

11-20-2019

## Parameter Matching Optimization of Pure Electric Vehicle Based on Firefly Algorithm

Li Yan

*1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; ;*

Yigang He

*1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; ;2. School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Parameter Matching Optimization of Pure Electric Vehicle Based on Firefly Algorithm

## Abstract

**Abstract:** According to the design requirements and technical index of pure electric vehicle, the parameters of motor and battery related to power and economic performance are selected based on the computing results. Based on ADVISOR, a vehicle model of pure electric vehicle is established in MATLAB environment with the corresponding parameters validating the simulation results. On this basis, *the multi-objective function is established, which includes the power performance, economic performance and cost price. This function is optimized by the firefly algorithm, which makes the dynamic parameters, the dynamic performance and economy performance of pure electric vehicle be improved significantly and the cost prices be declined.* The practical performance of pure electric vehicle obtains the enhancement effectively.

## Keywords

electric vehicle, modeling and simulation, matching optimization, multi-objective function, firefly algorithm

## Recommended Citation

Li Yan, He Yigang. Parameter Matching Optimization of Pure Electric Vehicle Based on Firefly Algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(4): 795-801.

## 基于萤火虫算法纯电动汽车参数匹配优化

李燕<sup>1</sup>, 何怡刚<sup>1,2</sup>

(1.湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2.合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 根据某型号纯电动汽车技术指标及设计要求, 对动力性能及经济性能相关的主要参数进行了计算及选择, 主要涉及电机及电池两部分。基于汽车仿真软件 ADVISOR 建立纯电动汽车整车模型, 设置计算选择所得的相应参数进行仿真验证, 分析匹配所得的各项参数是否满足汽车性能要求。在匹配满足要求的基础上建立了动力性能、成本价格及经济性能的多目标函数, 通过萤火虫算法对该目标函数进行优化, 优化后的参数使得整车的动力性能和经济性性能得到较大的提升, 成本价格也有所下降, 有效提高了纯电动汽车实用性。

**关键词:** 电动汽车; 建模与仿真; 匹配优化; 多目标函数; 萤火虫算法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 04-0795-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0105

## Parameter Matching Optimization of Pure Electric Vehicle Based on Firefly Algorithm

Li Yan<sup>1</sup>, He Yigang<sup>1,2</sup>

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** According to the design requirements and technical index of pure electric vehicle, the parameters of motor and battery related to power and economic performance are selected based on the computing results. Based on ADVISOR, a vehicle model of pure electric vehicle is established in MATLAB environment with the corresponding parameters validating the simulation results. On this basis, the multi-objective function is established, which includes the power performance, economic performance and cost price. This function is optimized by the firefly algorithm, which makes the dynamic parameters, the dynamic performance and economy performance of pure electric vehicle be improved significantly and the cost prices be declined. The practical performance of pure electric vehicle obtains the enhancement effectively.

**Keywords:** electric vehicle; modeling and simulation; matching optimization; multi-objective function; firefly algorithm

## 引言

纯电动汽车作为一新型产业, 成为国内外许多

汽车制造厂商发展的目标与方向。电池是纯电动汽车唯一能量源, 驱动电机是纯电动汽车唯一的动力源, 如何选择电池及电动机的参数, 并对选择的参数进行优化匹配, 让整车的动力性能和经济性能达到最佳状态, 成为了纯电动汽车面临的主要问题。

目前文献多基于 ADVISOR<sup>[1-4]</sup>, CRUISE<sup>[5]</sup>, CARSIM<sup>[6]</sup>等汽车仿真软件进行参数匹配。文献[1-3]



收稿日期: 2017-03-07 修回日期: 2017-07-04;  
基金项目: 国家自然科学基金(51577046), 国家自然科学基金重点项目(51637004), 国家重点研发计划“重大科学仪器设备开发”项目(2016YFF0102200);  
作者简介: 李燕(1975-), 女, 湖南, 博士生, 讲师, 研究方向为信号处理。

