

# 如何理解在橡胶的硬度试验中常用的 IRHD (国际橡胶硬度)法与邵尔硬度法

高静茹 编译

硬度是用来表征橡胶特性的最为广泛测量的性能之一。IRHD(国际橡胶硬度)硬度标度和邵尔硬度标度被广泛地使用。两种硬度计都有几种类型—IRHD 微型硬度标度/静负荷硬度标度和邵尔 A 硬度标度在橡胶中最为常用,两种方法在国际标准中都有叙述。

两种试验方法采用完全不同的压头几何形状、作用力、试验时间和程序。IRHD 试验通常为非破坏性的,并且正因如此而作为成品检验的首选方法。试验要花 35 秒钟。相反,邵尔硬度法则常常是破坏性的(会留下永久的压痕),但试验仅在 1~3 秒钟。本文首先回顾硬度计的发展史并论述它们之间的关联程度。

大多数的 IRHD 硬度标度和邵尔硬度标度都有台式的和手握式的两种型式。IRHD 静负荷硬度与微型硬度存在对应关系。所建的标准已有 30 多年了(ISO48 和 ASTM I415),而微型硬度至今还没有独立的标准(截止到写本论文时,M 型硬度计已被包括在现行的邵尔硬度标准中了)。微型硬度计在二十世纪五十年代,作为 IRHD 静负荷硬度的按比例缩小的型式而被采用——用于较薄,较小的样品和产品的试验。微型硬度结果通常与标准的 IRHD 静负荷硬度计所给出的结果有可比性。相反,市场上还有各种类型的 M 型硬度计,其中某些构造存在相当大的差别。M 型硬度计的结果通常与 A 型硬度计所得的结果无可比性。

经验表明在一些使用者中,对两种硬度标度存在着混淆。本文强调了每种硬度计及试验类型的特点。在测量必须在小的产品样品,不便于测量的或是弯曲的产品样品上进行的情况下,试验方法和样品的尺寸可能就非常重要,并且了解每种试验方法的局限性也很重要。

总之,本文的目的是为了对普通的硬度试验方法及其所得的结果有一个清楚的认识。

## 1 历史回顾

按照 Bassi 及其同事的说法,邵尔硬度计在历史上比 IRHD 硬度计先出现了 30 多年。据 Gurney 报道两种硬度计都是在二十世纪二十年代早期投入使用的,同时还有其他的弹簧和静负荷(重量)硬度计量的变化种类。弹簧型的硬度计所得出的结果会因使用者而不同(Gurney. The Rubber Age)。这就导致了静负荷硬度计的采用,该硬度计的压痕深度基本上与使用者无关。在 1935 年 Scott 强调为了使结果具有一些共同的含义而需要一个标准之后,在 1940 年提出了第一个英国标准(BS)。与此同时,Scott 和 Newlon 报道了一种可靠的符合该新标准的口袋式硬度计。在与邵尔 A 型硬度计进行了对比之后,他们得出结论:其优点与英国标准硬度计完全相同。随后进行研究开发不同的硬度计类型(Daynes 和 Scott)和新的标准(Scott)。他们两人均认为邵尔 A 硬度标度与英国标准硬度标度间有着某种关系。

对硬度试验机的量程的准确度进行了调查研究,其结论是主限度与操作者有关。具有球形压头和测足的硬度计误差最小;最大的误差与邵尔硬度计有关。据 Scott 报道偏差的最大原因是各实验室之间缺乏共识。

为了对较薄的和小的产品样品进行试验,在二十世纪五十年代采用了微型硬度试验机,它是 IRHD 静负荷硬度试验机按(116 的)比例缩小后的一种型式。Scott 和 Soden 报道了橡胶硬度高于 65 度时所记录的微型试验与静负荷试验的对比结果。

发表于二十世纪六十年代、七十年代和八十年代的几篇论文以及两本著作《橡胶与塑料试验》、《橡胶的物理试验》中谈到尽管 IRHD 方法在不同的操作者之间展现出了更好的结果可重复

