

国家机械工业委员会统编

金属机械性能实验方法

（机械工人技术理论培训教材）

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

金属机械性能实验方法

(中级机械性能实验工适用)

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书内容包括金属材料常温和高温机械性能的试验原理、方法、实例、结果处理及影响因素等。全书共十一章，分别介绍了拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转、硬度、冲击、疲劳、磨损、高温强度及金属工艺试验等，在最后一章中简单地介绍了几种材料试验机的结构、校验与修正方法。

本书由上海材料研究所陈运远、江苏机械科学研究设计院陈淑华、南京汽轮电机厂周乃标、南京工学院杨汉国、南京钟表材料厂江鹏令、无锡叶片厂何德良、上海材料研究所王琼礼、上海发电设备成套设计研究所江先美和上海计量检定所鲍国华等编写，由上海材料研究所戎忠良、上海机械工艺研究所吴越审稿。

金属机械性能实验方法

(中级机械性能实验工适用)

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：程淑华 版式设计：乔玲

封面设计：林胜利 方芬 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 11³/₄·字数 258 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—13,000·定价：4.60元

*

ISBN 7-111-01162-7/TG·299

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易，教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

第一章 概述	1
第二章 金属常温拉伸试验	6
第一节 拉伸试验的工程意义	6
第二节 材料在拉伸时的力学性质	6
第三节 强度指标及其测定	11
第四节 塑性指标及其测定	21
第五节 弹性模量的测定	28
第六节 引伸计	29
第七节 线材、管材、钢丝绳拉伸试验	41
第八节 缺口拉伸试验	45
第九节 拉伸试样断口的评定	47
第十节 影响拉伸试验结果的主要因素	50
复习题	52
第三章 金属弯曲、压缩和剪切试验	54
第一节 金属弯曲试验	54
第二节 缺口静弯试验	63
第三节 压缩试验	67
第四节 剪切试验	72
复习题	75
第四章 金属扭转试验	76
第一节 扭转试验的工程意义和特点	76
第二节 金属材料扭转时的力学性质	77

VI

第三节	扭转试验方法	80
第四节	扭转试验机的工作原理与操作方法	86
第五节	扭转试样的断口分析	89
复习题		90
第五章	金属硬度试验	92
第一节	硬度试验的基本概念	92
第二节	布氏硬度试验	94
第三节	洛氏硬度试验	104
第四节	维氏硬度试验	112
第五节	肖氏硬度试验	119
第六节	努普硬度试验	122
第七节	其它硬度试验	125
第八节	高温和低温硬度试验	130
第九节	各种硬度与硬度、强度之间的近似关系	135
复习题		138
第六章	金属冲击试验	139
第一节	冲击试验的意义及其分类	139
第二节	常温冲击试验	140
第三节	低温冲击试验	146
第四节	高温冲击试验	150
第五节	多次冲击试验	153
第六节	冲击试样的断口分析	155
第七节	冲击试验的影响因素	157
复习题		159
第七章	金属疲劳试验	160
第一节	概述	160
第二节	交变应力及其循环特性	163
第三节	S-N曲线和疲劳极限	166
第四节	金属弯曲疲劳试验	169

第五节 高温疲劳试验	191
复习题	200
第八章 金属工艺试验	202
第一节 金属工艺试验的目的、特点和分类	202
第二节 杯突试验	203
第三节 金属冷、热弯曲试验	208
第四节 线材扭转试验	215
第五节 金属冷、热顶锻试验	218
第六节 金属反复弯曲试验	223
第七节 线材缠绕试验	226
第八节 金属管材工艺性能试验	228
复习题	236
第九章 金属磨损试验	237
第一节 摩擦与磨损	237
第二节 磨损类型	239
第三节 磨损试验机	244
第四节 磨损的测定与表示	259
第五节 磨损试验的共同要点	263
复习题	266
第十章 金属高温强度试验	267
第一节 高温蠕变试验	267
第二节 持久强度试验	275
第三节 应力松弛试验	285
第四节 金属的抗氧化试验	294
第五节 高温试验温度控制与测量	299
复习题	307
第十一章 材料试验机	308
第一节 液压式万能材料试验机	308
第二节 机械式拉力试验机	319

VI

第三节	拉力、万能材料试验机的检验	324
第四节	硬度试验机	330
第五节	冲击试验机	340
第六节	疲劳试验机	345
第七节	扭转试验机	352
第八节	蠕变持久试验机	361
复习题		366