<http://www.china-simulation.com>

• 795 •

对电动汽车参数进行了计算匹配，并基于 ADVISOR 仿真验证了匹配结果能满足汽车的性能要求，但并没有对匹配参数进行优化。文献[7-8]用遗传算法优化电动汽车动力参数，遗传算法对初始种群的选择具有一定的依赖性，参数的选择对优化结果的影响较大，而这些参数的选择大多依赖于经验，且该方法容易收敛于局部最优解。

本文通过了解纯电动汽车动力系统的特点及要求，基于 ADVISOR 建模仿真，分析各项参数对汽车性能的满足情况，采用萤火虫算法<sup>[9]</sup>对部分参数进行优化匹配，使得电动汽车的动力性能、经济性能及成本价格达到最佳状态。

## 1 动力性能分析

纯电动汽车在驱动方式上采用电力驱动，在分析纯电动汽车动力性能时，一般看重的是最高车速、加速时间及最大爬坡度，这也是用户使用车辆比较关注的参数。

电动汽车的动力匹配是指满足整车动力性能要求和指标下，选择合理的各部件参数，降低设计成本并提高续航里程。基于某型号电动汽车的基本要求和参数，本文主要考虑电机、动力电池等部分的计算及选择，整车技术参数及设计指标如表 1 所示。

表 1 整车技术部分参数及指标  
Tab. 1 Partial parameters and indicators of EV

基本参数	数值	设计指标	数值
满载质量/kg	1 370	最高车速/(km/h)	≥90
半载质量/kg	1 220	加速性能 0~50/(km/h)	≤12
迎风面积 A/m <sup>2</sup>	1.87	加速性能 50~80/(km/h)	≤15
空阻系数 C <sub>D</sub>	0.5	最大爬坡度/%	≥20
滚动阻力系数 f	0.016	工况续航里程/km	≥140
减速器速比 i <sub>0</sub>	6.735	爬坡车速 u <sub>p</sub> /(km/h)	25
机械效率 η <sub>t</sub>	0.9	百公里耗电/(kW·h)	≤14

### 1.1 最高车速

纯电动汽车最高车速根据驱动力和行驶阻力平衡关系来推导。驱动力与车速之间的关系式为：

$$F_t = f(u_a) = 0.377 \frac{T_{iq} \eta_t n}{u_a} \quad (1)$$

当汽车以最高车速行驶时，理论上加速阻力和坡度阻力消失，只考虑滚动阻力和空气阻力：

$$F_f + F_w = f(u_a) = Df + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} \quad (2)$$

$F_t$  曲线与  $F_f + F_w$  曲线的交点为纯电动汽车的最高车速。

### 1.2 爬坡能力

汽车的爬坡能力是指汽车在爬坡行驶时，使用全部后备功率能爬上的坡度。最大爬坡度，指在良好路面上满载行驶时能达到的最大坡度。此时忽略加速阻力：

$$F_i = F_t - (F_f + F_w) \quad (3)$$

即：

$$G \sin \alpha = \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_t}{r} - (Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15}) \quad (4)$$

可得爬坡度：

$$i = \tan \alpha = \frac{\frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_t}{r} - \frac{C_D A u_a^2}{21.15}}{G \sqrt{1 + f^2}} - \arctan(f) \quad (5)$$

### 1.3 加速性能分析

加速时间  $t$  包括原地起步加速时间  $t_1$  (即以最大加速强度起步，加速到某一预定的距离或者车速所需时间)和超车加速时间  $t_2$  (由某一较低车速全力加速，到达某一高速时所需要的时间)。此时忽略坡度阻力，汽车受力情况为：

$$F_j = F_t - (F_f + F_w) \quad (6)$$

即：

$$\delta m \frac{du}{dt} = F_t - (Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15}) \quad (7)$$

计算加速时间为：

$$t = \frac{1}{3.6} \int_{u_1}^{u_2} \frac{\delta m}{F_t - (Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15})} du \quad (8)$$

式中： $u_1$  为初速度； $u_2$  为末速度。

## 2 电机及电池参数选择

作为动力源的电机, 参数的合理性决定着整车性能。首先电机很难平衡最高车速、爬坡能力及加速等多重需求; 其次, 汽车加速或爬坡时, 容易出现电机过热现象, 这将威胁到交通安全, 合理优化这些参数能保证安全行驶及高效的性能<sup>[10]</sup>, 所以电机参数的选择及匹配尤为重要。

