

出版说明

冶金战线广大职工，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，以阶级斗争为纲，贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线，高举“鞍钢宪法”的光辉旗帜，坚持独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国的方针，抓革命、促生产，不断取得革命和生产的新胜利，冶金战线和全国其他战线一样，形势一派大好。

为适应冶金工业蓬勃发展的需要，由吉林、上海、北京、西北铁合金厂工人、干部和技术人员组成“三结合”编写组，根据铁合金厂冶炼工人的生产实践经验加以系统总结，以问答形式编写成《硅铁生产一百问》。全书共分八个部分：硅铁及其性质和用途，硅铁冶炼原理，原料和配料，硅铁冶炼工艺，开炉、停炉及转炼，电极及其维护，设备和供电，生产技术经济指标计算等。本书是供铁合金厂冶炼工人学习使用的通俗读物。

在本书的编写过程中，得到吉林、上海、北京、西北铁合金厂、北京钢铁学院等许多单位领导的大力支持与热情帮助，我们表示感谢。

我们组织出版以问答形式编写的介绍生产操作经验的工人读物，还缺乏经验，书中可能有不少缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

一九七五年十月

目 录

一、硅铁及其性质和用途

1. 什么是硅铁，它有哪些特性，其用途如何..... 1
2. 硅铁生产方法的特点是什么..... 3
3. 为什么有的硅铁会发生粉化现象..... 3
4. 为什么硅铁中的含碳量很低..... 4
5. 为什么采用比重法测定硅铁中的含硅量..... 5

二、硅铁冶炼原理

6. 硅铁冶炼的基本原理和一氧化硅在冶炼
反应中的作用是什么？..... 7
7. 反应中碳化硅的产生和破坏的原因是什么..... 10
8. 高温下形成的“坩塌”的作用是什么..... 11

三、原料和配料

9. 什么样的硅石适于冶炼硅铁..... 12
10. 什么样的焦炭适于冶炼硅铁..... 14
11. 为什么用小粒焦可使电极较深地插入炉料..... 15
12. 冶炼硅铁为什么可用部分煤气焦..... 16
13. 为什么可以使用少量的碳化硅..... 18
14. 何种钢屑适于冶炼硅铁..... 20
15. 如何计算焦炭的加入量..... 20
16. 焦炭的加入量与哪些因素有关..... 23
17. 怎样计算钢屑的加入量..... 23
18. 如何配料，为什么大料批不好..... 25

四、硅铁冶炼工艺

19. 冶炼硅铁如何加料	26
20. 为什么不能偏加料	28
21. 为什么料面要保持一定的高度	29
22. 为什么要求电极比较深地插入炉料	32
23. 影响电极插入深度的因素有哪些	32
24. 如何判断电极插入深度	34
25. 正常炉况应是什么样的	34
26. 为什么炉况有时发粘, 怎样处理	35
27. 为什么有时刺火, 如何处理	37
28. 为什么炉况过粘时电极不易深插	39
29. 还原剂过剩的特征是什么样, 如何处理	40
30. 为什么要扎透气眼	41
31. 为什么要捣炉, 如何捣炉	42
32. 炉内存渣过多时如何处理	42
33. 为什么经常加石灰不好	43
34. 为什么有时加入少量萤石	45
35. 冶炼中如何加“回炉铁”	46
36. 为什么要维护好出铁口相电极和料面	46
37. 为什么铜瓦距料面要保持一定的高度	47
38. 为什么炉内严重缺料时电极不易深插	48
39. 为什么靠近小面的电极部分烧损严重	49
40. 为什么冶炼中有时改换二次电压	50
41. 为什么要清理掉铜瓦与水圈上挂的灰	51
42. 为什么电极工作端面要保持光滑	52
43. 为什么铜瓦有时产生“打弧”现象	52
44. 为什么三个相电流有时相差很大	53
45. 为什么有时电极处于“上限”或“下限”	54
46. 为什么有时给不足负荷	56

47. 为什么出铁时要下降电极.....	57
48. 如何确定出铁次数.....	58
49. 冶炼中如何调整硅铁中的含硅量.....	58
50. 为什么有时附加钢屑后, 含硅量不降低.....	59
51. 冶炼中如何为下一班创造好的条件.....	59
52. 如何防止和处理冷却水管不畅通现象.....	60
53. 如何开、堵出铁口.....	61
54. 如何维护和使用出铁口.....	62
55. 如何防止和处理出铁口烧穿事故.....	63
56. 为什么跑眼, 如何防止.....	64
57. 如何修理出铁口.....	65
58. 浇注时应注意哪些问题.....	66
59. 如何正确地取硅铁样.....	68
60. 为什么浇注75硅铁有时产生“冒瘤”现象.....	68
61. 为什么75硅铁和45硅铁所用锭模形状不同.....	70
62. 冶炼45硅铁有什么特点.....	70
63. 矿热炉操纵工对冶炼应掌握哪些要点.....	71
64. 如何降低单位电耗.....	73

