

基于汽车内饰用三梳经编织物 3D模型的构建

朱正昊¹, 武维莉¹, 唐纱丽², 陈慰来¹

[1. 浙江理工大学 纺织科学与工程学院(国际丝绸学院), 浙江 杭州 310018;

2. 浙江省产品质量安全科学研究院, 浙江 杭州 310018]

摘要:针对复杂的三梳经编织物,文章采用Rhino建模软件对其几何结构进行3D建模。首先,基于NURBS曲线对三梳经编织物线圈部分和延长线部分分别建模,通过确定曲线控制点拟合得到精度较高的空间纱线中心曲线;其次,根据纱线直径通过扫描完成各组线圈单胞模型的3D建模,并组装得到完整的织物模型;最后,根据织物的线圈轨迹,拟合得到经编织物的曲线方程,使得线圈轨迹数值化。结果表明,采用Rhino对经编织物进行三维仿真,方法简单可行,模拟得到的效果图线圈嵌套紧密且相互之间并无干涉,可以达到较好的织物效果。

关键词:汽车内饰用经编织物;Rhino;3D建模;曲线方程

中图分类号:TS 184.3

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2024)05-0001-06

Construction of the 3D Model of Three-guide Bar Warp-knitted Fabric for Automotive Interiors Use

Zhu Zhenghao¹, Wu Weili¹, Tang Shali², Chen Weilai¹

[1. College of Textile Science and Engineering(International Silk College), Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. Zhejiang Institute of Product Quality and Safety Science, Hangzhou, Zhejiang 310018, China]

Abstract: For the complex three-guide bar warp-knitted fabric, the Rhino modeling software was used for 3D modeling of geometry of warp-knitted fabrics. Firstly, based on the principle of NURBS curve, the overlap and underlap of the three-guide bar warp knitted fabric were modeled separately, and the yarn center curve with high spatial position accuracy was obtained by determining the curve control point fitting. Secondly, the 3D modeling of each group of loop unit cell model was scanned according to the yarn diameter, and the complete fabric model was assembled. Finally, according to the loop trajectory of the fabric, the curve equations for the warp-knitted fabric were obtained. The results show that it is simple and feasible to use Rhino modeling software to construct the 3D model of warp knitted fabric, and the loops are tightly intermeshed and do not interfere with each other, which can achieve a good fabric effect.

Key words: Warp-knitted Fabrics for Automotive Interiors; Rhino; 3D Modeling; Curve Equations

随着汽车工业的发展和人们生活水平的提高,越来越多的私家车走入大众家庭中,人们对汽车的消费需求也在不断提高,汽车内饰

材料因此也迅速发展^[1]。针织经编面料因具有良好的弹性、延展性和变化花型组织等特点,常被用于汽车内饰面料,比如汽车顶棚、壁柱

等部位^[2]。再生涤纶具有绿色环保、可回收、轻量化、可染性好等优势^[3],作为汽车内饰主要材料或前梳材料逐渐受到关注。汽车内饰对织物

作者简介:朱正昊(1998—),男,硕士研究生。主要从事纺织品的建模与仿真研究。

通讯作者:陈慰来(1963—),男,教授。E-mail: wlchen193@163.com。

外观和力学性能都有一定要求,若在前期对经编织物结构进行三维仿真并结合有限元分析,有利于帮助预测织物外观效果和力学性能,避免因多次试验造成人力物力的浪费。

虽然国内外学者对经编织物线圈几何建模已有多项研究,但三维模型的研究时间较短^[4]。二维经编线圈简化模型最早由 Allison^[5]于 1958 年提出,郭成蹊^[6]在此二维模型基础上优化改进,使模型实现三维立体效果。Goktepe et al^[7-8]对真实线圈各项尺寸参数进行测量,通过相互位置关系拟合出三维空间模型。丛洪莲等^[9]和徐海燕等^[10]在此模型基础上加以改进,重新对开口线圈、闭口线圈及衬纬组织控制点进行定义,分别在 Rhino 和 Texgen 软件中建立仿真效果较好的线圈模型。

