

金属材料
技术读物

钒钛球墨铸铁

田长浒 编著

JINSHU
CAILIAO
JISHU
DUWU

四川科学技术出版社

钒 钛 球 墨 铸 铁

田 长 浒 著

四川科学技术出版社

一九八四年·成都

责任编辑：崔泽海

封面设计：邹小工

钒钛球墨铸铁

田长浒 著

四川科学技术出版社出版 重庆印制一厂印刷
新华书店重庆发行所发行

开本850×1168毫米 1/32 印张10.75 插页4 字数273千
1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷
印数：1—4,400册

书号：15298·19

定价：3.20元

内 容 提 要

我国钒钛磁铁矿资源极其丰富，现已大规模地开发利用。以钒钛生铁进行球化处理的钒钛球墨铸铁，是一种具有我国地方特色、并有良好综合性能的新型结构材料。本书叙述了钒钛球墨铸铁的成分、组织结构、性能和应用，并介绍了各种较为先进的熔炼技术及处理工艺，还从原理上、性能上与国内外一般球墨铸铁进行了对比。

本书适合机械制造的铸造、热处理及冶金、金属材料的生产及研究部门的工程技术人员、研究人员阅读，可以作高等学校、中等专业学校的参考用书，也可作职工学校培训教材。

序

球墨铸铁这一新兴材料发展的历史并不长。在漫长的使用铸铁的历史长河中，人们对于铸铁的性能（如易脆等）是不满意的，总想通过铸造技术加以改进。早在我国的汉朝时代，我们的祖先就曾制造出了强度和韧性较好的具有球状或团絮状石墨的铸铁，从已发掘的古代铸铁分析研究来看，它是用退火的方法获得的，直到二十世纪三十年代，西欧的科学家们发现铁水在凝固过程中，石墨可以形成球状，而当石墨呈球状时铸铁的强度和韧性都大大提高，因而被称为球墨铸铁。

二十世纪四十年代英国科学家论证了用添加剂可使石墨成为球状，1948年美国科学家更进一步以镁作为球化剂加到铁水中，随之用硅铁孕育而获得球墨铸铁。从此球墨铸铁这一新兴材料得到了迅速的发展。新中国刚建立时，我国就开始了球墨铸铁的研究，1951年就已经在生产上应用了，三十多年来我国球墨铸铁的研究和应用，虽有比较快的发展，应用范围不断扩大，产量很快增长，到七十年代末期年产已达四十余万吨。但是，也和不少新兴技术一样，我们起步并不晚，可是现在与国外比，差距却拉大了，质量和产量长期上不去，大大影响了推广应用。作为衡量球墨铸铁生产技术是否先进的指标之一，是用球墨铸铁和铸钢年产量的比值来衡量。这个比值愈高则表示球墨铸铁的质量和工艺水平愈高，据七十年代末期统计，这个比值西德是2.87，日本是2.28，英国是1.8，法国是3.3，美国是1.33，而我国仅在0.5左右。

当前，我国球墨铸铁得到更好的发展，除必须使用优质生铁、改进生产技术以提高铁水温度，控制原铁水的化学成份，采用适宜的球化剂和合理的工艺方法并加强生产过程的质量控制外，还应该运用我国的资源发展具有我国特色的球墨铸铁，这是

一个重要的途经。令人可喜的是：用四川省渡口地区攀枝花钢铁公司生产的钒钛生铁球化处理的钒钛球墨铸铁，经过四川省的生产、科研和高等学校等部门的努力，已经试制成功，经过多年的实践，把这新材料逐渐应用到机床、汽车、拖拉机、农业机械、化工机械、冶金机械、电力部门等各种铸件上，如曲轴、连杆、齿轮、机引犁、旋耕刀、超高压绝缘子球铁帽、轧辊、天然气转换炉耐热构件、杂质泵等几十个品种，证明这种新型结构材料具有广泛的用途，是一种具有自己特色的很有发展前途的球墨铸铁材料，这项科研工作，在七十年代初期就由本书作者成都科技大学田长浒副教授参加的试验研究组开始进行研究，以后列入我省科研计划，作为重要科研课题，在1978至1982年的系统实验中，用1200多根试棒，取得近万个数据，经过分析整理得出结论，于1982年由四川省科委、四川省高教局组织鉴定并通过，所研制的产品曾获得四川省重大科研成果奖。所写出的研究实验报告被四川省机械工程学会评为“优秀论文”。这本书就是在这个基础上写出来的，它不仅详细地介绍了这项研究成果，更重要地是通过介绍为的是使之得到推广应用。

