

雙金屬

(自動控制元件)

夏承達編著

大東書局出版

雙金屬

(自動控制元件)

夏承達編著

大東書局出版

本書概述雙金屬的原理、用途、性質及計算方法，並列舉一部分雙金屬運用實例，作為設計製造及研究的參考。

本書可供電器與儀器工廠工程技術人員及一般有關使用者參考之用。

1955年5月發排(大東排) • 1955年8月上海第一版

1955年8月上海第一版第一次印刷(0001—2000冊)

書號: 5207 • 30''×42'' • 1/25 • 43千字 • 2 14/25 印張 • 定價四角(進口紙)

*

大東書局(上海山東中路201號)出版

上海市書刊出版業營業許可證出〇四三號

上海圖書發行公司(上海山東中路128號)總經售

三星印刷所印刷

前 言

蘇聯麥·阿·巴比科夫(М. А. Бабиков)在電器學一書中說:“許多自動化電器中利用雙金屬,更準確地說,利用雙金屬片或熱雙金屬螺旋作為主要元件。”所以雙金屬是現代電機及機械自動控制的主要材料,並且有準確、堅固、經濟及簡單的優點。隨着自動化發展的日見需要,雙金屬也漸被廣泛應用。

在蘇聯,雙金屬的研究,頗予重視,在電機、電器、航空及拖拉機用電設備等的專門課程的電器學中,列有專章討論。在實際工作上,也已製成許多種不同規格的雙金屬,以配合不同工作範圍的應用了。

雙金屬在國內尚在初創時期,而關於它的研究,頗少資料,並多為片斷。編者在1952年6月開始試製“因瓦”合金(是雙金屬被動層的主要材料),並進而試製黃銅與“因瓦”合金組合的雙金屬,歷時半載,絡續收集有關資料。茲就工餘,予以整理,並將分散的圖表,不厭其詳,併予彙列,以資參考,作進一步向蘇聯先進經驗學習的台階。

惟編者對於此項研究,也在學習時期,而本人才學淺陋,經驗不夠,錯誤之處必多,僅為“引玉”之意,希讀者予以批評和指正。

本書承沈時修、陳大鈞同志提供許多寶貴意見,陳時雍同志幫同繪製一部分插圖,唐千根同志供給蒸汽控制器的材料,俱應致以深切的謝忱。

目 錄

第一章 導言	1
1. 雙金屬的意義.....	1
2. 基本原理.....	4
第二章 雙金屬的種類及其主要用途	6
1. 種類.....	6
2. 雙金屬主要用途.....	6
第三章 材料選擇及其性質	23
1. 被動層材料——“因瓦”鋼.....	23
2. 其他被動層材料.....	26
3. 主動層材料.....	28
第四章 雙金屬的特性及設計	35
1. 基本特性.....	35
2. 設計要點.....	36
第五章 雙金屬的計算公式	38
1. 基本公式.....	38
2. 懸臂梁式雙金屬的計算公式.....	39
3. 線圈式(螺旋式和發條式)雙金屬的計算公式.....	40
第六章 應力計算及熱處理	43
1. 應力計算.....	43
2. 熱處理.....	44
第七章 不黏合的雙金屬	46
1. 原理.....	4
2. 應用實例.....	48
3. “跳躍”動作開關的設計.....	50
4. 不黏合雙金屬的參考資料.....	51
附 錄	54
參考文獻.....	54
中俄名詞對照表.....	55
中英名詞對照表.....	56

第一章 導 言

1. 雙金屬^①的意義

在日常生活中，我們看見很普通的電氣設備，如電冰箱或室內調節溫度裝置，不需要照顧而能在指定的溫度範圍以內自動地工作。它所以能自動控制，就是利用兩種不同性質的金屬組合在一起。

遠在一世紀以前，金屬技師工作時，發明了一條現在熟知的“熱之定律”，就是“大多數物質是熱脹冷縮”，尤其是金屬。

因而，很早造車者利用這個物理特性在車輪上裝置金屬胎；後來又有人開始用不同膨脹係數的金屬來做爐子上的節風閘。它的熱元件是金、白金及銀的條片，將其銲合在一起，當受到溫度變化時就發生彎曲動作。這一種熱元件也可用於溫度計，利用彎曲動作來推動指針以指示溫度的升降。

