

基于ANSYS的移动灯塔曲臂上方管的轻量化设计

韩康泽¹, 倪昱灵¹, 方晓水², 李 达¹, 阮玲刚¹, 谢长雄¹

¹衢州学院机械工程学院, 浙江 衢州

²浙江尤尼威机械有限公司, 浙江 衢州

Email: xiechangxiong@zju.edu.cn

收稿日期: 2020年10月6日; 录用日期: 2020年10月20日; 发布日期: 2020年10月27日

摘 要

曲臂是移动照明灯塔中不可或缺的一部分, 曲臂质量过大时, 不仅会降低灯塔的力学性能和灵活性, 还会增大制造成本。本文以灯塔曲臂上方管为研究对象, 建立ANSYS的有限元模型, 在确定灯塔曲臂的危险工况下, 针对此工况利用有限元工具进行静力学分析。在保证强度和刚度的前提下, 以材料最省为目标, 对灯塔曲臂上方管进行轻量化设计。分析结果表明: 在满足刚度强度的情况下, 灯塔曲臂上方管可以节省30.9%的材料用量, 降低了制造成本。

关键词

移动照明灯塔, 曲臂, 轻量化设计, ANSYS

The Lightweight Design of the Crank Upper Arm Tube of the Mobile Lighthouse Based on ANSYS

Kangze Han¹, Yujiong Ni¹, Xiaoshui Fang², Da Li¹, Linggang Ruan¹, Changxiong Xie¹

¹College of Mechanical Engineering, Quzhou University, Quzhou Zhejiang

²Zhejiang Uniway Machinery Co., Ltd., Quzhou Zhejiang

Email: xiechangxiong@zju.edu.cn

Received: Oct. 6th, 2020; accepted: Oct. 20th, 2020; published: Oct. 27th, 2020

Abstract

The crank arm is an indispensable part of the mobile lighting lighthouse. When the crank arm is too heavy, it will not only reduce the mechanical properties and flexibility of the lighthouse, but

文章引用: 韩康泽, 倪昱灵, 方晓水, 李达, 阮玲刚, 谢长雄. 基于 ANSYS 的移动灯塔曲臂上方管的轻量化设计[J]. 机械工程与技术, 2020, 9(5): 481-488. DOI: 10.12677/met.2020.95052

also increase the manufacturing cost. This thesis regards the crank upper arm tube of lighthouse as the research object, whose finite element model is established in ANSYS. Under the condition of determining the dangerous working condition of the lighthouse's crank arm, the static analysis is conducted by means of finite element tool. By satisfying the strength and rigidity standards, the lightweight design for the crank upper arm tube of lighthouse is carried out with the aim of minimizing the material consumption. The analytical results show that if the strength and rigidity condition is satisfactory, the upper arm tube of lighthouse can save 30.9% of the material consumption and reduce the manufacturing cost.

Keywords

Mobile Lighting Lighthouse, The Crank Arm, Lightweight Design, ANSYS

Copyright © 2020 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

移动照明灯塔是一种可提供照明的应急设备,具有响应迅速、操作方便、手动/自动升降、多方位照明等特点,主要用于夜间施工、应急救援、军事演习等场合。曲臂作为移动照明灯塔的重要组成部件,不仅在带动灯具升降的过程中发挥着重要作用而且它的强度、刚度和质量还决定着灯塔的稳定性、经济性和灵活性。因此对灯塔曲臂臂厚进行轻量化设计很有必要。

参数优化是结构轻量化的最常用的一种方法,现已被普遍用于汽车、飞机、航空航天等行业。彭发忠[1]等人针对伺服压力机的滑块提出了一种轻量化设计方法。雷小宝[2]基于参数优化对压力机机身进行了轻量化设计,降低了生产成本。郭赛银[3]等人采用 ANSYS 对 Z8016 深孔钻床床身进行了参数优化设计,优化后大大减轻了床身的质量,实现了床身轻量化的目的。

本文基于 ANSYS 建立灯塔曲臂的有限元模型,然后对危险工况下的有限元模型进行静力学分析。在满足材料强度和刚度的前提下,对灯塔曲臂上方管进行参数优化设计,以达到节省材料、降低制造成本的目的。

