

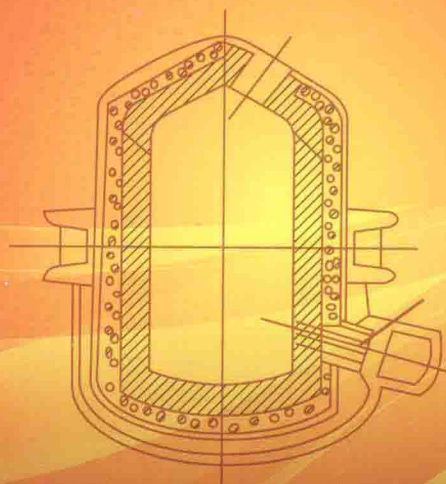
高等学校冶金工程专业“十二五”规划教材

铁合金冶炼

TIEHEJIN YELIAN

林万明 主 编

张 猛 赵 晶 副主编



化学工业出版社

高等学校冶金工程专业“十二五”规划教材

铁合金冶炼

林万明 主编

张猛 赵晶 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书结合实际生产及其新工艺、新技术，系统阐述了铁合金的生产原理及生产工艺。本书共分 11 章，主要内容包括：铁合金的现状与发展趋势；铁合金生产方法及主要设备；铁合金生产原理；主要铁合金的生产工艺及铁合金生产的环境保护等。

本书可作为高等学校冶金工程专业本科教材，也可作为冶金工程专业高职高专教材，还可作为工程技术人员和研究生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

铁合金冶炼/林万明主编. —北京：化学工业出版社，2014.7

高等学校冶金工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-20641-1

I. ①铁… II. ①林… III. ①铁合金熔炼-高等学校-教材 IV. ①TF6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 096974 号

责任编辑：陶艳玲

文字编辑：闫 敏

责任校对：宋 玮 王 静

装帧设计：刘丽华

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：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 497 千字 2014 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：46.00 元

版权所有 违者必究

前 言

铁合金是钢铁工业和机械加工行业必不可少的重要原料之一，是整个冶金工业的一个重要组成部分，铁合金工业的发展要适应钢铁工业的发展。2012年中国铁合金产量已超过3000万吨，约占世界总产量的40%。铁合金作为炼钢必备的辅料，使用量占钢产量的4%左右。

我国铁合金行业整体状况较世界先进水平差距较大。我国铁合金产能过剩趋势在不断加剧。同时，铁合金生产企业布局分散、绝大多数企业规模小、电炉容量低、设备简陋、污染严重、节能环保不达标。在产业布局、产品结构、生产技术、工艺装备、从业人员素质等方面存在的问题也已严重地制约着我国铁合金行业的发展。“十二五”期间，我国加快淘汰落后产能步伐，引进国外先进技术设备，加强自主研发，不断提高铁合金行业的发展水平。

本书作为高等学校冶金工程专业规划教材之一，根据教学大纲要求，结合实际生产及其新工艺、新技术，系统阐述了铁合金的生产原理及生产工艺。本书共分11章，主要内容包括：铁合金的现状与发展趋势；铁合金生产方法及主要设备；铁合金生产原理；主要铁合金的生产工艺及铁合金生产的环境保护等。

本书由太原理工大学林万明主编，张猛、赵晶副主编。其中第1、3~5章由张猛编写，第2章由郭丽娜编写，第6~7章由赵晶编写，第8~10章由林万明编写，第11章由刘春莲编写。全书由林万明统稿和校对。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料，在此谨对相关资料的作者及单位表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到了陈津教授、王社斌教授及同事们的大力帮助，在此对他们表示感谢。

本书可作为高等学校冶金工程专业本科教材，也可作为冶金工程专业高职高专教材，还可作为工程技术人员和研究生的参考书。

由于时间紧张，加之编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者予以批评指正。

编者

2014年3月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 铁合金的发展情况	1
1.1.1 铁合金的定义	1
1.1.2 铁合金的发展过程	1
1.1.3 世界铁合金工业的生产现状	3
1.1.4 中国铁合金工业历史及现状	5
1.1.5 铁合金生产技术的发展趋势	7
1.2 铁合金的分类及表示方法	8
1.2.1 铁合金的分类	8
1.2.2 铁合金产品牌号表示方法	9
1.3 铁合金的用途	10
1.3.1 脱氧剂	10
1.3.2 合金剂	11
1.3.3 铸造晶核孕育剂	12
1.3.4 还原剂	12
1.3.5 其他用途	12
第 2 章 铁合金冶炼的基本原理	13
2.1 还原剂的选择	13
2.1.1 氧化物的吉布斯自由能图	13
2.1.2 还原剂的选择	14
2.2 选择性还原理论	15
第 3 章 铁合金生产方法及设备	21
3.1 高炉法及其主体设备	21
3.2 矿热炉法及其主体设备	22
3.2.1 矿热炉	22
3.2.2 矿热炉的主要机械设备	23
3.2.3 矿热炉的烟气余热回收及发电工艺系统	27
3.3 其他生产方法	29
3.3.1 精炼炉(电弧炉)法	29
3.3.2 炉外法(金属热法)	29
3.3.3 氧气转炉法	30
3.3.4 真空电阻炉法	30

