

## Application Note

**C2000™ MCU JTAG 连接调试**

Matthew Pate, Matt Kukucka, Benjamin Collier, and Nabil Saheb

**摘要**

联合测试行动组 (JTAG) 协议是在产品开发、仿真和应用调试期间与微控制器 (MCU) 进行通信的主要方式。所有德州仪器 (TI) C2000™ 器件均支持 JTAG 仿真，而且 C2000 评估产品 (如 controlCARD 和 LaunchPad™ 开发套件) 包含板载 JTAG 仿真。本应用报告简要概述 JTAG 的实现，并介绍在使用 Code Composer Studio™ 软件时用于解决常见 JTAG 连接错误的步骤。

如果您在使用 JTAG 与 C2000™ 器件进行通信时遇到问题，TI 强烈建议用户在通过 TI 的 E2E™ 论坛等平台寻求帮助之前遵循本调试指南。作为筛选，TI 支持人员会询问您对本指南的使用情况。

**内容**

<b>1 什么是 JTAG ?</b> .....	<b>2</b>
<b>2 常见的 JTAG 调试探针</b> .....	<b>2</b>
<b>3 LaunchPad™ 开发套件和 controlCARD 的调试步骤</b> .....	<b>3</b>
3.1 LaunchPad™ 开发套件 .....	3
3.2 controlCARD .....	3
<b>4 常见错误代码</b> .....	<b>5</b>
4.1 常见错误代码 .....	5
<b>5 JTAG 链中的多个器件</b> .....	<b>8</b>
<b>6 非侵入式调试</b> .....	<b>9</b>
<b>7 禁用和复位 JTAG TAP</b> .....	<b>11</b>
<b>8 JTAG 连接调试流程</b> .....	<b>13</b>
8.1 整体调试流程 .....	14
8.2 高压隔离检查流程 .....	14
8.3 JTAG 调试主流程 .....	15
<b>9 详细的流程步骤信息</b> .....	<b>16</b>
9.1 隔离预检查流程 .....	16
9.2 JTAG 调试流程 .....	16
<b>10 参考资料</b> .....	<b>20</b>
<b>11 修订历史记录</b> .....	<b>21</b>

**商标**

C2000™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, E2E™, BoosterPack™, and Piccolo™ are trademarks of Texas Instruments.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 什么是 JTAG ?

JTAG 是一个组织的简称，为印刷电路板 (PCB) 边界扫描测试制定行业标准。后来，JTAG 工作的成果被编入电气电子工程师协会 (IEEE) 标准：[IEEE 标准 1149.1](#)。在推出后不久，该标准便得到了广泛应用，随即产生了几个额外的标准，包括片上测试接入端口 (TAP) 的实现。这使得 JTAG 成为最适合嵌入式系统开发、调试和测试的方式。JTAG 在大多数系统中实施 5 个引脚：

- 测试数据输入 (TDI)
- 测试数据输出 (TDO)
- 测试时钟 (TCK)
- 测试模式选择 (TMS)
- 测试复位 (TRSTn)

器件特定数据表或 TI 参考设计中介绍了定制电路板设计中这些引脚的必要偏置。

## 2 常见的 JTAG 调试探针

[表 2-1](#) 列出了 C2000 生态系统的一些常见调试探针。对于大多数 C2000 器件，建议使用较新、成本较低的 XDS110 ([www.ti.com/tool/TMDSEMU110-U](http://www.ti.com/tool/TMDSEMU110-U))。

**表 2-1. 与 C2000™ MCU 一起使用的常见 JTAG 调试探针**

	XDS100v1 和 XDS100v2	XDS110	XDS200	XDS560v2
价格/速度	+	+	++	+++
特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USB 接口</li> <li>• 闪存编程</li> <li>• 许多较早型号的 C2000 EVM 上的内置调试探针</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• XDS100 的后继产品</li> <li>• USB 2.0 接口</li> <li>• 闪存编程</li> <li>• 隔离式调试 (XDS110ISO)</li> <li>• 用于许多全新 TI C2000 EVM 的内置调试探针</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USB 2.0 高速接口 (480Mbps)</li> <li>• 闪存编程</li> <li>• 内核和系统跟踪</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USB 接口</li> <li>• 闪存编程</li> <li>• 代码跟踪选项 (高带宽)</li> </ul>
制造商	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 德州仪器 (TI)</li> <li>• Blackhawk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 德州仪器 (TI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blackhawk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 德州仪器 (TI)</li> <li>• Blackhawk</li> </ul>

另请参阅 [C2000™ 实时微控制器设计和开发](#)。

### 3 LaunchPad™ 开发套件和 controlCARD 的调试步骤

尽管所有 LaunchPad™ 开发套件和 controlCARD 都略有不同，但当用户无法连接到 LaunchPad 或 controlCARD 时，仍有一些常见问题需要检查。

#### 3.1 LaunchPad™ 开发套件

用户无法连接到 LaunchPad 的常见原因有几种。要确定其中的哪些步骤与之相关，请按照 [如何使用 CCS 测试 JTAG 连接](#) 中的说明 [测试与 LaunchPad 的连接](#)。在执行以下步骤之前，请从 LaunchPad 上断开任何 BoosterPack™ 插件模块或其他外部硬件。

1. 如果 *Test Connection* 日志指示 *Test Connection* 无法与调试探针通信，请尝试执行以下步骤：
  - a. 更换 USB 电缆，并确保在 *Target Configuration* 文件中选择了正确的调试探针。
  - b. 检查 LaunchPad 上的硬件开关和跳线，查看是否有开关和跳线可能禁用 JTAG 连接。此信息包含在 LaunchPad 用户指南中，TI.com 的 LaunchPad 存储页面上提供了该指南的链接。
  - c. 如果 *Test Connection* 日志仍然显示 *Test Connection* 无法与调试探针通信，则 LaunchPad 可能已损坏。如果 PC 的设备管理器中未显示调试探针，则尤其可能出现这种情况。
2. 如果 *Test Connection* 日志提到 *Test Connection* 无法循环位或 IR 或 DR 路径已损坏，请尝试执行以下步骤：
  - a. 检查 LaunchPad 上的硬件开关，查看是否有开关禁用 JTAG 连接。此信息包含在 LaunchPad 用户指南中，TI.com 的 LaunchPad 存储页面上提供了该指南的链接。
  - b. 一些 LaunchPad 设计为仅与 2 引脚 cJTAG 配合使用或仅与 4 引脚 JTAG 配合使用。这在目标配置的 *Advanced* 选项卡中设置。确保正确对其进行设置。
  - c. 如果 *Test Connection* 日志仍然指示 *Test Connection* 无法循环位，则 LaunchPad 可能已损坏。
3. 如果 *Test Connection* 日志指示已通过测试，但代码仍然无法加载到器件中，请尝试执行以下步骤：
  - a. 使用 LaunchPad 上的开关将器件置于等待引导模式。如果随后可以 [按照手动启动](#) 步骤进行连接，则很可能是先前刷写的某些代码阻止了连接。
  - b. 如果仍无法建立连接，或者如果连接有效但无法加载代码，则器件可能已被锁定。

#### 3.2 controlCARD

与 LaunchPad 开发套件类似，这里提供了几种无法连接到 controlCARD 的常见原因。要确定涉及其中的哪些步骤，请参阅 [如何使用 CCS 测试 JTAG 连接](#) 链接以查看 *Test Connection* 说明。在执行以下步骤之前，请从 controlCARD 上断开任何外部硬件。

1. 如果 *Test Connection* 日志提到主机 PC 无法与调试探针通信，请在使用板载调试探针时尝试以下步骤：
  - a. 尝试更换 USB 电缆，并确保在 *Target Configuration* 文件中选择了正确的调试探针。
  - b. 检查 controlCARD 上用于选择 JTAG 信号是来自板载调试探针还是扩展坞的硬件开关。此信息包含在 controlCARD 用户指南中，TI.com 的 controlCARD 存储页面上提供了该指南的链接。
  - c. 如果 *Test Connection* 日志仍指示未建立与调试探针的通信，则 controlCARD 可能已损坏。

