

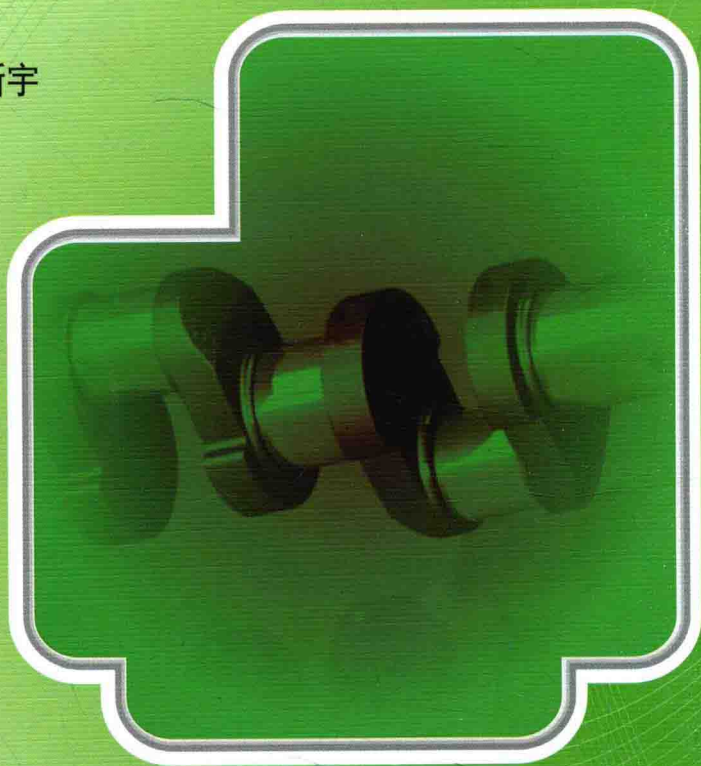


全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

机械工程实训



主编 侯书林 张 炜 杜新宇



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

机械工程实训

主 编	侯书林	张 炜	杜新宇
副主编	马世榜	于文强	张建国
	郭宏亮	侯艳君	刘 亮



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部 2007 年制定的机械类专业《高等工业学校金工实习教学基本要求》，由北京大学出版社组织国内多所院校经验丰富的一线教师结合各自学校近年来教学改革成果编写而成的。本书丰富了实训内容，强化了技能训练，增加了综合技能训练课题及实践中常见问题解析，便于学生理解与掌握。

全书内容包括绪论，金属材料与热处理，铸造，锻压，焊接，金属切削的基础与常用计量器具，钳工，车削加工，铣削加工，磨削加工，刨、拉、镗削加工，典型表面成型工艺，数控加工和特种加工技术。每章附有适量的复习思考题。

本书可作为高等工科院校、农林院校等机械类、近机类各专业的实训教材和参考书，也可供机械制造工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程实训/侯书林, 张炜, 杜新宇主编. —北京: 北京大学出版社, 2015. 10

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-26114-9

I. ①机… II. ①侯…②张…③杜… III. ①机械工程—高等学校—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 171417 号

书 名 机械工程实训

Jixie Gongcheng Shixun

著作责任者 侯书林 张 炜 杜新宇 主编

策划编辑 童君鑫

责任编辑 黄红珍

标准书号 ISBN 978-7-301-26114-9

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京富生印刷厂

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 572 千字

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

定 价 52.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

前 言

机械工程实训是高等工科院校教学中的一门重要的实践性技术基础课。该课程将为后续相关工程类课程的学习打下重要的基础。

近年来,随着社会对工科院校学生工程实践能力创新意识培养要求的提高,各个学校对机械工程实训教学进行了改革,对工程实训基地进行了建设和投入;加工工程技术的发展,新材料、新设备、新技术、新工艺大量涌现,急需对现行使用的教材进行更新补充和完善。

我们在总结各个学校近年来对机械工程实训教学改革的成功经验和基地建设的新成果基础上,参考教育部制定的《高等工业学校金工实习教学基本要求》完成了本实训教材的编写。本书在内容安排上,既有传统内容,又增加了大量代表先进制造技术的内容,而且丰富了实训内容,强化了技能训练,增加了综合技能训练课题及实践中常见问题解析,便于学生理解与掌握。全书内容包括绪论,金属材料与热处理,铸造,锻压,焊接,金属切削的基础与常用计量器具,钳工,车削加工,铣削加工,磨削加工,刨、拉、镗削加工,典型表面成型工艺,数控加工和特种加工技术。在教材插图处理方面,我们考虑到参加实习学生识图能力的限制,尽可能使用三维图,以方便学生识读。每章附有适量的复习思考题。

本书专业覆盖面宽,故内容的取舍有一定的伸缩性,以适应不同专业、不同学时教学需求,从而启发学生的思维,提高学习兴趣。

参加本书编写的有中国农业大学侯书林,华北水利水电大学侯艳君(第1章),南阳师范学院马世榜(绪论,第2、4章,第12章12.3~12.5节,第13章),解放军军械工程学院刘亮(第3章),南阳理工学院魏飞(第5章)和杜新宇(第6、7章),甘肃农业大学张炜(第8章),山东理工大学于文强(第9、10章),晋中学院张建国(第11章),聊城大学郭宏亮(第12章12.1、12.2节)。全书由侯书林负责组织编写,侯书林、张炜、杜新宇担任主编,马世榜、于文强、张建国、郭宏亮、侯艳君、刘亮担任副主编。全书由南阳理工学院张林海老师统稿。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类及近机类各专业的教材和参考书,也可供高职类工科院校选用及机械制造工程技术人员学习参考。

