

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.02.008

袜子配对柔性抓取机构研究

郑辉, 钱静

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要:针对袜子包装中配对工艺往往依靠人工,导致人力资源浪费,物流成本高的问题,提出了新的机械结构满足柔性物的抓取,实现自动配对。根据现有柔性物抓取机构形式,设计了针对袜子特性的抓取机构,利用推杆推动柔性板使其弯曲进行抓持,建立了柔性板的弯曲量与受力关系数学模型;提出了采用变截面柔性板取代原柔性板,通过理论分析有关参数对柔性板偏移量的影响,确定参数并分析变截面板所受应力。设计的新型纺织物抓取机构满足设计要求,从而改善纺织业现状,提高包装效率。

关键词:包装设备;袜子包装;抓取机构;变截面;柔性板

中图分类号:TB301.1;TP241 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)02-0038-06

Flexible Grasping Mechanism for Socks Pairing

ZHENG Hui, QIAN Jing

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: The currently pairing process of socks packaging is often rely on manual, which leads to the waste of human resources and the high cost of logistics. A new mechanical structure was proposed to satisfy the grasping of flexible objects. According to the existing forms of flexible material gripping mechanism, a mechanism was designed to meet the characteristics of the socks. The mechanism utilized rod pushing flexible plate to bend for grip. A mathematical model on the amount of bending and the force of the flexible plate was established. The variable section flexible plate was proposed to replace the original. Analysis of the influence of related parameters on the offset of the flexible plate, the parameters was determined and the stress of the variable section panel was analyzed. The new type of the textile grab mechanism is satisfied the design demand, and it can improve the present situation of the textile industry and improve the packaging efficiency.

Keywords: packaging equipment; socks packaging; grab mechanism; variable cross-section; flexible plate

目前限制纺织业包装自动化的关键环节在于,没有通用化的织物的抓取和转移机械,主要依赖人工。在此方面,德国与美国的纺织行业的自动化水平远远高于国内,在织物抓取方面也做了很多的研究工作,其中美国专利中 Fort^[1], Richard^[2] 和 Jones^[3] 等人提出一些简单的抓取方式,但并没有对抓取方式进行验证。此后在 2003 年, Seliger 和 Szimmat 针对纺织行业的现状设计出比较精密的抓取头^[4],但是只是单个抓取头,抓取起的织物往往已变形,需要后整理。2007 年, Kordi, Husing 和 Corves 根据织物的变形形状设计出可柔性转动的抓取头^[5],并根据变形的织物验证转动能

力。在 2008 年, Molino 和 Zoppi 等人设计出机械手抓取机构^[6],所涉及的抓取爪包含 3 个抓取手指,对纺织品的 3 个固定点进行抓取,完成织物的整理。在 2012 年, Cubbic 和 Nikolic 等人设计真空抓取方式^[7],并对吸取力和吸取位置进行试验。笔者将针对袜子包装中后整理的配对工艺,提出一种新的抓取方式,以满足袜子完整抓取和释放。

1 抓取方式

1.1 抓取方法研究

目前纺织品自动抓取的最大的挑战有 2 方面,一方面针对纺织品特有的柔性属性设计出柔性抓取器,

收稿日期:2016-09-01;修回日期:2016-12-08

第一作者简介:郑辉(1992),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要研究方向为包装机械与生产线。E-mail:1069074445@qq.com

另一方面在于选择抓取织物边缘或者抓取整平面。其中覆盖整个纺织品平面的抓取是个难题,其次针对纺织品的透气性和相互之间的摩擦力影响成为抓取方式选择的另一大难题。

整理目前常用的可行的抓取方式,并根据抓取原理分为3类:①真空负压吸附(整面覆盖,低压间歇覆盖,边缘覆盖);②材料带粘合(膜粘合,静电粘合,极冷带粘合);③物理变形(针式撑开,布针卡片板勾起,尼龙扣式)。笔者将对常用方式进行探讨,确定合适的抓取方法。

