

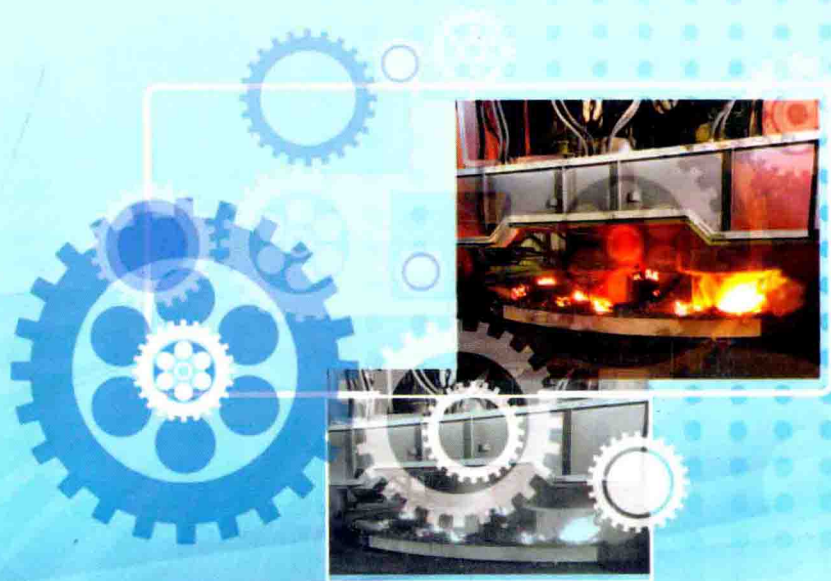


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

铁合金生产概论

李小明 张 爽 赵俊学 编著
方 钊 施瑞盟 俞 娟



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

铁合金生产概论

李小明 张 爽 赵俊学 编著
方 钊 施瑞盟 俞 娟

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2014

内 容 提 要

本书共5章,简述了铁合金的用途、分类和主要生产方法,铁合金生产设备的选型及计算,以及所用原辅材料矿石、还原剂、熔剂、电极材料及耐火材料的标准及技术要求;介绍了常见铁合金品种,如硅铁、工业硅、硅钙、锰铁、铬铁、钼铁、钒铁、镍铁、钛渣、钛铁、稀土铁合金等的冶炼原理、原材料要求、生产工艺、节能及技术经济指标等,以及铁合金“三废”的治理及综合利用等内容。

本书可作为高等学校相关专业的教学用书及职业技术培训教材,也可供铁合金生产领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁合金生产概论/李小明等编著. —北京:冶金工业出版社, 2014.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5024-6678-7

I. ①铁… II. ①李… III. ①铁合金—生产工艺
IV. ①TF6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 191532 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 曾 媛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6678-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京印刷一厂印刷

2014 年 9 月第 1 版, 2014 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.5 印张; 300 千字; 187 页

29.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号 (100010) 电话 (010)65289081 (兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

铁合金是冶金、化工、机械等工业的重要原料，我国的铁合金工业在产品品质、品种、数量上都处于世界领先地位。普及基本的铁合金生产知识已成为时代需要。本书涵盖铁合金生产设备、原料、工艺等方面的知识，力求体系完整，同时注重简明扼要，对繁杂的理论推导、工艺计算、操作规程等内容进行选择归纳，以便适应现代教学要求。

本书共分5章。第1章绪论，介绍了铁合金的概念、用途、分类、牌号、主要生产方法、铁合金车间构成及铁合金的发展趋势等；第2章铁合金生产设备的选型及计算，介绍了矿热炉、金属热法熔炼炉、电弧精炼炉及氧气转炉的主要机械组成，以及部分辅助设备的功能；第3章铁合金生产原辅材料，介绍了铁合金生产中所用矿石、还原剂、熔剂、电极材料及耐火材料的标准及技术要求；第4章铁合金生产工艺，介绍了常见铁合金品种如硅铁、工业硅、硅钙、锰铁、铬铁、钼铁、钒铁、镍铁、钛渣、钛铁、稀土铁合金等的用途、牌号、冶炼原理、原材料要求、生产工艺、节能及技术经济指标等；第5章介绍了铁合金“三废”的治理及综合利用等。

