

32 位 MCU  
ES32H0564

# 数 据 手 册

- ☐ 产品简介
- ☒ 数据手册
- ☐ 参考手册

上海东软载波微电子有限公司

2025-11-20

## 基于ARM Cortex-M0 的ES32H0564 系列微控制器

### 内核

- ARM 32 位 Cortex-M0 架构
  - 最高频率可达 80MHz (w/o ECC)
  - 最高频率可达 72MHz (w/i ECC)
  - 系统效能评分 68.5 DMIPS @80MHz (Dhrystone 2.1)

### 存储

- 最大 256K Bytes FLASH 存储器
- 最大 24K Bytes SRAM 数据存储
- 最大 4K Bytes EEPROM (为内置芯片, 通过 PD10、PD11 端口访问)

### 电源、复位

- 芯片工作电压范围:
  - $2.2V \leq VDD \leq 5.5V$
- POR, BOR (支持 7 个阈值选择), LVD

### 时钟

- 外部晶体振荡器: 32KHz 或 4~20MHz
- 内部高速频率 RC 振荡器: 48MHz  
(-20°C~85°C 范围内频率精度为  $\pm 1\%$ )
- 内部低速 RC 振荡器: 31.25KHz (常温频率精度为  $\pm 5\%$ )
- PLL: 支持 48MHz~80MHz 频率可配

### 低功耗模式

- 支持以下低功耗模式
  - SLEEP
  - STOP (功耗 3.8uA @ 常温, VDD=5V)

### 系统外设

- 调试: SWD 串口调试协议
- 调试配置控制模块 (DBGCC)
- DMA: 支持 7 个多路复用通道
- PIS: 支持 8 个外设互联通道
- 看门狗定时器: IWDG 和 WWDG

### 接口资源

- 多达 57 个通用 IO 端口, 驱动能力可配

### 安全及运算加速单元

- CRC-8、CRC-16、CCITT、CRC-32
- CALC: 32 位平方根、除法、反正切加速运算
- SVA: SVPWM、Clarke/Park 正逆变换
- PI: 2 路独立比例积分运算加速器
- MCA: FOC 运算硬件加速器

### 模拟

- 1 路 12 位 ADC: 速率最高 2.2MSPS, 支持 26 个外部模拟通道、1 路内部 1.2V 基准电压、1 路 OPA 输出电压
- 3 路模拟比较器
- 1 路采样相电流的 OPA
- 1 路 256 档分压器 VDDSCALAR

### 定时器

- 1 路 16 位高级定时器 AD16C6T: 16 位递增、递减、递增/递减自动重载计数器, 支持 4 个输入捕捉/6 个输出比较通道, 支持 4 组死区可编程 PWM 互补输出通道, 支持刹车功能
- 3 路 16 位通用定时器 GP16C4T: 16 位递增、递减、递增/递减自动重载计数器, 支持 4 路独立的输入捕捉和输出比较通道
- 1 路低功耗定时器 LP16T
- 2 路 16 位基本定时器 BS16T

### 通信接口

- 2 路 I2C 接口: 支持多主机模式、SMBus
- 2 路 SPI 接口, 支持波特率最高  $F_{PCLK}/2$
- 5 路 UART: 1 个 EUART, 4 个 CUART

| 产品系列代码    | 产品代号         |
|-----------|--------------|
| ES32H0564 | ES32H0564LTE |

## 目 录

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 基于 ARM Cortex-M0 的 ES32H0564 系列微控制器 ..... | 2  |
| 第 1 章 简介 .....                            | 7  |
| 第 2 章 概述 .....                            | 8  |
| 2.1 器件资源 .....                            | 8  |
| 2.2 器件资源概述 .....                          | 10 |
| 2.2.1.1 ARM Cortex-M0 core .....          | 10 |
| 2.2.1.2 嵌套向量中断控制器 (NVIC) .....            | 10 |
| 2.2.1.3 系统节拍定时器 (SysTick) .....           | 10 |
| 2.2.1.4 串行线调试 (SWD) .....                 | 10 |
| 2.2.2 存储器 .....                           | 11 |
| 2.2.2.1 闪存 (FLASH) .....                  | 11 |
| 2.2.2.2 静态随机存取存储器 (SRAM) .....            | 11 |
| 2.2.2.3 存储器保护 .....                       | 11 |
| 2.2.2.4 启动方式 .....                        | 11 |
| 2.2.3 系统管理 .....                          | 12 |
| 2.2.3.1 电源 .....                          | 12 |
| 2.2.3.2 电源监视 .....                        | 12 |
| 2.2.3.3 低功耗模式 .....                       | 12 |
| 2.2.3.4 时钟管理 .....                        | 12 |
| 2.2.3.5 直接存储器访问 (DMA) .....               | 13 |
| 2.2.3.6 外设互联 (PIS) .....                  | 13 |
| 2.2.3.7 看门狗定时器 (WDT) .....                | 13 |
| 2.2.4 外部接口 .....                          | 14 |
| 2.2.4.1 通用端口 (GPIO) .....                 | 14 |
| 2.2.5 安全管理及运算加速 .....                     | 14 |
| 2.2.5.1 运算加速器 (CALC) .....                | 14 |
| 2.2.5.2 空间向量运算加速器 (SVA) .....             | 14 |
| 2.2.5.3 比例积分加速器 (PI) .....                | 14 |
| 2.2.5.4 电机控制加速器 (MCA) .....               | 14 |
| 2.2.5.5 循环冗余校验 (CRC) .....                | 14 |
| 2.2.6 定时器 .....                           | 15 |
| 2.2.6.1 高级定时器 (AD16C6T) .....             | 15 |
| 2.2.6.2 通用定时器 (GP16C4T) .....             | 16 |
| 2.2.6.3 低功耗定时器 (LP16T) .....              | 16 |
| 2.2.6.4 基本定时器 (BS16T) .....               | 16 |
| 2.2.7 通信 .....                            | 17 |
| 2.2.7.1 内部集成电路总线 (I2C) .....              | 17 |
| 2.2.7.2 串行外设接口 (SPI) .....                | 17 |
| 2.2.7.3 通用异步收发器 (UART) .....              | 17 |
| 2.2.8 模拟 .....                            | 18 |
| 2.2.8.1 模数转换器 (ADC) .....                 | 18 |
| 2.2.8.2 电源分压器 (VDDSCALAR) .....           | 18 |

|          |                              |    |
|----------|------------------------------|----|
|          | 2.2.8.3 模拟比较器 (ACMP) .....   | 18 |
|          | 2.2.8.4 运算放大器 (OPA) .....    | 18 |
| 第3章      | 管脚说明 .....                   | 19 |
| 3.1      | 管脚图 .....                    | 19 |
| 3.1.1    | LQFP64 .....                 | 19 |
| 3.2      | 管脚功能定义 .....                 | 21 |
| 3.2.1    | ES32H0564LTE 管脚功能定义 .....    | 21 |
| 3.3      | 管脚功能说明 .....                 | 24 |
| 3.4      | MCU 和内置 EEPROM 的内部连接关系 ..... | 25 |
| 第4章      | 存储器映射图 .....                 | 26 |
| 第5章      | 电气特性 .....                   | 27 |
| 5.1      | 芯片电源 .....                   | 27 |
| 5.2      | 电流测量 .....                   | 27 |
| 5.3      | 芯片极限参数 .....                 | 28 |
| 5.3.1    | 电压参数 .....                   | 28 |
| 5.3.2    | 电流参数 .....                   | 28 |
| 5.3.3    | 热参数 .....                    | 28 |
| 5.4      | 运行条件 .....                   | 29 |
| 5.4.1    | 运行条件 .....                   | 29 |
| 5.4.2    | 上电和掉电参数条件 .....              | 29 |
| 5.4.3    | 复位和电源管理模块电气参数 .....          | 29 |
| 5.4.4    | 电流特性 .....                   | 30 |
| 5.4.5    | 外部时钟源电气参数 .....              | 31 |
| 5.4.6    | 内部时钟源电气参数 .....              | 33 |
| 5.4.7    | 锁相环电气参数 .....                | 34 |
| 5.4.8    | 存储器电气参数 .....                | 34 |
| 5.4.9    | 电磁兼容性 .....                  | 35 |
| 5.4.9.1  | 电磁敏感性 .....                  | 35 |
| 5.4.10   | 静电防护特性 .....                 | 35 |
| 5.4.10.1 | 静电释放 .....                   | 35 |
| 5.4.10.2 | 静态闩锁 .....                   | 35 |
| 5.4.11   | I/O 端口电气特性 .....             | 36 |
| 5.4.11.1 | I/O 端口输入特性图 .....            | 37 |
| 5.4.11.2 | I/O 端口输出特性图 .....            | 38 |
| 5.4.12   | MRST 电气特性 .....              | 46 |
| 5.4.13   | 定时器特性参数 .....                | 48 |
| 5.4.14   | 通信特性参数 .....                 | 48 |
| 5.4.14.1 | 内部集成电路总线 (I2C) 特性参数 .....    | 48 |
| 5.4.14.2 | 串行外设接口 (SPI) 特性参数 .....      | 49 |
| 5.4.15   | 低功耗模式转换特性参数 .....            | 51 |
| 5.4.16   | 模数转换器特性参数 .....              | 52 |
| 5.4.17   | ADC 内部参考电压特性参数 .....         | 53 |
| 5.4.18   | 模拟比较器特性参数 .....              | 53 |
| 5.4.19   | VDD 分压器特性参数 .....            | 54 |

|              |                           |           |
|--------------|---------------------------|-----------|
| 5. 4. 20     | 运算放大器 OPA 特性参数 .....      | 54        |
| <b>第 6 章</b> | <b>内置 EEPROM 芯片 .....</b> | <b>55</b> |
| 6. 1         | 概述 .....                  | 55        |
| 6. 2         | 管脚说明 .....                | 55        |
| 6. 3         | 结构框图 .....                | 56        |
| 6. 4         | 数据传输协议说明 .....            | 56        |
| 6. 5         | 低功耗待机模式 (Standby) .....   | 57        |
| 6. 6         | 存储器上电复位 .....             | 57        |
| 6. 7         | 器件寻址 .....                | 57        |
| 6. 8         | EEPROM 写操作 .....          | 58        |
| 6. 9         | EEPROM 读操作 .....          | 59        |
| 6. 10        | 内置 EEPROM 电气特性 .....      | 60        |
| 6. 10. 1     | 芯片工作条件 .....              | 60        |
| 6. 10. 2     | 直流电气特性表 .....             | 60        |
| 6. 10. 3     | 交流电气特性表 .....             | 60        |
| <b>第 7 章</b> | <b>封装信息 .....</b>         | <b>62</b> |
| 7. 1         | LQFP64 封装尺寸图 .....        | 62        |
| <b>第 8 章</b> | <b>修订历史 .....</b>         | <b>63</b> |

## 图目录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 图 2-1 ES32H0564 系列系统框图.....        | 9  |
| 图 3-1 ES32H0564LTE LQFP64 顶视图..... | 19 |
| 图 4-1 存储器映射 .....                  | 26 |
| 图 5-1 芯片电源.....                    | 27 |
| 图 5-2 电流测量.....                    | 27 |
| 图 5-3 外部振荡器连接图 .....               | 32 |
| 图 5-4 晶体振荡器等效电路示意图 .....           | 32 |
| 图 5-5 MRST 应用电路 1 .....            | 46 |
| 图 5-6 MRST 应用电路 2 .....            | 46 |
| 图 5-7 MRST 应用电路 3 .....            | 47 |
| 图 5-8 MRST 应用电路 4 .....            | 47 |
| 图 5-9 I2C 时序图.....                 | 48 |
| 图 5-10 SPI 时序图（从模式，CPHA = 0） ..... | 50 |
| 图 5-11 SPI 时序图（从模式，CPHA = 1） ..... | 50 |
| 图 5-12 SPI 时序图（主模式） .....          | 51 |

## 表目录

|        |                                       |    |
|--------|---------------------------------------|----|
| 表 2-1  | 器件资源列表 .....                          | 8  |
| 表 2-2  | 定时器功能 .....                           | 15 |
| 表 2-3  | UART0~4 具体功能配置 .....                  | 17 |
| 表 3-1  | ES32H0564LTE 管脚功能定义 .....             | 23 |
| 表 5-1  | 极限电压参数 .....                          | 28 |
| 表 5-2  | 极限电流参数 .....                          | 28 |
| 表 5-3  | 极限热参数 .....                           | 28 |
| 表 5-4  | 芯片通常运行条件 .....                        | 29 |
| 表 5-5  | 芯片在上电和掉电时的参数条件 .....                  | 29 |
| 表 5-6  | 复位和电源管理模块电气参数 .....                   | 30 |
| 表 5-7  | RUN/SLEEP 模式电流特性（程序在 FLASH 中运行） ..... | 30 |
| 表 5-8  | STOP 模式电流特性 .....                     | 30 |
| 表 5-9  | 外部高速振荡时钟特性参数 .....                    | 31 |
| 表 5-10 | 外部低速振荡时钟特性参数 .....                    | 31 |
| 表 5-11 | 内部高速 HRC 振荡器特性 .....                  | 33 |
| 表 5-12 | 内部低速 LRC 振荡器特性 .....                  | 33 |
| 表 5-13 | PLL 电气参数 .....                        | 34 |
| 表 5-14 | 存储器特性参数 .....                         | 34 |
| 表 5-15 | EMS 参数 .....                          | 35 |
| 表 5-16 | ESD 最大额定值 .....                       | 35 |
| 表 5-17 | LU 最大额定值 .....                        | 35 |
| 表 5-18 | I/O 端口 DC 电气特性表 .....                 | 36 |
| 表 5-19 | MRST 电气特性 .....                       | 46 |
| 表 5-20 | 定时器特性参数 .....                         | 48 |
| 表 5-21 | 内部集成电路总线 I2C 特性参数 .....               | 48 |
| 表 5-22 | SPI 特性参数 .....                        | 49 |
| 表 5-23 | 低功耗模式唤醒特性 .....                       | 51 |
| 表 5-24 | ADC 特性参数 .....                        | 52 |
| 表 5-25 | ADC 精度特性 1 .....                      | 52 |
| 表 5-26 | ADC 精度特性 2 .....                      | 53 |
| 表 5-27 | ADC 内部参考电压特性参数 .....                  | 53 |
| 表 5-28 | ACMP 特性参数 .....                       | 53 |
| 表 5-29 | VDD 分压器特性参数 .....                     | 54 |
| 表 5-30 | OPA 特性参数 .....                        | 54 |

## 第1章 简介

该数据手册为 ES32H0564 系列微控制器提供订单信息以及器件物理特性。阅读数据手册时请配合用户手册（ES32H05x4 参考手册）一起使用。

关于 Cortex-M0 可参考《Cortex-M0 技术参考手册》，可从 ARM 官网（<http://infocenter.arm.com>）获得。

## 第2章 概述

ES32H0564 微控制器是一系列集成了高性能低功耗 32 位 ARM Cortex-M0 内核的微控制器。该芯片的最高工作频率为 72MHz（非 Flash ECC 模式最高为 80MHz），具有 256 Kbytes Flash 和 24Kbytes SRAM 嵌入式存储器。提供广泛且高效的功能模块，以及符合标准的通讯接口，包含 2 个 I2C，2 个 SPI，5 个 UART，1 个高级 6 通道 16 位定时器（AD16C6T），3 个通用 4 通道 16 位定时器（GP16C4T），1 个低功耗 16 位定时器（LP16T），2 个基本 16 位定时器（BS16T），1 个 12 位高速 ADC，3 个模拟比较器 ACMP，1 个运放 OPA。

ES32H0564 微控制器的工作电压和温度分别为 2.2V~5.5V 和 -40°C~105°C。

ES32H0564 微控制器适用于广泛的应用，如白色家电、工业控制、智能家电、电机控制等。

### 2.1 器件资源

|                    |                  | ES32H0564LTE |
|--------------------|------------------|--------------|
| Flash 存储 (KBytes)  |                  | 256          |
| SRAM (KBytes)      |                  | 24           |
| EEPROM (KBytes)    |                  | 4            |
| GPIO               |                  | 57           |
| 12-bit ADC Channel |                  | 26           |
| 模拟比较器              |                  | 3            |
| 运算放大器              |                  | 1            |
| 定时器                | 高级定时器<br>AD16C6T | 1            |
|                    | 通用定时器<br>GP16C4T | 3            |
|                    | 低功耗定时器<br>LP16T  | 1            |
|                    | 基本定时器 BS16T      | 2            |
| 通信                 | I2C              | 2            |
|                    | SPI              | 2            |
|                    | UART             | 1+4          |
| 内核最高运行频率           |                  | 80/72MHz     |
| 工作电压范围             |                  | 2.2V~5.5V    |
| 封装                 |                  | LQFP64       |

表 2-1 器件资源列表

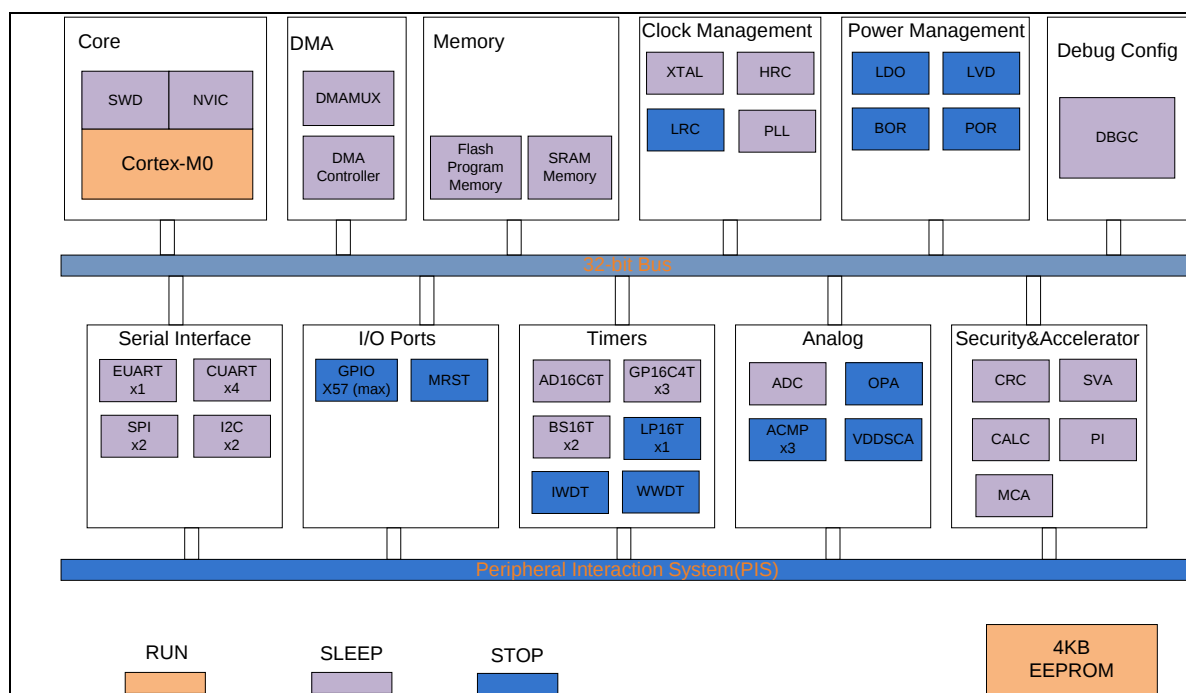


图 2-1 ES32H0564 系列系统框图

## 2.2 器件资源概述

---

### 2.2.1.1 ARM Cortex-M0 core

ARM Cortex-M0 提供了高性能，低功耗，低成本的平台来满足微控制器的实现要求。具备出色的计算性能，并能够快速响应中断。

### 2.2.1.2 嵌套向量中断控制器（NVIC）

ES32H0564 系列微控制器的嵌套向量中断控制器 NVIC（Nested Vectored Interrupt Controller）可支持 4 个优先级设定。并具备以下特性：

- ◇ NVIC 与内核紧密配合支持快速中断响应时间
- ◇ 中断向量表直接传递至内核
- ◇ 支持中断嵌套，咬尾和迟来

### 2.2.1.3 系统节拍定时器（SysTick）

SysTick 定时器被捆绑在 NVIC 中，用于产生 SysTick 中断。

### 2.2.1.4 串行线调试（SWD）

支持标准 SWD（Serial Wire Debug）协议的调试接口。系统时钟不低于 24MHz 时，支持调试的最大通信速率可达 5MHz。

## 2.2.2 存储器

### 2.2.2.1 闪存 (FLASH)

最大 256 KBytes FLASH 存储空间用于存放程序数据，支持 ECC 纠错（64 位数据+8 位纠错码），可纠正 1 位错误。

（FLASH ECC 模式下 Flash 容量最大支持 224KB）

### 2.2.2.2 静态随机存取存储器 (SRAM)

最大 24 KBytes SRAM，支持单周期访问，支持 ECC 纠错（8 位数据+4 位纠错码），可纠正 1 位错误。

（SRAM ECC 模式下 SRAM 容量最大支持 16KB）

### 2.2.2.3 存储器保护

用户可通过读写保护配置字选择相应的读保护或写保护模式。

#### ◇ 全局读保护

- Level 0: 无保护
- Level1: FLASH 无法通过调试接口读出，也无法通过运行在 SRAM 中的程序读出
- Level2: 所有调试接口访问（包括擦除）被禁止，也无法通过运行在 SRAM 中的程序读出

#### ◇ 私有代码读出保护

- 可配置 FLASH 某一块连续的区域为私有代码读出保护区，用户无法通过调试接口读出，也无法通过运行在该区域外的程序读出

#### ◇ FLASH 写保护

- 可配置 FLASH 某一块连续的区域为写保护区，用户无法对该区域进行页擦除和编程操作。

### 2.2.2.4 启动方式

在芯片上电之后，通过芯片配置字中的 BOOT 配置，选择以下 2 种方式启动：

#### ◇ 从用户程序启动（地址为 0x00000000）

#### ◇ 从用户 Boot 启动（地址为 0x0003E000，FLASH 地址 4KB 对齐，Boot 程序运行的主频需在 48MHz 以内，即不能超过 48MHz）

## 2.2.3 系统管理

### 2.2.3.1 电源

VDD: 芯片主电源, 通过管脚 VDD 为所有 IO 及内部稳压器供电, 接 2.2V~5.5V 电源。

### 2.2.3.2 电源监视

- ◇ 上电复位 (POR): 当 VDD 低于 VPOR/VPDR 时, 器件处于复位状态。
- ◇ 欠压复位 (BOR): 上电期间, 欠压复位 (BOR) 将使器件保持复位状态, 直到电源电压达到所配置的 VBOR 阈值。芯片支持 7 个 VBOR 阈值可选, 当电源电压 VDD 降至所选 VBOR 阈值以下时, 将使器件复位。
- ◇ 低电压监测 (LVD): LVD 可用于监视 VDD 电源, 通过设置 LVDEN 使能 LVD, 将 VDD 电压和 LVDS 所选择的电压阈值进行比较, 可产生 LVD 中断。

### 2.2.3.3 低功耗模式

ES32H0564 系列微控制器支持以下低功耗模式来实现低功耗, 快速唤醒时间以及可支持唤醒源的组合选择。

#### ◇ SLEEP 模式

在 SLEEP 模式下, 内核时钟被关闭。所有外设可以继续工作并通过中断或事件唤醒内核。

#### ◇ STOP 模式

在 STOP 模式下, 内核和大部分外设时钟被关闭, HOSC 和 HRC 可通过软件分别配置为使能。只有低功耗外设 IWDG、WWDT、LVD、GPIO、LPTIM、ACMP1 等还能继续工作, 并通过中断唤醒芯片。可配置稳压器 LDO 在 STOP 时进入低功耗模式。

