

# Application Note

## CC35xxE 生产指南



### 摘要

德州仪器 (TI) 提供了许多资源，可帮助用户快速检查器件的功能和性能。本文档提供了必要的信息，指导用户在生产线上对采用 CC35xxE 器件的产品进行测试和刷写。

### 内容

<b>1 简介</b> .....	2
1.1 量产线概述.....	2
1.2 生产线类型.....	2
1.3 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱.....	3
<b>2 生产线上的硬件设置</b> .....	4
<b>3 生产线测试</b> .....	7
3.1 xSPI 存储器连接测试.....	7
3.2 I/O 开路和短路测试.....	7
3.3 RF 测试.....	7
<b>4 激活和一次性编程 (OTP)</b> .....	8
<b>5 闪存编程</b> .....	9
<b>6 总结</b> .....	10
<b>7 参考资料</b> .....	10
<b>8 Revision History</b> .....	10

### 商标

SimpleLink™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

蓝牙® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

ARM® is a registered trademark of Arm Limited (or its subsidiaries or affiliates) in the US and/or elsewhere.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

### 1.1 量产线概述

德州仪器 (TI) 提供了多种资源，可协助制造商使用 CC35xxE 器件快速高效地生产各种产品。为设计可高效生产的产品，TI 提供了针对原理图和印刷电路板 (PCB) 设计的参考设计配套资料及应用手册。我们开发了用于在生产线上对 CC35xxE 器件进行编程和测试的软件和硬件工具。

根据相关产品和生产线类型，TI 建议实现生产线的不同阶段。此过程通常包括以下阶段：

- 板载组装阶段
- 一次性编程 (OTP) 阶段
- 输入和输出 (I/O) 生产线测试阶段
- 射频 (RF) 和扩展串行外设接口 (xSPI) 存储器连接阶段
- 闪存编程阶段

### 1.2 生产线类型

本文档讨论了三种不同分类的生产线：

- 集成电路 (IC) 原始设备制造商 (OEM) 生产线 — 组装、测试并交付采用 CC35xxE 器件的最终产品，该产品专为特定公司设计。
- 模块供应商生产线 — 组装内置 CC35xxE 器件的认证模块，供不同公司的其他产品使用。
- 模块 OEM 生产线 — 将模块供应商的模块组装到最终产品上。

图 1-1 展示了 IC OEM 生产线的总体概念。在这种情况下，生产线提供已经过测试和编程的完整产品。

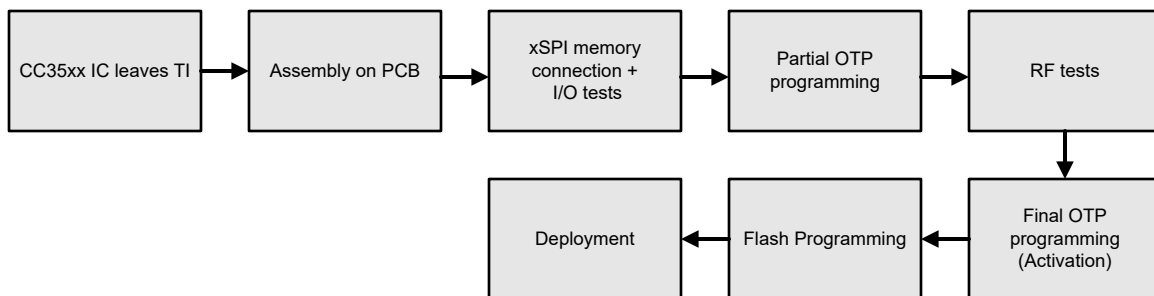


图 1-1. OEM 生产线

图 1-2 展示了模块供应商生产线的总体概念。模块供应商提供的产品装有实现 CC35xxE 器件功能的基本物料清单 (BOM)，包括 RF 元件和闪存。通过测试闪存连接以及 I/O 开路 and 短路 (如果相关) 来验证模块中的元件。同时执行了 RF 测试来验证内部组装，但模块 OEM 还必须在最终产品上测试 RF，以验证外部电源的组装 (请参阅节 3.3)。模块供应商可选择部分 OTP 编程；但不得激活该模块或对其进行闪存编程 (请参阅节 4)。

