

钢铁生产

工人教材

国营铝厂 編

冶金工业出版社

矽鉄生产工人教材

国营铝厂 編

編輯: 王通彬 設計: 魯芝芳 袁哲 校對: 詹家秋

—— * ——

冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 093 号

通州区印刷厂印 新华書店發行

—— * ——

1959 年 7 月第一版

1959 年 7 月北京第一次印刷

印数 2,500 册

开本 787×1092·1/32·19,000 字·印张 叁·插頁 ·

—— * ——

統一書号 15062·1699 定价 0,10 元

自从党中央和毛主席向全党和全国人民提出了技术革命与文化革命的偉大号召后，广大工人、农民、机关干部和学生都掀起了学习技术的高潮。全国各地大量兴办了大中小型的工厂，需要培训大量的技术工人，这些企业的领导干部和業務人員也迫切要求学习和掌握技术知識，以便在工作中做出更大的贡献。为了适应这方面的需要，这里我們把国营铝厂技工学校的矽鉄生产工人教材整理出版，我們希望这本教材能被用作鉄合金厂或車間的工人培训教材。有关單位的一般工作人員也可以做为自学参考讀物。

这本矽鉄生产工人教材中簡明地介紹了电爐矽鉄合金的生产基本知識，原理，生产操作及生产中所应注意的各项問題。書中特別着重地介紹了該厂几年来的实际生产經驗。对于实际操作工人会有很大帮助。

、本書因出版時間倉促，錯誤与缺点一定不少，希讀者指正。

目 录

第一节 矽鉄的性质与用途	1
--------------	---

第二节 生产矽鉄的原料	3
-------------	---

1. 矿石	3
-------	---

2. 含鉄原料	5
---------	---

3. 还原剂	5
--------	---

4. 矽炭氧	9
--------	---

第三节 爐料組成計算	10
------------	----

第四节 矽鉄在爐內的反应	13
--------------	----

1. 主要反应	13
---------	----

2. 其它反应	14
---------	----

第五节 掌握操作及保持爐子情况稳定的方法	17
----------------------	----

第六节 影响矽鉄生产的几个主要因素	20
-------------------	----

1. 影响电力負荷的因素	21
--------------	----

2. 有效地利用生熟時間	23
--------------	----

3. 各种因素对單位电能消耗的影响	23
-------------------	----

第七节 不同品位矽鉄的轉变熔煉	26
-----------------	----

第一节 矽鉄的性質与用途

矽鉄是矽与鉄組成的合金，根据合金中矽含量的多少，可以分为高含量矽鉄（45—75—90%Si）与低含量矽鉄（10—20%Si）两种。低含量的矽鉄一般是在高爐内进行熔煉，而高含量的矽鉄則仅在电爐内进行熔煉。一般高含量矽鉄的化学成份要符合表 1 所列的技术要求：

表 1

品 級	化 学 成 份					
	Si	錳不大于	鉻不大于	磷不大于	硫不大于	鈣不大于
45%	43—50	0.8	0.5	0.05	0.04	0.3
75%	70—78	0.7	0.5	0.04	0.04	0.6
90%	87—95	0.2		0.04	0.03	1.5

矽鉄的熔点随其合金中矽含量的多少而改变，其中合金中含矽为 33.3% 时，則其熔点較高（1410℃）。其余一般合金的熔点不超过 1330℃。例如：含矽 43—50% 的合金的熔化溫度为 1330—1220℃，含矽 70—78% 的合金在 1300—1330℃ 时熔化。

矽鉄合金的比重也随含矽量而变化，其合金中含矽量与合金的比重关系如表 2 所示：

矽鉄的用途：

1. 煉鋼时的脫氧剂：矽是强烈的脫氧剂。这个性質决定了它被广泛地应用于冶金工業方面。差不多在生产所有各种

表 2

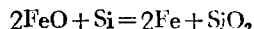
合金中Si含量 %										
40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
合金的比重										
5.61	5.15	4.75	4.37	4.00	3.76	3.51	3.27	3.03	2.78	2.55

牌号的鋼时，矽都被用作脫氧剂，而在某些鋼的生产中，矽又被用作合金元素。从 45% 矽鉄計算，煉一吨 鋼需 45% Si 的矽鉄 6.5—7 公斤。这一数据告訴了我們矽合金在黑色冶金中的需要量是非常大的。

