

RTD 至数字输出转换器

1 基本性能

- 芯片工作温度范围: -55°C ~ +150°C
- 可调理RTD类型: PT100 / PT1000
- 内部ADC位数: 15bits
- 全量程测量精度: ± 1 LSB
- 50 / 60Hz噪声抑制: 80dB
- 单次测量转换时间:
 - 50Hz notch: 20.0ms
 - 60Hz notch: 16.7ms
- 数字输出: 兼容1 / 3模式SPI接口
- 支持2 / 3 / 4线RTD连接方式
- 电源电压: 2.7V ~ 3.9V
- 支持RTD故障检测
- 封装信息:

产品型号	封装形式	封装尺寸(mm^2)
GXC400Q	QFN (20)	5.00 × 5.00

2 应用场景

- 工业设备
- 医疗设备
- 仪表

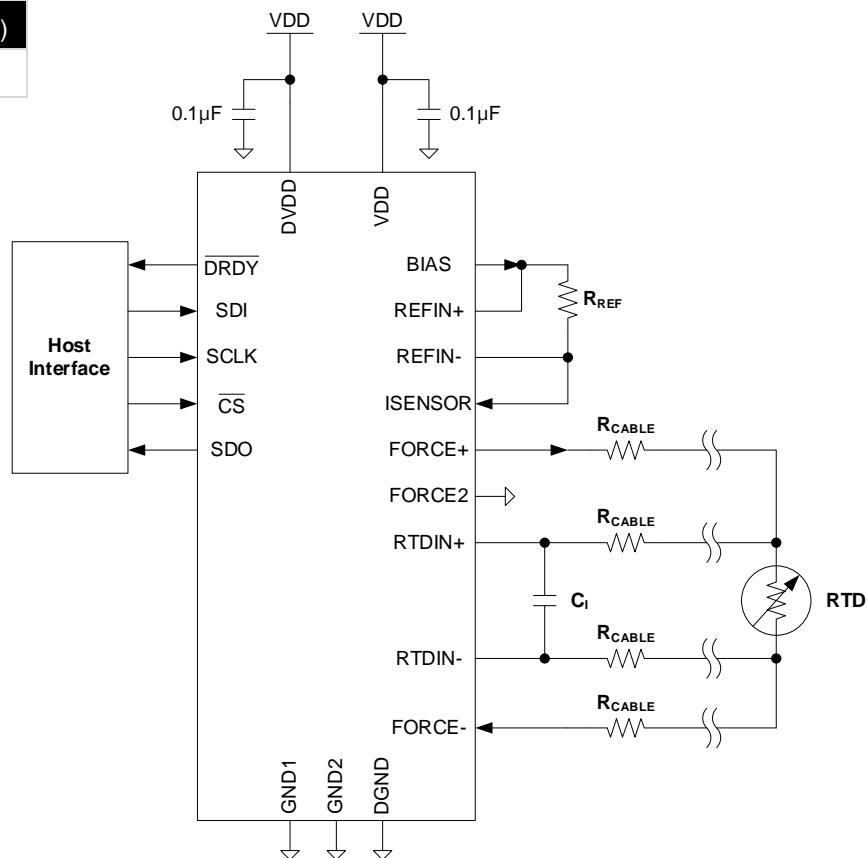
3 芯片概述

GXC400 是一款 RTD 至数字输出转换器, 支持 PT100 / PT1000 的 RTD 输入。GXC400 由其 BIAS 引脚提供精准的外部偏置电压, 通过内置 ADC 量化串联于该电压偏置上的 RTD 与基准电阻的比例, 实现对 RTD 输入的精准测量。

GXC400 可针对用户的使用环境, 提供对 50Hz / 60Hz 频率的噪声抑制, 最大程度减轻外部噪声对测量结果的影响。GXC400 支持 2 / 3 / 4 线的 RTD 连接方式, 以适应不同的 RTD 测量方案。

GXC400 支持 RTD 故障检测, 可检测包括 RTD 开路、RTD 短路、RTD 短路至电源或地等多种误连接, 便于用户快速定位 RTD 故障。

图 1 GXC400 4 线连接示意图



目 录

1 基本性能	1	7 详细说明	7
2 应用场景	1	7.1 芯片功能模式	7
3 芯片概述	1	7.2 串行接口	16
4 版本更新信息	2	7.3 寄存器说明	18
5 引脚配置和功能	3	8 具体应用	20
6 技术指标	4	9 封装信息	21
6.1 极限工作指标	4	9.1 QFN-20 封装信息	21
6.2 静电保护	4	9.2 卷盘与载带信息	22
6.3 建议使用范围	4	10 订购信息	23
6.4 电学特性	5		
6.5 SPI 通信时序要求	6		

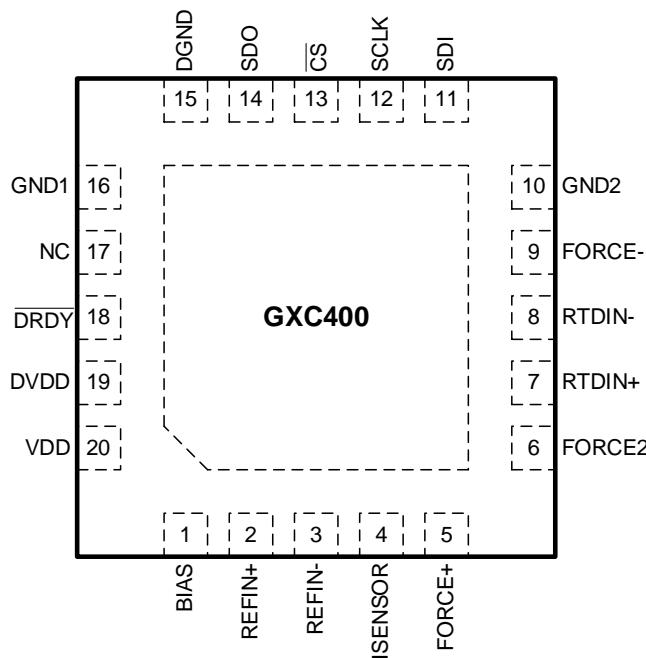
4 版本更新信息

V1.0 (Jan. 2025)

- 原始版本。

5 引脚配置和功能

QFN-20 Top View



引脚功能

PIN Name	PIN No.	Description
BIAS	1	偏置电压 (V_{BIAS}) 输出引脚;
REFIN+	2	基准电压 (V_{REF}) 正输入引脚, 连接至基准电阻 (R_{REF}) 高电压端, 实际使用中连接至BIAS引脚;
REFIN-	3	基准电压 (V_{REF}) 负输入引脚, 连接至基准电阻 (R_{REF}) 低电压端;
ISENSOR	4	R_{REF} 电流通路引脚, 连接至REFIN-引脚;
FORCE+	5	RTD电流通路高端引脚, 在3线应用中连接至FORCE2引脚;
FORCE2	6	RTD电流通路高端引脚, 仅在3线应用中连接至FORCE+引脚, 2/4线应用中连接至GND;
RTDIN+	7	RTD电压 (V_{RTD}) 正输入引脚, 连接至RTD高电压端;
RTDIN-	8	RTD电压 (V_{RTD}) 负输入引脚, 连接至RTD低电压端;
FORCE-	9	RTD电流通路低端引脚;
GND2	10	模拟地引脚, 在实际使用中连接至GND1引脚;
SDI	11	SPI串行数据输入引脚;
SCLK	12	SPI串行时钟输入引脚;
CS	13	SPI低有效片选引脚, 将该引脚拉低可使芯片响应SPI通信;
SDO	14	SPI串行数据输出引脚;
DGND	15	数字地引脚;
GND1	16	模拟地引脚, 在实际使用中连接至GND2引脚;
NC	17	该引脚无实际意义, 在实际使用中请务必悬空;
DRDY	18	低有效数据就绪引脚, 推挽输出;
DVDD	19	数字电源引脚, 电源电压范围2.7V~3.9V, 需挂载0.1μF旁路电容;
VDD	20	模拟电源引脚, 电源电压范围2.7V~3.9V, 需挂载0.1μF旁路电容。

