

---

**从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列微控制器**

---

**前言**

对于 STM32 微控制器应用的设计人员来说，能够轻松地用同一产品系列中的微控制器替换另一个型号是非常重要的。常常需要将应用移植到不同的处理器上，比如当产品需求增加时，需要更大的存储器空间或者增加 I/O 的数量。另外一方面，为了降低成本也可能是转向更小的元件和缩小 PCB 面积。

本应用笔记帮助分析将现有设计从 STM32F401/411 系列产品移植到 STM32L4 系列产品所需的步骤。它汇集了最重要的信息，并且列出了需要处理的关键方面。

本文档列出了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列产品可用的“全套”功能（根据其产品型号，一些产品可能具有较少的功能）。

为了将应用移植到 STM32L4 系列产品，需要考虑三个方面：硬件移植，外设移植和固件移植。

为了充分利用本应用笔记中的信息，用户应当熟悉 STM32 微控制器文档（可在 [www.st.com](http://www.st.com) 上获取），并特别关注：

- STM32F401/411 系列参考手册：
  - RM0368（STM32F401xB/C 和 STM32F401xD/E）
  - RM0383（STM32F411xC/E）
- STM32F401/411 系列数据手册。
- STM32L4 系列参考手册：
  - RM0351（STM32L4x6）
- STM32L4 系列数据手册。

# 目录

<b>1</b>	<b>STM32L4 系列概览</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>硬件移植</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>自举模式选择</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>外设移植</b> .....	<b>10</b>
4.1	STM32 产品交叉兼容性 .....	10
4.2	存储器映射 .....	12
4.3	DMA .....	15
4.4	中断 .....	19
4.5	RCC .....	22
4.5.1	VCORE 范围与性能 .....	24
4.5.2	外设访问配置 .....	26
4.5.3	外设时钟配置 .....	27
4.6	PWR .....	29
4.7	RTC .....	33
4.8	SYSCFG .....	34
4.9	GPIO .....	34
4.10	EXTI 源选择 .....	35
4.11	闪存 .....	35
4.12	U(S)ART .....	37
4.13	I2C .....	38
4.14	SPI/I2S/SAI .....	40
4.15	CRC .....	43
4.16	USB OTG FS .....	45
4.17	ADC .....	46
<b>5</b>	<b>版本历史</b> .....	<b>48</b>

## 表格索引

表 1.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列的引脚分配区别 (QFP) .....	6
表 2.	自举模式 .....	8
表 3.	自举程序接口 .....	8
表 4.	STM32F401/411 系列与 STM32L4 系列的 STM32 外设兼容性分析 .....	10
表 5.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间外设地址映射的区别 .....	12
表 6.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 DMA 的区别 .....	15
表 7.	从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列 DMA 请求区别 .....	15
表 8.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间中断向量的区别 .....	19
表 9.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 RCC 的区别 .....	22
表 10.	STM32L4 的性能与 VCORE 范围 .....	24
表 11.	CPU 时钟 (HCLK) 频率对应的等待周期数 (STM32F401xB/C 和 STM32F401xD/E) .....	24
表 12.	CPU 时钟 (HCLK) 频率对应的等待周期数 (STM32F411xC/E) .....	24
表 13.	用于外设访问配置的 RCC 寄存器 .....	26
表 14.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 PWR 的区别 .....	30
表 15.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 RTC 的区别 .....	33
表 16.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 SYSCFG 的区别 .....	34
表 17.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 EXTI 的区别 .....	35
表 18.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 FLASH 的区别 .....	35
表 19.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 U(S)ART 的区别 .....	37
表 20.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 I2C 的区别 .....	38
表 21.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 SPI 的区别 .....	40
表 22.	从 I2S 移植到 SAI .....	41
表 23.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 CRC 的区别 .....	44
表 24.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 USB OTG FS 的区别 .....	45
表 25.	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 ADC 的区别 .....	46
表 26.	文档版本历史 .....	48
表 27.	中文文档版本历史 .....	48

## 图片索引

图 1.	LQFP100 兼容板设计 .....	7
图 2.	LQFP64 兼容板设计 .....	7
图 3.	STM32L4 系列 SAI 主模式时钟产生（如需要 MCLK） .....	43

# 1 STM32L4 系列概览

STM32L4 系列产品实现了超低功耗、性能、存储空间、外设和低成本的完美组合。

尤其是，STM32L4 系列产品允许进行高频率 / 高性能操作，包括 ARM® Cortex®-M4 @80 MHz，以及通过自适应实时存储加速器优化的闪存访问（ART Accelerator™）。

STM32L4 系列提高了动态模式下的低功耗效率（ $\mu\text{A}/\text{MHz}$ ），同时在多种可用的低功耗模式下仍能实现极低的静态功耗。

每个产品的可用功能和封装的详细列表可见于其各自的数据手册。

相比于 STM32F401/411，STM32L4 系列产品有更多具有先进功能的外设。

- 高级加密硬件加速器（AES）
- 触摸感应控制器（TSC）
- 控制器局域网 (bxCAN)
- 单线协议接口（SWPMI）
- 串行音频接口 (SAI)
- 低功耗 UART（LPUART）
- 红外接口（IRTIM）
- 低功耗定时器 (LPTIM)
- 液晶显示控制器（LCD）
- 数字滤波器，用于  $\Sigma \Delta$  调制器（DFSDM）
- 运算放大器（OPAMP）
- 电压参考缓冲器（VREFBUF）
- 具有低功耗采样和保持功能的数字模拟转换器（DAC）
- QuadSPI 接口（QUADSPI）
- 灵活存储控制器（FMC）
- 防火墙（FW）
- 附加 SRAM2（32 KB），待机模式下可保持数据
- 闪存上双存储区自举和 8 位 ECC

还提供了优化的功耗和丰富的低功耗模式。

## 2 硬件移植

STM32F401/411 系列中的 WLCSP 封装与 STM32L4 系列中的 WLCSP 封装是不相同的（两种产品具有不同的晶片尺寸）。

只有 LQFP64、LQFP100 封装在两种系列产品中均提供，STM32F401/411 系列的其他封装在 STM32L4 系列中不提供。

超低功耗 STM32L4 系列和 STM32F401/411 系列产品具有高度的引脚兼容性。大部分外设可共享两个系列产品的相同引脚。

从 STM32F401/411 系列到 STM32L4 系列的转换之所以简单，是因为只有几个引脚受到影响，参见下面的表 1：

**表 1. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列的引脚分配区别（QFP）**

STM32F401/411 系列			STM32L4 系列			
QFP64	QFP100	引脚	QFP64	QFP100	QFP144	引脚
-	19	VDD	-	19	30	VSSA
30	48	VCAP1	30	48	-	PB11
-	73	VCAP2	-	73	106	VDDUSB
48	-	VDD	48	-		VDDUSB <sup>(1)</sup>

1. VDDUSB 引脚可外部连接到 VDD。

### STM32F401/411 系列板移植到 STM32L4 系列板的建议

引脚 VDD (QFP 100 上的引脚 19) 在 STM32L4 系列产品中被用作 VSSA 。

专用  $V_{DDUSB}$  电源用于 STM32L4 系列中。它应当连接到引脚 VDDUSB (QFP64 上的引脚 48, QFP100 上的引脚 73)。STM32F401/411 系列中该引脚用于 VCAP2 (QFP64) (STM32L4 系列不需要) 或 VDD (QFP100)。

STM32F401/411 系列中引脚 VCAP1、VCAP2 通过外部电容来稳定调压器, 而 STM32L4 系列中不需要 (这些引脚)。这些引脚现在映射到 PB11 和 VDDUSB 上 (见 [表 1](#))。

下图显示了从 STM32F4 系列移植到 STM32L4 系列的板设计示例。

图 1. LQFP100 兼容板设计

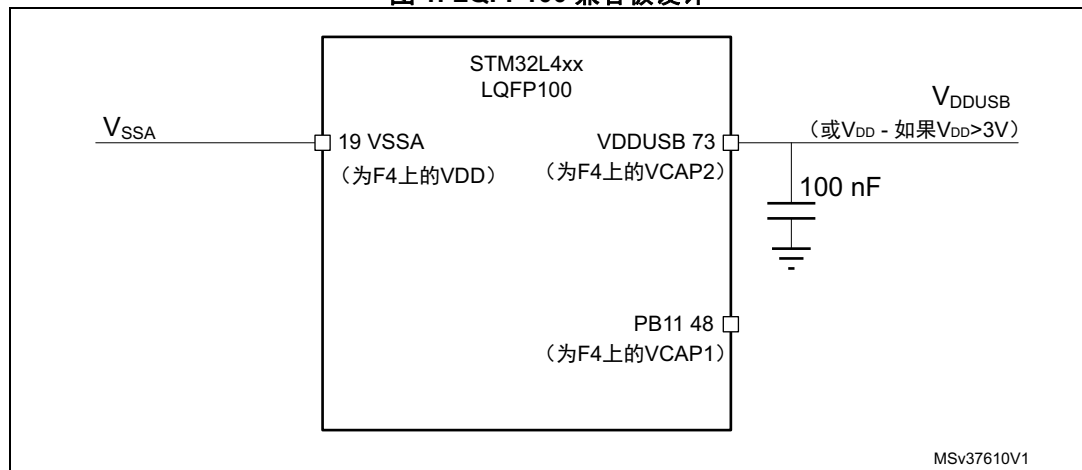
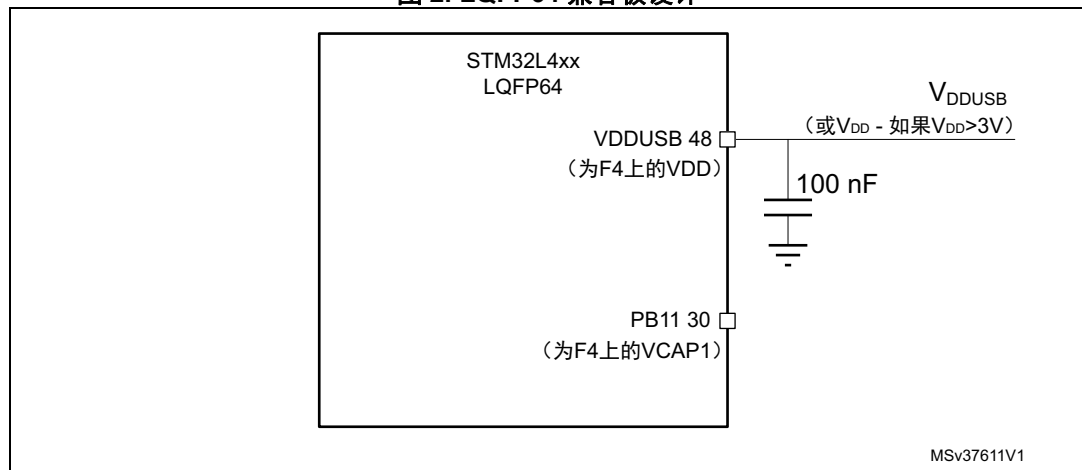


