



InvenSense 有限公司
1197 Borregas Ave, Sunnyvale, CA 94089 U.S.A.
Tel: +1 (408) 988-7339 Fax: +1 (408) 988-8104
网站: www.invensense.com

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订版本: 3.4
发布日期: 2013 年 08 月 19日

MPU-6000 和 MPU-6050

产品规格

修订版 3.4

翻译说明：由于非团队翻译，个人时间有限，可能无法做到完全正确，或排版有问题等细节问题，如不严重影响阅读，无需反馈，如有不了解之处，请以英文原文档为准。

当前翻译版本号：1.0版（首次发布）

发布时间：2024/8/20

翻译反馈邮箱：yzmyly@qq.com

目 录

1 修订历史	5
2 目的和范围	6
3 产品概览	7
3.1 mpu-60x0 概览	7
4 申请	9
5 特点	10
5.1 陀螺仪功能	10
5.2 加速度计功能	10
5.3 附加功能	10
5.4 运动处理	11
5.5 计时	11
6 电气特性	12
6.1 陀螺仪规格	12
6.2 加速度计规格	13
6.3 电气和其他通用规格	14
6.4 电气规格，续	15
6.5 电气规格，续	16
6.6 电气规格，续	17
6.7 i2c 时序鉴定	18
6.8 Spi 时序鉴定（仅限 Mpu-6000）	19
6.9 绝对最大额定值	20
7 应用信息	21
7.1 引脚说明和信号描述	21
7.2 典型工作电路	22
7.3 外部组件材料清单	22
7.4 建议的开机程序	23
7.5 方框图	24
7.6 概述	24
7.7 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 mems 陀螺仪	25
7.8 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 mems 加速计	25
7.9 数字运动处理器	25
7.10 主 i2c 和 spi 串行通信接口	25
7.11 辅助 i2c 串行接口	26

7.12 自我测试	27
7.13 利用 i2c 接口实现 9 轴传感器融合的 mpu-60x0 解决方案	28
7.14 使用 spi 接口的 mpu-6000	29
7.15 内部时钟生成	30
7.16 传感器数据寄存器	30
7.17 先进先出	30
7.18 中断	30
7.19 数字输出温度传感器	31
7.20 偏置和 LDO	31
7.21 电荷泵	31
8 可编程中断	32
9 数字接口	33
9.1 i2c 和 spi (仅限 Mpu-6000) 串行接口	33
9.2 I2C 接口	33
9.3 i2c 通信协议	33
9.4 I2C 术语	36
9.5 Spi 接口 (仅限 Mpu-6000)	37
10 串行接口注意事项 (MPU-6050)	38
10.1 Mpu-6050 支持的接口	38
10.2 逻辑电平	38
10.3 aux_vddio = 0 时的逻辑电平图	39
11 装配	40
11.1 轴的方向	40
11.2 包装尺寸	41
11.3 PCB 设计指南	42
11.4 装配注意事项	43
11.5 存储规格	46
11.6 包装标识规格	46
11.7 卷带规格	47
11.8 标签	48
11.9 包装	49
11.10 有代表性的装运箱标签	50
12 可靠性	51
12.1 资格审查政策	51



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19 日

12.2	鉴定测试计划	51
13	环境合规.....	52



1 修订历史

修订日期	修订	说明
11/24/2010	1.0	首次发布
05/19/2011	2.0	修订本 C 部分。澄清了以下章节的措辞 (3.2、5.1、5.2、6.1-6.4、6.6、6.9、7.1-7.6、7.11、7.12、7.14、8、8.2-8.4、10.3、10.4、11、12.2)、7.1-7.6、7.11、7.12、7.14、8、8.2-8.4、10.3、10.4、11、12.2)
07/28/2011	2.1	编辑了不同模式下的供电电流数值 (第 6.4 节)
08/05/2011	2.2	加速度计灵敏度的测量单位从 LSB/mg 改为 LSB/g
10/12/2011	2.3	更新了表 6.2 中的加速度计自测试规格。更新了封装尺寸 (第 11.2 节)。更新了 PCB 设计指南 (第 11.3 节)
10/18/2011	3.0	适用于 D 版部件。更新了表 6.2 中的加速度计规格。更新了加速度计规格说明 (第 8.2、8.3 和 8.4 节)。更新了鉴定测试计划 (第 12.2 节)。
10/24/2011	3.1	为清晰起见进行了编辑 将工作电压范围改为 2.375V-3.46V 添加了加速度计智能功能增量值 1mg/LSB (第 6.2 节) 将加速度绝对最大额定值 (任何轴, 无电源) 从 0.3ms 更新为 0.2ms (第 6.9 节) 将闩锁 (Latch-up) 的绝对最大额定值修改为 A 级和±100mA (第 6.9 和 12.2 节)
11/16/2011	3.2	更新了日期代码为 1147 (YYWW) 或更高版本的 D 版部件的自检响应规格。 为清晰起见进行了编辑 已添加陀螺仪自检 (第 5.1、6.1、7.6 和 7.12 节) 为加速度自检响应添加了最小/最大限制 (第 6.2 节) 更新了加速度计低功耗模式工作电流 (第 6.3 节) 在框图中添加了陀螺仪自测试 (第 7.5 节) 更新了包装标签和说明 (第 11.8 和 11.9 节)
5/16/2012	3.3	更新了陀螺仪和加速计自测试信息 (第 6.1、6.2 和 7.12 节) 更新了闩锁信息 (第 6.9 节) 更新了可编程中断信息 (第 8 节) 将装运信息从每个托运箱最多 3 卷 (15K 件) 改为 5 卷 (25K 件) (第 11.7 节) 更新了包装运输和标签信息 (第 11.8 和 11.9 节) 更新了可靠性参考信息 (第 12.2 节)
8/19/2013	3.4	更新第 4 节



2 目的和范围

本产品规格提供有关 MPU-6000™ 和 MPU-6050™ MotionTracking™ 设备（统称为 MPU-60X0™ 或 MPU™）电气规格和设计相关信息的高级信息。

电气特性仅基于设计分析和模拟结果。规格如有变更，恕不另行通知。最终规格将根据生产芯片的特性进行更新。有关寄存器映射和单个寄存器的说明，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文档。

本文件中提供的自检响应规范适用于日期代码为 1147 (YYWW) 或更高版本的 D 修订版部件。请参阅第 11.6 节了解封装标记说明详情。

3 产品概览

3.1 MPU-60X0 概览

MotionInterface™ 正在成为智能手机和平板电脑制造商采用的“必备”功能，因为它能为最终用户体验带来巨大价值。在智能手机中，它可用于应用程序和手机控制的手势命令、增强游戏、增强现实、全景照片捕捉和查看以及行人和车辆导航等应用。凭借精确追踪用户动作的能力，MotionTracking 技术可将手机和平板电脑转化为功能强大的 3D 智能设备，可用于从健康和健身监测到基于位置的服务等各种应用。支持 MotionInterface 的设备的主要要求是封装尺寸小、功耗低、精度高、可重复性好、抗冲击能力强，以及具有特定应用性能的可编程性--所有这些都是以较低的消费价位实现的。

MPU-60X0 是世界上首款集成式 6 轴运动跟踪设备，它将 3 轴陀螺仪、3 轴加速计和数字运动处理器™ (DMP) 集成在一个 4x4x0.9 毫米的小型封装中。通过专用的 I2C 传感器总线，它可直接接受来自外部 3 轴罗盘的输入，从而提供完整的 9 轴 MotionFusion™ 输出。MPU-60X0 MotionTracking 器件集成了 6 轴、板载 MotionFusion™ 和运行时校准固件，使制造商能够省去昂贵而复杂的分立器件选择、鉴定和系统级集成工作，确保为消费者提供最佳运动性能。MPU-60X0 还可通过其辅助 I2C 端口与压力传感器等多个非惯性数字传感器连接。MPU-60X0 与 MPU-30X0 系列兼容。

MPU-60X0 具有三个 16 位模数转换器 (ADC)，用于对陀螺仪输出进行数字化处理，以及三个 16 位模数转换器，用于对加速度计输出进行数字化处理。为了精确跟踪快速和慢速运动，这些部件的陀螺仪满量程范围为 $\pm 250^\circ$ 、 $\pm 500^\circ$ 、 $\pm 1000^\circ$ 和 $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ (dps)，加速度计满量程范围为 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 、 $\pm 8g$ 和 $\pm 16g$ 。

片上 1024 字节 FIFO 缓冲器允许系统处理器以突发方式读取传感器数据，然后在 MPU 收集更多数据时进入低功耗模式，从而有助于降低系统功耗。MPU-60X0 具有支持许多基于运动的用例所需的所有必要片上处理和传感器组件，可在便携式应用中实现低功耗 MotionInterface 应用，同时降低对系统处理器的处理要求。通过提供集成的 MotionFusion 输出，MPU-60X0 中的 DMP 可卸载系统处理器的密集运动处理计算要求，最大限度地减少对运动传感器输出的频繁轮询。

与设备所有寄存器的通信采用 400kHz 的 I2C 或 1MHz 的 SPI（仅限 MPU-6000）。对于需要更快通信速度的应用，可使用 20MHz 的 SPI 读取传感器和中断寄存器（仅限 MPU-6000）。其他功能包括嵌入式温度传感器和在工作温度范围内变化率为 $\pm 1\%$ 的片上振荡器。

Nasiri-Fabrication 平台通过晶圆级键合将 MEMS 晶圆与配套 CMOS 电子元件集成在一起，InvenSense 利用该平台获得专利并经过批量验证，将 MPU-60X0 封装尺寸缩小到 4x4x0.9mm (QFN)，实现了手持消费电子设备所需的最高性能、最低噪声和最低成本的半导体封装。该器件具有坚固耐用的 10,000g 抗冲击能力，并为陀螺仪、加速度计和片上温度传感器配备了可编程低通滤波器。

此外，MPU-6050 还提供一个 VLOGIC 参考引脚（除模拟电源引脚 VDD 外），用于设置 I2C 接口的逻辑电平。VLOGIC 电压可以是 $1.8V \pm 5\%$ 或 VDD。

MPU-6000 和 MPU-6050 完全相同，只是 MPU-6050 仅支持 I2C 串行接口，并有一个单独的 VLOGIC 参考引脚。MPU-6000 同时支持 I2C 和 SPI 接口，并有一个单独的电源引脚 VDD，它既是 I2C 接口的电源引脚，也是 SPI 接口的电源引脚。

下表概述了这些差异：



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19日

MPU-6000 和 MPU-6050 的主要区别

部件/项目	MPU-6000	MPU-6050
VDD	2.375V-3.46V	2.375V-3.46V
VLOGIC	n/a	1.71V to VDD
支持的串行接口	I ² C, SPI	I ² C
Pin 8	/CS	VLOGIC
Pin 9	AD0/SDO	AD0
Pin 23	SCL/SCLK	SCL
Pin 24	SDA/SDI	SDA



4 应用

- *BlurFree™ 技术（用于视频/静态图像稳定）*
- *AirSign™ 技术（用于安全/认证）*
- *TouchAnywhere™ 技术（用于“无触摸”用户界面应用程序控制/导航）*
- *MotionCommand™ 技术（用于手势快捷操作）*
- 支持运动的游戏和应用框架
- InstantGesture™ iG™ 手势识别
- 定位服务、兴趣点和惯性导航
- 手机和便携式游戏机
- 运动型游戏控制器
- 用于联网数字电视和机顶盒的 3D 遥控器、3D 鼠标
- 用于健康、健身和运动的可穿戴传感器
- 玩具

5 特点

5.1 陀螺仪功能

MPU-60X0 的三轴 MEMS 陀螺仪具有多种功能：

- 数字输出 X、Y 和 Z 轴角速率传感器（陀螺仪），用户可编程满量程范围为 ± 250 、 ± 500 、 ± 1000 和 $\pm 2000^\circ/\text{sec}$
- 连接到 FSYNC 引脚的外部同步信号支持图像、视频和 GPS 同步
- 集成的 16 位 ADC 可同时对陀螺仪进行采样
- 增强的偏置和灵敏度温度稳定性减少了用户校准的需要
- 改善低频噪音性能
- 数字可编程低通滤波器
- 陀螺仪工作电流：3.6mA
- 待机电流：5 μ A
- 工厂校准的灵敏度比例系数
- 用户自检

5.2 加速度计功能

MPU-60X0 中的三轴 MEMS 加速计具有多种功能：

- 数字输出三轴加速度计，可编程全量程范围为 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 、 $\pm 8g$ 和 $\pm 16g$
- 集成的 16 位 ADC 可同时对加速度计进行采样，无需外部多路复用器
- 加速度计正常工作电流：500 μ A
- 低功耗加速度计模式电流：1.25 Hz 时 10 μ A，5 Hz 时 20 μ A，20 Hz 时 60 μ A，40 Hz 时 110 μ A
- 方向检测和信号
- 轻触检测
- 用户可编程中断
- 高电平中断
- 用户自检

5.3 附加功能

MPU-60X0 包括以下附加功能：

- 通过片上数字运动处理器 (DMP) 实现 9 轴运动融合
- 辅助主 I2C 总线，用于读取外部传感器（如磁力计）的数据
- 启用全部 6 个运动传感轴和 DMP 时，工作电流为 3.9mA VDD 电源电压范围为 2.375V-3.46V
- 灵活的 VLOGIC 基准电压支持多种 I2C 接口电压（仅限 MPU-6050）
- 最小、最薄的 QFN 封装，适用于便携式设备：4x4x0.9 毫米
- 加速度计和陀螺仪轴之间的跨轴灵敏度最小
- 1024 字节 FIFO 缓冲器允许主机处理器以突发方式读取数据，然后在 MPU 收集更多数据时进入低功耗模式，从而降低功耗
- 数字输出温度传感器
- 陀螺仪、加速度计和温度传感器的用户可编程数字滤波器
- 可承受 10,000 克冲击
- 400kHz 快速模式 I2C，用于与所有寄存器通信
- 1MHz SPI 串行接口，用于与所有寄存器通信（仅限 MPU-6000）。
- 20MHz SPI 串行接口，用于读取传感器和中断寄存器（仅限 MPU-6000）。