2. 建立灯塔曲臂上方管模型

灯塔曲臂主要由连接板、转板、侧板和方管构成。考虑到强度、刚度和性价比,灯塔曲臂材料采用 20 钢:材料密度 $\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$,弹性模量 $E = 2.06 \times 10^{11} \text{ Pa}$,极限强度为 $2.75 \times 10^{11} \text{ Pa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,简化模型如图 1 所示。

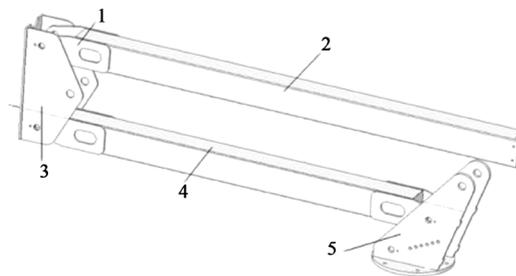


Figure 1. Simplified model of crank arm. 1. Rotary plate; 2. Upper tube; 3. Connection plate; 4. Lower tube; 5. Rack connection plate

图 1. 曲臂简化后模型。1. 转板; 2. 上方管; 3. 连接板; 4. 下方管; 5. 机架连接板

由于灯具对曲臂上方管受力的影响较大,所以本文利用 ANSYS 针对曲臂上方管进行了静力学分析和轻量化。所建立的灯具及曲臂上方管有限元模型如图 2 所示。运用 Multizone 方法对其进行了网格划分,得到 44,731 个单元,155,702 个节点,局部的网格划分如图 3 所示。

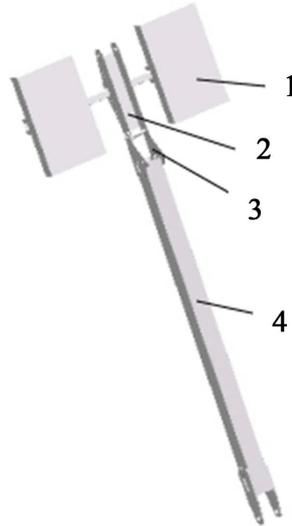


Figure 2. Finite element model. 1. Lighting fixture; 2. Lamp bracket installation arm; 3. Fixing plate; 4. Three-level square pipe
图 2. 有限元模型。1. 照明灯具; 2. 灯架安装臂; 3. 固定板; 4. 三级方管



Figure 3. Local grid division diagram
图 3. 网格划分局部图

3. 曲臂上方管的静力学分析

蒲福氏风级(Beaufort scale)是根据风对物体的影响程度而定出的风力等级。按影响程度的大小,将风力划为 13 个等级[4]。因 11 级的狂风和 12 级的台风在陆地上极少发生,且在海面上发生时能见度极低。而 10 级的暴风在陆地上也不常见,但是,在海面上发生时还有一定的能见度,故本文研究灯塔在受 10 级风压下的变形和应力分布情况。由理论力学分析可知,当曲臂处于工作状态且受力与截面对角线方向相同的单侧风时,应力和应变最大,属危险工况,因此分析该工况下曲臂上方管的强度和刚度显得十分必要。图 4 表示移动照明灯塔所处的危险工况。

用 ANSYS 进行静力学分析,根据危险工况设置边界条件:添加物体自重,对转板上的支撑孔设置固定约束,在灯具和上方管两侧施加 10 级风压 504.1 Pa,得到应力云图和应变云图,如图 5 和图 6 所示。

由图 5 可知曲臂上方管和灯具整体受到应力比较小,应力较大值主要位于转板支撑孔和各连接处,应力最大值 $\sigma_{\max} = 113.75 \text{ MPa}$,因工业上 20 钢的许用应力为 140 MPa,所以曲臂上方管的结构仍有一定的优化空间。由图 6 可知曲臂上方管的最大应变为 2.8935 mm,满足产品刚度要求。

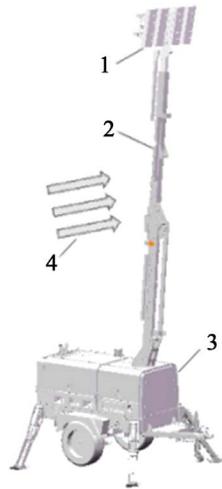


Figure 4. Dangerous conditions. 1. Lighting fixture; 2. Curved arm of the lighthouse; 3. Lighthouse crew; 4. Force 10 wind
图 4. 危险工况。1. 照明灯具; 2. 灯塔曲臂; 3. 灯塔机组; 4. 十级风