### 2.2.3.4 时钟管理

时钟控制器可对内核和外设分配不同的时钟源, 同时管理外设总时钟门控以及低功耗模式的时钟门控。

#### ◇ 时钟分频

通过权衡系统的运行速度和功耗, 可以调整内核和外设的时钟分频比, 选择合适的时钟频率。

#### ◇ 时钟安全控制

HOSM (HOSC Security Management) 可以实时监测 HOSC 时钟的工作情况, 当发生时钟停止时, 可自动为其切换为 HRC48M 三分频后的 16MHz 时钟。

#### ◇ 时钟门控

内核、部分外设和存储器时钟都可被单独门控, 可减少功耗消耗。

#### ◇ 时钟源

- 32K、4~20MHz 外部高速晶体振荡器 (LOSC、HOSC)
- 一个独立内部高速 RC 振荡器 (HRC48M)
- 31.25KHz 内部低速振 RC 荡器 (LRC)

- 48MHz~80MHz PLL 倍频时钟

### 2.2.3.5 直接存储器访问 (DMA)

DMA (Direct Memory Access) 控制器能够独立于内核进行内存操作, 以降低功耗和内核的工作负载。支持 7 通道, 每个 DMA 通道分别对应一个 DMA 多路复用器。多路复用器可选择片上所有的 DMA 请求源。DMA 控制器可支持存储器到存储器、存储器到外设、外设到存储器、外设到外设之间的数据传输。

注: DMA 控制器工作在外设到外设模式时, 需将仲裁前的 DMA 传输次数设置为 1, 即设置 DMA\_CONn 寄存器的 MAX\_BURST<3:0>=0, 并且对所涉及的外设, 只能使能该外设的一个 DMA 请求功能。

### 2.2.3.6 外设互联 (PIS)

PIS (Peripheral Interaction System) 在微控制器中作为外设互联的桥接口使用, 利用 PIS 可实现外设之间的相互触发、控制及自动化工作, 提高系统的实时性和快速响应能力, 可避免占用过多的内核工作负载并简化软件工作, 为各种应用扩展提供便捷。送出信号的外设模块被称为生产端, PIS 把这些信号传递到被称为消费端的外设进行使用。PIS 信号可以是电平或脉冲的形式, 并支持异步触发信号。

### 2.2.3.7 看门狗定时器 (WDT)

#### ◇ 独立看门狗定时器 (IWDT)

IWDT (Independent Watchdog), 当使用芯片配置字使能 IWDT 时, 时钟强制为 31.25KHz LRC 时钟, 可用于检测软件和硬件异常, 如主时钟停振, 程序跑飞等。

在调试模式下, 定时器可被冻结。

#### ◇ 窗口看门狗定时器 (WWDT)

WWDT (Window Watchdog), 使用系统时钟 PCLK 作为计数时钟, 对于过早或过晚喂狗都将产生 WWDT 复位, 可用于检测软件没有喂狗或过早的喂狗行为, 防止程序跑至不可控状态。

在调试模式下, 定时器可被冻结。

## 2.2.4 外部接口

### 2.2.4.1 通用端口 (GPIO)

通用端口 (GPIO) 分为 PA, PB, PC 和 PD 四组, 每组通用端口包含最多 16 个独立的引脚。这些引脚可单独配置为输入或输出。每个引脚有独立的开漏输出控制, 驱动能力选择控制, 上拉或下拉选择, CMOS/TTL 输入选择以及输入滤波使能控制。大部分端口可以与模拟功能及其他数字外设功能复用。每个端口可分别支持中断, 分为 4 组, 分别映射到 4 个中断向量。另外, 每个端口还可支持触发 DMA 数据传输的功能。

## 2.2.5 安全管理及运算加速

### 2.2.5.1 运算加速器(CALC)

运算加速器(CALC)可执行平方根、带符号除法以及反正切的硬件运算加速。

### 2.2.5.2 空间向量运算加速器 (SVA)

SVA (Space Vector Accelerator) 是对无刷直流电机的 FOC (Field Orientated Control) 应用中的常用运算提供加速功能, 并计算出对应结果以提供 Timer 产生对应的 PWM 输出。

- ◇ SVPWM
- ◇ Clarke 正逆转换
- ◇ Park 正逆转换
- ◇ 输入输出使用有符号 16 位定点数表示
- ◇ 使用 AHB 时钟作为运算时钟
- ◇ 运算结束产生 DMA 请求
- ◇ 运算结束产生中断

### 2.2.5.3 比例积分加速器 (PI)

PI 提供一个乘法与积分运算的加速单元, 有独立的 2 组运算单元。

### 2.2.5.4 电机控制加速器 (MCA)

MCA 用来控制 SVA、PI 等模块自动完成部分或全部 FOC 运算, 提升控制效率。

- ◇ 支持使用 DMA 读/写数据执行运算操作
- ◇ 支持 FOC 运算过程暂停或跳过控制

### 2.2.5.5 循环冗余校验 (CRC)

CRC (Cyclic Redundancy Check) 发生器可以执行带可编程多项式设定的 CRC 计算。

支持四个常用的多项式: CRC-CCITT, CRC-8, CRC-16 和 CRC-32

- ◇ CRC-CCITT:  $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$
- ◇ CRC-8:  $X^8 + X^2 + X + 1$
- ◇ CRC-16:  $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$
- ◇ CRC-32:  $X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$

## 2.2.6 定时器

ES32H0564 系列微控制器包含了 1 个高级定时器、3 个通用 4 通道定时器、1 个低功耗定时器和 2 个基本定时器。功能比较如下表所示：

| 定时器类别                | 定数器<br>计数位宽度 | 计数<br>类型       | 预分频比      | DMA<br>请求 | ADC<br>触发 | 输入捕捉/输出<br>比较通道<br>PWM | 互补<br>输出 | 数量 |
|----------------------|--------------|----------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|----------|----|
| 高级控制定时器<br>(AD16C6T) | 16 位         | 向上<br>向下<br>上下 | 1 ~ 65536 | 支持        | 支持        | 4 / 6                  | 4        | 1  |
| 通用定时器<br>(GP16C4T)   | 16 位         | 向上<br>向下<br>上下 | 1 ~ 65536 | 支持        | 支持        | 4                      | 不支持      | 3  |
| 低功耗定时器<br>(LP16T)    | 16 位         | 向上             | 1 ~ 65536 | 支持        | 支持        | 1                      | 不支持      | 1  |
| 基本定时器<br>(BS16T)     | 16 位         | 向上             | 1 ~ 65536 | 支持        | 支持        | x                      | 不支持      | 2  |

表 2-2 定时器功能

### 2.2.6.1 高级定时器（AD16C6T）

ES32H0564 系列微控制器带 1 路高级定时器（AD16C6T），具备以下功能：

- ◇ 16 位递增，递减，递增/递减自动加载计数器
- ◇ 16 位可编程预分频器，可在定时器运行中对计数器工作时钟进行 1~65536 之间的任意分频
- ◇ 带有 4 个独立通道，每个通道支持以下功能
  - 输入捕获
  - 输出比较
  - PWM 产生(边沿与中央对齐模式)
  - 单脉冲输出
- ◇ 通道 1~4 支持互补输出，死区时间可配
- ◇ 同步电路用于外部信号控制定时器及内部互联多个定时器
- ◇ 支持重复计数器，用于在给定数目的计数周期后更新定时器寄存器
- ◇ 支持刹车功能，并可设置刹车后定时器输出状态
- ◇ 支持中断/DMA:
  - 更新事件：计数器上溢/下溢，计数器初始化（通过软件或内/外部触发）
  - 触发事件：计数器启动、停止、初始化或通过内部与外部触发计数
  - 换向事件（COM）
  - 输入捕获
  - 输出比较
  - 刹车输入

- ◇ 支持增量（正交）编码及霍尔电路进行定位
- ◇ 外部时钟输入触发计数器
- ◇ 在调试模式下，定时器可被冻结。

#### 2.2.6.2 通用定时器（GP16C4T）

ES32H0564 系列微控制器带 3 路通用定时器（GP16C4T0, GP16C4T1, GP16C4T2），具备以下功能：

- ◇ 16 位递增、递减、递增/递减自动重载计数器
- ◇ 16 位可编程预分频器，用于对计数器时钟频率进行分频，分频系数介于 1~65536 之间
- ◇ 多达 4 个独立通道，可用于：
  - 输入捕获
  - 输出比较
  - PWM 生成（边沿和中心对齐模式）
  - 单脉冲输出模式
- ◇ 使用外部信号控制定时器且可实现多个定时器互联的同步电路
- ◇ 重复计数器，用于仅在给定数目的计数器周期后更新定时器寄存器
- ◇ 发生如下事件时生成中断/DMA 请求：
  - 更新：计数器上溢/下溢、计数器初始化（通过软件或内部/外部触发）
  - 触发事件：计数器启动、停止、初始化或通过内部/外部触发计数
  - 输入捕获
  - 输出比较
- ◇ 支持增量（正交）编码器和霍尔传感器电路进行定位
- ◇ 外部时钟触发输入
- ◇ 在调试模式下，定时器可被冻结。

#### 2.2.6.3 低功耗定时器（LP16T）

支持 1 路低功耗定时器（LP16T）。在低功耗模式（SLEEP, STOP）下，通过配置合适的时钟源，可满足低功耗的基本应用，如 16 位计数，以及 PWM 输出，脉冲输出等。

在调试模式下，定时器可被冻结。

#### 2.2.6.4 基本定时器（BS16T）

ES32H0564 系列微控制器带 2 路基本定时器（BS16T0, BS16T1），具备以下功能：

- ◇ 16 位自动加载递增计数器
- ◇ 16 位可编程预分频器，可在定时器运行中对计数器工作时钟进行 1~65536 之间的任意分频
- ◇ 计数上溢更新事件产生中断请求
- ◇ 在调试模式下，定时器可被冻结。

## 2.2.7 通信

### 2.2.7.1 内部集成电路总线 (I2C)

支持 2 路 I2C (I2C0、I2C1)。I2C (Inter-Integrated Circuit) 总线接口用作微控制器和 I2C 串行总线之间的接口。支持多主模式功能, 可以控制所有 I2C 总线特定的序列、协议、仲裁和时序。支持标准和快速模式。与 SMBus2.0 兼容。可以用于多种用途, 包括 CRC 生成和验证、SMBus (系统管理总线) 以及 PMBus (电源管理总线)。

I2C 支持 DMA 对所发送和接收数据进行传输。

### 2.2.7.2 串行外设接口 (SPI)

支持 2 路 SPI 接口 (SPI0、SPI1)。SPI (Serial Peripheral Interface) 可与外部器件进行半双工/全双工的同步串行通信。该接口可配置为主模式, 在这种情况下, 可为外部从器件提供通信时钟 (SCK)。该接口还能够多主模式配置下工作。可用于多种用途, 包括基于双线的单工同步传输, 其中一条可作为双向数据线, 或使用 CRC 校验实现可靠通信。

SPI 支持 DMA 对所发送和接收数据进行传输。

### 2.2.7.3 通用异步收发器(UART)

支持 5 路 UART 接口 (UART0~4, 其中 UART0 是增强型 EUART, UART1~4 是普通型 CUART)。通用异步收发器 (UART) 提供了一个灵活的方式, 使 MCU 可以与外部设备通过工业标准 NRZ 的形式实现全双工异步串行数据通讯。UART 可以使用小数波特率发生器, 提供了超宽的波特率设置范围。

UART 支持异步通讯模式和半双工单线通讯, 也支持 LIN (本地互连网络)、智能卡协议、IrDA (红外数据协会) SIR ENDEC 规范和 modem 流控操作 (CTS/RTS), 同时还支持多机通讯方式。

支持使用 DMA 实现多缓冲区设置, 从而能够支持高速数据通讯。

| UART 模式/特性    | UART0<br>(增强型) | UART1/2/3/4<br>(普通型) |
|---------------|----------------|----------------------|
| Modem 的硬件控制   | √              | √                    |
| 使用 DMA 实现连续通讯 | √              | √                    |
| 多机通讯模式        | √              | √                    |
| 智能卡模式         | √              | —                    |
| 单线半双工模式       | √              | —                    |
| IrDA SIR 模式   | √              | —                    |
| LIN 模式        | √              | —                    |
| 超时检测功能        | √              | √                    |
| Modbus 通讯     | √              | √                    |
| 自动波特率检测模式     | √              | √                    |
| RS485 的驱动使能信号 | √              | √                    |
| Modem 的硬件控制   | 5, 6, 7, 8, 9  |                      |

表 2-3 UART0~4 具体功能配置

## 2.2.8 模拟

### 2.2.8.1 模数转换器 (ADC)

支持 1 路高速模数转换器 (ADC)。ADC (Analog to Digital Converter) 是 12 位分辨率的逐次逼近型模数转换器。具有多达 28 个复用通道, 可测量从管脚输入的 26 个外部信号、2 个内部信号 (包括 1 路内部 VREF 1.2V 和 1 路 OPA 输出电压)。这些通道的模数转换可在单次、连续、扫描或不连续采样模式下进行。ADC 的结果存储在一个左对齐或右对齐的 16 位数据寄存器中。

ADC 模块具有模拟看门狗特性, 允许应用检测输入电压是否超过了用户自定义的阈值上限或下限。

ADC 支持标准模式或插入模式下触发 DMA 数据传输的功能。

### 2.2.8.2 电源分压器 (VDDSCALAR)

支持 1 路 256 档电源分压器 (VDDSCALAR), 输出电压可用于模拟比较器负参考电压。

### 2.2.8.3 模拟比较器 (ACMP)

支持 3 路模拟比较器 (ACMP0, ACMP1, ACMP2)。ACMP (Analog Comparator) 用于比较两个模拟信号电压的大小。当正极输入大于负极输入时比较器输出逻辑 1, 否则输出 0。当比较器输出值有变化时, 两个比较器都可以配置产生中断。

ACMP 支持响应时间可设置, 支持迟滞电压可选择, 支持消隐功能。

ACMP1 可在 STOP 模式下工作, 并可唤醒 STOP 模式。

### 2.2.8.4 运算放大器 (OPA)

支持 1 个高带宽运算放大器 (OPA), 输入输出可连接到外部引脚, 根据应用需求, 其工作模式可配置为独立模式、跟随模式、内部增益放大模式。

## 第3章 管脚说明

### 3.1 管脚图

#### 3.1.1 LQFP64

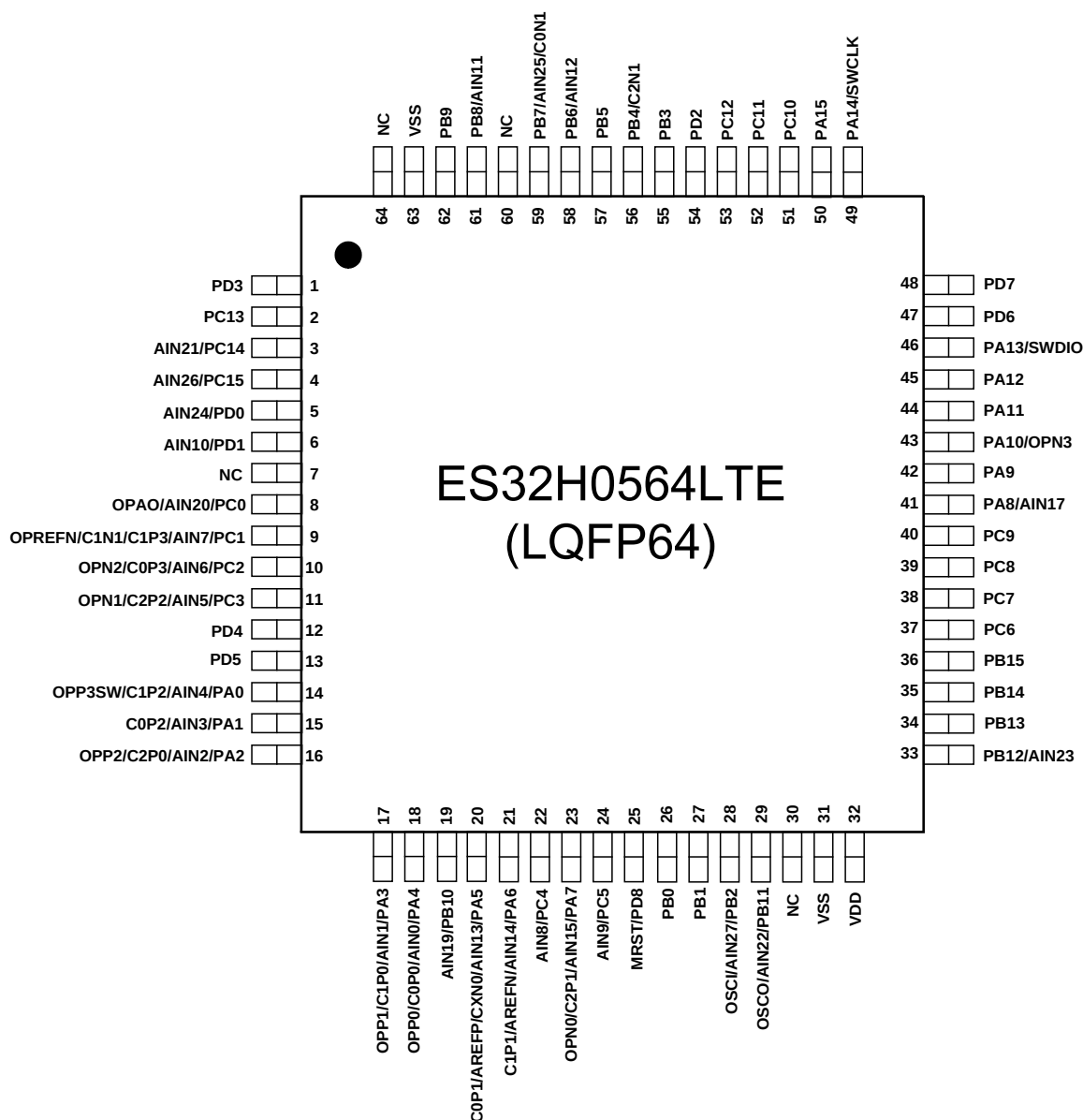


图 3-1 ES32H0564LTE LQFP64 顶视图

- 注 1: 编程/调试接口共用 5 线接口配置, 即电源 VDD、地 VSS、复位线 MRST、时钟线 SWCLK 和数据线 SWDIO。
- 注 2: 若需支持 4 线编程/调试使用, 需通过用户配置字 MRST\_DLY 位配置使能至少 15ms 的上电延时, 此时 4 线接口配置包括电源线 VDD、地线 VSS、时钟线 SWCLK 和数据线 SWDIO (即省去 MRST 复位线)。
- 注 3: 未使用的 I/O 管脚 (包括产品封装引脚数小于最大引脚数时, 未引出的 I/O 管脚) 都需设置为输出低电平并禁止内部弱上下拉, 否则芯片功耗可能会出现异常, 芯片工作稳定性也容易因外界干扰而降低。

PD10~PD11 用于连接内部 EEPROM，所有芯片型号均未封装引出，如果使用 EEPROM 功能，则可通过这两个端口与 EEPROM 进行数据传输，否则需要将其作为未引出的 I/O 进行设置。

ES32H0564LTE 未引出的 I/O 包括 PD9~11。

注 4: 外部复位与 GPIO 复用同一个管脚，默认为外部复位 MRST 功能，内部集成了约 55K 欧姆的上拉电阻，用户可通过芯片配置字 CFG\_WORD 的 MRST\_DLY 位将其设为 GPIO 功能，当用作 GPIO 功能时，对芯片复位可靠性没有影响，对该管脚按与其他 GPIO 管脚一样的方式使用即可。

注 5: 本数据手册所述资源为本产品所属产品系列资源最大化描述。文中所述（包括管脚、寄存器、芯片配置字等）不为本产品所有的资源，请将其保持在正确设置值状态。如有其它需求，请与我司 FAE 部门联系！

## 3.2 管脚功能定义

### 3.2.1 ES32H0564LTE管脚功能定义

| PIN NO. | PIN NAME (FUNC1) | FUNC2      | FUNC3        | FUNC4        | FUNC5        | FUNC6   | FUNC7          | FUNC0 (Default)       |
|---------|------------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------|----------------|-----------------------|
| 1       | PD3              | CUART1_CTS | CUART2_TX    | GP16C4T1_CH1 | AD16C6T_CH1  | PIS_CH3 | AD16C6T_BKOUT1 | /                     |
| 2       | PC13             | CUART3_RX  | GP16C4T0_CH4 | SPI1_SCK     | AD16C6T_CH4N | PIS_CH5 | LSCO           | /                     |
| 3       | PC14             | CUART0_RX  | CUART1_RX    | SPI1_MISO    | AD16C6T_CH1  | PIS_CH6 | ACMPO0         | AIN21                 |
| 4       | PC15             | CUART0_TX  | CUART1_TX    | SPI1_MOSI    | AD16C6T_CH2  | PIS_CH7 | ACMPO1         | AIN26                 |
| 5       | PD0              | I2C1_SCL   | CUART2_RX    | BUZ          | AD16C6T_CH3  | PIS_CH0 | GP16C4T2_CH2   | AIN24                 |
| 6       | PD1              | I2C1_SDA   | CUART2_TX    | GP16C4T2_CH3 | AD16C6T_CH4  | PIS_CH1 | AD16C6T_BKIN1  | AIN10                 |
| 7       | NC               | /          | /            | /            | /            | /       | /              | /                     |
| 8       | PC0              | CUART1_TX  | SPI0_NSS     | I2C1_SDA     | AD16C6T_CH4  | PIS_CH0 | ACMPO2         | AIN20/OPAO            |
| 9       | PC1              | CUART1_RX  | SPI0_SCK     | I2C1_SCL     | AD16C6T_CH1  | PIS_CH1 | LP16T_ETR      | AIN7/C1P3/C1N1/OPREFN |
| 10      | PC2              | CUART2_TX  | SPI0_MISO    | GP16C4T2_CH1 | AD16C6T_CH2  | PIS_CH2 | LP16T_OUT      | AIN6/C0P3/OPN2        |
| 11      | PC3              | CUART2_RX  | SPI0_MOSI    | GP16C4T2_CH2 | AD16C6T_CH3  | PIS_CH3 | /              | AIN5/C2P2/OPN1        |
| 12      | PD4              | HSCO       | CUART1_RX    | GP16C4T1_CH2 | AD16C6T_CH2  | PIS_CH4 | AD16C6T_BKOUT2 | /                     |
| 13      | PD5              | LSCO       | CUART1_TX    | GP16C4T1_CH3 | AD16C6T_CH3  | PIS_CH5 | LP16T_OUT      | /                     |
| 14      | PA0              | CUART2_TX  | GP16C4T0_CH1 | GP16C4T0_ETR | AD16C6T_CH1  | PIS_CH0 | LP16T_ETR      | AIN4/C1P2/OPP3        |
| 15      | PA1              | CUART2_RX  | GP16C4T0_CH2 | SPI0_SCK     | AD16C6T_CH2  | PIS_CH1 | LP16T_OUT      | AIN3/C0P2             |
| 16      | PA2              | CUART1_TX  | GP16C4T0_CH3 | SPI0_MISO    | AD16C6T_CH3  | PIS_CH2 | CUART0_TX      | AIN2/C2P0/OPP2        |
| 17      | PA3              | CUART1_RX  | GP16C4T0_CH4 | SPI0_MOSI    | AD16C6T_CH4  | PIS_CH3 | CUART0_RX      | AIN1/C1P0/OPP1        |
| 18      | PA4              | SPI0_NSS   | CUART2_TX    | GP16C4T1_CH3 | AD16C6T_CH1N | PIS_CH4 | AD16C6T_BKIN2  | AIN0/C0P0/OPP0        |
| 19      | PB10             | I2C1_SCL   | CUART2_TX    | GP16C4T0_CH3 | AD16C6T_CH4  | PIS_CH2 | AD16C6T_BKOUT1 | AIN19                 |
| 20      | PA5              | SPI0_SCK   | CUART2_RX    | GP16C4T1_CH4 | AD16C6T_CH2N | PIS_CH5 | I2C1_SCL       | AIN13/CXN0/AREFP/C0P1 |
| 21      | PA6              | SPI0_MISO  | CUART3_TX    | GP16C4T1_CH1 | AD16C6T_CH1  | PIS_CH6 | I2C1_SDA       | AIN14/AREFN/C1P1      |