图 2. LQFP64 兼容板设计



### 3 自举模式选择

STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中选择自举模式的方式不同。在 STM32F401/411 系列上，利用两个引脚来选择自举模式。STM32L4 系列中，利用一个引脚和 nBOOT1 选项位（位于存储地址 0x1FFF7800 上的用户选项字节中）来选择自举模式。对于 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列产品，自举模式可在这三个选项中选择：从主闪存自举，从 SRAM 自举或从系统存储器自举。

表 2 总结了选择自举模式的不同配置。

表 2. 自举模式

STM32L4 系列 / STM32F401/411 系列 自举模式选择		自举模式	自举空间
BOOT1 <sup>(1)</sup>	BOOT0		
x	0	主 Flash	选择主 Flash 作为自举空间
0	1	系统存储器	选择系统存储器作为自举空间
1	1	嵌入式 SRAM	选择嵌入式 SRAM 作为自举空间

1. BOOT1 的值为 nBOOT1 选项位取反。

#### 嵌入式自举程序

嵌入式自举程序位于片内引导程序中，由 ST 在生产阶段编程。它用于通过以下串行接口重新编程 Flash（详细信息请参考 AN2606）：

表 3. 自举程序接口

外设	引脚	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
DFU	USB_DM (PA11) USB_DP (PA12)	X	X
USART1	USART1_TX (PA9) USART1_RX (PA10)	X	X
USART2	USART2_TX (PD5) USART2_RX (PD6)	X	-
	USART2_TX (PA2) USART2_RX (PA3)	-	X
USART3	USART3_TX (PB10) USART3_RX (PB11)	X	-
USART3	USART3_TX (PC10) USART3_RX (PC11)	X	X
I2C1	I2C1_SCL (PB6) I2C1_SDA (PB7)	X	X



表 3. 自举程序接口 (续)

外设	引脚	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
I2C2	I2C2_SCL (PB10) I2C2_SDA (PB11)	X	X
I2C3	I2C3_SCL (PA8) I2C3_SDA (PB4)	X	-
	I2C3_SCL (PC0) I2C3_SDA (PC1)	-	X
SPI1	SPI1_NSS (PA4) SPI1_SCK (PA5) SPI1_MISO (PA6) SPI1_MOSI (PA7)	X	X
SPI2	SPI2_NSS (PB12) SPI2_SCK (PB13) SPI2_MISO (PB14) SPI2_MOSI (PB15)	X	X
SPI3	SPI3_NSS (PA15) SPI3_SCK (PC10) SPI3_MISO (PC11) SPI3_MOSI (PC12)	X	X

关于自举程序的更多详细信息，请参考 AN2606。

## 4 外设移植

### 4.1 STM32 产品交叉兼容性

STM32 系列集成了一组外设，可以分为三类：

- 第一类是所有产品都有的通用外设。这些外设在所有产品上都完全一样，因此它们有相同的结构、寄存器和控制位。经过移植之后，应用级不需要修改任何固件就可以保持相同的功能。所有的特征和行为保持相同。
- 第二类是不同产品之间略有差异的外设（通常差异是由于对新功能的支持）。从一个产品到另一个产品的移植非常容易，不需要进行任何新的开发工作。
- 第三类是指产品之间变化比较大的外设（新架构、新特性...）。对于这一类外设，移植将会在应用级要求进行新的开发。

表 4 给出了这种分类的总览。





下表中提到的“软件兼容性”只是涉及到“底层”驱动器的寄存器描述。

STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的 STMCube™ 硬件抽象层（HAL）是兼容的。

表 4. STM32F401/411 系列与 STM32L4 系列的 STM32 外设兼容性分析

外设	Nb inst.F 401/F4 11 中	Nb inst.L 4 中	兼容性 (从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列)		
			软件	引脚	注释
SPI I2S (全双工)	4/5 2	3 0	部分兼容	部分兼容	在 STM32L4 系列中，SPI 不再支持 I2S 模式，而是以专用串行音频接口 (SAI) 代替。 对于 SPI2/SPI3，某些复用功能映射到不同的 GPIO 上。
WWDG	1	1	完全兼容	NA	-
IWDG	1	1	完全兼容	NA	-
DBGMCU	1	1	完全兼容	NA	-
CRC	1	1	部分兼容	NA	STM32L4 系列中有附加功能。
EXTI	1	1	部分兼容	完全兼容	STM32L4 系列中仅 PH2 GPIO 不可用作 EXTI 输入。
USB OTG FS	1	1	部分兼容	部分兼容	L4 上更多的端点。 少数寄存器控制不同。 STM32F401/411 系列中，V <sub>DDUSB</sub> 与 V <sub>DD</sub> 合并。
DMA	2	2	不兼容	NA	功能不同，且 DMA 映射请求不同（见第 4.3 节：DMA）。
TIM 基本 常规 P. 先进的 低功耗	8 0 7 1 0	13 2 7 2 2	完全兼容	部分兼容	一些引脚映射到不同的 GPIO。 定时器实例名可能不同。 内部连接可能不同。

表 4. STM32F401/411 系列与 STM32L4 系列的 STM32 外设兼容性分析 (续)

外设	Nb inst.F 401/F4 11 中	Nb inst.L 4 中	兼容性 (从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列)		
			软件	引脚	注释
SDIO/ SDMMC	1	1	完全兼容	完全兼容	一些引脚映射到不同的 GPIO。
PWR	1	1	部分兼容	NA	-
RCC	1	1	部分兼容	NA	-
USART UART LPUART	3 0	3 2 1	部分兼容	完全兼容	L4 上有额外特性。 对于 USART1/2/3, 引脚分配完全兼容。
I2C	3	3	不兼容	部分兼容	对于 I2C1/2, 引脚分配完全兼容。 I2C3 映射到不同的 GPIO。 L4 上有额外特性。
ADC	1	3	不兼容	部分兼容	L4 上有额外特性。 一些引脚映射到不同的 GPIO。
RTC	1	1	部分兼容	完全兼容	L4 上有额外特性。
闪存	1	1	不兼容	NA	新外设。
GPIO	多达 82 个 IO	高达 114 个 IO	完全兼容	完全兼容	复位时, STM32F401/411 系列配置为输入浮空模式, L4 则为模拟模式。
SYSCFG	1	1	部分兼容	NA	-
<b>色键:</b>  = 不兼容 (新功能或新结构)  = 部分兼容 (少量更改)  = 完全兼容 (从 STM32F401/411 系列到 L4)  = 不适用					

## 4.2 存储器映射

在 STM32L4 系列和 STM32F401/411 系列中，外设地址映射发生了变化。

下表给出了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的外设地址映射对应。

**表 5. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间外设地址映射的区别**

外设	STM32F4 系列		STM32L4 系列		
	总线	基址	总线	基址	
USB OTG FS	AHB2	0x50000000	AHB2	0x50000000	
DMA2	AHB1	0x40026400	AHB1	0x40020400	
DMA1		0x40026000		0x40020000	
Flash 接口寄存器		0x40023C00		0x40022000	
RCC		0x40023800		0x40021000	
CRC		0x40023000		0x40023000	
GPIOH		0x40021C00		AHB2	0x48001C00
GPIOE		0x40021000	0x48001000		
GPIOD		0x40020C00	0x48000C00		
GPIOC		0x40020800	0x48000800		
GPIOB		0x40020400	0x48000400		
GPIOA		0x40020000	0x48000000		
SPI5		APB2	0x40015000		NA
TIM11			0x40014800		
TIM10	0x40014400				
TIM9	0x40014000				
EXTI	0x40013C00		APB2	0x40010400	
SYSCFG	0x40013800			0x40010000	
SPI4	0x40013400		NA		
SPI1	0x40013000		APB2	0x40013000	
SDIO/SDMMC	0x40012C00			0x40012800	
ADC1 - ADC2 - ADC3	0x40012000		AHB2	0x50040000	
USART6	0x40011400		NA		
USART1	0x40011000		APB2	0x40013800	
TIM1	0x40010000			0x40012C00	
PWR	APB1		0x40007000	APB1	0x40007000
I2C3			0x40005C00		0x40005C00
I2C2			0x40005800		0x40005800

表 5. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间外设地址映射的区别 (续)

外设	STM32F4 系列		STM32L4 系列	
	总线	基址	总线	基址
I2C1	APB1	0x40005400	APB1	0x40005400
USART2		0x40004400		0x40004400
I2S3ext		0x40004000	NA	
SPI3 / I2S3		0x40003C00	APB1	0x40003C00
SPI2 / I2S2		0x40003800		0x40003800
I2S2ext		0x40003400	NA	
IWDG		0x40003000	APB1	0x40003000
WWDG		0x40002C00		0x40002C00
RTC (包括 BKP 寄存器)		0x40002800		0x40002800
TIM5		0x40000C00		0x40000C00
TIM4		0x40000800		0x40000800
TIM3		0x40000400		0x40000400
TIM2		0x40000000		0x40000000
<b>在 STM32L4 系列中可用而在 STM32F401/411 系列中不可用的外设</b>				
QUADSPI	NA	AHB3	0xA0001000	
FMC			0xA0000000	
RNG:		AHB2	0x50060800	
AES			0x50060000	
GPIOG		AHB1	0x48001800	
GPIOF			0x48001400	
TSC			0x40024000	
DFSDM		APB2	0x40016000	
SAI2			0x40015800	
SAI1			0x40015400	
TIM17			0x40014800	
TIM16			0x40014400	
TIM15			0x40014000	
TIM8			0x40013400	
FIREWALL			0x40011C00	
COMP		0x40010200		

