

滑移装载机铲斗自动调平性能仿真与优化

尹文军, 翟海燕, 薛 源

(江苏汇智高端工程机械创新中心有限公司, 江苏 徐州 221001)

摘要: 针对滑移装载机举升铲斗调平问题, 设计了滑移装载机铲斗自动调平系统。基于 AMESim 建立分流阀、顺序阀和调平系统总体仿真模型, 仿真分析了分流阀分流特性、顺序阀卸荷情况和初始状态下的举升调平性能, 并基于遗传算法对动臂小腔油液回 T 阻尼、进铲斗大腔阻尼和铲斗小腔油液回 T 阻尼通径进行了参数优化。结果表明: 初始状态下举升调平性能较差, 动臂和铲斗速度比为 2.4; 优化后铲斗自动调平性能得到提高, 动臂和铲斗速度比调整为 2.1, 优化后的铲斗倾角范围为 -2° — 3° 。

关键词: 滑移装载机; 自动调平; 分流特性; 遗传算法

中图分类号: TH137

文献标志码: A

文章编号: 2096-7772-(2024)05-0001-06

0 引言

滑移装载机铲斗举升调平性能的好坏决定了装载机的工作效率。较于机械调平和电控调平, 液压调平具有成本低、可靠性高等优点, 广泛应用于滑移装载机铲斗自动调平系统中^[1-3]。

关于调平技术的研究多数集中在基于智能算法的电液闭环铲斗调平技术上^[4-5], 较少学者开展了液压调平技术研究: 杜阳^[6]采用 Y 型调平阀解决了满载举升铲斗抖动问题, 优化了铲斗油缸回油阻尼孔通径; 陈晋市等^[7]通过增大固定节流孔和可调节节流孔直径提高了系统的动态性能, 并建立了稳定性较好的调平系统仿真模型。

为提高滑移装载机铲斗举升调平性能, 本文设计了一种滑移装载机铲斗举升自动调平液压系统, 以提升铲斗举升自动调平性能。

1 滑移装载机铲斗自动调平液压系统原理

滑移装载机铲斗举升调平示意图如图 1 所示, 在举升过程中, 主要通过调平液压系统, 调整动臂与铲斗流量的分配比和速度比, 实现铲斗举升调平。滑移装载机铲斗举升调平液压系统如图 2 所示。该系

统主要由动臂油缸、铲斗油缸、分流阀、顺序阀组成, 铲斗举升调平是动臂举升和铲斗外摆的复合动作, 主要将动臂举升的回油流量进行合理分配, 进行实现铲斗的自动调平。



图 1 滑移装载机铲斗举升调平示意图

其工作原理为: 举升调平时, 动臂联换向阀 2-2 处于左位状态, 铲斗联换向阀 2-4 处于中立, 主泵给动臂油缸大腔供油, 动臂油缸小腔连接调平阀 3 的 B 口, 动臂小腔回油经过分流阀 3-4, 一部分油液通过分流阀 A 口, 再经动臂联换向阀 2-2 流回油箱; 剩余油液通过铲斗进油单向阀 3-5 进入铲斗油缸大腔, 同时打开铲斗小腔回油路上的顺序阀使其小腔回油,

收稿日期: 2024-06-23

基金项目: 国家重点研发计划项目 (ZBB2022001)

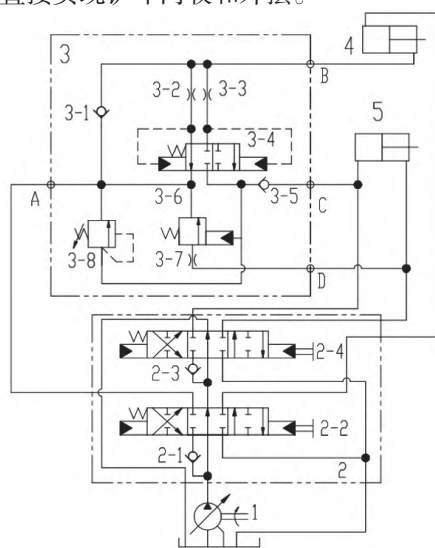
第一作者简介: 尹文军 (1990—), 男, 山西朔州人, 工程师, 硕士, 主要从事液压阀核心零部件设计研究。

