

电池充电电压、充电电流、充电曲线等基础知识-V1.0

1. 锂系电池相关知识：

锂系电池（市场上主要的锂电池类型有锂聚合物 LIPO、钴酸锂 LCO、三元材料 NMC、磷酸铁锂电池 LiFePO_4 或 LFP 这四大类型，前三类 LIPO, LCO, NMC 因为充放电平台基本相同，我们统称锂离子电池，以区别于第四种的铁锂电池）的充电方法目前最简单的方案是恒流-恒压（CC-CV）两段充电法，优秀的充电方案是在普通 CC-CV 两段基础上增加了预充阶段和关断维护阶段，从而构成四段式充电流程。

锂系电池的充电方式和充电曲线是一样的，最简单的充电方式就是“恒流+恒压”的两段式，先是恒流阶段，用恒定电流输出（一般是 $0.1C\sim 1.0C$ ）给电池充电，等电池电压逐渐上升到 $N*4.2V$ 或 $N*3.6V$ 时（锂离子是 $4.2V$ ，磷酸铁锂是 $3.6V$ ），就改用 $N*4.2V$ 或 $N*3.6V$ 恒压输出，并且一直维持这个电压不变。

下面是用两段式给一个 2000mAh 的单体锂离子电池充电的曲线，第一阶段式恒流电流 1200mA ($0.6C$)，第二阶段式恒压 $4.2V$ 。

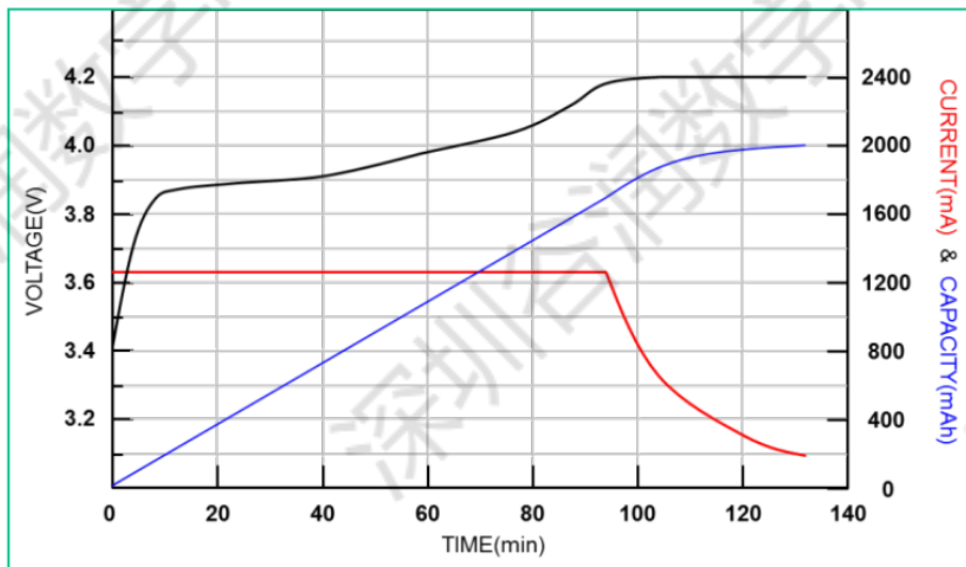


图 1: CC+CV 充电方式的充电曲线图

上述的两段式充电方式比较简单，有两个缺点，一是电池充满后会一直施加 $N*4.2V$ 电压给电池，若持续时间太长久，会存在有一定的过充电安全隐患。第二个不足是当电池严重亏电时，若马上就给大电流恒流充电，会对电池内部有一定的损伤（就如同给一个身体很虚弱人突然吃大鱼大肉，很容易造成消耗不良的）。因此比较专业的锂电池充电器现在都采用的是 4 段式充电策略：

- 1) 第一阶段是用小恒流（建议 $0.05\sim 0.1C$ ）进行预充电，等电池电压恢复到 $N*3.2V$ （对锂离子）或 $N*3.0V$ （对磷酸铁锂）之后，进入第二段。
- 2) 第二阶段是大恒流（建议 $0.2C\sim 1C$ ）主充电阶段，当电池电压达到 $N*4.2$ 或 $N*3.6V$ 后，进入第三阶段恒压充电。

- 3) 第三阶段是恒压充电，充电电压就恒定在 $N \times 4.2V$ 或 $N \times 3.6V$ ，此阶段的电流会随着电池逐渐充满而逐渐减小，当电流小于设定的充满条件值时，一般建议值是小于 $0.05 \sim 0.02C$ ，此时电池已经完全充满，充电器就进入第四阶段，关断输出监测电池自放电。
- 4) 关断+监测阶段，此时充电电流为零，充电电路实时监测电池电压，若电池电压低于 $N \times 4.0V$ 或 $N \times 3.4V$ ，充电器会重新开始一个新的充电流程。

