
第 54 章 图形 LCD（GLCD）控制器

本章包括下列主题：

54.1 简介	54-2
54.2 控制寄存器	54-4
54.3 工作原理.....	54-24
54.5 中断.....	54-31
54.6 相关应用笔记	54-32
54.7 版本历史.....	54-33

注： 本系列参考手册章节旨在用作对器件数据手册的补充。本手册章节可能并不适用于所有 PIC32 器件，具体取决于器件型号。

请参见当前器件数据手册中“**图形 LCD（GLCD）控制器**”章节开头部分的注释，以确定本文档是否支持您所使用的器件。

器件数据手册和系列参考手册章节可从 Microchip 网站下载：

<http://www.microchip.com>。

54.1 简介

图形 LCD（Graphics LCD，GLCD）控制器设计为与显示屏接口，使用内置模拟驱动来单独控制屏幕的像素。GLCD 控制器可传输来自存储设备的显示数据，并对这些数据进行格式化以用于显示设备。引脚上的并行接口以标准 3.3V 输出工作，它需要 28 个引脚来支持 24 位颜色，并且通常与器件上的通用 I/O 功能共用。

54.1.1 特性

提供可编程的垂直和水平同步信号时序，以满足显示器的时序要求。

特定于器件的特性包括（要确定您所用器件支持的特性，请参见具体器件数据手册）：

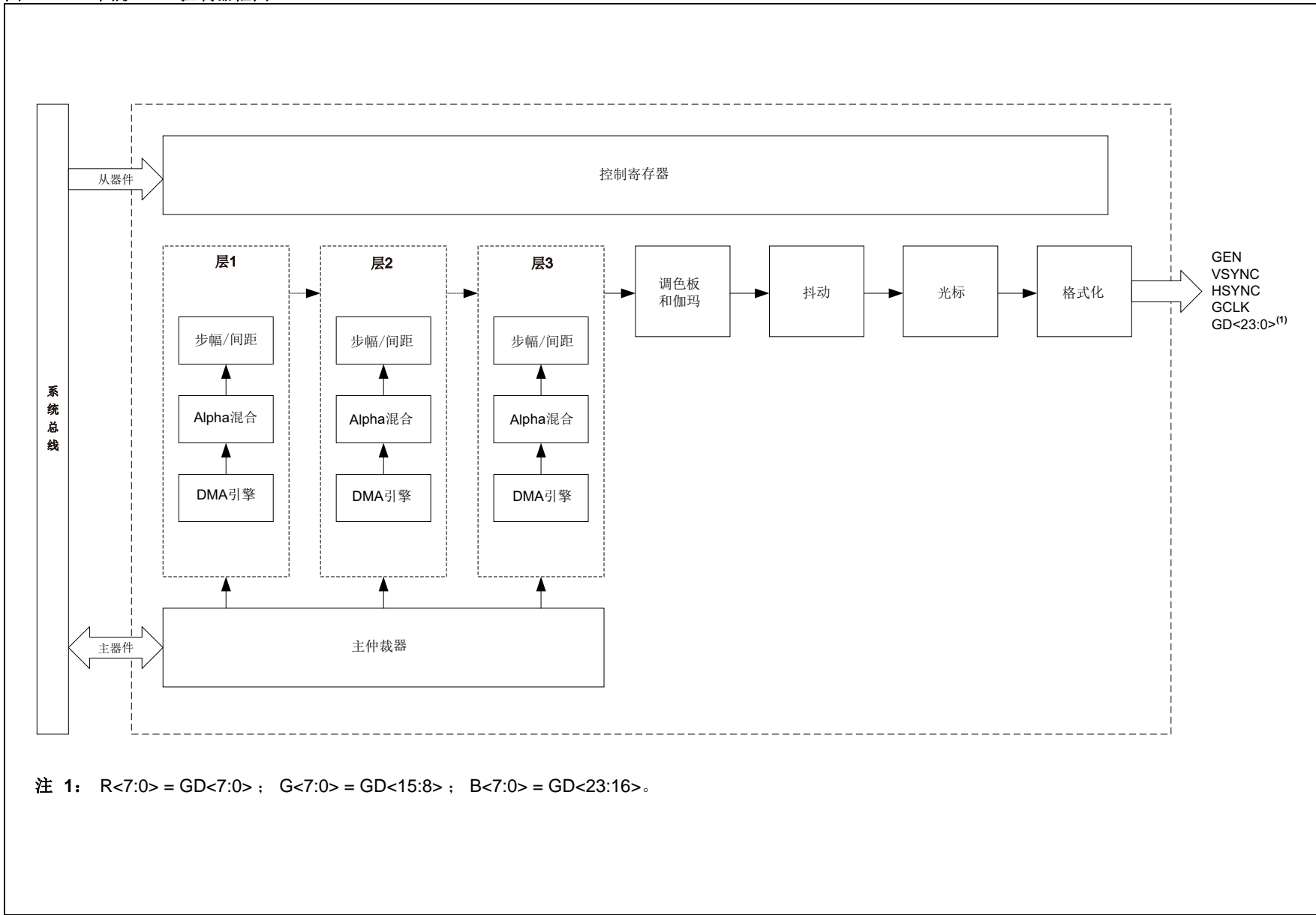
- 支持一系列颜色深度和分辨率
- 支持多个设计时序层，其中包括：
 - 可配置 Alpha 混合
 - 可配置步幅和间距
- 支持各种输入和输出格式

所有器件共有的特性包括：

- 用于 18 位显示的抖动技术
- 高品质 YUV 转换
- 全局调色板查找表（Color Palette Look-up Table，CLUT），支持 256 种颜色
- 全局伽玛校正、亮度和对比度支持
- 可编程光标，支持 16 种颜色（包括 1 种透明色）
- HSYNC、VSYNC、DE 和 PCLK 的极性可编程
- 集成 DMA，可减轻 CPU 负载
- 基于 HSYNC 和 VSYNC 产生可编程（电平 / 边沿）中断

图 54-1 给出了 GLCD 控制器的框图。

图 54-1: 图形 LCD 控制器框图



54.2 控制寄存器

图形 LCD (GLCD) 控制器具有以下特殊功能寄存器 (Special Functions Register, SFR):

- **GLCDMODE: 图形 LCD 控制器模式寄存器**

该寄存器控制 GLCD 控制器的使能、设置时序信号的极性, 以及控制全局颜色查找表的使能。该寄存器还可控制全局颜色选项: RGB、YUV 或消隐。可以使能抖动, 从而通过提升彩色输出来满足 LCD 颜色规范。

