

一种新型液压驱动锁定装置的研发及应用

伍逸夫

(海军装备部, 四川 成都 610000)

摘要 液压驱动锁定装置作为现代机械系统中的关键安全与定位部件, 在工程机械、航空航天、船舶重工等领域得到广泛应用。本文首先阐述了液压驱动锁定的基本工作原理与典型拓扑构型; 其次深入研究了其核心设计要素, 包括液压缸与锁紧机构的集成设计, 锁紧方式与可靠性的分析, 密封与材料技术以及液压控制系统设计; 最后对液压驱动锁定装置向智能化、高可靠性及紧凑化方向的发展进行了展望。结果表明, 优化设计的液压驱动锁定装置能显著提升设备的安全性、稳定性和自动化水平。

关键词 液压驱动; 锁定装置; 液压控制系统; 工程机械

中图分类号: TH137

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.001

0 引言

随着工业装备向大型化、重载化和高精度化的发展, 在航空航天、海洋工程、重型机械及轨道交通等关系到国计民生与战略安全的高端装备领域, 对运动部件在特定位置的可靠锁定与安全支撑提出了更高的要求。机械式锁定(插销)存在操作费力, 难以远程控制、存在人工操作的安全风险等缺点, 纯电气驱动则推力有限, 且在断电时无法保持锁紧力。液压驱动锁定装置则融合了液压传动出力大, 因体积小优势与机械锁定的可靠性, 成为一种理想的解决方案。本文系统地研究液压锁定装置的工作原理、设计关键点, 并探讨其在不同工业场景下的应用, 并结合实际情况, 提出一种新型的液压驱动锁定装置, 旨在为相关产品的研发与优化提供理论参考。

1 液压驱动锁定机构的工作原理

装置通常有液压缸驱动、锁紧执行机构(锁舌、插销、卡钳等)和本体构成。工作原理分驱动和锁定保持两个阶段。驱动阶段: 压力油进入液压缸无杆腔, 推动活塞伸出(或缩回), 带动锁定机构精确的卡入卡槽(或目标锁孔等)。锁定与保持阶段: 锁定机构到位后, 液压系统可通过保压阀维持压力, 或利用机械自锁结构承受负载, 即使出现液压系统漏油或者泄压的情况, 机械锁也能锁定确保安全。按锁定的布置形式有内置式——锁定机构集成在驱动机构内部; 外置式——锁定机构单独布置在驱动机构外部^[1]。

2 液压驱动锁定装置的关键技术研究

1. 一体化构型和轻量化设计: 采用共用壳体, 内置流道等技术, 减少外部管路与连接, 提高系统刚性和抗振性; 在满足强度、刚度要求下, 对非承力件和非关键件进行减材设计, 选择轻量化材料进行设计。

2. 高可靠性锁定技术的分析设计: 液压驱动锁定装置的关键在于锁定功能的高可靠性, 通过承力能力要求进行锁定结构的合理选型。

3. 精密液压控制系统的设计: 液压驱动锁定装置的设计通常涉及液压驱动形式(直线运动或转动), 开锁或者上锁时的液压系统的压力、顺序的设计都会涉及液压系统设计, 需具备一定的精度和可靠性^[2]。

4. 特定环境和长寿命设计: 特定环境及长寿命是此项技术研究的另一个关键点, 涉及关键摩擦副的选择, 运动表面的表面处理以及热处理选择、密封件的选择等多方面的问题。

3 一种新型的液压驱动锁定装置

3.1 产品组成

本方案液压驱动锁定装置, 分别为直线运动和旋转运动, 受安装空间限制, 需集成直线运动和旋转运动的两种构型, 同时采用简单可靠的限位机构实现锁定, 原理结构如图 1 所示。

