基于智能抓取的精定位器具调试方法研究

刁统武，何文斌，张晓阳，陈万鹏，孙硕硕，倪云，刘斌
中国重汽集团济南卡车制造公司　山东济南　250000

摘要：在智能抓取上料的背景下，针对精定位器具配合三轴、六轴机器人抓取产品件的调试开展研究。设计并实施了一系列验证试验，以评估自动上料机器人系统的整体性能。试验结果表明，引入精定位器具后，系统的上料精度得到了显著提升，误差范围大幅缩小，且对不同类型的物料均表现出良好的适应性和稳定性。此外，系统的生产效率也得到了进一步提高，人力成本显著降低。

关键词：精定位器具；机器视觉；机器人技术；自动上料系统
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.07.013

智能制造作为新一代工业革命的核心，目标在于实现生产过程的自动化、高效化和精准化。在这一背景下，自动上料系统作为智能制造的重要组成部分，其重要性日益凸显。

自动上料系统旨在解决传统人工上料方式中存在的效率低、成本高、精度差等问题[1]。通过引入先进的机器视觉技术、机器人技术及精定位器具，自动上料系统能够实现对物料的快速识别、精准定位与高效上料，显著提升生产线的自动化水平和生产效率。

机器视觉技术作为自动上料系统的“眼睛”，通过高精度摄像头捕捉物料图像，并利用先进的图像处理算法对图像进行分析与处理[2]，从而实现对物料的快速识别与初步定位。这一技术不仅提高了物料识别的准确性和速度，还为后续的精准定位与上料提供了可靠的数据支持。机器人技术则是自动上料系统的“手臂”，通过编程控制机器人按照预定轨迹运动[3]，实现对物料的抓取、搬运与放置。机器人技术的引入不仅降低了人力成本，还提高了上料的稳定性和可靠性。此外，随着机器人技术的不断发展，机器人的运动控制精度、负载能力、灵活性等方面均得到了显著提升，为自动上料系统的广泛应用提供了有力保障。

然而，在实际应用中，单纯依靠机器视觉与机器人技术往往难以达到极高的上料精度，同时机器视觉受限于操作环境以及产品件与视觉模板的匹配度，在复杂的现场进行工作时，会出现视觉误判导致产品件的抓取失败和损坏，大大降低了自动上料的效率，同

时增加了成本损耗。因此，精定位器具的引入显得尤为重要，对物料进行微调与定位，确保物料在被抓取前达到极高的位置与姿态精度。这一技术的加入，使得自动上料系统的整体性能得到了显著提升。

智能抓取

智能抓取系统总体包含机器人技术、机器视觉以及精定位器具三部分，其中精定位器具的引入大大提高了定位抓取的效率，降低了由于视觉失灵造成的生产线停转，避免影响生产节拍。同时，精定位器具的调试是适应后续不同生产条件的关键，提高对于不同生产需求以及生产环境的适应性[4]。

1.机器人技术

机器人技术包含对机器人结构、机器人动作的规划以及编程。

2.机器视觉

机器视觉是基于传感器和工业相机实现被测物体的姿态识别，并指引机器人根据中控系统的动作设计完成相关操作。

3.精定位器具

在机器人技术和机器视觉研究完备的基础上，精定位器具作为高适应性部分连接上料环节与生产节拍。精定位器具主要包含精定位料框和精定位料框库位。

（1）精定位料框　精定位料框是一种高精度的工位器具，用于生产过程中对物料进行精确定位和固定。其设计可以适应不同形状和尺寸的物料，并且可以通过调整参数来满足不同定位要求。

