

针刺吸盘抓取单层服装裁片的影响因素分析

王金钊^{1,2}, 侯珏^{1,2,3}, 杨阳^{1,2}, 封磊⁴, 刘正^{*1,5}

(1. 浙江理工大学 浙江省服装工程技术研究中心, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 3. 武汉纺织大学 武汉纺织服装数字化工程技术研究中心, 湖北 武汉 430073; 4. 嘉兴市良友制衣有限公司, 浙江 嘉兴 314003; 5. 浙江理工大学 国际时装技术学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为了探究服装生产中针刺吸盘自动抓取单层裁片的影响因素,选取18种织物裁片进行抓取实验。通过确定裁片抓取效果的评价尺度,对裁片物理属性与抓取效果进行相关性分析;基于逐步多元回归分析法建立吸盘出针长度的抓取效果模型,定义针刺吸盘抓取指数,并提出针刺吸盘抓取裁片的参数设置方法。研究表明:裁片抓取效果与织物厚度、密度、面密度和硬挺度相关性较高,对应相关性指标分别为0.697, 0.687, 0.733和0.443;面料柔软度和光滑度及纱线参数可影响抓取效果;针刺吸盘抓取指数可通过裁片物理属性进行回归预测;预测模型的调整 R^2 达到0.91,进而确定吸盘出针长参数。

关键词: 针刺吸盘; 服装裁片; 单层抓取; 预测模型; 硬挺度

中图分类号: TS 941.61 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2025)01-0033-07

Analysis of Factors Affecting Needle-Pin Suction Cup Grabbing of Single-Layer Clothing Cutting Pieces

WANG Jinzhao^{1,2}, HOU Jue^{1,2,3}, YANG Yang^{1,2}, FENG Lei⁴, LIU Zheng^{*1,5}

(1. Apparel Engineering Technology Research Center of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Wuhan Textile and Apparel Digital Engineering Technology Research Center, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China; 4. Jiaxing Liangyou Clothing Making Co., Ltd., Jiaxing 314003, China; 5. International Institute of Fashion Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To explore the influencing factors of the automatic grabbing single-layer fabric piece by needle-pin suction cup in garment production, 18 types of fabric pieces were selected for grabbing experiments. By determining the evaluation scale of the grabbing effect of fabric pieces, the correlation analysis between the physical properties of fabric pieces and the grabbing effect is conducted. A regression model, incorporating suction pin withdrawal length, is developed, along with the introduction of the "needle-pin suction cup grabbing index" to quantify grabbing effectiveness. Additionally, a novel approach for configuring needle-pin suction cup parameters is proposed. The findings underscore the significance of fabric thickness, density, surface density, and stiffness, with high correlation coefficients of 0.697, 0.687, 0.733, and 0.443, respectively. Furthermore, fabric suppleness, smoothness, and yarn characteristics significantly influence grabbing efficacy. Predictive regression analysis of the needle-pin suction cup grabbing index, The adjusted of the prediction model reaches 0.91, thereby determining the suction cup needle length parameter.

Key words: needle-pin suction cup, clothing cutting pieces, single-layer grabbing, prediction model, stiffness

小单快返式的柔性化生产模式已经成为服装企业
发展的重要方向。将工业机器人技术与服装生产

结合,提升服装物料的运输效率,是服装柔性化生产
的关键环节之一。由于服装裁片属于柔性材料,具有

收稿日期:2024-01-21; 修订日期:2024-11-14。

基金项目:浙江省科技计划项目(2023C03181);浙江理工大学科研启动基金项目(21072325-Y)。

作者简介:王金钊(1997—),男,硕士研究生。

*通信作者:刘正(1981—),男,教授,博士生导师。主要研究方向为数字化服装技术等。Email: koala@zstu.edu.cn

悬垂、拉伸等属性,且形状和种类多样,其在自动搬运时可能存在以下问题:①在抓取过程中,裁片易产生变形,难以从堆垛中分离;②在转移过程中,裁片易掉落,或其他障碍物发生碰撞;③在释放时,所抓取裁片易折叠^[1]。因此,如何利用装置解决上述问题是服装裁片自动化抓取与搬运的关键。

