

精密测定器的 机构设计

国防工业出版社



精密测定器的机构设计

〔日〕味岡成康 著

秦曾志 国洪志 译校

国防工业出版社

内 容 提 要

本书分设计与应用两大部分。并将精密测定器的机构设计分为检测部分和运动部分。检测部分的机构设计着重于探讨各种放大记录装置的机构对记录图形失真、动态测定力和追随特性的关系。运动部分的机构设计着重于探讨各种导向机构、送进机构、粗调微调机构的组合关系。除了从基础理论进行探讨外，还列出机构设计的实例，进行了精度分析和误差分析。对如何提高测定器的测量精度和提高测量速度提出了建设性意见。

本书可作高等工业院校精密机械、仪器制造专业的参考书，也可供有关工厂、科研部门设计技术人员参考。

精密測定器の機構設計

〔日〕味岡成康

開発社 一九七六年

*

精密测定器的机构设计

〔日〕味岡成康 著

秦曾志 国洪志 译校

*

国防工业出版社出版

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

*

850×1168¹/₃₂ 印张7³/₄ 197千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷 印数：0,001—6,200册

统一书号：15034·1897 定价：0.99元

目 录

一、绪 论

1.1 精密测定器的课题	1
1.2 机构设计及其重要性	2
1.3 精密测定器的结构	3

二、检测装置的机构设计

2.1 关于检测装置设计方面的问题	7
2.2 关于杠杆式放大机构的结构及放大倍率的研究	8
2.2.1 杠杆式放大机构的结构及其样机	9
2.2.2 简单杠杆放大倍率的变化	15
2.2.3 复合杠杆放大倍率的变化	18
2.2.4 由安装误差而产生的放大倍率的变化	23
2.3 放大倍率变化小的杠杆式放大机构	26
2.3.1 中间插入测量杆的组合杠杆	27
2.3.2 互为直角方向配置的杠杆机构	31
2.4 记录图形的失真	33
2.4.1 记录图形的横向偏移	33
2.4.2 放大记录装置机构设计的实例	36
2.5 接触式检测装置的动态测定力和追随特性	42
2.5.1 关于测量头的杠杆型夹持装置机构的理论研究	42
2.5.2 关于杠杆式放大机构的理论研究	46
2.5.3 追随特性的测定	49
2.6 考虑到测定力和追随特性的新型机构的设计实例	52
2.6.1 有表面反射镜的杠杆的新机构实例	52
2.6.2 传感器的新机构实例	57
2.7 本章小结	61

三、运动部分的机构设计

3.1 关于运动部分机构设计的若干问题	63
3.2 单一运动导向机构的设计	65
3.2.1 关于以往的单一直线运动导向机构的研究	65
3.2.2 基本单元及其运动的约束	72
3.2.3 基本单元组合的设计方法	77
3.2.4 利用组合设计方法的单一直线运动的导向机构	80
3.3 单一旋转运动导向机构的设计	84
3.3.1 利用组合设计方法的机构	85
3.3.2 单一旋转运动的导向机构(其一)——在 α 方向 旋转的情况	89
3.3.3 单一旋转运动的导向机构(其二)——在 γ 方向 旋转的情况	93
3.4 复合运动导向机构的设计	96
3.4.1 用组合设计方法的“复合运动的导向机构”的扩大应用	96
3.4.2 复合运动的导向机构(其一)——在 $(x-y)$ 方向 运动的情况	98
3.4.3 复合运动的导向机构(其二)——在 $(x-\gamma)$ 方向 运动的情况	101
3.4.4 复合运动的导向机构(其三)——在 $(x-\alpha)$ 方向 运动的情况	103
3.5 运动部分送进机构的设计	104
3.5.1 微调、粗调的一体装置	105
3.5.2 超微调装置	106
3.6 本章小结	108

四、应用本机构设计的精密测定器及其性能

4.1 工具显微镜	110
4.1.1 工具显微镜存在的问题	110
4.1.2 新型工具显微镜的基本设计	116
4.1.3 检测部分的机构设计及结构设计	118
4.1.4 运动部分的机构设计及结构设计	122
4.1.5 关于运动部分的支点位置的理论探讨	133
4.1.6 关于结构设计的其他问题	141