表 5. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间外设地址映射的区别 (续)

外设	STM32F4 系列		STM32L4 系列	
	总线	基址	总线	基址
VREF	NA	NA	APB2	0x40010030
LPTIM2			APB1	0x40009400
SWPMI1			APB1	0x40008800
LPUART1			APB1	0x40008000
LPTIM1			APB1	0x40007C00
OPAMP			APB1	0x40007800
DAC			APB1	0x40007400
CAN1			APB1	0x40006400
UART5			APB1	0x40005000
UART4			APB1	0x40004C00
USART3			APB1	0x40004800
LCD			APB1	0x40002400
TIM7			APB1	0x40001400
TIM6			APB1	0x40001000

**色键:**  
 = 基址或总线更改  
 = 不适用

STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中已更新了系统存储器映射，更多详细信息请参考参考手册或数据手册。

在 STM32F401/411 系列中，只提供 1 个 SRAM1，而在 STM32L4 系列中实现了 2 个 SRAM (SRAM1, SRAM2)，并且 SRAM2 (32 KB) 含有下列附加功能：



- 最大性能，通过 ICode 总线访问，无物理重映射
- 奇偶校验选项 (32 位 + 4 位奇偶校验)
- 1 KB 粒度的写保护
- 读保护 (RDP)
- 通过系统复位 (选项字节) 或软件进行擦除
- 在低功耗运行、低功耗睡眠、Stop 0、Stop 1、Stop 2 模式下可保持内容。
- 待机模式下可保持内容 (PWR\_CR3 寄存器中 RRS 位置位)。(对于 SRAM1 不是此情形)

## 4.3 DMA

相比于 STM32L4 系列，STM32F401/411 系列实现了一个增强型 DMA。

下表显示了主要区别。

**表 6. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 DMA 的区别**

DMA	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
架构	双 AHB 主设备。 – 1 个 DMA 控制器，用于存储器访问 – 1 个 DMA 控制器，用于外设访问	这两个 DMA 控制器都可以访问存储器和外设。
数据流	每个控制器有 8 条数据流 每条数据流有 8 个通道	每个控制器有 7 个通道 (STM32F401/411 系列中的“数据流”)。 每个通道有 8 个请求 (STM32F401/411 系列中的“通道”)。
数据管理	每个数据流有四个字深的 32 位先进先出存储器缓冲区 (FIFO)，可用于 FIFO 模式或直接模式。	NA
<b>色键：</b>  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

下表显示了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中外设 DMA 请求的对应。

**表 7. 从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列 DMA 请求区别**

外设	DMA 请求	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
ADC1	ADC1	DMA2_Stream0 DMA2_Stream4	DMA1_Channel1 DMA2_Channel3
DAC	DAC1 DAC2	NA	DMA1_Channel3 DMA2_Channel4 DMA1_Channel4 DMA2_Channel5
SPI1	SPI1_Rx SPI1_Tx	DMA2_Stream0 DMA2_Stream2 DMA2_Stream3 DMA2_Stream5	DMA1_Channel2 DMA2_Channel3 DMA1_Channel3 DMA2_Channel4
SPI2	SPI2_Rx SPI2_Tx	DMA1_Stream3 DMA1_Stream4	DMA1_Channel4 DMA1_Channel5
SPI3	SPI3_Rx SPI3_Tx	DMA1_Stream0 DMA1_Stream2 DMA1_Stream5 DMA1_Stream7	DMA2_Channel1 DMA2_Channel2

表 7. 从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列 DMA 请求区别 (续)



外设	DMA 请求	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
SPI4	SPI4_Rx	DMA2_Stream0 DMA2_Stream3	NA
	SPI4_Tx	DMA2_Stream1 DMA2_Stream4	
SPI5	SPI5_Rx	DMA2_Stream5 <sup>(1)</sup>	NA
	SPI5_Tx	DMA2_Stream6 <sup>(1)</sup>	
USART1	USART1_Rx	DMA2_Stream2	DMA1_Channel5
	USART1_Tx	DMA2_Stream5 DMA2_Stream7	DMA2_Channel7 DMA1_Channel4 DMA2_Channel6
USART2	USART2_Rx	DMA1_Stream5	DMA1_Channel6
	USART2_Tx	DMA1_Stream6	DMA1_Channel7
USART3	USART3_Rx	NA	DMA1_Channel3
	USART3_Tx		DMA1_Channel2 NA
UART4	UART4_Rx	NA	DMA2_Channel5
	UART4_Tx		DMA2_Channel3
UART5	UART5_Rx	NA	DMA2_Channel2
	UART5_Tx		DMA2_Channel1
USART6	USART6_Rx	DMA2_Stream1 DMA2_Stream2	NA
	USART6_Tx	DMA2_Stream6 DMA2_Stream7	
I2C1	I2C1_Rx	DMA1_Stream0 DMA1_Stream5	DMA1_Channel7 DMA2_Channel6
	I2C1_Tx	DMA1_Stream6 DMA1_Stream7	DMA1_Channel6 DMA2_Channel7
I2C2	I2C2_Rx	DMA1_Stream2	DMA1_Channel5
	I2C2_Tx	DMA1_Stream3 DMA1_Stream7	DMA1_Channel4
I2C3	I2C3_Rx	DMA1_Stream1 DMA1_Stream2	DMA1_Channel3
	I2C3_Tx	DMA1_Stream4 DMA1_Stream5	DMA1_Channel2
SDIO SDMMC	SDIO	DMA2_Stream3 DMA2_Stream6	NA NA
	SDMMC	NA NA	DMA2_Channel4 DMA2_Channel5



表 7. 从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列 DMA 请求区别 (续)

外设	DMA 请求	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
TIM1	TIM1_UP TIM1_TRIG  TIM1_COM  TIM1_CH1  TIM1_CH2  TIM1_CH3  TIM1_CH4	DMA2_Stream5 DMA2_Stream0 DMA2_Stream4 DMA2_Stream4  DMA2_Stream1 DMA2_Stream3 DMA2_Stream6  DMA2_Stream2 DMA2_Stream6  DMA2_Stream6  DMA2_Stream4	NA
TIM2	TIM2_UP  TIM2_CH1 TIM2_CH2 TIM2_CH3 TIM2_CH4	DMA1_Stream1 DMA1_Stream7 DMA1_Stream5 DMA1_Stream6 DMA1_Stream1 DMA1_Stream6 DMA1_Stream7	DMA1_Channel2  DMA1_Channel5 DMA1_Channel7 DMA1_Channel1 DMA1_Channel7
TIM3	TIM3_UP TIM3_TRIG TIM3_CH1 TIM3_CH2 TIM3_CH3 TIM3_CH4	DMA1_Stream2 DMA1_Stream4 DMA1_Stream4 DMA1_Stream5 DMA1_Stream7 DMA1_Stream2	DMA1_Channel3 DMA1_Channel6 DMA1_Channel6 NA DMA1_Channel2 DMA1_Channel3
TIM4	TIM4_UP TIM4_CH1 TIM4_CH2 TIM4_CH3	DMA1_Stream6 DMA1_Stream0 DMA1_Stream3 DMA1_Stream7	DMA1_Channel7 DMA1_Channel1 DMA1_Channel4 DMA1_Channel5
TIM5	TIM5_UP  TIM5_CH1 TIM5_CH2 TIM5_CH3 TIM5_CH4  TIM5_TRIG  TIM5_COM	DMA1_Stream0 DMA1_Stream6 DMA1_Stream2 DMA1_Stream4 DMA1_Stream0 DMA1_Stream1 DMA1_Stream3  DMA1_Stream1 DMA1_Stream3 NA	DMA2_Channel2  DMA2_Channel5 DMA2_Channel4 DMA2_Channel2 DMA2_Channel1  DMA2_Channel1  DMA2_Channel1

表 7. 从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列 DMA 请求区别 (续)

外设	DMA 请求	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
TIM6	TIM6_UP	NA	DMA1_Channel3 DMA2_Channel4
TIM7	TIM7_UP	NA	DMA1_Channel4 DMA2_Channel5
AES	CRYP_OUT CRYP_IN AES_OUT  AES_IN	NA	NA NA DMA2_Channel3 DMA2_Channel2 DMA2_Channel5 DMA2_Channel1
I2S	I2S2_EXT_Rx I2S2_EXT_Tx I2S3_EXT_Rx  I2S3_EXT_Tx	DMA1_Stream3 DMA1_Stream4 DMA1_Stream0 DMA1_Stream2 DMA1_Stream5	NA
<b>色键:</b>  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别			

1. STM32F401 系列除外。

## 4.4 中断

下表显示了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中的中断向量。

表 8. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间中断向量的区别

位置	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
0	WWDG	WWDG
1	PVD	PVD / PVM
2	TAMP_ STAMP	TAMPER / CSS
3	RTC_WKUP	RTC_WKUP
4	闪存	闪存
5	RCC	RCC
6	EXTI0	EXTI0
7	EXTI1	EXTI1
8	EXTI2	EXTI2
9	EXTI3	EXTI3
10	EXTI4	EXTI4
11	DMA1_Stream0	DMA1_Channel1
12	DMA1_Stream1	DMA1_Channel2
13	DMA1_Stream2	DMA1_Channel3
14	DMA1_Stream3	DMA1_Channel4
15	DMA1_Stream4	DMA1_Channel5
16	DMA1_Stream5	DMA1_Channel6
17	DMA1_Stream6	DMA1_Channel7
18	ADC	ADC1_2
19	NA	CAN1_TX
20	NA	CAN1_RX0
21	NA	CAN1_RX1
22	NA	CAN1_SCE
23	EXTI9_5	EXTI9_5
24	TIM1_BRK / TIM9	TIM1_BRK / TIM15
25	TIM1_UP / TIM10	TIM1_UP / TIM16
26	TIM1_TRG_COM / TIM11	TIM1_TRG_COM / TIM17
27	TIM1_CC	TIM1_CC
28	TIM2	TIM2
29	TIM3	TIM3
30	TIM4	TIM4

表 8. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间中断向量的区别 (续)

