

混联式液压混合动力系统储能元件参数优化

杜玫玉, 王贺武, 黄海燕

(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 为了实现设计的双行星排混联式混合动力系统的燃油经济性最佳, 该文研究了混合动力构型方案的节油效果影响因素, 结果表明: 面向系统燃油经济性目标, 车辆运行工况决定储能机构与车辆的匹配特性。在此基础上提出了一种基于车辆常运行工况的储能元件优化设计方法, 并以一定燃油经济性为优化目标, 通过建立优化算法模型, 对混联式混合动力系统进行参数优化, 通过对典型工况下的动力系统匹配特性分析与验证, 以及数学建模与仿真, 其结果表明: 通过以上匹配和优化方法, 系统的燃油经济性可进一步提升 4% 左右。该研究为后续的更多参数的进一步优化以及先进控制方法应用提供了参考。

关键词: 车辆, 储能, 机构, 混联式液压混合动力, 匹配, 节油率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.007

中图分类号: TH137.3; S219.032.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0039-05

杜玫玉, 王贺武, 黄海燕. 混联式液压混合动力系统储能元件参数优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 39-43.

Du Jiuyu, Wang Hewu, Huang Haiyan. Parameters optimization of energy storage element in parallel-series hydraulic hybrid power system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 39-43. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国能源消耗强度高、规模大, 能源问题已成为关系到中国经济可持续发展的重大战略问题。中国车辆能源利用率低, 与国外先进水平相比, 平均油耗要高 10%~25%, 重型车辆百公里油耗要高出一倍以上。因此, 在重型车辆节能方面有很大的潜力^[1]。

美国环保署等研究机构的相关研究表明液压混合动力技术是中重型车辆应用最为有效的节能路径^[2-5]。世界各大物流公司选用液压混合动力减低车队的整体油耗, 如 Fed Ex 公司、UPS 公司和 Waste Management 公司等物流公司为各自的车队配备了一定规模的液压混合动力系统。美国环保署估计液压混合动力系统可提高车辆燃料经济性达 20% 到 40%, 其节能潜力甚至可达 80%。环境保护署系统模型测试预计, 配备液压混合动力系统的 UPS 公司 6 系配送卡车, 每加仑燃料要比相同型号的传统动力传动系多跑 60% 到 70% 的路程。与此同时, Parker 公司得出的评估结果: 与液压混合动力传动系相关的燃油经济性可较基础车型提高效率达 30% 到 70%, 燃油经济性提升程度主要取决于车辆的工作负载循环、动力传动系设计规格和系统能量管理策略^[6-8]。

1 混合动力构型及特点分析

混合动力系统按照功率流形式不同可分为串联式、并联式和混联式 3 种^[9-10]。一般串联式方案(图 1)是基于传统液压传动形成的混合动力方案。可对发动机工况

进行最大优化, 消除了频繁制动和加速对发动机工况的瞬态负荷影响, 使发动机大部分时间工作在高效区域。

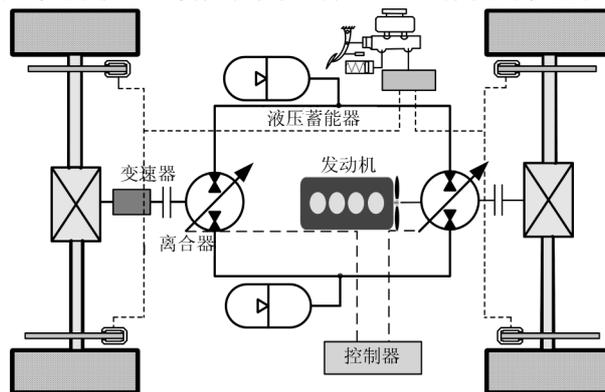


图 1 串联式混合动力系统

Fig.1 Series hybrid power system

并联式方案(图 2)是基于传统机械传动系统形成的混合动力系统。通过机械耦合方式与原有传统系统集成, 并联式方案的系统附加成本较小, 传动效率较高, 但对发动机工作点优化有限。