传统服装生产线中面料的抓取和搬运主要依靠人工完成,为了实现面料自动抓取,研究者设计了各种装置模仿人工作业,主要包括物理吸附式和机械夹持式抓取装置。其中物理吸附包括负压吸附、静电吸附、黏合式吸附等;机械夹持包括仿生机机械手、侵入式抓取等。SUN B 等^[2]设计了基于静电吸附的夹持器,可实现对 30 多种织物的抓取和转移,但抓取效果会受工业环境影响。FAILLI F 等^[3]利用负压吸附柔性材料,设计的吸附装置可以轻松吸取皮革等柔性物件。CUBRIC G 等^[4]利用负压吸附原理进行少孔非织造材料的实验,可实现抓取。韦攀东等^[5]设计了一款仿生 3 指灵巧手,通过 3 根手指对应织物 3 个位置点,将面料挠抓起来,达到抓取裁片的目的,但夹爪为刚性材料,抓取过程会对裁片造成损伤。沈津竹等^[6]使用一款软体机械手可实现对不同结构面料的抓取,但抓取效果受多重因素影响,仍需进一步研究。综合现有面料的抓取方式可知:负压吸附难以抓取高透性面料,抓取效率低且噪音较大;静电吸附容易击穿面料,成本较高且对环境要求高^[7]。在服装行业的相关研究中,大多数面料抓取方法试图模仿手动操作,但传统的仿生机机械手会对面料产生损坏,且成功率较低,易多层同时抓取或抓不起来^[8-9]。面料的单层抓取效果较好的有侵入式抓取和低温黏合抓取,其中较主流且效果最好的是侵入式抓取^[10]。针刺吸盘为典型侵入式抓取方式的一种,该方式将针穿过材料并锁定在适当位置实现材料的抓取,但纤维会受针的干扰,且已有研究中关于针刺吸盘对面料抓取效果的研究较少^[11]。

文中利用针刺吸盘为工具对面料的抓取展开研究。通过分析抓取面料时的受力情况,并在不损伤面料的前提下进行裁片单层抓取实验,探究面料和吸盘参数对针刺吸盘抓取效果的影响,同时建立面料参数与吸盘参数的关系模型,为服装裁片的自动抓取研究提供理论参考。

1 实验部分

1.1 抓取裁片分析

1.1.1 抓取裁片的过程分析 针刺吸盘进行服装

裁片堆垛抓取如图 1 所示。通过气动控制钢针伸出与缩回,穿透裁片固定在适当位置,将裁片与吸盘贴紧,从而实现裁片抓取。针刺吸盘抓取裁片的关键在于出针长度,保证针能够穿透单层面料,且面料与针的摩擦力大于面料自身重力。

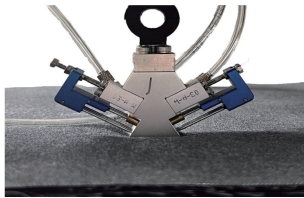


图 1 针刺吸盘进行服装裁片堆垛抓取

Fig. 1 Grabbing of clothing cutting pieces using needle-pin suction cup

针刺吸盘抓取裁片状态如图 2 所示。在抓取裁片的过程中,钢针与布面夹角为 45° ,单侧有双排钢针,每排 3 根,通过气压控制钢针的伸缩。当钢针伸出后,两侧钢针呈交叉状,穿过布层后,将布层与吸盘贴合,完成抓取。针刺吸盘抓取裁片的状态可分 3 种情况:①出针长度较短,两侧钢针伸出呈倒梯形;②出针长度适中,两侧钢针伸出呈倒三角形;③出针长度较长,两侧钢针伸出呈交叉形。对 3 种抓取状态下载片的受力分析如图 3 所示。

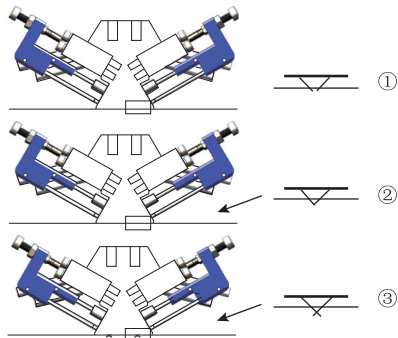
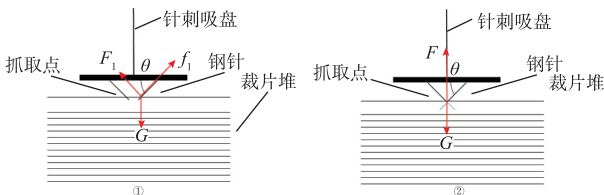


