

文章编号:1000-582X(2009)11-1257-05

# AMT 重型车辆制动控制策略分析

胡建军,刘振军,蒋 维,余猛进

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

**摘 要:**在对车辆制动过程进行力学分析和机械自动变速重型车辆降挡和不降挡两种制动控制策略的比较基础上,提出了在不降挡的前提下,当发动机辅助制动力矩影响行驶稳定性时分离离合器;当车速降低到发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时接合离合器的控制策略。并对制动过程中分离离合器后是否再次接合离合器这 2 种情况下制动时的制动减速度、制动时间和制动距离进行比较分析。分析表明当发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时,接合离合器可明显减少制动时间和制动距离。

**关键词:**车辆制动;离合器;发动机辅助制动;控制策略

中图分类号:U463.5

文献标志码:A

## Analysis on braking control strategy of heavy vehicles with AMT

HU Jian-jun, LIU Zhen-jun, JIANG Wei, YU Meng-jin

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** According to kinetic analysis, we put forward a braking control strategy under the down shift condition. When auxiliary engine brake torque affects the stability of vehicle, it should disconnect the clutch; and when auxiliary engine brake torque doesn't affect the stability of vehicle, it should jointing the clutch. The speed acceleration, the braking time, and the braking distance are analyzed in while the clutch and joint the clutch are disconnect. The analysis indicates that when auxiliary engine brake torque doesn't affect the stability of vehicle, jointing the clutch can reduce the braking time and distance obviously.

**Key words:** vehicle braking; clutch; auxiliary engine braking; control strategy

重型汽车在高速、重载且频繁制动的情况下,制动器过热导致的制动效能降低将严重影响汽车的行驶安全。重型车辆采用 AMT 系统后,对制动系统控制提出了更高的要求,如果控制不当就会出现换挡循环等现象,对行驶稳定性和安全性造成影响。针对 AMT 车辆制动控制,何忠波等人进行了 AMT 车辆制动工况换挡控制策略与试验研究<sup>[1]</sup>,王玉海等进行了制动状态下的 AMT 换挡策略研究<sup>[2]</sup>,为了提高汽

车制动时的安全性,目前已经对再生制动系统和辅助制动系统进行了广泛的研究<sup>[3-9]</sup>,并取得了一定的成果。然而,针对制动时控制策略的研究却仅涉及到制动状态下换挡策略的研究,其主要原因是很难获得汽车制动时地面的附着力。

笔者重点分析在充分利用发动机辅助制动力矩情况下应采用的控制策略,并提出估算平均附着系数的方法。

收稿日期:2009-06-13

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA110114)

作者简介:胡建军(1973-),男,重庆大学副教授,主要从事车辆动力传动及其控制研究,(Tel)023-65106506;

(E-mail) hujianjun@cqu.edu.cn。

## 1 汽车制动过程动力学分析

汽车正常制动过程可分为 3 个阶段<sup>[10]</sup>:1)驾驶员产生制动意识到脚刚离开加速踏板,此过程中,驱动力逐渐变为零,发动机辅助制动力矩逐渐增大;2)从脚离开加速踏板到踩制动踏板前,只有发动机辅助制动力矩作用;3)从踩上制动踏板开始,制动器制动力矩和发动机辅助制动力矩共同作用。在这 3 个阶段中,最后一个阶段对汽车的行驶稳定性影响最大,所以笔者主要对该阶段进行分析。

当变速器在挡并且离合器接合的情况下,制动过程的第 3 阶段汽车驱动轮总的制动力由制动器制动力和发动机辅助制动力构成。

前后轮制动器制动力的大小主要取决于制动踏板踩下程度、制动器制动力分配系数和总的制动器制动力。

当前后车轮的制动器制动力按固定的系数分配时,制动器制动力为

$$F_{u1}/F_{u2} = \beta(1 - \beta), \quad (1)$$

$$F_{u1} + F_{u2} = F_u, \quad (2)$$

式中: $F_{u1}$ 为前轮制动器制动力; $F_{u2}$ 为后轮制动器制动力; $\beta$ 为制动器制动力分配系数; $F_u$ 为总的制动器制动力。

