

# 提升车辆百公里加速性能的 AT 控制策略研究

王灿, 胡显力, 向光军, 贺新翔, 陈绪平, 范彪, 蒋平

(重庆长安汽车股份有限公司 动力研究院, 重庆 232001)

**摘要:** 对装有 AT(液力自动变速箱)变速器的车辆加速过程进行受力分析, 研究车辆百公里加速过程不同挡位加速时间的分布规律; 通过对换挡规律、液力变矩器闭锁时机、发动机降扭程度控制策略进行优化, 初步形成 8 组组合优化方案, 通过 CRUISE 仿真分析筛选出 2 组优化方案, 最后通过实车测试确定最优 AT 组合控制策略。实车百公里加速试验结果表明, 采用该 AT 组合控制策略, 车辆百公里加速性能提升 10.6%。

**关键词:** 汽车; 百公里加速性能; 液力自动变速箱(AT); 控制策略

**中图分类号:** U463.212

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2023)03-0001-05

动力性能是车辆的关键性能, 0~100 km/h 加速性能是衡量乘用车动力性能的重要指标, 如何提升车辆的百公里加速性能进而提升车辆动力性能十分重要。目前对车辆百公里加速性能的研究主要在于仿真软件辅助下的理论计算分析, 缺乏工程化的优化和验证<sup>[1]</sup>。对于自动变速器控制策略, 有的研究侧重于理想动力换挡线、理想的经济换挡线的分析计算及基于复杂算法的换挡线修正<sup>[2-3]</sup>, 有的研究引入加速度与车速、油门开度一起作为控制参量对变速器换挡规律进行设计<sup>[4]</sup>, 有的研究侧重于换挡品质的控制策略<sup>[5-6]</sup>, 没有涉及车辆百公里加速性能提升的控制策略优化。本文基于工程化开发过程中百公里加速性能的提升, 提出 AT(液力自动变速箱)控制策略, 通过 CRUISE 软件仿真分析筛选出初步优化方案, 最后通过实车百公里加速试验确定工程最优的 AT 控制策略。

## 1 AT 车辆百公里加速过程分析

车辆百公里加速的测试条件和测试过程如下: 晴朗天气时, 车辆处于热车状态, 停在附着条件较好的平直道路上, 换挡装置处于 D 挡, 驻车制动解除; 驾驶人把右脚从制动踏板移动到加速踏板, 并踩踏加速踏板到最低处; 车辆沿直线行驶, 速度从零加速到 100 km/h。

### 1.1 AT 车辆百公里加速过程的力学分析

根据汽车理论<sup>[7]</sup>, 汽车在行驶过程中的受力由驱动力和行驶阻力两部分组成。发动机产生的力矩经过车辆传动系统传递到轮胎上, 导致地面对车轮

产生反作用力, 该力即为车辆的驱动力  $F_t$ ; 车辆行驶时, 必须克服来自地面的滚动阻力  $F_f$ 、空气阻力  $F_w$ 、坡度阻力  $F_i$  和加速阻力  $F_j$ 。由于车辆在百公里加速过程中在平直道路上行驶, 忽略坡度阻力的影响, 汽车百公里加速过程的行驶方程为:

$$F_t = F_f + F_w + F_j \quad (1)$$

$$T_{iq} K i_g i_o \eta_T / r = fG + C_D A / (21.5 u_a^2) + \delta_m du/dt \quad (2)$$

式中:  $T_{iq}$  为发动机扭矩 (N·m);  $K$  为 AT 液力变矩器变矩系数;  $i_g$  为变速器传动比;  $i_o$  为主减速器传动比;  $\eta_T$  为传动系效率;  $r$  为轮胎滚动半径 (m);  $f$  为滚动阻力系数;  $G$  为车轮法向载荷;  $C_D$  为空气阻力系数;  $A$  为迎风面积 (m<sup>2</sup>);  $u_a$  为相对行驶速度 (m/s);  $\delta_m$  为汽车旋转质量换算系数;  $du/dt$  为汽车行驶加速度 (m/s<sup>2</sup>)。