- 在晶圆级密封和粘接的微机电系统结构
- 符合 RoHS 和绿色环保要求

5.4 运动处理

- 内部数字运动处理™ (DMP™) 引擎支持 3D 运动处理和手势识别算法
- MPU-60X0 可收集陀螺仪和加速计数据，同时以用户定义的速率同步数据采样。MPU-60X0 获得的总数据集包括 3 轴陀螺仪数据、3 轴加速度计数据和温度数据。MPU 对系统处理器的计算输出还可包括来自数字式 3 轴第三方磁力计的航向数据。
- FIFO 对完整的数据集进行缓冲，允许处理器突发读取 FIFO 数据，从而降低对系统处理器的时序要求。在突发读取 FIFO 数据后，系统处理器可进入低功耗睡眠模式，在 MPU 收集更多数据时节省功耗。
- 可编程中断支持手势识别、平移、缩放、滚动、点击检测和晃动检测等功能
- 数字可编程低通滤波器
- 低功耗计步器功能允许主机处理器休眠，而 DMP 保持步数计数。

5.5 时钟

- 片上定时发生器在整个温度范围内的频率变化为 ± 1
- 32.768kHz 或 19.2MHz 可选外部时钟输入



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19 日

6 电气特性

6.1 陀螺仪规格

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (仅限 MPU-6050) = 1.8V±5% 或 VDD, TA = 25°C

参数	条件	最小	典型	最大	单位	注释
陀螺仪灵敏度 全量程范围	FS_SEL=0 FS_SEL=1 FS_SEL=2 FS_SEL=3		±250 ±500 ±1000 ±2000		°/s °/s °/s °/s	
陀螺仪 ADC 字长			16		bits	
灵敏度比例系数	FS_SEL=0 FS_SEL=1 FS_SEL=2 FS_SEL=3		131 65.5 32.8 16.4		LSB/(°/s) LSB/(°/s) LSB/(°/s) LSB/(°/s)	
灵敏度 比例系数 公差	25°C	-3		+3	%	
灵敏度 标度系数			±2		%	
温度						
非线性跨轴灵敏度	最佳拟合直线；25°C		0.2 ±2		% %	
陀螺仪零速率输出 (ZRO)						
初始 ZRO 公差	25°C		±20		°/s	
ZRO 随温度的变化	-40°C 至 +85°C		±20		°/s	
电源灵敏度 (1-10 Hz)	正弦波, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
电源灵敏度 (10 - 250Hz)	正弦波, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
电源灵敏度 (250 Hz - 100kHz)	正弦波, 100mVpp; VDD=2.5V		4		°/s	
线性加速度灵敏度	静态		0.1		°/s/g	
自检响应 相关	改变出厂时的装饰	-14		14	%	1
陀螺仪噪音性能						
总有效值噪声	FS_SEL=0 DLPFCFG=2 (100Hz)		0.05		°/s-rms	
低频均方根噪声	带宽 1Hz 至 10Hz 时		0.033		°/s-rms	
速率噪声谱密度			0.005		°/s/√Hz	
陀螺仪机械频率						
X-Axis		30	33	36	kHz	
Y-Axis		27	30	33	kHz	
Z-Axis		24	27	30	kHz	
低通滤波器响应	可编程范围	5		256	Hz	
输出数据速率	可编程	4		8,000	Hz	
陀螺仪启动时间 ZRO 设置 (从开机开始)	DLPFCFG=0 至最终±1°/s		30		ms	

1. 有关自检的详细信息, 请参阅以下文件: MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和说明



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19 日

6.2 加速度计规格

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (仅限 MPU-6050) = 1.8V±5% 或 VDD, TA = 25°C

参数	条件	最小	典型	最大	单位	注释
加速度计灵敏度 全量程范围	AFS_SEL=0 AFS_SEL=1 AFS_SEL=2 AFS_SEL=3		±2 ±4 ±8 ±16		g g g g	
ADC 字长	以二进制格式输出		16		bits	
灵敏度比例系数	AFS_SEL=0 AFS_SEL=1 AFS_SEL=2 AFS_SEL=3		16,384 8,192 4,096 2,048		LSB/g LSB/g LSB/g LSB/g	
初始校准公差			±3		%	
灵敏度变化与温度的关系	AFS_SEL=0, -40°C 至 +85°C		±0.02		%/°C	
非线性	最佳拟合直线		0.5		%	
跨轴灵敏度			±2		%	
零 G 输出						
初始校准公差	X 轴和 Y 轴 Z 轴		±50 ±80		mg mg	1
零重力水平变化与温度的关系	X 和 Y 轴, 0°C 至 +70°C Z 轴, 0°C 至 +70°C		±35 ±60		mg mg	
自检响应						
相关	改变出厂时的装饰	-14		14	%	2
噪声性能						
功率频谱密度	@10Hz, AFS_SEL=0 & ODR=1kHz		400		μg/√Hz	
低通滤波器响应						
	可编程范围	5		260	Hz	
输出数据速率						
	可编程范围	4		1,000	Hz	
智能功能						
增长			32		mg/LSB	

1. MSL3 预处理后的典型零重力初始校准公差值
2. 有关自检的详细信息，请参阅以下文件：MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和说明



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19日

6.3 电气和其他常用规格

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (仅限 MPU-6050) = 1.8V±5% 或 VDD, TA = 25°C

参数	条件	最小	典型	最大	单位	说明
温度传感器 范围 敏感性 温度偏移 线性	无修剪 35°C 最佳拟合直线 (-40°C 至 +85°C)		-40至+85 340 -521 ±1		°C LSB/°C LSB °C	
Vdd 电源 工作电压		2.375		3.46	V	
正常工作电流	陀螺仪 + 加速计 + DMP		3.9		mA	
	陀螺仪 + 加速计(禁用 DMP)		3.8		mA	
	陀螺仪 + DMP(禁用加速度计)		3.7		mA	
	仅陀螺仪(禁用 DMP 和加速计)		3.6		mA	
	仅加速计(禁用 DMP 和陀螺仪)		500		µA	
加速度计低功耗模式电流	1.25 Hz 更新率		10		µA	
	5 Hz 更新率		20		µA	
	20 赫兹更新率		70		µA	
	40 Hz 更新率		140		µA	
全芯片空闲模式电源电流 电源斜率	单调斜坡 斜率为最终值的 10%至 90%		5	100	µA ms	
vlogic 基准电压 电压范围 电源斜率 正常工作电流	仅限 MPU-6050 VLOGIC 必须始终 ≤VDD 单调斜坡 斜率为最终值的 10%至 90%	1.71		VDD 3	V ms µA	
温度范围 指定温度范围	性能参数在指定温度范围之外不适用	-40		+85	°C	



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19日

6.4 电气规格，续

VDD = 2.375V-3.46V，VLOGIC (仅限 MPU-6050) = 1.8V±5% 或 VDD，TA = 25°C

参数	条件	最小	典型	最大	单位	说明
串行接口						
SPI 工作频率，所有寄存器读/写	仅限 MPU-6000，低速特性分析 仅 MPU-6000，高速特性分析 仅限 MPU-6000		100 ±10% 1 ±10% 20 ±10%		kHz MHz MHz	
SPI 工作频率、传感器和中断寄存器只读 I2C 工作频率	所有寄存器，快速模式 所有寄存器，标准模式			400 100	kHz kHz	
I2C 地址	AD0 = 0 AD0 = 1		1101000 1101001			
数字输入 (SDI/SDA、AD0、SCLK/SCL、FSYNC、/CS、CLKIN)						
VIH，高电平输入电压	MPU-6000 MPU-6050	0.7*VDD 0.7*VLOGIC			V V	
VIL，低电平输入电压	MPU-6000 MPU-6050			0.3*VDD 0.3*VLOGIC	V V	
CI，输入电容			< 5		pF	
数字输出 (SDO，Int)						
VOH，高电平输出电压	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6000 R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6050	0.9*VDD 0.9*VLOGIC			V V	
VOL1，低电平输出电压	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6000 R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6050			0.1*VDD 0.1*VLOGIC	V V	
VOL.INT1、INT 低电平输出电压	OPEN=1, 0.3mA 灌电流			0.1	V	
输出漏电流	OPEN=1		100		nA	
tINT、INT 脉冲宽度	LATCH_INT_EN=0		50		μs	



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19日

6.5 电气规格，续

第 7.2 节的典型工作电路，VDD = 2.375V-3.46V，VLOGIC（仅限 MPU-6050）= 1.8V±5% 或 VDD，TA = 25°C

参数	条件	典型	单位	说明
主 I2C 输入/输出 (SCL、SDA)				
VIL, 低电平输入电压	MPU-6000	-0.5至0.3*VDD	V	
VIH, 高电平输入电压	MPU-6000	0.7*VDD 至 VDD + 0.5V	V	
Vhys, 滞后	MPU-6000	0.1*VDD	V	
VIL, 低电平输入电压	MPU-6050	-0.5V至0.3*VLOGIC	V	
VIH, 高电平输入电压	MPU-6050	0.7*VLOGIC 至 VLOGIC + 0.5V	V	
Vhys, 滞后	MPU-6050	0.1*VLOGIC	V	
VOL1, 低电平输出电压	3mA 灌电流	0 至 0.4	V	
IOL, 低电平输出电流	VOL = 0.4V	3	mA	
	VOL = 0.6V	5	mA	
输出漏电流		100	nA	
tf, 从 VIHmax 到 VILmax 的输出下降时间	Cb 总线电容, 单位 pF	20+0.1Cb 至 250	ns	
CI, 每个 I/O 引脚的电容		< 10	pF	
辅助 I2C 输入/输出 (AUX_CL、AUX_DA)				
VIL, 低电平输入电压	MPU-6050: AUX_VDDIO=0	-0.5V 至 0.3*VLOGIC	V	
VIH, 高电平输入电压		0.7*VLOGIC 至 VLOGIC + 0.5V	V	
Vhys, 滞后	VLOGIC > 2V ; 1mA 灌电流	0.1*VLOGIC	V	
VOL1, 低电平输出电压		0 至 0.4	V	
VOL3, 低电平输出电压	VLOGIC < 2V ; 1mA 灌电流	0 至 0.2*VLOGIC	V	
IOL, 低电平输出电流		1	mA	
	VOL = 0.4V	1	mA	
	VOL = 0.6V	100	nA	
输出漏电流	Cb 总线电容, 单位 pF	20+0.1Cb 至 250	ns	
tof, 从 VIHmax 到 VILmax CI 的输出下降时间,每个 I/O 引脚的电容		< 10	pF	



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19 日

6.6 电气规格，续

第 7.2 节的典型工作电路，VDD = 2.375V-3.46V，VLOGIC（仅限 MPU-6050）= 1.8V±5% 或 VDD，TA = 25°C

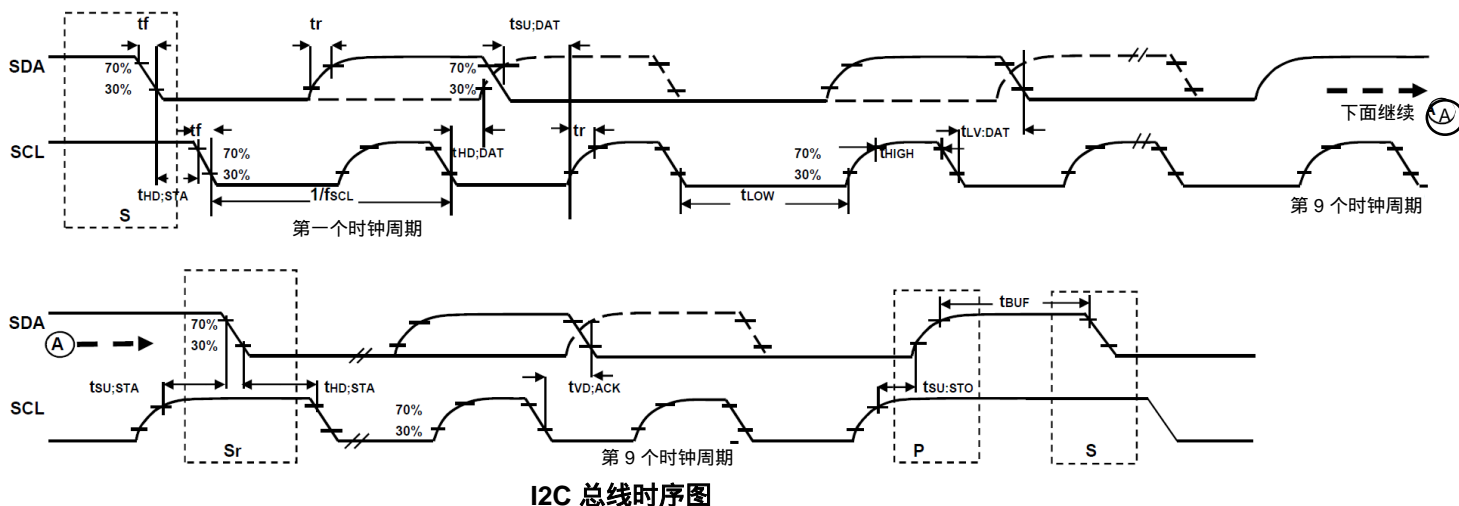
参数	条件	最小	典型	最大	单位	说明
内部时钟源	CLK_SEL=0,1,2,3					
陀螺仪采样率，快速	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		8		kHz	
陀螺仪采样率，慢速	DLPFCFG=1,2,3,4,5, 或 6 SAMPLERATEDIV = 0		1		kHz	
加速度计采样率			1		kHz	
时钟频率初始容差	CLK_SEL=0, 25°C	-5		+5	%	
频率随温度的变化	CLK_SEL=1,2,3; 25°C	-1		+1	%	
	CLK_SEL=0		-15 to +10		%	
PLL 设置时间	CLK_SEL=1,2,3		±1		%	
	CLK_SEL=1,2,3		1	10	ms	
外部 32.768kHz 时钟	CLK_SEL=4					
外部时钟频率			32.768		kHz	
外部时钟允许抖动	周期均方根		1 to 2		µs	
陀螺仪采样率，快速			8.192		kHz	
陀螺仪采样率，慢速	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		1.024		kHz	
加速度计采样率	DLPFCFG=1,2,3,4,5, 或 6 SAMPLERATEDIV = 0		1.024		kHz	
PLL 设置时间			1	10	ms	
外部 19.2MHz 时钟	CLK_SEL=5					
外部时钟频率		3.9	19.2		MHz	
陀螺仪采样率	完全可编程范围			8000	Hz	
陀螺仪采样率，快速模式	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		8		kHz	
陀螺仪采样率，慢速模式	DLPFCFG=1,2,3,4,5, 或 6 SAMPLERATEDIV = 0		1		kHz	
加速度计采样率			1		kHz	
PLL 设置时间			1	10	ms	

