

# Modality Analysis of Main Girder of Bridge Crane based on ANSYS

Gongwen BIAN<sup>1</sup>, Qing ZHANG<sup>2</sup>, Liang ZHOU<sup>3</sup>

College of Mechanical and Vehicular Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China

**Abstract:** The vibration of the main girder of bridge crane causes resonance, fatigue and breakage, and has great influence on the hoisting accuracy of the main girder of the crane. The modal analysis of the main beam of the bridge crane is carried out by using the ANSYS finite element analysis software. The natural vibration modes and natural frequencies of the low order modes of the main beam are obtained, and the dangerous area of the main beam vibration is found out. Optimization followed by the structure of the girder, the natural frequency of the girder to completely avoid the disturbance frequency, limited to solve the resonance problem of the main beam, to reduce the maximum vibration amplitude, improve fatigue and service life of main girder.

**Keywords:** main girder of bridge crane; Structure optimization; Modality analysis

## 基于 ANSYS 的桥式起重机主梁模态分析

卞功文<sup>1</sup>, 张青<sup>2</sup>, 周亮<sup>3</sup>

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆, 中国, 400074

**摘要:** 桥式起重机主梁的振动会引起共振、疲劳破坏等问题, 对起重机主梁的吊装精度影响极大。用 ANSYS 有限元分析软件对桥式起重机的主梁进行模态分析, 得出主梁低阶模态下的固有振型和固有频率, 找出主梁振动的危险区域。其次通过对主梁的结构进行优化, 使主梁的固有频率完全避开激励频率, 有限的解决了主梁的共振问题, 减小了主梁最大振动幅度, 提高主梁的疲劳和使用寿命。

**关键词:** 桥式起重机主梁; 结构优化; 模态分析

### 1 引言

桥式起重机广泛应用于现代工业生产中, 而桥式起重机的主梁在重载、高速的条件下, 会引起主梁不可忽略的振动。振动会引起共振、疲劳破坏等方面, 对起重机主梁和吊装精度影响极大<sup>[1]</sup>。因此, 对桥式起重机的主梁进行必要的模态分析具有重要意义。

模态分析, 也叫特征值的提取, 用以求解多元自由度系统自由振动的固有频率及其相应的振型。通常被应用于振动测量和结构动力学分析, 可以精确的得出物体固有频率、模态阻尼、模态振型、模态刚度和模态质量, 有效的避开幅值频率, 最大限度地减小频率激励, 消除过度振动, 且模态分析技术为动力学分析的基础, 在避免主梁设计共振或以特定频率进行振动的基础上, 还可以明确结构对于不同类型的动力载荷是如何响应的, 并有助于在其他的动力分析中估算求解和控制参数。本文用有限元分析软件 ANSYS, 对桥式起重机主梁的有限元模型进行模态分析, 确定主梁固有频率及其振型, 使振动模态动态化。用

ANSYS 分析主梁的固有频率及其振型的作用<sup>[2]</sup>:

(1) 每台桥式起重机的主梁都有自己的固有频率, 在主梁设计时, 通过模态分析出的固有频率, 可以避免与外激励频率发生共振, 减小主梁的振动幅值。

(2) 桥式起重机的启动和制动, 能够引起主梁结构的长时间衰减振动, 降低工业生产效率

(3) 通过所建立的模型确定桥式起重机主梁的结构固有频率和振型, 提供一个清晰的动态图像来描述主梁在受到外部激励的表现, 因此对桥式起重机主梁的振动分析具有重要意义。

### 2 模态分析理论

在结构动力学中, 模态分析理论是基础, 它主要用于计算模态固有模型的 2 个基本参数: 固有频率和固有振型。它们表明系统自由振动的特性, 对于给定的系统, 系统振型向量的比值与固有频率都取决于系统的物理参数, 是系统固有的。如果知道主梁的固有频率, 那在设计 and 结构优化时, 使其主梁的固有频率避开使用时的外部激振频率。另外, 通过对主梁整体

