ATECC608B-TFLXTLS

ATECC608B-TFLXTLS CryptoAuthentication™数据手册

简介

ATECC608B-TFLXTLS 是 ATECC608B 的预配置型号。与 ATECC608A 相比，ATECC608B 提供了增强型安全措施。这些增强措施也适用于 ATECC608B-TFLXTLS。TrustFLEX 安全元件属于 Microchip 通用配置安全器件系列。器件配置旨在使安全元件适用于 IoT 市场中的一些最常见用例，同时最大程度地减少与安全器件相关的学习和入门准备。

ATECC608B-TFLXTLS 配置与 ATECC608B-TNGTLS 的配置几乎相同。对于装载到证书和密钥槽中的数据以及这些槽的锁定选项，提供了额外的灵活性。在订购 ATECC608B-TFLXTLS 器件之前，这些槽的访问策略将由 Trust Platform Design Suite 工具设置。此外，ATECC608B-TFLXTLS 器件还具备单线接口（Single Wire Interface，SWI）选项。

本数据手册提供了 ATECC608B-TFLXTLS 特有的槽和密钥配置信息。该信息明确定义了每个数据区域槽的访问策略。其中仅包含相关命令和 I/O 工作信息。此外，应用部分介绍了可帮助开发应用程序的 Microchip 软硬件工具及其下载链接。

特性

- 指定的配置区，具有有限的可选选项。
- I/O 选项
  - 具有可一次性更改 I^2C 地址的 I^2C 接口
  - 单线接口（SWI）
- 一个制造时固定的永久主 P-256 椭圆曲线加密（ECC secp256r1）私钥
- 一个用于密钥认证的内部签名私钥
- 三个辅助 P-256 ECC 私钥，可由用户重新生成
- 来自签名人证书的签名人公钥
- 公钥验证支持
- 一个可定制的对称机密信息密钥槽
- IO 保护密钥槽，用于保护 I^2C 通信
- 使用制造时可定制的安全引导公钥使能安全引导
- ECDH/KDF 密钥槽，可与 AES 密钥和命令一起使用
- X.509 压缩证书存储
- 可定制的证书存储槽
- 采用 8 焊盘 UDFN 和 8 引脚 SOIC 封装，量产为 2k 件

应用

- 安全 IoT TLS 1.2 和 1.3 连接
- 安全引导/安全固件更新
- 一次性用品/配件认证
- I/P 和数据保护

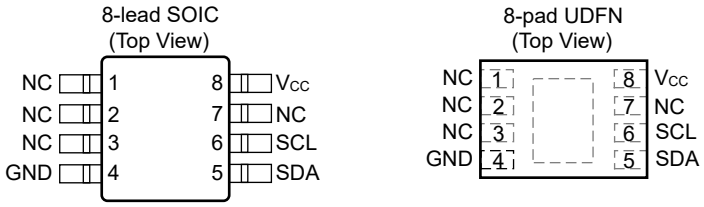
目录

1. 引脚配置和引脚分配

表 1-1. 引脚配置

引脚	I^2C 器件功能	SWI 器件功能
NC	无连接	无连接
GND	地	地
SDA	I^2C 串行数据	单线 I/O 信号
SCL	I^2C 串行时钟输入	GPIO 信号
V_{CC}	电源	电源

图 1-1. UDFN 和 SOIC 引脚分配



注： 建议将 UDFN 背面的焊盘连接至 GND。

2. EEPROM 存储器和数据区域访问策略

EEPROM 存储器共有 1400 字节，分为以下几个区域：

表 2-1. ATECC608B-TFLXTLS EEPROM 区域

区域	说明	命名法
配置	128 字节（1024 位）EEPROM 区域，包含： • 器件配置 • 槽访问策略信息 • 计数器值 • 器件序列号 • 锁定信息 LockConfig 字节已设置。无法向该区域直接写入任何内容。始终可读取该区域。	Config[a:b] = 配置区域某个字段内的字节范围。
数据	1208 字节（9.7 Kb）区域，分为 16 个通用只读或读/写存储器槽。槽按以下方式划分： • Slot 0-7 包含 36 个字节 • Slot 8 包含 416 个字节 • Slot 9-15 包含 72 个字节 配置区域字节定义的访问策略信息决定了每个槽的访问方式。ATECC608B-TFLXTLS 器件中每个数据槽的访问策略均已设置，并且配置区域定义的槽访问策略完全生效。根据槽访问策略，一些槽可以读写，而另一些槽则不可以。	Slot[YY] = 存储在数据区域的 Slot YY 中的全部内容。
可一次性编程（OTP）	64 字节（512 位）区域，分为两个块，每个块 32 字节。对于 ATECC608B-TFLXTLS，该区域预装了一个预定义值。该区域无法修改，但可以随时读取。有关更多信息，请参见 2.3 ATECC608B-TFLXTLS EEPROM 可一次性编程（OTP）区域。	OTP[bb] = OTP 区域内的一个字节，而 OTP[aa:bb]表示一个字节范围。

表 2-2. 文档术语

本文档中讨论的术语具有以下含义：

术语	含义
块	特定存储区域的单个 256 位（32 字节）区域。工业标准 SHA-256 文档还使用术语“块”来表示报文输入的 512 位片段。在本文档内，仅当描述哈希输入报文时使用此约定。
KeyID	KeyID 相当于指定为保存密钥值的槽的编号。Key1（有时称为 key[1]）存储在 Slot[1]中，依此类推。当全部 16 个槽均可保存密钥时，配置为允许明文读取的槽通常不会被加密命令用作私钥或机密信息密钥。
mode[b]	表示参数模式的 bit b。
SRAM	包含输入和输出缓冲区以及内部状态存储单元。用户无法直接访问该存储器。请参见 3. 静态 RAM（SRAM）存储器。
字	从块读取或写入块的单个 4 字节数据字。字是数据访问的最小单位。

2.1 ATECC608B-TFLXTLS 配置区域

ATECC608B-TFLXTLS 配置在很大程度上是固定的，客户无法进行修改。使用 Microchip Trust Platform Design Suite 时，工具会考虑所有配置信息。有关如何配置器件的信息显示在下方或槽信息中。

器件配置信息

- 每个器件的序列号都是惟一的，存储在 byte[0:3,8:12]中。Byte[0:1]为 0x01 0x23，Byte[8]为 0x01。所有其他字节都是惟一的。
- 默认的 7 位 I^2C 地址为 0x36。可使用 UpdateExtra 命令改写 I^2C 地址。

重要： ATECC608B-TFLXTLS 的默认 I^2C 地址与通用未配置 ATECC608B 器件不同。

- I/O 电压设置为固定参考电压；因此，主机处理器可以在低于 ATECC608B-TFLXTLS 器件电压的电压下工作。
- 看门狗定时器设置为 1.3s 的最大超时。
- 存储在 Slot 6 中的密钥可用作 I/O 保护密钥。
- 对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以将以下各个槽单独配置为可锁定或不可锁定：Slot 2-6、8、10-12、13 和 15。
- 对于 ATECC608B-TFLXTLS，FullStore 摘要模式支持 SecureBoot。
- 单调计数器可供系统使用，并且未关联到任何密钥。
- 无论何时因运行状况测试失败而导致命令失败后，运行状况测试失败位都会清零。如果失败征兆是暂时的，则在第二次运行时，命令可能会通过。

2.1.1 可修改的配置区域字节

由于配置区域已锁定，因此不能直接写入配置区域中的任何字节。但是，仍然可以使用其他命令来修改某些字节。

SlotLocked 位

对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以将以下各个槽单独配置为可锁定或不可锁定：Slot 2-6、8、10-12、13 和 15。通过使用 Trust Platform Design Suite 工具，可以将其中的每个槽设置为在制造阶段固定或锁定。Slot 10-12 必须始终采用相同方式设置。如果设置为可锁定，则 Lock 命令的 SlotLock 模式可用于锁定给定槽。每个使能了此功能的槽只能被单独锁定一次。一旦槽被锁定，将无法对其进行修改或解锁，但仍可根据为该槽定义的访问策略进行使用。

Byte 88 和 89 用于存储 SlotLocked 字节。最初，这些字节中的所有位均设置为值 1。对于已锁定的槽，相应位的值将设置为值 0。

I^2C 地址重新定义

此器件配置已创建，以便可重新定义一次 I^2C 地址。UpdateExtra 命令可用于将配置区域的 byte 85 重新写入新 I^2C 地址。当该字节设置为非零值时，器件配置将 byte 85 用作其 I^2C 地址，而非使用默认地址。重新写入该字节后，器件必须先掉电或置于休眠模式，之后此更改才会生效。

重要： 如果无需更改 I^2C 地址，则必须使用默认 I^2C 地址写入该存储单元。

UserExtra 字节

UserExtra 字节可用于任何所需用途。该字节只能用 UpdateExtra 命令更新一次。UserExtra 字节位于配置区域的 byte 84。

Counter[0,1]

尽管该器件未使用计数器，但不会将其禁止。如有必要，系统可使用单调计数器。请注意，计数器被初始化为零，并且可以计数到最大值 2,097,151。计数器值可递增或通过使用 Counter 命令读取。该计数器的使用方式严格遵循系统要求，与器件上的其他任何事物无关。计数器值可使用 Counter 命令读取或更新。

2.2 数据区域和访问策略

以下各节介绍了与每个槽关联的详细访问策略信息。实际访问策略信息存储在 EEPROM 配置区域的槽和密钥配置段中。每个数据区域槽都具有与其关联的 2 个槽配置字节和 2 个密钥配置字节。这 4 个字节一起为每个槽创建“访问策略”。存储在槽中的数据的实际类型由该槽的访问策略确定。

2.2.1 数据区域数据类型

以下各节提供了有关可以存储在 ATECC608B-TFLXTLS 数据槽中的各个数据类型的详细信息。

2.2.1.1 私钥

ECC 私钥是 ECC 安全性的基本构件。这些密钥是私密的，并且对于每个器件都是惟一的，始终无法读取。ECC 私钥由安全元件的 TRNG 随机生成，并安全地保存在配置为 ECC 私钥的槽中。

主私钥
这是主身份验证密钥。该私钥是永久性的，不能更改。每个器件都有自己惟一的私钥。

由以下两种主椭圆曲线函数生成该密钥：

- 用于身份验证的 ECDSA 签名
- 用于密钥协议的 ECDH。如果需要对 ECDH 输出进行加密，则需要先设置 IO 保护密钥。有关设置的详细信息，请参见 2.2.1.7 I/O 保护密钥。

该私钥是生成相应公钥和 X.509 证书的基础。

辅助私钥
提供可供将来使用（例如附加服务身份验证）的附加私钥。

由以下主椭圆曲线函数生成此类密钥：

- 用于身份验证的 ECDSA 签名。
- 用于密钥协议的 ECDH。如果需要对 ECDH 输出进行加密，则需要先设置 IO 保护密钥。有关设置的详细信息，请参见 2.2.1.7 I/O 保护密钥。
- GenKey，用于使用在内部生成的新随机私钥覆盖槽。

尽管主私钥和证书是永久性的，但其他密钥可以用内部生成的新私钥覆盖（GenKey 命令模式 = 0x04），以使能密钥删除、密钥轮换和远程配置。这些密钥也是槽可锁定的（KeyConfig.Lockable 位设置为零），这意味着 Lock 命令可用于 SlotLock 模式，以使当前密钥成为永久密钥，并防止 GenKey 命令更改该密钥。更改密钥时，需要通过密钥认证来确保向另一个系统提供的器件的新公钥实际上来自相关器件。

密钥认证
Slot 1 中的私钥配置为仅内部签名密钥，这意味着，它只能签名由 GenKey 或 GenDig 命令在内部生成的报文，并且不能用于签名任意外部报文。通过此功能，可将内部签名密钥用于向任何已知（并信任）内部签名公钥的系统证明器件中的密钥及其配置/状态。

2.2.1.2 公钥

公钥与 ECC 私钥相关联。每个 ECC 私钥将具有自己的惟一公钥。为了使公钥生效，预留了几个槽来存储公钥。这些槽通常用于安全存储可信根公钥。这些密钥的槽可以在两种不同的模式下工作：

- 永久公钥——在这种模式下，应将所需的公钥写入标有“父公钥”的槽并将该槽锁定以使其成为永久公钥。该模式下不使用生效公钥槽。
- 可安全更新的公钥——在此，应将父公钥写入并锁定在父公钥槽中。随后必须将即将生效的公钥写入生效公钥槽中。最后，需要使用与父公钥相对应的私钥（片外）来使公钥生效，从而使其能够使用并防止未经授权的更改。有关该过程的更多详细信息，请参见 2.2.1.2 生效公钥。

父公钥
父公钥是通过存储在片外的 ECC 私钥生成的主系统密钥。

生效公钥
生效公钥要求在使用前使密钥生效，在更新前使密钥失效。生效和失效是使用 `Verify` 命令在生效/失效模式下实现的。

2.2.1.3 证书存储

ATECC608B-TFLXTLS 存储围绕安全保存密钥进行。由于 X.509 证书的大小通常比单个 ATECC608B-TFLXTLS 器件槽大，因此使用压缩格式。该技术更应被称为部分证书，因为它在器件上存储动态证书信息，并施加了一些限制。动态信息是可以随器件更改的证书内容（例如，公钥和有效日期等）。固件应具有证书定义（来自 CryptoAuthLib 的 atcacert_def_t）与完整 X.509 证书的模板，证书中包含静态信息（对于所有证书均相同的数据）以及有关如何利用压缩证书中的动态信息重新编译完整证书的说明。

以下应用笔记记录了压缩证书格式：《压缩证书定义》（DS20006367A_CN）。

CryptoAuthLib 库还包含用于处理压缩证书的 atcacert 模块。

器件证书
器件证书包含与实际最终器件关联的信息。对于 ATECC608B-TFLXTLS，器件证书存储在 Slot 10 中。

签名人证书
签名人证书包含与用于签名器件证书的签名人证书颁发机构相关的信息。对于 ATECC608B-TFLXTLS，签名人证书存储在 Slot 12 中。此外，还需要添加签名人公钥来重新编译完整的签名人证书。

签名人公钥
签名人公钥用于验证签名人和与签名人压缩证书关联的信息。对于 ATECC608B-TFLXTLS，签名人公钥存储在 Slot 11 中。

下表列出了与 ATECC608B-TFLXTLS 中的证书关联的所有槽：

槽	说明
0	主私钥。在模式 = 0x00 时，可使用 `GenKey` 命令随时生成公钥。
10	器件证书。以压缩格式存储在此处。请参见 4.5.3 证书存储。
11	签名人公钥。请参见 4.5.1.1 公钥格式。
12	签名人证书。以压缩格式存储。请参见 4.5.3 证书存储。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 生产器件，这些槽可配置为永久锁定或槽可锁定。为了便于初期开发，对于原型器件将 Slot 10-12 设置为槽可锁定。

2.2.1.4 安全引导

ATECC608B-TFLXTLS 已使能安全引导命令。这允许系统在执行完全引导之前，通过自举程序以加密方式使其固件生效。该功能还可用于在装入新固件映像之前使其生效。

安全引导功能需要先创建一个 P-256 固件签名密钥，然后才能使用。私钥将由固件开发人员持有，用于对固件映像进行签名。需要将公钥写入安全引导公钥槽并锁定该槽以使其成为永久公钥。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，还可强制主私钥在授权使用前要求进行有效安全引导。有关如何使能该功能的信息，请参见 2.2.4 安全引导选项。

有关完整的详细信息，请参见 5.2.3 SecureBoot 命令。

要实现安全引导，需要使用多个数据槽。

安全引导摘要
安全引导摘要是根据固件应用程序代码计算的 32 字节 SHA256 摘要。每次更新固件时都需要更新此摘要。对于 ATECC608B-TFLXTLS，摘要存储在 Slot 7 中。

安全引导公钥
安全引导公钥用于执行验证功能以使安全引导摘要和签名生效。安全引导公钥存储在 Slot 15 中。

2.2.1.5 机密信息密钥

该槽可用于存储 32 字节的机密信息值或机密信息密钥。该密钥可与 ATECC608B-TFLXTLS 的对称密钥命令（GenDig、MAC、CheckMac、KDF、SHA/HMAC 和 AES）配合使用。

写入该密钥时需要采用将 IO 保护密钥用作写入密钥的加密写入方式。因此，必须先设置 2.2.1.7 I/O 保护密钥才能写入机密信息密钥。

2.2.1.6 AES 密钥存储

ECDH 和 KDF 等命令输出对称密钥。上述命令还可将这些密钥保存到一个槽中以实现安全存储并用作 AES 密钥。AES 密钥存储槽已设置为这些密钥的目标槽。多个 AES 密钥可以存储在一个槽中。

2.2.1.7 I/O 保护密钥

Verify、ECDH、SecureBoot 和 KDF 命令还可选择使用 I/O 保护功能来加密某些参数并（通过 MAC）验证一些响应。这有助于防止物理 I^2C 总线上出现中间人攻击。但是，为了能够使用该功能，MCU 和 ATECC608B-TFLXTLS 需要事先生成并保存惟一的 I/O 保护密钥，实际上是将 MCU 和 ATECC608B-TFLXTLS 器件彼此配对。必须在首次引导时进行配对过程。

I/O 保护密钥生成：

1. MCU 使用随机命令来生成一个随机的 32 字节 I/O 保护密钥。
2. MCU 将 I/O 保护密钥保存在其内部闪存中。
3. MCU 将 I/O 保护密钥写入 I/O 保护密钥槽中。
4. MCU 槽锁定该槽以使 I/O 保护密钥具有永久性。

作为配对检查，MCU 可以使用 MAC 命令向 I/O 保护密钥发出质询，并验证闪存中存储的 I/O 保护密钥是否与 ATECC608B-TFLXTLS 中的密钥匹配。

2.2.1.8 通用数据存储

为支持通用公共数据存储，已设置了许多槽。这些槽可用于存储任何允许公开访问的数据。这些槽始终可采用明文形式读取和写入。

2.2.2 槽配置术语

以下部分提供了一组用于讨论配置选项的术语。这些术语按字母顺序排列。

术语	说明
AES 密钥	槽可用作 AES 命令的密钥源。ATECC608B-TFLXTLS 的 AES 密钥为 128 位长。
始终写入	可以使用 Write 命令以明文方式写入槽。
明文读取	槽视为公共（非机密）的，可以使用 Read 命令以明文方式读取其内容。
ECDH	椭圆曲线 Diffie Hellman。私钥可与 ECDH 命令一起使用。
加密写入	只能使用加密写入基于指定的写密钥写入槽。
外部签名	私钥可用于对外部（任意）报文进行签名。
内部签名	私钥可用于对 GenKey 或 GenDig 命令生成的内部报文进行签名。用于证明器件的内部密钥和配置。
可锁定	槽可以在将来的某个时间锁定。锁定后，槽内容将无法更改（仅供读取/使用）。
不允许读取	槽被视为机密，无法使用 Read 命令读取其内容。私钥和对称机密信息应始终配置为“不允许读取”。
不允许写入	无法使用 Write 命令更改槽。
永久	私钥是永久的/不可更改。它是出厂配置期间在内部生成的。
可更新	私钥稍后可由内部生成的新随机私钥覆盖。其初始值是出厂配置期间在内部生成的。
生效	父公钥使公钥生效后，公钥只能与 Verify 命令一起使用。

2.2.3 ATECC608B-TFLXTLS 槽配置汇总

ATECC608B-TFLXTLS 有 16 个槽，可以针对不同的用例进行配置。下表汇总了 ATECC608B-TFLXTLS 的这些槽及其配置以及建议的用例：

槽	用例	说明	主要配置
0	主私钥	主验证密钥。	永久，外部签名，ECDH
1	内部签名私钥	只能用于证明器件的内部密钥和状态的私钥。它不能用于对任意报文进行签名。	永久，内部签名
2	辅助私钥 1	用于其他用途的辅助私钥。	可更新，外部签名，ECDH，可锁定
3	辅助私钥 2	用于其他用途的辅助私钥。	可更新，外部签名，ECDH，可锁定
4	辅助私钥 3	用于其他用途的辅助私钥。	可更新，外部签名，ECDH，可锁定
5	机密信息密钥	机密信息密钥的存储位置。	不可读取，加密写入（6），可锁定，AES 密钥
6	IO 保护密钥	用于保护某些命令的 I^2C 总线通信（IO）的密钥。使用前需要进行设置。	不可读取，始终写入，可锁定
7	安全引导摘要	安全引导摘要的存储位置。这是一个内部功能，因此不使能读写操作。	不可读取，不可写入
8	通用数据	通用数据存储（416 字节）。	明文读取，始终写入，可锁定
9	AES 密钥	ECDH 和 KDF 输出的中间密钥存储位置。	不可读取，始终写入，AES 密钥
10	器件压缩证书	CryptoAuthentication™压缩格式的证书主公钥	明文读取，不可写入或可写入，具体取决于设置的访问策略。
11	签名人公钥	已对器件证书进行签名的 CA（签名人）的公钥	明文读取，不可写入或可写入，具体取决于设置的访问策略。
12	签名人压缩证书	CryptoAuthentication™压缩格式器件证书的 CA（签名人）证书的证书	明文读取，不可写入或可写入，具体取决于设置的访问策略。
13	父公钥或通用数据	用于使公钥生效/使已生效公钥失效的父公钥。它也可以用作公钥或用于通用数据存储（72 字节）。	明文读取，始终写入，可锁定
14	生效公钥	未经父公钥授权，无法使用（`Verify` 命令）或更改生效公钥。	明文读取，失效后可写入，使用 Slot 13 中的密钥生效
15	安全引导公钥	安全引导公钥。	明文读取，始终写入，可锁定

2.2.4 ATECC608B-TFLXTLS 详细槽访问策略

与 ATECC608A-TNGTLS 相比，ATECC608B-TFLXTLS 器件的槽访问策略内置了更多灵活性。这种灵活性体现在两个方面：

1. 槽永久锁定还是槽可锁定。
2. 安全引导是否已连接到密钥和持久锁存位。

槽锁定选项

槽锁定选项针对各个槽调用，将属于以下两种类型之一。

槽可锁定 槽锁定选项置 1 的槽允许最终用户在初始制造阶段之后的将来某个时候锁定槽。这可以用来在 Microchip 之外的最终制造步骤中或由最终用户设置密钥。可使用 `Lock` 命令锁定槽。槽一旦锁定，就无法再对其中的数据进行修改。

永久锁定 永久锁定的槽在离开 Microchip 制造厂后将永远无法更新。在配置这些器件之前，必须将正确的数据或密钥提供给 Microchip。

安全引导选项

安全引导访问策略提供了一个选项，用于限定成功执行安全引导之前要运行的命令或提供无限的命令访问。可以将 Slot 0 中的私钥设置为需要先进行安全引导，然后才能授权该密钥用于大多数命令。要使用该功能，需要更改安全引导配置设置和密钥配置值。这些配置更改将在成功进行安全引导后设置持久锁存位。Slot 0 的槽访问策略更改将密钥的使用与设置的持久锁存位连接到一起。

持久锁存位操作

即使在空闲和休眠模式下，持久锁存位也将保持其状态。这允许单次安全引导操作在初始上电后仅运行一次。如果器件电源电压低于最小允许值，则持久锁存位将复位，并且需要执行新的安全引导操作。

原型器件

原型器件具有无法更改的特定默认配置。默认配置将所有槽选项设置为“槽可锁定”。在开发软件以通过应用程序重新编程密钥时，这可提供极大的灵活性。最终配置不需要按这种方式设置。原型器件不支持安全引导选项。只能为已量产器件选择该选项。原型器件也仅支持 I^2C 接口。

详细槽配置

下表更加详细地说明了器件上各个已配置槽的槽配置和密钥配置设置。其中包括适用于各个已配置槽的相关命令和命令模式。该表中按槽提供了适用于 ATECC608B-TFLXTLS 器件的所有允许密钥和槽配置值。这些选项适用于 I^2C 和 SWI。

表 2-3. Slot 0 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
0	**选项 1：持久锁存位不连接到槽**	
	密钥：	**主私钥** • 包含 P256 NIST ECC 私钥 • 始终可以生成相应的公钥 • 需要随机 nonce
	槽：	• 槽是机密的 • 可对外部报文进行签名 • 可与 ECDH 命令一起使用
	有效命令：	• GenKey——公钥生成 • Sign——外部报文 • ECDH——创建共用机密信息
	选项 2：槽连接到持久锁存位	
	密钥：	• 与选项 1 相同 • 使能持久禁止选项
	槽：	• 与选项 1 相同
	有效命令：	• GenKey——公钥生成 • Sign——外部报文（成功安全引导后） • ECDH——创建共用机密信息（成功安全引导后）

表 2-4. Slot 1 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
1	密钥：	**内部签名私钥** • 包含 P256 NIST ECC 私钥 • 始终可以生成相应的公钥 • 需要随机 nonce
	槽：	• 槽是机密的 • 可以对 GenDig 或 GenKey 生成的内部报文进行签名 • 禁止 ECDH
	有效命令：	• GenKey——公钥生成 • Sign——内部报文（由 GenDig 或 GenKey 生成）