本书由李小明、张爽、赵俊学、方钊、施瑞盟、俞娟编著。研究生党艳梅、谢庚、陈傲黎、饶衍冰参与了文字整理及校对工作。全书由李小明统稿。

本书在编写过程中得到了业界同仁的支持和帮助，书中选用了国内同行公开出版物中的内容，在此向所有文献作者致以诚挚的谢意。栾心汉教授对本书的撰写提出了宝贵意见，并审阅和修改了部分章节，侯苏波总工对本书的编写提供了资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不足之处，诚请读者指正。

编著者
2014年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 铁合金的定义、用途及分类	1
1.2 铁合金牌号的表示方法	2
1.3 铁合金生产的主要方法及设备	3
1.3.1 按生产设备分类	3
1.3.2 按热量来源分类	5
1.3.3 按操作方法和工艺分类	5
1.4 铁合金冶炼基本原理	5
1.5 铁合金车间概况	7
1.5.1 矿热炉车间概况	7
1.5.2 精炼炉车间概况	10
1.6 铁合金的发展趋势	13
思考题	14
2 铁合金设备选型及计算	15
2.1 铁合金初炼炉	15
2.1.1 矿热炉	15
2.1.2 金属热法熔炼炉	34
2.2 铁合金精炼炉	35
2.2.1 电弧精炼炉	35
2.2.2 氧气吹炼转炉	38
2.3 配料、上料及炉顶布料设备	40
2.3.1 配料秤	40
2.3.2 炉顶上料设备	41
2.3.3 炉顶布料设备	43
2.4 电炉炉口及炉前设备	43
2.4.1 加料捣炉机	43
2.4.2 开堵铁口设备	43
2.4.3 铁水包	45
2.4.4 渣包 (盘)	45
2.4.5 炉渣处理设备	46

2.5 浇铸设备	47
2.5.1 带式浇铸机	48
2.5.2 环式浇铸机	48
2.6 焙烧设备	49
2.6.1 回转窑	49
2.6.2 多层焙烧炉	49
思考题	50
3 铁合金生产原辅材料	51
3.1 矿石	51
3.1.1 硅石	51
3.1.2 锰矿	52
3.1.3 富锰渣	54
3.1.4 铬矿	54
3.1.5 钼精矿	55
3.1.6 钛铁矿	56
3.1.7 镍矿	57
3.1.8 赤铁矿	57
3.1.9 钒铁矿及钒渣	57
3.2 碳质还原剂	58
3.2.1 冶金焦炭	58
3.2.2 气煤焦	59
3.2.3 烟煤	59
3.2.4 木炭	59
3.3 含铁料及金属还原剂	59
3.3.1 钢屑	59
3.3.2 铁鳞	60
3.3.3 铁矿球团、铁鳞球团	60
3.4 造渣材料	60
3.4.1 石灰	60
3.4.2 石灰石	61
3.4.3 白云石	62
3.4.4 萤石	62
3.5 电极材料	62
3.5.1 电极种类及选用	62
3.5.2 电极糊	63
3.5.3 石墨电极	64
3.6 耐火材料	65

3.6.1 黏土砖	65
3.6.2 高铝砖	65
3.6.3 镁砖和镁砂	65
3.6.4 炭砖	66
思考题	66
4 铁合金生产工艺	67
4.1 硅铁	67
4.1.1 硅铁的用途、牌号及生产方法	67
4.1.2 硅铁生产用原料	69
4.1.3 硅铁冶炼原理	70
4.1.4 硅铁冶炼工艺	70
4.1.5 硅铁生产配料计算	72
4.1.6 硅铁生产节能	73
4.1.7 硅铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	74
4.2 工业硅	74
4.2.1 工业硅的用途、牌号及生产方法	74
4.2.2 工业硅生产用原料	75
4.2.3 工业硅冶炼原理	76
4.2.4 工业硅冶炼工艺	76
4.2.5 工业硅生产配料计算	78
4.2.6 工业硅生产节能	78
4.2.7 工业硅生产技术经济指标及原辅材料消耗	79
4.3 硅钙合金	79
4.3.1 硅钙合金的用途、牌号及生产方法	79
4.3.2 硅钙合金生产用原料	80
4.3.3 硅钙合金冶炼原理	80
4.3.4 一步法硅钙合金冶炼工艺	81
4.3.5 硅钙合金生产配料计算	82
4.3.6 硅钙合金生产节能	84
4.3.7 硅钙合金生产技术经济指标及原辅材料消耗	84
4.4 高碳锰铁	85
4.4.1 锰铁的用途、牌号及生产方法	85
4.4.2 高碳锰铁生产用原料	86
4.4.3 高碳锰铁冶炼原理	86
4.4.4 高碳锰铁冶炼工艺	87
4.4.5 高碳锰铁生产配料计算	89
4.4.6 高碳锰铁生产节能	90

