

在识别车辆状态和驾驶员操作意图的前提下，按照整车工作模式划分，制定一种功率分配策略，对车载高压零部件间的功率需求进行合理分配，在保证车辆平稳、安全运行的前提下，达到电池包可用功率不过充、不过放的目的。

□ 长城汽车股份有限公司 刘喜明

规避电池包功率过放和过充的纯电动汽车功率分配策略

纯电动汽车不同于燃油车或混动车，其可用功率（包含可用放电功率和可用充电功率）只能来自电池包。行车驱动中可用放电功率用于指示当前电池包可提供的最大放电功率，行车能量回收时可用充电功率用于指示当前电池包可允许的最大充电功率。

规避电池包过放和过充是对维持电池寿命的基本保障，电池包过放在一定范围和时间内是可以接受的，但绝不允许发生电池包过充的情况，因为电池包过充会导致析锂，对电池包寿命产生不可逆的影响。

车辆上高压零部件的需求功率和实际消耗功率，随着车辆状态和驾驶员的操作处在一直变化状态，特别是当电池包可用放电功率比较小，如何在空调舒适性的追求和驱动电机的动力性需求间取舍。

电池包可用功率

电池包可用功率是电池包SOC和温度的二维函数，其关系见公式（1）

$$P_{BMS_available}=f(SOC,Temperture) \quad (1)$$

式中， $P_{BMS_available}$ 是电池包的可用功率；Temperture 是电池包的模组温度。电池包模组温度在一定范围内对电池包可用充、放电功率的影响是随着电池模组温度的升高，可用充、放电功率变大。模组温度超过一定值后，电池包可用充、放电功率随着温度的升高而变小。电池包SOC对可用放电功率的影响是随着SOC的变大，可用放电功率变

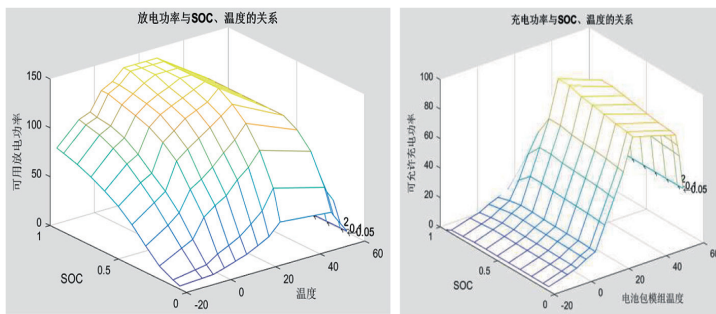


图1 可用充、放电功率与SOC、温度map图

大，对充电功率的影响随着SOC变大，可用充电功率变小。电池包的可用充、放电功率如图1所示。

驱动时高压零部件的功率限制

车辆上高压零部件包含驱动电机、DC—DC和高压空调，这些高压零部件工作时都需要从电池包获取功率。因此，对高压零部件设置优先级是功率分配策略的前提。DC—DC是为车辆小蓄电池充电以保证所有ECU的供电正常，优先级设置为最高。

驱动电机和高压空调对功率的需求应取决于驾驶员的需求，其优先级是最难取舍的。设置驱动电机的优先级高于高压空调会发生低功率时空调零功率的现象，最直接的感受就是冬季标定时油门踏板踩到底，空调吹冷风，夏季标定时空调吹热风，这种现象是驾驶员最不能忍受的；而设置高压空调优先级高于驱动电机会发生低功率时驱动电机零功率的现象，最直观的感受就是空调工作时，踩油门踏板但车辆不走，驾驶员对这种现象勉强还可以接受。

本文在综合了以上顾虑后提出一种新的功率分

配优先级,该优先级在电池包可用功率不足时,可以兼顾高压空调给驾驶员带来的舒适性和驱动电机对行车的动力性需求。

1. 功率阶梯划分

以加速时间、最高车速和爬坡度为参考指标,该指标的仿真结果见表所示。

表中电机功率 20 kW 时,最高车速仍可以达到 110 km/h,爬坡度 19%,考虑空调最大消耗功率 8 kW,将电池包可用放电功率小于等于 30 kW 作为功率不足阶段 1 的起始阶段。此时出现驱动电机和空调舒适功率同时需求的情况时,以限制部分空调功率来满足驱动电机的动力需求。

电机功率 12 kW 时,最高车速 90 km/h,爬坡度 11.2%,将电池包可用放电功率小于 10 kW 作为功率不足阶段 2 的起始阶段。电池包可用放电功率低于此值时,完全牺牲空调功率来换取驱动电机的动力需求已意义不大。

