动力锂离子电池管理系统的研究进展

雷晶晶，李秋红，陈立宝，张金顶，王太宏

（湖南大学微纳光电器件及应用教育部重点实验室，物理与微电子科学学院微纳技术研究中心，湖南长沙410082）

摘要：锂离子电池是发展电动汽车的最具潜力的能源载体之一，从锂离子电池应用于电动汽车的研究现状出发，阐述了锂离子电池管理系统对于锂离子电池组的重要性以及研究的必要性。介绍了动力锂离子电池管理系统的发展现状，包括电池组外部参数的在线检测、SOC估计以及电池组的均衡，并对动力锂离子电池管理系统未来的发展方向做出了展望。

受到能源危机和环境保护等因素影响，纯电动汽车做为一种新兴的交通工具，由于其能源利用率高、无排放、噪声小以及能量来源多样化等优点成为汽车工业一个重要的研究领域。传统的电动汽车存在续航里程有限、蓄电池使用寿命太短以及蓄电池尺寸和质量的制约等缺点，而锂离子电池具有高能量密度、高工作电压、无记忆效应、循环寿命长、无污染、质量轻、自放电小等特点，可以很好地解决以上问题，所以基于锂离子电池的电动汽车受到越来越多人们的关注，锂离子电池已经成为纯电动汽车的候选能源之一。目前，包括本田、丰田、通用等世界主要的汽车制造商都有在2010年推出锂离子电动汽车的计划，国内的比亚迪、吉利、奇瑞也都有类似的计划。

纯电动汽车的电压要求一般在100V以上，为了达到这个工作电压，必须把几十个乃至上百个单体电池串并在一起，比如文献[5]所报道的万向电动汽车，使用了84只锂离子电池单体串联。电动自行车一般要求电压在48V左右，所以用于电动自行车的锂离子电池组一般由12～13个单体电池组成。

由于锂离子电池的生产工艺限制，锂离子电池单体之间存在容量、电压、内阻等等的不一致，即使在同一批电池中也会存在差异。另外，即使是电池组在出厂的时候一致性比较好，在以后的使用过程中，这种不一致会随着电池组的循环次数的增加而增加。

锂离子电池组中，单体不一致会造成电池组无法发挥最大容量，而且会极大地缩短电池组的使用寿命。另外，由于锂离子电池的特殊性，在使用中如果发生过充、过放及过流等，会对电池造成不可逆的损坏，甚至造成安全事故。所以，在锂离子电池组用于电动汽车之前，首先要解决的问题之一就是对电池组的管理。

1动力锂离子电池管理系统研究现状

早期的锂离子电池管理系统一般只具有监测电池电压、温度、电流以及保护等简单功能，随着锂电池越来越多地应用于大功率设备，如电动汽车，对电池管理系统的要求越来越高，锂离子电池管理系统的功能也越来越强。一般认为，锂离子电池组管理系统应具有以下几个功能：电池组外部参数的检测、电池状况判断和剩余电量的估计、电池组的充放电控制、电池电量均衡、提供与外部设备通信的功能。目前电池外部参数的检测技术已趋于成熟，现在锂离子电池管理系统研究的重点是电池剩余电量估计和电池组的均衡。

1.1电池外部参数的检测

电池外部参数的检测主要包括电池组中单体电池电压、工作电流和电池温度的检测。通过这些参数可以判断电池的工作状态。

1.1.1电压的检测

在所有的电池参数中，锂离子电池的电压最能体现电池的状况。锂离子电池过充过放的依据即是锂离子电池的端电压，也可以通过测量端电压初步估计锂离子电池的SOC。所以对锂离子电池的电压进行实时检测是非常重要的。锂离子电池组的检测方法主要有四种。传统的测试方法是用继电器和电容做隔离处理。

其测试原理是：首先通过电容对电池电压进行取样，再通过检测电容的电压就可以得到电池的电压。第二种方法是浮动地技术测量电池端电压，测量时窗口比较器自动判断当前地电位是否合适，如果正好，启动A/D进行测量，如果太高或太低，则通过控制器经D/A对地，对电位进行浮动控制。第三种方法是共模检测法，共模测量是相对同一参考点，利用精密电阻等比例衰减测量各点电压，然后依次相减得到各节电池电压。第四种方法是差模检测法，采用运算放大器消除电池两端的共模电压，完成对电池电压的采样。

