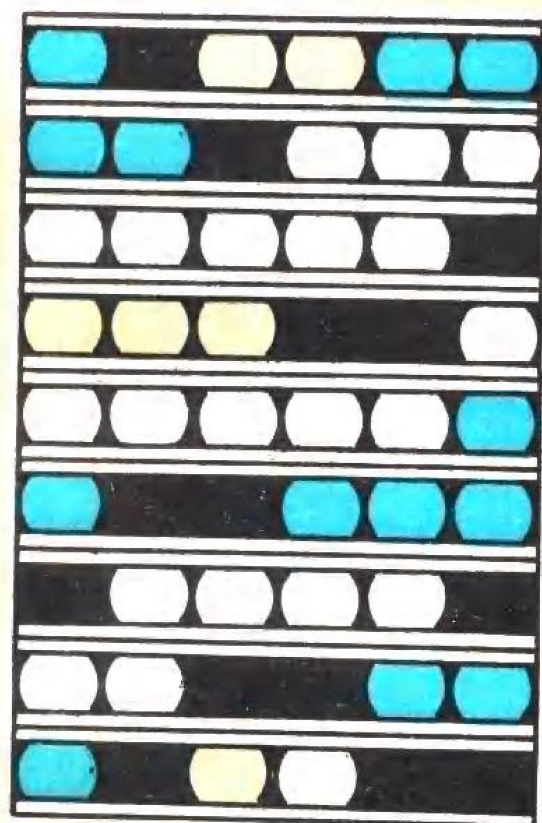


# 塑料测试技术手册

〔美〕维苏·增 著



中国石化出版社

8-11 6072

# 塑料测试技术手册

〔美〕维苏·珊 著

徐定宇 王豪忠 译

54315.105

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书是一本专门论述塑料材料性能测试的手册,它几乎包括了塑料材料全部物理-化学-机械性能的测试。全书除有标准性能测试方法外,还收集了许多有关材料(包括原料)的分析试验方法和制成品的测试标准和方法,本书对从事塑料性能测试的科研和工程技术人员有一定的参考价值,对聚合物材料科学、塑料和橡胶加工专业的大、专院校师生也是一本不可多得的参考工具书。

全书共十九章,并附有内容广泛的附录。其中第一至第七章及全部附录由徐定宇翻译,第八至第十九章由王豪忠翻译,全书由徐定宇统稿,全书正文由过梅丽校订。

VISHU SHAH

## Handbook of Plastics Testing Technology

John Wiley & Sons, Inc. 1984

### 塑料测试技术手册

〔美〕维苏·珊 著

徐定宇 王豪忠 译

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

仰山印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 22<sup>1</sup>/<sub>4</sub>印张 1插页 563千字 印1—3800

1991年7月北京第1版 1991年7月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-102-9/TQ·064 定价:9.70元

## 前 言

编写本书的愿望主要是基于没有一部关于塑料材料测试方面的综合性书籍。有关塑料测试方面的大多数文献主要分散于商业文本、技术册子以及民间组织内部的材料测试步骤之中,而在塑料文献中关于测试步骤的解释又非常简略,过于简化。本书的主要目的是提供一本技术性不很强,但通用且实际的手册。其重点在于强调测试的意义,也就是说为什么要进行测试,而对如何进行测试则没有过多的强调。

多少年来,美国材料试验协会(ASTM)在为工业提供标准测试步骤方面做了很多工作。然而ASTM出版的有关书籍所讨论的测试步骤中又缺少测试方面的理论,其全部重点不在测试意义而在测试步骤。ASTM出版的书籍中也缺乏实际的商品测试装置的图表和照片。本书的目的是试图作为一座桥梁,以协调ASTM书籍中对试验的描述过于简化而且解释不够详细,和现有书籍中技术性太强但实用性不足的问题。

本书主要是为想要掌握塑料测试方面基础知识的初学者,而不是为塑料测试方面的专家和专业人员编写的。基于这个原因,我们避开详细的讨论和使用技术性很强的术语。本书的对象是与塑料生产、测试、研究或开发有关的所有读者,目的是要引起塑料工业领域大多数人的兴趣。

本书第一章讨论了测试的基本概念,制定规范和标准的目的,也讨论了基本规范形式和分类系统。在以后的几章里,分别论述了五个方面基本物性的测试:塑料的力学性能、热性能、电性能、耐老化性能和光学性能。在力学性能一章中详细讨论了塑料的基本应力应变特性,从而对测试方法获得清晰的了解。在讨论塑料材料特性鉴定的第七章里给出了有关当今特性鉴定技术的最新的综述。第八章对聚合物的燃烧过程及各种测试步骤作了简单的解释,旨在概要地说明调节处理步骤的重要性,这里所概括的大多数常用的调节处理步骤表很有价值。另外,我们把难于归入某一类的测试方法放在讨论各种其他测试方法的第九章中,并对许多加工厂忽视的最终产品测试问题作了讨论,对通常的最终产品测试提出了一些有用的建议。

关于鉴定分析的第十三章对与塑料有关的每个人都很重要,而对塑料回收和再加工人员则更为有用。这章的操作程序图总括了整个鉴定技术内容。由于泡沫塑料测试现有许多不同的测试方法,因此对每一种测试方法只能作扼要的解释。有关破损分析这一章是材料供应商普遍采用的方法汇编。实践将证明,分析产品破坏的逐步分析方法对进行破坏分析的任何人都很有价值。虽然质量控制不包括在测试内容里,但由于它同塑料有关,所以为解释质量控制,我也把它纳入了本书。有关外观标准、成型控制、工艺标准这一节就是很好的例子。在对产品的要求不断增加的这个世界里,关于产品要求和测试这一章对每个人来说就显得有价值了。

为了扩大本书的使用范围和达到提供一本塑料测试方面参考书的目的,在书后给出了许多附录。读者可以由此找到非常有用的资料:测试设备制造厂名录、术语汇编,各独立实验室的资料和塑料规范指南。在附录内还列有很多有用的图表。在全书范围内,在可能的地方都给出了大量的图表、设备示意图和实物照片。

编写本书,难免有折衷之处。对于个别读者来说,有的地方可能觉得叙述过多,有的地方又略嫌不能满足需要。尽管作者作了很大努力尽量减少本书的不足和错误,但仍不可避免。为了进一步改进和提高,欢迎读者多提有益的批评意见。

