

---

---

## **SAM L 系列器件的低功耗特性**

---

---

### **简介**

---

Microchip SMART SAM L MCU 是基于 Arm®Cortex® M0+的超低功耗单片机。

本应用笔记将介绍以下 SAM L 系列器件的低功耗优化关键特性和低功耗模式：

- SAM L10
- SAM L11
- SAM L21
- SAM L22

SAM L 系列器件具有特定的低功耗特性，例如低功耗模式、超低功耗外设、性能等级和 SleepWalking。SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件还具有附加特性，例如外设电源域和支持电源域门控的 SleepWalking。

---

## 目录

---

简介.....	1
1. 概述.....	3
2. 休眠模式.....	4
2.1. 空闲.....	4
2.2. 待机.....	4
2.3. 备用.....	4
2.4. 关闭.....	6
3. 性能等级.....	7
3.1. 改变性能等级.....	7
3.2. 稳压器系统.....	7
4. 电源域.....	9
4.1. SAM L21 系列器件的电源域.....	9
4.2. SAM L22 系列器件的电源域.....	11
4.3. SAM L10 和 SAM L11 系列器件的电源域.....	11
5. SleepWalking.....	13
5.1. 支持电源域门控的 SleepWalking.....	13
6. SAM L21 的示例项目.....	14
7. SAM L22 的示例项目.....	15
8. SAM L10 和 SAM L11 的示例项目.....	16
Microchip 网站.....	17
变更通知客户服务.....	17
客户支持.....	17
Microchip 器件代码保护功能.....	17
法律声明.....	18
商标.....	18
DNV 认证的质量管理体系.....	19
全球销售及服务网点.....	20

---

## 1. 概述

在许多应用中，采用低功耗非常重要。在这些应用中，需要平衡响应能力和功耗。标准的低功耗技术是通过增加在低功耗休眠模式下花费的时间来限制器件在工作模式下花费的时间。凭借本应用笔记中介绍的特性，器件在工作模式或休眠模式下执行任务时只需极低的功耗。

本应用笔记将重点介绍 SAM L 系列器件上的可用休眠模式、性能等级、电源域和 SleepWalking。

本应用笔记还介绍了一些独特的特性，例如 SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件上的使用电源域门控的 SleepWalking。

## 2. 休眠模式

在介绍新特性之前，有必要了解 SAM L 系列器件中可用的各种休眠模式。除了工作模式外，SAM L21/SAM L22 系列器件中还有四种休眠模式，SAM L10 和 SAM L11 系列器件中也有三种不同的休眠模式。

有关典型休眠模式唤醒时间的信息，请参见相应数据手册中“电气特性”一章中的“唤醒时间”部分。

### 2.1 空闲

SAM L 系列器件中有一种空闲 (IDLE) 休眠模式。在此模式下，CPU 时钟关闭。同步 AHBx 和 APBx 时钟的默认状态为关闭，但可应外设请求进行使能。例如，如果 DMA 接收到传输触发信号，它将请求其时钟信号并开始传输。默认情况下，异步通用时钟 (GCLK\_PERIPH) 在 IDLE 模式下运行。向时钟源的按需位 (ONDEMAND 位) 写入 1 将改写此默认设置，确保 GCLK\_PERIPH 仅在请求时传播到外设。通过执行等待中断 (Wait For Interrupt, WFI) 指令并将 IDLE 写入休眠配置寄存器中的休眠模式位组 (SLEEP\_CFG.SLEEPMODE 写入 0x2)，可以进入 IDLE 模式。器件将在检测到任何非屏蔽中断时退出 IDLE 模式。

### 2.2 待机

在待机 (STANDBY) 休眠模式下，器件能够开启和关闭时钟和电源域。如果器件配置为在 STANDBY 下执行多个操作，则只有在需要时才能使用时钟和电源域。这将降低总体功耗。

默认情况下，除了 OSCULP32K 之外的所有时钟都在待机 (STANDBY) 休眠模式下关闭。只要写入外设控制寄存器中的待机模式下运行位 (RUNSTDBY)，即 ADC 模块的控制 A (CTRLA.RUNSTDBY 写入 1)，外设就仍然可以执行任务。这将支持外设 STANDBY 模式下运行。另外，如果将时钟源设置为按需运行，则只有在外设请求时才会使能振荡器。通过执行 WFI 指令并将 STANDBY 写入休眠配置寄存器中的休眠模式位组 (SLEEP\_CFG.SLEEPMODE 写入 0x4)，可以进入 STANDBY 模式。器件将在出现任何异步中断时退出 STANDBY 模式。

在 STANDBY 模式下，默认情况下，器件将切换到低功耗稳压器 (LP VREG) 以进一步降低功耗。更多详细信息，请参见 [3.2.2 低功耗稳压器](#)。对于 SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件，可以使用另一个功能，即在 STANDBY 模式下动态切换电源域。更多详细信息，请参见 [5.1 支持电源域门控的 SleepWalking](#)。

SAM L10 和 SAM L11 SRAM 分为多个子模块，这些子模块可以保持在 STANDBY 低功耗模式下以优化功耗。默认情况下，所有子模块的状态保持不变，但可以根据 SRAM 存储器大小将这些子模块关闭。通过配置功率配置寄存器 (PWCFG) 中的 RAMPSWC 位组，可以更改此行为。