发动机辅助制动力矩与转速的关系为非线性关系。考虑到主要研究制动时的控制策略,因而采用简化后的关系进行分析,并不会影响对控制策略的研究。简化后的发动机辅助制动力矩为<sup>[2]</sup>

$$T_{be} = T_{m0} + kn_e, \quad (3)$$

式中: $T_{m0}$ 为转速无关的辅助制动力矩; $n_e$ 为发动机转速; $k$ 为由发动机特性确定的常数。

发动机辅助制动力矩通过传动系统施加到驱动轮上的辅助制动力为

$$F_{be} = \eta T_{be} i_g i_o / r, \quad (4)$$

式中: $\eta$ 为传动系统的传递效率; $i_g$ 、 $i_o$ 分别为变速器传动比和主减速传动比; $r$ 为轮胎半径。

由式(3)、(4)可得重型汽车在不同挡位下发动机辅助制动力矩施加到车轮的制动力与车速的关系。

汽车在制动时受到空气阻力、滚动阻力、坡道阻力和地面所提供的制动力共同作用。其中,地面所提供的主要作用力是附着力,为了方便研究忽略滚动阻力的影响。

空气阻力可表示为

$$F_w = \frac{C_d A u_a^2}{21.15}, \quad (5)$$

式中: $A$ 为车辆迎风面积; $C_d$ 为空气阻力系数; $u_a$ 为车速。

坡道阻力为

$$F_i = mg \sin \theta, \quad (6)$$

式中: $\theta$ 为坡道角; $m$ 为汽车质量。

地面附着力为

$$F_{xbmax} = F_z \varphi, \quad (7)$$

式中: $F_z$ 为地面对车轮的法向反作用力; $\varphi$ 为地面平均附着系数。

由式(7)可知,决定地面附着力的因素有 2 个:地面平均附着系数和车轮的法向反作用力。

在坡道角为  $\theta$ , 制动强度为  $z$  时,前轮的法向反作用力为

$$F_{z1} = mg [b \cos \theta + (z + \sin \theta) h_g] / L, \quad (8)$$

后轮的法向反作用力为

$$F_{z2} = mg [a \cos \theta - (z + \sin \theta) h_g] / L, \quad (9)$$

式中: $F_{z1}$ 为地面对前轮的法向反作用力; $F_{z2}$ 为地面对后轮的法向反作用力; $a$ 为质心至前轴中心线的距离; $b$ 为质心至后轴中心线的距离; $L$ 为车辆轴距; $z$ 为制动强度; $h_g$ 为汽车质心高度。

## 2 制动控制策略存在的问题

AMT 车辆制动控制策略有 2 种:一种是在发动机辅助制动力矩影响汽车行驶稳定性时,分离离合器<sup>[1]</sup>;另一种是制动时降挡,这主要是针对中等制动强度且汽车是在下长坡工况<sup>[2]</sup>。

制动时降挡能够增大发动机辅助制动力矩,并且充分利用地面附着力来提高制动效果。但制动时降挡的控制策略存在如下缺点<sup>[11-15]</sup>:

1)下长坡工况只能依靠驾驶员来判断,很难由汽车控制系统自动辨识。

2)当制动时间很短时,如果降挡,那么当再一次踩下加速踏板时,有可能在通常的换挡规律下又要升挡,这将产生不必要的换挡循环,影响车辆行驶平顺性,也不利于提高动力性。

实际上汽车制动并不是都以充分利用地面附着系数为目的,只要达到制动效果即可。

制动时分离离合器的缺点是没有充分利用发动机辅助制动力矩。因为在离合器分离后,随着车速的降低、制动强度的减小,地面对后轮所能提供的制动力将增大,同时发动机辅助制动力矩随着车速的降低也已变小,此时接合离合器已经不会影响行驶稳定性,但是由于离合器是分离的,所以无法利用发动机辅助制动力矩。

### 3 制动控制策略的改进

针对上述 2 种控制策略的缺点,为了在充分利用发动机辅助制动力矩的同时又不影响汽车行驶稳定性和动力性,此处仅对分离离合器的制动控制策略进行改进。改进后的控制策略为:当发动机辅助制动力矩影响汽车行驶稳定性时,分离离合器;当车速降低到发动机辅助制动力矩不影响汽车行驶稳定性时,重新接合离合器,以提高制动效果和延长制动器使用寿命。

改进后的控制策略的重点是要测知地面附着力的 大小。根据式(7)可知,要确定地面附着力的 大小,必须知道后轮的 法向反作用力和地面平均附着 系数。

影响汽车前后轮的 法向反作用力大小的因素 有:车载质量、坡度、制动强度、不同载重量时质心的 分布以及质心高度。其中质心位置和坡度测量较困难,因此很难通过计算得到准确的前后轮法向反作用力。为了得到较为准确的值,需要在前后车桥上 安装载荷传感器来测量前后轮法向反作用力的大小。

