

RTD 溫度感測器 快速選型要領

本文介紹了 RTD 電阻溫度探測器的特性及其與其他溫度感測器的區別，在此基礎上總結了 RTD 應用選型時需要重點考慮的一些要素，如材料、電阻值與溫度關係、工作溫度範圍與精度、RTD 接線配置等，並展示了 RTD 在比率測量上的設計實例，最後介紹了如何透過 Digi-Key 網站上的參數篩選功能，快速進行 RTD 和相關配套零組件選型的方法。

■作者：Alan Yang

RTD (電阻溫度探測器) 是一種感測器，其電阻值會隨著溫度的升高而變大，隨著溫度的降低而減小。RTD 元件以其精確性和可重複性而著稱，且擁有 -200°C 至 850°C 非常寬的工作溫度範圍，因此在工業自動化、儀器儀表、煤層氣和醫療設備等多種不同的終端應用中起著重要作用。

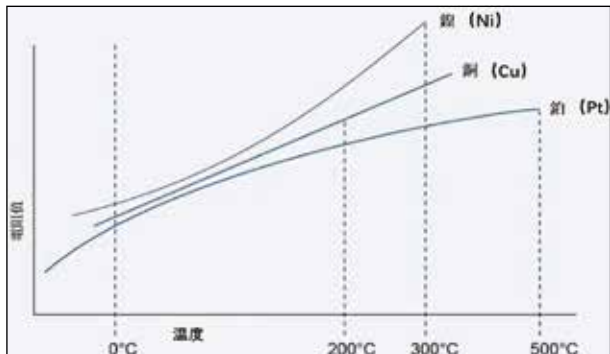
熱敏電阻 (NTC/PTC) 與 RTD 相似，電阻值隨著溫度變化而變化。熱敏電阻通常由聚合物或陶瓷材料製成。而 RTD 往往用純金屬製成。大多數情況下，熱敏電阻比 RTD 便宜，但精度也較差。

那麼，RTD 溫度感測器在選型和應用時，有哪些注意事項呢？本文將做一個歸納。

材料

不是所有的金屬都適合做成 RTD，符合這一特性的材料需要滿足如下幾個要求：

圖 1：不同金屬，電阻值與溫度關係 圖片來源：TE (TE RTD)



1. 該金屬的電阻值與溫度呈線性關係；
2. 該金屬對溫度的變化比較敏感，即單位溫度變化引起的電阻值變化 (溫度係數) 比較大；
3. 該金屬能夠抵抗溫度變化造成的疲勞，具有好的耐久性；

滿足這些要求的金屬材料不多，常見的 RTD 材料有：鉑 (Pt)、鎳 (Ni) 和銅 (Cu) 等。

電阻值與溫度的關係

一般來說，RTD 電阻值與溫度成線性關係。這裡需要關注兩個參數： 0°C 時電阻以及溫度係數 α 。

■ 0°C 時電阻

0°C 時電阻，即 0°C 時 RTD 對應的電阻值。結合材料與 0°C 時電阻，可分為 Pt100、Pt200、Pt500 和 Pt1000 等。比如：Pt100，表示該感測器在 0°C 下的電阻值為 $100\ \Omega$ ；而 Pt1000，則表示該感測器在 0°C 下的電阻值為 $1000\ \Omega$ 。

不同類型 RTD 對應溫度範圍，如下表所示：

RTD 類型	材料	溫度範圍
Pt100	鉑 (Pt)	-200°C 到 $+850^{\circ}\text{C}$
Pt1000	(數值代表 0°C 時電阻)	
Pt200	鉑 (Pt)	-200°C 到 $+850^{\circ}\text{C}$
Pt500	(數值代表 0°C 時電阻)	
Cu10	銅 (Cu)	-100°C 到 $+260^{\circ}\text{C}$
Cu100	(數值代表 0°C 時電阻)	
Ni120	鎳 (Ni)	-80°C 到 $+260^{\circ}\text{C}$
	(數值代表 0°C 時電阻)	

(資料來源：ADI)

對於 RTD 電阻值的測量，通常的做法是給於 RTD 一個恆定的電流源，然後使用 ADC 來檢測兩端電壓，進而得出該 RTD 電阻值。也就是說，相同電流作用下，比起使用 Pt100，使用 Pt1000 靈敏度將可以提高十倍，但同時 ADC 檢測到的電壓也會提高 10 倍。具體怎麼選，我們還需要結合 ADC 等其他元件綜合考量。

溫度係數 α

RTD 熱電阻在不同溫度下的電阻值可以用公式： $R = R_0(1 + At)$ 來近似計算。其中：

1. R_0 表示 RTD 在 0°C 下的電阻值；
2. A 稱為溫度係數，表示單位溫度下電阻的變化值；
3. t 表示測量溫度，單位為 $^\circ\text{C}$ ；

溫度係數越大，代表感測器對溫度越敏感。

對於 Pt 材料的 RTD，要達到更精確的電阻溫度擬合，可以參考 DIN EN 60751 公式：

$$t \leq 0^\circ\text{C}, R_{RTD(t)} = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})^3] \quad (1)$$

$$t \geq 0^\circ\text{C}, R_{RTD(t)} = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (2)$$

