

# 金属材料常用力学性能试验方法

戴雅康  
编著

科学普及出版社

75.23  
822

# 金属材料常用力学性能试验方法

戴雅康 编著

31474/29

科学普及出版社

## 内 容 提 要

本书详尽介绍了金属拉伸试验, 硬度试验和夏比冲击试验等常用力学性能试验方法的试验原理、力学性能指标及其意义、试样的类型和加工、对试验设备和仪器的要求、老设备的改造和新仪器的使用, 以及力学性能指标的测试技术和试验结果的处理等内容。书末附录提供了试验时必须的资料与硬度数值表。

本书的特点是将常用力学性能试验方法的最新国家标准内容融汇于力学性能试验的基础理论与实践之中, 既有理论系统性, 又有生产实用性。

本书可供有关工程技术人员和工人阅读, 也可作为冶金、机械行业宜贯常用力学性能试验方法新国家标准的教材。

## 金属材料常用力学性能试验方法

戴雅康 编著

审 定: 梁新邦

李久林

责任编辑: 王 野

封面设计: 李有志

技术设计: 王 野

\*

科学普及出版社出版(北京海淀区魏公村白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

大连铁道学院印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 7.97 字数: 162 千字

1990 年 12 月第一版 1990 年 12 月第一次印刷

印数: 1-4,000 册 定价: 4.20 元

ISBN7-110-01659-5/TG·25

## 序

金属受力后表现出各种不同的行为，显示出与弹性和非线性反应相关或涉及应力-应变关系的力学性能。金属力学性能的判据是表征和判定金属力学性能所用的指标和依据；而其高低表征金属抵抗各种损伤作用的能力，是评定金属材料质量的主要判据，也是金属制件设计时选材和进行强度计算的主要依据。金属力学性能试验乃是测定金属力学性能判据所进行的试验。可见，通过金属力学性能试验及相应测量以求得金属的各种力学性能判据的方法，对于金属材料质量检验、研制和开发新材料、改进材料质量、最大限度地发挥材料潜力、进行金属制件的失效分析、确定金属制件的合理设计、制造、安全使用和维护，都是必不可少的手段。

影响金属各种力学性能判据的因素是多种多样的，为了限制这种影响，以便测出可供分析对比和利用的各种力学性能判据，力学性能试验方法必须标准化。金属力学性能测试规程（包括试验机、试验方法、环境条件等）的规格化与标准化，对于获得精确一致的试验结果、加强各单位之间的协作和经验交流、更好地促进金属力学性能测试技术的发展，都是非常必要而应该大力推行的。

近年来，我国在参照国际标准化组织（ISO）标准和国外先进标准的基础上，进行了金属力学性能试验方法国家标准的制定、修订工作。在主管单位、技术归口单位和全国各兄弟单位的共同努力下，这方面已取得可喜的成绩。目前，我国金属力学性能试验方法国家标准已基本齐全，并达到了

国际水平。如何在全国各个领域内大力贯彻执行新国家标准，以便更好地为四化建设服务，是当前的一项迫切任务。

《金属材料常用力学性能试验方法》是作者结合近年来颁布的金属力学性能试验方法国家标准所编写的一本技术书籍。书中首先论述了金属力学性能试验方法的基本概念、试验的目的和意义以及新国家标准的特点，然后分章节详细阐述了金属拉伸试验、金属硬度试验和金属夏比冲击试验等三种最常用的力学性能试验方法，并附录了钢材力学及工艺性能试验取样规定、数值修约规则、力学国际单位制单位与公制单位的换算表及硬度数值表等等。作者所完成的这项工作是非常有意义的，因为这类资料在国内迫切需要。书中不但对新标准的内容作了详细的说明，而且对试验方法的实施也作了具体的叙述。因而对这些国家标准的推行将起很大的促进作用。本书也是一本宜贯国家标准和培训及提高力学性能测试人员技术水平的很好教材。这种实用性较强和适用范围较广的科技书籍，目前国内还不太多。相信此书出版后，在其广泛应用中必将产生显著的社会效益。

曹用涛

1989年10月

## 前 言

金属力学性能试验是测定金属力学性能指标的唯一手段。金属力学性能指标是设计人员进行零件和产品设计的重要依据；是工艺人员衡量原材料和产品质量的重要标准；也是科研人员挖掘金属材料性能潜力和发展新材料的重要线索与准绳。因此，在冶金和机械行业，无论大小工厂或科研机构，都建立金属力学性能试验室，很多工程技术人员和工人从事金属力学性能试验工作。