以上几位学者的研究大多数基于结构简单的经编织物模型,不适用于对三梳栉织物结构进行描述。本文在此基础上对线圈控制点加以改进,结合汽车内饰用经编织物的真实尺寸,采用将线圈和延长线分别建模,完成三梳经编模型的建立。

1 经编汽车内饰面料的设计与制备

1.1 材料选择

本文采用的汽车内饰面料是三梳经编织物,纤维原材料是 100%再生涤纶低弹丝(DTY),基本参数如下:

线密度	111 dtex/36 f
断裂强度	3.820 cN/dtex
断裂伸长率	27.91%
初始模量	0.812 cN/dtex
弹性应变	3.32%

1.2 织物设计

一般而言,汽车内饰颜色的主

色调都是以黑色、白色、米黄色为主,纹理效果主要为菱形、方形、竖条等。为了得到较好的外观效果,不同梳栉可以采用不同原料和颜色的纱线。为了得到凹凸织物效果,穿纱方式可采用部分空穿,使织物表面的纹样更加具有立体感。最终设计出的三梳经编织物外观如图 1 所示,其垫纱数码和穿纱规律见表 1(再生涤纶)。

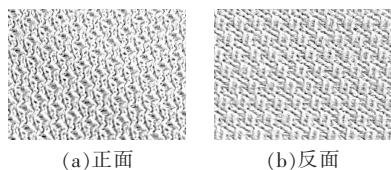


图 1 织物实物图

表 1 织物各梳栉垫纱数码和穿纱方式

梳栉编号	垫纱数码	穿纱方式
GB1	1-0/1-1/1-1/1-2//	穿二空二
GB2	1-1/1-2/1-0/1-1//	穿二空二
GB3	3-4/1-0//	满穿

图 2 显示了三梳经编面料垫纱运动图,GB1、GB2 是经平组织变化组织,采用的是二穿二空。前梳 GB1 和中梳 GB2 垫纱方式为反向垫纱,在织物反面形成较长的延展线。后梳 GB3 采用满穿经斜,这种垫纱方式能增强织物的横向稳定性。

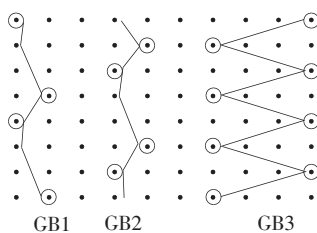


图 2 垫纱运动图

1.3 编织工艺

经编面料使用特利柯脱经编机进行编织,选用的设备是机号为 24 针/25.4 mm 的 KS4 型经编机,梳栉数为 3 把,编织速度把 1 000 r/min。特利柯脱经编机的梳栉数相对比较少,适合于高速运转,可以

编织细密、轻薄、花型简单的织物,能够很好地满足模压成形的编织工艺要求^[11]。

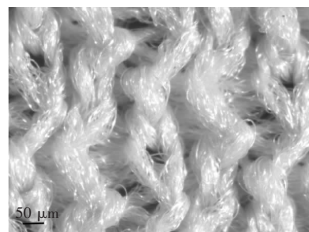
2 三梳经编模型的建立

目前的研究对单面组织的三维仿真已经取得了很大进步,但有些经编织物结构通常比较简单。对于三梳经编织物,由于其组织是由 3 组线圈构成的,结构复杂,若将上述单组分模型直接进行组装形成三梳经编模型,纱线之间势必会存在严重的穿透。因此需要重新测量线圈的几何参数,在确定线圈的形值点和控制点后采用 NURBS 曲线构建线圈的中心轨迹。其中, NURBS 曲线由形值点和控制点两部分组成,形值点是通过测量或者计算得到的曲线上的几个少量描述曲线几何形状的数据点;控制点往往存在于曲线外侧,用于控制曲线的弯曲程度,通过调整控制点位置使曲线能够通过每一个形值点,从而完成线圈中心曲线的构建。

