

# Application Note

## BQ41xxx 生产校准指南



Wyatt Keller

### 摘要

本应用手册详细介绍了 bq41xxx 器件的制造测试、电芯电压校准、BAT 电压校准、PACK 电压校准、电流校准 (CC) 和温度校准功能。

### 内容

1 制造测试.....	2
2 校准.....	3
2.1 电芯电压校准.....	4
2.2 BAT 电压校准.....	5
2.3 PACK 电压校准.....	5
2.4 电流校准.....	6
2.5 温度校准.....	7
3 参考资料.....	9

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 制造测试

为了改进制造测试流程，电量监测计器件允许通过 *ManufacturerAccess()* 命令开启或关闭某些功能。例如 *PRE-CHG FET()*、*CHG FET()*、*DS FET()*、*Lifetime Data Collection()*、*Calibration()* 等。仅启用被测功能可以避免任何功能干扰，从而简化生产中的测试流程。这些切换命令只会设置 RAM 数据，这意味着如果向电量监测计发出复位或密封命令，那么这些命令设置的条件将被清除。*ManufacturingStatus()* 跟踪每个功能的状态（启用或禁用）。

数据闪存 *ManufacturingStatus* 提供启用或禁用单个功能以进行正常操作的选项。在收到复位或密封命令时，*ManufacturingStatus()* 将从数据闪存 *ManufacturingStatus()* 重新加载。这也意味着如果对 *ManufacturingStatus()* 进行更新以启用或禁用某个功能，则只有在发送复位或密封命令时，电量监测计才会采用新设置。

## 2 校准

该器件集成了支持电流、电压和温度读数校准的例程，当 `ManufacturingStatus()[CAL]` 位开启时可在向 `ManufacturerAccess()` 写入 `0xF081` 或 `0xF082` 后访问这些例程。当校准处于活动状态时，可在 `ManufacturerData()` 上获取原始 ADC 数据。如果发送任何其他 MAC 命令或该器件被复位或密封，那么该器件将停止在 `ManufacturerData()` 上报告校准数据。

### 备注

校准完成后必须关闭 `ManufacturingStatus()[CAL]` 位。该位在复位或密封后清除。

ManufacturerAccess()	说明
0x002D	启用/禁用 <code>ManufacturingStatus()</code> [CAL]
0xF080	禁用 <code>ManufacturerData()</code> 上的原始 ADC 数据输出
0xF081	在 <code>ManufacturerData()</code> 上输出电压、电流和温度的原始 ADC 数据
0xF082	在 <code>ManufacturerData()</code> 上输出电压、电流和温度的原始 ADC 数据。该模式支持库仑计数器输入 (SRP、SRN) 内部短路。

`ManufacturerData()` 输出格式为：ZZYYaaAAAbbBBccCCddDDeeEEffFGgGHhHHiiIjJkKKK，

其中：

值	格式	说明
ZZ	字节	8 位计数器，在刷新原始 ADC 值时递增 (每 250ms 递增一次)
YY	字节	输出状态 <code>ManufacturerAccess() = 0xF081 : 1</code> <code>ManufacturerAccess() = 0xF082 : 2</code>
AAaa	二进制补码	电流 (库仑计数器)
BBbb	二进制补码	电芯电压 1
CCcc	二进制补码	电芯电压 2
DDdd	二进制补码	电芯电压 3
EEee	二进制补码	电芯电压 4
FFff	二进制补码	PACK 电压
值	格式	说明
GGgg	二进制补码	BAT 电压
HHhh	二进制补码	电芯电流 1
Iiii	二进制补码	电芯电流 2
JJjj	二进制补码	电芯电流 3
KKkk	二进制补码	电芯电流 4