6 技术指标

6.1 极限工作指标

	MIN	MAX	Unit
电源电压 VDD / DVDD	-0.3	6	V
模拟输入输出引脚	-0.3	VDD + 0.3	V
数字输入输出引脚	-0.3	6	V
工作范围	-55	160	°C
结温		150	°C
存放温度	-60	150	°C

除非另有说明，上述表格中均指在大气温度范围内的指标。超出上述表格所给范围可能会导致芯片永久损坏。

6.2 静电保护

	Value	Unit
静电放电电压 V_{ESD}	Human-body mode (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2017	±8000 V
	Charged-device model (CDM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-002-2022	±200 V
闩锁效应	Latch-up (LU), per JESD 78F (2022)	±200 mA

6.3 建议使用范围

	MIN	NOM	MAX	Unit
电源电压 VDD / DVDD	2.7	3.3	3.9	V
工作温度范围 T_A	-50		150	°C
FORCE+ / FORCE2 / FORCE- / RTDIN+ / RTDIN-	0		V_{BIAS}	V
基准电阻 R_{REF}	350		10k	ohm
RTD连线线电阻	0		50	ohm

除非另有说明，上述表格中均指在大气温度范围内的指标。

6.4 电学特性

若非特殊说明, 以下数据均为芯片在-40 ~ +125°C、电源电压处于3.0V ~ 3.6V区间内的特性; 其中TYP为芯片在27°C、电源电压为3.3V时的特性。

Parameters	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	Unit
芯片工作温度范围		-50		150	°C
内置ADC分辨率			15		bits
引脚输入漏电流	RTDIN+ / RTDIN-			20	nA
BIAS引脚电压	V _{BIAS}	1.95	2.00	2.05	V
BIAS引脚输出电流	I _{OUT}	0.2		5.75	mA
BIAS引脚电压负载调整率	I _{OUT} ≤5.75mA		30		mV/mA
BIAS引脚电压启动时间	(Note 1)			10.5	ms
ADC全量程测量精度			±1		LSB
ADC输出失调				±3	LSB
共模抑制比			90		dB
50 / 60Hz噪声抑制			80		dB
转换时间 (Note 2)	60Hz噪声抑制、连续转换模式		16.7	18	
	60Hz噪声抑制、单次转换模式		52	56	ms
	50Hz噪声抑制、连续转换模式		20	21.5	
	50Hz噪声抑制、单次转换模式		62.5	67.5	
故障检测流程时间	自 CS=1至流程结束		550	600	μs
电源抑制比			±1		LSB/V
工作静态电流	关断模式		1	1.2	mA
	转换模式		2	2.3	
上下电复位阈值	上电过程		2.28		V
	下电过程		2.16		V
数字引脚输入电容			6		pF
数字引脚输入漏电流				±1	μA
数字引脚输出高电平	引脚输出电流1.6mA	DVDD-0.4			V
数字引脚输出低电平	引脚输出电流1.6mA			0.4	V

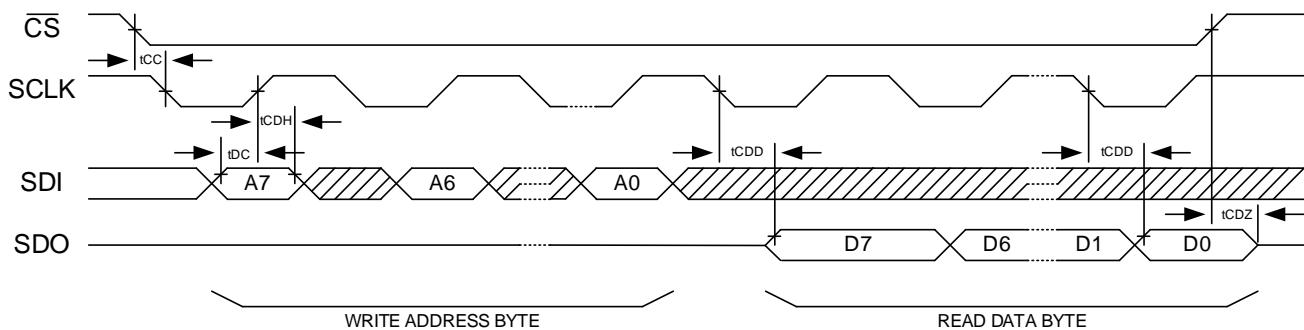
Note 1: V_{BIAS}的最大启动时间为 10kohm 的基准电阻与跨接在 RTD 两侧的 0.1μF 旁路电容的 RC 延时;

Note 2: 在连续转换模式中, 对于 60Hz 噪声抑制, 其首次转换时间为 52ms, 后续每次转换时间为 16.7ms; 对于 50Hz 噪声抑制, 其首次转换时间为 62.5ms, 后续每次转换时间为 20ms。

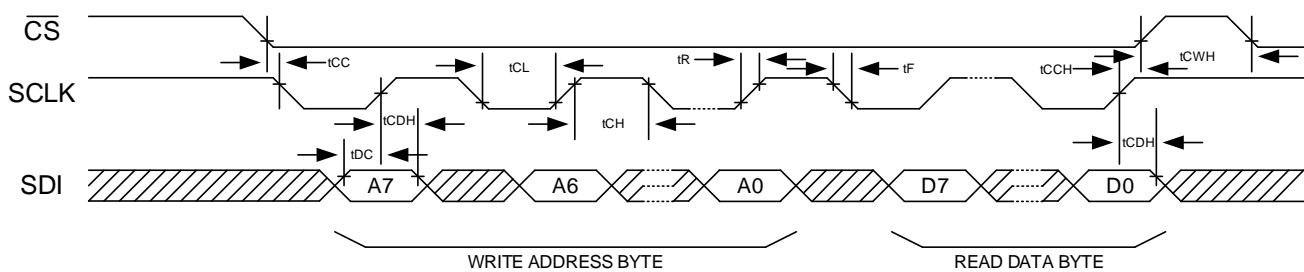
6.5 SPI通信时序要求

若非特殊说明, 以下数据均为芯片在-40 ~ +125°C、电源电压处于3.0V ~ 3.6V区间内的特性。

Symbol	Description	MIN	TYP	MAX	Unit
t_{DC}	Data to SCLK Setup	35			ns
t_{CDH}	SCLK to Data Hold	35			ns
t_{CDD}	SCLK to Data Valid			80	ns
t_{CDL}	SCLK Low Time	100			ns
t_{CDH}	SCLK High Time	100			ns
f_{CLK}	SCLK Frequency	DC		5	MHz
t_R, t_F	SCLK Rise and Fall			200	ns
t_{CC}	\overline{CS} to SCLK Setup	400			ns
t_{CCH}	SCLK to \overline{CS} Hold	100			ns
t_{CWH}	\overline{CS} Inactive Time	400			ns
t_{CDZ}	\overline{CS} to Output High-Z			40	ns
t_{DRDYH}	Address 01h or 02h Decoded to \overline{DRDY} High		50		ns