如此铲斗跟随动臂举升实现外摆复合动作,进而实现动臂举升铲斗自动调平。

动臂举升铲斗自动调平功能并不影响动臂下降、铲斗外摆及铲斗内收单动作。

动臂下降时,动臂联换向阀 2-2 处于右位,主泵油液经下降单向阀 3-1 进入动臂小腔,并到达分流阀,由于油液从 A 向 B 流动,分流阀并不进行分流,动臂大腔经过动臂联换向阀直接回油,故动臂下降不影响铲斗动作。

由于铲斗进油单向阀 3-5 和顺序阀 3-6 作用,铲斗油缸大腔和小腔独立于调平阀,铲斗联换向阀左右切换直接实现铲斗内收和外摆。



1—泵源; 2—多路阀; 2-1—动臂联换向阀; 2-2—动臂联换向阀; 2-3—铲斗联换向阀; 2-4—铲斗联换向阀; 3—调平阀; 3-1—下降单向阀; 3-2—回 T 阻尼; 3-3—铲斗进油阻尼; 3-4—分流阀; 3-5—铲斗进油单向阀; 3-6—顺序阀; 3-7—铲斗回油阻尼; 3-8—铲斗外摆安全阀; 4—动臂油缸; 5—铲斗油缸

图2 滑移装载机铲斗自动调平液压系统原理图

2 滑移装载机铲斗举升自动调平液压系统仿真建模

2.1 分流阀建模

根据调平阀分流原理,基于 AMESim 搭建分流阀仿真模型,如图3所示。

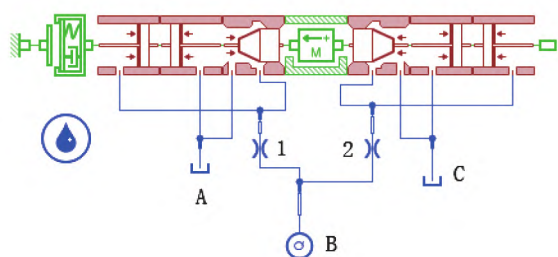


图3 分流阀仿真模型

分流阀仿真参数见表1所示。

表1 分流阀仿真参数

参数	数值
分流阀阀芯直径/mm	20
分流阀阀芯质量/kg	0.02
分流阀弹簧刚度/N/mm	12
分流阀弹簧预压缩量/mm	15
分流阀阀芯行程/mm	8
分流阀锥角/°	10
回 T 阻尼通径/mm	4
铲斗进油阻尼通径/mm	4
B 口流量/L/min	100

