基于轮边扭矩的踏板脉谱及其应用

汪震隆，胡成帅，马希利
（吉利汽车研究院（宁波）有限公司，浙江 宁波 315336）

摘 要：介绍常用踏板扭矩脉谱的不足，提出轮边扭矩脉谱的特点及关键因素，最后进行实车应用。

关键词：轮边扭矩；踏板脉谱；关键因素
中图分类号：U461.2；U462.3 **文献标志码**：A **文章编号**：1006-3331(2022)04-0035-04

Pedal Map and Application Based on Wheel Torque

WANG Zhenlong, HU Chengshuai, MA Xili
(Geely Automobile Research Institute (Ningbo) Co., Ltd., Ningbo 315336, China)

Abstract: This paper introduces the shortcomings of the commonly used pedal-torque maps, puts forward the characteristics and key factors of the wheel torque-map, and finally applies it to a real vehicle.

Key words: wheel torque; pedal map; key factor

踏板脉谱决定对应转速或车速下所能请求的驱动扭矩，是车辆动力性和驾驶性表现的主导影响因素。对于自动挡车型，有多种常用的脉谱类型，各有特点。一款车型应选择一种合适的脉谱类型[1-2]。

1 常用脉谱类型及其特点

1.1 单一脉谱

早期车型采用的踏板脉谱是单一脉谱[3-5]，如图 1 所示。

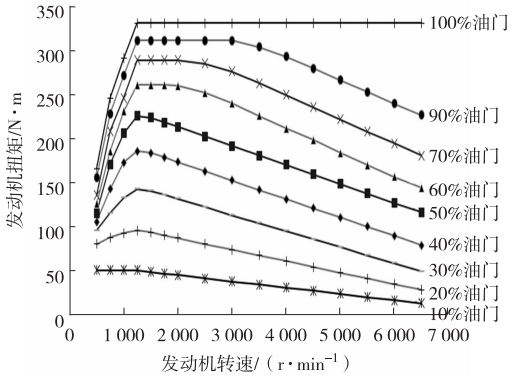

图 1 单一脉谱

单一脉谱只需标一张表，标定工作量少，但不能按车速进行区分，在小油门工况下，无法满足低速跟车时需要动力偏弱和高速行驶时需要动力偏强的需求，而且车辆如果配置了不同驾驶模式，也无法从扭矩脉谱上进行区分，只能从换挡线上实现不同的动力风格。

1.2 分模式脉谱

根据 Normal、ECO、Sport 等驾驶模式分别设计对应的脉谱，能够满足不同驾驶模式对动力性和经济性的需求。

1.3 分挡位脉谱

将变速器挡位划分为高、中、低三个挡区，并设置对应的脉谱。该类型脉谱标定工作量增加，但能满足不同挡位的动力需求。同是小油门开度和同等发动机转速工况，低挡位输出的动力偏弱，以满足市区工况、低速跟车工况的踏板可控需求；高挡位输出的动力激进，以满足高速高挡位行驶时的动力需求，即用小踏板开度就能满足高速巡航需求。

1.4 以车速为变量的脉谱

可以分别设计弱动力脉谱和强动力脉谱，对应低速和高速工况。根据车速插值，低速工况时弱动力脉谱权重较大，高速工况时强动力脉谱权重较大，以此

收稿日期：2022-04-19。

第一作者：汪震隆（1982—），男，工程师；主要从事乘用车传动系统控制研发工作。E-mail：wangzhenlong@geely.com。

获得对应车速和油门开度下的踏板扭矩；也可以在单一脉谱的基础上，将发动机输出扭矩乘以车速修正系数，以实现等油门开度下不同车速对应不同扭矩的需求。该类型脉谱主要是保证小油门低速行驶时动力不要太强，方便低速挪车和市区跟车，同时又兼顾高速行驶时小油门的动力能够满足需求；相同踏板开度情况下，随着车速增加，输出扭矩越来越大。

