

1 游丝的类型及用途

游丝是利用青铜合金或不锈钢等金属带材卷绕成阿基米德螺旋线形状,用来承受转矩后产生弹性恢复力矩的一种弹性元件。其类型如图 12-13-1 所示。



图 12-13-1 游丝的类型

游丝按其用途可分为以下两种。

1) 测量游丝 电工测量仪表中产生反作用力矩的游丝和钟表机构中产生振荡系统恢复力矩的游丝,都属于这一类。这一类游丝是测量链的组成部分,因此,在实现给定的特性方面有较高的要求。

2) 接触游丝 百分表、压力表中的游丝属于这一类。接触游丝利用产生的力矩,使传动机构中各零件相互接触。所以这一类游丝对其特性的要求不严。

一般地讲,游丝应能满足下面几项要求:

- ① 应能实现给定的弹性特性;
- ② 滞后和后效现象应较小;
- ③ 特性应不随温度变化而改变;
- ④ 具有好的防磁性能和抗蚀性;
- ⑤ 游丝的重心应位于几何中心上;
- ⑥ 游丝的圈间螺距应相等,在工作过程中没有碰圈现象;
- ⑦ 若兼作导电元件时,则游丝材料应有较小的电阻系数。

2 游丝的材料

制造游丝最常用的材料是锡锌青铜 (QSn4-3) 和恒弹性合金 (Ni42CrTiAlMoCu)。锡锌青铜有良好的加工性,较高的导电性,而且熔炼容易,成本低,因此成为电工仪表和机械仪表中游丝的主要材料。在钟表机构中,考虑到减小环境温度对特性的影响,所以采用恒弹性合金作为制造游丝的材料。铍青铜 (QBe2) 具有较高的强度,用铍青铜制造的游丝,可以在实现给定刚度的条件下减轻其重量,使游丝在振动条件下具有较好的振动稳定性。游丝材料及性能如表 12-13-1 所示。

表 12-13-1

游丝材料及性能

材 料	弹性模量 E/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	线胀系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	弹性模量温度系数 $\gamma_E/^\circ\text{C}^{-1}$	伸长率 $\delta/\%$
QSn4-3	98000	784	-4.8×10^{-4}	15.5×10^{-6}	
QBe2	133500	1323	-3.1×10^{-4}	15.4×10^{-6}	30~35
1Cr18Ni9Ti	198900	539	-3.5×10^{-4}	16.1×10^{-6}	
3J58	186200	1372	$\leq \pm 5 \times 10^{-6}$	$\leq 8 \times 10^{-6}$	
Ni42CrTiAlMoCu	202000	1372	0.6×10^{-6}	$\leq 7 \times 10^{-6}$	

3 游丝的计算公式

表 12-13-2

项 目	单 位	公 式 及 数 据	备 注						
扭矩 T	$\text{N} \cdot \text{mm}$	$T = \frac{E \left(\frac{b}{h} \right) h^4}{12L} \varphi$ $T_{90^\circ} = \frac{\pi E b h^3}{24L}$	T_{90° —— $\varphi = 90^\circ$ 时的扭矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$ φ ——在扭矩 T 作用下游丝末端角位移, rad						
最大弯曲应力 σ_w	MPa	$\sigma_w = \frac{6M}{bh^2} \leq \sigma_p$	D_1 ——游丝外径, mm D_2 ——游丝内径, mm σ_p ——许用弯曲应力, MPa $\sigma_p = \frac{\sigma_b}{S_\sigma}$ 式中 σ_b ——抗拉强度, MPa S_σ ——安全系数, 其值如下表:						
游丝长度 L	mm	$L = \frac{\pi(D_1^3 - D_2^3)}{4t}$ $L = \frac{(D_1 + D_2)}{2} n \pi$							
游丝厚度 h	mm	$h = \sqrt[4]{\frac{12LM}{\left(\frac{b}{h} \right) E \varphi}}$							
游丝宽度 b	mm	b 根据表 12-13-3 中 $\frac{b}{h}$ 值确定; 或 $b = \frac{6T}{\sigma_w h^2}$							
游丝螺距 t		$t = Sh$							
螺距系数 S		$S = \frac{D_1 - D_2}{2nh}$							
			<table><tr><td>载荷性质</td><td>S_σ</td></tr><tr><td>静 载 荷</td><td>2~2.5</td></tr><tr><td>变 载 荷</td><td>3~4</td></tr></table>	载荷性质	S_σ	静 载 荷	2~2.5	变 载 荷	3~4
载荷性质	S_σ								
静 载 荷	2~2.5								
变 载 荷	3~4								