设置 B 口流量 10 s 内增至 100 L/min, 仿真得到 A 口和 C 口分流曲线如图4所示。

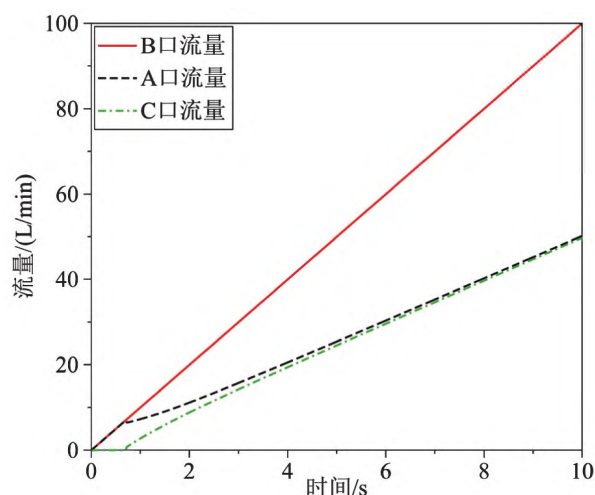


图4 分流阀分流曲线

由图4可知:分流阀 B 口来油后, A 口和 C 口流量在 4 s 内调整误差约 0.55 L/min, 分流比等于阻尼 1 和阻尼 2 通径比值。

2.2 顺序阀建模

根据顺序阀卸荷原理搭建顺序阀仿真模型,如图5所示^[8]。

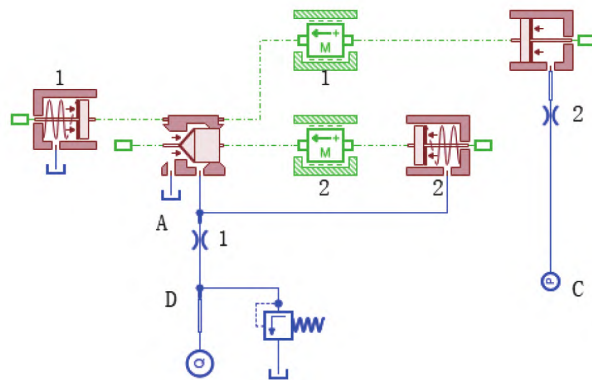


图5 顺序阀仿真模型

顺序阀仿真参数见表 2 所示。

表 2 顺序阀仿真参数

参数	数值
顺序阀阀芯直径/mm	8
顺序阀阀芯底径/mm	4.5
顺序阀锥度/°	8
顺序阀阀芯 2 质量/kg	0.075
顺序阀弹簧 2 刚度/N/mm	13.5
顺序阀弹簧预压缩量/mm	3
顺序阀阀芯行程/mm	5
推杆阀芯直径/mm	8
推杆阀芯 1 质量/mm	0.05
推杆阀芯 1 行程/mm	4.5
推杆阀芯弹簧 1 刚度/N/mm	25
推杆阀芯弹簧 1 预压缩量/mm	1.5
D 口流量/L/min	50
溢流阀压力/MPa	15
阻尼孔 1/mm	2
阻尼孔 2/mm	0.5

设置 C 口 10s 压力增至 3 MPa，仿真得到 A 口卸荷流量与 C 口压力关系曲线如图 6 所示。

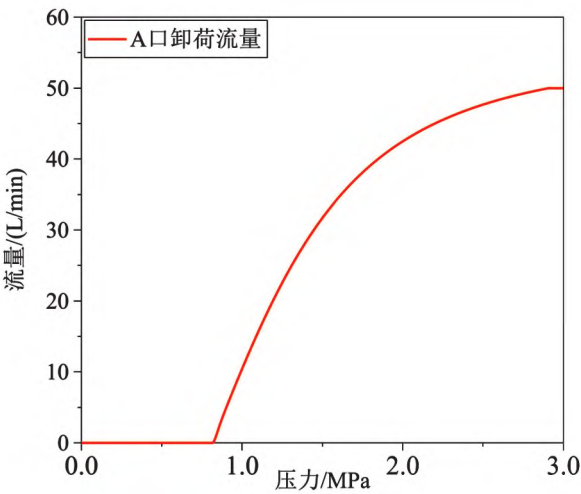


图 6 A 口卸荷流量与 C 口压力关系曲线

由图 6 可知：C 口压力达到 0.82 MPa 时，顺序阀开始卸荷，2.9 MPa 时，顺序阀完全打开。

2.3 动臂铲斗机构建模

根据举升过程动臂铲斗机构铰接原理，搭建动臂铲斗机构铰接模型如图 7 所示，图 8 为动臂铲斗铰接 2D 运动模型^[9-10]。

从动臂铲斗铰接处起始，动臂顺时针方向各铰点坐标为 $O_1(1.5,-2)$ 、 $O_2(1,-1)$ 、 $O_3(0,0)$ 、 $O_4(1.3,-1)$ ，铲斗顺时针方向各铰点坐标为 $O_{11}(1.5,-2)$ 、 $O_{22}(1.7,-1.8)$ 、 $O_{33}(1.8,-1.8)$ 、 $O_{44}(2.2,-2.2)$ 、 $O_{44}(1.6,-2.2)$ 。

