



第二届冶金优秀教材一等奖
普通高等教育“十三五”规划教材

DIERJIE YEJIN YOUXIU JIAOCAI YIDENGJIANG
PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

铁合金冶炼工艺学

(第2版)

许传才 杨双平 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



第二届冶金优秀教材一等奖
普通高等教育“十三五”规划教材

铁合金冶炼工艺学

(第2版)

许传才 杨双平 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2016

内 容 提 要

本书是根据“铁合金冶炼工艺学”教学大纲,结合多年教学、科研和生产实践编写的。主要介绍了铁合金的发展、冶炼基本原理和铁合金生产工艺设备,详尽地论述了各种铁合金冶炼工艺,特别是对大型工业硅、硅钙合金电炉采用现代大型设备、新技术、新工艺进行了详尽论述。

本书共分11章。第1章简述了铁合金的用途、分类和发展,着重论述了热力学参数在铁合金生产中的具体应用,并附有热效应和反应自由能变化计算实例。第2~3章介绍了铁合金电炉炉衬和电极材料、制作、结构和使用。第4~11章全面论述了各种铁合金使用的原材料准备、冶炼原理、冶炼操作技术、节能技术、物料热装、热兑、留铁法操作新技术。

本书可作为高等院校相关专业教材,高职、技术培训用教材,也可供铁合金生产领域技术人员和管理人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁合金冶炼工艺学/许传才,杨双平编著.—2版.—北京:
冶金工业出版社,2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7304-4

I. ①铁… II. ①许… ②杨… 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(2016)第192272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 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 吕欣童 版式设计 吕欣童 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7304-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2008年6月第1版,2016年8月第2版,2016年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;17.75印张;431千字;271页

42.00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 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

第2版前言

根据“铁合金冶炼工艺学”教学大纲，结合多年的教学、科研和生产实践，我们在2007年编写了《铁合金冶炼工艺学》这本教材。在多年的教学使用后，根据现代技术的发展和设备的更新，在2016年对第1版进行了修订和更新，对相关的设备技术参数进行了更新，编写了第2版。

再版时增加了一些新的实用技术；增加了组合把持器、旋转炉体、波纹管压力环、开堵眼机等现代大型设备；增加了烟气发电，利用冷却后热水取暖，建设半封闭和密闭式矿热炉，减少炉口散热，砌筑保温炉衬减少炉壳热量损失；增加了实用效果较好的硅钙钡合金新品种；增加了国外现代化控制技术；增加了大型硅钙合金、工业硅电炉操作技术；增加了节能节电技术、物料热装、热兑、留铁法操作等新技术，这些都对增加铁合金产能和降低生产成本起到重要作用。

参加本书编写的有：许传才、杨双平（第1~3章），董洁（第4、5章），王苗（第6、7章），邢相栋（第8~11章），王苗、邢相栋（附录）。本书由西安建筑科技大学冶金工程学院许传才、杨双平主编。

在编写过程中，得到许多兄弟单位大力支持，引用了一些同志的资料，许钧博总经理对书稿进行了审阅和修改，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不足之处，敬请读者批评指正。

作 者
2016年5月

第1版前言

根据“铁合金冶炼工艺学”教学大纲，结合多年教学、科研和生产实践，我们编写了《铁合金冶炼工艺学》这本教材。本书可供钢铁冶金专业、铁合金大专班、函授班、职工大学、铁合金进修班教学使用，也可作为铁合金厂、钢铁企业管理人员读本。各类学校根据教学要求，内容可作适当增减。

本书在编写过程中力求理论联系实际，内容丰富、系统。书中对铁合金冶炼原理和各种铁合金冶炼工艺进行了较详细的论述，希望能对企业提高铁合金的产量、质量、品种改炼、降低电耗等方面有所帮助。

参加本书编写的有：许传才（第1、2、3、5、15、16章）、陈永高（第4章）、顾叔武（第6章）、姚景崇（第7章）、金成功（第8章）、尹国才、马长锁（第9章）、张百川（第10章）、杨洪祥（第11、12、14章）、刘万吉（第13章）、许军德（第17章）、吴建民（第18章），全书由西安建筑科技大学冶金工程学院许传才主编。

