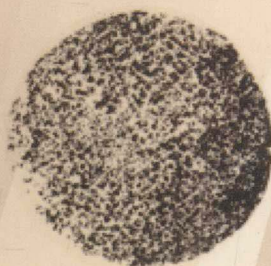


邱汉泉 著

蠕墨铸铁 及其生产技术

**Compacted /Vermicular Graphite Cast Iron
and its Production Technology**



化学工业出版社

蠕墨铸铁及其生产技术

Compacted / Vermicular Graphite Cast Iron
and its Production Technology

邱汉泉 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

蠕墨铸铁及其生产技术/邱汉泉著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-122-08337-1

I. 蠕… II. 邱… III. 蠕墨铸铁 IV. TG143.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 072393 号

责任编辑: 刘丽宏

装帧设计: 周 遥

责任校对: 蒋 宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 318 千字 2010 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

内 容 简 介

蠕墨铸铁是一种新型工程材料，它的结晶特性使其生产工艺的控制难于其他铸铁，其初甚至使人感到变幻莫测；在应用方面，如果不了解其性能，则可能出现相反的结果。

作者对蠕墨铸铁四十多年的研究、生产和应用，经历了百余次失败的苦恼，也品尝了若干成功赋予的喜悦。为了让新“蠕铁人”在“入道”初期少走弯路，作者倾其经历所有，撰成拙作，并主要汇集国内同仁的文献精华于其中，以供读者参考。

本书的读者对象主要为蠕铁生产部门的技术人员，也可供大专院校师生和铸件设计者参考，对球墨铸铁工作者也有特殊的参考价值。全书正文共约 31.5 万字，表 99 个，图 128 幅，参考文献 350 篇。

Brief introduction

Compacted/Vermicular graphite iron (hereinafter referred to as the C/V iron) is a new engineering material. Due to its particular crystallisation characteristics, its production technique showed to be more difficult to control than other graphite irons. At the early stage of its development, technicians even thought it uncontrollable. In actual practice, it was found that contrary results may happen if its specific characteristics were misinterpreted by the production management.

The author has spent over forty years on the research, production and application of C/V iron. He had been tempered through hundreds of times of failure, but had also tasted the joyous moments of success. In order to help the C/V greenhands suffer less from the bitterness of failure, the author has presented unconditionally in this book all his experience and research achievements.

The readers, for whom the book is primarily targeted, are technicians working in the production field of C/V iron. However, it is hoped that this book may also prove to be a useful reference for college professors and engineering students as well as casting designers.

The body of the book contains 315, 000 words, with 99 tables, 128 graphics and 350 reference indices.

序



这是一本关于蠕墨铸铁的好书，而且是一本高度结合我国具体情况、实际密切联系理论、内容丰富实用、并具有独特写作风格的专著。

本书作者邱汉泉高级工程师 1960 年自山东大学毕业后不久，即转入山东省机械设计研究院从事铸造科研工作。1964 年在进行“稀土在可锻铸铁中的应用”研究过程中，发现高碳铁液加入稀土达到一定临界量时，力学性能会出现突变性的提高，其石墨形态像蠕虫，鉴于当时我国制造高级灰铸铁所用废钢奇缺，邱工大胆提出，用它代替高级灰铸铁可完全不用废钢，并于 1965 年首先建立了蠕化剂临界加入量的概算式，从此便全身心投入蠕铁的科研和实践应用工作。40 余年来，他以杰出的才能和锲而不舍的坚韧精神，在工厂和研究院钻研解决蠕铁生产中的关键环节，经历了许多失败的挫折和成功的喜悦，为在我国推动蠕铁的应用和发展作出了卓越的贡献。他发表过有关蠕墨铸铁的论文 60 余篇，获 3 项有关蠕铁技术的中国专利，并先后获得国家科技进步三等奖 2 项，省、部级一、二、三等科技进步奖 9 项。邱工的深厚功底、丰富的实践经验和坚韧不拔的钻研精神，使他的著作具备了如下的特色。

