
第 33 章 编程和诊断

目录

本章包括下列主题：

33.1	简介	33-2
33.2	控制寄存器	33-3
33.3	工作原理	33-6
33.4	中断	33-18
33.5	I/O 引脚	33-18
33.6	节能模式下的操作	33-19
33.7	复位的影响	33-19
33.8	应用理念	33-19
33.9	相关应用笔记	33-20
33.10	版本历史	33-21

33.1 简介

PIC32MX 系列器件提供了一系列完整的编程和诊断功能，这些功能可以提高使用这些器件的应用的灵活性。这些功能让系统设计人员可以实现：

- 使用双线在线串行编程（In-Circuit Serial Programming™， ICSP™）接口来简化现场编程
- 使用 ICSP 进行调试
- 使用从联合测试行动组织（Joint Test Action Group， JTAG）接口中扩展的增强型联合测试行动组织（EJTAG）进行编程和调试
- 通过 JTAG 边界扫描测试进行器件和电路板诊断

PIC32MX 系列器件具有两个编程和诊断模块，以及一个跟踪控制器，为应用开发人员提供了一系列的功能。表 33-1 汇总了这些功能。

图 33-1： 编程、调试和跟踪端口的框图

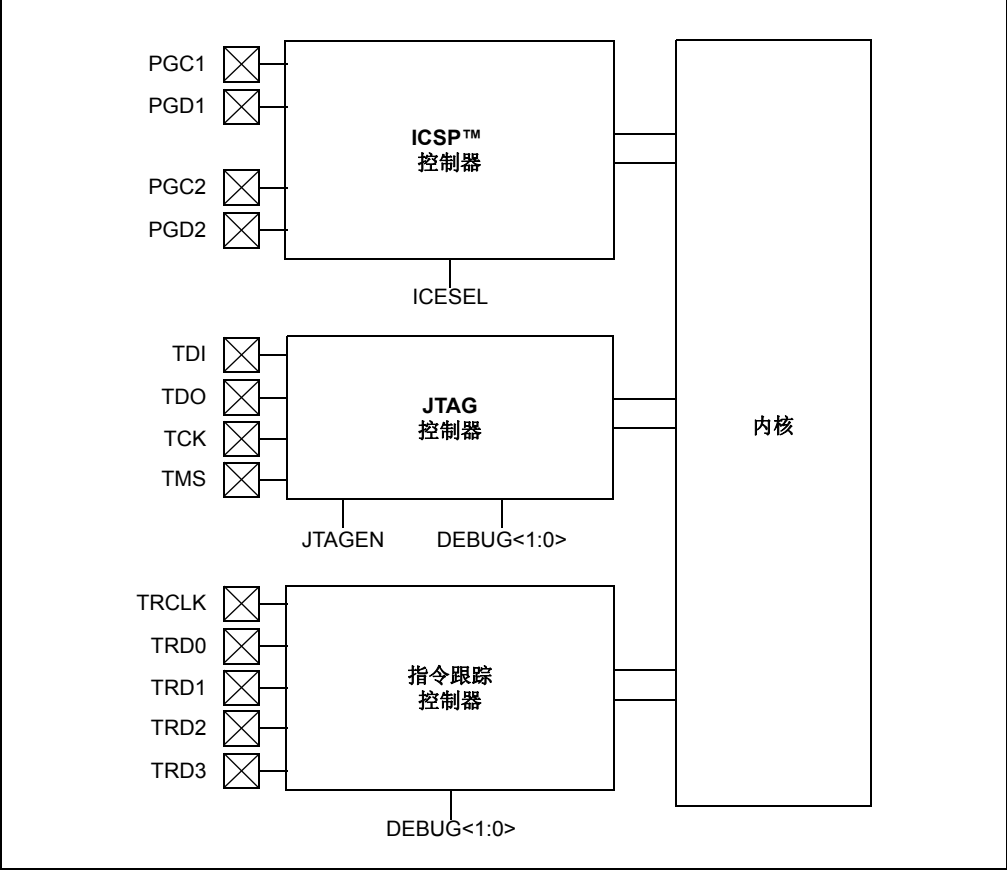


表 33-1： PIC32MX 系列编程和诊断特性比较

功能	所用的引脚	接口
边界扫描	TDI、TDO、TMS 和 TCK 引脚	JTAG
编程和调试	TDI、TDO、TMS 和 TCK 引脚	EJTAG
编程和调试	PGCx 和 PGDx 引脚	ICSP™

33.2 控制寄存器

编程和诊断模块包含以下特殊功能寄存器（Special Function Register，SFR）：

- DDPCON：诊断模块控制寄存器
DDPCONCLR、DDPCONSET 和 DDPCONINV：DDPCON 的原子级位操作只写寄存器
- DEVCFG0：器件配置寄存器 0

下表汇总了所有与编程和诊断相关的寄存器。该汇总表之后列出了相应的寄存器，并且每个寄存器均附有详细的说明。

表 33-2：编程和诊断 SFR 汇总

名称	位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
DDPCON	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
	23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
	7:0	—	—	—	—	JTAGEN	TROEN	—	—
DEVCFG0	31:24	—	—	—	CP	—	—	—	BWP
	23:16	—	—	—	—	PWP19	PWP18	PWP17	PWP16
	15:8	PWP15	PWP14	PWP13	PWP12	—	—	—	—
	7:0	—	—	—	—	ICESEL	—	DEBUG1	DEBUG0

寄存器 33-1: **DDPCON: 调试数据端口控制寄存器**

r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 31				bit 24			
r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 23				bit 16			
r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x	r-x
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15				bit 8			
r-x	r-x	r-x	r-x	R/W-1	R/W-0	r-x	r-x
—	—	—	—	JTAGEN	TROEN	—	—
bit 7				bit 0			

图注:

R = 可读位	W = 可写位	P = 可编程位	r = 保留位
U = 未实现位	-n = POR 时的值: (0, 1, x = 未知)		

- bit 31-4 **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 3 **JTAGEN:** JTAG 端口使能位
1 = 使能 JTAG 端口
0 = 禁止 JTAG 端口
- bit 2 **TROEN:** 跟踪输出使能位
1 = 使能跟踪端口
0 = 禁止跟踪端口
- bit 1-0 **保留:** 写入 1 ; 忽略读操作

寄存器 33-2: DEVCFG0: 器件配置寄存器 0

r-1	r-1	r-1	R/P-1	r-1	r-1	r-1	R/P-1
—	—	—	CP	—	—	—	BWP
bit 31				bit 24			
r-1	r-1	r-1	r-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1
—	—	—	—	PWP19	PWP18	PWP17	PWP16
bit 23				bit 16			
R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	r-1	r-1	r-1	r-1
PWP15	PWP14	PWP13	PWP12	—	—	—	—
bit 15				bit 8			
r-1	r-1	r-1	r-1	R/P-1	r-1	R/P-1	R/P-1
—	—	—	—	ICESEL	—	DEBUG1	DEBUG0
bit 7				bit 0			

图注:
R = 可读位 W = 可写位 P = 可编程位 r = 保留位
U = 未实现位 -n = POR 时的值: (0, 1, x = 未知)

