

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.006

基于 AMESim-ADAMS 联合仿真的高铁救援起重 机支腿系统均载特性研究^{*}

刘 永¹, 刘晓晓², 张雷雷², 赵延治², 于 跃¹, 于跃斌³

(1. 中车齐齐哈尔车辆有限公司 大连研发中心, 辽宁 大连 116052; 2. 燕山大学 机械工程学院, 河北 秦皇岛 066004; 3. 中车齐齐哈尔车辆有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161002)

摘要:针对普通铁路救援起重单支腿承载力过大和支腿系统均载特性差,无法完成高架桥环境下高铁救援任务的问题,提出了一种新型多支腿系统,即在普通起重机4支腿基础上引入4条辅助支腿。同时针对该多支腿系统的结构特点设计出了单排腿主动控制和多支腿主动控制两种主动均载控制方案,在ADAMS和AMESim中分别建立了支腿系统的多体动力学模型和液压与控制系统模型,最后建立了机液耦合仿真环境。通过联合仿真模拟救援起重支腿系统的工作情况,利用仿真结果对比分析了两种均载控制方案对支腿液压系统动态特性的影响。研究表明:多支腿主动控制技术能够有效降低单支腿承载力,明显改善了支腿系统的均载特性,同时仿真结果能够为高铁救援起重支腿系统的设计和优化提供参考。

关键词:铁路起重机;多支撑结构;机液耦合仿真;均载特性

中图分类号:TH21;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)12-1397-05

Load sharing of multi-braced structure of high speed railway wreck crane based on AMESim-ADAMS coupling simulation

LIU Yong¹, LIU Xiao-xiao², ZHANG Lei-lei², ZHAO Yan-zhi², YU Yue¹, YU Yue-bin³

(1. Dalian r&d center of CRRC Qiqihar Vehicle Limited Corporation, Dalian 116052, China;

2. College of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

3. CRRC Qiqihar Vehicle Limited Corporation, Qiqihar 161002, China)

Abstract: Aiming at the problem of ordinary railway wreck crane without the capacity of rescue on the high speed railway because of the heavy load of single leg and the poor load sharing performance, a multi-braced structure of wreck crane -having 4 more legs than usual crane- for high speed railway was proposed. Considering its special structure, two active control strategy-limiting the maximum pressure of all legs and of legs on one side-are designed. Multi-body dynamic models built in ADAMS, hydraulic models and control system models built in AMESim of the multi-braced system cooperate on hydraulic-mechanical coupling simulation. The impact of two active control strategy on dynamic characteristics of the hydraulic system of the multi-braced structure are analyzed and compared under the simulative working condition of Wreck Crane. The results of simulation show that the control strategy-limiting all legs' maximum pressure-is feasible and direct the optimization design of multi-braced structure.

Key words: railway crane; multi-braced structure; hydraulic-mechanical coupling simulation; load sharing

0 引 言

高铁线路桥线比大^[1],救援的关键问题是解决桥

梁、线路承载能力的限制。高铁救援起重机的大部分线路都处在一个独立、封闭的高架桥运行轨道上,由于高铁桥梁承载能力的限制,不仅单个支腿所能够承受

收稿日期:2017-09-29

基金项目:中国铁路总公司科技研究开发计划项目(2013J009-A);中国博士后科学基金资助项目(2016M590212)

作者简介:刘 永(1973-),男,黑龙江拜泉人,硕士研究生,高级工程师,主要从事起重运输机械方面的研究。E-mail: cocool_6@163.com

的最大载荷较地面作业大为降低,此外也对多个支腿间载荷均布的程度提出了较高的要求。原有结构形式的普通铁路救援起重机在高架桥环境下无法完成救援作业。

为此研究人员提出一种新型多支腿系统,在原有起重机 4 支腿支撑的基础上引入 4 条辅助支腿,达到降低单个支腿工作载荷目的。基于 ADAMS-AMESim 联合仿真模型研究了该支腿系统主动控制方案的可行性,以期为实际救援设备的研制提供参考。