在本书的编写过程中,我们参考和引用了一些教材中的部分内容和插图,所用参考文献均已列于书后,在此对作者和相关出版社表示衷心感谢;同时得到了各参编院校及北京大学出版社的大力支持,在此一并表示由衷的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,我们衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2015年6月

目 录

绪论	1
----------	---

第1章 金属材料与热处理	2
--------------------	---

1.1 金属材料基础知识	2
--------------------	---

1.1.1 金属的晶体结构	2
---------------------	---

1.1.2 铁碳合金相图	4
--------------------	---

1.2 金属材料力学性能	7
--------------------	---

1.2.1 强度	7
----------------	---

1.2.2 塑性	8
----------------	---

1.2.3 冲击韧性	8
------------------	---

1.2.4 硬度	9
----------------	---

1.3 零件热处理工艺	10
-------------------	----

1.3.1 退火与正火	10
-------------------	----

1.3.2 淬火与回火	11
-------------------	----

1.3.3 钢的表面热处理	13
---------------------	----

1.3.4 典型零件热处理工艺	13
-----------------------	----

1.4 常用钢材的现场鉴别方法	14
-----------------------	----

1.4.1 火花鉴别法	15
-------------------	----

1.4.2 钢材的涂色标记	16
---------------------	----

1.5 综合技能训练课题	18
--------------------	----

1.5.1 金属的力学性能的测试	18
------------------------	----

1.5.2 铁碳合金平衡组织观察	19
------------------------	----

1.5.3 碳钢的热处理	20
--------------------	----

1.5.4 铸铁、合金钢及有色金属的 显微组织观察	21
------------------------------------	----

1.5.5 钢铁材料的火花鉴别	21
-----------------------	----

1.6 实践中常见问题解析	21
---------------------	----

1.7 热处理实训安全技术	22
---------------------	----

1.8 本章小结	23
----------------	----

1.9 思考与练习	23
-----------------	----

第2章 铸造	25
--------------	----

2.1 砂型铸造	25
----------------	----

2.1.1 造型材料	26
------------------	----

2.1.2 造型方法	26
------------------	----

2.1.3 铸造工艺设计	29
--------------------	----

2.2 特种铸造	34
----------------	----

2.2.1 熔模铸造(失蜡铸造)	34
------------------------	----

2.2.2 金属型铸造	35
-------------------	----

2.2.3 压力铸造	37
------------------	----

2.2.4 离心铸造	38
------------------	----

2.3 铸件结构设计	39
------------------	----

2.3.1 铸造工艺对铸件结构的 要求	39
------------------------------	----

2.3.2 合金铸造性能对铸件结构的 要求	41
--------------------------------	----

2.3.3 不同铸造方法对铸件结构的 要求	44
--------------------------------	----

2.4 综合技能训练课题	46
--------------------	----

2.5 实践中常见问题解析	48
---------------------	----

2.5.1 铸件的常见缺陷	48
---------------------	----

2.5.2 铸件常见缺陷的鉴别	49
-----------------------	----

2.6 铸造安全技术	51
------------------	----

2.7 本章小结	51
----------------	----

2.8 思考与练习	51
-----------------	----

第3章 锻压	53
--------------	----

3.1 自由锻	54
---------------	----

3.1.1 锻造工艺基础	54
--------------------	----

3.1.2 锻造设备	54
------------------	----

3.1.3 锻造方法	56
------------------	----

3.1.4 锻件结构工艺性	59
---------------------	----

3.2 模锻与胎模锻	60
------------------	----

3.2.1 锻造工艺基础	60
--------------------	----

3.2.2 锻造设备	61
------------------	----

3.2.3 锻造方法	65
------------------	----

3.2.4 锻造结构工艺性	65
---------------------	----



3.3	板料冲压	66
3.3.1	板料冲压特点及应用	66
3.3.2	冲裁	66
3.3.3	拉深	68
3.3.4	弯曲	70
3.3.5	成形	71
3.3.6	板料冲压件的结构 工艺性	72
3.4	现代塑性加工与发展趋势	75
3.4.1	精密模锻	75
3.4.2	挤压	75
3.4.3	轧制成形	76
3.4.4	超塑性变形	78
3.4.5	塑性加工发展趋势	79
3.5	综合技能训练课题	80
3.5.1	锻造技术操作	80
3.5.2	锻造范例	82
3.5.3	板料冲压技能操作	84
3.5.4	冷冲模范例	85
3.6	实践中常见问题解析	86
3.7	锻压操作安全技术	87
3.8	本章小结	87
3.9	思考与练习	88