维苏·珊

1983年10月于美国加利福尼亚,波莫纳

41934

# 目 录

|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| <b>第一章 基本概念</b> .....( 1 )   | 外暴露试验及其局限性.....( 91 )            |
| 第一节 基本概念.....( 1 )           | <b>第六章 光学性能</b> .....( 93 )      |
| 第二节 规范和标准.....( 2 )          | 第一节 引言.....( 93 )                |
| 第三节 规范的目的.....( 2 )          | 第二节 折光指数.....( 93 )              |
| 第四节 基本规范的格式.....( 3 )        | 第三节 透光率和雾度.....( 94 )            |
| <b>第二章 力学性能</b> .....( 5 )   | 第四节 光弹性.....( 96 )               |
| 第一节 引言.....( 5 )             | 第五节 颜色.....( 98 )                |
| 第二节 拉伸试验.....( 9 )           | 第六节 镜面光泽度.....(103)              |
| 第三节 弯曲性能.....( 13 )          | <b>第七章 材料物性试验</b> .....(106)     |
| 第四节 压缩性能.....( 16 )          | 第一节 引言.....(106)                 |
| 第五节 蠕变性能.....( 17 )          | 第二节 熔体指数试验.....(106)             |
| 第六节 应力松弛.....( 33 )          | 第三节 毛细管流变仪试验.....(109)           |
| 第七节 冲击性能.....( 34 )          | 第四节 粘度试验.....(112)               |
| 第八节 剪切强度.....( 47 )          | 第五节 凝胶渗透色谱.....(114)             |
| 第九节 磨损.....( 48 )            | 第六节 热分析技术.....(115)              |
| 第十节 耐疲劳性.....( 49 )          | 第七节 热固性塑料特性试验.....(122)          |
| 第十一节 硬度试验.....( 52 )         | <b>第八章 可燃性</b> .....(129)        |
| <b>第三章 热性能</b> .....( 59 )   | 第一节 引言.....(129)                 |
| 第一节 引言.....( 59 )            | 第二节 可燃性试验(软质塑料).....(132)        |
| 第二节 高温性能试验.....( 59 )        | 第三节 可燃性测试(自支承性塑料).....(133)      |
| 第三节 导热性.....( 67 )           | 第四节 耐灼烧测试.....(133)              |
| 第四节 热膨胀性.....( 70 )          | 第五节 塑料的点燃性能.....(135)            |
| 第五节 脆化温度.....( 72 )          | 第六节 氧指数测试.....(137)              |
| <b>第四章 电性能</b> .....( 74 )   | 第七节 材料表面的燃烧特性.....(139)          |
| 第一节 引言.....( 74 )            | 第八节 泡沫塑料的可燃性——垂直<br>位置.....(141) |
| 第二节 介电强度.....( 74 )          | 第九节 泡沫塑料的可燃性——水平<br>位置.....(141) |
| 第三节 介电常数和介质损耗因子.....( 76 )   | 第十节 难点燃塑料的阻燃性.....(142)          |
| 第四节 电阻试验.....( 77 )          | 第十一节 烟雾生成试验.....(142)            |
| 第五节 耐电弧性.....( 78 )          | 第十二节 UL94可燃性测试.....(145)         |
| 第六节 UL技术要求.....( 79 )        | 第十三节 满足材料阻燃性的要求.....(148)        |
| <b>第五章 耐候性</b> .....( 83 )   | <b>第九章 化学性质</b> .....(151)       |
| 第一节 引言.....( 83 )            | 第一节 引言.....(151)                 |
| 第二节 加速大气老化试验.....( 84 )      | 第二节 浸渍试验.....(151)               |
| 第三节 塑料的户外老化.....( 89 )       | 第三节 塑料的耐锈蚀性.....(152)            |
| 第四节 塑料的抗霉菌性.....( 90 )       | 第四节 耐溶剂应力开裂.....(152)            |
| 第五节 塑料的抗细菌性.....( 91 )       | 第五节 耐环境应力开裂性能.....(154)          |
| 第六节 加速抗细菌生长试验的局限性.....( 91 ) |                                  |
| 第七节 研究塑料的抗霉菌和抗细菌的户           |                                  |

|                                  |                                         |
|----------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>第十章 分析测试</b> .....(157)       | <b>第十七章 产品责任和测试</b> .....(233)          |
| 第一节 引言.....(157)                 | 第一节 引言.....(233)                        |
| 第二节 比重.....(157)                 | 第二节 产品或设备设计依据.....(234)                 |
| 第三节 密度梯度法测定密度.....(159)          | 第三节 包装要求.....(234)                      |
| 第四节 堆(表观)密度测试.....(159)          | 第四节 使用说明书、警告标记和<br>培训.....(234)         |
| 第五节 吸水性.....(159)                | 第五节 测试和记录的保管.....(234)                  |
| 第六节 水分分析.....(160)               | <b>第十八章 无损检验</b> .....(236)             |
| 第七节 筛分(颗粒尺寸)测试.....(161)         | 第一节 引言.....(236)                        |
| <b>第十一章 调节处理步骤</b> .....(164)    | 第二节 超声波检验.....(236)                     |
| 第一节 调节处理.....(164)               | 第三节 超声波在塑料非破坏测试中<br>的作用.....(238)       |
| 第二节 调节处理描述.....(164)             | <b>第十九章 专业组织和测试机构</b> .....(241)        |
| <b>第十二章 其他试验</b> .....(166)      | 第一节 美国国家标准学会.....(241)                  |
| 第一节 扭矩流变仪试验.....(166)            | 第二节 美国材料试验协会.....(241)                  |
| 第二节 增塑剂吸收试验.....(168)            | 第三节 美国食品及药物管理局.....(242)                |
| 第三节 杯模粘度试验.....(170)             | 第四节 国家标准局.....(242)                     |
| 第四节 爆破强度试验.....(171)             | 第五节 国家电机[设备]制造业协会.....(242)             |
| 第五节 破裂试验.....(174)               | 第六节 国家防火协会.....(243)                    |
| 第六节 丙酮浸渍试验.....(175)             | 第七节 国家卫生基金会.....(243)                   |
| 第七节 醋酸浸渍试验.....(175)             | 第八节 塑料技术鉴定中心.....(243)                  |
| 第八节 最终产品试验.....(175)             | 第九节 塑料工程师协会.....(244)                   |
| <b>第十三章 塑料的鉴别分析</b> .....(178)   | 第十节 塑料工业协会.....(244)                    |
| 第一节 引言.....(178)                 | 第十一节 美国保险业研究室.....(244)                 |
| 第二节 鉴别聚合物的化学分析和热分<br>析.....(180) | 附录一 塑料测试设备制造厂家索引.....(246)              |
| 第三节 塑料的鉴别.....(181)              | 附录二 聚合物名称缩写与商品生产厂家.....(249)            |
| <b>第十四章 泡沫塑料的测试</b> .....(187)   | 附录三 词汇解释.....(252)                      |
| 第一节 引言.....(187)                 | 附录四 化学介质对塑料影响指南.....(261)               |
| 第二节 硬质泡沫塑料的试验方法.....(187)        | 附录五 热塑性工程塑料性能选择指南.....(264)             |
| 第三节 软质泡沫塑料的试验方法.....(192)        | 附录六 塑料树脂简明流程图.....插 页                   |
| 第四节 泡沫塑料的性能.....(204)            | 附录七 溶剂选择指南.....(269)                    |
| <b>第十五章 破损分析</b> .....(205)      | 附录八 塑料及其他材料的力学性能.....(270)              |
| 第一节 引言.....(205)                 | 附录九 塑料及其他材料的热性能.....(279)               |
| 第二节 破坏类型.....(205)               | 附录十 塑料及其他材料的电性能.....(287)               |
| 第三节 破坏分析.....(206)               | 附录十一 各种塑料(包括增强和填充型)<br>的性能及用途.....(289) |
| <b>第十六章 质量控制</b> .....(211)      | 附录十二 橡胶和弹性体.....(339)                   |
| 第一节 引言.....(211)                 | 附录十三 本书非法定单位换算表.....(347)               |
| 第二节 统计质量控制.....(211)             |                                         |
| 第三节 质量控制系统.....(224)             |                                         |
| 第四节 总则.....(232)                 |                                         |