### 2.3 备用



**重要：** SAM L10 和 SAM L11 系列器件不支持备用模式。

在备用 (BACKUP) 休眠模式下，只有备用域上电，并且只有该域中的寄存器才会保留其值。有关备用电源域的更多详细信息，请参见 [4.1 SAM L21 系列器件的电源域](#) (适用于 SAM L21 系列器件) 和 [4.2 SAM](#)

**L22 系列器件的电源域**（适用于 SAM L22 系列器件）。SRAM 也将关闭，且不保留任何数据。通过执行 WFI 指令并将 BACKUP 写入休眠配置寄存器中的休眠模式位组（SLEEPCFG.SLEEPMODE 写入 0x5），可以进入该模式。从 BACKUP 唤醒与复位后的器件启动过程相似。器件将开始在复位处理程序中执行代码，并将数据从闪存加载到 SRAM。不同之处在于备用域中的外设寄存器将保留其值，实时计数器（Real-Time Counter, RTC）将继续运行（如果使能）。电源管理器（Power Manager, PM）中的控制 A 寄存器（CTRLA.IORET）中的 I/O 保留位用于决定在退出 BACKUP 时 I/O 线是否保留其值。复位控制器（RSTC）中的复位原因（RCAUSE）寄存器将在复位后指示复位源。如果通过备用复位发起复位，则可以通过首先评估复位原因寄存器来更改主函数中的启动程序。复位控制器包含用于存储状态信息的附加 32 位寄存器，这对于确定唤醒原因以及 BACKUP 后启动时的正确执行操作非常有用。

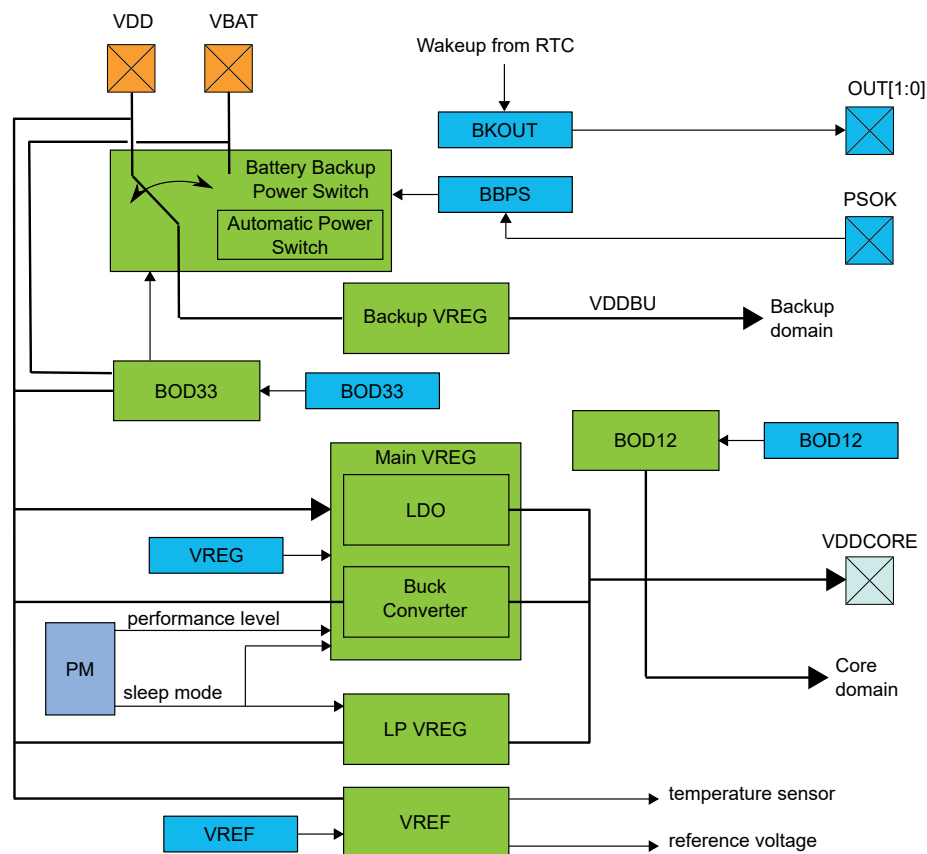
由于仅备用域上电，器件的功耗最低。对于 SAM L21 系列器件，外部唤醒引脚、实时计数器（RTC）中断或电池备用电源开关（Battery Backup Power Switch, BBPS）可用作唤醒源。对于 SAM L22 系列器件，实时计数器（RTC）中断或电池备用电源开关（BBPS）可用作唤醒源。

对于 SAM L21 系列器件，也可使用 BBPS 进入 BACKUP。2.3.1 电池备用电源切换（BBPS）对此进行了进一步讨论。为此，必须正确配置外部唤醒引脚。有关更多详细信息，请参见 SAM L21 数据手册中“复位控制器”一章中的“外部唤醒检测器”部分。外部中断控制器（External Interrupt Controller, EIC）不是备用电源域的一部分，不能用于将器件从 BACKUP 模式唤醒。