1.2 抓取方法确定

目前纺织工业主要使用斜针配合卡片式抓取。空压配合的真空吸取方式适合纱线密度较高的纺织品,而且对空压系统的要求较高,此处针对袜子并不适用。物理方式粘合中,膜粘合抓取的成功率不高,极冷和静电的粘合由于系统复杂抓取效率也不高,所以不适合使用。结构形状配合抓取主要包括直针和弧形针配合移动卡片板,其中插入深度和边缘的控制可以根据纺织品的特性进行控制。针式的抓取范围不能覆盖,而卡片式容易造成织物变形。笔者通过增加针的覆盖面,减少卡片式的移动范围,将撑开式变为微抓取的形式,设计出一种新的抓取机构。

2 机构基本参数设计

确定了抓取方式后,在机构设计时应考虑袜子的物理特性来确定机构的具体尺寸。先确定微抓取单元的结构,进而考虑分布参数,使抓袜爪尽量覆盖袜平面,完成抓取机构的设计。

2.1 微抓取单元确定

为确保袜子在抓取和放下时保持一致的形状和位置,因此设计的抓取机构需要固定一个抓取爪,移动另一只抓取爪实现抓取。如图1所示为单个抓取机构简图。为了适用于不同厚度的袜子,抓取机构必须设计为偏移量可控的柔性装置,因此将移动端设计为柔性的弹簧片,可以根据不同的袜子厚度控制弹簧片柔性弯曲。弹簧片为等截面板弹簧,选用60Si2MnA弹簧钢制成,经过870℃淬油和460℃回火处理,许用应力为1400 MPa。20℃下弹性模量 $E = 205 \text{ GPa}$ 。根据气缸尺寸,初步确定关键结构尺寸: $h = 0.5 \text{ mm}$; $b = 35 \text{ mm}$; $l = 80 \text{ mm}$; $l_1 = 50 \text{ mm}$ 。

2.2 抓取爪分布参数设计

袜子在经过定型机定型后,经测量袜子折叠线至两端所成角度为 135° ,为减少抓取爪的个数,所以抓取爪分布时应该延夹角线分布。经了解目前国内成人

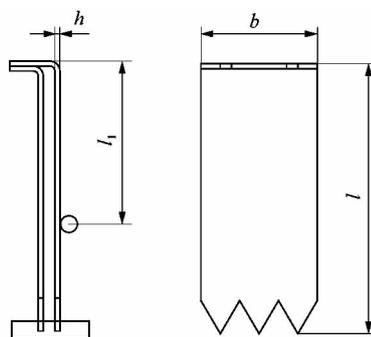


图1 抓取机构简图

Figure 1 Diagram of grasping mechanism

袜常用尺寸:袜长为5~20 cm,袜底为17~24 cm。为满足所有尺寸袜子的抓取,在最大尺寸区间内完成抓取爪的布置,分布尺寸如图2所示。其中,宽 $D = 85 \text{ mm}$;袜底边 $S_1 = 280 \text{ mm}$;袜底边 $S_2 = 220 \text{ mm}$ 。

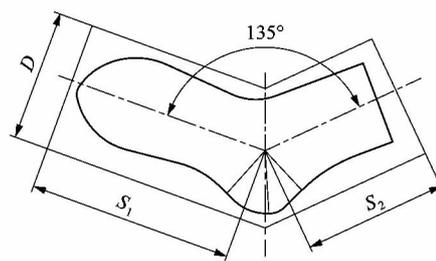


图2 抓取爪布置区间

Figure 2 Crawl claw arrangement interval

将爪分布于袜子表面沿袜长袜底方向,分布示意图如图3所示,确定分布参数 X_1 和 X_2 。经测定袜子的厚度5 mm左右,所以设定 $X_1 = 5 \text{ mm}$,袜子的纬向伸长率满足20%的要求,压缩后柔性板端点位移3 mm,计算确定 $X_2 = 15 \text{ mm}$ 。按照布置区间分布,袜长部分分布24对抓取爪,袜底部分分布20对抓取爪。建立数学模型,计算柔性板参数,而后进行具体设计。由于左右取相同的气缸和机构,因此在满足袜长部分柔性板弯曲的同时即可满足袜底部分的设计。