|    |            |              |               |              |              |         |               |                 |
|----|------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------|---------------|-----------------|
| 22 | PC4        | CUART3_RX    | I2C0_SCL      | GP16C4T2_CH3 | AD16C6T_CH3N | PIS_CH4 | AD16C6T_BKIN2 | AIN8            |
| 23 | PA7        | SPIO_MOSI    | CUART3_RX     | GP16C4T1_CH2 | AD16C6T_CH1N | PIS_CH7 | I2C1_SMBA     | AIN15/OPN0/C2P1 |
| 24 | PC5        | CUART3_TX    | I2C0_SDA      | GP16C4T1_ETR | AD16C6T_CH4N | PIS_CH5 | AD16C6T_CH6   | AIN9            |
| 25 | PD8/MRST   | HSCO         | CUART3_RX     | GP16C4T0_CH2 | AD16C6T_CH3N | PIS_CH0 | CUART2_RTS    | /               |
| 26 | PB0        | GP16C4T1_CH3 | CUART0_RX     | I2C0_SCL     | AD16C6T_CH2N | PIS_CH0 | GP16C4T2_ETR  | /               |
| 27 | PB1        | GP16C4T1_CH4 | CUART0_TX     | I2C0_SDA     | AD16C6T_CH3N | PIS_CH1 | EUART0_RX     | /               |
| 28 | PB2/OSCI   | GP16C4T0_CH1 | EUART0_RX     | CUART3_TX    | AD16C6T_CH1N | PIS_CH2 | EUART0_TX     | AIN27/OSCI      |
| 29 | PB11/OSCO  | I2C1_SDA     | CUART2_RX     | GP16C4T0_CH4 | AD16C6T_CH4N | PIS_CH3 | I2C1_SMBA     | AIN22/OSCO      |
| 30 | NC         | /            | /             | /            | /            | /       | /             | /               |
| 31 | VSS        | /            | /             | /            | /            | /       | /             | /               |
| 32 | VDD        | /            | /             | /            | /            | /       | /             | /               |
| 33 | PB12       | SPI1_NSS     | AD16C6T_BKIN1 | EUART0_RX    | AD16C6T_CH4N | PIS_CH4 | AD16C6T_BKIN2 | AIN23           |
| 34 | PB13       | SPI1_SCK     | EUART0_TX     | BUZ          | AD16C6T_CH1N | PIS_CH5 | SPIO_NSS      | /               |
| 35 | PB14       | SPI1_MISO    | EUART0_RX     | GP16C4T2_CH1 | AD16C6T_CH2N | PIS_CH6 | SPIO_MISO     | /               |
| 36 | PB15       | SPI1_MOSI    | EUART0_RX     | GP16C4T2_CH2 | AD16C6T_CH3N | PIS_CH7 | SPIO_SCK      | /               |
| 37 | PC6        | SPIO_MOSI    | EUART0_TX     | GP16C4T1_CH1 | AD16C6T_CH1  | PIS_CH6 | LP16T_OUT     | /               |
| 38 | PC7        | SPIO_MISO    | EUART0_RX     | GP16C4T1_CH2 | AD16C6T_CH2  | PIS_CH7 | CUART3_RX     | /               |
| 39 | PC8        | SPIO_MOSI    | EUART0_TX     | GP16C4T1_CH3 | AD16C6T_CH3  | PIS_CH0 | CUART3_TX     | /               |
| 40 | PC9        | SPI1_NSS     | AD16C6T_BKIN1 | GP16C4T1_CH4 | AD16C6T_CH4  | PIS_CH1 | CUART3_RX     | /               |
| 41 | PA8        | EUART0_CK    | CUART0_RX     | HSCO         | AD16C6T_CH1  | PIS_CH0 | AD16C6T_CH5   | AIN17           |
| 42 | PA9        | CUART0_TX    | I2C0_SDA      | GP16C4T0_ETR | AD16C6T_CH2  | PIS_CH1 | /             | /               |
| 43 | PA10       | CUART0_RX    | I2C0_SCL      | GP16C4T1_ETR | AD16C6T_CH3  | PIS_CH2 | SPI1_SCK      | OPN3            |
| 44 | PA11       | CUART0_CTS   | CUART3_TX     | SPI1_NSS     | AD16C6T_CH4  | PIS_CH3 | LP16T_ETR     | /               |
| 45 | PA12       | CUART0_TX    | CUART3_RX     | SPI1_SCK     | AD16C6T_CH4N | PIS_CH4 | AD16C6T_ETR   | /               |
| 46 | PA13/SWDIO | CUART1_TX    | CUART0_RX     | GP16C4T0_CH2 | AD16C6T_CH1N | PIS_CH5 | SPI1_MOSI     | /               |
| 47 | PD6        | CUART1_RTS   | CUART0_TX     | GP16C4T1_CH4 | AD16C6T_CH1N | PIS_CH6 | EUART0_CTS    | /               |
| 48 | PD7        | BUZ          | CUART0_RX     | GP16C4T0_CH1 | AD16C6T_CH2N | PIS_CH7 | CUART2_CTS    | /               |

|    |            |              |              |              |              |         |               |            |
|----|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------------|------------|
| 49 | PA14/SWCLK | CUART1_RX    | CUART0_TX    | GP16C4T0_CH3 | AD16C6T_CH2N | PIS_CH6 | SPI1_MISO     | /          |
| 50 | PA15       | GP16C4T0_CH1 | EUART0_TX    | HSCO         | AD16C6T_CH3N | PIS_CH7 | CUART0_TX     | /          |
| 51 | PC10       | SPI1_SCK     | GP16C4T0_CH1 | CUART2_TX    | AD16C6T_CH1N | PIS_CH2 | AD16C6T_BKIN2 | /          |
| 52 | PC11       | SPI1_MISO    | GP16C4T0_CH2 | CUART0_TX    | AD16C6T_CH2N | PIS_CH3 | AD16C6T_CH5   | /          |
| 53 | PC12       | SPI1_MOSI    | GP16C4T0_CH3 | CUART0_RX    | AD16C6T_CH3N | PIS_CH4 | SPI1_NSS      | /          |
| 54 | PD2        | GP16C4T1_ETR | CUART2_RX    | GP16C4T2_CH4 | AD16C6T_CH4N | PIS_CH2 | LP16T_ETR     | /          |
| 55 | PB3        | GP16C4T0_CH2 | SPI0_SCK     | CUART2_TX    | AD16C6T_CH2N | PIS_CH3 | SPI1_SCK      | /          |
| 56 | PB4        | GP16C4T1_CH1 | SPI0_MISO    | CUART2_RX    | AD16C6T_CH1  | PIS_CH4 | EUART0_RX     | C2N1       |
| 57 | PB5        | I2C0_SMBA    | GP16C4T1_CH2 | SPI0_MOSI    | AD16C6T_CH2  | PIS_CH5 | EUART0_TX     | /          |
| 58 | PB6        | I2C0_SCL     | GP16C4T2_CH1 | CUART1_TX    | AD16C6T_CH3  | PIS_CH6 | BUZ           | AIN12      |
| 59 | PB7        | I2C0_SDA     | GP16C4T2_CH2 | CUART1_RX    | AD16C6T_CH1N | PIS_CH7 | LSCO          | AIN25/CON1 |
| 60 | NC         | /            | /            | /            | /            | /       | /             | /          |
| 61 | PB8        | GP16C4T2_CH3 | I2C0_SCL     | EUART0_RX    | AD16C6T_CH2N | PIS_CH0 | AD16C6T_BKIN1 | AIN11      |
| 62 | PB9        | GP16C4T2_CH4 | I2C0_SDA     | EUART0_TX    | AD16C6T_CH3N | PIS_CH1 | AD16C6T_ETR   | /          |
| 63 | VSS        | /            | /            | /            | /            | /       | /             | /          |
| 64 | NC         | /            | /            | /            | /            | /       | /             | /          |
| /  | PD9        | LSCO         | CUART2_RX    | GP16C4T2_CH4 | AD16C6T_CH4N | PIS_CH1 | EUART0_RTS    | /          |
| /  | PD10       | I2C0_SCL     | CUART0_TX    | GP16C4T2_CH4 | AD16C6T_CH4  | PIS_CH2 | I2C1_SCL      | /          |
| /  | PD11       | I2C0_SDA     | CUART0_RX    | GP16C4T2_CH4 | AD16C6T_CH3  | PIS_CH2 | I2C1_SDA      | /          |

表 3-1 ES32H0564LTE 管脚功能定义

注 1: PD9~PD11 未封装引出, 此处仅为对所有端口进行完整描述。

注 2: 复位管脚 MRST 为低有效, 即 MRST 管脚为低电平时芯片复位。

注 3: 当芯片有多个 VSS 地管脚时, 需在外部将所有 VSS 地管脚连接在一起。

注 4: 上表中 PA5 管脚 FUNC0 一栏的标识符 CXN0, 表示该管脚可复用为模拟比较器 ACMP0~2 的负输入端 0。

### 3.3 管脚功能说明

| 管脚名称           | A/D | 管脚说明                     |
|----------------|-----|--------------------------|
| PA0~PA15       | D   | 通用 I/O 端口                |
| PB0~PB15       | D   | 通用 I/O 端口                |
| PC0~PC15       | D   | 通用 I/O 端口                |
| PD0~PD11       | D   | 通用 I/O 端口                |
| SWCLK          | D   | 编程/调试串行时钟端口              |
| SWDIO          | D   | 编程/调试串行数据端口              |
| MRST           | D   | 芯片主复位，低电平有效              |
| SPIx_SCK       | D   | SPI 时钟输入端口               |
| SPIx_NSS       | D   | SPI 片选端口                 |
| SPIx_MISO      | D   | SPI 主控输入/从机输出端口          |
| SPIx_MOSI      | D   | SPI 主控输出/从机输入端口          |
| I2Cx_SCL       | D   | I2C 时钟输入/输出端口            |
| I2Cx_SDA       | D   | I2C 数据输入/输出端口            |
| I2Cx_SMBA      | D   | 系统管理总线 SMBA 片选端口         |
| EUART0_TX      | D   | EUART 发送输出端口             |
| EUART0_RX      | D   | EUART 接收输入端口             |
| EUART0_RTS     | D   | EUART RTS 输出端口           |
| EUART0_CTS     | D   | EUART CTS 输入端口           |
| EUART0_CK      | D   | EUART 智能卡模式时钟输出端口        |
| CUARTx_TX      | D   | CUART 发送输出端口             |
| CUARTx_RX      | D   | CUART 接收输入端口             |
| CUARTx_RTS     | D   | CUART RTS 输出端口           |
| CUARTx_CTS     | D   | CUART CTS 输入端口           |
| AD16C6T_CHx    | D   | AD16C6T 通道 x             |
| AD16C6T_CHxN   | D   | AD16C6T 互补通道 x           |
| AD16C6T_BKIN1  | D   | AD16C6T 刹车 (BRK) 输入端口    |
| AD16C6T_BKIN2  | D   | AD16C6T 刹车 2 (BRK2) 输入端口 |
| AD16C6T_ETR    | D   | AD16C6T 外部触发输入端口         |
| AD16C6T_BKOUTx | D   | AD16C6T 刹车动作输出端口         |
| GP16C4Ty_CHx   | D   | GP16C4T 通道 x             |
| GP16C4Ty_ETR   | D   | GP16C4T 外部触发输入端口         |
| LP16T_OUT      | D   | LP16T 输出端口               |
| LP16T_ETR      | D   | LP16T 外部时钟输入端口           |
| BUZ            | D   | BUZZ 时钟信号输出端口            |
| HSCO           | D   | 高速时钟输出端口                 |
| LSCO           | D   | 低速时钟输出端口                 |
| PIS_CHx        | D   | PIS 通道                   |
| AREFP          | A   | ADC 外部正向参考电压输入端口         |

| 管脚名称                              | A/D | 管脚说明                      |
|-----------------------------------|-----|---------------------------|
| AREFN                             | A   | ADC 外部负向参考电压输入端口          |
| AIN0~AIN15, AIN17,<br>AIN19~AIN27 | A   | ADC 模拟通道 0~17,19~27       |
| OPNx                              | A   | OPA 负输入端口 x               |
| OPP <sub>x</sub>                  | A   | OPA 正输入端口 x               |
| OPAO                              | A   | OPA 输出端口                  |
| OPREFN                            | A   | OPA 外部负参考电压端口             |
| CyPx                              | A   | ACMP <sub>y</sub> 正输入端口 x |
| CyN1                              | A   | ACMP <sub>y</sub> 负输入端口 1 |
| CXN0                              | A   | ACMP0~ACMP2 负输入端口 0       |
| ACMPO <sub>x</sub>                | D   | ACMP0~ACMP2 输出端口          |
| OSCI                              | A   | 外部晶体振荡器端口                 |
| OSCO                              | A   |                           |
| VDD                               | P   | 系统主电源                     |
| VSS                               | P   | 系统地                       |

表 3-2 ES32H0564 系列的管脚功能说明

注：A 为模拟端口，D 为数字端口，P 为电源/地。

### 3.4 MCU和内置EEPROM的内部连接关系

内置 EEPROM 是一款带 I2C 通信接口的数据存储器芯片，MCU 可按照 I2C 通信协议访问该芯片，二者的连接关系如下表所示：

| 内置 EEPROM 引脚 | MCU 内部引脚   | 说明                         |
|--------------|------------|----------------------------|
| SDA (I/O)    | PD11 (I/O) | I2C 数据线，需软件使能 PD11 的内部上拉电阻 |
| SCL (I)      | PD10 (O)   | I2C 时钟线                    |
| VDD          | VDD        | 与 MCU 共用电源端口               |
| VSS          | VSS        | 与 MCU 共用地端口                |

注 1：I = 数字输入，O = 数字输出，I/O = 数字输入/输出；

注 2：芯片上电稳定后，需等待至少 2ms 后，再开始进行 MCU 与 EEPROM 通信。

注 3：MCU 与内部 EEPROM 通信时，PD11 和 PD10 可分别复用为 I2C 模块的 SDA 和 SCL 功能，EEPROM 的 SDA 引脚为开漏输出，所以在 I2C 通信时必须使能 PD11 引脚的内部上拉电阻，并建议通信速率不超过 400KHz，以保证 MCU 与 EEPROM 之间通信可靠。

## 第4章 存储器映射图

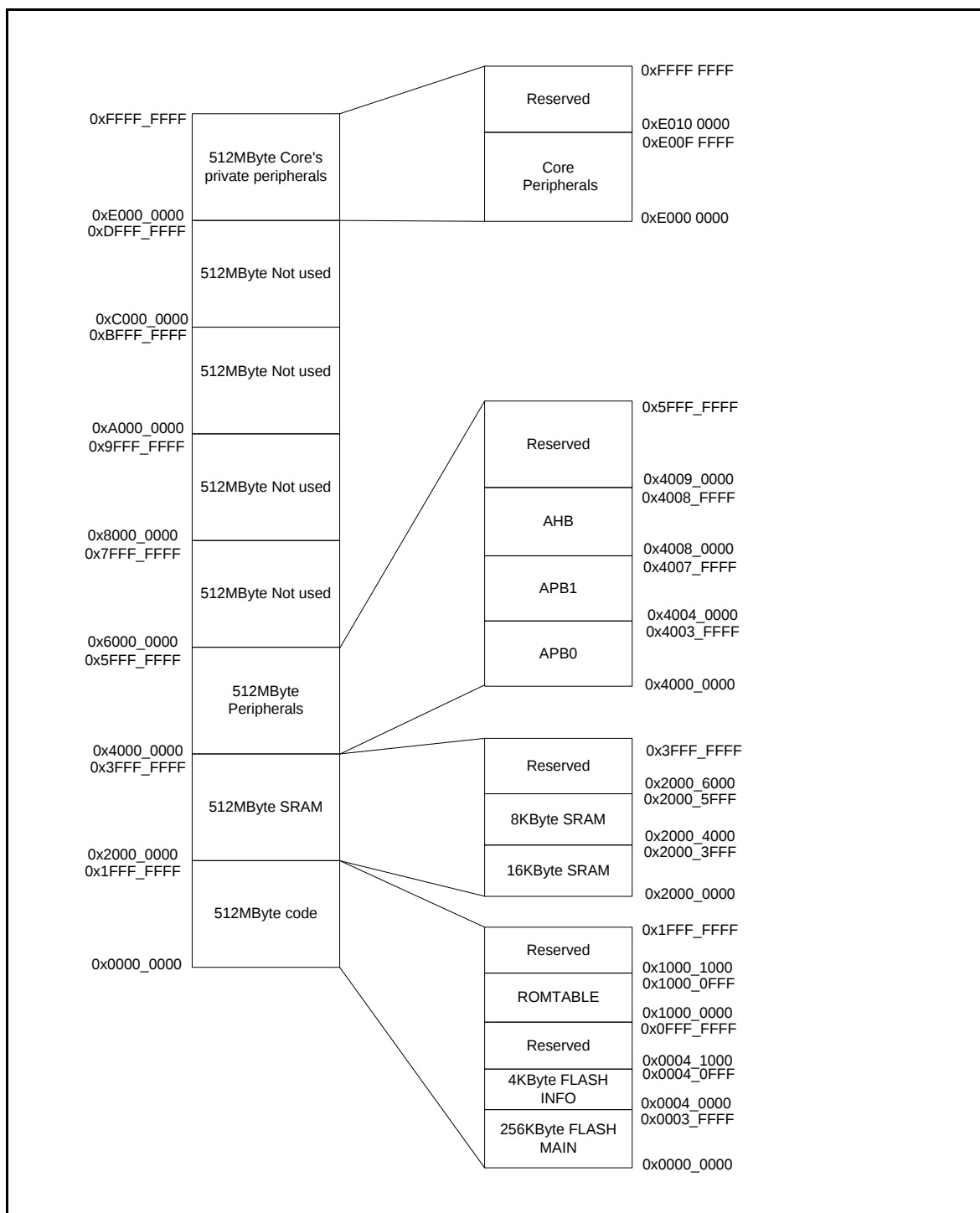


图 4-1 存储器映射

## 第5章 电气特性

### 5.1 芯片电源

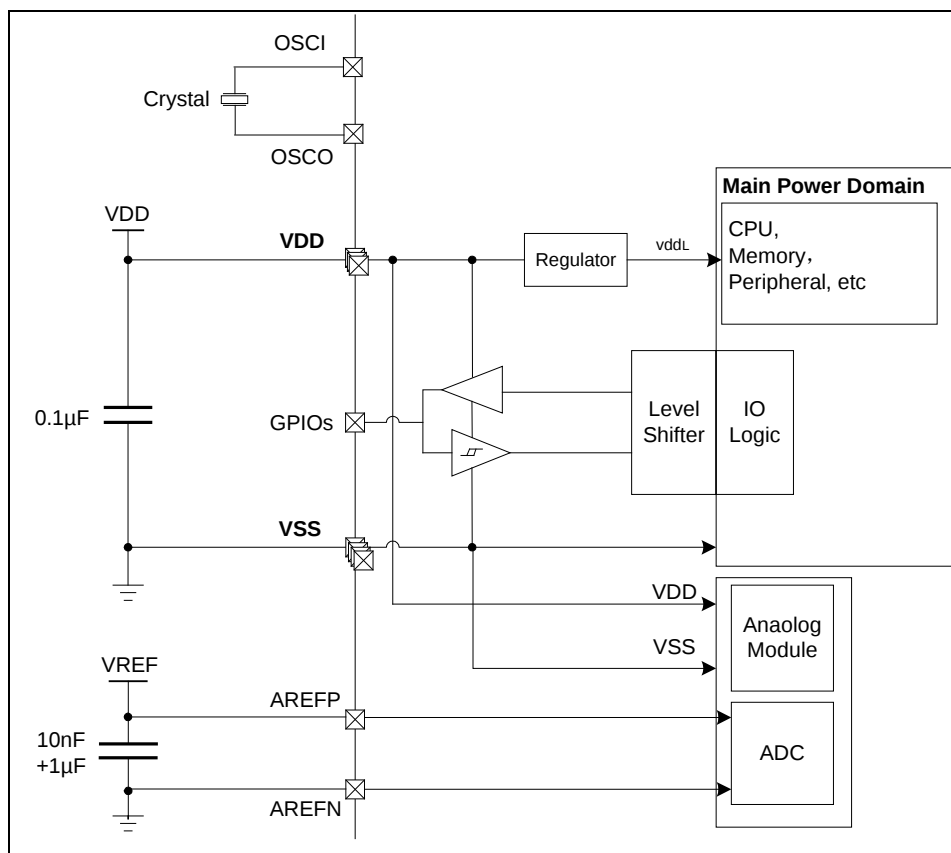


图 5-1 芯片电源

注 1: 电源必须连接如图所示的耦合电容。这些电容必须尽可能地靠近芯片的相应管脚, 才能保证芯片的运行性能。  
注 2: VREFP 管脚在复用为 ADC 外部参考时需要外接电容。

### 5.2 电流测量

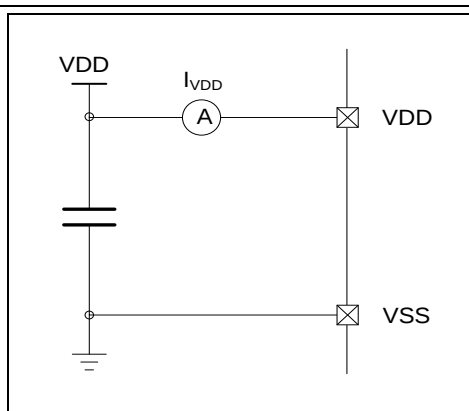


图 5-2 电流测量

### 5.3 芯片极限参数

以下表格为芯片耐受的极限电气参数值，超过范围可能导致芯片永久性破坏。

#### 5.3.1 电压参数

| 标号  | 参数     | 条件 | 最小值  | 最大值     | 单位 |
|-----|--------|----|------|---------|----|
| VDD | 芯片主电源  | -  | -0.3 | 6.25    | V  |
| VIN | 端口输入电压 | -  | -0.3 | VDD+0.3 | V  |

表 5-1 极限电压参数

#### 5.3.2 电流参数

| 标号        | 参数          | 条件     | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|-----------|-------------|--------|-----|-----|----|
| $I_{VDD}$ | 流经 VDD 的总电流 | -      | -   | 100 | mA |
| $I_{VSS}$ | 流经 VSS 的总电流 | -      | -   | 100 | mA |
| $I_{IO}$  | 拉电流（输出高）    | VDD=5V | -   | 50  | mA |
|           | 灌电流（输出低）    | VDD=5V | -   | 50  | mA |

表 5-2 极限电流参数

#### 5.3.3 热参数

| 标号        | 参数   | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|-----------|------|----|-----|-----|----|
| $T_{STG}$ | 储存温度 | -  | -55 | 150 | °C |
| $T_J$     | 结温   | -  | -   | 150 | °C |