一般，鋼中含矽达 0.35%，含矽量大的鋼属于 矽合金鋼。向鋼中加入約 1.30—2% 的 Si，可以增高鋼的屈服限度与彈性限度。

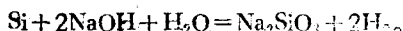
含矽量比較高 (2.5—4.2% Si)，而含碳量低的鋼 (不大于 0.1%)，可用于变压器鉄心和电动机的生产方面。

矽与鉻合金在一起，可以制造工具鋼与耐热鋼，通常一般采用 45%，75% 的矽鉄当作煉鋼脫氧剂，其反应式如下：



2. 制取低碳鉄合金 (FeCr, FeMn, FeV) 的还原剂：通常采用 75% 以上的矽鉄，因为在矽之含量較低时，則其制取合金含量元素 (Cr, Mn, V) 就显著地降低了。

3. 含矽高的矽鉄可以用来制造氫气，其反应如下：



第二节 生产矽鉄的原料

生产矽鉄的原料是含二氧化矽的矿石、含鉄材料及还原二氧化矽的碳素材料。

为了要制得質量优良、成本低廉的矽鉄，所有用于生产的原材料，其化学成份及物理性質都必须合乎規定标准。

对原料中杂质含量的要求，具有極重要的意义，因不仅原料中之某些杂质在电爐內熔煉时会混入矽鉄中，而將損害成品質量，而且某些杂质在熔煉过程中，还会使熔煉情况惡化，操作困难，从而促使产量降低。

下面我們就分述矽鉄生产所用原料的一般情况及要求。

1. 矿石

各种含二氧化矽的矿石是生产矽鉄的主要原料。在自然界存在的二氧化矽很多，如：水晶、石英、石英岩、石英砂、砂岩等，但生产矽鉄时，不是所有这些矿物全都能被利用，它們之中有些是稀有的，因而是价格很貴的矿石，如水晶，所以不用；其它如砂岩和石英砂，由于过碎也不合用。生产矽鉄通常采用最便宜和最普遍的矿石，即石英和石英岩，一般叫硅石。

石英是一种致密的晶体，比重为2.5—2.65，硬度为7。它本来是無色的，但在大多数情况下，它呈現白色、灰色或紅色，这是由于含有各种杂质的关系。

石英岩是由石英晶粒所構成的岩石，晶粒与晶粒之間为粘結物質。这些粘結物質主要含有二氧化矽。

这些矿石很普遍。选择生产矽铁的二氧化矽矿物时，应选择含二氧化矽不少于 95%，而所含杂质——氧化铝，氧化镁，氧化钙最少的矿石。因这些氧化物除部份被还原外，大部份将生成爐渣，而在造渣时，需消耗大量的热能，出爐时又会帶出許多的显热。

应特别注意五氧化二磷的含量，因它在熔煉过程中差不多全部被还原，又約其中之一半將轉入矽铁，而矽铁中磷含量不許超过 0.05%，故所用矿石中的五氧化二磷不应超过 0.02%。

至于氧化鉄的含量、則沒有限制，因为生产矽铁时，必須向爐中加入含鉄材料。

还要注意石英岩的机械强度，当破碎与加热到软化温度时，它不应碎成粉末，否則影响爐內的透气，而使冒火情况不好。

在破碎时所产生的全部細小塊，要用篩子篩去，細小塊子进入爐內是不好的，这不仅是因为它会降低爐子的透气率，而且因为它含有較高的杂质，如石英中，一般三氧化二鋁含量不大于 1.5%，而細小塊子之三氧化二鋁含量可能超过

我国东北几处石英

矿 区	化 学			
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
庙 兒 溝	99.3	0.27—0.82	0.38—1.76	0.28
江 蜜 蜂	98.5	0.4	0.6	—
許 家 屯	98.33—99.53	0.13—0.6	0.4—1.06	0.12—1.56

20%。

工業上一般生产矽鉄所用的石英塊度以 50—100 毫米为合适，但还要根据爐子的功率而定，如果爐子不太大，可定为 12—70 毫米，有的則定为 6—50 毫米，此时一方面要考虑到透气性及杂质，另一方面也要考虑到熔化能力。