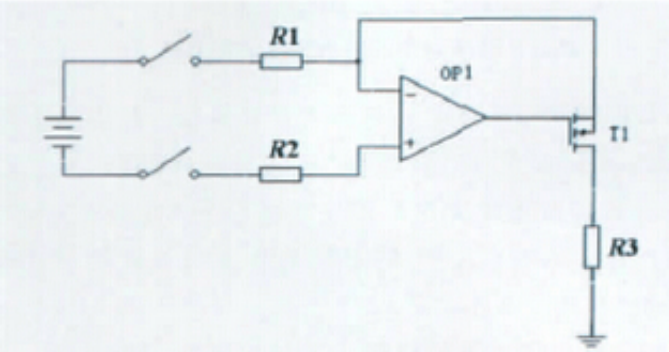

图 1　一种差模检测电路图

第一种测量方法原理简单，但是检测精度低，且检测时间长。浮动地技术测量由于地电位经常受现场干扰发生变化，不能对地电位进行精确控制，因此会影响整个系统的测量精度。共模测量法电路简单，测量精度低，只适合于串联电池数较少或者对测量精度要求不高的场合。差模测量法精度比其他三种方法都好，如图1所示的差模检测电路，适用于12节以下的串联电池组。在电池组单体电池数量比较多的情况下，一般是以12节为一个电压检测模块，再通过总线把所有模块连接在一起。差模检测电路中，由于电压测量电路漏电流的影响，会造成电池组靠近负极的电池的电量消耗过多，导致电池组的不一致。

解决办法：一是提高检测电路的输入阻抗；二是在检测回路中加入控制开关；三是在电池组合的过程中，可使靠近电池组负极的电池容量稍大于靠近正极的电池容量，这样有利于减少因电压检测电路所引起的电池组的不一致。

在实际工程应用中，还有一种方法是对每个电池配置一个带A/D转换的单片机，或者电压检测芯片，这些单片机或者专用芯片由主控单片机统一控制，检测到的数据再通过一个光耦隔离传递给主控单片机。目前也有一些芯片厂商推出一些专用于锂离子电池组电压检测的芯片，如Linear公司推出的LTC6802，可以对4～12节的锂离子电池组进行电压检测，大大降低了电压检测的复杂度。

1.1.2电流和温度的检测

电池组的工作电流和温度也是电池组一个重要的参数，可以通过电流判断其是否出现过放和过流，还可以通过计算电流与时间的积分，估计电池的SOC等。而检测电池组的温度主要为了防止电池组温度过高，防止发生安全事故，检测温度一般是在电池组中加入多个温度传感器，检测电池组中各个点的温度。由于动力锂离子电池组的电流往往比较大，电流的检测一般采用霍尔电流传感器。

1.2 SOC检测

SOC（StateofCharge）的定义为电池组的荷电状态，也可以通俗理解为剩余电量。随着锂离子电池组在电动汽车中越来越多的应用，电池组的SOC检测对于电动汽车的运行极其重要，SOC决定了电动汽车的续航里程。由于电池组的特殊性，电池组的SOC受诸多因素影响，包括工作电流、温度、自放电以及电池组的循环次数等，所以检测比较困难。

1.2.1 SOC检测的现状

SOC的检测方法目前应用较多的有开路电压法、库仑计量法、内阻法、卡尔曼滤波法等等。开路电压法是目前最简单的方法，根据电池的特性得知，开路电压和电池的容量存在一定的函数关系，当得知电池的开路电压，就可以初步估算电池的SOC。这种方法在充电初期和末期效果比较好，缺点在于精度不高，而且只适用于静态检测，不适合在线检测。

内阻法和开路电压法一样，也是利用电池内阻和电池的电量存在的一定的函数关系来判定电池的SOC，一般用于铅酸电池和氢镍电池。锂离子电池组内阻的在线测量包括了接触电阻以及单体电池的轮换选择，因此内阻测量误差较大，而由于锂离子的整个循环过程中内阻变化不大，所以靠内阻来判断锂离子电池组的SOC准确性也比较差。

库仑计量法是通过计算电池组电流与时间的积分，计算锂离子电池组充入和放出的电量，再与电池的额定电量比较即可得知电池组的SOC。此方法简单、稳定、精度也相对比较好。但这种方法是建立在对电流精确测量的基础上的，电流测量的误差直接影响SOC的计算，而且会出现累计误差[18]。另外，受锂离子电池在低温下和大电流下的放电效