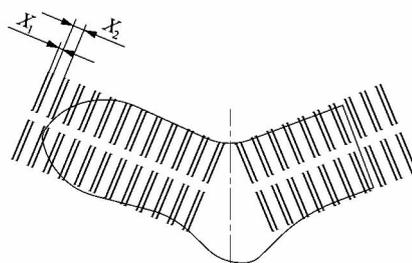


图3 抓取爪分布参数示意图

Figure 3 Schematic diagram of crawl claw distribution parameters

3 数学模型建立及参数确定

柔性末端执行器需要在气缸输出拉力时,弯曲钢板顶部使钢板完成抓取,为确保平稳的抓取,现根据板结构与施加载荷大小建立数学模型,再确定具体结构尺寸。

3.1 抓取爪受力模型建立

根据柔性关节的受力变形^[8-11],画出结构简图。建立坐标系进行受力分析,如图4所示。

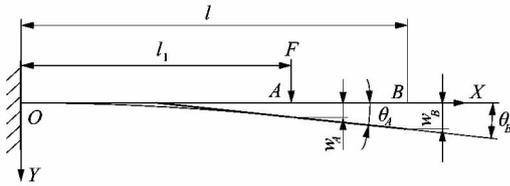


图4 受力变形简化图

Figure 4 Simplified diagram of mechanical deformation

图中:O为柔性板固定端点;A为柔性板受力点;B为柔性板自由端点;F为柔性板受力;l1为推力施加处与端点距离;l为柔性板长度;wA为柔性板A点位移;thetaA为柔性板A点角位移;wB为柔性板自由端位移;thetaB为柔性板B点角位移。

现根据抓取爪分布参数确定力F与气缸压力p的关系,气缸提供的压力:

$$T = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 p。$$

式中:p为气缸内气体压强;d为气缸内经。

本机构采用亚德客PBD10x10型号气缸,气缸内经为10mm。并采用杠杆机构2倍放大气缸推力T施加于左侧24块弹簧板,则左侧单块板所受拉力:F =

$$T/12 = \frac{\pi}{48} d^2 p。$$

A点处的位移满足弯曲变形方程,AB段则为A点转角的延伸段。根据挠曲线近似微分方程的挠度与转角的关系,得:

$$\theta = \frac{dw}{dx} = \int \frac{M(x)}{EI} dx + c_1; \quad (1)$$

$$w = \frac{d^2w}{dx^2} = \iint \left(\frac{M(x)}{EI}\right) dx + c_2x + d_2。 \quad (2)$$

式中:c1, c2, d2为常数;E为材料的弹性模量;I为板对中性面的主惯性矩;theta为柔性板任意一点X的角位移;w为柔性板任意一点X的位移。由于是等截面矩形板,所以主惯性矩为:I = bh^3/12 (b, h为图1中标出的结构

尺寸)。

在OA段任意一点距离O点距离X点所受的弯矩为:M(x) = -F(l1 - x)。

将弯矩M(x)代入微分方程(1)和(2)得:

$$\theta = \frac{Fx^2 - 2Fl_1x}{2EI} + c_1; \quad (3)$$

$$w = \frac{Fx^3 - 3Fl_1x^2}{6EI} + c_2x + d_2。 \quad (4)$$

代入边界条件:x=0;theta=0,w=0。根据边界条件可以求得c1=c2=d2=0。将x=l1代入式(3)~(4),计算出A点处偏移量wA,角偏移量thetaA,根据AB段为直线段,所以thetaA=thetaB。

因此可求得B端点偏移量:wB = wA + thetaA * (l - l1) = -Fl1^2(3l - l1)/6EI。

代入已知量l, l1,求得p与w的关系,如表1所示。可见在常用的气缸压力的情况下,柔性板端点偏移量最大为4.16mm,并不能满足5mm的要求。为了提升弯曲板的柔性,在柔性板中间进行冲压,开一个矩形通孔,减少主惯性矩,使柔性板在常用气缸压力执行下弯曲变形符合要求。

