

机械式量仪修理

上

贾三泰 王永立 编著

计量出版社

内 容 提 要

本书分为上下两册,比较全面地介绍了机械式量仪的基本知识和修理方法。上册包括千分表、内径百分表、扭簧比较仪的原理、构造、检定和误差分析。重点是有关修理的知识和技术,用典型实例分析了常见的故障,从实际出发提出了排除故障的措施和维修技术。

本书内容密切结合生产实际,可供具有初中以上文化程度的从事计量测试工作者及量仪检定、修理人员参考。

机 械 式 量 仪 修 理

(上 册)

贾三泰 王永立 编著

—

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 787×1092 1/32 印张 7

字数 159千字 印数 1—10 000

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷

统一书号 15210·118

定价 0.94 元

科技新书目: 17—169

序 言

自从 1907 年出现了第一只刀口式测微计以来，机械式量仪作为形式千变万化、种类繁多的长度计量仪器中的一个重要分支，获得了迅速的发展。1937 年以后，由于扭簧比较仪的出现，克服了机械式结构中的摩擦和间隙，精度大大提高。特别是近些年来，扭簧比较仪更臻完善，精度可达 ± 0.1 微米（分度值 0.1 微米）。

机械式量仪具有结构坚固、成本低廉、操作方便、非常适用于生产等优点，因而在机械制造工业中得到了极为广泛的应用。

但是，由于应用广泛和使用频繁，也带来了大量的维修问题。解决这个问题对我国具有十分现实的意义，要求我们对普及和提高修理技术，改进修理方法，做出努力。

1976 年我们编著的《万能量具的修理》一书，经机械工业出版社出版后，受到国内有关人员的欢迎。许多读者来信说，该书虽然起到了一定的作用，但仅限于“三大件”，还不能解决其它常用量具量仪的修理问题，希望我们再编写一本有关机械式量仪修理方面的书籍。洋溢的热情，迫切的需要，使我们受到了很大的鼓舞和鞭策。近年来，我们进一步总结了工作中的体会，整理和收集了有关资料，写成这本《机械式量仪修理》。

本书分上下两册，共八章。第一章中，概略地介绍了有关机械式量仪的基本知识。以后各章中，对各种常见的机械式量仪，从构造到检定、修理均作了比较全面的介绍。为了便于读者阅读和借鉴，书中配有大量插图，文字力求简明通

顺；有关误差分析部分，尽量避免繁琐的公式推导和理论性论证，做到从实际出发，扼要地讲明道理；着重于叙述修理方法。

当然，书中介绍的几种量仪并没有包罗所有的机械式量仪，它们只是最常用的几种。关于百分表，也属于一种简单的机械式量仪，已在《万能量具的修理》一书中详细介绍，就不再赘述。有的量仪结构陈旧，已被淘汰，如片弹簧式测微仪等，也没有必要再予介绍。

本书所列的技术标准一般根据最新颁布的检定规程；尚无正式规程的，采用讨论稿。如今后有变动，当以正式颁布的为准。

鉴于作者水平有限，如有不妥和谬误之处，欢迎读者批评指正。

编著者

1981年5月

目 录

序言

第一章 机械式量仪的基本知识	1
第一节 长度测量和量仪的分类	1
第二节 机械式量仪的工作原理及特点	4
第三节 量仪计量性能的基本指标	6
第四节 机械式量仪的误差	10
第五节 机械式量仪检定和修理的一般知识	23
第二章 千分表的修理	30
第一节 概述	30
第二节 千分表的工作原理和构造	31
第三节 千分表的检定	42
第四节 千分表的拆装和修理顺序	52
第五节 千分表的外观修理	53
第六节 千分表各部分相互作用的修理	57
第七节 千分表测力的修理	64
第八节 千分表示值稳定性的修理	66
第九节 千分表示值误差的分析与调修	77
第三章 内径百分表的修理	98
第一节 概述	98
第二节 内径百分表的工作原理和构造	100
第三节 内径百分表的检定	110
第四节 内径百分表的拆装和修理顺序	121
第五节 内径百分表外观和各部分相互作用的修理	122
第六节 内径百分表定位误差的修理	128
第七节 内径百分表示值稳定性的修理	133
第八节 内径百分表表杆传动误差的分析与调修	138

