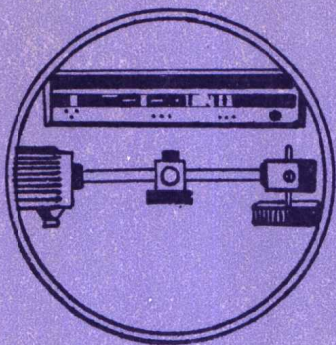
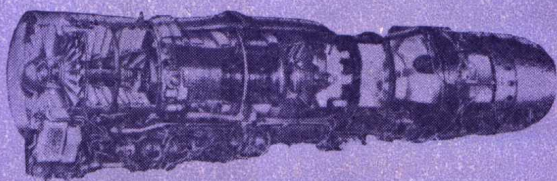




栗 枯 主编

几种先进线值测量技术

王道岑 韩进学 等编著



国防工业出版社

机械制造实用新技术丛书之二十四

几种先进线值测量技术

粟 枯 主编

王道岑 韩进学 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

线值计量测量技术是机械制造业中的重要组成部分。本书介绍了几种先进的检测技术和设备。检测的对象有：薄壁零件、高精度尺寸、圆度、表面粗糙度。最后对扩大平台测量技术等方面的先进工具和方法做了介绍。这些都是生产中最常见且不可缺少的。

本书可供生产和科研单位工程技术人员和检验人员阅读，也可供大、中专院校师生参考。

几种先进线值测量技术

机械制造实用新技术丛书之二十四

栗 枯 主编

王道岑、韩进学 等编著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张25/8 66千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数：0,001—7,500册

统一书号：15034·2844 定价：0.55元

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造工业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造行业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗祐同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等高级工程师提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、

张汉生等同志。

本书由严志正、韩进学、谈世椿、王道岑、胡菊莲、管淑英等同志编写，由胡贤惠、姜仁忠审校，由常双四、沙燕妮绘图，由粟祐终审定稿。对本书编写出版过程中给予支持和帮助的同
志，在此表示衷心的感谢。

作者于西安
国营红旗机械厂

目 录

一、薄壁零件的测量	1
(一) 一般的测量方法	1
(二) 用游标卷尺测量	1
(三) 用滚动直径测量仪测量	5
二、精密坐标尺寸及精密环规的测量	11
(一) 5526 A 型激光测量仪	12
(二) LEITZ200 毫米象点比长仪	21
三、圆度测量	25
(一) TALYROND100 型圆度仪	26
(二) TALYROND3 型圆度仪	35
四、扩大平台测量技术的先进工具	47
(一) 精密高程规	48
(二) 数显高程规	48
(三) S 800 型可倾分度盘	51
五、三坐标划线仪	56
(一) 工作原理与结构特点	57
(二) 主要附件	60
(三) 使用方法	63
六、表面粗糙度的测量	64
(一) SURTRONIC3 型粗度测量仪	64
(二) TALYSURF10 型粗度测量仪	67
(三) 旋转式表面粗度测量仪	73

一、薄壁零件的测量

机械制造（特别是飞行器的制造）中有许多构形复杂的钣金焊接件及薄壁件。这些零件的特点是允许的形狀误差大于尺寸制造公差，其比值有时甚至达几十倍。由于允许在自由状态下的变形量很大，再加以测量中测力引起变形，因而使薄壁零件直径的测量成为生产中的难题。

（一）一般的测量方法

薄壁零件的检测最好在机械加工完成后，工件仍在机床上、尚未取下之前的夹紧状态下进行，以利于作出正确结论。工件取下后不必再进行检测，因为在自由状态下无法测量准确。在机床上检测时必须注意影响测量准确度的各种因素，例如测量工具的校准情况、不同材料的温度补偿、测量方法的正确性以及测量人员的经验和注意力等。

如果从机床上取下后必须检查，则应在限定状态下进行测量。所谓限定状态，就是用标准的夹具将变形的工件恢复到图纸规定的状态，然后进行测量。通常是将零件装夹在与之同大的标准刚性夹具上，先从两端压紧，使其由椭圆或多变形变成较理想的圆，由翘曲状态变成较理想的平面，然后选择适当的测量工具进行测量。实际上，在机床上之夹紧状态是一种最好的限定状态，也可以说限定状态是机床上夹紧状态的重现。

