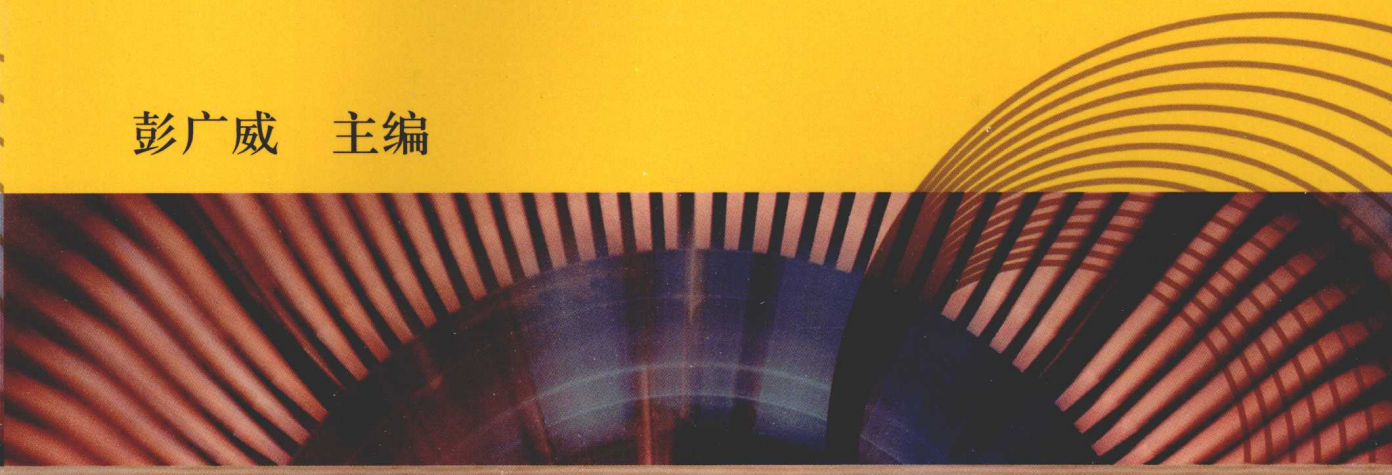


高等职业教育机电类专业教学改革规划教材

金属材料与热处理


JINSHU CAILIAO YU RECHULI

彭广威 主编



针对教材使用者

赠电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书在“基于工作过程导向”的高职机械类课程体系改革的基础上,根据新课程教学大纲的要求,按照“感性认识→理性认识→综合应用”的认知规律对课程内容进行了遴选和重构。全书以项目任务驱动和项目问题导入为主线,激发学生的学习兴趣。本书充分吸取现有相关教材的优点,图文并茂,对重点设有相关知识拓展与提示,注重在理论知识、技能、能力、素质等方面对学生进行全面培养。

本书以培养高等职业技术应用型人才为目标,着重于理论与工程实践的联系。全书分为六大课题,分别为金属材料的分类与识别、金属材料的结构与性能测试、铁碳合金组织观察与分析、金属材料的常规热处理、金属材料的表面处理、金属材料的工程选用。

本书适用于高职高专机械类专业使用,也可供电视大学、职工大学及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/彭广威主编. —北京:机械工业出版社,2010.8
高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-31210-9

I. ①金… II. ①彭… III. ①金属材料-高等学校:技术学校-教材
②热处理-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第128268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:边萌 责任编辑:边萌 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2010年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·345千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31210-9

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面防伪标均为盗版

高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
湖南省高职高专精品课程配套教材

编写委员会

主任委员：成立平

副主任委员：董建国 刘茂福 谭海林 张秀玲

委 员：汤忠义 张若锋 张海筹 罗正斌

欧阳波仪 阳祎 李付亮 黄新民

皮智谋 欧仕荣 钟振龙 龚文杨

钟 波 何 瑛 何恒波 蔡 毅

谭 锋 陈朝晖 谢圣权 皮 杰

前 言

本书以“基于工作过程导向”的课程体系为基础，根据高职机械类专业就业岗位对金属材料相关知识和应用能力的要求，对传统的课程内容和课程结构进行了遴选和重构。课程内容的遴选是根据高职机械类大多数专业的培养目标中对金属材料理论知识及应用能力的要求，精简学科理论知识，突出理论与实践的“前因后果”关系；课程内容的重构是遵循学生的认知规律，按照“感性认识→理性认识→综合应用”的顺序对课程内容进行序化，使学生由浅入深，从具备金属材料的基本概念和初步鉴别能力，到掌握金属材料的本质和具备显微鉴别能力，再到具备金属材料及热处理的工程应用能力。在课程的教学方法和组织上，应用项目任务驱动和项目问题引入来激发学生的学习动机和兴趣。

本教材分为六大课题：金属材料的分类与识别、金属材料的结构与性能测试、铁碳合金组织观察与分析、金属材料的常规热处理、金属材料的表面处理、金属材料的工程选用。理论知识主要包括了金属材料的分类与编号、金属材料的性能与结构、金属材料的塑性变形、回复与再结晶、二元合金相图、铁碳合金相图、热处理原理及热处理工艺、表面处理相关知识等。实验实训主要为：金属的火花鉴别、硬度与冲击韧度测试、金相显微观察、普通热处理实训、表面处理实验等。全书教学时数约为70~80学时，各项实验实训教学约为30学时。在教学中，教师可根据各专业方向的侧重和实验实训设备的情况，对项目内容进行简化和省略。

本教材每个项目后有多种题型的思考与练习题，并与课程中的引导性问题相呼应，以巩固学习效果。习题中包含了大量国家机械类职业技能鉴定中金属材料方面的试题。

本教材适用于高职高专机械类、机电类专业（模具设计与制造、机电一体化、数控技术等）专业使用，也可作为成人教育学院、职工大学、业余大学等相关专业学生的用书，也可供有关专业技术人员参考。

全书由彭广威主编，王志洪和程文参编。其中课题1、2、3、5、6由彭广威编写，课题4由王志洪编写，程文参与了资料整理和核校工作。本书由刘海渔主审。

本书在编写过程中得到了株洲职业技术学院的领导和同行们的大力支持和帮助，湖南华菱涟源钢铁集团彭真工程师也提出了不少宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误及不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009年12月

