

基于道路坡度信息的插电式混合动力汽车能量管理策略

刘永刚^{1,2)✉}, 卢立来^{1,2)}, 解庆波^{1,2)}, 秦大同^{1,2)}, 雷贞贞^{2,3)}

1) 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044 2) 重庆大学汽车工程学院, 重庆 400044

3) 重庆科技学院机械与动力工程学院, 重庆 401331

✉ 通信作者, E-mail: andyliuyg@cqu.edu.cn

摘要 考虑道路坡度对整车驱动需求的影响, 针对插电式混合动力汽车, 提出基于道路坡度信息的插电式混合动力汽车能量管理策略, 进行车载导航系统在整车能量管理策略中应用的初步探究。根据车载导航系统提供的道路信息, 建立坡道行驶电量消耗预估模型, 分别对行程中电量消耗阶段和电量维持阶段动力电池的荷电指数进行规划, 提出行车预充电时刻规划准则, 使车辆在坡道行驶前动力电池的荷电指数达到预定值, 保证车辆在坡道行驶时不会因动力电池亏电造成动力不足或过放电有损动力电池的使用寿命, 并在上坡行驶结束后动力电池的荷电指数下降到临界值, 有利于充分吸收制动回收的电能。利用 MATLAB/Simulink 仿真平台, 对提出的能量管理策略进行仿真验证。本文所提出的基于坡道预测的能量管理策略能够避免动力电池的过放电, 确保车辆上坡行驶过程电量充足。

关键词 插电式混合驱动汽车; 能量管理; 管理策略; 道路坡度; 制动回收

分类号 U469.72

Energy management for plug-in hybrid electric vehicles based on road gradient

LIU Yong-gang^{1,2)✉}, LU Li-lai^{1,2)}, XIE Qing-bo^{1,2)}, QIN Da-tong^{1,2)}, LEI Zhen-zhen^{2,3)}

1) State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China

2) College of Automotive Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China

3) School of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, China

✉ Corresponding author, E-mail: andyliuyg@cqu.edu.cn

ABSTRACT In consideration of the impact of road gradient on the vehicle driving demand, a predictive energy management strategy was proposed for plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) on the basis of road gradient provided by the vehicle navigation system. The knowledge of route data (trip distance, road gradient and altitude) was used to predict the electricity consumption. Then the state-of-charge (SOC) trajectory was planned for the charge depleting (CD) mode and the charge sustaining (CS) mode. With exact calculations of the charge timing, the SOC was charged to the target value before uphill and reached to the threshold after uphill in case of battery electricity shortage and over-discharge during uphill. The proposed adaptive SOC control strategy can improve the vehicle performance and is in favor of the full absorption of regenerative braking energy. Based on the MATLAB/Simulink platform, a simulation model was built for the plug-in hybrid electric system. The proposed energy management strategy based on road gradient prediction was verified to avoid battery over-discharge and to ensure sufficient electric energy during uphill.

KEY WORDS plug-in hybrid vehicles; energy management; management strategies; road gradient; regenerative braking

插电式混合动力汽车与传统混合动力汽车相比其 动力电池容量具有显著的提高, 纯电动续驶里程满足

一定的通勤需求, 可利用外部电网对电池进行充电^[1], 因此插电式混合动力汽车动力电池能量管理策略也有所差异。传统混合动力汽车仅使用 10% ~ 15% 的电池电量保证动力电池有足够的充放电容量储备; 而插电式混合动力汽车采用 CD-CS 控制策略在 CD (电量消耗) 模式下使用 60% 的电池电量, CS (电量维持) 模式下使用剩余电量的 10% ~ 15%, 以防止损伤动力电池寿命^[2]。进入 CS 模式后, 通过间歇充电将荷电指数 SOC 维持在预定值一定范围内浮动。这种控制策略存在的弊端是当车辆在连续爬坡或急加速过程, 如果驱动功率超过发动机所能提供的最大功率值时, 理论上电动机应当辅助驱动车辆, 然而此时却受限于动力电池的放电能力, 若电池低于 SOC 下限就禁止放电, 此时造成整车驱动功率不足; 若仍然采用电力辅助驱动, 则有损动力电池的寿命。此时单纯的追求电力驱动带来的经济性已是次要的, 保证动力电池 SOC 处于合理高位带来的对动力电池寿命和满足驱动要求的益处处于更高的优先级。目前采用的解决方案有如下两种: (1) 将 CS 阶段的动力电池 SOC 维持在高位^[2] (如 50%) 就可避免大功率混合驱动工况的动力电池过放电情况; 然而这种方案仅是从设计初期加大动力电池参数余量来实现, 虽然简单易行但提高了整车成本。 (2) 另一种方案仅仅将 CS 模式下 SOC 波动上下限范围扩大就可以保证驱动需求^[3]; 但是 SOC 范围设置过大将使行车充电模式的工作时间过长, 且该模式驱动效率低于其他几种模式, 因此会额外增加燃油消耗。

