

文章编号:1671-5497(2006)05-0650-04

汽车下长坡时发动机制动 CVT 控制策略

董伟,于秀敏,张友坤

(吉林大学汽车工程学院,长春 130022)

摘要:建立了汽车下长坡时发动机制动模拟实验台,通过试验获得了发动机的制动力矩曲线。建立了汽车下长坡时传动系统的双质量惯性模型,利用 MATLAB 软件的 SIMULINK 进行了仿真,研究了汽车下长坡工况发动机制动时的 CVT 控制策略,验证了下长坡工况利用发动机制动 CVT 控制策略的正确性。

关键词:车辆工程;发动机制动;双质量惯性模型;金属带式无级变速器;控制策略

中图分类号:U463.53 **文献标识码:**A

CVT control strategies for engine brake on long downhill of vehicle

Dong Wei, Yu Xiu-min, Zhang You-kun

(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A simulation testbed for the engine brake when the vehicle coasts on lasting downhill was built, and the engine brake torque curve was obtained by the test on the testbed. A two-mass inertial model was established for the transmission system for the condition of vehicle lasting downhill. The simulation was performed using MATLAB/SIMULINK to study the CVT control strategies when the engine brakes on long downhill of the vehicle and the encouraging results were achieved.

Key words: vehicle engineering; engine brake; two-mass inertial model; CVT; control strategy

为了使汽车在下长坡时具有足够的持续制动能力,应考虑充分利用发动机的辅助制动,这是最简单、成本最低、使用比较可靠的方法。以往的研究表明^[1],汽车下长坡时要稳定车速很困难。因此,一般采用发动机制动、排气制动与缓行器联合作用的控制方式来达到稳定车速的目的^[2]。但是,这样会增加成本,使控制复杂,并且没有充分利用发动机的制动力。为解决这一问题,本文将无级变速器引入这一研究领域,以南京菲亚特一款无级变速器车为例进行了实验研究和建模仿真分析。

1 发动机制动特性

1.1 发动机制动原理

发动机处于怠速状态时,所发出的能量只用于维持它本身的运转,如果由于外界的原因提高发动机的转速,则摩擦阻力增加,发动机相当于一个消耗能量的负载。因此,可以通过试验找到发动机作为负载的阻力矩与发动机转速之间的发动机制动力矩关系曲线。

1.2 试验台架说明及试验结果

图1为试验台架示意图,其中1、6为用于反

收稿日期:2006-03-10.

基金项目:教育部科学技术研究重点项目(02163).

作者简介:董伟(1976-),女,博士研究生.研究方向:CVT车辆下坡发动机制动控制. E-mail:dwei@jlu.edu.cn

通讯联系人:于秀敏(1960-),男,教授,博士生导师.研究方向:汽车发动机电控. E-mail:yuxiumin@sohu.com

拖的直流电力测功机;2、5 为扭矩仪,可测得两个半轴的转速和扭矩;3 为主减速器;4 为金属带式无级变速器(CVT);7 为发动机;8 为数据采集、滤波、模数和数模转换的电路板;9 为电脑,用 C 语言程序控制。

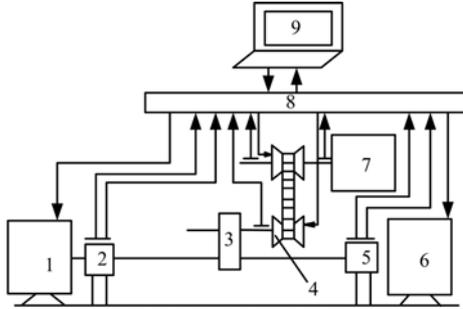


图 1 试验台架示意图

Fig.1 Sketch map of test bed

在进行试验时,控制离合器结合,控制 CVT 的速比为某一稳定值(由于 CVT 的效率在速比为 1 时最大,所以定为 1)。利用直流电力测功机的反拖作用,通过电脑程序控制测功机转速,从而带动发动机转速增加,同时记录下扭矩仪测得的两个半轴的转矩 T_1 、 T_2 ,转速 N_1 、 N_2 以及发动机转速 n_e 。CVT 输入轴转速 n_1 ,输出轴转速 n_2 。通过式(1)可得到发动机的制动力矩 T_z ,从而得到发动机的制动力矩和发动机转速之间的关系曲线,如图 2 所示。

