

大修列车龙门吊设计及静强度分析

刘铁军¹, 陈新华²

(1. 广州铁路(集团)公司 工务处, 广东 广州 510600;
2. 株洲中车时代电气股份有限公司 轨道工程机械事业部, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 龙门吊是大修列车的重要组成部分。介绍了大修列车龙门吊的主要结构和工作原理以及技术参数, 并通过有限元装配技术对龙门吊进行了静强度分析和模态分析。结果表明, 龙门吊钢结构满足强度和刚度要求。因此, 采用有限装配技术更符合实际情况, 同时为以后同类龙门吊的设计及计算提供了参考。

关键词: 大修列车; 龙门吊; 静强度; 有限元装配

中图分类号: U269.3

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.01.016

Design and Static Strength Analysis of Overhaul Train Gantry Crane

LIU Tiejun¹, CHEN Xinhua²

(1. Maintenance Department, Guangzhou Rail Group Company, Guangzhou, Guangdong 510600, China;

2. Rail Engineering Machinery Business Unit, Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Gantry crane is a key component of overhaul train. The main structure, working principle and technical parameters of overhaul train gantry crane were introduced. Static strength analysis and modal analysis with the finite element assembly technique showed that gantry crane steel structure met the requirements of strength and rigidity. The strength characteristics of overhaul train gantry crane was grasped, which provided a reference for the design and calculation of similar gantry crane.

Keywords: overhaul train; gantry crane; static strength; finite element assembly technique

0 引言

大修列车是专门用于更换铁路钢轨和轨枕的集机、电、液、气于一体的大型养路设备。大修列车主要由作业车、动力车、龙门吊、扣件车、材料车、轨枕车组成, 具有机械换轨、换枕的功能, 作业安全可靠效率高, 施工质量好, 尤其在隧道桥梁施工中优势明显, 对加强轨道结构, 提高轨道质量, 保证线路正常安全运行起着至关重要的作用^[1-2]。

龙门吊作为大修列车的重要组成部分, 作业时沿着轨枕车、扣件车及作业车两侧的走行轨运行, 能进行新旧轨枕以及扣件运输, 并能取放轨枕垫木^[3]。龙门吊结构复杂, 载重大, 为保证作业安全必须具有足够的强度和刚度。

1 龙门吊结构特点及技术参数

龙门吊主要由焊接构架、提升取枕机构、司机室、动力系统和走行装置组成。作业时, 操作员控制龙门吊运行到轨枕车存放轨枕处, 张开轨枕夹钳并操作提升取枕机构落到轨枕上, 并向内合拢夹钳直到夹钳完全夹住所有轨枕, 然后提升平台至锁定位置, 最后通过液压驱动走行来进行运输, 如图1所示。龙门吊主要技术参数见表1。龙门吊钢结构主要包括焊接构架和提升取枕机构2个部分, 结构模型如图2所示。