位置	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
31	I2C1_EV	I2C1_EV
32	I2C1_ER	I2C1_ER
33	I2C2_EV	I2C2_EV
34	I2C2_ER	I2C2_ER
35	SPI1	SPI1
36	SPI2	SPI2
37	USART1	USART1
38	USART2	USART2
39	NA	USART3
40	EXTI15_10	EXTI15_10
41	RTC_Alarm	RTC_Alarm
42	USB_FS_WKUP	DFSDM
43	NA	TIM8_BRK
44	NA	TIM8_UP
45	NA	TIM8_TRG_COM
46	NA	TIM8_CC
47	DMA1_Stream7	ADC3
48	NA	FMC
49	SDIO	SDMMC
50	TIM5	TIM5
51	SPI3	SPI3
52	NA	UART4
53	NA	UART5
54	NA	TIM6_DACUNDER
55	NA	TIM7
56	DMA2_Stream0	DMA2_Channel1
57	DMA2_Stream1	DMA2_Channel2
58	DMA2_Stream2	DMA2_Channel3
59	DMA2_Stream3	DMA2_Channel4
60	DMA2_Stream4	DMA2_Channel5
61	NA	DFSDM1
62	NA	DFSDM2
63	NA	DFSDM3
64	NA	COMP
65	NA	LPTIM1

表 8. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间中断向量的区别 (续)

位置	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
66	NA	LPTIM2
67	OTG_FS	OTG_FS
68	DMA2_Stream5	DMA2_CH6
69	DMA2_Stream6	DMA2_CH7
70	DMA2_Stream7	LPUART1
71	USART6	QUADSPI
72	I2C3_EV	I2C3_EV
73	I2C3_ER	I2C3_ER
74	NA	SAI1
75	NA	SAI2
76	NA	SWPMI1
77	NA	TSC
78	NA	LCD
79	NA	AES
80	NA	RNG:
81	FPU	FPU

**色键:**

- = 相同功能，但规范更改或增强
- = 功能不可用 (NA)
- = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别

### 4.5 RCC

STM32L4 系列和 STM32F401/411 系列产品之间关于 RCC（复位和时钟控制器）的主要区别如下表所示。

**表 9. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 RCC 的区别**

RCC	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
MSI	NA	MSI 是低功耗振荡器，具有可编程频率（可达 48 MHz）。 它可以代替 PPL 作为系统时钟（唤醒更快，功耗更低）。 它可用作 USB 设备时钟（无需外部高速晶振）。  出厂和用户校准的多种速率 RC（100 kHz、200 kHz、400 kHz、800 kHz、1 MHz、2 MHz、4 MHz（默认值）、8 MHz、16 MHz、24 MHz、32 MHz 和 48 MHz）  使用 LSE 进行自动校准
HSI	16 MHz RC 出厂和用户调节	
LSI	32 kHz	32 kHz RC 更低功耗，更高精度（请参考产品数据手册）
HSE	4 - 26 MHz	4 - 48 MHz
LSE	32.768 kHz。 可配置驱动 / 功耗（STM32F401 系列中没有）。 备份域中可用（VBAT）。	
PLL	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 系统的主 PLL</li> <li>– 1 个 PLL（PLLI2S），用于 I2S</li> </ul> PLL 源为 HSI、HSE。	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 系统的主 PLL</li> <li>– 2 个 PLL，用于 SAI1/2、ADC、RNG、SDMMC 和 OTG FS 时钟。</li> </ul> 每个 PLL 可提供多达 3 个独立输出。 其 PLL 倍频 / 分频因子与 STM32F401/411 系列的不同。  PLL 时钟源：MSI，HSI16，HSE。
系统时钟源	HSI，HSE 或 PLL	MSI，HSI16，HSE 或 PLL
系统时钟频率	高达 84 MHz（STM32F401 系列），100 MHz（STM32F411 系列） 利用 HSI 复位后为 16 MHz	最大 80 MHz 利用 MSI 复位后为 4 MHz
AHB 频率	高达 84 MHz（STM32F401 系列），100 MHz（STM32F411 系列）	最大 80 MHz
APB1 频率	高达 42 MHz（STM32F401 系列），50 MHz（STM32F411 系列）	最大 80 MHz

表 9. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 RCC 的区别 (续)

RCC	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
APB2 频率	高达 84 MHz (STM32F401 系列), 100 MHz (STM32F411 系列)	最大 80 MHz
RTC 时钟源	LSI, LSE 或 HSE (1 MHz), 利用 1/2, 1/3, 1/4 时钟预分频器	LSI, LSE 或 HSE/32
MCO 时钟源	<ul style="list-style-type: none"> <li>MCO1 引脚 (PA8): HSI, LSE, HSE, PLLCLK</li> <li>MCO2 引脚 (PC9): HSE, PLLCLK, SYSClk, PLLI2S</li> </ul> 每个输出具有可配置的预分频器分频因子为 1、2、3、4 或 5。	<ul style="list-style-type: none"> <li>MCO 引脚 (PA8): SYSClk, HSI16, HSE, PLLCLK, MSI, LSE 或 LSI。</li> </ul> 每个输出具有可配置的预分频器分频因子为 1、2、4、8 或 16。
CSS	CSS (时钟安全系统) LSE 上的 CSS	
内部振荡器 measurement / 校准	<ul style="list-style-type: none"> <li>LSE 连接到 TIM5 CH4 IC: 可测量 HSI (根据 LSE 时钟高精度)</li> <li>LSI 连接到 TIM5 CH4 IC: 可测量 LSI (根据 HSI 或 HSE 时钟精度)</li> <li>HSE 连接到 TIM11 CH1 IC: 可测量 HSE (根据 LSE/HSI 时钟)</li> </ul>	(主要用 STM32L4 系列中的 TIM15/16/17 代替了 STM32F401/411 系列中的 TIM5/TIM11) <ul style="list-style-type: none"> <li>LSE 连接到 TIM15 或 TIM16 CH1 IC: 可测量 HSI16 或 MSI (根据 LSE 时钟高精度)</li> <li>LSI 连接到 TIM16 CH1 IC: 可测量 LSI (根据 HSI16 或 HSE 时钟精度)</li> <li>HSE/32 连接到 TIM17 CH1 IC: 可测量 HSE (根据 LSE/HSI16 时钟)</li> <li>MSI 连接到 TIM17 CH1 IC: 可测量 MSI (根据 HSI16/HSE 时钟)</li> </ul>
中断	<ul style="list-style-type: none"> <li>CSS (链接到 NMI IRQ)</li> <li>LSIRDY, LSERDY, HSIRDY, HSERDY, PLLRDY, PLLI2SRDY (链接到 RCC 全局 IRQ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CSS (链接到 NMI IRQ)</li> <li>LSECSS, LSIRDY, LSERDY, HSIRDY, MSIRDY, HSERDY, PLLRDY, PLLSAI1RDY, PLLSAI2RDY (链接到 RCC 全局 IRQ)</li> </ul>
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 相同功能, 但规范更改或增强  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

除了上表所述的区别外, 对于移植, 可能还需要下面附加的自适应步骤。

### 4.5.1 V<sub>CORE</sub> 范围与性能

在 STM32L4 系列中，最大系统时钟频率和闪存等待状态取决于所选电压范围 V<sub>CORE</sub>。

表 10. STM32L4 的性能与 V<sub>CORE</sub> 范围

CPU 性能	功耗性能	V <sub>CORE</sub> 范围	典型值 (V)	最大频率 (MHz)				
				4 WS	3 WS	2 WS	1 WS	0 WS
高	中	1	1.2	80	64	48	32	16
中	高	2	1.0	26	26	18	12	6

在 STM32F401/411 系列中，最大系统时钟频率和闪存等待周期取决于所选电压范围 V<sub>DD</sub>。

表 11. CPU 时钟 (HCLK) 频率对应的等待周期数 (STM32F401xB/C 和 STM32F401xD/E)

等待周期 (WS) (LATENCY)	HCLK (MHz)			
	电压范围 2.7 V - 3.6 V	电压范围 2.4 V - 2.7 V	电压范围 2.1 V - 2.4 V	电压范围 1.71 V - 2.1 V
0 WS (1 个 CPU 周期)	0 < HCLK ≤ 30	0 < HCLK ≤ 24	0 < HCLK ≤ 18	0 < HCLK ≤ 16
1 WS (2 个 CPU 周期)	30 < HCLK ≤ 60	24 < HCLK ≤ 48	18 < HCLK ≤ 36	16 < HCLK ≤ 32
2 WS (3 个 CPU 周期)	60 < HCLK ≤ 84	48 < HCLK ≤ 72	36 < HCLK ≤ 54	32 < HCLK ≤ 48
3 WS (4 个 CPU 周期)	-	72 < HCLK ≤ 84	54 < HCLK ≤ 72	48 < HCLK ≤ 64
4 WS (5 个 CPU 周期)	-	-	72 < HCLK ≤ 84	64 < HCLK ≤ 80
5 WS (6 个 CPU 周期)	-	-	-	80 < HCLK ≤ 84

表 12. CPU 时钟 (HCLK) 频率对应的等待周期数 (STM32F411xC/E)

等待周期 (WS) (LATENCY)	HCLK (MHz)			
	电压范围 2.7 V - 3.6 V	电压范围 2.4 V - 2.7 V	电压范围 2.1 V - 2.4 V	电压范围 1.71 V - 2.1 V
0 WS (1 个 CPU 周期)	0 < HCLK ≤ 30	0 < HCLK ≤ 24	0 < HCLK ≤ 18	0 < HCLK ≤ 16
1 WS (2 个 CPU 周期)	30 < HCLK ≤ 64	24 < HCLK ≤ 48	18 < HCLK ≤ 36	16 < HCLK ≤ 32
2 WS (3 个 CPU 周期)	64 < HCLK ≤ 90	48 < HCLK ≤ 72	36 < HCLK ≤ 54	32 < HCLK ≤ 48



表 12. CPU 时钟 (HCLK) 频率对应的等待周期数  
(STM32F411xC/E) (续)

等待周期 (WS) (LATENCY)	HCLK (MHz)			
	电压范围 2.7 V - 3.6 V	电压范围 2.4 V - 2.7 V	电压范围 2.1 V - 2.4 V	电压范围 1.71 V - 2.1 V
3 WS (4 个 CPU 周期)	90 < HCLK ≤ 100	72 < HCLK ≤ 96	54 < HCLK ≤ 72	48 < HCLK ≤ 64
4 WS (5 个 CPU 周期)	-	96 < HCLK ≤ 100	72 < HCLK ≤ 90	64 < HCLK ≤ 80
5 WS (6 个 CPU 周期)	-	-	90 < HCLK ≤ 100	80 < HCLK ≤ 96
6 WS (7 个 CPU 周期)	-	-	-	96 < HCLK ≤ 100

