

---

## 第 27 章 USB On-The-Go (OTG)

---

### 目录

本章包括下列主题：

27.1	简介 .....	27-2
27.2	控制寄存器 .....	27-4
27.3	工作原理 .....	27-36
27.4	主机模式的操作 .....	27-51
27.5	中断 .....	27-59
27.6	I/O 引脚 .....	27-62
27.7	调试和节能模式下的操作 .....	27-64
27.8	复位的影响 .....	27-66
27.9	相关应用笔记 .....	27-67
27.10	版本历史 .....	27-68

## 27.1 简介

PIC32MX USB 模块包含以下特性：

- 作为主机和设备的 USB 全速支持
- 低速主机支持
- USB On-The-Go (OTG) 支持
- 集成信号传输电阻
- 用于 Vbus 监视的集成模拟比较器
- 集成 USB 收发器
- 硬件执行的事务握手
- 可在系统 RAM 中任意位置进行端点缓冲
- 集成用于访问系统 RAM 和闪存的总线主控
- USB 模块工作时不需要使用 PIC32 DMA 模块

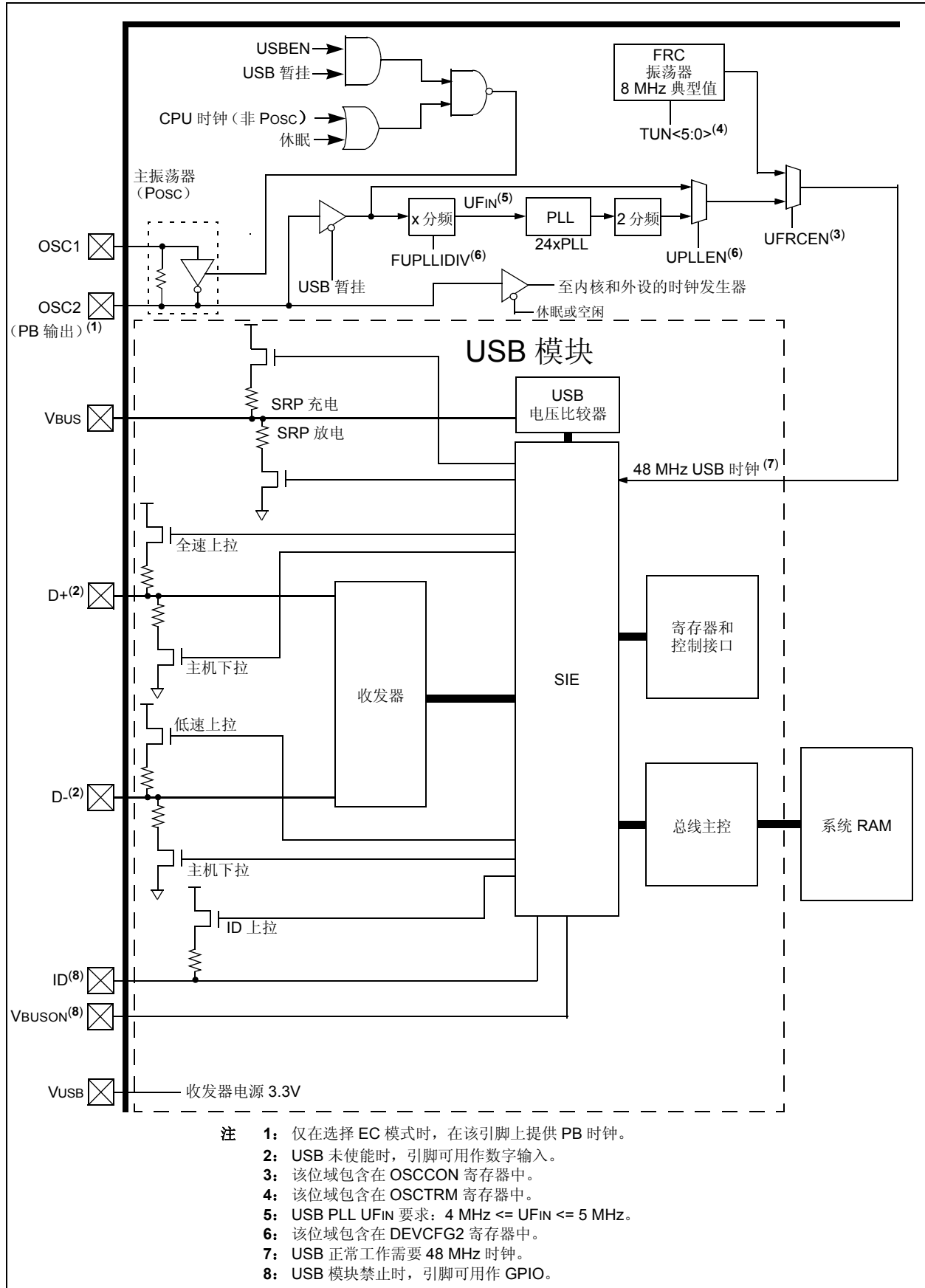
通用串行总线 (Universal Serial Bus, USB) 模块包含模拟和数字元件，使用最少量的外部元件即可实现 USB 2.0 全速和低速嵌入式主机、全速设备或 OTG。在主机模式下，该模块旨在用作嵌入式主机，因此并未实现 UHCI 或 OHCI 控制器。

USB 模块由时钟发生器、USB 电压比较器、收发器、串行接口引擎 (Serial Interface Engine, SIE)、专用 USB 总线主控、上拉和下拉电阻以及寄存器接口组成。PIC32MX USB OTG 模块的框图如图 27-1 所示。

时钟发生器提供 USB 全速和低速通信所需的 48 MHz 时钟。电压比较器监视 Vbus 引脚上的电压以确定总线的状态。收发器提供 USB 总线和数字逻辑之间的模拟转换。SIE 是一个状态机，它与端点缓冲区交换数据，并产生用于数据传输的硬件协议。USB 总线掌控 RAM 与 SIE 的数据缓冲区间的数据传输。集成了上拉和下拉电阻，从而无需外部信号传输元件。寄存器接口使 CPU 可以配置模块并与模块进行通信。

<b>重要提示：</b>	USB 规范以及其他第三方规范或技术的实施和使用可能需要得到许可；包括但不限于 USB Implementers Forum, Inc. (也称为 USB-IF)。用户对调查和满足任何适用许可义务负全部责任。
--------------	--

图 27-1: PIC32MX 系列 USB 接口框图



## 27.2 控制寄存器

USB 模块包含以下特殊功能寄存器（Special Function Register, SFR）：

- U1OTGIR: USB OTG 中断标志寄存器
- U1OTGIE: USB OTG 中断允许寄存器
- U1OTGSTAT: USB 比较器和引脚状态寄存器
- U1OTGCON: USB 电阻和引脚控制寄存器
- U1PWRC: USB 电源控制寄存器
- U1IR: USB 待处理中断寄存器
- U1IE: USB 中断允许寄存器
- U1EIR: USB 待处理错误中断寄存器
- U1EIE: USB 中断允许寄存器
- U1STAT: USB 状态 FIFO 寄存器
- U1CON: USB 模块控制寄存器
- U1ADDR: USB 地址寄存器
- U1FRMH 和 U1FRML: USB 帧计数器寄存器
- U1TOK: USB 主机控制寄存器
- U1SOF: USB SOF 计数器寄存器
- U1BDTP1、U1BDTP2 和 U1BDTP3: USB 缓冲区描述符表指针寄存器
- U1CNFG1: USB 调试和空闲寄存器
- U1EP0-U1EP15: USB 端点控制寄存器

### 27.2.1 U1OTGIR 寄存器

U1OTGIR（寄存器 27-1）用于记录 ID、数据和 Vbus 引脚的变化，使软件可以确定导致中断的事件。可通过向相应中断位写入 1 来清零中断。

### 27.2.2 U1OTGIE 寄存器

U1OTGIE（寄存器 27-2）用于使能 U1OTGIR 寄存器中定义的相应中断状态位，以产生中断。

### 27.2.3 U1OTGSTAT 寄存器

U1OTGSTAT（寄存器 27-3）用于访问 Vbus 电压比较器的状态，以及 ID 引脚消抖后的状态。

### 27.2.4 U1OTGCON 寄存器

U1OTGCON（寄存器 27-4）用于控制 Vbus 引脚以及上拉和下拉电阻的操作。

### 27.2.5 U1PWRC 寄存器

U1PWRC（寄存器 27-5）用于控制节能模式以及模块的使能 / 禁止。

### 27.2.6 U1IR 寄存器

U1IR（寄存器 27-6）包含关于待处理中断的信息。某个中断位置 1 后，可通过向相应位中写入 1 将其清零。

### 27.2.7 U1IE 寄存器

U1IE（寄存器 27-7）值用于从各种中断信号中选择要作为 USB 中断信号的信号。USB 模块不能对该寄存器的值进行操作。将这些位中的任何一个置 1 会使能 U1IR 寄存器中的相应中断源。

### 27.2.8 U1EIR 寄存器

U1EIR（寄存器 27-8）包含关于待处理错误中断值的信息。某个中断位置 1 后，可通过向相应位中写入 1 将其清零。

### 27.2.9 U1EIE 寄存器

U1EIE（寄存器 27-9）值用于从各种中断信号中选择要作为 USB 中断信号的信号。USB 模块不能对该寄存器的值进行操作。如果 U1IE 寄存器中的 UERR 也置 1，则将这些位中的任何一个置 1 会使能 U1EIR 寄存器中的相应中断源。

### 27.2.10 U1STAT 寄存器

U1STAT（寄存器 27-10）是 16 级深先进先出（First In First Out, FIFO）寄存器。它对于 CPU 是只读寄存器，对于 USB 模块是读 / 写寄存器。U1STAT 仅在 U1IR<TRNIF> 位置 1 时有效。

### 27.2.11 U1CON 寄存器

U1CON（寄存器 27-11）用于提供模块的各种控制和信息。

### 27.2.12 U1ADDR 寄存器

U1ADDR（寄存器 27-12）对于 CPU 端是读 / 写寄存器，对于 USB 模块端是只读寄存器。虽然寄存器值会影响 USB 模块的设置，但该寄存器的内容在访问期间不会改变。

在设备模式下，该地址定义 USB 设备地址，地址由主机在 SETUP 阶段指定。固件写入地址来响应 SETUP 请求。当检测到 USB 总线复位时，该地址会被自动复位。在主机模式下，模块使用对应的令牌数据包来发送该寄存器中提供的地址。这使 USB 模块可以对所连接设备进行惟一寻址。

### 27.2.13 U1FRMH 和 U1FRML 寄存器

U1FRMH 和 U1FRML（寄存器 27-13 和寄存器 27-14）是只读寄存器。帧编号通过连接两个 8 位寄存器而构成。高字节位于 U1FRMH 寄存器，低字节位于 U1FRML 寄存器。

### 27.2.14 U1TOK 寄存器

当模块作为主机工作时，U1TOK（寄存器 27-15）是必需的读 / 写寄存器。它用于指定令牌类型 PID<3:0>（数据包 ID）和由主机处理器指定地址的端点 EP<3:0>。写入该寄存器会触发一个主机事务。

### 27.2.15 U1SOF 寄存器

U1SOF（寄存器 27-16）门限值寄存器是一个读 / 写寄存器，包含仅在主机模式下使用的帧起始（Start-of-Frame, SOF）门限值的计数位数。

为了防止数据包数据与每隔 1 ms 发送的 SOF 令牌冲突，USB 模块不会在最后的 U1SOF 字节时间内发送任何新事务。USB 模块会完成正在进行中的所有事务。在主机模式下，SOF 中断在达到该门限值时发生，而不是在出现 SOF 时发生。在设备模式下，中断在接收到 SOF 时发生。在 SOF 门限值内启动的事务会被 USB 模块挂起，直到发送 SOF 令牌之后为止。

### 27.2.16 U1BDTP1、U1BDTP2 和 U1BDTP3

这些寄存器（寄存器 27-17、寄存器 27-18 和寄存器 27-19）是读 / 写寄存器，用于定义缓冲区描述符表（Buffer Descriptor Table, BDT）在系统存储器中的 32 位基址的高 23 位。BDT 强制为按 512 字节对齐。该寄存器可以对 BDT 进行实时重定位。

## 27.2.17 U1CNFG1 寄存器

U1CNFG1（寄存器 27-20）是读 / 写寄存器，用于控制模块的调试和空闲行为。该寄存器必须在使能模块前进行预配置。

## 27.2.18 U1EP0 - U1EP15 寄存器

这些寄存器（寄存器 27-21）用于控制对应端点的行为。

## 27.2.19 相关的寄存器

关于用于使能 USB PLL 和 / 或 USB FRC 时钟源的寄存器位的信息，请参见第 6 章“振荡器”（DS61112）。

关于用于使能和识别 USB 模块中断的寄存器位的信息，请参见第 8 章“中断”（DS61108）。

关于用于使能 USB PLL 和设置相应分频比的配置位的信息，请参见第 32 章“配置”（DS61124）。这一章中也介绍了在 USB 模块仅工作于不需要 USBID 和 VBUSON 引脚的模式时，可用于收回这两个引脚的位。

## 27.2.20 清除 USB OTG 中断

和器件级中断不同，USB OTG 中断状态标志不能用软件自由写入。所有的 USB OTG 标志位都实现为只能由硬件置 1 的位。这些位只能在软件中通过写入 1 来清零。向标志位写入 0 不起作用。

<b>注：</b>	在本章中，只能通过写入 1 来清零的位称为“写 1 清零位”。在寄存器说明中，该功能用描述符“K”表示。
-----------	--

表 27-1: USB 寄存器汇总

地址偏移	寄存器名称	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
0x0040	U1OTGIR	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	IDIF	T1MSECIF	LSTATEIF	ACTVIF	SESVDIF	SESENDIF	—	VBUSVDIF
0x0050	U1OTGIE	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	IDIE	T1MSECIE	LSTATEIE	ACTVIE	SESVDIE	SESENDIE	—	VBUSVDIE
0x0060	U1OTGSTAT	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	ID	—	LSTATE	—	SESVD	SESEND	—	VBUSVD
0x0070	U1OTGCON	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	DPPULUP	DMPULUP	DPPULDWN	DMPULDWN	VBUSON	OTGEN	VBUSCHG	VBUSDIS
0x0080	U1PWRC	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	UACTPND	—	—	USLPGRD	USBBUSY <sup>(1)</sup>	—	USUSPEND	USBPWR
0x0200	U1IR	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	STALLIF	ATTACHIF	RESUMEIF	IDLEIF	TRNIF	SOFIF	UERRIF	URSTIF DETACHIF
0x0210	U1IE	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	STALLIE	ATTACHIE	RESUMEIE	IDLEIE	TRNIE	SOFIE	UERRIE	URSTIE DETACHIE
0x0220	U1EIR	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	BTSEF	BMXEF	DMAEF	BTOEF	DFN8EF	CRC16EF	CRC5EF EOFEF	PIDEF
0x0230	U1EIE	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	BTSEE	BMXEE	DMAEE	BTOEE	DFN8EE	CRC16EE	CRC5EE EOFEE	PIDEE
0x0240	U1STAT	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	ENDPT<3:0>				DIR	PPBI	—	—
0x0250	U1CON	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	JSTATE	SE0	PKTDIS TOKBUSY	USBRST	HOSTEN	RESUME	PPBRST	USBEN SOFEN
0x0260	U1ADDR	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	LSPDEN	DEVADDR<6:0>						

图注: — = 未实现, 读为 0。地址偏移值以十六进制显示。

注 1: 该位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。

表 27-1: USB 寄存器汇总 (续)

地址偏移	寄存器名称	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
0x0270	U1BDTP1	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	BDTPTRL<15:9>							
0x0280	U1FRML	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	FRML<7:0>							
0x0290	U1FRMH	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	—	—	FRMH<2:0>		
0x02A0	U1TOK	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	PID<3:0>				EP<3:0>			
0x02B0	U1SOF	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	CNT<7:0>							
0x02C0	U1BDTP2	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	BDTPTRH<23:16>							
0x02D0	U1BDTP3	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	BDTPTRU<31:24>							
0x02E0	U1CNFG1	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	UTEYE	UOEMON	USBFRZ	USBSIDL	—	—	—	UASUSPND <sup>(1)</sup>
0x0300	U1EP0	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	LSPD	RETRYDIS	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0310	U1EP1	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0320	U1EP2	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0330	U1EP3	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0340	U1EP4	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK

图注: — = 未实现, 读为 0。地址偏移值以十六进制显示。

注 1: 该位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。



表 27-1: USB 寄存器汇总 (续)