根据式 (2), 可通过发动机外特性、变速器速比和效率、轮胎优化和调整造型、减轻车身质量等途径来提高车辆动力性能。然而对于硬件方案确定的车辆, 上述硬件参数已经固化, 可考虑从软件控制策略层面进行优化提升。

根据车辆行驶方程, 变速器中影响车辆加速时间的主要因素为变速器传动比和传动效率。AT 车辆可以从  $i_g$  出发, 通过换挡规律控制策略让车辆保持合理的低挡位、更高的传动比, 获得更大驱动力, 进而提高车辆动力性能; 也可以从  $\eta_T$  出发, 通过液力变矩器的闭锁控制策略使变速器获得更高的传动效率, 提升车辆动力性能。

## 1.2 AT 车辆百公里加速的时间分布

在百公里加速过程中,车辆一般会经过3个挡位的加速,经历如下5个阶段:第1阶段为一挡加速阶段,此时车辆挡位处于一挡;第2阶段为一挡升二挡的换挡加速阶段,从自动变速器控制单元TCU发出目标挡位二挡开始,到车辆实际挡位换到二挡结束;第3阶段为二挡的加速阶段,车辆挡位一直处于二挡;第4阶段为二挡升三挡的换挡加速阶段,从自动变速器控制单元TCU发出目标挡位三挡开始,到车辆实际挡位换到三挡结束;第5阶段为三挡的加速阶段,车辆一直处于三挡。如图1所示,对应于车辆加速阶段,车辆百公里加速时间分为5个,分别为一挡加速时间 $t_1$ 、一挡升二挡的换挡加速时间 $t_{12}$ 、二挡加速时间 $t_2$ 、二挡升三挡的换挡加速时间 $t_{23}$ 、三挡加速时间 $t_3$ 。车辆百公里加速时间 $T$ 为:

$$T = t_1 + t_{12} + t_2 + t_{23} + t_3 \quad (3)$$

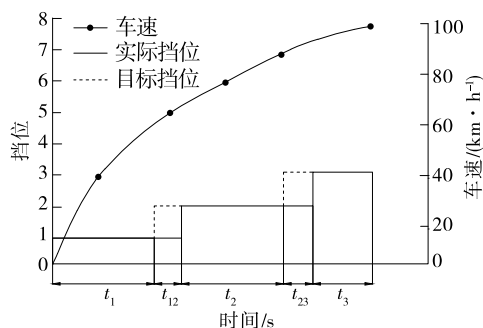


图1 车辆百公里加速时间分布

对式(3)进行整理,得:

$$T = (t_1 + t_2) + t_3 + (t_{12} + t_{23}) \quad (4)$$

假设 $T_1$ 为车辆低挡位在挡加速总时间, $T_2$ 为车辆换挡加速总时间,即 $T_1 = t_1 + t_2$ , $T_2 = t_{12} + t_{23}$ ,则:

$$T = T_1 + T_2 + t_3 \quad (5)$$

根据式(5),车辆百公里加速时间 $T$ 为一、二挡低挡在挡加速时间 $T_1$ 与一挡升二挡、二挡升三挡的换挡加速时间 $T_2$ 、三挡在挡加速时间 $t_3$ 之和。为提高车辆百公里加速性能,减小百公里加速时间,可以增加低挡位在挡加速总时间 $T_1$ ,相应减小三挡在挡加速时间 $t_3$ ,并减小换挡加速总时间 $T_2$ 。一方面,低挡位的变速器传动比更大,增加低挡位的在挡时间,同时使车辆的变速器处于高效率状态,可使车辆获得较大的驱动力,有效增加车辆低挡在挡加速时间 $T_1$ ,而三挡在挡加速时间相应减小;另一方面,加快一挡换二挡和二挡换三挡的换挡速度,可有效缩

短换挡加速总时间 $T_2$ 。对车辆AT控制器TCU控制策略进行优化,可实现上述提升车辆百公里加速性能的目标。

## 2 车辆百公里加速的AT控制策略优化

车辆百公里加速的AT控制过程见图2。变速器控制器TCU主要从CAN(控制器局域网)线上获取换挡装置位置、实时发动机转速、发动机扭矩、制动信号、油门开度等信号,从网关(GW)获取驾驶模式信号,综合这些信号判断驾驶人的驾驶意图,再结合TCU内部预先设定的控制程序,对自动变速器自身机械液压机构即换挡装置和液力变矩器进行控制,同时完成与发动机的信息交互和控制请求,最终完成动力总成的协同控制,达成驾驶人的百公里加速驾驶期望。