表1 龙门吊主要技术参数

整备质量	起吊力	燃油箱容积	液压油箱容积	作业速度
20 t	100 kN	550 L	220 L	≤ 18 km/h

1.1 构架

构架是龙门吊的承载装置, 司机室、发动机、燃油箱、液压油箱等设备均安装在构架上。图3为龙门

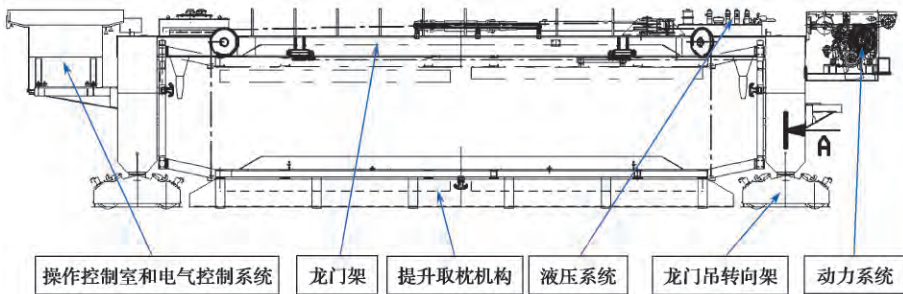


图 1 龙门吊组成示意图

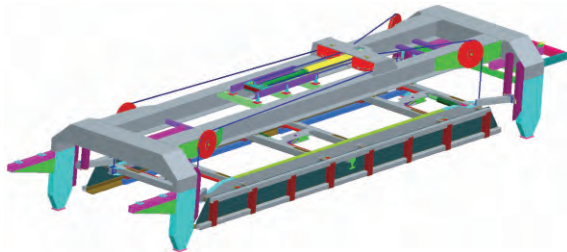


图 2 龙门吊钢结构

吊构架模型，构架上装有 4 个单滑轮、2 个双滑轮以及导向滑槽。油缸通过推动滑槽上的导向滑车来拉动钢丝绳，从而实现提升平台的升降，如图 4 所示。

1.2 提升取枕机构

提升取枕机构由吊架和夹钳 2 个部分组成，夹钳的导向横梁插入吊架空心横梁中，通过开合机构推动夹钳在吊架空心横梁中的运动来实现夹紧或松开轨枕。吊架四角装有导向臂，从而能避免提升平台在升降过程中的晃动。图 5 为吊架模型，图 6 为夹钳模型。

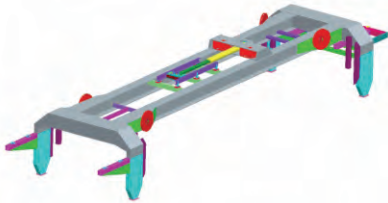


图 3 构架

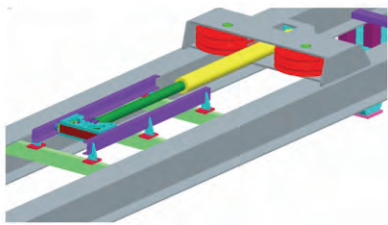


图 4 导向滑车

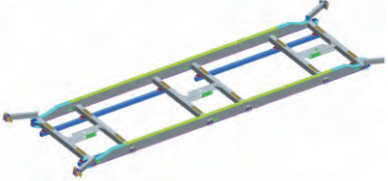


图 5 吊架

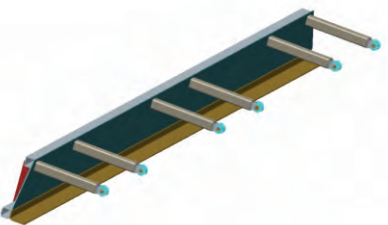


图 6 夹钳

2 有限元模型

采用 HyperMesh 有限元前处理软件对龙门吊的主体结构进行力学建模，并通过大型通用有限元分析软件 ABAQUS 进行计算。图 7 为构架有限元模型，构架

主体基本上是薄壁构件，因此采用四结点平面单元模拟，单元尺寸为 10 mm。燃油箱和液压油箱以均布载荷施加在其支架上。司机室和发动机以质量单元的形式通过 rbe3 单元作用于相应的底座上，载荷施加于 rbe3 单元的从节点上，以加权形式分布于主节点，各主节点之间有相对位移，对结构不会增加局部刚度，避免了加载的应力集中，从而能很好地把司机室和发动机质量合理分布于支座上。

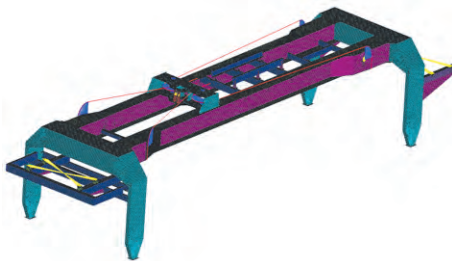


图 7 构架有限元模型

提升平台升降时通过钢丝绳与滑轮对构架进行作用，受力情况复杂。为了更符合实际的受力情况，对构架进行分析时，建立了滑轮与钢丝绳的有限元模型，如图 8 所示。滑轮销轴采用梁单元模拟，由于杆单元只考虑纵向力的作用，不能传递弯矩，从而用杆单元模拟钢丝绳；滑轮的变形以及与钢丝绳的打滑现象在本文中不予考虑，钢丝绳与滑轮相接处的位置采用 rbe2 刚性单元与滑轮销轴相连，释放相对转动的自由度。