2. 如果 *Test Connection* 日志指示仍然未建立与调试探针的通信，请在使用独立调试探针时尝试执行以下步骤：
  - a. 尝试更换连接到调试探针的 USB 电缆。
  - b. 如果 *Test Connection* 日志仍指示未建立与调试探针的通信，则调试探针可能已损坏。
3. 如果 *Test Connection* 日志指示调试探针无法循环位或 IR 或 DR 路径已损坏，请尝试执行以下步骤：
  - a. 检查 controlCARD 上的硬件开关，查看是否有开关禁用 JTAG 连接。此信息包含在 controlCARD 用户指南中，TI.com 的 controlCARD 存储页面上提供了该指南的链接。
  - b. 如果 *Test Connection* 日志仍指示调试探针无法循环位，则 controlCARD 可能已损坏。
4. 如果 *Test Connection* 日志指示已通过测试，但代码无法加载到器件中，请尝试执行以下步骤：
  - a. 使用 controlCARD 上的开关将器件置于等待引导模式。如果按照 [手动启动说明](#) 成功连接，则错误很可能是所刷写的某些代码阻止了连接。
  - b. 如果仍无法建立连接，或者如果连接成功但无法加载代码，则器件可能已被锁定。

## 4 常见错误代码

本节列出了 Code Composer Studio 在 *Test Connection* 操作、尝试连接或尝试将代码加载到器件期间出现的几个常见错误代码。如果相应的调试步骤未解决问题，请在 TI 的 [E2E™ 论坛](#) 中搜索具有相同错误代码的任何其他主题。

请参阅 [如何使用 CCS 测试 JTAG 连接](#) 链接以查看 *测试连接* 说明，并且另请参阅 [手动启动](#) 说明以手动连接到器件和加载代码。

调试错误代码时，请使用以下流程：

1. 运行 *Test Connection* 以验证 JTAG 信号是否正确连接
2. 按照前面的说明连接到器件以进行手动启动
3. 将代码加载到器件中

### 4.1 常见错误代码

表 4-1 列出了常见错误代码和相关的调试步骤。

表 4-1. 常见错误代码表

错误消息	调试步骤
<p>This error is generated by TI's USCIF driver or utilities. The value is '-233' (0xffffffff). The title is 'SC_ERR_PATH_BROKEN'. The explanation is: The JTAG IR and DR scan-paths cannot circulate bits, they may be broken. An attempt to scan the JTAG scan-path has failed. The target's JTAG scan-path appears to be broken with a stuck-at-ones or stuck-at-zero fault.</p>	<p>通常在未正确连接 JTAG 信号时报告此错误，但此错误也可能是由信号质量不佳引起的。验证目标和探针之间的 JTAG 连接是否符合数据手册的建议。</p> <p>当 TDI 和 TDO 在运行时用作通用输入/输出 (GPIO) 时，如果调试探针使用 4 引脚 JTAG，也会发生这种情况。</p> <p>如果上拉或下拉电阻器对信号线影响太大，也会发生这种情况，因此请在调试时尝试将其移除。请与数据手册的建议进行比较。</p> <p>如果器件无法正常引导，则有时会出现此错误。使用示波器观察电源轨和 XRSn，以确保器件正常引导并且 XRSn 变为高电平。由于看门狗的影响，预计 XRSn 会在未编程的器件上定期重新引导。</p> <p>请参阅硬件设计指南的 <a href="#">有缓冲情况</a> 部分。</p>
<p>Error connecting to the target: (Error -1015 @ 0x0) Device is not responding to the request. Device may be locked, or the debug probe connection may be unreliable. Unlock the device if possible (e.g. use wait in reset mode, and power-cycle the board.) If error persists, confirm configuration and/or try more reliable JTAG settings (e.g. lower TCLK).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 验证目标配置中的 <i>Test Connection</i> 是否通过。如果连接失败，请按照适用于该错误代码的步骤进行操作。</li> <li>2. 将器件设置为等待引导模式。</li> <li>3. 按照 <a href="#">手动启动说明</a> 进行操作，连接到器件。</li> <li>4. 验证您是否能够在存储器浏览器中读取 PARTID。</li> <li>5. 重试以对器件进行编程。</li> <li>6. 如果应用这些步骤仍然无法清除错误，请检查以下各项：器件上是否有密码位置？片上闪存工具设置是怎样的？是否只能对 RAM 进行编程？XRSn 是否正确置为有效？</li> </ol>
<p>Error connecting to the target:(Error -1135 @ 0x0)The emulator reported an error. Confirm emulator configuration and connections, reset the emulator, and retry the operation.</p>	<p>此错误消息通常是由硬件相关问题引起的。验证 VDDIO/VDD 是否正确供电。确认 XRSn 置为高电平有效，表示器件正常退出复位。JTAG 电缆较长、端接不当或电容过大也会降低 JTAG 信号完整性。</p>

表 4-1. 常见错误代码表 (续)

错误消息	调试步骤
Error connecting to the target: (Error -151 @ 0x0) One of the FTDI driver functions used during the connect returned bad status or an error. The cause may be one or more of: no XDS100 is plugged in, invalid XDS100 serial number, blank XDS100 EEPROM, missing FTDI drivers, faulty USB cable. Use the xds100serial command-line utility in the 'common/uscif' folder to verify the XDS100 can be located. (Emulation package 8.0.903.2)	1. 检查目标配置文件，确保选择了正确的调试探针。 2. 检查 PC 设备管理器中是否显示了调试探针。 3. 尝试更换 USB 电缆，或尝试使用其他调试探针以确保正在使用中的探针未损坏。
Trouble Reading Register PC: (Error -1156 @ 0x0) Device may be operating in low-power mode. Do you want to bring it out of this mode? Choose 'Yes' to force the device to wake up and retry the operation. Choose 'No' to retry the operation without waking the device.	1. 验证目标配置中的 <b>Test Connection</b> 是否通过。如果连接失败，请按照适用于该错误代码的步骤进行操作。 2. 将器件设置为等待引导模式。 3. 按照 <a href="#">手动启动说明</a> 进行操作，连接到器件。 4. 验证您是否能够在存储器浏览器中读取 PARTID。 5. 重试以对器件进行编程。 6. 如果应用这些步骤仍然无法清除错误，请检查以下各项：器件上是否有密码位置？片上闪存工具设置是怎样的？是否只能对 RAM 进行编程？XRSn 是否正确置为有效？
C28xx_CPU1: Error: (Error -1044 @ 0x0) The debug probe reported an error. Confirm debug probe configuration and connections, reset the debug probe, and retry the operation.	尝试在不对目标 MCU 进行下电上电的情况下对调试探针进行下电上电。尝试更可靠的 JTAG 设置，例如较低的时钟频率。
The value is '-230' (0xffffffff1a). The title is 'SC_ERR_PATH_MEASURE'. The explanation is: The measured lengths of the JTAG IR and DR scan-paths are invalid. This indicates that an error exists in the link-delay or scan-path.	确认在目标配置文件 (*.ccxml) 中配置了预期的 JTAG/cJTAG 模式。请注意，某些 TI EVM (LaunchPad/controlCARD) 只能支持 2 引脚或 4 引脚 JTAG，具体取决于电路板设计。请参考 EVM 用户指南予以确认。 当 JTAG 信号的质量较差时，通常会报告此错误。验证目标和探针之间的 JTAG 连接是否符合数据手册。尝试降低 TCK 频率并检查布线长度。 请参阅硬件设计指南的 <a href="#">有缓冲情况</a> 部分。
C28xx_CPU1: Trouble Setting Breakpoint with the Action "Continue or Finish Stepping" at 0x83146: (Error -1066 @ 0x83146) Unable to set/clear requested breakpoint. Verify that the breakpoint address is in valid memory. (Emulation package 9.13.0.00201) C28xx_CPU1: Breakpoint Manager: Retrying with a AET breakpoint	对于某些器件，在通过闪存运行代码时只允许有一个断点，因为必须使用硬件断点。查看器件数据手册，以了解硬件断点数量。
Error Initializing Emulator: (Error -2083 @ 0x0) Unable to communicate with the debug probe. Confirm debug probe configuration and connections, reset the debug probe, and retry the operation.	1. 检查目标配置文件，确保选择了正确的调试探针。 2. 检查 PC 设备管理器中是否显示了调试探针。 3. 尝试更换 USB 电缆，或尝试使用其他调试探针以确保正在使用中的探针未损坏。

