

海底履带采矿车行走液压系统仿真模型的建立

罗光寿¹, 张国平²

(1. 三一起重机械有限公司, 湖南 长沙 410600; 2. 湖南机电职业技术学院, 湖南 长沙 410151)

摘要: 为优化海底履带采矿车的行走性能, 建立了基于 AMESim 平台的海底履带采矿车行走液压系统仿真模型, 组成液压马达角速度闭环控制系统, 对履带速度和马达压力的响应特性进行仿真分析。仿真结果和试验验证表明, 所建立的行走液压系统液压马达具有良好的动态响应特性, 能满足海底履带采矿车的要求。

关键词: 海底履带采矿车; 液压系统; PID 控制; 工程系统仿真高级建模环境

中图分类号: TH138.8 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)01-0111-03

Study on walking control strategy for hydraulic system of seabed tracked mining vehicle

LUO Guang-shou¹, ZHANG Guo-ping²

(1.Sany Hoisting Machinery Co., Ltd., Changsha 410600, China; 2.Hunan Mechanical and Electrical College of Technology, Changsha 410151, China)

Abstract: A simulation model for the seabed tracked mining vehicle's hydraulic system is constructed based on advanced modeling environment for simulation engineering (AMESim). A PID controller is designed to build up a closed-loop control system for angular velocity of hydraulic motor. Then the control system's response characteristic for track speed and motor pressure is studied through simulation and experiment. The comparison study verifies the correctness of the modeling of the walking hydraulic system and shows that the walking hydraulic system built can meet the demands of the seabed tracked mining vehicle.

Key words: tracked mining vehicle; hydraulic system; packet identifier(PID) control; advanced modeling environment for simulation engineering (AMESim)

中国从 20 世纪 90 年代初即开展了深海矿产资源开采技术的研究^[1]。采矿车是整个深海采矿系统最前沿、最复杂、最关键的系统。由于深海底沉积物是完全不同于陆地的极稀软基质, 其剪切强度低, 内聚力极小, 内摩擦角几乎为零, 且具有流动特性^[2]; 因此, 对履带采矿车行走液压系统的性能提出了更高要求。为优化海底履带采矿车的行走性能, 笔者建立了基于 AMESim 平台的行走液压系统仿真模型, 对履带速度和马达压力的响应特性进行分析, 现将结果报道如下。

1 采矿车行走液压系统工作原理

海底履带采矿车的行走液压系统是由变量液压泵、电液比例阀、定位油缸、电液换向阀、液压马达、速度传感器等组成的电液比例控制系统(图 1)。它采用电液比例阀控制定位油缸位移, 改变液压泵的斜盘倾角, 调节液压回路流量, 控制液压马达转速和方向, 从而达到控制海底履带采矿车前进、后退和转弯的目的。利用速度传感器反馈马达转速, 组成闭环控制系统^[3]。

收稿日期: 2010-11-25

基金项目: 湖南省科学技术厅项目(2009FJ3035)

作者简介: 罗光寿(1965—), 男, 湖南衡阳人, 工程师, 主要从事起重机械工艺研究和工装设计, richardlhf@163.com

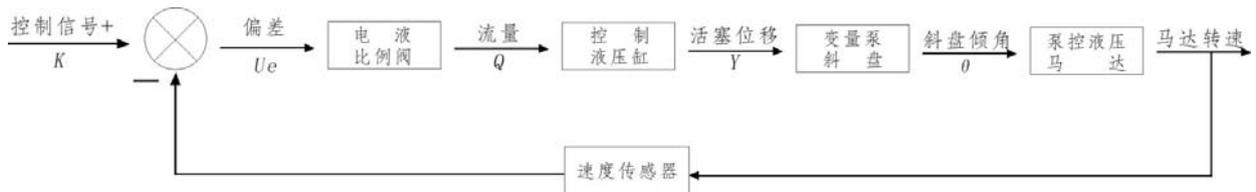


图 1 海底履带采矿车行走液压系统框图

Fig.1 Diagram of walking hydraulic system of seabed crawler mining vehicle

2 采矿车行走液压系统的 AMESim 仿真模型

在 AMESim 中,首先建立变量液压泵、电液比例阀、定位油缸、电液换向阀、液压马达等仿真模型,然后连接各个液压元件构成完整的液压系统回路,并将液压马达的输出角速度作为海底履带采矿车控制预定行走速度的对象,从而建立起海底履带

