

12-12-2019

Dynamic Matching of Power Transmission Efficiency of Bulldozer under Operation Condition

Shengping Fu

School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

Shengbo Li

School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

Luo Ning

School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Dynamic Matching of Power Transmission Efficiency of Bulldozer under Operation Condition

Abstract

Abstract: When a high-power bulldozer works with the heavy load for a long time, the efficiency of hydraulic mechanical transmission decreases obviously. To solve this problem, the dynamic simulation model of bulldozer power transmission is constructed based on modularization theory. *And a dynamic match strategy of guaranteeing the high transmission efficiency is designed. Moreover, a load control model and a throttle opening control model are constructed. And then the optimizing design platform is established to confirm and optimize the PID parameters of load control and throttle opening control model adopting Isight and Matlab software. Eventually, hardware-in-the-loop test is designed and accomplished.* The results show that the proposed dynamic matching strategy increases the transmission efficiency of bulldozer obviously under continuous operation conditions, and insufficient power during long operation process is effectively controlled.

Keywords

efficiency control, hydrodynamic-mechanical transmission, dynamic matching, hardware-in-the-loop test, bulldozer

Recommended Citation

Fu Shengping, Li Shengbo, Luo Ning. Dynamic Matching of Power Transmission Efficiency of Bulldozer under Operation Condition[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(9): 1890-1898.

某推土机作业时动力传动效率动态匹配

符升平, 李胜波, 罗宁

(厦门理工学院机械与汽车工程学院, 福建 厦门 361024)

摘要: 为解决大功率推土机在持续作业工况下液力机械传动效率较低的问题, 建立基于模块化的推土机动力传动系统动力学仿真模型, 设计效率型动力传动系统动态匹配策略, 建立负载控制模型和油门开度控制模型, 构建 Isight 和 Matlab 联合集成优化设计平台, 整定和优化负载和油门开度控制系统的 PID 参数, 设计完成动力传动系统半实物仿真试验。结果表明所提出的效率型动力传动系统动态匹配方法可有效提高推土机持续作业工况的工作效率, 抑制持续作业引起的动力不足等问题。

关键词: 效率控制; 液力机械传动; 动态匹配; 半实物试验; 推土机

中图分类号: U463.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 08-1890-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0400

Dynamic Matching of Power Transmission Efficiency of Bulldozer under Operation Condition

Fu Shengping, Li Shengbo, Luo Ning

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: When a high-power bulldozer works with the heavy load for a long time, the efficiency of hydraulic mechanical transmission decreases obviously. To solve this problem, the dynamic simulation model of bulldozer power transmission is constructed based on modularization theory. And a dynamic match strategy of guaranteeing the high transmission efficiency is designed. Moreover, a load control model and a throttle opening control model are constructed. And then the optimizing design platform is established to confirm and optimize the PID parameters of load control and throttle opening control model adopting Isight and Matlab software. Eventually, hardware-in-the-loop test is designed and accomplished. The results show that the proposed dynamic matching strategy increases the transmission efficiency of bulldozer obviously under continuous operation conditions, and insufficient power during long operation process is effectively controlled.

Keywords: efficiency control; hydrodynamic-mechanical transmission; dynamic matching; hardware-in-the-loop test; bulldozer

引言

液力机械传动具有无级变速和良好的路面适

应性, 广泛应用于工程机械。推土机作业长期处于低速重载区域, 负载变化剧烈, 需频繁采用液力工况, 利用液力变矩器的低速大变矩进行作业, 导致液力变矩器工作在低效区的时间过长, 容易出现动力不足、作业无力等现象^[1-2]。因此为了提高工作效率和保证推土机正常作业, 通过基于效率控制的动力传动系统动态匹配, 保证液力变矩器始终工作在高效区。



收稿日期: 2017-08-17 修回日期: 2017-10-17;
基金项目: 国家自然科学基金(51505402, 51405410),
福建省自然科学基金(2015J01228);
作者简介: 符升平(1983-), 男, 湖南益阳, 博士,
副教授, 研究方向为车辆传动系统动态分析。

<http://www.china-simulation.com>

• 1890 •

相对一般车辆, 推土机工作特性如下:

- 1) 作业液压系统在较大范围内调整负载;
- 2) 在作业循环的某一工序中, 换挡不频繁;
- 3) 作业过程中油门开度较大, 发动机转速处于额定转速附近。

以往研究主要通过设计效率型换挡策略^[3-10]或优化动力传动系统动力性^[11-14]来提高传动系统的工作效率, 不适用推土机作业工况下换挡不频繁和始终保持较大油门开度的特征, 必须寻求新的动力传动系统动态匹配方法。针对某型大功率高速履带式推土机, 本文提出基于负载调节和油门开度调节联合控制的效率型动力传动系统动态匹配方法, 保证动力传动系统在液力工况下的高效工作。

1 整车动力学模型

所研究推土机采用后分流式双流液力机械动力传动系统, 包括发动机、前传动、液力变矩器、齿轮传动系统、换挡离合器等, 如图 1 所示。挡位和操纵元件的逻辑关系如表 1 所示, “/”表示换挡离合器接合。CL 和 CH 离合器具有油液缓冲控制的功能, C1、C2 和 C3 离合器不具备此功能。