2. 含鉄原料

当生产矽鉄时，爐料系以鋼屑形式加入。应避免使用含有各种合金元素的特殊鋼的鋼屑，也要避免使用生銹很多的鋼屑。鋼屑应为短小塊子，使用長螺旋形鋼屑会使爐子操作情况变坏，因可使电极之間造成短路。也必须避免采用生鉄屑，虽然按尺寸來說它是很方便，但是含磷量較高。

鉄可以鉄矿形式加入爐料中，但因为鉄矿会帶入大量的銹和杂物，且需用額外电能来还原它，所以不宜于使用。

鋼屑来源不一，其成份也不定，一般成份如表 4 所示。

3. 还原剂

在矽鉄生产中采用各种含碳材料作为还原剂。木炭、石油焦、瀝青焦、冶金焦、水平爐焦、半焦（低温焦），有时

表 3

成 份 %			物 理 性 質		
MgO	Mn	比 重	硬 度	吸 水 率	耐火度°C
—	0.15	2.688	7—8	0.2%	1750
—	—	—	7—8	1%	1750
0.15—0.20	—	—	7—8	—	1750

表 4

Mn	P	S	Fe
0.26—0.83	0.01—0.07	0.01—0.03	779

还采用煤炭。較好的还原剂是木炭，但由于价格高、且来源困难，它仅用于含矽高的矽鉄（大于90%）或結晶矽。

石油焦与瀝青焦是最好的还原剂，与一般焦炭相比，它們的优点是灰分含量低，不含有害杂质，但是也由于他們的价格高，所以也仅用于制造結晶矽。

在矽鉄生产中，通常用的是焦炭或高爐用焦炭中所篩出来的焦屑。焦炭所含灰分应尽量少，因为灰分不可避免地会促进生成爐渣（如三氧二鋁、氧化鈣）或使矽鉄發生損害的（如磷的有害杂质帶入爐料中）。

冶金焦中之灰分通常为12%左右，在焦屑中灰分更高。焦炭的水分决定于它的运输条件和儲存条件，变化范围很大，有时可达27%。在所有場合下都应努力爭取使用含水分，灰分最小的焦炭。虽然水分在爐內無直接影响，因其到爐面时即被廢热蒸發而不另消耗热量，但在配料前，則可能会使采样或化驗不准，以致配料亦不准确，影响甚大。

焦炭粒度对爐子的电力制度有影响。焦炭粒度应根据爐子功率与二次电压来选择。对7000—10000千伏安的爐子來說，当二次电压为140—180V时，則用10—25毫米的焦炭可得到良好的結果。在电压較多时，則应采用粒度为5—15毫米的还原剂，这是因为焦炭的导电性是与其粒度成正比的。

在任何情况下，塊度小于5毫米的焦炭，对冶煉矽鉄都不适宜，应篩去。

如果煤炭中所含有害雜質及灰分和揮發物不高時，也可以採用此種煤炭作為還原劑，但必須在加熱到高溫時，也不粉碎方可。

各種還原劑的成份

表 5

種類	固定炭 %	揮發物 %	灰分 %	灰 分 成 份 %			
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
冶金焦	86	2	12	40	40	5	10
水平爐焦	80	4	16	42	49	45	7
精選半焦	80	7	11	39	49	3	9
石油焦	90	9	1.04	—	—	—	—
木 炭	77	20.5	2.5	5.45	6.40	44.59	1.60

根據幾年來的生產經驗得知，炭素還原劑之良否與生產成績有極大關係，故所採用者除須符合上述原則性要求外，還須更進一步研究其性質，所以我們對還原劑還提出有下列要求：

(1) 化學活潑性大：化學活潑性大時，可使熔煉過程加快，SiC 生成減少，單位時間內之熱損失也減少，因而生產率可提高，否則由於熔煉過程緩慢，生成大量 SiC，使其與 SiO₂ 的反應遭到破壞時，又需大量熱能，故電能的消耗定額增高。

決定炭素材料化學活潑性大小之因素如下：

甲、炭素結晶大小及其成長速度：結晶愈小時，化學活潑性愈大。因為結晶愈小時，表面能愈大，因而，氧化反應快，如石墨結晶大，反應慢；無定形炭結晶小，反應快。

結晶格長大愈慢時，則產量愈小，一般炭結晶格均隨溫度之升高而增大，但其速度不一，如焦炭與無煙煤在 2000°C 時，已完成石墨化，而木炭在 2500°C 時，尚未完全石墨化，石油焦在二氧化矽開始還原之溫度時，已長大數倍，而水平爐焦，則尚在長大，而木炭則尚未長大。

