

doi: 10.7690/bgzdh.2026.04.005

弹药箱下料工作站

金 泮, 舒启林, 蒋尧波

(沈阳理工大学机械工程学院, 沈阳 110158)

摘要: 为解决传统人工下料效率低、易出错、操作不当等问题, 提出一种高效稳定的下料工作站。以弹药封箱自动化生产线下料为研究对象, 利用 SolidWorks 搭建了夹持机构模型, 有限元分析验证设计合理性, 选用 PROFINET 通信协议, 并通过 MIoT.VC Premium 5.4 仿真软件验证。结果表明, 该工作站符合封箱下料作业的相关标准, 具备完成弹药箱下料任务的能力。

关键词: 工业机器人; 工作站; 虚拟仿真; MIoT.VC Premium 5.4

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Ammunition Box Unloading Work Station

Jin Feng, Shu Qilin, Jiang Yaobo

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110158, China)

Abstract: In order to solve the problems of low efficiency, error-prone and improper operation of traditional manual blanking, an efficient and stable blanking workstation is proposed. Taking the blanking of ammunition sealing automatic production line as the research object, the model of clamping mechanism was built by SolidWorks, and the rationality of the design was verified by finite element analysis. The PROFINET communication protocol was selected, and the design was verified by MIoT.VC Premium 5.4 simulation software. The results show that the workstation meets the relevant standards of sealing and blanking operation, and has the ability to complete the task of ammunition box blanking.

Keywords: Industrial robots; work station; virtual simulation; MIoT.VC Premium 5.4

0 引言

军事领域, 弹药封箱工作至关重要, 能确保弹药在运输和存储过程中的安全可靠。传统的半自动化产线存在密封性能不足和操作规范不严格等问题, 导致弹药可能受潮、污染或损坏。为了提高封箱质量, 世界各军事强国致力于将弹药封箱工作与全自动化产线相结合, 使用机器代替人工进行上料、穿别针、压铅封、下料等操作。由于穿别针和压铅封步骤的精度要求高, 自动化难度较大, 目前生产线尚未实现完全无人化。

追求高质量的产能提高一直是军工企业的重要目标, 下料环节作为生产线的关键步骤之一, 对于封箱效率具有重要影响, 传统人工下料存在着效率低、易出错、操作不当等问题^[1-3]; 因此, 应结合弹药封箱自动化生产线箱体下料的相关问题, 设计一套智能化、高效稳定的下料工作站。

1 下料工作站设计原则

1.1 箱体模型

弹药箱体为注塑件, 两侧各有 2 个卡扣, 上下

端盖通过这些卡扣固定在箱体上, 如图 1 所示。

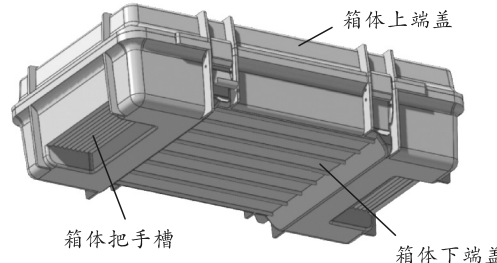


图 1 弹药箱体

传统人工方式搬运箱体下料时, 工作人员抬起两侧箱体的把手槽将箱体放在下一传送带。将机械臂、夹持机构设计、通信控制协议等元素组成自动化下料工作站, 代替人工下料。

1.2 下料机构设计原则

1) 流程优化原则: 搬运箱体的下料工作站应实现高程度自动运动。

2) 安全稳定原则: 本产线下料工作站属于大型机械设备且炮弹毁伤威力大, 需充分考虑安全因素, 应采取相应的防护措施, 如建造安全墙或隔离间。

3) 可维护性原则: 机械设备应做到方便维护和

收稿日期: 2024-12-10; 修回日期: 2025-01-10

第一作者: 金 泮(2000—), 男, 辽宁人, 硕士。

具有耐用性，不仅可以减少产线停机时间，而且能提高稳定性和可靠性。

2 搭建夹持机构模型

2.1 夹持机构模型

经测量：箱体长 967 mm、宽 385 mm、高 238 mm。夹爪模型应围绕箱体尺寸大小、箱体外观形状、封箱完毕后箱体的质量等因素设计。

夹爪结构属于外夹式四指气动夹爪结构，使用 SolidWorks 建模如图 2 所示。

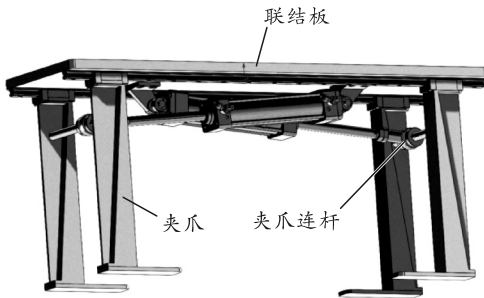


图 2 夹爪结构模型

外夹式夹爪对于箱体这类长方体类型物体可以提供更好的夹持稳定性，夹爪结构夹持箱体两侧宽边。经上述测量箱体长 967 mm。为确保在夹持箱体时无干涉现象出现，确定夹爪开闭最大范围为 1 000 mm。