3.4	电极	31
3.4.1	电极的种类、性能及其用途	31
3.4.2	自焙电极的制作	32
3.4.3	电极糊	33
3.4.4	自焙电极的烧结	35
3.4.5	电极在烧结过程中物理化学变化	37
3.4.6	自焙电极的接长和下放	38
3.4.7	自焙电极事故及其处理	39
3.4.8	电极的消耗	40
第4章	硅铁及硅合金	42
4.1	硅及其化合物的物理化学性质	42
4.1.1	硅的物理性质	42
4.1.2	硅的化学性质	42
4.1.3	硅铁的性质	42
4.2	硅铁	44
4.2.1	硅铁的用途和牌号	44
4.2.2	冶炼硅铁的原料	44
4.2.3	硅铁冶炼方法及基本原理	48
4.2.4	硅铁冶炼工艺操作	53
4.2.5	硅铁生产中的异常及处理	57
4.2.6	配料计算	59
4.2.7	硅铁精炼	60
4.3	硅钙合金	62
4.3.1	硅钙合金牌号及用途	62
4.3.2	钙及其化合物的物理化学性质	63
4.3.3	硅钙合金冶炼原理与方法	64
4.3.4	一步法冶炼硅钙合金	64
4.3.5	二步法冶炼硅钙合金	69
4.3.6	电硅热法冶炼硅钙合金	71
4.4	硅铝合金	72
4.4.1	硅铝合金的牌号和用途	72
4.4.2	碳热法生产硅铝合金	73
4.4.3	重熔法生产硅铝合金	74
4.4.4	硅铁出炉加铝锭热冲法生产硅铝合金	74
4.5	硅钙钡合金	74
4.5.1	硅钙钡合金的牌号及用途	74
4.5.2	碳热法生产硅钙钡合金	75
4.5.3	电硅热法生产硅钙钡合金	75
4.5.4	混合法生产硅钙钡合金	76
4.6	硅钡铝合金	76

4.6.1 硅钡铝合金牌号和用途	76
4.6.2 生产方法	76
4.7 硅钙钡铝合金	77
4.7.1 硅钙钡铝合金牌号及用途	77
4.7.2 生产方法	77

第5章 锰系铁合金 **78**

5.1 锰及其化合物的物理化学性质	78
5.1.1 锰的物理性质	78
5.1.2 锰的化学性质	79
5.2 锰铁牌号及用途	80
5.3 锰矿资源	82
5.4 高碳锰铁的冶炼	85
5.4.1 高炉法冶炼高碳锰铁简介	85
5.4.2 电炉法生产高碳锰铁	86
5.4.3 高碳锰铁生产技术的发展	94
5.5 中低碳锰铁的冶炼	96
5.5.1 中低碳锰铁冶炼的原料	96
5.5.2 中低碳锰铁冶炼的冶炼原理	97
5.5.3 中低碳锰铁的电硅热法冶炼工艺	97
5.5.4 中低碳锰铁的其他冶炼方法	99
5.5.5 低碳锰铁的生产	101
5.6 锰硅合金的冶炼	102
5.6.1 锰硅合金的牌号和用途	102
5.6.2 锰硅合金冶炼原理	103
5.6.3 锰硅合金冶炼工艺	104

第6章 铬系铁合金 **111**

6.1 铬铁合金简介	111
6.1.1 铬铁合金的分类	111
6.1.2 铬及其化合物的物理化学性质	111
6.2 高碳铬铁生产	112
6.2.1 高碳铬铁牌号及用途	112
6.2.2 高碳铬铁的冶炼工艺与原理	112
6.2.3 高碳铬铁冶炼操作	113
6.2.4 配料计算	115
6.3 硅铬合金	118
6.3.1 硅铬合金牌号及用途	118
6.3.2 硅铬合金的性质	118
6.3.3 硅铬合金冶炼工艺及原理	119
6.3.4 配料计算	121

6.3.5 炉料组成	123
6.4 中低碳铬铁生产	123
6.4.1 中低碳铬铁牌号及用途	123
6.4.2 中低碳铬铁冶炼方法	124
6.4.3 氧气吹炼中低碳铬铁	124
6.4.4 电硅热法冶炼中低碳铬铁	126
6.5 微碳铬铁生产	130
6.5.1 微碳铬铁牌号及用途	130
6.5.2 电硅热法冶炼微碳铬铁	130
6.5.3 热兑法冶炼微碳铬铁	135
6.5.4 真空法冶炼微碳铬铁	144
第7章 镍系铁合金	148
7.1 镍系铁合金简介	148
7.1.1 镍铁牌号及用途	148
7.1.2 镍及其化合物的主要物理化学性质	149
7.1.3 镍矿	150
7.2 镍铁和金属镍的生产	151
7.2.1 硫化镍精矿的火法冶炼	151
7.2.2 红土镍矿的火法冶炼	152
第8章 钼铁	157
8.1 钼铁的基本性质	157
8.1.1 钼的物理化学性质	157
8.1.2 钼铁的用途	158
8.1.3 钼铁的牌号	158
8.2 钼铁的生产方法及原料	159
8.3 钼铁生产的基本原料	161
8.4 钼精矿的氧化焙烧	164
8.4.1 焙烧原理	164
8.4.2 焙烧工艺	166
8.5 钼铁的生产工艺	171
8.5.1 炉外法生产钼铁	171
8.5.2 电炉碳还原积块法	175
8.5.3 等离子炉冶炼钼铁	176
8.6 配料计算	176
第9章 钒铁	180
9.1 钒的基本性质	180
9.1.1 钒的物理化学性质	180

