

# 应用报告

## 大电流脉冲用于电池研究



## 前言

测试电池和电池材料的性能有许多不同的方法，传统方法包括长期循环确定循环寿命和容量衰减；电化学阻抗谱（EIS）分析内部电阻、电容和其他特性；

恒电位/恒电流间歇滴定技术（PITT / GITT）研究扩散速率、漏电流及自放电，还有很多其他的技術，但这些都建立在大量测试的基础之上。

为了模拟真实的电池使用状况和电池管理，最近人们对电池快速、大电流脉冲研究感兴趣。当使用一系列脉冲来模拟城市驾车过程中的启动和停止时，将得到许多新信息。这些脉冲大约在100微秒到100毫秒之间完成，其驱动电池的方式与通常的直流充电/放电不同，常规方法很难满足实际要求。

Gamry仪器早已能够做到快速、大电流脉冲，例如Reference 3000电化学工作站和Reference 30k Booster电流放大器，这两者结合可以使脉冲在微秒量级时间内达到30A。当然，我们的设备可以实现，并不意味着你的电池也可以。本应用报告旨在表明我们的设备可以处理这些苛刻的应用，过后仍需要您进一步研究，看看电池是否可以响应这些类型的脉冲。



图1： Reference™ 3000（左）、Reference™ 30k Booster（右），以及校准测试用标准电路板（绿色）。

我们将30k校准测试用标准电路板作为电池来进行测试，该电路板经过精心设计：

- 无论是校准电路还是测试电路，都采用真正的四端子传感方式
- 保证电流测量回路极小的电感
- 保证电流和电压测量回路之间极小的交互电感率达到

Gamry仪器使用校准电路，进行控制电流方式下的阻抗测试时，即使频率达到300 kHz，相位差仍小于 $2^\circ$ 。

本应用报告是我们对Gamry仪器深入研究的数据结果。

### 实验部分

测试在Reference 3000电化学工作站 和 Reference 30k Booster电流放大器上进行。30k校准测试用标准电路板始终与30k Booster连接。电池的连接使用标配的1米电流线和1.5米电压传感测试线。

绝大多数的测试都是使用电路板的校准电路。校准电路对应一个 $200\text{ m}\Omega$  的电阻，以及对电极线缆一侧的一根 $2.5\text{A}$ 保险丝。保险丝可以保护这个 $1\text{ W}$ 的电阻，以免被过大的电流烧坏，保险丝的电阻为 $34\text{ m}\Omega$ 。如果电流脉冲时间足够短，大于保险丝额定电流 $2.5\text{A}$ 的快速电流脉冲，并不会使保险丝熔断。

电路板的测试电路对应一个 $3\text{ m}\Omega$ 、四端子方式连接的电阻。它不需要保险丝，因为可以承受 $30\text{A}$ 电流。

许多测试是在不同的控制放大器速度（CA Speed）下进行的，CA Speed越快，时间分辨率越高，但同时会牺牲控制放大器的稳定性。了解恒电位仪的设计，可以参考Gamry应用报告“电化学工作站原理”