本文考虑道路坡度对整车驱动需求的影响提出基于道路坡度信息的插电式混合动力汽车能量管理策略, 基于全球定位系统 (global positioning system, GPS) 与地理信息系统 (geographic information systems, GIS) 提供的道路信息对道路坡度进行预测, 建立坡道预估模型。根据道路设计规范确定上坡路段的设计时速, 采用相近的循环工况进行坡道能耗的预测, 得到坡道行驶开始时动力电池的目标 SOC 值。分别对 CD 模式和 CS 模式进行预充电时刻规划, 通过仿真分析对所提出的控制策略进行验证, 确保车辆坡道行驶时动力电池电量充足, 避免动力电池出现过放电。

1 动力传动系统结构

本文研究的插电式混合动力系统总体结构如图 1 所示。动力源为发动机和起动/发电一体化电机 (integrated starter generator, ISG), 在结构形式上属于并联式混合动力系统。发动机与 ISG 电机同轴布置实现动力的耦合, 发动机和 ISG 电机之间设置主离合器, ISG 电机布置在变速器前端, 采用双离合器自动变速器对动力源进行调速和增加转矩。各个驱动模式的切换是通过改变主离合器和 ISG 电机后端的双离合器自动变

速器 (dual clutch transmissions, DCT) 的离合器的工作状态实现的。该系统的工作模式包括纯电动模式、行车充电模式、发动机单独驱动模式、混合驱动模式和再生制动模式。

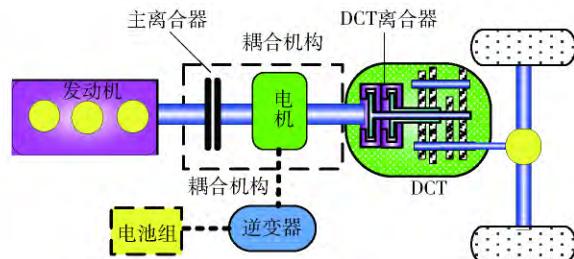


图 1 插电式混合动力系统模型

Fig. 1 Plug-in hybrid electric system model

2 坡道行驶能耗预估

2.1 道路坡度预测

道路坡度的预测归根结底是车载导航系统 GPS 和 GIS 的综合应用^[4-5]。在驾驶员确定了行车目的地后, 导航系统就可以确定出一条最佳的行车路径, 路径沿途的道路信息 (如路面标高和道路长度) 均可获知, 车辆在任何时刻的实时位置也可以通过 GPS 接收器获取, 同时车载计算机系统可以实时计算汽车当前位置距采样点的水平距离, 利用 GIS 地图匹配, 可得到采样点的路面标高与汽车当前位置路面标高, 对其进行比较, 最终计算出未来时刻在视距范围内的行驶路径道路坡度^[6], 如图 2 所示。根据该计算原则全程路段的道路坡度就可获知, 为合理规划上坡行驶过程的电池电量消耗提供依据。

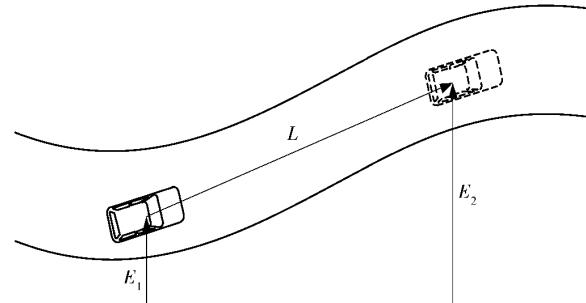


图 2 道路坡度计算值示意图

Fig. 2 Road gradient calculation

道路坡度值计算:

$$i = \tan \left(\arcsin \frac{E_2 - E_1}{L} \right) \times 100\%. \quad (1)$$

式中 E_2 为未来时刻采样点的路面标高, E_1 为汽车当前位置的路面标高, L 为两采样点的车辆路面行驶距离。

2.2 坡道行驶车速预测

车载导航系统可以计算出行车路径的道路坡度, 但仅有道路坡度值还不足以估算出坡道行驶过程的电

量消耗,因此还要估算上坡过程车速信息。

公路的纵坡坡度、设计时速及纵坡坡长均有限制。根据公路线路设计规范(JTG D20—2006)^[7],公路不同纵坡的最大坡长与设计时速规定如表1。采集行车沿途路面标高即可计算出道路坡度,通过道路坡度值和坡长,可由表1获知道路设计时速。由于车辆坡道行驶也会出现加速、减速、停车等工况,将上坡行驶假设成匀速行驶与实际情况不符。

