

集装箱门式起重机加高门腿安全性能分析*

江爱华¹ 尤海珍² 何山¹ 陈敏¹ 王新华¹

(1.广州特种机电设备检测研究院, 广东 广州 510180

2.内蒙古自治区特种设备检验研究院包头分院, 内蒙古 包头 014000)

摘要: 为提升货物堆放高度, 将集装箱门式起重机门腿进行加高改造。利用有限元建模对集装箱门式起重机加高门腿在 3 种工况下的结构强度、刚度等安全性能进行分析, 并对结构稳定性进行验算, 为加高改造后的相关设备整体安全性能研究提供一种新思路。

关键词: 集装箱; 门式起重机; 加高门腿; 安全性能

中图分类号: TH213.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)06-0010-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.06.010

0 引言

随着国际航运贸易的发展, 集装箱门式起重机作为港口码头重要的大型搬运机械在物流运输中广泛应用^[1-2]。同时经济的持续发展, 对港口货物吞吐量的要求也越来越高^[3]。当前, 许多港口码头采用增加货物堆放层数来应对货物吞吐量增多的难题, 由原来堆放的五层增加至六层, 甚至七层。老旧门式起重机无法满足新的堆高要求, 需进行加高改造, 即在门式起重机 4 个支腿上安装加高结构, 同时在下横梁安装门腿内侧联系横梁, 达到增加起升高度的目的。

集装箱门式起重机经加高改造后, 需考虑安全性能。其安全性能指标主要包括结构稳定性、强度、刚度等^[4-7]。本文针对一台 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机加高改造后的结构稳定性、强度、刚度进行有限元分析; 采用 SHELL63 单元模拟整机结构件, 同时考虑结构的屈曲与弯矩, 研究其整体安全性能^[8-9]。

1 设备概况

JMQ7t-33m 集装箱门式起重机于 1999 年投产使用, 为满足工作需要, 将 4 条门腿截断, 分别安装高度约为 3.3 m 的分段, 再将主梁安装在门腿上, 从而将门腿高度从 12.2 m 提升到 15.5 m, 模型如图 1 所示。

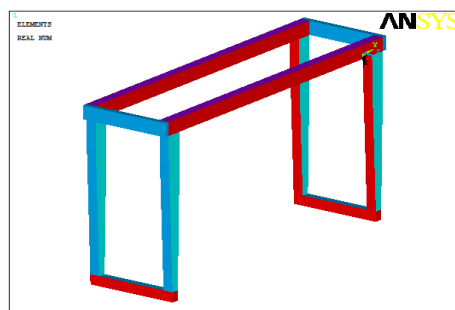


图 1 整机有限元模型

2 主要参数

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机安全性能分析采用的主要参数有: 总体结构自重 $G = 64\,591\text{ kg}$; 小车自重 $G_X = 8\,651\text{ kg}$; 额定载荷 $F = 7\,000\text{ kg}$; 小车制动加速度 $a_X = 0.12\text{ m/s}^2$; 大车制动加速度 $a_D = 0.135\text{ m/s}^2$ 。

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机运行工况包括:

工况 1, 小车额定载荷运行至端梁制动;

工况 2, 小车额定载荷运行至主梁中部制动;

工况 3, 小车额定载荷位于主梁中部, 大车运行制动。

3 有限元建模分析

针对加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起

重机的各工况进行有限元建模, 整机有限元建模由 94 043 个 shell63 单元及其他辅助单元组成, 通过有限元模型分析其位移云图及 von-miss 应力云图, 并对其结构安全性能进行分析。

1) 空载

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机空载位移变形图如图 2 所示, 最大位移为 11.2 mm, 位于主梁中部。

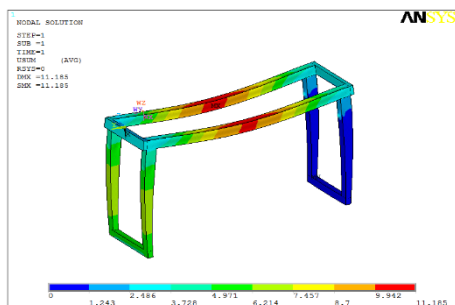


图 2 加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机空载位移变形图

2) 工况 1

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机在工况 1 时的位移云图如图 3 所示, 应力云图如图 4 所示。