### 2.1 电机最大功率选择

最高车速  $u_{\max}$ 、加速时间  $t$  及最大爬坡度  $\alpha$  是设计时确定电机功率的主要因素。

首先, 由最高车速  $u_{\max}$  确定最大功率为:

$$P_{\max 1} = \frac{u_{\max}}{3600\eta_t} (mgf + \frac{C_D A u_{\max}^2}{21.15}) \quad (9)$$

式中:  $\eta_t$  为传动系统的总效率;  $A$  为迎风面积。

其次, 由最大爬坡度确定最大功率为:

$$P_{\max 2} = \frac{u_i}{3600 \cdot \eta_t} (m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha_{\max} + m \cdot g \cdot \sin \alpha_{\max} + \frac{C_D \cdot A \cdot u_i^2}{21.15}) \quad (10)$$

式中: 最大爬坡角  $\alpha_{\max} = \arctan(i_{\max}/100)$ 。

最后, 由加速性能确定的最大功率为:

$$P_{\max 3} = \frac{1}{3600 \cdot \eta_t \cdot t} (\delta \cdot m \frac{u_t^2}{dt} + m \cdot g \cdot f \cdot \frac{u_t}{1.5} \cdot t + \frac{C_D \cdot A \cdot u_t^3}{21.15 \times 2.5}) \quad (11)$$

为了保证电动汽车的整体性能设计要求, 电机功率须满足:

$$P_{\max} \geq \max(P_{\max 1}, P_{\max 2}, P_{\max 3}) \quad (12)$$

把相应参数代入式(9)~(11), 计算结果如下:

$P_{\max 1} = 20.99 \text{ kW}$ ,  $P_{\max 2} = 13.23 \text{ kW}$ ,  $P_{\max 3} = 30.3 \text{ kW}$ , 则选电机最大功率大于  $30 \text{ kW}$ , 取过载系数为  $2 \sim 3$  之间的常数, 根据最大功率确定额定功率如下:

$$P_e = P_{\max} / \lambda \quad (13)$$

可得电机额定功率  $P_e = 10 \sim 15 \text{ kW}$ 。

### 2.2 电机转速的选择

根据车辆设计车速确定电机转速为:

$$N = \frac{i_0 \times v}{0.377 \times r} \quad (14)$$

以常规车速  $50 \text{ km/h}$ , 计算额定转速  $N_e$  为  $3\ 239 \text{ rpm}$ , 选取额定转速为  $3\ 500 \text{ rpm}$ 。

以最高车速  $100 \text{ km/h}$ , 计算最高转速  $N_{\max}$  为  $6\ 642 \text{ rpm}$ , 选取最高转速为  $6\ 700 \text{ rpm}$ 。

### 2.3 电机转矩的选择

为符合车辆最大爬坡度的要求, 电机最大转矩为:

$$T_{\max} \geq \frac{r}{\eta_t \cdot i_0} (m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha_{\max} + m \cdot g \cdot f \cdot \sin \alpha_{\max} + \frac{C_D \cdot A \cdot u_i^2}{21.15}) \quad (15)$$

代入对应参数计算  $T_{\max} \geq 126.8 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 可选取电机转矩为  $140 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

### 2.4 电池参数选择

电池组是纯电动汽车唯一的能量源, 电动汽车的续航里程及百公里耗电等经济性能参数均与电池组容量有关。电池组能量的计算公式如下:

$$W_{\text{ess}} = U_{\text{ess}} \times C / 1000 \quad (16)$$

电池组容量  $C$  为  $205 \text{ Ah}$ , 电池组电压  $U_{\text{ess}}$  为  $108 \text{ V}$ 。

$W_{\text{ess}} = U_{\text{ess}} \times C / 1000 = 108 \times 205 / 1000 = 22.14 \text{ kW} \cdot \text{h}$  选取  $23 \text{ kW} \cdot \text{h}$  的电池组。

