

## Theory of Material Hardness Test

Wang Changyi<sup>1</sup>, Su Wei<sup>2</sup>

1. Penglai Bureau of Land And Resources, Penglai, Shandong

2. Quancheng College, Jinan University, Penglai, Shandong

Email: wyc59528@126.com

---

### Abstract

The current hardness testing theory and technology at home and abroad, there are serious defects insufficient hardness data accuracy, reliability, unity, comparative difference, lack of conform to the objective law of the uniform standard. In view of the current hardness testing on the defects existing in the theory and technology, according to the function to learn the theory, this paper further explores the hardness value concept, the nature of law, and establish and improve the hardness testing theory and technology, gives the correct formula for computing the hardness, and solves the existing test data uniformity, hardness can be comparative difference issues, different hardness data conversion formula of mutual conversion is given, which laid a foundation for hardness testing technology revolution.

### Keywords

the hardness of the material; test; current hardness test theory; the defect; the new theory; the new formula; unity; conversion

**Subject Areas** Math & Physics

---

## 论材料硬度的测试

王昌益<sup>1</sup>, 苏炜<sup>2</sup>

1. 中国山东省蓬莱市国土资源局, 山东 蓬莱

2. 济南大学泉城学院, 山东 蓬莱

Email: wyc59528@126.com

收稿日期: 2017年9月18日; 发布日期: 2017年9月20日

---

### 摘要

当前国内外硬度测试理论与技术存在严重缺陷, 硬度数据准确性、可靠性不足, 统一性、可对比性差, 缺乏符合客观规律的统一标准。针对当前硬度测试理论和技术上存在的这些缺陷, 根据作用学新理论, 本文深入探索了硬度的本质概念与取值规律, 进而完善了硬度测试新理论与新技术, 给出了各种计算硬度的正确公式, 并解决了现有硬度测试数据统一性、可对比性差方面的问题, 给出了不同硬度数据相互换算的换算公式, 为硬度测试技术革命奠定了基础。

### 关键词

材料的硬度; 测试; 当前硬度测试理论; 缺陷; 新理论; 新公式; 统一; 换算

## 1. 序言

本文阐述了当前硬度测试工业的基本理论与方法，指出了现有硬度测试仪器普遍存在的技术问题，进而从本质上确定了硬度的科学含义与定量方法，并给出了新的、系统完善的硬度理论和硬度测试统一对比与换算方法。

## 2. 硬度测试方法发展与现状简述

1822年，德国矿物学家 Friedrich Mohs 提出用 10 种矿物来衡量物体相对硬度，称摩氏硬度。称摩氏硬度由软至硬分为十级：滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。利用摩氏硬度计测定矿物硬度的方法很简单。将预测矿物和硬度计中某一矿物相互刻划，如某一矿物能划动方解石，说明其硬度大于方解石，但又能被萤石所划动，说明其硬度小于萤石，则该矿物的硬度为 3 到 4 之间，可写成 3-4。

由于称摩氏硬度确定的方法存在对硬度概念认识不清、度量方法不正确、给出来的测量结果数据不准确的缺陷，所以，相继产生了许多种硬度测量方法。目前存在的硬度测量方法与种类有十多种。

### ①洛氏硬度 Rockwell hardness

洛氏硬度的测试方法属于压入法。洛氏硬度测定方法是美国的 S. P. 洛克韦尔于 1919 年提出的，所采用的压头是锥角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1/16 英寸的钢球，并用压痕深度作为标定硬度值的依据。测量时，总载荷分初载荷和主载荷（总载荷减去初载荷）两次施加，初载荷一般选用 10 千克力，加至总载荷后卸去主载荷，并以这时的压痕深度来衡量材料的硬度。洛氏硬度记为  $H_R$ ，所测数值写在  $H_B$  后，洛氏硬度值计算公式为：

$$H_R = \frac{k - h}{0.002}。$$

式中， $h$  表示塑性变形压痕深度（毫米）； $k$  是规定的常量；分母中的 0.002（毫米）是每洛氏硬度单位对应的压痕深度。对应于金刚石圆锥压头的  $k=0.20$ （毫米），对应于钢球压头的  $k=0.26$ （毫米）。

