

# 如何使用锂离子电池充电器对三节式镍电池组充电

作者: Charles Mauney, 德州仪器 (TI)  
电源产品营销高级应用工程师

## 引言

所有便携式设备都有一个共同点: 都需要有一款便携式电源来驱动设备。许多便携式设备都使用锂离子聚合物电池, 其拥有较高的能量密度, 因此具有重量轻、体积小的优点。为了给这些设备充电, 市场上出现了大量低成本、高集成度的锂离子电池充电器 IC 设计。但是, 要求使用大电流镍电池的设备仍然非常普遍, 因为其低阻抗、低成本和购买方便。另外, 人们认为它们比锂离子电池要更安全, 因为它们要求具有许多安全功能。

大多数系统都要求至少有 3V 的电压才能正常运行, 也即需要使用一节锂离子电池或者三节串联 (3S) 镍电池。两种电池都可以驱动便携式设备, 但要求使用的“快速充电”方法却不同, 因此充电器 IC 也完全不同。由于我们的设计重点都放在了锂离子电池上, 并且镍电池充电器 IC 需要使用外部组件, 因此今天的市场上少有现代、集成和易于使用的镍电池充电器 IC。本文将为您说明使用高集成度、低成本、锂离子单节电池充电器 IC 对镍电池组进行充电的合理性, 并讨论这样做所带来的优点和缺点。

## 镍和锂离子电池的充电过程

所有镍电池都要求有一个大于 0.3C 且小于 3C 的恒定电流 (CC) 快速充电率, 以获得可检测的充电终止信号。在一个小时时间内对整块电池放电需要 1C 的电流。例如, 如果 2300 Ma 负载持续一个小时, 则可以对一节 2300mAh 电池完全充电。镍电池充电器 IC 使用峰值电压检测算法来监控镍电池组的电压。当电池组达到某个峰值电压, 然后从该电压开始下降 (通常每节电池 3 到 6 mV) 时, 终止快速充电。一旦电池充满, 电池中多余的能量便以热的形式耗散掉, 同时电压下降, 因为电池的内部阻抗由于温度上升而下降。要求使用一种非常精确的采样电路, 以检测指示快速充电终止的这种小电压变化。图 1 显示了 1A (1C) 恒定电流 (CC) 快速充电时一个完整充电周期内 3S 镍氢电池组充电曲线。

图 1 3S 镍氢电池组充电曲线

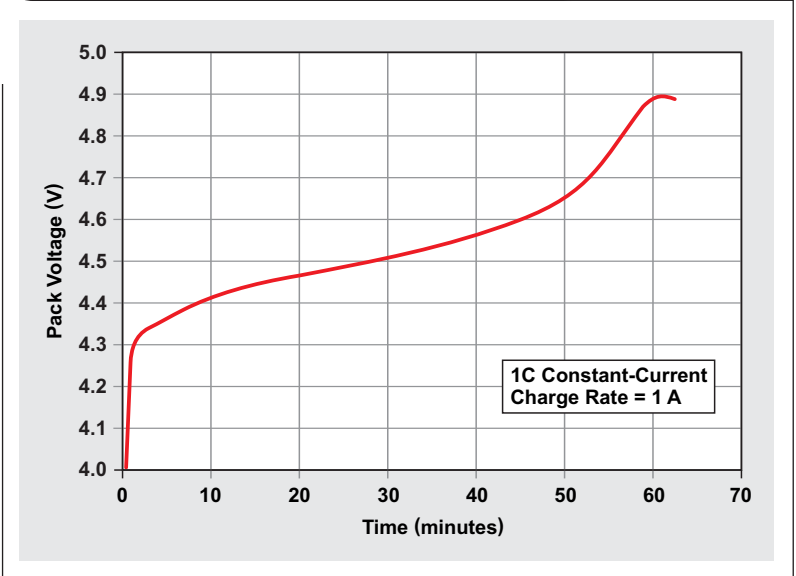
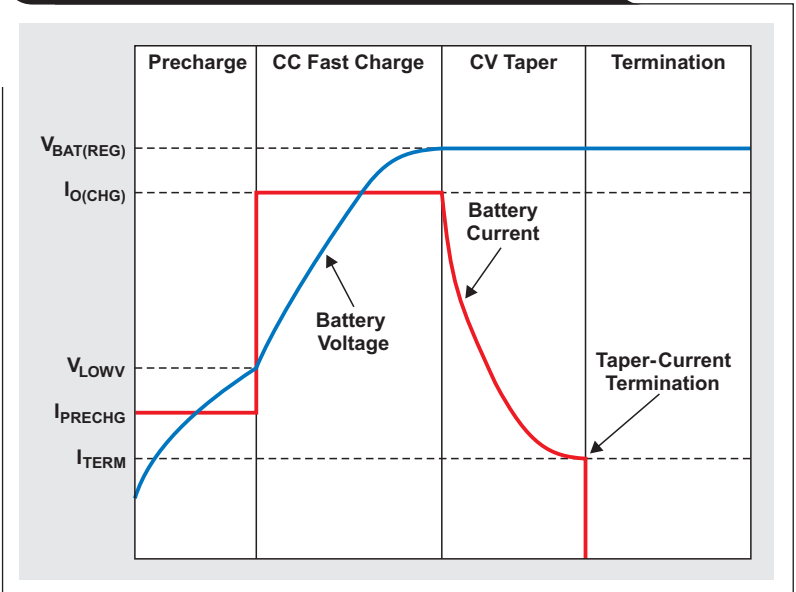


