

三种动力电池的特性分析对比

节能和环保是目前汽车技术研究的主要方向，动力电池则是电动汽车技术的关键，动力电池特性的研究对于电动车电池有着重要的意义。

铅酸动力电池成本低廉，技术成熟，支持大电流放电，安全性高，在非动力应用场合中可不配置电池管理系统，但其较低的比能量无法满足电动汽车续驶里程的需要。

氢镍电池和锂离子电池是目前电动汽车动力电池领域的主要选择。现有的氢镍电池也存在不足，如单体电压低(1.2V)、自放电损耗大、对环境温度敏感等。对氢镍电池的改进主要集中在高低温状态下性能和安全性的提高、充放电性能的优化、自放电率的降低。与其他电池相比，锂离子电池应用于电动汽车，在能量功率性能方面具较大优势，在比能量、放电功率、循环寿命及密封性等方面，均可满足美国先进电池联合会(USABC)的电动汽车用动力电池中期目标。

1. 特性对比

本文研究的动力电池种类包括铅酸电池、氢镍电池和锂电池。

1.1 容量特性

容量特性是动力电池首先需要考察的技术指标，主要内容是可用容量与放电倍率的关系、在不同温度下的可用容量变化。由于电池额定容量不同，因此在图1、图2中均采用可用容量比率：

$$\text{可用容量比率} = \frac{\text{可用容量}}{\text{额定容量}} \times 100\%$$

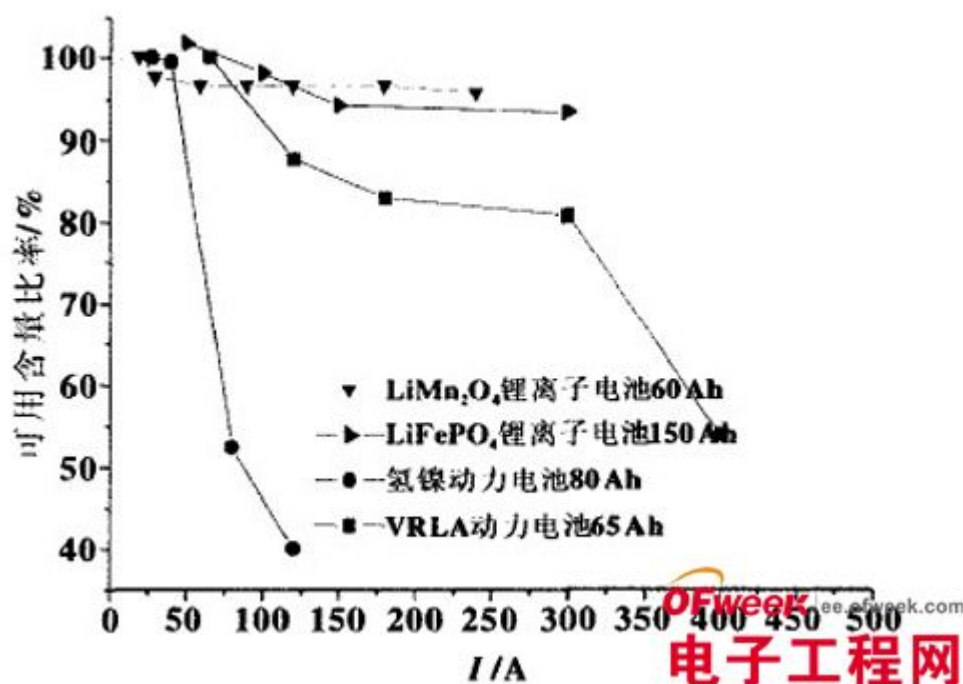


图 1 可用容量比率与电流的关系

其中可用容量为电池放电至最低截止电压时的放出电量。

从图 2 可知氢镍 80Ah 动力电池因为在自然风冷条件下放电，电池温度升至 38℃ 截止，致使可用容量降低。同样对于 VRLA65Ah 电池在 400A 恒流放电时，由于温度过高使得放电过程终止。相反锂离子电池的容量特性比较理想，可用容量的衰减趋势不显着，可用容量变化不大；在较低倍率电流放电情况下，磷酸铁锂离子电池要比锰酸锂离子电池高。图 2 为不同温度时动力电池的可用容量比率，可以看出：

- (1) 铅酸电池、氢镍电池和磷酸铁锂离子电池的可用容量受温度影响较为显着；
- (2) 电池都存在最佳温度区域；
- (3) 锂离子电池的可用容量受温度影响比较平稳，但磷酸铁锂离子电池的可用容量对低温温度较为敏感。

