动力电池组特性分析与均衡管理

陈守平，张 军, 方英民，梁 毅

摘要：电池组有区别于单体电池的额外特性，基于目前的动力电池设计与制造技术水平，单体之间的性能差异在其整个生命周期里客观存在，要想避免单体由于过充、过放导致提前失效，使电池组的功能和性能指标达到或者接近单体的平均水平，对电池组中单体之间实现均衡控制和管理是必由之路。电池组均衡管理是一门先进的电池组使用技术，需要结合动力电池电化学模型、电子电源和计算机控制等多学科技术的最新研究成果，进行创新设计。

关键词：锂离子电池、动力电池组、蓄电池组、电池组使用技术、均衡控制、电池组管理

0 前言

被认为是未来汽车的电动汽车是电动源、电机和整车三大技术的结合体，电动源是电动汽车的核心部件，目前已经形成动力锂离子电池及其专用材料的开发热潮。做为一种新型的动力技术，锂电池在使用中必须串联才能达到使用电压的需要，单体性能上的参差不齐并不全是缘于电池的生产技术问题，从涂膜开始到成品要经过多道工序，即使每道工序都经过严格的检测程序，使每只电池的电压、内阻、容量一致，使用一段时间以后，也会产生差异，使得锂动力电池的使用技术问题迫在眉睫，而且必须尽快解决。

动力电池组的使用寿命受多种因素影响，如果电池组寿命低于单体平均寿命的一半以下，可以推断都是由于使用技术不当造成的，首要原因当推过充和过放导致单体电池提前失效。本文结合锂动力电池特性、电子电源、计算机控制技术研究动力电池组的使用技术，探讨动力电池组的均衡控制和管理。

1 动力电池主要性能参数

1.1 电压

开路电压=电动势+电极过电位，工作电压=开路电压+电流在电池内部阻抗上产生的电压降。电动势由电极和电解质材料特性决定，电极的过电位与材料活性、荷电状态和工况有关。金属锂标准电极电位-3.05V，3V 锂电池 3.3~2.3V，4V 锂 4.2~3.7V，5V 锂 4.9V~3.0V。

1.2 内阻

电池在短时间内的稳态模型可以看作为一个电压源，其内部阻抗等效为电压源内阻，内阻大小决定了电池的使用效率。电池内阻包括欧姆电阻和极化电阻两部分，欧姆电阻不随激励信号频率变化，又称交流电阻，在同一充放电周期内，欧姆电阻除温升影响外变化很小。极化电阻由电池电化学特性对外部充放电表现出的抵抗反应产生，与电池荷电、充放强度、材料活性都有关。同批电池，内阻过大或过小者都不正常，内阻过小可能意味材料枝晶生长和微短路，内阻太大又可能是极板老化、活性物质丧失、容量衰减，内阻变化可以作为电池裂化的充分性参考依据之一。

1.3 温升

电池温升定义为电池内部温度与环境温度的差值。多数锂电池充电时属吸热反应，放电时为放热反应，两者都包含内阻热耗。充电初期，极化电阻最小，吸热反应处于主导地位，电池温升可能出现负值，充电后期，阻抗增大，释热多于吸热，温升增加，过充时，随不可逆反应的出现，逸出气体，内压、温升升高，直到变形、爆裂。

1.4 内压

电池内部压力，由于电池内部反应逸出气体导致气压增大，气压过大将撑破壳体和发生爆裂，基于安全考虑，一方面锂电池都设计了单向的防爆阀门，一方面用塑壳制造。析气反应常伴随着不可逆反应，也就意味着活性物质的损失、电池容量的下降，无析气、小温升充放电是最理想的。

1.5 电量

电学里，电量用 Wh 表示，是能量单位，一度电等于 1kWh，电池常用 Ah 计算电量，对于动力电池侧重于功率和能量大小，用 Wh 更直接一些，因为

电池的电压是变化的，其全程变化量可达到极大值的一半左右，用 Ah 计算电量不能正确描述电池的动力驱动能力，但 Ah 作为电池的电量单位自有其历史和道理，在不引起歧义的地方两种电量单位都可以使用。

1.6 荷电

电池还有多少电量，又称剩余电量，常取其与额定容量或实际容量的比值，称荷电程度。是人们在使用中最关心的、也是最不易获得的参数数据，人们试图通过测量内阻、电压电流的变化等推算荷电量，做了许多研究工作，但直到目前，任何公式和算法都不能得到统计数据的有效支持，指示的荷电程度总是非线性变化。