表 2-5. 槽和密钥配置 Slot 2-4

槽	配置值	已使能功能的说明
2、3 或 4	**选项 1：槽可锁定**	
	密钥：	**辅助私钥 1-3** • 包含 P256 NIST ECC 私钥 • 始终可以生成相应的公钥 • 需要随机 nonce • 该槽可以单独锁定
	槽：	• GenKey 可用于在锁定之前在该槽中生成新的 ECC 私钥 • 槽是机密的 • 可对外部报文进行签名 • 可与 ECDH 命令一起使用
	有效命令：	• GenKey——私钥重新生成 • GenKey——公钥生成 • Sign——外部报文 • ECDH——创建共用机密信息 • Lock——槽锁定模式
	选项 2：永久密钥	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但不能使用 GenKey
	有效命令：	• GenKey——公钥生成 • Sign——外部报文 • ECDH——创建共用机密信息

表 2-6. Slot 5 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
5	**选项 1 槽可锁定**	

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	密钥：	**机密信息密钥** • 槽最多可存储 2 个 AES 128 位（16 字节）对称密钥 • 该槽可以单独锁定
	槽：	• 新的对称密钥只能通过加密写入的方式进行写入 • Slot 6 中的密钥是用于加密写入操作的密钥 • 槽的内容是机密信息 • 槽不能用于 CheckMac Copy 命令
	有效命令：	• Write——数据区域——加密写入 • AES——加密/解密模式 • MAC 命令 • CheckMac 命令 • Lock——槽锁定模式
	选项 2 永久密钥	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但无法执行加密写入
	有效命令：	• AES——加密/解密模式 • MAC 命令 • CheckMac 命令

表 2-7. Slot 6 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
6	**选项 1：槽可锁定**	

槽	配置值	已使能功能的说明
..... （续）		
	密钥：	**IO 保护密钥** • 可包含 SHA256 对称密钥或其他数据。如果未使用 IO 保护密钥，则该槽可用于其他数据 • 使用该密钥时，需要随机 nonce • 该槽可以单独锁定
	槽：	• 数据可采用明文形式写入 • 该槽的内容是机密信息，无法读取 • 槽不能用于 CheckMac Copy 命令
	有效命令：	• 以明文形式写入 Slot 6 • Write——加密，其中此密钥为加密密钥 • MAC 命令 • Lock——槽锁定模式
	选项 2：永久锁定	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽无法写入。
	有效命令：	• Write——加密，其中此密钥为加密密钥 • MAC 命令

⚠ CAUTION 通常，必须使 Slot 6 中存储的 I/O 保护密钥保持“槽可锁定”状态。在大多数情况下，I/O 保护密钥对于每个器件通常都是惟一的。如果对于某些用例，所有器件的 I/O 保护密钥均相同，则可以选择永久锁定选项。

表 2-8. Slot 7 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
7	密钥：	**安全引导摘要** • 该槽专门用于其他数据。
	槽：	• 该槽无法直接写入或读取 • 该槽是机密的，无法通过 MAC 命令使用 • 该槽不能用于 CheckMac Copy 命令
	有效命令：	• SecureBoot——FullCopy 模式 • SecureBoot——FullStore（摘要）

表 2-9. Slot 8 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
8	**选项 1：槽可锁定**	
	密钥：	**通用数据** • 该槽专门用于通用数据 • 槽可锁定

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	槽：	• 允许对该槽进行明文写入和读取 • 槽不能用于 CheckMac Copy 命令
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令 • Lock——槽锁定模式
	选项 2：永久锁定	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽无法写入。
	有效命令：	• Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令

表 2-10. Slot 9 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
9	密钥：	**AES 密钥** • 槽最多可存储 4 个 AES 128 位对称密钥
	槽：	• 允许对该槽进行明文写入 • 该槽是机密的 • 槽不能用于 CheckMac Copy 命令
	有效命令：	• Write——明文 • AES——加密/解密（源密钥） • MAC 命令

表 2-11. Slot 10 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
10	**选项 1：永久锁定**	

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	密钥：	**器件压缩证书** • 槽定义为存储其他数据
	槽：	• 数据无法覆盖 • 数据可采用明文形式读取
	有效命令：	• Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令
	选项 2：槽可锁定 *注：该配置用于原型器件*	
	密钥：	• 选项 1 所示的所有功能 • 槽可锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽可写入
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令

表 2-12. Slot 11 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
11	**选项 1：永久锁定**	

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	密钥：	**签名人公钥** • 槽针对 ECC 密钥定义 • ECC 密钥为公钥
	槽：	• 数据无法覆盖 • 数据可采用明文形式读取
	有效命令：	• Read——明文 • GenDig——数据源 • Verify 命令 • MAC 命令 • GenKey——公共摘要模式
	选项 2：槽可锁定 *注：该配置用于原型器件*	
	密钥：	• 选项 1 所示的所有功能 • 槽可锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽可写入
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • GenDig——数据源 • Verify 命令 • MAC 命令 • GenKey——公共摘要模式

表 2-13. Slot 12 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
12	**选项 1：永久锁定**	

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	密钥：	**签名人压缩证书** • 槽定义为存储其他数据
	槽：	• 数据无法覆盖 • 数据可采用明文形式读取
	有效命令：	• Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令
	选项 2：槽可锁定 *注：该配置用于原型器件*	
	密钥：	• 选项 1 所示的所有功能 • 槽可锁定
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽可写入
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • GenDig——数据源 • MAC 命令

表 2-14. Slot 13 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
13	**选项 1：槽可锁定**	

.....（续）		
槽	**配置值**	**已使能功能的说明**
	密钥：	**父公钥或通用数据** • 槽针对 ECC 密钥定义 • 槽可锁定
	槽：	• 槽可采用明文形式写入（除非已锁定） • 槽始终可读取
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • Lock——槽锁定模式 • Verify 命令 • MAC 命令 • GenDig——数据源
	选项 2：永久锁定	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定。
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽无法写入
	有效命令：	• Read——明文 • Lock——槽锁定模式 • Verify 命令 • MAC 命令 • GenDig——数据源

重要： 如果将 Slot 13 配置为父公钥，则通常必须将其设置为永久密钥，并且不可更新。对于通用数据，可以选择任一选项。

表 2-15. Slot 14 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
14	密钥：	**生效公钥** • 槽针对 ECC 密钥定义 • 如果公钥已生效，则可供 Verify 命令使用
	槽：	• 写模式设置为 PubInvalid • 如果先使密钥失效，则可以写入槽 • 数据始终可采用明文形式读取
	有效命令：	• Write——明文（必须先使槽失效） • Read——明文 • Verify——生效/失效 • Verify——存储模式

表 2-16. Slot 15 配置信息

槽	配置值	已使能功能的说明
15	**选项 1：槽可锁定**	
	密钥：	**安全引导公钥** • 槽针对 ECC 密钥定义 • 槽可锁定
	槽：	• 除非锁定，否则始终可写 • 槽始终可读取
	有效命令：	• Write——明文 • Read——明文 • Lock——槽锁定模式 • MAC 命令 • GenDig——数据源
	选项 2：永久锁定	
	密钥：	• 与选项 1 相同，但槽永久锁定。
	槽：	• 与选项 1 相同，但槽无法写入
	有效命令：	• Read——明文 • Lock——槽锁定模式 • MAC 命令 • GenDig——数据源

2.3 ATECC608B-TFLXTLS EEPROM 可一次性编程（OTP）区域

64 字节（512 位）的 OTP 区域是 EEPROM 阵列的一部分，用于只读存储。它分为 2 个块，每个块 32 字节。对于 ATECC608B-TFLXTLS，OTP 区域出厂时已预先锁定，其中包含以下信息：

I²C 器件版本

```
77 64 4E 78 41 6A 61 65 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

SWI 器件版本

```
42 57 75 7A 4D 6F 41 61 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

写入 OTP 区域的数据字节值始终可通过 4 字节或 32 字节读取方式进行读取，但始终不可进行修改。

CAUTION **注：** OTP 区域中的字节可能会随时间变化。这些值不应在任何加密计算中使用。

3. 静态 RAM（SRAM）存储器

此器件还包括用于存储输入命令或输出结果、nonce、中间计算值、临时密钥和 SHA 上下文等内容的 SRAM 阵列。SRAM 的内容始终不能直接读取；仅供安全元件在内部使用。每当器件进入休眠模式或断电时，此存储器的全部内容便无效。

SRAM 阵列包含以下缓冲区：

TempKey

TempKey 是 SRAM 阵列中的主存储寄存器，可用于存储由不同命令生成的各种中间值。TempKey 的长度为 64 字节，分为高半部分和低半部分。此寄存器的内容始终不能从器件读取（尽管器件本身可以在内部读取和使用内容）。

报文摘要缓冲区

报文摘要缓冲区是一个 64 字节寄存器，在需要通过 TempKey 寄存器来保留其他信息时，用于将输入报文摘要传送到 `Verify` 和 `Sign` 命令。`SHA` 命令可将摘要直接写入该寄存器，以简化外部主机编程。

备用密钥缓冲区

备用密钥缓冲区是一个 32 字节寄存器，在需要通过 TempKey 寄存器来保留其他信息时，供 `KDF` 命令用于存储密钥。可通过 `Nonce` 命令对其写入固定输入值，或通过 `KDF` 命令对其写入机密信息值。

SHA 上下文缓冲区

SHA 上下文缓冲区允许中断摘要的生成以执行其他功能或生成其他摘要。`SHA` 命令使用标准三阶段流程：初始化、更新和完成。在许多情况下，更新阶段会多次运行。内部 SRAM 存储器用于存储这些阶段之间的中间状态（也称为 SHA 上下文）。

4. 一般命令信息

以下各节介绍了有关基本 I/O 事务、命令结构、错误代码、存储器寻址以及 ATECC608B-TFLXTLS 中使用的密钥和签名格式的一般信息。

4.1 I/O 事务

ATECC608B-TFLXTLS 使用 I^2C 协议与主机单片机通信。在采用以下方式构建的事务中，安全命令将发送到器件，并从器件接收响应：

表 4-1. I/O 事务格式

字节	名称	含义
0	计数	要传入（或传出）器件的组中的字节数，其中包括计数字节、数据包字节和校验和字节。因此，计数字节的值必须始终为（N + 1），其中 N 等于数据包中的字节数加上 2 个校验和字节。对于具有 1 个计数字节、50 个数据包字节和 2 个校验和字节的组，必须将计数字节设置为 53。最大的组（与计数值）为 155 个字节，最小的组为 4 个字节。如果值超出此范围，将导致器件返回 I/O 错误。
1 至（N-2）	数据包	命令、参数和数据或响应。有关一般命令数据包的信息，请参见 4.2 命令数据包；有关每个命令的具体参数，请参见 5. 器件命令。
N-1 和 N	校验和	计数字节和数据包字节的 CRC-16 验证。CRC 多项式为 0x8005。在开始 CRC 计算之前，将 CRC 寄存器初始化为零。在计数和数据包的最后一位发送后，内部 CRC 寄存器的值必须与块中的校验和字节相匹配。发送的第一个 CRC 字节（N-1）是 CRC 值的最低有效字节，因此此组的最后一个字节是 CRC 的最高有效字节。

ATECC608B-TFLXTLS 的设计应使输入组中的计数值与命令参数中指定的大小要求一致。如果计数值与数据包内的命令操作码和/或参数不一致，则 ATECC608B-TFLXTLS 将根据具体命令以不同的方式响应。响应可能包含错误指示，也可能默默忽略一些输入字节。

4.2 命令数据包

表 4-2 对命令数据包进行了分解：

表 4-2. 命令数据包

字节	名称	含义
0	操作码	命令代码。请参见 5. 器件命令。
1	Param1	第 1 个参数，始终存在。
2-3	Param2	第 2 个参数，始终存在。
0-155	数据	可选的剩余输入数据。

在 ATECC608B-TFLXTLS 接收到组中的所有字节之后，器件将转换到繁忙状态并尝试执行命令。当器件繁忙时，无法从其中读取状态和结果。在此期间，器件的 I/O 接口会忽略 I^2C SDA 输入信号的所有转换。

4.3 状态/错误代码

器件没有专用的状态寄存器，因此状态、错误和命令结果共用输出 FIFO。器件的所有输出都将以完整组的形式返回到系统，这些组的格式与输入组相同：

- 计数

- 数据包
- 2 字节 CRC

器件接收到输入命令组的第 1 个字节后，系统将无法读取器件中的任何内容，直到系统将所有字节发送给器件。

在唤醒和执行命令后，器件的输出寄存器中会有错误、状态或结果字节，可通过系统获取。当此组的长度是 4 个字节时，返回的代码详见表 4-3。有些命令执行成功时会返回超过 4 个字节。得到的数据包说明在 5. 器件命令中列出。

CRC 错误始终在任何其他类型的错误之前返回。它们表明发生了某种 I/O 错误，并且此命令可重新发送给器件。如果还发生了多个其他错误，则这些错误没有特定的优先顺序。

表 4-3. 4 字节组中的状态/错误代码

状态说明	错误/状态	说明
命令执行成功	0x00	命令执行成功。
Checkmac 或 Verify 不匹配	0x01	CheckMac 或 Verify 命令已正确发送到器件，但输入响应与预期值不匹配。
解析错误	0x03	命令已正确接收，但长度、命令操作码或参数非法，而与 ATECC608B-TFLXTLS 的状态（易失性存储器和/或 EEPROM 配置）无关。命令位的值必须在重新尝试之前进行更改。
ECC 故障	0x05	ECC 处理期间发生计算错误，导致结果无效。重试命令可能会使执行成功。
自检错误	0x07	发生自检错误，芯片处于故障模式，等待清除故障。
运行状况测试错误	0x08	发生随机数发生器运行状况测试错误，并且在清除该错误之前，芯片无法执行需要随机数的后续命令。
执行错误	0x0F	命令已正确接收，但无法由器件在当前状态下执行。器件状态或命令位的值必须在重新尝试之前进行更改。
在唤醒之后、第 1 条命令之前	0x11	指示 ATECC608B-TFLXTLS 已收到适当的 Wake 令牌。
看门狗即将超时	0xEE	在看门狗定时器超时之前没有足够的时间执行给定的命令。系统必须通过进入空闲或休眠模式来复位看门狗定时器。
CRC 或其他通信错误	0xFF	命令未由 ATECC608B-TFLXTLS 正确接收，应由系统中的 I/O 驱动器重新发送。未尝试解析或执行命令。

4.4 地址编码

以下各小节提供了有关如何寻址 ATECC608B-TFLXTLS 器件的各个存储区域的详细信息。

4.4.1 配置区域寻址

对于配置区域，可一次性访问 4 或 32 个字节。无法访问单个字节。配置区域地址为 2 字节（16 位值）。配置区域寻址仅使用地址字的低 5 位。对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，这些地址只能与读命令一起使用。

表 4-4. 地址格式

Byte 1：Addr[15:8]	Byte 0：Addr[7:0]		
未使用	未使用	块	失调电压
Addr[15:8]	Addr[7:5]	Addr[4:3]	Addr[2:0]

表 4-5. 配置区域地址

块号（Addr[4:3]）	偏移值（Addr[2:0]）							
	000	001	010	011	100	101	110	111
00	[0:3]	[4:7]	[8:11]	[12:15]	[16:19]	[20:23]	[24:27]	[28:31]
01	[32:35]	[36:39]	[40:43]	[44:47]	[48:51]	[52:55]	[56:59]	[60:63]
10	[64:67]	[68:71]	[72:75]	[76:79]	[80:83]	[84:87]	[88:91]	[92:95]
11	[96:99]	[100:103]	[104:107]	[108:111]	[112:115]	[116:119]	[120:123]	[124:127]

4.4.2 OTP 区域寻址

对于可一次性编程（OTP）区域，可一次性访问 4 或 32 个字节。该区域总共有 64 个字节。无法访问单个字节。OTP 区域地址为 2 字节（16 位值）。仅低四位用于寻址。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，这些地址只能与读命令一起使用。

表 4-6. 地址格式

Byte 1：Addr[15:8]	Byte 0：Addr[7:0]		
未使用	未使用	块	失调电压
Addr[15:8]	Addr[7:4]	Addr[3]	Addr[2:0]

表 4-7. OTP 区域字节地址

块号（Addr[3]）	块偏移值（Addr[2:0]）							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0	[0:3]	[4:7]	[8:11]	[12:15]	[16:19]	[20:23]	[24:27]	[28:31]
1	[32:35]	[36:39]	[40:43]	[44:47]	[48:51]	[52:55]	[56:59]	[60:63]

4.4.3 数据区域寻址

与配置区域和 OTP 区域相比，对数据区域的读/写访问要复杂得多。数据区域总共有 16 个槽，槽的大小各不相同。每个槽的访问策略分别控制一个槽是否允许读取或写入。

对于 ATECC608B-TFLXTLS：

- 数据 Slot 8-9、13 和 15 可采用明文形式写入。
- 数据 Slot 5-6 可采用密文形式写入。
- 数据 Slot 8 和 10-15 可采用明文形式读取。
- 任何未指定的槽均无法读写。

表 4-8. 基于数据槽大小的地址格式

数据区域	Byte 1 Addr[15:8]		Byte 0：Addr[7:0]		
	未使用	块	未使用	槽	失调电压
数据 Slot[7:0]	Addr[15:9]	Addr[8]	Addr[7]	Addr[6:3]	Addr[2:0]
数据 Slot[8]	Addr[15:12]	Addr[11:8]	Addr[7]	Addr[6:3]	Addr[2:0]
数据 Slot[15:9]	Addr[15:10]	Addr[9:8]	Addr[7]	Addr[6:3]	Addr[2:0]

数据 Slot[7:0]
要完全访问这些槽之一，需要进行两次 32 字节访问或 9 次 4 字节访问

表 4-9. 数据区域寻址 Slot 0-7

槽号（Addr[6:3]）	块号（Addr[8]）	块偏移值（Addr[2:0]）							
		000	001	010	011	100	101	110	111
0x0 至 0x7	00	[0:3]	[4:7]	[8:11]	[12:15]	[16:19]	[20:23]	[24:27]	[28:31]
	01	[32:35]	无效	无效	无效	无效	无效	无效	无效

数据 Slot[8]
要完全访问此槽，需要进行 13 次 32 字节访问或 104 次 4 字节访问，或结合使用这两种方法。

表 4-10. 数据区域寻址 Slot 8

槽号（Addr[6:3]）	块号（Addr[8]）	块偏移值（Addr[2:0]）							
		000	001	010	011	100	101	110	111
0x8	0x0	[0:3]	[4:7]	[8:11]	[12:15]	[16:19]	[20:23]	[24:27]	[28:31]
	0x1	[32:35]	[36:39]	[40:43]	[44:47]	[48:51]	[52:55]	[56:59]	[60:63]
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	0xC	[384:387]	[388:391]	[392:395]	[396:399]	[400:403]	[404:407]	[408:411]	[412:415]

数据 Slot[15:9]
要完全访问这些槽，需要进行 3 次 32 字节访问或 18 次 4 字节访问，或结合使用这两种方法。

表 4-11. 数据区域寻址 Slot 9-15

槽号（Addr[6:3]）	块号（Addr[8]）	块偏移值（Addr[2:0]）							
		000	001	010	011	100	101	110	111
0x9 至 0xF	00	[0:3]	[4:7]	[8:11]	[12:15]	[16:19]	[20:23]	[24:27]	[28:31]
	01	[32:35]	[36:39]	[40:43]	[44:47]	[48:51]	[52:55]	[56:59]	[60:63]
	10	[64:67]	[68:71]	无效	无效	无效	无效	无效	无效

4.5 密钥、签名和证书的格式

以下各节提供了有关 ECC 密钥、签名和压缩证书的详细格式信息。

4.5.1 ECC 密钥格式

公钥和私钥的格式取决于命令和密钥的长度。通常，最高有效字节（MSB）首先出现在总线上的存储器最低地址处。在本节剩余部分中，左侧的字节为 MSB。Microchip 建议将所有填充字节设置为 0 以保持一致性。

- ECC 私钥对用户来说仅仅为 `PrivWrite` 命令的输入参数。此参数的长度始终为 36 个字节，前 4 个字节（32 位）全部为填充位。
  ECC 公钥作为几个命令的输入或输出参数出现，也可以存储在 EEPROM 中。其组成方式为：总线上或存储器中的 X 值在前，后跟 Y 值。它们的格式有所不同，具体取决于如下所述的情况：
- **公钥是 `GenKey` 命令的输出或 `Verify` 命令的输入：**
  先是 32 个 X 字节，随后是 32 个 Y 字节。（36 个字节）没有填充字节。
- **`Write` 命令：**

公钥可使用 Write 命令直接写入 EEPROM，其长度始终为 72 字节，格式如下：4 个填充字节，32 个 X 字节，4 个填充字节，32 个 Y 字节。

- **GenKey 命令：**
  SHA 报文： 可通过 GenKey 命令对公钥进行哈希运算并将其置于 TempKey 中。SHA 报文包含与密钥大小无关的各个字节。其后依次为 25 个填充字节，32 个 X 字节，32 个 Y 字节。
- **Verify 命令：**
  SHA 报文： 当用于验证存储的公钥时，Verify 命令需要通过存储器中存储的密钥的 SHA-256 摘要创建的输入签名。 此类内部 SHA 计算始终通过 72 个字节来执行，这些字节在 EEPROM 中的存储格式为 4 个填充字节、32 个 X 字节、4 个填充字节，随后是 32 个 Y 字节。

当公钥配置为通过 Verify 命令验证时，存储器中第一个字节的高 4 位供器件在内部用来保存验证状态。它们始终由 Write 命令设置为无效状态（0xA），之后可通过 Verify 命令设置为有效状态（0x5）。

下面将介绍 I/O 协议的最低层。在 I/O 协议层之上，完全相同的字节传入和传出器件以实现命令。后续章节将对错误代码进行说明。

4.5.1.1 公钥格式

ATECC608B-TFLXTLS 支持两种格式的 P-256 椭圆曲线公钥。以下示例详细说明了这两种格式。

对于以下示例，我们将使用示例公钥，其中 X 和 Y 整数以固定宽度的大尾数无符号整数表示：

```
X: b2be345ad7899383a9aab4fb968b1c7835cb2cd42c7e97c26f85df8e201f3be8
Y: a82983f0a11d6ff31d66ce9932466f0f2cca21ef96bec9ce235b3d87b0f8fa9e
```

命令公钥格式
任何返回公钥（GenKey）或接受公钥作为参数的命令（Verify 和 ECDH）都会将公钥格式化为 X 和 Y 大尾数无符号整数连在一起的形式，因而总共 64 个字节。

例如：

```
b2be345ad7899383a9aab4fb968b1c7835cb2cd42c7e97c26f85df8e201f3be8
a82983f0a11d6ff31d66ce9932466f0f2cca21ef96bec9ce235b3d87b0f8fa9e
```

存储的公钥格式
将公钥存储在槽中以便与 Verify 命令 Verify 或 SecureBoot 命令搭配使用时，X 和 Y 整数将分别被填充为两个 36 个字节并连在一起，因而总共为 72 个字节。

例如：

```
00000000b2be345ad7899383a9aab4fb968b1c7835cb2cd42c7e97c26f85df8e201f3be8
00000000a82983f0a11d6ff31d66ce9932466f0f2cca21ef96bec9ce235b3d87b0f8fa9e
```

注： 仅 Slot 8-15 便足以保存公钥。

存储的经验证公钥格式
经验证和未经验证的公钥格式与存储的公钥格式相同，但 LSB 的高四位除外。如果密钥经验证，则最低有效半字节将为 0x5，如果未经验证则为 0xA。这些值可在验证或未验证模式下通过 Verify 命令进行更改。写入的密钥最初为未验证状态。

经验证公钥示例：

```
50000000b2be345ad7899383a9aab4fb968b1c7835cb2cd42c7e97c26f85df8e201f3be8
00000000a82983f0a11d6ff31d66ce9932466f0f2cca21ef96bec9ce235b3d87b0f8fa9e
```

未验证公钥示例：

```
A0000000b2be345ad7899383a9aab4fb968b1c7835cb2cd42c7e97c26f85df8e201f3be8
00000000a82983f0a11d6ff31d66ce9932466f0f2cca21ef96bec9ce235b3d87b0f8fa9e
```

注： 仅 Slot 8-15 便足以保存公钥。

4.5.2 签名格式

无论是由 Sign 命令生成并输出的 ECDSA 签名还是输入到 Verify 或 SecureBoot 命令的 ECDSA 签名，长度始终为 64 字节。签名分为 R 和 S 两个组成部分。这两者的长度均为 32 字节，并且在总线上 R 始终出现在 S 之前。签名的每个部分在总线上都先显示 MSB，这意味着签名的 MSB 位于最低存储单元中。

R/S 签名示例

任何返回签名（Sign）或接受签名作为参数的命令（Verify 和 SecureBoot）都会将签名格式化为 R 和 S 大尾数无符号整数连在一起的形式，因而总共 64 个字节。

例如：

```
R: 7337887F8C39DF79FD8BF88DDFBFB9DB15D7B1AD68196AE3FB0CE5BFA2842DF3
S: 72868A43A42831E950E1DA9F73B29F5C0ED8A96B2889E3CBBE8E61EA6C67F673
```

