

是德科技

优化物联网设备电池消耗的五個技巧

应用指南

技巧之一：查看电流泄漏波形，深入了解电池运行时间

深入了解设备运行，优化电池运行时间。

为了简单地验证电池运行时间，您可以直接测量运行时间，也可以长时间测量电流消耗，然后根据注明的电池容量进行推导。然而，如果要对运行时间加以优化，我们需要进行多项测试来了解更多情况。您必须对设备及其子电路和电池进行测试和表征，测试和表征既要单独进行，也要组合进行。详细的电池消耗分析能够让您更深入地了解设备运行情况，从而对运行时间加以优化。

高速、高分辨率电流消耗数字化处理可助您获得更深入的见解，以便对电池运行时间加以优化。

以 50 kSa/s 或更高速率对电池电流消耗进行数字化处理并采用宽阔的动态测量范围，能让您更深入地了解电池运行时间。每种方法都有其优点，也存在相应的局限：

- 电流探头（如 Keysight N2820A），与数字示波器结合使用，可提供高速电流波形数字化能力。但是，精度和噪声性能取决于电流探头所连接的示波器。
- 高端数字万用表（如 Keysight 34470A）具有小数点后几位的精度，但其显示屏的显示面积很小，可能无法显示波形细节。您可能必须将数据转移到计算机才能进行全分辨率分析。
- 快速数据采集系统和精确的电流分流器可以提供比电流探头和示波器更好的精度和更宽的测量范围。然而，您必须将电流分流器峰值压降控制到最小，使其不至于过分影响被测设备，同时要记住，非常小的分流器压降会限制测量的动态范围和精度。
- 一些专用的电源/测量单元（SMU），如 Keysight N6781A 和 B2900 系列，可将直流电源与高速数字化宽动态范围测量系统相结合，该测量系统可以避免外部分流电阻器带来的电压负担影响，准确地表征电流消耗。
- 器件电流波形分析仪（如 Keysight CX3300 系列）具有出色的精度、准确度和带宽。这些特性与大显示屏相结合，让您可以看到在其他设备上不可见的波形特性。

以下是根据设备的电流消耗波形获得深入了解的示例：

以图 1 为例，图中所示为一台可穿戴健身监测仪在运行中的电流消耗，它采用 Keysight N6781A 电源测量单元测得。N6781A 是一款电池仿真器，专为移动设备供应高达 20 W 的电力，并能够以超过 195 kSa/s 的速率测量纳安至安培级别的电流。它具有宽阔的动态测量范围和高速数字化能力，可让您迅速获得更深入的洞察，从而能够优化电池工作时间。N6785A 电源测量单元模块具有相同的功能，但可以提供 80 W 的电力。

这些见解包括：

- 空闲电流基准值
- 空闲时段持续时间
- 空闲时段活动的电流消耗值和持续时间
- 发射电流值和射频功率放大器功率附加效率（PAE）
- 发射电流持续时间

精确的电流消耗测量可让您获得深刻的见解，让您的设备具有出色的电池运行时间。

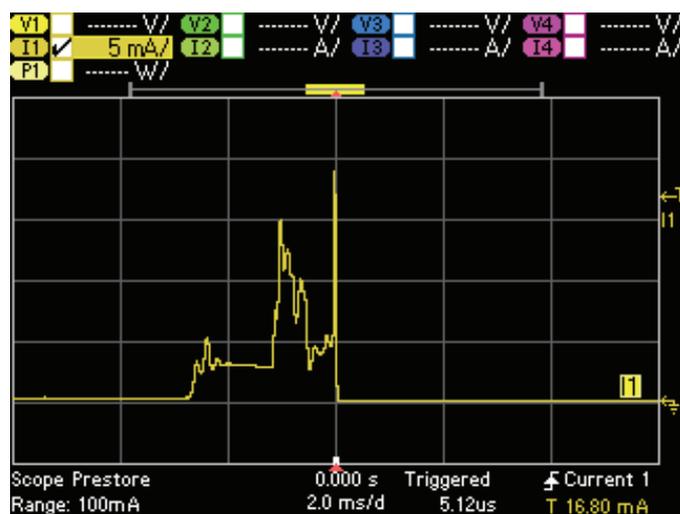


图 1. 配有 N6781A 电源测量单元的 N6705B 直流电源分析仪所显示的可穿戴健身监测仪电流消耗波形

技巧之二：提高测量精度，确保在节电模式下获得更长的电池运行时间

评测设备在睡眠模式下的电流消耗是优化电池运行时间的基础。

大多数物联网设备在大部分时间都处于待机或其他低功耗模式。设备会偶尔唤醒并迅速进入活动状态，以处理数据或进行通信。因此，设备的电流消耗具有以下特征：

- 周期很长，达到数十秒到数十小时
- 极低的占空比，通常远低于 1%
- 极高的波峰因数 (100 或更高)
- 宽动态范围 (运行模式和睡眠模式之间的电流比高达 600,000:1)