图 2 针刺吸盘抓取裁片状态

Fig. 2 Needle-pin suction cup grabbing states of clothing cutting pieces



注: F_1 为裁片对钢针的压力; f_1 为钢针与裁片纤维间摩擦力; G 为单层裁片重力; F 为钢针对裁片的支持力。

图 3 针刺吸盘抓取裁片的受力分析

Fig. 3 Force analysis during needle-pin suction cup grabbing of clothing cutting pieces

当钢针呈状态①时,受悬垂性影响,裁片易从

钢针处脱落,抓取效果主要受 F_1 和 f_1 影响。此时抓取受力情况可表示为

$$2F_1\cos\theta+2f_1\sin\theta\geq G。$$

(1)

当两侧钢针对裁片的支持力和摩擦力在竖直方向上的分力大于裁片重力 G ,针刺吸盘能稳定抓取裁片,否则裁片将掉落或滑落。

当钢针呈状态②和③时,裁片锁定于吸盘底部,此时两排钢针呈锁死状态,裁片不会滑落。但呈状态③时出针长度较长,钢针可能刺入下层面料,从而影响抓取效果。

综上所述,针刺吸盘抓取裁片主要受出针长度的影响,长度过短可能导致裁片滑落或抓取失败,长度过长会导致带动下层裁片而影响后续抓取效果。因此,需要分析出针长度对吸盘抓取单层服装裁片的影响,合理设置针刺吸盘的出针长度。

1.1.2 抓取影响因素分析 裁片抓取效果不仅由

吸盘的出针长度决定,还受裁片本身物理属性的影响,如面料厚度、悬垂性和光滑度等参数。此外,钢针刺入面料受纱线间孔隙影响,故织物的硬挺度和密度也会影响抓取效果。抓取面料时多存在钢针刺入纱线内部的情形,此时钢针显然受纱线的捻度和细度影响。此外,纱线的细度和捻度也会影响裁片的抓取效果。

因此,文中选择面料的织物密度、面密度、厚度、柔软度、硬挺度、光滑度、纱线参数与针刺吸盘出针长度为影响因素展开实验,探讨面料参数与针刺吸盘出针长度的关系,建立针刺吸盘与面料性能间的参数模型。

1.2 实验过程

1.2.1 材料 实验选取 18 种常见的全棉机织面料,并将其裁为 100 mm × 100 mm 的试样。实验用织物如图 4 所示。

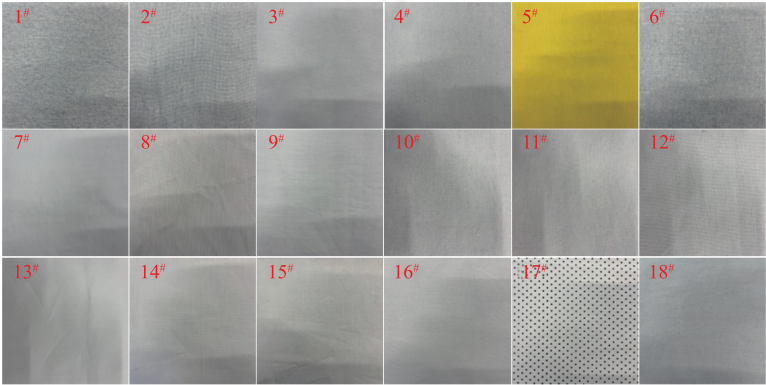


图 4 实验用织物

Fig. 4 Experimental fabrics

1.2.2 仪器 AL204 电子分析天平,瑞士METTLER TOLEDO 公司制造;Y511-B 织物密度镜和 YG141D 数字式织物厚度仪,均由温州际高检测仪器有限公司制造;Y331C 数字式纱线捻度仪,温州方圆仪器有限公司制造;FES - 3 手感测试法宝仪,美国 NUCYBERTEK制造;针刺吸盘,海宁吸力奇迹科技有限公司制造。

1.2.3 试样性能参数测试 参照 GB/T 4669—2008《纺织品 机织物 单位长度质量和单位面积质量的测定》^[12],使用电子分析天平测定织物的面密

度和细度;参照 GB/T 4668—1995《机织物密度的测定》^[13],使用织物密度镜测定织物的密度;参照 GB/T 3820—1997《纺织品 和纺织制品厚度的测定》^[14],使用数字式织物厚度仪测定织物的厚度;参照 GB/T 2543.2—2001《纺织品 纱线捻度的测定 第 2 部分:退捻加捻法》^[15],使用数字式纱线捻度仪测定纱线的捻度;按照 AATCC TM 202 - 2014 Relative hand value of textiles: instrumental method,使用 FES - 3手感测试法宝仪测定织物的硬挺度、柔软度和光滑度。测得的试样及其性能参数见表 1。