的模态振型分析，还可以了解主梁整体扭转刚度和弯曲刚度的分布情况。

不论何种阻尼情况，机械结构上各点对外力的响应都可以表示成由固有频率、阻尼比等模态参数组成的各阶振型模态的叠加。模态分析的核心内容是确定描述结构系统动态特性的模态参数。根据 Alembert D 原理，引入相应的惯性力，可将弹性体的动力学问题简化为相应的静力学问题，其动力有限元的基本方程为 [3]：

$$MX'' + CX' + KX = F(t) \quad (1)$$

式中： $M$  为质量矩阵； $C$  为阻尼矩阵； $F$  为刚度矩阵； $X$  为位移向量； $t$  为时间； $F(t)$  为作用力向量；

当  $F(t) = 0$  时，由于固有特性与外载无关，且阻尼对固有频率和振型影响不大，忽略振动阻尼的影响，其动力有限元基本方程变为：

$$MX'' + KX = 0 \quad (2)$$

由于自由振动可以分解为一系列简谐振动的的叠加，因此，各个节点位移为：

$$X = Qe^{-j\omega t} \quad (3)$$

式中： $\omega$  为简谐振动圆频率； $Q$  为节点振幅列向量；

将公式(3)代入公式(2)中，并消去因子  $e^{-j\omega t}$ ，可得：

$$(K - \omega^2 M)Q = 0 \quad (4)$$

公式(4) 为一广义特征值问题，根据线性代数可知，求解该问题可以求出  $n$  个特征值和  $n$  个特征向量。其中特征值的平方根  $\omega$  就是结构的  $i$  阶固有频率，特征向量  $Q$  就是结构的  $i$  阶模态振型，简称振型。

### 3 三维有限元模型的建立

本文研究的桥式起重机的主梁结构为双梁空腹桥架结构，内部无横向隔板和纵向加劲板。采用三维设计软件 solidworks 对整个桥式起重机的主梁进行三维建模，其主梁实体图和桥架结构三维模型见图 1。

#### 3.1 桥式起重机主梁主要参数

桥式起重机主梁的主要参数为：跨度 25m；起升小车轮距 2.6m；主梁高度 1650mm；主梁上盖板厚度 10mm；主梁宽度 750mm；主梁下盖板厚度 10mm；左腹板厚度 8mm；右腹板厚度 8mm；主梁的工作频

率 2~8Hz。

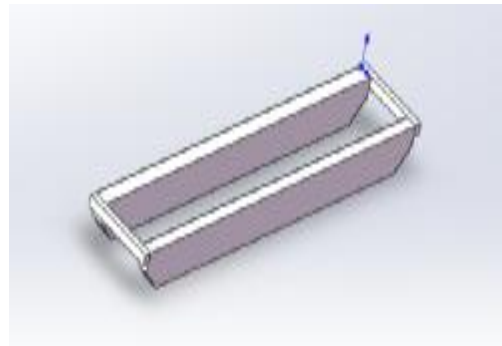


图 1. 桥式起重机主梁三维模型图

#### 3.2 单元类型及网格划分

在有限元分析软件 ANSYS 中选择实体模型，将整个桥式起重机主梁简化为简支梁模型，限制主梁两端支撑处的垂直方向的位移，限制其中一处水平方向的位移，另一处的水平方向位移不做考虑。材料选用 Q235(杨氏模量  $E=210\text{Gpa}$ ，密度  $\beta=7800\text{Kg/m}^3$ )，泊松比  $\mu=0.3$ ，设置网格尺寸 100mm，模型节点总数 287556，单元总数 127568。

### 4 模态分析及讨论

#### 4.1 主梁模态振型

桥式起重机主梁结构振型展示了主梁结构固有振动形态。通过分析主梁振型，易于找出主梁结构的薄弱之处，判断出主梁振动的根本原因。因此，主梁振型分析有利于在主梁的设计阶段预测出动态特性，为桥架结构优化和疲劳强度校核提供理论依据。主梁的前 6 阶模态及振型如图 2 至图 7 所示。