电池组除了满足电池容量的要求, 还得同时满足车辆的容量和质量的要求, 因此电池单体的数目  $N$  也得满足一定的要求:

$$w = N \frac{\eta_{\text{DOC}} E_0 C}{1000} \quad (17)$$

式中:  $N$  为电池组单体电池的个数;  $E_0$  为单体电池的工作电压(V);  $\eta_{\text{DOC}}$  为蓄电池的放电深度。

考虑环境保护及经济效益等因素, 本文动力电池采用镍钴锰锂三元材料, 单体电压  $3.7 \sim 4.2 \text{ V}$ , 由此计算出电池单体数目为  $N=35$  个。

纯电动汽车的经济性能则主要表现在续航里程及百公里耗电状况。当汽车以  $u_1$  的速度行驶, 续航里程计算式如下:

$$L = \frac{\eta u_1 w}{p} = \frac{76\ 140 w \eta}{21.15 G f + A C_d u_1^2} \quad (18)$$

百公里耗电量为:

$$Q_t = \frac{100 w}{L} \quad (19)$$

代入参数计算得:  $L = 140.5\text{ km}$ ,  $Q_t = 13.4\text{ kW} \cdot \text{h}$ , 续航里程及百公里耗电均满足设计要求。

### 3 建模仿真

基于 ADVISOR 仿真平台搭建纯电动汽车整

车模块如图 1 所示。该模块图包括车辆模型、车轮模型、传动系统模型、电机模型以及电池模型等。模型建立后, 修改相应模块文件, 在参数设置界面中预设循环条件及车辆参数, 对汽车性能进行验证及分析。