6.7 I2C 定时特性分析

第 7.2 节的典型工作电路，VDD = 2.375V-3.46V，VLOGIC（仅限 MPU-6050）= 1.8V±5% 或 VDD，TA = 25°C

参数	条件	最小	典型	最大	单位	说明
I2C 计时	I2C 快速模式					
fSCL, SCL 时钟频率				400	kHz	
tHD.STA, (重复) START 条件保持时间		0.6			μs	
tLOW, SCL 低电平周期		1.3			μs	
tHIGH, SCL 高电平周期		0.6			μs	
tSU.STA, 重复 START 条件设置时间		0.6			μs	
tHD.DAT, SDA 数据保持时间		0			μs	
tSU.DAT, SDA 数据设置时间		100			ns	
tr, SDA 和 SCL 上升时间		20+0.1Cb		300	ns	
tf, SDA 和 SCL 下降时间		20+0.1Cb		300	ns	
tSU.STO, STOP 条件设置时间		0.6			μs	
tBUF, 停止和启动条件之间的总线空闲时间		1.3			μs	
Cb, 各总线线路的电容性负载			< 400		pF	
tVD.DAT, 数据有效时间				0.9	μs	
tVD.ACK, 数据有效确认时间				0.9	μs	

注：计时特性适用于主 I2C 总线和辅助 I2C 总线

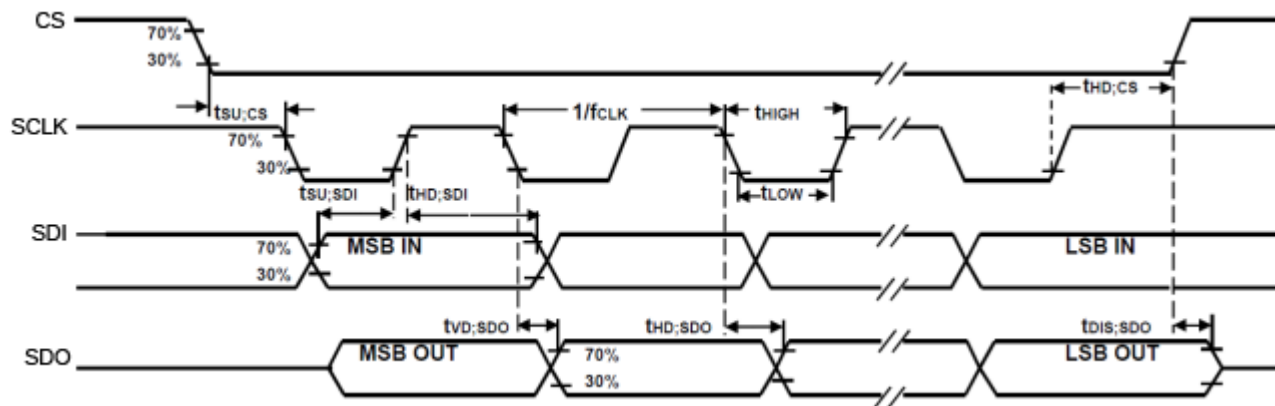


I2C 总线时序图

6.8 SPI 定时特性分析（仅限 MPU-6000）

第 7.2 节的典型工作电路，VDD = 2.375V-3.46V，VLOGIC（仅限 MPU-6050）= 1.8V±5% 或 VDD，TA = 25°C，除非另有说明。

参数	条件	最小	典型	最大	单位	说明
SPI 计时						
fSCLK，SCLK 时钟频率				1	MHz	
tLOW，SCLK 低电平周期		400			ns	
tHIGH，SCLK 高电平周期		400			ns	
tSU,CS，CS 设置时间		8			ns	
tHD,CS，CS 保持时间		500			ns	
tSU,SDI，SDI 设置时间		11			ns	
tHD,SDI，SDI 保持时间		7			ns	
tVD.SDO，SDO 有效时间	C _{load} = 20pF			100	ns	
tHD.SDO，SDO 保持时间	C _{load} = 20pF	4			ns	
tDIS.SDO，SDO 输出禁用时间				10	ns	



SPI 总线定时图



6.9 绝对最大额定值

超过“绝对最大额定值”的应力可能会对设备造成永久性损坏。
以上仅为应力额定值，并不意味着设备在这些条件下仍能正常工作。
长期暴露在绝对最大额定值条件下可能会影响设备的可靠性。

参数	评级
电源电压，VDD	-0.5V至+6V
VLOGIC 输入电压电平（MPU-6050）	-0.5V 至 VDD + 0.5V
REGOUT	-0.5V 至 2V
输入电压电平（CLKIN、AUX_DA、AD0、FSYNC、INT、SCL、SDA）	-0.5V 至 VDD + 0.5V
CPOUT ($2.5V \leq VDD \leq 3.6V$)	-0.5V 至 30V
加速度（任意轴，无动力）	10,000g @ 0.2ms
工作温度范围	-40°C 至 +105°C
存储温度范围	-40°C至 +125°C
静电放电 (ESD) 保护	2kV (HBM); 250V (MM)
闩锁	JEDEC Class II (2), 125°C $\pm 100mA$



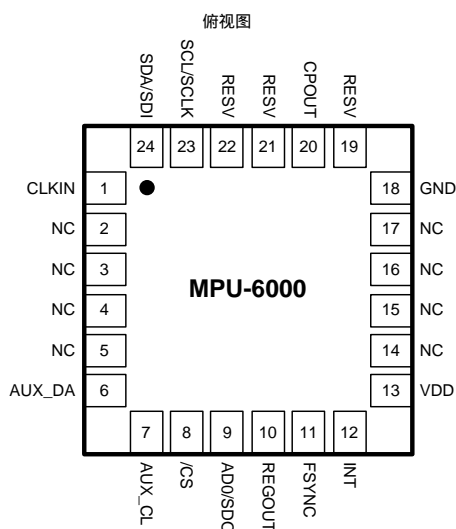
MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19 日

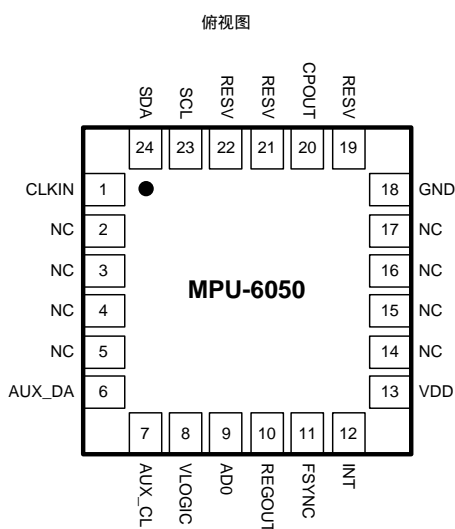
7 应用信息

7.1 引脚布局和信号说明

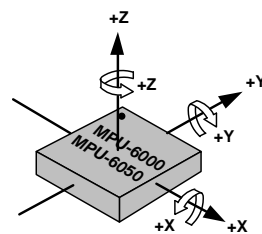
引脚编号	MPU-6000	MPU-6050	引脚名称	引脚说明
1	Y	Y	CLKIN	可选的外部参考时钟输入。如果未使用，则连接至 GND。
6	Y	Y	AUX_DA	I2C 主串行数据，用于连接外部传感器
7	Y	Y	AUX_CL	I2C 主串行时钟，用于连接外部传感器
8	Y		/CS	SPI 芯片选择（0=SPI 模式）
8		Y	VLOGIC	数字输入/输出电源电压
9	Y		AD0 / SDO	I2C 从站地址 LSB (AD0)；SPI 串行数据输出 (SDO)
9		Y	AD0	I2C 从站地址 LSB (AD0)
10	Y	Y	REGOUT	调节器滤波电容器连接
11	Y	Y	FSYNC	帧同步数字输入。如果未使用，则连接至 GND。
12	Y	Y	INT	中断数字输出（图腾柱或开漏）
13	Y	Y	VDD	电源电压和数字输入/输出电源电压
18	Y	Y	GND	电源接地
19, 21	Y	Y	RESV	保留。请勿连接。
20	Y	Y	CPOUT	电荷泵电容器连接
22	Y	Y	RESV	保留。请勿连接。
23	Y		SCL / SCLK	I2C 串行时钟 (SCL)；SPI 串行时钟 (SCLK)
23		Y	SCL	I2C 串行时钟 (SCL)
24	Y		SDA / SDI	I2C 串行数据 (SDA)；SPI 串行数据输入 (SDI)
24		Y	SDA	I2C 串行数据 (SDA)
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17	Y	Y	NC	无内部连接。可用于 PCB 线路布线。



QFN 封装
4 引脚，4 毫米 x 4 毫米 x 0.9 毫米

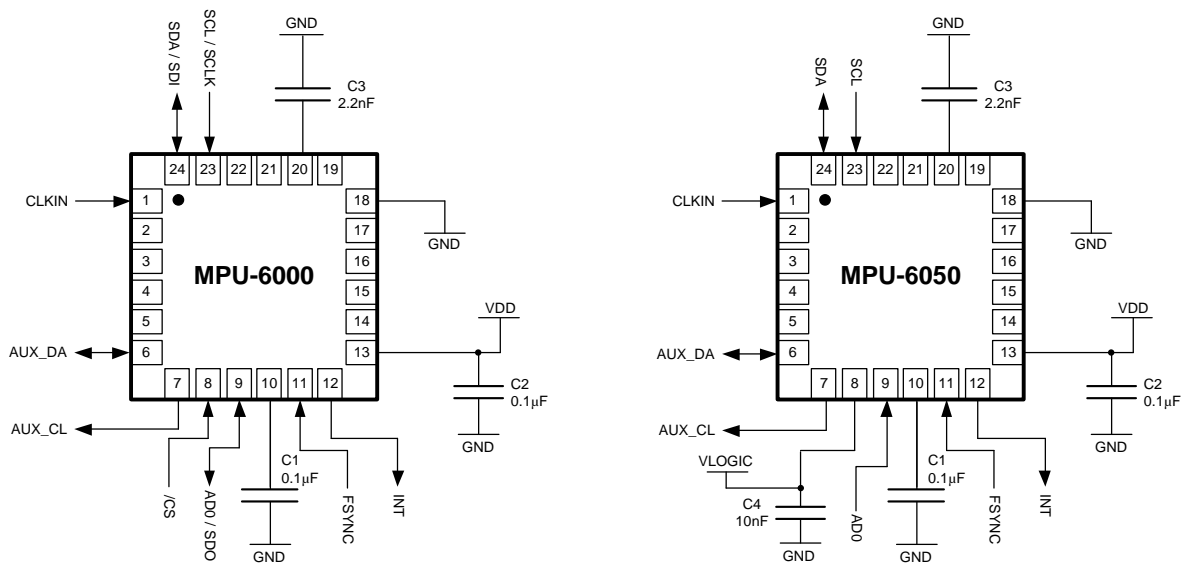


QFN 封装
4 引脚，4 毫米 x 4 毫米 x 0.9 毫米



灵敏度轴的方向和
旋转极性

7.2 典型工作电路



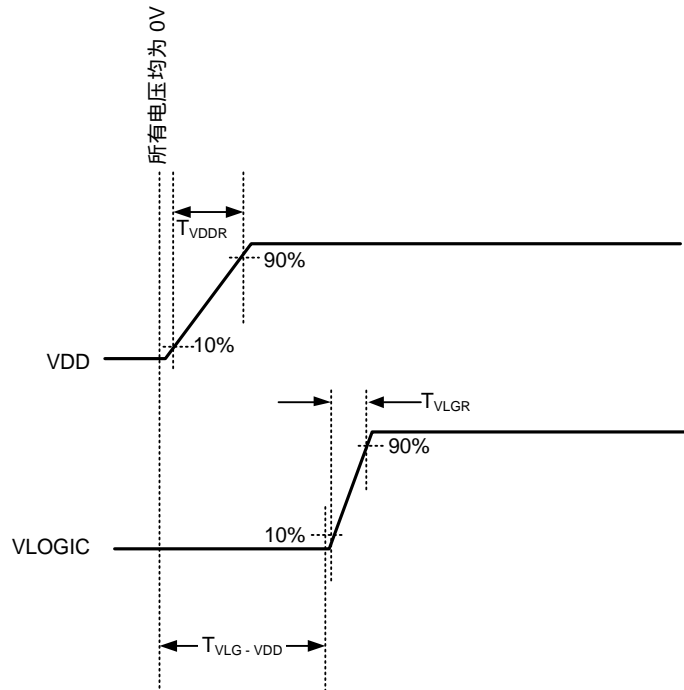
典型工作电路

7.3 外部组件材料清单

组件	标签	规格	数量
稳压器滤波电容器 (引脚 10)	C1	Ceramic, X7R, 0.1μF ±10%, 2V	1
VDD 旁路电容器 (引脚 13)	C2	Ceramic, X7R, 0.1μF ±10%, 4V	1
电荷泵电容器 (引脚 20)	C3	Ceramic, X7R, 2.2nF ±10%, 50V	1
VLOGIC 旁路电容器 (引脚 8)	C4*	Ceramic, X7R, 10nF ±10%, 4V	1