第四章 扭簧比较仪的修理	160
第一节 概述	160
第二节 扭簧比较仪的工作原理和构造	161
第三节 扭簧比较仪的检定	177
第四节 扭簧比较仪的拆装和修理顺序	185
第五节 扭簧比较仪的外观修整	187
第六节 扭簧比较仪各部分相互作用的修理	189
第七节 扭簧比较仪测力的调整	195
第八节 扭簧比较仪示值稳定性的修理	196
第九节 扭簧比较仪工作台的修理	201
第十节 扭簧比较仪示值误差的调整与修理	206
第十一节 扭簧比较仪易损零件的制作	213

第一章 机械式量仪的基本知识

第一节 长度测量和量仪的分类

一、测量的概念

人们对于客观事物的认识，总是从现象到本质逐步深化的。而要观察现象首先就要了解数量。测量就是从数量方面认识事物的一种重要手段。

所谓测量，就是将被测的量和一个作为测量单位的标准量进行比较，从而确定它是测量单位的多少倍或几分之几的过程。

因此，任何一个测量过程都包括四个要素：

- (1) 测量对象，即被测的量。
- (2) 测量单位。在长度测量中，测量单位是“米”，它的实物表现形式有量块、刻度尺等。
- (3) 测量方法。是指获得测量结果所采用的方式方法，它是测量原理、测量器具和测量方式的总合。
- (4) 测量精度。它表示测得值的可靠程度。

二、长度测量的分类

按照测量结果与被测尺寸的关系、量仪示值所反映被测尺寸的方式、量仪与被测件表面的接触情况、被测量的表征参数和测量在加工过程中的作用等，测量可以分为以下几种：

1. 直接测量：测量结果直接表示了被测尺寸。如用千分尺测量轴径等。

2. 间接测量:测量结果是一些与被测尺寸有关的尺寸,而被测尺寸需按它们之间的函数关系计算出来。如图 1-1 所示,通过直接测量得出弦长 S 和弦高 h ,然后利用函数式

$R = \frac{1}{2}h + \frac{S^2}{8h}$ 间接求出圆弧半径 R 的测量,就是间接测量。

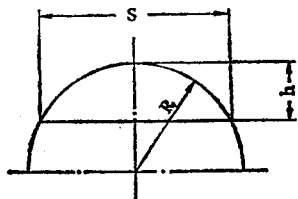


图 1-1 间接测量实例

3. 组合测量:它是由若干个直接测量的总合所组成的一种测量方法。仍以圆弧半径 R 的测量为例,可在圆弧的不同地方直接测量出若干对 S 和 h 值,分别代

入 $R = \frac{1}{2}h + \frac{S^2}{8h}$,得出若干个方程

式,然后解方程组求出 R 的大小。

4. 比较测量:量仪示值只反映被测尺寸对标准尺寸的偏差。如在测微计上用量块对零后,测量零件尺寸相对于量块尺寸的偏差。比较测量又叫相对测量。

5. 接触测量:测头与被测件表面接触,在接触表面上有一定的测力①。机械式量仪均属于这种测量。

6. 非接触测量:测头与被测件表面不接触,在被测件表面上无测力。如投影法测量等。

7. 单项测量:单独测量被测件的各个参数。如齿轮公法线测量等。

8. 综合测量:将与被测件有联系的各个参数合成一个综合参数进行的测量。如齿轮单向啮合的综合测量等。

9. 消极测量:又称被动测量,是对加工后的零件进行的测量,按测量结果挑出废品。

10. 积极测量:又称主动测量,是直接在加工过程中测

① 测力是在接触测量中,量仪测头与被测表面所产生的机械压力。

量零件尺寸的变化,从而控制机床和刀具,以保证不出废品。

11. 等精度测量: 在测量条件不变的情况下进行的测量。这时各次测量值可认为是同等可靠, 具有相等的精度。

12. 不等精度测量: 是指部分地或全部地在不同的外界条件下, 采用不同的测量方法和测量仪器, 不同的测量次数, 以及不同的测量人员所进行的测量。

三、量仪的分类

人们在生产实践中, 根据不同的用途和精度要求, 创制了各种各样的测量仪器。在长度测量方面, 凡结构较复杂, 并具有传动放大机构的测量仪器称为量仪。量仪根据其测量原理的不同, 可分为机械式、光学式、电动式、气动式, 以及其它形式等许多种类。其中机械式量仪由于具有轻便、小巧、结构简单、容易制造、成本低廉、工作可靠、使用方便, 以及不需要附加电源、气源等优点, 因而在机器和仪器制造工业中, 获得了最广泛的应用。

机械式量仪按其传动机构的特点, 主要可分为下列四类:

- (1) 杠杆传动式;
- (2) 齿轮传动式;
- (3) 杠杆齿轮传动式;
- (4) 弹簧传动式。

除此以外, 还有杠杆螺旋传动式、楔形传动式和测微螺旋付与杠杆齿轮传动相结合等形式。

它们的分度值有 0.01, 0.005, 0.002, 0.001 及 0.0005 毫米等数种。

根据上述传动方式制成的机械式量仪, 名目繁多, 外表形式、精度、构造等也各不相同。目前我国较常见的有: 钟表式百分表、钟表式千分表、内径百分表、内径千分表、杠杆百分表、杠杆千分表、杠杆式卡规、杠杆千分尺、刀口式

测微计、扭簧比较仪、杠杆齿轮式测微计，以及其它各种形式的测微仪和测微表等。

由于同类型的机械式量仪其传动原理、基本结构大同小异，故本书不准备对各种量仪一一列举，而只对其其中较典型、较先进和最常用的几种予以详细介绍。

第二节 机械式量仪的工作原理及特点

机械式量仪的工作原理是：借助杠杆、齿轮、齿条或扭簧等的传动和放大作用，将测杆的微小直线位移，转变为指针的角位移，从而由指针在刻度盘上指出相应的示值。

机械式量仪的工作特点，是能感受、放大和读出微小的长度尺寸，因此要求工作灵敏、可靠性高；在机械结构上应具备灵敏、正确和稳定的感受部分，同时还应有高放大倍数和高精度的转换放大机构，以及方便准确的读数机构。

这种量仪实质上是把长度尺寸通过精确的放大，并在均匀刻度盘上加以显示的装置。其放大比为

$$K = c/i \quad (1-1)$$

式中 K ——机械传动系统的放大倍数；
 c ——刻度盘的刻线间距，一般为 1~2.5 毫米；
 i ——量仪的分度值（毫米）。

一、杠杆传动式量仪

这是单纯利用杠杆作为传动放大机构的量仪，如刀口式测微计。这种传动方式结构简单、坚固耐用、易于制造和修理。但是由于机构本身的缺陷，如不符合线性原则，测杆的直线位移与指针的角位移之间不能成一定的比例关系，当位移增大时，将带来很大的机构误差，因此限制了其测量范围和准确度的提高；同时，由于外廓尺寸大，指针长而沉重、惯性大，使用上也受到限制，目前这种量仪已逐渐被淘汰，

为其它型式的量仪所取代。

二、齿轮传动式量仪

这是单独利用齿条、齿轮系作为传动放大机构的量仪，如百分表、千分表等。它的放大倍数较大，并可采用圆周刻度，因而具有相当大的测量范围；同时由于价廉、外廓尺寸小、重量轻、传动惰性小等优点，目前这种型式的量仪在生产中仍占相当大的比重。

但是，由于它不符合测量线与传动作用线一致的原则，以及制造上的困难，齿条、齿轮不可避免地存在各种微小误差，经逐级放大后，累积误差显著增大，同时由于齿轮和其它零件制造和装配工艺上的原因，也会带来较大的误差，如回程误差等。因此这种量仪也很难达到较高的精度，例如分度值为 0.001 毫米的千分表的示值误差，要想做到 5 微米以下就十分困难了。

三、杠杆齿轮传动式量仪

是利用杠杆作为传动系统的始端部分，齿轮付作为末端部分。它综合了杠杆系统在一定范围内传动误差较小，齿轮系统放大比较大等优点，使其精度和测量范围都有所提高，因此得到普遍的采用，成为当前所生产的机械式量仪的主要结构型式之一。

在此基础上，又有了双杠杆齿轮传动式量仪，使准确度和外廓尺寸小型化进一步提高。这种量仪常见的有蔡司精密测微表和苏制 MKM 型测微表等各种精密测微表。

四、弹簧传动式量仪

主要有两种型式：一种是早期出现的利用片簧的弯曲特性制成的弹簧式量仪；另一种是利用扭簧的扭曲特性制成的扭簧比较仪。前者由于精度很低，目前已很少见，其作用为百分表所代替。后者由于利用了扭簧作为尺寸的转换和放大

机构，从根本上消除了传动偶件中的间隙和摩擦，以及使用中的磨损，传动误差（如回程误差）极小，因此这种量仪的精度很高。另外，还由于测力小、传动比大、构造简单、轻便、惯性小、容易制造和成本低廉等优点，使它成为目前机械式量仪中测量精度最高，并在精密测量中占有特别重要地位的一种量仪。