地址偏移	寄存器名称	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
0x0350	U1EP5	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0360	U1EP6	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0370	U1EP7	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0380	U1EP8	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x0390	U1EP9	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03A0	U1EP10	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03B0	U1EP11	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03C0	U1EP12	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03D0	U1EP13	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03E0	U1EP14	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
0x03F0	U1EP15	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—
		23:16	—	—	—	—	—	—	—	—
		15:8	—	—	—	—	—	—	—	—
		7:0	—	—	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK

图注: — = 未实现, 读为 0。地址偏移值以十六进制显示。

注 1: 该位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。

关于用于使能 USB PLL 和 / 或 USB FRC 时钟源的寄存器位的信息, 请参见第 6 章 “振荡器” (DS61112)。

关于用于使能和识别 USB 模块中断的寄存器位的信息, 请参见第 8 章 “中断” (DS61108)。

关于用于使能 USB PLL 和设置相应分频比的配置位的信息, 请参见第 32 章 “配置” (DS61124)。这一章中也介绍了在 USB 模块仅工作于不需要 USBID 和 VBUSON 引脚的模式时, 可用于收回这两个引脚的位。

# PIC32MX 系列参考手册

寄存器 27-1: U1OTGIR: USB OTG 中断状态寄存器

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/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	r-x	R/W/K-0
IDIF	T1MSECIF	LSTATEIF	ACTVIF	SESVDIF	SESENDIF	—	VBUSVDIF
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

K = 写入 1 清零该位

-n = POR 时的值: (0, 1, x = 未知)

bit 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作

bit 7      **IDIF:** ID 状态变化指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 检测到 ID 状态变化  
0 = 未检测到 ID 状态变化

bit 6      **T1MSECIF:** 1 毫秒定时器位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 1 毫秒定时器已到期  
0 = 1 毫秒定时器未到期

bit 5      **LSTATEIF:** 线状态稳定指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = USB 线状态已稳定 1 ms, 但和上次不同  
0 = USB 线状态未稳定达 1 ms

bit 4      **ACTVIF:** 总线活动指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = D+、D-、ID 或 VBUS 引脚上的活动已导致器件被唤醒  
0 = 未检测到活动

bit 3      **SESVDIF:** 会话有效电平变化指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = VBUS 电压已降至低于会话结束电压  
0 = VBUS 电压未降至低于会话结束电压

bit 2      **SESENDIF:** B 设备 VBUS 电平变化指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 在会话结束输入上检测到电平变化  
0 = 未在会话结束输入上检测到电平变化

bit 1      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作

bit 0      **VBUSVDIF:** A 设备 VBUS 电平变化指示位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 在会话有效输入上检测到电平变化  
0 = 未在会话有效输入上检测到电平变化

**寄存器 27-2: U1OTGIE: USB OTG 中断允许寄存器**

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	r-x	R/W-0
IDIE	T1MSECIE	LSTATEIE	ACTVIE	SESVDIE	SESENDIE	—	VBUSVDIE
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 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7      **IDIE:** ID 中断允许位  
1 = 允许 ID 中断  
0 = 禁止 ID 中断
- bit 6      **T1MSECIE:** 1 毫秒定时器中断允许位  
1 = 允许 1 毫秒定时器中断  
0 = 禁止 1 毫秒定时器中断
- bit 5      **LSTATEIE:** 线状态中断允许位  
1 = 允许线状态中断  
0 = 禁止线状态中断
- bit 4      **ACTVIE:** 总线活动中断允许位  
1 = 允许活动中断  
0 = 禁止活动中断
- bit 3      **SESVDIE:** 会话有效中断允许位  
1 = 允许会话有效中断  
0 = 禁止会话有效中断
- bit 2      **SESENDIE:** B 会话结束中断允许位  
1 = 允许 B 会话结束中断  
0 = 禁止 B 会话结束中断
- bit 1      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 0      **VBUSVDIE:** A-VBUS 有效中断允许位  
1 = 允许 A-VBUS 有效中断  
0 = 禁止 A-VBUS 有效中断

**寄存器 27-3: U1OTGSTAT: USB OTG 状态寄存器**

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-0	r-x	R-0	r-x	R-0	R-0	r-x	R-0
ID	—	LSTATE	—	SESVD	SESEND	—	VBUSVD
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 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7      **ID:** ID 引脚状态指示位  
1 = 未连接电缆, 或一个 B 类电缆已插入 USB 插座  
0 = 一个 A 类 OTG 电缆已插入 USB 插座
- bit 6      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 5      **LSTATE:** 线状态稳定指示位  
1 = 前 1 ms USB 线状态 (U1CON<SE0> 和 U1CON<JSTATE>) 已稳定  
0 = 前 1 ms USB 线状态 (U1CON<SE0> 和 U1CON<JSTATE>) 未稳定
- bit 4      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 3      **SESVD:** 会话有效指示位  
1 = A 或 B 设备上的 VBUS 电压高于会话有效电压  
0 = A 或 B 设备上的 VBUS 电压低于会话有效电压
- bit 2      **SESEND:** B 会话结束指示位  
1 = B 设备上的 VBUS 电压低于会话有效电压  
0 = B 设备上的 VBUS 电压高于会话有效电压
- bit 1      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 0      **VBUSVD:** A-VBUS 有效指示位  
1 = A 设备上的 VBUS 电压高于会话有效电压  
0 = A 设备上的 VBUS 电压低于会话有效电压

寄存器 27-4: U1OTGCON: USB OTG 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
DPPULUP	DMPULUP	DPPULDWN	DMPULDWN	VBUSON	OTGEN	VBUSCHG	VBUSDIS
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 31-8	保留: 写入 0; 忽略读操作
bit 7	<b>DPPULUP:</b> D+ 上拉使能位 1 = 使能 D+ 数据线上拉电阻 0 = 禁止 D+ 数据线上拉电阻
bit 6	<b>DMPULUP:</b> D- 上拉使能位 1 = 使能 D- 数据线上拉电阻 0 = 禁止 D- 数据线上拉电阻
bit 5	<b>DPPULDWN:</b> D+ 下拉使能位 1 = 使能 D+ 数据线下拉电阻 0 = 禁止 D+ 数据线下拉电阻
bit 4	<b>DMPULDWN:</b> D- 下拉使能位 1 = 使能 D- 数据线下拉电阻 0 = 禁止 D- 数据线下拉电阻
bit 3	<b>VBUSON:</b> VBUS 上电位 1 = VBUS 线上电 0 = VBUS 线未上电
bit 2	<b>OTGEN:</b> OTG 功能使能位 1 = DPPULUP、DMPULUP、DPPULDWN 和 DMPULDWN 位由软件控制 0 = DPPULUP、DMPULUP、DPPULDWN 和 DMPULDWN 位由 USB 硬件控制
bit 1	<b>VBUSCHG:</b> VBUS 充电使能位 1 = VBUS 线通过上拉电阻充电 0 = VBUS 线不通过电阻充电
bit 0	<b>VBUSDIS:</b> VBUS 放电使能位 1 = VBUS 线通过下拉电阻放电 0 = VBUS 线不通过电阻放电

**寄存器 27-5: U1PWRC: USB 电源控制寄存器**

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-0	r-x	r-x	R/W-0	R/W-0	r-x	R/W-0	R/W-0
UACTPND	—	—	USLPGRD	USBBUSY <sup>(1)</sup>	—	USUSPEND	USBPWR
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 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7      **UACTPND: USB 活动暂停位**  
 1 = 已检测到 USB 总线活动; 但存在待处理的中断, 该中断尚未发生  
 0 = 没有待处理的中断
- bit 6-5      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 4      **USLPGRD: USB 休眠进入保护位**  
 1 = 如果检测到 USB 总线活动或存在待处理的通知, 则阻止进入 Sleep (休眠) 模式  
 0 = USB 模块不阻止进入 Sleep (休眠) 模式
- bit 3      **USBBUSY: USB 模块忙状态位<sup>(1)</sup>**  
 1 = USB 模块处于活动状态或已被禁止, 但尚未准备好进行使能  
 0 = USB 模块不处于活动状态, 已准备好进行使能  
     **注:**      当 USBPWR = 0 且 USBBUSY = 1 时, 来自所有其他寄存器的状态都是无效的, 对所有 USB 模块寄存器的写操作都会产生未定义的结果。
- bit 2      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 1      **USUSPEND: USB 暂停模式位**  
 1 = USB 模块处于暂停模式  
     (48 MHz USB 时钟将被断开。收发器处于低功耗状态。)  
 0 = USB 模块正常工作
- bit 0      **USBPWR: USB 操作使能位**  
 1 = 开启 USB 模块  
 0 = 禁止 USB 模块  
     (输出保持无效, USB 不使用器件引脚, 模拟功能被关闭, 以降低功耗。)

**注 1:** 该位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。

寄存器 27-6: U1IR: USB 中断寄存器

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/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/K-0	R/W/K-0
STALLIF	ATTACHIF <sup>(1)</sup>	RESUMEIF <sup>(2)</sup>	IDLEIF	TRNIF <sup>(3)</sup>	SOFIF	UERRIF <sup>(4)</sup>	URSTIF <sup>(5)</sup>
							DETACHIF <sup>(6)</sup>
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                      K = 写入 1 清零该位                      -n = POR 时的值: (0, 1, x = 未知)

- bit 31-8      **保留:** 写入 0; 忽略读操作
- bit 7      **STALLIF:** STALL 握手中断位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 在主机模式下, 在事务的握手阶段接收到 STALL 握手  
在设备模式下, 在事务的握手阶段发送 STALL 握手  
0 = 未发送 STALL 握手
- bit 6      **ATTACHIF:** 外设连接中断位 <sup>(1)</sup>  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = USB 模块检测到外设连接  
0 = 未检测到外设连接
- bit 5      **RESUMEIF:** 恢复中断位 <sup>(2)</sup>  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 在 D+ 或 D- 引脚上观察到 K 状态达 2.5 μs  
0 = 未观察到 K 状态
- bit 4      **IDLEIF:** 空闲检测中断位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 检测到空闲状态 (3 ms 或更长的连续空闲状态)  
0 = 未检测到空闲状态

- 注 1: 只有 HOSTEN 位置 1 (见寄存器 27-11), USB 上的无活动时间达到 2.5 μs, 并且当前总线状态不为 SE0 时, 该位才有效。
- 2: 不处于暂停模式时, 应禁止该中断。
- 3: 清零该位会使 STAT FIFO 递增。
- 4: 只有通过 U1EIE 寄存器使能的错误条件才能将该位置 1。
- 5: 设备模式。
- 6: 主机模式。

## 寄存器 27-6: U1IR: USB 中断寄存器 (续)

bit 3	<b>TRNIF:</b> 令牌处理完成中断位 <sup>(3)</sup> 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 处理完当前令牌: 从 U1STAT 寄存器读取端点信息 0 = 未处理完当前令牌
bit 2	<b>SOFIF:</b> SOF 令牌中断位 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 外设接收到 SOF 令牌, 或主机达到 SOF 门限值 0 = 未接收到 SOF 令牌或未达到门限值
bit 1	<b>UERRIF:</b> USB 错误条件中断位 <sup>(4)</sup> 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 发生了未屏蔽的错误条件 0 = 未发生未屏蔽的错误条件
bit 0	<b>URSTIF:</b> USB 复位中断位 (设备模式) <sup>(5)</sup> 1 = 发生了有效的 USB 复位 0 = 未发生 USB 复位 <b>DETACHIF:</b> USB 断开连接中断位 (主机模式) <sup>(6)</sup> 1 = USB 模块检测到外设断开连接 0 = 未检测到外设断开连接

- 注 1:** 只有 HOSTEN 位置 1 (见寄存器 27-11), USB 上的无活动时间达到 2.5  $\mu$ s, 并且当前总线状态不为 SE0 时, 该位才有效。
- 2:** 不处于暂停模式时, 应禁止该中断。
- 3:** 清零该位会使 STAT FIFO 递增。
- 4:** 只有通过 U1EIE 寄存器使能的错误条件才能将该位置 1。
- 5:** 设备模式。
- 6:** 主机模式。



寄存器 27-7: U1IE: USB 中断允许寄存器<sup>(1)</sup>

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
STALLIE	ATTACHIE	RESUMEIE	IDLEIE	TRNIE	SOFIE	UERRIE	URSTIE <sup>(2)</sup>
							DETACHIE <sup>(3)</sup>
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 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7      **STALLIE:** STALL 握手中断允许位  
1 = 允许 STALL 中断  
0 = 禁止 STALL 中断
- bit 6      **ATTACHIE:** 连接中断允许位  
1 = 允许连接中断  
0 = 禁止连接中断
- bit 5      **RESUMEIE:** 恢复中断允许位  
1 = 允许恢复中断  
0 = 禁止恢复中断
- bit 4      **IDLEIE:** 空闲检测中断允许位  
1 = 允许空闲中断  
0 = 禁止空闲中断
- bit 3      **TRNIE:** 令牌处理完成中断允许位  
1 = 允许 TRNIF 中断  
0 = 禁止 TRNIF 中断
- bit 2      **SOFIE:** SOF 令牌中断允许位  
1 = 允许 SOFIF 中断  
0 = 禁止 SOFIF 中断
- bit 1      **UERRIE:** USB 错误中断允许位  
1 = 允许 USB 错误中断  
0 = 禁止 USB 错误中断

注 1: 对于传递给 USBIF (IFS1<25>) 的中断, UERRIE 位 (U1IE<1>) 必须置 1。

2: 设备模式。

3: 主机模式。

寄存器 27-7:     **U1IE: USB 中断允许寄存器<sup>(1)</sup>** (续)

bit 0

**URSTIE: USB 复位中断允许位<sup>(2)</sup>**

1 = 允许 URSTIF 中断

0 = 禁止 URSTIF 中断

**DETACHIE: USB 断开连接中断允许位<sup>(3)</sup>**

1 = 允许 DATTCHIF 中断

0 = 禁止 DATTCHIF 中断

- 注   **1:** 对于传递给 USBIF (IFS1<25>) 的中断, UERRIE 位 (U1IE<1>) 必须置 1。  
     **2:** 设备模式。  
     **3:** 主机模式。

**寄存器 27-8: U1EIR: USB 错误中断状态寄存器**

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/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W/K-0	R/W-0	R/W-0
BTSEF	BMXEF	DMAEF <sup>(1)</sup>	BTOEF <sup>(2)</sup>	DFN8EF	CRC16EF	CRC5EF <sup>(3,4)</sup>	PIDEF
						EOFEF <sup>(5)</sup>	
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

K = 写入 1 清零该位

-n = POR 时的值: (0, 1, x = 未知)

bit 31-8 **保留:** 写入 0; 忽略读操作

bit 7 **BTSEF:** 位填充错误标志位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 由于位填充错误而拒绝数据包  
0 = 接收数据包

bit 6 **BMXEF:** 总线矩阵错误标志位  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = BDT 的基址或某个 BDT 条目指向的缓冲区地址是无效的  
0 = 无地址错误

bit 5 **DMAEF:** DMA 错误标志位<sup>(1)</sup>  
向该位写入 1 可清除中断。  
1 = 检测到 USB DMA 错误条件  
0 = 无 DMA 错误

- 注**
- 1: 以下情况下会产生此类错误: 模块的 DMA 总线请求未及时得到批准, 从而无法处理模块的存储器要求, 导致上溢或下溢条件, 以及 / 或者所分配的缓冲区大小不足, 无法存储接收到的数据包, 导致数据包被截断。
  - 2: 以下情况下会产生此类错误: 在上一个数据包结束 (End-of-Packet, EOP) 之后, 已经过了 16 个位时间以上的空闲时间。
  - 3: 在以下情况下会产生此类错误: 在模块发送或接收数据时, SOF 计数器达到 0。
  - 4: 设备模式。
  - 5: 主机模式。

寄存器 27-8: U1EIR: USB 错误中断状态寄存器 (续)

bit 4	<b>BTOEF:</b> 总线周转 (Turnaround) 超时错误标志位 <sup>(2)</sup> 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 发生了总线周转超时 0 = 未发生总线周转超时
bit 3	<b>DFN8EF:</b> 数据字段大小错误标志位 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 接收到的数据字段的字节数不是整数 0 = 接收到的数据字段的字节数是整数
bit 2	<b>CRC16EF:</b> CRC16 失败标志位 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 由于 CRC16 错误而拒绝数据包 0 = 接受数据包
bit 1	<b>CRC5EF:</b> CRC5 主机错误标志位 <sup>(3,4)</sup> 向该位写入 1 可清除中断。 1 = 由于 CRC5 错误而拒绝令牌数据包 0 = 接受令牌数据包 <b>EOFEF:</b> EOF 错误标志位 <sup>(5)</sup> 1 = 检测到 EOF 错误条件 0 = 未检测到 EOF 错误条件
bit 0	<b>PIDEF:</b> PID 检查失败标志位 1 = PID 检查失败 0 = PID 检查通过