夹爪的构成采用了单作用筒形气缸交叉式排布方式，气缸采用法兰式固定。通过气缸做往复伸缩运动时，两侧夹爪手指进行左右往复运动，夹爪手指的开闭运动进行箱体的夹持。

2.2 有限元分析

高强度合金钢具有高强度、高硬度、良好的耐磨性和韧性、可加工性强和成本效益高等优点，是一种非常适合的材料选择。高强度合金钢应用于弹药箱体下料夹爪，如表 1 所示。

表 1 高强度合金钢材料性能参数

种类	参数
弹性模量/(N/m ²)	2.100 000 005e+11
泊松比	0.28
密度/(kg/m ³)	7 700.000 118
屈服强度/(N/m ²)	620 421 997.8

为验证设计合理性，采用有限元分析方法对夹爪手指进行静力学分析，生成网格化模型，选用材料设定夹具位置，运行算例。

以单个夹爪为例，通过有限元分析结果如图 3~5 所示，施加箱体总重量为外部载荷确保分析过

程中模拟夹爪机构工作过程中收到的外部压力。

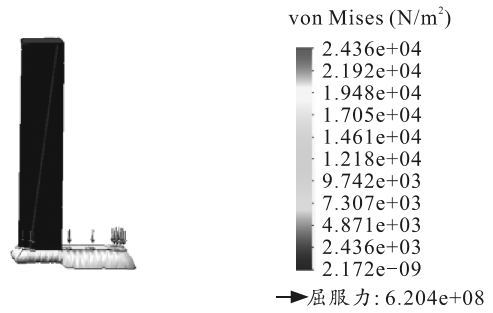


图 3 高强度合金钢夹爪应力

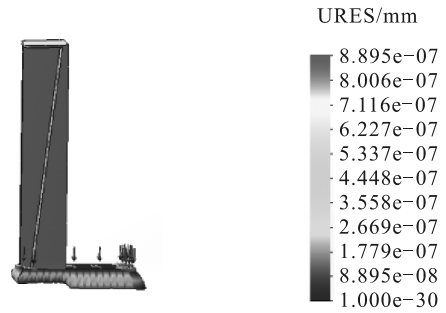


图 4 高强度合金钢夹爪合位移

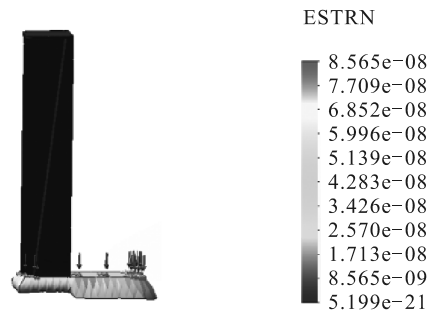


图 5 高强度合金钢夹爪应变

通过有限元分析结果可知：当夹爪处于工作状态时，所受最大应力为 2.436e+04 N/m²，最大合位移 8.895e-07 mm，最大应变 8.565e-08。均符合行业标准，选用高强度合金钢以保证结构的耐用性和可靠性。