1.7 容量

电池在充足电以后，开始放电直到放空电为止，能输出的最大电量。容量与放电电流大小有关，与充放电截止电压也有关系，故容量定义为小时率容量，动力电池常用 1 小时率（1C）或 2 小时率(0.5C)容量。电池在化成之前材料的活性不能正常发挥，容量很小，化成过程开始后，电池进入其生命期，在整个生命期里，电池的活化和劣化过程是一个问题的两个方面，初期活化作用处于主导地位，电池容量逐渐上升，以后，活化和劣化作用都不明显或相当，后期，劣化作用显著，容量衰减，规定容量衰减到一定比例(60%)后，电池寿命终结。

1.8 功率

电学定义直流电源的输出功率等于输出电压与电流的乘积，锂电池单体电压高，在相同的输出电流下，其功率分别是铅酸、镍镉镍氢的 1.8 倍和 3 倍。电动汽车用动力电池组的负载是电机控制器，电机控制器根据车速变化调整输出功率，短时间来看，电池组驱动的是恒功率负载，这个功率变化的范围极大，制动时有与加速时相近的反向逆变功率。

1.9 效率

电池的效率指电池的充放电效率或能量输出效率，本文指后者。对于电动汽车，续驶里程是最重要指标之一，在电池组电量和输出阻抗一定的前提下，根据能量守恒定律，电池组输出的能量转化为两部分，一部分作为热耗散失在电阻上，另一部分提供给电机控制器转化为有效动力，两部分能量的比率取决于电池组输出阻抗和电机控制器的等效输入阻抗之比，电池组的阻抗越小，无用的热耗就越小，输出效率就更大。

1.10 寿命

单体电池寿命定义和测试程序已被人们普遍接受并形成许多标准，测试寿命时，可保证不过充、过放，也就不会提前失效，与单体不同，电池组的寿命测试目前的做法不科学，在一定程度上限制了动力锂电池的实用化进程。提供者强调每只电池的电压不可超越规定的限值，电池组的寿命应该是各单体电池寿命的最小者，其值应该与单体平均寿命相差不会太多，测试人员模拟电池组使用情况，用对单体电池相同的方法测试寿命，电压限值取单体电压限值与数量乘积，实际限制的是单体平均电压，组内单体电压有低有高，对于几十只、上百只的电池组，电压、容量、内阻的差异性总是客观存在的，过充过放无法避免，并且一旦发生相关电池将很快报废，因此就出现专家组测试的电动汽车动力电池组的寿命还没有突破过百次。

1.11 安全

动力电池的工作条件苛刻，主要的安全问题是电池自身爆炸、燃烧和导致的电火，在电动汽车研发进程中，发生过多次起火事件，对电动汽车的发展造成了负面影响，通过多种渠道了解，在这些事故中，有电池自燃的，有车辆被烧毁的，甚至动用消防队灭火，许多单位顾忌影响而施行保密策略，事发第一现场很难到场，总结这些不完全的事故信息，初步有以下推断：

- 长期在库存的电池未发生过自燃和爆炸，运输过程中也没出现自燃的；
- 电池爆炸发生于充电后期或已经结束，充电设备和方法难脱干系；
- 外部电路短路可以造成强电弧或使导线燃烧，也可以导致自燃，一般的电压、电流源都有此特性；
- 用组电压或电流限制不能避免电池的过充过放；

- 过充电可能使电池变形、失效、燃烧、甚至爆炸，过放电（反充电）一次足以使电池报废；
- 一些受试电池通过了苛刻的用冲锋枪射击、挤压破裂短路、水淋、水泡等安规测试。

总之，电池的正确使用技术是非常重要的。

2 动力电池组充放电特性

以单体电池为动力源如移动电话，电源管理技术已经十分完善，但在电池组中，单体之间的差异总是存在的，以容量为例，其差异性永不会趋于消失，而是逐步恶化的。组中流过同样电流，相对而言，容量大者总是处于小电流浅充浅放、趋于容量衰减缓慢、寿命延长，而容量小者总是处于大电流过充过放、趋于容量衰减加快、寿命缩短，两者之间性能参数差异越来越大，形成正反馈特性，小容量提前失效，组寿命缩短，在下文的充放电特性分析中就必须包含过充电和过放电过程。

2.1 充电

目前锂电池充电主要是限压限流法，初期恒流(CC)充电，电池接受能力最强，主要为吸热反应，但温度过低时，材料活性降低，可能提前进入恒流阶段，因此在北方冬天低温时，充电前把电池预热可以改善充电效果。随着充电过程不断进行，极化作用加强，温升加剧，伴随析气，电极过电位增高，电压上升，当荷电达到约 70~80%时，电压达到最高充电限制电压，转入恒压(CV)阶段。理论上并不存在客观的过充电压阈值，若理解为析气、升温就意味着过充，则在恒流阶段末期总是发生不同程度的过充，温升达到 40~50 摄氏度，壳体形变容易感测，部分逸出气体还可以复合，另一些就作为不可逆反应的结果，损失了容量，这可以看作电流强度超出电池接受能力。在恒压阶段，有称涓流充电，大约花费 30%的时间充入 10%的电量，电流强度减小，析气、温升不再增加，并反方向变化。