表 1 试样性能参数

Tab. 1 Sample Performance Parameters

试样编号	类型	硬挺度	柔软度	光滑度	面密度/ (g/m ²)	密度/ (根/dm)	厚度/mm	捻度/ (捻/m)	细度/dtex
1 [#]	机织	45.19	81.95	78.16	309	302 × 172	0.62	474.8	608.00
2 [#]	机织	49.92	72.44	92.91	190	320 × 172	0.45	590.4	362.67
3 [#]	机织	51.70	68.54	85.60	231	348 × 180	0.42	492.8	491.20
4 [#]	机织	40.53	78.39	82.45	288	426 × 208	0.55	554.3	398.93

续表

试样编号	类型	硬挺度	柔软度	光滑度	面密度/ (g/m ²)	密度/ (根/dm)	厚度/mm	捻度/ (捻/m)	细度/dtex
5 [#]	机织	54.46	75.13	87.45	175	446×210	0.35	636.7	286.93
6 [#]	机织	44.96	78.35	89.23	131	440×242	0.31	820.1	188.27
7 [#]	机织	43.28	77.12	84.38	145	540×254	0.26	717.6	173.87
8 [#]	机织	38.13	79.03	91.07	190	428×380	0.37	490.7	294.93
9 [#]	机织	40.35	76.07	85.14	116	524×280	0.21	644.3	89.60
10 [#]	机织	43.43	87.18	79.57	340	169×96	0.88	235.6	1 234.53
11 [#]	机织	43.52	81.19	77.63	274	174×108	0.78	359.6	1 308.27
12 [#]	机织	46.01	75.12	88.71	214	192×134	0.63	322.8	672.00
13 [#]	机织	39.81	77.00	83.61	140	520×304	0.24	634.8	209.60
14 [#]	机织	39.43	75.50	82.32	120	546×318	0.19	735.8	120.53
15 [#]	机织	38.45	76.91	82.61	117	550×280	0.22	826.6	114.13
16 [#]	机织	33.96	80.21	83.82	91	540×416	0.17	909.3	98.13
17 [#]	机织	37.48	78.43	84.11	106	542×262	0.22	723.1	137.07
18 [#]	机织	35.95	80.11	86.02	74	410×350	0.19	931.9	82.13

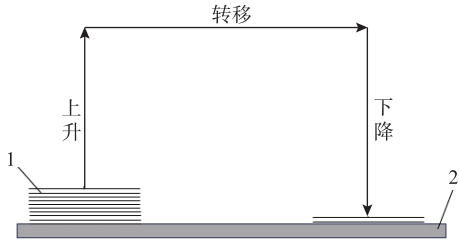
1.2.4 抓取效果评价尺度 为评价针刺吸盘的抓取效果,基于李克特量表^[16]提出了一种评价方法,通过可量化的分数对结果进行判定,具体见表2。

表2 裁片抓取效果评价

Tab.2 Evaluation of fabric cutting piece grabbing effectiveness		
抓取结果类别	抓取状态描述	对应分值
1	裁片部分或完全抓不起来	0.0
2	裁片能够单层抓起,但在移动过程中会掉落	0.5
3	恰好能够稳定实现单层抓取	1.0
4	能实现单层抓取,但会带动或带起下一层裁片	0.5
5	能够稳定抓取两层或多层裁片	0.0

1.2.5 实验步骤 通过预实验,发现堆垛的裁片间存在摩擦附着现象,针刺吸盘抓取裁片时,明显受其影响的裁片处于堆垛15层以内。因此,该实验将裁剪后的10个试样正面朝上堆叠,形成裁片堆垛,抓取方案如图5所示。针刺吸盘抓取裁片堆垛中每一层裁片的中心位置,并调整出针长度依次完成抓

取,同时根据表2对10个试样的抓取结果进行评分。依次完成18种裁片的抓取实验,记录评分结果。



注:1—裁片堆垛;2—测试平台。

图5 裁片抓取流程

Fig.5 Cutting piece grabbing process

2 抓取效果预测模型的建立

2.1 正态性检验

对18种试样的物理性能参数和抓取评分进行正态性检验,采用SPSS软件对数据进行描述性统计分析,具体结果见表3和表4。参数的偏度标准分数和峰度标准分数在-1.96~+1.96,样本变量服从正态分布。

