

《热双金属》编写组 编

热 双 金 属

冶金工业出版社

73.862
458

热 双 金 属

《热双金属》编写组 编

21527/25

冶金工业出版社

本书主要总结归纳了5J11、RSG-1、RSF等十几种牌号的国产热双金属材料性能数据。并对热双金属的使用常识作了简单介绍。可供我国从事有关热双金属材料单位的工人、工程技术人员参考。

本书的主编单位：北京钢铁研究院；上海钢铁研究所；一机部电器科学研究所。

热 双 金 属

《热双金属》编写组 编

(内部发行)

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

开本小32 印张 2 1/8 字数 43 千字

1974年2月第一版 1974年2月第一次印刷

印数 0,001~8,500册

统一书号：15062·3097 定价（科三）0.19元

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

目 录

一、热双金属的定义及动作原理.....	1
二、热双金属应用介绍.....	1
三、热双金属材料的特性.....	4
四、国产热双金属的性能.....	10
1. 国产热双金属性能总表.....	10
2. 几种热双金属偏转角与温度的关系曲线.....	12
3. 热双金属各牌号性能介绍.....	13
五、热双金属的使用常识.....	40
1. 牌号选择和元件设计.....	40
(1) 如何根据使用温度选材.....	41
(2) 如何加热热双金属元件.....	41
(3) 如何利用硬度和强度.....	42
(4) 如何确定元件的形状.....	43
(5) 如何可使元件的体积最小.....	44
2. 改制生产厂提供的热双金属.....	46
3. 制作热双金属元件的注意事项.....	47
(1) 冲剪、弯折和卷绕.....	47
(2) 元件的固定.....	47
(3) 表面防护.....	47
(4) 元件的热处理.....	48
六、常用热双金属元件的计算及举例.....	51

31028

一、热双金属的定义及动作原理

热双金属是由不同热膨胀系数的两层或几层金属（合金）彼此牢固结合的组合材料。其中热膨胀系数较高的一层称为主动层、较低的一层称为被动层。有时，为了获得特殊性能的热双金属，还可以有第三层、第四层……。习惯上也统称为热双金属。

图 1 (a) 是一块在某温度 T_0 时的热双金属。它是平直的。加热时，主动层（本书中均用黑色表示）由于热膨胀系数较高，其自由伸长应比被动层大，但实际上这两层材料是牢固结合在一起的，所以主动层

的自由伸长受到被动层的牵制，

而被动层的自由伸长受到主动层的

拉伸。也就是说，热双金属片

在加热时，主动层受到压力，被

动层受到拉力。这些热应力产生

的弯矩使热双金属片弯曲成主动

层凸起、被动层凹进的圆弧（图

1 (b)）。如果温度降到 T_0 以

下，则热双金属片将弯曲成被动

层凸起、主动层凹进的圆弧（图 1 (c)）。



图 1

二、热双金属应用介绍

热双金属在温度改变时会发生弯曲，并产生推力。因此，在各方面广泛地用作温度测量及自动控制设备中的热敏

感元件。它可以用于下列四个方面：

1. 温度指示 作为温度指示的热双金属元件一般制成盘形螺旋或管形螺旋。如图 2 为 T 型热双金属温度计。连杆 2 的一端穿过热双金属管螺旋 1，在底端相互焊接。另一端

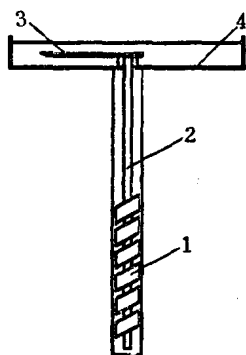


图 2

与指针 3 相连。当温度变化时，管螺旋围绕轴线转动，通过连杆使指针转动，从而在刻度盘 4 上指示出温度的变化。

2. 温度控制 如图 3 所示的温度继电器实质上是一只用热双金属元件制作的恒温控制器，体积很小，可以直接放在电动机绕组上，作过热保护。在正常情况下触头 1 和 2 是常闭的，一旦绕组温度过高，热双金属碟形元件 3 瞬时向上跳跃，迅速断开控制回路，使接触器主触头释放，从而断开电动机主回路电源。