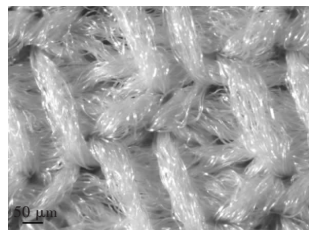
2.1 三梳经编线圈几何参数的确定

三梳经编织物结构复杂,若想要得到较为准确的模型,首先要对织物中线圈中心曲线的控制参考点进行确定。通过分析织物结构,测量线圈的真实结构尺寸,计算得到线圈形值点坐标后便能够得到与真实织物较接近的线圈模型。选用 Axio Cam Erc 5S 蔡司偏光显微镜在 30 倍下观测到的织物表面如图 3 所示,选取试样的 5 处位置进行观测,通过图像采集以及测量,获取每个梳栉线圈的中心坐标点,从而为建立几何模型做准备。基于采集的图像,本文对每组梳栉上的线圈选取 9 个形值点,各形值点的位置关系以及特征参数如图 4 所示。

线圈中心线示意图以点 O 为



(a)正面



(b)反面

图3 30倍显微镜下的织物表面

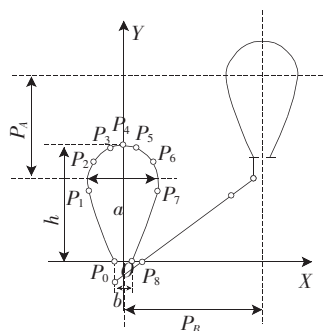


图4 GB1、GB2 中心线模型

原点,水平方向为 X 轴,垂直方向为 Y 轴,线圈从左到右依次编号 P_0 — P_8 共计9个形值点, P_1 — P_8 关于 Y 轴对称。其中 a 为线圈横向最宽处宽度, b 为最窄处宽度, h 为线圈高度, P_A 是线圈纵密, P_B 是线圈横密。在试样上选取5处位置取平均值,再分别测量线段 P_1P_7 、 P_2P_6 、 P_3P_5 的长度 l_1 、 l_2 、 l_3 以及点 P_1 、 P_2 、 P_3 的高度 h_1 、 h_2 、 h_3 ,得出各参数之间的比例关系,从而确定形值点坐标。将线圈各参数记录在表2和表3中。

图5是用Axio Cam Erc 5S蔡司偏光显微镜观测到的织物侧面图,从而可以确定线圈高度。随机选取5处进行测量并取平均值,9个形值点坐标如图6所示。 P_0 — P_8 线圈高度分别由 d_0 — d_8 表示,从侧视图看,形值点 P_0 和 P_8 、 P_1 和 P_7 、 P_2

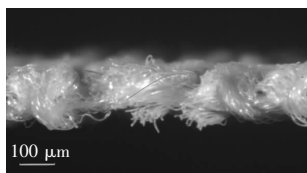


图5 织物侧视图

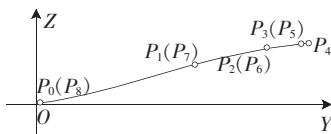


图6 GB1、GB2 中心线模型侧视图

表4 形值点高度参数

试样编号	d_1	d_2	d_3	d_4
1	90.00	122.90	132.80	133.30
2	88.50	123.30	135.20	135.80
3	88.40	124.60	135.60	135.30
4	92.30	124.90	133.00	136.50
5	89.20	125.90	133.50	134.90
平均值	89.68	124.32	134.02	135.15

注: d_1 为 P_1 点的高度, d_2 为 P_2 点的高度, d_3 为 P_3 点的高度, d_4 为 P_4 点的高度。

根据上述实际测量的几何参

表2 线圈尺寸测量参数

试样编号	a	b	h	P_A	P_B
1	359.90	98.60	592.60	52.30	69.20
2	371.10	92.10	611.60	51.90	73.20
3	365.70	87.50	605.80	53.20	72.60
4	361.90	92.90	601.90	55.60	72.20
5	367.70	95.50	600.90	56.00	73.00
平均值	365.26	93.32	602.56	53.80	72.04

