
多协议通用异步收发器（UART）模块

目录

本章包括下列主题：

1.0	简介	2
2.0	控制寄存器	5
3.0	时钟和波特率配置	22
4.0	异步模式	25
5.0	LIN/J2602	32
6.0	IrDA®	35
7.0	智能卡	36
8.0	DMX	41
9.0	中断	42
10.0	节能模式	43
11.0	相关的应用笔记	44
12.0	版本历史	45

注： 本系列参考手册章节旨在用作对器件数据手册的补充。本文档适用于所有 dsPIC33/PIC24 器件。

请参见最新器件数据手册中“UART”章节开头的注释，以确定本文档是否支持您所使用的器件。

器件数据手册和系列参考手册章节可从 Microchip 网站下载：

<http://www.microchip.com>。

1.0 简介

通用异步收发器（Universal Asynchronous Receiver Transmitter, UART）是一种灵活的串行通信外设，用于将 PIC[®] 单片机与其他设备（包括计算机和外设）相连接。UART 是一个全双工异步通信通道，可用于实现 RS-232 和 RS-485 等协议。UART 还支持以下硬件扩展：

- LIN/J2602
- IrDA[®]
- 直接矩阵架构（Direct Matrix Architecture, DMX）
- 智能卡

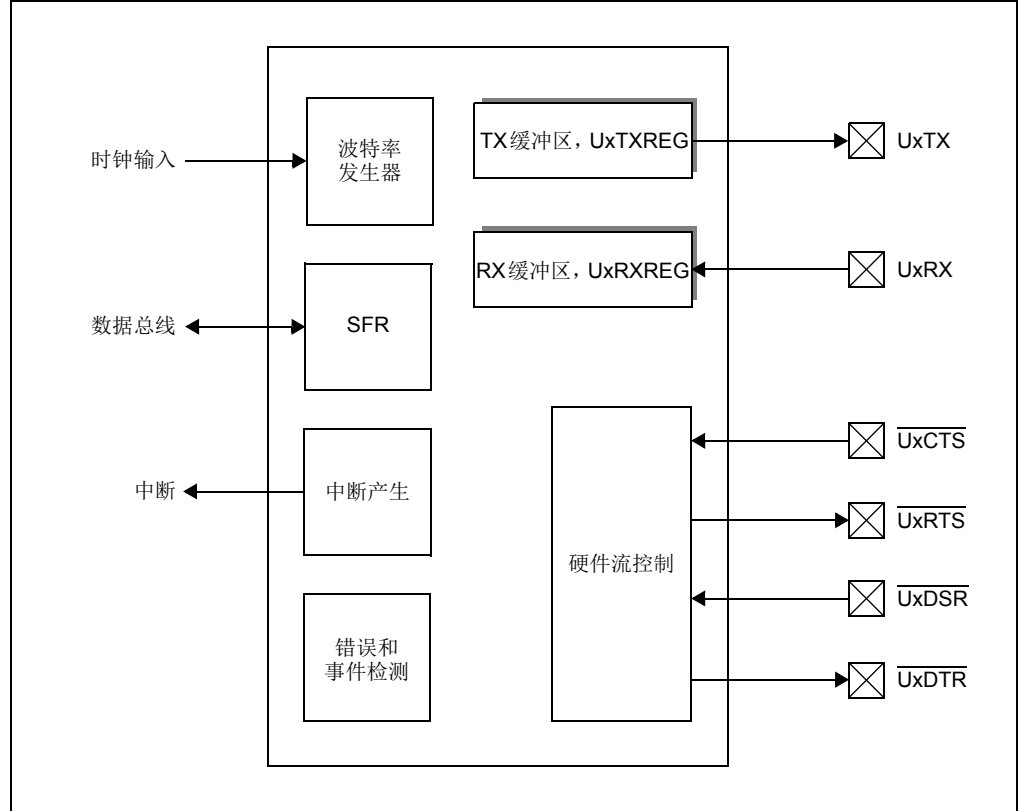
UART 的主要特性有：

- 全双工或半双工操作
- 最大 8 字节深的 TX 和 RX 先进先出（First-In, First-Out, FIFO）缓冲区
- 8 位数据宽度
- 可配置停止位长度
- 流控制
- 自动波特率校准
- 奇偶校验错误、帧错误和缓冲区溢出错误检测
- 地址检测
- 中止（break）字符发送
- 发送和接收极性控制
- 在休眠模式下工作
- 接收同步中止字符中断将器件从休眠模式唤醒

1.1 架构概述

UART使用最大8字节深的先进先出（FIFO）缓冲区与器件引脚之间传输数据字节。用户软件可通过特殊功能寄存器（Special Function Register, SFR）获取缓冲区状态以及数据。UART实现了多个中断通道来处理发送、接收和错误事件。图1-1给出了UART的简化框图。

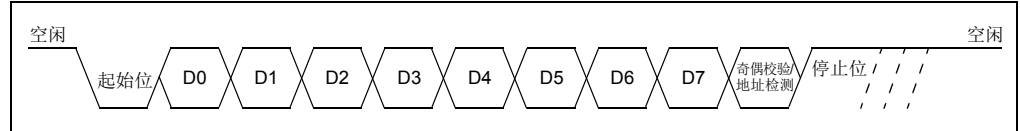
图1-1: UART简化框图



1.2 字符帧

图1-2给出了典型的UART字符帧。空闲状态为高电平，“起始”条件由下降沿指示。起始位后依次是数据位、奇偶校验/地址检测和停止位，具体由所选的MOD<3:0>（UxMODE<3:0>）位定义。

图1-2: UART字符帧



1.3 数据缓冲区

发送和接收功能均使用缓冲区来存储移入/移出引脚的数据。这些缓冲区为FIFO，分别通过读取SFR、UxTXREG和UxRXREG进行访问。每个数据缓冲区有多个与其操作相关的标志，以供软件读取状态。此外，还可基于缓冲区中可用的空间来配置中断（有关详细信息，请参见[第9.0节“中断”](#)）。发送和接收FIFO指针和计数器可使用相关UART TX/RX缓冲区空状态位UTXBE（UxSTAH<5>）和URXBE（UxSTAH<1>）来复位。

1.4 协议扩展

UART为LIN/J2602、IrDA[®]、DMX和智能卡协议扩展提供硬件支持，从而降低软件开销。协议扩展通过向MOD<3:0>（UxMODE<3:0>）选择位中写入相应的值来使能，并且可使用UARTx时序参数寄存器UxP1（[寄存器2-9](#)）、UxP2（[寄存器2-10](#)）、UxP3（[寄存器2-11](#)）和UxP3H（[寄存器2-12](#)）进一步配置。相应的章节中将讨论有关操作和使用的详细信息。并非所有协议在所有器件上都提供。关于可用性，请参见具体器件数据手册。

2.0 控制寄存器

寄存器2-1: **UxMODE: UARTx配置寄存器**

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W/HC-0 ⁽¹⁾
UARTEN	—	USIDL	WAKE	RXBIMD	—	BRKOVr	UTXBRK
bit 15							bit 8

R/W-0	R/W/HC-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BRGH	ABAUD	UTXEN	URXEN	MOD3	MOD2	MOD1	MOD0
bit 7							bit 0

图注:	HS = 硬件置1位	HC = 硬件清零位
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为0
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零
		x = 未知

- bit 15 **UARTEN:** UART使能位
 1 = UART已准备好进行发送和接收
 0 = UART状态机、FIFO缓冲区指针和计数器均复位; 寄存器可读写
- bit 14 **未实现:** 读为0
- bit 13 **USIDL:** UART空闲模式停止位
 1 = 当器件进入空闲模式时, 模块停止工作
 0 = 在空闲模式下模块继续工作
- bit 12 **WAKE:** 唤醒使能位
 1 = 模块将继续采样UxRX引脚——在下降沿产生中断, 在下一个上升沿由硬件将位清零; 如果ABAUD置1, 则自动波特率检测 (Auto-Baud Detection, ABD) 将立即开始
 0 = 不监视UxRX引脚, 也不检测上升沿
- bit 11 **RXBIMD:** 接收中止字符中断模式位
 1 = 检测到至少23 (DMX) /11 (异步或LIN/J2602) 个低电平周期时RXBKIF标志置1
 0 = 中止字符在至少持续23/11个位周期的低电平阶段后触发低电平到高电平转换时RXBKIF标志置1
- bit 10 **未实现:** 读为0
- bit 9 **BRKOVr:** 发送中止字符软件改写位
改写TX数据线:
 1 = 激活TX线 (UTXINV = 0时输出0, UTXINV = 1时输出1)
 0 = TX线由移位寄存器驱动
- bit 8 **UTXBRK:** UART发送中止字符位⁽¹⁾
 1 = 在下次发送时发送同步中止字符; 完成时由硬件清零
 0 = 禁止或已完成同步中止字符的发送
- bit 7 **BRGH:** 高波特率选择位
 1 = 高速: 波特率为baudclk/4
 0 = 低速: 波特率为baudclk/16
- bit 6 **ABAUD:** 自动波特率检测使能位 (MOD<3:0> = 1xxx时为只读位)
 1 = 使能对下一个字符的波特率测量——需要接收同步字段 (55h); 完成时由硬件清零
 0 = 禁止或已完成波特率测量

注 1: DMX和LIN模式下为R/HS/HC。

2: 这些模式并非在所有器件上均提供。关于可用性, 请参见具体器件数据手册。

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-1: UxMODE: UARTx 配置寄存器 (续)

bit 5	UTXEN: UART 发送使能位 1 = 使能发送——自动波特率检测期间除外 0 = 禁止发送——所有发送计数器、指针和状态机均复位; TX 缓冲区未清空, 状态位未复位
bit 4	URXEN: UART 接收使能位 1 = 使能接收——自动波特率检测期间除外 0 = 禁止接收——所有接收计数器、指针和状态机均复位; RX 缓冲区未清空, 状态位未复位
bit 3-0	MOD<3:0>: UART 模式位 Other = 保留 1111 = 智能卡 ⁽²⁾ 1110 = IrDA ^{®(2)} 1101 = 保留 1100 = LIN 主/从模式 1011 = 仅 LIN 从模式 1010 = DMX ⁽²⁾ 1001 = 保留 1000 = 保留 0111 = 保留 0110 = 保留 0101 = 保留 0100 = 异步 9 位 UART, 带地址检测, 第 9 位 = 1 (表示地址) 0011 = 异步 8 位 UART, 不带地址检测, 第 9 位用作偶校验位 0010 = 异步 8 位 UART, 不带地址检测, 第 9 位用作奇校验位 0001 = 异步 7 位 UART 0000 = 异步 8 位 UART

注 1: DMX 和 LIN 模式下为 R/HS/HC。

2: 这些模式并非在所有器件上均提供。关于可用性, 请参见具体器件数据手册。

寄存器2-2: UxMODEH: UARTx配置高位字寄存器

R/W-0	R-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
SLPEN	ACTIVE	—	—	BCLKMOD	BCLKSEL1	BCLKSEL0	HALFDPLX
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
RUNOVF	URXINV	STSEL1	STSEL0	C0EN	UTXINV	FLO1	FLO0
bit 7				bit 0			