除了上表规定的  $V_{DD}$  电压范围外，最大频率受电压量程值限制，该值通过软件在 PWR\_CR 寄存器的 VOS[1:0] 位中指定。

这些位可修改来自电压调节器的内部数字逻辑电压。

器件运行在最高工作频率时，该电压调节特性可使功耗得到优化。

### 4.5.2 外设访问配置

由于 STM32L4 系列中一些外设的地址映射相对于 STM32F401/411 系列已经更改，因此需要使用不同的寄存器来 [使能 / 禁止] 或 [进入 / 退出] 外设时钟（或 [从复位模式]）。

表 13. 用于外设访问配置的外设 RCC 寄存器

总线	寄存器 STM32F401/411 系列	寄存器 STM32L4 系列	注释
AHB	RCC_AHB1RSTR (AHB1) RCC_AHB2RSTR (AHB2)		用于从复位 [进入 / 退出] AHB 外设
	RCC_AHB1ENR (AHB1) RCC_AHB2ENR (AHB2)		用来 [使能 / 禁止] AHB 外设时钟
	RCC_AHB1LPENR RCC_AHB2LPENR	RCC_AHB1SMENR (AHB1) RCC_AHB2SMENR (AHB2) RCC_AHB3SMENR (AHB3)	睡眠模式下用来 [使能 / 禁止] AHB 外设时钟
APB1	RCC_APB1RSTR	RCC_APB1RSTR1 RCC_APB1RSTR2 <sup>(1)</sup>	用于从复位 [进入 / 退出] APB1 外设
	RCC_APB1ENR	RCC_APB1ENR1 RCC_APB1ENR2 <sup>(1)</sup>	用来 [使能 / 禁止] APB1 外设时钟
	RCC_APB1LPENR	RCC_APB1SMENR1 RCC_APB1SMENR2 <sup>(1)</sup>	睡眠模式下用来 [使能 / 禁止] APB1 外设时钟
APB2	RCC_APB2RSTR	RCC_APB2RSTR	用于从复位 [进入 / 退出] APB2 外设
	RCC_APB2ENR	RCC_APB2ENR	用来 [使能 / 禁止] APB2 外设时钟
	RCC_APB2LPENR	RCC_APB2SMENR	睡眠模式下用来 [使能 / 禁止] APB2 外设时钟

1. STM32F401/411 系列中没有配置外设的寄存器，因此仅从移植观点来看不需要寄存器。

访问给定外设的配置包括：

- 识别连接该外设的总线，参考表 5 第 12 页
- 根据所需操作选择正确的寄存器，参考上面的表 13。

例如，USART1 连接到 APB2 总线。要使能 USART1 时钟，需使用以下 STM32Cube HAL 驱动中的 RCC API 函数配置 RCC\_APB2ENR 寄存器：

```
__HAL_RCC_USART1_CLK_ENABLE();
```

要在睡眠模式下禁用 USART1 时钟（以降低功耗），需使用以下 STM32Cube HAL 驱动中的 RCC API 函数配置 RCC\_APB2SMENR 寄存器：

```
__HAL_RCC_USART1_CLK_SLEEP_ENABLE();
```



### 4.5.3 外设时钟配置

一些外设具有独立于系统时钟的专用时钟源，用来产生其操作所需的时钟。

- USB:  
STM32F401/411 系列中：USB 48 MHz 时钟来自于 PLL48CLK 主 PLL“Q”输出。  
STM32L4 系列中：USB 48 MHz 时钟来源于以下三种源之一：主 PLL VCO (PLLUSB1CLK)，PLLSAI1 VCO (PLLUSB2CLK) 或 MSI 时钟（当 MSI 时钟利用 LSE 自动校准时，它可用于 USB OTG FS 设备）。
- SDIO/SDMMC:  
STM32F401/411 系列中：SDIO 时钟 (SDIOCLK) 来自于 PLL48CLK 主 PLL“Q”输出，应小于 48 MHz。  
STM32L4 系列中：SDMMC 时钟来源于以下三种源之一：主 PLL VCO (PLLUSB1CLK)，PLLSAI1 VCO (PLLUSB2CLK) 或 MSI 时钟。
- RTC:  
STM32F401/411 系列中：RTC 时钟来源于以下三种源之一：经预分频器分频（1 至 31）的 LSE、LSI 或 HSE，且应等于 1 MHz。  
STM32L4 系列中：RTC（LCD 玻璃时钟）来自于以下三种源之一：LSE 时钟，LSI 时钟或 HSE 时钟（32 分频）（PCLK 频率应当始终大于等于 RTC 时钟频率）。
- ADC:  
STM32F401/411 系列中，ADC 时钟为 PCLK2 时钟，由一个可编程因子（2, 4, 6, 8）分频。  
STM32L4 系列中，两个 ADC（主 ADC 和从 ADC）的输入时钟可从两个不同时钟源中进行选择：
  - ADC 时钟可来自于（利用软件选择）以下三种源之一：系统时钟 (SYSCLK)，PLLSAI1 VCO (PLLADC1CLK) 或 PLLSAI2 VCO (PLLADC2CLK)。这种模式下，可选择可编程的分频因子（根据位 PREC[3:0]，选择 1、2...256）。
  - ADC 时钟可由 ADC 总线接口的 AHB 时钟除以一个可编程的因子（1、2 或 4）来提供。这种模式下，可选择可编程的分频因子（根据位 CKMODE[1:0]，选择 1、2 或 4）（更多详细信息请参考 STM32L4 系列参考手册）。
- DAC:  
STM32L4 系列中，除了 PCLK1 时钟，LSI 时钟还可用于采样和保持操作。
- U(S)ART:  
STM32F401/411 系列中，U(S)ART 时钟为 APB1 或 APB2 时钟（取决于 U(S)ART 映射到哪个 APB 总线）。  
STM32L4 系列中，U(S)ART 时钟来源于以下四种源之一：系统时钟 (SYSCLK)、HSI16、LSE、APB1 或 APB2 时钟（取决于 U(S)ART 映射到哪个 APB 总线）。  
使用一个独立于系统时钟的时钟源（例如：HSI16）可实时改变系统时钟，而无需重新配置 U(S)ART 外设波特率预分频器。

- I2C:  
STM32F401/411 系列中，I2C 时钟为 APB1 时钟（PCLK1）。  
STM32L4 系列中，I2C 时钟来源于以下三种源之一：系统时钟（SYSCLK）、HSI16 或 APB1（PCLK1）。  
使用一个独立于系统时钟的时钟源（例如：HSI16）可实时改变系统时钟，而无需重新配置 I2C 外设定时寄存器。  
相比于 STM32F401/411 系列，I2S 时钟在 STM32L4 系列中不可用。

## 4.6 PWR

STM32L4 系列中的 PWR 控制器与 STM32F401/411 系列中的存在一些区别，[表 14](#) 中总结了这些区别。

表 14. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 PWR 的区别

PWR	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
电源	<p><math>V_{DD} = 1.7</math> 至 <math>3.6</math> V (当内部调压器禁用时)  <math>V_{DD} = 1.8</math> 至 <math>3.6</math> V (当内部调压器使能时)                      I/O、Flash 存储器和内部调压器的外部电源。                      通过 VDD 引脚从外部提供。</p>	<p><math>V_{DD} = 1.71</math> 到 <math>3.6</math> V: I/O、Flash 存储器和内部调压器的外部电源。通过 VDD 引脚从外部提供。</p>
	<p><math>V_{CORE} = 1.2</math> V (可调)。  <math>V_{CORE}</math> 是数字外设、SRAM 和闪存电源。它由内部调压器产生。                      调压器需要一个或两个连接到专用引脚 VCAP_1、VCAP_2 的外部电容。                      在应用中的运行模式下,当器件时钟低于最大频率时,调压器输出电压可由软件(低功耗)来调节,以节省功耗。</p>	<p><math>V_{CORE} = 1.0</math> 到 <math>1.2</math> V。  <math>V_{CORE}</math> 是数字外设、SRAM 和闪存电源。它由内部调压器产生。有两个 <math>V_{CORE}</math> 范围可供软件选择,取决于目标频率。</p>
	<p><math>V_{BAT} = 1.65</math> 到 <math>3.6</math> V: 当 <math>V_{DD}</math> 不存在时,作为 RTC、32 kHz 外部时钟振荡器和备份寄存器的电源(通过内部开关切换)。</p>	<p><math>V_{BAT} = 1.55</math> 到 <math>3.6</math> V: 当 <math>V_{DD}</math> 不存在时,作为 RTC、32 kHz 外部时钟振荡器和备份寄存器的电源(通过内部开关切换)。</p>
	<p><math>V_{DD}</math> 和 <math>V_{DDA}</math> 必须具有相同的电压值。</p>	<p>通过以低于模拟和 USB 的电压来运行 MCU,独立电源 (<math>V_{DDA}</math>, <math>V_{DDUSB}</math>, <math>V_{DDIO2}</math>) 可改善功耗。</p>
	<p><math>V_{SSA}</math>, <math>V_{DDA}</math>: <math>1.8</math> V 到 <math>3.6</math> V (1.7V, 具有外部电源监控器)。  <math>V_{DDA}</math> 是为 A/D 和 D/A 转换器供电的外部模拟电源。<math>V_{DDA}</math> 和 <math>V_{SSA}</math> 必须分别连接到 <math>V_{DD}</math> 和 <math>V_{SS}</math>。</p>	<p><math>V_{SSA}</math>, <math>V_{DDA} = 1.62</math> V (ADC/COMP) 到 <math>3.6</math> V  <math>1.8</math> V (DAC/OPAMP) 到 <math>3.6</math> V  <math>2.4</math> V (VREFBUF) 到 <math>3.6</math> V。  <math>V_{DDA}</math> 是为 A/D 和 D/A 转换器、电压参考缓冲器、运算放大器和比较器供电的外部模拟电源。<math>V_{DDA}</math> 电压电平独立于 <math>V_{DD}</math> 电压。</p>
	<p>NA</p>	<p><math>V_{LCD} = 2.5</math> 至 <math>3.6</math> V。                      LCD 控制器可由 VLCD 引脚外部供电,或由嵌入式升压转换器产生的内部电压内部供电。</p>
	<p>N/A                      USB OTG FS 由 <math>V_{DD}</math> 供电。  <math>V_{DD}</math> 应 <math>&gt; 3.0</math> V (或电气特性降级,介于 <math>2.7</math> V 至 <math>3</math> V 之间)。</p>	<p><math>V_{DDUSB} = 3.0</math> 到 <math>3.6</math> V。  <math>V_{DDUSB}</math> 为外部独立电源,为 USB 收发器供电。  <math>V_{DDUSB}</math> 电压电平独立于 <math>V_{DD}</math> 电压。</p>
	<p>N/A                      STM32F401/411 系列中无 VDDIO2 电源。</p>	<p><math>V_{DDIO2} = 1.08</math> V 到 <math>3.6</math> V  <math>V_{DDIO2}</math> 是为 14 个 I/O (Port G[15:2]) 供电的外部电源。<math>V_{DDIO2}</math> 电压电平独立于 <math>V_{DD}</math> 电压。</p>
电池备份域	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 具有备份寄存器的 RTC (80 字节)</li> <li>- LSE</li> <li>- PC13 到 PC15 I/O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 具有备份寄存器的 RTC (128 字节)</li> <li>- LSE</li> <li>- PC13 到 PC15 I/O</li> </ul>