- **GLCDCLKCON: 图形 LCD 控制器时钟控制寄存器**

该寄存器控制可以在开始帧之前预取的行数, 并且还包含用于设置适当时序的主时钟分频比控制位。

- **GLCDBGCOLOR: 图形 LCD 控制器背景色寄存器**

该寄存器包含 32 位值, 用作 GLCD 控制器的主背景色。它可接受一个 24 位 RGB 颜色值以及一个 8 位 Alpha 值。

- **GLCDRES: 图形 LCD 控制器分辨率寄存器**

该寄存器包含要用于 GLCD 控制器的主要 X 和 Y 分辨率。

- **GLCDFPORCH: 图形 LCD 控制器前沿寄存器**

该寄存器包含要用于 GLCD 控制器的前沿的 X 和 Y 维度。

- **GLCDBLANKING: 图形 LCD 控制器消隐寄存器**

该寄存器包含要用于 GLCD 控制器的消隐周期的 X 和 Y 维度。

- **GLCDBPORCH: 图形 LCD 控制器后沿寄存器**

该寄存器包含要用于 GLCD 控制器的消隐周期的 X 和 Y 维度。

- **GLCDCURSOR: 图形 LCD 控制器光标寄存器**

该寄存器包含 GLCD 控制器的光标的 X 和 Y 起始维度。

- **GLCDLxMODE: 图形 LCD 控制器层 x 模式寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含各个层的使能控制。它们还支持对层的混合以及混合类型进行控制。每个层都可以具有自己的颜色模式, 它们也使用该寄存器进行选择。可以通过使能双线性过滤器来平滑边缘。

- **GLCDLxSTART: 图形 LCD 控制器层 x 起始寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含要使用的层的 X 和 Y 起始维度。

- **GLCDLxSIZE: 图形 LCD 控制器层 x 大小寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含要使用的层的 X 和 Y 大小。

- **GLCDLxBADDR: 图形 LCD 控制器层 x 基址寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含要由层访问的帧缓冲区在存储器中的 X 和 Y 起始地址。

- **GLCDLxSTRIDE: 图形 LCD 控制器层 x 步幅寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含存储器中的帧缓冲区行到行的距离。如果帧缓冲区不是连续存储的, 则需要指定步幅。

- **GLCDLxRES: 图形 LCD 控制器层 x 分辨率寄存器 (x = 0-2)**

这些寄存器包含各个层的分辨率的 X 和 Y 维度。

- **GLCDINT: 图形 LCD 控制器中断寄存器**

该寄存器用于允许 GLCD 控制器的时序中断 (包括 HSYNC 和 VSYNC), 以及指定使用哪种类型的边沿触发源。

- **GLCDSTAT: 图形 LCD 控制器状态寄存器**

该寄存器包含 GLCD 控制器的状态，包括最后一行 CSYNC、VSYNC、HSYNC、DE，以及 GLCD 控制器所处的状态。状态可以为活动或消隐。

- **GLCDCLUTx: 图形 LCD 控制器全局颜色查找表寄存器 x (x = 0-255)**

这些寄存器包含 GLCD 控制器使用的全局颜色查找表分量值。

- **GLCDCURDATAx: 图形 LCD 控制器光标数据 n 寄存器 (n = 0-127)**

这些寄存器包含 32 x 32 像素光标的颜色值，它们与光标 LUT 配合使用。

- **GLCDCURLUTx: 图形 LCD 控制器光标 LUT 寄存器 x (x = 0-15)**

这些寄存器包含光标颜色 LUT 使用的 LUT 的 24 位颜色值。

表 54-1 汇总了所有图形 LCD (GLCD) 控制器特殊功能寄存器 (SFR)。汇总表之后列出了相应的寄存器，其中包含了每个位的详细说明。

表 54-1: 图形 LCD 控制器寄存器映射

寄存器名称	位范围	Bit 31/15	Bit 30/14	Bit 29/13	Bit 28/12	Bit 27/11	Bit 26/10	Bit 25/9	Bit 24/8	Bit 23/7	Bit 22/6	Bit 21/5	Bit 20/4	Bit 19/3	Bit 18/2	Bit 17/1	Bit 16/0
GLCDMODE	31:16	LCDEN	CURSOR EN	—	VSYNC POL	HSYNC POL	DEPOL	—	DITHER	VSYNC CYC	PCLK POL	—	PGRAMP EN	FORCE BLANK	—	—	—
	15:0	—	—	—	—	—	—	YUV OUTPUT	FORMAT CLK	RGBSEQ<2:0>			—	—	—	—	—
GLCDCCLKCON	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	—	—	LPREFETCH<5:0>						—	—	CLKDIV<5:0>					
GLCDBGCOLOR	31:16	RED<7:0>								GREEN<7:0>							
	15:0	BLUE<7:0>								ALPHA<7:0>							
GLCDRES	31:16	—	—	—	—	RESX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	RESY<10:0>											
GLCDFPORCH	31:16	—	—	—	—	FPORCHX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	FPORCHY<10:0>											
GLCDBLANKING	31:16	—	—	—	—	BLANKINGX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	BLANKINGY<10:0>											
GLCDBPORCH	31:16	—	—	—	—	BPORCHX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	BPORCHY<10:0>											
GLCDCCURSOR	31:16	—	—	—	—	CURSORX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	CURSORY<10:0>											
GLCDL0MODE	31:16	LAYEREN	DISABIFIL	FORCE ALPHA	MUL ALPHA	—	—	—	—	ALPHA<7:0>							
	15:0	DESTBLEND<3:0>				SRCBLEND<3:0>				—	—	—	—	COLORMODE<3:0>			
GLCDL0START	31:16	—	—	—	—	STARTX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	STARTY<10:0>											
GLCDL0SIZE	31:16	—	—	—	—	SIZEX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	SIZEY<10:0>											
GLCDL0BADDR	31:16	BASEADDR<31:16>															
	15:0	BASEADDR<15:0>															
GLCDL0STRIDE	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	STRIDE<15:0>															
GLCDL0RES	31:16	—	—	—	—	RESX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	RESY<10:0>											
GLCDL1MODE	31:16	LAYEREN	DISABIFIL	FORCE ALPHA	MUL ALPHA	—	—	—	—	ALPHA<7:0>							
	15:0	DESTBLEND<3:0>				SRCBLEND<3:0>				—	—	—	—	COLORMODE<3:0>			
GLCDL1START	31:16	—	—	—	—	STARTX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	STARTY<10:0>											

图注: x = 复位时的未知值; — = 未实现, 读为 0。复位值用十六进制显示。

注 1: 对于 PIXELxy 位, x = 0-31, y = 0-31 (即, GLCDCURDATA0 包含 PIXEL00 至 PIXEL07, 且 PIXEL00 位于高 4 位)。

表 54-1: 图形 LCD 控制器寄存器映射 (续)