### 2.3.1 电池备用电源切换（BBPS）

使用电池备用电源切换（BBPS），器件可将备用域电源（VDDBU）在主电源（V<sub>DD</sub>）和电池备用电源（VBAT）之间切换，请参见图 2-1。可强制 BBPS 选择 V<sub>DD</sub> 或 VBAT，也可使其在二者之间自动切换。

图 2-1. 电源控制器框图



### 强制电源切换

任何复位后，BBPS 均配置为无动作（BBPS.CONF 写入 0x0）。该备用域由  $V_{DD}$  供电。也可强制 BBPS（BBPS.CONF 写入 0x2）通过  $V_{BAT}$  电源引脚为备用域供电。

### 自动电源切换

如上所述，BBPS 还可以配置为自动从主电源切换到备用电源，然后再次切换回主电源。自动电源切换（BBPS.CONF 写入 0x1）是允许在两种方式之间切换的惟一配置。如果  $V_{DD}$  降至某个阈值电压以下，自动电源切换功能将切换到  $V_{BAT}$ ，器件进入 BACKUP 状态。如果  $V_{DD}$  恢复，器件可以保持 BACKUP 状态，也可以退出 BACKUP 状态，具体取决于唤醒使能（BBPS.WAKEEN）配置。

### BOD33 电源切换

使用 BOD33 电源切换（BBPS.CONF 写入 0x3），可以从  $V_{DD}$  自动切换到  $V_{BAT}$ 。当器件处于备用模式且  $V_{BAT}$  阈值电压处于工作模式时，BOD33 控制寄存器中的阈值电压位组（BOD33.BKUPLEVEL）保留  $V_{DD}$  阈值。如果 BOD33 动作是进入备用模式（BOD33.ACTION 写入 0x3）且电压监视器设置为监视  $V_{DD}$ （BOD33.VMON 写入 0），则当超过  $V_{DD}$  阈值时，器件将进入 BACKUP 模式。

### 主电源正常引脚使能

主电源正常引脚使能是一种支持通过 PSOK 引脚（PB00）从  $V_{BAT}$  自动切换到  $V_{DD}$  的配置。如果在  $V_{DD}$  恢复且主电源正常使能置 1（BBPS.PSOKEN 写入 1）时未使能自动电源切换（BBPS.CONF 不是 0x1），则当 PSOK 引脚从低电平跳变为高电平时， $V_{DDBU}$  将切换回  $V_{DD}$ 。器件可以保持 BACKUP 状态，也可以退出 BACKUP 状态，具体取决于唤醒使能（BBPS.WAKEEN）配置。

## 2.4 关闭

在关闭（OFF）休眠模式下，器件中没有任何外设、稳压器和振荡器处于运行状态。通过执行 WFI 指令并将 OFF 写入休眠配置寄存器中的休眠模式位组（SLEEP\_CFG.SLEEPMODE 写入 0x6），可以进入该模式。唤醒器件的惟一选择是通过复位引脚或上电复位（Power-on-Reset, POR）将外部复位置为有效。

## 3. 性能等级

SAM L 系列器件可在两种性能等级下运行。当在最低等级 PL0 下运行时，通过电压调节减小施加在整个逻辑区域上的电压。凭借这种电压调节技术，既可降低有功功耗，同时又能降低器件的最大频率。在最高性能等级 PL2 下，稳压器提供最高电压，使器件能够以更高的时钟速度运行。

### 3.1 改变性能等级

切换到不同的性能等级不会影响振荡器、预分频器或 GCLK 发生器。更改为较高的性能等级后，必须等待电源管理器 (PM) 中的中断标志状态和清除寄存器中的性能等级就绪位 (INTFLAG.PLRDY) 置 1，然后才能更改时钟速度。更改为较低的性能等级时，必须将时钟频率设置为低于最大限值的速度，然后才能降低性能等级。可能还需要更改读取等待状态的数量，这取决于 CPU 时钟速度、性能等级和 VDDIN 电压。有关更多详细信息，请参见具体器件数据手册中的“电气特性”一章。通过写入非易失性存储器控制器 (NVMCTRL) 中的控制 B 寄存器中的 NVM 读取等待状态位组 (CTRLB.RWS) 来配置读取等待状态的数量。在更改性能等级之前，必须增加读取等待状态。同样，更改性能等级后，也必须减少等待状态的数量。下面两个分步示例演示了如何更改性能等级。

在最大频率 (SAM L21 系列器件为 48 MHz，SAM L10、SAM L11 和 SAM L22 系列器件为 32 MHz)、VDDIN = 3.3V (> 2.7V) 的条件下运行时更改为较低等级 (PL0)：

1. 禁止/减少高于所允许最大频率 12 MHz (SAM L21 系列器件) 或 8 MHz (SAM L10、SAM L11 和 SAM L22 系列器件) 的时钟发生器。
2. 选择 PL0 作为性能等级 (PLCFG.PLSEL 写入 0x0)。
3. 如果新的 CPU 速度 < 7.5 MHz，则读取等待状态的数量可以从 1 减少到 0 (CTRLB.RWS 写入 0x0)。有关更多详细信息，请参见“电气特性”一章中的“NVM 特性”部分。

