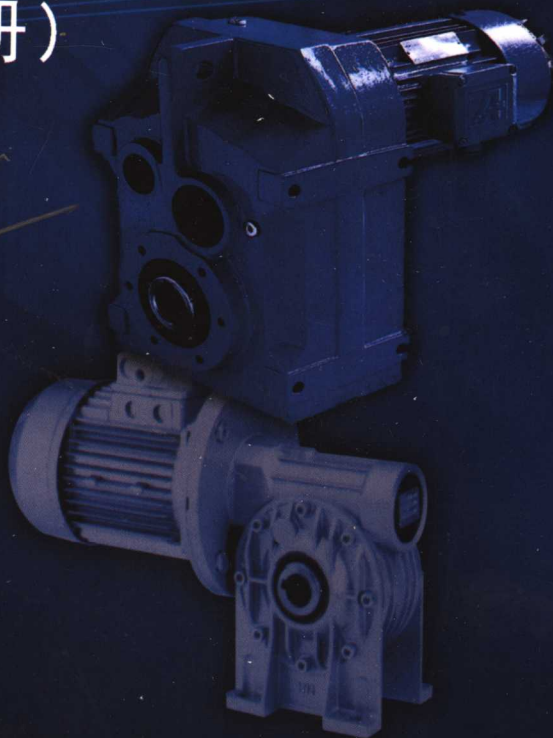


北京市高等教育精品教材

机械设计学基础

(上册)

孙建东 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

机械设计学基础

(上册)

孙建东 主编

机械工业出版社

本书是高等职业教育机电类专业用书,也可作为近机类和非机类本科的教材。本书是北京高等教育精品教材。

本书是《机械设计学基础》的上册。本书包括两篇,第1篇为“机械工程材料基础”;第2篇为“机械工程力学”。

第1篇机械工程材料基础,主要介绍金属材料的力学性能,铁碳相图,常用金属材料的热处理方法、目的和分类等;其他常用非金属机械工程材料及其表面处理方法;常用金属材料的规格、牌号、主要性能及应用。

第2篇机械工程力学,主要介绍机械力学和材料力学方面的基础知识。在机械力学方面,介绍了静力学基础知识,平面力系与空间力系,点的机械运动,刚体的机械运动,质点的动力学分析,动量及动量矩;在材料力学方面,以机械工程中常见的应用为实例,主要介绍了材料在拉伸(压缩)、扭转、弯曲和组合变形状态下的应力分析和强度计算,机械工程材料的强度理论,压杆稳定性分析等材料力学的基础知识。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学基础.上册/孙建东主编. —北京:机械工业出版社,2005.1
ISBN 7-111-15799-0

I. 机... II. 孙... III. 机械设计—高等学校:技术学校—教材
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第130355号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:胡毓坚 责任编辑:郭燕春 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·21.25印张·442千字

0 001—5 000册

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业教育机电类专业用书，是北京市教育委员会精品教材立项项目。

许多职业院校本着高等职业教育“以应用为主，够用为度”和“为今后的发展打下一定的基础”的原则，都对教学计划进行了改革，减少理论性教学的课时，增加实践性教学的课时。

对于机械电子类专业，许多院校都整合一些传统课程，增加一些当前我国机电制造业所需要的新课程。为满足这种要求，培养满足我国经济发展所需要的人才，在北京市教委的组织和指导下，我们编写了高等职业教育机电类专业的技术基础课教材《机械设计学基础》一书。

本教材分为上、下两册。上册包括两篇，第1篇为“机械工程材料基础”，第2篇为“机械工程力学”；下册是第3篇，为“机械设计基础”。

第1篇机械工程材料基础，为本课程后面的“机械设计”课程提供材料及其处理方法的必要的基础知识。本着“够用为度”的原则，本篇主要介绍常用金属材料的规格、牌号、主要性能及应用等；常用金属材料的热处理方法、目的和分类等；其他常用非金属机械工程材料及其表面处理方法；并对新材料和新热处理（或表面处理）技术作了介绍。计划学时约20学时。