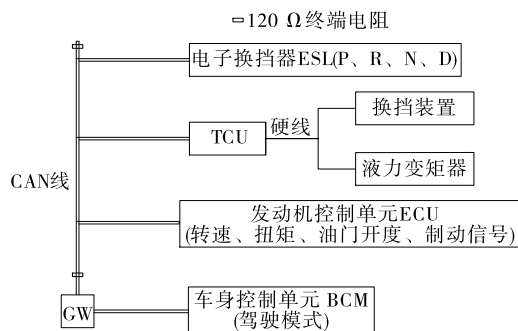


图2 AT控制的主要过程

### 2.1 基于换挡规律的优化控制策略

为增加一、二挡低挡位的在挡时间,提高车辆大驱动力作用时间,提升车辆加速动力性能,对变速器的换挡规律进行优化。

(1) 基于车辆参数,通过行驶方程和行驶加速度曲线图计算最佳动力性换挡规律,设定初步换挡图线,即图3中的shiftmap0。

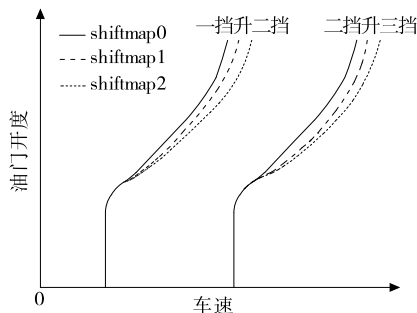


图3 优化换挡规律示意图

(2) 通过式(6),由换挡车速计算变速器输入轴转速,根据当前的解闭锁状态和液力变矩器的刚度

确定换挡时刻的发动机转速。通过换挡时刻发动机转速与换挡后发动机上冲转速关系进一步验证换挡后发动机的上冲转速是否超过发动机的最高安全转速。由于低温下发动机的上冲转速往往更高,在常温下优化的图线需进一步在低温下把换挡后发动机上冲转速作为约束来验证换挡图线的合理性。再结合工程项目的平台化开发经验,对换挡规律进行修正,最终形成优化策略下换挡图线 shiftmap1 和 shiftmap2,作为备选的基于换挡规律的优化控制策略(见图 3)。

$$n_{\text{Inspeed}} = u i_x / (0.377r) \quad (6)$$

式中: $n_{\text{Inspeed}}$ 为变速器输入轴转速; $u$ 为车速; $i_x$ 为挡位为  $x$  时的变速器传动比。

## 2.2 基于液力变矩器的优化控制策略

众所周知,液力变矩器闭锁时传动效率最高,可以通过对液力变矩器的闭锁时机进行控制来提高车辆百公里加速性能。闭锁车速点优化过程(见图 4):

(1) 根据项目开发的平台化经验设定初始闭锁控制图线 lockmap0,此时 100% 油门开度下闭锁车速点为  $u_0$ 。设车速迭代步长为  $\Delta u$ ,第  $i$  次迭代车速点为  $u_i$ ,则:

$$u_i = u_0 + i \Delta u \quad (7)$$

式中: $i=1,2,3,\dots$ 。

(2) 对发动机运行情况进行检验,即检验 100% 油门开度下  $u_i$  闭锁车速点的发动机运行工况是否有爆燃和熄火情况等发生。如果出现发动机爆燃或熄火情况,则闭锁车速点为  $u_{i-1}$ ,否则进行变速器运行情况检验。

(3) 对变速器运行状况进行检验,即检验 100% 油门开度下  $u_i$  闭锁车速点时变速器的闭锁充油是否可控、闭锁离合器的弹簧承受力是否在合理范围等。如果充油不可控、弹簧承受力超出合理范围,则闭锁车速点为  $u_{i-1}$ ,否则进行整车 NVH(噪声、振动与声振粗糙度)检验。