（二）用游标卷尺测量

游标卷尺是近年来开始普遍使用的一种测量大型零件外圆直径的量具。测量原理是通过测量零件的周长，可直接读出卷尺上相应标刻的直径数值。这种量具结构简单、操作方便。读数准确而且造价便宜。对于机械工业中一些尺寸大而易变形的薄壁筒形件十分适用。在重型机械和化工机械等制造行业中，对具有一般

精度要求的大尺寸实心零件的外圆直径，以此可以代替大型游标卡尺和一些专用测具进行快速准确的测量。

1. 设计原理

用游标卷尺测量零件的外圆直径时，因为被测量零件的外圆包容在钢带的内边，而刻度在钢带的外边。所以在设计和制造游标卷尺时，必须注意它与游标卡尺的刻线间隔是不相同的。此外，还要考虑到钢带的厚度和刻线之间的关系。使用游标卷尺时，卷尺之钢带承受弯曲变形，弯曲变形材料展开后的长度计算公式是：

$$L = (D + 2x_0\delta) \pi \quad (1)$$

式中 D ——弯曲变形材料内圆直径；

x_0 ——弯曲变形材料“中心层”位置系数；

δ ——弯曲变形材料厚度。

因为游标卷尺用于测量大尺寸零件的外圆直径，所以 D 与 δ 的比值很大，当 $\frac{D}{2}$ ： $\delta > 16$ 时，则 $x_0 = 0.5$ ，所以上式可以写作下面的形式：

$$L = (D + \delta) \pi \quad (2)$$

如果已知游标卷尺的测量范围，由于它始端被包容零件的外圆直径为 D_0 ，末端被包容零件的外圆直径为 D_1 ，因此：

$$L_1 = (D_1 + \delta) \pi \quad (3)$$

$$L_0 = (D_0 + \delta) \pi \quad (4)$$

将 (3) 式减 (4) 式，则主尺测量范围的刻度长度应为：

$$L_2 = (D_1 - D_0) \pi \quad (5)$$

由此可见，主尺测量范围的刻度长度与钢带厚度无关。在 (5) 式中，当 $D_1 - D_0 = 1$ 毫米时，则 $a = L_2 = \pi$ ，这说明，主尺两刻线的间隔 a 等于 π 值。测量范围的末端还有游标尺所对应的一段刻度长度是：

$$L_3 = \frac{1}{i} \pi \quad (6)$$

式中 i ——游标卷尺在直径方向上的读数值, 有 0.02, 0.05 和 0.10 三种。

将 (5) 式加 (6) 式, 即得出主尺测量范围的刻度总长度为:

$$L_{\pm} = L_2 + L_3 = \left[(D_1 - D_0) + \frac{1}{i} \right] \pi \quad (7)$$

设在主尺上总的刻线条数为 $n_{\pm}$, 那么在其刻度总长度上占有的总刻线间隔数 (即格数) 就是:

$$n_{\pm} - 1 = \frac{L_{\pm}}{\pi} = \frac{\left[(D_1 - D_0) + \frac{1}{i} \right] \pi}{\pi} = (D_1 - D_0) + \frac{1}{i}$$

因此

$$n_{\pm} = (D_1 - D_0) + \frac{1}{i} + 1 \quad (8)$$

游标卷尺和游标卡尺的读数原理是一样的, 若主尺刻线间隔为 π , 游标尺刻线间隔为 $(1 - i) \pi$, 游标尺刻线间隔数为 $n_{\mp} - 1$, 则游标尺的总刻度长度为:

$$L_{\mp} = (n_{\mp} - 1)(1 - i) \pi \quad (9)$$

2. 结构形式

游标卷尺通常有下面三种结构形式:

(1) 整体缺口式

如图 24-1(a) 所示, 适于读数值 0.02 毫米的中小型游标卷尺。多用来测量精度要求较高或有侧面支靠的中小型零件。

(2) 整体窗口式

如图 24-1(b) 所示, 多用于读数值为 0.05 和 0.1 毫米的大型游标卷尺, 适于测量有一般精度要求或无侧面支靠的大中型零件。

(3) 组合式

如图 24-1(c) 所示, 可用于读数值为 0.02、0.05 和 0.1 毫米的各种规格游标卷尺, 适于测量无侧面支靠的大小零件。

整体缺口式和整体窗口式的主尺和游标尺刻度都在一条钢带

上,但由于整体缺口式的游标尺刻度段开有长的缺口,所以测量力不宜过大,否则易发生扭曲,影响测量精度。组合式是主尺和游标尺刻度分别在两条钢带上,再用铆接或焊接组装而成,结构复杂、组装麻烦,而且在窗口部位的游标尺刻度面比主尺刻度面高出一个钢带厚度。读数准确性稍差,较少采用。