第4章 焊接 89

4.1	手工电弧焊	90
4.1.1	手工电弧焊过程	90
4.1.2	手工电弧焊设备	91
4.1.3	手工电弧焊焊条	92
4.1.4	手工电弧焊焊接工艺	93
4.1.5	焊接接头设计与焊接 位置	94
4.1.6	焊接接头的常见缺陷	96
4.1.7	焊接应力和变形	97
4.2	气焊与气割	99
4.2.1	气焊火焰	99
4.2.2	气焊设备	100
4.2.3	焊丝和焊剂	101
4.2.4	气割	102
4.3	电阻焊和钎焊	103

4.3.1	电阻焊	103
4.3.2	钎焊	103
4.4	其他焊接方法	104
4.4.1	埋弧焊	104
4.4.2	气体保护焊	105
4.4.3	电渣焊	107
4.4.4	摩擦焊	108
4.4.5	等离子弧焊与切割	108
4.4.6	真空电子束焊接	110
4.4.7	激光焊接	111
4.5	综合技能训练课题	112
4.5.1	焊接技能操作	112
4.5.2	焊接范例	113
4.6	焊接操作安全技术	114
4.7	本章小结	115
4.8	思考与练习	115

第5章 金属切削的基础与常用

计量器具	116
金属切削基础知识	116
5.1.1 切削运动	116
5.1.2 切削要素	117
5.1.3 金属切削过程	118
5.1.4 刀具磨损	119
加工精度和表面粗糙度	119
5.2.1 尺寸精度	120
5.2.2 形状精度	120
5.2.3 位置精度	120
5.2.4 表面粗糙度	121
常用计量器具	122
5.3.1 游标卡尺	122
5.3.2 千分尺	123
5.3.3 百分表及杠杆百分表	126
5.3.4 内径百分表	127
5.3.5 万能角度尺	128
5.3.6 塞规及卡规	129
综合技能训练课题	129
实践中常见问题解析	132
5.5.1 刀具磨损较快原因的分析	132

5.5.2	切削中的质量分析	132	6.8	研磨	163
5.5.3	量具测量不准确的原因 分析	133	6.8.1	研磨基础知识	163
5.6	刀具修磨安全技术	133	6.8.2	平面的研磨方法	165
5.7	本章小结	133	6.9	矫正与弯曲	166
5.8	思考与练习	133	6.9.1	矫正基础知识准备	166
第6章	钳工	135	6.9.2	矫正的基本方法	166
6.1	钳工操作基础	135	6.9.3	弯曲基础知识准备	167
6.1.1	钳工加工的作用及内容	135	6.9.4	弯形的方法	167
6.1.2	钳工加工常用设备和 工具	136	6.10	综合技能训练课题	168
6.1.3	划线	137	6.11	钳工操作安全技术	169
6.2	锯削	141	6.12	本章小结	169
6.2.1	锯削操作的相关知识 准备	141	6.13	思考与练习	170
6.2.2	锯削操作方法	142	第7章	车削加工	172
6.2.3	锯削的姿势	143	7.1	车床的装配、调整与刀具	172
6.3	锉削	143	7.1.1	车床的基本构造及其机械 加工工艺特点	172
6.3.1	锉削操作的相关知识 准备	143	7.1.2	刀具材料、角度与 结构	174
6.3.2	锉削加工及检测方法	145	7.2	车削外圆、端面 and 钻中心孔	177
6.4	铰削	148	7.2.1	外圆、端面车削 and 钻中心孔 实习的相关知识准备	177
6.4.1	铰削实习的相关知识 准备	148	7.2.2	外圆、端面车削 and 钻中心孔 实习的加工实例	184
6.4.2	铰削操作方法	149	7.3	在车床上钻、镗 and 铰圆柱孔	185
6.5	钻、扩、铰、铰孔加工	151	7.3.1	钻、镗 and 铰孔实习的相关 知识准备	185
6.5.1	钻、扩、铰、铰孔实习的 相关知识准备	152	7.3.2	钻、扩、铰 and 镗孔实习的 加工实例	187
6.5.2	钻孔与扩孔、铰孔、铰孔 操作	155	7.4	槽的加工 and 工件的切断	188
6.6	攻螺纹 and 套螺纹	157	7.4.1	槽车削 and 切断实习的相关 知识准备	188
6.6.1	攻螺纹操作相关知识 准备	157	7.4.2	槽加工 and 切断实习的实例及 练习	191
6.6.2	攻螺纹的操作方法	158	7.5	车内、外圆锥面	192
6.6.3	套螺纹操作相关知识 准备	159	7.5.1	内、外圆锥面车削实习的 相关知识准备	192
6.6.4	套螺纹的操作方法	160	7.5.2	内、外圆锥车削加工 方法及其注意事项	193
6.7	刮削	160	7.5.3	圆锥孔车削实习的加工 实例及练习	195
6.7.1	刮削的相关知识准备	161			
6.7.2	刮削操作方法	162			



