

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车机械基础 / 王有坤, 谢丹, 齐迎春主编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2015. 4 (2021. 3 重印)

21 世纪高职高专立体化精品教材. 汽车系列

ISBN 978-7-5623-4603-6

I. ①汽… II. ①王…②谢…③齐… III. ①汽车—机械学—高等职业教育—教材 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 069096 号

汽车机械基础

QICHE JIXIE JICHU

王有坤 谢丹 齐迎春 主编

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scute13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

项目策划: 王磊

责任编辑: 刘静 杨立伟

印刷者: 天津市蓟县宏图印务有限公司

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 18.5 字数: 449 千

版次: 2015 年 7 月第 1 版 2021 年 3 月第 3 次印刷

定价: 45.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

本书系统介绍了汽车机械方面的基础知识，共分 6 个学习情境，并以学习单元形式进行讲解，通俗易懂，实用性强。其内容主要包括汽车材料基础知识、汽车构件静力学分析、汽车构件承载能力分析、汽车常用传动机构、汽车机械传动装置、汽车常用机械零件。

本书在编排上，注重理论与实践相结合，采用情境式教学模式，通过实际情境引出学习内容，充分体现“工学结合一体化”的教学思想。本书将学习情境分解为若干学习单元，每个情境由情境导入、学习导航、单元知识、教学检测四部分组成，全书共设置学习单元 18 个。正文中设置了小提示、课堂讨论等特色模块，意在提高学生的兴趣，促进学生的全面发展。

本书内容广泛翔实，适合高等职业类、应用型本科类、技工类学校使用，可作为汽车机械基础方面的入门教材，也可作为企业岗前培训教材。

“汽车机械基础”作为汽车类专业的一门专业技术基础课，是学好后继专业课程的基础。通过本课程的学习，学生可对汽车生产所采用的各种材料、主要零部件、传动方式等有一个较全面、概括性的了解，初步掌握常用材料、常用零部件、各种传动方式的工作原理、结构特点，并具备一定的合理选择及应用能力。随着汽车新材料、新技术的不断应用，按照高等职业教育教学的要求，“汽车机械基础”课程应更加实用化、综合化，涉及内容应更加广泛，使之更加切实可行地应用于汽车相关专业教学之中。

本书首先介绍了汽车常用材料的特点及选择方法，然后以构件的力学分析为基础，介绍了汽车常用传动机构、传动装置和机械零件。考虑到高职高专的特点，同时也为了便于教学，本书在内容上贯彻“少而精”的原则，力求做到结构合理、分量适当、联系实际、学用结合、由浅入深，注意知识的科学性、系统性。概念的引出、学习案例、教学检测，尽量针对汽车的零部件，以增加学生的学习兴趣。

本书在编排上，注重理论与实践相结合，采用情境式教学模式，通过实际情境引出学习内容，充分体现“工学结合一体化”的教学思想。本书将学习情境分解为若干单元，每个情境由情境导入、学习导航、单元知识、教学检测等组成，全书共设置学习单元 18 个。正文中设置了小提示、课堂讨论等特色模块，意在提高学生的学习兴趣，促进学生的全面发展。

本书内容广泛翔实，适合高等职业类、应用型本科类、技工类学校使用，可作为汽车机械基础方面的入门教材，也可作为企业岗前培训教材。

全书共 6 个学习情境，具体如下。

学习情境一 汽车常用材料——主要讲述汽车应用材料的基础知识，包括常用汽车零部件材料和汽车运行材料的种类、性能、使用条件、选择方法等。

学习情境二、三 力学基础——主要介绍了力学分析的基础知识，包括力系的简化、物体的平衡条件等静力学知识以及物体在外力作用下的变形计算、力失效破坏的规律等构件承载能力分析的知识。

学习情境四 汽车常用传动机构——主要讲述了传动机构组成的一些基本原理和规律。汽车机械中常用机械机构比如连杆机构、凸轮机构、间歇传动机构等的工作原理和类型、运动特点、设计方法、选用原则和方法、一般使用维护知识，并简单介绍机器动力学的有关知识。

学习情境五 汽车机械传动装置——主要讲述汽车中常用的机械传动机构，如齿轮传动、带传动、链传动等的类型、工作原理、设计方法以及应用等。

学习情境六 汽车常用机械零件——主要阐述汽车机械中轴系零部件及汽车中常用连接零件的工作原理、类型、结构特点、材料、结构设计方法、选用原则和方法，扼要地介绍了通用零部件的有关国家标准和规范。

本书由长春汽车工业高等专科学校王有坤、谢丹，吉林大学齐迎春担任主编，田维、王哲（长春汽车工业高等专科学校）、王众（吉林大学）担任副主编。其中学习情境一和学习情境二由王有坤编写，学习情境三由谢丹编写，学习情境四由田维编写，学习情境五由王哲编写，学习情境六由王众编写。全书由齐迎春负责统稿工作。

由于编写时间仓促，书中错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目 录

绪论

- 一、本课程研究的对象 1
- 二、本课程研究的内容 2

学习情境一 汽车材料基础知识

- 情境导入 4
- 学习导航 4
- 学习单元一 汽车零件材料 5
 - 一、金属材料 5
 - 二、非金属材料 20
 - 三、常用材料在汽车上的应用 24
- 学习案例 29
- 学习单元二 汽车运行材料 30
 - 一、汽车燃料的性能及使用 31
 - 二、汽车润滑材料 37
 - 三、汽车工作液 39
- 学习案例 44
- 学习单元三 金属材料的性能 45
 - 一、金属材料的使用性能 45
 - 二、金属材料的工艺性能 50
- 学习案例 50

- 教学检测 51

学习情境二 汽车构件静力学分析

- 情境导入 54
- 学习导航 54
- 学习单元一 静力分析的基本概念和公理 55
 - 一、汽车构件静力分析基础 55
 - 二、受力分析与受力图 60
- 学习案例 65
- 学习单元二 平面汇交力系 66
 - 一、平面汇交力系的合成和简化 67
 - 二、力偶及力偶系的简化 72
 - 三、平面任意力系的简化 75
 - 四、平面任意力系的平衡 79
- 学习案例 83
- 学习单元三 物系平衡和考虑摩擦的平衡分析 85
 - 一、物系平衡分析 85
 - 二、考虑摩擦时的平衡问题 87
- 学习案例 92
- 教学检测 93

学习情境三

汽车构件承载能力分析

情境导入 96

学习导航 96

学习单元一 汽车构件承载能力分析基础 97

一、承载能力分析的基本知识 97

二、轴向拉伸与压缩强度分析 100

三、剪切和挤压强度分析 110

四、轴的扭转强度分析 114

学习案例 122

学习单元二 平面弯曲 123

一、平面弯曲的概念 123

二、梁弯曲时的内力 124

三、剪力方程和弯矩方程 128

四、剪力图和弯矩图 129

五、纯弯曲时梁横截面上的应力 132

六、梁的弯曲强度分析 137

七、梁的变形与刚度计算 139

学习案例 140

教学检测 141

学习情境四

汽车常用传动机构

情境导入 143

学习导航 143

学习单元一 机构传动基础 144

一、机构组成 144

二、机构的运动简图 146

三、机构具有确定运动的条件 148

四、机构传动的类型和用途 152

学习案例 152

学习单元二 汽车常见平面连杆机构 154

一、平面连杆机构的组成、特点及应用 154

二、平面四杆机构的类型和应用 155

三、平面四杆机构的工作特性 159

学习案例 162

学习单元三 汽车凸轮传动 164

一、凸轮传动机构的组成、应用和分类 164

二、凸轮传动机构常用的运动规律 166

学习案例 171

学习单元四 其他常用机构 172

一、棘轮运动机构 172

二、槽轮机构 176

三、不完全齿轮机构 177

四、螺旋传动机构 178

学习案例 182

教学检测 183

学习情境五

汽车机械传动装置

情境导入 185

学习导航 185

学习单元一 齿轮传动 186

一、齿轮传动的特点、类型与基本要求 186

二、渐开线直齿圆柱齿轮 188

三、渐开线圆柱齿轮的啮合传动 194

四、斜齿圆柱齿轮传动 199

五、直齿圆锥齿轮传动 203

六、齿轮结构及齿轮的润滑 206

学习案例 208

学习单元二 蜗杆传动 209

一、蜗杆传动的特点和类型 209

二、蜗杆传动的基本参数和尺寸 211

三、蜗杆传动的材料选择、精度和润滑 213

学习案例 214

| | | | |
|-----------------------|-----|------------|-----|
| 学习单元三 带传动和链传动 | 216 | 学习单元二 轴承 | 235 |
| 一、带传动的组成、特点与类型 | 216 | 一、滑动轴承 | 235 |
| 二、V带与带轮 | 218 | 二、滚动轴承 | 243 |
| 三、普通V带传动 | 221 | 学习案例 | 253 |
| 四、链传动 | 222 | | |
| 学习案例 | 225 | 学习单元三 常用连接 | 254 |
| 教学检测 | 226 | 一、键连接 | 255 |
| | | 二、螺纹连接 | 258 |
| | | 三、紧固连接 | 264 |
| | | 四、联轴器 | 267 |
| | | 五、万向节 | 271 |
| | | 六、离合器 | 277 |
| | | 七、制动器 | 279 |
| | | 学习案例 | 281 |
| | | 教学检测 | 282 |
| | | 参考文献 | 284 |
| 学习情境六 汽车常用机械零件 | | | |
| 情境导入 | 228 | | |
| 学习导航 | 228 | | |
| 学习单元一 轴 | 229 | | |
| 一、轴的分类 | 229 | | |
| 二、轴上零件的定位和固定 | 230 | | |
| 三、轴的材料 | 233 | | |
| 四、轴的失效形式 | 234 | | |
| 学习案例 | 234 | | |

绪 论



一、本课程研究的对象

本课程研究的对象是汽车机械。

机械也常称为机器，是人类在长期生产实践中为满足自身生活需要而创造出来的。机械工业已经成为现代工业的基础，因此，机械的发展水平是衡量一个国家科技水平和现代化程度的重要标志。

汽车一般由发动机、底盘和车身三大部分组成。发动机是使输送进来的燃料燃烧而产生动力的部件，一般采用内燃机，由曲柄连杆机构、凸轮配气机构、燃料供给系、冷却系、润滑系、点火系和启动系组成。底盘是将发动机输出的动力转变为汽车的运动、并按驾驶员的操纵而正常行驶的部件，由传动系、行驶系、转向系和制动系组成。传动系包括离合器、变速器、传动轴、主减速器及差动器、半轴等传递动力的部分；行驶系对全车起支承作用，以保证汽车正常行驶，包括车架、前悬架和后悬架、前车轮和后车轮等部分；转向系使汽车按选定方向行驶，包括转向器、转向传动装置等；制动系使汽车能可靠停驻、停车和减速，包括前后轮制动器、控制、传动等装置。车身是驾驶员工作及容纳乘客和货物的场所。汽车是一个机械系统，通过这几大部件实现汽车的安全行驶功能。

一部完整的机器，一般都有下面四个基本组成部分。

(1) 动力部分。它是驱动整个机器完成预定功能的动力源。广泛使用的动力源有电力、热力、液力、压缩气体、风力等。

(2) 执行部分。它是机器中直接完成工作任务的组成部分，如起重机的吊钩、机床的刀具等。

(3) 传动部分。它是机器中介于原动机和执行部分之间，用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。利用它可以减速、增速、改变转速以及改变运动形式等，从而满足执行部分的各种要求，如汽车的传动系、内燃机的连杆、齿轮机构。

常用的传动形式有机械传动、液压传动、气压传动、电动传动等。其中，机械传动应用最广。

机械传动通常是通过各种传动机构，如连杆传动机构、凸轮传动机构、带传动、齿轮传动、间歇运动机构、起停和换向等装置，与各种零件，如轴、轴承、联轴器、螺栓及键等配合完成传动任务的。其运动特性通常用转速、速比、变速范围等参数表示；动力特性通常用功率、转矩、效率等表示。

(4) 控制部分。它是使上述几个基本职能部分彼此协调运作，并准确、安全、可靠地完成整机功能的组成部分，如汽车的转向系、制动系，内燃机的凸轮配气机构等。它包括机械控制、电气控制、液压控制和气压控制等。

以上四部分中，执行部分和传动部分是机器的主体。

任何机器都是由许多零件组合而成的。根据机器的功能和结构要求，某些零件需刚性连接成一个整体，成为机器中运动的基本单元件，通常称为构件。零件是机器中最小的制造单元。为了结构和工艺的需要，构件既可以由若干个零件组成，又可以是独立运动的零件。

机器除传递运动和动力外，还具有变换或传递能量、物料和信息的功能。机器具有以下三个特征。

- (1) 机器是由多个构件组成的。
- (2) 各构件间具有确定的相对运动，能够实现预期的机械运动。
- (3) 能够完成有效的机械功或进行能量转换（如内燃机把热能转换成机械能）。

具有机器前两个特征的多构件组合体，称为机构。机构能实现一定规律的运动，是机器中执行机械运动的装置。例如曲柄、连杆、活塞和汽缸体所组成的曲柄滑块机构，可以把往复直线运动转变为连续转动；由大、小齿轮和汽缸体所组成的齿轮机构，可以改变转速的大小和方向；由凸轮、推杆和汽缸体所组成的凸轮机构，可以将连续转动变为有规律的往复运动。

如果仅研究构件的运动和受力情况，机构与机器之间并无区别。因此，机械可以看作机器和机构的总称。

机器的各组成部分随其用途不同而各异，但在不同的机器组成中，常包括齿轮、带轮、凸轮、连杆、液压等传动机构，以及轴、轴承、联轴器、离合器、键、螺栓、销和弹簧等零部件，包含有机械、电气等传动、控制元件和机构。它们在不同的机器中所起的作用和工作原理基本相同，是各种机器共同的、重要的组成部分。对这些常见机构、零部件和元件，一般称为常用机构、通用零部件和元件。

二、本课程研究的内容

汽车和工程中各种机械设备、结构物一样，在工作过程中，各构件会受到各种各样载荷的作用。在这些载荷的作用下，构件必须满足相应的要求才能正常工作，从而避免在工作寿命期限内失效。而如何使设计的构件具备相应的工作能力，在工作过程中各构件为什么会失效，如何避免等问题，都必须运用力学的理论和方法去分析、计算。

因此,本课程对汽车机械基础的研究是以构件的力学分析为基础,以常用传动机构、通用零件、液压元件为主要研究对象,以传动方式(机械传动)为主线来进行的。具体内容如下。

学习情境一 汽车常用材料——主要讲述汽车应用材料的基础知识,包括常用汽车零部件材料和汽车运行材料的种类、性能、使用条件和选择方法等。

学习情境二、三 力学基础——主要介绍力学分析的基础知识,包括力系的简化、物体的平衡条件等静力学知识以及物体在外力作用下的变形计算、力失效破坏的规律等构件承载能力分析的知识。

学习情境四 汽车常用传动机构——主要讲述传动机构组成的一些基本原理和规律。汽车机械中常用机械机构比如连杆机构、凸轮机构、间歇传动机构等的工作原理和类型、运动特点、设计方法、选用原则和方法、一般使用维护知识,并简单介绍机器动力学的有关知识。

学习情境五 汽车机械传动装置——主要讲述汽车中常用的机械传动机构,如齿轮传动、带传动、链传动等的类型、工作原理、设计方法以及应用等。

学习情境六 汽车常用机械零件——主要阐述汽车机械中轴系零部件及汽车中常用连接零件的工作原理、类型、结构特点、材料、结构设计方法、选用原则和方法,扼要地介绍了通用零部件的有关国家标准和规范。

本书旨在对汽车机械方面的一般知识进行较为系统的介绍,并不要求读者通过学习本书就能具备进行复杂设计计算的能力。但是,本书在内容和习题编排上又具有一定的深度与广度,以使读者掌握必要的基本理论、基本知识及基本方法。

学习本课程要综合运用高等数学、机械制图、金属材料及热处理、互换性与技术测量、计算机等基本知识,学会构件承载能力分析,解决常用传动机构及其零件、元件的设计与应用等问题,具有较强的综合性、实践性,在相关各专业课程的教学中占有重要的地位。

chapter

00

chapter

01

chapter

02

chapter

03

chapter

04

chapter

05

chapter

06

学习情境一

汽车材料基础知识

情境导入

消费者李某在佳木斯市某农用配件商店购买了一台柴油机。使用 20 天后，发现柴油机气缸体出现裂纹。李某多次找经销商及生产厂家要求解决问题，但没有结果，于是投诉到佳木斯市消费者协会（以下简称佳木斯市消协）。

佳木斯市消协接到投诉后立即与经销商及生产厂家取得联系，经销商与厂家都认为柴油机气缸体出现裂纹是消费者使用、保养不当造成的。佳木斯市消协出具委托鉴定函，委托农机检验部门对柴油机进行质量鉴定。鉴定结论为“该气缸体产生裂纹处显微组织不合格，硬度不合格，存在质量问题。”因此，气缸体损坏是由气缸体材料不达标造成的。

通过对上述情境分析可见，汽车材料不仅影响到汽车的使用性能，更关系到汽车零部件及整车的寿命。那么汽车常用材料有哪些？这些材料又有哪些特性？

学习导航

汽车工程材料是现代化工业生产支柱之一，也是汽车制造的基础，汽车工业的发展在很大程度上要依赖于汽车工程材料的发展。而汽车材料多种多样，不同的材料具有不同的性能和用途。只有了解各种材料的性能要求和特点，才能正确地使用及加工各种汽车工程材料。因此，为圆满完成本情境的学习，必须掌握以下相关知识。

1. 金属与合金、非金属材料在本专业中的应用；
2. 常用材料的成分、组织、性能之间的关系及金属材料的热处理工艺；
3. 合理选用材料；
4. 汽车主要运行材料的性能及使用。

学习单元一 汽车零件材料

汽车零件材料指用以加工制造组成汽车的成千上万种零部件的不同品质、规格的机械工程材料。汽车零件材料数量大、品种多，几乎涵盖了所有传统和新兴的机械工程材料。据统计，全世界钢材产量的 1/4，橡胶产量的 1/2 以上，都用于汽车生产。汽车零件常用材料的种类如图 1-1 所示。