表 14. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 PWR 的区别 (续)

PWR	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
电源监控器	集成 POR / PDR 电路 可编程电压检测器 (PVD)	集成 POR / PDR 电路 可编程电压检测器 (PVD)
	欠压复位 (BOR) 上电后 BOR 可禁用	欠压复位 (BOR) BOR 始终使能, 关断模式下除外
	NA	4 个外设电压监测 (PVM) – PVM1 针对 $V_{DDUSB}$ – PVM2 针对 $V_{DDIO2}$ – PVM3/PVM4 针对 $V_{DDA}$ (~1.65 V / ~2.2 V)
低功耗模式	睡眠模式	睡眠模式
	NA	低功耗运行模式 系统时钟频率限于 2 MHz。 I2C 和 U(S)ART/LPUART 可由 16 MHz HSI16 时钟驱动。 由于使用了 LP 调压器, 低频时功耗降低。
	NA	低功耗睡眠模式 系统时钟频率限于 2 MHz。 I2C 和 U(S)ART/LPUART 可由 16 MHz HSI16 时钟驱动。 由于使用了 LP 调压器, 低频时功耗降低。
	停止模式 (所有时钟都停止)	Stop 0、Stop 1 和 Stop 2 模式 一些附加功能外设 (cf 唤醒源)
	待机模式 ( $V_{CORE}$ 域断电)	待机模式 ( $V_{CORE}$ 域断电) – 可选的 SRAM2 保留 – 可选的 I/O 上拉或下拉配置
	NA	关断模式 ( $V_{CORE}$ 域掉电, 功率监测停止)
唤醒源	睡眠模式 – 任意外设中断 / 唤醒事件	睡眠模式 – 任意外设中断 / 唤醒事件
	停止模式 – 任意 EXTI 线事件 / 中断 – PVD, RTC	Stop 0、Stop 1 和 Stop 2 模式 – 任意 EXTI 线事件 / 中断 – BOR、PVD、PVM、COMP、RTC、USB、IWDG、 – U(S)ART、LPUART、I2C、SWP、LPTIM、LCD
	待机模式 – WKUP 引脚 (PA0) 上升沿 – RTC 事件 – NRST 引脚外部复位 – IWDG 复位	待机模式 – 5 个 WKUP 引脚上升沿或下降沿 – RTC 事件 – NRST 引脚外部复位 – IWDG 复位
	NA	关机模式 – 5 个 WKUP 引脚上升沿或下降沿 – RTC 事件 – NRST 引脚外部复位

表 14. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 PWR 的区别 (续)

PWR	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
唤醒时钟	从停止模式唤醒 – HSI 16 MHz	从停止模式唤醒 – HSI 16 MHz 或 MSI (全部范围达 48 MHz), 高速下可 5 μs 唤醒, 无需等待 PLL 启动时间。
	从待机模式唤醒 – HSI 16 MHz	从待机模式唤醒 – MSI (范围从 1 至 8 MHz)
	NA	从关断模式唤醒 – MSI 4 MHz
配置	-	STM32L4 系列中寄存器是不同的: 从 STM32F401/411 系列中的 2 个寄存器到 STM32L4 系列中的 23 个寄存器 – 4 个控制寄存器 – 2 个状态寄存器 – 1 个状态清除寄存器 – 每个 GPIO 端口有 2 个寄存器 (A,B,..H), 用于 控制上拉或下拉 (16 个寄存器)。  STM32F401/411 系列的大多数配置位可见于 STM32L4 系列 (但有时可能具有不同编程模式)
<p><b>色键:</b></p> <p> = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)</p> <p> = 相同功能, 但规范更改或增强</p> <p> = 功能不可用 (NA)</p> <p> = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别</p>		





## 4.7 RTC

STM32L4 和 STM32F401/411 系列在 RTC 上具有几乎同样的功能。

下表显示了这些区别。

**表 15. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 RTC 的区别**

RTC	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
特性	粗略数字校准。 (仅为保持兼容, 新开发产品应只使用精密校准)。	仅可用精密校准
	1 个篡改引脚 (VBAT 下可用)	3 个篡改引脚 (VBAT 下可用)
	80 字节备份寄存器	128 字节备份寄存器
配置	-	粗数字校准在 STM32L4 系列中不可用: - RTC_CR/DCE 不可用 - RTC_CALIBR 寄存器不可用 - RTC_TAFPCR (F4) → RTC_TAMPCR (L4) 少量位除外
<b>色键:</b>  = 相同功能, 但规范更改或增强  = 功能不可用 (NA)		


关于 STM32L4 系列 RTC 功能的更多信息, 请参考 STM32L4 系列参考手册的 RTC 章节。

## 4.8 SYSCFG

相比于 STM32F401/411 系列，STM32L4 系列 SYSCFG 实现了更多的功能。

下表显示了这些区别。

**表 16. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 SYSCFG 的区别**

SYSCFG	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 重新映射存储区域。</li> <li>- 管理 GPIO 的外部中断线连接。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 重新映射存储区域。</li> <li>- 管理 GPIO 的外部中断线连接。</li> <li>- 管理稳健性功能。</li> <li>- 设置 SRAM2 写保护和软件擦除。</li> <li>- 配置 FPU 中断。</li> <li>- 使能防火墙。</li> <li>- 在一些 I/O 和升压器上使能 / 禁用 I2C 快速模式 Plus 驱动功能，用于 I/O 模拟开关。</li> </ul>
配置	-	STM32F401/411 系列中大部分寄存器与 STM32L4 系列中相同。 有少量位不同，且 EXTI 配置可能不同（STM32L4 系列中无 GPIO PH[2:15]）。
<b>色键：</b>  = 相同功能，但规范更改或增强		

## 4.9 GPIO

STM32L4 系列 GPIO 外设嵌入了与 STM32F401/411 系列相同的功能。

为 STM32F401/411 系列编写的 GPIO 代码，在 STM32L4 系列中可能需要稍作修改。这是由于不同 GPIO 上的特殊功能映射（详细的复用功能映射区别，请参考第 2 节中的引脚分配区别，和产品数据手册）。

下面是 GPIO 主要特性：

- GPIO 映射到 AHB 总线，实现更好性能
- I/O 引脚复用器和映射：引脚通过复用器连接到板载外设 / 模块，该复用器一次仅允许一个外设的复用功能 (AF) 连接到 I/O 引脚。这可以确保共用同一个 I/O 引脚的外设之间不会发生冲突。


复位时，STM32F401/411 系列 GPIO 配置为输入浮空模式，而 STM32L4 系列 GPIO 则配置为模拟模式（以免通过 IO Schmitt 触发器产生功耗）。

关于 STM32L4 系列 GPIO 编程和用法的更多信息，请参考 STM32L4 系列参考手册 GPIO 章节的“I/O 引脚复用和映射”部分，并参考产品数据手册来获取关于引脚分配和复用功能映射的详细说明。

## 4.10 EXTI 源选择

STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列上的外部中断 / 事件控制器（EXTI）极其相似。下表显示了主要区别。

表 17. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 EXTI 的区别

EXTI	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
事件 / 中断线的数量	多达 23 条可配置线	多达 40 条线 (14 条直接线, 26 条可配置线)
配置	-	寄存器稍有不同, 以处理不同数量的中断。
<b>色键:</b>  = 相同功能, 但规范更改或增强		

## 4.11 闪存

下表显示了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 FLASH 接口的区别。

STM32L4 系列从结构 / 技术和接口方面对一个不同的 FLASH 模块进行了实例化, 因此 STM32L4 系列产品闪存的程序设计过程和寄存器与 STM32F401/411 系列是不同的, 需要重新编写 STM32F401/411 系列中为闪存接口编写的代码以使其在 STM32L4 系列产品中运行。

更多有关 STM32L4 系列 Flash 存储器的编程、擦除和保护的信息, 请参见 STM32L4 系列的参考手册。

表 18. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 FLASH 的区别

闪存	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
主 / 程序存储器	0x0800 0000 – (直到) 0x081F FFFF	0x0800 0000 - 直到 0x080F FFFF
	多达 512 KB 4 个 16 KB 扇区 1 个 64 KB 扇区 1 或 3 个 128 KB 扇区 编程粒度: 8、16、32、64 位 读粒度: 128 位	高达 1 MB 分为 2 个存储区域 每个存储区: 256 页, 每页 2 KB 每页: 8 行, 每行 256 字节 编程和读粒度: 72 位 (包括 8 个 ECC 位)
特性	NA	同时读写 (RWW) 双存储区自举
	NA	ECC
等待状态	多达 6 个 (取决于电源电压和频率)	多达 4 个 (取决于内核电压和频率)
ART Accelerator™	从高速缓存执行时允许 0 等待状态。	从高速缓存执行时允许 0 等待状态。

表 18. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 FLASH 的区别 (续)