部分测试需要使用Tektronix 2024C数字示波器来显示CA的响应，示波器通过恒电位仪后部的E monitor 或 I monitor BNC端口连接。

## Results

使用Gamry Framework™软件，记录在200 mΩ 电池上施加2A脉冲的结果曲线：

下面图2是使用Reference 30k Booster及Reference 3000（3A量程）施加的2A电流脉冲，每次持续200μs。

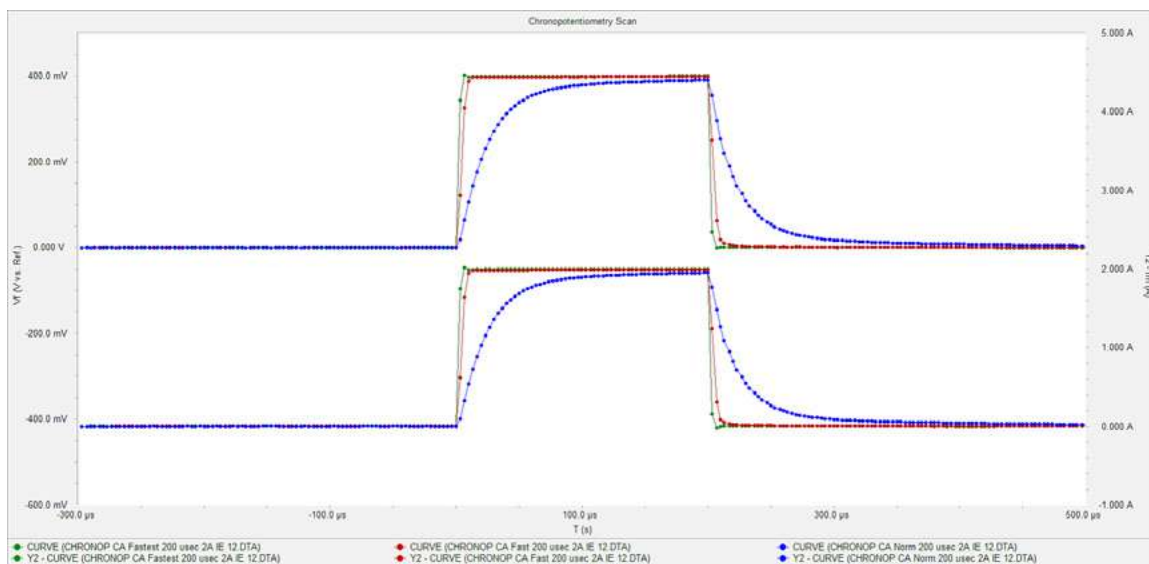


图2： 上方曲线代表电压曲线，下方曲线代表电流曲线；不同颜色对应不同的控制放大器速度CA Speed（绿色：Fastest；红色：Fast；蓝色： Norm）。

注意上升和下降波形的对称性。脉冲一侧漏掉的电荷，在另一侧得到了补充。

示波器通过E Monitor BNC端口采集的200 mΩ 电池数据：

一根BNC线连接Reference 3000后面板的E Monitor输出端口和示波器的输入端口。

图3是200 μs内，对校准电路200 mΩ 电池施加2A电流脉冲的电压-时间曲线。CA Speed: Fast

speed fast.

