

石油钻采装备 金属材料手册

DRILLING AND PRODUCTION EQUIPMENT
METAL MATERIALS HANDBOOK

张冠军 主编

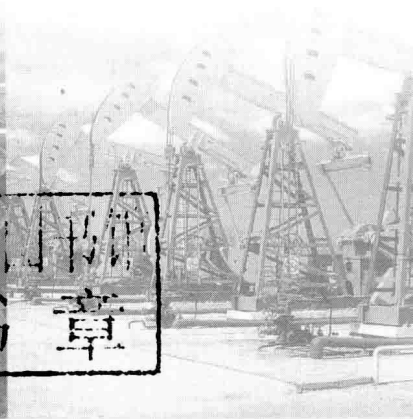
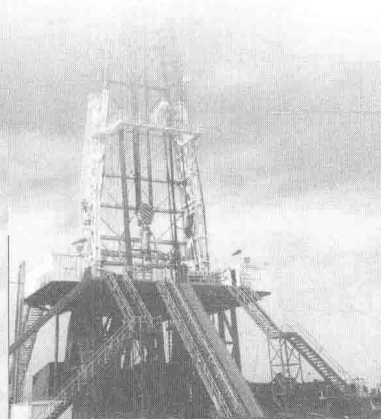


石油工业出版社

石油钻采装备 金属材料手册

DRILLING AND PRODUCTION EQUIPMENT
METAL MATERIALS HANDBOOK

张冠军 主编



常州大学图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本手册汇集了国内外石油钻采作业涉及的主要装备,分析、整理了各种装备构件的主要失效模式和原因,以及产品规范中对金属材料的性能指标要求,并归纳、整理了各装备构件的常用金属材料及其性能数据。涉及的石油钻采装备包括钻机、井控装置、抽油机和石油管柱等。手册中的性能数据,除了金属材料常规的基本性能数据、长期使用过程中材质性能变化的数据以及腐蚀、疲劳等数据,还包括各钻采装备制造厂家为达到产品标准而自主创新的新材料或新工艺的性能数据。此外,手册还收集了部分国内外研究机构研发的可应用于钻采设备的可选择的金属材料。

本手册可供从事石油钻采装备金属材料供应、研发的企业和研究机构的技术人员查阅和使用,也可供石油钻采装备生产制造厂从事设计、制造、安装、检修、更新改造以及从事石油钻采装备的采购、质量检测、使用、维护和保养等工作的广大技术人员和管理人员查阅和使用。此外,本手册也可供从事金属材料研究与开发的科研人员和高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油钻采装备金属材料手册 / 张冠军主编.
北京:石油工业出版社,2016.9
ISBN 978-7-5183-1433-1
I. 石…
II. 张…
III. ①油气钻井-钻机-金属材料-手机 ②油气开采设备-机械设备-金属材料-手机
IV. TE93-62
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 203267 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523583 图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 31

字数: 800 千字

定价: 180.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《石油钻采装备金属材料手册》

编 委 会

技术顾问：李鹤林

主 编：张冠军

副 主 编：王进全 张忠铧 刘永刚

编 委：

黄悦华 武战学 路彩虹 赵 鹏 党 恩

朱丽霞 王新虎 李方坡 张 柯 冯 春

朱丽娟 王高社 纪有君 刘 俊 张春霞

王卫东 李桂变 张彦苏 李伟阳 周家祥

马崇峰 朱益辉 刘禹铭

序

材料是现代文明的三大支柱（信息、能源和材料）之一。国家经济建设和国防建设，乃至人们的日常生活都与材料的发展密切相关。当今，世界各主要工业国都把材料科学技术列为优先发展的领域之一。

现代工程材料按属性可分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料、复合材料四大类，而按使用性能则可分为主要利用其力学性能的结构材料和主要利用其物理性能的功能材料（例如电子材料、光电子材料和超导材料等）。时至今日，不仅传统的金属材料、陶瓷材料焕发了青春，而高分子材料和复合材料等新型材料更是迅猛发展。人类已经进入了人工合成材料的新时代。

尽管新型材料飞速发展，但作为传统材料的金属材料仍然是目前用量最大、使用最广的。例如，在石油装备制造业中，金属材料的使用占95%左右（其中，钢铁材料占90%，有色金属占5%）。在我国石油装备领域，亟待解决的材料方面的问题，绝大多数是传统的金属材料方面的问题，特别是钢铁材料问题。