表 5-3 极限热参数

## 5.4 运行条件

### 5.4.1 运行条件

| 标号         | 参数                              | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位  |
|------------|---------------------------------|----|-----|-----|-----|
| $f_{HCLK}$ | 内部 AHB 总线时钟频率（使用 Flash ECC 功能）  | -  | -   | 72  | MHz |
|            | 内部 AHB 总线时钟频率（不使用 Flash ECC 功能） | -  | -   | 80  |     |
| $f_{PCLK}$ | 内部 APB 总线时钟频率（使用 Flash ECC 功能）  | -  | -   | 72  | MHz |
|            | 内部 APB 总线时钟频率（不使用 Flash ECC 功能） | -  | -   | 80  |     |
| VDD        | 电源电压                            | -  | 2.2 | 5.5 | V   |
| $T_A$      | 环境温度                            | -  | -40 | 105 | °C  |
| $T_J$      | 工作结温                            | -  | -40 | 125 | °C  |

表 5-4 芯片通常运行条件

### 5.4.2 上电和掉电参数条件

| 标号        | 参数       | 条件 | 最小值 | 最大值      | 单位   |
|-----------|----------|----|-----|----------|------|
| $t_{VDD}$ | VDD 上升速率 | -  | 10  | $\infty$ | us/V |
|           | VDD 下降速率 | -  | 20  | $\infty$ | us/V |

表 5-5 芯片在上电和掉电时的参数条件

### 5.4.3 复位和电源管理模块电气参数

| 标号                   | 参数                               | 条件        | 最小值  | 典型值  | 最大值  | 单位 |
|----------------------|----------------------------------|-----------|------|------|------|----|
| V <sub>POR</sub>     | 上电复位阈值                           | 上电        | -    | 1.95 | -    | V  |
| V <sub>PORHYST</sub> | V <sub>POR</sub> 电压迟滞            | -         | -    | 50   | -    | mV |
| V <sub>BOR</sub>     | V <sub>BOR</sub> 电压档位选择(用户配置字设置) | BORVS=000 | 4.45 | 4.6  | 4.75 | V  |
|                      |                                  | BORVS=001 | 3.85 | 4.0  | 4.15 |    |
|                      |                                  | BORVS=010 | 3.45 | 3.6  | 3.75 |    |
|                      |                                  | BORVS=011 | 2.95 | 3.1  | 3.25 |    |
|                      |                                  | BORVS=100 | 2.65 | 2.8  | 2.95 |    |
|                      |                                  | BORVS=101 | 2.35 | 2.5  | 2.65 |    |
|                      |                                  | BORVS=110 | 1.95 | 2.1  | 2.25 |    |
| V <sub>BORHYST</sub> | V <sub>BOR</sub> 电压迟滞            | -         | -    | 20   | -    | mV |
| V <sub>LVD</sub>     | LVD 电压阈值选择                       | LVDS=000  | 2.05 | 2.2  | 2.45 | V  |
|                      |                                  | LVDS=001  | 2.25 | 2.4  | 2.65 |    |
|                      |                                  | LVDS=010  | 2.45 | 2.6  | 2.85 |    |
|                      |                                  | LVDS=011  | 2.65 | 2.8  | 3.05 |    |
|                      |                                  | LVDS=100  | 2.85 | 3.0  | 3.25 |    |
|                      |                                  | LVDS=101  | 3.45 | 3.6  | 3.85 |    |

| 标号                   | 参数                    | 条件             | 最小值  | 典型值 | 最大值  | 单位 |
|----------------------|-----------------------|----------------|------|-----|------|----|
|                      |                       | LVDS=110       | 3.85 | 4.0 | 4.25 |    |
|                      |                       | LVDS=111       | 4.45 | 4.6 | 4.85 |    |
| V <sub>LVDHYST</sub> | V <sub>LVD</sub> 电压迟滞 | -              | -    | 90  | -    | mV |
| I <sub>LVD</sub>     | LVD 模块电流              | 25°C, VDD = 5V | -    | 0.3 | -    | uA |

表 5-6 复位和电源管理模块电气参数

#### 5.4.4 电流特性

芯片消耗的电流与电源电压，环境温度，端口负载，器件软件配置，运行频率和模式等有关。电流值在以下条件下测得：

- ◇ 所有 I/O 处于关闭状态或者输入状态（固定电平输入），无负载
- ◇ FLASH 的访问为 3 个周期（2 个等待周期）
- ◇ 当外设时钟使能时， $f_{PCLK}=f_{HCLK}$

| 标号               | 参数                                 | 系统时钟        | f <sub>HCLK</sub> | 典型值                          | 单位 |
|------------------|------------------------------------|-------------|-------------------|------------------------------|----|
|                  |                                    |             |                   | T <sub>A</sub> =25°C, VDD=5V |    |
| I <sub>VDD</sub> | RUN 模式电流<br>(所有外设时钟使能, 外设模块处于工作状态) | PLL80M 时钟源  | 80MHz             | 24                           | mA |
|                  |                                    | PLL72M 时钟源  | 72MHz             | 22.5                         |    |
|                  |                                    | PLL64M 时钟源  | 64MHz             | 21                           |    |
|                  |                                    | HRC48M 时钟源  | 48MHz             | 17                           |    |
|                  |                                    | HOSC20M 时钟源 | 20MHz             | 7                            |    |
|                  | SLEEP 模式电流<br>(所有外设时钟禁止, 外设模块不使能)  | PLL80M 时钟源  | 80MHz             | 2.6                          |    |
|                  |                                    | PLL72M 时钟源  | 72MHz             | 2.4                          |    |
|                  |                                    | PLL64M 时钟源  | 64MHz             | 2.3                          |    |
|                  |                                    | HRC48M 时钟源  | 48MHz             | 1.8                          |    |
|                  |                                    | HOSC20M 时钟源 | 20MHz             | 4                            |    |
|                  |                                    | LRC 时钟源     | 31.25KHz          | 1.2                          |    |
|                  |                                    |             |                   |                              |    |

表 5-7 RUN/SLEEP 模式电流特性（程序在 FLASH 中运行）

| 标号               | 参数        | 条件                                                                          | 典型值 (T <sub>A</sub> =25°C) |          |          | 最大值                   | 单位 |
|------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------|----------|-----------------------|----|
|                  |           |                                                                             | VDD=2.5V                   | VDD=3.5V | VDD=5.0V | T <sub>A</sub> =105°C |    |
| I <sub>VDD</sub> | STOP 模式电流 | PMU_CR 寄存器的 FSTOP=1, LPSTOP=1, VROSCEN=0, STPRTNEN=1; ADC_CCR 寄存器的 IREFEN=0 | 2.8                        | 3.0      | 3.8      | 32                    | uA |

表 5-8 STOP 模式电流特性

### 5.4.5 外部时钟源电气参数

#### ◆ 外部高速振荡时钟

外部高速振荡时钟可由 4MHz 到 20MHz 范围的晶体或陶瓷振荡器提供。

| 标号                       | 参数                     | 条件                         | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| $f_{\text{HOSC\_IN}}$    | 外部高速振荡时钟频率             | -                          | 4   | -   | 20  | MHz |
| $C_L$                    | 建议根据晶体自身的电阻值，采用相应的电容负载 | -                          | -   | 15  | -   | pF  |
| $t_{\text{START\_HOSC}}$ | 振荡器启动时间                | 25°C, VDD = 5V<br>20MHz 晶振 | -   | 4   | -   | ms  |
|                          |                        | 25°C, VDD = 5V<br>4MHz 晶振  | -   | 4   | -   | ms  |
| $I_{\text{HOSC}}$        | 外部时钟模块电流               | 25°C, VDD = 5V             | -   | 1.7 | -   | mA  |

表 5-9 外部高速振荡时钟特性参数

#### ◆ 外部低速振荡时钟

外部低速振荡时钟可由 32.768KHz 的晶体或陶瓷振荡器提供。

| 标号                       | 参数                     | 条件             | 最小值 | 典型值    | 最大值 | 单位  |
|--------------------------|------------------------|----------------|-----|--------|-----|-----|
| $f_{\text{HOSC\_IN}}$    | 外部低速振荡时钟频率             | -              | -   | 32.768 | -   | KHz |
| $C_L$                    | 建议根据晶体自身的电阻值，采用相应的电容负载 | -              | -   | 12     | -   | pF  |
| $t_{\text{START\_HOSC}}$ | 振荡器启动时间                | 25°C, VDD = 5V | -   | 3      | -   | s   |
| $I_{\text{HOSC}}$        | 外部时钟模块电流               | 25°C, VDD = 5V | -   | 20     | -   | uA  |

表 5-10 外部低速振荡时钟特性参数

注 1: 在应用中，振荡器与负载电容的距离必须放置得尽可能近，以使输出信号失真和起振稳定时间最小。

注 2:  $t_{\text{START\_OSC}}$  是振荡器的起振稳定时间，指的是从软件使能振荡器到稳定输出某一频率时钟这段时间。该值会因晶体或陶瓷的制造规格不同而显著改变。

注 3: 外接振荡器参数请参考晶体或陶瓷振荡器规格。

下图为外部振荡器的典型应用连接：

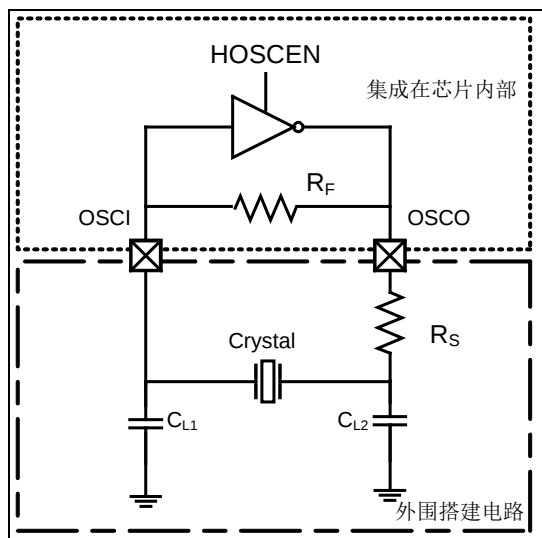


图 5-3 外部振荡器连接图

注 1:  $R_S$  阻值取决于晶振自身特性，为可选配置。

注 2:  $C_{L1}$  和  $C_{L2}$  为晶振匹配电容，根据所使用的晶振，电容参考取值范围为 10~20pF，建议 4~20MHz 晶振匹配 15pF 电容，32.768KHz 晶振匹配 12pF 电容，具体电容值需根据外接晶振的参数需求确定。

晶体振荡器的等效电路如下图所示：

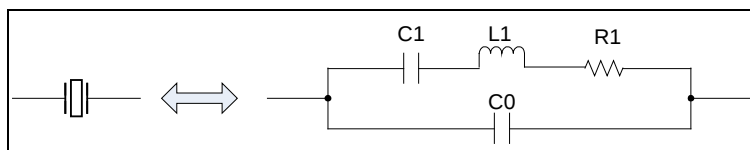


图 5-4 晶体振荡器等效电路示意图

注 1:  $C1$ : 动态电容;  $L1$ : 动态电感;  $R1$  动态电阻;  $C0$ : 静电容; 等效串联电阻  $ESR = R1 \times (1 + C0/C_L)^2$ ,  $C_L$  为负载电容。

注 2: 晶体振荡器与芯片配合使用时，为达到理想的晶振起振和稳定工作状态，对 4~8MHz 晶振参数选型时，推荐  $ESR \leq 200 \Omega$ ,  $C_L \leq 16pF$  (晶振的负载电容参数  $\leq 16pF$ ); 对 9~20MHz 晶振参数选型时，推荐  $ESR \leq 50 \Omega$ ,  $C_L \leq 16pF$  (晶振的负载电容参数  $\leq 16pF$ ); 对 32.768KHz 晶振参数选型时，推荐  $ESR \leq 40K \Omega$ 。

## 5.4.6 内部时钟源电气参数

### ◆ 内部高速 HRC 振荡器 (48MHz)

| 标号               | 参数           | 条件                                 | 最小值  | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|------------------|--------------|------------------------------------|------|-----|-----|-----|
| $f_{HRC}$        | 频率           | -                                  | -    | 48  | -   | MHz |
| Duty             | 占空比          | -                                  | 49   | 50  | 51  | %   |
| $ACC_{HRC48M}$   | HRC 48MHz 精度 | $T_A=25^{\circ}C$                  | -0.6 | -   | 0.6 | %   |
|                  |              | $T_A=-20 \text{ to } 85^{\circ}C$  | -1.0 | -   | 1.0 | %   |
|                  |              | $T_A=-20 \text{ to } 105^{\circ}C$ | -1.5 | -   | 1.5 | %   |
|                  |              | $T_A=-40 \text{ to } 105^{\circ}C$ | -2.0 | -   | 2.0 | %   |
| $t_{START\_HRC}$ | 起振稳定时间       | -                                  | -    | 30  | -   | μs  |
| $I_{HRC}$        | HRC 电流       | -                                  | -    | 480 | -   | μA  |

表 5-11 内部高速 HRC 振荡器特性

### ◆ 内部低速 LRC 振荡器 (31.25KHz)

| 标号               | 参数     | 条件                                 | 最小值   | 典型值   | 最大值  | 单位  |
|------------------|--------|------------------------------------|-------|-------|------|-----|
| $f_{LRC}$        | 频率     | -                                  | -     | 31.25 | -    | KHz |
| $ACC_{LRC}$      | LRC 精度 | $T_A=25^{\circ}C$                  | -5.0  | -     | 5.0  | %   |
|                  |        | $T_A=-40 \text{ to } 105^{\circ}C$ | -10.0 | -     | 10.0 | %   |
| $t_{START\_LRC}$ | 起振稳定时间 | -                                  | -     | 300   | -    | μs  |
| $I_{LRC}$        | LRC 电流 | -                                  | -     | 0.2   | -    | μA  |

表 5-12 内部低速 LRC 振荡器特性

注：上表中 HRC 和 LRC 振荡器在不同温度范围内的时钟频率特性参数，是基于电路设计和抽样测试结果进行描述，批量生产时不做测试。

#### 5.4.7 锁相环电气参数

| 标号                   | 参数          | 条件                           | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|----------------------|-------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| f <sub>PLL_IN</sub>  | PLL 输入时钟    | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C | 3.6 | 4   | 4.4 | MHz |
|                      | PLL 输入时钟占空比 | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C | 45  | 50  | 55  | %   |
| f <sub>PLL_OUT</sub> | PLL 倍频输出时钟  | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C | 48  | -   | 80  | MHz |
| t <sub>LOCK</sub>    | PLL 锁定时间    | T <sub>A</sub> =25°C         | -   | 80  | 300 | us  |
| I <sub>PLL</sub>     | PLL 电流      | T <sub>A</sub> =25°C, VDD=5V | -   | 300 | -   | uA  |

表 5-13 PLL 电气参数

#### 5.4.8 存储器电气参数

| 标号                 | 参数      | 条件                             | 最小值  | 典型值 | 最大值 | 单位     |
|--------------------|---------|--------------------------------|------|-----|-----|--------|
| t <sub>PROG</sub>  | 字编程时间   | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C   | -    | 25  | -   | us     |
| t <sub>ERASE</sub> | 页擦除时间   | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C   | -    | 2   | -   | ms     |
| t <sub>ME</sub>    | 全擦除     | T <sub>A</sub> =-40 to 105°C   | -    | 8   | -   | ms     |
| I <sub>DD</sub>    | 消耗电流    | 读取模式<br>72MHz, VDD=5V          | -    | 7.5 | -   | mA     |
|                    |         | 编程模式, VDD=5V                   | -    | 2   | -   | mA     |
|                    |         | 页擦除模式, VDD=5V                  | -    | 1.5 | -   | mA     |
|                    |         | 掉电模式                           | -    | 1   | -   | uA     |
| N <sub>END</sub>   | 擦除/编程次数 | -                              | 100K | -   | -   | Cycles |
| t <sub>RET</sub>   | 数据保持时间  | T <sub>RET</sub> =-40 to 105°C | 10   | -   | -   | Years  |

表 5-14 存储器特性参数

## 5.4.9 电磁兼容性

### 5.4.9.1 电磁敏感性

| 标号               | 参数       | 条件                                                                         | 等级 |
|------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| V <sub>EFT</sub> | 电快速瞬变脉冲群 | VDD=5V, T <sub>A</sub> =25°C, f <sub>HCLK</sub> =48MHz, 遵循标准 IEC 61000-4-4 | 4A |

表 5-15 EMS 参数

注：上述电磁敏感特性参数值是基于理论设计值和被测样品的测试值，不是批量产品测试值，仅供芯片应用时参考。

## 5.4.10 静电防护特性

### 5.4.10.1 静电释放

| 标号                  | 参数             | 条件                                           | 等级 | 最大值  | 单位 |
|---------------------|----------------|----------------------------------------------|----|------|----|
| V <sub>ESDHBM</sub> | 静电释放电压（人体模型）   | T <sub>A</sub> =25°C, 遵循标准 MIL-STD-883J      | 3A | 6000 | V  |
| V <sub>ESDCDM</sub> | 静电释放电压（充电器件模型） | T <sub>A</sub> =25°C, 遵循标准 JEDEC JS-002-2014 | C3 | 2000 | V  |

表 5-16 ESD 最大额定值

注：上述静电放电特性参数值是基于理论设计值和被测样品的测试值，不是批量产品测试值，仅供芯片应用时参考。

### 5.4.10.2 静态门锁

| 标号 | 参数     | 条件                                 | 等级              |
|----|--------|------------------------------------|-----------------|
| LU | 静态门锁等级 | T <sub>A</sub> =25°C, 遵循标准 JESD78E | Class I Level A |

表 5-17 LU 最大额定值

注：上述静态门锁特性参数值是基于理论设计值和被测样品的测试值，不是批量产品测试值，仅供芯片应用时参考。

#### 5.4.11 I/O端口电气特性

| 标号             | 参数                                                                     | 条件                                                                                      | 最小值                | 典型值 | 最大值                 | 单位            |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|---------------------|---------------|
| $V_{IL}$       | I/O 输入低电平电压 (CMOS)                                                     | $T_A = -40 \text{ to } 105^\circ\text{C}$<br>$2.2\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$ | -                  | -   | $0.2 \cdot V_{DD}$  | V             |
|                | I/O 输入低电平电压 (TTL)                                                      | $T_A = -40 \text{ to } 105^\circ\text{C}$<br>$2.2\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$ | -                  | -   | $0.15 \cdot V_{DD}$ | V             |
| $V_{IH}$       | I/O 输入高电平电压 (CMOS)                                                     | $T_A = -40 \text{ to } 105^\circ\text{C}$<br>$2.2\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$ | $0.8 \cdot V_{DD}$ | -   | -                   | V             |
|                | I/O 输入高电平电压 (TTL)                                                      | $T_A = -40 \text{ to } 105^\circ\text{C}$<br>$2.2\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$ | $0.6 \cdot V_{DD}$ | -   | -                   | V             |
| $I_{OL1}$      | I/O 输出低电平 (PA0~PA15, PB0~PB15, PC0~PC15, PD0~PD11, 其中 PD0~PD8 仅支持普通驱动) | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OL}=0.6\text{V}$<br>普通驱动                                       | -                  | 10  | -                   | mA            |
|                |                                                                        | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OL}=0.6\text{V}$<br>强驱动                                        | -                  | 22  | -                   |               |
|                |                                                                        | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OL}=1.4\text{V}$<br>强驱动                                        | -                  | 40  | -                   |               |
| $I_{OH1}$      | I/O 输出高电平 (PA0~PA15, PB0~PB15, PD0~PD11, 其中 PD0~PD8 仅支持普通驱动)           | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OH}=4.4\text{V}$<br>普通驱动                                       | -                  | 7   | -                   | mA            |
|                |                                                                        | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OH}=4.4\text{V}$<br>强驱动                                        | -                  | 13  | -                   |               |
| $I_{OH2}$      | I/O 输出高电平 (PC0~PC15)                                                   | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OH}=4.4\text{V}$<br>普通驱动                                       | -                  | 9   | -                   | mA            |
|                |                                                                        | $V_{DD}=5\text{V}$ , $V_{OH}=4.4\text{V}$<br>强驱动                                        | -                  | 16  | -                   |               |
| $V_{HYST}$     | I/O 输入施密特迟滞窗口 (CMOS)                                                   | $T_A=25^\circ\text{C}$<br>$V_{DD}=5\text{V}$                                            | —                  | 1.3 | —                   | V             |
|                | I/O 输入施密特迟滞窗口 (TTL)                                                    | $T_A=25^\circ\text{C}$<br>$V_{DD}=5\text{V}$                                            | —                  | 0.4 | —                   | V             |
| $I_{IOLEAK}$   | 端口漏电流                                                                  | I/O 处于输入态, 接 VDD 或 VSS                                                                  | -                  | -   | $\pm 1$             | $\mu\text{A}$ |
| $R_{PU1}$      | I/O 上拉电阻 (PD11 除外)                                                     | $T_A=25^\circ\text{C}$ , $V_{DD}=5\text{V}$                                             | 45                 | 55  | 65                  | K $\Omega$    |
| $R_{PD}$       | I/O 下拉电阻                                                               | $T_A=25^\circ\text{C}$ , $V_{DD}=5\text{V}$                                             | 45                 | 55  | 65                  | K $\Omega$    |
| $R_{PU2}$      | I/O 上拉电阻 (PD11)                                                        | $T_A=25^\circ\text{C}$ , $V_{DD}=5\text{V}$                                             | 5                  | 6.5 | 8                   | K $\Omega$    |
| $t_{IOGLITCH}$ | I/O 输入滤波脉宽                                                             | -                                                                                       | -                  | 20  | -                   | ns            |

表 5-18 I/O 端口 DC 电气特性表

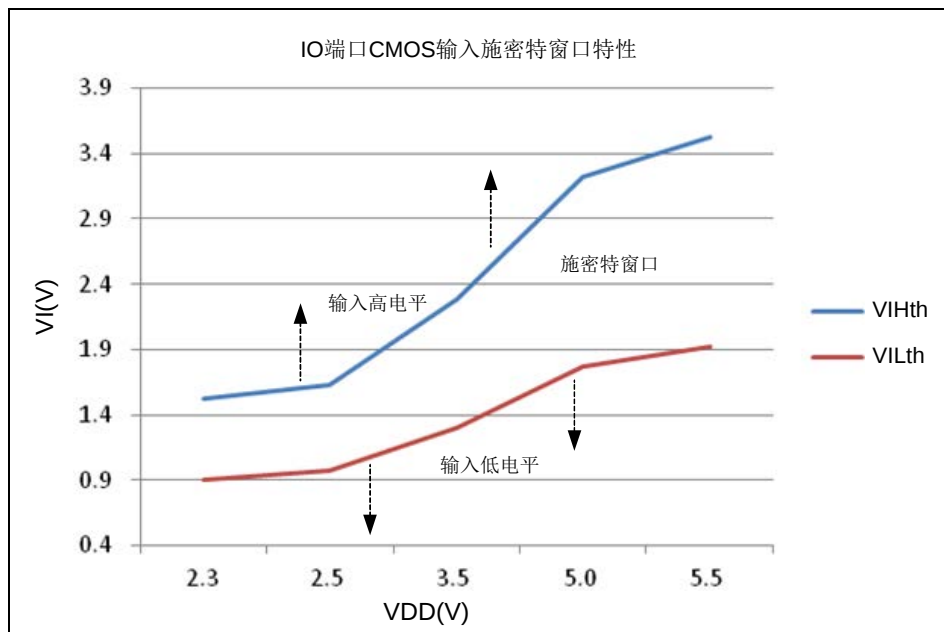
注 1: PD0~PD8 端口输出仅支持普通驱动模式, 不支持强驱动模式。

注 2: I/O 端口拉电流  $I_{OH}$  和灌电流  $I_{OL}$  的驱动能力随温度降低而增大。

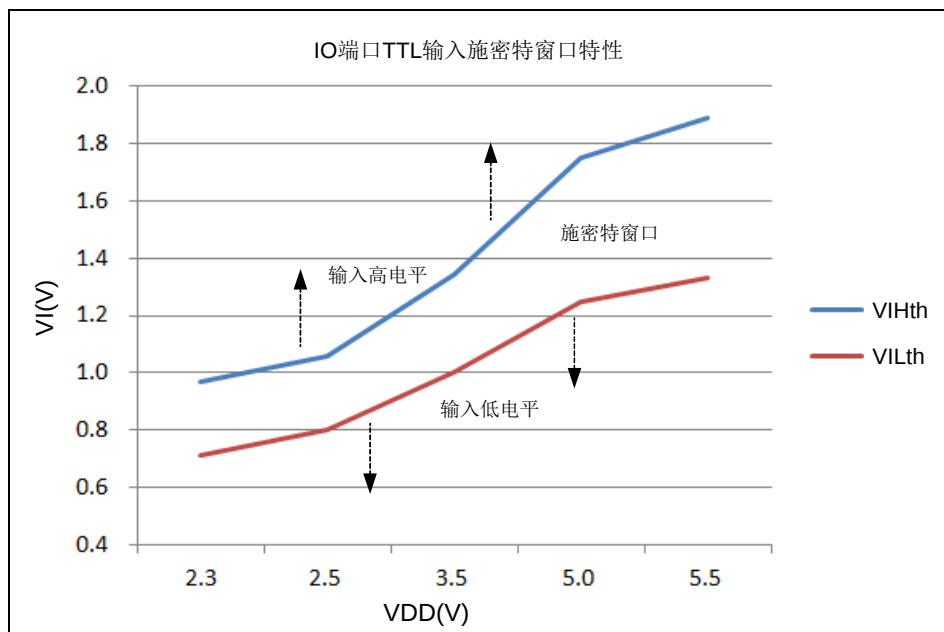
注 3: I/O 端口弱上拉和弱下拉电阻, 在全温度范围内 ( $-40\sim 105^{\circ}\text{C}$ ), 相对于常温的变化量在 $\pm 10\%$ 以内 (PD11 端口的弱上拉电阻变化量为 $\pm 20\%$ 以内)。