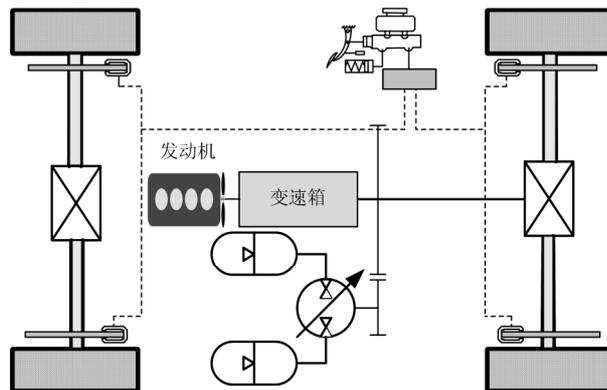


图 2 并联式混合动力系统

Fig.2 Parallel hybrid power system

收稿日期: 2011-06-01 修订日期: 2012-01-11

基金项目: 科技部国际科技合作计划资助课题 (2010DFA72760)

作者简介: 杜玫玉 (1976-), 女, 助理研究员, 博士; 研究方向为节能与新能源汽车技术, 汽车动力系统技术评价; 北京 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 100084. Email: dujiuyu@tsinghua.edu.cn

混联式方案(图3)同时具有串联和并联式工况,兼具串联式方案和并联式方案的工作特点,增加了系统设计的灵活性和优化的空间,其技术挑战性在于其构型较为复杂,使得系统优化及控制难度增大。

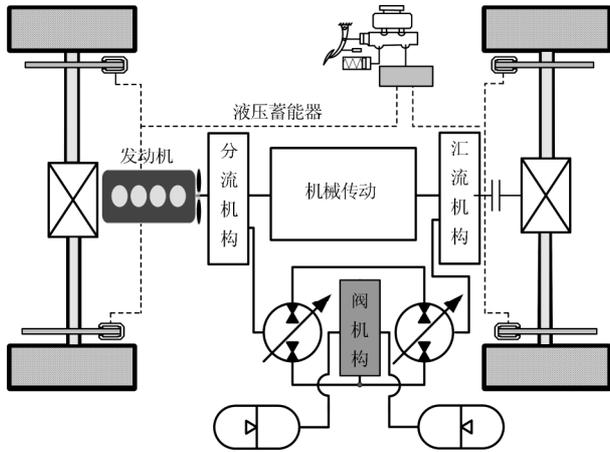
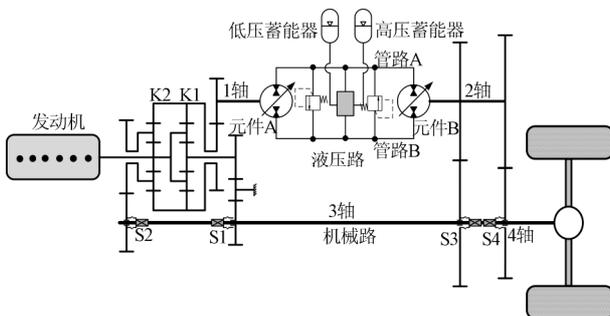


图3 混联式混合动力系统布置简图
Fig.3 Parallel-series hybrid power system

基于一种双行星排混联式动力系统,本文研究该方案的动力系统参数优化匹配的设计方法。

2 系统组成及工作原理

双行星排混联式液压混合动力系统(图4)由行星排K1、K2,高低压蓄能器,液压元件1,液压元件2,同步器S1、S2、S3、S4以及阀控机构等构成。其中行星排K1、行星排K2分别是分流工况和功率循环工况的功率分流机构^[11]。



注: K1、K2分别为高、低压蓄能器; S1、S2、S3、S4为同步器。

图4 混联式混合动力系统布置简图

Fig.4 Sketch of parallel-series hybrid powertrain

驱动工况,发动机功率经分流机构分流,一路流经液压路,一路流经机械路,经汇流机构汇流后驱动车辆。加速工况,高压蓄能器释放储存的能量,提供辅助功率;减速或制动工况,液压元件以泵工况工作,将车辆动能转化为气体势能储存到高压蓄能器中,用于随后的驱动工况。车辆在启停频繁的工况下运行,储能元件不断回收制动能量,并提供辅助驱动功率,从而实现整车燃油经济性提升。