乙、焦炭之氣孔率大小：焦炭之氣孔率愈大，其化學活潑性也愈大。

各種焦炭之氣孔率

表 6

名 稱	沈陽 水平爐焦	撫順 水平爐焦	冶金焦	石油焦	低溫焦
氣 孔 率	68.4%	63.4%	57.4%	52.35%	49.4%

表 6 中之氣孔率以水平爐焦為最大，冶金焦次之，石油焦更次之，低溫焦最低。實際上與生產情況是相符的，在生產條件下，證明也是以用水平爐焦為最好，冶金焦次之，石油焦曾試用過，但不行，僅低溫焦氣孔率不好，而現在實際生產情況卻較好。這可能是由於當時的試樣是未經精選的，而現在用於生產的則是精選過的。

還應特別注意其氣孔率之分佈情況，氣孔應細小而分佈得均勻，如油焦表面看來氣孔很多，却由於氣孔大而不細，分佈不均勻的關係，實際上氣水並不多。

各種炭素材料之化學活潑性可以其着火點之不同的簡單方法測定之，如粒度為 2—3 毫米，置於氧氣氣流中，其着火溫度如表 7 所示：

(2) 比電阻須大：還原劑之比電阻在矽鐵生產時，起主要作用。

表 7

材 料	着 火 点 °C	材 料	着 火 点 °C
木 炭	300—400	瀝青焦	530—560
冶金-焦	420—480	发素电极	500—550
油 焦	470—500	石墨电极	550—650
無烟煤	500	天然石墨	650—700

在同一电压下，电阻愈大时，电极埋得越深。因为爐内电路可分为 Y 及 Δ 兩綫路， Y 綫路为主要者，亦即我們所要求者，电流經一电极弧光及爐底炭磚，回至另一电极， Δ 綫路为电流經兩电极間原料，不通过弧光而流至另一个电极。如 Δ 綫电阻降低，則此綫路之电流必定加大，但总电流一定时，如电流增大，則 Y 电流須减小，故不得不抬高电极，拉長弧光，增大其电阻，以达此目的，由于电极上弧光离爐面要近，爐面溫度較高，故輻射热損失大，且 SiO 蒸气所經之路程短，故 Si 的損失大，因而产量减少，所以我們須特别注意还原剂之电阻。不仅注意其低溫电阻，还应注意其高溫电阻，如，油焦在低溫时，电阻很大，而在高溫时电阻就小了，油焦生产情况不好，原因即在此。

焦炭电阻之大小，亦視其气孔率之多寡，結晶大小及其成長速度而定。結晶小，气孔多，电阻才大。

故我們对炭素还原剂的要求是：化学成份純，化学活潑性大，气孔率多，比电阻大。

4. 矽 炭 氣

去年冬季起我們吸收苏联先进經驗，曾將石墨化爐之廢

棄保溫材料，按一定配料比摻入爐中，其成份如表 8：

表 8

SiO_2	SiC	Si	C
3.26—2.5	19.7—69.6	3.—4.9	3—35.7

其中主要是利用 SiC 并要求其含量愈高愈好，因在有鉄情況下，从 SiC 中分解出 Si 比从 SiO_2 中分解出 Si 所需热量要少，故摻矽炭氧时，电力消耗定额可降低。

討 論 題

1. 石英粒度过小有什么影响？
2. 我們对鉄屑的要求怎样？
3. 焦炭粒度为什么不能太大？
4. 欲使爐子稳定，生产正常应选择那样的焦炭？

第三节 爐料組成計算

生产矽鉄爐料料比的計算，主要是根据实际工作經驗和原料分析結果确定一些原始数据作为計算的依据，通常我們采用下列各种原始数据：

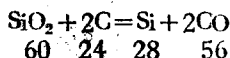
計算时以干焦炭来計算，同时还假定还原硅石中的杂质 (Al_2O_3 , CuO , Fe_2O_3 等) 和焦碳灰份中的氧化物及电极灰份中的氧化物所消耗的还原剂数量系借沒有完全还原的二氧化矽和电极的炭，参加还原过程的还原剂来补偿。

