

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 冶 炼 基 础 知 识

主 编 马 青  
责任主审 曲 英  
审 稿 侯增寿 刘冀琼

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2004

## 内 容 提 要

本书力求体现职业技术教育培养技术应用型人才的特点,以学生必须掌握的钢铁冶炼基础知识为依据,精选金属材料、冶金过程物理化学、钢铁冶炼热工基础等有关内容,重点突出,应用性强。

本书可供高职高专、中专和技校教学之用,也可供钢铁企业职工培训之用或技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

冶炼基础知识/马青主编. —北京:冶金工业出版社,  
2004.9

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5024-3424-0

I. 冶… II. 马… III. 冶金—专业学校—教学参考资料 IV. TF0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 070840 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 宋 良 美术编辑 李 心

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 李玉山

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004 年 9 月第 1 版, 2004 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20.25 印张; 487 千字; 309 页; 1~2000 册

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均做了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

# 前 言

本书是根据教育部《面向二十一世纪职业教育课程改革和教材建设规划》的要求，依据教育部《职业技术教育改革钢铁冶炼专业课程教学基本要求》编写的系列教材之一。全书力求体现职业技术教育培养技术应用型人才的特点，结合生产实际以学生必须掌握的钢铁冶炼基础知识为依据，精选金属材料、冶金过程的物理化学、钢铁冶炼热工基础知识的有关内容，使之融会贯通、内容精练、重点突出、应用性强。

本书可作为职业技术学院冶金类专业教学用书，也可作为冶金行业职工培训用书，还可供冶金专业高职学生和相关工程技术人员参考。

全书共分3篇13章，包括金属的性能、金属的结构与结晶、铁碳合金、钢铁材料、冶金过程的热效应、化学反应的方向与限度、冶金过程中的表面现象、化学反应速率、冶金溶液、气体力学原理、燃料及燃烧、传热原理、耐火材料等。

本书的第1、2、3、4章由山西工程职业技术学院的孙亦蕙编写，绪论部分及第5、6、7、8、9章由山西工程职业技术学院的马青、曹金贵、宋平稳编写，第10、11、12、13章由山西工程职业技术学院的张春烈编写。全书由马青主编。

在编写过程中，得到编者所在单位领导和同行的大力支持，同时还得到冶金工业出版社的协助和指导，编者深表谢意。太原理工大学侯增寿教授和山西工程职业技术学院冶金系的有关教师及太钢的工程技术人员对本书的初稿进行了审阅，并提出了许多有益的修改意见，在此也一并致谢。

由于编者学识水平及对本次职业教育课程改革理解深度所限，疏漏及不当之处在所难免，殷切希望广大读者和同行批评指正。

编 者

2004年5月

# 目 录

绪论 .....	1
金属材料知识	
1 金属的性能 .....	3
1.1 金属的力学性能 .....	3
1.1.1 强度 .....	4
1.1.2 塑性 .....	6
1.1.3 硬度 .....	6
1.1.4 冲击韧性 .....	9
1.1.5 疲劳强度 .....	9
1.2 金属材料的物理性能和化学性能 .....	10
1.2.1 金属材料的物理性能 .....	10
1.2.2 金属材料的化学性能 .....	11
1.3 金属材料的工艺性能 .....	11
1.3.1 铸造性能 .....	11
1.3.2 锻造性能 .....	11
1.3.3 焊接性能 .....	11
1.3.4 切削加工性能 .....	11
2 金属和合金的结构与结晶 .....	13
2.1 金属的晶体结构 .....	13
2.1.1 金属 .....	13
2.1.2 晶体与非晶体 .....	14
2.1.3 金属的晶体结构 .....	14
2.1.4 金属的实际晶体结构 (选学) .....	16
2.2 纯金属的结晶 .....	17
2.2.1 冷却曲线与过冷度 .....	17
2.2.2 金属的结晶过程 .....	18
2.2.3 金属结晶后的晶粒大小 .....	18
2.2.4 金属的同素异构转变 .....	19
2.3 合金的相结构 .....	19
2.3.1 基本概念 .....	19
2.3.2 合金的相结构 .....	20
2.4 合金的结晶 .....	21
2.4.1 二元合金相图的建立 .....	21
2.4.2 匀晶相图 .....	22
2.4.3 共晶相图 .....	24
2.4.4 合金性能与相图的关系 .....	27
2.4.5 碳素钢铸锭的组织 .....	28
2.4.6 碳素钢连铸坯的组织 .....	29