弹射驱动装置由液压马达、正向转动进油管嘴、反向转动进油管嘴、伸出管嘴、堵头、心轴、滑键、缩回管嘴、外筒、活塞杆、触碰机构、锁定机构等组成^[3]。

作者简介: 伍逸夫(1987-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 机械装置。

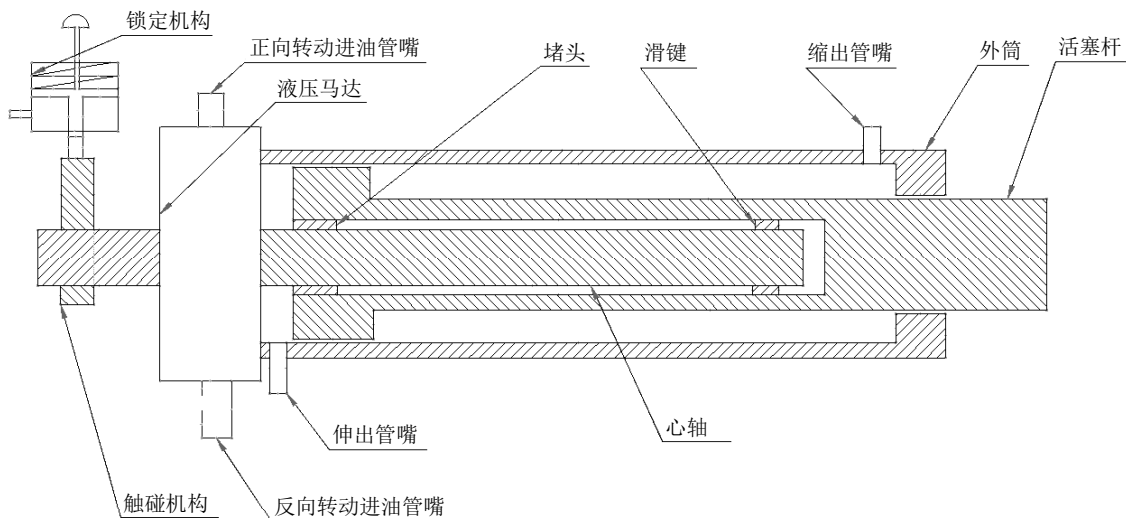


图1 液压驱动锁定装置原理图

3.2 结构特点

本机构将心轴与活塞杆通过滑键槽环向固定，使得心轴和活塞杆可以沿轴向滑动，但沿环向无法转动。是确保活塞杆沿心轴移动并且当活塞杆伸出到位后可以随心轴转动的关键。

本机构的油路转换通过液压阀实现，从而满足运动轨迹的先后顺序逻辑。

本机构到位锁定是通过顶杆卡在凸轮式卡槽里面实现定位上锁，通过液压油推动推杆活塞克服弹簧力实现开锁。

3.3 工作原理

作动筒伸出管嘴进油，推动活塞杆直线运动，滑键在活塞杆内卡槽滑动，当活塞杆伸出到位后，液压油压力升高，推动转换阀进行油路切换，高压油进入液压马达正向转动进油管嘴进油，推动心轴转动，心轴带动活塞杆，触碰机构转动，活塞杆带动机构转动到位时，锁定机构上的凸轮式卡槽推动顶杆，顶杆挤压弹簧，当滑过凸轮最高点时，顶杆卡在凸轮式卡槽里面，实现锁定机构锁定^[4]。

当准备打开时，液压马达反向转动管嘴进油，液压油通过锁定机构下腔推动顶杆脱离凸轮式卡槽，打开锁定机构，心轴带动活塞杆反向转动，转动到位后，缩回腔液压油压力升高，推动转换阀进行油路切换，作动筒高压油进入缩回腔，作动筒缩回。

3.4 结构设计计算

直线作动筒驱动力计算：驱动装置内集成直线作动筒和液压摆动马达两种构型，所需力由外筒、活塞杆、心轴构成的直线作动筒提供。

单套驱动装置驱动力为：

$$F_{\text{驱动}} = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) P \eta \quad (1)$$

式(1)中，D为外筒内径；d为心轴外径；P为额定工作压力，MPa； η 为效率，取0.9；假设取D为55 mm，d为30 mm，P为28 MPa，则：

$$F_{\text{驱动}} = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) P \eta = \frac{1}{4} \times \pi \times (55^2 - 30^2) \times 28 \times 0.9 = 42\ 036\ \text{N} \quad (2)$$

折叠时间计算：假设机构需在0.2 s内完成折叠，折叠前需转动120度；则其中包括阀切换油路时间，取换向时间为0.08 s，折叠动作时间0.12 s。

流量与角速度：

$$Q = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) b \times \frac{\omega}{2\pi} = (D^2 - d^2) b \omega / 8 \quad (3)$$

$$\omega = 120 / 360 / 0.12 = 2.8\ \text{rad/s}$$

式(3)中，b为叶片宽度，D为缸体内径，d为叶片轴直径， ω 为摆动角速度。假设D取55 mm，d取30 mm，b取10 mm，则所需流量为：

$$Q = \frac{(D^2 - d^2) b \omega}{8} = 0.002\ 125 \times 2.8 \times \frac{0.01}{8} = 0.000\ 000\ 744\ \text{m}^3/\text{s} = 0.4\ 464\ \text{L}/\text{min} \quad (4)$$

3.5 密封结构选型设计分析

针对液压驱动锁定装置，在密封设计时，有静密封、滑动密封、转动密封，因此在密封选型时需考虑符合这三种工况的密封结构形式。

针对静密封选择“O型圈+保护圈”的密封结构，作为最基本的密封结构形式，其制作技术成熟，价格实惠^[5]。

针对活塞上的滑动密封和其他转轴处的转动密封，滑动密封选择“O型圈+格莱圈”密封结构，转动密封处选择“O型圈+双三角”的密封结构，具有低摩擦、

寿命长、易安装、结构简单加工制造方便等特点。

针对活塞杆与外筒件的滑动密封选用图 2 所示的“K 型”+“2K 型”的组合密封结构，其“K 型”密封具有高静态和动态效果，低摩擦、高耐磨性，“2K 型”密封结构具有非常有效的刮唇，高耐磨性，两种密封结构通常配合使用，能起到很好的密封效果。