图注:

R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为0
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零
		x = 未知

- bit 15 **SLPEN**: 休眠期间运行使能位
1 = UART BRG 时钟在休眠模式下运行
0 = UART BRG 时钟在休眠模式下关闭
- bit 14 **ACTIVE**: UART 运行状态位
1 = UART 时钟请求处于活动状态 (用户无法更新 UxMODE/UxMODEH 寄存器)
0 = UART 时钟请求未处于活动状态 (用户可更新 UxMODE/UxMODEH 寄存器)
- bit 13-12 **未实现**: 读为0
- bit 11 **BCLKMOD**: 波特率时钟生成模式选择位
1 = 使用小数波特率生成模式
0 = 使用传统x分频计数器来生成波特率时钟 (x = 4 或 16, 具体取决于BRGH位)
- bit 10-9 **BCLKSEL<1:0>**: 波特率时钟源选择位
时钟源取决于器件。有关时钟源选择的信息, 请参见具体器件数据手册。
- bit 8 **HALFDPLX**: UART 半双工选择模式位。
1 = 半双工模式: UxTX 发送时驱动为高电平, 空闲时驱动为低电平
0 = 全双工模式: 当UARTEN和UTXEN均置1时, UxTX 始终驱动为高电平
- bit 7 **RUNOVF**: 溢出条件期间运行模式位
1 = 当检测到溢出错误 (OERR) 条件时, RX 移位寄存器继续运行以保持与传入RX数据同步; 如果 UxRXREG 已满, 则不会向其传送任何数据 (即, 不会改写任何 UxRXREG 数据)
0 = 当检测到溢出错误 (OERR) 条件时, RX 移位寄存器停止接受新数据 (传统模式)
- bit 6 **URXINV**: UART 接收极性位
1 = RX 极性翻转; 空闲状态为低电平
0 = 输入不翻转; 空闲状态为高电平
- bit 5-4 **STSEL<1:0>**: 停止位数选择位
11 = 发送2个停止位, 接收时校验1个停止位
10 = 发送2个停止位, 接收时校验2个停止位
01 = 发送1.5个停止位, 接收时校验1.5个停止位
00 = 发送1个停止位, 接收时校验1个停止位
- bit 3 **C0EN**: 使能传统校验和 (C0) 发送和接收位
1 = 校验和模式1 (在LIN模式下使用增强型LIN校验和; 在所有其他模式下将所有TX/RX字相加)
0 = 校验和模式0 (在LIN模式下使用传统LIN校验和; 在所有其他模式下不使用)
- bit 2 **UTXINV**: UART 发送极性位
1 = TX 极性翻转; TX 在空闲状态下为低电平
0 = 输出数据不翻转; TX 输出在空闲状态下为高电平
- bit 1-0 **FLO<1:0>**: 流控制使能位 (仅在MOD<3:0> = 0xxx时有效)
11 = 保留
10 = UxRTS-UxDSR (对于TX侧) /UxCTS-UxDTR (对于RX侧) 硬件流控制
01 = XON/XOFF 软件流控制
00 = 流控制关闭

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-3: UxSTA: UARTx 状态寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
TXMTIE	PERIE	ABDOVE	CERIE	FERIE	RXBKIE	OERIE	TXCIE
bit 15						bit 8	

R-1	R-0	R/W/HS-0	R/W/HC-0	R-0	R/W/HC-0	R/W/HC-0	R/W/HC-0
TRMT	PERR	ABDOVF	CERIF	FERR	RXBKIF	OERR	TXCIF
bit 7						bit 0	

图注:	HS = 硬件置1位	HC = 硬件清零位
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为0
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零
		x = 未知

- bit 15 **TXMTIE:** 发送移位寄存器空中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 14 **PERIE:** 奇偶校验错误中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 13 **ABDOVE:** 自动波特率采集中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 12 **CERIE:** 校验和错误中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 11 **FERIE:** 帧错误中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 10 **RXBKIE:** 接收中止字符中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 9 **OERIE:** 接收缓冲区溢出中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 8 **TXCIE:** 发送冲突中断允许位
 1 = 允许中断
 0 = 禁止中断
- bit 7 **TRMT:** 发送移位寄存器空中断标志位
 1 = 发送移位寄存器 (Transmit Shift Register, TSR) 为空 (如果 STPMD = 1, 则在最后一个停止位结束时触发; 如果 STPMD = 0, 则在第一个停止位的中间位置触发)
 0 = 发送移位寄存器不为空
- bit 6 **PERR:** 奇偶校验错误/接收到地址/转发帧中断标志位
LIN 和奇偶校验模式:
 1 = 检测到奇偶校验错误
 0 = 未检测到奇偶校验错误
地址模式:
 1 = 接收到地址
 0 = 未检测到地址
所有其他模式:
 不使用。

寄存器2-3: UxSTA: UARTx状态寄存器 (续)

- bit 5 **ABDOVF:** 自动波特率采集中断标志位 (必须由软件清零)
1 = BRG在自动波特率采集序列期间计满返回 (必须由软件清零)
0 = BRG尚未在自动波特率采集序列期间计满返回
- bit 4 **CERIF:** 校验和错误中断标志位 (必须由软件清零)
1 = 校验和错误
0 = 无校验和错误
- bit 3 **FERR:** 帧错误中断标志位
1 = 帧错误: 与缓冲区中最顶端字符对应的停止位的电平翻转; 通过含有所接收字符的缓冲区传播
0 = 无帧错误
- bit 2 **RXBKIF:** 接收中止字符中断标志位 (必须由软件清零)
1 = 接收到中止字符
0 = 未检测到中止字符
- bit 1 **OERR:** 接收缓冲区溢出中断标志位 (必须由软件清零)
1 = 接收缓冲区溢出
0 = 接收缓冲区未溢出
- bit 0 **TXCIF:** 发送冲突中断标志位 (必须由软件清零)
1 = 发送的字与接收的字不相等
0 = 发送的字与接收的字相等

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-4: **UxSTAH: UARTx 状态高位字寄存器**

U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	UTXISEL2	UTXISEL1	UTXISEL0	—	URXISEL2	URXISEL1	URXISEL0
bit 15							bit 8

R/W/HS-0	R/W-0	R/S-1	R-0	R-1	R-1	R/S-1	R-0
TXWRE	STPMD	UTXBE	UTXBF	RIDLE	XON	URXBE	URXBF
bit 7							bit 0

图注:	S = 可置 1 位	HS = 硬件置 1 位
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为 0
-n = POR 时的值	1 = 置 1	0 = 清零
		x = 未知

bit 15 **未实现:** 读为 0

bit 14-12 **UTXISEL<2:0>: UART 发送中断选择位**
 111 = 在缓冲区中剩余 1 个空字节时设置发送中断
 .
 .
 .
 010 = 在缓冲区中有 6 个或更多空字节时设置发送中断
 001 = 在缓冲区中有 7 个或更多空字节时设置发送中断
 000 = 在缓冲区中有 8 个空字节时设置发送中断; TX 缓冲区为空

bit 11 **未实现:** 读为 0

bit 10-8 **URXISEL<2:0>: UART 接收中断选择位**
 111 = 在缓冲区中有 8 个字时触发接收中断; RX 缓冲区已满
 .
 .
 .
 001 = 在缓冲区中有 2 个或更多字时触发接收中断
 000 = 在缓冲区中有 1 个或更多字时触发接收中断

bit 7 **TXWRE: TX 写发送错误状态位**
LIN 和奇偶校验模式:
 1 = 当缓冲区已满或 P2<8:0> = 0 时写入新字节 (必须由软件清零)
 0 = 无错误
地址检测模式:
 1 = 当缓冲区已满时写入新字节, 或者当 P1x 已满时写入 P1<8:0> (必须由软件清零)
 0 = 无错误
其他模式:
 1 = 当缓冲区已满时写入新字节 (必须由软件清零)
 0 = 无错误

bit 6 **STPMD: 停止位检测模式位**
 1 = 在最后一个停止位结束时触发 RXIF
 0 = 在第一个 (或第二个, 具体取决于 STSEL<1:0> 设置) 停止位的中间位置触发 RXIF

bit 5 **UTXBE: UART TX 缓冲区空状态位**
 1 = 发送缓冲区为空; 在 UTXEN = 0 时写入 1 将复位 TX FIFO 指针和计数器
 0 = 发送缓冲区不为空

bit 4 **UTXBF: UART TX 缓冲区满状态位**
 1 = 发送缓冲区已满
 0 = 发送缓冲区未滿

寄存器2-4: UxSTAH: UARTx状态高位寄存器 (续)

- bit 3 **RIDLE:** 接收空闲位
1 = UART RX线处于空闲状态
0 = UART RX线处于接收状态
- bit 2 **XON:** UART处于XON模式位
仅当FLO<1:0>控制位设置为XON/XOFF模式时有效。
1 = UART已接收到XON
0 = UART尚未接收到XON或已接收到XOFF
- bit 1 **URXBE:** UART RX缓冲区空状态位
1 = 接收缓冲区为空; 在URXEN = 0时写入1将复位RX FIFO指针和计数器
0 = 接收缓冲区不为空
- bit 0 **URXBF:** UART RX缓冲区满状态位
1 = 接收缓冲区已满
0 = 接收缓冲区未滿

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-5: UxBRG: UARTx 波特率寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BRG<15:8>							
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
BRG<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15-0 **BRG<15:0>**: 波特率分频比位

寄存器 2-6: UxBRGH: UARTx 波特率高位字寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	BRG<19:16>			
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15-4 **未实现**: 读为0

bit 3-0 **BRG<19:16>**: 波特率分频比位

寄存器2-7: UxRXREG: UARTx接收缓冲区寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8
R-x	R-x	R-x	R-x	R-x	R-x	R-x	R-x
RXREG<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15-8 未实现: 读为0
 bit 7-0 **RXREG<7:0>**: 接收字符数据 bit 7-0

寄存器2-8: UxTXREG: UARTx发送缓冲区寄存器

W-x	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
LAST	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8
W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x
TXREG<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15 **LAST**: 用于支持智能卡的最后一个字节指示符位
 bit 14-8 未实现: 读为0
 bit 7-0 **TXREG<7:0>**: 发送字符数据 bit 7-0
 如果缓冲区已满, 则对缓冲区的进一步写操作将被忽略。

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-9: UxP1: UARTx 时序参数 1 寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	—	P1<8>
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
P1<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-9 未实现: 读为 0

bit 8-0 **P1<8:0>**: 参数 1 位

DMX TX:

待发送的字节数 - 1 (不包括起始码)。

LIN 主 TX:

待发送的 PID (bit<5:0>)。

带地址检测的异步 TX:

待发送的 ADDR。自动向 bit 9 插入 1 (bit<7:0>)。

智能卡模式:

保护时间计数器 (Guard Time Counter, GTC) 位。该计数器基于周期始终等于 1 个 ETU 的位时钟工作 (bit<8:0>)。

其他模式:

