

一种混合动力汽车的整车驾驶扭矩控制逻辑设计与应用

卢娜 张南 李雷

长城汽车股份有限公司技术中心、河北省汽车工程技术研究中心

摘要：整车控制器（VCU）的控制逻辑主要包括整车扭矩需求、整车扭矩分配以及各零部件扭矩需求滤波与动态扭矩协调四部分，按扭矩的动力传递顺序详细介绍了驾驶员扭矩需求后扭矩的处理逻辑，最终输出给发动机、前电机与后电机等执行器执行。

关键词：混合动力新能源汽车；扭矩请求；扭矩分配；滤波

0 前言

混合动力汽车的整车驾驶扭矩控制是指整车控制器（VCU）通过控制发动机、前电机和后电机输出扭矩来满足驾驶员扭矩需求，保证车辆稳定运行的逻辑。这一逻辑涉及到多个系统的协调工作，包括整车控制器（VCU）、发动机管理系统（EMS）、前驱动电机（FMCU）、后驱动电机（RMCU）、变速器控制系统（TCU）和车辆稳定控制系统（ESP）等，图 1 所示为 Hi4 扭矩控制架构。

混合动力车型的架构也较多，有增程式、非增程式，有两驱、有四驱，前桥有双电机（GM 与 TM）、有单电机如图 2 所示，Hi4 动力架构属于非增程式四驱架构，前桥一个发动机与一个前电机，前电机在电池亏电的时候，进入串联，起到发电机的作用，在电池不亏电的时候起到驱动电机的作用；后桥一个后电机，为驱动电机。