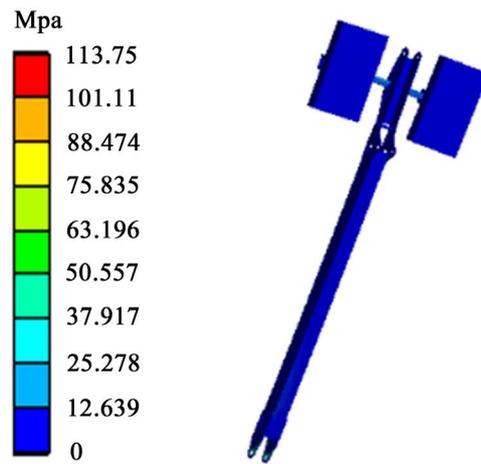


Figure 5. Stress nephogram
图 5. 应力云图

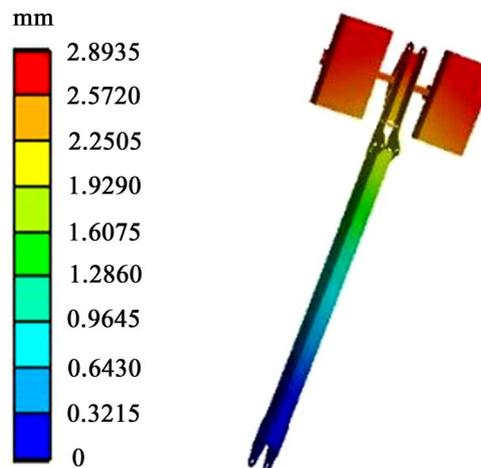


Figure 6. Strain cloud diagram
图 6. 应变云图

4. 曲臂上方管的参数优化

4.1. 条件约束

由静力学分析可知，灯塔曲臂上方管结构能够满足强度和刚度要求，为了进一步提升结构特性和降低制造成本，需要对其进行轻量化设计。参数优化和拓扑是轻量化设计最常用的两种方法。在进行参数优化时，遵循参数重要性原则，选取对结构影响明显的参数为设计变量[5]。

以材料最省为总的目标函数，即

$$F(X) = M \rightarrow \min \quad (1)$$

在参数优化的过程中，需要同时对结构尺寸参数、最大应力和最大应变进行约束，以保证能获得较优的质量和力学特性。

结构尺寸参数约束：曲臂上方管截面如图 7 所示，未优化前的截面各参数如表 1 所示。考虑到装配尺寸、经济性和加工难易程度，令曲臂截面长度 a 、宽度 b 保持不变，臂厚 c 为参数， c 的取值范围为 2~4 mm。

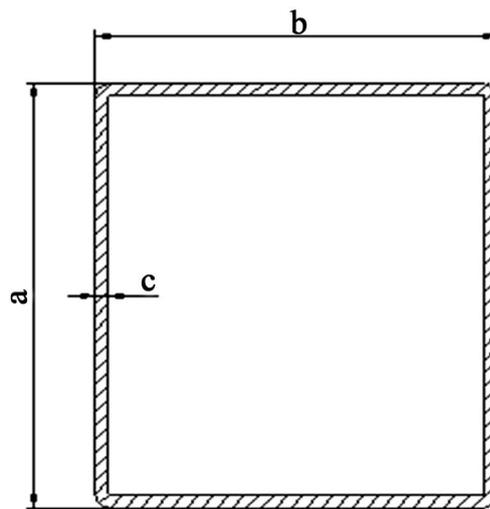


Figure 7. Upper tube section

图 7. 上方管截面

Table 1. Original value of upper tube section

表 1. 上方管截面原数值

a	120 mm
b	140 mm
c	4 mm

最大应力约束：为保证构件在危险工况下仍然可以安全可靠地工作，必须使工作时构件的最大应力小于材料的许用应力。则许用应力

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} \quad (2)$$

查表得 20 钢的屈服强度 σ_s 为 245 MPa，安全系数 n_s 在 1.5~2，这里取中间值 1.75，由式(2)求得 20 钢的许用应力为 140 MPa。

