Modeling and Simulation 建模与仿真, 2025, 14(3), 66-74
Published Online March 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mos
https://doi.org/10.12677/mos.2025.143203

Hans汉斯

基于ANSYS Workbench的装载机摇臂结构优化

唐晓龙

上海理工大学机械工程学院，上海

收稿日期：2025年2月7日；录用日期：2025年2月28日；发布日期：2025年3月10日

摘　要

摇臂作为装载机工作装置的重要组成部分，是装载机的核心组成部件之一。由于装载机的工作环境大多比较恶劣，工况也比较复杂，因此结构件特别是摇臂失效的概率相对较大。针对摇臂在大载荷下容易断裂的情况，首先在三维制图软件SolidWorks中建立摇臂模型并导入到Workbench中，在赋予材料和划分网格之后，通过动力学仿真分析，对装载机工作装置进行了模拟仿真，对摇臂进行静力学分析并用拓扑优化设计对几何结构进行了优化。通过拓扑优化后的模型的最大变形和最大应力虽然有一定程度的升高，但仍在安全范围内，满足其结构安全系数要求，但其质量减少了13.01%，实现了优化。

关键词

ANSYS Workbench，装载机摇臂，动力学仿真，拓扑优化

Structural Optimization of Loader Arm Based on ANSYS Workbench

Xiaolong Tang

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 7th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Mar. 10th, 2025

Abstract

As a critical component of the loading mechanism, the rocker arm is one of the core components of a loader. Given that loaders frequently operate in harsh environments and under complex working conditions, structural components, especially rocker arms, are prone to failure. To address the susceptibility of rocker arms to fracture under heavy loads, an initial step is to construct a three-dimensional model of the rocker arm using SolidWorks and then import it into the Workbench platform. Upon assigning material properties and meshing, a dynamic simulation analysis is carried out

文章引用: 唐晓龙. 基于 ANSYS Workbench 的装载机摇臂结构优化[J]. 建模与仿真, 2025, 14(3): 66-74.
DOI: 10.12677/mos.2025.143203

to emulate the loader's working device. The rocker arm is subjected to a static mechanical analysis, followed by a topology optimization design to refine the geometric structure. Although the maximum deformation and stress of the model increased to some extent after the topology optimization, these values remained within a safe range, fulfilling the structural safety factor requirements. Moreover, this optimization resulted in a mass reduction of 13.01%, thereby achieving the desired optimization.

Keywords

ANSYS Workbench, Loader Arm, Dynamic Simulation, Topology Optimization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

随着建筑、矿业和物流等行业的发展，装载机在工程作业中扮演着越来越重要的角色。提高装载机的工作效率，尤其是提升其装载和卸载速度、减少操作时间，成为了迫切的需求。石磊[1]等通过对卷纸上料装置的摇臂进行结构优化，在保证材料屈服强度合格的同时，降低了键槽的最大应力。李昊甲[2]通过对采煤机壳体进行优化设计，避免了应力集中，提高了机械的使用寿命。装载机在作业过程中承受着复杂的力学作用，为了确保在各种工况下都能保持高强度和高稳定性，以避免事故发生，是摇臂优化设计中必须考虑的因素[3]。