<b>3 铁碳合金</b>	31
3.1 铁碳合金的基本组织	31
3.1.1 铁素体 ( <i>F</i> )	31
3.1.2 奥氏体 ( <i>A</i> )	31
3.1.3 渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )	32
3.1.4 珠光体 ( <i>P</i> )	32
3.1.5 莱氏体 ( <i>Ld</i> )	33
3.2 铁碳合金状态图	33
3.2.1 铁碳合金状态图	33
3.2.2 铁碳合金的分类	36
3.2.3 典型铁碳合金的结晶过程及其显微组织	36
3.2.4 碳对铁碳合金平衡组织和性能的影响	40
3.3 铁碳合金状态图的应用 (选学)	41
3.3.1 在冶炼、浇铸方面的应用	41
3.3.2 在压力加工方面的应用	42
3.3.3 在热处理方面的应用	42
<b>4 钢铁材料</b>	47
4.1 碳素钢	47
4.1.1 常存杂质元素对钢性能的影响	47
4.1.2 碳素钢的分类、牌号及用途	48
4.2 合金钢	52
4.2.1 合金元素在钢中的作用	53
4.2.2 合金钢的分类、牌号及用途	54
4.3 铸铁	62
4.3.1 概述	62
4.3.2 铸铁的石墨化及影响因素	63
4.3.3 常用铸铁	65

## 冶金过程的物理化学知识

<b>5 冶金过程的热效应</b>	72
5.1 引言	72
5.2 热力学的基本概念	72
5.2.1 系统	72
5.2.2 环境	72
5.2.3 性质	73
5.2.4 状态	73
5.2.5 过程与途径	73
5.2.6 状态函数	73
5.2.7 内能	74
5.2.8 热和功	74
5.3 热力学第一定律	75
5.3.1 热力学第一定律的表述及数学式	75
5.3.2 热力学第一定律应用	76
5.4 焓	77

5.4.1	焓的引出	77
5.4.2	用焓变计算等压热	77
5.5	热容	78
5.5.1	热容的概念及单位	79
5.5.2	平均热容与真热容	79
5.5.3	等压热容与温度的关系	80
5.6	化学反应的热效应	80
5.6.1	化学反应热效应的定义	80
5.6.2	热化学方程式	80
5.6.3	产生热效应的原因	81
5.7	各种热效应	81
5.7.1	生成热	81
5.7.2	相变热	82
5.7.3	溶解热	83
5.8	热效应间的关系	83
5.8.1	盖斯定律的内容	83
5.8.2	盖斯定律的应用——间接计算热效应	84
5.9	冶金过程热的计算	85
5.9.1	物质升降温过程热量的计算	85
5.9.2	废钢加入转炉内冷却效应的计算	86
5.9.3	化学反应热效应与温度的关系	86
6	化学反应的方向与限度	90
6.1	自发过程的方向与限度	90
6.2	自由焓及其应用	91
6.2.1	自由焓及自由焓判据	91
6.2.2	化学反应自由焓变化的计算	92
6.3	化学反应的等温方程式	95
6.3.1	压力、浓度对自由焓的影响	95
6.3.2	多相化学反应的等温方程式	96
6.3.3	化学反应等温方程式的应用	97
6.4	化学平衡与平衡常数	99
6.4.1	化学平衡的概念	99
6.4.2	平衡常数	100
6.5	影响化学平衡的因素	103
6.5.1	浓度(或分压)对平衡的影响	103
6.5.2	温度变化对平衡的影响	104
6.6	氧化物的标准生成自由焓与分解压	106
6.6.1	氧化物的标准生成自由焓	106
6.6.2	分解压	107
7	冶金过程的表面现象	111
7.1	表面能与表面张力	111
7.1.1	表面能与表面张力的概念	111
7.1.2	影响表面张力的因素	112
7.1.3	表面张力与附加压力	113