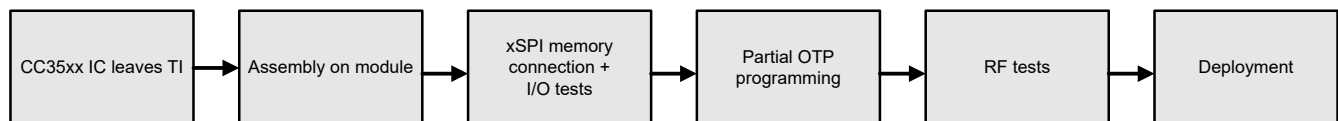


图 1-2. 模块供应商生产线

图 1-3 展示了模块 OEM 生产线的总体概念。在这种情况下，OEM 在最终产品上组装模块；因此，无需通过测试来验证模块的内部组装。根据模块的不同，OEM 只需要测试 I/O 开路 and 短路，并通过激活和闪存编程执行最终的 OTP 编程。RF 测试是可选的，具体取决于模块电源以及是否存在任何外部 RF 元件 (请参阅节 3.3)。

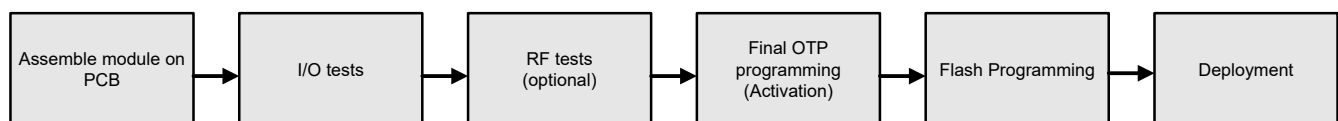


图 1-3. 模块 OEM 生产线

### 1.3 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱

必须使用 [SimpleLink Wi-Fi 工具箱](#) 来执行测试和对 **CC35xxE** 器件进行编程，同时使用 [LP-XDS110ET](#) 或 [LP-XDS110 LaunchPad™](#) 开发套件进行连接。工具箱应用程序具有基于 **Web** 的图形用户界面 (GUI)，但同时提供以下生产线自动化选项：

- 命令行界面 (CLI)
- 基于 HTTP 的 RestAPI 命令

这两种选项均为用户提供了生产线所需的全部工具箱功能。

与 RestAPI 相比，CLI 通常更易于使用，且集成到脚本中的速度更快，但执行命令所需时间要长得多。RestAPI 通常比 CLI 更快，且易于扩展，但 RestAPI 需要能够执行 HTTP 命令的软件脚本。有关更多信息和示例脚本，请参阅 [SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱文档](#)。

## 2 生产线上的硬件设置

编程和无线电+ I/O 测试通过 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱完成，这需要接入 CC35xxE 器件的串行线调试 (SWD) 接口 ( SWCLK 和 SWDIO 引脚 )，以连接到 XDS110 平台。支持的 XDS110 平台包括 LP-XDS110ET 和 LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件。LP-XDS110 还需要一个用于 (I/O) 通信的目标基准电压 ( $V_{TREF}$ )；SWD 接口的 I/O 电压等于 CC35xxE 器件 VIO1 电源引脚的电压，因此 VIO1 必须短接至 XDS110 平台的  $V_{TREF}$ 。

使用 LP-XDS110ET LaunchPad™ 开发套件时，验证电路板上的跳线 ( 标记为 TGT VDD ) 是否为扩展 (EXT.) 配置非常重要，如图 2-1 所示。使用 LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件时， $V_{TREF}$  不得连接到 20 引脚接头，而是连接到目标 VDD 接头引脚的中间引脚 ( 未组装跳线 )，请参阅图 2-2。