表1 气缸压强与柔性板偏移量关系表

Table 1 Relationship table of pressure cylinder and flexible plate offset

气缸压强 p/MPa	偏移量 w/mm	气缸压强 p/MPa	偏移量 w/mm
0.1	0.693	0.4	2.773
0.2	1.386	0.5	3.466
0.3	2.080	0.6	4.160

3.2 变截面柔性板参数设计

根据矩形冲压后柔性板基本参数,建立坐标系,对柔性板变形进行分析,如图5所示。从图中可知,所施加载荷的方向和作用点不变。在板中央冲压出长为a,宽为b1矩形通孔,冲压起始位置距离O点l2。其中:由于受力位置在A点,AB段为非变形段,冲压长a过A点并不产生影响,为方便柔性板的折弯固定,冲压孔起点尽量远离O点,因此将l2与a的和定为l1。在上节的坐标系标注的基础上,将柔性板分为3段,图中新增:C为冲压起始点;l2为冲压起始位置与O点距离;wc为柔性板C点位移;thetaC为柔性板C点处角位移。

对柔性板偏移量重新计算:采用逐段刚化法,刚化第CB段后OC段的受力分析得弯矩为:

$$M(x) = -F(l1 - l2) - F(l2 - x)。$$

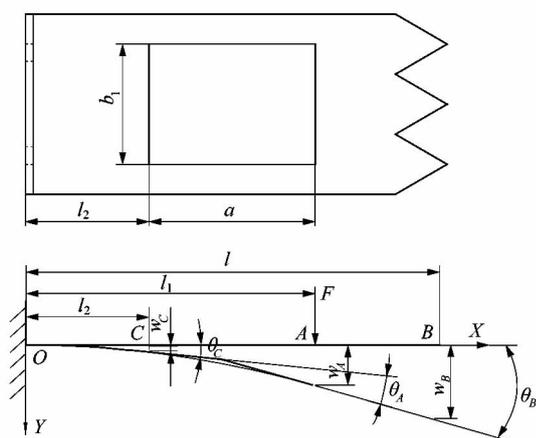


图5 冲压柔性板结构与变形图

Figure 5 Stamping flexible board structure and deformation diagram

代入微分方程(1)~(2)得:

$$\theta = \frac{Fx^2 - 2Fl_1x}{2EI} + c_1; \quad (5)$$

$$w = \frac{Fx^3 - 3Fl_1x^2}{6EI} + c_2x + d_2. \quad (6)$$

代入边界条件 $x=0; \theta=0, w=0$, 可求出 $c_1 = c_2 = d_2 = 0$ 。当 $x=l_2$ 时, 代入公式(5)~(6)求得:

$$\theta_c = \frac{Fl_2^2 - 2Fl_1l_2}{2EI}; w_c = \frac{Fl_2^3 - 3Fl_1l_2^2}{6EI}.$$

刚化 OC 段, CA 段的弯矩为: $M(x) = -F(l_1 - l_2 - x)$ 。由于冲压后截面与原截面等高, 所以冲压段主惯性矩 I_1 可以用 $I_1 = n \cdot I$ 表示, 式中 n 为系数, 且 $0 < n < 1$ 。

同上述计算过程相同, 求解 θ_A, w_A 方程, 当 $x =$

$$l_1 - l_2 \text{ 时, } \theta_A = \frac{-F(l_1 - l_2)^2}{2EI_1}; w_A = \frac{-F(l_1 - l_2)^3}{3EI_1}.$$

自由端 B 点偏移量: $w_B = w_c + w_A + \theta_c \cdot (l_1 - l_2) + (\theta_c + \theta_A) \cdot (l - l_1)$, 即

$$w_B = \frac{Fl_2^3 - 3Fl_1l_2^2}{6EI} + \frac{-F(l_1 - l_2)^3}{3EI_1} + \frac{(Fl_2^2 - 2Fl_1l_2)(l - l_2)}{2EI} + \frac{-F(l_1 - l_2)^2(l - l_1)}{2EI_1}.$$

从而得出偏移量 w 与压强 p , 系数 n 和冲压起点距离 l_2 有关, 接下来根据模型分析得出合理的具体参数, 为方便解释将冲压起点距离参数 l_2 用 m 代替。