表 4-1. 常见错误代码表 (续)

错误消息	调试步骤
<p>Error connecting to the target: (Error -2131 @ 0x0) Unable to access the device register. Reset the device, and retry the operation. If error persists, confirm configuration, power-cycle the board, and/or try more reliable JTAG settings (e.g. lower TCLK).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 确认在目标配置文件 (*.ccxml) 中配置了预期的 JTAG/cJTAG 模式。请注意, 某些 TI EVM (LaunchPad/controlCARD) 只能支持 2 引脚或 4 引脚 JTAG, 具体取决于电路板设计。请参考 EVM 用户指南予以确认。</li> <li>2. 验证目标配置中的 <b>Test Connection</b> 是否通过。如果连接失败, 请按照适用于该错误代码的步骤进行操作。</li> <li>3. 将器件设置为等待引导模式。</li> <li>4. 按照 <a href="#">手动启动说明</a> 进行操作, 连接到器件。</li> <li>5. 验证您是否能够在存储器浏览器中读取 PARTID。</li> <li>6. 重试以对器件进行编程。</li> <li>7. 如果应用这些步骤仍然无法清除错误, 请检查以下各项: 器件上是否有密码位置? 片上闪存工具设置是怎样的? 是否只能对 RAM 进行编程? XRSn 是否正确置为有效?</li> </ol>
<p>This error is generated by TI's USCIF driver or utilities. The value is '-242' (0xffffffff0e). The title is 'SC_ERR_ROUTER_ACCESS_SUBPATH'. The explanation is: A router subpath could not be accessed. The board configuration file is probably incorrect.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查目标配置文件, 确保选择了正确的调试探针。</li> <li>2. 检查 PC 设备管理器中是否显示了调试探针。</li> <li>3. 尝试更换 USB 电缆, 或尝试使用其他调试探针以确保正在使用中的探针未损坏。</li> </ol>
<p>Error connecting to the target: (Error -267 @ 0x0) The controller could not detect valid target supply. JTAG connection and/or connection setting specifying voltage level.</p>	<p>仅当调试探针上的 VTREF 引脚未连接到 3.3V 时才会出现该错误消息。确保已经给目标板供电且 XRSn 正确置为有效。</p>
<p>C28xx: Failed CPU Reset: (Error -1137 @ 0x0) Device is held in reset. Take the device out of reset, and retry the operation.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 验证目标配置中的 <b>Test Connection</b> 是否通过。如果连接失败, 请按照适用于该错误代码的步骤进行操作。</li> <li>2. 将器件设置为等待引导模式。</li> <li>3. 按照 <a href="#">手动启动说明</a> 进行操作, 连接到器件。</li> <li>4. 验证您是否能够在存储器浏览器中读取 PARTID。</li> <li>5. 重试以对器件进行编程。</li> <li>6. 如果应用这些步骤仍然无法清除错误, 请检查以下各项: 器件上是否有密码位置? 片上闪存工具设置是怎样的? 是否只能对 RAM 进行编程? XRSn 是否正确置为有效?</li> </ol>
<p>The JTAG IR Integrity scan-test has failed. The JTAG DR Integrity scan-test has failed.</p>	<p>当 JTAG 信号的信号质量较差时, 会报告此错误。尝试降低 TCK 频率并检查布线长度。请参阅硬件设计指南的<a href="#">有缓冲情况</a>部分。</p>

## 5 JTAG 链中的多个器件

JTAG 标准允许单个 JTAG 调试探针与多个器件进行菊花链连接。实际上，各种约束会限制可在链中连接的目标器件数量。XDS 类调试器都具有有限数量的指令寄存器 (IR) 位，调试探针可以在预期看到返回的位之前循环这些位。许多较旧的 C2000 器件都要求每个器件循环 38 个 IR 位，而由于具有 ICEPick JTAG 路由控制器，所有较新的器件只需循环 6 个 IR 位。在撰写本应用手册时，以下器件具有 ICEPicks：F2807x、F28M3x、F2837xD、F2837xS、F28004x、F2838x、F28002x、F28003x、F280013x、F280015x、F28P65x 和 F28p55x。要确定器件是否具有 ICEPick，请使用 Code Composer Studio 来查看目标配置的 *Advanced* 选项卡，如图 5-1 所示。

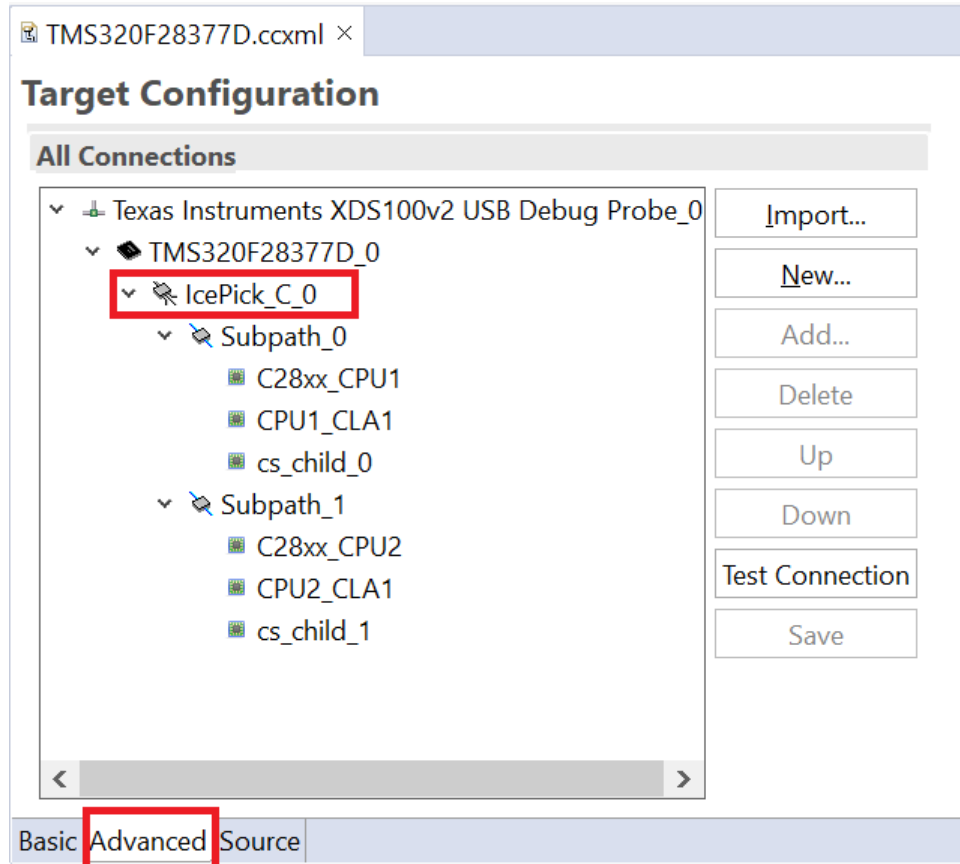


图 5-1. 目标配置高级视图

对于没有 ICEPick 的器件，这意味着 XDS100、XDS110 和 XDS200 调试探针只能在一个链中可靠地连接最多两个器件。但是，使用 ICEPick 可以在 JTAG 链中连接多达 12 个器件。XDS560 可以在没有 ICEPick 的情况下可靠地连接到三个器件，并且可以通过 ICEPick 连接多达 18 个器件。另请参阅 [TI ICEPick Module Type C 参考指南](#)。

