

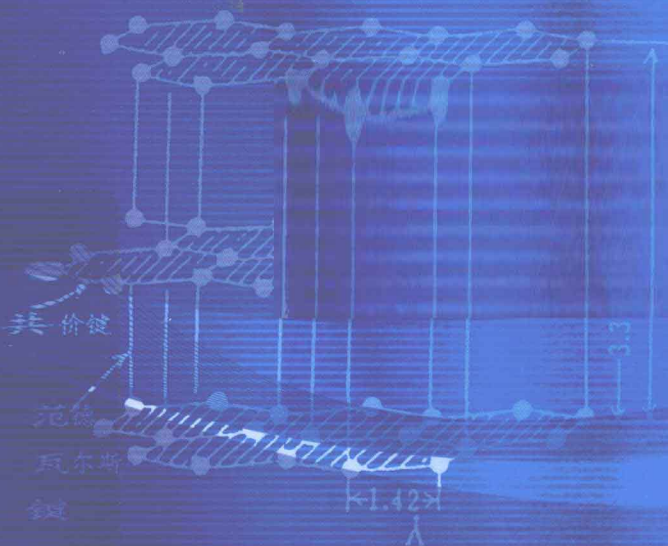
► 现代材料科学的创新力作
► 日本京都大学四十多年铸铁冶金学研究成果的结晶

反应论铸铁学

(日) 井ノ山直哉 山本 悟 川野 豊 著

庞建路 杨丽萍 译

王云昭 审校



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



反应论铸铁学

(日) 井ノ山直哉 山本悟 川野豊 著
庞建路 杨丽萍 译
王云昭 审校



机械工业出版社

本书汇总了影响铸铁石墨化（或激冷倾向）因素的研究成果，灵活运用反应理论和动力学理论深入分析了铸铁，是资料十分齐全的一本书，在有关铸铁的学术报告和技术论文中可以说是出类拔萃的。本书内容丰富，资料翔实，在铸造产品的实际生产中，对于技术设计和生产管理都是极具价值的。本书的出版将对我国铸铁的研究和生产实践起到重要的指导作用。

本书共 11 章，主要内容包括铸铁材料科学的基础知识、Fe-C 系相图和凝固组织、液态铸铁及其性质、铸铁的石墨化、孕育促进石墨化的机理、铸铁中氮的行为和石墨化、白口铸铁第一阶段石墨化反应动力学、合金元素的作用机理和珠光体的稳定性、各种形态石墨的形成机理、力学性能、铸铁的再生循环利用。

本书可供从事铸铁研究和应用的科研技术人员、铸铁产品设计和使用的工程技术人员，以及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

反应论铸铁学/（日）井ノ山直哉，（日）山本悟，（日）川野豊著；
庞建路，杨丽萍译.—北京：机械工业出版社，2012.5

ISBN 978-7-111-37635-4

I. ①反… II. ①井…②山…③川…④庞…⑤杨… III. ①铸铁
IV. ①TG143

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 038157 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：何月秋 责任编辑：何月秋 吕芳

版式设计：霍永明 责任校对：肖琳

封面设计：路思中 责任印制：杨曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·13.75 印张·1 插页·280 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-37635-4

定价：69.00 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

策划编辑（010）88379732

社服务中心：（010）88361066

网络服务

销售一部：（010）68326294

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：（010）88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：（010）88379203

封面无防伪标均为盗版

致中国读者

欣闻我们的著作《Cast Irons Clarified Through Bonds and Reactions》能够翻译成中文并在机械工业出版社出版，感到非常高兴。

在这本书里，采用的分析说明铸铁材料或组织形成问题的方法与过去流行的各种学说不同，是以量子力学观点为统一的理论基础的方法。

原来所说的结合和反应都是用化学方程式或热力学反应式来论述的，但是仅仅如此还不能形成统一的理论。对此，作者们历经 40 年之久的研究，测定了各类组织形态，实验观察了合金元素、气体元素以及微量杂质元素对组织形成的影响。然后采用分子轨道计算等方法，用电子计算机对这些实验观察数据进行处理，根据量子理论观点，做出了明确的理论论述。

