

## 前言

本应用笔记说明了使用 STM32L-DISCOVERY 和 32L152CDISCOVERY 板，实现简单温度测量应用的方法。本文讲解的解决方案使用 STM32L1x 微控制器集成的温度传感器。本文讲解了使用工厂或用户校准，提高温度传感器精度的方法。

演示应用不需要任何额外硬件。当使用相关固件更新 STM32L-DISCOVERY 和 32L152CDISCOVERY，并通过连至主机 PC 的 USB 线给板子上电之后，应用即可显示 STM32L1x 微控制器的温度。

温度传感器例程代码包含在 STM32L1x 探索固件包中（STSW-STM32072），可从 <http://www.st.com> 获得。

## 参考文档

- STM32L-DISCOVERY 和 32L152CDISCOVERY 用户手册（UM1079）
- STM32L-DISCOVERY 和 32L152CDISCOVERY 板软件开发工具入门（UM1451）
- STM32L1x 电流消耗测量和触摸感应演示（AN3413）
- 超低功耗 STM32L15xx6/8/B 数据手册
- 超低功耗 STM32L151xC 和 STM32L152xC 数据手册
- 超低功耗 STM32L151xD 和 STM32L152xD 数据手册
- 超低功耗 STM32L162xD 数据手册
- STM32L100xx、STM32L151xx、STM32L152xx 和 STM32L162xx 基于 ARM 内核的 32 位高级 MCU 参考手册（RM0038）

以上文档可从 <http://www.st.com> 获得。

表 1. 应用产品和固件

类型	料号和产品类别
MCU 评估工具	STM32L-DISCOVERY, 32L152CDISCOVERY
MCU 软件	STSW-STM32072

# 目录

<b>1</b>	<b>应用概述</b> .....	<b>5</b>
1.1	温度传感器 .....	5
1.2	温度测量和数据处理 .....	5
1.3	应用程序示例说明 .....	6
<b>2</b>	<b>起始</b> .....	<b>8</b>
2.1	搭建板子运行环境 .....	8
2.2	运行演示例程 .....	8
2.2.1	温度传感器校准 .....	8
2.3	温度传感器估计的工程容差 .....	10
<b>3</b>	<b>软件说明</b> .....	<b>11</b>
3.1	应用例程使用的 STM32L1x 外设 .....	11
3.2	STM32L15x 标准固件库配置 .....	12
<b>4</b>	<b>结论</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>修订历史</b> .....	<b>13</b>

## 表格索引

表 1.	应用产品和固件.....	1
表 2.	文档修订历史 .....	13

## 图片索引

图 1.	LCD 显示图例 .....	7
图 2.	温度传感器的传输特性 .....	9

# 1 应用概述

本章说明了温度传感器的工作原理以及如何使用 STM32L-DISCOVERY 或 32L152CDISCOVERY 上内置的 STM32L1x 微控制器进行温度测量。

后面会简单说明如何实现示例温度测量应用。

在整个文档中，使用 STM32L1xxDISCOVERY 表示 STM32L-DISCOVERY 或 32L152CDISCOVERY 评估套件。

## 1.1 温度传感器

集成于 STM32L1x 微控制器中的温度传感器可输出与器件芯片结温成正比的模拟电压。

*注：请注意，传感器提供的温度信息为芯片结温（半导体表面的实际温度），它可能与环境温度不同。若需更详细信息，请参见产品数据手册的“热特性”一节。*

集成的温度传感器提供了较好的线性特性，典型偏差为  $\pm 1\%$ 。其温度范围等于器件的温度范围（ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  到  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），最大结温为  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

传感器的线性很好，但可交换性很差，必须对其校准以得到较好的总体精度。若应用设计为仅测量温度的相对变化，则不需要校准温度传感器。

## 1.2 温度测量和数据处理

温度传感器的输出在芯片内部连至 STM32L1x 中 ADC（模数转换器）的通道 16（ADC\_IN16），ADC 通道用于采样和转换温度传感器的输出电压。必须进一步处理原始 ADC 数据，以便用标准温度单位显示温度（摄氏度、华氏度、开氏温度）。