寄存器名称	位范围	Bit 31/15	Bit 30/14	Bit 29/13	Bit 28/12	Bit 27/11	Bit 26/10	Bit 25/9	Bit 24/8	Bit 23/7	Bit 22/6	Bit 21/5	Bit 20/4	Bit 19/3	Bit 18/2	Bit 17/1	Bit 16/0
GLCDL1SIZE	31:16	—	—	—	—	SIZEX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	SIZEY<10:0>											
GLCDL1BADDR	31:16	BASEADDR<31:16>															
	15:0	BASEADDR<15:0>															
GLCDL1STRIDE	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	STRIDE<15:0>															
GLCDL1RES	31:16	—	—	—	—	RESX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	RESY<10:0>											
GLCDL2MODE	31:16	LAYEREN	DISABIFIL	FORCE ALPHA	MUL ALPHA	—	—	—	—	ALPHA<7:0>							
	15:0	DESTBLEND<3:0>				SRCBLEND<3:0>				—	—	—	—	—	COLORMODE<3:0>		
GLCDL2START	31:16	—	—	—	—	STARTX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	STARTY<10:0>											
GLCDL2SIZE	31:16	—	—	—	—	SIZEX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	SIZEY<10:0>											
GLCDL2BADDR	31:16	BASEADDR<31:16>															
	15:0	BASEADDR<15:0>															
GLCDL2STRIDE	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	STRIDE<15:0>															
GLCDL2RES	31:16	—	—	—	—	RESX<10:0>											
	15:0	—	—	—	—	RESY<10:0>											
GLCDINT	31:16	IRQCON	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	HSYNCINT	VSXNCINT
GLCDSTAT	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	LROW	—	VSXNC	HSXNC	DE	ACTIVE
GLCDCCLUTx (x = 0-255)	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	RED<7:0>							
	15:0	GREEN<7:0>								BLUE<7:0>							
GLCDCURDATAx (x = 0-127)	31:16	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			
	15:0	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			
GLCDCURLUTx (x = 0-15)	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	RED<7:0>							
	15:0	GREEN<7:0>								BLUE<7:0>							

图注: x = 复位时的未知值; — = 未实现, 读为 0。复位值用十六进制显示。

注 1: 对于 PIXELxy 位, x = 0-31, y = 0-31 (即, GLCDCURDATA0 包含 PIXEL00 至 PIXEL07, 且 PIXEL00 位于高 4 位)。

寄存器 54-1: GLCDMODE: 图形 LCD 控制器模式寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
	LCDEN	CURSOREN	—	VSYNCPOL	HSYNCPOL	DEPOL	—	DITHER
23:16	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
	VSYNCCYC	PCLKPOL	—	PGRAMPEN	FORCEBLANK	—	—	—
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	—	YUVOUTPUT	FORMATCLK
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	RGBSEQ<2:0>			—	—	—	—	—

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

- bit 31 **LCDEN:** LCD 控制器模块使能位
1 = 使能 LCD 控制器模块
0 = 禁止 LCD 控制器模块
- bit 30 **CURSOREN:** 可编程光标使能位
1 = 使能可编程光标
0 = 禁止可编程光标
- bit 29 **未实现:** 读为 0
- bit 28 **VSYNCPOL:** 垂直同步极性位
1 = VSYNC 极性为负
0 = VSYNC 极性为正
- bit 27 **HSYNCPOL:** 水平同步极性位
1 = HSYNC 极性为负
0 = HSYNC 极性为正
- bit 26 **DEPOL:** DE 极性位
1 = DE 极性为负
0 = DE 极性为正
- bit 25 **未实现:** 读为 0
- bit 24 **DITHER:** 抖动使能位
1 = 使能抖动
0 = 禁止抖动
- bit 23 **VSYNCCYC:** 每行单周期垂直同步使能位
1 = 使能每行单周期 VSYNC
0 = 禁止每行单周期 VSYNC
- bit 22 **PCLKPOL:** 像素时钟输出极性位
1 = 像素时钟输出极性为负
0 = 像素时钟输出极性为正
- bit 21 **未实现:** 读为 0
- bit 20 **PGRAMPEN:** 调色板伽玛斜坡使能位
1 = 使能调色板伽玛斜坡
0 = 禁止调色板伽玛斜坡

寄存器 54-1: GLCDMODE: 图形 LCD 控制器模式寄存器 (续)

- bit 19 **FORCEBLANK:** 强制输出消隐位
 1 = 强制输出消隐
 0 = 无影响
- bit 18-10 **未实现:** 读为 0
- bit 9 **YUVOUTPUT:** YUV 输出使能位
 1 = 使能 YUV
 0 = 使能 RGB
- bit 8 **FORMATCLK:** 格式化时钟分频使能位
 1 = 格式化时钟不进行分频
 0 = 格式化时钟进行分频
- bit 7-5 **RGBSEQ<2:0>:** RGB 顺序模式使能位
 111 = BT.656
 110 = YUYV
 101 = 保留
 100 = 保留
 011 = 保留
 010 = 保留
 001 = 保留
 000 = 并行 RGB (RGB888、RGB666 和 RGB323)
- bit 4-0 **未实现:** 读为 0

寄存器 54-2: GLCDCLKCON: 图形 LCD 控制器时钟控制寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
15:8	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	LPREFETCH<5:0>					
7:0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	CLKDIV<5:0>					

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-14 **未实现:** 读为 0

bit 13-8 **LPREFETCH<5:0>:** 行预取位

这些位代表在开始帧之前预取的行数 (通过 DMA)。最大值为 $2^{LPREFETCH} = 32$ 。

bit 7-6 **未实现:** 读为 0

bit 5-0 **CLKDIV<5:0>:** 时钟分频比位

111111 = 保留

111110 = 保留

•

•

•

011111 = 31 分频

011110 = 30 分频

011101 = 29 分频

•

•

•

000011 = 3 分频

000010 = 2 分频

000001 = 1 分频

000000 = 0 分频

注: 如果 CLKDIV<5:0> 的值为偶数, 则 $PCLK = (PLL_CLOCK/CLOCKDIV)$, 其占空比为 50%。如果 CLKDIV<5:0> 的值为奇数, 则 $PCLK = (PLL_CLOCK/CLOCKDIV)$, 其占空比为 60% 至 40%。

寄存器 54-5: GLCDFPORCH: 图形 LCD 控制器前沿寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	FPORCHX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	FPORCHX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	FPORCHY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	FPORCHY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 **未实现**: 读为 0

bit 26-16 **FPORCHX<10:0>**: X 维度前沿行数位

这些位指定 X 维度前沿的行数。

bit 15-11 **未实现**: 读为 0

bit 10-0 **FPORCHY<10:0>**: Y 维度前沿像素时钟数位

这些位指定 Y 维度前沿的像素时钟数。

寄存器 54-6: GLCDBLANKING: 图形 LCD 控制器消隐寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	BLANKINGX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BLANKINGX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	BLANKINGY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BLANKINGY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 **未实现**: 读为 0

bit 26-16 **BLANKINGX<10:0>**: X 维度消隐周期位

这些位指定 X 维度消隐周期对应的 HSYNC 脉冲长度。

bit 15-11 **未实现**: 读为 0

bit 10-0 **BLANKINGY<10:0>**: Y 维度消隐周期位

这些位指定 Y 维度消隐周期对应的 VSYNC 行数。

寄存器 54-7: GLCDBPORCH: 图形 LCD 控制器后沿寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	BPORCHX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BPORCHX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	BPORCHY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BPORCHY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 **未实现:** 读为 0