如上所述，我国的钒钛球墨铸铁是以攀枝花钢铁公司所使用的钒铁磁铁矿生产的钒铁生铁经过球化处理所获得的，因此既具有地方资源特色又有它的明显特点。它的特点是：第一，含着有用的天然合金元素钒和钛；第二，磷和硫的含量很低；第三，含有多种有用的微量元素。因此，具有较好的综合性能。它的机械性能较好，如钒钛球墨铸铁的抗拉强度和屈服强度都高于普通球墨铸铁。它具有优异的耐磨性能；它的耐热性能也较之普通灰铸铁和球墨铸铁都好得多。它也有弱点，就是铸造性能稍差。

为了发挥我国资源特点，积极推广具有我国特色的钒钛球墨铸铁，本书作者在介绍各种较为先进的熔炼技术及处理工艺，从原理上、性能上与国内外一般球墨铸铁进行对比的同时，在叙述钒钛球墨铸铁的成份、组织结构、性能和应用时，形成了一条十

分明显的线索，便于读者理解，可以说这是本书的一个特点。也是它实用性强的地方。

一项科研成果的推广，一种新技术、新材料的推广，主要还得依靠切合实际的技术政策。在钒钛球墨铸铁的推广中，就有一个怎样合理安排使用钒钛生铁的问题。钒钛生铁有两个主要用途，一是用来生产钒钛球墨铸铁，一是用来炼钢。这两个用途使用的比例分配是一个很重要的技术政策问题。按合理经济地使用原料资源来讲，钒钛生铁应该把生产钒钛球墨铸铁作为一个重要方面，当前，钒钛生铁用于生产钒钛球墨铸铁的用量太少，我们希望有关部门采取有力措施切实改变这种不合理不经济地使用国家可贵资源的状况。

一项科研成果，一种新材料的推广，还有一个宣传普及的问题。只有有关领导部门、生产部门、技术部门等重视起来了，安排进议事日程了，才能够真正推广开来，在推广具有我国资源特色的钒钛球墨铸铁新材料的过程中，宣传普及工作必需加强，求得各方面以及社会的重视和支持，这本书的编辑出版在这方面是大有作为的，我们相信它一定能够作出应有的贡献。

这就是我以十分喜悦的心情向读者介绍本书时要说的话。

四川省科学技术协会常务理事 周孟璞
四川省科普创作协会理事长

1983年7月于成都

目 录

序.....	1
第一章 绪论.....	1
第二章 钒钛球墨铸铁的特征.....	10
一 中国各地的生铁.....	10
二 钒钛生铁及其特点.....	16
三 钒钛球墨铸铁的特点.....	17
第三章 钒钛球墨铸铁的生产工艺.....	22
一 钒钛球墨铸铁的化学成份.....	22
二 反球化元素.....	31
三 钒钛球墨铸铁的配料.....	32
四 球化剂.....	33
五 球化处理方法.....	44
六 孕育处理.....	55
七 清渣处理.....	62
第四章 熔炼技术.....	63
一 球墨铸铁的熔炼.....	63
二 熔炼原材料.....	65
三 脱硫与脱磷.....	73
四 两排大间距冷风冲天炉.....	82
五 热风冲天炉.....	86
六 中央送风.....	100
七 附加燃料的冲天炉.....	104
八 冲天炉-工频炉双联熔炼.....	110
九 冲天炉的除尘.....	120