表3 形值点参数

试样编号	l_1	l_2	l_3	h_1	h_2	h_3
1	355.70	310.20	131.70	365.90	518.30	589.80
2	356.90	309.60	133.20	371.20	521.00	593.00
3	357.10	307.50	135.40	359.50	516.00	587.40
4	359.30	304.40	137.60	361.20	513.50	588.20
5	356.90	309.00	138.60	366.70	515.30	588.70
平均值	357.18	308.14	135.30	364.90	516.82	589.42

和 P_6 、 P_3 和 P_4 重合。以 $P_0(P_8)$ 为原点坐标,对其余形值点坐标的高度进行测量,其测量参数记录在表4当中。

数值,以 P_0 和 P_8 的中点作为原点坐标,计算出GB1线圈的坐标值: $P_0(-0.50b, 0, 0)$, $P_1(-0.49a, 0.61h, 1.49d)$, $P_2(-0.42a, 0.86h, 2.07d)$, $P_3(-0.17a, 0.98h, 2.23d)$, $P_4(0, h, 2.25d)$, $P_5(0.17a, 0.98h, 2.23d)$, $P_6(0.42a, 0.86h, 2.07d)$, $P_7(0.49a, 0.61h, 1.49d)$, $P_8(0.50b, 0, 0)$;其中 d 为织物直径。

成圈组织的三维模型在空间中是完整的曲线,根据控制点可以将线圈分段并且推断出各部分之间的函数关系,根据图4和图5中的中心线模型,将其投影在平面上,将圈弧和圈柱部分用Matlab分段拟合,对线圈部分利用方程进行数值化处理,可以更加方便地对织物结构的研究进行后续分析,对于实际生产中的数值化处理以及对线圈长度的计算、送给量的计算等提供了依据。经过多次拟合后得出各段线圈函数的表达式。左侧圈柱函数方程式见式(1),右侧圈柱函数方程式见式(2),圈弧函数方程式见式(3)。

图7为GB3线圈中心线模型,其位置基本和前两梳相同,但考虑

$$y = -1.2 \times 10^{-4} x^3 - 3.4 \times 10^{-2} x^2 - 5.5x - 190.0 \quad -46.5 \leq x \leq -184.5 \quad (1)$$

$$y = 1.2 \times 10^{-4} x^3 - 3.4 \times 10^{-2} x^2 + 5.5x - 190.0 \quad 46.5 \leq x \leq 184.5 \quad (2)$$

$$y = -1.9 \times 10^{-20} x^3 - 5.0 \times 10^{-3} x^2 + 3.7 \times 10^{-16} x + 6200.0 \quad -184.5 \leq x \leq 184.5 \quad (3)$$

到后续延长线部分可能会重叠,因此对形值点坐标进行一些修改: $P_0(-0.70b, 0.06h, 1.11d)$, $P_1(-0.49a, 0.61h, 2.49d)$, $P_2(-0.42a, 0.86h, 3.07d)$, $P_3(-0.17a, 0.98h, 3.23d)$, $P_4(0, h, 3.25d)$, $P_5(0.17a, 0.98h, 3.23d)$, $P_6(0.42a, 0.86h, 3.07d)$, $P_7(0.49a, 0.61h, 2.49d)$, $P_8(0.07b, 0.06h, 1.11d)$ 。其投影到 XOY 平面的函数表达式分别为:左侧圈柱函数方程见式(4),右侧圈柱函数方程见式(5),圈弧函数方程见式(6)。

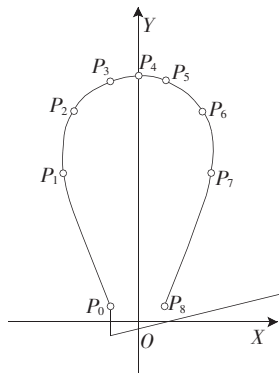


图7 GB3中心线模型

在得到形值点坐标后,运用NURBS曲线将形值点相连接从而得到曲线的中心线。NURBS曲线灵活多变,可以通过对控制点和权因子改变轻易控制曲线形状^[12],因此也成为定义产品形状的唯一数学方法,其函数表达形式^[13]见式(7)。