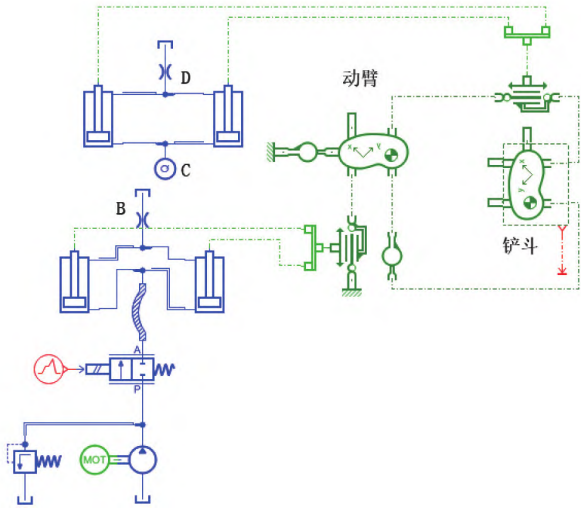


图 7 动臂铲斗机构铰接模型

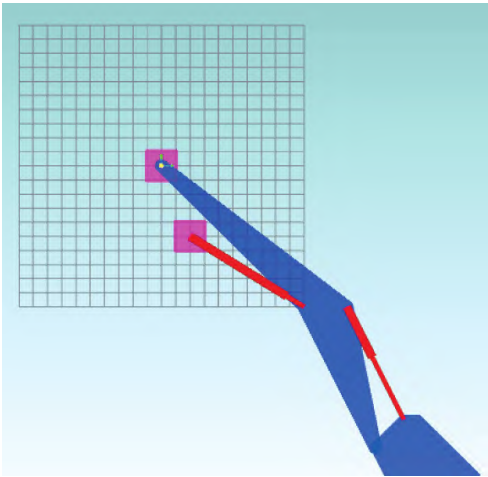


图 8 动臂铲斗铰接 2D 运动模型

2.4 滑移装载机铲斗举升调平液压系统建模

结合分布仿真模型，搭建如图 9 所示的滑移装载机铲斗举升调平液压系统仿真模型。

系统其他仿真参数见表 3 所示。

表 3 系统仿真参数

参数	数值
液压泵排量/(ml/r)	90
安全阀压力/MPa	30
动臂油缸缸径/mm	63
动臂油缸杆径/mm	40
动臂油缸行程/mm	800
动臂质量/kg	300
铲斗油缸缸径/mm	55
铲斗油缸杆径/mm	30
铲斗油缸行程/mm	500
铲斗质量/kg	2300.5

