

基于 STM32 的锂电池充放电系统的研究与设计

魏丽君, 李小霞

(湖南铁道职业技术学院, 湖南 株洲 412001)

摘要: 锂电池是当前便携式手持电子设备可循环充放电电池的首选, 但是锂电池在使用过程中可能存在过冲、过放、过流充电以及充电时间过长后产生高温的问题, 从而影响电池使用寿命, 甚至出现安全事故, 为解决以上问题, 提高锂电池使用效率, 文章基于 STM32 平台设计了一款锂电池充放电管理系统, 通过软硬件的设计和实验测试, 该系统实现了对锂电池充放电路径管理、对充放电的参数及电池的状态实现了实时准确监测, 准确度高达 98.4%, DC-DC 输出电压稳定在 $5\text{ V} \pm 0.002\text{ V}$ 范围内, 当负载在 $200\ \Omega$ 到 $1\ 000\ \Omega$ 范围内时, 输出电压非稳定在 $\pm 5\text{ V}$, 小于 $100\ \Omega$ 后, 输出电压会有适度下降, 极大提高了电池的使用效率, 该成果已在企业项目中得到了应用。

关键词: 锂电池; 充放电管理系统; 电池容量 SOC; 电量检测

Research and Design of Lithium Battery Charging and Discharging System Based on STM32

Wei Lijun, Li Xiaoxia

(Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou 412001, China)

Abstract: At present, lithium battery is the first choice of rechargeable battery for portable handheld electronic devices. However, in the process of using lithium battery, there may be problems such as over flushing, over discharging, over current charging and high temperature after too long charging time, which may affect the service life of battery and even cause safety accidents. In order to solve the above problems and improve the service efficiency of lithium battery, A lithium battery charge and discharge management system based on STM32 platform is designed. Through the design of software and hardware and the experiment test, the system realizes the real-time and accurate monitoring of the charge and discharge path management of lithium battery, the parameters of charge and discharge and the state of battery. The accuracy is as high as 98.4%. The output voltage of DC-DC is stable in the range of $5\text{ V} \pm 0.002\text{ V}$. When the load is in the range of $200\ \Omega$ to $1\ 000\ \Omega$, the output voltage is not stable in $\pm 5\text{ V}$. When it is less than $100\ \Omega$, the output voltage will drop moderately, which greatly improves the efficiency of the battery. This achievement has been applied in enterprise projects.

Keywords: lithium battery; charge and discharge management system; battery capacity SOC; electric quantity detection

0 引言

信息时代的来临使得便携式手持电子设备得到了越来越广泛的应用, 电子阅读、网页浏览、网上办公、娱乐影音等极大丰富了人们的生活, 与此同时, 电子产品的电池续航能力得到了越来越多的关注, 锂离子电池作为便携式手持电子设备可循环充放电的首选材料, 在使用过程中依然可能存在过充、过放、过流充电以及充电温度过高从而影响电池的使用效率, 甚至还出现过充放电过程中电池爆炸的安全事故, 因此, 设计一款实时监控电池充放电状态

参数的电池管理系统迫在眉睫。

当前关于锂离子电池充放电管理系统的研究主要体现在电池荷电状态估算以及算法的研究上面, 华中科技大学、上海交通大学、湖南大学很多学者都对此进行了比较系统的研究, 但是对锂离子电池充放电路径管理方面设计不够全面, 在实时监测上精度还有待提高。

基于此, 本文采用 STM32 硬件平台, 开发设计了一款锂电池充放电管理系统, 实现了对锂电池充放电路径管理、对充放电的参数及电池的状态实现了实时准确监测, 准确度高达 98.4%, DC-DC 输出电压稳定在 $5\text{ V} \pm 0.002\text{ V}$ 范围内, 当负载在 $200\ \Omega$ 到 $1\ 000\ \Omega$ 范围内时, 输出电压稳定在 $\pm 5\text{ V}$, 小于 $100\ \Omega$ 后, 输出电压会有适度下降, 输出电压稳定, 极大提高了电池的使用效率。