4.4.7 高碳锰铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	90
4.5 中低碳锰铁	91
4.5.1 中低碳锰铁的用途、牌号及生产方法	91
4.5.2 中低碳锰铁生产用原料	92
4.5.3 中低碳锰铁冶炼原理	92
4.5.4 中低碳锰铁冶炼工艺	93
4.5.5 中低碳锰铁生产配料计算	93
4.5.6 中低碳锰铁生产技术指标及原辅材料消耗	94
4.6 锰硅合金	95
4.6.1 锰硅合金的用途、牌号及生产方法	95
4.6.2 锰硅合金生产用原料	96
4.6.3 锰硅合金冶炼原理	96
4.6.4 锰硅合金冶炼工艺	97
4.6.5 锰硅合金生产配料计算	98
4.6.6 锰硅合金生产节能	100
4.6.7 锰硅合金生产技术经济指标及原辅材料消耗	100
4.7 金属锰	101
4.7.1 金属锰的用途及牌号	101
4.7.2 电硅热法金属锰生产用原料	102
4.7.3 电硅热法金属锰冶炼原理	102
4.7.4 电硅热法金属锰冶炼工艺	103
4.7.5 金属锰生产节能	105
4.7.6 金属锰生产技术经济指标及原辅材料消耗	105
4.8 高碳铬铁	106
4.8.1 高碳铬铁的用途、牌号及生产方法	106
4.8.2 高碳铬铁生产用原料	106
4.8.3 高碳铬铁冶炼原理	106
4.8.4 高碳铬铁冶炼工艺	107
4.8.5 高碳铬铁生产配料计算	108
4.8.6 高碳铬铁生产节能	109
4.8.7 高碳铬铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	110
4.9 中低碳铬铁	111
4.9.1 中低碳铬铁的牌号及生产方法	111
4.9.2 中低碳铬铁生产用原料	111
4.9.3 中低碳铬铁冶炼原理	112
4.9.4 中低碳铬铁冶炼工艺	113
4.9.5 电硅热法冶炼中低碳铬铁配料计算	115
4.9.6 中低碳铬铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	116

4.10 微碳铬铁	116
4.10.1 微碳铬铁的牌号、用途及生产方法	116
4.10.2 微碳铬铁生产用原料	117
4.10.3 微碳铬铁冶炼原理	118
4.10.4 微碳铬铁冶炼工艺	119
4.10.5 电硅热法冶炼微碳铬铁配料计算	122
4.10.6 低微碳铬铁生产节能	124
4.10.7 微碳铬铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	125
4.11 金属铬	125
4.11.1 金属铬的牌号、用途及生产方法	125
4.11.2 铝热法冶炼金属铬的主要原料	126
4.11.3 铝热法金属铬的冶炼原理及方法	126
4.11.4 铝热法金属铬冶炼工艺	126
4.11.5 铝热法生产金属铬配料计算	127
4.12 硅铬合金	129
4.12.1 硅铬合金的牌号、用途及生产方法	129
4.12.2 硅铬合金生产用原料	129
4.12.3 硅铬合金冶炼原理	130
4.12.4 硅铬合金冶炼工艺	130
4.12.5 硅铬合金生产配料计算	131
4.12.6 硅铬合金生产节能	132
4.12.7 硅铬合金生产技术经济指标及原辅材料消耗	133
4.13 钼铁	134
4.13.1 钼铁的牌号、用途及生产方法	134
4.13.2 硅热法冶炼钼铁用原料	135
4.13.3 钼铁冶炼原理	136
4.13.4 钼铁生产工艺	136
4.13.5 钼铁生产配料计算	137
4.13.6 钼铁生产节能	139
4.13.7 钼铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	139
4.14 钒铁	140
4.14.1 钒铁的牌号、用途及生产方法	140
4.14.2 钒铁冶炼设备及原料	140
4.14.3 钒铁冶炼原理	141
4.14.4 钒铁冶炼工艺	141
4.14.5 钒铁生产配料计算	144
4.14.6 钒铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	145
4.15 镍铁	146