纯电动汽车在 CYC\_ECE\_EUDC 循环工况下进行仿真, 仿真结果如图 2 所示。

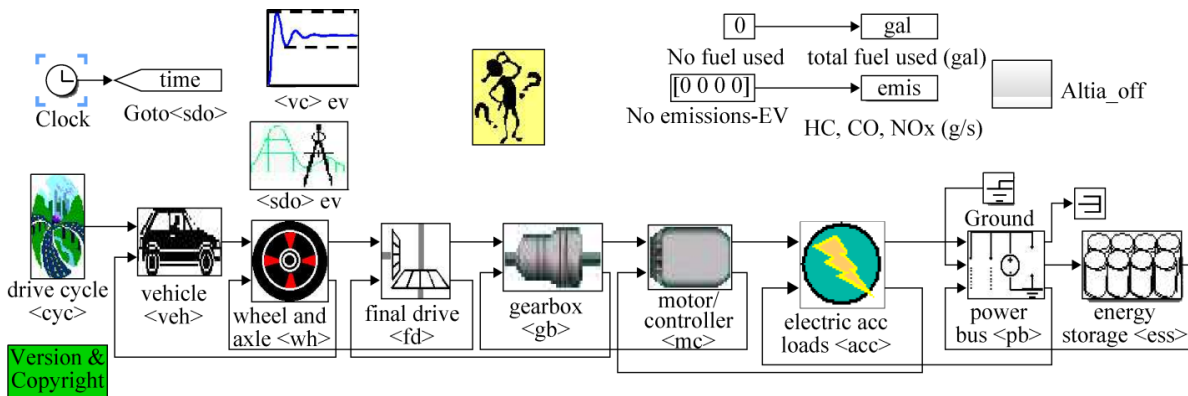


图 1 纯电动汽车 advisor 整车模块图  
Fig. 1 Module diagram of EV based on advisor

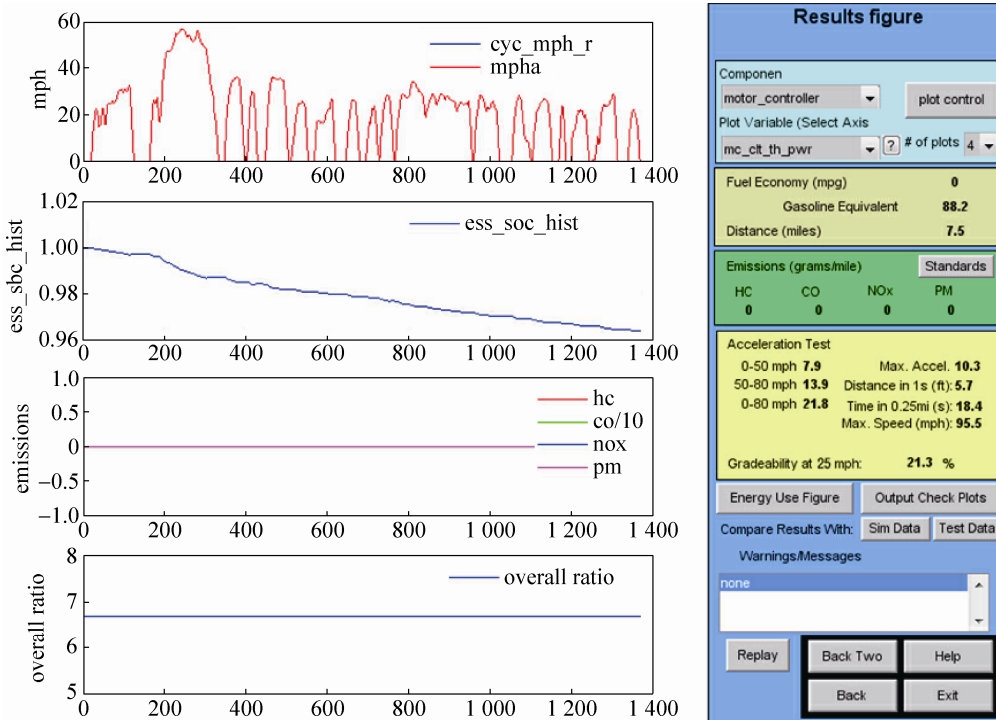


图 2 纯电动汽车整车性能结果  
Fig. 2 Simulation results of electric vehicle performance

<http://www.china-simulation.com>

由图 2 得到整车性能部分结果如表 2 所示。

表 2 仿真结果  
Tab. 2 Simulation results

性能/(km/h)	参数/s	性能	参数
加速时间 0~50	7.9	爬坡度/(25km/h)	21.3%
加速时间 50~80	13.9	最高车速/(km/h)	95.5

从表 2 结果得知本次设计所提出的要求在 CYC\_ECE\_EUDC 循环行驶下均能得到满足。

实际生产应用中,除了参数组合满足设计要求外,往往会有某方面性能的侧重,如有些车要求爬坡度好,有些车加速性能好,或者有的要求续航里程较大等,而这些性能要求不能同时得到满足,各参数之间既相互联系,又相互制约,由此在设计中会出现参数优化问题。

### 4 多目标匹配优化

纯电动汽车的参数匹配优化,主要体现在动力性能,经济性能及造价成本等方面,综合性能层次结构如图 3 所示。

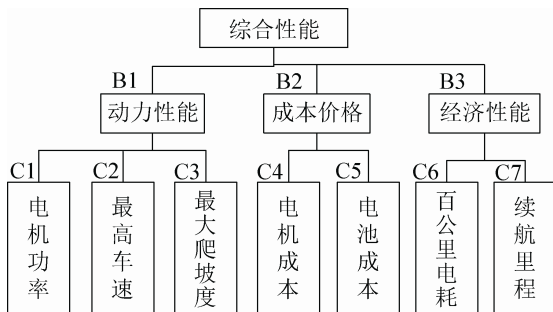


图 3 综合性能指标层次结构图

Fig. 3 Structure chart of comprehensive performance

#### 4.1 多目标函数的建立

动力性能目标为最高车速、最大爬坡度和最大加速度。电机功率对最高车速没有太大的影响,而对最大加速度和最大爬坡度的影响非常大,最大加速度和最大爬坡度都随电机功率的升高而增大。根据本文在 2.1 节中对电机最大功率的选择可见,如果加速时间能满足要求,电机功率就能满足最大爬坡度的要求,因此选用 0~80 km/h 的加速时间,通