1.5 分模式和分挡位的脉谱

该类型脉谱针对不同驾驶模式，分别按变速器挡区进行脉谱的不同标定，既能满足不同驾驶模式的动力需求，又能保证在同一模式下不同挡位的动力需求。也可以采用分模式和高低速脉谱结合，两者效果相似。该类型脉谱其实是对上述 4 种类型脉谱的整合，相对优势更明显，但标定工作量也会增加。

上述 5 种类型脉谱统称为传统扭矩脉谱，其共同特点是基于发动机转速和发动机扭矩两个维度设计，即某个油门开度下的发动机输出扭矩和发动机转速成对应关系[6-8]。该类型脉谱在自动变速器换挡时，发动机扭矩变化不大，但因为自动变速器速比阶跃会导致轮边扭矩变化较大，所以，整车动力性不够连贯，尤其在低挡位升挡时有动力中断感。自动变速器在换挡时，会经历扭矩相和转速相两个阶段，对于上述传统扭矩脉谱，其动力升挡换挡过程如图 2 所示：

1）扭矩相。即为扭矩交互阶段，该过程发动机扭矩、转速不变，但换挡过程中离合器扭矩有损失，会导致传递到轮边的扭矩下降，从而引起整车动力性下降。

2）转速相。即为转速交互阶段，该过程在分离离合器分离的同时，结合离合器逐步贴合，作用在轮边的扭矩和整车动力性逐步恢复到正常水平。

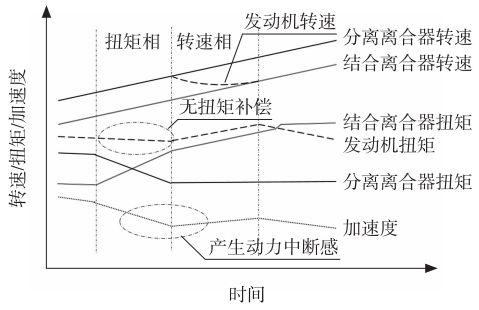

图 2 传统扭矩脉谱换挡过程示意图

在换挡过程中加速度先降后升，导致换挡过程不平顺。要想保证换挡前后平顺，就要保证变速器输出轴后端，即车轮端的扭矩平顺。基于此需求，设计了基于轮边扭矩的踏板脉谱。

2 轮边扭矩脉谱及应用

2.1 轮边扭矩脉谱介绍

如图 3 所示，轮边扭矩脉谱基于车速和轮边扭矩设计，驾驶员请求的是轮边扭矩。轮边扭矩除以传动系扭矩比 R_i，可得到发动机扭矩。

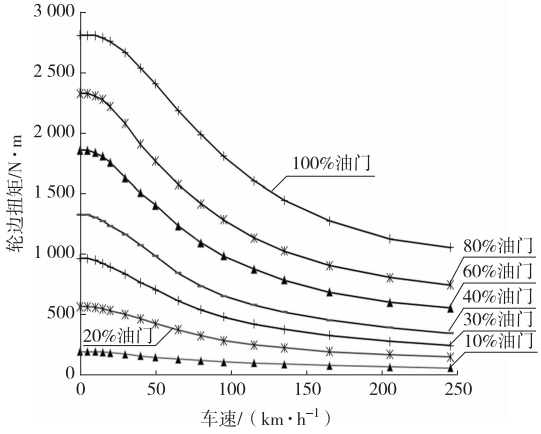

图 3 轮边扭矩脉谱

这种扭矩脉谱可以对换挡过程中离合器的扭矩损失进行补偿。在油门踏板恒定的情况下，驾驶员请求的轮边扭矩连续，且换挡瞬间的轮边扭矩可视为保持不变，若扭矩比 R_i 减小，则发动机扭矩提升，从而起到补偿扭矩损失的作用。通过对换挡过程的扭矩比 R_i 进行优化标定，可有效减小换挡过程中加速度的波动，使得整车加速更连贯。轮边扭矩脉谱的换挡过程如图 4 所示。