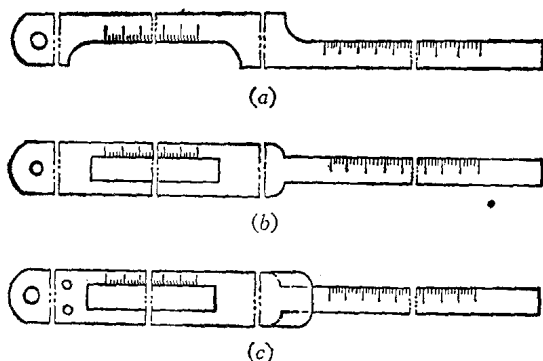


图24-1 各类游标卷尺结构图

为了防止变形和增加对油污等物的抗腐蚀能力,并保证在一定测量力的作用下,不因弹性变形而影响刻度精度和测量精度,游标卷尺多选用 $60\text{Si}_2\text{Mn}$ 和 70SiCrA 两种热处理弹簧钢带制造,其厚度一般为 $0.2\sim 0.25$ 毫米。

用游标卷尺测量零件时,只要把它围绕在被测量零件的外圆上,双手分别拉紧游标尺和主尺一端,就可直接方便地读出被测量零件的外圆直径大小。测量前,应把零件的测量面和游标卷尺分别擦洗干净。测量时,游标卷尺和零件要贴合好,不允许扭曲或者倾斜,拉紧要适当,以保证所需要的测量精度。

3. 测量范围及测量误差

游标卷尺的刻度一般不是从“0”位开始到某一个数值。因为,一方面在使用上没有实际意义,如果被测零件的直径很小,是不可能使用游标卷尺测量的。另一方面,被测零件如果很大,而刻度从“0”开始,卷尺上的刻度将很长,刻线将十分困难。

因此, 游标卷尺测量范围视被测零件的直径而定。如果把游标卷尺在直径方向上的刻度范围都定为 250 毫米, 划分为 250~500、500~750、750~1000、1000~1250、1250~1500 毫米等多种规格, 这样无论对那一种读数值和测量范围的游标卷尺来说, 其主尺实际的刻线总长度都是一样, 只须根据卷尺规格, 在刻线前端增加一定长度的钢带就可以了。

使用游标卷尺和其它测量工具一样, 不可避免地存在着测量误差。产生测量误差的原因很多, 诸如制造测量条件(温度、灰尘等)、测量力、操作情况等因素, 都与一般的游标卡尺相似。但若从制造角度来讲, 游标卷尺的测量精度显然高于游标卡尺。把具有相同读数值的游标卷尺和游标卡尺作比较, 其相邻两刻线间的距离, 前者为后者的 π 倍, 即相邻两刻线间距离的误差也是前者为后者的 π 倍。如果二者按同一刻线精度制造, 那就意味着前者比后者的测量精度提高了 π 倍, 表 24-1 中的示值误差部分可以说明这一点。反之, 游标卷尺和游标卡尺要达到同样的测量精度时, 那么, 前者比后者的刻线精度就可以放宽 π 倍。而且用游标卡尺测量时, 测量力、工件的形状误差对测量结果影响很大, 而对游标卷尺来说, 影响很小。使用游标卷尺测量薄壁零件时, 温度变化引起的测量误差也较小。使用大型环规一类的测量工具来测量薄壁筒形件的外圆直径尺寸时, 在温度发生变化时, 由于环规比薄壁筒形件热胀冷缩的速度慢, 因而引起的测量误差较大。但在用游标卷尺测量时, 由于游标卷尺与薄壁筒形件厚度接近, 其热胀冷缩过程和温度变化速度基本相似, 因而引起的测量误差较小。

(三) 用滚动直径测量仪测量

测量柱形薄壁环形件直径的另一种方法是使用滚动直径测量仪, 这种测量仪还可以用于圆锥形薄壁环形件的测量。使用这种仪器操作简便、数字可直接读出、测量压力小、效率高、很适用于大中型零件生产现场的需要。

滚动直径测量仪的结构见图 24-2, 主要由升降进给机构 1、

344431

表24-1 游标卷尺与游标卡尺示值误差对照表 (毫米)