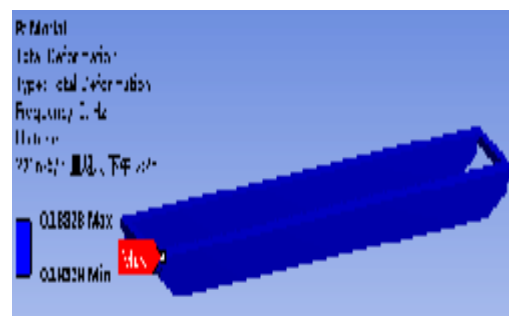


图 2. 主梁第一阶模态

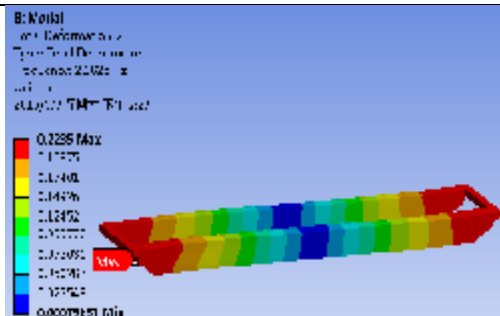


图 3. 主梁第二阶模态

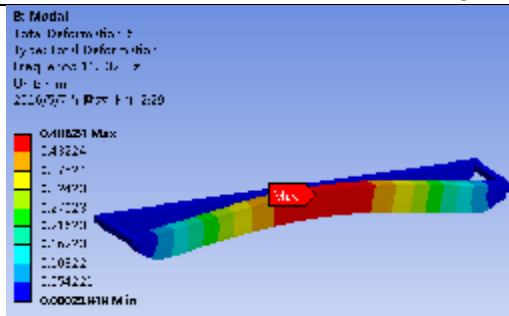


图 7. 主梁第六阶模态

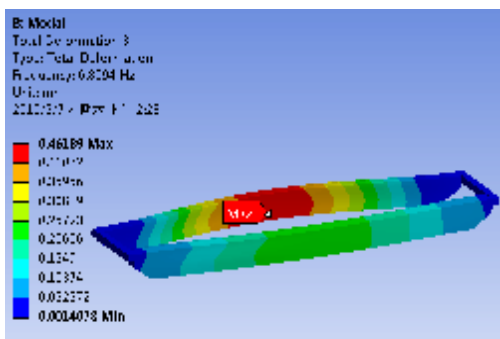


图 4. 主梁第三阶模态

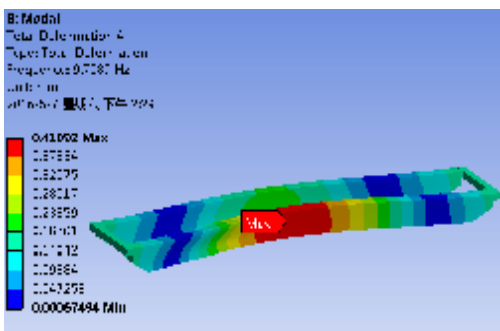


图 5. 主梁第四阶模态

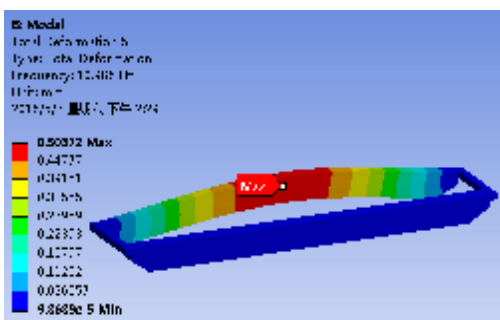


图 6. 主梁第五阶模态

以上就是桥式起重机主梁的前六阶的模态振型。从振型分析中，主梁参与了多种形式的振动，为确保主梁预期的疲劳寿命，应在桥式起重机主梁设计和制造过程中，加强主梁上、下盖板与左右腹板的连接强度，提高该部位的焊接质量，以提高主梁的疲劳寿命。

