

文章编号:1672-9331(2018)04-0087-08

基于 AMESim 的精密整平作业车液压系统仿真

张 新, 陈卓威, 谢旭敏

(长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 为了在新型地铁整平装置的设计研发基础上,进一步优化精密整平作业车液压系统的设计及其关键参数设定,绘制了精密整平作业车的液压系统原理图,利用 AMESim 软件分别对振捣系统、螺旋布料系统和调平系统进行了建模与仿真分析。仿真分析结果表明,随着振捣频率的增加,振捣马达流量波动越来越大,为保证振捣系统性能,振捣频率设计为 30 Hz;系统中加装蓄能器能够提升系统的稳定性和可靠性,降低液压冲击,延长液压元件使用寿命;阻尼孔直径影响调平油缸升降速度,阻尼孔直径增大,油缸升降速度也随之增大。为了保证整平工作质量,使升降速度处于标准范围内,最终确定阻尼孔 A1 的直径为 0.9 mm。

关键词: 精密整平作业车; 振捣系统; 螺旋布料系统; 调平系统; AMESim

中图分类号: U216.6

文献标识码: A

Hydraulic system of precision leveling vehicle based on AMESim

ZHANG Xin, CHEN Zhuo-wei, XIE Xu-min

(School of Automotive and Mechanical Engineering, Changsha University of
Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to further optimize the design and key parameter setting of the hydraulic system of the precision leveling vehicle on the basis of the design and development of a new system, the hydraulic system schematic diagram of precision leveling vehicle is drawn, and the vibrating system, screw fabric system and leveling system are respectively modeled and simulated by AMESim software. The simulation results show that the vibration frequency is set as 30 Hz to ensure the performance of the system. Adding accumulator in the system can improve the stability and reliability of the system, reduce hydraulic impact, and extend the service life of hydraulic components. The diameter of damping hole affects the lifting speed of oil cylinder in leveling; as the diameter of damping hole increases, the lifting speed of oil cylinder also increases. In order to ensure the working quality of leveling, the lifting speed is within the standard range, and the damping hole A1 diameter is finally determined to be 0.9 mm.

Key words: precision leveling vehicle; vibrating system; screw fabric system; leveling system; AMESim

收稿日期: 2018-07-31

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2016JJ2003)

通讯作者: 张 新(1966—), 男, 湖南长沙人, 长沙理工大学教授, 博士, 主要从事工程车辆机电液集成控制和车辆主动安全控制技术等方面的研究。E-mail: zxxbzjy@sina.com

随着地铁轨道道床施工技术的提高,预制板式整体道床技术得到了广泛的应用。该技术是在地面预制轨道板,再用专用运输工具运送至施工作业面进行安装。该技术对地铁轨道混凝土基座平整度要求较高,而现阶段混凝土基座施工多由工人浇筑混凝土并进行整平处理,施工人员劳动强度大,轨道的铺设效率低^[1-3]。因此,需要考虑引入整平装置代替工人进行作业。

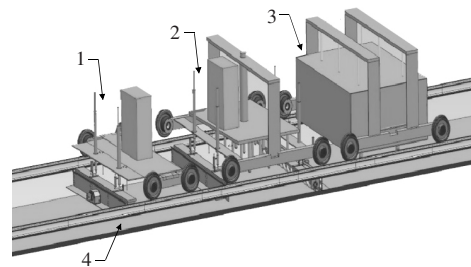
国外混凝土摊铺整平机已经发展形成系列产品,可以满足各种工程的不同需要。而在技术开发和产品开发方面,以美国神龙公司为代表的国外厂商目前能够成熟地运用机、电、液一体化技术,使混凝土摊铺整平机的结构更加合理、功能越加完善、性能趋于稳定、安全可靠且易于维修。国内摊铺整平机目前处于工艺研究阶段,各生产厂家运用先进的试验设备,通过提高加工工艺和重新合理匹配参数对摊铺整平机进行改进,并将样机投入到工程或试验中进行反复研究,以最大限度地提高产品各系统的匹配效果,进而提高产品性能。与国外产品相比,国产机型在性能、可靠性、稳定性以及故障率方面都存在一定的差距。而自行式混凝土整平机虽具有一次性成型、缩短工期、优化质量和高工效等特点,且在公路、机场等混凝土施工中普遍应用,但在铁路工程上的应用相对来说仍较少,各大厂商也没有量产专用于地铁轨道混凝土基座施工的摊铺整平机^[4-7]。因此,研究设计一种体积小、灵活性强、操作简单、整平效果理想的新型地铁轨道基座整平装置,对城市轨道交通的建设发展具有深远的意义。