3.3 参数变化影响

在 MATLAB 中对所建立偏移量 w 模型的参数进行分析, 在压强分别为 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 MPa 时, 给定推力 F 和规定位移 w 为 5 mm 时, 画出 n

与 m 的关系图, 如图 6 所示。

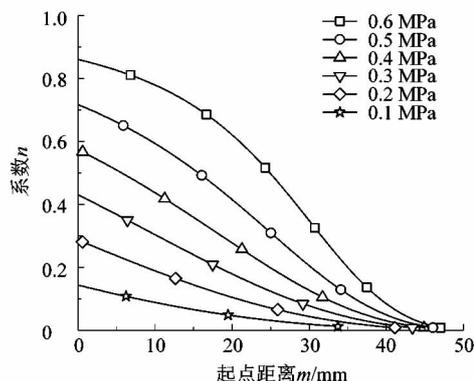


图6 参数与起点距离关系图

Figure 6 Relational diagram of parameter and starting point distance

为了在常用气压 0.4~0.5 MPa 时柔性板达到最大偏移量 w 为 5 mm, 所以系数 n 与 m 在曲线 0.4 MPa 与 0.5 MPa 之中选取。由图可见 n 取值大致范围在 0.0~0.7 之间, m 的范围在 0~45 mm 之间。同时根据冲压工艺要求, 冲压后两侧细板保留距离应大于 5 mm, 以防止冲压工艺对柔性板的破坏, 减少变截面处的应力集中。根据柔性板原宽 b 为 35, 确定 n 值大于 0.28。

现通过控制系数 n 对比距离 m 与气缸压强 p 的关系, 选取几个适合的 n 数值进行对比分析 (n 取值 0.3, 0.4, 0.5 和 0.6)。在确定 n 取值范围后根据偏移量 w 为 5 mm 时, 可以求得 m 与 p 的关系曲线, 如图 7 所示, 可以确定 m 的取值范围。

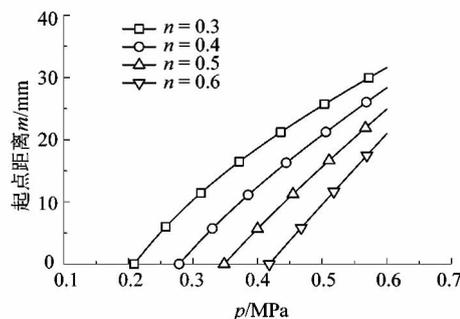


图7 气缸气压与起点距离关系图

Figure 7 Relational diagram of cylinder pressure and starting point distance

由图 7 可知 m 的取值范围为 0~30 mm, 在生产实际中由于冲压后需要折弯固定柔性板, 因此 m 需要大于 10 mm, 在常用气压 0.4~0.5 MPa 之中选取基本数据组。在 $n=0.6$ 时, m 无法满足要求。所以基于 n 为

0.3,0.4,0.5,并且确定在常用气压为0.5 MPa 时达到偏移量要求,对应选取3组基本参数,分别是: $n=0.3, m=25\text{ mm}; n=0.4, m=20\text{ mm}; n=0.5, m=15\text{ mm}$ 。现根据3组数据在柔性板上开孔,同时进行编号分别为:板一,板二,板三。并对3块柔性板进行应力校核。

4 ANSYS 仿真与应力校核

4.1 理论计算公式验证

因为理论计算运用弹性板材料力学小变形分析法,不可避免地存在误差,为了验证理论计算公式的误差在合理范围,本节利用 ANSYS 建模进行仿真,并将得到的结果与理论计算结果进行对比。现选取板二进行理论公式计算与 ANSYS 仿真数值进行对比。在压强 p 分别为 0.1,0.2,0.3,0.4,0.5 和 0.6 MPa 时,加载后得到板弹簧的转角位移和坐标位移云图,如图 8 所示(由于不同压强下云图趋势类似,只有具体数值不同,这里只给出 $p=0.6\text{ MPa}$ 时的位移云图)。板弹簧自由端 A 点在各压强下的详细变形参数数值如表 2 所示。表中可见理论计算结果与 ANSYS 仿真数值偏差小于 3.5%,因此此处理论计算公式可供参考。

