

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.05.009

旋转钻机回转系统机液联合仿真与试验研究

肖 华¹, 朱建新^{2*}

(1. 广东美的智能机器人有限公司, 广东 佛山 528311; 2. 中南大学
高性能复杂制造国家重点实验室, 湖南 长沙 430012)

摘要: 针对当前旋挖钻机存在的系统工作压力波动过大、启制动压力过高等问题, 以某大型旋挖钻机为研究对象, 在 ADAMS 中建立了大型旋挖钻机的虚拟样机仿真模型, 在 AMEsim 中搭建了旋挖钻机液压回转系统仿真模型。通过分析两个软件数据交换的特点, 搭建了旋挖钻机机液联合仿真模型; 对样机进行了试验, 验证了该仿真模型的正确性。研究结果表明: 所设计的回转缓冲阀能够减小旋挖钻机回转系统进口压力波动、消除憋压抖动、减小制动压力; 该研究结果具有一定的工程应用价值。

关键词: 旋挖钻机; 液压回转系统; 回转动态性能; 回转缓冲阀

中图分类号: TH137; TP391.9; TU67

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2019)05-0496-05

Mechanism-hydraulic co-simulation and experiment on hydraulic slewing system of the rotary drilling rig

XIAO Hua¹, ZHU Jian-xin²

(1. Guangdong Midea Intelligent Robot Co., Ltd., Foshan 528311, China; 2. The State Key Laboratory of High Performance Complicated Manufacturing, Central South University, Changsha 430012, China)

Abstract: Aiming at the problems of excessive fluctuation and excessive starting brake pressure of system in large rotary drilling rigs, a certain rotary drilling rig was used as the research object. A virtual prototype simulation model of large rotary drilling rig was established in the ADAMS, and a simulation model of large rotary drilling rig hydraulic slewing system was built in the AMEsim. By analyzing the characteristics of two software data exchanged, a mechanical-hydraulic co-simulation model of large rotary drilling rig was built, and the correctness of the simulation model was verified by prototype test. The results indicate that the rotary buffer valve can reduce the inlet pressure fluctuation of the rotary system, eliminate the fluctuation of keeping down pressure, reduce excessive brake pressure, and the conclusions have engineering application value.

Key words: rotary drilling rig; hydraulic slewing system; slewing dynamic performance; swing buffer valve

0 引 言

旋挖钻机是桥梁、公路等施工的关键设备, 回转系统作为旋挖钻机比较重要的控制回路之一, 其性能的优劣直接关系到整体的工作稳定性、回转精度及钻孔质量^[1]。

当前国内主流的旋挖钻机制造厂商, 如山河智能、三一重工、中联重科及徐工等生产的大中型旋挖钻机均存在不同程度的失速、憋压抖动, 回转制动冲击过大等问题。以中南大学、浙江大学、吉林大学为代表的主流高校也应用虚拟仿真技术对旋挖钻机系统节能技术、挖掘机回转系统以及起重机回转系统进行了系列

收稿日期: 2018-11-11

作者简介: 肖华(1986-), 男, 贵州凯里人, 硕士研究生, 主要从事工程装备机电液控制及应用、工程机械领域的设计理论、机器人集成与应用方面的研究。E-mail: csu_xiaohua2010@163.com

通信联系人: 朱建新, 男, 研究员, 博士生导师。E-mail: 758528997@qq.com

研究^[2-4],但并未对旋转钻机回转系统的性能提升进行详细的研究。

本研究以某旋挖钻机作为研究对象,建立虚拟样机模型,提出机电液一体化工程机械的仿真建模方法,并采用建模与物理样机实验相结合的方法,设计新型的缓冲平衡阀优化回转系统性能。

1 仿真模型的建立

1.1 机械仿真模型的建立

虚拟仿真样机建模采用两款建模软件实现,采用 SolidWorks 实现旋挖钻机机械结构建模,并设置部件质量属性;采用 Adams 软件对机械设计模型进行处理,利用机械约束,力学数据库,数值分析及求解函数,完成旋挖钻机虚拟仿真模型搭建。