在 8 MHz、VDDIN = 1.62V (< 2.7V) 的条件下运行时更改为较高等级 (PL2)：

1. 如果新的 CPU 速度 > 28 MHz，则 SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件的读取等待状态数必须增加到 2，SAM L22 系列器件的读取等待状态数必须增加到 2 或 3 (CTRLB.RWS 写入 0x2 或 0x3)，具体取决于 CPU 速度。
2. 选择 PL2 作为性能等级 (PLCFG.PLSEL 写入 0x2)。
3. 等待性能等级就绪 (INTFLAG.PLRDY) 位置 1。如果允许性能等级就绪中断 (INTSET.PLRDY 写入 1)，则该位的更改将产生中断。
4. 用户可以在不超过最大允许频率的前提下提高 CPU 时钟速度。

### 3.2 稳压器系统

SAM L 系列器件可以由多个内部稳压器中的一个来供电。当器件处于工作模式或空闲休眠模式时，主稳压器 (主 VREG) 为内核域 (VDDCORE) 供电。在待机休眠模式下，VDDCORE 由主 VREG 或低功耗稳压器 (LP VREG) 供电。SAM L21 和 SAM L22 系列器件还具有 VDDBU，由备用稳压器 (备用 VREG) 供电。

#### 3.2.1 主稳压器

主 VREG 可由两个稳压器供电：LDO 稳压器和降压开关稳压器。降压开关稳压器的功耗最低，在工作模式下的效率最高。不过，降压开关稳压器需要一个电感来连接到器件。由于不保证所有设计都提供此电感，因此 SAM L 系列器件默认通过 LDO 稳压器启动。通过写入电源控制器 (SUPC) 的稳压器系统控制寄存器中的稳压器选择位 (VREG.SEL) 来完成 LDO 稳压器和降压开关稳压器之间的切换。

### 3.2.2 低功耗稳压器

对于 SAM L21 系列器件，如果所有电源域都处于保持状态，则低功耗稳压器可用于在待机休眠模式下为 VDDCORE 供电。如果多个电源域在没有请求时钟的情况下工作，则只要  $V_{REG}$  切换模式未设置为性能模式（STDBYCFG.VREGSMOD 写入 1），器件就仍可通过 LP VREG 供电。如果将此位组设置为 1，则只要一个或多个电源域工作，就会强制器件由主稳压器供电。

对于 SAM L10、SAM L11 和 SAM L22 系列器件，如果  $V_{REG}$  切换模式设置为低功耗模式（STDBYCFG.VREGSMOD 写入 1）或者  $V_{REG}$  切换模式设置为 auto（STDBYCFG.VREGSMOD 写入 0）且不使用 SleepWalking 功能，则低功耗稳压器可用于在待机休眠模式下为 VDDCORE 供电。

对于使用有限  $V_{DD}$  范围（2.5V 至 3.6V）的应用，可通过将 VREG 寄存器中的低功耗模式效率位置 1（VREG.LPEFF 写入 1）来提高 LP VREG 的效率。

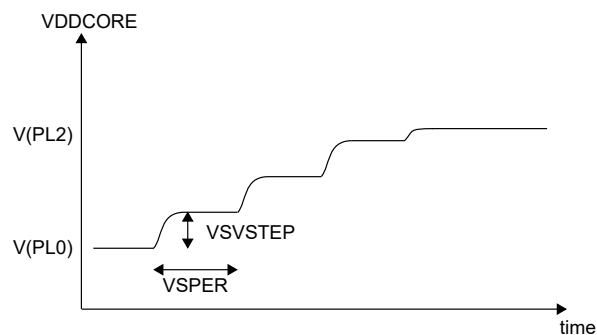
有关更多详细信息，请参见“SAM L21 系列器件的电源域”、“SAM L22 系列器件的电源域”或“SAM L10 SAM L11 系列器件的电源域”部分。

### 3.2.3 电压调节控制

在某些情况下（例如切换到不同的性能等级、进入或退出待机状态或者启动 SleepWalking 任务时），VDDCORE 电源会发生变化。VDDCORE 突然增大会导致电流尖峰。通过写入稳压器系统控制寄存器中的电压调节阶跃和电压调节频率位组（VREG.VSSTEP 和 VREG.VSPER）以强制稳压器进行更稳定的电压转换，这将限制此类电流尖峰，但也会增加总阶跃时间。更多信息，请参见图 3-1。由于阶跃数减少，因此可以通过配置更大的电压阶跃高度来减少转换时间。默认情况下，VSSTEP 写为 0，阶跃高度为 5 mV。调节频率 VSPER 决定阶跃间的延时。默认情况下，VSPER 写为 0，延时为 1  $\mu$ s。

如果设计中的电源供电能力不足并且供电电池的电量几乎耗尽，则更稳定的转换可以防止外部电源电压降至 BOD 阈值以下。只要外部电源设法获得必要的电流，电流尖峰便只会影响外部电源而不影响器件。

