

堆聚态采血针管自动分料拾取机械手研究

童俊华, 程培林, 武传宇, 娄海峰, 贺磊盈, 谢奇志, 孙良
(浙江理工大学, 杭州 310018)

摘要: **目的** 研究堆聚态采血针管在包装过程中的自动分料拾取机械手, 实现采血针管的单根拾取。**方法** 基于采血针管的物理特性, 设计搓分式和气吸式 2 种自动分料拾取机械手, 通过拾取过程的力学分析和正交试验, 研究入料深度、初始杆距和夹持力对搓分式分料拾取成功率的影响; 通过设计计算和试验, 研究吸附次数对气吸式分料拾取成功率的影响, 并将 2 种机械手的分料拾取效果作对比。**结果** 搓分式分料拾取机械手在入料深度为 30 mm、初始杆距为 4 mm、夹持力为 1.9 N 时分料拾取成功率最大为 82%, 但对物料损伤程度较大。气吸式分料拾取机械手在连续双吸时, 分料拾取成功率最大为 86%, 对物料损伤程度较小。**结论** 气吸式分料拾取机械手对物料损伤程度较小, 可以满足五通道采血针管自动包装机的送料要求。

关键词: 柔细物料; 堆聚态; 分料拾取; 送料机构

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)03-0124-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.024

Automatic Sorting and Picking Manipulator for Blood Collecting Needles in Stacking State

TONG Jun-hua, CHENG Pei-lin, WU Chuan-yu, LOU Hai-feng, HE Lei-ying, XIE Qi-zhi, SUN Liang
(Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: The work aims to study the automatic sorting and picking manipulator for blood collecting needles in stacking state in the packaging process, to achieve the single picking of the blood collecting needles. Two kinds of automatic sorting and picking manipulator of the rubbing and air-aspiration types were designed base on the physical characteristics of the blood collecting needle. By mechanical analysis and orthogonal test of the picking process, the influence of the insertion depth, initial rod distance and clamping force on the success rate of the rubbing type sorting and picking was studied. Through design calculation and test, the influence of adsorbed frequency on the success rate of the air-aspiration type sorting and picking was researched. Moreover, the sorting and picking effect of these two kinds of manipulators was compared. When the insertion depth was 30 mm, the initial rod distance was 4 mm, and the clamping force was 1.9 N, the success rate of sorting and picking was the maximum (82%) and the rubbing type sorting and picking manipulator did great harm to the materials. The success rate of sorting and picking was 86% during the continuous double absorption by air-aspiration type sorting and picking manipulator, due to which the materials were subject to less damage. The air-aspiration type sorting and picking manipulator does little damage to the blood collecting needles, so that it can meet the feeding requirements of the automatic packaging machine of the five-channel blood collecting needles.

KEY WORDS: soft material; stacking state; sorting and picking; feeding mechanism

收稿日期: 2017-09-28

基金项目: 国家自然科学基金 (51505429); 浙江省公益技术研究项目 (LGG18E050020); 浙江理工大学科研启动基金 (16022015-Y)

作者简介: 童俊华 (1984—), 男, 浙江理工大学讲师, 主要研究方向为机器人技术与应用。

通信作者: 武传宇 (1976—), 男, 浙江理工大学教授, 主要研究方向为机构学与农业机器人。

高效高精度复杂形状物料的自动分料技术是一种集机械、自动控制为一体的现代化高新技术。在堆聚态物料自动包装过程中,自动分料也是实现物料自动送料首要解决的问题,是实现自动送料的决定性环节^[1-3]。目前,国内外自动分料装置的分料拾取对象主要针对刚性物料^[4-5]。2012 年 HAN L 等^[6]利用光纤适配器基座的有规律的凹凸外形,设计了一种由振动筛选机构、顶起机构、开闭机构、组合机构、线性振动输送机构 5 个模块组成的自动送料装置,实现了对光纤适配器基座的自动送料。2015 年 WAN C 等^[7]针对滚动轴承圆柱滚子质量分布均匀、外形规则等特性,利用离心力和气动原理,设计一套自动送料装置,提高了滚动轴承的生产效率。刚性物料具有形状固定、质量分布稳定、无缠绕等特性,其自动分料技术并不适用于易变形的柔性物料^[8]。