### ②布氏硬度 Brinell hardness

布氏硬度测试方法也属于压入法。布氏硬度是瑞典工程师 J. A. 布里涅耳于 1900 年提出的。布氏硬度的测量方法是用规定大小的载荷  $P$ ，把直径为  $D$  的钢球压入被测材料表面，持续规定的时间后卸载，用载荷值（千克力，即 9.80665 牛顿）和压痕面积（平方毫米）之比定义硬度值。布氏硬度  $H_B$  的计算式为：

$$H_B = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中， $d$  为压痕的直径。

### ③维氏硬度 Vickers hardness

维氏硬度测量方法也属于压入法。维氏硬度测试方法是英国史密斯和塞德兰德于 1925 年提出的。英国的维克斯—阿姆斯特朗公司试制了第一台以此方法进行试验的硬度计。维氏硬度的测定原理基本上与布氏硬度相同，也是根据压痕单位面积上的载荷来计算硬度值。所不同的是维氏硬度试验的压头是金刚石的正规四棱锥体。试验时，在一定载荷的作用下，试样表面上压出一个四方锥形的压痕，测量压痕对角线长度，除以计算压痕的表面积，载荷除以表面积的数值就是试样的硬度值，用符号  $H_V$  表示。主要用于确定钢的表面渗氮硬化程度。维氏硬度测量法所用的压头是金刚石正规四棱锥，它的两相对面间的夹角为  $136^\circ$ ，载荷有 5、10、20、30、50、100 千克力等几种，用压出的四棱锥压痕表面积除载荷所得的值作为维氏硬度值，记为  $H_V$ ，即

$$H_V = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{S^2}$$

式中， $P$  为载荷； $S$  为压痕对角线长度（毫米）； $\theta$  为四棱锥压头两相对面间夹角， $\theta=136^\circ$ 。

#### ④显微硬度 Microhardness

显微硬度主要用于确定很薄的材料、细金属丝、小型精密零件（如钟表和仪表零件）的硬度，测定淬硬表面的硬度变化率，研究小面积内硬度的变化以及在金相学中研究金属中不同相体的硬度等。测量方法与维氏硬度基本相同，但载荷很小，以克力计数；压痕的特征尺寸也很小，需要用读数显微镜测出，故得名。1939 年，英国国家标准局决定采用 F. 努普、C. G. 彼得斯和 W. B. 埃默森提出的菱形金刚石四棱锥压头（称为努普压头）。其压痕长对角线  $L$  和短对角线长度  $W$  之比大约为 7:1，压痕深度约为  $L$  的 1/30，故在压痕较浅的情况下也能较精确地测出长对角线的长度。用努普压头测定的显微硬度数又称努普硬度数。在显微硬度测定中也允许使用普通的  $136^\circ$  金刚石正四棱锥压头。

显微硬度的符号以  $H_M$  表示，若用努普压头，则努普硬度数为：

$$H_M = \frac{P}{C_p L^2}。$$

式中， $P$  以千克力为单位； $L$  表示菱形压痕的长对角线长度（毫米）； $C_p$  是一个常数，其值与  $L$  和压痕投影面积之比有关。若用  $136^\circ$  正四棱锥压头，则

$$H_M = 1854.4 \frac{P}{S^2}。$$

式中， $P$  为载荷，常用的载荷有 2、5、10、50、100、200 克力等几种； $S$  为正方形压痕的对角线长度，以微米为单位，由显微硬度计上的读数显微镜测出。

#### ⑤里氏硬度 Hardness on the Richter scale

里氏硬度是由瑞士 LEEB 博士于 1978 年首次提出的硬度测量方法，它的定义是：用规定质量的冲击体在弹力作用下以一定速度冲击试样表面，用冲头在距离试样表面 1mm 处的回弹速度与冲击速度之比计算出的数值。由于材料硬度不同，撞击后的反弹速度也不同。在冲击

