

# 利用阻抗跟踪™电量计改善电池备用系统的LiFePO<sub>4</sub>电池平衡

作者: Keith James Keller, 德州仪器 (TI) 模拟现场应用

TI 的阻抗跟踪™电量计技术是一种专有算法, 它可获取随时间变化的电量和阻抗信息, 从而精确地计算出充电状态 (SOC) 和剩余电量。

电池备用电源应用中, 每隔几天电池便会出现短暂的充电以对自放电进行再补充, 很少会出现完全放电的情况。在处理这种应用时, 我们需要知道一些特殊条件。使用磷酸铁锂 (lithium-iron-phosphate, 即LiFePO<sub>4</sub>) 电池时, 必须关闭电量计的平衡功能, 或者必须使用一种增强型固件。本文将介绍一款TI专门为bq20z45-R1电量监测计而开发的固件, 它对数据闪存参数进行编程以实现正常电池循环和最佳的平衡结果。我们还将介绍当正常工作状态下闭关平衡功能时实现离线电池平衡的一些原则。

图1显示了TI经过约10年的分析所得出的所有锂离子电池的单电池、开路电压 (OCV) 电压密度曲线图与放电深度 (DOD) 的对比情况。(DOD刚好为1/SOC。) 您可以看到, SOC曲线的很大一部分, LiFePO<sub>4</sub>电池的电压均非常扁平。这种电压扁平, 导致很难通过阻抗跟踪算法精确地估算电池平衡所需的SOC。在充电结束时 (约0% DOD), 电压上升明显, 其导致明显的电池到电池电压发散, 从而进一步使SOC估算和电池平衡变得更加复杂。

消除工作期间的Q<sub>max</sub>更新

在现场运行时, 允许无Q<sub>max</sub>更新。尽管不要求, 但是一种高度可靠电池备用电源应用的理想情况是, 通过制造工艺期间的完全放电来确定封装的Q<sub>max</sub>。知道Q<sub>max</sub>以后, 无需再更新Q<sub>max</sub>。

确定初始Q<sub>max</sub>的事件

表1显示了bq20z45-R1的典型增强型数据闪存参数, 其固件为7.02版, 必须通过TI的bq评估软件工具进行修改, 以实现一次Q<sub>max</sub>更新。这些特殊参数均受到保护 (类别为“隐藏”), 但可通过TI的应用技术人员解锁。表1的电池参数来自TI数据库, 用于404化学ID的2串联、2并联 (2s2p) 2500mAh LiFePO<sub>4</sub>电池组。该表