第2篇机械工程力学，主要为后面的“机械设计基础”提供机械力学和材料力学方面的必要的基础知识。在机械力学方面，着重介绍静力学基础知识，同时介绍运动学和动力学方面的必要知识，基本保持了古典力学的系统性和完整性，突出其在机械工程上的应用。在材料力学方面，以机械工程中常见的应用为例，主要介绍了材料在拉伸（压缩）、扭转、弯曲和组合变形状态下的应力分析和强度计算等材料力学的基础知识。计划学时约70~90学时。

第3篇机械设计基础，介绍了机械精度设计的基本知识、常用机构的工作原理和典型机械零件的设计。内容主要包括：机械零件的尺寸公差、形位公差和表面粗糙度等基本知识；常用机构的运动分析和受力分析、常用机构的设计方法；机械设计理论基础；典型机械零件的设计和现代设计方法简介。计划学时约100~120学时。

本教材删去部分过时的、不适用及理论性推导过繁的内容，同时添加了新技术和新知识的内容。

本书是《机械设计学基础》的上册，可作为高职高专机械类、机电类和近机类专业的教材，也可以作为专业技术人员的参考资料。

对于近机类和非机类专业的学生，安排教学计划时，可以删减一些非主要章节，以保证

课时要求。本书中带有“*”的章节可以作为选学内容。

参加本书上册编写的有：

第1篇：孙建东（第1、3、4、5、7章）；李荣雪（第6章）；高千红、孙建东（第2章）。

第2篇：孙建东、赵文艺（第1章）；夏策芳（第6章）；凌红（第7章）；戈峰、孙建东（第4章）；龙鹃、王凤铃、孙建东（第2章）；刘自萍、孙建东（第12章）；孙建东（第3、5、8、9、10、11章）。

目 录

前言

第 1 篇 机械工程材料基础

第 1 章 绪论	3
1.1 机械工程材料的分类	3
1.2 金属材料的力学性能	6
1.3 习题	15
第 2 章 铁碳相图	16
2.1 铁碳合金的组元与基本相	16
2.2 Fe-Fe ₃ C 相图	17
2.3 铁碳合金的分类及其性能	19
2.4 铁碳相图的应用	20
2.5 习题	22
第 3 章 机械工程材料的改性处理	23
3.1 铁碳合金热处理的目的	23
3.2 钢的基本热处理	24
3.3 机械工程材料的表面处理	28
3.4 其他热处理技术简介	35
3.5 热处理工艺的制定	36
3.6 习题	38
第 4 章 钢铁材料	39
4.1 概述	39
4.2 钢的种类	39
4.3 非合金钢	46
4.4 低合金钢	53
4.5 合金钢	56
4.6 工具钢	60
4.7 特殊性能钢	66
4.8 铸铁	70
4.9 铸钢	80
4.10 习题	82

第 5 章 粉末冶金材料	83
5.1 粉末冶金工艺	83
5.2 粉末冶金材料的分类	85
5.3 粉末冶金减摩材料	86
5.4 粉末冶金摩擦材料	88
5.5 粉末冶金多孔材料	88
5.6 粉末冶金工具材料	89
5.7 习题	92
第 6 章 非铁金属材料	93
6.1 铝及其合金	93
6.2 镁及其合金	99
6.3 铜及其合金	100
6.4 轴承合金	106
6.5 习题	109
第 7 章 常用非金属工程材料	110
7.1 工程塑料	110
7.2 橡胶	115
7.3 复合材料	116
7.4 陶瓷材料	117
7.5 习题	118

第 2 篇 机械工程力学

第 1 章 绪论	121
第 2 章 静力学基础	125
2.1 静力学基本理论	125
2.2 约束	128
2.3 物体受力分析	131
2.4 习题	133
第 3 章 平面力系与空间力系	135
3.1 平面力系中力的投影	136
3.2 力矩、力偶与平面力偶系	137
3.3 平面任意力系的简化及其平衡方程	141
3.4 物体系统的受力分析	146
* 3.5 力在空间坐标轴上的投影	148
* 3.6 力对轴的矩	149
* 3.7 物体的重心及求法	150

