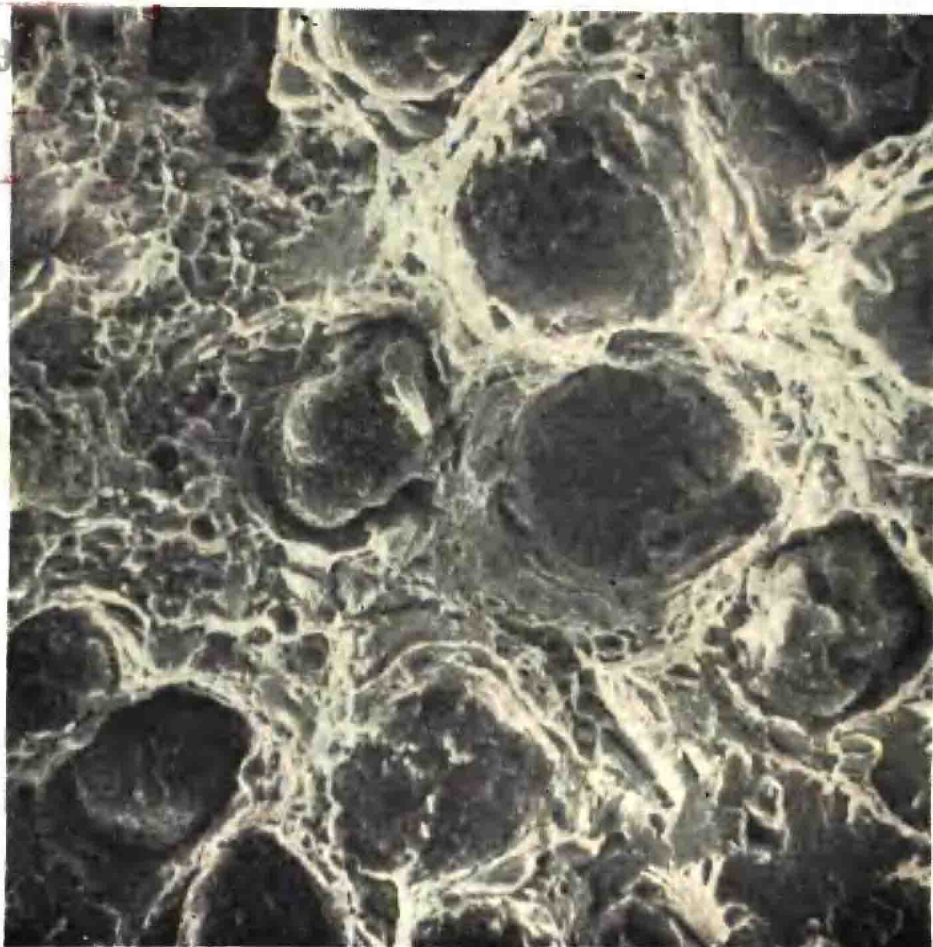




河南省革命委员会机械局球墨铸铁编写组

稀 土 镁 球 墨 铸 铁 生 产 技 术 及 应 用

前 言

波澜壮阔的无产阶级文化大革命，以极其雄伟的力量推动着我国社会主义革命和社会主义建设事业的蓬勃发展。在毛主席的革命路线指引下，机械工业和全国其它战线一样，形势一派大好。广大革命职工遵照毛主席“打破洋框框，走自己工业发展道路”的伟大教导，在工业学大庆的群众运动中，努力推广，应用稀土镁球墨铸铁这一新颖结构材料。稀土镁球墨铸铁应用于制造汽车、拖拉机、柴油机的曲轴、齿轮，以及矿山、冶金、农业机械的另件，节约了钢材，提高了产品质量，降低了产品成本，为支援农业机械化作出了贡献。

用以处理球墨铸铁的稀土金属，我国的资源极为丰富。目前我国已探明的稀土金属工业储量大大超过了整个资本主义世界的总和。党中央、国务院对稀土金属的生产、应用和科研工作很重视。在国务院领导同志的直接关怀下，一九七五年八月又召开了第三次全国稀土推广应用会议。会议认为稀土金属的开发和利用，对发展我国国民经济，加强国防建设，实现四个现代化，巩固无产阶级专政都有重要意义。

几年来，稀土镁球墨铸铁在我省机械行业中获得很大发展。据我省机械行业不完全统计，一九七三年的产量已达一万三千吨，有些工厂的年产量超过了一千吨。可以肯定，今后稀土镁球墨铸铁的应用范围和生产量在我省必有更大的发展。

为了进一步推广、应用球墨铸铁，提高球墨铸铁质量，省机械局曾于一九七三年十月五日到三十日在开封市举办了“球墨铸铁生产技术及应用”学习班。省内各地、市、县工厂、科研机关、学校共130余人参加了学习班。学习班上，各单位交流了几年来的生产经验，代表们还学习了兄弟省市的先进经验和有关理论知识。

根据与会代表的要求，河南省机械局组织了省内工厂、科研机关、高等院校等十几个单位编写了这本“球墨铸铁生产技术及应用”，供省内机械行业广大职工学习、提高球墨铸铁生产技术之用。洛阳拖拉机厂、洛阳矿山机器厂、洛阳铸造厂、郑州柴油机厂、开封空分设备厂、开封汽车发动机厂、开封地区柴油机厂、商丘机引农具厂、洛阳轴承研究所、郑州机械所提供了大量生产和试验资料。郑州工学院、洛阳农机学院、郑州机械所参加了本资料的编写工作。