- 注
- 1: 以下情况下会产生此类错误: 模块的 DMA 总线请求未及时得到批准, 从而无法处理模块的存储器要求, 导致上溢或下溢条件, 以及 / 或者所分配的缓冲区大小不足, 无法存储接收到的数据包, 导致数据包被截断。
  - 2: 以下情况下会产生此类错误: 在上一个数据包结束 (End-of-Packet, EOP) 之后, 已经过了 16 个位时间以上的空闲时间。
  - 3: 在以下情况下会产生此类错误: 在模块发送或接收数据时, SOF 计数器达到 0。
  - 4: 设备模式。
  - 5: 主机模式。

**寄存器 27-9: U1EIE: USB 错误中断允许寄存器<sup>(1)</sup>**

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BTSEE	BMXEE	DMAEE	BTOEE	DFN8EE	CRC16EE	CRC5EE <sup>(2)</sup>	PIDEE
						EOFEE <sup>(3)</sup>	
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 31-8 **保留:** 写入 0; 忽略读操作
- bit 7 **BTSEE:** 位填充错误中断允许位  
1 = 允许 BTSEF 中断  
0 = 禁止 BTSEF 中断
- bit 6 **BMXEE:** 总线矩阵错误中断允许位  
1 = 允许 BMXEF 中断  
0 = 禁止 BMXEF 中断
- bit 5 **DMAEE:** DMA 错误中断允许位  
1 = 允许 DMAEF 中断  
0 = 禁止 DMAEF 中断
- bit 4 **BTOEE:** 总线周转超时错误中断允许位  
1 = 允许 BTOEF 中断  
0 = 禁止 BTOEF 中断
- bit 3 **DFN8EE:** 数据字段大小错误中断允许位  
1 = 允许 DFN8EF 中断  
0 = 禁止 DFN8EF 中断
- bit 2 **CRC16EE:** CRC16 失败中断允许位  
1 = 允许 CRC16EF 中断  
0 = 禁止 CRC16EF 中断

**注 1:** 对于传递给 USBIF (IFS1<25>) 的中断, UERRIE 位 (U1IE<1>) 必须置 1。

**2:** 设备模式。

**3:** 主机模式。

**寄存器 27-9: U1EIE: USB 错误中断允许寄存器<sup>(1)</sup> (续)**

bit 1	<b>CRC5EE:</b> CRC5 主机错误中断允许位 <sup>(2)</sup> 1 = 允许 CRC5EF 中断 0 = 禁止 CRC5EF 中断 <b>EOFEE:</b> EOF 错误中断允许位 <sup>(3)</sup> 1 = 允许 EOF 中断 0 = 禁止 EOF 中断
bit 0	<b>PIDEE:</b> PID 检查失败中断允许位 1 = 允许 PIDEF 中断 0 = 禁止 PIDEF 中断

- 注 1:** 对于传递给 USBIF (IFS1<25>) 的中断, UERRIE 位 (U1IE<1>) 必须置 1。
- 2:** 设备模式。
- 3:** 主机模式。

寄存器 27-10: U1STAT: USB 状态寄存器<sup>(1)</sup>

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-x	R-x	r-x	r-x
ENDPT<3:0>				DIR	PPBI	—	—
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7-4      **ENDPT<3:0>**: 上次端点活动的编号位  
              (代表上个 USB 传输更新的 BDT 号。)
- 1111 = 端点 15  
              1110 = 端点 14  
              .  
              .  
              0001 = 端点 1  
              0000 = 端点 0
- bit 3        **DIR**: 上次 BD 方向指示位  
              1 = 上次事务是发送传输 (TX)  
              0 = 上次事务是接收传输 (RX)
- bit 2        **PPBI**: 乒乓 BD 指针指示位  
              1 = 上次事务针对奇编号 BD 存储区  
              0 = 上次事务针对偶编号 BD 存储区
- bit 1-0      保留: 写入 0 ; 忽略读操作

注 1: U1STAT 寄存器是由 USB 模块维护的 4 字节 FIFO 窗口。只有 U1IR<TRNIF> 有效时, U1STAT 值才有效。  
清零 U1IR<TRNIF> 位时, FIFO 会前移。当 U1IR<TRNIF> = 0 时, 寄存器中的数据无效。

# PIC32MX 系列参考手册

**寄存器 27-11: U1CON: USB 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
JSTATE	SE0	PKTDIS <sup>(4)</sup>	USBRST	HOSTEN <sup>(2)</sup>	RESUME <sup>(3)</sup>	PPBRST	USBEN <sup>(4)</sup>
		TOKBUSY <sup>(1,5)</sup>					SOFEN <sup>(5)</sup>
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 31-8      **保留:** 写入 0; 忽略读操作
- bit 7      **JSTATE:** 有效差分接收器 JSTATE 标志位  
 1 = 在 USB 上检测到 JSTATE  
 0 = 未检测到 JSTATE
- bit 6      **SE0:** 有效单端 0 标志位  
 1 = 在 USB 上检测到单端 0  
 0 = 未检测到单端 0
- bit 5      **PKTDIS:** 数据包传输禁止位 <sup>(4)</sup>  
 1 = 禁止令牌和数据包处理 (一旦接收到 SETUP 令牌就置 1)  
 0 = 使能令牌和数据包处理  
**TOKBUSY:** 令牌忙状态指示位 <sup>(1,5)</sup>  
 1 = 由 USB 模块执行令牌  
 0 = 未执行令牌
- bit 4      **USBRST:** 模块复位位 <sup>(5)</sup>  
 1 = 产生了 USB 复位  
 0 = USB 复位已终止

- 注**    **1:** 在向 U1TOK 寄存器发出另一条令牌命令之前, 软件需要先检查该位; 请参见寄存器 27-15。  
**2:** 每次该位的值翻转时, 所有主机控制逻辑都会复位。  
**3:** 软件必须先将 RESUME 置 1, 时间保持 10 ms (如果部件属于功能) 或 25 ms (如果部件属于主机), 然后再将它清零来使能远程唤醒。在主机模式下, 当该位清零时, USB 模块会在恢复信号后追加一个低速 EOP。  
**4:** 设备模式。  
**5:** 主机模式。



## 寄存器 27-11: U1CON: USB 控制寄存器 (续)

bit 3	<b>HOSTEN:</b> 主机模式使能位 <sup>(2)</sup> 1 = 使能 USB 主机功能 0 = 禁止 USB 主机功能
bit 2	<b>RESUME:</b> 恢复信号传输使能位 <sup>(3)</sup> 1 = 激活恢复信号传输 0 = 禁止恢复信号传输
bit 1	<b>PPBRST:</b> 乒乓缓冲区复位位 1 = 将所有偶编号 / 奇编号缓冲区指针复位到偶编号 BD 存储区 0 = 偶编号 / 奇编号缓冲区指针不复位
bit 0	<b>USBEN:</b> USB 模块使能位 <sup>(4)</sup> 1 = 使能 USB 模块和支持电路 0 = 禁止 USB 模块和支持电路 <b>SOFEN:</b> SOF 使能位 <sup>(5)</sup> 1 = 每隔 1 ms 发送 SOF 令牌 0 = 禁止 SOF 令牌

注 1: 在向 U1TOK 寄存器发出另一条令牌命令之前, 软件需要先检查该位; 请参见寄存器 27-15。

2: 每次该位的值翻转时, 所有主机控制逻辑都会复位。

3: 软件必须先将 RESUME 置 1, 时间保持 10 ms (如果部件属于功能) 或 25 ms (如果部件属于主机), 然后再将它清零来使能远程唤醒。在主机模式下, 当该位清零时, USB 模块会在恢复信号后追加一个低速 EOP。

4: 设备模式。

5: 主机模式。

# PIC32MX 系列参考手册

寄存器 27-12: U1ADDR: USB 地址寄存器

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
LSPDEN	DEVADDR<6:0>						
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7        **LSPDEN:** 低速使能指示位  
             1 = 下个令牌命令以低速执行  
             0 = 下个令牌命令以全速执行
- bit 6-0      **DEVADDR<6:0>:** 7 位 USB 设备地址位

寄存器 27-13: U1FRML: USB 帧编号低字节寄存器

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-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0
FRML<7:0>							
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作

bit 7-0      **FRML<7:0>**: 11 位帧编号的低位

             每当接收到 SOF 令牌时, 就用当前帧编号更新寄存器位。

# PIC32MX 系列参考手册

寄存器 27-14: U1FRMH: USB 帧编号高字节寄存器

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-X	R-0	R-0	R-0
—	—	—	—	—	FRMH<2:0>		
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 31-3      保留: 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 2-0      **FRMH<2:0>**: 帧编号的高 3 位  
每当接收到 SOF 令牌时, 就用当前帧编号更新寄存器位。

寄存器 27-15: U1TOK: USB 令牌寄存器

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PID<3:0> <sup>(1)</sup>				EP<3:0>			
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7-4      **PID<3:0>**: 令牌类型指示位 <sup>(1)</sup>  
0001 = OUT (TX) 令牌类型事务  
1001 = IN (RX) 令牌类型事务  
1101 = SETUP (TX) 令牌类型事务  
注:    所有其他值都被保留, 禁止使用。
- bit 3-0      **EP<3:0>**: 令牌命令端点地址位  
这 4 个位的值必须指定一个有效端点。

注    1: 所有其他值都被保留, 禁止使用。

寄存器 27-16: U1SOF: USB SOF 门限值寄存器

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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CNT<7:0>							
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作

bit 7-0      **CNT<7:0>**: SOF 门限值位

             门限典型值为:

             0100 1010 = **64** 字节数据包

             0010 1010 = **32** 字节数据包

             0001 1010 = **16** 字节数据包

             0001 0010 = **8** 字节数据包

寄存器 27-17: U1BDTP1: USB BDT 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	r-x
BDTPTRL<15:9>							—
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7-1      **BDTPTRL<15:9>**: BDT 基址位  
该 7 位值提供 BDT 基址的地址位 bit 15 至 bit 9, 该基址定义 BDT 在系统存储器中的起始位置。  
32 位 BDT 基址按 512 字节对齐。
- bit 0        保留: 写入 0 ; 忽略读操作

# PIC32MX 系列参考手册

寄存器 27-18: U1BDTP2: USB BDT PAGE 2 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BDTPTRH<23:16>							
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 31-8      保留: 写入 0 ; 忽略读操作

bit 7-0      **BDTPTRH<23:16>**: BDT 基址位

该 8 位值提供 BDT 基址的地址位 bit 23 至 bit 16, 该基址定义 BDT 在系统存储器中的起始位置。

32 位 BDT 基址按 512 字节对齐。



寄存器 27-19: U1BDTP3: USB BDT PAGE 3 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BDTPTRU<31:24>							
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 31-8

保留: 写入 0 ; 忽略读操作

bit 7-0

**BDTPTRU<31:24>: BDT 基址位**  
该 8 位值提供 BDT 基址的地址位 bit 31 至 bit 24, 该基址定义 BDT 在系统存储器中的起始位置。  
32 位 BDT 基址按 512 字节对齐。

# PIC32MX 系列参考手册

寄存器 27-20: U1CNFG1: USB 配置 1 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/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	r-x	r-x	r-x	R/W-0
UTEYE	UOEMON	USBFRZ	USBSIDL	—	—	—	UASUSPND <sup>(1)</sup>
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 31-8      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 7      **UTEYE:** USB 眼图测试使能位  
1 = 使能眼图测试  
0 = 禁止眼图测试
- bit 6      **UOEMON:** USB  $\overline{OE}$  监视器使能位  
1 = OE 信号有效; 它指示驱动 D+/D- 线的间隔  
0 = OE 信号无效
- bit 5      **USBFRZ:** 调试模式冻结位  
1 = 仿真器处于 Debug (调试) 模式时, 模块停止工作  
0 = 仿真器处于 Debug (调试) 模式时, 模块继续工作
- bit 4      **USBSIDL:** 空闲模式停止位  
1 = 当器件进入 Idle (空闲) 模式时, 模块停止工作  
0 = 在 Idle (空闲) 模式下模块继续工作
- bit 3-1      **保留:** 写入 0 ; 忽略读操作
- bit 0      **UASUSPND:** 自动暂停使能位<sup>(1)</sup>  
1 = 在进入 Sleep (休眠) 模式时, USB 模块自动暂停。请参见寄存器 27-5 中的 USUSPEND 位 (U1PWRC<1>)  
0 = 在进入 Sleep (休眠) 模式时, USB 模块不自动暂停。软件必须使用 USUSPEND 位 (U1PWRC<1>) 来暂停模块 (包括 USB 48 MHz 时钟)

注 1: 该位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。

寄存器 27-21: U1EP0-U1EP15: USB 端点控制寄存器

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/W-0	R/W-0	r-x	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
LSPD	RETRYDIS	—	EPCONDIS	EPRXEN	EPTXEN	EPSTALL	EPHSK
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 31-8      **保留:** 写入 0; 忽略读操作
- bit 7      **LSPD:** 低速直接连接使能位 (仅限主机模式和 U1EP0)  
1 = 使能直接连接到低速设备  
0 = 禁止直接连接到低速设备; 需要集线器与 PRE\_PID
- bit 6      **RETRYDIS:** 重试禁止位 (仅限主机模式和 U1EP0)  
1 = 禁止重试 NAK 事务  
0 = 使能重试 NAK 事务; 由硬件完成重试
- bit 5      **保留:** 写入 0; 忽略读操作
- bit 4      **EPCONDIS:** 双向端点控制位  
如果 EPTXEN = 1 且 EPRXEN = 1:  
1 = 禁止端点 n 的控制传输; 只允许发送和接收传输  
0 = 使能端点 n 的控制 (SETUP) 传输; 同时允许发送和接收传输  
其他情况下, 该位为无关位。
- bit 3      **EPRXEN:** 端点接收使能位  
1 = 使能端点 n 接收  
0 = 禁止端点 n 接收
- bit 2      **EPTXEN:** 端点发送使能位  
1 = 使能端点 n 发送  
0 = 禁止端点 n 发送
- bit 1      **EPSTALL:** 端点停止状态位  
1 = 端点 n 已停止  
0 = 端点 n 未停止
- bit 0      **EPHSK:** 端点握手使能位  
1 = 使能端点握手  
0 = 禁止端点握手 (通常用于同步端点)

## 27.3 工作原理

本节简要概述 USB 工作原理，并随后介绍 PIC32MX USB 模块实现的细节和模块初始化要求。

**注：** 用户可以通过 USB 开发网站上提供的文档来更好地了解 USB。并且，请特别阅读“*Universal Serial Bus Specification, Revision 2.0*” (<http://www.usb.org/developers/docs>)。

### 27.3.1 USB 2.0 工作原理概述

USB 是异步串行接口，使用层式星型配置。USB 实现为主 / 从配置。在给定总线上，可以有多个（最多 127 个）从动方（设备），但只能有一个主控方（主机）。

### 27.3.2 工作模式

以下概述中介绍了 USB 的实现模式：

- 主机模式
  - USB 标准主机模式——通常用于个人计算机的 USB 实现
  - 嵌入式主机模式——通常用于单片机的 USB 实现
- 设备模式——通常用于外设（如 U 盘、键盘或鼠标）的 USB 实现
- OTG 双重角色模式——应用可以在主机或设备之间动态切换角色的 USB 实现

#### 27.3.2.1 主机模式

主机是 USB 系统中的主控方，负责识别与其连接的所有设备（枚举）、启动所有传输、分配总线带宽，以及为直接与其连接的所有由总线供电的 USB 设备供电。

##### 27.3.2.1.1 USB 标准主机

在 USB 标准主机模式下，以下特性和要求是相关的：

- 支持大量设备
- 支持所有 USB 传输类型
- 支持 USB 集线器（允许同时连接多个设备）
- 可以更新设备驱动程序以支持新设备
- 对于每个端口，使用 A 类插座
- 每个端口必须能够为已配置或未配置的设备提供最低 100 mA 的电流，为已配置设备提供最高 500 mA（可选）的电流
- 必须支持全速和低速协议（能够支持高速协议）

**注：** PIC32 不支持该模式。

##### 27.3.2.1.2 嵌入式主机

在嵌入式主机模式下，以下特性和要求是相关的：

- 仅支持特定的一些设备，称为目标外设列表（Targeted Peripheral List，TPL）
- 只需要支持 TPL 中设备所需的传输类型
- USB 集线器支持是可选的
- 设备驱动程序不要求为可更新的
- 对于每个端口，使用 A 类插座
- 只需要支持 TLP 中的设备所需的速度
- 每个端口必须能够为已配置或未配置的设备提供最低 100 mA 的电流，为已配置设备提供最高 500 mA（可选）的电流