bit 26-16 **BPORCHX<10:0>:** X 维度后沿行数位

这些位指定 X 维度后沿的行数。

bit 15-11 **未实现:** 读为 0

bit 10-0 **BPORCHY<10:0>:** Y 维度后沿像素时钟数位

这些位指定 Y 维度后沿的像素时钟数。

寄存器 54-8: GLCDCCURSOR: 图形 LCD 控制器光标寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	CURSORX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	CURSORX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	CURSORY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	CURSORY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 **未实现:** 读为 0

bit 26-16 **CURSORX<10:0>:** 光标 X 维度位置位

这些位指定光标的 X 维度位置。

bit 15-11 **未实现:** 读为 0

bit 10-0 **CURSORY<10:0>:** 光标 Y 维度位置位

这些位指定光标的 Y 维度位置。

寄存器 54-9: GLCDLxMODE: 图形 LCD 控制器层 x 模式寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	LAYEREN	DISABIFIL	FORCE ALPHA	MUL ALPHA	—	—	—	—
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	ALPHA<7:0>							
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	DESTBLEND<3:0>				SRCBLEND<3:0>			
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	COLORMODE<3:0>			

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31 **LAYEREN:** 层使能位

1 = 使能层

0 = 禁止层

bit 30 **DISABIFIL:** 禁止双线性过滤位

1 = 使能双线性过滤

0 = 禁止双线性过滤

bit 29 **FORCEALPHA:** 强制 Alpha 与全局 Alpha 位

1 = 使能强制 Alpha 与全局 Alpha

0 = 禁止强制 Alpha 与全局 Alpha

bit 28 **MULALPHA:** 预乘图像 Alpha 位

1 = 使能预乘图像 Alpha

0 = 禁止预乘图像 Alpha

bit 27-24 **未实现:** 读为 0

bit 23-16 **ALPHA<7:0>:** 层 Alpha 位

这些位包含层 Alpha 值, 其范围为 0 至 0xFF。

bit 15-12 **DESTBLEND<3:0>:** 目标混合功能位

1111 = 保留

1110 = 保留

1101 = 混合反色目标

1100 = 保留

1011 = 保留

1010 = 混合 Alpha 目标

1001 = 保留

1000 = 保留

0111 = 混合反色源和反色全局

0110 = 混合反色全局

0101 = 混合反色源

0100 = 混合 Alpha 源和 Alpha 全局

0011 = 混合 Alpha 全局

0010 = 混合 Alpha 源

0001 = 混合白色

0000 = 混合黑色

寄存器 54-9: GLCDLxMODE: 图形 LCD 控制器层 x 模式寄存器 (x = 0-2) (续)

bit 11-8 **SRCBLEND<3:0>**: 源混合功能位

1111 = 保留
 1110 = 保留
 1101 = 混合反色目标
 1100 = 保留
 1011 = 保留
 1010 = 混合 Alpha 目标
 1001 = 保留
 1000 = 保留
 0111 = 混合反色源和反色全局
 0110 = 混合反色全局
 0101 = 混合反色源
 0100 = 混合 Alpha 源和 Alpha 全局
 0011 = 混合 Alpha 全局
 0010 = 混合 Alpha 源
 0001 = 混合白色
 0000 = 混合黑色

bit 7-4 **未实现**: 读为 0

bit 3-0 **COLORMODE<3:0>**: 颜色模式位

1111 = 保留
 1110 = 保留
 1101 = 保留
 1100 = 保留
 1011 = RGB888 颜色格式
 1010 = YUYV 颜色格式
 1001 = L4 灰度 / 调色板格式
 1000 = L1 灰度 / 调色板格式
 0111 = L8 灰度 / 调色板格式
 0110 = 32 位 ARGB8888 颜色格式
 0101 = 16 位 RGB565 颜色格式
 0100 = 8 位 RGB332 颜色格式
 0011 = 保留
 0010 = 32 位 RGBA8888 颜色格式
 0001 = 16 位 RGBA5551 颜色格式
 0000 = 8 位调色板查找表 (LUT8)

寄存器 54-10: GLCDLxSTART: 图形 LCD 控制器层 x 起始寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	STARTX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	STARTX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	STARTY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	STARTY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 未实现: 读为 0

bit 26-16 **STARTX<10:0>**: 层起始 X 维度位
这些位指定层的起始 X 维度的像素偏移量。

bit 15-11 未实现: 读为 0

bit 10-0 **STARTY<10:0>**: 层起始 Y 维度位
这些位指定层的起始 Y 维度的像素偏移量。

寄存器 54-11: GLCDLxSIZE: 图形 LCD 控制器层 x 大小寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	SIZEX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	SIZEX<7:0>							
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	SIZEY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	SIZEY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 未实现: 读为 0

bit 26-16 **SIZEX<10:0>**: 层大小 X 维度位
这些位指定 X 维度的层像素大小。

bit 15-11 未实现: 读为 0

bit 10-0 **SIZEY<10:0>**: 层大小 Y 维度位
这些位指定 Y 维度的层像素大小。

寄存器 54-12: GLCDLxBADDR: 图形 LCD 控制器层 x 基址寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BASEADDR<31:24>							
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BASEADDR<23:16>							
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BASEADDR<15:8>							
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BASEADDR<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-0 **BASEADDR<31:0>**: 帧缓冲区的基址位
这些位指定帧缓冲区的基址。

寄存器 54-13: GLCDLxSTRIDE: 图形 LCD 控制器层 x 步幅寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	STRIDE<15:8>							
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	STRIDE<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-16 **未实现**: 读为 0

bit 15-0 **STRIDE<15:0>**: 层步幅位
这些位指定行到行的距离, 以字节为单位。

寄存器 54-14: GLCDLxRES: 图形 LCD 控制器层 x 分辨率寄存器 (x = 0-2)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	RESX<10:8>		
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	RESX<7:0>							
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	RESY<10:8>		
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	RESY<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-27 未实现: 读为 0

bit 26-16 **RESX<10:0>**: X 维度层像素分辨率位

这些位指定 X 维度的层像素分辨率。

bit 15-11 未实现: 读为 0

bit 10-0 **RESY<10:0>**: Y 维度层像素分辨率位

这些位指定 Y 维度的层像素分辨率。

寄存器 54-15: GLCDINT: 图形 LCD 控制器中断寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	IRQCON	—	—	—	—	—	—	—
23:16	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
7:0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
	—	—	—	—	—	—	HSYNCINT	VSNCINT

