

## 引言

STM32WB系列的微控制器采用新型结构制造，得益于其高度灵活性、强大的射频和高级外设集，实现了一流的超低功耗性能。它们的工作频率可达64MHz，并实现了在64MHz频率下具有80 DMIPS的性能，由于集成了ART Accelerator™，还同时能保持尽可能小的动态功耗。

STM32WB MCU包括一个低功耗RF专有子系统，该系统具有自己专用的Arm® Cortex®-M0+，以代替Cortex®-M4去执行实时RF通信任务，从而能够在用户和通信任务之间实现最佳功效。

STM32WB MCU具有FlexPowerControl，它提高了功耗模式管理上的灵活性，同时降低了应用的总体功耗。

STM32WB器件嵌入了大量智能执行外设，具有多种先进的低功耗模拟功能，并且有多种外设可使用低功耗模式。得益于批采集子模式（BAM），这些微控制器可在数据与通信外设进行传输时优化功耗，同时其他器件处于低功耗模式。

在STM32L4系列产品的雄厚基础上，STM32WB集成了多种创新，以最大限度地降低不同模式下的功耗，同时保留大部分现有外设，从而能够以几乎相同的功耗预算。从双芯片解决方案（STM32L4 + 低功耗蓝牙/802.15.4）轻松迁移到单芯片解决方案。

STM32WB MCU包括嵌入式SMPS，可在电源电压较高的应用中进一步改善功耗，并降低总体功耗。

得益于其内置内部稳压器和电压量程，无论外部供电电压是多少，器件在活动模式下都能保持尽可能小的消耗。这使得这些器件非常适合电池供电的便携式产品，所需供电电压可低至1.71 V。此外，其多个电压域允许以低电压为产品供电（因而可以降低功耗），同时模数转换器可以更高的电源和参考电压工作，可高达3.6 V。

STM32WB微控制器可支持电池备份域以保持RTC运行，并能支持20个寄存器组（每个寄存器为32位宽）在掉电时能够保持内容。该可选备份电池可在有主电源时充电。

STM32WB器件支持多种主要的低功耗模式，其中每种都有多个子模式选项。这使得设计人员可以在低功耗性能、短启动时间、可用外设集与唤醒源最大数量之间实现最佳折中。

# 目录

<b>1</b>	<b>高效处理</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>FlexPowerControl描述</b> .....	<b>9</b>
2.1	多种低功耗模式 .....	9
2.1.1	低功耗运行和低功耗睡眠模式 .....	9
2.1.2	停止模式 .....	10
2.1.3	待机模式 .....	10
2.1.4	关断模式 .....	10
2.2	多电源和电池备份域 .....	13
2.2.1	SMPS .....	16
2.3	超安全电源监控 .....	16
2.4	一组外设，调整它们可实现低功耗 .....	17
2.5	多功能的时钟管理 .....	22
<b>3</b>	<b>结论</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>版本历史</b> .....	<b>26</b>

## 表格索引

表1.	64 MHz系统时钟下STM32WB55的性能.....	7
表2.	采用SMPS时的STM32WB55性能.....	7
表3.	STM32WB55模式概述.....	11
表4.	所有模式下的特性.....	19
表5.	STM32WB时钟源特性.....	22
表6.	文档版本历史.....	26
表7.	中文文档版本历史.....	26

## 图片索引

图1.	电流消耗vs. Cortex®-M4系统频率 (25 °C) .....	5
图2.	电源分配结构 .....	6
图3.	STM32WB55 - 对于不同存储器配置的电流消耗 .....	7
图4.	STM32WB闪存延迟vs. VCORE范围 .....	8
图5.	低功耗模式可能的转换 .....	13
图6.	电源概述 .....	15

# 1 高能效处理

STM32WB MCU基于采用FPU和DSP指令集的Arm<sup>®(a)</sup> Cortex<sup>®</sup>-M4。

由于使用了关联到其存储器接口的Cortex<sup>®</sup>-M4内核，因而在运行模式下获得了很高的处理性能（以DMIPS/MHz表示）。为了确保实现达64 MHz的高性能工作，STM32WB微控制器嵌入了ART Accelerator<sup>™</sup>，可屏蔽闪存访问等待状态，并且无论系统时钟频率为多少，都可实现1.25 DMIPS/MHz。

通过动态调节内部供电电压来适应工作频率，可获得很高的能量效率，以mA/DMIPS表示。这种方法称为“欠压”。

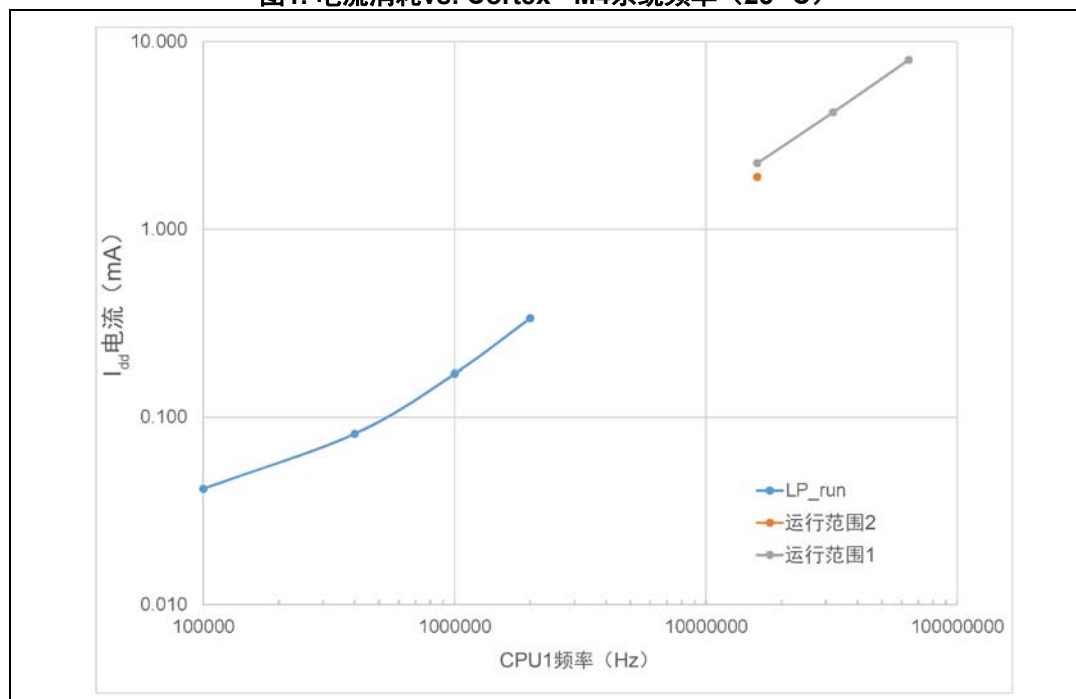
STM32WB MCU提供了两个动态可选电压和频率范围：

1. Range 1支持高达64 MHz的系统频率
2. Range 2支持达16 MHz的系统频率，并且效率提高（比Range 1高了15%）。

当不使用RF时，专用低功耗运行模式（LPRun）使内核可在2 MHz下运行，并且提高了效率，比Range 2高了20%。请注意，在这种情况下无法使用RF，因为它至少在32 MHz下才能运行。