国内外对柔性物料自动分料装置的研究有限^[9-10]。1995 年 MCELVEY H T^[11]设计了一种包装膜自动供给装置,实现了包装膜的连续供应。1996 年王新杰等^[12]设计的旋转式纸基材给料机,解决了多层筒装纸基材分料输送时能够准确分离且袋筒自身不分层的难题。2011 年 AMIRBAYAT J^[13]基于能量法和无量纲数群,对织物自动垂直送入工作站的安全长度进行了研究。2013 年楼建忠等^[14]以葫芦苗为研究对象,研制出一种应用于斜插式蔬菜嫁接机且夹持厚度和夹持力可调的砧木夹持机构,夹持成功率高达 100%。2014 年杨蒙爱^[15]以葫芦苗和西瓜苗为研究对象,对瓜类嫁接机提出一种匹配排序上苗机构,实现了幼苗的定位夹取、幼苗按匹配要求顺序输出、幼苗各工位的输送。2015 年陈晨^[16]以葫芦苗和西瓜苗为研究对象,设计了一种蔬菜嫁接机上下苗末端执行器,实现了幼苗的定位、断根、夹取。以上自动分料装置的分料对象并不具备大长径比特性,不适用于对大长径比柔性物料自动分料,因此,文中以堆聚态大长径比柔性采血针管为分料拾取对象,提出搓分式和气吸式 2 种分料拾取机械手,并通过样机试验证明其可行性。

1 自动分料拾取机械手设计

采血针管为塑料软管,其材质较软,几何形状不确定,见图 1。统计测量得采血针管的质量 m 为 2.2 g,采血管直径 d 为 2 mm,长度 L 为 170 mm。堆聚态采血针管内部排列散乱,人工预整理后,物料之间的偏移角 β 不大于 20° ,见图 2。为实现堆聚态柔性采血针管的自动分料拾取,研究模拟人工作业采用单根分料拾取的方案,提出搓分式和气吸式 2 种方法,使用样机试验其拾取分料的效果。

1.1 搓分式分料拾取机械手设计

结合人体拇指和食指相互搓动分离物料的原理,

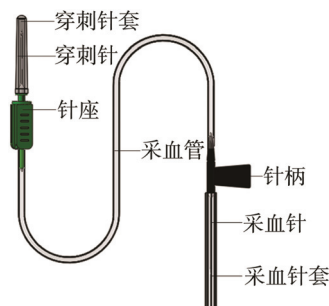


图 1 采血针管的结构

Fig.1 Structure of blood collecting needle

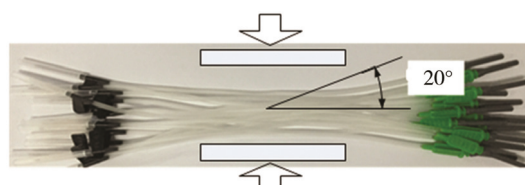


图 2 偏移角测量

Fig.2 Deflection angle measurement

设计采血针管搓分式分料拾取机械手见图 3。其中,气缸为驱动源,双滑块摇杆机构为传动机构,双滑块摇杆机构见图 4。气缸活塞杆与双滑块摇杆机构、杆距夹紧力调节机构相固连,搓动杆、夹持杆分别与双滑块摇杆机构、杆距夹紧力调节机构相固连。该机械手分料拾取过程见图 5,分为取料、搓动理料、剔料、放料 4 个动作。机械手工作时首先夹持杆深入到料堆表面下 H_0 位置,一定量物料进入搓动杆与夹持杆之间距离为 d_0 的料道中,见图 5a。其次,机械手上升到料堆上方,气缸驱动杆距夹紧力调节机构带动夹持杆向左运动,搓动杆和夹持杆以夹持力 F 夹持物料,完成取料动作,同时夹持杆末端气孔内抽真空,气缸驱动双滑块摇杆机构带动搓动杆向上运动,在搓动杆末端深度为 L_0 的凹坑的作用下,完成搓动理料动作,见图 5b。然后,搓动过程中多余物滚出料道,保留料坑内拾取到的单个物料,完成剔料动作,见图 5c。最后,机械手将拾取到的物料释放到指定工位,完成放料动作,见图 5d。