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31 **IRQCON:** IRQ 触发控制位

1 = 使能边沿触发

0 = 使能电平触发

bit 30-2 **未实现:** 读为 0

bit 1 **HSNNCINT:** HSYNC 中断允许位

1 = 允许 HSYNC 中断

0 = 禁止 HSYNC 中断

bit 0 **VSNCINT:** VSYNC 中断允许位

1 = 允许 VSYNC 中断

0 = 禁止 VSYNC 中断

寄存器 54-16: GLCDSTAT: 图形 LCD 控制器状态寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
15:8	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
7:0	U-0	U-0	R-0	U-0	R-0	R-0	R-0	R-0
	—	—	LROW	—	VSYNC	HSYNC	DE	ACTIVE

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-6 **未实现:** 读为 0

bit 5 **LROW:** 最后一行位

1 = 当前显示的是最后一行

0 = 当前显示的不是最后一行

bit 4 **未实现:** 读为 0

bit 3 **VSYNC:** VSYNC 信号电平位

该位返回 VSYNC 信号电平。

bit 2 **HSYNC:** HSYNC 信号电平位

该位返回 HSYNC 信号电平。

bit 1 **DE:** DE 信号电平位

该位返回 DE 信号电平。

bit 0 **ACTIVE:** 活动位

1 = LCD 控制器不在进行垂直消隐

0 = LCD 控制器正在进行垂直消隐

寄存器 54-17: GLCDCLUTx: 图形 LCD 控制器全局颜色查找表寄存器 x (x = 0-255)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	RED<7:0>							
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	GREEN<7:0>							
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BLUE<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-24 未实现: 读为 0

bit 23-16 **RED<7:0>**: 全局颜色查找表红色分量位

bit 15-8 **GREEN<7:0>**: 全局颜色查找表绿色分量位

bit 7-0 **BLUE<7:0>**: 全局颜色查找表蓝色分量位

寄存器 54-18: GLCDCURDATAx: 图形 LCD 控制器光标数据 n 寄存器 (n = 0-127)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾				PIXELxy<3:0> ⁽¹⁾			

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-28 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 27-24 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 23-20 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 19-16 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 15-12 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 11-8 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 7-4 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

bit 3-0 **PIXELxy<3:0>**: 像素 xy 颜色查找位 ⁽¹⁾

注 1: 对于 PIXELxy 位, x = 0-31, y = 0-31 (即, GLCDCURDATA0 包含 PIXEL00 至 PIXEL07, 且 PIXEL00 位于高 4 位)。

寄存器 54-19: GLCDCURLUTx: 图形 LCD 控制器光标 LUT 寄存器 x (x = 0-15)

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	RED<7:0>							
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	GREEN<7:0>							
7:0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	BLUE<7:0>							

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-24 未实现: 读为 0

bit 23-16 **RED<7:0>**: 光标查找表红色分量位

bit 15-8 **GREEN<7:0>**: 光标查找表绿色分量位

bit 7-0 **BLUE<7:0>**: 光标查找表蓝色分量位

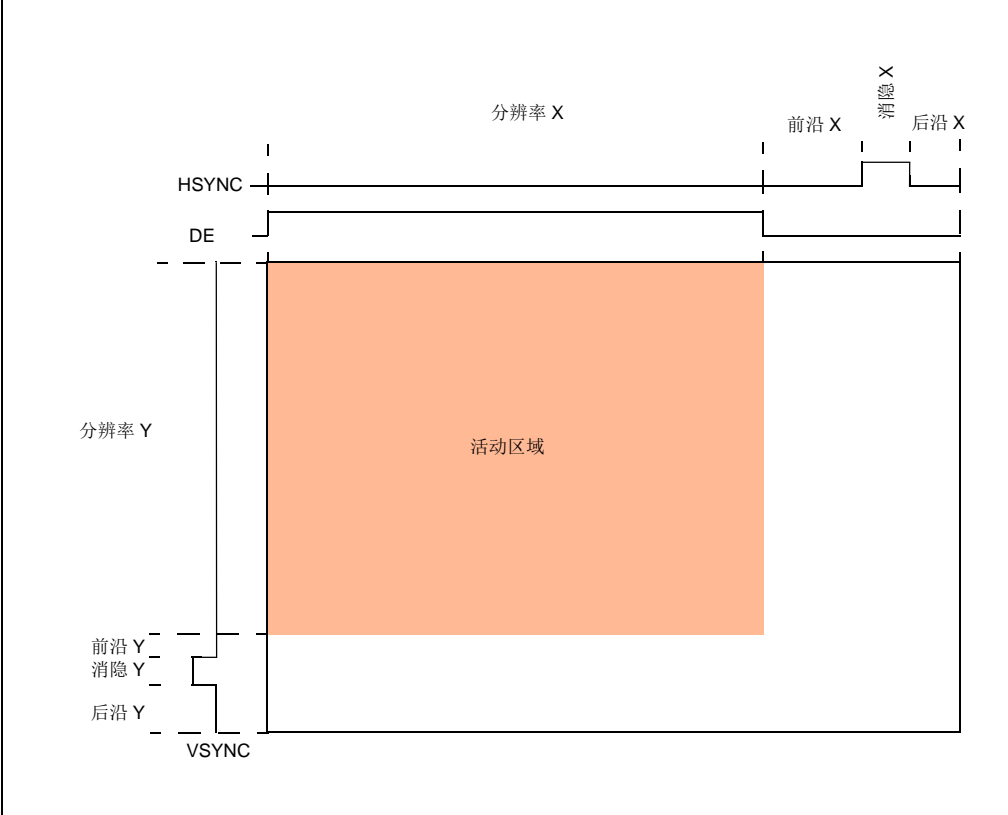
注: 该寄存器中的位包含 8 位 RGB 颜色值 (0-255)。

54.3 工作原理

在 GPU 访问存储器时，GLCD 控制器会使用所定义的显示缓冲区不断刷新显示单元。所选显示器的刷新速率、分辨率和颜色深度用于确定控制器的参数。

GLCD 控制器的视频时序设计为可以使用时序信息简便地进行编程。图 54-2 说明了参数是如何定义的。

图 54-2: 视频时序发生定义



视频时序需要垂直和水平部分的时序参数。水平时序全部基于像素时钟，而垂直时序全部基于行。控制器视频时序使用格式与 X11 模式行定义相同的时序信息来设计。可以使用公式 54-1 至公式 54-3 来确定模式行前沿、后沿和消隐周期。