该混联式混合动力系统发挥最大节能潜力主要取决于传动方案优化设计、动力系统合理匹配、控制系统、

车辆运行工况。包括:液压元件参数选择、储能元件匹配、机械机构参数优化设计、速比调节规律、临界工作点确定等。本文主要研究储能机构的参数匹配与优化方法。

3 储能机构匹配特性

3.1 临界条件

蓄能器最小工作容积及预充压力的选择要考虑制动能量回收最大化和制动强度,同时要考虑由此带来的动力传动系统的额外增重和附加成本等问题。储能机构参数匹配对系统燃油经济性影响权重很大程度上取决于车辆所运行的工况状态。因此,在一定运行工况下,研究蓄能器优化匹配特性,使得满足系统经济性目标。

车辆运行工况可描述为转速函数 $v(t_i)$,则车辆运行时功率 $P_v(t_i)$ 为

$$\begin{cases} P_v(t_i) = \frac{1}{2} \frac{(m+m_s) \left((v(t_{i+1}))^2 - (v(t_i))^2 \right)}{t_{i+1} - t_i} \\ P_b(t_{bi}) = P_v(t_i) & P_v(t_i) < 0 \\ P_d(t_{di}) = P_v(t_i) & P_v(t_i) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, i 取值为 $0, 1, 2, 3, \dots, N-1$, N 为总采样次数; t_{i+1}, t_i 为采样时间点,分别为 $i+1$ 和 i 时刻对应的采样时间, $s; b_i$ 取值 $0, 1, 2, 3, \dots, N_b$, N_b 为制动工况采样次数, $N_b < N$; d_i 取值为 $1, 2, 3, \dots, N_d$, N_d 为驱动工况采样次数, $N_d < N$; t_{bi} 为制动工况的采样时间点, t_{di} 为驱动工况的采样时间点, $s; P_d(t_{di}), P_b(t_{di})$ 分别为 t_{bi} 时刻的驱动和制动功率,kW; $v(t_{i+1}), v(t_i)$ 分别为车辆在 t_{i+1} 和 t_i 时刻的车速,m/s。

在一个运行工况下,储能元件回收的制动能量 E_s 为

$$\begin{cases} E_s = \sum_{bi=0}^{N_b-1} \left((P_b(t_{bi+1}) + P_b(t_{bi})) \eta_{sca_i} (t_{bi+1} - t_{bi}) \right) \eta_{thr} \eta_{ml} \\ E_s \leq E_{smax} \\ E_s = E_{smax}, E_s > E_{smax} \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)和式(2),可知储能元件制动能量回收量为

$$E_s = \frac{1}{2} (m+m_s) \sum_{bi=0}^{N_b-1} \left((v(t_{bi+1})^2 - v(t_{bi})^2) \eta_{sca_bi} \right) \eta_{thr} \eta_{ml} \quad (3)$$

式中, E_s 为储能元件回收的制动能量, $J; \eta_{thr}$ 为蓄能器进油口节流损失效率; η_{ml} 为液压元件2到驱动轮间的机械传动效率; η_{sca_bi} 为 t_{bi} 时刻的制动能量回收率,该值取决于蓄能器的能量状态和车辆制动能量两者之间最小值; m, m_s 分别为车辆的重量(不包括储能元件)和储能元件质量,kg; $v(t_{bi+1}), v(t_{bi})$ 分别为微制动工况末的车速和制动初速度,m/s; E_{smax} 为蓄能器最大储能能力,J。

假设在运行工况内,蓄能器回收能量全部用来驱动车辆,则其提供的驱动能量 E_r (单位:J)为

$$E_r = E_s \eta_{thr} \eta_{ml} \eta_{heat} \quad (4)$$

式中, η_{heat} 为蓄能器气体热损失效率。

则混合动力系统的发动机要提供的驱动能量 E_{d_hyd} 为

$$E_{d_hyd} = \frac{E_d - E_r}{\eta_i \eta_{final} \eta_{en_r}} \quad (5)$$

式中, E_{d_hyd} 为一定运行工况下, 发动机驱动能量需求, J; η_{en_r} 为混合动力系统的发动机效率; η_i 、 η_{final} 分别为变速箱和主减速器的传动效率; E_d 运行工况对混合动力车辆的输出能量需求, J。