我们希望有更多的铸铁研究者和技术人员阅读本书的这些内容，如果作者们提出的这些论述能够获得您的认可并可供参考，我们将深感荣幸。

著者

译校者的话

感谢本书作者日本京都大学工学博士井ノ山直哉、工学博士山本悟、工学博士川野豊先生支持我们将本书介绍给中国铸造界的朋友们。自1980年起川野豊先生八次访华，在北京、上海、天津、沈阳、武汉、哈尔滨、成都、西宁等地的高校、研究所、工厂传授先进铸造技术和科研成果，为中日学术交流和友好合作做出了贡献。此期间他讲授过本书内容。山本悟先生在哈尔滨任教期间也介绍过本书。

本书总结了京都大学铸造冶金研究室近40年的实验研究成果，运用现代量子理论，从反应论的观点论述结合键、铸铁组织、铸铁性能的关系，是一部具有创新思想的铸铁学术专著。

本书根据2000年作者的英文书稿《Cast Irons Clarified Through Bonds and Reactions》译成中文。希望本书对我国的铸铁科研人员、学者、生产技术人员从崭新的观点更深入地认识铸铁的本质有所启示，从而促进我国铸铁的进一步开发应用。

庞凤荣教授策划组织了本书的翻译、审校和联系出版工作。庞建路工程师翻译第1章至第5章，杨丽萍高级工程师翻译第6章至第11章。全书由王云昭研究员审校。

本书能够得以出版要衷心感谢机械工业出版社的鼎力支持，感谢何月秋编审的指导和帮助。感谢王录才教授为本书的出版所付出的努力。

感谢为本书出版给予经费赞助的天津三和铁制品有限公司吴会普总经理、致恒（天津）实业有限公司任玉宝总裁、河南禹州市恒利来合金厂王迎战总经理等各位企业领导。

译校者

中国专家推荐词

天津大学教授 王春祺

铸铁是一种历史悠久的金属材料，它既可以以“灰口”形式存在，也可以以“白口”形式存在。至今，影响铸铁组织和性能的内在因素仍没有彻底探明。

1899年，英国奥斯汀（Roberts Austen）制定了第一张铁碳相图；1900年，荷兰儒则埔（Bakhuis Roozeboom）首先绘出了Fe-Fe₃C亚稳定平衡图；1904~1906年，又有多人绘出了双重铁碳相图。

但是，一些学者对这种双重画法持有保留意见。既然认为石墨是由Fe₃C分解得来的，那又何必在平衡图中画上石墨的析出曲线？既然Fe₃C是亚稳定相，那么Fe-Fe₃C相图就应该称为相图而不是平衡图。石墨不能从Fe-C二元合金液体中直接析出，但是如果铸铁中有硅，石墨是可以直接析出的。

铁碳相图是我们研究铸铁的基础，它一直是双重的，因为无法解释白口（碳化铁）和石墨生成和变化的内在原因，不知其科学实质。使用双重相图乃权宜之计。

在生产实践中，人们早就知道通过控制冷却速度或添加合金元素来控制白口，然而却知其然而不知其所以然。从原子结构的观点来看，究竟是什么因素在起作用，尚不清楚。

很多年以前，日本学者做了大量的实验，发现元素促进石墨化和抑制石墨化，或者促进白口的倾向，与它在元素周期表中的位置有一定的关系，其排列有一定的规律性，可以使用元素周期表参数来分析元素对碳化物的影响。

微量元素对铸铁的“激冷倾向”（chilling tendency）有着重大影响，如：碲、铋、氮……强烈促进白口，同时还有一种增效剂，例如铝，可以大大增强铋的作用，其机理尚不清楚。

添加元素的原子与铁原子间形成某种规则的“结合键”，改变了铸铁的形态和性能。原子间的电子交换、电子状态影响物质的形态，影响铁素体、奥氏体、石墨和渗碳体的比例，造成铸铁组织的变化和性能的变化。

铸铁的石墨化机理、孕育促进石墨化机理、冷却速度影响白口深度机理，至今尚未完全弄清。本书试图以“结合性和反应性”来解释石墨化机理，从基本粒子的观点来分析铸铁的本质，使用量子力学原理来研究铸铁，科学地阐述了铸铁的性质，实际上是对铁碳合金的一个全面的阐述，开辟了新的视野。

