

冶金技术·高炉冶炼·铁合金
钢铁冶金·硅锰合金·钢铁机械



高炉铁合金冶炼

GLTHJYL

GAOLU TIEHEJIN YELIAN
GAOLU TIEHEJIN YELIAN



主编 吴宜群
江西科学技术出版社

前 言

《高炉铁合金冶炼》是由铁合金学会高炉冶炼学术委员会委托吴宦善同志编写的。目的是推动本行业的继续工程教育。编写原则是阐述高炉铁合金特别是锰铁合金的冶炼原理与基本经验，反映国内外高炉铁合金冶炼技术的新水平。凡与高炉炼铁相同并已有专著的内容，本书从略。

此书是史俊等同志所编《高炉锰铁冶炼》一书的继续与发展。《高炉锰铁冶炼》完稿于1976年，是我国第一本关于高炉冶炼铁合金的专著，该书于1980年由新余钢铁厂组织出版后成为全行业技术培训的主要教材，它对推动我国高炉锰铁的发展起了重要作用。

《高炉铁合金冶炼》是1990年5月廊坊会议上决定编写的。1992年4月由学术委员会邀请了北京科技大学秦民生教授，东北工学院邓守强教授，江西省金属学会史俊副理事长，阳泉钢铁公司张明德总工程师，廊坊冶炼厂刘寿昌总工程师，湘潭锰矿袁美星副总工程师，铁合金学会副理事长兼高炉冶炼学术委员会主任委员张棠科高级工程师等同志，对本书初稿进行了审定。其后，作者根据专家们的意见，对初稿又进行了修改和补充。在此，我们对专家们的热忱帮助和作者的辛勤劳动，表示衷心的感谢。统观全书，实现了学术委员会的委托，它丰富了有关冶炼理论与实践，反映了近十多年来我国高炉铁合金技术进步的成果；扩展了技术内涵，以锰铁为主，纳入了高炉冶炼的其它铁合金产品；介绍了国外高炉铁合金冶炼技术的新进展。因此，本书的出版必将有助于提高本行业职工的技术业务水平和推动我国高炉铁合金冶炼技术的发展。

在铁合金发展史上，高炉冶炼几经兴衰，仍始终保持了生命力，特别是在我国，得到了持续的发展。但高炉铁合金生产毕竟是一个较小的领域，在技术研究的深度和广度上，与普通生铁高炉或电炉铁合金冶炼相比，有着较大的差距。所以本书只能是高炉铁合金发展到现阶段的总结。由于受到编写目的的限制，难以对每个专题都作深入探讨。本书定会存在不足之处，有待读者批评指

正，逐步完善。

当前，在高炉铁合金领域内，对诸如锰铁高炉生产方针、锰还原理论、铁合金高炉内型结构、锰矿入炉前的准备、新技术采用以及综合利用环境保护等方面还存在不同的认识，有许多工作要做。这就需要生产企业、大专院校，科研设计单位通力协作，深入研究，使我国高炉铁合金工业提高到一个更高的水平。

智力是人类取之不尽的财富，实践与智力的结合产生科学技术，而技术进步是无止境的，它是发展生产力的无穷源泉。今后，随着我国钢铁工业的发展和行业技术进步，必将涌现出更多的技术专家，编写出更好的专著。

本书由吴宦善同志任主编，曾昭珍、张国庆同志参加了编写。其中第3章由曾昭珍、吴宦善执笔；第7章由张国庆、吴宦善执笔；第12、13、14、15章由张国庆执笔，其余各章由吴宦善执笔。本书在出版过程中得到了史俊副理事长和《江西冶金》副主编罗致中同志的帮助，唐飞来同志参加了本书的技术校核工作，在此一并表示衷心感谢。

铁合金学会副理事长兼高炉冶炼学术委员会主任委员 张棠科

1993年6月

内 容 提 要

本书包括高炉冶炼锰铁的基本原理、技术发展、原料准备、炉前作业、高炉内型结构、煤气净化、高炉冶炼锰铁计算、含锰矿石火法富集、环境保护、综合利用以及高炉冶炼硅铁、高炉冶炼硅锰合金、高炉冶炼铬铁、高炉冶炼含钒生铁等章的内容。本书收集了自 50 年代以来这个领域特别是高炉冶炼锰铁方面的详实资料，对于生产、教学、科研单位的有关冶金工作者具有参考价值。本书是冶金工程技术人员继续工程教育的教材。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 铁合金的定义和作用	(1)
第二节 高炉冶炼铁合金基本原理	(1)
第三节 高炉冶炼铁合金发展史	(2)
第四节 高炉铁合金冶炼特点	(6)
第二章 高炉锰铁冶炼	(8)
第一节 高炉冶炼锰铁的特点	(8)
第二节 锰和高炉锰铁及其副产品的主要用途	(10)
第三节 高碳锰铁标准	(11)
第四节 我国高炉锰铁的生产技术发展	(12)
第三章 高炉冶炼锰铁原料	(14)
第一节 锰矿石	(14)
第二节 高炉冶炼锰铁对锰矿的要求	(23)
第三节 锰矿质量对高炉冶炼锰铁的影响	(27)
第四节 锰矿石入炉前的准备	(28)
第五节 锰矿粉烧结	(31)
第六节 锰矿球团	(35)
第七节 高炉冶炼锰铁对焦炭和熔剂的要求	(36)
第四章 锰铁冶炼基本原理	(38)
第一节 锰与铁冶炼的基本特点	(38)
第二节 炉料的挥发和分解	(39)
第三节 锰的还原	(42)
第四节 硅、磷的还原	(51)
第五节 锰的碳化物	(52)
第六节 锰-硅系	(54)
第七节 锰铁炉渣	(54)
第八节 锰铁高炉合理煤气流分布及布料规律	(64)
第九节 提高锰金属回收率的途径	(70)
第十节 Rist 线图在锰铁高炉上的应用	(76)
第十一节 高炉冶炼锰铁数学模型	(86)
第五章 高炉冶炼锰铁技术发展	(95)
第一节 概述	(95)
第二节 限制高炉风量的因素	(96)
第三节 精料是提高高炉冶炼强度的基础	(97)
第四节 稳定顺行是提高高炉冶炼强度的关键	(104)

