

计量精度及其他影响精度因素的详细计算步骤

在本系列中，说明了测量精度与计量精度的区别。其中，强调了计量精度取决于您向所选算法内所输入变量（电压、电流和温度）的精度，以及算法的稳健性或用于不同电池使用情况的能力。另外，还指出您可以通过检查剩余电量，确定电量计在接近终止电压处报告值为 0%，且 SOC 没有明显的跳变，从而评估电量计的精度。

另外一个更有效的做法就是计算电池整个放电曲线对应的电量计的精度。您也可以使用充电曲线计算，但由于用户更关心电池放电的精度，因此，常使用电池放电曲线评估。

以下便是计算计量精度的详细步骤：（下载 [Excel 表单](#)，其中包含实际的数据和公式）

1. 在这一包含电压、电流、温度和报告 SOC 数据的 [Excel](#) 中 **建立一个电量计日志**。在本系列的第 1 部分中，我提到您可以使用 [bq Studio](#)、一个 TI 电量计 EVM 或任何其他电量计以及一个 Arbin 或 Maccor 仪器提取电量计日志。在本例中，我将使用来自 [bqStudio](#) 和一个 TI 电量计 EVM 的电量计日志进行说明。

2. **为计算得到的通电量(dQ)创建新的一列**。日志文件应从充满电的状态开始，至达到零值（或放电停止时）的终止电压处结束。使用以下 Excel 公式计算每列通电量：

- $\text{Calculated_dQ} = \text{current_reading}$ 的滚动总和 * $\text{time_since_last_log_point}$.
- Excel 公式： $(\text{ElapsedTime}_{N+1} - \text{ElapsedTime}_N) * |\text{AvgCurrent}_N| / 3600 + \text{Calculated_dQ}_{N-1}$. （由于经过时间是以秒为单位计的，所以需将其除以 3600，换算成以小时为单位的数据。Calculated_dQN-1 是计算得到的前一通电量。）
- FCC_true = 综合容量，从完整充满电的状态到终止电压。
- $\text{Calculated_RM} = \text{FCC_true} - \text{Calculated_dQ}$ 。
- Excel 公式： $\text{\$FCC_true} - \text{Calculated_dQ}_N$.

3. **检查电池的实际满电量**，是所有通电量的总和：

4. 为放电曲线的每个点 **创建一个新列，并计算电池的剩余电量（Calculated_RM）**：

5. 在新列中以百分数表示出每个点 **电池的实际剩余电量（Calculated_SOC）**：

- $\text{Calculated_SOC} = \text{Calculated_RM} / \text{FCC_true} * 100$.
- Excel 公式： $\text{Calculated_RM} / \text{\$FCC_true} * 100$.

6. 在新列中，通过用计算得到的剩余电量中减去电量计报告的剩余电量，计算出电量计在每点报告的 **剩余电量误差**：

- $SOC_error = SOC_true - SOC_gauges$ 。
- Excel 公式: $Calculated_SOCN - SOC_gaugen$ 。