2.2 过充电

上述过程考虑电池组总电压或平均电压控制，其实总有单体电压较高者，相对组内其它电池已经进入过充电阶段。过充电时，若在恒流阶段发生，由于电流强度大，电压、温升、内压持续升高，以 4V 锂为例，电压达到 4.5V 时，温升 40 度 、塑料壳体变硬，4.6V 时温升可达 60 度、壳体形变明显并不可恢复，若继续过充，气阀打开、温升继续升高、不可逆反应加剧。恒压阶段，电流强度较小，过充症状不如恒流阶段显著。只要温升、内压过高，就伴随副反应，电池容量就会减少，而副反应具有惯性，发展到一定程度，可能在充电中也可能在充电结束后的短时间里使电池内部物质燃烧，导致电池报废。过充电加速电池容量衰减、导致电池失效，百害无一利。

2.3 放电

恒流放电时，电压有一陡然跌落，主要由欧姆电阻造成压降，这电阻包括连接单体电极的导线电阻和触点电阻，电压继续下降，经过一段时间以后，到达新的电化学平衡，进入放电平台期，电压变化不明显，放热反应加电阻释热使电池温升较高。放电电压曲线近似单体放电曲线，持续放电，电压曲线进入马尾下降阶段，极化阻抗增大，输出效率降低，热耗增大，接近终止电压时停止放电。

上述过程用恒流特性模拟负载电机，实际汽车在行使中，电机输出功率的变化很复杂，电流双极性变化，即使匀速行使，路面颠簸、微小转向都使输出功率实时变化，在短时间段里，可以用恒流放电模拟分析，总之大的方向是放电，偶尔有不规则的零脉冲（无逆变功能）或负脉冲（有逆变功能，电池被充电）出现。

2.4 过放电

考虑组内单体电池，必有相对的过放电情况。在放电后期，电压接近马尾曲线，组中单体容量正态分布，电压分布很复杂，容量最小的单体电压跌落得也就最早、最快，若这时其它电池电压降低不是很明显，小容量单体电压跌落情况被掩盖，已经被过度放电。

观察单体过放情况，进入马尾曲线以后，若电流持续较大，电压迅速降低，并很快反向，这时电池被反方向充电，或称被动放电，活性物质结构被破坏，另一种副反应很快发生，过一段时间，电池活性材料接近全部丧失，等效为一个无源电阻，电压为负值，数值上等于反充电流在等效电阻上产生的压降，停

止放电后，原电池电动势消失，电压不能恢复，因此，一次反充电足以使电池报废。

组中单体过放容易发生不易控制，电机控制器的限压限流办法都不起有效作用，电池输出功率的变化产生的欧姆、极化电压波动足以淹没单体电压跌落信号，组电压监视失去意义。

2.5 经济速度与续驶里程

传统汽车以经济速度行驶耗油最省，用百公里耗油量评价，经济速度由发动机效率、动力传动效率和摩擦力决定，电动汽车也有经济速度，由电池使用效率、电动机和控制器效率、摩擦阻力决定，经济速度与电池组内阻有直接关系，在一定范围内变化。以经济速度行驶，电动汽车能达到最大的续驶里程。固定整车和电动机，续驶里程可以考察动力电池组的能量供给能力，经济速度反映了电池组功率提供能力，电动汽车希望动力电池组能提供大容量和高功率。

2.6 加速与爬坡

电动汽车在加速和爬坡时输出功率大，电池组放电电流大，电压跌落幅度也大，输出效率下降，欧姆损耗增大，另一方面，电压下降也会导致电机效率降低，工作条件恶劣，可能发生过强度放电，即超出电池电流输出能力，此时电池组处于过载使用。避免过载的措施：使用功率较大的电池组；限电压、电流、功率或其组合限制行使；平稳行使，限制加速度。

2.7 刹车制动与逆变

只要加速度为负值，传动机构就可以带动发电机发电，回馈电能可以给电池组充电，将机械动能转化为化学能存储使用，瞬间逆变功率与输出功率属同一数量级，取决于发电机逆变效率，加速时有过强度放电，逆变时就有可能存在过强度充电。