## 6 非侵入式调试

用户可以以非侵入式方式连接，查看器件的实时状态，而不会中断执行。为防止在目标连接时触发复位，需要遵循以下步骤：

### 备注

F28P55x 器件上使用了以下步骤，但可以应用于任何 F28x 器件。

1. 打开位于 `ccs\ccs_base\emulation\gel` CCS 安装文件夹中的特定器件 GEL 文件。在本示例中，F28P55x 器件使用 "f28p55x.gel"。
  - a. 根据器件系列的不同，GEL 文件名也可以与可订购器件型号（例如"f2800157.gel"）。
2. 在 `OnTargetConnect()` 函数中，注释掉任何 `GEL_Reset()` 和 RAM 初始化行。保存文件。

```

OnTargetConnect()
{
// *(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_DXINIT) = 0x00FF; /* RAM INIT FOR M0/M1 Memory */
// while(!*(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_DXINITDONE) == 0xFF); /* Wait for InitDone Status */
// *(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_LSXINIT) = 0x00FF; /* RAM INIT FOR LS1..LS7 Memory */
// while(!*(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_LSXINITDONE) == 0xFF); /* Wait for InitDone Status */
// *(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_GSXINIT) = 0x00FF; /* RAM INIT FOR G0..G3 Memory */
// while(!*(int *) (MEMCFG_BASE + MEMCFG_O_GSXINITDONE) == 0xFF); /* Wait for InitDone Status */
// GEL_TextOut("\n\nRAM initialization done\n\n");

if (GEL_IsInRealtimeMode()) /* If in real-time-mode */
{
}
else /* Put device into C28x Mode */
{
C28x_Mode();
}

f28p55_Memory_Map(); /* Initialize the CCS memory map */

/* Check to see if CCS has been started-up with the DSP already */
/* running in real-time mode. The user can add whatever */
/* custom initialization stuff they want to each case. */

if (GEL_IsInRealtimeMode()) /* Do real-time mode target initialization */
{
}
else /* Do stop-mode target initialization */
{
// GEL_Reset(); /* Reset DSP */
}
}
    
```

图 6-1. 要注释掉的 GEL `OnTargetConnect()` 行

3. 在 CCS 中，导航至调试窗口 *目标配置* 下拉菜单。打开预期的目标配置文件。验证是否配置了正确的调试探针、器件和初始化脚本 (GEL)。

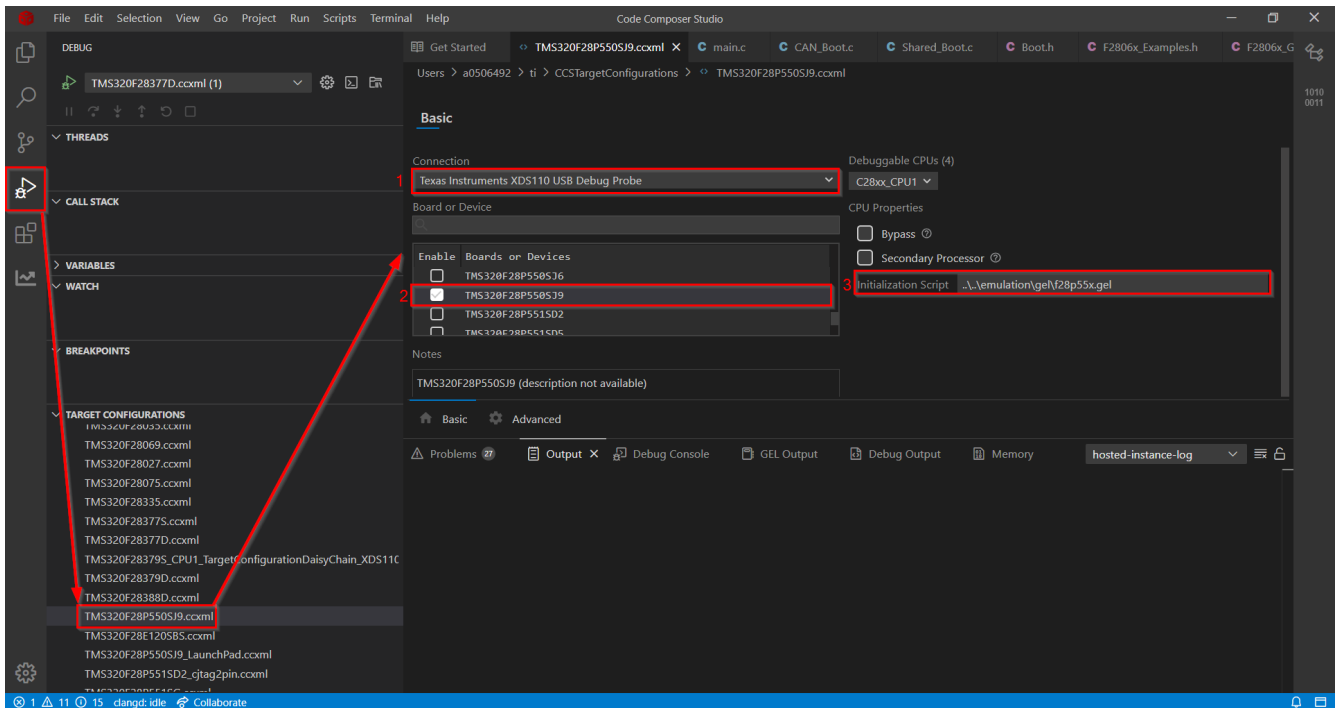


图 6-2. 设置目标配置文件

4. 右键单击目标配置下拉列表中的预期目标配置 (Ccxml)，然后选择启动无项目调试。
5. 右键单击线程下拉列表中的 "C28xx\_CPU1" (或任何 CPU 内核)，再打开属性... 窗口。
6. 请确认在程序/内存加载选项菜单 (针对目标内核) 的连接选项下，“连接时暂停目标”和“连接时重置目标”两项均未被选中。配置后保存并关闭属性。

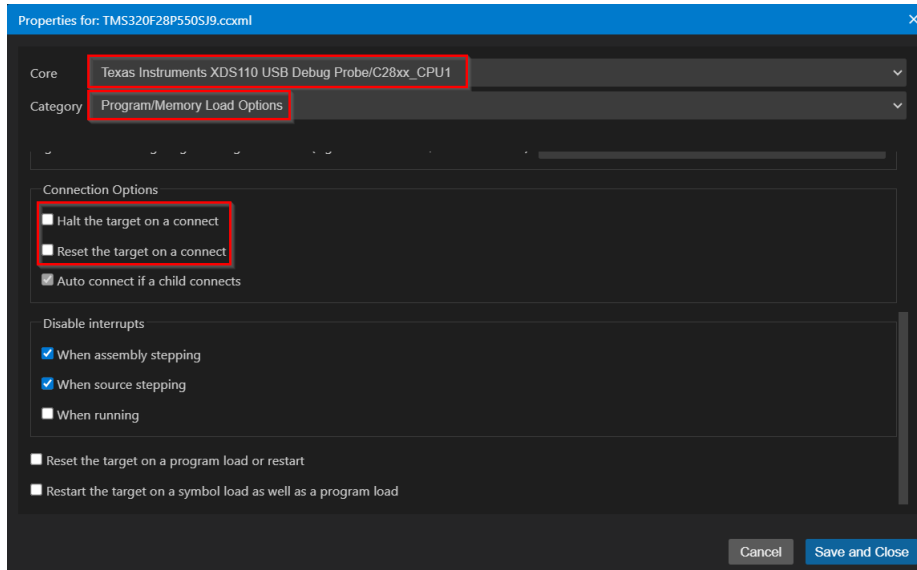


图 6-3. 目标配置属性

7. 重新启动无项目调试会话并连接到预期的 CPU 内核。现在可以以非侵入方式建立连接。
  - a. 也可以加载程序的符号以观察器件的当前状态。

## 7 禁用和复位 JTAG TAP

### 备注

以下部分与以下器件系列相关：

- F28004x
- F28002x
- F28003x
- F280013x
- F280015x
- F28P55x
- F28P65x
- F28E12x

JTAG 测试访问端口 (TAP) 是用于访问、测试和调试片上逻辑的标准化硬件接口 (IEEE 1149.1)。TAP 充当 FSM，通过 TDI/TDO 将数据移入/移出以控制边界扫描寄存器，从而进行板级测试、硬件调试和系统编程。

TAP\_STATUS 寄存器反映任何给定时间 TAP 的状态。通常，当器件未连接 JTAG 仿真器时，该状态保持为 TLR (测试逻辑复位) 状态。在某些 PCB 噪声过大的情况下，可能会出现不必要的 TMS 和 TCK 切换，从而使 JTAG 退出 TLR 状态。如果这种情况持续存在，最终可能会导致 JTAG 边界扫描或其他 JTAG 模式意外激活，从而直接干扰预期应用。TAP 可能通过边界扫描 (BSCAN) 模式绕过正常应用逻辑来控制 GPIO，这最终可能会导致系统死机。