在编写过程中，得到了许多兄弟单位大力支持，引用了一些同志的资料；鲁开疑、俞景录教授、陈永高工程师和李成云厂长对书稿进行了审阅修改，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不当之处，诚望读者批评指正。

编 者
2007年12月

目 录

1 铁合金概述	1
1.1 铁合金的简史、用途、分类和发展	1
1.1.1 铁合金工业的简单历史	1
1.1.2 铁合金的用途	1
1.1.3 铁合金的分类	2
1.1.4 铁合金工业发展和对策	3
1.2 铁合金生产方法	4
1.2.1 铁合金生产过程	4
1.2.2 铁合金的生产方法	4
1.3 铁合金冶炼的基本原理	7
1.3.1 铁合金生产的任务	7
1.3.2 还原剂还原法制取铁合金反应的通式	8
1.3.3 反应的热效应	8
1.3.4 反应的标准自由能变化 $\Delta G^\ominus$	11
1.3.5 氧化物的稳定性	12
1.3.6 平衡常数	14
1.3.7 化学反应速率	16
1.3.8 氧化法生产低碳合金的原理	17
1.3.9 真空法冶炼微碳合金的原理	17
1.4 铁合金车间及主要设备	18
1.4.1 铁合金厂总图布置和运输	18
1.4.2 铁合金车间组成和生产规模的确定	18
1.4.3 矿热炉主要机械设备	20
1.4.4 供电设备	24
1.4.5 铁合金电炉的电气控制	26
思考题	32
2 矿热炉熔池及炉衬砌筑	33
2.1 矿热炉概述	33
2.1.1 矿热炉的容量、类型和结构	33
2.1.2 温度场	34
2.2 矿热炉的电气工作参数	34

2.2.1 电压	34
2.2.2 电流	35
2.2.3 功率	35
2.2.4 熔池电阻	37
2.3 反应区几何尺寸	37
2.3.1 反应区的主要尺寸	37
2.3.2 影响反应区体积大小的因素	38
2.4 熔池主要参数及其计算	39
2.4.1 无渣熔池参数及其计算	39
2.4.2 有渣熔池参数及其计算	42
2.4.3 多渣熔池参数及其计算	45
2.5 炉衬及其砌筑	45
2.5.1 炉衬材料的性能	45
2.5.2 耐火材料的选择原则	46
2.5.3 铁合金生产常用耐火材料	47
2.5.4 铁合金电炉的砌筑	47
2.6 铁合金电炉的烘炉和开炉冶炼	50
2.6.1 烘炉	50
2.6.2 新炉开炉冶炼	52
思考题	53
3 电极及其使用	54
3.1 电极的作用、分类及其性能	54
3.1.1 电极的作用及其要求	54
3.1.2 电极的简史	55
3.1.3 电极的分类	55
3.1.4 电极消耗量	55
3.1.5 电极的主要性能	56
3.2 自焙电极的制作	57
3.2.1 电极壳	57
3.2.2 电极糊	58
3.3 自焙电极的烧结	60
3.3.1 焙烧电极的热量来源	60
3.3.2 自焙电极的烧结过程	61
3.3.3 电极在烧结过程中物理化学变化	61
3.4 自焙电极的接长和下放	63
3.4.1 电极壳的接长	63
3.4.2 添加电极糊	63
3.4.3 电极的下放	64

3.5 自焙电极的事故及其处理	65
3.5.1 硬断及其处理	65
3.5.2 漏糊及其处理	66
3.5.3 软断及其处理	67
3.5.4 悬料及其处理	68
3.5.5 过烧及其处理	68
3.6 空心电极的使用	69
思考题	69
4 硅系铁合金	70
4.1 硅的主要物理化学性质	70
4.1.1 硅的物理性质	70
4.1.2 硅的化学性质	70
4.2 硅铁	73
4.2.1 硅铁的牌号和用途	73
4.2.2 原料及其要求	74
4.2.3 硅铁冶炼基本原理	80
4.2.4 硅铁冶炼操作	83
4.3 工业硅	89
4.3.1 工业硅的牌号和用途	89
4.3.2 生产设备	90
4.3.3 原材料及其要求	91
4.3.4 工业硅冶炼操作	91
4.4 硅钙合金	94
4.4.1 钙的主要物理化学性质	94
4.4.2 硅钙合金的牌号和用途	95
4.4.3 生产设备、原材料和生产方法	96
4.4.4 二步法生产硅钙合金	97
4.4.5 混合加料法	97
4.4.6 分层加料法	100
思考题	102
5 锰系铁合金	103
5.1 锰的主要物理化学性质	103
5.1.1 锰的主要物理性质	103
5.1.2 锰的化学性质	103
5.2 锰铁的牌号和用途	105
5.2.1 锰铁的牌号	105
5.2.2 锰铁的用途	105