图1 锂电池的电压密度曲线

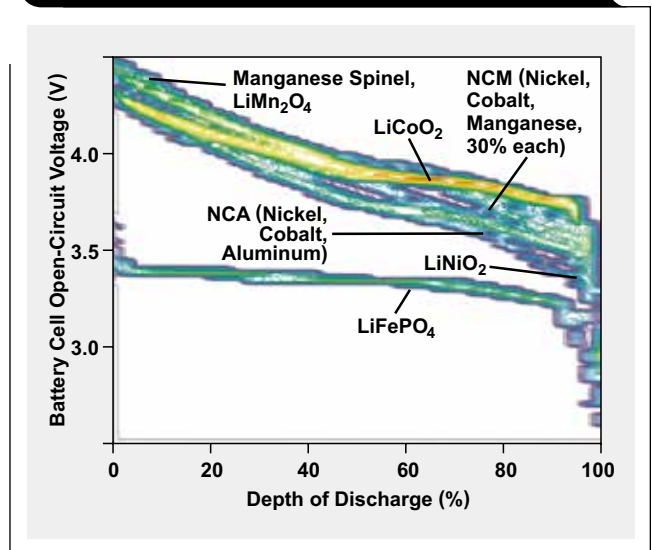


图1 锂电池的电压密度曲线

DATA-FLASH PARAMETER	DEFAULT VALUE	NEW VALUE
Operation Cfg C	0130	05B0
Min % Passed Charge for Q <sub>max</sub>	37%	No Change
Min % Passed Charge for 1st Q <sub>max</sub>	90%	No Change
Q Invalid MaxV	3351 mV (chemical ID 404 default)	No Change
Q Invalid MinV	3274 mV (chemical ID 404 default)	No Change
OCV Wait Time	1800 seconds	600 seconds
Max Delta V	40 (10-μV units)	160 (10-μV units)
DOD Capacity Err	2%	No Change
Q <sub>max</sub> Max Time	18,000 seconds	No Change
Max Capacity Error	1.0%	3.0%
Q <sub>max</sub> Filter	96	26
Q Invalid MaxT	40.0°C	55.0°C
Q Invalid MinT	10.0°C	No Change
Min Cell Deviation	1750 s/mAh	1909 s/mAh

还列举了必须根据这些特性对数据闪存参数进行的一些修改。“C配置运行”寄存器修改，实现了7.02固件提供的一些新功能。“OCV等待时间”和“最大三角V”修改，可在充电完成后立即进行OCV测量。“最大电量误差”和“ $Q_{max}$ 滤波器”修改，给更小电量电池的 $Q_{max}$ 更新留出更多的时间（原因是使用18650尺寸的LiFePO<sub>4</sub>电池一般仅有1100mAh电池）

一旦默认值被改变，便可利用这种方法实现一次理想的 $Q_{max}$ 更新。

### 1、 $Q_{max}$ 更新周期开始

在一次完全充电以后电池闲置时应开始 $Q_{max}$ 更新周期。理想情况下，电池应尽可能地“休息”。但是，如果由于板上电路，电池组有较高的自放电电流，则这种等待时间可短至2小时。

### 2、完全充电与有效OCV信息获取

当充电终止时，在电池电压稳定以前，必须发送IT激活命令（0X0021）来阻止获取OCV信息。之后，应尽可能地允许电池休息。压降期间，LiFePO<sub>4</sub>电池组的一节电池往往会在充电末尾逃离。通过充电至更低电压（每节电池3.5V），或者在一节电池的电压超过或者低于其它电池20mV时关闭充电器，可以防止这种电压偏移现象出现。

就化学ID404而言，如果电池休息以后，电池组的电池最低电压为3353mV或者更高，则可开始放电程序。如果休息期间，有电池电压降至3353mV以下，则要求开始另一个充电周期，以充满电池，必须再次开始该过程。不同电压适用于不同的化学ID。更多详情，请参见《参考文献1》和本文结尾处的“相关网站”。

再次发送IT激活命令，以开始 $Q_{max}$ 更新过程。在发送该命令以后，在放电开始以前需等待5分钟，原因有两个：（1）清除5分钟积累的库伦计数字滤波器；（2）让电量计有时间在激活命令发送以后完成计算工作。

### 3、放电与休息

电池应放电至空电量，也即电压降至最小不合格电压以下。电池休息时，其电压上升。在“ $Q_{max}$ 最大时间”设置规定的完整休息时间加上5分钟缓冲时间期间，所有电池电压都必须保持在最小不合格电压以下。

### 4、 $Q_{max}$ 更新完成

可从数据闪存“状态”补偿82/ $Q_{max}$ 电池补偿0-8读取已更新的 $Q_{max}$ 值。如果 $Q_{max}$ 未知或者未更新，则重新开始

更新周期，这样电池便被再次充电至全电量，发布正确的命令，并且允许电池休息。

### 黄金周期

为了给所有电池组创建黄金镜像数据，应运行几个充电和放电周期，以获得可靠的 $Q_{max}$ 和电阻表（Ra表）值。使用LiFePO<sub>4</sub>电池时，最好是在前述过程之后的放电周期，更新 $Q_{max}$ 。

在黄金周期的充电和放电周期，利用bq评估软件工具创建一个日志文件（.LOG），这一点很重要。这样，便可以利用TI应用人员提供的Mathcad®计算工具，验证 $Q_{max}$ 和Ra表值的正确性。