1 整车扭矩控制逻辑

整车控制器扭矩控制逻辑主要涉及：整车扭矩需求

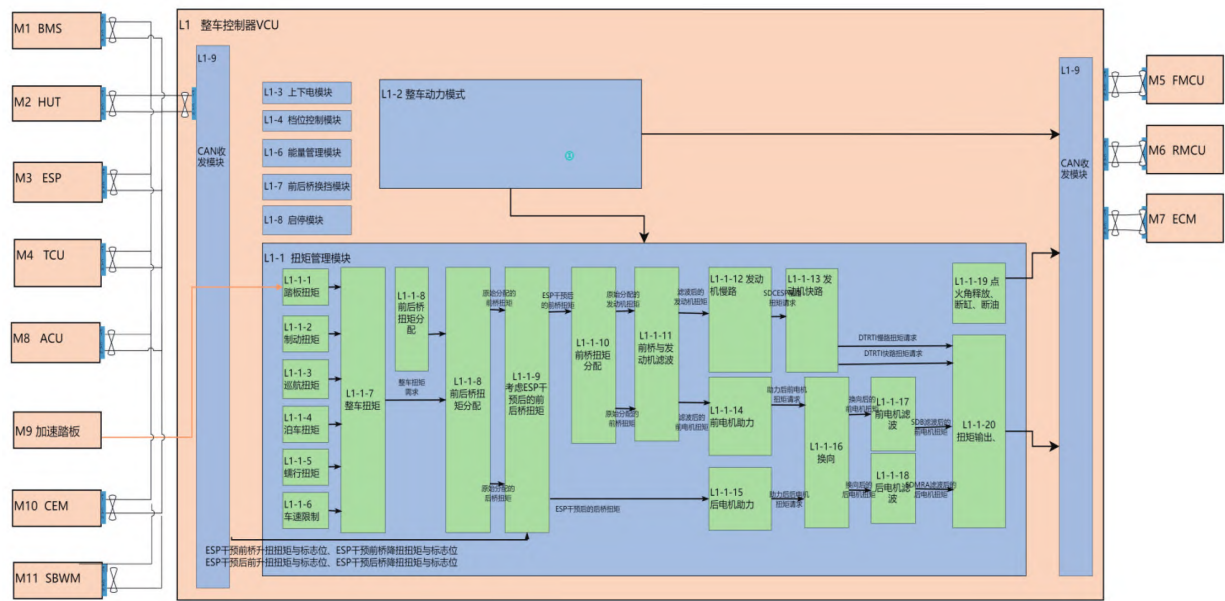


图 1 Hi4 扭矩控制架构

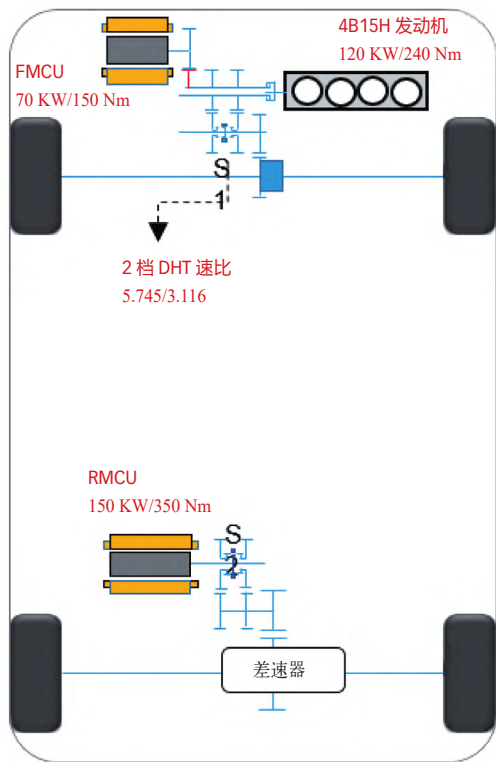


图 2 Hi4 动力架构

(VTD)、整车扭矩分配 (VMM)、扭矩滤波 (ASD) 与扭矩动态协调 (CorPt)，如图 3 所示。

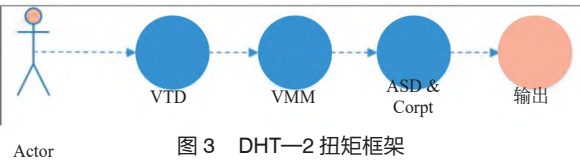


图 3 DHT-2 扭矩框架

1.1 整车扭矩需求

整车扭矩需求 (VTD) 部分主要是根据驾驶员加速踏板扭矩、制动踏板扭矩、蠕行扭矩、是否开启定速巡航、自适应巡航及自动泊车等功能，综合协调各部分的扭矩需求，最终输出整车轮端扭矩请求，给扭矩路径使用。如果有限制整车车速工况，整车扭矩不

能超过限制车速的的最大扭矩，见表 1。

VTD 整车扭矩需求部分，各个架构策略一致，可平台化开发。

1.2 整车扭矩分配

整车扭矩分配部分包括 TTDAR、TTDA、VMCo 与 VMEE，主要根据 VTD 输出的整车扭矩需求，通过考虑驾驶模式、ESP 前后桥干预等情况进行前后桥扭矩分配，见表 2。

VMM 整车扭矩分配部分，TTDAR、TTDA 与 VMCo 各个架构策略一致，可平台化开发；VMEE 各架构策略不同，需根据整车操作模式，进行前桥扭矩分配。Hi4 架构前桥为一个发动机与一个电机，分配原则如下：EV，前桥扭矩全给前电机；串联，前桥驱动扭矩为 0，发动机与电机为发动扭矩（发动机正，电机负）；直驱，根据负载点转移模块发的发动机请求扭矩，将前桥慢路扭矩请求分配为发动机扭矩和电机扭矩；

1.3 扭矩滤波与扭矩动态协调

扭矩滤波与扭矩动态协调（部分主要根据 EV、EV Idle、串联、直驱和低速直驱五种驱动模式，计算对应模式下的整车动态的扭矩滤波与协调，

其中 SDFA、SDB 与 SDMRA 分别为前桥、前电机与后电机的扭矩滤波模块，均采用六段式扭矩滤波方式，该方法通过将输入扭矩根据扭矩方向和阶段划分为六段，分别为正向的 Lo-Pos、Mid-Pos 及 Hi-Pos 和负向的 Lo-Neg、Mid-Neg 和 Hi-Neg，通过分段的方式对扭矩信号进行处理，具有不同的响应速度，来平衡整车的“动力性”与“平顺性”，以达到更好的滤波效果，如图 4 所示。