4.5.3 证书存储

器件内的完整 X.509 证书所需的存储空间较大，可能会很快占满多个 EEPROM 存储器槽。根据实际应用的不同，这些槽也并非一定适合用来存储证书。为了应对这些存储限制，Microchip 定义了一种编码方式，以便能够基于少量信息重建完整的 X.509 证书。

主机系统实际上将负责重建完整的 X.509 证书，但是如何执行将由存储在编码证书中的数据决定。对于给定系统，所有器件共用的数据可轻松存储在主机系统中。其他数据可根据已存储在器件中的数据轻松进行计算或提取。 表 4-12 指示 X.509 证书中存储的数据类型，以及如何对其进行编码以便能够存储到单个 72 字节槽中。

表 4-12. 证书存储

X.509 证书		编码证书		
X.509 元素	大小（字节）	编码证书元素	器件证书（位）	签名人证书（位）
序列号	8-20	序列号来源	4	4
颁发日期	13	压缩格式	19	19
有效期	13	有效年数	5	5
签名人 ID[2]	4	用于对证书（器件证书）进行签名的特定签名人的 ID 或签名人本身（签名人证书）的 ID	16	16
AuthorityKeyIdentifier	20	颁发机构公钥的 SHA1 哈希	0	0
SubjectKeyIdentifier	20	主题公钥的 SHA1 哈希	0	0
签名 R	32	存储在器件中	256	256
签名 S	32	存储在器件中	256	256
公钥 X[1]	32	根据私钥计算或存储在器件中 [1]	0	256
公钥 Y[1]	32	根据私钥计算或存储在器件中 [1]	0	256
n/a	0	证书格式	4	4
n/a	0	模板 ID	4	4
n/a	0	链 ID	4	4
n/a	0	保留/用户自定义	8	8
总数	（206-218 字节）	—	576 位（72 字节）	1088 位（136 字节）

注：

1. 对于器件证书，可以根据私钥重新生成器件公钥。对于签名人证书，公钥通常存储在单独的槽中。
2. 对于器件证书，将存储用于对证书进行签名的签名人的 ID。对于签名人证书，将存储签名人的实际 ID，以便设备能够识别。

Slot 8 总共包含 416 个字节。根据证书中存储的序列号的大小，可能会也可能不会存储两个完整的证书。通常，在已创建信任链的器件中，器件证书、签名人证书和签名人公钥必须存储在器件中。

有关更多信息，请参见《压缩证书定义》（DS20006367A_CN）应用笔记。

5. 器件命令

以下部分详细介绍了 ATECC608B-TFLXTLS 中允许的基于命令模式细分的所有命令。这些命令分为三类：

1. **常规器件命令**
   此类命令分为两类：
   - 常规器件访问命令，用于将数据发送到器件或检索数据，但通常不执行任何加密功能。
   - 常规加密命令，可由器件或系统使用，但通常不会用于特定数据槽。
2. **非对称加密命令**
   这些命令执行非对称加密操作，例如密钥生成、报文签名和报文验证（使用 ECC 公钥或私钥）。这些命令仅限用于 ECC 数据区域槽。
3. **对称加密命令**
   这些命令执行对称加密功能，例如生成摘要或 MAC、密钥派生或 AES 加密和解密。

所有命令的输入参数
除非另有说明，否则输入参数表中的多字节输入参数以大尾数值的形式（MSB 在前）显示。请注意，ATECC608B-TFLXTLS 器件实际上希望数据以小尾数形式（LSB 在前）发送。

表 5-1. 命令操作码、简要说明和命令类别

命令	操作码	说明	命令类别
AES	0x51	执行 AES-ECB 加密或解密功能。计算 Galois 域乘法。	对称加密命令
CheckMac	0x28	验证在另一个 CryptoAuthentication 器件上计算的 MAC。	对称加密命令
Counter	0x24	读取或递增单调计数器之一	常规器件命令
ECDH	0x43	使用存储的私钥和输入公钥生成 ECDH 预主机密信息。	非对称加密命令
GenDig	0x15	通过随机或输入种子和存储的值生成数据摘要。	对称加密命令
GenKey	0x40	生成 ECC 公钥。也可以生成 ECC 私钥。	非对称加密命令
Info	0x30	返回器件状态信息。	常规器件命令
KDF	0x56	实现 PRF 或 HKDF 密钥派生函数	对称加密命令
Lock	0x17	防止进一步修改器件的某个区域或槽。	常规器件命令
MAC	0x08	使用 SHA-256 计算密钥和其他内部数据的摘要（响应）。	对称加密命令
Nonce	0x16	生成一个 32 字节的随机数和一个内部存储的 Nonce。	常规器件命令
Random	0x1B	生成一个随机数。	常规器件命令
Read	0x02	从器件读取 4 个或 32 个字节，可以使用或不使用身份验证和加密。	常规器件命令
SecureBoot	0x80	上电时验证代码签名或代码摘要	非对称加密命令
SelfTest	0x77	测试各种内部加密计算元素	常规器件命令
Sign	0x41	ECDSA 签名计算。	非对称加密命令
SHA	0x47	计算系统通用的 SHA-256 或 HMAC 摘要。	常规器件命令
UpdateExtra	0x20	配置区域锁定后，更新配置区域内的 byte 84 或 85。	常规器件命令
Verify	0x45	ECDSA 验证计算。	非对称加密命令
Write	0x12	向器件写入 4 个或 32 个字节，可以使用或不使用身份验证和加密。	常规器件命令

5.1 常规器件命令

下表总结了常规器件命令：

表 5-2. 常规器件命令

命令名称	操作码	说明
Counter	0x24	递增并读取单调计数器。
Info	0x30	用于从器件中读取版本和状态信息。
Lock	0x17	用于锁定器件中的各个可锁定槽。
Nonce	0x16	用于为器件生成或传递仅使用一次的数字。
Random	0x1B	用于生成供系统使用的 32 字节随机数。
Read	0x02	用于读取器件的各个区域。
SelfTest	0x77	测试各种内部加密计算元素。
SHA	0x47	计算系统通用的 SHA-256 或 HMAC 摘要。
UpdateExtra	0x20	配置区域锁定后，更新配置区域内的 byte 84 或 85。
Write	0x12	用于向器件写入 4 个或 32 个字节，可以使用或不使用身份验证和加密。

5.1.1 Counter 命令

Counter 命令在配置区域内读取器件上 2 个单调计数器之一的二进制计数值。此计数器可达到的最大值为 2,097,151。尝试计数超出此值将导致错误代码。此计数器的设计可确保即使计数操作期间电源中断，也始终不会丢失计数。在某些电力损失的情况下，计数器可能会以超过 1 的值递增。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，计数器未连接到任何密钥，但仍可由系统使用。每个计数均设置为其默认值，并且可以计数到最大值。

表 5-3. 输入参数——计数

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	KeyID （2 字节）	说明
0x24	0x00	0x00 00	读取 Counter[0]的值
		0x00 01	读取 Counter[1]的值
	0x01	0x00 00	使 Counter[0]的值递增
		0x00 01	使 Counter[1]的值递增

表 5-4. 输出响应——计数

名称	大小	说明
Count	4 字节	如果命令成功，则为二进制计数器值。
Response	1 字节	如果命令失败，则为错误代码。

5.1.2 Info 命令

Info 命令用于读取器件的状态。该信息对于确定错误或使用各种命令很有用。

5.1.2.1 Info——版本

Info 命令的版本模式可读回 ATECC608B-TFLXTLS 的芯片版本。该信息被硬编码到器件中。该信息可能与配置区域中显示的从 Revision 字节读回的信息相同，也可能有所不同。

表 5-5. 输入参数——版本信息

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	参数（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x30	0x00	0x00 00	—	返回芯片版本

表 5-6. 输出响应——版本信息

名称	响应	说明
Response	00 00 60 vv	版本信息。0x60 表示 ATECC608B-TFLXTLS。vv 表示最新的芯片版本。

CAUTION

注： ATECC608A 器件的输出响应为 0x00 0x00 0x60 0x02。ATECC608B 器件的响应为 0x00 0x00 0x60 0x03。器件版本是确定所用芯片的版本的最简单方法。如果实现了其他的芯片增强功能，则 ATECC608B 的第四个字节可能随时间发生变化。

5.1.2.2 Info——KeyValid

KeyValid 模式用于确定存储的 ECC 私钥或公钥是否为有效的 ECC 密钥。如果无法输出 PublicKey，则该命令返回的信息将无用。如果 KeyType 不为 ECC，则该命令的输出也没有用。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 0-4、11 和 13-15 中存储的密钥是 ECC 密钥，可以使用 Info 命令的 KeyValid 模式检查。

表 5-7. 输入参数——Info KeyValid

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	参数（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x30	0x01	0x00 0[槽号]	—	返回槽是否包含有效 ECC 私钥或公钥的相关信息。

表 5-8. 输出响应——Info KeyValid

名称	大小（4 字节）	说明
Response	0x00 00 00 00	ECC 密钥无效
	0x00 00 00 01	ECC 密钥有效

5.1.2.3 Info——器件状态

在该模式下，使用 Info 命令可返回器件的当前状态。状态位可用于确定器件的当前状态，并且可用于确定给定命令失败的原因或命令是否可以执行。

表 5-9. 输入参数——器件状态信息

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	参数（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x30	0x02	0x00 00	—	返回器件状态

表 5-10. 输出响应——器件状态信息

名称	响应	说明
Response	0x00 00 Byte[1] Byte[0]	

表 5-11. 状态标志

字节编号	位编号	名称	说明
0	7	TempKey.NoMacFlag	0：NoMacFlag 无效 1：NoMacFlag 有效
	6	TempKey.GenKeyData	0：GenKeyData 无效 1：GenKeyData 有效
	5	TempKey.GenDigData	0：GenDigData 无效 1：GenDigData 有效
	4	TempKey.SourceFlag	0：TempKey 为固定源 1：TempKey 来自随机数源
	3:0	TempKey.KeyID	TempKey 密钥槽 ID
1	7	TempKey.Valid	0：TempKey 无效 1：TempKey 有效
	6:3	AuthComplete.KeyID	授权密钥槽 ID
	2	AuthComplete.Valid	0：授权无效 1：授权有效
	1:0	未使用	2'b00

5.1.2.4 Info——写 GPIO 输出

ATECC608B-TFLXTLS 的 SWI 器件版本将一个 GPIO 引脚配置为输出缓冲器。器件上电时，输出将默认为低电平值。在 GPIO 写模式下，可以使用 INFO 命令更改该输出的值。

注： 该命令仅适用于 SWI 器件，不能与 I^2C 器件搭配使用

成功完成后，该命令将返回一个四字节的响应，其中的 LSB 指示写入输出中的值。如果命令失败，则将返回单个错误代码字节。

表 5-12. 输入参数——Info GPIO 输出写入

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	参数 （2 字节）	数据 （0 字节）	说明
0x30	0x03	0x00 02	—	将值 0 写入 GPIO 输出
	0x03	0x00 03	—	将值 1 写入 GPIO 输出

表 5-13. 输出响应——Info GPIO 输出写入

名称	响应	说明
Response	0x00 00 00 00	GPIO 写入 0 后的成功返回值
	0x00 00 00 01	GPIO 写入 1 后的成功返回值
	0xXX	失败时的单字节错误代码

5.1.2.5 Info——持久锁存读取

INFO 命令的持久锁存读取模式允许读取持久锁存的状态。当密钥授权关联到持久锁存后，该模式对于验证持久锁存的状态十分有用。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，该命令仅在使能安全引导选项时有效。使能该选项后，如果安全引导操作成功完成，命令将回读“1”，否则将回读“0”。该状态还指示 ECC 主密钥（Slot 0）是否获得授权。

表 5-14. 输入参数——Info 持久锁存读取

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	参数（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x30	0x04	0x00 00	—	读回持久锁存的值。

表 5-15. 输出响应——Info 持久锁存读取

名称	响应	说明
Response	0x00 00 00 00	禁止持久锁存或将值成功写入持久锁存位时的成功返回值。
	0x00 00 00 01	使能持久锁存时的成功返回值
	0xXX	失败时的单字节错误代码

5.1.3 Lock 命令

对于 ATECC608B-TFLXTLS，配置区域已锁定，并且数据区域的访问策略已设置。但是，仍然可以通过使用其他命令来更新几个数据槽。如有需要，可以使用 Lock 命令的槽锁定模式将其中一些槽永久锁定，以避免未来的更新。

5.1.3.1 SlotLock

Lock 命令的 SlotLock 模式用于单独锁定各个槽。可锁定位置 1 且之前未进行槽锁定的任何槽均可以锁定，以防止任何进一步的更新。该过程是不可逆的。槽被锁定后，将处于永久锁定状态。在这种工作模式下，将忽略“摘要 CRC”和“数据”字段。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以将以下各个槽单独配置为可锁定或不可锁定：Slot 2-6、8、10-12、13 和 15。 对于 ATECC608B-TFLXTLS 原型器件，Slot 10-12 也可锁定。

表 5-16. 槽锁定输入参数

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	摘要 CRC（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x17	8' b00[bb_bb]10(1)	0x00 00	—	单独槽锁定

注： 1——[bb_bb]表示代表锁定槽的 4 位值。

表 5-17. 槽锁定输出

名称	大小	说明
Response	1 字节	如果命令成功锁定槽，则为 0x00。如果命令失败，将输出错误代码。

5.1.4 Nonce 命令

Nonce 命令通过将随机数（可在内部或外部生成）与来自系统的输入值相组合来生成 nonce（使用一次的数字），以供后续命令使用。得到的 nonce 在内部存储在三个可能的缓冲区中：TempKey 缓冲区、报文摘要缓冲区和备用密钥缓冲区。如有必要，可将值传递给器件，而不是生成 nonce。

5.1.4.1 Nonce——随机

当 Nonce 命令在随机模式下运行时，它将基于下表中列出的输入值生成一个新的 nonce。如果 Param2 为 0x00 00，则将基于内部 RNG 生成一个新的随机数。如果 Param2 为 0x80 00，则将使用 TempKey 中存储的值生成新的

nonce，并且不运行随机数发生器。此时，TempKey 必须有效才能运行 Nonce 命令。完成后，TempKey.SourceFlag 将设置为 Rand。

建议通过随机源生成发送到器件的 20 字节数据，以防止重放攻击。

表 5-18. 随机 Nonce 输入参数

操作码	模式	Param2	数据	说明
0x16	0x00 或 0x01	0x00 00	20 字节	• 32 字节写入 TempKey • 输出来自 RNG • SHA256 摘要包含随机数
	0x00 或 0x01	0x80 00	20 字节	• 32 字节写入 TempKey • 输出为 SHA256 哈希值 • SHA256 摘要包含 TempKey

表 5-19. 随机 Nonce 输出响应

名称	输入 Param2	大小	说明
Response	0x00 00	32 字节	随机数
	0x80 00	32 字节	新的 TempKey 值

注：

1. 命令成功完成时，TempKey.SourceFlag 设置为 0，表示 nonce 来自随机源。
2. 成功时，TempKey.Valid 设置为 1。

表 5-20. Nonce SHA256 哈希计算

字节数	输入数据 Param2 = 0x00 00	输入数据 Param2 = 0x80 00
32	来自随机数发生器的 RandOut	来自上一条命令的 TempKey 值
20	来自输入流的 NumIn	来自输入流的 NumIn
1	操作码（始终为 0x16）	操作码（始终为 0x16）
1	模式（0x00 或 0x01）	模式（0x00 或 0x01）
1	Param2 的 LSB（始终为 0x00）	Param2 的 LSB（始终为 0x00）

5.1.4.2 Nonce——固定

固定 nonce 将传送到器件并存储在内部缓冲区之一中。Nonce 的大小可以是 32 字节或 64 字节。运行该命令后，TempKey.SourceFlag 始终设置为输入。Nonce 命令的这种模式不会运行 SHA256 计算或生成随机数。

表 5-21. 固定 Nonce 输入参数

操作码	模式	Param2	数据	说明
0x16	0x03 0x43 0x83	0x00	32 字节	• 32 字节写入 TempKey • 32 字节写入报文摘要缓冲区 • 32 字节写入备用密钥缓冲区
	0x23 0x63	0x00	64 字节	• 64 字节写入 TempKey • 64 字节写入报文摘要缓冲区

表 5-22. 固定 Nonce 输出响应

名称	大小	说明
Response	1 字节	如果命令成功完成，则为 0x00。否则，将收到错误代码。

注：

1. 命令成功完成后，TempKey.SourceFlag 设置为 1，表示 nonce 为固定输入值。
2. TempKey.Valid 设置为 1，表示值可用于其他用途。

5.1.5 Random 命令

Random 命令生成一个随机数，以供系统使用。随机数通过内部 NIST 800-90 A/B/C 随机数发生器生成。该命令始终在总线上输出 32 字节数字。该数字不能存储在任何数据槽或 SRAM 单元中。

表 5-23. 输入参数——随机

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x1B	0x00	0x00 00	—	Random 命令

表 5-24. 输出响应——随机

名称	大小	说明
RandOut	32 字节	RNG 的输出

5.1.6 Read 命令

Read 命令可用于访问 ATECC608B-TFLXTLS 器件的任何 EEPROM 区域。基于为每个槽设置的访问策略，数据区域访问将受到限制。如果设置了特定的访问策略，则只能在数据区域槽上进行加密读取。

5.1.6.1 明文读取

始终可从 ATECC608B-TFLXTLS 器件的配置区域和 OTP 区域中进行明文读取。 可根据已设置的访问策略，以明文形式读取数据区域中的特定槽。这些区域均支持 4 字节或 32 字节读取。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 8 和 Slot 10-15 包含可采用明文形式读取的数据。

表 5-25. 输入参数——明文读取

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	地址（2 字节）	说明
0x02	0x00	请参见 4.4 地址编码。	4 字节配置区域读取
	0x80	请参见 4.4 地址编码。	32 字节配置区域读取
	0x01	请参见 4.4 地址编码。	4 字节 OTP 区域读取
	0x81	请参见 4.4 地址编码。	32 字节 OTP 区域读取
	0x02	请参见 4.4 地址编码。	4 字节数据区域读取
	0x82	请参见 4.4 地址编码。	32 字节数据区域读取

表 5-26. 输出响应——明文读取

名称	大小	说明
Data Contents	4 字节	已发送 4 个字节[0:3]
	32 字节	已发送 32 个字节[0:31]

5.1.6.2 加密读取

只能在为加密读取设置了访问策略的数据区域槽上进行加密读取。配置区域和 OTP 区域中的数据始终无法加密。所有加密读取的长度均必须为 32 个字节。在进行加密读取之前，必须先生成一个加密密钥。每次在给定槽上进行加密读取时，该密钥均是惟一的。请注意，为了读取槽的所有内容，可能需要多次读取。每次加密读取都需要生成一个惟一的会话密钥。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，任何槽均无需加密读取。

加密读取步骤

每次加密读取都需要执行以下步骤：

1. 运行 Nonce 命令。建议在 32 字节随机模式下完成此操作。将值输出到 TempKey。
2. 运行 GenDig 命令。加密密钥的槽号必须包含在 GenDig 输入参数以及 Nonce 命令的输出（存储在 TempKey 中）中。
   注： 这两个命令的输出为加密密钥，存储在 TempKey 中。
3. 发出 Read 命令。
   - 通过对数据和存储在 TempKey 中的生成值进行异或运算，可以加密数据区域槽的内容。TempKey 中的值是先前生成的会话密钥。
   - 命令的输出将为加密的数据。

表 5-27. 输入参数——加密读取

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	地址 （2 字节）	说明
0x02	0x82	请参见 4.4 地址编码	32 字节数据区域读取

表 5-28. 输出响应——加密读取

名称	大小	说明
Data Contents	32 字节	32 个字节加密数据[0:31]

主机系统还必须基于 Nonce 命令的输出和 GenDig 命令中使用的 SHA256 计算来计算加密/解密密钥。这样，主机系统便可解密所发送的数据。

5.1.7 SelfTest 命令

SelfTest 命令对 ATECC608B-TFLXTLS 芯片中的一个或多个加密引擎执行测试。将根据输入模式参数测试部分或全部算法。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，SelfTest 命令已被禁止，以避免在上电或唤醒事件后自动运行。但是，如有需要，可以通过系统执行该命令。无需运行该测试。

如果任何自检失败，则无论是在上电和唤醒时自动调用还是通过此命令调用，芯片都将进入故障状态，芯片操作将受限。存储的故障状态始终在唤醒或掉电再上电后清除。请注意，自检失败（错误代码：0x07）不同于运行状况测试失败（错误代码：0x08）。

在故障状态下，允许以下操作：

- 读取配置区域。

- 执行此自检命令。如果后续尝试中重新运行的特定测试通过，则将清零故障寄存器中的该位。如果所有位均清零，则 ATECC608B-TFLXTLS 会恢复正常的命令操作。
- 可以通过调用此自检命令和模式参数 0 来读取故障寄存器的当前状态。
- 执行任何其他命令或读取任何其他区域都将返回错误代码 0x07。使用 SelfTest(0)确定故障原因

表 5-29. 输入参数——自检

操作码（1 字节）	模式（1 字节）[1]							Param2（2 字节）
	b[7:6]	b[5]	b[4]	b[3]	b[2]	b[1]	b[0]	
	2' b00	SHA	AES	ECDH	ECDSA（签名和验证）	0	RNG 和 DRBG	0x00 00

注：

1. 可以一次性运行任意测试组合。将相应的模式位置 1 表示将运行测试。如果该位为 0，则不会运行测试。

表 5-30. 输出响应——自检

名称	大小	说明
Success	1 字节	0x00——所有测试均通过 失败映射——1 表示测试失败。失败位与模式字节中的位相对应。

5.1.8 SHA 命令

SHA 命令用于计算主机系统通用的 SHA-256 或 HMAC/SHA 摘要。SHA 计算在内部 ATECC608B-TFLXTLS 存储器中未被任何其他命令读取和写入的特殊部分（上下文缓冲区）中执行。任意命令都可以穿插在 SHA 命令各个阶段之间，而不会产生问题。上电和唤醒时会使该 SHA 上下文失效。在大多数情况下，如果执行 SHA 命令时发生错误，上下文将保持不变。

5.1.8.1 SHA——SHA256 摘要

SHA 命令利用 SHA256 哈希算法来对报文进行哈希计算。该命令的主要输入为实际报文。报文以 1 到 64 字节块的形式提交给器件。当不需要上下文切换时，将使用以下步骤：

1. 在启动模式下发出 SHA 命令。不包含任何报文。
2. 在更新模式下发出包含 1 至 64 字节报文的 SHA 命令。
3. 重复步骤 2，直到已提交报文的全部字节。
4. 在结束模式下发出 SHA 命令，完成 SHA256 计算。

表 5-31. 输入参数——SHA 标准模式

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（因模式而异）	说明
0x47	0x00	0x00 00	0 字节	启动模式
	0x01	0x00 [字节数]	1 至 64 字节	更新模式
	0x02	0x00 [字节数]	0 至 64 字节	完成模式：摘要置于输出缓冲区和 TempKey 中
	0x42	0x00 [字节数]		完成模式：摘要置于输出缓冲区和报文摘要缓冲区中
	0xC2	0x00 [字节数]		完成模式：摘要仅置于输出缓冲区中

表 5-32. 输出响应——SHA256 标准

名称	模式	大小	说明
Response	0x00 和 0x01	1 字节	如果成功，则为 0x00，否则，将收到错误代码
	0x02、0x42 和 0xC2	1 字节 32 字节	收到错误代码时 SHA256 摘要

5.1.8.2 SHA——HMAC 摘要

SHA 命令可用于计算 HMAC 摘要（而非 SHA256 摘要）。过程本质上是相同的，但是需要使用内部密钥和 HMAC_START（而非 START）。

当不需要上下文切换时，将使用以下步骤：

1. 在 HMAC_Start 模式下发出 SHA 命令，指出密钥存储单元。不包含任何报文。
2. 在更新模式下发出包含 1 至 64 字节报文的 SHA 命令。
3. 重复步骤 2，直到已提交报文的全部字节。
4. 在结束模式下发出 SHA 命令，完成 HMAC 摘要计算。

表 5-33. 输入参数——SHA HMAC 模式

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	Param2 （2 字节）	数据 （因模式而异）	说明
0x47	0x04	0x00 0[槽]	0 字节	HMAC 启动模式，包含来自数据槽的密钥
	0x04	0xFF FF	0 字节	HMAC 启动模式，包含来自 TempKey 的密钥
	0x01	0x00 [字节数]	1 至 64 字节	更新模式
	0x02	0x00 [字节数]	0 到 64 字节	完成模式：摘要置于输出缓冲区和 TempKey 中
	0x42	0x00 [字节数]		完成模式：摘要置于输出缓冲区和报文摘要缓冲区中
	0xC2	0x00 [字节数]		完成模式：摘要仅置于输出缓冲区中

表 5-34. 输出响应——SHA256 标准

名称	模式	大小	说明
Response	0x04 和 0x01	1 字节	如果成功，则为 0x00，否则，将收到错误代码
	0x02、0x42 和 0xC2	1 字节 32 字节	收到错误代码时 成功时的 HMAC 摘要