2.8 先进的电池组使用方法

过充过放对电池的损害都是致命的，不同之处仅在于过充产生大量气体、易自燃和爆炸、表象剧烈，过放外观变化和缓、但失效速度却极快，在正常使用中都应严格避免出现。

鉴于相同原材料、同批次的单体电池，容量、内阻、寿命等性能参数符合正态分布并且离散程度有限；鉴于在相同的电流激励条件下，单体电池电压变化过程的一致性渐进逼近其它性能参数的一致性，其中最重要的参数是荷电程度；鉴于电池在未曾历经过过充、过放的损害，在其生命期里不容易提前失效，可以推断，如果在充放电过程中通过能量变换的办法实施电池组中单体电压的均衡控制，使单体电压趋于一致，那么单体的相对荷电程度也趋于一致，可以实现同时充足电、也同时放空电，进而，电池组的寿命应接近于单体电池的平均寿命。

基于均衡控制，可进一步研究先进的充电方法。目前的限压限流方法，无论在充电速度还是效果上都不够科学，充电初期，极化效应并不激烈，电池的电流接受能力最强，充电电流还应该加大，恒流后期电池温升、内压增大，电流已经超出电池接受能力，电流应该减小，同时，极化作用、趋肤效应降低了材料反应的活性，可利用反向电流脉冲肖弱这些不利影响。

3 动力电池组的均衡控制和管理

要实现单体电压的均衡控制，均衡器是电池管理系统的核心部件，离开均衡器，管理系统即使得到了电池组测量数据，也无所作为，也就无所谓管理。随着电动汽车技术的不断发展，电池组均衡装置的需求已经迫在眉睫，已有许多研究，国外已有报道，如德国 Kaiserse Lautern 大学，日本本田公司等，国内技术尚未成熟。

3.1 断流与分流

均衡器按能量回路处理的方式分断流和分流，断流指在监控单体电压变化的基础上，在满足一定条件时把单体电池的充电或负载回路断开，通过机械触点或电力电子部件组成开关矩阵，动态改变电池组内单体之间的连接结构，可能的断流部件有机械、继电器、半导体。电动汽车用电池组功率很大，瞬时电流可达数百安培而且双极性变化，在考虑可行性、性价比、实用性、可靠性等诸多因素，断流的实施难度极大，不适合在电动汽车上使用。

分流并不断开电池的工作回路，而是给每只电池各增加一个旁路装置，就象电池伴侣，两者合起来的特性趋于电池组内平均素质的单体电池特性。

3.2 能耗与回馈

能耗型指给各单体电池提供并联电流支路，将电压过高的单体电池通过分流转移电能达到均衡目的，实现电流支路的装置可以是可控电阻，或经能量变换器带动空调、风机等耗电设备，其实质是通过能量消耗的办法限制单体电池出现过高或过低的端电压，只适合在静态均衡中使用，其高温升等特点降低了系统可靠性，消耗能源，在动态均衡中不可能使用。

与能耗不同，回馈通过能量变换器将单体之间的偏差能量馈送回电池组或组中某些单体。理论上，当忽略转换效率时，回馈不消耗能量，可实现动态均衡。回馈型具有更高的研究价值和使用价值，最有可能达到实用化设计。

3.3 能量变换器

电池电压均衡利用能量变换装置实现，依据高频开关电源(SMPS)的原理和技术设计，基本的电源电路包括非隔离式的 Buck、Boost、Buck Boost、Cuk、Sepic、Zeta，隔离式的有 Forward、Flyback、Push Pull、Half Bridge、Full Bridge、Iso-Cuk 等。充电时小容量电池充入较少能量，分流电路吸收电能，放电时分流电路补充能量，能量变换器应该实现双向变换。原则上各种电源电路经改进设计都可以实现双向，最简单的方案是用两个电源，输入与输出交叉并联，两个电路分别控制。由于受成本、体积与重量、长期工作的可靠性等因素的影响，双向单变换器比单向双变换器更有优势，是发展方向。

3.4 静态与动态

按均衡功能特点分充电、放电和动态均衡。充电均衡在充电过程中后期，单体电压达到或超过截止电压时，均衡电路开始工作，减小单体电流，以期限制单体电压不高于充电截止电压。与充电均衡类似，放电均衡在电池组输出功率时，通过补充电能限制单体电压不低于预设的放电终止电压。充电截止电压和放电终止电压的设置与温度有关联。与充电和放电均衡不同，动态均衡不论在充电态、放电态，还是浮置状态，都可以通过能量转换的方法实现组中单体电压的平衡，实时保持相近的荷电程度。