表1 公路不同纵坡的最大坡长与设计时速

Table 1 Slope length and speed restrict for different slopes m

设计时速/ (km·h ⁻¹)	道路坡度							
	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
20	1200	1000	800	600	400	300	200	
30	1100	900	700	500	300	200		
40	1100	900	700	500	300			
60	1200	1000	800	600				
80	1100	900	700	500				
100	1000	800	600					
120	900	700						

注:表中规定的最大坡长是指单坡道最大值(单位:m)。当山区公路连续上坡或下坡时,应在不大于表中规定的纵坡长度之间设置缓和坡段,缓和坡段的纵坡应不大于3%。

因此,本文选择循环工况中平均速度与道路设计时速相近的工况进行坡道能耗预估。选择市区拥堵工况、市郊工况和高速工况中的ECE、NYCC、NEDC、

UDDS、LA92、HWFET和US06HWY分别估算设计时速为20、30、40、60、80、100和120 km·h⁻¹的上坡路段电量消耗。

2.3 坡道行驶SOC估算

对所选择的循环工况进行仿真分析,得到各种循环工况下单位SOC值的行驶里程。包括CD模式下单位SOC值的行驶里程a,用于估算CD阶段的续驶里程;行车预充电模式下单位SOC值的行驶里程b,用于估算行车预充电过程的行程;不同坡度单位SOC值的行驶里程c,用于估算不同坡度下各循环工况的电量消耗。其中行车预充电模式是在距离坡道一定距离时开始的,该过程车辆应满足正常行驶不同的功率需求,因此行车预充电模式包括混合驱动、发动机单独驱动和行车充电模式,而将纯电动模式暂时关闭以快速提升动力电池电量。a、b和c各参数的仿真结果如表2和表3所示。

根据道路坡度识别结果,获知道路设计时速,选取典型工况中平均时速与之相近的作为坡道能耗预测的基础,计算坡道行驶的电量消耗,即爬坡开始时动力电池的SOC值:

$$SOC_1 = SOC_0 + \frac{S}{c} \quad (2)$$

式中: SOC₁为预充电过程目标SOC值; SOC₀为动力电池放电下限SOC值,为保证下坡开始时动力电池有充足的制动回收空间,设置为0.3; c值见表3; S为坡长。

表2 单位SOC值的行驶里程

Table 2 Driving mileage per SOC

km·%⁻¹

仿真工况	ECE	NYCC	NEDC	UDDS	LA92	HWFET	US06HWY
a	1.4012	1.2223	0.7859	0.7825	0.5923	0.5988	0.5254
b	0.1574	0.3300	0.4430	0.6408	0.7832	1.6364	8.0257

2.4 行驶工况识别

由表2可知,不同行驶工况下单位SOC值的行驶里程差异较大^[8],对动力电池SOC准确规划依赖于汽车行驶工况的实时识别。

首先在汽车行驶中获取最近一个片段的数据,并提取该片段的特征参数,然后通过计算特征参数与选取的循环工况的距离,确定该片段的类别^[9-10]。从而得到与工况类别对应的a和b值,用于行车预充电时刻规划。

3 CD模式行车预充电时刻规划

本文所制定的CD模式下行车预充电时刻规划流程如图3所示。

① 车辆出发前确定行车终点,选择行车路径,从车载导航系统(GPS/GIS)获知沿途道路标高和距离,

计算道路坡度值。

② 根据道路坡度与坡长从公路线路设计规范(表1)可获知道路设计时速,选择相应的仿真工况,由式(2)估算出上坡行驶过程SOC变化值,即求得坡道行驶开始时的目标值SOC₁。

③ 通过实时的工况识别,获知行驶工况的类型,得知单位SOC值的行驶里程a。

④ 根据当前位置与坡道的距离L及初始SOC,估算出行车至坡道时的SOC₂值,其中SOC₂ = SOC₀ - $\frac{L}{a}$;若SOC₂大于SOC₁值则不用预充电,若SOC₂小于SOC₁值则开始预充电。

⑤ 计算何时开始行车预充电。该过程的控制量为动力电池的SOC,确定出SOC消耗到何值时即开始进行预充电过程是CD模式下基于坡道预测的能量管

理策略的关键, 如图 4 所示.