游 标 卷 尺	游 标 卡 尺	游 标 卷 尺			
测 量 范 围		示 值 误 差			
		0.02	0.05	0.02	0.05
	0~300			± 0.02	± 0.05
250~500	>300~500	± 0.04		± 0.04	± 0.07
500~750	>500~1000	± 0.05	± 0.06	± 0.04	± 0.10
750~1000			± 0.07		
1000~1250	>1000~1500		± 0.1		± 0.15
1250~1500			± 0.14		
1500~1750	>1500~2000		± 0.12		± 0.20
1750~2000			± 0.14		

数显装置2、测量旋转座3、光电脉冲发生器4、标准测量轮5、工件6、旋转圆台7、直流电机8、圈数识别挡光片9以及底座10等9个主要部件组成。含有读数装置和升降进给机构的垂直滑座沿 x 向导轨运动,以适应检查不同直径的工件。升降机构沿 z 向导轨运动,并能在 x 向微动进给,以适应检查不同高度的工件。测量旋转座则在垂直平面内转动,以适应检查不同锥度的工件。工件的实际直径从数显装置上直接读出。测量时,测量轮以一定的压力紧靠工件6,接通电源后,直流电机通过传动机构带动圆盘,工件和测量轮转动。圈数识别挡光片能严格地保证计数电路计算出被测工件旋转一周时的数字量。脉冲发生器与测量轮同轴转动,根据测量轮的转数产生规定的电脉冲。

在测量中采用标准测量轮与零件对滚的办法。其基本原理与汽车里程计数器相似,现以图24-3来说明。

图中 D 表示被测零件的直径; d 表示标准测量轮的直径。设 L 为被测零件旋转一周所走的圆周长,则:

$$L = \pi D$$

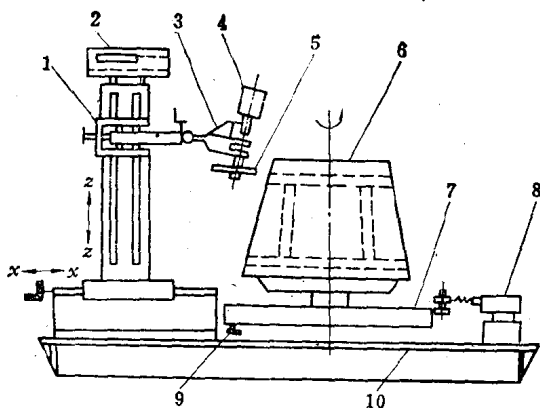


图24-2 滚动直径测量仪结构图

1—升降进给机构；2—数显装置；3—测量旋转座；4—光电脉冲发生器；5—标准测量轮；6—工件；7—旋转圆台；8—直流电机；9—圈数识别挡光片；10—底座。

而标准测量轮所走的相应长度应为：

$$L = n\pi d \quad (10)$$

式中 n —— 测量轮所转的圈数。

因此

$$D = nd \quad (11)$$

标准测量轮是一个接触宽度为 0.15 毫米的圆形盘，接触直径为 100 毫米，材料为 38CrMoAl，接触面渗氮深度 > 0.6 毫米。标准轮的形状，尺寸及材料如图 24-4 所示。使用时测量轮与被测零件对滚压力不能太大，否则可能划伤和压凹被测零件，但也不能太小，否则可能产生对滚滑移现象，二者都会导致测量不准确。

标准测量轮与光电脉冲发生器同轴转动，光电脉冲发生器旋转一周经过电子倍频电路，可产生 10000 个脉冲。这 10000 个脉冲与测量轮直径相对应。因此被测零件直径 D 可写成：