过驱动电机峰值来推导加速时间的目标函数为:

$$B_1 = 2.5m \sqrt{\left( \frac{7200\eta P_{\max}}{v^2} - \frac{mgf}{0.75v} - \frac{C_D A v}{21.15 \times 1.25} \right)} \quad (20)$$

造价成本主要考虑电机和电池的影响,电机的成本和电动机的峰值有关,而电池的成本和电池容量及电池电压有关。选取纯电动汽车价格(万元)、电机峰值功率  $P_{\max}$  (kW)、电池电量  $w$  (kW·h)及电池电压  $U_{\text{ess}}$  (V)4 个参数拟合成本目标函数为:

$$B_2 = 14.27 + 0.09P_{\max} - 0.25w + 0.007w^2 + 0.08U_{\text{ess}} \quad (21)$$

经济性能以百公里耗电建立目标函数为:

$$B_3 = \frac{100(21.15Gf + C_D A u_a^2)}{76140\eta} \quad (22)$$

以上 3 个目标函数各自量纲都不同,建立综合目标函数时,无法直接进行线性加权,因此需要对这些参数进行无量纲化处理,从而修正不同量纲的影响<sup>[11]</sup>。文献[7]中采用标准差无量纲化,从指标层次结构图可知各类参数原值相差较大,采用标准差量化后的值可比性差,同时还会弱化权重系数对综合评定的影响。线性投影法能很好的避免这些不足<sup>[11]</sup>,因此本文中采用线性投影法进行无量纲化处理,该方法是将原参数值在(0,1)区间内投影,量化数学变换公式为:

$$x = bx_i + c \quad (23)$$

式中:  $x_i$  是参数原值;  $b, c$  均为待定系数;  $x$  为换算后参数标准值。

建立无量纲多目标优化函数为:

$$Y(x) = K_1 \tilde{B}_1(x) + K_2 \tilde{B}_2(x) + K_3 \tilde{B}_3(x) \left( \sum_{i=1}^3 K_i = 1 \right) \quad (24)$$

式中:  $\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3$  分别为无量纲化后的动力性能、成本价格和经济性能函数式;  $K_1, K_2, K_3$  分别为对应的加权系数,加权系数的大小根据对动力性能及经济性能及价格的偏重不同而进行不同的设置。

#### 4.2 多目标函数的优化

多目标函数优化<sup>[12]</sup>的主要方法有粒子群算法、遗传算法,萤火虫算法等。萤火虫算法是剑桥大学的 Xin-She Yang 教授所提出的一种新型仿生群智能优化算法<sup>[9]</sup>。萤火虫在群聚活动中,荧光素

越亮的萤火虫会吸引亮度低的萤火虫聚集在其周围。萤火虫算法利用这样的方式优化多目标函数，且具有较强的局部搜索能力，该算法参数少，且参数的选取对算法的影响较小。萤火虫算法两个主要参数为亮度和吸引度。相对亮度定义式为：

$$I = I_o \times e^{-\gamma r_{ij}} \quad (25)$$

式中： $I_o$ 为萤火虫的最大萤光亮度； $\gamma$ 是光强吸收系数，随着距离和媒介的变化而变化； $r_{ij}$ 为萤火虫*i*和萤火虫*j*之间的空间距离。吸引度定义式为：

$$\beta = \beta_o \times e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (26)$$

式中： $\beta_o$ 为最大吸引度，即光源处的吸引度。萤火虫*i*被吸引至萤火虫*j*移动的位置更新关系式为：

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \beta \times (x_j^n - x_i^n) + \alpha(\text{rand} - 1/2) \quad (27)$$

式中： $x_i^n$ ， $x_i^{n+1}$ 表示第*i*只萤火虫在第*n*次和第*n+1*次迭代中的位置； $\alpha$ 为步长因子，取[0,1]之间的常数；rand为[0,1]之间服从均匀分布的随机因子。为了加大搜索区域，避免过早陷入局部最优，在位置更新过程中增加了扰动项 $\alpha(\text{rand} - 1/2)$ 。萤火虫算法优化流程如图4所示。

