

文章编号: 1674-9057(2017)02-0372-05

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2017.02.021

基于 AMESim 的磨机换衬板机械手液控系统仿真与分析

刘祚时, 格海超, 黄高荣

(江西理工大学 机电工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 对某型号磨机换衬板机械手, 在原有液压系统基础上, 提出了采用位置反馈控制、电液比例控制变量泵相结合的系统改造方案, 以解决原系统存在启、停冲击大, 操控不灵活的问题, 并且可以减少原有系统的功率损失。对方案中液压缸位置反馈控制和电液比例控制变量泵的设计, 应用 AMESim 软件建立了完整的仿真模型, 通过对仿真结果的分析, 得出了液压缸位置反馈控制的响应精度、变量泵在电液比例控制下的动态输出特性。仿真结果表明改造后的磨机换衬板液压系统与原系统相比控制精度更高、响应速度更快, 系统效率更高。

关键词: 磨机换衬板机械手; 位置反馈控制; 电液比例控制; 变量泵

中图分类号: TH137.7

文献标志码: A

目前我国自行生产的磨机换衬板机械手一般采用由单定量泵组成的定量液压控制系统, 控制方式较为落后^[1]; 由于单定量泵的排量不可改变, 使得泵的输出流量(压力)不能跟随外负载的变化而变化, 进而造成了功率浪费。随着科技的发展, 变量液压控制系统的应用越来越多, 在涉及液压起重机械中的应用更加广泛^[2]。基于变量液压控制系统技术, 在原有液压系统的基础上, 本文提出新的磨机换衬板机械手液压系统设计方案。应用 AMESim 软件对系统进行建模与仿真, 结果显示该方案可有效地减小机械手操作过程中的起、停冲击, 提高磨机换衬板机械手的操控性能。

1 液压回路设计的基本原理

1.1 液压回路原理图设计

磨机换衬板机械手在工作时由液压泵驱动各个液压元件动作, 以完成抓取衬板、举升衬板、调整位置、贴近筒体的工作任务^[3]。重新设计后

的磨机换衬板机械手液压系统由两台液压泵驱动: 先导控制回路由定量泵驱动, 主回路由变量柱塞泵驱动^[4], 系统原理如图1所示。

整个液压系统采用变量液压控制方式设计。主油泵为一台斜盘式轴向柱塞泵, 其容积效率较高, 且变量方式多样。主要的执行机构有回转支撑马达、大臂支撑油缸、小臂伸缩油缸、夹持装置支撑油缸、夹持装置旋转油缸和夹持装置夹紧油缸; 具体的各个执行机构又有缓冲回路、液压锁、平衡阀等, 保证其有效工作; 系统操作过程中的最高压力值由各支路上彼此联结在一起的梭阀测得, 此压力信号即为变量泵变量机构的输入控制信号; 安全阀的设定压力为 16 MPa。

1.2 变量液压控制原理

选择负载敏感控制方式作为主油泵控制方式。负载敏感控制方式以负载的反馈压力控制变量泵的变量机构, 使得变量泵的输出流量(压力)随外负载的变化而变化^[5]。流动的液体遵循能量守恒

收稿日期: 2015-07-02

基金项目: 江西省科技计划项目(20151BBE50038)

作者简介: 刘祚时(1963—), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 矿山机械设备及其自动化。

引文格式: 刘祚时, 格海超, 黄高荣. 基于 AMESim 的磨机换衬板机械手液控系统仿真与分析[J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37(2): 372-376.