9.1.2	钒铁的用途	181
9.1.3	钒铁的牌号	182
9.2	钒铁的生产原理	182
9.2.1	电硅热法生产钒铁的原理	183
9.2.2	铝热法生产钒铁的原理	184
9.3	钒铁生产的基本原料	184
9.4	五氧化二钒的制取	185
9.4.1	工艺过程	185
9.4.2	五氧化二钒的制备	187
9.5	钒铁的生产工艺	192
9.5.1	电硅热法生产钒铁	192
9.5.2	铝热法冶炼钒铁	198
第 10 章	其他铁合金	201
10.1	钛铁的生产	201
10.1.1	钛铁的基本性质	201
10.1.2	钛铁的生产方法	203
10.1.3	钛铁生产的基本原料	205
10.1.4	铝热法冶炼钛铁的生产工艺	206
10.1.5	电炉炼钛铁	215
10.2	钨铁的生产	216
10.2.1	钨铁的基本性质	216
10.2.2	钨铁的生产方法及原理	218
10.2.3	钨铁生产的基本原料	219
10.2.4	取铁法钨铁的生产工艺	221
10.3	硼铁的生产	226
10.3.1	硼的基本性质	226
10.3.2	硼铁的生产方法及原理	227
10.3.3	硼铁生产的基本原料	228
10.3.4	硼铁的生产工艺	230
10.4	稀土铁合金生产	233
10.4.1	稀土的基本性质	233
10.4.2	稀土合金的生产方法	236
10.4.3	稀土合金生产的基本原料	238
10.4.4	稀土合金的生产工艺	239
第 11 章	铁合金生产的环境保护	245
11.1	环境保护系统介绍	245
11.1.1	“4Rs”原则	245
11.1.2	产品生命周期分析	246
11.2	铁合金废弃物的产生	247

11.2.1	高炉铁合金生产中“三废”的产生	247
11.2.2	矿热电炉“三废”的产生	250
11.2.3	铁合金渣	253
11.3	铁合金废弃物的综合利用	261
11.3.1	铁合金煤气和烟尘的循环利用	262
11.3.2	铁合金渣的回收和利用	271
11.3.3	铁合金烟尘的再利用和回收	288
11.3.4	铁合金生产中的废水的综合利用	296
参考文献		306

第1章

概论

铁合金是由合金元素与铁组成的二元或多元合金，铁合金是脆性金属，不能单独作为金属材料使用，只能用作炉料。铁合金是钢铁工业和机械加工行业必不可少的重要原料之一，是整个冶金工业的一个重要组成部分。

1.1 铁合金的发展情况

1.1.1 铁合金的定义

铁合金 (ferroalloy): 由铁元素 (不小于 4%) 和一种以上 (含一种) 金属或非金属元素组成的合金，在钢铁和铸造工业中作为合金添加剂、脱氧剂、脱硫剂和变性剂使用。

金属铬、金属锰、五氧化二钒按定义不是铁合金，但习惯上人们把这几种产品纳入铁合金范畴。

例如，硅铁是硅与铁的合金；硅钡铝合金是硅、钡、铝组成的合金；锰铁是锰与铁组成的合金。之所以把金属铬、金属锰、五氧化二钒纳入铁合金的范畴，是根据其生产方法及用途而言。例如，金属铬主要用于镍基、钴基高温合金、铝合金、钛合金、电阻合金、耐蚀合金、铁基耐热合金及不锈钢等的生产，而不能单独作为金属材料使用。

铁与密度较大的元素如钨、钼等组成铁合金后可使添加物的密度减小；而与硅、钙、镁、铝等密度较小的元素组成铁合金可使其密度增加，因而调节了铁合金在钢液中的浸泡位置，加快合金元素的溶解速度和在钢液中的分布均匀性，使合金元素的收得率提高。活性元素如硼、稀土等与铁组成合金后，可以降低它们的化学活性，减少添加时的烧损，提高它们的回收率，得到成分稳定的钢。

生产 1t 粗钢需要锰铁 7~8.5kg，锰硅铁 2~1.7kg，硅铁 4.6~4.8kg，铬铁约 4.0kg，其他铁合金约 2kg。以我国 2012 年全年钢产量 7.5 亿吨来计算，2012 年全年约需锰铁 525 万~638 万吨、硅铁 330 万吨、铬铁 28 万~34 万吨。

1.1.2 铁合金的发展过程

世界铁合金工业的发展可以分为起步阶段 (1870~1900 年)、大规模发展阶段 (1900~1960 年) 和现代化阶段 (1960 年至今)。

(1) 铁合金的起源

铁合金的实验室研究最早可以上溯到 1774 年，瑞典的化学家甘恩 (J. G. Gahn, 1745~1818)，用软锰矿和木炭在坩埚中共热，发现了一块纽扣大小的金属，并命名为 manganese (锰)。