4.1.7 新型工具显微镜的特征及性能	148
4.2 各种形状测定器	155
4.2.1 有关形状测定器的基本设计问题	155
4.2.2 真直度测定法分类和真直度测定器方面的问题	157
4.2.3 记录式真直度测定器	163
4.2.4 光学真直度测定器的光轴调整装置	170
4.2.5 其它形状的测定器	172
4.2.6 关于运动部分的支点位置的理论探讨	178
4.3 触针式表面光洁度测定器	184
4.3.1 机构设计上的问题	184
4.3.2 光杠杆式表面光洁度测定器	185
4.3.3 位移型电动式表面光洁度测定器	199
4.4 接触式断面形状测定器	209
4.4.1 薄膜阶梯差测定器	210
4.4.2 轮廓测定器	222
4.4.3 正圆度测定器	228
4.5 误差的校正机构	237
4.5.1 需要校正机构的理由	237
4.5.2 各种校正机构	239
参考文献	241

一、绪 论

1.1 精密测定器的课题

近几年，随着机械工业精密程度的提高与迅速发展，对机械零件要求的尺寸精度和形状精度也有所提高，需要精密测定的机械零件数量非常多，测定的项目也在增加。

因此，用之于精密测量的测定器，它的性能必须总是能够适应提高机械零件的质量和产量的增大。我们认为现在的机械工业，只有在得到具有最佳性能的精密测定器后，才能有所发展。

因之，把目前生产上明显地影响精密测定器性能的诸条件加以整理后，可以归纳为下列四条。

1 互换式生产方法的贯彻

过去不需要那样高度互换性的大尺寸、大形状的机械零件和微小尺寸、形状的零件，也在彻底地使用互换式生产方法。因此，作为测定对象的各种机械零件尺寸大小的范围越来越扩大，被测定零件的形状与测定项目越来越复杂，对精密测定器所要求的精度也越来越高。

2 工艺的标准化

大量生产高精度的机械零件时，对每个零件要分别确定适宜的加工方法与加工机械，并需将其工艺加以标准化。为了用此种标准化工艺制出高精度的机械零件，在配备高精度工装卡具的同时，还需要机床的自动检测精度与恢复精度。因此，殷切要求出现测量高精度工装卡具的新的性能测定器和能够自动测量的各种新装置。

3 生产速度的加快

由于机械零件的大量生产而加快了生产速度，迫切要求减少所需的测量时间与劳力。因之，不仅要提高测量效率，还要通过生产过程中自动检测精度，急需研制能够预先防止产生大量废品的测定器。

4 各种规格的统一

随着对机械零件的大小、形状精度的重视，日本已逐步制定出来有关此类精度的规格。根据这种情况，也需要各种数量较多的新的高性能的精密测定器。

为了解决上述的课题，必须在各个方面改进精密测定器的性能。因此，首先我们认为要很好的对精密测定器的设计方法加以探讨，并需要确定对改进性能最有用的设计方法。

1.2 机构设计及其重要性

在设计精密测定器的时候，首先要确定测试项目、性能因素以及它们相适应的测量方法，在此基础上确立关于构成精密测定器各部分的方针等，以便进行有关基本项目的设计是重要的。

其次，具体地对各结构进行机构设计，并设计各组成部分的结构，以及设计包括它们的配置和连接的整体结构。而且从生产、方案方面加以探讨，进行了所谓生产设计和方案设计才算设计终了。现在，把关于基本项目的设计叫作基本设计，而把有关机构、结构的设计分别称之为机构设计与结构设计。图1表示它们的设计顺序。

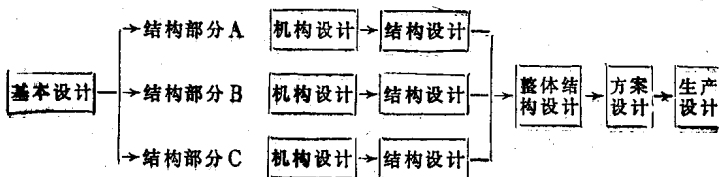


图1 精密测定器的设计顺序

在上述这些设计中, 虽然各种精密测定器的机构设计具有很多共同的元件, 但过去偏又缺少研究。因此, 对于精密测定器的机构设计如就其结构部分加以研究, 并把它们的设计方法系列化, 则对今后精密测定器的设计会大有裨益, 对改善各种精密测定器的性能肯定是奏效的。另外, 最近先进卓著的光电测量技术, 或在应用流体技术等的大力推动下而研制出新的测量技术, 在机构设计中也是重要问题。