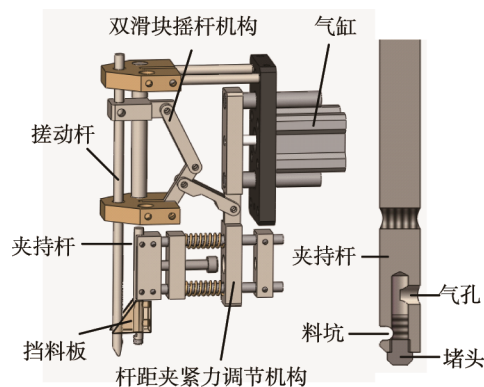


图 3 搓分式分料拾取机械手结构

Fig.3 Structure of rubbing type sorting and picking manipulator

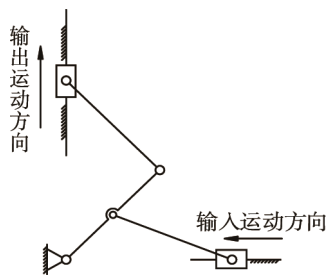


图4 双滑块摇杆机构

Fig.4 Double slider rocker mechanism

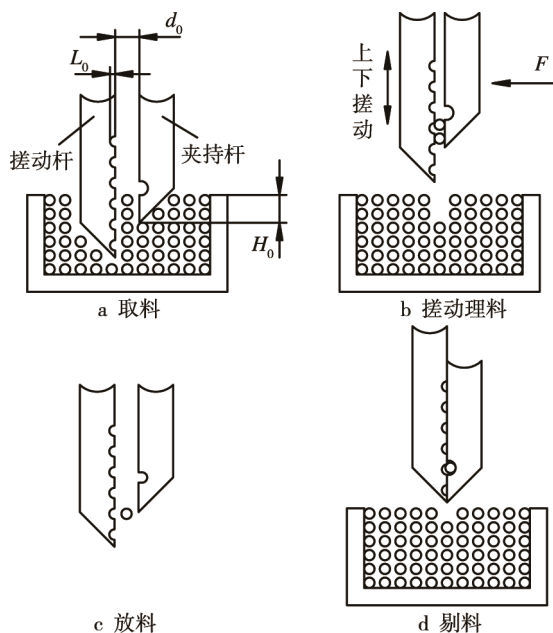


图5 搓分式分料拾取过程

Fig.5 Rubbing type sorting and picking process

1.1.1 夹持力 F 的分析计算

搓动过程中,假设采血针管是刚性管料,物料在料道内受力均匀,夹持力 F 保证采血针管在料道内做纯滚动运动以最快速度进入凹坑。 F 越大,物料在料道内磨损越严重, F 应取保证物料在料道内做纯滚动运动的最小值。采血针管在料道内的动态受力分析见图6。

1) F_1 方向向上,采血针管平面汇交力系平衡方程为:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = -ma_c \\ \sum M_c = -mr^2\alpha \end{cases} \quad (1)$$

式中: M_c 为采血针管受到的力矩; α 为采血针管的角加速度; a_c 为采血针管竖直方向加速度。展开式(1)得:

$$\begin{cases} F - F = 0 \\ F_1 + F_2 - mg = -ma_c \\ Ja_c - F_2r + F_1r = -mr^2\alpha \end{cases} \quad (2)$$

式中: J 为采血针管的转动惯量。根据采血针管滚而不滑的条件得:

$$\begin{cases} a_c = r\alpha \\ F_1 \leq f_{s1}F_0 \\ F_2 \leq f_{s2}F_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: f_{s1} 为搓动杆与采血针管之间的摩擦因数; f_{s2} 为夹持杆与采血针管之间的摩擦因数。联立式(3)和(2)得:

$$\begin{cases} F \geq \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s2}} \\ F \geq \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s1}} - ma_c \end{cases} \quad (4)$$

由于 $F > 0$, 且在试验中,搓动杆和夹持杆材料相同,即 $f_{s1} = f_{s2}$,代入式(4)得:

$$a_c \leq \frac{1}{2} \frac{g}{f_{s1}} \quad (5)$$

当 a_c 满足不等式(5)时, F_1 方向向上,解得:

$$F \geq \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s2}} \quad (6)$$

2) F_1 方向向下,对采血针管建立平面汇交力系平衡方程并展开可得:

$$\begin{cases} F - F = 0 \\ -F_1 + F_2 - mg = -ma_c \\ Ja_c - F_2r - F_1r = -mr^2\alpha \end{cases} \quad (7)$$

联立式(3)和式(7)得:

$$\begin{cases} F \geq \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s2}} \\ F \geq ma_c - \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s1}} \end{cases} \quad (8)$$