则 E_d 为

$$E_d = \sum_{di=0}^{N-1} (P_d(t_{di+1}) + P_d(t_{di})) (t_{di+1} - t_{di}) \quad (6)$$

由于储能元件及其附件的附加重量, 而引起的附加驱动能量 E_{add} 为

$$E_{add} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} m_s (v(t_i))^2}{\eta_i \eta_{final} \eta_{en_r}} \quad (7)$$

则实现提升系统燃油经济性的基本条件为

$$\sum_{i=0}^{N-1} m_s (v(t_i))^2 < (m + m_s) \sum_{bi=0}^{N_b-1} ((v(t_{bi+1}))^2 - v(t_{bi}))^2) \eta_{sca_bi} \eta \quad (8)$$

式中, η 为效率常数, $\eta = \eta_{thr}^2 \eta_{ml}^2 \eta_{heat} \eta_i \eta_{final} \eta_{en_r}$ 。

从而得出储能机构与系统匹配应该满足临界条件

$$\sigma_m < \frac{\sum_{bi=0}^{N_b-1} ((v(t_{bi+1}))^2 - v(t_{bi}))^2) \eta_{sca_bi} \eta}{\sum_{i=0}^{N-1} (v(t_i))^2 - \sum_{bi=0}^{N_b-1} ((v(t_{bi+1}))^2 - v(t_{bi}))^2) \eta_{sca_bi} \eta} \quad (9)$$

式中, σ_m 为储能机构与系统的匹配因数, $\sigma_m = \frac{m_s}{m}$;

可见, 储能机构的质量所占车辆质量的比例需要满足一定关系才能实现提高系统燃油经济性的目的。车辆常运行工况决定了储能机构匹配, 制动功率所占比例越大, 其附加重量引起的油耗所占总驱动能量的比例越小, 越不显著, 从而成本回收最快。

以美国测功机工况 (UDDS) 为例, 其特点是启停频繁, 制动工况比例高。对于质量为 6 580 kg 的液压机械储能传动车辆, 其储能机构与车辆的质量匹配关系为 $\sigma_m < 0.72$ 。而对于制动工况所占比例相对较小的新欧洲工况 (NEDC) 车辆运行工况, 则储能机构与车辆的匹配关系为 $\sigma_m < 0.0665$ 。

通过上述分析可看出, 车辆自身的参数与其常运行工况决定储能机构与液压机械传动系统匹配特性。在满足基本条件前提下, 以一定节油率目标, 可进一步对蓄能器参数匹配进行细化。下面将研究在车辆一个完整运行工况内, 通过动态优化, 更为精确地选择蓄能器工作参数, 以获得车辆最佳燃油经济性。

3.2 基于燃油经济性目标的参数匹配

在满足储能机构的基本匹配条件下, 蓄能器的选型的范围较大, 即使在安装空间等限制约束下, 其匹配范围仍较广, 因而, 在明确的燃油经济性提升指标指导下, 进行蓄能器机构合理匹配, 可实现以较低成本实现最佳性能。在相同条件下, 对于未匹配储能机构的采用液压

机械传动的基础车型, 发动机提供的驱动能量 E_{HMT} (单位: J) 为

$$E_{HMT} = \frac{m \sum_{i=0}^{N_d-1} (P_d(t_{di+1}) + P_d(t_{di})) (t_{di+1} - t_{di})}{\eta_i \eta_{final} \eta_{en_HMT} (m + m_s)} \quad (10)$$

式中, η_{en_HMT} 为液压机械车辆在运行工况下的发动机效率。

若不考虑发动机工作点瞬态效率影响条件下, 混合动力系统节油率 ζ 定义为: 在循环工况内混合动力系统的能量消耗与液压机械传动的基础车型的能量消耗差值与基础车型的相同条件下的能耗之比, 即

$$\zeta = \frac{E_{HMT} - E_{d_hyd}}{E_{HMT}} \quad (11)$$

由式 (3)、式 (4)、式 (5)、式 (6)、式 (10) 和式 (11) 可得出系统节油率为

$$\zeta = 1 - \frac{\eta_{en_HMT} (1 + \sigma_m)}{\eta_{en_r}} + \frac{\eta_{en_HMT} (1 + \sigma_m) E_r}{\eta_{en_r} E_d} \quad (12)$$