4. 15. 1 镍及镍铁的用途	146
4. 15. 2 红土镍矿生产镍铁用原料	146
4. 15. 3 红土镍矿镍铁冶炼原理	147
4. 15. 4 红土镍矿镍铁冶炼工艺	147
4. 15. 5 镍铁生产节能	148
4. 15. 6 镍铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	149
4. 16 钛渣	149
4. 16. 1 钛渣的化学成分、用途及生产方法	149
4. 16. 2 钛渣冶炼用原料	150
4. 16. 3 钛渣冶炼原理	150
4. 16. 4 钛渣冶炼工艺及设备	151
4. 16. 5 钛渣生产配料计算	152
4. 16. 6 钛渣生产节能	153
4. 16. 7 钛渣生产技术经济指标及原辅材料消耗	153
4. 17 钛铁	153
4. 17. 1 钛铁的牌号及用途	153
4. 17. 2 铝热法钛铁生产用原料	154
4. 17. 3 铝热法钛铁冶炼原理	154
4. 17. 4 铝热法钛铁冶炼工艺	155
4. 17. 5 铝热法钛铁生产配料计算	157
4. 17. 6 钛铁生产节能	159
4. 17. 7 钛铁生产技术经济指标及原辅材料消耗	160
4. 18 稀土铁合金	160
4. 18. 1 稀土铁合金的牌号、用途及生产方法	160
4. 18. 2 冶炼稀土铁合金用原料	161
4. 18. 3 稀土硅铁合金冶炼原理	162
4. 18. 4 稀土铁合金的冶炼工艺	162
4. 18. 5 稀土硅铁合金生产配料计算	163
4. 18. 6 稀土铁合金生产节能	164
4. 18. 7 稀土铁合金生产技术经济指标	164
思考题	165
5 环保及资源综合利用	168
5. 1 废气的治理及利用	168
5. 1. 1 矿热炉烟气净化及利用	168
5. 1. 2 焙烧炉(窑)产生的废气	169
5. 1. 3 金属热法熔炼炉产生的废气	170
5. 1. 4 烟尘的综合利用	171

5.2 废水的治理	171
5.2.1 全封闭矿热炉煤气洗涤废水排放及治理	172
5.2.2 冲渣废水排放及治理	172
5.2.3 冷却水的循环利用	172
5.2.4 含铬废水的治理	172
5.3 固废处理及炉渣的综合利用	172
思考题.....	174
附 录.....	175
参考文献.....	187

1 绪 论

【本章要点】

1. 铁合金的定义、主要用途、分类方法；
 2. 铁合金牌号的表示方法；
 3. 铁合金的主要生产方法及设备；
 4. 铁合金车间的平面布置及剖面结构。
-

1.1 铁合金的定义、用途及分类

铁合金是铁与一种或几种金属或非金属元素组成的合金。

铁合金是钢铁工业和机械铸造行业必不可少的重要原材料，其主要用途可归纳如下：

用作脱氧剂。脱氧是向钢水中添加一些与氧亲和力比铁强，且其氧化物易于从钢液中排出进入炉渣的元素，使钢液中的氧含量降低。炼钢生产常用的脱氧剂有硅铁、锰铁、锰硅合金、硅钙合金、铝等。

用作合金剂。合金元素及含量不同的钢种具有不同的性能。钢中合金元素的含量是通过加入铁合金的方法来调整的。常用的合金剂有硅铁、锰铁、铬铁、钨铁、钼铁、钛铁、铌铁、硼铁、镍铁等。铁合金还常作为有色金属的添加剂及其他行业的原料。