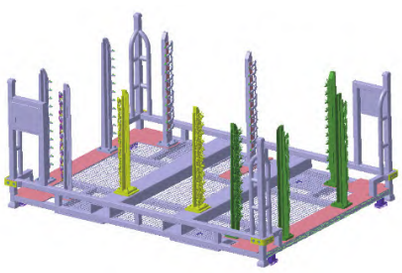
其中，精定位料框采用销孔定位等高精度的定位技术，确保物料在料框中的准确位置，提高生产效率和产品质量[5]。同时料框结构稳定，能够确保物料在运输和加工过程中的稳定性，减少物料损坏和返工率。定位方式可根据生产线需求进行选择和组合，实现最佳的定位效果。图1所示为焊接生产线顶盖、车门定位料框。

精定位料框分为产品件平放和产品件竖放两种，图2所示是产品件平放和竖放[6]。

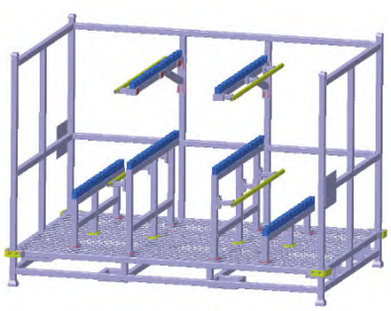
a）顶盖定位料框

b）车门定位料框

图1　精定位料框



a）产品件平放料框



b）产品件竖放料框

图2　产品件在精定位料框放置方式

以图3所示焊接生产线产品件平放精定位料框结构为例，其组成包括基准平面、焊接框架、防护网、标志牌安装处、叉车铲口、防撞条、堆垛凹槽、胶垫、立柱组件和基准孔。

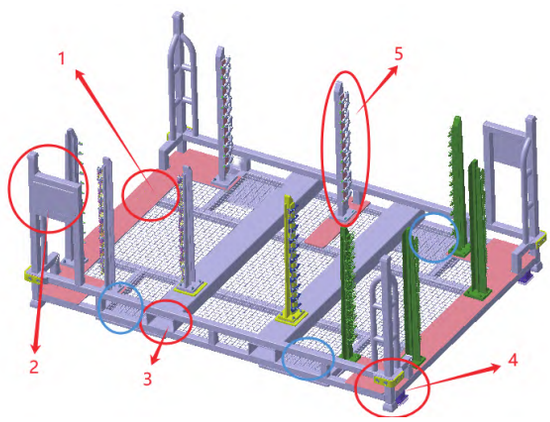


图3　产品件平放精定位料框结构示意

1—基准平面　2—标志牌安装处　3—叉车铲口

4—防撞条　5立柱组件

它们的作用分别为：

1）基准平面：上基准平面用于安装立柱组件，是整个精定位料框的安装基准。

焊接框架：焊接工艺可以将钢结构的各个构件牢固地连接在一起，形成整体受力体系，使得结构在承受荷载时能够更均匀地分布力量，提高结构的安全性。

防护网：防护网还可以防止产品件掉落，从而保护周围的人员和设备的安全。它能够承受一定的冲击力，减轻掉落物体对下方区域的伤害。

2）标志牌安装处：便于料框的识别与管理。

堆垛顶端：堆垛顶端的设计可以提供多层放置的的支撑点，使得整个堆垛结构更加稳固。这些顶端可以与其他物体的凹进部分或专用支撑架配合，形成稳定的支撑结构。

3）叉车铲口：与叉车配合，便于料框转移过程中的稳固性和牢固性。

4）防撞条：对相撞时进行缓冲，从而减轻对料框的冲击。这种缓冲作用虽然不能完全避免碰撞造成的损害，但能够在一定程度上降低损害程度。

胶垫：起保护地面作用。

堆垛凹槽：堆垛凹槽的设计主要是多层放置的时候，放在堆垛顶端上面，形成稳定的支撑结构。

5）立柱组件：应用高精度组件，负责实现产品件的装配和定位（见图4）。

6）基准孔、平面：基准孔和基准平面被广泛应用于校准和校验精定位料框上组件的基准。通过测量工具利用基准孔建立坐标系，可以确定精定位料框上组件的偏差和误差，从而进行校准和修正，确保测量结果的准确性和可靠性，保证机械手臂抓取产品件时坐标的精度。

