

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2014.07.036

## 矿用小型全液压装载机复合工况特性分析

李明, 张翼飞

(西安科技大学机械工程学院, 陕西西安 710054)

**摘要:** 针对自行设计研发的 ZLY06 小型矿用全液压防爆装载机现阶段在实时工况中所出现的问题, 利用联合仿真技术对该装载机边插入边转斗工况进行联合仿真分析, 同时对该装载机在此复合工况下的性能作出评定, 分析结果为该机液压系统的进一步开发奠定基础。

**关键词:** 装载机; 复合工况; 联合仿真; 特性分析

**中图分类号:** TD421.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2014)7-133-4

### Characteristic Analysis of Small-scale Mining Full Hydraulic Wheel Loader in Composite Conditions

LI Ming, ZHANG Yifei

(School of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Aiming at the problems appeared in real conditions at present caused by ZLY06 small-scale mining full hydraulic wheel loader which was designed and developed by ourselves, the characteristics of the loader on composite conditions were analyzed with co-simulation by applying co-simulation technology, at the same time an evaluation for the loader was made. The analysis results provide a reference for the further development of hydraulic system of the loader.

**Keywords:** Wheel loader; Composite conditions; Co-simulation; Characteristics analysis

小型矿用全液压防爆装载机是集成了机械、液压和防爆技术的小型复杂机械系统<sup>[1]</sup>, 主要适用于狭窄的井下通道以及相对低矮的采掘环境, 尤其适用于中小型煤矿、小型矿山的开采, 在我国对煤矿资源需求愈发旺盛的背景下, 开发性能稳定适用于井下工作的小型装载机已经成为迫切需要。

#### 1 在 PRO/E 中建立装载机的三维实体模型后导入 ADAMS 中施加约束

装载机工作装置由铲斗、连杆、动臂、摇臂、车

架、转斗活塞杆、转斗油缸缸筒、举升活塞杆、举升油缸缸筒等构件组成, 在 PRO/E 中将其装配好后导入 ADAMS 中, 施加具体的约束。图 1 为装载机工作机构约束拓扑图, ZLY06 装载机各工作部件之间主要采用销轴进行连接, 因此工作机构之间的连接均以低副形式存在, 对该装载机施加约束时应结合 ADAMS 与 AMESim 联合仿真时的特殊要求, 采用移动副、旋转副、球副、圆柱副、固定副。

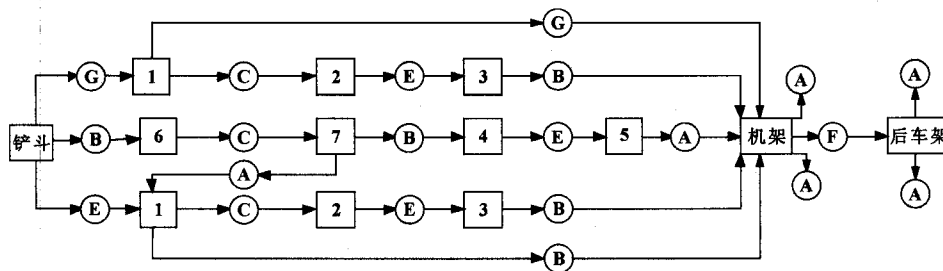


图 1 装载机整机约束拓扑图

收稿日期: 2013-03-13

作者简介: 李明, 硕士研究生, 研究方向为机电液一体化。E-mail: xbgyu@sina.com。

在图 1 中, A、B、C、E、F、G 分别表示转动副、球副、圆柱副、移动副、固定副、无约束状态; 1、2、3、4、5、6、7 分别表示了动臂、举升油缸活塞杆、举升油缸、转斗油缸活塞杆、转斗油缸、连杆、摇臂; 由于该装载机工作机构关于转斗油缸中心平面对称, 因此在约束设置时产生相应的虚约束, 图中给出了无约束铰接点的位置, 通过 ADAMS 进行验证, 该装载机的整机约束中无冗余约束, 约束添加正确, 最终在 ADAMS 环境下建立的 ZLY06 虚拟样机模型如图 2 所示。