$$T_z = \frac{T_1 + T_2}{i_{CVT} i_0 \eta} \quad (1)$$

式中: i_{CVT} 为 CVT 的速比; i_0 为主减速器的传动比; η 为整个传动系统的效率。

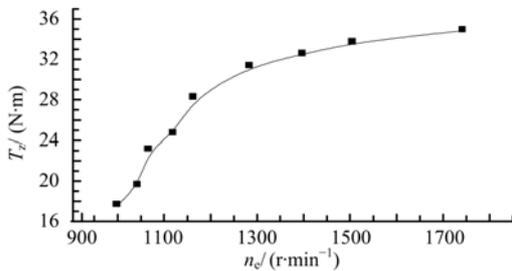


图 2 发动机制动力矩曲线

Fig.2 Curve of engine brake torque

2 传动系统的双质量惯性模型

为了便于研究,将具有无级变速器的动力传动系统简化为具有两个旋转质量的惯性模型系统^[3,4]。在汽车下坡行驶工况,发动机相当于负载,此时的双质量惯性模型如图 3 所示。

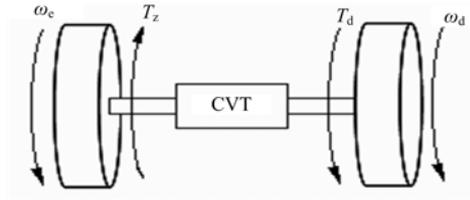


图 3 双质量惯性模型

Fig.3 Double gross inertial model

$$J_d \dot{\omega}_d = T_d - T_{CVT_out} \quad (2)$$

$$J_e \dot{\omega}_e = T_{CVT_in} - T_z \quad (3)$$

$$i_{CVT} = \omega_e / \omega_d \quad (4)$$

$$T_{CVT_out} = T_{CVT_in} i_{CVT} \eta \quad (5)$$

$$\dot{\omega}_e = \frac{di_{CVT}}{dt} \omega_d + \omega_d i_{CVT} \quad (6)$$

将式(2)—(6)合并整理可得

$$\dot{\omega}_d = \frac{T_d - T_z i_{CVT} \eta - J_e i_{CVT} \eta \frac{di_{CVT}}{dt}}{J_d + J_e i_{CVT}^2 \eta} \quad (7)$$

式(2)—(7)中: J_d 为转动惯量,包括与整车平移质量等效的转动惯量及 CVT 输出轴以后转动部分等效的转动惯量; J_e 为转动惯量,包括发动机转动惯量和 CVT 输入轴部分的转动惯量; ω_d 为 CVT 输出轴上的角加速度; ω_e 为 CVT 输入轴上的角加速度; T_d 为由汽车风阻和滚动阻力以及重力分力转化到 CVT 输出轴上的等效力矩; T_{CVT_in} 为 CVT 输入力矩; T_{CVT_out} 为 CVT 输出力矩。

3 发动机制动 CVT 控制策略

3.1 目标速比的确定

汽车在较长坡道上下坡行驶时车速不能太快(存在着危险)也不能太慢(影响道路通畅),因此希望汽车在下坡行驶时能够以某一合适的车速稳定行驶,在一般的坡道上应为 30 ~ 40 km/h。汽车要在坡道上匀速行驶,必须保证汽车所受力矩的平衡^[5],如式(8)所示。通过式(9)可求得在某一坡度坡道上以某一车速匀速下坡行驶所需的目标发动机制动力矩。

$$\frac{T_z i \eta}{r_d} + F_L + F_{RO} = G \sin \theta \quad (8)$$

$$T_z = \frac{(G \sin \theta - F_L - F_{RO}) r_d}{i \eta} \quad (9)$$

式中: G 为整车的重力; θ 为道路坡度; F_L 为风阻;

F_{R0} 为滚动阻力; r_d 为车轮半径; i 为整个传动系的速比; T_z 为发动机制动力矩。

利用试验得到的发动机制动力矩曲线(图2)求出目标发动机转速。根据目标发动机转速和采样时刻的实际车速可求得目标速比,即可对 CVT 进行速比控制。

3.2 CVT 速比控制策略

CVT 速比控制过程的实质是 CVT 速比变化率的控制过程,如图4所示。如果直接控制无级变速系统的速比而不考虑速比变化率影响,则系统瞬态特性难以控制。因此,合理地确定速比变化率是 CVT 速比控制的关键。作者将速比控制系统作为一个理想系统,通过 CVT 速比控制器具体参数的确定来实现 CVT 调节特性的控制。令速比变化率为

$$\frac{di}{dt} = k_1(i_1 - i) + k_2 \frac{di_1}{dt} + k_3 \int (i_1 - i) dt \quad (10)$$

