

国家社会科学基金（教育学科）“十一五”规划课题研究成果
中等职业学校数控技术应用专业规划教材

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO



郎一民 李玉青 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

国家社会科学基金（教育学科）“十一五”规划课题研究成果
中等职业学校数控技术应用专业规划教材

- ❏ 电工电子技术常识
- ❏ 电气控制技术常识
- ❏ PLC应用技术基础
- ❏ 机械工程材料
- ❏ 数控技术基础
- ❏ 数控加工工艺
- ❏ 数控车削编程技术
- ❏ 数控铣削编程技术
- ❏ 数控车床加工工艺
- ❏ 数控普通铣床加工工艺
- ❏ 数控车削工艺与编程
- ❏ 数控车削实训与考级
- ❏ 数控铣削（加工中心）工艺与编程
- ❏ 数控铣削（加工中心）实训与考级
- ❏ 数控机床维护技术常识
- ❏ 质量管理与控制技术常识
- ❏ CAD/CAM软件应用基础——CAXA软件
- ❏ CAD/CAM软件应用基础——UG软件
- ❏ CAD/CAM软件应用基础——Pro/E软件
- ❏ CAD/CAM软件应用基础——MasterCAM软件

责任编辑：周 欢 封面设计：付 巍 封面制作：白 雪



中国铁道出版社 计算机图书批销部
地址：北京市宣武区右安门西街8号
邮编：100054

网址：<http://edu.tqbooks.net>
读者热线电话：(010) 63560056
销售服务电话：(010) 83550290/91 83550580

ISBN 978-7-113-10553-2



9 787113 105532 >

ISBN 978-7-113-10553-2/TH·145 定价：14.00 元

国家社会科学基金（教育学科）“十一五”规划课题研究成果
中等职业学校数控技术应用专业规划教材

机械工程材料

郎一民 李玉青 主 编

吴晶波 副主编

程福顺 郁柏力 贾会萧 穆 馨 参 编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书共分八章，主要内容包括金属材料的性能、金属材料的结构、钢的热处理、常用钢铁材料、常见的轧制钢材、有色金属及硬质合金、非金属材料、工程材料的选用。

本书内容由浅入深、循序渐进、图文并茂，有较强的实用性，采用新的国家标准，并对传统相关教材内容进行了适当的调整、取舍和更新。

本书适合作为中等职业学校机械类数控专业、模具专业及相关专业教材，也可作为职业培训教材和参考书。为方便学习，每章后面都配备有小结、复习题等内容，供广大师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械工程材料/郎一民，李玉青主编. —北京：中国铁道出版社，2009.10

中等职业学校数控技术应用专业规划教材

ISBN 978-7-113-10553-2

I. 机… II. ①郎…②李… III. 机械制造材料—专业学校—教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 168712 号

书 名：机械工程材料

作 者：郎一民 李玉青 主编

策划编辑：秦绪好

责任编辑：周 欢

编辑部电话：（010）63583215

编辑助理：何红艳

封面设计：付 巍

封面制作：白 雪

责任印制：李 佳

出版发行：中国铁道出版社（北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码：100054）

印 刷：北京鑫正大印刷有限公司

版 次：2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：8.75 字数：198 千

印 数：5 000 册

书 号：ISBN 978-7-113-10553-2/TH·145

定 价：14.00 元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签，无标签者不得销售

凡购买铁道版的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请与本社计算机图书批销部调换。

序

PREFACE

国家社会科学基金课题“以就业为导向的职业教育教学理论与实践研究”在取得理论研究成果的基础上，分别选取了高等职业教育和中等职业教育的十几个专业大类开展实践研究。中等职业教育机械专业类是其中之一。