由于 ADAMS 能够很好地实现机械结构的动力学分析,但很难模拟机液联合运动控制分析,本次研究将采用 Amesim 对液压系统进行仿真建模分析,实现对旋挖钻机机液联合虚拟仿真建模。

1.2 液压仿真模型的建立

旋挖钻机液压回转系统主要由变量柱塞泵(负载敏感+压力切断)、主控制阀、缓冲平衡阀、缓冲溢流阀、回转定量马达等关键液压元件组成。

本研究采用 AMESim 对旋挖钻机液压回转系统进行液压仿真建模,如图 1 所示。

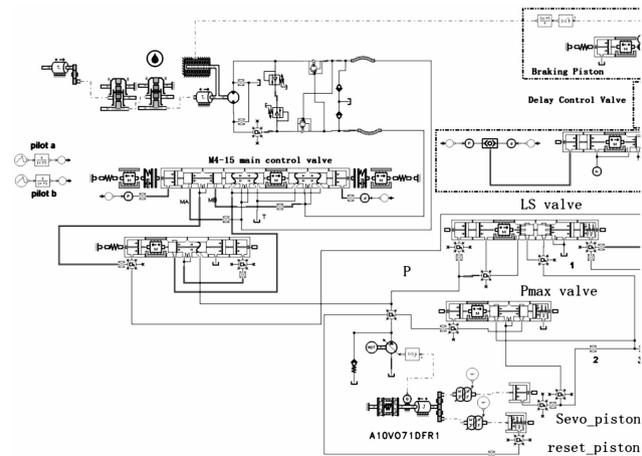
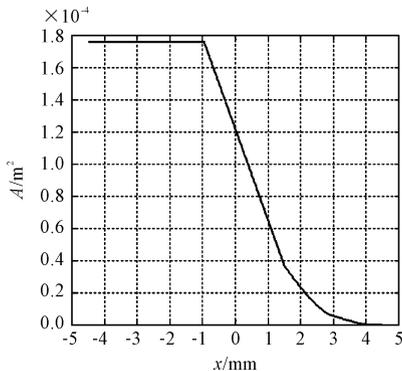