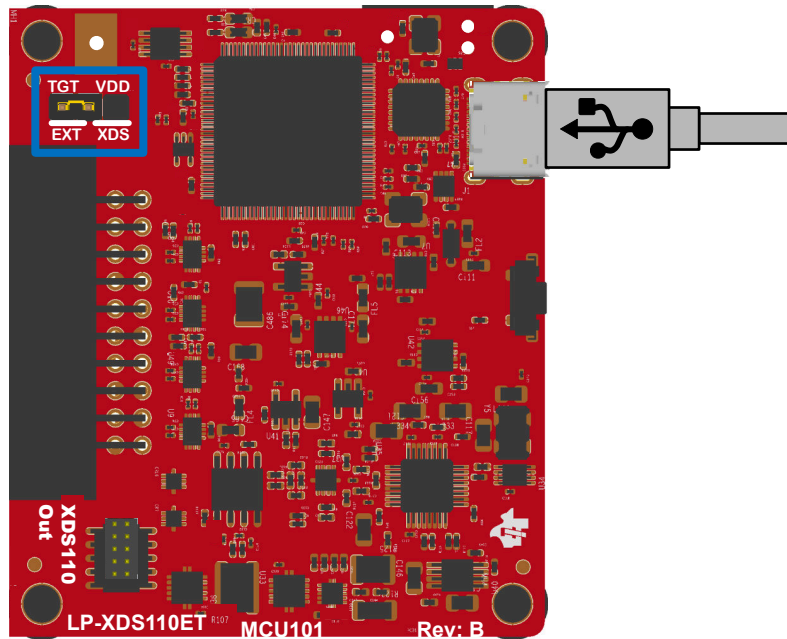


图 2-1. LP-XDS110ET LaunchPad™ 开发套件配置

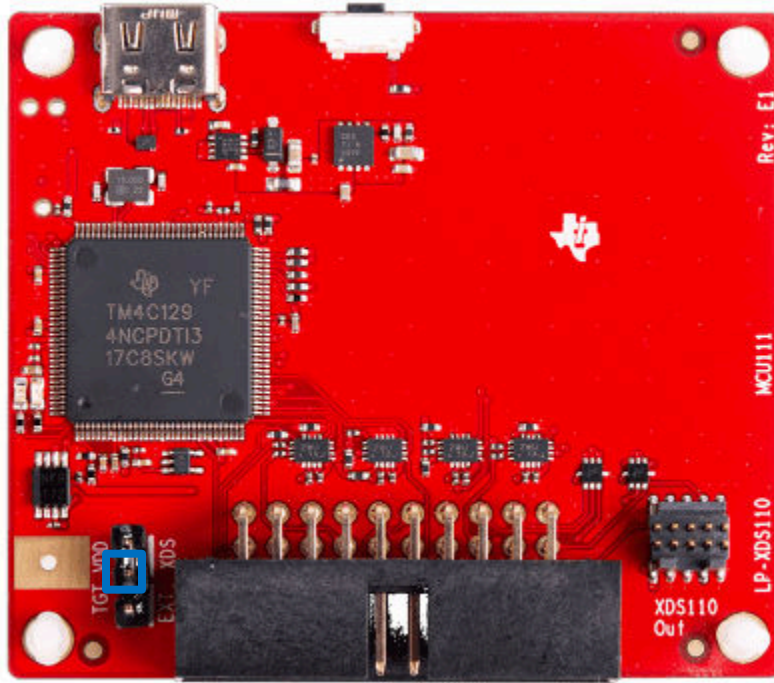


图 2-2. LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件连接

需要将 CC35xxE 器件的 nRESET 引脚连接到 XDS110 LaunchPad™ 开发套件，才能使编程器工具在编程期间复位器件。XDS110 LaunchPad™ 开发套件的 nRESET 引脚输出为开漏输出，因此目标电路板上需要一个外部上拉电阻器。