5.3 锰矿及其冶炼前的准备	106
5.3.1 含锰矿物和锰矿石	106
5.3.2 锰矿资源	107
5.3.3 冶炼锰合金对锰矿的要求	108
5.3.4 锰矿造块	109
5.4 富锰渣	110
5.4.1 富锰渣的生产方法和用途	110
5.4.2 高炉冶炼富锰渣	111
5.4.3 电炉冶炼富锰渣	114
5.5 高碳锰铁	116
5.5.1 高碳锰铁的生产方法及特点	116
5.5.2 原料及其要求	117
5.5.3 冶炼高碳锰铁的基本原理	119
5.5.4 高碳锰铁冶炼操作	120
5.5.5 高炉冶炼高碳锰铁	124
5.6 锰硅合金	125
5.6.1 锰硅合金的牌号和用途	125
5.6.2 锰硅合金的生产方法	126
5.6.3 原料	126
5.6.4 冶炼锰硅合金的基本原理	128
5.6.5 冶炼操作	129
5.7 中低碳锰铁	132
5.7.1 中低碳锰铁的用途	132
5.7.2 生产方法	132
5.7.3 原料	133
5.7.4 中低碳锰铁冶炼基本原理	134
5.7.5 电硅热法冶炼中低碳锰铁操作	135
5.7.6 纯氧顶吹转炉法冶炼中、低碳锰铁	136
5.7.7 炉外精炼法冶炼中、低碳锰铁	137
5.7.8 摇包法生产中低碳锰铁实例	139
5.8 金属锰	141
5.8.1 金属锰的牌号和生产方法	141
5.8.2 电硅热法生产金属锰	142
5.9 氮化锰铁	145
5.9.1 氮化锰铁的牌号和用途	145
5.9.2 生产方法	145
5.9.3 冶炼工艺	146
思考题	146

6 铬系铁合金	147
6.1 铬的主要物理化学性质	147
6.1.1 铬的主要物理性质	147
6.1.2 铬的主要化学性质	147
6.2 铬铁的牌号和用途	149
6.2.1 铬铁的牌号	149
6.2.2 铬铁的用途	149
6.3 铬矿	150
6.3.1 铬矿石	150
6.3.2 化学成分	151
6.3.3 物理性能	153
6.4 高碳铬铁	153
6.4.1 生产方法	153
6.4.2 原料	154
6.4.3 高碳铬铁冶炼的基本原理	154
6.4.4 冶炼操作	155
6.5 硅铬合金	159
6.5.1 硅铬合金的牌号、用途和生产方法	159
6.5.2 原料	160
6.5.3 硅铬合金冶炼的基本原理	160
6.5.4 熔炼操作	161
6.5.5 炉外降碳	162
6.6 中低碳铬铁	163
6.6.1 生产方法	163
6.6.2 原料	164
6.6.3 吹氧法冶炼中低碳铬铁的基本原理	165
6.6.4 熔炼操作	165
6.6.5 炉龄	169
6.7 微碳铬铁	169
6.7.1 生产方法	169
6.7.2 原料	170
6.7.3 熔炼基本原理	170
6.7.4 冶炼操作	171
6.7.5 波伦法(热兑法)冶炼微碳铬铁	174
6.7.6 真空固态脱碳法冶炼微碳铬铁	175
6.7.7 氮化铬铁	177
6.8 金属铬	178
6.8.1 金属铬的牌号和生产方法	178