2. 三维模型建立

如图 1 所示为在 SolidWorks 中建立的装载机摇臂三维模型，如图 2 所示为在 SolidWorks 中建立的装载机三维模型。

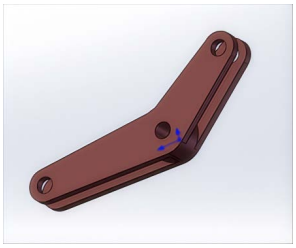

Figure 1. Three-dimensional model of the loader arm
图 1. 装载机摇臂三维模型

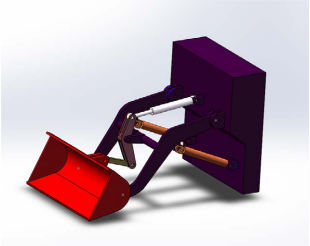

Figure 2. Three-dimensional model of the loader
图 2. 装载机三维模型

3. 静力学分析

3.1. 网格划分

选用四面体网格如图 3 所示，划分得到 468,323 节点，316,178 单元[4]。

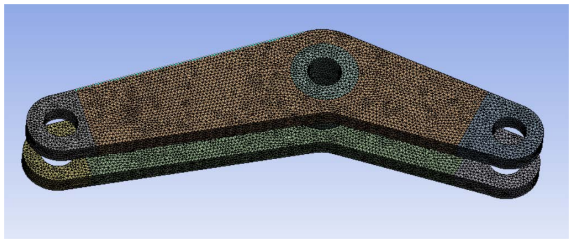

Figure 3. Mesh division