首先，也是最大的特点是著作内容紧密结合国内铸造生产和原辅材料的具体情况。全书从蠕墨铸铁的性能和冶金特征讲起，然后经制作工艺、材料选用、品质控制，直到产品缺陷的防止，基本上全是国内铸造人和作者本人的研究与实践的总结，国外内容很少，使读者通过本书，既可对蠕墨铸铁有全面的、较深的理解，也能在解决生产中的疑难问题时，找到更符合我国实际情况的帮助。从这个意义上讲，本书是一本可贵的、紧密结合中国实际的蠕墨铸

铁专著。

其次，公开了一批作者几十年来的经验总结，如“浮渣”形成机理、蠕化剂临界加入量概算式及其影响因素、液体孕育、减少蠕化剂消耗的几种新方法、炉前和现场检验方法等。有一些是具有独创性的技术。在当前的经济环境下，能做出如此无私的奉献，尤其难能可贵。

其三，书中列举了大量蠕墨铸铁件应用实例，且全部是我国的实际案例，遍及广大行业，对寻求新用户的蠕墨铸铁铸造企业来说，具有很大的参考价值。

其四，作者以事实对比方式，证明我国在 20 世纪 60 年代早期，就已开始蠕墨铸铁的开发和生产应用，并有七项世界之“先”。这些事实，足以证明我国对蠕墨铸铁的研发已走出一条自主道路，并已达到一定的水平。

其五，作者本着严谨的治学态度，一丝不苟的工作作风，耗费了大量精力，查阅和收集了三百五十余篇有关蠕墨铸铁的国内文献，包括在“文革”期间流失了的，并尽可能将作者姓名、出处等一一补上，把它们列入本书，对他人的成果做了充分的肯定。可以说它们基本上反映了迄今为止我国蠕墨铸铁发展的历史，同时也向世界展示了我国在蠕铁发展史上所作出的贡献。

蠕墨铸铁自一开始，便被认为是一种有特性、很有潜力的新型工程材料。它兼有灰铸铁和球墨铸铁的优点。它的蠕虫状石墨，端部圆钝，表面毛糙不规则，使石墨同铁的基体结合得更加紧密。这种特殊的石墨结构，阻止了裂纹的产生和生长，使蠕铁比灰铸铁有更好的力学性能。但由于在生产过程中，工艺控制的窗口比较狭窄，诸多工艺和操作因素都会对蠕化率的精确控制产生影响，也就是影响着对铸件金相组织的控制，因此，在相当一段时期内，这些复杂影响因素控制上的困难，阻滞了蠕铁的推广应用。

随着科学技术和科学管理的迅速进步，蠕墨铸铁生产过程难于控制的问题逐渐为铸造工作者所克服，加上有些近代工程产品，如内燃发动机部件、机床部件、冶金耐热疲劳部件、耐磨部件和模具、金属型等，由于科技的发展，都在寻找新的、更适用的铸造材料，蠕墨铸铁所具有的特性，使它成了做这些铸件较理想的新对象。因此蠕墨铸铁又引起了机械制造业者的浓厚兴趣。

本书能使国内蠕铁工作者少走许多弯路，也为蠕铁科研工作者和院校师生，提供极有价值的参考资料；它既是学术专著，又是经验总结，又有工具书的功能，一身而三任，因而可以说，本书出版，将会受到铸造业读者的重视和欢迎，对我国蠕铁生产的发展和进步，会起到很大的推动作用。

总之，这是一本难得的关于蠕墨铸铁的杰出好书，是一本有益于国内铸造行业的书，作者已把全身心融入其中，把毕生的珍贵经验，无保留地贡献给了祖国的铸造事业。

缪良

2010 年 2 月

缪良教授：1919 年出生于上海，1941 年毕业于上海交通大学。1962 年与他人共同倡导建立了全国铸造学会，首任秘书长后历任秘书长、副理事长、理事长至 1987 年。1984 年参与筹建中国铸造协会（该会 1986 年正式成立），历任一、二届副会长、秘书长；缪老是我国资深铸造专家，从事铸造事业 60 余年，对铸造有广博的学识和深厚的实践经验。曾在各种会议上、铸造期刊上发表诸多有独到见解、广泛影响和指导意义的专题报告和学术论著，为推动我国铸造业的发展做出了重大贡献。时今仍在为我国铸造业的进步孜孜不倦地工作着。——摘自《铸造》杂志《专访文集》，铸造杂志社，2006.9. 第 4 页。