不使用。

寄存器2-10: UxP2: UARTx时序参数2寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	—	P2<8>
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
P2<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-9 **未实现:** 读为0

bit 8-0 **P2<8:0>:** 参数2位

DMX RX:

待接收的第一个字节的编号 - 1, 不包括起始码 (bit<8:0>)。

LIN从TX:

待发送的字节数 (bit<7:0>)。

带地址检测的异步RX:

要进行匹配的地址 (bit<7:0>)。

智能卡模式:

模块时间计数器 (Block Time Counter, BTC) 位。该计数器基于周期始终等于1个ETU的位时钟工作 (bit<8:0>)。

其他模式:

不使用。

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器2-11: **UxP3: UARTx时序参数3寄存器**

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
P3<15:8>							
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
P3<7:0>							
bit 7							
bit 0							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-0

P3<15:0>: 参数3位

DMX RX:

待接收的最后一个字节的编号 - 1, 不包括起始码 (bit<8:0>)。

LIN从RX:

待接收的字节数 (bit<7:0>)。

异步RX:

用于屏蔽UxP2地址位; 1 = 使用P2地址位, 0 = 屏蔽P2地址位 (bit<7:0>)。

智能卡模式:

等待时间计数器 (Waiting Time Counter, WTC) 位 (bit<15:0>)。

其他模式:

不使用。

寄存器2-12: UxP3H: UARTx时序参数3高位字寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
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
P3<23:16>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-8 **未实现:** 读为0

bit 7-0 **P3<23:16>:** 参数3高字节位:
智能卡模式:
 等待时间计数器 (WTC) 位 (bit<23:16>)。
其他模式:
 不使用。

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-13: UxTXCHK: UARTx 发送校验和寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
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
TXCHK<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15-8 **未实现:** 读为0
 bit 7-0 **TXCHK<7:0>:** 发送校验和位 (针对TX字计算)
LIN模式:
 C0EN = 1: 发送的所有数据 + 加法进位之和, 包括PID。
 C0EN = 0: 发送的所有数据 + 加法进位之和, 不包括PID。
LIN从模式:
 检测到中止字符时清零。
LIN主/从模式:
 检测到中止字符时清零。
其他模式:
 C0EN = 1: 发送的每个字节 + 加法进位之和。
 C0EN = 0: 值保持不变。

寄存器 2-14: UxRXCHK: UARTx 接收校验和寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
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
RXCHK<7:0>							
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位 W = 可写位 U = 未实现位, 读为0
 -n = POR时的值 1 = 置1 0 = 清零 x = 未知

bit 15-8 **未实现:** 读为0
 bit 7-0 **RXCHK<7:0>:** 接收校验和位 (针对RX字计算)
LIN模式:
 C0EN = 1: 接收的所有数据 + 加法进位之和, 包括PID。
 C0EN = 0: 接收的所有数据 + 加法进位之和, 不包括PID。
LIN从模式:
 检测到中止字符时清零。
LIN主/从模式:
 检测到中止字符时清零。
其他模式:
 C0EN = 1: 接收的每个字节 + 加法进位之和。
 C0EN = 0: 值保持不变。

寄存器2-15: UxSCCON: UARTx智能卡配置高位字寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0
—	—	TXRPT1	TXRPT0	CONV	TOPD	PRTCL	—
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-6 **未实现:** 读为0

bit 5-4 **TXRPT<1:0>:** 重复发送选择位

11 = 将错误字节重复发送4次

10 = 将错误字节重复发送3次

01 = 将错误字节重复发送2次

00 = 将错误字节重复发送1次

bit 3 **CONV:** 逻辑约定选择位

1 = 反向逻辑约定

0 = 正向逻辑约定

bit 2 **TOPD:** T = 0 错误处理时的下拉持续时间位

1 = 2个ETU

0 = 1个ETU

bit 1 **PRTCL:** 智能卡协议选择位

1 = T = 1

0 = T = 0

bit 0 **未实现:** 读为0

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

寄存器 2-16: UxSCINT: UARTx 智能卡中断寄存器

U-0	U-0	R/W/HS-0	R/W/HS-0	U-0	R/W/HS-0	R/W/HS-0	R/W/HS-0
—	—	RXRPTIF	TXRPTIF	—	BTCIF	WTCIF	GTCIF
bit 15				bit 8			

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	RXRPTIE	TXRPTIE	—	BTCIE	WTCIE	GTCIE
bit 7				bit 0			

图注:	HS = 硬件置 1 位		
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为 0	
-n = POR 时的值	1 = 置 1	0 = 清零	x = 未知

- bit 15-14 **未实现:** 读为 0
- bit 13 **RXRPTIF:** 重复接收中断标志位
1 = 在接收到同一字符 5 次 (重复发送 4 次) 后, 奇偶校验错误仍存在
0 = 标志清零
- bit 12 **TXRPTIF:** 重复发送中断标志位
1 = 在通过 TXRPT<1:0> 配置的最后一次重新发送后检测到线路错误
0 = 标志清零
- bit 11 **未实现:** 读为 0
- bit 10 **BTCIF:** 模块时间计数器中断标志位
1 = 模块时间计数器达到 0
0 = 模块时间计数器未达到 0
- bit 9 **WTCIF:** 等待时间计数器中断标志位
1 = 等待时间计数器达到 0
0 = 等待时间计数器未达到 0
- bit 8 **GTCIF:** 保护时间计数器中断标志位
1 = 保护时间计数器达到 0
0 = 保护时间计数器未达到 0
- bit 7-6 **未实现:** 读为 0
- bit 5 **RXRPTIE:** 重复接收中断允许位
1 = 在接收到同一字符 5 次 (重复发送 4 次) 后, 如果奇偶校验错误仍存在, 则调用中断
0 = 禁止中断
- bit 4 **TXRPTIE:** 重复发送中断允许位
1 = 如果在通过 TXRPT<1:0> 配置的最后一次重新发送完成后检测到线路错误, 则调用中断
0 = 禁止中断
- bit 3 **未实现:** 读为 0
- bit 2 **BTCIE:** 模块时间计数器中断允许位
1 = 允许模块时间计数器中断
0 = 禁止模块时间计数器中断
- bit 1 **WTCIE:** 等待时间计数器中断允许位
1 = 允许等待时间计数器中断
0 = 禁止等待时间计数器中断
- bit 0 **GTCIE:** 保护时间计数器中断允许位
1 = 允许保护时间计数器中断
0 = 禁止保护时间计数器中断

寄存器2-17: UxINT: UARTx中断寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

R/W/HS-0	R/W/HS-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0
WUIF	ABDIF	—	—	—	ABDIE	—	—
bit 7							bit 0

图注:	HS = 硬件置1位
R = 可读位	W = 可写位
-n = POR时的值	1 = 置1
	U = 未实现位, 读为0
	0 = 清零
	x = 未知

bit 15-8 **未实现:** 读为0

bit 7 **WUIF:** 唤醒中断标志位
 1 = 当WAKE = 1且RX从1切换为0时置1; 触发事件中断 (必须由软件清零)
 0 = WAKE未使能或已使能, 但未发生唤醒事件

bit 6 **ABDIF:** 自动波特率完成中断标志位
 1 = 在ABD序列实现最终的1到0切换时置1; 触发事件中断 (必须由软件清零)
 0 = ABAUD未使能或已使能, 但未完成自动波特率

bit 5-3 **未实现:** 读为0

bit 2 **ABDIE:** 自动波特率完成中断允许位
 1 = 允许ABDIF设置事件中断
 0 = ABDIF不设置事件中断

bit 1-0 **未实现:** 读为0

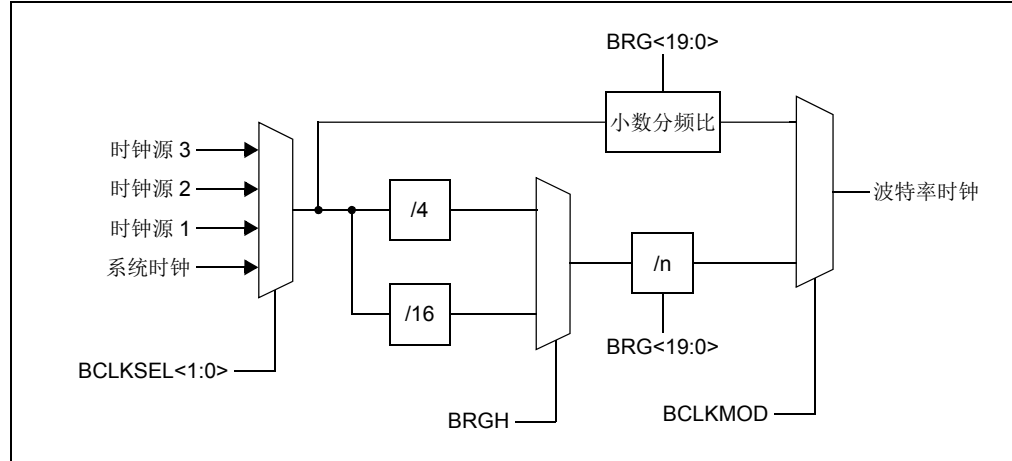
3.0 时钟和波特率配置

UART 支持多种时钟源以及两类波特率生成 (Baud Rate Generation, BRG) 方式。通过 BCLKSEL<1:0> 位 (UxMODEH<10:9>) 可选择最多 4 种时钟源之一。只有当 UARTEN 位 (UxMODE<15>) 清零 (从而有效地将外设保持在复位状态) 时, 才能更改时钟源选择和预分频比。波特率时钟可通过以下方法之一来生成:

- 传统固定分频模式
- 小数分频模式

要使时钟域间的时间同步, 请勿连续写入 UxBRG 或 UxBRGH 寄存器。为避免发生数据损坏, 只有当 UARTEN = 0 时, 才能写入 UxBRG。图 3-1 给出了时钟框图。

图 3-1: 时钟图



3.1 传统模式

在传统模式下, 使用整数分频比将时钟源分频为所需波特率时钟。当 BCLKMOD (UxMODEH<11>) = 0 时选择传统模式。可选预分频比由 BRGH 位 (UxMODE<7>) 控制, 旨在支持各种波特率。最多可使用 20 位 BRG 值 (UxBRG<15:0> 和 UxBRGH<3:0>) 进一步将输入时钟分频为最终波特率。

公式 3-1 和公式 3-2 给出了所有协议模式下不同 BRGH 值时的波特率和 UxBRG 值公式。

公式 3-1: BRGH = 0 时的波特率

$$\text{波特率} = \frac{FP}{16 \cdot (UxBRG + 1)}$$

$$UxBRG = \frac{FP}{16 \cdot \text{波特率}} - 1$$

公式 3-2: BRGH = 1 时的波特率

$$\text{波特率} = \frac{FP}{4 \cdot (UxBRG + 1)}$$

$$UxBRG = \frac{FP}{4 \cdot \text{波特率}} - 1$$

注: UxBRG 值应为 3 或大于 3 的值。

UART 固定分频波特率设置步骤:

1. 通过BCLKSEL<1:0>位选择输入时钟源。
2. 通过向BRGH写入值选择时钟预分频比。
3. 使用公式3-1或公式3-2计算BRG的值, 然后将其写入UxBRG和UxBRGH寄存器(如果需要高4位)。
4. 将UARTEN位置1。

3.2 小数分频比

要降低波特率误差, 可通过设置BCLKMOD = 1来使用小数分频方案。小数波特率时钟电路的工作原理是通过偶尔延长时钟脉冲来实现接近理想波特率的波特率时钟。该模式在较高速度下最有用, 在传统模式下, 较小的BRG值会产生不可接受的误差。BRGH在该模式下不起作用。公式3-3给出了波特率公式。

公式3-3: 波特率公式

$$\text{波特率} = \frac{FP}{BRG}$$

$$BRG = \frac{FP}{\text{波特率}}$$

UART 小数波特率设置步骤:

1. 通过BCLKSEL<1:0>位选择输入时钟源。
2. 将BCLKMOD位置1。
3. 使用公式3-3计算BRG的值, 然后将其写入UxBRG和UxBRGH寄存器(如果需要高4位)。
4. 将UARTEN位置1。

3.3 自动波特率功能

凭借自动波特率功能，接收器可确定发送器的波特率并与其同步。发送器会向接收器发送字节值 0x55（同步字节），接收器将计算自下降沿起的平均位时间。UxBRG 寄存器中随后会写入相应的值。传统和小数波特率生成模式（BCLKMOD = 1 或 0）下均支持自动波特率。同步字节前面可能有中止字符。

要使能自动波特率，ABAUD 位（UxMODE<6>）需置 1，UART 将开始检测下降沿（同步字节的起始位）。自动波特率过程完成后，ABAUD 位将立即由硬件清零并且 ABDIF 标志（UxINT<6>）会置 1。如果 ABDIE（UxINT<2>）中断允许位置 1，则将产生事件中断。

如果未在 BRG 计数器计满返回之前检测到第 5 个和最后一个下降沿，则 ABDOVF 标志（UxSTA<5>）将置 1 以指示该条件。该标志将直到 ABAUD 清零后才能清零。如果 ABDOVF 位（UxSTA<13>）置 1，则将产生事件中断。有关中断的更多信息，请参见第 9.0 节“中断”。

自动波特率设置步骤：

1. 按照第 4.2 节“异步接收”中的详细说明将 UART 配置为执行接收操作。
2. 将 ABAUD 位置 1。如果同步字节前面是中止字符，则还需将 WAKE（UxMODE<12>）位置 1，以将 UART 配置为执行关于同步字节而非中止字符的自动波特率步骤。RXBKIF 标志（UxSTA<2>）不会置 1。
3. 轮询 ABAUD 或 ABDIF 位以确定自动波特率何时完成。

或者，如果同步字节前面是中止字符，且需要检测中止字符，请使用以下序列：

1. 按照第 4.2 节“异步接收”中的详细说明将 UART 配置为执行接收操作。
2. 等待 RXBKIF 标志置 1（有关详细信息，请参见第 4.4.2 节“中止字符接收”）。
3. 立即将 ABAUD 位置 1。
4. 轮询 ABAUD 或 ABDIF 位以确定自动波特率何时完成。

4.0 异步模式

异步模式通过以下可配置选项来支持标准 UART 通信：

- 7位和8位数据宽度
- 1个、1.5个或2个停止位
- 偶校验、奇校验或无奇偶校验（第9个数据位）
- 可单独选择的TX和RX极性
- 地址检测（第9个数据位）
- 自动波特率
- 中止字符发送/检测
- 流控制（XON/XOFF和HW）
- 半双工/全双工TX引脚控制
- TX和RX中断配置

MOD<3:0>位（UxMODE<3:0>）用于选择UART高级工作模式，用于发送和接收。5个异步模式选择用于配置数据宽度、奇偶校验和地址检测。其余配置选项则用于其他各种控制。

4.1 异步发送

以下步骤用于发送一个数据字节：

1. 按照第3.0节“时钟和波特率配置”中的详细说明配置时钟输入和波特率。
2. 通过向MOD<3:0>位写入值来配置数据宽度和奇偶校验。
3. 配置极性、停止位持续时间和流控制。
4. 使用UTXISEL<2:0>位（UxSTAH<14:12>）来配置TX中断水印。
5. 按照第4.5节“地址检测”中的详细说明配置地址检测（如有需要）。
6. 将UARTEN位（UxMODE<15>）置1。
7. 将UTXEN位（UxMODE<5>）置1。
8. 将数据字节值写入UxTXREG寄存器。

将根据UTXISEL<2:0>位的中断水印设置产生TX中断。UTXISELx可配置为在缓冲区中有1至8个空字节时产生TX中断。

UARTx发送缓冲区（UxTXREG）有2个用于指示其内容的相关标志。TX缓冲区空状态位UTXBE（UxSTAH<5>）表示缓冲区为空，TX缓冲区满状态位UTXBF（UxSTAH<4>）表示缓冲区中没有空字节，不得写入内容。

4.1.1 发送错误和事件

UART能够检测总线冲突。接收的字节将与发送的最后一个字节进行比较以识别差异。需要使用外设引脚选择（Peripheral Pin Select, PPS）将UxTX和UxRX引脚功能映射到单独的引脚。UxRX引脚必须能够接收一个字节才能进行比较。如果引脚保持为VDD或地电压（这样便无法检测到有效的起始位和停止位），则无法进行比较。如果检测到总线冲突，则TXCIF标志位（UxSTA<0>）将置1。如果TXCIE位（UxSTA<8>）置1，则将产生错误中断。

为了能够检测电压保持不变的UxRX引脚，UART提供了TX和RX定时器复位功能，这两个功能可映射到捕捉/比较/PWM（Capture/Compare/PWM, CCP）定时器。有关是否支持该特性的信息，请参见具体器件数据手册。之后，可使用软件来检测字节发送后（但未被接收）的超时。

如果缓冲区已满时对UxTXREG执行写操作，则由TXWRE位（UxSTAH<7>）指示发送写错误。

发送移位寄存器（TSR）有一个与其相关的状态标志TRMT（UxSTA<6>），用于指示字节发送何时完成。该标志的时序可使用STPMD位（UxSTAH<6>）来配置。默认情况下，它会在第一个停止位的中间位置将TRMT标志置1。当STPMD = 1时，TRMT标志将在最后一个停止位结束时置1。可通过将TXMTIE位（UxSTA<15>）置1来产生中断。

4.1.2 半双工发送

在半双工应用中，UxTX线和UxRX线短接在一起，这样可以减少线的数量。不过，为避免两个器件同时发送，需要进行相应控制。将HALFDPLX位（UxMODEH<8>）置1可将UxTX引脚配置为仅在字节发送期间驱动线路，而在所有其他时间内均保持三态。可读取RIDLE位（UxSTAH<3>）来确定线路是否空闲，是否可发送字节。不过，发送期间仍会发生冲突。可读取发送冲突中断标志位TXCIF（UxSTA<0>）来确定是否已成功发送字节。

4.2 异步接收

以下步骤用于接收数据字节：

1. 按照第3.0节“时钟和波特率配置”中的详细说明配置输入时钟和波特率。
2. 通过向MOD<3:0>位写入值来配置数据宽度和奇偶校验。
3. 配置极性、停止位持续时间和流控制。
4. 使用URXISEL<2:0>位（UxSTAH<10:8>）来配置RX中断水印。
5. 按照第4.5节“地址检测”中的详细说明配置地址检测（如有需要）。
6. 将UARTEN位（UxMODE<15>）置1。
7. 将URXEN位（UxMODE<4>）置1。

根据UART接收中断选择位URXISEL<2:0>（UxSTAH<10:8>）的设置，当接收到字节时将产生RX中断。URXISELx位可配置为在RX缓冲区包含1至8个字节时产生RX中断。

之后，软件可从UxRXREG寄存器中读取数据。产生RX中断时与停止位相关的时间可使用STPMD位（UxSTAH<6>）配置。默认情况下，RX中断在停止位的中间位置产生。写入1会将RX中断移至停止位结束时。

可通过软件读取URXBF状态位（UxSTAH<0>）以确定接收缓冲区是否已满以及是否需要通过UxRXREG读操作来接收额外的字节。相似地，可通过软件读取URXBE状态位（UxSTAH<1>）以确定接收缓冲区是否为空。

4.2.1 接收错误和事件

接收帧错误和奇偶校验错误与接收的每个字节相关。FERR和PERR位指示的帧错误标志和奇偶校验错误标志将仅指示所接收最后一个数据字节的错误状态。读取UxRXREG时，这些标志将指示缓冲区中当前（顶部）字节的状态。该行为与之前的UART模块不同。

如果在接收缓冲区已满时接收到字节，则OERR位（UxSTA<1>）将置1。将相应的错误中断允许位置1将产生错误中断。接收器可处理RUNOVF（UxMODEH<7>）位定义的两个选项之一的溢出条件。默认情况下，当RUNOVF = 0时，接收器将在RX缓冲区已满时停止接收数据。而当RUNOVF = 1时，接收器将继续接收数据并改写RX移位寄存器的内容。

线路空闲条件（线路高电平）由RIDLE位（UxSTAH<3>）来指示。当检测到起始位且正在进行接收时，该标志将清零。

4.3 奇偶校验支持

奇偶校验是通过单个位检测数据传输错误的简单方法。将数据位相加，然后将总和与奇偶校验值进行比较，即可发现是否存在位错误。奇偶校验可选择偶校验或奇校验，由第9个数据位来表示。要计算奇偶校验结果，确定值为1的数据位数量即可。

- 偶校验定义为值为1的数据位数量为奇数。
- 奇校验定义为值为1的数据位数量为偶数。

奇偶校验位本身最后会与计数相加，从而确定是“偶校验”还是“奇校验”。奇偶校验计算和校验通过选择2个8位异步奇偶校验模式（MOD<3:0> = 0b001x）之一来使能。

4.4 中止字符

中止字符定义为几个连续的低电平时间，通常比一个完整字节要长。在异步模式下，UART将发送一个持续时间为13位长的中止字符，接收时，UART会将11个低电平时间标记为中止字符序列。

4.4.1 发送中止字符

发送中止字符时，先将UTXBRK位（UxMODE<8>）置1，然后再向UxTXREG写入任何值。UxTXREG的内容将在中止字符之后。

或者，也可通过软件控制BRKOVr位（UxMODE<9>）以在一段任意的持续时间内改写和驱动UxTX线。当UTXINV（UxMODEH<2>）= 0时，UxTX线将被驱动为低电平；当UTXINV = 1时，UxTX线将被驱动为高电平。