行车充电模式切换时刻:

$$[\text{SOC}(t) - \text{SOC}_{\text{charge}}]a + (\text{SOC}_1 - \text{SOC}_{\text{charge}})b = L(t). \quad (3)$$

式中 $\text{SOC}(t)$ 为 t 时刻电池 SOC 值, $\text{SOC}_{\text{charge}}$ 为行车充电模式切换 SOC 值, $L(t)$ 为 t 时刻车辆位置距离坡道的长度, a 为 CD 阶段单位 SOC 值的行驶里程, b 为行

车充电模式单位 SOC 值的行驶里程.

根据式(2)和式(3)得到

$$\text{SOC}_{\text{charge}} = \frac{a\text{SOC}(t) + \left(\text{SOC}_0 + \frac{S}{c}\right)b - L(t)}{a + b}. \quad (4)$$

由于实际行驶工况识别的结果会随时间变化而变化, 造成预测过程中的 $\text{SOC}_{\text{charge}}$ 波动, 故采用加权平均处理, 以减小误差.

表 3 不同坡度单位 SOC 值的行驶里程

Table 3 Driving mileage per SOC for different slopes

km·%⁻¹

仿真工况	坡度	ECE	NYCC	NEDC	UDDS	LA92	HWFET	US06HWY
CD 阶段	3%	0.5168	0.4760	0.4288	0.4077	0.3718	0.3068	0.3460
	4%	0.4228	0.3988	0.3739	0.3540	0.3244	0.2798	0.3319
	5%	0.3544	0.3444	0.3275	0.3080	0.3036	0.2585	
	6%	0.3000	0.2984	0.2834	0.2737	0.2843		
	7%	0.2628	0.2666	0.2644				
	8%	0.2365	0.2411	0.2353				
	9%	0.2081	0.2190					
	10%	0.1895						
CS 阶段	3%	0.5708	2.1649	0.8794	0.8426	2.0735	3.9662	2.2218
	4%	0.4713	2.1150	0.7377	0.8123	1.8433	5.6848	1.4703
	5%	0.5071	1.9210	0.7314	0.7807	1.6133	6.7028	
	6%	0.4531	1.7390	0.5386	0.7894	1.4247		
	7%	0.4310	1.6231	0.4971				
	8%	0.4018	1.4530	0.4435				
	9%	0.6614	1.0313					
	10%	0.7109						

4 CS 模式行车预充电时刻规划

与 CD 模式下的坡道行驶能量管理策略相比, CS 模式下行车预充电时刻规划难度减小, 不需要对纯电动续驶里程进行预测, 只要确定出车辆距离坡道多远处开启行车预充电模式才能满足坡道行驶即可.

本文所制定的 CS 模式下行车预充电时刻规划控制流程如图 5 所示.

① 车辆出发前确定行车终点, 选择行车路径, 从车载导航系统 (GPS/GIS) 获知沿途道路标高距离, 计算道路坡度值.

② 根据道路坡度和坡长从公路线路设计规范 (见表 1) 可知道路设计时速, 选择相应的仿真工况, 由式(2)估算出坡道 SOC 变化值, 即坡道行驶开始时的目标值 SOC_1 .

③ 通过实时的工况识别获知行驶工况的类型, 由表 2 得知行车预充电过程单位 SOC 值的行驶里程 b .

④ 计算何时开始行车预充电. 该过程的控制量为车辆与坡道的距离 L' , 确定出车辆行进到特定位置时, 开始进行行车预充电, 保证车辆在到达坡道时动力

电池 SOC 能够上升到预定值, 满足上坡行驶要求, 如图 6 所示.

行车充电模式切换时刻

$$(\text{SOC}_1 - \text{SOC}_0)b = L'(t). \quad (5)$$

式中: $L'(t)$ 为行车充电模式切换时刻距离坡道的距离; SOC_1 为预充电过程目标 SOC 值; SOC_0 为动力电池放电下限 SOC 值, 为 0.3.

根据式(2)和式(5)得到

$$L'(t) = \frac{Sb}{c}. \quad (6)$$

5 仿真分析及结果

5.1 CD 模式

仿真验证工况采用构建的组合工况 (New York bus, 1015, Manhattan, WVUSUB, HL07). 道路坡度信息假设为已知, 在 4724 s 时出现单坡道为 700 m, 4% 的连续 3.319 km 的坡道. 其仿真结果见图 7.