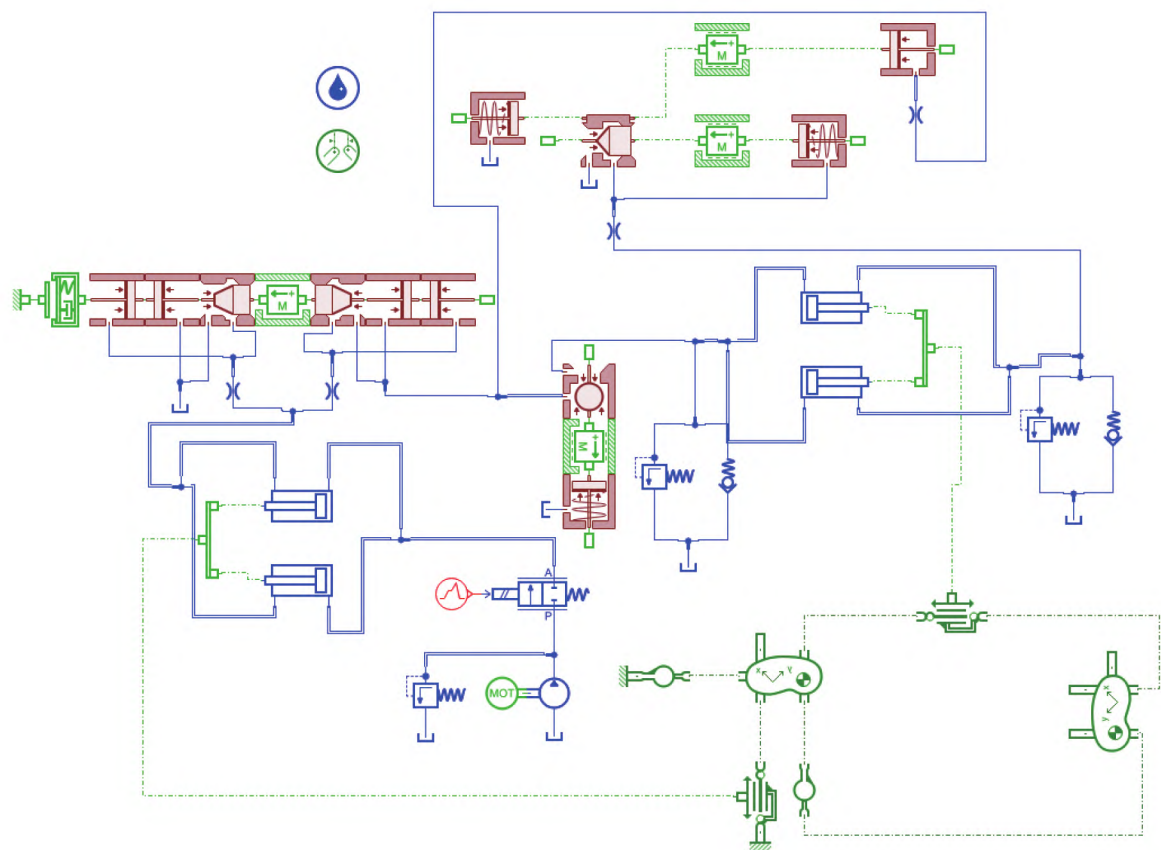
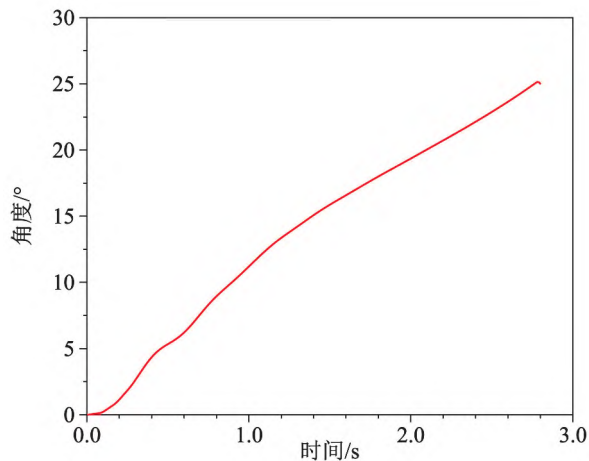


图 9 滑移装载机铲斗举升调平液压系统仿真模型

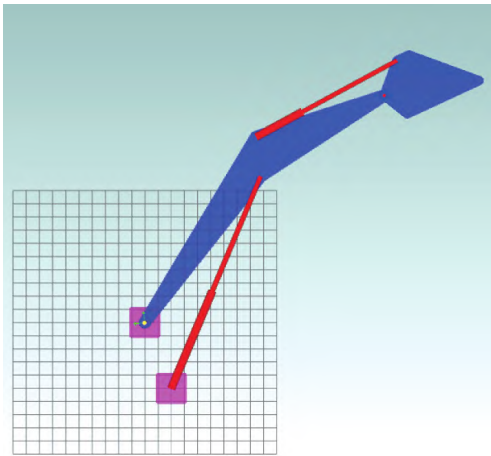
3 调平系统仿真分析及调平性能优化

3.1 初始状态调平性能仿真

依据以上三表参数对滑移装载机调平仿真模型进行参数设置，仿真得到如图 10 所示的铲斗斗底与水平夹角曲线及举升到顶的滑移装载机 2D 姿态图，图 11 为初始状态的动臂油缸和铲斗油缸速度曲线。