### 27.3.2.2 设备模式

USB 设备接受来自主机的命令和数据以及对数据请求进行响应。USB 设备执行一些外设功能，例如鼠标、其他 I/O 或数据存储。

以下特性概括性地描述了 USB 设备：

- 功能可能取决于具体类或供应商
- 在配置之前从总线消耗 100 mA 或更低的电流
- 在与主机成功协商之后最高可从总线消耗 500 mA 的电流
- 能够支持低速、全速或高速协议（高速支持的实现要求全速协议进行枚举）
- 支持实现所需的控制和数据传输
- 可选择支持会话请求协议（Session Request Protocol, SRP）
- 可以总线供电，也可以自供电

### 27.3.2.3 OTG 双重角色模式

OTG 双重角色设备同时支持 USB 主机和设备功能。OTG 双重角色设备使用 micro-AB 插座。这使得可以连接 micro-A 或 micro-B 插头。micro-A 和 micro-B 插头都具有一个额外的引脚（ID 引脚），用以指示连接的插头类型。连接到插座的插头类型决定默认角色：主机或设备。检测到 micro-A 插头时，OTG 设备将执行主机的角色。检测到 micro-B 插头时，将执行 USB 设备的角色。

当一个 OTG 设备使用 OTG 电缆直接连接（micro-A 至 micro-B）到另一个 OTG 设备时，可以使用主机协商协议（Host Negotiation Protocol, HNP）将角色在主机和设备这两者之间切换，而无需断开和重新连接电缆。为了区分两种 OTG 设备，使用了术语“A 设备”来指代连接到 micro-A 插头的设备，使用“B 设备”来指代连接到 micro-B 插头的设备。

#### 27.3.2.3.1 A 设备，默认主机

在 OTG 双重角色模式下作为主机工作时，以下特性和要求可以描述 A 设备：

- 支持 TPL 上的设备（不允许类支持）
- 需要支持 TPL 上设备所需的事务类型
- USB 集线器支持是可选的
- 设备驱动程序不要求为可更新的
- 使用单个 micro-AB 插座
- 必须支持全速协议（能够支持高速和 / 或低速协议）
- USB 端口必须能够为已配置或未配置的设备提供最低 8 mA 的电流，为已配置设备提供最高 500 mA（可选）的电流
- 支持 HNP；主机可以将角色切换为设备
- 支持至少一种 SRP
- 当总线上电时，A 设备提供 Vbus 电源，即使角色已使用 HNP 进行了切换

## 27.3.2.3.2 B 设备，默认设备

在 OTG 双重角色模式下作为 USB 设备工作时，以下特性和要求可以描述 B 设备：

- 功能取决于具体类或供应商
- 在配置之前消耗 8 mA 或更低的电流
- 由于电流要求低，通常采用自供电，但在与主机成功协商之后最高可消耗 500 mA 的电流
- 使用单个 micro-AB 插座
- 必须支持全速协议（可选择支持低速和 / 或高速协议）
- 支持控制传输，并且支持实现所需的数据传输
- 同时支持两种 SRP——VBUS 脉冲驱动和数据线脉冲驱动
- 支持 HNP
- B 设备不提供 VBUS 电源，即使角色已使用 HNP 进行了切换

**注：** 通过使用多个 USB 插座，可以实现不支持全部 OTG 功能的双重角色设备，但如果需要使这些设备保持 USB 兼容，可能存在一些特殊的要求；详情请参见 USB IF（开发者论坛）。

## 27.3.2.4 协议

USB 通信要求使用特定的协议。以下小节概述通过 USB 进行的通信。

### 27.3.2.4.1 总线传输

USB 总线上的通信在进行传输的主机和设备之间发生。每种传输类型都具有独特的功能。嵌入式或 OTG 主机可以仅实现它将使用的控制和数据传输。

以下是总线上可能出现的 4 种传输类型：

- 控制  
控制传输用于在枚举期间识别设备，以及在工作期间对设备进行控制。确保一定百分比的 USB 带宽可用于控制传输。数据使用循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check，CRC）进行校验，并会校验目标是否接收到数据。
- 中断  
中断传输是预定的数据传输，此时主机为设备配置所需的传输分配时隙。该时隙分配导致定时对设备进行查询。数据使用 CRC 进行校验，并会应答目标是否接收到数据。
- 同步  
同步传输是预定的数据传输，此时主机为设备配置所需的事务分配时隙。不对数据接收进行应答，但设备使用 CRC 对数据完整性进行校验。该传输类型通常用于音频和视频。
- 批量  
批量传输用于在不确保事务时间的情况下传送大量数据。用于该传输类型的时间从尚未分配给其他三种传输类型的时间中分配。数据使用 CRC 进行校验，并会应答是否接收到数据。

USB 2.0 规范中定义了以下传输速度：

- 480 Mbps——高速
- 12 Mbps——全速
- 1.5 Mbps——低速

PIC32MX OTG 设备支持主机和设备模式下的全速工作，支持主机模式下的低速工作。

表 27-2 给出了每种传输或事务类型的及时性、数据完整性、数据大小和速度的对比信息。

**表 27-2: 事务类型 (全速工作)**

事务类型	确保及时性	确保数据完整性	最大数据包大小	最大吞吐量 <sup>(1)</sup>
控制	是	是	64	0.83 MB/s
中断	是	是	64	1.22 MB/s
同步	是	否	1023	1.28 MB/s
批量	否	是	64	1.22 MB/s

**注 1:** 这些数字反映的是在除了相应事务没有任何其他传输的总线上，理论上的最大数据吞吐量（包括协议开销）。这些计算中未包含反相不归零（Non-Return to Zero Inverted, NRZI）编码所需的位填充开销。

## 27.3.2.4.2 带宽分配

控制传输（或事务）带宽至少占据给定帧中可用带宽的 10%。剩余部分可分配给中断和同步传输。批量传输带宽从未分配给控制、中断或同步传输的带宽中分配。批量传输带宽不属于保证带宽。但在实际中，它们使用的带宽会最高，因为帧带宽极少会完全分配掉。

## 27.3.2.4.3 端点和 USB 描述符

在总线上传输的所有数据都通过端点发送或接收。USB 支持设备最多具有 16 个端点。每个端点可以具有发送（TX）和 / 或接收（RX）功能。每个端点使用一种事务类型。端点 0 是默认的控制传输端点。

## 27.3.2.5 物理总线接口

### 27.3.2.5.1 总线速度选择

USB 规范定义了全速工作速度为 12 Mb/s，低速工作速度为 1.5 Mb/s。数据线上拉电阻用于识别设备是全速工作还是低速工作。对于全速工作，D+ 线被上拉；对于低速工作，D- 线被上拉。

### 27.3.2.5.2 VBUS 控制

VBUS 是由主机或集线器提供的 5V USB 电源，用以总线供电设备的运行。是否需要 VBUS 控制取决于应用的角色。如果必须使能或禁止 VBUS 电源，则控制必须由固件管理。

以下列表描述了 VBUS 操作：

- 标准主机通常总是为总线供电
- 主机可以关闭 VBUS 来节省电能
- USB 设备从不为总线供电——VBUS 脉冲驱动可作为 SRP 的一部分进行支持
- OTG A 设备会为总线供电，通常关闭 VBUS 来节省电能
- OTG B 设备可以通过以脉冲形式驱动 VBUS 来完成 SRP 信号

**注：** PIC32MX 器件不提供 VBUS 电源。关于 VBUS 电气参数，请参见具体器件数据手册。

## 27.3.3 PIC32MX USB 实现细节

本节详细说明 PIC32MX USB 模块中如何实现 USB 规范要求。

### 27.3.3.1 总线速度

PIC32MX USB 模块支持以下速度：

- 作为主机和设备全速工作
- 作为主机低速工作

### 27.3.3.2 端点和描述符

所有 USB 端点都实现为 RAM 中的缓冲区。CPU 和 USB 模块具有对这些缓冲区的访问权。为了在 USB 模块和 CPU 之间对这些缓冲区的访问权进行仲裁，使用了一个信号标志系统。每个端点均可配置为用于发送和 / 或接收，并且每个端点具有一个奇编号缓冲区和一个偶编号缓冲区，从而每个端点最多可有 4 个缓冲区。

缓冲区描述符表（BDT）用于将缓冲区定位到 RAM 中的任意位置，以及提供状态标志和控制位。BDT 包含每个端点数据缓冲区的地址，以及关于每个缓冲区的信息（见图 27-2、图 27-3 和图 27-4）。每个 BDT 条目称为缓冲区描述符（Buffer Descriptor, BD），长度为 8 字节。每个端点使用 4 个描述符条目。所有端点（从端点 0 到所使用的最高编号端点）都必须具有 4 个描述符条目。即使不使用端点的所有缓冲区，每个端点也需要 4 个描述符条目。

USB 模块使用 BDT 指针寄存器来计算缓冲区在存储器中的位置。BDT 的基址保存在寄存器 U1BDTP1 至 U1BDTP3 中。所需缓冲区的地址通过使用端点编号、类型（RX/TX）和 ODD/EVEN 位在 BDT 中计算出距离基址的偏移量而获得。BDT 表中检索到的条目保存的地址就是所需数据缓冲区的地址。请参见第 27.3.3.3 节“缓冲区管理”。

**注：** U1BDTP1-U1BDTP3 寄存器的内容提供 32 位地址的高 23 位；因此，BDT 必须对齐到 512 字节边界（见图 27-2）。该地址必须是物理（非虚拟）存储器地址。

16 个端点中的每个端点都具有两个描述符对：两个用于要发送的数据包，两个用于接收到的数据包。每个描述符对管理两个缓冲区：一个偶编号缓冲区和一个奇编号缓冲区；最多需要 64 个描述符（ $16 * 2 * 2$ ）。

每个方向具有偶编号和奇编号缓冲区使 CPU 可以访问一个缓冲区中的数据，同时 USB 模块对另一个缓冲区收发数据。USB 模块会交替使用缓冲区，当对于缓冲区的事务完成时，会自动将缓冲区描述符中的 UOWN 位清零。交替使用缓冲区使 CPU 数据访问可以与数据传输同时进行，最大程度提高数据吞吐量。这种技术称为乒乓（ping-pong）缓冲。图 27-5 给出了如何在 BDT 中映射端点的图示。

#### 27.3.3.2.1 端点控制

每个端点都由端点控制寄存器 U1EPn 控制，该寄存器用于配置端点的传输方向、握手和停止属性。端点控制寄存器还允许支持控制传输。

#### 27.3.3.2.2 主机端点

**注：** 在主机模式下，端点 0 另外有一些位用于自动重试和集线器支持。

主机通过单个端点（端点 0）执行所有事务。所有其他端点都应禁止，其他端点缓冲区都不使用。

#### 27.3.3.2.3 设备端点

端点 0 必须实现，以便对 USB 设备进行枚举和控制。设备通常会另外实现一些端点来传输数据。



27.3.3.3 缓冲区管理

缓冲区由 CPU 和 USB 模块共用，并在系统存储器中实现。因此，使用了简单的信号机制来确定 BD 和存储器中相关缓冲区的当前所有权。这种信号机制通过每个 BD 中的 UOWN 位实现。

当对于该缓冲区的事务完成时，USB 模块会自动将 UOWN 位清零。当 UOWN 位清零时，描述符归 CPU 所有——可以根据需要修改描述符和缓冲区。

软件必须配置用于下一个事务的 BDT 条目，然后将 UOWN 位置 1，以将控制权返回给 USB 模块。

只有在 U1EPn 寄存器使能对应端点之后，BD 才有效。BDT 在数据存储器中实现，BD 不会在 USB 模块复位时被修改。在通过 U1EPn 使能端点之前，需要先初始化 BD。至少，在使能之前必须将 UOWN 位清零。

在主机模式下，在写入 U1TOK 寄存器（触发传输）之前不需要进行 BDT 初始化。

图 27-2: BDT 地址生成

BDTBA<22:0>	ENDPOINT<3:0>	DIR	PPBI	FIELD
31:9	8:5	4	3	2:0

- bit 31:9 **BDTBA<22:0>**: BDT 基址位  
23 位值由 U1BDTP3、U1BDTP2 和 U1BDTP1 寄存器的内容组成。
- bit 8:5 **ENDPOINT<3:0>**: 传输端点号位  
0000 = 端点 0  
0001 = 端点 1  
.  
.  
.  
1110 = 端点 14  
1111 = 端点 15
- bit 4 **DIR**: 传输方向位  
1 = 发送: 对于主机为 SETUP/OUT, 对于功能为 IN  
0 = 接收: 对于主机为 IN, 对于功能为 SETUP/OUT
- bit 3 **PPBI**: 乒乓指针位  
1 = 奇编号缓冲区  
0 = 偶编号缓冲区
- bit 2:0 **由 USB 模块操作**  
用于访问 BD 中的字段。

- 控制
- 状态

© 2010 Microchip Technology Inc.

bit 2     **BSTALL:** 缓冲区停止使能位

1 = 使能缓冲区停止

如果接收到使用给定地址处 BD 的令牌，将发出 STALL 握手（UOWN 位保持置 1，BD 值不变）。  
在任何 STALL 握手发生时，相应的 EPSTALL 位将置 1。

0 = 禁止缓冲区停止

**地址偏移 +4**

bit 31-0   **BUFFER\_ADDRESS<31:0>:** 缓冲区地址位

端点数据包数据缓冲区的起始地址。

**注：**     BDT 中的每个缓冲区地址必须为物理存储器地址。

图 27-4: USB 缓冲区描述符状态格式: 硬件 -> 软件

31					26	25											16	15									8	7	6	5	4	3	2	1	0
—					BYTE_COUNT<9:0>										—										DOWN	DATA0/1	PID<3:0>					—			

[illegible]

bit 25-16 **BYTE\_COUNT<9:0>**: 字节计数位  
字节计数反映接收或发送的实际字节数。

bit 7 **UOWN**: USB 所有权位  
1 = USB 模块拥有 BD 及其对应缓冲区  
CPU 不得修改 BD 或缓冲区。  
0 = CPU 拥有 BD 及其对应缓冲区

注: 该位可以由 CPU 或 USB 模块设定, 并且在使能 USB 端点之前, 用户必须先将它初始化为所需的值。

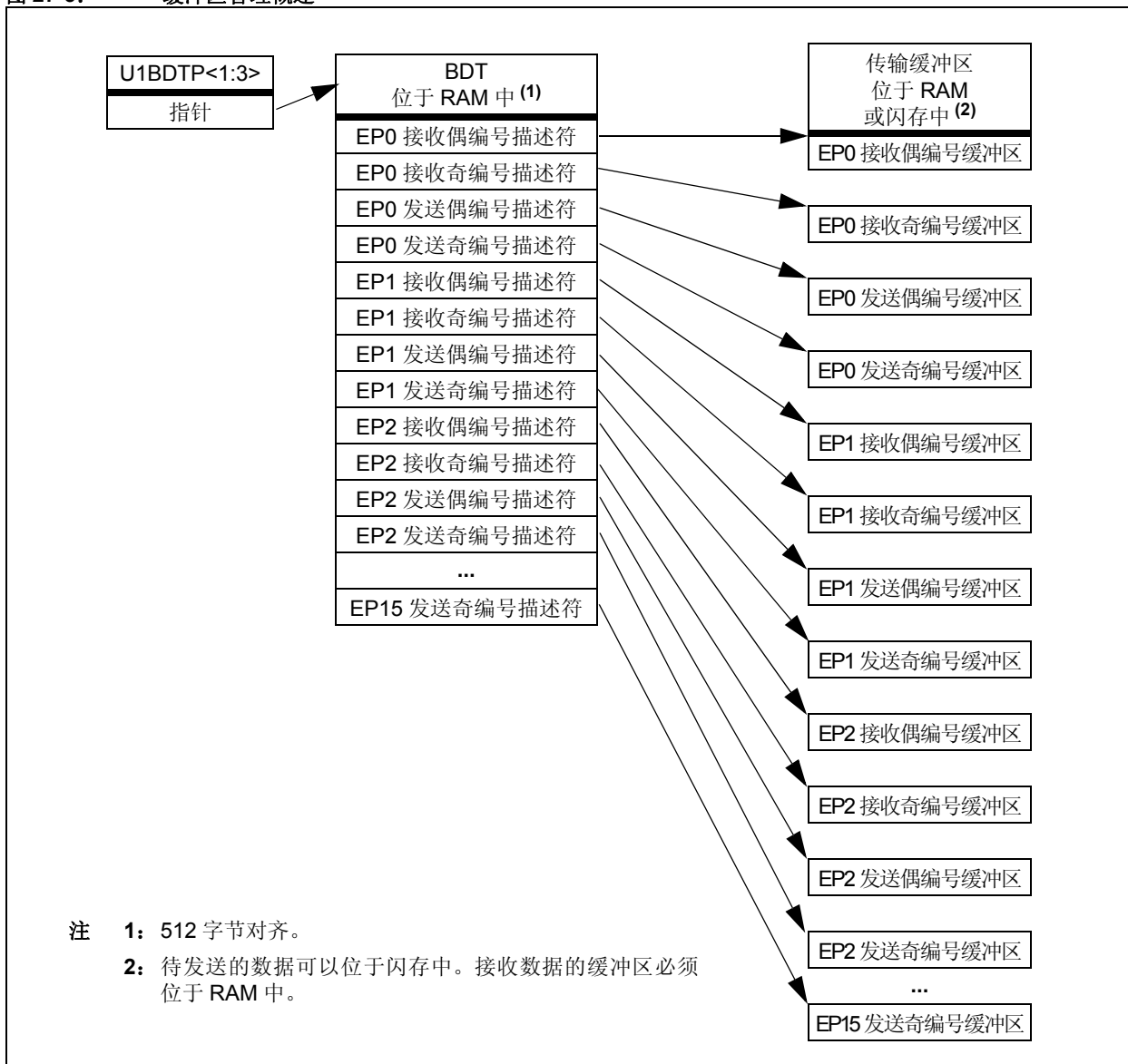
bit 6 **DATA0/1**: 数据翻转数据包位  
1 = 接收到 DATA1 数据包  
0 = 接收到 DATA0 数据包