第一章 概 述

一、金属材料的一些基本特性

金属材料，特别是钢铁，是现代机器制造的基本材料。自从人类发现与使用金属材料以来，它愈来愈广泛地被应用于制造各种生产工具、武器和生活用具中。金属材料之所以获得如此广泛的应用，是由于它具有许多良好的性能，首先，就是它的良好机械性能。不仅有足够的强度和硬度，而且还具有良好的塑性和韧性，因此，就使金属材料成为制造生产工具和各种机械设备的主要材料。此外，金属材料还具有某些特殊的物理性能（例如：导电性、导热性、磁性等）和化学性能（例如：抗腐蚀性、耐热性等）。我们可以利用这些性能来制造电线、传热器、磁铁，以及船舶、化工容器等。因而，使金属材料在电力、电子工业，以及造船、化工等部门也获得广泛应用。

应该指出，金属机械性能与铸造、锻造、轧制、拉拔、挤压、热处理（形变热处理）和焊接等工艺也有密切的关系。在机器制造中，通常通过热处理来改变其组织和性能，有时也充分利用加工硬化以提高其强度。

二、机械性能试验的重要性

机械性能试验，按试验条件可分为常温、高温和低温试验；按所施加的载荷可分为静载荷、动载荷（包括冲击、疲劳、爆破）试验等；按试样是否被破坏可分为破坏试验和非破坏试验。

一般来说，机械性能是指在力或能的作用下，材料所表

现出来的一系列力学特性。其中主要是强度、刚度、塑性、韧性、弹性、硬度等，也包括在高低温、腐蚀、表面介质吸附、冲刷、磨损、空蚀（氧蚀）、粒子照射等力或机械能不同程度结合作用下的性能。另外，有的工厂试验室还把部分工艺性能试验和零部件试验列入机械性能试验。

产品质量的好坏，除了从结构设计、加工工艺、处理规范诸方面考虑以外，合理选用材料也是一个重要方面。材料的选用依据首先是材料的性能，机械性能是材料的重要性能之一。一般机器制造工业部门（如动力机械、汽车、仪表、机床、农机），尤其是许多重要工程和军工生产部门，对于掌握材料机械性能更为必要。

研究和进行材料机械性能测试，对于了解材料、使用材料、选择合金成分，制定热处理工艺、加工工艺，变革材质、研制新材料、充分发挥材料作用，起着极为重要的作用。

研究材料机械性能，其目的就是从材料的角度出发与零部件失效现象作抗衡。由于各种机械零部件在服役过程中，一般承受诸如拉、压、剪、扭、弯、冲击、摩擦、疲劳等载荷的作用，因而引起各种变形、断裂、表面损伤等而失去了所要求的工作效能。测定材料机械性能的目的，则是从机械零部件的服役条件和失效现象出发，研究失效的原因和规律，提出合理的衡量指标，然后通过试验来测定这些指标，从而为失效分析提供必要的依据。

但是，机械性能试验工作并不是单纯地提供试验数据。通过对试样断口的观察中，不仅能帮助判断是材料缺陷（如夹杂、气孔、偏析），工艺不当还是其它原因（如偏心加载、缺口敏感等）造成的破断，还能分辨是疲劳破断、脆性破断还是韧性破断。

事实上，对机械性能试验结果进行理论分析，还能发现和总结出新的规律，建立塑性变形、蠕变、疲劳破坏、脆性断裂等方面的新理论。

总之，材料机械性能试验的重要性：其一是观察零部件破坏(变形、断裂等)现象，分析这些现象产生的原因，从而建立材料在各种状态下性能的合理指标；其二是确定在各种不同工作状况下材料的抗力指标；其三是研究弹性变形、塑性变形及断裂的本质，找出机械性能与成分、组织、工艺之间的关系。

应该指出，机械性能数据在很大程度上取决于采用的试验方法。其中包括试验的条件、设备、试样的形状、尺寸和制备，加载速度（或变形速度）及温度等，对试验的最终结果有极其重要的甚至决定性的影响。

三、机械性能试验的发展方向

拉力试验是机械性能试验中用得最多的一种方法。近年来，随着科学技术的发展，特别是随着电子技术和液压技术的发展，拉力试验技术有了很大的提高。

常用的拉力试验机，一般分为机械式和液压式两种，正在发展的还有电子试验机和自动试验机。电子万能试验机是应用电子技术对载荷和变形进行精确测控并记录的新型试验机，大多采用带有电阻应变片式载荷传感器的测力装置和差动变压器伸长仪，或以自整角和同步伺服方法测量变形。

拉力试验机常用的伸长仪有杠杆式、百分表式、光学式和电子式（差动变压器式、电阻应变片式等）。

很多机器构件在使用中的破坏是由于承受动载而产生疲劳裂纹引起的。金属材料的疲劳破坏与静载破坏有极大的不同。首先，导致破坏的应力远小于抗拉强度，而且常常低于屈服强度。其次，在破坏时零件或试样外部并无明显变形。