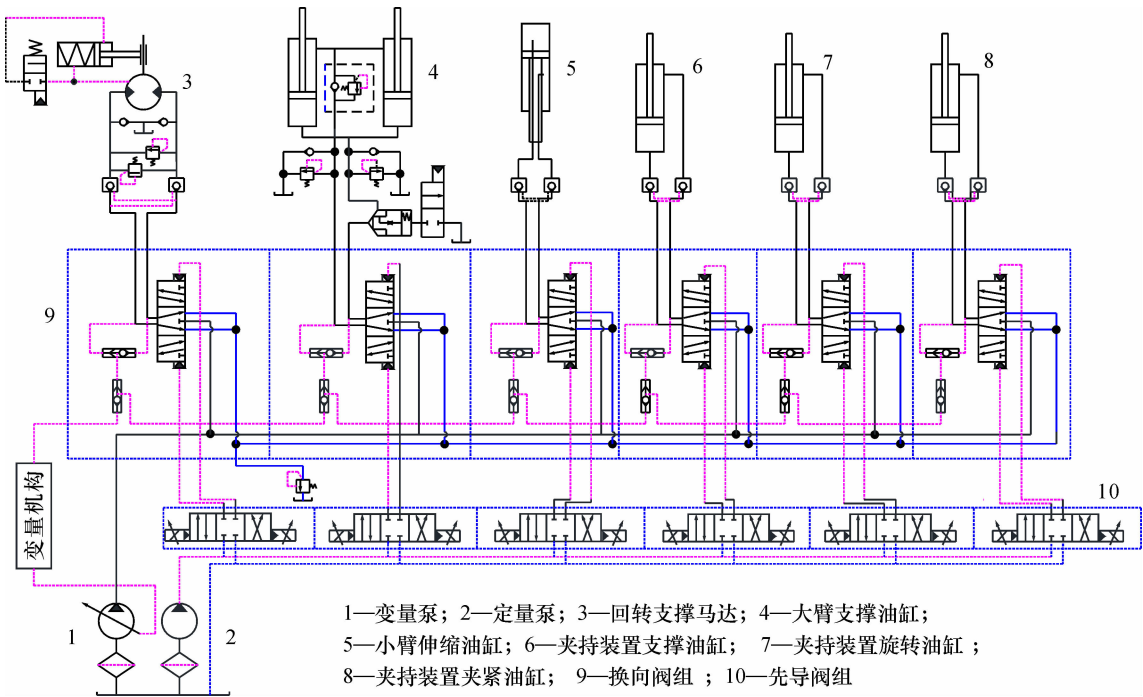


图1 磨机换衬板机械手液压原理图
Fig.1 Hydraulic schematic of the mill relining machine

定律，根据伯努利方程，液体通过节流孔时的流量可以写为：

$$Q = \alpha A \sqrt{\Delta P \frac{2}{\rho}}, \tag{1}$$

式中： Q —通过节流孔的流量； α —流量系数，与节流口形状、结构、油温等有关，可以近似看做常数； A —节流口过流断面面积； ρ —油液密度； ΔP —节流孔前后压力差。

由于流量系数 α 可近似看做常数，且在同一个液压系统中认为节流口过流断面面积 A 与油液密度 ρ 均不改变，由公式可知通过节流孔的流量 Q 是流口前后压力差 ΔP 的函数，若 ΔP 恒定，则通过节流孔的输出流量恒定。在变量泵输入功率恒定的条件下，可认为变量泵的变量机构能有效改变变量泵的排量，进而改变变量泵的流量（压力）输出^[6]。

1.3 变量泵的液压控制

在机械手实际作业中，不仅需要各个执行机构单独动作，往往还需要多个执行机构复合动作，由于各个执行机构所需的工作流量不同，若主油泵的输出流量始终保持一个固定值势必会造成系统功率损失。而变量泵的液压控制以外负载作为变量泵变量机构的输入信号，调节变量泵的排量，这种控制方式可使变量泵的输出流量（压力）连续、

