

电动车 IVT 功能设计及电池管理系统的优化

周 封, 杨玉萍, 王晨光, 王丙全

(哈尔滨理工大学 电气与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 针对国内缺乏专用的电动车智能车载终端(IVT)的问题,通过分析普通车载终端的各种定义和功能,结合电动车在动力能源上与燃油车的不同之处,确定出应具有包括预估电池剩余电量功能在内的电动车 IVT 功能. 并对电池剩余电量的预估受电池温度和电池电动势等因数影响会产生较大偏差的问题,采用 Mamdani 算法对电动势和温度干扰因数制定模糊控制规则,利用重心法反模糊化获得偏差修正因子,建立了电池剩余电量预估计系统仿真模型,从而对剩余电量估算值进行修正. 仿真结果表明优化之后的系统剩余电量预测值的误差范围控制在 5% 以内,能满足电动车智能车载终端剩余电量的估算要求.

关键词: 智能车载终端; 电池管理系统; Mamdani 算法; 模糊控制

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2012)04-0022-05

Design of Intelligent Vehicle Terminal (IVT) for Electric Cars and Optimization of Battery Management System

ZHOU Feng, YANG Yu-ping, WANG Chen-guang, WANG Bing-quan

(School of Electrical and Electronic Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In view of the lack of special electric motor car IVT, by analysing the functions and definition of IVT for vehicles with oil fuel in this paper and with the differences between electric cars and oil fuel vehicles, the functions of IVT for electric cars which includes the battery management are identified. The remaining power is influenced by the emf AND the temperature of the battery and the results are of biases. Fuzzy rules for the disturbance factor emf and temperature are formulated based on the Mamdani algorithm, the bias correction factor is obtained by the method of centroid defuzzification to correct the calculated value, and the remaining power calculated simulation model is established to improve the value. The results show that the error of optimized remaining power management system is within 5% and it can meet the demands of the battery management in TVT for electric cars.

Key words: intelligent vehicle terminal (IVT); battery management systems; mmdani algorithm; fuzzy control

0 引 言

随着全球不可再生能源的日益紧张,新型的电动汽车会因其清洁环保而得到世界各国的青睐与推广,并且汽车智能化是汽车行业的发展方向,更能

为电动车的安全运行提供更好的保障^[1]. 建立在现有的各种通信技术及电子技术等技术基础之上的电动车智能车载终端在电动车行驶途中能够为驾乘人员提供方便实用的辅助信息,这对电动车市场的健康发展具有很大帮助.

传统智能车载终端又称卫星定位智能车载终

收稿日期: 2011-11-14

作者简介: 周 封(1970—),男,博士,教授,硕士生导师,E-mail: f.zhou@163.com;

杨玉萍(1987—),女,硕士研究生.

端,因为其定位及里程记录功能而主要应用于运输车辆的管理. 电动车智能车载终端应该是为电动车用户实时采集和展示电池状态信息、规划导航充电路径,与服务中心开展信息互动的多功能集成电子设备^[2-3]. 并且还有对电动车的运行状态下的其他信息(比如发电机信息、速度信息)进行记录,这对于电动车的管理及特殊情况下事故鉴定将有很大的帮助. 智能车载终端又俗称“汽车黑匣子”,能对车辆运行时的各状态信息进行数据采集并记录,自动完成车辆运行状态的监测,故障诊断和保护. 在其帮助下,驾驶员可以更加安全,高效便捷的驾驶汽车,在出现意外情况时,也便于交通监管部门认定事故责任及刑事侦破,使得驾驶员及乘客可以在交通事故勘查及救助等方面得到更好的服务.

国内尚无专用的电动车智能车载终端,普通的车载终端形式多样,功能差异大,缺少对行车过程中车辆状态信息的监测功能,这已远远不能满足电动车对车载终端的实际功能需求^[4]. 国外所生产销售的车载终端功能强大,但售价很高,难以普及使用. 本文从电动车的运行过程中的实际需求出发设计的智能车载终端能够更好的记录车辆运行状态信息,并对常用的 GPS 定位及无线通信功能进行扩充应用,使其更加具有实用价值^[4].