金銀是貴重金屬，因此，不久就代以低價金屬，就是黃銅與鐵皮組合的雙金屬。

1899年，發明了含鎳量36%的鐵鎳合金，就是現在熟知的“因瓦”鋼。這一種發明，本來是為搜求低膨脹係數材料來改進精密計時器量度標準的。因為它的低膨脹特性，就很快被採用與黃銅組合為雙金屬。

顧名思義，雙金屬是由兩種不同金屬組合而成的。平常用片狀的

^①受熱彎曲的金屬，不一定是雙合，有時為求增加載流量，在兩種金屬中間再夾一層銅鎳合金，成三片疊合；惟因一般習慣沿用，並為簡單明瞭起見，仍用“雙金屬”一名。

較多，所以常稱為雙金屬片，但是亦有用條、棍和絲各種形狀的。圖 1 表示雙金屬的組成及其工作狀況：

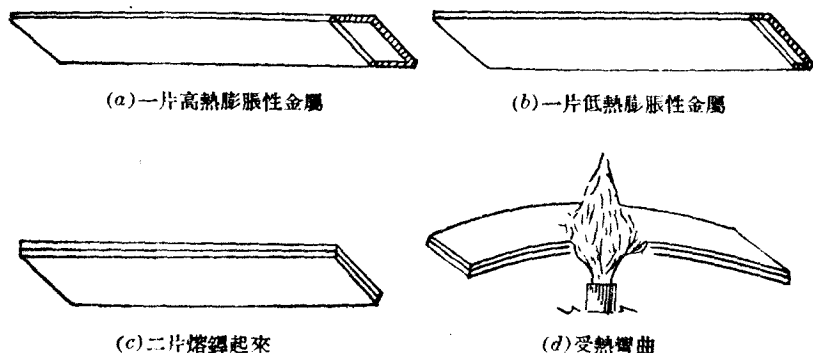


圖 1

雙金屬的功用是將熱能直接轉換為機械能，用來控制電器。它的加熱可由電阻、熱傳導、對流或輻射等方式來完成。

雙金屬的黏合大致可用下列數種方法：

1. 壓鑄；
2. 用鋅料作中間層或鋅劑的鋅合；
3. 澆鑄或熔鋅法，即以低熔點金屬澆至高熔點金屬上；
4. 浸入法，即以高熔點金屬浸入到低熔點金屬的液體中，有種軸承澆鑄也採用此法；

5. 電鍍；

6. 噴鋅；

7. 用金屬粉末燒結後再輾軋。

雙金屬黏合方法雖然很多，但是主要原理僅是擴散作用。

波爾赫維奇諾夫教授(Н. Ф. Болховитинов)對於擴散的解釋是：

“在固體裏擴散過程的作用情形，是由於原子(離子)間儲能分佈的不

均勻，可以引起它們從結晶格架中的結點移動到結點之間，在那裏它們繼續振動，並可能跳越到相鄰結點之間的位置上，或原子缺落的結點上。溫度提高，使原子（離子）的振動加大，增加了這種移動的可能性，即是增加了擴散作用”。

根據這個解釋，兩種金屬的強固黏合彼此需有一定的親和力，並且使這種接近於接觸面的不同原子互相變換；所以，這一親和力是對於一個固體金屬同另一個液體、氣體或是固體黏合的一個重要因素。

某種固體金屬與其他溶解或是液體狀態的金屬不相黏合，如鐵、鎳與水銀；有種金屬在某一個溫度時，很容易與他種金屬相混合，形成“單相”，如鋼與溶解了的銅和銀合金等，因此這種合金是很好的銲接材料。

軟性金屬如白金、金和銀，或是低熔金屬如鉛、錫等在室溫時，就可以用壓力銲接，但如其他普通金屬是需要在高溫高壓的過程才能獲得強固的黏合。一般雙金屬是經過這種步驟軋成平板，再由冷軋到所需要的厚度，然後沖剪成各種形狀。