采矿车行走液压系统的仿真模型(图 2)。该行走液压系统模型的输入量为比例阀的控制电流,输出量为液压马达的角速度。通过调节输入电信号的大小,可以改变电液比例阀的电流,调节进入定量马达的流量,从而改变定量马达的转速,实现采矿车左右履带速度的可控性。

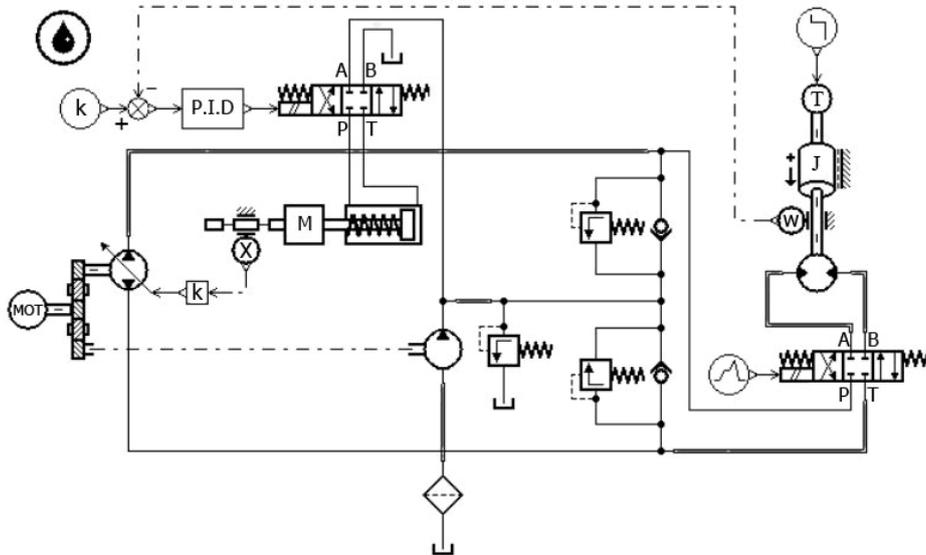


图 2 采矿车行走液压系统的 AMESim 仿真模型

Fig.2 AMESim simulation model of walking hydraulic system of mining vehicle

3 采矿车速度 PID 控制器设计

以马达转速为控制变量,对海底履带采矿车进行 PID 行走控制。采用试凑法对海底作业车速度环 PID 控制器的控制参数进行了设计,得到的 PID 参数为 : $K_p=5.5$; $K_i=0.1$; $K_d=0.02$ 。在 AMESim 元件库中,也提供了 PID 控制器模型^[4],所搭建的 PID 闭环控制部分如图 2 所示。

4 行走液压系统的仿真

由于笔者建立的海底履带采矿车左、右液压行

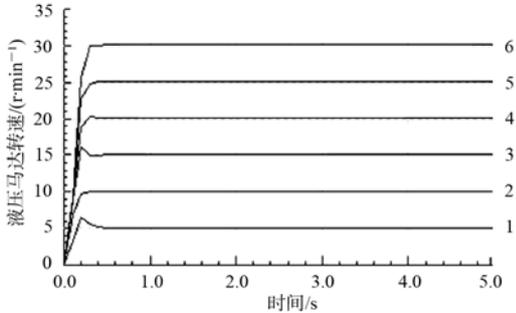
走系统模型及 PID 控制器是完全相同的、独立的,因此仿真的结果也是一样的,所以本文以左行走液压系统进行仿真分析。

4.1 行走液压马达转速和履带速度仿真分析

分别将输入信号(k)设置为 5、10、15、20、25、30 的阶跃信号,利用 AMESim 的批处理功能^[5]进行仿真试验,得到液压马达相应的角速度响应曲线(图 3)。