7.2	润湿现象和界面张力 .....	114
7.3	微小颗粒(液滴)的表面性质 .....	115
7.3.1	微小液滴的饱和蒸气压 .....	115
7.3.2	微小晶粒的熔点和过冷液体 .....	115
7.4	物质表面的吸附作用 .....	116
7.4.1	固体表面的吸附现象 .....	116
7.4.2	溶液表面的吸附现象 .....	117
8	化学反应速率 .....	119
8.1	化学反应速率的表示法 .....	119
8.2	浓度对反应速率的影响 .....	120
8.2.1	动力学质量作用定律 .....	120
8.2.2	简单级数反应的规律 .....	121
8.3	温度对反应速率的影响 .....	122
8.3.1	阿累尼乌斯公式 .....	123
8.3.2	有效碰撞及活化能 .....	124
8.4	多相反应与扩散 .....	125
8.4.1	多相反应 .....	125
8.4.2	扩散 .....	125
8.4.3	固体与液体的反应 .....	126
9	冶金溶液 .....	129
9.1	溶液的定义及浓度表示法 .....	129
9.2	稀溶液的蒸气压 .....	130
9.2.1	纯液体的饱和蒸气压 .....	130
9.2.2	稀溶液中溶剂的蒸气压——拉乌尔定律 .....	131
9.2.3	稀溶液中溶质的蒸气压——亨利定律 .....	132
9.2.4	钢液中 $N_2$ 、 $H_2$ 的溶解——平方根定律 .....	133
9.3	溶液的凝固点 .....	133
9.3.1	溶液析出纯溶剂 .....	133
9.3.2	溶液析出固溶体 .....	134
9.4	稀溶液的分配定律 .....	134
9.4.1	分配定律 .....	134
9.4.2	分配定律在钢铁冶炼中的应用 .....	134
9.5	理想溶液和实际溶液 .....	135
9.5.1	理想溶液 .....	135
9.5.2	实际溶液对理想溶液的偏差 .....	136
9.6	活度及活度系数 .....	136
9.6.1	活度的概念 .....	136
9.7	元素在铁液中的溶解及对铁熔点的影响 .....	138
9.7.1	元素在铁液中的溶解情况 .....	138
9.7.2	元素溶解对铁熔点的影响 .....	139
9.8	冶炼过程多相化学平衡实例 .....	140
9.9	钢铁液的物理性质 .....	142
9.9.1	密度及影响因素 .....	142

9.9.2	黏度及影响因素	143
9.9.3	表面张力及影响因素	145
9.10	熔渣的作用及结构理论	146
9.10.1	熔渣的来源、组成及作用	148
9.10.2	熔渣结构理论	148
9.11	熔渣的物理性质	150
9.11.1	熔化温度	150
9.11.2	熔渣黏度	150
9.11.3	熔渣的密度	151
9.11.4	熔渣的表面张力	151
9.11.5	熔渣的导热性与导电性	152
9.12	熔渣的化学性质	154
9.12.1	熔渣的碱度	154
9.12.2	熔渣的氧化性	154
9.12.2	熔渣的还原性	156
9.13	熔渣相图(选学)	156
9.13.1	二元炉渣相图	156
9.13.2	三元炉渣相图	158

