

塑料测试方法手册

林明宝 朱宗锐 译
陈禹 王静

上海科学技术文献出版社

塑料测试方法手册

林明宝 朱宗锐 译
陈禹 王静



上海科学技术文献出版社

(沪)新登字 301 号

内容提要

本手册英文原版系英国朗曼公司出版,概述了塑料物理测试的全部内容,包括叙述试件制备、状态调节、试验环境和各项力学性能、电性能、光学性能、热性能、环境耐久性、燃烧性、渗透性试验以及非破坏性与产品试验。本手册重点叙述国际标准试验方法,并比较了工业发达国家的有关标准,实用性强,颇具参考价值,可供有关工厂、贸易和科研单位的塑料专业科技人员使用,也可供大专院校中塑料专业师生参阅。

塑料测试方法手册

林明宝 朱宗锐译
陈禹 王静

责任编辑 王慧娟

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路 2 号)邮政编码 200031

新华书店经销 上海市机电工业管理局印刷所

开本 787×1092 1/32 印张 17.75 字数 420,000

1994 年 6 月第 1 版 1994 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—1500

ISBN 7-5439-0453-5/T·323

定价:16.00

《科技新书目》318—292

82.315
1

译者的话

《塑料测试方法手册》首版由英国塑料橡胶学会 G. C. Ives 等编写,1971 年出版后很快被人们誉为塑料领域的标准文献。此后 20 年间,塑料测试方法有很大改进,且数量增加甚多,为此特邀请橡胶和塑料研究协会的专业技术人员对该手册作过修改两次版,均由 G. R. Brown 主编。本译文是按第三版翻译的。

本手册主要叙述物理测试方法,不包括化学分析,但列举了界于两种原理之间的聚合物特性试验。本手册对试验原理、试件制备、状态调节、试验环境、测试条件、操作步骤与要点等均有详略恰当的介绍。所述测试方法均以 ISO 标准(国际标准)为重点,对相应的英国 BS、美国 ASTM 和原联邦德国 DIN 标准等与之同异之处均予以指出说明。此外,手册还列有大量参考文献。

本手册可谓是塑料测试标准方法的总汇,颇具参考价值,是塑料生产、加工、贸易和科研单位从事质量管理、研究、测试的科技人员不可多得的工具书,也是高等院校塑料专业师生极为有益的参考书籍。

本手册由上海进出口商品检验局林明宝、朱宗锐、陈禹、王静、管妙法、卢顺暑、管纪良、吴非和陈宗宏翻译,并由王静和林明宝审校。

在翻译和出版过程中,得到钟林文同志的帮助,谨表感谢。

由于译者水平有限,有不当或错误之处恳请读者指正。

译者 1993 年 6 月

目 录

第一章	绪论	1
第二章	标准及标准协会	21
第三章	试件制备	35
第四章	状态调节和试验环境	50
第五章	加工性能测试	7
第六章	聚合物的特性	102
第七章	密度和尺寸	116
第八章	短时应力——应变性能	135
第九章	动态应力——应变性能	210
第十章	摩擦和磨损	221
第十一章	蠕变、松弛和永久变形	
第十二章	疲劳	251
第十三章	电性能	266
第十四章	光学性能	335
第十五章	热性能	355
第十六章	温度效应	383
第十七章	环境耐久性	438
第十八章	塑料的燃烧试验	462
第十九章	渗透性	497
第二十章	非破坏性试验	517
第二十一章	产品试验	541
附录	公制计量单位进位和换算表	555

第一章 绪论

1.1 基本观点

测试,无疑要耗用经费。而且,由下文可知,每种测试实际上都有它的局限性,仅能以日常使用条件谨慎地实行测试。那么,为什么要测试塑料?为什么要对塑料进行各项测试?我们为何不能依赖经验和良好的生产工艺呢?