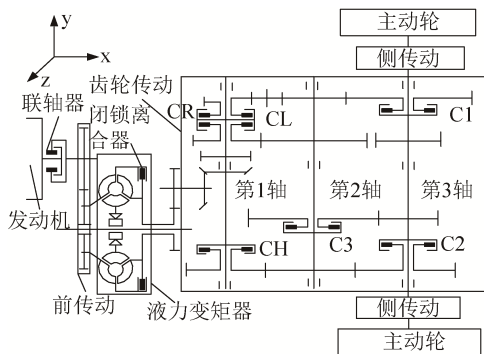


图 1 动力传动系统简图
Fig. 1 Vehicle power train

基于自顶向下的模块化建模思想, 在 MATLAB-SimDriveline 中分别建立各部件动力学模型。建模的假设条件为:

- 1) 各部件均简化为集中质量;
- 2) 不考虑运动间隙和内部摩擦;

- 3) 忽略扭振的影响;
- 4) 不考虑传动轴质量、弹性和阻尼等物理特性。

表 1 换挡操纵

Tab. 1 Shifting operation

离合器	空挡	1挡	2挡	3挡	4挡	5挡	6挡	倒挡
CH			/		/		/	
CL	/			/		/		
CR								/
C1	/	/						/
C2				/	/			
C3						/	/	

1.1 发动机

不考虑发动机扭振激励, 根据试验所测发动机速度特性, 采用双线性数值插值方法得到发动机在不同油门开度和转速下的输出转矩, 如图 2 所示, 并建立发动机动力学子模型, 其中油门开度 α 和发动机转速 n_e 为输入参数, 输出转矩 T_e 为输出参数。

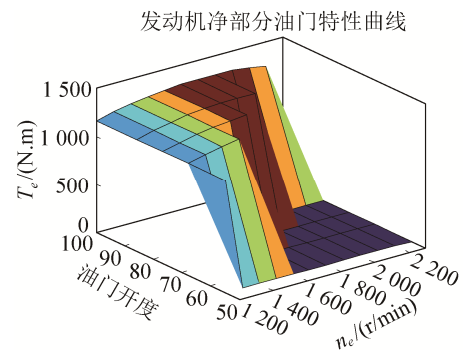


图 2 发动机部分油门特性曲线
Fig. 2 Engine partial throttle characteristics curve

1.2 离合器

系统中的离合器包括闭锁离合器和换挡离合器, 两者均为湿式多片离合器。本文采用 SimDriveline 中自带的离合器模型, 如图 3 所示。

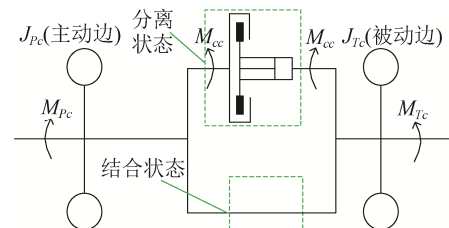
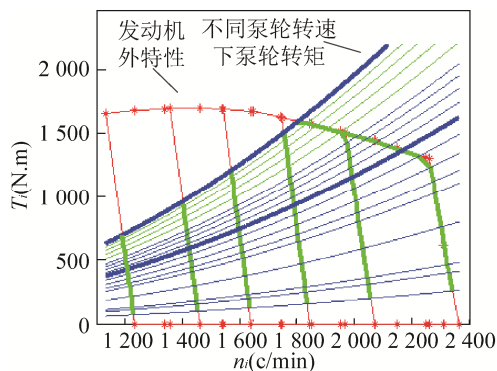


图 3 离合器动力学模型
Fig. 3 Dynamics model of clutch

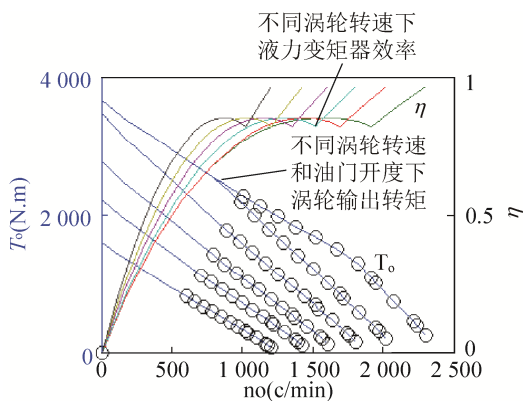
1.3 可闭锁式液力变矩器

闭锁离合器的工作状态决定了液力变矩器动力传动路线，在 MATLAB 中通过插值模拟液力变矩器的试验原始特性，得到不同速比下的变矩比和效率，建立液力变矩器模型；并联液力变矩器和闭锁离合器，得到完整的可闭锁式液力变矩器模型。