率下降及自放电等影响，进一步降低了SOC的检测精度。所以库仑计量法的关键在于后期的校正。

1.2.2 SOC检测的发展趋势

在目前的应用中，对SOC精度要求比较低的管理系统一般可以采用简单的开路电压法，而对SOC精度要求比较高的系统，比较好的选择是库仑计量法。库仑计量法的关键是后期的校正，目前常用的方法是采用电压校正，与开路电压法相结合，检测精度有所提高。目前研究的神经网络或者卡尔曼滤波法等，考虑一些电池组循环变化、电池老化、温度等影响，SOC的检测精度会进一步提高。但是神经网络和卡尔曼滤波法的算法复杂，目前还未得到具体的应用。

目前实现电池SOC的芯片很多，比如TI的BQ27Zxxx系列、BQ2060，MAXIM的DS2786、DS2781/2788等。除了TI的BQ27Zxxx是采用阻抗跟踪法之外，其他都是采用的库仑计量法。不过这些芯片一般都是用于笔记本电脑等精密便携式产品当中，在动力锂离子电池组的SOC检测方面还未出现类似的专用芯片。

1.3电池组的均衡

电池组中各个单体电池之间存在电压、内阻和容量等的差异，而且电池组经多次循环之后这差异会更加明显。造成这种差异主要原因有：（1）锂离子电池制作工艺限制，即使同一批次的电池也会出现不一致；（2）电池组中单体电池的自放电率不一致；（3）电池组使用过程中，温度、放电效率、保护电路对电池组的影响。

可以通过工艺的方法，降低电池间的差异，消除这种差异，也可以在遴选电池的时候选择一致性比较好的电池，把一致性好的电池配组在一起，使组合后的电池组平均放电容量达到单体电池最小平均放电容量值。除了这两种方法还可以使用均衡电路使电池组的电池保护一致。电池组的均衡一般是以电压均衡为目标，辅之以电量的均衡。

1.3.1电池组均衡的现状

目前锂离子电池均衡管理的方法可以分为耗能型和非耗能型。耗能型是将电池组中电压高于平均电压的电池释放一部分能量，使其电压接近平均值。而非耗能型是在单体电池之间或者单体电池与整个电池组之间进行能量交换或者能量转移。

耗能型是通过在单体电池并联一个功率电阻和一个开关进行分流，将电池组中电压高的单体电池多余的能量释放，达到电池组电压均衡，如图2所示。这种均衡方法简单、稳定，缺点是存在能量的浪费、均衡时间长和散热的问题，一般只用于充电状态下的均衡。

由于其简单可靠，所以目前锂离子电池组使用最多的就是这种均衡方法。

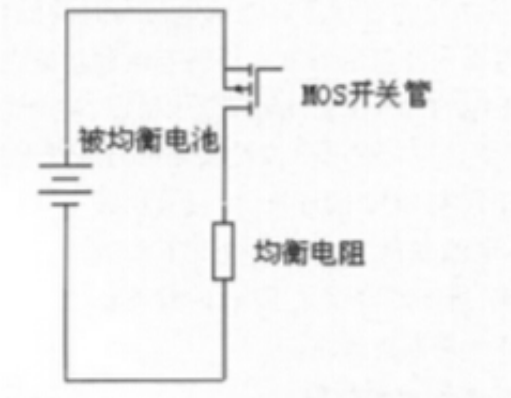

图 2　耗能式均衡示意图

由于耗能型均衡在能量利用方面的缺陷，又发展了非耗能型的均衡方法。非耗能型均衡方式一般是使用储能元件转移能量使电池组电压保持一致，这种方式均衡电流大、均衡效率高，但是电路、控制都比较复杂。可分为能量转换均衡和能量转移式均衡两种。

能量转换式均衡是通过反激转换器由锂离子电池组整体向单体电池进行补充或者由单体电池向电池组进行补充。由此能量转换均衡方式可分为两种，可以分为上限均衡和下限均衡。所谓上限均衡就是当电池组中某个电池的电压高于

平均电压时，通过变压器把这个电池多余的能量反馈到整个电池组上去。而下限均衡是当某个电池的电压低于平均电压时，通过变压器把能量从电池组转换到指定的电池上去。由于同轴线圈存在一定的能量损失，造成均衡效率降低，同时也造成均衡电路体积大，线圈绕组较难控制。