NOTE: SCLK CAN BE EITHER POLARITY, TIMING SHOWN FOR CPOL=1



NOTE: SCLK CAN BE EITHER POLARITY, TIMING SHOWN FOR CPOL=1

7 详细说明

7.1 芯片功能模式

7.1.1 基于RTD的测温原理概述

RTD 利用热敏电阻随温度变化的原理进行温度测量，其中最常见的 RTD 利用铂电阻实现（PT-RTD），其测温范围可超过 800°C，并具有良好的精度、可重复性以及线性度。

对于 PT-RTD，最常见的型号为 PT100 和 PT1000，其在 0°C 时的电阻值分别为 100ohm 和 1000ohm。对于 PT100，其电阻值在 0°C~+100°C 间的平均斜率 α 取决于铂中的杂质及其浓度。在使用最广泛的两个标准协议中， α 值分别为 0.00385 (IEC 751) 和 0.00392 (SAMA)。可见 PT100 的阻值与温度呈近似一次线性，可由 Callendar-Van Dusen 方程具体表示：

$$R(T) = R_0 * (1 + aT + bT^2 + c(T - 100)T^3)$$

上式中， T 为以°C为单位的温度值， $R(T)$ 为在该温度下的铂电阻值， R_0 为在 0°C 时的铂电阻值；以 IEC 751 标准为例， $a = 3.90830 \times 10^{-3}$ ， $b = -5.77500 \times 10^{-7}$ ， $c = -4.18301 \times 10^{-12}$ ($-200^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$) / $0(0^{\circ}\text{C} \leq T \leq +850^{\circ}\text{C})$ 。

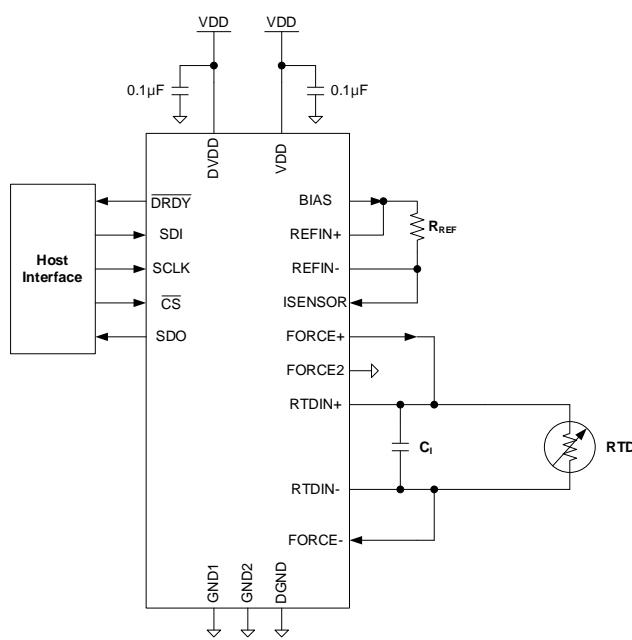


图 2 GXC400 2 线连接示意图

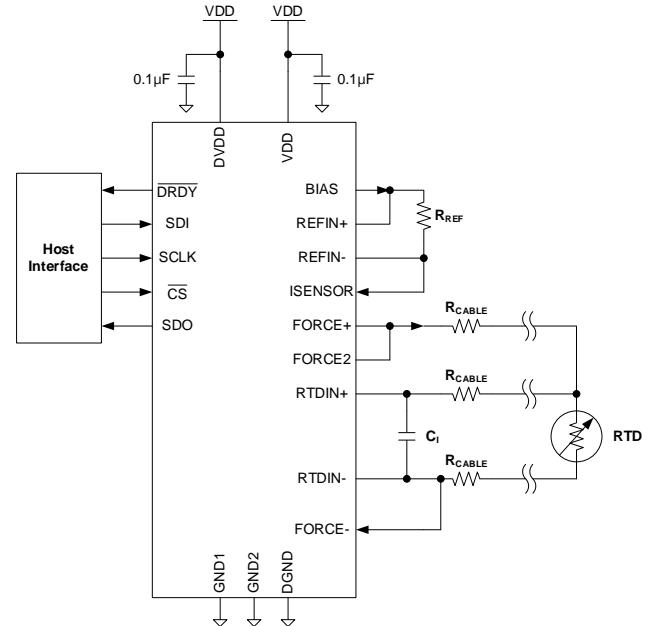


图 3 GXC400 3 线连接示意图

GXC400 提供了一种精准高效的铂电阻测量方案。通过将一个基准电阻 R_{REF} 与 RTD 串联在 GXC400 的 BIAS 引脚下（如图 1 所示），使流经两者的电流相同。基准电阻 R_{REF} 的值为 RTD 在 0°C 的值的 4 倍。因此对于 PT100 而言， $R_{\text{REF}} = 400\text{ohm}$ ；对于 PT1000 而言， $R_{\text{REF}} = 4000\text{ohm}$ 。基准电阻 R_{REF} 两侧的电压作为芯片内部 ADC 的量化基准电压，GXC400 使用该基准电压量化 RTD 两侧的差分输入电压，此时 ADC 的数字输出即为 RTD 与 R_{REF} 的比值：

$$R_{\text{RTD}} = (\text{ADC_Code} * R_{\text{REF}}) / 2^{15}$$

针对不同使用场景, GXC400 同时支持 2 / 3 / 4 线连接形式的 RTD 连接。当 RTD 距 GXC400 较近时, 可使用 2 线形式的连接 (如图 2 所示); 此时需注意, 线电阻会使最终的输出产生误差, 0.4ohm 的线电阻可引起约 1°C 的温度误差。可使用 4 线连接形式 (如图 1 所示) 避免上述问题, 并可实现较长距离的远端测温, 此时需注意单根导线的线电阻应小于 50ohm。

在某些使用场景中, 为节省远端 RTD 连接至芯片的导线数量, 可使用 3 线连接形式 (如图 3 所示), 此时需将 GXC400 的 FORCE2 引脚接至 FORCE+。将 Config 寄存器中的 3-Wire 位 (D4) 写为 1 可将 GXC400 配置为 3 线工作模式。如此配置后, GXC400 的内置 ADC 会改变其量化方法, 若导线间匹配良好, 其线电阻的影响可被自动消除。

当使用 RTD 在-100°C ~ +100°C 的范围内进行温度测量时, 可根据下式计算最终的温度测量值:

$$\text{Temperature (}^{\circ}\text{C)} = (\text{ADC code} / 32) - 256$$

上式的测温误差在-100°C 时为-1.75°C, 在 0°C 时为 0, 在+100°C 时为-1.4°C (上述结果中, 假设所用的 RTD 符合 IEC 751 标准, 并且 R_{REF} 的值为 RTD 在 0°C 时的铂电阻值的 4 倍)。若需更高精度, 可根据 Callendar-Van Dusen 方程、或参照表 1 中的数据查表进行换算。

在某些使用场景中, 所用的 RTD 可能并非 PT100 或者 PT1000。针对上述场合, GXC400 仍可使用, 需确保 R_{REF} 的值应大于等于、在关注的温度范围内的待测电阻的最大值, 避免待测电阻两端的差分输入电压值超过 ADC 的满量程。此时 ADC 输出的结果仍为待测电阻阻值与 R_{REF} 阻值的比例。