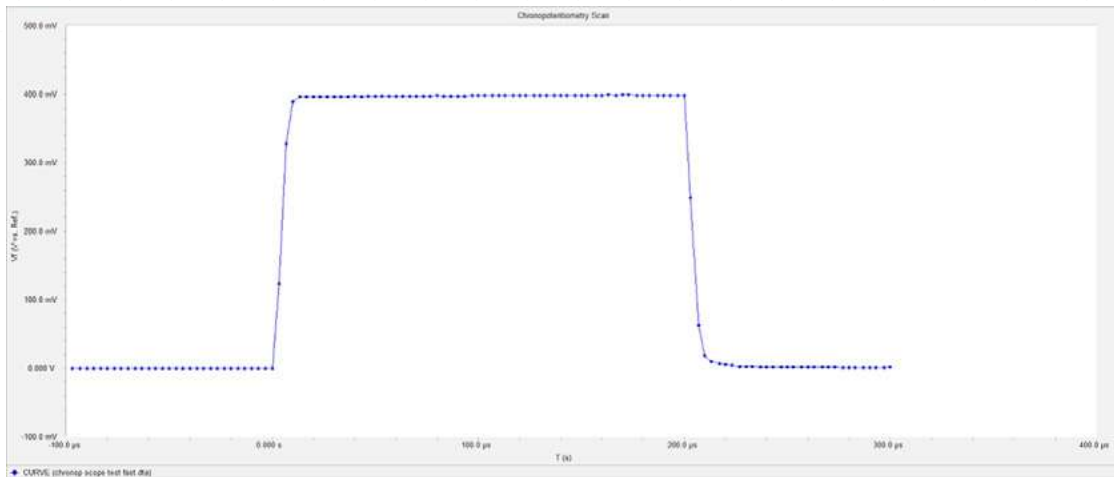


图3：通过 E Monitor 端口记录的数据

图4中示波器屏幕截图显示一个非常相似的波形。

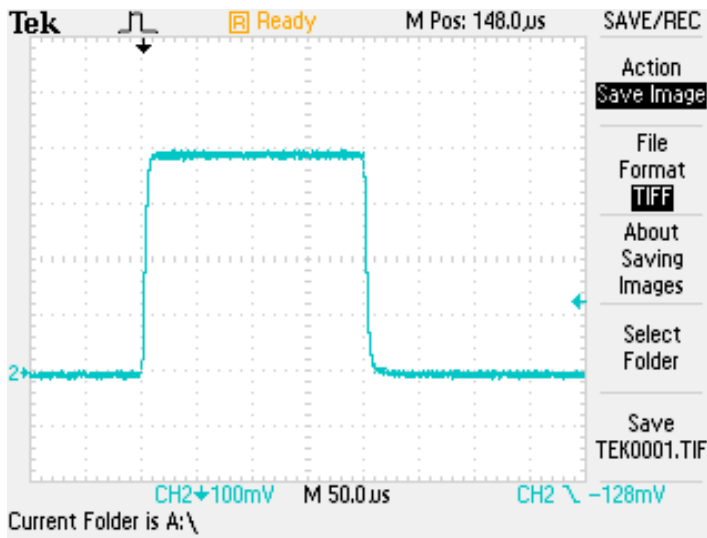


图4：示波器记录的数据（与图5条件相同）。

Reference 3000 Booster 在 200 mΩ 电池上施加一系列电流脉冲:

图5是Gamry仪器施加的一系列电流脉冲。最小的2A脉冲不需要30k Booster就能实现。大一些的电流（4 A至12 A）需要用到30k Booster。从曲线上看，信号转换速率对波形几乎没有影响。