* 仅限 MPU-6050。

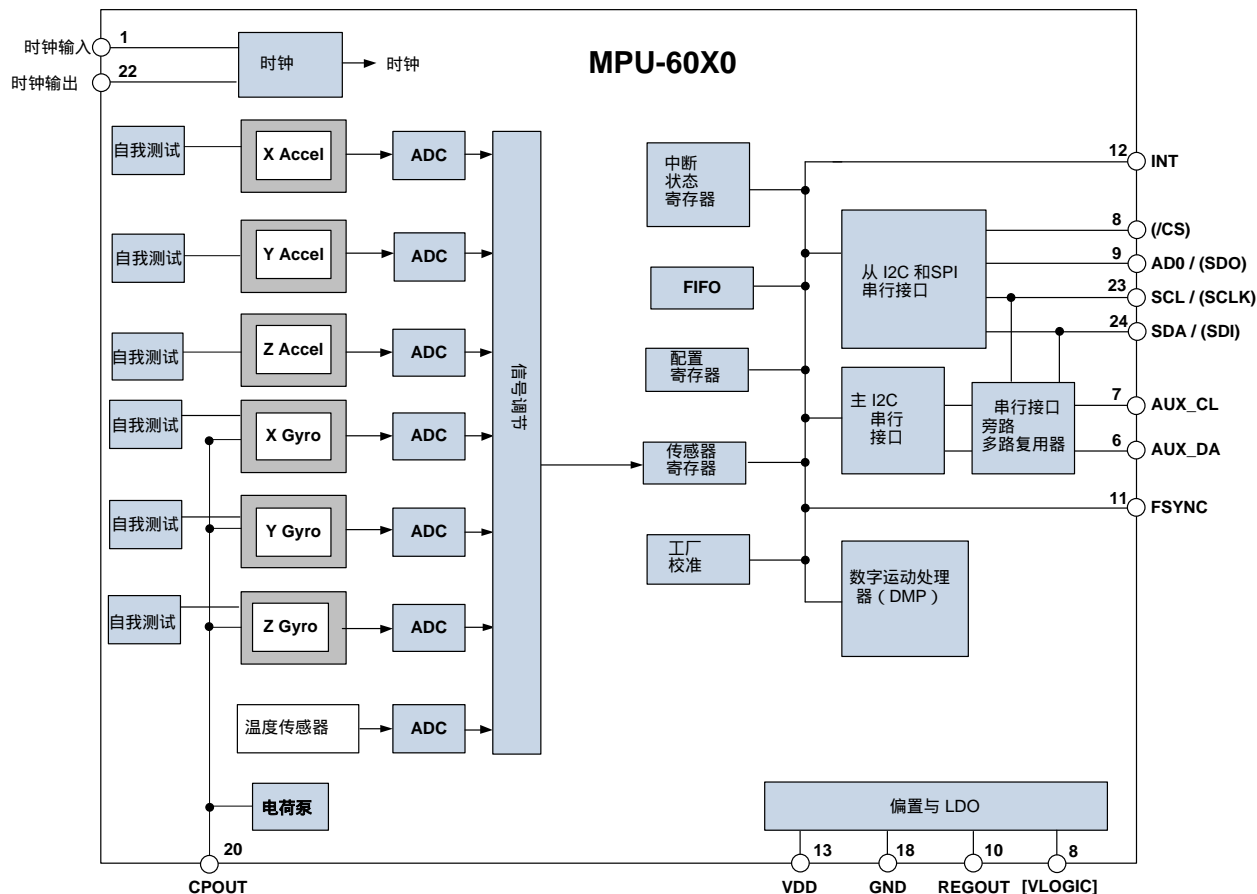
7.4 建议的开机程序



开机顺序

1. VLOGIC 振幅必须始终 \leq VDD 振幅
2. TVDDR 是 VDD 上升时间：VDD 上升时间从最终值的 10% 上升到 90% 的时间
3. $TVDDR \leq 100\text{ms}$
4. TVLGR 是 VLOGIC 上升时间：VLOGIC 从最终值的 10% 上升到 90% 的时间
5. $TVLGR \leq 3\text{ms}$
6. TVLG-VDD 是指从 VDD 斜坡开始到 VLOGIC 上升开始的延迟时间。
7. $TVLG-VDD = 0$
8. VDD 和 VLOGIC 必须是单调斜坡

7.5 方框图



请注意：圆括号 () 中的引脚名称仅适用于 MPU-6000
方括号 [] 中的引脚名称仅适用于 MPU-6050

7.6 概述

MPU-60X0 由以下关键模块和功能组成：

- 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 MEMS 速率陀螺仪传感器
- 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 MEMS 加速计传感器
- 数字运动处理器 (DMP) 引擎
- 主 I2C 和 SPI (仅限 MPU-6000) 串行通信接口
- 辅助 I2C 串行接口，用于第三方磁力计和其他传感器
- 时钟
- 传感器数据寄存器
- FIFO(先进先出寄存器)
- 中断
- 数字输出温度传感器
- 陀螺仪和加速计自检
- 偏置和 LDO
- 电荷泵

7.7 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 MEMS 陀螺仪

MPU-60X0 由三个独立的振动式 MEMS 速率陀螺仪组成，可检测围绕 X、Y 和 Z 轴的旋转。当陀螺仪围绕任何一个感应轴旋转时，科里奥利效应都会引起振动，电容式拾波器会检测到这种振动。由此产生的信号经过放大、解调和滤波后，产生一个与角速度成正比的电压。该电压通过单独的片上 16 位模数转换器（ADC）进行数字化，以便对每个轴进行采样。陀螺仪传感器的满量程范围可通过数字编程设定为每秒 ± 250 、 ± 500 、 ± 1000 或 ± 2000 度 (dps)。ADC 采样率可编程为每秒 8000 个采样点，低至每秒 3.9 个采样点，用户可选的低通滤波器可实现多种截止频率。

7.8 带 16 位 ADC 和信号调节功能的三轴 MEMS 加速计

MPU-60X0 的 3 轴加速度计在每个轴上使用独立的校准块。沿特定轴的加速度会在相应的校准块上产生位移，电容式传感器会以不同方式检测到位移。MPU-60X0 的结构降低了加速度计对制造变化和热漂移的敏感性。当设备放置在平面上时，X 轴和 Y 轴的测量值为 0g，Z 轴的测量值为 +1g。加速度计的刻度系数在出厂时已校准，名义上与电源电压无关。每个传感器都有一个专用的 sigma-delta ADC，用于提供数字输出。数字输出的满量程范围可调整为 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 、 $\pm 8g$ 或 $\pm 16g$ 。

7.9 数字运动处理器

嵌入式数字运动处理器 (DMP) 位于 MPU-60X0 内，可卸载主机处理器的运动处理算法计算。DMP 可从加速计、陀螺仪和其他第三方传感器获取数据、陀螺仪和其他第三方传感器（如磁力计）的数据，并对数据进行处理。由此产生的数据可以从 DMP 的寄存器中读取，也可以在 FIFO 中缓冲。DMP 可以访问 MPU 的一个外部引脚，该引脚可用于产生中断。

DMP 的目的是卸载主机处理器的定时要求和处理能力。通常情况下，运动处理算法应以较高的速率运行，通常在 200Hz 左右，以便以较低的延迟提供准确的结果。例如，低功耗用户界面的更新速度可能低至 5Hz，但运动处理仍应以 200Hz 的速度运行。DMP 可用作一种工具，以最大限度地降低功耗、简化时序、简化软件架构，并节省主机处理器上宝贵的 MIPS，供应用程序使用。

7.10 主要 I2C 和 SPI 串行通信接口

MPU-60X0 通过 SPI（仅限 MPU-6000）或 I2C 串行接口与系统处理器通信。与系统处理器通信时，MPU-60X0 始终作为从机。I2C 从机地址的 LSB 由引脚 9 (AD0) 设置。

MPU-60X0 与主站之间通信的逻辑电平如下：

- MPU-6000：与主站通信的逻辑电平由 VDD 上的电压设定
- MPU-6050：与主站通信的逻辑电平由 VLOGIC 上的电压设定

有关 MPU-6050 逻辑电平的更多信息，请参阅第 10 节。

7.11 辅助 I2C 串行接口

MPU-60X0 有一条辅助 I2C 总线，用于与片外 3 轴数字输出磁力计或其他传感器通信。该总线有两种工作模式：

- I2C 主模式：MPU-60X0 充当连接到辅助 I2C 总线的任何外部传感器的主控器
- 直通模式：MPU-60X0 直接将主 I2C 总线和辅助 I2C 总线连接在一起，允许系统处理器直接与任何外部传感器通信。

辅助 I2C 总线运行模式：

- I2C 主模式：允许 MPU-60X0 直接访问外部数字传感器（如磁力计）的数据寄存器。在此模式下，MPU-60X0 可直接从辅助传感器获取数据，从而使片上 DMP 能够生成传感器融合数据。在此模式下，MPU-60X0 可直接从辅助传感器获取数据，从而使片上 DMP 无需系统应用处理器的干预即可生成传感器融合数据。

例如，在 I2C 主模式下，MPU-60X0 可配置为执行突发读取，从磁力计返回以下数据：

- X 磁强计数据（2 个字节）
- Y 磁强计数据（2 个字节）
- Z 磁强计数据（2 个字节）

I2C 主站可配置为从最多 4 个辅助传感器读取最多 24 个字节。第五个传感器可配置为单字节读/写模式。

- 直通模式：允许外部系统处理器作为主处理器，直接与连接到辅助 I2C 总线引脚（AUX_DA 和 AUX_CL）的外部传感器通信。在此模式下，MPU-60X0 的辅助 I2C 总线控制逻辑（第三方传感器接口模块）被禁用，辅助 I2C 引脚 AUX_DA 和 AUX_CL（引脚 6 和 7）通过模拟开关连接到主 I2C 总线（引脚 23 和 24）。

直通模式可用于配置外部传感器，或在仅使用外部传感器时将 MPU-60X0 保持在低功耗模式。

在直通模式下，系统处理器仍可通过 I2C 接口访问 MPU-60X0 数据。

辅助 I2C 总线 IO 逻辑电平

- MPU-6000：辅助 I2C 总线的逻辑电平为 VDD
- MPU-6050：辅助 I2C 总线的逻辑电平可编程为 VDD 或 VLOGIC

有关 MPU-6050 逻辑电平的更多信息，请参阅第 10.2 节。



7.12 自我测试

有关自检的详细信息，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文件。

自检可对传感器的机械和电气部分进行测试。每个测量轴的自检可通过陀螺仪和加速度计自检寄存器（寄存器 13 至 16）激活。

启动自检时，电子元件会触发传感器并产生输出信号。

输出信号用于观察自检响应。

自检响应的定义如下：

自检响应 = 启用自检的传感器输出 - 未启用自检的传感器输出

加速度计规格表（第 6.2 节）定义了每个加速度计轴的自检响应，陀螺仪规格表（第 6.1 节）定义了每个陀螺仪轴的自检响应。

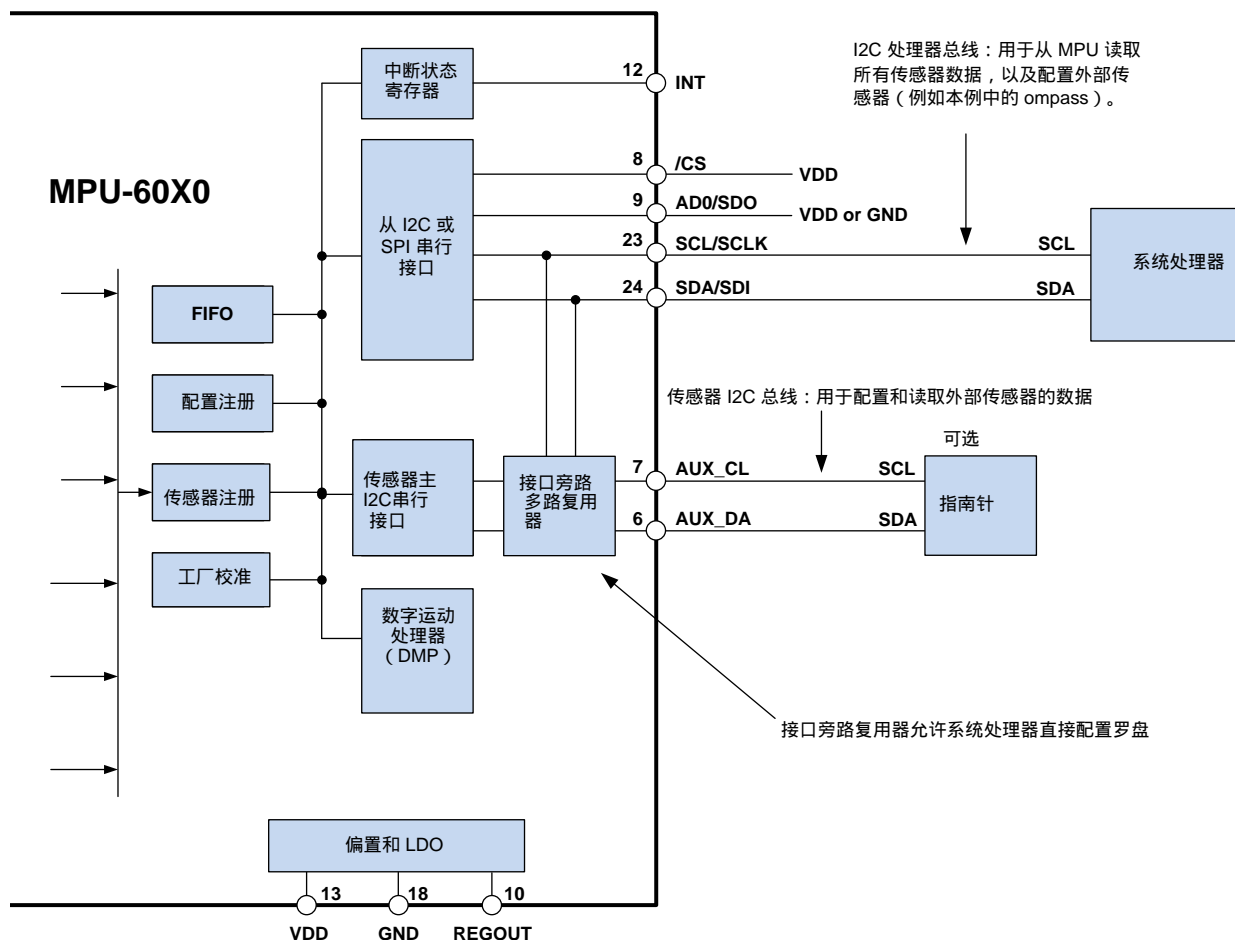
当自检响应值在产品规格的最小/最大限制范围内时，部件通过自检。当自检响应超过最小/最大值时，则认为部件自检失败。InvenSense 提供的 MotionApps 软件中包含操作自检代码的代码。