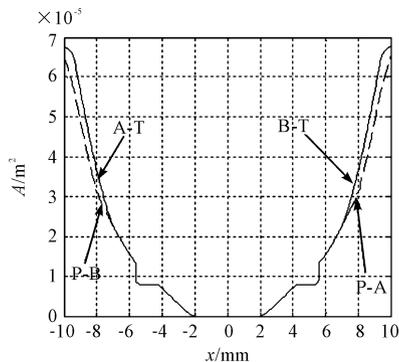
图 1 回转控制系统的 AMESim 仿真模型

图 1 中,除泵体和定量马达外,其余液压元件均根据液压元件实际结构参数搭建,以更好地与实际元件相符合。

仿真模型考虑了主控制阀节流槽过流面积对回转系统的影响,其过流面积曲线如图 2 所示。



(a) 补偿阀节流口过流面积曲线



(b) M4-15主阀过流面积曲线

图 2 液压控制阀节流槽过流面积曲线

由图 2 可知:主阀的节流口由三节节流槽组成,回油口的过流面积要比进油口过流面积大,有利于减小系统背压,提高系统稳定性,防止回转制动回弹^[5]。

1.3 机液联合仿真模型的建立

AMESim 液压仿真平台能够很好地考虑液压元件参数对整个液压系统的影响,但对于旋挖钻机机械负载的加载却不够精确。

因此,为了接近实际的工况,本研究采用 ADAMS 和 AMESim 两个仿真平台实现联合仿真^[6-8],如图 3 所示。

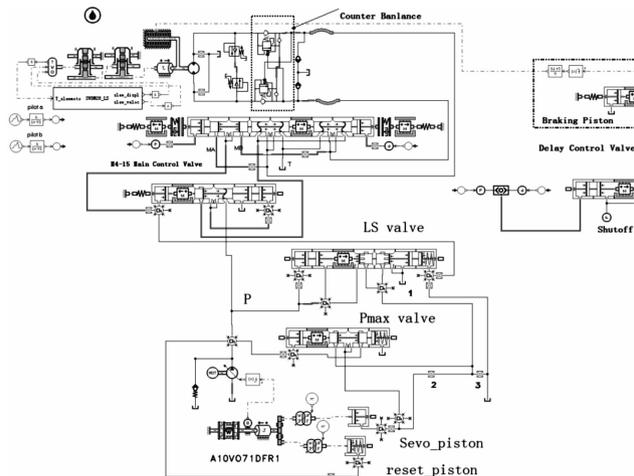


图 3 旋挖钻机的机液联合仿真模型

1.4 仿真与实验对比分析

为方便验证旋挖钻机液压回转系统存在的不足,验证虚拟仿真模型的可靠性与真实性,需利用物理样机实验数据与虚拟仿真数据进行对比。同时,为了确保虚拟仿真结果与实际贴近,虚拟仿真模型主控阀先导压力与实际先导压力保持一致,即将实际先导压力数据直接导入虚拟仿真模型中进

行运算。

实际测试工况为动臂油缸夹角 β 为 0° ,虚拟仿真模型同样设置动臂夹角 β 为 0° ,工况保持一致,数据统一。

在虚拟仿真环境下,本研究利用联合仿真模型,使旋挖钻机上车回转平台回转一圈,得到液压回转马达进、出口压力曲线回转马达流量,及对应选项实验曲线对比,如图4所示。

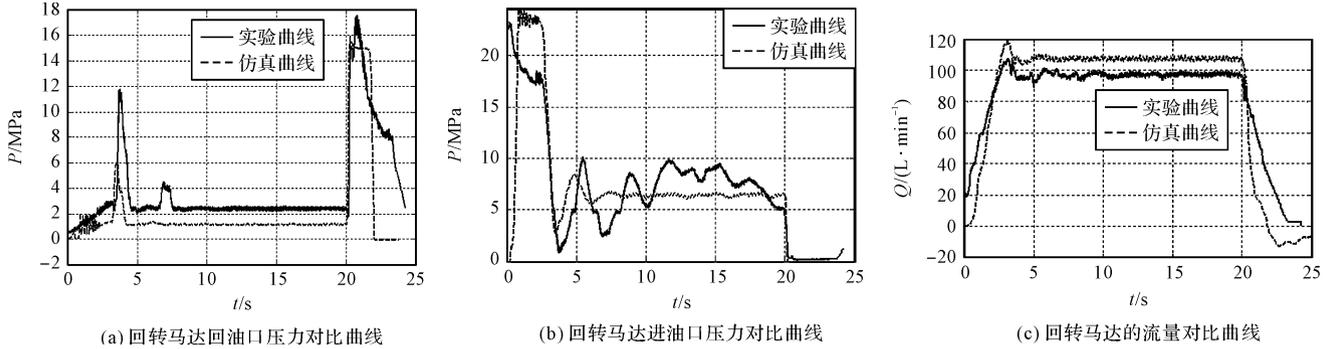


图4 回转系统虚拟仿真和实验测试的对比曲线

由图4可知:虚拟仿真结果与物理样机测试曲线走势一致,证实了所搭建的虚拟仿真模型的正确性。

2 回转系统性能的优化

根据已有的关于优化回转系统波动性的参考文献[9-10]可知:通过优化平衡阀与主控制阀结构参数,只能局部减小回转系统压力冲击,因此,还需对回转系统中的缓冲阀作进一步分析。

本文的旋挖钻机回转液压系统采用一对德国力士乐公司的缓冲阀,且缓冲阀出口均由另一个缓冲阀中的单向阀直接回系统的低压腔。在旋挖钻机进行带载制动时,由于该类缓冲阀回转系统均存在溢流,导致回转马达高低压腔切换,最终使得系统回转压力波动,造成旋挖钻机上车平台抖动及反弹。