## 2.1 电芯电压校准

图 2-1 阐释了电芯电压校准。

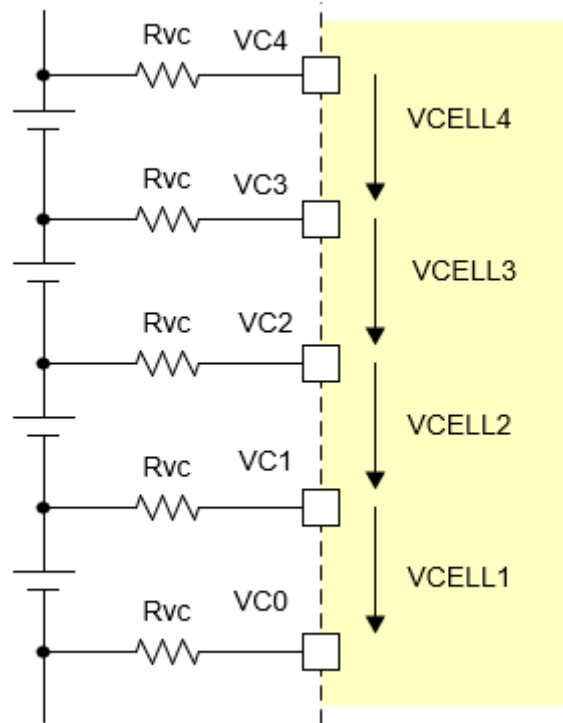


图 2-1. 电芯电压校准

- 向电芯电压输入端施加已知的电压（以 mV 为单位）：
  - 在 VC1 引脚和 VSS 引脚之间施加  $V_{CELL1}$
  - 在 VC2 引脚和 VC1 引脚之间施加  $V_{CELL2}$
  - 在 VC3 引脚和 VC2 引脚之间施加  $V_{CELL3}$
  - 在 VC4 引脚和 VC3 引脚之间施加  $V_{CELL4}$
- 如果 `ManufacturerStatus()[CAL] = 0`，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 `0x002D` 以启用 `[CAL]` 标志。
- 向 `ManufacturerAccess()` 发送 `0xF081` 或 `0xF082` 以在 `ManufacturerData()` 上启用原始电芯电压输出。
- 在读取数据之前轮询 `ManufacturerData()`，直到 8 位计数器值递增 2。
- 从 `ManufacturerData()` 获取电芯电压的 ADC 转换读数：

`ManufacturerData()` 的  $ADC_{CELL1} = BBbb$

$ADC_{CELL1}$  是否小于 `0x8000`？如果是，则使用  $ADC_{CELL1}$ ；否则  $ADC_{CELL1} = -(0xFFFF - BBbb + 0x0001)$ 。

- 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增以指示更新的值可用：

$$ADC_{CELL1} = [ADC_{CELL1}(\text{reading } n) + \dots + ADC_{CELL1}(\text{reading } 1)]/n$$

- 对所有电芯求平均值，用所有电压的平均值来创建单个电芯增益：

$$Cell\ Gain = \frac{V_{cell1} + V_{cell2} + V_{cell3} + V_{cell4}}{ADC_{cell1} + ADC_{cell2} + ADC_{cell3} + ADC_{cell4}} \times 2^{16} \quad (1)$$

- 将新的 Cell Gain 值写入数据闪存。
- 重新检查电压读数，如果读数不准确，则重复执行步骤 4 至 8。
- 如果所有校准都已完成，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 `0x002D` 以清除 `[CAL]` 标志。

## 2.2 BAT 电压校准

BAT 电压校准如图 2-2 所示。

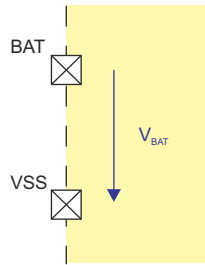


图 2-2. BAT 电压校准

- 向电压输入端施加已知的电压 (以 mV 为单位) :
  - VC4 引脚与 VSS 引脚之间的 V<sub>BAT</sub>
- 如果 *ManufacturerStatus()*[CAL] = 0, 则向 *ManufacturerAccess()* 发送 0x002D 以启用 [CAL] 标志。
- 向 *ManufacturerAccess()* 发送 0xF081 或 0xF082 以在 *ManufacturerData()* 上启用原始电芯电压输出。
- 在读取数据之前轮询 *ManufacturerData()*, 直到 8 位计数器值递增 2。
- 从 *ManufacturerData()* 获取电芯堆电压的 ADC 转换读数 :
  - ManufacturerData()* 的 ADC<sub>BAT</sub> = GGgg,
- 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 *ManufacturerData()*, 直到 ZZ 递增以指示更新的值可用 :
  - ADC<sub>BAT</sub> = [ADC<sub>BAT</sub>(reading n) + ... + ADC<sub>BAT</sub>(reading 1)]/n
- 计算增益值 :

$$BAT\ Gain = \frac{V_{BAT}}{ADC_{BAT}} \times 2^{16} \quad (2)$$

- 将新的 BAT Gain 值写入数据闪存。
- 重新检查电压读数, 如果读数不准确, 则重复执行步骤 4 至 6。
- 如果所有校准都已完成, 则向 *ManufacturerAccess()* 发送 0x002D 以清除 [CAL] 标志。