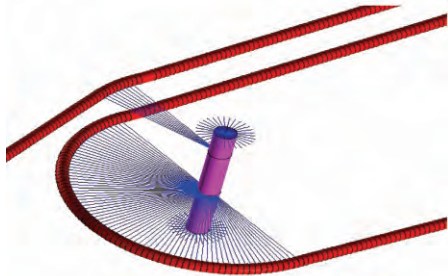


图 8 滑轮有限元模型

提升平台由夹钳和吊架组成，夹钳和吊架相互耦合，如果对夹钳和吊架单独进行分析，会与实际情况不符，所以对夹钳和吊架一起装配进行分析，取加紧轨枕时的位置，夹钳通过接触对和刚性单元与吊架连接，在吊孔处用梁单元模拟吊销，轨枕质量以质量单元形式分布在夹钳下表面，如图 9 所示为提升平台有限元模型。

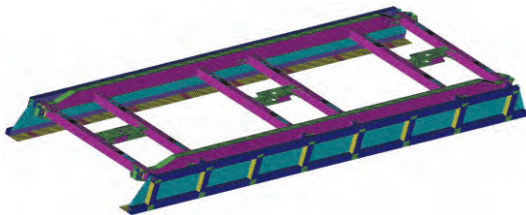


图 9 提升平台有限元模型

3 计算工况及评定标准

根据 GB/T 25337—2010《铁路大型线路机械通用技术条件》、TB/T 1335—1996《铁道车辆强度设计及试验鉴定规范》以及 GB/T 3811—2008《起重机设计规范》的要求,对构架取以下 5 种工况进行分析,对提升平台只进行提升动载工况的分析:

- ①垂直静载工况: 龙门吊自重 + 轨枕重量 (10 t);
- ②提升动载工况: 1.1 × 垂直静载荷;
- ③启停工况: 垂直静载荷 + 水平惯性力 (启动或者制动时惯性力按质量与加速乘积的 1.5 倍来算, 水平加速度取 0.67 m/s²);
- ④运行工况: 垂直静载荷 × φ, φ 为轨道不平顺引起的冲击系数, φ=1.1+0.058V√h, 其中 V 为运行速度, h 为轨道不平顺高低差;
- ⑤碰撞工况: 按最大运行速度碰撞缓冲器来计算碰撞力。

3.1 龙门吊刚度评定标准

根据 GB/T 3811—2008《起重机设计规范》, 龙门吊刚性要求分为静态和动态两方面。静态刚性以结构的静态弹性来表征:

$$f_z/L_2 \leq 1/700$$

(1)

式中: f_z 为主梁中央挠度; L_2 为龙门吊跨距。

动态刚性以满载情况下的最低固有频率来表征, 龙门架满载自振频率应不小于 2 Hz。

3.2 龙门吊强度评定标准

本计算所有应力结果均采用 Von Mises 应力表示, 该应力的计算公式为

$$\sigma_e = \sqrt{0.5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

(2)

式中: σ_e 为当量应力, MPa; σ_i 为主应力 ($i=1, 2, 3$), MPa。

龙门架钢结构材料采用 Q345B, 屈服极限为 345 MPa, 安全系数取 1.5, 所以许用应力为 230 MPa。

4 计算分析结果

4.1 刚度

龙门吊构架在工况 1 的变形云图如图 10 所示, 最大变形量为 2.2 mm, 构架第一阶为扭转振动, 最低固

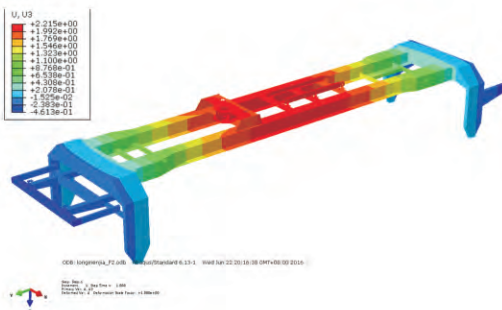


图 10 工况 1 龙门架变形云图

有频率为 1.35 Hz。如图 11 为构架第一阶振型图, 均满足刚度要求。提升平台的变形云图如图 12 所示, 最大变形量为 0.5 mm, 图 13 所示的第一阶振型为夹钳向中夹紧的振动, 最低固有频率为 1.9 Hz, 也满足刚度要求。