国外对铁路救援起重机技术的研究较早,领先性主要表现在安装伸缩式吊臂和平衡重、采用双轴转向架、应用曲线自动调平系统及计算机操作系统等,其中德国的 GOTTWALD 公司和 KIROW 公司处于设计、制造铁路起重机的领先地位,GOTTWALD 公司发明的旋转式伸缩平衡重技术是铁路救援起重机的一重大进步,该公司的产品在瑞士、日本、韩国等市场上占有总要地位^[2]。20 世纪 90 年代,伴随着电气化铁路的快速应用,我国探索出了基于液压控制的伸缩臂型铁路救援起重机,以 NS100、NS160 等为代表,极大地丰富了铁路救援起重机的机型^[3]。

机液耦合联合仿真技术已经在航空航天、重型机械、船舶等众多领域实现了应用。谢地^[4]利用联合仿真技术模拟了 ZL50 装载机的实际工况,为液压系统的节能改造提供了很好的借鉴;陈晓强等人^[5]以采煤机滚筒调高系统为研究对象,利用机液耦合联合仿真技术模拟了其真实工况,验证了其闭环控制方案的可行性及有效性;刘国斌等人^[6]以捣固装置为研究对象,分析了其激振对夹持动作的影响;朱小晶等人^[7]利用机液耦合联合仿真技术模拟了大型液压挖掘机的工作特性,得到了各个工作部件液压缸的位移变化曲线、速度变化曲线及缸内压力变化曲线等;韩寿松等人^[8]以六自由度平台为研究对象,利用机液耦合联合仿真技术模拟了系统动态特性,实现了系统参数的优化设计;王向伟^[9]建立了 200 MN 等温模锻液压机滑块调平机构机械-液压联合仿真模型,并通过多轴耦合控制方法,得到了普通 PID 控制算法在该控制方式下的滑块平行误差;颜雄超等^[10]以调距桨数字液压执行机构为研究对象,利用机液耦合联合仿真技术实现了分布式建模,验证了所建虚拟样机模型。

本研究针对普通铁路救援起重机单支腿承载力过大和支腿系统均载特性差,无法完成高架桥环境下高铁救援任务的问题,提出一种新型多支腿系统,即在普通起重机 4 支腿基础上引入 4 条辅助支腿。

1 高铁救援起重机支腿系统原理

多支腿高铁救援起重机支腿系统结构如图 1 所示。

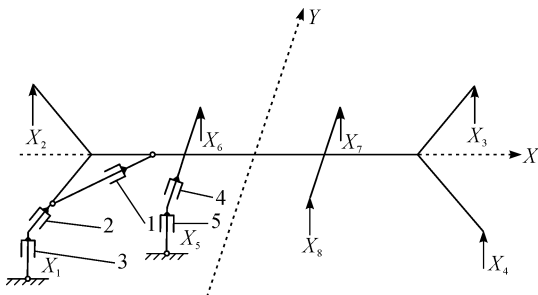


图 1 高铁救援起重机支腿系统结构简图

1—主支腿展开油缸;2—主支腿伸缩油缸;3—主支腿支撑油缸;4—辅助支腿伸缩油缸;5—辅助支腿支撑油缸 X1 ~ X4 表示救援起重机 4 条主支腿,每条主支腿上均布置展开油缸、伸缩油缸和支撑油缸,图中仅以 X1 支腿作为示意;X5 ~ X9 表示 4 条辅助支腿,每条辅助支腿上均布置伸缩油缸和支撑油缸,图中仅以 X5 支腿作为示意,各个支腿上的液压缸通过铰链与支腿相应部分连接。当支腿展开时,液压油通过多路阀等进入液压缸 1 的活塞腔,推动主支腿向外展开;当支腿伸缩时,液压油通过多路阀等进入液压缸 2 的活塞腔,推动主支腿向外伸出;当支腿支撑时,液压油通过多路阀等进入液压缸 3 的活塞腔,推动主支腿支撑油缸到达路面