虽然睡眠/待机模式下的功耗非常低，但这些低功耗模式却消耗了电池的大部分容量。长时间处于低功耗模式下需要以前所未有的精度来优化电池运行时间，这对于常规测试设备来说很有挑战性。即使仪器 (包括数字化数据采集设备) 能够在适当的持续时间内对测量进行充分的整合，但在其固定的测量范围内可能没有足够的动态范围来精确测量峰值脉冲和基线睡眠电流。由于波形具有相对较高的峰值，因此在所需测量范围内仪器的偏置误差通常与平均值相当，导致相当高的测量误差。一些折衷的解决方法可能改善某些方面的测量，但它们通常又会在其他方面受到限制，例如带宽。

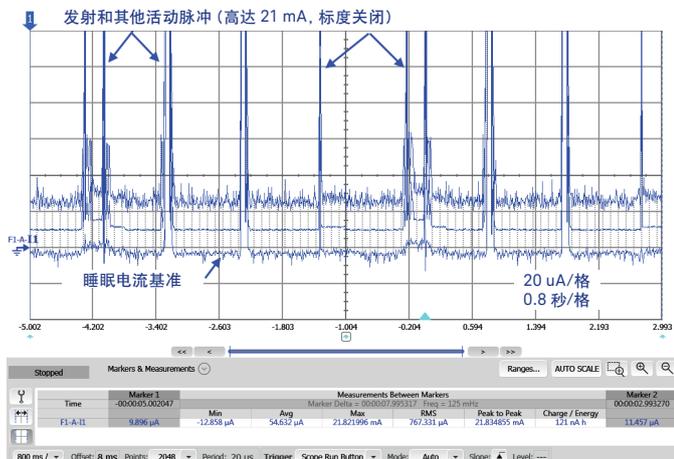


图 2. 使用 14585A 软件和 N6781A (设置为固定测量量程) 显示的无线温度变送器电流消耗测量

节电模式下的电流消耗测量示例

考虑无线温度变送器的脉冲电流消耗具有以下特征：

- 时间段为 4 秒
- 占空比为 0.17%
- 波峰因数为 400

由于功率级别低于 20 W，因此采用 Keysight N6781A 直流电源测量单元为温度变送器的电流消耗提供电源并进行测量。电源测量单元包括用于测量无线设备上电流消耗的高速数字化仪。电流消耗首先使用电源测量单元固定的 100-mA 测量量程加以测量，如图 2 所示。这与使用常规测试设备相当。然而，N6781A 还包括一个创新的无缝量程测量系统，能以超过 195 KSa/s 的速率对设备从纳安级到安培级的电流消耗做数字化转换。这为目前超大的动态范围提供精确地测量。图 3 所示为采用 N6781A 无缝量程得到的改进结果。

采用无缝量程得到以下结果：

- 睡眠电流基准测量误差改善 100 倍，从 115% 到 1.15%
- 总平均电流测量误差改善 75 倍，从 18.9% 到 0.245%—本底噪声改善 5 倍，从 47 μ A 到 10 μ A 峰峰值