将 $F > 0, f_{s1} = f_{s2}$ 代入式(8)解得:

$$a_c \geq \frac{1}{2} \frac{g}{f_{s1}} \quad (9)$$

当 a_c 满足不等式(9)时, F_1 方向向下,解得:

$$F \geq ma_c - \frac{1}{2} \frac{mg}{f_{s1}} \quad (10)$$

经摩擦因数测定实验得: $f_{s1} = f_{s2} = 0.5$, 采血针管竖

直方向加速度 $a_c = 1 \text{ m/s}^2$; 求得 $a_c = 1 \text{ m/s}^2 \leq \frac{1}{2} \frac{g}{f_{s2}} = 10$

m/s^2 , 将 m, f_{s1}, a_c 代入式(6), 解得 $F \geq 0.02 \text{ N}$ 。在搓动分料试验中,采血针管为柔性管料,物料之间勾拉严重,且物料在料道内受力不均,测得所需夹持力 $F \approx 1 \text{ N}$ 。

1.1.2 凹坑深度 L_0 的分析计算

搓动过程中,凹坑深度 L_0 保证采血针管进入凹坑后不滚出并以最快速度被送往料坑, L_0 越大,凹坑边缘越尖锐,对采血针管磨损越大。采血针管滚出凹坑临界状态的受力分析见图7。 A 为采血针管的滚动中心,角 θ 与凹坑深度 L_0 成正相关, θ 应取保证采血针管不从凹坑滚出的最小值。根据条件,角 θ 满足不等式:

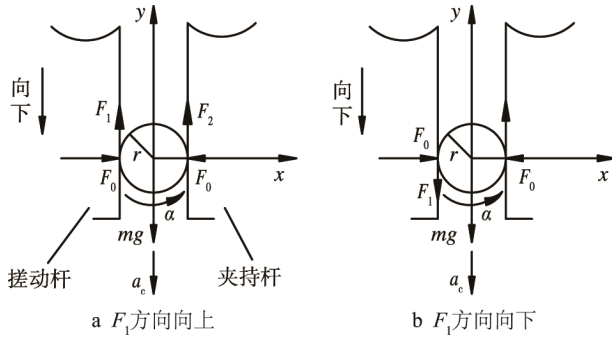


图6 采血针管动态受力分析

Fig.6 Dynamic force analysis of blood collecting needle

$$F_y(R + R \cos \theta) \leq (mg - ma_c)R \cos \theta + F_x \sin \theta \quad (11)$$

式中： F_x 为夹持杆对采血针管的压力； F_y 为夹持杆对采血针管的滚动摩擦力。

由图6中几何关系得： $\tan \varphi = \frac{F_y}{F_x}$ ，代入式(11)得：

$$\tan \varphi \leq \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta} + \frac{(mg - ma_c) \cos \theta}{F_x (1 + \cos \theta)} \quad (12)$$

由于采血针管质量较小，不等式(12)右边第2项远远小于第1项，将不等式(12)右边第2项忽略不计得：

$$\tan \varphi \leq \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta} = \tan \frac{\theta}{2} \quad (13)$$

求得， $\theta \leq 2\varphi$ 。经滚动摩擦力测量实验得： $\varphi = 30^\circ$ ，解得 $\theta \geq 60^\circ$ ，取 $\theta = 60^\circ$ 。

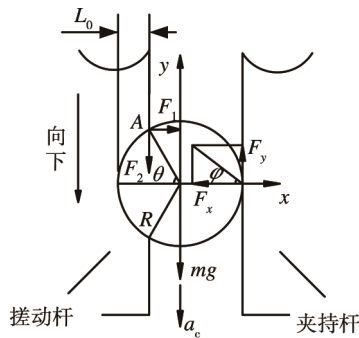


图7 采血针管滚出凹坑临界状态受力分析

Fig.7 Force analysis of blood collecting needle in a critical state of getting out of the pit

1.2 气吸式分料拾取机械手设计

结合真空吸附拾取原理，设计气吸式分料拾取机械手见图8。该机械手末端设置长为 L ，宽为 b ($b \leq d$)的导引口，导引口上方设置直径 Φ 为3 mm的气孔，引导偏移物料进入导引口并进行吸附取料。气吸式分料拾取机构吸附拾取过程见图9，分为吸附取料和放料2个动作。机械手工作时，首先导引口内产生真空，以吸附力 F_c 吸附采血针管，完成吸附取料动作，然后机械手将拾取到的物料释放到指定工位，完成放料动作。