本课题研究发现，中等职业教育在专业教育上承担着帮助学生构建起专业理论知识框架、技术方法体系框架和职业活动体系框架的任务。其中，专业理论知识框架、技术方法体系框架是为学生职业活动体系的构建服务的。而这三个体系框架的构建需要通过教材体系和教材内部结构得以实现，即学生的心理结构来自于教材的体系和结构。为此，这套中等职业教育机械类专业系列教材的设计，依据不同教材在其构建理论知识、技术方法、职业活动三个体系中的作用，采用了不同的教材内部结构设计和编写体例。

承担专业理论知识体系构建任务的教材，强调了专业理论知识框架的完整与系统，不强调专业理论知识的深度和难度；追求的是学生对专业理论知识整体框架的了解，不追求学生只掌握某些局部内容，而求其深度和难度。

承担技术方法体系框架构建任务的教材，注重让学生了解这种技术的产生与演变过程，培养学生的技术创新意识；注重让学生把握这种技术的整体框架，培养学生对新技术的学习能力；注重让学生在技术应用过程中掌握这种技术的操作，培养学生的技术应用能力；注重让学生区别同种用途的其他技术的特点，培养学生职业活动中的技术比较与选择能力。

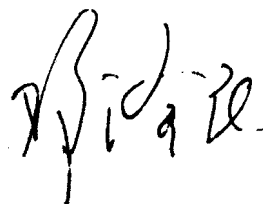
承担职业活动体系构建任务的教材，依据不同职业活动对所从事人特质的要求，分别采用了过程驱动、情景驱动、效果驱动的方式，形成了做学合一的各种的教材结构与体例，诸如：项目结构、案例结构等。过程驱动培养所从事人的程序逻辑思维；情景驱动培养所从事人的情景敏感特质；效果驱动培养所从事人的发散思维。

本套教材无论从课程标准的开发、教材体系的建立、教材内容的筛选、教材结构的设计还是到教材素材的选择，得到了机械行业专家的大力支持，他们在机械行业职业资格标准和各类技术在我国应用广泛程度，提出了十分有益的建议；倾注了国内知名职业教育专家和全国一百多所中等职业学校机械专业类一线老师心血，他们对中等职业教育机械类专业培养的人才特质和类型提出了宝贵的意见，对中等职业教育机械类专业教学提供了丰富的素材和鲜活的教学经验。

这套教材是我国中等职业教育近年来从只注重学生单一职业活动体系构建，向专业理论知识

框架、技术方法体系框架和职业活动体系框架三个体系构建的转变的有益尝试，也是国家社会科学基金课题“以就业为导向的职业教育教学理论与实践研究”研究成果的具体应用之一。

如本套教材有不足之处，敬请各位专家、老师和广大同学不吝赐教。希望通过本套教材的出版，为我国中等职业教育和机械产业的发展做出贡献。

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'X. Y. Q. Z.' or similar, written in a cursive style.

2009 年 10 月

前言

FOREWORD

本书是根据教育部颁布的中等职业学校机械类金属工艺学教学大纲金属材料部分，同时参照有关行业中级技术工人考核等级标准进行编写的，适合作为中等职业学校机械类数控专业、模具专业及其相关专业的教学用书，也可作为职业培训教材和参考书。

本教材从培养学生综合职业能力出发，注重对学生的能力进行全面的培养，突出中等职业教育的特点，配置了大量参考图片、实物照片及表格，图文并茂，直观性、可读性强。适时插入拓展延伸、相关链接及典型实例，以拓展学生学习思维空间，提高学生运用所学的知识分析问题、解决问题的能力，增强学生的学习兴趣。每章后面都配备有小结、复习题等内容，以利于学生对相关知识的掌握与理解。

本着以“知识够用”的原则，降低理论教学的难度，删除了传统的以学科体系为背景的抽象原理，简化了过多陈述性知识，以强化知识的应用性为原则，反映时代发展的新知识、新技术、新工艺、新方法，拓宽学生的视野，培养学生的创新精神。