为此,作者在完成新型整平装置设计的基础上,对该装置的精密混凝土整平作业车液压系统进行设计,利用 AMESim 软件完成其主要工作系统建模与仿真分析。虽然仿真研究不能够完全代替试验,但在设计阶段利用仿真能够缩短设计周期、降低设计成本^[8]。

1 精密整平作业车的结构

根据设计要求,地铁基座整平装置应能协助工人完成混凝土下料、振捣夯实混凝土基座、混凝土基面整平以及修正基座横、纵坡等工作,还应具备检测走行轨不平度的功能。因此,该整平装置

主要由混凝土精密整平作业车、混凝土铲平振动作业车和混凝土运输下料作业车三个部分组成(如图1所示)。

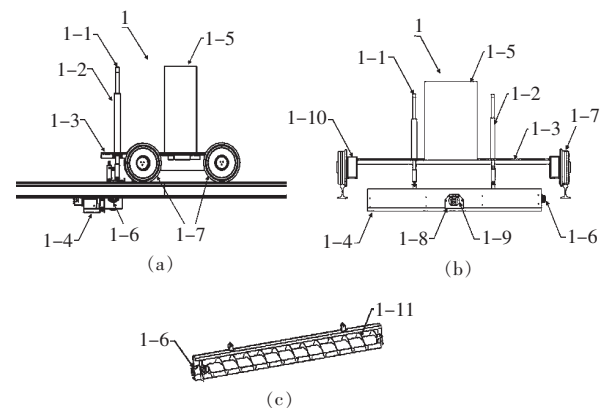


1. 混凝土精密整平作业车; 2. 混凝土铲平振动作业车;
3. 混凝土运输下料作业车; 4. 走行轨

图1 地铁基座整平装置结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of leveling device for metro base

混凝土精密整平作业车是整平装置的关键组成,它直接影响混凝土基座施工质量。工人操作混凝土精密整平作业车完成地铁轨道混凝土基座整平以及基面横、纵坡修正等工作,其主要组成结构如图2所示。



1-1: 全站仪信号接受棱镜; 1-2: 数字调平液压油缸; 1-3: 车架;
1-4: 振捣板; 1-5: 液压泵站与动力控制器总成; 1-6: 布料螺旋
液压马达; 1-7: 走行轮; 1-8: 偏心振捣机构; 1-9: 振捣液压马
达; 1-10: 轮轨走行伺服电机; 1-11: 布料螺旋

图2 混凝土精密整平作业车

Fig. 2 Concrete precision leveling operation vehicle

2 精密整平作业车液压系统的设计

混凝土精密整平作业车是整平装置的核心部分,研究工作也就围绕混凝土精密整平作业车的液压系统展开。对混凝土精密整平作业车液压系统进行设计,利用 AMESim 软件完成建模与仿真,并对仿真结果进行分析。

精密整平作业车液压系统的工作原理为:液压油泵由发动机驱动,向液压系统提供液压动力源;左、右调平油缸控制振捣板的升降,从而实现整平作业中基座横坡、纵坡的修正;布料螺旋液压马达带动布料螺旋推动混凝土沿螺旋布料杆轴线方向一侧出料,使得混凝土料沿螺旋杆轴线均匀分布,并可将多余的混凝土料从螺旋杆一侧出料,将多余的混凝土料推出;振捣液压马达驱动偏心块沿轴线进行高速回转运动,利用偏心力产生高频振动,并将此振动经振捣板传递至混凝土表面,

当整平头沿工作方向运动时,使得振捣板下混凝土面密实均匀分布,同时多余的混凝土料浆从混凝土表面下部渗出(简称提浆),保证混凝土均匀密实地分布在整平工作头作业面上,以提高混凝土基座的整平精度。通过溢流阀调节整个系统的工作压力,改变油泵的流量,控制液压马达的转速变化,从而改变振捣频率,以适应不同的工况。

