

锚机齿轮箱结构改进及轻量化设计

张昊, 黄一峰, 刘全良

(浙江海洋大学海洋工程装备学院, 浙江 舟山 316022)

摘要: 为了降低渔船锚泊设备齿轮箱的重量, 节约成本, 避免资源浪费, 需要对其结构进行轻量化设计研究。本文将响应面轻量化方法引入到渔船锚泊设备齿轮箱设计中, 对齿轮箱进行有限元分析, 通过实验设计建立响应面模型, 确定最终优化方案, 完成齿轮箱轻量化设计, 轻量化后的齿轮箱质量减轻了 10.24%, 最大等效应力和位移也满足安全范围, 实验验证该方法对齿轮箱的轻量化设计是有效的。通过本文的轻量化设计, 将响应面应用于锚机齿轮箱中, 实现了减重的目的, 该方法对相似结构问题的解决提供了一定的参考价值。

关键词: 锚机; 齿轮箱; 轻量化; 响应面

中图分类号: U664.4

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 11—0094—04

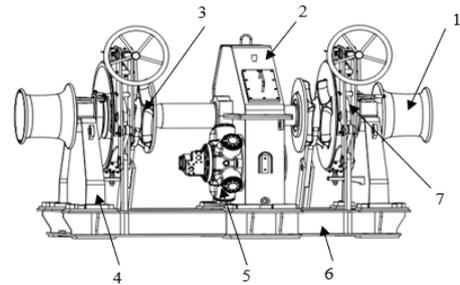
锚机作为渔船甲板机械重要组成部分, 对渔船有着十分重要的作用^[1]。近年来轻量化设计技术得到快速发展, 渔船作为主要的捕捞设备, 对其进行轻量化能够提高经济性, 降低资源消耗^[2]。

齿轮箱作为锚机中主要的支撑部件, 对其进行轻量化设计, 能够有效降低锚机质量。目前国内学者对锚机做出大量轻量化研究, 李曦^[3]通过对齿轮箱的厚度进行优化, 使得齿轮箱总体质量降低 21.4%, 南京理工大学的史阴阳^[4]对锚机的基座进行多目标优化, 优化后的基座质量减轻了 10.47%, 张建^[5]通过对比三种齿轮箱设计方案并进行选择, 达到质量减轻的目的, 谢健^[6]对甲板机械的轻量化设计理念进行介绍, 对锚机轻量化技术的应用提供了参考。代理模型近年来发展迅速, 被应用于汽车、飞机和船舶等复杂结构^[7]。响应面模型作为代理模型的一种, 具有模型简单、收敛速度快等优点, 受到科研人员的重视^[8], 国内外学者基于代理模型的轻量化技术也做出了大量研究, 但基于响应面模型的锚机轻量化技术较空缺^[9-10]。本文根据锚机齿轮箱的作用和受力特点, 采用响应面模型对齿轮箱其轻量化分析设计。

1 研究流程

1.1 研究对象介绍

本文研究的锚机为两级有档锚链, 起锚负载为 38.3kN、过载拉力为 57.4kN、支持负载为 175kN、起锚速度 $\geq 9\text{m/min}$, 结构组成如图 1 所示。本文主要对其齿轮箱进行轻量化设计。



1、副卷筒; 2、齿轮箱; 3、锚链轮; 4、齿轮箱; 5、液压马达; 6、底座; 7、带式刹车

图 1 锚机结构图

1.2 轻量化流程

通过建立齿轮箱结构模型, 根据结构和工况特点, 确定设计变量和约束条件, 并进行实验设计构建响应面, 轻量化流程如图 2 所示。在进行求解时, 可能出现结果不收敛现象导致求解失败, 因此需要对数据进行重新调整, 以求得计算结果。当求得结果后, 仍需要对结果进行验证, 从而确定轻量化后的实验数据能够满足安全使用要求。

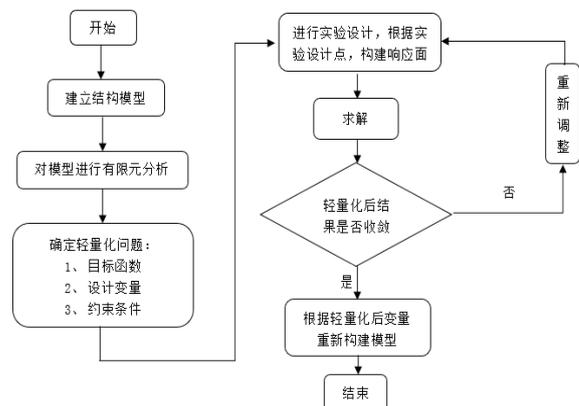


图 2 轻量化流程图

2 锚机齿轮箱有限元分析

2.1 有限元模型

齿轮箱采用 Q235 钢材材料, 屈服强度为 235MPa, 弹性模量为 210 GPa, 泊松比为 0.3, 质量密度为 7850kg/m³。齿轮箱有限元网格模型如图 3 所示。采用三面体和四面体单元对模型进行网格划分, 节点数为 267164, 单元数为 93530 个。