7.6 螺纹的加工	196
7.6.1 螺纹车削实习的相关知识准备	196
7.6.2 螺纹车削方法及注意事项	198
7.6.3 螺纹车削实习的加工实例及练习	200
7.7 车削偏心工件	200
7.7.1 偏心车削实习的相关知识准备	200
7.7.2 偏心车削加工方法及注意事项	201
7.7.3 偏心车削实习的加工实例及练习	202
7.8 特型面的加工	203
7.8.1 特型面车削实习的相关知识准备	203
7.8.2 特型面的车削及其注意事项	203
7.8.3 特形面车削实习的加工实例	205
7.9 综合技能训练课题	205
7.10 实践中常见问题解析	206
7.10.1 外圆车削加工注意事项	206
7.10.2 平面车削的注意事项	207
7.10.3 孔加工时的注意事项	207
7.10.4 车削圆锥时的注意事项	207
7.10.5 车螺纹时的注意事项	207
7.10.6 切断和车沟槽的注意事项	208
7.11 车工操作安全技术	208
7.11.1 人身安全注意事项	208
7.11.2 设备安全注意事项	208
7.12 本章小结	209
7.13 思考与练习	209

第8章 铣削加工	211
8.1 铣削刀具与机床及夹具	211
8.1.1 刀具类型及结构	212
8.1.2 机床的类型和结构	219
8.1.3 机床附件	221
8.1.4 铣床夹具与定位	223
8.2 典型表面铣削加工工艺	228
8.2.1 外圆表面成型	228
8.2.2 沟槽表面成型	230
8.2.3 平面的铣削加工	240
8.2.4 成型表面加工	246
8.3 综合技能训练课题	247
8.3.1 铣床技能操作	247
8.3.2 铣削范例	249
8.4 实践中常见问题解析	252
8.5 铣工操作安全技术	253
8.6 本章小结	254
8.7 思考与练习	254
第9章 磨削加工	255
9.1 平面磨削	255
9.1.1 平面磨床	255
9.1.2 砂轮的特征要素	257
9.1.3 平面磨削操作	260
9.1.4 专项技能训练课题	260
9.2 外圆磨削	261
9.2.1 外圆磨削设备	261
9.2.2 外圆磨削操作	262
9.2.3 专项技能训练课题	263
9.3 内圆磨削	265
9.3.1 内圆磨削设备	265
9.3.2 内圆磨削操作	266
9.3.3 专项技能训练课题	267
9.4 实践中常见问题解析	268
9.4.1 平面磨削常见缺陷的产生原因	268
9.4.2 外圆磨削常见缺陷的产生原因	268

9.4.3 内圆磨削常见缺陷的产生 原因	270	11.2.3 轮盘类零件的加工 工艺	314
9.5 磨工操作安全规范	271	11.2.4 叉架类零件的加工 工艺	315
9.6 本章小结	272	11.3 实践中常见问题解析	317
9.7 思考与练习	272	11.3.1 生产类型与工艺方案	317
第10章 刨、拉、镗削加工	274	11.3.2 毛坯成型方法的选择	318
10.1 刨削加工	274	11.3.3 工序加工余量的确定	320
10.1.1 刨削插削设备与刀具	275	11.4 本章小结	320
10.1.2 刨削操作	278	11.5 思考与练习	321
10.1.3 专项技能训练课题	283	第12章 数控加工	323
10.2 拉削加工	285	12.1 数控加工基础知识	323
10.3 镗削加工	286	12.1.1 概述	323
10.3.1 镗削设备与刀具	286	12.1.2 数控加工原理及编程 基础	326
10.3.2 镗削操作	288	12.2 数控车削加工	329
10.3.3 专项技能训练课题	292	12.2.1 数控车床简介	329
10.4 实践中常见问题解析	294	12.2.2 数控车削加工工艺 基础	330
10.4.1 刨平面中常出现的问题及 解决方法	294	12.2.3 数控车削编程	331
10.4.2 镗削加工时应避免出现的 问题	295	12.2.4 专项技能训练课题	332
10.5 拓展训练	295	12.3 数控铣削加工	334
10.5.1 刨削轴上键槽	295	12.3.1 数控铣床简介	334
10.5.2 阀体镗削实例	296	12.3.2 数控铣削加工工艺 基础	335
10.6 刨、镗削加工操作安全规范	298	12.3.3 数控铣削编程与实例	336
10.6.1 刨削操作安全规范	298	12.3.4 加工中心简介	342
10.6.2 镗削操作安全规范	298	12.3.5 专项技能训练课题	342
10.7 本章小结	299	12.4 实践中常见问题解析	344
10.8 思考与练习	299	12.5 数控机床操作安全技术	344
第11章 典型表面成型工艺	300	12.6 本章小结	345
11.1 典型表面成型	300	12.7 思考与练习	345
11.1.1 外圆表面成型	300	第13章 特种加工技术	346
11.1.2 内圆表面成型	301	13.1 概述	346
11.1.3 平面成型	303	13.1.1 特种加工的产生与 发展	346
11.1.4 成型表面加工	304	13.1.2 特种加工的分类	347
11.2 综合技能训练课题	307	13.2 电火花加工	348
11.2.1 轴类零件加工工艺	308		
11.2.2 箱体类零件的加工 工艺	311		