2.3 压铅封专机

压铅封专机如图 6 所示。

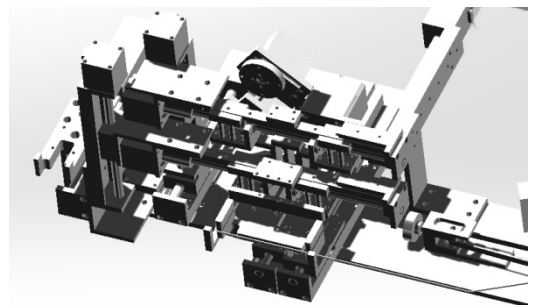


图 6 压铅封专机

压铅封机器的任务是将细钢丝别成矩形后压上

铅封块，其工作流程：送丝定位、送丝剪断、定位收拉、尾部收紧、穿过铅封、压铅封、旋转拧紧。

2.4 穿别针专机

穿别针机构如图7所示。

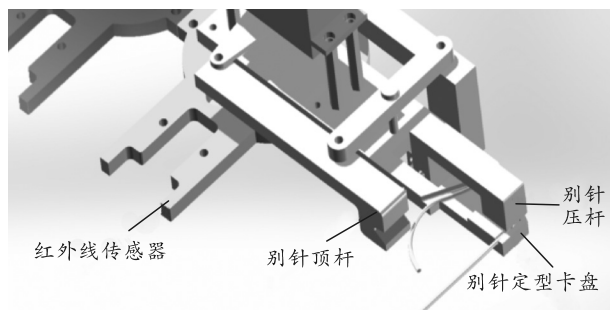


图7 穿别针机构

在穿别针专机工作时，红外线传感器测量卡扣所在位置并定位，舵机旋转带动别针定型卡盘将粗钢丝别针穿入卡扣的孔洞中，别针顶杆将别针扣好。

在弹药封箱过程中，压铅封专机先进行压铅封工作，随后别针专机进行穿别针，原因是较硬的粗钢丝便于操作，更容易穿透已形成的铅封，较软的细钢丝先行压铅封可确保密封性。此流程优化了封箱过程，确保封口密封牢固且别针固定稳固，提高了封箱的安全性和可靠性。

3 驱动装置及机械人选型

3.1 驱动装置选型

选择驱动方式时，考虑到气缸较电机成本更低，具有动作反应快、工作介质清洁等特点，选择气动传动方式。选用气缸类型时，由于平行气动夹爪开闭行程范围有限达不到所要求的工作行程，因此选用筒形交叉式分布，如图8所示。

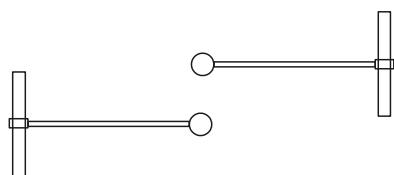


图8 筒形交叉式分布

1) 选定气缸系列。设备要求具有较低的能耗，较好的耐用性和较长的使用寿命，注重成本结构简单紧凑且质量良好，采用 SMC 公司的 MB-Z 系列。

2) 确定气缸负载率。气缸速度在 50~500 mm/s 水平或者垂直工作，默认 $\eta \leq 50\%$ 。

3) 计算理论输出力：

$$F_0 = F \times 100\% / \eta \quad (1)$$

式中 F 为配弹箱体重量。

4) 查《SMC 气缸选型手册》，工作压力通常选为 0.6 MPa，OUT 理论输出力 $F_0=929.34$ N。0.6 MPa 压力下，缸径 50 mm 使用压力为 1 178 与理论输出力相近，为了考虑安全余量选取缸径为 63 mm 气缸。

5) 查《SMC 气缸选型手册》，横坐标 500 mm/s 处向上作垂线，与 63 mm 缸径的曲线相交，焦点点向左作水平线、与纵坐标轴交于 80 kg，即为所求并且符合标准范围。

由于夹爪最大开闭范围设定为 1 000 mm，考虑到安全生产原则，单个气缸开闭行程为 250 mm，最后确定气缸型号为 MDBB63-250Z。

3.2 机器人选型

选择机器人时，应根据应用范围，如：焊接、喷涂、搬运、装配等，并确保负载超过箱体重量和机械手总重量的 70%，考虑机器人手臂负载及其最大工作范围。

经上述步骤，六轴工业机器人选择 KR180R2900 型号机器人，有效负载 180 kg，重复定位精度 ± 0.06 mm，工作半径为 2 900 mm，本体重量 1 106 kg，常用于搬运、上下料、码垛。

利用 MIoT.VC Premium 5.4 仿真软件，将机器人放入模拟仿真工作环境中，打开 WorkSpace3D 模式并观察机器人工作范围。机器人模拟工作范围符合箱体搬运的范围，机器人选型适用。工作范围仿真分析如图9所示。

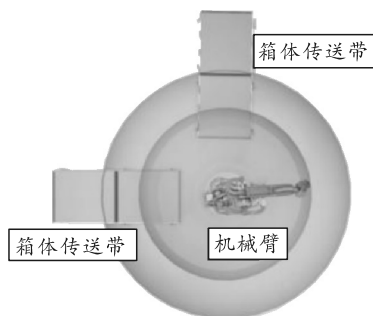


图9 工作范围仿真分析

4 下料机构通信协议

PROFINET 是一种工业以太网协议，在数据链路层方面，PROFINET 采用了特定的规范标准，以确保通信的实时性。在应用层，则遵循了一系列协议标准，以保证诸如 PROFINET IO 服务等功能的顺利运行^[4-6]。它被广泛应用于工厂自动化设备、产线配合中。该协议支持大规模设备连接，并具有灵活的拓扑结构^[7-8]，适用于各种工业环境。

