機電系統-設備異常溫度偵測最佳解決方案

臣緯實業有限公司 呂志輝 總經理
國立台北科技大學 電腦與通信研究所 碩士

前　言

現今工業的環境中，在工廠生產製程中重要的設備、建築物電力供電高低壓系統、中央空調機房系統、中央熱水機房系統、通信、農業、食品、醫療等重要設備機房，常因施工不當、環境惡劣、疏於保養、超載使用導致設備異常溫度升高，很容易造成設備損壞、跳電或工安事件，進而造成公司、工廠財物及人員的重大損失。基於此，提供一套精確、反應速度快，並具備有顯示、警報、傳輸多功能之設備表面溫度監視偵測系統，確實非常重要，預先警報，防患未然。

本文筆者從事機電系統設計及溫度檢測控制相關業務多年，在繁忙的工作中撥冗編撰，利用本刊些許篇幅提供相關產業先進們，對於機電系統-設備異常溫度偵測技術應用提供參考。主要介紹軟性可撓貼覆式表面溫度偵測器(Flexible Surface Temperature Sensor : FSTS)，針對各種產業類別之應用技術研究及解決方案。

關鍵詞 : 設備異常溫度、感測器、RTD、溫度偵測器

1、設備異常溫度產生之原理

1.1 物體熱之產生原因：

物體熱產生有因材質種類之不同現象，是由於物質間溫度差異所造成之能量傳遞，此能量在熱力學中定義為"熱" (Heat)。茲針對物體之特性介紹其發生原理。

(1) 金屬間之擦動面或表面接觸產生之熱。

金屬間相互接觸或軸承之間滾動所引起之熱，由所接觸的面積及壓力大小、接觸時間及冷卻方式來維持其溫度的平衡。

(2) 線圈在變動磁場下產生之熱

線圈在變動的磁場中或導體在磁場中運動皆可產生應電勢的情形，稱為電磁感應。因磁場變化引起之磁滯損及渦流損失而發生熱之現象，當在流過大電流經過線圈消耗功率，引起線圈發熱甚至燒壞，該原理對於設備如：變壓器、互感器、馬達比較常發生。

(3) 介質燃燒引起之發熱

因燃燒過程中有機物與氧產生化學反應，溫度由低點上升至高點所產生之熱，如：熱水爐。

(4) 輻射熱所產生之熱

設備受到發熱物體或太陽之紅外線熱所引起之過熱現象。

1.2 熱量之轉換：

熱是可被傳遞的能量，在兩系統需有溫度差時方有熱傳遞發生，而傳輸熱量的方法有傳導(Conduction)、對流(Convection)及輻射(Radiation)等三種。當能量以任何形式供給至一物理系統時，該系統會無可避免發生變化的狀態，溫度即是一項指標，他能即時表示該系統當前的狀態。溫度的表示方法有許多種，最常用的有以下表 1 所示，四種系統單位：

表 1 四種溫度系統

名稱	標尺定義	冰點/沸點	符號	溫度標尺間 轉換關係
攝氏 (Celsius)	水銀柱溫度計裡的溫度標示刻度	0°C/水的沸點為 100°C	℃	°C=(5/9)*°F-32
華氏 (Farenheit)	水銀柱溫度計裡的溫度標示刻度	32°F/水的沸點為 212°F	°F	°F=(9/5)*°C+32
蘭氏 (Rankine)	一種絕對溫度的標尺	491.7°R/水的沸點 671.7°R	°R	°R=°F+495.67
凱氏 (Kelvin)	為一種熱力學的溫度單位，各標尺用的度(°)是不適用於凱氏溫度	273.15°K/沸點訂為 373.15°K	°K	°K=°C+273.15

2、設備異常溫度診斷及檢測方法

對於欲診斷之機器設備異常溫度升高部位，並檢測產生之熱，是屬於經常性或短暫性，並慎重分析採用的檢測器元件與測試方法，才是高效率的評估診斷關鍵。機電設備如電動機、電力變壓器、電力電容器、高壓斷路器、互感器、發電機、電力電纜等發熱原因，其溫度檢測要點如表 2 所示。[1]

表 2 電力設備溫度檢測要點

設備名稱	發熱部位(原因)	適合之檢測器	管理溫度
電力斷路開關	接續導體端子 (接觸不良過載)	接觸式、非接觸式	60°C
電力變壓器	過載、油溫	非接觸式、接觸式	60°C
電力電容器	過載、接觸不良、劣化	非接觸式、接觸式	60°C
電動機	軸承(變形、角度、潤滑)過載	非接觸式、接觸式	60°C
電力電纜	接續導體端子 (接觸不良過載)	示溫帶、接觸式	65°C
互感器	過載、接觸不良	示溫帶、接觸式	60°C
熱水爐	過載、設備老化、溫控故障	棒狀、接觸式	100°C

2.1 設備異常溫度檢測方法：

(1)檢測點應以最容易發熱的位置為優先考量。

(2)檢測元件最佳方式應採用永久固定式。

(3)檢測器應具備有現場端溫度顯示、警報功能，若能具備傳輸功能讓遠端可監視管制更好，畢竟現場機房平時無管理維護人員 24 小時看守。

(4)圖 1 電動機實例及圖 2 變壓器實例，所示為設備發熱部位，皆屬需偵測之位置。

(5)其檢測元件設備約可分為：示溫帶、非接觸式(紅外線)、接觸式(熱電偶、熱敏電阻、電阻式感測器)、棒狀、植入式溫度計。目前市面上檢測元件種類、功能、特性皆有優缺點及不實用性。

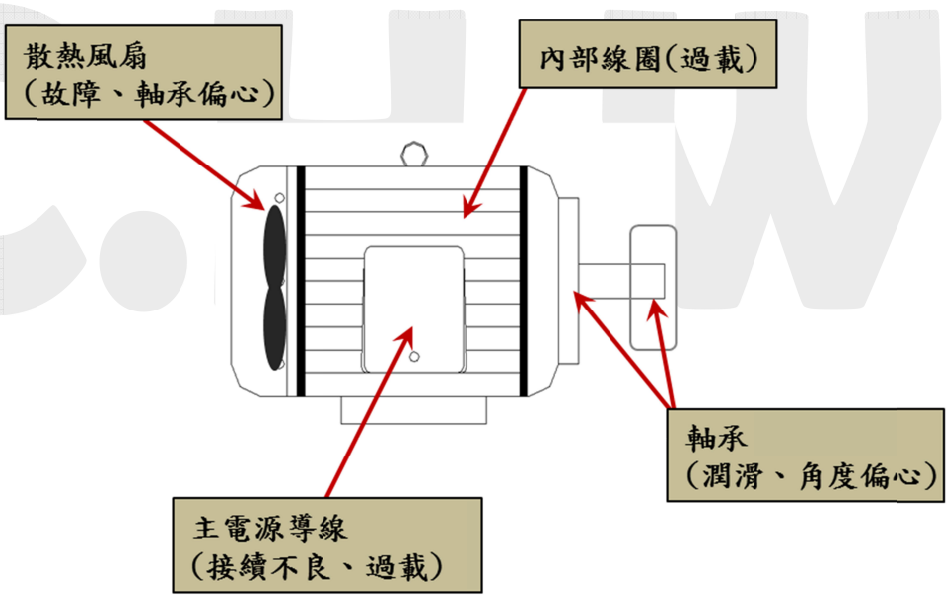


圖 1 電動機設備異常發熱部位

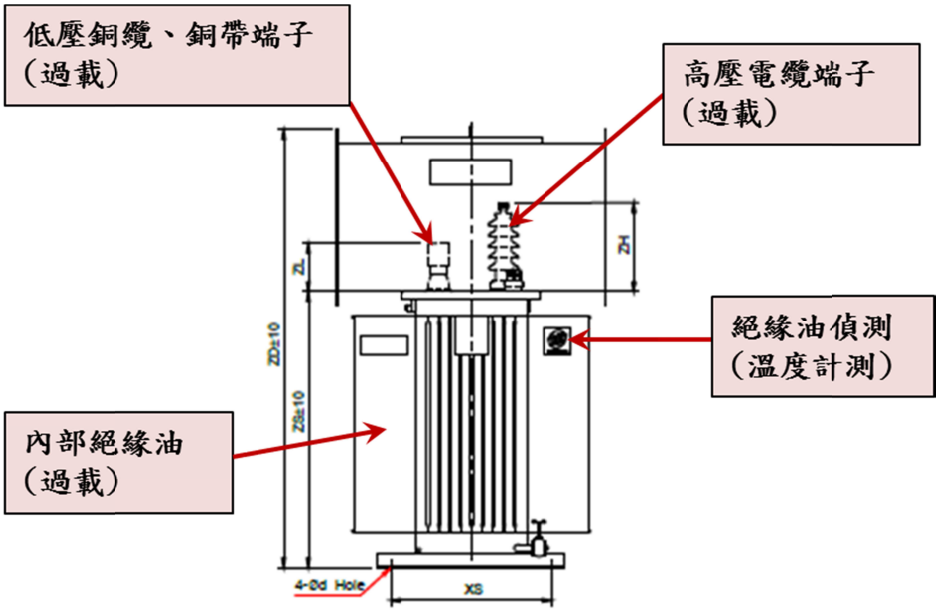


圖 2 變壓器設備異常發熱部位

3、感測器之基本原理及一般概念

感測器(Sensor)為把一種形式的物理量，轉換成另一種不同型式的物理量，並將其變化的情形轉換為電能的訊號，操作控制或啟動系統的裝置，統稱為感測器。如圖 3 為一般的感測器表示圖，在一個基本的量測系統中，感測器能夠對某些發熱物體的物理量產生響應。

圖 3 感測器表示圖

感測器輸出端之電子量有可能是：電流、電壓、電阻、頻率等。在一般情況下，其轉換的過程會吸收到其他能量，故對於將分析的程序(Process)會產生干擾的因素。在使用感測器前，應先考量所要測量的物件及被轉換者為何種物理量、原理、應使用何種感

測元件和需測量的範圍和測量的環境條件等機制。

每一種型式的感測器，有其各適用的環境物理特性，基本上，感測器可分為主動與被動兩種。主動式感測器利用能量變化而產生電流或電壓。被動式則必須有外加的工作電源才能產生電訊號輸出。溫度感測就技術面，一般又分為接觸式溫度感測器，及非接觸式溫度感測器二種。溫度感測器依各種型式之不同，就特性而言，又可分為動態特性及靜態特性，包括了：[2]

(1) 測量範圍(Measuring range)

指感測器所能量測到物件最大值和最小值之物理量間隔。

(2) 精確度(Accuracy)

感測器之精確度標示出了實際值和測量值間之差異，精確度是以滿刻度值的百分比來表示。

(3) 穩定度(Stability)

穩定度表示出在所有系統操作的狀況下，訊號輸入與輸出之關係保持在恆定的程度。

(4) 線性誤差(Linearity error)

表示輸入與輸出量比例常數位移量，其結果是以最大輸出值的百分比來表示。

(5) 比例常數(Proportionality constant)

表示常數是輸入與輸出量之間的關係。

(6) 靈敏度(Sensitivity)

定義為輸出與輸入的變化量之比，它可以視為校正曲線的斜率。

除了上述的靜態特性外，感測器的動態特性是隨著輸入源作快速變化或步進(Step)變化時，必須是十分重要考慮的因素，其主要的動態特性有響應速度(Speed of response)、頻率響應(Frequency response)、響應時間(Time response)及阻尼(Damping)。