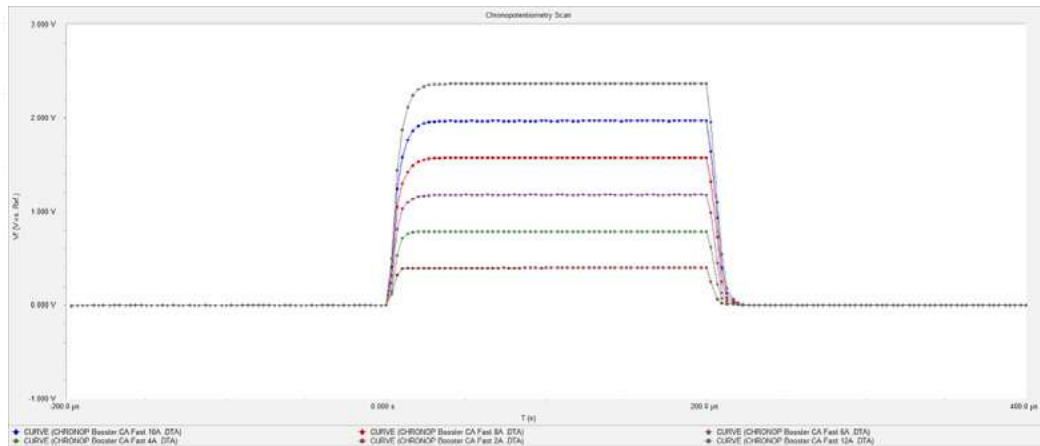


图5： 一系列电流脉冲曲线。最小电流2A的曲线不需使用30k Booster；4A至12A的大电流使用了30k Booster。

图6显示的是控制放大器速度CA Speed对于8A脉冲的影响。（蓝色曲线：Fast；红色曲线：Fastest）

红色曲线波形为矩形，但上升和下降的瞬间，信号有振荡。

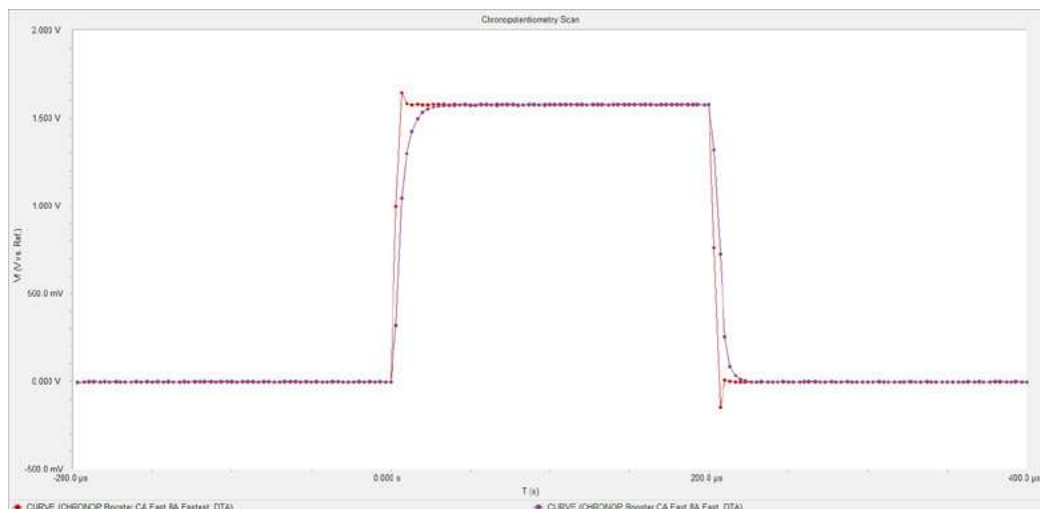


图6： 8 A脉冲曲线。CA Speed: Fast（蓝色）；Fastest（红色）

下面图7是4A和8A的脉冲曲线，采用CA Speed Fastest，信号转换速率对于波形仍然没有影响。

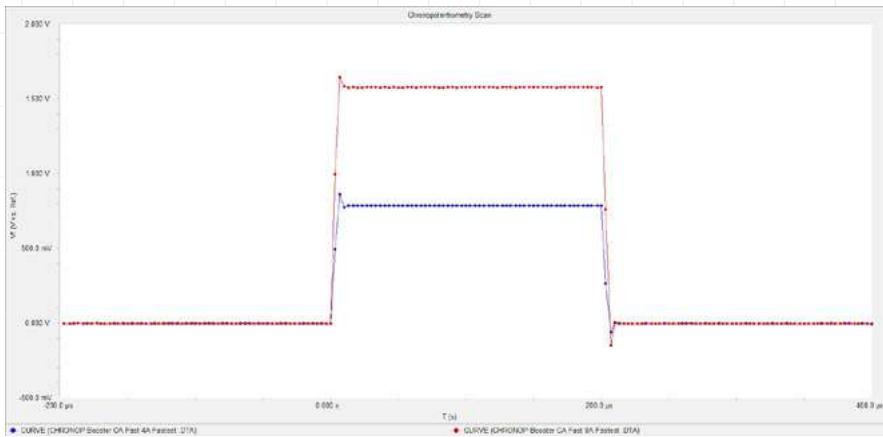


图7：4A（蓝色）和8A（红色）的响应曲线对比。CA Speed : Fastest)。

### 3 mΩ 电池的测试结果

连接标准电路板的测试电路，该电路对应一个3 mΩ、4 W的电阻。30A时，功率消耗仅2.7W，因此，即使有连接错误或振荡，也会比较安全。

图8是在该电池上施加2A脉冲得到的结果，由Reference 3000即可进行。上方的系列曲线代表电压；下方曲线代表电流。不同的曲线颜色对应不同的CA Speed（绿色：Fastest；红色：Fast；蓝色：Norm）。