此外，高速数字化让您能够更深入地了解睡眠和发射活动。结合无缝测量量程，它可以在优化电池运行时间时为节电运行模式的评测提供有用的见解。

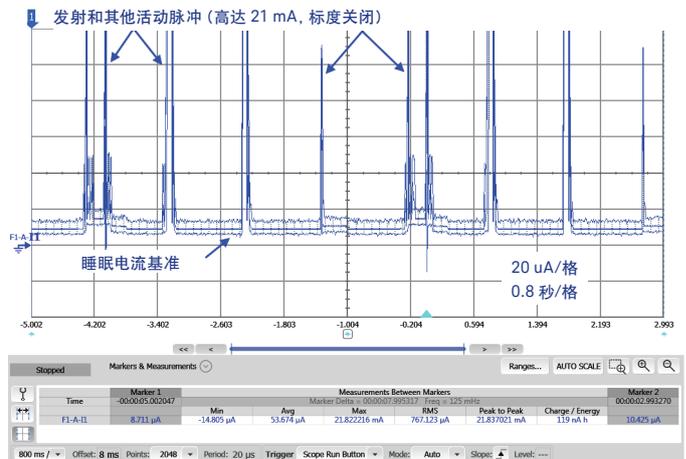


图 3. 无线温度变送器电流消耗，测量结果使用 14585A 软件和 N6781A (采用无缝量程) 显示

技巧之三: 分析分布曲线, 快速优化电池运行时间

为了优化电池运行时间, 您需要快速、轻松地呈现并量化设计更改给无线移动设备长期电流消耗带来的影响。

物联网设备各种子电路的活动可能变化多端, 这取决于用户行为、程序设置、无线环境以及设备本身的复杂性。与之相关的子电路电流消耗也会相应发生变化。要验证设计更改带来的改进, 您需要对相当长时间的电流消耗加以记录, 从而排除随机特性。然而, 您需要掌握更多关于设计更改的影响的详细信息, 才能优化电池运行时间。您是否得到预期的改善? 您如何确定哪些子电路和活动受到了影响? 您可以通过手动滚动数据记录来预估特定猝发电流的电平和持续时间, 但这种方法存在以下几个缺点:

- 非常耗时。
- 由于长期的随机性, 许多值都只是估计值。
- 很容易得到不正确的结论, 因为在长达数小时的数据记录中, 许多毫秒时长的活动难以检查和量化。

虽然长期记录设备的电流消耗势在必行, 但仅凭肉眼对详细的数据记录进行检查仍然存在问题。您需要采用其他的方法来快速、有效地分析长期电流消耗记录。

分析概率分布函数曲线可以快速、简明地描述并量化由设计变更导致的长期电流消耗中的细节差异。

您可以对长期电流消耗的概率分布函数 (PDF) 加以分析, 从而快速、简明地呈现和量化设计更改带来的影响。PDF 绘制出随时间变化的电流消耗与给定电流水平的相对发生频率, 总和为 100%。直方图是 PDF 的最常见形式, 但互补累积分布函数 (CCDF) 特别适用于快速描述长期电流消耗并量化设计变更的影响。

什么是 CCDF?

- 累积分布函数 (CDF) = \int PDF (曲线下的面积 = 1 或 100%)。
- 互补累积分布函数 (CCDF) = 1-CDF。

CDF 曲线从 0% 的概率上升到 100% 的概率，而 CCDF 曲线则从 100% 的概率下降到 0% 的概率，如图 4 所示。该图像使用运行 14585A 软件的 Keysight N6781A 捕获。X 轴是电流消耗的幅度，Y 轴是其相对发生频率。曲线中的水平偏移与幅度相关，而垂直偏移则与时间相关。您可以使用这些偏移来快速分析和量化设计更改给长期电流消耗带来的细节差异。