目 录

前言

课题 1 金属材料的分类与识别	1
1.1 金属材料概述	2
1.2 钢的分类及编号	5
1.3 铸铁的分类与编号	12
1.4 非铁金属材料的分类与编号	14
1.5 金属材料现场鉴别方法	22
课题实验	27
思考与练习	28
课题 2 金属材料的结构与性能测试	31
2.1 金属材料的性能分类	32
2.2 金属的力学性能指标	34
2.3 金属的晶体结构	41
2.4 金属的塑性变形	46
2.5 金属的回复与再结晶	50
2.6 金属的热加工	53
课题实验	54
实验 1	54
实验 2	56
思考与练习	56
课题 3 铁碳合金组织观察与分析	60
3.1 纯金属的结晶	61
3.2 合金的相结构	65
3.3 二元合金相图	68
3.4 铁碳合金相图	75
3.5 铸铁的石墨化	85
课题实验	88
实验 1	88
实验 2	89
思考与练习	94
课题 4 金属材料的常规热处理	97
4.1 钢的热处理原理	98
4.2 钢的热处理工艺	106
4.3 合金元素对钢的影响	117
4.4 铸铁的热处理	121
4.5 非铁金属的热处理	124

4.6 热处理设备及操作	129
课题实验	135
实验 1	135
实验 2	137
思考与练习	138
课题 5 金属材料的表面处理	141
5.1 金属材料表面处理概述	142
5.2 表面淬火	143
5.3 表面化学热处理技术	146
5.4 化学氧化与磷化处理	154
5.5 电镀技术	158
5.6 表面气相沉积技术	160
5.7 其他表面处理技术	165
课题实验	169
实验 1	169
实验 2	170
思考与练习	171
课题 6 金属材料的工程选用	174
6.1 机械零件的选材原则	175
6.2 轴类零件的选材	180
6.3 齿轮类零件的选材	183
6.4 模具的选材	186
6.5 刀具的选材	200
6.6 弹簧的选材	202
6.7 热处理工艺位置安排及方案选择	204
课题实例	207
实例 1	207
实例 2	208
思考与练习	209
附录	212
附录 A 压痕直径与布氏硬度对照表	212
附录 B 钢铁材料硬度与强度换算表	213
附录 C 常用热处理工艺及代号 (GB/T 12603—2005)	214
附录 D 国内外常用钢号的对照表	215
参考文献	218

课题1 金属材料的分类与识别

① 课题引入

首先请大家思考以下几个问题：

- 机械行业中常用的钢有哪些类型，是根据什么进行分类的？
- 机械零件和模具零件常用的钢种有哪些？
- 不同的钢种是如何进行编号的？
- 各类工业用钢分别有哪些不同的主要用途？
- 在工厂里如何区分不同的金属材料？

① 课题说明

机械工程材料一般分为金属材料和非金属材料，其中金属材料是现代化工业、农业、国防和科学技术等部门使用最多的材料，从日常生活用品到高科技产品，从简单的手工工具到复杂的机构，都使用了不同种类、不同性能的金属材料。

金属材料的品种繁多，性能各不相同。本项目通过对金属材料的分类和识别，学习各类常用金属材料的编号及简单识别方法，从而具备对常用金属材料的初步认识，为后续项目深入了解金属材料的性能及应用打下基础。

① 课题目标

知识目标：

- ◇ 掌握工业用钢的分类方法。
- ◇ 掌握普通碳钢、优质碳钢、碳素工具钢、合金结构钢和合金工具钢的编号。
- ◇ 熟悉各种类型钢的主要工业用途。
- ◇ 能根据机械零部件的不同要求进行合理选材。
- ◇ 掌握砂轮机的安全使用和金属材料火花鉴别实验的操作技能。
- ◇ 熟悉常用碳素钢和合金钢的火花特征。
- ◇ 能利用火花鉴别区分常用碳素钢和合金钢。
- ◇ 独立完成课后练习题。

技能目标：

- ◇ 掌握火花鉴别的基本操作方法和流程。
- ◇ 能熟练安全地使用砂轮机。
- ◇ 能根据材料的火花特征和标准钢种的火花特征的对比进行钢种鉴别。

理论知识

问题1 为什么大多数金属导电，而一般的塑料和陶瓷不导电？

1.1 金属材料概述

1.1.1 工程材料的分类

材料是人类生产和社会发展的重要物质基础。在生活、生产和科技各个领域，用于制造结构、机器、工具和功能器件的各类材料统称为工程材料。工程材料按其组成特点和性质可分为金属材料（如钢铁、铝合金）、有机高分子材料（如塑料、橡胶）、无机非金属材料（如陶瓷、水泥、玻璃）及复合材料（由前三种材料中的两种或以上的材料复合而成，如钢筋混凝土、碳纤维增强塑料）四大类。

金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料具有明显的不同特性。比如：金属一般能导电，具有较好的塑性；高分子材料熔点低、质量轻；无机非金属材料一般熔点高、硬而脆。这些材料具有不同的特性主要是由于它们的组成质点（原子、分子或离子）之间的结合方式和作用力（结合键）不同造成的。

固体中的结合键有四种：离子键、共价键、金属键和分子键。

1. 离子键和离子晶体

离子键是由电子转移（失去电子者为阳离子，获得电子者为阴离子）形成的，即正离子和负离子之间由于静电引力所形成的化学键。离子键形成的矿物总是以离子晶体的形式存在，如氯化钠即为典型的离子晶体。

离子晶体的特点：①离子键的结合力大，因此离子晶体的硬度和强度高，热膨胀系数小，但脆性大；②离子键为正常价化合物；键中很难产生可以自由运动的电子，所以离子晶体都是良好的绝缘体；③在离子键中，外层电子被牢固束缚，不会被可见光激发，因而不吸收可见光，所以典型的离子晶体是无色透明的。

2. 共价键和共价晶体

共价键也是一种化学键。由两个或多个原子共同使用它们的外层电子，在理想情况下达到电子饱和的状态，由此组成比较稳定和坚固的化学结构叫做共价键。金刚石为典型的共价晶体。