注: 在发送数据包时, 该位保持不变。

bit 5-2 **PID<3:0>**: 数据包标识符位  
传输完成时的当前令牌 PID。  
回写的值是基于 USB 规范的令牌 PID 值。0x1 代表 OUT 令牌, 0x9 代表 IN 令牌, 0xd 代表 SETUP 令牌。  
在主机模式下, 该字段用于报告上次返回的 PID 或传输状态指示。  
返回的值可能有: 0x3 DATA0、0xb DATA1、0x2 ACK、0xe STALL、0xa NAK、0x0 总线超时和 0xf 数据错误。

bit 31-0 **BUFFER\_ADDRESS<31:0>**: 缓冲区地址位  
端点数据包数据缓冲区的起始地址。

图 27-5: 缓冲区管理概述



#### 27.3.3.4 缓冲区描述符配置

每个 BDT 条目中的 UOWN、DTS 和 BSTALL 位用于控制相关缓冲区和端点的数据传输。

将 DTS 位置 1 将允许 USB 模块执行数据翻转同步。在使能 DTS 时：如果到达的数据包具有错误的 DTS，则它将被忽略，缓冲区将保持不变，并以 NAK（否定应答）响应该数据包。

将 BSTALL 位置 1 时，如果 SIE 接收到的令牌将使用该位置的 BD，那么 USB 会发出 STALL 握手——相应的 EPSTALL 位置 1，并产生 STALLIF 中断。当 BSTALL 位置 1 时，USB 模块将不使用该 BD（UOWN 位保持置 1，其余 BD 值不变）。如果 SETUP 令牌被发送到已停止的端点，模块会自动清零相应的 BSTALL 位。

字节计数表示要发送或接收的字节总数。有效的字节计数范围从 0 至 1023。对于所有端点传输，字节计数由 USB 模块使用在传输完成后发送或接收的实际字节数更新。如果接收到的字节数超出固件写入的对应字节计数值，则溢出位将置 1，并且数据将被截断，以适应在 BTD 中给定的缓冲区大小。

## 27.3.4 硬件接口

### 27.3.4.1 电源要求

USB 实现的电源要求因应用类型而异，下面对其进行了概述。

- 设备：  
作为设备工作时，需要为 PIC32MX 和 USB 收发器供电，USB 实现为设备时的一览图请参见图 27-6。
- 嵌入式主机：  
作为主机工作时，需要为 PIC32MX 和 USB 收发器供电，并为 USB Vbus 提供 5V 标称电源。电源必须能够提供 100 mA 或最高 500 mA 的电流，这取决于 TPL 中设备的要求。应用决定 Vbus 电源是否可以由 PIC32MX 应用禁止或从总线断开。USB 实现为主机时的一览图请参见图 27-7。
- OTG 双重角色：  
作为 OTG 双重角色工作时，需要为 PIC32MX 和 USB 收发器供电，并为 USB Vbus 提供可开关的 5V 标称电源。USB 实现为 OTG 时的一览图请参见图 27-8。  
当用作 A 设备时，必须向 VBUS 供电。电源必须能够提供 8 mA、100 mA 或最高 500 mA 的电流，这取决于 TPL 中设备的要求。  
当用作 B 设备时，不得向 VBUS 供电。VBUS 脉冲驱动可以由 USB 模块或由支持该功能的电源执行。

### 27.3.4.2 VBUS 稳压器接口

VBUSON 输出可用于控制片外 5V Vbus 稳压器。VBUSON 引脚由 VBUSON 位 (U1OTGCON<3>) 控制。图 27-7 和图 27-8 中显示了 VBUSON。

图 27-6: USB 实现为设备时的一览图

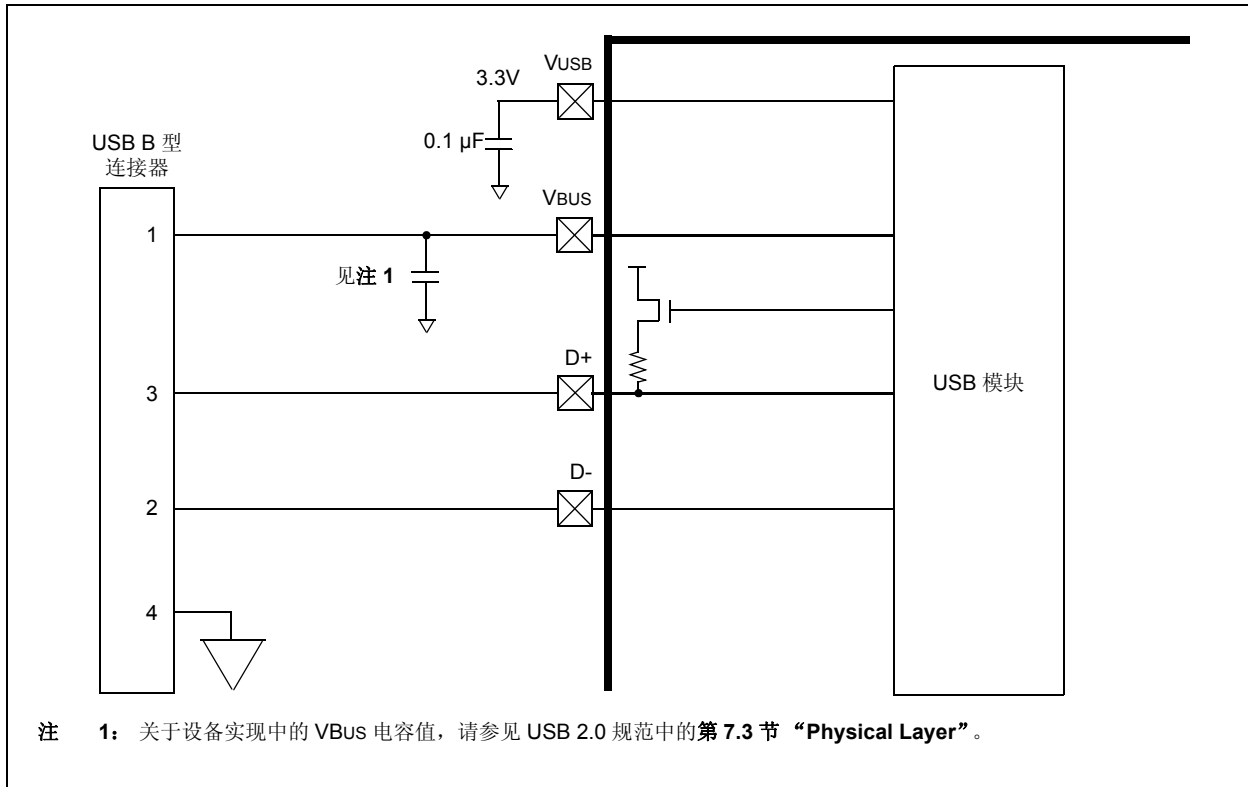


图 27-7: USB 实现为主机时的一览图

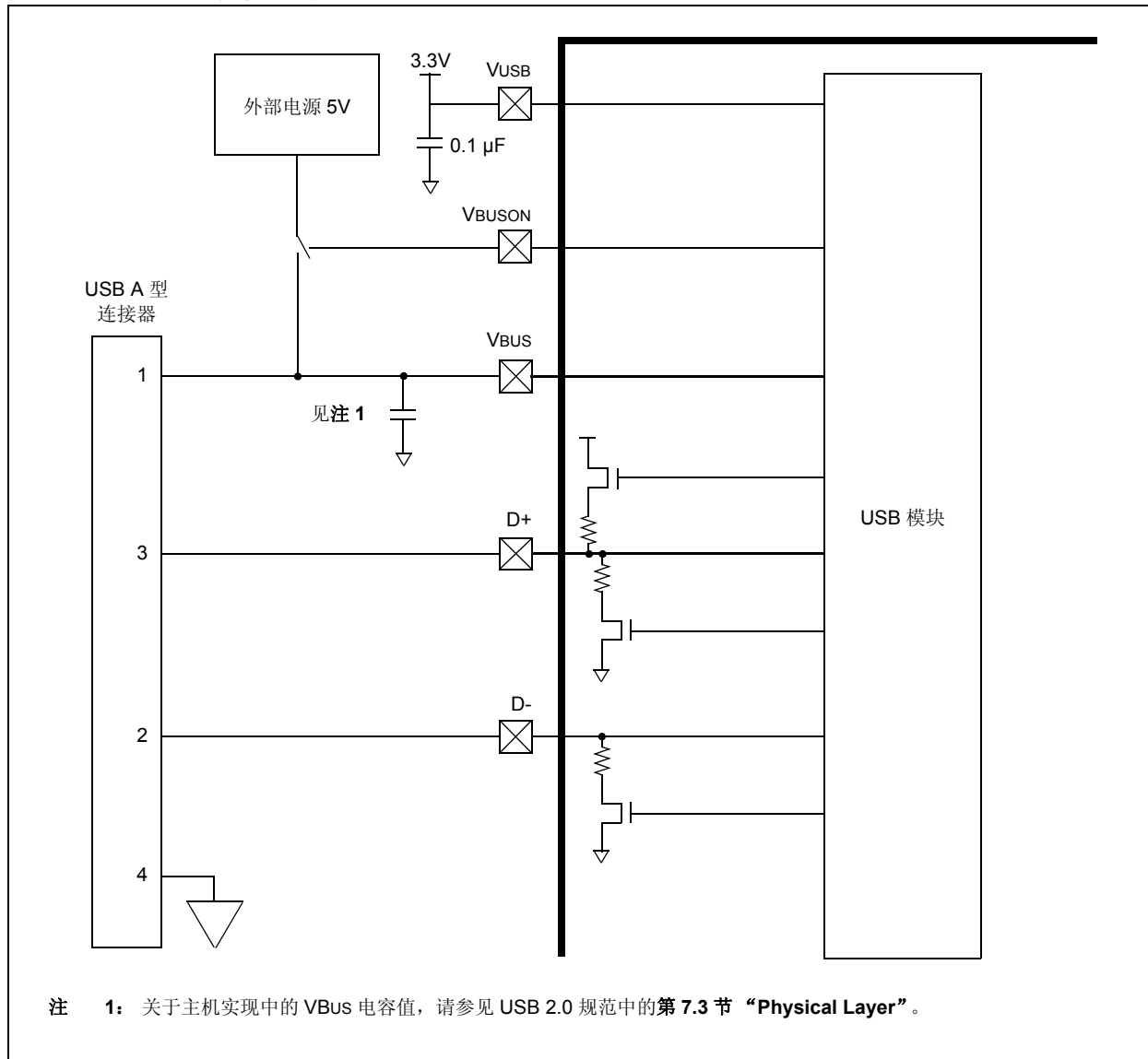
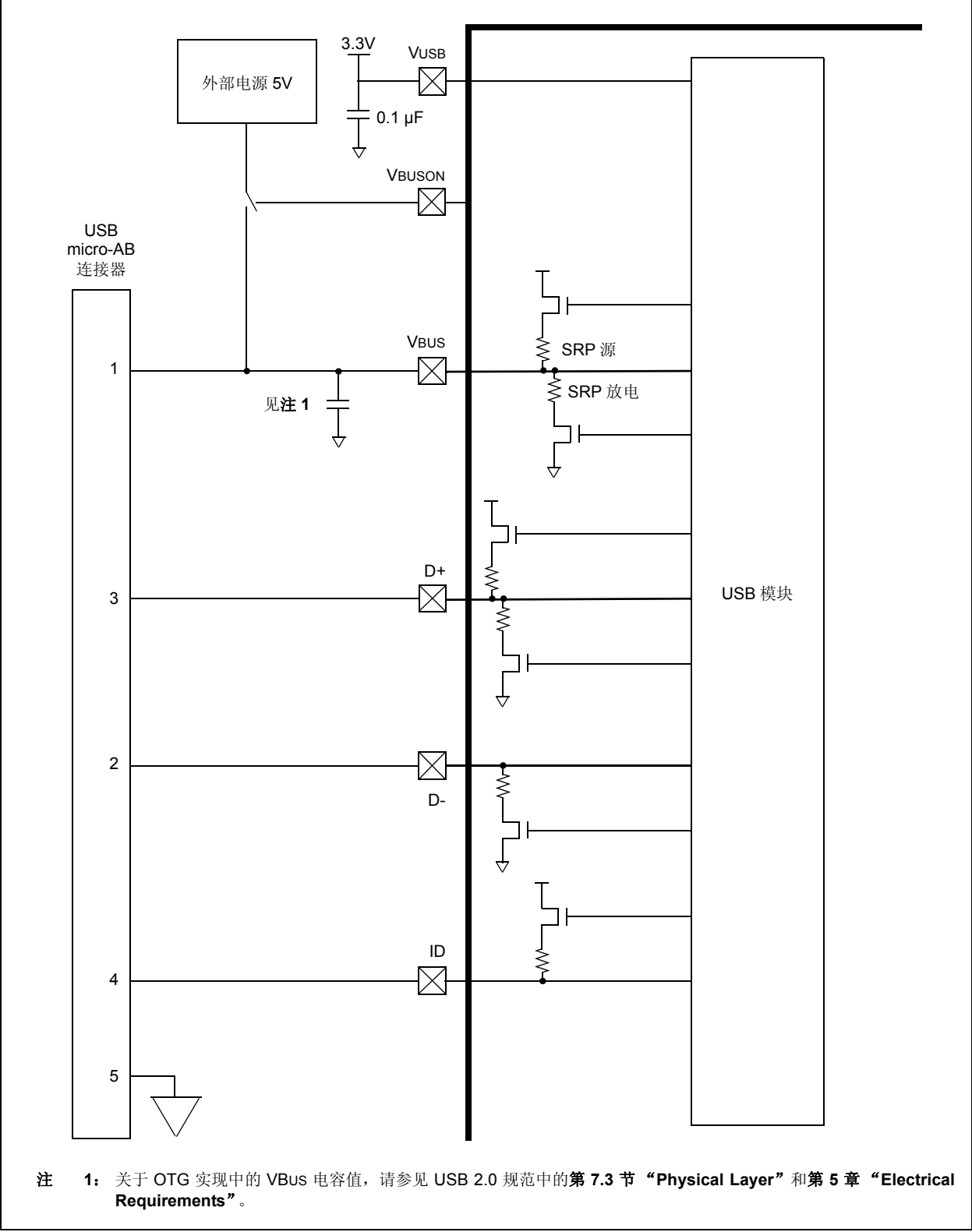


图 27-8: USB 实现为 OTG（双重角色）时的一览图





### 27.3.5 模块初始化

本节说明正确初始化 OTG USB 模块必须执行的步骤。

#### 27.3.5.1 使能 USB 硬件

为了使用 USB 外设，软件必须将 USBPWR 位 (U1PWRC<0>) 设置为 1。这可以在启动引导序列中完成。

USBPWR 用于启动以下操作：

- 启动 USB 时钟
- 允许激活 USB 中断
- 选择 USB 作为必需 I/O 引脚的所有者
- 使能 USB 收发器
- 使能 USB 比较器

当 USBPWR 清零时，USB 模块和内部寄存器将被复位。因此，每次使能 USB 模块时，必须按照以下小节中的介绍，执行相应的初始化过程。否则，对于发送到 USB 模块的所有配置数据包，硬件都会以 NAK 进行响应，直到模块得到配置为止。

**注：** 如果 USB 模块先前处于活动状态，并且被快速禁止并重新使能，则模块有可能仍然在完成先前的总线活动。这种情况下，固件应等待 USBBUSY (U1PWRC<3>) 位清零，然后再尝试配置并使能模块。请注意，并不是所有器件上都提供该功能。详情请参见具体器件数据手册。

