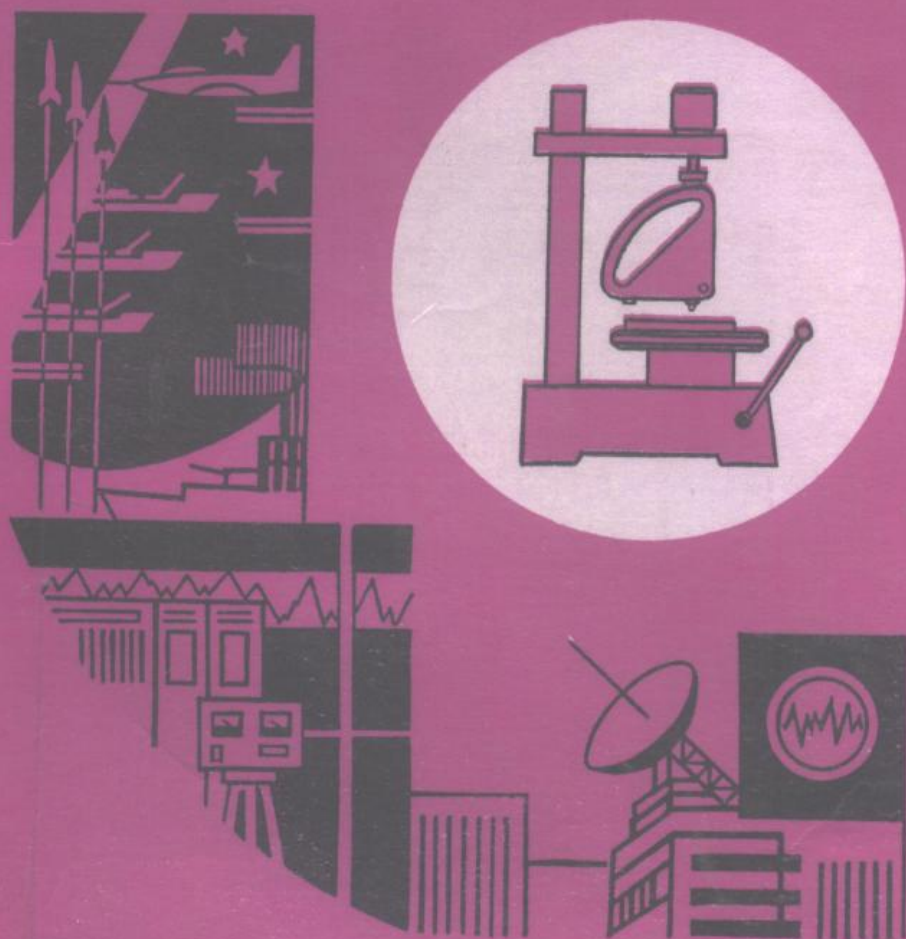


计量中专试用教材

硬度计量

温其诚 编



中国计量出版社

71.4
58.6

计量中专试用教材

硬度计量

温其诚 编

20500/50

中国计量出版社



内 容 提 要

本书是计量中专学校力学计量专业用的专业课教材。全书共六章，包括了金属和非金属硬度计量两部分内容。全书系统地阐述了各种常用的硬度计量基本原理、检定测试方法；硬度计量使用的仪器设备和他们的结构原理分析。对硬度计的维护修理也作了介绍，对于标准硬度块的技术要求和检定方法也较为详细叙述。作者还结合实例对测试结果进行计算分析，每章最后附有练习题。

本书可供计量职工中专、计量中专、函授中专等层次的中等学校作教材，也可供从事硬度计量工作的初级以上人员作培训教材以及有关人员参考用书。

计量中专试用教材

硬 度 计 量

温其诚 编

责任编辑 陈葵

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

安徽省阜阳印刷总厂排版

三河县潮河印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/16 印张 14.25 字数343千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数 1—6800

ISBN 7-5026-0369-7/TB·302

定价 8.00 元

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门，负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才，举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远影响。

近几年来，由于一批计量职工中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局决定，组织编写了一套计量职工中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988至1990年内出版齐。

本书是委托四川省标准计量职工中等专业学校组织编写的力学计量专业的专业课教材。

计量事业教育基础十分薄弱，组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误。我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量职工中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性，其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

本书是受原国家计量局教育处委托，根据计量职工中专力学计量专业教学大纲编写的。

全书共六章，包括金属和非金属硬度计量两大部分。系统阐述了各种常用的硬度试验基本原理，标准试验条件，试验程序，试验误差来源和分析方法，典型硬度计的结构、性能、使用、维护和调修原理，以及标准硬度块、硬度计的技术要求和检定方法。这些知识是从事硬度测试和计量人员必备的理论基础。