所研究动力传动系统通过前传动匹配发动机和液力变矩器，计算得到发动机和液力变矩器的共同工作特性，如图 4 所示。



(a) 共同工作输入特征



(b) 共同工作输出特征

图 4 共同工作特性

Fig. 4 Co-work performance

1.4 齿轮传动系统

首先采用三维建模方法确定各零件的惯量；然后根据表 1 所示的换挡逻辑，建立齿轮传动系统的动力学模型，如图 5 所示，最后在 MATLAB/Sim Driveline 中生成动态仿真模型。

1.5 负载

推土机的负载包括路面阻力和推土阻力，设置

总阻力系数 f_t ，通过控制 f_t ，数值模拟铲刀的升降，适应推土作业时外界负荷的变化。负载转矩 T_{load} 可表示为：

$$T_{load} = f_t \cdot M \cdot g \cdot r \quad (1)$$

式中： M 为车辆总质量； g 为重力加速度； r 为主动轮半径。

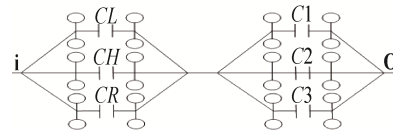


图 5 齿轮传动系统动力学模型

Fig. 5 Dynamics model of gear transmission system

2 动力传动系统动态匹配

推土机作业工况的理想特征：

- 1) 在作业过程中，挡位固定；
- 2) 液力变矩器始终工作在高效区；
- 3) 负载可通过液压系统调节，但是存在延迟；
- 4) 通过调节负载和发动机输出功率，控制车辆的滑转率，最大程度发挥发动机动力；
- 5) 重载作业时，发动机基本处于额定转速附近。

2.1 匹配策略

为了满足推土机作业工况的需求，动力传动系统动态匹配包括两种策略模型：

- 1) 负载控制策略：根据所选挡位的动力特性，调节负载，获得较高的传动效率；
- 2) 油门开度控制策略：控制动力传动系统的输出功率。

针对推土机不同的动力模式，差异化设计匹配策略：1) 重载模式：采用负载控制策略，设置负载门限值，当外载荷大于此值，适当降低负载；2) 经济模式：当负载较小或处于运输状态时，采用油门开度策略和负载策略协调控制方法，实现高效低消耗；3) 轻载模式：当较长时间处于小负荷工况时，固定油门拉杆，对应全功率转速的 65%。

2.2 负载控制模型

在推土机重载模式下，液压操纵执行机构调节作业负载存在滞后，而 PID 控制算法鲁棒性强和可

靠性高, 因此采用 PID 控制算法, 调节铲刀升降实现作业负载控制。负载控制模型包括重载预判和效率控制: 设置负载门限值, 当 $f_i > f'_i$ 时, 激活负载控制模型, 控制液力变矩器的工作效率 η 在 75% 以上 (对应液力变矩器速比 $i > 0.6$); 设置液力变矩器的预置速比 i' (当 $i = 0.8$ 时, $\eta = 0.78$, 取 $i' = 0.8$) 和目标速比 $i_0 = 0.6$, 则负载控制流程见图 6 (e 为控制反馈量)。

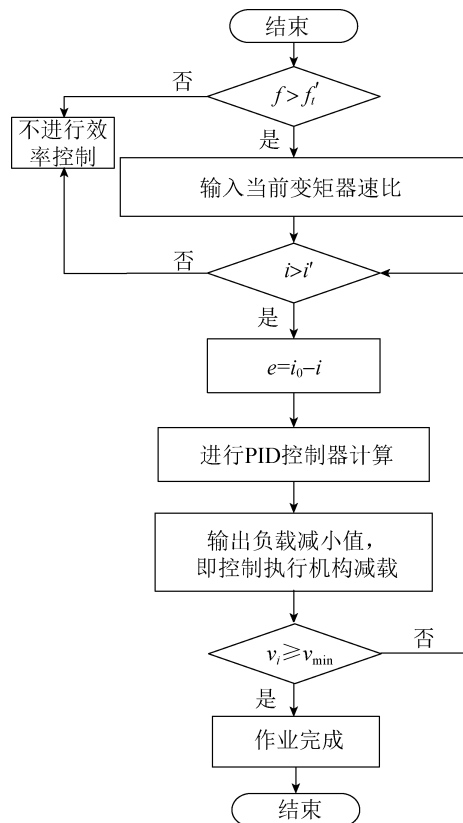


图 6 负载控制流程

Fig. 6 Flow diagram of load control

液压操纵引起的滞后环节采用 Pade 近似方法, 由于零点低阶模型在逼近的起始部分出现较大波动, 因此在零点低阶模型基础上, 采用移位处理和 Taylor 展开, 得到全极点模型:

$$\exp(-\tau s) \approx 1/(1 + \tau s + 0.5\tau^2 s^2) \quad (2)$$

根据负载控制流程, 结合液压滞后的全极点近似方法, 针对不同挡位工况设置合适的 PID 参数, 建立效率型负载控制模型。

2.3 油门开度控制模型

在推土机轻载和运输工况时, 为充分发挥发动

机动力, 设置油门开度控制器, 车速为控制变量, 控制车辆滑转率(40%~60%)。模拟驾驶员根据车辆运行状态参数控制油门开度: 采用车速传感器获得瞬时车速 v_i (仿真在 Matlab/Simulink 中设置反馈环节; 试验采用 Lebow 1606-20K 2000 Nm 应变式转矩转速传感器), 与目标车速 v_0 对比, 得到并输出控制信号, 驱动发动机供油齿杆电机, 调节供油量, 控制油门开度, 使推土机作业车速在目标车速范围。采用 PID 控制模型, 如式(3)所示, 建立油门控制模型。

$$\Delta\alpha(t) = K_p(e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (3)$$