#### 5.4.11.1 I/O端口输入特性图

##### ◆ 芯片 I/O 端口 CMOS 输入特性 (室温 $25^{\circ}\text{C}$ )



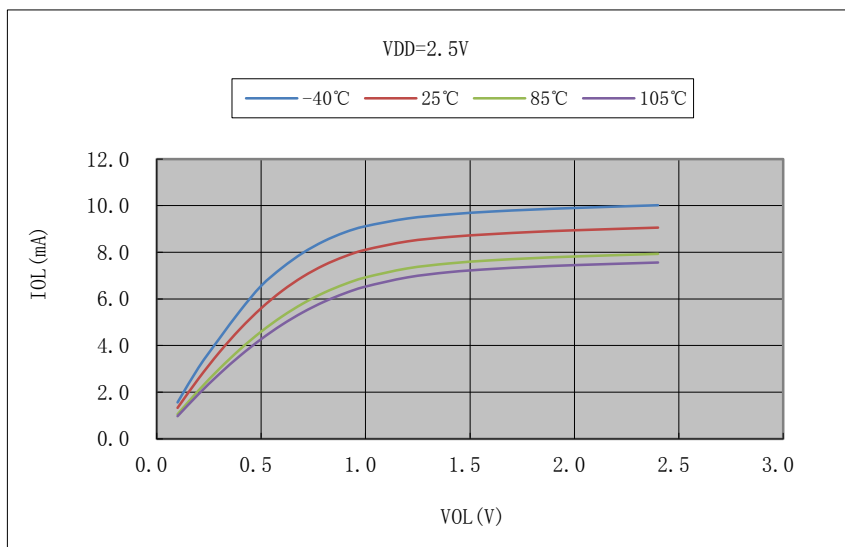
##### ◆ 芯片 I/O 端口 TTL 输入特性 (室温 $25^{\circ}\text{C}$ )



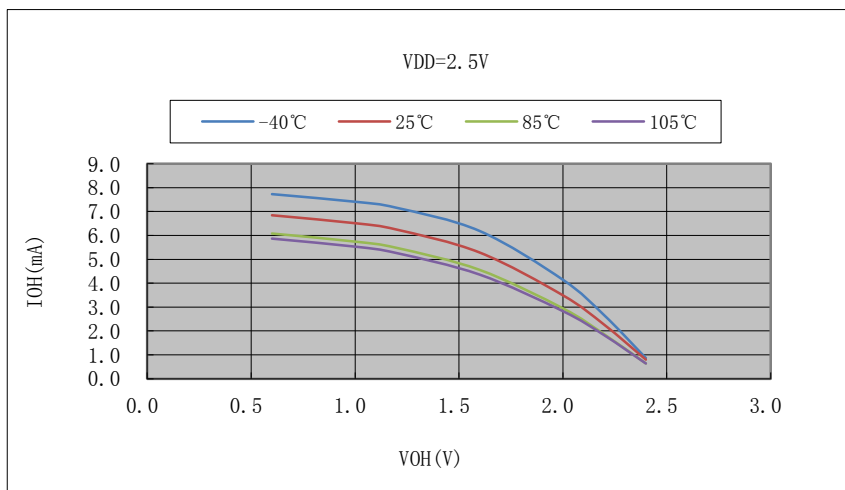
#### 5.4.11.2 I/O端口输出特性图

##### ◆ 芯片 I/O 端口输出特性（普通驱动）

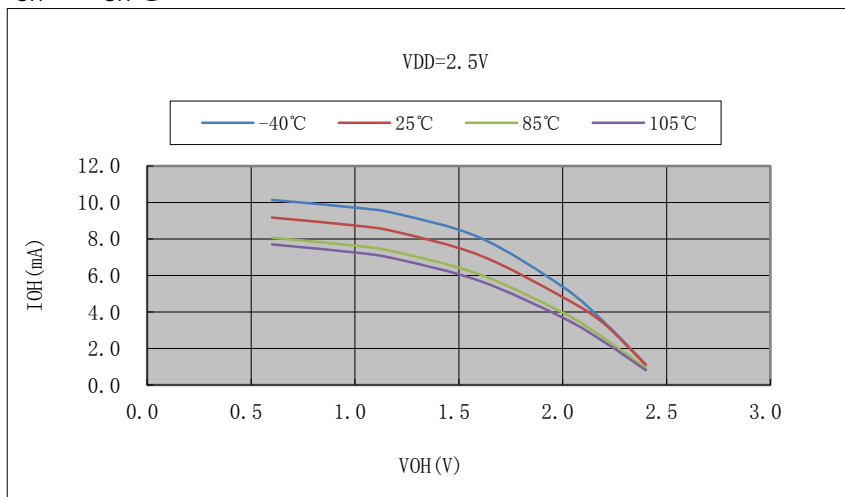
##### ◇ $I_{OL}$ vs $V_{OL}$ @VDD=2.5V（普通驱动）



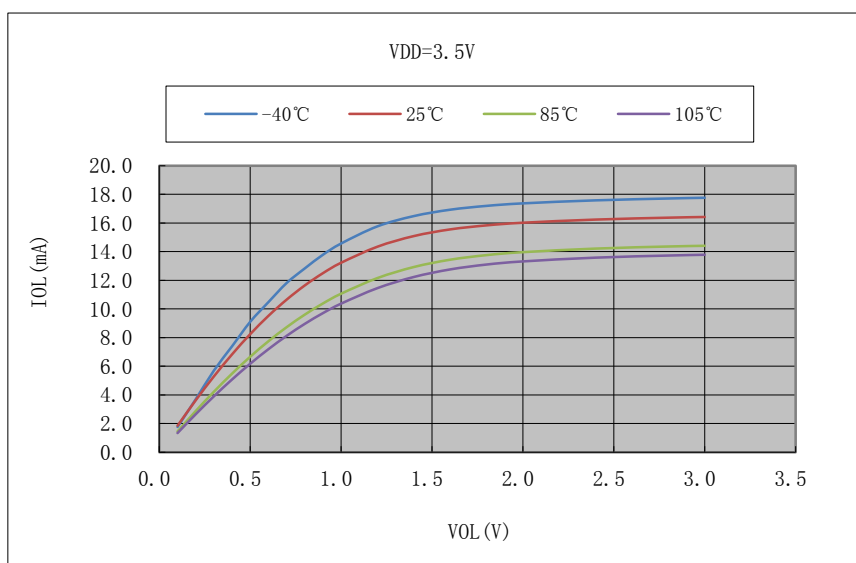
##### ◇ $I_{OH}$ vs $V_{OH}$ @VDD=2.5V（普通驱动，PC0~PC15 除外）



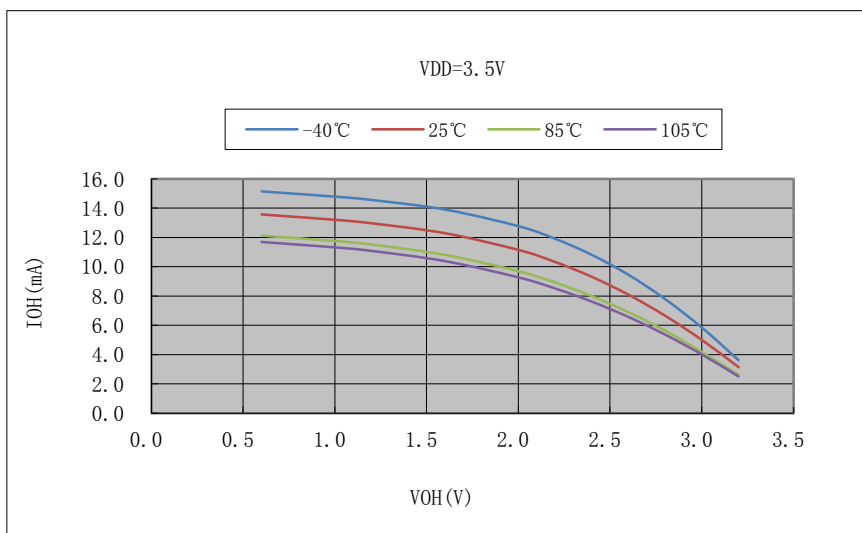
##### ◇ $I_{OH}$ vs $V_{OH}$ @VDD=2.5V（普通驱动，PC0~PC15）



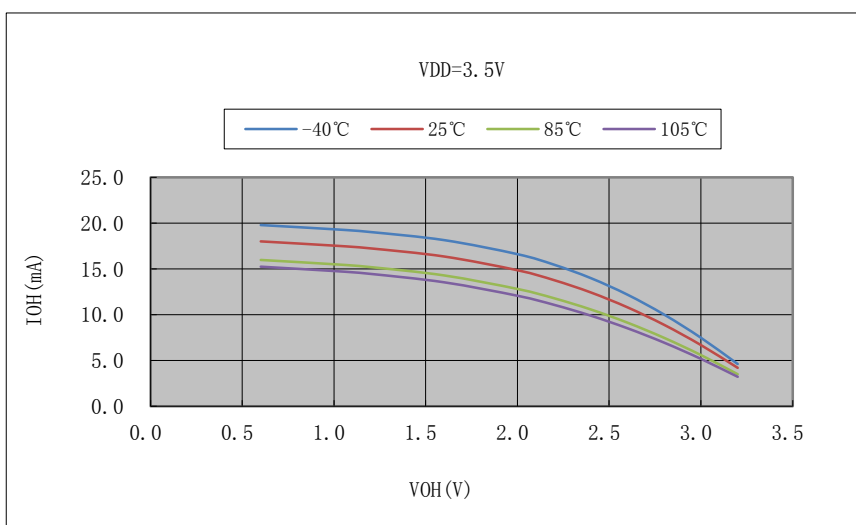
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=3.5V (普通驱动)



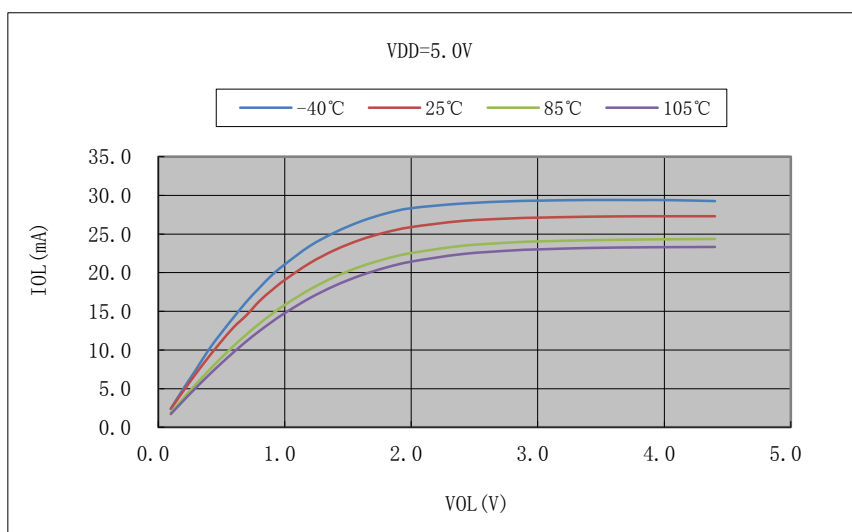
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=3.5V (普通驱动, PC0~PC15 除外)



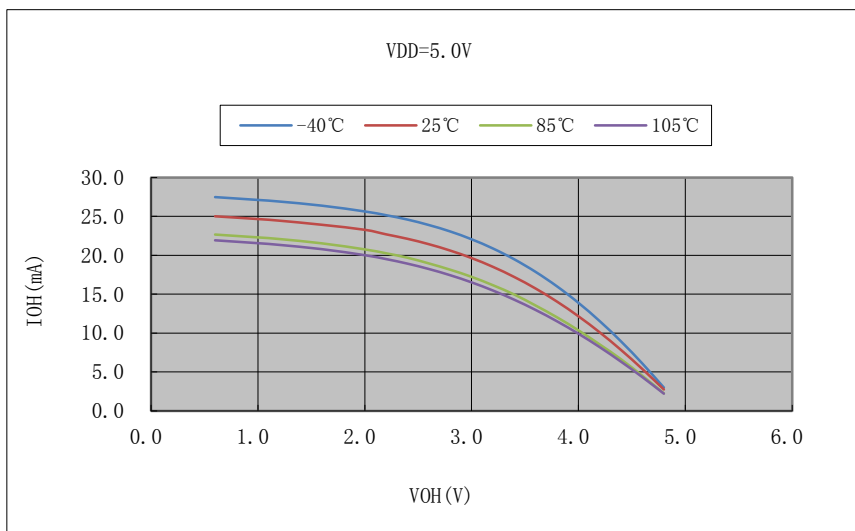
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=3.5V (普通驱动, PC0~PC15)



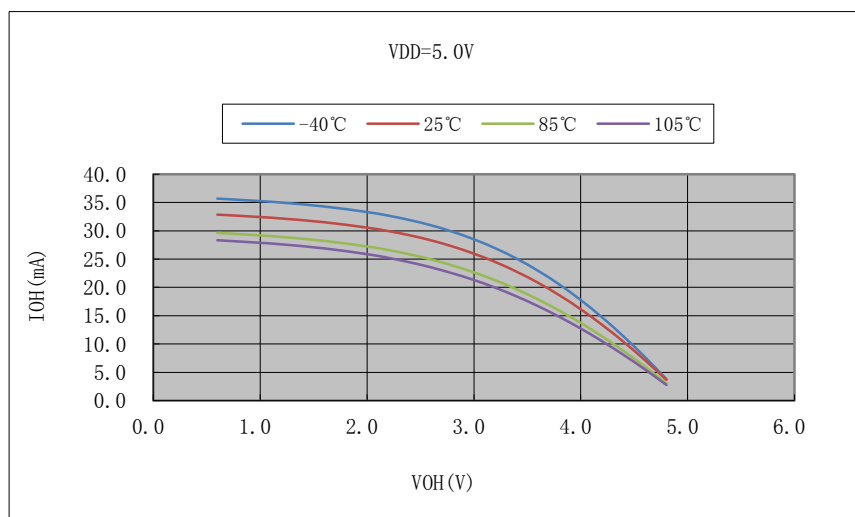
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=5.0V (普通驱动)



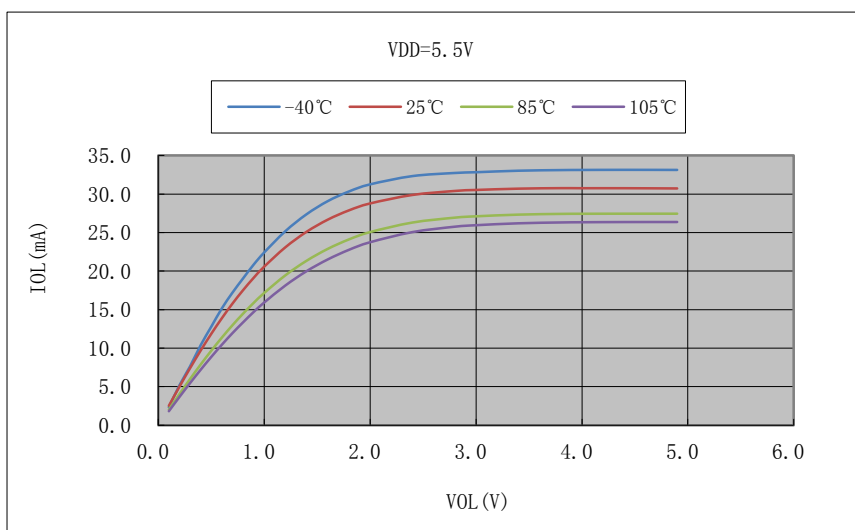
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.0V (普通驱动, PC0~PC15 除外)



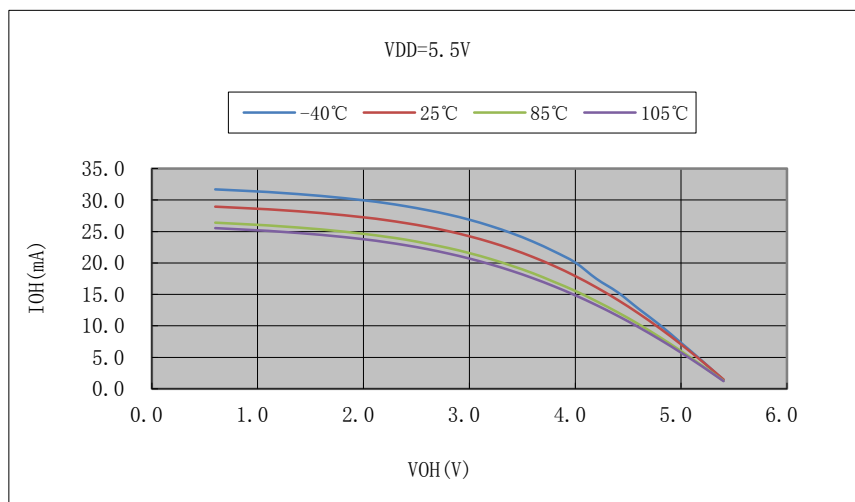
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.0V (普通驱动, PC0~PC15)



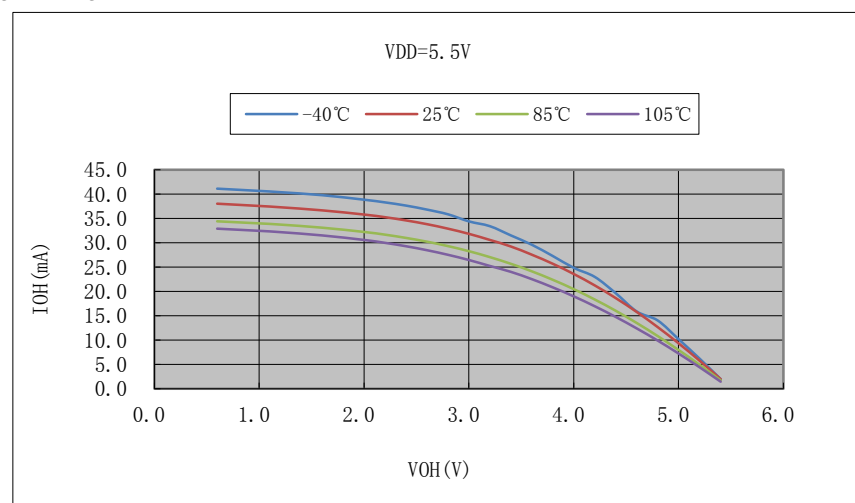
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=5.5V (普通驱动)



◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.5V (普通驱动, PC0~PC15 除外)

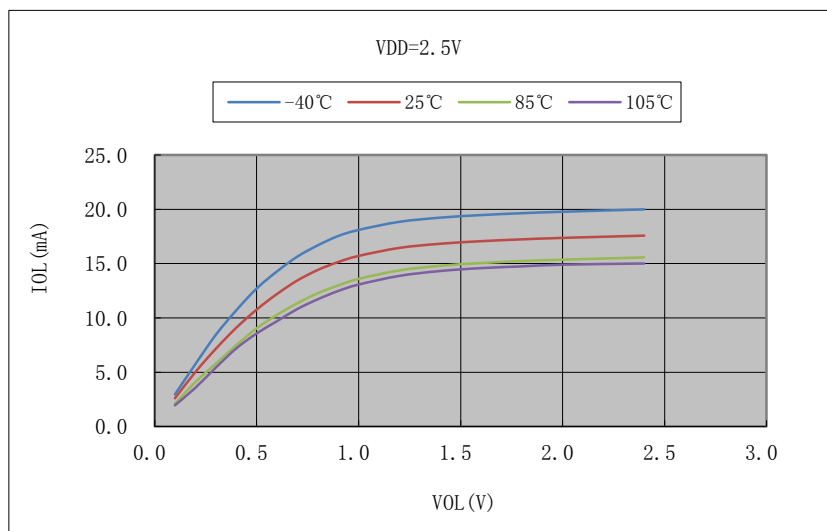


◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.5V (普通驱动, PC0~PC15)

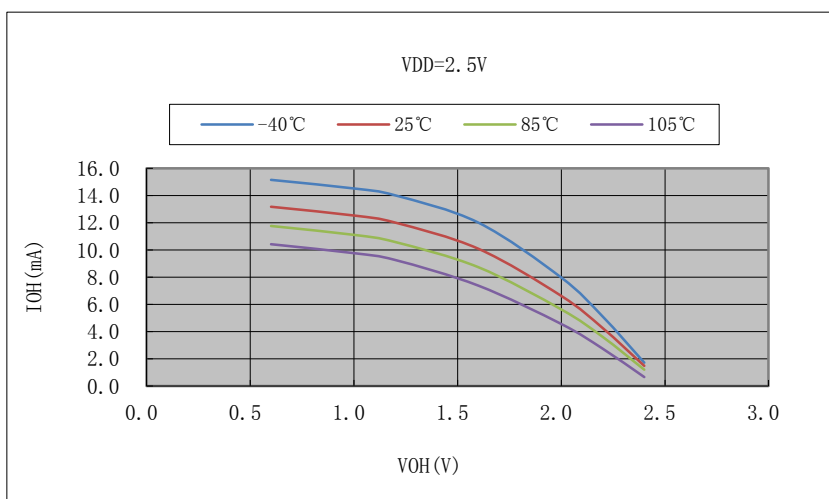


◆ 芯片 I/O 端口输出特性（强驱动）

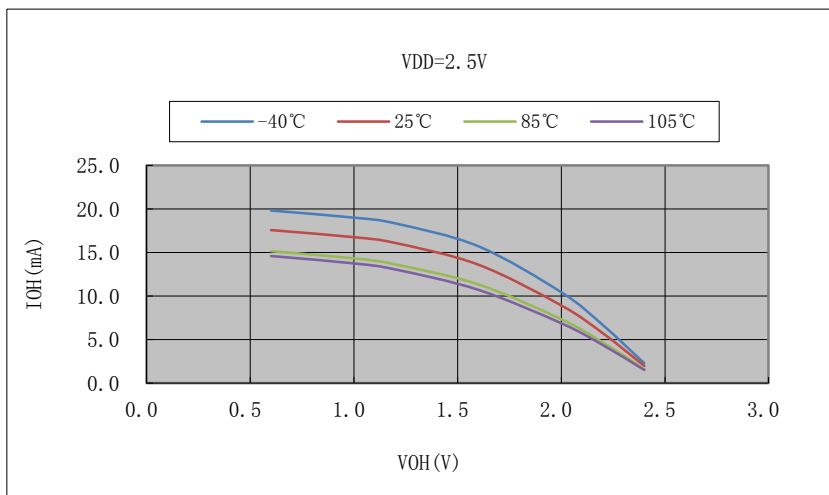
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=2.5V（强驱动）