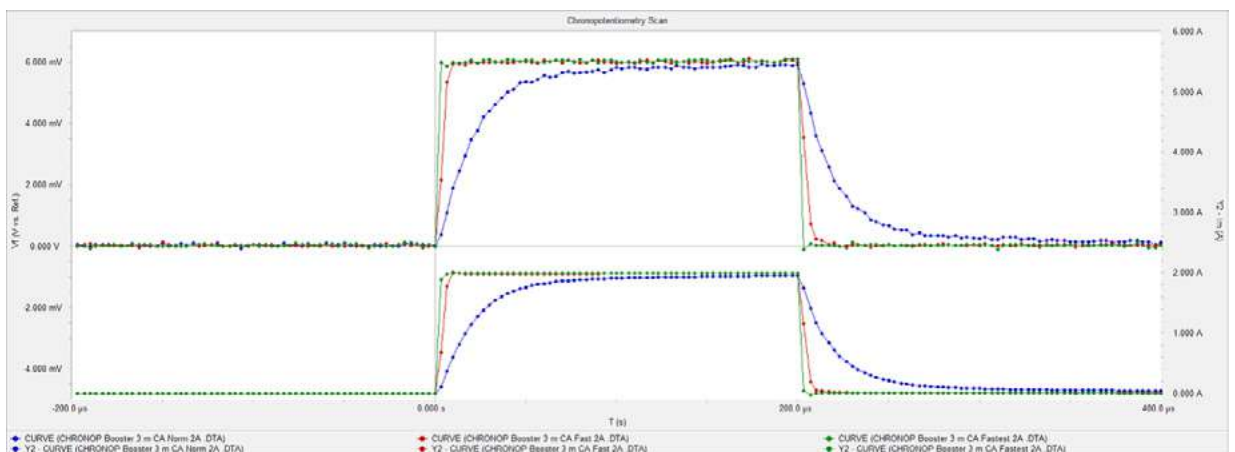


图8：对标准电路板的测试电路施加2A脉冲。CA Speed（绿色：Fastest；红色：Fast；蓝色：Norm）

CA Speed 选择Fastest模式时，曲线有略微的振荡。

下面图9是在不同CA Speed模式下，对标准电路板的测试电路施加4A脉冲得到的结果，曲线的位置分布和颜色与上图相同。

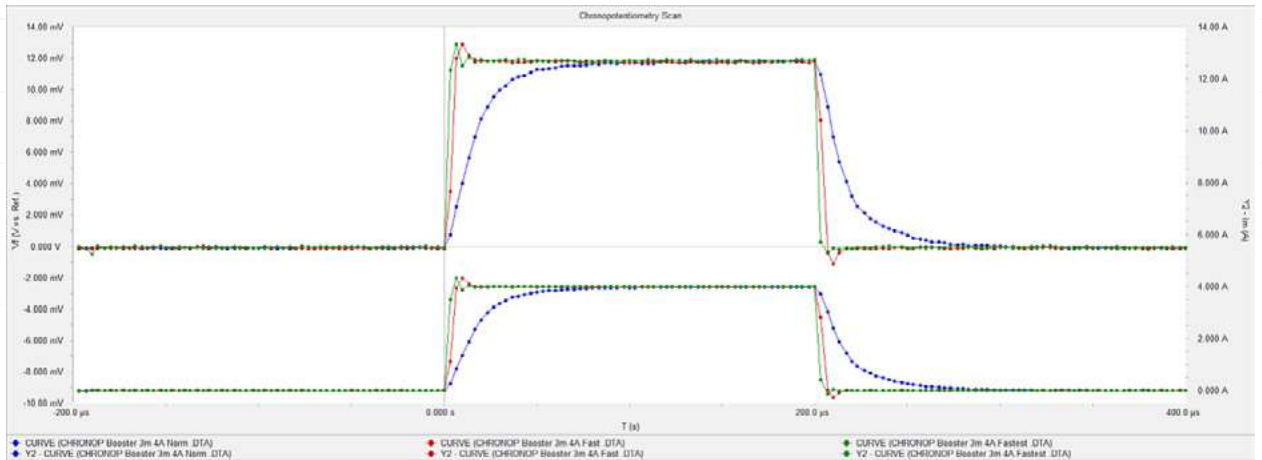


图9：对标准电路板的测试电路施加4A脉冲得到的结果。CA Speed（绿色：Fastest；红色：Fast；蓝色：Norm）。上方曲线：电压；下方曲线：电流

图9中，CA Speed选择Fastest 和 Fast 模式时，曲线都有轻微的振荡。图10是施加4A脉冲，CA Speed 选择Fastest时的电压波形，示波器通过E Monitor监测，同样显示有振荡。