快速变化，节能、控制效果明显（图2）。在磨机换衬板机械手作业过程中，各液压回路梭阀彼此联结可检测出整个系统的最高工作压力

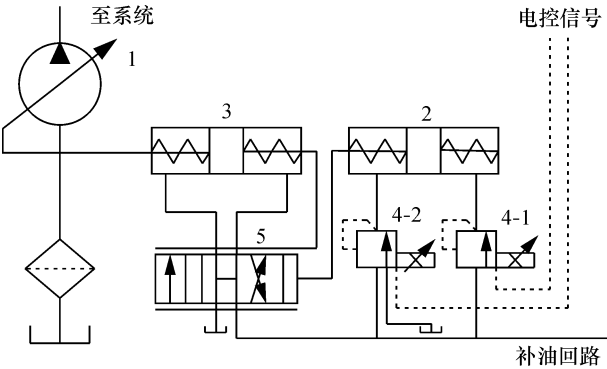


图2 变量泵的组成原理
Fig.2 Composition principle of the variable pump
1—变量泵；2—级柱塞；3—变量柱塞；4—比例减压阀；5—三位四通阀

力，压力信号通过压差传感器传递给控制器，控制器通过控制变量机构来控制变量泵的排量，由于电动机转速的相对恒定，使得变量泵的输出功率保持近似恒定，此时变量泵的输出流量（压力）就可随外负载的变化而变化；而随着变量泵输出流量（压力）的减小，使得变量机构的输入信号逐渐减小，直至消失。这样就形成一个闭环控制系统。

2 系统的建模与分析

LMS Imagine. Lab AMESim (advanced modeling environment for performing simulation of engineering systems) 是一种多学科领域复杂系统建模仿真平台, 为机械、液压等方面的设计与仿真提供了良好的软件环境^[7]。应用 AMESim 仿真软件, 建立起液压缸位置反馈控制系统和电液比例控制变量泵系统的仿真模型, 通过对仿真结果的分析, 可以检测设计系统的动态、稳态特性是否满足要求, 并研究各参数对设计系统的动态、稳态特性的影响。

2.1 液压缸位置反馈控制的 AMESim 模型建立与仿真

液压缸位置反馈控制以液压缸的实时位移信号作为反馈信号, 以控制信号与反馈信号的差值作为换向阀的输入信号, 此种控制方式可有效消除液压缸的控制误差^[8]。

液压缸位置反馈控制系统主要由主油泵、输入信号装置、位置反馈装置、电液比例多路阀、液压缸及负载等几部分组成。夹持装置的 3 个油缸已通过理论计算进行了选型, 其主要参数如表 1 所示。

表 1 夹持装置 3 个油缸的参数			
Table 1	Parameters of the 3 cylinders of the holding device		
	旋转油缸	支撑油缸	夹紧油缸
外径/mm	60	60	60
缸径/mm	50	50	50
杆径/mm	28	28	28
行程/mm	90	250	70

液压缸推动外负载运动, 位移传感器用于采集并反馈液压缸实际位置信号。控制信号与位移传感器反馈的实际位移信号比较后会有一个偏差值, 该偏差值放大增益后的信号用于驱动换向阀动作, 从而改变液压缸的进油与回油油路, 进而减小此偏差值。如果此偏差值一直存在, 则液压缸会持续运动, 直至偏差消失。

以支撑油缸的位置反馈控制为例, 建立 AMESim 仿真模型。为了更好地凸显机械手位置反馈控制的动态响应特性, 本文特以定量泵代替实际设计中的变量泵进行仿真分析, 在 Sketch (草图) 模式下调用系统对应的库元件, 建立如图 3 所示的仿真模型。

为仿真模型中的元件选择子模型, 并在 Parameter (参数) 模式下对主要子模型的参数进行设置, 如表 2 所示, 未涉及的参数保持默认值。

设置仿真时间为 10 s, 从 0 s 开始。输入信号在 0 s 处为 0, 保持 1 s, 从第 1 s 开始输入信号由 0 m 位移处开始线性变化, 在第 3 s 时上升至最大位移 0.2 m 处, 并保持 2 s, 在第 5 s 时输入信号开始线性变化, 在第 8 s 时下降至 0.1 m 位移处, 此后保持不变至仿真结束。最终的仿真结果如图 4 所示。