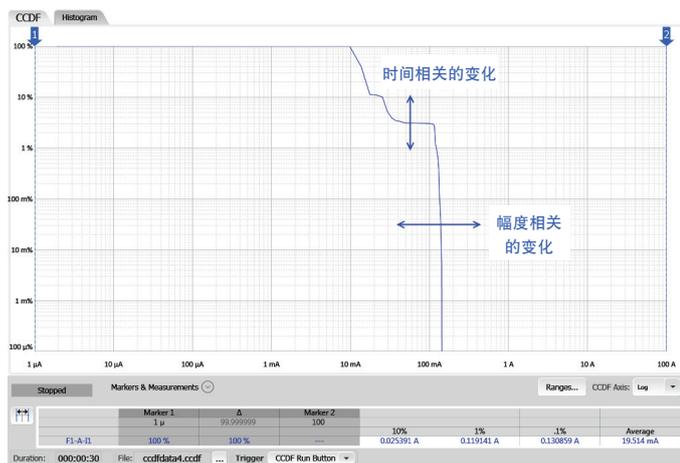


图 4. 使用 N6781A 和 14585A 软件测得的设备待机电流消耗的 CCDF 曲线

CX3300 系列器件电流波形分析仪也具有 CCDF 功能，您可以选择使用 FFT 图来显示，如图 5 所示。

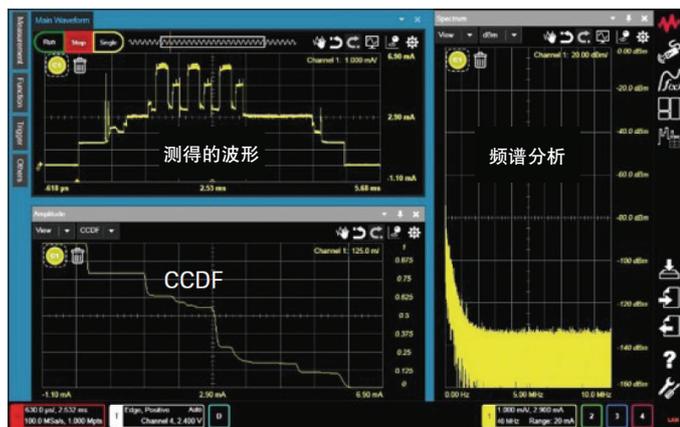


图 5. 在 CX3300 系列仪器上用 FFT 显示的 CCDF 曲线。

评测 CCDF 曲线来分析移动电话待机操作时的功率节省。

为了延长待机操作时的电池运行时间，移动电话通常采用不连续接收 (DRX) 操作。与连续接收相比，功率节省主要取决于在非活动期间可以实现的睡眠电流水平，以及减少接收活动时间的程度。

为了对移动电话的功率节省加以评测，我们使用了 N6781A 直流电源测量单元和 14585A 软件来记录连续和不连续接收待机操作下的长期电流消耗。如图 6 所示，我们使用了 14585A 软件来显示和比较两个电流消耗的 CCDF 曲线，从而快速、轻松地识别功率节省并对其细节加以分析。通过量化两条曲线之间的垂直和水平偏移，我们发现：

- 电流为 128 mA 时接收活动上 2.8% 的（垂直）变化带来了 18% 的功率节省
- 空闲电流上 11.9 mA 的（水平）变化带来了 55% 的功率节省
- 剩余的 27% 功率节省来自降低的基带活动
- 总功率节省为 85.5%

如您所见，CCDF 可以帮助您快速、形象地识别和量化设计更改对子电路和相关活动造成的具体影响，而通过传统方法来实现这一目标可能非常繁琐。

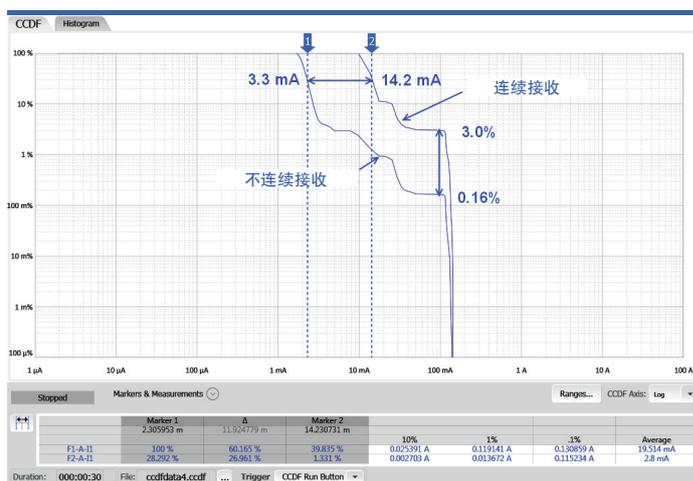


图 6. 通过 14585A 软件使用 CCDF 曲线对被测设备的待机功率节省详情加以分析

技巧之四: 仿真电池来获得更逼真的设备测试结果

使用直流电源为设备供电时, 关键的考量之一是获得与电池相当的电流消耗测试结果。

电池是非常不理想的能量源, 因为它们会与设备相互作用, 影响设备的电流消耗。精确的电流消耗结果对于优化设备的电池运行时间至关重要。在使用直流电源为设备供电时, 您必须考虑电池的特性, 才能确保电流消耗结果正确地仿真了电池的电流消耗。