由仿真结果表 4 可知: 基于坡道预测的能量管理策略, 油耗 0.662 L, 电耗 5.377 kW·h; 未进行坡道预测的能量管理策略, 油耗 0.640 L, 电耗 5.590 kW·h. 其

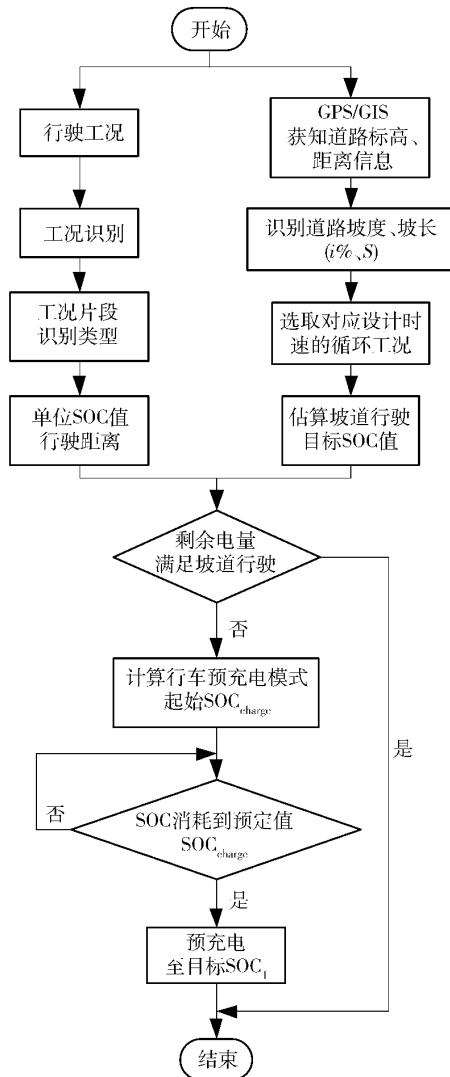


图3 CD阶段坡道预测电量管理策略

Fig.3 Energy management of the CD mode based on road gradient prediction

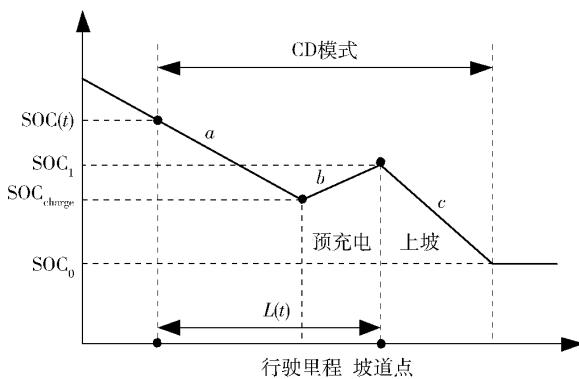


图4 CD模式下SOC示意图

Fig.4 SOC trajectory of the CD mode

中基于坡道预测的能量管理策略电耗降低是由于存在提前对动力电池预充电过程,该过程动力电池不作为动力源驱动车辆,由发动机驱动车辆行驶,从而降低行驶过程的电量消耗;对于坡度预测后燃油消耗比未进