## 2.3 PACK 电压校准

PACK 电压校准如图 2-3 所示。

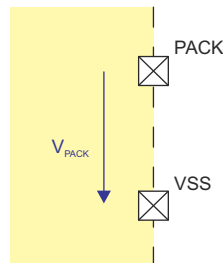


图 2-3. PACK 电压校准

- 向电压输入端施加已知的电压 (以 mV 为单位) :
  - 在 PACK 引脚和 VSS 引脚之间施加 V<sub>PACK</sub>
- 如果 *ManufacturerStatus()*[CAL] = 0, 则向 *ManufacturerAccess()* 发送 0x002D 以启用 [CAL] 标志。
- 向 *ManufacturerAccess()* 发送 0xF081 或 0xF082 以在 *ManufacturerData()* 上启用原始电芯电压输出。
- 在读取数据之前轮询 *ManufacturerData()*, 直到 8 位计数器值递增 2。
- 从 *ManufacturerData()* 获取电池组电压的 ADC 转换读数 :
  - ManufacturerData()* 的 ADC<sub>PACK</sub> = FFff
- 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 *ManufacturerData()*, 直到 ZZ 递增以指示更新的值可用 :
  - ADC<sub>PACK</sub> = [ADC<sub>PACK</sub>(reading n) + ... + ADC<sub>PACK</sub>(reading 1)]/n

7. 计算增益值：

$$PACK\ Gain = \frac{V_{PACK}}{ADC_{PACK}} \times 2^{16} \quad (3)$$

8. 将新的 PACK Gain 值写入数据闪存。

9. 重新检查电压读数，如果读数不准确，则重复执行步骤 4 至 6。

10. 如果所有校准都已完成，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以清除 [CAL] 标志。

## 2.4 电流校准

图 2-4 展示了电流校准图。

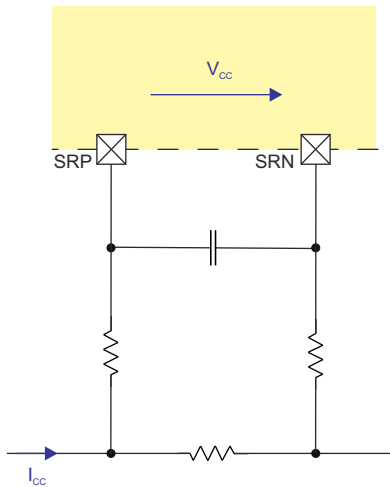


图 2-4. 电流校准

### 2.4.1 CC 偏移校准

#### 备注

由于该器件硬件的改进，CC 偏移校准不是必需的。只有在不存在电流时观察到电流时，才运行 CC 偏移校准程序。

- 施加 0mA 的已知电流，并确保没有电流流过连接在 SRP 和 SRN 引脚之间的检测电阻。
- 在 CC 偏移校准期间，从外部将 SRN 和 SRP 引脚短接在一起，以获得理想结果。
- 如果 `ManufacturerStatus()[CAL] = 0`，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以启用 [CAL] 标志。
- 向 `ManufacturerAccess()` 发送 0xF081 以在 `ManufacturerData()` 上启用原始电流输出。
- 在读取数据之前轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增 2。
- 从 `ManufacturerData()` 获取电流的 ADC 转换读数：
  - `ManufacturerData()` 的  $ADC_{CC} = AAaa$
- $ADC_{CC}$  是否小于 0x8000？如果是，则使用  $ADC_{CC}$ ；否则  $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$ 。
- 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增以指示更新的值可用：
  - $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(\text{reading } n) + \dots + ADC_{CC}(\text{reading } 1)]/n$
- 从数据闪存中读取库伦计数器失调取样数。
- 计算失调值：
  - $CC\ offset = ADC_{CC} \times (\text{Coulomb Counter Offset Samples})$
- 将新的 CC Offset 值写入数据闪存。
- 重新检查电流读数，如果读数不准确，则重复执行步骤 1 至 10。
- 如果所有校准都已完成，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以清除 [CAL] 标志。

## 2.4.2 电路板失调校准

### 备注

由于该器件硬件的改进，电路板失调校准不是必需的。只有在观察到电路板失调电流时才运行电路板失调校准程序。

1. 确保首先执行失调校准。
2. 施加 0mA 的已知电流，并确保没有电流流过连接在 SRP 和 SRN 引脚之间的检测电阻。
3. 如果 `ManufacturerStatus()[CAL] = 0`，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以启用 [CAL] 标志。
4. 向 `ManufacturerAccess()` 发送 0xF081 以在 `ManufacturerData()` 上启用原始电流输出。
5. 在读取数据之前轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增 2。
6. 从 `ManufacturerData()` 获取电流的 ADC 转换读数：
  - `ManufacturerData()` 的  $ADC_{CC} = AAaa$

$ADC_{CC}$  是否小于 0x8000？如果是，则使用  $ADC_{CC}$ ；否则  $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$ 。
7. 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增以指示更新的值可用：
  - $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(\text{reading } n) + \dots + ADC_{CC}(\text{reading } 1)]/n$
8. 从数据闪存中读取库伦计数器失调取样数。
9. 计算失调值：
  - $\text{Board offset} = (ADC_{CC} - \text{CC Offset}) \times \text{Coulomb Counter Offset Samples}$
10. 将新的电路板失调值写入数据闪存。
11. 重新检查电流读数。如果读数不准确，则重复执行步骤 1 至 10。
12. 如果所有校准都已完成，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以清除 [CAL] 标志。