5.1.8.3 SHA——上下文切换

上下文切换允许中断摘要的生成以执行其他功能或生成其他摘要。上下文切换只能用于 SHA256 摘要模式，因此只能在发出 SHA Start 之后到 SHA Finalize 命令之前进行。在摘要生成过程中，上下文切换可能会发生多次。

上下文切换涉及两个阶段：

1. Read_Context——从 ATECC608B-TFLXTLS 读取可变长度的上下文，同时使上下文在芯片内有效。输出数据参数的总长度始终为 40 至 99 个字节，具体可以根据输出数据包中的长度字段来确定，也可以通过将输出中第一个字节的低 6 位加上 40 来计算。
2. Write_Context——将主机中的 SHA256 上下文写入 ATECC608B-TFLXTLS，以便完成后续更新操作。该上下文必须事先使用 Read_Context 模式从芯片读取。ATECC608B-TFLXTLS 通过数据参数的前 4 个字节确定上下文大小。

读取上下文后，器件可根据需要执行任何其他操作。完成其他操作后，可以将上下文写回到 ATECC608B-TFLXTLS 并且 SHA256 摘要生成过程可继续进行，直到完成为止。

表 5-35. 输入参数——SHA 上下文切换

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（因模式而异）	说明
0x47	0x06	0x00 00	0 字节	读取当前上下文
	0x07	0x00 [字节数]	40 至 99 字节	从上一个会话恢复当前上下文

表 5-36. 输出响应——SHA 上下文切换

名称	模式	大小	说明
Response	0x06	1 字节 40-99 字节	收到错误代码时 上下文值
	0x07	1 字节	如果成功，则为 0x00，否则，将收到错误代码

5.1.9 `UpdateExtra` 命令

`UpdateExtra` 命令用于更新 UpdateExtra 和 UpdateExtraAdd 字节（分别为配置区域中的 byte 84 和 85）。这些字节只能通过此命令进行更新。这些字节是可一次性更新的字节，只能在当前值为 0x00 时更新。如果值不为 0x00，则尝试更新此字节将导致错误。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，UpdateExtraAdd 字节（Byte 85）已配置为备用 I^2C 地址。

表 5-37. 输入参数——UpdateExtra

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x20	0x00	0x00 [值]	—	将 Param2 的 LSB 中的值写入 UpdateExtra 字节（byte 84）。
—	0x01	0x00 [值]	—	将 Param2 的 LSB 中的值写入 UpdateExtraAdd 字节（byte 85）。

表 5-38. 输出响应——UpdateExtra

名称	大小	说明
Success	1 字节	0x00——字节成功写入。如果字节未成功写入，则会收到错误代码。

5.1.10 `Write` 命令

对于 ATECC608B-TFLXTLS，配置区域和 OTP 区域已锁定，无法更新这些区域。根据每个槽的访问策略，数据区域上的写入能力有限。该命令的子模式中描述了可写入的槽。

5.1.10.1 数据区域——明文写入

标准明文写入

对于数据区域槽而言，只有在未进行槽锁定的前提下配置了明文写入，才能对其进行明文写入。请注意，对于任何给定的槽，均可基于槽的大小写入多个数据块。如果槽不是机密信息槽，则该槽内的任何块均允许进行 4 字节或 32 字节写操作。机密信息槽仅允许进行 32 字节写操作。任何槽的最后一个块都不是 32 字节。但仍可以 32 字节的形式写入该块，其他字节需要用 0 填充。对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 6、8-9、13 和 15 可采用明文形式写入。

失效公钥写入

由于 ECC 公钥不是机密信息值，因此可以通过写命令以明文形式直接写入。如果密钥需要先生效才能使用，则必须先使该密钥失效，之后才能覆盖。必须先使用 `Verify` 命令的失效模式使公钥失效，才能尝试使用写命令写入该密钥。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 14 包含生效公钥。

公钥失效后，标准明文写入和失效公钥写入的输入参数将相同。

表 5-39. 明文写入输入参数

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	地址 （2 字节）	数据 （4 或 32 字节）	说明
0x12	0x02	请参见 4.4 地址编码	4 字节	4 字节写
	0x82	请参见 4.4 地址编码	32 字节	32 字节写

表 5-40. 明文写入输出响应

名称	大小	说明
Response	1 字节	如果成功，将返回值 0x00。如果不成功，将返回错误代码。

5.1.10.2 数据区域——加密写入

如果槽已经过相应配置，则可加密写入数据区域。只能对写入数据区域的数据进行加密。对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 5 可采用密文形式写入。

所有加密写入操作均必须以 32 字节块的形式完成。如果要求区域末尾的部分块为加密的 32 字节输入，则数据仍必须作为 MAC 计算的一部分进行发送和使用。写入操作的地址是实际的存储单元地址，而不是数据槽号。

表 5-41. 输入参数——加密写入

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	地址 （2 字节）	输入数据 （32 字节）	MAC （32 字节）	说明
0x12	0x82	请参见 4.4 地址编码	32 字节加密输入数据	32 字节 MAC	32 字节加密写入

表 5-42. 输出响应——加密写入

名称	大小	说明
Response	1 字节	如果成功，将返回值 0x00。如果不成功，将返回错误代码。

数据加密

数据必须经过主机系统加密之后才能写入槽。加密算法只需对明文数据与存储在 TempKey 中的值进行异或运算。TempKey 必须是 `GenDig` 命令的结果。主机系统将需要计算该值，该值将与 ATECC608B-TFLXTLS 计算的值并行使用。计算异或值时，`GenDig` 命令可以使用一次或多次。最终值将是用于加密的实际异或值。加密并写入数据后，ATECC608B-TFLXTLS 使用存储在 TempKey 中的值解密该值。加密写入操作必须在任何其他可能影响 TempKey 值的命令之前或超时之前进行。为使加密写入生效，还必须通过命令发送 32 字节的 MAC 值。

输入 MAC 生成

所需的输入 MAC 通过对 96 个字节进行 SHA256 哈希运算生成。这将由主机系统计算，然后作为加密 `Write` 命令的一部分发送。

32 字节	TempKey
1 字节	操作码 = 0x12
1 字节	模式
2 字节	地址（LSB，MSB）
1 字节	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1]=0x01 0x23
25 字节	零
32 字节	纯文本数据

5.2 非对称加密命令

非对称加密命令集由专门用于生成或使用 ECC 密钥的命令组成。密钥通常存储在数据区域槽中，但对于某些命令，也可以存储在 SRAM 阵列中。

表 5-43. 非对称加密命令

命令名称	操作码	说明
ECDH	0x43	使用存储的私钥和输入公钥生成 ECDH 预主机密信息。
GenKey	0x40	生成 ECC 私钥，还可通过存储的私钥生成 ECC 公钥。
SecureBoot	0x80	上电时使代码签名或代码摘要生效。
Sign	0x41	使用 ECC 私钥和 ECDSA 签名计算对内部或外部报文摘要进行签名。
Verify	0x45	使用 ECC 公钥和 ECDSA 验证计算对内部或外部报文摘要进行验证。

5.2.1 ECDH 命令

ECDH 命令用于生成两个器件之间共享的机密信息。通过从另一器件传递 ECC 公钥，并与存储在槽中的 ECC 私钥或存储在 TempKey 中的临时密钥组合，然后在另一器件上进行相反操作，这两个器件将生成相同的共享主机密信息。然后，可以在两侧将其与其他通用数据进一步组合以生成两个器件之间共享的会话密钥。KDF 命令通常与 TLS 会话搭配使用，以进一步使共享机密信息多样化。

5.2.1.1 ECDH——存储的密钥

ECDH 命令可使用内部数据槽作为其 ECC 私钥源。必须配置槽的访问策略，以便使槽成为 ECC 私钥且允许 ECDH 命令。访问策略还可指定是否存储、加密输出，或者允许命令本身确定是否存储或加密输出。需要加密时，将使用 IO 保护密钥。仅当数据输出到输出缓冲区时，才可以进行加密。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以使用存储在 Slot 0 和 Slot 2-4 中的 ECC 私钥运行 ECDH 命令。

表 5-44. 输入参数——ECDH 存储密钥

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyId（2 字节）	数据		说明
			数据 1（32 字节）	数据 2（32 字节）	
0x43	0x0C	0x00 0[槽]	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果进入输出缓冲区 • 输出采用明文形式(1)
	0x0E	0x00 0[槽]	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果进入输出缓冲区 • 输出加密
	0x08	0x00 0[槽]	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果存储在 TempKey 中 • 输出可用于其他操作，但不能直接访问。

注：

1. 当 ChipOptions.ECDHPROT 值为 1 时，ECDH 命令的输出将在该模式下加密。对于 ATECC608B-TFLXTLS，ECDHPROT 字段设置为 0，加密将取决于 ECDH 命令的模式。

表 5-45. 输出响应——ECDH 存储密钥

名称	模式	大小	说明
Response	0x0C 或 0x0E	1 字节	如果命令失败，将出现错误代码
Response	0x0C	32 字节	共用主机密信息采用明文形式

.....（续）			
名称	模式	大小	说明
Response OutNonce	0x0E	32 字节 32 字节	共用主机密信息采用密文形式 nonce 用于加密
Response	0x08	1 字节	如果成功，则为 0x00，否则，将返回错误代码

5.2.1.2 ECDH——TempKey 源

ECDH 命令可使用 TempKey 中的值作为 ECDH 命令的起始值。必须通过 GenKey 命令生成 TempKey 中的 ECC 私钥值。ECDH 命令使用 TempKey 后，TempKey.Valid 标志将复位。如果输出返回到 TempKey 存储单元，则该标志将再次置 1。

表 5-46. 输入参数——ECDH TempKey

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyId（2 字节）	数据		说明
			数据 1（32 字节）	数据 2（32 字节）	
0x43	0x0D	0x00 00	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果送入输出缓冲区 • 输出采用明文形式(1)
	0x0F	0x00 00	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果送入输出缓冲区 • 输出加密
	0x09	0x00 00	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果存储在 TempKey 中 • 输出可用于其他操作，但不能直接访问。
	0x05	0x00 0[槽]	公钥的 X 分量	公钥的 Y 分量	• 结果存储在指定槽中

注：

1. 当 ChipOptions.ECDHPROT 值为 1 时，ECDH 命令的输出将在该模式下加密。对于 ATECC608B-TFLXTLS，ECDHPROT 字段设置为 0，加密将取决于 ECDH 命令的模式。

表 5-47. 输出响应——ECDH TempKey

名称	模式	大小	说明
Response	0x0D 或 0x0F	1 字节	如果命令失败，将出现错误代码
Response	0x0D	32 字节	共用主机密信息采用明文形式
Response OutNonce	0x0F	32 字节 32 字节	共用主机密信息采用密文形式 nonce 用于加密
Response	0x05 或 0x09	1 字节	如果成功，则为 0x00，否则，将返回错误代码

5.2.2 GenKey 命令

GenKey 命令用于生成 ECC 私钥和通过私钥生成 ECC 公钥，或者生成公钥摘要。该命令仅适用于专用于 ECC 私钥或公钥的槽。在非 ECC 槽上运行该命令将导致错误。

5.2.2.1 私钥——存储在槽中

GenKey 命令可用于生成 ECC P256 私钥并将其存储在已指定为保存 ECC 私钥的数据槽中。当该命令运行时，还将生成相应的 ECC 公钥。如果槽已锁定，该命令将返回错误。在极少数情况下，会生成无效的 ECC 私钥，这也会导致错误。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，GenKey 命令只能用于在 Slot 2、3 和 4 中生成私钥。更新这些密钥之前不需要授权。

表 5-48. 输入参数——私钥存储在槽中

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	OtherData（0 字节）	说明
0x40	0x04	0x00 0[槽号]	—	• 私钥存储在[槽号]中 • 生成公钥并在总线上输出
0x40	0x0C	0x00 0[槽号]	—	• 私钥存储在[槽号]中 • 生成公钥并在总线上输出 • 生成公钥摘要并将其存储在 TempKey 中

表 5-49. 输出响应——私钥存储在槽中

名称	大小	响应
Response	1 字节	• 如果命令失败，则为 ECC 错误代码
	64 字节	• 公钥 X 和 Y 协调命令的成功

5.2.2.2 私钥——存储在 TempKey 中

GenKey 命令可用于生成临时 ECC 私钥，并将其置于对写入存储单元没有限制的 SRAM 中。该密钥无法读取，但可由 ECDH 命令使用。

表 5-50. 命令参数

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	OtherData（3 字节）	备注
0x40	0x04	0xFF FF	0x00 00 00	• 私钥存储在 TempKey 中 • 生成公钥并在总线上输出

表 5-51. 输出响应——GenKey 存储在 TempKey 中

名称	大小	响应
Response	1 字节	因命令错误而生成 ECC 错误代码时
	64 字节	公钥 X 和 Y 协调命令的成功

5.2.2.3 公钥生成

如果已对槽进行了相应配置，则可以通过存储的 ECC 私钥重新生成 ECC 公钥，并在总线上输出。另外，如有需要，还可以同时生成公钥摘要并将其存储在 TempKey 中。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以通过 Slot 0-5 中存储的私钥生成公钥。此外，还支持可选摘要生成。

表 5-52. 输入参数——公钥生成

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	OtherData（0 字节）	说明
0x40	0x00	0x00 0[槽]	—	生成公钥并在总线上输出
0x40	0x08	0x00 0[槽]	—	• 生成公钥并在总线上输出 • 生成公钥摘要并将其存储在 TempKey 中

表 5-53. 输出响应——公钥生成

名称	大小	响应
Response	1 字节	如果命令失败，将出现 ECC 错误代码
	64 字节	公钥 X 和 Y 协调命令的成功

公钥摘要生成
通过对 128 个字节执行 SHA256 哈希运算来生成公钥摘要。

32 字节	TempKey
1 字节	操作码
1 字节	Param1
2 字节	Param2
1 字节	SN[8]
2 字节	SN[0:1]
25 字节	零
64 字节	公钥的 X 和 Y 坐标

5.2.2.4 公钥摘要生成

可以通过存储的 ECC 公钥生成公钥的摘要，并将其存储在 TempKey 中。槽号必须指向存储的公钥，因此该命令仅限于 Slot 8 及更高编号的槽。在运行该命令之前，TempKey 必须为有效值。公钥不会在总线上输出。但是可以使用 Read 命令读取公钥。请注意，在该模式下，OtherData 中的 3 个字节将用于生成摘要，并且模式和 KeyID 字节将被忽略。

对于 ATECC608B-TFLXTLS，可以通过 Slot 11、14 和 15 创建摘要，如果 Slot 13 包含公钥，则还可选择通过 Slot 13 创建摘要。

表 5-54. 输入参数——公钥摘要生成

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	OtherData（3 字节）	备注
0x40	0x10	0x00 0[槽]	0x[任意值]	创建公钥摘要并将其存储在 TempKey 中

表 5-55. 输出响应——公钥摘要生成

名称	大小	响应
Response	1 字节	• 如果命令成功完成，则为 0x00 • 如果命令失败，将出现 ECC 错误代码

公钥摘要创建
通过对 128 个字节执行 SHA256 哈希运算来生成公钥摘要。

32 字节	TempKey
1 字节	操作码
1 字节	OtherData[0]
2 字节	OtherData[1:2]
1 字节	SN[8]
2 字节	SN[0:1]
25 字节	零
64 字节	公钥的 X 和 Y 坐标

5.2.3 SecureBoot 命令

SecureBoot 命令为外部 MCU 或 MPU 的安全引导提供支持。一般方法是系统内的引导代码将使用 ATECC608B-TFLXTLS 协助使随后要执行的应用程序代码生效。ATECC608B-TFLXTLS 器件已配置为在安全引导和存储摘要模式下工作。摘要将存储在 Slot 7 中，而验证安全引导所需的公钥将存储在 Slot 15 中。可选择将器件配置为使用持久锁存。安全引导是否与上电关联取决于选择的选项。请参见 2.2.4 安全引导选项。

如果不使用返回码，可以选择通过写入 TempKey 的 nonce、IO 保护机密信息和各种其他数据来生成 MAC（具体取决于命令的模式），以防止篡改主机与 ATECC608B-TFLXTLS 之间的线路。

5.2.3.1 安全引导——FullCopy

安全引导命令的 FullCopy 模式会将签名或已验证的摘要复制到目标槽。目标槽被定义为安全引导访问策略的一部分，而不是命令的一部分。必须先运行安全引导命令的这种模式，然后才能在 FullStore 摘要或签名模式下运行命令。可选择使用 IO 保护机密信息从主机通过 nonce 生成 MAC，以防止篡改主机与 ATECC608B-TFLXTLS 之间的线路。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，该命令成功完成后，摘要将复制到 Slot 7。

表 5-56. 输入参数——安全引导 FullCopy

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（96 字节）	说明
0x80	0x07	0x00 00	• 整个代码的 32 字节摘要 • 64 字节签名	• 不对代码摘要进行加密 • 通过公钥验证代码摘要和签名
	0x87	0x00 00	• 整个代码的 32 字节加密摘要 • 64 字节签名	• 对代码摘要进行加密 • 通过公钥验证代码摘要和签名 • 生成输出 MAC

表 5-57. 输出响应——安全引导 FullCopy

名称	模式	大小	响应
Success	0x07	1 字节	• 0x00——成功 • 0x01——计算完成，但结果不匹配 • 其他值的错误代码
MAC	0x87	32 字节	如果成功
		1 字节	• 0x01——计算完成，但结果不匹配 • 其他值的错误代码

安全引导 FullCopy MAC 计算

在该模式下生成 MAC 之前，必须运行 Nonce 命令以确保在 TempKey 中存储一个有效值。然后，分两步计算 MAC。

步骤 1：通过 IO 保护密钥和 nonce 生成 SHA256 摘要

32 字节	IO 保护密钥的内容
32 字节	TempKey 中存储的 nonce 的前 32 个字节

步骤 2：SHA256 摘要，具体包括以下各项

32 字节	步骤 1 中生成的摘要
32 字节	纯文本报文。步骤 1 的输出与输入加密代码摘要（输入缓冲区的前 32 个字节）进行异或运算的结果
64 字节	从输入传送的签名

4 字节　　输入参数（操作码，模式，Param2）（0x80，0x86，0x00 00）

5.2.3.2 安全引导——FullStore（摘要）

在SecureBoot命令的 FullStore 摘要模式下，经过验证的摘要将存储在槽中。该模式改善了与命令关联的 IO 传输和总体计算时间。要使用该模式，必须首先执行 FullCopy 生效命令模式，并且器件将同时接收摘要和签名并将摘要存储在安全引导访问策略中指定的槽中。可选择使用 IO 保护机密信息从主机通过 nonce 生成 MAC，以防止篡改主机与 ATECC608B-TFLXTLS 之间的线路。

表 5-58输入参数——安全引导 FullStore

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Param2（2 字节）	数据（32 字节）	说明
0x80	0x06	0x00 00	• 整个代码的 32 字节摘要	• 通过公钥验证代码摘要和签名
	0x86	0x00 00	• 整个代码的 32 字节加密摘要	• 对代码摘要进行加密 • 通过公钥验证代码摘要和签名 • 生成输出 MAC

表 5-59. 输出响应——安全引导 FullStore

名称	模式	大小	响应
Success	0x06	1 字节	0x00——成功 0x01——计算完成，但结果不匹配。 其他值的错误代码。
MAC	0x86	32 字节	如果成功
		1 字节	0x01——计算完成，但结果不匹配。 其他值的错误代码。

安全引导存储摘要 MAC 计算
在该模式下生成 MAC 之前，必须运行 Nonce 命令以确保在 TempKey 中存储一个有效值。然后，分两步计算 MAC。

步骤 1：通过 IO 保护密钥和 nonce 生成 SHA256 摘要

32 字节　　IO 保护密钥的内容

32 字节　　TempKey 中存储的 nonce 的前 32 个字节

步骤 2：SHA256 摘要，具体包括步骤 1 的输出以及其他信息，如下所示：

32 字节　　步骤 1 中生成的摘要

32 字节　　纯文本报文。步骤 1 的输出与输入加密代码摘要（输入缓冲区的前 32 个字节）进行异或运算的结果

4 字节　　输入参数（操作码，模式，Param2）（0x80，0x86，0x00 00）

5.2.4 Sign 命令

Sign 命令使用 ECDSA 算法生成签名。由 KeyID 指定的槽中的 ECC 私钥用于生成签名。该器件可提供多种模式，具体取决于要签名的内容。

5.2.4.1 签名——内部报文

内部报文模式下的 Sign 命令用于对内部生成的报文进行签名。该命令计算内部报文摘要，然后使用 ECDSA 签名算法和 KeyID 中指定的 ECC 私钥对摘要进行签名。内部生成的报文必须始终位于 TempKey 中。TempKey 中的值必须使用 GenDig 或 GenKey 命令生成。如果 TempKey 无效，则会出现错误。典型用途包括：

- 对内部生成的随机密钥进行签名。该密钥通常由 GenKey 命令生成。
- GenKey 或 GenDig 命令的输出，前提是输出位于 TempKey 中。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，只有 Slot 1 能够对内部生成的报文进行签名。

表 5-60. 输入参数——对内部报文进行签名

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyId（2 字节）	说明
0x41	0x00 或 0x20	0x00 0[槽号]	序列号不包含在报文摘要计算中
	0x40 或 0x60	0x00 0[槽号]	序列号包含在报文摘要计算中

表 5-61. 输出响应——对内部报文进行签名

名称	大小	说明
Response	1 字节	如果命令失败，则为错误代码
	64 字节	由 R 和 S 值组成的签名

内部报文生成

内部报文基于 55 字节字段生成，如下所示。

字节计数	不包括序列号	包括序列号
32 字节	TempKey(1)	TempKey(1)
1 字节	操作码	操作码
1 字节	模式	模式
2 字节	KeyID	KeyID
2 字节	（TempKeyFlags.KeyID 的）SlotConfig	（TempKeyFlags.KeyID 的）SlotConfig
2 字节	（TempKeyFlags.KeyID 的）KeyConfig	（TempKeyFlags.KeyID 的）KeyConfig
1 字节	TempKeyFlags(2)	TempKeyFlags(2)
2 字节	零	零
1 字节	SN[8] = 0x01	SN[8] = 0x01
4 字节	零	SN[4:7]
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23	SN[0:1] = 0x01 0x23
2 字节	零	SN[2:3]
1 字节	SlotLocked:TempKeyFlags.KeyID	SlotLocked:TempKeyFlags.KeyID
1 字节	0x00	0x00
1 字节	0x00	0x00

注：

1. 在执行该计算之前，必须先通过 GenKey 或 GenDig 命令生成 TempKey。
2. TempKeyFlags 包括：（b[7]：NoMacFlag，b[6]：GenKeyData，b[5]：GenDigData，b[4]：SourceFlag，b[3:0] TempKeyFlags）

5.2.4.2 签名——外部报文

Sign 命令可用于通过 ECC 私钥对外部报文的摘要进行签名。报文必须由主机系统编译，并且报文摘要必须由主机系统生成。报文可通过 Nonce 命令（在固定模式下运行）装入 TempKey 或报文摘要缓冲区，并且长度始终为 32 个字节。报文始终位于这些存储单元的低 32 个字节中。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，使能了 Slot 0 和 Slot 2-4 来对外部报文进行签名。

表 5-62. 输入参数——外部签名

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyId（2 字节）	说明
0x41	0x80 或 0xC0	0x00 0[槽号]	外部报文摘要存储在 TempKey 中
	0xA0 或 0xD0	0x00 0[槽号]	外部报文摘要存储在报文摘要缓冲区中

表 5-63. 输出响应——外部签名

名称	大小	说明
响应	1 字节	如果命令失败，则为错误代码
	64 字节	由 R 和 S 值组成的签名

5.2.5 Verify 命令

Verify 命令采用 ECDSA [R,S]签名，并验证它是否通过给定的输入报文摘要和公钥正确生成。在所有情况下，签名均为命令的输入。

可选 MAC 可通过 Verify 命令返回，以防止所有中间人攻击。如果验证计算表明已通过输入摘要正确生成了签名，则将基于存储在 TempKey 中的输入 nonce 和同时存储在 ATECC608B-TFLXTLS 和主机 MCU 中的 IO 保护机密信息值来计算 MAC。MAC 输出只能在外部和存储模式下生成。必须使能 IO 保护功能才能计算 MAC。

5.2.5.1 验证——外部公钥模式

Verify 命令可用于验证在 ATECC608B-TFLXTLS 外部生成的报文（其公钥传递给该命令）。该命令的输出将是指示成功、失败或错误的代码，或者是 32 字节的 MAC。在运行该命令之前，应使用 Nonce 命令在固定模式下将报文写入 TempKey 或报文摘要缓冲区。在该模式下，器件仅加速公钥计算并返回布尔结果。