因此，疲劳试验在材料试验中日趋重要。

疲劳试验可根据所受应力不同分为拉压疲劳、弯曲疲劳、扭转疲劳、冲击疲劳、接触疲劳等。此外又开展了各种特定条件下疲劳试验（试样尺寸、试样环境等）。在低频、超低频、高频、超高频、随机加载情况下的疲劳试验问题也得到迅速的发展。近年来，研究介质作用下的腐蚀疲劳和某些零件的实物疲劳及模拟疲劳试验显得更加活跃，更有现实意义。由于疲劳数据的分散性，数理统计方法在疲劳试验中也得到了较好的应用。

冲击试验是检验材料韧性的基本方法。该法快速、简便、发展历史较长，积累数据十分丰富。对评定材料在动载下的性能，鉴定冶炼及加工工艺质量，尤其是热处理质量以及零件设计中确定选材等方面都是必不可少的。

目前，高低温冲击试验，国内外都在积累数据。为了降低劳动强度和安全操作，冲击试验自动化问题也提到议事日程。应该指出，一般冲击试验都是测量试样破断时的总能量，但这是很不全面的。因为高强度、低韧性和低强度、高韧性的材料可能吸收的能量相等，若试验技术能把消耗的总能量中几部分区分开，这就可以较好的查明断裂的原因。于是就要求测定冲击试验过程中的力和位移随时间的变化情况，这就需要记录和分析冲击全过程，以便得出更正确的结论。

锅炉、汽轮机、燃气轮机以及各种类型发动机等的不少零部件，均是在高温下工作的，要求材料在高温下具有良好的力学性能，尤其是高温长时的力学性能。众所周知，金属在高温长时应力作用下与在室温短时受力情况下的性能有很大不同，在室温短时应力作用下，则除弹性变形外，一般不会发生其它变化。然而在高温长时应力作用下，虽然所加载荷

远低于该温度下屈服强度，也会发生残余变形、应力松弛及某些组织变化。因此，金属材料高温长时力学性能试验的研究具有十分重要的实际意义。

高温长时力学性能试验方法很多，最常用的有蠕变试验、持久强度试验及应力松弛试验三种。由于这几种试验需要周期长、连续性，所以，近年来采用电子计算机控制在国内外都发展得很快，这样既省人力，又保证试验的快而准确性。

硬度试验由于设备简单，操作迅速方便，同时又能够敏感地反映材料化学成分及组织结构的差异；因而广泛用来检查热处理工艺质量或研究热处理的相变过程。同时由于仅在金属表面局部体积内产生很小压痕，因而对大多数零件可进行产品硬度检验而无需特制加工试件。近年来，国内外硬度计朝着小型轻便、自动等方面发展。

机器中的摩擦偶件之间，或者工具与加工对象（固体或液体介质）之间，由于相互接触及相对运动，在一定时间运转或加工后，都会产生磨损现象，造成大多数零件或工具降低工作效率、丧失准确度，以至报废的重要原因。所以，研究金属材料的磨损规律，发展磨损试验方法，对于提高机器和工具寿命及可靠性，合理选材并试制新的耐磨材料具有十分重要意义。目前，磨损试验方法还很不完善，且不统一，还需进一步引起人们重视。

随着脆性事故的出现，断裂力学及其测试方法也随之发展起来。此外，在机械性能试验中，模拟实物使用条件或以实物进行试验也愈来愈多。在研究实际构件的失效原因时，总希望把材料的机械性能试验与实验应力分析的方法有机地结合起来。因此，应该在机械性能试验人员中普及实验应力分析的理论 and 实践。

第二章 金属常温拉伸试验

第一节 拉伸试验的工程意义

任何工程材料受力后将产生变形，这个变形过程大体上可以划分为弹性、塑性和断裂三个基本阶段。所谓弹性，是指固体材料在外力作用下改变其形状与大小，但当力撤去后即恢复其原来状态的性质。而塑性是指当固体受超过一特定值的外力作用时，其形状或大小会发生永久变化的特性。至于断裂，可以当作材料因受力而变形的终止。确切一点说，材料的断裂是其裂纹源以一定速率扩展到临界值时，从而产生不稳定破裂。由于静力单轴拉伸试验能够清楚地反映出材料受力后所发生的弹性、弹塑性与断裂三个变形阶段的基本特性，而且试验方法简单，测量数据精确。因此，各个国家和国际组织都制定了完善的拉伸试验标准，将拉伸试验列为机械性能试验中最基本、最重要的试验项目。

由拉伸试验得出的力学性能指标，如规定非比例伸长应力、屈服点、抗拉强度等强度指标，断后伸长率、断面收缩率等塑性指标；弹性模量、泊松比等力学常数，以及表征材料形变硬化规律的参数。为材质检验、结构强度设计与材料选用、塑性成型理论与加工工艺等方面提供技术评定依据。因此，拉伸试验是工程上最广泛采用的机械性能试验方法之一。