本课程建议教学总学时 64 学时，各校可根据教学实际灵活安排。各部分内容学时分配建议参考意见如下表：

章节	课 程 内 容	学 时 数		
		合 计	讲 授	实 践
1	金属材料的性能	8	4	4
2	金属材料的结构	12	8	4
3	钢的热处理	10	8	2
4	常用钢铁材料	10	10	
5	常见的轧制钢材	8	6	2
6	有色金属及硬质合金	6	6	
7	非金属材料	2	2	
8	工程材料的选用	4	2	2
	机动	4		
总计		64	46	14

本书由长春机械工业学校郎一民、李玉青担任主编，吴晶波担任副主编，参加编写的情况是：长春机械工业学校郎一民负责第 1、2 章，吴晶波、程福顺、郁柏力负责第 3、4 章，李玉青负责第 5、6 章，天津第一轻工业学校贾会萧、穆馨负责第 7、8 章。全书由湖南铁道职业技术学院朱鹏超副教授担任主审。

由于编写时间仓促，在教材中难免有一些错误或疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

编 者

2009 年 9 月

← 中等职业学校数控技术应用专业规划教材

编审委员会

主任：邓泽民 葛金印

副主任：（按姓氏笔画排序）

王 猛 朱仁盛 朱鹏超 张国军

邵泽强 赵光霞 崔俊明

委员：（按姓氏笔画排序）

王彩凤 石阶安 许国华 李 林

李友节 宋 胄 张 萍 陈 爽

郎一民 周文兰 金志刚 施文龙

钱 屹 高晓东 徐良芝 徐夏民

徐晓俊 魏东坡

目 录

CONTENTS

第 1 章 金属材料的性能	1
1.1 金属材料的物理、化学性能	1
1.1.1 金属材料的物理性能	1
1.1.2 金属材料的化学性能	2
1.2 金属材料的力学性能	2
1.3 金属材料的工艺性能	10
小结	11
复习题	12
第 2 章 金属材料的结构	14
2.1 金属学基础知识	14
2.1.1 金属的晶体结构	14
2.1.2 纯金属的结晶	16
2.1.3 金属的同素异构转变	18
2.2 合金的晶体结构	19
2.2.1 合金的结构与结晶	19
2.2.2 合金的结晶	20
2.3 铁碳合金相图	21
2.3.1 铁碳合金中的基本相	21
2.3.2 铁碳合金中的基本组织	22
2.3.3 铁碳合金相图分析	23
2.3.4 铁碳合金相图的应用	29
小结	30
复习题	31
第 3 章 钢的热处理	34
3.1 热处理概述	34
3.1.1 钢的热处理基本原理	34
3.1.2 钢的热处理方法	34
3.2 钢在加热时的组织转变	35
3.2.1 奥氏体的形成过程	35
3.2.2 细化奥氏体晶粒组织	36
3.3 钢在冷却时的转变	36
3.3.1 基本概念	36

3.3.2	共析钢过冷奥氏体等温转变曲线.....	37
3.4	钢的常用热处理方法.....	39
3.4.1	钢的退火.....	39
3.4.2	钢的正火.....	39
3.4.3	钢的淬火.....	40
3.4.4	淬透性与淬硬性.....	41
3.4.5	钢的回火.....	42
3.4.6	钢淬火回火的应用.....	42
3.5	钢的表面热处理.....	43
3.5.1	表面淬火.....	43
3.5.2	钢的化学热处理.....	44
3.6	典型零件热处理分析.....	44
3.6.1	热处理的技术条件的标注.....	44
3.6.2	热处理工序位置安排.....	44
3.6.3	典型零件的热处理工序分析.....	45
3.7	热处理新工艺简介.....	45
小结		46
复习题		47
第4章	常用钢铁材料.....	50
4.1	钢的分类.....	50
4.2	碳素钢.....	51
4.2.1	碳素结构钢.....	51
4.2.2	碳素工具钢.....	54
4.3	钢中的化学元素.....	55
4.3.1	杂质元素对钢的影响.....	55
4.3.2	合金元素在钢中的作用.....	55
4.4	合金钢的分类和牌号.....	56
4.4.1	合金钢的分类.....	56
4.4.2	合金钢的牌号表示方法.....	57
4.5	合金结构钢.....	57
4.5.1	低合金结构钢.....	58
4.5.2	机械制造用钢.....	59
4.5.3	铸钢.....	61
4.6	合金工具钢.....	61
4.6.1	合金刀具钢.....	61
4.6.2	合金模具钢.....	62
4.6.3	合金量具钢.....	63