图8 气吸式分料拾取机械手结构

Fig.8 Structure of air-aspiration type sorting and picking manipulator

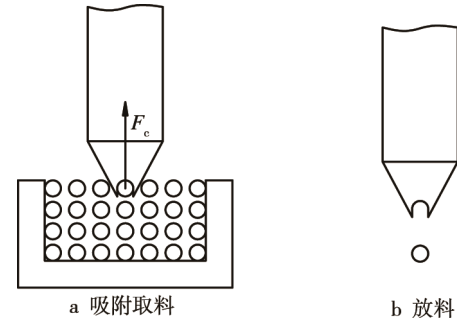


图9 气吸式分料拾取过程

Fig.9 Air-aspiration type sorting and picking process

1.2.1 导引口长度 L 和宽度 b 分析计算

采血针管进入导引口见图10，由几何关系得：

$$L \sin \beta + d = b \cos \beta \quad (14)$$

求得：

$$L = \frac{b \cos \beta - d}{\sin \beta} \quad (15)$$

将 b, d, β 代入式(14)得： $L = 1.02 \text{ mm}$ 。

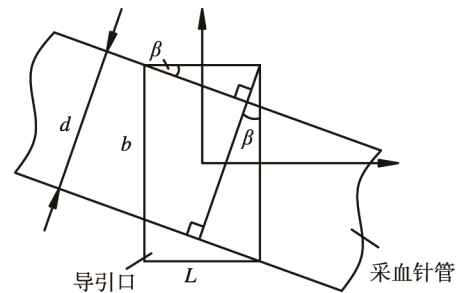


图10 采血针管进入导引口

Fig.10 Blood collecting needle into the guide port

导引口宽度 b 根据采血针管直径 d 和气孔直径 Φ 设定。由于采血管直径 d 为2 mm，气孔直径 Φ 为3 mm，设定导引口宽度 b 为2.5 mm。

2.2.2 吸附力 F_c 分析计算

吸附拾取过程中采血针管的受力分析见图11，采血针管在 y 方向的受力平衡方程为：

$$F_c - F_y - mg = 0 \quad (16)$$

式中： F_v 为采血针管受到竖直方向的阻力。

通过测量得 F_v 的范围为 $mg \leq F_v \leq 10mg$ ，取 $F_v = 10mg$ 代入式(16)得： $F_c = 11mg$ 。经计算得 $F_c \approx 0.24 \text{ N}$ ，为保证吸附成功，取最小吸附力 $F_c = 0.24 \text{ N}$ 。

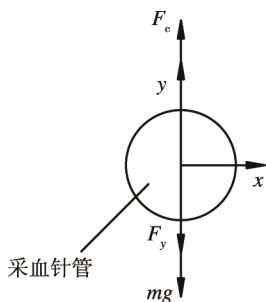


图 11 采血针管动态受力分析

Fig.11 Dynamic force analysis of blood collecting needle

2 试验

2.1 搓分式分料拾取试验及分析

建立图 12 所示的搓分式分料拾取试验平台, 以分料拾取成功率为评价目标, 以入料深度 H_0 、初始杆距 d_0 作为试验因素, 每个因素选择 3 个水平进行正交试验。根据料堆表面平整度设置入料深度 H_0 为 25, 30, 35 mm 这 3 个水平。按照采血针管直径 d 的整数倍设置初始杆距 d_0 为 2, 4, 6 mm 这 3 个水平。根据采血针管分料拾取的效率要求, 每次试验取料量不少于 5 根, 经试验测得: 当夹持力 $F < 1$ N 时, 夹取到的采血针管由于物料之间的勾拉而脱落, 不能满足效率要求; 当夹持力 $F < 2$ N 时, 物料变形严重, 设置 F 为 1.0, 1.5, 1.9 N 这 3 个水平。每组试验进行 100 次, 试验结果见表 1。

按照正交试验分析法分析试验结果, 见表 2。其中 K_1 , K_2 和 K_3 分别为 3 个因素在 3 个水平下的成功率之和; y_1 , y_2 和 y_3 分别为 K_1 , K_2 和 K_3 的平均值; R 为极差。根据极差可确定影响分料拾取成功率的主要因素以及最佳因素水平组合。

通过极差 R 可知初始杆距对试验成功率影响最大, 入料深度次之, 最后是夹持力。当入料深度 H_0 为 30 mm, 初始杆距 d_0 为 4 mm, 夹持力 F 为 1.9 N 时, 试验效果最好, 分料拾取成功率为 82%。