为了准确测定金属力学性能指标，必须依据金属力学性能试验方法国家标准。近年来，随着我国科学技术的进步、工业生产的发展以及对外开放的需要，金属力学性能试验方法国家标准的制定和修订工作也有长足的进步。不仅标准的数量增多、体系完整，而且标准的内容更具有科学性和先进性，大部分标准达到国际标准或国外先进标准水平。这充分反映了我国金属力学性能试验方面的经验与成果以及试验技术的进步和发展。毫无疑问，认真贯彻这些新标准，必将进一步促进我国科学技术和生产的发展。

切实贯彻这些新标准，首要的任务是加强学习、宣传和培训工作。特别是对生产及科研中最基本、最常用的金属拉伸试验、硬度试验和夏比冲击试验等力学性能试验方法的最新国家标准，更应认真学习和做好宣传、贯彻工作。本书就是为这一目的而编写的，试图以这三种常用力学性能试验方法的最新国家标准为依据，以试验的基本理论和基本知识为主线，详尽介绍各种试验方法的试验原理、力学性能指标及

其意义、试样的类型和加工、对试验设备和仪器的要求，老设备的改造和新仪器的使用、力学性能指标的测试技术及试验结果的处理等内容。力求把力学性能试验方法新标准的内容融汇于基础理论和实践之中，使之既具有理论系统性，又具有生产实用性。如果本书能满足广大从事力学性能试验人员提高技术水平的需要和作为各地区、各单位宣贯力学性能试验方法新标准的教材，编者将感到万分荣幸。

本书在编写过程中得到中国金属学会理事、理化检验学会理事长、北京钢铁研究总院高级工程师曹用涛先生的热情关怀和支持，他还在百忙之中为本书撰写了“序”。谨此深表感谢。

本书还承全国力学性能试验方法标准技术归口单位、北京钢铁研究总院标准组梁新邦高级工程师和李久林工程师审定。他们不仅为本书的编写提供了很多资料，而且以制定和修订力学性能试验方法国家标准的主导思想及其丰富经验对原稿进行了认真审阅和修改，进一步完善了本书的内容。大连造船厂力学性能试验室华鹤高级工程师审阅了书稿，提出也很多宝贵意见。大连铁道学院力学实验中心的同志对本书的编写给予了很大支持。此外，本书在编写过程中引用了很多同志的文献资料和生产经验。在此一并表示衷心感谢。

由于编者才疏学浅，经验不多，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

**戴雅康**

1989.8.于大连铁道学院

# 目 录

第一章 绪言 .....	1
一、金属力学性能和力学性能指标的概念 .....	1
二、金属力学性能试验的目的和意义 .....	2
三、金属力学性能试验方法新国家标准的特点 .....	4
第二章 金属拉伸试验 .....	9
一、金属轴向拉伸时的物理现象及力学性能指标 .....	10
(一)应力和应变的概念 .....	10
(二)金属试样轴向拉伸时所产生的物理现象 .....	11
(三)金属拉伸时的力学性能指标 .....	17
二、金属拉伸性能指标的测定 .....	29
(一)各种力值和伸长量的测定方法 .....	29
(二)拉伸试验操作规程 .....	32
(三)各项拉伸性能指标的测定方法 .....	38
(四)性能数值的修约及试验结果的处理 .....	59
三、金属拉伸试验试样 .....	61
(一)拉伸试样的分类 .....	62
(二)常用拉伸试样的形状及尺寸 .....	65
(三)对试样加工的要求 .....	70
四、拉伸试验设备和仪器 .....	71
(一)对拉伸试验机的技术要求及原有设 备的改造 .....	71
(二)引伸计的结构、分级及标定方法 .....	74
(三)自动记录绘图仪器的工作原理及标定方法 .....	93