第五节	提高风湿	(106)
第六节	富氧喷吹	(108)
第七节	脱湿鼓风	(113)
第八节	矿焦混装	(114)
第九节	等离子技术应用	(122)
第十节	使用风口强化器	(122)
第十一节	高炉冶炼锰铁炉内反应的研究	(124)
第六章	炉前作业	(128)
第一节	炉前作业的重要性	(128)
第二节	炉前作业工作指标	(129)
第三节	出铁	(129)
第四节	渣口维护及放渣操作	(134)
第五节	渣铁处理	(135)
第七章	锰铁高炉内型和结构	(140)
第一节	锰铁高炉内型演变过程	(140)
第二节	锰铁高炉内型选择原则	(141)
第三节	锰铁高炉内型尺寸选择	(144)
第四节	锰铁高炉炉体结构的改进	(148)
第五节	新型炉顶装料设备的开发	(151)
第八章	锰铁高炉煤气净化	(155)
第一节	煤气净化的基本任务	(155)
第二节	锰铁高炉煤气的特点	(155)
第三节	锰铁高炉煤气湿法净化设施	(157)
第四节	干式布袋除尘器的应用	(163)
第五节	干式电除尘的应用	(167)
第六节	提高煤气质量的措施	(168)
第九章	高炉冶炼锰铁的有关计算	(173)
第一节	配料计算中某些基本参数的选择和计算实例	(173)
第二节	锰金属还原率的计算	(177)
第三节	锰铁含锰与锰还原率和锰矿中 Mn / Fc 的关系	(178)
第四节	锰矿消耗量计算	(180)
第五节	实际焦比计算	(180)
第六节	理论焦比工程计算法	(182)
第七节	拉姆联合配料计算	(185)
第八节	现场作业简易计算	(193)
第九节	鼓风动能的计算	(196)
第十章	含锰矿石的火法富集	(200)
第一节	概述	(200)
第二节	富锰渣技术标准	(201)

第一章 绪 论

第一节 铁合金的定义和作用^[1]

自人类制造和使用铁以来，人们就在力求以各种方式扩大铁的使用范围。在铁的生产过程中，首先发现含碳量变化对铁性质的影响，碳是最早使用的合金元素。如含碳量低的铁称为钢，具有较好的延展性，乃至经过热处理改变其机械性能，变得更为有用。随着冶炼技术的发展，人们又发现，有些铁矿石在冶炼过程中还带入除铁以外的某些次要成份，使冶炼出的钢具有某些特殊性能。因此，人们学会了在铁中加入某些其它元素来满足使用要求。这些使铁的性能符合某种技术特性要求的中间合金，不论其含铁量多少都称之为铁合金。

在钢铁冶炼过程中，用铁合金通过以下各种处理方法来改变钢或铸铁的性能：

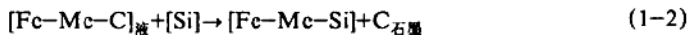
1. 改变钢铁的化学成份。将其它元素以铁合金的形式加入铁（钢）水中，改变铁（钢）化学成份使铁（钢）合金化；
2. 脱除混入钢或铸铁中的有害杂质，让杂质与铁合金中的金属元素反应生成无害或不溶于钢（铸铁）水中的化合物；
3. 改变凝固条件，在临浇注前加入铁合金作为晶核“孕育”铁水；

第二节 高炉冶炼铁合金基本原理

高炉冶炼铁合金与冶炼普通生铁一样，都是用碳热法还原矿石中的氧化物而制得的。由元素生成氧化物的反应自由能与温度的关系见图 1-1，图中某金属生成氧化物的 ΔG 与 CO 生成的 ΔG 的曲线的交点，表示 $\Delta G_{M_2O} - \Delta G_{CO} = 0$ ，如不考虑合金生成热和造渣热， $\Delta G_{CO} - \Delta G_{M_2O}$ 为负值时，金属氧化物被碳还原的反应就能进行。由于图中数据未涉及到反应动力学的问题，要获得足够的反应速度，根据实践经验还需比平衡温度高出 50~100℃。碳还原过程如果不考虑冶炼含碳合金产生的炉渣，可以用一般化学反应式（1-1）表示。



采用碳热法，由于硅能降低碳在铁-金属合金中的溶解度，所以生产出的产品，或者是含硅低的碳合金（如碳素锰铁，碳素铬铁等），或者是含碳较低的硅合金（如硅锰合金，硅铬合金）。硅和碳在铁-金属熔体中的溶解度相互关系，可用式（1-2）表示。