#### 27.3.5.2 初始化 BDT

在使能给定端点之前，必须初始化该端点的所有描述符和方向。在复位后，所有端点都处于禁止状态，并且对于发送和接收方向都使用偶编号缓冲区启动传输。

写发送描述符时，UOWN 位必须清零（由软件所有）。所有其他发送描述符设置可以在将 UOWN 位置 1 之前的任意时间执行。

接收描述符必须完全初始化，才能接收数据。这意味着必须保留存储空间，用于接收到的数据包数据。指向该存储空间（物理地址）的指针和所保留的空间大小（以字节为单位）必须写入描述符。接收描述符 UOWN 位应初始化为 1（由硬件所有）。DTS 和 STALL 位也应进行相应的配置。

如果接收到事务，而描述符的 UOWN 位为 0（由软件所有），则 USB 模块将向主机返回 NAK 握手。通常，这会导致主机重试事务。

#### 27.3.5.3 USB 使能 / 模式位

USB 工作模式由以下使能位控制：OTGEN (U1OTGCON<2>)、HOSTEN (U1CON<3>) 和 USBEN/SOFEN (U1CON<0>)。

- **OTGEN:** 用于选择 PIC32MX 是用作 OTG 部件 (OTGEN = 1)，还是不用作 OTG 部件。OTG 设备在硬件中使用固件管理支持 SRP 和 HNP，并能直接控制数据线上拉和下拉电阻。
- **HOSTEN:** 用于控制部件的角色是 USB 主机 (HOSTEN = 1) 还是 USB 设备 (HOSTEN = 0)。请注意，在 OTG 应用中，该角色可以动态更改。
- **USBEN/SOFEN:** 当 USB 模块未配置为主机时，通过使能 D+ 上拉电阻控制与 USB 的连接。如果 USB 模块配置为主机，则 SOFEN 控制主机在 USB 链路上是否活动，且每隔 1 ms 发送 SOF 令牌。

**注：** 在通过这些位使能 USB 之前，应当正确初始化其他 USB 模块控制寄存器。

## 27.3.6 设备模式的操作

USB 上的所有通信都由主机发起。因此，在设备模式下，当使能 USB（USBEN（U1CON<0>）= 1）时，端点 0 必须准备好接收控制传输。其他端点、描述符和缓冲区的初始化可以延迟到主机为设备选择配置之后。关于该主题的更多信息，请参见“*Universal Serial Bus Specification, Revision 2.0*”的第 9 章。

以下步骤用于响应 USB 事务：

1. 软件预先初始化相应的 BD，并将 UOWN 位设置为 1，以准备好执行事务。
2. 硬件从 USB 主机接收令牌 PID（IN、OUT 和 SETUP），并检查相应的 BD。
3. 如果要发送事务（IN），则模块从数据存储器中读取数据包数据。
4. 硬件接收数据 PID（DATA0/1），并发送或接收数据包数据。
5. 如果接收到事务（SETUP 和 OUT），则模块向数据存储器中写入数据包数据。
6. 模块发出或等待握手 PID（ACK、NAK 和 STALL），除非端点设置为同步端点（EPHSK 位（UEPMx<0>）清零）。
7. 模块更新 BD，并向 UOWN 位写入 0（由软件所有）。
8. 模块更新 U1STAT 寄存器，并设置 TRNIF 中断。
9. 软件读取 U1STAT 寄存器，并确定事务的端点和方向。
10. 软件读取相应的 BD，完成所有必需的处理，然后清除 TRNIF 中断。

**注：** 对于发送（IN）事务（主机从器件读取数据），在主机开始发送 USB 信号之前，所读取的数据必须就绪。否则，如果 UOWN 为 0，USB 模块将发送 NAK 握手。

### 27.3.6.1 在设备模式下接收 IN 令牌

在设备模式下接收到 IN 令牌时，请执行以下步骤：

1. 按 USB 2.0 规范第 9 章中所述连接到 USB 主机并枚举。
2. 将要发送到主机的数据装入数据缓冲区。
3. 在所需端点的相应（偶编号或奇编号）发送缓冲区描述符中：
  - a) 用正确的数据翻转（DATA0/1）值和数据缓冲区的字节计数设置控制位域。
  - b) 用数据缓冲区的起始地址设置地址位域。
  - c) 将 UOWN 位域设置为 1。
4. 当 USB 模块接收到 IN 令牌时，会自动发送缓冲区中的数据。完成后，模块会更新状态位域并将传输完成中断位（U1IR<TRNIF>）置 1。

### 27.3.6.2 在设备模式下接收 OUT 令牌

在设备模式下接收到 OUT 令牌时，请执行以下步骤：

1. 按 USB 2.0 规范第 9 章中所述连接到 USB 主机并枚举。
2. 用您期望从主机接收到的数据量创建数据缓冲区。
3. 在所需端点的相应（偶编号或奇编号）发送缓冲区描述符中：
  - a) 用正确的数据翻转（DATA0/1）值和数据缓冲区的字节计数设置控制位域。
  - b) 用数据缓冲区的起始地址设置地址位域。
  - c) 将控制位域的 UOWN 位设置为 1。
4. 当 USB 模块接收到 OUT 令牌时，将自动传输主机发送到缓冲区的数据。完成后，模块会更新状态位域并将传输完成中断位（U1IR<TRNIF>）置 1。

27.4 主机模式的操作

在主机模式下，只使用端点 0（应禁止所有其他端点）。由于是主机启动所有传输，所以 BD 不需要立即初始化。但是，在启动传输之前，必须先配置 BD——这通过写 U1TOK 寄存器来完成。下一节将说明如何执行常见的主机模式任务。在主机模式下，USB 传输由主机软件显式调用。主机软件负责启动所有控制传输的设置、数据和状态阶段。硬件会根据 CRC 自动产生应答（ACK 或 NAK）。主机软件还负责数据包调度，从而使它们不会违反 USB 协议。所有传输都是通过端点 0 控制寄存器（U1EP0）和 BD 执行的。

27.4.1 配置 SOF 门限值

模块会对可以在当前 USB 全速帧中发送的位数进行递减计数。由于在 1 ms 的帧时间中可以发送 12,000 个位，所以在每个帧开始时，会在计数器（对于软件不可见）装入值“12,000”。对于帧中的每个位时间，计数器会递减一次。当计数器达到 0 时，将会发送下一帧的 SOF 数据包（见图 27-9）。

SOF 门限值寄存器（U1SOF）用于确保不会在太接近帧结束的时间点启动任何新的令牌。这可以防止与下一帧的 SOF 数据包产生冲突。当计数器达到 U1SOF 寄存器的门限值（U1SOF 寄存器中的值以字节为单位）时，只有在发送 SOF 之后，才会启动新的令牌。因而，在需要发送 SOF 令牌时，USB 模块会尝试确保 USB 链路为空闲。

这意味着在 U1SOF 寄存器中设定的值必须保留足够的时间，以确保可以在最坏情况下完成事务。通常，事务的最坏情况是 IN 令牌之后跟随一个来自目标的最大容量数据包，后面跟随来自主机的响应。如果主机面对的是通过全速集线器桥接的低速设备，则事务中还会包含特殊的 PRE 令牌数据包。

图 27-9: 全速帧的位分配

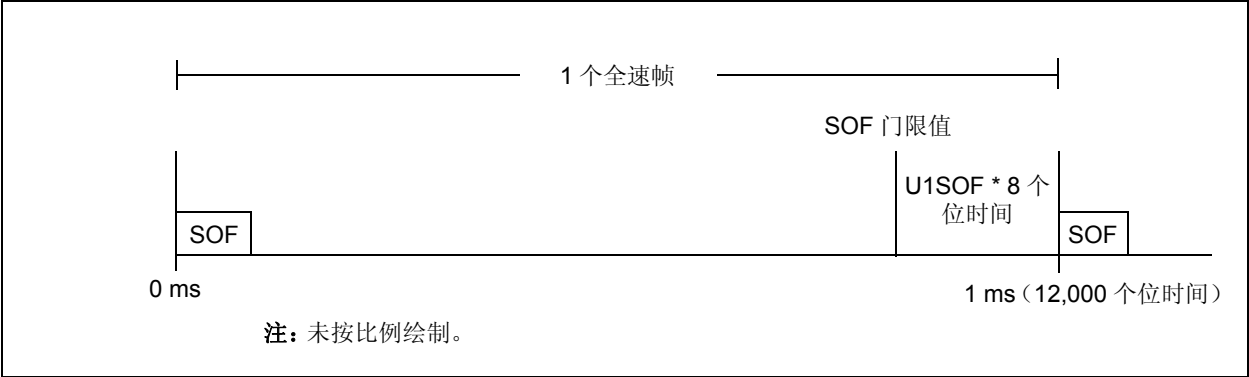


表 27-3 和表 27-4 给出了计算最坏情况位时间的示例。

- 注
- 1: 虽然 U1SOF 寄存器值以字节为单位，但这些示例以位为单位显示结果。
  - 2: 在第二张表中，IN、DATA 和 HANDSHAKE 数据包均以低速（比全速低 8 倍）发送。
  - 3: 这些计算未考虑对于 NRZI 编码数据包数据需要进行位填充的情况。

表 27-3: SOF 门限值计算示例: 全速

数据包	字段	位数
IN	SYNC、PID、ADDR、ENDP、CRC5 和 EOP	35
周转 <sup>(1)</sup>	—	8
DATA	SYNC、PID、DATA <sup>(2)</sup> 、CRC16 和 EOP	547
周转	—	2
HANDSHAKE	SYNC、PID 和 EOP	19
包间延时	—	2
总计		613

注 1: 包间延时为 2。另外增加了 5.5 个位时间的延时来代表最坏情况下需要通过 5 个集线器的传播延时。  
2: 对于该示例计算, 使用 64 字节的最大数据包大小。

表 27-4: SOF 门限值计算示例: 低速 (通过集线器)

数据包	字段	位数	FS 位数
PRE	SYNC 和 PID	16	16
集线器设置	—	4	4
IN	SYNC、PID、ADDR、ENDP、CRC5 和 EOP	35	280
周转 <sup>(1)</sup>	—	8	8
DATA	SYNC、PID、DATA <sup>(2)</sup> 、CRC16 和 EOP	99	792
周转	—	2	2
PRE	SYNC 和 PID	16	16
HANDSHAKE	SYNC、PID 和 EOP	19	152
包间延时	—	2	2
总计			1272

注 1: 包间延时为 2。另外增加了 5.5 个位时间的延时来代表最坏情况下需要通过 5 个集线器的传播延时。  
2: 在低速模式下, 最大数据包限制为 8 个字节。

注: 关于计算总线事务时间的详细信息, 请参见 USB 2.0 规范中的第 5.11.3 节 “Calculating Bus Transaction Times”。

### 27.4.2 使能主机模式并发现连接的设备

要使能主机模式，请执行以下步骤：

1. 使能主机模式 (U1CON<HOSTEN> = 1)。  
这会使能 D+ 和 D- 下拉电阻，并禁止 D+ 和 D- 上拉电阻。要降低总线上的噪声，可以通过将 SOF 使能位写为 0 (U1CON<SOFEN> = 0) 来禁止生成 SOF 数据包。
2. 允许设备连接中断 (U1IE<ATTACHIE> = 1)。
3. 等待设备连接中断 (U1IR<ATTACHIF>)。  
这是通过 USB 设备将 D+ 或 D- 的状态从 0 变为 1 (SE0 到 JSTATE) 发出信号的。发生后，等待设备电源稳定下来 (最小值为 10 ms，建议值为 100 ms)。
4. 检查控制寄存器 U1CON 中 JSTATE 和 SE0 位的状态。  
如果 U1CON<JSTATE> 为 0，则连接设备为低速；否则，设备为全速。
5. 如果连接设备为低速，则将地址寄存器中的低速使能位置 1 (U1ADDR<LSPDEN> = 1)，并将端点 0 控制寄存器中的低速位置 1 (U1EP0<LSPD> = 1)。但是，如果设备为全速，则清零这些位。
6. 通过发送至少 50 ms 的复位信号将 USB 设备复位 (U1CON<USB RST> = 1)。50 ms 后，终止复位 (U1CON<USB RST> = 0)。
7. 使能 SOF 数据包生成以保持所连接设备不进入暂停状态 (U1CON<SOFEN> = 1)。
8. 等待 10 ms 让设备从复位中恢复。
9. 按 USB 2.0 规范第 9 章中所述执行枚举。

#### 27.4.2.1 主机事务

在用作主机时，事务包含以下方面：

1. 软件配置相应的 BD，并将 UOWN 位设置为 1 (由硬件所有)。
2. 软件检查 TOKBUSY (U1CON<5>) 的状态，以验证先前事务是否已完成。
3. 软件将目标设备的地址写入 U1ADDR 寄存器。
4. 软件将端点编号和所需的令牌 PID (IN、OUT 或 SETUP) 写入 U1TOK 寄存器。
5. 硬件通过读取 BD 来确定相应的操作，以及获取指向数据存储器的指针。
6. 硬件在 USB 链路上发出正确的令牌 PID (IN、OUT 或 SETUP)。
7. 如果事务为发送事务 (OUT 和 SETUP)，则 USB 模块从数据存储器中读取数据包数据。然后，模块接着发送所需的数据 PID (DATA0/DATA1) 和数据包数据。
8. 如果事务为接收事务 (IN)，则 USB 模块等待接收数据 PID 和数据包数据。硬件将数据包数据写入存储器。
9. 硬件发出或等待握手 PID (ACK、NAK 和 STALL)，除非端点设置为同步端点 (EPHSK 位 (U1EPx<0>) 清零)。
10. 硬件更新 BD，并向 UOWN 位写入 0 (由软件所有)。
11. 硬件更新 U1STAT 寄存器，并设置 TRNIF (U1IR<3>) 中断。
12. 硬件读取下一个 BD (偶编号或奇编号)，确定它是否由 USB 模块所有。如果是，硬件会开始下一个事务。
13. 软件应读取 U1STAT 寄存器，然后清除 TRNIF 中断。

如果在写入 U1TOK 寄存器之前，软件未在相应的 BD 中将 UOWN 位设置为 1，则模块会读取描述符，并且不执行任何操作。

## 27.4.3 完成对所连接设备的控制事务

完成以下所有步骤以发现所连接设备：

1. 将端点控制寄存器设置为双向控制传输（U1EP0<4:0> = 0x0D）。
2. 在相应的存储器缓冲区中放入 8 字节的设备设置数据包。关于设备框架命令集的信息，请参见 USB 2.0 规范第 9 章。
3. 初始化当前（偶编号或奇编号）发送 EP0 BD，以传输 8 字节设备框架命令（例如，GET DEVICE DESCRIPTOR 命令）。
  - a) 将 BD 控制偏移 0 设置为 0x8008（UOWN 位置 1，字节计数为 8）。
  - b) 将 BD 数据缓冲区地址（BD0ADR）设置为包含该命令的 8 字节存储器缓冲区的起始地址（如果尚未初始化）。
4. 在地址寄存器 U1ADDR<6:0> 中设置目标设备的 USB 地址。USB 总线复位后，设备 USB 地址将为 0。枚举后，它必须由主机软件设置为 1 至 127 之间的另一个值。
5. 将目标设备的默认控制管道端点 0 的 SETUP 命令写入令牌寄存器（U1TOK = 0xD0）。该操作将在总线上启动 SETUP 令牌，后面跟着数据包。数据包完成后，将在 BD 状态的 PID 字段中返回设备握手。当模块更新 BD 状态时，将产生一个传输完成中断（U1IR<TRNIF>）。该操作将完成设置事务的设置阶段，如 USB 规范第 9 章中所述。
6. 要启动设置事务的数据阶段（例如，获取 GET DEVICE DESCRIPTOR 命令所需数据），要在存储器中设置缓冲区存储接收到的数据。
7. 初始化当前（偶编号或奇编号）接收或发送（对于 IN 是接收，对于 OUT 是发送）EP0 BD，以传输数据。
  - a) 将 BD 控制的 UOWN 位设置为 1，将数据翻转（DTS）设置为 DATA1，并将字节计数设置为数据缓冲区的长度。
  - b) 将 BD 数据缓冲区地址（BD0ADR）设置为数据缓冲区的起始地址（如果尚未初始化）。
8. 对于端点 0（目标设备的默认控制管道），将适当的 IN 或 OUT 令牌写入令牌寄存器，例如，对于 GET DEVICE DESCRIPTOR 命令的 IN 令牌（U1TOK = 0x90）。该操作将在总线上启动 IN 令牌，后面跟着从设备到主机的数据包。数据包完成时，将写入 BD 状态并产生一个传输完成中断（U1IR<TRNIF>）。对于单数据包数据阶段的控制传输，该操作将完成设置事务的数据阶段。如果需要传输更多数据，请返回步骤 6。
9. 要启动设置事务的状态阶段，要在存储器中设置缓冲区，以接收或发送零长度状态阶段数据包。
10. 初始化当前（偶编号或奇编号）发送 EP0 BD，以传输状态数据。
  - a) 将 BD 控制设置为 0x8000（将 UOWN 位设置为 1，将数据翻转（DTS）设置为 DATA0，并将字节计数设置为 0）。
  - b) 将 BDT 缓冲区地址字段设置为数据缓冲区的起始地址。
11. 对于端点 0（目标设备的默认控制管道），将适当的 IN 或 OUT 令牌写入令牌寄存器，例如，对于 GET DEVICE DESCRIPTOR 命令的 OUT 令牌（U1TOK = 0x10）。该操作将在总线上启动一个令牌，后面跟着从主机到设备的零长度数据包。数据包完成时，将用来自设备的握手更新 BD，并产生一个传输完成中断（U1IR<TRNIF>）。该操作将完成设置事务的状态阶段。

