

# 一种商用车低压锂电管理系统设计方案

李宇鹏 唐杰 潘琳 闫碧琨 李波

陕西重型汽车有限公司汽车工程研究院 陕西 西安 710200

**摘要:** 传统商用车起动供电依赖铅酸电池,但其寿命短、重量大且污染严重。随着锂电池技术进步及环保政策推动,低压锂电池凭借高能量密度、长循环寿命和环保特性,逐步替代铅酸电池,助力车辆轻量化与绿色转型。文章对低压锂电系统组成、设计原理进行详细介绍,尤其对电池管理系统接触器选型、启动控制保护、无线模块设计进行着重介绍,探究表明低压锂电系统在商用车上的应用具有可行性。通过技术应用可降低整车重量及综合成本,同时提升产品安全性、可靠性以及智能化水平,文章设计思路和方案也为后续商用车电源系统的开发提供参考。

**关键词:** 辅助电源; 低压锂电; 电池管理系统; 接触器; 启动控制; 无线模块

## 前言

传统商用车依赖铅酸电池作为辅助电源(如启动、照明、电子设备供电),但铅酸电池存在寿命短(通常2-3年)、能量密度低(约30-50Wh/kg)的缺点。低压锂电(如LiFePO<sub>4</sub>)能量密度可达100-150Wh/kg,循环寿命超过2000次,可大幅减少更换频率。此外低压锂电可直接替换铅酸电池,无需改造车辆原有24V电气系统,例如,欧洲部分电动公交已采用12V锂电系统,作为400V主电池的辅助电源,协同管理空调、制动助力等设备。为确保电池性能良好,延长电池使用寿命,必须对电池进行合理有效的管理和控制,为此国内外均投入大量的人力物力开展广泛深入的研究,例如德国博世(Bosch)开发了针对商用车低压锂电的电池管理系统(BMS),通过均衡算法减少单体差异,提升系统寿命;欧洲研发团队通过预热电路设计,使低压锂电在-20°C环境下仍能维持70%放电效率<sup>[1]</sup>。

本文将探讨一种适用于商用车的低压锂电系统方案来有效控制充放电和过流过压,保证电源系统处于稳定可靠的工作状态,同时通过接触器选型、启动控制保护、无线模块设计提升低压锂电系统的安全性、智能化。

## 1 低压锂电系统组成

商用车低压锂电池主要由锂离子电池单体、电池管理系统(BMS)、外壳、连接线束和散热装置等组成。

### 1.1 锂离子电池单体

#### 1.1.1 正极组成及功能

通常由锂金属氧化物制成,如磷酸铁锂(LiFePO<sub>4</sub>)、钴酸锂(LiCoO<sub>2</sub>)等。这些材料能够在充电时将锂离子嵌入晶格中,放电时再将锂离子释放出来,从而实现电

池的充放电功能。

#### 1.1.2 负极组成及功能

一般采用石墨等碳材料,也有使用硅基材料或其他合金材料的。在充电过程中,锂离子从正极脱出,通过电解质迁移到负极并嵌入负极材料的晶格中;放电时则相反,锂离子从负极脱出回到正极。

#### 1.1.3 电解质组成及功能

锂离子传输的介质,通常为含有锂盐的有机溶液或聚合物凝胶。

#### 1.1.4 隔膜组成及功能

一种具有微孔结构的薄膜,位于正负极之间,用于隔离正负极,防止短路。同时隔膜的微孔允许锂离子通过,确保电池内部的离子传导。

## 1.2 电池管理系统(BMS)

实时监测电池组的各项参数,包括每个电池单体的电压、电流、温度等信息,以便准确掌握电池的状态<sup>[2]</sup>。根据监测单元获取的数据,对电池组进行控制和管理。具备过充保护、过放保护、过流保护、短路保护等安全功能。

## 1.3 外壳

主要用于保护电池内部的各个部件,防止受到外界的物理冲击、水分侵入、灰尘污染等。同时外壳还能起到一定的绝缘作用,确保电池在使用过程中的安全性。

## 1.4 连接线束

用于连接电池单体、BMS、充电接口、放电接口以及车辆上的各种用电设备,实现电池与外部设备之间的电气连接,确保电流能够在电池组与用电设备之间顺畅传输。

## 1.5 温度控制装置

由于低压电池用于起动和短时间驻车用电,放电时长较短、发热功率较低,目前主流的方案都是采用自然散

**作者简介:** 李宇鹏,男,就职于陕西重型汽车有限公司,从事汽车产品设计

热的方式。加热膜通常与电池管理系统（BMS）配合工作，根据监测到的电池温度信息，自动控制加热装置。

## 2 低压锂电管理系统设计原理

本研究设计了一种低压锂电管理系统，该系统具备启动和短路保护、支持手机以及主机厂大数据平台远程监控功能。本技术主要从接触器选型、启动控制保护、无线模块设计三个方面展开。如图1