装置上安装有永磁材料，当冲击体上下运动时，其外围线圈便感应出与速度成正比的电磁信号，再通过电子线路转换成里氏硬度值。

#### ⑥肖氏硬度 Shore hardness

肖氏硬度也称回跳硬度，记为  $H_S$ ，是表示材料硬度的一种标准。由英国人肖尔于 1906 年研究淬火钢的硬度测定法时提出的。肖氏硬度测定法的测量原理是：用重量为 1/12 盎司力（1 盎司力=0.2780 牛顿）的带有金刚石圆头或钢球的小锤，从 10 英寸的高度自由落下，使小锤以一定的动能冲击试样表面。小锤的部分动能转变成试样表面塑性变形功而被消耗；另一部分转变为弹性应变能被试样储藏。试样弹性变形恢复时释放出能量，使小锤回跳一定高度。被测物越硬则弹性极限越高，储藏的弹性应变能越多，小锤回跳得越高。回跳硬度的符号是  $H_S$ ，它以小锤回跳高度进行分度。回跳硬度数只能在弹性模量相同的材料之间进行比较，否则就会得出橡皮比钢更硬的结论。压入硬度的测量属于静力测定法，而回跳硬度的测量则属于动力测定法。

#### ⑦巴氏硬度 Barcol hardness

巴氏硬度测试方法属于压入法。巴氏硬度最早由美国公司提出，是近代国际上广泛采用的一种硬度。一定形状的硬钢压针，在标准弹簧试验力作用下，压入试样表面，用压针的压入深度确定材料硬度，定义每压入 0.0076mm 为一个巴氏硬度单位。巴氏硬度单位表示为  $H_{Ba}$ 。

#### ⑧努氏硬度 Knoop hardness

努氏硬度测试方法属于压入法。努氏硬度测试原理是：将顶部两棱之间的  $\alpha$  角为  $172.5^\circ$  和  $\beta$  角为  $130^\circ$  的棱锥体金刚石压头用规定的试验力压入试样表面，经一定的保持时间后卸除试验力。试验力除以试样表面的压痕投影面积之商即为努氏硬度。计算公式如下：

$$H_k = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{F}{cd^2} \approx 1.451 \frac{F}{d^2}。$$

式中: $H_K$ -努氏硬度符号;  $F$ -试验力, N;  $S$ -压痕投影面积, mm;  $d$ -压痕长对角线长度, mm;  $c$ -压头常数, 与用长对角线长度的平方计算的压痕投影面积有关。

### ⑨ 韦氏硬度 Webster's hardness

韦氏硬度测试方法属于压入法。韦氏硬度测试原理: 一定形状的硬钢压针, 在标准弹簧试验力作用下压入试样表面, 用压针的压入深度确定材料硬度, 定义 0.01mm 的压入深度为一个韦氏硬度单位。韦氏硬度单位表示为  $H_W$ 。

以上硬度测试方法是当代硬度测试的主要方法, 反映了当代人们对硬度概念的理解和测试技术现状。

### 3. 当前硬度定义、取值、测试方法普遍存在的缺陷

现有硬度测试理论对硬度的本质含义认识不足, 对硬度取值的方法掌握不全面, 缺乏计算硬度的正确公式, 从而导致硬度测试数据不正确, 硬度测试仪器适用范围狭小, 缺乏统一性, 可对比性很差。

这些问题的出现关键在于硬度理论不完善。目前的硬度理论基本上一种想法产生一种硬度测量理论和相应的测试方法与计算公式, 不是在系统统一的理论指导下产生统一方法与公式。一种想法就产生一个硬度理论和测试技术, 必然导致不统一的数据产生。缺乏系统的理论研究基础, 基于某一种想法基础产生的硬度理论很难摆脱局限性, 其公式没有经过理论推导, 很难避免含有错误。

例如, 洛氏硬度计的基本公式是  $T = N - h/S$ 。式中,  $T$  表示硬度;  $N$  代表经验数;  $h$  代表压入深度;  $S$  代表参数。由该公式产生了 3 个派生的定式:

$$\begin{cases} T = 100 - h/0.002 \\ T = 130 - h/0.002 \\ T = 100 - h/0.001 \end{cases}$$

根据洛氏硬度的这三个定式进行硬度测试时发现: 当测得某个试件的压入深度为  $h=0.2$  时, 若由公式  $T = 100 - h/0.002$  计算, 计算结果是  $T = 100 - 0.2/0.002 = 0$ , 若由公式  $T = 130 - h/0.002$  计算, 计算结果则是  $T = 130 - 0.2/0.002 = 30$ ; 若由公式  $T = 100 - h/0.001$  计算, 得出来的结果是  $T = 100 - 0.2/0.001 = -100$ ; 而实际上这个被测