图 2 典型锂离子电池充电曲线



与之形成对比的是, 锂离子电池充电器具有恒定电流和恒定电压 (CC-CV) 充电算法 (请参见图 2)。在快速充电期间, 充电电流恒定, 直到电池组电压达到 4.2V 为止。这时, 电压环路

启动，并在电流逐渐减小时也始终保持恒定，其通常为快速充电电流的 1/10。当充电电流减少至该电平时，终止充电。预充电模式是内部短路锂离子电池的一种安全特性，我们将在后面进行讨论。电流逐渐减少曲线不过是一个慢 RC 时间常量。电池组都有内部电阻和电容。随着电池电压上升，电池内部电阻的压降减小，也即充电电流更少。

典型的锂离子电池充电器只检测下降电流终止 ( $I_{TERM}$ )，但是当用作镍电池充电器时会存在一些设计挑战。利用标准 CC 方法，一节典型的镍氢电池可在充电终止以前充电至  $\sim 1.55$  V。在充电终止以后，电压降低至  $\sim 1.45$  V。镍镉电池在电压达到  $\sim 1.45$  V 时终止充电，之后电压降至  $\sim 1.35$  V。因此，3S 镍氢电池组的总电压为 4.65V/4.35V，而 3S NiCd 电池组为 4.35V/4.05V。由于降低以后的电压非常接近于锂离子电池的 4.2V 充电终止点，本文将研究如何使用一个锂离子单节电池充电器对 3S 镍电池组进行充电。镍电池充满至完全电量以后，电池组电

压接近 4.2V，从而使锂离子电池充电器电流逐渐下降至一个非常低的水平。

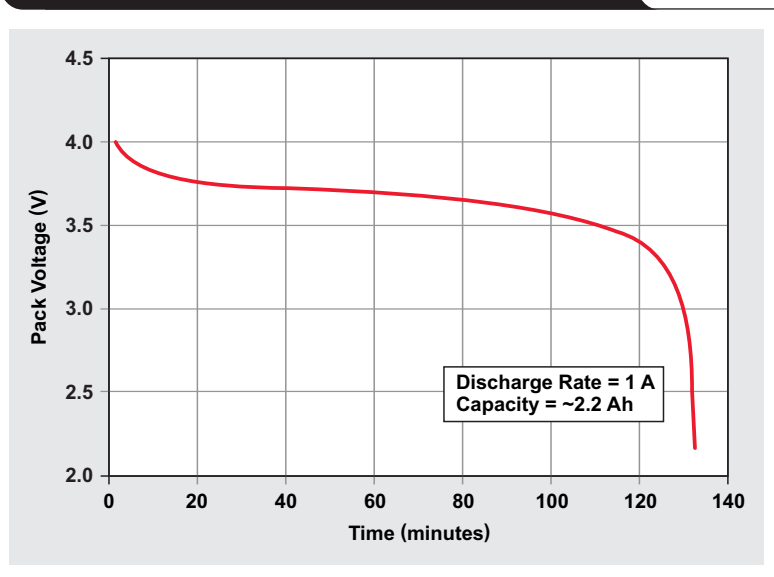
## 安全问题

使用锂离子 CC-CV 方法将一块 3S 镍电池组充电至 4.2V 不存在实际安全问题，因为电池组达到完全电量后电流会自然地逐渐降低 0A。因此，一旦充满，电池组接受的电能几乎没有。不要启用锂离子电池充电器的充电终止功能，因为没有必要，并且如果设置过高它会降低镍电池的已充电量。例如，利用 TI bq24040/50/90 系列，我们可以对充电终止阈值进行编程，以达到理想的低水平。

可能的情况是 3S 镍电池中的一节短路，并且电流逐渐降至零时快速充电可能不会达到电压调节要求。这个问题可以通过在电池组中放置一个热敏电阻来解决，这样充电器 IC 便可以在出现故障状态时监控和限制最大温度。典型镍电池组充电并不需要使用锂离子电池充电器的预充电模式。但是，这种模式可以让充电更安全。如果电池组电压由于短路降至预充电阈值 (2.5 到 3V)，它可以降低充电电流。降低电池短路风险的另一种方法是把快速充电电流降至 C/5。这种方法可以降低温升，但代价是适当增加充电时间。