式中: $\Delta\alpha(t)$ 为油门开度变化量; $e(t)$ 为目标车速 v_0 和瞬时车速 v_i 差值。

2.4 负载和油门开度联合控制

在推土机作业工况下, 为了同时保证作业效率和整车的燃油经济性, 需要动态控制油门开度, 实现负载和油门开度的联合控制: 油门开度控制以车速差为控制目标, 当实际车速小于控制目标车速时, 即 $v_i \leq v_{min}$, 改变 PID 参数, 增大负载减小的幅度, 实现车速的控制, 提高车辆的燃油经济性, 控制流程如图 7 所示。

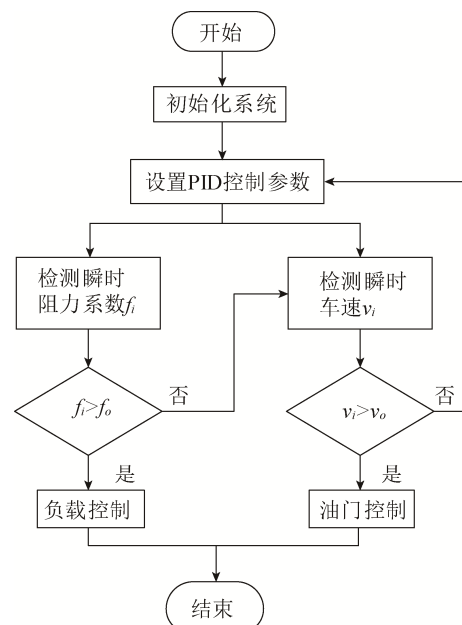


图 7 负载和油门开度联合控制流程

Fig. 7 Co-control flow diagram of load and throttle opening

3 PID 参数优化

PID 控制器包括负载控制器模型和油门开度控制器模型，PID 参数的整定和优化是决定控制精度的关键。在模型调试过程中，首先通过手动调节确定 PID 参数的收敛范围，参数化推土机的动力传动系统仿真模型；然后采用试验设计(Design of Experiment, DOE)对 PID 参数进行寻优：通过优化软件 Isight 和 Matlab 的无缝集成，定义优化数学模型，调用推土机的动力传动系统仿真模型，对 PID 参数进行优化设计。试验设计流程如图 8 所示。

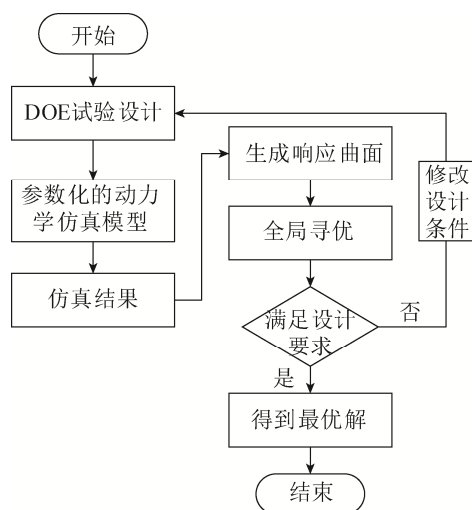


图 8 PID 参数优化流程

Fig. 8 Optimization flow diagram of PID parameters

3.1 负载控制器

负载控制满足 2 个基本条件：1) 保证变矩器的高效工作范围；2) 控制负载满足重载需求。根据控制要求，建立负载控制器 PID 参数优化的数学模型。

设计变量：不同负载条件下效率控制器参数 K_p' 、 K_i' 和 K_d' 。

优化目标： $\max \eta^* = \frac{1}{t} \int_0^t \eta dt$ ，式中 η^* 为液力变

矩器平均效率， η 液力变矩器瞬时效率。

约束条件：为了满足重载需求，将车辆滑转率 S 的范围作为约束条件。为了满足复杂环境作业要求，不能过度减小负载，允许存在 40%~60% 的滑转。因此设置滑转率约束条件 $|S-0.5| \leq 0.1$ ，且定义 $S=|S-0.5|$ 。