硬度计量是一门实践性很强的课程，书本仅能提供理论上的指导，实验课和实习是完成本课程学习不可缺少的组成部分。

在编写本书过程中，得到了中国计量科学研究院杨辉其、广东省计量测试研究所林鲁山、山东莱州试验机厂周永福等同志的大力协助；原国家计量局教育处主持召开了初审会，初审会对本书初稿提出了很多宝贵意见。参加初审会的有中国计量出版社陈葵、中国计量科学研究院杨迪、中国测试技术研究院易林英、四川大学刘正辉、四川工业学院刘心治、湖北省计量科学研究所王大充、山东莱州试验机厂周永福等同志。在此一并致谢！本书由中国测试技术研究院温其诚副研究员编写；中国计量科学研究院杨迪高级工程师主审；原国家计量局教育处安国工程师审定。

由于本人水平所限，本书会存在一些缺点和错误，热忱希望读者提出指正。

1990.1.13

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 硬度的概念	(1)
第二节 硬度试验的分类	(2)
第三节 硬度计的分类	(4)
第四节 硬度试验的特点及其在国民经济中的作用	(5)
第五节 硬度计量的任务和我国硬度计量的现状	(6)
第六节 如何学好硬度计量课程	(8)
练习题	(8)
第二章 布氏硬度	(9)
第一节 布氏硬度试验的基本原理和特点	(9)
第二节 影响布氏硬度值的因素和标准试验条件	(12)
第三节 布氏硬度试验误差分析	(21)
第四节 布氏硬度计	(32)
第五节 布氏硬度试验规则	(42)
第六节 标准布氏硬度块的检定	(45)
第七节 布氏硬度计的检定	(48)
第八节 布氏硬度计常见故障及排除	(51)
练习题	(55)
第三章 维氏、低负荷维氏和显微维氏硬度	(57)
第一节 维氏、低负荷和显微维氏硬度试验的基本原理和特点	(58)
第二节 显微硬度试验的基本原理和特点	(60)
第三节 影响维氏、低负荷和显微维氏硬度值的因素和标准试验条件	(66)
第四节 维氏、低负荷和显微维氏硬度试验误差分析	(67)
第五节 维氏硬度计	(81)
第六节 低负荷和显微维氏硬度计	(88)
第七节 维氏、低负荷和显微维氏硬度试验规则	(93)
第八节 标准维氏、低负荷和显微维氏硬度块的检定	(95)
第九节 维氏、低负荷和显微维氏硬度计的检定	(99)
第十节 维氏、低负荷和显微维氏硬度计常见故障及其排除	(102)
练习题	(105)

第四章 洛氏和表面洛氏硬度	(106)
第一节 洛氏和表面洛氏硬度试验基本原理和特点	(106)
第二节 影响洛氏和表面洛氏硬度值的因素和标准试验条件	(110)
第三节 洛氏和表面洛氏硬度试验误差分析	(111)
第四节 洛氏和表面洛氏硬度计	(128)
第五节 洛氏和表面洛氏硬度试验规则	(140)
第六节 标准洛氏和表面洛氏硬度块的检定	(142)
第七节 洛氏和表面洛氏硬度计的检定	(146)
第八节 洛氏和表面洛氏硬度计常见故障及其排除	(149)
练习题	(154)
第五章 肖氏硬度	(156)
第一节 肖氏硬度试验的基本原理和特点	(156)
第二节 影响肖氏硬度值的因素和标准试验条件	(157)
第三节 肖氏硬度试验误差分析	(158)
第四节 肖氏硬度计	(167)
第五节 肖氏硬度试验规则	(172)
第六节 标准肖氏硬度块的检定	(173)
第七节 D型肖氏硬度计的检定	(174)
第八节 肖氏硬度计常见故障及其排除	(175)
练习题	(176)
第六章 非金属硬度	(178)
第一节 塑料球压痕硬度	(179)
第二节 塑料洛氏硬度	(185)
第三节 赵氏和邵坡尔硬度	(188)
第四节 邵氏硬度	(191)
第五节 巴柯尔硬度	(201)
第六节 橡胶国际硬度	(205)
第七节 果品硬度	(215)
练习题	(217)
参考资料	(218)

第一章 概 述

第一节 硬 度 的 概 念

对材料的硬度进行测定的试验称为硬度试验。硬度试验属材料的机械性能试验范畴，是认识和了解材料性能的重要手段之一。硬度试验随着人类发现、生产和使用材料而产生，随着材料科学的发展而发展，硬度的概念也随着人们对材料性质研究的深入而逐渐完善和统一。

现代科学技术、工农业生产以及人民生活，对材料性能提出的要求尽管名目繁多，但归纳起来可分为两大类：一类是工艺性能；另一类是使用性能。工艺性能是表示材料是否适合于某些加工生产方式，而使用性能表示材料能否在某些方面进行应用。为了解材料的性能，就要进行材料性能试验。人们除了通过测定材料的一些基本性质如熔点、电导率、密度等来了解材料的工艺性能和使用性能外，还要通过模拟各种实际的工艺和使用条件而设计出一些试验装置来测定和了解材料的性能。这样所测得的材料性能，往往是由材料几个参变量（即材料多种基本性质综合作用）所决定，并且不但取决于材料本身的性质，而且与所模拟的试验条件也密切相关。硬度试验也是人们模拟生产和使用条件设计出来的一些试验装置来测定材料的性能。硬度试验所测得的结果是由材料的性质以及所模拟的试验条件共同决定的。

在人类创制和使用工具的初期，人们将两个不同材料的物体互相擦划，观察所产生的擦划条纹来判断材料的性质。没有擦划条纹的被视为较硬的材料，用其制造工具不易被损坏；有擦划条纹的被视为硬度较低的材料，容易被加工。这是人类最早的硬度试验。在这里，硬度试验结果反映了材料抵抗塑性变形和破坏的能力。两个互相擦划物体中的一个是否产生擦划条纹，以及擦划条纹的深浅，不但取决于这个物体材料本身的性质，还取决于另一个物体的性质、形状以及擦划时所施加的力的大小等。在日常生活中，人们用手指揞压各种橡胶、塑料等来判断这些材料的硬度，对于容易压入的材料被认为是较软的材料，反之，被认为是较硬的材料。这样的硬度试验结果，反映了材料抵抗弹性变形的能力。这种硬度试验虽然非常粗糙，但现代较精确的橡胶、塑料等硬度试验都是根据上面这种硬度试验的基本原理发展、完善起来的。在工厂机械加工车间里，人们以对材料钻孔、切削、镗等加工难易程度来判断材料的硬度。随着科学技术的发展，要求对材料性能作更深入的了解，在这种情况下，很多精确的试验方法相继出现，以一个较硬的被称作压头的物体，压入材料的表面，以所产生压痕的大小来确定材料的硬度，或以一个较硬的被称作冲头的物体冲击材料的表面，以其回跳的高度来判断材料硬度，这是目前得到广泛应用的较精确的硬度试验方法。这些硬度试

验结果，反映了材料抵抗塑性变形、弹性变形或破坏的能力，或者反映了抵抗其中两者或三者同时发生的能力。而且，其结果与压头或冲头的材质、形状以及所加试验力或冲击能量的大小等也有着密切的关系。以上这些硬度试验都只有材料的局部区域受到试验的影响。

除了以上介绍的几种硬度试验方法外，还有很多其它的硬度试验方法，综合各种硬度试验方法的共同特征，硬度可以定义为：硬度是在只有材料局部区域受到试验影响的情况下，对材料抵抗塑性变形、弹性变形或破坏的能力，或者抵抗其中两种或三种同时发生能力的描述。

在材料的机械性能试验中，通过冲击，拉压强度和弹性模量等试验所测得的结果，也反映了材料抵抗塑性变形、弹性变形或破坏的能力。但是，在进行这些试验时，受试验的材料不只是局部区域，而几乎是整体要受到试验的影响。因此，根据硬度的定义，这些试验不属于硬度试验范畴。

根据不同硬度试验方法进行硬度试验所得的材料硬度，是各自特定试验条件下材料不同性质的反映，因此是不同的量。硬度定义中的硬度，是对具有定义中所指出的这些特征的很多量的总称。硬度定义仅仅给出了硬度是在什么情况下可能是材料哪几种性质的描述，而如何进行描述，在定义中没有也不可能给出。硬度定义的提出，归纳了硬度的概念，确定了划分硬度试验范畴的原则，这也是提出硬度定义所具有的意义。

由于不同硬度试验方法所测得的材料硬度是材料不同性质的反映，差别很大。例如，在一定试验力作用下，将压头压入钢材和橡胶，以压痕的深度来确定硬度，这样所测得的橡胶硬度较钢材的硬度低得多，如果以具有一定能量的冲头来冲击钢材和橡胶两个弹性系数相差很大的材料，若以其回跳高度来确定硬度，这样会得到橡胶硬度比钢材硬度高的试验结果。因此，不同硬度试验方法所测得的结果之间，只有通过具体材料进行试验后，才能进行联系，否则可能得到非常错误的结论。

不同的硬度试验方法，适合在不同情况下对不同材料的硬度测定，所测得的结果有的直接反映材料某些使用性能和工艺性能，有的通过试验，与材料其它性能相联系，使得多种多样硬度试验方法不断出现和发展，以很强的生命力在很多领域得到应用，成为认识和了解材料性能的重要手段。因此，各种各样硬度试验方法的存在是生产发展的需要，由某一硬度试验方法来代替和统一其它各种硬度试验方法的设想是不现实的。