早期炼钢添加的合金元素是用它的氧化物加入，19世纪初开始用坩埚炉冶炼铁合金。1810年，伯齐利厄斯（Berzelius）首先制取了低品位硅铁。他把石英、松木炭黑和铁屑放置在煅工炉中冶炼，得到了含硅2.2%~9.3%的硅铁。因受炉温限制，不能得到与炉渣分离好的合金锭，质量也不能令人满意，当时得到的大多是低品位的高碳铬铁、镜铁、锰铁和硅铁等。

(2) 起步阶段

铁合金的工业生产始于19世纪中期，开始都是在高炉中进行生产。首先在高炉制得了含Mn 8.5%、C 5.33%的镜铁。镜铁的出现，解决了贝塞麦（H. Bessemer）发明的空气底吹酸性转炉炼钢法不能脱硫磷的问题，从而拯救了贝塞麦转炉炼钢法，铁合金对于冶金工业的巨大作用凸显了出来。同一时期，还在高炉内炼出含7%~8%Cr的含铬生铁，用作炼钢的铬添加剂。1875年，法国普尔赛尔和南威尔士的派尔在高炉中首次制得了60%~80%的高碳锰铁，跨出了大规模工业生产锰铁关键性一步。同年普尔赛尔成功地在高炉中制得了含硅10%~18%的低品位硅铁，但高炉并不适合生产硅铁。约1880年高炉已经可以生产含30%~40%Cr、10%~20%C的铬铁。目前高炉仍在生产高碳锰铁和镜铁。

19世纪末，西方工业国家开始采用还原电炉冶炼铁合金。1888~1892年法国的埃鲁（P. L. T. Héroult）实现了电弧炉生产电石的工艺。根据埃鲁的发明制造的用于冶炼铁合金的三相电弧炉又称为埃鲁电炉。1890年，法国的西蒙首先采用电热法，使用氧化锰和萤石的混合料，获得了含Mn84%、Fe8%、C7.1%、Si0.2%的电炉锰铁。1893年，开始采用电弧炉生产钨铁，这一年，穆瓦桑也在电弧炉中制得了高碳硼铁。1894年，穆瓦桑发明在电炉中还原氧化钒法。1897年，戈德施米特发明铝热法后，钒被用于冶金工业。1899年，美国在西弗吉尼亚州的霍尔库姆罗克厂的电炉中，首次炼制了含Si25%~50%的硅铁。1903年左右，卡达尔在电炉中成功生产出含Si75%的硅铁。同年，法国还首先生产出钼铁。1910年以后，还原电炉冶炼各种铁合金获得了迅速发展。

(3) 大规模工业化发展阶段

高炉和电炉冶炼铁合金是用木炭或焦炭作还原剂，添加或不加熔剂，在高温下还原矿石生产铁合金。由于碳与锰、铬、钨、钼、钒、钛等元素的亲和力大，产出的铁合金含碳高，不能满足生产低碳钢，特别是不锈钢的要求。首先考虑到是用矿石精炼降碳的方法，结果是可使钨铁、钼铁、镍铁和钴铁的碳降低，铬铁的碳下降很少，而锰铁的碳基本不下降。

法国铁合金工作者对电硅热法冶炼低碳锰铁和铬铁做出了贡献。1919年申请了电硅热法生产低碳锰铁的专利。1920年前后瑞典特乐尔赫坦（Trollhattan）铁合金厂制定了电硅热法生产低碳铬铁的工艺（三步法），通称瑞典法。以后对此工艺做了一些改进，其中最著名的为波伦（Pei·rin）法，即热兑法。1910年戈尔德施米特（H. Goldschmidt）公布了金属热法制取金属的工艺。很快成为生产含碳极低、熔点较高、化学活性较强元素的铁合金与添加剂，以及纯铬、纯锰等工业纯金属的生产方法。

(4) 铁合金生产的现代化阶段

40年左右的生产实践证明电炉冶炼铁合金的合理性与优越性。20世纪中期电炉生产铁合金得到较大的发展，并向着电炉大型化封闭化（全封闭与半封闭）的方向发展。瑞典吉斯蓬（Gullspang）合金公司于1981年和1985年建成1.2MV·A和2.0MV·A单电极直流埋弧电炉，用于冶炼硅铁等的试验。中国北京钢铁研究总院与张家口市四方台铁合金厂共同研制的2.0MV·A单电极直流埋弧电炉于1989年3月投入试验。冶炼锰硅合金的电耗