由于我们水平所限，各地生产情况了解不多，手头资料又少，国内、省内还有很多先进经验未能收集到；资料中不足之处，诚恳希望同志们批评指正。

河南省机械局球墨铸铁编写组

一九七六年元月于郑州

毛主席语录

备战，备荒，为人民。

破除迷信，解放思想，自力更生，艰苦奋斗。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

第一章 概论	(1)
一、球墨铸铁的产生	(1)
二、球墨铸铁的发展及应用	(2)
第二章 铸铁的结晶过程和组织	(6)
一、铸铁的基本组成相	(6)
(一) 纯铁的晶体结构	(7)
(二) 铸铁常见的基本组成相	(8)
(三) 液态铸铁的结构	(11)
二、铁碳及铁碳硅状态图	(11)
(一) 铁—碳状态图	(11)
(二) 铁—碳—硅状态图	(18)
(三) 铸铁中常见元素对铁—碳状态图临界点位置的影响	(19)
三、白口铸铁和灰铸铁的一次结晶	(22)
(一) 化学成份、冷却速度、孕育处理影响石墨化倾向的机理	(23)
(二) 铸铁的等温及连续冷却结晶转变图	(25)
(三) 白口铸铁的一次结晶	(27)
(四) 灰铸铁的一次结晶	(30)
四、球墨铸铁的一次结晶和球状石墨的形成	(36)
(一) 形成球状石墨的条件	(36)
(二) 球墨铸铁的一次结晶过程	(36)
(三) 球状石墨的结构	(40)
(四) 关于铸铁中石墨的球化机理	(43)
(五) 球墨铸铁的粥状凝固	(46)
五、铸铁的重结晶和金属基体组织的形成	(52)
(一) 铸铁重结晶的机构	(53)
(二) 冷却速度对铸铁重结晶的影响	(53)
(三) 化学成份对铸铁重结晶的影响	(54)
(四) 一次结晶组织对铸铁重结晶的影响	(54)
(五) 球墨铸铁铸态金属基体组织的特点	(55)
第三章 球墨铸铁的使用性能	(57)
一、球墨铸铁的物理性能	(57)
(一) 密度	(57)

(二) 热膨胀系数 α	(58)
(三) 导热系数 λ	(58)
(四) 比热	(59)
(五) 电阻	(59)
(六) 磁性	(60)
二、常温机械性能	(61)
(一) 球墨铸铁的牌号	(61)
(二) 球墨铸铁的静态机械性能	(64)
(三) 球墨铸铁的一次冲击韧性	(65)
(四) 球墨铸铁的多次冲击抗力	(66)
(五) 球墨铸铁的疲劳性能	(67)
1. 弯曲疲劳性能	(67)
2. 扭转疲劳极限	(74)
3. 接触疲劳性能	(74)
(六) 球墨铸铁的断裂韧性	(76)
(七) 球墨铸铁的减振性	(78)
(八) 石墨球数目、尺寸对球墨铸铁机械性能的影响	(79)
(九) 球型对球墨铸铁机械性能的影响	(80)
三、球墨铸铁的断面均一性	(84)
四、球墨铸铁的耐磨性	(85)
五、球墨铸铁的低温机械性能	(87)
(一) 低温静态机械性能	(87)
(二) 低温冲击韧性	(89)
(三) 低温小能量多次冲击抗力	(91)
六、球墨铸铁高温机械性能	(93)
七、球墨铸铁的耐热性	(95)
八、球墨铸铁的耐蚀性	(97)
 第四章 球墨铸铁的化学成份	 (103)
一、碳和硅	(106)
(一) 碳当量的选择	(106)
(二) 碳对球墨铸铁铸造性能和球化效果的影响	(107)
(三) 碳对球墨铸铁机械性能的影响	(108)
(四) 硅对球墨铸铁铸造性能和球化效果的影响	(108)
(五) 硅对球墨铸铁机械性能的影响	(109)
二、锰	(112)
(一) 锰在球墨铸铁中的形态分布和作用	(112)
(二) 锰对球墨铸铁机械性能的影响	(114)
三、磷	(118)
(一) 磷在球墨铸铁中的形态和作用	(118)
(二) 磷对球墨铸铁机械性能的影响	(120)

(三) 减轻磷之有害作用的措施	(122)
四、硫	(124)
(一) 硫在球墨铸铁中的存在形态	(124)
(二) 硫对球化效果的影响	(125)
五、铜	(126)
(一) 铜在球墨铸铁中的形态和对球化效果的影响	(126)
(二) 铜对球墨铸铁机械性能的影响	(127)
六、钼	(128)
(一) 钼在球墨铸铁的存在形态及作用	(128)
(二) 钼对球墨铸铁机械性能的影响	(130)
七、钒	(132)
(一) 钒的存在形态和其对球墨铸铁金属基体的作用	(132)
(二) 钒对球墨铸铁机械性能的影响	(133)
八、锡	(133)
(一) 锡的存在形态和其对球化效果、金属基体的影响	(133)
(二) 锡对球墨铸铁机械性能的影响	(134)
九、钨	(135)
十、反球化元素	(135)
(一) 反球化元素对镁球墨铸铁球化效果的影响	(135)
(二) 反球化元素在稀土镁球墨铸铁中的作用	(138)
十一、原生铁	(139)

第五章 球化及孕育处理工艺..... (145)