2 支腿系统联合仿真模型

2.1 机械系统建模

本研究通过 ADAMS 与 Solidworks 软件的数据接口将 CAD 几何模型导入到 ADAMS 软件中。在 Solidworks 软件中进行各个零件的建模,将零件按照三维建模的过程实施装配,最终形成所需要的工作装置机构的三维模型,如图 2 所示。

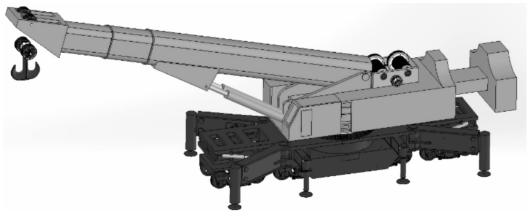


图 2 高铁救援起重机的三维模型

2.2 支腿液压系统 AMESim 建模

高铁救援起重机支腿液压回路^[11-12]主要由支腿液压缸、液控单向阀、电磁球阀、单向节流阀、PSV 比例多路阀、电磁溢流阀、变量泵等组成,在 AMESim 中调用液压库、机械库、信号库中元件建立支腿液压系统的

仿真模型。

2.3 支腿系统联合仿真模型

ADAMS 和 AMESim 的联合仿真过程,是将复杂的 ADAMS 动力学模型和 AMESim 液压系统模型通过接口数据平台有机的联合起来,以实现整个工作装置的机械动力学与液压系统的联合数据交换,能够较准确模拟高铁救援起重机的真实工作环境,提高仿真精确性。联合仿真流程如图 3 所示。

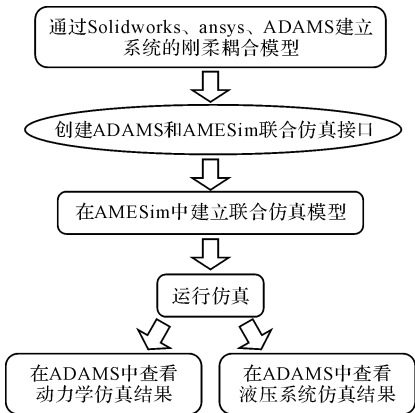


图 3 ADAMS 和 AMESim 联合仿真流程

在 ADAMS 中设置好输入/输出变量、分析类型、求解器类型等即可导出接口文件,在工作目录里生成 3 种文件,其中 .inf 文件包含了进行联合仿真时 AMESim 软件所需要的一些基本信息,如工作路径、文件名、输入输出变量的特征、状态变量数; .adm 和 .cmd 文件是仿真运行时计算方式为批处理和交互式所必须的数据文件,包含了 ADAMS 求解器可读的信息,这些信息在仿真运行时,将输入到其求解器中。

在 AMESim 中导入接口文件,并进行连接,可以得到高铁救援起重机支腿系统的联合仿真模型。

3 支腿系统载荷均布控制

车架刚度及内外侧支腿刚度都会对支腿反力的分配会产生影响。通过调节内侧支腿的最大承压值,使得在臂架吊载旋转过程中,当内侧支腿压力超过初始调定的最大反力限制时,竖直支腿油缸便通过溢流保持恒压而使其最大压力不超过限定值,同时主动调节外侧主支腿受力来达到载荷均布控制的目的。