1 系统整体设计

根据设计需求, 该系统的硬件设计主要包含电池保护电路、电源模块以及显示模块、电池充放电路径管理模块、

收稿日期:2020-03-31; 修回日期:2020-05-06。

基金支持:湖南省自然科学基金(2018JJ5042);湖南省教育厅科学研究青年项目(19B379)

作者简介:魏丽君(1983-),男,湖南娄底人,硕士,副教授,主要从事电子技术、智能仪器仪表方向的研究。

通讯作者:李小霞(1982-),女,河南开封人,硕士,讲师,主要从事电子技术、自动化控制方向的研究。

电池状态信息采集模块等。初步设计中, 提出了主要参考芯片: 其中电量计芯片拟采用 BQ27410 芯片, 充放电路径管理模块拟采用 BQ24230 芯片实现, 而升压模块拟采用 LMR62421 芯片, 控制核心, 采用当前主流的 ARM 系列 STM32 控制器, 显示模块则采用 LCD12864 实现, 具体的设计框图如图 1 所示。在设计过程中, 需要对设计方案进行充分的比较, 在选择处理器时, 主要考虑是选择 51 系列的单片机和 STM32, 经过对比, 51 系统单片机虽然价格便宜、操作简单, 但是其性能较差, 不能满足系统的稳定性, 而 STM32 性价比高, 控制稳定性好, 而且对于后续系统的升级可以起到很好的准备作用。

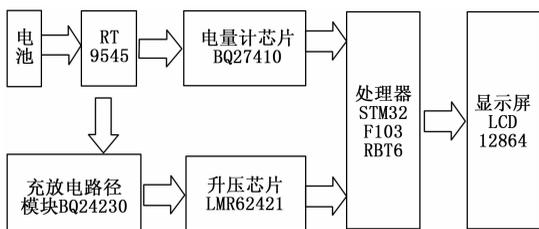


图 1 系统总体框图

2 硬件电路设计

2.1 锂离子电池保护电路设计

锂离子电池的充放电必须设计良好的充放电保护电路, 确保电路在应用过程中具有很好的容错能力, 很多情况下, 如果没有保护电路, 就很有可能在充放电过程中造成电池的损坏, 因此, 设计电池保护电路必不可少, 本设计采用 RT9545 芯片实现, 电路原理图如图 2 所示。

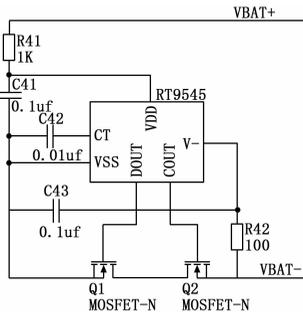


图 2 RT9545 保护电路

其工作原理分析如下: 首先设置好充电电压阈值和放电电压阈值, Q1 和 Q2 相当保护开关。充电电压高于阈值电压时, $VD1=0$, $VD4=1$, 此时 $COUT=0$, Q2 截止, 防止电池过充; 放电电压低于放电阈值电压时, $VD2=0$, $VD=0$, $DOUT=0$, Q1 截止; 此外当电流过大时, 内部短路电路检测模块将会拉低至低电平, $COUT=0$, 此时 Q2 截止, 起到过流保护作用。在锂离子电池充放电过程中, 只要出现电流过大的情况, Q2 则会自动截止, 电路停止工作。

2.2 锂电池充放电路径管理电路设计

电池充放电路径管理采用 BQ24230 芯片实现, 该芯片

具有功率动态管理和动态电源路径管理功能。功率动态管理可限制充电电流的大小, 可防止过电流充电对电池的影响, 动态电源路径管理可对输入电流进行可编程实现, 具有过压保护功能, 而且可以根据编程输入的电压电流值, 预设充电完成时间等, 此外, 该芯片还具有热敏电阻输入, 在充放电过程中可很好的实现高温保护, 并且在温度升高后, 可自动调整降低充电电流。