### 2.1 接触器器件选型

继电器以及金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）为电源管理系统硬件回路核心器件，主要功能包括开关、放大、整流、电平转换、保护功能。在开关速度、导通电阻、电性能等方面各有优劣，但是基于快速充放电以及精确控制、集成度需求，选用

MOSFET，针对劣势通过电路设计进行优化。如表1

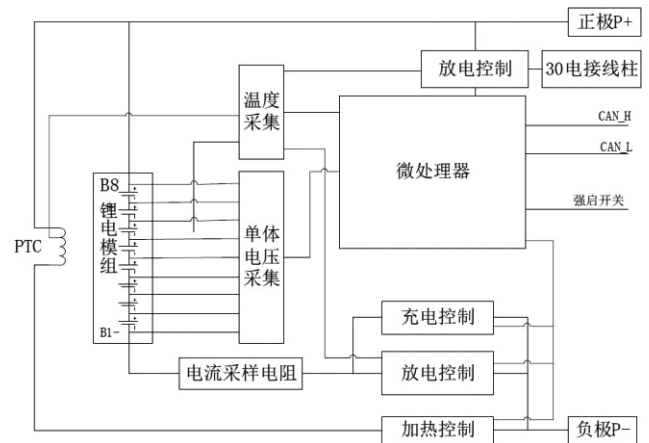


图1 低压锂电系统原理框图

表1 MOSFET与继电器性能优劣对比

序号	比较项目	MOSFET	继电器
1	开关速度	快，一般在纳秒到微秒级别	慢，一般在毫秒级别
2	导通电阻	小，一般为毫欧级别	大，一般在几十毫欧到几百毫欧之间
3	控制精度	通过改变栅极电压，可精确控制导通程度，控制精度高	控制相对复杂，需考虑吸合、释放时间等参数，控制精度低
4	集成度	可容易集成到集成电路中，便于实现BMS小型化和智能化设计	内部含机械结构，体积大，不利于系统小型化
5	无机械磨损	属于半导体器件，无机械运动部件，无机械磨损和接触不良问题	触点频繁开关会产生机械磨损，可能导致接触电阻增大、接触不良
6	耐压能力	一般较低，通常在几十伏到几百伏，高电压系统需多个串联	高，常见可达几百伏甚至上千伏，适用于各种高电压系统
7	过流能力	相对较弱，无法承受瞬间大电流冲击	强，能承受大电流，可应对大电流充放电或短路情况
8	反向耐压	存在反向耐压问题，需防止反向电压，设计复杂	反向耐压能力强，无需特别考虑反向电压保护
9	驱动电路	需专门驱动电路提供合适栅极电压和电流，设计复杂	需控制电磁线圈通断，提供足够驱动电流和合适电压，控制复杂
10	隔离性能	导通时不存在电气隔离	触点断开时能提供良好电气隔离，隔离电阻高
11	可靠性	在一般工作环境中可靠性较高，但在恶劣环境下性能可能受影响	在恶劣工作环境中性能相对稳定，可靠性较高

针对MOSFET在与继电器的比较中存在耐压能力有限、过流能力相对较弱、存在反向耐压问题以及驱动电路复杂等缺点，主要通过以下技术手段进行优化。

2.1.1 针对耐压能力有限的问题：把多个MOSFET串联起来，能提高整体的耐压能力。需控制各MOS管的参数一致性以及均压问题。可以采用均压电阻或者动态均压电路，保证每个MOSFET承受的电压均匀。

2.1.2 针对过流能力相对较弱的问题：将多个MOSFET并联使用，能够增大电流承载能力。但要注意并联MOSFET的均流问题，可通过采用均流电感、优化印刷电路板（PCB）布局等方式，确保各个MOSFET的电流均匀分配。

2.1.3 针对存在反向耐压问题：添加反向二极管：在MOSFET的源极和漏极之间并联一个反向二极管，当出现反向电压时，二极管会导通，从而保护MOSFET不受反向电压的损坏；

2.1.4 针对驱动电路复杂的问题：使用集成驱动芯片可以简化驱动电路的设计。这些芯片通常集成了MOSFET驱动所需的各种功能，如电平转换、过流保护、欠压保护等，能够提高驱动电路的可靠性和稳定性；

### 2.2 启动控制保护

启动控制保护是检验低压锂电系统设计水平的关键功能之一。目前低压锂电系统因电压（24V）较低、负载电容较小，通常无需预充回路<sup>[3]</sup>，但需重点监控以下关键

参数:

2.2.1 状态检测: (1) 判断电池是否具备启动能量(如24V系统需  $\geq 23.5V$ ), 若24V系统电压  $< 23.5V$ , 说明电池电量不足, 禁止启动(避免深度放电损坏电池)。(2) 防止低温下大电流放电或高温下电池损伤(通常允许范围 $-20^{\circ}C \sim 60^{\circ}C$ , 需根据电池特性调整), 电芯温度低于 $-20^{\circ}C$ 时, 电池内阻增大, 大电流放电可能导致锂枝晶生长, 需加热后启动(若系统配备加热功能); 电芯温度高于 $60^{\circ}C$ 时可能存在热失控风险, 需冷却后启动。(3) 荷电状态(SOC)  $\geq 30\%$ , 健康状态(SOH)  $\geq 60\%$ (避免老化电池强制启动), SOC过低时启动易导致电池过放, SOH过低时电池内阻大, 启动效率低且风险高。

