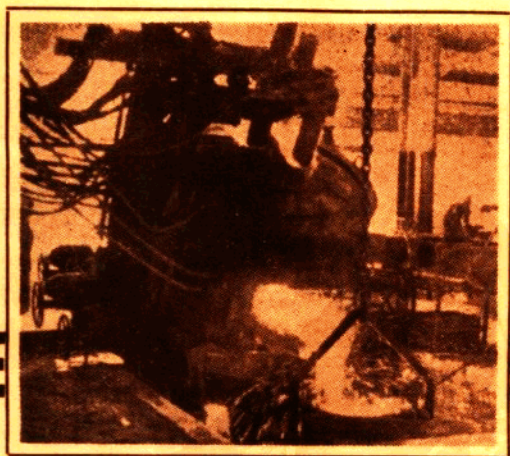


电炉炼铁 生产常识

王东昇 編



冶金工业出版社

电爐砂鉄生产常識

王东升 編

編輯：杜华云 設計：周 广、朱駿英 校对：王坤一

*

冶金工业出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

中央民族印刷厂印 新华書店发行

— * —

1959年6月第一版

1959年6月 北京第一次印刷

印数 55,000 册

開本 787×1092·1/32·30,000字·印张 1 $\frac{12}{32}$

*

統一書号 15062·1580 定价 0.15 元

出版者的話

随着钢铁生产的飞跃发展，对矽铁的需求量也在不断地增多，因而矽铁生产在钢铁工业中所占的地位日益显得更加重要。为了帮助大家尽快熟习和掌握一般的电炉矽铁生产常識，特將王东升同志所編寫的这本小冊子排印出版。

本书簡要地闡述了电炉內生产矽铁的一些有关理論問題和实际操作过程，还介紹了一些設備尺寸的确定及炉料計算方法。本书文字通俗易懂，可供广大技術人員、机关干部、工人、中技学校学生参考之用。

目 录

第一章 矽铁产品及原料	1
第一节 矽铁产品、性质和用途	1
第二节 矽铁生产用原料	5
第二章 生产矽铁的基本原理	9
第一节 矽的性质	9
第二节 生产矽铁的原理	10
第三节 生产矽铁时的炉内反应	12
第三章 矽铁电炉及其设备	15
第一节 电炉构造	15
第二节 炉子生产能力的计算	19
第三节 电炉炉体及炉体尺寸的决定	20
第四节 电炉负荷的调节与电气工作特性	22
第四章 矽铁生产工艺	25
第一节 矽铁配料计算	25
第二节 矽铁生产作业	27
1. 原料的准备和配料	28
2. 冶炼操作	28
第三节 电气制度的选择	36
第四节 开炉和转炼	37
第五节 主要技术经济指标	40

第一章 矽鉄产品及原料

第一節 矽鉄產品、性質和用途

矽鉄是矽与鉄的一种合金，[作为工业上的含矽原料使用。生产矽与鉄的合金比生产純矽成本低且操作过程较方便。被还原得到的单位矽的电能消耗量，随着矽鉄中含矽量的增加而增加。在各种含矽成份的矽鉄里，每生产一吨矽所消耗的电能如下：

Cu45 矽鉄	10300~11100 瓩小时
Cu75 矽鉄	11200~11600 瓩小时
結晶矽	13100~13300 瓩小时

可见除特別需要外，生产含矽低的矽鉄较为经济。

矽(Si)对氧(O_2)有很大的化合能力。所以在生产各种牌号鋼时都用矽来作鋼液的脱氧剂。除掉沸腾鋼外，一般鋼水中的含矽量达0.35%。在生产某些合金鋼时，矽又成为一种合金元素加入鋼中。最常见的有，变压器矽鋼含矽3.8~4.5%，弹簧鋼中含矽1.5~2%。此外矽与铬、錳、鎳以及其它元素結合能炼出优质的結構鋼、工具鋼和耐热鋼等。在炼鋼工业中矽的消耗量如换算成含矽45%的矽鉄时，大約占鋼总产量的0.65~0.7%。低矽矽鉄(含矽45%以下)主要用在炼鋼生产中。高矽矽鉄除炼鋼应用外，又常用来作生产各种鉄合金的还原剂。矽鉄中的含碳量随含矽量的增加而减少。高矽矽鉄含碳很低。可用来生产各种低碳鉄合金如鉬鉄、钒鉄、低碳铬鉄等。用矽作还原剂生产鉄合金的方法称