图 1显示了不同运行模式下STM32WB55的典型电流消耗，它是系统频率的函数。

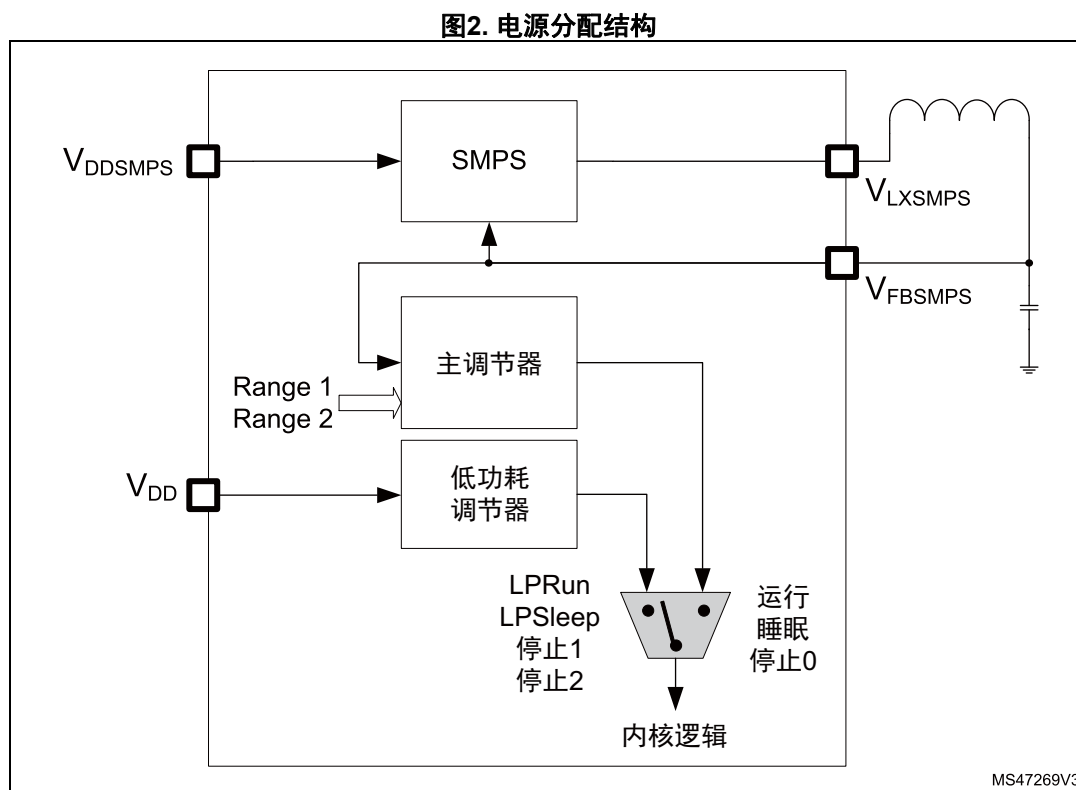
图1. 电流消耗vs. Cortex<sup>®</sup>-M4系统频率（25 °C）



arm

a. Arm是Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地区的注册商标。

图 2显示了不同运行模式下内部LDO稳压器的电源分配。



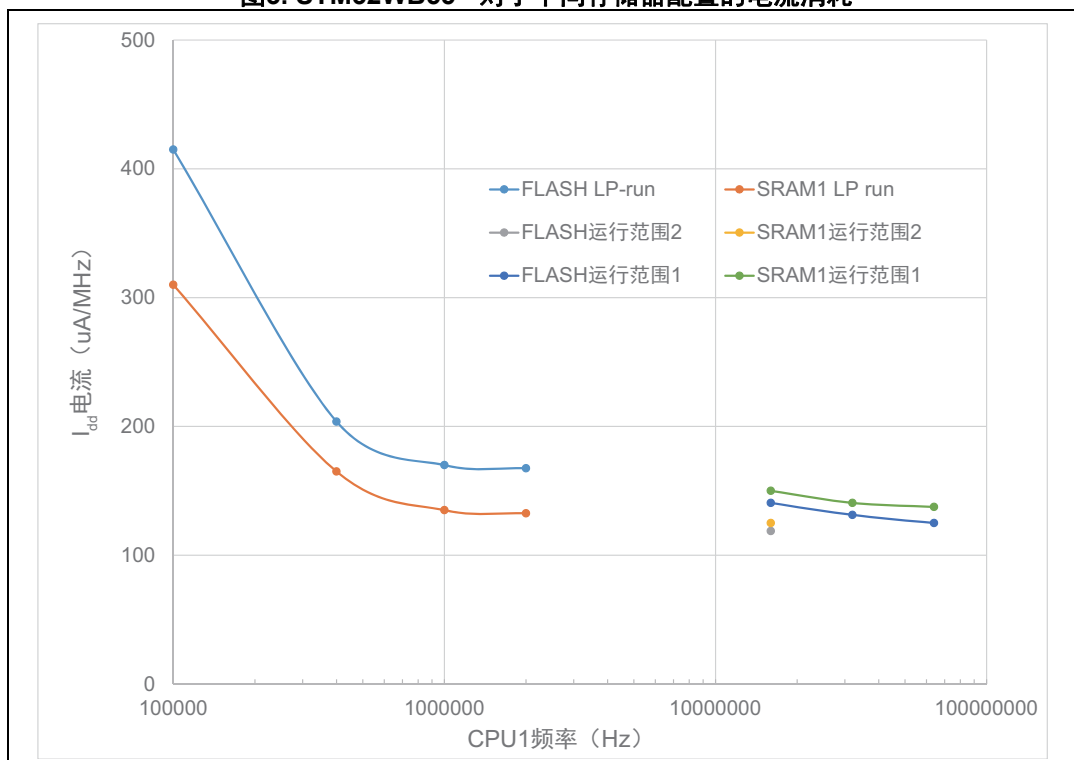
STM32WB微控制器使CPU1 Cortex<sup>®</sup>-M4能够通过内部闪存SRAM1和SRAM2或通过外部Quad-SPI执行代码。

从内部SRAM运行时，电流消耗是最低的。从内部闪存运行时，ART Accelerator<sup>™</sup>减少了访问存储器的次数，因此可降低总电流消耗。请注意，由于Cortex<sup>®</sup>-M0+和Cortex<sup>®</sup>-M4共用相同的闪存，使用RF子系统时无法禁用ART加速器。

图 3显示了STM32WB55对于两种主要存储器配置的电流消耗：

- 从内部闪存执行，ART Accelerator<sup>™</sup>使能；
- 从内部SRAM1执行，闪存禁用。

图3. STM32WB55 - 对于不同存储器配置的电消耗



存储系统中可执行代码和数据的位置不仅影响电消耗，而且影响总体运算性能。作为示例，表 1详细说明了STM32WB55在64 MHz系统时钟下运行一个非常复杂算法时测得的整体性能，例如EEMBC®组织的CoreMark®。

表1. 64 MHz系统时钟下STM32WB55的性能

配置	mA/MHz	CoreMark® 每MHz	CoreMark® 每mA	注释
FLASH ART开启	0.125	3.25	26	高速缓存开启，预取缓冲器关闭
SRAM1	0.117	2.40	20	SRAM1中的代码和数据