依据精密整平作业车的工作原理和设计手册^[9],可绘制如图 3 所示的精密整平作业车液压系统原理图。

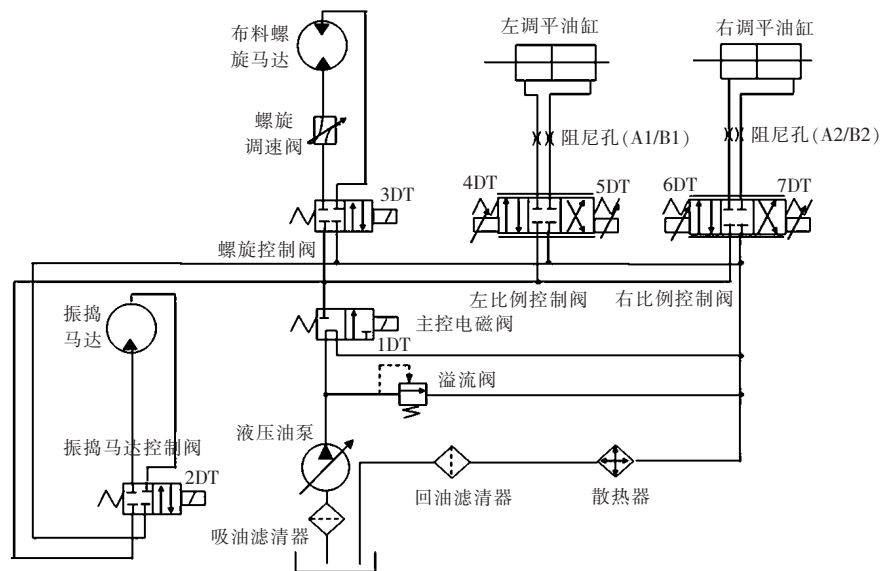


图 3 精密整平作业车液压系统原理图

Fig. 3 Schematic diagram of hydraulic system of precision leveling vehicle

3 系统的建模与仿真

利用 AMESim 软件建立精密整平作业车液压系统的相关仿真模型并进行仿真试验,对其关键仿真结果进行分析,以判断设计方案的可行性。这样能够进一步缩短精密整平作业车液压系统的调试时间,达到提升设计效率的目的。

3.1 振捣系统的建模与仿真分析

振捣系统作为混凝土精密整平作业车液压系统的主要组成部分,它的结构应合理。而振捣频率的选择将直接影响混凝土基座的平整度和密实度。另一方面,为了保证系统的稳定性,必须避免振捣系统在运行中出现较大的液压冲击,以延长设备使用寿命^[10]。

1) 振捣系统模型的建立。

利用 AMESim 软件,依据图 3 所示的精密整平作业车液压系统原理图,分别在信号库、机械库和液压库中选取对应的元件搭建仿真模型。由于软件模型库的限制,在本节及下文的建模过程中有些实际样机元件软件并不能提供,所以在保证不改变系统特性的前提下对其进行替换。仿真过程中,直接采用信号加载实现对液压系统的控制^[11]。建立的振捣系统模型如图 4 所示。

完成振捣系统建模后,确定振捣系统模型主要参数如表 1 所示。

2) 振捣系统的仿真分析。

首先,对该精密整平作业车的振捣频率进行优化设计。分别取振捣频率为 20, 25, 30, 35 Hz, 设置仿真时间为 10 s^[12]。振捣液压马达的流量变

化如图5所示,分析图5可知,随着振捣频率依次增加,马达流量波动增大;而当振捣频率达到35 Hz时,系统的性能会大幅度降低,对液压元件产生冲击。为了保证振捣系统良好的稳定性与压实力,将振捣频率设定为30 Hz。

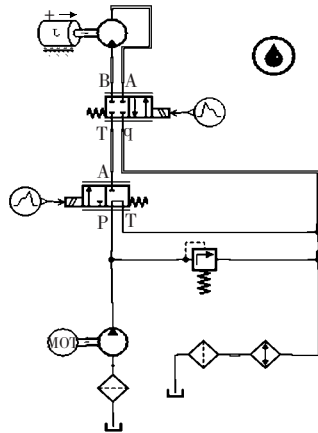


图4 振捣系统仿真模型

Fig. 4 Simulation model of vibration system

表1 振捣系统主要仿真参数设置

Table 1 Main simulation parameter settings for the vibratory system

序号	参数	数值
1	液压油粘度(40 ℃)/cp	51
2	液压油密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	850
3	液压泵转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	2 200
4	液压泵排量/($\text{mL} \cdot \text{r}^{-1}$)	20
5	溢流阀压力/MPa	20
6	振捣液压马达排量/($\text{mL} \cdot \text{r}^{-1}$)	30