1963年，我大学毕业刚参加工作两年，石油工业部供应制造局即安排我承担编写《石油机械用钢手册》一书的任务。当时的规划是200万字，分上下两卷。上卷是性能数据篇，下卷是材料设计（选材）篇。上卷包括碳素结构钢、低合金高强度钢、合金结构钢、弹簧钢、轴承钢、不锈钢耐酸钢、耐热不起皮钢等七大类钢铁材料。鉴于当时石油工业的下游装备（炼油和石油化工装备）的材料问题比较复杂，对相关手册的需求很迫切，编写工作是从不锈钢耐酸钢和耐热不起皮钢开始的。接着完成了弹簧钢和轴承钢编写，并开始合金结构钢的编写。为满足生产一线的急需，采用了出版单行本的形式。至1965年底，由当时的中国工业出版社陆续出版了《石油机械用钢手册：不锈钢耐酸钢与耐热不起皮钢》、《石油机械用钢手册：弹簧钢与轴承钢》、《石油机械用钢手册：合金结构钢之铬钢与铬钼钢》、《石油机械用钢手册：优质碳素结构钢》。1965年，因工作安排变动，中断编写工作。

石油工业上游的石油钻采装备大量使用合金结构钢。原规划编写的合金结构钢钢组包括：锰钢、硅锰钢、铬钢、铬钼钢、铬锰硅钢、铬锰钛钢、铬锰钒钢、铬铝钢、铬钼铝钢、硼钢、铬镍钢、铬镍钼钢等。最终只把铬钢与铬钼钢出版了一个薄薄的单行本。对此，我一直深感遗憾。所幸，此次中国石油集团石油管工程技术研究院组织编写的《石油钻采装备金属材料手册》以石油钻采

装备金属材料为主，其合金结构钢基本涵盖了上述钢组。

在中国石油集团石油管工程技术研究院、宝鸡石油机械有限责任公司和宝山钢铁集团公司的精心组织下，联合国内众多的冶金和石油装备企业、科研院所，编写了《石油钻采装备金属材料手册》。该手册系统地收集、整理了国内陆上油气田钻采作业中钻机、井控装置、抽油机和石油管柱的构成、失效模式和失效原因，以及产品规范中对金属材料的性能指标要求，归纳、整理了各装备构件的常用金属材料及其性能数据，形成了我国石油行业钻采装备的首部金属材料手册。手册中的材料数据来自公开发行的材料手册和石油钻采装备制造企业、冶金企业在长期生产实践和科学试验中积累的大量宝贵资料，不仅可供从事金属材料研发、生产的企业和研究机构的技术人员查阅和使用，也可供从事石油钻采装备设计、制造、质量检测、采购、使用、维护和保养等工作的广大技术人员和管理人员查阅和使用。本手册也可供高等院校有关专业的师生参考。

本手册对提升我国石油钻采装备的整体技术水平，促进我国金属材料科学的研究和发展，有十分重要的意义。

中国工程院院士



2016年2月18日

前 言

随着我国石油和天然气勘探开发事业的发展,我国的石油钻采装备已从最初的主要依靠进口发展到今天的完全国产化,部分大型的石油钻采装备已处于国际领先水平,并出口世界各国。与此同时,我国的石油钻采装备品种多、品牌多,采用的材料不同,性能各异,质量水平也参差不齐,因此,造成失效事故频发。此外,由于石油钻采装备的制造企业与金属材料的生产和研发单位相互独立,双方的沟通、交流往往存在局部性、被动性,致使石油钻采装备所用的金属材料更新换代慢,适用于恶劣工况的关键构件的优质金属材料可选择范围窄,且装备的体积和质量比与发达国家装备有较大差距。为了推动我国石油钻采装备的整体质量提升,促进我国金属材料科学的研究和发展,由中国石油集团石油管工程技术研究院发起,联合国内知名的石油钻采装备制造企业和冶金企业科研院所,编写了《石油钻采装备金属材料手册》(以下简称《手册》),以供从事石油钻采装备金属材料供应、研发的企业和研究机构的技术人员,石油钻采装备生产制造厂从事设计、制造、安装、检修、更新改造以及从事石油钻采装备的采购、质量检测、使用、维护和保养等工作的广大技术人员和管理人员查阅和使用,也可供高等院校机械设计与制造以及材料工程专业的师生参考。