为矽热法。

在制造非铁基合金需用矽时，使用结晶矽。结晶矽中矽98%。

在所有的铁合金品种中，矽铁是用途最广用量最多的一种铁合金。

矽与铁能以任何比例熔合而成为矽铁。其中有若干含矽的矽铁于潮湿的空气中放置时，容易碎成粉末。并伴随放出有毒和可燃的气体。含矽33.3%，特别是含矽50~60%的矽铁，最易发生这种现象。研究证明纯洁的铁矽合金在空气中不分解，有磷、钙、铝混合物的存在对矽铁分解起很大作用，铸锭后慢慢冷却的合金有易于粉碎的倾向。

矽铁比重随合金中含矽量的增加而减少。矽铁的比重与合金含矽量的关系见下表：

表 1

矽铁含矽量, %	矽铁比重, 克/厘米 ³	矽铁含矽量, %	矽铁比重, 克/厘米 ³
10	7.30	50	4.72
15	7.04	55	4.34
20	6.80	60	3.98
25	6.51	65	3.65
30	6.22	70	3.36
35	5.94	75	3.10
40	5.52	80	2.92
45	5.10	90	2.57

根据矽铁的这种性质，可以用测定矽铁比重的方法很快的分析出合金中的含矽量。

矽铁可以用两种方法生产。1) 用高炉生产。2) 用电炉

矿热爐) 生产。因为在高爐中不易得到很高的爐溫, 只能生产含砂低(含砂 8~20%) 的砂鉄。常称为貧砂鉄。含砂高的砂鉄(含砂 45~90%) 或結晶砂是用电爐生产出来的。因为这种电爐是用在于高溫下将矿石还原炼取合金的电热法过程中, 又常称为矿热爐或矿石还原爐。也有用电爐生产含砂 18~25% 的貧砂鉄。

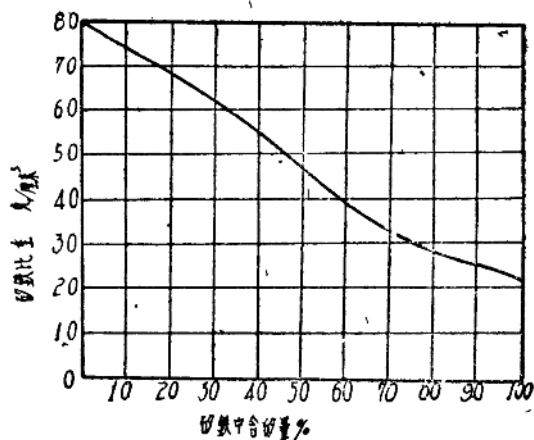


图 1 砂鉄比重与砂鉄中含砂量的关系

工业用砂鉄的成份按照苏联国家标准规定如表 2
我国电爐砂鉄的成份规定如表 3 (参照苏联国家标准)。
假如砂鉄需要长时期儲存时, 75% 砂鉄应含砂 75~80%,
5% 砂鉄应含砂 40~45%。