4.4.2 中止字符接收

接收器始终会检测中止字符序列，甚至能够在字节接收过程中检测。中止字符的接收由RXBKIF标志（UxSTA<2>）来指示。可通过将RXBKIE位（UxSTA<10>）置1来产生中断。中止字符检测标准可通过RXBIMD位（UxMODE<11>）来配置。默认情况下，当线路在11个低电平时间后从低电平切换为高电平时，RXBKIF标志将置1，表示中止字符序列结束。或者，当RXBIMD = 1时，标志将在检测到第11个低电平时间时置1。

4.5 地址检测

当多个接收器与一个发送器连接时，可使用地址检测模式。凭借该模式，接收器可确定报文是否以它为目标，然后忽略不以它为目标的数据。如果第9个数据位为1，则数据将被识别为要通过接收器处理的地址。地址掩码用于允许多个接收器接收同一地址。

如果地址匹配成功，则未掩码的地址位于UxRXREG中，并且会产生RX中断。如果地址匹配不成功，则后续所有数据均被忽略，直至接收到第9个位置1的字节。

在8位地址检测模式下，发送的地址ID将写入参数1。对于接收器，预期地址将写入参数2（UxP2<7:0>），掩码值将写入参数3（UxP3<7:0>）。掩码位值为1表示将在比较中包含相应的位位置，为0则表示“无关”。掩码值为0x00表示将接受所有地址值，从而有效禁止地址检测功能。掩码值为0xFF表示将仅允许一个匹配值。

4.5.1 地址检测发送

以下步骤用于在地址检测模式下执行发送操作：

1. 按照第4.1节“异步发送”中的详细说明将UART配置为进行异步发送，并将MOD<3:0>位设置为0b0100。
2. 如果需要中止字符，请将1写入UTXBRK（UxMODE<8>）。
3. 将地址值写入参数1。
 - a) 如果UTXBRK = 0，则将在第9个位置1时发送参数1的内容。
 - b) 如果UTXBRK = 1，则将在第9个位置1时先发送中止字符，再发送参数1的内容。
4. 将待发送的数据写入UxTXREG寄存器。

4.5.2 地址检测接收

以下步骤用于在地址检测模式下执行接收操作：帧错误不会阻止地址匹配。

1. 按照第4.1节“异步发送”中的详细说明将UART配置为进行异步发送，并将MOD<3:0>位设置为0b0100。
2. 将地址匹配值写入参数2。
3. 将可选地址掩码值写入参数3。
4. 在接收到有效地址时，PERR位将立即置1，表示UxRXREG中存储的值为地址。当UxRXREG中有后续数据时，可从中读取数据。

4.6 流控制

流控制用于防止两个器件间传输的数据丢失。一个器件可减慢速度或必须处理数据。流控制允许一个器件在发送可能导致其缓冲区溢出的额外字节之前通知另一个器件进行等待。UART支持两种流控制：

- XON/OFF 报文传输
- 硬件流控制（ $\overline{\text{UxRTS}}$ 、 $\overline{\text{UxCTS}}$ 、 $\overline{\text{UxDTR}}$ 和 $\overline{\text{UxDSR}}$ ）

4.6.1 XON/XOFF

XON/XOFF使用以特殊字节值形式实现的报文，不需要额外的硬件线路。XON命令通过发送字节值0x11来实现，XOFF命令通过发送值0x13来实现。控制机制有两种状态，由XON位（UxSTAH<2>）指示。默认情况下，UART处于XON = 1状态，并会在发送TX缓冲区有数据时将其发送出去。如果器件接收到XOFF命令，则XON状态位会清零且发送停止，直至接收到另一个XON命令。XON/OFF命令的发送方式与常规数据相同。

接收应用程序会轮询RX缓冲区满状态（URXBF）标志，如果置1，则会发送一个XOFF命令来停止进一步的数据接收。当接收缓冲区不再处于满状态（或者为空）时，可发送XON命令来恢复接收。

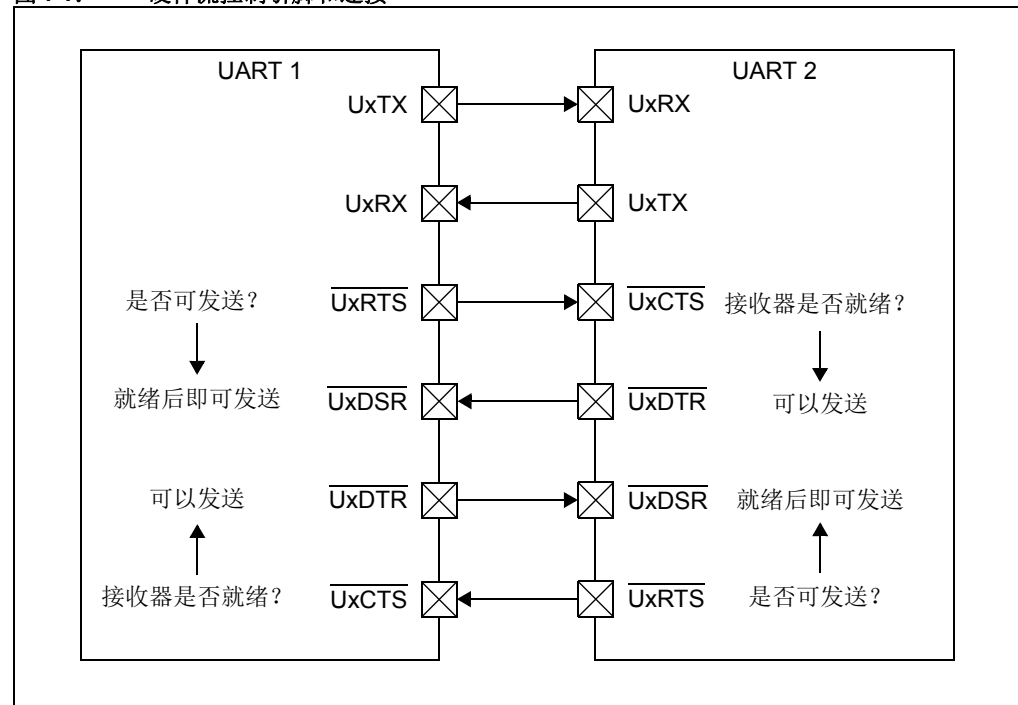
4.6.2 硬件流控制

硬件流控制最多使用4个额外的引脚来指示器件何时准备好接收额外的数据。表4-1列出了这4个低电平有效的器件引脚。图4-1给出了2个UART之间的连接。

表4-1: 硬件流控制引脚功能

信号名称	说明	使用者	方向
\overline{UxDSR}	数据准备就绪	发送器	输入
\overline{UxRTS}	请求发送	发送器	输出
\overline{UxCTS}	允许发送	接收器	输入
\overline{UxDTR}	数据终端就绪	接收器	输出

图4-1: 硬件流控制引脚和连接



当发送器的TX缓冲区中有1个或以上字节时，发送器会将 \overline{UxRTS} 输出置为有效（驱动为低电平），以指示其要发送字节。之后，发送器会侦听 \overline{UxDSR} 以确定是否可执行此操作。如果 \overline{UxDSR} 有效（低电平），则发送器会发送一个字节。如果 \overline{UxDSR} 无效（高电平），发送器将等待。

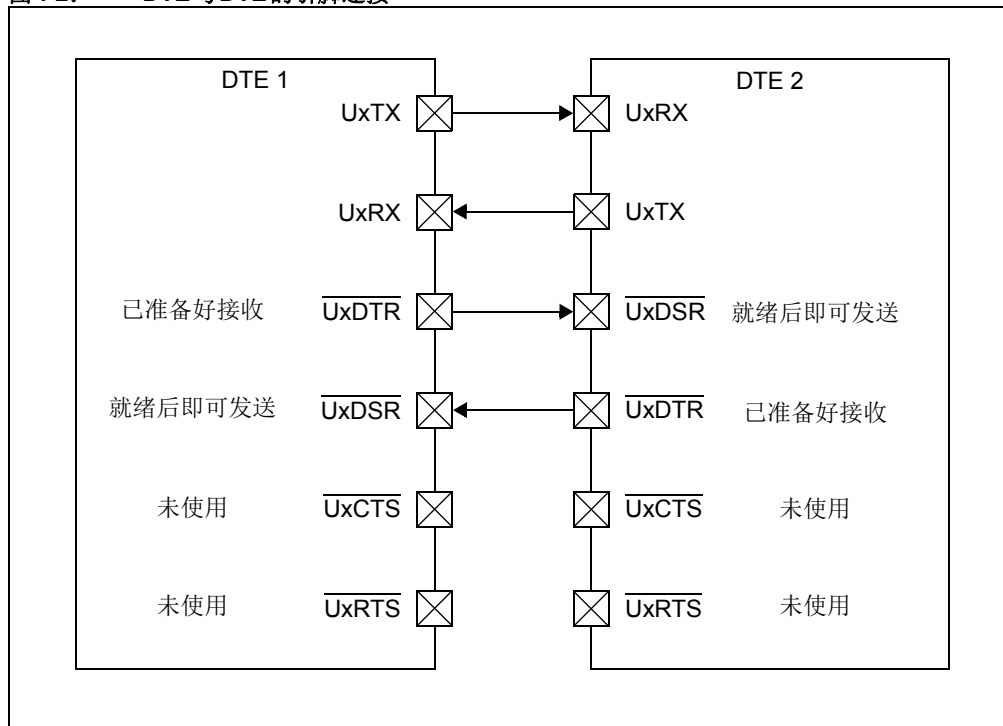
当接收器检测到 \overline{UxCTS} 信号变为有效（低电平）时，它将通过检查来确认接收缓冲区中是否有2个空字节。如果有2个空字节，则发送器会将 \overline{UxDTR} 引脚置为有效（驱动为低电平）以指示其已准备好接收数据。无需通过寄存器设置来使能流控制引脚。但是，大多数器件将通过外设引脚选择（PPS）功能来连接UART和相关流控制引脚。

使用流控制时，设备可分为两类：DTE（数据终端设备）和DCE（数据载体设备）。典型DTE可以是计算机或单片机，DCE通常是调制解调器。并非所有情况下都需要所有硬件流控制引脚。以下部分说明了哪些流控制引脚用于将不同设备彼此相连。

4.6.2.1 DTE与DTE连接的配置

将两个DTE设备连接在一起时，应按图4-2所示进行连接。一个设备的 \overline{UxDTR} 输出与另一个设备的 \overline{UxDSR} 输入端相连。这样一来，接收器便可告知发送器可进行发送。