平放料框的功能主要通过立柱组件实现。立柱组件由立柱、导轨、压舌板、连杆、支撑销和连杆组成，压舌板中部开有螺栓孔，依次固定在安装面上。其中最重要的是根据定位基准和工件的特点，选择合适的定位元件，这些元件应该具有高精度、高刚度和高耐磨性，以确保工件能够被准确定位（面精加工 $Ra1.6\mu m$，定位块采用45钢，调质，线切割，HRC55定位销；外观面：尼龙、聚氨酯等）。

在放料时，料框最下方的压舌板立柱上的压舌板由于自重围绕固定螺栓向下旋转，被落回支撑销阻

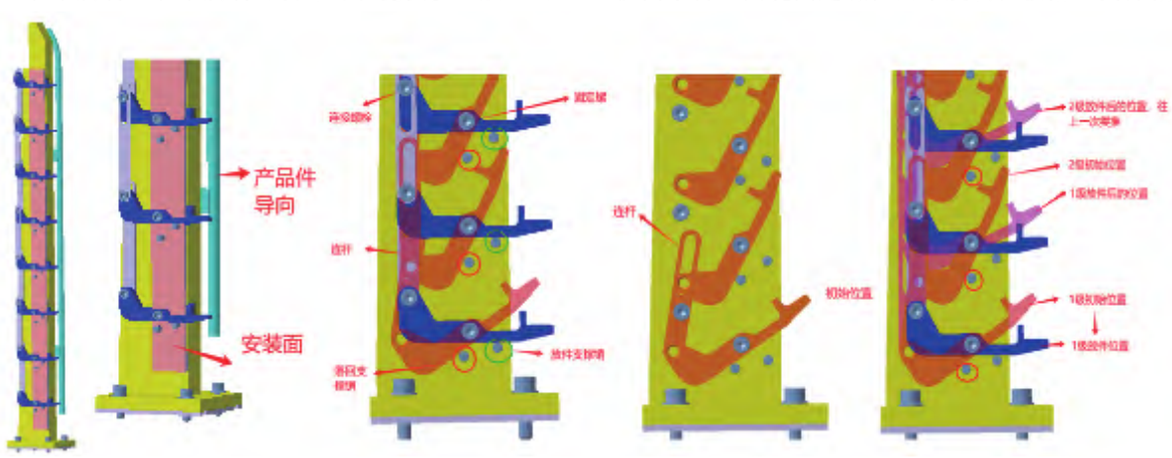


图4　立柱组件

挡，压舌板前段伸出安装面10mm，现在位置称为一级初始位置，往上的其余压舌板相同，但落回支撑销相对于安装孔比最后一个的位置向下8mm，以使压舌板末端与安装面平齐，保证抓手放件可以放到最下端。当抓手放置第一个件时，使最下方的压舌板到达1级放件位置，连接在末端的连杆向上拱起，使第二级的压舌板伸出一小部分，当第二个件放下后重复第一个件的过程，往后依次类推，直至整个料框放完。当机器人抓手取件时，从最上面的件开始依次取，取完一个，相对应的压舌板由于自重向下旋转，与落回支撑销接触，使压舌板的末端与立柱安装面平齐，避免抓手取下一个件发生干涉，直至取完。

（2）精定位料框库位　包括基准小车和库位。

1）基准小车。库位由小车配合使用，起着承上启下的作用，一方面承载料框，另一方面与库位配合起定位作用。小车由外导向、万向轮、AGV导向、AGV牵引装置、基准定位销、基准定位平面和限位装置组成。