圖 2：精度對應溫度範圍（資料來源：TE 數據手冊）

Tolerances:		
Class F 0.1 (T = AA):	$\pm (0.10 + 0.0017 \cdot T/^\circ\text{C})^\circ\text{C}$	(-30...+200 $^\circ\text{C}$)
Class F 0.15 (A)	$\pm (0.15 + 0.002 \cdot T/^\circ\text{C})^\circ\text{C}$	(-30...+300 $^\circ\text{C}$)
Class F 0.3 (B):	$\pm (0.30 + 0.005 \cdot T/^\circ\text{C})^\circ\text{C}$	(-50...+600 $^\circ\text{C}$)
Class F 0.6 (C):	$\pm (0.60 + 0.06 \cdot T/^\circ\text{C})^\circ\text{C}$	(-50...+600 $^\circ\text{C}$)

二線制	三線制	四線制
接線電阻對測量有影響	消除接線電阻影響	消除接線電阻影響
適用於精度要求不高，接線較短，感測器電阻值比較高的情況，如 Pt1000	精度比兩線制有很大的提高，需要三個接線端子	介面數變多，精度進一步提高，需要四個接線端子

圖片來源：ADI

當 $R_0 = 100 \Omega$ 時：

$$A = 3.9083 \times 10^{-3}$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7}$$

$$C = -4.183 \times 10^{-12}$$

工作溫度範圍與精度

一般原廠產品出廠，都會有校準溫度（通常是 0°C ），隨著溫度的變化，離校準溫度越遠，公差變化越大。而精度是在某一溫度範圍內可以達到。我們在設計時，需要把這點考慮進去。

我們以 TE NB-PTCO-011 為例來說明：資料手冊中給出，0.15% 是在溫度範圍 -30°C 到 300°C 內實現的。

RTD 接線配置

市場上有三種不同的 RTD 佈線配置（二線制、三線制、四線制）。

對於三線制和四線制，可以有效消除接線上電阻對於測量的影響。其原理是把測量迴路和供電迴路分開，測量迴路中接線電流的小到忽略不計，進

而有效消除接線上電阻對於測量的影響。

RTD 應用實例：比率測量

對於 RTD，比率配置是一種合適且經濟高效率的解決方案。我們使用四線制 RTD 做為一個例子進行說明。

下圖紅色箭頭方向是激勵源的電流路徑，分別流經感測器電阻和一個精密的參考電阻。然後分別測量感測器電阻和參考電阻兩端的電壓。這麼做的好處是，激勵源不需要很精確，給予感測器電阻和參考電阻一個相同的電流，然後比較這兩電阻的電壓值。

直接選用支援比率測量的 ADC，比如 ADI AD7124，是一個 Σ - Δ ADC (Sigma-Delta)，帶有可程式設定的增益放大器、激勵源，可以大大簡化 RTD 設計。

使用 Σ - Δ ADC 的另一個好處是，由於 Σ - Δ ADC 對類比輸入進行過取樣，使得濾波器的設計大

圖 3：四線制 RTD 比率測量 (圖片來源：ADI)