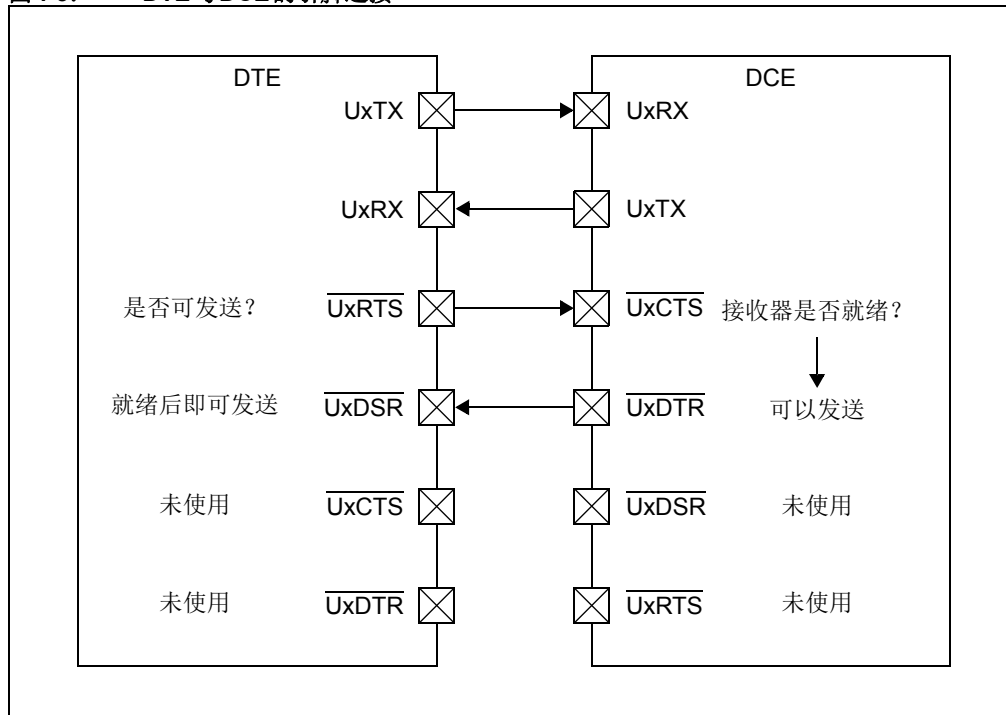
图4-2: DTE与DTE的引脚连接



4.6.2.2 DTE与DCE连接的配置

将一个DTE设备与一个DCE设备相连时，应按图4-3所示进行连接。DTE的 \overline{UxRTS} 输出与DCE的 \overline{UxCTS} 输入端相连，DCE的 \overline{UxDTR} 输出与DTE的 \overline{UxDSR} 输入相连。这样一来，DCE便可告知DTE何时准备好接收数据。

图4-3: DTE与DCE的引脚连接



5.0 LIN/J2602

UART 为局域互连网络 (Local Interconnect Network, LIN) 协议提供支持, 可降低其主进程和从进程的软件开销。LIN 协议通常用于汽车应用, 该协议将字节打包到报文帧中。LIN 协议有 2 种进程: 主进程和从进程。一个网络只能有一个主进程, 但可以有多个从进程。主进程将发送一个报头, 其中包括从进程可响应的一条命令。LIN 报文帧的主进程部分包含以下内容:

1. 中止字符 (至少接收 11 位, 发送 13 位)。
2. 分隔符位。
3. 同步字节 (0x55)。
4. 受保护 ID (Protected ID, PID) 字段。

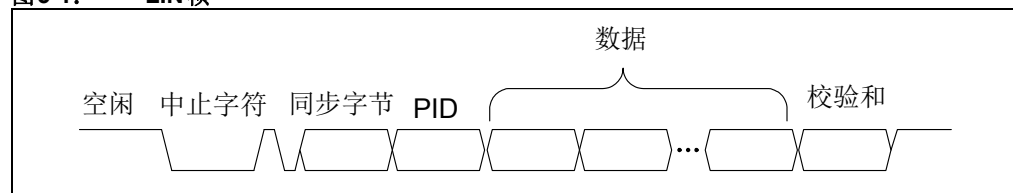
随后, 从进程将通过发送请求的数据与校验和来完成报文帧。

5. 数据 (最多 8 字节)。
6. 校验和。

UART 有 2 种 LIN 模式 (主/从模式和仅从模式), 具体通过 MOD<3:0> 位 (UxMODE<3:0>) 来选择。主/从模式允许 UART 的单个实例同时处理主/从软件进程。

LIN 帧从主进程开始, 先发送中止字符, 再发送同步字节, 从而允许接收器将波特率与发送器同步。接着会发送 PID 字节, 从进程将使用该字节来确定是否或如何作出响应。之后, 从进程以最多 8 个字节的数据与一个校验和进行响应。图 5-1 给出了 LIN 帧。

图 5-1: LIN 帧



PID 字节由 6 个数据位和 2 个奇偶校验位组成, P0 后跟 P1。PID 值写入参数 1 (UxP1<5:0>), 并自动计算奇偶校验位。参数 1 只能在发送器空闲时写入。奇偶校验位的计算如下:

$$P0 = PID[0] \text{ XOR } PID[1] \text{ XOR } PID[2] \text{ XOR } PID[4]$$

$$P1 = \text{NOT} (PID[1] \text{ XOR } PID[3] \text{ XOR } PID[4] \text{ XOR } PID[5])$$

UART 自动计算校验和。UART 支持两种 LIN 校验和, 具体通过 COEN 位 (UxMODEH<3>) 来选择。当 COEN = 0 (默认值) 时, 将使用传统 LIN 校验和方法, 该方法仅使用数据字节。当 COEN = 1 时, 校验和还包括 PID。校验和的计算方法是将参数 2 所定义数量的数据字节相加, 然后加上进位结果, 最终将总和取反。

表5-1提供了一个长度为4个数据字节且数据值分别为0x4A、0x55、0x93和0xE5的LIN帧的校验和计算示例。

表5-1: LIN校验和示例 (COEN = 1或0)

操作	十六进制	进位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x4A	0x4A		0	1	0	0	1	0	1	0
+0x55 带进位相加	0x9F 0x9F	0	1 1	0 0	0 0	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
+0x93 带进位相加	0x132 0x33	1	0 0	0 0	1 1	1 1	0 0	0 0	1 1	0 1
+0xE5 带进位相加	0x118 0x19	1	0 0	0 0	0 0	1 1	1 1	0 0	0 0	0 1
取反	0xE6 ⁽¹⁾		1	1	1	0	0	1	1	0
接收器校验										
校验 本地 + 接收	0x19 ⁽²⁾ +0xE6 ⁽¹⁾									

注 1: 这是作为最后一个字节发送的校验和值。

2: 这是通过接收器计算的校验和值。

对于发送操作，计算得出的校验和存储在UxTXCHK（寄存器2-13）中。对于接收操作，计算得出的校验和存储在UxRXCHK（寄存器2-14）中。

5.1 LIN主/从发送

以下步骤用于主/从发送：

1. 按照第3.0节“时钟和波特率配置”中的详细说明配置输入时钟和波特率。
2. 通过将0b1100写入MOD<3:0>位来配置LIN模式。
3. 通过写入COEN位来配置校验和类型。
4. 将UARTEN、URXEN和UTXEN位置1。
5. 将6位PID值写入参数1（UxP1<5:0>）。

写入参数1后，将会发送中止字符、同步字节和PID。如果需要在主/从模式下完成报文帧，请按以下步骤操作：

6. 等待RXBKIF位置1。
7. 将待发送的字节数写入参数2（UxP2<2:0>）。
8. 将待发送的数据写入UxTXREG寄存器。

5.2 LIN 仅从模式接收

从模式通常侦听响应响应的PID。接收到中止字符后，会复位校验和、奇偶校验计算和参数3的内容。波特率会自动进行计算并写入UxBRG。以下步骤用于仅从模式接收：

1. 通过将0b1011写入MOD<3:0>位来配置LIN仅从模式。
2. 将UARTEN和URXEN位置1。

接收到中止字符后，RXBKIF标志将置1。接收到PID时，无论URXISEL<2:0>位的设置如何，均会产生RX中断。

3. 可从UxRXREG读取PID。如果奇偶校验不匹配（P0和P1），PERR标志将置1。
4. 将待接收的字节数写入参数3（UxP3<2:0>）。
5. 使用URXISEL<2:0>位来配置RX水印中断设置。
6. 发生中断事件后，从UxRXREG读取数据。

UART自动对校验和进行校验。接收器计算的校验和存储在RXCHK<7:0>位（UxRXCHK<7:0>）中。如果该值与已接收校验和的值不匹配，则CERIF标志（UxSTA<4>）将置1，如果CERIE（UxSTA<12>）位已置1，则会产生中断。

5.3 LIN 仅从模式发送

LIN仅从模式发送是对主模式发送的报头的响应，此发送事件之前是接收事件。波特率已通过接收同步字段确定。以下步骤用于仅从模式发送：

1. 通过将0b1011写入MOD<3:0>位来配置LIN仅从模式。
2. 通过写入COEN来配置校验和类型。
3. 将UARTEN、URXEN和UTXEN位置1。
4. 将待发送的数据装入UxTXREG。

要做好发送准备，需要先接收同步字节。接收到同步字节后，写入UxTXREG将会发送数据与校验和。TX中断将根据UTXISEL<2:0>位的设置来指示发送。

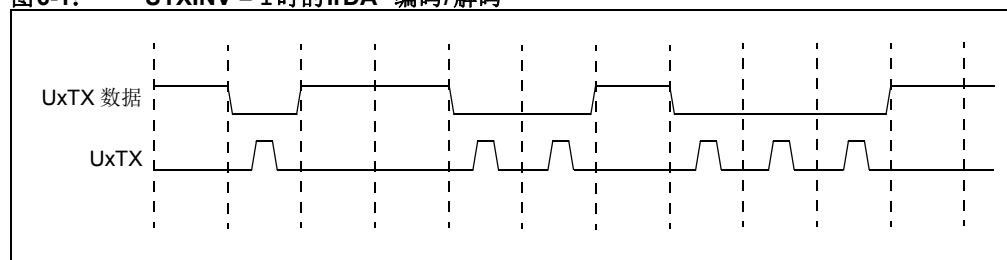
6.0 IrDA®

UART支持内置编码器/解码器的红外IrDA协议，因此无需外部编解码器。每个位时间分为16个波特率时钟周期，因此时钟预分频比BRGH强制设为0，公式3-1用于波特率计算。IrDA编码/解码包含以下转换：

- 值1对于所有16个波特率时钟均转换为0
- 值0对于前7个波特率时钟转换为0，对于接下来的3个波特率时钟转换为1，对于剩余6个时钟转换为0

要启用IrDA，需设置MOD<3:0> = 0b1110 (UxMODE<3:0>)。典型IrDA实现需要低电平有效的空闲状态，因此建议在UTXINV和URXINV均置1的情况下操作UART。这允许UxTX和UxRX引脚直接连接红外收发器。图6-1给出了示例IrDA波形。

图6-1: UTXINV = 1时的IrDA®编码/解码



要将UART配置为IrDA模式，需使用以下序列：

1. 按照第3.0节“时钟和波特率配置”中的详细说明配置输入时钟和波特率。
2. 通过将0b1110写入MOD<3:0>位来配置为IrDA模式。
3. 将UTXINV和URXINV位置1。
4. 使用UTXISEL<2:0>和URXISEL<2:0>位配置中断水印。
5. 将UARTEN位置1。
6. 将URXEN和UTXEN位置1。