7.13 使用 I2C 接口的 9 轴传感器融合 MPU-60X0 解决方案

在下图中，系统处理器是 MPU-60X0 的 I2C 主控器。此外，MPU-60X0 还是可选外部罗盘传感器的 I2C 主控器。MPU-60X0 作为 I2C 主站的功能有限，需要依靠系统处理器来管理任何辅助传感器的初始配置。MPU-60X0 具有接口旁路多路复用器，可将系统处理器 I2C 总线引脚 23 和 24 (SCL 和 SDA) 直接连接到辅助传感器 I2C 总线引脚 6 和 7 (AUX_DA 和 AUX_CL)。

系统处理器配置辅助传感器后，应禁用接口旁路多路复用器，以便 MPU-60X0 辅助 I2C 主控器控制传感器 I2C 总线并从辅助传感器收集数据。

有关 I2C 主控的更多信息，请参阅第 10 节。



7.14 使用 SPI 接口的 MPU-6000

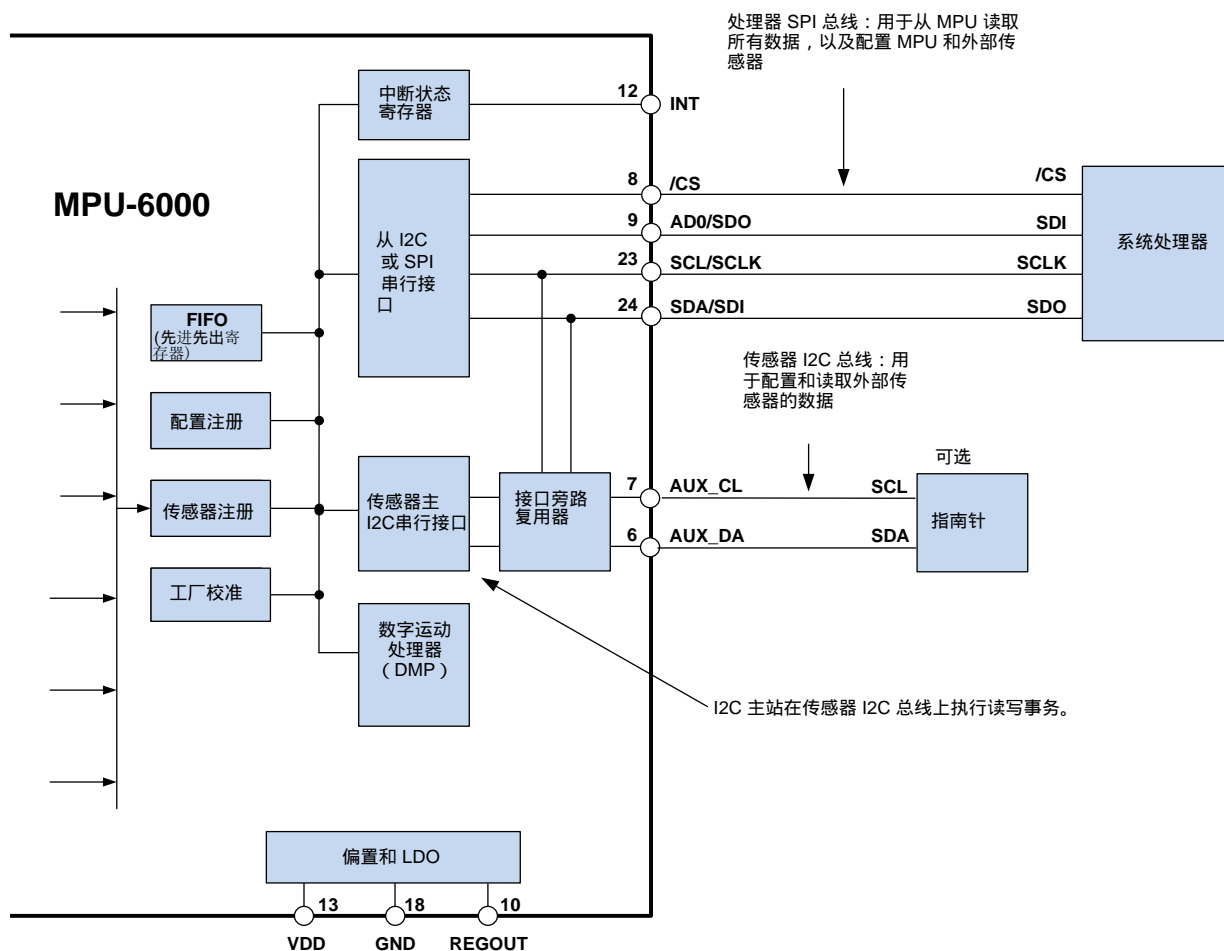
在下图中，系统处理器是 MPU-6000 的 SPI 主站。引脚 8、9、23 和 24 用于支持 SPI 通信的 /CS、SDO、SCLK 和 SDI 信号。由于这些 SPI 引脚与 I2C 从引脚（9、23 和 24）共享，因此系统处理器无法通过接口旁路多路复用器访问辅助 I2C 总线，该多路复用器将处理器 I2C 接口引脚与传感器 I2C 接口引脚连接起来。

由于 MPU-6000 作为 I2C 主站的能力有限，并且依赖系统处理器来管理任何辅助传感器的初始配置，因此必须使用另一种方法对辅助传感器 I2C 总线引脚 6 和 7（AUX_DA 和 AUX_CL）上的传感器进行编程。

在 MPU-6000 和系统处理器之间使用 SPI 通信时，可通过 I2C Slave 0-4 接口对辅助 I2C 总线上的任何设备和寄存器执行读写事务，从而对辅助 I2C 传感器总线上的设备进行配置。I2C 从站 4 接口只能用于执行单字节读写事务。

外部传感器配置完成后，MPU-6000 可使用传感器 I2C 总线执行单字节或多字节读取。从 0-3 号从站控制器读取的结果可写入 FIFO 缓冲器和外部传感器寄存器。

有关 MPU-60X0 辅助 I2C 接口控制的详细信息，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文件。



7.15 内部时钟生成

MPU-60X0 具有灵活的时钟方案，允许内部同步电路使用各种内部或外部时钟源。同步电路包括信号调节和 ADC、DMP 以及各种控制电路和寄存器。片上 PLL 为产生该时钟的输入提供了灵活性。

可用于生成内部时钟的内部时钟源有

- 内部振荡器
- 任何一个 X、Y 或 Z 陀螺（MEMS 振荡器，温度变化率为 ± 1 ）

允许的外部时钟源有

- 32.768kHz 方波
- 19.2MHz 方波

内部同步时钟源的选择取决于外部时钟源的可用性以及对功耗和时钟精度的要求。这些要求很可能因操作模式而异。例如，在某种模式下，用户最关心的是功耗，他们可能希望运行 MPU-60X0 的数字运动处理器来处理加速度计数据，同时关闭陀螺仪。在这种情况下，内部振荡器是一个很好的时钟选择。但是，在陀螺仪处于激活状态的另一种模式下，选择陀螺仪作为时钟源可提供更精确的时钟源。

时钟精度非常重要，因为定时误差会直接影响数字运动处理器（以及任何处理器）执行的距离和角度计算。

还要考虑启动条件。当 MPU-60X0 首次启动时，设备会使用其内部时钟，直到被编程为从其他时钟源运行。例如，这允许用户等待 MEMS 振荡器稳定后再将其选为时钟源。

7.16 传感器数据寄存器

传感器数据寄存器包含最新的陀螺仪、加速度计、辅助传感器和温度测量数据。它们是只读寄存器，可通过串行接口访问。可以随时读取这些寄存器中的数据。不过，可以使用中断功能来确定新数据何时可用。

有关中断源的表格，请参阅第 8 节。

7.17 FIFO

MPU-60X0 包含一个 1024 字节的先进先出寄存器，可通过串行接口访问。FIFO 配置寄存器决定将哪些数据写入 FIFO。可选择的数据包括陀螺仪数据、加速计数据、温度读数、辅助传感器读数和 FSYNC 输入。FIFO 计数器记录 FIFO 中有效数据的字节数。FIFO 寄存器支持突发读取。中断功能可用于确定何时新数据可用。

有关 FIFO 的更多信息，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文档。

7.18 中断

中断功能通过中断配置寄存器进行配置。可配置的项目包括

INT 引脚配置、中断锁定和清除方法以及中断触发器。可触发中断的项目包括：(1) 时钟发生器锁定到新的参考振荡器（切换时钟源时使用）；(2) 可读取新数据（从 FIFO 和数据寄存器）；(3) 加速计事件中断；(4) MPU-60X0 未收到辅助 I2C 总线上辅助传感器的确认。中断状态可从中断状态寄存器中读取。



有关中断的更多信息，请参阅 MPU-60X0 寄存器映射和寄存器说明文件。

有关 MPU-60X0 加速计事件中中断的信息，请参阅第 8 节。

7.19 数字输出温度传感器

片上温度传感器和 ADC 用于测量 MPU-60X0 芯片的温度。ADC 的读数可从 FIFO 或传感器数据寄存器中读取。

7.20 偏置和 LDO

偏置和 LDO 部分产生 MPU-60X0 所需的内部电源、基准电压和电流。它的两个输入是 2.375 至 3.46V 的非稳压 VDD 和 1.71V 至 VDD 的 VLOGIC 逻辑参考电源电压（仅限 MPU-6050）。LDO 输出通过 REGOUT 旁路电容实现。

有关电容器的更多详情，请参阅外部元件材料清单（第 7.3 节）。

7.21 电荷泵

板载电荷泵产生 MEMS 振荡器所需的高压。其输出由 CPOUT 处的一个电容器旁路。有关电容器的更多详情，请参阅外部元件材料清单（第 7.3 节）。



8 可编程中断

MPU-60X0 具有可编程中断系统，可在 INT 引脚上产生中断信号。
状态标志指示中断源。中断源可单独启用和禁用。

中断源列表

中断名称	模块
FIFO 溢出	FIFO
数据就绪	传感器寄存器
I2C 主站错误：丢失仲裁、NACKs	I2C 主设备
I2C 从属设备 4	I2C 主设备

有关中断启用/禁用寄存器和标志寄存器的信息，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文档。下面将解释一些中断源。

9 数字接口

9.1 I2C 和 SPI（仅限 MPU-6000）串行接口

MPU-6000/MPU-6050 的内部寄存器和存储器可通过 400 kHz 的 I2C 或 1MHz 的 SPI（仅限 MPU-6000）进行访问。SPI 以四线模式运行。

串行接口

引脚编号	MPU-6000	MPU-6050	引脚名称	引脚说明
8	Y		/CS	SPI 芯片选择（0=SPI 启用）
8		Y	VLOGIC	数字 I/O 电源电压。VLOGIC 必须始终 \leq VDD。
9	Y		AD0 / SDO	I2C 从站地址 LSB (AD0)；SPI 串行数据输出 (SDO)
9		Y	AD0	I2C 从站地址 LSB
23	Y		SCL / SCLK	I2C 串行时钟 (SCL)；SPI 串行时钟 (SCLK)
23		Y	SCL	I2C 串行时钟
24	Y		SDA / SDI	I2C 串行数据 (SDA)；SPI 串行数据输入 (SDI)
24		Y	SDA	I2C 串行数据

请注意：

为防止在使用 SPI（MPU-6000）时切换到 I2C 模式，应通过设置 I2C_IF_DIS 配置位禁用 I2C 接口。应在等待 6.3 节中“寄存器读/写启动时间”指定的时间后立即设置该位。

有关 I2C_IF_DIS 位的更多信息，请参阅 MPU-6000/MPU-6050 寄存器映射和寄存器说明文档。

9.2 I2C 接口

I2C 是一种双线接口，由串行数据（SDA）和串行时钟（SCL）信号组成。一般来说，这些线路都是开漏双向的。在通用的 I2C 接口实现中，连接的设备可以是主设备，也可以是从设备。主设备将从设备地址放到总线上，具有匹配地址的从设备确认主设备。

与系统处理器通信时，MPU-60X0 始终作为从设备运行，因此系统处理器作为主设备运行。SDA 和 SCL 线路通常需要与 VDD 连接的上拉电阻。最大总线速度为 400 kHz。

MPU-60X0 的从机地址为 b110100X，长度为 7 位。7 位地址的 LSB 位由 AD0 引脚的逻辑电平决定。这样就可以将两个 MPU-60X0 连接到同一条 I2C 总线上。

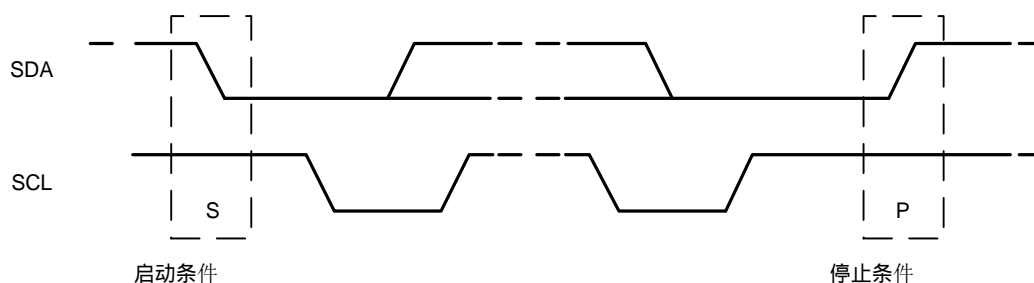
使用这种配置时，其中一个设备的地址应为 b1101000（引脚 AD0 为逻辑低电平），另一个设备的地址应为 b1101001（引脚 AD0 为逻辑高电平）。

9.3 I2C 通信协议

启动 (S) 和停止 (P) 条件

当主设备将启动条件 (S) 置于总线上时，I2C 总线上的通信开始，启动条件定义为 SDA 线从高电平转换为低电平，同时 SCL 线为高电平（见下图）。在主站将停止条件 (P) 置于总线上之前，总线一直处于繁忙状态，停止条件的定义是在 SCL 为高电平时 SDA 线从低电平转换为高电平（见下图）。