擴散的速度，主要根據兩種金屬的性質：它們的濃度及溫度。擴散係數 D 由下列關係式決定：

$$\frac{dc}{dt} = D \times \frac{d^2c}{dx^2}$$

式中： c = 濃度； $\frac{dc}{dt}$ = 在單位時間中濃度的變化；

$\frac{dc}{dx}$ = 在 x 的擴散方向的濃度差。

係數 D 隨溫度而變化，其關係可由下列指數式表明：

$$D = A \cdot e^{\frac{-b}{T}}$$

式中： A 和 b = 常數； T = 溫度； e = 自然對數的底。

2. 基本原理

雙金屬的作用是利用兩種金屬的不同熱膨脹係數，所以先要闡明熱膨脹係數的意義。

直線熱膨脹係數，是一根 1 公厘的棒，在升高 1°C 的溫度時，所增長的公厘數。

設： l_{t_2} = 在 t_2 溫度時，棒的長度；

l_{t_1} = 在 t_1 溫度時，棒的長度； α = 膨脹係數。

即： $l_{t_2} = l_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$

熱膨脹係數隨溫度而變化，僅僅說明膨脹係數是無意義的，除非給予一個溫度的相當範圍。普通計算是根據應用於一個廣闊的溫度範圍內的平均膨脹係數。

由於試驗的困難，測量熱膨脹係數的絕對量僅能在很少的具有特殊設備的試驗室中進行。所以熱膨脹的測量，一般採用與石英玻璃的對比來決定。將石英玻璃的膨脹係數加到原得到的相對值上，可得到絕對值。

下表是石英玻璃的平均熱膨脹值。

表 1

溫 度 範 圍 $^{\circ}\text{C}$	膨 脹 係 數 $\times 10^{-7}$
20—100	5.3
20—200	6.0
20—300	6.4
20—400	6.5
20—500	6.2
20—600	6.0

雙金屬是將兩種不同直線熱膨脹係數的金屬鋸合在一起，當溫度變化時，一層金屬膨脹或收縮勝於另一層金屬時，就發生一種動作或偏轉的特性。

譬如，當一個雙金屬條片受到熱度時，它的高膨脹係數層作直線膨脹而達到它的一定數值，但是低膨脹係數層也具有它的比較小的膨脹數值，在這兩種金屬被牢固地鋸合在一起的情況之下，就起了彎曲動作，到受冷的時候，也是同一原理。

所以，一片雙金屬受到某一個溫度的加熱，它的高膨脹層就會變成凸形圓弧，在回到原來溫度時，它也回復到原來的形狀。同樣地，如果它受冷到原來溫度以下，也彎成圓弧形；不過它的高膨脹層是成凹形，在回復到原來溫度時，也保持原來的形狀。

圖 2 所示，可以說明上述原理。

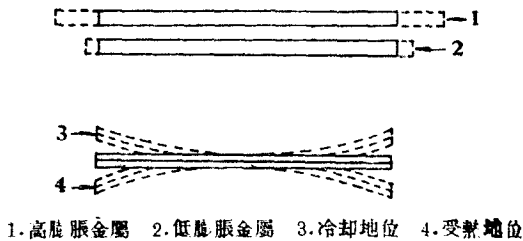


圖 2

第二章 雙金屬的種類及其主要用途

1. 種類

雙金屬沒有明顯的分類，普通以應用溫度而分做“低溫”及“高溫”兩式。低溫類包括“因瓦”鋼與黃銅或青銅組合的雙金屬，這種材料只能應用於不影響它的物理性能的最高運用溫度之內。高溫類包括以鐵鎳基的合金為主動層^①材料的雙金屬，可以在高溫下工作而不致改變物理性能。

或依據加熱方式而分為間接加熱式、直接加熱式及複加熱式。間接加熱是用電阻材料作為加熱元件或者是利用周圍溫度亦可，這類雙金屬不需要注重它的電阻係數，如“因瓦”鋼與黃銅組合的雙金屬類。直接加熱是用電流直接通過雙金屬而發熱，所以要選用電阻係數高的材料，如以鎳鉻鐵合金為主動層的雙金屬比較適合，但是高溫間熱式亦可用此類元件。複加熱式是併上述兩種方式在一起，使其在運用時，發熱更快。