六段式扭矩滤波方式：判断滤波前扭矩与滤波后扭矩的差值 T_{rqd} 是否大于 0，若 $T_{rqd} > 0$ (cali) 表示扭矩呈上升趋势，扭矩方向为 Positive，若 $T_{rqd} < 0$ (cali) 表示扭矩呈下降趋势，扭矩方向为 Negative。判断滤波后的扭矩值，当 $T_{rqLimd} < -20$ (cali) 说明扭矩处于

表 1 VTDSWClst

SWC	内容	主要逻辑
TDAP	加速踏板扭矩需求	根据车辆加速踏板开度和车速，计算不同档位模型下加速踏板扭矩请求
TDBP	制动踏板扭矩需求	ESP 发送的制动能量回收扭矩值
TDEC	蠕行扭矩需求	蠕行目标车速，蠕行扭矩请求计算
TDCC	定速巡航扭矩需求	巡航状态、巡航目标车速、巡航目标加速度计算
DATC	自适应巡航或自动泊车扭矩需求	自适应巡航与自动泊车状态、扭矩判定
TDVL	车速限制扭矩需求	根据驾驶模式等信息计算最大车速限制；输出车辆最大扭矩限制的限制值
TDCo	整车扭矩需求	对加速踏板扭矩需求、制动踏板扭矩需求、巡航、蠕行、ACC、APS 和车速限制扭矩进行扭矩仲裁，输出车辆轮端扭矩请求

表 2 VMMSWClist

SWC	内容	主要逻辑
TTDAR	前后桥扭矩分配比	根据车辆扭矩请求和驾驶模式、及其它车辆信息（比如：制动、滑行、SOC 和滑移率等），计算前后轴扭矩分配因子
TTDA	前后桥扭矩分配	根据前后轴扭矩分配因子，计算前后轴扭矩 (备注：当前桥扭矩受限后，受限扭矩差值需转移给后桥，当前后桥扭矩受限后，受限扭矩差值需转移给前桥)
VMCo	协调 ESP 的扭矩干涉，输出协调后的整车扭矩请求	分别对前后轴扭矩请求和 ESP 干涉（包括前轴快路、前轴慢路、后轴）进行仲裁、扭矩干涉的补偿，输出协调后的轮端扭矩（包括前轴快路、前轴慢路、后轴） 根据整车操作模式，进行前桥扭矩分配。
VMEE	前桥发动机与电机扭矩分配	Hi4 动力架构前桥为一个发动机与一个电机，分配原则如下： EV：前桥扭矩全给前电机； 串联：前桥驱动扭矩为 0，发动机与电机为发动扭矩（发动机正，电机负）； 直驱：根据负载点转移模块发的发动机请求扭矩，将前桥慢路扭矩请求分配为发动机扭矩和电机扭矩。

