

# 液压油缸活塞无损拆除工装的设计与优化研究

周晓敏 栗刚 刘小伟 王宝龙 李一林

神延煤炭有限责任公司西湾露天煤矿 陕西 榆林 719000

**【摘要】**：对于徐工 XDE240 重型自卸卡车后工作制动油缸活塞漏油故障维修难题，传统的手工拆卸方式存在着拆装困难、容易损坏工件、维修成本高、作业安全性差等缺点，本文设计了一款液压油缸活塞无损拆除工装。根据制动油缸结构特点，完成工装整体结构设计，包括底座、定位夹紧机构、螺旋传动提拉机构等主要部件，采用导柱定位、丝杆夹紧、螺纹杆推拉的方式进行活塞无损拆装。同时根据现场作业工况对工装结构进行优化，比较传统拆装工艺和本工装拆装工艺的作业效果。经验证明，该工装结构简单、操作方便，可以实现油缸活塞无损拆卸，维修工时减少 60% 以上，大大降低维修成本，提高检修作业的安全性，适合于同类型工程机械制动油缸的检修工作，有较好的工程应用和推广价值。

**【关键词】**：液压油缸；活塞；无损拆除；工装设计；结构优化；工程机械

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.067

## 引言

重型工程自卸卡车长期在重载、恶劣工况下工作，制动系统损耗率高，后工作制动油缸是制动系统的重要部件。徐工 XDE240 自卸卡车装有 16 个后工作制动活塞，在作业过程中密封件容易老化、破损，造成液压油泄漏故障。渗漏的液压油会附着在制动片和制动盘上，使制动摩擦力变小，制动力下降，存在严重的安全隐患。该型号制动油缸外壳和活塞配合精度高、装配紧密，由于过盈配合结构而不能人工徒手进行拆装。本文以徐工 XDE240 卡车后工作制动油缸为研究对象，设计出一款轻量化、便携式活塞无损拆除工装，解决传统拆装方式暴力作业、工件易损、成本高、安全性的不足问题。结构优化提高工装定位精度和夹紧稳定性，简化操作过程，实现活塞、密封修理包快速更换，降低维修成本，缩短检修工时，为同类型工程机械小型制动油缸拆装提供技术参考。

## 1 油缸故障及传统拆装工艺分析

### 1.1 油缸故障机理分析

XDE240 卡车后工作制动油缸主要由油缸外壳、活塞、密封组件、连接件组成，密封组件为易损件。车辆作业时制动油缸不断伸缩，密封垫受摩擦、挤压，加上粉尘、油污的侵蚀，密封件容易老化开裂，造成液压油泄漏。该故障不需要更换活塞总成，只需要更换密封修理包就可以完成修复，但是活塞和油缸壳体高精度过盈配合，拆装难度大，这也是维修成本居高不下的主要原因。

### 1.2 传统拆装工艺弊端

目前该类油缸维修大多采取人工暴力拆装的方式，作业过程繁杂，综合弊端明显，如表 1 所示。

表 1 拆装工艺性能对比表

评价指标	传统人工拆装工艺	本工装拆装工艺
拆装方式	撬棍撬动、大锤敲击	螺旋机械匀速推拉

工件损伤率	高，易划伤缸壁、活塞	极低，无损拆装
单台维修时长	90~120min	30~40min
维修成本	高，需更换活塞总成	低，仅更换密封修理包
作业安全性	差，易出现工件飞溅、磕碰	高，刚性固定无晃动

从表 1 可知，传统拆装工艺用外力强行分离活塞和油缸，冲击力不可控，容易造成缸体内壁划痕、活塞变形，使油缸报废；单人作业难度大，需要多人配合，人力成本高，作业过程中工件易滑脱，存在机械伤害安全隐患，急需改进拆装设备和工艺。

## 2 工装总体方案设计

### 2.1 设计原则

根据制动油缸的结构尺寸以及现场维修工况，确定工装的设计原则为无损性、轻量化、稳定性、经济性。

### 2.2 整体结构设计

本油缸活塞无损拆除工装主要由底座、定位导柱、定位结构、支架、螺旋传动机构、连接盘组成，整体为模块化焊接、螺栓装配结构，拆装方便、易于维护。工装整体结构如图 1 所示。