共价晶体的特点：①共价键的结合力很大，所以共价晶体强度和硬度很高，脆性大，熔点和沸点高，挥发性低，结构也比较稳定；②由于相邻原子所共有的电子不能自由运动，共价晶体的导电能力较差。

陶瓷主要为一种或多种金属元素与一种非金属元素的化合物，如硅、铝氧化物的硅酸盐材料、高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等。非金属原子与金属原子化合时形成很强的离子键，同时也存在一定成分的共价键。所以陶瓷表现为硬度很高、熔点高、但脆性很大。

3. 金属键和金属晶体

金属键主要存在于金属中，金属原子结构的外层电子少，容易失去。当金属原子相互靠近时，这些外层电子就脱离原子，成为自由电子，形成电子云，为所有失去电子的金属离子所共有。这种由金属正离子和自由电子之间相互作用而结合的方式称为金属键，如图 1-1 所示。

金属晶体的特点：①金属键中有大量自由电子，当金属两端存在电势差时，电子可以定向、加速地流动，使金属表现出优良的导电性；②由于自由电子的活动性强及金属离子的震动作用，金属的导热性很好；③金属键没有方向性，原子间也没有选择性，所以在外力作用下发生原子位置的相对移动时，键不会被破坏，使金属表现出良好的塑性变形能力；④金属中的自由电子能吸收并随后辐射出大部分投射到表面的光线，所以金属不透明并呈现特有的金属光泽。

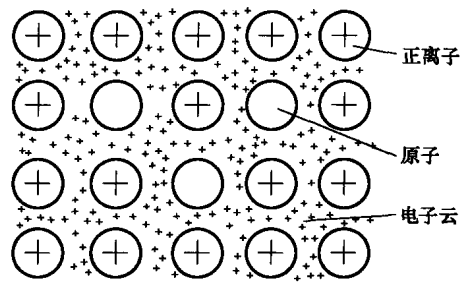


图 1-1 金属键模型

4. 分子键和分子晶体

分子键为物理键。由双原子分子的偶极形成很弱的作用力（也称范德华力），结合过程中，没有电子的得失及共有或公有化，价电子的分布几乎不变。大部分有机化合物的晶体和二氧化碳（ CO_2 ）、二氧化硫（ SO_2 ）、氯化氢（ HCl ）、氢（ H_2 ）等在低温下形成的晶体都是分子晶体。

分子晶体的特点：由于范德华力很弱，所以分子晶体结合力很小，熔点很低、硬度也很低。

高分子材料主要包括塑料、橡胶及合成纤维。主要成分为有机化合物，亦称聚合物，是由大量分子量特别高的大分子化合物组成。有机物质主要以碳元素（通常还有氢元素）为其结构组成。大分子内的原子之间由很强的共价键结合，而大分子与大分子之间的结合力为较弱的范德华力。所以高分子材料具有塑性良好，绝缘性很好、强度和硬度较低、熔点低、重量轻等特点。

1.1.2 金属材料的基本分类

金属材料是最重要的工程材料，尤其是对机械行业更是如此。金属材料包括金属和以金属为基的合金。传统金属材料主要包括工业用钢、铸铁、非铁金属材料等三大类。

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。其中非合金钢价格低廉，工艺性能好，力学性能能够满足一般工程和机械制造的使用要求，是工业中用量最大的金属材料。但工业生产不断对钢提出更高的要求，为了提高钢的力学性能，改善钢的工艺性能和得到某些特殊的物理化学性能，有目的的向钢中加入某些合金元素，就得到合金钢。

工业上常用的铸铁是碳的质量分数在 2% ~ 4% 的铁、碳、硅多元合金。有时为了提高力学性能或物理、化学性能，还可加入一定量的合金元素，得到了合金铸铁。铸铁在机械制造中应用很广。按重量计算，汽车、拖拉机中铸铁零件约占 50% ~ 70%，机床中约占 60% ~ 90%。常见机床床身、工作台、箱体、底座等形状复杂或受压力及摩擦作用的零件，大多用铸铁制成。

以铁和铁合金为成分的钢和铸铁也称为黑色金属。而除此之外的金属材料，工业上一般称为非铁金属或有色金属。与钢铁相比，非铁金属的产量低、价格高，但由于其具有许多优良特性，因而在科技和工程中也占有重要的地位，是一种不可缺少的工程金属材料。

综上所述，金属材料的基本分类如表 1-1 所示。

表 1-1 金属材料的基本分类

金属材料	钢铁材料	碳素钢	普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、易切削碳素结构钢、碳素工具钢	
			合金钢	低合金高强度结构钢、滚动轴承钢
		合金结构钢		合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢
		合金工具钢		量具钢、刀具钢、模具钢
		特殊性能钢		不锈钢、耐磨钢、耐热钢
		铸铁	一般性能铸铁	灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁
	特殊性能铸铁		耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁	
	非铁金属材料	铝及铝合金(变形铝合金、铸造铝合金)		
		铜及铜合金(黄铜、白铜、青铜)		
		其他金属及合金(钛及钛合金、轴承合金、锌及锌合金、镁合金等)		
硬质合金、高温合金等				

1.1.3 金属材料的发展历史

我国是世界上最早使用金属材料及热处理技术的国家之一。早在 4000 年前，我们的祖先就开始使用金属材料。公元前 1000 多年的殷商时代，我国进入青铜器时代。青铜冶铸技术已达到了很高的水平，在武器、劳动工具、生活用具、礼器等方面已大量使用青铜器。如重达 875kg 的司母戊大鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧、造型美观，是迄今世界上最古老的大型青铜器；越王勾践的两把青铜宝剑，长 55.6cm，至今锋利异常，是我国古青铜器的杰作。春秋战国时期《周礼·考工记》中关于青铜“六齐”论述，总结出了青铜的成分、性能和用途之间的关系，在当时达到了世界的最高水平，创造了灿烂的青铜文化。