试材料的硬度应该是  $T = 20$ 。因此，三个定式都不正确。当变形量大于 0.2 时，用公式  $T = 100 - h/0.002$  来计算，得出来的洛氏硬度值是负数。可见，洛氏硬度在理论上就明显错误。洛氏硬度实际上在理论上对硬度数值进行了如下标定：硬度为  $T = 20$  的材料，其洛氏硬度为  $T_{RA} = 0$ ，其误区很大。目前人们都认为：洛氏硬度的适用范围是 20~70。其实这是错误认识。公式不正确，测试结果数据错误，何谈统一性、可对比性、适用性、精确性！

当前的硬度公式中的参数，大多数都被确定为定参数，并且，这种定参数在任何条件下也都不是正确的。总之，当前硬度理论与测试方法存在严重缺陷，硬度测试数据都存在准确性、统一性和可对比性问题。

现有硬度计已经经历了很长时间的实物生产与使用实践，其采用的测试方法也并非一无是处，也存在一定的科学性。现有硬度计借助于作用、使试件变形的硬度测试方法是没有错的，只是理论不完善，计算公式存在科学性。当前的硬度计算公式，有的存在公式错误问题，有的是参数选择不正确。如布氏硬度计算公式，是对角线与变形面积的比值等于硬度，这个公式是错误的，与硬度的科学定义不符。再如洛氏硬度，其中的参数选择是不正确的，与客观规律也存在距离。根据硬度的客观定义进行仔细研究，现有的硬度计算公式都存在脱离实际问题。

#### 4. 材料硬度测试新理论与新公式

针对当前人们关于材料硬度、材料变形性质概念认识模糊、取值不正确问题，在最近 30 多年来的作用学研究及实验中，笔者深入探索了硬度的本质含义。反复研究与实验结果证明：材料的硬度有两种正确的定义：一、在一定作用条件下，材料实际接受的作用量与作用于材料的作用量的比值等于材料的硬度。假设用于测试材料硬度的作用力是  $F$ ，而材料实际接受的作用力为  $F_T$ ，作用时间是  $t$ ，那么，材料的硬度为

$$T = \frac{F_T t}{F t} \times 100\% = \frac{F_T}{F} \times 100\%。$$

式中， $T$  表示材料的硬度；100%表示硬度的取值为百分数。其中， $A = Ft$  叫用于材料硬度测试的测试作用量； $A_T = F_T t$  叫材料实际接收的作用量，简称实作用量。根据该公式计算获得的硬度叫绝对硬度。如果选择一个材料作标准硬度材料，以标准材料的硬度为参照计算被测材料的硬度，那么，材料的硬度就是相对于标准材料的硬度，叫相对硬度。二、如果在规定测试作用力作用条件下，在一定测试作用时间内，被测材料的变形量如压入深度为  $x$ ，相应，在同样条件下和时间内，探头在空间自由运行的位移量为  $l$ ，那么，材料的硬度等于 1 减比值  $x/l$ ，即

$$T = \left(1 - \frac{x}{l}\right) \times 100\%。$$

该硬度也是绝对硬度。

绝对硬度也不是定数，对相同材料来说，测试力不同，它的硬度就不同。要获得统一的、具有可对比性的硬度数据，就必须为测试作用力确定统一标准，即在相同的测试力下取得的硬度数据之间具有统一性和可对比性。

符合硬度客观含义的定义就以上两种，与这两个定义不符的硬度定义一般是错误的。当前的硬度定义与取值与以上两个定义都不相符。

## 5. 硬度计算公式的变形

不同作用强度、不同作用方式条件下测试，计算硬度的公式是不同的；相同作用条件下，所测得的计算数据不同，满足以上硬度定义的硬度计算公式也相应产生变化。满足硬度客观定义的硬度计算公式因作用方式而改变形式的现象称硬度计算公式的变形。下面阐明几个硬度计算公式变形形式：