利用虚拟仿真模型,本研究分别对缓冲阀出口接油箱或接回转马达低压腔进行仿真分析。其液压原理图如图5所示。

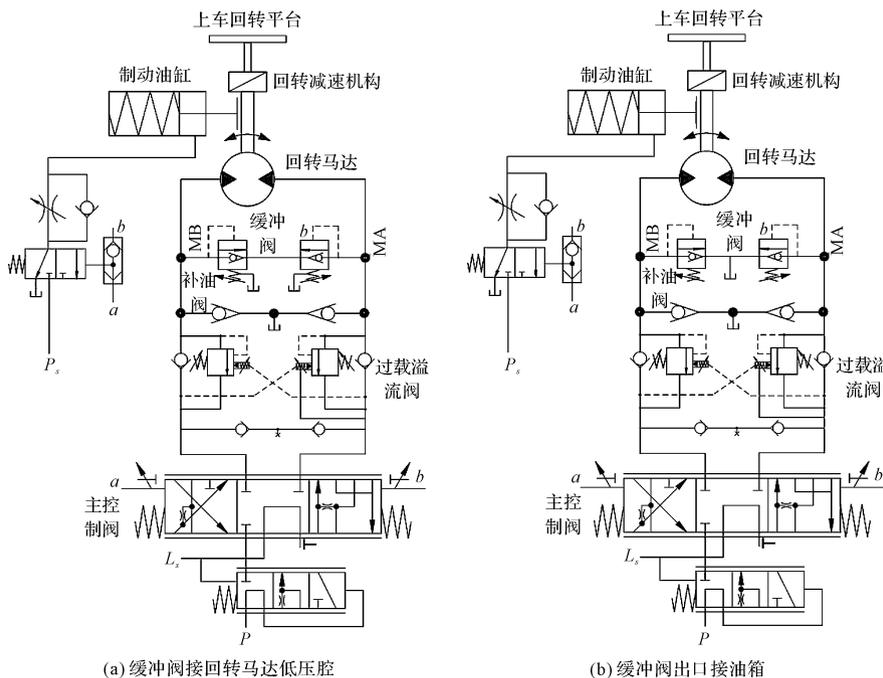


图5 两种不同回油方式下的旋挖钻机液压回转系统原理图

其仿真结果如图6所示。

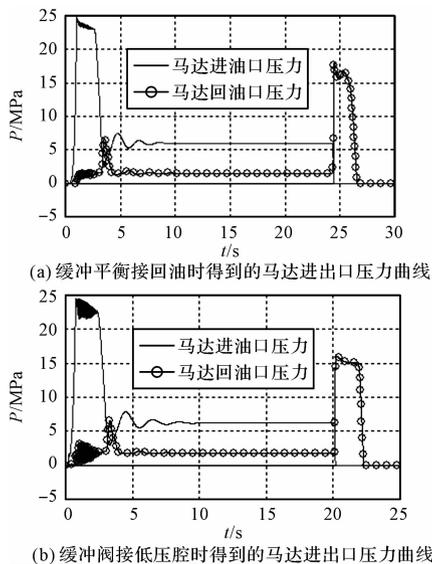


图6 旋挖钻机液压马达的压力曲线

1—马达进油口压力;2—马达回油口压力

图6中:缓冲阀出口接马达低压腔时,液压系统压力波动较大;但接油箱时,制动时流量变化太快,会导致制动负载较大,影响使用寿命^[11-12]。

因两种缓冲阀回流方式均存在优劣,本文重新设计一款专用的回转缓冲阀,即在保留原缓冲阀的溢流功能及整流功能基础上,在回转马达缓冲回路上新增切换阀,切换阀受先导压力控制,以保证回转系统缓冲阀具备大的通流能力,削减回转制动压力峰值;同时使得马达流量损失不至于过大,导致压力波动较大^[13]。