ADC 参考电压（ $V_{\text{DDA}} = V_{\text{REF+}}$ ）连至 STM32L1xxDISCOVERY 板的  $3\text{ V } V_{\text{DD}}$  电源。若不知道  $V_{\text{DD}}$  的精确值，则与使用电池工作的应用一样，必须对它测量以得到正确的总体 ADC 转换范围（见下节的详细信息）。

### 电池供电设备上的温度测量

若器件直接用电池供电，则微控制器的供电电压会有变化。若 ADC 参考电压连至  $V_{\text{DDA}}$ ，即低引脚数封装器件的连接方式，ADC 转换的值会随电池电压漂移。需要知道供电电压以补偿该电压漂移。可使用芯片的内部电压参考（ $V_{\text{REFINT}}$ ）来确定实际供电电压（ $V_{\text{DDA}}$ ）。ADC\_IN17 内部参考输入上的 ADC 采样值（ $\text{Val\_}V_{\text{REFINT}}$ ）可由下式表示：

$$\text{Val\_}V_{\text{REFINT}} = V_{\text{REFINT}} \times 2^{12} / V_{\text{REF+}} = V_{\text{REFINT}} \times 4096 / V_{\text{DDA}}$$

精确的芯片内部参考电压（ $V_{\text{REFINT}}$ ）由 ADC 单独采样，在制造过程期间，将每个器件的对应转换值（ $\text{Val\_}V_{\text{REFINT\_CAL}}$ ）储存于受保护的存储区，其地址为产品数据手册中规定的  $V_{\text{REFINT\_CAL}}$ 。内部参考电压校准数据为 12 位的无符号数（右对齐，存储于 2 个字节中），由用于参考的 STM32L1x ADC 获取

$$V_{\text{VREF\_MEAS}} = V_{\text{REF+}} = 3\text{ V} \pm 0.01\text{ V}$$

工厂测量的校准数据总体精度为  $\pm 5\text{ mV}$ （若需更详细信息，请参考数据手册）。

我们可使用上式确定实际的  $V_{\text{DDA}}$  电压，如下所示：

$$V_{\text{DDA}} = 3 \times \text{Val\_}V_{\text{REFINT\_CAL}} / \text{Val\_}V_{\text{REFINT}}$$

当采样温度传感器数据 ValTS\_bat 时，ADC 量程会参考前面步骤中确定的实际  $V_{DDA}$  值。因为温度传感器工厂校准数据是在 ADC 量程设为 3 V 时获得的，所以我们需要归一化 ValTS\_bat，以得到 ADC 量程为 3 V 时应获得的温度传感器数据 (ValTS)。可使用下式归一化 ValTS\_bat:

$$\text{ValTS} = 3 \times \text{ValTS\_bat} / V_{DDA}$$

若 ADC 参考为 3 V 供电 (STM32L1 Discovery 的情况)，则不需要这样归一化，可直接使用采样温度数据确定温度，如 [第 2.2.1 章节：温度传感器校准](#) 中所述。