一、镁的性质和作用	(145)
(一) 镁与常见元素之间的相图	(145)
(二) 镁的去气、脱硫作用	(148)
(三) 镁在球墨铸铁中的分布和存在形式	(151)
二、稀土元素的性质和作用	(151)
(一) 稀土元素与常见元素的相图	(152)
(二) 稀土元素的去气、脱硫作用	(154)
(三) 稀土元素与低熔点杂质的作用	(158)
(四) 稀土元素在球墨铸铁中的分布	(159)
三、镁和稀土元素对铸铁结晶的影响	(160)
(一) 镁对铸铁结晶的影响	(160)
(二) 稀土元素对铸铁结晶的影响	(160)
(三) 镁和稀土元素对球化效果的联合作用	(161)
四、钙的性质和球化作用	(162)
(一) 钙的性质和球化作用	(162)
(二) M 6 合金球化剂 (稀土钙镁硅铁合金) 的应用	(163)
五、球化剂成份的选择及球化处理	(164)
(一) 冲入法	(164)

1. 稀土镁球化剂成份的选择及配料	(164)
2. 球化剂加入量	(168)
3. 冲入法球化处理工艺	(168)
(二) 压入法	(170)
1. 压入法基本原理	(170)
2. 压力加镁包	(170)
3. 压入法处理工艺	(171)
(三) 型内球化处理法和中间包处理法	(173)
(四) 国外球化剂及球化处理工艺	(173)
(五) 球化衰退	(177)
六、稀土镁球化剂的熔制	(179)
(一) 各种炉料的特性	(180)
(二) 球化剂的熔制	(180)
(三) 球化剂质量检查及防护	(183)
七、孕育剂及孕育处理	(183)
(一) 孕育剂的种类及成份	(183)
(二) 孕育衰退	(184)
(三) 孕育处理方法	(185)
(四) 孕育效果的评价	(192)
八、球化不良的原因及对策	(192)
(一) 化学成份	(192)
(二) 球化衰退和孕育衰退	(193)
(三) 熔化工艺	(193)

第六章 球墨铸铁的熔化

一、如何提高铁水温度	(197)
(一) 改进鼓风数量及质量	(198)
1. 使用最佳风量	(198)
2. 热风	(204)
3. 氧气送风	(205)
(二) 改善供风条件	(206)
1. 降低风口比、缩小风口直径(小风口)的作用	(206)
2. 增添风口排数的作用	(207)
3. 两排风口大排距冲天炉	(209)
4. 炉底中央送风	(211)
5. 曲线炉膛	(212)
(三) 改善炉料状况	(213)
二、降低铁水含硫量	(215)
(一) 冲天炉熔化过程中铁水硫量的变化	(215)
(二) 冲天炉内如何降低铁水含硫量	(216)
(三) 炉外脱硫	(218)

第七章 铸造性能及缺陷	(225)
一、缩孔及缩松	(225)
(一) 形态及特征	(225)
(二) 影响球墨铸铁缩孔及缩松的因素	(226)
(三) 关于形成缩孔及缩松的看法	(227)
(四) 消除缩孔及缩松的措施	(230)
二、线收缩	(232)
(一) 自由线收缩曲线分析	(233)
(二) 铸型性质的影响	(235)
(三) 化学成份的影响	(236)
三、流动性	(238)
四、夹渣	(239)
(一) 夹渣的形态与组成	(239)
(二) 影响形成夹渣的因素	(241)
(三) 夹渣形成的机理	(243)
(四) 防止夹渣的措施	(244)
五、皮下气孔	(245)
(一) 皮下气孔的形态	(245)
(二) 影响形成皮下气孔的因素	(245)
(三) 产生皮下气孔的机理	(247)
(四) 防止产生皮下气孔的措施	(249)
六、石墨漂浮(石墨偏析)	(250)
(一) 石墨漂浮的特征及形态	(250)
(二) 影响石墨漂浮的因素	(252)
(三) 形成石墨漂浮的一些看法	(254)
(四) 防止石墨漂浮的措施	(255)
七、反白口	(255)
(一) 形态和特征	(256)
(二) 影响因素	(257)
(三) 关于形成反白口的一些看法	(258)
(四) 防止反白口的措施	(258)
八、灰斑	(258)
(一) 形态及特征	(259)
(二) 影响因素	(260)
(三) 防止灰斑的措施	(261)
九、铸造应力, 热裂及冷裂	(261)
(一) 铸造应力的产生	(261)
(二) 影响铸造应力的因素	(262)
(三) 防止措施	(263)

第八章 铸造工艺 (266)

- 一、用不同的凝固方式消除球墨铸铁件的缩孔 (266)
 - (一) 顺序凝固工艺 (266)
 - (二) 同时凝固工艺 (268)
- 二、球墨铸铁的冒口 (269)
 - (一) 冒口的种类 (269)
 - (二) 冒口尺寸 (270)
- 三、采用无冒口工艺消除缩孔及缩松 (273)
- 四、用冷铁消除缩孔及缩松 (278)
 - (一) 冷铁的作用 (278)
 - (二) 冷铁的种类、尺寸及注意事项 (278)
- 五、浇注系统 (280)
 - (一) 球墨铸铁浇注系统的特点 (280)
 - (二) 浇注系统各组元尺寸的计算 (281)
- 六、型砂 (283)
- 七、典型铸型工艺 (283)

第九章 球墨铸铁的热处理 (288)