3.8 习题	154
第 4 章 点的基本运动	157
4.1 描述点运动的矢量法	157
4.2 描述点运动的直角坐标法	159
4.3 描述点运动的自然坐标法	164
4.4 习题	168
第 5 章 刚体的基本运动	170
5.1 刚体的平行移动	170
5.2 刚体的定轴转动	172
5.3 习题	177
第 6 章 质点的动力学分析	178
6.1 动力学基本定律	178
6.2 质点运动微分方程	179
6.3 质点分析的动静法	183
6.4 习题	191
第 7 章 动量及动量矩	194
7.1 动量定理	194
7.2 质心运动定理	197
7.3 动量矩定理	199
7.4 刚体绕定轴转动微分方程	203
7.5 动能定理	209
7.6 习题	217
第 8 章 杆件的轴向拉伸与压缩	220
8.1 杆件的内力及轴力图	220
8.2 轴向变形杆件截面上的应力	223
8.3 杆件的拉压变形及胡克定律	227
8.4 拉压杆的强度	230
8.5 习题	234
第 9 章 圆轴的扭转强度与扭转刚度	237
9.1 扭转变形的基本概念	237
9.2 轴的扭矩及扭矩图	238
9.3 圆轴的扭转应力与扭转变形	240
9.4 圆轴的扭转强度与扭转刚度	247
9.5 习题	250
第 10 章 平面弯曲	252
10.1 概述	252

10.2	梁的内力	256
* 10.3	弯矩、剪力与分布载荷集度之间的关系	271
10.4	纯弯曲梁横截面上的正应力	272
10.5	梁横截面惯性矩	274
10.6	梁的弯曲强度计算	279
* 10.7	梁的弯曲刚度计算	281
10.8	习题	288
第 11 章	强度理论与组合变形	291
11.1	应力状态	291
11.2	工程材料的强度理论	293
11.3	组合变形	297
11.4	拉(压)弯组合变形	298
11.5	弯扭组合变形的强度计算	303
11.6	习题	308
第 12 章	压杆稳定	310
12.1	压杆稳定的基本概念	310
12.2	压杆的临界力与临界应力	311
12.3	支承形式对临界力的影响	313
* 12.4	不同类型压杆临界力的计算	315
12.5	压杆的稳定性校核	319
12.6	提高压杆承载能力的措施	321
12.7	习题	322
附录		324
附表 1	合金钢的分类 (GB/T 13304—1991)	324
附表 2	热轧等边角钢 (GB/T 9787—1988)	326
附表 3	热轧普通工字钢 (GB/T 706—1988)	328
参考文献		331

第 1 篇 机械工程材料基础

第1章 绪 论

本章主要介绍常用工程材料的种类和应用，金属材料的主要力学性能及其测试方法。

本章的重点为金属材料的主要力学性能，包括金属材料的强度及其测试方法，金属材料硬度的分类及其测试方法。

通过本章的学习，要求熟悉金属材料的主要力学性能，掌握金属材料强度和硬度的定义和指标，了解常用工程材料的种类和应用。

物质材料对人类社会的发展起着决定性的作用，是人类赖以生存的基础，人类的历史就是按生产活动中起主要作用的工具材料划分成石器时代、青铜器时代和铁器时代的。材料对现代社会中的各行各业和科技领域的发展以及人类物质生活的提高都起着决定性的作用。

在机械工程领域里，按性能的不同，可以将材料划分为结构材料和功能材料。机械设计人员在设计时，要了解材料的使用性能，确定各种零部件所使用的材料，同时要考虑材料的工艺性能和成本。材料的使用性能包括材料的物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、磁性等）、化学性能（如耐蚀性、抗氧化性、化学稳定性等）、力学性能（如强度、塑性、韧性、硬度等）。材料的工艺性能是指材料的加工性能，如金属材料的铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。用于机械结构、零部件和工具等的机械工程材料一般分为金属材料和非金属材料两大类。

金属材料具有良好的力学性能（即具有很高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性），其被广泛用来制造机械结构、设备和生产工具，此外还可以利用某些金属材料所具有的耐高温、耐腐蚀及各种特殊的物理性能制成各种产品，以满足石油化工、航天航海、电力电子等工业发展的需要。

非金属材料是指除金属材料以外的其他材料。用于工程结构和机械零件使用的主要有：高分子材料、陶瓷材料和复合材料等几大类。其中高分子材料中的工程塑料所具有的一些优良特性，使其可以替代某些金属。非金属材料在工业领域中占有很重要的地位。