图 7-1. TAP\_STATUS 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
DCON		RESERVED					
R-0h		R-0-0h					
23	22	21	20	19	18	17	16
RESERVED							
R-0-0h							
15	14	13	12	11	10	9	8
TAP_STATE							
R-0h							
7	6	5	4	3	2	1	0
TAP_STATE							
R-0h							

表 7-1. TAP\_STATUS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	DCON	R	0h	来自 IcePick 的 DebugConnect 指示。 复位类型：PORESETn
30-16	RESERVED	R-0	0h	保留

**表 7-1. TAP\_STATUS 寄存器字段说明 (续)**

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TAP_STATE	R	0h	TAP 状态向量。通过位表示，将相应的 POTAP* 输出连接至 0x0001:TLR, 0x0002:IDLE, 0x0004:SELECTDR, 0x0008:CAPDR, 0x0010:SHIFTDTR, 0x0020:EXIT1DR, 0x0040:PAUSEDTR, 0x0080:EXIT2DR, 0x0100:UPDTR, 0x0200:SLECTIR, 0x0400:CAPIR, 0x0800:SHIFTIR, 0x1000:EXIT1IR, 0x2000:PAUSEIR, 0x4000:EXIT2IR, 0x8000:UPDIR 复位类型：PORESETn

表 7-2 列出了在 C2000 器件上实施的各种 BSCAN 测试。可在 TI 产品页面上针对各器件系列提供的 BSDL 模型中查阅这些模式。并非所有 BSCAN 模式都会控制 GPIO 功能。扫描序列“xxxxxx”表示 TDI 上的二进制输入，当最后一位被 TCK 时钟信号触发后，该序列将最终使器件进入相应的 BSCAN 模式。

**表 7-2. 边界扫描模式**

指令	TDI 串行扫描	GPIO 影响	系统影响
EXTEST	'b011000	门控 GPIO (可配置)	可实现
样品	'b011011	无	无
BYPASS	'b111111	无	无
HIGHZ	'b011110	门控 GPIO	所有引脚断开连接
IDCODE	'b000100	无	无
预加载	'b011011	无	无

为避免任何意外进入 BSCAN 模式，请在电路板上放置足够强的外部拉电阻器（尤其是在 TMS 和 TCK 上），以防止噪声激活 JTAG。为了最大限度地提高可靠性，如果系统中未使用 TDI，则将 GPIO 方向更改为输出并驱动为低电平。由于 'b000000 是未使用的指令扫描序列，因此在扫描时不会改变器件行为。

#### 备注

在 F28P55x 和 F28P65x 器件上，提供了 TAP\_CONTROL 寄存器，以便通过设置 BSCAN\_DIS 位完全禁用 BSCAN 模式。即使 BSCAN 模式被禁用，仍然允许通过 JTAG 访问调试器。

从软件的角度来看，应用代码可以轮询 TAP\_STATUS 寄存器来检测器件干扰。SOFTPRES40[JTAG\_nTRST] 寄存器也可用于通过软件复位 JTAG TAP。用户可以检测到 TAP 从 TLR 转换到 IDLE 状态（此时尚未对系统产生影响），并在器件发出未知指令之前将 TAP 复位回 TLR 状态。请参阅此 [E2E 常见问题解答](#)，详细了解如何使用 SOFTPRES40 复位 JTAG TAP 状态，即使该寄存器在 CCS 或器件专用的《技术参考手册》中未作说明。

#### 备注

使用 SOFTPRES40 寄存器时请务必谨慎，因为除非代码通过其他 GPIO 状态或其他方式对写入该寄存器的操作进行限定，以区分噪声和调试器访问，否则这将阻止调试器的连接。例如，TAP\_STATUS 寄存器中的 DCON 位可用于指示器件是否连接了调试器。

## 8 JTAG 连接调试流程

以下流程图提供了隔离和执行常见故障排除建议的分步指导，以解决 JTAG 连接问题。如果在流程结束时仍有问题，请将问题提交至 [TI 工程师对工程师 C2000 支持论坛](#) 以获得支持。

## 8.1 整体调试流程

如何使用这些流程图：

1. 查看图 8-1 中的步骤，并首先浏览高压隔离流程。即使隔离不是主要问题，这也很重要，因为隔离可能会影响 PCB 的仿真方面。
2. 按照 JTAG 调试主流程图操作。完成中间步骤后，返回到主流程，如果仍有问题，则继续。
3. 如果在使用所有流程元素后无法解决问题，请向 TI E2E 支持论坛提交问题。节 9 末尾的列表提供了问题中应包含哪些内容，以能够最为高效地获得 TI 的响应。

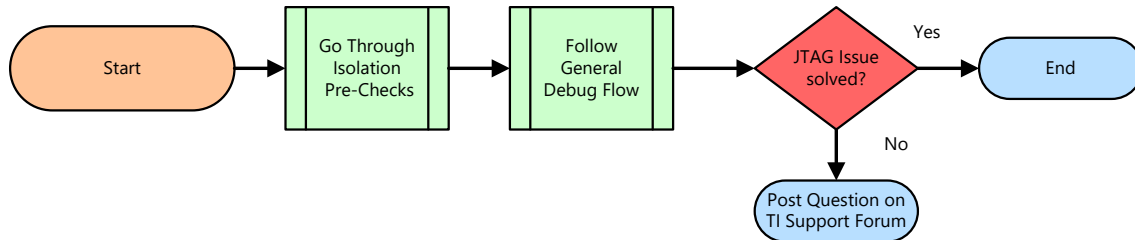


图 8-1. 整体调试流程

## 8.2 高压隔离检查流程

许多 C2000 应用本质上都是大功率应用。因此，在调试时，应将目标板的电源平面与主机隔离。许多 TI 制造的电路板都具有隔离仿真，或可以使用板载选项来实现它。图 8-2 显示了用于帮助确定是否存在隔离式 JTAG 的流程图，如果存在，则对这些系统中的常见问题进行故障排除。另外还有独立的调试探针也提供隔离；此流程与这些探针无关。