五、管材及线材的拉伸试验方法 .....	110
(一)管材拉伸试验方法 .....	110
(二)线(丝)材拉伸试验方法 .....	116
<b>第三章 金属硬度试验 .....</b>	<b>119</b>
一、金属布氏硬度试验方法 .....	121
(一)试验原理 .....	121
(二)布氏硬度压痕相似原理的应用 .....	124
(三)对试样的要求 .....	126
(四)试验规范的选择 .....	130
(五)布氏硬度计及压痕测量装置 .....	134
(六)试验操作要点及试验结果处理 .....	136
(七)布氏硬度试验的优缺点及应用范围 .....	138
二、金属维氏硬度试验方法 .....	139
(一)试验原理 .....	139
(二)维氏硬度试验方法的种类 .....	141
(三)对试样的要求 .....	143
(四)试验规范的选择 .....	147
(五)对试验仪器的要求 .....	148
(六)试验操作要点及试验结果处理 .....	150
(七)维氏硬度试验的优缺点及应用范围 .....	151
三、金属洛氏硬度试验方法 .....	152
(一)试验原理 .....	152
(二)洛氏硬度的标尺 .....	155
(三)对试样的要求 .....	157
(四)对洛氏硬度计的要求 .....	158
(五)试验操作要点及试验结果处理 .....	160
(六)金属表面洛氏硬度试验方法简介 .....	162

(七)洛氏硬度试验的优缺点及应用范围	163
四、金属肖氏硬度试验方法	164
(一)试验原理	164
(二)对试样的要求	166
(三)对肖氏硬度计的要求	166
(四)试验操作要点及试验结果处理	167
(五)肖氏硬度试验的优缺点及应用范围	168
五、硬度试验方法的正确选用及硬度值 换算问题	169
(一)各种硬度试验方法的正确选用	169
(二)各种硬度值之间及硬度与强度之间的换算	170
<b>第四章 金属夏比冲击试验</b>	<b>173</b>
一、金属夏比冲击试验概述	174
(一)常规冲击试验的类型及国家标准	174
(二)夏比冲击试验的原理	176
(三)冲击韧性指标及意义	177
(四)夏比冲击试验的应用	179
二、夏比冲击试样	181
(一)试样类型及尺寸	181
(二)对试样加工的要求	187
三、摆锤式冲击试验机	190
(一)对摆锤式冲击试验机的技术要求	190
(二)老冲击试验机的技术改造	195
四、常温冲击试验方法	196
(一)试验前的准备工作	196
(二)试验操作	197
(三)试验结果及处理	198

五、低温冲击试验方法 .....	198
(一)低温冲击试验的意义 .....	198
(二)试样冷却装置及测温仪器 .....	199
(三)冷却介质与冷源 .....	203
(四)试验操作要点 .....	205
六、高温冲击试验方法 .....	209
(一)高温冲击试验的意义 .....	209
(二)高温冲击试样及冲击韧性指标 .....	209
(三)试验设备及仪器 .....	210
(四)试验操作要点 .....	212

## 附录

一、钢材力学及工艺性能试验取样规定 .....	215
二、数值修约规则 .....	218
三、力学国际单位制单位与公制单位换算表 .....	220
四、管材纵向弧形试样的面积系数 $k$ .....	221
五、简明金属布氏硬度数值表 .....	223
六、简明金属维氏硬度数值表 .....	225
七、金属显微维氏硬度数值表 .....	230
八、在曲面上进行硬度试验时的修正系数表 .....	237

# 第一章 绪 论

## 一、金属力学性能和力学性能指标的概念

金属材料具有各种不同的使用性能，在工业生产中得到广泛的应用。金属材料的使用性能包括物理性能、化学性能、工艺性能和力学性能等几类，其中最重要的是力学性能。

众所周知，任何机器零件或金属构件都是在承受各种负荷条件下使用的。譬如，起重机上的钢索，在悬吊重物时就受到拉力作用；火车的载重通过车轮给钢轨以很大的压力；柴油机中的曲轴和连杆在运转时承受交变负荷的作用；锻锤的锤杆受到冲击能量的作用；挖土机的抓斗经常与泥砂摩擦，等等。当然，还有很多零件和构件在工作时受力的情况更为复杂。金属材料在这些力或能量的作用下，往往会产生过量变形、断裂、表面损伤或尺寸改变等现象，致使零件或构件失效。因此，对于制造机器零件或构件的金属材料，就要求具有一定的抵抗外加负荷作用而不致产生失效的能力。这种能力就称为金属材料的力学性能，一般也叫做机械性能。

金属材料的力学性能还可细分为强度、硬度、塑性、韧性、耐磨性和缺口敏感性等多种性能。不同金属材料力学性能高低不同，但均可用金属力学性能指标来衡量。机器零件或构件所承受的负荷一般采用各量力学参量（如应力、应变、冲击能量等）来表示，在试验过程中这些力学参量不断