通过外部公钥验证报文的步骤

1. 使用 Nonce 命令在固定模式下将 32 字节的报文摘要写入 TempKey 或报文摘要缓冲区。
2. 可选：系统 Nonce——系统生成的 Nonce。
   2.1. 如果外部报文摘要存储在 TempKey 中，则系统生成的 nonce 必须存储在报文摘要缓冲区的低 32 个字节中。
   2.2. 如果外部报文存储在 MessageDigestBuffer[31:0]中，则系统 Nonce 必须存储在报文摘要缓冲区的高 32 个字节[63:32]中。为此，应将外部报文和 nonce 值以 64 字节值的形式写入。
3. 发出 Verify 命令。其中包括模式、KeyID（指定 P256 ECC 曲线）、64 字节签名和 64 字节外部公钥。
4. 输出将返回：
   4.1. 一个字节的成功、失败或错误代码（不需要 MAC 时）。
   4.2. 一个 32 字节的 MAC（由模式指定时）。

表 5-64. 命令参数

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	Key ID（2 字节）	数据字段（128 字节）		备注
			签名（64 字节）	公钥（64 字节）	
0x45	0x02	0x00 04	R 值 S 值	X 值 Y 值	报文存储在 TempKey 中
	0x22	0x00 04	R 值 S 值	X 值 Y 值	报文存储在报文摘要缓冲区中
	0xA2	0x00 04	R 值 S 值	X 值 Y 值	• 报文存储在 TempKey 中 • 系统 Nonce 存储在 MDB[31:0]中 • 返回验证 MAC
	0x82	0x00 04	R 值 S 值	X 值 Y 值	• 报文存储在报文摘要缓冲区中 • 系统 Nonce 存储在 MDB[63:32]中 • 返回验证 MAC

表 5-65. 输出响应——外部验证

名称	模式	大小	响应
Response	0x02 或 0x22	1 字节	• 0x00——签名通过验证时 • 0x01——签名不匹配时 • 错误代码——由于一些其他原因导致失败时
	0x82 或 0xA2	1 字节或 32 字节	• 验证 MAC——签名通过验证时 • 0x01——签名不匹配时 • 错误代码——由于一些其他原因导致失败时

表 5-66. 验证 MAC——外部验证

大小（字节）	报文存储在 TempKey 中	报文存储在报文摘要缓冲区中
32	IO 保护密钥的内容	IO 保护密钥的内容
32	报文存储在 TempKey 中	报文存储在报文摘要缓冲区的前 32 个字节中
32	系统 Nonce 存储在报文摘要缓冲区的前 32 个字节中	系统 Nonce 存储在报文摘要缓冲区的后 32 个字节中
32	所传递签名的 R 数据	所传递签名的 R 数据
32	所传递签名的 S 数据	所传递签名的 S 数据
1	操作码	操作码
1	模式	模式
2	Param2 [LSB,MSB]	Param2 [LSB,MSB]

5.2.5.2 验证——存储公钥模式

在存储模式下使用 `Verify` 命令时，要使用的公钥存储在数据槽中，无需传递。在运行该命令之前，应使用 `Nonce` 命令将报文写入 TempKey 或报文摘要缓冲区。

通过存储的密钥验证报文的步骤

1. 必要时，请在使用 Verify 命令前先验证公钥。
2. 必要时，请先授权再使用公钥。
3. 使用 Nonce 命令在固定模式下将 32 字节的报文摘要写入 TempKey 或报文摘要缓冲区。
4. 将系统 Nonce 写入报文摘要缓冲区的低 32 个字节或高 32 个字节。
   4.1. 如果 TempKey 包含报文摘要，则将系统 Nonce 存储在报文摘要缓冲区的低 32 个字节中。
   4.2. 如果报文摘要存储在报文摘要缓冲区的低 32 个字节中，则将系统 Nonce 存储在报文摘要缓冲区的高 32 个字节中。用户需要使用 Nonce 命令一次性写入报文摘要和系统 Nonce。
5. 发出 Verify 命令。其中包括模式、KeyID（指定公钥槽）、64 字节签名和内部公钥的槽号。
6. 输出将返回：
   6.1. 一个字节的成功、失败或错误代码（不需要 MAC 时）。
   6.2. 如果命令失败，则为一个 32 字节的 MAC（由模式指定时）或错误代码。

表 5-67. 命令参数

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	公钥（2 字节）	数据字段（64 字节）	备注
			签名（64 字节）	
0x45	0x00	0x00，0[槽]	R 值 S 值	——报文存储在 TempKey 中
	0x20	0x00，0[槽]	R 值 S 值	——报文存储在报文摘要缓冲区中
	0x80	0x00，0[槽]	R 值 S 值	——报文存储在 TempKey 中 返回验证 MAC
	0xA0	0x00，0[槽]	R 值 S 值	——报文存储在报文摘要缓冲区中 返回验证 MAC

表 5-68. 输出响应——存储验证

名称	模式	大小	响应
Response	0x00 或 0x20	1 字节	• 0x00——签名通过验证时 • 0x01——签名不匹配时 • 错误代码——由于一些其他原因导致失败时
	0x80 或 0xA0	32 字节 1 字节	• 验证 MAC——签名通过验证时 • 0x01——签名不匹配时 • 错误代码——由于一些其他原因导致失败时

表 5-69. 验证 MAC——存储验证

验证 MAC 输入位置取决于报文的存储位置。

大小（字节）	报文存储在 TempKey 中	报文存储在报文摘要缓冲区中
32	IO 保护密钥的内容	IO 保护密钥的内容
32	TempKey 中的报文	摘要缓冲区中的前 32 个字节报文
32	存储在报文摘要缓冲区的前 32 个字节中的系统 Nonce	系统 Nonce 存储在报文摘要缓冲区的后 32 个字节中
32	所传递签名的 R 数据	所传递签名的 R 数据

.....（续）		
大小（字节）	报文存储在 TempKey 中	报文存储在报文摘要缓冲区中
32	所传递签名的 S 数据	所传递签名的 S 数据
1	操作码	操作码
1	模式	模式
2	Param2 [LSB,MSB]	Param2 [LSB,MSB]

5.2.5.3 验证——生效和失效

Verify 命令可用于使公钥生效或失效。只有需要使访问策略生效的公钥才需要执行该过程。在使用公钥验证签名之前，必须先使其生效。如果需要更新生效的公钥，则在写入之前需要使其失效。只能使内部存储的公钥生效或失效。公钥的状态存储在公钥槽的字节 0 的最高有效半字节中。

对于 ATECC608B-TFLXTLS 器件，Slot 14 包含生效公钥。

使公钥生效或失效的步骤

1. 使用 GenKey，生成要生效或失效的公钥的摘要，并将其存储在 TempKey 中。
2. OtherData[18:0]字节必须与计算原始签名时使用的字节相同。
   - 如果要使密钥生效，则 OtherData[17][0] = 0
   - 如果要使密钥失效，则 OtherData[17][0] = 1
   - 该位必须与 Verify Validate 或 Invalidate 命令的 Mode[2]值匹配，否则将出现错误。

   注： 报文的创建方式与 Sign 命令的内部模式相同，但它使用 OtherData[18:0]字节。
3. 发出 Verify Validate 或 Invalidate 命令，其中包括签名 R 和 S 值以及 OtherData 字节。
4. 成功完成生效或失效操作后，将返回代码 0x00 并且会将槽的 LSB 的 bit[7:4]置 1。

表 5-70. 输入参数——验证生效/失效

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据字段（83 字节）		注释
			签名（64 字节）	其他数据(1)（19 字节）	
0x45	0x03	0x00 0[槽号]	R 值 S 值	OtherData[17][0] = 0	使公钥生效
	0x07	0x00 0[槽号]	R 值 S 值	OtherData[17][0] = 1	使公钥失效

注：

1. 其他数据字节值必须与用于生成原始报文的数据匹配。

表 5-71. 输出响应——验证生效/失效

名称	大小	说明
Response	1 字节	• 0x00——签名通过验证时 • 0x01——签名不匹配时 • 错误代码——由于某些其他原因导致失败时
公钥的 ValidateNibble	4 位。	Slot[n][0] [7:4]将更新公钥 • 0x5——已使公钥生效时 • 0xA——已使公钥失效时

表 5-72. 生成的报文

32 字节	PublicKey 的 TempKey 摘要（必须通过 GenKey 生成）
1 字节	签名操作码
10 字节	OtherData[0:9](1)
1 字节	SN[8] = 0x01
4 字节	OtherData[10:13](1)
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23
5 字节	OtherData[14:18](1)

注：

1. 这些字节应与生成签名的原始报文中使用的字节匹配。有关原始报文计算的信息，请参见 5.2.4.1 内部报文生成。惟一的例外是字节 17 的 bit 0（如上所述）。

5.3 对称加密命令

对称加密命令集由与生成或使用对称密钥有关的命令组成。密钥通常存储在数据区域槽中，但对于某些命令，也可以存储在 SRAM 存储单元中。

表 5-73. 对称加密命令

命令名称	操作码	说明
AES	0x51	执行 AES-ECB 加密或解密功能。计算 Galois 域乘法。
CheckMac	0x28	验证在另一个 CryptoAuthentication 器件上计算的 MAC。
GenDig	0x15	通过随机或输入种子和存储的值生成数据摘要。
KDF	0x56	实现 PRF 或 HKDF 密钥派生函数
MAC	0x08	使用 SHA-256 计算密钥和其他内部数据的摘要（响应）。

5.3.1 AES 命令

AES 命令可用于利用 AES 密钥对 16 字节的数据块进行加密和/或解密。请注意，密钥存储在给定槽的 16 字节（128 位）存储单元内或 TempKey 的前 16 个字节内。可将多个密钥存储在一个给定槽中，并按 16 字节边界连续访问（从字节 0-15 开始，一直到该槽的最后 16 个字节），但任何槽中的密钥数量都不超过四个。对于 ATECC608B-TFLXTLS，可将 AES 密钥存储在 Slot 5 或 Slot 9 中。Slot 5 最多可容纳 2 个 AES 密钥，Slot 9 最多可容纳 4 个 AES 密钥。

除了 AES 加密和解密外，AES 命令还可用于生成 Galois 域乘法（Galois Field Multiply，GFM），以支持其他加密操作。

5.3.1.1 AES-ECB 加密

在 AES-ECB 加密模式下，输入流中需为 16 字节明文，器件输出将为 16 字节密文。

表 5-74. AES-ECB 加密

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	KeyID （2 字节）	数据 （16 字节）	备注
0x51	0x00 0x40 0x80 0xC0	0x00 0[槽]	任意 16 字节的明文数据	在位置 0 加密密钥 在位置 1 加密密钥 在位置 2 加密密钥 在位置 3 加密密钥
	0x00	0xFF FF	任意 16 字节的明文数据	加密密钥位于 TempKey 中

表 5-75. AES 加密输出响应

名称	大小（字节）	注
Response	1	如果操作失败，则输出为一个 1 字节的错误代码。
	16	如果操作成功，器件将输出 16 字节的密文。

5.3.1.2 AES-ECB 解密

AES 命令的 AES-ECB 解密模式用于将密文转换回明文。

表 5-76. AES-ECB 解密

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据（16 字节）	备注
0x51	0x01 0x41 0x81 0xC1	0x00 0[槽]	任意 16 字节的 AES 加密数据	在位置 0 解密密钥 在位置 1 解密密钥 在位置 2 解密密钥 在位置 3 解密密钥
	0x01	0xFF FF	任意 16 字节的明文数据	解密密钥位于 TempKey 中

表 5-77. AES 解密输出响应

名称	大小（字节）	注
Response	1	如果操作失败，则输出为一个 1 字节的错误代码。
	16	如果操作成功，器件将输出 16 字节的明文数据。

5.3.1.3 AES-GFM

GFM 操作通常用作各种 AES 加密操作的一部分。该功能旨在帮助创建 ATECC608B-TFLXTLS 不直接支持的操作。该操作的输出可用于 AES-GCM AEAD 功能。该模式不涉及机密信息或芯片上存储的任何内容。如果选择该模式，则其余模式位将被忽略。

表 5-78. AES Galois 域乘法（GFM）

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据（32 字节）	说明
0x51	0x03	0x00 00	• 前 16 个字节——哈希字段 • 后 16 个字节——输入数据	

表 5-79. AES GFM 输出响应

名称	大小（字节）	注
Response	1	如果操作失败，则输出为一个 1 字节的错误代码。
	16	如果操作成功，器件将输出 16 字节的 GFM 计算结果。

5.3.2 CheckMac 命令

CheckMac 命令可计算不同 CryptoAuthentication™（ATECC608B、ATECC508A 和 ATSHA204A）器件上生成的 MAC 响应，然后将结果与输入值进行比较。该命令会返回一个布尔结果来指示比较成功还是失败。

如果将 TempKey 中的值用作 CheckMac 的输入，则 Nonce 和/或 GenDig 命令必须在 CheckMac 命令之前运行。

表 5-80. 输入参数——CheckMac

操作码（1 字节）	模式（1 字节）(2)	KeyID（2 字节）	数据（77 字节）(1)	说明
0x28	0x00	0x00 0[槽]	• 32 字节客户端质询 • 客户端生成的 32 字节响应 • 13 字节其他数据	
	0x01	0x00 0[槽]	• 被忽略但必须存在的 32 字节 • 32 字节客户端响应 • 13 字节其他数据	TempKey.SourceFlag 随机时使用
	0x05	0x00 0[槽]		TempKey.SourceFlag 固定时使用
	0x02	0x00 00	• 32 字节客户端质询 • 32 字节客户端响应 • 13 字节其他数据	TempKey.SourceFlag 随机时使用
	0x06	0x00 00		TempKey.SourceFlag 固定时使用

注：

1. OtherData[0:12]值必须与原始 MAC 命令中使用的值匹配。
2. 对于 0x00 以外的模式，Mode[2]必须与 TempKey.SourceFlag 匹配。

表 5-81. 输出响应——CheckMac

名称	大小	说明
Response	1 字节	• 0x00——成功时 • 0x01——不匹配时 • 错误代码——失败时

表 5-82. SHA256 CheckMac 哈希算法

字节数	模式 0x00	模式 0x01 或 0x05	模式 0x02 或 0x06
32	Key[KeyID]	Key[KeyID]	TempKey
32	输入客户端质询	TempKey	输入客户端质询
4	OtherData[0:3]	OtherData[0:3]	OtherData[0:3]
8	零	零	零
3	OtherData[4:6]	OtherData[4:6]	OtherData[4:6]
1	SN[8] = 0x01	SN[8] = 0x01	SN[8] = 0x01
4	OtherData[7:10]	OtherData[7:10]	OtherData[7:10]
2	SN[0:1] = 0x01 0x23	SN[0:1] = 0x01 0x23	SN[0:1] = 0x01 0x23
2	OtherData[11:12]	OtherData[11:12]	OtherData[11:12]

5.3.3 GenDig 命令

GenDig 命令使用 SHA-256 哈希运算将存储的或输入的值与 TempKey 的内容相结合，这些内容在执行此命令之前必须有效。存储的值可以来自其中一个数据槽、配置区域、任一 OTP 页或单调计数器。器件的具体模式决定了 GenDig 计算中将包含的数据。

在某些情况下，在执行一些命令之前，需要先运行 GenDig。该命令可运行多次，以在执行给定命令前在摘要中包含更多数据。得到的摘要保留在 TempKey 中，可以通过以下四种方式之一使用：

1. 它可以作为 MAC、Sign 或 CheckMac 命令使用的报文的一部分包含在内。由于 MAC 响应输出结合了 GenDig 计算中使用的数据与 MAC 命令的机密信息密钥，因此将用于验证数据和/或 OTP 区域中存储的数据。
2. 后续 Read 或 Write 命令可以使用摘要来为数据提供认证和/或加密，在这种情况下，相应摘要称为数据保护摘要。
3. 可以使用此命令通过传输密钥阵列中的值进行安全个性化。得到的数据保护摘要将供写操作使用。
4. 输入值（通常是远程器件中的 nonce）与当前 TempKey 值相结合以创建共用 nonce，其中两个器件均可以证明包含 RNG。

5.3.3.1 GenDig——配置

GenDig 计算中可以包含来自配置区域的数据。数据始终包含在 32 字节的块中，并且任何给定的 GenDig 计算中只能包含一个块。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中存储在 TempKey 中的值。

表 5-83. 输入参数——GenDig 配置

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	KeyID(1) （2 字节）	数据 （0 字节）	说明
0x15	0x00	0x00 00	—	使用配置块 0
		0x00 01	—	使用配置块 1
		0x00 02	—	使用配置块 2
		0x00 03	—	使用配置块 3

注：

1. KeyId 指定要在 TempKey 计算中使用的配置区域块。

表 5-84. 输出响应——GenDig 配置

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将设置为 0。

表 5-85. TempKey 计算——GenDig 配置

32 字节	配置区域块
1 字节	操作码 = 0x15
1 字节	模式 = 0x00
2 字节	KeyID[0:1] = 0x0[block] 0x00
1 字节	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23
25 字节	全零
32 字节	TempKey.Value

5.3.3.2 GenDig——OTP

GenDig 计算中可以包含来自 OTP 区域的数据。数据始终包含在 32 字节的块中，并且任何给定的 GenDig 计算中只能包含一个块。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中的值。

表 5-86. 输入参数——GenDig OTP

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID[1]（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x15	0x01	0x00 00	—	使用 OTP 块 0 作为 KeyID
		0x00 01	—	使用 OTP 块 1 作为 KeyID

注：

1. KeyId 指定要在 TempKey 计算中使用的 OTP 区域块。

表 5-87. 输出响应——GenDig OTP

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将设置为 0。

表 5-88. TempKey 计算——GenDig OTP

32 字节	OTP 区域块
1 字节	操作码 = 0x15
1 字节	模式 = 0x00
2 字节	KeyID[0:1] = 0x0[block] 0x00
1 字节	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23
25 字节	全零
32 字节	TempKey.Value

5.3.3.3 GenDig——数据

GenDig 计算中可以包含来自数据区域槽的数据。数据始终包含在 32 字节的块中，并且 GenDig 计算中只包含槽的低字节块。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。如果槽需要随机 nonce，则数据必须由 Nonce 命令生成，而不是传递给器件。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中的值。

如果为 NoMAC 设置了槽，则不允许将此 GenDig 的输出用于 MAC 命令。运行多个 GenDig 时，如果任何槽设置了 NoMAC，则 TempKey 中的输出无法用于执行 MAC 命令。

表 5-89. 输入参数——GenDig 数据

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID[1]（2 字节）	数据（0 或 4 字节）	说明
0x15	0x02	0x00 0[槽]	—	计算中使用来自 Slot # 的数据。
		0x00 0[槽]	4 字节	计算中使用来自 Slot # 的数据以及其他数据（使用 NoMAC 密钥槽时）

注：

1. KeyId 指定要在 TempKey 计算中使用的数据区域槽。仅使用低 32 个字节。

表 5-90. 输出响应——GenDig 数据

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将置 1，表示在计算中使用了数据区域槽。
3. TempKey.KeyID 将设置为命令中指定的槽。
4. 如果允许 MAC 命令，则 TempKey.NoMacFlag 将设置为 0，否则将设置为 1。

表 5-91. TempKey 计算——GenDig 数据

大小	参数——MAC	参数——NoMAC
32 字节	DATA.slot[KeyID]	DATA.slot[KeyID]
4 字节	操作码，模式，KeyID = 0x15，0x02，0x0[槽] 0x00	OtherData[0:3]
1 字节	SN[8] = 0x01	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23	SN[0:1] = 0x01 0x23
25 字节	全零	全零
32 字节	TempKey.Value	TempKey.Value

5.3.3.4 GenDig——共用 Nonce

在共用 Nonce 模式下，该命令的输入为 32 字节数据。当必须在两个器件之间共用 nonce 值时，使用该模式。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中的值。

表 5-92. 输入参数——GenDig 共用 Nonce

操作码 （1 字节）	模式 （1 字节）	KeyID(1) （2 字节）	数据 （32 字节）	说明
0x15	0x03	0x00 0[槽]	输入数据	
		0x80 0[槽]	输入数据	

注：

1. KeyId 指定要在 TempKey 计算中使用的数据区域槽。仅使用低 32 个字节。

表 5-93. 输出响应——GenDig 数据

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将置 1，表示在计算中使用了数据区域槽。
3. TempKey.KeyID 将设置为命令中指定的槽。

表 5-94. TempKey 计算——GenDig 共用 Nonce

大小	参数——KeyID MSB 0x00	参数——KeyID MSB 0x80
32 字节	输入数据	TempKey.value
1 字节	操作码 = 0x15	操作码 = 0x15
1 字节	模式 = 0x03	模式 = 0x03
1 字节	KeyID 的 LSB = 0x0[槽]	KeyID 的 LSB = 0x0[槽]

.....（续）		
大小	参数——KeyID MSB 0x00	参数——KeyID MSB 0x80
1 字节	0x00	0x00
1 字节	SN[8] = 0x01	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23	SN[0:1] = 0x01 0x23
25 字节	全零	全零
32 字节	TempKey.Value	输入数据

5.3.3.5 GenDig——计数器

在 GenDig 命令的计数器模式下，计数器的二进制值包含在 TempKey 计算中。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中的值。

表 5-95. 输入参数——GenDig 计数器

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据（0 字节）	说明
0x15	0x04	0x00 00	—	包含 Counter[0]值
		0x00 01	—	包含 Counter[1]值

注：

1. KeyId 指定要在 TempKey 计算中使用的单调计数器值。

表 5-96. 输出响应——GenDig 计数器

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将设置为 0。

表 5-97. TempKey 计算——GenDig 计数器

32 字节	全零
1 字节	操作码 = 0x15
1 字节	模式 = 0x04
2 字节	KeyID[0:1] = 0x0[Counter#] 0x00
1 字节	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23
1 字节	零
4 字节	Counter[KEYID]——Counter 命令报告的二进制值
20 字节	全零
32 字节	TempKey.Value

5.3.3.6 GenDig——密钥配置

在 GenDig 命令的密钥配置模式下，GenDig TempKey 计算中包含由 KeyID 指定的密钥的槽配置和密钥配置。Nonce 命令必须在第一个 GenDig 命令之前运行，以将值装入 TempKey 中。后续 GenDig 命令将使用上一 GenDig 操作中的值。

表 5-98. 输入参数——GenDig 密钥配置

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID[1]（2 字节）	数据（0 或 4 字节）	说明
0x15	0x05	0x00 0[槽]	—	包含槽配置信息

注：

1. KeyId 指定将在 TempKey 计算中包含其配置信息的槽号。不包括实际的槽值。

表 5-99. 输出响应——GenDig 密钥配置

名称	大小	说明
Response	1 字节	0x00——成功时。 错误代码——命令失败时。

注： 标志位

1. 如果成功，TempKey.Valid 标志将置 1，否则将为 0。
2. TempKey.GenDigData 将设置为 0。

表 5-100. TempKey 计算——GenDig 密钥配置

32 字节	TempKey.value
1 字节	操作码 = 0x15
1 字节	模式 = 0x05
2 字节	KeyID[0:1] = 0x0[槽] 0x00
1 字节	SN[8] = 0x01
2 字节	SN[0:1] = 0x01 0x23
1 字节	0x00
2 字节	SlotConfig[KeyID]
2 字节	KeyConfig[KeyID]
1 字节	SlotLocked[KeyID]
20 字节	全零

5.3.4 KDF 命令

对于 ATECC608B-TFLXTLS，KDF 命令实现了多个密钥派生函数，包括 PRF（用于 TLS 1.2）、HKDF（用于 TLS 1.3）和 AES。 CryptoAuthLib 中支持该函数。 有关更多信息，请参见 6.2.3 CryptoAuthLib。

有关 KDF 命令的更多信息，请联系 Microchip 销售人员。

5.3.5 MAC 命令

报文验证代码（MAC）命令用于生成报文的 SHA256 摘要，摘要由器件中存储的密钥、质询和器件上的其他信息组成。此命令的输出为此报文的摘要。

使用此命令的正常命令流程如下所示：

1. 运行 Nonce 命令以加载输入质询，并视情况将其与生成的随机数组合。此操作的结果是在器件内部存储的一个 nonce。
2. 视情况运行一次或多次 GenDig 命令，将器件中的存储 EEPROM 单元与 nonce 组合。结果存储在器件内部。此功能允许将 2 个或多个密钥用作响应生成的一部分。
3. 运行此 MAC 命令，将步骤 1（以及步骤 2，需要时）的输出与 EEPROM 密钥组合，以生成一个输出响应（即，摘要）。

也可通过相同的 GenDig 机制将任何槽中的数据（并非必须保密）都累积到响应中。其效果是验证相应单元中存储的值。

5.3.5.1 非多样化 MAC

MAC 始终通过全部 88 个字节来计算，并且始终将创建一个 32 字节的 SHA256 摘要。非多样化 MAC 不包括器件的序列号，因此，如果输入参数相同，则所有器件的 MAC 都将相同。

表 5-101. 输入参数——非多样化 MAC

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据(2)（0-32 字节）	模式说明
0x08	0x00	0x00 0[槽]	32 字节	• 前 32 个字节从数据槽装入 • 后 32 个字节取自输入质询
	0x01 或 0x05(1)	0x00 0[槽]	0 字节	• 前 32 个字节从数据槽装入 • 后 32 个字节取自 TempKey
	0x02 或 0x06(1)	0x00 00	32 字节	• 前 32 个字节通过 TempKey 装入 • 后 32 个字节取自输入质询