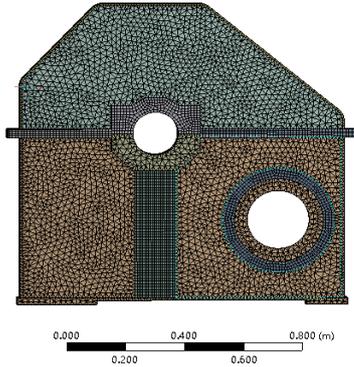


图 3 齿轮箱模型

2.2 有限元计算

当锚机在工作时, 其支持负载要大于起锚负载, 因此选取支持负载情况下的载荷对锚机进行有限元分析, 同时要考虑液压马达的扭矩、支撑锚链轮、主轴结构等重力作用, 利用有限元软件 ANSYS 完成齿轮箱的有限元分析。

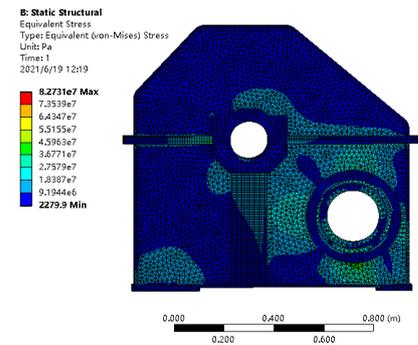


图 4 等效应力云图

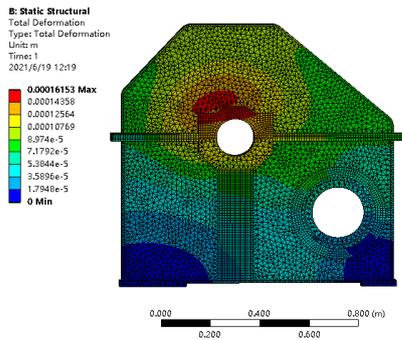


图 5 位移变形云图

从图 4 可以看出, 齿轮箱的受力主要为出链方向的

下侧, 最大等效应力为 82MPa, 但大部分的区域受力比较小, 基本在 36MPa 以下, 支持负载下齿轮箱的强度要小于屈服值, 从图 5 可以看出最大变形区域在轴承座附近, 最大变形位移为 1.6e-4m, 符合安全范围。

3 齿轮箱轻量化

3.1 kriging 响应面理论

Kriging 代理模型主要将待求的函数看成一种随机过程, 主要由回归模型和静态随机过程所构成, 其表达式为:

$$y(x) = F(\beta, x) + z(x) = f^T(x)\beta + z(x) \quad (1)$$

式中, $f^T(x)$ 表示回归模型, β 是 $f^T(x)$ 系数; $z(x)$ 是均值为 0, 方差为 σ^2 的随机过程。设计变量之间存在一定的关系, 变量之间的方差可以表示为:

$$\text{Cov}[z(x_i), z(x_j)] = \sigma^2 R(c, x_i, x_j) \quad (2)$$

式中 $R(c, x_i, x_j)$ 是距离相关性函数, c 作为两个点 x_i 和 x_j 的距离参数, 当样本点距离增大, 函数值减小, 当距离无穷大时, 函数值为 0, 当距离为 0 时, 函数值为 1。求 $R(c, x_i, x_j)$ 的表达式为:

$$R(c, x_i, x_j) = \prod_{k=1}^n R_k(\theta_k, |x_i^k - x_j^k|) = \prod_{k=1}^n R_k(\theta_k, d_k) \quad (3)$$

式中 θ_k 表示向异性参数, 作为两个点 x_i^k 和 x_j^k 的欧式距离。

根据实验设计生成一个相关矩阵:

$$\begin{bmatrix} R(x_1, x_1) & \dots & R(x_1, x_n) \\ \vdots & & \vdots \\ R(x_n, x_1) & \dots & R(x_n, x_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, n 是矩阵维数, 利用最小二乘法得到 kriging 多项式参数:

$$\hat{\beta} = (x^T R^{-1} x)^{-1} x^T R^{-1} y \quad (5)$$

其中, y 是设计变量对应的响应值。同样可求得方差 σ^2 :

$$\sigma^2 = (y - x\hat{\beta})^T R^{-1} (y - x\hat{\beta}) \quad (6)$$

通过实验设计生成的样本点和相关函数求得 β 值和 y , 从而求得 kriging 响应面模型。

3.2 齿轮箱数学模型

本文研究的锚机齿轮箱主要由底板、前板、后板、围板、侧板、法兰板和轴承座等结构组成。考虑到齿轮箱内部齿轮的安装和总体实现功能, 因此对箱体前板、侧板、后板和法兰板的高度不作改变, 选取前板、后板和侧板的厚度和各结构的厚度作为设计变量, 如图 6 所示。