式中: $t \in [t_{\min}, t_{\max}]$; C_i 为特征多边形控制点位置矢量; ω_i 为控制点 C_i 处的权因子; k 为曲线次数; $N_{i,k}(t)$ 为 k 次样条基函数。

对于NURBS曲线除了首尾两条线以外,并不能穿过其余点,因此要定义控制点来控制整条曲线,曲线的空间位置也由控制点确定。 k 值越大,曲线的控制点越多,整个曲线越灵活。本文线圈部分采用3

次NURBS曲线,采用累积弦长法对控制点进行反算, $n+1$ 个形值点的3次NURBS曲线有 $n+3$ 个控制点^[14],其计算流程如图8所示。在Rhino建模软件中,输入形值点坐标后用曲线连接,选取曲线次数为3次,之后软件会自动生成曲线的控制点。

GB1、GB2和GB3的11个控制点($D_0, D_1, \dots, D_{10}$)如图9所示,具体坐标记录在表5和表6中。

2.2 经编线圈延长线几何参数的确定

相较于线圈部分,延长线部分的参考点无法通过显微镜直接观测,因此只能建立经验模型,自定义控制点,使纱线部分不发生重叠,GB1和GB2中较长的延长线 L_A 定义9个控制点($Q_0, Q_1, \dots, Q_8$),短延长线 L_B 有7个控制点($Q_9, Q_{10}, \dots, Q_{15}$);GB3中的延长线 L_C 有7个控制点($I_0, I_1, \dots, I_6$)。因此得到的中心曲线右视图如图10所示。然后通过两次NURBS曲线将其连接,其控制点坐标记录在表7—表9中。

将上述延长线投影在平面上则会形成一条三段式曲线,其中首尾两段为垂直于 X 轴的直线,中间为一条倾斜直线, L_A 、 L_B 和 L_C 中斜线函数表达式分别为: L_A 斜线部分函数方程见式(8), L_B 斜线部分函数方程见式(9), L_C 斜线部分函数方程见式(10)。

在完成上述经编织物单胞延长线部分的曲线构建后,再通过矩形阵列和镜像功能,完成每个梳栉单胞模型的中心曲线,GB1、GB2和GB3的中心曲线示意图如图11所示。

2.3 三梳经编织物的三维仿真

在完成每个梳栉织造的线圈中心曲线建模后,则要对线圈截面半径进行赋值,从而完成整个模型构建。考虑到建模实际情况,本文将线圈看作是一根单股无捻纱,将其截面定义成 $r=30.00 \mu\text{m}$ 的圆,并通过扫描功能进行分段扫描,再按照每个梳栉的穿纱规律对织物进行阵列,便能得到理想的三梳经编模型。组装完成后,在Rhino中通过碰撞功能对每个梳栉进行穿透检测,从而保证每个梳栉间并无任何干涉的地方。模型最终呈现出的效果如图12所示。

此外,Rhino建模软件以及Abaqus有限元也具有很好兼容性。将上述模型以.sat格式导入Abaqus中,如图13所示,可以发现整个模型线圈嵌套紧密且无干涉,在Abaqus中网格划分较容易,在设置合适材料参数和边界条件后便能对其力学性能仿真,为后续对经编织物力学性能的优化设计与研究奠定基础。

