

面向再制造的液压泵拆解序列规划与智能分拣系统设计

郝亚龙

浙江恒逸工程管理有限公司 浙江杭州

【摘要】 液压泵再制造过程中，零部件的完整性与可利用性直接影响再制造质量与成本。合理的拆解序列规划能够有效降低零件损伤，提升操作效率，而智能分拣系统的应用则保证了不同零件的自动识别与分类，实现再利用价值的最大化。本文围绕液压泵再制造的特殊需求，提出面向零部件状态的拆解序列规划方法，并结合机器视觉与智能算法设计分拣系统，以解决人工操作中效率低、误差高及资源浪费的问题，从而为液压泵再制造提供系统化、智能化的解决方案。

【关键词】 液压泵再制造；拆解序列规划；智能分拣；机器视觉

【收稿日期】 2025 年 5 月 14 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 20 日

【DOI】 10.12208/j.ijme.20250059

Hydraulic pump disassembly sequence planning and intelligent sorting system design for remanufacturing

Yalong Hao

Zhejiang Hengyi Engineering Management Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 In hydraulic pump remanufacturing processes, the integrity and reusability of components directly determine remanufacturing quality and costs. A well-designed disassembly sequence planning can effectively reduce part damage and improve operational efficiency. The application of intelligent sorting systems ensures automatic identification and classification of different components, maximizing their reuse value. This paper addresses the unique requirements of hydraulic pump remanufacturing by proposing a component-condition-based disassembly sequence planning method. By integrating machine vision with smart algorithmic design for sorting systems, it resolves issues of low efficiency, high error rates, and resource waste associated with manual operations. This provides a systematic and intelligent solution for hydraulic pump remanufacturing.

【Keywords】 Hydraulic pump remanufacturing; Disassembly sequence planning; Intelligent sorting; Machine vision

引言

液压泵作为液压系统的核心部件，在长期使用后存在磨损与性能衰减，其再制造成为提升资源利用率与降低生产成本的重要途径。再制造过程中的关键环节是拆解与分拣，拆解顺序的合理性不仅决定零部件的完整性，还影响到后续修复与利用的效率。然而，传统的人工拆解方式效率低下，易造成零件损伤，同时人工分拣存在精度不足与劳动强度高的问题。随着智能制造与信息技术的发展，将拆解序列规划与智能分拣系统结合成为可能。如何在保证零部件价值最大化的前提下，实现高效、精准与智能化的拆解与分拣，已成为液压泵再制造中的突出问题。这一问题的解决将为再制造体系带来新的突破，

也为行业提供切实可行的参考路径。

1 液压泵再制造中的拆解与分拣挑战

液压泵在长期运行过程中会出现磨损、腐蚀以及精度下降等问题，导致其再制造过程中对零部件的拆解和分拣环节提出更高要求。由于液压泵内部结构复杂，零部件之间存在多层嵌套和相互依赖的装配关系，拆解过程中若缺乏科学规划，极易造成零件的二次损伤，增加修复难度和再制造成本^[1]。部分紧固件位置隐蔽、拆卸力矩差异大，使得操作过程复杂度提高，拆解顺序不合理还会对关键零件的完整性造成影响，从而降低再制造价值。

在再制造过程中，零件状态存在较大差异，不同零件因磨损程度、材料性能及加工余量不同，其再利

用价值也呈现出显著差别。人工分拣依赖操作人员的经验,不仅容易出现判断失误,还会造成效率降低和标准不统一,影响再制造零件的分类精度。随着液压泵零部件种类和数量的不断增加,传统人工分拣方式难以满足高效生产需求,信息化与智能化的不足加剧了资源浪费。

液压泵在拆解过程中往往伴随着油液残留、污染物沉积和表面损伤等问题,这些因素增加了拆解和分拣的难度^[2]。零部件在分拣环节需要根据几何特征、材料类别以及再制造可行性进行快速识别和归类,缺乏智能识别手段会造成分拣过程的不稳定性。由此可见,如何在液压泵再制造中实现高效、精确的拆解与分拣,已经成为再制造体系中亟待解决的核心问题。