在创建黄金电量监测计（.GG）文件以后，应将基于周期数据的保守数值分配给 $Q_{max}$ 值。每个电池的Ra表值分配集应相同，而并联电池的 $Q_{max}$ 值也应相同。使用连续周期的非对称 $Q_{max}$ 和Ra表开始值，可能会引起SOC误差和平衡问题。表2列举出了经过调整的黄金.GG值的一个例子，它可以改善2s2p电池组配置的电池平衡性。

表2 相比黄金.GG文件的数据闪存参数例子

Example Learned .GG Parameters for 2s2p Configuration with 2500-mAh Capacity (not comprehensive)	Values Used in a Golden .GG File
[Cell Balancing Cfg (Charge Control)]	[Cell Balancing Cfg (Charge Control)]
FC-MTO = 32400	FC-MTO = 0
[State(Gas Gauging)]	[State(Gas Gauging)]
Qmax Cell 0 = 2583	Qmax Cell 0 = 2510
Qmax Cell 1 = 2510	Qmax Cell 1 = 2510
Qmax Cell 2 = 2500 (not used)	Qmax Cell 2 = 2500 (not used)
Qmax Cell 3 = 2500 (not used)	Qmax Cell 3 = 2500 (not used)
Qmax Pack = 2583	Qmax Pack = 2510
Update Status = 06	Update Status = 02
[R_a0(Ra Table)]	[R_a0(Ra Table)]
Cell0 R_a flag = 0000	Cell0 R_a flag = 0055
Cell0 R_a 0 = 34	Cell0 R_a 0 = 34
Cell0 R_a 1 = 37	Cell0 R_a 1 = 37
Cell0 R_a 2 = 49	Cell0 R_a 2 = 49
Cell0 R_a 3 = 59	Cell0 R_a 3 = 59
Cell0 R_a 4 = 54	Cell0 R_a 4 = 54
Cell0 R_a 5 = 60	Cell0 R_a 5 = 60
Cell0 R_a 6 = 73	Cell0 R_a 6 = 73
Cell0 R_a 7 = 67	Cell0 R_a 7 = 67
Cell0 R_a 8 = 73	Cell0 R_a 8 = 73
Cell0 R_a 9 = 81	Cell0 R_a 9 = 81

(Continued on next page)

在黄金镜像数据创建期间和正常工作期间，应关闭电量监测计的充电超时功能即FC-MTO（设置为0），这样便可在不要求放电来清除该计时器的情况下连续充满电池。FC-MTO隐藏在TI的bq20z4x/7x产品中，但幸运的是，它已被默认设置为0。TI的bq20z80将该功能称作“FC-MTO”，而bq20z6x/9x则将其称作“CMTO”。

### 电池平衡

就3节或者4节串联电池而言，应仅在电池备用电源应用中使用内部电池平衡。这是因为，利用外部电池平衡时，相邻的电池无法得到正确的平衡。但是，在2节串联电池组中，允许使用外部电池平衡。由于备用电池大多数时候均处于休息状态，充电时间较少，因此需要正确地平衡相邻电池<sup>2</sup>。

如前所述，必须对增强型bq20z45-R1固件的数据闪存参数进行修改，以用于电池备用电源应用，并适应设计人员的特殊电池组特性（本文中为化学ID404）。增强型固件提供对整个休息期间OCV值的加权测量，并在充电完成后首次OCV测量以后立即锁定电池平衡计算。另外，它在上电以后或者重置状态下，让不合格范围内的电池平衡失效。

建议定期放电来更新Ra-表值。放电期间SOC每变化约11%便对这些值进行更新（例如：89%、78%、67%等）。

另外，利用电量监测计的备用电量功能，可估算和补偿随时间而产生的电池电量损失。补偿电量损失的另一种方法是让主机系统进行计算。如果系统将在没有 $Q_{max}$ 更新的情况下工作，则主控制器必须通过在充电完成以后发布IT激活命令（0x0021）来确保没有出现 $Q_{max}$ 更新。