地增大,当其达到某一临界值或规定值时,金属材料的力学行为便发生了突变。例如,金属拉伸时杆件承受拉力作用,其力学参量可用应力( $\sigma$ )来表示。当 $\sigma$ 达到临界值 $\sigma_s$ 时,材料产生屈服现象,当 $\sigma$ 达到 $\sigma_b$ 时,材料便断裂。对于没有明显屈服现象的金属材料,当 $\sigma$ 达到规定值 $\sigma_{p\ 0.2}$ (或 $\sigma_{r0.2}$ )时,相当于材料发生屈服现象。因此,人们便将表征金属材料力学行为的力学参量的临界值或规定值称为金属力学性能指标,如强度指标 $\sigma_s$ 、 $\sigma_{p\ 0.2}$ (或 $\sigma_{r0.2}$ )、 $\sigma_b$ 、 $\sigma_{bb}$ ,塑性指标 $\delta$ 、 $\psi$ ,韧性指标 $A_{Ku}$ 等等。金属材料各种力学性能指标的具体数值,表征金属抵抗各种外加负荷所产生的损害作用的能力。

金属力学性能指标在工业生产及科研中具有重要作用。它是评定原材料质量和工艺水平的重要判据,是机器零件和构件设计时进行强度计算和选材的主要依据,也是金属材料研究中,挖掘材料性能潜力和发展新材料的主要准绳。

## 二、金属力学性能试验的目的和意义

为了测定金属材料各项力学性能指标的具体数值,就必须进行金属力学性能试验。因此在冶金和机械行业,无论大小工厂或科研机构都建立金属力学性能试验室,许多专业人员从事金属力学性能试验工作。

对于金属力学性能试验工作的意义如何看待?有人将它看作是一种单纯的服务性工作,认为设计和工艺部门提出性能要求,车间送来试样,我们只要“拉拉、打打”得出数据、写出报告就算完成了任务。这就贬低了这项工作的作用和意

义。我们认为，金属力学性能试验在生产中首先要起到“把关”作用。进厂的原材料性能是否合格、零件加工工艺水平的高低、产品内在质量的好坏，都要通过力学性能试验来检定。只有认真地、一丝不苟地从事这项工作，才能把好产品质量的关口。此外，在研制和发展新材料、改善材料性能、挖掘材料性能潜力方面，在改造老产品、改革旧工艺方面，在对废品和失效零件进行原因分析方面等等，金属力学性能试验也是重要的攻关手段。因此从事力学性能试验的人员应与设计、工艺部门密切配合，在“攻关”中发挥应有作用。

随着科学技术的进步，金属力学性能试验的设备、仪器和方法也有很大发展。现在很多试验室安装了电子万能试验机、电液伺服试验机，或对现有试验机用微机进行改造并使用各种新型的负荷与变形电测仪器。在试验方法方面，除进行静负荷试验（如拉伸、压缩、弯曲等）外，还进行动负荷试验（如冲击、疲劳等）；除用光滑试样进行试验外，还用缺口试样（如缺口拉伸）和裂纹试样（如测试断裂韧性）试验；除进行常温、大气环境下的试验外，还在高温、低温或腐蚀介质下试验；除进行单一负荷试验外，还用复合负荷或模拟实际工作负荷试验；除用试样试验外，还对实际零件或构件进行试验。因此，金属力学性能试验的技术有了很大提高。

尽管如此，目前在生产中最常用、最基本的力学性能试验方法仍然是拉伸试验、硬度试验和夏比冲击试验。用这些方法所测定的金属强度、塑性、硬度和冲击韧性等力学性能指标，在生产及科研中得到最广泛的应用。

### 三、金属力学性能试验方法 新国家标准的特点

金属力学性能测试数据的准确性，在很大程度上取决于试验方法和试验条件，如试样的形状、尺寸和制备方法，仪器设备的技术要求，加荷速度和温度以及操作方法等。如果试验条件和方法不同，就无法对不同试验室和不同人员所测定的结果进行比较。为此，必须严格按照各种试验方法的国家标准进行试验。

近年来，随着我国科学技术的进步、工业生产的发展以及对外开放的需要，在金属力学性能试验方法标准化方面的工作有了很大进展，先后制定和修订的国家标准达四、五十种之多，不仅数量增多，而且具有如下一些特点：