许多镍电池充电器设计本身都存在一些问题，但是利用电路监控充电过程、声明故障状态并停止充电，可以缓解这些问题。使用典型的 CC 快速充电方法时，IC 检测  $-dV$  或者  $dT/dt$ 。这种方法存在的一个问题是，在充电终止以后，如果拔除设备

图 3 传统 CC 充电终止后 3S 镍氢电池组的放电曲线



并使用一会儿，然后再重新连接充电器，电池组肯定会充电并且出现温升，这会让  $dV$  进一步下降，或者  $dT/dt$  增加。如果拔除设备然后再重新连接几次，阻抗急剧下降，并且充电不会终止。但是，如前所述，如果达到温度故障阈值则增加热敏电阻会使充电器 IC 终止充电。使用锂离子电池充电器便没有温度变化引起的再充电问题，除非电池短路，因此总体而言其作为一种更加安全的设计。

## 测试结果

我们对一块镍氢电池组充电后再放电，以了解 CC 和 CC-CV 充电过程之间的结果差异。图 3 显示了一块典型 3S 2.3-Ah 镍氢电池组的放电过程和电量变化情况。我们在 1C 下使用传统的 CC 方法对它充电。电量测得为  $\sim 2.2$  Ah，它是判断 CC-CV 充电方法的参考点。

由于我们仍然针对 0.1C (230 mA) 设置充电终止，第一次使用 CC-CV 方法充电的结果就让我们吃惊。电池充电没多久就终止了，测得电量为 0.76 Ah。图 4 显示了经过部分充电的电池的放电曲线。很明显，电池因 0.1C 终止而充电不足。快速充电终止阈值与 0.1C “细流”充电率类似，其意味着如果允许持续进行细流充电则可以获得更高的电量。为了在电池中存储更多的电量，下一步是关闭充电终止功能，然后观察电量变化情况。

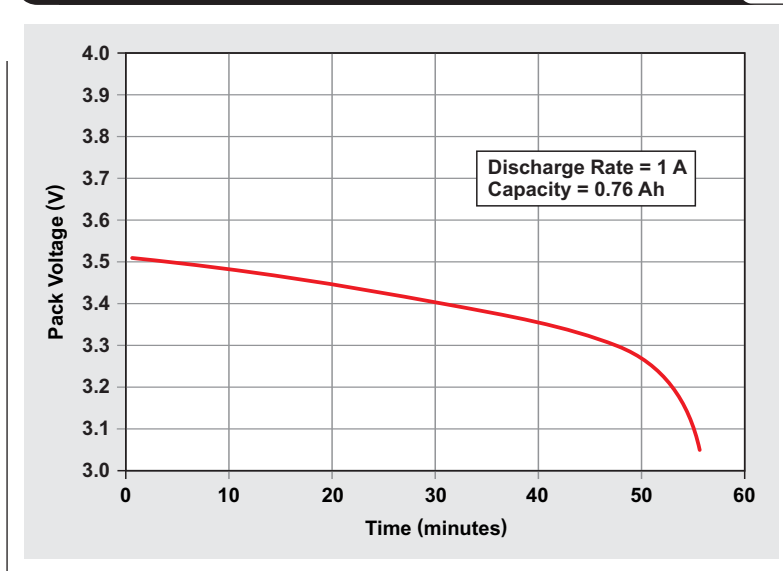
图 5 显示了在没有开户充电终止功能情况下电池组的充电曲线。由于电池电流不断变化，并且 99% 的充电时间中电池都在进行电压调节，因此该曲线图绘制的是电流而非电压变化情况。在充电初期，我们看到有几分钟的 CC 模式。电流数据在充电期间经过整合，用于确定是否向电池提供了 ~2 Ah 的电流。图 6 显示了无充电终止情况下进行充电后的电池组放电曲线。电池组测得电量为 1.99Ah。