用作还原剂。硅铁可作为生产钼铁、钒铁等其他铁合金的还原剂；硅铬合金、锰硅合金可分别作为生产中低碳铬铁、中低碳锰铁的还原剂。

用作孕育剂。铁合金也常用于铸造行业，作为改善铸造工艺和铸件性能的晶核孕育剂，以利于形成晶粒中心，细化晶粒，提高铸件的性能。

随着需求的变化及冶炼技术的不断发展，铁合金品种不断增加，一般按下列方法分类：

按铁合金中主要元素分类，有硅、锰、铬、钼、钨、钛、钒等系列铁合金。

按铁合金中含碳量分类，有高碳、中碳、低碳、微碳、超微碳等品种。

按生产方法分类，有高炉铁合金、电炉铁合金、炉外法（金属热法）铁合金、真空固态还原法铁合金、转炉铁合金、电解法铁合金等。

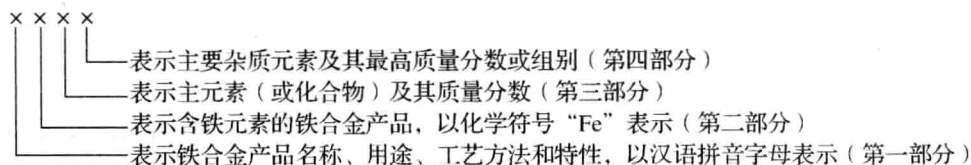
多元铁合金，指含有两种或两种以上合金元素，主要品种有硅钙合金、锰硅合金、硅铬合金、硅钙铝合金、锰硅铝合金、硅钙钡合金、硅钼钡合金等。

1.2 铁合金牌号的表示方法

铁合金产品牌号采用汉语拼音字母、化学元素符号、阿拉伯数字及英文字母相结合的方法表示（《铁合金产品牌号表示方法》GB/T 7738—2008）。

采用汉语拼音表示产品名称、用途、特性和工艺方法时，一般从代表该汉字的汉语拼音中选取，原则上取第一个字母。当和另一产品所取字母重复时，改取第二个字母或第三个字母。原则上只取一个字母，一般不超过两个。

各类铁合金产品牌号按下列格式缩写：



需要表示产品名称、用途、工艺方法和特性时，其牌号以汉语拼音字母开始。例如：

高炉法用“G”（“高”字汉语拼音中的第一个字母）表示；

电解法用“D”（“电”字汉语拼音中的第一个字母）表示；

重熔法用“C”（“重”字汉语拼音中的第一个字母）表示；

真空法用“ZK”（“真空”汉语拼音中的第一个字母）表示；

金属用“J”（“金”字汉语拼音中的第一个字母）表示；

氧化物质用“Y”（“氧”字汉语拼音中的第一个字母）表示；

钒渣用“FZ”（“钒渣”汉语拼音中的第一个字母）表示。

含有一定铁量的铁合金产品，其牌号中应有“Fe”的符号，示例见表1-1。

表1-1 铁合金牌号示例

产品名称	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	牌号表示示例
硅铁	T	Fe Fe	Si75 Si75	Al1.5 - A A	FeSi75Al1.5 - A TFeSi75 - A
金属锰	J JC		Mn97 Mn98	A	JMn97 - A JCMn98
金属铬	J		Cr99	A	JCr99 - A
钛铁		Fe	Ti30	A	FeTi30 - A
钨铁		Fe	W78	A	FeW78 - A
钼铁		Fe	Mo60		FeMo60 - A
锰铁		Fe	Mn68		FeMn68C7.0
钒铁		Fe	V40	A	FeV40 - A
硼铁		Fe	B23	C0.1	FeB23C0.1
铬铁	ZK	Fe Fe	Cr65 Cr65	C1.0 C0.010	FeCr65C1.0 ZKFeCr65C0.010
铌铁		Fe	Nb60	B	FeNb60 - B

续表 1-1

产品名称	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	牌号表示示例
锰硅合金		Fe	Mn64Si27		FeMn64Si27
硅铬合金		Fe	Cr30Si40	A	FeCr30Si40 - A
稀土硅铁合金		Fe	SiRE23		FeSiRE23
稀土镁硅铁合金		Fe	SiMg8RE5		FeSiMg8RE5
硅钡合金		Fe	Ba30Si35		FeBa30Si35
硅铝合金		Fe	Al52Si5		FeAl52Si5
硅钡铝合金		Fe	Al34Ba6Si20		FeAl34Ba6Si20
硅钙钡铝合金		Fe	Al16Ba9Ca12Si30		FeAl16Ba9Ca12Si30
硅钙合金			Ca31Si60		Ca31Si60
磷铁		Fe	P24		FeP24
五氧化二钒			V ₂ O ₅ 98		V ₂ O ₅ 98
钒氮合金			VN12		VN12
电解金属锰	DJ		Mn	A	DJMn - A
钒渣	FZ		1		FZ1
氧化钼块	Y		Mo55.0	A	YMo55.0 - A
氮化金属锰	J		MnN	A	JMnN - A
氮化锰铁		Fe	MnN	A	FeMnN - A
氮化铬铁		Fe	NCr3	A	FeNCr3 - A