图 7 所示为电池供电设备上的脉冲电流消耗和电压响应。这表明电池具有相当大的串联输出阻抗, 导致其输出电压对应设备的电流消耗成比例下降。许多设备会相应地适应并加以调整, 以补偿电池的特性。具体而言, 电池随电流成比例下降, 电池电阻为 $150\text{ m}\Omega$ 。

通用直流电源通过使用遥感反馈来保持其输出电压固定, 力求成为具有零输出阻抗的理想电压源。然而, 与电池不同的是, 其电压不会随负载电流下降。此外, 反馈调节具有有限的响应时间, 导致在加载和卸载转换期间出现电压下降和过冲。相当大的瞬态电压下降甚至可以触发设备的低电池电压关断。图 8 所示为使用通用直流电源代替电池进行的测量, 该测量与图 7 所示相同。大不一样的电压响应导致电流消耗比使用电池时高出 10%。

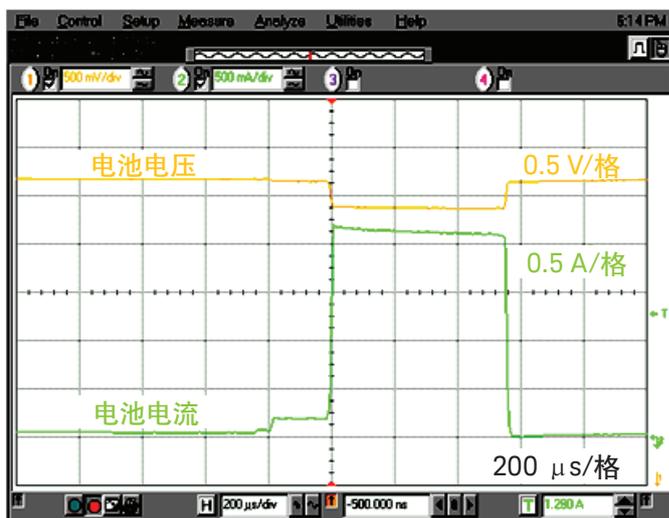


图 7. 由电池供电的设备

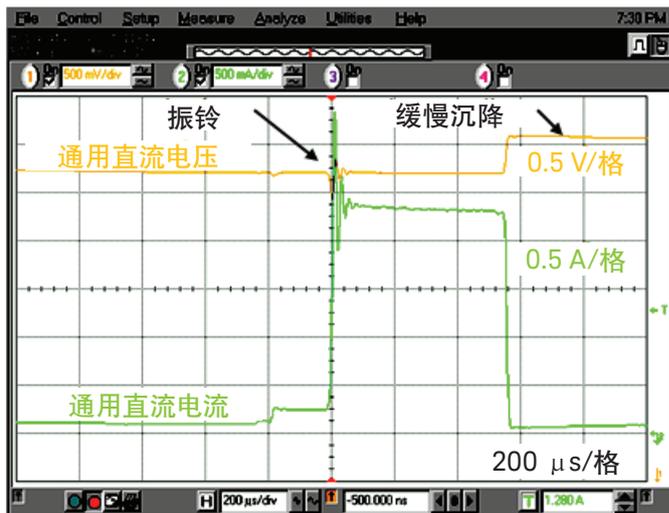


图 8. 为同一设备供电的通用直流电源

电池仿真器直流电源能产生与实际电池相当的设备电流消耗。

为电池仿真定制的直流电源具有以下特征：

- 电流吸收和输出，用于仿真电池的充电电流能力
- 可编程串联输出电阻，用于仿真电池的阻抗
- 极快的负载瞬态响应，最大限度地控制电压下降和过冲，类似于电池的电压响应

图 9 所示为与图 7 所示相同的测量，使用带有电池仿真功能的 Keysight N6781A 电源测量单元代替电池。电源测量单元的串联输出电阻设置为与电池的 150 mΩ 值匹配。电压响应和产生的电流消耗都与电池的相当。

在使用直流电源为设备供电时，仿真电池的电流消耗特征可以获得与实际电池相当的结果。通用直流电源的表现不同于电池，但具有电池仿真功能的直流电源有助于确保得到更准确的结果。N6781A (高达 20 W) 和 N6785A (高达 80 W) 都具有可编程输出电阻。