公式 54-1: X11 模式行水平前沿时序

$$FPORCHX = \text{分辨率 } X + \text{前沿 } X$$

公式 54-2: X11 模式行水平消隐时序

$$BLANKINGX = FPORCHX + \text{消隐 } X$$

公式 54-3: X11 模式行水平后沿时序

$$BPORCHX = BLANKINGX + \text{后沿 } X$$

垂直时序的公式（公式 54-4 至公式 54-6）类似于水平时序，但现在它们是基于行的，而不是仅仅基于像素时钟周期。

公式 54-4: X11 模式行垂直前沿时序

$$FPORCHY = \text{分辨率 } Y + \text{前沿 } Y$$

公式 54-5: X11 模式行垂直消隐时序

$$BLANKINGY = FPORCHY + \text{消隐 } Y$$

公式 54-6: X11 模式行垂直后沿时序

$$BPORCHY = BLANKINGY + \text{后沿 } Y$$

帧速率可以根据显示总宽度和总高度得到，请参见公式 54-7。总宽度和总高度也称为水平和垂直周期。

公式 54-7: X11 模式行帧速率

$$\text{帧速率} = GCLK \text{ 频率} / (BPORCHY \times BPORCHY)$$

表 54-2 提供了显示信号与显示控制器不同参数的关系。

表 54-2: 显示信号时序控制汇总

显示信号	由参数控制的时序
VSYNC	FPORCHY、RESY、BLANKINGY 和 BPORCHY
HSYNC	FPORCHX、RESX、BLANKINGX 和 BPORCHX
DE	HSYNC 和 VSYNC

因为显示器根据 HSYNC 和 VSYNC 信号来对有效数据进行时间采样，所以 HSYNC 和 VSYNC 至 DE 的总体时序，以及有效数据必须满足显示器规范的要求。如果不满足正确要求，图像可能会在 LCD 上显示，但显示的会是损坏的图像。

表 54-3 提供了 WVGA TFT 显示器配置的示例。WVGA TFT 显示器具有以下典型参数，这些参数取自它的规范文档：

- 显示时钟周期 —— 33 ns
- 水平周期 —— 928 个时钟
- 垂直前沿 —— 40 个时钟
- 垂直后沿 —— 88 个时钟
- 垂直周期 —— 525 行
- 垂直前沿 —— 13 行
- 垂直后沿 —— 32 行

表 54-3: WVGA TFT 显示器示例配置

参数	寄存器	寄存器位	值	说明
显示数据总线使能	GLCDxMODE (寄存器 54-9)	COLORMODE	0x0101	显示器使用所有 16 位数据线，所以全部数据总线引脚均使能。
显示宽度	GLCDxRES (寄存器 54-14)	RESX	800	有效帧宽度。
显示高度		RESY	480	有效帧高度。
显示总宽度	GLCDBLANKING (寄存器 54-6)	BLANKINGX	928	取自公式 54-2。
显示总高度		BLANKINGY	525	取自公式 54-5。
显示时钟采样边沿	GLCDMODE (寄存器 54-1)	PCLKPOL	1	显示器在下降沿对数据进行采样。
数据使能信号有效电平		DENPOL	0	信号为高电平有效。
VSYNC 信号有效电平		VSYNCPOL	0	信号为低电平有效。
HSYNC 信号有效电平		HSYNCPOL	0	信号为低电平有效。
VSYNC 启动	GLCDFPORCH (寄存器 54-5)	FPORCHY	493	取自公式 54-4。
HSYNC 启动		FPORCHX	840	取自公式 54-1。
VSYNC 长度	GLCDBPORCH (寄存器 54-7)	BPORCHY	528	取自公式 54-6。
HSYNC 长度		BPROCHX	968	取自公式 54-3。
使能显示控制器	GLCDMODE (寄存器 54-1)	LCDEN	1	打开显示控制器。

该显示器的典型模式行如下：

```
# 800x480 @ 60.00 Hz pclk: 30 MHz
Modeline "800x480_60.00" 30 800 840 928 968 480 493 494 526 -HSync +Vsync
```

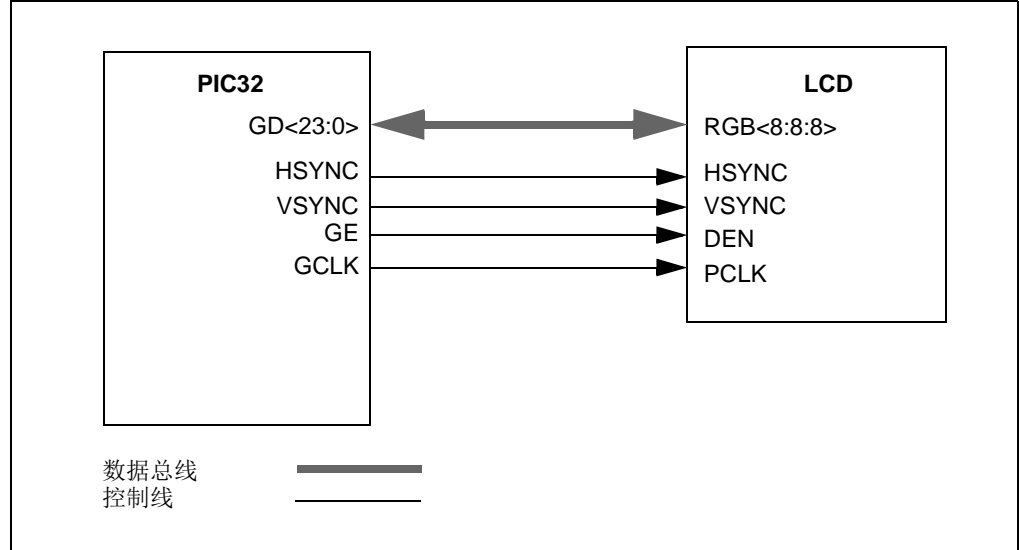
54.3.1 TFT 显示接口

GLCD 控制器时序输出线的极性可以使用 GLCDMODE 寄存器（寄存器 54-1）进行更改。像素时钟（GCLK）速度基于 GLCDCLKCON 寄存器产生。该时钟的速度应与所使用的 TFT LCD 的时序规范匹配。

显示控制器会不断从显示缓冲区读取数据，并使用显示时钟、垂直和水平同步信号以及针对显示器规范而配置的使能信号将它输出到显示器。同步信号的时序、信号的极性和显示器必需的帧速率根据显示器规范确定，并转换为要在显示控制器的寄存器中设定的值。

可以通过 RGBSEQ<2:0> 位（GLCDMODE<2:0>）选择不同的输出模式。要在给定 TFT 显示器上看到帧缓冲区中的图像，至少需要定义并设置一个层，请参见第 54.4 节“串行输出格式”。

图 54-3: TFT 显示器有效帧时序



54.3.2 背景色和层

GLCD 控制器最多支持 3 个层，这些层来自 PIC 内的数据存储器。每个层的主控制寄存器为 GLCDLxMODE 寄存器（寄存器 54-9）。每个层可以具有独立的颜色模式、Alpha 混合和过滤属性。

GLCD 控制器的最下层为 24 位背景色（RGBA），它会被应用在整个屏幕上。如果不需要它，可以将背景寄存器字段保留为空。下一个层使用所请求的混合方法应用在该层之上。背景色可以用于混合两个层和用作全局值，例如 Alpha 混合和调色板。其主控制寄存器为 GLCDBGCOLOR（寄存器 54-3）。如果没有定义任何层，则只会在 LCD 上显示背景色。