### 无增强型固件时的离线电池平衡

TI的bq20z6x/7x/8x/9x器件没有LiFePO<sub>4</sub>电池增强型固件。如果这些器件用于待机应用中，则在正常工作期间必须关闭平衡功能。通过设置最小电池偏差为0可以实现这个目标。如果主机系统确定电池随时间而出现错配，则应采取如下步骤：

设置最小电池偏差为1909（或者《参考2》中计算的任何正确值），开启电池平衡。

结合前面所述事件和条件，采取步骤2到6，以确保有效 $Q_{max}$ 更新。

Table 2 (Continued from previous page)

Example Learned .GG Parameters for 2s2p Configuration with 2500-mAh Capacity (not comprehensive)	Values Used in a Golden .GG File
Cell0 R_a 10 = 85	Cell0 R_a 10 = 85
Cell0 R_a 11 = 94	Cell0 R_a 11 = 94
Cell0 R_a 12 = 93	Cell0 R_a 12 = 93
Cell0 R_a 13 = 204	Cell0 R_a 13 = 204
Cell0 R_a 14 = 304	Cell0 R_a 14 = 304
[R_a1(Ra Table)]	[R_a1(Ra Table)]
Cell1 R_a flag = 0055	Cell1 R_a flag = 0055
Cell1 R_a 0 = 137	Cell1 R_a 0 = 34
Cell1 R_a 1 = 144	Cell1 R_a 1 = 37
Cell1 R_a 2 = 165	Cell1 R_a 2 = 49
Cell1 R_a 3 = 178	Cell1 R_a 3 = 59
Cell1 R_a 4 = 168	Cell1 R_a 4 = 54
Cell1 R_a 5 = 180	Cell1 R_a 5 = 60
Cell1 R_a 6 = 211	Cell1 R_a 6 = 73
Cell1 R_a 7 = 210	Cell1 R_a 7 = 67
Cell1 R_a 8 = 223	Cell1 R_a 8 = 73
Cell1 R_a 9 = 241	Cell1 R_a 9 = 81
Cell1 R_a 10 = 257	Cell1 R_a 10 = 85
Cell1 R_a 11 = 287	Cell1 R_a 11 = 94
Cell1 R_a 12 = 322	Cell1 R_a 12 = 93
Cell1 R_a 13 = 650	Cell1 R_a 13 = 204
Cell1 R_a 14 = 962	Cell1 R_a 14 = 304

电池完全放电，并允许电池休息5小时5分钟（或者5分钟以上，设置“Qmax最大时间”）。一旦在零电量时出现这种电池休息，则可通过测量每节电池的电压来准确估算SOC。

将电池完全充电，以允许在整个充电周期进行电池平衡。

充电完成以后，主机系统应发送一条IT激活命令，读取电池电压，然后决定是否需要另一个深度放电平衡周期和休息。

如果需要另一个平衡周期，则马上开始完全放电，并如前所述在零电量时要求再休息5小时5分钟。

在确定需要正确平衡的电池以后，应再把最小电池偏差设置为0，以使电池平衡失效。

### 结论

TI的阻抗跟踪电池电量计技术是一种自适应计量算法，它可以在整个电池寿命周期对电池SOC进行准确的测量。但是，在电池备用电源应用中，为了获得最

佳的运行效果，我们需要考虑一些问题，并做出一些修改。本文介绍了如何利用TI的LiFePO<sub>4</sub>电池增强型bq20z45-R1固件，实现正确的电池平衡，以及获得可靠的Q<sub>max</sub>更新，从而达到最佳的准确性。