4.7	特殊性能钢	63
4.7.1	不锈钢耐酸钢	64
4.7.2	耐热钢	64
4.7.3	耐磨钢	64
4.8	铸铁	65
4.8.1	灰铸铁	65
4.8.2	可锻铸铁	66
4.8.3	球墨铸铁	68
4.8.4	蠕墨铸铁	69
4.8.5	合金铸铁	70
	小结	70
	复习题	71
第 5 章	常见的轧制钢材	74
5.1	钢材概述	74
5.2	工业常用型钢	74
5.2.1	型钢的分类	75
5.2.2	型钢的简单断面分类	75
5.2.3	冷弯型钢	77
5.3	工业常用线材及带钢	78
5.3.1	线材的分类	78
5.3.2	按用途线材常见分类	78
5.3.3	带钢	79
5.4	钢板和钢管	79
5.4.1	钢板（包括带钢）的分类	80
5.4.2	钢管	81
	小结	83
	复习题	84
第 6 章	有色金属及硬质合金	86
6.1	铝及铝合金	86
6.1.1	工业纯铝	87
6.1.2	铝合金	88
6.2	铜及铜合金	90
6.2.1	工业纯铜	90
6.2.2	铜合金	91
6.3	钛及钛合金	93
6.3.1	工业纯钛	94
6.3.2	钛合金	94

6.4	轴承合金	95
6.4.1	对轴承合金的性能要求	95
6.4.2	轴承合金的组织特征	96
6.4.3	常用的轴承合金	96
6.5	硬质合金	97
6.5.1	硬质合金的性能特点	97
6.5.2	常用硬质合金	98
	小结	100
	复习题	100
第 7 章	非金属材料	102
7.1	塑料	102
7.1.1	塑料的组成与分类	102
7.1.2	塑料的成型加工与机械加工	104
7.2	橡胶与胶粘剂	104
7.2.1	橡胶的组成、种类及应用	105
7.2.2	胶粘剂	105
7.3	陶瓷材料	106
7.3.1	陶瓷的性能	106
7.3.2	常用陶瓷	107
7.4	复合材料	107
7.4.1	复合材料的性能及特点	108
7.4.2	常用复合材料的种类	108
7.4.3	常用复合材料简介	108
	小结	109
	复习题	110
第 8 章	工程材料的选用	111
8.1	零件的失效分析	111
8.1.1	机械零件的失效	111
8.1.2	零件失效的原因	112
8.2	工程材料的选用原则及方法步骤	113
8.2.1	选材的原则	113
8.2.2	选材的方法与步骤	114
8.3	典型零件金属材料的选材	116
8.3.1	齿轮类零件	116
8.3.2	轴类零件	116
8.3.3	箱体类零件	118

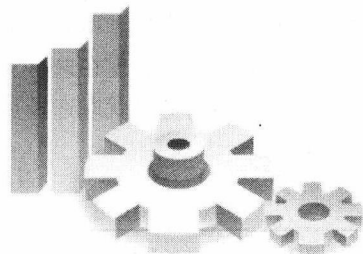
小结119

复习题.....119

附录 A 压痕直径与布氏硬度对照表 121

附录 B 黑色金属硬度及强度换算表 123

参考文献 124



第 1 章

金属材料的性能

学习目标

- 了解金属材料的物理、化学、力学及工艺性能。
- 掌握金属材料强度、塑性、硬度、韧性的定义及测定原理与方法。
- 明确金属材料力学性能指标的测定。

1.1 金属材料的物理、化学性能

在生产和生活实践中需要使用大量金属材料，而不同的金属材料又表现出不同的性能，包括使用性能和工艺性能。使用性能指在材料使用过程中所表现出来的性能，包括物理性能、化学性能、力学性能等；工艺性能指在材料对各种加工工艺的适应能力，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能及热处理性能等。