本书汇总了影响铸铁石墨化（或激冷倾向）因素的研究成果，是资料十分齐

全的一本书。它的出版将对我国铸铁的研究和生产实践起到重要的指导作用。本书如能进行系统性的归纳，如总结成一些定律、公式或图形，将更为理想。

如果有朝一日，人们可以按照自己的需要，从结合键和原子结构的角度来控制铸铁的组织 and 性能，这将是金属学的重大突破，将为人类的发展作出贡献。

庞凤荣教授为本书的翻译和出版做了大量的工作。庞建路工程师（第1章至第5章）、杨丽萍高级工程师（第6章至第11章）翻译，王云昭研究员审校。

这是一本学术性很强的著作，原稿有日文和英文两种文本，中文版是根据原稿的英文本译出的。翻译这本书需要很深的专业知识，不但要忠于原文，而且文字表达要清楚。王云昭研究员投入了大量的精力和时间，对全部译文做了认真仔细的校对，对个别章进行了多次修改。

铸铁是一种使用极为普遍的材料，本书必将对我国铸铁的研究和应用产生积极的影响。

日本专家推荐词

日本铸造协会会长
近畿大学理工学部教授
工学博士 石野 亨

1928年11月28日在大阪，主持召开日本钢铁协会铸铁分会的斋藤大吉主席提出创建铸造行业独立组织的提案。以此为契机，开展了铸造学术和技术研究，1932年创立了以促进铸造学术研究和改进发展铸造技术为目的的日本铸造协会。现已发展为拥有约3500名会员的优秀协会。

这位日本铸造协会的创始人斋藤大吉先生是日本京都大学工学部铸造冶金学研究室的第一任教授，随后在协会奠基发展的各阶段，又有泽村宏、森田志郎、尾崎良平等各位教授继任，该研究室作为铸造工学的名门留下了赫赫业绩，提高了铸造工学的声望。

该研究室精心设计实验方案，对实验数据细心测定，一丝不苟，开拓进取、治学严谨的深厚的学术传统一脉相传，直到今天。

这次井ノ山直哉、山本悟、川野豊三位先生总结了多年来的学术研究成果编纂而成的《反应论铸铁学》一书出版，是令我衷心高兴的事情。

这本书灵活运用反应理论和动力学理论，探讨分析了Fe-C-Si合金，即铸铁。此书不仅对铸铁研究人员，而且对铸造生产技术人员都是非常有益的。迄今为止，在有关铸铁的学术论文和著作中，这部著作是出类拔萃的，形成了高格调的学术体系。

衷心祝贺这部著作的出版发行，同时向各位读者推荐这部著作。

前 言

在日常生活中，我们所接触和看到的每一种物质，都是由构成物质的相同或不同的原子之间“反应”所形成的，人们还利用这些“反应”将材料转化为具有使用价值的物品。由 Demokritos 和 Herakleitos 建立起来的现代科学基本概念在今天可以说是最自然而且最基本的观点。如果再将量子力学的成果运用到这一概念中，则原来认为反应只是原子间结合的改变，而现在应该认为反应是原子间的电子交换、电子状态的变化。在本书中这种意义“反应”的观点是最为重要的观点，本书将针对铸铁对此观点做更具体的论述。

熔化铸铁是反应的一种，即构成铸铁原子间的结合键在某种意义上断裂的反应。铁原子间结合键断裂的情况如下：首先利用炭燃烧产生的热、电流的焦耳热或是感应电流对铸铁进行加热，当这种热激发给予的能量超过了使原子相互结合的电子的结合能时，结合键就破坏了，铸铁也就熔化了。C、Si 和其他各种元素溶解到铁液中也是一种反应。铁原子和添加的各种元素通过其电子进行相互作用，使这些元素溶解到铁液中。溶入了各种元素的原子的铁液的凝固也是一种反应。凝固时结合电子边放出热能，边回落到稳定的基态，原子相互结合。当各种原子间，如铁原子间、铁原子和添加元素原子间、各种添加元素原子间形成规则的结合键时，凝固结束。这些结合键在铸铁凝固组织中呈现奥氏体和铁素体基体、渗碳体和石墨的形式。这些相分别显示其固有的结构，如奥氏体的面心立方结构、铁素体的体心立方结构。各元素所具有的独特的反应性使这些元素固溶于铸铁。此外，铸铁本身的性质，如强度、硬度、耐热性、耐蚀性和其他性能反映了铸铁各组成元素在凝固状态的结合键特性。