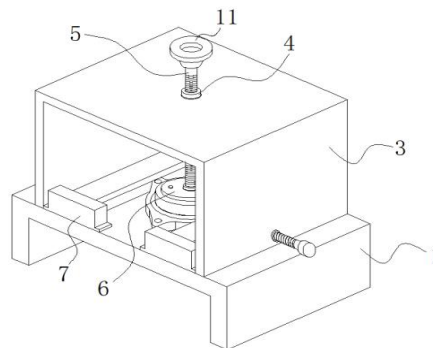


图 1 工装整体结构示意图

底座为工装承载基体,用厚钢板切割加工而成,刚性好、承重大;底座中部开设孔洞用于放置油缸外壳,孔洞周围设置定位导柱,使油缸精准定位;支架垂直焊接在底座表面,顶端固定内螺纹套,配合螺纹杆组成螺旋传动机构;底座对称安装两组定位结构,实现油缸外壳的夹紧固定;螺纹杆底端装有可旋转连接盘,与固定活塞对接,完成推拉拆装工作。

### 2.3 核心零部件详细设计

#### 2.3.1 底座与定位机构

底座开有圆形孔洞,孔洞直径比油缸外壳底部外径大一些,使油缸底部穿过孔洞,油缸顶端台阶卡接在孔洞上端面上,起到轴向初步限位的作用。孔洞四周均匀布置 4 根导柱,导柱间距和油缸外壳安装孔间距一致,作业时导柱插入油缸安装孔,限制油缸周向转动,防止拆装时工件偏转。

#### 2.3.2 夹紧定位结构

底座采用对称式安装两组定位夹紧结构,每组结构由滑轨、L 型夹紧件、丝杆组成。滑轨固定在底座上,夹紧件两端嵌入滑轨内,可以沿滑轨水平移动;丝杆穿过支架和支架螺纹连接,丝杆端部和夹紧件转动连接。旋转丝杆可以带动夹紧件水平移动,与压紧油缸的顶端侧面相接触,限制油缸上下窜动,配合导柱、孔洞完成油缸全方位固定。

#### 2.3.3 螺旋传动提拉机构

支架用槽钢焊接成形,结构强度大,不易变形,支架顶端焊有固定内螺纹套,螺纹杆和内螺纹套之间为螺旋传动副。螺纹杆顶端装有手摇手柄,人工转动手柄就可以控制螺纹杆的升降;螺纹杆底端装有可旋转的连接盘,连接盘上预留了螺栓孔,可以与活塞自带的安装孔刚性连接,传递拉力和压力,实现活塞无损拔出、压装。

## 3 工装结构优化设计

### 3.1 优化设计前提与优化准则

工装初代试制、现场试验中发现原始结构有三个明显不足,分别是直板夹紧件受力面积小,夹紧单点应力集中,长时间挤压容易造成油缸外壳塑性变形;滑轨为开放式槽体结构,夹紧件在丝杆推力的作用下容易产生竖向翘曲,造成定位误差;连接盘和螺纹杆刚性直接连接,旋转提拉时会产生扭转剪切力,很容易划伤活塞密封接触面。为了保证工装的使用寿命、拆装不损伤和结构稳定,本次优化以三个准则为基础,即结构强度足够、应力均匀分布、纯轴向受力不损坏。按照制动油缸拆装最大拉力工况,对工装的关键受力零部件做结构改进,消除应力集中、运动干涉、偏转晃动等缺陷。

### 3.2 关键结构针对性优化方案

#### 3.2.1 夹紧组件结构优化

初代工装用直板型夹紧件,接触宽度为 12mm,受力集中

在油缸外壁局部点上,金属挤压形变风险大。本次优化把夹紧件改为 L 型折弯结构,折弯厚度不变为 8mm,横向贴合边加长到 25mm,增大与油缸外壳外壁接触面积。L 型结构可以同时实现侧向夹紧和竖向限位,双重约束油缸自由度,既防止油缸径向偏移,又限制轴向窜动。同时对夹紧件的接触表面进行哑光抛光处理,表面粗糙度控制在  $Ra1.6\mu m$  以下,防止硬质金属刮伤油缸漆面和精加工外壁,满足无损拆装的要求。