表3 织物参数描述性统计分析结果

Tab.3 Descriptive statistical analysis results of fabric parameters								
性能参数	最小值	最大值	平均值	标准偏差	偏度	偏度标准分数	峰度	峰度标准分数
柔软度	68.54	87.18	77.70	0.94	0.04	0.07	1.92	1.85
光滑度	77.63	92.91	84.71	0.98	0.17	0.31	-0.18	-0.18
硬挺度	33.96	54.46	42.59	1.29	0.64	1.19	-0.02	-0.02
面密度	74.00	340.00	180.67	18.80	0.66	1.23	-0.69	-0.66
厚度	0.17	0.88	0.39	0.05	1.00	1.87	0.04	0.04
织物密度	127.37	473.96	314.48	24.34	-0.56	1.05	-0.77	-0.74
纱线捻度	235.60	931.90	616.72	46.49	-0.23	0.43	-0.56	-0.54
纱线细度	82.13	1234.53	371.66	80.87	1.60	1.99	1.93	1.86

注:表中所示“织物密度”为经平方根变换处理后的数据,下同。

表 4 织物抓取评分描述性统计分析结果

Tab.4 Descriptive statistical analysis results of fabric grabbing scores

出针长度/mm	最小值	最大值	平均值	标准偏差	偏度	偏度标准 分数	峰度	峰度标准 分数	抓取评分
0.125 (A)	0	1.00	0.58	0.10	-0.40	-0.75	-1.69	-1.63	a
0.250 (B)	0	1.00	0.68	0.08	-0.92	-1.72	-0.35	-0.34	b
0.375 (C)	0.30	1.00	0.81	0.06	-1.18	-2.20	0.13	0.12	c
0.500 (D)	0.17	1.00	0.74	0.07	-0.71	-1.33	-0.93	-0.90	d
0.625 (E)	0	0.98	0.53	0.10	-0.17	-0.32	-2.04	-1.97	e
0.750 (F)	0	1.00	0.60	0.09	-0.40	-0.75	-1.65	-1.59	f
0.875 (G)	0	1.00	0.45	0.11	0.24	0.45	-2.05	-1.98	g

2.2 面料参数与抓取效果相关性分析

盘出针长度与抓取效果进行相关分析,分析结果见
采用皮尔逊相关性分析法分别对织物参数、吸 表 5。

表 5 织物参数与抓取效果评分相关性分析

Tab.5 Correlation analysis between fabric parameters and grabbing effectiveness scores

抓取 评分	相关系数类型	硬挺度	柔软度	光滑度	面密度	厚度	织物 密度	纱线 细度	纱线 捻度
a	皮尔逊相关系数	-0.592**	-0.079	0.310	-0.913**	-0.878**	0.885**	-0.815**	0.765**
	显著性	0.010	0.757	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
b	皮尔逊相关系数	-0.406	-0.304	0.459	-0.839**	-0.905**	0.893**	-0.933**	0.819**
	显著性	0.094	0.220	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c	皮尔逊相关系数	0.381	-0.684**	0.473*	-0.109	-0.267	0.202	-0.380	0.008
	显著性	0.119	0.002	0.047	0.667	0.285	0.422	0.119	0.975
d	皮尔逊相关系数	0.406	-0.478*	0.286	0.113	-0.148	0.167	-0.283	0.032
	显著性	0.095	0.045	0.249	0.656	0.559	0.507	0.255	0.901
e	皮尔逊相关系数	0.691**	-0.037	0.069	0.840**	0.801**	-0.781**	0.697**	-0.788**
	显著性	0.002	0.883	0.785	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
f	皮尔逊相关系数	0.704**	-0.096	0.068	0.816**	0.736**	-0.704**	0.632**	-0.765**
	显著性	0.001	0.706	0.789	0.000	0.000	0.001	0.005	0.000
g	皮尔逊相关系数	0.674**	-0.027	-0.116	0.873**	0.854**	-0.881**	0.761**	-0.779**
	显著性	0.002	0.915	0.645	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注：* 表示相关性在 95% 置信区间显著；** 表示相关性在 99% 置信区间显著。