根据仿真结果可以看出实际位移曲线能很好地跟随输入信号变化而变化, 响应速度很快, 最大

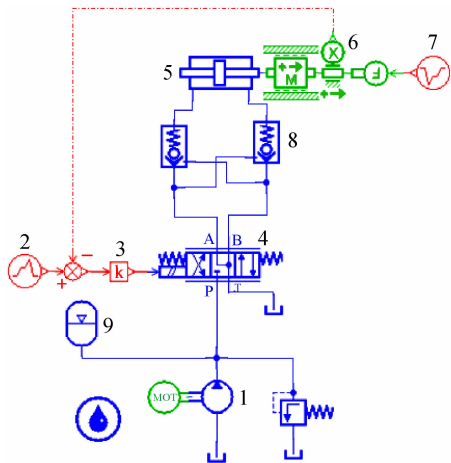


图 3 液压缸的位置反馈控制仿真模型
Fig. 3 Simulation model of the hydraulic cylinder position feedback control
1—主油泵; 2—输入信号; 3—伺服放大增益; 4—换向阀; 5—液压缸; 6—位移传感器; 7—模拟外负载; 8—液压锁; 9—蓄能器

表 2 位置反馈控制仿真的参数			
Table 2	Parameters of the position feedback control		
子模型	编号	参数项目	参数值
PU001	1	泵的排量	75 mL/r
		泵的输入转速	1 000 r/min
UD00	2	滑块质量	1 000 kg
GA00	3	增益值	500
HSV34_12	4	阀的额定输入电流	200 mA
		阀的固有频率	50 Hz
		阀的阻尼比	1
HJ021	5	液压缸内径	50 mm
		左侧活塞杆直径	28 mm
		右侧活塞杆直径	28 mm
UD00	7	输出阶段起始值	5 000
		输出阶段终止值	5 000
		输出阶段持续时间	12 s

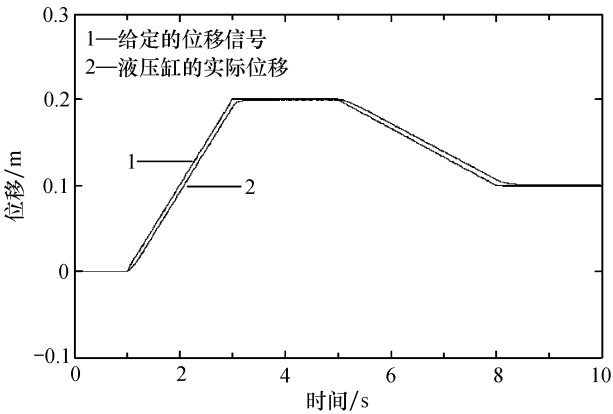


图4 输入信号与实际位移曲线

Fig. 4 Input signal and actual displacement

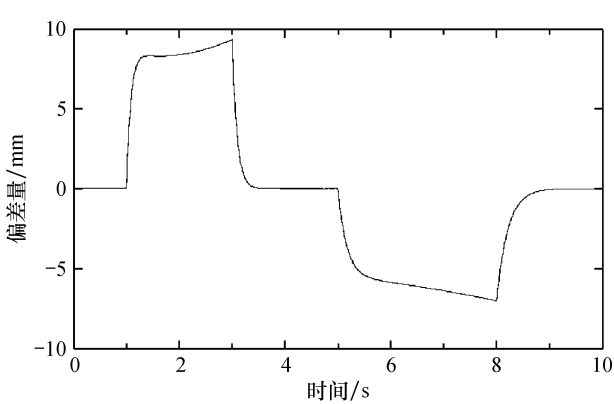


图5 输入信号与实际位移偏差曲线

Fig. 5 Deviation between input signal and actual displacement

滞后时间仅为 0.3 s，并且稳态偏差较小。

图5反映了给定的位移信号与实际位移之间的偏差随时间的变化。可以看出最大正偏差约为 9.5 mm，最大负偏差约为 7.5 mm。在矿山机械中这样的偏差值较小，可以满足生产要求。

2.2 电液比例控制变量泵的 AMESim 模型建立与仿真

在位置反馈控制模型的基础上,适当简化位置反馈模型,对变量泵进行建模,并对液压缸的行程加以扩大,用以模拟夹持装置的 3 个油缸在较长时间内联动时变量泵的输出压力变化情况。在AMESim软件的草图模式下搭建电液比例控制