下表给出了使用 PT100、 $R_{\text{REF}}=400\text{ohm}$ 时的实际温度、RTD 电阻值、ADC 输出码字与测量温度值之间的关系:

表 1 使用 PT100、400ohm R_{REF} 测温对照表

Temperature($^{\circ}\text{C}$)	RTD Resistance(ohm)	ADC Code (dec)	ADC Code/32-256($^{\circ}\text{C}$)
-200	18.52	1517	-208.59
-175	29.22	2394	-181.19
-150	39.72	3254	-154.31
-125	50.06	4101	-127.84
-100	60.26	4936	-101.75
-75	70.33	5762	-75.94
-50	80.31	6579	-50.41
-40	84.27	6903	-40.28
-30	88.22	7227	-30.16
-20	92.16	7550	-20.06
-10	96.09	7871	-10.03
0	100.00	8192	0.00
10	103.90	8512	10.00
20	107.79	8830	19.94
30	111.67	9148	29.88

(Continued)

Temperature(°C)	RTD Resistance(ohm)	ADC Code (dec)	ADC Code/32-256(°C)
40	115.54	9465	39.78
50	119.40	9781	49.66
60	123.24	10096	59.50
70	127.08	10410	69.31
80	130.90	10723	79.09
90	134.71	11035	88.84
100	138.51	11346	98.56
110	142.29	11657	108.28
120	146.07	11966	117.94
130	149.83	12274	127.56
140	153.58	12582	137.19
150	157.33	12888	146.75
160	161.05	13194	156.31
170	164.77	13498	165.81
180	168.48	13802	175.31
190	172.17	14104	184.75
200	175.86	14406	194.19
225	185.01	15156	217.63
250	194.10	15901	240.91
275	203.11	16639	263.97
300	212.05	17371	286.84
325	220.92	18098	309.56
350	229.72	18818	332.06
375	238.44	19533	354.41
400	247.09	20242	376.56
425	255.67	20945	398.53
450	264.18	21642	420.31
475	272.61	22333	441.91
500	280.98	23018	463.31
525	289.27	23697	484.53
550	297.49	24370	505.56

7.1.2 连续转换模式

GXC400 的上电默认模式为关断模式，此时其 BIAS 端口不提供 V_{BIAS} 偏置电压，内置的 ADC 也不会开启任何转换，芯片处于低功耗状态。若使芯片进入连续转换模式，需将 Config 寄存器的 V_{BIAS} 位 (D7) 和 Conversion Mode 位 (D6) 均写为 1，之后 GXC400 将按照 3-Wire 位 (D4) 和 50/60Hz Filter Select 位 (D0) 的配置情况开启相应的连续转换。

特别地，虽然 GXC400 在连续转换模式中的转换时间为 16.7ms (D0=0, 60Hz notch) 和 20ms (D0=1, 50Hz notch)，但在进入连续转换模式后的首次转换时间为 52ms (D0=0, 60Hz notch) 和 62.5ms (D0=1, 50Hz notch)。

7.1.3 单次转换模式

GXC400 提供单次转换模式。当 Config 寄存器的 Conversion Mode 位 (D6) 为 0、芯片处于关断模式时，将 1-Shot 位 (D5) 写为 1，可使 GXC400 开启一次单次转换。

在开启单次转换前，若 V_{BIAS} 位 (D7) 已被写为 1，则可立刻向 1-Shot 位 (D5) 写 1 以开启单次转换；若 V_{BIAS} 位 (D7) 为 0，则需先将 V_{BIAS} 位 (D7) 写为 1，并等待至少 10.5ms 使 RTD 两侧的 RC 网络稳定后，再向 1-Shot 位 (D5) 写 1 以开启单次转换。

1-Shot 位 (D5) 在完成该次单次转换后自动复位为 0。

7.1.4 50/60Hz噪声抑制

GXC400 的 Config 寄存器的 50/60Hz Filter Select 位 (D0) 可切换芯片内部 SINC3 滤波器的第一陷波频率，从而对 50/60Hz 及其高次谐波处的噪声进行抑制，提升芯片的输出精度。特别注意，请勿在连续转换模式过程中改变 50/60Hz Filter Select 位 (D0)。

7.1.5 RTD故障检测

GXC400 可对 RTD 可能发生的多种故障进行检测。RTD 故障检测可分为两种：1) 实时自动检测；2) 手动开启检测。针对检测到的不同的 RTD 故障，GXC400 的 Fault Status 寄存器中相应的位会被置为 1；任意 RTD 故障的发生，均会将 RTD LSB 寄存器的 D0 位置为 1。

实时自动检测包括下列检测项目：

1) 自芯片上电后，实时检测 FORCE+、FORCE2、FORCE-、RTDIN+、RTDIN-引脚的电压是否大于 VDD 电压或低于 GND1 电压；若发生上述故障，Fault Status 寄存器的 D2 位将被置为 1，GXC400 内置的 ADC 将停止转换；

2) 在 ADC 完成每次转换后，判断 RTD 电阻测量值是否高于 High Fault Threshold 寄存器中的值、或低于 Low Fault Threshold 寄存器中的值；若发生上述情况，Fault Status 寄存器的 D7 / D6 位将被置为 1；该项检测不会影响 ADC 转换；

GXC400 在手动开启检测时，可选择将 FORCE-引脚内部接地的开关断开，以完成相应的检测。手动开启的检测包括两种模式：自动延时模式和手动延时模式。当跨接在 RTD 两侧的 RC 网络的建立时间超过 100 μ s 时，需使用手动延时模式。上述检测通过进行三次电压比较，对故障发生的原因进行判断，并将结果返回至 Fault Status

寄存器：

- 1) 判断 REFIN-引脚电压是否高于 $0.85 * V_{BIAS}$, 若高于则将 Fault Status 寄存器的 D5 位置为 1;
- 2) 将 FORCE-引脚内部接地的开关断开, 判断 REFIN-引脚电压是否低于 $0.85 * V_{BIAS}$, 若低于则将 Fault Status 寄存器的 D4 位置为 1;
- 3) 保持 FORCE-引脚内部接地的开关断开, 判断 RTDIN-引脚电压是否低于 $0.85 * V_{BIAS}$, 若低于则将 Fault Status 寄存器的 D3 位置为 1;

上述三个步骤在自动延时模式和手动延时模式中均需进行, 区别在于 2) 中将 FORCE-引脚内部接地的开关断开后, 自动进行后续检测、还是等待上位机继续发送相应指令后进行后续检测。上述动作由 Config 寄存器中的 D3、D2 位控制, 具体见表 2。当手动开启的检测完成后, FORCE-引脚内部接地的开关重新闭合, Config 寄存器中的 D3、D2 位自动复位为 0。

在手动开启检测时, 需保证 Config 寄存器的 D7 为 1, D6、D5 位为 0, 即芯片在 V_{BIAS} 稳定的关断模式下进行上述故障检测; 若在配置 Config 寄存器中的 D3、D2 位时, D5 位同时被配置为 1, 所有配置均将被忽略; 若未提前向 Config 寄存器写入 100X100Xb, 而直接写入 100X110Xb, 则 GXC400 将按照自动延时模式开启检测。

表 2 GXC400 手动开启检测上位机指令

D3	D2	Config Register Write	Write Action	Read Meaning
0	0	XXXX00XXb	/	手动检测已完成
0	1	100X010Xb	开启自动延时模式检测	自动延时模式检测正在进行
1	0	100X100Xb	开启手动延时模式检测步骤 1	手动延时模式检测步骤 1 正在进行; 等待 D3:D2 被写为 11
1	1	100X110Xb	开启手动延时模式检测步骤 1	手动延时模式检测步骤 2 正在进行;