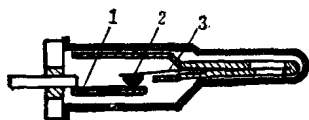


图 3

3. 程序控制 图 4 就是用热双金属元件制作的过载保护的热继电器，它用于程序控制其动

作原理如下：绕在工作热双金属片 1 上的加热元件接入电动机主回路。当电动机过载时，加热元件发热，使热双金属片 1 向左弯曲，推动导板 2，经补偿用热双金属片 3 和推杆 4 将动触头 5 与静触头 6 分开，断开控制回路，切断电动机主回路电源，使电动机得到保护。同时，动触头 5 与常开静触头 7 接通信号电路，发出信号。

4. 温度补偿 作温度补偿的热双金属片一般与工作的热双金属片配合使用。它能抵消工作的热双金属片因温度变化而产生的零点漂移。图4热继电器中，补偿热双金属片3即为补偿环境温度变化之用，使常闭触头6与5的相对位置不因环境温度的变化而变化。

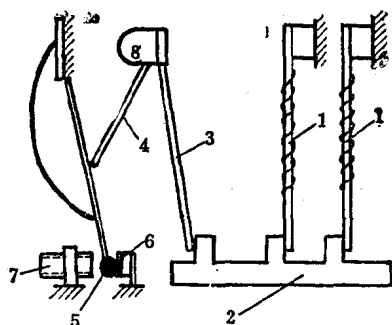


图 4

热双金属在各方面的典型用途一览表

使用领域	典 型 用 途
电气工业用	电动机保护、变压器烧损防护、电气开关、热继电器、时间继电器、断路器、电动机(Y—Δ)起动开关等。
交通工业用	I. 汽车、拖拉机：发火器、气化控制器、蒸气热自动控制、冷却水自动调节、发动机冷却水温度遥测、润滑油压力遥测、排气温度控制、自动电压调节、过电流热继电器、短路保护、热开关线路保护等； II. 飞机：保护装置、挡风玻璃融冰器等； III. 船舶：自动温度调节、航海时钟等。
一般工业用	精密恒温装置、限流器、蒸发器、混合阀、内燃机预热器、工业电炉、橡胶硫化器、燃烧喷嘴调节、烟道调节等。
农 业 用	温室、温床、孵卵、育雏、家畜保温、蚕种孵化、蚕室保温、蔬菜的干燥和贮藏、酿育细菌等。
建 筑 用	取暖、暖房用的水、气体温度调节、电气取暖设备调节等。

续表

使用领域	典 型 用 途
仪表工业用	Ⅰ. 电测量仪器：热双金属电流计、伏特计、瓦特计等。 Ⅱ. 科学仪器：温度计、气象仪器、压力表、油表、流速表、精密测时表等。
电讯事业用	电话时间继电器、电话过电压保护、电感电容温度补偿等。
安全设备用	火灾警报器、灭火器、街道交通有色讯号自动转换装置、煤气检漏器等。
照明设备用	荧光灯起动机、离子管等。
其 它	电熨斗、电灶、电冰箱、冷冻机、水温调节、室温调节等。

三、热双金属材料的特性

热双金属具有一般金属（或合金）所没有的独特性能。我们使用热双金属也就是利用它的特性。

热双金属因温度变化而弯曲的特性称为热敏感性。弯曲动作按不同的元件形状有直线及旋转等各种方式，同时在其运动当中能产生一定的推力，还能作功。热双金属受热后弯曲量的大小、运动方式和产生的推力取决于组合层材料热膨胀系数的差值、温度的变化、元件形状和尺寸以及弹性模量。

热双金属组合层材料（特别是被动层）的热膨胀性能和应力状态决定了它的使用温度范围。只有在它的使用温度范围内，热敏感性和推力才有一定的数值。超出使用温度范围，其热敏感性将降低到无法使用的程度；或者由于内应力的剧增，超过了材料的允许安全应力，以致发生残余变形。