汽车零件制造材料以金属材料为主，金属材料中又以钢铁材料的用量最多。有色金属和非金属材料因其具有钢铁材料所没有的特性，所以在汽车制造中也得到了广泛应用。近年来，为适应汽车安全性、舒适性和经济性的要求，以及汽车低能耗、低污染的发展趋势，要求汽车减轻自重以实现轻量化，所以在汽车制造中钢铁的用量有所下降，而有色金属、非金属材料和复合材料等新型材料的用量正在上升。各种性能优越的新材料的应用，促进了汽车性能的提高和汽车工业的发展。

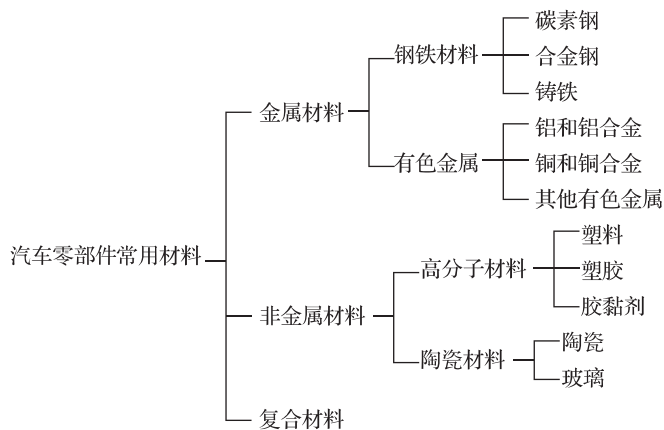


图 1-1 汽车零件常用材料

一、金属材料

金属材料一般是指工业应用中的纯金属或合金。自然界中有 70 多种纯金属，其中常见的有铁、铜、铝、锡、镍、金、银、铅、锌等。而合金指两种或两种以上的金属或金属与非金属结合而成，且具有金属特性的材料。金属材料种类繁多，习惯上分成钢铁材料和有色金属材料两大类。钢铁材料包括碳素钢、合金钢、铸铁等黑色金属。有色金属又称为非铁金属，是指黑色金属以外的金属和合金，如铜、铝、锌、锡、镍、铅、钛、镁以及铜合金、铝合金、钛合金、镍合金、镁合金和轴承合金等。

小提示

通常把铁、铬、锰及其合金称为黑色金属，而把铜、铝、镁、锡、锌、钛等金属及其合金称为有色金属。最常见的有色金属是铜及铜合金、铝及铝合金。

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

（一）钢铁材料

钢铁材料是以铁和碳为基本元素的合金，如钢、铸铁及其合金。钢铁材料的性能较好且加工方便，因此是汽车制造工业中应用最广泛的金属材料，其用量超过汽车制造用材料的 2/3。

钢铁材料包括碳素钢、合金钢和铸铁。含碳量小于 2.11% 的铁碳合金称为碳素钢，含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。一般要求的汽车结构零件大多采用碳素钢或铸铁制造，性能要求高的汽车结构零件则采用合金钢制造。

1. 碳素钢

碳素钢简称碳钢，其含碳量小于 2.11%，除含有铁和碳 2 种主要元素外，还含有少量的硅、锰、硫、磷等杂质元素（它们称为常存元素）。

（1）碳和常存元素对碳素钢的影响。

① 碳的影响。

碳是决定钢性能的主要元素。随着含碳量的增加，碳素钢的强度和硬度升高，塑性和韧性降低。当含碳量在 0.9% 左右时，强度达到最大值，以后随着含碳量的增加，硬度升高，强度、塑性和韧性降低，脆性增大。

② 常存元素的影响。

碳素钢中的常存元素是在冶炼时带入的，它们对钢的性能都有一定的影响。其中硅是作为脱氧剂加入钢中的，残余的硅能提高钢的强度和硬度，所以硅是有益元素，其含量一般不超过 0.5%。锰是作为脱氧剂和除硫剂加入钢中的，残余的锰也可提高钢的强度和硬度，所以锰也是有益元素，其含量一般为 0.25%~0.8%，高的可达 1.2%。硫是炼钢时残留在钢中的有害元素，它会导致钢在加热时开裂（即“热脆”现象），所以硫的含量一般应控制在 0.055% 以下。磷也是炼钢时残留在钢中的有害元素，它会导致钢在常温下因脆性过高而开裂（即“冷脆”现象），所以磷的含量一般应控制在 0.045% 以下。

（2）碳素钢的分类。

按钢的含碳量分类：

- ① 低碳钢——含碳量小于 0.25%。
- ② 中碳钢——含碳量在 0.25%~0.60%。
- ③ 高碳钢——含碳量大于 0.60%。

按钢的质量分类：

- ① 普通碳素结构钢——含硫量不大于 0.055%，含磷量不大于 0.045%。
- ② 优质碳素结构钢——含硫量、含磷量均不大于 0.040%。
- ③ 高级优质碳素结构钢——含硫量不大于 0.030%，含磷量不大于 0.035%。

按钢的用途分类：

- ① 碳素结构钢——用于制造机械零件和工程构件。
- ② 碳素工具钢——用于制造刀具、量具和模具。

按钢的脱氧程度分类：

- ① 镇静钢——完全脱氧钢，钢液浇注时平静地凝固。

- ② 沸腾钢——不脱氧钢，钢液浇注时有气体溢出。
- ③ 半镇静钢——半脱氧钢，介于镇静钢和沸腾钢之间。
- ④ 特殊镇静钢——比镇静钢脱氧程度更充分、彻底的钢。

(3) 常用碳素钢。

① 碳素结构钢。

碳素结构钢的含碳量在 0.06%~0.38% 之间，杂质元素硫、磷的含量较多，但冶炼容易，价格低廉，并具有较高的塑性和焊接性能，能满足一般的使用要求，因此大量用于汽车普通零件的制造。

根据 GB/T 700—2006《碳素结构钢》规定，碳素结构钢的牌号用“Q”加“屈服点数值-质量等级符号·脱氧程度符号”的格式表示。质量等级分为 A、B、C、D 四级；脱氧程度符号中，F 表示沸腾钢，B 表示半镇静钢，Z 表示镇静钢，TZ 表示特殊镇静钢（Z 和 TZ 标注时省略）。例如 Q235-A·F 表示屈服点为 235 MPa 的 A 级沸腾钢。

② 优质碳素结构钢。

优质碳素结构钢的化学成分和机械性能均得到严格保证，杂质元素硫、磷的含量少，热处理后机械性能较好，常用于制造较为重要的汽车零件。

优质碳素结构钢按其含锰量的不同，分为普通含锰量的优质碳素结构钢（含锰量小于 0.8%）和较高含锰量的优质碳素结构钢（含锰量为 0.7%~1.2%）。较高含锰量的优质碳素结构钢的应用范围和同牌号的优质碳素结构钢基本相同，但其强度较高，可用于制造受力较大的零件。

根据 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》规定，优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，这两位数字表示钢的平均含碳量。例如 45 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。较高含锰量的优质碳素结构钢，则在其牌号后面还标出“Mn”。例如 15Mn 表示含碳量为 0.15%、含锰量为 0.7%~1.2% 的优质碳素结构钢。

③ 铸钢。

铸钢是指将钢液直接浇注成零件毛坯的碳钢。铸钢的含碳量一般为 0.2%~0.6%，具有较好的机械性能、良好的焊接性能，但铸造性能并不理想。

根据 GB/T 11352—2009《一般工程用铸造碳钢件》规定，铸钢的牌号用“ZG”加“数字-数字”的格式表示，第一组数字代表最低屈服点，第二组数字代表最低抗拉强度。例如 ZG200-400 表示最低屈服点为 200 MPa、最低抗拉强度为 400 MPa 的铸钢。

2. 合金钢

汽车上一些受力复杂的重要零件，如果采用碳素钢制造，并不能满足其性能要求。因此，在汽车制造中还广泛应用了合金钢。典型合金钢制造的汽车零件如图 1-2 所示。

合金钢就是在碳素钢的基础上，为了改善钢的性能，在冶炼时有目的地加入一些合金元素而成的钢。常用的合金元素有：硅（Si）、锰（Mn）、铬（Cr）、镍（Ni）、钨（W）、钼（Mo）、钒（V）、硼（B）、铝（Al）、钛（Ti）和稀土元素（RE）等。

合金钢和碳素钢相比有许多优点，如在一定的热处理条件下具有较高的强度和硬度，同时又具有较好的塑性和韧性，即具有良好的综合机械性能；又具有良好的耐磨性、

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

耐蚀性和耐高温等特殊性能。但是合金钢冶炼成本高，价格昂贵，焊接和热处理工艺较为复杂。



图 1-2 典型合金钢制造的汽车零件

(1) 钢的热处理简介。

为了改善钢的性能，一方面可以调整钢的化学成分，加入合金元素形成合金钢；另一方面，可以对钢进行热处理。所谓热处理就是将钢在固态下加热、保温和冷却，以改善其组织和性能的一种工艺方法。热处理可分为普通热处理和表面热处理两大类。