由于多种原因,所有的人和机器都难免会有差错,材料性能容易发生差异,正因为有这种令人遗憾的事实存在,所以对于估计材料和应用来说,理论上就有理由要测试。因此,需要进行常规试验来检测不可接受的偏差,作为一种控制质量的措施。在这个问题上,塑料自然也不例外,由于它是复杂的材料,所以特别需要仔细控制,以确保产品合格。目前,对质量保证的强烈要求,以及保护消费者权益的增强趋势,都将导致测试的必要性。

对一种新材料、新的应用方法或新产品来说,在交付给不持怀疑态度的用户前,虽然不是完全必要,但为谨慎起见,也需检查一下性能。事实上,如果不能提供产品性能的证明,客户便很可能会拒绝购买。因此,为证明产品的适用性,有充分的理由要求进行大量的测试。

因为在设计阶段必需有与计算的应力、预期的环境等等有关的物理性能测试数据。没有这些数据,人们会对设计可能是失败,还是严重超余量而伴有损失引起猜疑。这进一步说明了测试

的必要性。

就塑料而言,因为工业生产内部的迅速变化,这些要求特别显著。当今塑料,虽然聚合物仍基本相同,但确切地说,其用途与10年前适用的大不一样,而且加工工艺也不断精细。此外,塑料越来越多的新用途正在被开辟,并常用于比以前要求更严格的领域。因此在许多情况下,没有很多经验可以借鉴,要进一步开发塑料的用途,例如在要求确保50年内性能稳定的结构应用方面就非常困难。

甚至继设计、适用证明和质量控制三类测试之后,因发生事故和争议而产生对测试的第四需要:由失效分析来查事出何因。这类测试可望反馈信息,帮助改进设计或改善品质控制过程。

如果我们承认了测试的必要性,为何还要写一整本书来阐述这一点呢?可以这样说起,我们至少有四个理由要进行测试,且在每种情况下要测试的理由将是不同的。例如,对于质量控制,测试可求简单、快速和廉价,但不需要测试结果有十分重要的意义;对于设计目的,追求快速并不很重要,但测试结果必须与形状和条件有关,这意味着要较多的基本了解,因而测试多个位置的数据比仅测试单一位置数据来得好;对于预测性能试验,最主要的是与使用有关;对于失效分析,则要求良好的鉴别能力。强调不同的要求将使各种情况下设计和选择测试程序的方法会有所不同,并常将涉及不同的测试仪器。因此,对于每种基本性能,主要不是叙述某个程序,而是伴随有较多的讨论。

塑料不仅像其它材料那样,它们还具有自身很复杂的特点和性能,这就必须仔细选用它们自己系统的测试程序。如果想要获得富有意义的结果,而以其它工艺技术来转换方法和变更基本原理,则是不能令人满意的。在这方面,必须记住的是,就塑料来说,我们指的是一个完整的类族,它的范围从柔软的热塑性塑

料到非常坚硬的热固性塑料,并且包括各种增强类型材料。相同的程序往往不能合理地适用于它们全体。

本书从实际出发对有关的每项测试方法加以叙述,对按方法获得测试数据的技巧和特别的限制作必要的详细说明。但除了测试的基本原理外,有许多有关一般测试的概论在开始时加以介绍较为合适和方便,所以在本绪论的下面章节就对它们进行研讨。

1.2 试样制备

塑料性能的不确定性从原材料阶段就存在了。模塑件的拉伸强度,甚至其它性能,会简单地因模塑件制备周期的变化而改变。如果要将任何两份材料的测试结果作比较,就必须以相同的温度和周期时间等工艺条件生产模塑件来进行测试。当比较材料的成本或性能时,这点尤为重要。正确的做法,应采用标准工艺条件来制备试样,以获得标准的测试结果。标准工艺条件应是可与产品制造使用的工艺条件相比较的。商业上的试件制备条件看似可行,但却会产生错误的测试结果,是不能采用的。可是,当材料以已模制的形式提供给试验人员时,试验者往往不具备这种与材料历史相关的资料,所以,要用这样的测试结果来作出结论的话,就必须相当谨慎。

某些相类似的不确定性,起因于测试材料的实际来源。从相当大的整体中取得的测试材料,一般是少量的,而且试验人员常常不知道他的试料是否能代表大量的材料。

这两个问题待以后章节进一步研究。但在开始时就需要强调:除非懂得如何取样和如何制备试验的模塑件,否则塑料材料的测试结果不能取表面数值。如果知道制备细节,应与结果一起

报道。

用切割、锯、铣等加工手段,从模塑件制备要使用的实际试件时,更具复杂性。这些操作可能会因过热或水分驱除过量而改变物理性能,产生无代表性的数据。许多性能受试验样片表面状态的影响,缺口和刻划的伤痕起到应力集中和机械性能下降的作用,有时影响相当严重。当测量光学性能时,表面状态的决定性影响十分明显,试样制备的方法在第三章研究。

决不是所有的塑料制品沿着其主轴方向会有完全相同的性能,即其中有些存在着各向异性。在纤维增强层压材料中容易观察到这点。因为编织的纤维,凡没有采用特殊编织,通常都是经向比纬向的强度大。然而,就成分是均质的材料来说,也可能是各向异性的。一端具有浇口的注射模塑棒条,除非采取了特殊的预防措施,否则均可预料会产生聚合物分子沿长度方向的显著取向性。譬如说拉伸强度,沿棒长的直向会高于其横向。因此在必要时陈述测试的方向是重要的,特别在检查两个垂直方向,或在某些情况下检查三个垂直方向时,必须报告测试的方向。

测试人员和测试结果的使用者,必须将问题或失误,与试件状态调节条件和测试时的大气环境条件一起,仔细、谨慎且连续地加以记录。大多数塑料的性能,在温度变化十分小的情况下就会受影响,所以只有在真正相同温度下测得的结果之间,才能进行比较。许多材料的性能受水分含量的影响,那就既需状态调节,又需在已知的相对湿度条件下测试。试样与它的周围环境温度达到平衡所需的时间十分短,但要达到湿度平衡则需要非常长的周期。

即使经过仔细的状态调节,材料的老化程度也会有重要的影响。材料受光作用降解的危害性相当明显。甚至会在温和的温度下发生变化。某些材料在室温下结晶非常缓慢,并且由于聚

合物在结晶态与无定形态下的性能常有显著差异,因此必须平衡时或者在结晶速率缓慢到可以忽略时,才进行测试。同样,在加工周期之后,含增塑剂聚合物的胶化过程即使在室温下也会缓慢地进行。因此,如增塑PVC,最好在某个规定的最短时间后,立即进行检测。贮藏、状态调节和测试环境条件在第四章研究。

1.3 试件尺寸和形状

鉴于大多数性能是归纳到单位长度、面积或体积以产生材料的基本测试数据的,可以认为,试件的精密尺寸并不是重要的,因为它都是提供给计算的。有种说法,认为结果以每单位厚度表示是意味着性能与厚度成比例,这实际上很可能使人产生误解,因为截面薄的模塑材料具有的性能可能与截面很厚的模塑材料颇不相同。以热固性塑料来说,固化程度在较厚的截面很可能较低,而不论是热固性塑料还是热塑性塑料,由于中心的冷却比表面来得慢,所以较厚试件的同步应变程度都比较大。显然,在薄的和厚的模塑件之间测得的性能差异,并不是由于横截面积比率影响的缘故。

试件尺寸和形状为什么会影响测试结果是有许多原因的。这里不宜全部枚举,仅举出少数例子加以说明,以引起注意。在图1-1中列有两种双铲形试片,不难看出,这两种双铲形试片将会有不同的测试结果,因为(b)种试片在肩胛形状处有不希望的“应力集中”,这将导致断裂负载的降低。这种双铲形可能是种极端的形状,但有不少种类的拉伸试片在被使用,它们并不都产生相同的测试结果。除形状外,试片的实际尺寸不同,可能是因为试片是由不同厚度的材料所制备。