注：

(1)模式[2]必须与 TempKey.SourceFlag 匹配。
(2)如果存在，则数据参数对应于输入质询。

表 5-102. 输出响应——非多样化 MAC

名称	大小	说明
Response	1 字节	命令失败时
	32 字节	SHA-256 摘要

表 5-103. 非多样化 MAC 计算

字节数	模式 0x00	模式 0x01 或 0x05	模式 0x02 或 0x06
32 32 1 1 2 11 1 4 2 2	数据槽 输入质询 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8] 0x01 零 SN[0:1] 0x01 0x23 零	数据槽 TempKey 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8] 0x01 零 SN[0:1] 0x01 0x23 零	TempKey 输入质询 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8] 0x01 零 SN[0:1] 0x01 0x23 零

5.3.5.2 多样化 MAC

多样化 MAC 包括器件的序列号。每个器件的序列号都是惟一的，因此始终将生成惟一的 SHA256 摘要。MAC 始终通过全部 88 个字节来计算，并且始终将创建一个 32 字节的 SHA256 摘要。

表 5-104. 输入参数——多样化 MAC

操作码（1 字节）	模式（1 字节）	KeyID（2 字节）	数据(2)（0-32 字节）	模式说明
0x08	0x40	0x00 0[槽]	32 字节	• 前 32 个字节从数据槽装入 • 后 32 个字节取自输入质询
	0x41 或 0x45(1)	0x00 0[槽]	0 字节	• 前 32 个字节从数据槽装入 • 后 32 个字节取自 TempKey
	0x42 或 0x46(1)	0x00 00	32 字节	• 前 32 个字节通过 TempKey 装入 • 后 32 个字节取自输入质询

注：

(1)模式[2]必须与 TempKey.SourceFlag 匹配。
(2)如果存在，则数据参数对应于输入质询。

表 5-105. 输出响应——多样化 MAC

名称	大小	说明
Response	1 字节	命令失败时
	32 字节	SHA-256 摘要

表 5-106. 多样化 MAC 计算

字节数	模式 0x40	模式 0x41 或 0x45	模式 0x42 或 0x46
32 32 1 1 2 11 1 4 2 2	数据槽 输入质询 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8]0x01 SN[4:7] SN[0:1] 0x01 0x23 SN[2:3]	数据槽 TempKey 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8] 0x01 SN[4:7] SN[0:1] 0x01 0x23 SN[2:3]	TempKey 输入质询 操作码（0x08） 模式 KeyID 零 SN[8] 0x01 SN[4:7] SN[0:1] 0x01 0x23 SN[2:3]

6. 应用信息

ATECC608B-TFLXTLS 是 Microchip Trust&GO CryptoAuthentication™产品系列的成员。TrustFLEX 产品使用方便，易于实现，甚至允许小批量生产的客户在其最终系统中实现安全性，同时可利用 Microchip 的专业知识和基础架构进行安全配置。

ATECC608B-TFLXTLS 器件旨在省去为 IoT 联网产品增加安全性时的猜测工作。该产品已经过预先配置，可以通过 TLS 连接轻松连接到 IoT 云端，并能够为其他多个安全用例提供支持，包括安全引导、一次性用品和配件认证以及用户数据和 I/P 保护。

除了实际的安全器件之外，Microchip 还开发了一系列工具，这些工具可与我们的硬件器件无缝集成，从而为开发整个安全解决方案提供一种简便途径。当开发人员使用 Microchip 的软件安全工具时，可以消除其自行设置基础架构的复杂性，并且能够快速地实现初始原型设计和生产。

6.1 用例

ATECC608B-TFLXTLS 专门面向物联网市场而定义。该器件已通过一组证书设置为直接支持 Google IoT Cloud™、Amazon Web Services（AWS®）和 Microsoft® Azure Cloud。通过使用上传到 Slot 8 的自定义证书，可以支持其他物联网网络。下面简要介绍了该器件解决的一些用例。这些用例既可以单独实现，也可以相互组合实现。为了对这些用例进行原型设计并加以实现，Microchip 提供了硬件和软件工具。

安全的 TLS 连接
ATECC608B-TFLXTLS 允许使用多种协议创建安全的 TLS 连接。该器件能够与 Google Cloud、AWS 和其他云提供商建立安全连接。通过不同模式的密钥派生函数（Key Derivation Function，KDF），可以生成适当的密钥来支持 TLS1.2、TLS1.3 和更早的安全连接 Internet 协议。

安全引导
保护单片机或微处理器的引导映像是许多供应商关注的问题。通过提供一种机制来验证正在运行的代码真实且未被修改，可以维护系统的整体完整性。ATECC608B-TFLXTLS 已配置为允许通过将系统的代码摘要存储在器件的数据槽中来实现安全引导。最初执行代码后，系统可以通过系统固件重新生成摘要，并将其与存储在 ATECC608B-TFLXTLS 中的摘要进行比较，验证固件未遭到篡改。

一次性用品/配件认证
OEM 经常需要确保系统配件和一次性附件的真实性。具备这种能力对于防止低成本的产品克隆至关重要，因为产品克隆会损害 OEM 的质量声誉、市场形象和整体利润率。ATECC608B-TFLXTLS 能够提供从器件到根证书颁发机构的信任链，从而对这些类型的产品进行身份验证。

I/P 和数据保护
保护知识产权（Intellectual Property，IP）对于维持公司的竞争优势至关重要。IP 保护描述了防止客户开发的固件或硬件遭受复制的方法。固件 IP 保护只要使用基于软件的方法即可实现，但固件内部的密钥信息仍然非常容易遭受攻击。

ATECC608B-TFLXTLS 器件提供了基于硬件的安全密钥存储，可确保带有固件的产品正常运行。该器件可以执行对称身份验证和非对称身份验证，其中密钥被安全地存储在安全元件中，从而削弱了黑客提取和修改密钥的能力。

通用数据存储
有时需要为给定系统存储少量的其他信息。可以使用 ATECC608B-TFLXTLS 来实现此目的，即利用数据可随时读写的数据槽。这样便无需添加额外的 EEPROM 存储器件来单单存储数据。

6.2 开发工具

ATECC608B-TFLXTLS 配有多种软硬件支持工具以及后端服务，便于快速开发应用程序。初始开发阶段可以借助易于使用的 Trust Platform Design Suite 工具系列。该系列工具提供了一种图形化的方式来实现您的用例，并且最终会生成您的应用程序所需的 C 代码。

如果预定义的 Trust Platform Design Suite 工具无法实现您的应用程序，则可以使用 CryptoAuthLib 或 Python®版本的 CryptoAuthLib 和 CryptoAuthTools 来开发应用程序。CryptoAuthLib 也是从 Trust Platform Design Suite 工具输出的代码主干。

可以通过硬件工具以及 ATECC608B-TFLXTLS 器件示例来对您的应用程序进行全面验证。由于已设置器件的访问策略，因此重点围绕系统级代码开发进行验证。

实现应用程序之后，可以通过 Microchip 直销网站订购 ATECC608B-TFLXTLS 器件。

6.2.1 Trust Platform Design Suite

为了简化实现过程，Microchip 开发了基于 Web 的 Trust Platform Design Suite 工具，这套工具可通过流程引导开发人员了解从概念到生产的整个过程。使用这套工具，您可以遵循 ATECC608B-TFLXTLS 的配置及指定访问策略的约束来开发和构建实现特定应用程序所需的事务图和代码。

有关这些工具的更多信息，请参见网页“安全 IC”部分下的“Microchip CryptoAuthentication 产品”。

6.2.2 硬件工具

使用 ATECC608B-TFLXTLS 进行开发时，有多种硬件工具可为用户提供帮助。关于此处未提及的其他工具的可用性信息，请访问 Microchip 网站。特定用例示例还会提及特定工具。

DM320118——CryptoAuthentication 可信平台
DM320118 是一款紧凑的开发系统，其中包含 ATSAMD21 单片机（ATECC608B-TNGTLS、ATECC608B-TFLXTLS 和 ATECC608B-TCSTM Trust 器件各 1 个）、USB 集线器、mikroBUS 连接器和板上调试器。该工具包旨在与 Trust Platform Design Suite 工具搭配使用，后者用于实现 ATECC608B-TFLXTLS 器件的各种用例。该工具包可与 MPLAB X 或 Atmel Studio Design 环境搭配使用，以开发其他应用程序。

DT100104——ATECC608B TRUST
DT100104 是一款 mikroBUS™扩展板，包含了 1 - ATECC608B-TNGTLS、3 - ATECC608B-TFLXTLS 和 4 - ATECC608B-TCSM 器件。这些板可以代替松散的器件样片使用。板上的每个器件均可通过板上 DIP 开关单独选择。该板可以直接连接到 DM320118 或任何支持 mikoBUS 主机接口的主板。

DM320109——CryptoAuthentication 入门工具包
DM320109 由 ATSAMD21-XPRO 开发板组成，该开发板预编程了可与 CryptoAuthentication 器件搭配使用的固件。该工具包随附 AT88CKSCKTSOIC-XPRO 插座板，但您需要获得该插座板的 UDFN 版本才能与当前仅以 UDFN 封装提供的器件样片搭配使用。ATECC608B-TFLXTLS 的特定样片需要单独获取。

AT88CKSCKTUDFN(SOIC)-XPRO
AT88CKSCKTUDFN-XPRO 和 AT88CKSCKTSOIC-XPRO 是通用的 CryptoAuthentication 插座工具包，可与任何具有 XPRO 接口的单片机开发板搭配使用。必须获取 ATECC608B-TFLXTLS 的特定样片才能与这些工具包搭配使用。

6.2.3 CryptoAuthLib

CryptoAuthLib 是一个软件库，支持 Microchip 的 CryptoAuthentication 器件系列。Microchip 建议在基于 ATECC608B-TFLXTLS 进行开发时使用该库。该库实现了执行本数据手册中详述的命令所需的 API 调用。

该库已能够轻松与许多 Microchip 单片机搭配使用，而且还可通过硬件抽象层（Hardware Abstraction Layer，HAL）轻松扩展至其他单片机，包括其他供应商制造的单片机。

有关这些工具的更多信息，请查看以下相关信息：

- CryptoAuthLib——网络链接
- CryptoAuthLib——GitHub

API 调用

数据手册中的每条命令都有一个或多个与其关联的 API 调用。通常，命令都有一个基本的 API 调用，在其中可以指定所有输入参数。命令及其相关小节中显示的参数可与该命令搭配使用。每个 API 调用也都有不同的模式。下表列出了命令和基本 API 调用的示例。有关最准确的 API 信息，请参见 GitHub 信息。

表 6-1. CryptoAuthLib API 调用命令示例

器件命令	API 调用	注释
Info	atcab_info_base()	
Write	atcab_write()	
Read	atcab_read_zone()	
SHA	atcab_sha_base()	
Sign	atcab_sign_base()	
Random	atcab_random()	
Verify	atcab_verify()	

6.3 TrustFLEX 与 Trust&GO

Trust&GO 产品旨在让小规模生产的客户能够使用现成安全解决方案。该产品的简单载入过程利用了 Microchip 的安全制造解决方案和基础架构。通过使用该流程，客户不必自行创建安全制造环境。

但是，有时客户可能希望对他们的安全环境有更多控制权，同时仍希望享有 Trust&GO 产品的易用性。因此，我们为这类客户量身打造了 TrustFLEX 产品。TrustFLEX 产品不但能够实现 Trust&GO 产品的用例，而且为某些安全密钥和证书提供了额外的灵活性。

- 与 Trust&GO 产品的锁定配置相同。
- 与 Trust&GO 的数据槽定义相同。
- 能够将客户的公钥配置到器件中以实现安全引导。
- 能够进行对称密钥身份验证。客户可以安全地提供其所需的对称密钥，作为安全配置过程的一部分。
- 能够自定义证书元素并将证书链链接到客户所需的 PKI。
- 提供用于 I^2C 或 SWI 接口器件的选项。

有关 TrustFLEX 产品和其他配置选项的更多信息，请参见 Microchip CryptoAuthentication 网页。

7. I²C 接口

I²C 接口使用 SDA 和 SCL 引脚来指示 ATECC608B-TFLXTLS 的各种 I/O 状态。该接口设计为在协议级别与工作在 1 MHz 下的 Microchip AT24C16 串行 EEPROM 兼容。

注： 两个器件之间有许多差别（例如，ATECC608B-TFLXTLS 和 AT24C16 有不同的默认 I²C 地址）；因此，设计人员应仔细阅读相应的数据手册。

由于 ATECC608B-TFLXTLS 的输出引脚上仅包含一个开漏驱动器，因此 SDA 引脚通常使用外部上拉电阻拉高。总线主器件可能是开漏型或图腾柱型。在后一种情况下，当 ATECC608B-TFLXTLS 在总线上驱动结果时应当为三态。SCL 引脚为输入，必须始终由外部器件或电阻驱动为高电平和低电平。

7.1 I/O 条件

器件响应以下 I/O 条件：

7.1.1 器件休眠

当器件休眠时，它将忽略除唤醒状态以外的所有状态。

- 唤醒——在 SDA 保持低电平的时间 ≥ t_{WLO} 后，该器件将在 SDA 的上升沿退出低功耗模式。在 t_{WHI} 的延时后，它将准备好接收 I²C 命令。
- 当器件空闲或休眠时，在 t_{WLO} 期间，器件将忽略 SCL 引脚上的任何电平或转换。在 t_{WHI} 期间的某个时刻，将使能 SCL 引脚，并且将遵循 7.1.2 器件唤醒中列出的条件。

唤醒条件要求系统处理器手动将 SDA 引脚驱动为低电平并持续 t_{WLO}，或者以足够低的时钟速率传输数据字节 0x00 以使 SDA 的低电平时间持续最短周期 t_{WLO}。当器件唤醒时，正常的处理器 I²C 硬件和/或软件可用于器件通信。这包括使器件回到低功耗（即休眠）模式所需的 I/O 序列。

提示： 有一种方法可以轻松生成唤醒脉冲，即以 100 kHz 的频率发送字节 0x00。后续命令可以更高的频率运行。

在 I²C 模式下，器件将忽略器件已经唤醒时发送的唤醒序列。

总线上有多个器件

当总线上有多个器件且 I²C 接口的运行速度低于 300 kHz 左右时 [1]，传输某些数据模式将导致总线上的 ATECC608B-TFLXTLS 器件唤醒。频率越低，器件唤醒的可能性就越高。由于沿总线传输的后续器件地址只匹配所需的器件，因此 ATECC608B-TFLXTLS 不会响应但会唤醒。建议在以较低频率与另一器件通信后，发出休眠或空闲序列以使 ATECC608B-TFLXTLS 回到已知状态。

重要： t_{WLO} 是指系统为确保 ATECC608B-TFLXTLS 在所有制造和环境条件下唤醒而必须提供的最短时间。实际上，器件可由更小的脉冲宽度唤醒。

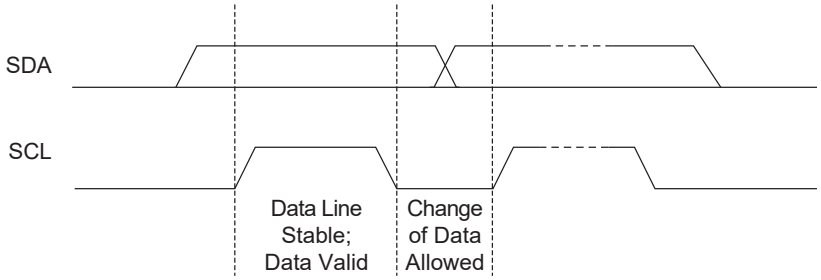
7.1.2 器件唤醒

当器件唤醒时，它将遵循下列条件：

- **数据 0**：如果 SDA 为低电平且保持稳定，而 SCL 由低电平变为高电平再变为低电平，则将在总线上传输一个 0 位。当 SCL 为低电平时，SDA 可发生变化。
- **数据 1**：如果 SDA 为高电平且保持稳定，而 SCL 由低电平变为高电平再变为低电平，则将在总线上传输一个 1 位。当 SCL 为低电平时，SDA 可发生变化。

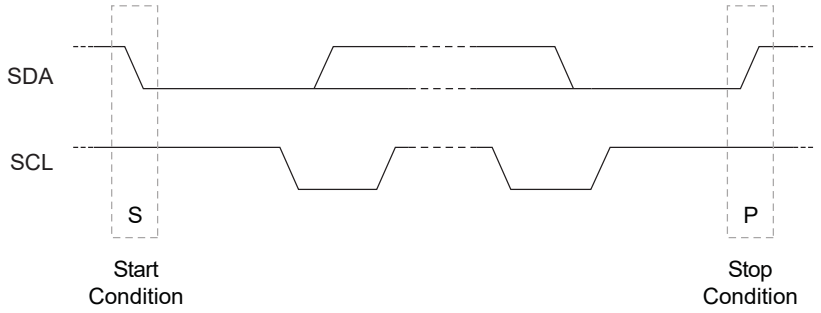
[1] 给定器件的实际频率将随过程和环境因素而变化。在所有条件下，该值都被认为是安全值。

图 7-1. I²C 接口上的数据位传输



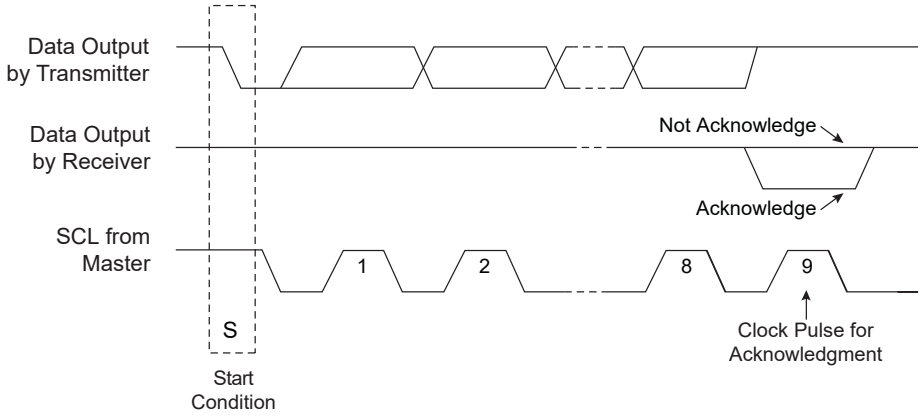
- **启动条件**：必须将 SDA 从高电平转换为低电平且 SCL 为高电平作为优先于所有命令的启动条件。
- **停止条件**：SDA 线从低电平转换为高电平且 SCL 为高电平为停止条件。器件收到此条件后，当前的 I/O 事务结束。在输入端，如果器件有足够的字节来执行命令，则器件转换到繁忙状态并开始执行。停止条件应始终在发送到器件的任何数据包结束时发送。

图 7-2. I²C 接口上的启动和停止条件



- **确认（ACK）**：在每个地址或数据字节传输后的第 9 个时钟周期，接收器将拉低 SDA 引脚以确认正确接收字节。
- **不确认（NACK）**：在每个地址或数据字节传输后的第 9 个时钟周期，接收器也可使 SDA 引脚保持高电平，以指示接收字节时出现问题，或者此字节完成组传输。

图 7-3. I²C 接口上的 NACK 和 ACK 条件



如果配置区域中的 I2C_Address 字节针对总线上的每个器件以不同方式编程，则多个 ATECC608B-TFLXTLS 器件可轻松共用相同的 I²C 接口信号。由于器件地址的全部 7 位均可编程，ATECC608B-TFLXTLS 还可将 I²C 接口与任何 I²C 器件（包括任何串行 EEPROM）共用。

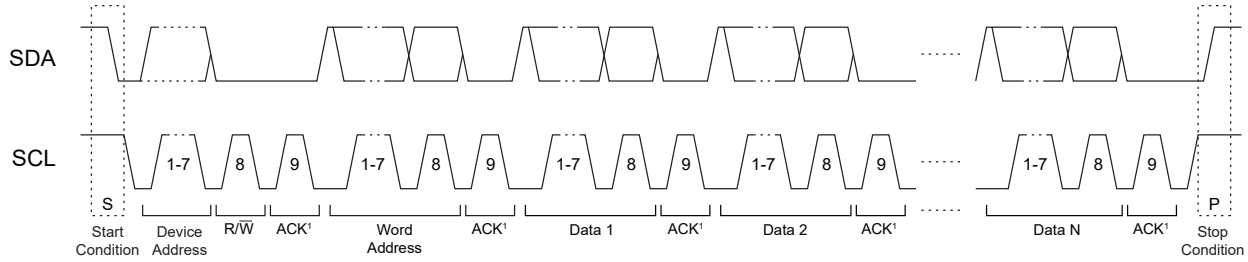
7.2 到 ATECC608B-TFLXTLS 的 I²C 传输

下图总结了从系统到 ATECC608B-TFLXTLS 的数据传输。传输顺序如下：

- 启动条件

- 器件地址字节
- 字地址字节
- 可选数据字节（1 至 N）
- 停止条件

图 7-4. 到 ATECC608B-TFLXTLS 的正常 I²C 传输



ATECC608B-TFLXTLS ACK 周期将 SDA 驱动为低电平。

下表标记了 I/O 事务的字节。标有“I²C 名称”的列提供了 AT24C16 数据手册中所描述字节的名称。

表 7-1. 到 ATECC608B-TFLXTLS 的 I²C 传输

名称	I²C 名称	说明
器件地址	器件地址	此字节选择 I²C 接口上的特定器件。如果此字节的 bit 1 至 bit 7 与配置区域中的 I2C_Address 字节的 bit 1 至 bit 7 匹配，则选择 ATECC608B-TFLXTLS。此字节的 bit 0 是标准 I²C R/W 位，并且应为 0 以指示写操作（器件地址后的字节从主器件传输到从器件）。
字地址	字地址	要正常工作，此字节的值应为 0x03。有关更多信息，请参见 7.2.1 字地址值。
命令	数据 1,N	由计数、命令数据包和 2 字节 CRC 组成的命令组。CRC 通过大小和数据包字节计算。请参见 4.1 I/O 事务。

由于器件将命令输入缓冲区视为 FIFO，因此输入组可通过一个或多个 I²C 命令组发送到器件。发送到器件的第一个字节是计数，所以在器件接收到相应数量的字节之后，它将忽略随后接收的任何字节，直到执行完成。

系统必须在最后一个命令字节后发送一个停止条件，以确保 ATECC608B-TFLXTLS 将启动命令的计算。未能发送停止条件可能最终导致同步丢失；有关恢复程序，请参见 7.2.2 I2C 同步。

7.2.1 字地址值

在 I²C 写数据包期间，ATECC608B-TFLXTLS 会将发送的第二个字节解释为字地址，表示数据包功能，如下表所述：

表 7-2. 字地址值

名称	值	说明
复位	0x00	复位地址计数器。下一个 I²C 读取或写入事务将从 I/O 缓冲区起始处开始。
休眠（低功耗）	0x01	ATECC608B-TFLXTLS 进入低功耗休眠模式，忽略所有后续的 I/O 转换，直到下一个唤醒标志。器件的整个易失性状态将复位。
空闲	0x02	ATECC608B-TFLXTLS 进入空闲模式，忽略所有后续的 I/O 转换，直到下一个唤醒标志。TempKey、MessageDigestBuffer 和备用密钥寄存器的内容将保留。
命令	0x03	将后续字节写入输入命令缓冲区中先前写入内容之后的连续地址。这是正常操作。
保留	0x04 – 0xFF	这些地址不应发送到器件。

7.2.2 I²C 同步

系统可能会由于系统复位、I/O 噪声或其他条件而失去与 ATECC608B-TFLXTLS I/O 端口的同步。在这种情况下，ATECC608B-TFLXTLS 可能不会按预期响应，可能处于休眠状态，也可能在系统期望发送数据的时间间隔期间传输数据。要重新同步，可按照以下步骤操作：

1. 为了确保 I/O 通道复位，系统必须发送标准 I²C 软件复位序列，具体如下：
   - 一个启动位条件
   - 九个 SCL 周期，通过系统上拉电阻使 SDA 保持高电平
   - 另一个启动位条件
   - 一个停止位条件

   然后应当可以发送一个读序列，如果同步正确完成，ATECC608B-TFLXTLS 将确认器件地址。在数据周期内，器件可能返回数据，也可能使总线悬空（系统会将其解释为数据值 0xFF）。

   如果器件确认了器件地址，系统应复位内部地址计数器，强制 ATECC608B-TFLXTLS 忽略可能已发送的任何部分输入命令。这可以通过将一个写序列发送到字地址 0x00（复位），然后再发送一个停止条件来实现。
2. 如果器件不通过 ACK 来响应器件地址，则它可能处于休眠状态。在这种情况下，系统必须发送一个完整的 Wake 令牌并在上升沿后等待 t_{WHI}。系统随后可以发送另一个读序列，如果同步完成，器件将确认器件地址。
3. 如果器件仍不通过 ACK 来响应器件地址，则它可能忙于执行命令。系统必须等待最长 t_{EXEC}（最大值），然后发送读取序列，这将由器件确认。