变量泵的草图模型,如图6所示。

为草图模型各个元件选择子模型,并在 Parameter(参数)模式下对主要子模型的参数进行设置,如表3所示,未涉及的参数保持默认值。

第2 s 时,给旋转油缸一个阶跃负载信号,负载为 10 000 N,根据旋转油缸尺寸计算可知,此时旋转油缸无杆腔压力应为 5.096 MPa;第5 s 时,给夹紧油缸一个阶跃负载信号,负载压力为 20 000 N,根据夹紧油缸尺寸计算可知,此时夹紧油缸无杆腔压力应为 10.191 MPa;第8 s 时,给支撑油缸一个阶跃负载信号,负载为 30 000 N,根据支撑油缸尺寸计算可知,此时支撑油缸无杆腔压力应为

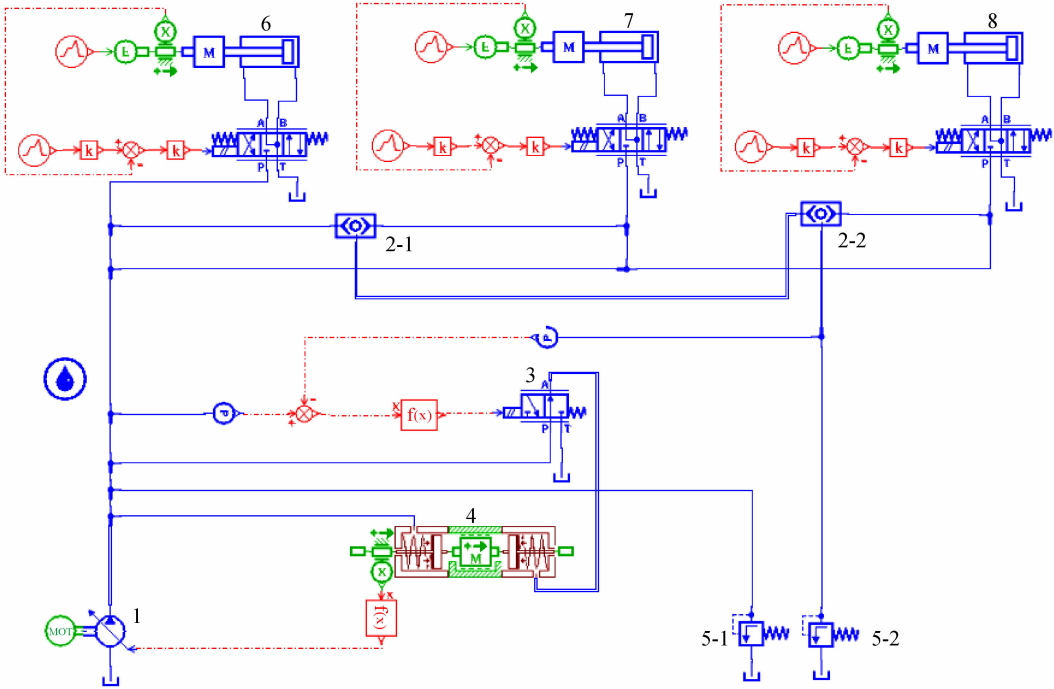


图6 夹持装置三油缸仿真模型

Fig. 6 Simulation model of the 3 cylinders in holding device

1—主油泵;2—梭阀;3—二位三通阀;4—泵的变量机构;5—液压缸;6—旋转油缸;7—支撑油缸;8—夹紧油缸

表 3 仿真模型参数列表

Table 3 Parameters of the simulation model			
子模型	编号	参数项目	参数值
PU002	1	泵的排量	75 mL/r
		泵的输入转速	1 000 r/min
RV000	5	溢流阀调定压力	16 MPa
HJ000	6、7、8	滑块质量	1 000 kg