Excel 表单里有详细的计算。图 1 中，不同颜色突出显示的列代表计算中的不同步骤。在 M 列中，您可以看到 SOC 误差值很清楚地对电量计精度进行了量化。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	ElapsedTime	Temperature	Voltage	RemCap	FullChgCap	AvgCurrent	StateofCharge	Passed Charge	Calculated dQ	Calculated RM	Calculated SOC	RM Error	SOC Error
1565	20516.906	26	4244	1514	1514	-301	100	0	0.468305833	1482.313498	99.96841708	-2.136963212	-0.03134
1566	20522.507	26	4237	1514	1514	-300	100	0	0.8799725	1481.907832	99.94105859	-2.164321699	-0.05894
1567	20527.375	26	4235	1514	1514	-300	100	1	1.340639167	1481.441165	99.90958621	-2.195794075	-0.09041
1568	20532.975	26	4232	1514	1514	-301	100	1	1.808863389	1480.972943	99.87800893	-2.227737139	-0.12199
1569	20538.575	26	4230	1514	1514	-301	100	2	2.215963889	1480.56584	99.85055361	-2.25482868	-0.14945
1570	20543.444	25.9	4228	1514	1514	-300	100	2	2.682547222	1480.099257	99.81908685	-2.286293436	-0.18091
1571	20549.043	25.9	4227	1514	1514	-301	100	3	3.204280556	1479.577524	99.78390074	-2.321479552	-0.2181
1572	20555.283	25.9	4225	1514	1514	-300	100	3	3.727030556	1479.054774	99.74864606	-2.356734234	-0.25135
1573	20561.556	25.9	4224	1514	1514	-301	100	4	4.250018056	1478.531786	99.71317516	-2.392004932	-0.28662
1574	20567.811	25.9	4222	1514	1514	-301	100	4	4.773172778	1478.008631	99.67809338	-2.427286908	-0.32191
1575	20574.068	25.9	4221	1514	1514	-300	100	5	5.231922778	1477.549881	99.64715491	-2.458225378	-0.35285
1576	20579.573	25.9	4220	1514	1514	-300	100	5	5.700006111	1477.081798	99.61558699	-2.489793295	-0.38441
1577	20585.19	25.9	4219	1514	1514	-301	100	6	6.223160833	1476.558641	99.58030502	-2.525075271	-0.41969
1578	20591.447	25.9	4218	1514	1514	-301	100	6	6.746148133	1476.035656	99.54503432	-2.56034597	-0.45497
1579	20597.702	25.9	4217	1514	1514	-301	100	7	7.269219444	1475.512583	99.50975798	-2.595622307	-0.49024
1580	20603.958	25.9	4217	1513	1514	-300	100	7	7.790465444	1474.991335	99.47460446	-2.563335021	-0.52524
1581	20610.213	25.9	4216	1513	1514	-300	100	8	8.250719444	1474.531085	99.44135683	-2.594378652	-0.55644

图 1：显示 SOC 误差计算示例的 Excel 日志

图 2 比较了根据电池整个放电曲线计算得到的 SOC 以及电量计报告的 SOC，而图 3 则是以图形形式显示了 SOC 误差的幅度。在本例中，您可以看到整个放电曲线的电量计精度误差不到 2%。