第二节 硬度试验的分类

硬度试验按其原理不同大致可分为以下几类：

一、静力压痕硬度试验

静力压痕硬度试验是将一定形状的刚性压头，在试验力作用下缓慢地压入试样表面，硬度是由测量试样表面上所产生的压痕面积或深度通过公式计算而得到。静力压痕硬度试验还可细分为布氏、洛氏、维氏等硬度试验。

应当注意，所谓静力，并不是指压头压入时，速度绝对为零，因为如果这样，试验无法进行。所谓静力只是相对而言，指压头压入试样时的速度很小，以致对测量结果的影响可以

忽略不计。

静力压痕硬度试验，由于试验力的大小和压头形状等都能较好的得到控制，所得结果的精确度一般比较高，使其能够得到比较广泛的应用。

二、动力压痕硬度试验

动力压痕硬度试验是将具有一定能量的冲头冲击试样表面，以所产生压痕的大小来确定硬度。

有一种动力压痕硬度试验是将很多直径为3 mm的钢球，从一定高度落到平坦的试样表面上，并且一再重复这个过程，直至形成一系列的压痕。试样软的部分所产生的压痕较硬的部分所产生的压痕要大一些。用这种硬度试验方法，很容易发现试样较软和较硬的区域。

用锤冲击放在试样上的钢球，以所产生压痕大小来确定硬度的手锤布氏硬度试验，也属于这一类硬度试验。

还有一种动力压痕硬度试验，是使细砂具有一定能量冲击试样表面，测量试样上所形成的压痕大小或试样对光的反射率的变化来确定硬度。砂轮的硬度就是利用这种硬度试验方法进行测定的。

这类硬度试验所得结果精确度都比较低。

三、回跳硬度试验

回跳硬度试验是将具有一定质量、一定顶端形状的金剛石或硬质合金的冲头，使其以一定的能量冲击试样表面，以冲头回跳高度或回跳时的速度来确定试样的硬度。冲头冲击试样时，冲击能量主要消耗在试样塑性变形上。塑性变形大，消耗能量多，回跳高度低。因此，回跳硬度试验主要是对试样抵抗塑性变形性质的测定。肖氏硬度试验和近来得到应用的里氏硬度试验都属于此类硬度试验。

四、擦划硬度试验

擦划硬度试验也可称为划痕硬度试验。

莫氏硬度试验是属于这类硬度试验之一。

莫斯 (Mocc) 将十种矿物作为标准矿物，按其硬度高低进行排列，将硬度分为十级。用较硬的标准矿物擦划较软的标准矿物时，在较软的标准矿物上可以看到明显的擦划条纹。在这些标准矿物中，滑石最软，金剛石最硬。由软到硬这十种标准矿物排列的次序是：滑石、岩盐（或石膏）、方解石、莹石、磷灰石、长石、石英、黄玉、刚玉、金剛石。用这种硬度试验方法，硬度是这样来测定的：从用最软的标准矿物开始，依次地在所测试样上擦划，找到第一个出现明显擦划条纹的标准矿物，则所得试样硬度在这个标准矿物和上一个较软的标准矿物硬度之间。为了缩小标准矿物硬度之间的差别，在上面十种标准矿物间又增加了五种。很显然，用这种方法所测得的硬度，只是一种粗略的硬度比较。这种硬度试验方法目前仍广泛应用于建材部门对施釉和不施釉的陶瓷面砖的硬度测定中。

还有一种擦划硬度试验,这种硬度试验是用一个具有一定形状 of 金刚石或钢制压头,在一定试验力作用下压入试样表面,并以一定速度平行于试样表面移动,测量擦划条纹的宽度或深度而得到试样的硬度。这种硬度试验方法在搪瓷制品表面的硬度测定中得到了应用。

五、摇摆硬度试验

摇摆硬度试验是将摇摆通过安装在其上的宝石或硬质合金制成的球体或圆柱体,支承于试样上,使摇摆摆动,以摆动一定次数所需时间或第一次摆动的振幅来确定硬度的高低。试样的硬度高,则摇摆摆动一次所需时间就长或振幅较大,这种硬度试验方法实质上由测定摇摆摆动时的摆动能量衰减来确定硬度,而摆动能量的衰减是直接 with 试样抵抗塑性变形和破坏能力有关。试样抵抗塑性变形和破坏的能力大,摆动能量的衰减慢,则摇摆摆动一次所需时间就长,或是振幅大,也即硬度值高。

一般,漆膜的硬度就是用这种硬度试验方法进行测定的。

六、磨削、钻孔等工艺硬度试验

所谓工艺硬度试验是在模拟各种机械加工工艺如磨、钻、切削等条件下,以对试样难易加工程度来确定其硬度。

例如有一种磨削工艺硬度试验,是用碳化硅制的轮,以10 000转/min的转速,在0.7355 N (75gf)的试验力作用下压向试样表面,测量在一定时间内所产生的磨削的深度来确定试样的硬度。

还有一种工艺硬度试验,这种工艺硬度试验是用一个具有金刚石顶尖的小钻头,以0.09807 N (10gf)的试验力将钻头压入试样表面,以产生0.01 mm的钻孔深度时钻头的转数来确定试样的硬度。

以上六种硬度试验中后五种硬度试验,就其试验力性质来说,均属动力硬度试验。

第三节 硬度计的分类

对材料硬度进行测定的仪器称为硬度计。

硬度计按硬度试验的原理可分为静力压痕、动力压痕、回跳、摇摆、划痕等硬度计;按发明者或首先生产者名称,可分为布氏、洛氏、维氏、肖氏、邵氏、巴柯尔等硬度计。按试验力或压痕的大小可分为宏观、低负荷、显微和超显微硬度计;按试验的温度可分为常温、低温和高温硬度计;按在计量器具检定系统中所处的地位可分为基准、标准和工作硬度计;按所测对象可分为金属、非金属、塑料、橡胶、土壤、混凝土、油漆、木材、搪瓷、药丸、水果、饼干、肌肉等硬度计;按硬度计是否固定可分为固定、便携和袖珍式硬度计;按自动化程度可分为手动、半自动和全自动硬度计;按测定材料其它性质通过换算而间接得到材料硬度,可分为涡流、矫顽力、超声等硬度计。

第四节 硬度试验的特点及其在国民经济中的作用

硬度试验是材料机械性能试验之一，与其他机械性能试验相比，硬度试验具有以下特点

一、实用性

人们通过对很多具体材料的试验研究，找到了硬度与材料的强度、耐磨性、屈服点、弹性、塑性、机械加工性以及材料成分、微观组织结构、晶粒大小等的关系，通过这些关系使材料的硬度和材料的使用性能或工艺性能发生着联系。因此硬度试验是检验和控制产品质量，制定合理的热处理及机械加工工艺，研究材料组织结构等方面的重要手段。

二、非破坏性

硬度试验，在试件上只产生很小的压痕。这些很小的压痕一般不影响试件的使用。因此，人们往往将硬度试验归纳于无损检测范畴内。由于硬度试验具有这一特点，所以不仅用硬度试验方法来检验原材料、毛胚和半成品的质量，而且可用硬度试验方法来检验成品的质量。

三、机动性

硬度试验的机动性很大，不但可以对厚薄不同、大小不同的试件进行硬度试验，而且可以对形状不同的试件进行硬度试验。大的试件可大到难以搬动，小的试件可小到如钟表零件、金属箔、细金属丝等，而显微和超显微硬度计可以对物质的微观结构组织进行硬度测定。

四、简易性

硬度计的结构大都比较简单，操作比较方便，试验程序一般也不复杂，试验人员可以在较短的时间内掌握试验技术。

五、高效率

硬度试验对试件的要求不太高，有些零件可直接测定，无须制备试样。硬度试验省时、省力。采用某些硬度试验方法，几乎每小时可对上百个试件进行测定。效率很高。

由于硬度试验的这些特点，使其能够得到广泛的应用。

在机械工业中大量使用的刀具和量具，对其质量好坏的评定，硬度是重要指标之一。在转动机构中大量使用的轴承，硬度试验也是确定其质量好坏的重要手段之一。一只一百多个

零件的手表有七十多个零件要测定硬度。一辆汽车有上百个零件要进行硬度测定。一架大型喷气式客机有成千的零件要进行硬度测定。

在冶金工业中，硬度也是金属材料性能重要指标之一。在轧钢厂中，轧辊质量好坏关系到轧制产品质量和轧辊本身的寿命，而轧辊硬度的测定是保证轧辊质量的主要手段。

在电镀和金属表面处理行业中，硬度试验用来检验表面层的质量。在金属热处理行业中硬度试验所得结果是制定金属热处理规范、控制热处理工艺过程和检验产品质量的重要依据。在机械加工行业中，硬度试验是确定合理的机械加工工艺的重要手段。