十	热风水冷无炉衬冲天炉·····	125
第五章	钒钛球墨铸铁的组织·····	133
一	钒钛球墨铸铁的石墨·····	133
二	钒钛球墨铸铁的钒钛化合物·····	139
三	钒钛球墨铸铁的铸态组织·····	146
四	球墨铸铁热处理时组织的转变·····	148
五	钒钛球墨铸铁的退火组织·····	151
六	钒钛球墨铸铁的正火组织·····	154
七	钒钛球墨铸铁的等温淬火组织·····	159
第六章	钒钛球墨铸铁的性能·····	166
一	机械性能·····	166
二	耐磨性能·····	183
三	高温性能·····	195
四	低温性能·····	212
五	耐蚀性能·····	219
六	铸造性能·····	221
第七章	钒钛球墨铸铁的应用·····	224
一	钒钛球墨铸铁犁及旋耕刀·····	225
二	钒钛球墨铸铁曲轴·····	235
三	钒钛球墨铸铁悬式绝缘子铁帽·····	249
四	钒钛球墨铸铁轧辊·····	257
五	钒钛球墨铸铁齿轮·····	265
六	钒钛球墨铸铁耐热铸件·····	276
七	钒钛蠕墨铸铁·····	281
附录一	各国球墨铸铁性能·····	296
附录二	国际单位制、常用工程数据 及其换算·····	308
	参考资料·····	322
	后记·····	332

第一章 绪 论

钒钛球墨铸铁，作为一种新兴的结构材料，显示了它的优越性，正在越来越广泛的应用到国民经济各个部门里，并将逐步形成我国一种独特的球墨铸铁新系列、新品种。

铸造，是制造机器零件胚件的一种重要方法。尽管一些其他坯件制造方法发展也很快，如锻压、焊接、粉末冶金、塑性成型，但铸造毛坯在机械制造中仍占主要地位，一般来说，它要占坯件工业产值的60%以上，如以重量计，铸件在机械制造中，要占50~90%。在本世纪八十年代初期，我国铸件的年产量已在800万吨以上，居世界前列。同期，苏联已超过2000万吨、美国为1300余万吨、日本为800余万吨、西德近500万吨。

一些工业发达国家，其铸件产量与其钢的产量有一定的比例关系。铸件的产量随着钢的产量而增长。在七十年代，铸件占钢产量的百分比：中国为13.8%，美国为14.1%，苏联为17%，英国为15.1%，西德为12%，法国为13%，日本为7.6%。

随着钢铁工业的发展，在提高质量的同时，我国铸件也将得到较大的发展。

铸铁，作为机械工业的一种重要结构材料，为各种铸造合金之冠，一般都占全部铸件产量的80%以上。

中国是制造铸铁最早的国家^[1]。中国古代人民同埃及、美索不达米亚等古国一样，认识铁都是从天外飞来的陨铁开始的。我国商代已有铜铁双金属的制品——铁刃铜钺。北京市平谷县商代墓葬中出土的铁刃铜钺，经鉴定铜钺为铜锡合金，铁刃为陨铁锻制。钺身一面是平的，另一面微凸，为单范浇铸，它是把陨铁



图1-1 我国商代的铁刃铜钺

(铁镍合金) 锻成 2 毫米左右的薄刃与青铜铸接，浇铸一体而成^[2]。另一件是河北藁城县出土的商代铁刃铜钺，见图 1-1，经鉴定铁刃也是陨铁锻成^[3]，这就揭开了使用铁器新的一页。铁刃铜钺的发现，从技术上说明了三个问题：我国早在商代已经认识了铁；掌握了铁的加工性能与使用性能；掌握了铸、锻的复合工艺。

中国使用金属材料的道路是先铜后铁。由铜到铁，也不是偶然的。铜的精炼带

动了铁的生产。从矿物的外观来看，赤铜矿 (CuO) 与赤铁矿 (Fe_2O_3) 颇为相似，因而在青铜时代初期，是可能出现铁器的。

由于在商代认识了铁，由商到周发展青铜的同时，具备了发展冶铁的条件，到春秋时代已有了人工铁，这个时代就由青铜时代过渡到铁器时代了。

中国在商代已能加工锻制陨铁，已为出土的商代铁刃铜钺所证实。在周朝使用锻铁，也可由一些古代文献所记载的看出，如《诗经·大雅·公刘篇》记述了周的祖先公刘开国时，有“取厉取锻”之句，《尚书》记述周成王时也有“备乃弓矢，锻乃戈矛，砺乃锋刃，无敢不善”之句。到了春秋战国，已是我国铁器的使用、发展阶段。《管子·海王篇》载有：“今铁官之数曰：一女必有一鍼一刀。……耕者必有一耒一耜一铤。……行服连轺辇者必有一斤一锯一锥一凿”。说明在春秋战国时代就设有铁官以司其职。《国语·齐语》说：“美金以铸剑戟，试诸狗马；恶金以