# 第一章 基 本 概 念

## 第一节 基 本 概 念

不久以前，测试这个观念只不过是采购后的一种工作。但现在，随着科学技术的进步，测试这个概念已成为研究和开发、产品设计和制造等整个工作的一部分。常常有人会提出这样的问题：为什么要测试？回答很简单，时代已经变化。今天我们做事情的方式已不同于过去。现在强调的是自动化、产量高、成本低。对形状复杂、配合精度高的零件需要得越来越多。用户对产品的了解是从前制造厂、商完全忽略的一个问题，但今天已成为一个主要考虑的方面。除了需要以外，我们优先考虑的问题也发生了变化。当设计一台机器或一个产品时，多数情况下，首要的是安全和卫生。制造和供应厂商现在必须满足各种标准和规范。显然，仅仅依靠过去的经验和工艺质量是根本不够的。以下是需要测试的一些主要理由：

- (1) 验证设计设想。
- (2) 提供可靠性基础。
- (3) 安全。
- (4) 使产品适于配套。
- (5) 质量控制。
- (6) 满足标准和规范。
- (7) 符合工艺要求。
- (8) 评价竞争者的产品。
- (9) 建立新材料档案。

近二十年来，几乎每家制造厂商都转向塑料，以求降低成本、实现自动化和获得高的产量。在短短的时期内，聚合物产量的爆炸性增长和产品的多样化，迫使塑料工业特别重视测试并开发了各种测试方法。经过各种标准化组织，材料供应厂商，尤其是美国材料试验协会（ASTM）的各委员会的艰苦努力，目前已经开发了2000个以上的各种测试方法。

人们之所以需要开发特为塑料设计的标准测试方法，有两个主要原因。最初，塑料的性能是仿照金属和其他类似材料的测试方法测定的。例如悬臂梁式（Izod）冲击试验就是从测试金属的手册中得来的。但是，塑料材料的性能与金属很不相同，因此不得不对测试方法经常作一些改变。结果，各个部门又编写了大量非标准的试验方法。为了确定同一性能，出现了8~10个不同的和独立的测试方法。这种做法在原材料的开发者、供应厂商、设计工程师和最终使用者之间造成了混乱。要适应各种测试方法并理解所报道的测试值的真实含义就变得越来越困难。把大家所公认的测试方法标准化，就能解决开发者、设计者和最终使用者互通信息的问题，使他们在比较各种测试数据和结果时，有了共同的语言。

尽管各种测试方法已标准化，但在塑料工业中，我们仍面临着使大家理解和解释测试数据的问题。这是因为测试方法的复杂性以及试验和测试机构数目众多的缘故。解决这个问题关键是充分理解各种测试方法的意义是什么，以及测试结果在应用中的意义<sup>(1)</sup>。不幸的



是,塑料工业更多强调的是怎样测试,而不是强调为什么测试。从强调测试结果和理解测试值的真实含义的观点出发,来理解为什么测试就显得更重要了。人们对热变形温度的真实含义还缺乏理解,常把它解释为在该温度下,塑料材料长时间经受静态或动态载荷的作用,就是一个最典型的错误理解的例子。在第二章中,我们集中讨论了物理性能的数据和测试方法意义的解释及其局限性。最后应注意,大多数物理性能试验有相当大的误差,这一点是极为重要的。通常应考虑测试的误差为 $\pm 5\%$ 。有些试验比另一些试验更精确些。这种测试误差来源于三个主要方面:一是来自基本实验本身;二是来自试验的操作者;三是来自试样的变化。当评价试验数据并对测试数据做出判断时,人们必须分析误差因素以确定试验数据中存在的有效误差<sup>[2]</sup>。

## 第二节 规范和标准

规范是对要求、量纲、材料等的详细说明。标准则是在测量或鉴定容量、数量、含量、程度、数值、质量等方面作为一种法则或比较基础而建立。

塑料材料的规范有根据密度、拉伸强度、导热性和其他有关性能规定的特殊要求。规范还与确定这些性能所用的标准测试方法有关。因此,测试和鉴定的标准方法一般能作为规范中所要求的性能测定所需的基础<sup>[3]</sup>。

如前所述,标准的最终目的是建立一种共同的语言,这样使在开发者、设计者、制造者和最终使用者和其他有关方面之间不致造成混乱或发生语言不通。标准的好处是很多的。标准化给工业带来的好处是能够提高效率、提高产量、保证均一的高质量商品和提出新的问题。标准化为国际贸易、技术交流、共同市场的建立打开大门。人们能想象,如果工业上没有距离、质量和时间等基本单位的定义,如果没有政府规定的度量衡标准,将会造成怎样的混乱局面<sup>[4]</sup>。

标准来自于各个方面,大多数标准来自工业。一般地说,工业标准是由民办的组织机构建立的,这些机构做了很多努力来探求大家能采纳并能代表一种共同意见的标准。一些最常见的标准化组织有美国材料试验协会、美国全国卫生基金会、美国保险业研究室、国家电气制造者协会和汽车工程师协会。通常,工业标准并不提供足够的信息,也可能不适合于某种用途。在这种情况下,私营公司被迫制定它们自己的公司标准。一般来说,公司标准是工业标准经过修改得来的。

联邦政府也是制订标准化的一个主要组织。与塑料有关的标准和规范是由美国国防部和公共服务署提出的,分别列在军用标准和联邦标准中。

第二次世界大战以后,国际贸易有了巨大的发展。为了国际标准化,又建立了国际标准化组织(ISO)。ISO由世界50多个国家的国立标准团体组成。ISO的标准化工作由5个或更多国家订立协议建立的技术委员会来实施。ISO关于塑料的61技术委员会是整个ISO委员会中工作最富有成效的委员会。