祝贺《蠕墨铸铁及其生产技术》一书出版

“我期望我所做的工作，能够成为对社会的一点报答，以补偿社会曾经为我无数次的试验失败所支付的巨大代价。”这是2007年11月13日，《铸造》杂志社记者拜访邱汉泉高级工程师时，这位敢为人先的科技报国者所说的一句发人深省且教人感慨万千的话。邱汉泉高级工程师是国家有突出贡献专家。他倾注毕生的精力和智慧致力于蠕墨铸铁的开创性研究与应用事业，令人敬仰。如今，由他著述的《蠕墨铸铁及其生产技术》一书之出版，便是他对社会所做的又“一点报答”。从此，搞铸造的，尤其是搞蠕墨铸铁研究与生产的专业人员面前多了一部颇具参考价值的专业技术资料，显然这是铸造业界一件值得祝贺的好事情。

有意识地把含有蠕虫状石墨的铸铁作为新型工程材料来研究且实际应用，中国人比外国人早得多。从20世纪60年代开始，在我国便对蠕墨铸铁进行了广泛深入的试验与研究。据不完全统计，迄今，我国研究者在不同场合已发表了700余篇有关蠕墨铸铁研究与应用的文献。

人们不会忘记，在蠕墨铸铁研究与应用领域，是山东省机械设计研究院的邱汉泉从1965年用稀土处理铁液开始，先后在济南材料试验机厂和济南机床铸造厂代替该厂的主要高级铸铁件上成功地进行了工业生产。邱汉泉对我国蠕铁的发展功不可没。例如，他先后提出了获得蠕虫状石墨的蠕化剂临界加入量计算式和蠕化处理后的“浮渣”形成机理等理论，参与制定了蠕铁金相和牌号的部级标准等。由于蠕铁兼有球铁和高级灰铸铁的优点，具有优良的综合性能，一个时期以来，工程界对其兴趣盎然，致使蠕墨铸铁的发展势头方兴未艾。在他的积极影响下，人们对蠕铁结晶理论、蠕化率的精确控制、蠕铁件在不同服役条件下的应用效果……进行了深入研究，蠕铁的工业应用水平不断提高。

人们业已认识到，蠕铁可通过各种热处理和合金化进一步提高性能，扩大应用范围。如在交通运输及内燃机零件、矿山和冶金用品以及在交变热载荷下服役的铸件、机械制造及液压件类铸件、轻工及纺织机械部件、军工用品等领域内生产或试生产着数百种蠕铁件。当前，蠕铁铸件年产量达30多万吨，单件重量最大可达38吨，最小的不足1千克。可以自豪地说，我国蠕铁的研究、生产和应用水平并不逊色于国外，一些方面还处于国际领先地位。

眼下，中国的确是铸造大国，但不是铸造强国。面对强国如林的世界铸造界，临渊羡鱼，不如退而结网。倘若将整个铸造技术比喻为一张恢恢大网，那蠕墨铸铁技术仅是一个或几个网格。如今，邱汉泉高级工程师业已将如何编制好这网格的招法与经验之谈公诸于世，期盼人们由此而获益，进而为中国铸造技术的进步和铸造业的可持续发展增色添彩。

《铸造》杂志社 主编

葛晨光

贺 信

《蠕墨铸铁及其生产技术》这本书终于要出版了，我为作者高兴，也为从事蠕铁工作的读者高兴。

在这本书中，邱汉泉先生毫无保留地奉献了他从事蠕铁研究 40 余年的全部收获；也实现了他“我们这一代蠕铁人已经老了，我们不能把自己过去几十年积攒下来的宝贵‘财富’带进火葬场”这一夙愿。也因为有了这本书，我们今天的蠕铁人，可以少走弯路，接过先辈们的接力棒，继续我们中国人的蠕铁事业。