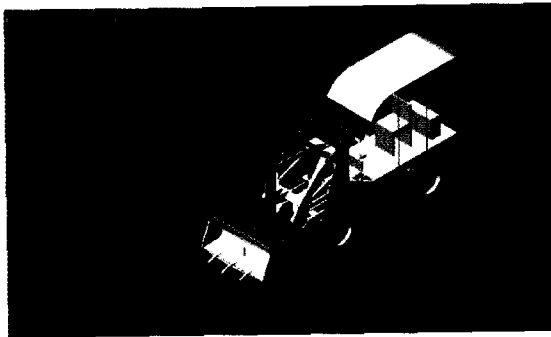


图 2 装载机在 ADAMS 中的虚拟样机模型

### 2 ZLY06 装载机液压系统介绍

该装载机的行走、转向以及铲掘动作全部依靠装载机的液压系统去实现。液压图如图 3 所示。

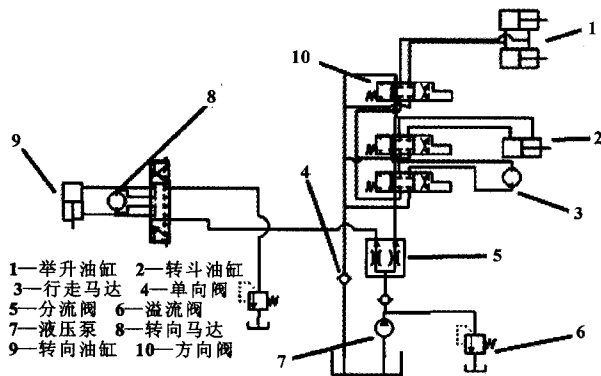


图 3 LY06 装载机液压系统原理图

根据该装载机的液压图, 在 AMESim 草图模式中对该液压系统进行物理建模。由于文中所研究的主要内容是装载机的工作机构及行走机构、液压系统与外负载之间的关系, 因此分流阀和转向系统不属于仿真

的主要范畴, 在最终的联合仿真模型中予以省略。按照 ZLY06 装载机最初的设计意图, 利用比例分流阀将液压泵产生的总流量的 5% 提供给装载机的转向系统, 以保证该装载机能够正常地转向。因此在对装载机 AMESim 模型中液压泵参数进行设置时应为实际液压泵流量的 95%, 其余液压软件的参数均保持原来不变, 将装载机的转向部分的液压系统从整体模型中分离出来, 这样便可以大大减少了仿真时模型的复杂程度, 最终装载机液压系统在 AMESim 中的模型如图 4 所示。