2.2.2 启动电流限制: 直接闭合主接触器启动, 但通过电流传感器+软件限流防止冲击电流过大(如限制启动电流  $\leq$  额定电流的2倍, 持续时间  $\leq 30ms$ )。

### 2.3 无线模块设计

近程或远程故障诊断、数据刷写、参数优化、状态分析等需依靠内置无线模块实时将数据发送出来, 目前主流有两种通讯方式无线蓝牙及5G模块。无线蓝牙和5G模块设计需兼顾通信稳定性、功耗控制、抗干扰能力及车载环境适配性, 从硬件架构、软件功能、集成设计进行设计。

#### 2.3.1 硬件架构设计

##### (1) 蓝牙模块选型要点

采用低功耗蓝牙(BLE) 5.2/5.3芯片(如Nordic nRF52840、TI CC2642R), 支持远距离传输(200米以上)和抗干扰跳频技术。集成陶瓷天线或PCB天线, 天线位置远离金属部件(如车架、电池壳体), 避免信号遮挡。

##### (2) 蓝牙模块电路设计

电源管理: 通过低压差稳压器(LDO)提供3.3V稳定供电, 待机功耗  $< 1mW$ , 通信状态功耗  $< 10mW$ 。

静电放电保护(ESD保护): 在通用异步收发传输器(UART)接口并联瞬态电压抑制二极管(TVS管), 防止车载环境中的静电冲击(如人体接触、线束感应)。

抗干扰措施: 蓝牙模块与BMS主控芯片间采用屏蔽罩隔离。射频线路做 $50\Omega$ 阻抗匹配, 降低信号反射损耗。

##### (3) 5G模块选型要点

采用车载级5G模组, 支持LTE/5G双模、NSA/SA组网, 兼容车载环境的宽温( $-40^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$ )、振动、电磁兼容(EMC)要求。

集成多频段天线(覆盖n1/n3/n5/n7/n8/n28/n41/n77/n78/n79等商用频段), 支持多输入多输出(MIMO)技

术提升传输稳定性。

#### (4) 电路设计

电源管理: 通过直流-直流转换(DCDC转换器)提供5V/12V供电, 内置过压保护(OVP)和浪涌抑制电路(承受车载16V~32V宽电压输入)。

散热设计: 5G模组集成功率放大器(PA), 需焊接金属散热片并贴合电池箱体, 通过金属壳体导出热量。

### 2.3.2 软件功能设计

#### (1) 蓝牙通信协议层设计

应用层: 自定义数据格式(如JSON/二进制), 包含电池ID、电压/电流/温度值、故障码等字段。

安全层: 支持蓝牙安全简单配对(SSP), 防止未授权设备接入; 数据传输加密防止窃听。

功耗优化: 空闲状态进入深度睡眠模式(电流  $< 10\mu A$ ), 仅在接收到唤醒指令时激活。采用自适应发包间隔: 正常状态下1秒传输1次, 故障状态下100ms高频传输。

#### (2) 5G模块通信协议层设计

传输层: 采用轻量级物联网协议(MQTT协议), 支持QoS 1级消息可靠性, 减少流量消耗。

网络层: 集成专用网络接入(APN)功能, 确保数据传输至车企私有云或第三方平台。

容错机制: 弱网环境下启用本地缓存(如存储24小时数据), 网络恢复后批量补发。支持双网络备份(5G+LTE), 自动切换确保通信不中断。

### 2.3.3 集成与抗干扰设计

射频线采用屏蔽同轴电缆, 电源/信号线与射频线保持  $\geq 5cm$ 间距, 避免串扰。通过CISPR 25 Class 5认证, 抑制射频干扰(RFI)对车载CAN总线、ABS等敏感设备的影响。5G模组发射功率控制在23dBm以内, 避免对车载雷达(24GHz/77GHz)产生谐波干扰。

### 结论

文章通过对低压锂电组成结构详细分析、电池管理系统核心功能(过载、智能保护、无线通讯)设计, 充分证明了商用车领域低压锂电可完全取代并且优于传统的铅酸蓄电池, 文章提出的设计方案为新后续产品设计和应用提供参考。

### 参考文献

- [1]刘刚.电动汽车BMS关键技术现状及发展趋势[J].时代汽车,2021,19(19):1-3.
- [2]范焯,陈秋霞,倪丽慧.移动机器人的锂电池BMS管理系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2019,19(2):45-48.
- [3]谢璞光,范程程,涂斌等.一种乘用车的电源管理系统[J].汽车电器,2021,(7):12-15.