3 结束语

针对可再生汽车内饰用三梳栉经编结构,设计织造一种可再生汽车内饰用经编织物,采用Rhino进行经编织物三维建模。在以往学者研究的基础上,将线圈和延长线分别进行建模。首先对几何参数进行测量,获得线圈形值点各项参数,确定形值点空间坐标;其次确定控制点空间位置,通过对控制点的调整,使线圈NURBS曲线能通过预设形值点,建立线圈中心曲线和各组分线圈单胞模型,并获取曲线轨迹;最后根据纱线直径通过扫描完成模型构建并拟合出函数方程。在完成建模后,通过Rhino自带碰撞功能对每个梳栉检测,保证线圈与线圈之间相互嵌套且无穿

$$y = -2.3 \times 10^{-4} x^3 - 7.4 \times 10^{-2} x^2 - 10.0x - 380.0 \quad -65.1 \leq x \leq -184.5 \quad (4)$$

$$y = 2.3 \times 10^{-4} x^3 - 7.4 \times 10^{-2} x^2 + 10.0x - 380.0 \quad 65.1 \leq x \leq 184.5 \quad (5)$$

$$y = -1.9 \times 10^{-20} x^3 - 5.0 \times 10^{-3} x^2 + 3.7 \times 10^{-16} x + 6 \quad 200.0 \quad -184.5 \leq x \leq 184.5 \quad (6)$$

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=0}^n \omega_i C_i N_{i,k}(t)}{\sum_{i=0}^n \omega_i N_{i,k}(t)} \quad (7)$$

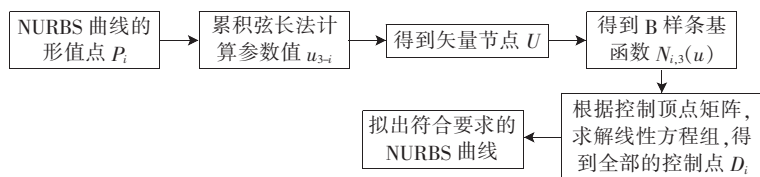


图8 计算流程图

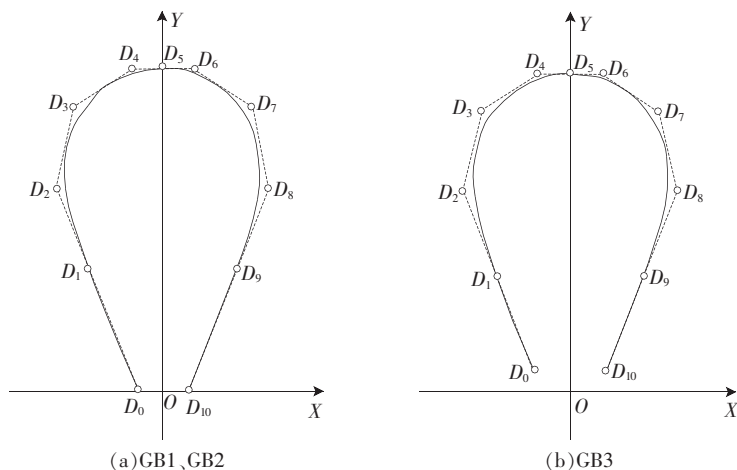


图9 线圈部分控制点

表5 GB1、GB2 线圈部分控制点坐标

坐标	X	Y	Z
D ₀	-46.500	0	0
D ₁	-139.920	227.510	45.480
D ₂	-198.370	377.230	97.440
D ₃	-166.090	530.450	128.180
D ₄	-59.860	600.490	135.130
D ₅	0	603.640	135.150
D ₆	59.860	600.490	135.130
D ₇	166.090	530.450	128.180
D ₈	198.370	377.225	97.440
D ₉	139.920	227.510	45.480
D ₁₀	46.500	0	0

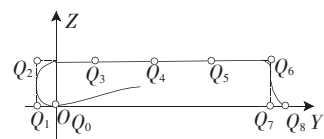
表6 GB3 线圈部分控制点坐标

坐标	X	Y	Z
D ₀	-65.100	38.050	66.600
D ₁	-139.920	227.510	165.480
D ₂	-198.370	377.230	217.440
D ₃	-166.090	530.450	248.180
D ₄	-59.860	600.490	255.130
D ₅	0	603.640	255.150
D ₆	59.860	600.490	255.130
D ₇	166.090	530.450	248.180
D ₈	198.370	377.230	217.440
D ₉	139.920	227.510	165.480
D ₁₀	65.100	36.180	66.600