1 智能车载终端功能需求分析

1.1 传统智能车载终端具有的功能

智能车载终端融合了 GPS 技术、里程定位技术及汽车黑匣子技术,能够用于对车辆的现代化管理,主要功能包括:

- 1) 实现对运行车辆的动态监控管理,通过 GIS 平台实时准确显示车辆的运行状态,如车速、里程等信息,主要用于公交及物流车辆等的智能管理;
- 2) 驾驶员的身份识别,配备智能终端读卡器,由智能终端在核实驾驶员正确身份信息后才能输出控制车辆的点火线路;
- 3) 若安装在公交车辆上,可以完成自动报站,多媒体播放以及车辆定位、监控录像和自动采集存储公交卡系统信息,经数据处理后直接通过无线网络传送到管理中心,不需要专用人员上车进行数据采集;
- 4) 配备应急事件处理装置,在遇到紧急突发情况时驾乘人员可通过特定装置向公共安全服务系统及管理中心发送求救信息.

1.2 电动车智能终端功能分析

从电动车的实际工作需求出发,在传统的车载终端基础上对电动车智能车载终端进行设计,功能硬件模块包括 3 部分:定位系统、无线通信系统和信息采集系统. 系统构成图如图 1 所示.

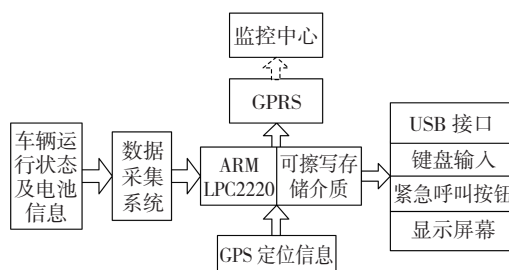


图1 智能车载终端系统构成图

电动车与传统车辆在车辆内部控制系统及动力系统上有很多不同之处,比如电动车采用电池供电作为能源来源,就要对电池信息进行实时监测.

1) 电动车智能车载终端定位系统即 GPS 定位系统,并结合 GIS 系统给驾驶员提供电子地图. 除具备导航作用外,在遇到突发情况,比如交通事故或者受到威胁时,驾驶员可通过终端上隐蔽的紧急按钮报警,无线通信系统会立即将车辆位置发送到电动车监控中心;在电动车电池电量偏低时或者车辆出现故障时,终端系统会根据车辆所在位置,自动搜索周围的汽车修配中心和充电桩位置,并在电子地图上显示.

2) 电动车智能车载终端无线通信系统用于电动车与车辆监控中心的实时通信,无线通信功能将车辆运行状态发送给监控中心,也能接收来自监控中心提供的路况信息以及运行命令.

3) 电动车信息采集系统是本系统与其他系统的不同之处,普通车载终端内的数据采集系统只对车辆行驶速度进行监控,判断是否超速等信息,电动车的数据采集系统在具备普通功能的基础上,还需要记录电动车的电池模块的状态信息,包括电池温度,电压值,电流值,进而估算出电池剩余电量.

4) 车载终端还配备了紧急呼叫救援功能,即在驾驶员遇到紧急突发情况需要帮助时可以通过按下隐蔽位置的紧急按钮,系统自动呼叫帮助中心并报警.

现有的 GPS、GIS 及 GPRS 技术已经非常成熟,电动车智能车载终端的设计中可以直接采用,对于充电桩位置的显示及紧急事件处理机制只需在软件实现上增加这些新增功能. 然而对于电动车运行状态信息采集系统的要求比传统智能终端要高,需要记录的信息量更大,包括了电池信息,发动机信息和

车速等. 因而具备完善准确的对车辆运行状态信息及保持电池信息实时更新的数据采集系统的智能车载终端才能更好的满足电动车的需求, 本文将对电池剩余电量的估算做详细分析.