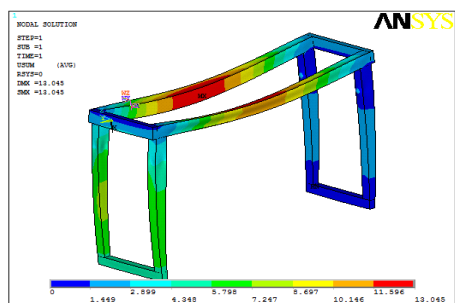
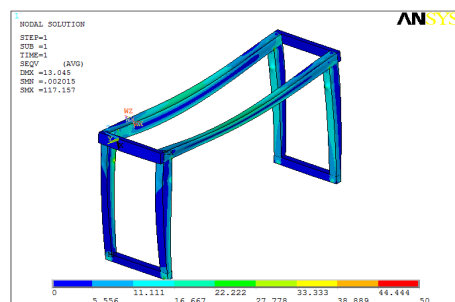


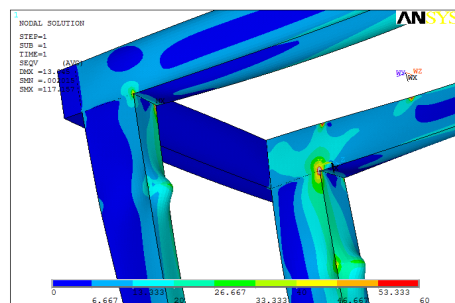
图 3 工况 1 位移云图

由图 3 可知, 加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机最大位移为 13 mm, 位于跨中, 载荷产生的位移为 1.8 mm, 小于标准要求的 33 mm, 此工况下结构刚度满足要求。

由图 4 可知, 最大应力位于门腿内侧, 约 33 MPa。依据 GB/T 3811—2008, 金属结构强度安全系数选用 1.34, 基本许用应力为 175 MPa。此工况下最大应力强度满足要求。



(a) 工况 1 应力云图



(b) 工况 1 应力较大区域

图 4 工况 1 应力云图

3) 工况 2

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机在工况 2 时的位移云图如图 5 所示, 应力云图如图 6 所示。

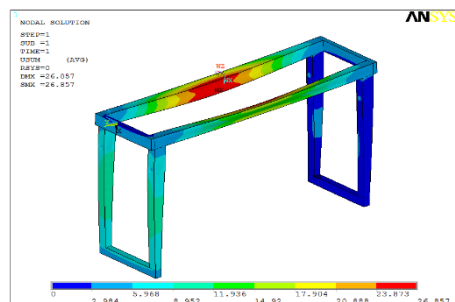
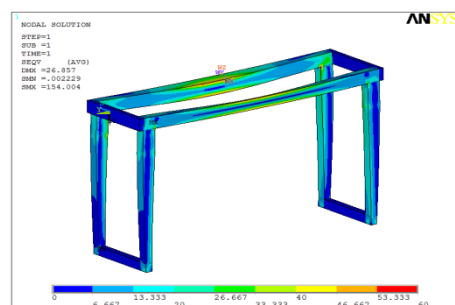
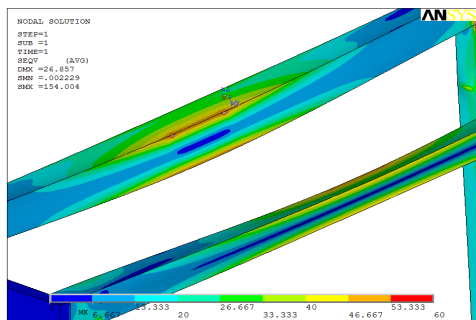


图 5 工况 2 位移云图



(a) 工况 2 应力云图



(b) 工况 2 应力较大区域

图 6 工况 2 应力云图

由图 5 可知，加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机最大位移为 26.8 mm，位于跨中，载荷产生的位移为 15.6 mm，小于标准要求的 33 mm，此工况下结构刚度满足要求。