6.8.2 氧化铬的生产	179
6.8.3 炉外法冶炼	183
思考题	184
7 钼铁	185
7.1 钼的主要物理化学性质	185
7.1.1 钼的主要物理性质	185
7.1.2 钼的主要化学性质	185
7.2 钼铁的简史、牌号和用途	186
7.2.1 钼铁发展的简单历史	186
7.2.2 钼铁的牌号	186
7.3 钼矿及采选	187
7.4 钼精矿的氧化焙烧	188
7.4.1 焙烧原理	188
7.4.2 焙烧工艺	190
7.5 钼铁的生产方法	194
7.6 钼铁冶炼原理	194
7.6.1 电炉碳还原积块法冶炼钼铁的基本原理	194
7.6.2 炉外金属热还原法冶炼钼铁的基本原理	195
7.7 炉外法生产钼铁	196
7.7.1 原料及其要求	196
7.7.2 熔炼操作	197
7.7.3 提高钼的回收率	201
7.8 铝粒的生产	202
7.8.1 铝锭	202
7.8.2 卧式喷铝工艺	202
7.8.3 竖式喷铝工艺	204
思考题	204
8 钛铁	205
8.1 钛的主要物理化学性质	205
8.1.1 钛的主要物理性质	205
8.1.2 钛的主要化学性质	205
8.2 钛铁的牌号和用途	206
8.2.1 钛铁的牌号	206
8.2.2 用途	207
8.3 钛的主要矿物	207
8.4 钛铁的生产方法及其原理	207
8.4.1 碳还原法	207

8.4.2 铝热法	208
8.5 铝热法生产钛铁	210
8.5.1 原材料及其准备	210
8.5.2 配料操作	211
8.5.3 冶炼操作	211
8.5.4 精整及包装	212
8.5.5 钛铁锭的化学成分偏析与取样	212
8.5.6 影响钛铁生产技术经济指标的因素	213
思考题	216
9 钨铁	217
9.1 钨的主要物理化学性质	217
9.1.1 钨的主要物理性质	217
9.1.2 钨的主要化学性质	217
9.2 钨铁的牌号和用途	218
9.2.1 钨铁的牌号	218
9.2.2 钨铁的用途	219
9.3 钨矿	219
9.4 生产方法	220
9.4.1 积块法	220
9.4.2 取铁法	220
9.4.3 炉外法	221
9.5 冶炼基本原理	221
9.6 取铁法生产钨铁	222
9.6.1 熔炼设备及工艺流程	222
9.6.2 原料	223
9.6.3 熔炼操作	224
思考题	231
10 钒铁	232
10.1 钒的主要物理化学性质	232
10.1.1 钒的主要物理性质	232
10.1.2 钒的主要化学性质	232
10.2 钒铁的牌号和用途	233
10.2.1 钒铁的牌号	233
10.2.2 钒铁的用途	234
10.3 钒矿	234
10.4 五氧化二钒的制取	235
10.4.1 工艺过程	235

VIII	
10.4.2	钒渣的制备 236
10.4.3	钒渣的氧化钠盐焙烧 237
10.4.4	焙烧熟料的浸出 238
10.4.5	五氧化二钒的水解沉淀 239
10.4.6	五氧化二钒的熔化 241
10.5	钒铁的生产方法及冶炼基本原理 241
10.5.1	钒铁的生产方法 241
10.5.2	冶炼基本原理 241
10.6	电硅热法生产钒铁 243
10.6.1	冶炼设备及原料 243
10.6.2	冶炼操作 243
10.6.3	影响冶炼的几个因素 245
10.6.4	冶炼生产过程中的几个问题 246
10.7	铝热法生产钒铁 248
10.7.1	原料 248
10.7.2	冶炼操作过程 248
	思考题 249
11	镍铁和金属镍 250
11.1	镍的主要物理化学性质 250
11.1.1	镍的主要物理性质 250
11.1.2	镍的主要化学性质 250
11.2	镍铁的简史、牌号和用途 251
11.2.1	镍铁的发展简史 251
11.2.2	镍的牌号和化学成分 251
11.2.3	镍的用途 252
11.3	含镍原料 252
11.4	镍铁和镍的生产 254
11.4.1	生产方法 254
11.4.2	硫化镍精矿的火法冶炼 254
11.4.3	用火冶法处理氧化镍制取镍铁和金属镍 256
	思考题 257
附录	物理化学数据表 258
附表1	某些物质的基本热力学数据 258
附表2	一些物质的熔点、熔化热、沸点、蒸发热、转变点、转变热 263
附表3	某些反应的标准自由能变化 264
	参考文献 271