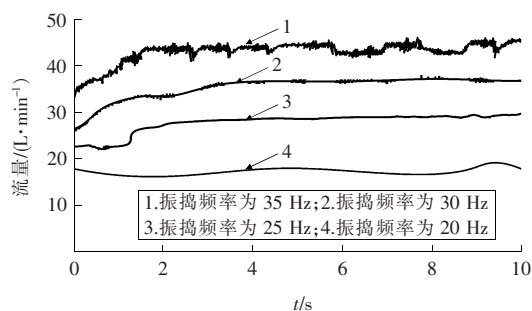


图5 不同振捣频率下马达流量变化对比

Fig. 5 Comparison of variation of motor flow at different vibration frequencies

同时,为了探究振捣液压系统开始工作的瞬

时稳定性,将仿真时间设定为1 s,采样周期为 10^{-3} s,可以得到振捣液压马达的入口压力变化和流量变化分别如图6和图7所示。

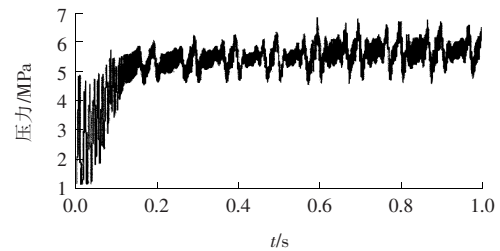


图6 振捣液压马达压力变化

Fig. 6 Vibratory hydraulic motor pressure change

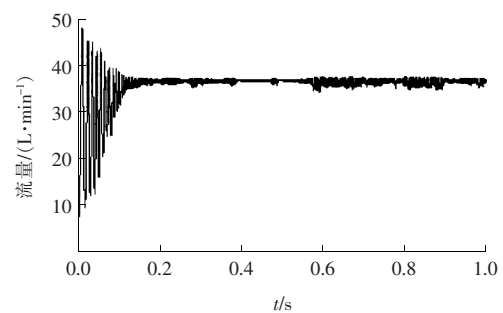


图7 振捣液压马达流量变化

Fig. 7 Vibratory hydraulic motor flow change

观察图6和图7中振捣液压马达压力与流量的变化曲线可知,由于系统存在液压脉动等原因,使得振捣液压马达的压力、流量在振捣系统启动瞬间波动幅度较大,说明系统存在较大冲击。为了改善系统性能,考虑在原振捣系统中加装蓄能器,改进后的振捣系统模型如图8所示。所得到的振捣液压马达的压力和流量变化如图9和图10所示。

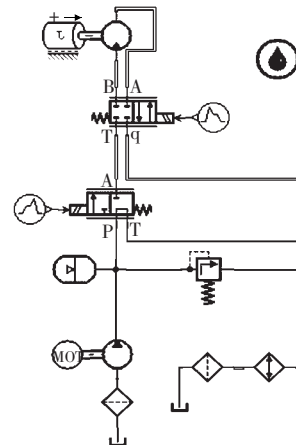


图8 振捣系统仿真模型(改进后)

Fig. 8 Simulation model of vibrating system(Improved)

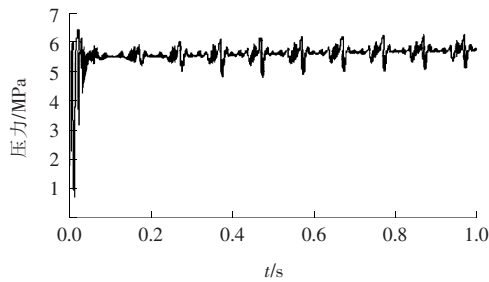


图 9 振捣液压马达压力变化(改进后)

Fig. 9 Vibratory hydraulic motor pressure change(Improved)

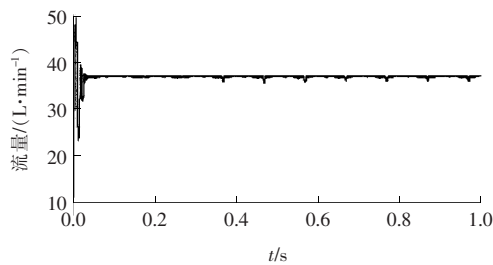


图 10 振捣液压马达流量变化(改进后)

Fig. 10 Vibratory hydraulic motor flow change(Improved)