性,并具有更高的准确度、再现性和精度,但最普遍使用的硬度计仍然是邵尔 A 型硬度计,而且 A 型硬度对样品厚度的依赖性不如 IRHD 那么苛刻(Bassi 等人)。1991 年 Brown 和 Soekarnein 在 IRHD 静负荷硬度计、IRHD 微型硬度计和邵尔 A 型硬度计间的对比研究证明了 IRHD 静负荷硬度计和微型硬度计在实验室间的可重复性可能是最好的。1993 年, Bnisoe 和 Sebastian 分析了邵尔硬度的压痕,提供了 IRHD 和邵尔 A 型硬度间的近似关系式为  $IRH = H_A + 4$ , 该关系式非常依赖于样品胶料。

由于试验的自动化的特点,要求操作者的影响最小,因此同一时期的许多硬度计的准确度得到了改善。台式硬度计(IRHD 静负荷硬度标度、微型硬度标度及邵尔 A 型硬度标度)展示出了最好的结果可重复性和可靠性。口袋式硬度计虽然大大地改进了,但对于结果的可重复性则还完全依靠操作者的手压及可靠的角度(其变化可能是很大的)。

近年来,人们对 M 型硬度计的兴趣日益增长,尽管尚未发布标准。市场上几家供货商提供的这种硬度计各式各样,并且构造差异很大。最近,Wallace 按现有的最好的设计资料制成了 M 型硬度计,其结果与邵尔 A 型硬度计所得的结果不可比。

## 2 IRHD 硬度计与邵尔硬度计间的差别以及其硬度标度间的关系

现在使用的 IRHD 法有 4 种:常规硬度试验(静负荷)、高硬度试验、低硬度试验和微型试验。常规试验用于大于或等于 4mm 厚的样品,并且最好用于在 35~85IRHD 范围内的橡胶(但可有保留地用于 30~95IRHD 的范围内)。高硬度试验用于与常规试验尺寸相同的样品,但范围为 85~100IRHD。低硬度试验用于大于或等于 6mm 厚的试验样品,且硬度范围在 10~35IRHD。微型试验的样品厚度小于 4mm,且用于在 35~85IRHD 范围内的橡胶(但可有保留地用于 30~95IRHD 的范围内)。所有的 4 种方法均采用球形针式压头。各方法之间的球形压头和测足的尺寸各不相同。对于常规试验、高硬度和低硬度试验,作用力是相同的,只有微型试验需要施加较小的力。值得注意的是 IRHD 的标度是非线性的。

硬度试验机的邵尔硬度范围包括有 8 种标度类型:A、B、C、D、DO、O、OO 和 M。这些用于测量范围较宽的材料。A 型标度用于软的橡胶和弹性体,而 C 型用于中硬度级的橡胶和塑料;两种类型均采用平头锥形压头。A 型是最常用于橡胶的标度。B 型用于中等硬度橡胶的测量,而 D 型用于硬橡胶和塑料的测量,这两种均采用 30°的压头。DO 型用于非常密实的成卷织物,O 型用于软橡胶和中密度的织物,而 OO 型则用于低密度的成卷织物和海绵。这三种是采用 3/32 英寸的球形端点压头。所有的类型都要求样品的厚度要大于 6mm(除非能够证明较小的样品能得出同样的结果)。M 型用来测定硬度在 20~90 范围内的不规则的和薄的橡胶,并采用非常小的圆形针式压头。尽管在厚度降至压头能穿透样品时,承载台就会开始影响数据,较薄的样品还是可以使用。各种硬度计间的弹簧弹力是不同的。A 型、B 型和 O 型采用的是相同的弹簧弹力建议对这些硬度计施加相当于 1kg 的力,以便确保能够重复地克服弹簧弹力。(注意德国标准采用 1.27kg 的力及较小的压头尺寸公差)。C 型、D 型和 DO 型采用同样的弹簧,需要相当于 5kg 的力来克服该弹力。OO 型采用了不同的弹簧,需要 400g 的力。M 型通常是提出一个适于克服所标定的弹簧弹力的力。所有的邵尔标度均为线性的。

IRHD 法是以静负荷(重量)的使用为基础的。在 8.3N(静负荷)的力下,对微型硬度试验机而言则是在 235mN 的力下,用测足来对样品进行定位。然后施加 0.3N(静负荷)或 8.3mN(微型硬度试验机)的基本负荷,经过 5 秒钟。给出基准点的位置。随后再施加 5.4N(静负荷)或 145mN(微型)的补充负荷并持续 30 秒。测量从基准点开始所增加的位移并转换成 IRHD 值(在标准中规定为非线性标定)。(常规)静负荷的满刻度位移为 1.8mm;微型的为 0.3mm。

与此相反,邵尔硬度采用标定好了的弹簧。例如:A 型的弹力从 0.5N 到 8.1N 不等(高于满位移)而 M 型则从 0.3N 到 0.8N 不等。压力器的测足所施加的力足以克服弹簧的弹力。一旦压力器的测足接触到样品,在预定的停留时间之后,压痕的深度就被记录下来;ASTM 标准的停留时间为 1 秒和 3 秒。由于在 1 秒钟后读数通常还会有明显的变化。DIN 标准的停留时间则采用了 3 秒

钟。力随着压头的位移呈线性增长(对于 A 型标度而言,满刻度为 1.25mm)。

IRHD 标度是在 1948 年建立的,与邵尔硬度标度一样,其数字大表示硬的橡胶,数字小表示较软的橡胶。最初的微型硬度试验设计为常规静负荷试验的按比例缩小的型式(位移之比为 6:1)。所施加的力之比为 36:1。因此,如果在微型硬度计下被测量的样品的限定厚度是静负荷样件厚度的 1/6,那么得到的结果也为它的 1/6。建立按比例的计算是为了从两种硬度计能够得出同样的结果。同样,从常规的,高静负荷和低静负荷所得的结果也显示出类似的关系。

M 型硬度试验不是按 A 型试验的按比例缩小型式而设计的,而仅仅是一种能够测量较小的试样的硬度计。它采用独立的压头和弹簧;两种硬度计之间不存在简单的关系。

### 3 试验

从上面的讨论得出:由于手握式硬度计对操作者的依赖性,从而造成其所得的结果不可靠。因此,只有采用台式硬度计来得出试验的结果。但得到的结论也将适合于手握式硬度计。由于大部分的橡胶和弹性体采用 A 型和 M 型的硬度计标度,因此在这里将不考虑其他的硬度计标度。这两种硬度计也是常规 IRHD 硬度计和微型 IRHD 硬度计的主要的对应物。

在开始之前所有的硬度计都应被校准,并且在结束时再检查一下校准。采用标准温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  (除非另有标注)。硬度计的停留时间被设定到 1 秒钟和 3 秒钟(由于这两种时间所得的结果是不同的)。对于 IRHD 硬度计,试验时间由标准来规定(5 秒和 30 秒)。每一个平面试样应测量为 5 个不同的点,而弯曲试样应按下面的规定进行测量。

前面的研究对比了微型 IRHD 硬度计和微型邵尔硬度计,着眼于 M 型硬度计的样品厚度、横向尺寸、弯曲样品、温度,对以前的测量点再测量的影响以及测足压力的影响。本文的宗旨是继续该项研究并深入到静负荷硬度计和 A 型硬度计,而且还包括弯曲表面的结果。

对于静负荷和微型的两种试验机都采用标准的 Wallace 试片(由 MRPRA 提供各不相同的天然橡胶胶料),以便对每种试验机提供对比结果。

前面对于样品厚度的研究有限。因而在此将更深入细微地对此进行调研。ISO 标准允许采用 1mm 厚的样品,但优先采用的厚度为  $2 \pm 0.5\text{mm}$ 。众所周知,M 型硬度计具有类似的要求。对一定范围的较薄的材料进行试验。邵尔硬度标准提出将样品叠合以增加其有效厚度;这样做是为了解决变化的样品厚度的影响。这也可以推广到 IRHD 静负荷硬度计和邵尔 A 型硬度计的类似的研究上。IRHD 标准厚度为 8~10mm,而邵尔 A 型为 6mm。选择较薄的样品进行试验并进行叠合以解决改变的样品厚度的影响。

前面对于微型硬度计的研究包括对环境温度升高的影响的调研。因而,对静负荷硬度计和邵尔 A 硬度计在升高了的温度下进行试验以确定有何影响。

弯曲的试样,如 O 形圈,也常常被测量,并且也研究了用不同的硬度计测量弯曲试样的影响。O 形圈(有各不相同的内径和外径)被放在一个专门设计的桌面上,以便他们能够进行准确的横向移位以确定试验离开最大极限位置的影响。

### 4 结果

#### 4.1 标准试片

采用微型试验机和常规静负荷试验机,标准试片给出可重复的结果。1 秒和 3 秒的停留时间(A 型和 M 型)得出了相同的和可重复的结果。在试验范围内(40~90IRHD),静负荷的读数始终比 A 型硬度计的读数高出几个单位。但是随着硬度值的升高,M 型硬度的结果与微型 IRHD 的结果偏离的趋势越来越大。

#### 4.2 厚度的影响

IRHD 静负荷硬度计和邵尔 A 型硬度计被用来测量标准 Wallace 微型试样(2mm 厚)。正如所料,其结果与采用该试样厚度所规定使用的硬度计即微型 IRHD 硬度计和 M 型硬度计所得到的结果不同。较软的橡胶,还有 IRHD 静负荷硬度计在微型硬度计结果与大型硬度计结果之间展现出较大的差别。对于最硬的橡胶(76~79IRHD),IRHD 静负荷硬度计给出了非常接近的数据(图 1)。正如所料,邵尔 A 型硬度计读数要低几个单位,但是邵尔 A 型硬度计与 M 型硬度计的读

数则较为接近。最硬的橡胶的邵尔 A 型硬度值与 M 型的硬度值仅相差一个单位。

在 2mm 厚度的样品被叠合成 8mm 厚 (IRHD 静负荷试验机所要求的标准厚度) 以后, 在试验样品规定的公差范围内得出了结果。再增加厚度, 结果几乎不会有什么不同。采用邵尔 A 型硬度计, 在将样品叠合成 6mm 厚 (A 型硬度的标准厚度) 的试样后, 其结果与对 M 型硬度计进行试验时的值并不相等。

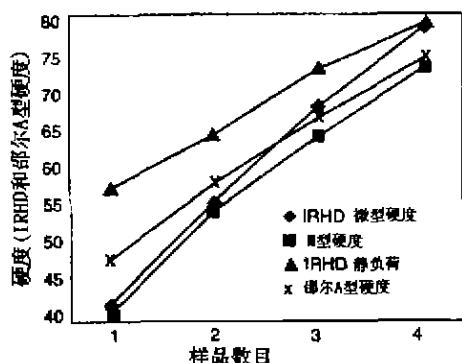


图1 在微型硬度计和大型硬度计上测量 2mm 厚的样品

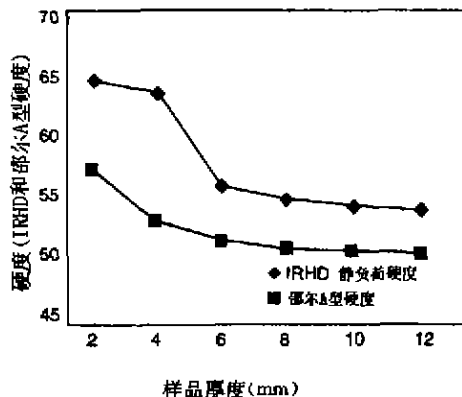


图2 随着样品厚度增加, 变硬的趋势下降

相反, 8mm 厚的标准静负荷试样, 当在微型 IRHD 硬度计和 M 型硬度计上进行试验时, 则趋向于给出与静负荷 IRHD 硬度和邵尔 A 型硬度计大致相同的结果。