采用制动能量回收最大化确立最小工作容积的蓄能器储能能力为 E_{amax} , 其对应的容积为 V_{amax} , 储能机构质量为 m_{amax} [11], 如果采用同样预充压力 p_{pro} 情况下, 则对应的容积为 V 的储能机构参数最大储能能力为

$$\begin{cases} p_1 \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{r}} V_{amax} - p_0 V_{amax} = E_{amax} \\ p_1 \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{r}} V - p_0 V = E_c \end{cases} \quad (13)$$

式中, r 为气体多变指数; E_c 为蓄能器储能能力, J; p_0 、 p_1 分别为蓄能器工作初始压力和终了压力, Pa; V_{amax} 以制动能量最大化目标确定的蓄能器的最小工作容积, L; E_{amax} 蓄能器最大储能能力, J; m_{amax} 储能机构的质量, kg。

假设 2 种蓄能器工作过程具有相同的多变系数, 则其容积与储能能量呈线性关系, 则蓄能器的储能能力 E_c 可表示为

$$E_c = \frac{V}{V_{amax}} E_{amax} \quad (14)$$

而用作驱动车辆的再生制动能量 E_r 为

$$E_r = \frac{V}{V_{amax}} E_{amax} \eta_{thr} \eta_{ml} \eta_{heat} \quad (15)$$

结合式 (10) 可得出所需蓄能器容积为

$$V = \zeta \frac{E_d}{\eta_{thr} \eta_{ml} \eta_{heat} \eta_i \eta_{final}} V_{amax} \quad (16)$$

如果以美国测功机工况 (UDDS) 为车辆的基本运行工况, 设实现燃油经济性提升 28% 的目标, 则应选择的蓄能器匹配关系为 $\sigma_m = 0.3219$ 。

4 系统优化

基于上述储能机构参数匹配特性研究, 对储能系统进行参数优化。设计的混合动力系统的优化问题从理论

上讲就是要解决:在整个运行工况,车辆能耗 $E(t)$ 最小的问题^[12],即

$$\min \left(\int E(t) dt \right) \quad (17)$$

若将整个运行工况划分成多个区间的微小区间的瞬时优化为能耗为 $\tilde{E}(t)$,于是发动机与液压蓄能器之间的能量分配由式(18)决定

$$\int (\min(\tilde{E}(t))) dt \quad (18)$$

可看出全局优化问题和瞬时优化是不同的。瞬时优化是保证在一个节点区间的燃油消耗最小,不考虑整体性,其获得的燃油经济性未必最佳,但相比而言,瞬时优化的可实施性较全局优化要好。

4.1 优化算法

本文采用动态规划算法对系统进行优化^[13-18]。在网格划分区间搜索所有可行的离散控制信号,寻求最优控制信号 $u(k)$,在满足一定输入和约束边界条件前提下实现目标函数 $J(k)$ 全局最优。则基于 Bellman 的优化理论,液压机械储能传动系统的动态规划问题的可表述为以下方程^[12,16]

第 $M-1$ 步:

$$J_{M-1}^*(x(M-1)) = \min_{u(M-1)} (L(x(M-1), u(M-1))) + G(x(M)) \quad (19)$$

第 k 步 ($0 \leq k \leq M-1$)

$$J_{M-1}^*(x(k)) = \min_{u(M-1)} (L(x(k), u(k)) + G(x(k+1))) \quad (20)$$

4.2 成本函数

$$g(k) = f(k) + \beta \left(\frac{n_{e,k+1} - n_{e,k}}{n_{e,max}} \right)^2 + \alpha \Delta SOC^2 \quad (21)$$

$$\text{其中, } \Delta SOC = \begin{cases} SOC_k - SOC_d & SOC_k < SOC_d \\ 0 & SOC_k > SOC_d \end{cases}$$