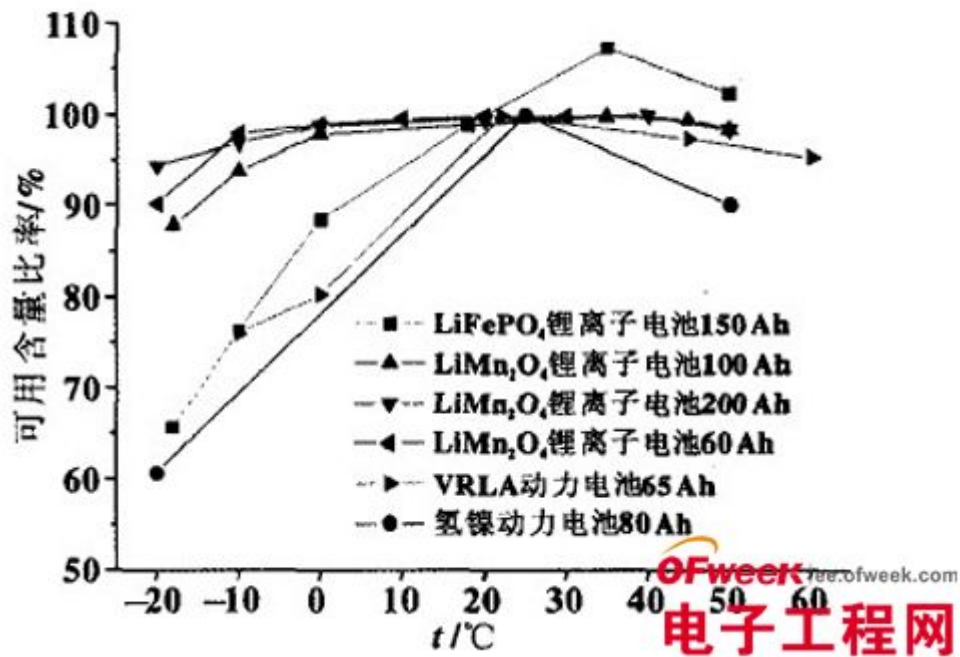


图 2 可用容量比率与温度的关系

1.2 效率特性

效率是电池的重要参数，是电池剩余电量估计过程中的关键参数之一。库仑效率的测量和计算以《USABC 电池测试手册》为准，图 3 和图 4 分别为 VRLA 电池和锂离子电池在不同温度下的库仑效率。由图 3、图 4 可以看出，铅酸电池和氢镍电池、锂离子电池的库仑效率形态大体上是一致的，差别在于：