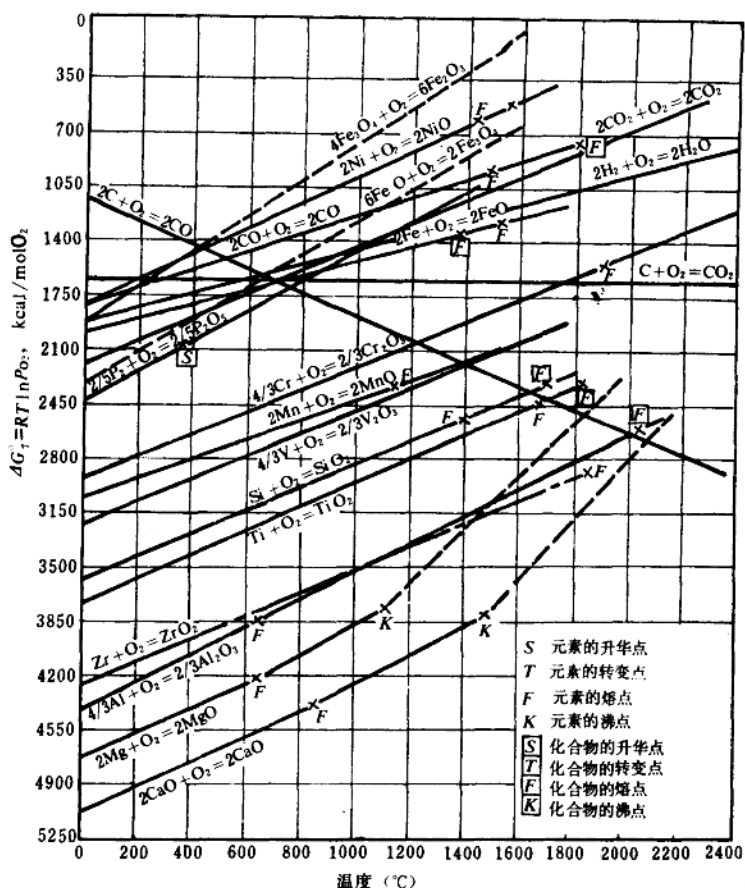


图 1-1 氧化物标准生成自由能(或氧势)图(1cal = 4.1840J)

根据溶解能之差，计算出硅对碳在铁-金属合金中溶解度的影响。图 1-2 为 1600~1625 °C 时建立的 Fe-Si-C; Fe-Mn-C-Si 和 Fe-Cr-Si-C 的平衡图。因此，要想冶炼出低碳低硅合金，必须对含硅低的碳合金或含碳低的硅合金进行进一步的精炼。

第三节 高炉冶炼铁合金发展史

工业生产铁合金始于 1860 年。当时是把有关的矿石（如铬矿、锰矿……等），同碳和熔剂混合后，放入石墨坩锅内冶炼。该工艺所得到的产品不能令人满意，尤其是熔点较高的金属，通常难于得到完全熔化的金属块，不能满足钢铁工业发展的需要。因此，必须寻求生产高品位铁合金的新工艺。当时高炉炼铁的工艺和设备都已发展到相当完善的阶段，因此就考虑采用冶炼生铁的工艺来进行冶炼铁合金试验，用含锰、铬……等元素的矿石代替铁矿石配加入高炉炉料中进行冶炼。实验表明，用高炉法冶炼某些铁合金确实可行，并

取得了较好的效果，从而在国内外都先后采用该工艺，使之具有一定的工业生产规模，如：1868年，C. 布赖森就提出采用高炉法生产磷和磷酸工艺，并于1929~1939年间在美国的纳西州纳什维尔的维克托，用高炉法生产热磷酸，日产量达110 t。与此同时，还零星地用高炉法加入铁、粗磷酸盐、硅酸渣和一氧化碳，或用铁屑、粗磷酸盐、砂砾和焦炭生产磷铁或富集低品位的磷铁。后来由于用电热法生产更有利，就都用电炉生产磷，磷铁只是生产磷时的副产品。

首次采用高炉冶炼锰铁是1875年法国泰尔努尔的普尔塞尔和南威尔士派尔；1877年法国凤凰铸铁厂用高炉生产锰铁，1889年好望冶金公司相继用高炉生产锰铁。1890年西蒙引入电热法生产锰铁后，形成了高炉法和电炉法两种冶炼锰铁工艺^[2]。

我国高炉锰铁生产开始于1949年，阳泉钢铁厂采用高炉法冶炼镜铁和锰铁，鞍山钢铁公司（以下简称鞍钢）在1950年10月用试验炉冶炼锰铁，也曾用即将大修的生铁高炉改炼锰铁。首都钢铁公司（以下简称首钢）的前身石景山钢铁厂，马鞍山钢铁公司（以下简称马钢），重庆

钢铁公司（以下简称重钢）等都先后用高炉法生产锰铁。新余钢铁厂（以下简称新钢）从1960年开始生产高炉锰铁，特别是在1962年10月，新钢2号255 m³高炉锰铁煤气回收技术改造成功，使我国高炉锰铁生产摆脱了依赖生铁高炉供应煤气烧热风炉的被动局面，走上了独立经营专业化生产的道路。从而在全国形成了新余钢铁厂、阳泉钢铁公司、湘潭锰矿，马钢第三铁厂和重钢四厂等5个专业厂，高炉总容积达到1345 m³。随着钢铁工业发展对锰铁需求的增长，70年代后期我国高炉锰铁生产获得了较大发展，经过调整布局，目前有江西新余钢铁总厂、阳泉钢铁公司、湘潭锰矿、灵川铁合金厂、绍兴钢铁厂…等十六家专业高炉锰铁厂矿，共有高炉30座，总容积3174 m³，年生产能力达64万余吨，不仅满足了国内市场需求，还出口国际市场。

60年代以来国外高炉锰铁的生产呈下降的趋势，如美国1966年高碳锰铁的产量86万吨，其中有75%由高炉冶炼，1975年高炉生产的碳素锰铁降至30万吨以下，苏联也是同样，而日本则全部由电炉冶炼，尽管如此，国外用高炉冶炼的碳素锰铁仍然占有相当大的比重，见表1-1^[3]。