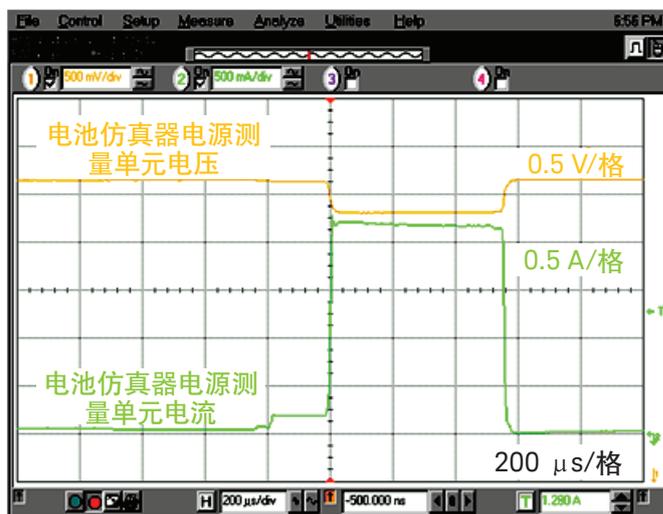


图 9. 为同一设备供电的 Keysight N6781A 电池仿真器电源测量单元

技巧之五：简化电池容量和能量额定值的验证

确定设备运行时间的关键部分是验证电池的容量和额定功率。

如果您仅仅根据制造商的技术资料来确定设备的运行时间，得到的结果可能会不准确。技术资料上的容量通常基于理想条件，代表最大可能电量。在实际应用中，实际容量通常会低一些。

电池容量指电池按照规定要容纳的电量，以安培-小时 (Ah) 为单位。它与电池的额定功率不同，后者以瓦特-小时 (Wh) 为单位。额定功率通常是电池的容量 (Ah) 乘以其标示的额定电压 (V)。根据您的应用，其中一个值可能比另一个值更为重要，因此需要对这两个值都加以验证。温度和电池寿命也会影响从电池获得的电量，因此在测量运行时间时也必须对这些因素加以考虑。

验证电池容量和额定功率需要在精确控制的条件下对电压和电流进行精确记录。

充电（对于可充电电池）和放电条件上非常小的差异可能导致从电池获得的容量和能量出现大的差异。精确地复制并控制所有条件以获得最佳结果至关重要。关键条件之一是放电倍率，通常表示为恒定电流与 Ah 额定容量的比率，称为 C 倍率。C 倍率是电池运行时间的倒数。放电倍率越高，容量和能量输送越低，因此 0.3 的 C 倍率理论上会在 3.33 小时内将电池完全放电。对于 2-Ah 的电池，0.3 的 C 倍率相当于 0.6 A 的恒定电流放电。测得的额定功率可能与基于标示的额定电压值的额定功率不同，因为实际的电池放电电压曲线可能会使得结果稍有变化。精确地控制测试条件，同时准确地记录电池的电流和电压，可以确保在确定电池容量和额定功率时获得准确、一致的结果。

验证电池容量和额定功率的示例：

我们使用图 10 所示的设置以固定的 C 倍率对可充电锂离子电池进行放电。Keysight N6781A 和 N6785A 电源测量单元具有完整的两象限能力，使其非常适合用作精密高性能电子负载和精密直流电源。我们很快配置了具有 3.0 V 截止电压的 0.3 A 恒定电流放电以及长期数据记录，以便使用配套的 Keysight 14585A 软件来验证容量和额定功率。电池的验证结果和额定功率如图 11 所示。将测量标记放置在数据记录的开始处和截止电压点上，显示出电池的容量为 879mAh，功率为 3.32Wh，两者均显著低于电池技术资料中注明的 1 Ah 和 3.6 Wh 的额定值。接下来的步骤是确定什么因素导致了这样的差异，并且评测是否可以从电池获得额外的容量。如本例所示，您应当对电池的容量和功率加以验证，而不要依赖产品的技术资料。