在橡胶和塑料工业中，硬度试验是检验橡胶和塑料产品质量的有力工具。

在建材行业中，混凝土的强度有时是在测定其硬度后，通过换算而得到的。在国外，有的陶瓷制品也要进行硬度测定。

在农业生产中，硬度试验用来判断土质的疏松和果实的成熟程度。

近年来，硬度试验也渗入到食品加工、医药生产甚至体育科研等部门，饼干硬度计，药丸硬度计以及测定运动员身体素质的肌肉硬度计相继出现。

此外，硬度试验在物质显微结构的研究中也得到了广泛的应用。

综上所述不难看出，硬度试验在很多部门，特别是在机械制造、钢铁冶金、橡胶塑料、航天航空、造船、武器制造等部门的生产和科学研究中，成为检验产品质量，制定和控制产品工艺过程，研究材料组织结构等方面的不可缺少的测试手段，在国民经济的发展中有极重要的作用。

第五节 硬度计量的任务和我国硬度计量的现状

硬度计量的主要任务是保证硬度试验结果的准确、一致。其主要工作是建立国家硬度基准、标准，编制硬度计量器具检定系统表，制定标准硬度块、硬度计检定规程，对标准硬度块和硬度计进行检定，把硬度基准量值准确地传递到工作硬度计上。此外研制各种材料硬度和强度换算表，研究和确定各种硬度和其它性能的关系，以扩大硬度试验的使用范围，也是硬度计量工作的组成部分。

解放前，我国没有自己的硬度基准。解放后，我国先后建立了各种硬度基准。1962年建立了洛氏硬度基准，1965年建立了表面洛氏硬度基准、维氏硬度基准和布氏硬度基准，1979年建立了低负荷、显微维氏硬度基准，1981年建立了以激光干涉方法测量压痕深度的洛氏和表面洛氏硬度基准以代替原有的洛氏和表面洛氏硬度基准，并在同年建立了D标尺肖氏硬度基准，1984年建立了橡胶国际硬度基准。这些基准分别保存在中国计量科学研究院、中国测试技术研究院和广东省计量测试研究所。

随着我国各种硬度基准的建立，接着制定了相应的硬度计量器具检定系统，制定了相应的标准硬度块和硬度计检定规程，在一些省市和有关专业工厂建立了标准硬度块定度站，在全国普遍开展了硬度计的检定工作。

通过大量实验研究，编制了黑色金属硬度和强度，有色金属硬度和强度换算表。

我国的硬度计量事业，是根据我国国民经济各部门在生产、科研中的需要发展起来的。某些硬度基准已达到世界先进水平。通过硬度国际比对表明，我国的硬度基准量值与一些工业发达国家的硬度基准量值是比较一致的，这在国际贸易中具有重要的意义。