4 游丝参数的选择

(1) 游丝圈数 n

通常游丝的内端是随轴一起旋转的, 外端是固定不动的。因此, 游丝内端的转角 φ 与转轴转角相同, 假设转轴转动后游丝每一圈的扭转角相等, 则各圈转角的总和等于转轴的转角。显然, 游丝的圈数越多, 或转轴的转角越小, 则游丝每一圈转角就越小, 同时由于游丝外端固定方法的不完善, 使游丝在扭转后各圈间产生偏心现象。这种偏心现象随着游丝每圈扭转角的加大而增大, 从而对游丝转轴产生侧向力。这个侧向力对游丝正常工作是有害的, 所以游丝转角较大时其圈数 n 也应增多, 以使其每圈转角减小, 推荐如表 12-13-3 所示。当游丝转角 (工作角) 在 300° 以上时, 圈数 n 取 10~14; 转角 (工作角) 在 90° 左右时, 圈数 n 取 5~10。

(2) 游丝宽厚比 b/h

从扭矩 T 公式可以看出, 当游丝长度 L 不变时, 其厚度 h 稍有减小。为了满足游丝的基本特性扭矩 T 的要求, 游丝的宽度则应明显增大。由此可见, 游丝宽厚比 b/h 的加大会使游丝的截面面积增大。

游丝截面面积增大, 表示其材料内部的应力值将减小。所以游丝的弹性滞后和后效也随之减小。因此, 对滞后和后效要求很高的游丝一般都选择具有较大的宽厚比 b/h 。例如, 对于电工仪表上的游丝, 其宽厚比通常选在 8~15 左右。具有较大宽厚比 b/h 的游丝, 其缺点是制造上较为复杂, 由于把线材轧成宽而薄的金属带, 势必增加轧制次数。对滞后和后效没有要求的接触游丝则选取较小的宽厚比, 其值通常在 4~8 左右, 较小宽厚比 b/h 的游丝除了制造简单以外, 游丝的截面面积小, 也就意味着其重量减轻, 因此在振动条件下工作的游丝, 其宽厚比 b/h 应选取较小的数值。例如, 手表游丝的宽厚比 b/h 常常选取 3.5, 航空仪表和汽车拖拉机仪表上的游丝也应选取较小的宽厚比, 见表 12-13-3。

(3) 游丝长厚比 L/h

按游丝转角为 90° 时应力小于 $\sigma_b/10$, 求得几种常用材料测量游丝的长宽比 L/h 列于表 12-13-4, 在相同转角时, L/h 值越大则应力越小。接触游丝按表中数据 $1/3 \sim 1/4$ 选取。

表 12-13-3 游丝宽厚比和圈数

使用条件	b/h	$n/\text{圈}$
电表测量游丝(工作角约 90°)	8~15	5~10
机械表接触游丝(工作角 300° 以上)	4~8	10~14
手表振荡条件下使用的游丝	3.5	14 左右

