

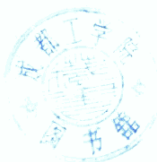
413896

5(3)6
56062

成都工学院图书馆
基本馆藏

转速测量技术

中国计量科学研究院第二力学室編譯



技术标准出版社

5(3)6
56062

序

轉速是表征運轉機器的重要技術特性之一。轉速測量儀器在工業生產、科研和國防建設等方面得到廣泛地應用；它對於保證機器正常運轉、發揮機器工作效率、提高產品質量、控制生產過程，以及對於某些科研成果得出正確結論等方面都起着重要作用。

近代航空、運輸馬達、汽輪機、柴油機、電機及其他動力設備的研究、製造和使用等方面都與轉速測量有着密切的關係。

目前，在我國有關工廠、企業、研究機關及其他部門都對轉速測量提出迫切的要求，急需解決轉速測量技術問題。計量機關急於開展轉速計量工作。但是都感到缺乏必要的技術資料。因此，我們編譯了這本書。

本書的編譯主要根據以下的書籍：“蘇聯轉速表速度表轉數器檢定規程”（247—57）；Ю. М. Богданов 著“精密機械儀器”（1960年版）；М. П. Пазлов 著“速度和時間測量技術”（1950年版）；А. М. Туричин 著“非電量的電測法”（1954年版）；Р. И. Утямышев 著“轉速測量技術”（1961年版）等等。

我們初次嘗試編譯這本書。由於水平低和缺乏經驗，謬誤和不當之處是會有的，希讀者指正和批評。

目 录

第一章 关于转速测量的某些基本概念.....	(1)
§ 1.1 角速度、线速度及其之间的关系.....	(1)
§ 1.2 转速表的分类.....	(3)
§ 1.3 对转速表的基本技术要求.....	(4)
第二章 机械式转速表.....	(6)
§ 2.1 离心式转速表.....	(6)
§ 2.2 离心式转速表的误差.....	(10)
§ 2.3 定时转速表.....	(14)
§ 2.4 摩擦式转速表.....	(19)
§ 2.5 振动式转速表.....	(22)
第三章 电、磁式转速表.....	(24)
§ 3.1 直流电机式转速表.....	(24)
§ 3.2 直流电机式转速表的温度误差.....	(27)
§ 3.3 交流电机式转速表.....	(28)
§ 3.4 带谐振频率计的交流电机式转速表.....	(30)
§ 3.5 带差动检流计的交流电机式转速表.....	(32)
§ 3.6 电脉冲式转速表.....	(33)
§ 3.7 磁式转速表.....	(34)
第四章 频闪式转速表.....	(40)
§ 4.1 频闪测速原理.....	(40)
§ 4.2 机械频闪式转速表.....	(41)
§ 4.3 频闪测速仪.....	(43)
§ 4.4 高精度电子频闪测速仪.....	(45)
第五章 高精度电子转速表.....	(50)
§ 5.1 测速传感器和变换器.....	(50)
§ 5.2 差频转速表的工作原理.....	(56)
§ 5.3 应用磁感应差频测量器的检验用转速表 (实验室用).....	(57)
§ 5.4 带电容式差频测量仪器的转速表.....	(62)
§ 5.5 差频示波记录式仪器.....	(66)
§ 5.6 应用电子射线管的转速测量仪器.....	(68)
第六章 快速电子计数式转速表.....	(72)
§ 6.1 用计数法测量转速.....	(72)
§ 6.2 УСП-100 型万能计数器.....	(73)
§ 6.3 带继电器锁闭装置的电子计数器.....	(81)

第七章 自动记录式转速测量仪器	(82)
§7.1 磁感应式自动记录转速表	(82)
§7.2 二进制字码的断续记录仪	(84)
§7.3 带振荡石英晶体的自动记录仪	(85)
§7.4 带电子计数译码器的磁式自动记录仪	(88)
§7.5 直流差动比较仪	(90)
§7.6 周期校验的积分转速表	(91)
§7.7 用选通法记录转速的电子转速表	(95)
§7.8 应用饱和扼流圈的频率变换器	(103)
第八章 标准转速装置	(105)
§8.1 离心式标准转速装置	(105)
§8.2 频闪式标准转速装置(带音叉振荡器)	(108)
§8.3 TX-4 型标准转速装置	(112)
§8.4 摩擦式标准转速装置	(113)
第九章 转速表的检定	(115)
§9.1 一般用转速表的检定	(115)
§9.2 用绝对法检定转速表	(116)
§9.3 用频率检定转速表(此频率模拟传感器的频率)	(117)
附录	(125)
表1 苏联一般用转速表的基本技术特性	(125)
表2 苏联现代电子转速表的基本技术特性	(126)
表3 苏联标准转速装置的基本技术特性	(127)
表4 频闪式转速表的基本技术特性	(127)
表5 世界某些国家转速测量仪器的基本技术特性	(128)
参考文献	(129)