图1—1所示是我国硬度计量器具检定系统表。

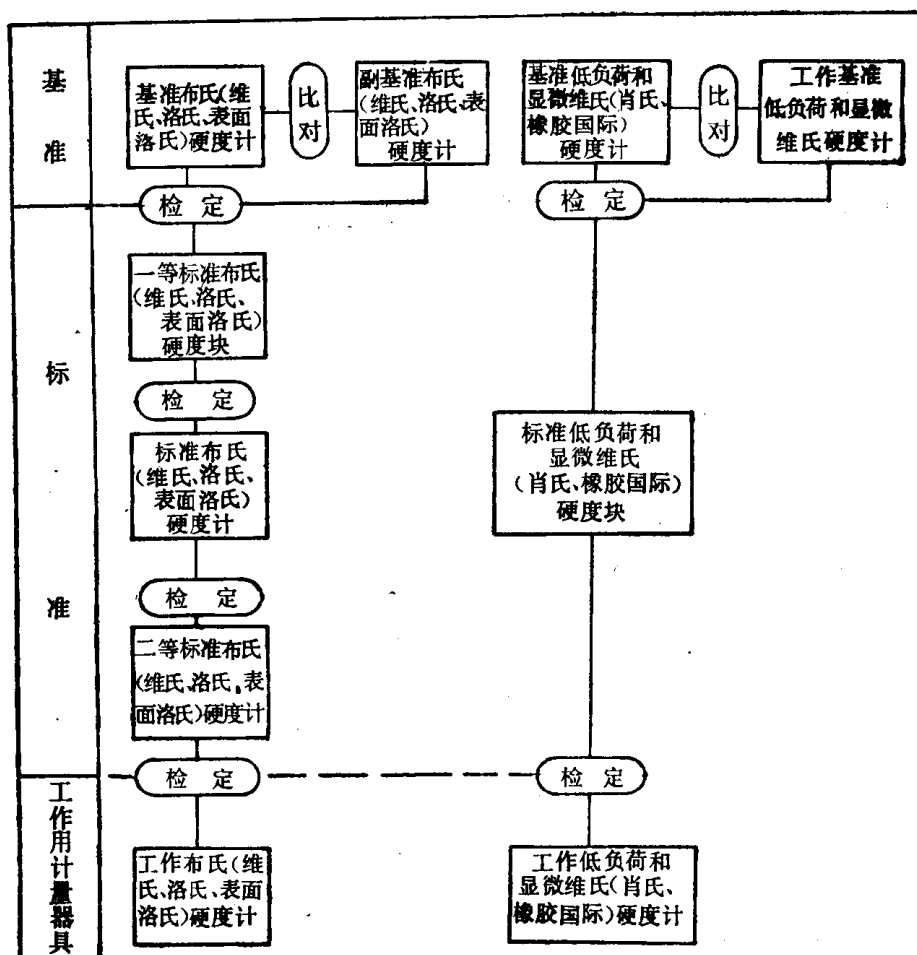


图1—1 我国硬度计量器具检定系统

在图1—1中，肖氏硬度计量器具检定系统表已由原国家计量局批准正式颁布，其它均未正式颁布，但由于有其相应的检定规程的颁布和施行，而实际上已经形成。

由图1—1可以看出，我国的硬度计量器具检定系统可分为两类：一类检定系统由基准硬度计、标准硬度块和工作硬度计三级组成，低负荷、显微维氏，肖氏和橡胶国际硬度计量器具检定系统属于这一类；另一类检定系统是由基准硬度计、一等标准硬度块、标准硬度计、二等标准硬度块和工作硬度计五级组成，布氏、洛氏、表面洛氏和维氏硬度计量器具检定系统属于这一类。在苏联，把标准硬度计看作是硬度量值比较器，因而将后一类检定系统认为是由四级组成。

采用三级组成的检定系统，硬度基准量值传递到工作硬度计上的环节少，因而传递误差较小，但基准硬度计定度和检定标准硬度块的任务较重；采用五级组成的检定系统，硬度基准量值传递到工作硬度计的环节多，使传递误差增大，但基准硬度计定度和检定标准硬度块的工作量较轻。采用三级还是五级检定系统，主要取决于基准硬度计所具有的精确度和对工作硬度计的精确度要求。如果硬度基准量值通过标准硬度计传递后，使标准硬度块所具有的精确度仍能满足工作硬度计精确度的要求，则可采用五级检定系统；否则，只能采用三级检定系统。

第六节 如何学好硬度计量课程

硬度计量课程是力学计量专业的主要专业课程之一。如何学好这门课程呢？

一、掌握好各种硬度试验的原理、特点和应用范围

各种硬度试验的基本原理是试验的基础，不同的硬度试验具有各自的特点和应用范围。只有掌握了试验的基本原理、特点和应用范围，在测定材料硬度时，才能正确地选择适用的硬度试验方法和相应的硬度计。

二、要重视误差分析

硬度试验测量结果受多种因素的影响。这些因素就成了硬度试验的误差来源。找出硬度试验时各种误差来源、确定各种误差来源对硬度试验测量结果的影响、正确地进行误差计算，是误差分析的主要内容。误差分析是制定各种硬度计量规范、进行计量检定工作的重要理论基础。因此，在学习本课程时，要特别重视掌握误差分析的理论和方法。

三、要理论联系实际

硬度计量是实践性较强的一门课程。在学习本课程时安排了一定的实验课。通过实验课一方面检验所学过的理论知识，另一方面也加深对理论知识的理解和掌握。特别是有关硬度计结构原理和使用方法以及标准硬度块和硬度计的检定这方面的知识，只有通过实验课才能真正学好。实验前要仔细阅读有关实验的理论，实验时要严格按照要求进行操作，实验后要认真写出报告，使之达到预期的目的。

四、要注意新标准公布的信息

由于科学技术、工农业生产和国际贸易不断发展，对硬度计量方面的要求也日益增高。在这种情况下，有关硬度计量方面新的标准也会不断出现，原有标准也在频繁地进行修定。例如，有的硬度计量检定系统正在进行修定，有可能要将五级改为三级，与此相联系的检定规程就也要作相应的改变。因此，在学习本课程时一定要注意新标准的公布，以便能及时地按照新的标准进行硬度计量检定工作。

练 习 题

1. 硬度的定义是什么？
2. 硬度试验按原理如何分类？
3. 硬度计如何分类？
4. 硬度试验的特点是什么？
5. 试绘出我国的硬度计量器具检定系统图。

第二章 布氏硬度

布氏硬度试验方法是瑞典工程师布利奈尔 (J. A. Brinell) 于1900年提出的, 是目前广泛应用的硬度试验方法之一。

第一节 布氏硬度试验的基本原理和特点

一、布氏硬度试验的基本原理

布氏硬度试验的基本原理是将一定直径的钢球或硬质合金球压头, 在一定的试验力作用下压入试样表面, 保持一定的时间后, 卸除试验力, 测量压痕的直径 (见图2—1), 以试验力除以压痕球形表面积所得的商表示布氏硬度, 布氏硬度的计算公式是:

$$HBS (HBW) = \frac{0.102 F}{A} \quad (2-1)$$

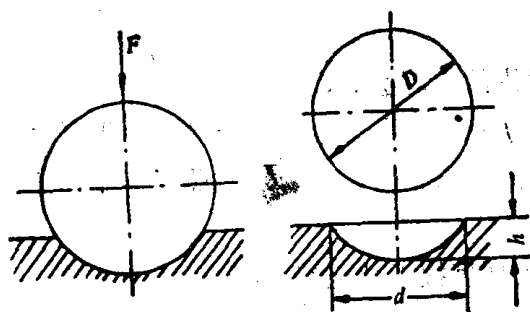


图2—1 布氏硬度试验基本原理图

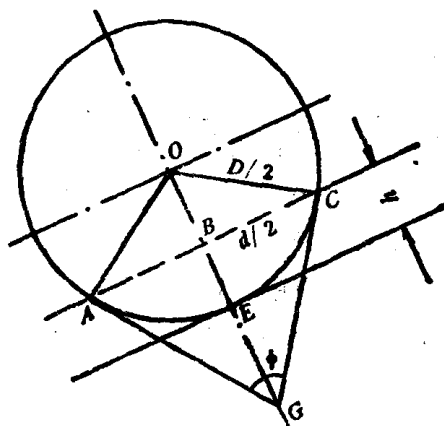


图2—2 压痕几何关系图

式中, $HBS (HBW)$ ——用钢球或硬质合金球压头所得的布氏硬度 [$HBS (HBW)$],
一个布氏硬度单位相应特定条件下 9.807 N/mm^2 (1 kgf/mm^2);

F ——试验力 (N);

A ——压痕表面积 (mm^2)。

由于压痕球形表面积与压痕直径之间存在着一一定的关系, 在进行布氏硬度试验时, 实际上是在卸除试验力后, 以对压痕直径的测量而得到其表面积来确定布氏硬度值的。因此, 要将式 (2—1) 中的压痕表面积改用压痕直径来表示。

在求压痕表面积与其直径关系式时, 规定压痕所具有的曲率半径为所用压头的半径, 不因卸除试验力后压痕的弹性恢复而改变。

在图2—2中, $D/2$ 为压痕曲率半径即压头的半径; $d/2$ 为压痕半径; h 为压痕深度。

从图2—2可以看出, 压痕表面积与试样表平面所截得的压头的球冠面积是相同的。根据球冠面积的计算公式, 可以得到压痕表面积

$$A = \pi D h \quad (2-2)$$

在图2—2中, 三角形 OAB 为直角三角形, 所以

$$\overline{OB}^2 = \overline{OA}^2 - \overline{AB}^2$$

即

$$\left(\frac{D}{2} - h\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

整理后可得:

$$h = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \quad (2-3)$$

将上式代入式(2-2), 可得:

$$A = -\frac{1}{2} \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

将上式代入式(2-1), 可得:

$$HBS(HBW) = \frac{0.102 \times 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2-4)$$

式中, $HBS(HBW)$ ——布氏硬度[$HBS(HBW)$];

F ——试验力(N);

D ——压头球体直径(mm);

d ——压痕直径(mm);

式(2-4)是最常见的由压痕直径求布氏硬度值的计算公式。

根据式(2-4)计算编制了在一些标准试验力和压头球体直径情况下的压痕直径与布氏硬度值的对照表。进行布氏硬度试验时, 由测得的压痕直径, 利用对照表, 不需进行繁琐的计算而得到对应的布氏硬度值。

以前试验力的单位是采用kgf, 并规定布氏硬度按下式进行计算, 即

$$HBS(HBW) = \frac{F}{A} \quad (2-5)$$

式中, $HBS(HBW)$ ——布氏硬度[$HBS(HBW)$];

一个布氏硬度单位相应于特定条件下 $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ ($9.807\text{N}/\text{mm}^2$);

F ——试验力(kgf);

A ——压痕球形表面球(mm^2)。

由式(2-5)可以看出, 当试验力的单位为kgf时, 布氏硬度计算公式中的系数为1, 一个布氏硬度单位相当 $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ 。

现在, 我国采用国际单位制单位, 试验力的单位要用N。

根据国际标准(ISO)的规定, 为了保持原布氏硬度的单位和数值不变, 式(2-5)等号右边就要乘以 $0.102\text{kgf}/\text{N}$, 将以N为单位的试验力的数值, 化为以kgf为单位的数值。这样, 在公式中就出现0.102这一系数。

由于试验力单位的改变, 不影响布氏硬度的单位和数值, 因此原有用kgf单位的技术文