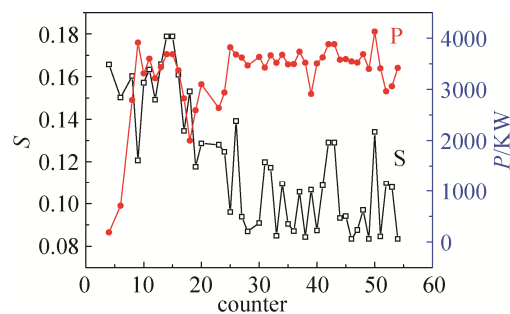
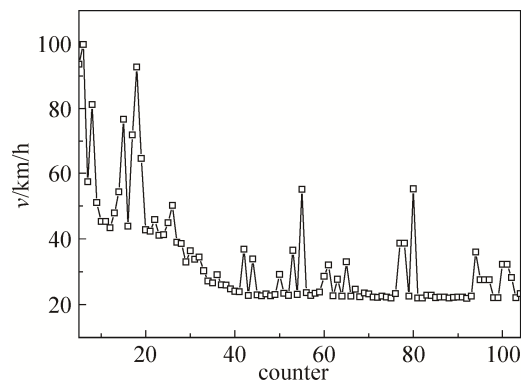
3.2 油门开度控制器

油门开度控制器将车辆滑转率转化为车速模型，充分利用发动机的动力，建立油门开度控制器 PID 参数优化的数学模型。

设计变量：不同油门开度下效率控制器参数 K_p 、 K_i 和 K_d 。

优化目标：目标车速 v_o 和瞬时车速 v_i 差值的平方，即 $\min v_m = (v_o - v_i)^2$ 。

通过试验设计和全局优化计算，得到负载和油门开度 PID 控制器的最优控制参数。在仿真计算时，根据负载和油门开度条件，通过查表得到最优 PID 控制参数。图 9 为 PID 参数寻优过程中负载控制和油门开度恒速控制曲线(横坐标为迭代次数)。

(a) 作业功率 (p) 和滑转率 (S) 曲线

(b) 恒速控制曲线

图 9 PID 参数优化结果

Fig. 9 Optimization result of PID parameters

4 仿真分析

负载和油门开度控制用于推土机的作业工况，并且在作业过程中无挡位切换。本文主要针对推土机两种典型作业工况进行仿真分析，即 1 挡固定油门开度下推土作业和 2 挡变油门开度下推土作业。

4.1 一档固定油门开度下的作业工况

推土机 1 挡起步, 作业历时 70 s, 负载系数通过试验数据标定的推土机作业工况负载曲线换算得到, 发动机速度特性和液力变矩器原始特性通过试验数据标定。针对不同油门开度进行负载控制, 图 10 为车速随时间变化曲线。

如图 10 所示, 低于 80% 的油门开度条件下, 车速下降较快, 影响作业功率, 因此负载控制尽量在全油门开度时使用, 最小开度应大于 80%, 符合工程机械重载时使用大油门开度的规律。固定油门开度为 80%, 对比分析有无负载控制的效率随时间变化曲线, 如图 11 所示。

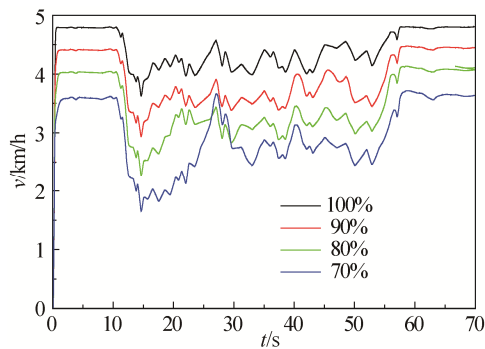


图 10 负载控制下不同油门开度的速度(v)曲线
Fig. 10 Velocity curves with different throttle opening with load control

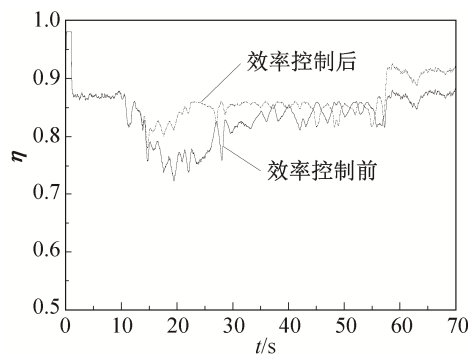


图 11 效率(η)曲线
Fig. 11 Efficiency curves

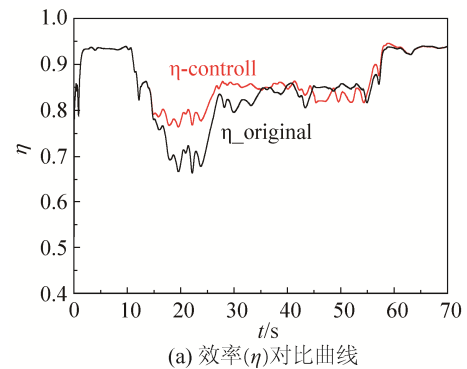
由图 11 可知, 动力传动效率在负载控制下变化平缓, 液力变矩器较平稳地工作在 80% 以上的高效区, 表明负载控制能有效调节动力传动系统效率的变化, 抑制持续作业工况下工作效率低下的问题。