表 1-1 历年国外碳素锰铁产量变化情况

项 目		1974	1975	1976	1977	1978	1979
总产量 万 t	高炉法	218.4	198.1	191.5	183.2	196.0	204.3
	电炉法	195.1	194.2	203.4	192.7	230.4	261.1
高炉产量占总产量，%		52.82	50.48	48.49	48.74	45.25	43.90

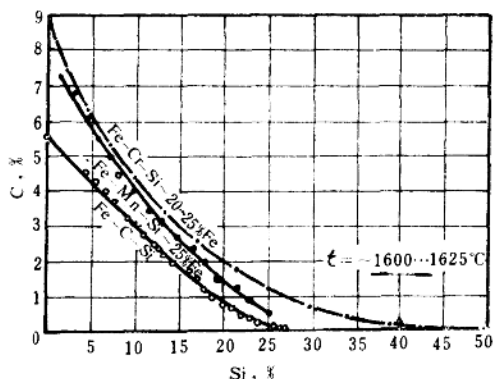


图 1-2 Fe-Si、Fe-Mn-Si、Fe-Cr-Si 合金中饱和含碳量与含 Si 量的关系

近年来由于石油危机,致使电费暴涨,而煤作能源比电便宜,高炉法冶炼锰铁又有所回升,而且在有的国家已实现专业化生产。如日本川崎钢铁公司水岛铁合金厂,就是通过以焦代电的能源政策大幅度降低成本,于1985年6月建成一座398 m³的高炉冶炼锰铁。法国已建成年产40万吨高炉冶炼锰铁的专业厂。目前前苏联、英国、德国和美国等,高炉冶炼锰铁都具有一定的生产能力,从而,促进了高炉冶炼锰铁生产技术的发展。不仅炉容扩大,技术操作和装备水平得到不断提高,而且理论研究也有了进展。

在我国高炉冶炼锰铁更具有强大的生命力,见表1-2、表1-3、表1-4^[4]。

表1-2 历年我国碳素锰铁高炉法和电炉法产量比较^{*}

项 目		1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
碳素锰铁 产量, (万 t)	高炉法	21.88	27.27	35.03	28.15	22.53	24.94	25.60
	电炉法	3.98	4.64	6.40	5.57	3.70	3.56	4.40
高炉锰铁占总产量比例, %		84.61	85.46	84.55	83.48	85.89	87.51	85.33

表1-3 历年我国锰系铁合金产品结构情况, %

项 目		1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
碳 素 锰 铁	高炉法	60.10	59.20	61.20	57.40	53.55	55.60	49.37
	电炉法	10.90	10.10	11.30	11.40	8.79	7.94	8.49
中低碳锰铁		5.90	7.70	6.60	6.60	3.23	4.90	4.63
硅锰合金		22.90	22	19.90	23.30	33.40	30.49	36.24
金属锰和电解锰		0.20	0.70	0.90	1.20	1.02	1.07	1.27
锰系铁合金总计		100	100	99.90	99.90	99.90	100	100

表1-4 历年我国高炉锰铁占铁合金总产量比例表

项 目	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
全国高炉铁合金产量, 万 t	93.89	117.34	99.37	78.88	88.92	108.80	127.30
全国高炉锰铁产量, 万 t	27.27	35.03	28.15	22.53	24.94	25.66	31.32
占铁合金总产量比例, %	29.04	29.85	28.33	28.20	28.05	23.58	24.60

由表列数据看出,我国高炉锰铁不论在铁合金总产量,锰系铁合金和碳素锰铁中都占有相当大的比重,我国高炉锰铁所以得到不断发展,其主要原因是:

第一、高炉生产能力大。只需对生铁高炉进行适当的技术改造,就可形成一定的生产能力。

第二、我国能源结构的特点是以煤为主。长期以来电力供应紧张,在能源消耗大体相当条件下,采用以焦代电工艺,可以比较好地安排生产。

第三、高炉锰铁生产技术发展较快。依靠技术进步和科学试验取得了可喜成果,使高炉锰铁的质量不断提高,能耗不断下降,环境污染逐步得到了治理,三废利用也取得很可喜的进展。

1940年前苏联德聂伯罗夫斯克省的彼得罗夫斯克工厂,和德聂伯罗捷尔任斯克省的捷尔任斯基工厂,采用大气鼓风机高炉法冶炼硅锰合金。由于焦比和炉顶温度高,生产率很低。同年“Ж”厂2号高炉利用大修停炉前,采用富氧鼓风机进行冶炼硅锰合金试验。结果大大地降低了焦比和炉顶温度,从而初步解决了高炉冶炼硅锰合金的主要障碍。接着“A”厂1号高炉采用富氧鼓风机进行了为期31天冶炼硅锰合金的试验^[5]。实践证明,冶炼硅锰

合金操作的特点，必须同时得到大量的锰和硅。两者还原反应的温度条件，都需要在高温下进行，只是硅要求的温度更高。而它们的氧化物还原反应的炉渣碱度要求相差很大。 SiO_2 在酸性较高的渣炉中还原进行得较好；而 MnO 的还原要求碱度较高的炉渣。因此在冶炼过程中要保证既能得到两种元素而又达到最适宜的炉渣成份，实际上是不可能的。从而，冶炼过程总是在两种元素中某一种元素的氧化物还原不利的条件下进行。应该偏重于哪个元素，应根据不同的工艺和原料、设备、操作条件而选择。

法国 SFPO 铁合金厂，在 1962~1986 年间，在容积 860 m^3 的高炉上，采用 30%~45% 的高富氧率，或 $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ （使用等离子技术）的高风温冶炼硅锰合金^[6]。