比三相交流电炉降低 5%~10%，电极消耗降低约 40%，功率因数提高约 0.1。1994 年 6.3MV·A 单电极直流埋弧还原电炉在四方台铁合金厂正式投产，运行正常。1987 年 2 月瑞典铬铁厂用“等离子铬”技术开始生产高碳铬铁。1983 年南非米德尔堡钢和合金公司建成 16MV·A 转移弧等离子炉，直接用粉状铬矿冶炼高碳铬铁。1988 年又增容为 40MV·A。法国巴黎乌特罗锰铁公司 (SF-PO) 铁合金厂用等离子发生器加热，提高高炉风温冶炼锰铁。这些工厂将“等离子体”技术引入了铁合金工业生产。在入炉炉料准备方面，采用了烧结、球团和预热、预还原技术，使粉状铬矿、锰矿得到合理利用和电炉冶炼过程得到改善，冶炼电耗降低。用微型计算机管理大型埋弧还原电炉生产，初步实现电炉管理现代化。为利用熔融铁合金的显热，提高能源利用率，20 世纪后期已用氧精炼法生产中，低碳铬铁和锰铁，镍铁与高纯硅铁。

1.1.3 世界铁合金工业的生产现状

铁合金工业起源于欧洲，但随着日本、美国、韩国等国家的经济发展低迷、钢产量出现负增长。近 10~20 年间，不少工业发达国家受电力价格较高、原料资源相对短缺的影响，以及受国内严格的环境保护标准的限制，已经放弃或正在放弃国内铁合金的生产。因此客观上存在着一种向矿物资源较富有、经济欠发达的发展中国家转移铁合金生产的趋势。20 年前，英国、德国完全放弃了铁合金生产，日本、韩国、法国、美国、意大利等国的铁合金生产也在萎缩中。日本完全放弃了硅铁生产，将铬铁和部分锰铁生产转移到了南非，只搞一些精品锰铁生产。南非、乌克兰、哈萨克斯坦、中国、印度、巴西等国利用其丰富的矿产资源，挪威、瑞典等国利用其丰富的电力资源生产铁合金，除了为本国钢铁发展提供材料需要外，也将余量铁合金销往主要的工业化国家。

(1) 南非

南非的铬矿、锰矿和钒矿物储量非常丰富，这些是发展铁合金工业的资源基础。南非具有丰富且廉价的电能（低于 2 美分/kW·h）、还原剂，如同大部分发展中国家一样，南非具有充满竞争力的劳动力成本等优势。南非发展铁合金条件可谓得天独厚。其 Cr_2O_3 含量适中、铬铁比相对较低的商品铬矿储量超过 27 亿吨，约占世界总储量的 70%，且开采条件良好。南非的锰矿约占世界总储量的 80%，且大多是高品位锰矿。南非钒钛磁铁矿约占世界钒资源有效储量 3000 万吨的 45%，其含量品位较其他国家高出 3 倍且易于提取。

目前南非生产的碳锰、锰硅及精炼锰铁的产量已超过 100 万吨。萨曼科 (Samancor) 是南非最大的铁合金公司，铬铁年生产能力达到 130 万吨、锰铁和锰硅产量超过 50 万吨。

(2) 独联体国家

前苏联是钢铁大国，年钢产量长期保持在 1 亿吨以上，所需铁合金几乎全部立足于国内。解体后的独联体，铬矿和锰矿储量十分丰富，分别占世界储量的 7% 和 10%，接近 2 亿吨和 5 亿吨。它的镍、钒、石油、天然气、煤炭、电力资源也很丰富。电价调整后也不到 2 美分/kW·h，为铁合金生产和对外出口提供了良好条件。近年来独联体钢产量有所降低，仍有较高的铁合金产量和出口量。其年总产量约为 250 万吨，出口量接近 90 万吨。

世界上最大的铁合金厂是俄罗斯车里雅宾斯克铁合金厂 (Chelyabinsk EMK)，年产硅铁、铬铁及锰硅合金共 90 万吨。最大的锰铁厂是乌克兰尼科伯尔铁合金厂，年产锰系产品 120 万吨。车里雅宾斯克铁合金冶炼厂共修有 15 个大型炉组，其硅锰月产能为 1.5 万吨，铬铁月产能为 2.5 万吨，硅铁月产能为 1 万吨。该冶炼厂 50% 左右的产品供应给全部独联

体国家，50%左右的产品出口至独联体之外的国家。

哈萨克斯坦的铬矿及铬铁生产大约占世界商业铬矿储量7%，约2亿吨铬矿主要分布在哈萨克斯坦，较集中地储藏于克姆皮尔萨斯克。另一部分具有工业价值的铬矿体延伸到俄罗斯的乌拉尔中部萨兰斯矿区，这部分矿体的铬矿含 Cr_2O_3 为33%~39%。克姆皮尔萨斯克南矿区平均 Cr_2O_3 品位39.1%的原矿能够选出含 Cr_2O_3 50.9%的铬精矿，精铬矿的生产能力在200万吨。哈萨克斯坦的阿克苏铁合金厂利用本国的铬矿和锰矿生产高碳铬铁和锰硅合金，该厂每年向国外出口碳铬合金60万吨、锰硅合金约10万吨（生产量20万吨）。哈萨克斯坦是亚洲第一铬铁生产大国和出口大国。

(3) 欧洲

欧洲铁合金生产具有生产技术装备先进、人员素质高的特点，他们在烟气治理及烟气热能回收发电方面的技术贡献为铁合金行业所称道。北欧地域生产的铬铁、锰硅合金、硅铁及工业硅产品仍能牢牢地占据着欧洲市场，一些产品也销往日、韩和美国。