这样, 确立了机构设计方法, 并运用这种设计方法而进行正确的基本设计与结构设计, 肯定可以研制出新的精密测定器。

1.3 精密测定器的结构

为了确立有关精密测定器机构设计的设计思想, 首先要探讨精密测定器是由哪些具有不同机能的部件构成的, 明确这些结构部件的机构设计上的问题, 并分别加以研究是重要的。这里, 即使在精密测定器中使用同样名称的机构, 由于它所处结构部分的不同, 而对它要求的实际性能也不同, 因此, 如果单纯地仅仅由于名称相同而拿出同样机构, 并把它在设计上进行同样的探讨, 这样是解决不了精密测定器的课题的。

这里, 试就精密测定器是由哪些部分构成的加以考察。确定被测零件需要测量的理由和测量项目时, 尤其当设计适应它的精密测定器时:

(1) 确定用什么作为测量标准。

(2) 决定被测定量的检测法与测量值的表示法。

(3) 为了测量各种大小尺寸和形状, 决定采用被测零件与检测部分要进行相对地移动的办法。

并且除了以上各点进行具体的机构设计外, 还要就整体结构进行设计。因此, 精密测定器应当由三个具有不同机能的部分组成。现在, 就把这些结构部分叫作基准部分, 检测部分与运动部分。

下面就这三个结构部分加以具体地说明。

1 基准部分

所谓基准部分是精密测定器必须具备、用作测量的基准，以及附属于它并由必要的各种装置组成的部分。一般用作测量基准的，在测量长度时，要有量尺，测量螺钉及各种量规，测量角度时，要有圆周刻度板，单一角规等，这里把它们统称为标准块。

另外，测量形状时要以运动的轨迹，或者光的直线性、水平面等理想的几何学形状作为测量基准。这里把它们称作标准形状。现就图2所示蔡司公司的测长器加以探讨。标准尺即标准块，包括标准尺的夹持装置和安装结构，这一部分是基准部分。图3所示为小坂研究所研

制的电动表面光洁度测定器(SE-3型)，使装有触针的电动检测器作直线运动，由于直线轨迹和触针的顶端，一边追随被测零件，一边检测与
被测零件形状之差，所以直线运动的轨迹作为测量用的标准形状，由直线运动所需的各种装置组成的部分就是基准部分。



图2 测长器[卡尔·蔡司 (Carl Zeiss) 公司制]的结构部分

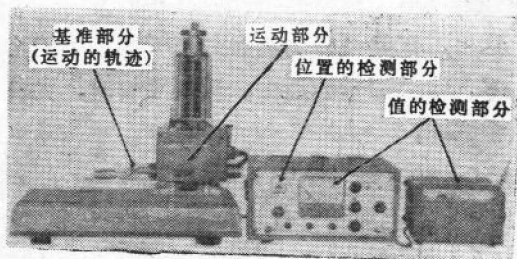


图3 表面光洁度测定器 (SE-3 型, 小坂研究所制) 的结构部分

2 检测部分

精密测定器的检测部分，根据使用目的而分为位置的检测部分与数值检测部分。所谓位置检测部分，是指被测零件或作为测量基准而用的东西，当测量时，检测它是否在预先规定的位置而

用的各种装置所构成的部分。所谓数值检测部分，是指作为标准的已知量检测被测零件的测量值时所需各种装置组成的部分。用工具显微镜测量长度与坐标时的比较显微镜适用于直接测量方式的位置检测部分，上述的电子表面光洁度测定器的零位调整用指示计相当于差值测量方式的位置检测部分。

另外，蔡司公司的测长器中的读数显微镜，适用于直接测量方式的数值检测部分，上述的电子式表面光洁度测定器的平均值指示计及断面曲线记录计适用于差数测量方式的数值检测部分。

3 运动部分

为使基准部分、检测部分或被测零件移动所需的机构都属于运动部分。例如测长器中的尾架移动部分，工具显微镜上的十字移动及旋转工作台部分，比测仪中测量头的上下移动部分等都应该叫作运动部分，当然也包括它们的传动装置。差值测量方式的运动部分，因为只是为了用以确定检测部分或被测零件的位置，并不需要像直接测量方式运动部分那样的精度。

