

超大吨位起重机单缸插销缸轻量化技术研究

陈向兵 张亚男 王天宇

徐州徐工液压件有限公司 江苏徐州 221000

摘要: 超大吨位起重机是我国风电、石化、基建等重大工程建设的必要装备,是撑起民族脊梁的国之重器。然而,起重机的核心执行元件—单缸插销缸在实现起重功能时,面临着承载能力与自重之间的矛盾,不仅要重量轻,还要具备重载大推力和平稳伸缩功能。项目实施前,受大长臂伸缩导向结构、吊装安全等制约,超大吨位起重机单缸插销缸体积大、长度长、重量重,无法大载荷工况下的轻量化、安全性等难题,限制了整机迭代升级。本文阐述了超大吨位起重机单缸插销缸轻量化设计的意义,并介绍了当前单缸插销缸轻量化设计的主要技术方案。以 XCA750 全地面起重机为例,给出了基于 ANSYS 仿真分析技术的单缸插销缸结构优化轻量化设计方法,为单缸插销缸轻量化设计的应用研究提供技术参考。

关键词: 超大吨位起重机;单缸插销缸;轻量化;应用研究

引言

超大吨位起重机作为一种运输设备,其主要功能是完成大重量物品的空间位移。它能够有效降低劳动力成本投入,提高工作生产效率^[1-3]。此外,在诸多生产环节中负责关键转运连接,如升降、平移等装卸操作,是实现生产机械化和自动化不可或缺的重要角色。因此,重型起重机广泛应用于港口、码头堆场、工矿企业、仓库、物流园区等物流节点上^[4]。

1 轻量化设计概述

1.1 单缸插销缸主要功能

对于超大吨位起重臂架来说,单缸插销缸是起重机液压系统执行元件,是起重臂架的核心结构件。单缸插销式伸缩装置是全地面起重机举升吊臂的主要运动及动力执行元件,通过单缸插销式伸缩装置的前后伸缩及插拔缸臂销动作实现整机吊臂各节臂之间的连接及相互运动等特定功能。单缸插销单缸插销缸依靠油缸两侧自带的滑道在主机吊臂 U 型槽内运动,油缸伸缩带动吊臂各节臂运动,互锁装置为缸销、臂销相互锁定实现伸缩系统驱动起重臂及起重臂与臂之间的固定及解锁

当前,大型工程繁重,对于工程机械设备的安全性、稳定性、可维修性要求日益提高。但在起重机液压缸在正常使用过程中,由于各种原因活塞杆会发生漏油、拉伤等故障,需要花费较大的人力、物力、财力进行油缸失效模式的分析及故障维修,造成客户设备停用,延缓工期,使得产品加工实际成本升高。因此,起重臂架在大载荷工况下的可靠性技术的轻量化水平,显得尤为重要,全面提升单缸插销缸轻量化水平迫在眉睫。

1.2 轻量化设计意义

单缸插销缸的轻量化设计是尽可能优化产品结构,降低部件的复杂程度,从而减小整体质量,并保证强度和性能满足要求。因此,轻量化设计并不会对起重机作业产生任何负面影响。与之相反,单缸插销缸的质量减轻,会使得起重机的伸缩作业更加容易操控,操作人员有更好的舒适体验。另一方面,对相同重量货物进行运输,更轻质量的单缸插销缸能够有效降低起重机作业时的燃油消耗。此外,起重机的整体质量减小也能够减小与地面之间的摩擦力,一定程度上降低了起重机行驶过程中的燃油消耗。从节能环保的角度出发,单缸插销缸轻量化设计不仅能量取得节能减排的有益效果,还能够显著减少使用成本。

2 轻量化设计方案

2.1 基于结构材料的轻量化设计

选择合适的结构材料是实现单缸插销缸轻量化设计的主要技术方案之一^[5]。结构材料的选取需要对材料本身的密度、强度、弹性模量、热稳定性等因素进行综合考虑,不仅要求与部件工作环境相适宜,而且还要考虑购买材料的经济成本。若果采用新型材料或者对材料进行改良,那么还需要对材料加工工艺和制造技术进行改善,并且还需要针对所应用的新式材料要进行一系列完整的测试与

研究。例如,通过新式合金钢、高强钢以及合成材料等取代传统钢材,耐用性和承载能力有所提高,但在工艺上也提出了新的挑战。因此,以性能更为突出、质量更轻的新材料代替传统材料的技术方案有着良好的应用前景,研究人员和企业相继投入研发,但该方案前期投入较大,产品价格较高。