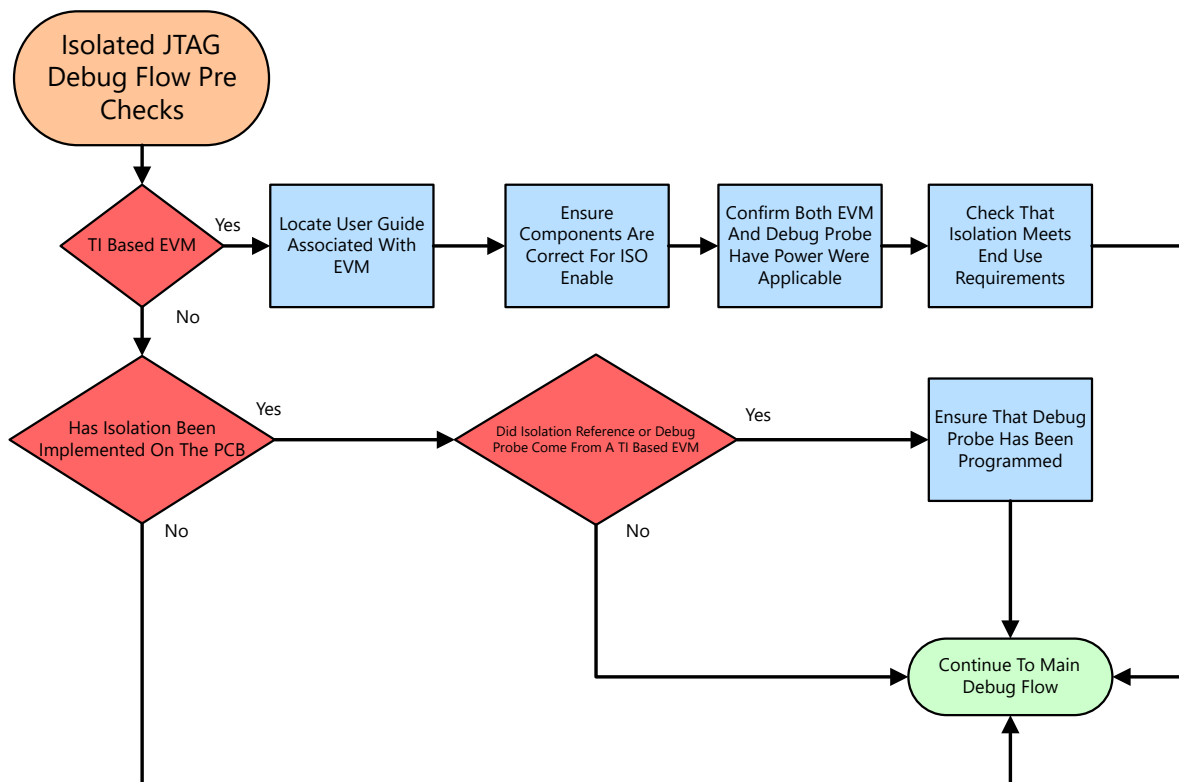


图 8-2. JTAG 隔离预检查

### 8.3 JTAG 调试主流程

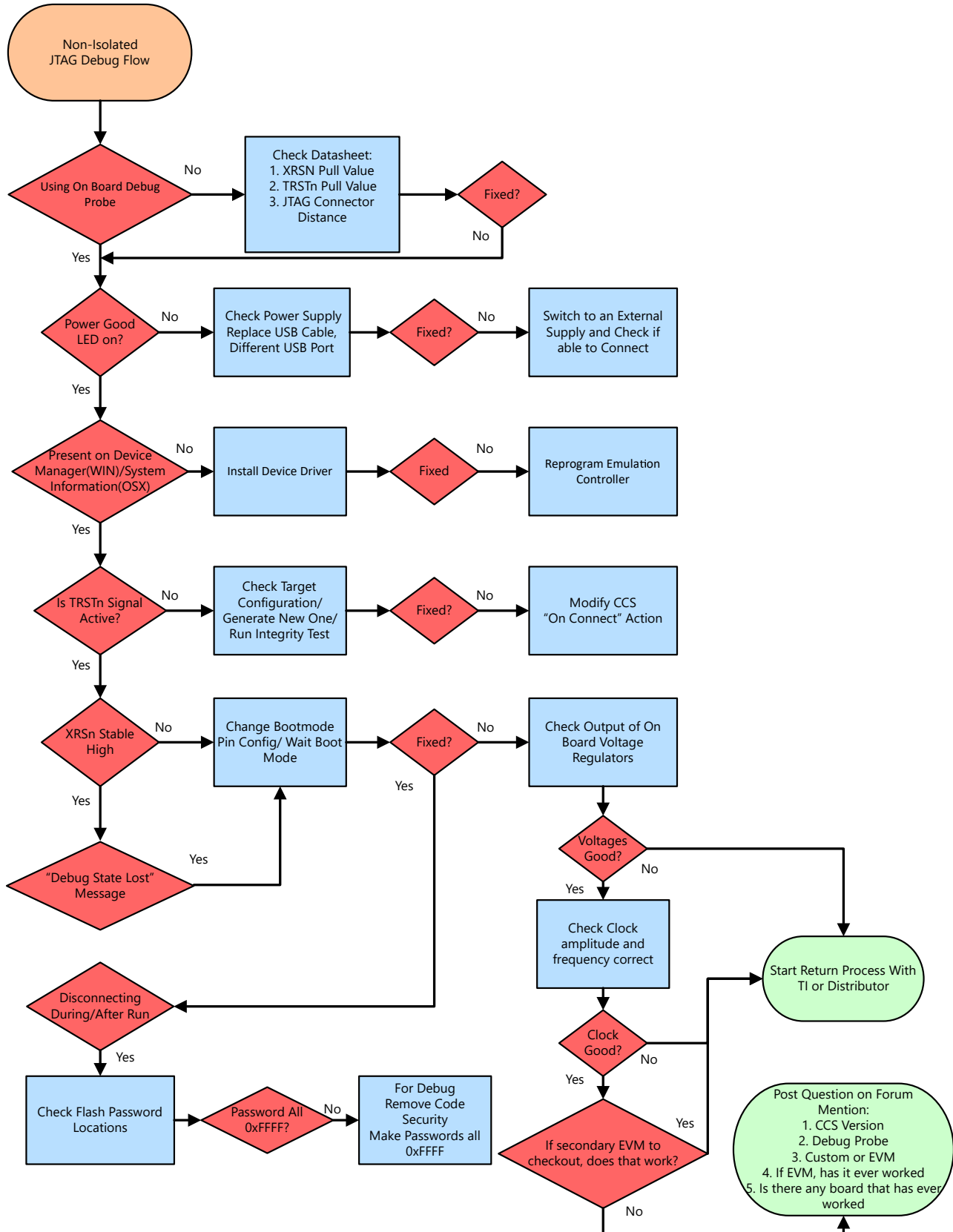


图 8-3. JTAG 调试流程

## 9 详细的流程步骤信息

从整体调试流程 (图 8-1) 开始, 确定是否需要高压隔离检查流程 (图 8-2)。完成后, 逐步完成主 JTAG 调试流程 (图 8-3)。

这是流程图的补充列表。此列表提供了有关每个步骤的指令的更多背景信息, 以帮助更好地了解要完成的操作。

### 9.1 隔离预检查流程

1. **TI 的 EVM** : 如果是 TI 的 EVM 正在调试, 则遵循该流程图中的此分支流程。
2. **找到与 EVM 相关的用户指南** : 所有 TI 的 EVM 都有用户指南或快速入门指南, 其中详细介绍了 EVM 的特性以及对 EVM 正确运行至关重要的元件。预先查看这些内容有助于完成调试过程 ( 本文档中对此进行了说明 ) 。
3. **电路板上实现了隔离** : 根据上一步中所述的参考指南或其他文档 ( 如果 EVM 不是 TI 生产的 ), 确定正在调试的电路板是否实现了隔离电路。
4. **确保元件针对 ISO 启用是正确的** : 参考 EVM 的文档, 确保正确安装了所有开关、跳线或分流器, 以实现 EVM 所需的隔离状态。
5. **确认 EVM 和仿真都具有电源 ( 如果适用 )** : 为了在本地域和高功率域之间实现电源平面的适当隔离, 使用了隔离器来连接这两个平面并允许仿真信号到达 MCU。由于有单独的电源平面, 因此必须有两个路径, 从而为每个平面供电。通过仿真确保两个平面都有电源连接到器件。
6. **检查隔离是否满足最终使用要求** : 虽然这不是初始系统调试的必要检查, 但务必要熟悉所使用的隔离器件, 以便了解器件是否满足终端系统的要求。虽然 TI EVM 已经充分考虑了最终应用中的这个方面, 但如果有 TI EVM 与定制 EVM 混合使用, 这可能仍是一项必要的检查。
7. **隔离\仿真参考是否来自 TI 的 EVM** : 很多时候, 定制设计会重复使用 TI EVM 的隔离和仿真电路。虽然从电气方面来说这样听起来不错, 但经常被忽略的是仿真芯片组仍需要进行编程。对于 TI 的 EVM, 这种情况会在该 EVM 销售之前发生于定制电路板上; 但是, 仍需要在生产流程中了解此流程。

### 9.2 JTAG 调试流程

1. **使用板载调试探针** :
  - a. **是** : 许多 C2000 MCU 板均在 PCB 上实施了 JTAG 调试探针。除非有应用要求, 否则 TI 建议使用板载调试探针进行开发。XDS100 和 XDS110 是两款可在 TI C2000 评估模块 (EVM) 上找到的目标调试探针。
  - b. **否** : 如果电路板设计是定制的并且使用独立调试探针, 则在继续调试流程之前, 需要先验证 JTAG 接头和无源器件的实现。特定于器件的数据表中包含参考原理图, 其中提供了正确的上拉或下拉值, 以确保器件正常运行。如果 PCB 由 TI 制造, 则可以跳过此步骤。
2. **电源正常 LED 亮起** : 此步骤旨在验证目标是否由电源正确供电, 而无需使用电压表等任何外部设备。所有 TI C2000 开发板都有 LED 指示正在为 MCU 供电。其他 LED 可用于指示一些开箱即用的代码正在成功运行。有关这些 LED 的位置和功能, 请参阅调试中 EVM 的器件特定用户指南。