第一章

关于转速测量的某些基本概念

§ 1.1 角速度、线速度及其之间的关系

如果刚体绕某一固定轴运动时，其上各点都绕同一直线作圆周运动，这种运动叫做转动，该直线叫做转轴。例如，机器上飞轮的运动，轮船或飞机的螺旋桨相对于船身或机身的运动等等，都是转动。

如果刚体转动时，在任意一段相等时间内角位移相等，则叫做匀速转动。在匀速转动时，角位移 $\Delta\varphi$ 与时间间隔 Δt 之比值是一常数，叫做刚体对转轴的转动角速度（图1），用 ω 表示，即

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1)$$

如果刚体在转动时，在相等的时间内角位移不相等，则叫做变速转动。刚体作变速转动时，在某一段时间内角位移和时间的比值，即

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

称为刚体在这段时间内对转轴的平均角速度 $\bar{\omega}$ 。如 Δt 趋近于 0，则 $\Delta\varphi$ 亦趋近于 0，但比值 $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ 则趋近于某一极限值，这个极限值

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2)$$

称为刚体在某一时刻对转轴的瞬时角速度

刚体转动可用矢量来表示，其方向可用右旋螺旋钻来确定。若刚体转动方向和右旋螺旋钻的转动方向一致，则螺旋钻头前进的方向即代表刚体转动角速度的方向（图2a）。

因为刚体在转动时，其上任一点在某一时刻转过的角度是相同的，所以角速度是整个刚体运动的特性。

如果匀速转动的刚体旋转一周时，角位移 $\Delta\varphi = 2\pi$ ，时间间隔 $\Delta t = T$ ，则由公式（1）得出角速度

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

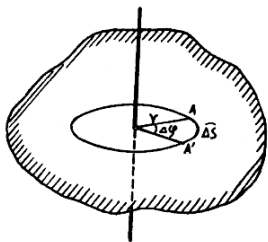


图1 刚体的转动

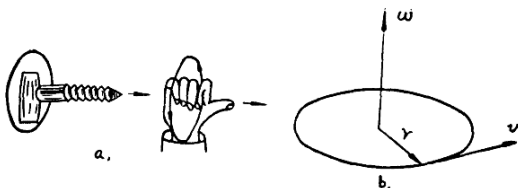


图2 (a) 右旋螺钻定则;
(b) 线速度和角速度的矢量关系。

因 $v = \frac{1}{T}$, 则

$$\omega = 2\pi v \quad (4)$$

式中: v ——旋转频率

角位移的计量单位是弧度, 角速度的计量单位是每秒弧度 (弧度/秒)。

刚体绕定轴转动时, 其上任一点都作圆周运动。假设点 A (图1) 在 Δt 时间内走过的路程 (弧长) 为 ΔS , 而在此过程中刚体的角位移为 $\Delta \varphi$, 点 A 至转轴的半径为 r , 则 ΔS 与 $\Delta \varphi$ 有如下的关系式:

$$\Delta S = r \Delta \varphi$$

由此求得点 A 的线速度与刚体角速度之间的关系式如下:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r \Delta \varphi}{\Delta t} = r \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = r \omega \quad (5)$$

线速度的方向在任何时刻都与圆周切线方向一致。线速度与角速度在方向上的关系式为

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

式中: r ——矢径 (图2b)。

因为线速度是旋转刚体上某一点的运动速度, 所以它只能表明该点的运动特性。

由公式 (3)、(4) 和 (5), 得出

$$v = \omega r = \frac{2\pi r}{T} \quad (6)$$

或

$$v = 2\pi r v$$

线速度的计量单位为每秒厘米 (厘米/秒)、每秒米 (米/秒) 等等。

在工程技术上通常用每分转数 (即转/分) 作为计量单位来评定旋转速度 (即转速) n 因为

$$n = 60v$$

$$v = \frac{n}{60} \quad (7)$$

则公式 (4) 可写成

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{\pi n}{30} \quad (8)$$

从而得出

$$\nu = \frac{\pi n}{30} \quad (9)$$

现将各计量单位之间的关系列表于下:

角 速 度

表 1

计量单位	转/分	转/秒	弧度/秒
1 转/分	1	0.01667	0.1047
1 转/秒	60	1	6.283
1 弧度/秒	9.549	0.1591	1

线 速 度

表 2

计量单位	公里/小时	米/分	米/秒
1 公里/小时	1	16.67	0.2778
1 米/分	0.06	1	0.01667
1 米/秒	3.6	60	1

在转速测量仪器表盘上标刻的计量单位通常采用“转/分”，在速度测量仪器表盘上标刻的计量单位通常采用“米/分”或“米/秒”。

§ 1.2 转速表的分类

测量旋转物体转速的仪器称为转速表。根据工作原理转速表可分为以下几类:

1. 机械式转速表。这类转速表带有机械变换器。例如:离心式、定时式、摩擦式、振动式、液压式和气动式转速表都属于这一类。
2. 磁式转速表。这种转速表带有磁感应换能器。
3. 电式转速表。这类转速表带有电机械换能器,属于这类转速表的有电机式转速表、电脉冲式转速表。
4. 频闪式转速表。这种转速表是根据频闪测速原理制成的,它的特点就是测量时不与被测物接触。
5. 差频转速表。这种转速表是根据测频率差的方法制成的,用于高精度测量转速。
6. 快速电子计数式转速表。这种转速表是利用电子计数器与传感器配套进行工作的,用于精密测量转速的平均值。
7. 自动记录式转速测量仪器,用于自动记录转速。

根据使用方法,转速表可分为固定式和便携式(或手提式)两种。固定式转速表装在某种机器设备上,并通过传动机构与被测转速的轴相联接。当机器工作时在固定式转速表上指示相应的转速。便携式转速表是一种单独使用的仪器,可以用来测量各种机器设备的转速。

一般用轉速表由三個主要部件構成，即變換器（或稱換能器、傳感器）、傳動機構和測量機構。

轉速表變換器接受被測軸的轉速，並反映轉速的變化情況。

轉速表的傳動機構用於聯接變換器和測量機構。

轉速表的測量機構用於指示或記錄被測轉速的示值。

有些轉速表的軸直接聯到機器軸上，有些轉速表的軸則是通過專用的傳動裝置相聯接。通過傳動裝置的傳動比稱為轉速表系數，因此轉速表系數即是輸入軸的轉速與表盤指示轉速之比。

對於固定式轉速表可採用各種型式的傳動裝置：如齒輪變速器、彈性聯軸節、軟軸等等。

某些便攜式轉速表利用橡皮接頭或金屬接頭聯到機器軸上，用時將接頭套在轉速表軸上。

轉速表表盤上分度可以是均勻的和不均勻的。有些轉速表表盤上有零點標線，有些無零點標線。表盤上相當於被測轉速最小值的標線為度標起點，而相當於最大值的標線為度標終點。相當於度標起點至終點的轉速變化範圍稱為表盤的量限。轉速表可以採用一個量限，也可以採用多個量限。

當測量時，能使指針移動一個分度的被測轉速增量稱為表盤的分度值。儀器的示值為測量時指示器指示的轉速值。

固定式轉速表的正常工作位置通常為垂直位置，便攜式轉速表的正常工作位置通常為水平位置。特殊用途的轉速表在使用時應符合其工作狀態。

§ 1.3 對轉速表的基本技術要求

轉速表的機械零件不應有影響其示值精度的疵病。所有活動零件工作不能有擦碰現象，其間隙要符合設計要求。在儀器未工作時，放在任一位置其指針都應停在零點位置。

儀器壳應起保護測量機構的作用，防止灰塵、潮濕和碰撞。有時對儀器壳提出特殊要求，例如防水、密封等等。儀器壳應塗以牢固的防腐層。

轉速表上保護表盤的玻璃應是无色玻璃，不能有大的氣泡和雜質，不能使表盤標線失真，並應緊密地固定在儀器壳上。

轉速表的表盤應固緊，使其在工作時不致因表盤移動而影響示值。

多量限轉速表的表盤應不超過兩列度標：一列度標在外圈；一列度標在內圈。每一度標都能用於一個或若干個量限。兩列度標應互成比例，並與齒輪的傳動比相適應。

表盤標線上的數字應沿著順時針方向增大。表盤分度值應為 1、2、5 個轉速單位，或為上述數字的 10 倍、100 倍等。表盤分度值的最大值不能超過量限上限的 2%。

指針應在指針軸上套緊，指針軸要與表盤中心相重合。指針不能因儀器受振動而移動，當轉速表工作時不能碰撞數字盤和玻璃。

便攜式轉速表應備有測量轉速用的橡皮接頭和鋼接頭以及測量圓周速度用的圓盤。圓盤直徑應與表盤刻度相適應。

頻閃式轉速表應保證被測物體上頻閃象輪廓清楚，便於觀測讀數。

在轉速表表盘上应标明：工厂牌号、仪器编号、計量单位，測量范围。在固定式轉速表上还应标明轉速表系数。

便携式轉速表应装在专用的盒子里，要保护仪器清洁，用时加潤滑油。

对于电子測速仪器的特殊技术要求，将在以后各章节中分別闡述。

第二章

机械式转速表

§ 2.1 离心式转速表

离心式转速表是一种应用最早的转速表，由于它有一定的优点，到现在还得到广泛应用。

离心式转速表的主要优点是结构简单、使用方便。主要缺点是精度比较低。

离心式转速表，是由传动部分、接受器和指示器等三部分组成。

离心式转速表的工作原理。当转速表的轴转动时，离心器上重锤在惯性离心力的作用下离开轴心，并通过传动装置带动表针转动。轴的转速根据指针在惯性离心力和弹簧弹力平衡时的位置来确定（图3）。

惯性离心力可用下式来表示

$$F = mr\omega^2 \quad (10)$$

式中：F —— 惯性离心力；

m —— 重锤质量；

r —— 重锤重心到旋转轴心的距离；

ω —— 旋转角速度。

上式表明：惯性离心力与旋转角速度 ω 的平方成正比，因此角速度的测定归结为惯性离心力大小的测定。通常采用平卷簧或螺旋形弹簧作为惯性离心力的测量元件。

下面分别说明几种常用的离心式转速表。

1. 带4个重锤的离心式转速表（图3）。在这种转速表上4个重锤利用连桿1与轴2相联结。当轴以角速度 ω 旋转时，在离心力的作用下4个重锤离开轴心。这时连桿绕它本身的轴迴转，并利用条片3带动活塞桿4向下移动。平卷簧5绕在连桿迴轉軸上，它的內端固定在軸上，外端固定在連桿上。重锤旋轉所产生的离心力矩由弹簧的弹性力矩来平衡。在某一角速度 ω 下連桿迴轉，并带动活塞桿移动，直到离心力矩和弹性力矩相等时为止。活塞桿的移动通过传动机构变换为指针的迴轉。当两力矩相等时，活塞桿停留不动，因而指针亦停止移动，并在表盘上指示相应的转速。

这种结构的特点就在于：重锤对于旋转轴对称地分布。因此可以消除重力对于旋转轴的影响。

为了计算转速表表盘上的刻度，则利用弹簧弹性力矩与重锤离心力矩相等的关系。

平卷簧弹性力矩

$$M_{sp} = k(\varphi - \varphi_0) \quad (11)$$

式中： $k = \frac{Ehb^3\pi}{12L180}$ —— 弹簧系数（公斤厘米）；

(E —弹簧弹性模数; h —弹簧厚度; b —弹簧宽度; L —弹簧长度。)

φ_0 ——弹簧预扭转角度;

φ ——弹簧在离心力的作用下扭转的角度。

离心力 F 的力矩用下面的公式表示之。

$$M_c = \frac{P}{2g} R^2 \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \sin 2\alpha \quad (12)$$

式中: P ——重物重量 (公斤);

$g = 981 \text{ 厘米/秒}^2$ ——重力加速度;

R ——重物重心到迴轉軸心的距离 (厘米);

n ——每分钟轉数 (轉/分);

α ——軸心与速桿之間的角度。

根据公式 (11) 和 (12), 当 $M_{np} = M_c$ 时, 得出轉速 n 的表达式

$$n = \frac{423}{R} \sqrt{\frac{k(\varphi - \varphi_0)}{P \sin 2\alpha}} \quad (13)$$

2. 带圆环的离心式轉速表 (图 4)。在这种轉速表的离心器軸上装有一个圆环 2, 而圆环 2 利用速桿 3 与套管 4 联接。套管 4 能够沿着軸上下移动。繞圆环迴轉軸装有平捲簧, 此平捲簧用于平衡旋轉圆环的慣性离心力矩。

旋轉圆环的慣性离心力矩为

$$M_c = \frac{P}{2 \times 4g} \left(R^2 + r^2 - \frac{1}{3} h^2 \right) \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \sin 2\alpha \quad (14)$$

式中: P ——圆环重量 (公斤);

$g = 981 \text{ 厘米/秒}^2$ ——重力加速度;

R ——圆环的外半径 (厘米);

r ——圆环的内半径 (厘米);

h ——圆环的高 (厘米);

n ——离心器軸的轉速 (轉/分);

α ——圆环平面法綫与离心器軸之間的夹角。

弹簧弹性力矩按公式 (11) 計算。当 $M_c = M_{np}$ 时得出

$$n = 846 \sqrt{\frac{k(\varphi - \varphi_0)}{P(R^2 + r^2 - \frac{1}{3} h^2) \sin 2\alpha}} \quad (15)$$

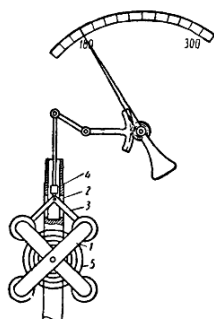


图 3 带 4 个重錘的离心式轉速表

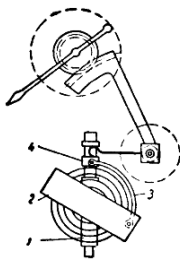


图4 带圆环的离心式转速表

7 传给指针 9。游丝 8 用于消除传动机构的死程。

3. 带一对重锤的离心式转速表 (图 5)。
重锤 1 利用速杆与活动套环 5 及固定套环 3 联结。固定套环 3 装在离心机轴 2 上。离心机轴通过齿轮传动机构从输入轴 6 获得转速。重物 1 与弹簧 4 组成转速表感应元件。

当离心机轴旋转时重锤亦随着旋转。所产生的离心力造成一个作用力，方向向上，施加于活动套环 5 上。对于转速表轴任一确定的转速，活动套环都将停在相应的位置；在此位置上套环向上的作用力与弹簧的作用力相平衡。活动套环随着转速增高向上移动，随着转速降低而向下移动。活动套环的移动通过传动机构

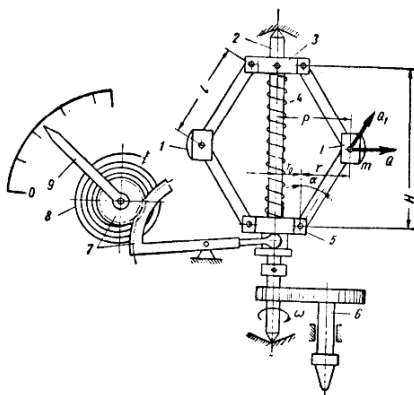


图5 带一对重锤的离心式转速表

活动套环和活动部件重量与弹簧弹力的平衡条件 (不计摩擦力) 可写成如下的式子

$$Q_1 z \cos \alpha = CF \quad (16)$$

式中: C —— 弹簧刚度;

F —— 弹簧压缩量;

z —— 重锤数;

Q_1 —— 速杆拉力;

α —— 速杆轴心与转轴 2 轴心平行线的夹角。

离心力 Q 所造成的速杆拉力 Q_1 与离心机轴的角速度 ω 有关

$$Q_1 = \frac{Q}{2\sin\alpha} = \frac{m\rho\omega^2}{2\sin\alpha} \quad (17)$$

式中: ω —— 离心机軸旋轉的角速度;

m —— 一个重錘的质量;

ρ —— 重錘重心到旋轉軸心的距离。

量值 ρ , F 和 α 与机械参量 and 活动套环位移 h 有关。

$$F = F_y + h \quad (18)$$

式中: F_y —— 彈簧預調壓縮值

設有

$$\cos\alpha = \frac{H}{2l} \quad (19)$$

$$H = H_0 - h \quad (20)$$

式中: H —— 两套环对称中心間的距离 (在工作时);

H_0 —— 两套环对称中心間的距离 (未工作时);

l —— 連桿两关节間的距离。

假定, 关节通过重物重心, 則

$$\rho = r_0 + l \sin\alpha \quad (21)$$

式中: ρ —— 重錘中心到离心机軸中心的距离;

r_0 —— 套环与連桿联結的中心到离心机軸中心的距离。

根据公式 (16) 的平衡条件, 同时考虑到关系式 (17—21), 則得出感应元件的技术特性, 即活动套环的位移 h 与离心机軸角速度 ω 之間的关系式:

$$\omega = 2 \sqrt{\frac{C(F_y + h)}{zm(H_0 - h) \left[\frac{2r_0}{\sqrt{4l^2 - (H_0 - h)^2}} + 1 \right]}} \quad (22)$$