- (1) 铅酸电池和锂离子电池的高温库仑效率与氢镍电池相比较高；
- (2) 锂离子电池的库仑效率与温度的相关度要弱一点。

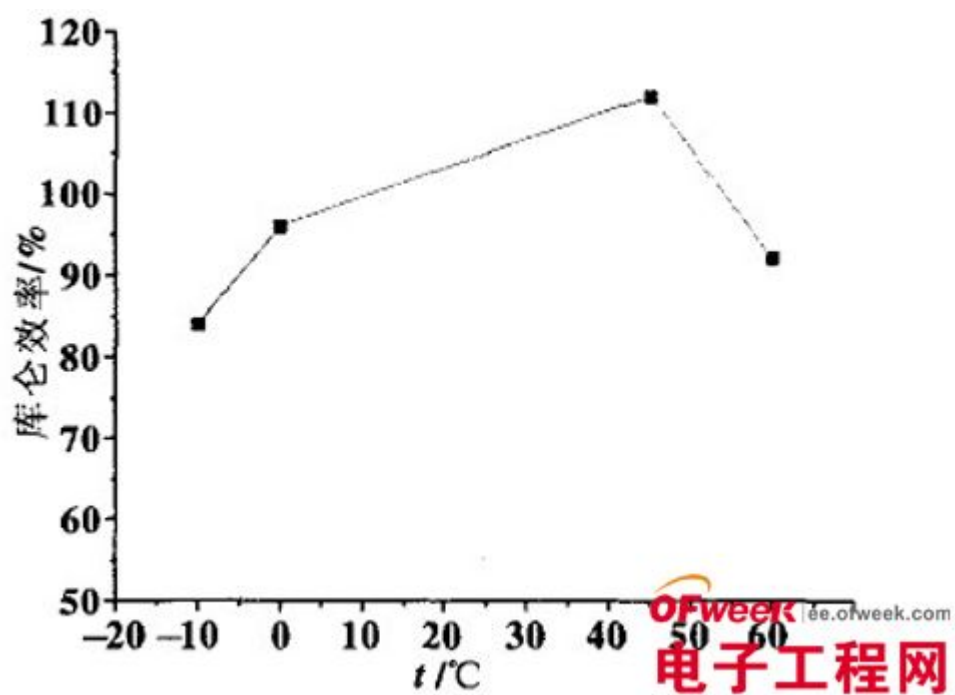


图 3VRLA 电池在不同温度的库仑效率

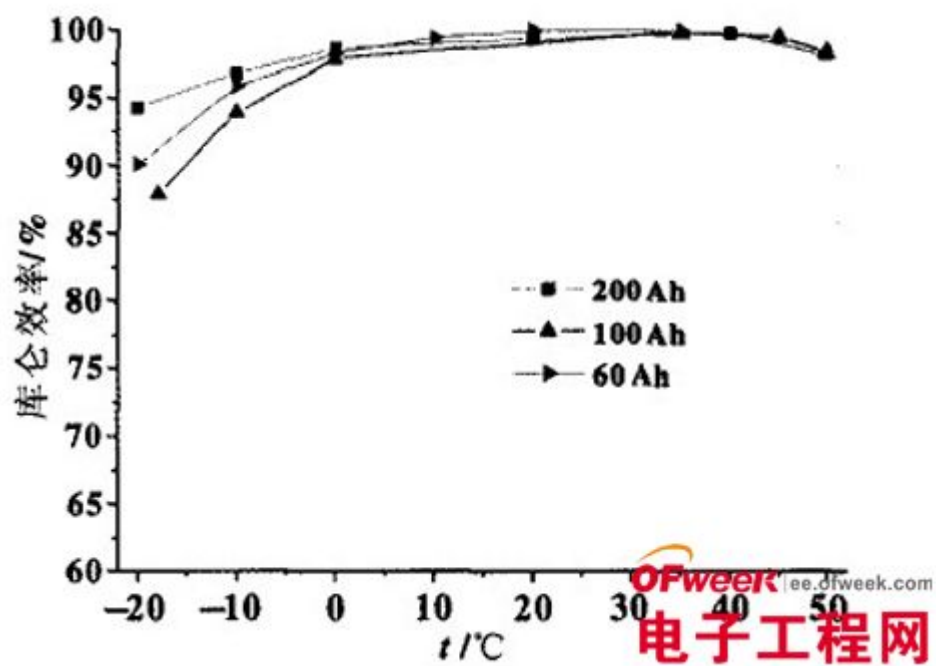


图 4 三种锰酸锂离子电池在不同温度的库仑效率

1.3 电压特征

电动汽车动力系统的参数匹配需要了解动力电池的电压特征。本节均采用电池电压在 10~12V 之间的模块为分析对象。铅酸电池模块为 6 个单体电池串联，氢镍电池模块为 10 个单体电池串联，锂离子电池模块为 3 个单体电池串联。