**注：** 一些器件在每帧中实际上只能响应一个事务。

### 27.4.4 对目标设备的数据传输

完成以下所有步骤以发现并配置所连接设备。

1. 写 EP0 控制寄存器 (U1EPn)，以在使能握手时使能发送和接收传输（除非未使用同步传输）。如果目标设备是低速设备，还要将低速使能位 (U1EPn<LSPDEN>) 置 1。如果希望硬件在目标设备在传输中产生 NAK 时无限期自动重试，可清零重试禁止位 (U1EPn<RETRYDIS>)。

**注：** 如果设备从不响应，则使用自动无限重试会导致死锁条件。

2. 在相应的方向中设置当前缓冲区描述符（偶编号或奇编号），以传输所需的字节数。
3. 在地址寄存器 (U1ADDR<6:0>) 中设置目标设备的地址。
4. 将所需端点的 IN 或 OUT 令牌写入令牌寄存器 (U1TOK)。该操作会触发模块的发送状态机，开始发送令牌和数据。
5. 等待传输完成中断 (U1IR<TRNIF>)。这表示 BD 所有权已释放给微处理器，传输已完成。如果重试禁止位置 1，将在 BD PID 字段中返回握手 (ACK、NAK、STALL 或 ERROR (0xf))。如果发生暂停中断，待处理的数据包必须离队，并清除目标设备中的错误状态。如果发生断开连接中断 (SE0 超过 2.5  $\mu$ s)，则目标已断开连接 (U1IR<DETACHIF>)。
6. 发生传输完成中断 (U1IR<TRNIF>) 时，可返回步骤 2 检查 BD 并将下个数据包入队。

**注：** USB 速度、收发器和上拉只应在模块设置阶段配置。模块使能时，建议不要改变这些设置。

#### 27.4.4.1 USB 链路状态

以下几节介绍了三种可能的链路状态：

- 复位
- 空闲和暂停
- 恢复信号

##### 27.4.4.1.1 复位

作为主机时，软件需要驱动复位信号。可通过将 USBRST (U1CON<4>) 置 1 完成该操作。根据 USB 规范，主机驱动复位信号的时间必须至少为 50 ms。（不要求是连续的复位信号。更多信息，请参见 USB 2.0 规范。）复位之后，在随后的 10 ms 内，主机不得启动任何下游通信。

作为设备时，在检测到复位信号持续 2.5  $\mu$ s 之后，USB 模块将发出 URSTIF (U1IR<0>) 中断。软件必须在此时执行所有复位初始化处理。这包括将地址寄存器设置为 0x00 和使能端点 0。只有复位信号消失，然后再次检测到复位信号持续 2.5  $\mu$ s 之后，才会再次设置 URSTIF 中断。

## 27.4.4.1.2 空闲和暂停

USB 的空闲状态是持续的 J 状态。当 USB 空闲时间达到 3 ms 时，设备应进入暂停状态。在活动期间，USB 主机将每隔 1 ms 发送一个 SOF 令牌，防止设备进入暂停状态。

一旦 USB 链路处于暂停状态，在启动任何总线活动之前，USB 主机或设备必须先驱动恢复信号。（USB 链路也可能断开。）

作为 USB 主机时，当软件将 SOFEN (U1CON<0>) 清零之后，软件应认为链路处于暂停状态。

作为 USB 设备时，在检测到总线持续空闲时间达到 3 ms 时，硬件将设置 IDLEIF (U1IR<4>) 中断。当 IDLEIF 中断位置 1 时，软件应认为链路处于暂停状态。

当检测到暂停条件时，软件可能希望通过将 USUSPEND (U1PWRC<1>) 置 1 来使 USB 硬件进入暂停模式。硬件暂停模式会对 USB 模块的 48 MHz 时钟进行门控，并将 USB 收发器置于低功耗模式。

此外，在链路暂停时，用户可将 PIC32MX 置于 Sleep (休眠) 模式。

## 27.4.4.1.3 驱动恢复信号

如果软件希望将 USB 从暂停状态唤醒，可通过将 RESUME (U1CON<2>) 置 1 完成该操作。这会导致硬件产生相应的恢复信号（如果在主机模式下，则还包括以低速 EOP 作为结束信号）。

除非空闲状态持续至少 5 ms，否则 USB 设备不应驱动恢复信号。USB 主机还必须已使能远程唤醒功能。

对于 USB 设备，软件将 RESUME 置 1 的时间必须为 1-15 ms；对于 USB 主机，时间为大于 20 ms，然后将其清零来使能远程唤醒。关于 RESUME (恢复) 信号的更多信息，请参见 USB 2.0 规范中的第 7.1.7.7 节、第 11.9 节和第 11.4.4 节。

写 RESUME 将会自动清除特殊硬件暂停（低功耗）状态。

如果部件作为 USB 主机，在驱动其恢复信号之后，应至少通过软件将 SOFEN (U1CON<0>) 置 1。否则，USB 链路将在无活动时间达到 3 ms 之后恢复为暂停状态。此外，在驱动恢复信号之后的 10 ms 内，软件不得启动任何下游通信。

## 27.4.4.1.4 接收恢复信号

当 USB 逻辑在 USB 总线上检测到恢复信号的时间持续 2.5 μs 时，硬件将设置 RESUMEIF (U1IR<5>) 中断。

接收到恢复信号的设备必须做好准备，开始接收正常的 USB 活动。接收到恢复信号的主机必须立即开始驱动自己的恢复信号。在 USB 链路上接收到任何活动时，特殊硬件暂停（低功耗）状态将自动清除。

当 PIC32MX 处于 Sleep (休眠) 模式时，如果在 USB 链路上接收到任何活动（可能由于恢复信号或链路断开），将导致产生 ACTVIF (U1OTGIR<4>) 中断。这将导致从休眠中唤醒。



## 27.4.4.2 SRP 支持

非OTG应用不需要SRP支持。SRP只能在全速时启动。关于SRP的更多信息，请参见On-The-Go补充规范。

在不使用USB链路时，OTG A设备或嵌入式主机可以关闭Vbus电源。软件可通过清零VBUSON (U1OTGCON<3>)完成该操作。Vbus电源关闭时，说明A设备已结束USB会话。

**注：** A设备关闭Vbus电源时，B设备必须断开上拉电阻的连接。

任何时候OTG A设备或嵌入式主机都可以对Vbus重新供电，以启动新的会话。OTG B设备也可以请求OTG A设备对Vbus重新供电，以启动新的会话。这就是SRP的目的。

请求新会话前，B设备必须先检查确定上个会话已结束。为此，B设备必须检查：

1. Vbus电源低于会话结束电压。
2. D+和D-都已处于低电平至少2 ms。

条件1会通过SESENDIF (U1OTGIR<2>)中断通知B设备。

软件可以使用LSTATEIF (U1OTGIR<5>)位和1 ms定时器来识别条件2。

B设备可通过电阻将Vbus电源放电，来帮助达到条件1。软件可通过将VBUSDIS (U1OTGCON<0>)置1完成该操作。

满足这些初始条件后，B设备可以开始请求新会话。然后B设备继续以脉冲形式驱动D+数据线。软件应通过将DPPULUP (U1OTGCON<7>)置1完成该操作。数据线应保持高电平5-10 ms。

进行数据线脉冲驱动之后，B设备应通过以脉冲形式驱动Vbus电源来完成SRP信号。该操作应通过在软件中将VBUSCHG (U1OTGCON<1>)置1来完成。

A设备检测到SRP信号（通过ATTACHIF (U1IR<6>)中断或SESVDIF (U1OTGIR<3>)中断）时，A设备必须通过将VBUSON (U1OTGCON<3>)置1恢复Vbus供电。

B设备执行Vbus电源脉冲驱动时不会监视Vbus电源的状态。然后，如果B设备确实检测到Vbus电源已恢复（通过SESVDIF (U1OTGIR<3>)中断），B设备必须通过上拉D+重新连接到USB链路。A设备必须通过使能Vbus和驱动复位信号完成SRP。

更多详细信息，请参见USB 2.0规范On-The-Go补充信息。

## 27.4.4.3 HNP

使用micro-AB插座的OTG应用必须支持HNP。HNP允许OTG B设备临时作为USB主机。A设备必须首先使能B设备中的HNP。HNP只能在全速时启动。

由A设备使能HNP后，B设备只需表示断开连接即可请求在USB链接处于暂停状态的任意时刻成为主机。软件可通过清零DPPULUP位 (U1OTGCON<7>)完成该操作。

A设备检测到断开连接条件（通过URSTIF (U1IR<0>)中断）时，A设备可以允许B设备作为主机接管。A设备是通过发出作为全速设备连接信号完成该操作的。软件可以通过禁止主机操作 (HOSTEN (U1CON<3>) = 0) 并作为设备连接 (USB\_EN = 1) 来完成该操作。如果A设备以恢复信号响应，则A设备保持为主机。

B设备检测到连接条件（通过ATTACHIF (U1IR<6>)）时，B设备变为主机。B设备在使用总线前驱动复位信号。

当B设备完成其作为主机的角色时，它会停止所有总线活动并开启它的D+上拉电阻，方法是禁止主机操作 (HOSTEN = 0) 并重新作为设备连接 (USB\_EN = 1)。

A 设备检测到暂停条件（空闲 3 ms）时，A 设备将断开其 D+ 上拉电阻。此外，A 设备也可以关闭 VBUS 电源来结束会话。否则，A 设备会继续在整个过程中提供 VBUS。

A 设备检测到连接条件（通过 ATTACHIF）时，A 设备会恢复主机操作，并驱动复位信号。

关于 HNP 的更多信息，请参见 On-The-Go 补充信息。

#### 27.4.4.4 时钟要求

为了正确执行 USB 操作，USB 模块必须使用 48 MHz 时钟作为时钟源。该时钟源用于产生 USB 传输时序；它是 SIE 的时钟源。控制寄存器的时钟速度与 CPU 相同（见图 27-1）。

USB 模块时钟来自主振荡器（Posc），用于 USB 操作。模块提供了 USB PLL 和输入预分频器，用于基于一系列输入频率产生 48 MHz 时钟。USB PLL 使 CPU 和 USB 模块可以使用 Posc 作为时钟源，在不同的频率下工作。为了防止发生缓冲区溢出和时序问题，CPU 内核的最低时钟频率必须为 16 MHz。

USB 模块也可以使用片上快速 RC 振荡器（FRC）作为时钟源。使用该时钟源时，USB 模块将无法满足 USB 时序要求。FRC 时钟源用于在低功耗模式下工作时，使 USB 模块可以检测 USB 唤醒，并向中断控制器报告该情况。在开始 USB 发送之前，USB 模块必须使用主振荡器运行。

## 27.5 中断

USB 模块使用中断来向 CPU 告知 USB 事件，例如状态变化、接收到数据和缓冲区为空等事件。软件必须能够及时响应这些中断。

### 27.5.1 中断控制

USB 模块中的每个中断源都具有一个中断标志位和一个对应的中断允许位。此外，UERRIF 位（U1IR<1>）是所有已使能错误标志的逻辑或运算结果，它是只读位。UERRIF 位可用于在中断服务程序（Interrupt Service Routine, ISR）中检查 USB 模块的事件。

### 27.5.2 USB 模块中断请求产生

USB 模块可以基于多种事件产生中断请求。为了将这些中断传给 CPU，USB 中断进行了组合，使所有允许的 USB 中断都导致对中断控制器产生一个通用 USB 中断（如果允许了 USB 中断），请参见图 27-11。然后，USB ISR 必须确定是哪个或哪些 USB 事件导致了 CPU 中断，并进行相应处理。USB 模块的中断寄存器分为两层。第一层的位包含了全部 USB 状态中断，位于 U1OTGIR 和 U1IR 寄存器中。U1OTGIR 和 U1IR 寄存器中的位分别通过 U1OTGIE 和 U1IE 寄存器中的对应位使能。此外，USB 错误条件位（UERRIF）会传递 U1EIR 寄存器中通过 U1EIE 寄存器位允许的任何中断条件。

### 27.5.3 中断时序

传输中断在传输结束时产生。图 27-10 给出了一些可以产生 USB 中断的典型事件序列，以及产生中断的时间。软件无法通过任何机制手动将中断位置 1。

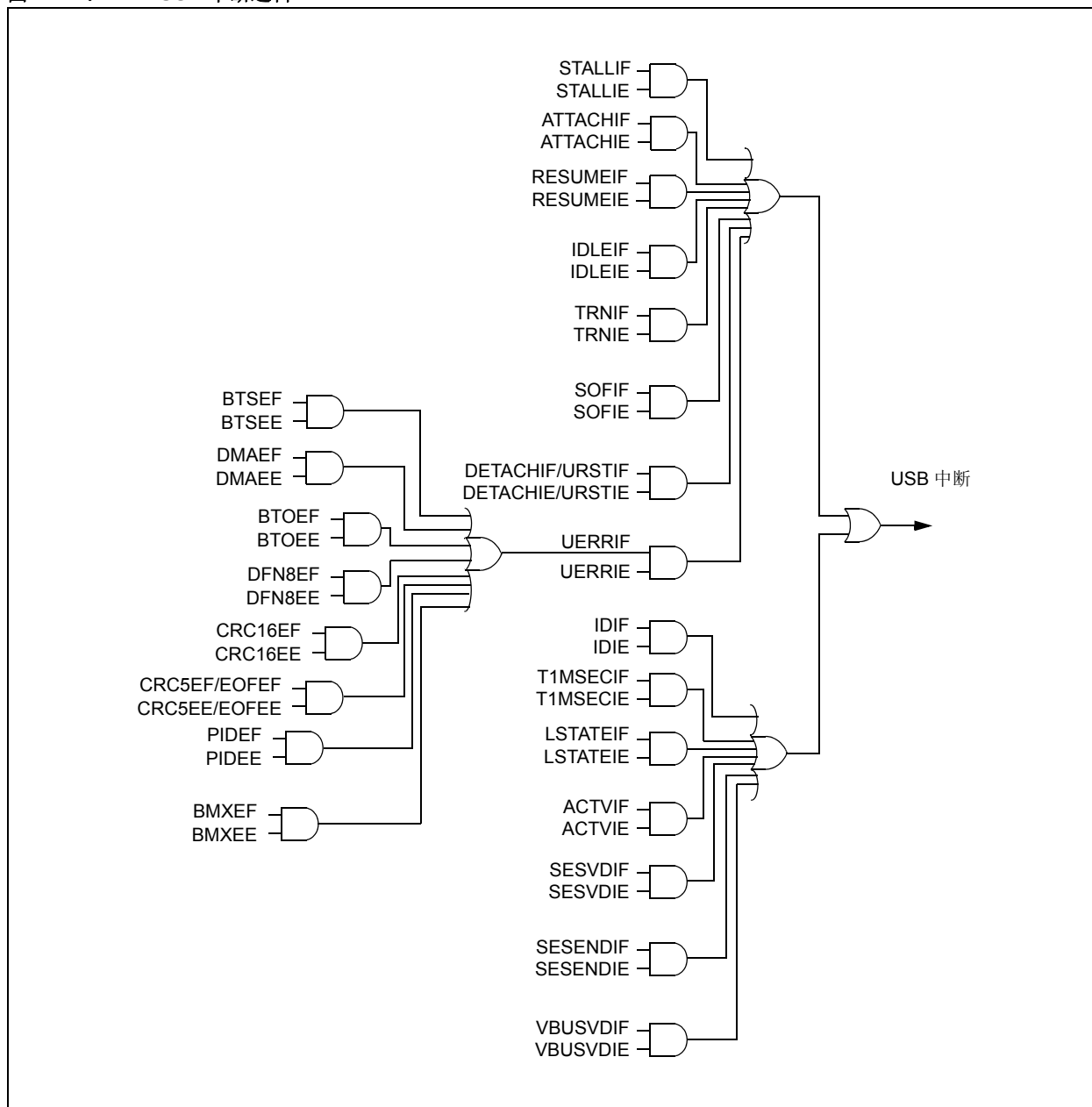
中断允许寄存器（U1IE、U1EIE 和 U1OTGIE）中的值只会影响中断条件向 CPU 中断控制器的传递。即使未允许某个中断，还是可以查询中断标志位并进行相应处理。