我们《中国铸造装备与技术》杂志与邱先生的缘分开始于 2005 年。这年 9 月，中国稀土学会铸造合金专业委员会和中国机械工程学会铸造分会铸铁及熔炼专业委员会在山东淄博举办了“全国蠕墨铸铁技术研讨会”，会后铸铁及熔炼专业委员会的张忠仇秘书长寄给我一本这次会议的论文集，其中邱先生与陈正德先生合著的《中国蠕墨铸铁四十年》一文引起了我的注意。这篇文章回顾总结了我国蠕墨铸铁四十年发展历程，其中引用的文献多达 332 篇，涉及了我国蠕墨铸铁从始到今国内各类媒体上（包括内部资料）发表的有关蠕墨铸铁的主要文献，内容丰富、翔实、系统。我马上意识到这是一篇十分难得的好文章，当即与作者联系刊发。

《中国蠕墨铸铁四十年》在我刊 2006 年第 1 至 3 期连载后，读者反映强烈，纷纷要求作者再发表一些帮助解决蠕铁生产实际问题的文章。于是，邱先生又欣然接受我刊的约稿，撰写了针对“蠕墨铸铁的生产技术”的问答式文章。该“问答”在我刊 2006 年第 3 期至 2007 年第 2 期分 6 次刊出后，同样受到读者的一致好评。但我知道，这些文章只是邱先生所掌握的蠕铁“财富”的一小部分。

这本《蠕墨铸铁及其生产技术》，凝聚了邱先生毕生的心血和汗水，全部内容来自他四十多年从事科研、生产和应用的日积月累，因此，特别符合国情，也更加贴近生产。相信这本书对我们今天的蠕铁工作者具有特别现实的指导意义。

《中国铸造装备与技术》杂志主编

师法玲

目录

第一章 认识蠕墨铸铁	1
1.1 什么是蠕墨铸铁	1
1.1.1 蠕虫状石墨及其结晶特征	2
1.1.2 蠕墨铸铁基体组织特征	4
1.1.3 蠕墨铸铁的性能特点	6
1.1.4 蠕墨铸铁生产流程	7
1.2 蠕墨铸铁的金相标准	7
1.2.1 石墨形态	8
1.2.2 基体组织	11
1.3 蠕墨铸铁的国内外牌号标准及其述评	15
1.3.1 我国的蠕铁牌号标准	15
1.3.2 国外的蠕铁牌号标准	15
1.3.3 国内外蠕铁牌号标准述评	17
1.4 蠕墨铸铁国内外发展历程简述	19
1.4.1 国外蠕铁发展概况	19
1.4.2 国内蠕铁发展历程	20
第二章 蠕墨铸铁的性能	24
2.1 力学性能	24
2.2 物理性能	25
2.2.1 密度	25
2.2.2 导热性能	25
2.2.3 电阻率	28
2.2.4 线膨胀系数	29
2.3 制造工艺性能	30
2.3.1 铸造性能	30
2.3.2 切削加工性能	34
2.3.3 焊接性能	39

2.3.4 电镀性能	40
2.4 使用性能	40
2.4.1 耐磨性	40
2.4.2 刚性(刚度)	43
2.4.3 减振性	45
2.4.4 致密性与耐压疲劳	46
2.4.5 抗热疲劳性能	47
2.4.6 耐热性	47
2.4.7 耐腐蚀性	49
第三章 蠕墨铸铁的蠕化剂	50
3.1 蠕化剂的种类	50
3.2 蠕化剂的特性	52
3.2.1 “浮渣”形成及消除办法	52
3.2.2 蠕化剂的适宜“残留量”和“加入量”范围	56
3.2.3 蠕化剂对蠕铁白口倾向的影响	63
3.3 对蠕化剂的要求及其应用实例	65
第四章 蠕墨铸铁的生产技术	67
4.1 稳定生产的要素	67
4.2 蠕墨铸铁的化学成分	67
4.2.1 基本成分	67
4.2.2 蠕化元素	69
4.2.3 合金成分	71
4.3 蠕墨铸铁的炉前处理	72
4.3.1 蠕化剂加入量的确定	72
4.3.2 蠕化处理铁液量的控制	76
4.3.3 蠕化处理铁液温度的控制	76
4.3.4 蠕化处理方法	77
4.3.5 孕育处理	85
4.3.6 蠕化率的炉前调整方法	92
4.4 减少蠕化剂消耗的新方法	93
4.4.1 采用冲天炉局部石灰石碱性炉衬	94
4.4.2 改进蠕化剂成分	94
4.4.3 改进蠕化处理方法	95
4.4.4 用高炉铁液短流程工艺生产蠕铁件	96
第五章 蠕墨铸铁的热处理	97
5.1 蠕墨铸铁的临界点和C-曲线	97
5.2 正火	99
5.3 淬火	100