挪威埃肯公司具有先进的铁合金冶炼技术，是世界著名的设备开发商和供应商，在本土和国外有不少公司和工厂，是以生产硅合金（工业硅和硅铁）为主的产业集团公司。其技术和产业遍布几大洲的跨国公司。冶炼炉总容量218MW，金属硅产能总计14.8万吨/年，主要产品是金属硅和微硅粉。2011年4月1日，欧盟委员会批准了中国蓝星集团收购挪威埃肯公司的计划。

瑞典瓦岗合金公司是瑞典唯一的铁合金生产厂，它坐落于世界第二大湖瓦南湖附近。工厂装备有24MV·A、48MV·A及105MV·A电炉各1台，其中105MV·A电炉是目前最大容量的铁合金电炉。24MV·A电炉用于生产FeSi75，另2台电炉用于冶炼高碳铬铁。该公司年产碳铬合金16万吨，硅铁2.8万吨，经营收入超过1亿美元。35%的产品国内销售，其余产品出口到欧洲，也有少量合金销往美国。全厂职252290人，年人均生产合金648t。

(4) 中南美洲

中南美洲这一地区主要的铁合金生产国包括巴西、阿根廷、墨西哥及秘鲁等国家。该地区雨量充足水电资源较丰富，电力价格3美分/kW·h左右，还原剂资源也较丰富。特别利用本地区铌矿、镍矿、锰矿储量丰富品质好，易于提取的资源优势，生产铌铁、金属镍、镍铁及锰铁合金，少量自用外，大批量销往美国。其中铌铁销往全世界且控制着钢铁市场的应用。巴西是中南美洲最大的铁合金生产国，在世界市场中是中国在工业硅、硅铁、锰硅合金产品的最主要的竞争对手。巴西拥有各类铁合金厂家近20家。

巴西矿冶公司（CBMN，也称之为巴西铌公司）与戈亚斯矿产公司每年生产含Nb65%的铌铁近3万吨。产品行销全世界，每年出口到中国数百吨。科德明矿产资源开发公司与莫罗工矿贸易镍公司每年生产镍铁近2万吨（按Ni含量计算）。巴西亚铁合金公司每年生产铬铁、硅铬和精炼铬铁约14万吨。巴西电冶金公司年生产碳锰和锰硅合金约15万吨。米纳斯吉拉斯铁合金公司、伊塔马格内西奥工业公司、阿索峰铁合金公司、阿尔康铝业公司均生产硅铁，它们每年生产各种规模的硅铁产品近20万吨。

巴西目前年产各种铁合金生产能力达到115万吨。1996~2001年间每年生产铁合金90万~100万吨，铁合金出口数量在40万~56万吨，出口比例在45%~55%。

阿根廷的铁合金生产能力在20万吨左右，主要产品是硅铁、电石、碳锰和锰硅合金。阿根廷国内最著名的也是最大的铁合金企业是安迪纳电冶金公司。该公司有1台7MV·A

电炉, 3台 12.5MV·A 电炉及 1台 18.5MV·A 电炉。

墨西哥有各种电炉 10 台, 主要是利用本国出产的锰矿生产高碳锰铁和锰硅合金约 20 万吨。国内最大的企业是奥特三矿产公司, 产品几乎都销往美国。

(5) 亚洲

亚洲生产铁合金的主要国家, 除中国外, 还有日本、韩国和印度。其中的中国、印度是铁合金生产国和出口国; 日本、韩国属于铁合金进口国。中国、日本为锰矿、铬矿进口国, 而印度、韩国为锰矿进口国。

目前, 日本有近 20 家铁合金在坚持生产, 产量约为 120 万吨, 主要产品是锰铁和镍铁。原料全部从国外进口。日本坚持进口商品铁合金和优质矿石用以加工精品合金, 以满足钢铁产品质量提高的需要。最近几年, 日本钢产量徘徊在 1 亿吨上下, 每年需要铁合金 250 万吨, 其中 130 万吨用于炼钢生产, 20 万吨用于铸造业。每年进口硅铁、锰硅合金等各种铁合金数量约为 130 万吨。

韩国其钢产量近年来已超过 4000 万吨, 2012 年已达 6930 万吨。它每年需要各类铁合金约 100 万吨。除了靠进口锰矿生产近 20 万吨的锰硅合金、碳锰和中低碳锰铁外, 每年还需要进口近 80 万吨的硅铁、碳铬、中低碳铬铁和其他铁合金 (包括不足的锰硅合金及其他合金剂)。

印度铬矿储藏量较丰富, 近 3000 万吨的铬矿属于高品位铬矿。除了生产 30 万吨的铬铁用于出口外, 每年还有近百万吨易碎矿出口、主要是销往中国。印度每年均生产各种铁合金约为 75 万吨。

1.1.4 中国铁合金工业历史及现状

(1) 我国铁合金工业的起步阶段

1894 年在汉阳铁厂 28.4m³ 高炉中炼制出锰铁合金 (镜铁); 20 世纪 30 年代末至 40 年代末期, 我国曾经进行过多种铁合金的试制和小批量生产, 当时只有几座小电炉生产硅铁、锰铁, 产量仅百吨。1941 年, 我国合金钢与铁合金发展的奠基人之一——周志宏成功地提炼出纯钨; 1943 年在周志宏的组织领导下, 一座自行制造的 400kV·A 硅铁炉在第二十八厂安装成功, 每月可产硅铁 10t。开始时硅铁含硅仅 50%, 经郑凤珍等人的努力, 使硅含量提高到 70%。