### 27.5.4 中断服务

一旦 USB 模块将某个中断位置 1（在 U1IR、U1EIR 或 U1OTGIR 中），必须由软件向相应位写入 1 来清除中断。在 ISR 结束之前，必须清零 USB 中断位 USBIF（IFS1<25>）。

\_\_\_\_\_

图 27-11: USB 中断逻辑



27.6 I/O 引脚

表 27-5 汇总了与 USB 模块相关的引脚的使用。

表 27-5: 与 USB 模块相关的引脚

模式	引脚名称	模块控制	控制位域 <sup>(1)</sup>	所需的 TRIS 位设置	引脚类型	说明
嵌入式主机 <sup>(4)</sup>						
	D+	USBEN	—	—	U	数据线 +
	D-	USBEN	—	—	U	数据线 -
	VBUS	USBEN	—	—	A, I	USB 总线电源监视器
	VBUSON	USBEN	VBUSON	—	D, O	输出以控制 VBUS 电源
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO <sup>(2,3)</sup>	1	D, I	通用数字输入
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO <sup>(2,3)</sup>	0	D, O	通用数字输出
	VUSB	—	—	—	P	USB 收发器的电源输入
	ID	USBEN	—	—	R	保留；不要连接
	ID	USBEN	FUSBIDIO <sup>(2,3)</sup>	1	D, I	通用数字输入
	ID	USBEN	FUSBIDIO <sup>(2,3)</sup>	0	D, O	通用数字输出
设备						
	D+	USBEN	—	—	U	数据线 +
	D-	USBEN	—	—	U	数据线 -
	VBUS	USBEN	—	—	A, I	USB 总线电源监视器
	VBUSON	—	—	—	R	保留
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO <sup>(2,3)</sup>	1	D, I	通用数字输入
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO <sup>(2,3)</sup>	0	D, O	通用数字输出
	VUSB	—	—	—	P	USB 内部收发器电源
	ID	—	—	—	R	保留
	ID	USBEN	FUSBIDIO <sup>(2,3)</sup>	1	D, I	通用数字输入
	ID	USBEN	FUSBIDIO <sup>(2,3)</sup>	0	D, O	通用数字输出

图注: I = 输入                      O = 输出                      A = 模拟                      D = 数字  
U = USB                      P = 电源                      R = 保留

- 注 1: 所有引脚都遵循器件引脚优先级控制。更多详细信息，请参见具体器件数据手册。
- 2: 关于这些位的信息，请参见第 32 章 “配置” (DS61124)。
- 3: 这些位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。
- 4: 工作于主机模式或 OTG 模式时，VBUSON 引脚不能收回用作 I/O，因为 USB 操作需要使用它。
- 5: 工作于 OTG 模式时，ID 引脚不能收回用作 I/O，因为 USB 操作需要使用它。

表 27-5: 与 USB 模块相关的引脚 (续)

模式	引脚名称	模块控制	控制位域 (1)	所需的 TRIS 位设置	引脚类型	说明
OTG(4,5)						
	D+	USBEN	—	—	U	数据线 +
	D-	USBEN	—	—	U	数据线 -
	VBUS	USBEN	VBUSCHG 和 VBUSDIS	—	A, I/O	USB 总线电源监视器
	VBUSON	USBEN	VBUSCHG、VBUSDIS 和 VBUSON	—	D, O	USB 主机和 OTG 总线电源控制输出
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO(2,3)	1	D, I	通用数字输入
	VBUSON	USBEN	FVBUSONIO(2,3)	0	D, O	通用数字输出
	VUSB	—	—	—	P	USB 收发器的电源输入
	ID	USBEN	—	—	D, I	OTG 模式主机 / 设备选择输入
	ID	USBEN	FUSBIDIO(2,3)	1	D, I	通用数字输入
	ID	USBEN	FUSBIDIO(2,3)	0	D, O	通用数字输出
USB 被禁止						
	D+	USBEN	—	1	D, I	通用数字输入
	D-	USBEN	—	1	D, I	通用数字输入
	VBUS	USBEN	—	—	R	保留
	VBUSON	USBEN	—	0	D, O	通用数字输入
	VBUSON	USBEN	—	1	D, I	通用数字输出
	VUSB	USBEN	—	—	R	保留
	ID	USBEN	—	1	D, I	通用数字输入
	ID	USBEN	—	0	D, O	通用数字输出

图注: I = 输入 O = 输出 A = 模拟 D = 数字  
U = USB P = 电源 R = 保留

- 注 1: 所有引脚都遵循器件引脚优先级控制。更多详细信息, 请参见具体器件数据手册。  
 2: 关于这些位的信息, 请参见第 32 章 “配置” (DS61124)。  
 3: 这些位并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。  
 4: 工作于主机模式或 OTG 模式时, VBUSON 引脚不能收回用作 I/O, 因为 USB 操作需要使用它。  
 5: 工作于 OTG 模式时, ID 引脚不能收回用作 I/O, 因为 USB 操作需要使用它。

## 27.7 调试和节能模式下的操作

### 27.7.1 休眠模式下的操作

建议只在以下两种情况下使用 Sleep（休眠）模式：

- USB 模块被禁止
- USB 模块处于暂停状态

在总线活动时将 USB 模块置于 Sleep（休眠）模式会导致违反 USB 协议。

当器件进入 Sleep（休眠）模式时，为 USB 模块提供的时钟依然维持。对 CPU 时钟源的影响取决于 USB 和 CPU 的时钟配置。

- 如果 CPU 和 USB 使用的是主振荡器（Posc）源，则在进入 Sleep（休眠）模式时，CPU 会从时钟源断开，而振荡器保持使能状态，用于 USB 模块。
- 如果 CPU 使用的是不同的时钟源，则在进入 Sleep（休眠）模式时，该时钟源会被禁止，USB 时钟源保持使能。

要进一步降低功耗，可将 USB 模块置于暂停模式。该操作可以在将 CPU 置为 Sleep（休眠）模式之前使用 USUSPEND（U1PWRC<1>）位完成，也可以在 CPU 进入 Sleep（休眠）模式时使用 UASUSPND（U1CNFG1<0>）位自动完成。

**注：** UASUSPND 功能并非在所有器件上都可用。详情请参见具体器件数据手册。

- 如果 CPU 和 USB 使用的是主振荡器（Posc）源，则在 CPU 进入 Sleep（休眠）模式时，振荡器会被禁止。
- 如果 CPU 不与 USB 模块共用 Posc，则在 USB 模块进入暂停模式时，Posc 会被禁止。CPU 时钟源将在 CPU 进入 Sleep（休眠）模式时被禁止。

#### 27.7.1.1 总线活动与进入休眠模式同时发生

软件无法预测总线活动，因此即使软件已经确定 USB 链路处于可安全进入 Sleep（休眠）模式的状态，仍然可能会发生总线活动，这可能会将 USB 置为不安全的链路状态。USLPGRD（U1PWRC<4>）和 UACTPND（U1PWRC<7>）位可用于防止这种情况。在进入敏感代码区域之前，软件可以将 GUARD 位置 1，从而如果检测到活动或存在待处理的通知，硬件将阻止器件进入休眠模式（通过产生唤醒事件）。在尝试进入 Sleep（休眠）模式之前，应通过查询 UACTPND 来确保没有待处理的中断。

### 27.7.2 空闲模式下的操作

当器件进入 Idle（空闲）模式时，USB 模块的行为由 PSIDL 位决定。

#### 27.7.2.1 PSIDL 清零时的空闲操作

如果该位清零，在处于 Idle（空闲）模式时，到 CPU 的时钟会被断开，但到 USB 模块的时钟会保持。因此，USB 模块可以在 CPU 处于 Idle（空闲）模式时继续工作。在产生允许的 USB 中断时，它们会使 CPU 退出 Idle（空闲）模式。

#### 27.7.2.2 PSIDL 置 1 时的空闲操作

当 PSIDL 位置 1 时，到 CPU 的时钟和到 USB 模块的时钟都会被断开。在该模式下，USB 模块不会继续正常工作，并且功耗会降低。任何 USB 活动都可以用于产生中断，使 CPU 退出 Idle（空闲）模式。

要进一步节省功耗，可以在进入 Idle（空闲）模式之前，将 CPU 时钟源和 USB 时钟源切换为 FRC。这会导致 Posc 模块掉电。当 Posc 模块重新使能时，将会应用启动延时。只有在总线空闲时，才应使用该工作模式。



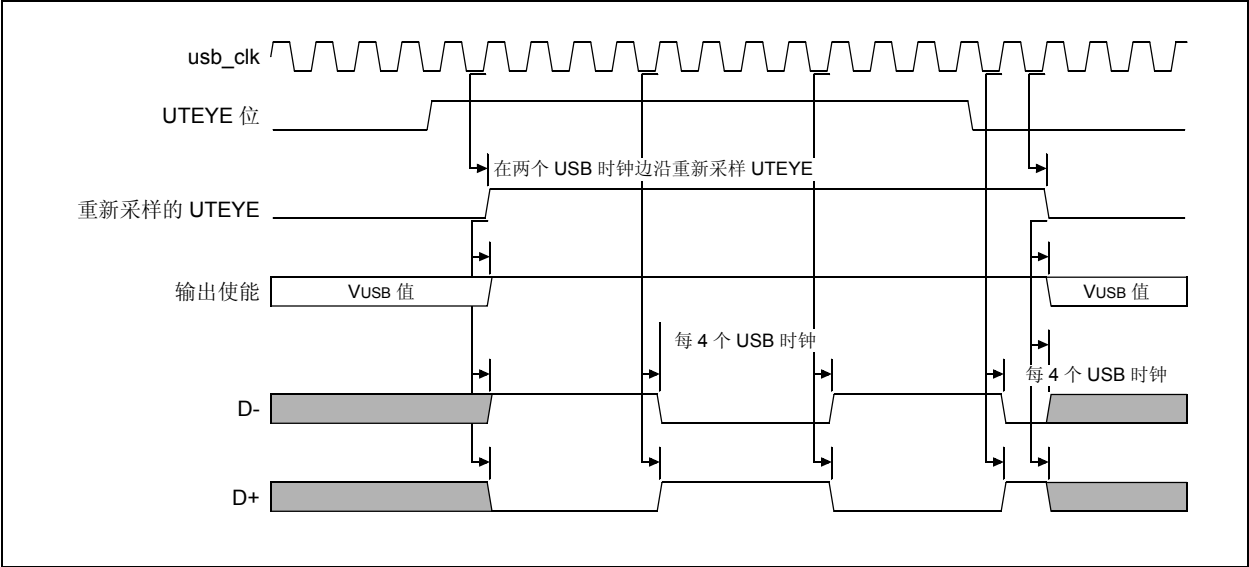
27.7.3 调试模式下的操作

27.7.3.1 眼图

为了协助进行 USB 硬件调试和测试，模块中包含了眼图测试发生器。该图在 UTEYE 位 (U1CNFG1<7>) 置 1 时由模块产生。USB 模块必须使能 (USBPWR (PWRC<0> = 1))，USB 48 MHz 时钟必须使能 (SUSPEND (U1PWRC<1>) = 0)，并且模块不处于冻结模式。一旦 UTEYE 位被置 1，模块将开始发送 J-K-J-K 位序列。当使能了眼图测试模式时，该位序列将无限重复 (见图 27-12)。

**注：** 模块连接到实际 USB 系统时，不应将 UTEYE 位置 1。该模式用于电路板检验，并帮助进行 USB 认证测试。

图 27-12: 眼图生成时序



## 27.8 复位的影响

所有形式的复位都会强制 USB 模块寄存器为默认状态。

<b>注：</b>	复位后，USB 模块既不能确保 BDT 的状态，也不能确保 RAM 中包含的数据包数据缓冲区的状态。
-----------	--

### 27.8.1 器件复位 ( $\overline{\text{MCLR}}$ )

器件复位将强制所有 USB 模块寄存器为其复位状态。这将关闭 USB 模块。

### 27.8.2 上电复位 (POR)

POR 复位将强制所有 USB 模块寄存器为其复位状态。这将关闭 USB 模块。

### 27.8.3 看门狗定时器复位 (WDT)

WDT 复位将强制所有 USB 模块寄存器为其复位状态。这将关闭 USB 模块。

27.9 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 器件系列而编写的，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 USB OTG 模块相关的应用笔记有：

标题	应用笔记编号
USB Embedded Host Stack	AN1140
USB 嵌入式主机栈编程指南	AN1141
嵌入式主机上的 USB 海量存储设备类	AN1142
在嵌入式主机上使用 USB 闪存驱动器	AN1145
嵌入式设备上的 USB HID 类	AN1163
嵌入式设备上的 USB CDC 类	AN1164
嵌入式设备上的 USB 通用功能	AN1166
嵌入式设备上的 USB 海量存储类	AN1169
PIC32 USB 设备栈编程指南	AN1176

**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](http://www.microchip.com))。

## 27.10 版本历史

### 版本 A（2008 年 2 月）

这是本文档的初始版本。

### 版本 B（2008 年 4 月）

将状态修改为“初稿”；将 U-0 修改为 r-x；修改了图 27-1；修改了表 27-5。

### 版本 C（2008 年 7 月）

修改了寄存器 27-23（IFS1）和 27-24（IEC1）；修改了图 27-3 和 27-4；将保留位从“保持为”更改为“写入”。

### 版本 D（2009 年 7 月）

该版本包括以下更改：

- 将对 DMA 控制器的所有引用更改为对总线主控的引用
- 更新了第 27.2.19 节“相关的寄存器”
- USB 寄存器汇总（表 27-1）：
  - 删除了对清零、置 1 和取反寄存器的所有引用
  - 删除了对 OSCON、IFS1、IEC1 和 DEVCFG2 寄存器的引用
  - 增加了 USBBUSY 和 UASUSPND 位
  - 增加了“地址偏移”栏
  - 增加了介绍清零、置 1 和取反寄存器的“注 1”、“注 2”和“注 3”
- 在以下寄存器中增加了介绍清零、置 1 和取反寄存器的注释：
  - U1OTGIR
  - U1OTGIE
  - U1OTGCON
  - U1PWRC
  - U1IR
  - U1IE
  - U1EIR
  - U1EIE
  - U1STAT
  - U1CON
  - U1ADDR
  - U1FRML
  - U1FRMH
  - U1TOK
  - U1SOF
  - U1BDTP1、U1BDTP2 和 U1BDTP3
  - U1CNFG1
  - U1EPn（其中，n = 0 至 15）
- 在“U1PWRC：USB 电源控制寄存器”中增加了 USBBUSY 位的定义（寄存器 27-5）
- 在“U1CNFG1：USB 配置 1 寄存器”中增加了 UASUSPND 位的定义（寄存器 27-20）
- 删除了以下寄存器：OSCCON、IFS1、IEC1 和 DEVCFG2
- 将“BDT 地址生成”（图 27-2）最后一栏的 FSOTG 更新为 FIELD
- 在“缓冲区管理概述”（图 27-5）中增加了“注 1”和“注 2”
- 在第 27.3.5 节“模块初始化”的最后一段后面增加了一条注释
- 在表 27-5：“与 USB 模块相关的引脚”中增加了 FVBUSONIO 和 FUSBIDIO 控制位域
- 将第 27.7.2 节“空闲模式下的操作”中对 USBSIDL 位的引用更改为对 PSIDL 的引用

### 版本 D (2009 年 7 月) (续)

- 删除了第 27.7.3.2 节 “USB  $\overline{OE}$  监视器”
- 在表 27-5 中增加了 “注 4” 和 “注 5”
- 在第 27.9 节 “相关应用笔记” 中增加了应用笔记 AN1140、AN1142 和 AN1145

### 版本 E (2009 年 8 月)

该版本包括以下更改:

- USB 寄存器汇总 (表 27-1):
  - 删除了介绍清零、置 1 和取反寄存器的 “注 1”、“注 2” 和 “注 3”
- 从以下寄存器中删除了介绍清零、置 1 和取反寄存器的注释:
  - U1OTGIR
  - U1OTGIE
  - U1OTGCON
  - U1PWRC
  - U1IR
  - U1IE
  - U1EIR
  - U1EIE
  - U1STAT
  - U1CON
  - U1ADDR
  - U1FRML
  - U1FRMH
  - U1TOK
  - U1SOF
  - U1BDTP1、U1BDTP2 和 U1BDTP3
  - U1CNFG1
  - U1EPn (其中,  $n = 0$  至 15)

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、PIC<sup>32</sup> 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: 978-1-60932-527-5

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<sup>®</sup> MCU 与 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup> 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](http://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