热双金属材料的性能包括下列几方面：

1. 热敏感性：用比弯曲、温曲率和敏感系数表示；
2. 使用温度范围：用线性温度范围和允许使用温度范围表示；

3. 弹性模量；
4. 允许应力和最大允许应力；
5. 电阻率；
6. 硬度；
7. 比重；
8. 比热。

现选其中较特殊的性能作如下介绍：

1. 热敏感性

热双金属的热敏感性是衡量它对温度敏感程度的一项重要指标，也是最主要的性能之一。

通常有三种表示方法：比弯曲、温曲率和敏感系数。我国冶金工业部部颁标准“YB137—69热双金属技术条件”中用比弯曲表示热双金属的热敏感性。

(1) 比弯曲：单位厚度的热双金属片温度变化一度时的曲率变化。

热双金属的比弯曲K用下式计算：

$$K = \frac{f \cdot S}{T - T_0} \cdot \frac{1}{f^2 + L^2} \quad (1)$$

式中：K——比弯曲， $1/^\circ\text{C}$ ；

f——试样自由端的挠度，毫米；

S——试样厚度，毫米；

L——测量点到夹持端的直线距离（有效长度），毫米；

$T - T_0$ ——温度差， $^\circ\text{C}$ 。

测量原理：将平直条片试样一端夹持固定，测量温度 T 时试样自由端的挠度。如图 5 所示。若已知试样的尺寸，只要用仪器测量出当温度变化 $(T - T_0)$ 时试样自由端的挠度 f ，代入式 (1)，即可求得比弯曲 K 值。当 $f < 10\% L$ 时，比弯曲 K 值可用下列简化公式计算：

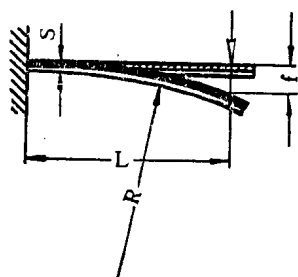


图 5

$$K = \frac{f \cdot S}{T - T_0} \cdot \frac{1}{L^2}$$

比弯曲可用我国 SB 型热双金属片测挠仪或同精度的其它型号仪器测量。试验方法可参考第一机械工业部部颁标准“JB 739-65 热双金属片比弯曲试验方法”。

(2) 温曲率：单位厚度的热双金属片温度变化一度时的曲率变化。

热双金属的温曲率 F 用下式计算：

$$F = \frac{f \cdot S}{T - T_0} \cdot \frac{8}{L^2 + 4fS + 4f^2} \quad (2)$$

测量原理：将平直条片试样搁置于相距为 L 的两个刀口上，当温度变化 $(T - T_0)$ 时，测量试样中点的挠度 f 。如图 6 所示。把试样的厚度 S 、挠度 f 、刀口距离 L 和温度变化 $(T - T_0)$ 代入式 (2)，即可求得温曲率 F 值。

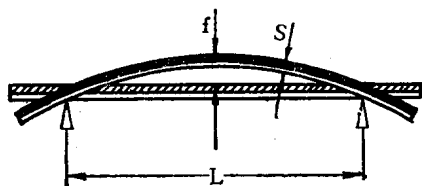


图 6

必须指出，温曲率与比弯曲的定义虽然相同，但因测量方法不同，所以用这两种物理量来表示同一材料的热敏感性，数值上是不相等的。

(3) 敏感系数：热双金属组合层材料热膨胀系数的差值。

热双金属的敏感系数M用下式计算：

$$M = \frac{\phi \cdot \pi \cdot S}{270 \cdot L \cdot (T - T_0)} \quad (3)$$

测量原理：将厚度S小于0.5毫米、长度L为200毫米的条片试样卷成盘螺旋状，其中心端固定，当温度变化 $(T - T_0)$ 时，测量其自由端偏转的角度 ϕ 。如图7所示。利用公式(3)即可算出敏感系数M值。

根据以上所述可知，热双金属的弯曲量受下面几种因素的影响：

(1) 与比弯曲K值成正比。

(2) 与有效长度L的平方成正比。

(3) 与试样厚度S成反比。

(4) 与温度差 $(T - T_0)$ 成正比。

2. 使用温度范围

使用温度范围是选择热双金属时需要最优先考虑的参数。使用温度范围可划分为线性温度范围和允许使用温度范围。线性温度范围是允许使用温度范围的组成部分。

(1) 线性温度范围

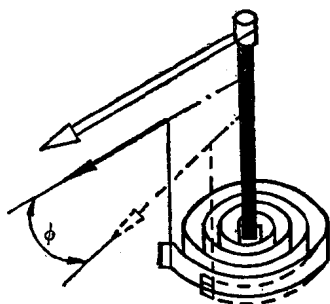


图 7

在这个温度范围内热双金属片的位移量与温度基本上成线性关系。其范围的大小取决于组合层材料（特别是被动层）的热膨胀性能。在线性温度范围内热双金属具有最大的热敏感性能。