本《手册》的编写,内容上力求可靠、准确、简明和实用,除了收集石油钻采装备目前在用的金属材料及其性能数据,还补充了部分可选择的金属材料及其性能数据。

本《手册》由张冠军组织编写,分上下两篇。上篇为“石油钻采装备”,分10个章节对石油钻采装备进行了分类介绍。第1章“钻机提升系统”,由武战学、党恩编写;第2章“钻机井架与底座”,由李伟阳、王高社编写;第3章“钻机旋转系统”,由王卫东、武战学编写;第4章“钻机循环系统”,由党恩、张柯编写;第5章“钻机传动系统”,由张柯、马崇峰编写;第6章“钻机动力系统”,由朱丽霞、纪有君编写;第7章“井控装备”,由路彩虹、张彦苏编写;第8章“有杆抽油设备”,由朱丽娟、刘俊编写;第9章“钻柱”,由刘永刚、邓宝、闫静编写;第10章“油套管”,由赵鹏、周家祥编写;下篇为“金属材料性能”,分5个章节对石油钻采装备所用的金属材料性能进行分类介绍。第11章“金属材料的基本知识”,由路彩虹、刘永刚编写;第12章“铸铁和铸钢”,

由武战学、王高社编写；第13章“结构钢”，由党恩、赵鹏、李方坡、李桂变编写，第14章“特殊钢”，由张柯、王新虎、张春霞、李方坡编写，第15章“有色金属”，由冯春、张春霞编写。王进全、黄悦华、张忠铎对手册内容进行了审查。

本《手册》按石油钻采装备为主线进行结构组织，分别介绍了各石油钻采装备的主要组成、服役条件、失效模式和失效原因以及产品标准对材料的要求，归纳了各构件目前在用的和可用的金属材料。对手册中涉及的金属材料统一按材料体系分类，逐一对材料的成分、性能数据和热处理工艺等技术资料进行说明。

本《手册》的内容和数据主要来源于有关的国内外技术标准、材料性能手册、专著以及石油钻采装备制造企业和冶金企业在长期生产实践和科学试验中积累的大量的宝贵资料和数据。

本《手册》的编写单位为中国石油集团石油管工程技术研究院（石油管材及装备材料服役行为与结构安全国家重点实验室）、宝鸡石油机械有限责任公司（国家油气钻井装备工程技术研究中心）和宝山钢铁股份有限公司。在《手册》编写过程中，得到了中国石油集团渤海装备制造分公司（新世纪分公司，第一机械厂）、中国石油集团济柴动力总厂、华北石油荣盛机械制造有限公司、天津钢管集团公司、北方风雷机械制造有限公司、曙光华阳钻杆有限公司、威玛石油钻具有限公司、玉门石油机械厂、湖北新冶钢有限公司等以及TENARIS（泰纳瑞斯）、TIMKEN STEEL（铁姆肯）等国外公司的大力支持。在资料收集过程中，得到了贾波、黄海春、唐科、王全敬、许津津、李德伟、刘宝秋、马旗、马玉军、刘景华、童骏、李晨等技术人员的热情帮助。在此，对上述各单位的领导、专家表示衷心的感谢。

特别致谢：

本《手册》在编写过程中，得到了李鹤林院士、西安交通大学周敬恩教授等专家的悉心指导和认真审查，提出了许多宝贵的意见。

由于时间仓促和我们的水平有限，书中难免存在不足与疏漏之处，诚望读者予以指正。

《石油钻采装备金属材料手册》编委会

2016年4月

常用符号

- A——奥氏体；
A——断后伸长率，%；
 A_1 ——平衡状态下奥氏体、铁素体和渗碳体共存的温度，℃；
 A_3 ——亚共析钢在平衡状态下奥氏体和铁素体共存的温度，℃；
 A_{c1} ——加热下临界点（温度），℃；
 A_{c3} ——亚共析钢加热上临界点（温度），℃；
 A_{cm} ——过共析钢加热上临界点（温度），℃；
 A_{em} ——过共析钢加热时所有渗碳体都溶入奥氏体的温度，℃；
 A_{r1} ——冷却下临界点（温度），℃；
 A_{r3} ——亚共析钢冷却上临界点（温度），℃；
 A_{rcm} ——过共析钢冷却上临界点（温度），℃；
AT——奥氏体化温度，℃；
 a ——热扩散率， m^2/s ；
 a ——裂纹长度，mm；
 a ——试样厚度，mm；
 a_0 ——初始裂纹长度，mm；
 a_c ——临界裂纹长度，mm；
B——贝氏体；
 B ——磁感应强度，T；
S——索氏体；
C——碳化物；
 c ——比热容， $J/(kg \cdot K)$ ；
 c_p ——定压比热容， $J/(kg \cdot K)$ ；
COD——裂纹张开位移，mm；
 D ——直径，mm；
 da/dN ——疲劳裂纹扩展速率，mm/circle；
 da/dt ——蠕变条件下或应力腐蚀条件下的裂纹扩展速率，mm/h；
 E ——弹性模量，MPa；
 E ——焊接线能量，J/m；
F——铁素体；
 F ——试验力，N；
 f ——频率，Hz；