依照调节主支腿受力形式不同,主要分为单支腿主动控制、单排支腿主动控制和多支腿主动控制。本文主要针对后两种主动控制方式进行研究。控制原理

图如图 4 所示。

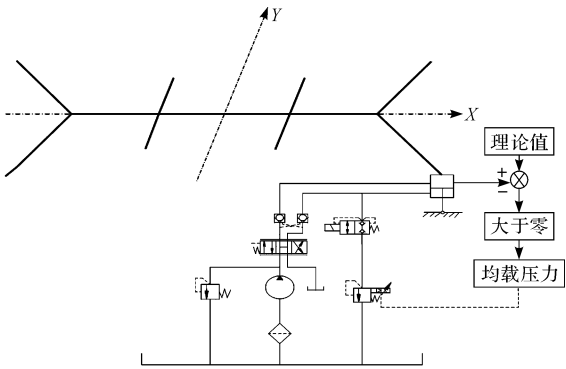


图 4 主动控制原理示意图

3.1 单排腿主动控制仿真

该控制方案原理是对理论分析下产生最大载荷集中的支腿所在一侧所有支腿进行载荷控制。分析仿真结果可知:支腿液压缸伸出后,活塞杆受力有一定程度的震荡,吊臂载重旋转过程中,支腿液压缸受力循环变化,但由于单排支腿主动控制使无杆腔最大压力不超过 250 bar,所以最大为 4.22×10^5 N,最小为 1.91×10^5 N。支腿液压缸位移逐渐增大,达到最大值后位移大小出现轻微震荡然后趋于不变。

3.2 多支腿主动控制仿真

该控制方案原理是对起重机的所有支腿进行载荷控制,使各支腿受力尽可能均衡,保证工作的顺利进行。分析仿真结果可知:活塞杆受力主要由整车重量产生,支腿液压缸伸出后,活塞杆受力也会发生一定程度的震荡,吊臂载重旋转过程中,支腿液压缸受力循环变化,但由于主动控制的原因使无杆腔最大压力不超过250 bar,最大为 4.23×10^5 N,最小为 1.95×10^5 N,最大支腿力在设定阈值附近,其他支腿相应有所增加。

4 仿真结果对比分析

当进行单排支腿主动控制时,以主支腿一和二为调节支腿,分析其共同调节时间内各支腿力变化,在 21 s ~26 s 之间同时限制两只腿最大载荷为 4.21×10^5 N,在限压时间内各支腿力均会出现不同程度的振动,但都在较小范围内,不影响起重机正常作业,该段时间内其余主支腿受力发生一定程度的改变如图 (5 ~8) 所示。

主支腿一相比之前受力减少,最大时刻受力下降 0.32×10^5 N,相比之前降低 6.9%,支腿力平均下降 5.7%,振动偏差最大时为 0.35×10^5 N,占总受力的 7.7%;