借助ART加速器™，几乎可以在Arm®公布的最高效率数据下运行Cortex®-M4。表 2给出了SMPS对相同数据的影响。

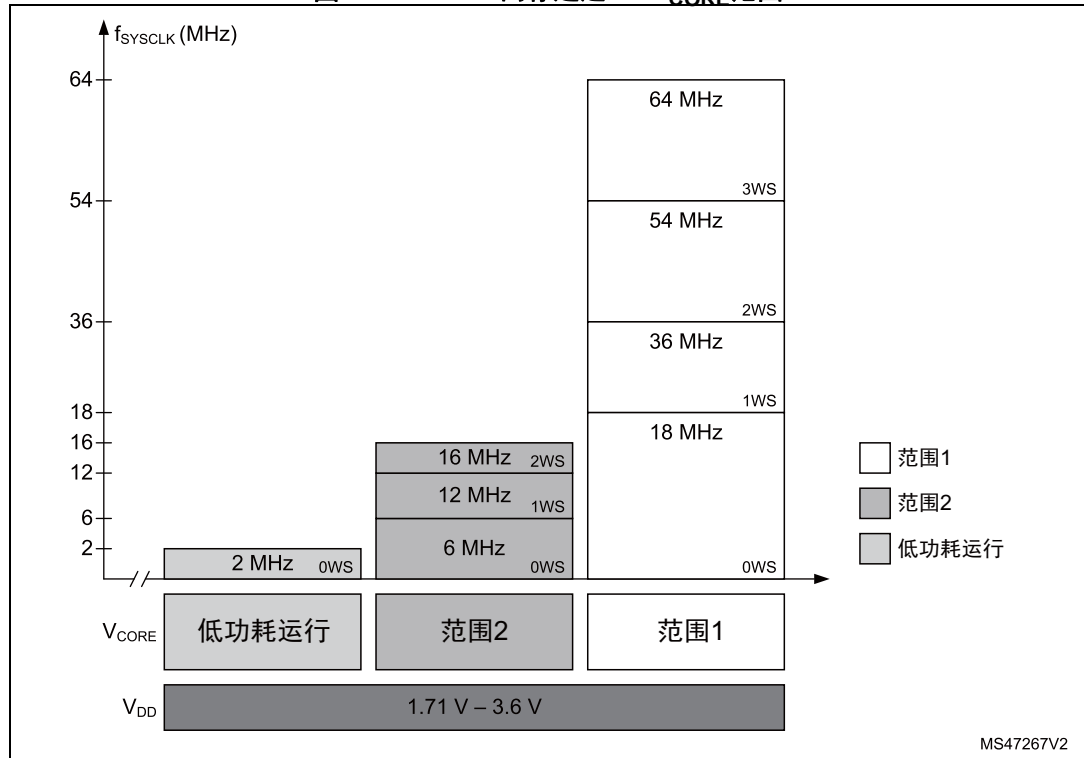
表2. 采用SMPS时的STM32WB55性能

配置	mA/MHz	CoreMark® 每MHz	CoreMark® 每mA
FLASH ART开启	0.077	3.25	42
SRAM1	0.073	2.40	33

如果可能，选择SMPS可提高差不多40%的效率（CoreMark®每mA）。

图 4显示了STM32WB闪存延迟（要被编程到闪存访问控制寄存器中的等待状态数量），它取决于稳压器电压量程范围和系统时钟频率。

图4. STM32WB闪存延迟vs. V<sub>CORE</sub>范围





## 2 FlexPowerControl描述

得益于高灵活性的功率管理、智能外设和结构，FlexPowerControl可降低应用功耗。

STM32WB通过RF子系统和Cortex<sup>®</sup>-M4应用CPU来实现独立的电源状态管理。专用HW机制选择尽可能低的功耗状态。

### 2.1 多种低功耗模式

STM32WB微控制器可实现多种不同的功耗模式，其中7种是低功耗的。

除了这些模式，通过选择不同的时钟源和频率，以及关闭不用的外设的时钟，可调节功耗。

在所有这些方法中，除了关机之外，安全功率监测欠压复位（BOR）和IWDG可保持激活，以保证能够安全运行。

[表 3](#)概括了每种模式的特点并显示了电流消耗，而[图 5](#)则显示了低功耗模式之间的可能转换。

#### 2.1.1 低功耗运行和低功耗睡眠模式

当未使用RF子系统且应用CPU能以低于2 MHz的频率运行时，低功耗运行模式和低功耗睡眠模式可实现最佳功耗性能。

它们为应用提供了具有极低电流消耗的运行和睡眠模式功能，满足这种情形下一些外设不能关闭，或者CPU持续低速工作以使电流变化最小。

已经实现了多种功能来降低电流消耗：

- 内核逻辑由低功耗稳压器供电，以降低静态电流；
- 在低功耗睡眠模式下，可关闭闪存（掉电模式和时钟选通）。当应用处理器从SRAM1执行时，它还可在低功耗运行模式下关闭；
- 系统时钟频率最大限于2 MHz。可选择MSI内部RC振荡器，因为它支持多种频率范围，低功耗睡眠闪存关闭时MCU总消耗很小，在100 kHz可低至48  $\mu$ A。

#### 批采集子模式（BAM）

STM32WB微控制器支持功率高效批采集子模式（BAM），其中数据利用通信外设传输，器件其他部分处于低功耗模式。

这可通过利用以下配置进入睡眠或低功耗睡眠模式来实现：

- 睡眠（或低功耗睡眠）模式下，仅DMA、通信外设和SRAM1或SRAM2时钟使能；

- 如果未使用RF子系统且系统时钟可限制于2 MHz内，则主稳压器关断（以进入低功耗睡眠）。在这种情况下可以关闭Flash存储器。

在低功耗休眠模式下，I2C和USART/LPUART外设仍可以在16 MHz下通过HSI进行时钟控制，从而能以高达1 Mbps的速率通过I2C或USART支持BAM。

### 2.1.2 停止模式

STM32WB产品实现了三个停止模式，具有完全SRAM和外设保持能力，并且由于使用了高达48 MHz的MSI，能够在1  $\mu$ s内唤醒。

在这些停止模式下，所有高速振荡器（HSE，MSI，HSI）都停止，而低速振荡器（LSE，LSI）可保持活动。外设可设置为活动的，需要时可使用HSI时钟，能够在一些特定事件（如UART字符接收或I2C地址识别）下唤醒设备。

### 2.1.3 待机模式

待机模式下，BOR始终使能，这保证了在供电电压低于所选功能阈值时器件将复位。

支持RAM2a保留的待机模式是允许使用RF子系统的最低模式。

在待机模式下可在每个I/O上独立地施加上拉和下拉，这能够保持外部器件配置。

借助某一个（共五个）唤醒引脚、复位引脚或独立看门狗，能够从该模式唤醒。由低速振荡器（LSE或LSI）定时的RTC在此模式下也是起作用的，具有唤醒功能。也可以通过无线电子系统从该模式唤醒。

### 2.1.4 关断模式

在STM32WB器件上实现了关机模式，以延长电池供电应用中的电池寿命。

通过关闭内部稳压器，以及禁用耗电监控，该模式可实现最低电流消耗。借助某一个（共五个）唤醒引脚或复位引脚，能够从该模式唤醒。由低速外部振荡器（LSE）定时的RTC在此模式下也是起作用的，具有唤醒功能。从关断唤醒相当于POR。