能量转移式均衡是通过使用储能元件把能量从电压高的电池转移到电压低的电池。这种方式可以使用开关电容来实现，由电容传递相邻电池的能量，将电荷从电压高的电池传到电压低的电池，达到均衡。这种方法的缺点在于控制复杂，无法用于数量多的电池组，由于电池组中两个电池的压差比较小，造成电容充放电的时间过长，从而造成均衡的时间过长，这种方法也称为飞渡电容法。能量转移式也可以使用电感来实现，由电感及开关器件组成DCDC变换器，实现两个电池间电量的转移，如图3所示。这种方法的优点在于电量转移效率高，通常能达到80%以上，且均衡的时间短；其缺点在于只能在相邻两电池之间进行电量转移，对于非相邻的电池需要进行多次电量转移，在两电池相距较远的时候，电量转移效率下降较快，所以这种均衡方法需要一个比较好的算法，协调整个电池组的均衡，避免对两个相距较远的电池进行电量转移。

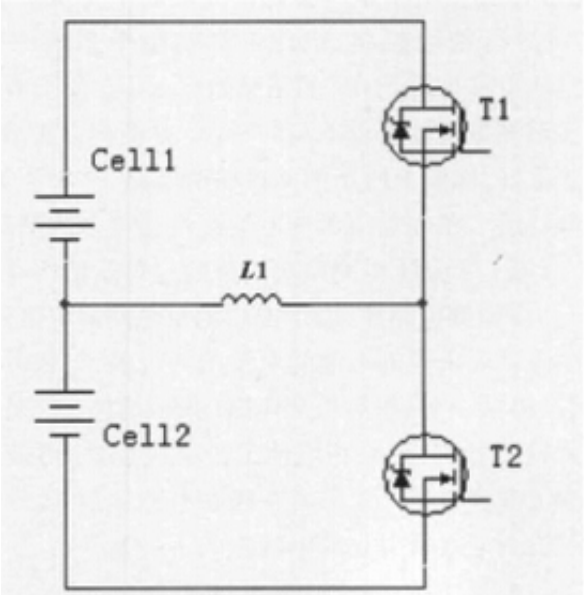

图 3　基于电感的电量转移均衡方法

还有一种基于总线的均衡方式，均衡单元把电压高的电池多余的能量通过DCAC变换，再通过变压器耦合，传递到总线上，然后再通过ACDC模块把电量充入电压低的电池，这种方式传递的效率较高，易于模块化，适合串联数量比较大的电池组，但是成本比较高。

1.3.2电池组均衡的发展趋势

在均衡方法上，由于耗能式均衡存在能量浪费问题，不符合节能减排的政策，所以在动力锂离子电池应用上，耗能式均衡未来将会被非耗能式均衡所取代。但是非耗能式均衡也存在电路结构复杂，成本高，均衡等问题，这也是亟待解决的问题。用于动力锂离子电池组的均衡方法，应朝大电流、高效率方向发展，在均衡的控制策略上，应该采取智能化均衡算法，把电压的均衡和容量的均衡结合起来，使均衡更加精确。

2动力锂离子电池管理系统的发展趋势

（1）高度集成化，随着锂离子电池越来越多地应用于功率设备，对串联的电池数量要求越来越高，串联电池数量的增加会增加电池管理系统的复杂度，提高管理系统的集成度可以降低电路的体积、功耗、成本等。目前有很多芯片厂商也推出了一些锂离子管理芯片，比如比亚迪微电子的BM309/310,可以对四串锂离子电池进行管理，也可以级联对数量更多的电池组进行管理。还有凹凸科技OZ890，可以提供对13串电池的管理，也可以级联。这些芯片都大大降低了锂离子电池管理系统的复杂度。

（2）均衡方式向非耗能式均衡变化，减少均衡时间，提高均衡效率，采取更加智能的均衡策略，使均衡更加精确。

（3）采用分布式模块化设计，可以级联，方便扩展，方便构成大型的锂离子电池组。

（4）在大功率的应用场合，与系统其他设备紧密结合（如充电设备、电机控制设备）相互协调。

（5）低功耗，减少管理系统的能量消耗，提高电池组的能量利用率。

（6）电池组过充过放保护应考虑内阻的因素，而不仅仅考虑单体电池端电压，使保护更加精确，充分发挥电池的容量。

锂离子电池由于其相对于其他电池的诸多优势，已经成为电动汽车的能量来源候选之一。但是由于锂离子本身的特性，需对其进行安全管理。本文介绍了锂离子电池管理系统中电池外部参数检测、SOC估计和电池组的均衡现状，并介绍了其发展趋势，也对动力锂离子电池管理系统发展方向做出了展望。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/93531.html