- bit 3 **ICESEL:** ICE 调试器端口选择位
 1 = ICE 调试器使用 PGC2/PGD2
 0 = ICE 调试器使用 PGC1/PGD1
- bit 1-0 **DEBUG<1:0>:** 后台调试器使能位 (如果使能了代码保护, 则强制为 11)
 11 = 禁止 ICE 调试器
 10 = 使能 ICE 调试器
 01 = 保留 (与 11 设置相同)
 00 = 保留 (与 11 设置相同)

33.3 工作原理

PIC32MX 系列器件具有以下多个编程和调试选项：

- 通过 ICSP 进行在线编程
- 通过 EJTAG 进行在线编程
- 通过 ICSP 进行调试
- 通过 EJTAG 进行调试
- 针对选定通信外设的特殊调试模式
- 边界扫描

33.3.1 器件编程选项

注： 以下几节简要概述了每个编程选项。更多详细信息，请参见《PIC32MX 闪存编程规范》(DS61145)。对于所有器件编程选项，需要满足闪存擦除和编程操作的最低 VDD 要求。更多详细信息，请参见具体器件数据手册。

33.3.1.1 在线串行编程 (ICSP™)

ICSP 是 Microchip 专有的编程方法，用于在目标应用中对单片机进行编程。ICSP 也是最直接的器件编程方法，无论控制器是嵌入到系统中还是装入器件编程器中。

33.3.1.1.1 ICSP 接口

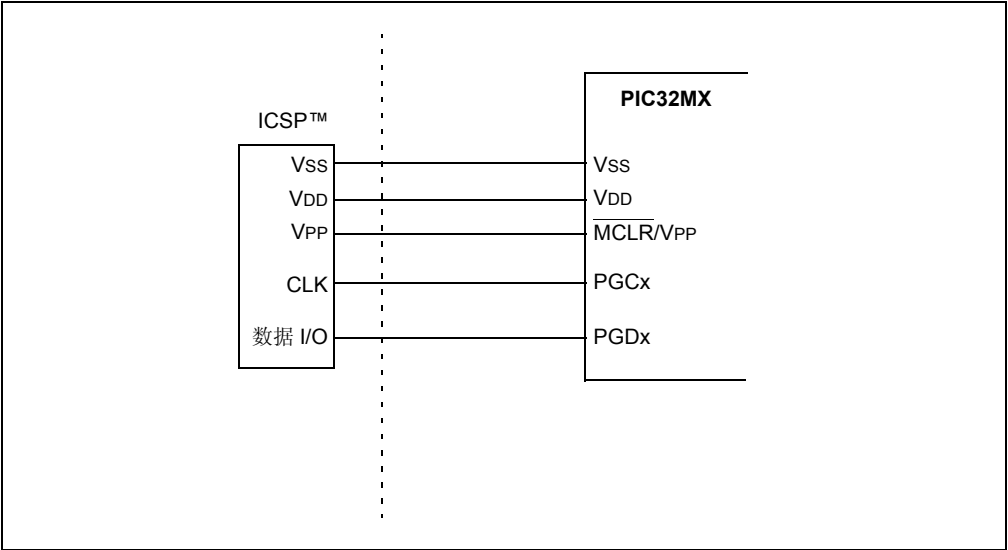
ICSP 使用两个引脚作为其接口的核心。编程数据线 (PGD) 既可用作输入，也可用作输出；通过该数据线，可以通过命令读入编程数据和读出器件信息。编程时钟线 (PGC) 用于为数据输入 / 输出提供时钟和控制整个过程。

大多数 PIC32MX 系列器件都具有多个 PGC 与 PGD 引脚对；这些引脚与其他 I/O 或外设功能复用。每组 ICSP 引脚对使用编号进行表示（例如，PGC1/PGD1 等），通称为“PGCx”和“PGDx”。由于器件具有多组 PGCx/PGDx 引脚对，用户可以使用受电路设计约束最少的引脚对来集成 ICSP，这可以为系统设计带来更大的灵活性。所有 PGCx 和 PGDx 引脚功能上相同，具有相同的行为，并且任意一组引脚对都可成功实现器件编程。唯一的限制在于必须使用同一引脚对中的两个引脚。

除了 PGCx 和 PGDx 引脚，ICSP 还要求必须连接器件上的所有电源（包括稳压器引脚 ENVREG）和接地引脚。此外，还必须将 MCLR 引脚（与 PGCx 一起用于进入和控制编程过程）与编程器连接。

图 33-2 给出了典型的在线串行编程连接。

图 33-2: 典型的在线串行编程（ICSP™）连接



33.3.1.1.2 ICSP 工作原理

ICSP 结合使用内部硬件和外部控制来对目标器件进行编程。编程数据和指令通过 PGD 提供。ICSP 使用一组特殊的命令来控制整个过程，并结合标准 PIC32MX 系列指令来执行程序存储器实际的写操作。PGD 还会在响应请求时向外部编程器返回数据。

编程过程的控制通过操作 PGC 和 $\overline{\text{MCLR}}$ 来实现。进入和退出编程模式需要对 $\overline{\text{MCLR}}$ 施加（或去除）电压，同时向 PGD 提供代码序列，向 PGC 提供时钟。可以使用任意一个 PGCx/PGDx 引脚对来进入编程模式。

内部过程由 PIC32MX 系列内核逻辑中内置的状态机控制；但是，该过程的整体控制必须由外部编程器进行。Microchip 编程器件（例如，MPLAB® PM 3，与 MPLAB IDE 软件一起使用）包含了管理 PIC32MX 系列编程过程所必需的硬件和算法。有兴趣了解更详细信息的用户，或者考虑为 PIC32MX 系列器件设计自己的编程接口的用户，请参见相应的 PIC32MX 系列器件编程规范。

33.3.1.2 增强型在线串行编程（EICSP）

增强型在线串行编程（Enhanced In-Circuit Serial Programming，EICSP）协议是原始 ICSP 的扩展。它使用与原始协议相同的物理接口，但更改了对写入 PIC32MX 系列器件的软件应用程序进行编程控制的位置和执行。使用增强型 ICSP 可以显著降低总编程时间。

ICSP 使用一个简单的状态机来控制编程过程的每一步；但是，该状态机是由外部编程器控制的。相反，增强型 ICSP 使用片内自举程序（称为编程执行程序）来管理编程过程。虽然外部编程器仍然可以控制整个器件编程过程，但编程执行程序将管理在标准 ICSP 中必须由编程器直接控制的大部分任务。

编程执行程序本身具有命令集，范围比原始 ICSP 更广，这些命令可以直接擦除、编程和校验器件的程序存储器。这可以避免重复运行 ICSP 命令序列来执行简单的任务。因此，增强型 ICSP 能够以比原始 ICSP 更快的速度对器件进行编程或再编程。

编程执行程序不是预先编程到 PIC32MX 系列器件中。如果需要增强型 ICSP，用户必须使用标准 ICSP 将执行程序装入 RAM 中的执行程序存储空间。这可以由用户直接完成，也可以使用兼容的 Microchip 编程系统自动完成。写入编程执行程序之后，就可以使用增强型 ICSP 对器件进行编程。