3. **更换电缆**：如果未观察到电源正常 LED，则 EVM 的电源可能存在问题。许多 TI EVM 不仅使用 USB 连接来提供从主机到目标的调试路径，而且还使用 USB 的 5V 电压来为 EVM 供电。简单检查后可以更换 USB 电缆，确保不会出现这种问题。如果主机的功率不足，也可以使用插电的 USB 集线器。
4. **切换到外部电源**：如果电路板由 TI 制造，但板载电源无法提供适当电平的电源，并且 USB 电缆已知良好，则尝试切换到 EVM 的外部电源。要了解是否支持此功能，请参阅 EVM 的器件特定用户指南。在这种情况下，需要探测电路板上的一些电压，以确定是电源由问题，还是 PCB 上的某个元件会抑制 MCU 的电压。
5. **出现在设备管理器中**：为了让 JTAG 调试探针与 PC 通信，需要安装驱动程序文件。这通常与安装 Code Composer Studio (CCS) 同时发生。要验证驱动程序是否已成功安装，请将 PC 连接到 JTAG 调试探针并开机。然后转至“Control Panel”→“Device Manager”（图 9-1）并找到相关的调试探针。

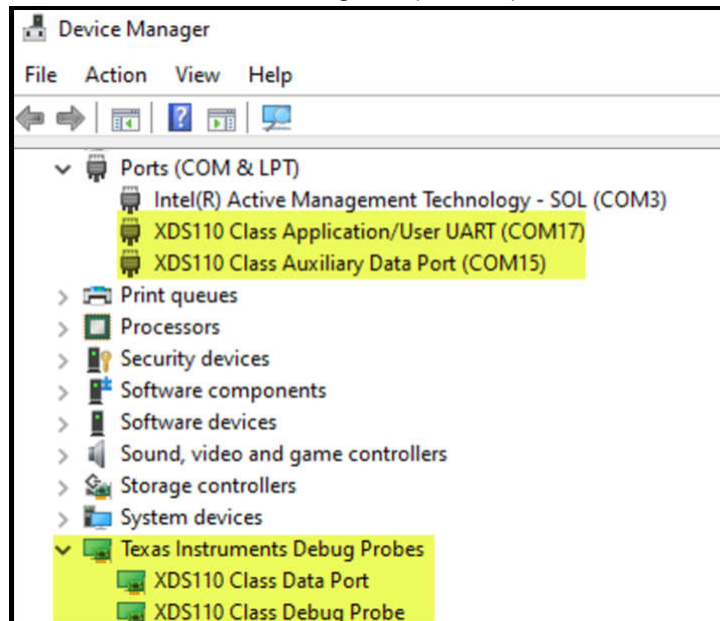


图 9-1. Microsoft® Windows® 10 设备管理器显示成功检测到 XDS110 调试探针

6. **对仿真控制器进行重新编程**：此步骤确保用作仿真控制器的器件具有正确的固件。
  - a. XDS100v1：主机器件是 FTDI FT2232 [遵循重新编程指南](#)
  - b. XDS100v2：主机器件是 FTDI FT2232 [遵循重新编程指南](#)
  - c. XDS110：主机器件是 TI MCU TM4C1294NCPDRI3R [遵循重新编程指南](#)。
7. **安装器件驱动程序**：主机 PC/MAC 系统中没有显示调试探针的另一个可能原因是未安装驱动程序。通常，驱动程序会在安装 CCS 时安装，但请参阅调试探针产品页面，以了解可能的驱动程序。
8. **MCU 上的 TRSTn 信号是否为高电平**：此步骤会检查 CCS 尝试连接到目标时是否存在特定行为。其中一个首要操作是测试复位 (TRSTn) 变为高电平无效，从而激活到外部调试探针的内核调试连接。如果 TRSTn 在 CCS 连接目标操作期间没有改变状态，则需要检查调试探针，以确保器件级和主机的操作系统内部是否都配置正确。

9. **检查目标配置**：目标配置文件 (.ccxml) 包含连接到目标器件和在用 JTAG 调试探针所需的信息。要查看当前目标配置，请在 CCS 的“View”选项卡下选择“Target Configurations” (图 9-2)。双击与要调试的目标对应的 .ccxml。如果正确安装了调试探针的驱动程序并且选择了正确的选项，则 **Test Connections** 按钮 (图 9-3) 应该可供使用并准备好执行。此测试的数据日志可以帮助查明连接问题的原因，请勿跳过此步骤。许多示例工程作为 C2000Ware 或 controlSuite 的一部分进行安装，它们具有一个 **target configs** 文件夹。这个文件夹中包含一个 .ccxml 文件，该文件是基于默认 EVM 和调试器的假设预先创建的。当使用 **Debug** 图标启动调试会话时，会使用此文件。如果 **Debug** 按钮是启动调试会话所需的方法，则需要修改 **target configs** 中的 .ccxml。