日本川崎钢铁公司水岛铁合金厂，在 398 m^3 高炉上，采用富氧鼓风和矿石焦炭全混装冶炼硅锰合金，历时两个月，取得锰回收率 87.00%、硅回收率 49.13%，优于电热的结果^[7]。

国内 1979 年上海铁合金厂在 17.6 m^3 小高炉上作了冶炼硅锰合金的尝试。同年新余钢铁厂用大气鼓风在 28 m^3 高炉上进行冶炼硅锰合金试验，合金平均含硅为 10.77%，焦比 3097 kg/t 。二者都因炉缸堆积严重而终止试验。1982 年新余钢铁厂在 36 m^3 高炉上，采用富氧鼓风冶炼硅锰合金试验，产品平均含硅达 12.99%。在此基础上，经过反复论证，1983 年国家科委和冶金部把高炉富氧鼓风冶炼硅锰合金列为国家“六·五”重点攻关项目。经过新余钢铁厂、北京钢铁研究总院、北京钢铁学院三年多的联合攻关，逐步掌握了高炉冶炼硅锰合金的规律，攻克了高炉内硅锰同时还原、炉缸堆积与渣铁分离、煤气上升管堵塞等重大技术难关，并掌握了一套高炉冶炼硅锰合金的工艺控制参数，改进了高炉结构，制定了煤气回收和洗涤污水的治理方案，取得了预期的技术经济效果，全面完成了国家科委下达的攻关任务，为合理利用国内锰矿资源和少用电生产硅锰合金开辟了新途径^[8]。

1875 年法国普尔塞尔在泰尔努尔的高炉上冶炼出含硅 10%~18% 的硅铁，在冶炼过程中，随着硅铁含硅量增加，高炉炉顶温度很高，氧化硅 (SiO) 蒸发后遇冷凝结成 SiO_2 引起高炉煤气上升管堵塞，高炉炼制硅铁的含硅量上限不能超过 16%；含硅量更高的硅铁均在用碳热法的电炉中冶炼^[9]，高炉冶炼硅铁从炉容和规模上首推前苏联，前苏联二次大战前在“Ж”厂 218 m^3 高炉采用富氧鼓风进行工业规模冶炼硅铁试验获得令人满意的效果，根据资料记载，前苏联战后在 $600\sim 2000 \text{ m}^3$ 不同炉容的 6 座高炉上采用富氧鼓风冶炼硅铁，连续生产时间最长的炉子达 153 昼夜，硅铁含硅量为 10%~12%，折合焦比 $1.4\sim 1.7 \text{ t/t}$ 硅铁，每吨硅铁消耗工业氧为 400 m^3 左右，最高达到 974 m^3 ，最低 389 m^3 ，风温 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右，炉况较为顺行^[10]。

据日本专利 5867843.5864334 报导，在内径 1 m，高 3 m 的竖炉上鼓入含氧 90% 的富氧生产出含硅 75.1% 的硅铁 451 kg，生产 1 t 硅铁消耗焦炭 3 650 kg，但氧耗太高^[11]。

美国也曾于 50 年代，在 1000 m^3 高炉上冶炼过含硅 17% 的硅铁和高硅生铁^[12]。

我国曾在 50 年代末，直接用龙烟铁矿冶炼出含硅 10%~12% 的硅铁^[12]。宣化钢铁公司 1966 年在 2 座 54 m^3 小高炉上非富氧鼓风冶炼硅铁，利用系数最高达 $1.7 \text{ t/m}^3\text{d}$ （折合系数），焦比 1536 kg/t 铁，含硅量 9%~13%，与国内外高炉冶炼硅铁相比，达到了冶炼硅铁的较好水平，鞍钢试验炉在 1953 年也冶炼过硅铁^[13]。北京钢铁学院于 1975 年在 0.3 m^3 小高炉上用 $1072 \text{ }^\circ\text{C}$ 风温和 24.5% 的富氧冶炼出含硅 22.9% 的硅铁。1977 年在同一

座高炉上用 1100℃ 风温和 32% 的富氧炼出了平均含硅 30.6% 的硅铁。1978 年在首钢 23 m³ 高炉上，用 1050℃ 风温，和 34.5% 的富氧炼出了平均含硅 27.31% 的稀土硅铁^[12]。

1880 年第一次在高炉中生产了高碳铬铁。风温 600℃ 时，每吨含铬生铁的焦炭消耗量为 5~6 t，获得的含铬生铁流动性不好，炉渣粘稠。

1940~1945 年间，德国用 Al₂O₃ 和 MgO 含量很高的赛格尔兰含锰的铁矿和铬矿生产了含铬 15%~25% 的特种生铁，化学成份为：Cr<40%、Mn 2%~3%、C 7%~8%、Si 0.5%~1.0%，粉状铬矿经压制成块，块矿则经破碎，在 SiO₂ 含量也很高的情况下，用 Mn、FeO 和碱含量高的炉渣助熔剂，克服 Al₂O₃ 和 MgO 含量高的炉渣的粘滞性，特别希望熔渣的含锰量超过 5%。

1962 年 11 月，在美国田纳西州的罗克伍德的一座炉缸直径为 3.05 m 的高炉中，进行了生产含铬约为 15% 的铬铁冶炼试验，所生产的含铬生铁成分为：C 5.29%，Mn 0.15%，Si 2.30%，P 0.02%，S 0.013%，Cr 15.11%，共生产了 890 t 铁。