1. 生产 45% 矽鉄的爐料料比組成簡單計算示例 (采用 1000 公斤合金来进行計算)：

表 9

編號	指 標 名 稱	45% FeSi	75% FeSi
1	硅石中含二氧化矽量	98%	98%
2	干焦炭中含固定炭量(灰份 11%, 揮發物 2%)	87%	87%
3	在冶煉過程中矽回收率(進入合金中的)	96%	92%
4	爐料中碳的過剩量(比理論計算多)	7.0%	10.0%
5	鐵屑含鐵量	95.0%	95%
6	合金含矽量	45%	75%
7	合金含鐵量	53%	22.5%

(1) 冶煉 1000 公斤合金所需的焦炭數量為:



$$\frac{450}{0.96} \times \frac{24}{28} \times \frac{1.07}{0.87} = 495 \text{ 公斤}$$

(2) 冶煉 1000 公斤合金所需的硅石數量為:

$$\frac{450}{0.96} \times \frac{60}{28} \times \frac{1}{0.98} = 1025 \text{ 公斤}$$

(3) 冶煉 1000 公斤合金所需的鐵屑數量為:

$$\frac{530}{0.95} = 558 \text{ 公斤}$$

(4) 假定每批爐料內採用 100 公斤硅石時, 則其爐料料比組成為:

$$\text{干焦炭} \quad \frac{100 \times 495}{1025} = 48.3 \text{ 公斤}$$

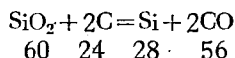
$$\text{鐵屑} \quad \frac{100 \times 560}{1025} = 54.6 \text{ 公斤}$$

(5) 每批爐料組成成份为:

硅石: 焦炭: 鉄屑 = 100: 48.3: 54.6。

在实际工作中, 为了便利配料計算, 假定硅石为 100%, 則其干焦炭的配料比应采用 48—54%, 鉄屑的配料比应采用 55—58%, 以便調整爐料的組成。

2. 生产 75% 矽鉄爐料料比組成計算示例, 根据 1000 公斤合金來計算:



(1) 冶煉 1000 公斤 75% 矽鉄所需焦炭量:

$$\frac{750}{0.92} \times \frac{24}{28} \times \frac{1.10}{0.87} = 885 \text{ 公斤}$$

(2) 冶煉 1000 公斤 75% 矽鉄所需硅石数量:

$$\frac{750}{0.92} \times \frac{60}{28} \times \frac{1}{0.98} = 1780 \text{ 公斤}$$

(3) 冶煉 1000 公斤 75% 矽鉄所需鉄屑数量:

$$\frac{225}{0.95} = 238 \text{ 公斤}$$

(4) 每批爐料內采用 100 公斤的硅石时, 則其爐料料比組成:

干焦炭数量为: $\frac{100 \times 885}{1780} = 50 \text{ 公斤}$

鉄屑数量为: $\frac{100 \times 238}{1780} = 13.3 \text{ 公斤}$

(5) 每批爐料組成成份为:

硅石: 焦炭: 鉄屑 = 100: 50: 13

在实际工作中, 为了便利計算, 假定硅石为 100%, 則

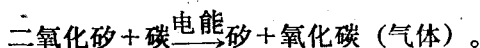
其干焦碳的配制比采用 50—55%，鉄屑采用 12—13%，以便調整爐料組成。

第四节 矽鉄在爐內的反应

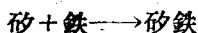
1. 主要反应

生产矽鉄所需用的原料是：硅石（二氧化矽）、焦炭、鉄屑。

把它們加在电爐中，当溫度达 1700°C 以上时，硅石（二氧化矽）和碳就大量地互相起作用：

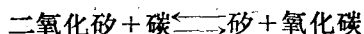


他們互相起作用后生成矽和氧化碳，而氧化碳就从爐內冒出，經過煙筒跑掉了，剩下來的矽和鉄合成为矽鉄：



現在我們來討論：

一、二氧化矽和碳起作用生成矽和氧化碳，反过来所生成的氧化碳和矽又能生成二氧化矽和碳。事实証明，在电爐內，第二种情况也是存在的，而这对生产却是不利的。



那末，如何使二氧化矽加碳变成矽和氧化碳之后，不再使大量的矽又变成二氧化矽呢？同时，我們又如何使反应进行得更快呢？这里最主要的有兩点：

（1）溫度愈高，反应愈往右面进行，进行得愈快；

（2）氧化碳在爐內留的愈少，反应愈往右面进行，进行得愈快。