如照形狀來分，種類更多：如直片式、螺旋式、發條式、U字式、碟式、墊圈式及逆鐸式等。

2. 雙金屬主要用途

麥·阿·巴比科夫(М. А. Бабиков)在電器學中說到：“我們可以利

^①依據蘇聯文獻：低直線膨脹係數層，稱為被動層；高膨脹係數層，稱為主動層。

用雙金屬的基本功能——在溫度的作用下，自動改變形狀——用以製成許多樣的自動化電器，如熱保護繼電器、繼電器指示器、自動限制器、溫度調節器、小的自動化機構等”。所以雙金屬用途至為廣泛，根據其應用範圍，約可歸納為四類：（1）電路控制及保護裝置；（2）機械裝置；（3）溫度控制裝置；（4）儀表。茲介紹幾種實例，來說明雙金屬的運用原理：

（1）電路控制及保護裝置

（甲）斷路器

效應：溫度補償及限流作用

發熱方式：周圍溫度、輔助發熱及直接發熱

當電路內發生變動時，如短路或通過大量過載電流，足以引起災害，一定要採用自動控制及保護裝置。斷路器就是在家用或工業電路上保護過載負荷用的，它利用雙金屬受熱彎曲的特性作脫扣作用，比較

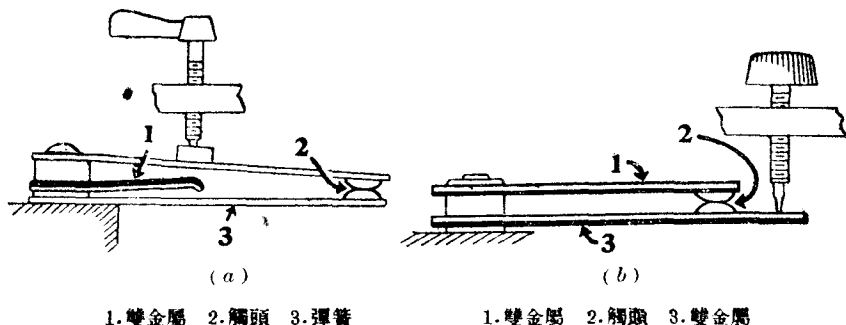


圖 3 利用周圍溫度間接式

經濟簡單，並具有一定的準確度。它的構造和普通開關或繼電器一樣，就是在必要的彈性部分及電路間用雙金屬代替，如遇過載電流，因發熱使雙金屬與觸頭分開而切斷電路。

圖 3 a、b 是斷路器上間接式雙金屬裝置的形狀；圖 4 a、b 是直接

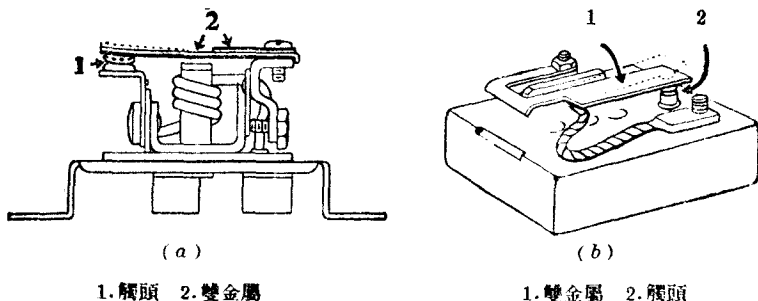


圖 4 串入主要電路直接式

式雙金屬裝置的形狀；圖上雙金屬黑色的一面示主動層。

(乙) 熱繼電器

效應：溫度補償及限流作用

發熱方式：周圍溫度、補助發熱或直接發熱

熱繼電器亦是保護電流過負荷的，是根據電流的熱力作用而動作的。

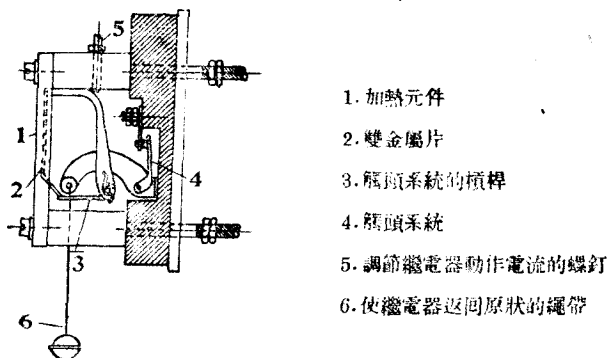


圖 5 TT-11 型熱力繼電器

圖 5 是蘇聯 XЭМЗ 工廠所製 TT-11 型熱繼電器，它的工作部分是雙金屬片。