(4) 对整车 NVH 情况进行检验,即检验 100% 油门开度下  $u_i$  闭锁车速点的整车噪声和振动是否在可接受的合理范围。如果整车噪声和振动超出合理范围,则闭锁车速点为  $u_{i-1}$ ,否则闭锁车速点为  $u_i$ ,并把  $u_i$  作为基础闭锁车速点设定值进行下一轮次迭代,筛选优化的闭锁车速点。

然后调整其他油门开度下闭锁车速,最终形成闭锁车速图线。选择 2 组较好闭锁时机的闭锁车速图线 lockmap1 和 lockmap2 作为备选控制策略优

化图线(见图 5)。

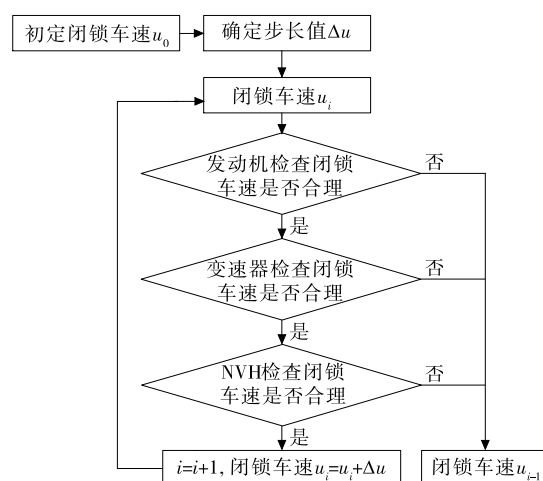


图 4 闭锁车速优化流程

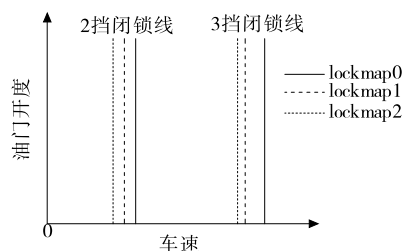


图 5 优化闭锁时机示意图

## 2.3 基于发动机降扭程度控制的优化策略

在换挡过程中,为缩短换挡时间,要求发动机和变速器协同控制使动力结合更快、更顺畅,实际工程中常通过变速器控制单元 TCU 向发动机控制单元 ECU 发送降扭请求的方式来实现。换挡过程中往往会产生换挡冲击影响驾驶感受,需对优化策略下车辆进行驾驶感受评价,保证优化方案符合换挡 NVH 要求。针对由某一特定发动机和自动变速器组成的动力总成,参考其他动力总成项目的开发经验和控制策略设定值,结合实际换挡时间测试结果、换挡冲击的驾驶感受确定降扭程度控制策略。

本研究中,在某一范围内有 3 个推荐的请求降扭预选值可供选择:方案一(TqReq1),一档升二挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 0,二挡升三挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 0;方案二(TqReq2),一档升二挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 14%,二挡升三挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 19%;方案三(TqReq3),一档升二挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 22%,二挡升三挡时 TCU 向 ECU 发送降扭请求值 26%。分别对 3 种方案进行实车换挡时间测试,结果见表 1。

表1 不同降扭程度的换挡时间

方案编号	一档升二挡的换挡时间/s	二挡升三挡的换挡时间/s	换挡总时间/s	驾驶感受评价
方案一	0.78	0.91	1.69	可接受
方案二	0.75	0.81	1.56	可接受
方案三	1.46	1.39	2.85	可接受