2 面向再制造的拆解序列规划方法

面向再制造的液压泵拆解序列规划是一项复杂的系统性工作,其核心在于对零部件装配关系、连接方式以及再制造价值进行系统分析,从而生成符合操作逻辑和效率要求的拆解路径。液压泵在长期使用后,零件之间的磨损、卡滞及腐蚀情况差异显著,若缺乏科学规划,盲目拆解不仅会导致关键零件受损,还可能因操作次序不当而产生无法继续分解的情况^[3]。通过对装配关系进行建模,可利用有向图、约束网络等数学方法对零部件间的先后关系进行量化描述,为拆解序列的生成提供可靠依据。

在规划过程中,零部件的再利用价值是决定拆解优先级的重要参考。对于价值较高、修复可行性强的部件,应尽量避免在拆解早期受到外力破坏,因此需要在序列中设置保护性约束,以保证其完整性。通过建立零部件状态评价模型,可以将磨损程度、材料特性和几何精度纳入综合评价指标体系,再结合多目标优化算法,对拆解路径进行动态调整,使得拆解效率和零件完好率达到平衡。液压泵零部件的多样性和装配复杂性决定了拆解过程难以完全依赖人工经验,计算机辅助规划与智能算法的引入成为关键环节。基于遗传算法、蚁群算法以及启发式搜索的优化方法,可以有效避免拆解序列中的冗余步骤,缩短整体操作时间^[4]。在约束条件较为复杂的情况下,还可采用混合整数规划或动态规划方法,对不同约束进行协调求解,确保拆解过程具有可执行性与稳定性。通过虚拟仿真平台进行验证,可以在实际操作前评估不同序列方案的可行性和风险,降低试错成本。

在再制造场景中,拆解序列规划不仅要关注零

件层面的完整性,还需要考虑与后续工序的衔接。零件的清洗、检测和修复往往对输入状态有严格要求,因此拆解环节需要与分拣、运输和检测环节形成信息联动。通过在规划中嵌入工艺链约束,可以使拆解结果更好地服务于再制造流程,从而实现零件从拆解到再利用的闭环控制。随着传感技术和数据采集技术的发展,实时监测拆解过程中的力学参数与结构状态成为可能,这为拆解序列的在线优化提供了条件,使规划方案能够根据实际操作情况进行动态修正,以进一步提升再制造过程的智能化水平。

3 智能分拣系统的设计与实现

智能分拣系统的设计与实现是液压泵再制造过程中的关键环节,其目标在于对拆解后零部件进行快速识别、精准分类与高效输送,以满足后续清洗、检测与修复工序的要求。液压泵零部件种类繁多,形状复杂,且在使用后存在表面油污、磨损和腐蚀等情况,传统人工分拣方式难以保持高效与一致性。通过引入机器视觉技术与深度学习算法,可以对零件几何特征、表面纹理和材质特性进行自动识别,实现零部件的非接触式检测与分拣^[5]。摄像设备与光源系统结合,能够捕捉零件表面的微小差异,并通过特征提取与模式匹配,将零部件快速归类至不同处理通道。

在分拣执行层面,机械臂和输送装置是系统的核心执行单元。机械臂需要具备多自由度运动能力和精确的力控性能,以适应液压泵零件形状不规则和重量差异大的特点。通过安装力传感器与触觉反馈模块,机械臂能够在分拣过程中调整抓取力度,避免零件因夹持不当而产生二次损伤。输送装置则承担零件的定向输送与转运任务,在分拣与后续工序之间建立稳定衔接,使得整个再制造流程更加连续和高效。为了实现高度柔性化的操作,可以在系统中集成模块化夹具与自适应末端执行器,使分拣单元具备应对多种零件的能力。

在控制与决策层面,智能分拣系统需要具备数据采集、信息处理与实时优化的能力^[6]。通过构建零部件特征数据库,将识别结果与再制造价值评价模型结合,可以对零件进行多维度分级处理。对于磨损轻微且再利用价值高的零件,可直接分拣进入检测与修复通道;对于损伤严重或不可修复的零件,则进入回收与再生利用通道。分拣系统的决策逻辑可基于模糊控制、神经网络或深度强化学习方法实现,从而保证在复杂环境下的准确性与鲁棒性。