- 一、球墨铸铁加热和冷却时组织的转变 (289)
 - (一) 球墨铸铁共析转变的临界温度范围 (289)
 - (二) 球墨铸铁加热时组织的转变 (291)
 - 1. 低于共析转变温度范围下限的加热 (291)
 - 2. 在共析转变温度范围内的加热 (292)
 - 3. 在共析转变温度范围以上的加热 (296)
 - (三) 球墨铸铁冷却时组织的转变 (297)
 - 1. 奥氏体等温转变曲线图的建立 (297)
 - 2. 不同过冷度下奥氏体的等温转变过程及形成的组织(铁素体、珠光体转变及贝氏体转变) (300)
 - 3. 马氏体转变 (310)
 - 4. 球墨铸铁在连续冷却过程中的组织转变 (311)
 - (四) 影响奥氏体转变的因素 (316)
 - 1. 化学成份的影响 (316)
 - 2. 铸态组织中元素偏析的影响 (319)
 - 3. 奥氏体化温度和保温时间 (319)
 - 4. 球墨铸铁的淬透性 (319)
- 二、球墨铸铁的热处理工艺 (321)
 - (一) 退火 (321)
 - 1. 高温阶段石墨化退火 (322)
 - 2. 低温阶段石墨化退火 (323)
 - 3. 石墨化退火工艺对球墨铸铁机械性能的影响 (326)

(二) 正火	(326)
1. 普通正火	(327)
2. 部分奥氏体化正火	(329)
3. 低碳奥氏体化正火和不平衡状态的快速正火	(334)
(三) 等温淬火	(338)
1. 奥氏体化温度和保温时间	(339)
2. 等温温度及时间	(341)
3. 原始组织的影响	(345)
4. 等温淬火后的回火	(346)
5. 等温淬火的设备	(346)
6. 球墨铸铁等温淬火典型工艺	(347)
7. 球墨铸铁等温淬火常见缺陷的防止	(349)
(四) 淬火加回火	(349)
1. 淬火温度的选择	(351)
2. 冷却介质	(353)
3. 回火	(353)
4. 球墨铸铁淬火回火典型工艺	(356)
(五) 表面热处理	(358)
1. 表面淬火	(358)
2. 表面化学热处理	(362)

第十章 球墨铸铁的焊补及机加工

一、球墨铸铁的焊补	(366)
(一) 球墨铸铁的焊补特点	(366)
(二) 球墨铸铁焊缝及近缝区的显微组织	(366)
(三) 球墨铸铁的焊补方法	(369)
1. 球墨铸铁的电弧焊	(369)
2. 球墨铸铁的气焊	(377)
二、球墨铸铁的气割	(378)
三、球墨铸铁的机加工性能	(379)
(一) 球墨铸铁、灰铸铁及钢材的切削性能对比	(379)
(二) 金属基体对球墨铸铁切削性能的影响	(380)
(三) 切削铁素体球墨铸铁的刀具后刀面固着现象	(382)
(四) 球墨铸铁的磨削	(383)
(五) 化学成份对球墨铸铁机加工性能的影响	(384)

第十一章 球墨铸铁的检验

一、炉前检验	(385)
(一) 生产上常用的炉前快速检验铁水球化情况的方法	(385)
(二) 炉前快速金相观察	(386)
(三) 电阻法快速测定石墨形状	(389)

(四) 热分析法快速测定球墨铸铁的显微组织	(391)
二、炉后金相检验	(391)
(一) 取样	(392)
(二) 制备金相试样	(393)
(三) 金相检验标准	(393)
三、无损检测	(397)
(一) 磁粉探伤	(398)
(二) 超声波探伤	(399)
(三) 射线探伤	(400)
(四) 音频检测球墨铸铁件的球化情况	(400)
(五) 用超声波速度检测球墨铸铁件的球化情况	(401)
四、机械性能检验	(402)
(一) 取样	(402)
(二) 抗拉试验	(402)
(三) 硬度试验	(403)
(四) 冲击试验	(404)
(五) 小能量多次冲击试验	(405)
(六) 疲劳试验	(405)
(七) 断裂韧性 K_{Ic} 的测试	(407)
五、稀土镁球墨铸铁的化学分析	(409)
(一) 稀土元素总量的测定	(409)
(二) 球墨铸铁中镁的比色测定	(410)
附录一	(413)
附录二	(415)

第一章 概 论

一、球墨铸铁的产生

铸铁是现代工业中一种重要结构材料，具有良好的铸造性能，可以铸成各种复杂形状的零件，并具有良好的加工性、耐磨性、吸震性和对缺口不敏感性；此外，它生产简便、成本低廉。所有这些优点为广泛使用铸铁提供了前提。但灰铸铁的机械性能不能令人满意，以抗拉强度而论，最高只有40公斤/毫米²左右，而普通45#碳钢正火后，抗拉强度可达65~80公斤/毫米²，灰铸铁低得多。另一些重要指标如冲击韧性和塑性就相差太远了。45#碳钢的冲击韧性可达7~8公斤·米/厘米²，可以承受冲击负荷，灰铸铁的冲击韧性不到碳钢的二十分之一，不能承受冲击负荷。这样的脆性材料难以满足当前工业生产要求，铸铁的应用不能不受到很大的限制，只能用在不受冲击负荷，受些压负荷或磨损的部件上，例如：机器外壳、底座、缸套之类的零件。

铸铁在我国已有上千年的历史，在欧洲也有几百年。但它登上现代工业舞台不过是百余年以前的事情。五十年前，工业对铸铁没有什么性能上的要求，只要铸件有准确的外形就可以了。到了二十世纪二十年代，工业发展迅速，感到铸铁机械性能太低（当时抗拉强度只有10~15公斤/毫米²），以致机械设备过于笨重，消耗动力太大，影响机械运转。因此，开始研究如何提高铸铁的机械性能，力图减轻机械设备的重量，让机器运转得更快，消耗更少的动力。