用小功率电爐炼砂鉄时, 电极插入爐料中的深度較大容量电爐浅, 热損失大, 爐內溫度較低, 以原含砂較低的砂鉄

表 2

牌 号	化 学 成 分, %								全 部 杂 质
	砂	铁	锰	铝	铬	磷	钙	硫	
		不 高 于							
高锰砂铁 (ГОСТ 805-41)									
ΦC1	13.10 以上	3.00				0.15		0.04	
ΦC2	9.0~13	3.00				0.15		0.04	
电爐砂铁 (参考 ГОСТ 1415-49)									
Cu90	87~95	0.5			0.2	0.04		0.04	
Cu75	74~80	0.7			0.5	0.05		0.04	
Cu45	40~47	0.8			0.5	0.05		0.04	
结晶砂 (ГОСТ 2169-43)									
KP0	不小于99.0	0.5		0.5			0.5		1.0
KP1	98.0	0.7		0.8			0.5		2.0
KP2	97.0	1.0		1.2			0.8		3.0
KP3	95.5	1.5		1.5			1.5		4.5

表 3

牌 号	化 学 成 分, %				
	砂	锰	铬	磷	硫
		不 超 过			
45%砂铁	40~47	0.7	0.5	0.05	0.04
75%砂铁	74~80	0.8	0.5	0.05	0.04

为适宜。某厂用 1200 千伏安电爐炼制 75% 砂铁时规定合金含砂大于 70% 即可。

第二節 矽鉄生產用原料

生产矽鉄使用三种原料；1) 含矽的矿石。2) 还原剂。

3) 鉄的附加物。

一、含矽的矿石：

含矽的矿石是矽鉄中矽的来源。矽在矿石中主要是以矽的氧化物即二氧化矽 (SiO_2) 状态存在。含二氧化矽的矿石很多，使用二氧化矽含量最高，存在最广泛，价钱最便宜的矿石生产矽鉄。最常用的有石英、矽石与石髓。

石英是二氧化矽的致密的晶体。比重为 $2.59 \sim 2.65$ 。硬度为 7。多数为白色。根据所含杂质的不同有时为红色或灰色。

矽石是石英结晶所构成的岩石。

石髓是细长纤维形有时为多孔形的矿石。带有各种颜色。比重和硬度与石英一样。

我国生产矽鉄所用的矿石主要为矽石。

生产矽鉄要选择最纯的矽石，其中二氧化矽含量至少为 95%，一般使用的矽石二氧化矽的含量应不少于 97%。

Al_2O_3 (三氧化二铝)， CaO (氧化钙) MgO (氧化镁) 等其它杂质氧化物的含量应最少。因为这些杂质的存在会增加矽鉄的渣量与电耗，对生产不利。更不许用不清洁的矽石。若矽石的表面上粘有很多泥土，则应用水洗去。在冶金工业中最有害的两种杂质为 P (磷)，S (硫)。生产矽鉄时硫与矽能生成一些在高温下易于挥发的化合物硫化矽和二硫化矽，因此从原料带入的硫进入合金中的数量不多，可不必限制原料中的含硫量。原料中所带入的磷有 80% 转入合金中，因此

对原料中的含磷量应加以限制。矽石中五氧化二磷的含量应小于0.02%。

生产矽铁时要求爐料有良好的透气性。因此加入爐中的矽石应有合适的粒度。大容量电爐矽石粒度应大些，小容量电爐矽石粒度应小些。不許使用小粒及粉状矽石，它会促使爐料透气性不良，同时于粉状矽石中一般混有較多的泥土，其中含有大量的三氧化二矽等杂质。