7.3 休眠序列

系统完成使用 ATECC608B-TFLXTLS 后，系统应发出休眠序列，使器件进入低功耗模式。此序列包含正确的器件地址，接着是值 0x01（作为字地址），然后是停止条件。这种到低功耗状态的转换会导致器件的内部命令引擎和输入/输出缓冲区完全复位。当器件唤醒且不忙时，此序列可随时发送到器件。

7.4 空闲序列

如果所需命令的总序列超过 $t_{WATCHDOG}$，则器件将自动进入休眠状态，并丢失存储在易失性寄存器中的任何信息。在看门狗时间间隔完成之前将器件置于空闲模式可防止此操作。当器件收到 Wake 令牌时，它将重新启动看门狗定时器，并继续执行。

此空闲序列包含正确的器件地址，接着是值 0x02（作为字地址），然后是停止条件。当器件唤醒且不忙时，此序列可随时发送到器件。

7.5 自 ATECC608B-TFLXTLS 的 I²C 传输

当 ATECC608B-TFLXTLS 唤醒且不繁忙时，总线主器件可以使用 I²C 读取从器件中获取当前输出缓冲区内容。如果有效的命令结果可用，则返回的组大小由已经运行的特定命令决定。否则，组大小（以及返回的第一个字节）将始终为 4：计数、状态/错误和 2 字节 CRC。总线时序如图 9-2 所示。

表 7-3. 自 ATECC608B-TFLXTLS 的 I²C 传输

名称	I²C 名称	方向	说明
器件地址	器件地址	至从器件	此字节选择 I²C 接口上的特定器件，如果此字节的 bit 1 至 bit 7 与配置区域中的 I2C_Address 字节的 bit 1 至 bit 7 匹配，则将选择 ATECC608B-TFLXTLS。此字节的 bit 0 是标准 I²C R/W 引脚，并且应为 1 以指示器件地址后的字节从从器件传输到主器件（读操作）。
数据	数据 1,N	至主器件	由计数、状态/错误字节或输出数据包（后跟 2 字节的 CRC）组成的输出组。请参见 4.1 I/O 事务。

主器件可以重复读取状态、错误或命令输出。每次 Read 命令沿 I²C 接口发送到 ATECC608B-TFLXTLS 时，器件均会发送输出缓冲区中的下一个连续字节。有关器件如何处理地址计数器的详细信息，请参见后续章节。

如果 ATECC608B-TFLXTLS 处于繁忙、空闲或休眠状态，它将不会确认读序列上的器件地址。如果部分命令已经发送到器件，并且读取序列[Start + DeviceAddress(R/W == R)]发送到器件，则 ATECC608B-TFLXTLS 将不会确认器件地址以指示没有数据可供读取。

8. 单线接口

在该模式下，与 ATECC608B-TFLXTLS 之间的通信通过 SDA（一条异步定时线路）进行，SCL 引脚不用作通信通道的一部分，而是可在使能后用作 GPIO 引脚。

整个通信结构采用分层的格式：

令牌 I/O 令牌实现总线上传输的单个数据位或唤醒事件。

标志 标志由 8 个令牌（位）组成，这些令牌可以传送下一组位（如果存在）的方向和含义。

组 遵循命令和传输标志的数据组。它们包含一个字节计数和一个校验和，以确保正确的数据传输。

数据包 形成组核心的字节数据包（减去字节数和 CRC）。它们是 `CryptoAuthentication` 命令的输入或输出参数或来自 ATECC608B-TFLXTLS 的状态信息。

有关如何使用任何微处理器轻松生成将这些元素（包括 C 源代码库）发送到器件所需的信号的详细信息，请参见 Microchip 网站上的适当应用笔记。有关在单线接口模式下如何连接器件的更多信息，另请参见 8.5 单线接口的接线配置。

8.1 I/O 令牌

有许多 I/O 令牌可通过单线接口传输：

- **输入**（至 ATECC608B-TFLXTLS）：
  - Wake——将器件从休眠或空闲模式唤醒，或者复位 I/O 接口。
  - Zero——从系统向器件发送一个值为 0 的位。
  - One——从系统向器件发送一个值为 1 的位。
- **输出**（自 ATECC608B-TFLXTLS）：
  - ZeroOut——从器件向系统发送一个值为 0 的位。
  - OneOut——从器件向系统发送一个值为 1 的位。

任一方向上的波形均相同，不过基于以下预期，时序将有一些不同：主机具有非常精确且一致的时钟，但由于正常制造和环境波动的影响，ATECC608B-TFLXTLS 的内部时钟发生器在不同器件间存在不同。

位时序的设计允许标准 UART 以 230.4 kBaud 的速度高效发送和接收令牌。UART 发送或接收的每个字节对应于器件接收或发送的单个位。

Wake 令牌是特殊的，因为它需要 SDA 引脚上的超长低电平脉冲，此脉冲不能与数据令牌（即 Zero、One、ZeroOut 或 OneOut）期间出现的较短低电平脉冲混淆。处于空闲或休眠模式的器件将忽略所有数据令牌，直到收到合法的 Wake 令牌为止。如果处理器与 ATECC608B-TFLXTLS 不同步，它可以向器件发送一个额外的 Wake 令牌，这将复位器件上的 I/O 通道硬件。

注： 这可能会导致存储在命令输出缓冲区中的数据丢失。

8.2 I/O 标志

系统始终是总线主器件，因此在任何 I/O 事务之前，系统必须向器件发送 1 个 8 位标志来指示随后将执行的 I/O 操作。

表 8-1. IO 标志

值	名称	含义
0x77	命令	在此标志之后，系统开始向器件发送命令组。组的第 1 位可紧接标志的最后 1 位。
0x88	发送	此命令告知器件等待一段总线周转时间，然后开始将其响应发送到先前传输的命令组。
0xBB	空闲	接收到空闲标志后，器件进入空闲模式并一直保持此模式，直到收到下一个 Wake 令牌。

.....（续）		
值	名称	含义
0xCC	休眠	接收到休眠标志后，器件进入低功耗休眠模式，直到收到下一个 Wake 令牌。
注： 所有其他值均保留，不应使用。		

- **传输标志**
  传输标志用于总线周转，以便 ATECC608B-TFLXTLS 可以将数据发送回系统。器件返回系统的字节取决于器件的当前状态，可能包括状态、错误代码或命令结果。

  当器件忙于执行命令时，它会忽略 SDA 引脚和系统发送的所有标志。有关每种命令类型的执行延时，请参见“命令汇总”。向器件发送命令后，系统必须遵循这些延时。
- **空闲标志**
  空闲标志用于将 ATECC608B-TFLXTLS 转换到空闲模式，这会导致输入/输出缓冲区刷新。它不会使 TempKey、报文摘要缓冲区和备用密钥寄存器的内容失效。此标志可随时发送到器件，器件将接受一个标志。当器件处于空闲模式时，看门狗定时器将禁止。
- **休眠标志**
  休眠标志将 ATECC608B-TFLXTLS 转换到低功耗休眠模式，导致器件完全复位，包括使 SRAM 和所有易失性寄存器的内容失效。此标志可随时发送到器件，器件将接受一个标志。

8.3 同步

由于通信协议是半双工的，系统和 ATECC608B-TFLXTLS 彼此间可能会失去同步。为了加快恢复速度，器件会在某些情况下实施超时，强制其进入休眠状态。

8.3.1 I/O 超时

在接收到任何数据令牌的先导转换后，ATECC608B-TFLXTLS 将期望器件在 $t_{TIMEOUT}$ 间隔内正确接收到令牌的完成信号和下一个令牌（如果这不是组的最后一个令牌）的开始信号。未能发送足够的位，或传输非法令牌（例如超过 t_{ZLO} 的低电平脉冲）将导致器件在 $t_{TIMEOUT}$ 间隔后进入休眠模式。

在传输命令组期间，同样的超时适用。传输合法命令标志后，I/O 超时电路将使能，直到收到最后一个预期的数据位。

注： 超时计数器在每个合法令牌之后复位；因此，传输命令的总时间可能会超过 $t_{TIMEOUT}$ 间隔，而两个位的时间间隔可能不会。

当器件忙于执行命令时，I/O 超时电路将禁止。

8.3.2 同步步骤

如果系统发送传输标志时器件不忙，则器件应在 $t_{TURNAROUND}$ 内响应。如果还未超过 t_{EXEC} 时间，器件可能很忙，系统应轮询或等待最大 t_{EXEC} 时间结束。如果器件在 $t_{TURNAROUND}$ 内仍未响应第二个传输标志，则它可能失去同步。此时，系统可以采取以下步骤来重新建立通信：

1. 等待 $t_{TIMEOUT}$。
2. 发送传输标志。
3. 如果器件在 $t_{TURNAROUND}$ 内响应，则系统可继续执行更多命令。
4. 发送 Wake 令牌。
5. 等待 t_{WHI}。
6. 发送传输标志。
7. 器件应在 $t_{TURNAROUND}$ 内以 0x11 返回状态响应，在此时间后，系统可继续执行更多命令。

8.4 GPIO

对于 SWI 模式的 ATECC608B-TFLXTLS 器件，SCL 引脚配置为通用输出。器件最初上电时，输出信号将默认为低电平。在 GPIO 输出模式下，可以使用 INFO 命令更改输出状态。

GPIO 可以用作系统中其他器件的使能或模式信号，也可以用于驱动 LED。

当器件为 I^2C 模式器件时，GPIO 信号不可用。

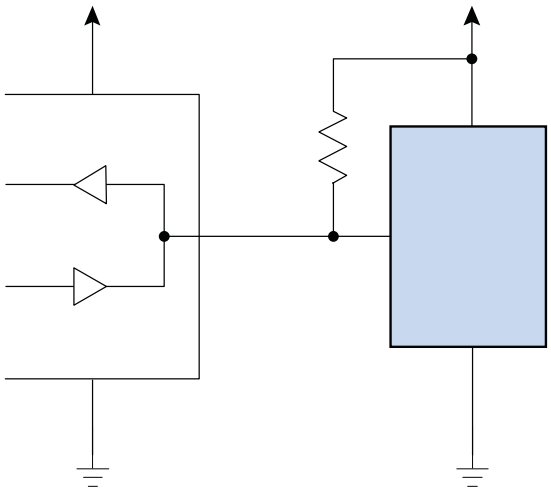
8.5 单线接口的接线配置

使用单线接口可以通过单个引脚（SDA）将 ATECC608B-TFLXTLS 连接到主机，以双向传输数据。此接口不使用配置为 GPIO 输出的 SCL 引脚。

为了防止正向偏置内部二极管以及在系统的电源层之间消耗电流，SDA 引脚上的上拉电阻应连接到与 V_{CC} 引脚或低电压轨相连的同一电源。

由于 ATECC608B-TFLXTLS 配置为固定 I/O 电平，SDA 信号的信号电平可能不同于 V_{CC} 电平。如果 ATECC608B-TFLXTLS 器件在物理上远离总线主器件，并且总线主器件的电源电压与 ATECC608B-TFLXTLS 的电源电压不同，则可能出现这种情况。

图 8-1. 单线接口的 3 线配置



9. 电气特性

9.1 绝对最大额定值

工作温度	-40°C 至+85°C
存储温度	-65°C 至+150°C
最大工作电压	6.0V
直流输出电流	5.0 mA
任何引脚上的电压	-0.5V 至（V_{CC} + 0.5V）
ESD 额定值：	
人体模型（Human Body Model，HBM）ESD	>4 kV
充电设备模型（Charge Device Model，CDM）ESD	>1 kV

注： 如果器件的工作条件超过上述“绝对最大额定值”，可能对器件造成永久性损坏。上述值仅代表本规范规定的极限工作条件，不代表器件在上述极限值或超出极限值的情况下仍可正常工作。器件长时间工作在绝对最大额定值条件下，其可靠性可能受到影响。

9.2 可靠性

ATECC608B-TFLXTLS 采用 Microchip 公司具有极高可靠性的 CMOS EEPROM 制造技术制作。

表 9-1. EEPROM 可靠性

参数	最小值	典型值	最大值	单位
+85°C 下的耐写入次数（每个字节）	400,000	—	—	写周期
数据保持时间（+55°C 时）	10	—	—	年
数据保持时间（+35°C 时）	30	50	—	年
耐读取次数	无限			读周期

9.3 交流参数：所有 I/O 接口

图 9-1. 交流时序图：所有接口

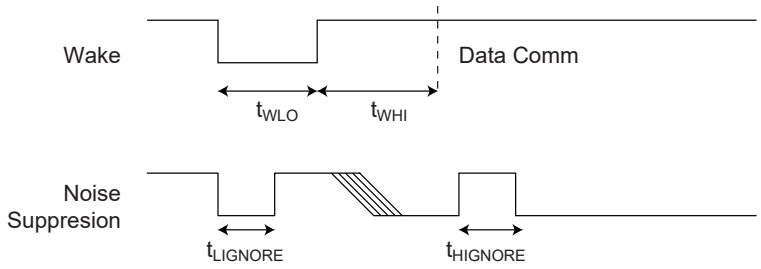


表 9-2. 交流参数：所有 I/O 接口

参数	符号	方向	最小值	典型值	最大值	单位	条件
上电延时（2）	t_{PU}	至加密器件	100	—	—	µs	t_{WLO} 启动前，V_{CC} > V_{CC} 最小值之间的最短时间。
唤醒低电平持续时间	t_{WLO}	至加密器件	60	—	—	µs	
唤醒至数据通信的高延时	t_{WHI}	至加密器件	1500	—	—	µs	除非实施轮询，否则 SDA 应在整个持续时间内保持稳定的高值。上电时不使能 SelfTest。
使能 SelfTest 时唤醒高延迟	t_{WHIST}	至加密器件	20	—	—	ms	除非实施轮询，否则 SDA 应在整个持续时间内保持稳定的高值。
处于工作模式时上桥臂毛刺滤波器	$t_{HIGNORE\_A}$	至加密器件	45（1）	—	—	ns	无论处于工作模式时的状态如何，器件都将忽略小于此宽度值的脉冲。
处于工作模式时下桥臂毛刺滤波器	$t_{LIGNORE\_A}$	至加密器件	45（1）	—	—	ns	无论处于工作模式时的状态如何，器件都将忽略小于此宽度值的脉冲。
处于休眠模式时下桥臂毛刺滤波器	$t_{LIGNORE\_S}$	至加密器件	15（1）	—	—	µs	处于休眠模式时，器件将忽略小于此宽度值的脉冲。
看门狗超时	$t_{WATCHDOG}$	至加密器件	0.7	1.3	1.7	s	Config.ChipMode [2]为 0 时，从唤醒到器件被迫进入休眠模式的时间。

注：

1. 这些参数为特性值，但未经生产测试。
2. 如果在配置区域中使能了上电自检，则上电延时将显著延长。

9.3.1 交流参数：I²C 接口

图 9-2. I²C 同步数据时序

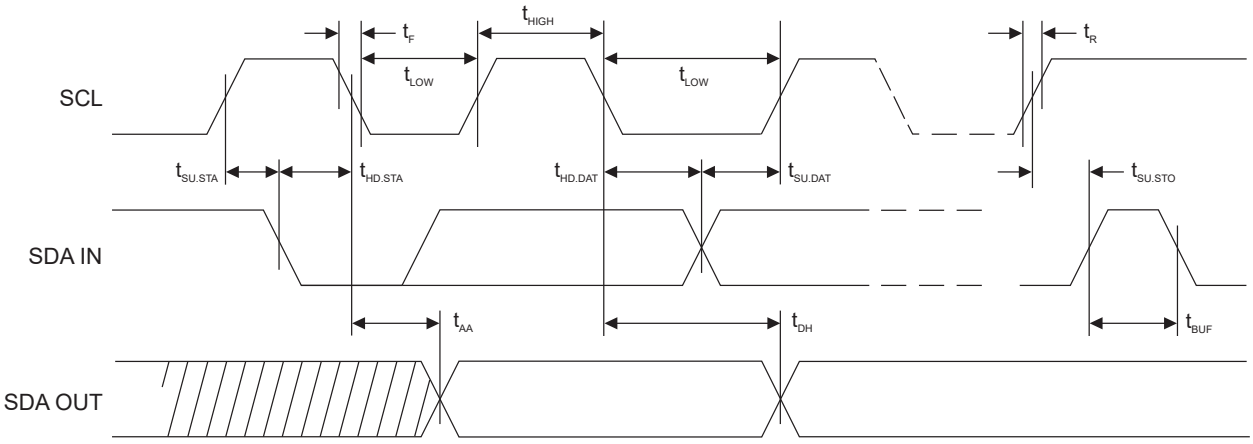


表 9-3. I²C 接口的交流特性（2）

除非另外说明，否则适用于以下建议工作范围：T_A = -40°C 至+85°C，V_{CC} = +2.0V 至+5.5V，C_L = 1 TTL 栅极和 100 pF。

参数	符号	最小值	最大值	单位
SCL 时钟频率	f_{SCL}	0	1	MHz
SCL 高电平时间	t_{HIGH}	400	—	ns

.....（续）

参数	符号	最小值	最大值	单位
SCL 低电平时间	t_{LOW}	400	—	ns
启动建立时间	$t_{SU.STA}$	250	—	ns
启动保持时间	$t_{HD.STA}$	250	—	ns
停止建立时间	$t_{SU.STO}$	250	—	ns
数据输入建立时间	$t_{SU.DAT}$	100	—	ns
数据输入保持时间	$t_{HD.DAT}$	0	—	ns
输入上升时间 [1]	t_R	—	300	ns
输入下降时间 [1]	t_F	—	100	ns
时钟低电平至数据输出有效	t_{AA}	50	550	ns
数据输出保持时间	t_{DH}	50	—	ns
SMBus 超时延时	$t_{TIMEOUT}$	25	75	ms
在开始新的传输前，总线必须保持空闲的时间 [1]	t_{BUF}	500	—	ns

注：

1. 数值基于特性，未经测试。
2. 交流测量条件：
   - R_L（连接 SDA 和 V_{CC}）：1.2 kΩ（V_{CC} = +2.0V 至+5.0V）
   - 输入脉冲电压：$0.3V_{CC}$ 至 $0.7V_{CC}$
   - 输入上升时间和下降时间：≤ 50 ns
   - 输入和输出时序参考电压：$0.5V_{CC}$

9.3.2 交流参数：单线接口

图 9-3. 交流时序图：单线接口

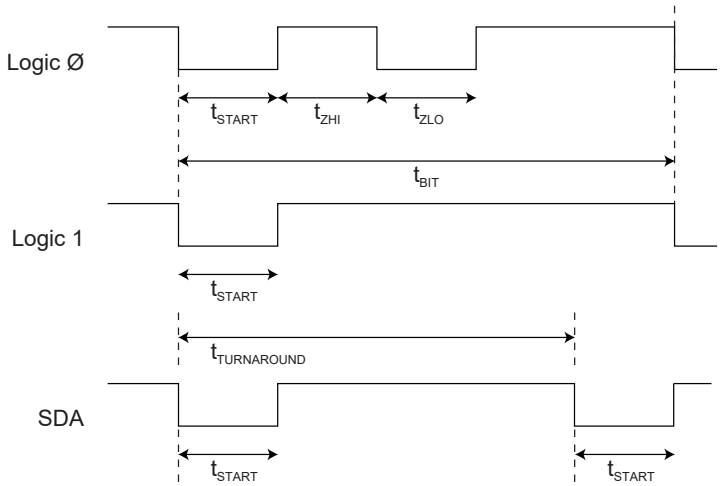


表 9-4. 交流参数：单线接口

除非另外说明，否则适用于以下条件：T_A = -40°C 至+85°C，V_{CC} = +2.0V 至+5.5V，C_L = 100 pF。

参数	符号	方向	最小值	典型值	最大值	单位	条件
启动脉冲持续时间	t_{START}	至加密器件	4.10	4.34	4.56	µs	—
		自加密器件	4.60	6	8.60	µs	—
零传输高脉冲	t_{ZHI}	至加密器件	4.10	4.34	4.56	µs	—
		自加密器件	4.60	6	8.60	µs	—
零传输低脉冲	t_{ZLO}	至加密器件	4.10	4.34	4.56	µs	—
		自加密器件	4.60	6	8.60	µs	—
位时间（1）	t_{BIT}	至加密器件	37	39	—	µs	如果位时间超过 $t_{TIMEOUT}$，ATECC608B-TFLXTLS 可能会进入休眠模式。
		自加密器件	41	54	78	µs	—
回转延迟	$t_{TURNAROUND}$	自加密器件	64	96	131	µs	ATECC608B-TFLXTLS 将在发送标志最后一位的启动脉冲初始下降沿之后经过此时间间隔后，启动第一个低电平跳变。
		至加密器件	93	—	—	µs	ATECC608B-TFLXTLS 发送某个组的最后一位之后，系统必须等待此间隔结束后，才能发送标志的第一位。该间隔从 ATECC608B-TFLXTLS 发送的最后一位的启动脉冲下降沿开始测量。
IO 超时	$t_{TIMEOUT}$	至加密器件	45	65	85	ms	如果总线处于非工作模式的时间超过此持续时间，则 ATECC608B-TFLXTLS 可能会转换为休眠模式。

注：

1. t_{START}、t_{ZLO}、t_{ZHI} 和 t_{BIT} 可与发送和接收均以 230.4 kBaud 速度运行的标准 UART 兼容。UART 必须设置为 7 个数据位（无奇偶校验）和一个停止位。

9.4 直流参数：所有 I/O 接口

表 9-5. 所有 I/O 接口上的直流参数

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
环境工作温度	T_A	-40	—	+85	°C	标准工业级温度范围
电源电压	V_{CC}	2.0	—	5.5	V	—
工作电源电流	I_{CC}	—	2	3	mA	在 I/O 传输或执行非 ECC 命令期间等待 I/O。与时钟分频比值无关。
		—	—	14	mA	在执行 ECC 命令期间。时钟分频比 = 0x0
空闲电源电流	I_{IDLE}	—	800	—	µA	当器件处于空闲模式时，V_{SDA} 和 V_{SCL} < 0.4V 或> V_{CC}-0.4
休眠电流	I_{SLEEP}	—	30	150	nA	当器件处于休眠模式时，$V_{CC} \le 3.6V$，V_{SDA} 和 V_{SCL} < 0.4V 或 > V_{CC} – 0.4，$T_A \le +55°C$
		—	—	2	µA	当器件处于休眠模式时。 超出全 V_{CC} 和温度范围。
输出低电压	V_{OL}	—	—	0.4	V	当器件处于工作模式时，V_{CC} = 2.5 至 5.5V

.....（续）

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
输出低电流	I_{OL}	—	—	4	mA	当器件处于工作模式时，V_{CC} = 2.5 至 5.5V，V_{OL} = 0.4V
热阻	Θ_{JA}	—	166	—	°C/W	SOIC（SSH）
		—	173	—	°C/W	UDFN（MAH）

9.4.1 V_{IH} 和 V_{IL} 规格

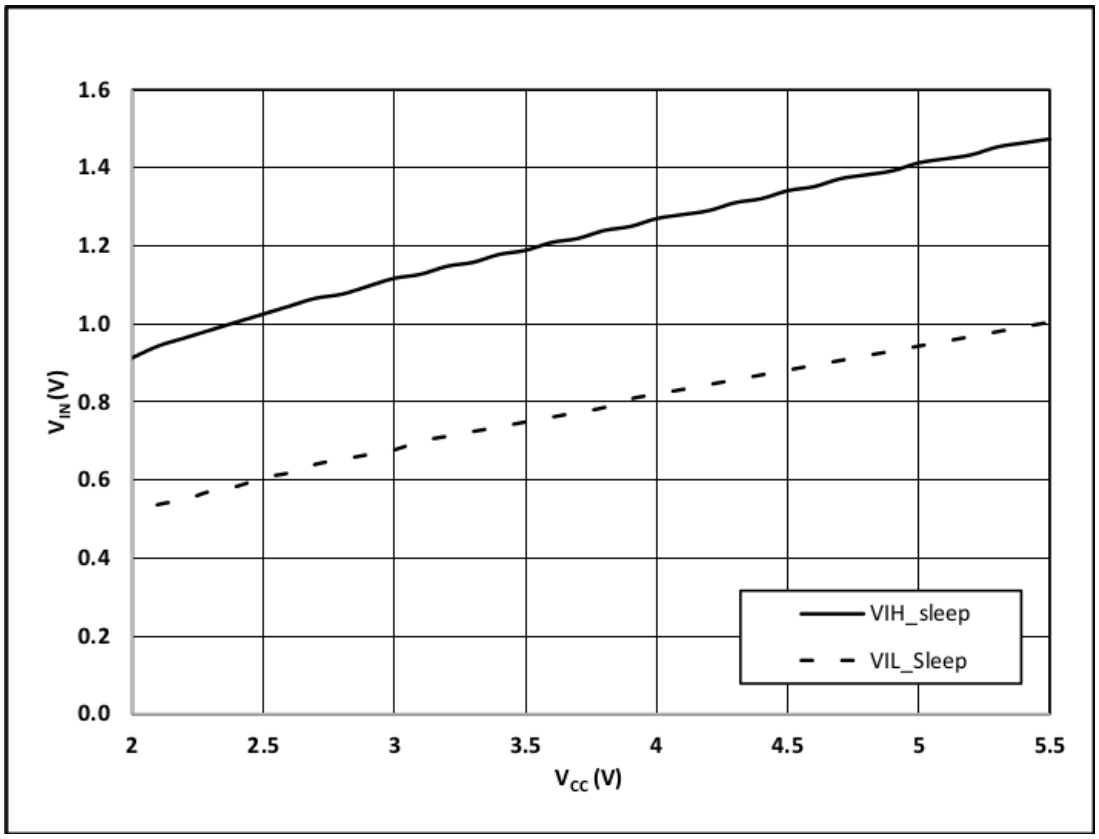
器件的输入电平因器件模式和电压而异。在休眠或空闲模式下，输入电压阈值取决于 V_{CC} 电平，如图 9-4 所示。在休眠或空闲模式下，TTLenable 位不起作用。