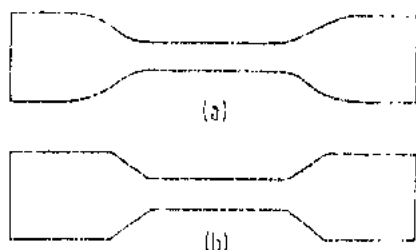


图 1-1 拉伸试片的可能形状

水吸收可能主要是表面现象,从逻辑上可以认为该性能将按每单位面积计算,而事实上它却往往以百分比 W/W 表示。这样,就必需严格控制试件尺寸,以使它具有标准的表面积,使假设的重量百分比可供比较。弯曲强度这一机械性能是由施加于试件中点使其断裂所需的力、试件的宽度和厚度以及两侧支点间距离来计算(图 1-2):

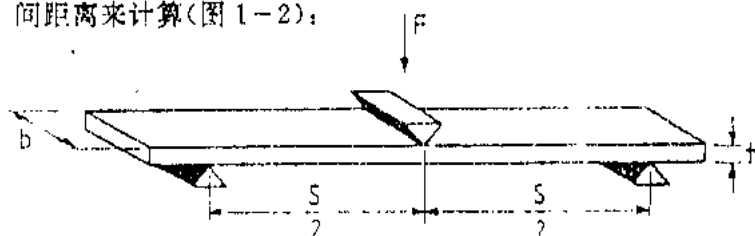


图 1-2 测量弯曲强度的一般设置

$$\text{弯曲强度} = \frac{3FS}{2bt^1} \quad [1.1]$$

S 、 b 和 t 的尺寸虽可以准确测量,但却要追求它们的精确尺寸值,因为上述传统的弯曲公式仅适用于 S/t 为一定比率的理想的三点弯曲的情况。所以,凡是性能的绝对指标,为了要比较数据,试片尺寸必须基本上相同。

耐电强度以平板试片击穿电压和试片厚度来度算,一般以 V/mm 表示。这意味着击穿电压与厚度成正比。但图 1-3 所示

的却不是这种情况。对于不同厚度的相关结果,必需了解电压/厚度曲线的斜率,即必需获得多点数据。如果材料不是显示相同形状的曲线,那么为了比较的目的,对厚度就必须仔细控制,而且比较仅在该厚度才有效。

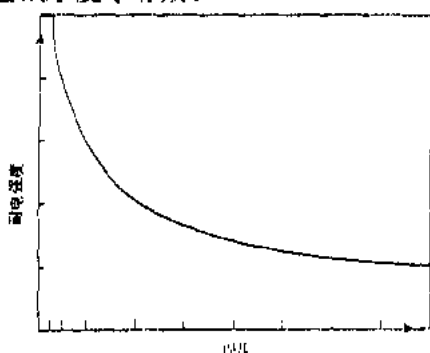


图 1-3 耐电强度对厚度的函数

关于试件形状和尺寸影响所测量性能的典型例子非常多(也有许多外界作用影响上述所研究的性能)。这些都说明,需要极其仔细地核查与执行各指定测试有关的所有步骤,而且在比较和解释测试结果时,也需极其仔细。

1.4 标准的需要

由上述几节可知,如果要求测试结果可作比较,对许多参数就必须加规定和控制。我们可以知道温度变化、试件厚度改变等对性能有影响,但无疑在短时期内,我们的知识一般不足以将测试数据归纳为一个通用的、可比较的规范——甚至不足以分析一个可变参数,更何况对很可能是有交互作用的一大群可变参数。因此,对于所有工作人员测量每项性能,都应规定使用完全相同的方法。要做到这一点的主要手段是采用标准,更明确地