在IrDA模式下，UART在错误、事件和中断方面的工作方式与异步模式相同。

7.0 智能卡

UART 模块支持与 ISO 7816 智能卡进行通信。在典型应用中，UART 模块旨在用作始终发起通信事务的主器件或终端。智能卡用作从器件，始终响应来自终端的命令和其他激励。图 7-1 给出了一个使用带 UART 模块的单片机来支持智能卡数据通信的智能卡子系统。

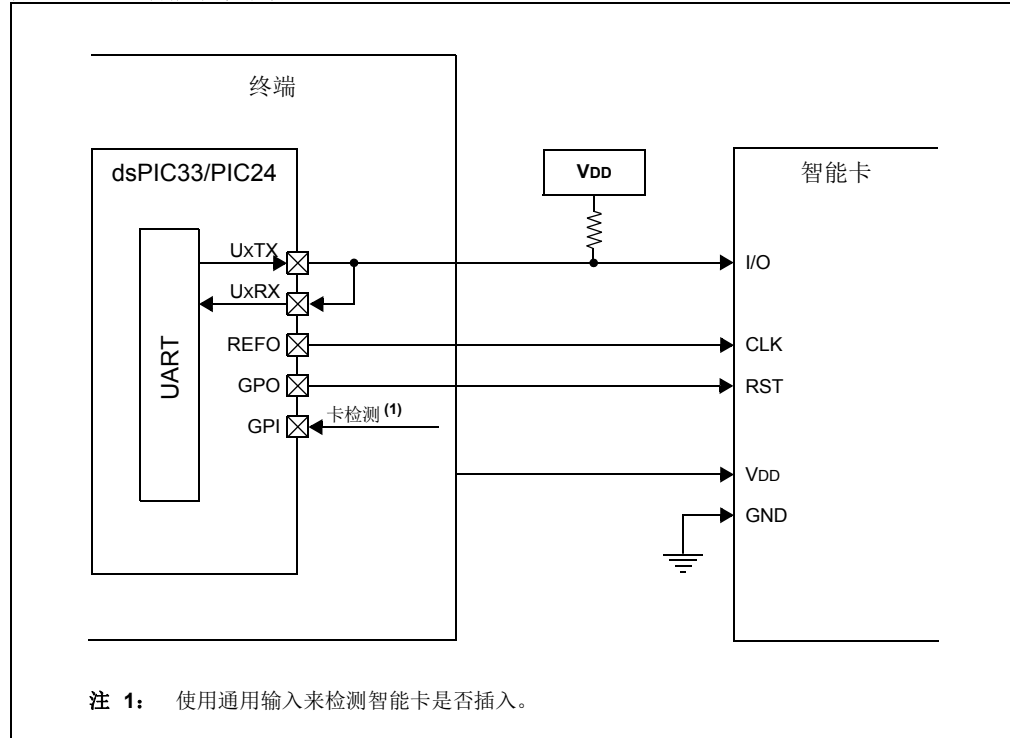
此外，终端还负责为智能卡供电、提供时钟和复位。时钟可通过 REFO 输出引脚来提供，复位信号可通过通用输出来实现。系统基于半双工单线，需要在外部将 UART UxTX 与 UART UxRX 短接并通过弱上拉电阻拉至 VDD。

模块可配置为支持块 ($T = 1$) 或字节 ($T = 0$) 传输协议。块模式设置为预先确定的报文块大小，而字节模式一次发送一个字节。

检测到卡插入后，终端会将复位线拉低以启动复位序列。智能卡通过复位应答 (Answer-to-Reset, ATR) 进行响应，其中包含用于通信详细信息的参数。ATR 波特率预先确定为 REFO clk/372。终端将需要在复位脉冲发送到智能卡时配置为此波特率。典型 REFO 时钟速率为 1 MHz 至 5 MHz。有关 ATR 的更多详细信息，请参见 ISO 7816。

注： 智能卡的协议特性、电气特性、复位应答 (ATR)、协议参数选择 (Protocol Parameter Selection, PPS)、保护时间和等待时间的计算均超出了本系列参考手册章节的范围。有关智能卡通信的详细信息，请参见 ISO 7816-3 文档的获得许可版本。

图 7-1: 智能卡子系统



7.1 协议和帧的详细信息

智能卡通信方案基于基本时间单元（Elementary Time Unit, ETU），即位时钟。智能卡将在ATR中提供ETU值，随后终端会相应地进行配置。字符帧包含10位：1个起始位、8个数据位和1个奇偶校验位。保护时间和等待时间用于分隔字节间以及报文间的切换，具体取决于模式。

ISO 7816规范定义了2个通信逻辑约定：正向和反向。正向约定定义为LSB在前且高电平状态为逻辑1。反向模式定义为MSB在前且线路低电平解释为逻辑低电平。逻辑约定通过CONV位（UxSCCON<3>）来设置。

7.1.1 保护时间

保护时间定义为两个连续字符帧之间的最短延时。ISO 7816规范定义了字符保护时间（Character Guard Time, CGT）和块保护时间（Block Guard Time, BGT）。在T = 0和T = 1的模式下，CGT定义为同一传输方向的两个连续字符的前沿之间的最短延时。在T = 1的模式下，块保护时间（BGT）定义为相反方向的两个连续字符的前沿之间的最短延时。BGT具有22个ETU的标准固定值。

7.1.2 等待时间

等待时间是卡或接口设备发送的两个连续字符之间的最长延时。字符等待时间（Character Wait Time, CWT）是块中两个连续字符的前沿之间的最长延时，如图7-2所示。最短延时为CGT。块等待时间（Block Wait Time, BWT）是卡所接收块的最后一个字符的前沿与卡所发送的下一个块的首字符的前沿之间的最长延时，如图7-3所示。BWT有助于接口设备检测无响应的智能卡。最短延时为BGT。

注： 通过用户软件设置的LAST位（UxTXREG<15>）用于自动启动保护或等待定时器，具体取决于模块的状态。

图7-2: 字符保护时间和等待时间

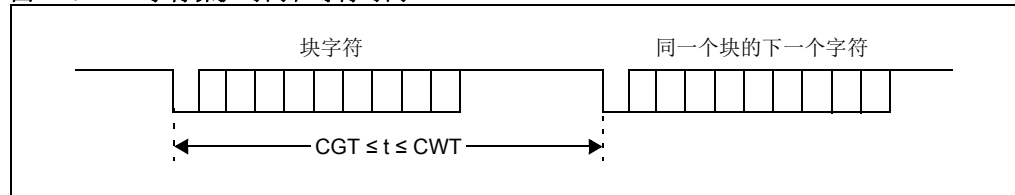
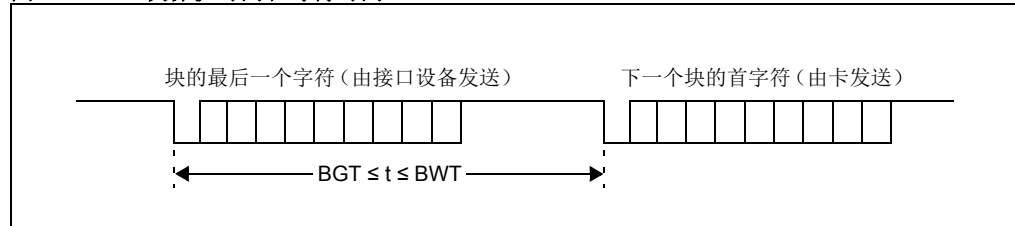


图7-3: 块保护时间和等待时间

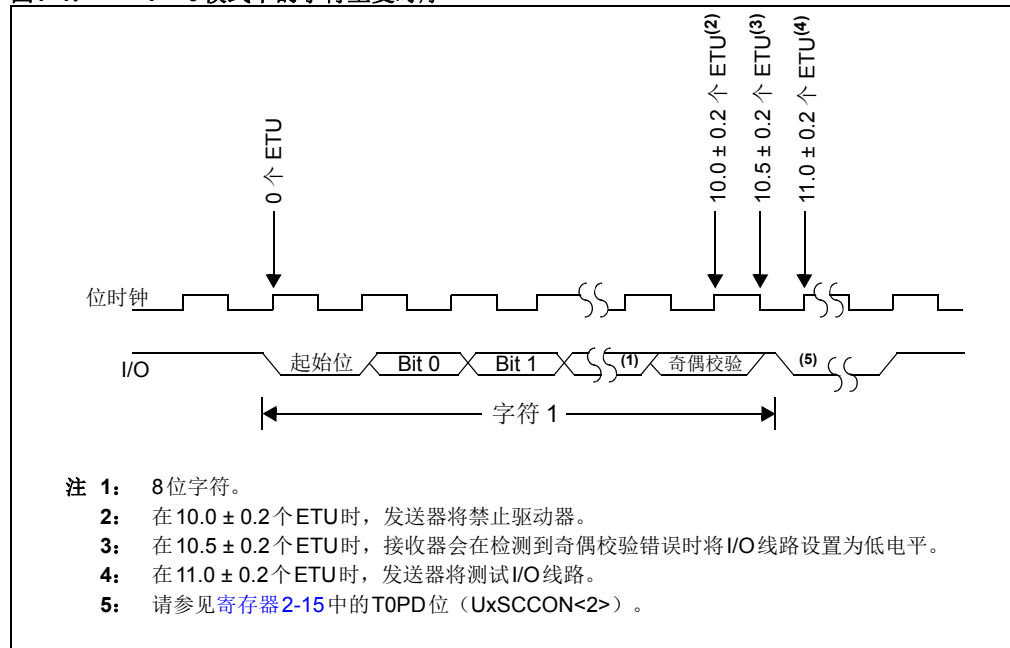


7.1.3 错误检测

发送器负责计算奇偶校验位值。奇偶校验始终为偶校验，定义为数据位与奇偶校验位中的逻辑1总个数始终为偶数。接收器也计算奇偶校验值并将其与接收到的奇偶校验位进行比较。如果发现差异，则接收器将标记错误，将线路拉低并持续T0PD位（UxSCCON<2>）所定义的一段时间。

在发送完一个字符的起始位的前沿后再经过 11 ± 0.2 个ETU，发送器将测试I/O线路。如果发送器检测到错误（即检测到I/O线路为低电平状态），则在检测到错误后至少再经过2个ETU的延时后，发送器将重复发送有问题的字符。重复次数通过TXRPT<1:0>位（UxSCCON<5:4>）配置。有关T=0模式下的时序详细信息，请参见图7-4。

图7-4: T=0模式下的字符重复时序



7.2 智能卡操作

7.2.1 预置ATR初始化

模块应按照如下步骤在复位线被拉低之前配置为接收模式，以使智能卡发出响应：

1. 将与REFO/372对应的值写入BRG寄存器。
2. 通过将0b1111写入MOD<3:0>位配置为智能卡模式。
3. 将UARTEN、URXEN和UTXEN位置1。
4. 使用URXISEL<2:0>位（UxSTAH<10:8>）配置RX中断水印。
5. 当UxRXREG中有数据时，可从中读取数据并加以保存以进行ATR处理。