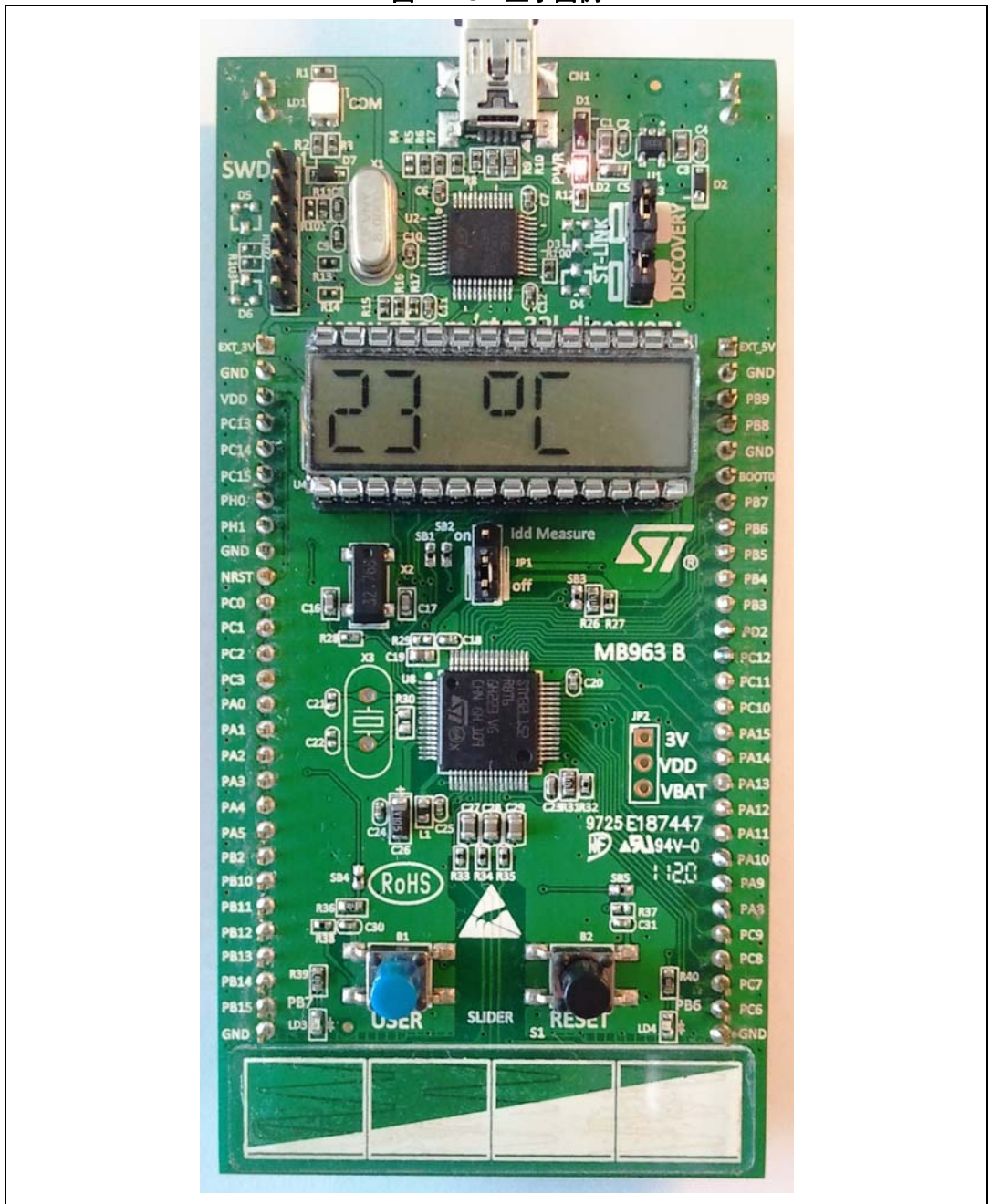
### 1.3 应用程序示例说明

每 2 秒，应用从温度传感器电压获取 16 个采样。使用四分均值算法，对 ADC 原始数据滤波、平均，以降低电源系统的噪声。将结果重新计算为标准的温度测量单位下的数值 (在本例中为 °C)。

ADC 原始数据或当前温度值每 2 秒更新一次 LCD 显示，单位为摄氏度。用户可通过按用户按钮在两种温度数据表示之间切换。

为演示 STM32L1x 超低功耗微控制器的低功耗能力，在温度传感器数据测量间歇期，CPU 切换至停止模式，RTC (实时时钟) 唤醒设为 2 秒。ADC 数据获取和数据传输由直接存储器访问 (DMA) 管理在此阶段 CPU 处于低功耗睡眠模式。仅在初始化阶段和数据处理期间，CPU 才处于运行模式，其频率为 16 MHz (基于 HSI 振荡器时钟)。

图 1. LCD 显示图例



## 2 起始

在开始运行例程之前，必须如下节中所述更新固件和配置硬件。

### 2.1 搭建板子运行环境

#### 更新固件

需要使用本应用笔记相关的固件更新 STM32L1x 程序存储器。若需如何更新固件的信息，请阅读项目目录中的 'readme.txt' 文件。

#### 例程会用到的硬件元件

本应用例程使用 STM32L1xxDISCOVERY 板上现成的硬件元件：STM32L1x 微控制器上集成的外设、6 位 LCD 玻璃显示器、用户按钮。不需额外元件。