---

分别为 LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件和器件独立供电。LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件无法提供足够的电力来支持 CC35xxE 器件系列的所有 RF 测试模式

---

图 2-3 展示了生产线上测试仪的总体设置。XDS110 平台必须为 LP-XDS110ET 或 LP-XDS110 LaunchPad™ 开发套件。矢量信号分析仪 (VSA) 或矢量信号发生器 (VSG) 用于 RF 生产线测试 (PLT)；如需更多信息，请参阅节 3.3。

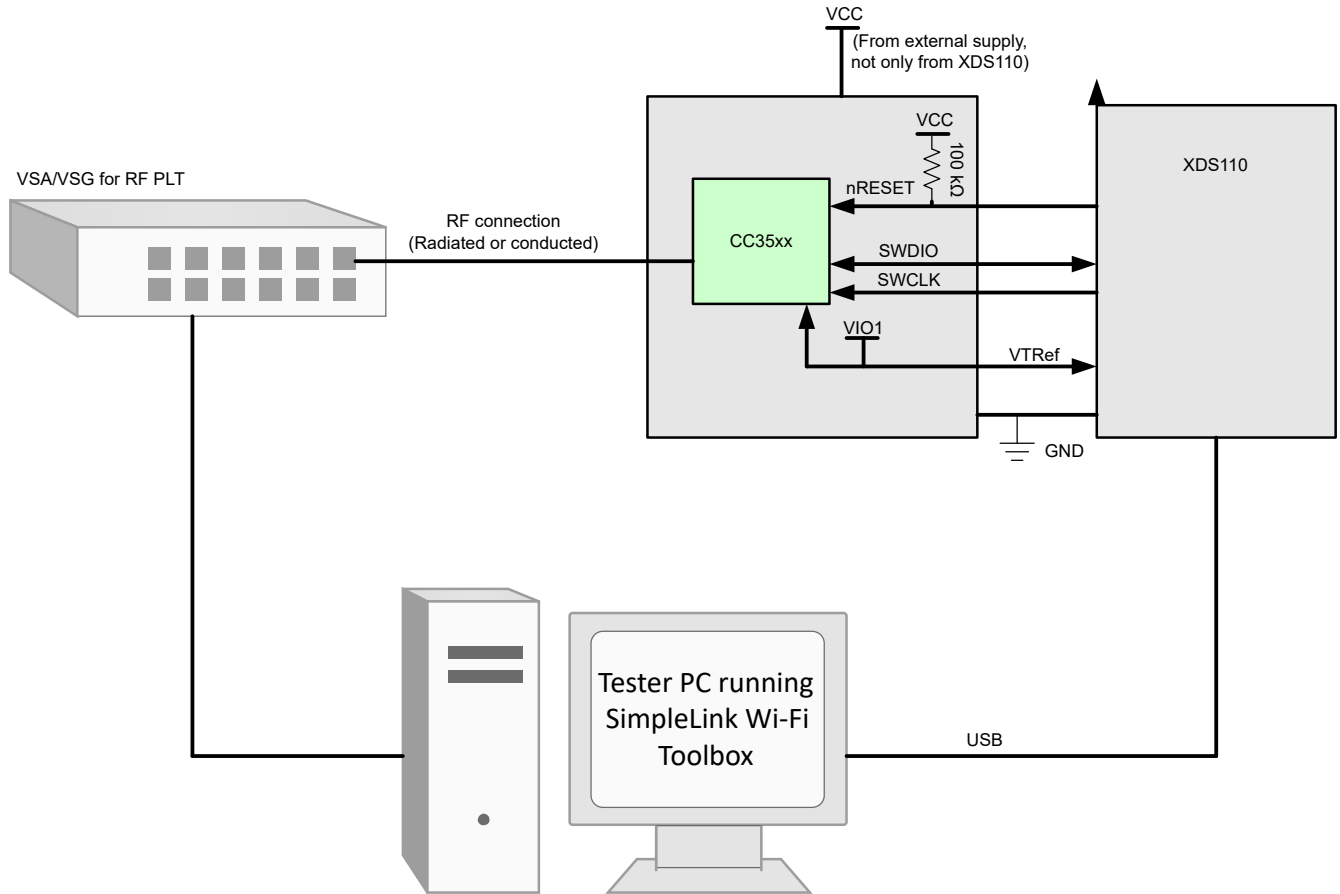


图 2-3. 生产线上的硬件设置

### 3 生产线测试

在生产线上进行测试对于验证 CC35xxE 器件和其他外部 BOM 是否正确组装以及检测 PCB 层面的问题非常重要。通过使用 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱，客户可在生产线上测试 I/O 连接、闪存连接和 RF 性能。根据最终产品的不同，客户可以决定对离开生产车间的每个器件进行哪些测试，同时需要权衡以下两个因素：

- 进行更多测试，确保每个组装器件的高可靠性。
- 减少测试项目，以节省时间和成本。

TI 建议在执行耗时的激活和闪存编程过程之前，先运行 PLT 测试以发现产品组装问题。TI 提供一个可以在器件激活之前加载的自定义固件 (FW) 映像，该映像可在器件上进行身份验证并从 RAM 运行。器件激活之前，无法在器件上加载 PLT 的任何其他固件映像，因为这些固件映像尚未由 TI 签名。

#### 3.1 xSPI 存储器连接测试

CC35xxE 器件通过四线串行外设接口 (QSPI) 连接，需要外部 xSPI 闪存才能执行。这种高速接口 (80MHz) 和外部闪存对于器件正常运行至关重要，应用程序映像在生产期间编程到闪存中。在 PLT 期间验证外部闪存组件非常重要，此测试可使用 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱编程器工具进行。