式中, M 为总循环次数; $L(x, u)$ 和 $G(x)$ 为待优化子函数,其中 x 、 u 为状态变量, $x(M)$ 、 $u(M)$ 为 M 次循环 x 、 u 的取值; $g(k)$ 为待优化的成本函数; $f(k)$ 为油耗函数; β 为用来表示发动机转速瞬态响应产生的油耗对成本函数的影响,采用正则化的发动机加速度与 β 来表示, α 为持续充能系数; $n_{e,k}$ 、 $n_{e,k+1}$ 分别为发动机在 k 和 $k+1$ 次循环时的转速, r/min; $n_{e,max}$ 为发动机最高转速, r/min; ΔSOC 为蓄能器实时充能状态与设定目标值的差值, SOC_d 为设定蓄能器能量状态控制值; SOC_k 为蓄能器实时值。

4.3 约束条件

4.3.1 运动约束条件

$$\begin{aligned} n_{e,min} &\leq n_e \leq n_{e,max} \\ \dot{n}_{e,min} &\leq \dot{n}_e \leq \dot{n}_{e,max} \\ n_{1,min} &\leq n_1 \leq n_{1,max} \\ T_{1,min} &\leq T_1 \leq T_{1,max} \\ n_{2,min} &\leq n_2 \leq n_{2,max} \\ T_{2,min} &\leq T_2 \leq T_{2,max} \\ 0 &\leq SOC(k) \leq 1 \end{aligned} \quad (22)$$

式中, $n_{e,min}$ 为发动机最低转速, r/min; $n_{1,min}$ 、 $n_{1,max}$ 分别为液压元件 1 最低、最高转速; $n_{2,min}$ 、 $n_{2,max}$ 分别为液压元件 2 最低、最高转速; $T_{1,min}$ 、 $T_{1,max}$ 液压元件 1 最低、最高输出转矩, N·m; $T_{2,min}$ 、 $T_{2,max}$ 液压元件 2 最低、最高输出转矩, N·m。

4.3.2 动力性约束条件

对动力系统进行优化,其动力性应满足以下条件:最高车速 ≥ 80 km/h,最大爬坡能力为 30% (≥ 20 km/h), $0 \sim 50$ km/h 加速时间 ≤ 25 s。

4.4 节点划分

系统仿真设置的节点划分越多,对参数的优化精度越高,但同时使仿真计算量呈指数增长,使得计算效率大大低。因此,要同时考虑仿真计算效率和精确度,对状态变量和控制信号进行合理的节点划分。综合考虑,本文的仿真优化过程划分为 50 个节点。

优化结果如图 5 所示。可看出,通过综合匹配与优化,系统的燃油经济性可获得进一步提升 4% 左右。

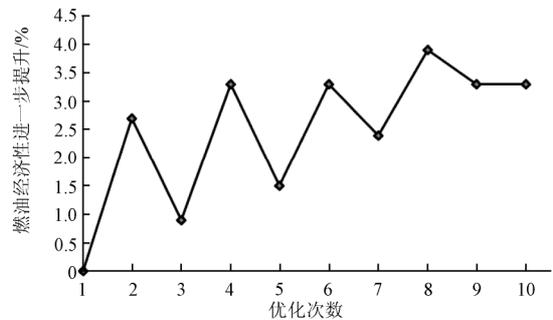


图 5 燃油经济性进一步提升

Fig.5 Further improvement ratio of fuel economy by optimization

5 结论

对设计的双行星排混联式混合动力系统储能系统匹配特性进行了分析,并对参数进行了优化,结论如下:

- 1) 储能机构和系统的匹配特性不仅要考虑储能元件本身性能参数(如容积、能量密度、质量、预充压力等),更要考虑车辆的常运行工况特征,并且后者在面向系统节能目标条件下起决定作用;
- 2) 基于节能效果目标可实现不同储能机构参数匹配;
- 3) 基于车辆常运行工况特征的匹配方法,并结合动态规划方法可对设计的混合动力系统的燃油经济性进一步提高 4% 左右。

由于设计的混合动力系统构型的复杂性使得优化更为灵活,为后续的更多参数的进一步优化,以及先进控制方法应用提供了较大空间。因而,系统的燃油经济性具有较大的提升潜力。

[参 考 文 献]