本章要点:

- (1) 铁合金主要用途和分类方法;
 - (2) 铁合金主要生产技术和方法;
 - (3) 热力学参数在铁合金冶炼中的应用;
 - (4) 热效应计算和反应自由能变化计算实例说明综合回收利用的意义;
 - (5) 铁合金生产车间现代大型先进设备。
-

1.1 铁合金的简史、用途、分类和发展

1.1.1 铁合金工业的简单历史

1774 年,瑞典化学家舍勒及其合作者在实验室对由软锰矿制取金属锰进行了首次研究。1810 年,伯齐利厄斯等人把石英、木炭和钢屑放在锻工炉中冶炼,第一次得到了含硅 2.2% ~ 9.3% 的五种低品位硅铁。

1860 年,法国普尔塞尔等人把铬铁矿、还原剂碳和熔剂 CaO 混合后在坩埚炉中冶炼,得到低品位疏松的高碳铬铁。

1895 年,普尔塞尔等人将锰铁矿装入高炉中进行冶炼,生产出含锰 8% 左右的高炉锰铁。后来用锰矿石在高炉中冶炼出较高品位的高炉锰铁,至今仍有许多国家沿用此法生产。

1890 年,发明了发电机和随后建立了电力工业,从那时起穆瓦桑等人在电炉中进行了系统的试验,分别生产出和现在相似的高品位硅铁、锰铁、铬铁等铁合金。后来又在电炉中用电硅热法炼得低碳锰铁和低碳铬铁。

19 世纪末 20 世纪初,戈尔德等用铝热法制取了含碳很低的金属锰和金属铬等。

由上述可以看出,铁合金的发展是由低品位到高品位,设备由简单到复杂,由小批量到大规模生产。今天已能生产出各种不同品种的铁合金,满足了钢铁等工业的需要。

1.1.2 铁合金的用途

铁合金是一种或两种以上的金属或非金属元素融合在一起的合金。它不是可以直接使用的金属材料,而是主要作为钢铁生产的脱氧剂和合金剂的中间原料。

- (1) 用作脱氧剂。炼钢是用氧化方法去除铁液中的碳、磷等杂质。在完成这些氧化的

任务后,同时钢液中也吸收了氧,如果这些氧存在在钢中就会大大地降低钢的性能。因此需要添加一些与氧结合力比较强,且其脱氧产物又能顺利从钢液中排除,从而使钢液中的氧含量降低的元素。这个过程叫做钢的脱氧。用于脱氧的元素或合金叫做脱氧剂,常用的脱氧剂有锰、硅、铝等。这些元素多以铁合金 Fe-Mn、Fe-Si 和 Al 等形式加入钢液中。元素与氧的结合能力越强,在钢中含量越高,其脱氧效果也就越好。

(2) 用作合金剂。合金元素不但能降低钢中杂质的含量,而且还能调整钢的化学成分。用于调整钢的化学成分使钢合金化的元素或合金叫做合金剂,常用的合金元素有硅、锰、铬、钼、钒、钛、钨、钴、硼、铌等。不同的合金元素和不同的合金元素含量的钢种具有不同的特性和用途。例如:

1) 低合金高强度钢 16Mn。是在普通 Q235 碳钢成分基础上,增加锰的含量,即得含 Mn 1.2% ~ 1.6%、C 0.12% ~ 0.2%、Si 0.2% ~ 0.6% 的 16Mn 低合金高强度钢。其强度和综合性能都比碳钢好,1t 能顶 1.2 ~ 1.3t 碳钢使用。它广泛地用于国民经济各个部门。例如,南京长江大桥用 16Mn 钢后强度增大,质量减轻;各种吊车梁用 16Mn 钢后强度增加,质量减轻近 1/3。

2) 轴承钢。含 C 0.95% ~ 1.05%、Cr 1.3% ~ 1.65%、Si 0.15% ~ 0.35%、Mn 0.2% ~ 0.4% 的轴承钢,具有高而均匀的硬度、好的耐磨性和高的强度极限,用作车辆、机床等轴承的钢球、滚子和轴套。