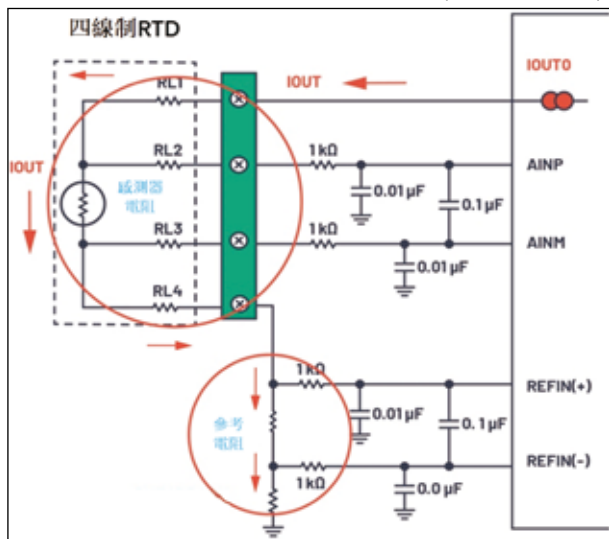


圖 4：Digi-Key 的 RTD 參數選項

0°C 時電阻	0°C 時電阻	RTD 材料	工作溫度	精度	溫度係數
10 Ohms	10 Ohms	• 鉑 (Pt)	-200°C ~ 200°C	±0.1%	3750ppm/°C
100 Ohms	100 Ohms	• 鋼	-200°C ~ 300°C	±0.1°C	3850ppm/°C
120 Ohms	120 Ohms	• 鐵	-200°C ~ 400°C	±0.12%	3851ppm/°C
200 Ohms	200 Ohms		-200°C ~ 550°C	±0.15%	4270ppm/°C
500 Ohms	500 Ohms		-200°C ~ 600°C	±0.15°C	4500ppm/°C
1 kOhms	1 kOhms		-200°C ~ 750°C	±0.2%	5000ppm/°C
1.85 kOhms	1.85 kOhms		-196°C ~ 150°C	±0.3%	6000ppm/°C
10 kOhms	10 kOhms		-196°C ~ 400°C	±0.3°C	6178ppm/°C
			-196°C ~ 600°C	±0.4°C	6180ppm/°C
			-196°C ~ 660°C	±0.5%	6370ppm/°C

大簡化，只需簡單的單極 RC 濾波器即可。

國家電網也可能產生 50Hz/60Hz 及其倍數頻率的雜訊干擾。一些 ADC 會自帶濾波器，比如 ADI AD7124 自帶濾波器選項，可以針對 50 Hz/60 Hz 頻率濾波，但該濾波會對 ADC 輸出資料速度產生影響。

RTD 的快速選型

透過 Digi-Key 網站中的產品參數篩選功能，可以快速搜索到我們設計所需的 RTD 及其相關產品。

Digi-Key 電阻溫度檢測器 RTD

Digi-Key 提供了豐富的产品參數選項，包括 RTD 的 0°C 時電阻、材料、溫度係數、工作溫度、精度等。

Digi-Key 溫度感測器專用 ADC

更多溫度感測器相關的 ADC 的選擇，可以



圖 5：Digi-Key 溫度感測器專用 ADC

数据采集 - 模数转换器 (ADC)

結果：16409 158 剩餘




ADI RTD 開發板

EVAL-AD7124-4SDZ	EVAL-AD7124-8SDZ
	
<ul style="list-style-type: none"> ■使用 IC : AD7124-4 ■ 24 位元 ■取樣速率 19.2k 	<ul style="list-style-type: none"> ■使用 IC : AD7124-8 ■ 24 位元 ■取樣速率 19.2k

在 Digi-Key 網站中【資料獲取 — 類比數位轉換器 (ADC)】頁面下的特性欄中選擇“溫度感測器特性”。

這兩塊開發板支援連接主機板 EVAL-SDP-CB1Z，再透過 USB 連接到 PC 電腦，然後就可在 PC 電腦上進行控制以及資料分析。使用開發板可以讓開發者更快上手，進而縮短研發時間。

小結

一個好的 RTD 溫度感測器應用設計，往往需要整體考慮。不僅要留意 RTD 本身的材料、溫度範圍、精度等參數，還要根據測量方法，將周邊元件 (比如 ADC)、接線配置等要素放在一起考慮。Digi-Key 網站的參數篩選功能，可以幫助大家節省選型時間，事半功倍。 

Amphenol 頒發 2021 年度數位化高階服務最佳表現獎肯定 Digi-Key

提供全球最豐富的電子元件品項，且有現貨可立即出貨供應商 Digi-Key Electronics；宣布在 5 月 10 日至 13 日於賭城舉辦的 2022 年 EDS 領袖高峰會中，榮獲 Amphenol 頒發數位化高階服務最佳表現獎的肯定。

Digi-Key 在 2022 年 EDS 領袖高峰會中，榮獲 Amphenol 頒發 2021 年度數位化高階服務最佳表現獎。

「我們想感謝 Amphenol 頒發 2021 年度數位化高階服務最佳表現獎給 Digi-Key。」Digi-Key 全球供應商管理副總裁 David Stein 如此表示。「我們與 Amphenol 已經建立長久的夥伴關係，一同聚焦在客戶服務上，並且專注品質。此獎項正是這些努力的最佳映證。」

「Amphenol 很高興頒發 2021 年度數位化高階服務最佳表現獎給 Digi-Key，藉此肯定其達到同業間最佳的 POS 成長。」Amphenol 經銷業務總監 Annette Tyler 如此表示。「Digi-Key 備有超過 30,000 款 Amphenol 零件編號的現貨，在提供全球客戶 Amphenol 頂尖互連元件、感測器與天線解決方案上表現傑出。」

Amphenol Corporation 是全球最大的設計廠、製造廠與行銷廠商，產品包括電氣、電子與光纖連接器及互連系統、天線、感測器與感測器相關產品、同軸與高速專用纜線。在全球各地的設施進行產品設計、製造與組裝，且在高度成長的領域中以領先者的姿態多元化發展，包括：汽車、寬頻通訊、商業航太、工業、資訊科技、數據通訊、軍事、行動裝置以及行動網路。