充电均衡的唯一功能是防止过充电，而在放电使用中带来的负面影响使得使用这种均衡得不偿失：不加充电均衡时，容量小的电池被一定程度过充，组内任何单体过放以前，电池组输出 Ah 计电量略高于单体最小容量。使用充电均衡时，小容量电池没有过充，能放出的电量小于不用均衡器时轻度过充所能释放的电能，使得该单体电池放电时间更短，过放的可能性就更大了。另外，当电机控制器以组电压降低到一定程度为依据减小或停止输出功率时，由于大容量电池因充电均衡被充入更多电能而表现出较高的平台电压，淹没和淡化了小容量电池的电压跌落，将出现组电压足够高，而小容量单体已经过放。

放电均衡与充电均衡情形相似，大容量浅充足放，小容量过充足放，加速单体性能差异性变化的结果是相同的，都不能形成真正实用的产品，只有动态均衡集中了两种均衡的优点，尽管单体之间初始容量有差异，工作中却能保证相对的充放电强度和深度的一致性，渐进达到共同的寿命终点。

3.5 单向和双向

根据均衡器处理能量的可能流向分单向和双向均衡，双向型使用双向变换器，输入输出方向动态调整。比较而言，双向型更具优势，基于均衡效率考虑，对于单向型均衡器，使用自组高压到单体低压的变换器适用于放电均衡，使用自单体低压到组高压的逆变器适合充电均衡。