由表 5 可知,所选试样的抓取效果主要与硬挺度、面密度、厚度、织物密度、纱线细度和捻度显著相关。硬挺度、面密度、厚度及纱线细度对评分 a 和 b 呈较显著的负相关,织物密度和纱线捻度对评分 a 和 b 呈较显著的正相关。由于 A 和 B 情形下出针长度较短,此时针刺吸盘属于状态①(出针长度较短,两侧钢针伸出呈倒梯形),对裁片的抓取力较低,对较厚重硬挺的面料抓取力较弱,纱线细度、面密度和厚度的增加会导致难以满足式(1);在出针长度较短时纱线细度越大,抓取效果越差,故呈现表 5 所述硬挺度、面密度、厚度、纱线细度与评分负相关情况;而纱线捻度在一定范围内越大,织物表面毛羽越少,则织物越轻薄,同时织物密度越高,则越容易满足式(1),裁片抓取效果越好,故呈现捻度、织物密度与出针长度 A ~ D 评分正相关情况。在出针长度较长即评分 e,f,g 情形下,针刺吸盘属于状态②(出针长度适中,两侧钢针伸出呈倒三角形)或③(出针长度较长,两侧钢针伸出呈交叉形),易出现抓取多层的结果。若硬挺度、面密度、厚度和纱线细度越大,则织物越厚重,钢针越难穿透第一层面料或抓起第二层,故针刺吸盘对裁片的抓取效果越好,所以硬挺度、面密度、厚度和纱线细度对评分 e,f,g 呈较显著的正相关;织物密度越高,纱线捻度在一定范围内越大,织物越轻薄紧实,在抓取状态②和③情形下,针刺吸盘更容易抓取多层裁片,故抓取评分越低,即针刺吸盘的抓取效果越差,因此织物密度和纱线捻度对评分 e,f,g 情形呈较显著的负相关。

2.3 多重线性检验

针刺吸盘抓取效果与硬挺度、面密度、厚度、织物密度、纱线细度和捻度显著相关,与光滑度和柔软度在一定程度上相关。在进行多元线性回归之前,应检验相关织物参数之间的线性相关性,以此确定多元回归分析的方法。

抓取效果评分相关的织物参数的线性相关性

分析结果如图 6 所示。

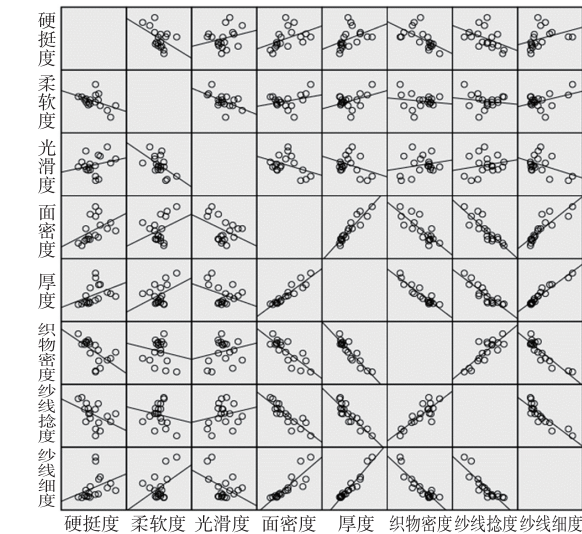


图 6 织物参数的线性相关性分析结果

Fig.6 Results of linear correlation analysis for fabric parameters

表 6 长度 A 抓取效果与织物性能参数的多元线性回归预测分析和方差分析结果

Tab.6 Multivariate linear regression predictive analysis and analysis of variance for the grab effect of length A and fabric performance parameters

模型编号	预测分析			项目	方差分析				
	R^2	调整 R^2	标准差		平方和	自由度	均方	F	显著性
1	0.834	0.824	0.173	回归	2.418	1	2.418	80.34	0.00
				残差	0.48	16	0.030		
				总计	2.90	17			
2	0.890	0.875	0.146	回归	2.58	2	1.290	60.49	0.00
				残差	0.32	15	0.021		
				总计	2.90	17			
3	0.926	0.910	0.124	回归	2.69	3	0.895	58.51	0.00
				残差	0.21	14	0.015		
				总计	2.90	17			