(1) 10~12v 模块的开路电压

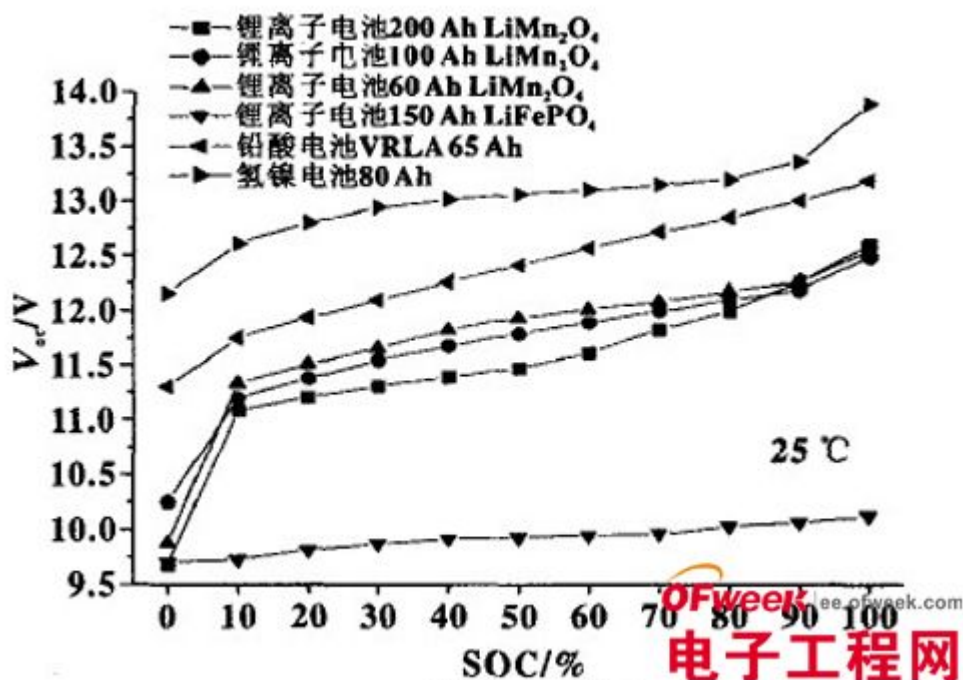


图 5 10~12V 模块级别的电池开路电压

从图 5 可知：

a 锰酸锂电池的 v_{oc} 比磷酸铁锂离子高，与 SOC 的关系规律更类似于氢镍电池；

b 磷酸铁锂电池 V_{oc} 与 SOC 之间的相关性较差；

c 液态锰酸锂离子电池和聚合物锰酸锂离子电池的 V_{oc} 存在较大差别，而两种液态锰酸锂离子电池之间的 V_{oc} 变化规律基本一致。

(2) 10~12v 模块的放电电压

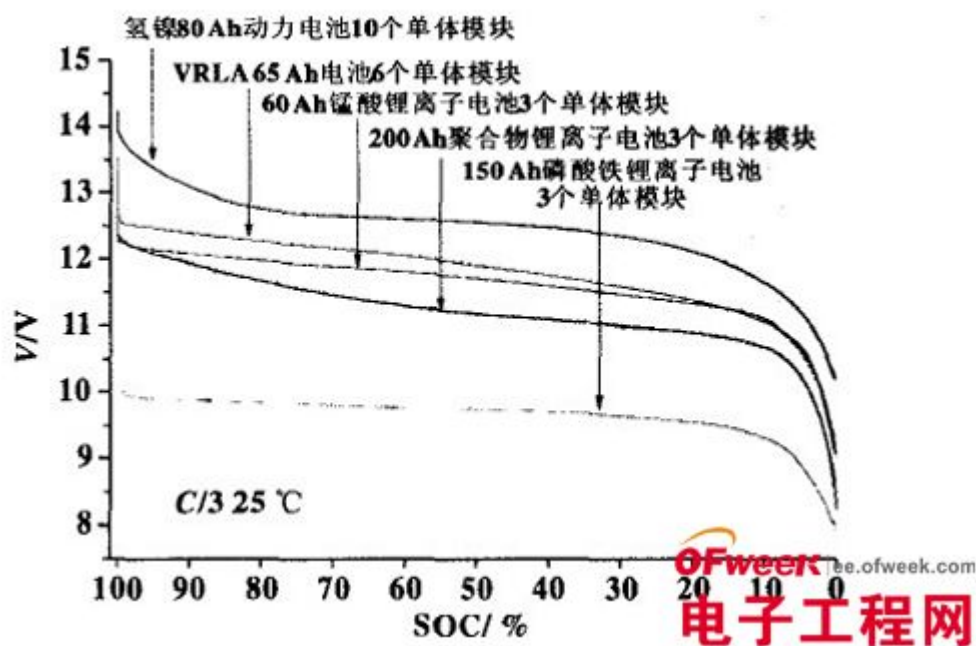


图 6 为不同电池模块的放电电压特征对比。

图 6 不同动力电池 10~12V 模块级别的放电电压对比

从图 6 中可知：

a 氢镍电池具有与铅酸电池、锂离子电池不同的工作电压特征，在放电初期和后期，电压变化过渡“柔和”，有利于根据电压进行 SOC 估计，放电中期的电压平台时间较短；

b 锰酸锂离子电池和铅酸电池的恒流放电电压曲线比较接近，而磷酸铁锂电池电压平台特征较显着，但平台电压值低于锰酸锂离子电池。

1.4 直流内阻特性

直流内阻是表征动力电池性能和寿命状态的重要指标，决定电池的高功率放电能力，影响电池的热特性和效率。

1.4.1 不同冲击电流下的直流内阻

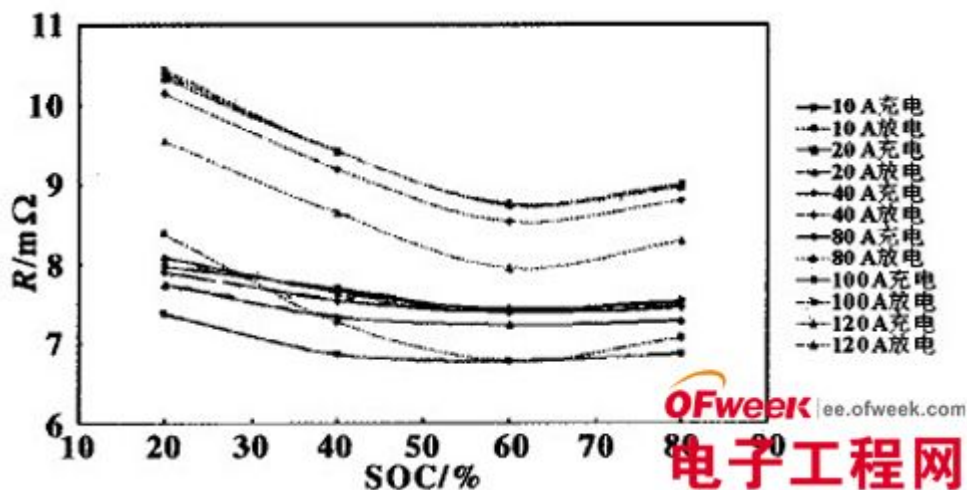


图7 氢镍 80Ah 电池模块充放电内阻

图7 为不同电流下的氢镍电池模块充放电内阻。从图7 可知，对氢镍电池来说：

(1) 不论充放电倍率大小，SOC 对电池内阻的影响都呈现为马鞍形状，鞍底为 SOC=60%附近；

(2) 电池内阻较小的区域为 50%~80%。

图8 为磷酸铁锂离子电池单体的放电直流内阻变化规律，充电直流内阻变化规律与其相似。对磷酸铁锂离子电池来说，无论是充电内阻还是放电内阻，都随着 SOC 增大而减小，随着电流增大，不同 SOC 下的直流内阻逐渐趋于一致。