(a) 铲斗斗底与水平夹角曲线



(b) 初始状态滑移装载机 2D 姿态图

图 10 初始状态调平性能

由图 10 看出：举升过程，铲斗外摆供油量较小，导致铲斗斗底与水平夹角向内收方向逐渐增加，显然回 T 阻尼和进铲斗阻尼需作进一步调整。

由图 11 看出：初始状态下，动臂油缸和铲斗油缸速度比为 2.4，结合图 10 可知，提高调平性能需减小速度比。

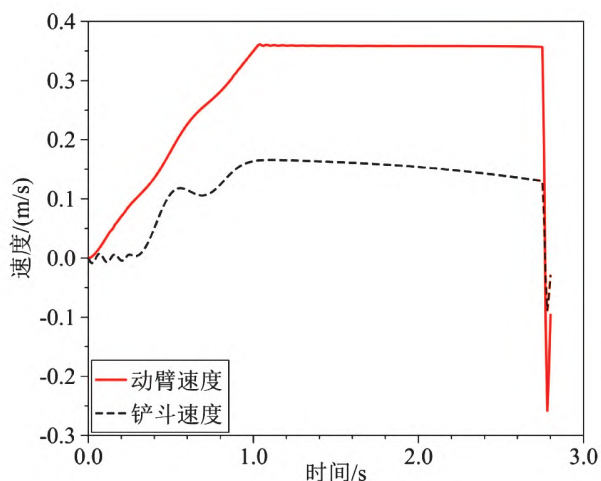


图 11 初始状态的动臂油缸和铲斗油缸速度

3.2 调平性能优化

以铲斗倾角曲线与时间轴包络的面积为优化目标函数，以动臂小腔油液回T阻尼通路 D_1 、进铲斗大腔阻尼通路 D_2 和铲斗小腔油液回T阻尼 D_3 为优化参数，进行调平性能优化。

优化区间设置： $0.5 \text{ mm} \leq D_1, D_2, D_3 \leq 4 \text{ mm}$ 。

基于遗传算法进行参数寻优，设置种群规模为50，交叉概率为0.8，变异概率为0.1，最大迭代次数为100，获得较优的参数组合为： $D_1=0.6 \text{ mm}$ 、 $D_2=3.8 \text{ mm}$ 、 $D_3=2.0 \text{ mm}$ ，将其代入仿真模型进行调平性能验证。