13.2.1	电火花成形加工机床	348
13.2.2	电火花成形加工工艺	350
13.2.3	专项技能训练课题	351
13.3	电火花线切割加工	351
13.3.1	线切割加工机床	351
13.3.2	电火花线切割工艺	352
13.3.3	数控线切割编程	352
13.3.4	自动编程	355
13.3.5	偏移补偿值的计算	355
13.3.6	专项技能训练课题	355
13.4	激光加工	357
13.4.1	激光加工原理和加工特点	357
13.4.2	激光加工的特点和应用	357
13.4.3	激光加工机床	358
13.4.4	专项技能训练课题	358
13.5	超声波加工	359
13.5.1	超声波加工机床	359
13.5.2	超声波加工工艺	359
13.5.3	专项技能训练课题	360
13.6	快速成型技术	361
13.6.1	快速成型原理及特点	361
13.6.2	FDM 成型机及操作	362
13.6.3	专项技能训练课题	365
13.7	实践中常见问题解析	366
13.7.1	电加工参数的选择	366
13.7.2	机械参数的选择	367
13.8	操作安全技术	367
13.9	本章小结	368
13.10	思考与练习	368
参考文献		369

绪 论

机械制造业是整个工业的基础和重要组成部分,自第一次工业革命以来,机械制造业的水平就是衡量一个国家经济发展水平的重要标志。现代化的生产手段,无论在工业、农业或交通运输业,都是以机械化和自动化为标志的。而自动化也要以机械化为基础。机械是进行一切现代生产的基本手段。因此,传授机械制造基本知识和基本技能的机械工程实训,就成为绝大多数工科专业及部分理科专业大学生的必修课。对于机械类各专业学生,机械工程实训还是学习其他有关技术基础课程和专业课程的重要先修课。其中,机械工程实训与工程材料和机械制造基础(即机械制造基础及机械制造技术基础)课程有着特殊的关系,机械工程实训既是机械制造基础课程的必要先修课,又是它的实践环节和重要组成部分。

理工科大学培养的学生应具有工程技术人员的全面素质,即不仅具有优秀的思想品德、扎实的理论基础和专业知识,而且要有解决实际工程技术问题的能力。机械工程实训是一门实践性很强的技术基础课程,是对大学生进行工程训练,建立工程概念,提高综合素质,增强实践技能,掌握工艺知识,培养创新意识和创新能力的一个重要环节,所以机械工程实训是理工科大学一个很重要的教学环节,在培养学生的过程中具有重要的作用。

本课程的任务如下:

(1) 了解机械制造的一般过程。熟悉机械零件的常用加工方法及其所用主要设备的工作原理及典型结构、工夹量具的使用和安全操作技术。了解机械制造工艺知识和一些新工艺、新技术在机械制造中的应用。

(2) 初步对简单零件具有选择加工方法和进行工艺分析的能力。在主要工种上应具有独立完成简单零件加工制造的实践能力。

(3) 培养学生的动手能力与工程素质,训练学生形象思维能力和观察、分析、解决实际问题的能力。

(4) 在劳动观点、质量和经济观念、理论联系实际和科学作风等工程技术人员应具有的基本素质方面受到培养和锻炼。

第 1 章

金属材料与热处理

教学提示：金属材料是目前应用最广泛的材料。为了便于材料的生产、应用与管理，也为了便于材料的研究与开发，有必要了解其性能、晶体结构、相图、热处理方式、钢材的鉴别等。

教学要求：了解金属的晶体结构、金属的力学性能及测试、钢的热处理方法、金属材料的鉴别方法。重点掌握硬度测试、金相组织观察，钢的热处理方法及钢的火花鉴别方法。

1.1 金属材料基础知识

1.1.1 金属的晶体结构

一切物质都是由原子组成的，根据原子在物质内部排列的特征，固态物质可分为晶体与非晶体两类。晶体内部原子在空间呈一定的有规则排列，如金刚石、石墨、雪花、食盐等。晶体具有固定熔点和各向异性的特征。非晶体内部原子是无规则堆积在一起的，如玻璃、松香、沥青、石蜡、木材、棉花等。非晶体没有固定熔点，并具有各向同性。

金属在固态下通常都是晶体，在自然界中包括金属在内的绝大多数固体都是晶体。晶体之所以具有这种规则的原子排列，主要是由于各原子之间的相互吸引力和排斥力相平衡的结果。由于晶体内部原子排列的规律性，有时甚至可以见到某些物质的外形也具有规则的轮廓，如水晶、食盐、钻石、雪花等，而金属晶体一般看不到有这种规则的外形。晶体中原子排列情况如图 1.1(a)所示。

为了便于描述晶体中原子的排列规律，把每一个原子的核心视为一个几何点，用直线按一定的规律把这些几何点连接起来，形成空间格子，把这种假想的格子称为晶格，如图 1.1(b)所示。晶格所包含的原子数量相当多，不便于研究分析，将能够代表原子排列规律的最小单元体划分出来，这种最小的单元体称为晶胞，如图 1.1(c)所示。晶胞的大小和形状常以晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边间夹角 α 、 β 、 γ 来表示，其中 a 、 b 、 c 称作晶格常数。通过分析晶胞的结构可以了解金属的原子排列规律，判断金属的某些性能。