由图 6 可知，加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机最大应力位于主梁中部，约为 52 MPa。依据 GB/T 3811—2008，金属结构强度安全系数选用 1.34，基本许用应力为 175 MPa。此工况下最大应力强度满足要求。

4) 工况 3

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机在工况 3 时的位移云图如图 7 所示，应力云图如图 8 所示。

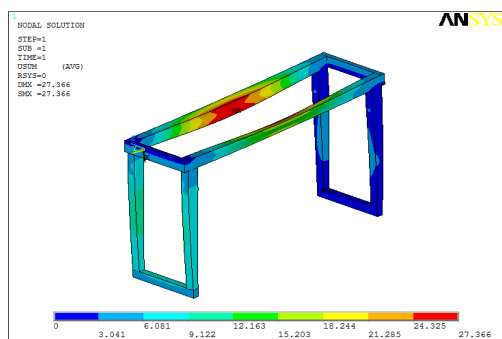
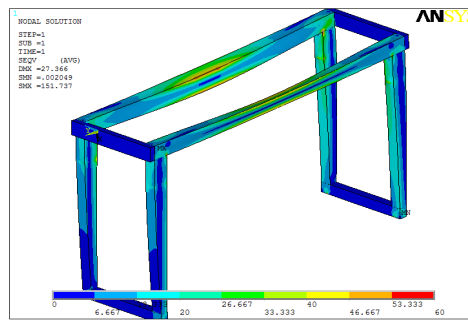
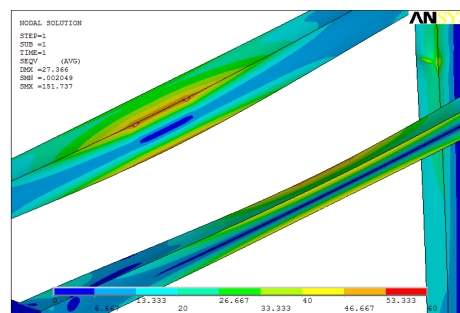


图 7 工况 3 位移云图

由图 7 可知，加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机最大位移为 27.3 mm，位于跨中；载荷产生的位移为 16.1 mm，小于标准要求的 33 mm，此工况下结构刚度满足要求。



(a) 工况 3 应力云图



(b) 工况 3 应力较大区域

图 8 工况 3 应力云图

由图 8 可知，加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机最大应力位于主梁中部，约为 53 Mpa。依据 GB/T 3811—2008，金属结构强度安全系数选用 1.34，基本许用应力为 175 MPa。此工况下最大应力强度满足要求。

4 门腿加高后结构稳定性分析

加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机门腿尺寸与板厚如图 9 所示。

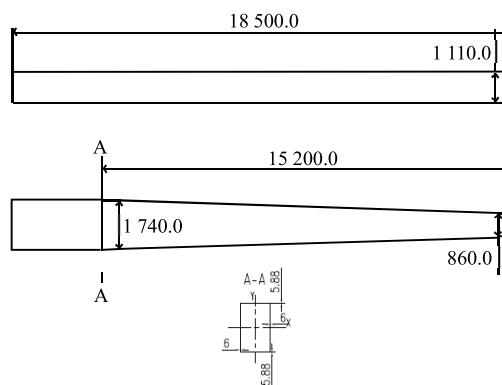


图 9 加高改造后的 JMQ7t-33m 集装箱门式起重机门腿尺寸与板厚图

在工况 3 下, 根据偏心受压实体构件的有关设计要求对门腿结构稳定性进行评估。偏心受压实体构件的稳定性计算采用以下公式:

$$\sigma_{\max 1} = \frac{N}{\varphi_y A}$$

$$\sigma_{\max 2} = \frac{N}{\varphi \varphi_y A} + \xi_x \frac{C_{ox} M_{ox} + C_{Hx} M_{Hx}}{W_x} + \xi_y C_{my} \frac{C_{oy} M_{oy} + C_{Hy} M_{Hy}}{W_y}$$

$$\sigma_{\max 3} = \frac{N}{\varphi \varphi_y A} + \xi_x \frac{C_{ox} M_{ox} + C_{Hx} M_{Hx}}{\varphi_w W_x}$$

$$\sigma_{\max} = \max \{ \sigma_{\max 1}, \sigma_{\max 2}, \sigma_{\max 3} \} \leq [\sigma]_{II}$$