$$D = nd = n \cdot 10^4 \quad (12)$$

由于我们规定标准测量轮圆直径长度上 1 毫米相当于 100 个脉冲，这样就将模拟量直接转换成数字量，零件的直径可以通过

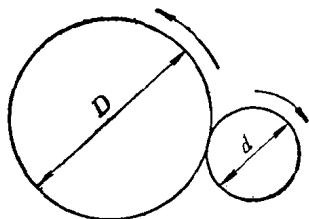


图24-3 滚动直径测量仪原理图

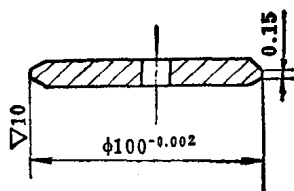


图24-4 测量轮结构尺寸图

计数数显装置直接显示出来。

被测零件旋转一周的量是用图 24-5 中所示的电子线路实现显示的。图 24-6 是电子计数测量原理框图。

图 24-5 中, 当光照在光电池 2CR11 上时, 三极管截止; 当光遮住时, 三极管导通, 当被测零件旋转一周时, 线路保证产生一个起始正脉冲和一个终止正脉冲。这样从图 24-6 的电子计数测量的原理框图中可以看出: 起始脉冲打开与门 y_2 , 使倍频电路开始输入脉冲, 计数电路开始计数, 终止脉冲使与门 y_2 关闭停止计数, 从而完成了测量过程。

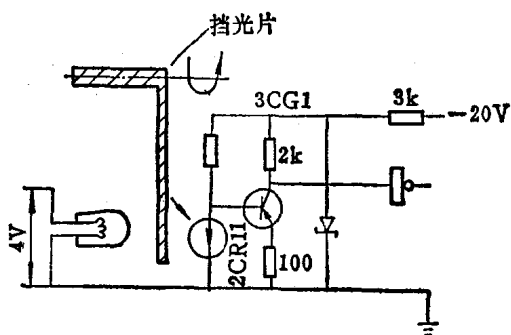


图24-5 测定零件圆数的装置及电子线路图

从图 24-6 上还可以看出, 只能在一个整圈中产生两个脉冲, 满两个脉冲后, 线路就自动闭锁。

图 24-7 为电气波形图, 包括了四倍频的整形方波脉冲列; 圈数测定的起始脉冲及终止脉冲; 双稳态电路的 Q_1 和反向 $\bar{Q}_1$ 以及所计数的脉冲数。