说,是采用测试方法标准。这是必需的,也是方便的。

测试方法标准的作用是规定所有的仪器参数、试片细节、过程步骤和数据表示。有了这些重要的规定后,便能使任何两个实验室获得可比较的数据。这样,供应者和用户之间能保证用相同语言表述,将一些明确的意义赋予销售合同,从而促进贸易。这不仅是某一个国家的事情,如果统一试验方法能在欧洲大陆上实现,或者更理想地,能在全世界实现,那么也有益于国际贸易。许多测试方法标准已在国家范围和国际范围制订,但决不是已全部彻底地达到了目标。在标准制订方面,为达成普遍的一致意见,对某些问题,包括交换试件和试验速度在内,已作了必要的妥协。尽管如此,已形成了一个非常完整的基础,成为我们测试的依据。我们不可以一有可能就不使用标准,否则在制订标准和标准常识说明方面所作的全部努力便都浪费了。关于标准、规范和标准化组织,将在第二章中与用以表示结果的单位一起详细讨论。

1.5 数据的表示

对于质量管理工作,正规方法是采用以连续的基数显示数据的图表或曲线图,以便一目了然地看出趋势和发现偏离预期水平的反常偏差。在记录和报告测试数据的总体形式中的确也存在着技巧。显然,必须列出足够详细的测试条件和其它可变因素。大多数现代的测试方法标准都列有一个必须记录的资料综合表;不省略一项表面上看来不重要的项目,例如日期。应当列出测试数据可靠性的某些标征,多半是列出单个测试值,或提供经计算的平均值以及标准偏差(见 § 1.6)。现在还认为,具有质量管理意识的实验室。必须在所有测试图表上记录仪器的编号

和仪器的校正日期。

报告应当尽可能简短，应与记录的所有有关真实情况相符。当主要目的是为了比较时，最好能列表。关于技术报告的理想格式，意见还不一致，这里推荐下面一种段落顺序：

摘要

(目录)

1、引言

2、检验的材料或产品

3、测试方法说明

4、结果

5、结论

6、建议

(附录)

摘要提供是提供繁忙的管理负责人的，因为他们没有足够的时间去详细了解全部报告内容。

1.6 测试结果的局限性

当我们作了所有这些预防措施——正确地制备试件，严格地遵守规定的方法，不掺混我们的主观臆想，清楚地报告所有的事实之后，所获得的数据有什么价值呢？事实上，由测量获得的强度、电阻等等数值仅与我们测试中执行的那些精确模拟的条件相关，并且仅与特定的测试样品有密切关系。测试结果的价值，更确切地说它的意义有两个方面。首先，在统计判断方面有意义；我们必需了解关于样品代表材料的程度，以及测试结果能被估计的置信程度（把实验误差和材料变异考虑在内），否则该结果是没有用的。第二方面的意义是测试结果与材料或产品性

能的关系。

测得的性能值会因使用的测试方法不同而改变,测试研究越接近真实的使用条件,就越恰当或有意义,即预测的使用性能越可靠。测试结果越是不受试件形状或条件的影响,对于设计意义来讲,就越恰当。

经济和时间的因素常常使测试程序不能很接近使用条件。大多数公布的性能数据和实际性能之间的最大差距是在时间尺度上:某一元件究竟在多长时间能经受得住确定的应力而不会损坏呢?无故障使用需要达几年以上,而测试仅仅持续几秒钟或几分钟。加速试验常能提供非常有用的指导,并且常常是对这种需要的最好的解决办法。然而,需要牢记的是,为产生这种极度的加速作用,某个或者某些测试参数必须强化,例如提高温度、改变自然环境或增加应力施加频率等。这些必要的改变本身可能引起一些在平常环境温度等条件下绝不会发生的效应,从而可能会产生令人误解的数据。