智能分拣系统的实现还依赖于信息交互平台的构建。通过物联网与工业互联网技术,可以实现分拣环节与拆解、检测及修复环节之间的数据互通,确保各环节的实时协同。零件在分拣过程中产生的数据,包括尺寸参数、表面状态和分拣路径等,可直接传输至上位机系统,用于后续质量追溯与工艺优化。通过对分拣环节运行状态进行实时监测,还能实现故障诊断与预测性维护,提升设备运行的稳定性与可靠性。

4 拆解规划与智能分拣的协同效应

拆解规划与智能分拣的协同效应在液压泵再制造过程中具有显著价值,其关键在于将零部件拆解的先后顺序与后续分拣流程紧密衔接,使再制造体系整体运行更加高效和可控。液压泵内部结构复杂,零件之间存在多层嵌套关系,拆解过程中一旦序列不合理,就会增加零件受损的概率,并且导致分拣环节无法顺利进行。通过将拆解规划结果直接与智能分拣系统的分类逻辑相结合,可以在零件被拆解的同时完成信息标记,减少重复识别和操作延迟,从而提升整体作业效率。

在操作层面,拆解规划能够为分拣系统提供精确的零部件顺序信息和状态数据,使分拣环节在接收到零件时已经具备其几何特征、磨损情况以及再制造价值的先验信息^[7]。智能分拣系统不再依赖单一的视觉识别,而是利用拆解环节传递的多维度数据,进行更高精度的分类判断。这种信息联动不仅提高了零件识别的准确率,也减少了因表面污染或几何损伤导致的识别错误,保证分拣结果与再制造工艺要求的匹配度。在资源利用层面,拆解规划与分拣的协同能够最大限度地提升零部件的价值回收。通过在拆解阶段对零件进行优先级排序,确保关键零部件在最佳条件下被分离,再结合分拣系统的精细化分类,可使高价值部件快速进入修复工序,而低价值或报废件则进入回收通道。两者的耦合不仅提高了零件流向的合理性,还缩短了工艺链中不必要的周转时间,使再制造流程更加紧凑。

在系统控制层面,协同效应的实现需要依赖数据融合与实时优化。拆解环节采集的力学参数、连接方式以及零部件脱离状态,可以通过数据接口传输至分拣系统,形成实时动态数据库。分拣系统基于这些数据进行算法优化和动作调整,从而实现拆解与分拣过程的同步优化。这种数据驱动的闭环控制不仅提升了系统的自适应能力,还为异常情况的快速

响应提供了基础,使得整个流程更具鲁棒性与灵活性^[8]。随着信息化与智能化水平的不断提高,拆解规划与智能分拣的融合趋势愈加明显。两者协同能够形成一个互补体系,既保证零部件在拆解阶段的完整性,又确保分拣过程的高效与准确。

5 结语

液压泵再制造过程中的拆解与分拣是影响资源利用率和再制造效率的关键环节。通过科学的拆解序列规划,可以在保证零件完整性的同时提升操作效率;而智能分拣系统的引入,则使零部件识别与分类更加精准高效。两者协同作用形成闭环控制,不仅优化了工艺链衔接,还实现了价值回收的最大化。该体系为液压泵再制造提供了系统化与智能化的技术路径,对推动再制造产业的高质量发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 颜克伦,王伏林,韩慧仙,等.面向工程机械液压泵再制造的拆解序列规划研究[J].机械制造,2021,59(12):6-12.
- [2] 中国煤炭工业协会标准化专家组.液压支架零部件再制造性评价指南:MT/T 1221-2024[S].中国标准出版社,2024.
- [3] 张利,邱鹏,陶钧.液压支架立柱维修及再制造精度提升措施分析[J].工程技术研究,2024,9(13):108-110.
- [4] 张壬.HSLC 与 LSP 复合的液压支架立柱再制造工艺研究[D].沈阳工业大学,2024.
- [5] 郭星星.液压支架立柱表面激光熔覆再制造多目标协同优化及性能调控研究[D].太原科技大学,2024.
- [6] 王燕燕,何伟,舒林森.液压支柱钢表面激光再制造工艺参数的多目标优化[J].激光与光电子学进展,2024,61(05):315-321.
- [7] 谢聪.液压立柱表面激光再制造工艺优化与性能研究[D].中原工学院,2023.
- [8] 颜克伦,刘继常,张文超,等.液压缸活塞杆激光熔覆再制造工艺模拟研究[J].绿色科技,2023,25(08):237-243.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS