



宋 学 濂 编 著

机械式测微仪

中国工业出版社

79.931
243

机械式测微仪

宋学濂编著

中国1954. 15出版社

本书比較詳細地介紹了机械制造业中的各种杠杆机械式測微仪器。其中对各类型測微仪器的工作原理、結構特点、調整方法、技术条件及檢定方法等进行了詳細地闡述，并对它們在設計和构造上的优缺点也进行了分析和比較，同时对一些精度較高和构造較好的仪器还列举了有关的技术数据。

此外，本书还以很大的篇幅对各种測微仪器传动鏈的精度进行了理論上的分析，并提出了誤差的計算方法。

本书可供杠杆机械式測微仪器的設計制造人員和使用人員閱讀，亦可供其他工程技术人員及高等院校和中等专业学校的有关专业的师生参考。

机械式測微仪

宋学濂編著

*

机械工业图书編輯部編輯（北京蘇州胡同141號）

中国工业出版社出版（北京修羅閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可証出字第110號）

人民铁道出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $9\frac{7}{16}$ ·字数246,000

1964年1月北京第一版·1964年2月北京第一次印刷

印数0001—2750·定价（10-6）1.50元

統一书号：15165·C2543（一机-623）

前 言

近几年来,我国的机器制造工业有了很大的发展,无论在品种、质量或产量方面都取得了辉煌的成就。为了要使生产顺利地进行,以及使产品零件具有充分的互换性并达到预期的质量起见,在生产过程中采用适当的测量设备和完善的测量方法是一个不可缺少的重要手段,因此我国的工厂企业中大量地使用着精度不同的各式各样的测微仪器,它包括杠杆机械的、光学杠杆的、光学的等等。其中由于杠杆机械式的测微仪器具有结构坚固、操作方便、容易维护和保养的优点,非常适用于生产的条件,因此在工厂企业中使用得极为广泛。为了使这些杠杆机械式的测微仪器能得到合理的使用、维护和保养起见,故在本书中对那些常用的测微仪器的工作原理、构造、技术条件和检定方法进行了详细的阐述;又为了能对各类型仪器的特征和精度进行比较起见,故在本书中又以很大的篇幅对各种仪器传动链中所存在的误差作了理论上的分析和讨论,并提出了有关的计算方法,这都是在改进仪器的精度或作出新的设计时所必需的参考资料。

这里仅对日常工作中所经常遇到的、使用较为广泛、而结构较为先进的仪器作出了必要的叙述,并希望将来能不断地充实和丰富它。

在此前提下,为求内容丰富正确,在编写时曾参阅了有关的国内外资料及有关的国家标准和检定规程。

由于作者经验不多同时限于水平,在本书中可能有不少谬误之处,希望读者予以指正和批评。

目 次

前言

緒 論	1
第一章 純杠杆机械傳动式測微仪	5
1 純杠杆机械传动式米尼測微仪的工作原理和构造	6
2 米尼測微仪測量軸传动鏈的精度計算	16
3 米尼測微仪指示机构传动鏈的精度計算	31
4 米尼測微仪传动鏈中的总誤差	33
5 米尼測微仪的主要技术条件及其檢定方法	34
6 米尼測微仪的应用	36
7 其他类型的純杠杆机械式測微仪	38
第二章 杠杆齿輪傳动式測微仪	39
1 杠杆式卡規	40
一、工作原理	41
二、构造	42
三、传动鏈的精度計算	50
四、主要技术条件及其檢定方法	59
2 杠杆式千分尺	60
一、工作原理	60
二、构造	61
三、应用	70
四、主要技术条件及其檢定方法	72
3 杠杆式測微头	75
4 奥尔托太斯特型杠杆齿輪传动式測微仪	79
一、工作原理	79
二、构造	81
三、传动鏈的精度計算	89
5 米里麦斯型測微仪	91
一、构造	92
二、传动鏈的精度計算	96
三、精度和应用	100
6 莫那霍夫式小型測微仪	104

一、工作原理	104
二、构造	104
三、主要传动鏈中所存在的誤差	106
7 ETALON 型測微表	107
一、工作原理	108
二、构造	109
8 MM-1小型測微表	110
9 微米測微表	112
一、蔡司精密測微表	113
(1) 工作原理	113
(2) 构造	114
(3) 技术特征	116
二、MKM 型測微表	117
三、微米測微表传动鏈的精度計算	120
10 測微指示計	128
一、工作原理和构造	128
二、传动鏈的精度計算	128
11 杠杆齿輪传动式測微仪器的主要技术条件及其檢定方法	131
12 測微仪的棱形鞍座以及其測量誤差	132
13 杠杆式百分表	136
一、工作原理	136
二、构造	138
三、主要技术条件及其檢定方法	152
第三章 測量內尺寸用的測微仪	154
1 二点接触式的內径測微仪	154
一、內径百分表的构造	154
二、由于定心器不能准确地調整于中心位置所造成的誤差之分析	173
三、內径百分表的主要技术条件及其檢定方法	175
2 三点接触式的內径測微仪	179
一、工作原理	179
二、构造	180
三、传动鏈的精度計算	186

四、定心机构的誤差計算·····	139
五、內徑測微儀的主要技术条件及其檢定方法·····	193
3 四点接触式的內徑測微儀·····	194
第四章 齒輪傳动式的儀器 ·····	195
1 钟表式百分表的构造·····	196
2 钟表式千分表的构造·····	206
3 钟表式指示計传动鏈的精度計算·····	211
一、二級传动指示計的精度計算·····	212
二、三級传动指示計的精度計算·····	216
4 钟表式百分表的主要技术条件及其檢定方法·····	217
5 钟表式千分表的主要技术条件及其檢定方法·····	221
第五章 杠杆螺旋傳动式的測微儀·····	224
一、工作原理·····	225
二、构造·····	226
三、技术条件及其檢定方法·····	228
四、传动鏈的精度計算·····	228
第六章 彈簧傳动式的測微儀 ·····	239
1 利用彈簧的弯曲特性所构成的彈簧传动式測微儀·····	239
2 利用彈簧的扭轉特性而构成的扭簧传动式測微儀·····	250
一、米克罗卡特測微儀（大型）·····	250
（1）工作原理·····	250
（2）构造·····	253
二、小型米克罗卡特測微儀·····	266
三、米尼卡特測微表·····	269
四、其他的扭簧传动式測微儀器·····	274
附录 1、利用机械式測微儀測量长度时的基本方法和极 限誤差 ·····	280
附录 2、測量工件的偏摆和同心度等时机械傳动式儀器 的選擇 ·····	281
附录 3、各种杠杆式百分表的技术特征 ·····	282
附录 4、各种机械式測微儀的主要技术特征一覽表·····	284
附录 5、各种机械式內徑測微儀的主要技术特征一覽表 ·····	290
与本书有关的工具专业标准和計量檢定規程 ·····	292
参考文献·····	293

緒 論

在機器和儀器製造工業中，為了要保證產品零件、組合件或部件能達到預定的精度，並能符合規定的技術條件起見，故在生產過程中普遍地使用着各種長度測量儀器以進行尺寸上的測定，其中尤以機械傳動式的測微儀器使用得最為廣泛，它們的主要工作原理是：將儀器的測量杆的微小直線位移通過適當的傳動機構擴大後，而轉變為指針的角位移，以此作為儀器的傳動基礎，最後由指針在刻度標尺上指示出相應的示值。

這種機械傳動式的測微儀器，如果按照其傳動機構的特徵來分類時，可分為下列數類：

1. 純杠杆機械傳動式的測微儀器；
2. 杠杆齒輪傳動式的測微儀器；
3. 齒輪傳動式的測微儀器；
4. 杠杆螺旋傳動式的測微儀器；
5. 彈簧傳動式的測微儀器；
6. 測微螺旋副與杠杆齒輪傳動相結合的測微儀器；
7. 楔形傳動式的測微儀器。

這些測微儀器的分度值可為 $0.1 \sim 0.00001$ 毫米，而測量範圍可達 $0.001 \sim 25$ 毫米，儀器的構造、傳動方式、精度、外表形式以及使用方法也各不相同，這裡僅對各類傳動型式的測微儀器中選其較為典型、精度較高、誤差較小、構造先進以及使用較為方便的作了必要的分析和介紹。

純杠杆機械傳動式的測微儀器，雖也可制成為 0.01 毫米至 0.001 毫米的分度值，但由於在儀器的傳動鏈中，測量杆的直線位移與指針的角位移間不能保持成一定比例的傳動，因此大大地限制了它精度的提高，而不得不將它的測量範圍限制在狹小的範圍內（儀器指針的迴轉角度不能超過 90° ）。雖然儀器的構造簡單、堅固、耐用並且易于修理，但由於外廓尺寸較為粗笨，指針長而

沉重并具有相当大的惰性，测量范围也较小，故在使用上受到了一定的限制，目前正逐渐受到淘汰而为其他型式的仪器所代替。

在齿轮传动式的测微仪器中，由于利用了一系列的齿轮副代替了如前述仪器中的单纯的杠杆系统，因此能够应用具有圆周刻度的标尺；亦使仪器的外廓尺寸小、重量轻、传动构件的惰性也较小。由于指针能作多圈数的迴转，故具有相当大的测量范围（最大的测量范围可达20~30毫米）。齿轮传动式测微仪器的分度值可制成为0.01~0.001毫米，但是它的作为主要传动构件的齿轮副无论在加工或装配工艺上很难达到理想上的要求，这是因为，在齿轮系中，各啮合要素上所存在着的各个微小误差，经过各个传动齿轮逐级放大后，即可成为一个相当可观的累积误差。在比较优良的钟表式百分表（分度值为0.01毫米）中，当测量杆在指针的一圈范围内工作时，其示值误差通常小于一个分度值，而在仪器的全部测量范围内工作时，其误差相当于分度值的1~1.5倍。但是当应用这种单纯的齿轮传动方式制成分度值为0.002和0.001毫米的测微仪器——钟表式千分表时，由于测量杆（测量轴）和导管之间存在有间隙，当测量杆发生晃动时，使齿杆与小齿轮间产生旁向的位移，并由此而引起相当大的误差，以及齿轮的啮合要素上存在着一系列的误差，因此使仪器很难达到较高的精度。在这类型式的仪器——钟表式千分表中，当测量杆在指针的一圈范围内工作时，其示值误差约相当于分度值的2~3倍；而在仪器的全部测量范围内工作时，其示值误差可达分度值的5~7倍。在复杂的齿轮传动中，往往存在着较大的回程误差，这也是它最大的缺点之一，因此当精度要求较高时，这种型式的仪器是不够令人满意的。

杠杆齿轮传动式的测微仪器，应用了上述两种传动方式的优点，因此能在相当大的程度上减少仪器的传动误差。在这种型式的仪器中，利用杠杆作为传动链的始端部分，而将齿轮副作为传动链的末端部分。在其杠杆系统中，利用平面和球面作为接触元件，在制造过程中比较容易达到所需的精度，但是，由于测量杆

的直线位移与指针的角位移间不成比例性所造成的误差，仍然在一定的程度上存在着，所以它的精度仍还受到一定的限制，并随着仪器的不同结构而异。由这种传动方式所设计而成的测微仪器，其分度值可自0.01毫米至0.001毫米，而测量范围可由2毫米至0.1毫米，其中以奥尔托太斯特型测微仪和米里麦斯型测微仪为其典型的仪器，它们具有精度较高而可靠、测量范围较大以及构造坚固耐用的特点，但是外廓尺寸较大，尤其是前者。为了要减小这种仪器的外廓尺寸和提高其精度起见，故有双杠杆齿轮传动式的精密测微表的出现，这是目前的一种设计较为优良的杠杆齿轮传动式的测微仪器，其传动方式也成为小型测微表的设计基础。

杠杆螺旋传动式的测微仪器，由于在传动链中所存在的误差因素较多，当杠杆系统将测量杆的直线位移传递给蜗杆并转变为角位移时，形成了一系列的误差，因此很难提高仪器的传动精度，这也是这种传动方式应用得不广的主要原因。

在各种弹簧传动式的测微仪中，扭簧式测微仪（米克罗卡特型测微仪）是一种结构最为新颖的测微仪器，它是利用扭转的平弹簧片（扭簧）作为尺寸的转换和放大的机构，亦即利用扭簧的弹性变形来达成传动的目的。在这种仪器的传动链的偶件间既无松隙也无摩擦作用，测量力较小，具有较高的传动比，没有回程误差，传动偶件在使用过程中没有磨损，因此大大地提高了仪器的精度，并且具有构造简单而轻便、容易制造和成本低廉的特点，所以它成为目前机械传动式的长度测微仪中测量精度最高的一种仪器，并已占着相当重要的地位。

应用扭簧传动原理设计和制造各种测量仪器，其分度值可自0.01毫米至0.0001毫米，测量时的示值范围可相当于 ± 20 至 ± 100 个分度值，示值误差亦仅 $\pm 1\%$ ，回程误差近似于0。在某些特殊设计的扭簧测微仪（米克罗卡特型测微仪）中，其分度值可减小至0.00001毫米，而示值范围为 ± 0.0005 毫米，更高精度的扭簧传动式测微仪（分度值为0.000005毫米和0.000002毫米）亦正在研究中，由此可见这种测微仪的精度已远远地超过了其他机

械传动式的测微仪，它们具有着广阔的发展前途。

扭簧传动式测微仪由于利用扭簧中部的迴转角度与其轴向延伸值关系曲线上的近似直线段部分，故当传动比越高以及测量范围越小时，其关系越近似于正比。由于这种仪器的精度主要取决于扭簧的材料、形状、截面尺寸、原始张力、原始的扭转角度等等，而影响于上述数据的因素很多，它们很难用准确的计算方法来确定，所以迄今为止尚无可靠的精度分析或误差计算的方法可循，一般均需经过试验来决定。

由于本书主要是以测微指示机构作为讨论的中心，所以对「微动螺絲副与杠杆-齿轮传动相结合的测微仪器」并不作为单独的一章讨论，而将它的典型仪器——杠杆式千分尺列于杠杆齿轮传动式测微仪的一章内。

在测微仪器中很少利用单纯的楔形传动机构，而往往将这种楔形传动和其他的传动机构联合着使用而组成一个完整的测量仪器，其中使用得最为广泛的为内径测微仪，故关于这种传动方式将在“内部测量用的测微仪器”一章内进行讨论。

由于内部测量用的测微仪器可由各种类型的传动机构组成，而不可能在每一个传动方式的测微仪器中来分别讨论这同一个问题，因此在本书中将内部测量用的测微仪器单独列为一章进行介绍，以便能对仪器的类型、特征、传动方式、误差分析、测量方法等有一个综合的概念。

关于测微仪器的精度问题，由于很多仪器具有着共同的或相类似的构件，它们所引起的误差也是相类似的，因此在分析传动链的精度和计算其误差时并未按每一种仪器进行重复的讨论和分析，在应用这些理论时可以彼此参照。

在本书中，关于仪器精度方面的技术条件和检定方法等主要是根据我国国家科委计量局所规定的有关量具和仪器的技术条件以及检定规程提出的。

到目前为止，除了在个别的情况下，各类杠杆传动式的测微仪的工作原理或构造均相类似，从这里所介绍的典型测微仪中可

以了解到其他相类似仪器的工作原理、构造、使用方法、检定方法和精度分析的方法等，对那些使用得并不广泛或性能不很优良的仪器这里也不再进行详细的介绍。

第一章 純杠杆机械傳动式測微仪

在技术测量工作中，最常见到的典型的纯杠杆传动式的测微仪器是米尼测微仪，它主要是利用不等臂杠杆之传动将仪器测量杆的微小直线位移转变为经过放大的角位移的原理，其作用原理如图 1。杠杆短臂 a 为两个支承刀口间的距离，而指针的长度 L 即相当于杠杆长臂，若将一个刀口作为不动的支点，则当仪器的测量杆作直线位移时，它上面所附装着的刀口即推动鞍形棱块使绕着固定的上支承刀口转动，最后使仪器指针产生角位移并在刻度标尺上指示出来。这种简单的测微仪的放大倍数 K 即为杠杆长臂 L （指针的长度）与杠杆短臂 a 的比值，即 $K = \frac{L}{a}$ 。

根据不同放大倍数，这种仪器可设计成 0.01、0.005、0.002 和 0.001 毫米的各种分度值；分度值为 0.01 毫米的测微仪之放大倍数约为 100~150，而分度值为 0.001 毫米的测微仪之放大倍数约为 1000，亦即说使刻度标尺的刻线间之距离不小于 1 毫米。

虽然，这种仪器的构造简单、坚固耐用并且易于修理，但为了要获得较高的放大倍数，在仪器中不得不尽量缩短杠杆短臂的长度（大约在 0.1 毫米左右），并增加指针的长度，因此采用刀口作为支承，这种刀口支承需要具有较高的精度，它的工作表面均借手工研磨出来，制造较为困难；同时，由于其耐磨性也较低，也易于磨耗和损坏。仪器的指针长而重，

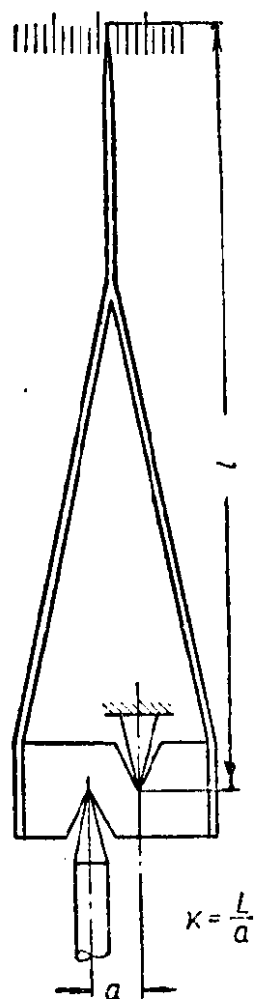


图 1

因此具有相当大的惰性。又由于在仪器的传动链中，测量杆的直线位移和指针的角位移间不能准确地保持一定的比例，大大地限制了它的精度的提高，而不得不将它的指示范围限制在狭小的范围内（刻度范围通常为 $\pm 10 \sim \pm 30$ 个分度），因此在应用上受到了一定的限制，这是它的最主要的缺点。

1. 纯杠杆机械式米尼测微仪的工作原理和构造

纯杠杆机械式的米尼测微仪（又称刀口杠杆式测微仪或简称为刀口式测微仪）按其主要作用原理和结构可分为三种：

一、具有下摆动刀口的测微仪：

这种仪器的工作原理如图2所示，它的上刀口固定不动，而下摆动刀口则直接支承在仪器测量杆的上端部。

图3和图4为这类纯杠杆

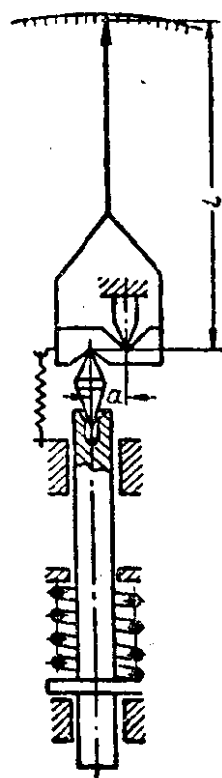


图 2

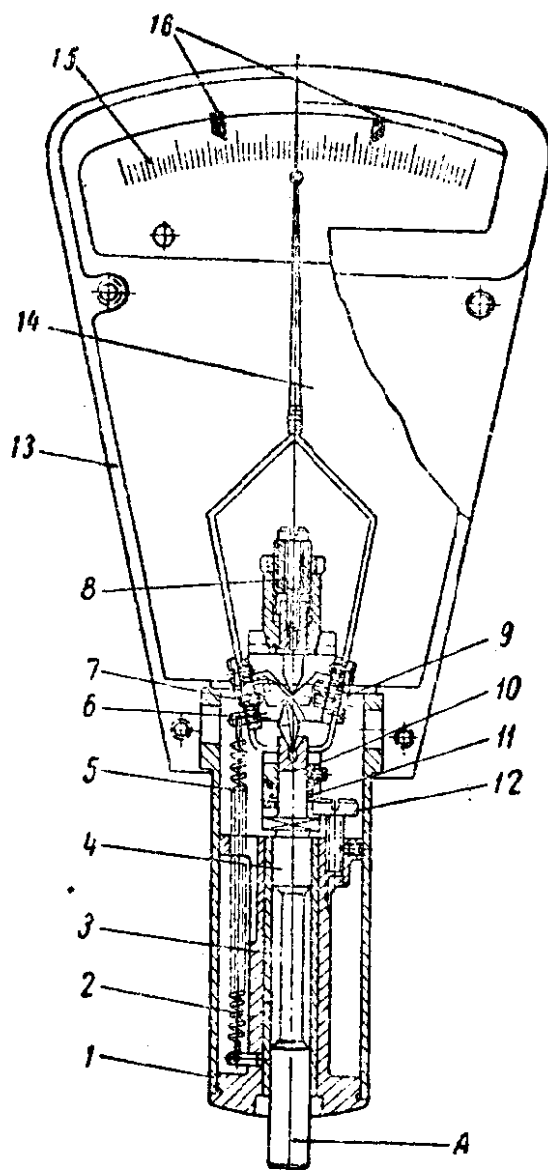


图 3

机械式米尼测微仪之构造图。套筒 1 借适当的配合座紧紧地装配在钢制的壳体 2 的凸缘上，在壳体 2 的内孔中压配着青铜衬管 3 以作为测量轴(杆)4的导向管。在测量轴的上部作成正方形与壳体的相当的导孔相滑配，以防止测量轴4绕着自身的轴线转动。测量轴 4 的上端具有经过精密研磨加工的锥孔（锥角为 85° 或 90° ），在其中支承着锥角为 60° 的下摆动刀口，在测量轴的锥形孔和下摆动刀口的端部具有不同的锥形角度之目的：为了使下摆动刀口能在一定的范围内自由摆动，并使承托在下摆动刀口上的V形棱块 6 自刻度上的零位向左右迴转不同的角度时能使杠杆短臂的长度保持不变。

为了使这种仪器在装配和修理时易于调整其精度起见，故将作为杠杆短臂的V形棱块设计成可调整的组合形式(图5和图6)，它为由两个带有鞍形凹槽的棱块组成，小棱块 3 滑动地嵌合于大V形棱块 2 的凹槽中并可借弹簧钳口板固定之，小棱块 3 下面的V形凹槽承托在下摆动刀口的尖端，而大棱块 2 上面的V形槽则和固定的上刀口 1 相接触。在图 7 中更明显地表示出这种组合棱块的形状，1 为下摆动刀口，2 为小棱块，3 为大V形棱块，4 为固定的上刀口，5 为弹簧钳口板用以使大V形棱块 3 紧紧地拉向上固定刀口 4。仪器的分度值是由杠杆短臂来决定的，杠杆短臂的长度可借两个螺钉 4（图 5 和图 6）以调整小棱块 3 在大棱块 2 的凹槽中的位置而加以改变，亦即改变了仪器的放大倍数 K 。螺钉 4 亦用以固定小棱块 3 的位置。图 6 中央的插图上下两刀口和组合棱块的凹槽相接触的情况，棱块V形凹槽角度的顶部应借磨削加工以及精密研磨至具有0.02毫米的曲率半径，这在制造工艺和修理上来说均较