此外，如果产生重复的 START (Sr) 而不是 STOP 条件，总线将保持繁忙状态。

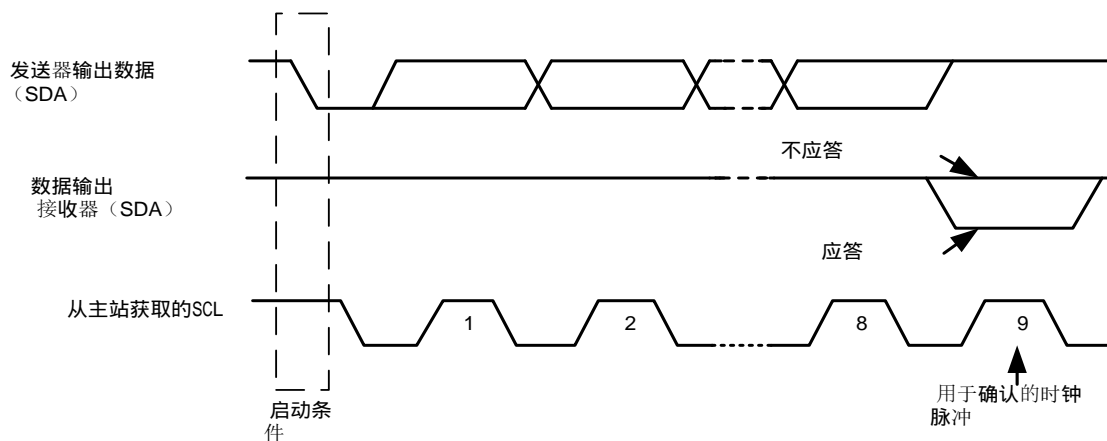


启动和停止条件

数据格式/应答 (ACK)

I²C 数据字节长度为 8 位。每次数据传输的字节数不受限制。每个传输字节之后必须有一个应答 (ACK) 信号。确认信号的时钟由主站产生，而接收器则通过拉低 SDA 并在应答时钟脉冲的高电平部分保持低电平来产生实际的应答信号。

如果从站很忙，在执行其他任务之前无法发送或接收另一个字节的数据，它可以将 SCL 保持在低电平，从而迫使主站进入等待状态。当从站准备就绪并释放时钟线时，将恢复正常数据传输（参见下图）。

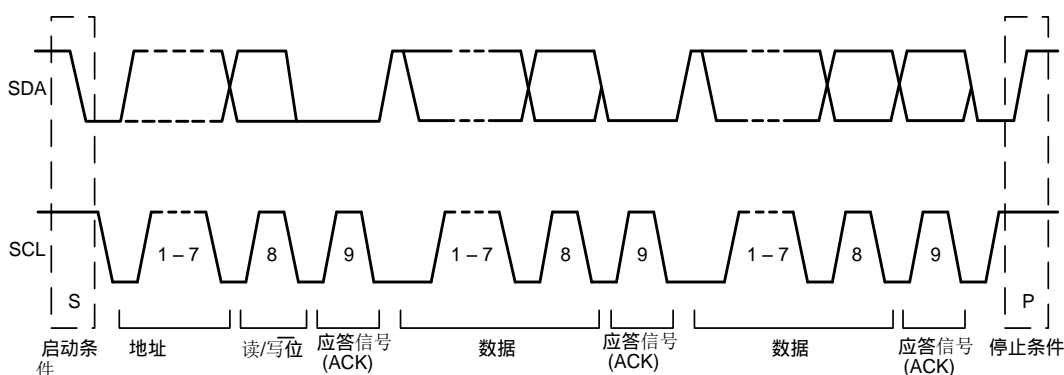


I²C 总线上的应答

通信

通过启动条件 (S) 开始通信后，主站发送一个 7 位从站地址，然后是第 8 位，即读/写位。读/写位指示主设备是在接收从设备发来的数据，还是在向从设备写入数据。然后，主设备释放 SDA 线，等待从设备发出应答信号 (ACK)。每个字节传输后都必须有一个应答位。为了应答，从设备将 SDA 线路拉低，并在 SCL 线路的高电平周期内保持低电平。

主站总是以 STOP 条件 (P) 终止数据传输，从而释放通信线路。不过，主站可以重复产生 START (开始) 条件 (Sr)，并在不首先产生 STOP (停止) 条件 (P) 的情况下寻址另一个从站。当 SCL 为高电平时，SDA 线路上的低电平到高电平转换定义了停止条件。除启动和停止条件外，所有 SDA 变化都应在 SCL 为低电平时进行。



完成 I2C 数据传输

要写入 MPU-60X0 内部寄存器，主控器首先发送启动条件 (S)，然后发送 I2C 地址和写入位 (0)。在第 9 个时钟周期（时钟为高电平时），MPU-60X0 将确认传输。然后，主站将寄存器地址 (RA) 放到总线上。在 MPU-60X0 确认收到寄存器地址后，主站将寄存器数据放入总线。随后是 ACK 信号，数据传输可通过停止条件 (P) 结束。如果要在最后一个 ACK 信号之后写入多个字节，主站可以继续输出数据，而不是发送停止信号。在这种情况下，MPU-60X0 会自动递增寄存器地址，并将数据加载到相应的寄存器中。下图显示了单字节和双字节写入序列。

单字节写序列

主站	S	AD+W		RA		DATA		P
从站			ACK		ACK		ACK	

Burst Write Sequence

主站	S	AD+W		RA		DATA		DATA		P
从站			ACK		ACK		ACK		ACK	

要读取 MPU-60X0 的内部寄存器，主设备发送一个启动条件，然后是 I2C 地址和一个写入位，最后是要读取的寄存器地址。收到 MPU-60X0 发送的 ACK 信号后，主站再发送一个启动信号，然后是从站地址和读取位。这样，MPU-60X0 就会发送一个 ACK 信号和数据。主站发出不应答（NACK）信号和停止位后，通信结束。NACK 条件的定义是 SDA 线在第 9 个时钟周期保持高电平。下图显示了单字节和双字节读取序列。

单字节读取序列

主站	S	AD+W		RA		S	AD+R			NACK	P
从站			ACK		ACK			ACK	DATA		

突发读取序列

主站	S	AD+W		RA		S	AD+R			ACK		NACK	P
从站			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA		

9.4 I2C 术语

信号	说明
S	启动条件：SDA 从高电平转为低电平，同时 SCL 为高电平
AD	从站 I2C 地址
W	写入位 (0)
R	读取位 (1)
ACK	应答：在第 9 个时钟周期，SDA 线路为低电平，而 SCL 线路为高电平
NACK	不应答：SDA 线在第 9 个时钟周期保持高电平
RA	MPU-60X0 内部寄存器地址
DATA	发送或接收数据
P	停止条件：在 SCL 为高电平时，SDA 从低电平变为高电平

9.5 SPI 接口（仅限 MPU-6000）

SPI 是一种 4 线同步串行接口，使用两条控制线和两条数据线。在标准的主从 SPI 操作中，MPU-6000 始终作为从设备运行。

对于主设备，串行时钟输出（SCLK）、串行数据输出（SDO）和串行数据输入（SDI）由从设备共享。每个 SPI 从设备都需要从主设备获得自己的芯片选择（/CS）线路。

/CS 在传输开始时变为低电平（激活），在传输结束时变为高电平（非激活）。每次只有一条 /CS 线处于激活状态，确保任何时候都只有一个从属设备被选中。未被选中的从属设备的 /CS 线路保持高电平，使其 SDO 线路保持高阻抗（高 Z）状态，从而不会干扰任何活动设备。

SPI 运行特性

1. 数据传输 MSB 在前、LSB 在后
2. 数据在 SCLK 上升沿锁存
3. 数据应在 SCLK 下降沿转换
4. SCLK 的最高频率为 1MHz
5. SPI 读写操作在 16 个或更多时钟周期（两个或更多字节）内完成。第一个字节包含 SPI 地址，后面的字节包含 SPI 数据。第一个字节的第一位包含读/写位，表示读（1）或写（0）操作。
6. 随后的 7 位包含寄存器地址。在多字节读/写情况下，数据为两个或更多字节：

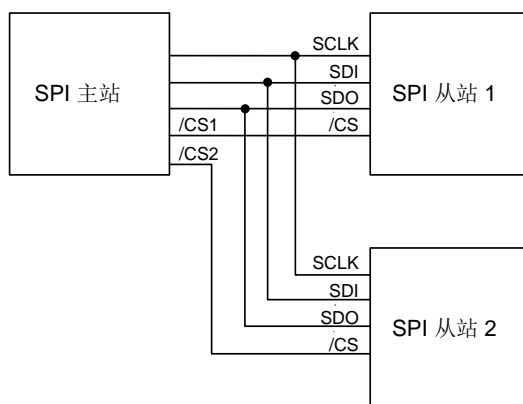
SPI 地址格式

MSB							LSB
R/W	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

SPI 数据格式

MSB							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

6. 支持单次或脉冲串读写。



典型的 SPI 主站/从站配置



10 串行接口注意事项 (MPU-6050)

10.1 MPU-6050 支持的接口

MPU-6050 的主（微处理器）串行接口和辅助接口均支持 I2C 通信。

10.2 逻辑电平

MPU-6050 的 I/O 逻辑电平设置为 VLOGIC，如下表所示。AUX_VDDIO 必须设置为 0。

输入/输出逻辑电平与 AUX_VDDIO 的关系

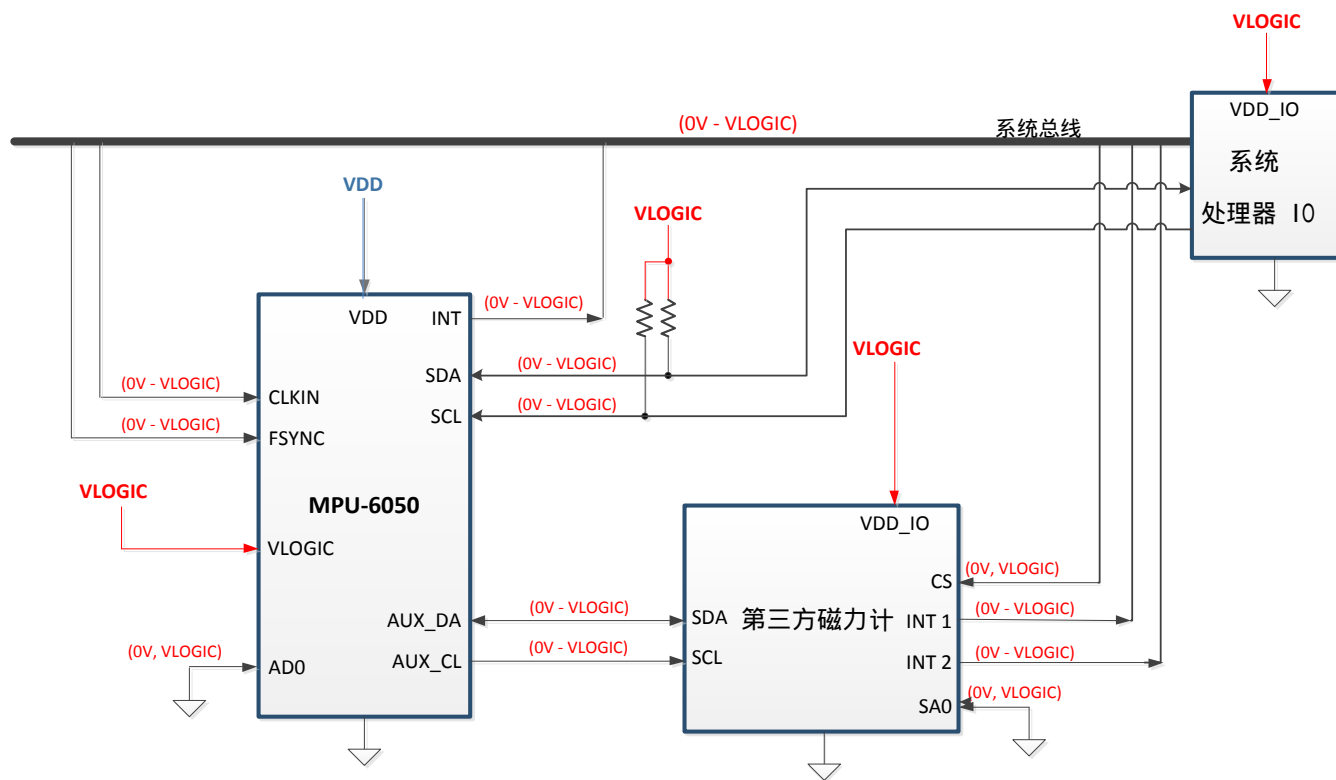
AUX_VDDIO	微处理器逻辑电平 (引脚：SDA、SCL、AD0、CLKIN、INT)	辅助逻辑电平 (引脚：AUX_DA、AUX_CL)
0	VLOGIC	VLOGIC

注：AUX_VDDIO 的上电复位值为 0。

当 AUX_VDDIO 设置为 0（上电复位值）时，VLOGIC 是微处理器系统总线和辅助 I2C 总线的电源电压，如第 10.3 节的图所示。

10.3 AUX_VDDIO = 0 时的逻辑电平图

下图描述了将第三方磁力计连接到辅助 I2C 总线上的示例电路。注：实际配置取决于所用的辅助传感器。



AUX_VDDIO = 0 时的输入/输出电平和连接

备注

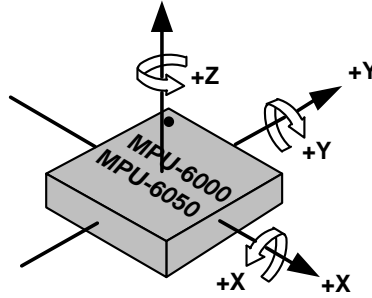
1. AUX_VDDIO 决定 AUX_DA 和 AUX_CL 的 IO 电压电平。
(0 = 设置相对于 VLOGIC 的输出电平)
2. 所有其他 MPU-6050 逻辑 IO 均以 VLOGIC 为基准。