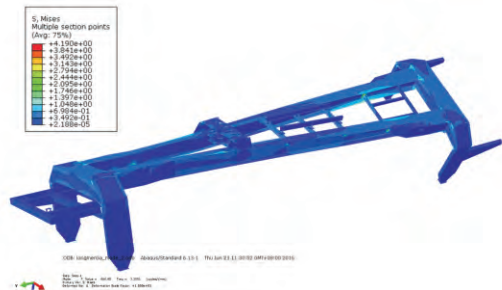


图 11 龙门架一阶振型图

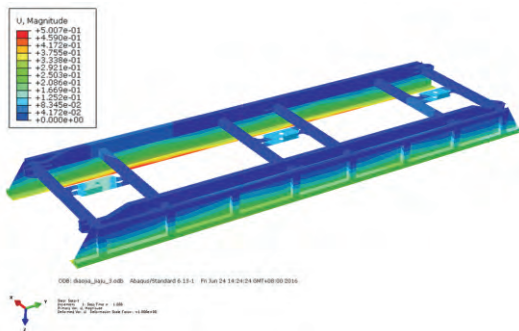


图 12 工况 2 龙门架变形云图

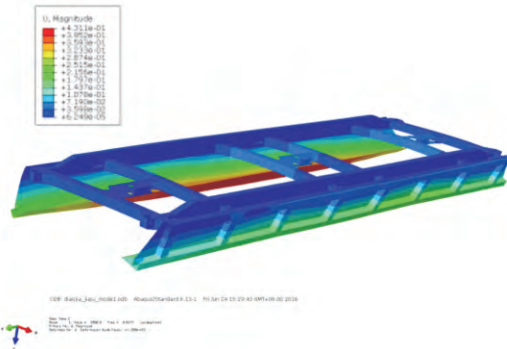


图 13 提升平台一阶振型图

4.2 强度

龙门吊构架的静强度计算结果见表 2。图 14 为龙门吊在工况 1 的应力云图。从计算结果可以看出, 龙门吊构架在设备支架连接处有较高的应力水平, 但均小于许用应力, 满足强度要求。图 15 为提升平台在工况 2 的应力云图, 最大值为 65.8 MPa, 应力水平较低, 满足强度要求。

表 2 龙门吊构架最大应力

工况	最大应力 /MPa	位置
1	169.6	发动机支架与构架横梁连接处
2	186.6	单滑轮与中梁连接处
3	175.5	构架支脚处
4	201.9	发动机支架与构架横梁连接处
5	216.7	司机室支架与构架竖梁连接处

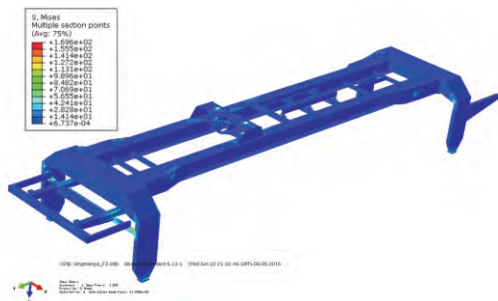


图 14 工况 1 构架应力云图

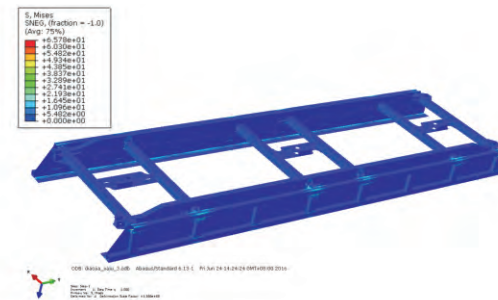


图 15 工况 2 提升平台应力云图

5 结语

采用杆单元和刚性单元对滑轮进行模拟,采用接

触对和刚性单元对提升平台进行有限元装配,对构架和提升平台分别进行了静强度分析和模态分析,同时考虑了结构的静态和动态刚性。分析结果表明,龙门吊钢结构满足强度和刚度要求,现场实践证明采用有限元装配技术的分析结果与实际情况一致。

