

基于 HPLC 本地通信技术的电动自行车 充电监控系统设计

刘腾飞*, 李国要

(安徽继远检验检测技术有限公司, 安徽 合肥 230071)

摘要: 近年电动自行车在充电过程中发生的消防安全事故逐年增多, 为避免电动自行车在充电过程中电池发生火灾隐患, 急需开发符合电动自行车使用环境的电池充电监控系统, 通过对电池的端电压、温度和瞬态跌落检测等方法, 综合辨别电池的健康程度, 并通过HPLC本地通信技术, 将采集的电池状态经过充电线路传输到充电机, 充电机会监控并记录每台自行车电池实时安全状态, 控制充电开关。同时将每辆自行车的电池状态形成电子标签上传后台主站和云平台, 为电动自行车电池的健康安全建立档案并为实时充电安全提供高效的监控手段。

关键词: 电动自行车; 监控; HPLC; 电池

中图分类号: TM862

Design of Electric Bicycle Charging Monitoring System Based on HPLC Local Communication Technology

LIU Tengfei*, LI Guoyao

(Anhui Jiyuan Inspection and Testing Technology Co., Ltd., Anhui Hefei 230071, China)

Abstract: In recent years, fire safety accidents in the charging process of electric bicycles have increased year by year. In order to avoid fire hazards of battery in charging process of electric bicycles, it is urgent to develop a battery charging monitoring system for electric bicycles which is suitable for electrical environment. Through the terminal voltage, temperature and transient drop detection methods of the battery, the health of the battery can be comprehensively identified. And through hybrid power line communication (HPLC) local communication technology, the collected battery status is transmitted to the charger through the charging line, the charger monitors and records the real-time safety status of each bicycle battery, and controls the charging switches. At the same time, the battery status of each bicycle is formed into an electronic electronic tag and uploaded to the background main station and cloud platform, which establishes a file for the health and safety of electric bicycle batteries and provides an efficient monitoring method for real-time charging safety.

Keywords: electric bicycle; monitoring and control; HPLC; batteries

0 引言

电动自行车作为我国改革开放以来最具鲜明特色的民生产品之一, 电动自行车以其高效便捷的使用优势, 已经成为千家万户近途出行的必备工具。截至2024年末, 电动自行车的全国保有量已在4亿辆左右, 与此同时其存在的安全隐患也越发得到社会的重视。在2021年9月20日, 北京通州一小区发生电动自行车充电火灾事故, 造成人员伤亡; 在2024年2月23日, 江苏省南京市雨花台区一小区

收稿日期: 2024-05-17

因电动自行车引发火灾, 存在重大人员伤亡事故。根据国家消防救援局披露, 截至2023年全国发生的电动自行车火灾事故有2.1万起, 同比增长约17%, 已对人民的日常生活造成严重的影响。

针对电动自行车与新能源汽车截然不同的应用环境, 及携带的安全隐患问题, 在规范充电场地和充电设施的同时, 更要监控如此大量的电动自行车的电池使用情况, 目前电池多为铅酸蓄电池和锂离子电池, 由于对如此巨量的电池使用缺乏充电安全管理, 应考虑从技术角度提高电池的安全隐患监控能力, 早期发掘电动自行车的电池隐患并及时预警处置。

1 诊断方法评估

1.1 隐患分析

目前电动自行车的电池种类大致分为铅酸蓄电池和锂离子电池，而电动自行车充电火灾事故多发生在电动自行车充电过程中的锂离子电池爆燃，锂离子电池相较于早期的铅酸蓄电池，存在其结构特殊性，锂电池结构主要分为阳极、隔膜、阴极和内部的电解液，见图 1，如果锂电池在骑行过程中遭受多种振动撞击和长期高低温环境，容易导致结构变形和焊接密封失效，一旦正负极之间的保护隔膜刺穿破裂，将会引发正负极短路和电池爆燃^[1]。

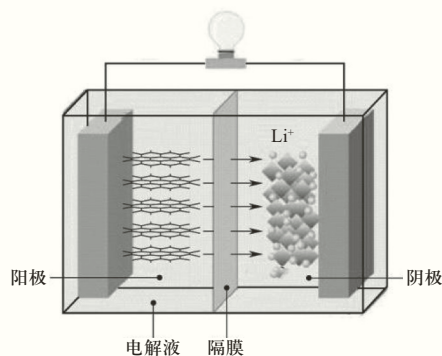


图1 锂离子电池结构示意图

同时锂离子电池使用金属锂作为反应材料，如果生产工艺问题导致使用过程中密封失效且侵入大量水分，在充电中电池受热且金属锂与水反应，损坏隔膜引发火灾。

另外在电动自行车充电过程中，使用人员缺乏用电安全意识，滥用不兼容的或不合格大功率充电器，导致铅酸电池电解液高温沸腾，锂离子电池会发生壳体鼓包、电解质泄露、隔膜失效等安全风险^[2-3]。