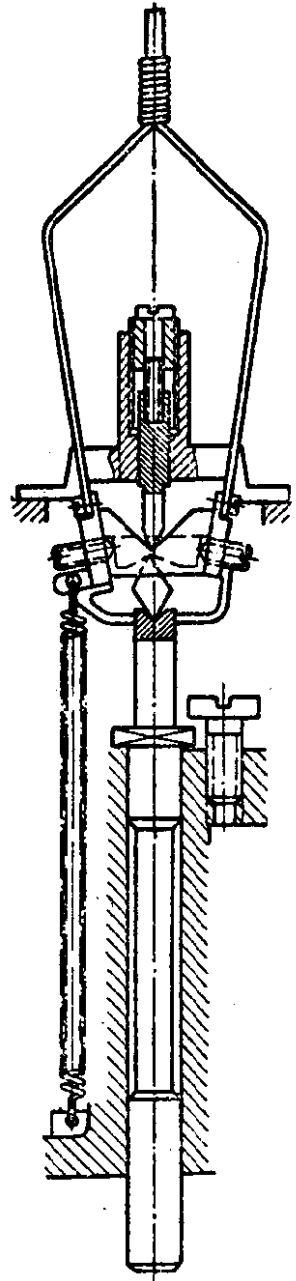


图 4

困难，所以也有些其他的制造厂将这种测微仪刀口支承的结构设计如图8所示，这种测微仪称为米克罗太斯特，其组合棱块的凹槽为由两个单独的精密研磨平面组成，其相交点能构成一个尖锐的棱角，支承刀口即可在这棱形凹槽的平面上转动，这种支承构件的磨损也较小。

固定的上刀口 8（图 3）之调整装置由螺母、螺钉和锁紧螺帽组成，用来在改变固定上刀口 8 的高度时以调整杠杆系统中活动间隙。定位螺钉 12 用以限制测量轴 4 向上的行程，以预防由于测量端 A 在测量工作中过度的位移量而损坏仪器。螺旋形弹簧 5 用以产生并保持仪器在工作中所必需的规定的测量力，并用以使仪器中各个运动系统恢复原状。螺旋形弹簧 11 和固定圈 10 使测

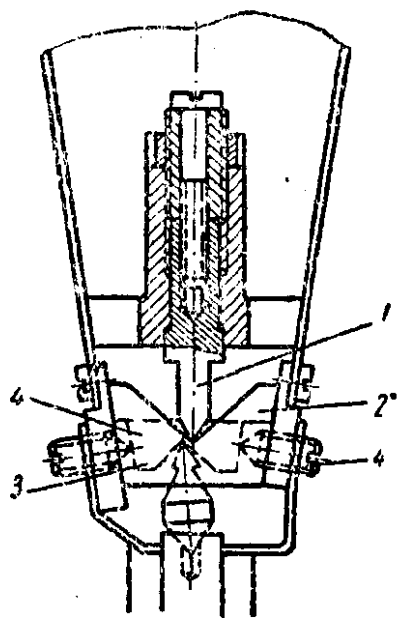


图 5

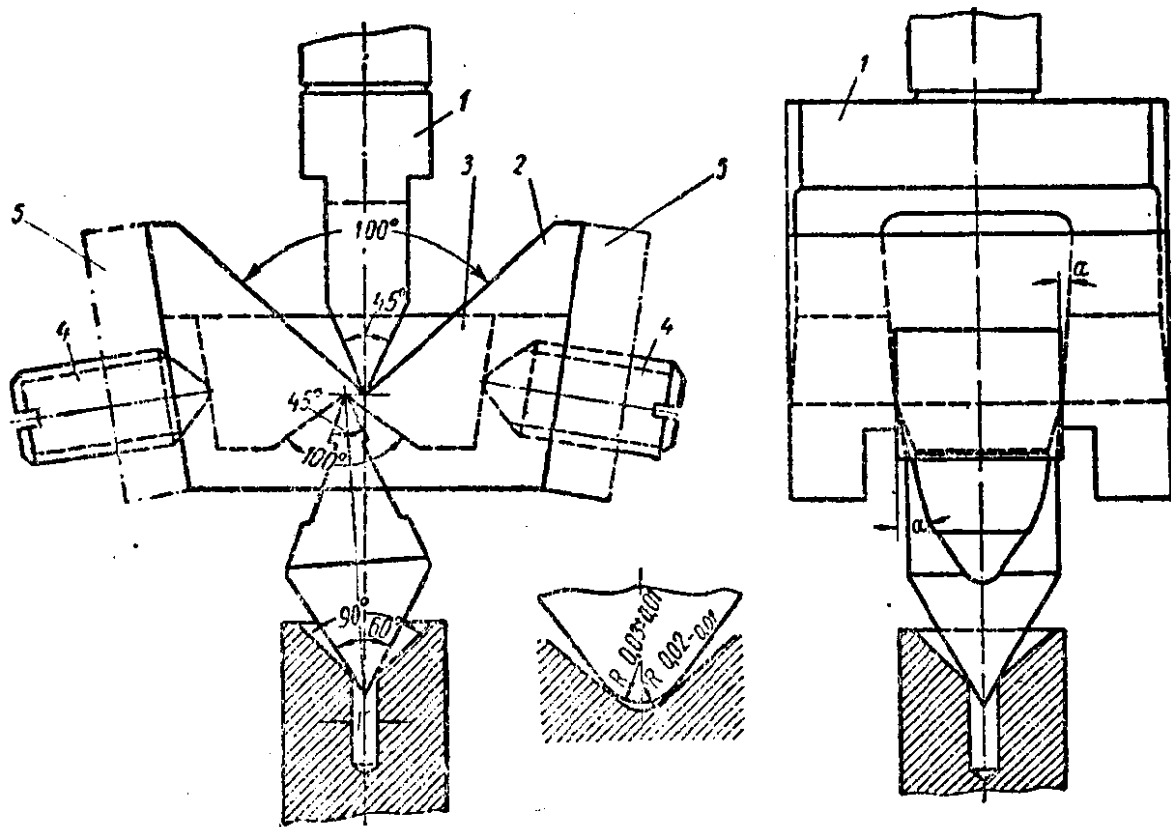


图 6

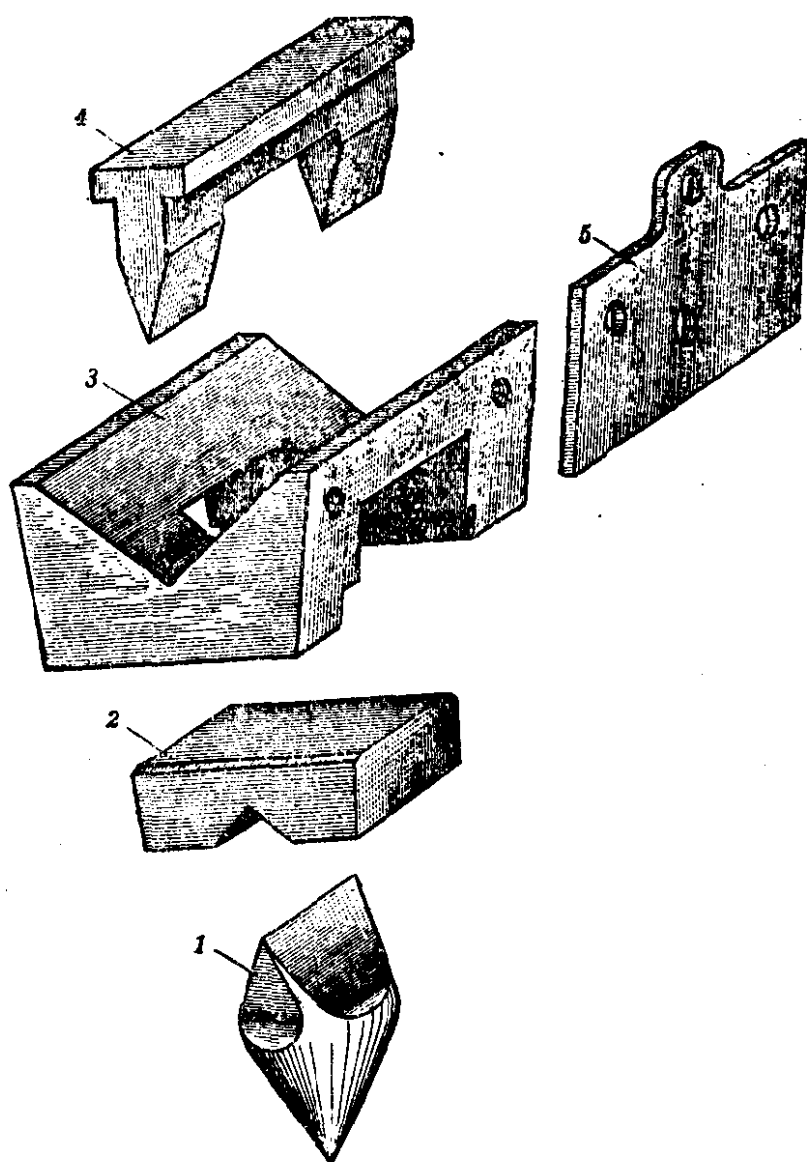


图 7

量轴 4 微微提起，并用以调整测量轴在自由状态时杠杆系统中的活动间隙。

在应用这种米尼测微仪进行测量时，将测微仪头固定在工作台座的立柱上，按照所需要的尺寸选取适当的量块放在测微仪的测量端（测帽）下，以改变测微仪与量块的相对位置而调整仪器指针的零位，然后取去量块而将被测量的工件置于测量端的下部之工作台上，在工件处于适当的位置后，自刻度盘的标尺上即可读出指针 14 所指示出的偏差值（相对于量块组合的尺寸而言）。