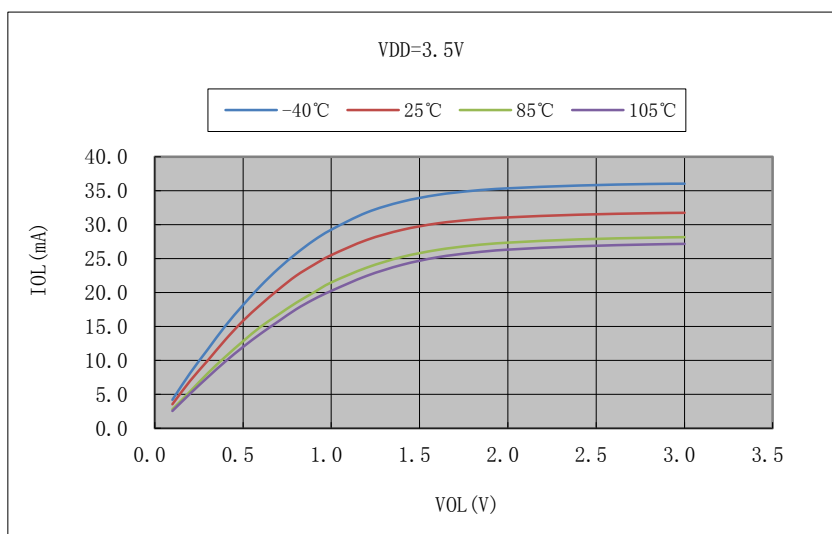
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=2.5V（强驱动，PC0~PC15 除外）



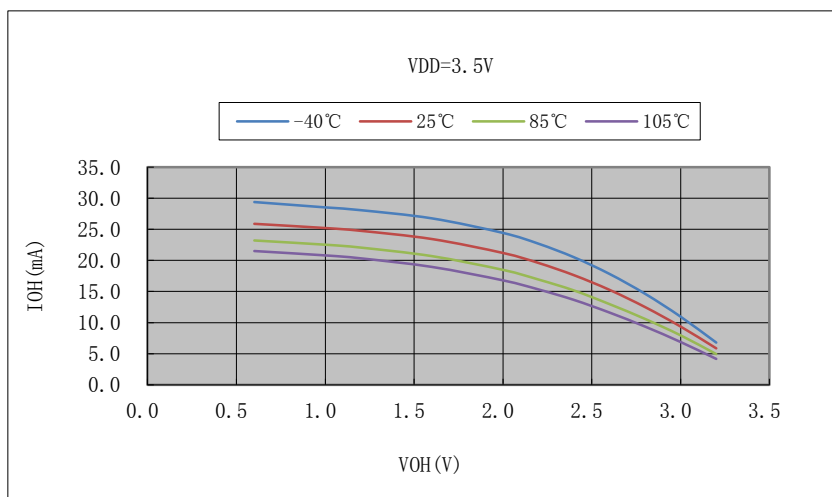
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=2.5V（强驱动，PC0~PC15）



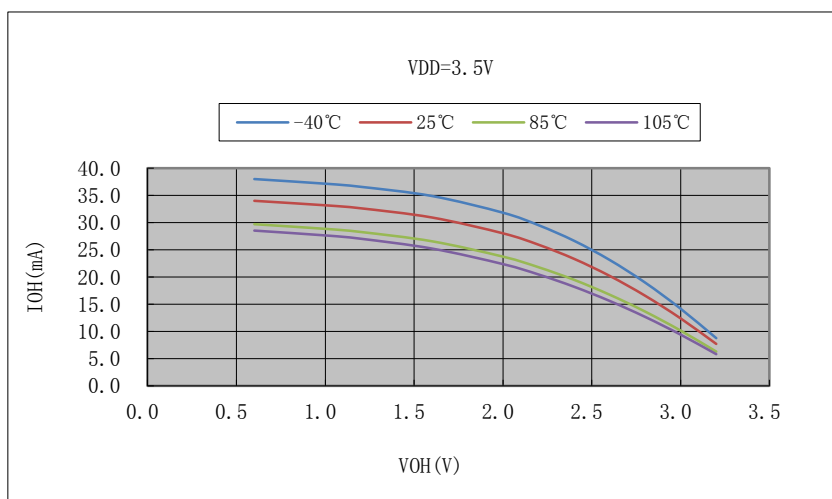
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=3.5V (强驱动)



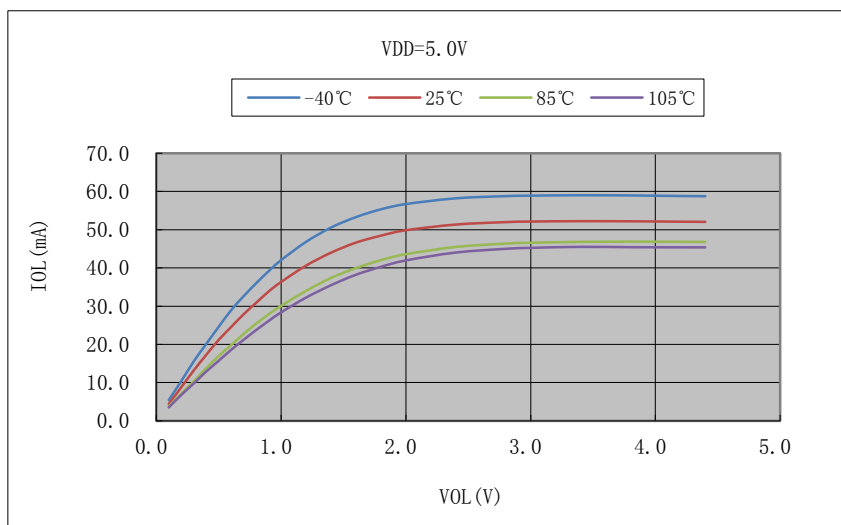
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=3.5V (强驱动, PC0~PC15 除外)



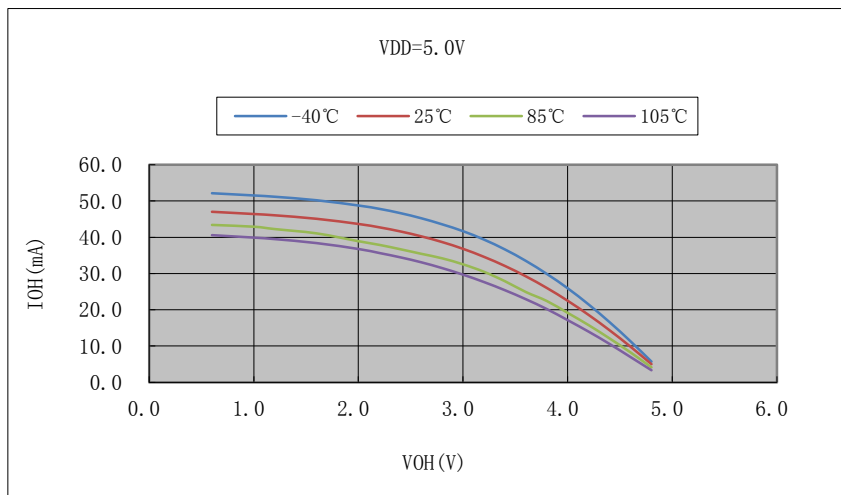
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=3.5V (强驱动, PC0~PC15)



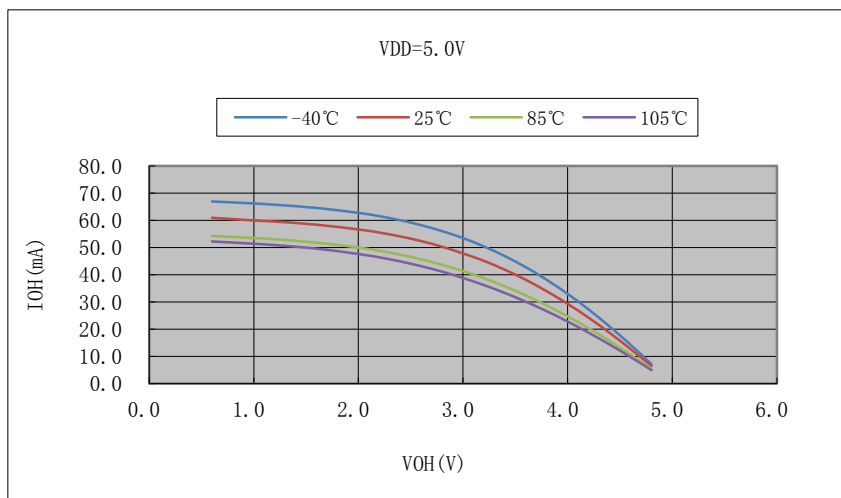
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=5.0V (强驱动)



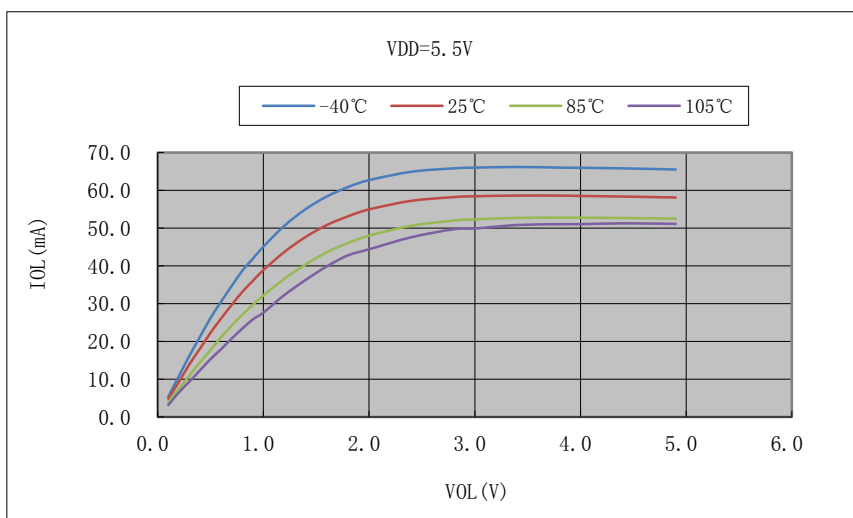
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.0V (强驱动, PC0~PC15 除外)



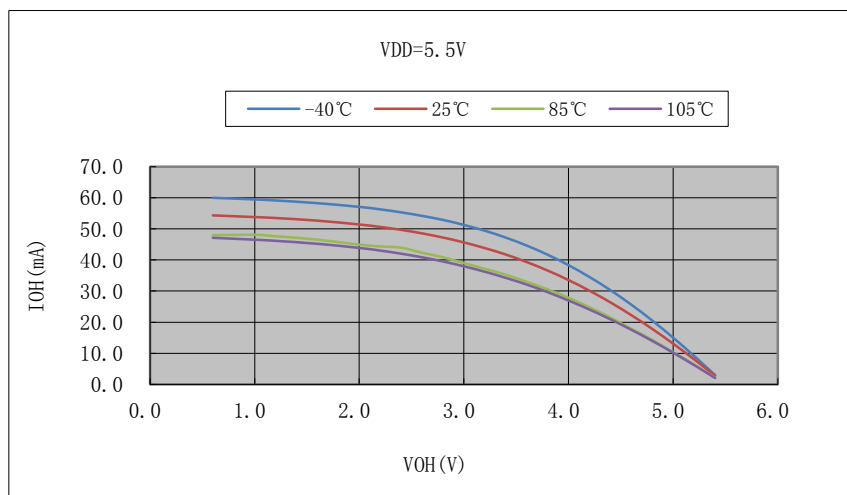
◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.0V (强驱动, PC0~PC15)



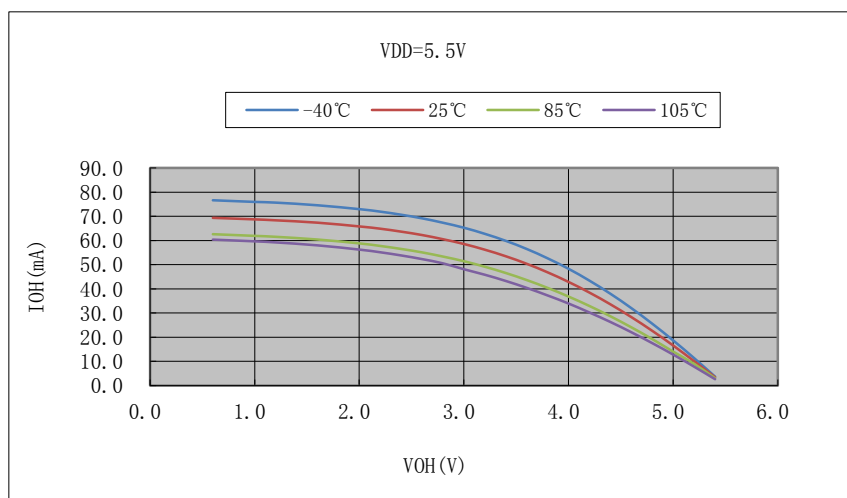
◇  $I_{OL}$  vs  $V_{OL}$  @VDD=5.5V (强驱动)



◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.5V (强驱动, PC0~PC15 除外)



◇  $I_{OH}$  vs  $V_{OH}$  @VDD=5.5V (强驱动, PC0~PC15)



## 5.4.12 MRST电气特性

| 标号              | 参数           | 条件 | 最小值             | 典型值 | 最大值             | 单位         |
|-----------------|--------------|----|-----------------|-----|-----------------|------------|
| $V_{ILMRST}$    | MRST 输入低电平电压 | -  | 0               | -   | $0.2 \cdot VDD$ | V          |
| $V_{IHMRST}$    | MRST 输入高电平电压 | -  | $0.8 \cdot VDD$ | -   | VDD             | V          |
| $R_{PU}$        | MRST 上拉电阻    | -  | 45              | 55  | 65              | K $\Omega$ |
| $V_{HSTMRS}$    | MRST 迟滞电压    | -  | -               | 1.3 | -               | V          |
| $t_{PULSEMRST}$ | MRST 有效低电平宽度 | -  | 0.3             | -   | -               | ms         |

表 5-19 MRST 电气特性

以下为 MRST 参考应用电路：

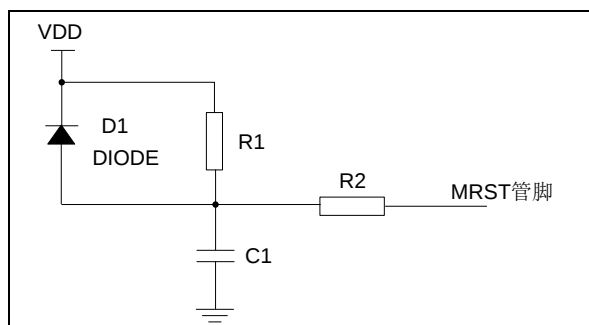


图 5-5 MRST 应用电路 1

注 1：采用 RC 复位，其中  $47K\Omega \leq R1 \leq 100K\Omega$ ，电容  $C1=0.1\mu F$ ，R2 为限流电阻， $0.1K\Omega \leq R2 \leq 1K\Omega$ 。

注 2：对 MRST 复位管脚，芯片内部固定集成了约 55K 欧姆的上拉电阻。

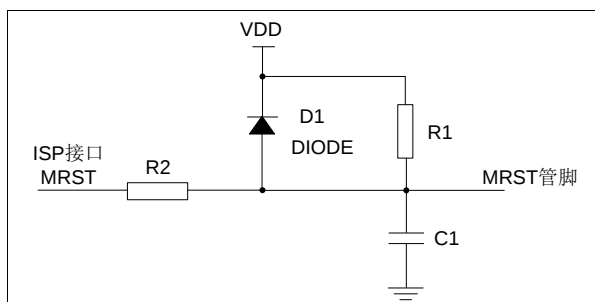


图 5-6 MRST 应用电路 2

注 1：采用 RC 复位，其中  $47K\Omega \leq R1 \leq 100K\Omega$ ，电容  $C1=0.1\mu F$ ，R2 为限流电阻， $0.1K\Omega \leq R2 \leq 1K\Omega$ 。

注 2：如果应用系统中的 ISP 编程接口与芯片管脚之间连线较长，且应用环境中存在较强干扰，则推荐按上图方式在 ISP 接口 MRST 和芯片的 MRST 管脚之间添加电阻 R2。

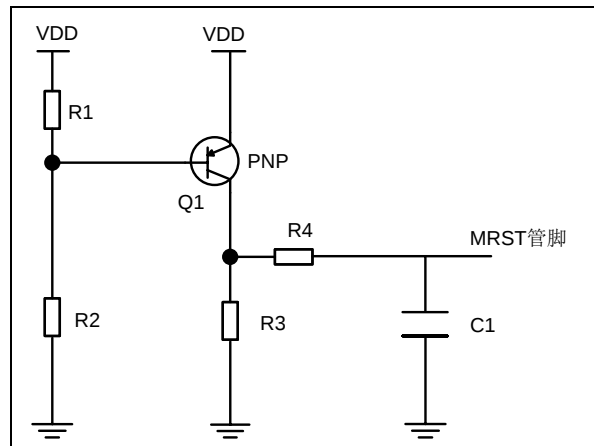


图 5-7 MRST 应用电路 3

注：采用 PNP 三极管复位，通过 R1（2KΩ）和 R2（10KΩ）分压作为基极输入，发射极接 VDD，集电极一路通过 R3（20KΩ）接地，另一路通过 R4（1KΩ）和 C1（0.1μF）接地，C1 另一端作为 MRST 输入。

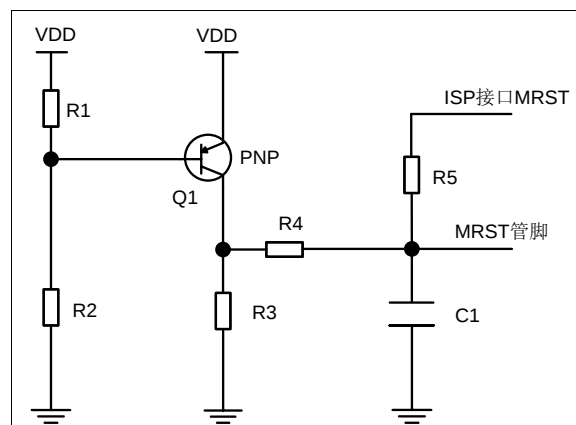


图 5-8 MRST 应用电路 4

注 1：采用 PNP 三极管复位，通过 R1（2KΩ）和 R2（10KΩ）分压作为基极输入，发射极接 VDD，集电极一路通过 R3（20KΩ）接地，另一路通过 R4 和 C1（0.1μF）接地，C1 另一端作为 MRSTN 输入。

注 2：如果应用系统中的 ISP 编程接口与芯片管脚之间连线较长，且应用环境中存在较强干扰，则推荐按上图方式添加电阻 R5， $0.1K\Omega \leq R5 \leq 1K\Omega$ ，同时选择电阻 R4 的阻值为  $47K\Omega \leq R4 \leq 100K\Omega$ 。

### 5.4.13 定时器特性参数

| 标号                  | 参数          | 条件 | 最小值 | 典型值                       | 最大值 | 单位  |
|---------------------|-------------|----|-----|---------------------------|-----|-----|
| $f_{\text{TIMEXT}}$ | 定时器外部输入时钟频率 | -  | -   | $f_{\text{TIMER\_CLK}}/2$ | 25  | MHz |

表 5-20 定时器特性参数

### 5.4.14 通信特性参数

#### 5.4.14.1 内部集成电路总线（I2C）特性参数

| 标号                                 | 参数                               | 标准模式 |      | 快速模式 |     | 单位            |
|------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|-----|---------------|
|                                    |                                  | 最小值  | 最大值  | 最小值  | 最大值 |               |
| $t_{\text{WSCLL}}$                 | SCL 时钟低电平时间                      | 4.7  | -    | 1.3  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $t_{\text{WSCLH}}$                 | SCL 时钟高电平时间                      | 4.0  | -    | 0.6  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $t_{\text{SUSDA}}$                 | SDA 数据建立时间                       | 250  | -    | 100  | -   | ns            |
| $t_{\text{HSDA}}$                  | SDA 数据保持时间                       | -    | 3450 | -    | 900 | ns            |
| $t_{\text{RSDA}}, t_{\text{RSCL}}$ | SDA 和 SCL 信号上升时间                 | -    | 1000 | -    | 300 | ns            |
| $t_{\text{FSDA}}, t_{\text{FSCL}}$ | SDA 和 SCL 信号下降时间                 | -    | 300  | -    | 300 | ns            |
| $t_{\text{HSTA}}$                  | （重复）START 条件的保持时间                | 4.0  | -    | 0.6  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $t_{\text{SUSTA}}$                 | （重复）START 条件的建立时间                | 4.7  | -    | 0.6  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $t_{\text{SUSTO}}$                 | STOP 条件的建立时间                     | 4.0  | -    | 0.6  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $t_{\text{WSTOSTA}}$               | STOP 至 START 条件之间的总线空闲时间         | 4.7  | -    | 1.3  | -   | $\mu\text{s}$ |
| $C_{\text{BUS}}$                   | 总线电容负载（注意：SCL 和 SDA 电容负载应尽量保持一致） | -    | 400  | -    | 400 | pF            |

表 5-21 内部集成电路总线 I2C 特性参数

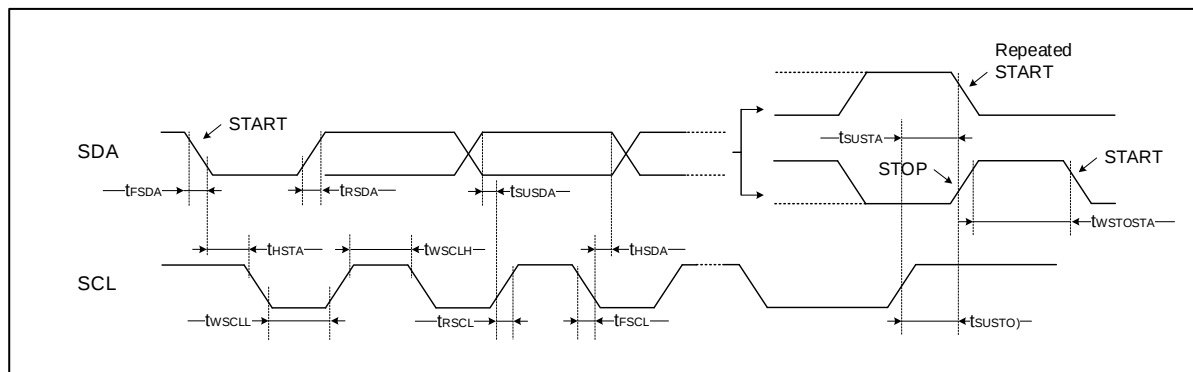


图 5-9 I2C 时序图

#### 5.4.14.2 串行外设接口（SPI）特性参数

| 标号                         | 参数            | 条件  | 最小值           | 最大值           | 单位  |
|----------------------------|---------------|-----|---------------|---------------|-----|
| $f_{SCK}$                  | SPI 时钟频率      | 主模式 | -             | 40            | MHz |
|                            |               | 从模式 | -             | 12            |     |
| $DUTY_{SCK}$               | SPI 输入时钟占空比   | 从模式 | 30            | 70            | %   |
| $t_{SUNSS}$                | NSS 建立时间      | 从模式 | 10            | -             | ns  |
| $t_{HNSS}$                 | NSS 保持时间      | 从模式 | 10            | -             | ns  |
| $t_{WSCKH}$<br>$t_{WSCKL}$ | SCK 高电平和低电平时间 | 主模式 | $t_{SCK}/2-2$ | $t_{SCK}/2+2$ | ns  |
| $t_{SUMI}$                 | 输入数据建立时间      | 主模式 | 10            | -             | ns  |
| $t_{SUSI}$                 |               | 从模式 | 5             | -             | ns  |
| $t_{HMI}$                  | 输入数据保持时间      | 主模式 | 5             | -             | ns  |
| $t_{HSI}$                  |               | 从模式 | 5             | -             | ns  |
| $t_{ASO}$                  | 输出数据访问时间      | 从模式 | 0             | $3t_{PCLK}$   | ns  |
| $t_{DISSO}$                | 输出数据禁止时间      | 从模式 | 0             | 10            | ns  |
| $t_{VSO}$                  | 输出数据有效时间      | 从模式 | -             | 8             | ns  |
| $t_{VMO}$                  |               | 主模式 | -             | 8             | ns  |
| $t_{HSO}$                  | 输出数据保持时间      | 从模式 | 1             | -             | ns  |
| $t_{HMO}$                  |               | 主模式 | 1             | -             | ns  |