2.2 基于结构优化的轻量化设计

基于结构优化的单缸插销缸轻量化设计是另一技术方案^[6]。该方案借助现代制造技术,充分利用 CAD/CAE 技术对单缸插销缸的结构参数进行优化设计。相较于基于结构材料或制造工艺的轻量化设计方案,该方案成本投入较少,无需对材料和工艺进行技术革新,易于实现,实用性和有效性突出。随着计算机技术的迅速发展,将现代制造理念与单缸插销缸轻量化设计相结合,通过有限元软件实现液压缸结构的设计开发与参数优化,能够减少企业前期研发投入与后期试验验证。以强度要求,性能指标为基本条件,应力为约束,轻量化为目标,建立单缸插销缸结构优化的智能化设计平台是工业领域轻量化设计的主要技术措施。

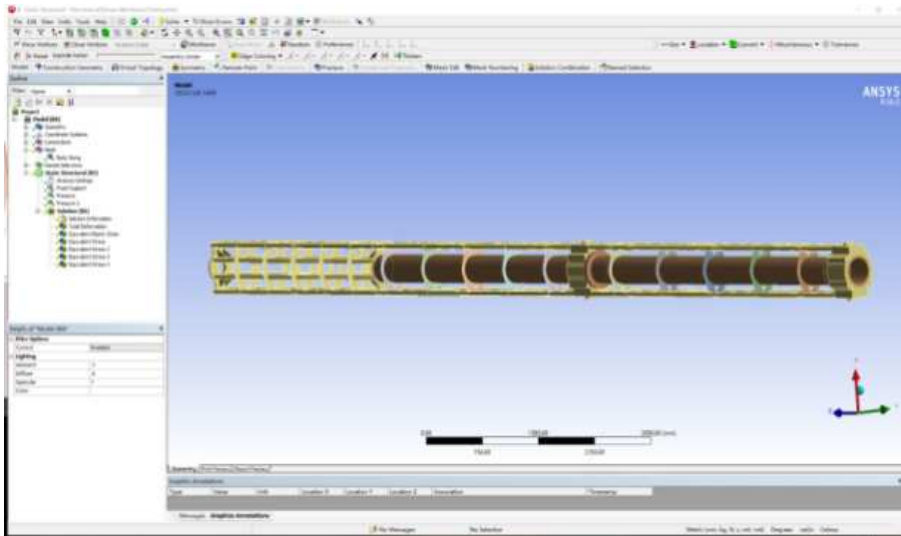
3 轻量化设计应用研究

3.1 拓扑结构轻量化设计方法

总成或零部件的拓扑结构优化在机械行业中应用较为广泛。以某款重型起重机为例,单缸插销缸通常在重负荷和工作频繁的情况下,缸体损坏多数出现在缸筒与法兰的联接部位、缸筒向缸底过渡的圆弧部位和缸筒的内壁 3 个位置。单缸插销缸由缸筒、缸底、活塞、活塞杆以及外部支撑架构成,考虑到其特殊的工作环境,液压缸缸筒底部与外部之支架的连接结构已较牢固与稳定,无需对其受力情况进行考虑。由于单缸插销缸采用的活塞杆已经进行了空心式的结构设计,后续不对其进行轻量化设计分析。因此,对单缸插销缸缸筒壁厚,缸筒外壁上加强板数量以及首块加强板到缸底的距离作为目标参数进行优化设计。借助 CAE 技术,利用 ANSYS 软件分析单缸插销缸的力学性能,核验收拓扑结构下的强度。首先,为分析缸筒内壁与缸筒向缸底过渡的圆弧部位应力,并提高提高软件计算效率,考虑单缸插销缸在运动过程中的受力状况后对结构进行简化,然后建立三维模型。

3.2 CAE 轻量化优化设计

CAE 技术的出现,很大程度上减轻了设计人员的结构方案验证难度^[10]。将单缸插销缸三维模型导入 ANSYS 软件,通过构建单缸插销缸有限元模型便能够完成相应结构参数下的应力分析,省去了实体样件的复杂验证,提高设计效率。在导入的三维模型基础上,对需要参数化的零件进行重新绘制,将缸筒内壁与缸筒向缸底过渡的圆角半径设为 20mm 以避免出现应力奇异现象。将缸筒壁厚、缸筒外壁上加强板数量以及首块加强板到缸底的距离设置为可调参数,便于后续优化设计。以液压缸最大应力、最大变形和单缸插销缸质量最小为优化目标,三个可调参数为优化变量,设计多目标优化算法,通过 ANSYS 迭代求解最优结构参数。