铸锄夷斤犮，试诸壤土”，这就把青铜（美金）和铸铁（恶金）的区别和用途说得很清楚了。在战国时，对铁的作用有了进一步的认识，铁器已达到相当高的水平。如《史记·范雎传》记载秦昭王说的话：“吾闻楚，铁剑利而倡优拙，失铁剑利则士勇，倡优拙则思虑远”。公元前 513 年，晋国铸造的铸铁大刑鼎；湖南长沙、常德等地出土的春秋铁铲、铁铎，以及洛阳出土的铁铸，都说明了这个时代已很普遍的使用铸铁了。

如果说商代是铁的认识阶段，春秋战国是铁的发展阶段，那么秦汉至隋唐，就是我国用铁的提高阶段了^[8]。秦始皇统一六国后，采取“收天下之兵聚之咸阳，销锋铸镞，以为金人十二”，这标志铸造的水平提高到一个新的阶段了。从这个时代起，生产工具，生活工具所用的金属，主要是铁而不是铜了。从秦到汉，由于封建制度的建立和巩固，政治上的稳定，带来经济上的繁荣，使铸铁技术向纵深发展。铸铁品种增多，除了白口铁、麻口铁、灰口铁外，汉朝已能运用退火处理得到可锻铸铁。图 1-2 是汉朝铁铎的金相组织，这是一种典型的黑心可锻铸铁的组织。在出土的汉朝铁器中，甚至还发现具有典型球状石墨的铁铎和铁镞^{[4][5]}如图 1-3。在汉朝，铁的产量也大幅度提高。隋唐以后，大型铸铁件也愈来愈多，公元 953 年，五代周广顺三年所铸的沧州大铁狮，重达五万余公斤是采用分段铸造后再组装的，如图 1-4。湖北当阳县玉泉寺铁塔更负盛名，如图 1-5，此铁塔名如

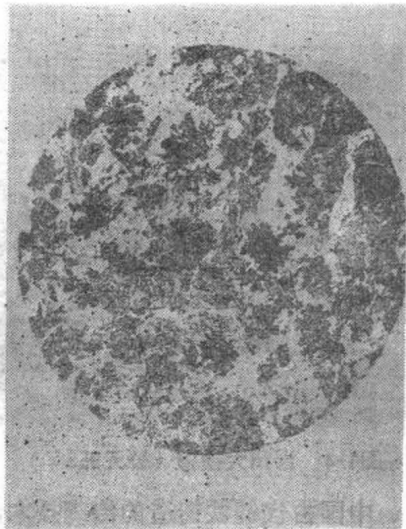


图1-2 我国汉朝铁铎的金相组织 100×

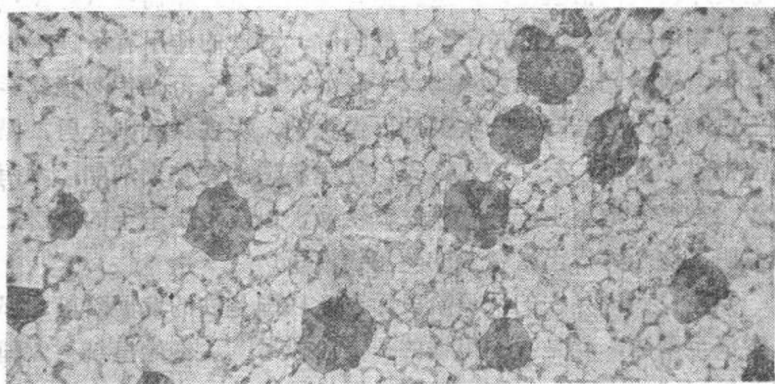


图1-3 汉代铁铸的金相组织 250×

来舍利塔，建于1061年(北宋嘉祐六年)，塔高23米，共十三层，每层八面，总重五万三千三百公斤，塔身造型精美，玲珑剔透，充分显示了我国古代铸铁铸造技术的高度成就。