上述所有 RTD 故障检测流程如图 4 所示, 表 3 给出了不同 RTD 连接方式可能出现的故障与此时 Fault Status 寄存器值的对应关系。

向 GXC400 Config 寄存器的 Fault Status Clear 位 (D1) 写 1、且 D5、D3、D2 位均为 0 时, 可将 Fault Status 寄存器内的 D7 ~ D2 位、RTD LSB 寄存器的 D0 位均复位为 0。需注意 Fault Status 寄存器的 D2 位和 RTD LSB 寄存器的 D0 位可能在被复位后, 因触发了相应的 RTD 故障又被立刻置为 1。

Fault Status Clear 位在完成对上述标志位的清除后, 会自动复位为 0。

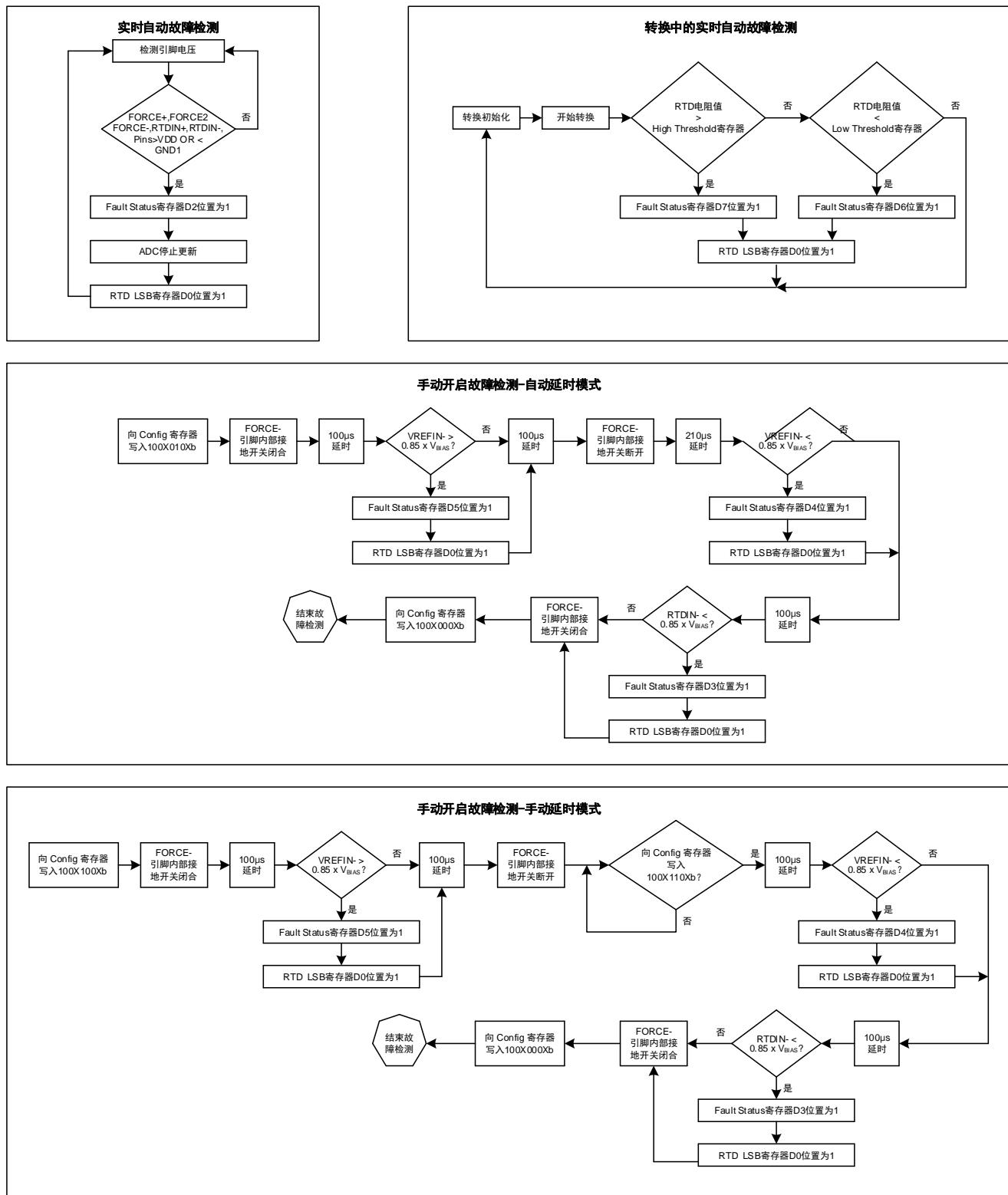


图 4 GXC400 故障检测示意图

表 3 不同 RTD 连接方式故障汇总

Fault Status Reg	Possible Cause	Condition Detected	RTD Reg
2 线连接方式			
D7	RTD 正负极开路	RTD 寄存器大于 High Fault Threshold 寄存器	FFFFh
D6	RTD 正负极短路	RTD 寄存器小于 Low Fault Threshold 寄存器	$\approx 0000h$
	RTDIN+短路至 GND		
D5	RTD 正负极开路	$V_{REFIN-} > 0.85 * V_{BIAS}$	FFFFh
	RTDIN+短路至 VDD		不定值
	RTDIN-短路至 VDD		不定值
D4	RTDIN-短路至 GND	$V_{REFIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	正常值
D3	RTDIN-短路至 GND	$V_{RTDIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	正常值
	RTDIN+短路至 GND		$\approx 0000h$
D2	>VDD / <GND1		不定值
3 线连接方式			
D7	RTD 正负极开路	RTD 寄存器大于 High Fault Threshold 寄存器	FFFFh
	RTDIN+短路至 VDD		
	且与 RTD 开路		
	FORCE+短路至 VDD 且接至 RTD		
D6	RTDIN+短路至 RTDIN-	RTD 寄存器小于 Low Fault Threshold 寄存器	$\approx 0000h$
	RTDIN+短路至 GND 且与 RTD 开路		
	FORCE+短路至 GND		
D5	RTD 正负极开路	$V_{REFIN-} > 0.85 * V_{BIAS}$	FFFFh
	FORCE+短路至 VDD 且接至 RTD		
	FORCE+开路		
	FORCE+短路至 VDD 且与 RTD 开路		
	RTDIN-短路至 VDD		
D4	RTDIN-短路至 GND	$V_{REFIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	正常值
D3	FORCE+短路至 GND	$V_{RTDIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	$\approx 0000h$
	RTDIN+短路至 GND 且接至 RTD		
	RTDIN-短路至 GND		
D2	>VDD / <GND1		不定值

(Continued)