## 冶金热工基础知识

<b>10</b>	<b>气体力学原理</b>	164
10.1	气体的主要物理性质和气体平衡方程式	164
10.1.1	气体的主要物理性质	164
10.1.2	气体平衡方程式	168
10.2	气体的动力学基础	170
10.2.1	气体流动的状态	170
10.2.2	运动气体的连续方程式	171
10.2.3	气体的能量	173
10.2.4	伯努利方程式	174
10.2.5	压头损失与气体输送	178
10.2.6	烟囱	182
10.3	压缩性气体的流出	187
10.3.1	压缩性气体流出的基本规律	187
10.3.2	管嘴的设计和计算	193
<b>11</b>	<b>燃料及燃烧</b>	199
11.1	冶金企业常用的燃料	199
11.1.1	概述	199
11.1.2	常用燃料的特性	200
11.1.3	冶金生产中常用燃料的种类、性质和用途	205
11.2	燃烧计算	211
11.2.1	有关燃烧计算的几个基本概念	211
11.2.2	燃烧计算的内容	213
11.2.3	燃料燃烧的分析计算法	213
11.2.4	燃烧温度	218

11.3	燃料燃烧	220
11.3.1	燃料的燃烧过程	222
11.3.2	重油的燃烧过程	228
11.3.3	固体燃料的燃烧	229
<b>12</b>	<b>传热原理</b>	<b>233</b>
12.1	稳定态导热	233
12.1.1	导热的基本定律 (傅里叶方程式)	234
12.1.2	导热系数	234
12.1.3	平壁导热	236
12.1.4	圆筒壁导热	238
12.2	对流给热	240
12.2.1	对流给热的类型和机理	240
12.2.2	对流给热的基本公式 (牛顿公式)	240
12.2.3	对流给热系数的确定	240
12.2.4	对流给热系数的若干实验公式	242
12.3	辐射传热	243
12.3.1	热辐射的基本概念	243
12.3.2	辐射的基本定律	245
12.3.3	两物体间的辐射热交换	247
12.3.4	气体与固体间的辐射热交换	249
12.4	综合传热	254
12.4.1	对流和辐射同时存在的综合传热	254
12.4.2	流体通过固体对另一流体的传热	254
<b>13</b>	<b>耐火材料</b>	<b>258</b>
13.1	冶金炉对耐火材料的要求	258
13.1.1	耐火材料的分类	258
13.2	耐火材料的一般性质	259
13.2.1	耐火材料的一般化学矿物组成	259
13.2.2	耐火材料的物理性质	259
13.2.3	耐火材料的工作性能	261
13.3	常用块状耐火材料	262
13.3.1	硅酸铝质耐火材料	262
13.3.2	氧化硅质耐火材料 (硅砖)	264
13.3.3	镁石质耐火材料	264
13.3.4	碳质耐火材料	265
13.4	散状耐火材料	266
13.4.1	耐火混凝土	266
13.4.2	耐火泥	266
13.4.3	喷补料	266
13.5	绝热材料	267
13.5.1	高温绝热材料	267
13.5.2	中温隔热材料	267
13.5.3	低温隔热材料	267

## 附 表

附表 1	元素的相对原子质量表 .....	269
附表 2	基本常数 .....	270
附表 3	换算系数 .....	270
附表 4	某些物质的临界参数 .....	270
附表 5	某些有机化合物的标准燃烧焓 .....	271
附表 6	热力学数据 热容公式 $c_{p,m} = a + bT + cT^2 + dT^3$ 或 $c_{p,m} = a + bT + c'T^{-2}$ ...	272
附表 7	某些物质在 298K~T 范围内的平均热容 $\bar{c}$ .....	297
附表 8	某些反应的标准吉布斯自由焓变化 .....	302
附表 9	铁溶液内元素的相互作用系数, $e_B^K$ .....	305
附表 10	某些元素在标准状态下溶于钢液的溶解自由焓 .....	306
附表 11	局部阻力系数 .....	306
附表 12	$\left(\frac{t+273}{100}\right)^4 = \left(\frac{T}{100}\right)^4$ 值 .....	307
参考文献	.....	309

# 绪 论

## A 冶炼基础知识研究的对象及主要内容

冶炼基础知识由三部分组成：金属材料知识、冶金物理化学和钢铁冶炼热工基础知识。

金属材料知识是研究金属材料的性能与它的成分、内部组织结构之间的关系及变化规律的一门科学，是冶炼专业必修的技术基础课。其目的是使学生获得有关金属学的基本理论、基本知识和基本方法，为以后学习有关专业课程奠定基础。