长期生产和科学试验证明，铸铁和钢都是铁碳合金。它们的主要组成元素是铁和碳，只是铸铁含有较高的碳（大于1.6~2.0%），钢含碳少（小于1.6~2.0%）。为什么两者性能相差如此之大，以致铸铁成为一种脆性材料而钢却有那么高的韧性、塑性呢？人们通过长期生产实践，逐步认清了这个问题。原来金属材料的机械性能和它的显微组织有密切关系。铸铁的显微组织和钢有些相似，但又有些不同，例如，它们的金属基体大致接近；可是（灰）铸铁的碳份有相当部份以自由石墨的形式银嵌在金属基体里，钢中没有石墨存在，两种显微组织不同处就在自由石墨上。生铁锭断口有的灰暗，有的黑亮，经常有石墨片剥落下来，就是证明。如果把灰铸铁磨平、抛光，放在显微镜下观察，可以看到石墨呈曲折片状的断面。灰铸铁的金相组织就是由金属基体和银在金属基体里的一片片的石墨组成的。大家知道，石墨很松软，不能承受什么负荷，铸铁有了石墨，就相当于铸铁内部有了不少空洞。所以，长期以来，有人形容铸铁机械性能时说，铸铁相当于带空洞的钢。知道了钢的机械性能，又知道空洞对机械性能的影响，就可以推测铸铁的机械性能了。空洞削弱了金属基体承受载荷的有效面积，在铸铁任何一个断面上，通常石墨片大约占断面面积的8~15%，最多可以超过25%，也就是说，金属基体抵抗负荷的有效面积减少了8~15%，铸铁承受负荷的能力也只应减少8~15%。可是，为什么灰铸铁的抗拉强度却比钢低50%，又几乎丧失了全部韧性和塑性呢？原来空洞还有一个更重要的作用：应力集中作用。石墨在铸铁里也起同样的作用。这样，灰铸铁的机械性能就比钢低很多了。应力集中情况又和空洞的大小、形状有关。空洞有尖角，其前沿应力集中严重，急剧削弱了金属基体承受负荷的能力，而圆形空洞的影响最

小,以这种观察为准则,几十年来,不少研究集中在如何改变石墨形状、大小、数量、分布上。例如,降低碳、硅含量的刚性铸铁、孕育铸铁、合金铸铁以及加快冷却、提高铁水温度等工艺方法都是三十年代的成绩。这些工艺可以不同程度地改变石墨大小、数量和分布,因之,铸铁的抗拉强度提高到40公斤/毫米²。可是,铸铁的塑性、韧性仍未见大幅度提高,铸铁仍属于脆性材料,一些重要零件仍不能用它来铸造。

十八世纪曾发现,白口铸铁经高温退火,金属基体内出现团絮状石墨,铸铁机械性能遂有很大的变化。白口铸铁有较高的抗拉强度(例如,可到47公斤/毫米²),但硬、脆。铸铁有了团絮状石墨,强度稍许降低,却出现了塑性和韧性,例如,延伸率有15%,冲击韧性可到1~2公斤·米/厘米²(带缺口试样)。就其性能而言,这种铸铁有点象钢,铸件可以打弯,大家叫它可锻铸铁,也叫展性铸铁。由此可见,石墨呈团絮状可以减少应力集中效应,能发挥出金属基体应有的塑性和韧性。因为可锻铸铁铸造性能、加工性能比钢好,成本比钢便宜,几十年来,汽车、农机以军工上很多部门大量采用,可锻铸铁生产技术得到相当快的发展。

可锻铸铁生产的一个很大缺点是生产工序复杂、严格、生产周期长。是否可以不经过热处理,直接控制住铸态石墨,让它生长成球、团状,不生长成片状呢?三、四十年前不少人也企图这样做,寻找控制铸态石墨的方法。1914年有人在普通铸铁麻口区内观察到石墨有的呈球、团状,也就是说,冷却速度合适,铸态石墨可以呈球、团状析出。1926年发现,把铁水(碳3.2%、硅2.2%、锰0.45%、磷0.02%、硫微量)过热到1600℃,可以获得团絮状石墨。1936年有人在低碳(1.5%)、高硅(3.5%)的铸铁里看到球状石墨。1937年曾经研究出,硅量1%的共晶、过共晶铁水,除净了非金属夹杂物、经快速冷却后,可以得到球状石墨^[1]。1944年有些人用钙盐处理铁水获得球状石墨^[2]。1948年又发现,过共晶铁水经过热或渣处理,使硫小于0.008%,然后快冷即可得到球状石墨^[1]。但这些工艺生产复杂,条件苛刻,不稳定,球状石墨只被看成一种石墨形态,工业上并没有采用。

1943年偶然发现,镁有球化石墨的作用。同年,又用镍镁合金(镍80%、镁20%)处理铁水,仍得到球状石墨,抗拉强度由原铁水的13公斤/毫米²提高到78公斤/毫米²,并且出现相当的韧性和塑性,这一新材料的机械性能和钢相似。1948年工业上正式用镁生产球墨铸铁^[3]。与此同时,1947年用铈处理球墨铸铁也获得成功^[4]。和镁相比,用铈处理的球墨铸铁,要求原铁水具有过共晶成份;此外,铈的价格昂贵。因之,用镁处理的球墨铸铁在工业生产上很快推广开来。从此,球墨铸铁就以一个机械性能接近钢,铸造性能接近普通灰铸铁的新颖结构材料出现在现代工业中了。人类第一次在铸态控制住铸铁的石墨形态,这是冶金界的一大成绩。