影响地面附着系数的因素有很多,如:滑动率、路面材料、路面状况、轮胎结构、胎面花纹、轮胎材料和汽车行驶速度等。当汽车在不同路面行驶时,路面的平均附着系数是变化的,难以获得准确值,因此采用估算的方法。估算主要是以滑动率为 0.2 时附着系数值最大为依据,利用轮速传感器监测前后轮的 滑动率,当滑动率接近 0.2 时,分别计算前后轮对地面的利用附着系数,取其最大值来进行修正,得到该路面的平均附着系数。

### 4 制动控制策略仿真分析

笔者以后轮驱动重型汽车为研究对象,采用某重型汽车的参数来研究制动性能。其基本参数为:主减速传动比  $i_0=4.8$ ;汽车质量  $m=20\ 000\text{ kg}$ ;轮胎半径  $r=0.536\text{ m}$ ;迎风面积  $A=8.5\text{ m}^2$ ;车辆轴距  $L=3.5\text{ m}$ ;质心高度  $h_g=0.952\text{ m}$ ;空气阻力系数  $C_d=0.6$ ;传动系统效率  $\eta=0.82$ ;与转速无关的辅助制动力矩  $T_{m0}=80\text{ N}\cdot\text{m}$ ;重力加速度  $g=9.8\text{ N/kg}$ ;制动器前后轮最大制动力为  $160\ 000\text{ N}$ ;制动器制动力分配系数  $\beta=0.42$ ;发动机特性确定的常数  $k=0.15$ ;质心至前轴中心线的距离  $a=2.14\text{ m}$ ;质心至后轴中心线的距离  $b=1.36\text{ m}$ 。变速器各挡传动比  $i_g$  如表 1 所示。

表 1 变速器传动比

挡 位	1	2	3	4	5	6
传动比	15.53	12.08	9.39	7.33	5.73	4.46
挡 位	7	8	9	10	11	12
传动比	3.48	2.71	2.10	1.64	1.28	1.00

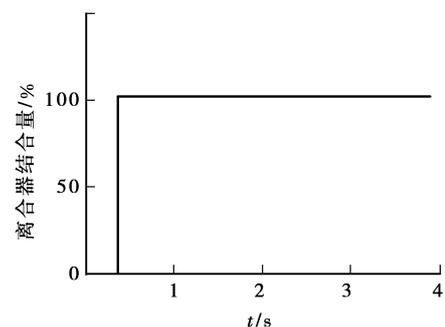
为比较分析改进后的制动控制策略的制动性能,对制动时只分离离合器和分离离合器后在发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时再接合离合器的控制策略分别建立 Simulink 分析模型。并对这 2 种制动控制策略下制动时的制动减速度、制动时间和制动距离进行比较分析。

取 2 种典型制动工况进行分析,2 种工况的参数分别为:

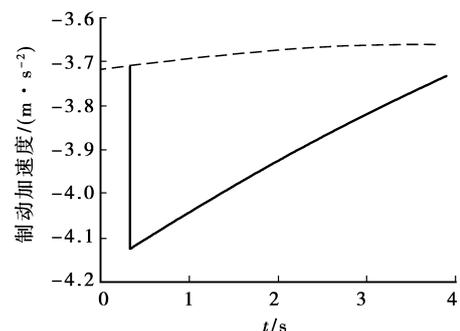
1)  $n_e=1\ 948\text{ r/min}$ ;制动踏板开度  $\alpha=46\%$ ;  $z=0.4$ ;  $\theta=0^\circ$ ;  $u_a=50\text{ km/h}$ ;地面平均附着系数的估算值  $\varphi=0.47$ 。

2)  $n_e=2\ 200\text{ r/min}$ ;  $\alpha=30\%$ ;  $z=0.27$ ;  $\theta=0^\circ$ ;  $u_a=60\text{ km/h}$ ;  $\varphi=0.3$ 。