## 第三节 规范的目 的

编写规范的理由很多,但是最主要的目的是帮助采购部门按照同一标准采购设备、材料和产品,一般来说,工程部门所编的规范,可使采购代理商符合其规格要求,保证在不同时



期收到的材料的规格在规定的范围之内<sup>(5)</sup>。规范还要保证不同批物料的均一性，避免在买主和卖主之间产生混乱。

## 第四节 基本规范的格式

关于规范的写法已经有了许多说明。材料的规范应有如下内容：

- (1) 反映内容的标题和名称。
- (2) 简明但包括整个内容的条文。
- (3) 可应用的资料。
- (4) 分类法系统。
- (5) 有关术语的定义。
- (6) 材料和制造要求。
- (7) 物理性能要求。
- (8) 抽样方法。
- (9) 试样制备和试样处理要求。
- (10) 可适用于规定对象的试验方法的描述或参考资料。
- (11) 验收要求。
- (12) 复验和拒收的说明。
- (13) 包装和标记要求。

### 一、分类系统

由于供应的塑料材料是很少不加添加剂和填料的，因此必须采用一种分类系统以避免混乱。例如，根据熔体流动分类，聚甲醛树脂的规格有两个型号，I型是注射模塑料，II型是挤出料。根据用途又可把这两类再分为不同等级(A、B、C)。A级是本色，只含有一种抗氧剂的通用级树脂；B级是黑色，含炭黑颜料，耐候性好的树脂；C级是本色，含光稳定剂，耐候性好的树脂。表1—1列出了聚甲醛树脂的详细技术要求。

### 二、技术要求

根据分类法，物理性能要求应包括具体的定量资料。表1—2列出了模塑试样性能的详细技术要求。

表1—1 聚甲醛树脂作注塑料和挤出料的详细技术要求

|                            | I 型  | II 型 |
|----------------------------|------|------|
| 比重, 23/23°C (73.4/73.4°F): |      |      |
| 最小                         | 1.39 | 1.39 |
| 最大                         | 1.44 | 1.44 |
| 熔点, 最小, °C                 | 158  | 158  |
| 熔流速率, 克/10分                |      |      |
| 载荷1050克:                   |      |      |
| 最小                         | 3.5  | —    |
| 最大                         | —    | 2.0  |
| 载荷2160克:                   |      |      |
| 最小                         | 7.5  | —    |
| 最大                         | —    | 4.3  |

表1—2 模塑试样性能的详细技术要求

|                                                | I 型    |        |        | II 型   |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                                | A 级    | B 级    | C 级    | A 级    |
| 拉伸屈服强度                                         |        |        |        |        |
| 23°C (73.4°F), 最小兆帕                            | 55.2   | 55.2   | 55.2   | 55.2   |
| 磅/英寸 <sup>2</sup>                              | 8000   | 8000   | 8000   | 8000   |
| 伸长率, 23°C (73.4°F) 最小, %                       | 10     | 10     | 10     | 10     |
| 弹性模量 (拉伸)                                      |        |        |        |        |
| 23°C (73.4°F), 最小兆帕                            | 2415   | 2415   | 2415   | 2415   |
| 磅/英寸 <sup>2</sup>                              | 350000 | 350000 | 350000 | 350000 |
| 载荷下的热挠曲温度1.82兆帕 (264磅/英寸 <sup>2</sup> ) °C, 最小 | 100    | 100    | 100    | 100    |
| 耐候性, 起始伸长的保留率, 最小, %                           | —      | 65     | 50     | —      |

### 三、抽样和试样处理

为了使试验结果反复重现, 就必须严格遵守抽样和试样处理方法。同时对抽样和处理方法还必须明确加以规定。

### 四、测试方法

如果没有合适的关于测试方法的资料, 则规范就无用。必须规定标准的和一般可接受的试验方法。如果没有标准的测试方法, 那么测试的详细说明和要求就应成为整个规范的一个部分。

### 参 考 文 献

1. Lamond, L., "Right Perspective on Test Data Matches Material to Application Criteria," *Plastics Design and Processing* (Mar 1976), pp. 6-10.
2. "A Guide to Standard Physical Test for Plastics," *Dupont Tech. Rept. No. TR 91*.
3. Schmitz, J. V. (Ed.), *Testing of Polymers*, Interscience, New York, 1965, p. 3.
4. *Ibid*, p. 4.
5. *Ibid*, p. 22.

## 第二章 力学性能

### 第一节 引言

在塑料材料的所有性能中，力学性能常常是最重要的性能。这是因为实际上塑料在所有的工作条件和大多数最终使用都要承受某种程度的力学负载。但是，这些性能恰恰是多数设计工程师最不了解的。根据不同的使用情况来选择材料往往要建立在力学性能（如拉伸强度、模量、伸长率和冲击强度）的基础上。这些数值一般都是从材料供应厂商提供的技术资料中得来的。他们常常过多地强调对不同类型塑料牌号已发表的性能数据作比较，但却不注重说明力学性能的真正意义以及它们与最终使用要求之间的关系。在实际应用中，塑料很少（即使有，也很少）只经受一种单一的均匀形变而不存在其他有害的因素（例如环境条件和温度）。因为已发表的塑料力学性能数据都是在实验室标准测试条件下测得的，因此根据它来选择和确定某种材料显然是危险的。因此，对力学性能和测定力学性能所用的方法以及有害条件对长期力学性能的影响有一个透彻的了解是极其重要的。

对于设计工程师来说，对塑料的应力-应变行为有一个基本了解是至关重要的。图2—1是一种典型的应力-应变（负载-形变）图。为了更好地理解应力-应变曲线，必须定义以下几个与应力-应变图形有关的基本术语。