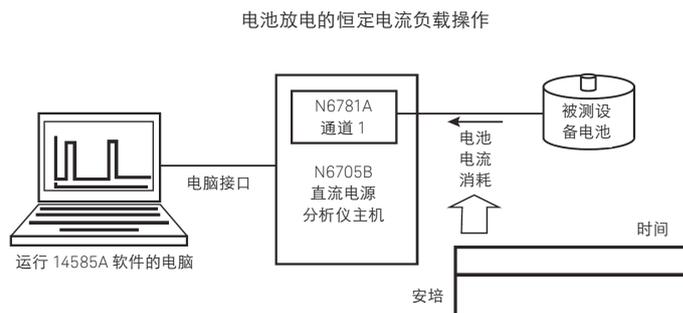


图 10. 使用恒定电流负载以固定的 C 倍率对电池进行放电

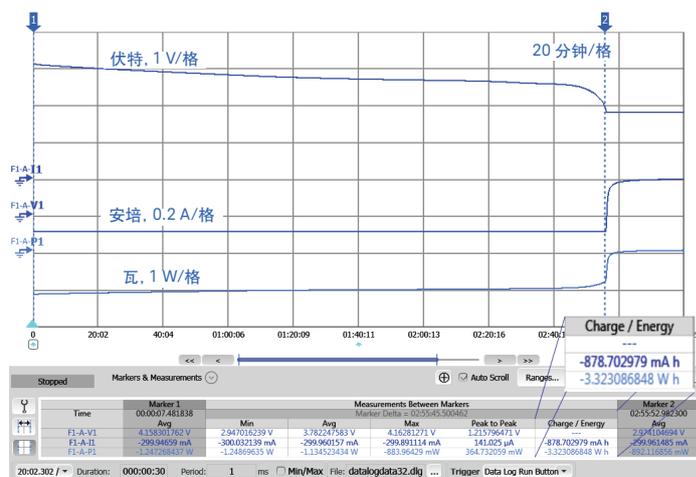


图 11. 使用 14585A 和 N6781A 电源测量单元测量电池的容量和功率。

有一个工具特别适合于此项任务, 它就是 CX3300 器件电流波形分析仪的自动电流和功率分析工具。它自动将波形划分成段, 并以图形和表格方式提供每个波形段的完整分析。



图 12. 使用 CX3300 上的自动电流和功率分析工具分析电流消耗

演进

我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能够帮助您实现下一次突破。
我们正在开启技术的未来。



从惠普到安捷伦再到是德科技



- myKeysight**

www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！
- Keysight Infoline**

www.keysight.com/find/Infoline
是德科技的洞察力帮助您实现最卓越的信息管理。免费访问您的是德科技设备公司报告和电子图书馆。
是德科技服务
- KEYSIGHT SERVICES**

www.keysight.com/find/services
我们拥有业界领先的技术人员、流程和工具，可以提供深度的设计、测试和测量服务。最终的结果就是：我们帮助您应用新技术，以及经工程师改进的流程，从而降低成本。
- 3 YEAR WARRANTY**

3 年保修
是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。
- 10 YEAR ASSURANCE PLANS**

Keysight Assurance Plans
www.keysight.com/find/AssurancePlans
10 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。
- DEKRA Certified**

www.keysight.com/go/quality
是德科技公司
DEKRA 认证 ISO 9001:2015
质量管理体系
是德科技渠道合作伙伴
www.keysight.com/find/channelpartners
黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。
www.keysight.com/find/iot-lowpower

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线
热线电话：800-810-0189、400-810-0189
热线传真：800-820-2816、400-820-3863
电子邮件：tm_asia@keysight.com

是德科技(中国)有限公司
北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话：86 010 64396888
传真：86 010 64390156
邮编：100102

是德科技(成都)有限公司
成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话：86 28 83108888
传真：86 28 85330931
邮编：610041

是德科技香港有限公司
香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼
电话：852 31977777
传真：852 25069233

上海分公司
上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话：86 21 26102888
传真：86 21 26102688
邮编：200080

深圳分公司
深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话：86 755 83079588
传真：86 755 82763181
邮编：518048

广州分公司
广州市天河区黄埔大道西 76 号
富力盈隆广场 1307 室
电话：86 20 38390680
传真：86 20 38390712
邮编：510623

西安办事处
西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话：86 29 88861357
传真：86 29 88861355
邮编：710068

南京办事处
南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话：86 25 66102588
传真：86 25 66102641
邮编：210005

苏州办事处
苏州市工业园区苏华路一 8 号
世纪金融大厦 1611 室
电话：86 512 62532023
传真：86 512 62887307
邮编：215021

武汉办事处
武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话：86 27 87119188
传真：86 27 87119177
邮编：430071

上海MSD办事处
上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话：86 21 26102888
传真：86 21 26102688
邮编：200083