2）库位。气缸还可以与其他定位机构（如导向轨、限位开关等）配合，确保货物能够准确停放在指定位置。

光电传感器、压力传感器等可以监测库位内的安全状况，如防止碰撞、过载等情况的发生[7]。

验证试验流程设计

1.精定位料框的预备工作

（1）确定定位基准　选择合适的定位基准是精定位工位器具定位的关键[8]。根据产品件的空间位置，方便取件的情况下进行设计。

（2）调整定位元件　根据定位基准和工件的特点，调整定位元件的位置和姿态，确保定位元件与工件之间的配合精度。产品件间距位置采用精加工销孔定位，不调整；两个以上的工位器具，为保证高度统一，立柱采用垫片调整，与产品件非支撑对应的面采用立柱椭圆口调整；基准小车的轴承采用垫片。

（3）固定定位元件　将定位元件固定在精定位工位器具上，确保定位元件的位置和姿态在加工过程中保持不变。（整个框架/基准面），通过测量装置对工件进行检测，确定工件的位置和姿态是否符合要求。

2.精定位料框的检测

（1）检测基准　三坐标检测时，以料框的底部平面和孔为基准，建立坐标系。在后续自主上料时，料框上面所有的位置度都是在检测基准的基础上进行检测和调整。为检测方便，检测时可将工位器具翻转进行检测（或加工专用检测平台）。

（2）立柱检测　因是工位器具，结构简单，但调整复杂。检测时先检测立柱的垂直度，检测安装面的上下两个点（±2mm）。检测上下定位块的（产品件）侧面，侧面的偏差只允许偏离产品0.5～1.5mm，不允许偏向产品件。对于定位孔直径小于8mm的产品件，侧面的偏差只允许偏离产品0.5mm以内。检测定位块，产品件支撑面误差控制在±2mm内。检测导向，只要求与产品件相对应的方向，检测标准同定位块的侧面，偏差只允许偏离产品0.5～1.5mm，不允许偏向产品件。

产品件侧面偏差对机器人抓取有很大的影响，所以调试过程中侧面与基准的偏差值非常重要，过大和过小都会造成不良的影响。如果间隙过小，易造成产品件变形，过大导致产品件的位置发生变动，抓手抓坏件。所以为了寻找最佳的间隙，调整不同间隙，分别抓取100个件，记录抓件合格的次数，见表1。

表1　抓件合格情况统计

序号	尺寸间隙/mm							备注
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
1	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
2	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
4	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	
…								
98	✓	×	×	×	×	×	×	
99	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
100	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	
合格率/%	100	100	100	99	88	80	70	
剐蹭率/%	100	7	3	0	0	0	0	

3.机器人的调试方法

1）初次调试必须以拆垛的方式去调试，通过后，可进行视觉调试（避免后期视觉故障，整个抓取工作无法进行）。

2）调试时，先把产品放置最后一层，进行抓取调

试，抬升过程中，不能出现产品的剐蹭现象，然后在最上端进行抓取调试，保证最底层和最上层每个支柱的两点垂直。

3）完成后，利用最上端产品件的程序轨迹，直接调用步进轨迹，按照料框的设计层数尺寸进行设置步进尺寸。

精定位器具拆垛调试

首先AGV小车运载对应料框进入第一个库位，接下来对料框和库位分别按步骤调试（见图5）。

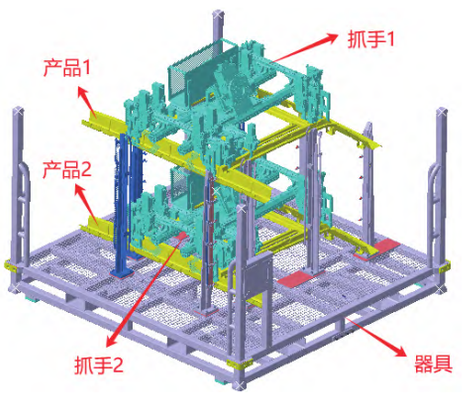


图5　料框

1）如图6所示，将产品件1放置于料框最上层，调整机器人相对于产品1的位置，使抓手所有定位点与产品件接触。由于产品件有微小差异，要记录不同产品件，未接触定位点与产品件之间的相对距离，调整机器人定位坐标，保证定位点与机器人之间距离最小，抓取姿势最优。