2 电池信息测量电路

在电动车运行过程中, 电池是否有足够的剩余电量以及是否处于稳定的工作状态是电动车能否正常行驶的关键, 因此准确测量并记录实时的电池状态信息是很有必要的. 电池信息包括电池电动势, 线路中的电流以及蓄电池温度, 一般的电池信息测量部分都是采用多种传感器来对各项信息单独测量, 这样就会使得测量电路复杂, 给实际应用带来很多不便. 本系统选用 Dallas 公司的 DS2438 芯片, 该芯片内集成了温度传感器、AD 转换器、电流积分器等电路, 具有测量电池温度、电压、电流和累计电路等多项功能, 只需要简单的电路就能得到所需要的全部电池信息. 如图 2 所示.

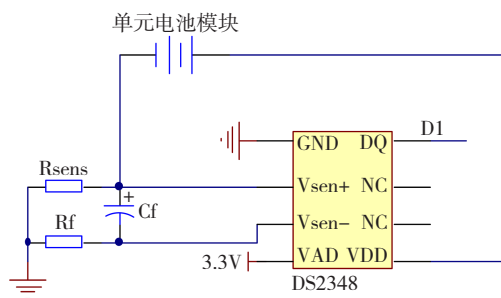


图 2 电池参数测量电路

3 电动车电池剩余电量计算原理

电池剩余电量的估计有以下几种方法: 开路电压测量法、内阻测量法、智能控制法^[4]:

1) 开路电压测量法: 这是最简单的电池剩余电量计算方法. 在一定的条件下, 利用电池的开路电压与剩余电量的相对固定的比例关系来获得对应的剩余电量值. 这种方法必须在电池非工作状态下才能测量, 不符合电动车的实时剩余电量测量需求.

2) 内阻测量法: 用不同频率的交流电激励电池, 测量内部交流电阻, 然后建立模型估算 SOC 值. 这种方法得到的 SOC 值是根据电流在某特定条件恒流条件下充放电后的剩余电量值, 不适用于电动车中电池充放电电流大小不固定的情况, 因而不能用于估算电池剩余电量.

3) 智能控制法: 将传统的估测方法与智能控制理论结合的方法, 本文即采用这种方法.

3.1 剩余电量 SOC 的估计

电动车电池模块是由许多小的锂电池先并联后串联组成的, 那么从整车考虑, 电池管理系统采用分布式网络控制系统结构, 系统中的每个串联电池包中都布置电池测控模块^[4-5,7]. 本系统选取安培时间积分法与模糊容量预测原理预测电池剩余容量 SOC.

安培时间积分法的基本原理就是把一定时间内的电池放电电流大小对时间进行积分, 这样就得到了电池充入或者释放的电荷量, 电量计算为

$$C_i = \int_0^t \omega_i \cdot i d\tau$$

式中: ω_i 为充放电系数; i 为充放电电流, 放电时 $i > 0$, 充电时 $i < 0$; t 为电流充放电时间.

充放电电流大小从数据采集系统的电流传感器获得, 电池的全额容量已知, 那么剩余电量就是全额容量与充放电量的代数和. 该方法采用积分的方法实时测量进出电池的电量, 从而可以给出实时的电池剩余电量.

然而影响电池容量的因素不仅是放电电流, 还有电池温度、电池内阻和使用次数等因数, 因此单纯的经过电流大小对时间的积分得到的电池容量是不准确的. 使用次数对电池容量的影响根据电池生产厂家提供的修正方式进行修正, 对于放电电流及温度等影响因数, 可以采用经验公式进行修正. 由于干扰因素的不稳定性, 干扰因素对电池剩余电量的影响也是不确定的, 利用模糊控制理论, 建立相应的电池控制管理机制能够更好的推算出电池的剩余电量.

3.2 模糊控制系统的设计

3.2.1 Mamdani 模糊控制器的设计

传统的控制系统里, 系统动态模式的精确与否是影响控制优劣的关键, 系统的动态信息越详细, 则越能达到精确控制的目的. 然而对于复杂的系统, 由于系统变量多, 无法精确的描述系统的动态信息, 若利用各种方法简化系统动态, 又难以达到控制的目的. 因此尝试以模糊数学来处理这类多变量的控制问题.