第二节 材料在拉伸时的力学性质

一、力-伸长曲线图

在静力单轴拉伸试验时，按国家标准规定的速率对试样

施力，并利用拉力试验机上的自动绘图装置或者加设的自动绘图系统，可以绘出试样在试验过程中力与伸长之间的关系曲线，即所谓力-伸长曲线图，或称作拉伸图。由于该图不仅能明确显示出材料在拉伸过程中的变形特征，而且根据精确绘制的力-伸长曲线图，可以直接得出主要的力学性能试验数据。因此，国际标准和国家标准都将力-伸长曲线图的绘制列入测定项目，并作了明确的精度要求。

由于退火低碳钢在拉伸试验过程中明显地表现出不同的变形阶段，所以通常将低碳钢的力-伸长曲线图当作典型情况来说明材料的拉伸特性。

如图 2-1 所示，纵坐标表示力 F ，单位为 N ，横坐标表示绝对伸长 ΔL ，单位为 mm 。低碳钢的 $F-\Delta L$ 关系曲线，可分为如下几个阶段：

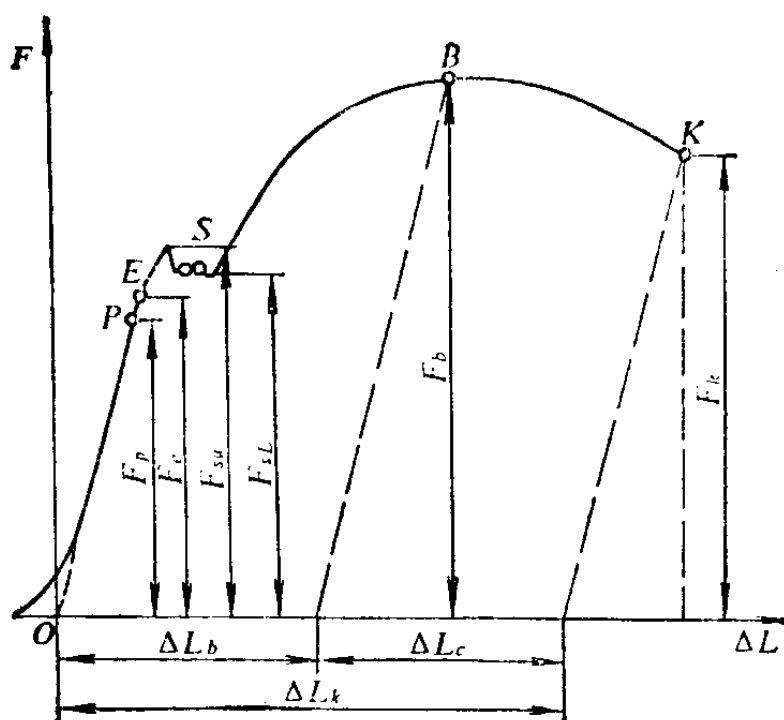


图2-1 低碳钢的力-伸长曲线图

OE——弹性阶段。试样变形完全是弹性的，卸力后试样即恢复原状。力比较小时，试样伸长随力成正比地增加，保持比例关系。超过比例伸长力 F_p 后， $F-\Delta L$ 呈非比例关系，直至最大弹性伸长力 F_e 。一般说来， F_p 与 F_e 是很接近的。

ES——屈服阶段。当力超过 F_e 再卸力时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。卸力后的残余变形叫做塑性变形。当力增加到一定值时，力指示器（测力度盘）的指针停止转动或开始往回转，力-伸长曲线图上出现了平台或锯齿状，这种在力不增加或减小的情况下，试样还继续伸长的现象叫做屈服。平台阶段的力为屈服力 F_s ，当出现锯齿状时有上屈服力 F_{su} 和下屈服力 F_{sL} 之分。屈服后，材料开始明显塑性变形，试样表面出现滑移带。

SB——强化阶段。在屈服阶段以后，欲使材料继续变形，必须不断施力。随着塑性变形增大，材料变形抗力不成比例地逐渐增加。这种现象叫做形变强化或加工硬化。力-伸长曲线图上的最大力 F_b ，即为材料在拉伸时的最大力。

BK——局部塑性变形阶段。当力达到最大值 F_b 后，试样的某一部位横截面开始急剧缩小，出现“颈缩”。试样抗力下降，施加的力也就随之下降，而变形继续增加。这时变形主要局限于缩颈附近，直到断裂。

工程上使用的金属材料，多数没有明显的屈服现象，其力-伸长曲线图如图 2-2 所示。

图 2-2 a 是塑性材料的力-伸长曲线图，如铝合金、调质处理的合金钢等。图 2-2 b 是低塑性材料的力-伸长曲线图，它不仅没有屈服现象，而且也不产生“颈缩”，最大力就是断裂时的力，如球墨铸铁等。