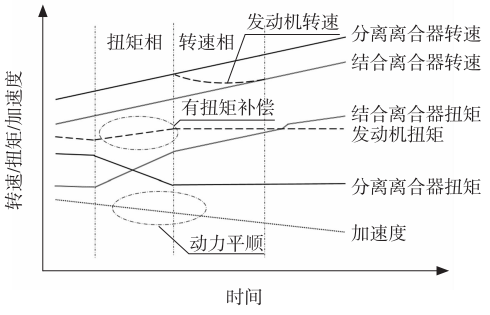

图 4 轮边扭矩脉谱换挡过程示意图

2.2 轮边扭矩脉谱关键因素

1）车速。车速基于左前轮和右前轮轮速计算。

两者同时有效取平均值;一个有效一个无效则取有效值;两个都无效则取 0。信号功能安全等级满足 ASIL B。

2）油门。油门开度信号来自油门踏板,采用两路冗余信号设计,两路信号相互校验,安全等级满足 ASIL B。

3）扭矩比 R_i。发动机电控单元 EMS 内部设置了变速器各挡总速比(含主减速比),但不能反映换挡过程扭矩的变化,故采用变速器电控单元 TCU 计算的扭矩比,通过 CAN 信号进行传递。如前所述,扭矩比影响换挡过程的扭矩形态,对换挡品质控制至关重要,因此对其时效性要求也很高,要求 CAN 信号发送周期为 10 ms。同时,设计默认扭矩比值,一旦 CAN 上扭矩比信号失效,则采用默认值代替。以下介绍扭矩比的设计。

以双离合变速器为例,在挡行驶时(即非换挡过程)的扭矩比计算公式:

$$R_i = i_{gn}\eta_n \tag{1}$$

式中:i_{gn} 为各挡总速比(含主减速比);η_n 为各挡在挡总传动效率(含主减速器)。

换挡过程扭矩比计算公式:

$$R_i = (i_{1n}T_1\eta_{1n} + i_{2n}T_2\eta_{2n})/(T_1+T_2) \tag{2}$$

式中:i_{1n}、T_1、η_{1n},i_{2n}、T_2、η_{2n} 分别为对应奇数轴(1)挡位和偶数轴(2)挡位的总速比、离合器传递扭矩值和扭矩相传动效率。

将上述两式在 Simulink 里进行模型化设计,用于扭矩比计算。模型设计有各挡位总速比标定表(对应 i_{gn}、i_{1n}、i_{2n})、各挡位在挡总传动效率标定表(对应 η_n)和扭矩相各挡总传动效率标定表(对应 η_{1n}、η_{2n}),标定后可查表获得对应挡位的速比和传动效率。

其中,扭矩相对应的传动效率 η_{1n}、η_{2n} 的标定对换挡过程平顺性影响至关重要。通过该效率值的标定,可调节扭矩比 R_i,而该阶段扭矩比的变化曲线影响换挡过程发动机的扭矩值,即影响到图 4 所示的扭矩相扭矩调节情况。该扭矩调节过程即为换挡过程的扭矩补偿,直接影响换挡过程平顺性。

2.3　轮边扭矩脉谱应用

将设计的轮边扭矩脉谱(如图 3 所示)应用于某乘用车,与传统脉谱(以单一脉谱为例)进行对比测试。油门开度为 50%的测试数据如图 5 和图 6 所示。因一挡起步时对发动机扭矩控制有额外的控制策略,故对比分析从二挡开始。