在加热过程中会破碎的矽石，虽然有良好的化学成份也不宜使用。这同样会影响爐料的透气性。

只有通过实践才能知道那一个产地的矽石适合于冶炼矽铁。

二、还原剂：

生产矽铁时用碳作还原剂。含碳的原料很多，如冶金焦、煤、木炭、瀝青焦、石油焦等。这些物品都可以作生产矽铁的还原剂。而最常使用的是在高爐內用的篩下的焦屑。还原剂中的固定碳含量愈高愈好，含灰份愈低愈好。还原剂中的灰份同样会給爐子带入大量的杂质氧化物，从而会增多渣量，降低合金的純度。各种还原剂中所含固定碳的化学活泼性不一样。使用化学活泼性大的还原剂較好。木炭、石油焦与瀝青焦灰份較低，化学活泼性較高，其产量少价格高。木炭的机械强度不好易粉碎，在爐口燃烧損失大，只是在生产90%矽铁或結晶矽时使用。焦屑的产量較大，因而生产矽铁几乎都用焦屑作还原剂。焦屑中一般含有75~85%的固定碳，含磷量应小于0.06%。在加热过程中不破裂的无烟煤也可作还原剂使用，此外还有用石油厂的副产品——低溫焦。下表列入各种还原剂的成份：

表 4

还 原 剂	含 量, %		
	固 定 碳	灰 份	挥 发 物
冶金焦.....	85.44	12.88	1.68
低温焦.....	70.22	19.53	10.25
焦作无烟煤.....	93.73	12.67	5.91
阳泉无烟煤.....	83.70	8.30	8.00

焦炭中水份的波动很大。这与焦炭的运输和贮藏等条件有关。水份一般介于5~25%之间。由于焦炭中含水量的变化,会影响爐料中还原剂配入量的不足或过剩,造成爐子生产不稳定。因此焦炭应注意保管,并经常分析水份来校正配料比。

各种含碳的还原剂,是爐料中的主要导电材料。还原剂的导电性直接影响着爐料的导电性,影响电极插入料中的深度。各种还原剂的导电性不同。使用导电性不良比电阻大的还原剂,会使电极深深地插入料中这样爐口温度低,热量损失也少。如还原剂导电性良好比电阻小时,使电极插入料中过浅,不但增加热量与砂的挥发损失,还会引起冶炼过程的不正常。上述的几种还原剂中以冶金焦的导电性为最好,低温焦、无烟煤、木炭等次之。因此用低温焦,无烟煤等作还原剂或部份的代替冶金焦时,可以加大电极插入料中的深度。

还原剂粒度大时也会增加爐料的导电性,减小电极插入料中深度。因此不能使用大粒的还原剂,焦炭在使用前要经过破碎,并筛除其中的粉末,焦炭粉同样对爐料的透气性有影响,并且其中含有大量的灰份。

三、铁的附加物：

为了补充砂铁中的含铁量，爐料中需要加入含铁 (Fe) 材料。一般使用鋼屑。鋼屑的成份应为普通碳素鋼或优质碳素鋼，不应混有合金鋼，生铁或有色金属車屑。因为合金鋼、生铁或有色金属車屑会給爐中带入其它的合金元素与杂质，影响砂铁的成份。

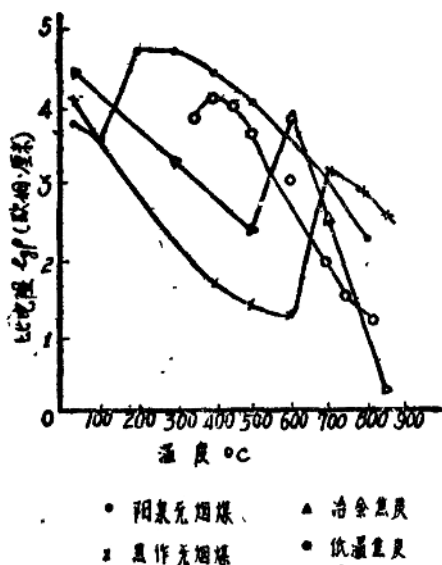


图 2 几种还原剂的比电阻和温度的关系

不許使用成块的廢鋼。它使电极插入料中不穩定。为了操作方便，車屑的长度应小于 100 毫米。

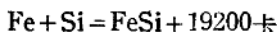
第二章 生产矽鉄的基本原理

第一節 矽 的 性 質

矽 (Si) 是在自然界中存在最广的元素之一。在地壳中的含矽量为 26.0%，仅次于氧。矽有下列的主要物理化学性质：

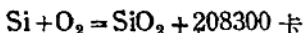
比重	克/立方公分	2.34
原子量		28.06
熔点	°C	1415
沸点	°C	2287