2）经过步骤1的机器人手臂位姿调整后，将产品件1通过机械手臂下移，放置于料框最下层（图5中产品件2的所在位置）时，识别此时产品件与压舌间隙是否一致（可存在1mm之内误差）。

如果一致，则此步骤调试通过。若不一致（见图6），则通过机械抓手调整产品件与压舌的间隙（在示教器内调整抓手的X或Y坐标值），使此间隙与产品件在最上层时一致（可存在1mm之内误差）。根据系统返回的调整后定位销位置坐标以及在最上层时定位销位置坐标，求解调整前后偏移角度对应的调整机器人坐标系。调完后，要记录最上端和最下端压舌与产品件的间隙，用于后续的料框调整参考。

最上层料框相对于最下层料框，可能发生两种方

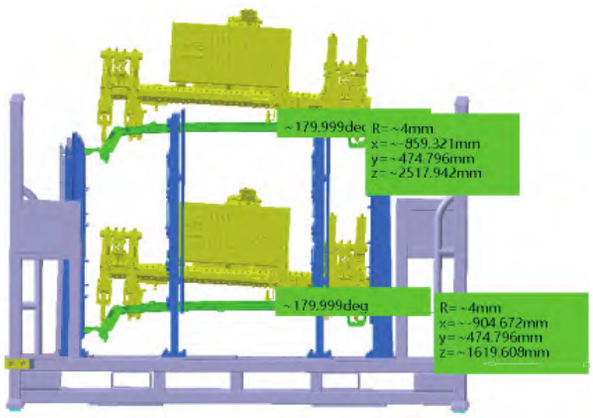


图6　料框偏移

向的偏移值，分别为X轴方向和Y轴方向。以X坐标值方向发生偏移为例，因为第一个料框的水平基准以及库位的基准已经在准备工作中进行调整，视为标准。

由于两个坐标系建立的原点不一致，相对位置有平移，其示意图如7所示。

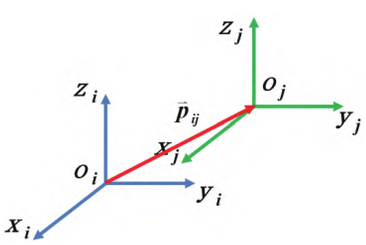


图7　坐标系平移

此时平移后坐标用向量进行表示，可以表示为

$$\vec{r}_i = \overrightarrow{p_{ij}} + \vec{r}_j \tag{1}$$

最上层料框相与最下层料框压舌X方向间隙不一致时，考虑坐标系的变换，视为坐标系绕Y轴进行了旋转，在不考虑平移的情况下，坐标系示意如图8所示。

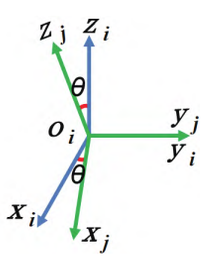


图8　坐标系绕Y轴旋转

此时旋转后坐标系与旋转前坐标系可以通过等式表示

$$\begin{cases} x_i = x_j \cdot \cos\alpha - z_j \cdot \sin\alpha \\ y_i = y_j \\ z_i = x_j \cdot \sin\alpha + z_j \cdot \cos\alpha \end{cases} \tag{2}$$