图 3. 网格划分

3.2. 施加载荷

装载机摇臂铰接转斗油缸、动臂和连杆，受力情况复杂，因摇臂与其他部件均为销轴连接，因此载荷均匀作用在摇臂轴孔的内侧表面[5]。如图 4 所示为摇臂施加载荷约束。

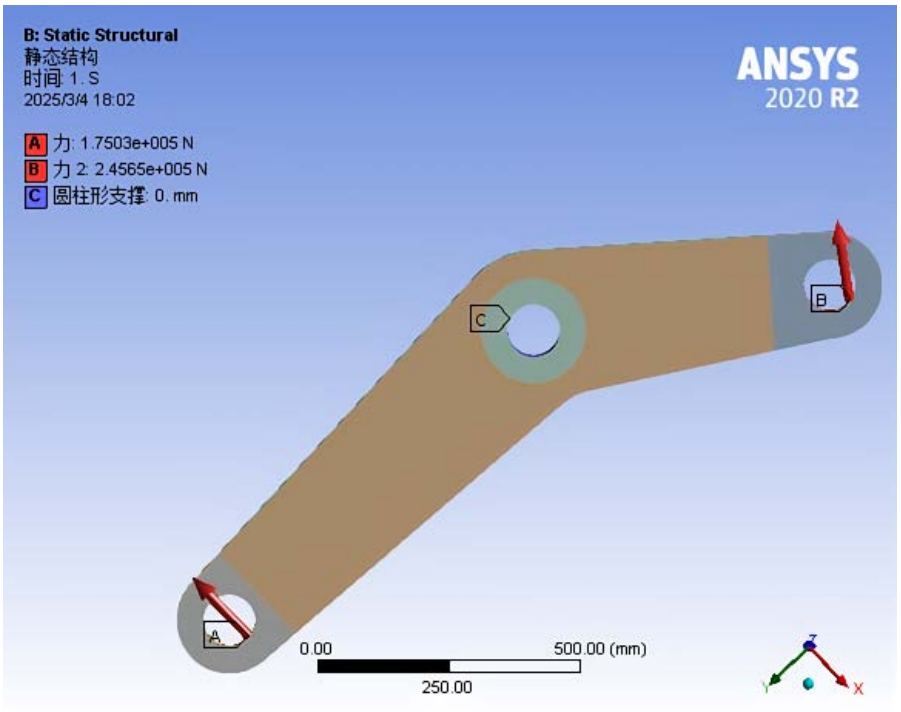

Figure 4. Load application
图 4. 施加载荷

3.3. 静力学分析

对网格划分后的模型施加约束和载荷后进入求解器求解。如图 5 所示为摇臂变形云图，如图 6 所示为应力云图。

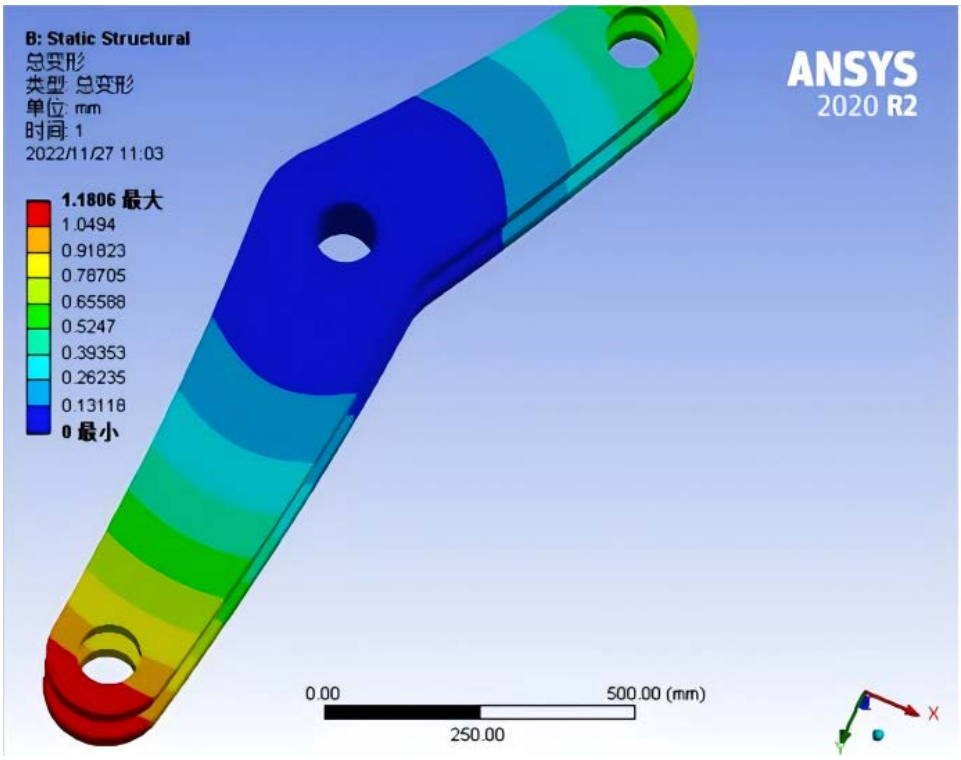

Figure 5. Deformation contour map of the rocker arm
图 5. 摇臂变形云图

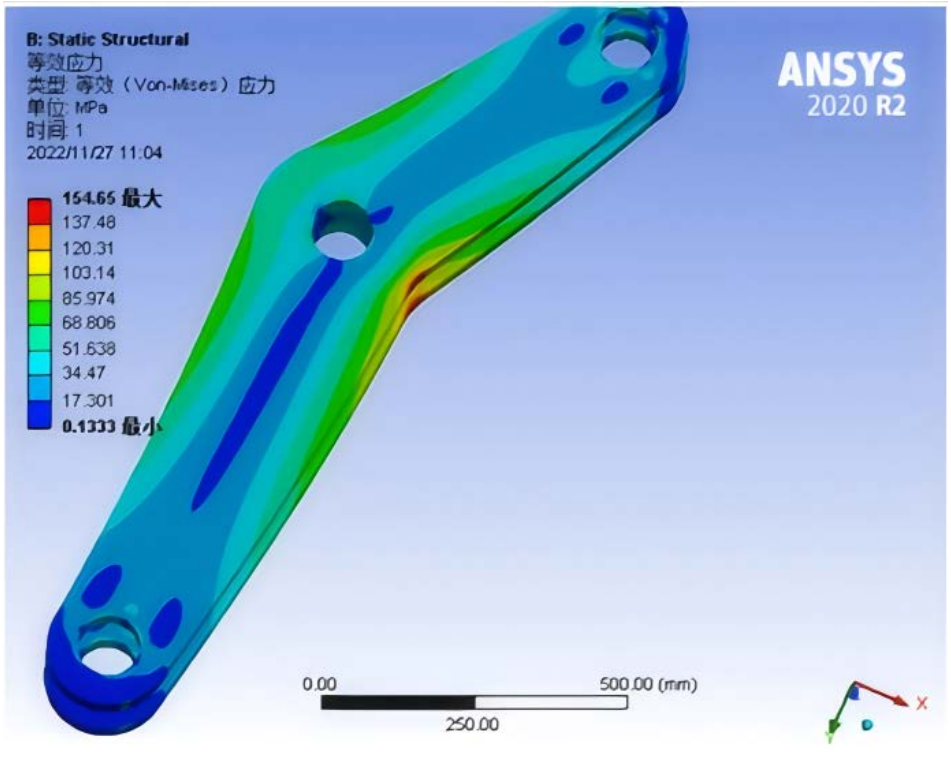

Figure 6. Stress contour map of the rocker arm
图 6. 摇臂应力云图

通过静力学分析可以看出，在实际工程作业的过程中，摇臂两端孔的位置的变形比较大，其他区域的变形比较小，摇臂的中间孔部位所受的应力比较大，其他区域所受的应力比较小。所以在后面的拓扑优化和尺寸优化的过程中，在保证安全使用的同时，要着重对变形位置较大和应力较大的位置进行优化，以提高优化效率[6]。

4. 拓扑优化

拓扑优化是一种在设计中常使用的优化方法，主要包括变密度法、均匀法、变厚度法和拓扑函数描述方法等，可以在一定空间区域内寻找最优结构，在保证安全使用的同时，达到减少模型冗余结构和轻量化的目的。针对上述模型存在的缺陷，利用拓扑优化对其进行优化，在保证摇臂正常工作，约束及载荷条件与静应力分析时相同的前提下，设置拓扑优化排除区域，响应类型为质量响应，保留百分比为 75%。如图 7 所示为设置拓扑优化排除区域，其中蓝色的部位是被排除的区域。如图 8 所示为摇臂拓扑优化云图。