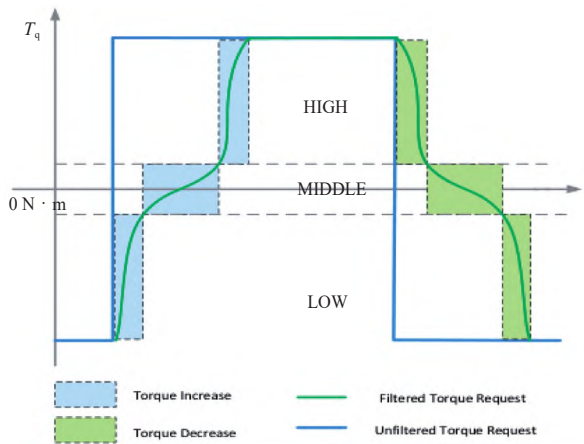


图 4 扭矩六段式滤波

Low 阶段，当 $-20 \text{ (cali)} < T_{rqLimd} < 20 \text{ (cali)}$ 说明扭矩处于 Medium 阶段，当 $T_{rqLimd} > 20 \text{ (cali)}$ 说明扭矩处于 High 阶段。不同的扭矩区间允许的扭矩变梯度不同，若扭矩在 Medlium 阶段，允许的扭矩变化梯度小 (cali, 300 Nm/s)，防止执行器电机过零变化快引起闯动问题，若扭矩在 Low/High 阶段，允许的扭矩变化梯度大 (cali, 1500 Nm/s)。除区域的扭矩基础梯度值不同，还会基于驾驶模式、制动踏板、挡位和当扭矩方向为 Positive 时，滤波后扭矩 = 上一次滤波后扭矩 + 扭矩梯度 (cali, 基于 Low/Medium/High 区间可标)，然后受区域上限 + 偏移量 (cali, 初始值 $0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$) 与滤波前扭矩的扭矩取小限制，防止扭矩跨阶段后扭矩变化与允许梯度不符，也防止滤波后扭矩超过原始扭矩值；当扭矩方向为 Negative，滤波后扭矩 = 上一次滤波后扭矩 - 扭矩梯度 (cali, 基于 Low/Medium/High 区间可标)，然后受区域下限 - 偏移量 (cali, 初始值 $0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$) 与滤波前扭矩的扭矩取大限制，防止扭矩跨

阶段后扭矩变化与允许梯度不符，也防止滤波后扭矩超过原始扭矩值。通过大量实车测试，不同项目不同车型扭矩方向、阶段和梯度等标定量的标定值均不完全相同，但整体原则一致，因地制宜的细节差异化标定，更好地适配出车辆的最优动力方案。

SDCESP、DTRTI、CEIAR 分别为发动机的慢路滤波模块、快路滤波快路干预模块、快路扭矩计算与发动机降扭请求（点火角释放、断缸和断油）模块。Hi4 架构换模换挡时，TCU 会干预发动机快路到 $0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，慢路到 $30 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，换模换挡的完成后，扭矩恢复；低速直驱时会干预发动机扭矩不能超过离合器传递能力，其他稳定工况没有发动机干预，扭矩等于前边 SWC 正常分配的扭矩值，见表 3。

BDTC 与 MDTC 与分别为前电机扭矩需求与助力扭矩计算模块、后电机扭矩需求与助力扭矩计算模块。扭矩助力指由于发动机自身响应的滞后性或者有干预降扭的工况，导致发动机实际与原始扭矩请求有 diff 值，这个 diff 值需要由电机进行扭矩助力，否则整车扭矩与原始扭矩请求不符。Hi4 架构扭矩助力原则：换模换挡时后电机助力，实际低速直驱时前电机助力，稳定普通直驱时前电机助力，见表 3。前电机助力计算方法：普通直驱时，前电机助力 = SDFA 前桥扭矩 - SDFA 电机扭矩 - CANR 发动机实际扭矩；低速直驱时，前电机助力扭矩 = SDFA 前桥扭矩 - SDFA 电机扭矩 - CANRTCU 离合器实际传递扭矩。后电机助力计算方法：后电机助力扭矩 = VMCo 前桥扭矩 - BDTC 电机扭矩 - CANR 发动机实际扭矩，备注：N 挡的时候，默认 BDTC 电机扭矩与 CANR 发动机实际扭矩使用 0 替代，即后电机助力扭矩 = VMCo 前桥扭矩，如图 5 所示。