一般而言，若在同一溫度、壓力、流量下，如果經多次測試都得到同一數值(表示感測器重覆能力佳) ，則作為一般工業用途非常適合。

3.1 感測器之線性特性

(1) 通常情況下，感測器的實際靜態輸出是曲線而非直線。在實際的工作中，為使儀表具有精確且均勻的刻度讀取，常用一條平均的最佳觀測直線，近似地代表實際的特性曲線(也就是加入線性化的電路，或是以數位軟體方式補償之)。線性度(非線性誤差) ，就是用來表示實際曲線與平均的最佳觀測直線，接近實際的一個性能指標。實際曲線與平均的觀測直線間，其最大偏差*ΔYmax* 與感測器最大測量範圍 *YFS* 的百分比來表示線性度，即是平均最佳觀測直線的方法。

$$\delta f=\pm\frac{\Delta Ymax}{YFS}\times 100\% \tag{3-1}$$

為了繪出感測器的輸入/輸出特性曲線，系統需要測量感測器對一連串輸入之物理量反應輸出。將系統每一個測量數值標示在一個 X、Y 座標圖表上，並建立一條平均的最佳觀測直線，並繪出兩條與平均的最佳觀測直線平行且等距離的直線，這些線必須包含所有標示於圖上的數值。其次，依輸入物理量畫一條平行 Y 軸的垂直線，它和兩條平行線所交會的兩點為 V1 和 V2(如圖 4)。感測器滿刻度之線性度百分比(3-1)式可改寫為如下：

$$\delta f=\pm\frac{1}{2}\times\frac{V2-V1}{YFS}\times 100\% \tag{3-2}$$

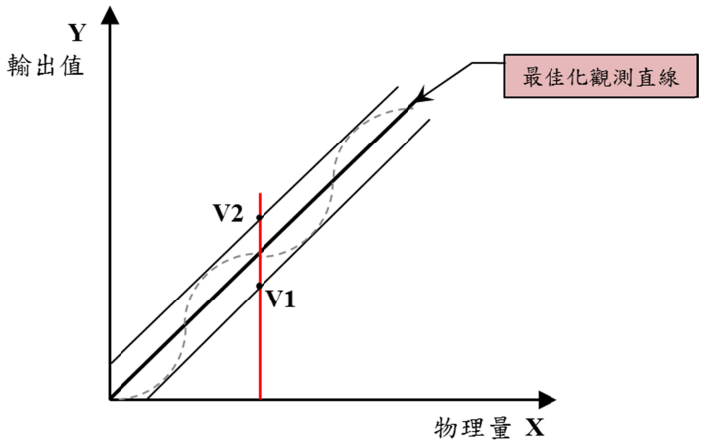


圖 4　感測器線性度

(2) 一般量測系統，通常由感測器、測量電路(信號轉換與信號處理電路)以及顯示紀錄部分所組成。對於被測非電量變換為電路參數的無源型感測器(如電阻式、電感式、電容式等)，需要先進行驅動，通過不同的轉換電路而把電路參數轉換成電流或電壓信號，然後再經過放大輸出。對於直接把非電量變換為電學量的有源型感測器(如電磁式、熱電式等)，則需要進行放大處理。因此，一個非電量的檢測裝置(或系統)中，必須具有對電信號進行轉換和處理的電路。有微弱信號放大、率波、零點校正、線性化處理、溫度補償、誤差修正、範圍切換等信號處理功能。其重點為處理微弱信號放大及線性化處理。

3.2 感測器之訊號處理電路

信號處理電路是把一種物理量轉換成另一種更適合特殊應用之物理量，而信號處理電路之輸出必須為電壓，一般情形下，感測器是將外在的電氣信號直接建立在本身的程序上，以致於被量測的物理量是封閉式傳送，一個完整的感測器及信號處理電路方塊圖，可由圖 5 來表示。

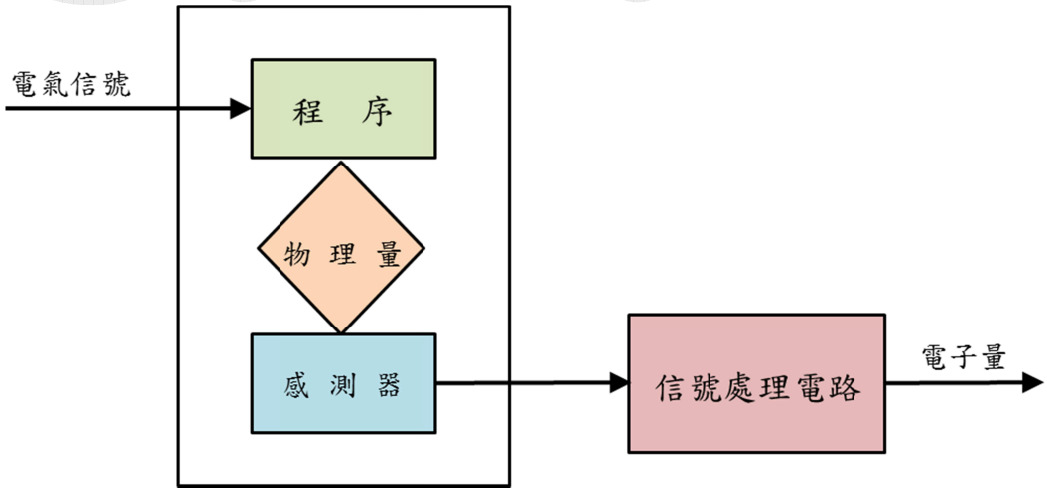


圖 5 完整的感測器及信號處理方塊圖

4、溫度感測器之種類

4.1 常用的溫度感測器

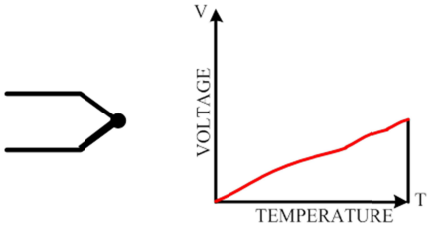
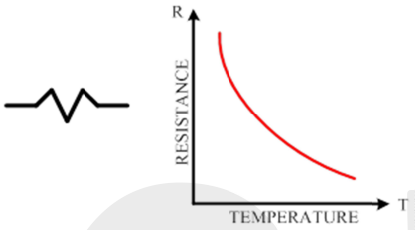
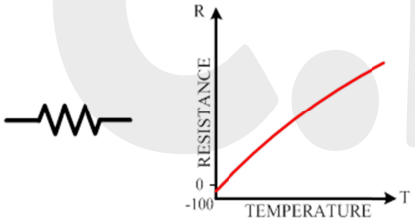
常用的溫度感測器種類很多，依技術面可分為直接與被測物相互接觸的接觸式，及利用輻射熱推算溫度的非接觸式兩類。可依使用的場所、用途、目的、精度、成本等因素而考慮選取。表 3 所示，為各種常用溫度感測器之種類、材質、測溫範圍整理。

表 3 各類型溫度感測器

名　稱	材　質	溫度範圍	備　註
熱電偶	(詳表 4-3)	(詳表 4-3)	常用者共六型 E、J、K、R、S、T
熱敏電阻(熱阻體)	錳、鎳、銅	-50~300℃	共有 NTC、PTC、CTR 三種
電阻式感測器	白金、鎳、銅	-200~600℃	繞線或可撓薄膜式
焦電型感測器 輻射型感測器	PZT(鋯鈦酸鉛) 半導體材料	1000~2000℃ 0~2000℃	利用紅外線屬非接觸
石英感測器	石英	-100~200℃	Y 切割型，溫度最正確
水銀氫溫度計	水銀、氫	-30~300℃(水銀) −60~100℃(氫)	封裝在玻璃棒中
雙金屬感測器	鉻、鋁、鎢、鐵	0~300℃	一般家電開關用
IC 溫度感測器	矽	-50~150℃	AD590 系列 LM35 系列 LM3911，UPC3911

一般最常用的溫度感測器，以熱電轉換者較多；如:熱電偶(Thermocouple)、熱敏電阻或稱熱阻體(Thermistor)、電阻式感測器(Resistance Temperature Detector：RTD)等及以感測物體放射之紅外線(IR)轉換為溫度的紅外線感測器，表 4 所示即為幾種溫度感測器優缺點之比較表，這些類型的感測器體積小、高度的精確性、構造簡單、使用上方便。因此很容易被直接安裝於被測物體上量測結果。

表 4 三種最常用的溫度感測器

名　稱	優　點	缺　點
熱電偶  熱電偶阻值對溫度變化的特性曲線	1.不需外加電源 2.堅固耐用 3.價格低廉 4.測量範圍廣 5.有多種實體型式	1.非線性輸出 2.性能不穩定 3.靈敏度低 4.需要參考點
熱敏電阻  熱敏電阻值對溫度變化的特性曲線	1.輸出電阻變化大 2.快速 3.可做雙線歐姆量測	1.非線性輸出 2.元件一致性差、互換性差 3.易老化、穩定性較差 4.測量範圍限制 5.會自身加熱
電阻式測溫器(RTD) α=0.00385  RTD 阻值對溫度變化的特性曲線	1.最穩定 2.精確度最高 3.線性度最佳	1.價格較為昂貴 2.需要外加電流源 3.電阻值變化小 4.需使用四線式量測法

4.2 常用的溫度感測器之特性

4.2.1 熱電偶的工作原理：

如圖 6 所示，將兩種不同材質之金屬導體兩端點連接在一起，在金屬接觸點受熱產生溫度差時，另一端將會產生隨溫度變化的微量開路電壓而使電流流動，因此，直接由熱能來產生電壓的現象，稱之為熱電效應(Thermoelectric effect)或是帝貝克效應(Seebeck effect)。運用此特性，可以透過判斷兩金屬間之電動勢，來換算溫度值。熱電偶即是利用此原理來量測溫度的變化。例如：將銅與銅鎳之合金

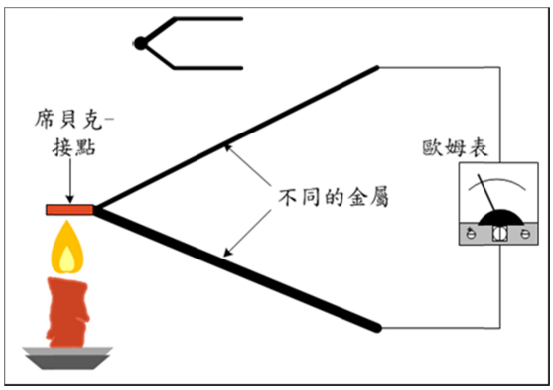
(Constantan)接合在一起時，若與另一端之溫度差 100℃時，將產生 5mv 左右之電壓。

熱電偶可以在比較大的溫度範圍內量測操作，經由熱電效應所產生的電壓與溫度的變化值是呈非線性的。熱電偶有許多種類，根據美國國家標準局(以下簡稱NIST)的訂定而命名，依熱電偶的型態、導體規格與量測範圍，整理於表 5 中。