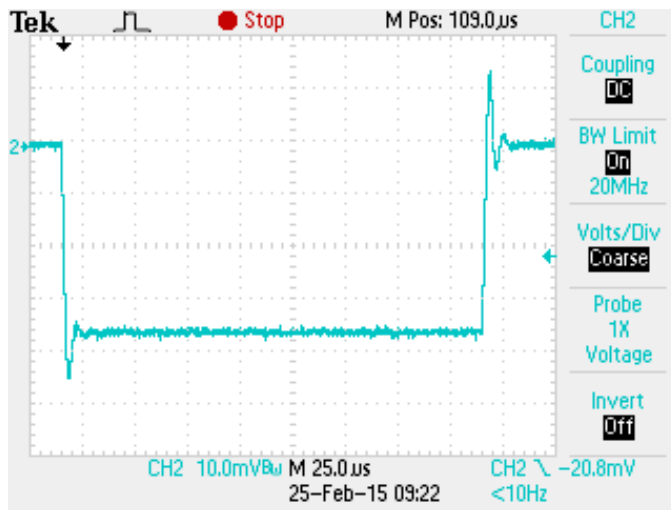


图10：对标准电路板测试电路施加4A脉冲，示波器监测到的电压波形。（CA Speed: Fastest）



## 50 $\mu$ s 电流脉冲

图11是在50 $\mu$ s内，对标准电路板校准电路200  $m\Omega$  电阻施加2 A 和4 A 电流脉冲得到的曲线。绿色：4A, CA Speed (Fastest)；红色：4A, CA Speed (Fast)；蓝色：2A, CA Speed (Fast)