11 装配

本节提供了 InvenSense 微机电系统 (MEMS) 陀螺仪（采用四扁平无引线封装 (QFN) 表面贴装集成电路）组装的一般指导原则。

11.1 轴的方向

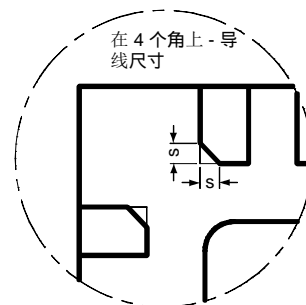
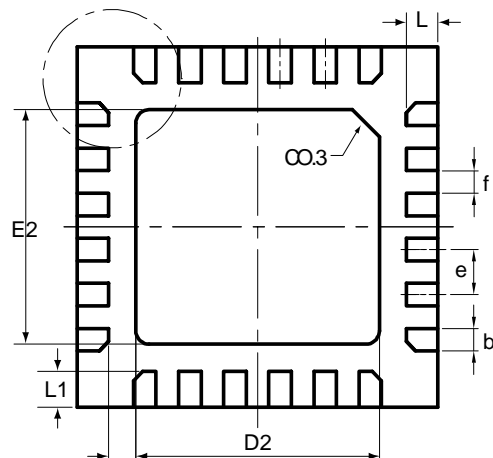
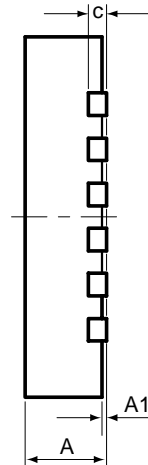
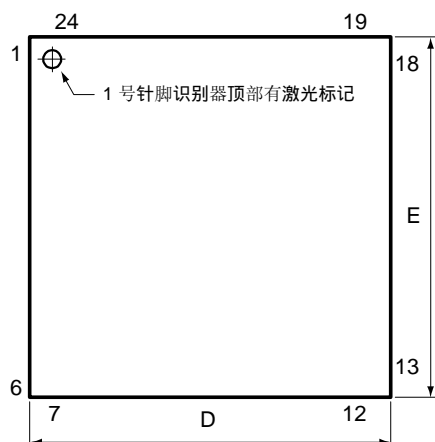
下图显示了灵敏度轴的方向和旋转极性。请注意图中针脚 1 标识符 (•)。



感应轴的方向和旋转极性

11.2 包装尺寸

24 引线 QFN (4x4x0.9) mm NiPdAu 引线框架表面处理



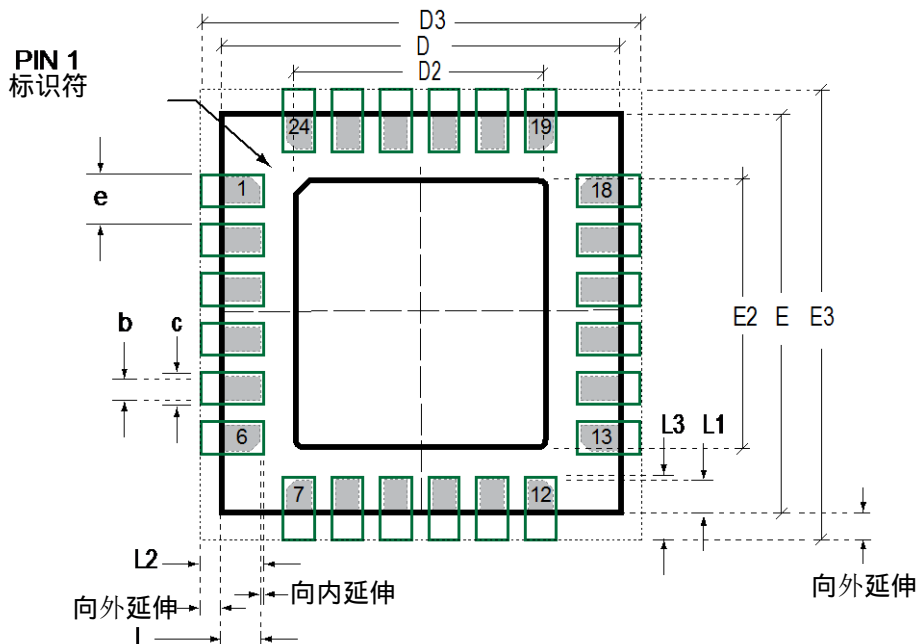
符号	尺寸毫米		
	最小	标称	最大
A	0.85	0.90	0.95
A1	0.00	0.02	0.05
b	0.18	0.25	0.30
c	---	0.20 REF	---
D	3.90	4.00	4.10
D2	2.65	2.70	2.75
E	3.90	4.00	4.10
E2	2.55	2.60	2.65
e	---	0.50	---
f (e-b)	---	0.25	---
K	0.25	0.30	0.35
L	0.30	0.35	0.40
L1	0.35	0.40	0.45
s	0.05	---	0.15

11.3 PCB 设计指南

下图是使用 JEDEC 类型扩展的焊盘图，焊盘外缘有焊锡升起。焊盘尺寸表显示了推荐用于 MPU-60X0 产品的焊盘尺寸（平均尺寸）。



JEDEC 型扩展，外缘有焊锡升起 JEDEC 型扩展，外缘有焊锡升起



PCB 布局图

符号	尺寸毫米	标称
标称封装 I/O 焊盘尺寸		
e	焊盘间距	0.50
b	焊盘宽度	0.25
L	焊盘长度	0.35
L1	焊盘长度	0.40
D	包装宽度	4.00
E	包装长度	4.00
D2	外露焊盘宽度	2.70
E2	外露焊盘长度	2.60
I/O 焊盘设计尺寸（准则）		
D3	I/O 焊盘扩展宽度	4.80
E3	I/O 焊盘扩展长度	4.80
c	焊盘宽度	0.35
Tout	向外延伸	0.40
Tin	向内延伸	0.05
L2	焊盘长度	0.80
L3	焊盘长度	0.85

PCB 尺寸表（用于 PCB 布局图）

11.4 装配注意事项

11.4.1 陀螺仪表面贴装指南

InvenSense MEMS 陀螺仪可感应旋转速率。此外，陀螺仪还能感应来自印刷电路板（PCB）的机械应力。通过遵守某些设计规则，可将 PCB 应力降至最低：

在塑料封装中使用 MEMS 陀螺仪元件时，PCB 安装和装配会造成封装应力。这种封装应力反过来又会影响输出偏移及其在较大温度范围内的值。这种应力是由封装材料的线性热膨胀系数 (CTE) 与 PCB 之间的不匹配造成的。必须注意避免因安装造成的封装应力。

与焊盘连接的线路应尽可能对称。最大限度地提高焊盘连接的对称性和平衡性有助于元件自对准，并能更好地控制回流焊后焊膏的减少。

在 MEMS 陀螺仪表面贴装过程中使用的任何材料均不得含有受限制的 RoHS 元素或化合物。组装时应使用无铅焊料。

11.4.2 芯片底部焊盘的注意事项

MPU-60X0 的工作和待机电流消耗非常低。裸露的芯片焊盘不需要散热，也不应焊接到 PCB 上。如果不遵守这一规则，封装的热机械应力会导致性能变化。底部焊盘与 CMOS 之间没有电气连接。

11.4.3 布线注意事项

禁止在陀螺仪封装下布线或布孔，使其在芯片底部焊盘下运行。

外露的有源信号可能会与陀螺仪 MEMS 器件产生谐波耦合，从而影响陀螺仪的响应。

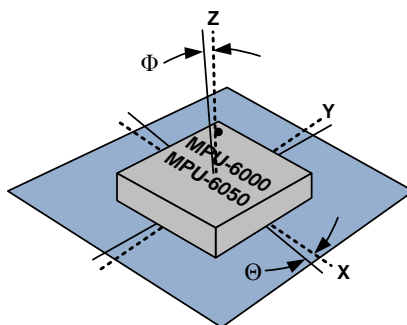
这些器件的设计驱动频率如下： $X = 33 \pm 3\text{KHz}$ ， $Y = 30 \pm 3\text{KHz}$ ， $Z = 27 \pm 3\text{KHz}$ 。为避免谐波耦合，请勿在陀螺仪封装正下方或上方的非屏蔽信号平面上布线有源信号。注：为获得最佳性能，请在芯片底部焊盘下方设计一个接地平面，以减少来自安装陀螺仪的电路板的 PCB 信号噪声。如果陀螺仪堆叠在相邻的 PCB 板下，则应在陀螺仪正上方设计一个接地平面，以屏蔽来自相邻 PCB 板的有源信号。

11.4.4 元件放置

不要将键盘或类似按钮、连接器或屏蔽盒等大型插入元件放置在距离 MEMS 陀螺仪小于 6 毫米的地方。在 MPU-60X0 附近放置元件时，应遵循业界公认的设计惯例，以防止噪声耦合和热机械应力。

11.4.5 PCB 安装和跨轴灵敏度

安装在印刷电路板上的陀螺仪和加速度计的方向误差会导致跨轴灵敏度，其中一个陀螺仪或加速度计会分别对另一个轴的旋转或加速度做出响应。例如，X 轴陀螺仪可能会对 Y 轴或 Z 轴的旋转做出反应。方向安装误差如下图所示。



相对于 PCB 轴 (---) 的封装陀螺仪和加速轴 (—) 的方向误差 (Θ 和 Φ)

下表列出了在给定方向误差下，十字轴灵敏度分别占陀螺仪或加速度计灵敏度的百分比。

横轴灵敏度与方向误差的关系

方向误差 (θ 或 Φ)	跨轴灵敏度 ($\sin\theta$ 或 $\sin\Phi$)
0°	0%
0.5°	0.87%
1°	1.75%

第 6.1 节和第 6.2 节中的横轴灵敏度规格包括芯片相对于封装的方向误差的影响。

11.4.6 MEMS 操作说明

MEMS（微机电系统）是一种久经考验的强大技术，被数以亿计的消费、汽车和工业产品所采用。MEMS 设备由微型移动机械结构组成。尽管封装相似，但它们与传统集成电路产品不同。因此，在将 MEMS 器件安装到印刷电路板 (PCB) 上之前，需要采取与传统集成电路不同的处理预防措施。

MPU-60X0 的抗冲击能力为 10,000 g。InvenSense 按照其认为适当的方式包装陀螺仪，以保护其免受正常搬运和运输的影响。建议采取以下处理预防措施，以防止潜在的损坏。

- 请勿将独立包装的陀螺仪或陀螺仪托盘掉落在坚硬的表面上。放置在托盘中的组件如果掉落，可能会受到超过 10,000g 的重力。
- 安装了陀螺仪的印刷电路板不应通过手动折断的方式分开。这也会产生超过 10,000g 的重力。
- 请勿在超声波槽中清洗 MEMS 陀螺仪。如果超声波浴的能量通过共振频率耦合引起过大的驱动运动，则会导致 MEMS 损坏。

11.4.7 ESD 注意事项

在拆开包装和处理对 ESD 敏感的设备时，制定并使用 ESD 安全处理预防措施。

将 ESD 敏感器件存放在 ESD 安全容器中，直至准备使用。Tape-and-Reel 防潮密封袋是经 ESD 认证的屏障。最佳做法是将设备保存在原始防潮密封袋中，直至准备组装。

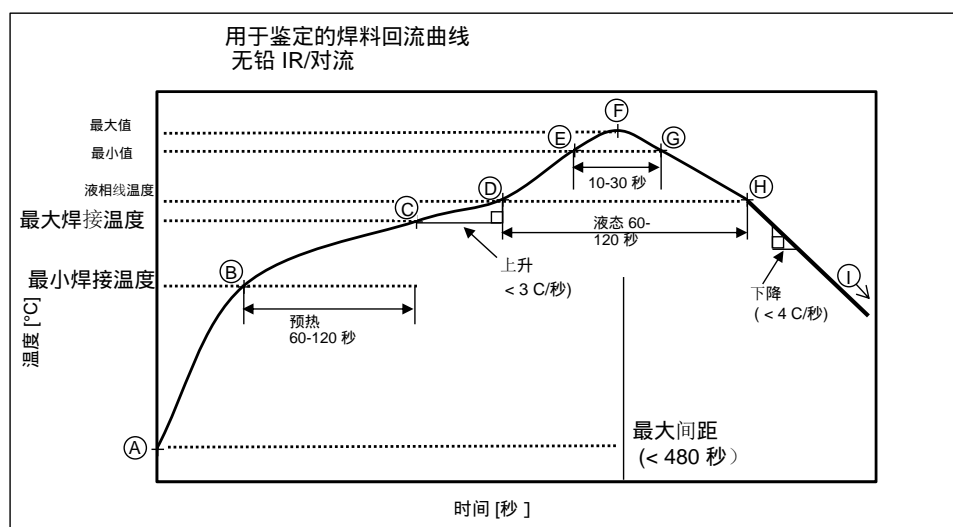
将所有设备处理工作限制在静电电荷低于 200V 的防静电工作区内。确保所有工作站和人员正确接地，以防止 ESD。

11.4.8 回流焊规范

合格回流焊： MPU-60X0 根据 IPC/JEDEC J-STD-020D.1 进行了鉴定。该标准规定了正确的包装、储存和处理方法，以避免在 PCB 组装的回流焊接阶段出现后续的热损坏和机械损坏。

合格预处理流程规定了一个顺序，包括一个烘烤周期、一个湿气浸泡周期（在温度湿度烘箱中）和三个连续的回流焊接周期，然后进行功能器件测试。

对于厚度小于 1.6 毫米的无铅焊接元件，封装鉴定的峰值焊接回流分类温度要求为 $(260 \pm 5/-0^{\circ}\text{C})$ 。合格概况和设定点说明表如下：



与上述回流曲线相对应的温度设定点

步骤	设置	制约因素		
		温度 (°C)	时间 (秒)	最大速率 (°C/秒)
A	室温	25		
B	最小焊接温度	150		
C	最大焊接温度	200	60 < B到C时间 < 120	
D	液相线温度	217		时间(液相线温度-最大焊接温度) < 3
E	最小焊接温度 [255°C, 260°C]	255		时间(液相线温度-最大焊接温度) < 3
F	最大焊接温度 [260°C, 265°C]	260	A到F时间 < 480	时间(液相线温度-最大焊接温度) < 3
G	最小焊接温度 [255°C, 260°C]	255	10 < E到G时间 < 30	时间(最大焊接温度-液相线温度) < 4
H	液相线温度	217	60 < D到H时间 < 120	
I	室温	25		