从上所述，我们认为精密测定器显然是由基准部分，检测部分及运动部分等三个部分，并如图4那样组成的。因此，精密测定器的机构设计，从这三个组成部分的每一个部分，以及通过结构部分的装配、设置等而确定有关结构设计上的问题进行探讨就可以。

这里，在三个组成部分中，关于基准部分的特别重要的问题，是有关作为基准使用的标准块与标准形状的精度问题。当使用量尺，量规等标准块时，则标准块的尺寸精度，或把运动的轨迹作为标准形状时，则运动轨迹的精度就是个问题。因此，关于基准部分机构问题，可以认为当把运动的轨迹作为标准形状时，问题就在运动部分的机构，而标准部分的机构就包括在运动部分的机构之中。

根据上述考察，下面再阐述一下检测部分与运动部分的机构设计。

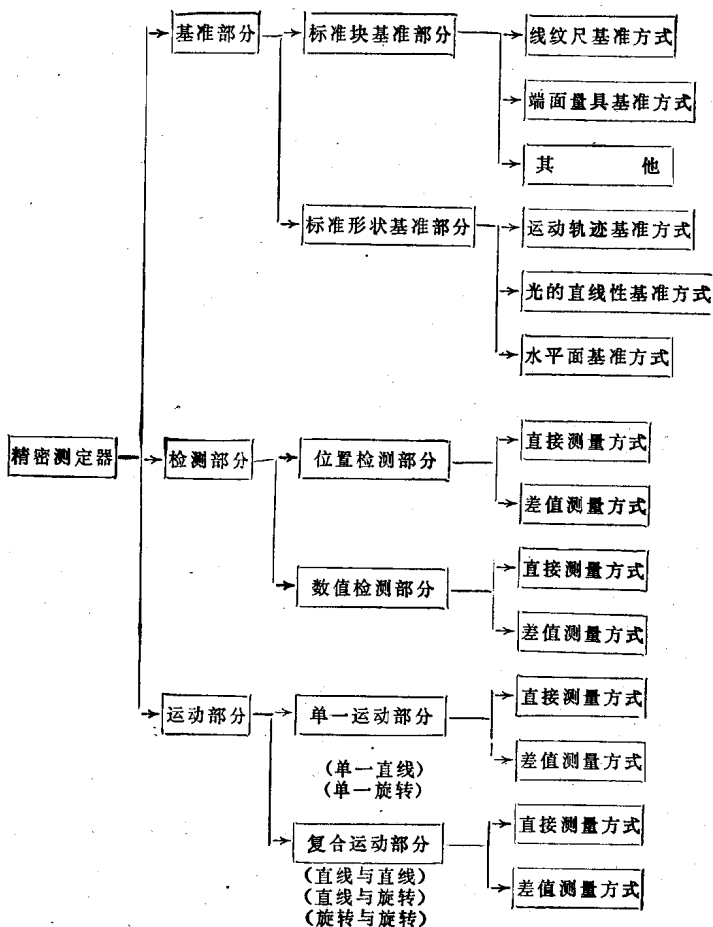


图4 精密测量器的组成

二、检测装置的机构设计

2.1 关于检测装置设计方面的问题

精密测定器的检测装置，根据使用的目的，可以分为数值检测用和位置检测用的两种类型。因为数值检测用的机构和结构大都可以原封不动的作为零位调节装置而用于位置检测，所以两者在机构与结构上一般是类似的。因之，下面先阐述一下数值检测用的检测装置。

组成检测装置的设备，除了测量头的夹持装置、放大装置、显示装置及记录装置等装置外，如放大不采用机械装置方式，为了把机械的位移量转变为其他的量，还要有转换装置等。但是，在实际的检测装置上，有时可以省略此类装置中的某一部分；有时从表面上并不能明显地看出此等装置各自的独立存在。例如指针测微器（千分表）的指针就是最终段的放大用杠杆；墨水书写记录器安装笔头的杠杆，一面起放大作用，一面还能画出记录图形。这是把显示、记录装置及放大装置作为一个整体了。另外，如采用非接触方式检测时，测量头的夹持装置也就无用了。

但是，为了正确取得作为测量对象的机械位移量，用各种方式加以放大，通过检测部分的各种装置，将此放大量显示出来或记录下来，所以要考虑检测装置的主要机构，显然这个主要机构就是联系整个装置的放大机构。