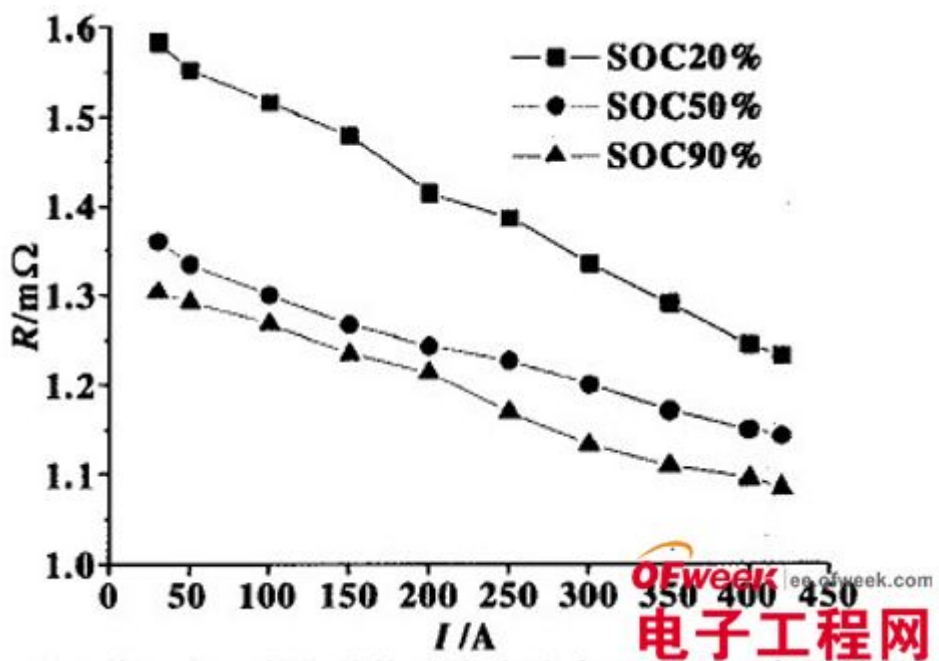


图 8 磷酸铁锂离子电池单体放电直流内阻与不同电流的关系

1.4.2 不同温度下的直流内阻

图 9 为温度对氢镍电池直流内阻的影响规律。图 10、图 11 为不同正极材料(锰酸锂和磷酸铁锂)锂离子电池直流内阻与温度的关系。由图可以得出如下结论:

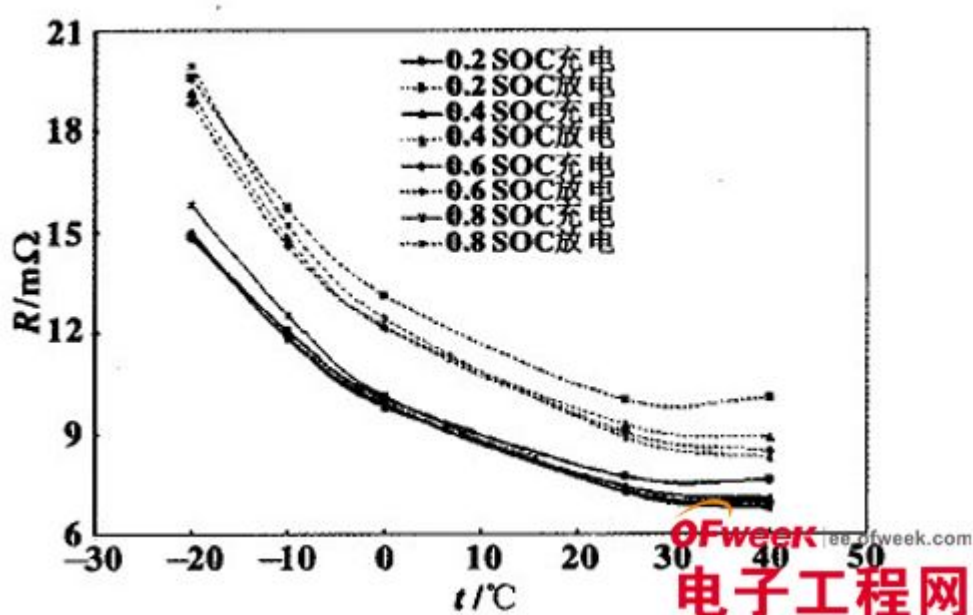


图 9 温度对氢镍电池模块内阻的影响

(1) 不论对于氢镍电池还是锂电池, 电池直流内阻都随着温度的降低而增大, 影响规律大体一致;