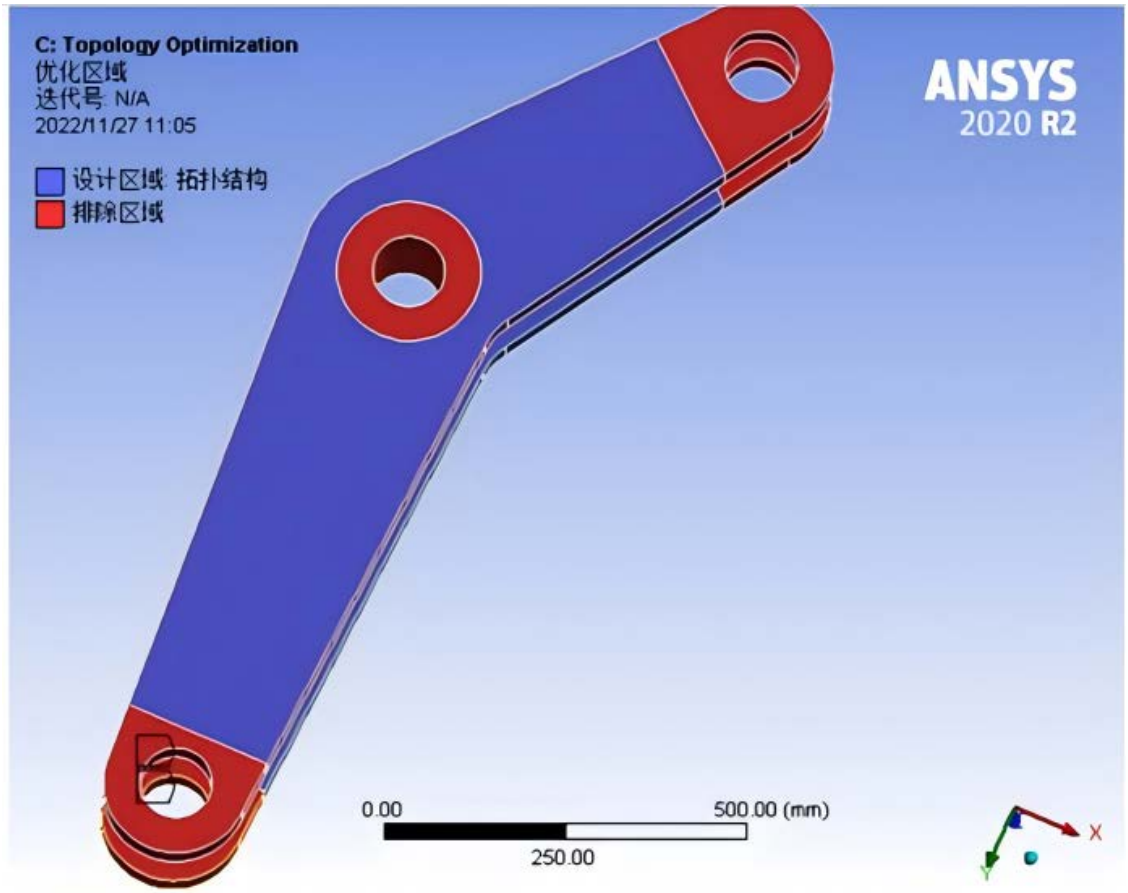

Figure 7. Topology optimization exclusion areas
图 7. 拓扑优化排除区域

通过拓扑优化云图可以看出，浅色或者是未着色的区域代表材料被移除的部分，这表明这些区域对承载力或结构完整性的贡献较小，可以去除以减轻结构重量。深色区域代表材料被保留的区域，这些区域是承受力最多的部分，需要更多的材料来保证结构的强度和刚度。根据拓扑优化结果在 SolidWorks 中对模型进行重建，重建后的模型如图 9 所示。

Figure 8. Topology optimization cloud diagram of the rocker arm
图 8. 摇臂拓扑优化云图

Figure 9. Rocker arm model reconstruction
图 9. 摇臂模型重建

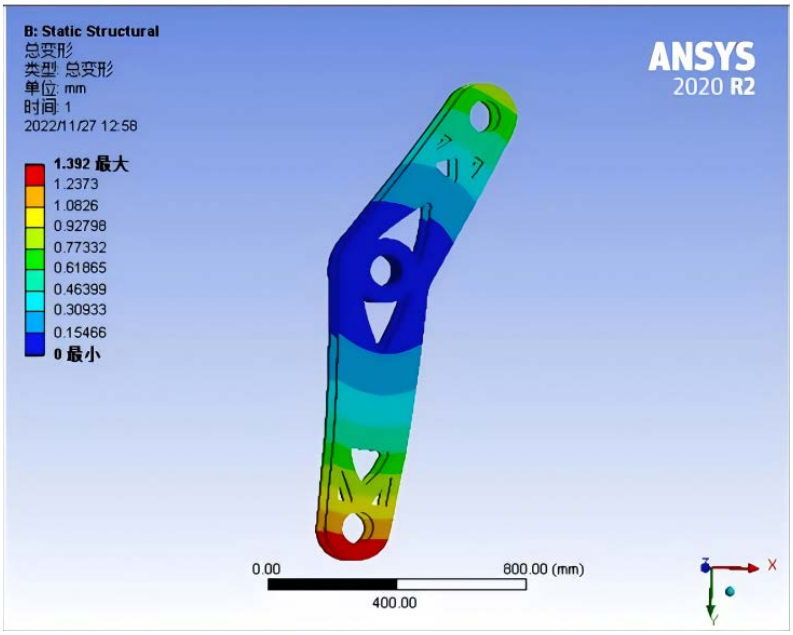

Figure 10. Deformation cloud diagram of the reconstructed model
图 10. 重建后的变形云图

对重建后的模型重新进行静力学分析，验证重建模型是否满足工作要求，得到重建后最大变形为 1.39 mm，最大应力为 206.46 MPa。图 10 所示为重建后的变形云图，图 11 所示为重建后的应力云图。