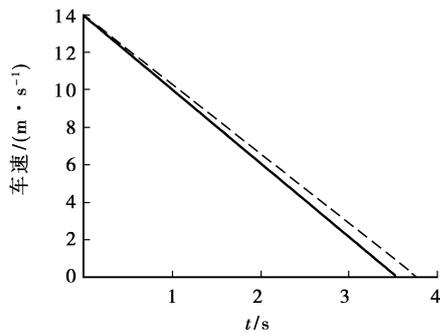
图 1、2 分别为 2 种工况的仿真结果,图中实线为分离离合器后,当发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时再接合离合器的仿真曲线;虚线为分离离合器后不接合离合器的仿真曲线。



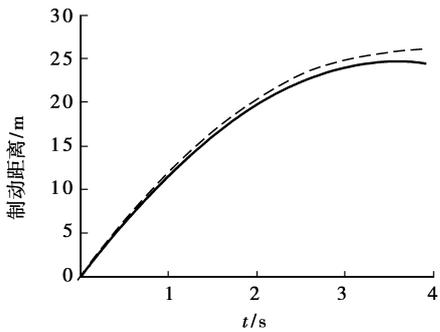
(a)离合器结合量



(b)车辆制动加速度变化情况



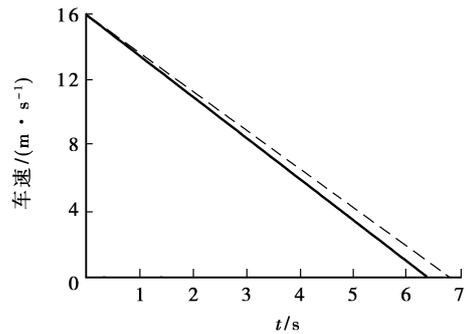
(c)车速变化情况



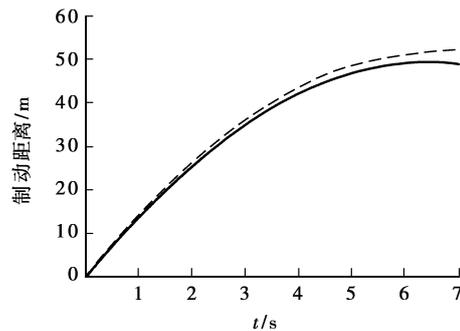
(d)制动距离

图 1 第 1 种工况仿真结果

由图 1 仿真结果可知,在不接合离合器的情况下,制动时间为 3.764 s,制动距离为 26.1 m;在重新接合离合器的情况下,离合器接合时间在 0.34 s 时,制动时间为 3.56 s,制动距离为 24.54 m。



(c)车速变化情况



(d)制动距离

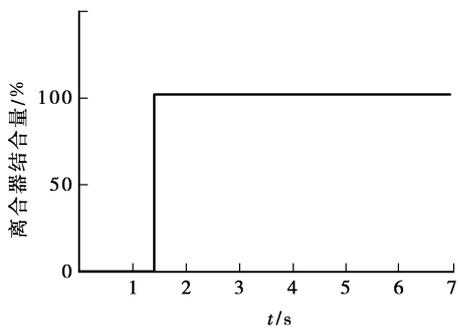
图 2 第 2 种工况仿真结果

由图 2 仿真结果可知,在不接合离合器的情况下,制动时间为 6.79 s,制动距离为 55.5 m;在重新接合离合器的情况下,离合器接合时间在 1.56 s 时,制动时间为 6.03 s,制动距离为 49.6 m。

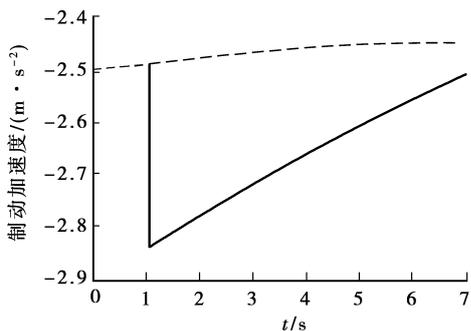
通过比较上述 2 种不同控制策略的仿真结果可知:制动时分离离合器后在发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时再接合离合器比制动时仅分离离合器有更好的制动性能。

### 5 结 论

- 1) 在 AMT 制动控制中采用估算地面平均附着系数的方法是可行的。
- 2) 在发动机辅助制动力矩不影响行驶稳定性时接合离合器可缩短制动时间和制动距离。
- 3) 车速高、地面平均附着系数小及制动强度不大时,发动机辅助制动力矩的作用较大。
- 4) 考虑到接合离合器所需要的时间,应适当提前接合离合器,这样能更充分利用发动机辅助制动力矩。