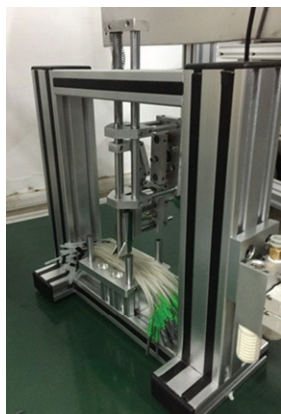


图 12 搓分式分料拾取试验

Fig.12 Experiment of rubbing type sorting and picking

表 1 搓分式分料拾取试验结果
Tab.1 Experiment results of rubbing type sorting and picking

序号	入料深度 H_0/mm	初始杆距 d_0/mm	夹持力 F/N	成功率 $y/\%$
1	25	2	1.0	21.0
2	25	4	1.5	60.0
3	25	6	1.9	55.0
4	30	2	1.5	30.0
5	30	4	1.9	82.0
6	30	6	1.0	63.0
7	35	2	1.9	22.0
8	35	4	1.0	70.0
9	35	6	1.5	58.0

表 2 搓分式分料拾取试验结果分析
Tab.2 Analysis of the experiment results of rubbing type sorting and picking

计算值	入料深度/mm	初始杆距/mm	夹持力/N
K_1	136.0	73.0	154.0
K_2	175.0	212.0	148.0
K_3	150.0	176.0	159.0
y_1	45.3	24.3	51.3
y_2	58.3	70.7	49.3
y_3	50.0	58.7	53.0
R	13.0	46.4	3.7

2.2 气吸式分料拾取试验及分析

建立气吸式分料拾取试验平台, 见图 13。该装置对采血针管产生的吸附力为:

$$F_{cl} = \Delta P_u \cdot S \quad (17)$$

式中: ΔP_u 为真空发生器达到的真空度; S 为该装置对采血针管的吸附面积。

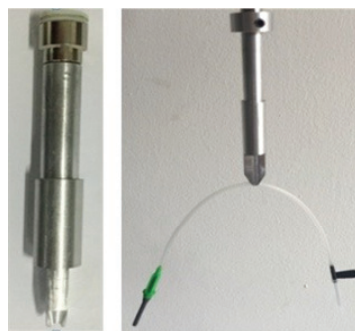


图 13 气吸式分料拾取试验

Fig.13 Experiment of air-aspiration type sorting and picking

常用小型真空发生器能够达到的相对真空度 ΔP_u 为 -88 kPa; 气吸式分料拾取装置采血针管的吸附面积 $S = \frac{\pi dL}{2}$, 经计算得: $S \approx 3.2 \text{ mm}^2$ 。将数据代入式 (17) 计算得吸附力 F_{cl} 为 0.28 N。

气吸式分料拾取装置吸附拾取动作较简单,平均1次吸附时间为1.5 s,动作周期为搓分拾取的一半。气吸式分料拾取装置进行在每个吸附拾取循环内仅有1次吸附动作的单次吸附和每个吸附拾取循环内连续2次吸附动作的连续双次吸附,以分料拾取成功率为评价目标分别进行100次吸附拾取试验。由试验结果可知,气吸式分料拾取装置单次吸附的拾取成功率为65.0%,连续双次吸附的拾取成功率为86.0%。连续双次吸附可以提高物料拾取的成功率。

2.3 试验对比

对比以上2种分料拾取装置的试验结果可知,气吸式分料拾取机械手连续双次吸附的拾取成功率最高。气吸式分料拾取试验中,堆聚态采血针管相互之间勾拉缠绕,以及真空发生器对采血针管产生的吸附力有限,是阻碍吸附拾取成功率提高的两大因素。搓分式分料拾取试验中,堆聚态采血针管相互之间勾拉缠绕以及搓动理料过程中搓动杆和夹持杆对采血针管的夹持力控制较难是影响搓分拾取成功率提高的2个主要因素。试验过程中,搓分式分料拾取机械手对采血针管磨损较大,气吸式分料拾取机械手对采血针管磨损较小,因此,气吸式分料拾取机械手连续双次吸附拾取效果更好。

3 结语

根据堆聚态采血针管自动分料拾取的需求,结合采血针管的物理特性,设计搓分式和气吸式2种分料拾取机械手,并分别建立试验装置。试验结果表明,2种分料拾取机械手完成物料的单根拾取是可行的。