① 普通热处理。

普通热处理就是用加热、保温和冷却的方法来改变钢的组织性能的热处理方法。按其加热温度和冷却方法的不同，有退火、正火、淬火和回火等热处理工艺。

a. 退火。退火就是将钢件加热到一定温度，保温一定时间后随炉缓慢冷却的热处理工艺。退火主要用来消除铸、锻件等的内应力，以防止变形和开裂；均匀组织、细化晶粒，改善钢的机械性能；降低钢的硬度，改善切削加工性能等。

b. 正火。正火就是将钢件加热到一定温度，保温一定时间在空气中冷却的热处理工艺。正火主要用来处理低碳钢、中碳钢零件，使其组织细化、减少内应力，提高钢的强度和韧性。

c. 淬火。淬火就是将钢件加热到一定温度，保温一定时间在冷却介质中快速冷却的热处理工艺。淬火主要用来提高钢的硬度和强度，但淬火会引起内应力，使钢变脆。所以淬火后必须回火。

d. 回火。回火就是将淬火后的钢件加热到临界温度以下的某一温度，保温一定时间后冷却的热处理工艺。回火主要用来消除淬火后钢的脆性和内应力，提高钢的塑性和韧性。几乎所有的淬火零件都需回火处理。

② 表面热处理。

在交变载荷、冲击载荷及强烈摩擦条件下工作的零件，如汽车传动齿轮、活塞销等，要求表面具有高硬度和高耐磨性，而芯部要具有足够的塑性和韧性，为了达到这种要求，就需要采用表面热处理的方法来实现。常用的表面热处理方法有表面淬火和化学热处理。

a. 表面淬火。表面淬火就是仅对工件表面进行淬火的热处理工艺。按加热方法不同，主要有火焰加热表面淬火和感应加热表面淬火 2 种，常用来处理齿轮的轮齿表面、曲轴的轴颈表面等。

b. 化学热处理。化学热处理就是用一定的工艺将碳、氮等元素渗入工件表面，以

改变其化学成分和组织结构，从而改善其表面性能的热处理工艺。按渗入元素的不同，主要有渗碳、渗氮和碳氮共渗等方法。渗碳主要用于低碳钢和低合金钢，如传动齿轮、活塞销和十字轴等；渗氮主要用于含铝、铬、钼等的中碳合金钢，如排气阀等；碳氮共渗的适用范围较广，如用于齿轮、蜗杆和轴类零件等。

课堂讨论

退火、正火、淬火、回火有何区别？

(2) 合金钢的分类。

按合金钢的用途分类：

- ① 合金结构钢——用于制造机械零件和工程构件。
- ② 合金工具钢——用于制造各种工具，如刀具、磨具和量具等。
- ③ 特殊性能钢——用于制造特殊性能要求的机械零件和工程构件，包括不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

按合金元素的含量分类：

- ① 低合金钢——合金元素总含量小于 5%。
- ② 中合金钢——合金元素总含量为 5%~10%。
- ③ 高合金钢——合金元素总含量大于 10%。

此外，按合金元素的种类分，有锰钢、铬钢、镍镉钢等；按合金钢的冶炼质量分，有优质钢、高级优质钢、特级优质钢等。

(3) 合金钢的牌号。

根据有关国家标准的规定，合金钢的牌号采用下述方法表示。

① 合金结构钢的牌号。合金结构钢的牌号采用“两位数字+合金元素符号+数字”的格式表示。前两位数字表示平均含碳量的万分之几、合金元素符号代表所含合金元素，后面的数字表示合金元素平均含量的百分之几。凡是合金元素的平均含量小于 1.5% 时，只标出元素符号，不标注含量。例如 40Cr 表示平均含碳量为 0.40%、平均含铬量小于 1.5% 的合金结构钢；60Si2Mn 表示平均含碳量为 0.60%、平均含硅量为 2%、平均含锰量小于 1.5% 的合金结构钢。

② 合金工具钢的牌号。合金工具钢的牌号采用“一位数字+合金元素符号+数字”的格式表示。前一位数字表示平均含碳量的千分之几，当含碳量大于或等于 1% 时不标注。合金元素及其含量的标注与合金结构钢相同，例如 9SiCr 表示平均含碳量为 0.9%、平均含硅量、含铬量都小于 1.5% 的合金工具钢。

③ 特殊性能钢的牌号。特殊性能钢的牌号表示方法和合金工具钢基本相同，例如 3Cr13 表示平均含碳量为 0.3%、平均含铬量为 13% 的不锈钢。

④ 滚动轴承钢的牌号。滚动轴承钢的牌号表示方法也和合金工具钢基本相同，但是其牌号中 Cr 元素后面的数字是表示含铬量的千分之几，并且在其牌号前面冠上字母“G”。例如 GCr9 表示平均含铬量为 0.9% 的滚动轴承钢。

(4) 合金结构钢。

合金结构钢按其用途分类，可分为工程用钢和机械制造用钢两大类。工程用钢主

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

要用于制造汽车大梁等各种工程构件，工程用钢的合金含量少，所以又称为低合金结构钢。机械制造用钢主要用于制造各种机械零件，按其用途和热处理特点不同，又可分为合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢等。

① 低合金结构钢。

低合金结构钢的含碳量为 $0.12\% \sim 0.20\%$ ，合金元素的含量一般小于 3% 。由于合金元素的存在，低合金结构钢比相同含碳量的碳素钢的强度高很多，并且具有良好的塑性、韧性、耐磨性、耐蚀性和焊接性能等。

根据 GB/T 3077—1999《合金结构钢》规定，低合金结构钢的牌号采用“Q”加“屈服点数值和质量等级符号（A、B、C、D）”的新格式表示。例如 Q390A 表示屈服点为 390 MPa 的 A 级低合金结构钢。

② 合金渗碳钢。

合金渗碳钢是按热处理方法命名的合金钢，主要热处理方法是渗碳后淬火，再予以低温回火。合金渗碳钢的含碳量一般为 $0.10\% \sim 0.25\%$ ，含碳量较低，能保证零件芯部具有足够的塑性和韧性。加入铬、镍、锰、硼等合金元素的主要作用是提高钢的强度和淬透性，使钢经热处理后具有较高的表面硬度和耐磨性，而芯部具有较高的强度和韧性；加入钒、钛等元素的主要作用是细化晶粒、提高渗碳层的耐磨性。

③ 合金调质钢。

合金调质钢也是按热处理方法命名的合金钢，其主要热处理方法是淬火加高温回火。合金调质钢的含碳量为 $0.25\% \sim 0.50\%$ ，以保证有足够的塑性和韧性，并且经热处理后有较高的硬度和强度。加入锰、铬、硼、镍等合金元素的作用是增强钢的淬透性，以提高钢的强度；加入钼、钒、钛等合金元素的作用是细化晶粒，提高回火稳定性，以得到良好的综合机械性能。

④ 合金弹簧钢。

合金弹簧钢是用于制造弹簧和弹性元件的专用钢。其含碳量要比合金调质钢高，一般为 $0.45\% \sim 0.70\%$ 。加入锰、硅、铬等合金元素的主要作用是提高钢的淬透性、强度和弹性；加入钼、钨、钒等合金元素的主要作用是防止硅、锰在加热时过热，提高弹性、耐热性和回火稳定性。

弹簧是汽车及其他机械上常用的元件，要求具有较高的疲劳强度和抗拉强度，有良好的工艺性和足够的韧性和塑性。特殊环境下工作的弹簧（如气门弹簧），还需具有一定的耐热性和耐蚀性。汽车上的气门弹簧、离合器弹簧、转向纵拉杆弹簧和活塞销卡簧等小型弹簧常采用合金弹簧钢 65Mn 制造，钢板弹簧等大截面弹簧常选用合金弹簧钢 55Si2Mn、60Si2Mn 制造。

⑤ 滚动轴承钢。

滚动轴承钢是用来制造滚动轴承内、外圈和滚动体的专用钢。其含碳量较高，约为 $0.95\% \sim 1.0\%$ ，以保证其有较高的硬度和耐磨性。加入 $0.40\% \sim 1.65\%$ 的铬，可提高钢的淬透性和耐磨性，对于大型滚动轴承用钢，还加入硅、锰等元素。

滚动轴承也是汽车及其他机械上常用的元件，要求具有较高的硬度和耐磨性，有较高的抗压强度和疲劳强度，有足够的韧性和一定的耐蚀性。常用的滚动轴承钢有

GCr9、GCr15、GCr15SiMn 和 GSiMnV 等。

(5) 特殊性能钢。

特殊性能钢是指具有特殊的物理性能和化学性能的钢，常用的有不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

不锈钢是指在腐蚀介质中具有高抗腐蚀能力的钢。按其合金元素的不同，常用的有铬不锈钢和铬镍不锈钢两种。铬不锈钢中的合金元素以铬为主，其含量一般大于 13%。铬能使钢表面形成一层致密的氧化膜，将钢与外部介质隔离，避免继续被腐蚀。铬不锈钢的含碳量一般为 0.1%~0.4%。碳能保证钢具有一定的强度、硬度和耐磨性，但会降低其耐蚀性。常用铬不锈钢的牌号有 1Cr13、2Cr13、3Cr13 和 4Cr13 等，常用来制造在腐蚀介质下工作的轴承、弹簧以及医疗器械等。铬镍不锈钢的含碳量较低，含铬量约为 18%，含镍量为 8%~11%。大量铬、镍元素的存在不仅能提高钢的耐蚀性，而且能使钢经热处理后获得单一的组织，防止电化学腐蚀，同时，具有良好的塑性、焊接性能和低温韧性。常用铬镍不锈钢的牌号有 1Cr18Ni9、2Cr18Ni9 等，常用来制造腐蚀介质下工作的化工设备和医疗器械等。不锈钢在汽车上可用于制造化油器针阀等。

耐热钢是指在高温下具有高抗氧化性能和强度的钢。耐热钢中加入的铬、硅、铝、钨、钼等合金元素，在高温下形成高熔点的致密氧化膜，覆盖在钢的表面，避免钢在高温下继续被氧化，同时，能提高其高温强度，耐热钢分为抗氧化钢和热强钢两类。抗氧化钢具有高的高温抗氧化性和一定的高温强度，常用抗氧化钢的牌号有 1Cr13Si3、1Cr13SiAl 等。热强钢具有高的高温抗氧化性，并具有较高的高温强度，常用热强钢的牌号有 15CrMo、4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo 等。汽车发动机的排气门在高温下工作，要求具有良好的耐热性，常采用耐热钢 4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo 等制造。

耐磨钢是指具有高耐磨能力的钢。其含碳量为 1.0%~1.3%，含锰量为 11%~14%，故又称为高锰钢。耐磨钢经热处理后，塑性和韧性好，硬度并不高。当它受到大的冲击和挤压时，表面因塑性变形而变硬，硬度大为提高，从而具有高耐磨性。当表面磨损后，新露出的表面又因受到冲击和挤压而提高耐磨性。耐磨钢不易于切削加工，但具有良好的铸造性能，所以耐磨钢一般都采用铸造成型。常用耐磨钢的牌号为 ZGMn13，广泛应用于制造在强烈冲击和严重磨损条件下工作的零件，如拖拉机履带、挖掘机铲斗等。

课堂讨论

- (1) 弹簧和弹性元件等汽车零件通常采用什么热处理？
- (2) 渗碳的目的是什么？

3. 铸铁

铸铁是含碳质量大于 2.11%（一般为 2.5%~4.0%）的铁碳合金，除含有铁和碳两种主要元素外，还含有一定量的硅、锰、硫和磷等元素。

铸铁与钢相比，其含碳、含硅量较高，杂质元素硫、磷较多，所以抗拉强度低，塑性和韧性差，但具有良好的铸造性、耐磨性、减振性和切削加工性能等，因此，在

chapter 00

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

汽车制造中铸铁也得到广泛的应用。在汽车上铸铁的用量占汽车全部金属材料重量的50%以上，典型铸铁制造的汽车零件如图 1-3 所示。

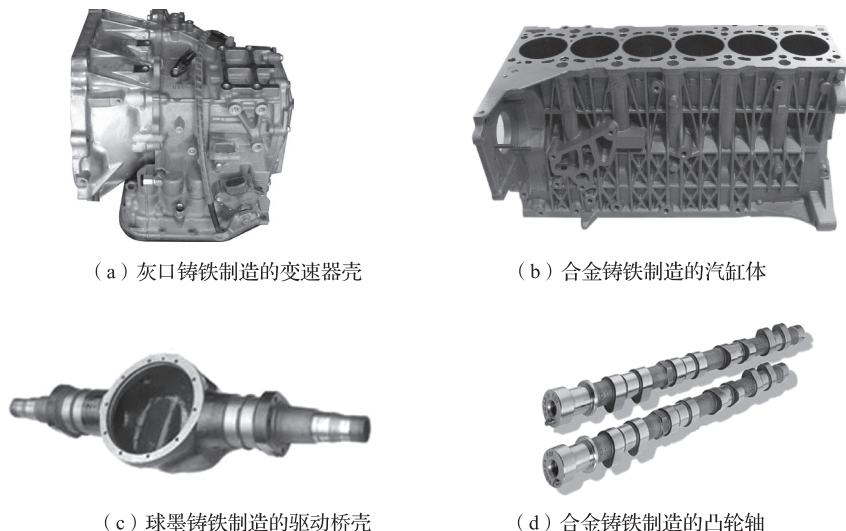


图 1-3 典型铸铁制造的汽车零件

(1) 铸铁的分类。

铸铁中的碳以自由状态的石墨或化合物渗碳体的形式存在。根据碳的存在形式不同，铸铁可分为以下几种。

① 白口铸铁。其中的碳全部或大部分以化合物渗碳体的形式存在。由于其断口呈白色，故称为白口铸铁。由于白口铸铁存在着大量的渗碳体，因此其性能硬而脆，难以切削加工，极少用来直接制造零件，主要用作炼钢原料或可锻铸铁毛坯。

② 灰口铸铁。其中的碳绝大部分以片状石墨形态存在，由于其断口呈暗灰色，故称为灰口铸铁。灰口铸铁有一定的机械性能和良好的切削加工性，是工业中应用最广泛的铸铁。

根据 GB/T 9439—2010《灰铸铁件》规定，灰口铸铁的牌号用“HT”加“一组数字”的格式表示，这一组数字表示最低抗拉强度，例如 HT200 表示最低抗拉强度为 200 MPa 的灰口铸铁。

③ 可锻铸铁。其中的碳绝大部分以团絮状石墨形态存在。由于其塑性和韧性比灰口铸铁好，故称为可锻铸铁。但是可锻铸铁实际上不能锻造，主要用于铸造韧性较好的薄壁零件。

可锻铸铁俗称马铁，它是由碳和硅含量较低的铁水浇注成白口铸铁，再经过高温长时间退火，使渗碳体分解出团絮状石墨而形成的。在退火过程中，随着组织转变时的冷却速度不同，所形成的基体组织也不同，有黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁等。黑心可锻铸铁具有较好的塑性和韧性，而珠光体可锻铸铁具有较高的强度、硬度和耐磨性。

根据 GB/T 9440—2010《可锻铸铁件》规定，黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号分别用“KTH”“KTZ”加“两组数字”的格式表示，第一组数字表示最低抗拉

强度，第二组数字表示最低延伸率。例如 KTH300-06 表示最低抗拉强度为 300 MPa、最低延伸率为 6% 的黑心可锻铸铁。

④ 球墨铸铁。俗称球铁，其中的碳绝大部分以球状石墨形态存在，故称为球墨铸铁。球墨铸铁的强度和韧性比灰口铸铁、可锻铸铁都好，因此可以代替部分钢材制造某些重要零件。

球墨铸铁中的石墨呈球状，比可锻铸铁中的石墨更加圆滑，因而对基体的割裂作用更小，所以球墨铸铁的强度、塑性和韧性都优于灰口铸铁和可锻铸铁，且具有灰口铸铁良好的铸造性能、减摩擦性和切削加工性等。球墨铸铁的某些性能可与钢相媲美，如疲劳强度与中碳钢大致相近，耐磨性优于表面淬火钢等。此外，球墨铸铁经过热处理后，具有更好的机械性能，能代替部分碳钢和合金钢。

根据 GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》规定，球墨铸铁的牌号用“QT”加“两组数字”的格式表示，第一组数字表示最低抗拉强度，第二组数字表示最低延伸率。例如 QT400-18 表示最低抗拉强度为 400 MPa、最低延伸率为 18% 的球墨铸铁。

⑤ 蠕墨铸铁。蠕墨铸铁是在 20 世纪 60 年代中期开始发展起来的一种新型铸铁材料。它是在高碳、低硫和低磷的灰口铸铁浇注时，向铁水中加入蠕化剂（稀土镁钛合金等），使石墨形成短蠕虫状形态而形成的，因此称为蠕墨铸铁。

蠕墨铸铁中的蠕虫状石墨形态是介于球状和片状石墨之间的一种过渡型石墨。它既有较高的抗拉强度、塑性和韧性，又有良好的导热性、减振性、铸造性和切削加工性等性能。

蠕墨铸铁的牌号用“RuT”加“一组数字”的格式表示，数字表示最低抗拉强度。例如 RuT300 表示最低抗拉强度为 300 MPa 的蠕墨铸铁。

蠕墨铸铁常用的牌号有 RuT340、RuT330、RuT260 等，它的应用范围正在逐渐扩大。目前，在汽车上主要用于制造柴油机气缸盖、进排气管、制动盘和制动鼓等。

⑥ 合金铸铁。在灰口铸铁或球墨铸铁的基础上加入某些合金元素后，形成的具有特殊性能的铸铁称为合金铸铁。合金铸铁主要有耐热铸铁、耐磨铸铁和耐蚀铸铁等。

耐热铸铁是在球墨铸铁中加入铝、硅、铬等合金元素而形成的。耐热铸铁在汽车上主要用于制造在高温下工作的发动机进、排气门座及排气管密封环等。

耐磨铸铁是在灰口铸铁中加入铝、铜、钛、磷等合金元素而形成的。常用的耐磨铸铁有高磷耐磨铸铁、钕铬钼耐磨铸铁和铬钼铜耐磨铸铁等，在汽车上主要用于制造气缸套、活塞环等。

耐蚀铸铁是在灰口铸铁中加入硅、铝、铬、镍等合金元素而形成的。常用的耐蚀铸铁有高硅耐蚀铸铁、高铝耐蚀铸铁和高铬耐蚀铸铁等，主要用于制造各种在腐蚀介质环境下工作的零件。

课堂讨论

- (1) 什么叫铸铁？铸铁与钢相比有何优缺点？
- (2) 灰铸铁具有良好的铸造性能、减振性、耐磨性，主要是由于组织中存在什么？

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

（二）有色金属

在工程上，通常把钢铁材料称为黑色金属，除黑色金属以外的金属称为有色金属。有色金属具有很多钢铁材料所没有的性能，可以满足某些机械零件的特殊性能要求，因此它们在汽车制造业中也得到大量的应用。汽车上常用的有色金属主要有铝及铝合金、铜及铜合金和滑动轴承合金等。典型有色金属制造的汽车零件如图 1-4 所示。



图 1-4 典型有色金属制造的汽车零件

1. 铝及铝合金

（1）纯铝。

纯铝呈银白色，密度小，仅为 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，约为铁的 1/3，纯铝的塑性好，压力加工性能好，易于加工成板材、箔材、线材等型材。纯铝易吸收冲击，减振性好。纯铝的导热性和导电性较好，仅次于银、铜和金。纯铝在大气、弱酸、弱碱介质中的耐腐蚀性能也较好，但是纯铝的强度、硬度和熔点低，焊接性能较差。

纯铝的牌号用 $1 \times \times$ 系列表示。牌号的最后两位数字表示最低铝百分含量。当最低铝的百分含量精确到 0.01% 时，牌号的最后两位数字就是最低铝百分含量中小数点后面的两位。牌号的第二位的字母表示原始铝的改型情况。如果第二位字母为 A，则表示为原始纯铝；如果是 B ~ Y 的其他字母，则表示为原始数据的改型。

纯铝一般不能用于结构件。它在汽车上主要用于制作电线、电缆等电气元件，散热器等导热元件，以及汽车内外的装饰件和铭牌等。

（2）铝合金。

铝合金是在纯铝中加入硅、铜、镁、锰等合金元素形成的合金。由于合金元素的作用，铝合金的强度、硬度得到了提高，同时它又具有纯铝的密度小、导热性好、耐腐蚀性好等优点。铝合金在汽车上常用于制造质量要求轻、强度要求较高的零件。根据化学成分和加工方法的不同，铝合金可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。

① 形变铝合金。

形变铝合金是指适宜于压力加工成型的铝合金，它具有良好的塑性，可经冷、热加工成各种型材。根据其化学成分、性能及用途的不同，形变铝合金又可分为防锈铝

合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金等。

a. 防锈铝合金。防锈铝合金是指在大气、水和油等介质中具有良好的抗腐蚀性能的铝合金，简称防锈铝。防锈铝合金是由铝-锰或铝-镁组成的铝合金，其强度低、塑性好，具有良好的焊接性和耐腐蚀性能，但其切削加工性能较差，并且不能通过热处理来提高其硬度。防锈铝合金的代号用“LF”加“顺序号”的格式表示，常用防锈铝的代号有LF5、LF11、LF21等。防锈铝合金在汽车上一般用于制造负荷不大的冲压件和焊接件，例如油箱、油管、铆钉、车身蒙皮和装饰件等。

b. 硬铝合金。硬铝合金是指通过热处理后得到的具有较高强度和硬度的铝合金，简称硬铝。硬铝是由铝-铜-镁或铝-铜-锰组成的铝合金，强度和硬度较高，但是其耐腐蚀性较差，一般常在硬铝表面包一层纯铝，以提高其耐蚀性。硬铝合金的代号用“LY”加“顺序号”的格式表示，常用硬铝的代号有LY1、LY11等。硬铝合金主要用于航空工业中制造受力一般的零件以及在汽车工业中制造铆钉等。

c. 超硬铝合金。超硬铝合金是指具有比硬铝更高的强度和硬度的铝合金，简称超硬铝。超硬铝是在硬铝的基础上加入锌元素制成的铝合金，经热处理后可获得很高的强度和硬度，但是其塑性、耐蚀性和焊接性较差且价格昂贵。超硬铝合金的代号用“LC”加“顺序号”的格式表示，常用超硬铝的代号有LC4、LC6等。超硬铝合金主要用于航空工业中制造受力较大的结构件。

d. 锻造铝合金。锻造铝合金是指适宜于锻造的铝合金，简称锻铝。锻铝是由铝-镁-硅-铜或铝-铜-镁-钛-镍组成的铝合金，具有良好的塑性，且热塑性和耐蚀性好，并可经热处理提高强度和硬度。锻造铝合金的代号用“LD”加“顺序号”的格式表示，常用锻铝的代号有LD5、LD7、LD10等，锻造铝合金在汽车上主要用于制造形状复杂的中等强度的锻件和冲压件，例如发动机活塞、风扇叶片等。

② 铸造铝合金。

铸造铝合金是指适宜于铸造成型的铝合金，简称铸铝。它具有良好的铸造性能，但塑性差，不能进行压力加工，汽车上应用的铝合金大多为铸造铝合金，常用的有铝-硅系、铝-铜系、铝-镁系、铝-锌系铸造铝合金。

根据GB/T 1173—2013《铸造铝合金》规定，铸造铝合金的代号用“ZL”加“一位数字和两位顺序号”的格式表示。这个数字表示铸造铝合金的系列，其中“1”表示铝-硅系；“2”表示铝-铜系，“3”表示铝-镁系，“4”表示铝-锌系。例如ZL108表示8号铝-硅系铸造铝合金。

铸造铝合金的牌号则用“ZAl”加“主要添加元素符号及其百分含量和其他添加元素符号及其百分含量”的格式表示，例如ZAlSi12Cu2Mg1表示含硅量为12%、含铜量为2%、含镁量为1%的铝-硅系铸造铝合金（其代号为ZL108）。

此外，在现代汽车制造工业上，由于压力铸造的生产效率高，铸件质量好，强度和硬度高，所以铝合金铸件在向压力铸造发展。压力铸造所用的铝合金称为压力铸造铝合金，其代号用“YL”表示。目前，铝制变速器壳、离合器壳、转向器壳等大多用压力铸造，铝活塞、气缸体、气缸盖和轮毂等采用压力铸造的也在增多。

chapter

00

chapter

01

chapter

02

chapter

03

chapter

04

chapter

05

chapter

06

2. 铜及铜合金

(1) 纯铜。

纯铜呈紫红色，故又称紫铜，其密度为 $8.96 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。纯铜具有优良的导电性和导热性、较好的耐热性和塑性，但硬度和强度较低。

我国工业纯铜的代号用“T”加“顺序号”的格式表示，有 T1、T2、T3、T4 等 4 种。其中 T1 中所含的杂质最少，T4 中所含的杂质最多。

纯铜在汽车上的应用主要有两方面，一是利用其导电性，制造电线、电缆和电路接头等电气元件；二是利用其导热性，制造散热器等导热元件。此外，纯铜还可用于制造气缸垫，进、排气管垫，轴承衬垫和各种管接头等。

由于纯铜的成本较高、强度低，一般不宜用作结构件。在工程上应用较多的往往是在纯铜中加入合金元素后形成的铜合金。常用铜合金有黄铜和青铜两大类。

(2) 黄铜。

黄铜是以锌为主要添加元素的铜合金。按化学成分不同，黄铜可分为普通黄铜和特殊黄铜两类。

普通黄铜是由铜和锌两种元素组成的合金。普通黄铜具有良好的耐蚀性和压力加工性能，其含锌量一般为 35%~40%，具有一定的塑性和强度。在汽车上主要用于制造散热器管、油管接头、气缸水套和黄油嘴等。

特殊黄铜是在普通黄铜中加入铝、硅、锰、锡、铅等合金元素而形成的合金。在黄铜中加入合金元素，可以改善黄铜的性能。如加入铝能提高黄铜的硬度、强度和耐磨性；加入硅能提高黄铜的硬度、强度和铸造性能；加入锰能提高黄铜的机械性能和耐蚀性；加入锡能提高黄铜的耐蚀性，尤其是能提高黄铜在海水中的耐蚀性；加入铅能改善黄铜的切削加工性能等。按其所加元素的不同，特殊黄铜可分为铝黄铜、硅黄铜、锰黄铜、锡黄铜、铅黄铜等。特殊黄铜在汽车上主要用于制造转向节衬套、钢板销衬套等，也可用于制造化油器零件、管接头和垫圈等零件。

(3) 青铜。

青铜是指黄铜和白铜（即铜镍合金）以外的铜合金。按其化学成分的不同，青铜可分为锡青铜和特殊青铜两类；按其加工方法的不同，可分为压力加工青铜和铸造青铜两类。

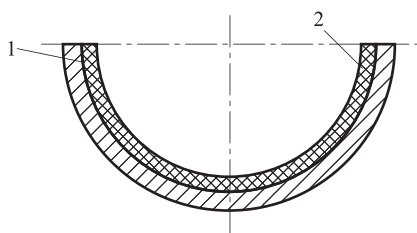
压力加工青铜的代号用“Q”加“主要添加元素符号和若干组数字”的格式表示，数字分别表示主要添加元素的百分含量和其他添加元素的百分含量，符号只表示主要添加元素，其他添加元素在符号中不表示，需查找有关标准或手册，例如 QSn4-4-2.5 表示含锡量为 4%、含锌量为 4%、含铅量为 2.5% 的锡青铜。铸造青铜的代号和牌号的表示法与铸造黄铜相同。