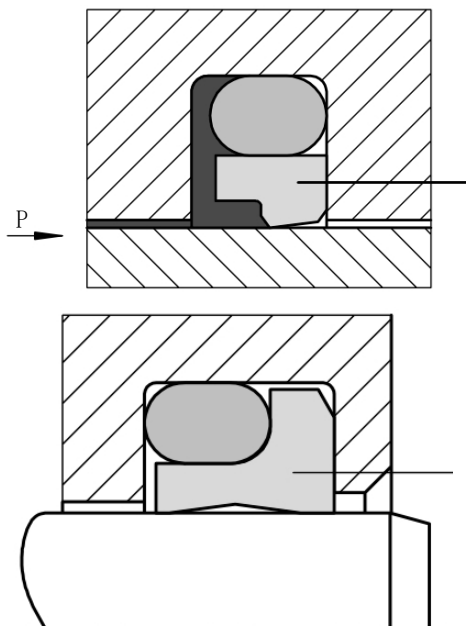


图 2 “K 型”及“2K”型密封示意图

3.6 可靠性设计分析

为保证产品的可靠性，综合采取了以下措施：在设计上，对产品可靠性进行分析，找出薄弱环节，在设计方案阶段予以加强；并策划方案的试验验证，在试验过程中，根据试验情况持续优化完善；通过对方案进行 FMEA 故障模式及影响分析，针对分析结果中可能出现的故障模式在设计上做了考虑，为防止外筒和活塞杆处封严套螺母松动以及其他螺纹连接处松动，在螺纹连接处设计了锥端螺钉或防松键^[6]。

3.7 维修性设计分析

考虑到液压驱动锁定装置的维修性，与驱动的负载连接的位置尽量选择双耳或单耳加螺栓的形式，在液压驱动锁定机构的锁紧方式中尽量避免用涂胶或自锁螺纹的形式，各个连接处优先选取可拆卸的连接方式。

3.8 环境适应性设计分析

1. 耐自然环境能力：为提高产品在高、低温环境下的适应能力，对液压驱动锁定装置的密封从结构和材料两个方面进行了优化，外部活动密封一般采用两道组合密封，密封圈材料分别采用耐高温和耐低温的

两种材料，内部活动密封采用一道组合密封结构，固定密封处采用 O 型密封圈加保护圈的结构，其中胶料方面，所选用的胶料根据该装置的介质（液压油）和耐温性选材，两道密封材料配合使用，能够满足产品温度要求；固定密封中低压一侧都装有氟塑料保护圈，在结构允许的情况下保护圈的厚度根据耐压要求选择。并在运动行程比较长的设计过程中，根据结构布局对相对运动行程较大的部位增加了支撑环。

2. 耐机械环境能力：液压驱动锁定装置选用的材料及结构具有合理的力学特性，减少了振动能量的传递，以使结构振动响应最小。设计时各机械强度有一定的富裕度，可以承受机械环境所产生的作用力。所有螺纹连接件均采用了保险丝、开口销和止动垫圈等防松结构。

3.9 适用性

本方案适用于航空、航天、船舶、行走机械、机床等行业，可以通过对电磁阀、换向阀等的远程控制，实现对液压油路切换控制，从而能够实现远程控制其功能，为作业环境恶劣、远程执行任务的机构提供了一套可选方案。

4 结束语

液压驱动锁定装置是机械、液压、控制与材料等多学科交叉的技术。本文系统论述了液压驱动锁定装置的通用性工作原理，以及其技术研究的难点、关键点，并结合通用性原理研发了一套新型的液压驱动锁定装置，并对这套新型机构从其功能原理和适应性方面进行了阐述，为机械行业的结构选型提供参考。

参考文献：

- [1] 史大炜, 贾晨辉, 张璐瑶, 等. 半球面螺旋槽动静压气体轴承运行稳定性研究 [J]. 机械设计与制造, 2023(09):68-72.
- [2] 史益鲜, 丁磊. 一种闸门自动锁定装置在望亭水利枢纽的应用 [J]. 水利建设与管理, 2024,44(06):66-71.
- [3] 胡忠会, 程巍, 李军宁, 等. 球轴承作滚轮应用承载能力研究 [J]. 航空标准化与质量, 2025(06):17-22,27.
- [4] 罗忠, 郝昊天, 吴炫睿, 等. 考虑流体惯性的球面螺旋槽轴承特性分析 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2025,46(11):90-97.
- [5] 徐立晖, 何先照, 鲍陈马, 等. 球面滚子轴承内圈磨损的影响因素研究 [J]. 机电工程, 2025,42(12):2381-2387.
- [6] 徐鹏, 孙玲, 孙锋. 表面微织构对船用滑动式中间轴承润滑性能影响研究 [J]. 舰船科学技术, 2023,45(05):78-84.