因此，放大机构在设计上的问题，需要把静态和动态中的问题分别予以考虑。

放大机构在静态中的主要问题，是关于如何提高显示或记录机械位移量时放大倍率的几何精度问题，和关于如何提高记录被

测零件断面形状时放大记录图形的正确程度问题。对于前一个问题，需要考虑：不产生放大倍率误差的机械元件的装配，位移量或放大量的传递方法，所以要考虑决定各元件的尺寸、形状精度及安装位置精度等方法；对于后一个问题，需要了解掌握：如何缩小记录图形大小的畸变和图形失真的机械元件的组合，决定传递方法等的方式。

其次，放大机构在动态中的主要问题，一般认为是缩短加工过程中零件尺寸的测量时间或连续测量形状等的时间，和为了提高效率而需要提高追随特性，以及有关决定提高测量性能而需要最恰当的动态测定力问题。

关于这些问题在下面稍微详细的加以说明。

测量头必须根据形状的凸凹而动作，但为了缩短测量时间，测量头或被测表面的送进速度增大后，测量头的频率就增高，由于放大机构的惯性等原因，追随不上被测表面的凸凹变化是可以想像到的。因此，把追随性能一直提高到高频率运动的机构设计很有必要。其次，在测量中产生测量头的动态测定力过大，就会使各部变形而产生不能允许的测量误差。另外，测定力过小，由于外部震动影响等，测量头的接触会不稳定，测量性能将下降。因此，必须经常保持最适宜的动态测定力，以便确立检测部分的机构设计方法。

此外，考虑到非接触式检测部分，如何有效地用以进行微小量的检测、扩大、放大的光学系统，电路，液压流体回路等技术，则是个重要问题，与接触式检测部分比较起来，它的机构问题较少，因此，下面阐述一下接触式本身的问题。

2.2 关于杠杆式放大机构的结构及放大倍率的研究

按照上一节所阐述的放大机构，显然这种机构是由机械杠杆（以下简称杠杆），光杠杆，齿轮及平行薄片那样的弹性体的元件

构成。当我们研究过去最常用的放大机构时，会发现大部分是以杠杆为主体，并由光杠杆及齿轮组成的机构。

因此，在这一节里为了研究这种放大机构的放大倍率精度，首先要考虑构成机构的各元件和这些元件的组成方式，并把此放大机构的种种方式予以模型化，并加以系统的整理，然后就各种方式探讨放大倍率的精度，以寻求为了提高此精度而在机构设计上所需要的条件。

2.2.1 杠杆式放大机构的结构及其样机

以杠杆为主体的放大机构，除杠杆外，是把光杠杆，齿轮适当地组合起来的机构。因此，从放大作用这个观点来研究光杠杆和齿轮，如果能使它具有和杠杆相同的效果，那么放大机构的组合方式以及各方式中的放大倍率精度的研究，就能很容易进行。

因此，首先考察一下光杠杆的放大作用。

光杠杆如图 5 所示，通过测杆型测量头 A，把机构的位移变为反射镜 M 的旋转，并通过针孔的光线变为平行光线投射到反射镜 M 上，它的反射光线在物镜 L_o 的焦面上形成针孔象后，从随着

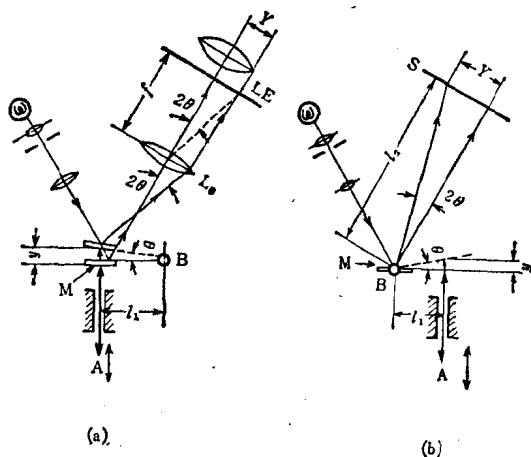
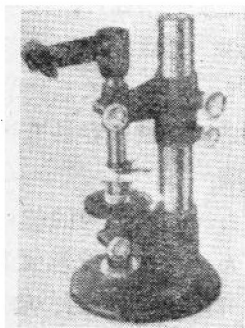