#### 3.2.2 滑动导向结构优化

原开放式滑轨只对夹紧件底部做限位,丝杆顶推时夹紧件受力不均,两端容易向上翘起,造成夹紧偏移。优化后的滑轨为封闭式的矩形壳体滑轨,滑轨内部留有滑动卡槽,夹紧件的两端嵌入到卡槽内,竖向间隙控制在 0.3mm 之内,严格控制竖向跳动。封闭式滑轨可以保证夹紧件始终水平平行移动,防止偏心夹紧造成油缸歪斜,使工装定位误差从原来的 1.2mm 降到 0.5mm 以下,大大提高了装配同轴度。

#### 3.2.3 提拉传动结构优化

拆装时螺纹杆做旋转升降运动,初代工装连接盘和螺纹杆刚性固定在一起,旋转扭矩直接传给活塞,容易造成活塞扭转、密封胶圈剪切损伤。本次优化把螺纹杆的下端和连接盘之间加装平面推力轴承,使转动端和固定端分开。螺纹杆旋转上升时,轴承抵消扭转力矩,连接盘只保留垂直轴向拉力,活塞全程无旋转、无剪切应力,从力学上实现了活塞无损拔取和压装。

#### 3.2.4 定位导柱结构优化

原有的圆柱形导柱顶端没有导向结构,人工放置油缸时容易出现对位困难的情况。优化后将导柱顶端加工成倒角圆弧结构,倒角角度为  $45^\circ$ ,利于快速插入油缸安装孔;同时对导柱外圆做调质磨削处理,减小配合摩擦阻力,防止拆装时油缸卡滞、硬摩擦损坏工件。

### 3.3 材料选型与热处理工艺优化

根据工装受力工况、加工成本、耐磨性能要求,对不同的承载零部件进行差异化选材和热处理工艺的优化,保证结构强度和性价比,工装核心零部件材料参数见表 2。

表 2 工装核心零部件材料及工艺参数表

零部件名称	选用材质	热处理工艺	性能作用
底座、支架	Q235 碳素钢	自然时效处理	抗弯抗压,焊接性能好
螺纹杆、丝杆	45 号钢	调质处理 220~250HB	提高螺纹耐磨性,抗形变
导柱、连接盘	40Cr 合金钢	淬火+低温回火	硬度高,耐摩擦不易变形

夹紧件接触面	Q235+抛光处理	表面钝化处理	防刮伤、防锈耐腐蚀
--------	-----------	--------	-----------

底座和支架使用 Q235 钢材，成本低、焊接成型方便，满足静态承重要求；螺纹杆、丝杆用 45 号钢调质处理，提高钢材韧性，防止频繁受力造成螺纹滑丝、杆件弯曲；导柱、连接盘承受高频摩擦、集中拉力，用 40Cr 合金钢加强硬度；夹紧件表面做钝化抛光处理，防止金属锈蚀，保护工件表面，完全适应维修车间潮湿、多油污的作业环境。

### 3.4 优化后力学验算与性能分析

#### 3.4.1 夹紧应力验算

油缸拆装最大夹持力为 3.5kN，优化后 L 型夹紧件接触面积由原来的 120mm<sup>2</sup> 增加到现在的 280mm<sup>2</sup>，平均接触应力计算公式为  $\sigma = F/S$ 。经过计算优化后夹紧应力由原来的 29.17MPa 降低到现在的 12.5MPa，远小于油缸外壳的材料许用应力，没有挤压塑性变形的风险，满足无损夹紧的要求。

#### 3.4.2 螺纹传动强度验算

螺纹杆为梯形螺纹，公称直径 20mm，安全系数取 2.5，根据 45 号钢调质处理后的抗拉强度计算得出螺纹杆最大允许拉力为 12.8kN，大于活塞拆卸最大分离拉力 4.2kN，螺纹结构不会出现滑牙、断裂失效。

#### 3.4.3 整体稳定性分析

优化后的工装自重为 25kg，底座用加厚钢板代替，重心下沉；四点导柱定位+双侧对称夹紧，拆装时工装无偏移、无倾覆；轴承改良结构消除扭转力矩，活塞全程只受垂直轴向力，完全避免了剪切划伤。

### 3.5 优化后工装综合优势

经过结构改良、材料优化和力学验算，优化后的工装综合性能大大提高，主要优势有以下几点。一是定位精度高，同轴度误差  $\leq 0.5\text{mm}$ ，拆装同轴性好，防止活塞偏心挤压缸壁；二是受力合理，应力均匀分散，无应力集中，工件零损伤；三是耐用性好，关键零部件调质淬火处理，耐磨抗形变，使用寿命  $\geq 3$  年；四是适用性广，轻量化结构加简易调节结构，一人即可完成搬运、对位、拆装作业，适合车间检修、野外抢修等各种复杂的作业环境。