式中: i 为 CVT 实际速比; i_1 为 CVT 目标速比; k_1 为比例控制参数; k_2 为微分控制参数; k_3 为积分控制参数。

合理地选择 PID 参数,可以使实际速比对目标速比具有良好的跟随性,同时使发动机调速平稳,车速响应平滑。

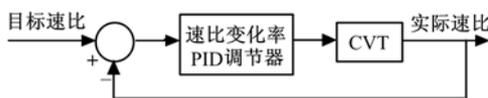


图4 闭环控制系统示意图

Fig.4 Sketch map of closed-loop control system

4 控制策略仿真分析

4.1 仿真模型的建立

利用 SIMULINK 对汽车下坡发动机制动工况进行了建模^[6-8],如图5所示。其中 signal builder 模块为目标车速和坡度; mubiao engine Tz 模块为利用式(9)求得的目标发动机制动力矩; mubiao engine ne 模块为利用图2所示的发动机制动力矩曲线求得的目标发动机转速; mubiao subi 模块为根据目标发动机转速和当前车速求得的目标速比; PID controller 模块为对 CVT 速比进行 PID 控制; engine Tz 模块为根据采样时的发动机转速利用图3发动机制动力矩曲线算出此时的发动机制动力矩; CVT and vehicle 模块为利用汽车下坡行

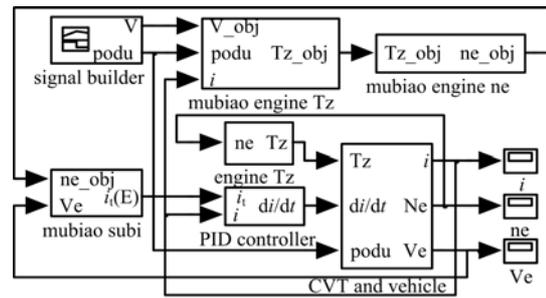


图5 控制策略仿真分析模型

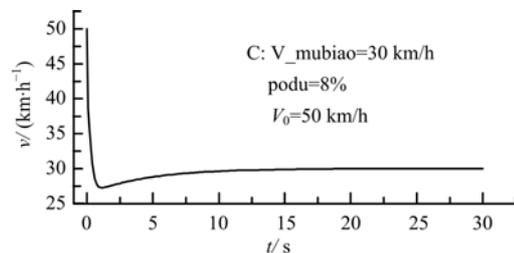
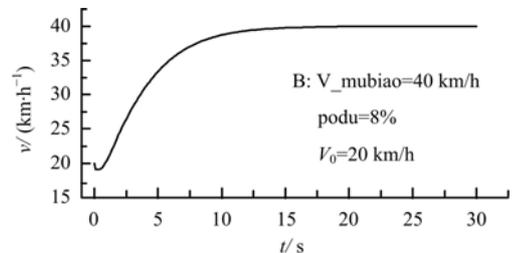
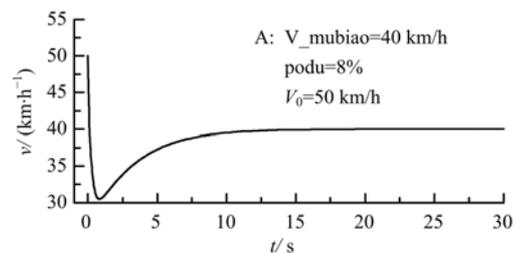
Fig.5 Simulation model of CVT control

驶传动系统的双质量惯性模型来估算 CVT 速比控制后的车速、发动机转速和速比的值。

4.2 控制策略可行性仿真分析

由于我国公路的坡度一般为 3% ~ 8%,为了验证模型的正确性,取最大坡度 podu 为 8% 进行仿真分析;目标车速分 $V_{mubiao} = 40$ km/h 和 30 km/h 两种情况;初始车速分别为 $V_0 = 50$ km/h 和 $V_0 = 20$ km/h 两种情况。仿真结果如图6(A—D)所示。

由图6中4个工况的仿真结果可知,无论汽车以高于目标车速的初始车速(50 km/h)下坡还是以低于目标车速的初始车速(20 km/h)下坡,都可以通过 CVT 的速比控制实现以稳定车速下