1.2 诊断方法

结合以上电动自行车电池在使用过程中的各类隐患，须考虑电动自行车电池与电动汽车不同的使用环境和自身特性，须制定符合实际现场应用的诊断方法。

1.2.1 温度一致性监控

电动自行车电池充电是发生电池爆燃的高危阶段，当电池发生燃爆之前，其内部已经出现微短路和发热膨胀，须分别监控串并联的电池模块，如发生有电池表面温度高温情况，可通过表面温度监控提前感知。例如传统的铅酸电池在频繁充放电过程

中会产生热量，且过充会发生电解液沸腾，表面温度升高；而锂离子电池频繁充放电在电能转换过程中产生过多热量，进而发生鼓包泄露等次生危害，同时锂电池长期高温会导致内部晶枝生长和隔膜破损，影响锂电池的使用寿命，因此电池模块的温度一致性监控对传统铅酸电池和锂离子电池均有较好的安全检测效果^[4]。

电池温度一致性监控计算公式为：

$$\overline{\Delta T} = \frac{\sum_{n=1}^n \Delta T_n}{n} \quad (1)$$

$$w_n = \overline{\Delta T} - \Delta T_n \quad (2)$$

式中： $\overline{\Delta T}$ 为各电池温度差值平均值； ΔT_n 为第 n 块电池温度差值； n 为电池数量； w_n 为温控阈值。

在电动自行车充放电过程中，当 w_n 超过设定值，即可认为此模块电池温度超温，须进行电池异常预警^[5]。

1.2.2 端电压一致性监控

电动自行车内部串联回路电池多为同型号同年份电池组，由于其工况和长期工作状态相同，所以在同一台电池组中各模块电池应该高度一致，端电压和电池容量相近，所以如果电池发生内部短路，相应的模块电池内部参数也会改变，其端电压与其他正常电池间的端电压一致性发生偏离，当偏离指标超过指定要求，可认为此模块电池电压一致性超差，进行端电压异常预警^[6]。

端电压一致性监控预警公式为：

$$\overline{\Delta U} = \frac{\sum_{n=1}^n (U_i - U_n)}{n} \quad (3)$$

式中： $\overline{\Delta U}$ 为第 i 个电池模块一致性差值； U_i 为第 i 块电池电压值； n 为电池数量； U_n 为第 n 块电池电压。

1.2.3 电压跌落-回升监控

对于在正极和负极具有隔膜结构的锂离子电池，由于长期颠簸和生产工艺问题，其内部多孔保护隔膜会发生老化并发生微短路。其内部发生微短路时会有短暂的电池电压暂降回升的现象，该现象是由于电池内金属集流体在多孔隔膜结构附近发生短路，使电池电压发生骤降见图 2，当产生高温速溶使短路断开，电池电压又有所回升，恢复电池的隔膜把保护结构。如果发生微短路的锂离子电池不进行有

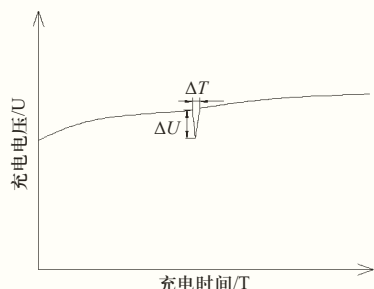


图2 微短路示意图

效介入，会不断出现微短路并因为高温速溶导致隔膜结构发生破坏，一旦隔膜失去正负极保护能力，锂离子电池便会发生短路燃烧，所以对锂离子电池前期的微短路现象应进行有效监控。

1.2.4 防误报措施

不管是温度一致性监控还是端电压一致性监控，对监控系统模拟量采集的准确性和连续性提出要求，由于电动自行车为简便的交通工具，应考虑其路面颠簸和潮湿恶劣等使用环境，为温度采集量和电压采集量保留一定余量空间的同时应避免瞬态干扰，在固定采样频率的同时，可剔除个别极大值，然后求和取平均值，保证采样的平稳性，防止电压和温度模拟量干扰导致的误报情况。