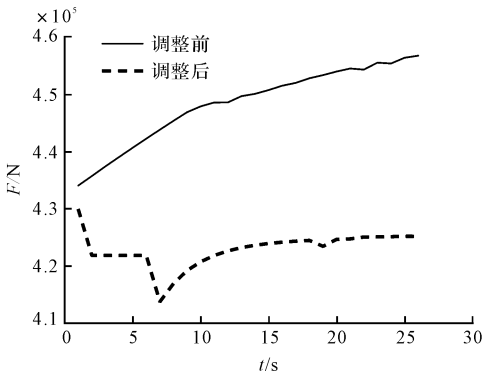


图 5 主支腿一调节前后受力曲线

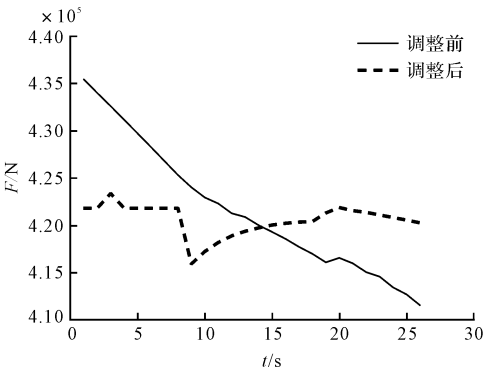


图 6 主支腿二调节前后受力曲线

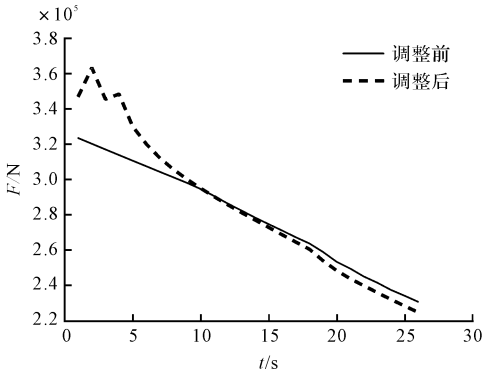


图 7 主支腿三调节前后受力曲线

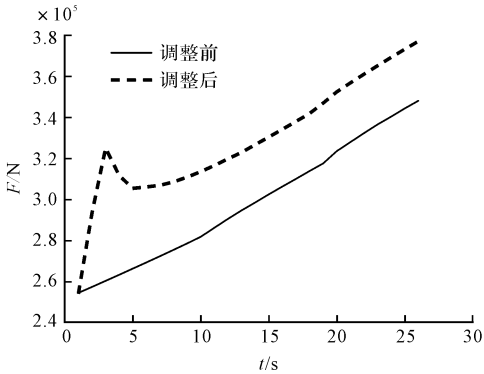


图 8 主支腿四调节前后受力曲线

主支腿二受力先减小然后增大,减小峰值为 0.14×10^5 N, 相比之前下降 7.3%, 增大峰值为 0.09×10^5 N,

相比之前上升 2.1%, 支腿力平均下降 0.2%, 振动偏差最大时为 0.39×10^5 N, 占总受力的 9.5% ;

主支腿三相比之前受力增大,最大时刻受力增大 0.43×10^5 N, 相比之前上升 9.8%, 支腿力平均上升 1.3%, 振动偏差最大时为 0.41×10^5 N, 占总受力的 7.6% ;

主支腿四受力增大,最大时刻受力增加 0.65×10^5 N, 相比之前上升 24.9%, 支腿力平均上升 10.7%, 振动偏差最大时为 0.44×10^5 N, 占总受力的 7.6%。各主支腿力变化如表 1 所示。

表 1 单排支腿调节前后受力增减变化

支腿序号	调节峰值	调节平均值	波动峰值
支腿一	-6.9%	-5.7%	7.7%
支腿二	-7.3%	-0.2%	9.5%
支腿三	9.8%	1.3%	7.6%
支腿四	24.9%	10.7%	7.6%

当进行多支腿主动控制时,本研究同时限制 4 条支腿最大载荷为 4.21×10^5 N, 根据联合仿真可知由救援起重机作业时不可能 3 条或 4 条主动支腿同时达到最大值, 因此当进行多支腿主动调节时相当于单支腿和单排支腿调节的叠加形式, 但由于两种形式的相互影响, 比单纯使用一种更能提高整体的均载性能, 如图 9 所示。

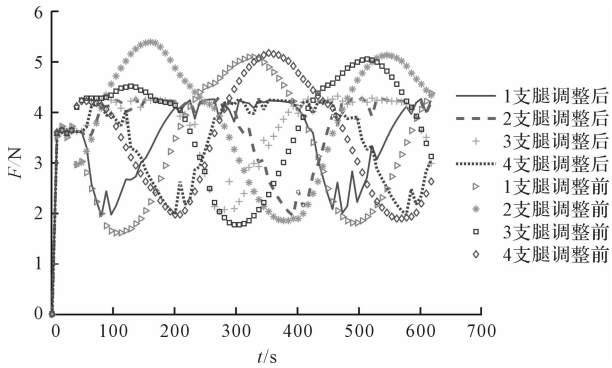


图 9 多支腿主动调节前后主支腿一、二受力变化曲线

4 条主动支腿受力峰值均变平缓,而此时对应的其他支腿受力大大提高,对于实现救援起重机载荷均布效果显著。但同时各支腿力最大偏差有所提高,支腿一振动偏差最大时为 0.65×10^5 N, 占总受力的 32%, 支腿二振动偏差最大时为 0.45×10^5 N, 占总受力的 22%, 支腿三振动偏差最大时为 0.62×10^5 N, 占总受力的 24%, 支腿四振动偏差最大时为 0.54×10^5 N, 占总受力的 25%。