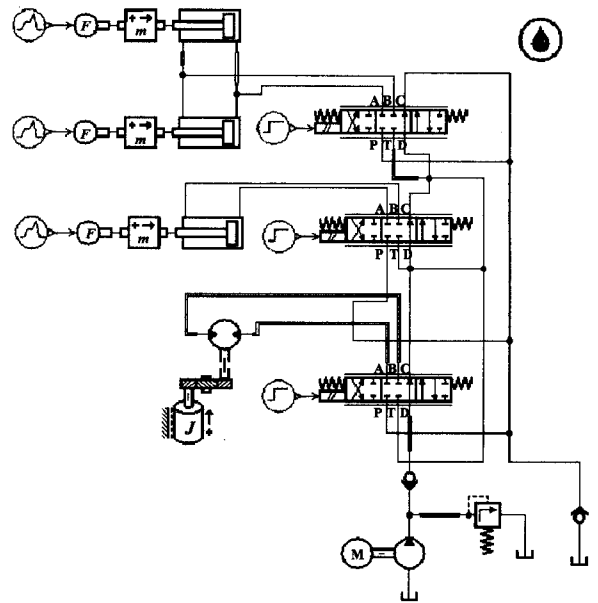


图 4 ZLY06 装载机行走机构以及工作机构模型

### 3 ZLY06 装载机联合仿真模型的建立

AMESim 与 ADAMS 的联合仿真, 实质上是将复杂的机械系统的运动学、动力学模型与液压系统模型通过它们之间所建立的数据接口有机地串连在一起。在仿真过程中, 通过两者的接口将仿真所产生的数据互相交换, 这样便可以有效地实现对整个机械系统的动态过程分析, 真实地模拟装载机的实际工作情况, 根据交互分析产生的结果来评价设备的性能, 使得仿真的整个过程更加接近真实的情况。在这个过程中, AMESim 为主控软件, ADAMS 向 AMESim 中输入力和位移, AMESim 输出力、轮胎扭矩及轮胎加速度, 边插入边铲斗的联合仿真模型如图 5 所示。

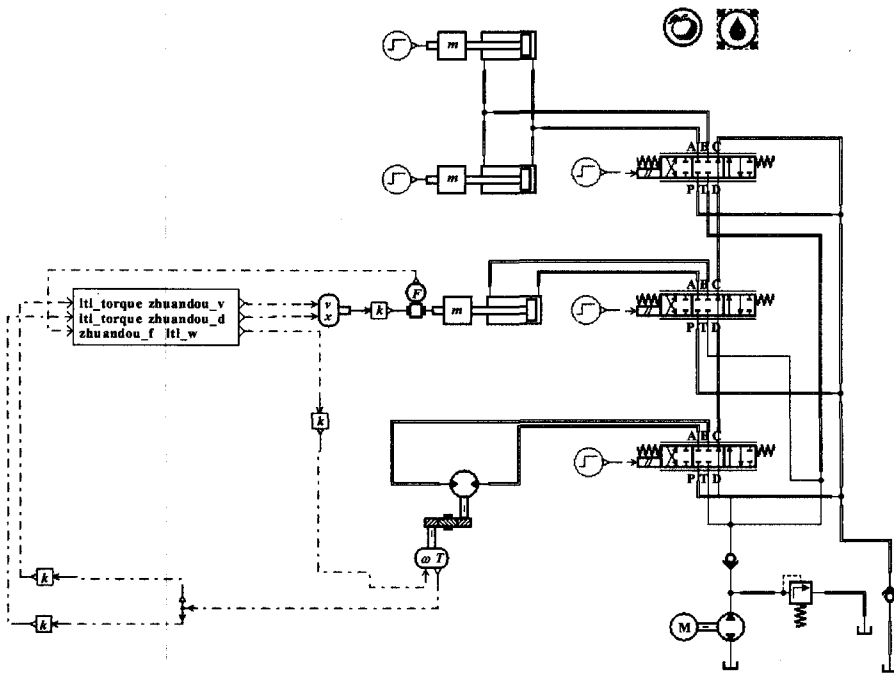


图5 ZLY06装载机行走机构以及工作机构联合仿真模型

#### 4 边插入边转斗工况特性分析

装载机边插入边铲斗综合了两个工况，此时控制液压马达的换向阀与控制转斗油缸的换向阀同时开启完成该复合工况。装载机主要克服路面对轮胎的阻力、物料对装载机的插入阻力、物料对铲斗的剪切阻力以及物料对铲斗的翻转力矩。

当装载机执行插入动作时，料堆所产生的阻力通过铲斗作用于装载机的车身，在插入过程中装载机的插入阻力随着铲斗插入深度的增加而增加，插入阻力作用于距离铲斗斗齿中心处，且距离中心齿外延约100 mm处<sup>[2]</sup>。文中利用STEP函数模拟插入阻力，具体如式(1)所示：

$$\text{STEP}(\text{DX}(\text{MARKER}_{105}), 0, 0, 125, 9\ 500) + \text{STEP}(\text{DX}(\text{MARKER}_{105}), 125, 9\ 500, 500, 9\ 500) \quad (1)$$