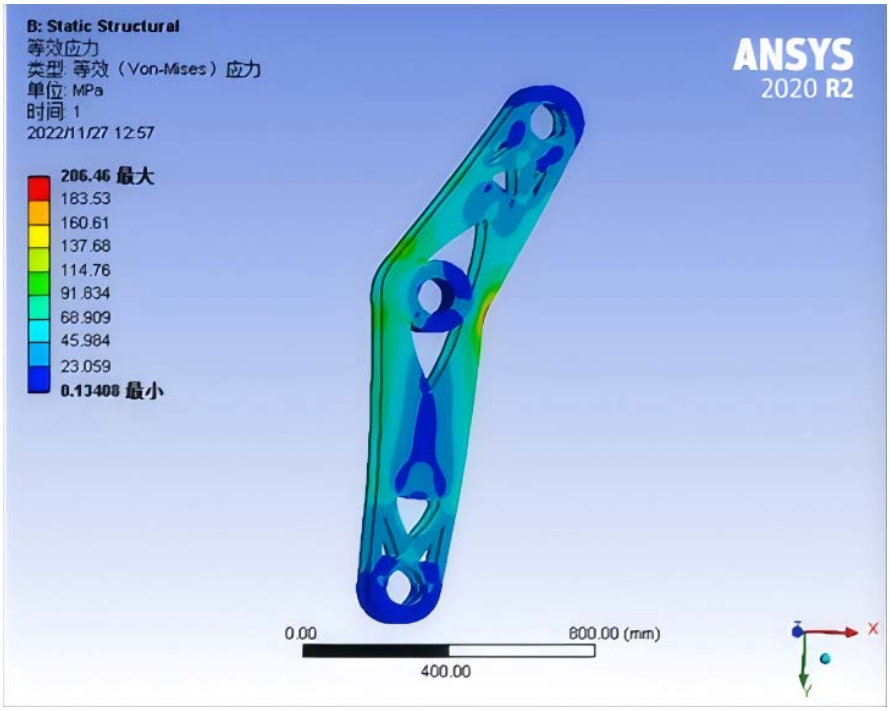

Figure 11. Stress cloud diagram of the reconstructed model
图 11. 重建应力云图

通过拓扑优化后模型最大应力和总变形量虽然有一定程度增大，但仍在安全范围内，满足其结构安全系数要求，但其质量减少了 13.01%，减重效果显著，初步实现了轻量化目标。如表 1 所示为拓扑优化前后的对比表。

Table 1. Comparison table for before and after topology optimization
表 1. 拓扑优化前后的对比

	质量/kg	最大变形/mm	最大应力/MPa
优化前	287.99	1.18	154.65
优化后	250.51	1.39	206.46
优化比对	13.01%	−17.79%	−33.50%

5. 尺寸优化

以上下板间隔、上下板支撑柱直径为输入参数变量如图 12 所示。

以质量、最大变形、最大等效应力为输出变量，利用 Direct Optimization 插件，设置输入变量参数变化范围如表 2 所示。生成了 25 组优化设计样本，如图 13 所示。

通过对优化目标的设定，得到 3 组候选设计点，如图 14 所示。其中 3 个星代表极好，以第 3 组候选点为例，得到最大应力为 160.76 MPA，最大变形量为 1.1515 mm。进一步优化了装载机摇臂的结构，减轻了摇臂质量，减小了摇臂的最大应力。