这样我们知道，通过“反应”理解铸铁是非常重要的。然而至今在已发表的关于铸铁的著作中几乎没有看到以反应论为基础的论述。因此本书通过具有各自结合键特性的构成铸铁各种元素之间的反应，认识铸铁的组织变化和各种性质的变化。以此观点概括本书内容如下：

本书主题是铸铁，是历史最悠久的金属材料之一，作为社会不可缺少的材料在今天仍占有重要地位。绪论中，从材料科学的观点阐明了铸铁持久不衰的魅力，涉及过去和现代社会中铸铁的重要性，也展望了未来的发展前景。

第1章介绍与铸铁紧密相关的结合键、结构、性能、反应的基本知识，这是铸铁材料科学的基础知识。这是为了科学地、综合地深刻认识铸铁材料，为了容易理解第2章以后基于反应论观点的论述。

第2章介绍理解铸铁的基本知识——Fe-C 系复合平衡相图，从 Fe 原子和 C 原

子反应的观点考虑相图和凝固组织的关系。

第3章从反应论和结合论的观点考察了熔融铸铁的液体状态，目的是理解与铸铁凝固组织形成有密切关系的铁液的性质和状态。

第4~6章是关于铸铁最重要的课题——石墨化问题的论述，关于这个问题至今尚没有统一的见解。本书基于铸铁构成元素的电子结构为起因的结合性和反应性，试图更科学地理解石墨化。为此，第4章针对石墨化反应首先必须考虑的渗碳体和石墨，基于原子的结合性考察了其析出状态和结晶构造。还从结合论的观点统一论述了添加元素对石墨化的影响。第5章根据实验结果及第4章展开的理论说明了孕育促进石墨化的机理。第6章是关于铸铁中抑制石墨化作用最显著的元素氮的论述，通过氮与其他共存元素之间的反应详细阐明了氮的影响。

第7章从动力学观点阐明了过去各种学说尚未充分阐明的白口铸铁石墨化机理以及典型的抑制石墨化元素Cr的影响机理。推导出新的动力学公式并用它进行了具体的动力学解析计算。

第8章中，以稳定珠光体元素的行为及其反应特性为依据，阐明了普通铸铁和球墨铸铁中珠光体稳定析出的机理。

第9章从析出石墨的结晶构造和与其同步结晶的 γ 铁的相互作用的观点考察了铸铁中的石墨以不同形状析出的原因，说明了石墨结晶析出过程中铸铁中添加元素的作用。

第10章从结合论的观点说明了影响铸铁力学性能的各组成相的性质、经热处理改善组织的结合状态的方法，以及热处理对力学性能的影响。

最后，第11章论述了对今后很重要的铸铁再生循环利用的可能性及其价值。

本书以作者多年学术研究中获得的大量实验结果及其结论为中心，从结合论和反应论的观点出发，尽可能完善地综合论述铸铁学。如果本书能够为读者提供帮助，哪怕是很微薄的，作者都会感到无上荣幸。欢迎广大读者对本书内容进行批评指正。