表 5 常用熱電偶物理特性

熱電偶型態	金屬導體		溫度範圍 (℃)	電壓範圍 (mV)	席貝克係數 (μV/℃)
	正端	負端			
E	鉻 (Chromel)	康銅 (Constantan)	-270℃~ 1000℃	-9.835~ 76.358	58.70 @0℃
J	鐵 (Iron)	康銅 (Constantan)	-210℃~ 1200℃	-8.096~ 69.536	50.37 @0℃
K	鉻 (Chromel)	鋁鎳合金 (Alumel)	-270℃~ 1372℃	-6.548~ 54.874	39.48 @0℃
R	銅 (Copper)	康銅 (Constantan)	-270℃~ 400℃	-6.258~ 20.869	38.74 @0℃
S	白金-10%銠 (Rhodium)	白金 (Platinum)	-50℃~ 1768℃	-0.236~ 18.698	10.19 @600℃
T	白金-13%銠 (Rhodium)	白金 (Platinum)	-50℃~ 1768℃	-0.226~ 21.108	11.35 @0℃

長型熱電偶溫度檢測棒



熱電偶原理圖

圖 6 熱電偶成品外觀形狀及原理圖

4.2.2 熱敏電阻的工作原理

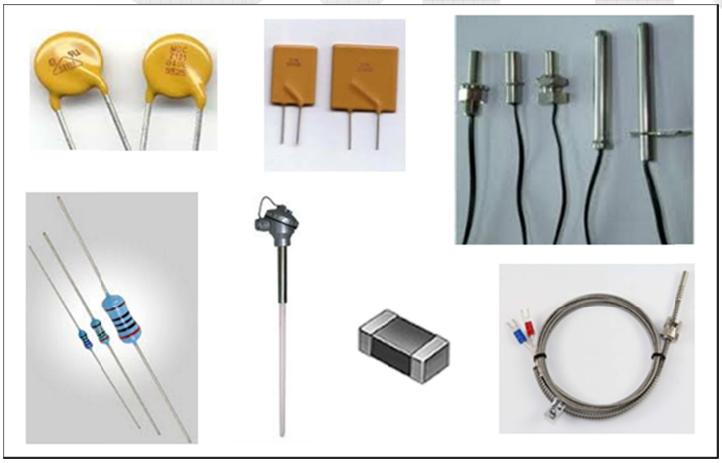
如圖 7 所示，熱敏電阻依字義是指對熱十分敏感的電阻體，由粉末狀的金屬氧化物，碳或碳的混合物，或者是由銅、鈷、錳、鎂、鎳或鈾的氧化物形成之像陶瓷的半導體混合而成後，在經 1000℃以上的高溫中予以燒成，並於外層加塗上環氧樹脂(Epoxy)或是玻璃而成型。所形成的此類元件，擁有隨溫度而改變的電阻值。[3]

依熱敏電阻之特性又可分為三大類：

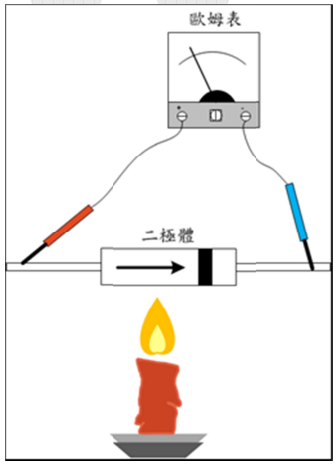
(1) 負溫度係數(Negative Temperature Coefficient：NTC)熱敏電阻。當溫度上升時，其電阻值會隨溫度的上升而減少。

(2) 正溫度係數(Positive Temperature Coefficient：PTC)熱敏電阻。當溫度上升時，其電阻值會隨溫度的上升而增加。

(3) 臨界溫度係數(Critical Temperature Resistor：CTR)熱敏電阻。具有免電阻突變特性，當溫度上升至某一點之溫度下，其電阻值隨溫度的增加會急遽變化，具有很大的負溫度係數。



各種熱敏電阻外觀形狀



熱敏電阻原理圖

圖 7 熱敏電阻成品外觀形狀及原理圖

4.2.3 電阻式感測器的工作原理

電阻式感測器(RTD)，主要利用金屬的自然特性，是一種電阻值會隨溫度的上升而增加變大的感測器。絕大多數的 RTD 由鉑、鎳或者銅等材料製成。RTD 可以使用不同的金屬組成不同的成分，並進行嚴格品質控制，可以使其電阻值係數變得非常精確。RTD 這類的電阻性感測器，以白金(Platinum)為目前最安定之溫度感測器，且以 0℃的阻值為 100Ω作標準規格，一般稱為『Pt100』。[4]

RTD 在大範圍的溫度變化下，擁有卓越的精確度(Accurac)與穩定度。一般 RTD 當在 0℃時的準確度高達 0.01Ω(0.026℃) ，一般工業級的 RTD 漂移量小於 0.1℃ /year，因為 RTD 的電阻值很小 100Ω，而且變化量也不大(> 0.4Ω/℃)為量測上帶來一些困難，故為了能精確量測電阻值的微小變化，必須建立特殊的電力架構，以降低系統各元件、導線的阻抗所帶出的誤差。

RTD 的阻值與其他溫度感測器元件相比較，其輸出值對溫度的變化是線性的，其溫度係數一般稱為α (Alpha) ，當然因材質的不同其 α 值也不同。RTD 雖然各製造廠家對 α 值的規格認定略有不一樣，但一般皆認定如下：

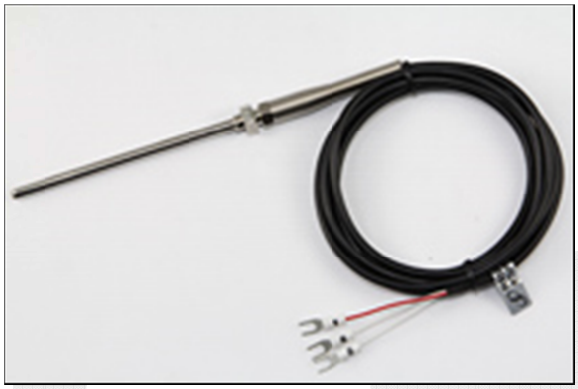
$$\alpha\,(\Omega/\Omega/℃)=(R100-R0)\ /\ (R0-100℃) \qquad (4.1)$$

其中 R0 表示 RTD 在 0℃時的電阻值，而 R100 表示 RTD 在 100℃時的電阻值。例如：一個α=0.003911 的 RTD 白金電阻值 100Ω，當在 100℃時所量測到的電阻值為 139.11Ω。

Pt100 中有各種不同的產品，以適合不同類別之溫度範圍量測，如表 6 所示。其產品外觀形狀如圖 8 所示。

表 6　Pt100 適用之溫度範圍及等級

記號	適用溫度範圍	等級	電阻-準確度 (Ω)	溫度-準確度 (℃)	額定電流 (mA)
L	低溫-200~+100℃	0.15	±0.06	±(0.15+0.0015t)	2
M	中溫 0~350℃	0.2	±0.06	±(0.15+0.002t)	2
H	高溫 0~650℃	0.5	±0.12	±(0.3+0.005t)	2.5



Pt100 探棒型溫度感測器

Pt100 可撓貼覆式表面溫度感測器

圖 8　電阻式測溫器(RTD)成品外觀形狀

5、軟性可撓貼覆式表面溫度感應偵測器

本文主要針對以白金電阻體 Pt100，為主要核心元件的電阻式感測器，並探討多款專利型『軟性可撓貼覆式表面溫度感應偵測器』技術及應用於機電系統設備，作為溫度監測的最佳利器，除了現場端的人機介面操作外，也可利用通訊架構及軟體程式達到遠端的監視功能。

5.1 Pt100 材質分析

前面提到 RTD 以往被用為電阻體之素線材質有白金、鎳、銅等。由於白金之安定性，在線性化皆比它類材質優越，目前業界也普遍採用白金作為電阻式感測器之電阻素

線。其標準型式有下列三種：[5]

(1) 玻璃封裝型

如圖 9 所示，利用高純度之白金細線纏繞於特殊之玻璃棒後，置入特殊玻璃管中再加以密封氣密而成。由於構造體積小、反應速度快，可以精密測量狹小之設備或場所之溫度。絕緣好、耐電壓性、防水、耐化學性物質及耐氧性均佳。

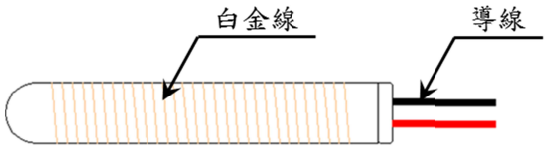


圖 9 玻璃封裝型

(2) 金屬翼片夾型

圖 10 所示，利用高純度白金細線纏繞於雲母片上，再加以雲母片絕緣保護，外側重疊金屬翼片以利密貼於保護管中，以防震動與鬆脫。有雙組式與單組式規格。

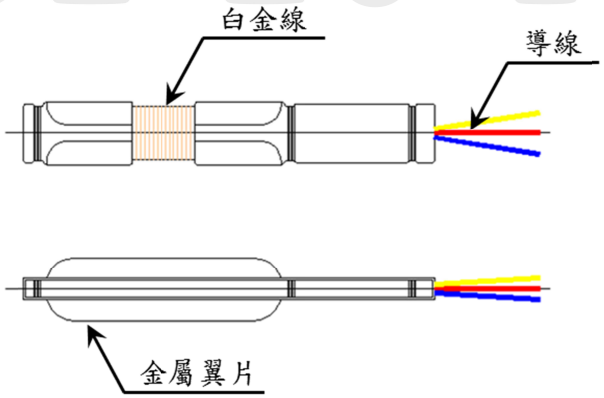


圖 10 金屬翼片夾型

(3) 瓷質封裝型

圖 11 所示，將白金線繞製成螺旋狀後，置入結晶氧化鋁之精細本體密封而成。標準白金電阻體為提高耐震性、溫度再現性和長期使用之安定性而設計。電氣與機械特性優越，測溫範圍廣、體積小，有前端感溫型與表面測溫用之板

狀形等構造體，任何用途均可依所需之場所選用適當類型。

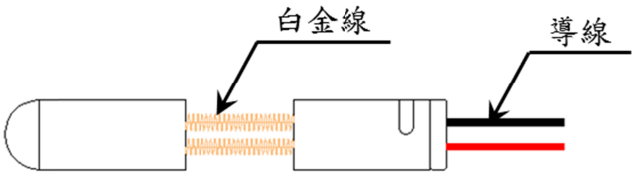


圖 11 金屬翼片夾型

本文下列所探討的貼覆式表面溫度感應偵測器，皆是屬於瓷質封裝型中的 Pt100 電阻體，除了其有上述第(3)項之優點與特性外，並符合 IEC751 Amd.2-1995,ASTM E1137-1995,JISC 1604-1997 等國際標準。大部分白金材質 RTD 的特性曲線，遵循三種標準，分別為 DIN43760 標準(α=0.00385) ，美國標準(α=0.003911) ，與使用線繞 RTD (α=0.003925)的國際溫度尺度(International Temperature Scale：ITS-90)。以上三種標準的卡倫德-凡杜森(Callendar-Van Dusen)方程式的係數值，詳列於表 7 中。

表 7 常用 RTD 的 Callendar-Van Dusen 係數值

標準	溫度係數(α)	A	B	C*
DIN43760	0.003850	3.9080e-3	-5.8019e-7	-4.2735e-12
美國標準	0.003911	3.9692e-3	-5.8495e-7	-4.2325e-12
ITS-90	0.003926	3.9848e-3	-5.8700e-7	-4.0000e-12