Fault Status Reg	Possible Cause	Condition Detected	RTD Reg
4 线连接方式			
D7	RTD 正负极开路	RTD 寄存器大于 High Fault Threshold 寄存器	FFFFh
	RTDIN+短路至 VDD 且与 RTD 开路		
	FORCE+短路至 VDD 且接至 RTD		
D6	RTDIN+短路至 RTDIN-	RTD 寄存器小于 Low Fault Threshold 寄存器	$\approx 0000h$
	RTDIN+短路至 GND 且与 RTD 开路		
	RTDIN-短路至 VDD 且与 RTD 开路		
	FORCE+短路至 GND		
D5	RTD 正负极开路	$V_{REFIN-} > 0.85 * V_{BIAS}$	FFFFh
	FORCE+短路至 VDD 且接至 RTD		
	FORCE+开路		
	FORCE-开路		
	FORCE+短路至 VDD 且与 RTD 开路		
	FORCE-短路至 VDD 且与 RTD 开路		
	FORCE-短路至 VDD 且接至 RTD		
	FORCE-短路至 GND 且与 RTD 开路		
D4	FORCE-短路至 GND 且接至 RTD	$V_{REFIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	不定值
	RTDIN-短路至 GND 且接至 RTD		
D3	FORCE+短路至 GND	$V_{RTDIN-} < 0.85 * V_{BIAS}$ (FORCE- Open)	$\approx 0000h$
	RTDIN+短路至 GND 且接至 RTD		
	RTDIN-短路至 GND 且接至 RTD		
	FORCE-短路至 GND		
D2	>VDD / <GND1		不定值

7.1.6 DRDY 引脚

GXC400 的 DRDY 引脚会在每次 RTD 寄存器内的转换结果刷新后拉低，用于指示最新的转换结果可被读取。

当对 RTD 寄存器的读取完成后，DRDY 引脚会重新拉高。

7.2 串行接口

7.2.1 总线概述

GXC400 支持 1 / 3 模式的 SPI 通信协议，即 SPI 总线的极性 CPOL = 0 / 1，SPI 总线的相位 CPHA = 1。GXC400 采用四个引脚实现 SPI 通信：串行数据输入引脚 SDI、串行数据输出引脚 SDO、串行时钟引脚 SCLK、片选引脚 CS。其中 CS 为低有效引脚，标志数据传输的起始和终止；SCLK 仅在 CS 为低时由上位机产生。

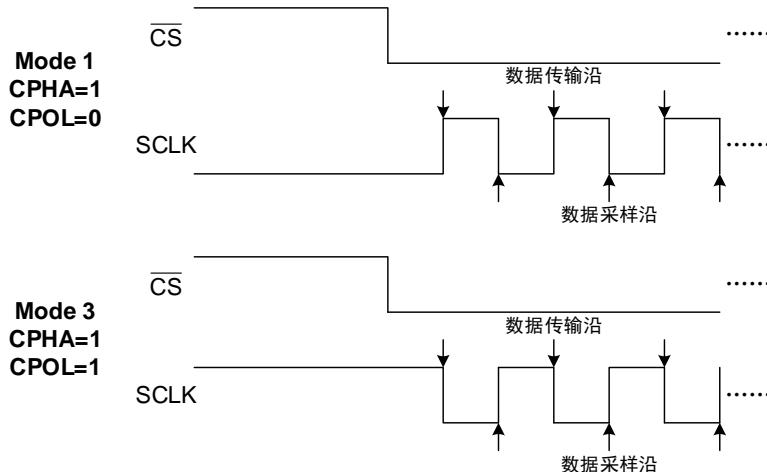


图 5 SCLK 与 CPOL 的关系

图 5 给出了 1 / 3 模式 SPI 通信协议中 SCLK 的示意图。在模式 1 中，CPOL = 0、CPHA = 1，此时 SCLK 的初始值为 0，SCLK 的上升沿为数据传输沿，下降沿为数据采样沿；在模式 3 中，CPOL=1、CPHA=1，此时 SCLK 的初始值为 1，SCLK 的下降沿为数据传输沿，上升沿为数据采样沿。GXC400 在与上位机进行 SPI 通信时，均会在数据采样沿采样 SDI 上被写入芯片的数据，并在数据传输沿通过 SDO 向上位机传输待读取的数据。GXC400 在进行 SPI 通信时的地址和数据均为 8bits，优先传输 MSB。

上述过程详见表 4。

表 4 1 / 3 模式 SPI 通信各阶段动作

Mode	CSN	SCLK	SDI	SDO
总线空闲	High		输入失效	高阻态
写操作	Low	CPOL = 0, SCLK 下降沿	数据位锁存	高阻态
		CPOL = 1, SCLK 上升沿		
读操作	Low	CPOL = 0, SCLK 上升沿	X	下一 bit 数据移位
		CPOL = 1, SCLK 下降沿		

7.2.2 读写操作

GXC400 在与上位机进行 SPI 通信的过程中，地址和数据字节均以 MSB 优先的方式移入串行数据输入线 SDI 完成写操作，并从串行数据输出线 SDO 移出完成读操作。在通信的过程中，当 CS 拉低后，需优先发送地址字节，地址字节的最高位表明后续数据为被写入或被读取，之后再传输一个或多个数据字节。地址字节的最高位为 1 时，

表明后续若干字节为被写入数据；地址字节的最高位为 0 时，表明后续若干字节为被读取数据。

GXC400 支持单字节读写操作或多字节读写操作。当进行单字节读写操作时， \overline{CS} 拉低后总线开始传输地址字节和 1 byte 数据字节，之后 \overline{CS} 拉高，该次通信结束，见图 6、图 7。当完成 1 byte 数据字节传输后，上位机可保持 \overline{CS} 继续拉低并发送 SCLK，芯片可继续与上位机进行多字节读写操作，之后传输的数据字节所对应的地址字节会自动递增，见图 8。当地址字节递增至 7Fh / FFh 后，会自动循环回至 00h / 80h。未在表 5 中定义的寄存器所读出的数据为 FFh；向只读寄存器中写入的数据不会改变寄存器的值。