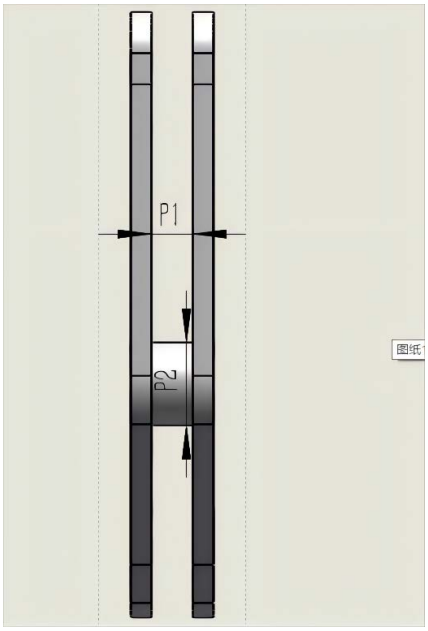

Figure 12. Schematic diagram of parameter variables
图 12. 参数变量示意图

Table 2. Range of variation for variable parameters
表 2. 变量参数变化范围

变量名称	取值范围/mm
上下板间隔(p1)	80~110
上下板支撑柱直径(p2)	200~240

表格 Schematic C2: Optimization

	A	B	C	D	E
1	Name	P2 - P3@DS_D1@草图19@摇臂.Part	P3 - P3@DS_D1@草图17@摇臂.Part	P4 - 等效应力 最大 (MPa)	P5 - 总变形 最大 (mm)
2	1	200.8	80.6	177.86	1.1309
3	2	202.4	95.6	202	1.2913
4	3	204	88.1	187.65	1.2042
5	4	205.6	103.1	214.99	1.3878
6	5	207.2	84.35	179.59	1.1634
7	6	208.8	99.35	204.33	1.3338
8	7	210.4	91.85	189.18	1.2408
9	8	212	106.85	219.14	1.4368
10	9	213.6	82.475	171.74	1.1403
11	10	215.2	97.475	195.67	1.3038
12	11	216.8	89.975	180.91	1.2145
13	12	218.4	104.98	208.3	1.4019
14	13	220	86.225	172.44	1.1722
15	14	221.6	101.23	196.74	1.346
16	15	223.2	93.725	181.38	1.2507
17	16	224.8	108.73	209.5	1.4509
18	17	226.4	81.538	161.02	1.1212
19	18	228	96.538	182.43	1.2793
20	19	229.6	89.038	168.51	1.1927
21	20	231.2	104.04	192.62	1.3736
22	21	232.8	85.288	160.76	1.1515
23	22	234.4	100.29	182.92	1.3192
24	23	236	92.788	168.64	1.2271
25	24	237.6	107.79	193.78	1.4199
26	25	239.2	83.413	153.32	1.1276

Figure 13. Optimized design sample
图 13. 优化设计样本

Candidate Points			
	Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
P2 - P3@DS_D1@草图19@摇臂.Part	239.2	226.4	232.8
P3 - P3@DS_D1@草图17@摇臂.Part	83.413	81.538	85.288
P4 - 等效应力 最大 (MPa)	153.32	161.02	160.76
P5 - 总变形 最大 (mm)	1.1276	1.1212	1.1515

Figure 14. Candidate design points
图 14. 候选设计点

以第一组候选设计点为例，与拓扑优化后的摇臂结构相比如表 3 所示。

Table 3. Results comparison table
表 3. 结果对比表

	最大变形/mm	最大应力/MPa
拓扑优化	1.39	206.46
尺寸优化	1.12	153.32
优化比例	19.42%	25.74%

6. 总结

本文针对装载机摇臂容易断裂的问题，运用建模软件 SolidWorks 对摇臂进行优化前后的建模，运用仿真分析软件 ANSYS Workbench 对工作装置进行动力学分析，优化了摇臂结构，使摇臂几何质量减轻了 13.01%，成功实现了摇臂的轻量化设计，对今后装载机摇臂的优化设计具有重要意义。

参考文献

[1] 石磊, 姜妙龙. 卷纸上料摇臂轴受力分析及结构优化[J]. 工程机械, 2024, 55(12): 92-96+11.

[2] 李昊甲. 采煤机摇臂振动特性分析及优化设计研究[J]. 机械管理开发, 2024, 39(10): 216-217+220.

[3] 戴雪芬. 基于 Pro/E 的装载机工作装置动臂的有限元分析及优化设计[J]. 工矿自动化, 2010, 36(4): 50-52.

[4] 王士华, 魏伟, 袁勇超, 等. 装载机摇臂机构动力学仿真及优化设计研究[J]. 机械设计, 2022, 39(S1): 102-108.

[5] 侯亮, 潘勇军, 郭涛, 等. 装载机八杆机构工作装置多目标优化与仿真[J]. 中国工程机械学报, 2009, 7(3): 258-264.

[6] 王晓明, 李晓枫, 沈勇, 等. 装载机工作装置掘起力与平动性多目标优化问题研究[J]. 工程机械, 2020, 51(10): 55-59+8-9.