C*值只適用於溫度低於 0℃以下時，當溫度高於 0℃，其值為 0。

一般 RTD 元件其容許溫度差，如表 8 所示。

表 8 RTD 元件容許溫度差值

測定溫度 ℃	容許溫度差值 (℃)				
	CLASS **A**	CLASS **B**	1/3 DIN	1/5 DIN	1/10 DIN
-200	±0.55	±1.3	±0.44	±0.26	±0.13
-100	±0.35	0.8 ±	±0.27	±0.16	±0.08
0	±0.15	±0.3	±0.10	±0.06	±0.03
100	±0.35	±0.8	±0.27	±0.16	±0.08
200	±0.55	±1.3	±0.44	±0.26	±0.13
300	±0.75	±1.8	±0.60	±0.36	...
400	±0.95	±2.3	±0.77	…	…
500	±1.15	2.8 ±	…	…	…
600	±1.35	±3.3	…	…	…
650	±1.45	±3.6	…	…	…

國際標準規定 Pt100 電阻體，必須具有下列溫度之電阻特性：

$$R\ (0℃)=100Ω \tag{5.1}$$

$$R\ (100℃) / R\ (0℃)=1.3851 \tag{5.2}$$

因此由公式(5-1)及(5-2)可換算出 Pt100 之電阻體溫度當每上升 1℃，其電阻值即增加 0.3851Ω。若將 Pt100 電阻體接上一定電流源，則由 Pt100 電阻體的端電壓便可計算出各種被測設備相對的外殼溫度值；如將 Pt100 電阻體接上一定的電壓源，測由流過 Pt100 電阻體的電流，即可計算出各種被測設備外殼溫度值。依此結論，電阻值的變化來設計電壓/溫度轉換/測溫元件之系統電路。

5.2 軟性可撓貼覆式溫度偵測器外型結構與規格

感測器因應量測的環境、設備種類及大小、用途之不同、以及物理、化學量之不同，種類繁多。外型設計上選用應以施工簡便、更換容易、不怕惡劣的空間環境，更應以方便黏貼於被測物，並牢固耐用的產品。

(1) 如圖 12 所示，為『臣緯實業有限公司』專利型『軟性可撓貼覆式表面溫度偵測器』結構剖圖之介紹。[6,7]

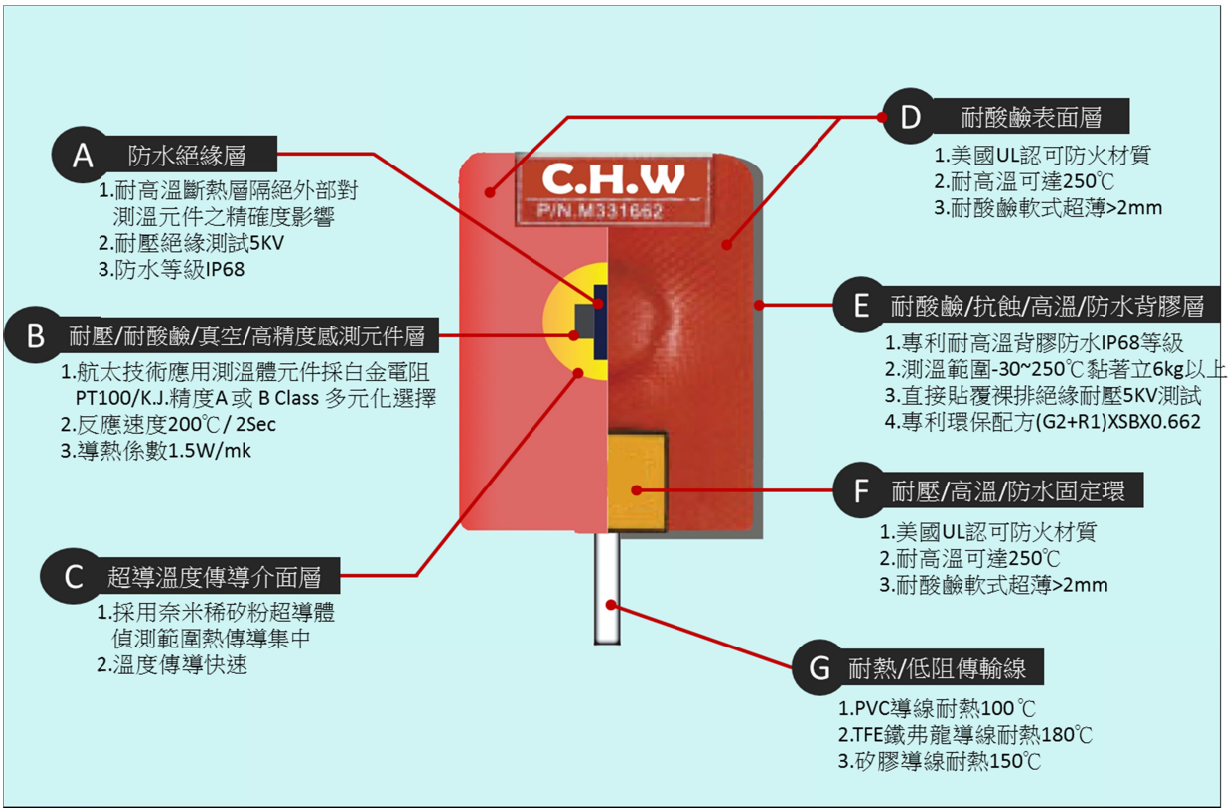


圖 12 軟性可撓貼覆式表面溫度偵測器結構剖圖

(2) 如表 9 所示，為『軟性可撓貼覆式表面溫度偵測器』主要規格說明。

表 9 軟性可撓貼覆式表面溫度偵測器主要規格

項　目	規格內容	備　註
測溫體種類	Pt100Ω/ K.J Thermistor A or B class	特殊規格可訂製
反應速度	200°C/2S	DINIEC751

導熱係數	1.5W/mK	ASTM D547D
撕裂強度	150 1b/m2	ASTM D264
測溫範圍	-30~250℃	
安規(PAD)	UL94HB/UL746C	E54153/E65361
背膠黏著力	1n2 1000(100℃)/500(150℃)/400(200℃)/ 300(250℃)(g)	
抗蝕性	汽油、丙酮、清潔液、中度酸鹼劑等	SPLASH TESTING
防水等級	IP68(最高等級)	CNS14165
絕緣耐壓	H-5KV	ASTM D-149-91
安裝方式	背膠(-30℃~200℃) / 矽膠(>200℃)	
導　線	PVC(100℃) / 矽膠(150℃) / 鐵氟龍(180℃)	

(3) 如圖 13 所示，為貼覆式偵測器多款產品外觀及其應用於工業界各種不同環境適用場所介紹。

圖(a) 大面積型

圖(b) 小面積型

圖(c) 空氣型

圖(d)管狀體型

圖(e) 接觸式型

圖(f)二線式溫度傳送器

圖(g) 溫溼度傳送器

圖 13 貼覆式偵測器多款產品外觀

上列感測器外型設計成多款型式，主要適用於不同的各類場所環境，方便黏貼於被測機器設備上。

(4) 圖(a)型式適用場所類別：發電廠、汽電共生廠、化工廠、大管徑、大面積等設備溫度偵測。

(5) 圖(b)型式適用場所類別：電力輸配電、太陽能、電子通訊、動力、小面積等設備溫度偵測。

(6) 圖(c)型式適用場所類別：醫療、食品冷凍(藏)庫、通訊機房、防災監控中心、環控室、室內火警溫度偵測等空氣中溫度偵測。

(7) 圖(d)型式適用場所類別：化工廠、汽電共生廠、發電廠、蒸氣、冰水管、熱水管、各種管狀體等設備溫度偵測。

(8) 圖(e)型式適用場所類別：工廠滾輪、動力、輸送、軸承等設備溫度偵測。

(9) 圖(f)：型式適用場所類別：電力大電流之匯流排、大範圍、長距離之設備溫度收集偵測，二線式配線並具備 RS-485 無線傳送功能。

(10) 圖(g)：型式適用場所類別：通訊機(櫃)房、中央監控中心、溫溼度偵測警報傳送器，具備數位化 RS-485 通信功能。

5.3 軟性可撓貼覆式偵測器與傳統測溫器比較

前文第 4 章節，我們探討了三種最常用的溫度感測器。第 5 章節介紹了新型的『軟性可撓貼覆式溫度偵測器』，包含構造、規格、外型與適用場所類別。現在我們以新型的『軟性可撓貼覆式溫度偵測器』來比較傳統式溫度感測器之優缺點，如表 10 所示，我們可以發覺新型的偵測器條件規格確實較為優異。

表 10 傳統不鏽鋼溫度感測棒與貼覆式溫度偵測器比較

名稱內容	傳統式溫度感測棒	軟性可撓貼覆式溫度偵測器
施工固定方式	必須開孔植入鎖牙口 (需破壞管材結構、施工不易)	可隨意黏貼(施工容易)

反應速度	反應慢 (必須透過管子輻射傳導溫度)	反應快速，可達 200℃/2sec (物體表面傳導)
耐電壓	金屬外殼為導電體(無法使用)	本體耐電壓 5KV(不導電)
被測物型體	無法測不規則之物體(如圓柱體)	軟性可撓、可測各種不規則之形體