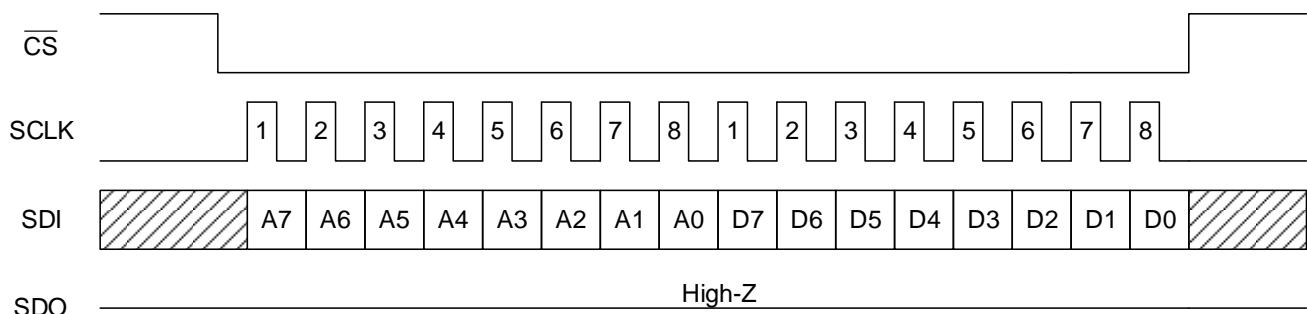


图 6 单字节写操作示意图

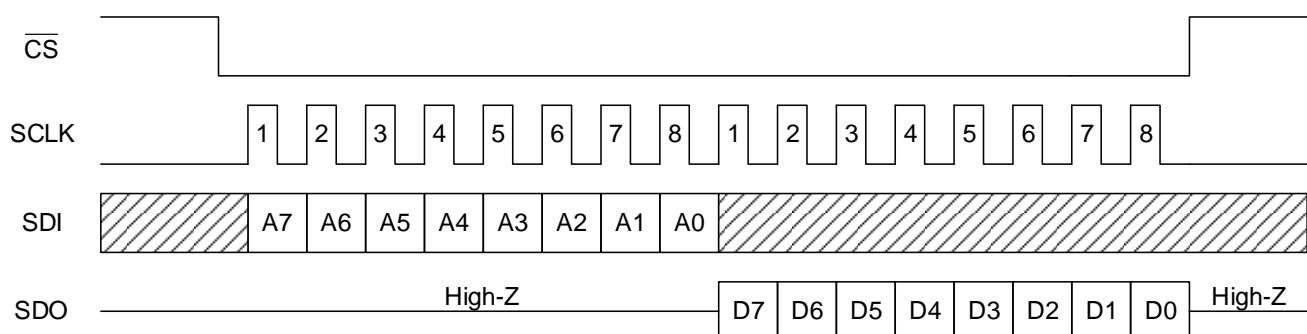


图 7 单字节读操作示意图

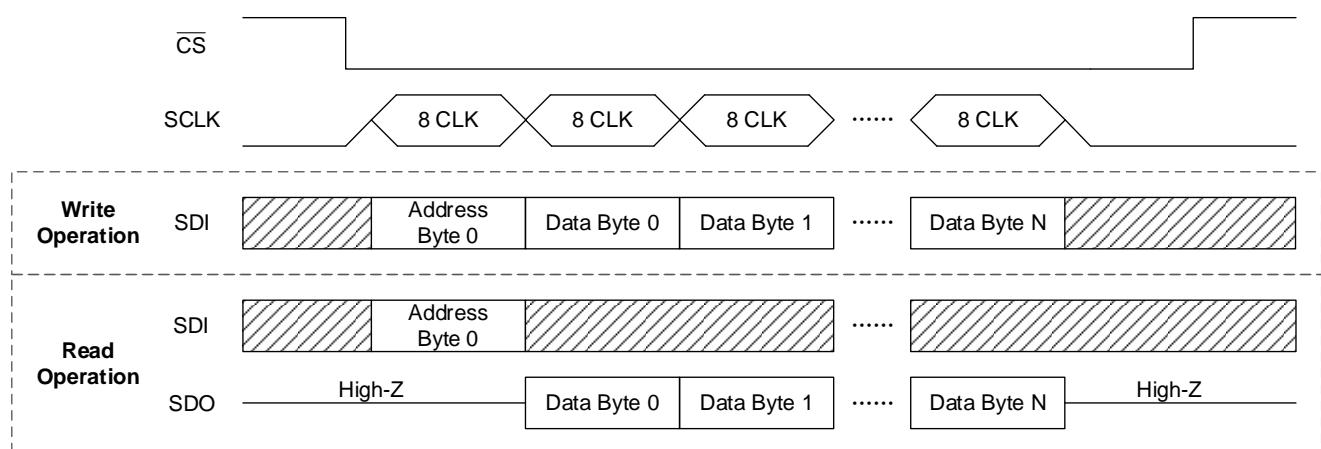


图 8 多字节读写操作示意图

7.3 寄存器说明

表 5 给出了 GXC400 内部寄存器的读写地址、上电初始值。GXC400 内部的所有寄存器位宽均为 8bits。

表 5 GXC400 内部寄存器列表

Register Name	Read Address	Write Address	POR Value	Type
Configuration	00h	80h	00h	R / W
RTD MSB	01h	/	00h	R
RTD LSB	02h	/	00h	R
High Fault Threshold MSB	03h	83h	FFh	R / W
High Fault Threshold LSB	04h	84h	FFh	R / W
Low Fault Threshold MSB	05h	85h	00h	R / W
Low Fault Threshold LSB	06h	86h	00h	R / W
Fault Status	07h	/	00h	R

7.3.1 Configuration 寄存器

表 6 Configuration 寄存器位说明

Bit	Bit Name	Description	POR Value
D7	V_{BIAS}	0=关断 BIAS 引脚 V_{BIAS} 电压偏置； 1=使能 BIAS 引脚 V_{BIAS} 电压偏置；	0
D6	Conversion Mode	0=芯片进入关断模式，ADC 停止转换； 1=芯片进入连续转换模式，ADC 正常转换；	0
D5	1-Shot	1=在 D7=1、D6=0 时，可开启单次转换； 该位可自动复位为 0；	0
D4	3-Wire	0=芯片按 2 / 4 线 RTD 连接方式进行转换； 1=芯片按 3 线 RTD 连接方式进行转换；	0
D3:D2	Fault Detection Control	详见表 2；	00
D1	Fault Status Clear	1= Fault Status 寄存器内的 D7:D2 位、RTD LSB 寄存器的 D0 位复位为 0；该位可自动复位为 0；	0
D0	50/60Hz Filter Select	0=芯片对 60Hz 及其高次谐波进行抑制； 0=芯片对 50Hz 及其高次谐波进行抑制；	0

表中各个位的具体使用细节详见 7.1 节。

7.3.2 RTD寄存器、Fault Threshold寄存器

表 7 RTD 寄存器、Fault Threshold 寄存器位说明

	RTD MSB Register (01h)								RTD LSB Register (02h)							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Bit	R14	R13	R12	R11	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	Fault
	High Fault Threshold MSB Register (04h)								High Fault Threshold LSB Register (04h)							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Bit	H14	H13	H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1	H0	/
	Low Fault Threshold MSB Register (05h)								Low Fault Threshold LSB Register (06h)							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Bit	L14	L13	L12	L11	L10	L9	L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	/

GXC400 的 RTD 寄存器、High Fault Threshold 寄存器、Low Fault Threshold 寄存器具有同样的数据格式。

High Fault Threshold 寄存器的上电初始值为 FFFFh, Low Fault Threshold 寄存器的上电初始值为 0000h。

7.3.3 Fault Status寄存器

表 8 Fault Status 寄存器位说明

Bit	Bit Name	Description of Bit = 1	POR Value
D7	RTD High Threshold	RTD 电阻测量值高于 High Fault Threshold 寄存器中的值；	0
D6	RTD Low Threshold	RTD 电阻测量值低于 Low Fault Threshold 寄存器中的值；	0
D5	REFIN- > 0.85 * V _{BIAS}	详见 7.1.5 节；	0
D4	REFIN- < 0.85 * V _{BIAS} (FORCE- Open)		0
D3	RTDIN- < 0.85 * V _{BIAS} (FORCE- Open)	详见 7.1.5 节；	0
D2	Overvoltage/ Undervoltage Fault		0
D1:D0	/	/	00

8 具体应用

注 意

以下内容为中科银河芯推荐的 GXC400 在实际应用中的注意事项，中科银河芯对其准确性或完整性不做任何承诺。客户在参照以下内容使用 GXC400 时，应根据自身的使用需求和应用场景，提前评估采用的相关组件是否合乎目标用途，测试并验证所搭建系统功能的正确性，以避免造成损失。

在使用 GXC400 时，推荐在 VDD 和 DVDD 引脚挂载 $0.1\mu\text{F}$ 的去耦电容以提升测量结果的稳定性。

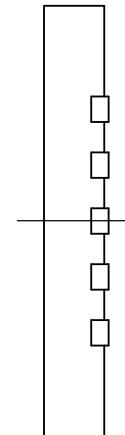
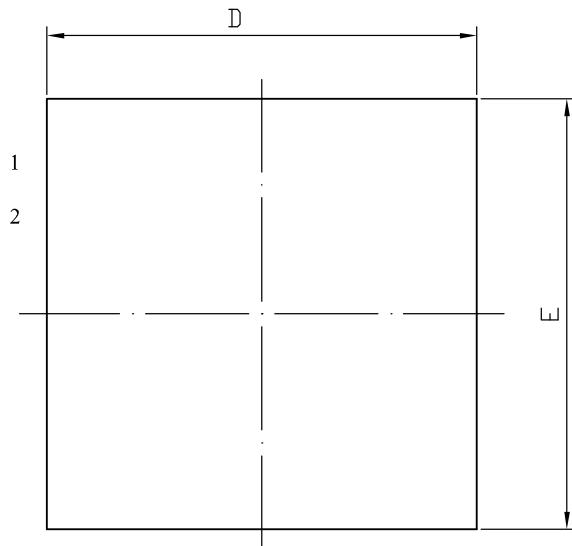
GXC400 最终的测量精度取决于基准电阻 R_{REF} 的精度和温漂。因此若对测量的精度有较高要求，请务必选取符合相应精度要求的基准电阻。