表 3 ASD 与 CorPtSWClst

SWC	内容	主要逻辑
SDFA	前桥扭矩滤波	前桥扭矩请求六段式滤波与发动机扭矩请求六段式滤波
SDCESP	慢路滤波模块	Hi4 架构换模换挡时，TCU 会干预发动机快路到 0NM，为了防止发动机气火分离太大导致断缸扭矩不平顺，故 SDCESP 在快路干预降扭的同时自降慢路扭矩到 30NM，快路干预扭矩恢复时同步恢复慢路扭矩，梯度与 DTRTI 梯度同步
DTRTI	快路滤波及快路干预模块	Hi4 架构换模换挡时，TCU 会干预发动机快路到 0NM，DTRTI 模块判定使用 SDCESP 的慢路扭矩还是 TCU 干预的扭矩，并考虑扭矩滤波
CEIAR	发动机点火角释放、断缸、断油	发动机降快路扭矩除了跟随慢路同步下降的方法外，有三种快速降扭的方法，即：点火脚释放、断缸、断油
BDTC	前电机助力	由于发动机扭矩涉及缸体喷油点火做功行程，出扭具有滞后性，发动机实际扭矩与请求扭矩的差值，需要电机助力，来保证整车动力性 Hi4 架构扭矩助力原则：（1）换模换挡时后电机助力； （2）实际低速直驱时前电机助力，稳定普通直驱时前电机助力
MDTC	后电机助力	
PtCo	电机扭矩换向	电机扭矩换向 Hi4 架构变速器没有机械 R 挡，故需要软件实现扭矩换向
SDB	前电机六段式滤波	串联与直驱模式的前电机六段式滤波（EV 不涉及此模块，SDFA 实现）
SDMRA	后电机六段式滤波	前电机六段式滤波
DTRD	最终扭矩请求输出	DTRD 模块输出最终发给各个零部件的扭矩需求，此模块主要考虑了轮端扭矩到轴端扭矩的扭矩速比转换，还有发动机怠速的逻辑判定。发动机怠速控不同于发动机扭矩控，发动机扭矩控：是 VCU 给发动机发送快慢路扭矩请求（可能伴随点火角释放、断缸、断油请求）。发动机怠速控：是 VCU 给发动机发送怠速请求与怠速的目标转速，发动机自己控制自身扭矩输出来达到维持目标转速的目的



图 5 助力扭矩

最后 DTRD 模块输出最终发给各个零部件的扭矩需求，此模块主要考虑了轮端扭矩到轴端扭矩的扭矩速比转换，还有发动机怠速的逻辑判定。发动机怠速控不同于发动机扭矩控，发动机扭矩控是 VCU 给发动机发送快慢路扭矩请求（可能伴随点火角释放、断缸、断油请求）。发动机怠速控是 VCU 给发动机发送怠速请求与怠速的目标转速，发动机自己控制自身扭矩输出来达到维持目标转速的目的。

ASD 与 CorPt 部分各个模块的策略与动力架构紧密相关，各不相同，各架构需独立开发。

2 应用

混合动力汽车的扭矩控制逻辑高度复杂，涉及多

个子系统的协同工作，包括发动机管理、前电机控制、后电机控制、离合器挡位控制、电池管理系统（BMS）以及底盘车身稳定干预、智驾扭矩请求等。这些系统通过复杂的算法和控制策略，确保车辆在各种驾驶条件下都能高效、安全地运行。

Hi4 架构虽然比以往混合动力架构(GM+TM+RMCU)缺少一个发电机，但是通过合理的利用前电机 FMCU，实现了 FMCU 不工况不同作用的目的，在保证功能不降级的情下，降低了整车配重，有效提高整车动力性能；节约了整车成本，更直接的价格优惠于客户。

参考文献

[1] 李明，王伟．混合动力汽车技术[M]．北京：机械工业出版社，2015.
[2] 张华，陈丽娟．新能源汽车技术与应用[M]．北京：清华大学出版社，2018.
[3] 王强，赵志刚．混合动力汽车控制系统设计与优化[J]．汽车工程，2019，41(5): 789-795.