ATECC608B-TFLXTLS 的有效输入电平为固定值，不会随 V_{CC} 电平变化。发送至器件的输入电平必须符合下表。

表 9-6. 所有 I/O 接口上的 V_{IL} 和 V_{IH}（TTLenable = 0）

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
输入低电压	V_{IL}	-0.5	—	0.5	V	当器件处于工作模式且配置存储器中的 TTLenable 位为 0 时；否则参见上文。
输入高电压	V_{IH}	1.5	—	V_{CC} + 0.5	V	当器件处于工作模式且配置存储器中的 TTLenable 位为 0 时；否则参见上文。

图 9-4. 在休眠模式和空闲模式下的 V_{IH} 和 V_{IL}



10. 兼容性

ATECC608A-TFLXTLS 兼容性

ATECC608B-TFLXTLS 与 ATECC608A-TFLXTLS 器件的外形、装配和功能均兼容。器件配置区域和槽配置值相同，工作条件相同，仍然支持所有命令和命令模式，并且 8 焊盘 UDFN 与 8 引脚 SOIC 封装和引脚分配也都相同。

如果使用 Microchip Trust Platform Design Suite 实现了设计，则可从 ATECC608A-TFLXTLS 无缝移植到 ATECC608B-TFLXTLS。

11. 封装图

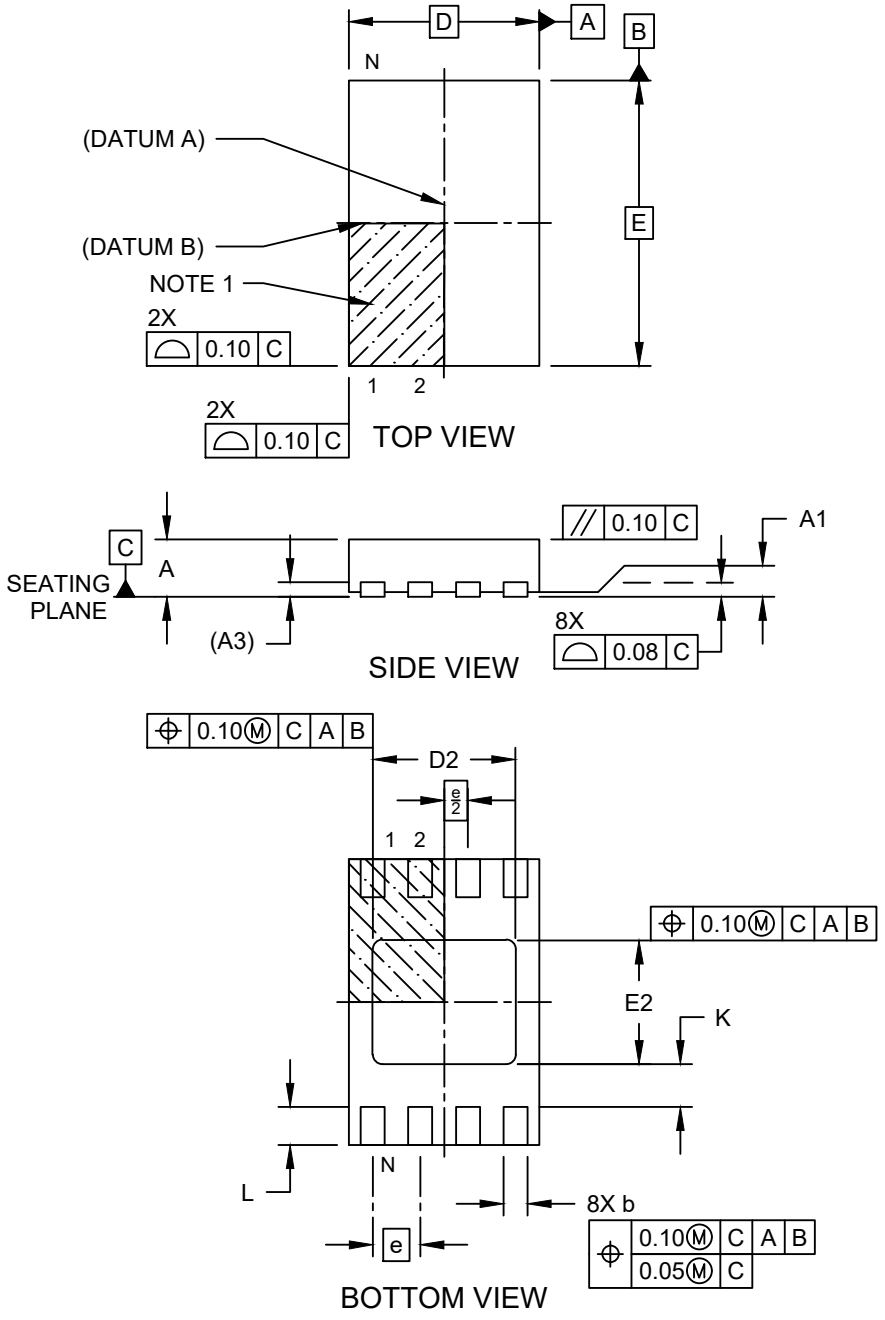
11.1 封装标识信息

为保证 Microchip 的整体安全性，所有加密器件的部件标识有意进行了模糊处理。封装顶部的标识不会提供有关实际器件类型或器件制造商的任何信息。封装上的字母数字代码提供制造信息，并随封装批次的不同而异。不应在任何来料检验过程中使用此封装标识。

11.2 8 焊盘 UDFN

8-Lead Ultra Thin Plastic Dual Flat, No Lead Package (Q4B) - 2x3 mm Body [UDFN] Atmel Legacy Global Package Code YNZ

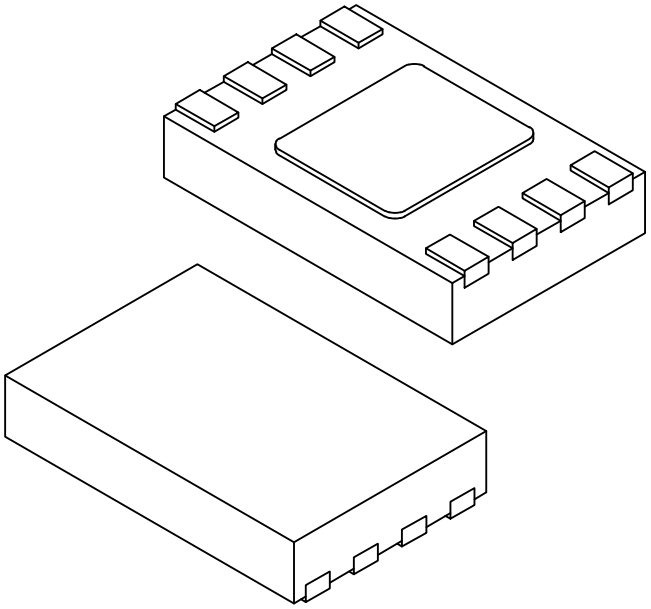
Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



Microchip Technology Drawing C04-21355-Q4B Rev B Sheet 1 of 2

8-Lead Ultra Thin Plastic Dual Flat, No Lead Package (Q4B) - 2x3 mm Body [UDFN]
Atmel Legacy Global Package Code YNZ

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Terminals	N		8	
Pitch	e		0.50 BSC	
Overall Height	A	0.50	0.55	0.60
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Terminal Thickness	A3		0.152 REF	
Overall Length	D		2.00 BSC	
Exposed Pad Length	D2	1.40	1.50	1.60
Overall Width	E		3.00 BSC	
Exposed Pad Width	E2	1.20	1.30	1.40
Terminal Width	b	0.18	0.25	0.30
Terminal Length	L	0.35	0.40	0.45
Terminal-to-Exposed-Pad	K	0.20	-	-

Notes:

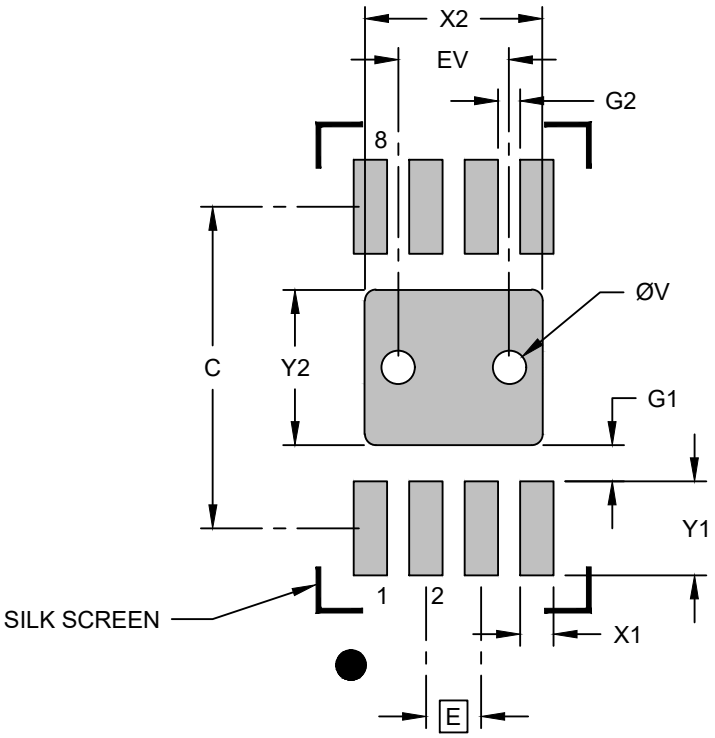
1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. Package is saw singulated
3. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-21355-Q4B Rev B Sheet 2 of 2

8-Lead Ultra Thin Plastic Dual Flat, No Lead Package (Q4B) - 2x3 mm Body [UDFN] Atmel Legacy Global Package Code YNZ

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



RECOMMENDED LAND PATTERN

Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E		0.50 BSC	
Optional Center Pad Width	X2			1.60
Optional Center Pad Length	Y2			1.40
Contact Pad Spacing	C		2.90	
Contact Pad Width (X8)	X1			0.30
Contact Pad Length (X8)	Y1			0.85
Contact Pad to Center Pad (X8)	G1	0.33		
Contact Pad to Contact Pad (X6)	G2	0.20		
Thermal Via Diameter	V		0.30	
Thermal Via Pitch	EV		1.00	

Notes:

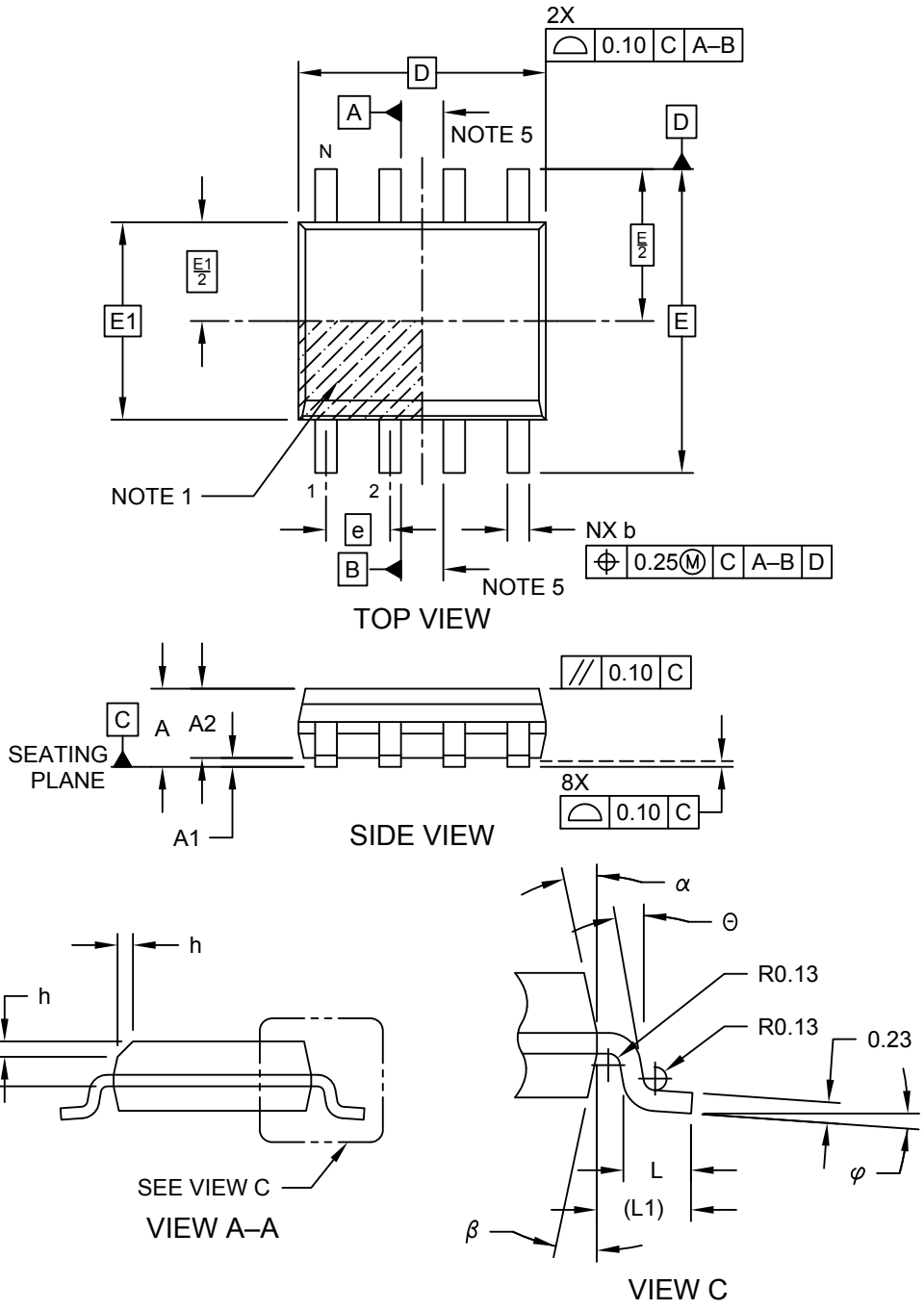
1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M
   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
2. For best soldering results, thermal vias, if used, should be filled or tented to avoid solder loss during reflow process

Microchip Technology Drawing C04-23355-Q4B Rev B

11.3 8 引脚 SOIC

8-Lead Plastic Small Outline - Narrow, 3.90 mm (.150 In.) Body [SOIC]
Atmel Legacy Global Package Code SWB

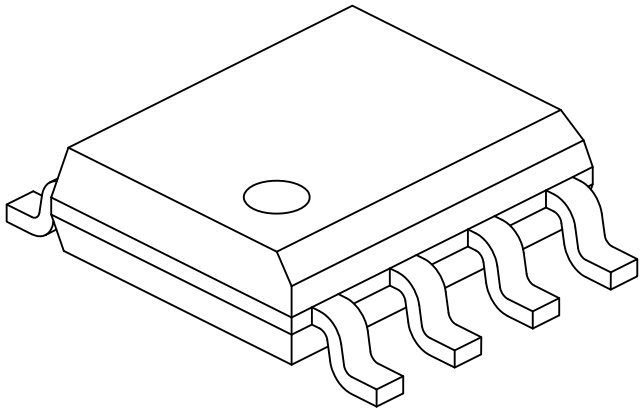
Note:	For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



Microchip Technology Drawing No. C04-057-SWB Rev E Sheet 1 of 2

8-Lead Plastic Small Outline - Narrow, 3.90 mm (.150 In.) Body [SOIC]
Atmel Legacy Global Package Code SWB

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N		8	
Pitch	e		1.27 BSC	
Overall Height	A	-	-	1.75
Molded Package Thickness	A2	1.25	-	-
Standoff §	A1	0.10	-	0.25
Overall Width	E		6.00 BSC	
Molded Package Width	E1		3.90 BSC	
Overall Length	D		4.90 BSC	
Chamfer (Optional)	h	0.25	-	0.50
Foot Length	L	0.40	-	1.27
Footprint	L1		1.04 REF	
Foot Angle	φ	0°	-	8°
Lead Thickness	c	0.17	-	0.25
Lead Width	b	0.31	-	0.51
Mold Draft Angle Top	α	5°	-	15°
Mold Draft Angle Bottom	β	5°	-	15°

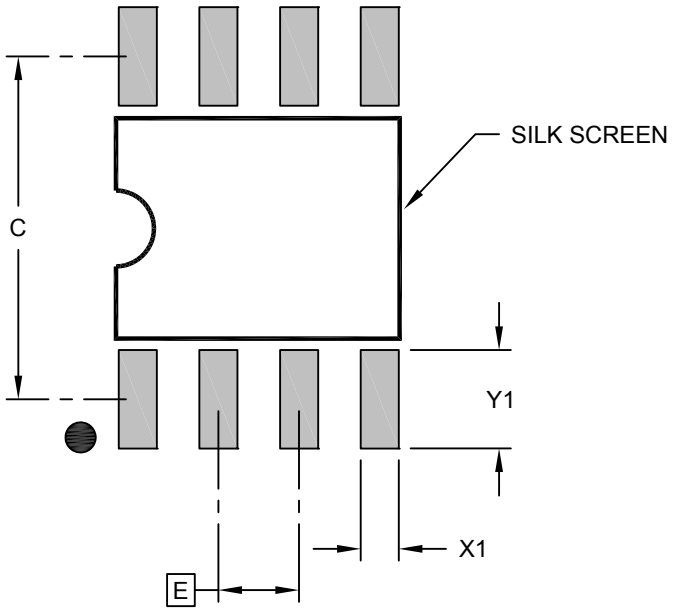
Notes:

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. § Significant Characteristic
3. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M
   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
   REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.
5. Datums A & B to be determined at Datum H.

Microchip Technology Drawing No. C04-057-SWB Rev E Sheet 2 of 2

8-Lead Plastic Small Outline - Narrow, 3.90 mm (.150 In.) Body [SOIC]
Atmel Legacy Global Package Code SWB

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at http://www.microchip.com/packaging



RECOMMENDED LAND PATTERN

Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E		1.27 BSC	
Contact Pad Spacing	C		5.40	
Contact Pad Width (X8)	X1			0.60
Contact Pad Length (X8)	Y1			1.55

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2057-SWB Rev E

12. 版本历史

版本 A（2020 年 9 月）
基于 ATECC608A-TFLXTLS 的文档的初始版本（DS40002138B）

Microchip 网站

Microchip 网站（www.microchip.com/）为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（ESE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

PART NO. X -X
Device Package Type Tape and Reel

器件：	ATECC608B-TFLXTLS：具有基于硬件的安全密钥存储功能的预配置加密协处理器	
封装选项	U	8 焊盘（主体 2 x 3 x 0.6 mm）增强散热型塑封超薄双列扁平无引线封装（UDFN）
	S	8 引脚（主体宽 0.150”）塑封鸥翼小外形封装（JEDEC SOIC）
卷带式选项		2k 卷盘
	PROTO	每批 10 件——原型器件

示例：

- ATECC608B-TFLXTLSU：Trust Flex TLS，预配置，8-UDFN，2K 卷盘 MOQ、SWI 或 I2C 接口
- ATECC608B-TFLXTLSU-PROTO：Trust Flex TLS，预配置原型，8-UDFN，每批 10 件，SWI 或 I^2C 接口
- ATECC608B-TFLXTLSS：Trust Flex TLS，预配置，8-SOIC 2K 卷盘 MOQ、SWI 或 I^2C 接口
- ATECC608B-TFLXTLSS-PROTO：Trust Flex TLS，预配置原型，8-SOIC，每批 10 件，SWI 或 I^2C

注：

1. 卷带式标识符仅出现在产品目录的部件编号描述中。该标识符用于订货目的，不会印刷在器件封装上。关于包装是否提供卷带式选项的信息，请咨询当地的 Microchip 销售办事处。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc.及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc.的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 和 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

ISBN：

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **亚特兰大** 德卢斯，佐治亚州 电话：678-957-9614 传真：678-957-1455 **奥斯汀，德克萨斯州** 电话：512-257-3370 **波士顿** 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：774-760-0087 传真：774-760-0088 **芝加哥** 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：630-285-0071 传真：630-285-0075 **达拉斯** 阿迪森，德克萨斯州 电话：972-818-7423 传真：972-818-2924 **底特律** 诺维，密歇根州 电话：248-848-4000 **休斯顿，德克萨斯州** 电话：281-894-5983 **印第安纳波利斯** 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：317-773-8323 传真：317-773-5453 电话：317-536-2380 **洛杉矶** 米慎维荷，加利福尼亚州 电话：949-462-9523 传真：949-462-9608 电话：951-273-7800 **罗利，北卡罗来纳州** 电话：919-844-7510 **纽约，纽约州** 电话：631-435-6000 **圣何塞，加利福尼亚州** 电话：408-735-9110 电话：408-436-4270 **加拿大 - 多伦多** 电话：905-695-1980 传真：905-695-2078	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733 **中国 - 北京** 电话：86-10-8569-7000 **中国 - 成都** 电话：86-28-8665-5511 **中国 - 重庆** 电话：86-23-8980-9588 **中国 - 东莞** 电话：86-769-8702-9880 **中国 - 广州** 电话：86-20-8755-8029 **中国 - 杭州** 电话：86-571-8792-8115 **中国 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100 **中国 - 南京** 电话：86-25-8473-2460 **中国 - 青岛** 电话：86-532-8502-7355 **中国 - 上海** 电话：86-21-3326-8000 **中国 - 沈阳** 电话：86-24-2334-2829 **中国 - 深圳** 电话：86-755-8864-2200 **中国 - 苏州** 电话：86-186-6233-1526 **中国 - 武汉** 电话：86-27-5980-5300 **中国 - 西安** 电话：86-29-8833-7252 **中国 - 厦门** 电话：86-592-2388138 **中国 - 珠海** 电话：86-756-3210040	**印度 - 班加罗尔** 电话：91-80-3090-4444 **印度 - 新德里** 电话：91-11-4160-8631 **印度 - 浦那** 电话：91-20-4121-0141 **日本 - 大阪** 电话：81-6-6152-7160 **日本 - 东京** 电话：81-3-6880-3770 **韩国 - 大邱** 电话：82-53-744-4301 **韩国 - 首尔** 电话：82-2-554-7200 **马来西亚 - 吉隆坡** 电话：60-3-7651-7906 **马来西亚 - 槟榔屿** 电话：60-4-227-8870 **菲律宾 - 马尼拉** 电话：63-2-634-9065 **新加坡** 电话：65-6334-8870 **台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366 **台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830 **台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600 **泰国 - 曼谷** 电话：66-2-694-1351 **越南 - 胡志明市** 电话：84-28-5448-2100	**奥地利 - 韦尔斯** 电话：43-7242-2244-39 传真：43-7242-2244-393 **丹麦 - 哥本哈根** 电话：45-4485-5910 传真：45-4485-2829 **芬兰 - 埃斯波** 电话：358-9-4520-820 **法国 - 巴黎** 电话：33-1-69-53-63-20 传真：33-1-69-30-90-79 **德国 - 加兴** 电话：49-8931-9700 **德国 - 哈恩** 电话：49-2129-3766400 **德国 - 海尔布隆** 电话：49-7131-72400 **德国 - 卡尔斯鲁厄** 电话：49-721-625370 **德国 - 慕尼黑** 电话：49-89-627-144-0 传真：49-89-627-144-44 **德国 - 罗森海姆** 电话：49-8031-354-560 **以色列 - 若那那市** 电话：972-9-744-7705 **意大利 - 米兰** 电话：39-0331-742611 传真：39-0331-466781 **意大利 - 帕多瓦** 电话：39-049-7625286 **荷兰 - 德卢内市** 电话：31-416-690399 传真：31-416-690340 **挪威 - 特隆赫姆** 电话：47-72884388 **波兰 - 华沙** 电话：48-22-3325737 **罗马尼亚 - 布加勒斯特** 电话：40-21-407-87-50 **西班牙 - 马德里** 电话：34-91-708-08-90 传真：34-91-708-08-91 **瑞典 - 哥德堡** 电话：46-31-704-60-40 **瑞典 - 斯德哥尔摩** 电话：46-8-5090-4654 **英国 - 沃金厄姆** 电话：44-118-921-5800 传真：44-118-921-5820