(2) 与氢镍电池相比, 锂离子电池在低温下的内阻会剧烈增加, 这是其低温性能下降的主要原因。

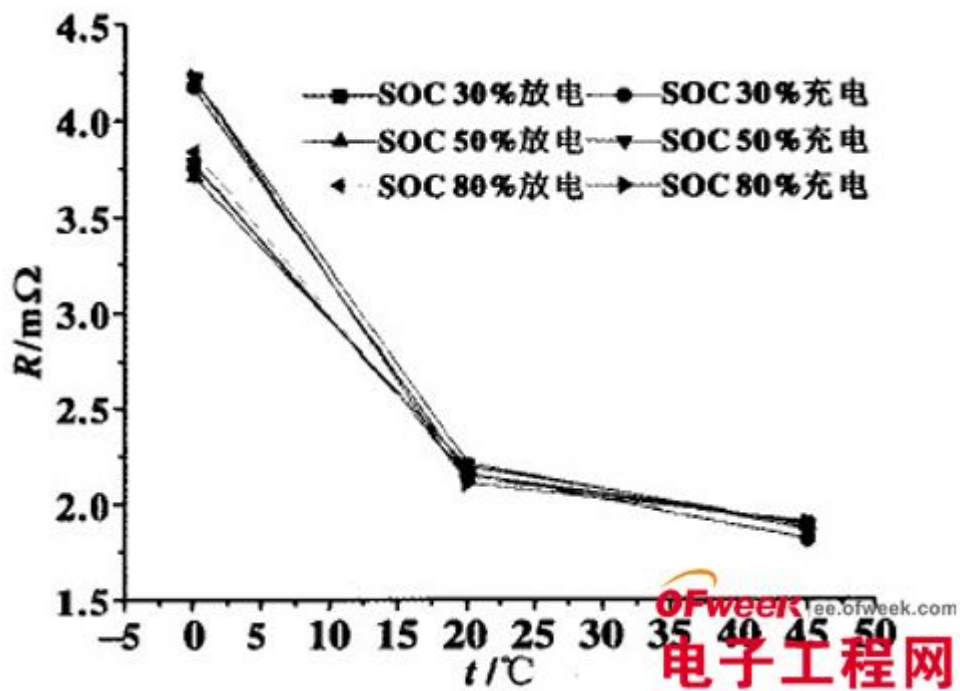


图 10 锰酸锂 100Ah 锂离子电池的直流内阻与温度的关系

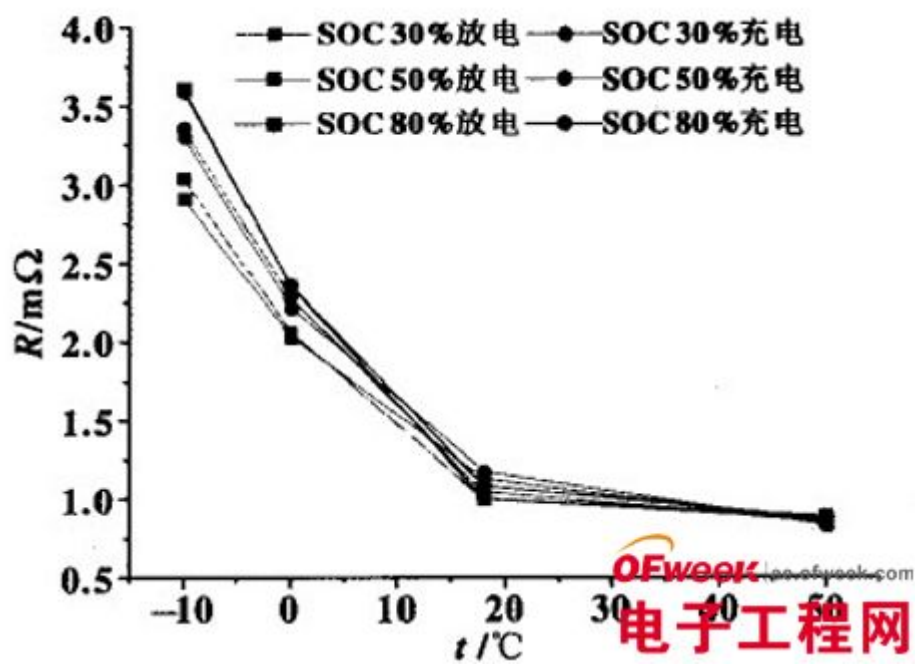


图 11 磷酸铁锂 150Ah 锂离子电池直流内阻与温度的关系

1.5 电池热特性

铅酸、氢镍、锂离子三类动力电池的电化学工作原理截然不同，热特性、可以容忍的高温和最佳运行温度范围也不同。

磷酸铁锂离子电池的截止温度为 75℃，铅酸电池为 60℃，锰酸锂离子电池截止温度一般在 55~60℃之间，氢镍电池正常使用温度范围为-30~55℃。温度过高会使电池加速老化，寿命缩短，影响电池的基本特性和使用性能，如可用容量、充电接收能力、充放电效率和能量功率性能、安全问题。