参考文献:

- [1] 刘金玥. 浅谈大修列车安全作业防护措施与常见故障分析[J]. 科技风, 2014(12): 10.
- [2] 夏春华. P95 大修列车龙门架齿轮箱走行装置的国产化研制[J]. 上海铁道科技, 2014(4): 44-45.
- [3] 范广胜. DXC-500 型大修列车换枕施工技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [4] 谢素明, 杨文平, 高阳. 高速转向架焊接构架性能仿真建模方法[J]. 大连交通大学学报, 2015, 36(1): 29-32.
- [5] 何鹏秋, 孙秦. 一种基于精确刚度分析的刚性连接单元[J]. 航空工程进展, 2017, 8(1): 68-72.

作者简介: 刘铁军(1975-), 男, 高级工程师, 研究方向为铁路工务机械。

4 结语

本文分析了铁路信号继电器的动态特性, 先对采集信号进行频谱分析, 得出采集信号的频率分布范围, 然后设计适当的滤波器去除噪声。采用定步长比较法、步长减半法搜索二次吸合时刻 t_6 , 获得准确的衔铁完全闭合时刻; 从电磁继电器的电磁动作原理上分析了二次吸合的机理; 结合试验数据, 分析了电磁继电器励磁电流的变化过程, 得出了该型继电器二次吸合线圈电流值占电流稳定值的比例为定值这一特征, 使参数计算结果达到设计要求。最后, 叙述了时间参数与继电器的可靠性之间的关系。

参考文献:

- [1] Song Yixu, Hu Jing. A method for data stream processing based on curve fitting [C]. Dalian, China: 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems, 2010: 542-546.
- [2] Ye Xuerong, Ma Yue, Meng Hang. Degradation failure model of electromagnetic relay [C]. Beijing, China: The 26th international conference on electrical contacts, 2012: 116-123.
- [3] 陆俭国, 张乃宽, 李奎. 低压电器的试验与检测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 30-50.
- [4] 徐广瑞. 直流电磁继电器可靠性测试系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.

- [5] 李宏义. 电磁继电器线圈时间常数的检测研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2012.
- [6] 张青森, 陈兴文, 翟国富. 电磁继电器触动时间、超程时间及自由运动时间的测试分析方法[J]. 机电元件, 2003, 23(3): 3-7.
- [7] 杜太行, 刘振海, 耿立辉, 等. 电磁继电器二次吸合电压的研究与测量[J]. 继电器, 2002 (2): 51-53.
- [8] Chen Yu. Research and Design of Multi-channel Programmable Anti-aliasing Filter Circuit [C]. Pasadena, USA: International Joint Conf on Artificial Intelligence, 2009: 845-848.
- [9] Fei Li. Competitive FIFO buffer management for weighted packets [C] //Proceedings of the 7th Annual Communication Networks and Services Research Conf. 2009: 126-132.
- [10] 陆俭国, 王景芹, 陆宾. 电器可靠性工作概况与发展前景[J]. 低压电器, 2014(2): 1-7.
- [11] Yang Zhang, Regan Zane, Aleksandar Prodic. Online calibration of MOSFET on-state resistance for precise current sensing [J]. Power Electronics Letters, IEEE, 2004, 2(3): 100-103.
- [12] Gabriel Eirea, Seth R.Sanders. High Precision Load Current Sensing using On-Line Calibration of Trace Resistance in VRM Applications [C]. Jeju, Korea: The 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2006: 1-6.
- [13] 薄志谦, 张保会, 董新洲, 等. 保护智能化的发展与智能继电器网络[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 1-5.
- [14] 佟为明, 翟国富. 低压电器继电器及其控制系统[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2003: 83.
- [15] 蔡山, 张浩, 陈洪辉. 基于最小二乘法的分段三次曲线拟合方法研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(3): 352-355.

作者简介: 李文华(1973-), 男, 教授, 从事电器可靠性及其检测技术、智能电器及其通信技术的研究。