用計量单位 (轉/分) 表示离心机軸的角速度, 公式 (22) 可写成下面的形式

$$n = \frac{60}{\pi} \sqrt{\frac{C(F_y + h)}{zm(H_0 - h) \left[\frac{2r_0}{\sqrt{4l^2 - (H_0 - h)^2}} + 1 \right]}} \quad (23)$$

图 6 所示为按公式 (22) 所得出的离心式轉速表的特性曲綫。显然此特性曲綫是非綫性的。但特性曲綫的中間部分最接近綫性。

根据公式 (13)、(15)、(23) 可以看出: 离心式轉速表感应元件的特性曲綫都是非綫性的。因而离心式轉速表的表盘是不等分度的。轉速表表盘通常是用实验方法以标准轉速表的示值为依据进行刻度。表盘度标上限 n_B 与下限 n_H 之比 $\frac{n_B}{n_H}$, 称度标系数。度标系数愈大, 則它愈不成比例关系, 倍数小 (例如两倍) 的度标較為接近綫性关系。通常, 度标系数不超过 $8 \sim 10$ 。

为了减小轉速表表盘分度的不均匀性, 則可恰当地选取轉速表的各参量及其測量范围, 利用其特性曲綫的綫性部分。便携式 (手提式) 轉速表往往做成多量限的, 即裝有变速器,

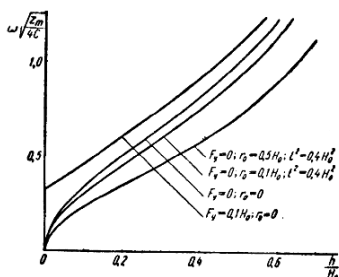


图6 带重锤的离心式转速表的静特性曲线

力与角速度的关系。离心力是由不捲簧或螺旋形弹簧的弹性力来测量的。因此达到转速表的示值准确，要求弹簧的弹性恒定。

根据弹性理论，弹簧材料应力与弹簧变形密切联系着，一定的应力值与每一形变量相适应。若弹簧材料的尺寸和机械性能为已知，则根据材料强度公式，弹簧在一定离心力作用下的理论位变可以预先计算出来。

但是，实际上甚至同牌号材料制成的毛坯，其机械性能也是不完全一样的，热处理也会造成材料的性能不同，零件制造不精确而具有一定的公差。因而，用计算方法总是不能精确的得到各种作用力。除此以外，各种材料不完全严格服从虎克定律，甚至很小的变形后取下载荷时也不能一下子恢复到它原来的状态。也就是说，只有部分变形完全属于弹性变形，随着作用力的停止立即消失，剩余形变将保持若干时间，而后完全消失（弹性后效现象）。恢复原来尺寸和形状的反过程是按着形变和应力之间的曲线关系进行的，但这曲线与进程曲线不相重合（弹性滞后现象），并且这种不重合的差异与加卸载荷的速度和作用力延续时间存在着复杂的关系。

方法误差是由于弹簧的特性产生的，完全消除是不可能的。通常按照标准转速表，用实验方法确定离心力与弹簧形变之间数值关系。

2) 工具误差。这一误差与转速表的制造工艺过程有关。在这一误差中包括有：表盘分度线刻度不精确而产生的刻度误差；仪器表盘和指针安装不正确而产生的误差；因机械摩擦而引起的指针位置变动以及传动机构调整不精确所引起的误差等。

传动机构零件摩擦所产生的误差与零件的机械加工和修整有关。

当装配转速表时，应将仪器每个零件（弹簧，活动套管、传动机构的扇形轮）装在一定位置；这时，这些零件与表盘度标可能有不相适应的情形，这就是经过调整后残留的误差。

3) 温度误差。转速表零件的各主要尺寸和位置，通常是在温度 20°C 左右调整的。若在其他温度下利用转速表测量转速时，零件所产生的温度形变，弹簧弹性的改变等等，都将导致产生误差。

离心式转速表温度误差的求算，要注意到感应元件弹簧刚度的改变是这一误差的主要根

借以改变被测转速的量限。例如，上海转速表厂制造的60~24000转/分的离心式转速表具有以下的量限：60~240；200~800；600~2400；2000~8000；和6000~24000转/分。在这种转速表表盘上通常有两列度标，分别适用于两组量限。