(丙)電壓調整器

效應：溫度補償作用

發熱方式：周圍溫度

汽車上所用的電壓調整器是維持過冷及過熱氣候時的調整作用，使發電機按需要的情形供給適當的電流。

自動電壓調整器的運用是依靠一條雙金屬來控制，其原理可在圖6中說明：

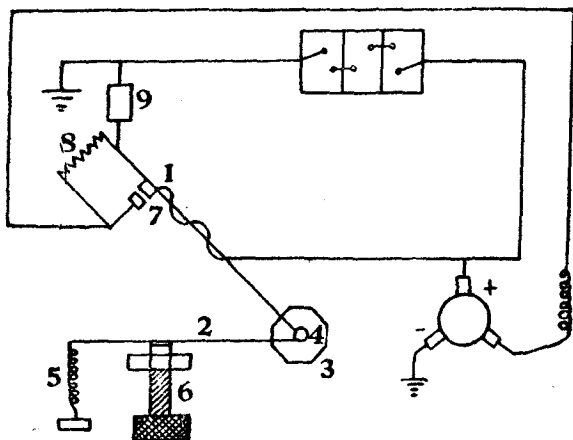
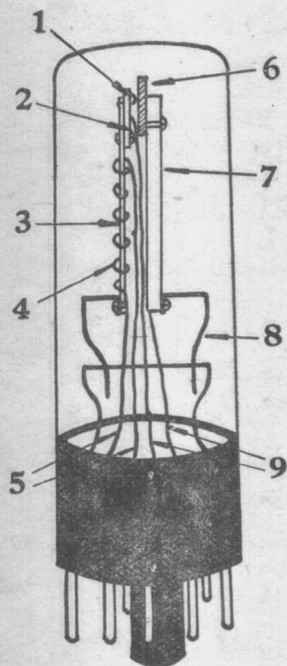


圖 6

電壓調整器有兩個雙金屬臂 1 及 2 裝置在絕緣塊 3 上，旋繞旋鈕 4 作時針方向轉動，下方 2 被彈簧 5 所拉住，緊壓於螺釘 6，同時要轉動上臂 1 使之向下閉合觸頭 7，在觸頭之間有電阻 8 被分流，7 及 8 與發電機的磁場及保險絲 9 相平行而在一起串聯的。臂 2 是沒有熱絲圍繞的，因此它僅受周圍溫度的影響，目的在補償季節溫度的變化，譬如在冷的氣候，使充電率增高；在熱的時候，使充電率降低。

臂 1 是被電熱絲圍繞的，這個線圈與發電機及蓄電池接端相連接，

所以溫度與蓄電池的電壓成正比變化，當蓄電池充分充電的時候，溫度高；不充電的時候，溫度就低。當蓄電池充分充電時的發熱，足夠使觸頭 7 分開，如此電阻 8 串入磁場回路，於是減少發電機輸出量，使蓄電池不能過分充電。



1. 觸頭 2. 絕緣片
3. 雙金屬片 4. 電熱絲
5. 低壓電熱 6. 固定觸片
7. 絕緣片 8. 支架
9. 受控制之高壓線

圖 7

(丁) 熱控管

效應：自動延時閉路

發熱方式：補助加熱

熱控管是無線電工程、高頻工程、X 射線工程等重要元件之一，用以自動關閉或開啓高電壓線路。因為它具有延時及真空熄弧的兩個優點，所以用以保護巨型真空管或巨型 X 射線管。

熱控管的外形構造（見圖 7）與一普通無線電真空管相似，並抽高度真空，內部構造為一繞有電熱絲的雙金屬片，片的一端附置絕緣的觸頭，電熱絲通以電流時，雙金屬片因受熱而彎曲，在預定的一定時間後，觸頭即與固定觸片接通，以閉合電路。