观察对比图 6 与图 9 以及图 7 与图 10 可知,当振捣液压系统加装了蓄能器后,其稳定性显著提升。

3.2 螺旋布料系统的建模与仿真分析

螺旋布料系统是混凝土精密整平作业车液压系统重要组成部分之一,其主要功能是使混凝土料均匀地摊铺作业标段并配合振捣系统完成整平工作。与振捣系统类似,本节仍以降低系统液压冲击、提高稳定性为目的进行仿真研究。

1) 螺旋布料系统模型的建立。

利用 AMESim 对螺旋布料液压系统进行建模。建立的螺旋布料系统模型如图 11 所示。

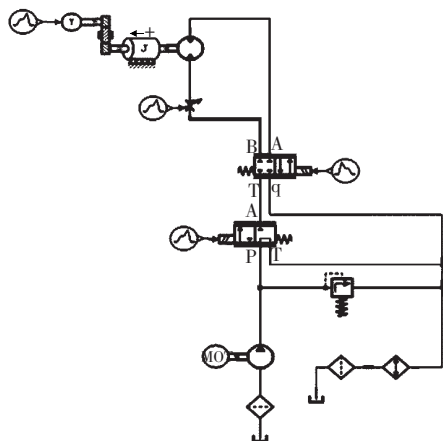


图 11 螺旋布料系统模型

Fig. 11 Simulation model of screw fabric system model

完成螺旋布料系统建模后,确定螺旋布料系统仿真模型主要参数如表 2 所示。

表 2 螺旋布料系统主要仿真参数设置

Table 2 Main simulation parameter settings for the screw fabric system

序号	参数	数值
1	液压油粘度(40 ℃)/cp	51
2	液压油密度/(kg · m ⁻³)	850
3	液压泵转速/(r · min ⁻¹)	2 200
4	液压泵排量/(mL · r ⁻¹)	20
5	溢流阀压力/MPa	20
6	螺旋液压马达排量/(mL · r ⁻¹)	350

2) 布料螺旋系统的仿真分析。

探究布料螺旋系统启动到工作一段时间的变化情况,将仿真时间设置为 10 s,分别观察螺旋液压马达的转速变化(见图 12)、流量变化(见图 13)、压力变化(见图 14)和扭矩变化(见图 15)。

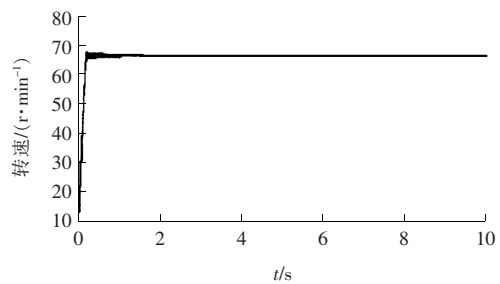


图 12 螺旋液压马达转速变化

Fig. 12 Screw hydraulic motor speed change

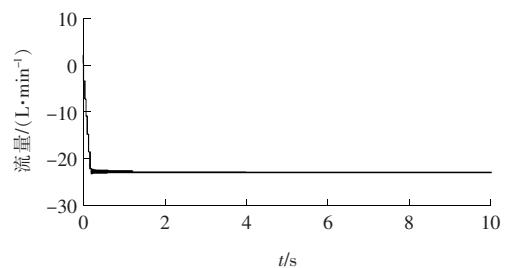


图 13 螺旋液压马达流量变化

Fig. 13 Screw hydraulic motor flow change

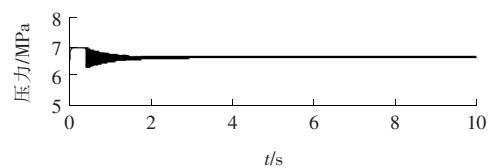


图 14 螺旋液压马达压力变化

Fig. 14 Screw hydraulic motor pressure change

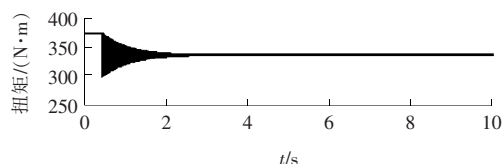


图 15 螺旋液压马达扭矩变化

Fig. 15 Screw hydraulic torque changes

由图 12 可以发现,仿真运行后,螺旋马达转速与流量变化波动不大,而马达压力和扭矩存在溢流现象,且在 $0.5 \sim 3$ s 内出现较大波动,对系统造成了液压冲击。为了改善系统性能,同样选择在螺旋布料系统中加装蓄能器后再次进行仿真,改进后的螺旋布料系统模型如图 16 所示。所得到的改进后螺旋液压马达的压力和扭矩变化如图 17 和图 18 所示。