模糊控制是一种不依赖对象的数学模型, 适合处理多输入多输出的非线性系统. 本系统在已有的蓄电池实验数据基础上, 用模糊逻辑实现对电池剩余电量的预测^[8]. 将实测的电池模块电动势和电池温度作为模糊控制器的多个输入, 以电池的剩余容量为输出, 设计一个模糊控制器.

3.2.2 模糊化

模糊控制器的设计中需要确定影响因数温度 T 和电动势 E 的模糊集及其论域. 温度 T 和电动势 E 的模糊集均为: {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}. 温度 T 的论域为 {29.2, 29.7, 30.2, 30.7, 31.4, 31.9, 32.6}, 电动势 E 的论域为 {12.90, 12.75, 12.65, 12.45, 12.25, 12.05, 11.90}. 根据论域及模糊变量值确定论域元素对模糊变量的隶属度, 如图3、4.

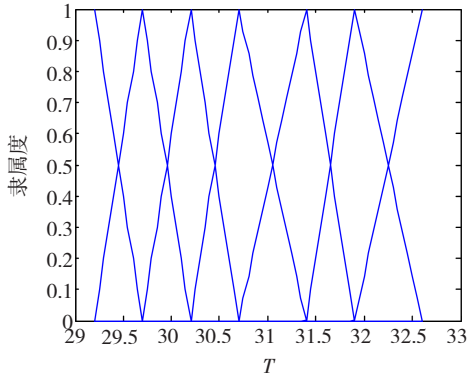


图3 温度 T 的隶属度

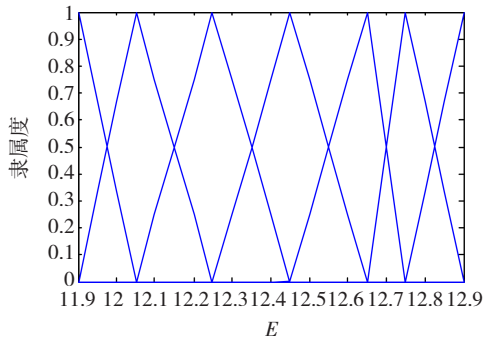


图4 电动势 E 的隶属度

3.2.3 制定模糊规则表

为了确定电池温度及电池电动势对剩余电量的影响, 制定相应的模糊控制规则表如表1所示. 得出控制量 U 的模糊集.

表1 模糊控制规则表

U		E						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
T	NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
	NM	NB	NM	NM	NS	NS	ZO	PS
	NS	NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	PM
	PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	NS	ZO	PS	PS	PM	PM	PB
	PB	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB

3.2.4 Mamdani 模糊推理

控制输入量 E 与 T 采用三角形模糊集, 得到

Mamdani 模糊系统的论域即 E 与 T 的范围为 $D = [1.9, 12.9] \times [9.2, 32.6]$, 对于 $1 \leq i \leq 7, A_m^1, A_m^2, \dots, A_m^i, \dots, A_m^7$ 是一组三角形模糊集, 其中 A_m^i 的顶点是 A_m^{i+1} 的左角位置^[7-9]. 论域 D 被划分成7个超立方体 $D [j_1, j_2, \dots, j_i, \dots, j_7]$. 论域 $D [j_1, \dots, j_i, \dots, j_7] = [T_{op}(A_1^{j_1}), T_{op}(A_1^{j_1+1})] \times \dots \times [T_{op}(A_7^{j_7}), T_{op}(A_7^{j_7+1})]$, $T_{op}(A_i^{j_i})$ 表示 $A_i^{j_i}(x_i)$ 的顶点 x_i 的坐标^[9].