式中：DX( )为ADAMS中的测量X轴的位移函数；

MAKER<sub>105</sub>表示插入阻力作用于铲斗斗尖处的作用点；

0~500 mm表示铲斗的插入料堆的距离。

该式可以描述为当铲斗斗尖的插入距离为0~125 mm时插入阻力增至9 500 N；插入距离为125~375 mm时，插入阻力稳定在最大值；当插入距离大于375 mm时，插入阻力下降。

铲起阻力通过查阅文献[2]得其大小为8 532 N，作用于距离铲斗斗齿中心处，且距离中心齿外延约100 mm。具体如式(2)：

$$\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 3, 8\ 532) \quad (2)$$

转斗过程中还受到铲斗翻转所产生的阻力矩作用，当装载机准备执行收斗动作，此时装入铲斗内的物料的接触面积与斗底最大，随着收斗动作的完成，铲斗的翻转阻力矩也逐渐减小，最后离开料堆时候为0<sup>[3]</sup>，最大翻转力矩的计算公式由文献[4]查得，如式(3)所示：

$$M = 1.1F_x[0.4(x - \frac{1}{3}l_p)] \quad (3)$$

式中： $F_x$ 为转斗动作开始时候的插入阻力；

$x$ 为铲斗的转动轴与铲斗斗刃的距离，mm；

$l_p$ 为铲斗的铲掘深度。

计算得到铲斗的最大翻转力矩为12 000 N·m，最大翻转力矩作用于铲斗旋转轴，函数模拟为：

$$\text{STEP}(\text{time}, 12\ 000, 0, 3, 0) \quad (4)$$

#### 5 结论

装载机所采用的液压油为46#高磨抗压油，当温度为40℃时，其密度为880 kg/m<sup>3</sup>，油液运动黏度为50 mm<sup>2</sup>/s，体积模量为1 700 MPa；举升油缸活塞直径×活塞杆直径×行程为φ63 mm×φ45 mm×750 mm；转斗油缸活塞直径×活塞杆直径×行程为φ63 mm×φ45 mm×750 mm；液压泵工作排量32 mL/r×95%，额定转速为2 200 r/min；液压马达工作排量45 mL/r，额定压力10 MPa，额定转速为1 800 r/min；液压系统溢流阀卸荷压力为15 MPa；换向阀额定流量为100 L/min，压降为1 MPa；液压油管直径φ18

mm, 厚度为 2.5 mm。

仿真时间取 1.2 s, ADAMS 步长取 0.1, AMESim 仿真步长取 0.01, 发动机转速 1 200 r/min, 液压系统工作装置各参数特性曲线如图 6 所示。