1.3 铁合金生产的主要方法及设备

铁合金的生产方法很多，主要有以下几种。

1.3.1 按生产设备分类

根据生产设备不同，铁合金的冶炼包括高炉法、电炉法、金属热法、转炉法、真空电阻炉法等。表 1-2 为铁合金生产方法的分类情况。

表 1-2 铁合金生产方法的分类

设 备	还原方法		操作方法	产 品
电炉法	碳还原法		埋弧电炉法	高碳锰铁、硅锰合金、硅铁、金属硅、硅钙合金、高碳铬铁、硅铬合金、高碳镍铁、磷铁
			电弧炉法	钨铁、高碳钼铁、高碳钽铁
铝热法	硅还原法	放热法	电弧炉—钢包熔炼炉法	中低碳锰铁、中低碳铬铁
	铝还原法		铝热法（包括铝硅或硅发热剂与电炉并用法）	钒铁、铌铁、金属铬、低碳钼铁、硼铁、硅钼铁、钨铁

续表 1-2

设 备	还原方法	操作方法	产 品
其 他	电解法	电解还原法	金属锰、金属铬
	转炉法	氧气吹炼	中碳铬铁、中碳锰铁
	感应炉法	熔融	钛铁
	真空加热法	真空固定碳还原法	低碳铬铁、高碳钒铁
	高炉法	碳还原法	高碳镍铁、高碳锰铁
	团矿法	氧化物团矿（钨、钒）、发热型铁合金、氮化铁合金（用真空加热炉）	

(1) 高炉法。高炉法主要生产碳素锰铁。冶炼时把锰矿、焦炭和熔剂从炉顶分别装入炉内，高温空气或富氧经风口鼓入，使焦炭燃烧获得高温进行还原反应，熔化的金属和炉渣集在炉缸中，通过渣口、铁口定时放渣、出铁，随着炉料熔化下沉不断加入新料，生产连续进行。

高炉法生产铁合金，生产率高，成本低。但由于高炉炉内温度低，高炉冶炼条件下金属被碳充分饱和，一般只能用于生产易还原元素铁合金和低品位铁合金，如高碳锰铁、富锰渣及镍铁等。

(2) 电炉法。电炉法是生产铁合金的主要方法，铁合金产量中 70% 以上是用此方法生产的。电炉主要分为还原电炉（矿热炉）和精炼炉（电弧炉）两种：

1) 还原电炉（矿热炉）法。还原电炉法是用碳作为还原剂还原矿石生产铁合金。将混合好的炉料加入炉内，并将电极埋入炉料中，依靠电弧和电流通过炉料产生的电阻热加热，熔化的金属和炉渣积聚在炉底，通过出铁口定时出铁出渣，生产过程连续进行。主要生产品种有硅铁、硅钙合金、工业硅、高碳锰铁、锰硅合金、高碳铬铁、硅铬合金等。

2) 精炼炉（电弧炉）法。精炼炉法是用硅或硅质合金作为还原剂，生产含碳量低的铁合金。依靠电弧热和硅氧化反应热进行冶炼，炉料从炉顶或炉门加入炉内，整个冶炼过程分为引弧、加热、熔化、精炼、出铁等，生产过程间歇进行。主要生产品种有中低碳锰铁，中低碳及微碳铬铁、钒铁等。

(3) 炉外法（金属热法）。炉外法一般生产高熔点、难还原、含碳极低的合金或纯金属，用硅、铝或铝镁合金做还原剂，依靠还原反应产生的化学热来进行冶炼，在筒式炉中进行，生产间歇进行。使用的原料有精矿、还原剂、熔剂、发热剂以及钢屑、铁矿石等，冶炼前将炉料破碎干燥，按一定顺序配料混匀后装入筒式炉内，用引火剂引火，依靠反应热完成冶炼。生产的主要品种有钨铁、钛铁、硼铁、铌铁、高钒铁及金属铬等。