闪存	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
一次可编程 (OTP)	512 OTP 字节	1 KB OTP 字节 (bank1)
Flash 接口	NA	与 STM32F401/411 系列不同
擦除粒度	扇区擦除与全部擦除	页擦除 (2 KB), 存储区擦除和块擦除 (两个存储区)
读保护 (RDP)	级别 0, 无保护 RDP = 0xAA	级别 0, 无保护 RDP = 0xAA
	级别 1 内存保护 RDP ≠ {0xAA, 0xCC}	级别 1 内存保护 RDP ≠ {0xAA, 0xCC}
	级别 2 RDP = 0xCC <sup>(1)</sup>	级别 2 RDP = 0xCC <sup>(1)</sup>
专有代码读保护 (PCROP)	粒度: 1 个扇区	2 个 PCROP 区域 (每个存储区 1 个) 粒度: 64 位 PCROP_RDP 选项: RDP 级别下降时, PCROP 区域保持。
写保护 (WRP)	粒度: 1 个扇区	4 个写保护区域 (每个存储区 2 个) 粒度: 2 KB
用户选项字节	nRST_STOP	nRST_STOP
	nRST_STDBY	nRST_STDBY
	NA	nRST_SHDW
	WDG_SW	IWDG_SW
	NA	IWDG_STOP, IWDG_STDBY
	NA	WWDG_SW
	BOR_LEV[1:0]	BOR_LEV[2:0]
	NA	BFB2
	NA	nBOOT1
	NA	SRAM2_RST, SRAM2_PE
SPRMOD	双扇区	
	NA	

**色键:**

- = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)
- = 相同功能, 但规范更改或增强
- = 功能不可用 (NA)
- = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别

1. 存储器读保护级别 2 是不可更改的。激活级别 2 后, 保护级别不能再降回级别 0 或级别 1。

## 4.12 U(S)ART





相比于 STM32F401/411 系列，STM32L4 系列在 U(S)ART 上实现了几种新功能。

下表显示了这些区别。

**表 19. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 U(S)ART 的区别**

U(S)ART	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
实例	3 x USART	3 x USART 2 x UART 1 x LPUART
波特率	多达 2 x 10.5 Mbit/s + 1 x 5.25 Mb/s (F401) 多达 2 x 12.5 Mbit/s + 1 x 6.25 Mb/s (F411)	高达 10 Mbit/s (时钟频率是 80 MHz, 8 倍过采样率时)
时钟	单时钟域	双时钟域允许: - UART 功能和从停止模式唤醒 - 方便的波特率编程, 独立于 PCLK 重新编程
数据	字长: 可编程 (8 或者 9 位)	字长: 可编程 (7、8 或 9 位) 可编程的数据顺序, 最先移位 MSB 或 LSB
中断	10 个具有标志位的中断源	14 个具有标志位的中断源
特性	硬件流控制 (CTS/RTS) 使用 DMA 进行连续通信 多处理器通信 单线半双工通信 IrDA SIR ENDEC 模块 LIN 模式 SPI 主设备	
	智能卡模式 T = 0 和 T = 1 由软件实现。  停止位数: 0.5、1、1.5、2	支持智能卡模式 T = 0, T=1 (增加了功能, 可支持 T = 1, 如接收器超时、块长度、块结束检测、二进制数据反序等 .....)  停止位数: 1、1.5、2

表 19. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 U(S)ART 的区别 (续)

U(S)ART	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
特性 (续)	NA	- 从停止模式唤醒 (起始位, 接收字节, 地址匹配) - 支持 ModBus 通信 超时功能 CR/LF 字符识别 - 接收器超时中断 - 自动波特率检测 - 驱动器使能 - Tx/Rx 引脚配置可交换  LPUART 不支持同步模式 (SPI 主设备), 智能卡模式, IrDA, LIN, ModBus, 接收器超时中断, 自动波特率检测。
	NA	STM32F401/411 系列寄存器及相关位在 STM32L4 系列中是不同的。 详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 相同功能, 但规范更改或增强  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

### 4.13 I2C




STM32L4 系列实现了不同的 I2C 外设, 使软件管理更容易。

下表显示了这些区别。

表 20. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 I2C 的区别

I2C	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
实例	x3 (I2C1, I2C2, I2C3)	
特性	7 位和 10 位寻址模式 SMBus 标准模式 (Sm, 达 100 kHz) 快速模式 (Fm, 达 400 kHz)	
	NA	快速模式 Plus (Fm+, 达 1 MHz) 独立时钟 地址匹配时从停止模式唤醒

表 20. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 I2C 的区别 (续)

I2C	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
配置	-	STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中寄存器配置区别很大。详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册。
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

### 4.14 SPI/I2S/SAI

STM32L4 和 STM32F401/411 系列在 SPI 上具有几乎同样的功能（I2S 除外）。

下表显示了这些区别。

**表 21. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 SPI 的区别**

SPI	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
实例	x4 (F401) x5 (F411)	x3
特性	SPI + I2S	STM32L4 系列中 SPI 不支持 I2S 功能而代之以 2 个 SAI 接口
数据大小	固定、可配置为 8 或 16 位	从 4 到 16 位可编程
数据缓冲	Tx & Rx 16 位缓冲 (单数据帧)	32 位 Tx & Rx FIFO (高达 4 个数据帧)
数据打包	无 (仅 16 位访问)	有 (8 位, 16 位或 32 位数据访问, 可编程 FIFO 数据阈值)
模式	SPI TI 模式 SPI Motorola 模式	SPI TI SPI Motorola 模式 NSSP 模式
速度	达 42 Mbit/s (内核为 84 MHz) (F401) 达 50 Mbit/s (内核为 100 MHz) (F411)	达 40Mbits/s (APB 为 80MHz)
配置	-	数据大小和 Tx/Rx 流处理在 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中是不同的, 因此需要不同的软件时序。
<p><b>色键:</b></p> <p> = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)</p> <p> = 相同功能, 但规范更改或增强</p> <p> = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别</p>		

从 I2S 移植到 SAI:

STM32L4 系列不包括 SPI 外设的 I2S 接口部分, 而是包括两个串行音频接口。




下表显示了 I2S 和 SAI 之间的主要区别。这里只考虑了全双工 I2S。



表 22. 从 I2S 移植到 SAI

I2S/SAI	STM32F401/411 系列 (I2S)	STM32L4 系列 (SAI)
实例 全双工 I2S	x2	x2 (SAI1, SAI2)
特性	全双工通信	具有两个独立的音频子模块 (每个 SAI), 子模块既可作为接收器, 也可作为发送器, 并带有自身的 FIFO。
	主模式或从模式操作	两个音频子模块间可以是同步或异步模式。 多个 SAI 之间可实现同步。 两个音频子模块的主 / 从配置相互独立。
	8 位可编程线性预分频器, 可实现精确的音频采样频率 (从 8 kHz 到 192 kHz)	当两个音频子模块都配置为主模式时, 每个子模块的时钟发生器产生独立的音频采样频率。
	数据格式可以是 16 位、24 位或 32 位。 数据方向始终为 MSB 在前。	数据大小可配置: 8 位、10 位、16 位、20 位、24 位或 32 位。 可配置 Slot 中第一个有效位的位置。 支持 LSB 或 MSB 数据传输。
	通道长度由音频通道固定为 16 位 (可容纳 16 位数据) 或 32 位 (可容纳 16 位、24 位、32 位数据)。	高达 16 个大小可配置的 Slot。 每帧的位数可配置。 帧同步有效电平可配置 (偏移、位长、电平)。 具有立体声 / 单声道音频帧功能。
	可编程的时钟极性 (稳定状态)。	通信时钟选通边沿可配置 (SCK)。
	发送和接收使用同一个 16 位数据寄存器。	每个音频子模块集成多达 8 个字的 FIFO。
	支持的 I <sup>2</sup> S 协议: - I <sup>2</sup> S Philips 标准 - MSB 对齐标准 (左对齐) - LSB 对齐标准 (右对齐) - PCM 标准 (在 16 位通道帧或扩展为 32 位通道帧的 16 位数据帧上进行短帧和长帧同步)。	音频协议: - I <sup>2</sup> S, LSB 或 MSB 对齐, PCM/DSP, TDM (多达 16 个通道), AC'97 - SPDIF 输出
	用于发送和接收的 DMA 功能 (16 位宽)。	每个 SAI 有 2 个通道 DMA。
	可输出主时钟以驱动外部音频元件。比率固定为 $256 \times F_S$ (其中 $F_S$ 为音频采样频率)。	
支持如下中断源 (使能时): - 错误, - 发送缓冲区空, 接收缓冲区非空。	支持如下中断源 (使能时): - 错误, - FIFO 请求。	
特性 (续)	错误标志对应相应中断 (分别使能时): - 上溢和下溢检测 - 从模式下的帧同步信号提前检测, - 从模式下的帧同步信号滞后检测。	同上面的 STM32F401/411 系列 + 保护, 避免在下溢或上溢时偏离。

表 22. 从 I2S 移植到 SAI (续)

I2S/SAI	STM32F401/411 系列 (I2S)	STM32L4 系列 (SAI)
配置	-	STM32F401/411 系列 I2S 和 STM32L4 系列 SAI 之间不兼容。用户必须配置目标协议的 SAI 接口。详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册。
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 相同功能, 但规范更改或增强  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

相比于 I2S 外设, SAI 外设提高了从模式下的通信稳健性 (例如数据时钟故障的情况下)

主模式下, 将一个应用从 STM32F401/411 系列移植到 STM32L4 系列时, 用户应当重新检查可能的时钟 (MCLK), 数据位时钟 (SCK), 利用 STM32L4 系列给定外部震荡器的 PLL 倍频因子和 SAI 内部时钟分频器 (可能与 STM32F401/411 系列 I2S 不同) 所获得的帧同步 (FS) 频率。

STM32L4 系列中, SAI1 和 SAI2 输入时钟来自于以下四个时钟源之一 (由软件选择):

- 外部时钟, 对于 SAI1 它映射到 SAI1\_EXTCLK, 而对于 SAI2, 它映射到 SAI2\_EXTCLK。
- PLLSAI1 (P) 除法器输出 (PLLSAI1CLK)
- PLLSAI2 (P) 除法器输出 (PLLSAI2CLK)
- 主 PLL (P) 除法器输出 (PLLSAI3CLK)