第三节 量仪计量性能的基本指标

量仪的主要技术性能是用各种度量指标来反映的，它们也是选择和使用量仪的重要依据。

一、刻度和刻度间隔

刻度是指量仪的指示装置（如刻度盘等）上排列着的一组刻线标记。相邻两刻线间的距离叫刻度间隔，也称分度。

二、分度值

分度值是指一个分度所表示的被测尺寸的值，例如千分表的分度值为 0.001 毫米。它表示了量仪所能测出被测尺寸的最小单位数。一般地说，分度值愈小，测量精度愈高。

三、示值范围

示值范围是指仪器所能指出的被测尺寸的最大变化范围，即刻度盘上全部刻度所表示的被测尺寸的数值。例如千分表的示值范围为 0~1 毫米。

四、测量范围

量仪的测量范围是指量仪所能测出的最大和最小尺寸范围。

示值范围与测量范围有不同的含义。前者仅取决于刻度盘的分度范围；后者还与量仪的结构尺寸（如立柱、导轨、支架、支臂等）有关。对于直接测量，通常二者是一致的，而对于比较测量，二者则完全不同。例如用分度值为 0.001

毫米的扭簧比较仪测量时，示值范围为 ± 0.03 毫米，测量范围一般为 $0 \sim 180$ 毫米。

五、放大比

放大比或称放大倍数，是指量仪指针的移动量和引起此移动量的被测尺寸的变动量之比。

一般情况下，量仪的指示值 W 可以表示为被测量 u 的函数，即 $W = f(u)$ ，因此放大比

$$K = \frac{dW}{du} = f'(u) \quad (1-2)$$

对于机械式量仪来讲， $W = f(u)$ 基本上为线性关系，则 $K = dW/du = \text{常数}$ 。显然，它等于刻线间距与分度值之比。

放大比就是量仪的传动比，它表示了量仪的灵敏程度，即灵敏度。

六、测力

测力是指在接触测量中，量仪测头与被测件表面所产生的机械压力。量仪的测力可按被测件公差大小来选择（见表 1-1）。

表 1-1 测力与被测件公差的关系

被测件公差（微米）	测力（牛顿）
< 2	< 2.5
$2 \sim 10$	< 4
> 10	< 10

七、量仪的准确度

量仪的精度反映在相同的条件下，对同一被测尺寸多次重复测量时，所得到的一组示值的分散程度；准确度反映测得值与被测尺寸的真值的接近程度。需要说明的是，有些书

籍中，常用精度这个词泛指准确度，这在概念上是不严格的，使用时应予注意。

量仪的准确度是全面评定量仪质量的唯一参数，它常用以下几个方面的误差来说明：

(一) 示值误差

示值误差等于量仪的示值与被测尺寸的实际值之差。它是量仪准确度的主要指标。

对于每一具体量仪来说，示值误差一般是稳定的，可经过检定确定其大小和正负。使用量仪时，可用修正值对量仪示值或测量结果进行修正。

量仪的修正值是这样一个数值：将它加到量仪的示值上即可得到量仪的实际值。其大小等于示值误差的大小，但符号相反。

量仪的相邻误差是指相邻两受检点的误差之代数差。

(二) 示值稳定性

示值稳定性又称示值变化，是指在相同条件下，对同一尺寸进行多次测量时，量仪示值的最大变化范围。

示值变化主要是由于量仪结构中的间隙、摩擦、弹性变形等各种因素综合影响所引起的。它主要反映了量仪的精度。示值变化是无法修正的，当示值误差修正后，它就是量仪误差主要部分。

示值稳定性可用下式表示：

$$f_G = 3\sigma \quad (1-3)$$

式中 σ ——量仪随机误差的均方差。

示值稳定性一般允许为量仪分度值的 $1/3 \sim 1/5$ 。

量仪由其正常位置倾斜而产生的示值变化叫倾斜误差。

(三) 回程误差

回程误差是指量仪从正反两个方向测量同一尺寸时，示

值的变化范围。它是由于量仪机构中的间隙、摩擦和弹性变形等对传动机构正反方向运动的影响不一致引起的。因此，当量仪仅作单方向测量时，则不存在回程误差；当测量过程中，测杆移动方向改变时，如测量偏心和径向跳动等，则有回程误差。

(四) 灵敏限

灵敏限与灵敏度的含义不同，它是指引起量仪示值可察觉变化的被测尺寸的最小变化。

由图 1-2 中示值 W 与被测尺寸 u 的关系曲线可知，曲线 OA 是理想情况，当被测尺寸有一增量 du 时，则对应有一示值增量 dW 。但实际情况常常并非如此。由于量仪机构中有摩擦和其它阻尼因素存在，致使被测尺寸变化时，示值并不随之变化，或变化极小难以察觉，此时曲线如 OB 所示，在测量点处出现曲折。在该处当被测尺寸变化 du 时，示值 W 不变， $dW = 0$ ；只有被测尺寸变化大于 du ，示值才有变化。