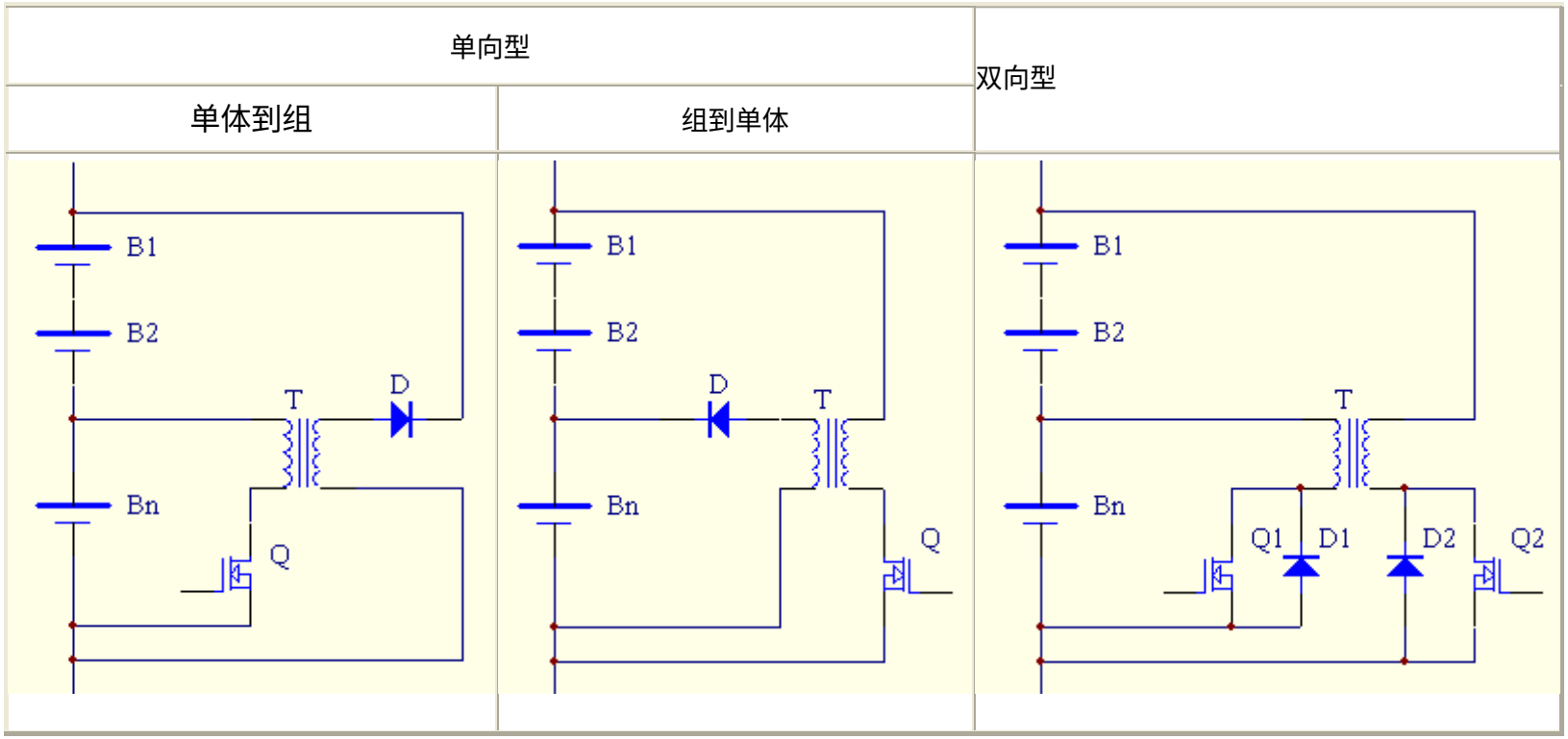

图 1 Buck 或 Boost 单向与双向型变换器

最先进的均衡方案是从单体到单体，从高压单体直接把能量变换到低压单体，具有最佳的均衡效率，实现难度也较大。按单体容量大小排序 C1>C2>…>Cn，n 是串联单体数量，平均容量为 Ca=(C1+C2+…Cn)/n,设第 k 只单体容量最接近平均值，即 Ck=Ca,则均衡系统的目标是从 C1,C2,…,Ck-1 取出能量 Cout=(C1+C2+…+Ck-1)-(k-1)Ca，转移到 Ck+1,Ck+2,…,Cn。考虑到能量变换效率 d，k 值需要适当后移。

3．6 集中与分散

当把上述单向和双向变换器接向组电压的所有绕组合并为一个绕组后，就得到图 2 所示的集中式变换器，优点是变换器成本和技术复杂度大幅降低，主要缺点有：低压绕组到各单体之间的导线长度和形状不同，变比有差异，均衡误差大。另一方面，变换器与电池组之间的 n+1 条功率导线的布线工艺不容易设计，车辆行驶过程中对导线的拉伸和剪切给安全带来隐患。