另外，依實務技術面來做兩者之比較，可由圖 14 及圖 15 所示，清楚看出新型的溫度偵測器，於機電設備利用為最佳的溫度感測器。

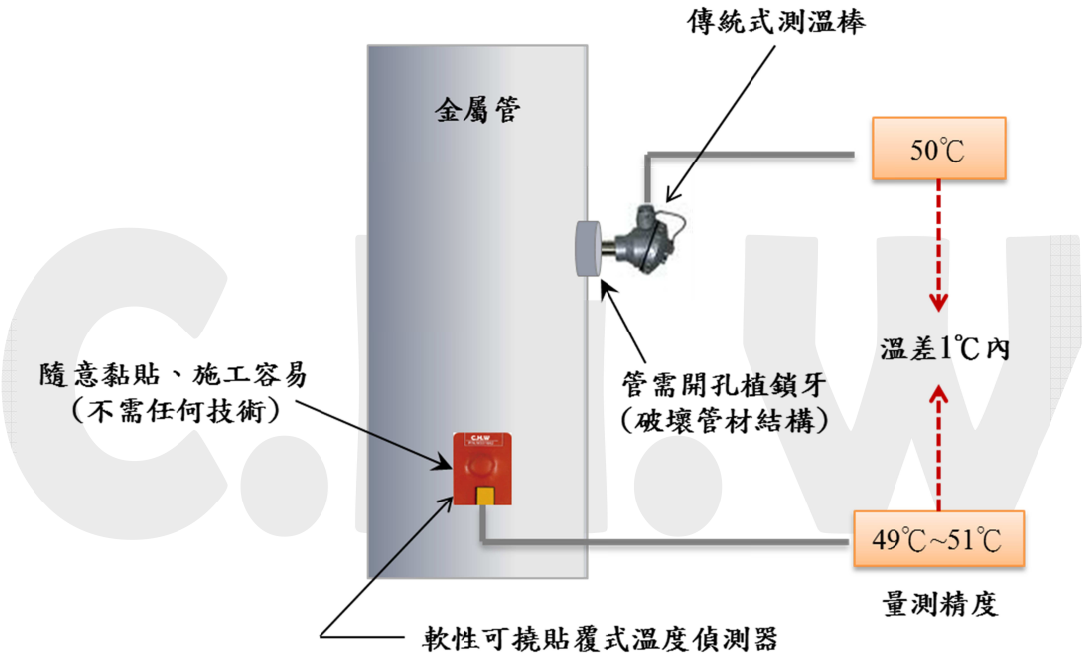


圖 14 傳統不鏽鋼溫度感測棒與新型貼覆式溫度偵測器-施工方式比較

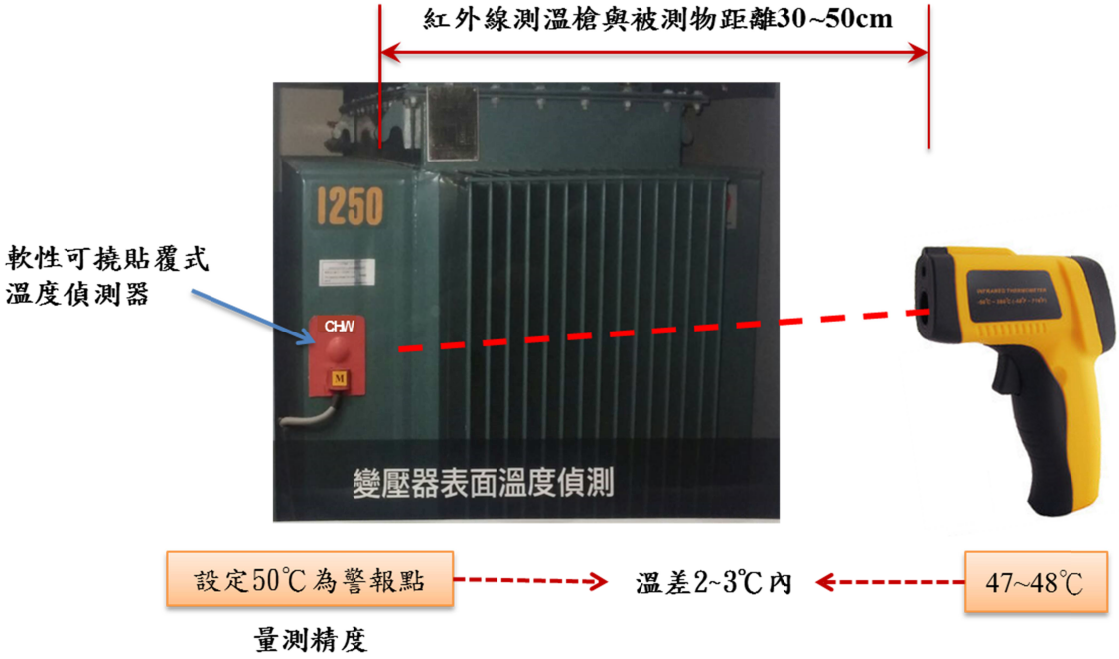


圖 15 傳統紅外線溫度測溫槍與新型貼覆式溫度偵測器-實測溫度比較

6、依使用環境類別溫度偵測器之技術應用

現今工業中溫度監控之重要，如本文前言所述，工廠製程設備、電力供電高低壓設備、中央空調、熱水、蒸氣設備、通信...等，常因施工不當、環境惡劣、疏於保養、超載使用等，導致設備異常溫度升高，而造成嚴重的工安及人員意外災害，不勝枚舉。依本文所介紹多款之專利型新產品，針對各種設備小面積表面溫度偵測技術應用，已被多家知名企業大廠及新建工程案廣泛採用。其溫度監控應用範圍如下：

(1) 高低壓電力系統設備

(2) 化學廠設備與環境

(3) 冷凍、中央空調系統環境設備

(4) 通訊機房設備與環境

(5) 汽電共生廠、發電廠系統設備

(6) 太陽能與熱水系統設備

(7) 農漁養殖業設備與環境

(8) 醫療、食品、衛生場所設備與環境

下面就實務應用來探討溫度監控在機電系統，如何建置在機電設備上的溫度監控規劃與設計。分為現場操作端溫度監控及遠端溫度監控(此部分將在下一章節細述)。現場操作端之溫度監控組，須具備有偵測器元件、連接導線(鐵氟龍不燃線材或 PVC 線材)、數字型溫度警報監視電譯，如圖 16 所示。溫度監視電譯主要功能為，當表面溫度偵測器，將各種設備外殼溫度值轉換為不同的電阻值，再由溫度監視電譯轉換為不同的電壓值 v 將電壓值轉換為實際的溫度值，透過自身的 LCD 顯示幕，顯示當前的溫度值，管理者可以很直接地觀測到檢測點的溫度值。

溫度監視電譯，為一專屬設備，它必須具備有如下規格，其外觀形狀如附圖 16 所示。

6.1 溫度監視警報電驛-基本規格說明

(1) 可接收 1 點至 6 點輸入（1CH or 5CH 輸入 K.J.T./DIN Pt100Ω / 4-20mA）。

(2) 2 組警報、多模式時間延遲警報。

(3) 遠端傳輸能力 4-20mA，可搭載紀錄器、中央溫控。

(4) 具備 RS-485 通訊功能(MODBUS RTU 格式)。

(5) 輸入電壓 AC90-240V 50/60HZ or DC24V (Power)。

(6) 防水等級 IP65。

(7) 精確度 T/C±1℃　　RTD±0.2℃　　Linear±3uv。

(8) 取樣時間 0.25sec 內。

(9) 環境溫/濕度範圍 0~50℃ / 0~90% 。

盤面式-單迴路型

盤面式-五迴路型

盤面式-六迴路型

軌道式-單迴路型

RS-485 二對一轉換器

圖 16 溫度監視警報電譯外觀

6.2 高低壓電力系統變電室-應用方案

本文第 2 章節探討分析了電力設備異常溫度診斷及檢測方法，如表 2 之檢測要點，說明了設備發熱及故障的位置及適合的檢測器，我們以圖 17 詳細標示了在一座高低壓變電室內，針對那些設備採用何種偵測器及黏貼的固定點加以說明。

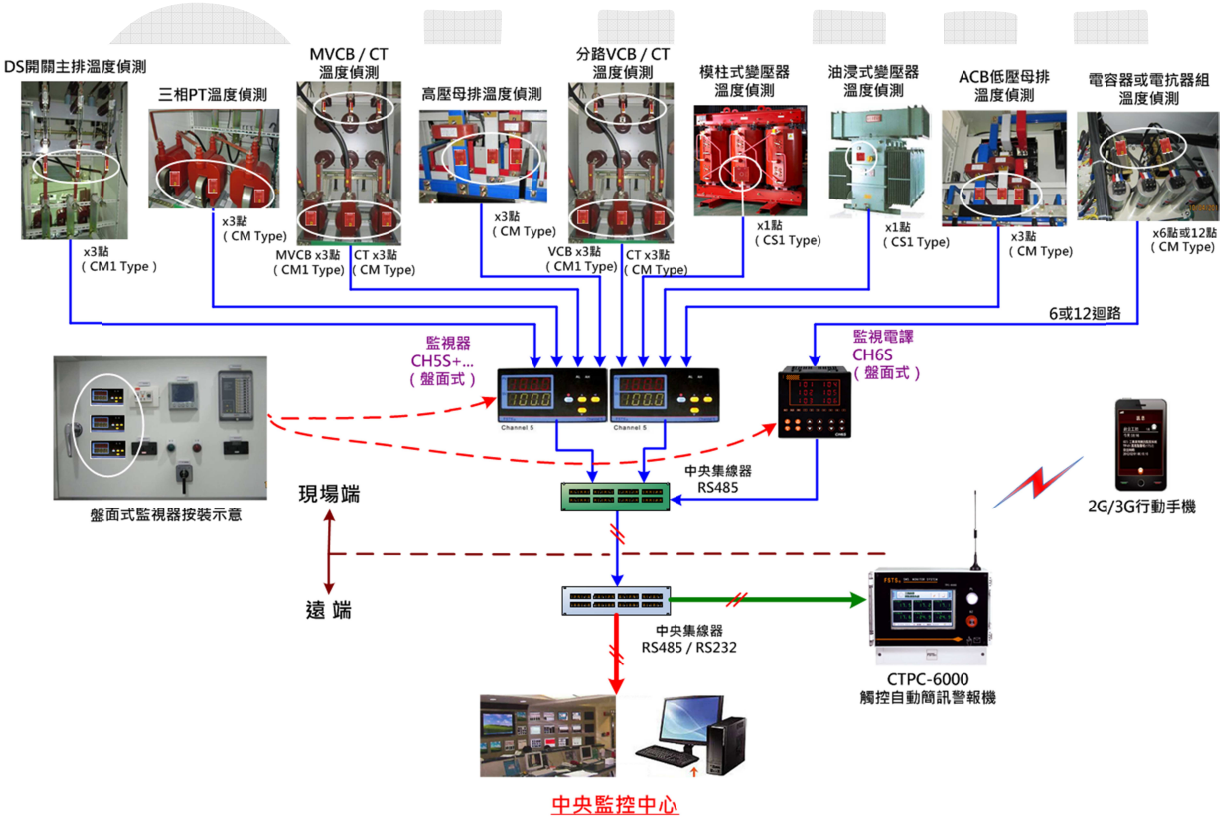


圖 17 高低壓變電室-設備溫度監測點參考圖

高低壓變電設備有效偵測點選擇如下：如圖 17 所示。

(1) DS 隔離開關：偵測點電纜頭處理部及電纜接續端子處三點。

(2) PT 比壓器：偵測點 PT 本體外殼部及電纜接續端子處三點。

(3) VCB 真空斷路器：偵測點 VCB 電纜接續端子處三點。

(4) CT 比流器：偵測點 CT 本體外殼部及電纜接續端子處三點。

(5) BUS BAR 高壓銅匯流排：偵測點主匯流排為主，黏貼於熱縮套管表面三點。

(6) TR 模柱式(油浸式)變壓器：偵測點本體外殼部，模柱式三點(油浸式一點)。

(7) ACB 空氣斷路器：偵測點低壓主匯流排或斷路器接續端子處三點。

(8) SC 電容器組：偵測點各迴路電容器外殼或電抗器外部六迴路共六點。

各配電盤溫度偵測器安裝佈置完成，必須由導線連接至溫度監視警報電譯。配合環境場所之不同，溫度監視警報電譯也可選擇盤內軌道式、盤面式或壁掛箱體式安裝、以利管理者能直接觀測偵測點的溫度值。