**应力：**作用于被测试样单位面积上产生形变的力。应力是作用负载与起始横截面积之比，用磅/英寸<sup>2</sup>表示<sup>(2)</sup>。

**应变：**伸长度与试样的计量长度之比，简而言之就是单位原始长度试样的长度变化（ $\Delta l/l$ ）。它用一个无量纲的比值来表示。

**伸长率：**拉伸负载所引起试样长度的增加。

**屈服点：**应力-应变曲线上的应力不再增加，而应变增加的第一个点。

**屈服强度：**应力-应变偏离比例关系时材料所承受的极限应力。除另有说明外，这个应力就是屈服点对应的应力。

**比例极限：**一种材料能够承受所施加的负载而不使应力-应变关系发生任何偏离虎克定律时的最大应力，以磅/英寸<sup>2</sup>来表示。

**弹性模量：**在材料的比例极限以下，应力与相对应的应变之比，通常用 $F/A$ 表示，单位为磅/英寸<sup>2</sup>。它也称为杨氏模量。模量是表征材料刚度的量。

**极限强度：**当材料受到压缩、拉伸或剪切作用时所能承受的最大的单位应力，用磅/英寸<sup>2</sup>表示。

**正割模量：**在应力-应变曲线上任何一点的应力与应变之比。它也用 $F/A$ 或磅/英寸<sup>2</sup>表示。

图2—1所示的应力-应变曲线是在恒定的拉伸速率下得到的典型应力-应变曲线。但是，与其他负载条件（例如压缩或剪切条件）下所得到的曲线也十分相似。

从图中看出，A点和C点之间的应力-应变曲线起始部分是线性的，它遵循虎克定律。这说

明对于一种弹性材料来说, 应力与应变成正比。实际曲线开始偏离直线的C点被称为比例极限, 它表示在该点以前应力与应变是正比的。在比例极限以下, 塑料表现出弹性行为, 因此形变可回复。在图2—1上, B点之前, 形变比较小。这类形变与塑料分子中原子之间链的弯曲和伸张有关, 见图2—2(a)。这类形变是瞬时产生并可恢复的。分子之间没有永久位移。图2—1上超过C点以后发生的形变是由于分子卷曲部分伸展所致[图2—2(b)]。没有分子之间相对的滑移, 形变最终可回复, 但不是瞬间回复。超过屈服点或材料弹性极限以后发生的伸长则是不可回复的, 如图2—2(c)所示。这种形变是由于分子之间发生真正的相对位移引起的。位移了的分子不能滑回到它们原来的位置, 因此出现了永久形变。图2—2所示的这三种形变往往不是单个分别地出现, 而是彼此叠加在一起。原子之间链的弯曲和伸长几乎是瞬时发生的, 但是分子的伸展比较缓慢, 而分子滑移应是三种形变中最慢的一种。

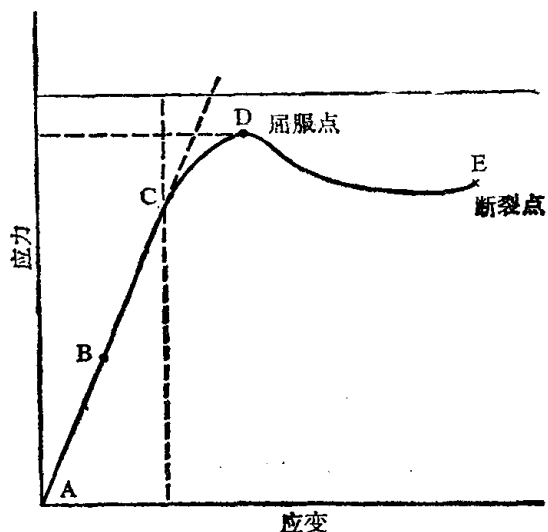


图2—1 典型的应力-应变曲线

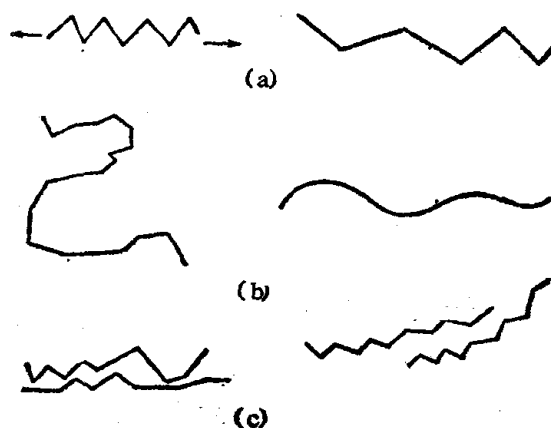


图2—2 伸长类型

(a) 链的弯曲; (b) 链的伸展; (c) 滑移

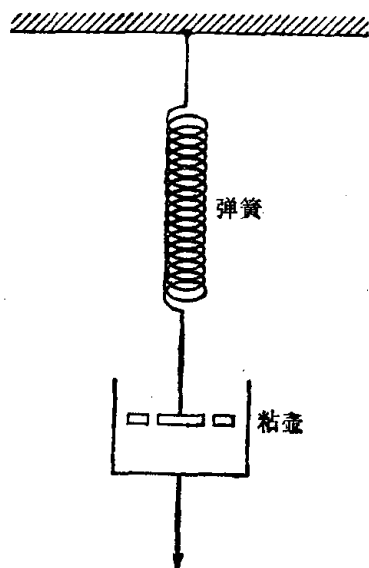


图2—3 马克斯韦模型

这类形变可进一步用一个力学模型来说明, 这种模型描述塑料在不同的条件下的行为。图2—3中所示的模型称为马克斯韦模型, 它是由一个弹簧和粘壶所组成的。弹簧是理想的弹性体或虎克体, 可以表现正常的弹性行为。弹簧伸长类似于原子间链的弯曲和伸长引起的形变。假如用一根非线性弹簧代替一根线性弹簧, 则形变类似于因分子卷曲部分的伸展所引起的形变。粘壶中盛有粘性液体, 在活塞圆盘运动时, 粘性液体就会从活塞盘的小孔中泄漏出去。粘壶所发生的伸长是不能回复的, 产生相应的永久位移。它们代表分子间滑移的结果。

还有许多有意义的相互关系可以用力学模型来表示, 如温度对聚合物力学性能的影响。例如在高温下, 粘壶中液体的粘度会降低, 使得活塞比较容易滑动, 从而使伸长较大。反之, 在较低的温度下, 液体变得更加粘稠, 并且在发生明显的伸长之前就会发生破裂, 类似于脆性断裂。其他相关性包括各种泄漏速率和负载速率的模型<sup>(2)</sup>。Rodriguez<sup>(3)</sup>、

Bear<sup>(4)</sup>和Williams<sup>(5)</sup>详细讨论过许多其他各种力学模型。

聚合物材料可以按照它们的相对刚度、脆性、硬度和韧性大致地进行分类,而拉伸应力-应变图形可以作为这种分类的基础<sup>(6)</sup>。应力-应变曲线下的面积可认为代表聚合物材料的韧性。图2—4(a)给出了几种聚合物材料的典型的拉伸应力-应变曲线。