### 5.1. 等变形测试方式下的硬度计算公式

如果在测定材料的硬度时，采用一定作用力、迫使不同材料都产生相同大小的变形量如钻入深度，那么，该怎样计算硬度？



根据实作用量与作用量的比值等于硬度的定义，选用测试硬度的作用力为  $F$ ，用于测试不同材料的硬度。在测试甲材料时，材料的变形深度是  $b$ ，乙材料的变形深度也是  $b$ ，但是，测试与材料变形时间两者不同，分别是  $t_1$  和  $t_2$ 。根据作用学，两个材料在测试中分别接受的作用量分别为

$$A_1 = Ft_1 \text{ 和 } A_2 = Ft_2。$$

那么，它们的硬度分别是多少呢？在这种测试条件下需要确定一个计算硬度的新公式：

测试力相同，产生等量变形所需要的时间不同，测试作用量不同。假设最硬材料在这种测试条件下产生等量变形的时间为  $t$ ，对应的测试力为  $F$ ，所需要测试作用量为

$$A = Ft。$$

由于它是最硬的，硬度是  $T = 100\%$ ，所以，它可以用于做衡量硬度的标准材料。因此，任意材料的硬度等于任意材料产生等量变形量所需要的测试作用量  $A_i$  与最硬材料产生等量变形量所需要的作用量  $A$  之比值。即

$$T = \frac{A_i}{A} \times 100\% = \frac{Ft_i}{Ft} \times 100\% = \frac{t_i}{t} \times 100\%。$$

这只是根据硬度定义推导出来的又一个硬度计算公式，其中任意材料产生等量变形所需要的作用量  $A_i$  和测试时间  $t_i$  在测试中能够测到，但最硬材料产生等量变形所需要的时间  $t$  没法测到，所以，还需要设法确定  $t$  值以后才能应用该公式进行计算。

要确定  $t$  值，需要选择一个标准硬度和已知硬度的材料，它的硬度假设是  $T = 45.52$ ，然后在该作用条件下对它进行测试，然后通过计算获得  $t$  值。通过测试得知，该标准硬度材料产生相同变形量所需要的时间为 64 秒。将已知硬度  $T = 45.52$  和时间 64 代入公式