6.3 發電機室-應用方案

發電機室設備有效偵測點選擇如下：如圖 18 所示。

(1) 發電機組：偵測點為電動機本體外殼、軸承部、引擎部共三點。

(2) ACB 空氣斷路器：偵測點為低壓主匯流排或斷路器接續端子處三點。

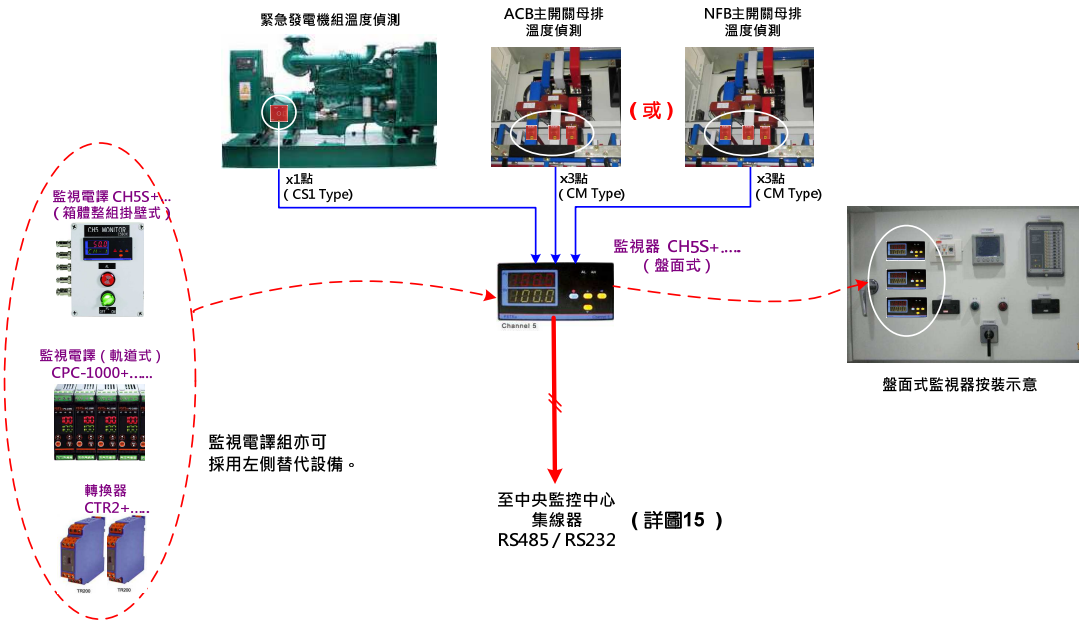


圖 18 發電機室-設備溫度偵測點參考圖

6.4 電力主幹線匯流排(BUS WAY)系統-應用方案

電力主幹線匯流排(BUS WAY)系統有效偵測點選擇如下：如圖 19 所示。

匯流排在電力系統中扮演著輸配電功能，常基於載電流大、空間配置小、負載分配容易等特性。比大電流採用電線電纜來得實用，一般在實務中輸送 800A 以上採用。通常線路很長，從幾公尺到上百公尺長，輸送路徑上，每三公尺一直線接頭及轉彎處 90° 接頭，數量甚多，由於長距離的輸送電力，在大電流、大負載下，所經過的場所背景不同、環境溫度也不同，再者，施工時接頭因是人為施工固定，接頭是否鎖緊密合，長時間的使用負荷下，安全是唯一考量。在 2011 年就曾有一家科技光電廠，匯流排接頭燒毀、跳電之事故發生，損失慘重。

故一條匯流排之偵測點，應對所有接頭處做溫度監控，極早發現及極早通報管理者，以利用電安全及生命財產的保障。

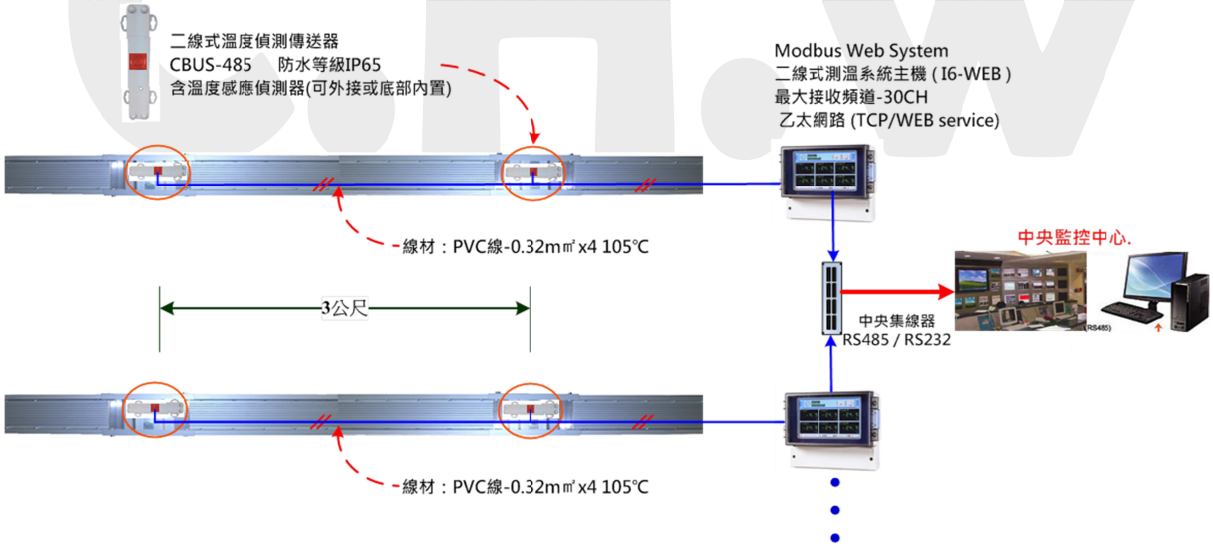


圖 19 電力主幹線匯流排-設備溫度偵測點參考圖

6.5 中央空調機房-應用方案

中央空調機房設備有效偵測點如下：如圖 20 所示。

中央空調系統中，水系統部分，偵測點主要為冰水出水端、冰水回水端、冷卻水入

口端、冷卻水出口端的溫度量測；另一量測為空氣調節箱的入/出口溫度。傳統的設計施工方式為，植入式溫度計，若系統建置有中央監控與能源管理，其感測器則採用熱電偶探棒式，但都以植入管內之作法。此種作法有二項缺點：一是要破壞鋼管之結構(挖孔再以重新燒焊接頭，再上漆等)。二是在現場並未裝設溫度監視警報電譯，管理者無法即時在現場監看，另外，管路也不適合採用貼覆式的產品，因為管壁會有結露凝結水現象，貼覆無法牢靠，為解決以上的缺點，最有利的施工方式，就是採用『束管式』(詳圖 12，圖(d))的溫度偵測器。溫度偵測除現場端可顯示警報外，並可傳輸至中央監控中心。