(戊) 自動燈標

效應：在一定時間週期內自動開閉燈光電路

發熱方式：補助加熱或複加熱

自動燈標在航海上有很大功用，它可以用在海港的附近指示航路或暗礁的附近指示危險，利用燈光不斷地明滅以引起

航船注意，此外它還可以利用為廣告宣傳等用途。

它的構造(見圖 8)是用一條雙金屬片，用補助加熱或複加熱方法使它彎曲，因而開啓一端的觸頭，此時電流已斷，雙金屬片冷卻而回復到原來位置，觸頭又相關閉，電流又通，雙金屬復受熱彎曲，如此循環不已，以達自動開閉電路之目的。

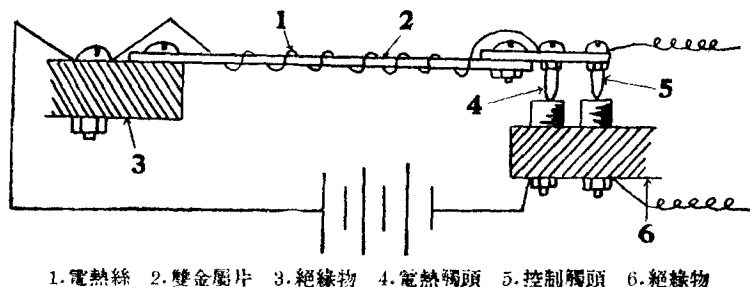


圖 8

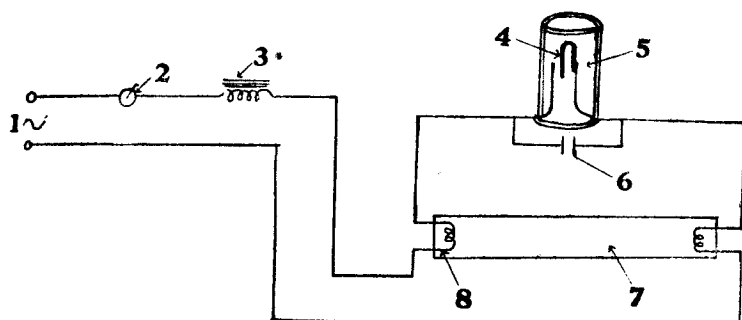
(乙) 螢光燈啓動器

效應：自動啓閉電路

發熱方式：周圍溫度

啓動器是用作熱陰極螢光燈的陰極最初加熱的自動裝置，在封閉的真空玻璃管中，置有兩個電極觸頭，其中之一是雙金屬片製成，最新式的一種是輝光放電式加熱的，它的線路圈如圖 9 所示：

當燈初開啓時，供電電源的全部電壓加到啓動器的電極上，由於兩電極未成通路，造成氖氣的輝光放電，靠此放電所生之熱，使雙金屬片彎曲，致兩電極觸頭觸合而成短路。此時螢光燈的熱陰極開始通過電流而放射電子。衝擊燈管內的水銀蒸氣發生電弧放電，螢光燈因以點燃。但同時啓動器的兩電極因短路而停止輝光放電，雙金屬片變冷而復原。由於螢光燈已經點燃，啓動器的電極間電壓降落到起輝點以下，故不再起輝光。



1. 供電電源 2. 開關 3. 鎮流器 4. 雙金屬片 5. 充氖玻璃泡
6. 容電器 7. 螢光燈管 8. 熱陰極

圖 9

(2) 機械裝置

(甲) 蒸汽控制器(蒸汽祛水器)①

效應: 串系性控制

發熱方式: 周圍溫度

蒸汽控制器用於蒸汽總管、支管、分離器等, 以排除跟乾熱蒸汽同流的水流或蒸汽管路中所積儲的冷空氣和冷凝水。它的構造及雙金屬裝置見圖 10 a、b。

當雙金屬片和冷空氣相接觸時, 自動放氣孔 10 開啓, 蒸汽機件和蒸汽管中存在的大量冷空氣及冷凝水經自動放氣孔 10, 能很快的將它放出。

蒸汽進入控制器時, 雙金屬片和乾熱蒸汽相接觸時, 雙金屬片溫度升高至 100°C , 將自動放氣孔 10 關閉, 吊桶 3 因水位壓力差而浮升, 隨將汽門 6 關閉, 其形狀如圖 10 之 b 所示。

① 本節材料由中國通惠機器公司供給。