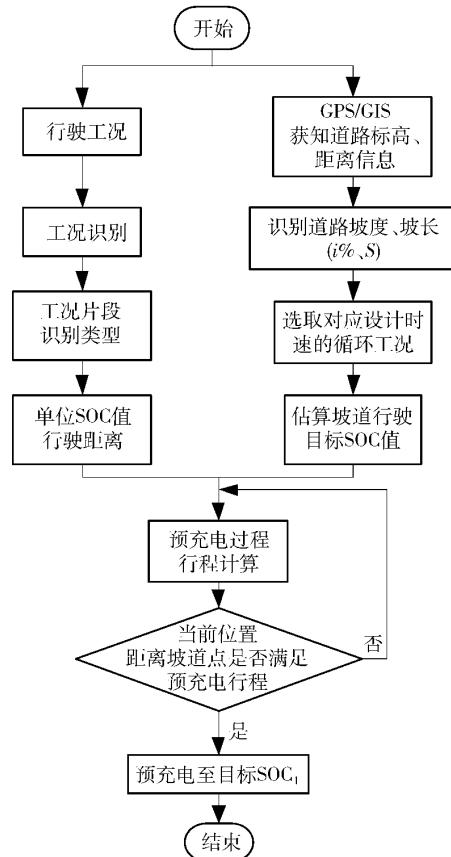


图5 CS阶段坡道预测电量管理策略

Fig.5 Energy management of the CS mode based on road gradient prediction

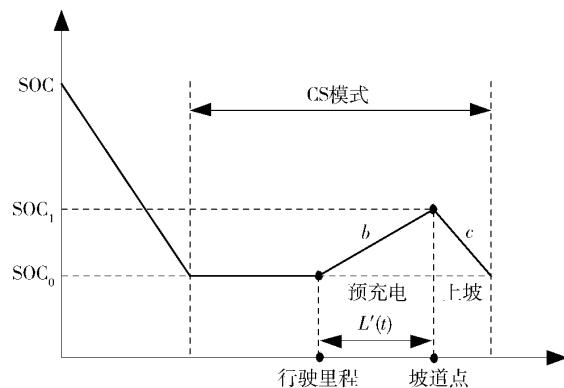


图6 CS模式下SOC示意图

Fig.6 SOC trajectory of the CS mode

行坡道预测的控制策略多0.022 L (3.49%)。造成燃油消耗偏高有两个原因:(1)由于一部分燃油消耗转化成电能储存在动力电池中,在扣除这部分已储存的电量后,这两种能量管理策略的能耗差距就会减小;(2)CD工作模式下大部分驱动工况是ISG电机驱动完成的,引入坡道能耗预估,使CD模式也存在行车充电模式造成油耗相对于未进行坡道能耗预估的能量管理策略偏高。

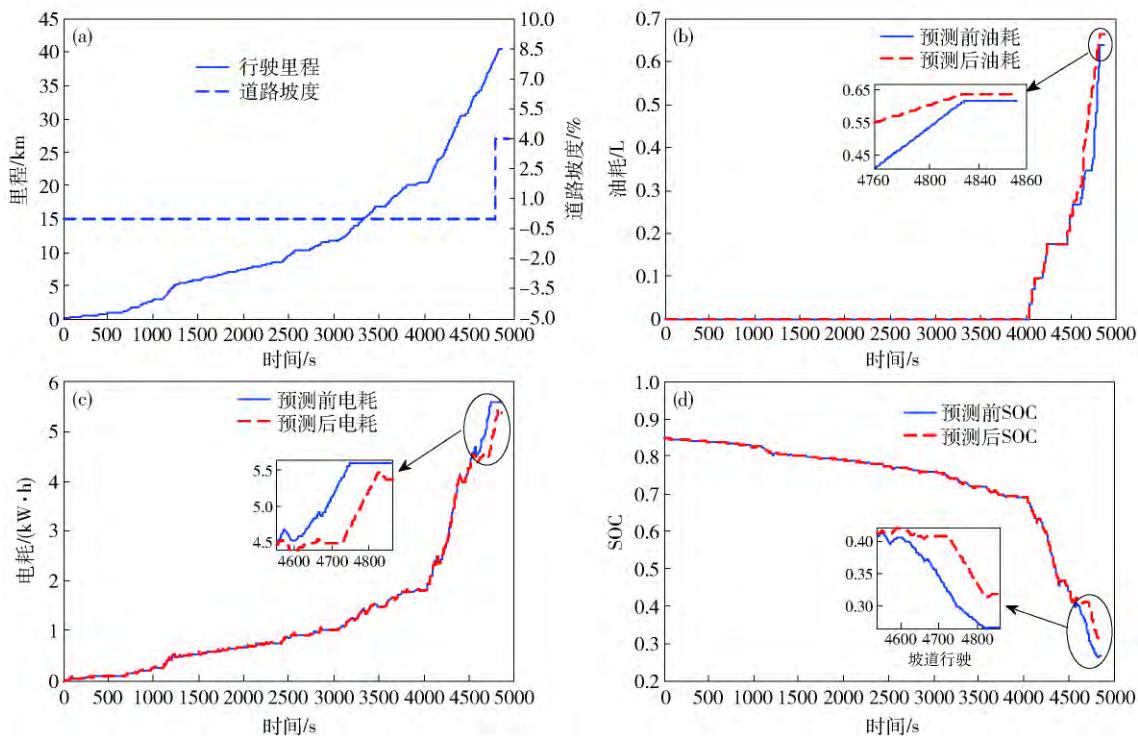


图 7 CD 模式道路坡度预测前后仿真结果. (a) 道路坡度和里程; (b) 燃油消耗; (c) 动力电池电量消耗; (d) 动力电池 SOC

Fig. 7 Simulation results of energy management for the CD mode: (a) road gradient and driving range; (b) fuel consumption; (c) battery energy consumption; (d) battery SOC

表 4 CD 工作模式下坡道预测前后仿真结果

Table 4 Results of energy management under the CD mode

类别	油耗/L	电耗/(kW·h)	上坡开始 SOC	上坡结束 SOC
坡道未预测	0.640	5.590	0.322	0.263
坡道预测	0.662	5.377	0.409	0.312
控制效果	-3.49%	+3.81%	—	—

根据道路坡度预测前后 SOC 轨迹显示: 未进行坡道预测的能量管理策略的 SOC 终值为 0.263, 放电深度超过目标值; 而基于坡道预测的能量管理策略 在 4538 s 时开始行车预充电模式切换, 直到上坡开始 4724 s, SOC 目标值到达 0.409, 上坡结束 SOC 终值为 0.312.