该电路的原理图如图 3 所示。

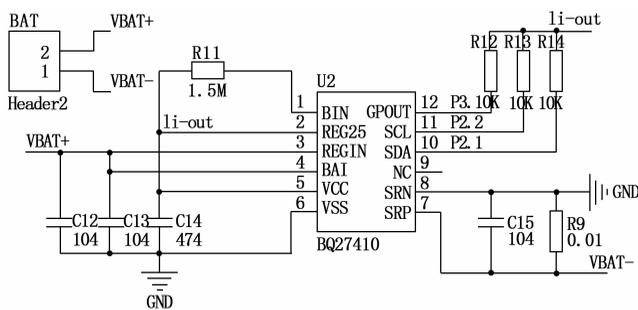


图 3 锂电池充放电路径管理

2.3 锂离子状态信息采集模块

锂离子状态信息采集主要采集对象包含电池剩余电量、电池充放电的电压、电流以及电池的实用老化状态等等, 在此设计中, 信息采集采用 BQ27410 芯片实现, 具体的电路设计如图 4 所示。

该芯片内部集成 LDO, 方便电池直接给芯片供电, 支持充电中断方式的配置, 与系统采用 IIC 协议进行信息通讯, 方便可靠。可实现对电池剩余电量、电流、电压等相关信息的监测与查询, 此外, 对充电状态以及老化程度等也可以进行实时监控。

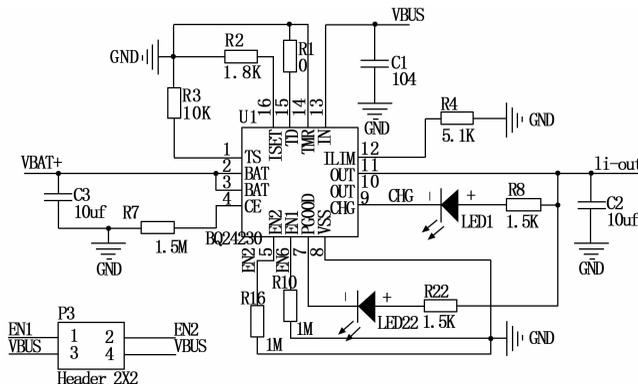


图 4 锂电池状态信息采集

此模块是硬件设计的核心部分, 电池剩余电量、电流、电压等相关信息的监测与查询和充电状态及老化程度都是系统需要完成的核心指标, 因此在设计中应对方案设计进行比较, BQ27410 芯片驱动较简单, 测量的参数满足系统要求, 性价比高。

2.4 DC-DC 升压模块电路设计

DC-DC 升压模块电路设计是系统设计的重要一环, 其主要的设计参数主要是将 2.7 V 的电压升到 5.5 V, 而且

要保持稳定,后面会对 DC-DC 升压模块电路进行专门的测试。系统设计电源模块采用 LMR62421 芯片实现,构成 DC-DC 电路结构。其具体的原理图如图 5 所示。

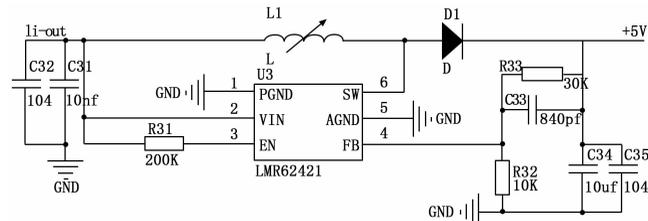


图 5 LMR62421 升压模块电路

该电路的输入电压可从 2.7 V 到 5.5 V,输出可达 24 V,输出电流可达 2A,开关频率高,其升压电路的工作原理就是通过恒定的开关频率和调节占空比来控制内部 NMOS 的关断来实现。可按照芯片的典型电路,根据实际设计的需要调节电容的值,从而得到电路需要的输出电压。