由表 6 可知,模型 1,2 和 3 的显著性都小于 0.01,3 个模型的线性拟合 R^2 值皆大于 0.5,说明 3 个模型均具有统计学意义,且具有较好的拟合度。模型 1 为引入单一变量面密度的一元线性回归模型;模型 2 为引入面密度和织物密度的二元线性回归模型;模型 3 为引入面密度、织物密度和

面密度与织物密度、厚度具有较好的线性相关性,对应 R^2 分别是 0.654 和 0.866;硬挺度与织物密度、面密度和柔软度线性相关, R^2 分别为 0.361, 0.197, 0.212。纱线细度与面料面密度、厚度、织物密度和捻度呈较好的线性相关,对应 R^2 分别是 0.752,0.79,0.691,0.755;纱线的捻度也与面料面密度、厚度、织物密度呈较好的线性相关,对应 R^2 分别是 0.746,0.92,0.81。综上所述,面料参数与纱线参数间存在明显的线性相关性,因此,在进行抓取效果与面料性能参数的多元线性回归分析时,应考虑模型存在的多重共线性问题。

2.4 多元线性回归模型建立

利用逐步回归法筛选并剔除可以引起多重共线性的变量^[17],建立抓取效果评分与面料性能参数间的模型。针刺吸盘在长度 A 时抓取效果与织物性能参数的多元线性回归预测分析和方差分析结果见表 6。

厚度的三元线性回归模型。随着引入自变量的增多,模型 1,2 和 3 的 R^2 值逐渐增大,说明其线性拟合度越来越好。可见,模型 3 为针刺吸盘在长度 A 抓取效果预测最优模型。针刺吸盘长度 A 情形下与织物性能参数的多元线性回归模型系数矩阵见表 7。

表 7 针刺吸盘长度 A 抓取效果与织物性能参数的多元线性回归模型系数矩阵

Tab.7 Coefficient matrix of the multivariate linear regression model for the grab effect of needle-punched suction cup length A and fabric performance parameters

模型编号	项目	非标准化系数	标准差	标准化系数	t	显著性
1	常量	1.435	0.104		13.834	0.000
	面密度	-0.005	0.001	-0.913	-8.963	0.000
2	常量	0.597	0.317		1.883	0.079
	面密度	-0.003	0.001	-0.573	-3.815	0.002
	织物密度	0.002	0.001	0.414	20.754	0.015
3	常量	-0.161	0.394		-0.409	0.689
	面密度	-0.005	0.001	-1.038	-4.764	0.000
	织物密度	0.003	0.001	0.844	4.070	0.001
	厚度	1.663	0.633	0.876	2.628	0.020

针刺吸盘在长度 A 时抓取指数可在一定程度上根据面密度、织物密度和厚度进行预测,预测模型公式为

$$P_1 = k_1 + a_1 D_s + b_1 D_f + c_1 T。 \quad (2)$$

式中: P_1 为对应抓取指数; k_1 为针刺吸盘长度 A 情形下多元线性回归模型的常量; a_1 为面密度的非标准化系数; D_s 为面密度; b_1 为织物密度的非标准化系数; D_f 为织物密度; c_1 为厚度的非标准化系数; T 为厚度。

同理,通过实验数据分析,可以得到针刺吸盘在其余长度抓取指数的预测模型,预测模型公式分别为

$$P_2 = k_2 + a_2 D_s + b_2 D_f + c_2 T + d_1 Y_f。 \quad (3)$$

式中: P_2 为对应抓取指数; k_2 为针刺吸盘长度 B 情形下多元线性回归模型的常量; a_2 为面密度的非标准化系数; b_2 为织物密度的非标准化系数; c_2 为厚度的非标准化系数; d_1 为纱线细度的非标准化系数; Y_f 为纱线细度。

$$P_3 = k_3 + e_1 S + f_1 Y_t + d_2 Y_f。 \quad (4)$$

式中: P_3 为对应抓取指数; k_3 为针刺吸盘长度 C 情形下多元线性回归模型的常量; e_1 为柔软度的非标准化系数; S 为柔软度; f_1 为纱线捻度的非标准化系数; Y_t 为纱线捻度; d_2 为纱线细度的非标准化系数。

$$P_4 = k_4 + e_2 S + g_1 H + f_2 Y_t + d_3 Y_f。 \quad (5)$$

式中: P_4 为对应抓取指数; k_4 为针刺吸盘长度 D 情形下多元线性回归模型的常量; e_2 为柔软度的非标准化系数; g_1 为硬挺度的非标准化系数; H 为硬挺度; f_2 为纱线捻度的非标准化系数; d_3 为纱线细度的非标准化系数。