15.287 MPa，即在仿真时间内输入的最高压力信号变化曲线如图 7 中 1 线所示。

在仿真模式下，选择设置运行参数，设置仿真时间为 10 s（开始时间 0 s，结束时间 10 s），打印间隔设置为 0.01 s，启动一次仿真，最终的仿真结果如图 7 所示。

通过对仿真曲线的观察发现，变量泵的输出压力很好地跟随了负载的压力变化，泵的输出压力响应速度很快，最大的响应滞后时间约为 0.4 s，且稳态误差小。

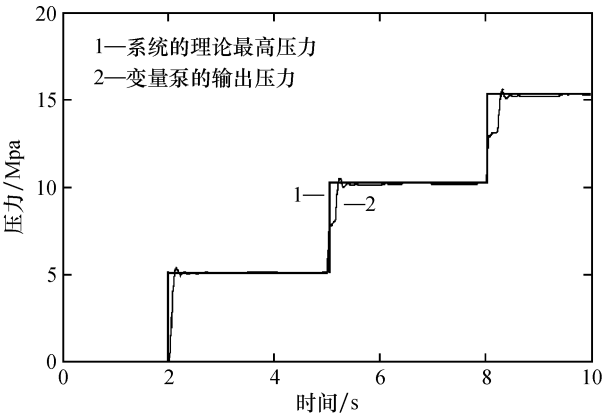


图 7 变量泵输出压力跟随系统最高压力变化曲线

Fig. 7 Curves of the output pressure of the variable pump following the system highest pressure

3 结 论

(1) 位置反馈控制的应用可以较为精确地控制缸体的位移，新的闭环控制系统比原有的开环控制系统的抗干扰能力更强，受元件特性因素影响较小。

(2) 电液比例控制变量泵的控制方案可以大大地减小磨机换衬板机械手工作过程中的功率损失，使变量泵的输出压力能够快速跟随负载压力的变化而变化，有效地提高工作效率。

(3) AMESim 软件的应用为液压系统的设计与计算提供了便利，通过对所设计液压系统的仿真模拟，更加凸显了影响系统各项指标的重要参数以及这些参数的影响范围及方式。

参考文献：

[1] 杨溢, 耿洪臣. 磨机换衬板机械手的发展情况 [J]. 中国重型装备, 2009, 5 (1): 44 - 46.

[2] 游杨, 徐莉萍, 任德志. 挖掘机电液比例控制系统的设计 [J]. 机床与液压, 2012, 40 (22): 82 - 84.

[3] 李勇, 王继新, 郝万军, 等. 基于虚拟样机技术的大型磨机换衬板机械手结构分析 [J]. 中国工程机械学报, 2009, 7 (2): 157 - 160.

[4] 杨征瑞, 花克勤, 徐轶. 电液比例与伺服控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 64 - 67.

[5] 马健. 博世力士乐 LUDV 技术在小型挖掘机上的应用控制 [J]. 建筑机械, 2003 (6): 16 - 17.

[6] 项昌乐, 荆崇波, 刘辉. 液压与液力传动 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 21 - 23.

[7] 付永领, 齐海涛. LME Imagine. Lab AMESim 系统建模与仿真 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 1 - 2.

[8] 梁全, 苏齐莹. 液压系统 AMESim 计算机仿真指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 191 - 195.

Model simulation building and analysis for the hydraulic control system of mill relining machine

LIU Zuo-shi, GE Hai-chao, HUANG Gao-rong

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Transformation and upgrading of the hydraulic system of a new type of mill relining machines were elaborated with the original hydraulic system, based on position feedback control and electro-hydraulic proportional control, to improve the original system: great impact at start and stop, and inflexible manipulation. The new scheme could reduce the power loss greatly. The whole simulation model was established based on the AMESim software. Through the analysis of simulation results, the response of the hydraulic cylinder position feedback control precision and the dynamic characteristics of the pump in electro-hydraulic proportional control were revealed. The simulation test shows that the modified system has a better precision control, a faster response and more energy saving than the original one.

Key words: mill relining machine; position feedback control; electro-hydraulic proportional control; variable pump