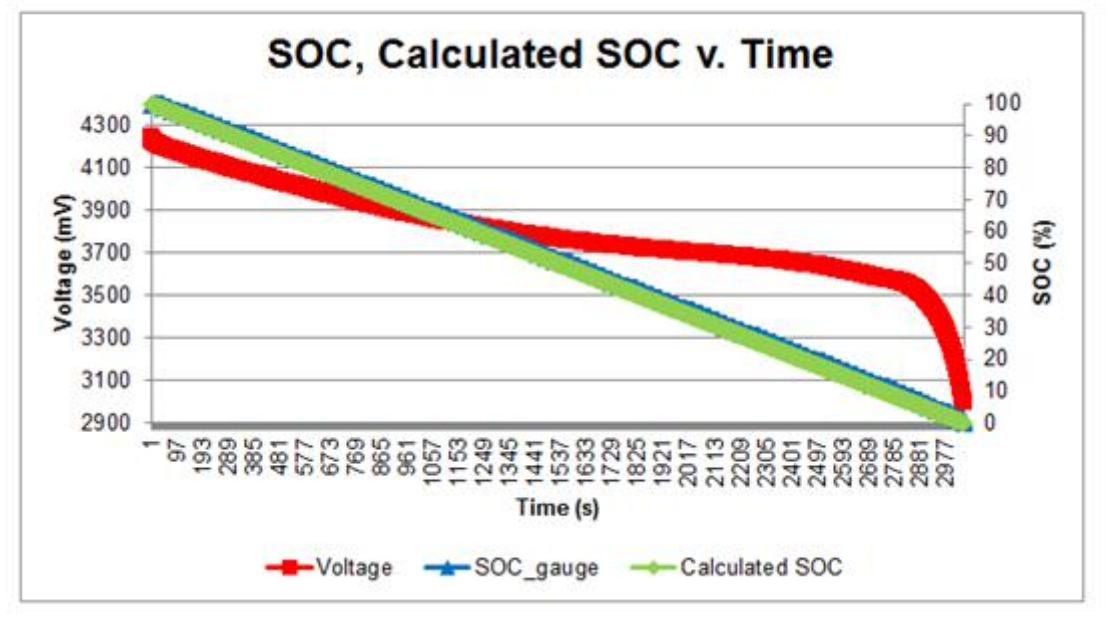


图 2：根据电池电压放电曲线计算得到的 SOC 与所报告 SOC 的示意图

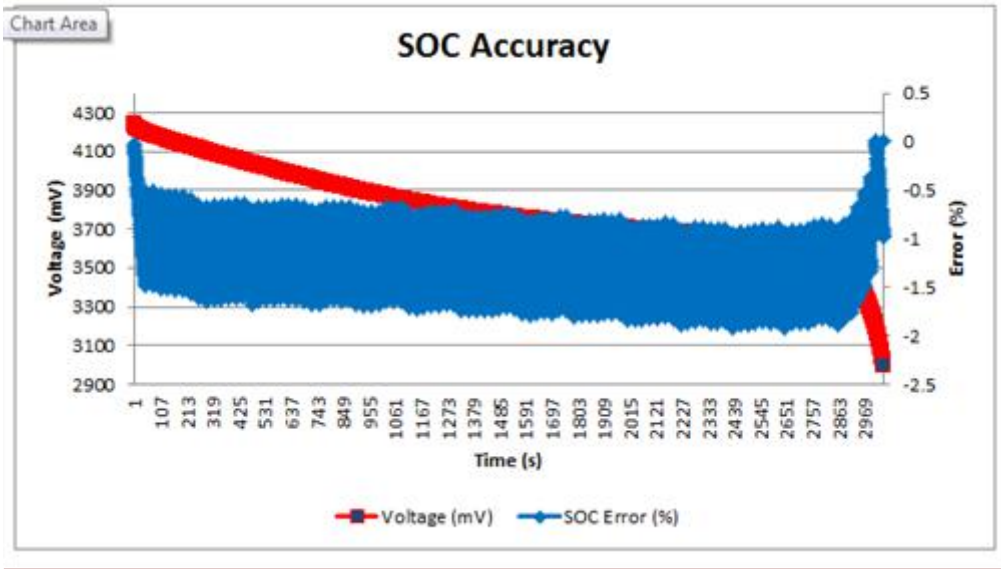


图 3：电池整个电压放电曲线的 SOC 误差示意图

环境温度和放电电流速率可导致电池容量(FCC)上升或下降，这是电池固有的特性。这些变化会导致剩余电量突然跳变，影响用户体验。为了控制这个问题，大多数德州仪器的电量计都配有一个被称为“平滑”的特殊功能。平滑算法的主要目标是平滑电池充放电过程中剩余电量及 SOC 的跳变。需注意的时，启用该功能后，电量表报告的剩余电量和 SOC 将经过算数修正，可能无法呈现实际的电池剩余电量。当启用该过滤功能计算精度时，需确定您是要得到平滑后（过滤后）的值还是实际值：两种数值电量计都可以报。

图 4 比较了计算得到的实际 SOC、电量计报告的过滤后 SOC 值以及多负载水平下电量计报告的实际 SOC 值。从图中可以看到电量计报告的过滤后 SOC 值紧随着电量计报告的实际 SOC 值。

图 5 比较了电量计报告 SOC 值的误差以及电量计报告的过滤后 SOC 值的误差。如果温度急剧变化，过滤后的电量计报告 SOC 值与实际电量计报告 SOC 值之间就会表现出明显的差别。