4.2 二挡变油门开度下的作业工况

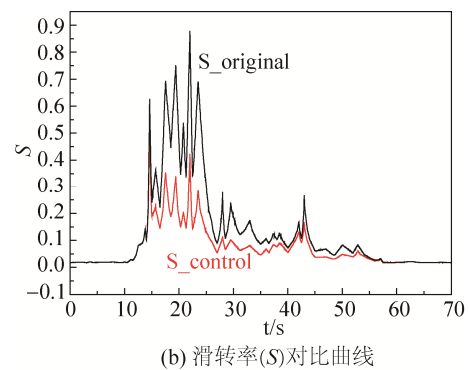
(1) 固定油门开度下负载控制

推土机工作在第 2 挡, 以 100% 油门开度为例进行分析, 图 12 为负载控制前后的工作特性对比曲线(横坐标都为时间 t)。

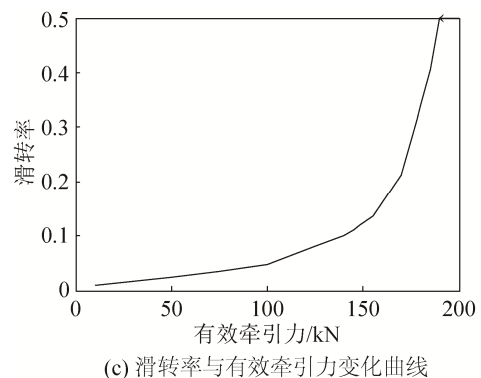
由图 12 可知, 在无负载控制情况下, 在负载较大位置出现效率低于 70% 的现象; 负载调节使效率明显提高, 始终高于 75%。车辆滑转性能得到改善, 避免了在重载条件下滑转率接近 1 的现象, 负载较大时, 滑转率为 0.3~0.5, 轻载时稳定在 0.1~0.2, 表明合理控制滑转率能提高推土机的有效牵引力。



(a) 效率(η)对比曲线



(b) 滑转率(S)对比曲线



(c) 滑转率与有效牵引力变化曲线

图 12 工作特性对比曲线

Fig. 12 Comparison of working performance

(2) 变油门开度下负载控制

由于在只具备负载控制的条件下, 车速变化较剧烈, 没有充分利用发动机动力, 因此采用负载和油门开度联合控制。图 13 为联合控制后的工作特性曲线。

由图 13 可知, 在大负载作业时, 发动机工作在全油门开度附近, 充分利用了发动机的功率; 在起动、中低载荷和作业结束等工况下, 油门开度在 70%~80%附近, 在降噪的同时, 能改善燃油经济性, 效率始终被控制在 80%附近。由于负载控制环节降低了负载变化剧烈程度, 车速变化趋于平缓, 在负载突变时, 车速仍然会出现小的波动。

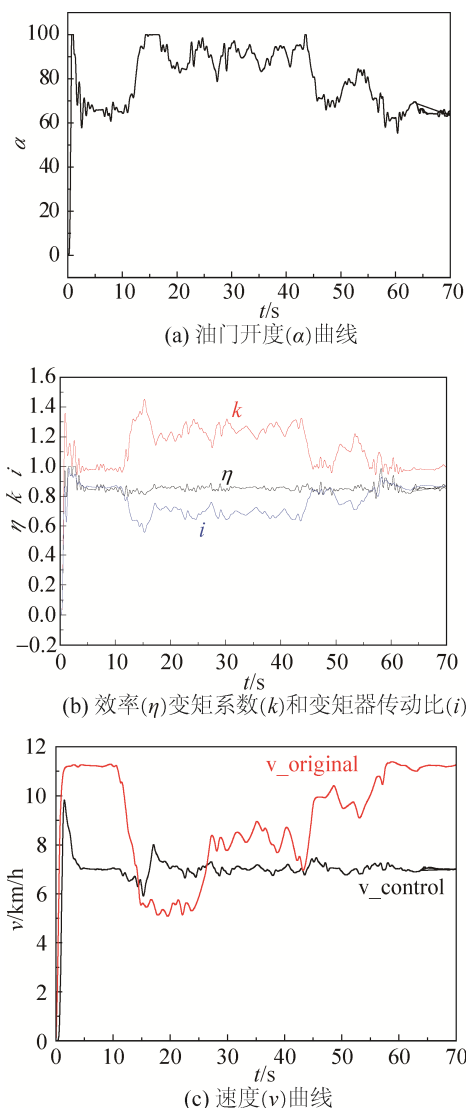


图 13 联合控制的工作特性曲线
Fig. 13 Working performance under the co-control

图 14 中 δf 为被控制负载, 对比两种控制模式, 变油门开度下负载控制模式使作业负载变化更合理, 有效降低了最高阻力系数, 使阻力系数变化更趋于平缓, 车速控制在 7 km/h 左右(如图 12(c)所示)。图 15 为所研究推土机 2-6 挡牵引特性, 2-3 挡换挡点在 10 km/h 附近, 当 2 挡车速控制在 7 km/h 左右时, 对应效率 η 在 0.8 附近, 与上述分析结果相一致, 表明负载控制能保证液力变矩器始终工作在高效区。