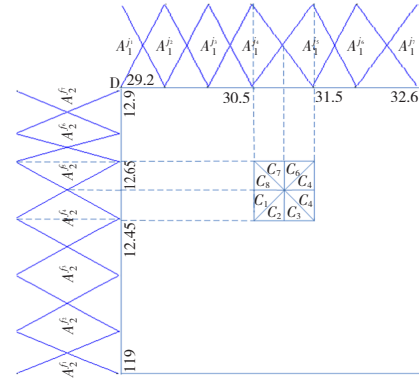


图5 论域 D 的模糊集划分

$\sum_{\substack{1 \leq j_1 \leq k_1 \\ 1 \leq i \leq 7}} D [j_1, j_2, \dots, j_7] = D$, 并且任意两个立方体

的内部都不相交, 可以定义单值映射 $\phi, D \rightarrow \{D [j_1, j_2, \dots, j_7] \mid 1 \leq j \leq 7, 1 \leq j_i \leq k_i\}$, $\forall x \in D$, 记 $D_x = \phi(x)$, $DB = \{x_1 \text{ is } A_1^{j_1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^{j_2} \text{ and } \dots \text{ and } x_7 \text{ is } A_7^{j_7} \mid 1 \leq j \leq 7, 1 \leq j_i \leq k_i\}$.

令 $D_x = [j_1(x_1), j_2(x_2), \dots, j_7(x_7)]$, 则 $F(x) \stackrel{\text{def}}{=} \phi(x)$, $DB = \{x_1 \text{ is } A_1^{j_1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^{j_2} \text{ and } \dots \text{ and } x_7 \text{ is } A_7^{j_7} \mid j_i = j_i(x_i) \text{ or } j_i(x_i) + 1\}$,

$W_x(Q) \stackrel{\text{def}}{=} A_1^{j_1}(x_1) \wedge \dots \wedge A_7^{j_7}(x_7)$, $Q = x_1 \text{ is } A_1^{j_1}$ and $x_2 \text{ is } A_2^{j_2}$ and $\dots$ and $x_7 \text{ is } A_7^{j_7}$,

$W_x \stackrel{\text{def}}{=} \{W_x(Q) \mid Q \in F(x)\}$, $C(Q) \stackrel{\text{def}}{=} C$, 即如果模糊规则库 RB 中存在规则 If Q then $u = C$.

模糊推理机制由规则库 RB 和推理机 Φ_R 组成:

$RB \stackrel{\text{def}}{=} \{\text{If } Q \text{ then } u = C \mid Q \in DB\}$

$\Phi_R \mid F(x) \stackrel{\text{def}}{=} W_x(Q), C(Q) \mid \forall Q \in F(x)$

即得图5中产生的模糊规则如下:

R_1 : If T is $A_1^{j_4}$ and E is $A_2^{j_2}$ then $u = C(1, 2)$;

R_2 : If T is $A_1^{j_5}$ and E is $A_2^{j_2}$ then $u = C(3, 4)$;

R_3 : If T is $A_1^{j_5}$ and E is $A_2^{j_5}$ then $u = C(5, 6)$;

R_4 : If T is $A_1^{j_4}$ and E is $A_2^{j_5}$ then $u = C(7, 8)$;

3.2.5 反模糊化

在模糊推理中得到的模糊集合, 在实际应用中, 要将模糊推理结果转化为精确的控制量, 这个过程称为反模糊化. 反模糊化的方法一般有以下几种: 最

大隶属度法、重心法和加权平均法^[10-12]。其中重心法最有较为平滑的输出推理控制,即使对应于输入信号的微小变化,输出也会发生变化,这一特点能充分满足本系统需求。所谓重心法即是取隶属度曲线函数与横坐标围成面积的重心作为模糊推理的最终

输出值,即 $u_o = \frac{\int_V u \mu_u(u) du}{\int_u \mu_u(u) du}$ 。在实际应用中,是通过

计算多个采样点的值的重心,即 $u_o = \frac{\sum_{k=1}^m u_k \mu_u(u_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_u(u_k)}$,