关于增强型 ICSP 和编程执行程序的更多信息，请参见《PIC32MX 闪存编程规范》(DS61145)。

33.3.1.3 使用 JTAG 接口的 EJTAG 器件编程

JTAG 接口也可用于对目标应用中的 PIC32MX 系列器件进行编程。使用带 JTAG 接口的 EJTAG 使得应用设计人员可以通过一个 4 引脚接口，将专用的测试和编程端口包含于应用中，而没有采用 ICSP 接口可能需要的电路约束。

33.3.1.4 使用 JTAG 接口的增强型 JTAG 编程

增强型 JTAG 编程使用标准的 JTAG 接口，但使用写入 RAM 中的编程执行程序。配合使用编程执行程序和 JTAG 接口可以显著提高编程速度。

33.3.2 调试

33.3.2.1 ICSP 和在线调试

ICSP 还提供了用于在线调试器 (In-Circuit Debugger, ICD) 的硬件通道，通过它可以从外部控制软件的调试。使用适当的硬件接口和软件环境，用户可以强制器件单步执行其代码、跟踪多个寄存器的实际内容，以及设置软件断点。

要使用 ICD，必须通过支持 ICD 的外部系统向单片机中装入调试器执行程序。许多调试器工具会自动处理该过程，例如 MPLAB IDE。对于 PIC32MX 系列器件，程序会被装入引导闪存存储空间的最末页中。不进行调试时，应用程序可以自由使用引导闪存的最末页。

PIC32MX 系列的 ICSP 支持包括存储器和寄存器查看与修改在内的标准调试功能。用户可以设置断点，可以停止或启动程序执行。除了这些功能之外，还可以在 CPU 正在运行时查看和修改寄存器或存储器内容。

与编程不同，ICSP 端口中只有一个端口可用于 ICD。如果实现了多个 ICSP 端口，则由一个配置位决定哪个端口可用。根据特定的 PIC32MX 系列器件，可能有两个或更多 ICSP 端口可供该功能选择。有效 ICSP 调试器端口通过 ICESEL 配置位进行选择。关于具体器件的信息，请参见相应的器件数据手册。

33.3.2.2 EJTAG 调试

行业标准 EJTAG 接口支持使用第三方 EJTAG 工具进行调试。使用 EJTAG 接口时，用户可以查看和修改存储器和寄存器。用户可以设置断点，可以停止、启动或单步执行程序。

33.3.3 选定通信外设的特殊调试模式

为了协助应用程序调试，一些 I/O 外设提供了一个可由用户控制的位，用于改写外设中的冻结 (Freeze) 功能。通过它，即使在调试器尝试暂停外设时，模块也可以继续发送在外设内缓存的任意数据。这些外设的调试模式控制位包含在 DDPCON 寄存器中。

33.3.4 JTAG 边界扫描

随着电路板设计的复杂性和密度的提高，对完全组装电路板上元件之间的电气连接进行测试成了棘手的问题。为了解决这些难题，JTAG 开发了用于边界扫描测试的方法，后来标准化为 IEEE 1149.1-2001，“IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture”。从该标准采用以来，许多单片机制造商开始向测试端口的功能中添加器件编程功能。

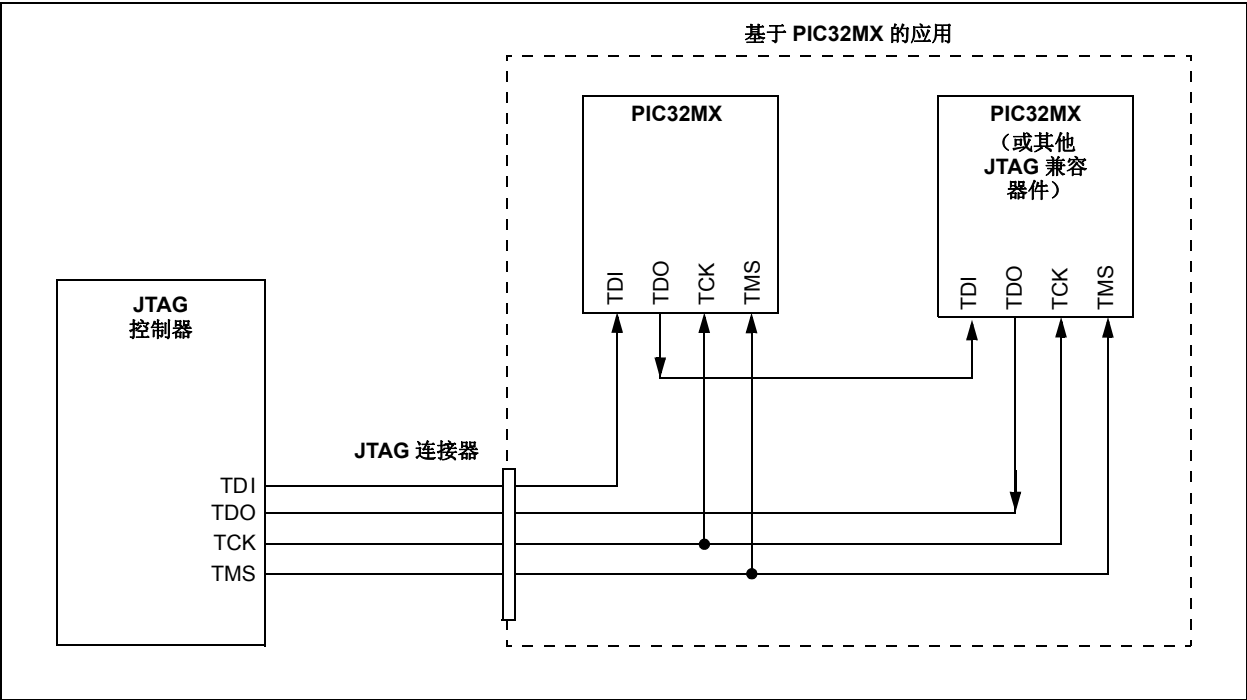
JTAG 边界扫描方法是在每个元件的 I/O 引脚附近添加一个移位寄存器级，这样可以使用一组定义的扫描测试原则来控制 and 观察元件边界处的信号。外部测试器或控制器以串行方式提供指令并读取结果。此外，外部器件还提供公共时钟和控制信号。根据实现方式，所有测试信号通过标准化的 4 引脚接口进行访问。

在系统级应用中，各个支持 JTAG 的元件通过它们各自的测试接口进行连接（除了特定于应用的更标准的连接之外）。器件以串行或菊花链的形式进行连接，一个器件的测试输出只与链中的下一个器件的测试输入连接。JTAG 边界扫描协议中的指令支持对链中的任一器件或任意器件组合进行测试，而无需测试整个链。在这种方法中，元件之间的连接，以及应用边界处的连接，都可以进行测试。

图 33-3 给出了实现了 JTAG 边界扫描接口的典型应用。在该示例中，PIC32MX 系列单片机以菊花链形式与第二个 JTAG 兼容器件连接。可以注意到，来自外部测试器的 TDI 线为链中的第一个器件（在此例中是单片机）的 TDI 引脚提供数据。该双器件链得到的测试数据从第二个器件的 TDO 引脚送到测试器的 TDO 线。