3) 硅钢。含 Si 2.0% ~ 4.5%、含 C 0.1% 以下的各类硅钢具有良好的电磁性能,用于制造电机和变压器的硅钢片。

4) 高速工具钢。含 W 17.5% ~ 19.0%、含 C 0.7% ~ 0.8%、V 1.0% ~ 1.4%、Cr 3.8% ~ 4.4% 的高速工具钢,具有高的红硬性,在高速切削条件下温度高达 500 ~ 600℃ 时硬度也不降低,常用于制造车刀、铣刀、板牙和钻头等。

5) 不锈钢。含 Cr13% 以上、C 小于 0.45% 的各类不锈钢,在空气、酸、碱性溶液等介质中和在高温下使用都不易生锈。现在,不锈钢已广泛应用在医疗刀具、化工、石油、仪器、仪表、航空、航海以及生活用的餐具等领域中。

(3) 改善铸造工艺和铸件性能。铁合金也可作为添加剂应用在铸造工业上,从而改善铸造工艺和铸件性能。

(4) 作为还原剂。硅铁可以作为生产钼铁、钒铁等铁合金的还原剂,硅铬合金和硅锰合金可以分别作为精炼铬铁和精炼锰铁的还原剂。

(5) 其他方面用途。铁合金在其他工业中也得到广泛应用。例如,硅铁粉在焊接工业上可作为焊条涂料的添加剂,在选矿工业上硅铁粉可作为悬浮剂,在电子工业上高纯工业硅经过一些工艺处理后可作为硅晶体管,两种合金元素熔合在一起可以制成 Cr20Ni80 高温电阻丝等。

因此工业发达的国家都非常重视铁合金的生产,把铁合金作为战略物资来对待。

1.1.3 铁合金的分类

铁合金分为:

(1) 单一铁合金。只含一种合金元素的合金叫做单一铁合金。其主要品种有硅铁、锰铁、铬铁、钼铁、钛铁、钨铁、工业硅、硼铁、钒铁、金属锰等。

(2) 复合铁合金。含有两种或两种以上合金元素的合金叫做复合铁合金。其主要品种有硅锰合金、硅钙合金、硅铝合金、硅锰铝合金、硅钙铝合金、硅钙钛合金等。

(3) 氮化制品。用锰铁或铬铁粉末，在高温条件下经渗氮等方法生产的氮化产品。其主要品种有氮化锰铁、氮化铬铁等。

(4) 氧化物团块。易被铁还原的氧化物团块也可以作为合金剂直接加入钢液中，例如氧化钼团块等。

各国根据炼钢上的要求，对各种产品还分若干个牌号。我国国家标准 GB 中有几百个牌号。在铁合金品种中，硅、锰、铬三大系统铁合金的生产量最大，约占铁合金总产量的90%以上。

1.1.4 铁合金工业发展和对策

根据我国钢铁等工业发展的需要，到 2100 年要建立完整的铁合金生产体系，主要发展方向和对策如下：

(1) 增加生产能力，调整布局。我国现在铁合金的产量还不能满足国内外市场的需要，因此有条件的地区还应增加生产能力，增加铁合金的产量。工业布局上要向原料和电力资源丰富的西北和西南地区发展。

(2) 提高质量，增加品种。所谓提高质量就是提高合金元素的含量，降低磷、铝、硫等杂质和夹渣物含量。增加钒、钛、稀土合金、复合脱氧剂等品种。

(3) 提高工艺和装备水平。“十二五”期间主要铁合金厂生产设备从配料、加料、冶炼、浇注到成品包装整个工艺流程将实现机械化，并建立一些 12500~50000kV·A 大型电炉。

(4) 达到先进的技术经济指标。我国现在一些铁合金厂的主要技术经济指标如表 1-1 所示。其中综合指标电耗要求达到表中先进指标，即硅铁电耗达到 8350kW·h，高碳锰铁达到 2750kW·h，高碳铬铁达到 2500kW·h，工业硅达到 12000kW·h。