矽与鉄生成几种化合物，在高温或熔体状态下稳固的只有矽化鉄 (FeSi)。矽化鉄形成时伴随有热量放出，反应为：



矽化鉄中含矽 33.3% 含鉄 66.7%，熔点 1410°C，在熔炼矽鉄时存在于液体合金里。矽与鉄所构成的合金熔点随合金成份的不同而变化，前述各种牌号标准矽鉄的熔点不超过 1330°C。

矽与氧有很大的化合能力（常称为化学亲和力）。矽与氧能生成两种化合物即二氧化矽 (SiO₂) 与一氧化矽 (SiO)。SiO₂ 是一种非常稳定的化合物，广泛的存在于自然界中，熔点很高 1710°C，是一种工业用的耐火材料。也是生产矽鉄的原料。矽与氧化合时放出很大的热量其反应为：



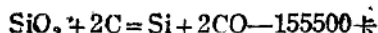
SiO 不稳固，在高温下容易蒸发，这是制造矽鉄时矽损失的

主要原因。自由状态的砂在自然界中是看不到的。

砂与硫形成化合物硫化砂与二硫化砂。这些化合物在高温时挥发。

第二節 生產砂鉄的原理

生产砂鉄的过程，就是将矿石中的二氧化砂还原成砂的过程。还原生成的砂再与加入的鋼屑熔合生成砂鉄。还原过程是靠还原剂来实现的。炼砂鉄采用碳(C)作还原剂。用碳还原二氧化砂的反应如下：



伴随反应的进行要从外界吸收大量的热。将1克分子二氧化砂还原成砂时吸收 155500 卡的热量。

“碳”所以能起还原剂的作用，就是因为在一定的条件下，碳的氧化物一氧化碳比砂的氧化物二氧化砂更稳定。因此碳能夺取二氧化砂中的氧使自己氧化成一氧化碳，将二氧化砂还原成砂。

各种元素氧化物的稳定性，也就是各种元素与氧的化学亲和力，可以用各种元素与氧化合生成各种氧化物时所放出的热量来表示，常称为氧化物的生成热。如化合时放出的热量愈多，在分解这种氧化物时也需要吸收同样多的热量。所以这种氧化物就愈稳固而难以还原。如化合时放出的热量愈少，在分解这种氧化物时需要吸收的热量就愈少，这种氧化物就不稳定且易于被还原。图3是各种元素氧化物的生成热与温度的关系。

从图3中可以看出，位于图上部的氧化物的生成热比下部氧化物的生成热大。因此图上部氧化物依次比其下部氧化

物稳定。所以位于上面的氧化物中的元素，可以还原其下面的氧化物。也就是位于上面的氧化物中的元素，可以作其下面各种氧化物的还原剂。若它们之间的距离相差得愈远，则

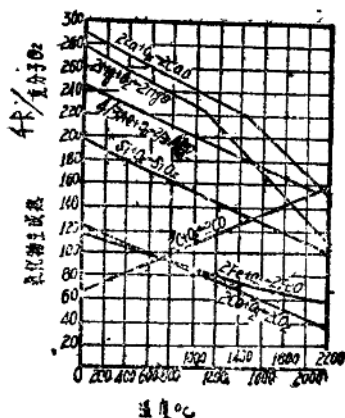


图 3 在熔炼铁的温度下各种氧化物的生成热与温度的关系

还原反应就进行得愈完全，被还原生成的金属中所含有的还原剂数量就愈少，未被还原的氧化物的数量也愈少。若离得近时，反应进行得就不完全，在被还原生成的金属中含有还原剂的数量多，未被还原的氧化物数量亦多。