### 参考文献

- 1、《在浅放电应用中对TI的LiFePO<sub>4</sub>电池阻抗跟踪™电池电量计进行微调》，作者 Keith James Keller，刊发于《模拟应用杂志》（2011年第1季度），  
网址：[www.ti.com/slyt402-aaj](http://www.ti.com/slyt402-aaj)
- 2、《使用外部MOSFET实现快速电池平衡》，作者 Simon Wen，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slue420-aaj](http://www.ti.com/slue420-aaj)
- 3、《bq20zxx产品系列阻抗跟踪™电池电量计算法理论与实现》，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slue364-aaj](http://www.ti.com/slue364-aaj)
- 4、《电池备用存储系统的电量计考虑》，作者Keith James Keller，刊发于《模拟应用杂志》（2010年第1季度），  
网址：[www.ti.com/slyt364-aaj](http://www.ti.com/slyt364-aaj)

### 相关网站

电源管理：

[www.ti.com/power-aaj](http://www.ti.com/power-aaj)

[www.ti.com/bq20z45-r1-aaj](http://www.ti.com/bq20z45-r1-aaj)

[www.ti.com/bq20z70-v160-aaj](http://www.ti.com/bq20z70-v160-aaj)

[www.ti.com/bq20z80a-v110-aaj](http://www.ti.com/bq20z80a-v110-aaj)

[www.ti.com/bq27520-g3-aaj](http://www.ti.com/bq27520-g3-aaj)

[www.ti.com/bq27541-g1-aaj](http://www.ti.com/bq27541-g1-aaj)

bq评估软件工具下载地址：

[www.ti.com/bq20z45-r1-bqeasy-sw-aaj](http://www.ti.com/bq20z45-r1-bqeasy-sw-aaj)

bq评估软件工具电量监测计化学更新器下载地址：

[www.ti.com/gasgaugechem-aaj](http://www.ti.com/gasgaugechem-aaj)

《模拟应用杂志》订阅地址：

[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。  
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。  
电源在线培训课程

[www.ti.com.cn/webench](http://www.ti.com.cn/webench)  
[www.ti.com.cn/powerlab](http://www.ti.com.cn/powerlab)  
[www.ti.com.cn/powertraining](http://www.ti.com.cn/powertraining)

**WEBENCH® Designer**

Power | **FPGA/μP** | Sensors | LED

Enter your power supply requirements:

Min      Max  
Vin      14.0 V      22.0 V

Vout      Iout  
Output    3.3 V      2.0 A

Ambient Temp      30 °C

Multiple Loads      Single Output  
**Power Architect**      **Start Design**

**WEBENCH® Designer** My Designs

最小      最大  
输入电压    14.0 V      22.0 V

输出电压      输出电流  
输出      3.3 V      2.0 A

环境温度      30 °C

**SIMPLE SWITCHER®**  
开始设计 ▶



从通讯、计算机、消费类电子到汽车、工业，从能源、医疗到安防、航空航天，TI推出一系列创新、完整、独特的制胜解决方案，给您带来前所未有的技术支持体验。<http://www.ti.com.cn/www/more/>



德州仪器在线技术支持社区

[www.deyisupport.com](http://www.deyisupport.com)

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



[e.weibo.com/tisemi](http://e.weibo.com/tisemi)

热门产品

- |           |  |
|-----------|--|
| TPS92075  | 具有自适应基准的非隔离式、相位可调光、降压 PFC LED 驱动器              |
| BQ24195   | 具有 5.1V 1A/2.1A 同步升压运行的由 I2C 控制的 2.5A/4.5A 单电池 |
| LM3447    | 相位调光、初级侧电源调整的准谐振反激式控制器                         |
| LM34917   | 具有智能电流限制的超小型 33V、1.25A 恒准时降压开关稳压器              |
| ADS1298   | 具有集成 ECG 前端的 8 通道 24 位模数转换器                    |
| SN65HVD82 | 针对要求严格的工业类应用的稳健耐用的驱动器和发送器                      |
| LM22670   | 具有同步或可调节开关频率的 3A SIMPLE SWITCHER、降压电压稳压器       |
| ISO1050   | 电镀隔离的隔离式 CAN 收发器                               |

了解更多, 请搜索以下产品型号:

TPS92075





## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	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.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/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应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司