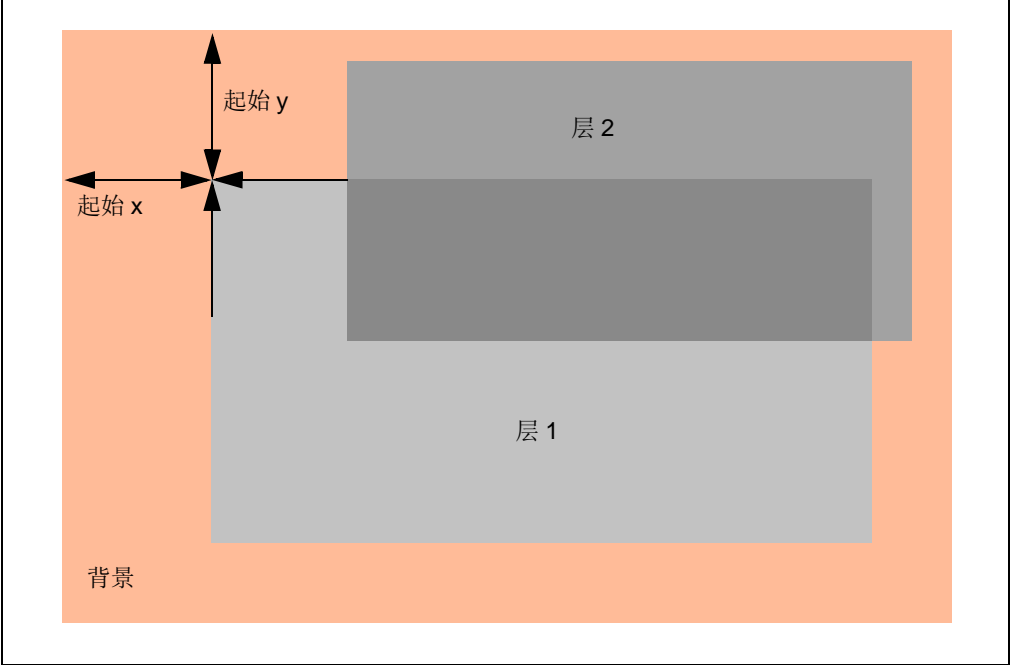
帧基址位于 GLCDLxBADDR 寄存器存储器区域内（寄存器 54-12）。如果帧缓冲区是不连续映射的，则可以使用 STRIDE<15:0> 位（GLCDLxSTRIDE<15:0>）来增加帧行之间的间距。层重叠的方式是层 2 重叠在层 1 上，依此类推。这是不可配置的。

对于每一个层，都需要起始 GLCDLxSTART（寄存器 54-10）位置和可见大小 GLCDLxSIZE（寄存器 54-11），以及分辨率 GLCDLxRES（寄存器 54-14）。如果需要，会进行 Alpha 混合。

如果不需要背景，可以将起始 x,y 坐标放在 (0,0)，GLCDLxSIZE 可以等于分辨率 GLCDLxRES。在说明这一点时，请注意各个层可以根据层的需要，具有不同的分辨率。

此外，每一个层都具有一些颜色输出模式可供选择，可以使用 COLORMODE<3:0> 位（GLCDLxMODE<3:0>）控制。

图 54-4： 层、背景显示和混合定义



54.3.3 混合模式

可以使用 `DESTBLEND<3:0>` 位 (`GLCDLxMODE<15:12>`)，完全基于层来进行混合。目标指的是当前层。源指的是前一个层。全局指的是背景层，它为固定颜色。

每个层使用以下函数混合到先前生成的混合层上： $c = cs * Fs + cd * Fd$ 。

表 54-4 列出了 Fs 和 Fd 函数支持的混合模式。

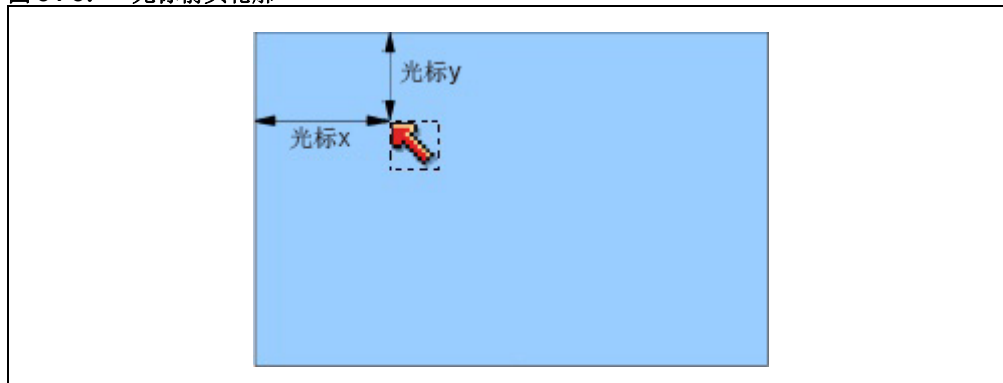
表 54-4： 支持的混合模式

二进制	功能	Fs	Fd
0000	混合 0	0	0
0001	混合 1	1	1
0010	混合 Alpha 源	as	as
0011	混合 Alpha 全局	ag	ag
0010	混合 Alpha 源和全局	$as * ag$	$as * ag$
0101	混合反色源	$1 - as$	$1 - as$
0110	混合反色全局	$1 - ag$	$1 - ag$
0111	混合反色源和反色全局	$1 - (as * ag)$	$1 - (as * ag)$
1010	混合 Alpha 目标	ad	ad
1101	混合反色目标	$1 - ad$	$1 - ad$

54.3.4 光标控制

如果使能，GLCD 控制器可以支持硬件覆盖光标。该可编程光标是一个完全可编程的 32x32 像素 16 色 4 位光标，具有可编程位图案和 CLUT 存储器。光标图案和 CLUT 存储器都是可编程的。颜色 0 保留用作透明色，而其他 15 种颜色可以使用 16 个 GLCDCURLUTx 寄存器（寄存器 54-19）设置为任意 24 位值。光标的 x,y 位置可以使用 GLCDCCURSOR 寄存器设置。图 54-5 显示了一个红色箭头的 32 像素 x32 行光标图像的轮廓。32 x 32 像素图案的每个像素都可以使用 127 个 GLCDCURDATAx 寄存器（寄存器 54-18）编程，其中每个寄存器都包含由 8 个特定像素位置构成的像素块。

图 54-5： 光标箭头轮廓



54.3.5 调色板控制

如果使用 PGRAMPEN 位（GLCDMODE<21>）使能了 8 位调色板颜色模式，则必须对 CLUT 存储器进行编程。GLCDCLUTx 寄存器（寄存器 54-17）具有 256 个 8 x 3 颜色位域，它们存放调色板上 256 种颜色中每种颜色的 RGB 值。还可以使用这些寄存器将 RGB 值映射为新的 RGB 值，用于进行伽玛校正。在该模式下，包含要显示的颜色数据的存储器区域将包含 LUT 索引，而不是实际的颜色数据。然后，LUT 会先将这些索引映射为调色板寄存器中包含的颜色值，然后再发送到 LCD 显示器。