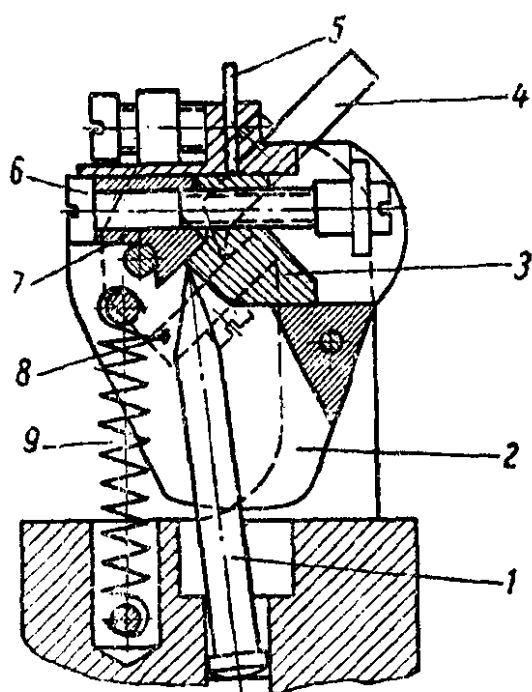


图 8

标尺上指示出与测量轴直线位移成正比的角位移值。

二、具有上摆动刀口的测微仪:

这种仪器的工作原理如示意图 9 所示, 测量轴 1 悬挂在两个薄平弹簧片 2 上, 测量轴上部末端的刀口 5 和棱块 3 的 V 形凹槽相接触。摆动刀口 4 的上部为具有球形的端面, 支撑于特殊的锥形凹孔中。

当按压测量轴 1 时, 杠杆系统的棱块 3 在刀口 5 的作用下开始绕着刀口 4 的刃部转动。固定在杠杆棱块 3 上的指针即在刻度

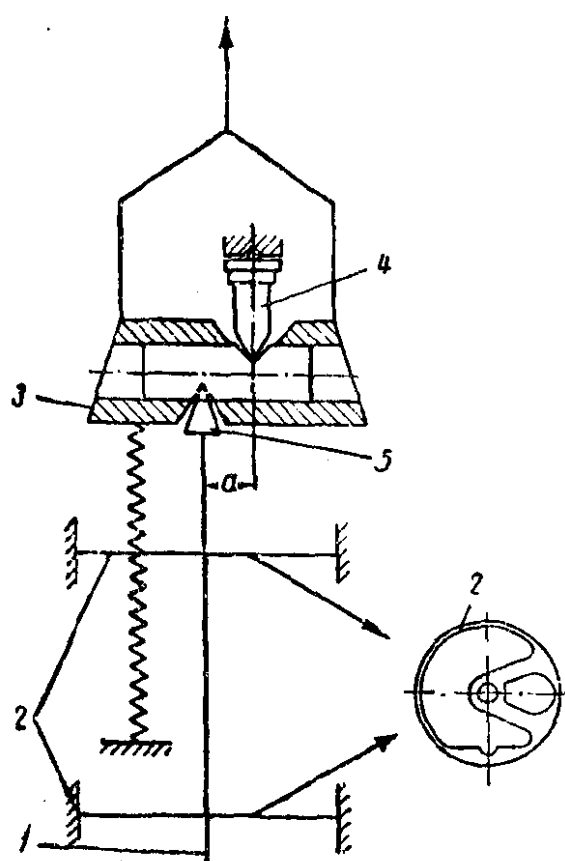


图 9

图10和图11为具有上摆动刀口的米尼测微仪(宽刻度型)构造图。在这种仪器中, 测量轴并无通常所应用的导向机构——导管, 而代之以二个薄弹簧片 2。测量轴即悬挂在这薄弹簧片上, 因此在测量轴移动时没有摩擦阻力, 也没有径向间隙所引起的串动, 为了希望获得较大的弹性起见, 故将这种薄平弹簧片上开有环形槽 (图 9 中的 2); 由于平弹簧片很薄, 在装配时很容易折断, 甚至在使用的过程中也会产生断裂。测量轴为由二个直径为 6 毫米的衬管 13 和 14 以及