著者

目 录

致中国读者

译校者的话

中国专家推荐词

日本专家推荐词

前言

绪论——铸铁的魅力与可持续发展性的科学阐释..... 1

第1章 铸铁材料科学的基础知识..... 3

1.1 结合键 3

1.1.1 共价键 3

1.1.2 金属键 5

1.1.3 静电键 7

1.1.4 分子键 8

1.1.5 电荷转移键 9

1.1.6 氢键 9

1.1.7 化学键的其他问题 10

1.1.8 化学键的归纳小结 10

1.2 结构 11

1.2.1 共价键固体 13

1.2.2 金属键固体 16

1.3 性能 21

1.3.1 基本性能 22

补充论述1 广义休克尔法（简单分子轨道法） 31

补充论述2 内聚能的计算 32

1.3.2 复杂的性能 33

1.4 反应 40

1.4.1 共价键反应 41

1.4.2 金属键反应 42

参考文献..... 45

第 2 章 Fe-C 系相图和凝固组织	47
补充论述 3 关于 Fe-C 系相图	50
参考文献	51
第 3 章 液态铸铁及其性质	52
补充论述 4 铸铁中的气体	61
参考文献	61
第 4 章 铸铁的石墨化	63
4.1 Si 的影响	63
4.2 石墨与渗碳体的结构和性质	66
4.3 各种元素和石墨化的关系	68
4.3.1 抑制石墨化添加元素的作用	68
4.3.2 促进石墨化添加元素的作用	73
4.3.3 促进或抑制石墨化的两性添加元素的作用	76
补充论述 5 渗碳体稳定性的评价	77
参考文献	79
第 5 章 孕育促进石墨化的机理	81
5.1 孕育作用的机理	81
5.2 片状石墨铸铁和球墨（或蠕墨）铸铁中的孕育效果	89
参考文献	91
第 6 章 铸铁中氮的行为和石墨化	92
6.1 氮对灰铸铁和球墨铸铁石墨化的影响以及与其他元素的关系	92
6.1.1 硅的影响	92
6.1.2 硫和锰的影响	93
6.1.3 钛和钒的影响	95
6.1.4 镁处理球墨铸铁中氮的作用	97
6.2 气孔缺陷的产生	99
6.3 凝固过程中氮的分布状态和铸铁中气孔缺陷之间的关系	100
6.3.1 熔化 Fe-C-Si 合金中溶解氮的含量	100
6.3.2 Fe-C-Si 合金 γ 铁中溶解氮的含量	102
6.3.3 Fe-C 合金熔液冷却过程中氮的平衡分布状况	102
6.3.4 Fe-C-Si 合金熔液冷却过程中氮的分布状况	103

6.4 白口铸铁石墨化过程中氮的行为和抑制石墨化的机理	104
6.4.1 第一和第二阶段石墨化与氮含量的关系	104
6.4.2 石墨化过程中氮的行为	106
6.4.3 表面渗氮白口铸铁的第一阶段石墨化现象	107
6.4.4 氮抑制石墨化机理的探讨	108
参考文献	112
第7章 白口铸铁第一阶段石墨化反应动力学	113
7.1 石墨化反应动力学研究的历史和现状	113
7.2 实验结果和分析	117
7.2.1 对约翰逊-梅尔方程分析方法的讨论	117
7.2.2 图像分析法的动力学研究	118
7.3 铬的行为及其在白口铸铁中抑制石墨化的机理	124
7.3.1 石墨化反应曲线	124
7.3.2 渗碳体分解速度和铬含量间的关系	125
7.3.3 石墨化过程中铬的行为	126
7.3.4 铬抑制石墨化的机理	127
7.4 新反应动力学方程	131
7.4.1 新反应动力学方程的建立	131
7.4.2 新动力学方程的推导和应用分析	135
7.5 冲击变形引起的渗碳体石墨化	143
参考文献	148
第8章 合金元素的作用机理和珠光体的稳定性	149
8.1 合金元素的作用机理	149
8.2 各元素的行为和珠光体稳定化作用的关系	155
8.3 铜和锰共存对珠光体的稳定化作用	156
8.4 铸铁的珠光体化处理	157
参考文献	158
第9章 各种形态石墨的形成机理	160
9.1 灰铸铁的石墨形成反应	160
9.1.1 初生石墨、片状石墨、共晶石墨的形成过程	160
9.1.2 添加 Ti 时共晶石墨的形成反应	165
9.1.3 组织中的硫化钛	166
9.1.4 硫化钛的定量分析	168

9.1.5 Ti 对形成共晶石墨的影响	169
9.2 球状石墨和蠕虫状石墨的形成反应	172
9.3 粒状石墨铸铁	176
9.3.1 铸铁的高温 (奥氏体化温度) 收缩反应	176
9.3.2 粒状石墨铸铁的制造	178
9.4 雪花 (爆裂) 状石墨的形成	180
参考文献	181
第 10 章 力学性能	183
10.1 铸铁的特性	183
10.2 基体组织与合金元素	183
10.3 铁合金中合金元素的作用	190
10.4 热处理	191
10.4.1 铸铁中的马氏体	191
10.4.2 奥氏体化等温淬火球墨铸铁	194
参考文献	198
第 11 章 铸铁的再生循环利用	200
11.1 再生循环利用的关键问题	200
11.2 用结合论研究铸铁的再生循环利用	200
11.3 铸铁再生循环利用的现在和将来	202
参考文献	204
跋	205