2. 高压空调的工作模式

高压空调包含 PTC(Positive

Temperature Coefficient) 和 CMP(Compressor)两部分,PTC 的需求功率在 0 ~ 8 kW,CMP 的需求功率在 0 ~ 3 kW(以长城欧拉 iQ 为例)。高压空调的工作模式有如下 3 种:制冷时,CMP 工作,PTC 不工作;制热时,CMP 不工作,PTC 工作;除霜除雾时,CMP 和 PTC 可以同时工作。为此,除霜除雾不激活时,定义为驾驶员对空调的舒适性需求;除霜除雾激活时,定义为驾驶员对空调的驾驶安全性需求。

3. 功率不足时空调舒适性需求功率限制

根据零部件(PTC 和 CMP)工作特性,PTC 稳定时的工作功率在 2 ~ 3 kW,CMP 稳定时的工作功率在 1 ~ 2 kW。因此,结合电池包的可用放电功率阶梯划分,将空调的预留功率相应划分 2 个阶段。阶段 1:PTC 预留功率 3 kW,CMP 预留功率 2 kW,虽然限制了车辆的舒适性功率,但还在驾驶员可接受范围内;阶段 2:PTC 预留功率 2 kW,CMP 预留功率 1 kW,在满足驾驶员可接受的最低舒适需

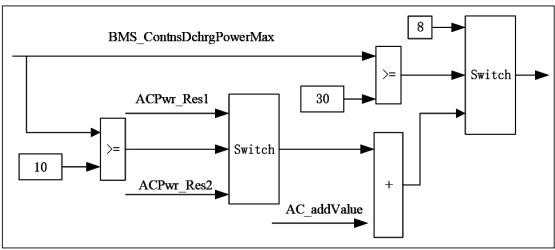


图 3 驱动时的空调功率限制

求后,剩余功率全用驱动电机。

4. 功率不足时空调驾驶安全性需求功率限制

空调驾驶安全在此特指除霜除雾功能,此情况下直接为空调预留 5 kW 作为驾驶安全需求功率限制的底线。预留功率限制的逻辑如图 2 所示,驱动时整体的空调功率限制示意如图 3 所示。

5. 驱动时电机功率限制

驱动时电机的功率限制主要是指不同档位下的电机最大功率限制、电机自身的功率限制和故障下的电机功率限制。

能量回收时高压零部件的功率限制

能量回收阶段时,电池包作为储能单元,电机将动能转换为电能输送到电池包内。电机不消耗功率反而产生功率用于空调负载的消耗,因此不涉及空调功率限制,只需要考虑电机的发电功率限制。电机的发电功率限制主要是以电池包可允许充电功率为输入,附件考虑电机系统效率,其计算公式如下:

$$P_{motLim} = \frac{P_{BMS_ContnsFBPowerMax}}{\eta} \quad (2)$$

式中, $P_{BMS_ContnsFBPowerMax}$ 为电池包可允许充电功率; η 为电机系统效率。

分配策略

高压零部件的功率限制仅仅

表 动力性指标

电机功率	12 kW		20 kW		17 kW		14 kW	
项目	指标	仿真	指标	仿真	指标	仿真	指标	仿真
0 ~ 50 的加速时间	-	17.3	10	9.8	12	11.7	15	14.6
50 ~ 80 的加速时间	-	47.4	-	19.2	-	24.5	-	34.3
最大爬坡度	-	11.2%	-	19%	10%	16%	15%	13.2
最高车速 / (km/h)	-	90	-	110	50	102	80	95

注:爬坡车速 20 km/h

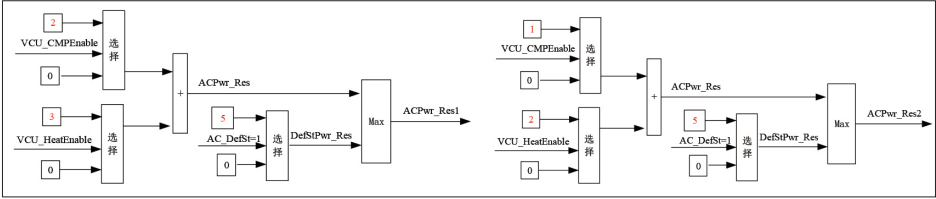


图 2 空调预留功率逻辑示意



是定义了高压零部件所能获取的最大功率,但实际工作过程中各高压零部件不会一直工作在最大功率值。当高压零部件的实际消耗功率小于功率限制时,就需要将剩余的功率再分配到其他高压零部件。