二、球墨铸铁的发展及应用

球墨铸铁具有较高的强度和刚度,有相当的塑性和动载性能如一次冲击韧性、多次冲击抗力、疲劳强度、吸震性等。无论干磨擦或有润滑条件的磨擦,它皆具有良好的耐磨性;还有相当的耐蚀性和耐热性。故而,球墨铸铁一经出现,当即得到广泛应用。球墨铸铁产量的增长速度在黑色铸造金属中占首位。

我国解放以后,球墨铸铁的生产和研究立即得到迅速的发展。早在1949~1950年,我国相继用镍镁合金和铜镁合金处理成功镁球墨铸铁,成为世界上最先使用球墨铸铁的国家之一。球墨铸铁一经试验成功,立即在国民经济各个部门得到广泛应用。1950年上海矿山机械厂、上海机床厂、抚顺机器厂先后浇注成功球墨铸铁铸件。1954年无锡柴油机厂将球墨铸铁

应用于柴油机上，制成汽缸套、摇臂等零件。1956年无锡柴油机厂和南京汽车厂开始试制柴油机曲轴，并于1957年正式使用。

1958年召开了第一届全国球墨铸铁大会，之后，全国掀起大搞球墨铸铁生产的群众运动，推动了我国球墨铸铁生产的发展。据统计，1961年上海市一个地区球墨铸铁的产量就达到一万九千吨，比1953年增长61.2倍，相当于当时全世界球墨铸铁总产量的二十七分之一。

五十年代我国广泛采用纯镁钟罩法处理球墨铸铁，一般用镁量为0.4~0.6%。1959年大连造船厂使用灭容加镁法处理球墨铸铁，用镁量降到0.1%左右，为推广球墨铸铁生产提供了前提。随着球墨铸铁生产迅速发展，我国优质本溪生铁供不应求，而使用某些地方生铁容易出现球化不良的现象，镁球墨铸铁还时常出现其特有的夹渣、缩孔、缩松及皮下气孔等铸造缺陷。所有这些镁球墨铸铁的缺陷都给生产和推广球墨铸铁带来了不少困难。

1962年前后，不少工厂和科研单位试验用稀土合金处理球墨铸铁。用过共晶铁水可以处理成稀土球墨铸铁，但其球形不够园整，易衰退，厚大部位经常出现厚片状石墨和反白口，铸件上表面时常有石墨漂浮。因之，单纯用稀土合金处理球墨铸铁的工艺没有在我国普遍推广开。

1964年南京汽车厂和无锡柴油机厂等单位，在纯镁基础上辅加稀土硅铁合金处理铁水，制成稀土镁球墨铸铁。这种球墨铸铁和镁球墨铸铁相比，能消除微量元素反球化作用，这就为使用地方生铁制造球墨铸铁创造了条件。加入稀土元素以后，镁球墨铸铁的缩松、缩孔和夹渣等缺陷大为减少。例如，1964年10月份南京汽车厂使用稀土镁球墨铸铁以后，曲轴废品率由35.3%下降到8%以下^[5]。1965年初无锡柴油机厂的稀土镁球墨铸铁投产以后，曲轴废品率也由28.9%下降到6~8%^[6]。稀土元素可以消除镁球墨铸铁的特有缺陷，改善球墨铸铁铸造性能的效果非常明显。这种稀土镁球墨铸铁和稀土球墨铸铁相比，衰退现象减弱，反白口减少，石墨漂浮减轻，厚大部份的球化状况得到改善，石墨球变得园整。总之，稀土镁球墨铸铁兼有镁和稀土球墨铸铁的优点，减轻了它们的缺陷。稀土镁球墨铸铁这一新颖结构材料一经出现，立即在我国推广开来。

1965年我国又用稀土镁中间合金冲入法处理成球墨铸铁。这种工艺操作简便，反应平稳、安全，少到几十公斤，多到几十吨的铁水都可以处理。目前，我国大多数工厂都采用这种工艺生产球墨铸铁。这样，从球化剂成份到处理工艺都形成我国独特的稀土镁球墨铸铁生产方法。我国球墨铸铁生产发展很快，形成球墨铸铁遍地开花之势。

文化大革命以来，河南省球墨铸铁生产发展迅速，不少县办工厂，乃至社办工厂都可以生产球墨铸铁，浇注各种零件，节省了成万吨的钢材，为发展机械工业和农业机械化创造了有利条件。

二十余年来，球墨铸铁质量、数量、品种以及工艺诸方面皆取得很大的进展。以强度而论，1958年全国第一次球墨铸铁会议以前，普通球墨铸铁抗拉强度仅为50公斤/毫米²左右，延伸率2%上下，今天，同样延伸率的普通球墨铸铁，其抗拉强度已达60~70公斤/毫米²，正火处理后更高到90公斤/毫米²以上，甚至退火球墨铸铁的抗拉强度也接近50公斤/毫米²（见表1-1。）倘若经过等温淬火，抗拉强度可升到100~140公斤/毫米²，再加某些少量合金元素如铜、钼、钒等，甚至可高到150公斤/毫米²。再以金属基体来说，五十年代我国球墨铸铁多为铁素体、珠光体或两者混合型。六十年代末，我国球墨铸铁除仍生产上述几种外，还有贝氏体、马氏体、回火索氏体、奥氏体以及破碎状铁素体等等，因之，我国球墨铸铁也就具有适应工农业要求的各种性能了。