在这次初步试验之后，米德兰钢厂于 1963 年，在一座炉缸直径为 4.37 m 的高炉中，用低磷南非铬矿生产了含铬特种生铁^[14]。

1978 年 8 月 15 日美国公布了日本申请的高炉冶炼铬铁的专利说明书，在 3.2 m³ 小高炉上生产商品铬铁、高炉顺行、经济上合理^[15]。

综上所述，近年来由于高炉冶炼技术上新的发展，和装备与操作水平的不断提高，对原料进行炉外预处理，特别是高风温和富氧鼓风技术的推广应用，有利于在高炉内冶炼铁合金，但是，由于受高炉本身冶炼条件限制，温度不能超过一定的范围，这对于大多数铁合金来说仍然不能正常冶炼。虽然国内外高炉都先后进行过硅铁、锰铁、硅锰、碳素铬铁和磷铁等铁合金的冶炼。但是，至今为止，国内外高炉冶炼的铁合金仍然局限于几种含碳量高的铁合金，其中主要还是碳素锰铁。正因如此，高炉冶炼铁合金的总量、只占高炉冶炼产品总产量相当小的比例，一般在 1.0% 左右^[15]。因而，在以后章节中重点论述高炉锰铁冶炼、有关其它的铁合金冶炼，只作一般的介绍。

第四节 高炉铁合金冶炼特点

由于发电机的发明和电力工业的建立，使铁合金工业发生了根本性的变化。对那些难熔性和难还原而又找不到合理化学处理方法的合金元素，开始利用电炉进行系统的试验。埃鲁将穆瓦桑的试验结果具体应用于大规模的工业生产上，使碳热还原法冶炼铁合金形成了高炉法和电炉法两种工艺。虽然都是以碳作为还原剂，但供热方式不同，前者是靠焦炭中的碳与鼓风中的氧在风口前燃烧供给热量，后者是由电能转化产生的热量供热。正是由于供热量的方式不同，使高炉冶炼铁合金具有其自身的特点，表现在：

1. 高炉冶炼铁合金的基本原理和操作方法、与冶炼普通生铁基本相同，只是由于合金元素对氧的亲合力，一般都大于铁元素与氧的亲合力，要把合金元素从其氧化物中还原为金属，相对比冶炼普通生铁消耗的热量更多，温度要求更高，因而高炉冶炼铁合金的单位产品焦炭消耗量大大高于冶炼普通生铁。即使如此，合金元素的氧化物也不能达到全部还原，总有一部分合金元素以氧化物的形式进入炉渣被流失。因此，经济合理又最大限度地从矿石中还原合金元素，是高炉冶炼铁合金与冶炼普通生铁操作技术上的主要差别。冶

炼铁合金炉缸温度高，合金元素挥发损失多，因而提高合金元素回收率是高炉冶炼铁合金的重要技术任务。

2. 由于焦比高，冶炼单位产品煤气发生量大，煤气热能和化学能利用率低，入炉矿石强度差，含粉率高、炉顶温度高、煤气流速和含尘量大，对炉顶设备要求相应比冶炼生铁更高，煤气净化难度也更大。

3. 在高炉冶炼条件下，还原出的金属都被碳充分饱和，高炉冶炼的铁合金产品含碳量高。

4. 高炉法冶炼铁合金焦炭消耗量比电炉法高，故从焦炭灰份中带入的铁和磷比电炉法多，冶炼相同产品要求入炉矿石的含磷、含铁量比电炉法应低。此外，对入炉料的粒度，强度和含粉率的要求都比电炉法更高。

参 考 文 献

- [1] 俞辉等译. 铁合金冶金学. 上海科学技术出版社, 1978, P22
- [2] 俞辉等译. 铁合金冶金学. 上海科学技术出版社, 1978, P8, P440, P330
- [3] 张棠科. 新钢技术, 新余钢铁厂, 1982(2). P1
- [4] 吴宦善等. 新钢技术, 1988(2). P7
- [5] 刘凤仪译. 高炉采用富氧鼓风冶炼铁合金分析. 武汉黑色冶金设计院(内部资料), 1968, P54
- [6] 爱德学、曲费特. 锰铁合金的高炉冶炼. 新余钢铁厂(内部资料), 1990
- [7] 杨民辉译. 新钢技术. 新余钢铁厂, 1988(2). P87~88
- [8] 新余钢铁厂等. 高炉富氧鼓风冶炼硅锰合金试验研究报告. 国家科技攻关项目鉴定材料, 1985, 11
- [9] 俞辉等译. 铁合金冶金学. 上海科学技术出版社, 1978, P444
- [10] 刘凤仪译. 高炉采用富氧鼓风冶炼铁合金分析. 武汉黑色冶金设计院(内部资料), 1968, P26~53
- [11] 新日铁. 竖炉制造熔融硅铁的方法及装置. 日本专利. 特许公开号 昭 58-67843
- [12] 唐飞来. 高炉冶炼 25%FeSi 的研究. 全国第八次高炉锰铁学术讨论会资料. 1988
- [13] 冯本和. 宣钢科技通讯, 1978(4), P37~48
- [14] 俞辉等译. 铁合金冶金学. 上海科学技术出版社, 1978, P256~258
- [15] 林衍先译. 高炉特种生铁和铁合金. 重庆大学冶金及材料工程系资料室(内部资料) 1981

第二章 高炉锰铁冶炼

第一节 高炉冶炼锰铁的特点

高炉冶炼铁种不同，在生产运行中需处理的具体矛盾也有所区别。因而，在技术方针和操作制度上差异也较大。与冶炼生铁相比，高炉冶炼锰铁，具有以下特征。

一、焦比高

高炉冶炼锰铁与冶炼生铁最大的不同点是，冶炼生铁时利用煤气中的CO间接还原生成铁，而冶炼锰铁时，CO与MnO不发生间接还原反应，而是由碳与之直接还原生成锰，加上锰对氧的亲合力大大强于铁对氧的亲合力。因而，把MnO还原为金属锰，比把FeO还原为金属铁需要更多的能量和较高的温度。因此，高炉冶炼锰铁时，作为燃料和还原剂的碳素消耗量比冶炼生铁时多。这必然造成冶炼锰铁的高炉焦碳负荷轻，焦比高。焦比一般为冶炼生铁时的3倍左右。