表 1-1 铁合金生产主要技术经济指标

品 种	电炉额定容量 /kV·A	平均日产量 /t	单位产品电耗 /kW·h·t ⁻¹	产品合格率 /%	元素回收率 /%	入炉料品位 /%	功率因数 cosφ
硅铁 75%	50000	78~80	8700	>99	90~92	98	0.7
	25000	48~50	8700	>99	90~92	98	0.77
	16500	34~36	8700	>99	90~92	97	0.82~0.84
	12500	26~28	8700	>99	90~92	97	0.84~0.87
	9000	18~20	8700	>99	90~92	97	0.84~0.87
	6000	14~15	8700	>99	90~92	97	0.85~0.88
高碳锰铁	12500	75~80	2600	>99.5	73~75	31~33	0.8~0.82
	6000	35~38	2600	>99.5	73~75	31~33	0.82~0.85
	3200	16~18	2500	>99.5	70~75	31~33	0.84~0.88
硅锰合金	31500	95~100	4500	99.5	>78	29~32	0.63
	30000	90~95	4500	99.5	>78	29~32	0.65
	25000	80~85	4500	99.5	>78	29~32	0.73~0.78
	16500	60~62	4500	99.5	>78	29~32	0.77~0.80
	12500	52~55	4500	99.5	75~78	29~32	0.82~0.85
	6000	25~30	4400	99.5	76~78	29~32	0.85~0.88

续表 1-1

品 种	电炉额定容量 /kV · A	平均日产量 /t	单位产品电耗 /kW · h · t ⁻¹	产品合格率 /%	元素回收率 /%	入炉料品位 /%	功率因数 cosφ
中低碳 锰铁	3500	65 ~ 75	680	95 ~ 99	65 ~ 70	> 36	
	3000	50 ~ 60	650	94 ~ 98	65 ~ 70	> 36	
	1500	14 ~ 16	1500	> 98	68 ~ 73	> 36	
高碳铬铁	25000	145 ~ 150	3200	> 99.5	91	40 ~ 42	0.80
	12500	74 ~ 76	3200	> 99.5	91	40 ~ 42	0.86
	9000	56 ~ 58	3000	> 99.5	91	40 ~ 42	0.84
	6000	35 ~ 40	3100	> 99.5	91	40 ~ 42	0.86
硅铬合金	12500	48 ~ 50	5000	> 99.5	94	55	0.86
	9000	35 ~ 38	4900	> 99.5	94	55	0.84
	6000	22 ~ 25	4900	> 99.5	90	55	0.86
硅钙合金	1200	1.5	13500	> 97	65	85	
	30000	4.5	11000	> 96	65	85	
工业硅	6300	9 ~ 11	13000	> 98	80	> 99	0.85
	5000	7 ~ 9	13500	> 98	80	> 99	0.85
	7000	4 ~ 6	13500	> 98	80	> 99	0.86
高炉锰铁	100m ³	56	1930	100	81.3	31 ~ 33	
	140m ³	89	1550	99.5	79.8	31 ~ 33	

(5) 粉剂生产。定点完善硅钙粉剂的生产设备, 增加粉剂产量, 满足了包芯线等需要。

1.2 铁合金生产方法

1.2.1 铁合金生产过程

铁合金生产过程就是炉料、还原剂、渣料、成分调节剂在高温下经过物理化学变化生成合金、炉渣、炉气的过程。要保证其变化按需要的方向进行, 必须要有一定的冶炼设备、正确的操作和提供必要的热量。铁合金的品种多, 原料复杂, 所提取的合金元素物理化学性质差别大, 因此采用的生产方法也各异。

1.2.2 铁合金的生产方法

1.2.2.1 按使用的设备分类

铁合金的生产方法按使用的设备不同可分为高炉法、矿热炉法、电弧炉法、炉外法、真空电阻炉法和氧气转炉法等。

(1) 高炉法。高炉法是工业上大规模生产铁合金最早采用的方法。用高炉法冶炼铁合金产量高、成本低。用焦炭燃烧产生的热量进行冶炼, 焦炭不但是燃料同时也是还原剂。

锰铁高炉炉体结构如图 1-1 所示。冶炼时把锰矿、焦炭和熔剂从炉顶分别装入炉内,