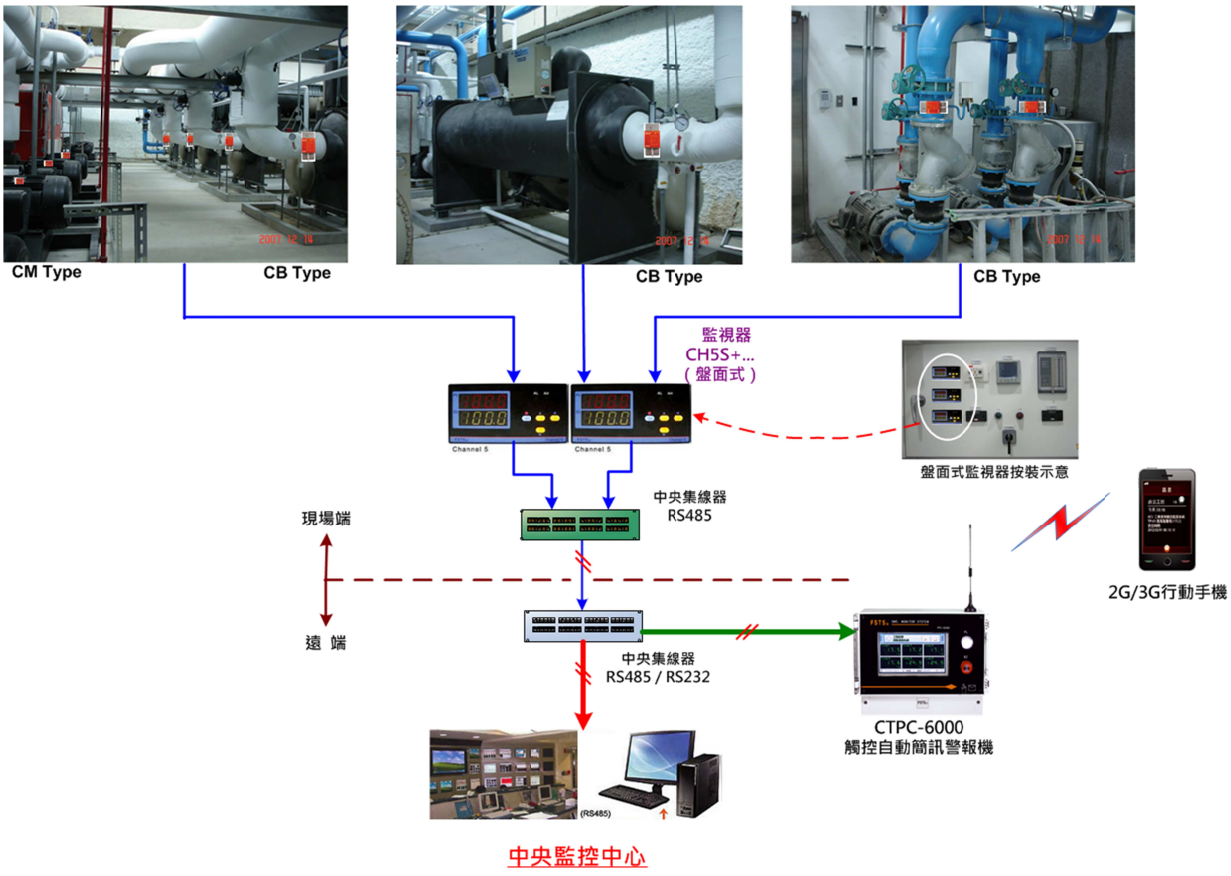


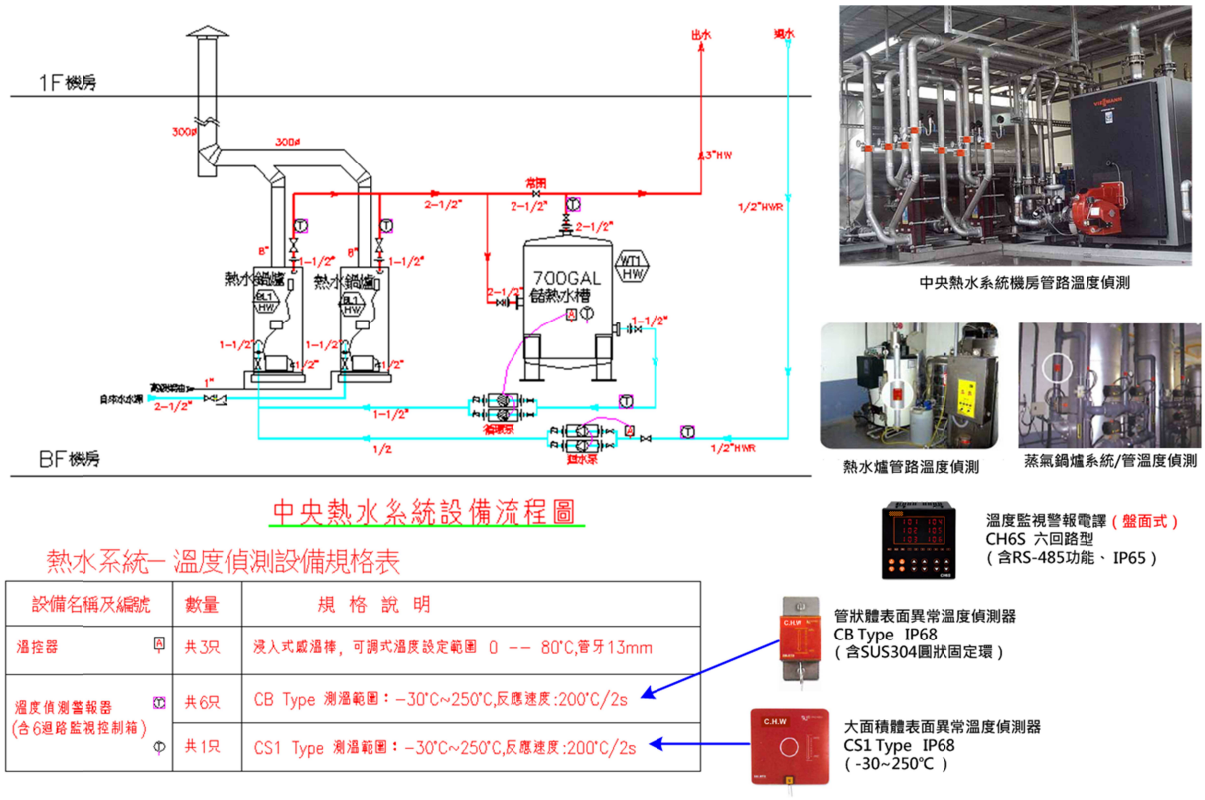
圖 20 中央空調機房-設備溫度偵測點參考圖

6.6 中央熱水機房-應用方案

中央熱水機房設備有效偵測點選擇如下：如圖 21 所示。

中央熱水系統中，主要偵測點為熱水爐本體外殼部、儲熱水槽、出水管口、熱水循

環管、迴水管等的熱水溫度量測。傳統的設計施工方式，大多採植入式溫度計之量測，管理者必須在機房現場目視紀錄，整體系統之溫度狀態及警報，常未建置於中央監控系統管制。少部分個案採用熱電偶探棒式偵測，但都以植入管內之施工方式，此種作法之缺點相同於中央空調系統之問題，有效的解決方案有二，一是爐體及儲水槽採用大面積體用的貼覆式表面溫度偵測器。二是所有管路端應採用『束管式』(詳圖 12，圖(d))的溫度偵測器，即時的溫度偵測除現場端可顯示、警報外，並可傳輸至中央監控中心。



設備名稱及編號	數量	規 格 說 明
溫控器	共3只	浸入式感溫棒，可調式溫度設定範圍 0 -- 80°C,管牙13mm
溫度偵測警報器 (含6迴路監視控制箱)	共6只	CB Type 測溫範圍：-30°C~250°C,反應速度:200°C/2s
	共1只	CS1 Type 測溫範圍：-30°C~250°C,反應速度:200°C/2s

圖 21 中央熱水機房-設備溫度偵測點參考圖

6.7 其他機電設備-應用方案

在各相關的產業類別領域中，機電系統設備在其應有的環境下執行及使用，應考慮其生命週期，有效的溫度控制與管理，維持設備發揮其應有的效能及維護品質，例行的檢查與系統正常運轉，為設備最關鍵的價值標準。圖 22 所示，為其他產業採用表面貼

覆式溫度測溫器的案例。

圖 22 相關機電設備溫度偵測參考圖

7、遠端溫度監控系統技術應用

前一章節我們探討了，各種機電設備在現場操作端如何設置偵測點，以及如何將量測的溫度值，轉換為顯示幕數字顯示當前的溫度值。整體機電設備中央式溫度監控系統組成，必須分為現場端偵測器元件、配線、溫度監視電譯(或轉換器)、集線器及遠端中央監控中心 RS-485 與 RS-232 的介面電路轉換器、軟體圖控程式、監控電腦等。

機電設備異常溫升監測之系統，必須利用資通訊技術(ICT) ，將各種機電設備

及製程設備之表面偵測溫度最新數據傳遞至中央監控中心。其資通訊系統可分為有線通訊(Wire Communication)技術與無線通訊(Wireless Communication)技術。依系統分別介紹如下：

7.1 有線通訊技術

工業界應用的有線通訊技術主要有電力線通訊(Power Line Communication：PLC)及乙太網路(Ethernet) ，PLC 是利用電力線載波的方式來傳送 URAT 串列阜通訊，可藉由 DC 或是 AC 的電力線來同時傳輸串列資料，其雙向傳輸的速度可達 19200bps，且具有實體與邏輯位置(Physical and Logic Addresses) ，可以組成網狀傳輸通道，PLC 的應用遍及各種產業領域。

目前有線通訊技術以 PLC 而言，就屬『中央監控系統』，其架構主要隨著不同的環境應用與控制器，有三種主要架構：一般以空調系統為主的，特別是需要多點控制溫濕度，大都採用數位直接控制(Direct Digital Control：DDC) ，其他機電設備則多採用 PLC，或因區域分散，為考慮通訊功能的穩定度，及有線替代通訊能力，而採用遠程終端控制器(Remote Terminal Unit：RTU) ，PLC 與 RTU 有互相替代性，隨著使用場所不同及應用考量，而有不同的運用。

目前工業控制一般習慣使用 RS-485 介面，本文中所介紹之相關產品，皆是使用 RS-485 通訊界面，並備有 MOBUS RTU 格式遠端傳輸功能。如圖 23 所示為各類溫度偵測器與中央監控電腦的連線示意圖。

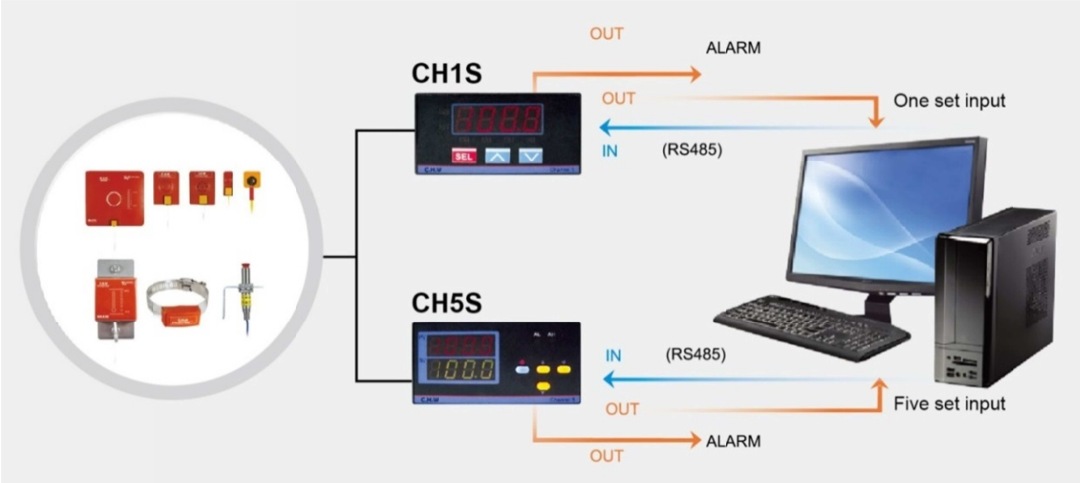


圖 23 各類溫度偵測器與中央監控電腦連線示意圖

7.2 無線通訊技術

傳統有線通訊技術由於需要佈線，其運用彈性並不如無線通訊技術，特別是在長距離，偵測點又分散的資通訊上，無線通訊技術相對具有絕對優勢，目前以常用的無線通訊技術主要有 IEEE802.15.4(ZigBee)技術、IEEE802.15.1(Bluetooth, 藍芽)技術、以及 IEEE802.11bgn(Wifi)技術等。每種技術有其適用的特性，或基於距離、傳輸速率、耗電量等特殊要求及擴充性，做不同的運用，如圖 24 所示，介紹本文第六章節相關產品，以 ZigBee 技術來建置，機電設備溫度偵測系統的無線資通訊架構。ZigBee 為一種新興的傳輸技術，他具備近距離、低複雜度、低功能、低數據速率、低成本的無線網路技術，它主要用於近距離的無線連接。[8]

基於 ZigBee 無線通訊之低成本，機電設備異常溫升監測，其系統組成包括硬體電路設計及軟體程式二大部份，硬體電路最主要有介面電路及電壓/溫度轉換系統，將各個機電及介面電路轉換，最後由 ZigBee 無線通訊模組傳送至中央監控電腦。硬體電路需包含下列各系統電路：[9]

(1) ZigBee 模組電路。

(2) 電壓/溫度轉換系統電路。

(3) 溫度感應偵測器與溫度轉換系統間的介面電路。

(4) 溫度轉換系統與 ZigBee 發送端通訊模組間的介面電路。

(5) ZigBee 接收端通訊模組與中央監控電腦間的介面電路。

各類機電設備與 ZigBee 模組間之組成電路架構示意圖如圖 24 所示。ZigBee 其各個硬體電路功能如下說明：

(1) 表面溫度偵測器：將各類機電設備外殼溫度值轉換為不同的電阻值。

(2) 溫度偵測器與溫度轉換器：將各測得電阻值轉換為不同的電壓值。

(3) 電壓與溫度轉換介面：將轉換後的電壓值再轉換為實際溫度值，並以 RS-485 訊號作為輸出介面。

(4) 轉換系統與 ZigBee 發送端介面模組：作為 RS-485 與 ZigBee 無線通訊的介面電路。

(5) ZigBee 發送端模組：再將各個機電設備所測得的實際溫度值，經由 IEEE802.15.4 無線通訊技術傳送至 ZigBee 接收端，再進行後段的處理。

(6) ZigBee 接收端與中央電腦：採用乙太網路或 USB 連線，以便將 ZigBee 接收端所接收到的各種機電設備表面溫度最新數據，經由中央電腦處理、軟體運算及顯示工作。