由表1可知:方案三的加速时间较长,淘汰该方案;方案一和方案二的换挡时间表现较好,且驾驶感

受评价中换挡时的换挡冲击为可接受,选定方案一(TqReq1)和方案二(TqReq2)作为备选的发动机降扭程度控制策略。

## 2.4 基于CRUISE的AT控制策略仿真分析

根据车辆物理模型的机械连接和控制信号连接关系建立CRUISE基本仿真模型,运用控制模块和S-Function构建控制策略实现模块(见图6)。

根据上述分析,基于换挡规律的优化控制策略

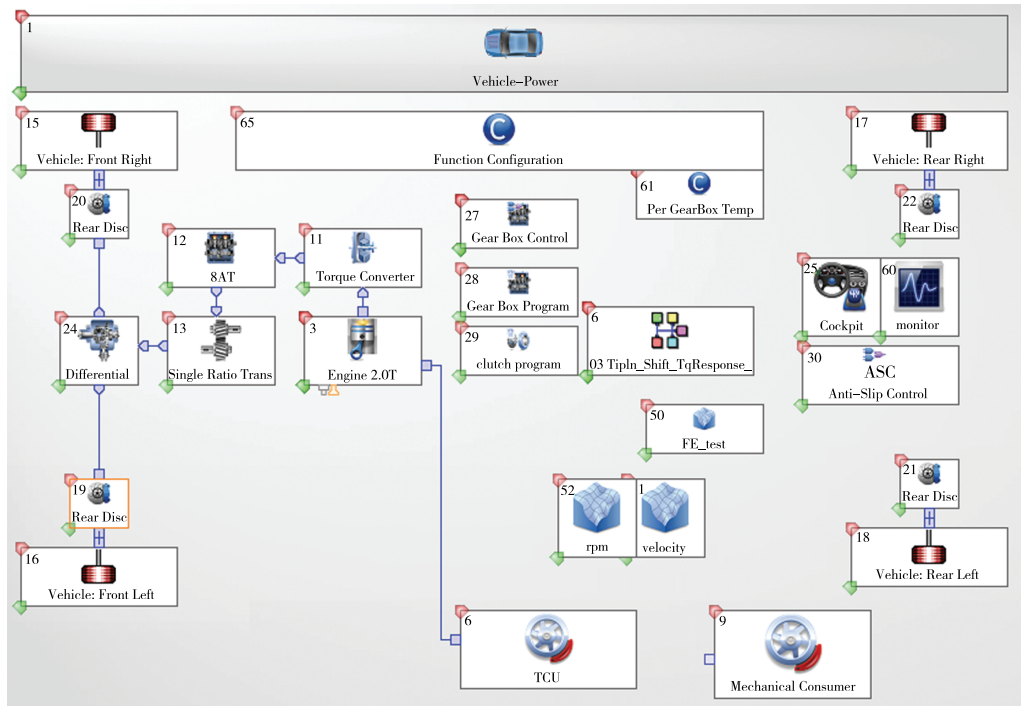


图6 CRUISE仿真模型

有 shiftmap1 和 shiftmap2 两种备选方案,基于液力变矩器的优化控制策略有 lockmap1 和 lockmap2 两种备选方案,基于发动机降扭程度控制的优化策略有 TqReq1 和 TqReq2 两种备选方案。基于3个控制因素和每个因素的2个水平,可产生8种组合优化方案。运用CRUISE仿真模型分别对8种组合优化方案进行仿真分析,得到车辆的百公里加速时间(见表2)。

由表2可知:优化组合方案4和方案6下车辆的百公里加速时间较短,将其作为备选优化方案进行实车测试验证,确定最优组合控制策略。

## 3 AT控制策略的试验验证

### 3.1 试验概况

在实车的变速器控制器TCU上集成本文研究的3种控制策略,并进行实车百公里加速试验验证,

表2 不同优化方案的仿真结果

方案编号	换挡规律控制策略	闭锁时机控制策略	降扭程度控制策略	百公里加速时间/s
1	shiftmap1	lockmap1	TqReq1	7.02
2	shiftmap1	lockmap1	TqReq2	7.01
3	shiftmap1	lockmap2	TqReq1	6.99
4	shiftmap1	lockmap2	TqReq2	6.89
5	shiftmap2	lockmap1	TqReq1	7.04
6	shiftmap2	lockmap1	TqReq2	6.93
7	shiftmap2	lockmap2	TqReq1	7.02
8	shiftmap2	lockmap2	TqReq2	6.96

试验车的基本参数见表3。试验前对车辆进行检查,确保车辆满足试验准入要求。百公里加速试验在平直的专业性能测试道路(沥青路面)上进行,选择无雨无雾的晴朗天气,温度、湿度、风速、气压符合