$$T = \frac{t_i}{t} \times 100\%$$

便获得了  $t$  值。即

$$45.52 \times 100\% = \frac{64}{t} \times 100\% ,$$

$$t = \frac{64}{45.52} \times 100 \approx 140.597540 \text{ (秒)} .$$

这个时间  $t = 140.597540$  秒可被看作是一种用于计算硬度的参数。将这个数代入新公式

$T = \frac{t_i}{t} \times 100\%$ ，就得到等深度钻测硬度计的实用公式：

$$T = \frac{t_i}{140.59754} \times 100\% .$$

## 5.2. 等力等时测试下的硬度计算公式

测试作用力相同、测试作用时间相同条件下，材料硬度计算公式的一般形式是

$$T = \left(1 - \frac{x}{l}\right) \times 100\% ,$$

其中包含的另一种计算公式

$$E = \frac{x}{l} \times 100\% ,$$

被称为软度或可塑度计算公式。

测试作用力相同、测试作用时间相同条件下，材料硬度计算公式还可以根据硬度与力、实力之间的关系来推导出另一种形式：

$$T = \frac{F_T}{F} = \frac{-R}{F} \times 100\% .$$

式中， $R$  为阻力； $F$  为力。其中，实力等于阻力的负值即  $F_T = -R$  是作用学新理论给出来的定论。

## 5.3. 锤击硬度计的计算公式

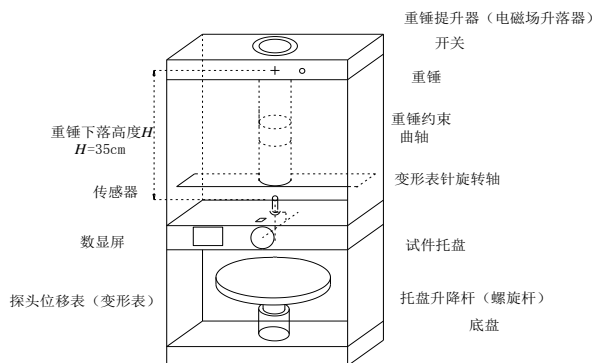


图1 作用学锤击硬度计工作原理示意图  
Hammer hard work principle diagram

如图 1 所示，一种作用学锤击硬度计，由电磁场提供提升动力，将重锤提升到离探杆上端 0.30 米的高处。探杆下端的探头由硬

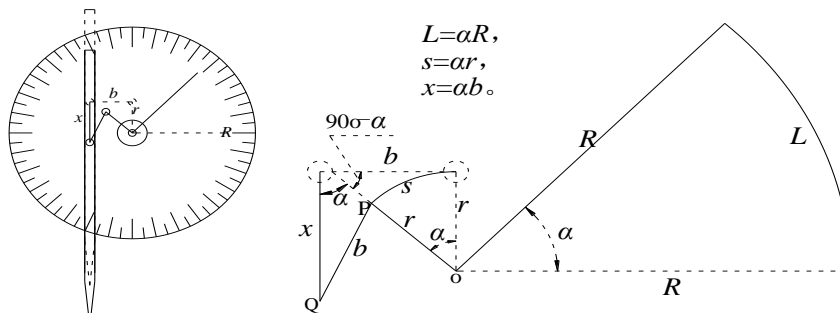


图2 变形位移表工作原理及相关量关系示意图  
The working principle of deformation displacement table and related quantity relation schematic

钢、合金、金刚石材料制成。当探测软质金属和非金属材料的硬度时，可用钢制或合金探头；当探测硬度较大材料的硬度时，用金刚石制成的探头。探头形状为圆锥形，头尖；探杆为圆柱形，直径可以略粗；从探头尖端到探杆之间逐渐过渡，从零点几毫米逐渐过渡为 1-2 毫米。测试前，先将试件放置到试件托盘上，再通过螺旋升降机将试件提升至适当位置，让探头与试件直接接触。调整好以后，按动电钮断开电源，让重锤自动落下，直接锤击探杆，使探头作用于试件，令试件产生一个楔入变形深度。

如图 2 所示，探杆与楔入变形位移表指针通过曲轴、联杆相联。当探杆在锤击下位移时，曲轴和联杆直接带动指针旋转，指示探杆向下位移的产生的弧度，如图 2 所示。探杆位移即探头位移是  $x$  值，联杆绕  $O$  点旋转产生  $\alpha$  角，带动位移表指针绕  $O$  点旋转  $\alpha$  角，从而产生小

弧长  $s = \alpha r$  和表盘大弧长  $L = \alpha R$ 。据研究得知， $x = \alpha b$ 。 $b$  为点 Q 绕动点 P 旋转产生的圆弧半径， $b$  就是曲轴的长度； $r$  是联杆的长度； $R$  是表盘半径。 $x$ 、 $s$  和  $L$  三者之间的关系：

$$\frac{x}{s} = \frac{b}{r}; \quad \frac{x}{L} = \frac{b}{R}。$$

在表盘上读取的数据是指针旋转的弧度，不等于变形位移量，也不等于指针旋转产生的表盘弧长。然而，指针旋转产生的弧度  $\alpha$  是一个有用数据，可用于变形量计算，即，

$$x = \alpha b = \frac{bL}{R}。$$

在取得变形数据  $x$  基础上，可以直接根据硬度计算公式

$$T = \left(1 - \frac{bL}{lR}\right) 100\%$$

来计算被测材料的硬度。式中， $T$  表示被测材料的硬度； $l$  表示标准硬度试件在锤击作用下产生的楔入变形深度； $R$  是表盘半径； $L$  为表盘大弧长； $b$  是曲轴的长度。

## 6. 硬度量衡的统一

各种传统硬度测试方法产生了各种不同硬度数据。面对各种硬度数据，人们经常感到头痛，始终渴望能够获得一种统一的硬度数据。然而，由于没人搞清楚硬度的客观含义及其统一规律，所以，世界上一直没有找到统一度量硬度的方法。究竟硬度能不能统一度量？回答是肯定的。硬度是可以统一度量的。目前，硬度不能统一度量，关键在于人们对硬度的本质规律与统一规律缺乏充分认识，始终没有建立完善的硬度量衡统一理论。当人们完全掌握了硬度理论以后，硬度统一度量问题也就自然而然地解决了。那么，究竟该怎样统一度量硬度？

首先需要确定硬度统一与差别的基本规律。根据新理论，在一定应力作用下，测试力越大，材料的硬度值越小；反之，测试力越小，材料硬度越大。传统硬度测试理论与方法似乎清楚这一点。但是，在硬度取值与计算问题上，传统硬度理论很模糊，不很清楚硬度是材料