7.2.2 后置ATR初始化

在终端完成智能卡的复位并接收到ATR中包含的设置参数后，用户软件可以按如下步骤配置模块以进行通信：

1. 通过清零UARTEN位禁止UART进行配置更改。
2. 根据ATR参数设置PRTCL（UxSCCON<1>）、TOPD（UxSCCON<2>）、CONV（UxSCCON<3>）和TXRPT<1:0>位（UxSCCON<5:4>）。
3. 针对ATR中定义的ETU编程UxBRG寄存器。
4. 使用参数1编程保护时间，并将GTCIE位（UxSCINT<0>）置1。
5. 使用参数3/3H编程等待时间，并将WTCIE位（UxSCINT<1>）置1。如果需要写入参数3H，则必须在参数3之前写入。
6. 使用URXISEL<2:0>位（UxSTAH<10:8>）配置RX中断水印。
7. 将UARTEN、UTXEN和URXEN位置1。

7.2.3 T = 0 协议通信

T = 0时的发送：

1. 将数据写入UxTXREG。
2. 如果WTCIF、GTCIF和/或TXRPTIF位置1，请根据ISO 7816标准采取适当的措施。
3. 为最后一个数据字节设置LAST = 1（UxTXREG<15>）。

注： 由于UxTX和UxRX引脚短路，将在发送字符时产生接收中断（如果允许）。建议在发送时禁止接收中断。

T = 0时的接收：

1. 产生接收中断后，读取UxRXREG中可用的数据。
2. 如果WTCIF、GTCIF和/或RXRPTIF位置1，请根据ISO 7816标准采取适当的措施。

注： 对于最后一个字符，用户必须确保满足保护时间的要求后才能发送响应。GTC可用于实现该目的，而WTC中断可禁止或忽略。

7.2.4 T = 1 协议通信

T = 1 时的发送:

1. 将数据写入 UxTXREG。
2. 将 BWT 的值编程到参数 2 中并将 WTCIE 位 (UxSCINT<1>) 置 1。
3. 如果 WTCIF、GTCIF 和/或 TXRPTIF 位置 1, 请根据 ISO 7816 标准采取适当的措施。
4. 为最后一个数据字节设置 LAST = 1 (UxTXREG<15>)。

T = 1 时的接收:

1. 产生接收中断后, 读取 UxRXREG 中的数据 (如果有)。
2. 将 CWT 的值编程到参数 3/3H 中并将 WTCIE 位 (UxSCINT<1>) 置 1。如果需要写入参数 3H, 则必须在参数 3 之前写入。
3. 如果 WTCIF、GTCIF 和/或 RXRPTIF 位置 1, 请根据 ISO 7816 标准采取适当的措施。

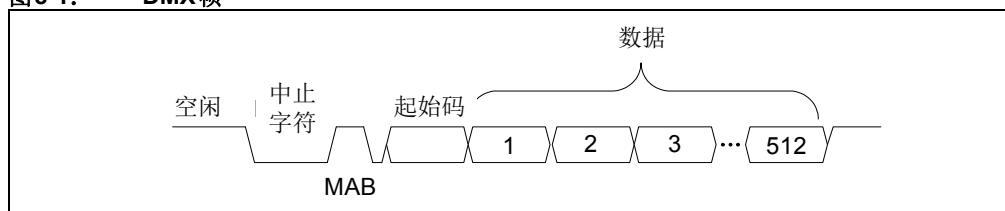
注: 对于最后一个字符, 用户必须确保满足保护时间的要求后才能发送响应。GTC 可用于实现该目的, 而 WTC 中断可禁止或忽略。

8.0 DMX

数字多路传输 512 (DMX) 协议通常用于实现舞台灯光及效果。该协议最多支持 512 个通道，通常在物理层使用 EIA-485 来实现。DMX 通信属于单向通信，控制器仅发送报文，从设备仅接收报文。没有错误校验步骤，也没有命令已收到的确认步骤。DMX 工作的波特率为 250k，没有奇偶校验，有 2 个停止位。DMX 报文帧由 1 个报头和最多 512 个数据字节组成。在给定起始和停止分配值的情况下，可以将设备配置为接受多个字节。

DMX 报文帧由中止字符、中止后标记 (Mark After Break, MAB)、起始码和最后的数据字节组成。MAB 的长度为 3 个位时间。起始码指定数据类型，通常为 0x00。图 8-1 给出了 DMX 帧。

图 8-1: DMX 帧



8.1 DMX 发送

以下步骤用于 DMX 发送：

1. 按照第 3.0 节“时钟和波特率配置”中的详细说明针对 250 kbaud 配置输入时钟和波特率。
2. 通过将 0b1010 写入 MOD<3:0> 位配置为 DMX 模式。
3. 将 STSEL 设置为 0b10。
4. 使用 UTXISEL<2:0> 位配置 TX 中断水印。
5. 将字节数 - 1 后的结果写入参数 1（不包括起始码）。
6. 将 UARTEN 和 UTXEN 位置 1。
7. 将起始码值写入 UxTXREG。

将起始码写入 UxTXREG 将发送 25 位中止字符、MAB 和起始码。

8. 将时隙数据字节写入 UxTXREG。

如果并非写入参数 1 所定义的所有字节，则线路将返回空闲状态。写入所有字节后，即认为相应帧是完整的，下一次写入 UxTXREG 将发送下一帧的中止字符。

8.2 DMX 接收

以下步骤用于 DMX 接收：

1. 按照第 3.0 节“时钟和波特率配置”中的详细说明针对 250 kbaud 配置输入时钟和波特率。
2. 通过将 0b1010 写入 MOD<3:0> 位配置为 DMX 模式。
3. 使用 URXISEL<2:0> 位配置 RX 中断水印。
4. 将 UARTEN 位置 1。
5. 将 URXEN 位置 1。
6. 等待 RXBKIF 位置 1。
7. 将起始字节编号 - 1 后的结果写入参数 2（不包括起始码）。
8. 将结束字节编号 - 1 后的结果写入参数 3（不包括起始码）。

收到中止字符后，无论 RX 水印的设置 (URXISEL<2:0>) 如何，UART 都会将起始码字节装入 UxRXREG 并产生 RX 中断。然后将参数 2 和参数 3 定义的字节范围装入 UxRXREG，并根据 URXISEL<2:0> 位产生 RX 中断。

9.0 中断

UART有4个独立的中断。若要确定哪个事件导致了中断，需读取和评估关联的标志。表9-1列出了所有中断源。

表9-1: 中断

中断类型	条件	标志
TX	UxTXREG中的空字节数由UTXISEL<2:0>位定义	TXIF ⁽¹⁾
RX	UxRXREG中的字数由URXISEL<2:0>位定义 地址匹配	RXIF ⁽¹⁾ PERR
事件	自动波特率完成 接收到RX中止字符 唤醒事件（线路从高电平切换为低电平） 智能卡保护时间计数器匹配 智能卡等待时间计数器匹配 智能卡块时间计数器匹配 智能卡重复接收 智能卡重复发送	ABDIF RXBKIF WUIF GTCIF WTCIF BTCIF RXRPTIF TXRPTIF
错误	奇偶校验错误 帧错误 发送冲突 发送移位寄存器为空 RX缓冲区溢出 自动波特率计满返回 校验和错误（仅LIN模式）	PERR FERR TXCIF TXMTIE OERR ADBOVF CERIF

注 1: 取决于器件，有关更多信息，请参见具体器件数据手册。

9.1 中断水印

可以使用水印设置配置TX和RX中断频率。对于发送，UTXISEL<2:0>位设置允许TX中断频率基于TX缓冲区（UxTXREG）中剩余的空字节数。默认情况下，TX缓冲区为空时将产生TX中断。对于接收，URXISEL<2:0>位设置允许RX中断频率基于RX缓冲区（UxRXREG）中的字节数。默认情况下，当RX缓冲区中至少有一个字节时，将产生RX中断。如果PERIF或FERIF置1且相应的PERIE或FERIE位置1，则不会设置接收水印中断。

10.0 节能模式

UART支持节能模式，包括在休眠和空闲模式下运行的能力。如果在进行发送或接收时执行节能命令，则发送或接收操作将中止。SFR数据（包括UxMODE、UxSTA、UxBRG以及RX和TX缓冲区）将在唤醒条件下保留其值，无需重新初始化。

10.1 休眠

当器件进入休眠模式时，内核处理器和外设使用的系统时钟将停止。要在休眠模式下运行，必须选择系统时钟以外的时钟源，并将SLPEN位（UxMODEH<15>）置1。时钟源是特定于器件的（有关详细信息，请参见器件数据手册和[第3.0节“时钟和波特率配置”](#)）。这样，UART便可请求所选时钟源并使其保持活动状态。UART能够继续发送UxTXREG的内容、接收数据并将其存储在UxRXREG中。

在检测到传入字节（包括用于自动波特率的中止字符和同步字符）时，UART还可以将处理器从休眠模式唤醒（SPLEN = 0时）。要启用唤醒功能，请将WAKE位（UxMODE<12>）置1。从休眠模式唤醒时，WUIF（UxINT<7>）位置1并会产生事件中断，从而有效唤醒处理器。如果唤醒时需要自动波特率，则需在执行SLEEP命令之前将ABAUD位置1。

10.2 空闲

在空闲模式下，内核处理器将停止工作。但是，包括UART在内的外设将继续运行。要使UART在空闲模式下也停止工作，可以将UART空闲模式停止位USIDL（UxMODE<13>）置1。

11.0 相关的应用笔记

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dsPIC33/PIC24器件系列而编写的，但是概念是相关的，通过适当修改即可使用，但在使用中可能会受到一定限制。当前与多协议UART模块相关的应用笔记有：

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 dsPIC33/PIC24 系列器件的应用笔记和代码示例，请访问 Microchip 网站 (www.microchip.com)。

12.0 版本历史

版本A（2016年9月）

这是本文档的初始版本。

版本B（2017年12月）

更新了第1.0节“简介”、第1.3节“数据缓冲区”、第3.0节“时钟和波特率配置”、第3.1节“传统模式”、第4.1节“异步发送”、第4.2节“异步接收”、第4.2.1节“接收错误和事件”、第4.6.2节“硬件流控制”、第5.1节“LIN主/从发送”、第5.3节“LIN仅从模式发送”、第7.2.2节“后置ATR初始化”、第7.2.4节“T = 1协议通信”、第8.1节“DMX发送”、第9.1节“中断水印”和第10.1节“休眠”。

删除了第4.7节“曼彻斯特编码”和第9.0节“DALI”。

更新了表4-1。

更新了图1-1、图4-1和图4-2。

更新了寄存器2-1、寄存器2-2、寄存器2-3、寄存器2-9和寄存器2-10。

更新了公式3-1和公式3-2。

dsPIC33/PIC24 系列参考手册

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。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

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-16949:2009 认证。Microchip 的 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 and 模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。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。

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
= ISO/TS 16949 =**

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-3382-8



全球销售及及服务网点

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://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

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

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

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

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

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

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

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820