§ 2.2 离心式转速表的误差

离心式转速表的误差包括：1) 方法误差；2) 工具误差；3) 温度误差；4) 转速表安装不正确所引起的误差。

下面对各种误差进行简浅的分析。

1) 方法误差。转速表的原理是根据离心

源。我們研究帶一對重錘离心器的轉速表（圖5），它的感應元件採用螺旋形彈簧。螺旋形彈簧的剛度由下式表示：

$$C = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

式中：\$G\$——切變彈性係數；

\$d\$——彈簧絲直徑；

\$D\$——彈簧平均直徑；

\$n\$——彈簧圈數。

隨着溫度變化，彈性材料的彈性模數以及其尺寸亦隨着改變。切變彈性係數\$G\$與溫度的關係可以認為與彈性模數的溫度關係\$E\$相同，即

$$G_t = G_{20} [1 + (t - 20)\lambda]$$

式中：\$G_t\$——在溫度\$t\$下切變彈性係數；

\$G_{20}\$——在溫度\$t = 20^\circ\text{C}\$下切變彈性係數；

\$\lambda\$——彈性模數的溫度係數，鋼為

$$\lambda = -4 \times 10^{-4}$$

切變彈性係數的相對改變量為

$$\frac{\delta G_{20}}{G} = \frac{G_t - G_{20}}{G_{20}} = \lambda(t - 20)$$

彈簧剛度隨着溫度改變而相對的改變：

$$\frac{\delta C}{C} = \frac{\delta G_{20}}{G_{20}} + \frac{4\delta d}{d} - \frac{3\delta D}{D} = (\lambda + \alpha)(t - 20)$$

式中：\$\alpha\$——彈簧材料的線脹溫度係數，鋼為\$\alpha = 0.12 \times 10^{-4}\$。因為\$\alpha\$遠遠小於\$\lambda\$，所以彈性尺寸的改變可忽略不計，並認為

$$\frac{\delta C}{C} = \lambda(t - 20) \quad (24)$$

或

$$\delta C = C\lambda(t - 20) \quad (24a)$$

取彈簧作變換器，作用於它的力為\$P = Q_1 Z \cos \alpha\$〔見公式(16)〕，活動套環位移為\$h\$。

參考公式(18)，得出這一變換器的特性曲線為

$$h = \frac{P}{C} - F_y$$

根據公式

$$\delta B_{ij} = \frac{\partial B_i}{\partial P_{ij}} \delta P_{ij} \quad \text{註}$$

可以求算由於彈簧剛度變量\$\delta C\$所引起的活動套環位移

$$\delta h = \frac{\partial h}{\partial C} \delta C = -\frac{P}{C^2} \delta C = -(h + F_y) \frac{\delta C}{C} \quad (25)$$

根據公式

$$\delta A_i = \frac{\frac{\partial B_i}{\partial B_i}}{\frac{\partial A}{\partial A}} \quad \text{註}$$

可以导出由于活动套环位移 δh 所引起的转速表示值误差 $\delta\omega$ 为

$$\delta\omega = \frac{\frac{\partial h}{\partial h}}{\frac{\partial \omega}{\partial h}} = \delta h \frac{\partial \omega}{\partial h}$$

考虑到两套环之间的距离 H_0 比活动套环的位移 h 大若干倍, 因此在特性曲线公式 (22) 中可以认为 $H_0 - h$ 的差是一常量, 则

$$\frac{\partial \omega}{\partial h} = \frac{\omega}{2(h + F_y)}$$

和

$$\delta\omega = \frac{\omega}{2(h + F_y)} \delta h$$

考虑到公式 (25), 从而得出

$$\delta\omega = -\frac{1}{2}\omega \frac{\delta c}{C}$$

现在可以用前面引证的公式, 来表示离心式转速表的温度误差为下面的形式

$$\delta\omega = -\frac{1}{2}\omega\lambda(t - 20) \quad (26)$$

因为 $\lambda < 0$, 故当 $t > 20^\circ\text{C}$ 时 $\delta\omega > 0$, 即转速表的示值稍高。相对误差为

$$\delta = \frac{\delta\omega}{\omega} = -\frac{1}{2}\lambda(t - 20)$$

对于带重锤离心器的转速表所引证的公式 (26), 对于带圆环离心器的转速表同样也是适用的。

若 $\lambda = -4 \times 10^{-4}$, 则当温度 $t = -60^\circ\text{C}$ 时离心式转速表的相对误差 (用百分数表示) 为:

$$\delta \% = \frac{\delta\omega}{\omega} \cdot 100\% = 2 \times 10^{-4}(-60 - 20)100\% = -1.6\%$$