本节介绍 JTAG 模块及其一般用途。对使用 JTAG 接口进行器件编程感兴趣的用户，请参见《PIC32MX 闪存编程规范》（DS61145）了解更多信息。

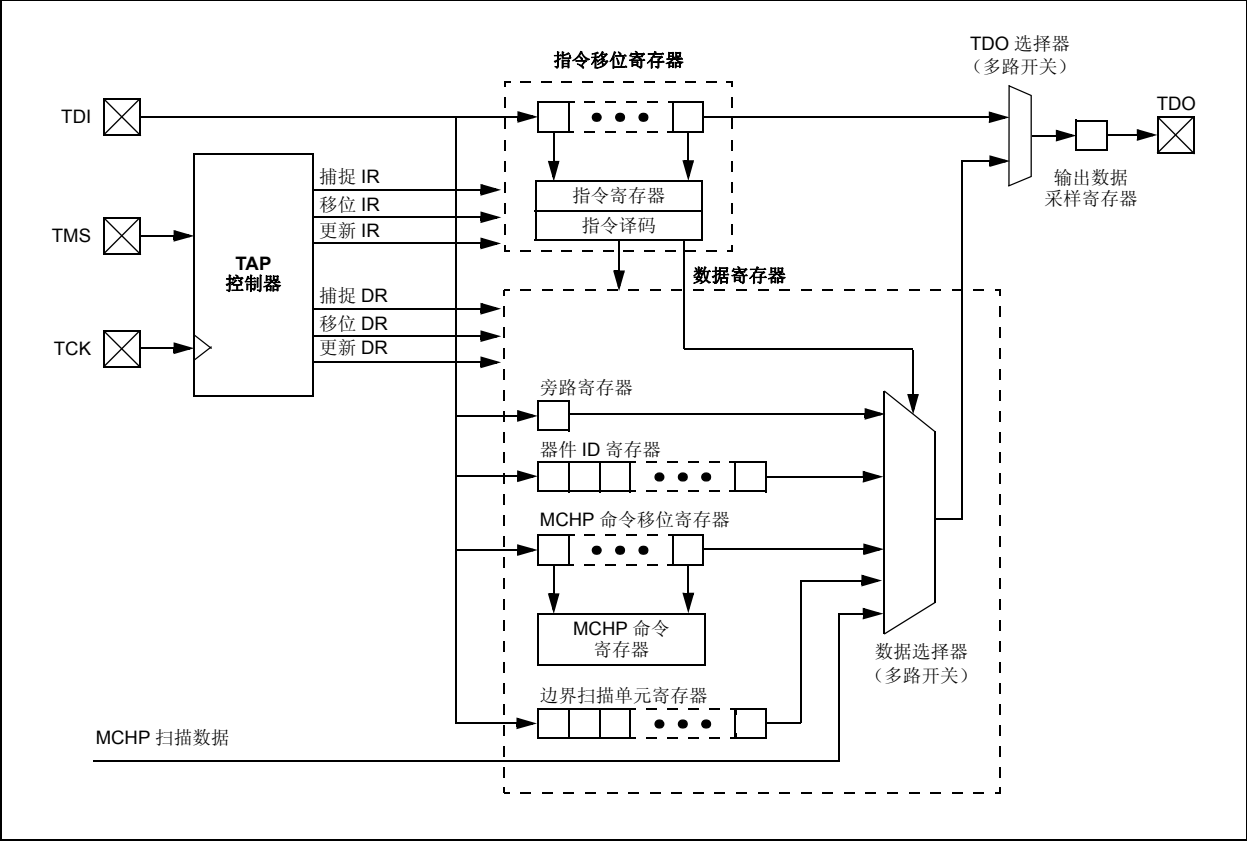
图 33-3： 基于 PIC32MX 系列的 JTAG 兼容应用的概图（元件以菊花链形式连接）



在 PIC32MX 系列器件中，JTAG 边界扫描的硬件实现为外设模块（即，位于 CPU 内核之外），并在所有 I/O 端口上集成附加逻辑。图 33-4 给出了 JTAG 模块的逻辑框图。它包含以下主要元素：

- 测试访问端口（Test Access Port，TAP）接口引脚（TDI、TMS、TCK 和 TDO）
- TAP 控制器
- 指令移位寄存器和指令寄存器（Instruction Register，IR）
- 数据寄存器（Data Register，DR）

图 33-4: JTAG 逻辑框图



33.3.4.1 测试访问端口（TAP）和 TAP 控制器

PIC32MX 系列器件上的测试访问端口（TAP）是一个通用端口，用于对 IEEE 标准 1149.1 中定义的许多内置支持功能和测试逻辑进行测试访问。TAP 由 DDPCON 寄存器中的 JTAGEN 位使能。在器件退出上电复位（Power-on-Reset, POR）或任意器件复位时，默认情况下会使能 TAP（JTAGEN = 1）。当使能时，指定的 I/O 引脚变为专用 TAP 引脚。关于使能 JTAG 模块和识别 JTAG 控制引脚的详细信息，请参见具体 PIC32MX 器件数据手册。