接受作用量的百分数，软度是不接受作用量的百分数。因此，传统硬度测试公式大多都是根据某种想法确定的，形式多种多样，产生了不合理、不规范问题。根据作用学新理论，我们建立了完善的硬度测试理论，并发明了新的硬度测试仪器。新产生的硬度理论及其硬度测试方法与仪器有着坚实的理论基础，有硬度统一规律做标尺，所以，新产生的硬度数据具有准确性，能够确切体现硬度规律，为硬度数据统一对比研究奠定了坚实的基础。

硬度有怎样的统一规律？大家在日常生活与生产中都能自觉不自觉地感知到：硬材料在一定作用下不变形，而软材料在很小的作用力下就产生了变形。材料本身的性质决定了它的硬度特征，自然界中的材料本身规定了其硬度性质，自然界中材料本身存在其硬度差异规律，也有其本身的统一规律。但是，要检测材料的硬度，需要人为对材料施以作用，从而获得硬度信息或数据。这就出现了检测作用施加的合理性问题。如果张三用 10 公斤的力测试某材料的硬度为  $T_1$ ，得出结论说这个材料很硬；而李四用 100 公斤的力测试该材料的硬度为  $T_2$ ，得出结论说这个材料的硬度不是很大；那么，究竟谁说得对？在没有确定度量硬度统一标准前，无法回答谁对谁错。因此，硬度的度量牵涉统一标准确定问题。

同一个材料，可以测出很多硬度数据。一般来说，硬度随着测试力大小的变化而变化，如图 3 所示，某材料的硬度随着测试力的改变而改变：测试力越大，其硬度越小；反之，测试力越小，其硬度越大。要想通过测试确定各种材料硬度的差别，就必须确定一种统一的硬度测试作用力作为标准，不能随意采用任意作用方式测试硬度。

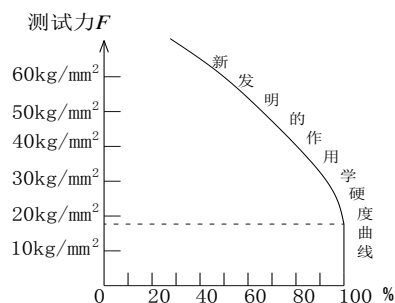


图3 材料硬度与测试力之间的关系曲线示意图  
The diagram of the relationship curve between material hardness and test force

当我们确定了测试硬度的统一作用标准以后，就可以对不同材料的硬度进行统一测试了。

硬度统一问题还涉及测试方法选择正确问题。当前，人类各种工业生产和工程建设涉及到的材料从软到硬，差别是非常大的，最硬的材料涉及到金刚石，软材料涉及到塑料、木材、橡胶等，要实现硬度度量统一，必须选择一种对各种软硬材料硬度测试都有效的作用方式。大多数测试方式不能适用于各种材料的硬度测试。例如，压入法、回跳法都不能适用于全部软硬材料的硬度测试。对于有些金属而言，压力过大，产生的热量能融化金属，影响压入法硬度测试的准确性；若压力小，没有变形痕迹，也测不出硬度。回跳法则不适用于反弹性小的材料的硬度测试。因此，测试方式需要认真选择，不能随意确定，随意确定测试作用力的硬度测试仪实用范围都不会很大。笔者认为，有一种作用方式能够满足各种材料硬度测试的需要，那就是钻测作用方式。钻，类似于刻划，只要钻头硬度足够大，各种材料几乎都能留下痕迹。所以，钻测方式可以实现硬度统一测试。

还有一种实现统一的方法，那就是通过数据换算方式实现硬度度量数值的统一。换算方式是指将在不同测试力下测得的硬度数据换算为统一标准的硬度数据。统一标准的硬度数据是指在统一的作用力下测定的硬度数据。由于软材料在较小的测试力下就能产生明显的变形，而硬材料在较大的力测试下才能产生可确定硬度的变形量，所以，软材料硬度测试可以用较

小的测试力，而硬材料硬度测试必须用较大的测试力。也就是说，可以用不同测试力来测试软硬范围不同材料的硬度，但前提是有换算方法和公式，以便能够将不同测试力下测得的硬度数据换算为标准硬度数据，以便实现对比和统一。目前，世界硬度制造界还没有这种换算方法与公式。