5.4	回火	102
5.5	等温淬火	103
5.6	铁素体化退火	107
5.7	消除应力退火	107
5.8	表面热处理	108
第六章	蠕墨铸铁的质量检验及缺陷防治	111
6.1	蠕墨铸铁蠕化率的快速检验	111
6.1.1	炉前蠕化处理效果的快速检验	111
6.1.2	炉前铁液状态的快速检验方法及其装置	114
6.1.3	在浇注现场快速预测蠕化率	116
6.2	力学性能检验	117
6.2.1	浇冒口断口宏观状态粗评法	117
6.2.2	标准规定的力学性能检验法	118
6.3	蠕墨铸铁件的无损检验	122
6.3.1	音频检测法	123
6.3.2	超声波检测法	123
6.4	蠕墨铸铁件常见的铸造缺陷实例及其预防	125
第七章	蠕墨铸铁件应用实例	131
7.1	发动机及交通运输车辆铸件	131
7.1.1	排气(歧)管	133
7.1.2	燃气进气壳体	135
7.1.3	汽缸盖	136
7.1.4	汽缸体	137
7.1.5	活塞	138
7.1.6	活塞环	139
7.1.7	汽缸套	140
7.1.8	车辆制动器部件	142
7.2	冶金设备用件	144
7.2.1	熄焦车和焦炉护炉铸铁件	144
7.2.2	轧钢机梅花套	146
7.3	在交变热载荷下服役的锭模和金属型	146
7.3.1	锭模	146
7.3.2	玻璃瓶模具金属型和玻璃瓶制瓶机口钳	150
7.3.3	压铸模金属型	151
7.3.4	球磨机磨球模具金属型	152
7.3.5	轧辊金属型	153
7.4	液压件类铸件	153
7.5	机床类铸件	154

7.6 壳体类通用机械铸件	156
7.7 纺织机械铸件	156
7.8 其他应用	158
7.8.1 甘蔗压榨辊	158
7.8.2 次高压煤气管	159
7.8.3 其他	159
7.9 蠕铁合金化及其用例	159
附录	162
附录一 化学元素周期表	162
附录二 蠕墨铸铁技术问答——刊登于《中国铸造装备与技术》	163
附录三 应用稀土时的卫生防护	165
附录四 The forty years of vermicular graphite cast iron development in China (Part I)	167
参考文献	193
作者的话	202

Contents

Chapter 1. Understanding of C/V iron	1
1.1 What is C/V iron	1
1.1.1 The Vermicular graphite and its crystalline characteristics	2
1.1.2 Matrix characteristics of C/V iron	4
1.1.3 The C/V iron features	6
1.1.4 The process of producing C/V iron	7
1.2 Microstructure standard of C/V iron	7
1.2.1 Graphite morphology	8
1.2.2 Matrix structure	11
1.3 The C/V iron standards of domestic and international brands and the review on them	15
1.3.1 The C/V iron grade standard of China	15
1.3.2 The C/V iron grade standards abroad	15
1.3.3 Review of C/V iron grade standardizations	17
1.4 The brief history of the development of C/V iron in China and abroad	19
1.4.1 Brief introduction to C/V iron development abroad	19
1.4.2 Brief introduction to C/V iron development in China	20
Chapter 2. The performance of C/V iron	24
2.1 Mechanical properties	24
2.2 Physical properties	25
2.2.1 Density	25
2.2.2 Thermal conductivity	25
2.2.3 Resistivity	28
2.2.4 Linear expansion coefficient	29
2.3 Manufacturing properties	30
2.3.1 Casting properties	30
2.3.2 Machinability	34