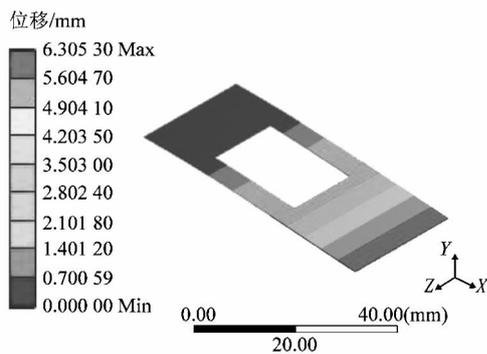


图 8 最大常用气压下位移云图

Figure 8 Displacement cloud under maximum common pressure

表 2 理论计算与 ANSYS 仿真位移值对比
Table 2 Theoretical calculation and ANSYS simulation displacement value comparison

气缸压强 p/MPa	位移/mm			偏转角 $\theta/(\text{°})$		
	公式 计算	ANSYS 仿真	偏差	公式 计算	ANSYS 仿真	偏差
0.1	1.019 3	1.050 9	0.031 6	0.017 7	0.018 0	0.000 3
0.2	2.038 6	2.101 8	0.063 2	0.035 4	0.036 0	0.000 6
0.3	3.057 8	3.152 7	0.094 9	0.053 1	0.054 1	0.001 0
0.4	4.077 1	4.203 5	0.126 4	0.070 8	0.072 1	0.001 3
0.5	5.096 4	5.254 3	0.157 9	0.088 5	0.090 2	0.001 7
0.6	6.115 7	6.305 3	0.189 6	0.106 2	0.108 2	0.002 0

4.2 柔性板应力校核

由于柔性板上的通孔采用方形冲压模具成型,在变截面处存在应力集中,为检测柔性板应力是否达标,在选取最大压强 0.6 MPa 时,仿真求解 3 块柔性板的应力集中处最大应力值。由于 3 种柔性板应力云图趋势大致相同,因此给出柔性板三的应力云图,如图 9 所示。根据 ANSYS 仿真结果得出 3 组柔性板的应力集中处应力极值分别为 215.85,254.89 和 276.03 MPa。从应力云图来看,冲压后两侧板宽度越窄所受平均应力越大,但是集中应力会相对减少。应力集中点为板所受的最大应力点,并且柔性板三的应力最大值为 276.03 MPa,仍然小于许用应力 1 400 MPa(取安全系数 $K=1.2$),所以 3 组板均可以满足应力要求,都可作为抓取柔性板。

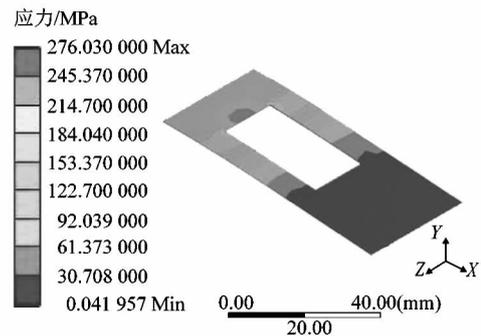


图 9 最大常用气压下应力分布云图

Figure 9 Displacement cloud distribution under maximum common pressure

5 结论

1) 提出了适用于织物的柔性抓取机构,由气动执行机构与柔性弯曲板组成,满足织物的平面抓取移动,可实现纺织企业自动化水平的提高。

2) 根据建立柔性板的弯曲变形模型,改进柔性板结构,采用变截面柔性板,增加变形能力,实现更加有效抓取。

3) 对柔性板受力弯曲变形进行分析,在满足加工要求的同时,还须保证机构在气缸常压下的正常运行。同时仿真求得应力云图,应力集中处满足许用应力要求。

参考文献:

[1] FORT J. Device for picking up, transferring and turning a textile web; US4583727 [P]. 1986-04-22.
[2] RICHARD R. Device and method for pickup of sheet-form flexible fabric or the like; US4892298 [P]. 1990-06-09.

(下转第 47 页)