G ——切变模量, MPa;
 H ——磁场强度, A/m;
 HBW ——以硬质合金为压头的布氏硬度;
 H_e ——矫顽力, A/m;
 HR ——洛氏硬度;
 HRA ——洛氏 A 标度硬度;
 HRB ——洛氏 B 标度硬度;
 HRC ——洛氏 C 标度硬度;
 HV ——维氏硬度;
 I ——电流强度, A;
 J —— J 积分, N/mm;
 J_{IC} ——I 型加载下的临界 J 积分, N/mm;
 KV_2 ——V 形缺口试样在 2mm 摆锤刀刃下的冲击吸收能, J;
 KU_2 ——U 形缺口试样在 2mm 摆锤刀刃下的冲击吸收能, J;
 KV_8 ——V 形缺口试样在 8mm 摆锤刀刃下的冲击吸收能, J;
 KU_8 ——U 形缺口试样在 8mm 摆锤刀刃下的冲击吸收能, J;
 K ——传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 K ——腐蚀率, $g/(m^2 \cdot h)$;
 K_f ——疲劳缺口应力集中系数;
 K_I ——裂纹在 I 型加载 (拉伸) 下的应力强度因子, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_{II} ——裂纹在 II 型加载 (面内剪切) 下的应力强度因子, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_{III} ——裂纹在 III 型加载 (面外剪切) 下的应力强度因子, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_{IC} ——平面应变断裂韧性, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_{ISCC} ——应力腐蚀裂纹临界应力强度因子, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_Q ——条件断裂韧性, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_t ——理论应力集中系数;
 K' ——低循环疲劳循环应变硬化系数;
 K_{JIC} ——由 J_{IC} 值换算的平面应变断裂韧性, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 K_w ——材料的氧化速度, $g/(m^2 \cdot h)$;
 L ——液态相;
 $L(1)$ ——长度, mm;
 Ld ——莱氏体;
 M ——马氏体;
 M_f ——马氏体转变终了温度, $^{\circ}C$;
 M_s ——马氏体转变开始温度, $^{\circ}C$;
 N ——交变载荷 (或应力) 循环次数, 次;
 N_0 ——无裂纹交变载荷 (或应力) 循环次数, 次;

N_f ——到达疲劳断裂前的总循环数, 次;
 n ——低循环疲劳应变硬化指数;
 n ——子样数;
 P ——珠光体;
 P ——可信度, %;
 Q_c ——材料的蠕变激活能;
 R ——半径, mm;
 R ——应力比;
 s ——壁厚, mm;
 S ——面积, m^2 ;
 S ——应力, MPa;
 S ——标准差;
 T ——热力学温度, K;
 t ——时间, s 或 h;
 t ——摄氏温度, $^{\circ}C$;
 α —— α 相;
 α_l ——线膨胀系数, $^{\circ}C^{-1}$;
 β —— β 相;
 γ —— γ 相;
 ΔK ——应力强度因子范围, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 ΔK_{th} ——疲劳裂纹扩展极限应力强度因子范围, $MPa \cdot m^{1/2}$;
 $\Delta\sigma$ ——循环应力范围, MPa;
 δ —— δ 相;
 δ_c ——临界裂纹尖端张开位移, mm;
 ε ——应变;
 $\dot{\varepsilon}$ ——应变速率, s^{-1} ;
 λ ——热导率, $W/(m \cdot K)$;
 μ ——磁导率, H/m;
 ν ——泊松比;
 ρ ——密度, kg/m^3 ;
 ρ ——电阻率, $\Omega \cdot m$;
 F ——应力, MPa;
 R_m ——抗拉强度, MPa;
 R_{mc} ——抗压强度, MPa;
 σ_R ——某一应力比下的疲劳极限, MPa;
 R_{eH} ——下屈服点, MPa;
 R_{eL} ——上屈服点, MPa;