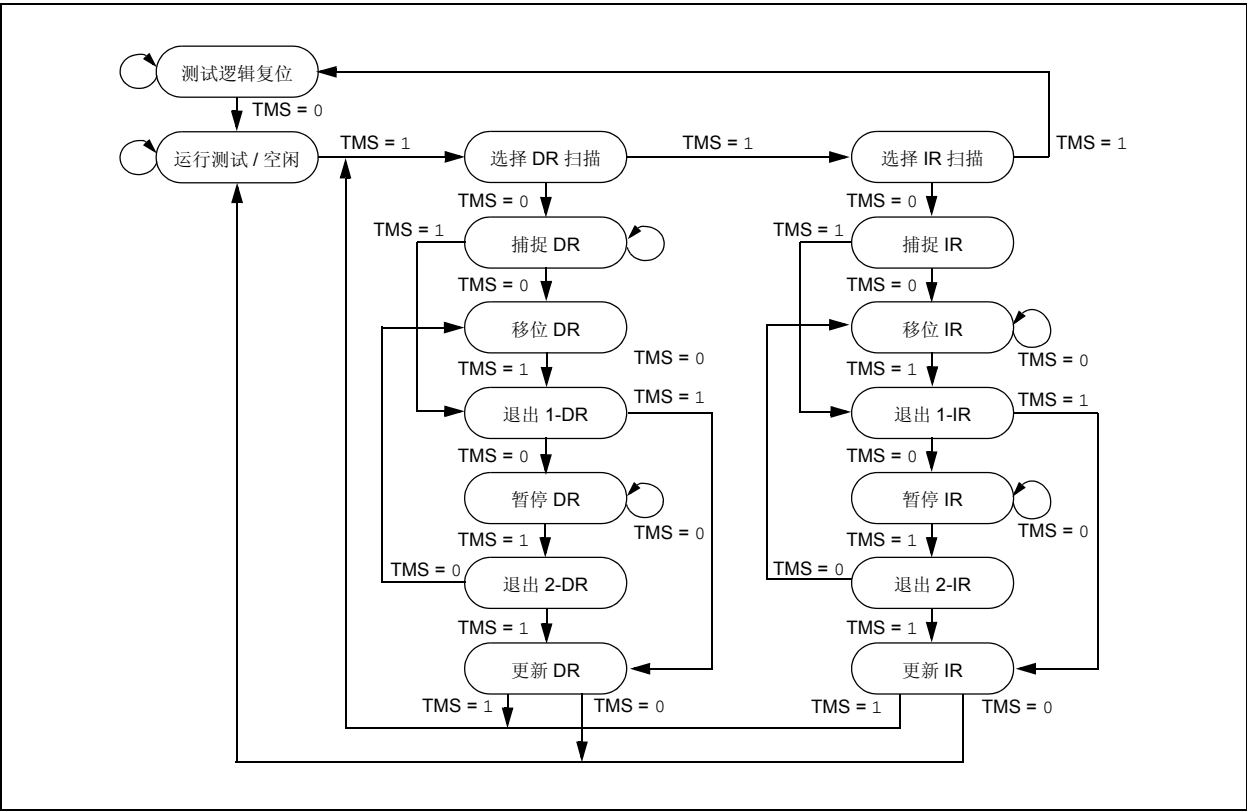
PIC32MX 系列实现了 4 引脚的 JTAG 接口，具有以下引脚：

- TCK（测试时钟输入）：提供测试逻辑的时钟。
- TMS（测试模式选择输入）：用 TAP 来控制测试操作。
- TDI（测试数据输入）：用于测试指令和数据的串行输入。
- TDO（测试数据输出）：用于测试指令和数据的串行输出。

为了最大程度减少由 JTAG 而产生的 I/O 丢失，在 PIC32MX 系列器件上未实现标准中规定的可选 TAP 复位输入引脚。为了方便起见，TAP 控制器中包含了“软”TAP 复位（使用 TMS 和 TCK 引脚）。要强制进行端口复位，可以对 TMS 引脚施加逻辑高电平，保持至少 5 个 TCK 上升沿。请注意，器件复位（包括 POR）不会自动导致 TAP 复位；这必须由外部 JTAG 控制器使用软 TAP 复位来完成。

PIC32MX 系列器件上的 TAP 控制器是一个同步有限状态机，实现了 JTAG 的 16 个标准状态。图 33-5 给出了 TAP 控制器的所有模块状态。所有边界扫描测试（Boundary Scan Testing, BST）指令和测试结果都由 TAP 通过 TDI 引脚以最低有效位（LSb）先传输的串行方式传输。

图 33-5: TAP 控制器模块状态图



通过控制 TMS 状态和 TCK 上的时钟脉冲，TAP 控制器可以遍历所有定义的模块状态，从而捕捉、移位和更新各种指令和 / 或数据寄存器。图 33-5 显示了在控制器遍历其状态机时，TMS 上的状态变化。图 33-6 显示了控制器在相应模块状态间切换以移入一条指令时，TMS 和 TCK 的时序。在该示例中，所显示的序列说明了 TAP 控制器是如何读取一条指令的。

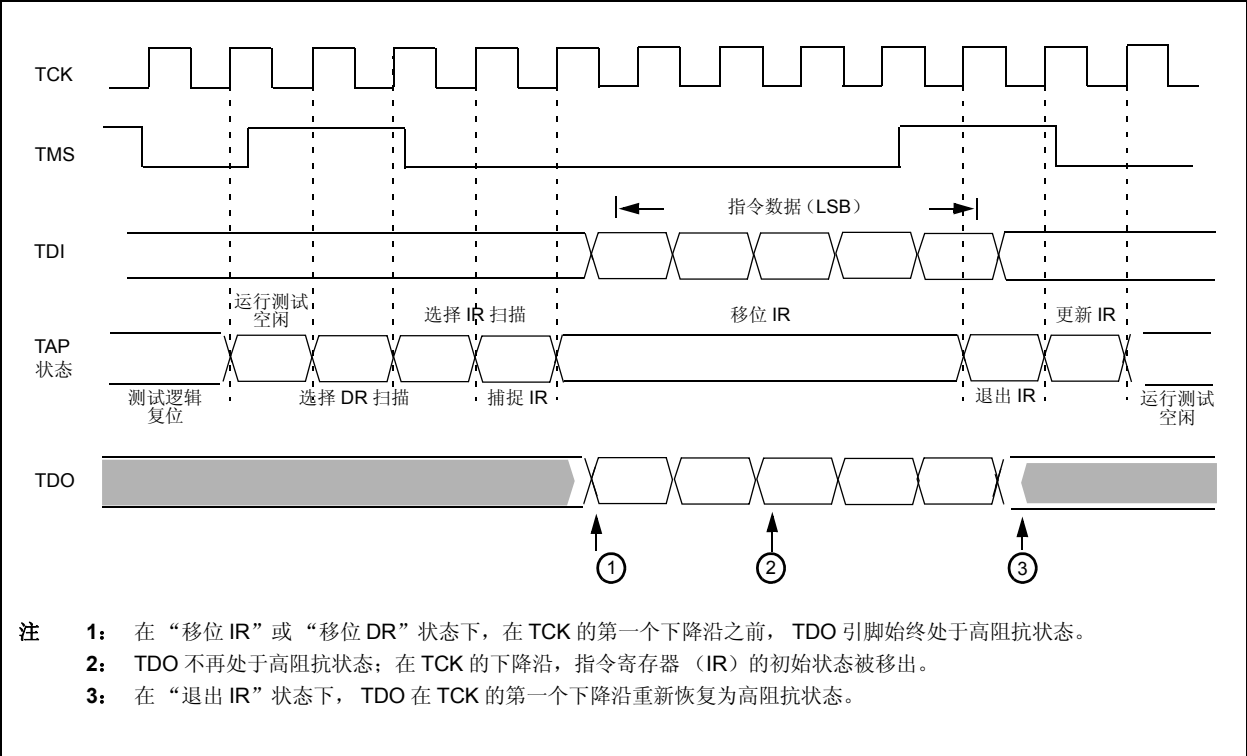
所有 TAP 控制器状态都是在 TCK 引脚的上升沿进入。在该示例中，TAP 控制器以“测试逻辑复位”状态开始。由于 TAP 控制器的状态依赖于前一条指令，因而可能是未知的，所以从“测试逻辑复位”状态开始是一个很好的编程做法。

在 TCK 的下一个上升沿，如果 TMS 为低电平，TAP 控制器将进入“运行测试 / 空闲”状态。在 TCK 接下来的两个上升沿，TMS 为高电平；这会使 TAP 控制器进入“选择 IR 扫描”状态。

在 TCK 接下来的 2 个上升沿，TMS 保持为低电平；这会使 TAP 控制器进入“移位 IR”状态。在 TCK 接下来的 4 个上升沿，一条指令通过 TDI 移入指令移位寄存器。在 TAP 控制器进入该状态之后，TDO 引脚会从高阻抗状态变为有效状态。在 TCK 的下降沿，控制器会在 TDO 引脚上移出指令寄存器（IR）的初始状态，并在处于“移位 IR”状态时继续移出指令寄存器的内容。在退出移位状态时，TDO 在 TCK 的第一个下降沿恢复为高阻抗状态。

在 TCK 接下来的 3 个上升沿，TAP 控制器会退出“移位 IR”状态、更新指令寄存器，然后恢复为“运行测试 / 空闲”状态。现在，可以将数据或另一条指令移入相应的数据或指令寄存器。