图1-4 沧州大铁狮(公元953年)



图1-5 当阳铁塔(公元1061年)

中国古代铸铁铸造的传统技术，为现代铸造技术奠定了基础。具有球状石墨的铸铁虽然可远溯到我国汉朝。但有目的地改造石墨使之成为球状的研究，却迟至二十世纪三十至四十年代。

1935年,德国人发现铸铁在凝固过程中碳具有球状结晶。1937年,C. Adey发现活塞环中有球状石墨存在。以后,H. Hamemann获得球状石墨的影像。1947年,英国人J. H. Morrogh, W. J. william发表论文论证了用添加剂可使石墨成为球状,这就从理论上、技术上为球墨铸铁的发展奠定了基础。1948年,美国人A. P. Gangnebin以镁作为球化剂加到铁水中,随之用硅铁孕育使铸铁中的残留镁量在0.04%,得到了球墨铸铁。这一研究的成功,使之为工业生产开辟了广阔的途径,各国竞相采用,使这一新兴材料得到迅速发展。

我国在1950年开始研制,1951年就在生产上应用了球墨铸铁。经过三十余年的发展,应用逐步扩大,球墨铸铁零件的种类已达数百种之多,七十年代末期,我国球墨铸铁的产量已达40余万吨。表1-1是我国和一些国家七十年代末期球墨铸铁的年产量。

表1-1 七十年代末世界球墨铸铁的生产状况

国 别	1977年		1978年	
	产 量 (吨)	比 率 (%)	产 量 (吨)	比 率 (%)
美 国	2450152	38.1	2606125	32.8
日 本	1201302	18.7	1331642	16.8
法 国	630963	9.8	668853	8.4
联邦德国	585435	9.1	635961	8.0
英 国	305400	4.7	326700	4.1
巴 西	238000	3.7	271299	3.4
加 拿 大	181283	2.8	205493	2.6
意 大 利	112191	1.7	115629	1.5
苏联(1976)	252000	3.9	252000	3.2
中国(1977)	—	—	350000	4.4
其他国家	(30国) 476764	7.4	(33国) 1179809	14.9
总 计	(39国) 6433490	100	(43国) 7943511	100

球墨铸铁之所以发展得如此迅速，应用得如此广泛，因为它有一系列突出的特点，与其他高级合金来比：它的工艺简便，成本低廉，具有优良的性能。球墨铸铁有相当高的强度和刚度，又有一定的韧性和疲劳强度、减震性。在干摩擦和有润滑条件下摩擦，都呈现了良好的耐磨性，耐热性亦较好，同时还具有一定的耐蚀性能。

国内外球墨铸铁发展三十多年来，不但应用范围日益扩大，产量大幅度提高，在性能上也有显著的提高。我国1958年以前，一般球墨铸铁的抗拉强度只在 50kg/mm^2 ，延伸率在2%左右，现在，延伸率在2%的球墨铸铁，其抗拉强度可达 $60\sim 70\text{kg/mm}^2$ ，即或退火的铁素体球墨铸铁，强度也可达 50kg/mm^2 ，经正火的可达 $90\sim 100\text{kg/mm}^2$ ，若经等温淬火甚至可达 $120\sim 160\text{kg/mm}^2$ 。

球墨铸铁的应用，已日益显示出它的经济效益，我国应用很为成功的是轴类零件，如柴油机、空压机的曲轴，机床的主轴等。应用球墨铸铁不但节约大量的金属材料，而在能源、工时的节约上也很显著，其比较见表1-2。

国外球墨铸铁的发展，除了加强基础理论研究以外，着重在提高球墨铸铁的质量和性能，运用先进的测试手段来控制质量。而球墨铸铁的铸件则大量的集中在汽车工业和球墨铸铁铸管这两大行业上。美国生产的球墨铸铁有40%用于汽车工业、30%用于铸管，英国50%用于铸管，西德、法国用于铸管的都在60%以上。使用球墨铸铁管较之普通铸铁管，由于管壁薄，可节约大量的金属材料，一般可节省金属 $1/3$ 以上，同时强度高，耐压力大。表1-3是球墨铸铁管与普通铸铁管的比较。采用球墨铸铁铸管另一很突出的优点是它的耐腐蚀性能不但较钢管优越得多，而且也比普通铸铁管为好。