图 3-1. 电压调节





## 4. 电源域

大多数电源域可以在以下三种状态之间切换：

- **工作状态：**电源域中的外设上电，可随时使用或配置。
- **保持状态：**主电源掉电，同时使电源保持低功耗状态，以保持寄存器和 SRAM 的状态。
- **关闭状态：**电源域中的外设不上电，必须对寄存器进行重新编程以使用外设。

将电源域关闭或置于保持状态可使器件在 STANDBY 下的功耗低于仅禁止时钟所能实现的功耗。电源域在工作和保持状态之间自动切换，但也可以强制为工作状态。动态切换称为“电源域门控”。电源域配置在电源管理器（PM）模块的待机配置（STDBYCFG）寄存器中设置。

### 4.1 SAM L21 系列器件的电源域

SAM L21 系列器件有五个数字电源域，如图 4-1 所示。这些电源域通过对器件中的逻辑区域进行限制或使其掉电来实现节能目的。

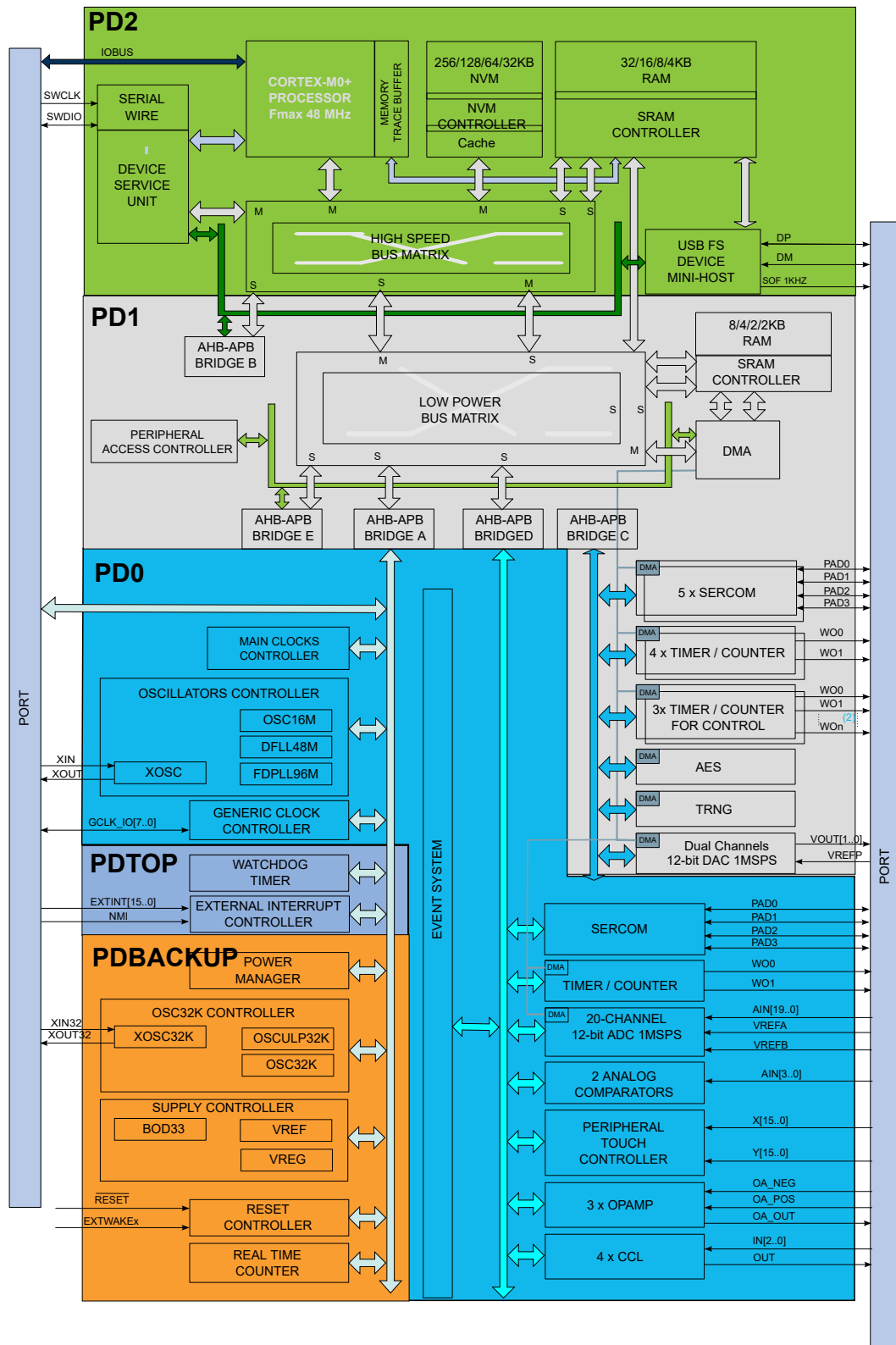
#### 4.1.1 电源域划分

SAM L21 系列器件的外设划分为五个电源域。表 4-1 以表格形式介绍了电源域划分，图 4-1 以图示形式介绍了电源域划分。

表 4-1. 电源域划分

PDBACKUP	PDTOP	PD0	PD1	PD2
OSC32CTRL	EIC	AC	AES	内核
PM	端口	ADC	AHB-APB 桥	DSU
RSTC	WDT	CCL	DAC	SRAM
RTC		EVSYS	DMAC	USB
SUPC		GCLK	I <sup>2</sup> S	闪存
		MCLK	PAC	
		OPAMP	SERCOM	
		OSCCTRL	TC	
		PTC	TCC	
		LP TC	TRNG	
		LP SERCOM	LP SRAM	