#### STM32L1xxDISCOVERY 硬件设置

I<sub>DD</sub> 跳线 JP1 必须置于 ON 位置。

必须安装 CN3 上的两个跳线，以通过串行线调试（SWD）接口启用 STM32L1x 微控制器和 ST-Link 调试工具之间的通信。

*注：* 所有焊桥必须为 UM1079 中所述的默认状态。

### 2.2 运行演示例程

运行演示例程很简单。

开机后，例程首先会显示欢迎消息，然后立即显示电流温度，单位为摄氏度，刷新率为 2 秒。当按下用户按钮后，显示屏会显示 ADC 获取的一组 16 个样例的平均值。再按一下用户按钮会在显示当前摄氏度温度和均值之间切换。均值可在之后用作校准点，作为已知温度来提高温度测量的整体精度。

#### 2.2.1 温度传感器校准

在制造过程期间，温度传感器校准数据存储于受保护的存储区中，用户可从该处读取并使用该数据以提高温度测量的精度。生产过程中测量两个点的校准数据：

- 室温（30 °C ± 5°C）：TS\_CAL1
- 高温（110 °C ± 5°C）：TS\_CAL2。

若需获取校准数据所存储的存储器地址，请参考产品数据手册。

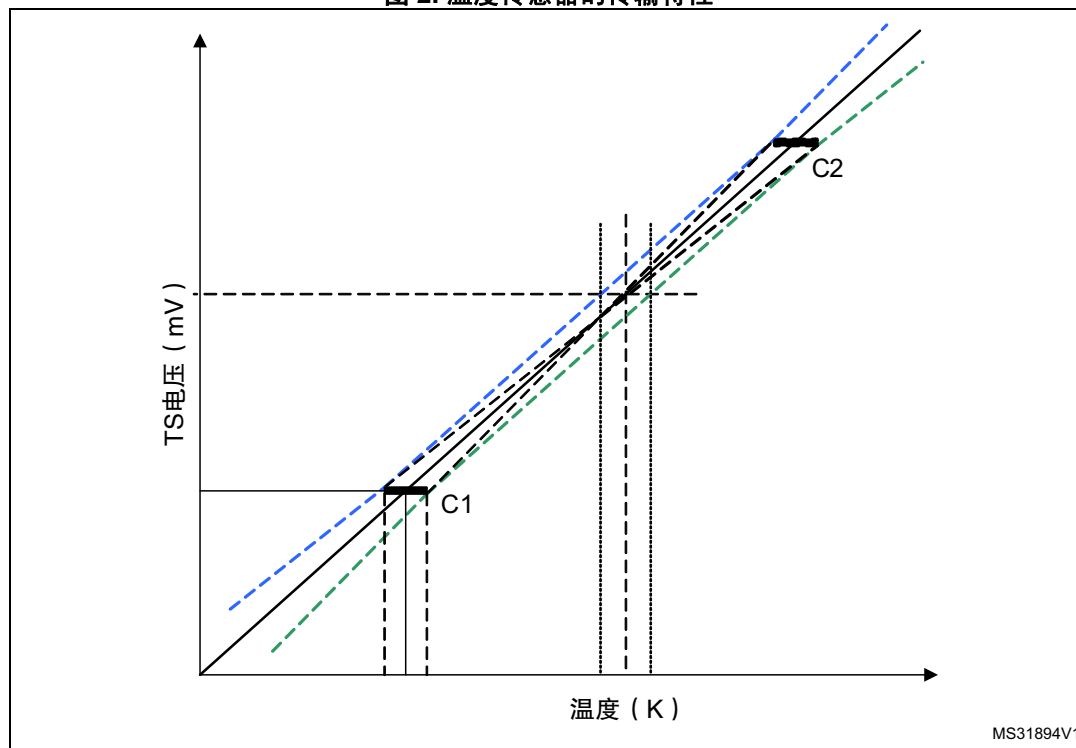
温度传感器校准数据为 12 位的无符号数（存储于 2 个字节中），由 STM32L1x ADC 在使用 3 V（± 10 mV）参考电压时获得。