据不完全统计，我国生产的各类球墨铸铁零件种类枚不胜数，小至几克，壁厚数毫米

表 1-1

球墨铸铁机械性能表^[7]

水 平	机 械 性 能	退 火 铁 素 体 球 墨 铸 铁		正 火 珠 光 体 球 墨 铸 铁	
		铸 态	热 处 理 后	铸 态	热 处 理 后
一 般	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	40~45	40~45	60~70	70~80
	延伸率 (%)	10~15	15~20	1.0~2.5	1.5~3.0
最 高	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	50~60	45~50	70~80	80~90
	延伸率 (%)	15~20	20~28	2.5~3.5	3~5

(如手扶拖拉机调节肩),大到几十吨,厚数百毫米,不下万余种,目前,除生产量最大的普通稀土镁球墨铸铁外,还试制成功稀土镁钼球墨铸铁、稀土镁铜钼球墨铸铁、稀土镁钒钛球墨铸铁、加锡稀土镁球墨铸铁、中锰稀土镁球墨铸铁、中硅稀土镁球墨铸铁、高硅稀土镁耐酸球墨铸铁、硅铝稀土镁耐碱球墨铸铁以及硅铝稀土镁耐热球墨铸铁等品种。

现在,球墨铸铁已广泛用于机器制造、石油、化工、冶金、矿山、军工等方面,其中又以柴油机、拖拉机、汽车、农机应用得最为普遍,取代了一部份可锻铸铁、锻钢、型材的零件,节省了大量碳钢、低合金钢乃至某些高合金钢。从机械加工上看,铸件加工余量小,节省了大量加工工时,降低了成本。据广州柴油机厂报道,该厂6300柴油机曲轴净重900公斤,锻件毛坯重4吨,球墨铸铁毛坯仅重1.2吨,不仅节省大量钢材,加工工时也减少六分之五,成本由21000元下降到3000元,降低了85%。表1-2列举几个工厂采用球墨铸铁以后,某些零件材料、成本的节约情况。

我国已有十几个系列中、小型柴油机的曲轴、连杆、凸轮轴、摇臂等廿几种零件采用球墨铸铁。例如,无锡柴油机厂每台3110和4110柴油机球墨铸铁件占铸件总重33%^[8]。1972年初大连机车车辆厂采用低压铸造新工艺,浇注4000马力内燃机车大型曲轴,为我国生产优质球墨铸铁件增添了新途经。

表 1-2

锻钢、铸钢、球墨铸铁零件加工工时、成本比较表

厂 名	型 号	材 料	毛 坯 重 (公斤)	材 料 费 (元)	加 工 工 时 (小时)	成 本 (元)
上海汽轮机厂	6250 柴油机曲轴	原 G45	4000	3700	155	
		现 球墨铸铁	1100	700	66	
柳州空压机厂	9M ³ 空压机曲轴	原 G40	210	595	100	1100
		现 球墨铸铁	130	130	40	400
杭州发动机厂	6120 柴油机曲轴	原 35Cr-Mo	400		76	2000
		现 Cu-Mo 球墨铸铁	98		19	200
无锡机床厂	M250 主轴	原 45#钢	88.2	79.4	18.25	325.3
		现 球墨铸铁	71	42.6	15.83	94.4
无锡机床厂	M1040 主轴	原 20Cr	30	30.0	8.47	119.5
		现 球墨铸铁	33	19.8	7.08	43.2
无锡柴油机厂	4110 柴油机连杆	原 锻钢	8.2			30.75
		现 球墨铸铁	5.0			5.25

拖拉机、农机行业近年来应用球墨铸铁制造大、小减速齿轮、支重轮、驱动轮、履带板、曲轴等易磨损零件，为逐步解决使用单位配件供应问题提供了良好前景。青岛农机厂生产的拖拉机，球墨铸铁件占铸件总重20%以上，代替了44种铸钢件。山西省临汾铸造厂、新疆拖拉机配件厂分别用球墨铸铁生产出30、40拖拉机曲轴。沈阳齿轮厂的大、小减速齿轮可用2000小时，河南省正阳农机修造厂几年来生产成万套大、小减速齿轮，很少发生断裂事故，现正试制螺旋伞齿轮。赤峰动力机厂生产的履带板，经过等温淬火，使用寿命接近高锰钢。农机具上的各种类型的犁、犁柱、犁铧、杆件悬挂装置也用球墨铸铁浇注。保定农具厂的轻型悬挂犁的犁柱、犁托，沈阳红旗农机厂的圆盘耙，商邱机引农具厂的重型五铧犁都是用球墨铸铁制成的。

汽车行业是我国应用球墨铸铁较广泛的另一个部门，主要用于制造曲轴、凸轮轴、连杆和一些底盘零件。例如，上海交通牌汽车的曲轴、连杆、凸轮轴等大小57种零件皆为球墨铸铁件；南京汽车厂载重汽车共有25种零件采用球墨铸铁，总重500公斤，占金属材料总重22~25%；另一工厂生产的越野汽车球墨铸铁件总重超过900公斤；湖北内燃机配件厂小批试生产汽车螺旋伞齿轮；广州汽车配件厂生产汽车活塞环。

近些年，机床业也采用球墨铸铁零件代替某些锻钢、铸钢件。北京第一机床厂生产万能铣球墨铸铁主轴、无锡机床厂从1957年起开始使用球墨铸铁零件，该厂72年有67.2%的内圆磨床，轴承磨床和无心磨床的主轴皆是这种金属材料浇注的。其它诸如车床导轨体、滑板、凸轮板、刀架、齿条、杆件、托板等有些工厂也用球墨铸铁浇注。