1.1 机械工程材料的分类

1.1.1 金属材料

1. 钢铁材料

以铁为主要元素，碳的质量分数一般在2%以下，并含有其他元素的材料称为钢。按化学成分，可以将钢分为非合金钢、低合金钢、合金钢三大类。

(1) 非合金钢 按主要质量等级，非合金钢可分为普通质量非合金钢（如：非合金钢筋钢和一般钢板桩用型钢等）、优质非合金钢（如：冲压用低碳薄钢板、镀锌、镀锡等非合金钢板和机械零件用优质碳素钢等）、特殊质量非合金钢（如：在制造过程中需要严格控制质量和性能的非合金钢等）。

(2) 低合金钢 按主要质量等级分，低合金钢可分为普通质量低合金钢（如：低合金钢筋钢、低合金轻轨钢和矿用一般低合金钢等）、优质低合金钢（如：锅炉和压力容器用低合金钢、造船、汽车、桥梁、自行车等专业用低合金钢、低合金耐候钢等）、特殊质量低合金钢（如：核能用低合金钢和低温用低合金钢等）。

(3) 合金钢 按主要质量等级分为优质合金钢（如：合金钢筋钢、不规定磁导率的电工用硅钢和铁道用合金钢等）和特殊质量合金钢（如：压力容器用合金钢、经热处理的合金钢筋钢及地质、石油钻探用钢）。

2. 非铁金属材料

(1) 铝合金材料 铝合金按照成分和工艺性能，可划分为变形铝合金和铸造铝合金两大类，前者塑性优良，适于压力加工；后者塑性低，更适宜于铸造成形。变形铝合金还可进一步划分成可热处理强化变形铝合金和不可热处理强化铝合金。

(2) 铜合金材料 按照化学成分，铜合金可分为黄铜、青铜和白铜三大类。以锌为主要合金元素的为黄铜；以镍为主要合金元素的为白铜；除了黄铜和白铜之外，其他铜合金称为青铜，铜合金材料价格较高，具有较高的耐蚀性，还具有耐热耐寒的性能，可以用来制造在特殊条件下工作的零件。

(3) 其他金属材料 除上述介绍的铁碳合金与非铁金属材料外，机械工程中常用的还有很多其他的金属材料。如：将金属化合物粉末和粘结剂粉末混合加压成形，再经烧结而成的粉末冶金材料、制造滑动轴承的轴瓦及其内衬的轴承合金材料，以及硬质合金、金属陶瓷、磁性材料和耐热材料等。

1.1.2 非金属材料

由于非金属材料具有许多金属材料所不具备的优良特性，现代机械工程中，已经有越来越多的机械结构和零部件是由非金属材料制成的。目前常用的非金属材料主要有以下几种：

1. 工程塑料

主要指用于制作工程结构、机器零件、工业容器和设备的塑料。其中最主要的有聚甲醛、聚酰胺（尼龙）、聚碳酸酯、ABS四种，还有聚矾、聚氯醚、聚苯醚等。这类塑料具有

较高的强度 ($\sigma_b = 60 \sim 100\text{MPa}$)，弹性模量、韧性、耐磨性、耐蚀和耐热性较好。目前工程塑料发展十分迅速。

与金属材料相比，工程塑料具有密度小，比强度高，耐腐蚀和电绝缘性好，耐磨和自润滑性好以及透光，隔热，消声和吸震等优点，但同时也有强度低，耐热性差，容易蠕变和老化的缺点。

2. 橡胶

橡胶是在室温下处于高弹性状态的高分子材料，最大的特性是高弹性，其弹性模量很低，只有 $1 \sim 10\text{MPa}$ ；弹性变形量很大，可达 $100\% \sim 1000\%$ ；具有优良的伸缩性和积贮能量的能力。此外，还有良好的耐磨性、隔声性、阻尼性和绝缘性。

橡胶在工业上应用相当广泛，可用于制作轮胎、动静态密封件（如旋转轴、管道接口密封件）、减振、防振件（如机座减振垫片、汽车底盘橡胶弹簧）、传动件（如 V 带、传动滚子）、运输胶带和管道、电线、电缆、电工绝缘材料和制动件等。

3. 复合材料

工程技术和科学的发展对材料的要求越来越高，这种要求是综合性的，仅靠开发单一性能的新材料难以满足上述要求。因此，为满足机械工程的需要，出现了许多将不同性能的材料复合成一体，具有多种性能的新型材料。