式中, $\sigma_{\max 1}$ 为第一最大主应力; $\sigma_{\max 2}$ 为第二最大主应力; $\sigma_{\max 3}$ 为第三最大主应力; $\sigma_{\max}$ 为最大应力; $N = 2.02e5$ N 为偏心轴向力; $\varphi_y = 0.983$ 为轴心压杆稳定系数; $A = 34\,074$ mm² 为构件最大受压纤维处的截面面积; $\varphi = 1$ 为轴向稳定修正系数; $\xi_x = 1$ 、 $\xi_y = 1$ 分别为轴向力对压杆稳定的影响系数; $C_{my} = 1$ 为绕强轴的端部弯矩对弱端部弯矩的影响系数; $C_{ox} = 1$ 、 $C_{oy} = 1$ 分别为端部弯矩不等的折减系数; $C_{Hx} = 1$ 、 $C_{Hy} = 1$ 分别为横向载荷弯矩系数; M_{ox} 、 M_{oy} 分别为构件端部绕 x 和 y 轴的弯矩; M_{Hx} 、 M_{Hy} 分别为构件横向载荷绕 x 和 y 轴的弯矩; W_x 、 W_y 分别为构件最大受压纤维处截面绕 x 和 y 轴的抗弯模量; $\varphi_w = 1$ 为受弯构件侧向曲屈稳定系数。

$$\lambda_y = \frac{l_y}{r_y} = \frac{l_y}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{0.5 \times 18\,500 \text{ mm}}{\sqrt{\frac{7.8e9 \text{ mm}^4}{34\,074 \text{ mm}^2}}} = 19.33$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{l_x}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{0.5 \times 18\,500 \text{ mm}}{\sqrt{\frac{1.53e10 \text{ mm}^4}{34\,074 \text{ mm}^2}}} = 13.8$$

式中, λ_x 、 λ_y 分别为构件对 x 和 y 轴的长细比; l_x 、 l_y 分别为构件对 x 和 y 轴的计算长度; r_x 、 r_y 分别为构件对 x 和 y 轴的回转半径; I_x 、 I_y 分别为构件对 x 和 y 轴截面的惯性矩。

$$M_{ox} = F_x \times L = 18\,312 \text{ N} \times 18\,500 \text{ mm} = 3.38e8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{oy} = F_y \times L = 3\,400 \text{ N} \times 18\,500 \text{ mm} = 6.29e7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W_x = I_x / y = 15\,322\,758\,544 / 870 = 1.76e7 \text{ mm}^3$$

$$W_y = I_y / x = 7\,885\,561\,451 / 555 = 1.42e7 \text{ mm}^3$$

$$M_{Hx} = F_{x \text{ 横向}} \times L$$

$$M_{Hy} = F_{y \text{ 横向}} \times L$$

由于横向应力 $F_{x \text{ 横向}}$ 和 $F_{y \text{ 横向}}$ 为 0, 因此构件横向载荷绕 x 和 y 轴的弯矩为 0。

则有如下计算:

$$\sigma_{\max 1} = \frac{2.02e5 \text{ N}}{0.983 \times 34\,074 \text{ mm}^2} = 6.03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max 2} = \frac{2.02e5 \text{ N}}{0.983 \times 34\,074 \text{ mm}^2} + \frac{3.38e8 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1.76e7 \text{ mm}^3} + \frac{6.29e7}{1.42e7} = 29.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max 3} = \frac{2.02e5 \text{ N}}{0.983 \times 34\,074 \text{ mm}^2} + \frac{3.38e8 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1.76e7 \text{ mm}^3} = 25.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \max \{ \sigma_{\max 1}, \sigma_{\max 2}, \sigma_{\max 3} \} =$$

$$25.2 \text{ MPa} \leq [\sigma]_{II} = 176 \text{ MPa}$$

经过计算, $\sigma_{\max 1}$ 、 $\sigma_{\max 2}$ 、 $\sigma_{\max 3}$ 、 $\sigma_{\max}$ 分别为 6.03 MPa、29.6 MPa、25.2 MPa、25.2 MPa, 均小于许用应力 176 MPa。加高改造后的 JM7t-33m 集装箱门式起重机门腿结构稳定性符合安全使用技术要求。