(4) 氧气转炉法。氧气转炉法包括顶吹、底吹、侧吹、顶底复吹转炉等炉型。原料为液态高碳合金、冷却剂及造渣剂等。该方法是将液态高碳铁合金兑入转炉，高压氧气经氧枪通入转炉内进行吹炼，依靠氧化反应放出的热量脱碳，生产间歇进行。主要生产低碳铬铁、中碳锰铁等。

(5) 真空电阻炉法。生产含氮合金、含碳量极低的微碳铬铁等产品时采用真空电阻炉法，其主体设备为真空电阻炉。冶炼时将压制成型的块料装入炉内，依靠电流通过电极时的电阻热加热，同时抽气，脱碳反应在真空固态条件下进行，生产间歇进行。

1.3.2 按热量来源分类

根据热量来源的不同将铁合金生产分为碳热法、电热法、电硅热法和金属热法。

碳热法：冶炼过程中焦炭兼做燃料及还原剂，生产在高炉中进行。

电热法：冶炼过程的热量来源主要是电能，碳质材料做还原剂，在还原炉中连续生产。

电硅热法：冶炼过程的热量来源主要是电能，其余为硅氧化放出的热量，使用硅（如硅铁或中间产品锰硅合金、硅铬合金）做还原剂在精炼电炉中间歇式生产。

金属热法：热量来源主要是硅、铝等金属还原精矿中氧化物时放出的热量，生产在筒式熔炼炉中间歇进行。

1.3.3 按操作方法和工艺分类

根据生产工艺特点不同将铁合金生产分为熔剂法和无熔剂法，连续式和间歇式冶炼法，无渣法和有渣法等冶炼方法。

熔剂法：采用碳质材料、硅或其他金属还原剂，生产时加造渣材料调节炉渣成分或性质（炉渣的酸、碱性）。

无熔剂法：多用碳质材料做还原剂，生产时不加造渣材料调节炉渣成分和性质。

连续式冶炼法：根据炉口料面下降情况，不断向炉内加料，并将炉内熔池积聚的合金和炉渣定期排除。采用埋弧还原冶炼，操作功率几乎是均衡稳定的。

间歇式冶炼法：将炉料集中或分批加入炉内，冶炼过程一般分为熔化和精炼两个时期，熔化期电极埋在炉料中，精炼完毕，排出合金和炉渣，再装入新料，进行下一炉冶炼。由于冶炼各个时期的工艺特点不同，操作功率也不同。

无渣法：采用碳质还原剂、硅石或再制合金为原料，在还原电炉中连续冶炼。

有渣法：在还原电炉或精炼炉中，选用合理的造渣制度生产铁合金，其渣铁比受冶炼品种和采用的原料条件等因素影响。

1.4 铁合金冶炼基本原理

铁合金冶炼尽管品种繁多，设备各异，但其根本是选择合适的还原剂，在冶炼中通过控制合适的条件，如温度、还原剂用量、炉渣碱度等，选择性地还原矿石中的一种或多种氧化物，使还原出来的各种元素（如不足可补加）组成需要的合金品种。还原剂的选择可依据氧势图（图1-1）进行。

氧势图即各种氧化物的标准生成自由能与温度（ $\Delta G^\circ - T$ ）的关系图，可以反映纯物质和氧气生成氧化物的标准自由能变化。由图1-1可以看出：

（1）氧化物的氧势线越低，该氧化物越稳定，对应的金属元素越活泼。因此在标准状态下，氧势线在下的氧化物的对应元素可以还原氧势线位置在上的元素氧化物。在熔炼温度范围内，各元素氧化先后的大致顺序是：钙、镁、铝、钛、硅、钒、锰、铬、铁、钴、镍、铅、铜等。同理，它们的氧化物的还原顺序正好相反，即由铜、铅、镍至铝、