R_p ——规定塑性延伸强度, MPa;
 R_t ——规定总延伸强度, MPa;
 R_r ——规定残余延伸强度, MPa;
 σ_{-1} ——光滑试样对称循环下的弯曲疲劳极限, MPa;
 σ_{-1n} ——缺口试样对称循环下的弯曲疲劳极限, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^3}$ ——断裂时间为 10^3 h 的持久强度, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^5}$ ——断裂时间为 10^5 h 的持久强度, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^7}$ ——断裂时间为 10^7 h 的持久强度, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^{-3}}$ ——蠕变速率为 $1 \times 10^{-3}\%$ /h 时的蠕变极限, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^{-4}}$ ——蠕变速率为 $1 \times 10^{-4}\%$ /h 时的蠕变极限, MPa;
 $\sigma_{1 \times 10^{-5}}$ ——蠕变速率为 $1 \times 10^{-5}\%$ /h 时的蠕变极限, MPa;
 τ_m ——抗扭强度, MPa;
 τ_{-1} ——光滑试样对称扭转疲劳极限, MPa;
 τ_{-1n} ——缺口试样对称扭转疲劳极限, MPa;
 Z ——断面收缩率, %。

目 录

上篇 石油钻采装备

第 1 章 钻机提升系统	(3)
1.1 提升系统的组成	(3)
1.1.1 绞车	(3)
1.1.2 游动系统	(6)
1.2 提升系统设备的服役条件和失效形式	(11)
1.2.1 服役条件	(11)
1.2.2 失效形式	(13)
1.3 提升系统设备材料要求及常用金属材料	(17)
1.3.1 材料要求	(17)
1.3.2 常用金属材料	(18)
第 2 章 钻机井架与底座	(20)
2.1 井架与底座的组成	(20)
2.1.1 井架	(20)
2.1.2 底座	(25)
2.2 井架与底座的服役条件和失效形式	(29)
2.2.1 服役条件	(29)
2.2.2 失效形式	(30)
2.3 井架与底座材料要求及常用金属材料	(31)
2.3.1 材料要求	(31)
2.3.2 常用金属材料	(32)
第 3 章 钻机旋转系统	(34)
3.1 旋转系统的组成	(34)
3.1.1 转盘	(34)
3.1.2 水龙头	(35)
3.1.3 顶驱装置	(37)
3.2 旋转系统设备的服役条件和失效形式	(42)
3.2.1 服役条件	(42)
3.2.2 失效形式	(44)
3.3 旋转系统设备材料要求及常用金属材料	(45)
3.3.1 材料要求	(45)

3.3.2 常用金属材料	(47)
第4章 钻机循环系统	(50)
4.1 循环系统的组成	(50)
4.1.1 钻井泵	(50)
4.1.2 钻井泵组	(53)
4.1.3 钻井液循环管汇	(53)
4.1.4 钻井液固相控制系统	(54)
4.2 循环系统设备的服役条件和失效形式	(56)
4.2.1 服役条件	(56)
4.2.2 失效形式	(57)
4.3 循环系统设备材料要求及常用金属材料	(61)
4.3.1 材料要求	(61)
4.3.2 常用金属材料	(62)
第5章 钻机传动系统	(65)
5.1 传动系统的组成	(65)
5.1.1 转盘驱动装置	(65)
5.1.2 并车箱	(67)
5.2 传动系统设备的服役条件和失效形式	(69)
5.2.1 服役条件	(69)
5.2.2 失效形式及原因	(69)
5.3 传动系统设备材料要求及常用金属材料	(70)
5.3.1 材料要求	(70)
5.3.2 常用金属材料	(70)
第6章 钻机动力系统	(72)
6.1 柴油机的组成	(72)
6.1.1 机体与气缸盖组件	(72)
6.1.2 曲柄连杆机构	(72)
6.1.3 配气机构	(73)
6.1.4 进排气及增压系统	(73)
6.1.5 燃油供给系统	(73)
6.1.6 润滑系统	(73)
6.1.7 冷却系统	(74)
6.1.8 起动系统	(74)
6.1.9 监控及安全保护系统	(74)
6.2 柴油机构件的服役条件和材料要求	(75)
6.2.1 服役条件	(75)
6.2.2 失效形式	(75)