最大应变约束：防止小臂结构出现裂缝和不规则振动，需满足实际挠度需小于理论挠度。则理论挠度

$$Y = \frac{Fl^3}{3EI} \tag{3}$$

其中 Y 是小臂的理论挠度， F 为离地面八米的集中风载荷力， l 是小臂长度， E 是 20 钢的弹性模量， I 为 20 钢的截面惯矩，最终求得理论挠度 Y 为 9.19 mm。

质量约束：因为节省材料是最终目的，所以赋予重量更高的影响因子，使得曲臂上方管质量优先级最高[6]。

综上所述，总的条件约束如表 2 所示。

Table 2. Constraints

表 2. 条件约束

约束对象	约束范围
臂面厚度	$2\text{ mm} < c < 4\text{ mm}$
最大应力	$\sigma_{\max} \leq 40\text{ MPa}$
最大应变	$Y_{\max} \leq 9.19\text{ mm}$
质量	最小化，优先级最高

4.2. 优化结果分析

根据上述约束条件进行设置，并采用 Screening 优化算法。计算开始后，ANSYS 会自动生成 20 个设计点，并生成臂面厚度与各输出参数之间的关系图，见图 8~10。由图可知，臂厚与最大应力、最大应变都成反比，与曲臂上方管质量成正比。

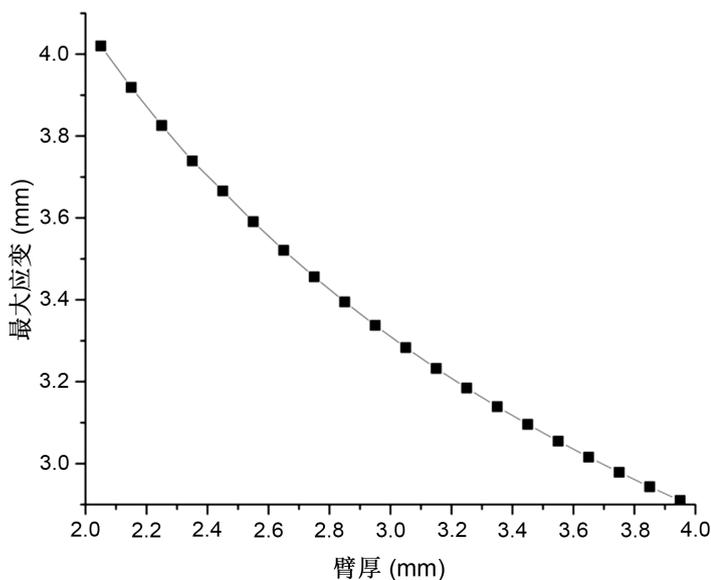


Figure 8. Relationship between arm thickness c and maximum stress
图 8. 臂厚 c 与最大应力的关系

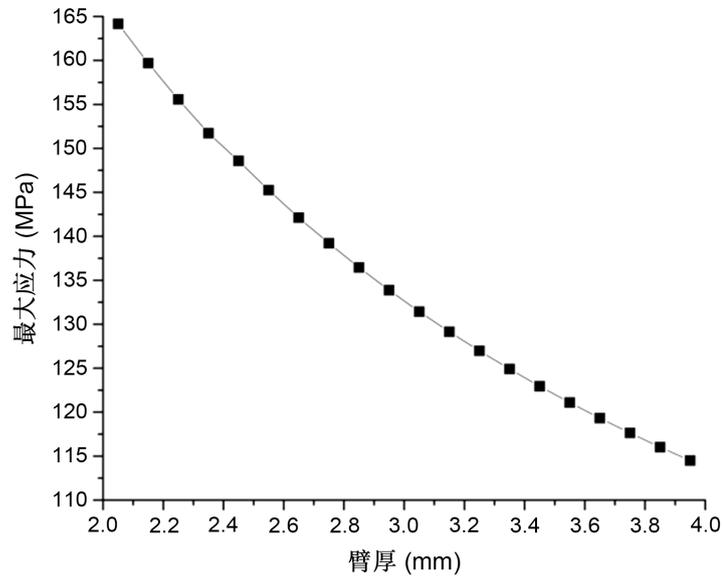


Figure 9. Relationship between arm thickness c and maximum strain
图 9. 臂厚 c 与最大应变的关系