1. 绝大部分标准都达到了国际标准或国外先进标准水平。

现有的各种力学性能试验方法标准大多是参照或等效国际标准或美国、英国、日本、苏联等工业发达国家的标准进行制定或修订的。例如，GB231-84《金属布氏硬度试验方法》就是等效国际标准 ISO 6506-81 同类标准修订的；GB 228-87《金属拉伸试验方法》主要是参照 ISO 6892-84 同类标准修订的。又如在制定和修订几种冲击试验方法的标准时主要参照了 ISO 及苏联 ГОСТ 等有关标准，充分吸收了国外的先进技术。与此同时，在标准中也反映了我国多来行之有效的经验，例如，在《金属夏比 (U 型缺口) 冲击试验方法》的标准中，其试样的缺口深度在 ISO 83-76 中规定为 5mm。考虑到我国生产、设计和使用部门长期采用缺

口深度为 2mm 的试样，积累了大量数据和丰富经验，因此仍以这种试样作为标准试样，而将国际标准和其它国家标准中规定的试样列入该标准附录中，必要时也可采用。

由此可见，这些新的力学性能试验方法标准都反映了较为先进的技术水平，是适应当前科学技术发展要求的。

**2.标准内容具有科学性和先进性，适应我国科学技术和生产发展的需要。**

以往我国的力学性能试验方法标准不仅种类不全，而且内容也较落后。有的标准其标龄长达二十多年之久，不能反映当前我国生产和科学技术水平的进步。在新修订或制定的标准中则体现了内容的科学性与先进性，从而使试验方法更好地为生产服务。例如，在以往的拉伸试验方法标准中，都有“规定比例极限  $\sigma_p$ ”这个性能指标，它以拉伸曲线上某一点的斜率较弹性直线段斜率产生规定程度偏差时的应力来定义。显然，这种定义是不科学的。在新修订的《金属拉伸试验方法》(GB228-87) 标准中就取消这个性能指标，而将其与屈服强度一起统称为“规定微量塑性伸长应力”。也就是说，将比例极限、屈服强度等都看着是金属产生规定微量塑性伸长时所对应的应力，其差别仅仅是所规定的塑性伸长量不同而已。这样的定义就比较合理了。在拉伸性能中有“规定非比例伸长应力”指标。按旧拉伸试验方法标准，这个指标主要靠绘制力-夹头位移曲线的图解法或采用引伸计法来测定。在新标准中考虑到当前试验设备的电子化以及在材料试验中应用微机的经验，因而推荐使用自动记录装置（如各种电测仪器）或电子拉力试验机测定该性能指标。为了使测出的数据准确可靠，对引伸计精度等级及标定方法也提出了要求。再如，很多工厂根据生产需要都希望扩大布氏硬度试



验的范围，以便测定较宽范围、不同厚度材料的硬度。因此，在新修订的布氏硬度试验方法标准中，规定压头的材料除原用的淬火钢球外，还可采用硬质合金球，这就将布氏硬度的测定范围由 450HB 以下提高到 650HB；同时压头的直径又增加了 1 和 2mm 两种，并使  $F/D^2$  的比值也由过去的三种增加到七种，从而使布氏硬度试验的应用范围明显地扩大。

### 3. 标准种类不断增多，标准体系逐步形成系列。

近年来，我国修订和制定的力学性能试验方法标准不仅数量很多，而且在体系上逐步形成系列、衔接配套，以不断满足金属材料及其制品对试验方法提出的多种要求。如金属材料的冲击试验方法由过去的三个标准增至六个标准。其中按照冲击试验方法不同，有简支梁式的夏氏标准和悬臂梁式的艾氏标准；按照试样缺口形状不同，夏氏标准又分为 U 型缺口试样和 V 型缺口试样两种；按照试验温度的不同，除常温下的夏氏标准外，还有低温和高温两种冲击试验标准。此外，尚有应用夏比冲击试验方法的《钢的应变时效敏感性试验方法》(GB4160-84) 标准。又如，维氏硬度试验方法不仅有试验力为 5~100kgf(49.03~980.7N) 的《金属维氏硬度试验方法》标准 (GB4340-84) 和 0.01~0.2kgf(98.07×10<sup>-3</sup>~1.961N) 的《金属显微维氏硬度试验方法》标准 (GB4342-84)，而且又制定了试验力为 0.2~<5kgf(1.961~<49.03N) 的《金属小负荷维氏硬度试验方法》标准 (GB5030-85)，从而使维氏硬度在 0.01~100kgf(98.07×10<sup>-3</sup>~980.7N) 试验力之间都可进行试验，这样可用于截面尺寸和厚度不同的材料维氏硬度的测定。

可以预料，在金属力学性能试验中认真贯彻执行这些新