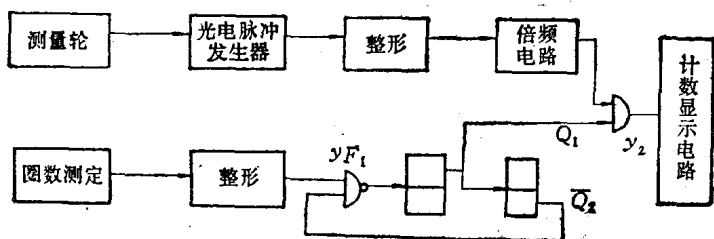


图24-6 薄壁环形件电子计数测量原理图

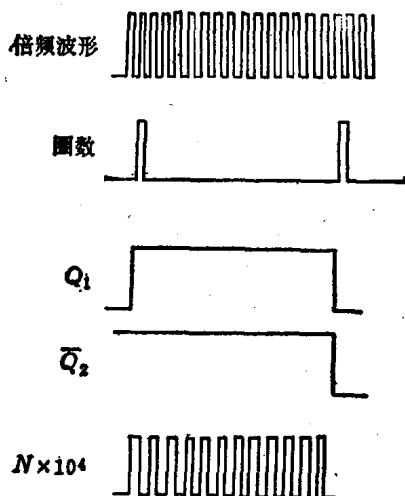


图24-7 电气波形图

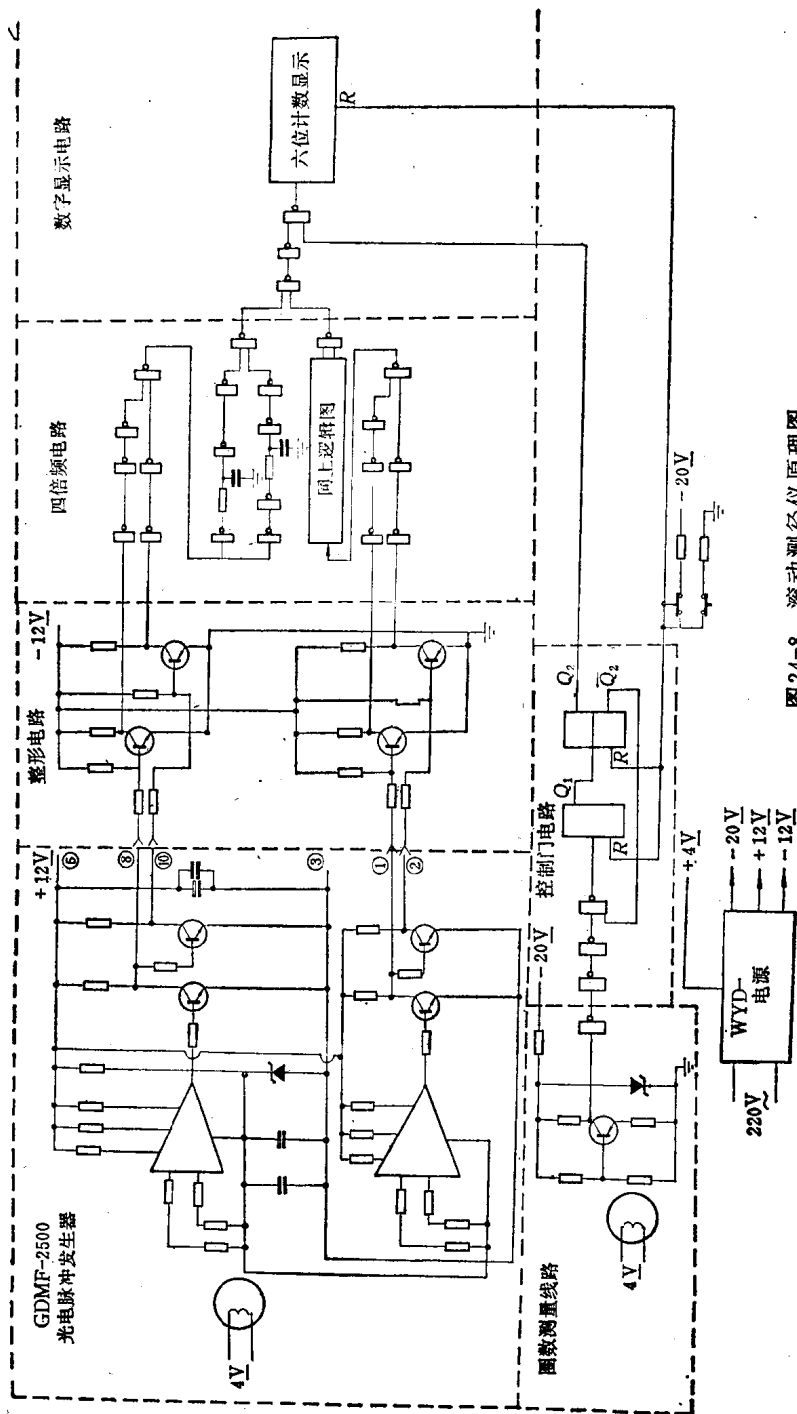


图24-8 滚动测径仪原理图

图 24-8 是测径仪电气原理图。在用滚动法测量薄壁环形件时, 应注意下列几点:

(1) 被测零件与标准测量轮之间保持相对滚动, 无滑移现象。

(2) 标准测量轮的直径最好选择为光电脉冲发生器脉冲数 2 或 4 的倍数, 否则会增大测量误差。

(3) 必须保证标准轮的直径精度在 ± 0.02 毫米的范围内。如果标准轮的直径为正公差, 其值为 $+0.002$ 毫米时, 相当于它本身旋转 10 周少计了两个脉冲, 因而必须进行人工的补偿或电子计数的补偿。反之, 如果标准轮的直径为负公差, 其值为 -0.002 毫米, 10 周为 -0.02 毫米, 就应在实际尺寸中减去此值。电子计数自动加减可用预置的方法事先加上或减去相应的脉冲数。

滚动测量仪可以用于测量圆柱形、锥形和曲母线的各种薄壁环形件, 分辨率达 0.01 毫米, 测量精度不大于 ± 0.03 毫米。被测工件直径的测量范围可以根据需要确定, 一般为 $180 \text{ 毫米} < D \leq 1300 \text{ 毫米}$; 测量锥度范围为 $0^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ 。

二、精密坐标尺寸及精密环规的测量

精密坐标尺寸及精密环规的测量是机械制造业中经常遇到的, 这些高精度尺寸的公差大都在 $\pm 1 \sim 1.5$ 微米范围内, 有的甚至高达 ± 0.5 微米。而且随着航天与航空事业的发展, 还有继续提高的趋势。测量这样高的精度, 一般的测量仪器是无法承担的。自本世纪 60 年代起研制了激光测量仪 (或激光干涉仪), 由于激光具有良好的时间相干性、空间相干性和能量高度集中等特点, 测量的精度可达 5×10^{-9} (相对精度)。下面将介绍美国休斯