## 4 工装工作原理与作业流程

### 4.1 工作原理

本工装用螺旋传动原理把人工旋转手柄的圆周运动转化成螺纹杆的直线升降运动，用连接盘带动活塞轴向移动。依靠底座孔洞、导柱、夹紧结构使油缸外壳完全固定，消除拆装过程中工件位移偏差；采用纯机械手动驱动方式，不需要电力、液压辅助，适合无动力作业环境，匀速机械拉力可以平稳分离

过盈配合的活塞和缸体，实现无损拆装。

### 4.2 作业流程

(1) 定位固定，将油缸外壳底部穿过底座孔洞，使油缸顶端卡入孔洞端面，将导柱插入油缸安装孔，完成初步定位；(2) 夹紧锁紧，转动两侧丝杆使 L 型夹紧件贴合油缸外壁，锁紧油缸，限制上下、周向位移；(3) 活塞拆卸，调整螺纹杆高度，将连接盘用螺栓固定在活塞端面上，顺时针转动手柄，使螺纹杆带动连接盘匀速上升，平稳地把活塞拉出来。(4) 维修更换：拆卸旧密封组件，更换全新修理包，完成活塞清洁维护；(5) 活塞压装，反向转动手柄使螺纹杆向下移动，将活塞压入油缸外壳，完成装配后拆掉连接螺栓，松开夹紧结构，取出油缸。

## 5 应用效果与经济效益分析

### 5.1 实际应用效果

该无损拆除工装投入 XDE240 卡车制动油缸维修作业后，连续完成了 50 组漏油故障油缸的检修工作，工件无损率达到 100%，没有出现缸壁划伤、活塞变形等损伤情况；单人可以独立完成拆装作业，单套油缸维修时间由原来的 100 分钟缩短到 35 分钟，作业效率提高了 65%；工装结构稳定，连续作业无故障，适合恶劣的维修工况，安全性大大提高。

### 5.2 经济效益分析

传统的维修方式需要更换活塞总成，单只活塞总成的采购成本为 1800 元，单台卡车 16 个活塞全部更换的费用较高；本工装使用后只需要更换密封修理包，单套修理包的成本不到 200 元，单台卡车的维修费用降低 90% 以上。人工工时减少、工件报废率降低，年维护费大幅减少，经济效益明显。

## 6 结论

本文针对重型自卸卡车制动油缸维修难题，设计并优化了一款液压油缸活塞无损拆除工装，用多重定位夹紧结构、螺旋匀速传动机构，解决了传统拆装方式暴力作业、工件易损、成本高、效率低下的行业痛点。该工装结构设计合理，定位准确、夹紧可靠，纯机械手动驱动，适用于各种作业环境，通用性强、实用性好；拆装过程施力均匀，无刚性冲击，实现活塞、油缸无损拆装，降低工件报废率；制作成本低廉、操作简单，大幅缩短维修工时，减少配件更换成本，经济效益显著；防护性良好，作业过程无工件滑脱、飞溅风险，提升维修作业安全等级。本工装目前采用手动驱动方式，对于大批量的油缸检修来说作业效率还存在提高的空间，并且只适用于 XDE240 型号制动油缸，通用性有待进一步加强。后续可以优化改进的是加装电动驱动机构，代替手动手柄，减轻人工劳动强度；调节导柱间距、孔洞尺寸，增加调节组件，适应不同规格的小型液压油缸；表面做防腐防锈处理，延长工装使用寿命，提高工程应用价值。

**参考文献:**

- [1] 马士磊,张慧峰,高亮.活塞式液压油缸高效无损拆装施工技术及应用[J].水利建设与管理,2026,46(01):51-60.
- [2] 姚永成.矿用装卸钻杆液压机械臂设计及控制技术研究[D].中国矿业大学,2024.
- [3] 王宝伟.全液压油缸驱动活塞压缩机技术分析[J].造纸装备及材料,2022,51(05):147-149.
- [4] 张世亮,陆兵,刘纯华,等.液压活塞式压缩机液压系统的优化改进[J].机床与液压,2018,46(10):68-72.
- [5] 刘纯华.液压活塞式压缩机液压系统的动态性能分析及优化改进[D].广东海洋大学,2016.