2.5 显示模块电路设计

为了能够对采集到的信息进行可视化管理,系统比较了 LCD 液晶显示模块和数码管显示模块,根据系统需求,选择采用 12864LCD 液晶显示器进行显示,液晶显示器驱动简单,主要显示信息包含电池的剩余电量、充放电的电压、电流信息,以及电池的老化状态等等,液晶显示的结果可以直接反应系统的整个运行状态,为后续的操作提供基础。由于驱动电路很常见,在此不再单独阐述液晶显示模块的电路图。

3 软件设计

根据硬件模块设计,软件设计也包括锂电池状态信息采集模块、显示与信号处理模块,信息处理和传递通过 STM32 单片机的 I²C 总线进行传递。其主函数流程开始后首先进行系统的初始化,然后监测电池是否接入,接入后一直采集电池的信息状态,包括充电状态、剩余电量、电池电流、电池电压和老化程度等信息,然后通过 IIC 协议进行通讯将信号传送给控制系统,最后将测试的结果现在液晶屏上。

另外一个大的部分主要是上位机的测试软件流程,上位机测试软件流程主要为了满足客户的相关需求,要求进行数据可查询,因此在设计工作中,需要根据客户的需求进行数据库系统的设计和建立。一般情况下,可查询数据分 15 天或者 100 个测试数据组进行记录。

系统软件框图如图 6 所示。

4 实验测试

为了验证系统设计的可行性和正确性,需要对设计的各个部分进行单元调试,并在此基础上进行系统的联调,直至满足设计需求。

4.1 充放电管理模块测试

充放电管理模块的测试在系统中属于第一要务,对 BQ24230 充放电管理模块的测试分两种情况进行,其一是

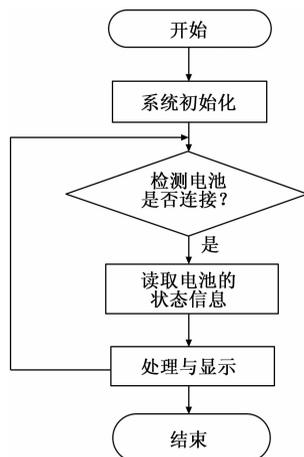


图 6 软件流程图

有 USB 进行供电时,此时电源指示灯点亮,充电指示灯闪烁,直至充满,充满后保持,剩余电流继续给电池充电;另外一种情况是没有 USB 供电时,此时充电指示灯、电源指示灯均熄灭,电池给整个系统进行供电。其具体的测试图如图 7 所示。

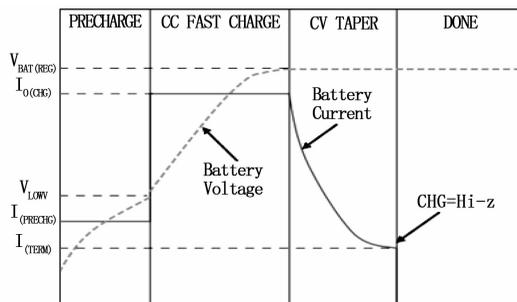


图 7 充电电流的测试图

其中 $I(\text{PRECHG}) = 70\text{mA}$,恒流充电电压为 3.2 V, $I_O(\text{CHG}) = 364\text{mA}$,达到 4.07 V 后电流下降。

电池本身存在内阻,电池在充放电时所测量的电压值会略高于或者略低于电池的开路电压。充电时电池的端电压与剩余容量的关系图如图 8 所示。放电时电池的端电压与剩余容量的关系图如图 9 所示。