**注意：** 在该模式下无法使用RF子系统，因为所有BLE和802.15.4链路参数都将丢失。

表3. STM32WB55模式概述

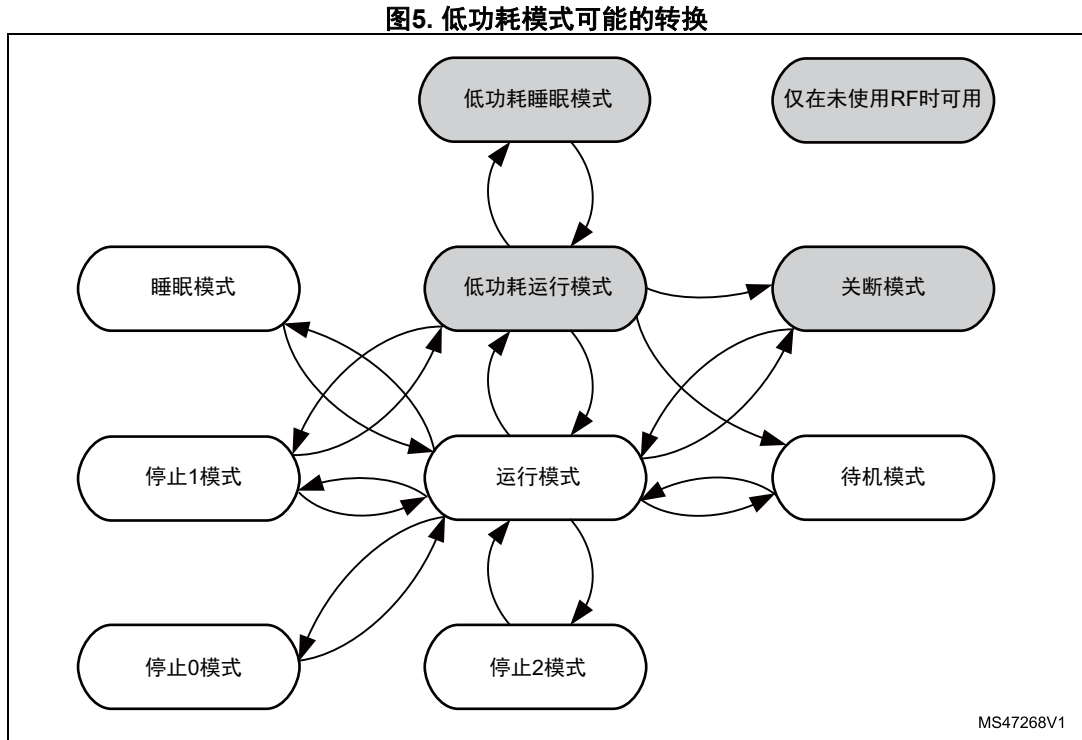
模式	Regulator	CPU1	Flash	SRAM	时钟	DMA和外设	唤醒源	电流消耗	唤醒时间 <sup>(1)</sup>
运行	范围 1	有	开启 <sup>(2)</sup>	开启	任意	全部	N/A	107 $\mu$ A/MHz	N/A
	范围2					除True RNG和USB-FS以外 <sup>(3)</sup>		100 $\mu$ A/MHz	
LPRun	LPR	有	开启 <sup>(5)</sup>	开启	任意, 除了PLL	除RF、True RNG和USB-FS以外	N/A	110 $\mu$ A/MHz	19.5 $\mu$ s
睡眠	范围 1	无	开启	开启 <sup>(4)</sup>	任意	全部	任意中断或事件	41 $\mu$ A/MHz	6个周期
	范围 2					除True RNG和USB-FS <sup>(3)</sup> 以外		46 $\mu$ A/MHz	
LP睡眠	LPR	无	开启 <sup>(5)</sup>	开启 <sup>(4)</sup>	任意, 除了PLL	除RF、True RNG和USB-FS以外	任意中断或事件	45 $\mu$ A/MHz	6个周期
停止 0	范围 1	无	关闭	开启	LSE, LSI, HSE <sup>(6)</sup> , HSI16 <sup>(7)</sup>	RF <sup>(3)</sup> , BOR, PVD, PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) USART1 <sup>(8)</sup> LPUART1 <sup>(8)</sup> I2Cx (x=1、3) <sup>(9)</sup> LPTIMx (x=1、2)、SMPS 所有其他外设都冻结。	复位引脚, 所有I/O、RF、BOR、PVD、PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) USART1 LPUART1 I2Cx (x=1、3) LPTIMx (x=1、2) USB:	100 $\mu$ A	1.7 $\mu$ s
	范围 2								
停止 1	LPR	无	关闭	开启	LSE, LSI, HSE <sup>(6)</sup> , HSI16 <sup>(7)</sup>	RF, BOR, PVD, PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) USART1 <sup>(14)</sup> LPUART1 <sup>(14)</sup> I2Cx (x=1、3) <sup>(15)</sup> LPTIMx (x=1、2) 所有其他外设都冻结。	复位引脚, 所有I/O RF, BOR, PVD, PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) USART1 LPUART1 I2Cx (x=1、3) LPTIMx (x=1、2) USB:	9.0 $\mu$ A, 无RTC 9.3 $\mu$ A, 有RTC	4.7 $\mu$ s

表3. STM32WB55模式概述 (续)

模式	Regulator	CPU1	Flash	SRAM	时钟	DMA和外设	唤醒源	电流消耗	唤醒时间 <sup>(1)</sup>
停止 2	LPR	无	关闭	开启	LSE, LSI	RF, BOR, PVD, PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) USART1 <sup>(14)</sup> LPUART1 <sup>(14)</sup> I2C3 <sup>(9)</sup> LPTIM1 所有其他外设都冻结。	复位引脚, 所有I/O RF, BOR, PVD, PVM RTC、LCD、IWDG COMPx (x=1、2) LPUART1 I2C3 LPTIM1	1.8 $\mu$ A, 无RTC 2.1 $\mu$ A, 有RTC	5.1 $\mu$ s
待机	LPR	无	关闭	SRAM2a 开启 <sup>(10)</sup>	LSE, LSI	RF, BOR, RTC, IWDG 所有其他外设均断电。 I/O配置可为浮空、上拉或下拉	RF、复位引脚 5个I/O (WKUPx) <sup>(11)</sup> BOR、RTC、IWDG	0.72 $\mu$ A, 无RTC 0.85 $\mu$ A, 有RTC	52 $\mu$ s
	关闭			关闭				0.61 $\mu$ A, 无RTC 0.74 $\mu$ A, 有RTC	
关断	关闭	无	关闭	关闭	LSE	RTC 所有其他外设均断电。 I/O配置可为浮空、上拉或下拉 <sup>(12)</sup>	复位引脚 5个I/O (WKUPx) <sup>(11)</sup> 、RTC	0.03 $\mu$ A, 无RTC 0.32 $\mu$ A, 有RTC	250 $\mu$ s