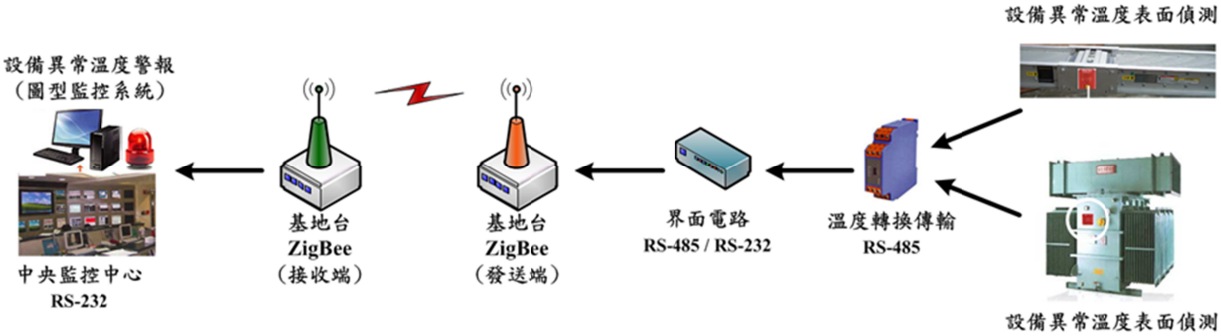


圖 24 ZigBee 系統與中央監控電腦間示意圖

(7) 中央電腦：不論系統是有線架構或者是無線架構下，位於中央監控中心電腦其軟體程式應包含有：

a. 應用層數據傳輸格式。

b. 圖形監控系統，如圖 25 所示。

c. 警報系統。

d. 歷史記錄程式。

e. 圖形曲線程式，如圖 26 所示。

	目前溫度值 ℃	警報溫度設定值 ℃	警報溫度設定值輸入 (範圍:0~99℃)	目前警報延遲時間 (秒)	警報延遲設定值輸入 (範圍:1~999秒)	目前狀態	偵測鍵	BYPASS鍵
1A	57.0	20	20	60	60	偵測中	1A	1A
1B	98.2	20	20	60	60	偵測中	1B	1B
1C	60.2	20	20	60	60	偵測中	1C	1C
1D	64.0	20	20	60	60	偵測中	1D	1D
1E	60.0	20	20	60	60	偵測中	1E	1E
1F	57.6	20	20	60	60	偵測中	1F	1F
1G	65.0	20	20	60	60	偵測中	1G	1G
1H	65.9	20	20	60	60	偵測中	1H	1H
2A	44.2	20	20	60	60	偵測中	2A	2A
2B	44.9	20	20	60	60	偵測中	2B	2B
2C	37.7	20	20	60	60	偵測中	2C	2C
2D	31.2	20	20	60	60	偵測中	2D	2D
2E	41.0	20	20	60	60	偵測中	2E	2E
2F	44.3	20	20	60	60	偵測中	2F	2F
2G	40.2	20	20	60	60	偵測中	2G	2G
2H	42.7	20	20	60	60	偵測中	2H	2H
3A	22.9	20	20	60	60	偵測中	3A	3A
3B	24.0	20	20	60	60	偵測中	3B	3B
3C	28.2	25	25	60	60	偵測中	3C	3C
3D	24.0	20	20	60	60	偵測中	3D	3D
3E	23.9	20	20	60	60	偵測中	3E	3E
3F	25.6	20	20	60	60	偵測中	3F	3F
3G	24.6	20	20	60	60	偵測中	3G	3G
3H	23.0	20	20	60	60	偵測中	3H	3H

圖 25 中央監控圖形監控系統參考圖

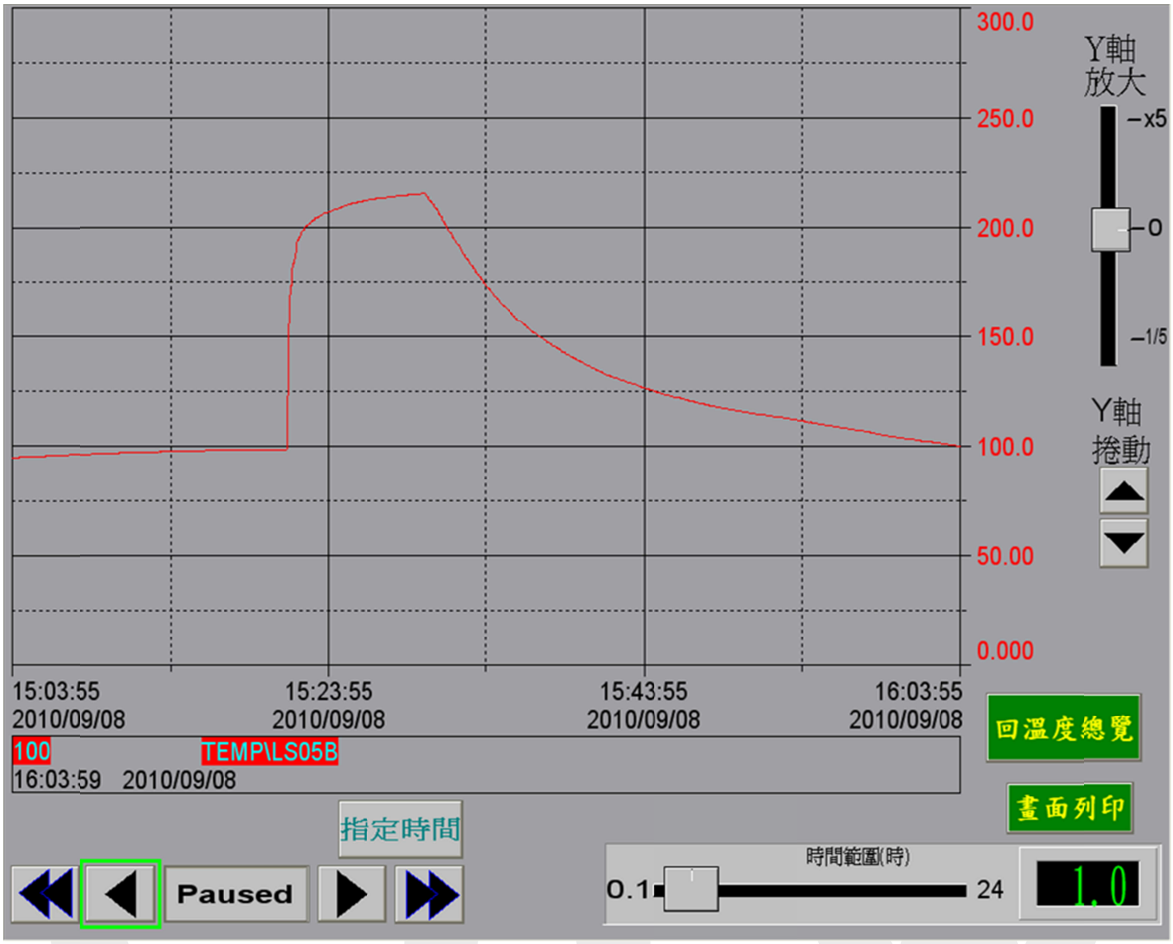


圖 26 中央監控圖形曲線程式參考圖

7.3 2G/3G 通訊技術

本文中所探討之相關產品應用，除了有線通訊整合於中央監控系統及無線通訊整合於 ZigBee 模組系統外，就無線通訊部分，另外可加設一套『觸控式自動簡訊警報機』，系統建置方案如圖 27 所示。當系統量測某一偵測溫度超過預定值時，警報機 3 秒內即刻透過 2G 或 3G 電信系統，發送簡訊於管理者手機提示，即時告知設備溫度已超標之訊息，達到主動式及移動式的管理機制。

其功能具備有：精確可靠、易於按裝操作、中文觸控設定、容易編輯、適用於各種物理量及化學量信號監控警報，其 RS-485、MODBUS RTU 通訊、SIM 卡可自動偵測、中央集程管理軟體...等，相當多的功能特性。

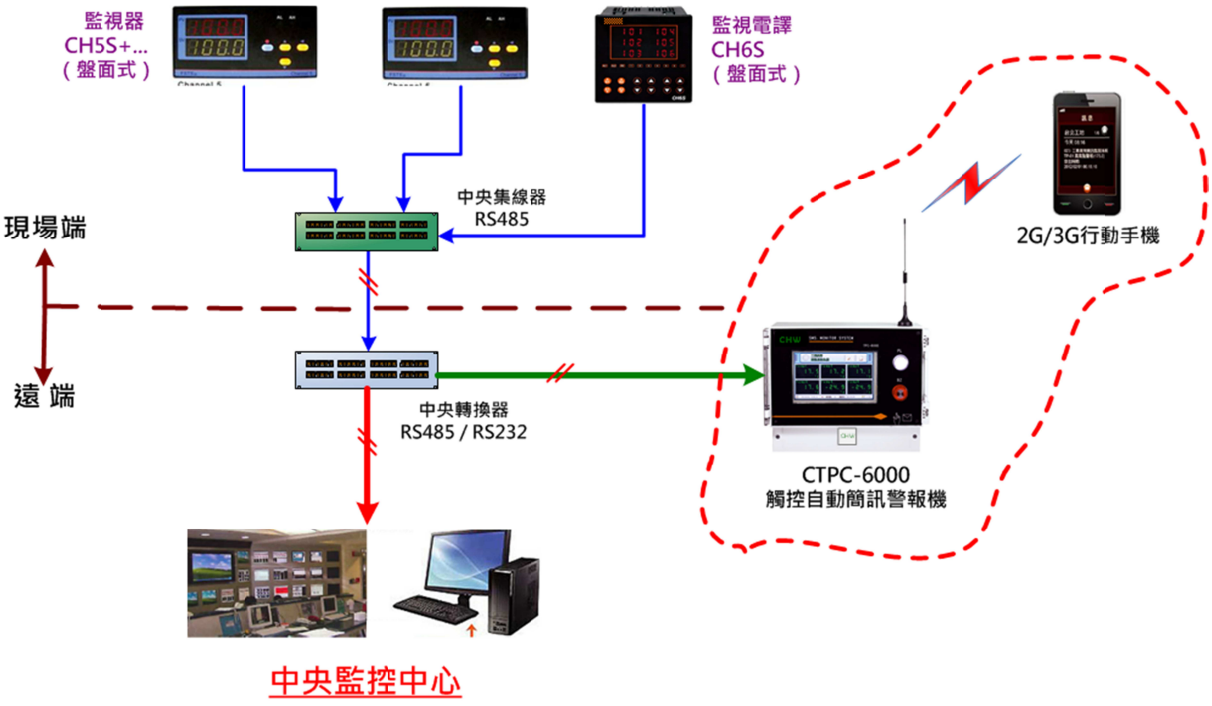


圖 27 溫度偵測系統與觸控式自動簡訊警報機系統參考圖(虛線標示區)

8、結 語

溫度感測器應用在生活中無處不見，舉凡在居家設備的應用、在工業中的應用、在農業中的應用、在食品行業中的應用、在醫療衛生場所的應用等。這也證明了溫度感測的重要性，由於各類不同需要溫度感測的場所，其選用的感測器不盡相同。

故本文提出了，針對『機電系統-設備異常溫度偵測最佳解決方案』；包含產品性能分析、實務技術應用、現場操作應用與遠程監控端系統的建置應用，均提供相當值得深入分析研究之實例，尤其本文第 6 章節電力系統部份，在筆者多年工作實務上，幾乎少見其他設計單位考慮此系統建置應用。於此，對有興趣之讀者或實際參與相關此工作領域之友好先進，希望本文可以提供相當的參考價值與助益。

9、參考文獻

[1] 張詩錦，*汽電共生廠設備故障型態與診斷實務*，電機月刊，第十一卷第五期，5 月，2001，第 299-314 頁。

[2] 卓傑企業有限公司，*溫度感測器與控制實驗系統*，G341EV。

[3] 謝廣文，**農業自動化叢書機電整合**，第二章 感測器原理，P11-P27 頁。

[4] 黃繼震，*溫度控制系統的原理與應用*，行政院勞工委員會職業訓練局，訓練教材，90 年 12 月。

[5] 景德工業股份有限公司，產品型錄資料，2006 年版。

[6] 臣緯實業有限公司，*CHW 表面測溫最佳解決方案*，產品型錄資料，2015 年版。

[7] 臣緯實業有限公司，網站 http://www.chw-roc.com.tw

[8] 邱建誠，**校園節約用電策略之研析**，碩士論文，國立雲林科技大學環境與安全工程研究所，民國九十八年。

[9] 謝國興，**遠端溫度監控系統**，碩士論文，聖約翰科技大學電機工程研究所，民國一百零四年。