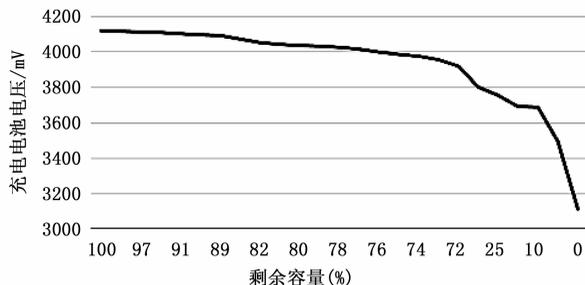


图 8 充电时电池电压与剩余容量的关系图

经过测试,电池充电时电池电压与剩余容量呈现缓慢下降趋势,充电电池电压在 3 800 mV 以上时,剩余电量大于 70% 以上,而且下降过程缓慢,而充电电池电压在 3 600

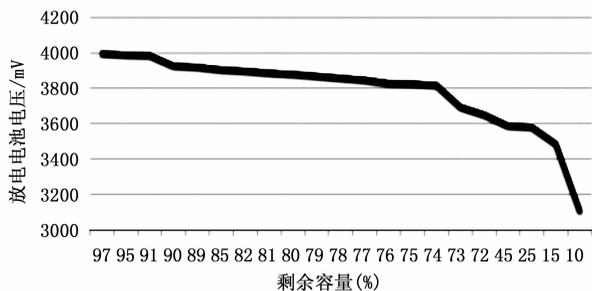


图 9 放电时电池电压与剩余容量的关系图

mV 以下时, 剩余电量会迅速下降到 25% 以下; 从放电时电池电压与剩余容量的关系图同样可以分析出, 当放电电池电压在 3 800 mV 以上时, 剩余电量维持在 70% 以上, 而当放电电池电压下降到 3 600 mV 以下时, 剩余电量会迅速下降到 30% 左右。

在测试过程中, 根据欧姆定律, 可以简单得计算得到电池的阻抗和开路电压, 因为电池的端电压可以测出, 电池内阻也可以直接测得, 基于开路电压测量 (OCV) 曲线的电池剩余容量关系测试关系曲线图如图 10 所示。

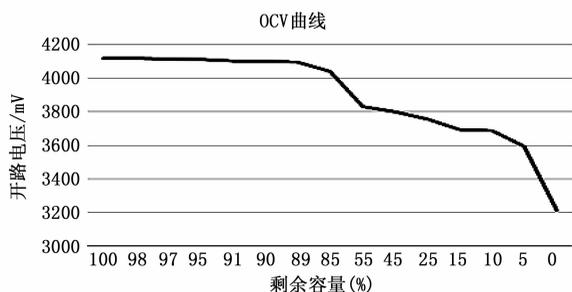


图 10 电池的 OCV 曲线

从电池的 OCV 曲线图可以看出, 开路电压同样在 3 800 mV 以上时, 剩余电量会保持在 70% 甚至 80% 以上, 一旦开路电压下降到 3 600 mV 以下, 剩余容量会迅速下降, 当开路电压到 3 200 mV 时, 剩余容量接近于 0。

4.2 DC-DC 升压模块测试

在设计部分, DC-DC 的设计参数要求是从 2.7 V 电压升压至 5.5 V, 根据系统的要求, 对 DC-DC 升压模块进行测试, 整个测试过程分两个部分进行, 其一是输出电压的稳定性测试, 其二是带负载能力测试, 根据要求, 完成了两个部分的测试, 在测试输出电压的稳定性时, 对输入电压为 3.5 V、3.7 V、3.8 V、3.9 V、4.2 V 的情况均进行了测试, 其测试的结果如表 1 和图 11 所示。