对于陶瓷隔膜电池组跌落-回升监控现象，需要考虑监控系统的采样频率能否满足暂态跌落回升时间，在此应摒弃计量芯片直接改用 MCU 模数转换，提高处理器采样频率，才能更好地满足波形的采样精度，同时应滤除采样抖动，确定跌落深度阈值和跌落宽度等参数，防止误报情况发生。

2 HPLC 载波通信

有统计显示，电动自行车在充电过程中引发的自燃火灾事故超过 80%，所以电动自行车消防安全应重点考虑充电过程中的电动自行车的电池信息监控。监控系统在根据上述方法检测电池后，须将数据和预警信息传送到客户或者充电桩运营商，及时排除安全隐患。

电动自行车充电管理系统拥有庞大的充电节点，且系统充电端口需要灵活切换，不能给用户增加充电的附加流程等各种客观要求，选择可靠的 HPLC 本地通信技术，以减少用户充电过程中的电动自行车与充电桩的交互工作。电池监控模块安装在电动自行车电池仓内部，当用户将充电口插入电动自行

车充电桩开始充电时，电池仓内的 HPLC 本地通信单元通过直流充电线，在充电器内以耦合变压器耦合的方式将宽带载波信号经交流电源线路传入电动自行车充电系统，从而完成电动自行车和单车充电系统之间的充电过程电池信息交互^[7]。

须注意的是，由于目前市面所用的充电器均为开关电源，如须将载波信号从直流侧倒送到交流输入侧，须在直流和交流侧之间增加宽带载波耦合变压器，在保证电压隔离的同时保证高频载波的传输^[8]，见图 3。

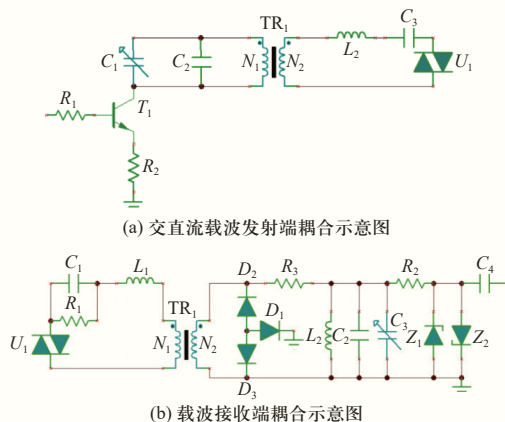


图3 交直流载波发射端耦合示意图

3 监控模块

监控模块安装在电动自行车控制回路，以低成本、高性能、高可靠性为基本原则，保证监控模块能够经受震动、高低温、潮湿等环境影响。以常见的电动自行车 4 节一组电池为对象进行设计，须考虑 4 路端电压和 4 路温度采集，采用高性价比工业级 MCU 作为主控单元，温度传感器选用 NTC 无薄膜热敏电阻，监控模块外壳采用 PC/ABS 阻燃材料，该材料有较高的热变形和热稳定性，可有效保护监控模块，同时电路板所有摇摆臂结构均以硅橡胶加以固定，提高电路抗机械振动能力^[9]。

4 充电设施监控预警

目前在居民社区等人员密集场所，使用充电桩对电动自行车进行集中充电已成为趋势。由于成本问题，很多充电设施仅满足基本的用电需求，无法提供安全可靠的电池监控和保护手段。根据以上设计方案，电动自行车和充电桩均需配套宽带载波通信模块，由于充电桩在实际充电时为一对多，须灵

活匹配多个充电端口的本体通信；同时充电桩应能在所有充电用户不介入的前提下，避免端口混乱的问题，准确区分每个充电端口的电动自行车，须在每个充电端口须单独安装宽带载波接收模块进行一对一接收，将每个充电的电动自行车的电池监控状态通过宽带载波的方式汇总到充电桩。

充电桩在通过串行通信汇总的各路电动自行车电池信息。如通过某个充电端口接收到宽带载波通信充电请求，充电桩立即发送总招命令，读取申请充电电池信息，如电池温度、端电压等显示正常，则向系统后台提示电池检测正常，申请闭合开关进行充电。在充电过程中，充电桩各个充电端口设定固定背景扫描时间，读取对应的电池状态和跌落回升事件信息，若发生预警信息及时通过宽带载波通信上传充电桩，充电桩根据预警方案控制充电开关断开，并通过 GPRS 将告警信息上送管理平台，及时告知充电桩运维人员和充电客户^[10]，见图 4。