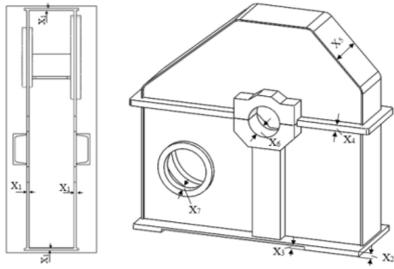


图6 齿轮箱设计变量

优化数学模型包括设计变量、约束条件和目标函数。本文针对锚泊设备的齿轮箱进行轻量化设计研究，其设计变量为：

$$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_8]^T$$

其中 x_8 为上侧板的厚度。

目标函数为：

$$\min W = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_8)$$

$$s.t. \sigma \leq [\sigma]$$

其中， $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$ 为底面板尺寸参数及厚度、上面板厚度和支撑构件长度， W 为基座重量， $\sigma \leq [\sigma]$ 为强度约束条件。

3.3 齿轮箱轻量化

为了获得设计变量的最优解，对齿轮箱进行 285 次实验设计，以便构建响应面。在实验设计时，需要对设计变量取值规定范围区间，如表 1 所示。

表 1 设计变量初始值及取值范围

设计变量	对应值	初始值/mm	区间/mm
X_1	P14	10	9 ~ 11
X_2	P18	25	22.5 ~ 27.5
X_3	P17	15	13.5 ~ 16.5
X_4	P12	30	27 ~ 33
X_5	P11	240	216 ~ 264
X_6	P5	110	99 ~ 121
X_7	P3	45	40.5 ~ 49.5
X_8	P9	6	5 ~ 6.6

根据实验设计数据，构建齿轮箱设计变量对质量响应面，如图 7 所示。从图 7 可以得到设计变量对质量呈线性关系，随着设计变量的增大质量也在增大。

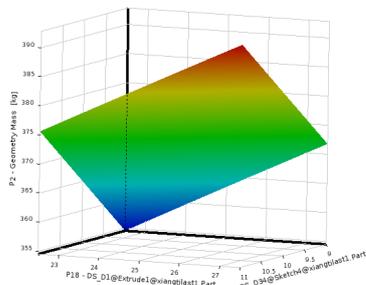


图7 响应面

根据响应面模型，对齿轮箱进行轻量化设计研究。

通过筛选法对齿轮箱 1000 个样本点进行筛选，获得质量最小的样本点，得到最优方案，如表 2 所示。

表 2 齿轮箱轻量化方案

方案	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	质量/kg
	9.2	23.1	14.9	28.2	220.2	108.6	44.8	6.2	335.47

3.4 验证分析

根据轻量化后的数据，构建齿轮箱模型，并进行有限元分析计算，分析结果如图 8、图 9 所示，经过分析可以得到：

(1) 轻量化前，齿轮箱质量为 373.74kg，轻量化后，齿轮箱质量为 335.47kg，质量降低了 10.24%，节约了材料成本。

(2) 轻量化后最大等效应力为 200Mpa，位移变形为 0.2mm 处于安全范围。轻量化后，齿轮箱的应力分布较之前均匀，应力集中程度得到降低，齿轮箱材料利用率也得到了提高。