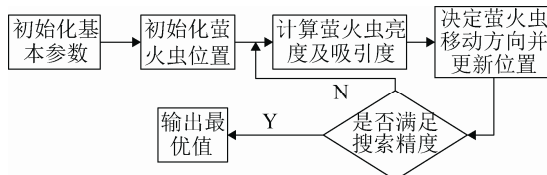


图4 萤火虫算法优化流程

Fig. 4 Optimaization flow chart of firely algorithm

### 4.3 优化结果

在满足动力性能基础上，侧重改善经济性能，设目标函数中的加权系数分别为： $K_1=0.2$ ， $K_2=0.3$ ， $K_3=0.5$ ，萤火虫只数为30，步长为0.2，迭代次数为100次，约束条件为： $u_{\max} \geq 90 \text{ km/h}$ ， $L_{\text{工况续航里程}} \geq 140 \text{ km}$ 。萤火虫算法对无量纲化目标函数优化后，电动汽车部分性能参数如表3所示。从表中的结果可知，参数匹配优化后对整车性能有较大提高，动力性能、成本价格和经济性能都得到了明显的改善，经济性能的权重系数最大，性能提升的比例也最明显。

表3 优化后性能参数

性能参数	数值	提升比例/%
0~80 km/h 加速时间/s	19.1	12.5
最高车速/(km/h)	102.3	7.1
电池电机价格/万元	2.71	4.17
工况续航里程/km	173.8	23.7
百公里耗电/kW·h	11.9	11.2

电池在CYC\_ECE\_EUDC循环工况下SOC值随时间变化曲线如图5所示，图5中包括纯电动汽车性能参数优化前、遗传算法优化后以及萤火虫算法优化后的3条曲线。从图5可知电池SOC值随时间呈下降趋势，参数匹配优化后下降趋势较优化前要平缓，萤火虫算法优化后的SOC变化趋势比遗传算法优化后的变化趋势要更为平缓。