矿山、冶金行业浇注出不少厚大球墨铸铁件、如32吨盛渣罐、26吨初轧开坯机轧辊等。

上海阀门一厂，石家庄阀门厂用QT40—10代替25#碳钢生产中压阀门。江西气体压缩机厂生产承受150大气压的高压气缸。

洛阳轴承研究所和广东佛山水泵厂等单位试制成功球墨铸铁轴承内外圈，可以用于低速、低压的运转部件，如农用泵、小型农机、牛车、马车乃至某些拖拉机轴承，为解决各地急需轴承配件创造了条件。

北京市中阿友好人民公社生产中锰球墨铸铁圆盘耙，每片可耕地1000~2000亩，代替了65锰钢型材。水口山矿务局生产中锰球墨铸铁球磨机衬板，可以代替高锰钢。大连耐酸泵厂生产的高硅耐酸球墨铸铁零件叶轮、外壳等，其寿命超过高硅铸铁。上海市机械制造工艺研究所试制成功的铝硅耐热球墨铸铁可以用于950~1100℃的高温环境，如加热炉炉底板、炉门、炉条、石油炼炉管板等。

书后附录一列举了国内一些工厂典型球墨铸铁零件的生产工艺和应用效果。

“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”。我国铸造工作者，在党的领导下，必将闯出中国自己球墨铸铁的发展道路。

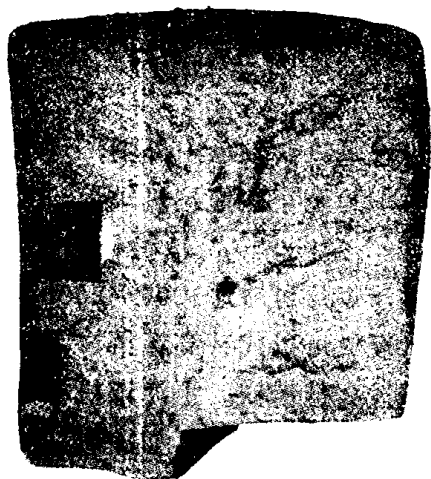
第一章 参考文献

- | | |
|----------------------------------|--|
| [1] E. Piwowarsky | 《Hochwertiges Gusseisen》1958 |
| [2] 日本强勒铸铁协会 | 《强勒铸铁》1960 |
| [3] K. D. Millis | 《The British Foundryman》65 (1972) 1 6/14 |
| [4] J. H. Morrogh W. J. Williams | 《J. Iron Steel Inst.》155 (1947) 321/371 |
| [5] 南京汽车厂一机部机械院 | 《钢铁》(1965) 9 |
| [6] 无锡柴油机厂 | 稀土镁球墨铸铁资料汇编 1972、2 |
| [7] 沈阳铸造所 | 国内外球铁技术发展综述 1973、5 |
| [8] 无锡柴油机厂、无锡球墨铸铁研究室 | 《稀土镁球墨铸铁》上海人民出版社 1973 |

第二章 铸铁的结晶过程和组织

铸铁的使用性能主要取决于它的金相组织，即各组成相的性质、数量、晶粒形态和分布等。其中，高碳相的存在形态对铸铁性能的影响最大。普通灰铸铁中有多量的片状石墨存在，其机械性能比钢低得很多，特别是塑性和韧性很差，成为一种脆性材料。球墨铸铁中的石墨呈球状，这种铸铁不但有很高的强度，并且有相当的塑性和韧性。白口铸铁中没有石墨，但有多量的游离碳化物，使其性极脆，且硬。除了高碳相的存在形态、数量和分布外，铸铁整个的一次结晶组织，铸铁中气体和非金属夹杂的存在，铸铁金属基体的状态对它的使用性能也有重要的影响。

不同的显微组织反映在宏观断口上，使各种铸铁的宏观断口各具特徵。灰铸铁中的粗大石墨片使其断口颜色灰暗，颗粒粗大，组织疏松。球墨铸铁中的球状石墨颗粒具有较小的表面积/体积比值，且易于剥落，故使这种铸铁的断口呈银灰色，颗粒细小，组织致密，有时具有不平整的起伏花纹（见照片2-1）。球墨铸铁中的石墨球化不良时，出现聚集分布的厚片状石墨或片状石墨，这使其断口在银灰色基底上出现灰黑色斑点（见照片2-2），或在粗糙暗灰色基底上分布有银灰色细线网。



照片 2-1 稀土镁球墨铸铁正常断口



照片 2-2 稀土镁球墨铸铁球化不良的断口

白口铸铁不含石墨，其断口常呈银白色的粗大柱状晶组织。

不同的金属基体显微组织也会使铸铁的断口出现某些差别。

生产中，常根据宏观断口的特徵和金相显微分析的结果来判断铸铁的使用性能，找出改进使用性能的依据。而为了获得某种预期的使用性能，必须选择适当的金相组织。

铸铁的金相组织是在铸件的结晶过程中形成的。通过改变铸铁的化学成份，控制铸件的冷却速度以及对液态铸铁进行处理，可以积极地影响铸铁结晶过程的进行和所形成的组织，使之满足生产的需要。因此，研究铸铁的结晶过程和组织就具有重要意义了。

一、铸铁的基本组成相

铸铁含有铁、碳、硅、锰、硫、磷、氧、氮、氢等几十种元素。这些元素对合金的结晶