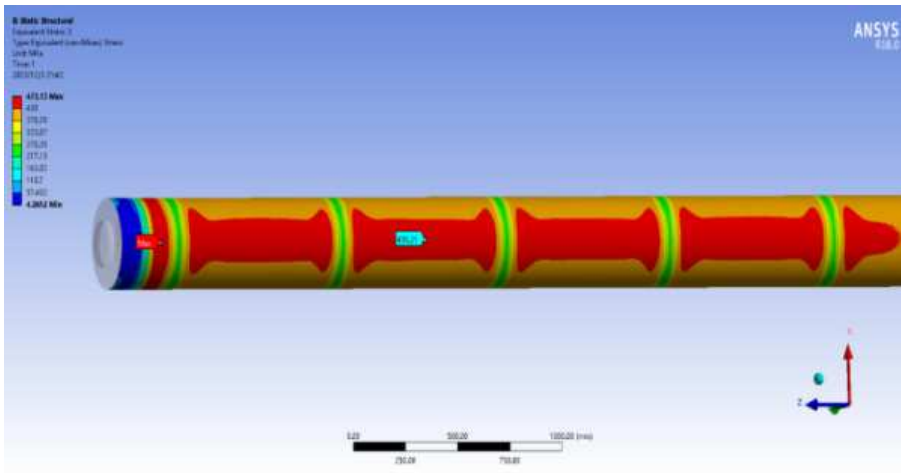


3.3 单缸插销缸 CAE 轻量化设计应用

在 ANSYS 中将单缸插销缸运动过程中极限受力情况等效为一个静态结构, 导入到 Static Structural 分析模块中, 对模型进行接触施加, 剖分网格以及载荷施加, 如图 2 所示。Static Structural 模块中的模型右外部支架, 各加强板以及液压缸缸筒组成, 对缸底外壁与支架接触部分。由于采用的是螺栓连接, 因此加强板各端面与外部支架, 加强板与缸筒外壁的接触类型均为绑定的形式。对于缸筒其余与支架接触的面与支架的接触类型均设置为无摩擦。接触设置完毕后对模型进行网格剖分, 将支架部分的网格大小设置为 6mm, 对

缸体网格大小设为 15mm。载荷设置方面, 对支架底端施加固定约束, 对液压缸内壁, 缸底和圆角均施加了 25MPa 的压强来模拟液压缸极限推力下的受力情况。

经过多目标优化轻量化设计后的参数为: 缸筒壁厚 $a=13.9\text{ mm}$, 缸筒外壁上加强板数量 $m=10$, 首块加强板到缸底的距离 $d=165.3\text{ mm}$ 。优化后的壁厚为 13.91mm, 减小 7.3%, 质量减小了 7.6%。单缸插销缸最大应力为 278MPa, 未超过材料的许用应力值。优化结果如图所示。



单缸插销缸应力云图

4 结语

本文阐述了超大吨位起重机单缸插销缸的主要功能, 进行了轻量化设计的目的与意义, 并介绍了设计的主要技术方案, 给出了优化轻量化设计方法, 通过建立仿真模拟及应力云参数分析, 为超大吨位起重机单缸插销缸轻量化设计的应用研究提供技术参考。

参考文献:

[1]边建潇, 弥宁, 寇元哲, 等. 不同工况下重型桥式起重机轮轨接触有限元分析[J]. 现代制造工程, 2018, (07):86-92+133.
[2]陶彦飞. 基于 APDL 的 U 型门式起重机有限元分析[J]. 特种设备安全技术, 2023, (06):54-56.
[3]马晶磊, 姜永磊. 基于机器视觉的智能起重机系统应用研究[J]. 起重运输机械, 2023, (21):71-76.
[4]李福森, 林卫国, 贾华龙等. 智能起重机在冶金行业的应用现状

与发展前景[J]. 起重运输机械, 2023, (22):67-71.

[5]张喜逢, 宋轶, 刘义, 等. 起重机伸缩臂截面参数对屈曲临界载荷的影响[J]. 工程机械, 2023, 54(12):126-129+12.

[6]马珂, 何培彬. 基于模糊 PID 融合的特种起重机伸缩臂自动控制[J]. 机械与电子, 2023, 41(11):63-67.

[7]江雷, 辛鹏, 郭达明, 等. 液压旋转起重塔吊伸缩臂瞬态动力学研究[J]. 机械设计与制造工程, 2023, 52(10):41-45.

[8]郑辉, 张明洋, 陈晓静, 等. 新型材料在汽车轻量化设计中的作用与技术应用情况分析[J]. 农机使用与维修, 2023, (06):102-104.

[9]张磊, 于世杰, 徐进友, 等. 面向轻量化目标的起重机伸臂结构设计及截面尺寸优化[J]. 机械设计, 2023, 40(06):124-133.

[10]郑晓霞. 基于 ABAQUS 的掘进机液压缸轻量化设计[J]. 煤炭技术, 2023, 42(10):240-242.