为了满足实时通信的要求，PROFINET 对标准的 TCP/IP 通信进行了优化。标准的 TCP/IP 通信网络模型中的第 3 层和第 4 层对数据帧进行打包和解包，导致增加数据处理时间和传输时间，其通信模型如图 10 所示。

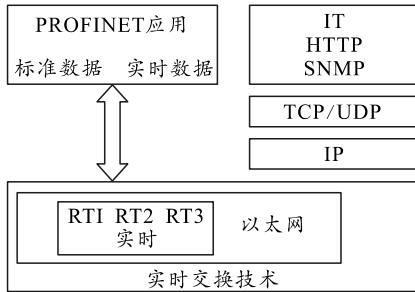


图 10 PROFINET 通信模型

下料工作站控制系统采用西门 S7-1200 系列，输出/输出电路、高速计数器、模拟量输入及 PROFINET 通信集成到了一个模块中，具有 8 个信号模块(SM)、3 个通信模块(CM)、1 个信号板(SB)的扩展；支持 TIA Portal 集成开发环境，是小型自动化工作站优质选择，工作站电器如图 11 所示。

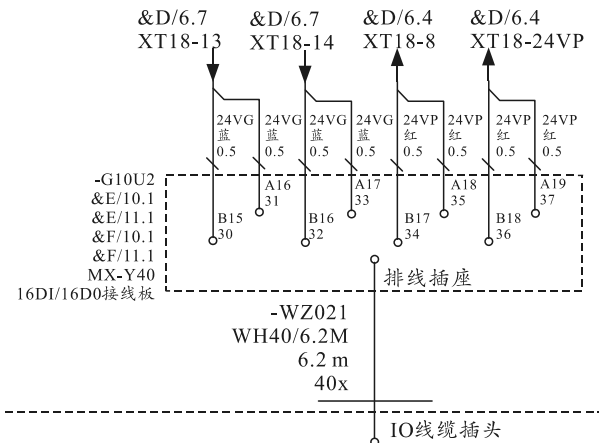


图 11 下料工作站部分电器

5 下料机构作业流程与作业仿真

5.1 工作流程介绍

全自动化弹药封箱生产线与传统的半自动化产线工作流程上存在很大差别：产线更加智能化、自动化、透明化^[9-11]，极大地提高了封箱的效率，打破了以往无法实现自动化的常规状态。

下料工作站工作流程：1) 完成上一工作流程的弹药箱经传送带运输至光电开关所确定的待抓取位置；2) 传送带位置传感器发送数据帧反馈至主站处理进而控值下料机器人启动；3) 下料机器人进行 Z 轴的夹爪定位；4) 下料机器人 A₂、A₃、A₄、A₅ 轴相互配合实现夹爪垂直箱体表面向下运动；5) 筒形

气缸伸缩控制夹爪开闭；6) 识别弹药箱封箱是否符合标准；7) 符合封箱标准的弹药箱放入下一工序传送带，将 1)~6) 工序进行逆向操作，确保下一工序待加工位置、夹爪夹持力精确；8) 不符合封箱标准的弹药箱放在待返工处理传送带，将 1)~6) 工序进行逆向操作，等待厂区工作人员进行返工处理；9) 下料搬运系统完成工作。具体流程如图 12 所示。