2.3.3	Weldability	39
2.3.4	Plating	40
2.4	Service performance	40
2.4.1	Wear resistance	40
2.4.2	Rigidity	43
2.4.3	Damping capacity	45
2.4.4	Compactness and fatigue properties under pressure	46
2.4.5	Thermal fatigue resistance	47
2.4.6	Heat resistance	47
2.4.7	Corrosion resistance	49
Chapter 3.	Vermicularisers of C/V iron	50
3.1	Types of Vermicularisers	50
3.2	Characteristics of Vermicularisers	52
3.2.1	The formation mechanism of dross and methods to eliminate dross	52
3.2.2	The appropriate range of the residue amount of Vermicularisers and the amount to be added	56
3.2.3	Effects of vermiculariser on the chilling tendency of C/V iron	63
3.3	Requirements of Vermicularisers and their applications	65
Chapter 4.	Production technology of C/V iron	67
4.1	The key factors for stable production of C/V iron	67
4.2	The chemical composition of C/V iron	67
4.2.1	Basic components	67
4.2.2	Elements for C/V graphite	69
4.2.3	Alloy composition	71
4.3	Treatment process of C/V iron during the melting process	72
4.3.1	The amount of Vermiculariser to be added	72
4.3.2	Control the weight of liquid metal to be treated for C/V graphite	76
4.3.3	Control the temperature of liquid metal to be treated for C/V graphite	76
4.3.4	Methods of treatment for C/V graphite	77
4.3.5	Inoculation	85
4.3.6	Methods to adjust the C/V graphite rate during the melting process	92
4.4	New methods to reduce consumption of vermicularisers	93
4.4.1	Adopting partly limestone-lined basic cupola	94
4.4.2	Improving the chemical composition of of vermiculariser	94
4.4.3	Improving the methods of treatment for C/V graphite	95
4.4.4	Production of C/V iron castings by duplex melting with blast furnace and induction furnace	96
Chapter 5.	Heat treatment of C/V iron	97

5.1	The critical point and C-curve of C/V Iron	97
5.2	Normalizing	99
5.3	Quenching	100
5.4	Tempering	102
5.5	Austempering	103
5.6	Ferritic annealing	107
5.7	Stress relief annealing	107
5.8	Surface heat treatment	108
Chapter 6.	The quality inspection and defect prevention for C/V iron	111
6.1	Rapid testing of C/V graphite rate	111
6.1.1	Rapid testing of the effects of treatment for C/V graphite during the melting process	111
6.1.2	Methods and devices for rapid testing of the state of iron liquid during the melting process	114
6.1.3	Rapid prediction of C/V graphite rate at pouring stage	116
6.2	Testing of mechanical properties	117
6.2.1	Rough estimate method according to macro-fracture state	117
6.2.2	Standard test method of mechanical properties	118
6.3	NDT of C/V castings	122
6.3.1	Audio frequency detection	123
6.3.2	ultrasonic detection	123
6.4	The C/V casting defects and their solutions	125
Chapter 7.	Practical applications of C/V irons	131
7.1	Castings for engines and transport vehicles	131
7.1.1	Exhaust pipe and manifold	133
7.1.2	Combust gases inlet shell	135
7.1.3	Cylinder head	136
7.1.4	Cylinder body	137
7.1.5	Piston	138
7.1.6	Piston ring	139
7.1.7	Cylinder	140
7.1.8	Vehicle brake parts	142
7.2	Castings for metallurgical equipment	144
7.2.1	Coke quenching vehicle and casting for coke oven protection	144
7.2.2	Six-point sockets for rolling mill	146
7.3	Ingot mold and metal molds to be used under alternating thermal load	146
7.3.1	Ingot mold	146
7.3.2	Metal mold for glass bottle and clamp for glass bottle making machine	150