0~100 km/h 加速试验条件(见表 4)。对同一车辆进行对比试验,试验人员不变,仅改变变速器控制器 TCU 集成的控制程序,分别集成 AT 原控制策略、优化组合方案 4 和优化组合方案 6 的控制策略程序。对 3 种控制策略程序下车辆分别进行 3 次 0~100 km/h 加速测试,记录加速时间等过程数据。

表 3 试验车的基本参数

项目	参数	项目	参数
发动机	2.0T	载荷	两人载
变速器	8AT	驱动形式	前轮驱动

表 4 测试条件

项目	参数	项目	参数
湿度/%	83	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	0.6
天气	晴朗	道路坡度/%	0
温度/℃	27	气压/kPa	101
路面	沥青	道路长度/m	1 000

3.2 试验结果分析

从车辆 0~100 km/h 加速测试过程的数据中提取车辆加速时间信息,对数据进行分类整理:不同控制策略下车辆百公里加速总时间作为一类进行统计;不同控制策略下车辆一挡、二挡在挡时间相加作为低挡位加速总时间进行统计;一挡升二挡和二挡升三挡的换挡时间相加作为换挡加速总时间进行统计。试验结果见表 5。

表 5 实测百公里加速时间统计

方案	试验 编号	总加速 时间/s	低挡位加速 总时间/s	换挡加速 总时间/s
原方案	1	7.62	3.24	2.76
	2	7.69	3.35	2.64
	3	7.65	3.27	2.73
	平均	7.65	3.29	2.71
优化组合 方案 4	1	6.80	3.72	1.56
	2	6.88	3.67	1.61
	3	6.83	3.63	1.57
	平均	6.84	3.67	1.58
优化组合 方案 6	1	6.87	3.62	1.59
	2	6.93	3.74	1.63
	3	6.87	3.69	1.58
	平均	6.89	3.68	1.60

从表 5 可以看出:优化组合方案 4 下车辆百公里加速性能比方案 6 下的好。对比优化组合方案 4 和原方案,基于提升低挡位在挡时间和变速器效率,考虑发动机运行状态、变速器硬件安全、整车 NVH 可接受的情况,通过对换挡规律和液力变矩器闭锁控制策略的优化,低挡位加速总时间由 3.29 s 提高到 3.67 s,提高 0.38 s;基于降低换挡时间,考虑换挡冲击可接受的情况,通过对发动机降扭程度控制策略的优化,换挡加速总时间由 2.71 s 降到 1.58 s,降低 1.13 s;通过换挡规律、液力变矩器闭锁时机、控制发动机降扭程度的组合控制策略优化,车辆 0~100 km/h 的百公里加速时间由 7.65 s 降到 6.84 s,降低 0.81 s,动力性能提升 10.6%,效果明显。

4 结语

本文对装有 AT 变速器的车辆加速过程进行力学分析,研究加速过程的时间分布规律。结合工程经验,运用仿真软件,分析筛选出 2 组优化组合控制策略,并进行实车 0~100 km/h 加速工况测试,根据实测结果筛选出最优组合控制策略。结果表明:采用该组合控制策略,低挡位加速总时间提高 0.38 s,换挡加速总时间降低 1.13 s,总加速时间减少 0.81 s,车辆百公里加速性能提升 10.6%。该组合控制策略可为 AT 控制策略、车辆动力性能提升的相关研究或工程开发提供一定参考。

参考文献:

[1] 田富伟.8AT 自动变速器的传动比计算及换挡规律研究与仿真[D].哈尔滨:东北林业大学,2020.

[2] 王丽凤.车辆自动变速器换挡控制策略研究[D].长春:吉林大学,2016.

[3] 周末.自动变速器换挡规律的研究[D].武汉:武汉理工大学,2006.

[4] 高子茵,杜明刚,李慎龙,等.基于遗传算法优化和模糊控制动态优化的自动变速器换挡规律设计[J].兵工学报,2021,42(4):684—696.

[5] 刘洋,王书翰,鲁曦,等.8 挡自动变速器换挡控制策略[J].农业机械学报,2014,45(7):26—34.

[6] 徐安,乔向阳,刘圣田.汽车自动变速器锁止离合器控制策略[J].汽车工程,2004,26(3):283—286.

[7] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2009.