由例题可以看出, 离心式转速表的温度误差可能达到较大的数值。

在温度 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 时离心式转速表引用误差通常在 $\pm 1\%$ 到 2% 的范围内。离心式转速表的示值与轴的旋转方向无关。

4) 转速表安装不正确所引起的误差。固定式转速表安装在设备上, 所装的位置应符合调整和检定时的位置, 否则将会产生误差。

用于联接转速表轴和机器轴的传动装置 (联轴节、软轴等等) 安装不正确, 亦会引起仪器示值不正确。

此外, 转速表在工作时所引起的指针振动和大幅度摆动也与前面所研究的误差相关联着。

指针摆动很难进行读数。指针摆动是由于转速表机构装配不正确和个别零件制造上的缺陷而产生的。如转速表轴在轴承内纵横跳动，活动套环与轴不垂直、扇形齿轮轴的过大间隙，离心器重锤不平衡，传动轴齿轮啮合不正确等等都属于这类缺陷。

指针较大幅度的摆动是由于转轴的缺陷及其安装的缺陷。如轴在轴承内卡着，齿轮啮合不正确以及活动套管内表面不平滑等因素造成的。

註：

仪器变换器的作用是将输入量变换为输出量，并且有一定的函数关系，用下式表示之

$$B_i = f_i(A_i)$$

式中：\$B_i\$——变换器的输出量；

\$A_i\$——变换器的输入量；

\$i\$——变换器的序号（1、2、3……）

当研究变换器的技术特性时，假定变换器技术特性参量总是常量，并符合设计值。但实际上变换器参量与设计值总是有偏差的，这偏差称之为第一类误差：

$$\delta P_{ij} = P_{ij} - (P_{ij})_0$$

式中：\$\delta P_{ij}\$——参量\$P_{ij}\$的第一类误差；

\$(P_{ij})_0\$——参量\$P_{ij}\$的设计值；

\$j\$——参量序号；

\$i\$——变换器序号。

当给定输入量\$A_i\$时，输出量\$B_i\$与设计值的偏差称为每一次的第一类误差。由某一次第一类误差所引起的变换器输出量的误差称为变换器的偏误差（Частная погрешность），并用符号\$\delta B_{ij}\$表示之。

变换器偏误差可根据变换器扩散特性来求算，这一扩散特性可写成下面的函数关系式

$$B_i = f_i[A_i, (P_{i1})_0, (P_{i2})_0, \dots, (P_{in})_0]$$

偏误差为

$$\delta B_{ij} = \frac{\partial B_i}{\partial P_{ij}} \delta P_{ij}$$

式中：\$\frac{\partial B_i}{\partial P_{ij}}\$——输出量\$B_i\$对于参量\$P_{ij}\$的偏导数。

这样，可求得变换器的偏误差，此误差是由它的参量的第一类误差引起的。

变换器的综合误差就是它的各个偏误差的总和。求和的方法取决于第一类误差的性质。如果第一类误差是系统误差，它的大小和符号是已知的，则偏误差按照公式取代数和

$$\delta B_i = \delta B_{i1} + \delta B_{i2} + \dots + \delta B_{in}, \dots$$

式中：\$\delta B_i\$——变换器误差。

如果第一类误差是偶然误差，它的大小和符号是未知的，而只能知道它的极限值（例如，只知道参量的公差为\$\pm \Delta P_{ij}\$），则变换器误差的极限值，可按公式用各个偏误差平方和的开方求出

$$\Delta B_i = \pm \sqrt{(\Delta B_{i1})^2 + (\Delta B_{i2})^2 + \dots + (\Delta B_{in})^2}$$

式中：\$\Delta B_i\$——变换器误差的极限值；

\$\Delta B_{ij}\$——变换器各个偏误差的极限值。

$$\Delta B_{ij} = \frac{\partial B_i}{\partial P_{ij}} \Delta P_{ij}$$

往往某一个偏误差占主导地位，实际上由它来确定变换器误差的大小，而其余比较小的偏误差可不考虑。

我们来研究一下变换器误差对仪器示值误差的影响。为此，须测定被测量的增量\$\delta A\$；这一增量将引起变换器输出量\$B_i\$改变\$\delta B_i\$。再来研究一下由接受被测量\$A\$的第一个变换器到第\$i\$个变换器全部过程（图7）。