$$P_5 = k_5 + a_3 D_s + h_1 S_m。 \quad (6)$$

式中: P_5 为对应抓取指数; k_5 为针刺吸盘长度 E 情形下多元线性回归模型的常量; a_3 为面密度的非标准化系数; h_1 为光滑度的非标准化系数; S_m 为光滑度。

$$P_6 = k_6 + a_4 D_s + h_2 S_m。 \quad (7)$$

式中: P_6 为对应抓取指数; k_6 为针刺吸盘长度 F 情形下多元线性回归模型的常量; a_4 为面密度的非标准化系数; h_2 为光滑度的非标准化系数。

$$P_7 = k_7 + a_5 D_s + b_3 D_f + c_3 T。 \quad (8)$$

式中: P_7 为对应抓取指数; k_7 为针刺吸盘长度 G 情形下多元线性回归模型的常量; a_5 为面密度的非标准化系数; b_3 为织物密度的非标准化系数; c_3 为厚度的非标准化系数。

综合所述,文中以抓取指数为过渡关系的预测公式如(9)所示,可基于面料参数而得到最优评分情形下的吸盘参数为

$$n = \text{Max}(P_i), i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。 \quad (9)$$

式中: P_i 为对应出针长度等级 A ~ G 的抓取指数,对应的具体长度分别为 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75 和 0.875 mm。

式(9)中,输入面料参数后,获取对应最大抓取

指数的 i 值,不同 i 值对应出针长度等级 A ~ G,由此获取吸盘参数。

3 结 语

在针刺吸盘抓取裁片的过程及影响因素分析的基础上,提出了裁片抓取效果的评价方法,选取了较常见的 18 种机织物进行抓取实验。影响织物抓取指数的主要因素是面密度、织物密度和厚度,在出针长度较长时,硬挺度、面密度和厚度越高,抓取效果越好;在出针长度较短时,硬挺度、面密度和厚度越高,抓取效果越差;而织物的密度与之相反。基于逐步回归法建立了多元线性回归模型,从纱线对面料性能的影响因素分析,通过织物面密度、织物密度、厚度、硬挺度、柔软度、光滑度和纱线参数预测裁片抓取指数,比较 P_i 可选取最佳吸盘出针参数。该研究结果实现了根据面料参数预测针刺吸盘的设置参数,为针刺吸盘裁片堆垛的自动化逐层抓取提供一定参考。

参考文献:

- [1] 刘汉邦, 李新荣, 刘立东. 服装面料自动抓取转移方法的研究进展[J]. 纺织学报, 2021, 42(1): 190-196.
LIU Hanbang, LI Xinrong, LIU Lidong. Research progress of automatic grabbing and transfer methods for garment fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2021, 42(1): 190-196. (in Chinese)
- [2] SUN B, ZHANG X Y. A new electrostatic gripper for flexible handling of fabrics in automated garment manufacturing[C]//2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). Canada: IEEE, 2019: 879-884.
- [3] FAILLI F, DINI G. An innovative approach to the automated stacking and grasping of leather plies[J]. CIRP Annals, 2004, 53(1): 31-34.
- [4] CUBRIC G, NIKOLIC G, SIGNJAR S. Catching the woven fabric with vacuum gripper[M]//Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium 2012. Vienna: DAAAM International Vienna, 2012, 23(1): 465-468.
- [5] 张蕾, 韦攀东, 李鹏飞, 等. 三指灵巧手抓取柔软织物运动轨迹规划[J]. 毛纺科技, 2017, 45(4): 44-49.
ZHANG Lei, WEI Pandong, LI Pengfei, et al. Motion trajectory planning of three-fingered dexterous hand grasping flexible fabric [J]. Wool Textile Journal, 2017, 45(4): 44-49. (in Chinese)
- [6] 沈津竹, 苏军强. 软体机械手逐层分离服装裁片的影响因素[J]. 服装学报, 2021, 6(4): 357-365, 373.
SHEN Jinzhu, SU Junqiang. Influence factors of the soft manipulator to separate the garment cutting pieces layer by layer [J]. Journal of Clothing Research, 2021, 6(4): 357-365, 373. (in Chinese)
- [7] MAKRI S, DIETRICH F, KELLEN S, et al. Automated assembly of non-rigid objects[J]. CIRP Annals, 2023, 72(2): 513-539.