本节仅依据电池壁温度对电池热特性进行初步探讨。

锂离子电池在放电过程中电化学反应生热和欧姆生热二者共同作用，使得锂离子放电时的温升更快。图 12 为动力电池在放电过程中电池壁温度变化曲线。

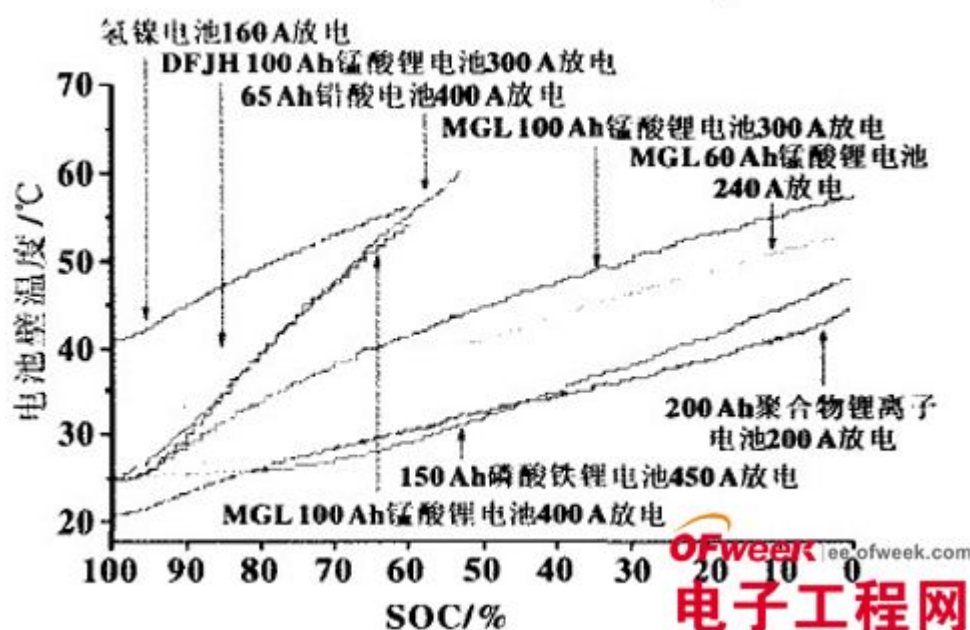


图 12 动力电池放电过程中的温度曲线

从图 12 中可以看出：

(1) VRLA65Ah 铅酸动力电池的高倍率放电表现比较优秀，温度变化曲线与 100Ah 锂离子电池 400A 放电相当接近；

(2) 氢镍电池的放电温度变化相对比较和缓；

(3) 产品体系的锰酸锂离子电池 100Ah 和 60Ah 分别 300A 和 240A 放电时，温度变化曲线相同，温度相对 SOC 的变化率接近一致；

(4) 磷酸铁锂离子电池在以大电流 450A、3C 放电时的温度上升速度相对较低。

1.6 自放电特性

自放电特性的衡量指标为荷电保持。图 13 为两种锂离子电池和氢镍电池的荷电保持率曲线。初始 SOC 的不同会影响荷电保持率，锂离子电池的荷电保持率很高，其中液态锂离子 100Ah 电池(初始 SOC100%)存开路搁置 146d 后，荷电保持率为 96.4%，而氧镍电池在开路搁置 28d 后，已降至 80.42%。南此看荷电保持率是氢镍电池需要改进完善的方面。