冶金物理化学是应用物理学的原理和方法，研究冶金过程化学变化普遍规律的科学。它包括化学热力学、化学动力学和冶金溶液理论。化学热力学研究冶金过程热效应的计算、化学反应方向和限度（即平衡）。如一个化学反应在一定条件下能否进行，进行到什么程度为止，改变条件对反应的方向和平衡会产生什么影响；化学动力学研究反应机理（即反应的具体步骤），如一个化学反应在单位时间内能够生成多少产物，化学反应速率与哪些因素有关，在反应的各步骤中哪些因素是最主要的、起决定作用的；冶金溶液理论研究金属熔体和熔渣所服从的规律及它们的物理化学性质。

冶金热工基础是研究熔炼炉内进行的各种热工过程，如气体的流动规律，热量的交换过程，燃料的燃烧技术，以及耐火材料的重要性能、用途的一门技术科学。

应用炉子的热工理论和先进的热工技术，不断改进炉子的热工作业环境，对提高产品的质量、降低消耗、节约能源、改善劳动条件和解决环境污染问题，促进冶金工业的可持续发展，有着重要的意义。

## B 冶炼基础知识与钢铁冶炼专业间的关系

冶炼基础知识是钢铁冶炼专业必修的技术基础课。学习金属材料的有关知识，对冶炼过程中合金元素的作用及连续铸钢凝固理论的学习，奠定了扎实的理论基础；冶金物理化学为专业课中冶炼过程热量平衡计算、炉内反应方向的判断、钢水精炼等知识的学习奠定了坚实的理论基础；通过热工基础知识的学习，使学生能够分析炉内冶炼过程气体的流动和传热过程，提高分析和解决炉内技术问题的能力。

## C 冶炼基础知识在工业生产中的重要作用

冶炼基础知识是冶金、材料、加工、铸造和选矿等专业的基础理论。其中：

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料，人们日常生活用品中也离不开金属材料。金属材料的性能与其化学成分、内部组织结构之间有着极其密切的关系。例如，钢和铸铁虽然都是铁碳合金，但两者的力学性能却差别很大，一为塑性材料，一为脆性材料。这主要是由于钢和铸铁的含碳量不同，两者的组织不同，从而导致钢和铸铁在性能上有很大的不同。

在生产和科学研究上，人们常常要遇到很多化学反应和物理化学变化。例如炼铁过程中铁矿石的还原，炼钢过程中各种杂质和合金元素的氧化，有色冶金过程中的电解，热处理炉中通入保护性气体，以及浮选过程中各种药剂所起的作用等，无一不以冶金物理化学的原理为基

础。

在冶炼和轧钢过程中，气体的分流定律、燃料的燃烧技术直接影响到产品的质量与生产成本；耐火材料在冶金生产过程中起着决定性的作用，其质量好坏直接影响到钢的纯度和冶金炉的炉龄。研究炉内热工过程的目的，应是合理组织炉子的热工作，以达到强化炉内的物理化学反应，最终实现优质、高产、低耗、长寿和低污染。

## D 如何学好冶炼基础知识

(1) 准确理解基本概念和基本定律。本课程涉及的专业名词多、概念多而且比较抽象，只有准确理解概念的真实含义和定律的数学表达式，弄清楚它们之间的相互关系及变化规律，了解它们的使用范围，才能正确加以运用。

(2) 区别对待重要公式和一般公式。重要公式是需要记住的，一般公式只须了解公式的适用条件，不要求强记。

(3) 认真进行习题演算。演算习题不仅可以帮助我们记住重要公式和熟悉其适用条件，锻炼运用公式的灵活性和技巧，更重要的是可加深对冶炼基础知识中概念和定律的进一步理解和掌握，还可以培养独立思考的能力。

(4) 注重理论联系实际。本课程具有较强的理论性和应用性，学习中应注重理解、分析与运用。要注重培养学生分析、解决实际问题的能力和独立工作能力，进而加深对理论知识的理解，并注意前后知识的综合应用。