除碳的氧化物——一氧化碳外，其余各种氧化物的稳定性随温度的升高而下降。一氧化碳则相反，温度愈高愈稳定。因此碳在高温下是一种很好的还原剂。

只有当温度高于 1541°C 时，一氧化碳的生成热才高于二氧化硅的生成热，因此用碳还原二氧化硅的反应只有当温

度高于 1541°C 时才能进行。温度愈高反应进行得愈顺利。

一氧化碳 (CO) 不能作二氧化矽的还原剂, 因为二氧化矽比一氧化碳更稳定。

碳于自然界中存在得很广泛, 又容易得到, 是一种很便宜的还原剂。然而多数元素的氧化物被碳还原时, 易于生成该种元素的碳化物, 而溶于合金中, 使生成的合金含有很高的碳。例如用碳作还原剂炼锰铁时, 锰铁中含有 7% 的碳。炼铬铁、钼铁等铁合金时也是如此。这便使碳素还原剂的应用受到了限制。矽与碳不具有这种性质, 相反, 合金中含有矽时还能破坏合金中碳化物的存在。因此生产矽铁可以广泛的使用碳作还原剂。

用碳作还原剂时反应生成物一氧化碳是气体, 随时从反应带逸出, 因此能使反应进行得很完全。

第三節 生产矽铁时的爐内反应

熔炼矽铁的爐料从爐口加入, 逐次下降, 沿三根电极周围的爐料形成三个特殊的“坩埚”。熔炼矽铁时爐中的各种反应主要是在坩埚中进行的。

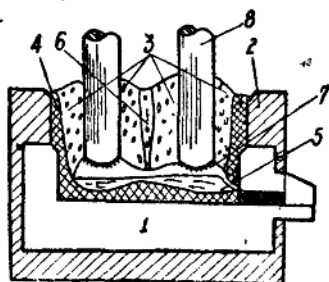
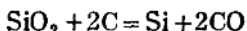


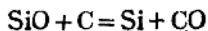
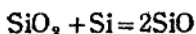
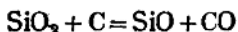
图 4 矽铁爐爐内示意图

- 1—炭素爐衬; 2—耐火砖衬;
3—反应的坩埚; 4—凝結的料壳; 5—合金; 6—降料慢的区域; 7—电弧; 8—电极

爐料中的二氧化矽在高溫下被碳还原，其反应为：

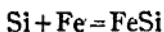


上面的反应式只是表示了还原过程的开始和終了，爐中实际的反应情况要复杂得多。一般認為上述的反应是由两个中間反应組成的。二氧化矽首先被还原成一氧化矽，一氧化矽再被碳还原成矽，其反应为：



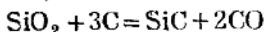
二氧化矽在高溫下是气体，并同其它气体一块从反应带逸出，被上层的冷料所吸收。如果未被吸收而逸出爐外时，就造成了矽的损失。

还原生成的矽与鋼屑中的鉄 (Fe) 化合成矽化鉄，这有利于二氧化矽的还原，其反应为：



因此有鉄存在时能降低二氧化矽的还原溫度。据某試驗資料称：在实验室的条件下，如很好的混合鉄粉、二氧化矽和碳，則在 1400°C 时能得到含矽 0.75% 的矽鉄，在 1500°C 时能得到含矽 41% 的矽鉄，在 1560°C 时可以得到含矽 78% 的矽鉄。因此熔炼含矽愈高的矽鉄需要的爐溫愈高，含矽低的矽鉄熔炼过程在高爐中即可完成。

当爐料中配入的还原剂数量过多，爐中有剩余碳时，能将二氧化矽还原成碳化矽 (SiC)，其反应为：



所生成的碳化矽的熔点很高 (高于 2700°C)，不能熔于合金中，而积存在坩堝里，这是一个很好的导电体。碳化矽的积