图 12 为优化的分流特性曲线，图 13 为举升过程动臂和铲斗油缸速度曲线，图 14 为优化的铲斗调平倾角曲线，图 15 为举升到顶的滑移装载机 2D 姿态图。

由图 12 可知：优化后，94% 的动臂油缸小腔流量进入铲斗油缸大腔，使其举升过程铲斗调平性能更优。

由图 13 可知：优化后，举升过程动臂油缸速度为 0.36 m/s ，铲斗油缸速度为 0.17 m/s ，速度比为 2.1。

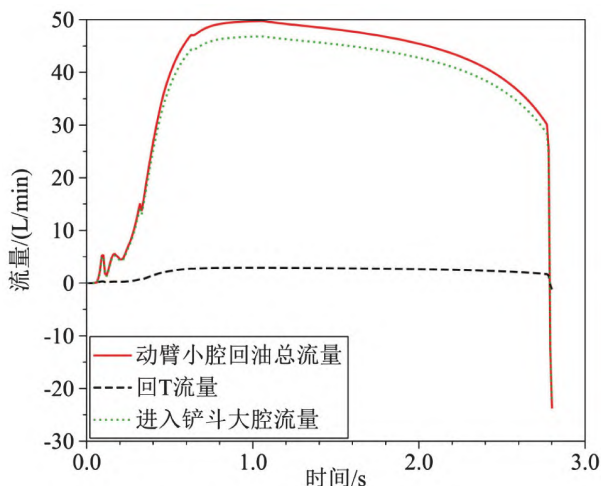


图 12 优化的分流特性曲线

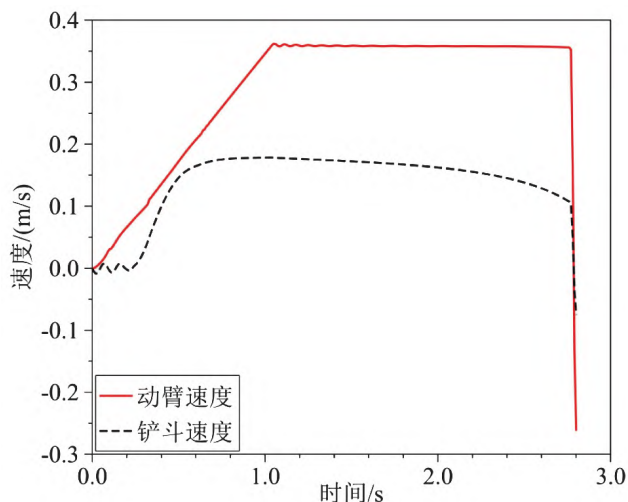


图 13 优化的动臂和铲斗油缸速度

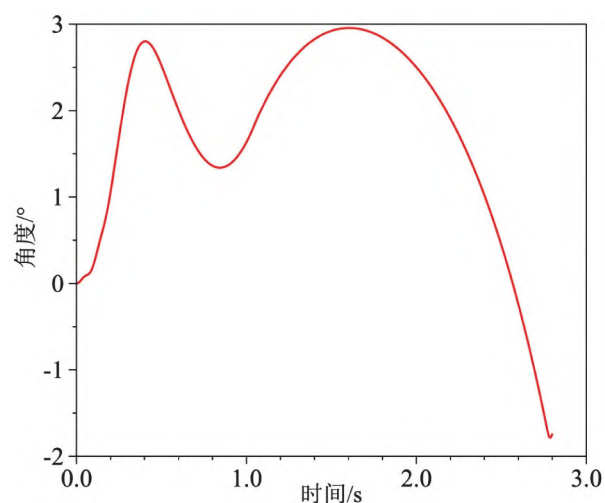


图 14 优化的铲斗调平倾角曲线

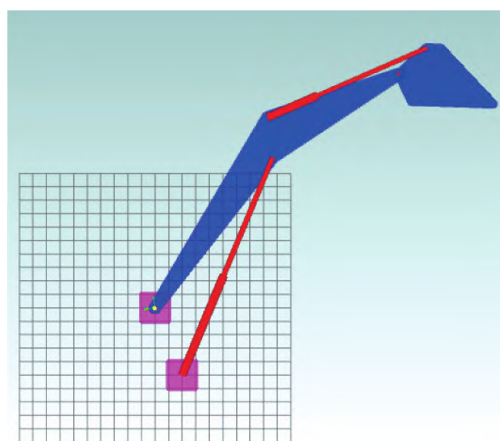


图 15 优化的滑移装载机举升 2D 姿态图

由图 14—15 可知：优化后的液压调平系统调平性能得到显著提高，举升过程铲斗倾角范围为： -2° — 3° 。

4 结论

为提高滑移装载机铲斗举升调平性能, 本文设计了一种滑移装载机铲斗自动调平液压系统, 基于 AMESim 分布搭建了分流阀模型、顺序阀模型和 2D 机械模型, 并逐一验证了模型的正确性, 然后又完整地搭建了滑移装载机铲斗自动调平液压系统仿真模型, 仿真分析了初始状态下的自动调平性能, 并基于遗传算法对动臂小腔油液回 T 阻尼通径、进铲斗大腔阻尼通径和铲斗小腔油液回 T 阻尼通径进行了参数优化, 优化后的铲斗自动调平性能得到提高。研究主要得出了以下结论:

(1) 初始状态下的铲斗自动调平性能较差, 动臂铲斗速度比较大;

(2) 优化后的动臂铲斗速度比由 2.4 降低至 2.1, 铲斗倾角变化范围在 -2° — 3° ;

(3) 动臂小腔油液回 T 阻尼通径、进铲斗大腔阻尼通径和铲斗小腔油液回 T 阻尼通径较优的参数分别为: 0.6 mm、3.8 mm、2 mm。

参考文献:

- [1] 据永光. 滑移装载机铲斗自动调平系统分析[J]. 流体传动与控制, 2016(2): 9–12, 23.
- [2] 韦家义, 吕超. 滑移装载机铲斗自动调平液压系统的研究[J]. 建筑机械化, 2010, 31(9): 67–68, 87.
- [3] 刘学峰, 付君, 张成保, 等. 前装载机铲斗双向水平电液控制系统[J]. 农业工程, 2014, 4(1): 98–100.
- [4] 唐平建, 孙泽林, 宋鹏. 基于模糊 PID 的液压自动调平与升降控制系统研究[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(2): 189–193.
- [5] 张新, 郭靖文. 基于 MATLAB/AMESim 的精密整平作业车调平液压系统控制算法联合仿真[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(4): 89–99, 117.
- [6] 杜阳. 滑移装载机调平阀卸荷回路故障研究[J]. 工程机械, 2021, 52(6): 83–87.
- [7] 陈晋市, 元万荣, 袁华山, 等. 基于 AMESim 的滑移装载机自动调平系统[J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(6): 1390–1395.
- [8] 吴学江. 基于 AMESim 的高压溢流阀特性分析[J]. 液压气动与密封, 2024, 44(7): 82–86.
- [9] 罗瑜, 陈靖, 罗艳蕾, 等. 基于滑模变结构控制的带材纠偏电液伺服系统仿真研究[J]. 机械设计与制造, 2023, 387(5): 279–282.
- [10] 汤斯佳, 黄新锋, 刘阳, 等. 液压调速器 AMESim 动态仿真与参数优化[J]. 机床与液压, 2024, 52(6): 160–166.

Simulation and Optimization of Automatic Leveling System for Sliding Loader Bucket

YIN Wenjun, ZHAI Haiyan, XUE Yue

(Jiangsu Gathering Wisdom High end Engineering Machinery Innovation Center Co., Ltd, Xuzhou 221001, China)

Abstract: Aiming at the leveling problem of the lifting bucket of a skid steer loader, an automatic leveling system for the lifting bucket of the skid steer loader was designed, and its lifting automatic leveling principle was given. Based on AMESim, the overall simulation models of the diversion valve, unloading valve, and leveling system were established. The diversion characteristics of the diversion valve were simulated and analyzed, and the unloading range of the unloading valve was verified. The lifting leveling performance in the initial state was simulated and analyzed. Based on genetic algorithm, the parameters of the damping diameter of the small chamber oil return T of the boom, the damping diameter of the large chamber inlet of the bucket, and the damping diameter of the small chamber oil return T of the bucket were optimized. The research results showed that the lifting leveling performance was poor in the initial state, and the speed ratio of the boom and bucket was 2.4; The automatic leveling performance of the optimized bucket has been improved, with a boom to bucket speed ratio of 2.1 and an optimized bucket tilt angle range of -2° — 3° .

Key words: sliding loader; automatic leveling; diversion characteristics; genetic algorithm

(责任编辑 王磊)