- 除了SMPS不停止的睡眠、LPSleep和停止0模式以外, 使用SMPS时增加了12  $\mu$ s (最大100  $\mu$ s)。
- 仅支持在Range 2电压下进行Flash存储器编程。
- RF子系统无法在BLE模式下运行。
- SRAM1和SRAM2时钟可独立关闭。
- 如果未使用RF子系统, 并且所有程序均通过SRAM来运行 (LPRun模式), 则可以将闪存控制器置于掉电模式。
- 当RF子系统需要RF活动时, 自动使用HSE (32 MHz)。
- 某些外设自动使用HSI16 (16 MHz)。
- U (S) ART和LPUART接收是停止模式下的功能, 并能在开始、地址匹配或接收到帧事件时产生一个唤醒中断。
- I2C 地址检测是停止模式下的功能, 并能在地址匹配时产生一个唤醒中断。
- SRAM1和SRAM2b关闭。
- 具有从待机/关断唤醒能力的 I/O 为: PA0、PC13、PC12、PA2、PC5。
- I/O可配置为内部上拉、下拉或浮空, 但是当退出关机模式时该配置会立即丢失。

图 5描述了不同功率状态之间的允许转换。灰色单元表示无法使用RF子系统的状态。



## 2.2 多电源和电池备份域

STM32WB器件要求1.71 V至3.6 V的 $V_{DD}$ 工作电压电源。

独立电源 ( $V_{DDA}$ 、 $V_{DDUSB}$ ) 可用于特定外设，因此要消除限制条件，以便当使用模拟或USB功能时不需要以高电压来为所有产品供电。以低 $V_{DD}$  电压为MCU供电，可降低低功耗模式的功耗。当应用中未使用由独立电源供电的外设时，这些电源应当连接到 $V_{DD}$ 。

- $V_{DD}$  和  $V_{DDSMPS} = 1.71$  至  $3.6$  V  
 $V_{DD}$  是为I/O、RF子系统、内部调压器和系统模拟信号（如复位、电源管理和内部时钟）供电的外部电源。通过  $V_{DD}$  引脚从外部提供。
- $V_{DDRF} = 1.71$  至  $3.6$  V  
 为RF参考电压供电
- $V_{DDA}$  最小电压：
  - 1.62 V，如果使用了ADC或COMPs；
  - 2.4 V，如果内置参考源需要用于 $V_{REF}$ 。 $V_{DDA}$ 是为A/D转换器和比较器供电的外部模拟电源。
- $V_{DDUSB} = 3.0$ 至 $3.6$  V（使用USB）  
 $V_{DDUSB}$  为外部独立电源，为 USB 收发器供电。

此外，STM32WB器件支持两个电压参考电源：

- $V_{LCD} = 2.5$ 至 $3.6$  V  
LCD ( $V_{LCD}$ ) 的电压参考用来控制玻璃LCD的对比度。它可由外部电源电压或内嵌升压转换器供电，与 $V_{DD}$ 电压独立（如果 $V_{DD} > 2.0$ V，则最高为 $3.6$ V）。 $V_{LCD}$ 与PC3或PB2复用（当LCD不用时，后两者可用作GPIO）。
- $V_{REF+}$   
 $V_{REF+}$ 是ADC的输入参考电压。使能时，它还是内部电压参考缓冲器的输出。 $V_{REF+}$ 引脚，因此内部电压参考不可用于所有封装。当 $V_{REF+}$ 与 $V_{DDA}$ 在一个封装中互相绑定时，内部电压参考缓冲器不可用且必须禁用（关于封装引脚分配说明，请参考数据手册）。

为了在 $V_{DD}$ 掉电时，还能保留备份寄存器的内容，且为RTC工作供电，可将 $V_{BAT}$ 引脚连接到电池或者其他备用电源上：

- $V_{BAT} = 1.55$ 到 $3.6$  V  
当 $V_{DD}$ 不存在时， $V_{BAT}$ 作为RTC、 $32$  kHz LSE外部时钟振荡器和备份寄存器的电源（通过电源开关供电）。当 $V_{DD}$ 存在时，这些外设（RTC，LSE）自动由 $V_{DD}$ 供电，并可通过内部电阻给VBAT上的外部电池充电。

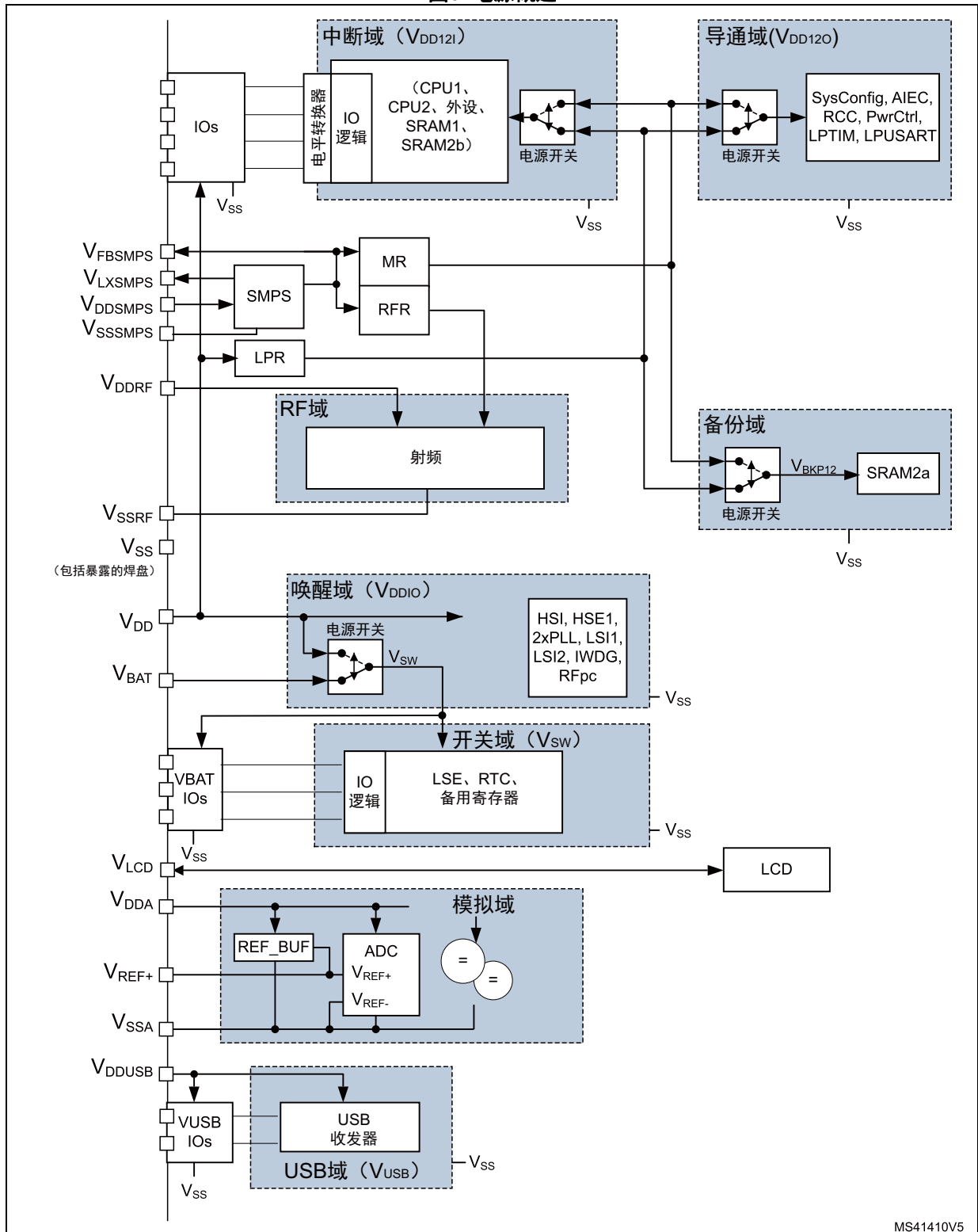
STM32WB微控制器包含一个内置SMPS，可将 $V_{DD}$ 转换为供RF收发器和数字电路使用的最低电压。该SMPS电压 ( $V_{FBSMPS}$ ) 可通过编程来适应RF发射器和数字逻辑要求的所需性能。

