

Joseph Wu

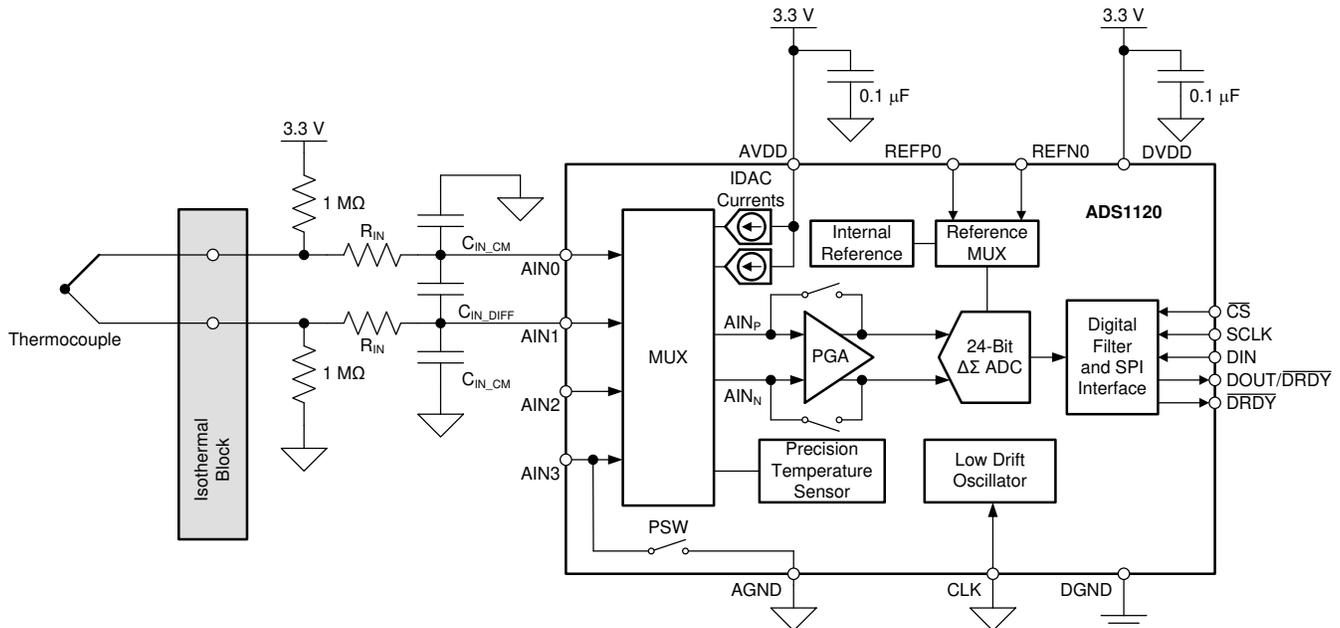
输入测量	ADC 输入	数字输出 ADS1120
T = -270°C, K 型	$A_{INP} - A_{IN_N} = -6.5\text{mV}$	F300 <sub>H</sub> 或 -3328 <sub>10</sub>
T = 1370°C, K 型	$A_{INP} - A_{IN_N} = 55\text{mV}$	6E00C <sub>H</sub> 或 28160 <sub>10</sub>

## 电源

AVDD、DVDD	AVSS、DGND
3.3V	0V

## 设计说明

该设计指南介绍了如何使用 [ADS1120](#) 实现单个热电偶的温度测量。随后，使用 [ADS1120](#) 器件单独测量用于冷端补偿 (CJC) 的热电偶冷端的温度。此设计的计算针对温度测量范围为 -270°C 至 1370°C 的单个 K 型热电偶进行。此电路可用于 PLC 的 [模拟输入模块](#)、[实验室仪表](#) 和 [工厂自动化](#) 等应用。更多有关使用各种 RTD 接线配置进行精确 ADC 测量的信息，请参阅 [热电偶测量基本指南](#)。



## 设计注意事项

- 模拟和数字电源均使用电源去耦电容。必须使用连接到 GND 且至少为 0.1 μF 的电容器对 AVDD 和 DVDD 进行去耦。有关电源建议的详细信息，请参阅 [ADS1120 具有集成 PGA 和基准的 4 通道、2kSPS、低功耗 16 位 ADC](#) 数据表。
- 如果可能，使用 C0G (NPO) 陶瓷电容器进行输入滤波。这些电容器中使用的电介质在电压、频率和温度变化时提供最稳定的电气性能。由于尺寸原因，X7R 电容器是次优选择。
- 需要冷端补偿才能准确测量热电偶温度。