图 33-6: 移入一条指令时的 TAP 状态切换



33.3.4.2 JTAG 寄存器

JTAG 模块使用一些不同大小的寄存器来作为其操作的一部分。从位数来说，大多数 JTAG 寄存器都是 1 位的寄存器单元，集成到 I/O 端口中。不论它们在模块中的位置如何，没有任何 JTAG 寄存器位于器件数据存储空间中，在正常工作模式下，用户不能直接访问。

33.3.4.2.1 指令移位寄存器和指令寄存器

指令移位寄存器是 5 位移位寄存器，用于选择要执行的操作和 / 或要访问的数据寄存器。指令以最低有效位先移位的方式移入，然后进行译码。

第 33.3.4.4 节“JTAG 指令”给出了已实现指令的列表和说明。

33.3.4.2.2 数据寄存器

移入一条指令并将指令更新到指令寄存器中之后，TAP 控制器会在 TDI 和 TDO 引脚之间放置一些特定的数据寄存器。然后，可以根据需要向这些数据寄存器中移入附加的数据值。

PIC32MX 器件系列支持以下三种数据寄存器：

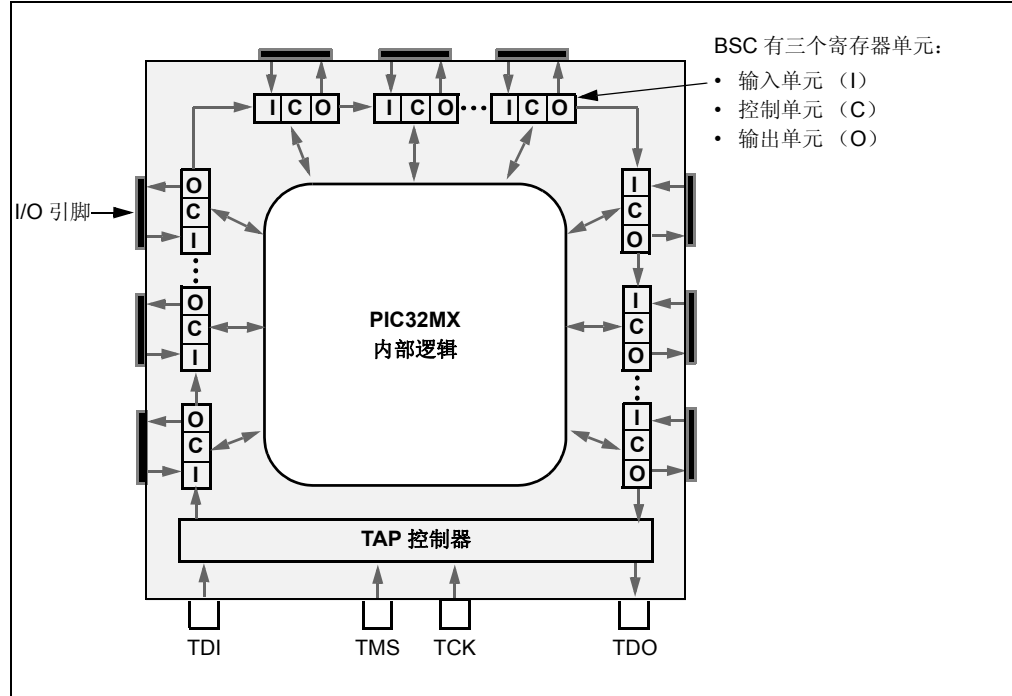
- 旁路寄存器：它是 1 位寄存器，使边界扫描测试数据可以通过选定器件传递给相邻器件。当 BYPASS 指令有效时，将在 TDI 和 TDO 引脚之间放置旁路寄存器。
- 器件 ID 寄存器：32 位的器件标识符。它包含由 IEEE 分配的 11 位制造商 ID（对于 Microchip Technology，值为 29h）、器件的部件编号和器件版本标识符。当 IDCODE 指令有效时，将在 TDI 和 TDO 引脚之间放置器件 ID 寄存器。然后，在 TAP 控制器处于“移位 DR”状态后，在接下来的 32 个 TCK 下降沿，器件数据 ID 从 TDO 引脚移出。
- MCHP 命令移位寄存器：当 MCHP_CMD 指令有效时，将在 TDI 和 TDO 引脚之间放置一个 8 位移位寄存器。该移位寄存器用于移入 Microchip 命令。

33.3.4.3 边界扫描寄存器（BSR）

BSR 是一个很大的移位寄存器，由以菊花链形式连接在一起的所有 I/O 边界扫描单元（Boundary Scan Cell，BSC）组成（图 33-7）。每个 I/O 引脚都有一个 BSC，各包含 3 个 BSC 寄存器：输入单元、输出单元和控制单元。当 SAMPLE/PRELOAD 或 EXTEST 指令有效时，将在 TDI 和 TDO 引脚之间放置 BSR，并且使用 TDI 引脚作为输入，TDO 引脚作为输出。

BSR 的大小取决于器件上 I/O 引脚的数量。例如，100 引脚 PIC32MX 通用器件有 82 个 I/O 引脚。由于 82 个 I/O 各有 3 个 BSC 寄存器，所以边界扫描寄存器的长度为 244 位。这是因为 MCLR 引脚是一个仅作为输入的 BSR 单元。关于其他 PIC32MX 系列器件的 I/O 端口引脚数的信息，请参见具体器件数据手册。

图 33-7: PIC32MX 系列单片机上以菊花链形式连接的边界扫描单元寄存器



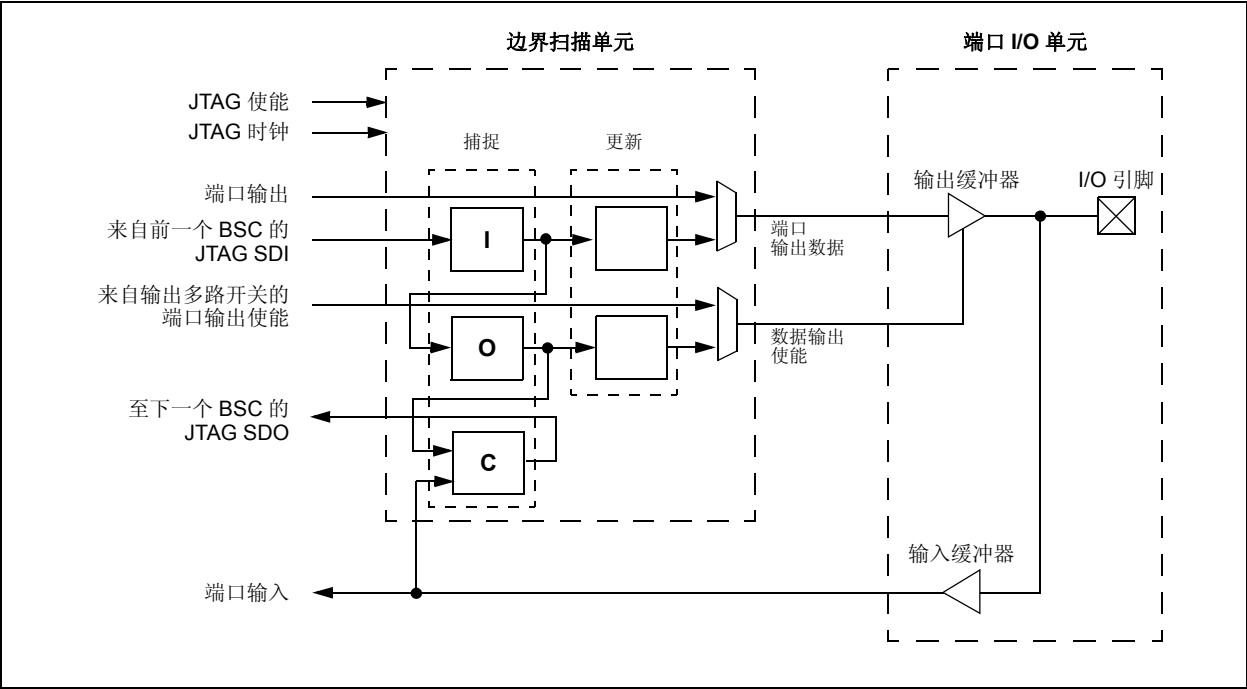
33.3.4.3.1 边界扫描单元 (BSC)