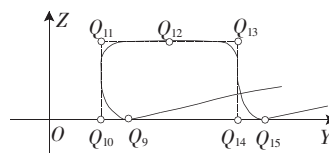
参考文献

- [1] BEDELL M, BROWN M, KIZILTAS A, et al. A case for closed-loop recycling of post-consumer PET for automotive foams [J]. Waste Management, 2018,

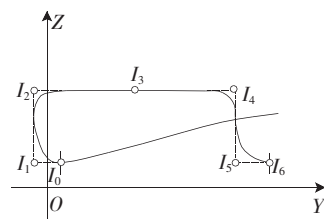
透。整体模型仿真效果较好,清晰展示了三梳栉经编织物各梳栉间嵌套及位置关系,建立模型与Abaqus 适配,为三梳栉经编模型的构建奠定了基础。



(a) L_A



(b) L_B



(c) L_C

图10 延长线控制点坐标

表7 L_A 控制点坐标

坐标	X	Y	Z
Q ₀	46.50	0	0
Q ₁	46.50	-130.00	0
Q ₂	46.50	-130.00	320.00
Q ₃	-133.50	280.00	320.00
Q ₄	-313.50	690.00	320.00
Q ₅	-493.50	1 100.00	320.00
Q ₆	-673.50	1 510.00	320.00
Q ₇	-673.50	1 510.00	0
Q ₈	-673.50	1 620.00	0

表8 L_B 控制点坐标

坐标	X	Y	Z
Q ₉	-766.50	1 620.00	0
Q ₁₀	-766.50	1 510.00	0
Q ₁₁	-766.50	1 510.00	320.00
Q ₁₂	-406.50	270.00	320.00
Q ₁₃	-46.50	2 050.00	320.00
Q ₁₄	-46.50	2 050.00	0
Q ₁₅	-46.50	2 160.00	0

71:97-108.

[2] 吴盼盼. 新材料新技术在汽车内饰面料中的应用[J].时代汽车, 2019(19): 98-99.

[3] 冯龙, 胡雪敏, 李妍, 等. 再生涤纶与传统涤纶性能对比[J]. 针织工业, 2020(6): 64-67.

[4] 陈惠兰, 冯勋伟. 经编针织物线圈几

表9 L_c 控制点坐标

坐标	X	Y	Z
I_0	-65.10	38.05	66.60
I_1	-65.10	-31.95	66.60
I_2	-65.10	-31.95	255.55
I_3	1 014.90	288.05	255.55
I_4	2 094.90	488.05	255.55
I_5	2 094.90	488.05	66.60
I_6	2 094.90	578.05	255.55

何结构研究的进展[J].上海纺织科技, 1996(6):37-40.

[5]ALLISON G L. Warp knitting calculation made easy[J].Skinner's Silk Rayon Rec., 1958(3):281-285.

[6]郭成蹊.少梳栉经编网眼织物结构与变形研究[D].武汉:武汉纺织大学, 2018.

[7]GOKTEPE O, HARLOCH S C. A 3D loop model for visual simulation of warp-knitted structures[J].Journal of the Textile Institute, 2002, 93(1):11-28.

[8]GOKTEPE O. Use of non-uniform-rational B-splines for three-dimensional computer simulation of warp knitted structures[J].Turk J Engin Environ Sci, 2001, 25:369-378.

[9]丛洪莲,葛明桥,蒋高明.基于NURBS曲面的经编针织物三维模型[J].纺织学报, 2008(11):132-136.

[10]徐海燕,蒋金华,陈南梁.基于Tex-Gen的经编针织物的三维仿真[J].纺织学报, 2015, 36(3):140-146.