从青铜器过渡到铁器是生产工具的重要发展，我国早在周代就已经掌握了生铁的冶炼技术，并用于农业生产。特别是战国后期，开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模，说明冶铸技术同泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期，炼铁技术又有很大的提高，采用煤作炼铁的燃料，这要比欧洲早 1700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中，发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉，炉型庞大，结构复杂，并有鼓风装置和铸造坑。我国古代创造了三种炼钢方法：第一种是从矿石中直接炼出自然钢，用这种钢做的剑在东方各国享有盛誉，东汉时传入欧洲；第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢；第三种是南北朝的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1600 多年。从西汉到明朝的一千五、六百年间，我国钢铁生产技术远远超过了世界各国。相应地，其他金属材料的工艺技术也都有高度的发展，留下了大量的珍贵文物和历史文献。

铁器在公元前 1000 多年以前在亚洲大地上出现以后，逐渐在文明古国巴比伦、埃及和希腊也得到了广泛的应用。经过许多世纪的发展，西欧和俄国后来居上，创造了不少冶炼技术，使钢铁材料的生产和应用跨进一个新的阶段。但是，由于材料的问题太复杂，直到 17 世纪的科学革命和 18、19 世纪的工业革命时期，人们对金属材料的认识仍是非理性的，还主要停留在工匠、艺人的经验技术水平上。

18 世纪以后，由于工业迅速发展，对材料特别是钢铁的需求急剧增长。为适应这一需要，在化学、物理、材料力学等学科的基础上，产生了一门新的科学——金属学。它明确地提出了金属的外在性能决定于内部结构的概念，并以研究它们之间的关系为主要任务。近

100多年来,由于显微镜、X射线技术、电子显微镜等新仪器和新技术的相继出现和发展,金属学得到了长足的进步。

近代中国,由于封建制度的腐败和帝国主义的侵略与压迫,科学技术发展极为落后。新中国成立后,我国在金属材料及热处理技术方面有了突飞猛进的发展,促进了冶金、机械制造、石油化工、仪器仪表、航空航天等现代工业的进步。“两弹一星”、载人航天、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与成功,标志着我国在金属材料及热处理技术方面都达到了一个新的水平。

问题2 工业用钢是如何分类和命名编号的?

1.2 钢的分类及编号

钢是使用最广、用量最大的金属材料,在现代工农业生产中占有极其重要的地位,在机械制造业中更是如此。如在机加工车间,机床的主要零部件、加工用所的刀具和夹具、其他辅助设备与工具大多都由不同类型的钢制造而成,而要加工的对象也往往是钢质零件。

钢是碳的质量分数在0.04%~2.3%之间的铁碳合金。随着含碳量的增加,钢的强度和硬度增加、塑性下降。为了保证其韧性和塑性,碳的质量分数一般不超过1.7%。此外在铁碳合金基础上加入各种合金元素,可制成各种合金钢。加入不同的合金元素,可使合金钢具有耐热、耐腐蚀、耐磨、高强度等特殊性能。

生产上使用的钢材料品种很多,在性能上也千差万别,为了便于生产、使用和研究,要对钢进行分类和编号。

1.2.1 钢的传统分类方法

工业用钢的种类很多,根据不同的需要,可采用不同的分类方法,多数情况下需将几种不同方法混合起来使用。

1. 按钢的用途分类

(1) 结构钢 结构钢用于制造各种工程结构(建筑工程、桥梁、船舶、车辆、压力容器)和各种机器零件(轴、齿轮、各种联接件等)的钢种称为结构钢。根据成分特点,它主要包括碳素结构钢和合金结构钢。结构钢的一般性能要求为较高的强度和韧性,所以主要为低碳钢和中碳钢(碳的质量分数在0.05%~0.60%)。

(2) 工具钢 工具钢是用于制造各种加工工具的钢种。根据工具的不同用途,又分为刃具钢、模具钢、量具钢。根据成分特点,主要包括碳素工具钢和合金工具钢。工具钢的一般性能要求为高强度、高硬度、良好的耐磨性,所以主要为高碳钢(碳的质量分数在0.7%~2.0%)。机械制造业主要使用结构钢、工具钢(量具钢、刃具钢、模具钢)、专业用钢(如桥梁用钢、锅炉用钢)、特殊性能钢(如耐热钢、不锈钢)等。

(3) 特殊性能钢 特殊性能钢是指具有某种特殊的物理或化学性能的钢种,用于某些专用行业。包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢、电工钢等。

2. 按钢的成分分类

(1) 碳素钢 碳素钢是指碳的质量分数低于2%,并有少量硅、锰以及磷、硫等杂质的铁碳合金。工业上应用的碳素钢碳的质量分数一般不超过1.4%。由含碳量的高低又分为低碳钢:碳的质量分数 $\leq 0.25\%$ 。

中碳钢：碳的质量分数 = 0.25% ~ 0.60%。

高碳钢：碳的质量分数 \geq 0.60%。

(2) 合金钢 合金钢是指在碳素钢基础上添加适量的一种或多种合金元素而构成的铁碳合金。根据添加元素的不同，并采取适当的加工工艺，可获得高强度、高韧性、耐磨、耐蚀、耐低温、耐高温、无磁性等特殊性能。合金钢的主要合金元素有硅、锰、铬、镍、铜、钨、钒、钛、铌、锆、钴、铝、铜、硼、稀土等。由含合金总量高低又分为：

低合金钢：合金的质量分数 \leq 5%。

中合金钢：合金的质量分数 = 5% ~ 10%。

高合金钢：合金的质量分数 \geq 10%。

3. 按钢的质量等级分类（有害杂质硫 S、磷 P 含量）

(1) 普通钢 硫的质量分数 = 0.035% ~ 0.05%，磷的质量分数 = 0.035% ~ 0.045%。

(2) 优质钢 硫的质量分数、磷的质量分数均 \leq 0.035%。

(3) 高级优质钢 硫的质量分数 = 0.020% ~ 0.030%，磷的质量分数 = 0.025% ~ 0.030%。

4. 按炼钢时的脱氧方法分类

可分为沸腾钢（用 F 表示）、镇静钢（用 Z 表示）、半镇静钢（用 BZ 表示）。

5. 按钢中主要元素的种类分类

可分为锰钢、铬钢、硼钢、硅锰钢等。

6. 按室温下金相组织分类

可分为珠光体钢、贝氏体钢、奥氏体钢、马氏体钢、莱氏体钢等。

7. 工业用钢材按最终加工方法分类

分为热（冷）轧钢材、拉拔材、锻材、挤压材、铸件等。

8. 按加工前毛坯形状分类

分为线材（如普线、高线、螺纹钢等）、型材（如工字钢、角钢、槽钢等）、板材（如中厚板、容器板、镀锌板等）、管材（不锈钢管、无缝钢管等）。

1.2.2 钢的新国标分类方法

钢的新分类方法国家标准 GB/T 13304—2008 是参照国际标准制定的。按照化学成分、质量等级和主要性能及使用特性进行分类，分为三大类：非合金钢、低合金钢、合金钢。新国标的分类总结归纳如表 1-2 所示。

表 1-2 钢的新国家标准分类

钢	非合金钢	普通质量非合金钢	普通碳素结构钢、碳素钢筋钢、铁道用一般碳素钢、一般钢板桩型钢等
		优质非合金钢	优质碳素结构钢、工程结构用碳素钢、冲压薄板用低碳结构钢、镀层板带用碳素钢、锅炉和压力容器用碳素钢、造船用碳素钢、铁道用碳素钢、焊条用碳素钢、标准件用钢、冷锻用钢、非合金易切削钢、优质铸钢等
		特殊质量非合金钢	碳素工具钢、碳素弹簧钢、电磁纯铁、原料纯铁、特殊易切削钢、保证淬透性非合金钢、保证厚度方向性能非合金钢、铁道用特殊非合金钢、航空兵器等非合金结构钢、核能用非合金钢、特殊焊条用非合金钢等
	低合金钢	普通质量低合金钢	一般低合金高强度结构钢、低合金钢筋钢、铁道用一般低合金钢、矿用一般低合金钢
		优质低合金钢	通用低合金高强度结构钢、锅炉和压力容器用低合金钢、造船用低合金钢、汽车用低合金钢、铁道用低合金钢、矿用优质低合金钢等

(续)

钢	低合金钢	特殊质量非合金钢	核能用低合金钢、保证厚度方向性能低合金钢、铁道用特殊低合金钢、舰船及兵器等专用低合金钢等
	合金钢	优质合金钢	一般工程结构用合金钢、合金钢钢筋、耐磨钢、电工用硅钢、铁道用合金钢等
		特殊质量合金钢	合金结构钢(渗碳钢、调质钢)、合金工具钢、高速工具钢、合金弹簧钢、不锈钢、轴承钢、耐热钢、无磁钢、压力容器用合金钢

1.2.3 非合金钢和低合金钢的编号及应用

我国目前工业用钢主要还是依据传统分类方法进行编号命名。采用汉语拼音字母、国际化学符号与阿拉伯数字相结合的原则表示钢的牌号。

1. 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢是建筑及工程用非合金结构钢，简称普通碳钢，其牌号由Q（表示屈服强度）、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法等部分按顺序组成。其中，质量等级用A、B、C、D、E表示硫磷含量不同；脱氧方法用F（沸腾钢）、BZ（半镇静钢）、Z（镇静钢）、TZ（特殊镇静钢）表示，钢号中Z和TZ可以省略。

例如Q235AF，表示屈服点 $\sigma_s = 235\text{MPa}$ ，质量为A级的沸腾碳素结构钢；Q390A为 $\sigma_s = 390\text{MPa}$ ，质量为A级的低合金高强度结构钢。

普通碳素结构钢价格低廉，工艺性能（焊接性、冷变形成形性）优良，用于制造一般工程结构及普通机械零件。通常热轧成扁平成品或各种型材（圆钢、方钢、角钢、工字钢、钢筋等），一般不经过热处理，在热轧态下直接使用。表1-3分别列出了典型普通碳素结构钢的牌号、化学成分及应用。

表1-3 普通碳素结构钢的牌号、化学成分及应用

牌 号	主要化学成分(质量分数)(%)					应用举例
	C	Mn	Si	S	P	
Q195	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50	≤0.30	≤0.05	≤0.045	制作钉子、铆钉、垫块及各种轻载荷的冲压件
Q215	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55				
Q235	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65				广泛用于制作小轴、连杆、螺栓、螺母、法兰、垫板垫块等受力不大要求不高的零件
Q255	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70				强度较Q235稍高，用于制作拉杆、连杆、转轴、心轴、一般齿轮和键等
Q275	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80				

【提示与拓展】

Q235旧称A3钢，是普通碳素结构钢中应用最广泛的一种钢，其综合力学性能较好，价格便宜，作为型材和管材广泛应用于建筑工程。在机械制造领域，也广泛用于制作各类钢制普通零件。钳工实训操作大都用此类钢作为钳工操作训练钢种。

2. 低合金高强度结构钢

在旧标准中，低合金高强度结构钢作为合金结构钢进行编号。在最新标准中，低合金高强度结构钢套用普通碳素结构钢的编号方法。即以字母Q+屈服强度值编号。

低合金高强度结构钢中加入了少量合金元素如锰、铬、钒、钛、铌等，改善了钢的性能，所以其屈服强度相对普通碳素结构钢要高。这类钢主要用于房屋、桥梁、船舶、车辆、

铁道、高压容器及大型军事工程等工程结构件。表 1-4 为典型低合金高强度结构钢的新、旧标准牌号对照及应用。

表 1-4 低合金高强度结构钢的新、旧标准牌号对照及应用

新标准	旧标准	应用举例
Q295	09MnV、09MnNb、09Mn2、12Mn	车辆的冲压件、冷弯型钢、螺旋焊管、拖拉机轮圈、低压锅炉气包、中低压化工容器、输油管道、储油罐、油船等
Q345	12MnV、14MnNb、16Mn、18Nb	船舶、铁路车辆、桥梁、管道、锅炉、压力容器、石油储罐、起重及矿山机械、厂房钢架等
Q390	15MnTi、16MnNb、15MnV	中高压锅炉锅筒、中高压石油化工容器、大型船舶、桥梁、车辆、起重机及其他较高载荷的焊接结构件等
Q420	15MnVN、14MnVTiRE	大型船舶、桥梁、电站设备、起重机械、机车车辆、中压或高压锅炉及容器及其大型焊接结构件等
Q460		可经热处理后用于大型挖掘机、起重运输机械、钻井平台等

3. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢是用于制造重要机械结构零件的非合金结构钢，牌号用两位数（表示平均碳量的万分数）表示。若钢中锰的含量较高时，在数字后面加上化学元素符号 Mn。

例如：40 钢表示碳的平均质量分数为 0.40% 的优质碳素结构钢；60Mn 表示碳的平均质量分数为 0.60%，且钢中合金 Mn 含量较高的优质碳素结构钢。

优质碳素结构钢在机械制造中应用极为广泛，一般是经过热处理以后使用，以充分发挥其性能潜力。优质碳素结构钢的牌号及应用如表 1-5 所示。

表 1-5 优质碳素结构钢的牌号及应用

牌 号	应用举例
05F	主要用作冶炼不锈钢、耐酸钢等特殊性能钢的炉料，也可代替工业纯铁使用，还用于制造薄板、冷轧钢带等
08(F)	用来制成冷冲钢带和钢板用以制造深冲制品、油桶；也可用于制成管子、垫片及心部强度要求不高的渗碳和碳氮共渗零件、电焊条等
10(F)	用于制造锅炉管、油桶顶盖、钢带、钢丝、钢板和型材，也可制作机械零件
15(F)	用于制造机械上的渗碳零件、坚固零件、冲锻模件及不需要热处理的低负荷零件，如螺栓、螺钉、拉条、法兰盘及化工机械用储器、蒸气锅炉等
20(F)	用于不经受很大应力而要求韧性的各种机械零件，如拉杆、螺钉、起重钩等；也用于心部强度不大的渗碳与碳氮共渗零件，如轴套、轴以及不重要的齿轮、链轮等。在模具上常用于制作导柱与导套
25	用作热锻和热冲压的机械零件，机床上的渗碳及碳氮共渗零件，以及重型和中型机械制造中的负荷不大的轴、辊子、连接器、垫圈、螺栓、螺母等，还可用作铸钢件
30、35	用作热锻和热冲压的机械零件如冷拉丝、钢管，机械制造中的零件如转轴、曲轴、轴销、杠杆、连杆、横梁、星轮、套筒、钩环、螺母等，还可用来铸造汽轮机机身、轧钢机机身、飞轮、均衡器等
40	用来制造机器的运动零件，如辊子、轴、曲柄销、传动轴、活塞杆、连杆、圆盘等，以及火车车轴
45	广泛用于制造各类机械零件，如汽轮机、压缩机、泵的运动零件，还可用来代替渗碳钢制造齿轮、轴、活塞销等零件。在模具上常用于制作固定板、垫板、支撑板等结构零件
50	用于耐磨性要求高、动载荷及冲击作用不大的零件，如铸造齿轮、拉杆、轧辊、轴摩擦盘、次要的弹簧、农机上的掘土犁铧、重负荷的心轴与轴等
55	用于制造齿轮、连杆、轮圈、轮缘、扁弹簧及轧辊等，也作铸件
60、65	用于制造气门弹簧、弹簧圈、轴、轧辊、各种垫圈、凸轮及钢丝绳等
70、80	用于制造各类普通弹簧
15Mn、25Mn	用于制造中心部分的力学性能要求较高且需渗碳的零件
30Mn	用于制造螺栓、螺母、螺钉、杠杆、制动踏板；还可以制造在高应力下工作的细小零件，如农机上的钩、环、链等

【提示与拓展】

45钢是优质碳素结构钢中应用最广泛的钢种，属于中碳钢。在经过调质处理后零件具有良好的综合力学性能，广泛应用于各种重要的结构零件，特别是那些在交变负荷下工作的连杆、螺栓、齿轮及轴类等。

4. 易切削结构钢

易切削钢是在钢中加入一种或几种元素，形成对切削加工有利的夹杂物，使钢材具备较好的切削加工性能。易切削钢的编号是在同类结构钢牌号前加字母Y（“易”的拼音字首），以区别其他结构用钢。如Y12、Y15等。

易切削钢主要用于制作受力较小而对尺寸和光洁度要求严格的仪器仪表、手表零件、汽车、机床和其他各种机器上使用的，对尺寸精度和表面粗糙度要求严格，而对力学性能要求相对较低的标准件，如齿轮、轴、螺栓、阀门、衬套、销钉、管接头、弹簧坐垫及机床丝杠、塑料成型模具、外科和牙科手术用具等。

5. 碳素工具钢

碳素工具钢的牌号是在字母T（碳的拼音字首）的后面加数字（表示平均含碳量的千分数）表示。例如，T9表示碳的平均质量分数为0.90%的碳素工具钢。碳素工具钢都是优质钢，若钢号末加字母A，则表示该钢为高级优质钢。

相对于碳素结构钢，碳素工具钢的含碳量高，热处理后可得到较高的强度和硬度。碳素工具钢生产成本较低，加工性能良好，可用于制作低速、手动刀具及常温下使用的工具、模具、量具等。各种牌号的碳素工具钢淬火后的硬度相差不大，但随着含碳量的增加，钢的耐磨性提高，韧性降低。因此，不同牌号的工具钢适用于不同用途的工具。常用碳素工具钢的牌号及应用如表1-6所示。

表 1-6 常用碳素工具钢牌号及应用

牌 号	应用举例
T7	用于制作承受振动和冲击、硬度适中、有良好韧性的工具，如錾子、冲头、木工工具、大锤等
T8	制作有较高硬度和耐磨性的工具，如冲头、木工工具、剪切金属用剪刀等
T9	制作有一定硬度和韧性的工具，如冲模、冲头、凿岩石用錾子等
T10、T11	用于制作耐磨性要求较高，不受剧烈振动，具有一定韧性及锋利刃口的各种工具，如刨刀、车刀、钻头、丝锥、手锯锯条、拉丝模、简单冷冲模等
T12	用于不受冲击、高硬度的各种工具，如丝锥、锉刀、刮刀、铰刀、板牙、量具等
T13	用于不受振动、要求极高硬度的各种工具，如剃刀、刮刀、刻字刀具等