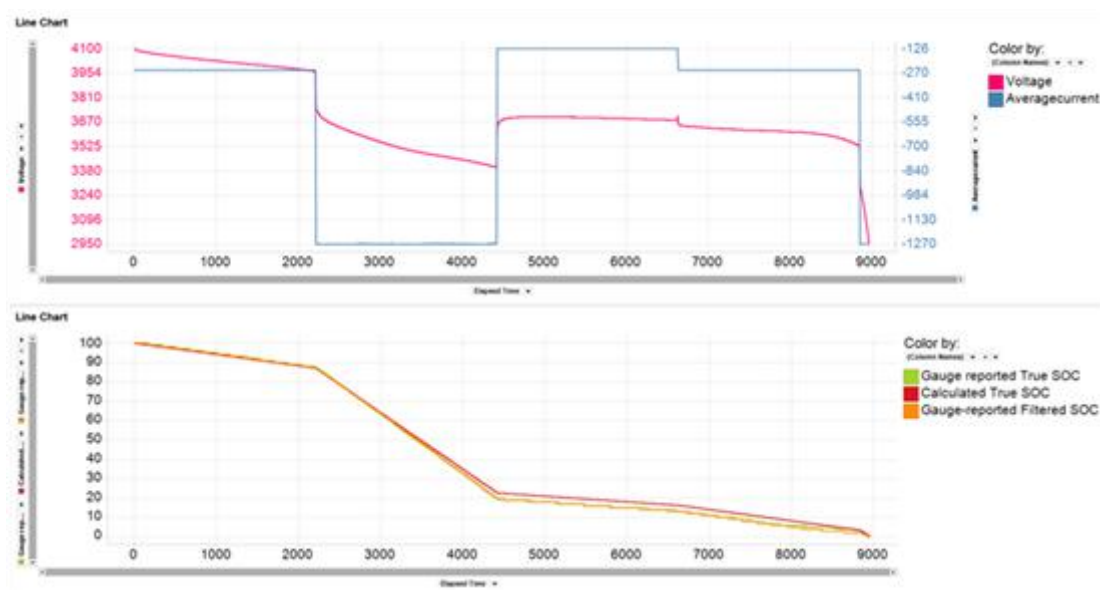


图 4：多电流水平下电池计算得到的实际值与电量计报告 SOC 值的比较

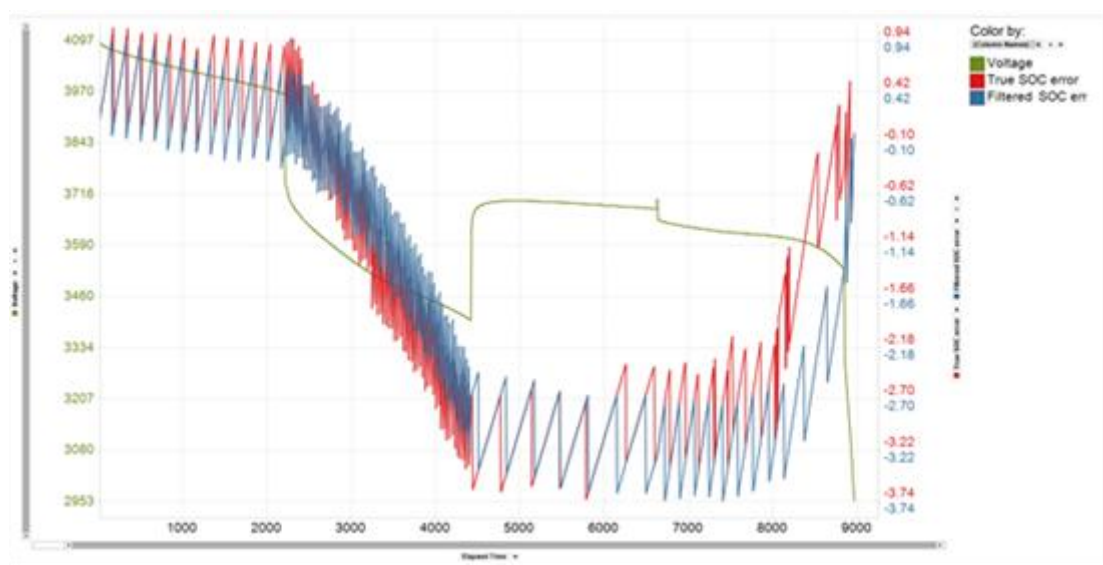


图 5：多电流水平下电池电压曲线的电量计报告 SOC 误差比较

大多数电量计用户需要在电量计报告 0% 时，电池内仍能留些电量，而不致达到终止电压，以便主处理器能够执行可控的系统关闭操作。这种情况下，在计算精度时，不要计算到终止电压；而是计算到您需要电池中备用电量所对应的电压阈值。

另一个影响电量计所测量电池寿命精度的因素就是电量计跟踪电阻抗变化的能力，电池的阻抗会随着电池的老化而增加。TI Impedance Track™ 计量算法能够跟踪电池的阻抗变化，因此，在计量电池寿命方面的精度高达 99%。补偿放电终点电压(CEDV)计量算法的精度能够达到 98%，并可计算电池的老化，但其使用的电池模型的精度可能随着电池老化程度增加而下降。我们的 Impedance Track-Lite 算法是简化的版本，精度可达 95%。

概括来说，相比目检，计算剩余电量误差由于能够提供整个电池曲线的误差范围，因此是更为稳健的电量计精度评估方法。其他影响电量计精度及其评估的考量因素包括是否启用了平滑功能、备用电量功能以及电量计跟踪电池老化的能力。欲了解各类电量计产品的完整清单，请访问 ti.com/gauges。