表 5-22 SPI 特性参数

注：上述特性参数在测试时，SPI 通信管脚负载电容约 30pF，SPI 时钟和数据管脚均设置为输出高电平为强电流驱动，输出低电平为普通电流驱动。在应用中为优化 SPI 高速通信时的输出信号占空比，推荐设置 SPI 时钟和数据管脚所对应寄存器 GPIO\_ODRV 的 ODRV<sub>y<1:0></sub>=01。

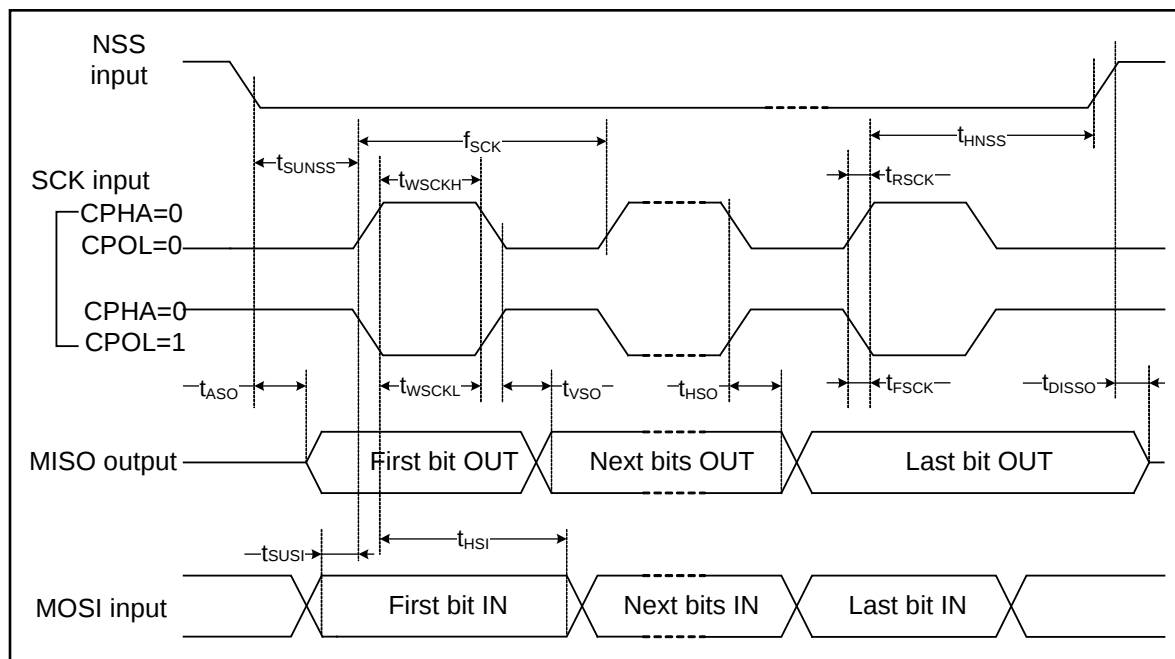


图 5-10 SPI 时序图（从模式，CPHA = 0）

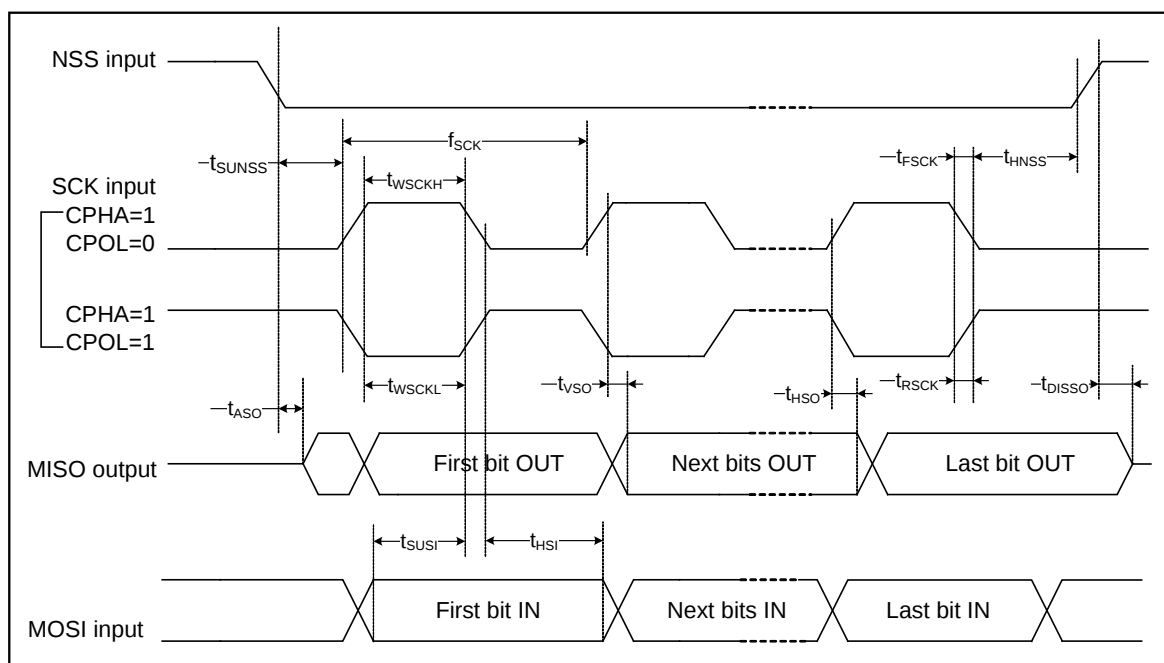


图 5-11 SPI 时序图（从模式，CPHA = 1）

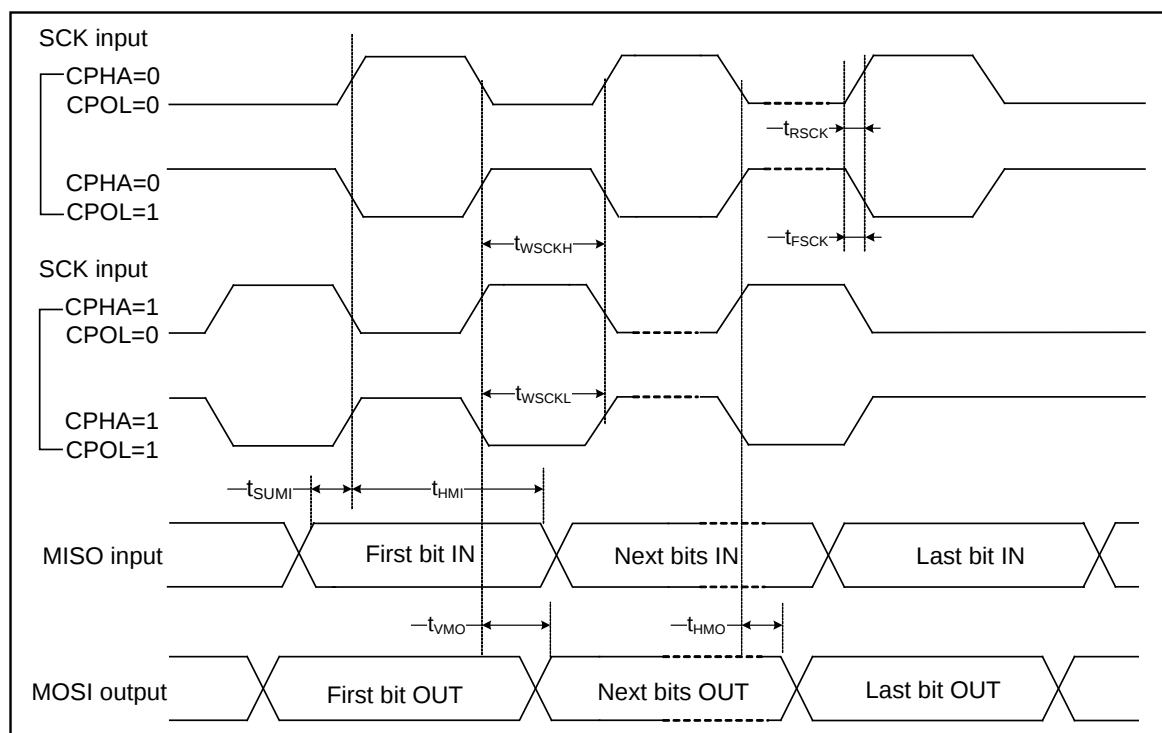


图 5-12 SPI 时序图（主模式）

#### 5.4.15 低功耗模式转换特性参数

◆ 从低功耗模式恢复的时间

| 标号            | 参数           | 条件                                                                | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------------|--------------|-------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|
| $t_{WUSLEEP}$ | SLEEP 模式唤醒时间 | $f_{HCLK}=72\text{MHz}$ , 唤醒时间选择位 $TWU=0x000$                     | -   | 1   | -   | us |
| $t_{WUSTOP}$  | STOP 模式唤醒时间  | $f_{HCLK}=72\text{MHz}$ , PLL 参考时钟源为 HRC48M, 唤醒时间选择位 $TWU=0xFFFF$ | -   | 380 | -   | us |
|               |              | $f_{HCLK}=48\text{MHz}$ , 系统时钟为 HRC48M, 唤醒时间选择位 $TWU=0xFFFF$      | -   | 400 | -   | us |

表 5-23 低功耗模式唤醒特性

## 5.4.16 模数转换器特性参数

| 标号                    | 参数            | 条件                           | 最小值 | 典型值                       | 最大值               | 单位        |
|-----------------------|---------------|------------------------------|-----|---------------------------|-------------------|-----------|
| RES                   | 分辨率           | -                            | -   | -                         | 12                | bit       |
| V <sub>DD</sub>       | 工作电压范围        | -                            | 2.5 | 5                         | 5.5               | V         |
| V <sub>REFP</sub>     | 正端参考电压        | -                            | 2.5 | -                         | V <sub>DD</sub>   | V         |
| V <sub>REFN</sub>     | 负端参考电压        | -                            | 0   | 0                         | -                 | V         |
| f <sub>ADC</sub>      | ADC 时钟频率      | VDD=4~5.5V                   | -   | -                         | 40                | MHz       |
|                       |               | VDD=2.5~5.5V                 | -   | -                         | 20                |           |
| f <sub>SAMPLING</sub> | 采样率           | VDD=5V                       | -   | -                         | 2.2               | MSPS      |
|                       |               | VDD=3.3V                     | -   | -                         | 1.1               |           |
| f <sub>TRIG</sub>     | 外部触发频率        | -                            | -   | -                         | 2.2               | MHz       |
| V <sub>AIN</sub>      | 转换电压范围        | -                            | 0   | -                         | V <sub>REFP</sub> | V         |
| R <sub>AIN</sub>      | 外部输入阻抗        | t <sub>SAMPLING</sub> =0.1us | -   | -                         | 0.1               | KΩ        |
|                       |               | t <sub>SAMPLING</sub> =0.2us | -   | -                         | 0.3               |           |
|                       |               | t <sub>SAMPLING</sub> =0.4us | -   | -                         | 3                 |           |
|                       |               | t <sub>SAMPLING</sub> =0.8us | -   | -                         | 7                 |           |
|                       |               | t <sub>SAMPLING</sub> =1.6us | -   | -                         | 12                |           |
| R <sub>ADC</sub>      | 采样开关电阻        | -                            | -   | 1.0                       | -                 | KΩ        |
| C <sub>ADC</sub>      | 内部采样保持电容      | -                            | -   | 3.9                       | -                 | pF        |
| t <sub>SAMPLING</sub> | 采样时间          | -                            | 2   | 4                         | 16                | ADC 时钟周期数 |
| t <sub>PWRUP</sub>    | ADC 上电稳定时间    | 参考电压稳定时间                     | 1   | 25                        | -                 | us        |
| t <sub>CONV</sub>     | 总转换时间(包括采样时间) | -                            | -   | t <sub>SAMPLING</sub> +14 | -                 | ADC 时钟周期数 |
| I <sub>ADC</sub>      | 动态电流          | 高速模式, ADC 时钟频率 40MHz         | -   | 4.5                       | -                 | mA        |

表 5-24 ADC 特性参数

注 1: V<sub>REFP</sub> 与 V<sub>REFN</sub> 的差值不可小于 2.5V。

注 2: 当参考电压为 5V 时, ADCCLK 最高为 40MHz, 采样时间选择为 4Tadclk 时, 采样率可达 2.2Msps; 当参考电压为 3.3V 时, ADCCLK 最高为 20MHz, 采样时间选择为 4Tadclk 时, 采样率可达 1.1Msps。

注 3: ADC 输入转换信号 V<sub>AIN</sub> 需避免高频噪声 (1MHz 以上), 否则可能会导致 ADC 转换结果异常, 建议模拟输入通道接 0.01uF 电容进行滤波。

注 4: 建议对可能有负电流注入的模拟端口增加对地的肖特基二极管, 因为负注入电流会明显降低 ADC 的转换精度。

注 5: 设置足够的采样时间有利于 ADC 采样稳定, 从而提高 ADC 转换结果精确度, 需根据应用系统中的模拟输入信号情况, 设置合适的采样时间。

| 标号                    | 参数     | 条件                                                                                             | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|-----------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| ERR <sub>OFFSET</sub> | 失调误差   | f <sub>ADC</sub> =40MHz, R <sub>AIN</sub> <0.1KΩ<br>高速模式, T <sub>A</sub> =25°C<br>VREFP=VDD=5V | ±4  | -   | LSB |
| ERR <sub>DNL</sub>    | 差分线性误差 |                                                                                                | ±2  | -   | LSB |
| ERR <sub>INL</sub>    | 积分线性误差 |                                                                                                | ±4  | -   | LSB |

表 5-25 ADC 精度特性 1

| 标号                    | 参数     | 条件                                                                                            | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|-----------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| ERR <sub>OFFSET</sub> | 失调误差   | f <sub>ADC</sub> =20MHz, R <sub>AIN</sub> <0.3KΩ<br>高速模式, T <sub>A</sub> =25℃<br>VREFP=VDD=5V | ±4  | -   | LSB |
| ERR <sub>DNL</sub>    | 差分线性误差 |                                                                                               | ±2  | -   | LSB |
| ERR <sub>INL</sub>    | 积分线性误差 |                                                                                               | ±4  | -   | LSB |

表 5-26 ADC 精度特性 2

#### 5.4.17 ADC内部参考电压特性参数

| 标号                    | 参数             | 条件                                      | 最小值   | 典型值  | 最大值   | 单位 |
|-----------------------|----------------|-----------------------------------------|-------|------|-------|----|
| V <sub>REFINT</sub>   | ADC 内部参考电压     | T <sub>A</sub> =25℃, VDD=5.0V           | 1.185 | 1.20 | 1.215 | V  |
| t <sub>SVREFINT</sub> | ADC 采样内部参考电压时间 | ADC 时钟为 5MHz, 采样周期 16T <sub>adclk</sub> | 3     | —    | —     | μs |

表 5-27 ADC 内部参考电压特性参数

注 1: ADC 内部参考电压 V<sub>REFINT</sub> 在全温度范围内 (-40℃~105℃) 相对于常温条件下的偏差范围约±1%。

注 2: 使用 ADC 内部参考电压 V<sub>REFINT</sub> 作为模拟通道 18 时, ADC 时钟频率需不超过 5MHz, 采样时间需设为大于 3μs。

#### 5.4.18 模拟比较器特性参数

| 标号                  | 参数         | 条件                                          | 最小值         | 典型值 | 最大值             | 单位 |
|---------------------|------------|---------------------------------------------|-------------|-----|-----------------|----|
| V <sub>DD</sub>     | 工作电压范围     | -                                           | 3.5         | 5   | 5.5             | V  |
| V <sub>IN</sub>     | 输入电压范围     | -                                           | 0           | -   | V <sub>DD</sub> | V  |
| I <sub>ACMP</sub>   | 动态电流       | 低速模式, VDD=5.0V                              | -           | 4   | -               | μA |
|                     |            | 高速模式, VDD=5.0V                              | -           | 140 | -               |    |
| V <sub>OFFSET</sub> | 失调电压       | 低速模式, VDD=5.0V                              | -           | ±5  | ±15             | mV |
|                     |            | 高速模式, VDD=5.0V                              | -           | ±10 | ±30             |    |
| t <sub>START</sub>  | 模拟比较器的稳定时间 | 低速模式, VDD=5.0V                              | -           | 7   | 12              | μs |
|                     |            | 高速模式, VDD=5.0V                              | -           | 0.6 | 1.5             |    |
| t <sub>DELAY</sub>  | 比较响应时间     | 低速模式, VDD=5.0V, 输入比较电压为 0.1V                | -           | 8   | 14              | μs |
|                     |            | 高速模式, VDD=5.0V, 输入比较电压为 0.1V                | -           | 0.1 | 0.2             |    |
| V <sub>HYST</sub>   | 模拟比较器迟滞    | VDD=5.0V, T <sub>A</sub> =25℃, 输入比较电压为 1.0V | HYSTSEL=000 | -   | 10              | mV |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=001 | -   | 25              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=010 | -   | 35              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=011 | -   | 45              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=100 | -   | 55              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=101 | -   | 65              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=110 | -   | 75              |    |
|                     |            |                                             | HYSTSEL=111 | -   | 85              |    |

表 5-28 ACMP 特性参数

#### 5.4.19 VDD分压器特性参数

| 标号                  | 参数     | 条件                                      | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------------------|--------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|----|
| V <sub>DDSCAL</sub> | 输出电压误差 | VDD=5.0V, 输出电压档位为 0x00~0x3F 和 0xC0~0xFF | —   | ±50 | —   | mv |
|                     |        | VDD=5.0V, 输出电压档位为 0x40~0xBF             | —   | ±25 | —   | mv |
| I <sub>SCAL</sub>   | 消耗电流   | —                                       | —   | 55  | —   | μA |

表 5-29 VDD 分压器特性参数

#### 5.4.20 运算放大器OPA特性参数

| 标号                  | 参数              | 条件                                                                      | 最小值 | 典型值  | 最大值                 | 单位   |
|---------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-----|------|---------------------|------|
| V <sub>DD</sub>     | 工作电压范围          | —                                                                       | 3.5 | 5    | 5.5                 | V    |
| V <sub>OUT</sub>    | 输出电压范围          | —                                                                       | 0.1 | —    | 0.9*V <sub>DD</sub> | V    |
| V <sub>IN</sub>     | 输入电压范围          | —                                                                       | 0.1 | —    | 0.9*V <sub>DD</sub> | V    |
| I <sub>OPA</sub>    | 消耗电流            | —                                                                       | —   | 650  | —                   | μA   |
| GBW                 | 单位增益带宽          | 普通模式 (HSM=00)                                                           | —   | —    | 15                  | MHz  |
|                     |                 | 高速模式 (HSM=10)                                                           | —   | —    | 20                  | MHz  |
| C <sub>LOAD</sub>   | 输出电容最大负载        | —                                                                       | —   | —    | 6                   | pF   |
| SR                  | 回转率 (Slew Rate) | 普通模式 (HSM=00)                                                           | 8   | —    | —                   | V/μs |
|                     |                 | 高速模式 (HSM=10)                                                           | 13  | —    | —                   | V/μs |
| I <sub>LOAD</sub>   | 输出电流负载          | —                                                                       | —   | —    | 100                 | μA   |
| V <sub>OS</sub>     | 输入失调电压          | —                                                                       | —   | ±6   | —                   | mV   |
| ERR <sub>GAIN</sub> | 增益误差            | 负端偏置电压端口为 VINN3, VREFN_IO 或 VSS, 输入电压为 150mV~500mV, T <sub>A</sub> =25℃ | —   | ±1.0 | ±2.5                | %    |
|                     |                 | 负端偏置电压端口为 VINN3, VREFN_IO 或 VSS, 输入电压为 100mV~150mV, T <sub>A</sub> =25℃ | —   | ±1.0 | ±3.5                | %    |
|                     |                 | 负端偏置电压端口为 VINN0~VINN2, 输入电压为 100mV~500mV, T <sub>A</sub> =25℃           | —   | ±2.5 | ±4.0                | %    |
| t <sub>START</sub>  | 启动时间            | —                                                                       | —   | —    | 5                   | μs   |

表 5-30 OPA 特性参数

注：OPA 作为内部增益放大器使用时，输入电压范围推荐为 100mV~500mV，以降低增益误差。

## 第6章 内置EEPROM芯片

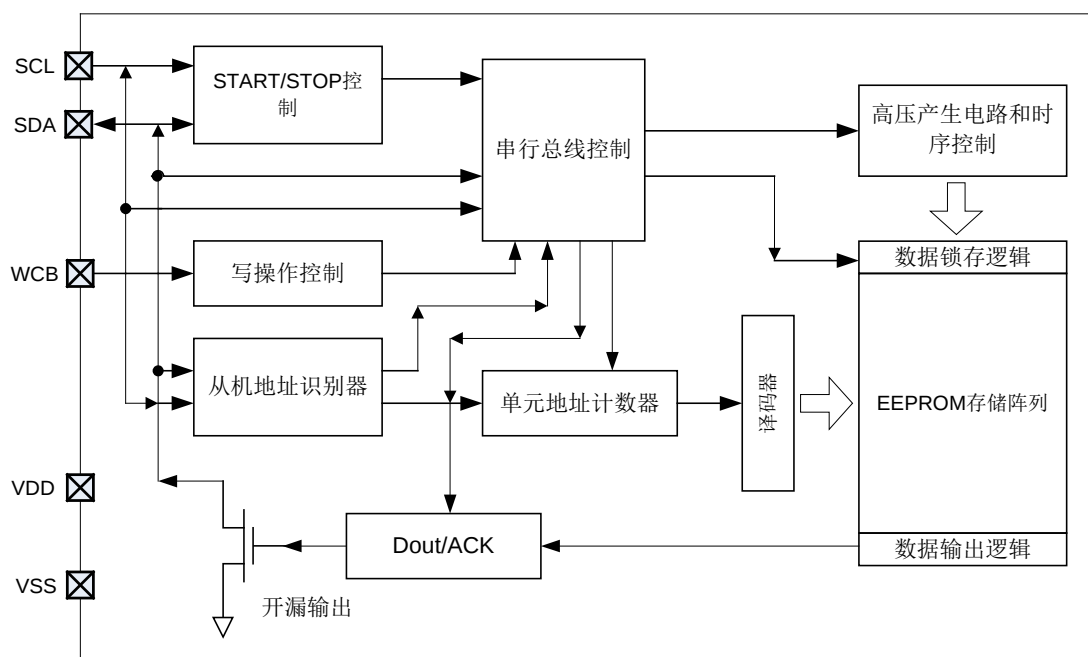
### 6.1 概述

- ◆ 存储器存储空间：4K 字节，每页 32 字节
- ◆ 2 线串行接口，完全兼容 I2C 总线传输协议
- ◆ I2C 时钟频率：400KHz
- ◆ 可按字节写
- ◆ 可按页写（32 字节/页）
- ◆ 内部写周期最大 5ms
- ◆ 可按字节读和顺序读
- ◆ 写操作次数 100 万次以上
- ◆ 数据保持时间 100 年以上
- ◆ 支持低功耗待机模式（Standby）