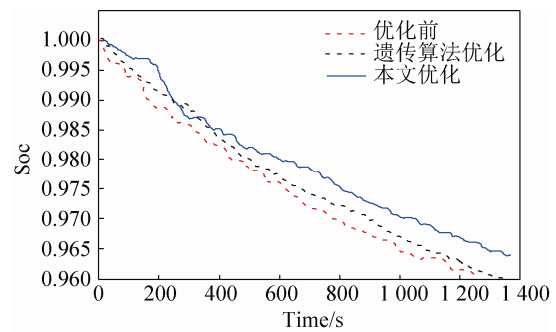


图5 优化前后电池荷电值对比图

Fig. 5 SOC of battery before and after optimizations

从图6可见电池放电效率维持在90%以上，表现出良好的放电特性。也正是因为有这些性能的改善，从而使得电动汽车的百公里耗电和续航里程值得到很好的提升。

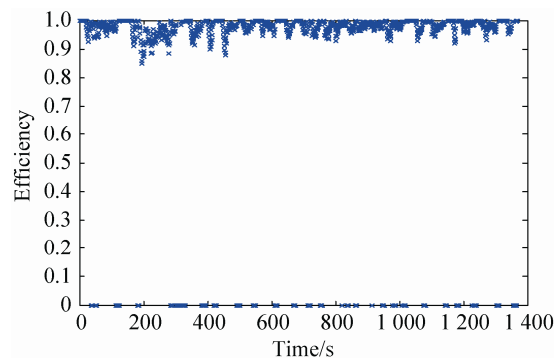


图6 优化后电池放电效率图

Fig. 6 Discharge efficiency of battery after optimization



## 5 结论

在电动汽车设计过程中, 为了满足多方面性能要求, 有必要对参数进行匹配优化, 从而得到更好的整车性能。本文在 ADVISOR 平台搭建了纯电动汽车的仿真模型, 采用萤火虫算法对匹配参数进行优化, 优化的参数包括动力性能、经济性能及成本价格三个方面。在仿真过程中, 设置的权重系数最大的经济性能, 优化后续航里程提升 23.7%, 其它参数也得到了不同程度的改善, 因此萤火虫优化算法对提高汽车的动力性能, 保证电池的放电效率, 增大续航里程及降低成本价格等方面具有很好的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 包建超, 陈丁跃, 乔晓亮. 基于 ADVISOR 仿真的纯电动汽车动力系统匹配研究[J]. 汽车实用技术, 2013, 38(8): 5-7.  
Bao Jianchao, Chen Dingyue, Qiao Xiaoliang. Pure electric automobile power transmission parameter match and study based on advisor[J]. Automobile Applied Tecnology, 2013, 38(8): 5-7.
- [2] 杨维健, 常志超. 基于 ADVISOR 的纯电动汽车动力系统匹配[J]. 汽车实用技术, 2016, 41(7): 32-34.  
Yang Weijian, Chang Zhichao. Pure electric automobile power transmission parameter match and study based on advisor[J]. Automobile Applied Tecnology, 2016, 41(7): 32-34.
- [3] 刘新, 凌鹏. 基于 Advisor 的纯电动汽车动力参数匹配[J]. 北京汽车, 2013, 36(3): 24-26.  
Liu Xin, Ling Peng. Pure electric automobile power transmission parameter match based on advisor[J]. Beijing Automotive Engineering, 2013, 36(3): 24-26.
- [4] 杨洋, 张文明. 基于 ADVISOR 软件的矿用电动轮自卸车仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(13): 4159-4162.  
Yang Yang, Zhang Wenming. Simulation Study on Motor Wheel Mine Dumper Based on ADVISOR[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(13): 4159-4162.
- [5] 张奇, 符晓玲, 李珂, 等. 纯电动汽车动力系统匹配优化与再生制动策略[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(3): 600-609.  
Zhang Qi, Fu Xiaoling, Li Ke, et al. Powertrain System Matching Optimization and Regenerative Braking Strategy for Pure Electric Vehicle[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 600-609.
- [6] 何志刚, 周成, 盘朝奉, 等. 基于粒子群算法纯电动汽车传动系统参数的优化[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2015, 40(5): 1092-1101.  
He Zhigang, Zhou Cheng, Pan Chaofeng, et al. The optimum of electric vehicle power train system based on Particle Swarm Optimization[J]. Journal of Guangxi University(Nat Sci Ed), 2015, 40(5): 1092-1101.
- [7] 张驰, 邵东建, 张敏. 基于小客车侧滑微观仿真曲线路段行车风险分析[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(7): 1609-1616, 1627.  
Zhang Chi, Shao Dongjian, Zhang Min. Risk Analysis of Passenger Car Moving on Curved Sections Based on Sides lip Microscopic Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(7): 1609-1616, 1627.
- [8] 黄欣, 陈凌珊, 程伟, 等. 基于多目标遗传算法的增程式电动汽车动力系统参数匹配优化研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3539-3542.  
Huang Xin, Chen Lingshan, Chen Wei, et al. optimal Study on Extended-Range Electric Vehicle's Powertrain Parameter Matching Based on Multi-objective Genetic Algorithm[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(10): 3539-3542.
- [9] Yang X S. Firefly Algorithms for Multimodal Optimization[J]. Mathematics (S2227-7390), 2009, 5792: 169-178.
- [10] Zhang L P, Liang L I, Bingnan Q I, et al. Parameters optimum matching of pure electric vehicle dual-mode coupling drive system[J]. Science China Technological Sciences (S1674-7321), 2014, 57(11): 2265-2277.
- [11] 曲玉琨, 张新征, 王章龙, 等. 火炮系统效能综合评价与指标无量纲化处理的研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2007, 28(3): 1-4.  
Qu Yukun, Zhang Xinzheng, Wang Zhanglong, et al. Study on Integrated Evaluation of Gun System Effectiveness and Treatment of Index Non-Dimension [J]. Journal of Gun Launch & Control, 2007, 28(3): 1-4
- [12] 杨志翔, 史文浩, 张宁. 基于字典排序和解关联的多目标优化算法[J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37(9): 2024-2028.  
Yang Zhixiang, Shi Wenhao, Zhang Ning. Multi-objective Optimization Algorithm Based on Lexicographic Sorting and Solution Association[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2016, 37(9): 2024-2028.