图 4-1. 电源域划分



#### 4.1.2 PDBACKUP

PDBACKUP 是五个电源域中最低的，将始终处于工作状态，但器件处于 OFF 位置时除外。当器件处于备用休眠模式时，备用域是唯一供电分区。实时计数器（RTC）位于备用域中，可用于在每次发生 RTC 事件时将器件从 BACKUP 唤醒或切换引脚。

#### 4.1.3 PDTOP

PDTOP 处于工作状态或关闭状态。该域包含外部中断控制器（EIC）和看门狗定时器（WDT）模块，在 BACKUP 或 OFF 下时关闭。

#### 4.1.4 PD0、PD1 和 PD2

PD0、PD1 和 PD2 可以处于工作状态、保持状态或关闭状态中的一种。在 STANDBY 下，所有外设都处于空闲状态，默认情况下，三个电源域设置为保持状态，以便在保留所有逻辑内容的同时实现低功耗。退出 STANDBY 时，电源域将重新设置为工作状态。如果外设在进入 STANDBY 时需要保持工作状态，其电源域将保持工作状态。有关电源域切换的更多信息，请参见 [5.1 支持电源域门控的 SleepWalking](#)。在 BACKUP 或 OFF 下时，电源域处于关闭状态。

**注：** 如果电源域（PDn）处于工作状态，则所有下级域（<PDn）都将处于工作状态。

#### 4.1.5 低功耗模块

为了达到节能目的，TC 和 SERCOM 模块均在 PD0 和 PD1 之间分配。在仅使用 PD0 模块就足够的应用中，可以减少进入 PD1 的需求，从而降低功耗。PD0 中的低功耗模块是 TC4 和 SERCOM5。

**注：** 低功耗 SERCOM 的功能有限。

如图 4-1 所示，SRAM 位于 PD1 和 PD2 中。PD1 中的低功耗 SRAM（LP SRAM）块用于 DMAC 描述符，但也可用于存储数据。如果不经常使能 PD2，则使用 PD1 中的 LP SRAM 来达到节能目的。LP SRAM 的另一个优势是既支持 DMAC 传输，又不会在处于工作模式时减慢访问主 SRAM 的其他总线主器件的速度。

## 4.2 SAM L22 系列器件的电源域

SAM L22 系列器件具有两个电源域（PDTOP 和 PDBACKUP），它们不同于供电域（例如 VDDIO 和 VDDANA）。

有关电源域划分的其他信息，请参见 SAM L22 数据手册中的“外配置汇总”一章。

#### 4.2.1 PDBACKUP

备用电源域（PDBACKUP）始终开启，但关闭休眠模式除外。PDBACKUP 包含 32 kHz 振荡器源、电源控制器、复位控制器、实时计数器和电源管理器。

#### 4.2.2 PDTOP

PDTOP 包含位于内核域中的所有控制器。它在工作模式、空闲模式或待机模式下上电。处于备用或关闭模式时，该域将掉电。

## 4.3 SAM L10 和 SAM L11 系列器件的电源域

SAM L10 和 SAM L11 系列器件具有两个电源域（PDAO 和 PDSW），而不是供电域（例如 VDDIO 和 VDDANA）。有关电源域划分的详细信息，请参见 SAM L10/SAM L11 数据手册中的“外配置汇总”一章。

---

**4.3.1 PDAO**

PDAO 包含位于始终开启域中的所有控制器。它在工作模式、空闲模式或待机模式下上电。

**4.3.2 PDSW**

PDSW 是一个“可切换的电源域”，包含事件系统、通用时钟控制器、主时钟控制器、振荡器控制器、非易失性存储器控制器、DMA 控制器、器件服务单元和 Arm 内核。PDSW 还包含以下可通过中断唤醒器件的外设：SERCOM、定时器、ADC、DAC、OPAMP、CCL 和 PTC。根据用户配置，在待机休眠模式下，可以关闭它来减少功耗泄漏。

## 5. SleepWalking

SleepWalking 功能可支持外设请求时钟以执行任务，无需将 CPU 从 STANDBY 模式唤醒。SleepWalking 是指器件短暂唤醒外设时钟以执行某个任务而无需将 CPU 从 STANDBY 休眠模式唤醒的能力。在 Sleepwalking 任务结束时，器件可以通过中断（来自 SleepWalking 中涉及的外设）唤醒，也可以再次进入 STANDBY 休眠模式。根据时钟源的按需时钟原理，仅 GCLK 时钟上支持 SleepWalking。