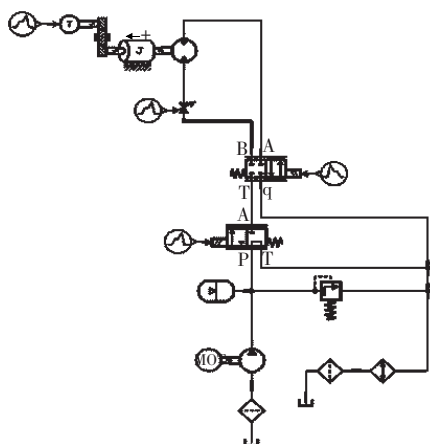


图 16 螺旋布料系统模型(改进后)

Fig. 16 Screw fabric system model(Improved)

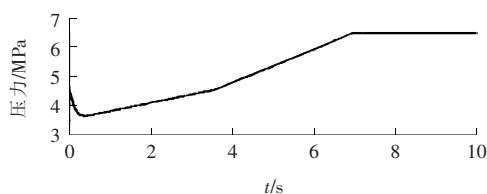


图 17 螺旋液压马达压力变化(改进后)

Fig. 17 Screw hydraulic motor pressure change(Improved)

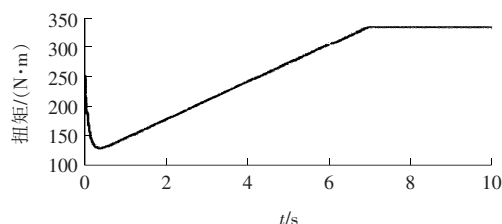


图 18 螺旋液压马达扭矩变化(改进后)

Fig. 18 Screw hydraulic motor torque change(Improved)

观察对比图 14 与图 17 以及图 15 与图 18 可以发现,加装蓄能器后虽然螺旋布料系统响应稍慢且溢流现象仍然存在,但螺旋液压马达压力与扭矩的波动明显减小,不会对系统产生较大的液压冲击。

3.3 调平系统的建模与仿真分析

调平油缸升降速度将直接影响整平质量。油缸升降速度太小会直接降低系统响应,使得振捣板工作延迟,而升降速度太大又可能出现超调现象^[13],因而调平油缸升降速度是决定整平作业质量好坏的关键因素。为了解决上述问题,提出在调平油缸进、出油口处安装不同规格孔径的阻尼孔,以此改变油缸的升降速度。

1) 调平系统模型的建立。

利用 AMESim 对调平液压系统进行建模。由前两个系统的经验可知,在调平系统中加装蓄能器能够提升系统的稳定性,故针对原有液压系统做出改进,即在进行调平系统建模时加装蓄能器。图 19 为调平系统仿真模型。

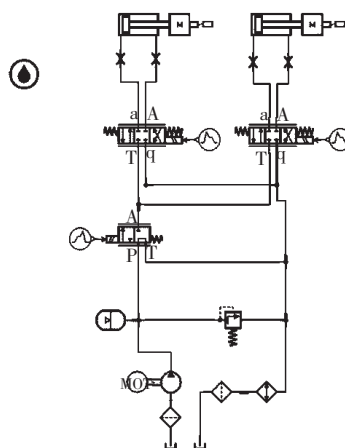


图 19 调平系统仿真模型

Fig. 19 Simulation model of the leveling system

完成调平系统建模后,确定调平系统仿真模型主要参数如表 3 所示。

2) 调平系统的仿真分析。

首先设置主控电磁阀的控制信号变化(如图 20 所示),该信号主要用于模拟油缸换向,即上升、下降工况,以左调平油缸及其阻尼孔 A1 为例进行仿真分析。

为了探究不同孔径阻尼孔对调平油缸升降速度的影响,分别设定左调平油缸进油口处阻尼孔

(A1)直径为 0.4,0.6,0.8,1.0 mm,运行仿真可得左调平油缸活塞位移与速度随控制信号的变化(如图 21 和图 22 所示)。

表 3 调平系统主要仿真参数设置
Table 3 Main simulation parameter settings for the leveling system

序号	参数	数值
1	液压油粘度(40 ℃)/cp	51
2	液压油密度/(kg · m ⁻³)	850
3	液压泵转速/(r · min ⁻¹)	2 200
4	液压泵排量/(mL · r ⁻¹)	20
5	溢流阀压力/MPa	20
6	调平油缸活塞直径/mm	50
7	调平油缸活塞杆直径/mm	40
8	调平油缸活塞行程/mm	400