备注 客户切勿超过额定温度（最大焊接温度 = 260°C）。
所有温度均指 QFN 封装的顶面温度，在封装体表面测量。

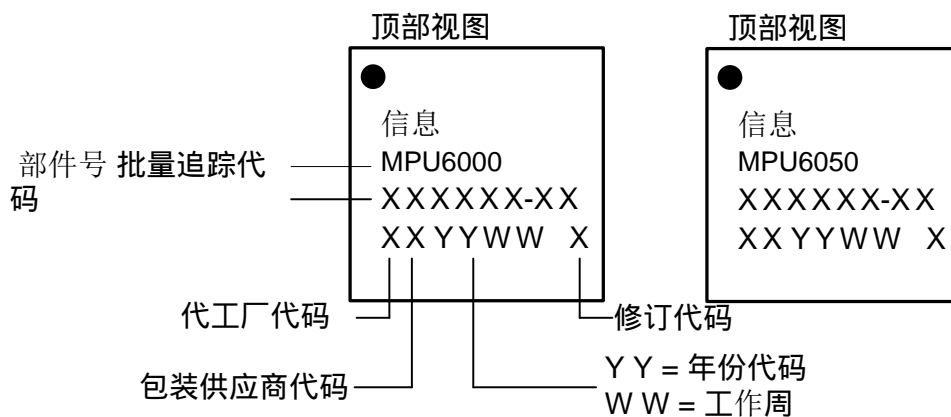
生产回流焊：检查焊料制造商的建议。为获得最佳效果，请使用具有较低指定温度曲线（最大焊接温度 ~ 235°C）的无铅焊料。此外，升温速率和降温速率也应低于鉴定曲线中使用的速率。切勿超过我们用于鉴定的最大条件，因为这些条件代表器件的最大容许额定值。

11.5 存储规格

MPU-60X0 的存储规格符合 IPC/JEDEC J-STD-020D.1 湿敏等级 (MSL) 3。

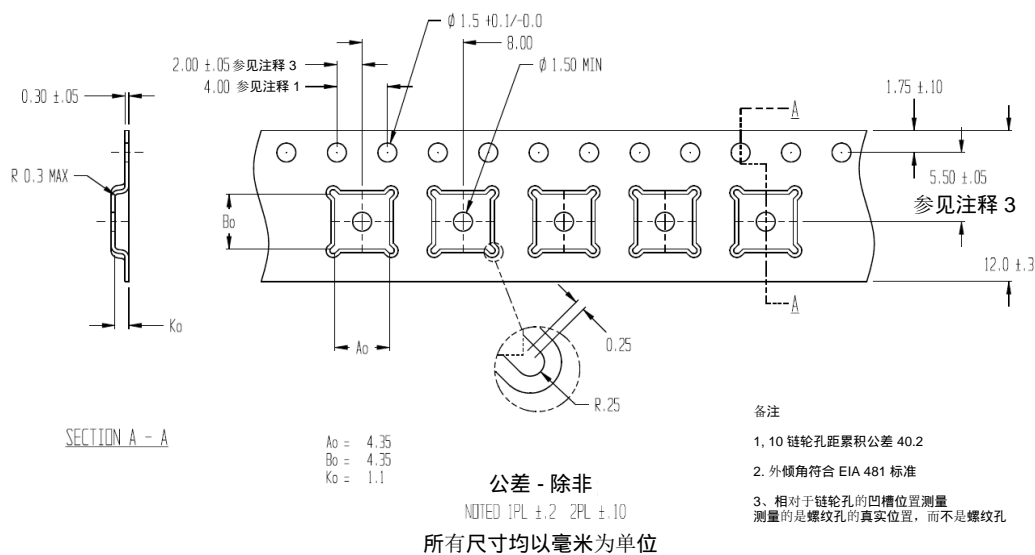
湿度密封袋中的计算保质期	12 个月 -- 储存条件 <40°C 和 <90% 相对湿度
打开防潮密封袋后	168 小时 -- 储存条件：环境温度 ≤ 30°C，相对湿度 60

11.6 包装标记规格

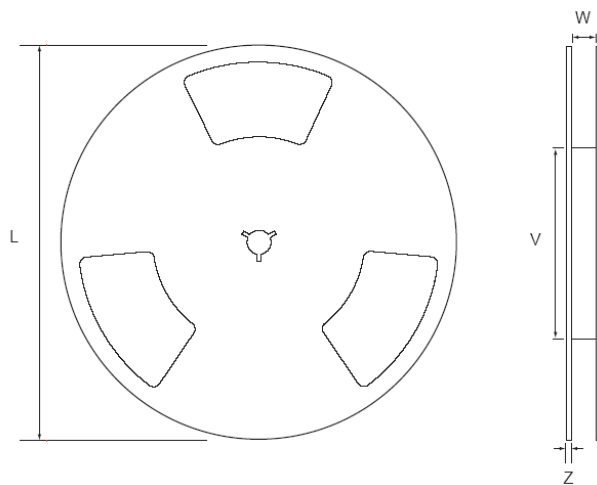


包装标记规格

11.7 卷带规格



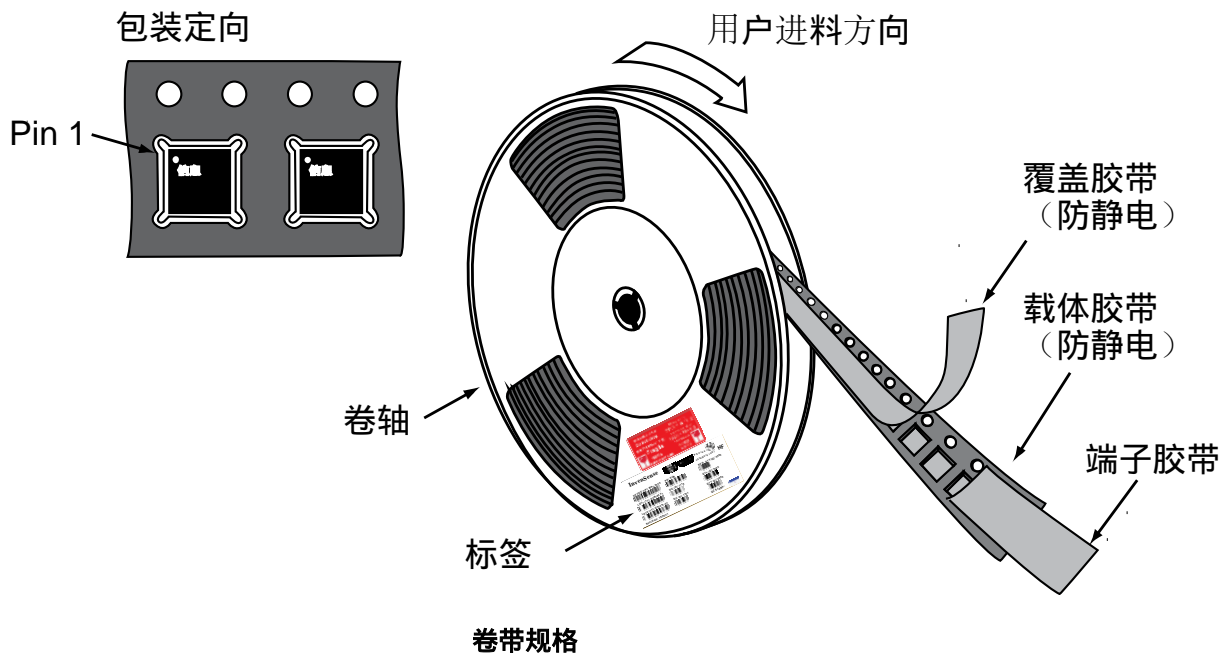
卷带尺寸



卷轴轮廓图

卷轴尺寸和包装尺寸

包装尺寸	卷轴（毫米）			
	L	V	W	Z
4x4	330	102	12.8	2.3



卷轴规格

每卷数量	5,000
每盒卷轴	1
每箱 (最多)	5
件/箱 (最多)	25,000

11.8 标签



条形码标签



标签在卷轴上的位置

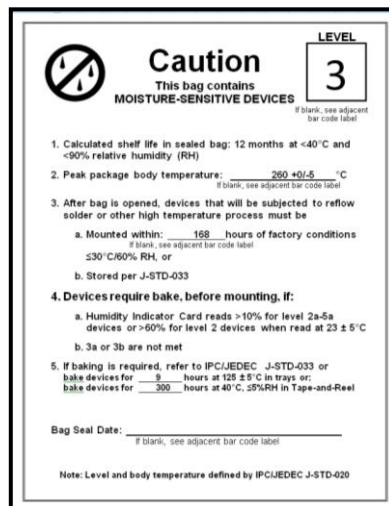
11.9 包装



REEL - 带条形码和注意事项标签



带 ESD、MSL3、注意事项和条形码标签的真空密封防潮袋



MSL3 标签



注意事项标签



防静电标签



内层气泡袋



披萨盒



放置在泡沫塑料中的披萨盒
内衬托运箱
























外部托运人标签



MPU-6000/MPU-6050 产品规格

文件编号 PS-MPU-6000A-00
修订：3.4
发布日期：2013 年 08 月 19日

11.10 具有代表性的装运纸箱标签

		INV. NO: 111013-99	
From: InvenSense Taiwan, Ltd. 1F, 9 Prosperity 1st Road, Hsinchu Science Park, HsinChu City, 30078, Taiwan TEL: +886 3 6686999 FAX: +886 3 6686777		Ship To: Customer Name Street Address City, State, Country ZIP Attn: Buyer Name Phone: Buyer Phone Number	
SUPP PROD ID:		MPU-6050	
LOT#: Q2R994-F1		LOT#:	
QTY: 5615		QTY: 0	
LOT#: Q3X785-G1		LOT#:	
QTY: 4385		QTY: 0	
LOT#: Q3Y196-02		LOT#:	
QTY: 5000		QTY: 0	
LOT#:		LOT#:	
QTY: 0		QTY: 0	
Total Quantity/Carton 15000 		Weight: (KG) 4.05 	
Pb-free 		Shipping Carton:	
MSL3		Category (e4) HF	
 1		 3	
 OF		 	



12 可靠性

12.1 资格考试政策

InvenSense 的产品在投产前都要完成资格测试计划。MPU-60X0 的鉴定测试计划遵循 JESD47I 标准“集成电路的应力测试驱动鉴定”，单项测试描述如下。

12.2 鉴定测试计划

加速寿命测试

测试	方法/条件	批次数量	样品 / 批量	加速/退出弹出标准
(HTOL/LFR) 高温工作寿命	JEDEC JESD22-A108D, 动态, 3.63V 偏压、 Tj>125°C [读点 168、500、1000 小时]	3	77	(0/1)
(HAST) 高度加速压力测试 (1)	JEDEC JESD22-A118A 条件 A, 130°C, 85%RH, 33.3 psia.	3	77	(0/1)
(HTS) 高温存储寿命	JEDEC JESD22-A103D, Condition. A, 125°C 无偏压烘烤 [读点 168、500、1000 小时]	3	77	(0/1)

设备组件级测试

测试	方法/条件	批次数量	样品 / 批量	加速/退出弹出标准
(ESD-HBM) ESD 人体模型	JEDEC JS-001-2012, (2KV)	1	3	(0/1)
(ESD-MM) ESD 机型	JEDEC JESD22-A115C, (250V)	1	3	(0/1)
(LU)锁存	JEDEC JESD-78D Class II (2), 125°C; ±100mA	1	6	(0/1)
(MS) 机械冲击	JEDEC JESD22-B104C, Mil-Std-883, Method 2002.5, Cond. E, 10,000g's, 0.2ms, ±X、Y、Z - 6 个方向, 5 次/方向	3	5	(0/1)
(VIB)振 动	JEDEC JESD22-B103B, 变频 (随机), Condition. B, 5-500Hz、 X、Y、Z - 4 次/方向	3	5	(0/1)
(TC) 温度循环 ⁽¹⁾	JEDEC JESD22-A104D 条件 G [-40°C 至 +125°C], 浸泡模 式 2 [5], 1000 次循环	3	77	(0/1)

电路板测试

测试	方法/条件	批次数量	样品 / 批量	加速/退出弹出标准
(BMS) 电路板机械冲击	JEDEC JESD22-B104C、Mil-Std-883、Method 2002.5、 Condition. E, 10000g's, 0.2ms、 -X、Y、Z - 6 个方向, 5 次/方向	1	5	(0/1)
(BTC) 电路板 温度循环 ⁽¹⁾	JEDEC JESD22-A104D 条件 G [-40°C 至 +125°C], 浸泡模 式 2 [5], 1000 次循环	1	40	(0/1)

测试前根据 JEDEC JESD22-A113F 进行 MSL3 预处理



13 环境合规

MPU-6000/MPU-6050 符合 RoHS 和绿色标准。

MPU-6000/MPU-6050完全符合环保要求，详见材料声明数据表HS-MPU-6000报告。

环境声明免责声明：

InvenSense 相信这些环境信息是正确的，但不能保证其准确性或完整性。上述组件构成的符合性文件已存档。InvenSense 分包生产，此处包含的信息基于从供应商处获得的数据，未经 InvenSense 验证。

InvenSense提供的这些信息被认为是准确可靠的。但是，InvenSense 对使用这些信息或因使用这些信息而可能导致的任何侵犯第三方专利或其他权利的行为不承担任何责任。规格如有变更，恕不另行通知。InvenSense 保留更改本产品（包括其电路和软件）以改进其设计和/或性能的权利，恕不另行通知。InvenSense 对本文档中包含的信息和规格不作任何明示或暗示的保证。InvenSense 对因本文档中包含的信息或因使用其中详细介绍的产品和服务而引起的任何索赔或损害不承担任何责任。这包括但不限于基于侵犯专利、版权、掩膜作品和/或其他知识产权的索赔或损害赔偿。

本文档中描述的某些知识产权由InvenSense所有，受专利保护。InvenSense 不以暗示或其他方式授予任何专利或专利权许可。本出版物取代并代替以前提供的所有信息。注册商标是其各自公司的财产。InvenSense 传感器不得用于或销售用于开发、储存、生产或使用任何常规武器或大规模杀伤性武器，或用于任何其他武器或威胁生命的应用，以及任何其他生命攸关的应用，如医疗设备、交通运输、航空航天和核仪器、海底设备、发电厂设备、防灾和预防犯罪设备。

InvenSense® 是 InvenSense 公司的注册商标。MPUTM、MPU-6000TM、MPU-6050TM、MPU-60X0TM、Digital Motion Processor™、DMP™、Motion Processing Unit™、MotionFusion™、MotionInterface™、MotionTracking™ 和 MotionApps™ 是 InvenSense 公司的商标。

©2013 InvenSense, Inc. 保留所有权利。