例程初始化时，会检查工厂校准数据的有效性。若存储器中存在数据，则用它做温度计算。否则，则验证并使用用户校准期间存储在 EEPROM 存储区中的校准数据。若用户校准数据也不可用，则使用默认值计算。工厂校准或用户校准数据为温度测量提供了较好的精度。

默认校准数据基于典型温度传感器特性的统计数据，由于制造过程期间温度传感器特性变化较大，所以使用默认值可能会导致温度估计的精度较差。建议使用工厂校准数据或对温度传感器执行两点校准，这代表了温度传感器的个体特性，可得到较好精度的测量。

图 2. 温度传感器的传输特性



可由 ADC 使用线性估计采样，从数字值 ValTS 计算温度。若两个校准点 C1 和 C2 的坐标已知，则可使用此方法，如 [图 2](#) 中所示。

当前温度可如下计算，其中低温坐标对表示为 (TC1, ValC1)，高温对为 (TC2, ValC2)：

$$\text{Temp} = (\text{TC2} - \text{TC1}) / (\text{ValC2} - \text{ValC1}) \times (\text{ValTS} - \text{ValC1}) + \text{TC1}$$

使用工厂校准数据，公式可重写如下：

$$\text{Temp} = 80 / (\text{TS\_CAL2} - \text{TS\_CAL1}) \times (\text{ValTS} - \text{TS\_CAL1}) + 30$$

## 2.3 温度传感器估计的工程容差

在图2中可以看到，两点校准方法极大提高了测量精度。温度测量的偏移主要有两个原因：校准点的温度裕度及传感器的线性。其它造成偏移的原因，例如 ADC 参考电压裕度可被有效降低。对于使用 3 V ( $\pm 10$  mV) 参考电压测量的工厂校准值则可忽略。

温度估计的工程容差示于图2中，它有两个边界线：最小偏移值（绿色）和最大偏移值（蓝色）。校准点之间的区域具有恒定的容差，比外面的容差稍微增加。因此，校准点的建议位置应与测量范围的最大和最小值尽量接近。

## 3 软件说明

### 3.1 应用例程使用的 STM32L1x 外设

本应用例程使用下列 STM32L1x 外设，其设置说明如下。详情请参阅 STM32L151xx 数据手册。

#### 模数转换器（ADC）

ADC 执行内部参考电压（4 个采样）和温度传感器电压（16 个采样）的模数转换，由 DMA 驱动。

- ADC 分辨率：12 位
- ADC 转换模式：由 DMA 驱动的扫描模式
- ADC 采样时间：384 个周期

#### SysTick 定时器

SysTick 定时器仅用于生成显示刷新所需的时延，在温度测量期间禁用。

#### 通用输入 / 输出（GPIO）

端口 C 和 E 连至用户按钮和 LED。

- PB1 设置为输入浮空引脚，连至用户按钮，并使能其中断功能。
- PB7（绿色 LD3）和 PB6（蓝色 LD4）设置为输出推挽。
- 在低功耗模式期间，除了和硬件接口相关的几个引脚（PB7—绿色 LD3 和 PB6—蓝色 LD4）之外，I/O 都被设为模拟输入模式以降低功耗。这意味着所有未用到的标准 I/O 引脚上的施密特触发器都被禁用，以降低功耗。

#### LCD 控制器

应用示例代码中使用了固件库中的多个函数用于液晶显示器（LCD）的初始化、清屏、显示字符串、滚动消息等操作。

#### 时钟

选择高速内部（HSI）RC 振荡器作为主时钟源。

应用根据所选的节能模式管理外设时钟。当器件进入停止模式时，HSI 振荡器关闭，LSE 晶振给 RTC 提供时钟，直到器件被外部事件（RTC 唤醒或 USER 按钮被按下）唤醒。当退出停止模式时，MCU 将系统时钟从默认 MSI 振荡器切换回 HSI 振荡器。