SAM L10、SAM L11、SAM L21 和 SAM L22 系列器件支持 SleepWalking 功能。

### 5.1 支持电源域门控的 SleepWalking

在 SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件中，SleepWalking 功能经过扩展，可使电源域在保持状态与工作状态之间切换。这意味着只有当其中的外设需要运行时，电源域才会处于工作状态。要根据事件或 DMA 触发信号应用此功能，必须将电源管理器（PM）中待机配置寄存器中的动态电源门控位（SAM L21 为 STDBYCFG.DPGPD0/1，SAM L10 和 SAM L11 为 STDBYCFG.DPGPDSW）置 1。当 SleepWalking 任务激活电源域时，无需唤醒 CPU 即可完成此操作。任务完成后，器件可以唤醒（发出中断时），也可以返回 STANDBY。

默认情况下，如果电源域中不需要任何活动，则它会在 STANDBY 下自动设置为保持状态。开启电源域相对耗时，并且对于某些应用而言，这种延时可能是不可接受的。之后可以禁止电源域的动态切换，以确保一个或多个电源域始终在 STANDBY 下处于工作状态。此功能使用备用配置寄存器中的电源域配置位组（STDBYCFG.PDCFG）进行配置。SAM L21 的另一个选项是使能链接电源域，以便在 PD0 处于工作状态时激活 PD1，在 PD1 处于工作状态时激活 PD2，或者在 PD0 处于工作状态时激活 PD1 和 PD2。如果 PD0 中的外设激活了 PD1 中的外设，这将有助于缩短延时。电源域的链接在待机配置寄存器中的链接电源域位组（STDBYCFG.LINKPD）中配置。

**注：**

1. 当在 STANDBY 下运行的外设请求时钟源时，性能等级由进入 STANDBY 之前的状态决定。
2. 只有 SAM L10、SAM L11 和 SAM L21 系列器件支持具有电源域门控的 SleepWalking 功能。

## 6. SAM L21 的示例项目

在 Atmel Studio 中，执行以下操作：

转到 *File > New > Example Project ... > SAM L21 Low Power Application > SAM L21 Xplained Pro*（文件 > 新建 > 示例项目... > SAM L21 低功耗应用 > SAM L21 Xplained Pro）。

先决条件：

- Atmel Studio 6.2 Service Pack 2 或更高版本
- Atmel Software Framework 3.21.0 或更高版本
- Atmel Data Visualizer V2.1.212 或更高版本
- 带 Micro-B USB 电缆的 SAM L21 Xplained Pro 评估工具包

注：

1. Xplained Pro 工具包中的跳线位置：I/O——BYPASS 位置，MCU——MEASURE，VBAT SELECT——断开，VCC\_MCU——短接（VCC\_I/O）。
2. 示例项目适用于 SAM L21 Xplained Pro（ATSAML21J18A）和 SAM L21 Xplained Pro（ATSAML21J18B）工具包。
3. 在独立的高级软件框架中，相同的示例项目适用于 GCC 和 IAR 编译器，可从以下位置下载这两个编译器：[http://www.microchip.com/avr-support/advanced-software-framework-\(asf\)](http://www.microchip.com/avr-support/advanced-software-framework-(asf))。

## 7. SAM L22 的示例项目

在 Atmel Studio 中，执行以下操作：

转到 *File > New > Example Project ... > SAM L22 Low Power Application > SAM L22 Xplained Pro*（文件 > 新建 > 示例项目... > SAM L22 低功耗应用 > SAM L22 Xplained Pro）。

先决条件：

- Atmel Studio 7.0.594 或更高版本
- Atmel Software Framework 3.28.10 或更高版本
- Atmel Data Visualizer V2.1.212 或更高版本
- 带 Micro-B USB 电缆的 SAM L22 Xplained Pro 评估工具包

注：

1. Xplained Pro 工具包中的跳线位置：I/O——BYPASS 位置，MCU——MEASURE，VBAT SELECT ——断开。
2. 示例项目适用于 SAM L22 Xplained Pro（ATSAML22N18A 搭配 SLCD1 Xplained Pro）和 SAM L22 Xplained Pro B（ATSAML22N18A 搭配 TSLCD1 Xplained Pro）工具包。
3. 在独立的高级软件框架中，相同的示例项目适用于 GCC 和 IAR 编译器，可从以下位置下载这两个编译器：[http://www.microchip.com/avr-support/advanced-software-framework-\(asf\)](http://www.microchip.com/avr-support/advanced-software-framework-(asf))。

## 8. SAM L10 和 SAM L11 的示例项目

在 Atmel START 中，转到 BROWSE EXAMPLES（浏览示例），查找 SAML10/L11 低功耗示例。此示例演示 SAM L10/L11 的不同低功耗模式，例如空闲模式、待机模式和关闭模式。RTC 用于每 5 秒进入或退出不同的模式。也可以测量工作模式。

使用以下选项来测量当前功耗：

1. 在 Atmel Studio 中使用 Data Visualizer，其中功率分析窗口显示当前功耗，将两个电流测量跳线均置于 MEASURE 位置。
2. 在 J104 上连接一个电流表，并将两个电流测量跳线置于 BYPASS 位置。



---

## Microchip 网站

---

Microchip 网站 <http://www.microchip.com/> 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

---

## 变更通知客户服务

---

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

---

## 客户支持

---

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

---

## Microchip 器件代码保护功能

---

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。这样做的人极有可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心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。

## 法律声明

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，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