使用一个嵌入式线性稳压器来为内部数字电源 $V_{CORE}$ 供电。 $V_{CORE}$ 是为数字外设和存储器供电的电源。得益于内部稳压器和电压调节，无论供电电压是多少，在活动模式下都能保持尽可能小的功耗。

**注意：** 不是所有供电引脚都会出现在封装上，详情请参见数据手册。

**注意：** 当 $V_{DDA}$ 、 $V_{DDUSB}$ 、 $V_{DDLCD}$ 和 $V_{DDRF}$ 使用独立电压源时，上电和掉电电源序列必须符合每个器件数据手册中指定的约束条件。

图6. 电源概述



MS41410V5

### 2.2.1 SMPS

STM32WB采用开关模式电源（SMPS），可在电源电压较高时改善功耗性能。该SMPS为所有逻辑和RF功率级供电。SMPS在设计时采用与RF相同的时钟，以使RF灵敏度性能不会降低。

为了在从运行状态切换到低功耗状态时不浪费能量，SMPS实现了一种开路模式，以便在停止1/2模式和待机模式下将负载保持在其输出电容中。这也可以改善唤醒时间。

STM32WB还具有自动机制，可在 $V_{DD}$ 电压降至一定电平以下时禁用SMPS，可使用BORH检测器以编程形式设置该电平。在这种情况下，如果 $V_{DD}$ 电压再次升高，则应用需要重新启动SMPS。

此SMPS可在运行中接通/断开，比如在某些模拟任务（如ADC采集）需要非常干净稳定的电源时。

系统对SMPS输出电压 $V_{FBSMPS}$ 进行监控，并在电压降至无法让数字部分在整个电压和温度范围内正常工作的电平时自动产生复位。

## 2.3 超安全电源监控

STM32WB微控制器含有一个精细的电源监控模块，具有多个可编程选项。该模块在上电/掉电过程和运行时间阶段中都是激活的。

上电是个关键阶段，这种情况下内部电路各部分必须顺序启动，关键参数（如工厂修调值或选项）必须（甚至要在用户复位阶段之前）从非易失性存储器中恢复出来，进行MCU初始化。这期间 $V_{DD}$ 可能被来自电池接入点或因弱电源产生的故障而改变。

超安全BOR电路能够确保只要 $V_{DD}$ 超过所选阈值就释放复位，而不论 $V_{DD}$ 上升阶段的斜率是多少，因此程序运行开始时该电路处于其正常工作状态中。当 $V_{DD}$ 降低至低于选定阈值时，产生复位。根据存储在闪存选择字节的数值，有五个阈值可供选择。BOR最小阈值为1.71 V，保证了器件在高于1.71 V时退出复位，以便能够以 $1.8 V \pm 5\%$ 的电压来为MCU供电。

BOR在所有模式（除了关机模式外）中均使能。关机模式下电源监测禁用，因此在关机模式下，无 $V_{DD}$ 时不支持切换到 $V_{BAT}$ 域（反之亦然）。

监控SMPS输出电压，以确保器件具有可维持操作的适当电压。如果 $V_{FBSMPS}$ 降至1.2 V以下，则在工作模式下（关机、待机和停止2除外）将产生HW复位。

此外，可使用一个7级可编程电压检测器（PVD）在发生压降时生成预先中断。

最后，可通过（将其）与固定电压阈值相比较，来监测独立电源（ $V_{DDA}$ 和 $V_{DDUSB}$ ），并在电源低于阈值时产生中断。



PVD和PVM可从Stop模式中唤醒。

## 2.4 一组外设，调整它们可实现低功耗

需要特别注意一些外设，因为它们本身高能耗，或因为它们始终上电。

- STM32WB包含一个RF子系统，该系统可自动与功耗模式选择配合。在由LSI2或LSE低功率振荡器所驱动的预定义时间，RF子系统唤醒器件，以执行RF链路操作。完成操作后自动返回先前的低功耗模式。
- STM32WB嵌入了多个12位/ 4.26 Msps ADC。如果保持上电，这种准确的超快转换器可能会危害蓄电池的寿命。由于ADC功耗与采样频率（大约200  $\mu\text{A}$  / Msps）近似成比例，从功耗角度看，应用可以在两种解决方案之中进行选择，要么进行低速采样以限制最大电流，要么最高速率采样以便能够快速进入超低功耗模式。

当进行慢速采样时，ADC自身功耗可能降至几十 $\mu\text{A}$ ，大大限制了最大电流。当电源提供有限的电流时，这可能是强制的。如果这段时间内CPU没有其他任务要执行，那么坏处可能是相比处于超低功耗模式（停止或待机）的时间，处于运行或睡眠模式（或者是低功耗运行或低功耗睡眠模式）的时间增加了。

多种外设具有先进功能，即使在停止模式下（此模式下系统时钟停止，主振荡器和存储器掉电）也能工作。

- 可用一对超低功耗比较器来监测电流降至350 nA时的模拟电压。一旦外部电压达到所选阈值，这两个比较器就能唤醒STM32WB，并且它们可以一起组成一个窗口比较器。其中一个比较器具有轨到轨输入能力，并且其输出可重定向到定时器以供一般用途使用。
- RTC外设提供了具有两个报警（闹铃）的时钟/日历，包括一个周期性唤醒单元和多个特殊应用功能（例如时间戳、篡改检测.....）。它能够在最低功耗模式（关机，该模式下大部分芯片是断电的）下保持使能，并能在譬如发生报警或检测到篡改时唤醒全部MCU电路。它还含有最多80字节的备份寄存器，在退出待机模式时用来存储上下文信息，或当它们有篡改检测保护和读出存储保护时，可存储敏感信息。该外设采用异步设计技术来设计，可以最小化其功耗。

RTC可由两个低功耗低速时钟来计时：

- LSE：外部32.768 kHz石英振荡器，支持四种功耗模式，并具有驱动能力；
- LSI1：不要求高精度时，RTC可由内部32 kHz振荡器计时，具有极低的功耗。
- 由于具有低电流消耗、价格低廉且易于定制，玻璃LCD是低功耗应用中最常见的显示设备之一。STM32WB微控制器包含了一个通用的LCD控制器，能够驱动具有多达8条公用线和40个区段（或4条线，44个区段）的显示设备，具有单独选择I/O端口（为了最大化利用芯片可选功能而被分配给LCD）的能力。它还控制着可选内部升压转换器，以在大范围的 $V_{DD}$ 值下维持LCD对比度，并且功耗低至5  $\mu\text{A}$ （不包括LCD消耗）。