- [1] 王蕾. 重型货车节能技术的应用 [EB/OL]. http://www.jszd.gov.cn/art/2010/12/28/art_3954_524222.htm 1, 2010-12-28
- [2] Larry Boulde. Fluid power: Saving Energy with Efficient Fluid Power [EB/OL]. <http://www.design>

- worldonline.com/articles/701/6/Fluid-power--Saving-Energy-with-Efficient-Fluid-Power.aspx, 2007-7/2011-6
- [3] Tom Hacker. Hydraulic Hybrids Continue to Shine for 2010[EB/OL]. <http://www.fluidpowerjobs.com/blog/labels/hybrid%20systems.html>. 2010-1/2011-6
- [4] Ogando J. Hydraulic Hybrid Cars: No Batteries Required[EB/OL]. http://www.designnews.com/article/7232-Hydraulic_Hybrid_Cars_No_Batteries_Required.php. 2008-4/2011-6
- [5] Drozd P. Hybrid Refuse Truck Feasibility Study[R]. Canada: Transportation Development Centre of Transport Canada, 2005.
- [6] Kargul J J. Hydraulic Hybrids[EB/OL]. www.epa.gov/otaq/technology. 2007-11-11/2011-6
- [7] Kargul J. Hydraulic Powertrains Propel These Hybrid Trucks[EB/OL]. <http://www.designnews.com/article/CA6451735.html?nid=3077&rid=1294693122&>. 2007-6/2011-6
- [8] Kargul J. Hydraulic Hybrid Promises Big Savings for UPS[EB/OL]. <http://www.hydraulicspneumatics.com/200/Issue/Article/False/38545/Issue>, 2006-10/2011-6
- [9] Blake Carl, Monika Ivantysynova, Kyle Williams. Energy Recovery in Power split transmissions[P]. 美国专利: 019778, 2007-02-19.
- [10] Michael J C Shellenberger. Design Considerations for Variable Power Split Hydraulic Drives for Industrial Applications[D]. West Virginia University, 1999.
- [11] 杜玖玉. 车辆液压机械储能传动技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2009.
- [12] Jinming Liu. Modeling, Configuration and Control Optimization of Power-Split Hybrid Vehicles[D]. The University of Michigan, 2007.
- [13] Chang T C. Hybrid Electric Vehicle Design to Minimize Energy Use[D]. The University of Texas at Arlington, 1996.
- [14] Kukhyun Ahn, Sungtae Cho S W C. Optimal operation of the power-split hybrid electric vehicle powertrain[J]. Proc IMechE J Automobile Engineering. 2008, 222(D): 789—800.
- [15] Kang J m, Kolmanovsky I, Grizzle J W. Approximate dynamic programming solutions for lean burn engine aftertreatment[C]// Piscataway, NJ: Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, 1999. 1703—1708.
- [16] Bertsekas D P. Dynamic Programming and Optimal Control[M]. Athena Scientific: 1995.
- [17] Bin Wu, Chan-Chiao Lin, Zoran Filipi, et al. Optimization of Power Management Strategies for a Hydraulic Hybrid Medium Truck[R]. Hiroshima, Japan: Proceedings of the 2002 Advanced Vehicle Control Conference. 2002.
- [18] Combined optimization of design and power management of the hydraulic hybrid propulsion system for the 6 × 6 medium truck[J]. Heavy Vehicle Systems, 2004, 11(3/4): 372—402.

Parameters optimization of energy storage element in parallel-series hydraulic hybrid power system

Du Jiuyu, Wang Hewu, Huang Haiyan

(State Key laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to achieve fuel economy optimum of hybrid power system designed with dual-planetary architecture, factors of energy saving effects were investigated for configuration scheme of parallel-series hybrid power system. The results showed that by energy storage mechanism and matching character for the objective of improving system fuel economy the operation status of vehicle were determined, and then design method optimized for energy storage element based on usual working conditions was proposed with fuel economy as a target, the optimization algorithm model was set up to optimize the parameters of energy storage system. The methods were verified by some classic duty cycle and combined with mathematic modeling and simulation, and it was concluded that the fuel economy of hybrid power system was improved by 4%. This research provides a reference for further optimization of more parameters and application of advanced control algorithm.

Key words: vehicles, energy storage, mechanisms, parallel-series hydraulic hybrid power system, parameters matching, fuel saving ratio