对于微型硬度计可采用各种各样的较薄的样品。将多达 5 层的氯丁橡胶试样 (0.6mm 的厚度) 叠合在一起, 取得了在标准的公差范围之内的试样厚度 (还略有不足)。IRHD 微型硬度计和 M 型硬度计两者均显示出随着厚度的增加, 硬度不断降低 (图 3)。正如前述, IRHD 硬度值始终比 M 型硬度值高。对于丁腈橡胶试样, 最初厚度为 1.5mm (在标准所给定的公差范围内) 时, 各硬度计间的读数是差不多的。在硬度增高的过程中, M

型硬度计的结果保持不变, 但 IRHD 微型硬度计则显示出随着厚度增高到 4.5mm, 硬度下降了。对于硅橡胶试样而言, M 型硬度计的结果始终比 IRHD 微型硬度值低, 但两种硬度计均展示出当样品厚度从 0.9mm 翻倍至 1.8mm (在标准内) 时, 硬度下降了一个单位。

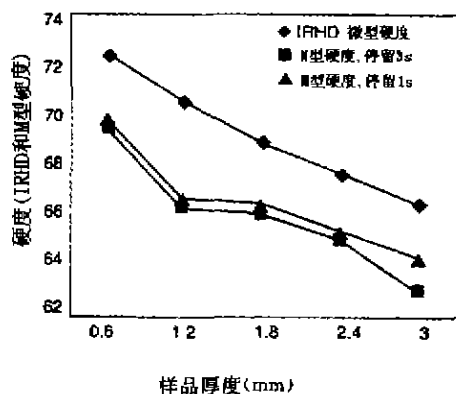


图3 氯丁橡胶样品厚度的增加

#### 4.3 温度的影响

看起来将温度升高 10°C, 标准试验试片 (为天然橡胶胶料) 的 IRHD 静负荷硬度结果几乎没有什么差别。但是, 对于邵尔 A 型硬度计所测量的较硬的样品, 则观察到硬度值略低。

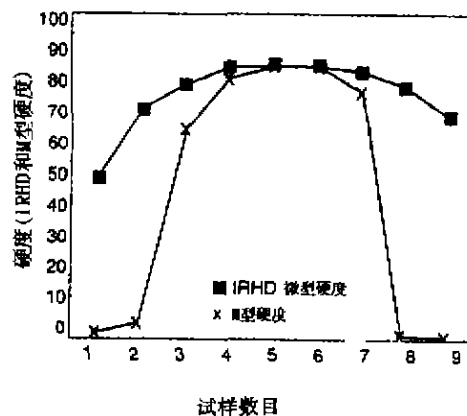


图4 一个内径为 2.5mm 的 O 形圈, 在 IRHD 微型硬度计上和 M 型硬度计上进行测量后的差别

#### 4.4 弯曲表面的影响

直径较小的 O 形圈增加 0.25mm 的横向位移。较大的弯曲表面则增加 0.5mm 的位移。绘制成 E 图表, 来说明在样品经过压头发生位移时, 表现硬度的变化情况。一般来说, 当在微型 IRHD 硬度计上测量 O 形圈时, 比起在 M 型硬度计上

进行测量时,绘制在图上的结果要平坦一些。M 型硬度计制成的曲线更陡。同时在极限位置端点的两侧,硬度值迅速地降低(图 4)。

用 IRHD 静负荷硬度计和邵尔 A 硬度计测量一根管件(直径 8mm),都给出了相当平坦的曲线。一个内径为 7.8mm 的 EPDM“O”形圈,在用邵尔 A 硬度计测量时,产生一条平缓的曲线,但用 IRHD 静负荷硬度计测量时,则正相反。