软而弱的材料以低模量、低屈服应力和中等断裂伸长为其特性。聚四氟乙烯是这类塑料的典型例子。

软而强的材料以低模量、低屈服应力、高断裂伸长和高断裂应力为其特性。聚乙烯是这类塑料的典型例子。

硬而脆的材料以高模量和低伸长为其特性。在断裂之前它可能屈服也可能不屈服,常见的酚醛塑料就属于这一类。

硬而强的材料模量高、屈服应力高,并具有高的断裂伸长和高的极限强度。聚碳酸酯被认为是硬而强韧的材料。图2—4(b)示出了延展性和强度间的关系。

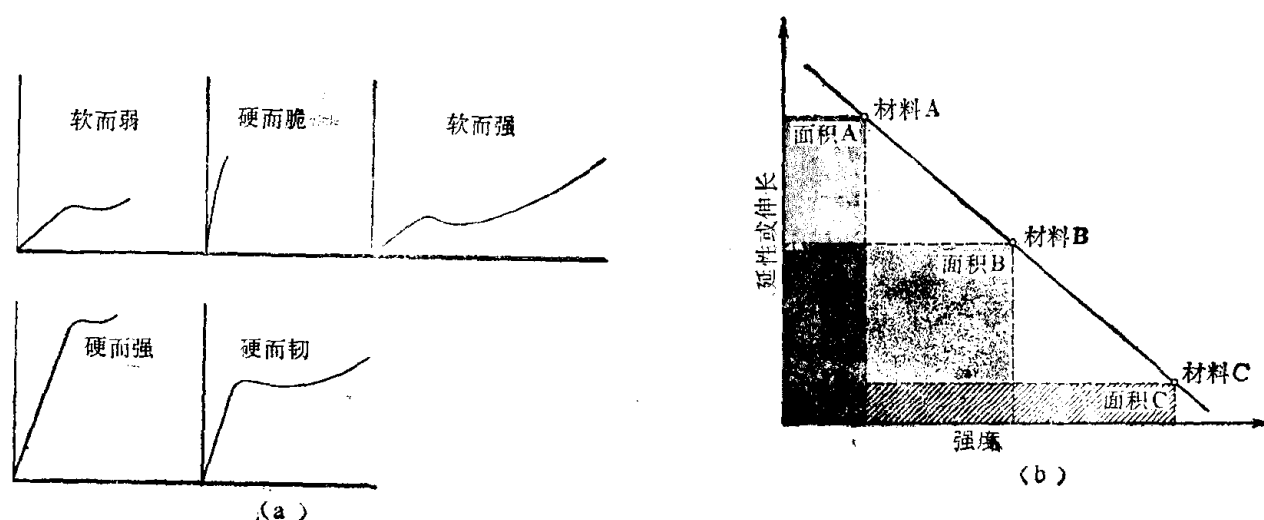


图2—4 (a)应力-应变曲线的类型;

(b)延性和强度间的关系

注:在(b)图中,脆性与曲线以下面积的关系是,热塑性复合材料吸收能量的能力与强度和延性有关,呈反比关系。总吸收能量正比于曲线下包括的面积。材料A是一种类似橡胶的材料,与材料C韧性相等(曲线下面积),而材料C是类似金属的材料。多数塑料(如材料B)则介于这两者之间

表2—1列出了应力-应变曲线的特性与聚合物性能的关系。在某些应用中,设计人员了解塑料的拉伸和压缩应力-应变行为是很重要的。在应变较低时,拉伸和压缩应力-应变曲线几乎相同。因此,在低的应变下,压缩模量等于拉伸模量。但是,在较高的应变水平下,压缩应力明显地高于相应的拉伸应力。这种效应可由图2—5说明。

应力-应变试验可认为是一种短期试验,在试验中材料受力的时间较短。它限制了应力-应变试验在实际设计塑料零件中的使用性。应力-应变试验没有考虑塑料的刚度和强度对时间的依赖性。当设计一个零件时,这种严重的局限性可以用蠕变和应力松弛数据来弥补。

应力松弛是对试样施加一固定的形变,测量维持该形变所需的负载与时间的关系。蠕变是对试样作用一固定的负载,测量所得的形变与时间的关系<sup>(8)</sup>。蠕变和应力松弛效应如图2—6示意。塑料的蠕变和冷流行为示于图2—7。一旦向试样施以应力,则材料的弹性形变就立即发生并持续到负载去除为止。但相当一部分弹性回复并不立即发生,而是逐渐回复到

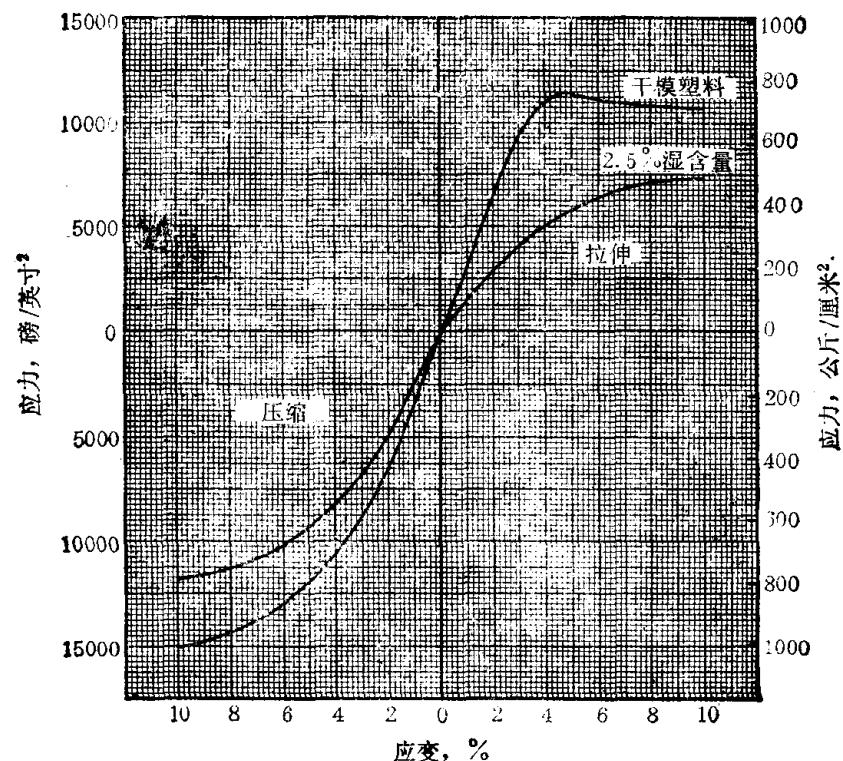


图2—5 牌号为Zytel101聚合物的拉伸与压缩应力-应变曲线 (23°C)