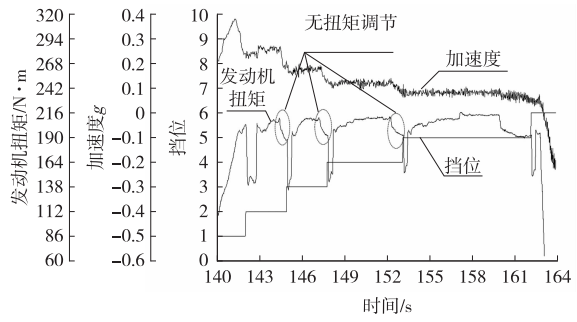

图 5　传统脉谱(单一脉谱)加速换挡过程

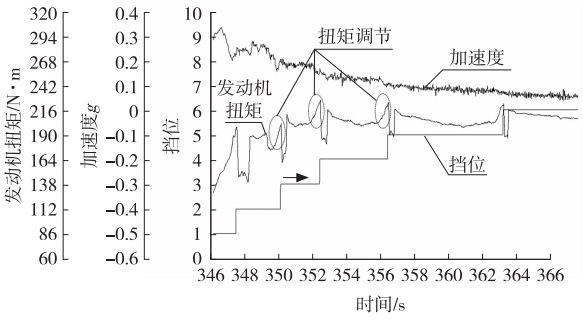

图 6　轮边脉谱加速换挡过程

从图中曲线趋势可看出,传统脉谱在换挡时,发动机扭矩没有调节,换挡过程各挡加速度呈阶梯状依次下降,加速度有阶跃,平顺性不理想;而轮边脉谱在换挡时可根据扭矩比进行扭矩调节,换挡过程加速度则是连续线性下降,加速度变化较为平缓,平顺性较好。实车感受与此测试结果相同。

通过 AVL-Drive 工具进行驾驶舒适性客观评价测试,油门开度为 50%的测试数据如图 7 所示(采样时间为 0.1 s),同等工况下,轮边扭矩脉谱与传统脉谱(以单一脉谱为例)的垂向加速度变化幅度无明显差异,这说明轮边扭矩脉谱在垂向振动方面没有什么改善,但也没有不利影响。

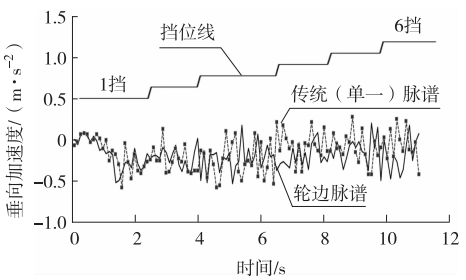

图 7　垂向加速度对比

3 结束语

本文通过对各类型踏板脉谱进行介绍分析，提出轮边扭矩脉谱，并对轮边扭矩脉谱的特点和关键要素进行论述。最后对轮边扭矩脉谱和传统扭矩脉谱的应用进行实车对比测试，验证数据显示轮边扭矩脉谱具有明显的驾驶优势。

参考文献：

[1] 余志生. 汽车理论：第 6 版[M]. 北京：机械工业出版社，2019：1-53.

[2] 周良生，曲学春，周冬生，等. 汽车动力传动系及动力性能计算[M]. 北京：机械工业出版社，2020：77-125.

[3] 郭俊，王俊华，汪伟，等. 基于加速度的混合动力城市客车加速踏板解析算法[J]. 客车技术与研究，2013，35(2)：24-26.

[4] 苏亮. 分布式驱动电动客车驱动扭矩分配控制策略研究[J]. 客车技术与研究，2019，41(3)：5-7.

[5] 李敏，何艳则，牛大旭. 综合考虑 CVT 动力性和经济性的整车控制策略集成优化[J]. 计算机辅助工程，2017，26(4)：39-44.

[6] 张文艺，张玮龙，杨淼. 大马力电控商用车柴油机油门踏板特性对 AMT 变速器燃油经济性的影响[J]. 重型汽车，2021(4)：32-33.

[7] 孙国庆，孟建军，叶建伟，等. 基于 Cruise 的越野车动力匹配技术研究[J]. 汽车科技，2018(5)：29-33.

[8] 张红梅，李启良. 某整车动力匹配设计分析研究[J]. 汽车实用技术，2015(1)：82-84.

欢迎刊登广告

《客车技术与研究》创刊于 1979 年，国内外公开发行，双月刊，国内邮发代号：78-115，国外发行代号：BM 2856，中国标准连续出版物号：ISSN 1006-3331；CN 50-1109/U。

本刊主要发行至客车及其配套件企业、科研单位和大专院校，深受广大读者的欢迎和好评。多年来，本刊在宣传和推广客车配件和设备等新产品、提高产品知名度、促进产品销售以及传播信息等方面发挥了重要作用，已成为客车主机厂选择配套件及设备的主要参考资料。

为了使您的产品能快速赢得市场，提高企业的经济和社会效益，我们竭诚欢迎客车（汽车）及相关企业在本刊刊登广告。

详情咨询：023-62653044。