因此，不少工业发达的国家，球墨铸铁的产量一般占铸铁产量的20~30%。以日本的情况为例，铸铁在整个铸造用金属材料中所占的重量比：灰铸铁为52.7%，球墨铸铁为21.9%，可锻铸

表1-2 锻钢、铸钢、球墨铸铁零件加工工时、成本比较表

型 号	材 料	毛 坯 重 (公斤)	材 料 费 (元)	加 工 工 时 (小时)	成 本 (元)
6250 柴油机曲轴	原	G45	4000	3700	155
	现	球墨铸铁	1100	700	66
9M ³ 空压机曲轴	原	G40	210	595	100
	现	球墨铸铁	130	130	40
6120 柴油机曲轴	原	35Cr-Mo	400		76
	现	Cu-Mo 球墨铸铁	98		19
M250 主 轴	原	45#钢	88.2	79.4	18.25
	现	球墨铸铁	71	42.6	15.83
M1040 主 轴	原	20Cr	30	30.0	8.47
	现	球墨铸铁	33	19.8	7.08
4110 柴油机连杆	原	锻 钢	8.2		
	现	球墨铸铁	5.0		

铁 4.5%，合计为 79.1%。如以各种铸铁在整个铸铁中所占的重量比则为：灰铸铁 66.6%，球墨铸铁 27.7%，可锻铸铁 5.7%。日本各种铸铁按用途区分所占的重量比例列表 1-4。由表可看出，其球墨铸铁最大的用量是铁管（51.0%），其次是用于汽车工业（26.4%）。在八十年代初期，全世界的球墨铸铁产量已在 1000 万吨以上，从趋势来看，仍会以 4~8% 的年增长率增长。作为衡量球墨铸铁生产技术是否先进的指标之一，是用球墨铸铁与铸钢年产量的比值来衡量。这个比值愈高则表示球墨铸铁的质量及工艺水平愈高。据统计，七十年代末期，球墨铸铁与铸钢件年产量之比：西德为 2.87、日本为 2.28（包括球墨铸铁管）、英国为 1.8、法国为 3.3、美国为 1.33（不包括球墨铸铁管），我国的这个比值是比较低的，仅在 0.5 左右。

我国球墨铸铁的生产技术和理论研究虽取得了一定的成就，

表1-3 普通铸铁管与球墨铸铁管的比较

类 别 项 目	国产离心 普 压 管	国产连续 普 压 管	日 本 球 铁 管	法国球铁管	英国球铁管	西德球铁管
抗拉强度 (kg/mm ²)	14	14	>40	>42	>40	>40
延 伸 率 (%)	0	0	>5	>10	>5	>10
压 扁 值 (%)	无要求	无要求	25			
硬 度 (HB)	160~250	160~250	≤230	≤220		≤230
管 壁 厚 (mm)	12.8	14.0	8、8.5、9.5	9	9	10
重 量 (Kg/根)	949	1032	603 637 706	672	672	736
出厂试验压力 (Kg/cm ²)	15	15	40、45、50	50		50
最大工作压力	≤7.5	≤7.5	20	31	25	25

但由于质量还不够稳定，应用还不够广泛，因而使这种新兴的结构材料，还未大面积的取得显著的经济效果。当前，以提高铁水温度、控制原铁水的化学成份，采用适宜的球化剂和合理的工艺方法并加强生产过程的质量控制作为关键，才能充分发挥球墨铸铁这一优良材料的潜力。

用攀钢的钒钛生铁处理的钒钛球墨铸铁，经多年的实践证明，这是一种具有良好综合性能的材料。经四川省的生产、科研、高等院校等部门的共同努力，把这种新型结构材料已逐渐应用到汽车拖拉机、机床、农业机械、化工机械、冶金机械、电力部门等各种铸件上，如曲轴、连杆、齿轮、机引犁、旋耕刀、超高压绝缘子球铁帽、轧辊、天然气转换炉耐热构件、杂质泵等几十个品种，并逐步形成具有自己特色的一种很有发展前途的球墨