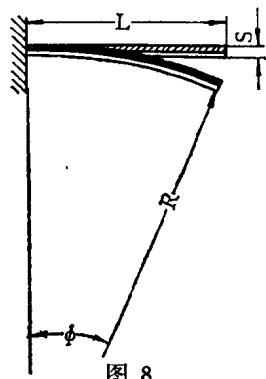


图 8

由图 8 可知，长度为 L 、厚度为 S 的热双金属片，当温度变化 $(T-T_0)$ 时，位移量（偏转角 ϕ ）为

$$\phi = \frac{L}{R}$$

又因

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{2} \cdot \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)(T - T_0)}{S},$$

故
$$\phi = \frac{L}{R} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L(\alpha_2 - \alpha_1)}{S} \cdot (T - T_0) \quad (4)$$

由式 (4) 可知，热双金属片的偏转角 ϕ 与温度变化 $(T-T_0)$ 之间的关系取决于组合层材料的热膨胀系数之差 $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 。在 $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 保持为常数的温度范围内， $[\phi - (T - T_0)]$ 为线性关系。我们把 $[\phi - (T - T_0)]$ 成线性关系的温度范围定义为线性温度范围。本书附有各牌号热双金属的 $[\phi - T]$ 曲线。它们是由我国自行研制成功的自动式 $[\phi - T]$ 曲线记录仪记录下来的。

(2) 允许使用温度范围

温度应力达到热双金属片弹性极限时的温度即为允许使用温度。此时材料尚无残余变形产生。

允许使用温度范围大于线性温度范围。在线性温度范围以外，允许使用温度的上、下限之内，材料的热敏感性能虽有所降低，但是应力还没有达到材料的弹性极限，因此材料

还能使用。

允许使用温度范围也可以从 $[\phi-T]$ 曲线确定。 $[\phi-T]$ 曲线可记录高达 700°C 的热双金属片位移量变化情况。根据曲线能够算出各温度下的温度应力，而把温度应力等于弹性极限时所对应的温度即定为允许使用温度。

3. 弹性模量

弹性模量是表示热双金属机械性能的一个重要参量，是计算热双金属元件的推力、力矩和内应力时不可缺少的一项参数。热双金属的弹性模量 E 用下式计算：

$$E = \frac{4 \cdot P \cdot L^3}{f \cdot b \cdot S^3} \quad (5)$$

测量原理：如图9所示。将条片试样一端夹持固定；于试样的弹性限度内加上负荷 P ；测量出受力挠度 f ，代入式(5)中算出弹性模量 E 。

热双金属片的弹性模量可以采用我国SB型热双金属片测挠仪测量。试验方法可以参照第一机械工业部标准“JB798—66 热双金属片弹性模量试验方法”。

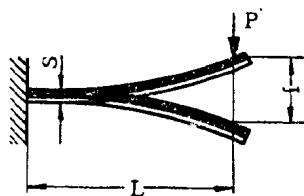


图 9

4. 允许应力和最大允许应力

热双金属材料承受应力能力的大小，主要取决于材料本身的力学性能。为了使得热双金属在实际使用中不致发生残余变形，能够保证在弹性状态下工作，必须使总应力（温度应力、残余内应力及外加负荷应力之和）不能超过任一组合层材料的弹性极限。

将热双金属条片一端夹持固定，在自由端施加机械负荷

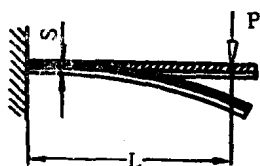


图 10

P (如图 10 所示), 则在热双金属片外层纤维中所产生的最大应力 σ 为:

$$\sigma = \frac{6PL}{bS^2} \quad (6)$$

四、国产热双

1. 国产热双金属性能总表

牌 号 (或名称)	组 合 层 合 金		
	主 动 层	被 动 层	中间层
Y B 137—69			
5 J 11	Mn75Ni15Cu10	Ni36	
5 J 14	Mn75Ni15Cu10	Ni45Cr6	
5 J 16	Ni20Mn6	Ni36	
5 J 17	Cu62Zn38	Ni36	
5 J 18	3Ni24Cr2	Ni36	
5 J 19	Ni20Mn7	Ni34	
5 J 20	Cu90Zn10	Ni36	
5 J 23	Ni19Cr11	Ni42	
5 J 24	Ni	Ni36	
5 J 25	3Ni24Cr2	Ni50	
5 J 101	3Ni24Cr2	Ni36	Cu
其 它 热			
5 J 22	3Ni24Cr2	Ni42	
5 J 26	Ni27Mo6	Ni36	
RSG-1	3Ni24Cr2	Ni29Co18	
RSG-2	Ni10Cr12Mn16	Cr23Cu	
RSF	Ni10Cr12Mn16	Ni36+少量 Cu、Ta、Nb、Mo	