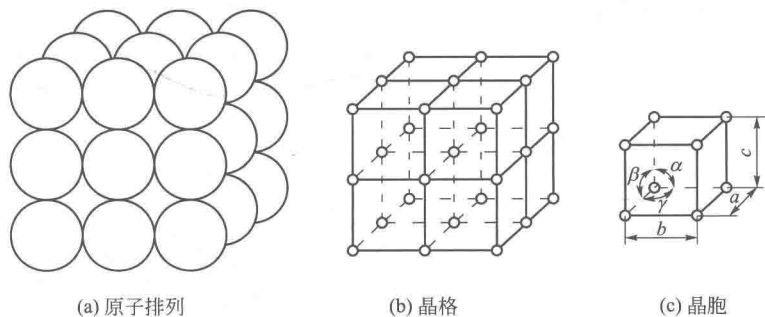


图 1.1 晶体的结构

金属的晶格类型有很多, 纯金属常见的晶体结构主要为体心立方、面心立方及密排六方三种类型。

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1.2 所示。其晶胞是一个正立方体, 晶胞的 3 个棱边长度 $a=b=c$, 晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, 其晶格常数通常只用一个晶格常数 a 表示即可。在体心立方晶胞的每个角上和晶胞中心都排列有一个原子。体心立方晶胞的每个角上的原子为相邻的 8 个晶胞所共有。体心立方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 个。

属于这种类型的金属有 Cr、Mo、W、V、 α -Fe 等。它们大多具有较高的强度和韧性。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1.3 所示。其晶胞也是一个正立方体, 晶胞的 3 个棱边长度 $a=b=c$, 晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, 其晶格常数也只用一个晶格常数 a 表示。在面心立方晶胞的每个角上和立方体 6 个面的中心都排列有一个原子。面心立方晶胞的每个角上的原子为相邻的 8 个晶胞所共有, 而每个面中心的原子为相邻的两个晶胞所共有。面心立方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 个。

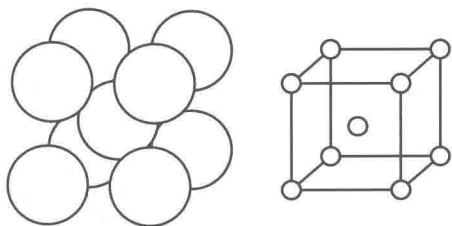


图 1.2 体心立方晶格的晶胞示意图

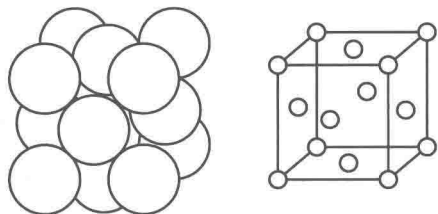


图 1.3 面心立方晶格的晶胞示意图

属于这种类型的金属有 Al、Cu、Ni、 γ -Fe 等, 它们大多具有较高的塑性。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 1.4 所示。其晶胞是一个正六棱柱体, 晶胞的 3 个棱边长度 $a=b \neq c$, 晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=90^\circ$ 、 $\gamma=120^\circ$, 其晶格常数用正六边形底面的边长 a 和晶



胞的高度 c 表示。在密排六方晶胞的两个底面的中心处和 12 个角上都排列有一个原子，柱体内部还包含着 3 个原子。每个角上的原子同时为相邻的 6 个晶胞所共有，面中心的原子同时为相邻的两个晶胞所共有，而体中心的 3 个原子为该晶胞所独有。密排六方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$ 个。

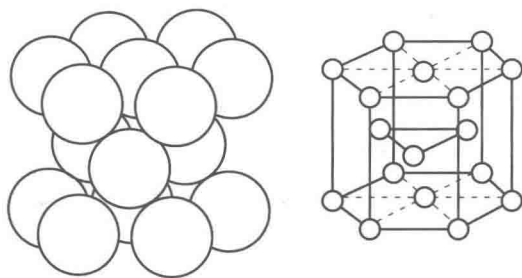


图 1.4 密排六方晶格的晶胞示意图

属于这种类型的金属有 Mg、Zn、Be、 α -Ti、 α -Co 等，它们大多具有较大的脆性，塑性较差。

1.1.2 铁碳合金相图

铁碳合金相图是研究铁碳合金的基础。由于 $w_C > 6.69\%$ 的铁碳合金脆性极大，没有使用价值。另外，渗碳体中 $w_C = 6.69\%$ ，是个稳定的金属化合物，可以作为一个组元。因此，研究的铁碳合金相图实际上是 Fe-Fe₃C 相图，如图 1.5 所示。