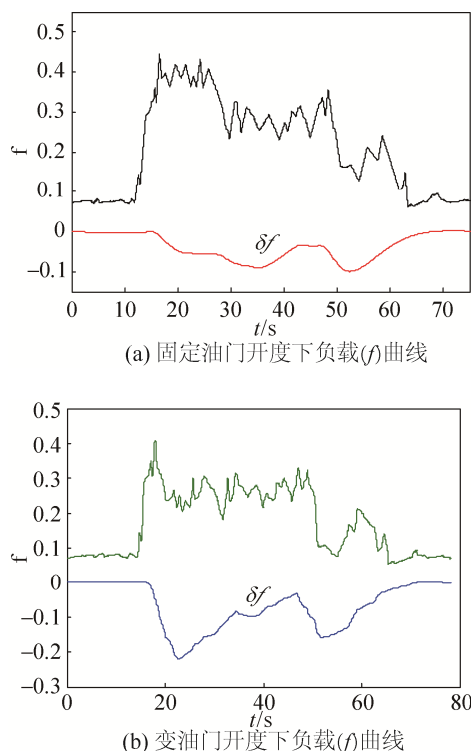


图 14 外载荷和被控制负载曲线
Fig. 14 External load and controlled load

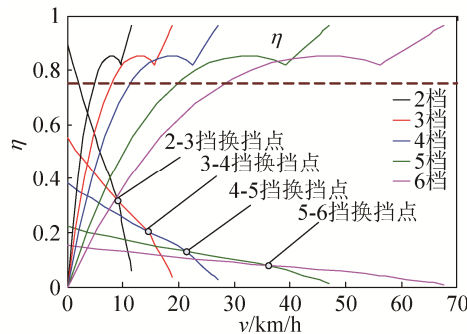


图 15 2-6 挡牵引特性曲线
Fig. 15 Tractive characteristics curves from the 2nd to 6th shift

5 试验验证

为了验证某型推土机动力传动系统动力学模型和匹配策略的准确性,设计并完成了半实物仿真试验。

采用有效直径为 375 mm 的液力变矩器,动力和加载装置均为泵马达系统,发动机、变速器及负载为仿真模型,动力匹配策略由 dSPACE 控制系统完成,试验系统布置如图 16 所示。所有模型具有实时性,仿真模型均考虑效率损失。

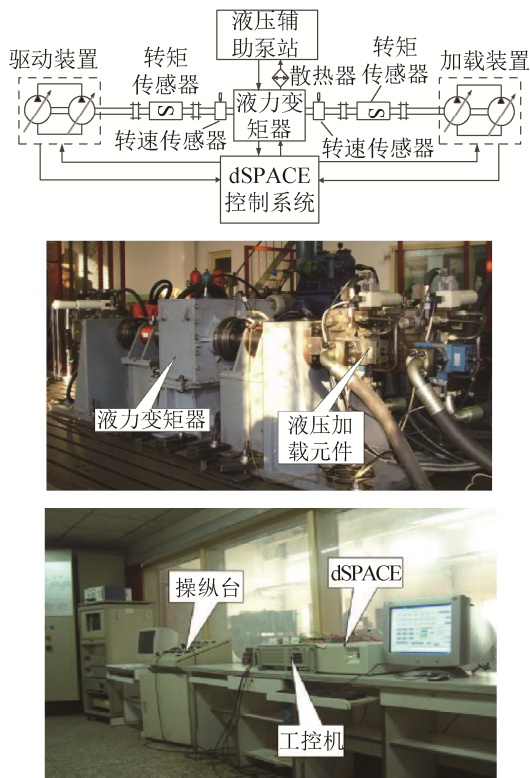


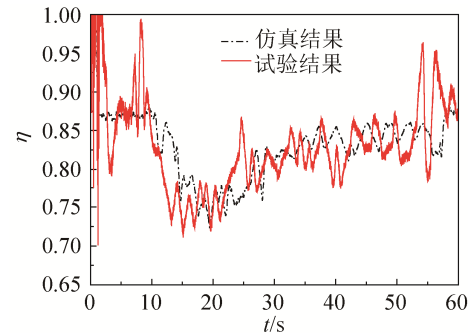
图 16 试验系统布置图

Fig. 16 Test arrangement diagram

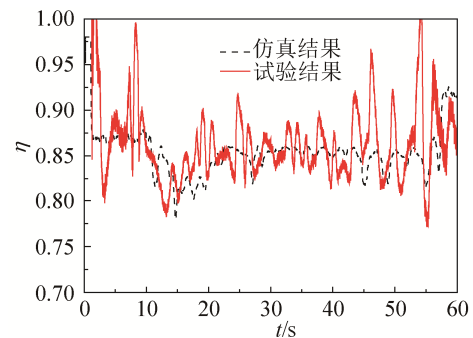
系统加载装置作用在涡轮轴,模拟作业工况推土阻力和行驶阻力的变化,其大小取决于泵轮转速和涡轮转矩;负载力矩根据推土作业工况的负载计算得到(参考式(1))。试验选用推土机常用的 80%油门开度/一档作业工况,首先设定泵轮转速,涡轮端空载,然后对液压马达按设定规律进行加载,实现典型推土作业。仿真与试验对比结果如图 17 所示。