高炉冶炼生铁和冶炼锰铁在炉内反应过程比较见图2-1^[1]。

二、锰的损失率大

高炉冶炼锰铁的基本任务就是要把锰矿石中的锰最大限度地还原为金属锰。由于MnO较FeO更难还原，加上锰矿贫，焦比高，必然使冶炼锰铁的渣量大，MnO在炉内又不能全部还原，必然造成锰在渣中的化学损失量增加。此外，挥发和炉尘吹损，渣中带铁与铸块等机械损失都使锰的损失相应增加。高炉冶炼过程中锰的损失变化见图2-2^[2]。

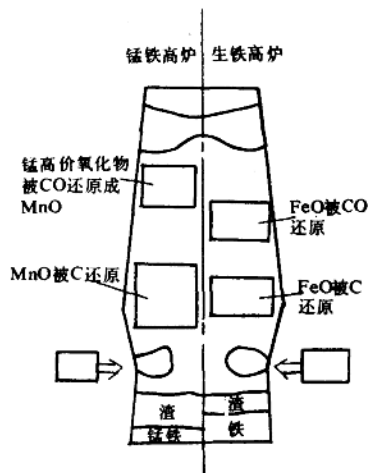


图 2-1 高炉冶炼锰铁和生铁的冶金过程反应比较

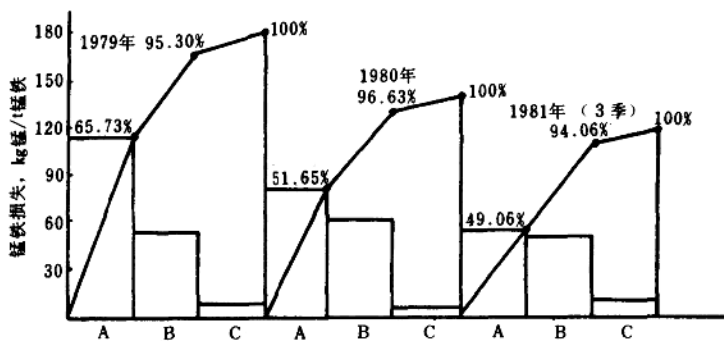


图 2-2 高炉冶炼过程中锰的损失

A—炉渣中损失的锰；B—锰尘中损失的锰；C—机械损失的锰

因此，在高炉冶炼锰铁各个环节，都必须十分注意减少锰的各种损失，最大限度地提高锰金属的回收率。

三、利用系数低

冶炼生铁高炉利用系数一般在 $1.5 \sim 2.2 \text{ t/m}^3 \cdot \text{d}$ ，而冶炼锰铁时由于焦比高，风口前碳燃烧率高，单位锰铁煤气发生量大。因此，连同样的条件下利用系数低，一般只在 $0.50 \sim 0.68 \text{ t/m}^3 \cdot \text{d}$ 的水平。

四、炉顶煤气 CO 含量和温度都高

锰铁冶炼焦比高，煤气能利用差，炉子上部大量进行放热反应还原 MnO_2 ， Mn_2O_3 ，因而炉顶煤气温度比冶炼生铁时高 150°C 左右，达到 $400 \sim 600^\circ\text{C}$ 。CO 的含量一般在 $28\% \sim 35\%$ ，煤气的低发热值高达 $4100 \sim 4600 \text{ kJ/m}^3$ 。

五、煤气含尘量大

由于锰矿强度差，含粉率高以及冶炼锰铁高炉风口前理论燃烧温度和炉内整个温度水平高，导致风口前产生的 SiO 等挥发物粉末也相对增加。加上焦比高，煤气发生量大，炉顶温度高，煤气流速增大等多种原因，使锰铁高炉的荒煤气含尘量，一般大于冶炼生铁高炉的 3 倍以上，使煤气净化工作增加了难度。

六、炉衬侵蚀严重

冶炼锰铁高，炉内温度相对比冶炼生铁的高炉高。根据测定，在料线以下约 1m 处侧壁的煤气温度超过 800°C 。如此高的热负荷和高 MnO 渣对炉衬的侵蚀，加上入炉原料碱金属含量高，多尘、高温、高速煤气流的冲刷等原因，使高炉炉腹以上的炉衬破损较快，造成锰铁高炉的炉龄大大低于生铁高炉。同时，由于炉顶温度高，对炉顶设备寿命也造成不利影响。

入炉原料碱金属含量高，除了腐蚀炉衬外，还给煤气系统带来坏的影响。

七、对原料要求更严格

高炉冶炼锰铁对入炉锰矿石除与冶炼生铁用铁矿石一样，要求品位高、含粉率低、粒度均匀、成份稳定外，还要求具有一定的锰铁比和磷锰比。

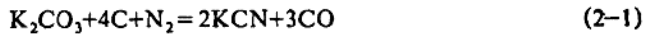
八、边缘煤气流易发展

由于高炉冶炼锰铁时，焦炭负荷轻，焦炭和锰矿粒级差大，相对于同类型冶炼生铁的高炉，边缘煤气流易于发展。当冶炼强度与料柱透气性不相适应时，造成煤气流紊乱，产生管道行程。因此，在相同的料柱阻力的条件下，由于煤气发生量大，温度高，为维持相同的煤气流速，冶炼锰铁的高炉，比同类冶炼生铁的高炉应维持较小的适当的冶炼强度。实际上高炉冶炼锰铁，由于渣量大，锰矿强度差，粉末多，焦炭和锰矿粒级差大，料柱阻力相对更大。因此，锰铁高炉，为保持适当的煤气流速，冶炼强度应当比生铁高炉低。