表 1 输出电压稳定性测试

输入电压/V	输出电压/V
3.5	4.998
3.7	4.998
3.8	5.001
3.9	5.001
4.2	5.002

折线图如图 12 所示所示。

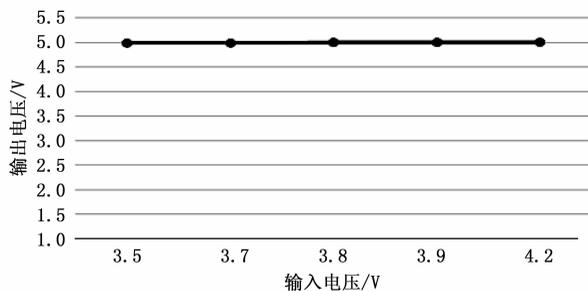


图 11 升压模块输出电压测试图

从输出电压测试的稳定性测试结果可以得出, DC-DC 升压模块稳定度高, 输出电压基本维持在 5 V ± 0.002 V 范围内。

带负载能力测试主要对系统负载为 1 000 Ω、500 Ω、200 Ω、100 Ω、80 Ω、60 Ω 等几种常见的应用负载进行测试, 测试后的输出电压记录在表 2 中, 其折线图如图 12 所示。

表 2 负载能力测试

系统负载/Ω	输出电压/V
1000	5.00
500	5.00
200	5.00
100	4.97
80	4.97
60	4.23

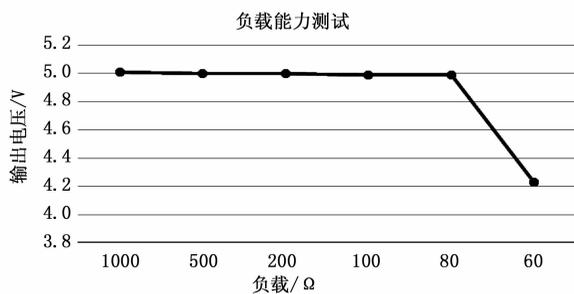


图 12 升压模块负载能力测试图

从带负载能力测试结果可以得出, 该电池所带负载大于 200 Ω 到 1 000 Ω, 输出电压非稳定在 +5 V, 小于 100 Ω 后, 输出电压会有适度下降, 到达 60 Ω 后, 输出电压为 4.23 V, 其后则迅速下降。由此可以在应用时, 对电池所带的负载做出合理的参数说明, 以使得电池应用达到最理想的结果。

5 结束语

本论文从当前锂离子电池充放电管理系统存在的相关问题出发, 总结了设计上存在的问题, 在此基础上, 基于 STM32 嵌入式开发平台, 分析了系统的总体需求参数, 在对系统进行参数分析的基础上, 对各硬件模块进行了精心

设计,此外结合软件设计,完成了一款锂电池充放电管理系统的设计,设计完成后,进行了充电电流测试、充电时电池的端电压与剩余容量的测试、输出电压测试和负载能力测试和设备的长期稳定性试验等,经过试验测试,该系统实现了对锂电池充放电路径管理、对充放电的参数及电池的状态实现了实时准确监测,输出电压稳定,极大提高了电池的使用效率。带负载的能力达到设计要求,该设计成果已经应用在企业项目中。

参考文献:

- [1] 王露,王顺利,陈蕾,等. 动力锂电池等效模型与实验平台搭建方法研究 [J]. 电源技术, 2019, 43 (2): 315-319.
- [2] 刘珊,周哲,区伟明. 基于网络监测的变电站直流系统蓄电池远程充放电控制策略 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019 (10): 230-233.
- [3] 杨磊磊,王顺利,张丽,等. 基于RS485通信锂电池充放电系统控制策略设计 [J]. 电源世界, 2017 (12): 32-36.
- [4] 闫卓武. 基于MMC的规模化电动汽车充放电系统及其控制研究 [D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
- [5] 杨柳,赵雪岑,周平,等. 多节串并联锂电池智能无线充放电系统 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40 (2): 264-271.
- [6] 祁鹏. 基于串并联谐振变换器的锂电池充放电系统设计 [D]. 天津: 河北工业大学, 2016.
- [7] 刘云,王海欣,黄海宏. 退役锂电池充放电系统 [J]. 电器与能效管理技术, 2019 (6): 53-57.
- [8] 武汉市豪迈电力自动化技术有限责任公司. MDC-1000G 蓄电池综合监测及远程放电系统——蓄电池组状态监测、开路监测、失压补偿、故障录波及远程在线放电系统 [J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48 (1): 2-4.
- [9] 张飞龙,王晓琳,顾聪,等. 基于电机定子绕组开路的电机驱动和充放电集成系统研究 [J]. 电工技术学报, 2019, 34 (18): 3778-3787.
- [10] 刘晔宁. 基于多重化BUCK电路的大功率充放电系统研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [11] 王翊. 通信蓄电池远程在线充放电系统的研究 [J]. 通信电源技术, 2019, 36 (12): 20-21.
- [12] 邢治政,黄孙新,李炳介,等. 基于电池仪和放电仪智能化充放电系统的研发 [J]. 科技创新与应用, 2018 (33): 44-45.
- [13] 马里千. 储能用电池管理系统的研究与开发 [D]. 太原: 太原理工大学, 2018.
- [14] 任杰. 蓄电池充放电双向变流器及其多模式控制策略研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [15] 明彤彤,王凯,田冬冬,等. 基于LSTM神经网络的锂离子电池荷电状态估算 [J]. 广东电力, 2020, 33 (3): 26-33.
- [16] 范智伟,乔丹,崔海港. 锂离子电池充放电倍率对容量衰减影响研究 [J]. 电源技术, 2020, 44 (3): 325-329.
- [17] 贺林,胡敏康,石琴,等. 一种分阶段锂离子电池荷电状态估计算法 [J]. 电力电子技术, 2020, 54 (2): 8-11.
- [18] 张涌,张福明,吴海啸,等. 基于改进的二阶阻容等效电路模型的锂电池建模仿真 [J]. 物流科技, 2020, 43 (1): 59-64.
- [19] 王玲玲,陈昕,石宝强. 影响锂离子电池循环寿命的因素 [J]. 电源技术, 2019, 43 (10): 1737-1739.
- [20] 马闯,王宏鑫,刘明远,等. 基于锂离子电池的双向DC/DC变换器仿真 [J]. 农村电气化, 2019 (7): 69-71.
- [21] 何兴,王金伟,刘磊,等. 动力电池充放电过程中温度特性研究 [J]. 电源技术, 2019, 43 (6): 998-1000.
- [22] 陶玉鹏,聂永福,朱红,等. 不同工况下动力电池充放电策略优化研究 [J]. 时代汽车, 2019 (6): 91-92.
- [10] Liu Wei, Anguelov D, Erhan D, et al. SSD: single shot multibox detector [A]. Proceedings of European Conference on Computer Vision [C]. 2016: 21-37.
- [11] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: unified, real-time object detection [A]. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. 2016: 779-788.
- [12] He K, Gkioxari G, Dollár P, et al. Mask R-CNN. [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017 (99): 1-1.
- [13] Lin T Y, Dollár P, Girshick R, et al. Feature pyramid networks for object detection [A]. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) [C]. 2017, Honolulu, HI, USA. New York: IEEE, 2017: 2117-2125.
- [14] IB-TM-2013-002, 民航空管防止跑道侵入指导材料 [S]. 北京: 中国民用航空局空管行业管理办公室, 2013.

(上接第 210 页)

- [5] 赵春梅,陈忠碧,张建林. 基于深度学习的飞机目标跟踪应用研究 [J]. 光电工程, 2019, 46 (9): 3-12.
- [6] Girshick R, Donahue J, Darrell T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [A]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. 2014: 580-587.
- [7] Girshick R. Fast R-CNN [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision [C]. 2015: 1440-1448.
- [8] Ren S, He Kaiming, Girshick R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2015, 39 (6): 1137-1149.
- [9] Dai J F, Li Y, He K M, et al. R-FCN: object detection via region-based fully convolutional network [A]. Proceedings of the 30th Conference on Neural Information Processing Systems [C]. 2016: 379-387.