5.2 CS 模式

仿真工况仍采用构建的组合工况(New York bus , 1015 , Manhattan , WVUSUB , HL07) ,道路坡度信息假设为已知量. 在 8876 s 处出现单坡道为 400 m , 8% 的连续 3.322 km 的坡道. 其仿真结果见图 8.

由仿真结果表 5 可知: 基于坡道预测的能量管理策略, 油耗 1.793 L, 电耗 4.135 kW·h; 未进行坡道预测的能量管理策略, 油耗 1.777 L, 电耗 4.135 kW·h. 对于电耗的评估是对从外部电网获取的电能的测算, 车辆进入 CS 模式后动力电池的电量变化根本来源是燃油消耗, 因此电耗仅针对 CD 模式下进行测算. 仿真工况下两种能量管理策略的 CD 模式电量消耗相同. 此外, 坡道预测后燃油消耗比未进行坡道预测的控制策

略多 0.016 L (0.89%) , 而通过对道路坡度的预测使车辆在 8876 s 上坡行驶开始前动力电池 SOC 上升到 0.35 , 上坡结束后动力电池 SOC 下降到近似于 CS 模式的预定值(0.3) , 与 SOC 预定值仅有 2% 的误差; 而对于未进行坡道预测的能量管理策略, 因 CS 模式下 SOC 维持在 0.3 上下波动, 车辆在上坡行驶过程需要 ISG 电机辅助驱动时, 导致上坡结束后电池 SOC 下降到 0.254 , 放电深度超过预定值的 15.33% . 因此, 基于坡道预测的能量管理策略对于改善动力电池的放电状态, 保证车辆在混合驱动模式下动力电池电量充足具有重要意义.

表 5 CS 模式下坡道预测前后仿真结果

Table 5 Results of energy management under the CS mode

类别	油耗/L	电耗/(kW·h)	上坡开始 SOC	上坡结束 SOC
坡道未预测	1.777	4.135	0.303	0.254
坡道预测	1.793	4.135	0.353	0.306
控制效果	-0.809%	0%	—	—

6 结论

针对插电式混合动力汽车, 提出基于道路坡度信息的能量管理策略, 在车辆坡道行驶前合理规划动力电池 SOC, 并通过仿真验证了控制效果.