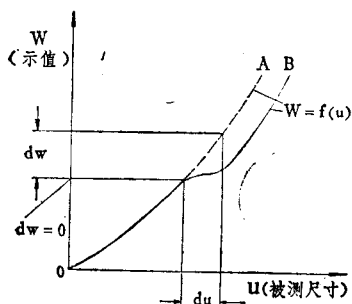


图 1-2 示值与被测尺寸关系曲线

由此可知， du 表示了量仪反映被测尺寸微小变化的能力，我们称它为量仪的灵敏限；而 dW/du 叫瞬时放大比或灵敏度。当 $W = f(u)$ 为线性关系时，放大比为常数，并等于直线与横轴夹角 φ 的正切，即 $K = \operatorname{tg} \varphi$ 。

以上四个指标分别反映了量仪准确度的各个方面，其总合将造成

量仪本身可能产生的最大误差，即量仪的极限误差。

八、测量极限误差

上面所讲的量仪的极限误差与用该量仪进行测量时测量结果的测量极限误差(即测量方法极限误差)是不同的。测量极限误差是指采用一定的量仪和方法，在一定的外界条件下测量时，所产生的最大测量误差。它不仅与所采用的量仪、测量方法、量块等级有关，而且还与测量条件、被测尺寸大小等有关。例如，用0.001毫米的刀口式测微计和4等或1级量块作比较测量，在 $20 \pm 8^\circ\text{C}$ 的温度条件下，测量 $\phi 20$ 的轴径，测量极限误差为 ± 0.8 微米。

由刀口式测微计检定规程可查知，其示值允许误差(测微计的极限误差)为 ± 0.5 微米。因此测量极限误差除了主要包括量仪的极限误差外，还包括量仪以外的各种误差，如标准件的误差、方法误差、环境条件引起的误差、测量人员引起的误差等等。

测量极限误差用来评定某种测量方法(包括使用的量仪)所得到的测量结果的准确度，也可用来正确选用测量工具和测量方法。

表1-2列出了各种机械式量仪的测量极限误差。

第四节 机械式量仪的误差

量仪的误差按其性质可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

系统误差是在相同测量条件下，重复测量同一尺寸时，数值和符号保持不变，或在条件改变时，按某一确定规律变化的误差。例如刻度盘刻度不正确，齿轮偏心，杠杆臂长不

表 1-2 机械式量仪的测量极限误差

机械式量仪			所用 量块	尺寸范围 (毫米)										
名 称	分度值 (毫米)	使用范围		等 级	测量极限误差 (±微米)									
					1 10	10 50	50 80	80 120	120 180	180 260	260 360	360 500		
0级百分表	0.01	任 一 圈	— 3	10	10	10	11	11	12	12	13			
1级百分表				15	15	15	15	15	16	16	16			
2级百分表				20	20	20	20	22	22	22	22			
内径百分表	0.01	任一圈 (带 0级百分表)	— 3	11	12	12	12	13	14	14	15			
		任一圈 (带 1级百分表)		16	16	17	17	18	19	19	20			
		任一圈 (带 2级百分表)		16	16	22	22	22	22	28	30			
杠杆百分表	0.01	0.1毫米内	— 3	8	8	9	9	9	10	10	11			
千 分 表	0.001	0.1毫米内	— 3	3	3	3.5	4	5	6	7	8.5			
	0.002			6	6	6.5	6.5	7	8	9	10			
测 微 计 和测微表	0.001	—	3	0	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8		
			4	1	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	2.0	2.5	3.0		
			5	2	0.7	1.0	1.4	1.8	2.0	2.5	3.5	4.5		
			— 3	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.5	6.0	8.0			
	0.002		4	1	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	2.2	3.0	3.5		
			5	2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.8	3.0	4.0	5.0		
			— 3	1.4	1.8	2.5	3.0	3.5	5.0	6.5	8.0			
			5	2	2.0	2.2	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0		
	0.005		— 3	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.5	8.5			
			杠杆式卡规	0.002	—	5	2	3.0	3.0	3.5	3.5	—	—	—
						— 3	3.0	3.5	4.0	4.5	—	—	—	
百分表式 卡 规	0.002	—	— 3	3.0	3.5	4.0	4.0	—	—	—				
	0.005		— 3	—	—	—	6.0	—	—					
	0.01		— 3	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	—	—				
杠杆千分尺	0.002	直接测量		3.0	4.0									