6. 工程用铸造碳钢

铸造碳钢牌号前面是ZG（铸钢二字汉语拼音字母），后面第一组数字表示屈服点，第二组数字表示抗拉强度，若牌号末尾加字母H表示该钢是焊接结构用碳素铸钢。例如，ZG230—450表示屈服点为230MPa、抗拉强度为450MPa的工程用铸钢。

在机械制造业中，许多形状复杂，用锻造的方法难以生产，力学性能要求比铸铁高的零件，可用碳钢铸造生产，但其铸造性能比铸铁差。铸造碳钢广泛用于制造重型机械、矿山机械、冶金机械、机车车辆的某些要求不高但形状复杂的零件，如机座、变速器壳、阀体等。

1.2.4 合金钢的编号及应用

我国合金钢的编号是按照合金钢中的含碳量及所含合金元素的种类（元素符号）和含

量来编制的。一般，钢号的首部是表示碳的平均含量，表示方法与优质碳素钢的编号是一致的。对于结构钢，表示含碳量的万分数，对于工具钢，表示含碳量的千分数。当钢中某合金元素的平均质量分数 $w_{Me} < 1.5\%$ 时，牌号中只标出元素符号，不标明含量；当 $w_{Me} = 1.5\% \sim 2.5\%$ 、 $2.5\% \sim 3.5\%$ ……时，在该元素后面相应地用整数 2、3……注出其近似含量。

1. 合金结构钢

例如 60Si2Mn，表示碳的平均质量分数为 0.60%、硅的质量分数为 1.5% ~ 2.4%、锰的质量分数少于 1.5% 的合金结构钢；09Mn2V 表示碳的平均质量分数为 0.09%、锰的质量分数为 1.5% ~ 2.4%、钒的质量分数少于 1.5% 的合金结构钢。钢中钒、钛、铝、硼、稀土（以 Re 表示）等合金元素，虽然含量很低，仍应在钢号中标出，例如 40MnVB 等。

合金结构钢根据其用途和热处理特点可分为：合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、滚动轴承钢等。

滚动轴承钢有自己独特的牌号。牌号前面以字母 G（滚的拼音字首）为标志，其后为铬元素符号 Cr，其质量分数以千分数表示，其余与合金结构钢牌号相同，例如 GCr15SiMn，表示铬的质量分数为 1.5%，硅和锰的质量分数分别低于 1.5% 的滚动轴承钢。

主要合金结构钢的牌号、特点及应用如表 1-7 所示。

表 1-7 主要合金结构钢的牌号、特点及应用

类别	牌号(加粗为常用典型钢种)	性能特点	应用举例
合金渗碳钢	20Cr 20CrMnTi 20MnVB 12Cr2Ni4 18Cr2Ni4WA	经表面渗碳再淬火及回火后可使表面具有高硬度和强度，心部具有良好塑性和韧性	用于制造承受强烈冲击载荷和摩擦磨损的机械零件，如汽车、拖拉机中的变速齿轮、内燃机的凸轮轴、活塞销等
合金调质钢	40MnB 40Cr 35CrMo 38CrMoAl 40CrNiMoA	经调质处理(淬火 + 高温回火)后具有高强度、高韧性相结合的良好综合力学性能	主要用于制造在重载荷下同时又受冲击载荷作用的一些重要零件，如汽车、拖拉机、机床上的齿轮、轴类件、连杆、高强度螺栓等
合金弹簧钢	55Si2Mn 60Si2Mn 60Si2CrA	经淬火加中温回火后具有高弹性极限和屈强比，还具有较好的疲劳强度和韧性	主要用于汽车、拖拉机、机车上的减振弹簧和螺旋弹簧、阀门弹簧、活塞弹簧等
滚动轴承钢	GCr9 GCr15 GCr15SiMn	热处理后具有高而均匀的硬度和耐磨性、高的接触疲劳强度、足够的韧性	主要用于制造滚动轴承的内、外套圈以及滚动体，也可用于制造模具和量具

2. 合金工具钢

合金工具钢的牌号与合金结构钢相类似，区别在于含碳量数值表示不同。当碳的平均质量分数小于 1.0% 时，牌号前以含碳量的千分数表示；当碳的平均质量分数等于或大于 1.0% 时，牌号前不标数字。

例如 9SiCr 表示碳的平均质量分数为 0.90%、硅和锰的质量分数均少于 1.5% 合金工具钢；CrWMn 则表示钢中碳的平均质量分数等于或大于 1.0%、钨和锰的质量分数均少于 1.5% 合金工具钢。

合金工具钢与碳素工具钢的共同之处在于都具有较高的含碳量，热处理后可获得高强度和高硬度。区别在于由于合金元素的加入，合金工具钢的热硬性、淬透性和强韧性都优于碳

素工具。

在机械工程上所用的合金工具钢品种繁多，通常按用途分为量具刀具钢（如 9SiCr）、冷作模具钢（如 CrWMn、Cr12MoV）、热作模具钢（如 5CrNiMo）、塑料模具钢（4Cr5MoSiV）、无磁工具钢等。但根据类型和使用条件不同，刀具和模具材料很广泛，不局限于合金工具钢，还包括了优质碳钢、碳素工具钢、合金结构钢、滚动轴承钢、高速钢、不锈钢、硬质合金等，具体在课题 6 中详细介绍。

3. 高速工具钢

高速钢也属于合金工具钢的范畴，因其独特的性能和用途而将其单列出来。高速钢的编号与合金工具钢基本相同，但不论含碳量为多少，牌号中平均含碳量均不标出。

顾名思义，高速钢指用于高速切削的刀具用钢，主要用于制作各类机械加工刀具，如钻头、铣刀、车刀等。其显著特点为具有很好的热硬性，高速钢刀具在高速切削时，温度可达 600℃，而其硬度仍无明显下降。此外，高速钢还具有高强度、高硬度、高耐磨性及良好的韧性，也是常用的冷作模具材料。常用的高速钢为 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2（简称 6542）。