- 低功耗定时器（LPTIM）是一个16位定时器，可从降低功耗的终极发展中受益。由于LPTIM的时钟源具有多样性，因此无论选择哪种功耗模式，都能够保持运行。即使没有内部时钟源，LPTIM也能运行，鉴于这一点，可将其用作“脉冲计数器”，这种脉冲计数器在某些应用中十分有用。此外，LPTIM还能将系统从低功耗模式唤醒，因此非常适合实现“超时功能”，而且功耗极低。LPTIM引入了一个灵活的时钟方案，该方案能够提供所需的功能和性能，同时还能最大程度地降低功耗。
- 低功耗通用异步收发器（LPUART）是一种UART，允许有限功耗下双向UART通信。仅需32.768 kHz LSE时钟即可进行高达9600 baud的UART通信。当LPUART由与LSE时钟不同的时钟源计时，可以达到更高的波特率。即使当MCU处于Stop模式，能耗极低时，LPUART也会等待UART帧的到来。

从停止模式唤醒时，有多种唤醒源可选：

  - 地址匹配时唤醒
  - 检测到Start位时唤醒
  - 接收到字节时唤醒。
- 被寻址时，I2C能够从停止模式中唤醒MCU（APB时钟关断）。支持所有寻址模式。对于I2CCLK，必须选择HSI振荡器作为时钟源，以便从停止中唤醒。停止模式下，关闭HSI。当检测到START时，I2C接口将HSI接通，并延长SCL使其处于低电平直到唤醒HSI。HSI随后用来接收地址。地址匹配的情况下，MCU唤醒时间内，I2C延长SCL使其处于低电平。当软件清除ADDR标志时，此延长被释放，传输正常进行。如果地址不匹配，HSI再次关断，MCU不被唤醒。
- 当USART时钟为HSI或LSE时，USART能够将MCU从Stop0/1模式中唤醒。有多种从Stop0/1模式中唤醒的源可供选择：
  - 地址匹配时唤醒
  - 检测到Start位时唤醒
  - 接收到字节时唤醒。
- USB可利用这些事件从Stop0/1模式中唤醒：
  - 从挂起中恢复
  - 连接检测协议事件

表 4总结了所有可用模式下的外设特性。灰色单元格中详细说明了唤醒能力。

表4. 所有模式下的特性<sup>(1)</sup>

外设	运行Range 1	运行Range 2	睡眠	低功耗运行	低功耗睡眠	停止1/停止2		停止 2		待机		关断		VBAT
						-	唤醒能力	-	唤醒能力	-	唤醒能力	-	唤醒能力	
CPU1	Y		-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CPU2	Y		-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
低功耗蓝牙, 802.15.4	Y	Y <sup>(2)</sup>	Y	-	-	Y	Y	Y	Y	Y <sup>(3)</sup>	Y <sup>(3)</sup>	-	-	-
闪存 (高达1 MB)	O <sup>(4)</sup> (5)		O <sup>(4)</sup>	O <sup>(4)</sup>	O <sup>(4)</sup>	R	-	R	-	R	-	R	-	R
SRAM1 (高达192 KB)	Y		Y <sup>(6)</sup>	Y	Y <sup>(6)</sup>	R	-	R	-	-	-	-	-	-
SRAM2a (32 KB)	Y		Y <sup>(6)</sup>	Y	Y <sup>(6)</sup>	R	-	R	-	O <sup>(7)</sup>	-	-	-	-
SRAM2b (32 KB)	Y		Y <sup>(6)</sup>	Y	Y <sup>(6)</sup>	R	-	R	-	-	-	-	-	-
Quad-SPI	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
备份寄存器	Y		Y	Y	Y	R	-	R	-	R	-	R	-	R
欠压复位 (BOR)	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	-
用于旁路的欠压SMPS (BORH)	O		O	O	O	O	O <sup>(8)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
可编程电压检测器 (PVD)	O		O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
外设电压监测器PVMx (x=1, 2)	O		O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
SMPS	O		O	O	O	O <sup>(9)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
DMA	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
高速内部时钟 (HSI16)	O		O	O	O	(10)	-	(10)	-	-	-	-	-	-
高速外部 (HSE) <sup>(11)</sup>	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
低速内部时钟 (LSI1或LSI2)	O		O	O	O	O	-	O	-	O	-	-	-	-
低速外部 (LSE)	O		O	O	O	O	-	O	-	O	-	O	-	O
多速内部 (MSI) <sup>(12)</sup>	48	24	O	48	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLLx VCO最大频率	344	128	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
时钟安全系统 (CSS)	O		O	O	O	O	O <sup>(13)</sup>	O	O <sup>(13)</sup>	-	-	-	-	-
LSE 上的时钟安全系统	O		O	O	O	O	O	O	O	O	O	-	-	-
RTC/自动唤醒	O		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
RTC 篡改引脚的数量	3		3	3	3	3	O	3	O	3	O	3	O	3
LCD	O		O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-

表4. 所有模式下的特性<sup>(1)</sup> (续)

外设	运行Range 1	运行Range 2	睡眠	低功耗运行	低功耗睡眠	停止1/停止2		停止 2		待机		关断		VBAT
						-	唤醒能力	-	唤醒能力	-	唤醒能力	-	唤醒能力	
USB FS	O	-	O	-	-	-	O	-	-	-	-	-	-	-
USART1	O		O	O	O	O <sup>(14)</sup>	O <sup>(14)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
低功耗 UART (LPUART1)	O		O	O	O	O <sup>(14)</sup>	O <sup>(14)</sup>	O <sup>(14)</sup>	O <sup>(14)</sup>	-	-	-	-	-
I2C1	O		O	O	O	O <sup>(15)</sup>	O <sup>(15)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
I2C3	O		O	O	O	O <sup>(15)</sup>	O <sup>(15)</sup>	O <sup>(15)</sup>	O <sup>(15)</sup>	-	-	-	-	-
SPIx (x=1, 2)	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAI1	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADC1	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VREFBUF	O		O	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-
COMPx (x=1, 2)	O		O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
温度传感器	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
定时器TIMx (x=1, 2, 16, 17)	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
低功耗定时器1 (LPTIM1)	O		O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
低功耗定时器2 (LPTIM2)	O		O	O	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-
独立看门狗 (IWDG)	O		O	O	O	O	O	O	O	O	O	-	-	-
窗口看门狗 (WWDG)	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SysTick 定时器	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
触摸感应控制器 (TSC)	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
真随机数发生器 (True RNG)	O	-	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AESx (x=1, 2) 硬件加速器	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PKA	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CRC 计算单元	O		O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GPIOs	O		O	O	O	O	O	O	O	<sup>(16)</sup> 5 个引脚	<sup>(17)</sup> 5 个引脚	-	-	-

- 图例: Y =支持 (使能)。O =可选 (默认禁用, 可软件使能), R = 保留数据, - =不可用。
- 此模式下不支持BLE。
- 仅以SRAM2a保留模式待机。
- 闪存可配置为断电模式。默认情况下, 它不是断电模式。
- 闪存编程仅适用于Range 1电压, 不适用于Range 2电压和低功耗模式。