20 世纪 50 年代以前中国的铁合金工业非常薄弱, 中华人民共和国成立后的国民经济恢复时期, 在鞍山、抚顺、天津、阳泉、长寿、桐梓等地生产硅铁、低硅铁、高碳锰铁、钨铁等。第 1 个五年计划, 作为工业基础之一的铁合金, 引进苏联技术建成中国第一家大型铁合金厂——吉林铁合金厂。该厂于 1956 年 12 月正式投产, 生产硅铁、高碳锰铁、中碳锰铁、钨铁和钼铁。1953~1963 年锦州铁合金厂陆续开始生产钒铁、钛铁和金属铬。1957~1958 年吉林铁合金厂开始生产高碳铬铁和微碳铬铁。以后相继建成上海、湖南、遵义、峨眉、横山、西北、重庆、北京、南京等电炉铁合金厂。在新余、阳泉、湘潭、灵川等地建成高炉锰铁厂。各省市还先后建成一批中小型铁合金厂。

(2) 我国铁合金工业大发展阶段

随着世界还原电炉大型化、机械化和自动化的进展, 20 世纪 80 年代中期至 90 年代间, 除建设或技术改造一批新的 6300kV·A、12500kV·A、16500kV·A 半封闭及全封闭式还原电炉车间外, 还建成了具有当今世界技术和装备水平的 25000kV·A、30000kV·A、

31500kV·A 及 50000kV·A 的大型现代化还原电炉车间。目前我国有重点铁合金企业 18 家, 地方中、小型骨干企业 57 家以及小型企业千余家, 年设备生产能力约 500 万吨。中国的铁合金工业基本达到了品种齐全、产量自给有余, 并成为铁合金出口国。“八五”期间, 我国坚持技术引进与自主开发并重, 大力优化工艺装备结构, 年产铁合金突破 300 万吨, 雄居世界首位, 迈上了大型铁合金电炉技术的新台阶, 我国铁合金产品已做到自给有余, “八五”期间实现年出口铁合金 100 万吨, 还向菲律宾、伊朗、巴基斯坦等国出口成套铁合金工程和设备技术。至此, 我国不仅是铁合金生产大国, 同时又是产品出口大国。

(3) 我国铁合金工业面临的问题与挑战

我国铁合金工业存在问题如下。

① 生产产能严重过剩。截至 2005 年底, 全国有铁合金生产企业 1570 家, 已具备生产能力约 2213 万吨, 在建(含拟建)项目能力约 284 万吨。2005 年我国生产铁合金 1067 万吨, 除满足国内需求外还出口 173 万吨。2006 年我国生产铁合金 1433.2 万吨, 其出口量为 240 万吨。2007 年的铁合金生产能力为 2200 多万吨, 其中硅系铁合金 800 多万吨, 锰系铁合金 1000 多万吨, 铬系铁合金 200 多万吨, 特种铁合金近 200 万吨。如果这个产能完全释放, 除可以满足 10 亿吨钢生产的需要之外, 还有富余。2012 年全年产量超过 3100 万吨, 已达 31292066.90t, 生产产能已经严重过剩。

② 集约化程度低。在我国超过 1700 家铁合金企业中, 年生产能力 10 万吨以上的企业 28 家, 生产能力 470 万吨; 生产能力 3 万~10 万吨的企业约 143 家; 1 万~3 万吨的企业约 612 家; 生产能力在 1 万吨以下的企业约 787 家, 生产能力 405 万吨。2010 年国内锰铁及硅锰行业、硅铁行业、铬铁行业前 10 家最大的企业的产量集中度分别是 25%、33% 和 36%。

③ 工艺装备水平低下。全国有矿热炉 3100 台左右, 产能 1983 万吨左右。其中: $\leq 3200\text{kV}\cdot\text{A}$ 电炉 538 台, 产能 114 万吨; $3200\sim 5000\text{kV}\cdot\text{A}$ 电炉 588 台, 产能 256 万吨; $5000\sim 25000\text{kV}\cdot\text{A}$ 电炉 1913 台, 产能 1523 万吨; $\geq 25000\text{kV}\cdot\text{A}$ 电炉 26 台, 产能 81 万吨。铁合金高炉 125 座, 产能 145 万吨, 其中: $< 100\text{m}^3$ 高炉 103 座, 产能 79 万吨; $100\sim 300\text{m}^3$ 高炉 21 座, 产能 60 万吨; $\geq 300\text{m}^3$ 高炉 1 座, 产能 6 万吨。此外, 还有精炼炉、电炉及其他窑炉, 产能 85 万吨。

④ 国内锰、铬、镍等资源储量贫乏。每年需大量进口国外优质锰矿、铬矿和镍矿, 国内锰铁、铬铁、镍铁生产企业只是获得了少量加工费, 在这些细分领域的资源约束是行业发展面临的主要问题; 中国的锰、铬、镍资源储量全球占比分别是 8%、4% 和 5%, 国内矿产量远不能满足铁合金生产的需求。2012 年 1~11 月中国锰矿、铬矿和镍矿的进口量分别是 1120 万吨、860 万吨和 5500 万吨(均为原矿量), 占国内的消费量比重都在 50% 以上。而中国的钒、钼、钨、稀土等稀有金属资源储量较丰富, 发展特种铁合金产业具有先天优势。

⑤ 研发实力弱、产品附加值低。国内专业的铁合金生产企业主要以大宗铁合金产品为主, 存在较严重的产能过剩问题; 在钒、稀土、钛等领域的资源储量虽然比较丰富, 但在铁合金的微合金化技术领域却与国外先进水平存在较大的差距; 进而导致铁合金行业整体的盈利能力较弱。

针对上述一系列问题, 我国铁合金工业的发展应当注重以下几个方面。

① 优化产业布局, 向具有资源优势的区域转移。具有煤、水、电、运、钢、原料优势的区域是铁合金产业布局的首选。铁合金行业属于高耗能、资源依存度高的行业。电与矿是铁合金生产的基本要素, 而电与水、煤息息相关, 靠近资源才能取得优势。同样, 矿资源更

加重要。我国铬矿资源严重匮乏，目前分布在13个地区的资源潜力为3100万吨，其中仅西藏保有量较多，但也只有425万吨。目前我国锰矿资源储量的金属量为1.4亿吨，居世界第5位，主要集中在湖南、广西、云南、贵州、重庆、辽宁等地，随着开采量增加，品位会越来越低，使用价值递减，未来一定时期将会枯竭，也会与铬矿一样要依赖进口。低品位红土镍矿则全部依赖进口，只有硅石、石灰石储量丰富。为此，锰、铬、镍生产企业应侧重在沿海地区布局，以便于减少原料海运费及火运、汽运费用。同时，生产锰、铬、镍、硅铁的企业下游主要用户是钢厂，铁合金产品也要考虑周边钢厂运距及品种对应问题。

② 加快技术进步，逐步达到世界先进水平。10多年来，我国铁合金行业虽然发展迅猛，但生产工艺、技术装备水平比较落后，基本上属于低水平重复建设。绝大多数技术与世界发达国家相比，相当于上世纪七八十年代的水平。加快淘汰落后产能步伐，引进消化国外先进技术设备，加强自主研发，整体提高行业发展水平。电炉自动化、烧结、预还原烧结、原料压块、炉前铸块、煤气干法除尘、余热发电、封闭电炉、硅锰系电炉低压补偿等技术目前在世界上基本成熟，根据我国国情部分引进、消化、改进，完全可以实现整体水平的提高。

③ 优化行业品种结构与档次升级。目前，我国铁合金行业品种结构不尽合理，部分品种产能过剩矛盾突出，造成各企业之间同质化竞争严重。为此，加快调整品种结构也是当务之急。把品种细化上、杂质元素控制，作为行业未来发展的主攻方向，从而增强竞争能力。

④ 降低能源、资源消耗，实现“三废”综合利用势在必行。要大力推广原料预处理等工艺实现精料入炉，有效利用能源、资源，确保大型电炉稳定运行；要有效回收炉窑烟气和铁水、高温炉渣余热及全封闭电炉煤气，实现余热、余气发电及原料预处理，发展循环经济，降低资源、能源消耗。到2015年，预期铁合金产品单位冶炼电耗、锰矿、铬矿等原单耗将比2010年降低10%左右。

⑤ 提高产业集中度和劳动生产率。随着市场竞争调节及部分企业优势消失、国家宏观政策调控等因素变化，“十二五”将是我国铁合金行业整合提高集中度的关键时期。预计到2015年，产能低于10万吨的企业将基本关闭，产能超过10万吨以上的将达到120~150家。其中，产能100万吨以上的有8家左右，产能50万~100万吨的有10家左右，产能20万~50万吨的有30家左右。预期2015年行业全员实物劳动生产率，硅系铁合金150t/人·年，锰系、铬系铁合金200t/人·年，基本接近世界中等水平。

⑥ 进一步完善和引进先进环保处理技术，改造完善新增电炉环保设施，实现污染物达标排放。同时，确保环保设施完好率及同步运行率达100%，各项污染物排放、废物综合利用率达到清洁生产标准要求。

1.1.5 铁合金生产技术的发展趋势

炼钢生产工艺的改进和钢质量的提高，对铁合金产品也提出了新的要求。

由于连续铸钢工艺的采用，镇静钢的比重增加，导致硅铁、锰硅和硅钙合金的用量增加，而高碳锰铁的用量减少，同时提出降低硅铁含铝量的要求。由于微合金钢的开发，控制轧制技术的应用，和合金钢比重提高，作为钢合金化元素的钒、铌、钛、钼、硼、镍等铁合金的用量增加。为了提高钢的质量，要求生产纯净钢与洁净钢，也要求生产有害杂质低、气体含量小的铁合金。

炉外精炼技术的使用，要求生产喷射冶金用的硅钙及其他铁合金粉剂和喂线技术用的各