(a)离合器结合量



(b)车辆制动加速度变化情况

## 参考文献:

- [1] 何忠波,白鸿柏,李东伟,等. AMT 车辆制动工况换挡控制策略与实验[J]. 汽车工程, 2005, 27(4): 439-441.  
HE ZHONG-BO, BAI HONG-BAI, LI DONG-WEI, et al. The shifting control strategy and test for brake conditions of AMT vehicle [J]. Automotive Engineering, 2005, 27(4): 439-441.
- [2] 王玉海,宋健,李兴坤. 制动状态下的 AMT 换挡策略[J]. 农业机械学报, 2006, 37(1): 19-22.  
WANG YU-HAI, SONG JIAN, LI XING-KUN. Research on auto shift strategy of AMT in braking conditions [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2006, 37(1): 19-22.
- [3] 叶明,秦大同,刘振军. 基于 AMT 的轻度混合动力系统再生制动控制[J]. 机械工程学报, 2006, 42(10): 156-160.  
YE MING, QIN DA-TONG, LIU ZHEN-JUN. Regenerative braking control strategy in mild hybrid electric vehicle equipped with automatic manual transmission [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(10): 156-160.
- [4] 彭栋,殷承良,张建功. 混合动力汽车制动力矩动态分配控制策略研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(22): 5254-5259.  
PENG DONG, YIN CHENG-LIANG, ZHANG JIAN-WU. Braking control strategy study for hybrid electric vehicle with braking torque dynamic distribution [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(22): 5254-5259.
- [5] 杨阳,褚明,秦大同,等. 基于发动机制动的 HEV 再生制动控制策略[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(10): 1087-1093.  
YANG YANG, CHU MING, QIN DA-TONG, et al. Control strategy of regenerative braking for hybrid electric vehicle based on engine braking [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(10): 1087-1093.
- [6] 孙枝鹏. 商用车辅助制动系统的试验研究与分析[J]. 专用汽车, 2008(9): 51-53.  
SUN ZHI-PENG. Experimental study and analyses on auxiliary braking system with commercial vehicle [J]. Special Purpose Vehicle, 2008(9): 51-53.
- [7] 李文辉,高全均,魏宏,等. 发动机辅助制动作用及其对汽车制动性能的影响[J]. 内燃机工程, 2002, 23(4): 25-29.  
LI WEN-HUI, GAO QUAN-JUN, WEI HONG, et al. Engine auxiliary braking and its influence on the braking performance of vehicles [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2002, 23(4): 25-29.
- [8] 董颖,何仁. 发动机制动技术的研究与展望[J]. 车用发动机, 2006(6): 1-4.  
DONG YING, HE REN. The technology and prospects on engine braking [J]. Vehicle Engine, 2006(6): 1-4.
- [9] LEI Y L, LI Y J. A research on gear position and combination control in braking condition [J]. IEEE, 2001, 45(1): 79.
- [10] 丁能根,朱建国. 发动机制动对汽车制动性能的影响分析[J]. 汽车技术, 2002(6): 26-28.  
DING NENG-GENG, ZHU JIAN-GUO. The analysis of the engine braking on the braking performance of vehicle [J]. Automotive Technology, 2002(6): 26-28.
- [11] WANG Y H, SONG J, LI X K. Simulation of AMT autoshift process based on matlab/simulink/stateflow [C] // SAE 2004 Automotive Dynamics, Stability & Controls Conference, May 4-6, 2004, Detroit, Michigan, USA. [S. l.]: SAE, 2004.
- [12] Yutaka, Hiwatashi Fuhi Jukogyo Kabushiki Kaisha. Vehicle braking apparatus and method; Japan, 04015641. 6[P]. 2007-12-19.
- [13] ROSHANBIN A, NARAGHI M. Vehicle integrated control-an adaptive optimal approach to distribution of tire forces [C] // IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC, April 6-8, 2008, Hainan, China. [S. l.]: IEEE, 2008: 885-890.
- [14] XU A. Study of vehicle maintenance period model based on travelling safety objective [C] // Proceedings of the 1998 International Symposium on Safety Science and Technology, ISSST, Sept 24-27, Beijing, China. [S. l.]: ISTP, 1998: 374-378.
- [15] ZHAO C M, XIANG W D, RICHARDSON P. Vehicle lateral control and yaw stability control through differential braking [C] // International Symposium on Industrial Electronics 2006, July 9-13, 2006, Québec, Canada. [S. l.]: IEEE, 2006: 384-389.

(编辑 张 革)