绪论

——铸铁的魅力与可持续发展性的科学阐释

今天人类再次迎来了一个材料时代，通过以发展材料为目的的激烈的国际和历史竞争，新材料正在接二连三地被创造出来。包括这些新创造的材料，今天人类使用的材料的量是极其庞大的。在这些不计其数的材料中，铸铁是人类最早使用的金属之一。人类与铸铁的关系可以追溯到公元前，历史极其悠久。这意味着，在众多材料中，铸铁在其漫长的历史中经受住了与其他材料极为严峻的相互竞争，历史已经证明，它作为一种材料的优越性和极大的魅力。那么铸铁作为材料具有哪些优秀特性呢？其中哪些对人类而言极具魅力？

本书的目的是基于当今科学研究的成果，阐明铸铁作为一种材料的可持续发展性及其魅力。然而本书内容并不像教科书那样完善，而是叙述作者通过长期研究对铸铁的理解，从自由学术的角度叙述作者对铸铁的理解方法。作者最大的独创性，就是本书的书名“反应论铸铁学”所表明的，是从反应论观点探讨铸铁，即通过结合键和反应阐明铸铁。第1章阐明了铸铁究竟是什么，对铸铁的魅力进行了科学阐释。后文将对其进行详细论述，本书开始仅概略介绍。

铸铁是什么样的材料？铸铁作为材料的优秀性能及其魅力在人类历史上具有什么意义，特别是材料的哪些特性是重要的？只要简单回顾历史就能得到这些问题的答案。历史学家以不同方式将人类历史划分成各个时期，以表示其时代特征。其中，根据每个时代使用的主要材料名称进行划分的方法，如陶器时代、石器时代、青铜时代、铁器时代，对于我们尤其具有启示性。

使用材料时都要将其制成预定的形状，材料成为预定形状的可变形的性质（可塑性）是非常重要的。用水捏制的黏土的可塑性支撑着陶器时代，使得多种陶器得以制作，而陶器的缺点是强度低。后来的石器几乎没有可塑性，但在强度上优于陶器。之后所用的青铜器兼有陶器的可塑性与石器的强度。而此后使用铁器工具，则具有更优越的可塑性和强度。因此人类使用材料时，其可塑性与强度都是必要的。那么铸铁的可塑性与强度如何呢？

用铸铁制作工具时的加工方法是一种极为卓越的方法，即铸造。用这种方法加工材料不是利用材料的可塑性，而是利用其铸造性。铸铁的铸造性允许我们使用这一工艺制造工具。很清楚，铸造与其他利用材料可塑性的成形方法相比，在短时间内不仅可以制作极为复杂而精美的工具，还可以制作造型优美的艺术精品。大量的古代铸件和艺术作品是人类的文化遗产。

可是铸铁具有铸造性的原因是什么呢？铸铁的铸造性归因于其低熔点、熔融状

态下的高流动性（低流体粘滞性）、不形成缩孔等性能。这些性能产生的原因是什么呢？根据第1章铸铁材料的基础科学知识并不难理解这个问题，从铸铁的主要构成元素及其结合的反应论特性考虑即可得到答案。

铸铁的主要构成元素是铁、碳和硅。铁是具有形成强金属键倾向的元素。碳是具有形成强共价键倾向的元素。从硅的半金属、半导体特性来看，它很明显介于铁和碳之间。如第1章所述，具有金属键性的铁和具有共价键性的碳的结合使铸铁具有低熔点和高流动性。如果仅仅是铁和碳结合，将会产生渗碳体（ Fe_3C ），成为脆性材料，如第2章所述。在后面将会讨论，起到防止这种脆性作用的是硅。

铸铁产生孔洞的主要原因是熔融铁吸收气体。气体的吸收是由铁的金属性造成的。从合金的性质来看，金属键是产生溶解性的原因。共价键显示化学成键的饱和性，具有排他性，所以碳和硅的共价键起到抑制铁吸收气体的作用。这样，从构成元素的键的性质就能够理解铸铁的铸造性能。