(1) 建立了基于 GPS/GIS 车载导航系统的坡道

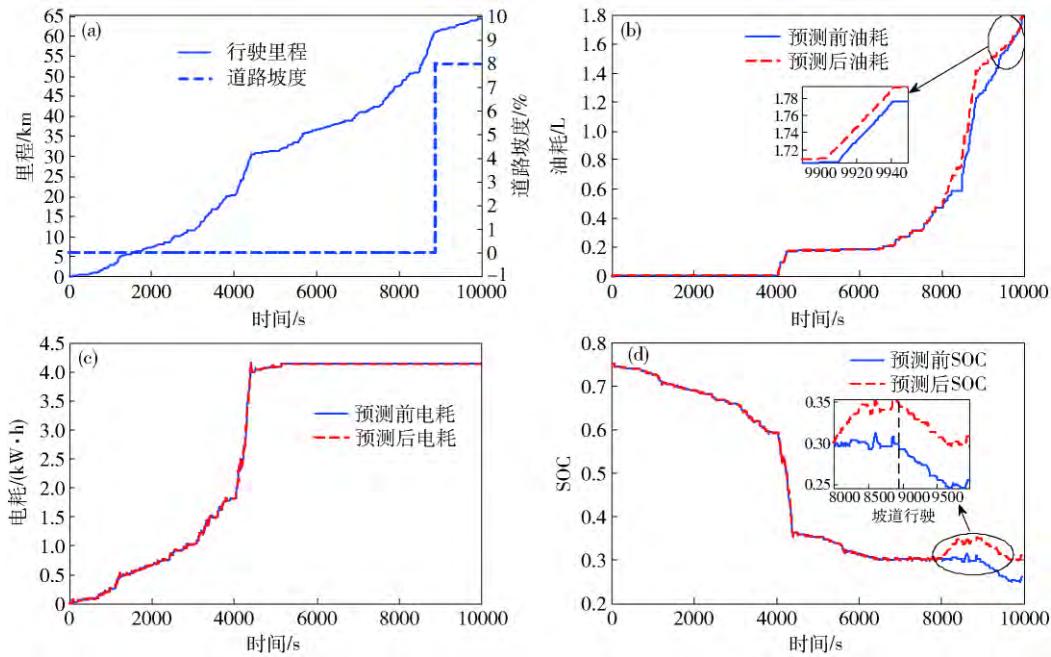


图 8 CS 模式道路坡度预测前后仿真结果. (a) 道路坡度和里程; (b) 燃油消耗; (c) 动力电池电量消耗; (d) 动力电池 SOC

Fig. 8 Simulation results of energy management for CS mode: (a) road gradient and driving range; (b) fuel consumption; (c) battery energy consumption; (d) battery SOC

预估模型 利用车载导航系统提供的道路信息完成对道路坡度的预测 根据预测的坡度和坡长由道路设计规范确定上坡路段的设计速度, 采用相近的循环工况进行坡道能耗的预测, 得到坡道行驶开始时动力电池的目标 SOC 值.

(2) 对 CD 模式下坡道行驶提出行车预充电时刻规划原则, 确定了动力电池的 SOC 下降到何值时进行行车预充电模式的切换.

(3) 对 CS 模式下的坡道行驶进行能耗分析和预测 提出行车预充电时刻规划原则, 确定了车辆行驶过程中距离坡道的最佳点进行行车充电模式的切换.

(4) 对提出的基于道路坡度信息的能量管理策略进行仿真分析. 根据仿真结果分析, 能量管理策略中坡道能耗预测模型牺牲一定的燃油经济性可以满足坡道行驶过程中 SOC 值始终高于 SOC 下限, 防止混合驱动过程动力电池的过放电, 改善动力电池的放电状态.

参 考 文 献

- [1] Zhu J. *Principles and Applications of Powertrain Controls for Hybrid and Electric Vehicles*. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 2013
(朱军. 新能源汽车动力系统控制原理及应用. 上海: 上海科学技术出版社, 2013)
- [2] Bockstette J, Habermann K, Ogrzewalla J, et al. Performance plus range: combined battery concept for plug-in hybrid vehicles. *SAE Int J Altern Powertrains*, 2013, 2(1): 156
- [3] Kamichi K, Yamamoto M, Fushiki S, et al. Development of plug-in hybrid system for midsize car. *SAE Technical Paper*, 2012
- [4] Rajagopalan A, Washington G. Intelligent control of hybrid electric vehicle using GPS information. *SAE Technical Paper*, 2002
- [5] Xu J Q, Chen X W. *Introduction to Traffic Engineering*. Beijing: China Communications Press, 2002
(徐吉谦, 陈学武. 交通工程总论. 北京: 人民交通出版社, 2002)
- [6] Deng L J. *Prediction of Driving Condition for Plug-in Hybrid Electric Vehicles* [Dissertation]. Chongqing: Chongqing University, 2012
(邓丽君. 插电式混合动力汽车未来运行工况预测 [学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2012)
- [7] Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG D20—2006 *Design Specifications for Highway Route*. Beijing: China Communications Press, 2006
(中华人民共和国交通部. JTG D20—2006 公路线路设计规范. 北京: 人民交通出版社, 2006)
- [8] Niu J G, Zhou S. On/off timing optimization for the range-extender in extended-range electric vehicles. *Automot Eng*, 2013, 35(5): 418
(牛继高, 周苏. 增程式电动汽车增程器开关机时刻的优化. 汽车工程, 2013, 35(5): 418)
- [9] Qin D T, Peng Z Y, Liu Y G, et al. Dynamic energy management strategy of HEV based on driving pattern recognition. *Chin J Mech Eng*, 2014, 25(11): 1550
(秦大同, 彭志远, 刘永刚, 等. 基于工况识别的混合动力汽车动态能量策略. 中国机械工程, 2014, 25(11): 1550)
- [10] Yin A D, Zhao H, Zhou B, et al. Driving range estimation for battery electric vehicles based on driving cycle identification. *Automot Eng*, 2014, 36(11): 1310
(尹安东, 赵韩, 周斌, 等. 基于行驶工况识别的纯电动汽车续驶里程估算. 汽车工程, 2014, 36(11): 1310)