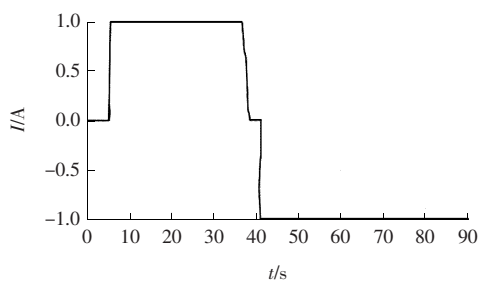


图 20 电磁阀控制信号

Fig. 20 Control signal of solenoid valve

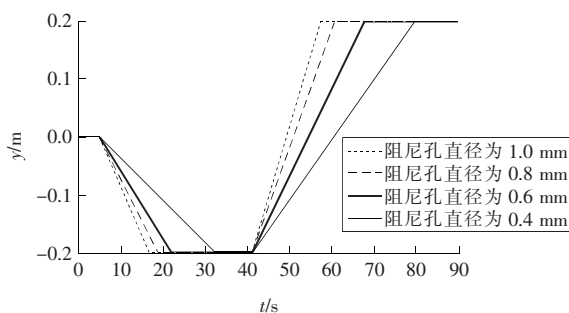


图 21 左调平油缸活塞位移变化

Fig. 21 Left leveling cylinder piston displacement change

位移和速度的正负仅代表方向,不表示大小。数值为正,表示调平油缸处于下降状态;数值为负,表示调平油缸处于上升状态。不同孔径阻尼孔所对应的调平油缸速度变化如表 4 所示。

观察左调平油缸位移、速度变化曲线,油缸升降速度会随安装在进油口处阻尼孔 A1 的直径增

大而增大。若要求精密整平作业车调平时同时具备速度与精度,则需要选取合适的阻尼孔直径。查阅相关文献资料,将调平油缸升降速度标准范围设为 18~24 mm/s^[14]。综合上述仿真结果发现,当阻尼孔直径为 0.8,1.0 mm 时,调平油缸升降速度比较接近该范围,即阻尼孔 A1 直径在 0.8~1.0 mm 之间取值能满足设计要求。当直径为 0.8 mm 时,其最大上升速度略小于标准值;当直径为 1.0 mm 时,其最大下降速度略大于标准值,故最终将左调平油缸进油口阻尼孔 A1 直径设定为 0.9 mm,以保证精密整平作业车工作性能。

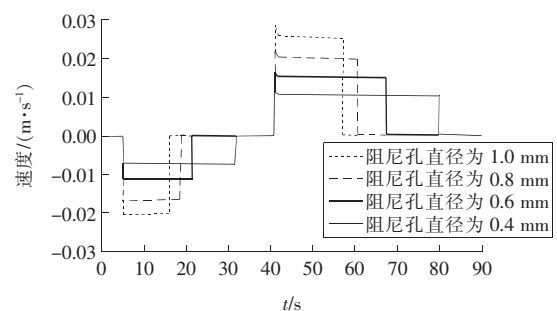


图 22 左调平油缸活塞速度变化

Fig. 22 Left leveling cylinder piston velocity change

表 4 调平油缸速度与阻尼孔孔径关系

Table 4 Relationship between leveling oil cylinder speed and damping hole diameter

阻尼孔(A1)直径/ mm	最大下降速度/ (mm · s ⁻¹)	最大上升速度/ (mm · s ⁻¹)
0.4	10.2	7.8
0.6	15.3	11.8
0.8	20.2	16.8
1.0	25.8	21.5

4 结论

1) 根据设计要求,确定混凝土整平装置的组成结构,建立了其三维模型。以精密整平作业车为研究重点,根据其工作原理设计液压系统,绘制了液压系统原理图。

2) 利用 AMESim 软件对振捣系统进行了仿真研究。为了避免系统运行中出现较大的液压冲击,将振捣频率控制设定为 30 Hz。而通过对振捣马达压力、流量变化进行仿真分析可知,改进模型加装蓄能器可以提高系统稳定性。