1.1.1 金属材料的物理性能

金属材料在各种物理现象作用下所表现出来的性能称为物理性能，主要体现在密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性等方面。

(1) 密度 相同体积的不同金属，具有不同的质量。质量大的密度大，质量小的密度小，所以密度是物体单位体积的质量。密度符号用 ρ 来表示，其定义表达式为：

$$\rho = m/V$$

式中： m ——金属的质量，kg；

V ——金属的体积， m^3 ；

ρ ——金属的密度， kg/m^3 。例如，纯铜的密度为 $8.96 \times 10^3 kg/m^3$ 。

(2) 熔点 金属由固体状态转变成液体状态时的温度称为熔点，所有金属都有固定的熔点。例如，铁的熔点为 $1538^\circ C$ ，锡的熔点为 $232^\circ C$ 等。

(3) 导热性 将金属棒的一端加热，另一端会逐渐变热，金属这种传导热能的性质称为导热性。导热性好的金属散热也好。各种金属的导热能力是不同的，银的导热性最好，铜的导热性次

之，铁的导热性较差。一般纯金属导热性好，与其相应的金属合金导热性较差。

(4) 导电性 金属都具有导电性的特性，金属这种具有传导电流的能力，称为导电性。各种金属的导电性能是不同的，金、银的导电性最好，铜、铝次之。一般纯金属导电性好，与其相应的金属合金导电性较差。

(5) 热膨胀性 将金属受热体积增大、遇冷体积收缩的特性称为金属的热膨胀性。不同的金属体积随温度变化的大小也不同。热膨胀性是金属物理性能中很重要的指标，尤其表现在选材、加工、装配等方面。例如，量具只有保持高度的尺寸稳定性才能准确，这样在制造时就应选择热膨胀系数小的材料加工。常见金属的密度、熔点、线胀系数如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的密度、熔点及线胀系数

金属名称	符 号	密度 $\rho / (10^3 \text{ kg/m}^3)$	熔点 $T_0 / ^\circ\text{C}$	线胀系数 $\alpha_l (10^{-6} \text{ K}^{-1})$
银	Ag	10.49	960	19.7
铝	Al	2.7	660	23.6
铜	Cu	8.96	1 083	17.0
铬	Cr	7.19	1 903	6.2
铁	Fe	7.87	1 538	11.76
镁	Mg	1.74	650	24.3
锰	Mn	7.43	1 244	37.0
镍	Ni	8.90	1 453	13.4
钛	Ti	4.51	1 677	8.2
锡	Sn	7.30	232	2.3
钨	W	19.3	3 380	4.6

1.1.2 金属材料的化学性能

金属材料对周围介质侵蚀的抵抗能力称为金属材料的化学性能，主要包括耐腐蚀性、抗氧化性等。

- (1) 耐腐蚀性 指金属材料在高温下对大气水蒸气、酸及碱等介质的抵抗能力。例如，铁生的红锈、铜生的绿锈及铝生的白锈等就是金属的腐蚀现象。
- (2) 抗氧化性 指金属材料在常温下对周围介质中氧的抵抗能力。例如，有些材料在高温下易与氧结合，生成氧化皮而造成金属的损耗，甚至报废，因此对于处在高温下工作的零件，必须采用抗氧化性好的材料来制造。