最后取模糊集中最相近的值作为输出值。

3.3 结果分析

根据以上规则,设计了电池剩余电量估计系统仿真模型。

图 6 中的输入模块分别表示电池电动势,电池温度和剩余电量,电动势与温度产生的修正因子将根据安培时间积分法得到的剩余电量进行修正,输出通过模糊控制系统计算得到的剩余电量,将其与实测电池剩电容量对比,如表 2 所示。为便于比较结果,作出了剩余电量的实测值和预测值随时间的变化曲线,如图 7 所示。

表 2 剩余电量预测结果

电动势/V	温度/℃	实测剩余电量/Ah	预测剩余电量/Ah	误差/%
12.827	29.4	42.3	41.2	2.67
12.757	29.6	41.3	39.5	4.56
12.743	29.8	38.9	38.2	1.83
12.685	30.1	38.3	37.7	1.59
12.675	30.2	37.6	36.9	1.9
12.542	30.4	36.4	35.6	2.25
12.583	30.6	35.7	34.6	3.18
12.473	30.8	33.2	31.8	4.4
12.411	30.9	27.6	27.3	1.10
12.354	31.2	25.4	24.7	2.83
12.326	31.3	22.6	22.9	1.31
12.269	31.5	21.6	20.8	3.85
12.152	31.7	18.4	19.1	3.66
12.126	31.8	16.4	15.9	3.14
12.084	32.0	14.6	14.2	2.82
12.052	32.1	12.5	13.0	3.85
12.011	32.3	11.2	11.5	2.61
11.921	32.5	0.0	0.0	

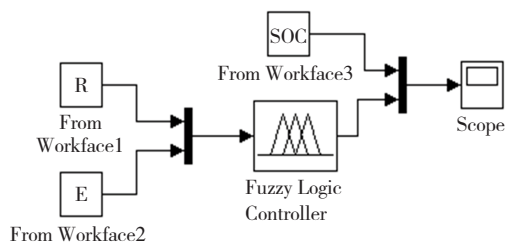


图 6 剩余电量值估算系统

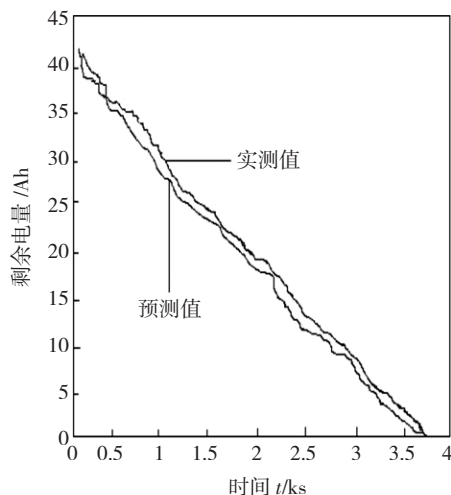


图 7 剩余电量模糊控制系统仿真结果图

从图中可以看出,通过控制系统得到的预测值与实际测量值有一定的偏差但总体波动不大,数值贴合性较好,误差范围在 5% 以内,符合要求。

4 结 语

电动车智能车载终端要求融合无线通信、CAN 技术、传感技术及 GPS 定位技以实现电动车运行过程中的数据实时检测记录、紧急事故处理、车辆行走环境的显示及电池剩余电量的估计等多项功能。与其他普通的剩余电量计算方式相比,安培时间积分法与基于 Mamdani 算法的模糊控制系统相结合的智能控制算法能修正温度与电动势对电池剩余电量影响。仿真结果亦表明,剩余电量预测系统得到的估算结果准确,能满足电动车智能车载终端剩余电量的估算要求。

参 考 文 献:

- [1] 刘晓康,詹琼华,何葵. 电动汽车用电池管理系统的研究 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 33(8): 83-86.
- [2] 魏学哲,孙泽昌,邹广楠. 模块化的 HEV 锂离子电池管理系统 [J]. 汽车工程, 2004, 26(6): 629-631+661.