##### 备注

闪存连接测试只能在器件激活之前通过 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱进行。在定义 PLT 和确定完成生产线上各步骤的顺序时，客户必须考虑这一事实。

#### 3.2 I/O 开路和短路测试

CC35xxE 器件拥有多达 38 个 I/O 引脚，其中大多数引脚可用作 GPIO，以支持各种外部外设。组装过程中的焊接问题或与 PCB 相关的错误可能会导致接入或引出 CC35xxE 器件的某些连接或开路或短路。TI 提供了使用 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱的无线电工具在 PLT 中验证 I/O 状态和正确连接的选项。I/O 控制功能为所有 GPIO 提供以下选项：

- 配置为输入或输出
- 将引脚状态设置为逻辑高电平或逻辑低电平
- 读取引脚上的逻辑电平（高电平或低电平）

##### 备注

闪存连接测试只能在器件激活之前通过 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱进行。在定义 PLT 和确定完成生产线上各步骤的顺序时，客户必须考虑这一点。

#### 3.3 RF 测试

RF PLT 的主要目标是采集生产线中的制造缺陷，例如组装缺陷、焊接问题以及其他与 PCB 相关的问题。在 RF PLT 中执行的测试可验证外部 BOM 与 CC35xxE 器件的连接，具体而言，是指被视为 RF 外部链组成部分的元件。测试发送器 (TX) 的最大功率和误差矢量幅度 (EVM) 可以测试外部 BOM 组件是否成功连接。必须验证 BOM，其中包括：

- 外部电源 (1.8V 和 3.3V)：包含在最大 TX 功率和 EVM 测试中
- 外部 RF 滤波器、带通滤波器 (BPF) 和双工器 (仅限双频段设计)：包含在最大 TX 功率和 EVM 测试中
- 晶体振荡器 (XTAL)，快速时钟 52MHz：包含在 EVM 测试中
- 用于天线分集的 RF 开关 (如果使用)：包含在最大 TX 功率和 EVM 测试中