为进一步对噪声进行抑制，在对 RTD 测量时推荐在 RTD 两侧并联滤波电容 C_l 。对于 PT100 而言， C_l 推荐使用 100nF ；对于 PT1000 而言， C_l 推荐使用 10nF 。若选用其他类型的 RTD 时，对 C_l 值的选取请务必考虑 RC 网络的建立时间。

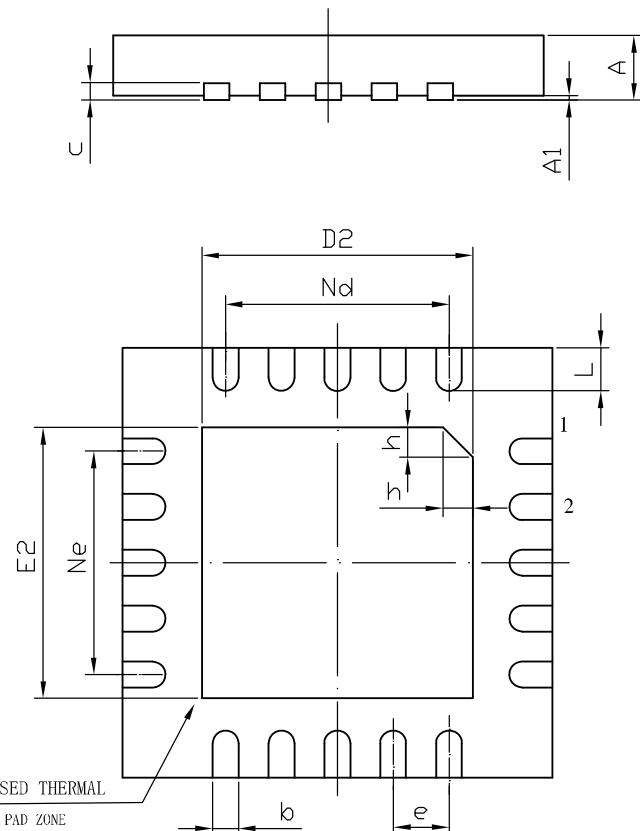
对于 3 / 4 线连接方式的 RTD 测量，应注意单根导线的线电阻不应超过 50ohm ，且导线之间应注意匹配，以达到最优的测量精度。

9 封装信息

9.1 QFN-20封装信息



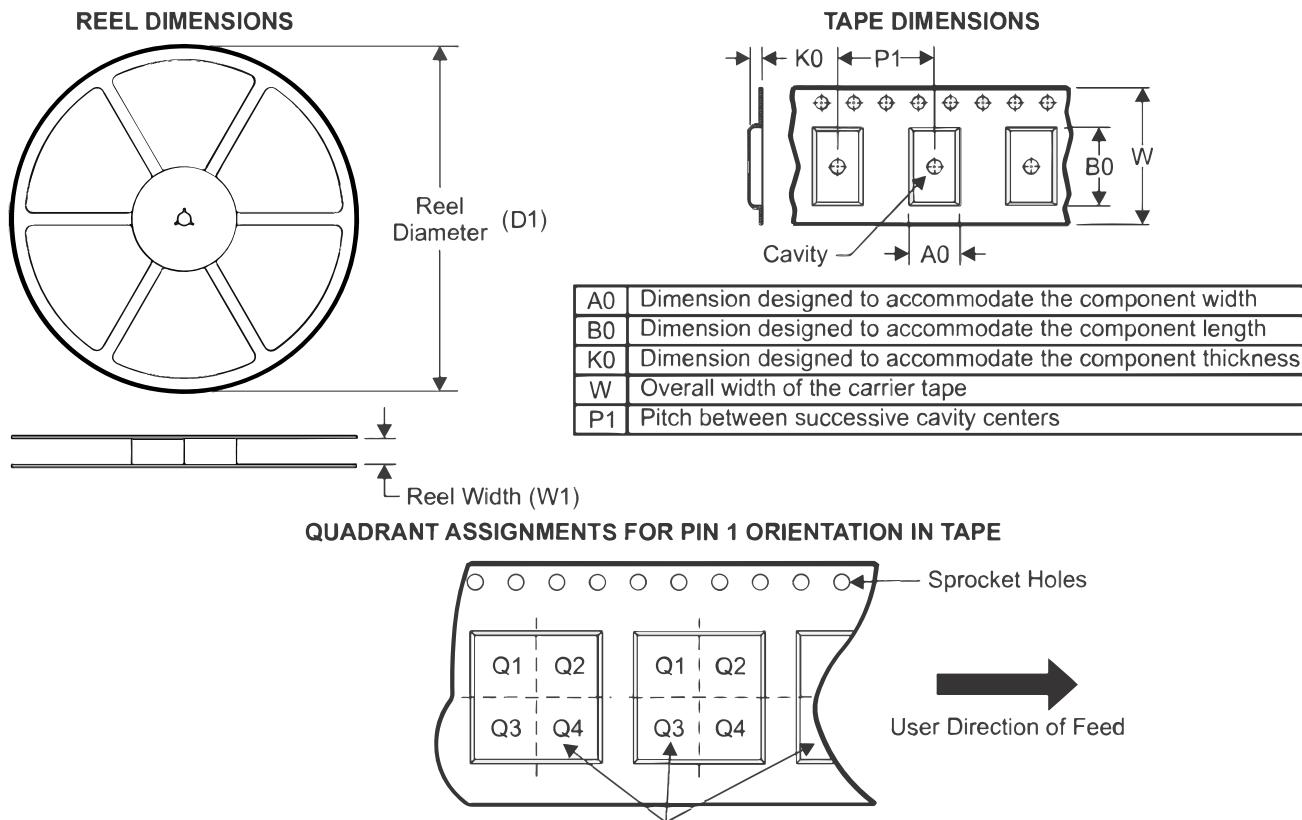
TOP VIEW



BOTTOM VIEW

SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	0.70	0.75	0.80
A1	—	0.02	0.05
b	0.25	0.30	0.35
c	0.18	0.20	0.25
D	4.90	5.00	5.10
D2	3.05	3.15	3.25
e	0.65BSC		
Ne	2.60BSC		
Nd	2.60BSC		
E	4.90	5.00	5.10
E2	3.05	3.15	3.25
L	0.45	0.55	0.65
h	0.30	0.35	0.40
I/F载体尺寸 (Mil)	138X138		

9.2 卷盘与载带信息



封装类型	D1 (mm)	W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 象限
QFN-20	329	12.4	5.30	5.30	1.10	8.00	12.00	Q1

10 订购信息

订购编号	芯片型号	封装形式	标准包装数量	备注
GXC400Q-T&R	GXC400Q	QFN-20	4000	卷带包装 (Tape & Reel)