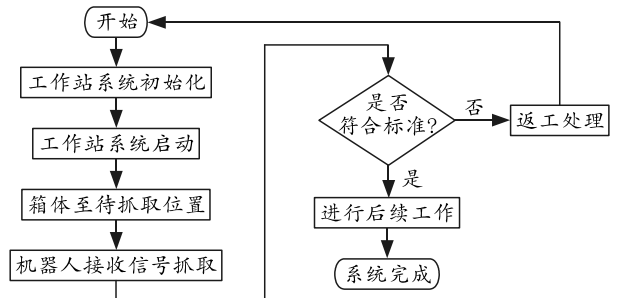


图 12 下料机构系统流程

5.2 基于 MIoT.VC Premium 5.4 作业流程仿真

下料工作站由下料机器人、弹药箱、箱体传送带组成，将模型导入 MIoT.VC Premium 5.4 仿真软件，如图 13 所示。

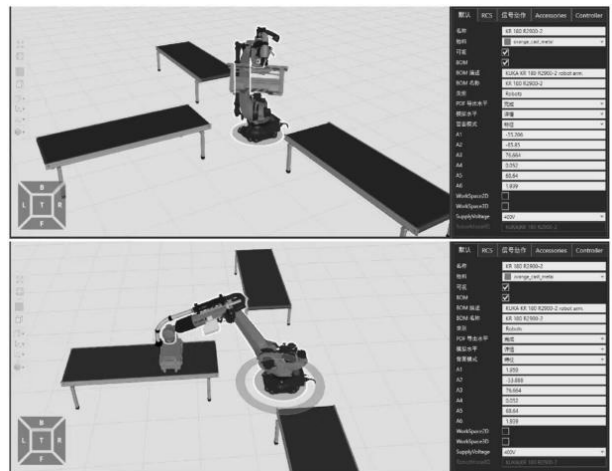


图 13 下料工作站仿真模拟

弹药箱由传送带输送至待抓取位置时，六轴工业机器人收到指令进行夹持箱体动作。机器人夹持箱体沿 Z 轴方向向上运动，此时各关节角度如表 2 所示。

表 2 六轴机器人库卡 KR 180 R2900 关节角度 (°)

关节 A _i	关节偏转角度 a	最大偏转角度 b
A ₁	1.959~ -55.206	± 185
A ₂	-53.888~ -85.85	-140~ -5
A ₃	76.664	-120~ 168
A ₄	0.052	± 350
A ₅	68.64	± 122.5
A ₆	1.939	± 350

由表 2 可知：在六轴机器人搬运箱体时，观察

虚拟工作站工作地各个关节的角度偏转角度 a ，均在机器人最大偏转角度 b 安全范围之内。

在 MIoT.VC Premium 5.4 中，机器人工作示教程序如图 14 所示。



图 14 六轴机器人示教程序

主程序包含开始等待布尔运算输出值为 100，工作站夹持、举升、释放、输出布尔运算值为 1。程序中存在部分需要循环动作，制作子程序，Pick 和 Place 放入主程序交代替使用，系统启动后下料工作站可以完成搬运任务。

综上所述，弹药箱下料工作站的符合既定工作需求，确保功能可行性。

6 结束语

通过工作环境和机构作用分析，对夹紧机构进行结构设计，测量箱体尺寸和重量确定气缸的开闭范围和最大负载，完成搬运机构设备的初步设计，并通过有限元分析确保设计合理性。采用高速稳定的 PROFINET 通信协议，使用 MIoT.VC Premium 5.4 仿真软件对下料工作站进行流程仿真，验证其符合下料工作要求。

参考文献：

- [1] HAO C H, WANG Z Y, ZOU L, et al. Self-learning Time-varying Digital Twin System for Intelligent Monitoring of Automatic Production Line[J]. Physics, 2023, 2456(1): 012021.
- [2] YANG Z. Layout design and optimization of industrial robot automated production line based on genetic algorithm[J]. Computational Methods in Sciences and Engineering, 2023, 23(1): 469-484.
- [3] ZHOU L Y, WANG F, WANG N W, et al. Application of Industrial Robots in Automated Production Lines under the Background of Intelligent Manufacturing[J]. Physics, 2021, 1992(4): 042050.
- [4] 周荣, 董文耀. 基于 PROFINET 通讯的 WK 电铲智能电力监测系统[J]. 机械工程与自动化, 2024(2): 142-143, 146.
- [5] 李月芳, 沈鑫文, 顾六平. 基于 Profinet 总线的水刺生产线控制系统优化设计[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(12): 99-101.
- [6] 于吉生, 张盛开, 程彭勃, 等. 基于 PLC 的制桶生产线控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2023, 45(12): 150-153, 167.
- [7] 施逸文. 基于 ProfiNet 的带式输送机电控系统设计[J]. 煤矿机械, 2023, 44(12): 15-16.
- [8] 黄楷歌, 郭树青, 文猛, 等. S7-1200 与 KUKA 机器人的 PROFIBUS IO 通信[J]. 设备管理与维修, 2023(21): 85-86.
- [9] 李井林. 智能制造环境下的机械自动化生产线优化与自适应控制系统设计[J]. 模具制造, 2024, 24(3): 170-172.
- [10] 李井林. 智能制造环境下的机械自动化生产线优化与自适应控制系统设计[J]. 模具制造, 2024, 24(3): 170-172.
- [11] 武宪云, 苏敬勤, 杨道虹, 等. 数字技术可供性实现下的数字化转型企业组织惯性构建机制研究[J]. 科研管理, 2024, 45(5): 34-42.