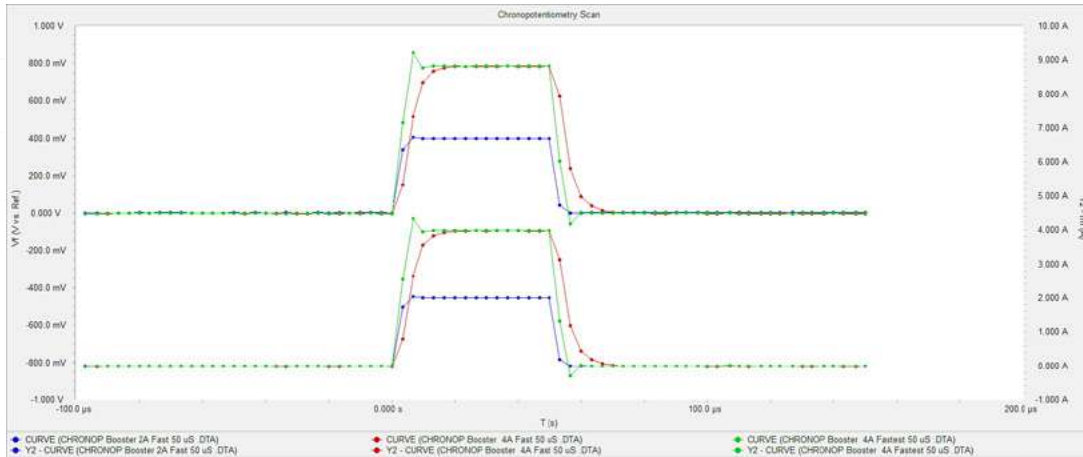


图11: 标准电路板校准电路的50 $\mu$ s脉冲数据。2 A (蓝色)；4 A Fast (红色)；4A Fastest (绿色)。

边缘部分信号上升瞬间损失的电量，在缓慢下降阶段得到了弥补。

## 30A脉冲

Gamry仪器甚至可以施加30A电流脉冲，施加在5 $m\Omega$  的低电阻上，如图12所示。

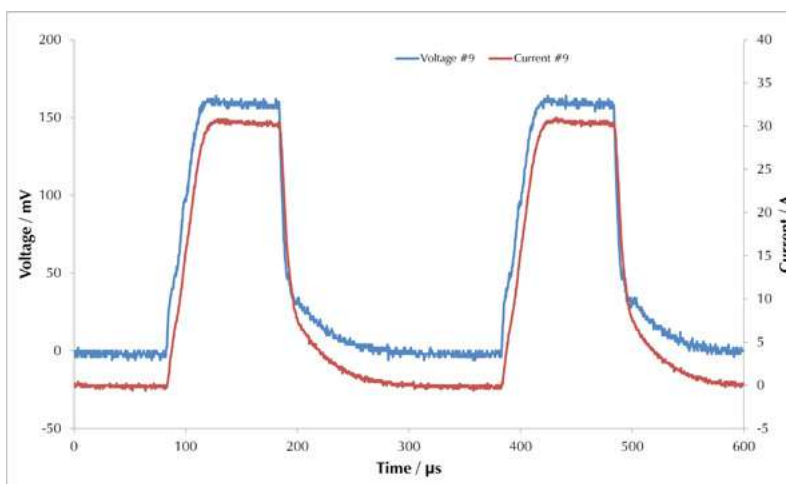


图12: 使用Reference 3000 以及 30k Booster, 生成的30A电流脉冲信号。红色曲线代表电流；蓝色代表电压。

## 总结

Gamry Reference 3000电化学工作站结合Reference 30k Booster电流放大器，能够在几十微秒内，准确、可靠地生成大电流脉冲信号。

关于最佳的CA Speed设置，Gamry建议用户在正式实验之前，先进行预实验，连接待测电池，测量上升时间。

对于电容性电池，恒电流仪模式更加稳定，本应用报告没有讨论这方面的影响。

大致信号上升时间  $\tau$  如下表所示：

仪器型号	电池	$\tau$ for Fastest	$\tau$ for Fast	$\tau$ for Norm
Reference 3000	200 m $\Omega$	$\tau < 6 \mu\text{s}$ ringing	$\tau \approx 10 \mu\text{s}$	$\tau \approx 29 \mu\text{s}$
	3 m $\Omega$	$\tau < 6 \mu\text{s}$ ringing	$\tau \approx 7 \mu\text{s}$	$\tau \approx 23 \mu\text{s}$
30k Booster	200 m $\Omega$	$\tau < 5 \mu\text{s}$ ringing	$\tau \approx 7 \mu\text{s}$	$\tau \approx 17 \mu\text{s}$
	3 m $\Omega$	$\tau < 2 \mu\text{s}$ ringing	$\tau \approx 6 \mu\text{s}$	$\tau \approx 22 \mu\text{s}$

Rev. 1 8/17/2017 © Copyright 2017 Gamry Instruments, Inc.

## 其他资源

如果你需要其他更多信息，请访问我们的官方网站查找资源和支持



技术支持  
硬件和软件技术支持  
信息汇编



联系技术支持  
获得Gamry电化学专家的技术支持



软件更新  
下载Gamry最新版本  
软件



指导视频  
访问Gamry油管  
账户，可查看所  
有视频



文档下载  
下载硬件和软件说  
明书



应用报告  
一系列应用和技术  
报告帮助您获得最  
准确的结果



电化学课程和培训  
获得有天课程和培  
训的相关信息



文献数据库  
研究者运用Gamry  
发表的论文数据库

For help from our technical staff or questions about our products,  
please call us at 215-682-9330.



734 Louis Drive • Warminster, PA 18974 • Tel. 215 682-9330

Fax 215 682-9331 • [gamry.com](http://gamry.com)

刚瑞（上海）商务信息咨询有限公司  
上海市杨浦区逸仙路25号同济晶度310室  
邮编：200437 | [cn.gamry.com](http://cn.gamry.com)