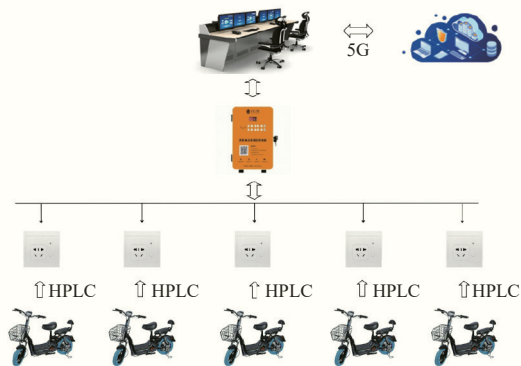


图4 充电桩运行拓扑图

5 注意事项

由于在电动自行车加装电池监控系统，首先须考虑成本问题，可选用低成本高可靠 MCU 平台及其低成本高可靠性外围部件，以满足严苛的成本要求。

关于可靠性问题，由于电动自行车电池监控系统为车载模块，对其可靠性要求较高，如果电池监控模块出现异常，根据以上设计思路，将直接影响电动自行车的充电功能，所以须考虑其长期运行、高低温环境、湿热环境、浸水运行、振动耐久、跌落、挤压等多方面可靠性测试，方可保证电池监控模块的可靠运行。

由于充电器开关电源内部的重载频率大约 20 kHz，而宽带载波信号频率在 2 MHz~12 MHz 范

围，正常情况电源开关信号不会影响宽带载波通信，但仍需考虑其开关变压器高频噪声产生的空间干扰和直流侧纹波影响，应选择高效的载波耦合变压器，且安装空间尽量与开关电源变压器保持距离，且须处理交直流绝缘隔离工作。

6 结束语

电动自行车电池在充电过程中存在较高的消防风险，为避免电动自行车在充电过程中电池发生安全隐患，须为电动自行车开发符合电动自行车使用环境的电池充电监控系统，通过对电池的端电压、温度和瞬态跌落监控，综合辨别电池的健康程度。模块在充电实施过程中采用电力系统广泛应该用的 HPLC 本地通信技术，不仅节省了人为链接电池监控系统与主控设备的通信环节，也无需增加充电回路的通信线路，节省线路成本，同时保证了电动车电池充电监控系统在充电过程中通信质量，为电动自行车电池的充电安全提供实时的监控手段。

参考文献

- [1] 刘承鑫,李梓衡,陈泽宇,等.储能锂离子电池高温诱发热失控特性研究[J/OL].储能科学与技术,1-8[2024-05-17].<https://doi.org/10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0121>.
- [2] 李紫轩,荣凌合,王新改,等.基于 NTC 温度传感器的锂电池内部温度监测技术研究[J].电源技术,2024,48(2):276-283.
- [3] 李浩然.基于安全监管系统的电动自行车电池全流程安全管理模式探索[J].中国消防,2022(S1):64-66.
- [4] 周小岗,王文新.一种低成本的电池管理系统设计[J].现代信息科技,2022,6(5):57-59.
- [5] 潘岳,韩雪冰,欧阳明高,等.锂离子电池内短路检测算法及其在实际数据中的应用[J].储能科学与技术,2023,12(1):198-208.
- [6] 高兴奇.锂离子电池内短路特性及其检测方法研究[D].大连理工大学,2022.DOI:10.26991/d.cnki.gdllu.2021.002423.
- [7] 徐肃,王飞,刘永胜,等.基于宽带电力线载波的工控系统通信网络设计[J].内蒙古电力技术,2023,41(5):19-27.
- [8] 栾玉静.基于电力线宽带载波通讯技术的智能家居控制系统的设计[J].软件,2023,44(6):116-118.
- [9] 周钰喆.电动自行车火灾防控系统的设计[J].电子技术,2024,53(3):226-227.
- [10] 李晓峰,张珂,安安凯.基于 SOC 主动均衡和健康诊断的电动自行车锂电池智能保护器[J].电子制作,2024,32(3):81-84,17.

作者简介

刘腾飞(1986—),男,本科,高级工程师,主要研究方向为电力系统配电网智能化远方终端的研发和应用,E-mail:15030197801@163.com。

李国要(1981—),男,本科,工程师,主要从事配电网软件安全和信息技术工作,E-mail:64770950@qq.com。

(责任编辑:张峰亮)