EF段与AB段相互对称,是半径为  $r$  的四分之一圆弧,且在  $xoy$  上的投影也为四分之一圆弧,设半径  $r$  与  $x$  轴的夹角为变量  $\theta$ ,则EF段关于变量  $\theta$  的参数方程如式(10)所示。

$$\begin{cases} x = 2d - \frac{3}{2}d \times \cos\theta \\ y = -\frac{3}{2}d \times \sin\theta - \frac{3}{4}d \\ z = \frac{3}{2}d \times \cot\theta \times t \times \sin\left(\frac{1}{2} + \sin\theta\right)\pi - \frac{3}{4}d \times \cot\theta \end{cases} \quad (10)$$

其中,  $0 \leq \theta \leq \frac{1}{2}\pi$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 结论

采用VB6.0编程对本文算法进行验证,在没有背景及邻近线圈的衬托下,得出单独单个线圈三维模拟结果如图7a所示,当横密为24纵行/5cm,纵密22横列/5cm,纱线线密度为50tex(20公支),这两种线圈隔路垫纱的平纹组织模

拟效果见图 7b。

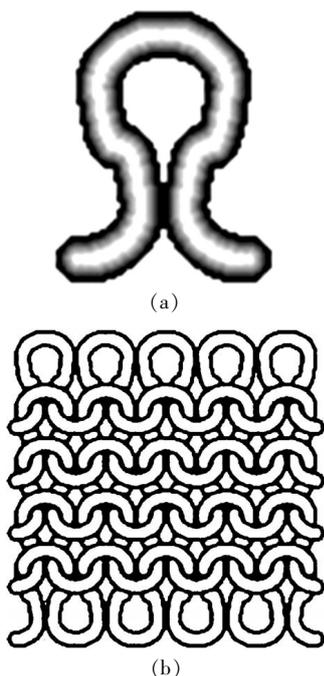


图 7 线圈及组织模拟图

### 3.2 分析

实验显示,本文所构建的线圈模型当纱线直径较小时,能够较为逼真地模拟出单个线圈模型,但是当纱线直径较大的时候,模拟出的单个线圈模型在圈干处不够圆顺,弯度较大。在模拟线圈相互穿套时,模拟效果较为逼真。

在整个线圈模型中,关键在于 B、C、D、E 这 4 个点分别控制的各线段是否能圆顺相接,其中 B 点控制 AB 和 BC 段,C 点控制 BC 和 CD 段,D 点控制 CD 和 DE 段,E 点控制 DE 和 EF 段。由于这种点控制的存在,使所建立的三维线圈模型整体圆顺,立体感较强。

对线圈的中轴线进行参数化之后,所建立的线圈模型也符合针织物线圈的基本结构特性,并且能够在厚度方向上表现出圆弧和圈柱的起伏情况,能够成功表现出不同材质的羊毛衫并且能够控制羊毛衫的厚重感。

同时,由于所建模型并未采用

三维拟合曲线等技术,因此在线圈的细微处理方面如毛羽等,模拟效果还不够逼真,使羊毛衫的毛质感还不能完全展现,这一点还需继续改进。另外线圈的形态还未考虑纱线张力及由于各种外界原因导致的组织不匀,这一点后续研究也需改进。

### 4 结束语

本文所建立的模型可较好地模拟羊毛衫线圈的二维及三维形态,通过控制关键点解决了圈弧和圈干无法圆顺衔接的问题,可模拟出线圈的立体弯曲程度及线圈的紧密程度。所建立的线圈圆顺逼真,圈干与圈弧能够在相接点圆顺,可模拟出线圈之间相互穿套效果。通过对  $\theta$  角的角度控制来控制纱线的厚度,可建立针对不同材质的羊毛衫

的模拟并且能够控制羊毛衫的厚重感。本文所建模型计算简单方便,较为实用。后续将在考虑各种外界因素如外力、毛羽、光照等的情况下对线圈模型进行继续完善。

### 参考文献

- [1]刘凤.羊毛衫织物组织三维仿真与模拟试穿的研究[D].上海:东华大学,2007.
- [2]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,2003,29(3):47-50.
- [3]张克和,方园.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.
- [4]汪秀琛.基于线圈模型的羊毛衫花型仿真模拟[J].毛纺科技,2009,37(12):51-54.

收稿日期 2011年9月14日

### 链接

## 针织物计算机模拟仿真技术发展概述

在计算机上实现针织物的模拟仿真关键在于针织物模型的建立,国内外科研工作者较早就已涉及到该领域的研究,逐渐完善的研究体系为今后成熟的针织物模拟仿真系统奠定了基础。

在国外,1926年英国的 Chamberlain 首次提出了由圆弧和直线组成的二维线圈模型;1947年 Pierce 基于纱线中心轴是直线和圆弧的假设,建立了空心的空间圆柱和圆弧柱的三维线圈模型;此外还有 Leaf 和 Glaskin、Munden、Kawabata 等的线圈模型研究。

在国内,汪育桑和冯勋伟通过对构成纬编提花针织物的基本线圈单元进行几何结构分析,建立几何模型,开发了一套纬编提花针织物计算机辅助设计系统;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;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;2007年,蒙冉菊等人运用 NURBS 样条曲线进行纬编针织物线圈单元模型的数学建模,通过实验验证了 NURBS 样条曲线线圈单元模型具有更好的适用性,使纬编针织物建模结果更为准确合理;龙海如等人在 Pierce 线圈模型的基础上,根据针织物空间几何结构的特点,建立了由几段用参数方程表示的空间圆弧和曲线连接组成三维几何线圈模型,并在 OPENGL 平台上成功模拟出了纬平针织物的正反面效果。