缓冲阀原理图及其 AMESim 仿真模型(仅回转马达部分)如图7所示。

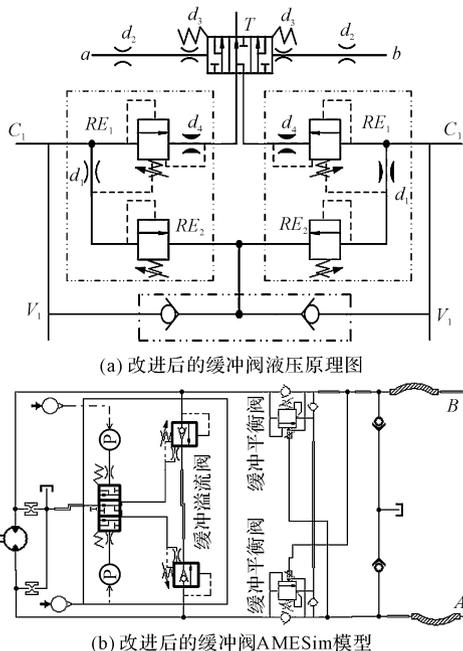


图7 优化后回转缓冲的液压原理图及 AMESim 模型

在原有仿真基础上,本研究重新搭建新的缓冲阀仿真模型,进行系统性的虚拟仿真,得到优化后回转系统的各关键压力、流量曲线,如图8所示。

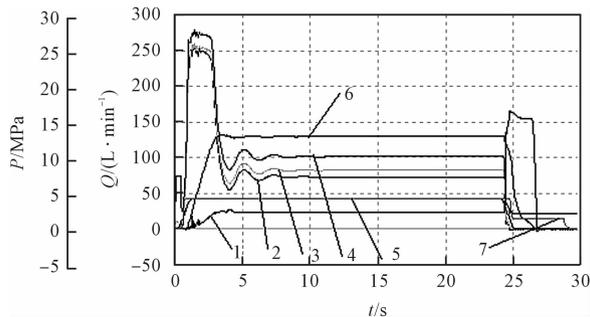


图8 改进后液压回转马达的压力流量特性曲线

1—液压马达回油口压力;2—液压马达进口压力曲线;3—LS压力曲线;4—泵出口的压力曲线;5—回转控制先导压力;6—液压马达的流量曲线;7—制动压力曲线

由图8可知:采用新设计的回转缓冲阀后,旋挖钻机启动时回油压力波动得到明显改善,在旋挖钻机匀速转动时,流量稳定;当钻机进行制动操作时,回油压力峰值被抑制,旋挖钻机上车平台震动较小,回转减速机的使用寿命也将得到有效提高;制动时,流量减小的幅值保持与原系统一样,比直接回油箱的方式变化缓慢。

因此,通过重新设计新的缓冲阀,新回转系统能够有效地优化旋挖钻机启动、制动时的压力冲击,提升旋挖钻机的回转性能及稳定性。

3 结束语

针对当前旋挖钻机回转系统存在的一系列问题,本研究通过以某型号的旋挖钻机作为研究对象,采用虚拟仿真技术与物理样机实验验证相结合的方法,设计了全新的缓冲阀,解决了回转系统存在的问题,并利用虚拟仿真技术验证新方案回转缓冲阀的可行性。

结论如下:

- (1)通过采用虚拟仿真技术对旋挖钻机进行机液联合仿真,可以准确地模拟旋挖钻机实际的回转作业过程,验证了联合仿真结果的正确性;
- (2)通过虚拟仿真技术分析两种不同方式的缓冲溢流阀连接方式的优缺点,提出了缓冲溢流阀的改进结构,提高了旋挖钻机回转系统回转性能;
- (3)应用改进后的缓冲阀,旋挖钻机回转系统能够有效地降低系统的启动制动压力波动,减小马达进口压力波动。

参考文献 (References):