3) 对螺旋布料系统进行了仿真研究。通过观察螺旋液压马达流量、转速、压力和扭矩变化,考虑加装蓄能器避免系统运行时出现较大的液压冲击。

4) 以左调平油缸为例,研究了调平油缸升降速度与阻尼孔直径间的关系。选取不同阻尼孔A1直径进行对比发现,油缸升降速度随阻尼孔直径的增大而增加。为了使油缸速度处于标准范围内,最终确定阻尼孔A1直径为0.9 mm。

〔参考文献〕

- [1] 尹金铭. 城市轨道交通工程预制板式道床施工技术[J]. 上海建设科技, 2016(4): 27-30.
YIN Jin-ming. Construction technology of prefabricated slab road bed for urban rail transit project[J]. Shanghai Construction Technology, 2016(4): 27-30.
- [2] 张萌. 城市地铁轨道施工工艺流程的研究[J]. 工程技术, 2013, 16(102): 203.
ZHANG Meng. Research on urban subway track construction technology[J]. Engineering Technology, 2013, 16(102): 203.
- [3] 高岩. 板式无碴轨道施工流程及工艺要点[J]. 科学技术创新, 2013(4): 243.
GAO Yan. The construction process and key process points of plate-type no cobbler track[J]. Scientific and Technological Innovation, 2013(4): 243.
- [4] 黄广成. 沥青混凝土摊铺机发展及应用探索[J]. 科技视界, 2015, 17(211): 262.
HUANG Guang-cheng. Development and application of bituminous concrete paver[J]. Science and Technology Horizon, 2015, 17(211): 262.
- [5] 崔文涛. 摊铺机的现状与发展趋势研究[J]. 山东工业技术, 2016, 14(196): 220.
CUI Wen-tao. Research on the current situation and development trend of paving machines[J]. Shandong industrial Technology, 2016, 14(196): 220.
- [6] 张淼, 温雪兵. 浅谈国内沥青摊铺机技术发展趋势[J]. 建筑机械化, 2015(4): 36-37.
ZHANG Miao, WEN Xue-bing. A brief discussion on the development trend of domestic asphalt paver technology[J]. Architectural Mechanization, 2015(4): 36-37.
- [7] 庞林军. 混凝土整平机在铁路工程隧道施工中的应用[J]. 云南水力发电, 2013, 29(2): 144-146.
PANG Lin-jun. Application of concrete leveling machine in tunnel construction of railway engineering[J]. Yunnan Hydropower, 2013, 29(2): 144-146.
- [8] 付久长, 王永杰, 马龙. 仿真技术在液压系统中的运用及展望[J]. 液压气动与密封, 2014, 34(9): 1-2.
FU Jiu-chang, WANG Yong-jie, MA Long. Application and prospect of simulation technology in hydraulic system[J]. Hydraulic Pneumatic and Seal, 2014, 34(9): 1-2.
- [9] 中国筑养路机械设备手册编委会. 中国筑养路机械设备手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
China Road Maintenance Machinery Manual Compilation Committee. China road construction machinery equipment manual[M]. Beijing: People's Transportation Press, 2011.
- [10] 李超, 单东升, 赵东华. 基于 AMESim 的液压振动系统建模及仿真研究[J]. 机床与液压, 2015, 4(7): 165-171.
LI Chao, SHAN Dong-sheng, ZHAO Dong-hua. Modeling and simulation of hydraulic vibration system based on AMESim[J]. Machine Tool and Hydraulic, 2015, 4(7): 165-171.
- [11] 付永领. AMESim 系统建模和仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
FU Yong-ling. Modeling and simulation of AMESim system[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2006.
- [12] 孙健, 黄传辉, 李付星. 基于虚拟样机技术的摊铺机振捣器动力学特性研究[J]. 振动与冲击, 2016(19): 213-218.
SUN Jian, HUNAG Chuang-hui, LI Fu-xing. Study on dynamic characteristics of vibrator of paving machines based on virtual prototype technology[J]. Vibration and Impact, 2016(19): 213-218.
- [13] 冯虎, 崔竹君, 高荣. 摊铺机提升液压系统仿真研究[J]. 施工机械与管理, 2016, 12(5): 101-103.
FENG Hu, CUI Zhu-jun, GAO Rong. Simulation research on the hydraulic system of pavement hoist[J]. Construction Machinery and Management, 2016, 12(5): 101-103.
- [14] 张步坤. AMESim 在摊铺机找平液压系统的应用[J]. 建筑机械, 2013(13): 73-75.
ZHANG Bu-kun. Application of AMESim in leveling hydraulic system of paver[J]. Construction Machinery, 2013(13): 73-75.