由于试件尺寸和形状的影响、测试时间尺度的影响、加速效应的影响以及测试条件与使用条件的差别大小,测试结果有它的局限性。显然,人们不能过份强调要对所有测得的性能以最精密的估计,去建立它们的确实的关系和适用性。

1.7 统计学概念

1.7.1 引言

一个缺乏统计学知识的人,对获得的测试结果是不能作出正确评价的。有一个塑料测试的例子相当简明地说明了这一点。假定要比较两组厚度相等的层压板材 A 和 B 的强度,用普通方法测定其边向 Izod 冲击强度,一组 5 个试件,其结果如下:

A	B
1.65J	1.09J
1.37J	1.48J
1.41J	1.38J
1.26J	1.26
<u>1.60J</u>	<u>1.39J</u>
平均 1.46J	1.32J

如以两组平均值为根据, A 可被选作具有较高冲强度的材料。然而, 试件投影显示的缺口图形, 也许不同于有明确的切削深度的图形。用这种方法进行的层压薄板冲击强度测试, 必定表现出结果的分散(各个值的散布)。上述数据无疑正是这样。比较这两组数值的范围可以帮助我们分析:

A: 1.26~1.65J

B: 1.09~1.48J

可以看出存在一个 1.26~1.48J 的范转, 在该范围内随机取一个测试数据, 都可安置于任一数值组。A 组的 5 个数值有 3 个落在该范围, B 组则有 4 个。因此, 实质的区别在于 A 组有两个高的数据 1.60 和 1.65, B 组有一个低的数据 1.09。那么, 这些是指出两种材料有关价值的重要数据呢? 还是由于某种偶然性而使它们落在一般范围之外的? 譬如说, 从纤维增强薄板切割下来的试件, 它们含有的纤维线, 有比平均数多一根或少一根的情况, 因而成为“离群数据”了。对这些数据, 只有用统计学方法分析它们, 以找出是否有充分的理由认为 10 个已经获得的数据都是来自一组样品(即材料之间没有差别)而不是来自两个不同的样品组(即 A 比 B 更抗冲击), 方能判别两个样品组之间是否确实存在真正的或重要的差别。统计学研究的较大部分, 是学习如何评估关于检验中具体操作的随机误差的大小。

1.7.2 变异性

所有测量都存在变异性。我们需要知道变异性的来源，并对它的大小作出可靠估计。然后从这些资料，我们可以判断测试结果的可靠性，并由此判断结果的意义。

产生变异性的原因很多。在测试塑料薄片拉伸强度时，必需考虑到材料内在的变异性。因为塑料薄片不是完全地均质的。变异性也来源于测试过程的变化，包括试片制备、试验机准确度和操作者的误差。这个薄片，仅是从由一批原料制造的薄片总体中取的一个样品，因此，如果测试的薄片多于一个，就引入了由于模塑工艺差异的变异性。不同的批会因为配料或混合工艺的变化产生差异。不同的测试机器、不同的操作人员和不同的实验室都可进一步引入变异性。

测试者总希望仔细地以标准化的制备和测试程序、设备的经常校准和操作人员的培训，来减少结果的变异性。应该对以下两种误差加以区别：(a)随机误差，例如，由于材料的差异；(b)固误差或系统误差，例如，由于试验机校正有错误。

必需分清准确度和精密度。准确度是测试结果对真实结果的接近程度，而精密度是重复测量结果之间吻合的接近程度。为使变异性最小，我们应希望测试方法尽可能具有重复性，因准确度差，如使测试有大的偏差，那么即使精密度高也无济于事。所以，我们要求的是两者，而且两者之间确实也有联系，即精密度(可重复性)差会导致准确度降低。

多数性能测试结果的分布将是正态分布或高斯(Gaussian)分布。因此若有足够多的测试结果，以频率(测量值频率)对测量值本身作图，将如图 1-4 所示的形状。一组几个值的算术平均值 $\bar{X}$ 定义为：