[1] 张启君. 国内外旋挖钻机发展现状与结构特点分析(上

- 篇)[J]. 建设机械技术与管理,2006,16(4):47-52.
- [2] 刘 锋. 中型液压挖掘机回转系统工作性能的研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2011.
- [3] 郭守山. 具有负载敏感特性的旋挖钻机回转定位系统的研究[D]. 长春:吉林大学机械科学与工程学院,2009.
- [4] 刘 剑. 汽车起重机回转控制阀性能优化研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学院,2012.
- [5] 叶鹏飞. 小型液压挖掘机节流控制系统建模与仿真研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2009.
- [6] 刘 静,潘双夏,冯培恩. 基于 ADAMS 的挖掘机液压系统仿真技术[J]. 农业机械学报,2005,36(10):109-112.
- [7] 潘双夏,刘 静,冯培恩. 挖掘机机器人虚拟样机的机电液一体化建模与仿真实现[J],中国工程机械学报,2003,1(1):49-53.
- [8] 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.
- [9] 刘 剑. 汽车起重机回转控制阀性能优化研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2012.
- [10] 谢海波,刘 剑,杨华勇,等. 回转缓冲阀[P]. 中国:CN102515042A,2011-12-20.
- [11] XIE Hai-bo, LIU Jian, YANG Hua-yong, et al. Research into the characteristics of slewing hydraulic system on truck Crane[J]. **Advanced Material Research**, 2011, 317-319(10):2409-2415.
- [12] LIU Xiao-feng, WANG Long-shan, ZHAO Lu, et al. The simulation analysis and experimental research on pressure oscillation of crane hoisting system[J]. **Electrical and Control Engineering**, 2010, 601(10):2432-2435.
- [13] 肖 华. 大型旋挖钻机回转系统性能研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2013.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

肖 华,朱建新. 旋转钻机回转系统机液联合仿真与试验研究[J]. 机电工程,2019,36(5):496-500.

XIAO Hua, ZHU Jian-xin. Mechanism-hydraulic co-simulation and experiment on hydraulic slewing system of the rotary drilling rig[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(5):496-500. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 474 页)

分析以及对机器人进行了误差补偿,最后对标定前后的定位误差值进行了对比分析。

研究表明:多孔标定法能够有效地提高机器人的定位精度,标定前后机器人的运动误差减小了数倍;对该类型的机器人的标定具有很好的指导作用和意义,为该类型机器人的进一步研究和应用奠定了良好的基础。

参考文献 (References):

- [1] 南小海. 6R 型工业机器人标定算法与实验研究[D]. 武汉:华中科技大学机械科学与工程学院,2008.
- [2] 陈 钢,贾庆轩,李 彤,等. 基于误差模型的机器人运动学参数标定方法与实验[J]. 机器人,2012,34(6):680-688.
- [3] 常磊,熊瑞平,唐静莹,等. 同估算法在 6R 机器人运动学逆解上的应用[J]. 机械,2017,44(4):5-9.
- [4] 张文增,陈 强,孙振国,等. 弧焊机器人工件坐标系快速标定方法[J]. 焊接学报,2005,26(7):1-4.
- [5] 崔 颢,吴 林. 遗传算法在冗余度弧焊机器人路径规划中的应用[J]. 机器人,1998,20(5):362-367.
- [6] 张 铁,戴孝亮. 基于距离误差的机器人运动学标定[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2011,39(11):98-103.
- [7] 宋月娥,吴 林. 弧焊机器人工具参数标定[J]. 焊接学报,2011,22(5):1-4.
- [8] 熊 烁,叶伯生,蒋 明. 机器人工具坐标系标定算法研究[J]. 机械与电子,2012(6):60-63.
- [9] DRIELS M R, PATHRE U S. Robot manipulator kinematic compensation using a generalized jacobian formulation[J]. **Journal of Robotic System**, 1987, 4(2):259-280.
- [10] 刘振宇,陈英林. 机器人标定技术研究[J]. 机器人,2002,24(5):447-450.
- [11] 岳翠萍,刘新乐,冯 巍. 机器人压盖机[J]. 包装与食品机械,2017(5):52-54.
- [12] 阎思达,陈 雁,陈文卓,等. 加油机器人运动学研究[J]. 液气气动与密封,2017(10):49-52.
- [13] VEITSCHEGGER W K, WU C H. Robot calibration and compensation[J]. **Journal of IEEE Robotics & Automation**, 1988, 4(6):643-656.
- [14] CHEN IM, YANG G, TAN CT, et al. Local POE model for robot kinematic calibration[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2011, 36(11):1215-1239.
- [15] KAZEROUNIAN K, QIAN GZ. Kinematic calibration of an industrial manipulator[J]. **ASME Journal of Mechanism and Mechine Theory**, 2017, 36(11-12):1215-1239.

[编辑:周昱晨]