由图 3 可知,加入 PID 控制器后,虽然出现一定的超调,但是液压马达角速度响应速度明显加

快, 0.2 s 后马达的转速即达到设定转速, 稳态误差为零, 因此, 设计的海底履带采矿车行走液压系统液压马达具有良好的动态响应特性。



曲线 1~6 对应的 k 值分别为 5、10、15、20、25、30。

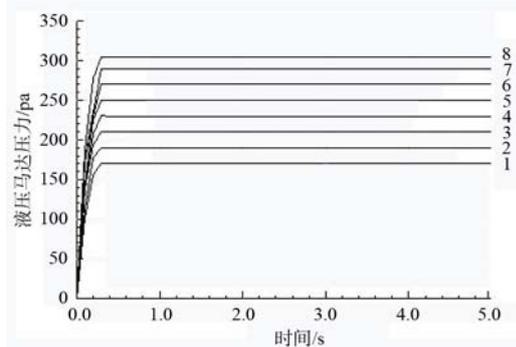
图 3 液压马达角速度响应曲线

Fig.3 Curve of angular velocity response about hydraulic motor

由于履带驱动轮半径为 0.32 m, 液压马达转速范围为 0~30 r/min。据此, 可以得到履带行走速度调速范围为 0~1 m/s, 满足了多金属结核采矿系统对海底带式采矿车的要求。

4.2 行走液压马达压力仿真分析

在海底履带采矿车行走液压系统仿真模型中, 加入不同阶跃值的负载转矩(2、4、6...16 kNm)。从而得到一组液压马达压力对应于系统负载转矩的响应曲线(图 4)。由图 4 可知, 液压马达压力响应是完全跟随系统负载转矩而变化的。



曲线 1~8 对应的 k 值分别为 2、4、6、8、10、12、14、16。

图 4 液压马达压力响应曲线

Fig.4 Curve of pressure response about hydraulic motor

4.3 液压马达转速对负载转矩的阶跃响应

海底履带采矿车在海底复杂地形行走时, 经常会遇到系统负载转矩突变的情况, 因此, 要求液压马达对系统负载转矩的变化有较好的响应能力。分别设定负载转矩从 4 kNm 阶跃到 2 kNm 和 6 kNm, 得到液压马达转速对应于系统负载转矩的阶跃响应曲线(图 5)。在加/减载的过程中, 液压马达转速在 0.2 s 内恢复到设定值, 瞬态调整率为 4%。

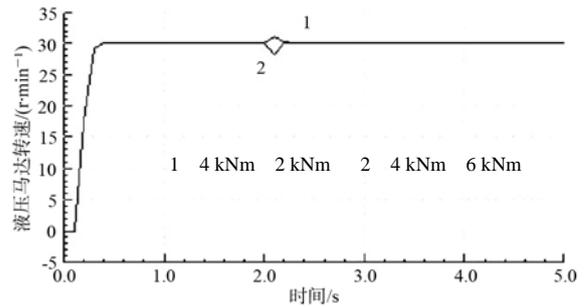


图 5 液压马达转速对负载转矩的阶跃响应

Fig. 5 The rotating velocity of hydraulic motor while load torque working as step signal

5 试验验证

为了验证所建海底履带采矿车的行走液压系统模型的正确性, 对履带车模型机进行了大量试验, 获得了行走过程中履带速度与马达压力等参数数据。笔者从中选取了 2 次试验数据, 试验结果与仿真结果对比曲线见图 6 和图 7。

试验曲线围绕仿真曲线上波动, 误差率均低于 5%, 因此, 仿真试验中设定的速度控制量以及马达负载转矩是有效的, 两者误差是由于海底履带采矿车试验环境恶劣造成的, 误差在可接受范围内。这说明建立的仿真模型能够正确地模拟实际的液压回路系统, 可进一步利用该模型进行海底履带采矿车行走控制研究。