【提示与拓展】

高速钢是目前机械生产中应用最广泛、最主要的刀具材料。因为其性能特点，高速钢又俗称“锋钢”（容易磨得锋利），“风钢”（在空气中冷却就可以淬硬），“白钢”（出厂时四边磨得光亮而洁白），“油钢”（在淬火时大部在油中冷却淬火）。

4. 特殊性能钢

特殊性能钢的牌号表示方法与合金工具钢基本相同，只是当碳的质量分数小于 0.08% 及小于 0.03% 时，在牌号前面分别标出“0”及“00”，例如 0Cr19Ni9、00Cr30Mn2 等。

特殊性能钢是指某些具有特殊的物理、化学性能，在特殊的环境及工作条件下使用的钢。工程上常用的特殊性能钢有不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

特殊性能钢常用钢种的分类、牌号及应用如表 1-8 所示。

表 1-8 特殊性能钢常用钢种的分类、牌号及应用

组别	分 类	牌 号	性 能 特 点	应 用 举 例
不 锈 钢	马氏体 不锈钢	1Cr13、2Cr13、 3Cr13、4Cr13	一般具有良好的抵抗空气、蒸汽和水、酸、碱、盐腐蚀性介质腐蚀的能力；同时具有良好的塑性和韧性及较高的强度	用于制造各种腐蚀介质中工作的零件和构件，如化工装置中的各种管道、阀门和泵，医疗手术刀，防锈刀具和量具，耐腐蚀模具。也用来制作日常生活用具，如餐具、水壶等
	铁素体 不锈钢	0Cr13、1Cr17、 1Cr28、1Cr17Ti		
	奥氏体 不锈钢	0Cr19Ni9、0Cr18Ni9 1Cr19Ni9、1Cr18Ni9Ti		
耐 热 钢	抗氧化钢	1Cr13Si13、 3Cr18Ni25Si2	具有较强的高温抗氧化能力及高温强度保持能力	常用于长期在燃烧环境下工作要保持一定强度的零件，如内燃机气阀、加热炉构件、高压锅炉的过热器等
	热强钢	5CrMo、4Cr10Si2Mo、 4Cr9Si2		
耐 磨 钢	高锰钢	ZGMn13	表面硬度高，耐磨性很好，心部韧性好，强度高，而且经受挤压摩擦时极易形成加工硬化	主要用于在工作过程中承受严重磨损和强烈冲击的零件，如铁路道岔、坦克履带、挖掘机铲齿等构件

【提示与拓展】

购买不锈钢生活用品时，用磁铁测试材质是否具有磁性是辨别不锈钢的普通方法之一。

实际上，只有奥氏体不锈钢一般无磁性（加工后或有弱磁性），而铁素体不锈钢、双相不锈钢、马氏体不锈钢、沉淀硬化不锈钢都带有磁性。无论有无磁性，每种不锈钢都有其特点和适用的范围。

问题3 铸铁是如何编号的？有何主要用途？

1.3 铸铁的分类与编号

铸铁是碳的质量分数在 2% 以上的铁碳合金，工业用铸铁一般碳的质量分数为 2% ~ 4%，并且含有较多量的硅、锰、硫、磷等元素。铸铁与钢同属铁碳合金，但是含碳量远大于钢。铸铁的基体与钢相近，多余的碳以石墨状态存在，石墨的强度、硬度、塑性和韧性极低，所以铸铁的性能与应用与钢有较大的区别。

1.3.1 铸铁的分类

石墨在铸铁中大致有四种存在形态，即片状、球状、团絮状、蠕虫状，如图 1-2 所示。

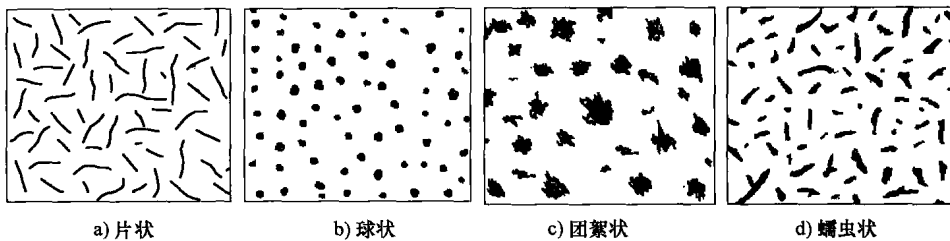


图 1-2 铸铁中石墨形态示意图

按照石墨存在形态的不同，工业铸铁用分为灰铸铁（石墨呈片状）、球墨铸铁（石墨呈球状）、可锻铸铁（石墨呈团絮状）和蠕墨铸铁（石墨呈蠕虫状）。因为石墨的力学性能很低，铸铁可理解为组织内分布着不同形状空洞的钢，所以石墨的形态和分布对铸铁的力学性能影响很大。一般来说，蠕墨铸铁的力学性能最好，灰铸铁的力学性能最差。

此外还有白口铸铁和麻口铸铁，因其断口分别呈白亮色和灰白相间的麻点状而命名。因为白口铸铁和麻口铸铁硬而脆，性能不好，又不能进行切削加工，很少在工业上直接用来制作机械零件。

1.3.2 铸铁的编号及应用

1. 灰铸铁

灰铸铁也称灰口铸铁，其价格便宜，是应用最广泛的铸铁材料。在各类铸铁的总产量中，灰铸铁占 80% 以上。灰铸铁的牌号以字母 HT 和其后的的一组数字表示。其中 HT 为“灰铁”二字的汉语拼音字首，其后数字表示最小抗拉强度值。灰铸铁根据其基体组织不同，又分为铁素体灰铸铁、铁素体 + 珠光体灰铸铁、珠光体灰铸铁、孕育铸铁。灰铸铁的牌号及应用如表 1-9 所示。

2. 球墨铸铁

球墨铸铁是将铁液经过球化处理而得到的石墨为球粒状的铸铁材料。由于球状石墨对基体组织的割裂作用和应力集中作用小，所以球墨铸铁的力学性能远高于灰铸铁。球墨铸铁的牌号以字母 QT 和其后的两组数字表示。其中 QT 为“球铁”二字的汉语拼音字首，其后数