# 金属材料知识

## 1 金属的性能

金属材料是现代工业中最重要的一种工程材料，广泛应用于工农业和国防工业等部门。

与工程应用直接相关的材料性能包括力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能。从事钢铁冶炼工作的人员必须了解其性能并应用于实践。

### 1.1 金属的力学性能

在生产实践中金属材料在外力（载荷）作用下会变形甚至断裂，当外力限制在某一范围内时，它就不会发生宏观变形或变形后并不断裂。这就是对金属材料力学性能的基本要求。

本书以钢铁为例，讨论金属性能。

根据载荷的性质，可以把它分为静载荷、冲击载荷和循环载荷三种。

静载荷：指在长时间内持续作用的大小和方向不变或变化很小的载荷。

冲击载荷：指在很短时间内突然增加的载荷或以很大速度作用于工件上的载荷。

循环载荷：指大小和方向作周期性变化的载荷。

根据载荷作用方式，它可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷。如图 1-1 所示。

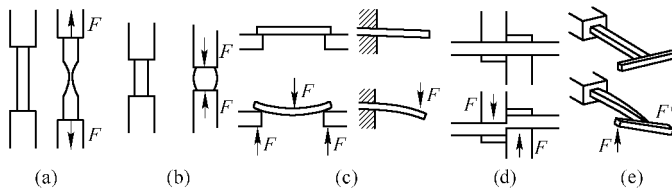


图 1-1 载荷的形式

(a) 拉伸载荷；(b) 压缩载荷；(c) 弯曲载荷；(d) 剪切载荷；(e) 扭转载荷

钢铁材料受载荷作用后，所引起的几何形状和尺寸的变化称为变形，如图 1-2 所示。

变形分为弹性变形和塑性变形两种。

弹性变形：指材料受外力的作用发生变形后，变形能随外力的去除而消失，这种变形称为弹性变形。

塑性变形：指材料受外力的作用而发生变形，当载荷去除后变形仍然存在而不消失，这种变形称为塑性变形。

钢的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳等。

### 1.1.1 强度

钢铁材料在载荷作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力统称强度。常用比例极限、屈服点和抗拉强度等指标分别衡量抗塑性变形的能力和抗断裂的能力。

为了便于比较各种钢铁材料的强度，常用钢铁材料抵抗变形和断裂时的应力来衡量。所谓应力是指钢铁材料在载荷作用下单位截面积上所产生的内力（即材料内部所产生的与载荷相平衡的力），用  $\sigma$  表示，计算公式如下：

$$\sigma = F/A \quad (1-1)$$

式中  $\sigma$  ——应力；  
 $F$  ——载荷；  
 $A$  ——横截面积。

1Pa=1N/m<sup>2</sup>，当面积单位为 mm<sup>2</sup>时，应力用兆帕斯卡（MPa）为单位：1MPa=1N/mm<sup>2</sup>=10<sup>6</sup>Pa。

**例题 1-1** 某钢丝绳的横截面积为 320mm<sup>2</sup>，受拉伸载荷 8000kgf，求应力是多少？

**解**  $\sigma = F/A = 8000/320 = 22\text{kgf/mm}^2 = 245\text{N/mm}^2 = 245\text{MPa}$

由计算可知，该钢丝绳所受应力是 245MPa。

**注意：**力的国际单位是牛顿（N），应力的国际单位为帕斯卡（Pa），1kgf/mm<sup>2</sup> = 9.8 N/mm<sup>2</sup> = 9.8MPa

一般情况下用抗拉强度作为强度指标，钢铁材料的抗拉强度是通过拉伸试验测得的。

#### 1.1.1.1 拉伸试验

拉伸试验中的试样形状尺寸和加工要求均有明确的规定，标准试样分为长短两种，一般采用短试样。

长试样  $l_0 = 10d_0$ ，短试样  $l_0 = 5d_0$ ，其中  $l_0$  为原始标距长度，简称标距； $d_0$  为原始试样直径，一般为 10mm。拉伸试样形状如图 1-3 所示。