通过以上对比分析可以看出:单排支腿主动控制、多支腿主动控制的均载性依次增强,在很大程度上各支腿能更好地分担整车载荷,但安全性有所下降,其中

多支腿主动控制可以保证任意时间的支腿力都在限定范围内,调节范围也最大,能够最大限度的使各支腿受力均衡,但同时震荡也是最大的,但综合来看多支腿主动控制方案能有效提高载荷均布。

5 结束语

高铁救援起重机在救援过程中,下车车体和支腿主要为弹性变形,因此本研究在 Ansys 软件中建立了车体和支腿的柔性体模型,再经过 Ansys 软件生成柔性体中性文件,导入到 ADAMS 中,建立了轧支腿系统的刚柔耦合多体动力学仿真模型。本研究运用 ADAMS 和 AMESim 软件进行联合仿真,模拟了单排支腿主动控制和多支腿主动控制两种情况下各个支腿的各种参数的变化情况,对比分析了两种控制方案对支腿系统均载性、稳定性的影响。

单排支腿主动控制、多支腿主动控制的均载性依次增强,但安全性有所下降,为了综合两者因素,需要在下一步研究中将可控压力范围内的仿真数据更加细致的划分控制范围,从而为实际的工程应用提供直接参考。

在建立支腿系统刚柔耦合动力学模型时,忽略了一些外界因素的影响,不可能与真实的系统完全一致,有必要通过实验进行数据的采集,更精确地进行建模。后续研究会开发起重机载荷解算、均布控制等交互软件,实现起重机载荷控制的自动化与智能化。

参考文献 (References):

[1] 孟 钢. 沪杭高铁横潦泾大桥快速施工管理实践研究

[D]. 成都:西南交通大学土木工程学院,2015.

[2] EBRAHIMI M, GHAYOUR M, MADANI S M, et al. Swing Angle Estimation for Anti-sway overhead Crane Control Using Load Cell[J]. **International Journal of Control, Automation and Systems**,2011,9(2):300-309.

[3] 刘春明. 基于虚拟样机技术的铁路起重机主动控制仿真[D]. 大连:大连交通大学机械工程学院,2009.

[4] 谢 地. 基于 ADAMS 和 AMESim 的装载机联合仿真[D]. 太原:太原学院机电工程系,2011.

[5] 陈晓强,彭天好,徐二宝,等. 基于 AMESim 和 ADAMS 的采煤机调高系统的联合仿真[J]. 煤矿机械,2012,33(11):40-42.

[6] 刘国斌,龚国芳,闵超庆,等. 捣固装置的激振对夹持动作的影响分析[J]. 工程机械,2010,41(8):37-40.

[7] 朱小晶,权 龙,王新中,等. 大型液压挖掘机工作特性联合仿真研究[J]. 农业机械学报,2011,42(4):27-32.

[8] 韩寿松,晁智强,刘相波. 基于 ADAMS 和 AMESim 的液压六自由度平台联合仿真研究[J]. 机床与液压,2013,41(9):157-159.

[9] 王向伟. 多轴电液同步加载平台设计与仿真技术研究[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2011.

[10] 颜雄超,何志良,张 岩. 基于 AMESim 和 ADAMS 方法的调距桨数字液压执行机构分布式建模[J]. 科技风,2013(15):57-58.

[11] 庞志锋,孔屹刚,李 鹏. 兆瓦级风力机液压变桨执行机构动力学分析[J]. 液压气动与密封,2016(3):11-15.

[12] 胥航军. 基于 AMESim 航空货物剪叉液压升降机控制仿真[J]. 液压气动与密封,2017(5):49-51.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

刘 永,刘晓晓,张雷雷,等. 基于 AMESim-ADAMS 联合仿真的高铁救援起重机支腿系统均载特性研究[J]. 机电工程,2017,34(12):1397-1401.

LIU Yong, LIU Xiao-xiao, ZHANG Lei-lei, et al. Load sharing of multi-braced structure of high speed railway wreck crane based on AMESim-ADAMS coupling simulation[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017,34(12):1397-1401.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>