当时钟由三个内部 PLL 之一提供时, 三个 PLL 输入可能是 HSI16、HSE 或除以可编程因子 PLLM (从 1 至 8) 的 MSI (4 至 8 MHz 之间)。然后该输入乘以 PLLN (从 8 至 86), 得到 PLL VCO 频率 (应当在 64 至 344 MHz 之间)。最后除以 PLLP (7 或 17), 提供 SAI 的输入时钟 (最大值 80 MHz)

当主时钟 MCLK 用于外部从音频外设时, PLL 输出除以 SAI 内部主时钟分频因子 (1、2、4、6、8 ... 30), 提供主时钟 (MCLK)。然后数据位时钟由 MCLK 按下面公式提供:

$$SCK = MCLK \times (FRL + 1) / 256 = (MCLK) / (256 / (FRL + 1))$$

其中：

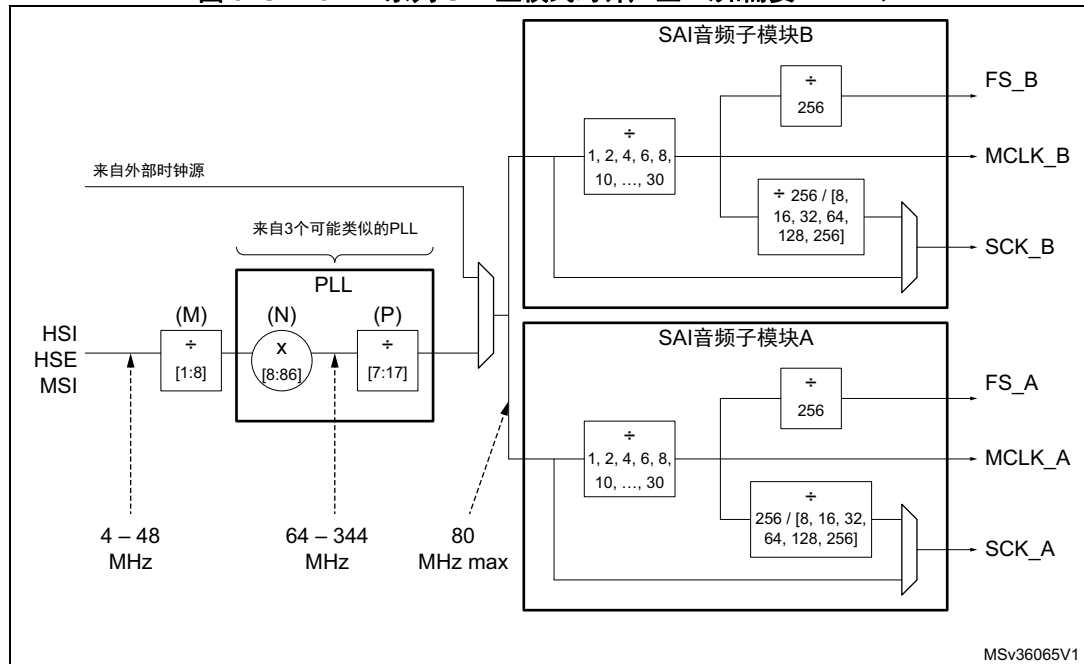
- FRL 是音频帧中的位时钟周期 - 1（0 至 255）。
- $(FRL + 1)$  应当为 2 的幂次方，大于或等于 8。
  - $(FRL + 1) = 8, 16, 32, 64, 128, 256$

当不需要 MCLK 输出时，SCK 也可直接连接到 SAI 输入时钟。

帧同步（FS）频率始终为  $MCLK/256$ 。

下面显示了 STM32L4 系列中的时钟产生方案。详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册。

图 3. STM32L4 系列 SAI 主模式时钟产生（如需要 MCLK）



## 4.15 CRC

循环冗余检验（CRC）计算单元在 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列中极为相似。

下表显示了这些区别。

表 23. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 CRC 的区别





CRC	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
特性	单输入 / 输出 32 位数据寄存器。 对于 32 位数据大小，CRC 计算在 4 个 AHB 时钟周期 (HCLK) 内完成。 8 位通用寄存器（可用于临时存储）。  使用 CRC-32（以太网）多项式： 0x4C11DB7。  处理 32 位数据大小。	位数可编程的（7 位、8 位、16 位和 32 位）的完全可编程多项式。  处理 8 位、16 位、32 位数据大小。 可编程 CRC 初始值。 输入缓冲器可避免计算期间发生总线阻塞。 输入和输出的可逆性选项。
配置	-	STM32F401/411 系列中的配置寄存器与 STM32L4 系列中相同。STM32L4 系列含有额外的寄存器，可实现新功能。 详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册。
<p><b>色键：</b></p> <p><span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> = 新功能或新结构（STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别）</p>		

## 4.16 USB OTG FS

STM32L4 系列和 STM32F401/411 系列实现了极其相似的 USB OTG FS 外设。

主要区别如下所列。

**表 24. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 USB OTG FS 的区别**

USB	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
特性	通用串行总线规范第 2.0 版 完全支持 USB On-The-Go (USB OTG)。	
	FS 模式: 1 个双向控制端点 3 个 IN 端点 (批量、中断、同步) 3 个 OUT 端点 (批量、中断、同步)	FS 模式: 1 个双向控制端点 5 个 IN 端点 (批量、中断、同步) 5 个 OUT 端点 (批量、中断、同步)
	USB 内部连接 / 断开特性, 具有一个在 USB D+ (USB_DP) 线上的内部上拉电阻。	
	NA	连接检测协议 (ADP) 电池充电检测 (BCD)
	NA	当使用 USB 时, 独立的 $V_{DDUSB}$ 电源允许使用更低的 $V_{DDCORE}$ 。
映射	AHB2	
缓冲器存储	1.25 KB 数据 FIFO。 多达 4 个 Tx FIFO 管理 (每个 IN 端点 1 个) 和 1 个 Rx FIFO	1.25 KB 数据 FIFO。 多达 6 个 Tx FIFO 管理 (每个 IN 端点 1 个) 和 1 个 Rx FIFO
低功耗模式	USB 挂起和恢复。	USB 挂起和恢复 链路电源管理 (LPM) 支持
配置	-	STM32L4 系列中寄存器是不同的。 详细内容请参考 STM32L4 系列参考手册。
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 相同功能, 但规范更改或增强  = 功能不可用 (NA)  = STM32F401/411 和 STM32L4 系列之间的显著区别		

### 4.17 ADC

下表显示了 STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列 ADC 外设之间的区别。区别如下：



- 新的数字接口
- 新结构和新功能

**表 25. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 ADC 的区别**

ADC	STM32F401/411 系列		STM32L4 系列	
ADC 类型	SAR 结构		SAR 结构	
实例	1 个实例		3 个实例	
最大采样频率	2.4 Msps		5.1 Msps (快速通道) 4.8 Msps (慢速通道)	
通道数	多达 16 个通道		每个 ADC 多达 19 个通道	
分辨率	12 位		12 位 + 达 16 位的数字过采样	
转换模式	单个 / 连续 / 扫描 / 间断		单个 / 连续 / 扫描 / 间断 双路模式	
DMA	有		有	
外部触发器	有		有	
	为规则组选择外部事件:	为注入组选择外部事件:	为规则组选择外部事件:	???????????
	TIM1 CC1	TIM1_CH4	TIM1 CC1	TIM1 TRGO
	TIM1 CC2	TIM1_TRGO	TIM1 CC2	TIM1 CC4
	TIM1 CC3	TIM2_CH1	TIM1 CC3	TIM2 TRGO
	TIM2 CC2	TIM2_TRGO	TIM2 CC2	TIM2 CC1
	TIM2 CC3	TIM3_CH2	TIM3 TRGO	TIM3 CC4
	TIM2 CC4	TIM3_CH4	TIM4 CC4	TIM4 TRGO
	TIM2_TRGO	TIM4_CH1	EXTI 线 11	EXTI?15
	TIM3_CH1	TIM4_CH2	TIM8_TRGO	TIM8_CC4
	TIM3 TRGO	TIM4_CH3	TIM8_TRGO2	TIM1_TRGO2
	TIM4 CC4	TIM4_TRGO	TIM1_TRGO	TIM8_TRGO
	TIM5_CC1	TIM5_CH4	TIM1_TRGO2	TIM8_TRGO2
	TIM5_CC2	TIM5_TRGO	TIM2_TRGO	TIM3_CC3
	TIM5_CC3	EXTI 线 15	TIM4_TRGO	TIM3_TRGO
	EXTI 线 11		TIM6_TRGO	TIM3_CC1
			TIM15_TRGO	TIM6_TRGO
			TIM3_CC4	TIM15_TRGO
电源要求	1.8 V 到 3.6 V (1.7 V, 具有外部电源监控器)		1.62 V 到 3.6 V 独立电源 (V <sub>DDA</sub> )	
参考电压	外部 V <sub>DDA</sub> - V <sub>REF+</sub> < 1.2 V		STM32L4 系列外部 (1.8 V 至 V <sub>DDA</sub> ) 或内部参考电压 (2.048 V 或 2.5 V)	
电气参数	V <sub>REF</sub> DC 电流为 300 μA (典型值) V <sub>DDA</sub> DC 电流为 1.8 mA (典型值)		功耗与转换速率比: 200 μA/Msps	



表 25. STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 ADC 的区别 (续)

ADC	STM32F401/411 系列	STM32L4 系列
输入范围	$V_{REF-} \leq V_{IN} \leq V_{REF+}$	$V_{REF-} \leq V_{IN} \leq V_{REF+}$
<b>色键:</b>  = 新功能或新结构 (STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间的区别)  = 相同功能, 但规范更改或增强		

## 5 版本历史

表 26. 文档版本历史

日期	版本	变更
2015 年 7 月 21 日	1	初始版本。
2015 年 11 月 23 日	2	更新了 <a href="#">第 4.2 节: 存储器映射</a> : 保持内容时增加了 Stop 0 模式 更新了 <a href="#">第 表 14. 节: STM32F401/411 系列和 STM32L4 系列之间 PWR 的区别</a> : 增加了 Stop 0 模式

表 27. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2015 年 12 月 8 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。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。

© 2015 STMicroelectronics - 保留所有权利 2015