## 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 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 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 为 Microchip Technology Incorporated 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、PICKIT 徽标、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 为 Microchip Technology Incorporated 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 是 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 Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-3899-1

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、

POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、 $\mu$ Vision 和 Versatile 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

## **DNV 认证的质量管理体系**

---

### **ISO/TS 16949**

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<sup>®</sup> MCU 和 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup>跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及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。

## 全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
<b>公司总部</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 1-480-792-7200 传真: 1-480-792-7277 技术支持: <a href="http://www.microchip.com/support">http://www.microchip.com/support</a> 网址: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<b>中国 - 北京</b> 电话: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> 电话: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重庆</b> 电话: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 东莞</b> 电话: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 广州</b> 电话: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> 电话: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 南京</b> 电话: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青岛</b> 电话: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> 电话: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 沈阳</b> 电话: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> 电话: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 苏州</b> 电话: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武汉</b> 电话: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> 电话: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 厦门</b> 电话: 86-592-2388138 <b>中国 - 香港特别行政区</b> 电话: 852-2943-5100 <b>中国 - 珠海</b> 电话: 86-756-3210040 <b>台湾地区 - 高雄</b> 电话: 886-7-213-7830 <b>台湾地区 - 台北</b> 电话: 886-2-2508-8600 <b>台湾地区 - 新竹</b> 电话: 886-3-577-8366	<b>澳大利亚 - 悉尼</b> 电话: 61-2-9868-6733 <b>印度 - 班加罗尔</b> 电话: 91-80-3090-4444 <b>印度 - 新德里</b> 电话: 91-11-4160-8631 <b>印度 - 浦那</b> 电话: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> 电话: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 东京</b> 电话: 81-3-6880-3770 <b>韩国 - 大邱</b> 电话: 82-53-744-4301 <b>韩国 - 首尔</b> 电话: 82-2-554-7200 <b>马来西亚 - 吉隆坡</b> 电话: 60-3-7651-7906 <b>马来西亚 - 檳榔嶼</b> 电话: 60-4-227-8870 <b>菲律宾 - 马尼拉</b> 电话: 63-2-634-9065 <b>新加坡</b> 电话: 65-6334-8870 <b>泰国 - 曼谷</b> 电话: 66-2-694-1351 <b>越南 - 胡志明市</b> 电话: 84-28-5448-2100	<b>奥地利 - 韦尔斯</b> 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 <b>丹麦 - 哥本哈根</b> 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 <b>芬兰 - 埃斯波</b> 电话: 358-9-4520-820 <b>法国 - 巴黎</b> 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 <b>德国 - 加兴</b> 电话: 49-8931-9700 <b>德国 - 哈恩</b> 电话: 49-2129-3766400 <b>德国 - 海尔布隆</b> 电话: 49-7131-67-3636 <b>德国 - 卡尔斯鲁厄</b> 电话: 49-721-625370 <b>德国 - 慕尼黑</b> 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 <b>德国 - 罗森海姆</b> 电话: 49-8031-354-560 <b>以色列 - 赖阿南纳</b> 电话: 972-9-744-7705 <b>意大利 - 米兰</b> 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 <b>意大利 - 帕多瓦</b> 电话: 39-049-7625286 <b>荷兰 - 德卢内市</b> 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 <b>挪威 - 特隆赫姆</b> 电话: 47-7288-4388 <b>波兰 - 华沙</b> 电话: 48-22-3325737 <b>罗马尼亚 - 布加勒斯特</b> 电话: 40-21-407-87-50 <b>西班牙 - 马德里</b> 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 <b>瑞典 - 哥德堡</b> 电话: 46-31-704-60-40 <b>瑞典 - 斯德哥尔摩</b> 电话: 46-8-5090-4654 <b>英国 - 沃金厄姆</b> 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
<b>亚特兰大</b> 德卢斯, 乔治亚州 电话: 1-678-957-9614 传真: 1-678-957-1455 <b>奥斯汀, 德克萨斯州</b> 电话: 1-512-257-3370 <b>波士顿</b> 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 1-774-760-0087 传真: 1-774-760-0088 <b>芝加哥</b> 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 1-630-285-0071 传真: 1-630-285-0075 <b>达拉斯</b> 艾迪生, 德克萨斯州 电话: 1-972-818-7423 传真: 1-972-818-2924 <b>底特律</b> 诺维, 密歇根州 电话: 1-248-848-4000 <b>休斯敦, 德克萨斯州</b> 电话: 1-281-894-5983 <b>印第安纳波利斯</b> 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 1-317-773-8323 传真: 1-317-773-5453 电话: 1-317-536-2380 <b>洛杉矶</b> 米申维耶霍, 加利福尼亚州 电话: 1-949-462-9523 传真: 1-949-462-9608 电话: 1-951-273-7800 <b>罗利, 北卡罗来纳州</b> 电话: 1-919-844-7510 <b>纽约, 纽约州</b> 电话: 1-631-435-6000 <b>圣何塞, 加利福尼亚州</b> 电话: 1-408-735-9110 电话: 1-408-436-4270 <b>加拿大 - 多伦多</b> 电话: 1-905-695-1980 传真: 1-905-695-2078			