课堂讨论

- (1) 黄铜可用来制造汽车的什么零件？
- (2) 青铜主要用来制造汽车的什么零件？

3. 滑动轴承合金

滑动轴承是一种重要的机械元件, 由于它具有承压面积大、工作平稳、噪声小等特点, 因此在高速重载的场合被广泛地使用。例如汽车发动机中的曲轴轴承、连杆轴承、凸轮轴轴承等都采用了滑动轴承, 滑动轴承中直接与轴颈接触的是轴瓦, 轴瓦通常由双层金属或三层金属组成。双金属轴瓦的结构如图 1-5 所示。用于制造滑动轴承轴瓦内衬的合金称为滑动轴承合金。



1—钢背（低碳钢）；2—内衬（滑动轴承合金）

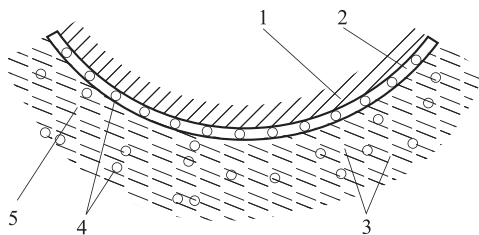
图 1-5 双金属轴瓦的结构示意图

(1) 对滑动轴承合金的性能要求。

滑动轴承在工作时, 不仅要承受轴的压力, 而且还要承受轴与轴承之间产生的强烈的摩擦。为了减少轴的磨损程度, 保证轴承有足够的支承能力, 滑动轴承合金必须具备以下的性能要求。

- ① 足够的抗压强度, 以承受较大的压力。
- ② 足够的塑性和韧性、较高的疲劳强度, 以承受交变载荷和冲击载荷。
- ③ 摩擦系数小、耐磨性好, 但硬度不能太高, 以免拉伤轴颈。
- ④ 良好的磨合性、使轴和轴颈能自动吻合, 使负荷均匀作用在工作面上。
- ⑤ 轴瓦工作表面要有微孔, 以储存润滑油, 使接触表面形成润滑油膜。
- ⑥ 良好的导热性, 较小的膨胀系数和一定的耐腐蚀性。

为了能满足上述性能要求, 滑动轴承合金材料必须具有理想的组织结构, 即软基体上分布硬质点或者是硬基体上分布软质点。轴承合金的理想组织如图 1-6 所示。



1—轴；2—润滑油空间；3—软基体；4—硬质点；5—轴瓦

图 1-6 滑动轴承合金的理想组织示意图

软基体硬质点的滑动轴承工作时, 硬质点支承轴的压力起耐磨作用, 软基体易磨损而形成凹坑, 可储存润滑油, 使轴承获得较理想的润滑条件。同时, 软基体还具有良好的磨合性和抗振动能力等, 但其基体较软不能承受较高的载荷。硬基体软质点的

chapter
00

chapter
01

chapter
02

chapter
03

chapter
04

chapter
05

chapter
06

滑动轴承的工作作用与软基体硬质点的滑动轴承基本相同，不同的是其磨合性能稍差，但因其基体较硬而能承受较高的载荷。

(2) 常用滑动轴承合金。

按化学成分的不同，常用滑动轴承合金可分为锡基、铅基、铝基和铜基滑动轴承合金等。锡基、铅基轴承合金又称为巴氏轴承合金。其中锡基、铅基滑动轴承合金属于软基体硬质点的轴承合金，而铝基、铜基滑动轴承合金则属于硬基体软质点的轴承合金。

① 锡基滑动轴承合金。

锡基滑动轴承合金是以锡为基体，加入适量的锑、铜等元素组成的合金。锡基滑动轴承合金硬度适中、韧性好、摩擦系数和膨胀系数小，还具有优良的导热性和耐蚀性，但其疲劳强度低，工作温度不高，且价格较高。它在汽车上主要用于制造发动机的曲轴轴瓦和连杆轴瓦等，常用的牌号有 ZSnSb11Cu6、ZSnSb8Cu4、ZSnSb4Cu4 等。

② 铅基滑动轴承合金。

铅基轴承合金是以铅为基体，加入适量的锑、锡等元素组成的合金。铅基轴承合金的硬度与锡基轴承合金相近，但韧性较差、摩擦系数稍大，工作温度也不高，但其耐压强度高，且价格较低，可以用来代替锡基滑动轴承合金。它在汽车上主要用于制造中等负荷的轴瓦，常用的牌号有 ZPbSb10Sn6、ZPbSb15Sn10 等。

③ 铝基滑动轴承合金。

铝基滑动轴承合金是以铝为基体，加入适量的锡、铜等元素组成的合金。铝基轴承合金有高锡铝基滑动轴承合金、低锡铝基滑动轴承合金和铝镁锑滑动轴承合金等。其中 20 高锡铝基轴承合金是目前在汽车上广泛应用的一种新型轴承合金，它是以铝为基体，加入 20% 的锡和 1% 的铜组成的合金。这种铝基滑动轴承合金具有较高的承载能力、良好的耐磨性和导热性等，能替代锡基轴承合金，用于制造曲轴轴瓦和连杆轴瓦。但其膨胀系数较大，易与轴发生咬合，所以在装配时应留有较大的间隙。

④ 铜基滑动轴承合金。

铜基滑动轴承合金是以铜为基体，加入适量的锡、铅、锌等元素组成的铸造锡青铜和铅青铜等铜合金，铜基滑动轴承合金具有强度高、承载能力大、耐热性好等优点，但其减摩性差，常需在其工作表面镀一层软金属（铅锡或铅锡铜合金）。它在汽车上主要用于制造高速重载的曲轴轴瓦，常用的牌号有 ZCuSn10Pb1、ZCuPb30 等。

课堂讨论

- (1) 滑动轴承合金应该具有什么样的特点？发动机哪些地方会用到滑动轴承合金？
- (2) 什么是铝基滑动轴承合金？汽车中哪些零件采用铝基滑动轴承合金？装配时有哪些注意事项？

4. 新型合金材料

随着材料科学和汽车制造技术的发展，除了铝及铝合金、铜及铜合金等有色金属在汽车上得到大量应用外，镁及镁合金、锌及锌合金、钛及钛合金以及粉末合金等新型合金材料在汽车上也得到了应用。

(1) 镁及镁合金。

镁的密度仅为 $1.74 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，还不到铝的密度的 $2/3$ ，是金属结构材料中密度最小的。纯镁的强度低，镁合金经热处理后强度有所提高。镁易于吸收冲击能，减振性好。镁的熔点低，铸造性能好。镁的回收利用性也较好，但是镁的塑性较差，压力加工性、耐热性和耐蚀性差，并且其价格比铝高。

镁合金和铝合金一样可分为形变镁合金和铸造镁合金。在汽车上应用的镁合金除少量镁板或镁型材等形变镁合金外，一般都用铸造镁合金。

目前，镁合金作为汽车轻量化材料，在汽车上的应用明显不如铝合金普遍。但是随着对镁合金性能的改进，它在汽车工业中的应用正在逐渐扩大。如汽车发动机中的气缸体、曲轴箱、汽油滤清器壳体、空气滤清器壳体、进气歧管和风扇叶片等都有用镁合金制造的，又如汽车底盘中的离合器壳、变速器壳、转向盘柱和转向器壳等也有用镁合金制造的。此外，镁合金还可用于制造车身装饰框、车门铰链、仪表板和挡泥板支架等。

(2) 锌及锌合金。

锌的密度为 $7.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。锌合金的强度比较高，铸造性能好，价格也不贵，但其塑性较低，耐热性、耐蚀性和焊接性能较差。锌合金主要用于铸造受力不大而形状复杂的小型结构件和装饰件。目前，它在汽车上可用于制造汽油泵壳、机油泵壳、变速器壳、车门手柄、雨刮器、安全带扣和内饰件等。

(3) 钛及钛合金。

钛呈银白色，密度为 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，熔点高达 1700°C ，是一种高熔点的轻金属。纯钛的强度与碳素结构钢相当，耐蚀性与铬镍不锈钢相当，韧性与钢铁相当，钛合金的比强度极高，耐蚀性好，并且高温和低温性能都很好，但其加工困难，成本高。钛合金在航空和航天工业中应用普遍，目前在汽车上也得到了应用，通常可用于制造发动机连杆、曲轴、气门、气门弹簧和悬架弹簧等。

(4) 粉末合金。

粉末合金是由几种金属粉末或金属粉末和非金属粉末压制成型，再经高温烧结而成的材料，粉末合金的冶炼、制取工艺称为粉末冶金。粉末冶金是一种新兴的技术，它能在完成金属材料冶炼的同时，获得形状大小合乎要求的机械零件。因此，它既是一种制取金属材料的冶金方法，也是一种制造机械零件的加工方法。粉末冶金获得的粉末合金零件只需少量切削或无需切削，不仅能节约材料、简化加工，而且能获得传统材料所不具备的某些特殊性能。