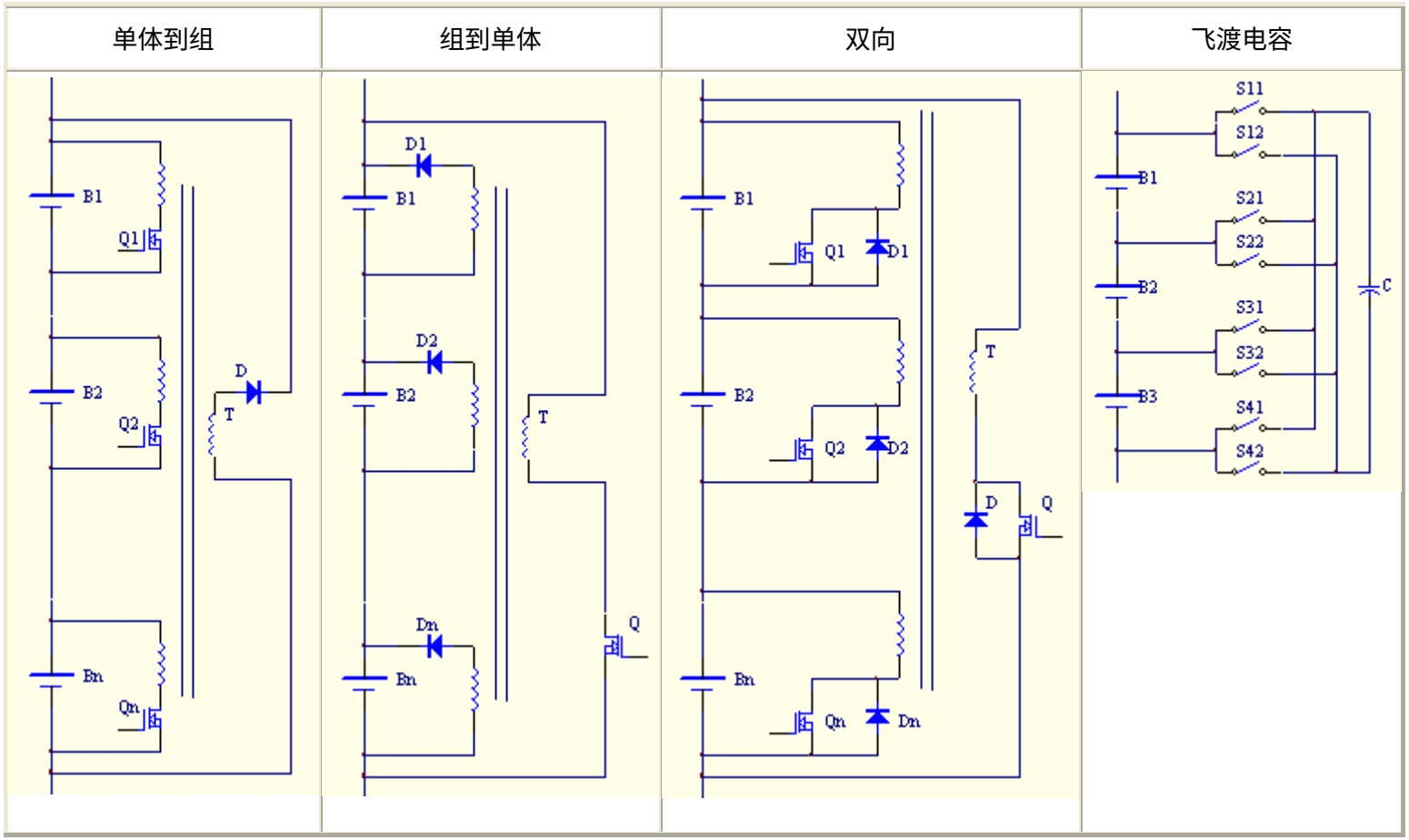

图 2 集中式变换器

基于成本和均衡效率考虑，集中式可应用于助力车等中小功率、以及电池组无振动或移动的场合。一种使用单只电容器循环均衡每只单体的方法暂称飞渡电容法，也属于集中式。特点是均衡功能直接通过电容器充放电进行，但开关上瞬间开启电流很大，易出现电弧或电磁干扰，开关触点压降直接影响均衡效果。

3.7 独立与级联

一种均衡思路让每两只邻近的单体实现均衡，进而达到各单体之间的均衡。图 3 列出了 3 种电路形式，双向 Buck Boost 变换器利用电感传能，双向 Cuk 和开关电容网络利用电容传能，存在实现问题，设想一种情况，组中高压单体与低压单体之间间隔数只单体，从高压单体导出能量给低压，需要多只级联的

变换器同时工作，到达目的单体的能量转换效率极低，极端情况与能耗型变换器接近。

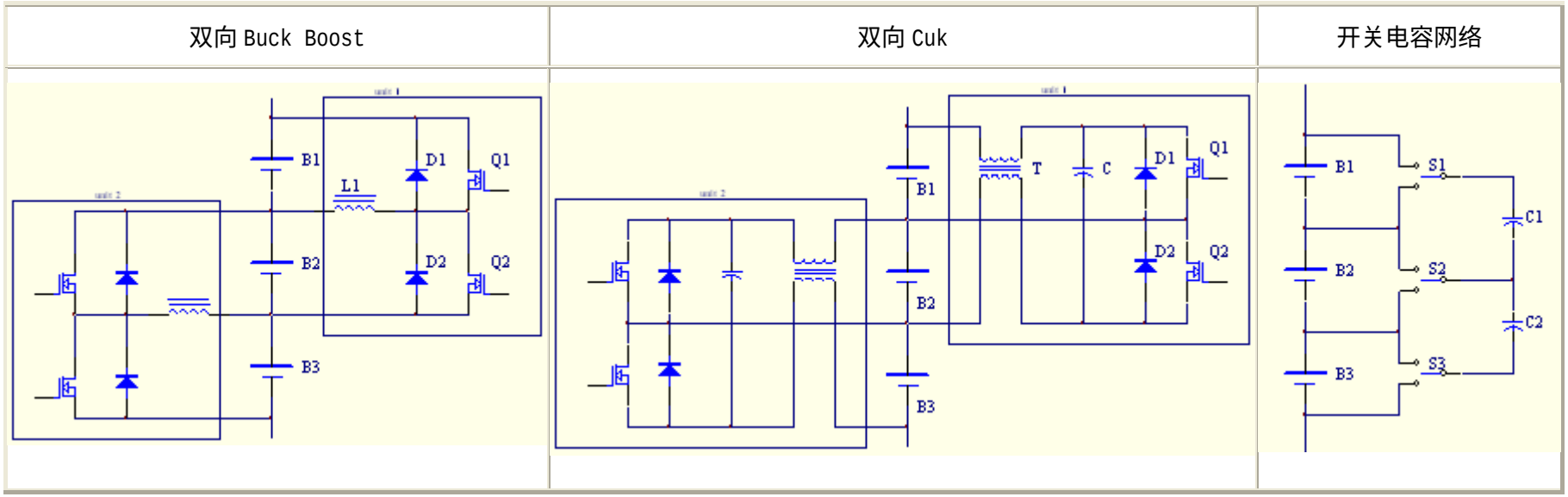

图 3 级联式变换器

3.8 效率与安全

动态均衡尤其在使用放电过程中，变换器的热耗取自电池组能量，由于单体电压较低，变换器效率是一个设计难点，须采纳和借鉴当代电源电路的最新设计技术，如同步整流、软开关等。