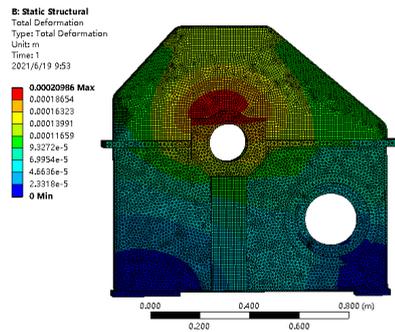


图8 齿轮箱应力云图

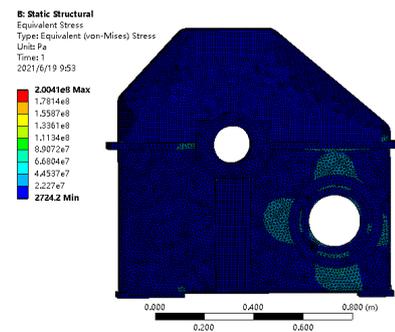


图9 齿轮箱位移云图

4 结论

通过对齿轮箱进行有限元分析，对锚机的轻量化设计进行研究，从而得到满足安全使用的齿轮箱结构，并达到减轻质量的目的。从本文中得到以下结论：

(1) 传统的齿轮箱材料利用率低，无法准确表达各部分应力分布情况，导致齿轮箱质量大，不符合锚机轻量化要求。

岷江航道干龙子滩整治方案研究

周玉洁¹, 余祥², 于丽伟¹, 谢玉杰¹

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017; 2. 四川省水利水电勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 干龙子滩为岷江干流龙溪口枢纽以下的天然航道, 需通过航道整治达到内河Ⅲ-(3)级航道标准。该滩为典型的分汊型急流浅滩, 流速比降均较大, 船舶无法自航上滩, 考虑该滩险各级流量时的碍航特点, 分析该滩险各级流量时的碍航特点采取有效措施, 优化疏浚布置, 选址适宜的整治高度, 改善通航水流条件, 实现船舶自航上滩。

关键词: 航道整治; 分汊型急流浅滩; 疏浚布置; 整治高度

中图分类号: U617 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0097—03

岷江是长江上游的一级支流, 干流全长 735km, 流域面积 135881km²。岷江下游龙溪口枢纽至河口宜宾段航道 81km 规划为内河Ⅲ-(3)级航道, 建设标准为保证率为 95% 时达到航道尺度: 2.4×60×500m (水深×直线段宽度×弯曲半径)^[1]。干龙子滩距离上游龙溪口枢纽约 4km, 距岷江河口里程为 78km~74km。

1 滩段特性

干龙子滩为分汊急流浅滩, 该滩位于河道转弯处, 水流由西流至此经半径约 1.2km 的弯道顺时针转 80° 流至东南向。该滩上段及下段均为单一河道, 水深条件较好, 滩中部河道扩宽, 滩中有一江心洲将河道一分为

二。左汊左岸在历史上修建有一长顺坝与左汊内的低矮心滩相连, 右汊上口现有上世纪 70 年代修筑的 1 座锁坝。

1.1 河床演变

该河段深泓基本稳定, 近年来平面变化较小, 深泓均走左汊, 贴左岸深槽。对比分析 2010 年 04 月及 2017 年 4 月两次测图, 7 年时间, 全滩段大部分冲淤变化在 0.2m 以内, 仅在左汊出口位置 K75 附近有约长 200m 宽 50m 的冲刷, 最大冲刷深度为 1.33m, 在右汊入口堵坝坝后 200m 范围内有约长 200m 宽 200m 的淤积, 最大淤积深度为 2.95m。总体来讲, 年际间深泓线的变化规律一致, 横向摆动幅度较小, 年际变化河床冲淤变化表现为基本平衡、河势基本稳定。

(2) 本文对锚机齿轮箱进行轻量化分析, 对齿轮箱中材料过多冗余的材料结构进行改进, 通过有限元分析得到轻量化后的齿轮箱的最大应力和位移满足使用要求。

(3) 通过对轻量化后的齿轮箱进行分析, 本文设计的齿轮箱仍有优化空间, 该方法对类似问题具有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 陈琳, 杨龙霞. 船舶甲板机械领域国际国内标准化综合研究 [J]. 船舶标准化工程师, 2019, 52(03): 8-14.
- [2] 王靖. 渔船结构优化设计研究 [A]. 中国水产学会. 2014 年中国水产学会学术年会论文摘要集 [C]. 中国水产学会: 中国水产学会, 2014: 1.
- [3] 李曦. 液压锚绞机墙架有限元分析及设计优化 [J]. 船舶工程, 2016, 38(S2): 89-92.
- [4] 史阳阳. 基于刚柔耦合的锚绞机结构优化设计及试验

研究 [D]. 南京理工大学, 2016.

[5] 张建, 唐文献, 邱允明, 高超, 苏世杰, 魏月庭. 锚机机架结构优化设计 [J]. 船舶工程, 2013, 35(01): 32-34+98.

[6] 谢健, 刘孟云. 甲板机械轻量化设计技术研究 [J]. 中国水运 (下半月), 2019, 19(11): 7-8.

[7] 韩忠华, 许晨舟, 乔建领, 等. 基于代理模型的高效全局气动优化设计方法研究进展 [J]. 航空学报, 2020, 41(05): 30-70.

[8] 李坚. 代理模型近似技术研究及其在结构可靠度分析中的应用 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

[9] 刘浩雪. 基于响应面法的集装箱船优化设计研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.

[10] X. Li, H. Qiu, Z. Chen, et al. A local Kriging approximation method using MPP for reliability-based design optimization [J]. Computers & Structures, 2016, 162: 102-115.