通过 RF PLT 判定器件合格和不合格的阈值，基于大规模生产之前的产品验证测试、CC35xxE 器件的数据表以及 IEEE 标准。

最大 TX 功率根据 CC35xxE 器件的数据表和大规模生产之前的产品验证来确定。预期值必须考虑电路板和电缆损耗。生产线上 TX 功率的可接受容差基于大规模生产之前的产品测试以及客户要求。根据使用参考设计元件对 CC35xxE 器件进行的 TI 测试，器件之间的 TX 功率偏差在室温下为 1.5dB。这一偏差可能会更高，具体取决于 PCB 或客户电路板上的外部滤波器。由于在 2.4GHz 下传输 11b 1DSSS 和在 5GHz 下传输 11a 6OFDM 时，CC35xxE 器件可实现最高输出功率（和最高静态 RF 模式电流消耗），因此 TI 建议测试这些模式。

**误差矢量幅度 (EVM)** 必须符合 IEEE 802.11 规范。根据 IEEE 规范，最严格的 EVM 要求是在较高的物理层 (PHY) 速率下传输时：11a/g 54OFDM 为 -25dB，11n/ax SU MCS7 为 -27dB。TI 建议在 RF PLT 中测试其中一种模式。

### 3.3.1 RF PLT 的其他注意事项

需要考虑一些注意事项包括：

- 在每个频段 ( 2.4GHz 和 5GHz ) 测试一条通道是必须测试的最小通道数。
  - 可以根据需要将更多通道添加到 RF 测试，以验证整个频段的性能。
  - 与 2.4GHz 频段相比，5GHz 频段的跨度较大，因此 TI 建议在该频段测试更多通道。
- 单独测试低功耗蓝牙®并非严格的要求。
  - 相同 2.4GHz 频段中的无线局域网 (WLAN) 调制以更高的功率传输，并且对 EVM 的要求更严格。
  - 2.4GHz WLAN 和 BLE 使用相同的 RF 前端，因此 WLAN 测试能够以极高的置信度确保 BLE 也可正常工作。
- 测试 RX 并非严格的要求。
  - RX 测试不会为外部 BOM 已正确组装添加任何额外的验证。TX 电源和 EVM 测试包含此验证。
  - RX 灵敏度与 EVM 和 TX 功率测试类似，可以验证 XTAL 和外部滤波器，但此测试需要更长时间，尤其是在生产线上。
- 传导测试和辐射测试均适用于 RF PLT。
  - 传导测试的精度更高，能够更好地屏蔽噪声，并且更容易校准路径损耗。但是，并非所有终端产品都支持专用 RF 连接器，在这种情况下不会验证天线，并且在 PLT 期间手动连接和重新连接每个被测器件 (DUT) 的传导测试需要更长时间。
  - 辐射测试在生产车间的速度更快，并且可轻松用于具有不同天线类型的不同器件。但是，该设置校准路径损耗更难、精度更低且对噪声更敏感。
- 如果 CC35xxE 器件连接到两根天线以实现天线分集，则必须在 RF PLT 期间测试两条 RF 路径。并非每项测试都需要在两根天线上进行，但每根天线上至少需要进行一项测试，以检查外部 RF 开关是否正常运行。

必须使用 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱中的 *无线电* 工具进行 RF PLT。该工具提供一个 GUI；但对于自动化测试结构来说，使用 CMD 终端的无线电工具 CLI 或软件脚本中使用的 restAPI 命令是更好的选择。有关脚本示例和参数说明，请参阅 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱的文档。

下面列出了 RF PLT 测试流程的示例，其测试每个频段的两个通道：

1. 在 PC 上加载无线电工具并将固件加载到器件。
2. 调优 WLAN 通道 1 (2412MHz) 并校准。
3. TX 测试 1DSSS 最大功率，VSA 测量 DUT 的 TX 功率。
4. 调优 WLAN 通道 11 (2462MHz) 并校准。
5. TX 测试 11n MCS7 最大功率，VSA 测量 DUT 的 EVM 和 TX 功率。
6. 调优 WLAN 通道 36 (5180MHz) 并校准。
7. TX 测试 11a 6OFDM 最大功率，VSA 测量 DUT 的 EVM 和 TX 功率。
8. 调优 WLAN 通道 169 (5845MHz) 并校准
9. TX 测试 11n MCS7 最大功率，VSA 测量 DUT 的 EVM 和 TX 功率。