BSC 的功能是在 JTAG 有效时捕捉并改写 I/O 数据值。BSC 包含三个 1 位捕捉寄存器单元和两个 1 位保持寄存器单元。捕捉单元以菊花链形式连接，用于捕捉端口的输入、输出和控制（输出使能）数据，以及将 JTAG 数据沿边界扫描寄存器进行传递。来自 TAP 控制器的命令信号决定是否捕捉 JTAG 数据端口、如何以及何时将它从 BSC 移出。

第一个寄存器捕捉送到输出驱动器的内部数据，或者为输出驱动器提供串行扫描到的数据。第二个寄存器捕捉来自输出驱动器的内部输出使能控制，并提供串行扫描到的输出使能值。第三个寄存器捕捉来自 I/O 的输入缓冲器的输入数据。

图 33-8 给出了典型的 BSC 及其与 I/O 端口结构的关系。

图 33-8: 边界扫描单元及其与 I/O 端口的关系



33.3.4.4 JTAG 指令

PIC32MX 系列器件支持 IEEE 1149.1 所规定的必需指令集，以及规范中定义的几个可选公共指令。这些器件还实现了一些特定于 Microchip 器件的指令。

必需的 JTAG 指令有：

- BYPASS (0x1F)：用于旁路测试链中的某个器件；通过该指令，可以测试片外电路和电路板级的相互连接。
- SAMPLE/PRELOAD (0x02)：捕捉元件的 I/O 状态，提供其操作的瞬间状态。
- EXTEST (0x06)：通过该指令，可以测试外部电路和相互连接，方法是在输出引脚上强制进行各种测试模式，或捕捉来自输入引脚的测试结果。

Microchip 在 PIC32MX 系列器件中实现了可选的 JTAG 指令和特定于制造商的 JTAG 命令。请参见表 33-3、表 33-4、表 33-5 和表 33-6。

表 33-3: JTAG 命令

操作码	名称	器件集成
0x1F	Bypass	旁路测试链中的某个器件
0x00	HIGHZ	将器件置于高阻抗状态，强制所有引脚为输入
0x01	ID Code	移出器件 ID 代码
0x02	Sample/Preload	对所有引脚进行采样或将特定值装入输出锁存器
0x06	EXTEST	边界扫描

表 33-4: Microchip TAP IR 命令

操作码	名称	器件集成
0x01	MTAP_IDCODE	移出器件 ID 代码
0x07	MTAP_COMMAND	对 Microchip TAP 控制器配置 DR 命令
0x04	MTAP_SW_MTAP	选择 Microchip TAP 控制器
0x05	MTAP_SW_ETAP	选择 EJTAG TAP 控制器

表 33-5: Microchip TAP 8 位 DR 命令

操作码	名称	器件集成
0x00	MCHP_STATUS	执行 NOP 指令并返回状态
0xD1	MCHP_ASERT_RST	请求将器件复位置为有效
0xD0	MCHP_DE_ASSERT_RST	请求将器件复位置为无效
0xFC	MCHP_ERASE	执行芯片擦除
0xFE	MCHP_FLASH_ENABLE	使能从 CPU 取数据并装入闪存
0xFD	MCHP_FLASH_DISABLE	禁止从 CPU 取数据并装入闪存
0xFF	MCHP_READ_CONFIG	强制器件重新读取配置设置并相应地进行初始化

表 33-6: EJTAG 命令

操作码	名称	器件集成	以下 DR 的数据长度
0x00	—	未使用	—
0x01	IDCODE	选择器件 ID 代码寄存器	32 位
0x02	—	未使用	—
0x03	IMPCODE	选择实现寄存器	—
0x04 ⁽²⁾	MTAP_SW_MTAP	选择 Microchip TAP 控制器	—
0x05 ⁽²⁾	MTAP_SW_ETAP	选择 EJTAG TAP 控制器	—
0x06-0x07	—	未使用	—
0x08	ADDRESS	选择地址寄存器	32 位
0x09	DATA	选择数据寄存器	32 位
0x0A	CONTROL	选择 EJTAG 控制寄存器	32 位
0x0B	ALL	选择地址寄存器、数据寄存器和 EJTAG 控制寄存器	96 位
0x0C	EJTAGBOOT	强制 CPU 在引导之后捕捉调试异常	1 位
0x0D	NORMALBOOT	使 CPU 在引导之后执行复位处理程序	1 位
0x0E	FASTDATA	选择数据寄存器和快速数据寄存器	1 位
0x0F-0x1B	—	保留	—
0x1C-0xFE	—	未使用	—
0xFF	—	选择旁路寄存器	—

注 1: 关于 EJTAG 命令和协议的完整信息，请参见 EJTAG 规范，该规范可从 MIPS Technologies 网站 (www.mips.com) 下载。

2: 该操作码不是 EJTAG 命令，但 Microchip 实现可以识别它。

33.3.5 边界扫描测试 (BST)

边界扫描测试 (BST) 是一种采用软件来控制 and 观察 JTAG 兼容器件 (例如 PIC32MX 系列器件) 的边界引脚的方法。BST 可以用于测试器件之间的连接, 方法是以菊花链形式连接 JTAG 兼容器件, 构成单个扫描链。一块 PCB 板上可以存在若干个扫描链, 构成多个扫描链。然后, 可以同时驱动这多个扫描链来并行测试许多元件。扫描链可以包含 JTAG 兼容器件和非 JTAG 兼容器件。

BST 的重要优点在于它可以在无需物理测试探针的情况下实现; 所需的只是 4 线接口和相应的测试平台。由于 JTAG 边界扫描的存在已有多多年, 所以有许多软件工具可用于测试扫描链, 而无需使用大量的物理探针。BST 的主要缺点是它只能评估数字信号和电路连通性; 它不能测量输入或输出电压或电流。