7.3.3 Die-Casting die	151
7.3.4 Metal mold for the grinding balls in ball grinding machine	152
7.3.5 Metal mold for rolls	153
7.4 Castings for hydraulic parts	153
7.5 Castings for machine tools	154
7.6 Castings for housing in general engineering	156
7.7 Castings in textile machinery	156
7.8 Other applications	158
7.8.1 Rolls for sugarcane crusher	158
7.8.2 Secondary high-pressure fuel gas pipeline	159
7.8.3 Others	159
7.9 Alloying of C/V irons and their applications	159
Appendix	162
1. Chemistry periodic table	162
2. Technical Q & A list on C / V iron	163
3. Health protection during application of rare earth	165
4. The FORTY YEARS OF VERMICULAR GRAPHITE CAST IRON DEVELOPMENT IN CHINA (Part I)	167
References	193
Afterword	202

第一章 认识蠕墨铸铁

1.1 什么是蠕墨铸铁

——综合性能优良的新型工程材料

顾名思义，蠕墨铸铁（以下简称蠕铁）中的石墨形状应该是蠕虫状的。然而，由于它是片状石墨（以下简称片墨）和球状石墨（以下简称球墨）之间的过渡形态，蠕铁的凝固特征使其石墨往往是蠕虫状、团状、球状以不同的比例共存的，个别情况下（特别是高蠕化率时）还会出现片状（图 1-1）。各种石墨形状之间比例的变化影响到铸铁各种性能的变化。当大部分为蠕虫状时，铸铁特性趋近于灰铸铁（以下简称灰铁）；随着蠕虫状石墨（以下简称蠕墨）减少，团状、球状石墨的增多，铸铁特性逐渐趋近于球铁；当石墨二维形态中含有片状、蠕虫状和个别团球状时，其性能处于蠕铁和灰铁之间的临界状态，它是很难稳定获得的组织。

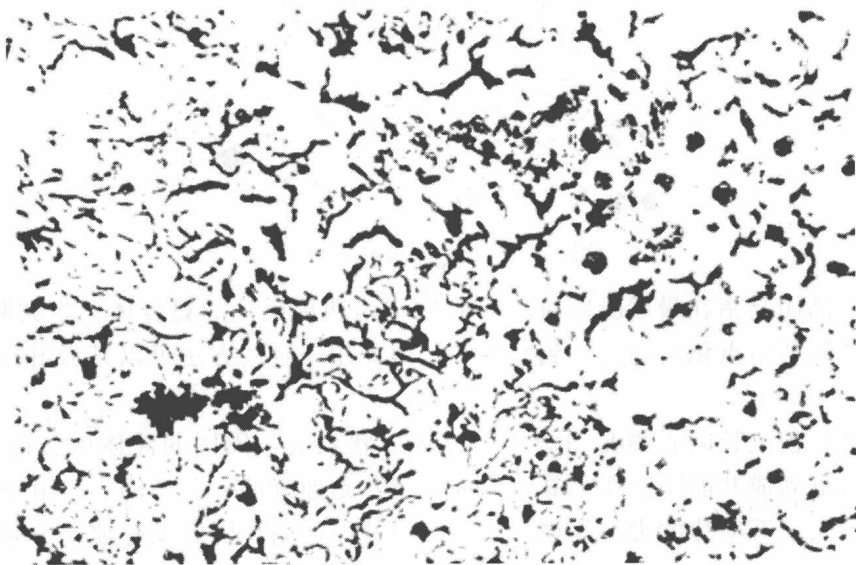


图 1-1 片状、蠕虫状、团状、球状石墨共存^[1]

蠕铁的性能主要取决于蠕墨占石墨总量的比例——蠕化率。随着人们对蠕铁认识的深入及其应用领域的扩展，人们发现，具有不同蠕化率的铸铁，在不同的服役条件下，有各自的服役特长（详见本章 1.3.3 节）。然而蠕化率多少才算是蠕铁？目前人们的认识尚