5 总结

集装箱门式起重机经过加高改造后,由于运行参数改变,其整体安全性能也相应发生变化。为此,需进行安全性能分析,掌握其安全运行情况,防止引发安全生产事故。而且设备结构参数发生了变化,需获得当前设备安全性能参数。采用传统测试方法较为复杂,且具备一定风险。本文采用有限元获取结构的应力云图和位移云图,直接提取强度和刚度参数进行析,并同时对稳定性进行计算分析,提升了分析精度。

参考文献

- [1] 李涛.轨道式集装箱门式起重机技术特点及设计[J].当代化工研究,2020(22):139-140.
[2] 黄正球,秦昊.基于应力测试的轮胎式集装箱门式起重机安

全评估[J].西部特种设备,2021,4(1):46-49,56.

- [3] 胡胜文,江爱华,何山.轮胎式集装箱门式起重机加高改造动态特性分析[J].自动化与信息工程,2017,38(4):31-34.
[4] 全国起重机械标准化技术委员会.GB/T 3811-2008 起重机设计规范[S].北京:中国标准出版社,2008.
[5] 何山,江爱华.起重机自重应力对安全评估中应力测试实验结果的影响[J].起重运输机械,2020(5):80-82.
[6] 黄国健,刘柏清,王新华,等.在役门座式起重机应力测试技术探讨[J].自动化与信息工程,2011,32(6):29-31.
[7] 张勇,冯中樑,何山.龙门起重机的振动分析[J].自动化与信息工程,2018,39(2):8-12.
[8] 陈敏,黄国健,吴粤平,等.基于有限元的门座起重机结构强度分析及应力测试[J].自动化与信息工程,2013,34(4):31-34.
[9] 何山,黄国健,陈敏.有限元分析在桥式起重机主梁局部稳定性校核中的应用[J].自动化与信息工程,2019,40(6):44-48.

Safety Performance Analysis of Container Gantry Crane Heightening Portal Leg

Jiang Aihua¹ You Haizhen² He Shan¹ Chen Min¹ Wang Xinhua¹

(1.Guangzhou Academy of Special Equipment Inspection & Testing, Guangzhou 510180, China

2.Baotou Branch of Inner Mongolia Special Equipment Inspection and Research Institute, Baotou 014000, China)

Abstract: In order to improve the stacking height of goods, the portal leg of container gantry crane is raised. Using finite element modeling, the structural strength and stiffness of container gantry crane heightening portal leg under three working conditions are analyzed, and the structural stability is checked. It provides a new idea for the research on the overall safety performance of relevant equipment after heightening and transformation.

Key words: container; portal crane; heightening portal leg; safety performance

作者简介:

江爱华,男,1983年生,研究生,高级工程师,主要研究方向:机电类特种设备安全检验检测和结构安全评估。

E-mail: aiwa9104@126.com

尤海珍,女,1978年生,大学本科,高级工程师,主要研究方向:机电类特种设备安全检验检测和结构安全评估。

E-mail: 121430388@qq.com

何山,男,1987年生,研究生,高级工程师,主要研究方向:机电类特种设备安全检验检测和结构安全评估。E-mail:

516315464@qq.com

陈敏,男,1988年生,研究生,高级工程师,主要研究方向:机电类特种设备安全检验检测和结构安全评估。E-mail:

502414769@qq.com

王新华,男,1980年生,博士,教授级高工,主要研究方向:机电类特种设备安全检验检测和结构安全评估工作。

E-mail: exwangxinhua@163.com