评价结构动态性能好坏主要看主梁的低阶频率。由于桥式起重机主梁结构大，振动频率低，在结构的动力学响应中，低阶模态占主要地位，高阶模态对响应的贡献很小，阶数越高，其贡献就越小。而且，由于结构阻尼的作用，响应中的高阶部分衰减也很快，故对高阶模态可以忽略不计，因此在对桥式起重机主梁进行模态分析时，取主梁的前 6 阶固有频率进行分析。

以上就是桥式起重机主梁的前六阶的模态振型和频率。从振型分析中，主梁参与了多种形式的振动，为确保主梁预期的疲劳寿命，应在桥式起重机主梁设计和制造过程中，加强主梁上、下盖板与左右腹板的连接强度。从主梁的固有频率来看，其前六阶的固有频率在 2~10Hz 之间，而通用桥式起重机主梁的外部激励频率在 2~8Hz 之间，主梁固有频率和激励频率几乎保持在同一频率区间，这容易引起主梁的共振，使主梁产生较大的振幅，减小主梁的寿命<sup>[5]</sup>。

### 4.2 结构优化主梁模态振型

为避免主梁共振现象，在保证主梁强度、刚度及稳定性条件下，对主梁内部构造进行结构优化，通常在空腹式主梁内部添加筋板<sup>[6]</sup>，优化后主梁的前 6 阶模态阵型如图 8 至图 13 所示。

表 1. 桥式起重机主梁的前 6 阶模态频率

阶次	固有频率/Hz	状态描述
----	---------	------

1	0.183	第一阶的水平弯曲摆动
2	2.183	第二阶的水平弯曲摆动
3	6.812	第三阶的水平弯曲摆动
4	9.768	第四阶的水平弯曲摆动
5	10.986	第五阶的水平弯曲摆动
6	11.332	第六阶的水平弯曲摆动