图 5 光杠杆机构

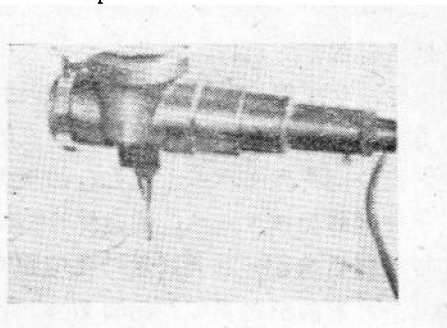
反射镜M的旋转而产生象的移动量 Y 而求出位移量 y ，如同图(a)的方式，通过针孔的光线直接射向反射镜M，由它的反射光线在屏幕S上构成一个针孔象，并依靠反射镜M的反射产生象的移动量 Y ，从而求出位移量 y ，如同图(b)的方式。

前一方式是如图6(a)所示的光学比较仪，图(b)所示是光学指示器或自动准直仪等那样的机构，当反射镜M的旋转角 θ 较小时，设物镜 L_0 的焦距为 f ，测杆型测量头A的中心轴与装有反射镜的这个旋转中心B的距离为 l_1 ，则放大倍率 M 为

$$M \approx \frac{2f}{l_1} \quad (2.1)$$



(a) 光学比较仪
(卡尔·蔡司公司制)



(b) 光学指示器

图 6

后一方式如图7、图8所示的福斯特(Forster)型光洁度测定仪等则经常使用。装有反射镜的这个旋转中心B与测杆型测量头A的中心轴距离为 l_1 ，旋转中心B与屏幕S的距离为 l_2 ，则放大倍率为

$$M = \frac{2l_2}{l_1} \quad (2.2)$$

因此，前者杆臂的长度为 $2f$ 与 l_1 ，后者杆臂的长度为 $2l_2$ 与 l_1 ，可以等价地看成是一个简单杠杆。

其次，考虑到千分表所使用的齿轮作用(图9所示为一般的机构原理)，一个齿轮等于杆臂的长度，可以看成是放大倍率为1

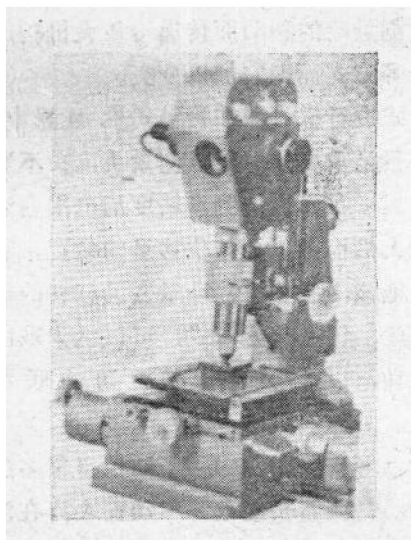


图7 福斯特型表面光洁度测定器外形〔莱茨 (Leitz) 公司制〕

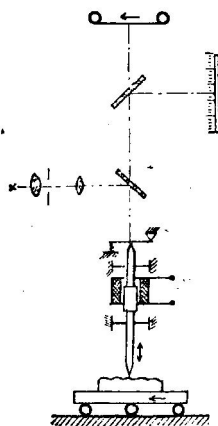


图8 福斯特型表面光洁度测定器的机构

的简单杠杆。

另外，节圆半径不同的两个齿轮固定在一个轴上作为一个整体起作用时，显然放大倍率可用两个齿轮节圆的半径之比求得，因此，把每个节圆半径当作杆臂长度的这个零件，就相当于一个简单杠杆。

从上所述以杠杆为主体的放大机构，显然完全可以将它置换成一个等效的杠杆而加以模型化。因此，所有置换成为杠杆的放大机构，下面都称之为杠杆式放大机构。

其次，实际使用的各种放大机构的作用，把它与置换成为等效的杠杆式放大机构一并研究，则放大机构的作用，可以根据与

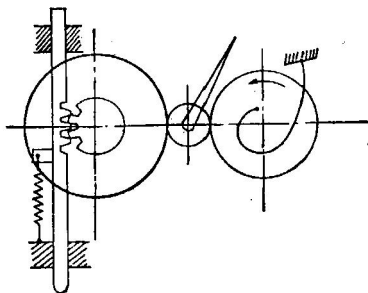


图9 千分表的一般机构原理