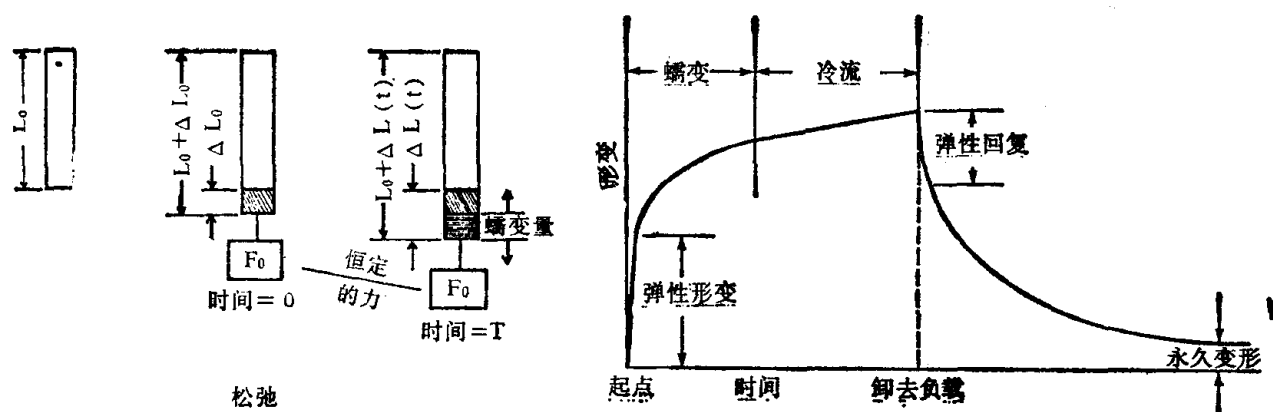


图2—7 蠕变和冷流示意图

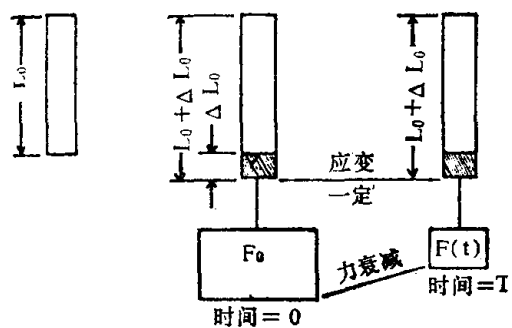


图2—8 蠕变和应力松弛示意图

试样的起始尺寸或起始长度。如果回复是不完全的，则这种材料就认为产生了永久形变。永久形变的大小与施加的应力、时间的长短和材料的温度有关<sup>[9]</sup>。聚合物的这种蠕变行为还能用串联的马克斯韦和沃伊特 (Voigt) 元件的力学模型来表示<sup>[10,11]</sup>。

表2—1 表征聚合物性能的应力-应变曲线的特性

| 聚合物类型 | 模 量 | 屈服应力 | 断裂强度 | 断裂伸长 |
|-------|-----|------|------|------|
| 软而弱   | 低   | 低    | 低    | 中    |
| 软而韧   | 低   | 低    | 屈服应力 | 高    |
| 硬而脆   | 高   | 无    | 中    | 低    |
| 硬而强   | 高   | 高    | 高    | 中    |
| 硬而强韧  | 高   | 高    | 高    | 高    |

## 第二节 拉伸试验 (ASTM D638)

拉伸伸长和拉伸模量的测量结果是材料强度中最重要的指标,也是规范中广泛应用的塑料性能。广义地说,拉伸试验是度量材料能承受把它拉断的拉力的大小,同时测定材料在断裂之前能伸长到什么程度。拉伸模量表示材料的相对刚度,可以从应力-应变曲线上来确定。不同类型的塑料通常以拉伸强度、伸长率和拉伸模量来进行比较。许多塑料对拉伸速率和环境条件很敏感。因此,不能把从这种方法所得到的数据应用到负载-时间尺度或环境条件与测试条件明显不同的情况中去。要从一大批塑料中优选出某种类型的塑料时,拉伸性能数据是比较有用的。但把这些数据应用到实际产品设计中时,却受到了限制,这是因为这种试验没有考虑到塑料与负载作用的时间的相关性。

### 一、仪器

使用一种恒速运动的拉力试验机。

它有一个固定的或基本固定的元件,上面装一个夹头,还有一个可移动元件,上面装有另一个夹头。为了保证两夹头对中,一般在固定元件和可移动元件之间用自动校直夹头夹持试样。同时,还采用了一种速度可调的驱动机构。一些市售的拉力试验机还采用了闭路伺服控制驱动机构以保证高度的速度精确度。并采用一种负载指示机构,使其精确度能达到所指示的总拉伸负载的 $\pm 1\%$ 或以上。最近,已倾向于用数字式的负载指示器来代替偏转指针式的指示器。这种指示器比模拟型指示器容易读数。还有一种伸长指示器,通常叫做伸长计,用于测定试样伸长时标距长度中两个标记点位置间的距离。图2—8是业已大批供应的拉力试验机。新的微处理机技术

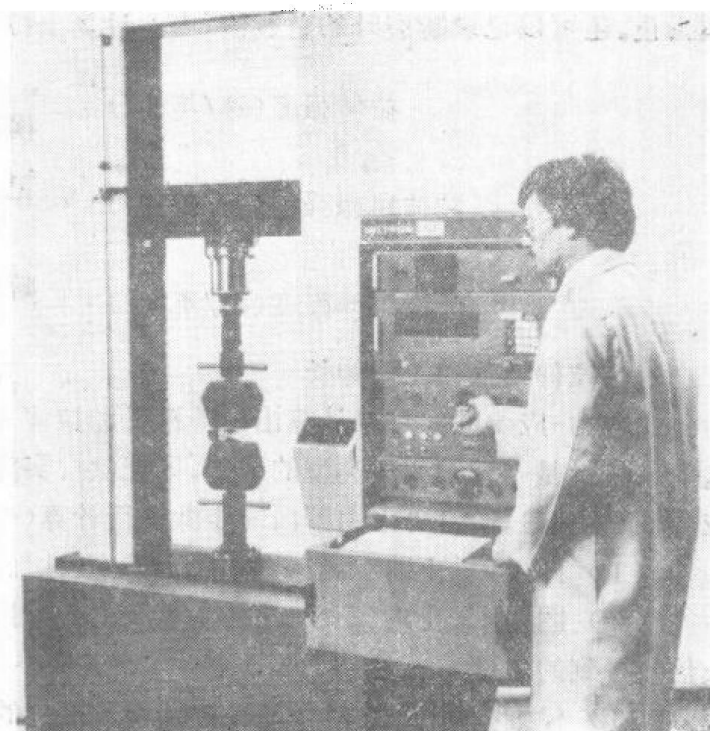


图2—8 抗张试验机



的出现实际上摆脱了耗时的手工计算,使应力、伸长、模量、能量和统计上的计算都实现了自动化,并在试验结束时给出一个直观的显示结果或打印出硬质复印件。

## 二、试样和测试条件

制备拉伸试样的方法很多。最常用的方法是注射模塑或压缩模塑;也可以通过机械加工从片材、板材和类似形状的材料上切割。试样的尺寸可根据需要作较大的变化,这在美国ASTM标准中已有详细说明。图2—9示出的ASTM D638 I型拉伸试样广泛用于测试硬塑料和半硬的塑料。

试样是在标准的测试条件下进行测试的。由于某些塑料的拉伸性能会随着温度的微小变化而发生很大的变化,因此建议在标准实验室环境条件(即温度为 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 $50 \pm 5\%$ )下进行试验。这项试验建议采用ASTM D618的A方法(将在第十一章中叙述)。