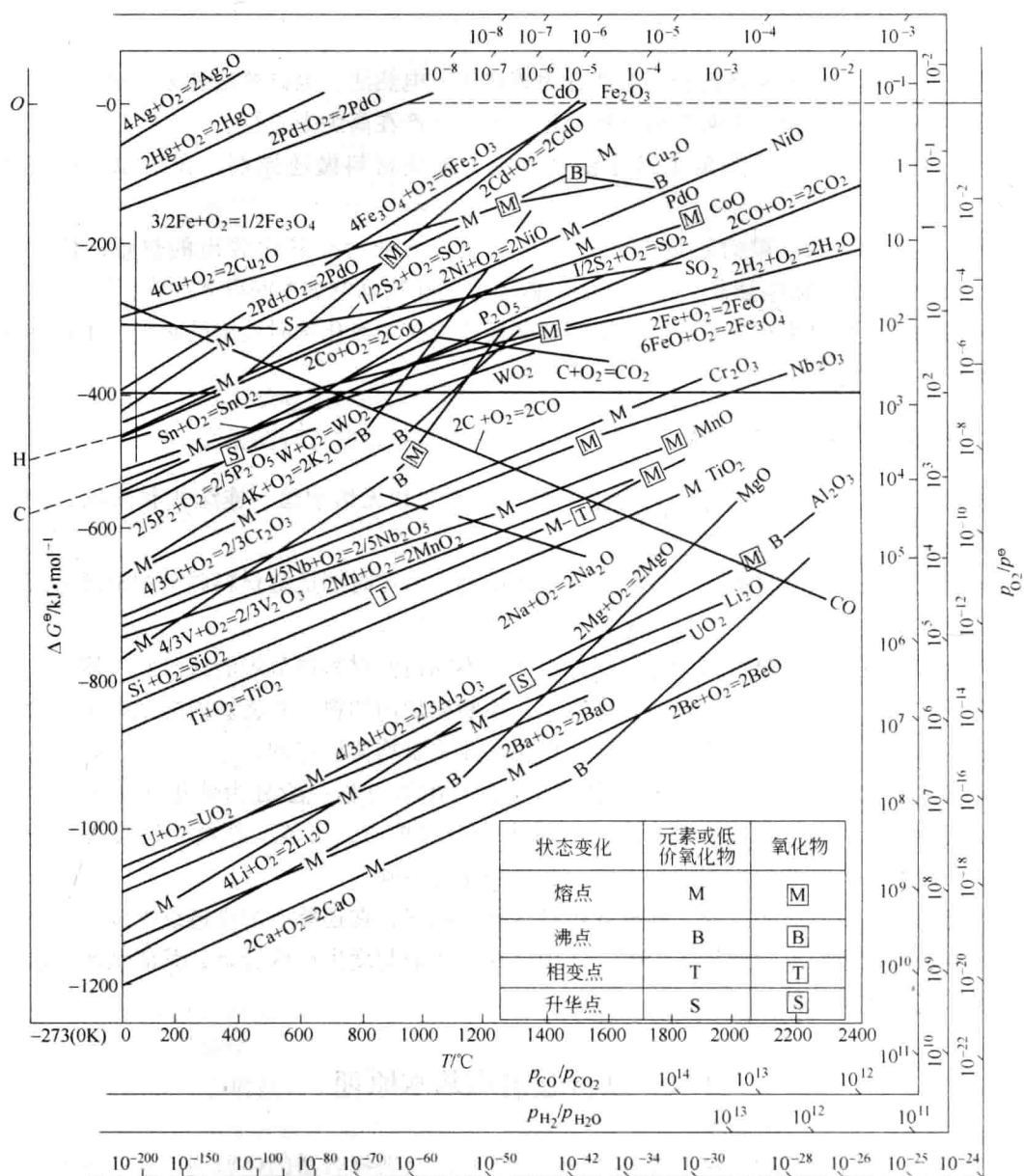


图 1-1 氧化物的标准生成自由能与温度的关系

镁、钙。从图上看，用 Si 还原 Cr_2O_3 、 MnO 、 FeO 等是完全可以的，用 Al、Mg、Ca 做还原剂还原 FeO 、 Cr_2O_3 、 MnO 、 V_2O_5 、 SiO_2 等更为可能。这是还原剂的依据。

(2) 如果两氧势线在某温度下相交，在该温度下，对应的两个氧化物的稳定性相同，也可以说两种氧化反应同处平衡状态。此温度称为转化温度。

(3) 由碳和氧生成 CO 反应的氧势线向右下方倾斜，而绝大多数氧化物的氧势线却向右上方倾斜。两者必然相交，交点所对应的温度就是碳还原该氧化物的温度，温度高于该值，还原反应可以进行。所以理论上讲，只要温度足够高，碳可还原所有金属氧化物，这