拉伸试验是用静载荷对钢的标准试样进行轴向拉伸，连续测定逐步增加的力和相应的伸长变形，直至断裂。然后根据测得的数据，求出有关的力学性能数据。

拉伸试验中记录的拉伸力与伸长的关系曲线叫做力-伸长曲线。图 1-4 是低碳钢的力-伸长曲线

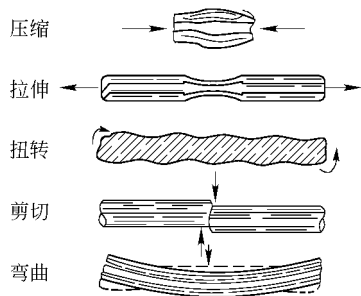


图 1-2 金属受载荷时的变形示意图

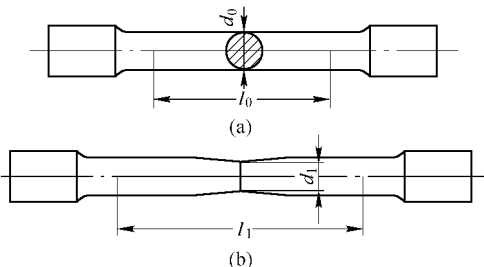


图 1-3 圆形拉伸试样  
 (a) 拉伸前；(b) 拉伸后

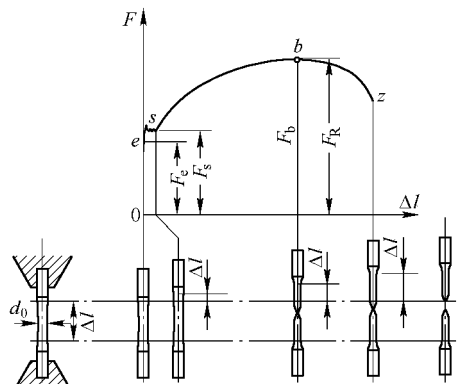


图 1-4 低碳钢力-伸长曲线示意图

曲线示意图。图中纵坐标表示力  $F$ ，单位为 N，横坐标是试样的伸长量  $\Delta l$ ，单位为 mm。观察拉伸试验和力-伸长曲线，可将其分为四个变形阶段。

$0e$ ——弹性变形阶段。试样变形完全是弹性的，卸载后试样的伸长变形消失，恢复其原来的尺寸。

$es$ ——屈服阶段。当载荷超过  $F_e$  时，试样除产生弹性变形外，还开始出现塑性变形，即卸除载荷后，试样不能完全恢复到原来的形状和尺寸。当载荷增加到  $F_s$  时，图中出现平台似的锯齿状，这种在载荷不增加甚至略有减少的情况下，试样继续伸长的现象叫做“屈服”。屈服后试样将残留较大的塑性变形， $F_s$  称为屈服载荷。

$sb$ ——强化阶段。在屈服阶段以后，欲使试样继续伸长，必须不断加载，随着塑性变形增大，试样变形抗力也逐渐增加，这种现象称为“形变强化”。 $F_b$  为拉伸时的最大载荷。

$bz$ ——断裂阶段（局部塑性变形阶段）。当载荷达到最大值  $F_b$  时，试样开始产生局部截面变小，出现了“缩颈”，同时试样变形所需的载荷也随之降低。由于缩颈后截面积急剧减少，试样不足以抵抗载荷的作用，直至在  $z$  点处发生断裂。

### 1.1.1.2 强度指标

(1) 比例极限：材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力称为比例极限。用符号  $\sigma_e$  表示。