表 12-13-4 测量游丝长厚比

材料	QSn4-3	Ni42CrTi	QBe2
L/h	>2500	>2000	>1500

(4) 螺距系数 S
一般取 $S \geq 3$ ，否则易出现碰圈现象。

5 游丝的尺寸系列

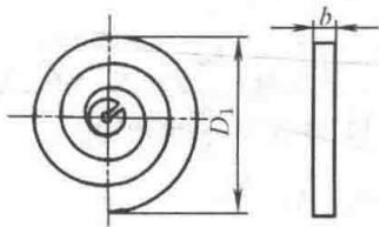


表 12-13-5

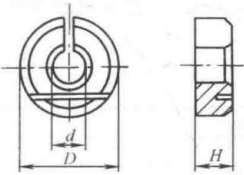
扭矩 T $/(10^{-5}\text{mN} \cdot \text{m}/90^\circ)$	外径 D_1 /mm	游丝座外径 D/mm	宽度 b /mm	圈数 n /圈	扭矩 T $/(10^{-5}\text{mN} \cdot \text{m}/90^\circ)$	外径 D_1 /mm	游丝座外径 D/mm	宽度 b /mm	圈数 n /圈
245.25 294.3 392.4 490.5	9	3	0.33 0.34 0.36 0.38	6~7	12262 13734 15696 19620	14	4.5	0.70 0.72 0.74 0.84	8~9
196.2 245.25 294.3 392.4 490.5			0.38 0.40 0.41 0.42 0.43		24526 27468 29430			1.14 1.15 1.16	
588.6 784.8 981			0.44 0.45 0.46 0.47	8~9	1177 1373 1569			0.46 0.53 0.55	9~10
784.8 981 1177.2 1569.6 1962			0.48 0.49 0.50		2452 3139 3924 4905 6180 7848 9810 12262 15696			0.60 0.61 0.62 0.64 0.68 0.71 0.76 0.80 0.86	
981 1177.2 1373.4 1765.8 1962 2158.2 2452 2746 3139 3433 3924 4414 4905 6180 7848 8829 9810	11 (10.5)	4	0.44 0.45 0.47 0.48 0.49 0.50	10~11	2943 3924 4905 5886 7848 9810 11772 15696 19620 24525 27468 29430 39240 49050	18 (17)	5	0.90 0.92 0.94 0.97 1.00 1.02 1.04 1.06 1.10 1.16 1.18 1.20 1.24 1.26	8~9
			0.51 0.52 0.53 0.54 0.55 0.56 0.58 0.60 0.62 0.67 0.68						

注：1. 游丝宽度 b 的偏差应不大于 b 的 $\pm 10\%$ 。
2. 括号内的尺寸不推荐使用。

6 游丝座的尺寸系列

表 12-13-6

游丝座的尺寸系列

	游丝座孔径 d/mm		外径 D/mm	高度 H/mm
	标准尺寸	偏差		
	0.8, 1.0, 1.2, 1.4, (1.5)	± 0.05	3	1
	1.6, 1.8, (1.9), 2.0		4	(1.5)
	2.2, (2.3), 2.4, 2.5		4.5	1.8(1.9)
	2.6, 2.8, 3.0		5	2

7 游丝的技术要求

- ① 游丝的扭矩偏差为 $\pm 8\%$ 。
 - ② 游丝形状应为阿基米德螺旋线，各圈均在垂直于螺旋中心线的平面上，螺距应均匀一致。
 - ③ 游丝表面粗糙度 $Ra \leq 0.08\mu m$ ，侧面表面粗糙度 $Ra \leq 1.25\mu m$ 。游丝座孔内表面粗糙度 $Ra \leq 1.25\mu m$ ，其余表面粗糙度 $Ra > 2.5 \sim 5\mu m$ 。
- 游丝表面应无明显划痕，无严重的氧化斑点，无毛刷、发霉等缺陷。

8 游丝端部固定形式

游丝内外端固定形式如图 12-13-2 所示。游丝的外端固定，常采用可拆连接，如图 12-13-2 中的 h 形式；也可用夹片夹紧，如图 12-13-2 的 g 形式，以便调节游丝的长度，获得给定的特性。内端固定常采用冲铆的方法铆住，如图 12-13-2 中的 a 形式。