1.2 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在外力作用下所表现出来的抵抗能力，主要包括强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳强度等。在设计与制造机械设备选用金属材料时，以力学性能为主要依据，因此掌握和熟悉金属材料的力学性能显得尤为重要。

金属所受的外力又称载荷，根据载荷施加方式的不同将载荷分为静载荷（大小不变或变化缓慢的载荷）；冲击载荷（在短时间内以较高速度突然增加的载荷）；交变载荷（大小或方向随时间

作周期性变化的载荷)。

根据载荷作用形式不同,可分为拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转等几种形式。金属受到载荷作用而产生几何形状和尺寸的变化称为变形。变形可分为弹性变形和塑性变形两种。

金属受外力作用时,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力称为内力。

单位面积上的内力称为应力。金属材料受到拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面积上的应力按下列公式计算:

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

式中: σ ——应力, Pa, 其中, $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 、 $1\text{MPa} = 1\text{N}/\text{mm}^2 = 10^6\text{Pa}$;

F ——外力, N;

S ——横截面积, m^2 。

1. 强度

强度指金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形或断裂破坏的能力,分为抗拉强度、抗扭强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等五种。各种强度间常有一定的联系,使用时一般以抗拉强度作为最基本的判别强度指标。

(1) 拉伸试验及拉伸曲线 常用的强度测定是使用拉伸试验机,如图 1-1 所示。圆柱形拉伸试样如图 1-2 所示。图中 d_0 为原始试样直径; L_0 为原始试样的标距长度;标准试样 ($L_0=10d_0$) 短试样 ($L_0=5d_0$)。在试样两端缓慢地施加载荷,使试样受轴向拉力而沿轴向伸长,直到拉断为止。一般试验机都带有自动记录装置,可把作用在试样上的力和所引起的试样伸长量自动记录下来,并绘出“力—伸长”曲线,称为拉伸曲线或拉伸图。低碳钢拉伸曲线示意图如图 1-3 所示,曲线的纵坐标为载荷 F ,单位为 N;横坐标是绝对伸长 ΔL ,单位为 mm。分析曲线图中表现出的以下几种变形阶段:

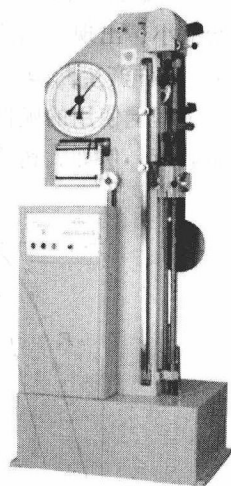


图 1-1 拉伸试验机

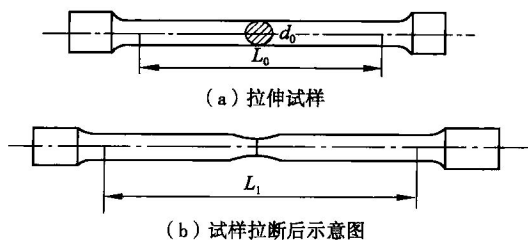


图 1-2 圆柱形标准拉伸试样

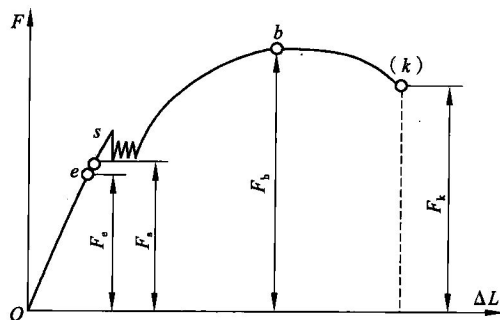


图 1-3 低碳钢拉伸曲线示意图

① 斜直线部分(弹性变形部分) 当载荷力比较小,即在 F_e 以下阶段时,试样伸长随载荷增加成正比例增加,保持直线关系。该阶段试样变形是弹性的,若卸载后变形能完全恢复,则该阶段为弹性变形阶段。