铸铁当然也具有可塑性、强度，还具有耐蚀性、吸振性和可加工性等特性。可塑性（塑性变形能力）起因于铁的金属键性。强度起因于碳的共价键性。耐蚀性也是由碳和硅的共价键提供的。吸振性和可加工性源于石墨的存在。铸铁的吸振性与密度结合，使其在日常生活中发挥着重要作用，在汽车、机床、建筑基础等要求稳定性、安全性和吸振性的地方，铸铁是不可或缺的。对于用车床等进行过切削加工的人来说，铸铁的切削性显而易见，铸铁不会像纯铁那样粘连在车刀上，切屑很容易从刀具上分离，从而可以低能耗高效率地进行加工。

铸铁经过石墨化或等温淬火等热处理后其力学性能可以得到改善。本书各章将从组织和反应论观点考察热处理过程的相变，并从结合论的观点来讨论合金元素和杂质的作用。

最后，具有现代意义的铸铁还具有再利用的可能性。20世纪高分子等新材料出现了，并因它们的高强度和耐蚀性被广泛地应用。但这些人造材料废弃后会造成污染，产生自然界平衡的破坏。而铸铁不同于这些新材料，不会造成污染，铸铁可以被完全循环利用。此外铸铁不仅在腐蚀环境中具有耐蚀性，而且对各种杂质的侵害也是比较稳定的。

铸铁是一种经受了历史考验的可持续发展的材料。支持铸铁可持续发展的第一个因素是，从地壳中的含量指数来看，构成铸铁的三个元素 Fe、C、Si 是自然界中丰富存在的元素，可以经济廉价地获得。第二个因素是，与其他工艺材料相比，铸铁生产成本比较低。

考虑到这些经济上的优势和循环利用的可能性，相对于不断出现的新材料，铸铁仍然具有魅力和可持续发展性。铸铁作为历史上的传统材料将继续保持其稳固的地位。

本书将从现代材料科学的观点阐明铸铁的魅力和可持续发展性。

第1章 铸铁材料科学的基础知识

铸铁作为材料，要考虑的首要问题是它的性能和功能。为了理解铸铁的性能，必须了解它的组织结构。要解释清楚铸铁的组织结构，有必要以铸铁的结合键为基础来理解。另外，为把铸铁的性能改善得更加理想，要涉及诸如石墨化和奥氏体等温淬火之类的各种相转变问题。为了综合地、系统地阐明铸铁作为材料所出现的问题，就必须抓住铸铁中的结合键、组织结构、性能和反应的各相这四个方面。从逻辑上，也应按此顺序理解。在铸铁结合键的基础上可以理解铸铁的组织和性能，为了综合控制结合键、组织、性能，要对铸铁进行处理，因此有必要阐明各种热处理、相变中的反应。

为了综合系统地理解作为材料的铸铁，必须研究结合键、组织、性能、各相的反应。这样的认识方法不仅适用于铸铁，而且对所有的材料同样都是适用的。因此，首先从材料科学的基本知识着手，对结合键、组织、性能和反应这些术语进行解释，其直接的目的是为了综合系统地理解铸铁，进而是为了建立一个研究材料科学的有效方法，这对于认识各种类型的材料也是有用的。

1.1 结合键

本节要对化学结合键的实质进行说明^[1-15]。结合键分为共价键、金属键、静电键和分子键。其他类型的键都可以在这四种键的基础上进行理解。

1.1.1 共价键^[3,4]

共价键是化学键的核心，是理解金属键和其他键的基础。例如氢分子的键是共价键，它涉及若干基本问题。首先，经典物理学不能解释为什么两个相同的中性原子，比如两个氢原子可以形成一个分子。此外，从术语“原子价”中可以理解，一定数量以上的原子是不能通过共价键结合的，因为键有饱和度。一个氢原子可以与另一个氢原子结合成键，但一个氢原子不可以与两个或三个氢原子结合成键，碳原子却可以与四个氢原子结合，但不可以与四个以上的氢原子结合成键。即使假设存在着吸引中性粒子的强大的键力，经典物理学也无法解释已经结合的两个原子为什么不能再与第三个原子结合。所以，键的饱和度与经典物理学毫无关系。

这个问题被量子力学解决了（Heitler London, 1927）。量子力学不但解释了中性原子之间的键，而且还透彻地解释了键的饱和度。

首先解释的是两个氢原子是如何成键、构成最简单的氢分子的问题。这里对量