正如我们看到的那样，使用 CC-CV 方法进行 3S 镍氢电池组充电，其结果与使用标准 CC 快速充电方法差不多，但最后 30% 电量的充电时间更长。

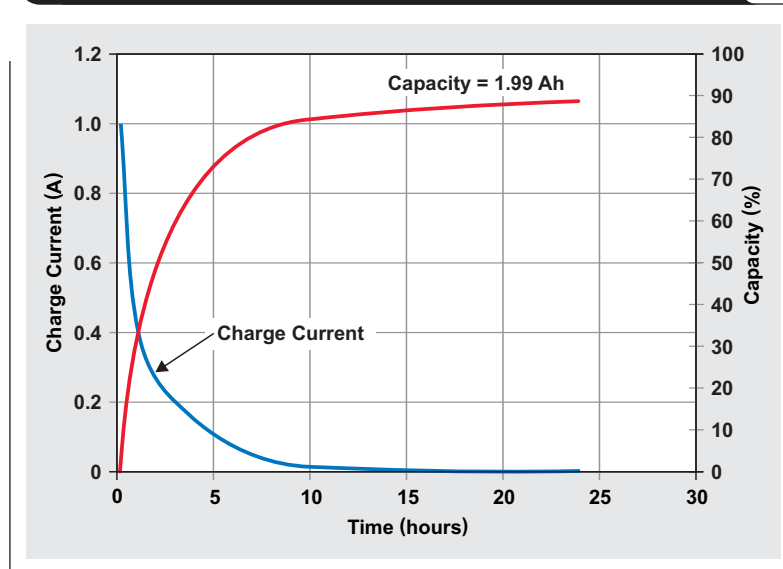
### 其他应用

通过调节输出电压，用 CC-CV 方法让多节锂离子电池充电器对三节以上镍串联电池进行充电是可能的。如果利用 4.2 V/3 电池=1.4V 每节电池原则设置调节电压，则这种方法较为有

**图 4 230Ma 充电终止 CC-CV 充电后 3S 镍氢电池组的放电曲线**



**图 5 无充电终止 3S 镍氢电池组的 CC-CV 充电曲线**



效。通过选择一个更为接近 0.1C 电流电平的电池组完全电量的电压的调节电压，可以使设计得到优化。这样便可以获得稍多一点的驱动力，更加快速地将电池组充满，并拥有稍高一点的电量。本文所述镍氢电池在充满电时拥有 0.1C (30° C) 下 4.45V 的电池组电压。

CC-CV 充电方法还可用于镍镉电池组。充满电时，0.1C (30° C) 下镍镉电池组的规定电压为 4.32V。快速充电终止后的镍镉开路电压为每节电池  $\sim 1.4\text{ V}$  乘以 3，即 4.2V，其意味着电池组接近完全电量后电流达到零。

当对最大调节电压进行优化时，设计人员应考虑利用哪些电池特性以及它们是否可以替代。要想找出所有的系统设计问题，我们需要使用所有变量在所有运行范围不断对充电器应用进行测试，并确保有一定的安全裕量。

CC-CV 充电方法可用于适配器或者 USB 电源，实现更加广泛的应用。

## 结论

本文表明，使用一个单节锂离子电池充电器对 3S 镍氢电池组进行安全的充电并将其充至完全电量是可以实现的。锂离子“镍充电器”可以被归类为一种混合式快速/慢速充电器，其

在 5 个小时便可获得 70% 的充电量。充电电流在充电结束时逐渐降至 0A，从而降低了出现散热问题的概率，最终实现更长的电池寿命。最值得注意的是，在无需改变硬件或者固件的情况下，便可以利用 CC-CV 方法对镍或者锂离子电池组进行充电，从而让其成为一种低成本、高集成度的解决方案。

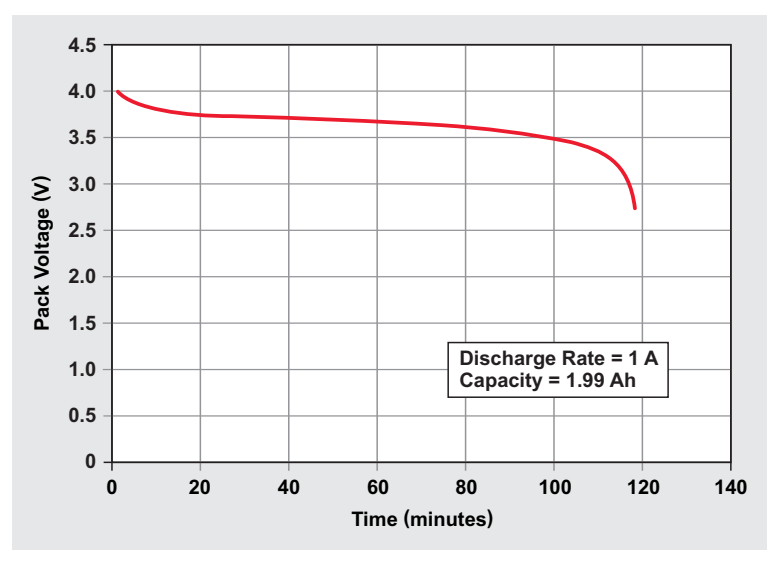
## 相关网站

[www.ti.com/battery](http://www.ti.com/battery)

[www.ti.com/product/partnumber](http://www.ti.com/product/partnumber)

用 bq24040、bq24050 或者 bq24090 替换上面的“partnumber”

图 6 119 分钟 CC-CV 充电后 3S 镍氢电池组的放电曲线



## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品 & TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司