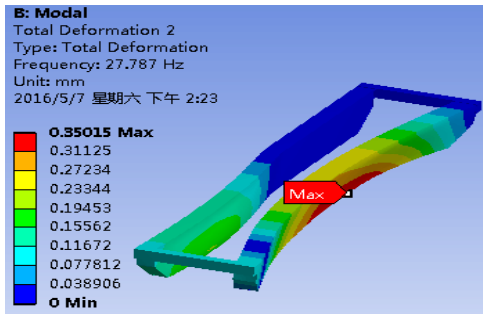


图 8. 结构优化后主梁第一阶模态

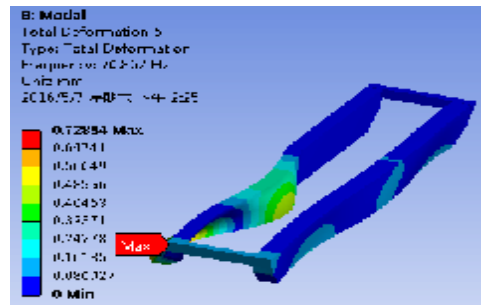


图 12. 结构优化后主梁第五阶模态

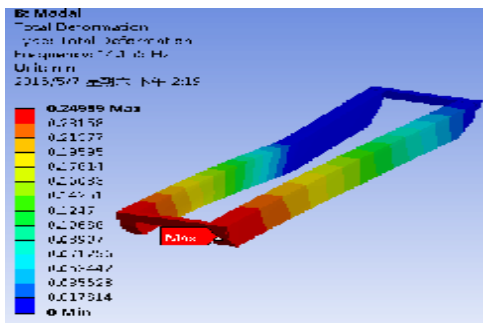


图 9. 结构优化后主梁第二阶模态

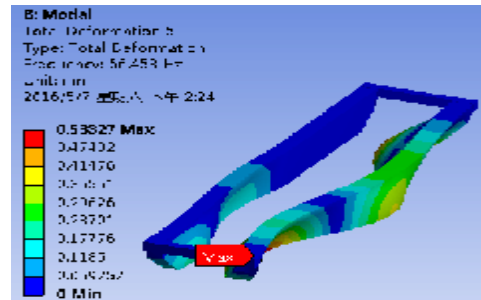


图 13. 结构优化后主梁第六阶模态

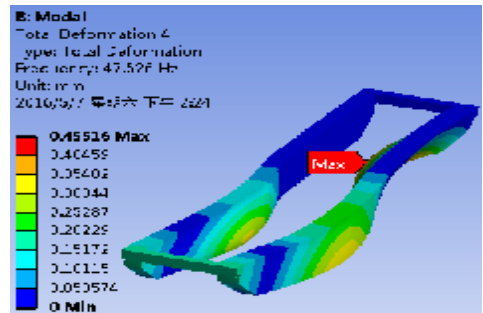


图 10. 结构优化后主梁第三阶模态

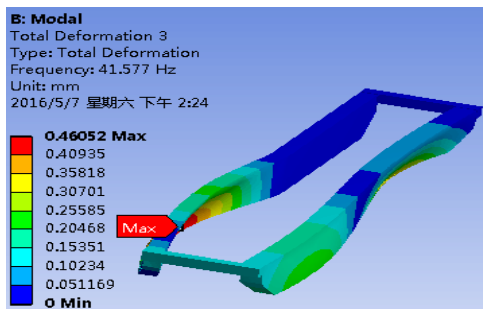


图 11. 结构优化后主梁第四阶模态

通过观察桥式起重机主梁添加筋板后的前 6 阶模态振动及固有频率图，可以得出主梁的固有频率在 14Hz~70Hz 之间，完全避开主梁的激励频率，有效的避免主梁的共振问题。这种为主梁添加筋板的结构优化方法在保证主梁刚度、强度及稳定性条件下，可以有效的解决主梁共振问题，减小最大振动幅度，提高主梁的疲劳寿命和使用寿命。结构优化后的桥式起重机主梁前 6 阶固有频率如表 2 所示。

表 2. 桥式起重机主梁结构优化后前 6 阶模态频率

阶次	固有频率/Hz	状态描述
1	14.155	第一阶的水平弯曲摆动
2	27.787	第二阶的水平扭曲摆动
3	41.577	第三阶的水平扭曲摆动
4	47.626	第四阶的水平弯曲摆动
5	66.453	第五阶的水平扭曲摆动
6	70.862	第六阶的水平扭曲摆动

### 5 结论

本文对桥式起重机主梁，在无筋板和有筋板的情况下，分别进行了固有频率及固有振型的模态分析，得出结论：

(1)桥式起重机主梁的前6阶振型主要表现为弯曲变形和扭曲变形，会导致起重机主梁的安全性系数和稳定性系数下降。

(2)模态分析证明，对主梁添加筋板可有效提高主梁固有频率，使主梁固有频率完全避开干扰频率，有效减小主梁最大振动幅度，提高疲劳寿命。

(3)影响主梁固有频率和固有振型的因素有很多，因此，在主梁设计和制造过程中应该考虑多方面的因素，应用优化设计方法，使桥式起重机主梁的性能指标达到最佳设计效果，为工业生产创造有利因素。

## References (参考文献)

- [1] Bozhou Li, Changsheng Xu. Finite element analysis of 100t Longmen crane structure based on ANSYS[J]. Hoisting and conveying machinery, 2008, 3(2): 26-30.
- [2] Yuqiao Zheng, Chaofan Zhao. Mechanical performance analysis of main girder of Longmen crane based on ANSYS[J]. Mining Machinery, 2010, 9(12): 99-103.
- [3] Shijiao Chen, Lv Xia. Finite element analysis and structural optimization of portal crane based on ANSYS[J]. Construction Machinery, 2011, 8(1): 16-19.
- [4] Long Zhen. Structural optimization of overhead bridge crane bridge[D]. Dalian University of Technology, 2012, 6.
- [5] Haiyan Guo. Finite element analysis and improvement of main beam of bridge type double beam crane[D]. University of Science and Technology Liaoning, 2012, 6.
- [6] Chenzhong He, Handong Liu, Xinhua Wang. Modality analysis of 100t shipbuilding tower crane[J]. Hoisting and conveying machinery, 2012, 7(8): 101-105.