由图 17 可知,仿真与半实物仿真试验的效率曲线有较好的一致性;由于试验环节存在油液缓

冲、液力变矩器元件的摩擦、低频噪声等,试验曲线在仿真曲线附近波动,变化较剧烈;试验表明所提出的效率型推土机动力传动系统动态匹配方法能有效提高液力变矩器的效率,使其工作在高效区。



(a) 控制前仿真和试验效率(η)曲线



(b) 控制后仿真和试验效率(η)曲线

图 17 仿真和试验结果对比分析

Fig. 17 Comparison of simulation and test results

6 结论

1) 基于模块化建模思想,在 Matlab/SimDrive line 环境中建立了推土机动力传动系统动态仿真模型,具备无因果性、可重用性、参数化等特征。

2) 设计了基于作业工况的效率型控制策略,采用 PID 控制算法,建立了负载控制和油门开度控制模型。

3) 整定和优化了负载和油门开度控制系统的 PID 参数,仿真分析表明所提出的效率型推土机动力传动系统动态匹配方法可以有效提高推土机作业时的传动效率。

4) 设计并完成了某型推土机动力传动系统的半实物仿真,试验结果验证了所提出的效率型传动系统动态匹配方法的有效性。

参考文献:

- [1] 魏巍, 曲婧瑶, 武景燕, 等. 液力机械传动履带车辆换挡规律优化方法研究[J]. 兵工学报, 2011, 32(4): 403-407.
Wei Wei, Qu Jingyao, Wu Jingyan, et al. Research on optimization method for shift schedule of tracked vehicle with hydrodynamic-mechanical transmission[J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(4): 403-407.
- [2] 闫清东, 于涛, 朱丽君, 等. 工程车辆液力机械传动效率控制[J]. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(3): 602-606.
Yan Qingdong, Yu Tao, Zhu Lijun, et al. Efficiency control of hydrodynamic-mechanical transmission of engineering machinery[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2013, 43(3): 602-606.
- [3] 田晋跃, 王炯. 基于模糊控制的工程车辆效率换挡规律仿真研究[J]. 矿山机械, 2015(9): 27-32.
Tian Jinyue, Wang Jiong. Simulation and research on efficient shifting schedule of engineering vehicles based on fuzzy control[J]. Mining & Processing Equipment, 2015(9): 27-32.
- [4] 彭耀润. 工程车辆变速器换挡技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
Peng Yaorun. Study on shifting technology for transmission of engineering vehicle[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014.
- [5] 王少杰, 侯亮, 黄鹤艇, 等. 基于最优换挡控制目标的仿人智能模糊控制策略[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2016, 55(1): 131-136.
Wang Shaojie, Hou Liang, Huang Heting, et al. Applications of optimal shift control strategy to human intelligent fuzzy control[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2016, 55(1): 131-136.
- [6] 叶丹, 黄海东, 赵丁选, 等. 提高液力变矩器输出功率为目标的换挡规律[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 15-18.
Ye Dan, Huang Haidong, Zhao Dingxuan, et al. Study on shift schedule for increasing output power of hydraulic torque convertor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 15-18.
- [7] 侯亮, 官登, 黄鹤艇, 等. 工程车辆的综合换挡规律研究[J]. 中国工程机械学报, 2013, 11(3): 195-199.
Hou Liang, Guan Deng, Huang Heting, et al. Study on overall shift rules for engineering vehicles[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2013, 11(3): 195-199.
- [8] 韩梅梅. 液压机械无级变速器效率和换挡特性研究与分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
Han Meimei. Research on characteristics of efficiency and shift of hydro-mechanical continuously variable transmission[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014.
- [9] 李华龙. 装载机多种模式自动变速换挡规律研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2014.
Li Hualong. Study on shift schedule with multi-modes of automatic transmission for loader[D]. Jilin: Jilin University, 2014.
- [10] 王东青. 拖拉机负载换挡变速箱性能的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
Wang Dongqing. Study on the performance of agricultural tractor powershift transmission[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [11] 齐吉富. 轮式装载机节能技术研究[J]. 建筑机械, 2010(6): 73-79.
Qi Jifu. Energy saving technology study of wheeled loader[J]. Construction Machinery, 2010(6): 73-79.
- [12] 王松林. 轮式装载机液力传动系统节能研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2015.
Wang Songlin. Research on fuel-saving of hydrodynamic transmission system for wheel loader[D]. Jilin: Jilin University, 2015.
- [13] 章崇任. 工程机械节能降耗新途径[J]. 建筑机械, 2010(7): 65-67.
Zhang Chongren. New approach of energy saving and consumption reduction to construction machine[J]. Construction Machinery, 2010(7): 65-67.
- [14] 李秀兰, 韩顺杰. 工程车辆节能技术研究[J]. 长春大学学报, 2007(4): 30-33.
Li Xiulan, Han Shunjie. On energy of engineering vehicles[J]. Journal of Changchun University, 2007(4): 30-33.