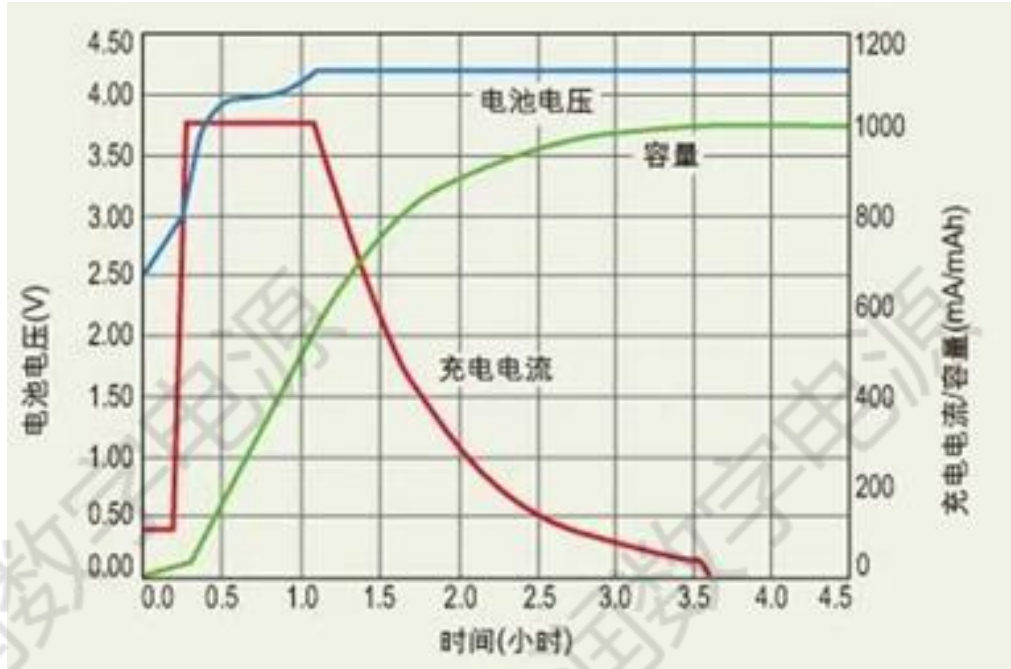


图 2: 4 段式充电曲线图

2. 铅酸电池充电知识:

铅酸电池（现在市场上主要是密封免维护铅酸电池 AGM 和胶体铅酸电池 GEL 这两大类型）的充电方案一般有下面几种:

- 1) **普通两段式**，先是恒流阶段，用恒定电流输出（一般是 $0.1C \sim 0.2C$ ）给电池充电，等电池电压逐渐上升到 $N \times 2.28V$ 时（ N 是电池串联的节数，单体铅酸是 $2V$ ，最常见的 $12V$ 电池就是六个单体串联， $N=6$ ），就改用 $N \times 2.28V$ 恒压输出，并且一直维持这个电压不变，即使电池已经很满电了，充电器也会一直保持这个输出电压不变。这个长期施加的电压也叫浮充电压（floating voltage）。这种充电方式最简单，不足之处是充满电需要的时间太长，一般要超过 20 小时才能完全充满。主要是应用在后备应急电源系统和 UPS 不间断电源系统中，正常情况下，电池是不对外放电的，只有当市电突然停电时电池才对外放电。
- 2) **标准三段式**，对于**便携移动式场合**，这是最常用的铅酸电池充电方式。首先是恒流充电阶段（**主充**）：以 0.2 倍电池容量的电流（如 $48V20Ah$ 电池用 $4A$ ）快速充电，电压逐渐升至 $N \times 2.45V$ 后进入恒压充电阶段（**吸收**）：电压

稳定在 $N \times 2.45V$ (对于 12V 电池 $N=6$, 那就是 14.7V, 之后充电电流会自然减小, 持续约 2-3 小时, 当充电电流自然衰减降低到 $0.02C$ (C 就是电池容量, 对于 20Ah 就是 0.4A), 就进入涓流浮充阶段 (维护), 此时需要把充电器电压降至 $N \times 2.28V$, 充电电流就会很小 (对于 20Ah 电池通常 $<0.1A$), 相当于两段式的第二阶段, 可以长时间保持这个维护电压。其充电过程曲线如下图 1:

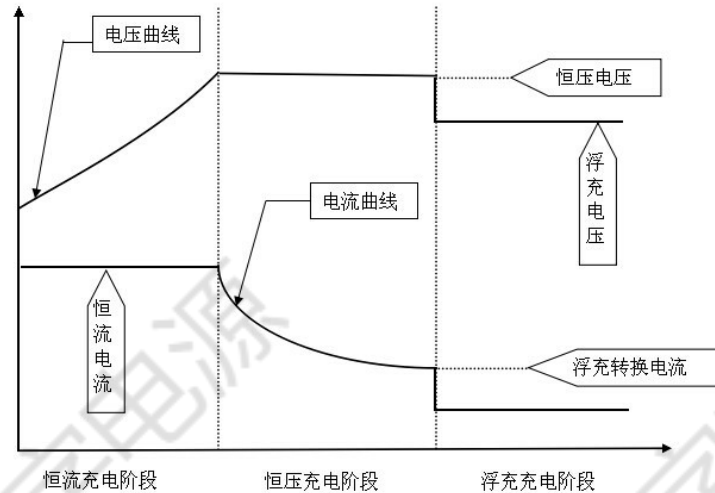


图 1. 铅酸电池三段式充电曲线

注意上面说的充电电压是基于室温 25 摄氏度, 冬季或夏季温度偏离较多时, 需要考虑温度补偿系数 $-4mV/$ 摄氏度。比如零度时电池的维护电压就要 $N \times 2.28V$ 调整为 $N \times 2.38V$ 。