据反复研究与实验得知，在非标准测试力下测得的材料硬度数据可以换算为标准测试力下的标准硬度数据。其换算公式为

$$T = \frac{F_1 F_T}{F F_{T1}} T_1 = \frac{l_1(l-x)}{l(l_1-x_1)} T_1。$$

式中， $T$  标准硬度数据； $T_1$  不标准硬度数据； $F$  标准硬度测试力； $F_1$  非标准硬度测试力； $F_T$  标准硬度测试下的实作用力； $F_{T1}$  不标准硬度测试下的实作用力； $l$  标准硬度数据计算参数； $l_1$  不标准硬度数据计算参数； $x$  标准硬度测试下的变形量如压入深度； $x_1$  不标准硬度测试下的变形量。

当前的硬度数据大多都不能进行统一换算，因为其计算公式不正确，其数据与作用学的硬度数据之间不存在统一性，没有可对比性。但是，有的硬度数据在理论上是可以换算的，因为其计算公式只是选择的参数不合理，所以，可以计算。例如，洛氏硬度数据中根据公式

$$T = 100 - h/0.002 \text{ 和 } T = 100 - h/0.001$$

计算获得的硬度数据可以进行换算。其换算公式为

$$T = \frac{b(l-x)}{l(b-h)} T_1。$$

式中， $T$  为作用学标准硬度数据； $T_1$  为洛氏硬度数据； $l$  为作用学标准硬度数据计算参数； $b$  为洛氏硬度数据计算参数， $b = 0.2$  或  $b = 0.1$ ； $x$  为作用学标准硬度测试下的变形量如压入深度； $h$  为洛氏硬度测试下的变形量。

由洛氏硬度计算公式  $T = 130 - h/0.002$  计算所得的洛氏硬度数据不能换算为作用学硬度，它们之间没有互换关系。

## 7. 小结

综上所述，当前国内外硬度测试理论与技术存在严重缺陷，硬度数据准确性、可靠性不足，统一性、可对比性差，缺乏符合客观规律的统一标准。针对当前硬度测试理论和技术上存在的这些缺陷，根据作用学新理论，本文深入探索了硬度的本质概念、取值规律，进而完善了硬度测试新理论与技术，给出了各种计算硬度的正确公式，并解决了现有硬度测试数据统一性、可对比性差方面的问题，给出了不同硬度数据相互换算的换算公式，为硬度测试技术革命奠定了基础。

## 参考文献

- [1] 朱瑛, 姚英学, 周亮. 硬度测量技术现状及发展趋势[J]. 机械科学与技术, 2003(s1):6-7.
- [2] 王沛. 从硬度测量新技术看我国硬度测量工作的发展趋向[J]. 工业设计, 2015(9):137-138.
- [3] 孙晓明, 岳滨, 王树范, 王晓慧, 曲全利;磨削烧伤的硬度鉴别法研究[J];哈尔滨工业大学学报;1995年06期
- [4] 王玉,邢渊,阮雪榆;硬度转换的神经网络模型[J];上海交通大学学报;2000年10期
- [5] 张斯斯;洛氏硬度试验中加荷速度和总负荷保持时间的选择[J];现代计量测试;1998年02期
- [6] 崔进海,刘全红;探讨相似定律在布氏和维氏硬度试验中的应用[J];现代计量测试;2001年04期
- [7] 王廷栋, 赵希淑;布氏硬度相似条件的讨论[J];力学与实践;1996年03期
- [8] 李贵成;可锻铸铁碳含量及硬度的无损检测[J];铸造;1997年09期
- [9] 干洪. 力学学科的发展现状与21世纪展望[J]. 安徽建筑大学学报, 2001, 9(2):1-6.
- [10] 龙述尧. 弹性力学问题的局部 Petrov-Galerkin 方法[J]. 力学学报, 2001, 33(4):508-518.
- [11] 杨桂通. 弹性力学简明教程[M]. 清华大学出版社, 2013.



[12] 董务民, 程屏芬. 地震预报问题明显说明了固体地球物理学的现状和发展[J]. 力学进展, 1982, 12(2):98-99.

[13] 郑哲敏, 张涵信. 21 世纪初的力学发展趋势[J]. 力学进展, 1995,25(4):433-441.