进一步可以表示为

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} \quad (3)$$

表示为向量则得到：

$$\vec{r_i} = R_{ij}^{x,\alpha} \cdot \vec{r_j} \quad (4)$$

将此调试中的情况规定为坐标系先进行了平移后进行了旋转，若要对{*j*}坐标系进行校正，使其与{*i*}坐标系重合，进一步推导联合变换的情况：

$$\vec{r_i} = R_{ij} \cdot (\overrightarrow{p_{ij}} + \vec{r_j}) \quad (5)$$

计算出偏移角度α，得到旋转平移矩阵修正坐标系。同时在*X*向出现压舌间隙调整时，坐标系偏移角度α计算方式如下

$$\alpha = \arcsin(\Delta X / \Delta Z) \quad (6)$$

其中，ΔZ为最上层与最下层*Z*坐标的正向差值，ΔX为抓手在最下层进行调整时的坐标偏移距离，可以根据定位销返回中控系统的数据计算得出。

调整后，由于要相应的调整机器人坐标角度，机械抓手在最上层的角度也发生了相应的变化，如果偏移角度在±1.5°之内，则忽略此变化对抓取产品件时的定位影响；如果偏移角度过大，则需要在可控范围内调整机械手臂位姿，确保定位销与产品件不发生干涉。

3）更换库位进行抓取，此时，水平基准和立柱无需再调整，需要按照在第一个库位的步骤1和步骤2进行调试。虽然在第一个库位已对机器人以及料框进行调试通过，但是由于不同库位地面平整度不一致，若在对不同层产品件抓取时出现偏差，操作同步骤2最上层和最下层的产品件与压舌间隙不一致情况下的操作。同时，也需要记录最上端和最下端压舌与产品件的间隙。

4）更换料框2，把产品2放置在料框最下边一层，进行抓取调试。机器人抓取后，按照*Z*坐标轴方向抬升，抬升过程中，不断地观察所有立柱的导向，不允许剐蹭产品件，有问题必须调整整个立柱，不允许单独调整导向，直至在最下方一层抓取产品件时不发生剐蹭。

同时观察产品件与压舌间隙，若产品件在最上层和最下层时与压舌间隙超过1mm误差允许，则考虑是发生了误差累积。需要观察步骤2中记录的间隙数据，看最下层相对于最上层是往靠近压舌方向误差偏移，还是往远离压舌方向误差偏移，对比本步骤产品件与压舌间隙，进行微调。

5）在进行步骤1、步骤2、步骤3和步骤4调整后，在料框最下层和最上层放置2个产品件，位置如图6所示。然后，让机器人快速抓取这两个产品件，通过即为合格。此操作在于检查自动抓取产品件的效率。

6）最后，将多件产品件放置在立柱组件上，根据最上层产品件初始位置，设定初始抓取坐标，在*Z*轴方向按照固定间隔逐层下移抓取产品件，此为拆垛，用于在机器视觉失灵时保证自动上料工作的正常进行。

结语

将精定位器具应用于焊接线生产时的自动上料过程具有广泛的现实意义，能够有效提高自动上料过程的定位准确度和效率，大大减少了人力成本。同时，保证了由于机器视觉失灵时自动上料过程的正常进行，减少机械手臂定位不准造成的坏件。

本文意在针对自动上料系统的精定位器具提出可靠有效的流程，使其适用于不同操作现场生产线中对于机器视觉、机器人技术尤其是精定位料框的调试，应用此调试方法可以使精定位器具与机器视觉以及机器人技术的配合程度更高。

参考文献：

[1] 李松林.基于工业机器人的数控车床自动上下料系统研究与设计[D].长春：吉林大学，2023.

[2] 王建，赵红霞.基于FPGA的图像处理探究[J].信息通信，2021，34（3）：79-82.

[3] 钟靖，姜万生，秦现生，等.基于机器人技术的自动上下料系统设计[J].机械与电子,2014（7）：60-63.

[4] 王健.冲压车间生产线物流工位器具的改善设计分析[J].科学与信息化，2017（33）：54-56.

[5] 黄佳兴.基于图像识别的销孔对准与插接装置设计[D].长沙：湖南工业大学，2023.

[6] 余科学，陈季兰，张瑞海，等. 一种推拉式精定位料框结构: 202021034807. 4[P].2024-10-10.

[7] 董小琼，程继兴，蒲新征.传感器技术与检测[M].北京：中国地质大学出版社，2012.

[8] 黄新胜，鞠佳东，任鹏远，等.工位器具的精度检测方法和装置：CN202110215144.9[P].2024-10-10.