- 3) 带有预充功能的四段式, 它在标准三段式前面增加了预充阶段, 这样做理论上对电池会更友好一些, 但是这个预充阶段的必要性也不大, 因为恒流主充的电流一般都不大。
- 4) 有些充电器添加了修复充功能或脉冲功能, 这些概念主要是商业宣传, 多年来的实际验证结果并不理想, 现在已经很少采用了。

3. 镍氢电池充方法简述:

镍氢电池(NIMH)和镍镉电池(NICD)的充电方式基本相同, 都是“恒流主充+小恒流涓充”的两段式, 实际上在第一阶段, 也就是大电流主充阶段 ($0.2 \sim 2C$), 电池已经 100%充满, 后面施加的这个小电流涓流 trickle ($0.01 \sim 0.02C$) 的作用是防止镍氢电池的自放电, 因为镍氢电池的自放电比较大, 对于充满电测镍氢电池, 施加一个小涓流是很有必要的。

需要注意的是, 何时结束大电流主充, 是很有难度的, 这个不能像铅酸或者锂电来依靠电池电压升高的某个固定的数值来判定 (比如锂离子电池就是判定电压是否达到的 $N \times 4.2V$ 来终止恒流, 进入恒压), 也无法用充电电流衰减到某个电流

值来判断。事实上，镍氢电池在充电过程中，当电池快要充满的时候，它的充电电流是恒定不变的，能达到的最高电压也不是一个固定值，而且这个值还会随着电池的充满还会轻微降低，这个现象叫做-dV（负的电压变化）。-dV 是镍氢和镍镉电池在充电时特有的现象，铅酸和锂电都没有这个现象。优秀的镍氢电池充电器要具备准确捕捉这个-dV 的发生，并依次作为电池充满，结束大的流量主充，切换到涓流模式。此外，镍氢电池快要充满的时候，电池的温度也会快速上升，利用这个特性也可以非常准确的判断镍氢电池是否充满的条件。

下图 1 就是镍氢充电器的充电曲线，黑色是电压，红色是电流，绿色圆圈里的这段电压曲线就是-dV 的现象（电压达到峰值后略微下降了一点点）

因为镍氢电池的-dV 很小，一般单体只有 3~6mV，因此对充电器的检测功能要求比较高，必须要高精度低噪声的数字检测电路来支持。

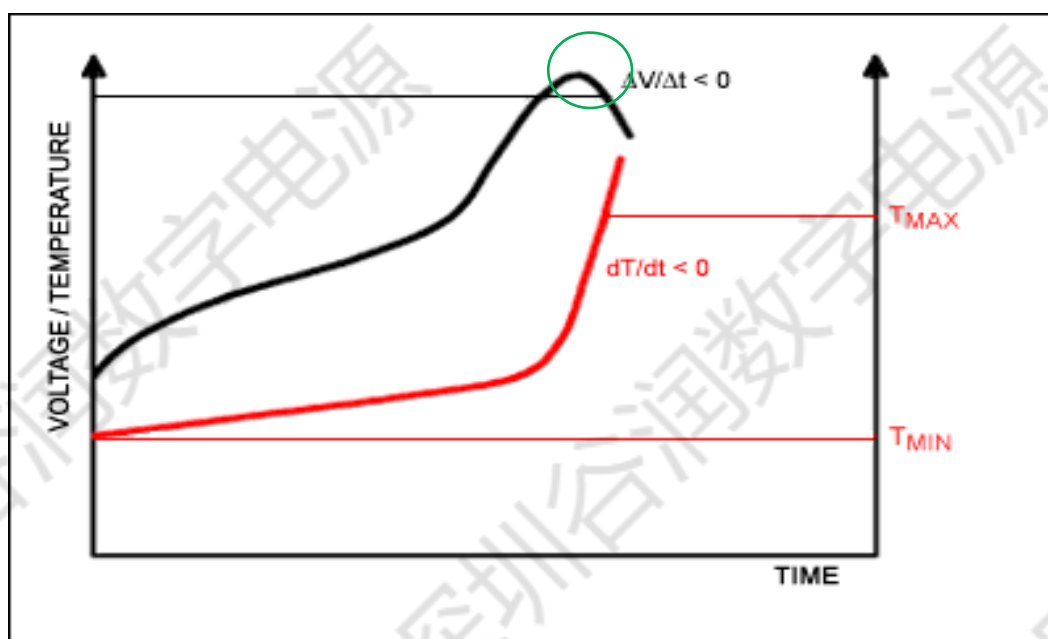


图 1. 镍氢及镍镉电池充电曲线