(下转第 33 页)

- 优化设计 [J]. 长沙理工大学学报, 2009, 6(2): 51-55.
- [47] LEE Dong Wook. FOA(first-order analysis) Model of a Granule-Filled Tube for Vehicle Crash Energy Absorption [J]. Mechanics of Materials, 2009, 41: 684-690.
- [48] 孙德强. 双壁厚蜂窝铝芯的共面冲击力学性能 [J]. 振动与冲击, 2008, 27(7): 69-74.
- [49] 母玲, 郭英男. 蜂窝夹芯雷达罩结构的鸟撞数值分析 [J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(6): 642-646.
- [50] 张宗华. 轻质吸能材料和结构的耐撞性分析与设计优化 [J]. 大连理工大学, 2001: 25-89.
- [51] CHEN D H, OZAKI S. Numerical Study of Axially Crushed Cylindrical Tubes with Corrugated Surface [J]. Thin-Walled Structures, 2009, 47: 1387-1396.
- [52] ROSSI A. Numerical Simulation of the Axial Collapse of Thin-walled Polygonal Section Tubes [J]. Thin-Walled Structures, 2005, 43: 1646-1661.
- [53] ALA Tabiei. Axial Crushing of Tubes as an Energy Dissipating Mechanism for Reduction of Acceleration Induced Injuries from Mine Blasts Underneath Infantry Vehicles [J]. International Journal of Absorption, Thin-Walled Structures, 2008, 36: 729-736.
- [54] NAGEL G M. A Numerical Study on the Impact Response and Energy Absorption of Tapered Thin-walled Tubes [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2004, 46: 201-216.
- [55] MAMALIS A G. On the Crashworthiness of Composite Rectangular thin-walled Tubes Internally Reinforced with Aluminium or Polymeric foams: Experimental and Numerical Simulation [J]. Composite Structures, 2009, 89(3): 416-423.
- [56] 郭颖, 曾涛, 陆夏美. 等. 层状化增韧层合复合材料低速冲击有限元分析 [J]. 哈尔滨理工大学, 2009, 14(3): 94-97.
- [57] OZGUC Ozgur. A Comparative Study on the Structural Integrity of single and Double Side Skin Bulk Carriers under Collision Damage [J]. Marine Structures, 2005, 18: 511-547.

(编辑: 付长缨)

(上接第26页)

- [6] 南金瑞, 孙逢春, 王建群. 纯电动车电池管理系统的设计及应用 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(S2): 1831-1834.
- [7] 黄文华, 韩晓东, 陈世全. 电动汽车 SOC 估计算法与电池管理系统研究 [J]. 汽车工程, 2007, 29(3): 198-202.
- [8] PICHLER Peter. Dr. Lithium-ion for Hybrid Vehicles and Electric Vehicles [C] // USA: International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, 2009: 13-16.
- [9] 刘金琨. 智能控制 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009, 01: 33-89.
- [10] MICHELA Antonelli, PIETRO Ducange, BEATEICE Lazzerini. Multi-objective Evolutionary Learning of Granularity, Membership Function Parameters and Rules of Mamdani fuzzy systems [J]. USA: Evolutionary Intelligence, 2009, 1(2): 21-37.
- [11] ANTONIO A Márquez, Francisco A Márquez, Antonio Peregrín. Rule Base and Adaptive Fuzzy Operators Cooperative Learning of Mamdani Fuzzy Systems with Multi-objective Genetic Algorithms [J]. Evolutionary Intelligence, 2009, 1(2): 39-51.
- [12] XINYU Du, NAIYAO Zhang, HAO Ying. Structure Analysis and System Design for a Class of Mamdani Fuzzy Controllers [J]. International Journal of General Systems, 2007, 10(2): 42-61.
- [13] 武俊峰, 王世明. 一种基于模糊控制的两步法预测控制方法 [J]. 电机理论与控制, 2010, 07: 75-80.
- [14] 唐少先, 张泰山, 陈建二. 基于三角模糊集划分的 MISO Mamdani 模糊系统参数关联性分析 [J]. 模糊系统与数学, 2005, 19(3): 136-141.
- [15] 吴晓刚, 王旭东, 井济民. 混合动力汽车电子节气门的模糊自适应 PID 控制 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010(1): 1-4.

(编辑: 王 萍)