[11]杨阳.在HKS2型高速特利柯脱经

$$y=-2.27x-24.45$$

$$y=0.75x+2.08 \times 10^3$$

$$y=-0.24x+16.33$$

$$-673.5 \leq x \leq 46.5$$

$$-766.5 \leq x \leq -46.5$$

$$-65.1 \leq x \leq 2\,094.9$$

(8)

(9)

(10)

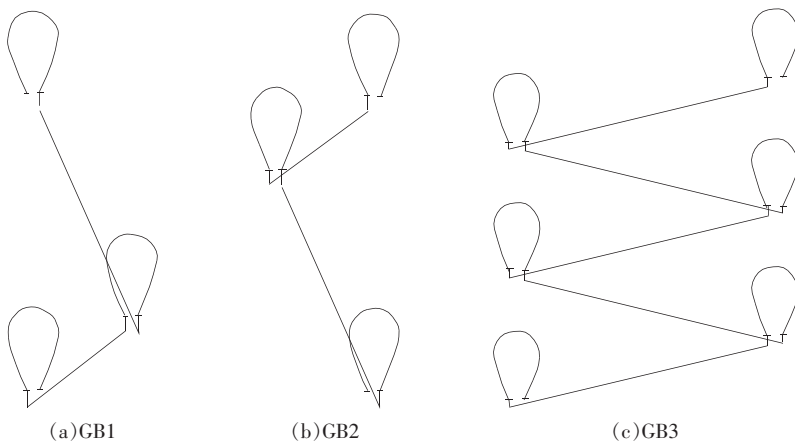


图11 各梳栉中心曲线

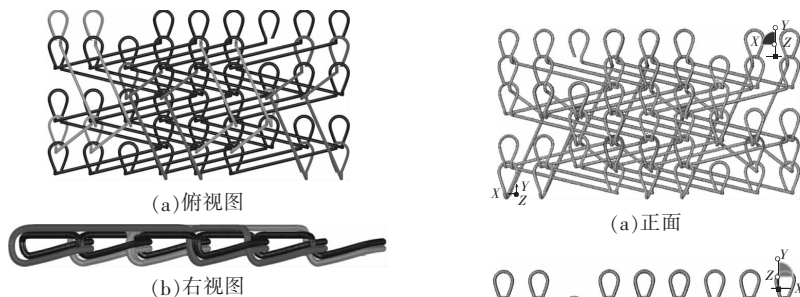


图12 三梳经编模型

编机上开发真丝经编绸的工艺与技术[J].针织工业, 1995(4):7-8, 11.

[12]CHOI B K, YOO W S, LEE C S. Matrix representation for NURBS curves and surfaces[J].Computer Aided Design, 1990, 22(4):235-240.

[13]施法中.计算机辅助几何设计与非均匀有理B样条[M].北京:北京航空航天大学出版社, 1994.

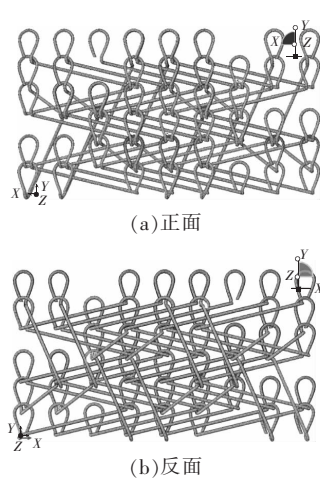


图13 导入Abaqus中的模型

[14]吕丹,童创明,邓发升,等.三次NURBS曲线控制点的计算[J].弹箭与制导学报, 2006(4):357-359.

收稿日期 2023年8月15日

信息直通车

欢迎访问《针织工业》网上平台

请登录: www.knittingpub.com

《针织工业》网上平台为广大作者及读者搭建了与我刊更紧密沟通的桥梁,为您提供更多服务:

- 注册作者,运用远程投稿系统,更快捷地处理您的来稿,使您时时了解自己稿件的情况;
- 注册读者,在线阅读期刊内容,学习行业相关知识,掌握前沿技术资料;
- 点击登录网上平台,及时了解行业新闻和企业动态。