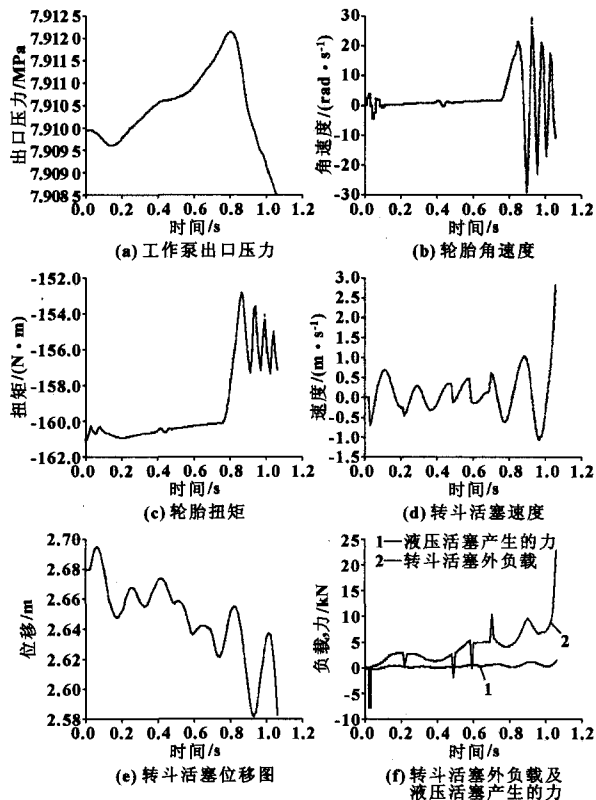


图 6 液压系统工作装置各参数特性曲线

由仿真结果可知, 当装载机在液压马达输出到轮胎的扭矩作用下开始插入料堆, 此时轮胎角速度逐

渐增大到约为 3 rad/s, 如图 6 (b) 所示, 装载机开始正常插入料堆; 在插入料堆一段距离后, 装载机的铲掘阻力以及翻转阻力矩逐渐增大, 在刚开始时, 由于铲掘阻力的作用, 如图 6 (d) 所示, 转斗活塞速度为负表面活塞被拉出, 图 6 (e) 表示活塞被拉出约 10 mm, 如图 6 (f) 所示, 力的大小约为 7 800 N, 之后装载机转斗活塞在插入阻力和铲掘阻力的作用下受到的合力逐渐增加, 如图 6 (f) 中曲线 2 所示, 而由于转斗油缸有杆腔与无杆腔的压差一直稳定在 0.04 MPa 左右, 由有杆腔和无杆腔产生的驱动力曲线为图 6 (f) 中曲线 1 所示, 驱动力大小约为 4 000 N, 无法克服转斗活塞所受到的外负载力, 因此转斗活塞速度一直在波动。从图 6 的仿真结果可以看出: 当该装载机在执行边插入边转斗工况时由于外负载力一直在增大, 而油缸有杆腔和无杆腔的压力却维持在恒定值, 因此该装载机发动机在 1 200 r/min 时, 驾驶员必须将外负载力控制在 6 000 N 以下, 而执行此工况时该装载机表现为驱动力不足, 与实际情况相符。

#### 参考文献:

(上接第 102 页)

机构的致动器, 分析了涡流损耗下的 GMM 棒磁场、应变。建立了平面磁场有限元模型, 优化了磁场的取样方法, 更能从物理意义上刻画平均磁场; 得到了棒和筒料的磁场分布和伸长量变化。仿真结果对器件的结构设计、工作状态选择有重要指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 卢全国, 陈定方, 魏国前, 等. GMM 的发展现状及其在精密致动器件中的应用[J]. 湖北工业大学学报, 2006, 21(3): 92-94.
- [2] 朱玉川, 马大为, 乐贵高, 等. 超磁致伸缩材料在流体控制阀中的应用与展望[J]. 液压与气动, 2004(5): 49-51.
- [3] 李扩社, 徐静, 杨红川, 等. 稀土超磁致伸缩材料发展概况[J]. 稀土, 2004, 25(4): 51-56.
- [4] 丁凡, 姚健娣, 笄靖, 等. 高速开关阀的研究现状[J]. 中国工程机械学报, 2011, 9(3): 351-357.
- [5] 肖俊东, 王占林. 新型超磁致伸缩电液高速开关阀及其驱动控制技术研究[J]. 机床与液压, 2006(1): 80-83.
- [6] 辛伟, 丁克勤, 黄冬林, 等. 基于 ANSYS 的脉冲涡流激励参数选取的仿真分析[J]. 机械工程与自动化, 2010(2): 58-59.
- [7] 蔡家利, 刘壮, 张仲超. 电磁铁涡流制动分析与设计[J]. 机电工程, 2007, 24(8): 84-86.
- [8] 李要, 龙士国, 涂林, 等. 超磁致伸缩换能器磁棒磁场及应变的数值仿真[J]. 计算机仿真, 2005, 28(5): 275-278.
- [9] 李跃松, 朱玉川, 吴洪涛, 等. 射流伺服阀用超磁致伸缩执行器磁场建模与分析[J]. 兵工学报, 2010, 31(12): 1587-1592.
- [10] 王博文, 曹淑瑛, 黄文美. 磁致伸缩材料与器件[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [11] 张德丰. MATLAB 数值计算方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.