参数超限报警、热保护等常规检测功能是必不可少的，车内环境长期处于颠簸和振动，配线工艺、禁锢结构都须认真设计，导线外皮磨损破裂短路，可能导致与电池性能无关的火灾隐患，就变换器而言，还需要考虑浪涌抑制、过压过流保护、电磁兼容等问题，可靠性是均衡器的的另一个设计难点。

3.9 控制与管理

均衡控制方案不同，管理系统复杂程度也不一样，被动型均衡由充电器调整输出电压和电流，最简单，均衡能力也最差。国外产品有采用主辅模块的分布式管理结构，如德国 Kaiserse Lautern 大学，辅模块相当于独立式均衡器，主模块完成管理系统的功能，两者通过现场总线联接。有采用分级管理，如 Honda 公司的电池组管理系统，上级模块管理下级模块，下级模块管理 12 只电池。有充电均衡管理系统，如芬兰 AC Electric Vehicles 公司的铅酸电池组均衡模块。

在控制策略方面，要求把电池电化学特性、电源技术、控制技术相结合，电动汽车在行使中随时会出现加速、滑坡、堵转、刹车等情况，电池组输出的电流和功率呈双极性变化，各种阻抗特性和电机控制器的调制特性都给电池组电压变化带来复杂性，管理决策不能仅依据简单公式计算，应避免往复均衡，造成电池能源的浪费。

3.10 均衡小结

- 断流后其它电池可能过载输出；
- 能耗浪费电能，温升降低可靠性；
- 静态均衡得不偿失，充电均衡加剧小容量过放电，放电均衡加剧小容量过充电；
- 单向均衡不适于动态均衡；
- 大功率、环境差尽可能分散均衡，低成本、小功率也可以集中均衡；
- 独立均衡效果好，级连均衡效率低；
- 同步整流、软开关利于提高能量变换效率；
- 均衡算法根据电池组模型智能控制，节约并且安全。

4 研制介绍

系统由一个主控单元和若干个均衡模块组成，两者通过信号总线和功率总线联接。主控单元包括电源变换器和嵌入式单片机，电源变换器从电池组提取电能提供辅助电源，单片机通过信号总线从均衡器采集数据和控制均衡器输出，可同时挂接 200 个均衡模块，在 LCD 上显示实时数据，通过接口可与中央控制单元进行实时通信，数据包括组电压、电流、环境温度、容量等电池组信息，和电压、电流、容量、温度等单体数据，可以手动禁止均衡对比观测电池组自然工作情况。

均衡器由双向高频开关电源电路完成，目标电池取 100Ah4V 锂离子动力电池，均衡器单体端电压范围 2.5~5V,最大功率 50W，数据量化分辨率 10bitADC，每个均衡器对应一只单体电池，平面尺寸按照目标电池截面尺寸设计，可测量单体电压、电流、温升，推算荷电、内阻等，认真考虑了热保护和故障安全设计。信号总线采用 RS485 工业标准，与功率总线间接共地，总线不含高压，按最少芯数设计，柔性联接，抗振动、颠簸。

目标电池按两组进行，72 只电池组安装在一台电动轿车上，用于考核可靠性；16 只电池组在实验室中进行计量和算法测试，电动轿车的输出功率 0-60kW，逆变功率 0-50kW。当电池组为提高输出功率有并联支路时，支路电压自然均衡，每个电池组可以只使用一套均衡系统；

5 结语

均衡系统功率能力有限，期望均衡器代替单体更多功能不合理，单体互差应在一定限度内；

电池组开始使用均衡系统的时间越早效果越好，不能修复以前的劣化，只能使以后的差异性不再继续恶化，长时间来看可能趋于好转；

新旧电池搭配成组总是不合适的，电特性在较长时间不能平衡；

所有二次电池电压都有特定的安全范围，均衡控制原理也适用于其它二次电池组，包括超容电容器组；

基于电池模型和均衡控制可以实现电池组快速、析气少、温升低的智能充电；

目前，动力电池产业规模还未真正形成，产品质量特性不能很稳定，电池组使用技术阻碍了产业发展，均衡系统可加速动力电池产业化进程，动力电池和电动汽车技术的发展又将为均衡系统带来更大的市场需求，均衡系统的发展方向是低成本、高功率密度、高效率和高可靠性。

参考文献

[1]宋清山.组合形式对 Cd-Ni 蓄电池组寿命的影响.电池工业，2003，6（45）
[2]吴宇平、万春荣、姜长印.锂离子二次电池.化学工业出版社，2002
[3]周志敏、周继海.开关电源实用技术.人民邮电出版社，2003
[4]曹楚南、张鉴清.电化学阻抗谱导论.科学出版社，2002