## 5 讨论

从结果中明显看出静负荷 IRHD 硬度计和微型 IRHD 硬度计之间是互有关联的。在叠合的微型试样的 IRHD 静负荷的结果与微型硬度计上的标准结果一致时,这一点更是显而易见的。相反,对于邵尔 A 型硬度计标度和 M 型硬度计标度就不能这么说。

结果表明,IRHD 静负荷试验所用的样品厚度对结果的影响比邵尔 A 硬度的样品厚度对结果的影响要大,与 Bassi 及其同事的看法一致。

一般来说,当丁腈橡胶、氯丁橡胶和硅橡胶的样品叠合时,可观察到随着厚度的增加,硬度有下降的趋势。应注意到某些差别,并且似乎不同类型的橡胶以略为不同的方式影响着结果。在这方面还需要进一步地研究。

微型硬度计通常既可用于测量微型样品也可用于测量大型样品,而大型硬度计(IRHD 静负荷硬度计和邵尔 A 型硬度计)则还是用于大型样品为好。现在也确实有许多人用微型 IRHD 硬度计来代替静负荷硬度计。

在测量弯曲试样时,IRHD 静负荷硬度计、微型硬度计和邵尔 A 型硬度计产生了较为平坦的曲线,意味着这些硬度计并不太苛求地依赖于准确的试样定位。由于在采用 M 型硬度计时产生的图形更加陡峭,所以准确地安放样品(在 ~0.1mm 之内)就很重要。然而,当采用一种辅助设备来固定 O 形圈的中心时,这就得到了控制。但是,如果在测量时不能用这种辅助设备来准确地

固定弯曲的形状,那么准确的试样定位仍很重要。

温度升高大约 10°C,对于较硬的天然胶试样似乎仅对邵尔 A 型硬度造成了较大的差别,而采用 IRHD 静负荷硬度计则几乎没有什么差别,这一点与以前对于 IRHD 微型硬度计以及 M 型硬度计的研究中所提到的轻微影响相似。

从前面的研究中明显看出在同一点重复测量造成了结果的明显差异,这一点在使用 M 型硬度计时,更加显著。确保试样在各次测量间移动位置很重要,——对于小的试样这可能是很困难的。

注意到邵尔硬度计在停留时间为 3 秒时所得到的结果不同于停留 1 秒时所得的结果是很有意思的。这一影响在前面的研究中更加有效地得到了证实。因此,对于邵尔硬度,虽然对于对此研究而言,定时不同并不重要,但是定时的准确性及可重复性则很重要。IRHD 试验所要求的时间(标准中规定为 35 秒)将 IRHD 硬度计置于不利的地位。但是,Lackovic 及其同事在以前的研究表明通过预测技术可将这一时间缩短,可采用与邵尔硬度有直接竞争力的时间即 3 秒钟。

## 6 结论

本文站在历史的角度不仅考察了 IRHD 硬度计和邵尔硬度测量计,而且还讨论并强调了用于表征橡胶和弹性体硬度特性的最为常用的硬度计之间的主要差别。正如在以前的研究中所证实的那样,不同的硬度计对于某一试样类型展示了其优点,也展示了不足。IRHD 硬度计为非破坏性试验的首选,而在测量弯曲表面时,微型硬度计通常是一个较好的选择。对于测量非标准厚度的试样以及在试验周期要求较短的时候,邵尔 A 型硬度计更为可取。要使邵尔 A 型硬度计和 M 型硬度计提供一致的和具有可比性的结果,关键是准确和可重复的定时。

### 引用文献

- 1 Pachel Hodson,《Rubber World》Vol. 223, No. 4(2001), 39~43

### 氯化聚乙烯类高阻尼性减振材料

据日本专利“特开平 11-209635、特开平 11-92695”报道,在氯化聚乙烯中通过添加邻苯二

甲酸、偏苯甲酸、均苯四甲酸、磷酸、二环戊二烯树脂、醚类酯或次磺酰胺类介电化合物,便可制得高阻尼性、高稳定性的减振材料。