数学表示式为：

$$\sigma_e = F_e / A_0 \quad (1-2)$$

式中  $\sigma_e$ ——比例极限，MPa；

$F_e$ ——试样产生完全弹性变形时的最大载荷，N；

$A_0$ ——试样的原始横截面积， $\text{mm}^2$ 。

(2) 屈服点：在载荷不增加或保持恒定的情况下，试样仍能明显地产生塑性变形时的应力称为“屈服点”。用符号  $\sigma_s$  表示。数学表示式为：

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-3)$$

式中  $\sigma_s$ ——屈服点，MPa；

$F_s$ ——屈服时的最小载荷，N；

$A_0$ ——试样的原始横截面积， $\text{mm}^2$ 。

有些钢铁材料并没有明显的屈服现象产生，为表示这些材料的屈服点，规定以试样伸长量达到试样原始标定长度的 0.2% 时的应力作为屈服点，称为屈服强度或条件屈服极限。用符号  $\sigma_{0.2}$  表示。

屈服强度是工程技术上极为重要的力学性能指标之一，钢材所受的应力一般都应小于屈服强度，否则就会明显地产生塑性变形。例如：钢包耳轴受到的载荷不应高于它的屈服点，否则就会因耳轴变形而造成钢水的倾出与翻倒。

(3) 抗拉强度；钢材被拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度。用符号  $\sigma_b$  表示。数学表示式为：

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-4)$$

式中  $\sigma_b$ ——抗拉强度，MPa；

$F_b$ ——试样所能承受的最大载荷，N；

$A_0$ ——试样的原始横截面积， $\text{mm}^2$ 。

抗拉强度表示材料在拉伸载荷作用下产生最大均匀变形时的抗力，也是表征材料在静拉伸条件下最大承载能力，是机械零件设计和选材的主要依据之一，也是工程上金属材料的重要力学性能指标之一，广泛用作产品质量控制指标。

### 1.1.2 塑性

“塑性”概念不同于“塑性变形”。所谓“塑性”，是指金属材料在外力作用下，产生塑性变形而不被破坏的能力。通常用钢在断裂前产生的永久变形的大小来界定钢的塑性好坏。钢、铜、铝等材料塑性良好，可拉制成线材，轧制成板材。材料的塑性值也是通过拉伸试验测得的，常用的塑性指标是伸长率和断面收缩率。

#### 1.1.2.1 伸长率

伸长率：试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比。用符号  $\delta$  表示。数学表示式为

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中  $\delta$ ——伸长率，%；

$l_1$ ——试样被拉断时的标距长度，mm；

$l_0$ ——试样原始标距长度，mm。

伸长率和试样标距与直径之比有关，同一种金属材料用不同  $l/d$  的试样所测得的伸长率数值是不同的。为了便于比较，规定用短试样所测得的伸长率用  $\delta_5$  表示，而用长试样所测的伸长率用  $\delta_{10}$  或  $\delta$  表示。

#### 1.1.2.2 断面收缩率

断面收缩率：试样被拉断时，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。用符号  $\psi$  表示。数学表示式为：

$$\psi = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中  $\psi$ ——断面收缩率，%；

$A_1$ ——试样被拉断时缩颈处最小横截面积， $\text{mm}^2$ ；

$A_0$ ——试样原始横截面积， $\text{mm}^2$ 。

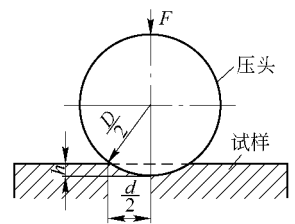
金属材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺，而且在使用时万一超载，由于塑性变形，能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外，还必须具有一定的塑性。

塑性指标通常不作为机件设计计算的依据；但因塑性变形有缓和应力集中，削弱应力峰的作用，故可作为安全方面的力学性能指标。

### 1.1.3 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标，反映金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面产生局部变形的能力。

硬度值是通过硬度试验测得的，这种试验方法是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。常用的方法有压入法、划痕法、回弹高度法等。其中压入法的应用最为普遍。在规定的静态试验力作用下，将几何尺寸和硬度一定的压头压入金属材料表面层，然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。这种评定方法称为压痕硬度。在压入法中根据载荷、压头和表示方法的不同，测出的硬度分为布氏硬度 (HBS 或 HBW)、洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC) 等。



#### 1.1.3.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1-5 所示。用一定直径的淬火钢球

图 1-5 布氏硬度试验原理图