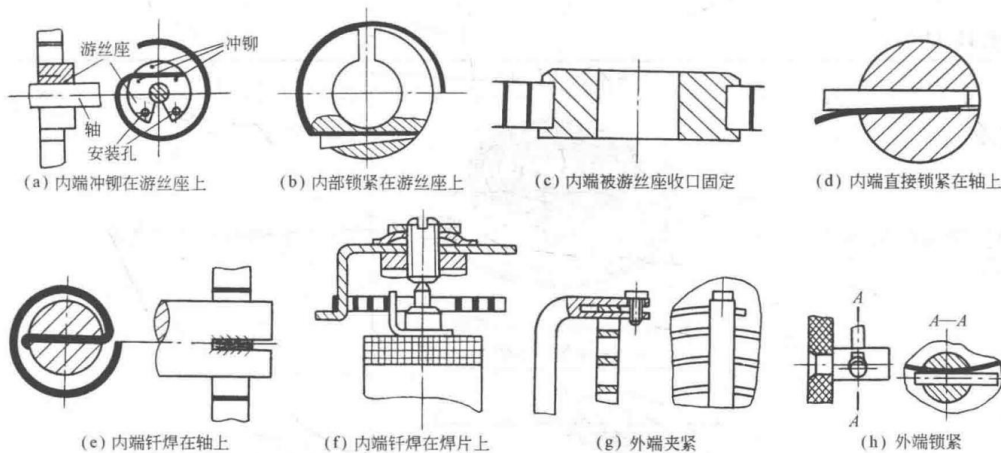


图 12-13-2 游丝端部固定形式

在电工仪表中，游丝除了用作测量元件外，常常又是导电元件，为了减少连接处的电阻，其端部固定常用钎焊的方法。

9 游丝计算示例

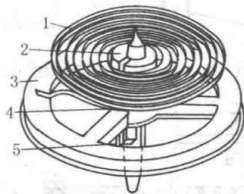
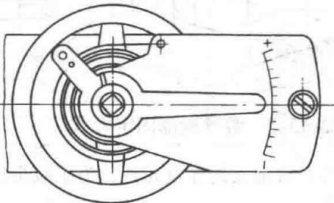
设计百分表用的接触游丝。已知总转角 $\varphi_{\max} = 450^\circ$ ，为使接触游丝可靠地保持结构的力封闭，游丝在初转角 90° 所产生的力矩 $T_{\min} = 54 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{mm}$ 。根据游丝的安装空间选定 $D_1 = 18 \text{ mm}$ ， $D_2 = 4 \text{ mm}$ ，游丝材料为铍青铜 QBe2。

表 12-13-7 游丝设计计算

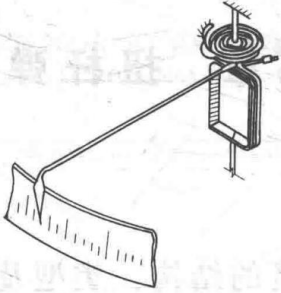
项 目	单 位	公 式 及 数 据
游丝圈数 n	圈	由于游丝的转角较大,选取 $n = 12$
游丝宽厚比 b/h		考虑接触游丝对滞后和后效的要求较低, b/h 值选取 7.5
游丝长度 L	mm	$L = \frac{D_1 + D_2}{2} \pi n = \frac{18 + 4}{2} \times 3.14 \times 12 = 415$
游丝厚度 h	mm	$h = \sqrt[4]{\frac{12LT_{\min}}{\left(\frac{b}{h}\right)E\varphi_{\min}}} = \sqrt[4]{\frac{12 \times 415 \times 54 \times 10^{-3}}{7.5 \times 133500 \times \frac{\pi}{2}}} = 0.114$ 圆整后取 $h = 0.12$
游丝螺距 t	mm	$t = Sh$, 但 $S = \frac{D_1 - D_2}{2nh} = \frac{18 - 4}{2 \times 12 \times 0.12} = 4.86$ 所以 $t = 4.86 \times 0.12 = 0.58$
L/h 值		转角为 $\pi/2$ 时, $\frac{L}{h} = \frac{415}{0.12} = 3458 > \frac{1500}{3} = 500$
S 值		$S = \frac{t}{h} = \frac{0.58}{0.12} = 4.83 > 3$ 结论:游丝尺寸参数是合理的

10 游丝的应用实例

表 12-13-8

类 型	典 型 结 构	说 明
钟表机振荡系统的游丝	 1—游丝;2—游丝座;3—摆轮; 4—摆轮轴;5—小圆盘	利用游丝转角与力矩的关系
使零件紧接触的游丝		利用游丝工作时产生的弹性恢复力矩,使零件之间紧密接触,以消除系统中的空隙对空回误差的影响

续表

类 型	典 型 结 构	说 明
电表中的测量游丝		
百分表中作接触的游丝	