4. K 型热电偶具有大输入范围和热电偶电压。其他热电偶具有不同的灵敏度和误差容限。有关使用其他热电偶进行测量及其使用指南，请参阅[热电偶测量基本指南](#)。
5. 用于根据热电电压确定热电偶温度的转换表和多项式方程可在 [NIST 温标数据库](#)中找到。此外，使用[模拟工程师计算器](#)可确定一些热电偶转换。

## 元件选型

1. 确定热电偶的工作范围。

如果温度测量范围为  $-270^{\circ}\text{C}$  至  $1370^{\circ}\text{C}$ ，则 K 型热电偶的范围大约为  $-6.5\text{mV}$  至  $+55\text{mV}$ 。该范围用于在考虑 ADC 满标量程的情况下更最大限度地提高测量的分辨率。

2. 确定 ADC 的增益和输入范围。

根据最大热电偶输出电压和基准电压，计算可编程增益放大器 (PGA) 在不超出范围的情况下允许的最大增益。然后，确保热电偶偏置接近  $1/2 V_{\text{S}}$ ，以便输入信号处于 PGA 的共模输入范围内。

对于 ADS1120 器件，PGA 可以将输入信号按 2 的倍数放大，增益范围从 1 到 128。在输入范围为  $-6.5\text{mV}$  至  $+55\text{mV}$  的情况下，使用最大增益 32，可以在不超出 PGA 范围的情况下，利用内部基准电压 2.048V。

$$\% \text{ of usable ADC range} = 32 \times [55\text{mV} - (-6.5\text{mV})] \div [2.048\text{V} - (-2.048\text{V})] \times 100\% = 48.0\%$$

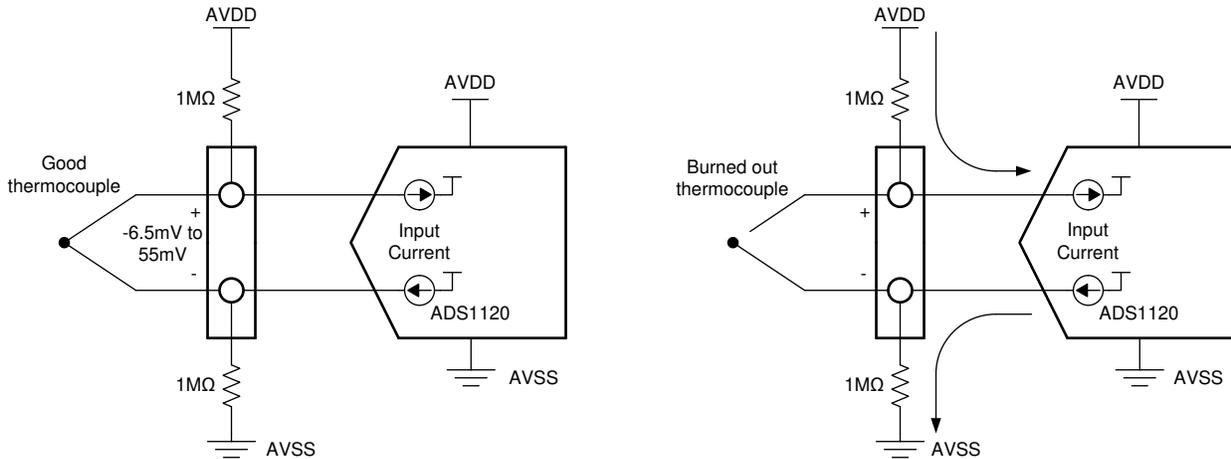
$$\text{Number of ADC codes in measurement range} = 0.48 \times 2^{16} = 31488$$

在  $-270^{\circ}\text{C}$  至  $1370^{\circ}\text{C}$  的热电偶温度范围内，31488 代码用于表示  $1640^{\circ}\text{C}$  范围。这相当于每个 ADC 代码的约  $0.052^{\circ}\text{C}$ 。