## 三、试验方法

### 1. 拉伸强度

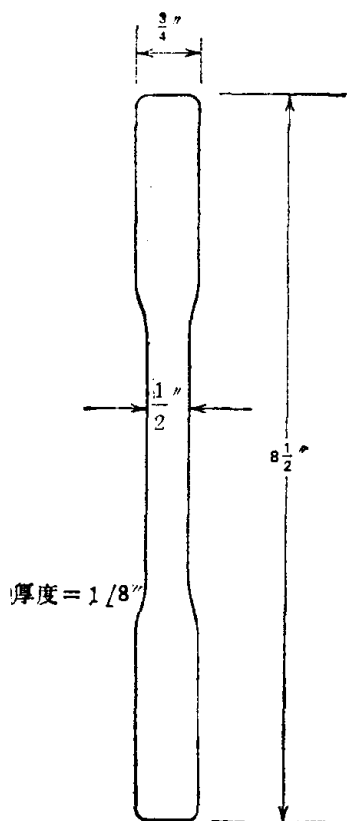


图2—9 拉伸试样(I型)

测试时,测试的速率就是夹头或夹具移动的相对速率。在ASTM D618标准中基本上有4个不同的测试速率,最常采用的测试速率是0.2英寸/分(5.08毫米/分)。测试时,试样垂直置于试验机的夹头中。夹头均匀并牢固地夹紧试样,防止试样发生任何滑移。调好测试速率,起动拉力试验机。当试验伸长时,试样上所受的力就会增加,这时用一个测力传感器检测,并用仪器将负载记录下来。有些拉力试验机还有一个能记录并在试验完成之后能够重现试样所承受的最大负载的装置。试样的伸长被连续记录,直到试样断裂为止。还可以记录断裂时的负载值。由此计算出拉伸屈服强度和断裂强度(极限拉伸强度)。

$$\text{拉伸强度(磅/英寸}^2\text{)} = \frac{\text{力(负载)(磅)}}{\text{横截面积(英寸}^2\text{)}}$$

$$\text{拉伸屈服强度(磅/英寸}^2\text{)} = \frac{\text{记录的最大负载(磅)}}{\text{横截面积(英寸}^2\text{)}}$$

$$\text{断裂拉伸强度(磅/英寸}^2\text{)} = \frac{\text{断裂时记录的负载(磅)}}{\text{横截面积(英寸}^2\text{)}}$$

### 2. 拉伸模量和拉伸伸长

由应力-应变曲线可以计算出拉伸模量和拉伸伸长。图2—10示出了夹在试样上的伸长计。这种伸长计是一种应变规类型的装置,能把试样实际伸长大大地放大,并在方格纸上同步绘出应力-应变曲线。通常可采用下面的步骤进行计算(参考图2—11,由图可得到模量和伸长值)。

(1) 图中y轴上的应力刻度单位为磅/英寸<sup>2</sup>。这是用力除以试样的横截面积得到的。

(2) 图中x轴上的应变刻度单位为英寸/英寸。应变值是将曲线上的值除以选用的放大倍数得到的。

(3) 仔细划出应力-应变曲线起始直线部分的切线KL。

(4) 在切线上选择任意两个合适的点P、L。

(5) 划垂直线PQ和LM把P和L点与图中x轴连接起来。

(6) 当应力值L为8000磅/英寸<sup>2</sup>(55.12兆帕)时,对应的应变值M = 0.08英寸/英寸(0.08毫米/毫米)。

当应力值P为3000磅/英寸<sup>2</sup>(20.67兆帕)时,对应的应变值Q = 0.04英寸/英寸(0.04毫米/毫米)。

$$\text{拉伸模量} = \frac{\text{应力差}}{\text{对应的应变差}}$$

即 
$$\text{拉伸模量} = \frac{8000 - 3200}{0.08 - 0.04} = \frac{4800}{0.04} = 120000 \text{ (磅/英寸}^2\text{)} \quad (82.68 \text{ 兆帕})$$

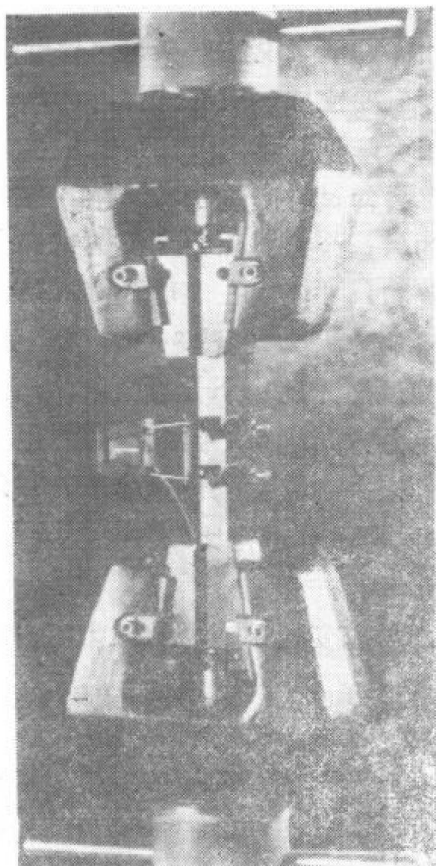


图2—10 夹在试样上的伸长计

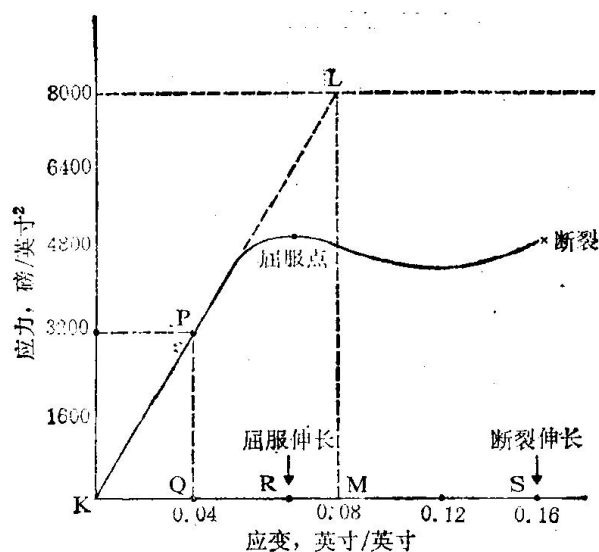


图2—11 应力-应变曲线图

### (7) 屈服伸长

$$\text{应变} = \frac{\text{长度的变化(伸长)}}{\text{起始长度(标距长度)}}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

或

$$\Delta L = \epsilon \cdot L$$

$$\text{屈服伸长} = 0.06 \times 2 = 0.12 \text{ (英寸)} \quad (3.048 \text{ 毫米})$$

$$\text{屈服伸长率} = 0.12 \times 100\% = 12\%$$

### (8) 断裂伸长率

$$\text{伸长} = 0.16 \times 2 = 0.32 \text{ (英寸)} \quad (8.128 \text{ 毫米})$$