## 2.4.3 CC 增益校准

1. 施加已知电流（通常为 1A 至 2A），并确保  $I_{CC}$  流过连接在 SRP 和 SRN 引脚之间的检测电阻。
2. 如果 `ManufacturerStatus()[CAL] = 0`，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以启用 [CAL] 标志。
3. 向 `ManufacturerAccess()` 发送 0xF081 以在 `ManufacturerData()` 上启用原始 CC 输出。
4. 在读取数据之前轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增 2。
5. 从 `ManufacturerData()` 获取电流的 ADC 转换读数：
  - `ManufacturerData()` 的  $ADC_{CC} = AAaa$

$ADC_{CC}$  是否小于 0x8000？如果是，则使用  $ADC_{CC}$ ；否则  $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$ 。
6. 取多个读数的平均值以实现更高的精度。轮询 `ManufacturerData()`，直到 ZZ 递增以指示更新的值可用：
  - $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(\text{reading } n) + \dots + ADC_{CC}(\text{reading } 1)]/n$
7. 从数据闪存中读取库伦计数器失调取样数。
8. 计算增益值：

$$CC \text{ Gain} = \frac{I_{CC}}{ADC_{CC} - \frac{\text{Board Offset} + \text{CC Offset}}{\text{Coulomb Counter Offset Samples}}} \times 2^{16} \quad (4)$$

9. 将新的 CC Gain 值写入数据闪存。
10. 重新检查电流读数。如果读数不准确，则重复执行步骤 1 至 9。
11. 如果所有校准都已完成，则向 `ManufacturerAccess()` 发送 0x002D 以清除 [CAL] 标志。

### 备注

BQ41xxx 产品系列中不再使用容量增益，不得使用或修改容量增益。

## 2.5 温度校准

图 2-5 阐释了温度校准。

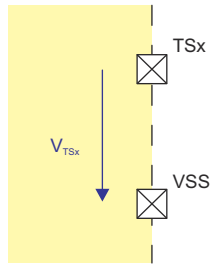


图 2-5. 温度校准

### 2.5.1 内部温度传感器校准

1. 以  $0.1^{\circ}\text{C}$  为单位应用已知温度，确保对器件应用温度  $\text{Temp}_{\text{TINT}}$ 。
2. 从 Internal Temp Offset 中读取  $\text{TINT offset}_{\text{old}}$ 。
3. 从  $\text{DAStatus2}()$  中读取报告的温度：
  - $\text{DAStatus2}()$  的  $\text{TINT} = \text{AAaa}$ 。TINT 是否大于 0？如果是，则  $\text{TINT} = \text{AAaa} - 2732$ 。
4. 计算温度偏差：

$$\text{TINT offset} = \text{TEMP}_{\text{TINT}} - \text{TINT} + \text{TINT offset}_{\text{old}} \quad (5)$$

5. 将新的 Internal Temp Offset 值写入数据闪存。
6. 重新检查  $\text{DAStatus2}()$  读数。如果读数不准确，则重复执行步骤 1 至 5。

### 2.5.2 TS1 - TS2 - TS3 - TS4 校准

1. 以  $0.1^{\circ}\text{C}$  为单位应用已知温度，确保对连接到  $\text{TSx}$  端子的热敏电阻应用温度  $\text{TEMP}_{\text{TSx}}$ 。“TSx”指 TS1、TS2、TS3 或 TS4，以适用者为准。
2. 从 External  $\times$  Temp Offset 中读取  $\text{TSx offset}_{\text{old}}$ ，其中  $\times$  为 1、2、3 或 4。
3. 从  $\text{DAStatus2}()$  块中读取相应的温度作为  $\text{TSx}$ 。
4. 计算温度偏移：

$$\text{TSx offset} = \text{TEMP}_{\text{TSx}} - \text{TSx} + \text{TSx offset}_{\text{old}} \quad (6)$$

其中  $x$  为 1、2、3 或 4。

5. 将新的 External  $\times$  Temp Offset (其中  $\times$  为 1、2、3 或 4) 值写入数据闪存。
6. 重新检查  $\text{DAStatus2}()$  读数。如果读数不准确，则重复执行步骤 1 至 5。



### 3 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [BQ41Z50 1 节、2 节、3 节和 4 节串联锂离子电池包管理器数据表](#)
- 德州仪器 (TI) , [BQ41Z50 技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI) , [BQ41Z50 锂离子电池包管理器评估模块 EVM 用户指南](#)

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司