6.3 柴油机构件材料要求及常用金属材料	(77)
6.3.1 材料要求	(77)
6.3.2 常用金属材料	(82)
第7章 井控装备	(84)
7.1 井控装备的组成	(84)
7.1.1 防喷器组合	(84)
7.1.2 井口装置	(87)
7.1.3 采油树	(89)
7.2 井控装备的服役条件和失效形式	(91)
7.2.1 服役条件	(91)
7.2.2 失效形式	(91)
7.3 井控装备材料要求及常用金属材料	(96)
7.3.1 材料要求	(96)
7.3.2 常用材料	(100)
第8章 有杆抽油设备	(102)
8.1 有杆抽油设备组成	(102)
8.1.1 游梁式抽油机	(102)
8.1.2 钢制抽油杆	(104)
8.1.3 抽油泵	(104)
8.2 有杆抽油设备的服役条件和失效形式	(104)
8.2.1 服役条件	(104)
8.2.2 失效形式	(105)
8.3 有杆抽油设备的材料要求及常用金属材料	(108)
8.3.1 材料要求	(108)
8.3.2 常用金属材料	(112)
第9章 钻柱	(114)
9.1 钻柱的组成	(114)
9.1.1 钻杆	(114)
9.1.2 加重钻杆	(116)
9.1.3 钻铤	(118)
9.1.4 方钻杆	(118)
9.1.5 转换接头	(121)
9.1.6 钻头	(121)
9.2 钻柱构件的服役条件和失效形式	(121)
9.2.1 服役条件	(121)
9.2.2 失效形式	(124)
9.3 钻柱构件材料要求及常用金属材料	(128)

9.3.1	材料要求	(128)
9.3.2	常用金属材料	(131)
第10章	油套管	(133)
10.1	油套管的基本知识	(133)
10.1.1	油套管的组成	(133)
10.1.2	油套管分类	(134)
10.2	油套管的服役条件和失效形式	(134)
10.2.1	服役条件	(134)
10.2.2	失效形式	(135)
10.3	油套管材料要求及常用材料	(136)
10.3.1	材料要求	(136)
10.3.2	常用材料	(137)

下篇 金属材料性能

第11章	金属材料的基本知识	(141)
11.1	钢的分类	(141)
11.2	钢种牌号的表示方法	(149)
11.2.1	生铁	(149)
11.2.2	碳素结构钢和低合金结构钢	(149)
11.2.3	优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢	(151)
11.2.4	易切削钢	(152)
11.2.5	车辆车轴及机车车辆用钢	(152)
11.2.6	合金结构钢和合金弹簧钢	(154)
11.2.7	非调质机械结构钢	(155)
11.2.8	工具钢	(155)
11.2.9	轴承钢	(156)
11.2.10	钢轨钢、冷镦钢	(156)
11.2.11	不锈钢和耐热钢	(156)
11.2.12	焊接用钢	(157)
11.2.13	冷轧电工钢	(157)
11.2.14	电磁纯铁	(158)
11.2.15	原料纯铁	(158)
11.2.16	高电阻电热合金	(158)
11.3	合金元素在钢中的作用	(158)
11.4	钢铁的基本组织	(160)
11.4.1	奥氏体	(160)
11.4.2	铁素体	(160)

11.4.3	渗碳体	(160)
11.4.4	珠光体	(161)
11.4.5	索氏体	(161)
11.4.6	屈氏体	(161)
11.4.7	贝氏体	(162)
11.4.8	马氏体	(163)
11.4.9	莱氏体	(163)
11.4.10	魏氏组织	(164)
11.5	金属材料的主要性能	(164)
11.5.1	金属材料的物理性能	(164)
11.5.2	金属材料的力学性能	(167)
11.5.3	金属的化学性能	(182)
11.5.4	金属材料的工艺性能	(189)
11.5.5	金属的热处理	(193)
11.6	有色金属材料的基础知识	(199)
11.6.1	有色金属材料的分类	(199)
11.6.2	工业常用的有色金属	(202)
11.6.3	有色金属材料的性能	(203)
11.6.4	有色金属材料的热处理	(206)
11.6.5	有色金属及合金牌号的表示方法	(207)
第12章	铸铁和铸钢	(210)
12.1	HT150	(210)
12.1.1	材料特性	(210)
12.1.2	化学成分	(210)
12.1.3	物理性能	(210)
12.1.4	力学性能	(211)
12.1.5	热处理工艺	(212)
12.2	HT200	(212)
12.2.1	材料特性	(212)
12.2.2	化学成分	(212)
12.2.3	物理性能	(213)
12.2.4	力学性能	(213)
12.2.5	热处理工艺	(214)
12.3	HT250	(215)
12.3.1	材料特性	(215)
12.3.2	化学成分	(215)
12.3.3	物理性能	(215)