3. 设置电阻器偏置以确立输入直流电平和烧毁检测。

同等偏置电阻器从热电偶的任一端连接到 AVSS 和 AVDD。在正常运行中，电阻器将热电偶的直流偏置点设置为接近  $1/2 V_{\text{S}}$ 。如果热电偶烧毁并变成开路，则电阻器会将热电偶引线拉到任一电源。这些电阻器设置为高位（通常为  $500\text{k}\Omega$  至  $10\text{M}\Omega$ ），以便减少流经热电偶的偏置电流。与热电偶引线电阻发生反应的电阻器偏置电流会导致测量误差。但是，电阻器也必须足够低，以便提供足够的偏置电流，从而克服来自电阻器的任何输入电流。

在该设计中，偏置电阻器选择为  $1\text{M}\Omega$ 。该值将电阻偏置电流设置为低至  $1.65\mu\text{A}$ （假设这些电阻在 3.3V 电源的中心对热电偶进行偏置）。但是，在热电偶烧毁的情况下， $1\text{M}\Omega$  提供的电流远足以将 ADC 输入与 ADC 的任何输入电流分开。



对于良好的热电偶，热电偶电压的范围为  $-6.5\text{mV}$  至  $55\text{mV}$ 。VDD 电源的其余  $3.3\text{V}$  在偏置电阻器之间均匀下降。使用  $1\text{M}\Omega$  偏置电阻器时，热电偶电压的直流工作点接近  $1/2 V_s$  (即  $1.65\text{V}$ )。

在热电偶烧毁的情况下， $1\text{M}\Omega$  的偏置电阻会克服输入电流，使输入电压分开，从而使 ADC 读取到满量程输入读数。根据典型特性曲线，绝对输入电流为  $250\text{nA}$ ，具体取决于温度、输入电压和输入通道。假设每个输入均具有此输入电流，那么该输入电流会在两个偏置电阻上产生相同的电压降：

$$\text{ADC input voltage} = 3.3\text{V} - (1\text{M}\Omega \times 250\text{nA}) - (1\text{M}\Omega \times 250\text{nA}) = 2.8\text{V}$$

如果热电偶烧毁，ADC 输入电压为  $2.8\text{V}$ ，远远大于 ADC 的正满量程读数。ADC 报告的读数为  $7\text{FFFh}$ ，表示存在烧毁情况。请注意，这假设了最大输入电流。在工作温度较低或使用不同的输入时，ADC 输入可以更大。

#### 4. 选择 ADC 输入和基准输入的差分 and 共模输入滤波值。

如果存在输入滤波，则输入电流会对任何串联滤波器电阻做出反应，从而产生误差。因此，输入串联电阻保持较低值，以便减少任何可能的误差。

此设计包含差分 and 共模输入 RC 滤波。差分输入滤波的带宽设置为至少比 ADC 的数据速率高 10 倍。共模电容器选择为差分电容器值的  $1/10$ 。由于电容器的选择，共模输入滤波的带宽比差分输入滤波带宽大约高 20 倍。

在进行输入滤波的情况下，差分信号以低于共模信号的频率衰减，共模信号会被器件的 PGA 显著抑制。共模电容器的失配会导致非对称噪声衰减，表现为差分输入噪声。差分信号的带宽较低，从而可以降低输入共模电容器失配的影响。ADC 输入和基准输入的输入滤波是针对相同的带宽进行设计的。

在该设计中，数据速率选择为  $20\text{SPS}$ 。对于 ADC 输入滤波，可以通过以下公式近似计算差分滤波和共模滤波的带宽频率：

$$f_{\text{IN\_DIFF}} = 1 \div (2 \times \pi \times C_{\text{IN\_DIFF}} \times 2 \times R_{\text{IN}})$$

$$f_{\text{IN\_CM}} = 1 \div (2 \times \pi \times C_{\text{IN\_CM}} \times R_{\text{IN}})$$

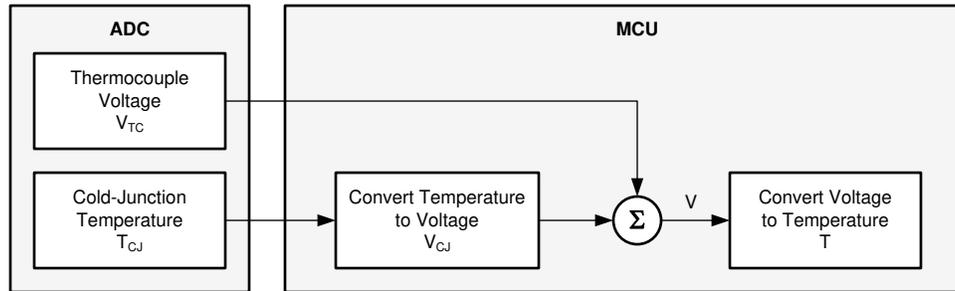
对于 ADC 输入滤波， $R_{\text{IN}} = 800\Omega$ ， $C_{\text{IN\_DIFF}} = 0.47\mu\text{F}$ ， $C_{\text{IN\_CM}} = 0.047\mu\text{F}$ 。这将差分滤波器带宽设置为  $330\text{Hz}$ ，将共模滤波器带宽设置为  $4.2\text{kHz}$ 。

5. 使用冷端补偿根据冷端温度计算实际热电偶电压。

要从热电偶获得精确测量结果，必须执行冷端补偿以获得准确的温度测量值。必须精确测量热电偶引线所在的冷端。不能简单地将冷端的温度与从热电偶电压计算的温度相加。要准确确定热电偶温度，正确的方法是：

- a. 将冷端温度 ( $T_{CJ}$ ) 转换为电压 ( $V_{CJ}$ )
- b. 将冷端电压与测量到的热电偶电压相加 ( $V_{CJ} + V_{TC}$ )
- c. 将冷端电压与热电偶电压之和转换为热电偶温度 ( $T_{TC}$ )

以下流程图显示了根据 ADC 测量值确定热电偶实际温度的转换方法。



用于根据热电电压确定热电偶温度的转换表和多项式方程可在 NIST 网站 ( 网址为 <http://srdata.nist.gov/its90/menu/menu.html> ) 上找到。

由于 ADS1120 器件具有精确的内部温度传感器，因此可用于测量。内部温度传感器在 0°C 至 75°C 范围内具有典型的 0.25°C 精度。此精度非常适合冷端测量。但是，该器件需要与热电偶冷端的连接点之间有良好的热接触。冷端测量中的任何误差都会导致温度测量结果误差。请注意，ADS1120 器件未指定温度传感器的最大误差。

有关热电偶和冷端补偿测量的更多信息，请参阅 [热电偶测量基本指南](#)。

6. 可以通过其他方法进行冷端补偿。

因为 ADS1120 器件具有额外的模拟输入通道、内部电压基准和外部基准输入，所以使用其他冷端测量方法。

例如，当热电偶使用 AIN0 和 AIN1 时，使用 AIN2 和 AIN3 来测量 RTD。这将需要一个基准电阻器并连接到外部基准输入。ADS1120 器件具有电流 IDAC 源，可用于激励 RTD 和基准电阻。或者，也可以使用 AIN2 和 AIN3 来测量其他温度传感器，例如 LMT70。LMT70 精密模拟温度传感器根据器件的环境温度输出电压。

有关 RTD 的详细信息，请参阅 [RTD 测量基本指南](#)。有关 LMT70 的详细信息，请参阅 [LMT70](#)、[LMT70A ±0.05°C 精密模拟温度传感器](#)、[RTD 和精密 NTC 热敏电阻 IC](#) 数据表。

7. 提供了额外的输入通道和其他 ADS1120 功能以用于其他测量。

电路原理图是在未使用 AIN2 和 AIN3 的情况下绘制，可用于其他测量。

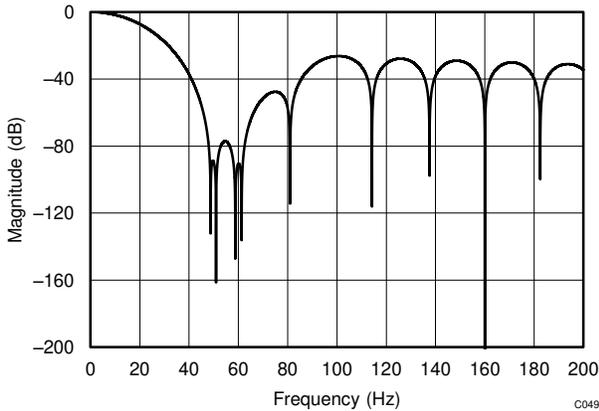
如果器件不能置于冷端温度，则必须进行其他冷端测量。如上一节所述，如果不使用内部温度传感器，则 AIN2 和 AIN3 可以与外部基准结合使用来进行 RTD 测量。在 ADS1120 器件中启用 IDAC 电流源以激励 RTD 和基准电阻。然而，在本设计中，当启用内部温度传感器并禁用 IDAC 时，会设置配置寄存器和伪代码。

此外，AIN3 在内部连接到低侧电源开关 (PSW)。在电阻式电桥应用中使用低侧 PSW，以便在不使用电桥时断开电桥，从而降低电流消耗。对于该电路，在本设计中未使用 PSW 并已禁用。

ADS1120 器件有一组烧毁电流源 (BCS)，可用于在热电偶烧毁时启用 ADC 输入端的电流源，以便分开输入电压。在此设计中，偏置电阻具有相同的功能且禁用 BCS。但如果热电偶是通过电压偏置，而没有使用偏置电阻，则烧毁检测会需要 BCS。

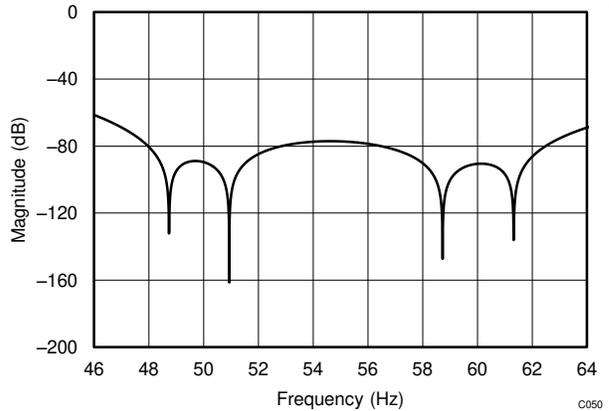
ADS1120 器件使用有限脉冲响应数字滤波器，该滤波器可针对不同的数据速率和不同的频率响应进行配置。当数据速率为 5SPS 和 20SPS 时，滤波器可配置为抑制 50Hz 或 60Hz 线路频率或同时抑制这两个频率。配置寄存器的两个位 (50/60[1:0]) 用于对滤波器进行相应配置。在 20SPS 时，所示为数字滤波器的频率响应。此设计中启用了 50/60[1:0] 位。

有关 ADS1120 器件中功能的更多信息，请参阅 [ADS1120 具有集成 PGA 和基准的 4 通道、2kSPS、低功耗 16 位 ADC 数据表](#)。



同时抑制 50Hz 和 60Hz, 50/60[1:0] = 01

滤波器响应 (DR = 20SPS)



同时抑制 50Hz 和 60Hz, 50/60[1:0] = 01

滤波器响应详细视图 (DR = 20SPS)

### 测量转换

根据 ADC 的满标量程范围设置，热电偶电压的转换相对简单。

测量值 1 (热电偶) :

$$\text{OutputCode1} = [2^{15} \times (V_{\text{AIN0}} - V_{\text{AIN1}}) \div (V_{\text{REF}} \div \text{Gain})]$$

$$\text{Thermocouple Voltage} = V_{\text{AIN0}} - V_{\text{AIN1}} = [\text{OutputCode1} \times (2.048\text{V} \div 32) \div (2^{15})]$$

如果使用内部温度传感器，则内部温度传感器的转换需要进行一些数据操作。来自 ADC 的温度数据表示为 14 位结果，在 16 位转换结果中进行左对齐。数据从最高有效字节 (MSB) 开始输出。当读取这两个数据字节，前 14 位用来指定温度测量结果。一个 14 位 LSB 等于 0.03125°C，负数用二进制补码格式表示。

测量值 2 ( 内部温度传感器 ) :

$$\text{OutputCode2} = [(\text{Temperature}) \div (0.03125^{\circ}\text{C})]$$

$$\text{Temperature} = [(\text{OutputCode2}) \times (0.03125^{\circ}\text{C})]$$

OutputCode2 是 ADC 的两个字节输出数据的前 14 位。

### 寄存器设置

测量值 1 ( 热电偶 ) :

#### 测量 1, 配置寄存器 0

位	字段	设置	说明
7:4	MUX[3:0]	0000	对于热电偶测量, AIN <sub>P</sub> 为 AIN <sub>0</sub> , AIN <sub>N</sub> 为 AIN <sub>1</sub>
3:1	GAIN[2:0]	101	增益 = 32
0	PGA_BYPASS	0	PGA 启用

#### 测量 1, 配置寄存器 1

位	字段	设置	说明
7:5	DR[2:0]	000	数据速率 = 20SPS
4:3	MODE[1:0]	00	正常模式
2	CM	0	单次转换模式
1	TS	0	温度传感器被禁用
0	BCS	0	烧毁电流源关闭

#### 测量 1, 配置寄存器 2

位	字段	设置	说明
7:6	VREF[2:0]	00	选择内部 2.048V 基准
5:4	50/60[1:0]	01	启用同步 50Hz 和 60Hz 抑制
3	PSW	0	开关始终打开 ( 用于电桥应用 )
2:0	IDAC[2:0]	000	IDAC 电流源关闭

#### 测量 1, 配置寄存器 3

位	字段	设置	说明
7:5	IMUX1[2:0]	000	禁用 IDAC1
4:2	IMUX2[2:0]	000	禁用 IDAC2
1	DRDYM	0	仅专用 DRDY 引脚用于指示数据何时就绪
0	保留	0	始终写入 0

测量值 2 ( 内部温度传感器 ) :

### 测量 2, 配置寄存器 1

位	字段	设置	说明
7:5	DR[2:0]	000	数据速率 = 20SPS
4:3	MODE[1:0]	00	正常模式
2	CM	0	单次转换模式
1	TS	1	启用温度传感器, 绕过 PGA 并将增益设置为 1
0	BCS	0	烧毁电流源关闭

### 伪代码示例

下面显示了伪代码序列以及设置器件和微控制器所需的步骤, 该微控制器与 ADC 相连, 以便在单冲转换模式下从 ADS1120 获取后续读数:

```
Configure microcontroller for SPI mode 1 (CPOL = 0, CPHA = 1)
Set CS low;
Send 43h; //WREG starting at register 00h, four bytes
0Ah 00h 10h 00h; // Register 0: AINP=AIN0, AINN=AIN1, PGA=32, PGA enabled
// Register 1: DR=20SPS, Normal mode, Single shot conversion, Temp sensor and BCS disabled
// Register 2: Internal 2.048V ref, 50Hz/60Hz rejection enabled, PSW and IDACs disabled
// Register 3: IDAC disabled, Only /DRDY pin indicates when data are ready
Set CS high;
Loop
{
Set CS low;
Send 44h; //WREG starting at register 01h, one byte
00h; // Register 1: Data Rate=20SPS, Normal mode, Single shot conversion,
// Temp sensor and BCS disabled
Set CS high;
Set CS low;
Send 08h; // Send START/SYNC command to start conversion
Set CS high;
Wait 51ms for /DRDY to go low; // At 20SPS data rate, nominally 50ms ±2% accuracy
Set CS low;
Send 10h; // RDATA command to read data for thermocouple
00h 00h; // Clock out 16 bits of data
Set CS high;
Set CS low;
Send 44h; //WREG starting at register 01h, one byte
02h; // Register 1: Enable temperature sensor
Set CS high;
Set CS low;
Send 08h; // Send START/SYNC command to start conversion
Set CS high;
Wait 51ms for /DRDY to go low; // At 20SPS data rate, nominally 50ms ±2% accuracy
Set CS low;
Send 10h; // RDATA command to read data for thermocouple
00h 00h; // Clock out 16 bits of data
Set CS high;
Convert thermocouple ADC data to voltage; // Cold junction compensation to determine
// thermocouple temperature
Convert ADC temp sensor data to temperature;
Convert ADC temp sensor data to thermoelectric voltage; // By lookup table or calculation
Add thermocouple voltage to temperature thermoelectric voltage;
Convert resulting voltage for thermocouple to temperature; // By lookup table or calculation
}
```

### 设计中采用的器件

器件	主要特性	链路	其他可能的器件
ADS1120	ADS1120 具有集成 PGA 和基准的 4 通道、2kSPS、低功耗、16 位 ADC	具有 PGA、VREF、2 个 IDAC 和 SPI 接口的 16 位、2kSPS、4 通道、低功耗、小型 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	精密 ADC

## 其他资源

- 德州仪器 (TI), [ADS1120 评估模块](#) 软件工具
- 德州仪器 (TI), [ADS1x20EVM](#) 用户指南
- 德州仪器 (TI), [ADS1x20 示例代码](#), [SBAC227](#) 工具
- 德州仪器 (TI), [热电偶测量基本指南](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [RTD 测量基本指南](#) 应用手册

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司