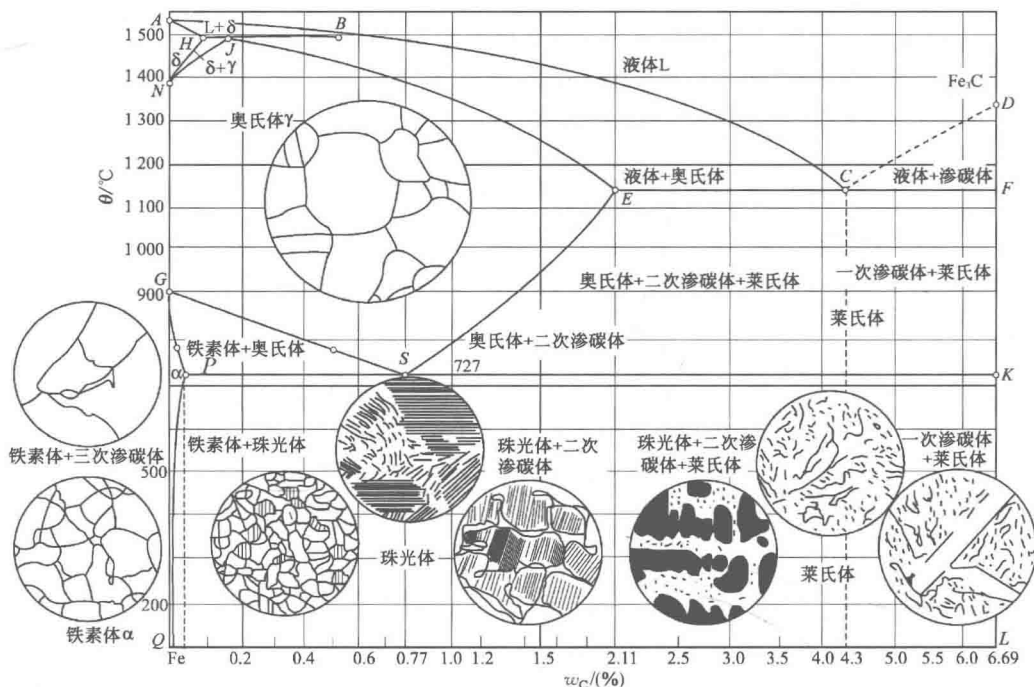


图 1.5 Fe-Fe₃C 相图

1. 相图中的点、线、区

Fe-Fe₃C 相图中各主要点的温度、含碳量及含义见表 1-1。

表 1-1 Fe-Fe₃C 相图中各主要点的温度、含碳量及含义

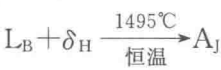
点的符号	温度/℃	含碳量/(%)	说明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金成分
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ-Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	渗碳体的成分
G	912	0	α-Fe⇌γ-Fe 转变温度
H	1495	0.09	碳在 δ-Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	渗碳体的成分
N	1394	0	γ-Fe⇌δ-Fe 转变温度
P	727	0.0218	碳在 α-Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	室温	0.0008	室温时碳在 α-Fe 中的溶解度

相图中各主要线的意义如下。

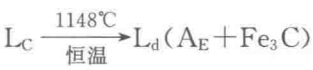
ABCD 线：液相线，该线以上的合金为液态，合金冷却至该线以下便开始结晶。

AHJECF 线：固相线，该线以下合金为固态，加热时温度达到该线后合金开始融化。

HJB 线：包晶线，含碳量为 0.09%~0.53%的铁碳合金，在 1495℃的恒温下均发生包晶反应，即

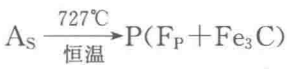


ECF 线：共晶线，含碳量大于 2.11%的铁碳合金当冷却到该线时，液态合金均要发生共晶反应，即



共晶反应的产物是奥氏体与渗碳体(或共晶渗碳体)的机械混合物，即莱氏体(L_d)。

PSK 线：共析线。当奥氏体冷却到该线时发生共析反应，即



共析反应的产物是铁素体与渗碳体(或共析渗碳体)的机械混合物，即珠光体(P)。共晶反应所产生的莱氏体冷却至 PSK 线时，内部的奥氏体也要发生共析反应转变成成为珠光体，这时的莱氏体叫低温莱氏体(或变态莱氏体)，用 L'_d表示。PSK 线又称 A₁线。



NH 、 NJ 和 GS 、 GP 线：固溶体的同素异构转变线。在 NH 与 NJ 线之间发生 $\delta-Fe \rightleftharpoons \gamma-Fe$ 转变， NJ 线又称 A_4 线，在 GS 与 GP 之间发生 $\gamma-Fe \rightleftharpoons \alpha-Fe$ 转变， GS 线又称 A_3 线。

ES 和 PQ 线：溶解度曲线，分别表示碳在奥氏体和铁素体中的极限溶解度随温度的变化线， ES 线又称 A_{cm} 线。当奥氏体中碳的质量分数超过 ES 线时，就会从奥氏体中析出渗碳体，称为二次渗碳体，用 Fe_3C_{II} 表示。同样，当铁素体中碳的质量分数超过 PQ 线时，就会从铁素体中析出渗碳体，称为三次渗碳体，用 Fe_3C_{III} 表示。

此外， CD 线是从液体中结晶出渗碳体的起始线，从液体中结晶出的渗碳体称为一次渗碳体 (Fe_3C_I)。

值得说明的是，本节讲述的一次渗碳体 (Fe_3C_I)、二次渗碳体 (Fe_3C_{II})、三次渗碳体 (Fe_3C_{III}) 及共晶渗碳体、共析渗碳体，它们的化学成分、晶体结构、力学性能都是一致的，并没有本质上的差异，不同的命名仅表示它们的来源、结晶形态及在组织中的分布情况有所不同而已。

相图中有 5 个基本相，相应的有 5 个单相区： $ABCD$ 以上为液相区 L ， $AHNA$ 区为 δ 固相区， $NJESGN$ 区为奥氏体 (A) 相区， $GPQG$ 区为铁素体 (F) 相区， $DFKL$ 为渗碳体 (Fe_3C) 相区。

相图中有 7 个两相区： $L+\delta$ ， $L+A$ ， $L+Fe_3C_I$ ， $\delta+A$ ， $A+F$ ， $A+Fe_3C_{II}$ ， $F+Fe_3C_{III}$ 。