54.4 串行输出格式

通过RGBSEQ<2:0>位 (GLCDMODE<7:5>)，GLCD控制器还支持串行输出格式，例如BT.656、两相串行 12 位、串行 4 拍 (RGBA) 和串行 3 拍 (RGB)。

这些串行模式具有特定的时序要求，输出仅在某些引脚上驱动。图 54-6 至图 54-9 给出了特定模式和数据格式的时序图。

图 54-6: 字节串行时序 (RGB-3)

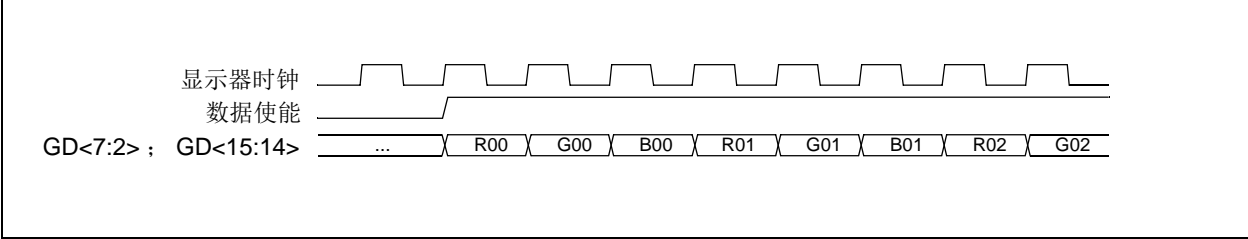


图 54-7: 字节串行时序 (RGBA-4)

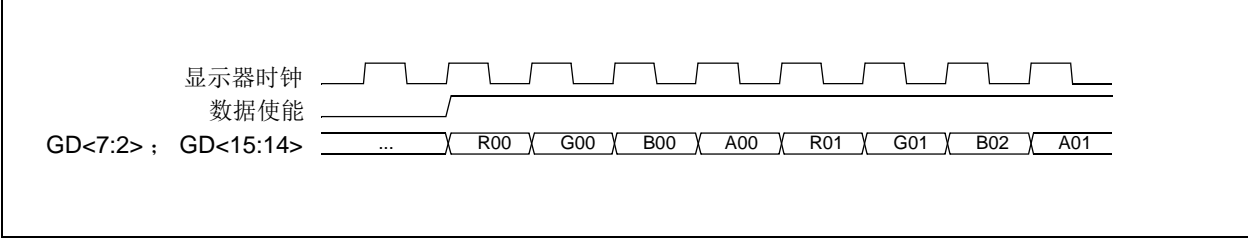


图 54-8: 字节两相 12 位模式

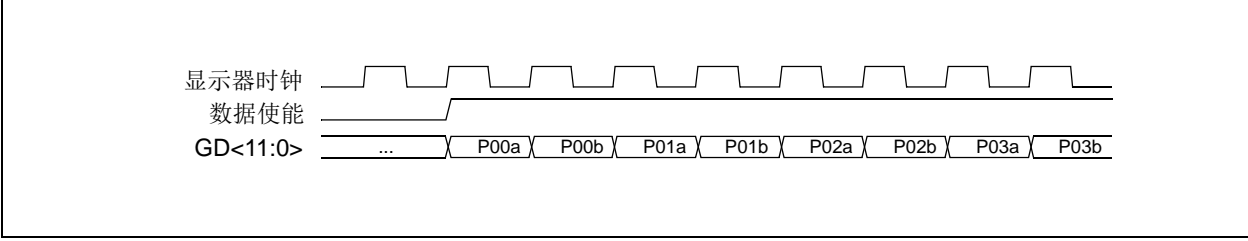
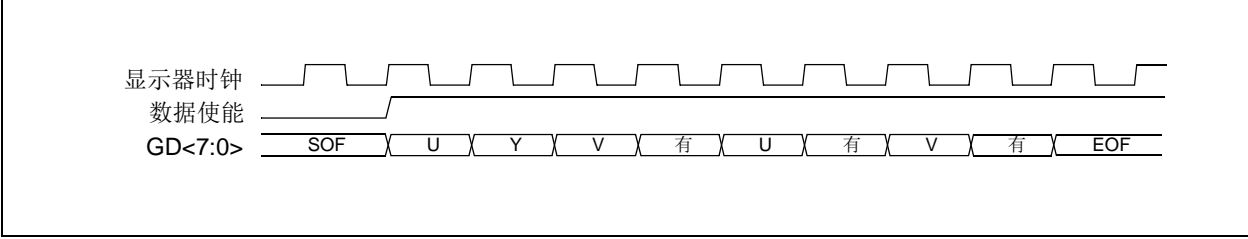


图 54-9: BT.656 时序



54.5 中断

图形 LCD 控制器模块提供了两个用于水平（HSYNC）和垂直（VSYNC）时序的中断。这些中断可以为边沿触发或电平触发，具体取决于应用的要求。VSYNC 中断可以用于监视屏幕的刷新速率。HSYNC 中断可以用于跟踪 GLCD 控制器当前显示的是哪一行。

GLCDSTAT 寄存器（寄存器 54-16）可用于检查控制器的当前状态，包括 VSYNC、HSYNC 和 DE 电平。ACTIVE 位（GLCDSTAT<0>）指示控制器是处于活动还是消隐周期。

54.6 相关应用笔记

本节列出了与手册本章内容相关的应用笔记。这些应用笔记可能并不是专为 PIC32 器件系列而编写的，但其概念是相近的，通过适当修改并受到一定限制即可使用。当前与图形 LCD（GLCD）控制器相关的应用笔记包括：

标题	应用笔记编号
目前没有相关的应用笔记。	N/A

注： 如需获取更多 PIC32 系列器件的应用笔记和代码示例，请访问 Microchip 网站（www.microchip.com）。

54.7 版本历史

版本 A（2017 年 1 月）

这是本文档的初始版本。

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下, 能访问您的软件或其他受版权保护的成果, 您有权依据该法案提起诉讼, 从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为为您提供便利, 它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范, 是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保, 包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用, 一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时, 会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任, 并加以赔偿。除非另外声明, 在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗中以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外, Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

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

商标

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

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

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

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

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

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

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2623-3

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

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

奥斯汀 **Austin, TX**
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 **Boston**
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 **Chicago**
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

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

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

休斯敦 **Houston, TX**
Tel: 1-281-894-5983

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

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

罗利 **Raleigh, NC**
Tel: 1-919-844-7510

纽约 **New York, NY**
Tel: 1-631-435-6000

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

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

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

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

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

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

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

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

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

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

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

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

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

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

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

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

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

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

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

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

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

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

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

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

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

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7289-7561

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

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

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

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

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

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