所谓复合材料是指由两种或多种不同性能的材料用某种工艺方法合成的多相材料。复合材料既保持组成材料各自的特性，又具有复合后的新特性，其性能往往超过组成材料的性能很多。例如玻璃纤维的断裂能仅有 $75 \times 10^{-5}\text{J}$ ，常用树脂亦只有 $22.6 \times 10^{-3}\text{J}$ ，而由两者复合成的玻璃钢的断裂能高达 17.6J 。由此可见，“复合”是开发新材料的重要途径。

1.1.3 新型工程材料

1. 陶瓷材料

在工程结构上使用的陶瓷称为工程陶瓷。现代工程陶瓷主要在高温下使用，故也称高温结构陶瓷。这些陶瓷具有在高温下优越的物理和化学性能，在某些场合中往往是惟一可用的材料。工程陶瓷的种类很多，目前应用广泛和有发展前途的有氧化铝、氮化硅、碳化硅和增韧氧化物等材料。

2. 纳米材料

颗粒尺寸在 $1 \sim 100\text{nm}$ 的材料称为纳米材料。纳米材料的化学物理性质与普通的材料有显著的不同。

目前许多国家都在研究和开发纳米材料，纳米材料已经应用于军事、医学、化学、光电器件、信息存储器件和制冷等方面。

3. 超导材料

超导材料指在一定的温度下，失去电阻特性的材料。物质的超导特性是在 20 世纪初被发现的。

超导材料的超导电性使其应用前景非常广阔。目前超导材料已经应用于军事、磁悬浮、发电和输电等领域。

4. 超硬材料

超硬材料指硬度超过或接近金刚石硬度的材料。目前主要有人造的金刚石、刚玉、立方氮化硼等。在许多机械设备中，对零件材料的硬度要求非常高。因为材料的表面硬度越高，其耐磨性越好，零件的使用寿命就越长。

1.2 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指在力作用下，与该材料的弹性和非弹性变形相关的性能，机械工程中主要涉及的力学性能有强度、塑性、硬度、冲击吸收功和疲劳极限等。

1.2.1 金属材料的强度

1. 金属材料的拉伸试验与拉伸曲线

为获得金属材料的力学性能，机械工业中最常用的方法是对该材料的试件施加某种形式的载荷，以获得相应的力学性能。其中静载荷拉伸试验是机械工业上最常用的金属材料的力学性能试验方法之一。试验时在试件的两端施加缓慢增大的试验载荷，使试样承受轴向拉力，同时试件沿其轴线方向不断伸长，直至试件被拉断为止。试验时，测试设备可以测定试样对外加试验力的抗力、试件的变形量、试件截面的变化等，通过计算可以求出材料的强度值和塑性值。

通常在试验前，将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试件，如图 1-1a 所示。试件原始标距长度为 L_0 ，试验时，缓慢对试件施加载荷 F ，试件将沿其轴线方向不断伸长，如图 1-1b 所示。设试件的伸长量为 ΔL ，继续加大载荷 F 直至试件拉断。将记录下的载荷与 ΔL 的对应关系绘成曲线，便得到拉伸曲线。

为消除横截面的大小和试件的原始长度对拉伸曲线的影响，得到更合理的拉伸曲线，

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中 ϵ ——应变；

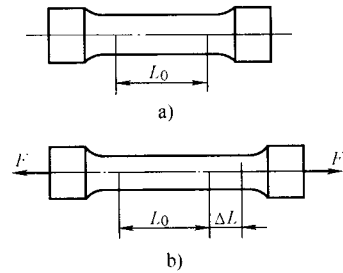


图 1-1 标准拉伸试样

σ ——应力 (MPa);

S_0 ——试件的原始横截面积 (mm^2)。

图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线。图中的横坐标为 ΔL 和 ϵ , 纵坐标为载荷 F 和拉应力 σ 。该曲线称为“力-伸长 ($F-\Delta L$) 曲线”也称为“应力-应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线”。

由于低碳钢试件在拉伸过程中表现出了几个不同的变形阶段, 所以通常将低碳钢的应力—应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线当作典型情况来说明材料的力学性能。通过图 1-2 所示的拉伸曲线可看出, 整个曲线可以分为弹性变形、屈服变形、均匀塑性变形、局部塑性变形及断裂几个不同的阶段。