## 3.2 STM32L15x 标准固件库配置

在 STM32L1x 标准固件库的 *stm32l1xx\_conf.h* 文件中，使能应用要用到的外设，配置该库。

*stm32l1xx\_conf.h* 文件中包括下列库模块的头文件：

- #include *stm32l1xx\_adc.h*
- #include *stm32l1xx\_exti.h*
- #include *stm32l1xx\_flash.h*
- #include *stm32l1xx\_gpio.h*
- #include *stm32l1xx\_syscfg.h*
- #include *stm32l1xx\_lcd.h*
- #include *stm32l1xx\_pwr.h*
- #include *stm32l1xx\_rcc.h*
- #include *stm32l1xx\_rtc.h*
- #include *misc.h*

对应的模块驱动函数必须包括在项目中，才能成功编译和链接。

## 4 结论

本应用笔记说明了怎样使用 STM32L1x 微控制器中内置的内部温度传感器。

本应用笔记相关的固件例程可助您探索 STM32L1x 微控制器的温度传感能力，同时展示它的超低功耗特性。可将它用作您自己开发的起点。

## 5 修订历史

表 2. 文档修订历史

日期	修订	变更
2011 年 9 月 27 日	1	初始版本。
2013 年 7 月 04 日	2	增加了 32L152CDISCOVERY 和相关信息。 增加了对 STSW-STM32072 固件的参考。 在整个文档中将 STM32L 替换为 STM32L1x。 在 <a href="#">第 1.2 章节: 温度测量和数据处理</a> 中更新了存储器地址。 更新了 <a href="#">第 2.2.1 章节: 温度传感器校准</a> , 增加了 <a href="#">第 4 章节: 电池供电设备上的温度测量</a> 。 更改了 <a href="#">第 2.3 章节: 温度传感器估计的工程容差</a> 中的参考电压。 更新了 <a href="#">第 4 章节: 时钟</a> 。
2013 年 7 月 16 日	3	更新了 <a href="#">表 1: 应用产品和固件</a> 。

**请仔细阅读：**

中文翻译仅为方便阅读之目的。该翻译也许不是对本文档最新版本的翻译，如有任何不同，以最新版本的英文原版文档为准。

本文中信息的提供仅与 ST 产品有关。意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对本文档及本文所述产品与服务进行变更、更正、修改或改进的权利，恕不另行通知。

所有 ST 产品均根据 ST 的销售条款出售。

买方自行负责对本文所述 ST 产品和服务的选择和使用，ST 概不承担与选择或使用本文所述 ST 产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为 ST 授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在 ST 的销售条款中另有说明，否则，ST 对 ST 产品的使用和 / 或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途（及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况），或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

意法半导体的产品不得应用于武器。此外，意法半导体产品也不是为下列用途而设计并不得应用于下列用途：（A）对安全性有特别要求的应用，例如，生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；（B）航空应用；（C）汽车应用或汽车环境，且 / 或（D）航天应用或航天环境。如果意法半导体产品不是为前述应用设计的，而采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向意法半导体发出了书面通知，采购商仍将独自承担因此而导致的任何风险，意法半导体的产品规格明确指定的汽车、汽车安全或医疗工业领域专用产品除外。根据相关政府主管部门的规定，ESCC、QML 或 JAN 正式认证产品适用于航天应用。

经销的 ST 产品如有不同于本文档中提出的声明和 / 或技术特点的规定，将立即导致 ST 针对本文所述 ST 产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大 ST 的任何责任。

ST 和 ST 徽标是 ST 在各个国家或地区的商标或注册商标。

本文档中的信息取代之前提供的所有信息。

ST 徽标是意法半导体公司的注册商标。其他所有名称是其各自所有者的财产。

© 2015 STMicroelectronics 保留所有权利

意法半导体集团公司

澳大利亚 - 比利时 - 巴西 - 加拿大 - 中国 - 捷克共和国 - 芬兰 - 法国 - 德国 - 中国香港 - 印度 - 以色列 - 意大利 - 日本 - 马来西亚 - 马耳他 - 摩洛哥 - 菲律宾 - 新加坡 - 西班牙 - 瑞典 - 瑞士 - 英国 - 美国

www.st.com