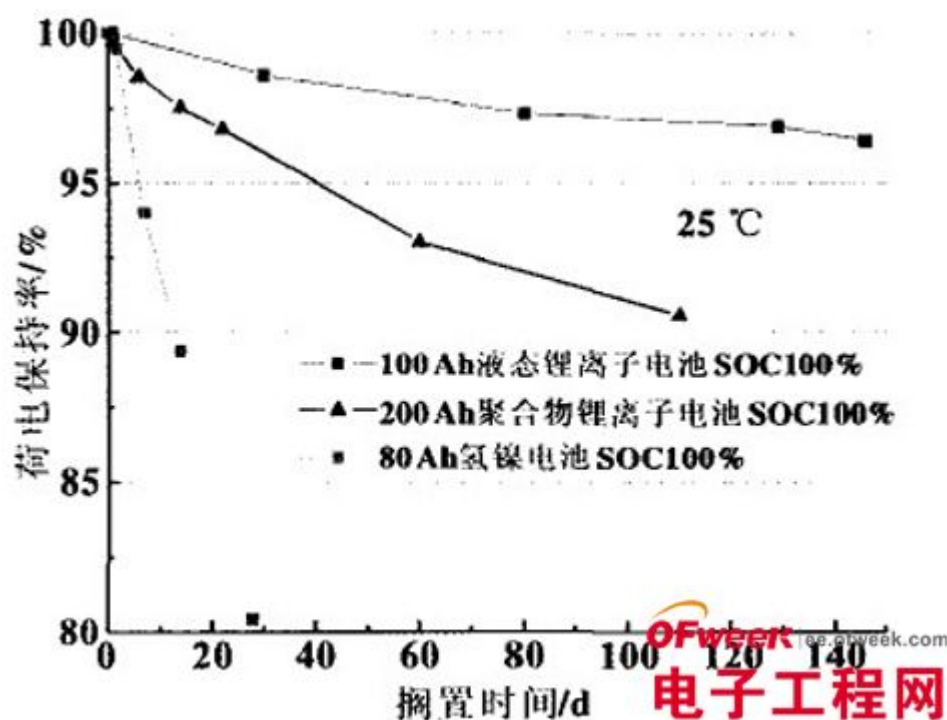


图 13 氢镍电池和锂离子电池的荷电保持率

2. 性能对比

能量功率性能是对电动汽车用动力电池使用方面需要考核的主要性能指标，与汽车续航里程及其动力性关系密切：铅酸电池 VRLA 的比能量是最低的，只有 35Wh/kg 左右，氢镍电池和锂离子电池则依次提高。从图 14 可综合考查电池能量和功率性能，包括五种动力电池在不同功率水平下的比能量铅酸电池大电流高倍率放电能力比较强，但比能量和单位功率水平大大降低=氢镍电池比能量较低是由于高温耐受性有限，在有效热管理情况下氢镍电池的放电功率水平并不逊色，但比能量与锂离子电池仍有差距。

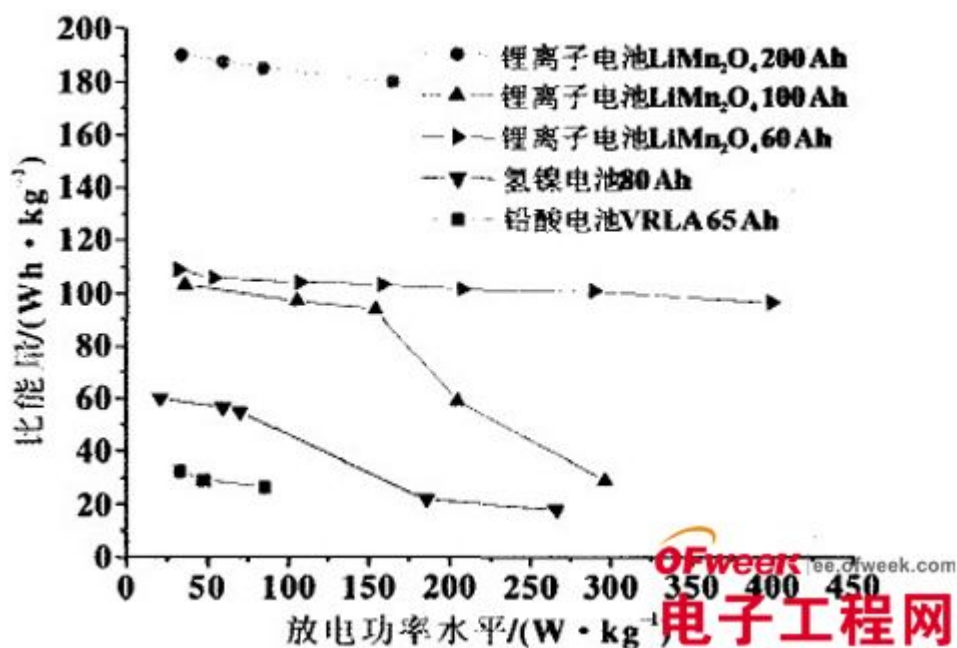


图 14 质量比能量与放电功率水平的关系

锰酸锂离子电池是目前高端电动汽车常用的动力电池。

从图 14 可以看，锂离子电池放电功率能力最好，能量功率综合性能最优。

3. 结论

铅酸电池、氢镍电池和锂电池在基本特性方面各有特色，在应用于电动汽车动力电池时各具优势，分别有自己的适合的场合。但就应用前景和性能提高潜力方面，锂离子电池综合评价最优，是未来电动汽车动力电池发展的方向。