九、煤气洗涤污水中悬浮物和氰化物高

锰铁高炉煤气洗涤污水特点是水量大，浊度高，悬浮物复杂且含量高，一般为 500~2500 mg/l，给污水处理增加了难度。

同时由于锰矿石含碱量高，冶炼时炉缸温度和炉渣碱度都高，因而排碱困难。根据苏联资料介绍^[3]，高炉冶炼炼钢生铁、铸造生铁和锰铁时，炉渣排碱率分别为大于 90%，31.3%和 9.9%，炉内残留的碱量在炉缸生成碳酸盐，当温度大于 1000℃ 时产生如下反应，生成氰化物。



近年来国内的研究结果认为：高炉内形成氰化物是水分解为氢，氢与氮在 Fe_2O_3 等触媒作用下生成氨，氨与赤热焦炭作用生成氰尿酸，其反应见 (2-2)；(2-3)；(2-4)；(2-5) 式^[4]。



生成的氰化物被煤气带出，通过清洗溶于水中，使煤气洗涤污水含氰量剧增，造成污水净化困难。

十、锰尘对人体有危害

在冶炼锰铁过程中，锰蒸发形成的 Mn_3O_4 粉尘(气溶胶)，长期呼吸后对人体健康有害，必须采取治理措施。

第二节 锰和高炉锰铁及其副产品的主要用途

一、锰的主要性质与用途

锰是一种灰色有光泽的金属，以化合物的形式广泛分布于自然界中，是分布较广的元素之一。在地壳内锰的平均含量约为 0.1%，在已知元素中占第 15 位。锰属于铁族元素，因此它的物理化学性质与铁相似，但其化学活泼性在铁的前面，活性比铁强。纯锰具有以下性能^[5]，原子序数 25；原子量 54.94；升华热 (24℃) 226 kJ/mol；比热 (20℃) 0.8415 J/g；溶化热 266.70 J/g；熔点 1244℃；沸点 2150℃；凝固时体积收缩率 4.5%；密度 (20℃) 7.43 g/cm³ 等。

在所有的合金元素中，锰在钢铁工业中占有特殊地位，几乎所有的钢种和铸铁中都含有锰，世界上产锰量的 90% 用于钢铁工业，生产无锰钢的试验，目前还只处于试验室试验阶段。

二、锰铁的主要用途

1、作脱氧剂和脱硫剂

早在十八世纪 30 年代，罗伯特·马希特研究用贝氏麦转炉炼钢的质量时发现，即使采用低磷铁水，质量仍然不佳。其原因之一是吹炼过程中出现钢水过氧化和含硫高。为此，提出向吹炼后的钢水中加镜铁，使镜铁中的锰与钢水里的氧和硫化合，生成锰的氧化物和硫化物进入炉渣，即可得到较为纯净的钢水。该项技术事实上挽救了贝氏麦转炉的吹

炼工艺，使转炉炼钢工艺在工业上应用得到了飞速发展^[6]。

2、作合金元素

锰作为合金元素，可改善很多种钢的抗拉强度、可加工性、韧性、硬度、耐磨性和可加工性，并能影响这些钢的热处理工艺和性能。

三、副产品的用途

利用高炉锰铁水渣生产水泥和渣砖已经普及，炉渣和瓦斯灰作复合微量元素肥料使用，在阳泉钢铁公司也取得初步成功，对增产和改良品种都有相应的作用。廊坊冶炼厂、湖北铁合金厂、灵川铁合金厂、武进铁合金厂，金坛钢铁厂等利用瓦斯灰作水泥渗合料（或熟料）都获得成功。

高炉锰铁渣作各种混凝土骨料、铁路道渣已通过技术鉴定并得到推广^[7]，它为实现高炉冶炼锰铁无废料工艺迈出了可喜的一步。

第三节 高碳锰铁标准

我国高炉锰铁按锰及杂质含量不同分为7个牌号，化学成份应符合表2-1的规定：

表 2-1 高炉锰铁国家标准 (GB4007-86)

牌号	化学成份, %						S
	Mn	C	Si		P		
			1组	2组	I级	II级	
	不小于		不大于				
GFeMn76	76.0	7.5	1.0	2.0	0.33	0.50	0.03
GFeMn72	72.0	7.3	1.0	2.0	0.38	0.50	0.03
GFeMn68	68.0	7.0	1.0	2.0	0.40	0.60	0.03
GFeMn64	64.0	7.0	1.0	2.0	0.40	0.60	0.03
GFeMn60	60.0	7.0	1.0	2.5	0.50	0.60	0.03
GFeMn56	56.0	7.0	1.0	2.5	0.50	0.60	0.03
GFeMn52	52.0	7.0	1.0	2.5	0.50	0.60	0.03

高碳锰铁标准列于表2-2。

表 2-2 高碳锰铁国家标准率 (GB3795-87)

牌号	化学成份, %						S
	Mn	C	Si		P		
			I	II	I	II	
	不大于						
Fe Mn 79 C 7.5	79.0~85.0	7.5	1.20		0.2	0.30	0.03
Fe Mn 75 C 7.5A	75.0~79.0		1.5	2.5		0.33	
Fe Mn 75 C 7.5B	75.0~79.0					0.38	
Fe Mn 70 C 7.0	70.0~75.0	7.0	2.0	3.0		0.40	
Fe Mn 65 C 7.0	65.0~70.0		2.5	4.0	0.40		

高碳锰铁国外先进标准列于表2-3。