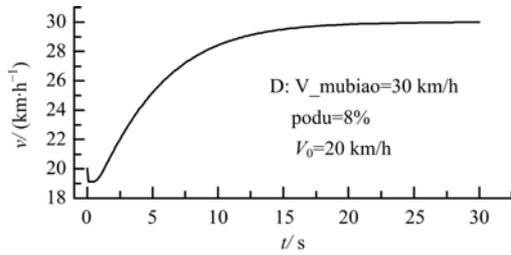


图6 仿真结果

Fig. 6 Simulation result

坡行驶,这充分说明了汽车下长坡时发动机制动过程中 CVT 控制策略的可行性。

4.3 速比变化规律对制动特性的影响

从图6可以发现,A工况的车速变化不够平稳,在短时间内迅速降到30 km/h,而后车速逐渐增加到目标车速40 km/h,车速反向变化较大,说明速比变化率对制动特性有较大的影响,对此进行了仿真分析,仿真结果如图7和图8所示。

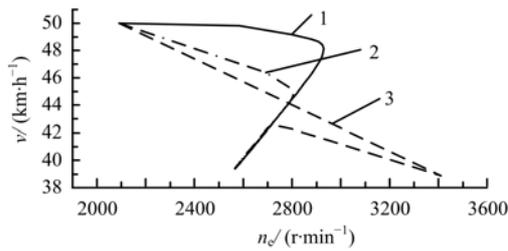


图7 速比变化仿真结果

Fig. 7 Simulation result of speed ratio change

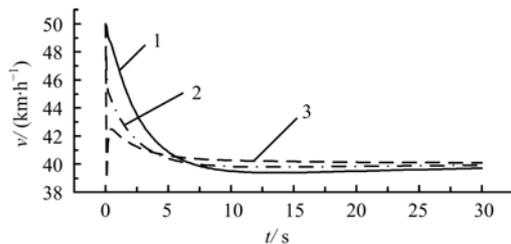


图8 车速变化仿真结果

Fig. 8 Simulation result of velocity change

图中曲线1表示较小的速比变化率;曲线2表示中等的速比变化率;曲线3表示较大的速比变化率。设仿真的初始条件为初始车速50 km/h,目标车速40 km/h,初始速比1.0,坡度8%。由图7速比变化图可以看出,速比变化率较大时,发动机转速和车速有较大的变化,发动机调速不平稳,汽车响应不平滑。在图7中不能判断出曲线1和2的优劣,这要通过图8的车速变化曲线来判断。从图8可以看出,速比变化率较小时,车速变化较慢,同时伴随着车速的负向超调,即在一

段时间内车速低于目标车速,然后才逐渐上升到目标车速,因此稳定在目标车速所需时间较长。对于中等大小的速比变化率能够在较短的时间内平稳地达到目标车速。因此,在汽车下坡时的发动机制动 CVT 速比控制过程中一定要对速比变化率进行限制。

5 结束语

作者首次对无级变速器车辆下坡时发动机辅助制动控制过程进行了仿真研究,完善了无级变速器在下坡工况的控制策略模型。同时通过仿真验证了控制策略的可行性和仿真模型的正确性。并且分析了速比变化规律对制动特性的影响,为今后在实际道路上的整车试验奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 余强. 汽车下坡持续制动性能研究[D]. 西安:长安大学汽车学院,2000.
Yu Qiang. Study on downhill continuous braking performance of automobile[D]. Xi'an: College of Automobile, Chang'an University,2000.
- [2] 余强,陈荫三,马建,等. 发动机制动、排气制动与缓行器联合作用的模糊控制系统研究[J]. 汽车工程,2004,26(4):476-480.
Yu Qiang, Chen Yin-san, Ma Jian, et al. A research on fuzzy control system with combination of engine brake, exhaust brake and retarder[J]. Automotive Engineering,2004,26(4):476-480.
- [3] 周云山,钟勇. 汽车电子控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 葛安林. 自动变速器(八)——无级变速器 CVT(下)[J]. 汽车技术,2001,12:1-4,26.
Ge An-lin. Automatic transmission (VIII)—continuously variable transmission(CVT) (part B)[J]. Automobile Technology,2001,12:1-4,26.
- [5] 顾柏良. BOSCH 汽车工程手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- [6] 日産自動車株式会社. CVT 付き車両制御装置[P]. 日本,1999-05-25.
- [7] Masayuki Yasuoka, Masaaki Uchida, Shusaku Katakura, et al. An integrated control algorithm for an SI engine and a CVT[C]//SAE 1999-01-0752.
- [8] 安達和孝,芦沢裕之,越智德昌,等. CVT 变速を活用した車間自動制御システムの開発[C]//自動車技術会論文集. 日本:自動車技術会,2004:151-155.