### 6.2 管脚说明

| 管脚名称 | 类型    | 管脚说明                             |
|------|-------|----------------------------------|
| SCL  | 输入    | 时钟输入，在内部与 MCU 的 PD10 端口连接        |
| SDA  | 输入/输出 | 数据输入/输出（开漏），在内部与 MCU 的 PD11 端口连接 |
| WCB  | 输入    | 写使能，低有效，内部固定连接到 VSS              |
| VDD  | 电源    | 电源，与 MCU 共用电源端口                  |
| VSS  | 地     | 地，与 MCU 共用地端口                    |

## 6.3 结构框图

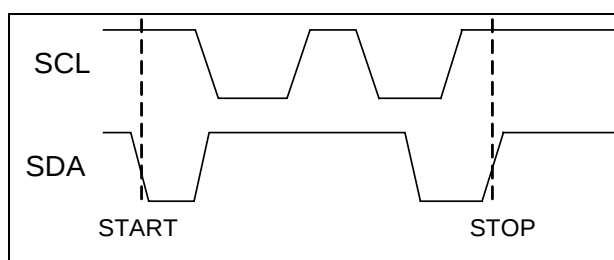


## 6.4 数据传输协议说明

内部 EEPROM 存储器与 MCU 的通信遵循 I2C 总线传输协议，总线上发送数据的器件为 MCU（主器件），接收数据的器件为内部 EEPROM（从器件），只有当总线处于空闲状态时才可以启动数据传输，每次数据传输均开始于 START 条件，结束于 STOP 条件，数据以字节为单位传输。

### ◆ 起始条件与停止条件

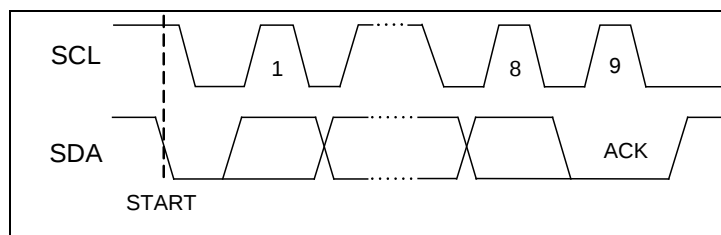
数据与时钟都为高则为总线处于空闲状态，当 SCL 为高电平时，SDA 的下降沿为起始条件，SDA 的上升沿为停止条件。如下图所示：



I2C 起始与停止条件时序图

### ◆ 应答

从器件每接收到一个字节就产生一个应答信号（低电平），因此主器件必须产生一个额外的时钟脉冲，即第 9 个脉冲。如下图所示：



I2C 应答时序图

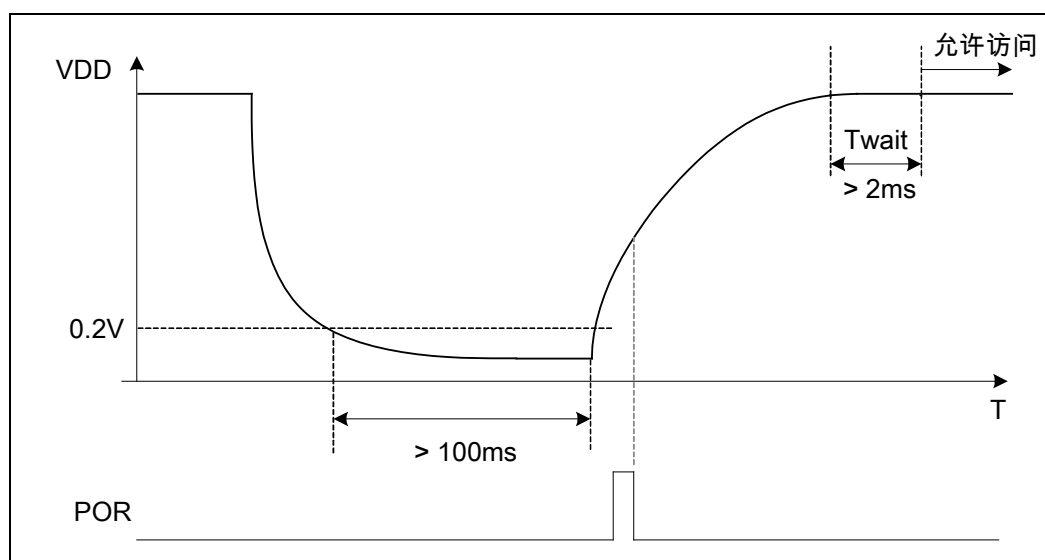
## 6.5 低功耗待机模式 (Standby)

内部 EEPROM 存储器芯片支持低功耗待机模式 (Standby)，EEPROM 在如下情况下均会进入待机模式：

- 上电后对 EEPROM 无任何读写访问操作
- 读 EEPROM 完成后收到停止位 (STOP)
- 写 EEPROM 操作完成

## 6.6 存储器上电复位

EEPROM 芯片内置上电复位 POR，用于初始化内部电路状态，该复位电路生效的条件是 VDD 上电初始电压低于 0.2V，并且需维持至少 100ms，然后再上电才能产生有效复位，当 VDD 上升到约 1.6V 时释放 POR 复位，上电稳定后，等待至少 2ms 后，可对 EEPROM 进行有效访问操作，如下图所示：



EEPROM 上电复位时序图

## 6.7 器件寻址

EEPROM 器件寻址字节共 8 位，其中最低位 (bit0) 为读写选择位 (1 为读，0 为写)，高 4 位 (bit7~4) 为 EEPROM 的从器件地址，固定为 1010，后三位 (bit3~1) 固定为 000。后续两个字节为被访问的目标字节单元地址，第 1 个字节的低四位 (bit3~0) 和第 2 个字

节（bit7~0）一起作为目标字节单元的 12 位地址（A11~A0），来访问 EEPROM 器件 4K 字节的存储空间。

具体器件地址（DEVICE ADDRESS）和字节地址（BYTE ADDRESS）格式如下表所示：

| 名称     | Bit7 | Bit6 | Bit5 | Bit4 | Bit3 | Bit2 | Bit1 | Bit0 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 器件地址   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | R/W  |
| 字节地址 1 | /    | /    | /    | /    | A11  | A10  | A9   | A8   |
| 字节地址 2 | A7   | A6   | A5   | A4   | A3   | A2   | A1   | A0   |

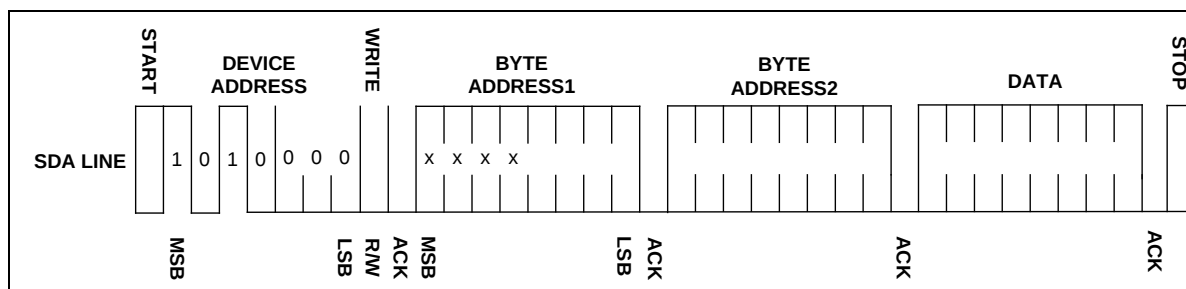
EEPROM 寻址表

## 6.8 EEPROM写操作

### ◆ 字节写操作

字节写操作时，主器件依次发送从器件地址，EEPROM 写操作单元的字节地址，写入的数据字节，从器件每次接收完一个通信字节后，均回复 ACK 应答，主器件发送完毕所写数据并收到 ACK 应答后，必须发送停止位 STOP，然后从器件才启动内部写周期，将数据写入到对应地址单元，并且直到写周期完成后，从器件才会响应新的访问操作。

字节写操作的通讯数据传输格式如下图所示：



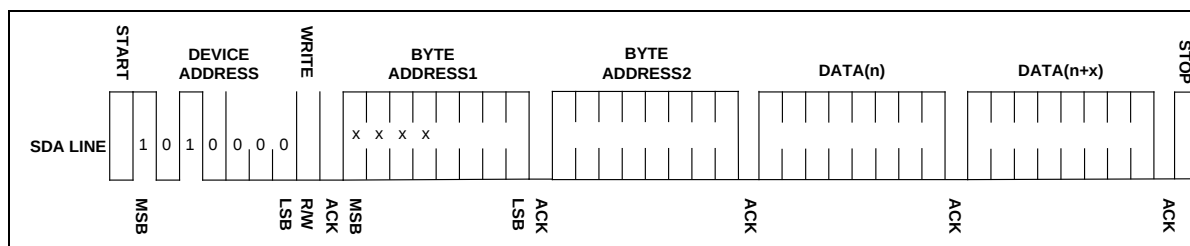
字节写时序图

### ◆ 页写操作

从器件内部 EEPROM 按每页 32 字节执行页写，页写初始化与字节写相同，只是主器件不会在第一个数据后发送停止条件，而是在内部 EEPROM 的应答后接着再发送数据，从器件 EEPROM 接收到每个数据后都应答“0”，最后仍然必须由主器件发送停止条件，终止写序列，然后从器件启动内部写周期，将数据写入到对应页。

接收到每个数据后，字节地址的低 5 位由内部硬件自动加 1，高位地址不变，维持在当前页内。当内部产生的字节地址达到该页边界地址时，字节地址将回到该页的首字节，随后的数据从该页的页首开始写，先前的数据被覆盖。

页写操作的通讯数据传输格式如下图所示：



页写时序图

### ◆ 应答查询

一旦内部写周期启动，从器件输入无效，不会响应新的访问操作，此时可启动应答查询。只有内部写周期完成，从器件才会应答“0”，之后可继续新的读写操作。

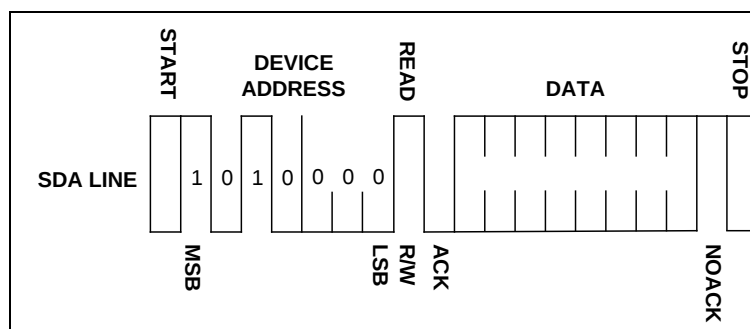
## 6.9 EEPROM读操作

读操作与写操作初始化相同，只是从器件地址中的读写选择位为“1”，读操作有三种方式：当前字节地址读、目标字节地址读、顺序读。

### ◆ 当前字节地址读

内部地址计数器保存着上次访问时的字节地址加 1 的值。只要芯片不掉电，该地址一直保存，当读到最后一页的最后一个字节地址时，地址会回转到 0，当写到某页尾的最后一个字节，地址会回到该页的首字节。EEPROM 接收到从器件地址（读写选择位为“1”），并应答 ACK 后，当前字节地址的数据就随后续时钟送出。主器件无需应答“0”，但需要发送停止条件。

当前字节地址读操作的通讯数据传输格式如下图所示：

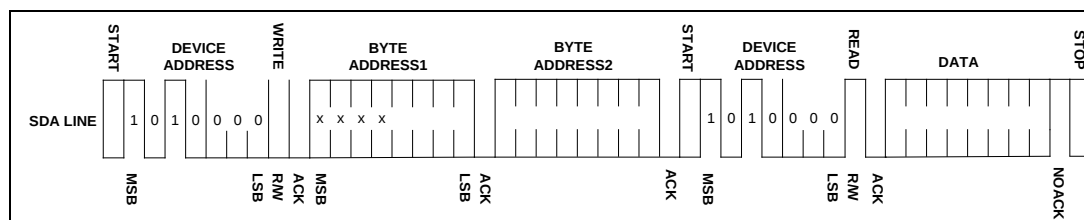


当前字节地址读时序图

### ◆ 目标字节地址读

目标字节地址读需先写一个目标字节地址，一旦从器件接收了器件地址和字节地址并应答了 ACK 后，主器件就产生一个重复的起始条件。主器件发送器件地址（读/写选择位为“1”），从器件应答 ACK 后，目标字节地址的数据就随后续时钟送出数据。主器件无需应答“0”，但需发送停止条件。

目标字节地址读操作的通讯数据传输格式如下图所示：



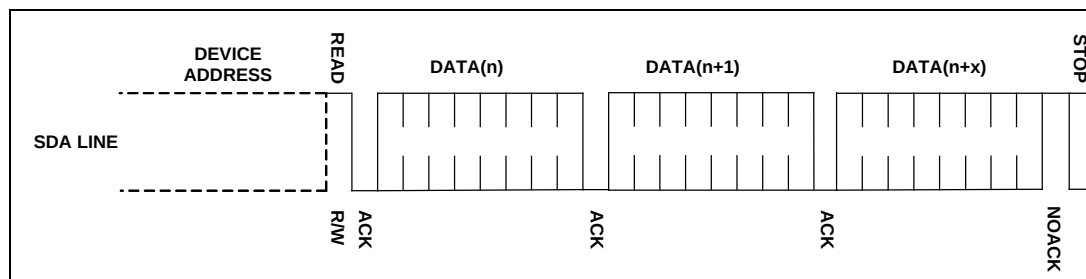
目标字节地址读时序图

### ◆ 顺序读

顺序读可通过“当前字节地址读”或“目标字节地址读”启动。主器件接收到一个数据后，

应答 ACK，只要 EEPROM 接收到 ACK，将自动递增字节地址并继续随时钟发出后面的数据，若达到 EEPROM 存储器地址末尾时，地址自动回转到 0，仍可继续读取数据。主器件不应答“0”，而发送停止条件，即可结束顺序读操作。

顺序读操作的通讯数据传输格式如下图所示（以当前字节地址读方式启动）：



顺序读时序图（以当前字节地址读方式启动）

## 6. 10 内置EEPROM电气特性

### 6. 10. 1 芯片工作条件

#### ◆ 最大标称值

| 参数     | 符号               | 条件     | 标称值        | 单位 |
|--------|------------------|--------|------------|----|
| 电源电压   | VDD              | VSS=0V | -0.3 ~ 6.5 | V  |
| 芯片存储温度 | T <sub>STG</sub> | —      | -55 ~ 150  | °C |

#### ◆ 芯片工作条件表

| 参数     | 符号               | 工作条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|--------|------------------|------|-----|-----|----|
| 芯片工作温度 | T <sub>OPR</sub> | —    | -40 | 105 | °C |
| 芯片工作电压 | VDD              | —    | 2.2 | 5.5 | V  |

#### ◆ 芯片上电和下电工作条件表（-40 ~ 105°C）

| 参数         | 符号                 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|------------|--------------------|-----|-----|----|
| VDD 上电初始电压 | V <sub>start</sub> | —   | 0.2 | V  |

### 6. 10. 2 直流电气特性表

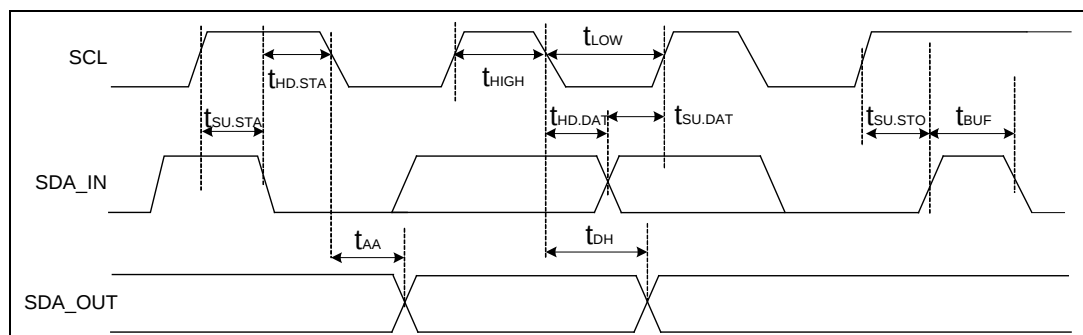
（条件：T<sub>A</sub>= -40°C ~ 105°C，VDD= 2.2V ~ 5.5V）

| 参数   | 符号              | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 | 测试条件     |          |
|------|-----------------|-----|-----|-----|----|----------|----------|
| 运行电流 | I <sub>DD</sub> | —   | —   | 0.8 | mA | VDD = 5V | 400kHz 读 |
|      |                 | —   | —   | 1.2 | mA |          | 400kHz 写 |
| 待机电流 | I <sub>SB</sub> | —   | 1   | 2   | uA | VDD = 5V |          |

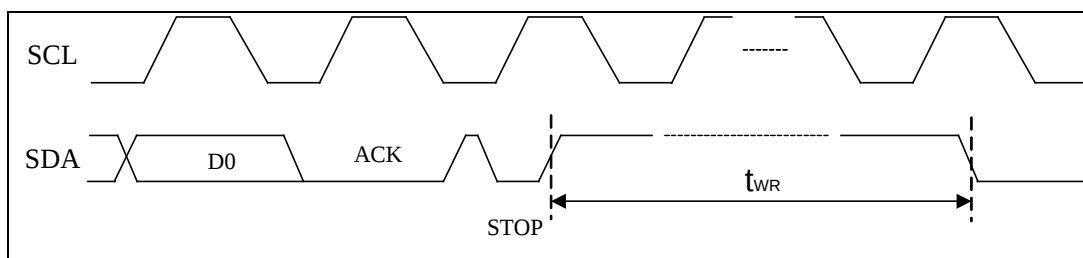
### 6. 10. 3 交流电气特性表

（条件：T<sub>A</sub>= -40°C ~ 105°C，VDD= 2.2V ~ 5.5V，C<sub>L</sub>=100pF）

| 参数       | 符号           | 2.2V≤VDD≤5.5V |     | 单位  |
|----------|--------------|---------------|-----|-----|
|          |              | 最小值           | 最大值 |     |
| SCL 时钟频率 | $f_{SCL}$    | —             | 400 | KHz |
| 时钟低电平宽度  | $t_{LOW}$    | 1.3           | —   | μs  |
| 时钟高电平宽度  | $t_{HIGH}$   | 0.6           | —   | μs  |
| 噪声消除时间   | $t_I$        | —             | 0.1 | μs  |
| 数据输出间隔时间 | $t_{AA}$     | 0.1           | 0.9 | μs  |
| 总线释放时间   | $t_{BUF}$    | 1.3           | —   | μs  |
| 起始条件保持时间 | $t_{HD.STA}$ | 0.6           | —   | μs  |
| 起始条件建立时间 | $t_{SU.STA}$ | 0.6           | —   | μs  |
| 数据输入保持时间 | $t_{HD.DAT}$ | 0             | —   | μs  |
| 数据输入建立时间 | $t_{SU.DAT}$ | 0.1           | —   | μs  |
| 停止条件建立时间 | $t_{SU.STO}$ | 0.6           | —   | μs  |
| 数据输出保持时间 | $t_{DH}$     | 0.1           | —   | μs  |
| 内部写周期    | $t_{WR}$     | —             | 5   | ms  |



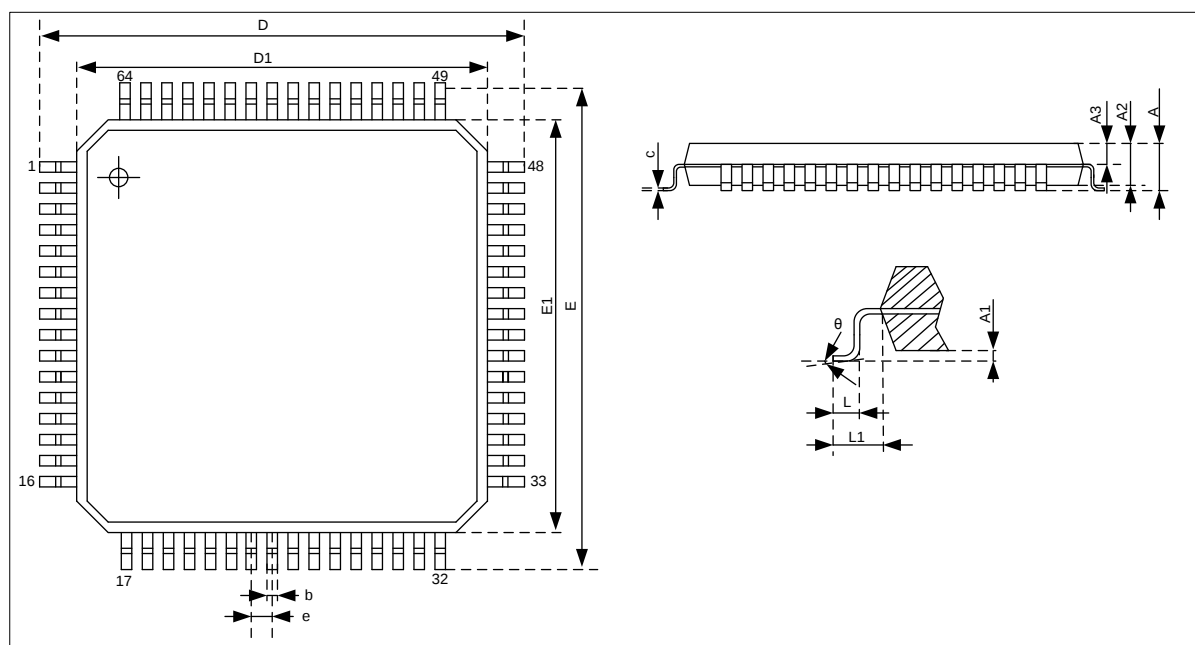
I2C 通讯总线时序图



EEPROM 内部写周期时序图

## 第7章 封装信息

### 7.1 LQFP64 封装尺寸图



| 标号 | 公制 (mm) |       |       |
|----|---------|-------|-------|
|    | MIN     | NOM   | MAX   |
| A  | —       | —     | 1.60  |
| A1 | 0.05    | —     | 0.25  |
| A2 | 1.35    | 1.40  | 1.45  |
| A3 | 0.59    | 0.64  | 0.69  |
| b  | 0.16    | —     | 0.27  |
| c  | 0.13    | —     | 0.18  |
| D  | 11.80   | 12.00 | 12.20 |
| D1 | 9.90    | 10.00 | 10.10 |
| E  | 11.80   | 12.00 | 12.20 |
| E1 | 9.90    | 10.00 | 10.10 |
| e  | 0.50BSC |       |       |
| L  | 0.45    | —     | 0.75  |
| L1 | 1.00REF |       |       |
| θ  | 0       | —     | 7°    |

## 第8章 修订历史

| 版本   | 修订日期       | 修订内容 |
|------|------------|------|
| V1.0 | 2025-11-20 | 初版发布 |