## 4 激活和一次性编程 (OTP)

在使用应用程序映像对 CC35xxE 器件进行编程并在运行用例中启用之前，必须先激活该器件。激活过程会将信任根 (ROT) 密钥编程到 CC35xxE 器件保险丝 ROM 中的一次性编程 (OTP) 位。该私钥的哈希值用于对编程到 xSPI 闪存中的映像进行身份验证，方法是将该私钥与映像的公钥进行匹配。此身份验证会将激活的 CC35xxE 器件与拥有私钥的供应商相关联，并且仅在哈希值与 ROT 密钥匹配时才接受映像编程请求。有关此过程和 CC35xxE 器件引导概念的更多信息，请参阅 [CC35xx SimpleLink™ Wi-Fi 6 和低功耗 Bluetooth® 无线 MCU 技术参考手册](#)。

有关 CC35xxE 器件激活前和激活后的功能，请参阅 [表 4-1](#)。

表 4-1. CC35xxE 器件激活

工具操作	CC35xxE 激活前	CC35xxE 激活后
可以使用 TI 工具通过 SWD 进行： <ul style="list-style-type: none"> <li>I/O 开路和短路测试</li> <li>xSPI 存储器连接测试</li> <li>保险丝编程</li> </ul>	是	否
使用无线电工具 ( SWD 接口 ) 进行 RF 测试	是	是
使用客户应用程序代码 ( 在 ARM® M33 上运行的映像 ) 进行 RF 测试	否	是
使用 SWD 将客户应用程序代码映像加载到 xSPI 闪存	否	是
使用 SWD 调试客户应用程序代码	否	激活时可选择的选项： <ul style="list-style-type: none"> <li>设置调试禁用保险丝位；在这种情况下，代码调试将被永久锁定</li> <li>不设置调试禁用保险丝位；在这种情况下，可在引导后通过给唯一器件值签名来启用代码调试</li> </ul>

激活和初始编程必须在生产线上使用 [SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱](#) 中的 [编程器](#) 工具完成。

CC35xxE 器件还包含可供客户使用的一次性编程 (OTP) 位。介质访问控制 (MAC) 地址定义、Wi-Fi 6 禁用和国家/地区代码限制等功能可写入 OTP 中。保险丝编程只能在激活前进行，同样使用 [Simplelink™ Wi-Fi 工具箱](#) 的编程器工具。在 PLT 中运行 RF 测试之前，客户必须考虑对保险丝进行部分编程，以在 PLT 期间验证这些保险丝。

## 5 闪存编程

生产线的最后一个阶段是将应用程序映像编程到外部 xSPI 闪存中。这种编程只能通过 CC35xxE 器件的 SWD 接口来完成：需要使用 XDS110 LaunchPad™ 开发套件平台，并配合使用 [SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱](#) 中的编程器工具。CC35xxE 器件只能在激活完成后进行编程。

## 6 总结

TI 提供了一系列工具，旨在协助 OEM 和模块供应商采用 CC35xxE 器件打造卓越的产品，并在生产线上实现更高效、更具成本效益的生产。从 PLT 到刷写，生产线的阶段均可通过 TI 的 SimpleLink™ Wi-Fi 工具箱应用程序轻松完成。

## 7 参考资料

- 德州仪器 (TI)。SimpleLink Wi-Fi 工具箱、应用和用户文档。
- 德州仪器 (TI)。CC35xx SimpleLink™ Wi-Fi 6 和低功耗 Bluetooth® 无线 MCU 技术参考手册。

## 8 Revision History

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from May 21, 2026 to May 26, 2026 (from Revision * (May 2026) to Revision A (May 2026))		Page
• 更正了初始发布日期.....		2
• 删除了商标。.....		8

## 重要通知和免责声明

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

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

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月