外层纤维受应力 σ 作用后产生应变 ε 。

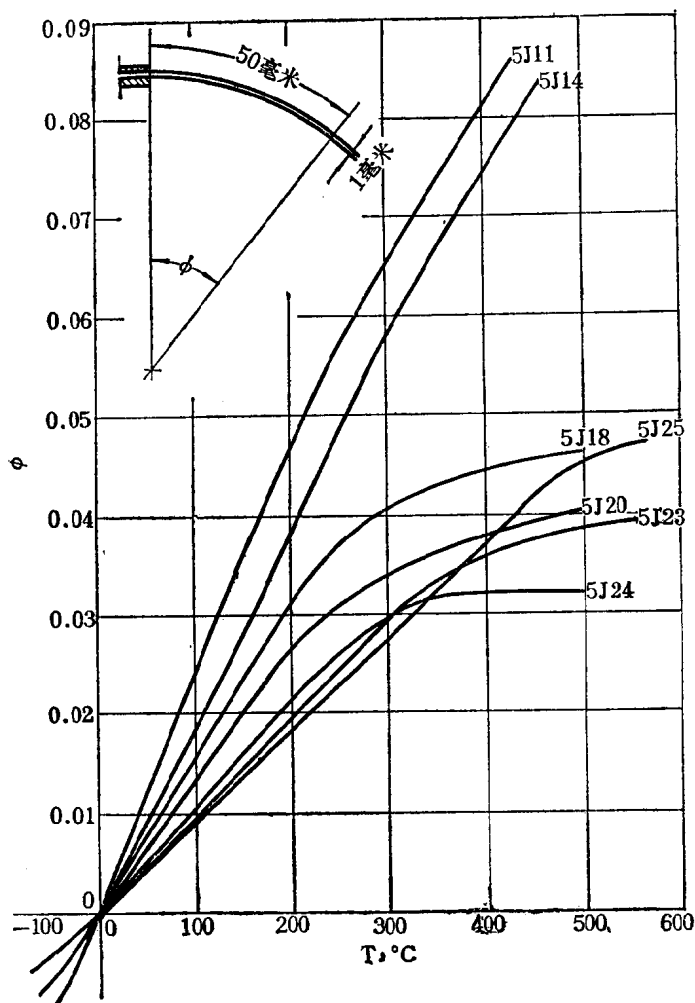
当 $\varepsilon=0.001\%$ 时之应力 σ ，规定为允许应力。此时，外层纤维所受到的应力达到了材料的比例极限。

当 $\varepsilon=0.004\%$ 时之应力 σ ，规定为最大允许应力。此时，外层纤维所受到的应力达到了材料的弹性极限。

金属的性能

比弯曲(K) $\times 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$, 室温 $\sim +150^{\circ}\text{C}$	电阻率(ρ) 欧·毫米 ² /米 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$	弹性模量(E) 公斤/毫米 ² 不小于	线性温度 范围 $^{\circ}\text{C}$	允许使用温 度范围 $^{\circ}\text{C}$
中的牌号				
18.0~22.0	1.08~1.18	13000	-20~+180	-70~+200
14.0~16.5	1.19~1.30	14000	-20~+180	-70~+200
13.8~16.0	0.77~0.82	16000	-20~+200	-70~+350
13.4~15.2	0.14~0.19	12000	-20~+180	-70~+200
13.2~15.5	0.77~0.84	16000	-20~+180	-70~+450
13.0~15.0	0.76~0.84	16000	-50~+100	-80~+375
12.0~15.0	0.09~0.14	12000	-20~+180	-70~+200
9.5~11.7	0.67~0.73	17000	0~+300	-70~+450
8.5~11.0	0.14~0.19	17000	-20~+200	-70~+400
6.6~8.4	0.54~0.59	17000	0~+450	-70~+480
12.0~15.0	0.14~0.18	16000	-20~+180	-70~+200
双 金 属				
10.0~13.0	0.68~0.74	16000	0~+300	—
≈ 14.5	0.80~0.84	16000	-20~+160	—
≈ 10.0	—	16000	+150~+440	—
≈ 7.0	—	—	+175~+650	—
≈ 11.0	≈ 0.88	17000	-20~+200	—

2. 几种热双金属偏转角与温度的关系曲线



热双金属偏转角 (ϕ) 与温度 (T) 的关系