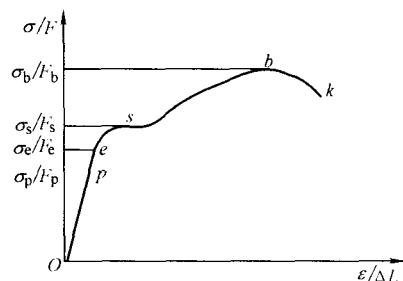


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

(1) 试件变形的第一阶段——弹性变形阶段 (Op 段) 该阶段应力与应变基本呈正比关系, 若试验载荷消失, 则试样能完全恢复到原来的形状和尺寸, 其中在 Op 阶段, 应力与应变符合胡克定律, 由于 p 点与 e 点非常接近, 通常机械工程中将 σ_e 等同于 σ_p 。

(2) 试件变形的第二阶段——屈服变形阶段 (es 段) 当应力超过 σ_e , 进入 es 段后, 应力应变曲线出现平台或锯齿, 应力不增加或只有微小增加, 试样却继续伸长。

(3) 试件变形的第三阶段——塑性变形阶段 (sb 段) 屈服阶段之后材料进入均匀塑性变形阶段 (sb 段), 均匀变形的原因是冷变形强化 (加工硬化) 所致, 变形与硬化交替进行, 变形量越大, 使材料变形所需的应力越大。

(4) 试件变形的第四阶段——局部塑性变形阶段 (bk 段) 当试样变形达到最高点 b 后, 变形强化跟不上变形的变化, 不能再使变形转移, 致使某处截面开始减小。在这个变形阶段, 应力增加, 变形加剧, 形成缩颈。此时, 施加于试样的力减小, 而变形继续增加, 直至断裂 (k 点)。

2. 常用强度条件

强度是材料在外载荷的作用下抵抗破坏的能力。机械工程上常用的静拉伸强度条件包括: 规定非比例伸长应力、屈服点或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

(1) 规定非比例伸长应力 金属材料符合胡克定律的最大应力称为比例极限 (比例伸长应力), 以 σ_p 表示, 由于不能用实验直接测定比例极限, 故在拉伸试验方法标准 (GB/T228—1987) 中采用“规定非比例伸长应力”代之。规定非比例伸长应力是试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。

$$\sigma_p = \frac{F_p}{S_0}$$

式中 F_p ——试样非比例伸长为规定量时的拉力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

规定非比例伸长应力是许多重要零件设计的力学依据。通常采用角标说明各种伸长率时的应力,例如 $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{p0.05}$ 和 $\sigma_{p0.2}$, 分别表示材料在规定非比例伸长率为 0.01%、0.05% 和 0.2% 时的应力。

在第一(弹性)变形阶段,试件的拉力撤除后不产生塑性变形的最大应力,称为材料的弹性伸长应力,通常称为弹性极限,以 σ_e 表示。弹性极限是理论上的概念,和比例极限一样,也难以用实验直接测定。由前面介绍可知,在实际工程上对弹性极限和比例极限并不严格区分。

(2) 屈服点和规定残余伸长应力 在试件的第二变形阶段的拉伸过程中,拉力不增加,试样的长度仍能继续增加时的应力称为材料的屈服点(或称为屈服极限),即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 σ_s ——材料屈服点的应力 (MPa);

F_s ——材料屈服时的拉伸力 (N)。

屈服点是退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数具有屈服现象的金属材料特有的强度指标。

对大多数没有明显的屈服现象的合金材料,用“规定残余延伸应力”作为相应的强度指标。国家标准中规定:当试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力,作为规定残余伸长应力 σ_r 。一般以角标说明此应力下的残余伸长率,例如 $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力,即

$$\sigma_r = \frac{F_r}{S_0}$$

式中 F_r ——产生规定残余伸长时的拉力 (N)。

(3) 抗拉强度 在材料的第三变形阶段,抗拉强度表示材料在拉伸条件下所能承受的最大力时的应力值,即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 σ_b ——材料的抗拉强度 (MPa);

F_b ——材料所能承受的最大拉力 (N)。

抗拉强度物理意义是表明材料对最大均匀变形的抗力,它是设计机械零件时选择材料的主要依据之一,抗拉强度是机械工程技术中的主要强度指标。