6. SRAM时钟可选通打开或关闭。
7. 当PWR\_CR3寄存器中的RRS位置1时，SRAM2a内容保留。
8. 仅在启用SMPS时才处于STOP0模式。
9. 仅限停止0。在低功耗操作期间，SMPS自动切换至旁路或开路模式。
10. 一些能够从停止模式唤醒的外设可请求将 HSI16 使能。在这种情况下，HSI16 由外设唤醒，并且仅提供时钟信号给请求它的外设。当外设不再需要 HSI16 时，HSI 将自动关闭。
11. 根据执行RF操作（Tx或Rx）的需要，HSE可用于RF子系统。
12. MSI最大频率。
13. 在射频使用，同时HSE失效的情况下。
14. UART 和 LPUART 接收在停止模式下工作，并能在开始、地址匹配或接收到帧事件时产生一个唤醒中断。
15. I2C 地址检测在停止模式下工作，并能在地址匹配时产生一个唤醒中断。
16. 待机模式下，I/O 可配置为内部上拉、下拉或浮空。
17. I/O 在关断模式中可配置为内部上拉、下拉或浮空，但是当退出关断模式时该配置会丢失。

## 2.5 多功能的时钟管理

复位和时钟控制器（RCC）外设管理STM32WB微控制器的7个可用时钟源。

两个外部振荡器使应用能获得高精度：

- 对于RF操作，必须使用HSE时钟（32 MHz的高速外部时钟），HSE 还通常用来馈送PLL，并能产生高达64 MHz的CPU时钟频率，以及USB控制器和音频时钟所需的独立频率。
- LSE（典型的32.768 kHz低速外部时钟）一般用于为实时时钟（RTC）、RF子系统提供低功耗时钟源，同时也能用作LCD时钟。

对于多种不同的任务，有5个内部振荡器可供选择：

- LSI1时钟（32 kHz低速内部时钟）是超低功耗时钟源，能够馈送实时时钟（精度有限）、LCD控制器和独立看门狗
- 在低限制应用中，LSI2可用于代替LSE进行RF成帧。该振荡器的频率不准确，但其抖动特性非常低，适用于RF协议。
- HSI时钟（16 MHz高速内部时钟）是高速电压补偿振荡器。
- MSI时钟（100 kHz至48 MHz多种速率内部时钟）是振荡器，具有可调的频率和低电流消耗。它的工作电流与频率成比例，以便最小化内部振荡器在低CPU频率下的功耗开销。配置为PLL模式时，该振荡器利用LSE自动校准，能够实现高精度。
- RC48可用时，利用时钟恢复系统（HSI48）：内部48 MHz时钟源（HSI48）可用于驱动USB或真RNG外设。此时钟可在MCO上输出。

表 5总结了各种振荡器的特性和用途。

表5. STM32WB时钟源特性<sup>(1)</sup>

时钟源	用途	频率	功耗 (典型值)	精度	修调	
					出厂	用户
HSE	用于RF、CPU、LCD和RTC的主时钟	32.000 MHz	260 $\mu$ A	取决于晶振，低至数ppm	NA	有 (可选)
LSE	RTC和LCD USART, LPUART, LPTIM独立 时钟	32.768 kHz (典型值)	250 nA	取决于晶振，低至数ppm	不适用	
HSI	主时钟 外设独立时钟	16 MHz	150 $\mu$ A	典型值 $\pm$ 0.8 % 在-10至+85 $^{\circ}$ C范 围内  在1.62至3.6 V区 间上，典型值为 +0.1/-0.2 %	有	有

表5. STM32WB时钟源特性<sup>(1)</sup> (续)

时钟源	用途	频率	功耗 (典型值)	精度	修调	
					出厂	用户
MSI	主时钟	100 kHz 200 kHz 400 kHz 800 kHz 1 MHz 2 MHz 4 MHz 8 MHz 16 MHz 24 MHz 32 MHz <sup>(2)</sup> 48 MHz <sup>(2)</sup>	0.6 $\mu$ A 0.8 $\mu$ A 1.2 $\mu$ A 1.9 $\mu$ A 4.7 $\mu$ A 6.5 $\mu$ A 11 $\mu$ A 18.5 $\mu$ A 62 $\mu$ A 85 $\mu$ A 110 $\mu$ A 155 $\mu$ A	默认模式: 在-10至+85 °C区 间上, 典型值为 +1.5/-1 %  在1.62至3.6 V区 间上, 对于16至48 MHz频率, 典型值为 +1.5/-5.5 %  PLL模式: 大于0.25 %	有	有
LSI1	RTC、LCD 和IWDG	32 kHz	110 nA	典型值 $\pm$ 1.5 % 在-40至+125 °C 范围内  在1.62至3.6 V区 间上, 典型值为 +0.5/-1.5 %	有	无
LSI2	RF	~32 kHz	200 nA	低抖动	有	无
HSI48	USB, RNG	48 MHz	380 nA	最大值 $\pm$ 3 % 在15至85 °C范围 内 $V_{dd}$ 3.0至3.6 V  最大值 $\pm$ 4.5 % 在-40至+125 °C 范围内 $V_{dd}$ 1.65至3.6 V	有	USB PLL

1. 初步特性仅供参考。有关详细的电气特性, 请参考产品数据手册。

2. 仅在Range 1上支持。

此外, STM32WB微控制器嵌入了两个PLL, 每个都具有多达3个独立输出, 并可由HSI、HSE或MSI馈送。这六个输出可分别配置为:

- 系统时钟
- ADC接口时钟
- USB、真RNG时钟
- 串行音频接口SAI1时钟

这可消除外设在系统时钟上的限制条件。许多其他外设都可以有独立于系统时钟的时钟: USART、LPUART、I2Cx(x=1,3)和LPTIMx(x=1,2)接收独立时钟。举例来说, 这可降低系统和APB总线频率, 并保持通信外设波特率不变, 与系统时钟频率独立。

在运行和低功耗运行模式下, 所有外设时钟可单独使能或禁用。

在睡眠和低功耗睡眠模式下, 所有外设时钟也可单独使能或禁用。

尽管HSI和MSI是工厂修调的，但它们能在运行时间内进一步修调0.5%个单位，以补偿因温度和电压变化引起的频率偏移。

当应用中存在LSE时，MSI可利用LSE（PLL模式配置）自动校准，从而可能长期达到LSE精确度。该模式可提供USB时钟，具有器件模式中运行所要求的精确度。

而且，当MCU从Stop模式退出时，系统时钟在任意频率范围内均可配置为HSI或MSI。这允许在48 MHz时直接退出停止模式，无需等待PLL启动时间。



### 3 结论

本应用笔记中介绍的STM32WB器件的主要特性展示了该微控制器系列在降低嵌入式通信系统电流消耗方面的优势。

除了具有与STM32L4超低功耗系列相同的特性以外，STM32WB微控制器还在无损功耗性能的情况下提供了很高的处理性能。它们完善了STM32产品组合，保持了与其他STM32器件的兼容性。

STM32WB系列具有与RF专有低功耗子系统相关的丰富外设组合，使用户能够覆盖广泛的应用，同时低功耗模式为即时调整任意任务的功耗提供了更大的灵活性。

这为现在和未来一直更环保的应用带来了更长的工作寿命。

## 4 版本历史

表6. 文档版本历史

日期	版本	变更
2018年9月14日	1	初始版本。
2019年2月21日	2	文档分类由限于ST公司变为公开发布。

表7. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2021年7月13日	1	中文初始版本。

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。若需 ST 商标的更多信息，请参考 [www.st.com/trademarks](http://www.st.com/trademarks)。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2021 STMicroelectronics - 保留所有权利