33.3.5.1 相关的 JTAG 文件

要实现 BST, 所有 JTAG 测试工具都需要边界扫描描述语言 (Boundary Scan Description Language, BSDL) 文件。BSDL 是 VHSIC 硬件描述语言 (VHSIC Hardware Description Language, VHDL) 的子集, 是 IEEE 标准 1149.1 的一部分。特定于器件的 BSDL 文件描述标准在特定器件中是如何实现的, 以及它如何工作。

特定器件的 BSDL 文件中包含以下内容:

- 特定器件的引脚排列和封装配置
- TAP 引脚的物理位置
- 器件 ID 寄存器和器件 ID
- 指令寄存器的长度
- 支持的 BST 指令及其二进制编码
- 边界扫描寄存器的长度和结构
- 边界扫描单元定义

每个 BSDL 文件的名称由器件名称和硅片版本组成。例如, PIC32MX320F128L_A2.BSD 是 PIC32MX320F128L 器件, 硅片版本为 A2 的 BSDL 文件。

33.4 中断

在代码执行期间不会执行编程和调试操作，因此它们不会受中断影响。在发生中断时，跟踪操作会报告代码执行发生变化，但跟踪控制器不会受中断影响。

33.5 I/O 引脚

为了与市面上的众多编程和调试选项连接，并且仍然允许外设访问这些引脚，编程和调试 I/O 引脚与外设引脚进行了复用。表 33-7 列出了编程和调试相关引脚的功能。

表 33-7: 编程和调试引脚功能

引脚名称	功能				说明
	编程模式	调试模式	跟踪模式	边界扫描模式	
MCLR	MCLR	MCLR	MCLR	MCLR	主复位，用于进入 ICSP™ 模式和改写 JTAGEN (DDPCON<3>) 决定
PGC1	PGC1/ 备用	PGC1/ 备用	PGC1/ 备用	备用	ICSP 时钟，由 ICESEL 配置位 (DEVCFG0<3>) 决定
PGD1	PGD1/ 备用	PGD1/ 备用	PGD1/ 备用	备用	ICSP 数据，由 ICESEL (DEVCFG0<3>) 和 DEBUG 配置位 (DEVCFG0<1:0>) 决定
PGC2	PGC2/ 备用	PGC2/ 备用	PGC2/ 备用	备用	备用 ICSP 时钟，由 ICESEL (DEVCFG0<3>) 和 DEBUG 配置位 (DEVCFG0<1:0>) 决定
PGD2	PGD2/ 备用	PGD2/ 备用	PGD2/ 备用	备用	备用 ICSP 数据，由 ICESEL (DEVCFG0<3>) 和 DEBUG 配置位 (DEVCFG0<1:0>) 决定
TCK	TCK	TCK	TCK	TCK	JTAG 时钟，由 JTAGEN 控制位 (DDPCON<3>) 决定
TDO	TDO	TDO	TDO	TDO	JTAG 数据输出，由 JTAGEN 控制位 (DDPCON<3>) 决定
TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	JTAG 数据输入，由 JTAGEN 控制位 (DDPCON<3>) 决定
TMS	TMS	TMS	TMS	TMS	JTAG 测试模式选择，由 JTAGEN 控制位 (DDPCON<3>) 决定
TRCLK	备用	备用	TRCLK	备用	跟踪时钟，由 TROEN 控制位 (DDPCON<2>) 决定
TRD0	备用	备用	TRD0	备用	跟踪数据，由 TROEN 控制位 (DDPCON<2>) 决定
TRD1	备用	备用	TRD1	备用	跟踪数据，由 TROEN 控制位 (DDPCON<2>) 决定
TRD2	备用	备用	TRD2	备用	跟踪数据，由 TROEN 控制位 (DDPCON<2>) 决定
TRD3	备用	备用	TRD3	备用	跟踪数据，由 TROEN 控制位 (DDPCON<2>) 决定

33.6 节能模式下的操作

对于所有编程和调试操作，必须唤醒 PIC32MX 系列。

33.7 复位的影响

33.7.1 器件复位

在处于 ICSP 模式时，通过将 $\overline{\text{MCLR}}$ 置为有效而产生器件复位会强制器件退出 ICSP。将 $\overline{\text{MCLR}}$ 置为有效将强制器件从 EJTAG 模式退出。

33.7.2 看门狗定时器复位

在擦除操作期间发生的看门狗定时器（Watchdog Timer，WDT）复位不会中止擦除周期。WDT 事件标志将置 1，指示发生了 WDT 复位。

EJTAG 会话期间发生的 WDT 复位会将 TAP 控制器复位为 Microchip TAP 控制器。

在编程期间发生的 WDT 复位会中止编程序列。

33.8 应用理念

关于 ICSP 编程的实现，请参见《PIC32MX 闪存编程规范》（DS61145）。

33.9 相关应用笔记

本节列出了与手册本章内容相关的应用笔记。这些应用笔记可能并不是专为 PIC32MX 系列器件而编写的，但其概念是相近的，通过适当修改并受到一定限制即可使用。当前与编程和诊断相关的应用笔记有：

标题	应用笔记编号
目前没有相关的应用笔记。	N/A

注：如需获取更多 PIC32MX 系列器件的应用笔记和代码示例，请访问 Microchip 网站 (www.microchip.com)。

33.10 版本历史

版本 A（2007 年 9 月）

这是本文档的初始版本。

版本 B（2007 年 10 月）

更新了文档（删除了“机密”状态）。

版本 C（2008 年 4 月）

将状态修改为“初稿”；将 U-0 修改为 r-x。

版本 D（2008 年 6 月）

在第 33.3.1 节中增加了注释；修改了第 33.3.2.1 节；修改了表 33-7；将保留位从“保持为”更改为“写入”。

版本 E（2009 年 8 月）

该版本包括以下更新：

- 对整篇文档的文字和格式进行了少量更新。
- 向表 33-2：“编程和诊断 SFR 汇总”中增加了 FJTAGEN 位，并删除了 DDPU1、DDPU2 和 DDPSP11 位。
- 向寄存器 33-1：“DDPCON：调试数据端口控制寄存器”中增加了 FJTAGEN 位，并删除了 DDPUSB、DDPU1、DDPU2 和 DDPSP11 位。

注:

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指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，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。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- 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。

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 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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。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、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC³² 徽标、rfPIC 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICKtail、REAL ICE、rFLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2010, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-60932-528-2

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2002 认证。公司在 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta

Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

波士顿 Boston

Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago

Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

克里夫兰 Cleveland

Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

达拉斯 Dallas

Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit

Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo

Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

洛杉矶 Los Angeles

Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

圣克拉拉 Santa Clara

Santa Clara, CA
Tel: 1-408-961-6444
Fax: 1-408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto

Mississauga, Ontario, Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office

Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京

Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都

Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆

Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 香港特别行政区

Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京

Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛

Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海

Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳

Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳

Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉

Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安

Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门

Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海

Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄

Tel: 886-7-213-7830
Fax: 886-7-330-9305

台湾地区 - 台北

Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

亚太地区

台湾地区 - 新竹

Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

澳大利亚 Australia - Sydney

Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore

Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi

Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune

Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama

Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu

Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul

Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur

Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang

Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila

Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore

Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok

Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels

Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen

Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris

Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Munich

Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 Italy - Milan

Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

荷兰 Netherlands - Druenen

Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

西班牙 Spain - Madrid

Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 UK - Wokingham

Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820