1. 整车可用功率计算

驱动时,整车可用功率名义上与电池包可用放电功率相同,但如果线损功率比较大时也需要考虑,此处根据车型的实际情况线损功率在 30 W 左右。能量回收时,整车可用功率除电池包可用放电功率外,还会增加电机实际回收功率。电机实际回收功率计算公式如下:

$$P_{motfeedback} = \frac{T \times n}{9550} \times \eta \quad (3)$$

式中, T 为预估的下一时刻转矩; n 为电机的实际转速; η 为电机系统效率。

2. 电机预留功率

能量回收时,电机处于发电状态,不需要消耗功率,因此电机预留功率为 0。驱动时电机的预留功率计算公式如下:

$$P_{MotPwr_Res} = \frac{T \times n}{9550 \times \eta} \quad (4)$$

式中, T 为预估的下一时刻转矩; n 为电机的实际转速; η 为电机系统效率。

3. DCDC 实际消耗功率

DCDC 消耗功率为 DCDC 输入端电流和电池电压乘积得到,计算公式如下:

$$P_{DCDC_CnsmptnPwr} = DCDC_HvActCurr \times BMS_BattVolt \quad (5)$$

式中, $DCDC_HvActCurr$ 是 DCDC 高压侧的实际电流; $BMS_BattVolt$ 是电池的端电压。

4. 空调的额外功率值

当电机的预留功率较小时,

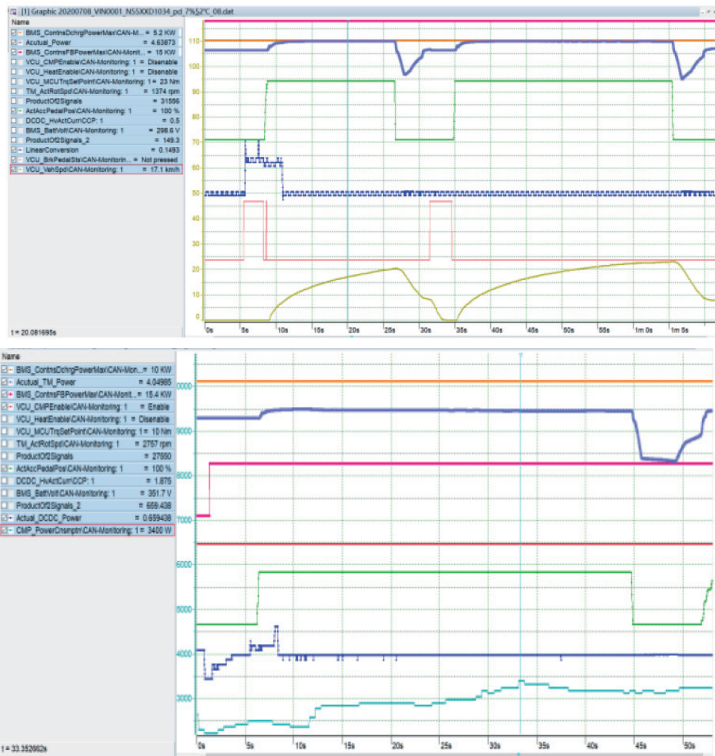


图 4 验证结果

剩余的功率可分配给空调,以增加空调的功率限制,称此部分功率为空调的额外功率值。计算公式如下:

$$P_{AC_addValue} = P_{Veh_available} - P_{DCDC_CnsmptnPwr} - P_{MotPwr_Res} \quad (6)$$

式中, $P_{Veh_available}$ 为整车可用功率; $P_{DCDC_CnsmptnPwr}$ 为 DC—DC 实际消耗功率; P_{MotPwr_Res} 为电机预留功率。

策略的应用验证

策略以长城欧拉 iQ 车型为应用对象,策略集成在整车控制器内,验证结果如图 4 所示。

图 4 上,空调未开启,电池包可用放电功率在 5.2 kW 左右,电池包可允许的回收功率为 15 kW;驱动时在满加速踏板开度下,电机驱动消耗的最大功率为 4.5 ~ 4.611 kW;DC—DC 实际消耗功率在 0.11 ~ 0.14 kW 之间,再加上线损 0.03 kW,实际消耗的总功率在 4.8 kW 左右;

能量回收时,电池包可允许的最大回收功率为 15 kW,不同车速下电机实际执行的最大发电功率为 12.43 kW。

图 4 下,电池包可用放电功率 10 kW,打开空调 CMP 工作。驱动时在满加速踏板开度下,电机驱动消耗的最大功率为 4.04 ~ 5.2 kW 之间;DC—DC 实际消耗功率在 0.65 kW 左右,线损 0.03 kW,空调实际消耗功率为 2.3 ~ 3.4 kW 之间,实际消耗的总功率在 7 ~ 9 kW 之间;能量回收时,电池包可允许的最大回收功率为 15.4 kW,不同车速下电机实际执行的最大发电功率为 12.8 kW。

结论

实车数据的分析结果表明,该功率分配策略最大限度地实现了对可用充、放电功率的利用率同时又规避了电池包功率过放和过充的问题。 AI