粉末合金零件在汽车上已得到广泛的应用，国外粉末冶金产品的 60% 以上用于汽车制造。粉末合金零件微孔多，能吸收、储存润滑油，其硬度高，耐磨性好，强度较高，可用于制造气门导管、离合器衬套、轮毂油封外圈、机油泵齿轮、曲轴带轮、水泵叶轮、正时齿轮等减摩和耐磨零件；粉末合金也可用来替代传统的石棉制品，用于制造汽车制动片、离合器摩擦片等摩擦材料，以满足环保的要求；粉末合金还能达到传统材料难以达到的耐高温和耐高压性能，可用于制造现代汽车的过滤元件和消音元件等。总之，粉末合金在汽车零部件上的应用正在进一步扩大。

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

课堂讨论

- (1) 什么是金属材料的强度、塑性和硬度？它们各有哪些主要指标？
- (2) 金属材料在什么情况下会产生疲劳破裂？疲劳破裂一般发生在哪些部位？



二、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属材料适应各种加工工艺方法的能力。它包括金属的铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

(一) 加工性能

1. 压力加工性能

压力加工性能是指金属材料在冷、热状态下进行压力加工的难易程度。一般来说，低碳钢具有良好的压力加工性能，铸铁则不能进行压力加工。

2. 切削加工性能

切削加工性能是指金属材料用切削刀具切削加工的难易程度。一般来说，铸铁、铝合金具有良好的切削加工性能，高合金钢的切削加工性能则较差。

(二) 铸造、焊接及热处理性能

1. 铸造性能

铸造性能是指金属材料用铸造方法获得优良铸件的能力。一般来说，铸铁、铸造铝合金具有良好的铸造性能。

2. 焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性。一般来说，低碳钢具有良好的焊接性能，高碳钢、铸铁和铝合金的焊接性能则较差。

3. 热处理性能

热处理性能是指金属材料适应各种热处理方法的能力。钢一般都可以通过热处理来提高其性能。

金属材料的工艺性能对于机械零件加工工艺方法的选择极为重要。例如，铸造性能和切削加工性能较好的灰口铸铁可广泛应用于制造形状和尺寸较复杂的零件（如汽车发动机气缸等）；压力加工性能和焊接性能较好的低碳钢常用来制造外形较复杂的零部件（如汽车车身外壳等）。

学习案例

我国某钢铁公司是国内生产45号钢的大型钢铁企业，其销量在全国45号钢细分市场中占30%，产品在市场上以稳定的化学成分和优良的综合性能享有较高声誉，主要用于汽车配件、机械配件、五金工具行业，其中每年用于生产汽车半轴的钢材约15万吨。但汽车市场上部分使用其钢材的半轴在汽车运行过程中，出现了断裂现象（见图

1-17), 为分析其断裂原因, 对断裂半轴进行了各项质量指标的检验分析, 并对半轴生产工艺进行调查, 结果表明, 汽车半轴断裂的主要原因如下。

(1) 由于生产厂家未能严格按汽车半轴生产工艺要求进行热处理或表面热处理的工艺参数不当, 致使半轴表面硬度和硬化层不足, 导致半轴的疲劳强度降低, 不能满足汽车行驶使用要求。

(2) 汽车严重超载造成半轴在使用期内破坏。



图 1-17 断裂的半轴

教学检测



填空题

- 根据热处理的目的和要求不同, 可将热处理分为_____和_____两大类。其中, 常用的普通热处理方法有_____, _____、_____, _____等。表面热处理的方法有_____和_____。
- 表面淬火是通过快速加热钢件表面达到淬火温度, 不等热量传至中心, 迅速予以冷却的方法实现的。其主要目的是_____和_____。
- 化学热处理是一种把钢件置放于含有某一些_____的炉子中, 加热后使介质分解出_____渗入工件表面的工艺方法。常用的化学热处理方法有_____, _____、_____和_____。
- 合金钢就是在碳钢的基础上, 为了获得特定的功能, 有目的地加_____或_____元素的钢。
- 合金钢按合金元素的含量多少可分为_____, _____和_____, 其合金元素的总含量分别为_____, _____和_____。
- 合金工具钢按用途可分为_____, _____和_____, 与碳素工具钢比较, 它具有_____, _____和_____的优点。
- 汽车的气门挺柱要求表面_____而中心_____高, 它是用激冷铸铁制成的, 激冷铸铁的表面是_____铁, 而芯部是_____铁。
- 铸铁根据其中碳的存在形式不同可分为_____, _____、_____和_____铸铁。
- 对于灰铸铁, 由于片状石墨对基体有割裂作用并可引发应力集中现象, 所以其_____低, _____很差, 但石墨片对灰铸铁的_____影响不大。

chapter
00chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06

10. 可锻铸铁中石墨呈_____状, 大大减轻石墨对金属基体的_____作用, 故可锻铸铁比灰铸铁具有较高的_____, 还具有较高的_____。

11. 球墨铸铁中石墨呈_____状, 其力学性能和_____相近, _____甚至比某些钢还高, 同时又具有灰铸铁的一系列优点, 故广泛用来制造_____, _____、_____和_____要求高的机械零件。

12. 铜合金有黄铜和青铜两类, 黄铜又可分为普通黄铜和_____。青铜又可分为和_____。普通黄铜中, 锌的质量分数为 30% ~ 32% 时_____很好, 可用深冲压方法制造汽车的散热器; 当锌的质量分数为 32% ~ 42% 时, _____最高。



判断题

1. 硅、锰在碳素钢中是有益元素, 适当增加其含量, 均能提高钢的强度。 ()
2. 碳素结构钢都是优质碳素钢。 ()
3. 钢在常温时的晶粒越细小, 强度和硬度越高, 塑性和韧性就越低。 ()
4. 钢在淬火前先进行正火可使组织细化, 能减少淬火变形和开裂的倾向。 ()
5. 低碳钢与中碳钢常用正火代替退火, 改善其组织结构和切削加工性。 ()
6. 除含铁、碳外, 还含有其他元素的钢就是合金钢。 ()
7. 合金钢不经过热处理, 其力学性能比碳钢高不多。 ()
8. 铸造铝合金的铸造性能好, 但塑性较差, 故一般不进行压力加工, 只用于铸造成型。 ()
9. 黄铜是铜锌合金, 青铜是铜锡合金。 ()
10. 纯铜具有很高的导电性和导热性, 也有具优良的塑性, 但强度不高, 不宜作承受载荷的汽车零件。 ()



选择题

1. 采用冷冲压方法制造汽车油底壳应选用 ()。

| | | |
|---------|-----------|---------|
| A. 45 钢 | B. T10A 钢 | C. 08 钢 |
|---------|-----------|---------|
2. 20 钢按含碳量分类, 属于 (), 其平均碳的质量分数为 (), 它可制造汽车的 ()。

| | | |
|----------|---------|--------|
| A. 中碳钢 | B. 低碳钢 | C. 高碳钢 |
| D. 0.20% | E. 2.0% | F. 20% |
| G. 驾驶室 | H. 风扇叶片 | I. 凸轮轴 |
3. 为使碳素钢具有高硬度和高耐磨性, 碳素工具钢都是 (); 为提高其锻压性和避免淬火开裂, 对有害杂质控制较严, 碳素工具钢都是 ()。

| | | |
|----------|----------|------------|
| A. 高碳钢 | B. 低碳钢 | C. 中碳钢 |
| D. 普通碳素钢 | E. 优质碳素钢 | F. 高级优质碳素钢 |
4. 低合金钢有 ()。

| | | | |
|-------------|---------|---------|----------|
| A. 20CrMnTi | B. 16Mn | C. 65Mn | D. 9SiCr |
|-------------|---------|---------|----------|

5. 合金结构钢包括 ()、()、() 和 ()。
- A. 高速钢 B. 工具钢 C. 合金渗碳钢
D. 合金调质钢 E. 耐热钢 F. 合金弹簧钢
G. 滚动轴承钢 H. 低合金结构钢
6. 要使钢达到耐腐蚀的目的, 钢中铬的质量分数 ()。常用不锈钢有 () 和 () 两种。
- A. 等于 1.5% B. 大于 13% C. 等于 18%
D. 铬不锈钢 E. 铬镍不锈钢 F. 合金渗碳钢
7. 与钢相比, 铸铁工艺性能的突出优点是 ()。
- A. 可焊性好 B. 淬透性好 C. 铸造性好
8. 铸铁是含碳量大于 () 的铁碳合金。
- A. 2.1% B. 70.77% C. 74.3%
9. 将下列各牌号分别填在它们所制备的汽车零件中: 汽缸盖 () ; 前后制动鼓 () ; 后桥壳 () ; 发动机摇臂 () , 曲轴 () 。
- A. HT150 B. HT200
C. KTH350 -10 D. QT600 -3
10. 发动机的汽缸盖和活塞环是用 () 制造的; 排气门座是由 () 制造的。
- A. 耐热钢 B. 耐磨铸铁 C. 灰铸铁
D. 耐热铸铁 E. 可锻铸铁

 简答题

- 常用的淬火方法有哪几种?
- 退火的目的是什么?
- 淬火钢为什么必须回火?
- 表面淬火的目的是什么? 需要何种材料?
- 表面化学热处理的目的是什么?
- 渗碳的方法有哪些? 需要何种材料?
- 与碳钢相比, 合金钢有哪些优点?

chapter 00

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06