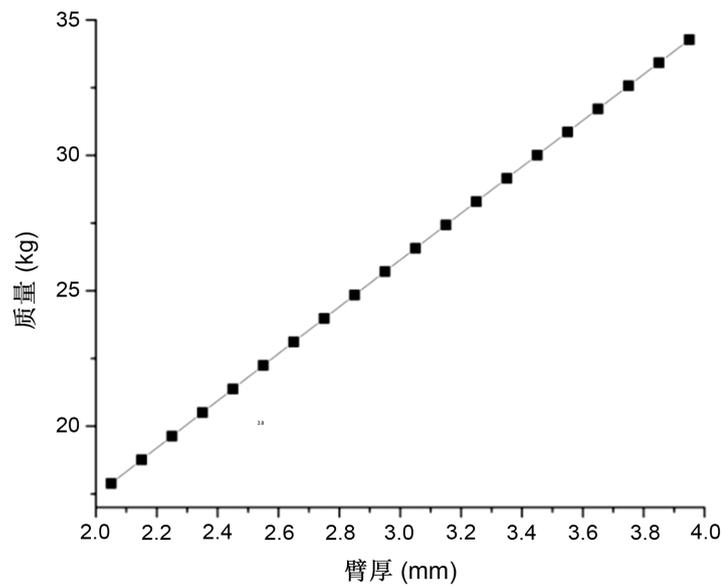


Figure 10. Relationship between arm thickness c and upper tube mass
图 10. 臂厚 c 与上方管质量的关系

Table 3. Optimization recommended parameters
表 3. 优化推荐参数

	输入参数		输出参数	
	c (mm)	质量(kg)	应力(MPa)	变形(mm)
优化前	4.00	34.695	113.75	2.8935
一	2.75	23.980	139.21	3.4562
二	2.95	25.709	133.87	3.3376
三	3.15	27.433	129.14	3.2326

最终 ANSYS 会根据约束条件选出三组推荐数据以供设计者选择, 推荐数据如表 3 所示。

对比表 3 中的三组推荐数据, 可以发现它们均满足最大应力低于许用应力的要求。当三组数据都满足所有约束条件时, 质量最轻、节省材料最多的那一组数据是最优解, 由此可以确定第一组数据是本次优化设计的最优解。

优化后的曲臂上方管质量相比优化前的质量减少了 10.715 kg, 节省了 30.9% 的钢材, 降低了灯塔曲臂上方管的制造成本。

5. 结论

1) 本文利用 ANSYS 建立了曲臂上方管连接灯具的有限元模型, 并对其进行了静力学分析, 得到了危险工况下整体的应力云图和应变云图, 发现曲臂上方管的结构仍有一定的优化空间。

2) 以灯塔曲臂上方管的臂厚 c 为输入参数, 以最大应力、最大应变和上方管质量为输出参数进行轻量化设计。优化结束后得到三组推荐数据, 经过比较, 选择机构特性最好的一组为最优解。最终结果表明, 优化后的灯塔曲臂上方管减少了 10.715 kg 的质量, 节省了 30.9% 的材料。在保证结构强度和刚度的前提下, 降低了灯塔曲臂的制造成本, 为曲臂轻量化设计提供了理论依据。

基金项目

本文的研究工作得到浙江省大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号: 2019R435014)。

参考文献

- [1] 彭发忠, 王传英, 柴恒辉, 邵珠峰, 王帅奇, 王博文. 基于分层结构的伺服压力机滑块轻量化设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2020, 60(12): 1016-1022.
- [2] 雷小宝. 新型数字化压力机的研制[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [3] 郭银赛, 张毅. Z8016 深孔钻床床身轻量化研究[J]. 制造业自动化, 2014(22): 77-80.
- [4] 陆荣. 对岸桥防风抗台工作的一些探讨[J]. 上海港科技, 2002(2): 7-10.
- [5] 江洁, 张文辉, 叶晓平, 蒋理剑. 基于 ANSYS 的煤炭取样机械臂多目标优化设计[J]. 煤矿机械, 2016, 37(1): 173-175.
- [6] 裘罗浙男, 张文辉, 林森海, 蒋黎红, 江洁. 基于 ANSYS 的桁架系统参数化设计与目标优化[J]. 湖北工程学院学报, 2016, 36(3): 81-83.