相图中有 3 个三相共存区： HJB 线 ($L+\delta+A$)、 ECF 线 ($L+A+Fe_3C$)、 PSK 线 ($A+F+Fe_3C$)。

2. 图中铁碳合金的分类

$Fe-Fe_3C$ 相图中不同成分的铁碳合金，在室温下将得到不同的显微组织，其性能也不同。

通常根据相图中的 P 点和 E 点将铁碳合金分为工业纯铁、钢及白口铸铁 3 类。

(1) 工业纯铁。工业纯铁是指室温下为铁素体和少量三次渗碳体的铁碳合金， P 点以左 (含碳量小于 0.0218%)。

(2) 钢。钢是指高温固态组织为单相固溶体的一类铁碳合金， P 点成分与 E 点成分之间 (含碳量 0.0218%~2.11%)，具有良好的塑性，适于锻造、轧制等压力加工，根据室温组织的不同又分为 3 种：

① 亚共析钢： P 点成分与 S 点成分之间 (含碳量 0.0218%~0.77%) 的铁碳合金。室温组织为铁素体+珠光体，随着含碳量的增加，组织中珠光体的量增多。

② 共析钢： S 点成分 (含碳量 0.77%) 的铁碳合金，室温组织全部是珠光体的铁碳合金。

③ 过共析钢： S 点成分与 E 点成分之间 (含碳量 0.77%~2.11%) 的铁碳合金。室温组织为珠光体+渗碳体，渗碳体分布于珠光体晶粒的周围 (即晶界)，在金相显微镜下观察呈网状结构，故又称网状渗碳体。含碳量越高，渗碳体层越厚。

(3) 白口铸铁。白口铸铁是指 E 点成分以右 (含碳量 2.11%~6.69%) 的铁碳合金。有较低的熔点，流动性好，便于铸造加工，脆性大。根据室温组织的不同又分为 3 种：

① 亚共晶白口铸铁： E 点成分与 C 点成分之间 (含碳量 2.11%~4.3%) 的铁碳合金。

室温组织为低温莱氏体+珠光体+二次渗碳体。

② 共晶白口铸铁：C 点成分(含碳量 4.3%)的铁碳合金。室温组织为低温莱氏体。

③ 过共晶白口铸铁：C 点成分以右(含碳量 4.3%~6.69%)的铁碳合金。室温组织为低温莱氏体+一次渗碳体。

1.2 金属材料力学性能

材料的力学性能是指材料在外力作用下所表现出的抵抗能力。由于载荷的形式不同，材料可表现出不同的力学性能，如强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、材料选择及工艺评定的主要依据。

1.2.1 强度

材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式，材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。在使用中一般多以抗拉强度作为基本的强度指标，常简称为强度。强度单位为 MPa(MN/m²)。

材料的强度、塑性是依据国家标准(GB/T 228.1—2010)通过静拉伸试验测定的。它是把一定尺寸和形状的试样装夹在拉力试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。拉伸前后的试样如图 1.6 所示。标准试样的截面有圆形的和矩形的，圆形试样用得较多，圆形试样有长试样($L_0=10d_0$)和短试样($L_0=5d_0$)。一般拉伸试验机上都带有自动记录装置，可绘制出载荷(F)与试样伸长量(ΔL)之间的关系曲线，并据此可测定应力(R)—伸长率(e)关系： $R=F/S_0$ (S_0 为试样原始截面积)、 $e=(L-L_0)/L_0(\%)$ 。图 1.7 为低碳钢的应力—应变曲线($R-e$ 曲线)。研究表明低碳钢在外加载荷作用下的变形过程一般可分为三个阶段，即弹性变形、塑性变形和断裂。

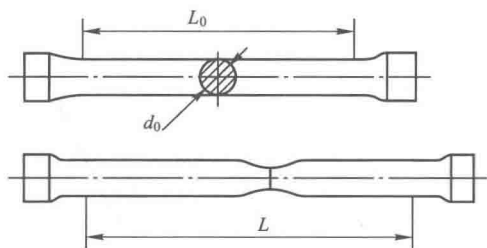


图 1.6 拉伸试样

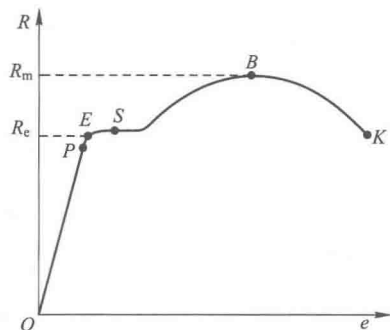


图 1.7 低碳钢的应力-应变曲线图

(1) 弹性极限。在图 1.7 中，OE 段为弹性阶段，即去掉外力后，变形立即恢复，这种变形称为弹性变形，其应变值很小，E 点的应力 R_e 称为弹性极限。OE 线中 OP 部分为一斜直线，因为应力与应变始终成比例，所以 P 点的应力 R_p 称为比例极限。由于 P 点和 E 点很接近，一般不作区分。

在弹性变形范围内，应力与应变的比值称为材料的弹性模量 E (MPa)。弹性模量 E 是