通过2种分料拾取机械手试验结果对比可知,气吸式分料拾取机械手连续双次吸附的拾取成功率为86%,较单次吸附的拾取成功率65%和搓分式分料拾取机械手的拾取成功率82%都要高,且在试验中对采血针管的磨损较小,因此,选用气吸式分料拾取机械手通过连续双次吸附进行分料拾取。通过对气吸式分料拾取试验过程分析可知,堆聚态采血针管相互之间勾拉缠绕和真空发生器对物料产生的吸附力有限是影响吸附拾取成功率进一步提高的主要因素。

参考文献:

- [1] 陈羽锋, 胡国清, 栾厚宝, 等. 气动自动送料系统的设计与实现[J]. 自动化应用, 2010(8): 30—31.
CHEN Yu-feng, HU Guo-qing, LUAN Hou-bao, et al. Design and Realization of Pneumatic Automatic[J]. Automation Application, 2010(8): 30—31.
- [2] LIN J, YAN W, LIN J. The Large-Scale Sugarcane Stripper with Automatic Feeding[J]. Research Journal of Applied Sciences Engineering & Technology, 2012, 4(14): 2183—2185.
- [3] WANG S, SUN D. Research of Control System of Automatic Feeding of Consumable Electrode for Electroslag Casting Machine[J]. Electric Drive, 1999 (6): 23—26.
- [4] 周勇敏, 彭新战, 吴石福, 等. 旋流分料器的结构与性能研究[J]. 化工学报, 1994(5): 626—630.
ZHOU Yong-min, PENG Xin-zhan, WU Shi-fu, et al. Study on Structure and Performance of Swirling Distributor[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 1994(5): 626—630.
- [5] YUE Z F, CHEN J D, XU Y L. The Design for Automatic Feeding Manipulator[J]. Modern Machinery, 2012(3): 10—11.
- [6] HAN L, PANG Y T, LEI M. A Study on the Automatic Feeding Device for Optical Fibre Adapter Base[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 215/216: 221—224.
- [7] WAN C, LU S. Design for Automatic Feeding Device of Cylindrical Rollers[J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2015(3): 10—13.
- [8] GUO C, FU J, RUAN P Y, et al. The Paper-Feeding Mechanism Design of Automatic Vermicelli Packing Machine[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010 (1): 21—23.
- [9] 张国全, 李全华, 吴德明, 等. 全自动伸缩皮带式软袋装箱机供料装置运行参数的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 99—101.
ZHANG Guo-quan, LI Quan-hua, WU De-ming, et al. Study on the Working Parameters of Feeding Device of Automatic Extension Belt Type Soft-bag Boxing Machine[J]. Packaging Engineering, 2007, 28 (8): 99—101.
- [10] 袁贵栋, 李翠英. 柔性自动生产线多功能抓取及传送机械手系统[J]. 制造技术与机床, 2012(9): 70—73.
YUAN Gui-dong, LI Cui-ying. The Multi-Function Grasping and Transporting Manipulator System for Flexible Automatic Production Line[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2012(9): 70—73.
- [11] MCELVEY H T. Packaging Film Feeding and Splicing Apparatus and Method: US, 5388387[P].
- [12] 王新杰, 姚二民, 姚建松. 多层筒状纸基材分料输送装置的设计探讨[J]. 机械, 1996(4): 32—34.
WANG Xin-jie, YAO Er-min, YAO Jian-song. Discussion on Design of Feeding Device of Multi-layer Tubular Paper Substrate[J]. Machinery, 1996(4): 32—34.
- [13] AMIRBAYAT J. Estimation of Safe Fabric Length During Automatic Vertical Feeding of Fabrics into Work Stations[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2011, 23(5): 321—328.
- [14] 楼建忠, 李建平, 朱盘安, 等. 斜插式蔬菜嫁接机砧木夹持机构研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29 (7): 30—35.
LOU Jian-zhong, LI Jian-ping, ZHU Pan-an, et al. Design and Test of Stock Clamping Mechanism for Vegetable Grafting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(7): 30—35.
- [15] 杨蒙爱. 瓜类嫁接机配对上苗关键技术研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014.
YANG Meng-ai. Study on Key Technology of Taking Seedling of Melon with Matching to the Grafting Robot[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2014.
- [16] 陈晨. 蔬菜嫁接机上下苗末端执行器的设计与试验研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.
CHEN Chen. Research on End Effector of Feeding and Replanting Seedlings for Grafting Robot[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.