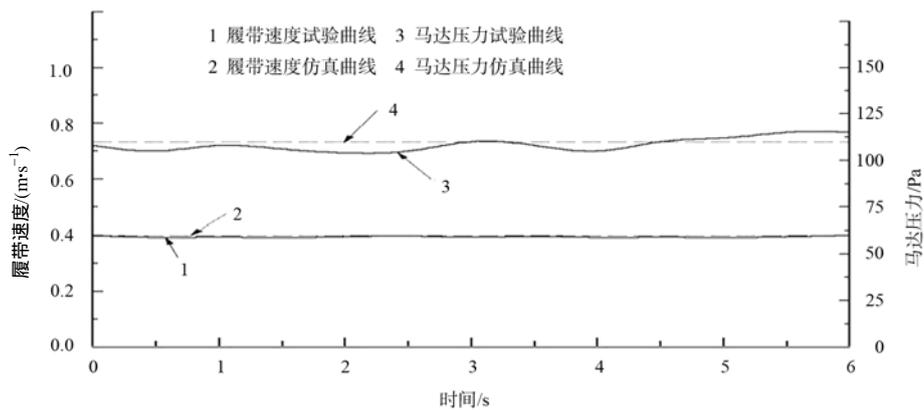


图6 试验结果与仿真结果对比(1)

Fig.6 The comparison between experimental results and simulation results (1)

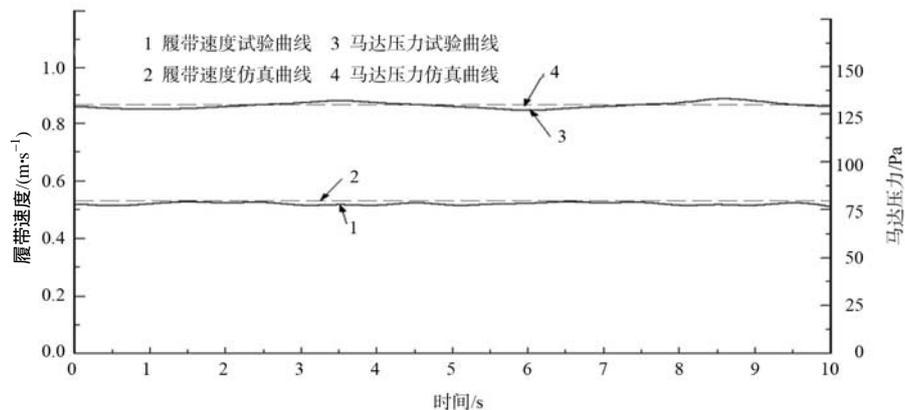


图7 试验结果与仿真结果对比(2)

Fig.7 The comparison between experimental results and simulation results(2)

6 结论

基于仿真软件 AMESim 建立了由变量液压泵、电液比例阀、定位油缸、电液换向阀、液压马达、速度传感器等元件组成的海底履带采矿车的行走液压系统模型。设计了 PID 控制器，并通过液压马达角速度作为负反馈组成闭环控制系统。仿真和试验对比分析结果表明，所建行走液压系统模型正确，海底履带采矿车行走液压系统液压马达具有良好的动态响应特性，能够满足多金属结核采矿系统的要求。

参考文献:

[1] 肖林京, 方澗, 张文明. 大洋多金属结核开采研究进

展与现状[J]. 金属矿山, 2000(8): 11-14.

[2] 丁六怀, 高宇清. 深海采矿集矿机的研究与开发[J]. 矿业研究与开发, 2006 (B10): 52-56.

[3] Herzog K, Schulte E, Atmanand M A. Slip control system for a deep sea mining machine [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2007, 4(2): 282-286.

[4] 万理想, 丁保华, 周洲, 等. 基于 AMESim 和 Simulink 的液压伺服系统动态仿真[J]. 煤矿机械, 2007(9): 40-42.

[5] 邢科礼, 冯玉, 金侠杰, 等. 基于 AMESim/Matlab 的电液伺服控制系统的仿真研究[J]. 机床与液压, 2004 (10): 57-58.

责任编辑: 刘目前

英文编辑: 罗文翠