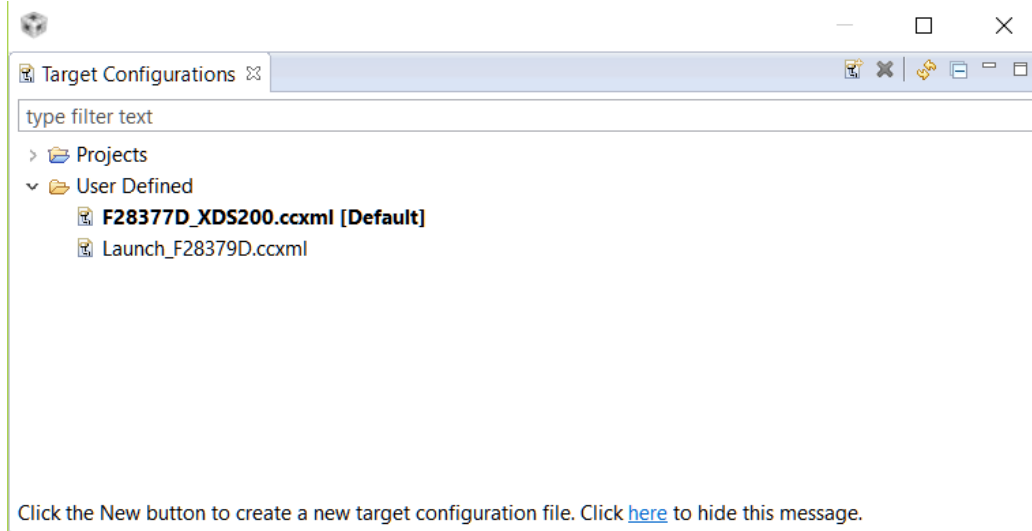


图 9-2. 目标配置视图

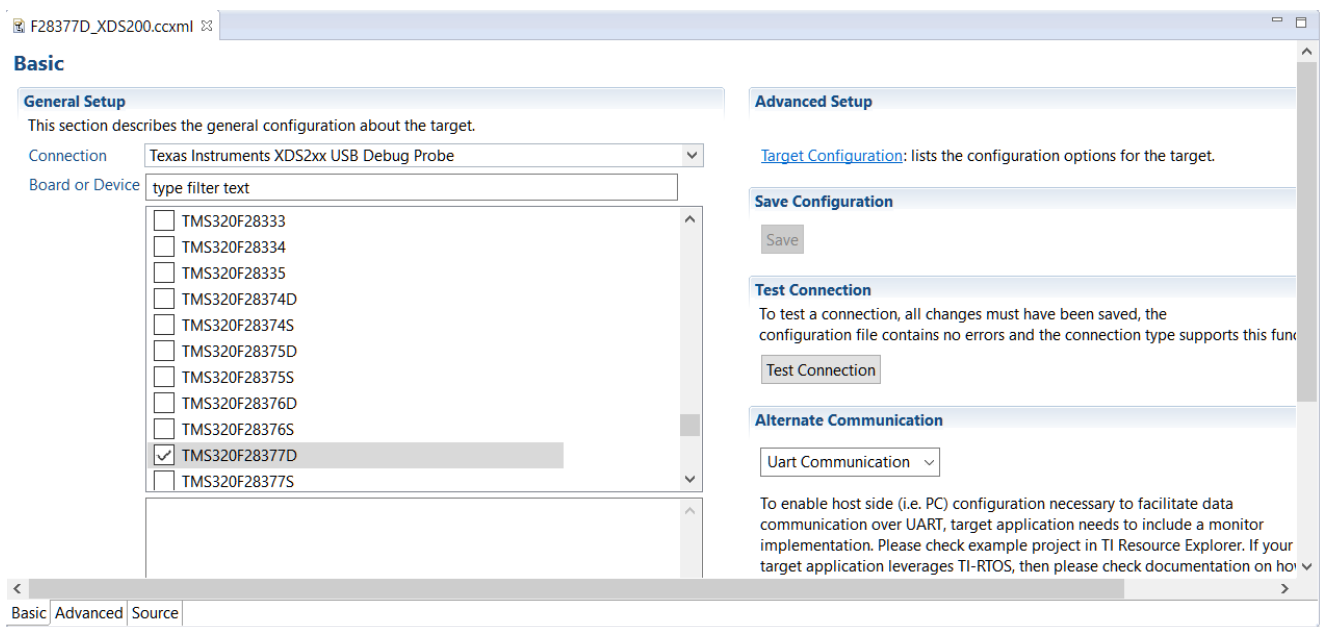


图 9-3. 测试连接

- 修改 CCS On Connect 操作**：有两种方法可以从 CCS 启动调试会话。一种方法是右键点击上一步中所需的目标配置，然后选择 *Launch Selected Configuration*。完成此操作后，可以通过右键点击 CPU 内核并选择“Connect Target”来连接目标 CPU。另一种方法是使用“Debug”按钮 (图 9-4)，使用该按钮时不仅会启动配置，而且还会建立连接，将目标程序文件加载到存储器中，并执行到 *main*。这些设置可以修改，但这是默认操作。可以通过以下方式修改默认操作：右键点击使用的 .ccxml 文件或从 *Debug* 按钮旁边的箭头下拉菜单中选择 *Debug Options*，并更改“Target”子菜单中的自动运行和启动选项。在本文档的故障排除阶段，建议使用以前的 *Connect Target* 方法。这有助于查明并非纯粹与 JTAG 相关、而是由代码执行或其他系统交互引起的任何问题。验证系统在启动和连接目标时保持稳定后，使用“Debug”按钮来处理这些步骤。

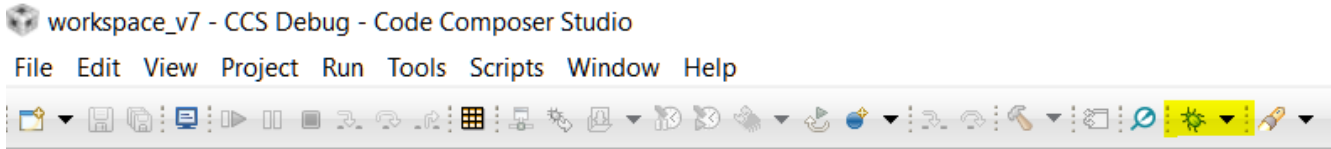


图 9-4. Code Composer *Debug* 按钮

- XRSn 状态**：观察示波器上的 XRSn，当器件运行时，XRSn 需要为高电平无效。XRSn 为低电平或从低电平到高电平再到低电平的脉冲可能表示存在多个问题之一。如果脉冲是周期性的，则可能是 MCU 上的看门狗 (WD) 导致复位，因为它未得到处理或未被禁用。这种切换行为并不是坏事，这表明 MCU 正在加电并执行代码，但该行为可能会导致调试流程不稳定。如果存在不确定的脉冲或 XRSn 始终为低电平，这可能表示由于电源电压问题或 PCB 上的某些问题而触发内部欠压复位 (BOR)。这与前面提到的静态电源检查不同。这两个潜在问题也可能在代码执行期间发生。这些问题可能会断开调试会话或阻止其可靠连接。
- 更改引导模式**：检查硬件文件，以确保引导模式引脚处于与预期模式对应的正确状态。如果 XRSn 引脚表现出上述行为，或者如果闪存存储器的状态未知，则进入等待引导模式会使器件进入允许读取存储器和寄存器的安全状态。如需更详细地了解等待引导模式所需的引导引脚和选择，请查看器件特定数据表的 *引导* 部分。
- Debug State Lost CCS 消息**：即使 XRSn 处于所需的高电平无效状态，仍然存在会阻止或终止调试连接的问题。此行为通常与在器件上执行的代码有关。因此，请将器件置于等待引导模式。
- 检查 VREG 设置**：为器件提供推荐工作条件之外的任何电压可能会导致发生掉电复位 (BOR) 事件。在这些情况下，应测量器件的电压轨。可以根据 *C2000Ware* 或 *controlSUITE* 中的原理图文件来验证器件电源轨的探测点。如果在代码执行期间发生此问题，则电源可提供给器件的电流大小可能会存在问题。如果正在调试的 EVM 是 TI 制造的器件，则根据设计，从外部电源生成的任何电源轨都应该正常，此时将进行检查以验证电路板的完整性是否良好。
- 检查时钟 (JTAG 时钟/系统时钟)**：测量并确认 JTAG 时钟和晶体或外部时钟源是否符合数据表定义的电平。检查制造商的数据表中是否有调试探针。这是确保为器件提供正常工作所需的输入的最后一步。许多 Piccolo™ 类器件都具有内置的零引脚振荡器。在外部时钟不确定的情况下，使用该时钟作为功能时钟会有所帮助。如需了解可用的时钟源及容差，请参阅器件特定数据表。虽然 JTAG 时钟通常在初始设置文件中保持默认速度，但降低时钟速率会有所帮助，可以看看这样是否会改善初始连接或提高连接稳定性。对于定制设计的 PCB，这可能特别有用。
- 第二个器件检查**：如果在执行上述所有步骤后无法解决问题，则可以使用第二个 PCB 或 EVM 来确定问题是否是一个 EVM 的局部问题。如果第二个器件以相同的方式发生故障，则可能存在设置问题或 EVM 的外部发生问题。

17. **运行期间\运行后断开连接**：如果器件被密码锁定，代码安全模块 (CSM) 中的仿真代码安全逻辑 (ECSL) 将禁用到器件的 JTAG 仿真，从而导致 JTAG 连接问题。如上文所述，此问题可能发生在连接之前，但如果在调试器连接期间访问了存储器的安全区域，也可能发生在调试期间。当等待引导模式允许连接时，该模式不会在调试期间纠正访问安全存储器的问题。要纠正此问题，必须使用已知的密码来解锁 CSM。要了解如何锁定和解锁器件，请参阅 CSM 模块上的器件特定数据表和相关步骤。如果不知道密码，则无法解锁器件。调试限制为不安全的区域。
18. **在 E2E.ti.com 上发帖提问**：在此流程结束后，如果通过 JTAG 连接器件或与器件保持连接时仍存在问题，可以将问题或疑问发布到 [TI C2000 工程师对工程师论坛](#)。发帖时，除记录您的问题之外，还请提供以下信息：
  - a. 帖子的主题或标题：JTAG 连接问题 - ( 在此处插入器件型号 )
  - b. CCS 版本
  - c. 使用的调试探针
  - d. 目标类型：TI 制造的 EVM 或定制 EVM
  - e. 确认已执行本指南中的步骤
  - f. JTAG 连接的定制电路板原理图 ( 如果不是 TI EVM 且在可能的情况下 )

## 10 参考资料

以下是有助于调试 JTAG 问题或为终端系统选择合适的 JTAG 仿真器件的具体支持页面

- [TI 常见 JTAG 问题调试指南](#)
- 德州仪器 (TI), [C2000™ 实时控制微控制器 \(MCU\) 使用入门](#)
- [C2000 实时微控制器](#)

## 11 修订历史记录

### Changes from Revision C (August 2024) to Revision D (April 2026) Page

---

- 为 XDS110 添加了隔离式调试功能.....2
  - 略微修改了 [常见错误代码](#) 部分的格式.....5
  - 新增了 [节 6](#) 部分.....9
  - 新增了 [节 7](#) 部分.....11
- 

### Changes from Revision B (January 2023) to Revision C (August 2024) Page

---

- 添加了 [LaunchPad™ 开发套件](#) 和 [controlCARD](#) 的 [调试步骤](#) 部分.....3
  - 添加了 [常见错误代码](#) 部分.....5
- 

### Changes from Revision A (January 2022) to Revision B (January 2023) Page

---

- 通篇更新了表格、图和交叉参考的编号格式.....2
  - 记录某些 JTAG 调试探针能够支持 JTAG 菊花链.....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