五、开炉、停炉及转炼

65. 为什么要烘炉和怎样烘炉.....	75
66. 新炉如何开炉冶炼.....	76
67. 长期停炉后如何开炉.....	77
68. 45硅铁如何转炼75硅铁.....	77
69. 75硅铁如何转炼45硅铁.....	78
70. 如何进行热停炉和热停后再开炉.....	79
71. 为什么要洗炉, 如何洗炉.....	80

六、电极及其维护

72. 什么是电极, 它有何作用.....	82
-----------------------	----

73. 对电极糊有哪些要求, 为什么.....	83
74. 对电极壳有哪些要求, 为什么.....	84
75. 自焙电极是如何烧结的.....	85
76. 烧结电极为什么有时要通风.....	86
77. 装电极糊时应注意哪些事项.....	87
78. 为什么电极工作端要保持一定长度.....	88
79. 每昼夜应下放多少电极.....	88
80. 下放电极时应注意哪些事项.....	90
81. 为什么下放电极时要降低负荷.....	90
82. 为什么有时电极放不下来, 如何处理.....	91
83. 为什么产生电极硬断, 如何处理.....	92
84. 为什么产生电极软断, 如何处理.....	93
85. 为什么产生电极过早烧结, 如何处理.....	95
86. 为什么产生电极流糊, 如何处理.....	95
87. 顶紧和压放式电极把持器的特点是什么.....	96

七、设备和供电

88. 矿热炉是如何从电网中获得电能的.....	98
89. 变压器如何降压或升压.....	100
90. 什么叫有功功率, 无功功率和功率因数.....	103
91. 硅铁冶炼供电制度的特点是什么.....	104
92. 如何选择二次电压.....	106
93. 如何确定硅铁矿热炉的电极直径.....	107
94. 如何确定电极极心圆直径.....	109
95. 如何确定矿热炉炉身尺寸.....	111
96. 用何种耐火材料修砌炉衬, 如何砌筑炉衬.....	112

八、生产技术经济指标计算

97. 冶炼一吨硅铁需消耗多少原料.....	116
------------------------	-----

98. 如何计算硅铁日产量	118
99. 如何将实际吨产量换算成基准吨	118
100. 如何计算单位电耗和硅的回收率	119

附 录

一、铁合金比重及熔点	120
二、主要氧化物的熔点和比重	121
三、元素在纯铁中的溶解度	121
四、在冶炼温度下几种物质的比热	121
五、钢中主要元素对钢熔点和比重的影响	122
六、常见金属主要物理性能	123
七、燃烧反应放热量	124
八、常用单位及其换算关系	126

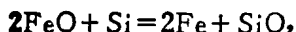
一、硅铁及其性质和用途

1. 什么是硅铁，它有哪些特性，其用途如何？

硅铁是应用广泛的一个铁合金品种。它是硅和铁按一定比例组成的硅铁合金，是炼钢不可缺少的材料。

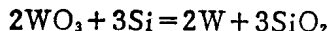
硅铁是炼钢的脱氧剂，是炼硅钢的合金剂，冶炼弹簧钢、耐热钢时，也要加入一定数量的硅铁作合金剂。

生产实践证明，钢中有了氧会显著地恶化钢的性质，降低钢的机械性能。因此，炼钢过程中必须要脱氧。氧在钢中以氧化亚铁（ FeO ）状态存在。硅是与氧结合能力很强的元素。炼钢过程中加入硅铁后，即发生如下脱氧反应：



式中二氧化硅（ SiO_2 ）是脱氧后的产物，它比钢水轻，浮钢液面进入渣中，从而脱掉钢中氧提高了钢的质量。

硅与氧结合力很强，故冶炼某些品种的铁合金时，也有用硅铁作还原剂，例如钨铁、钼铁等。以炼钨铁为例，钨矿中的三氧化钨与硅铁中的硅的反应如下：



硅还有导电性能低，导热性差和导磁性较强的重要物理性能。因此炼硅钢（含硅约2~4%）时硅铁可作合金剂。硅钢片是电力工业材料之一。用它作变压器和电动机的铁芯，可使磁滞损失大为降低，能满足变压器和电动机的运转技术要求。如用普通碳素钢片代硅钢片作铁芯，则变压器和电动机的发热量增大3~6倍。这使设备功率因数降低，也会造成设备运转过热现象，使其不能正常运转。

以上是硅铁的主要用途。

此外，某些生铁铸件经加入少量硅铁后，可以改善其机械性能；当浇注钢水时，往保温帽中加入硅铁粉，可以起到发热剂作用。这些不是硅铁的主要用途，在此不详述了。

从以上可看出，为了保证钢的质量，首先必须保证硅铁的质量，即应稳定成分，减少杂质。当硅铁成分过大，或者夹渣和杂质含量过多时，会降低钢的质量，尤其是炼合金钢的硅铁，其质量应更加好些。

根据冶金工业部颁发的硅铁标准（YB 58—65），对硅铁的要求是：

YB 58—65

本标准适用于炼钢作脱氧剂或合金加入剂用的硅铁。

技 术 条 件

硅铁按硅和杂质含量的不同，分下列三个牌号，如表 1。

表 1

牌 号		化 学 成 分 (%)				
汉 字	代 号	硅	锰	铬	磷	硫
			不 大 于			
硅 90	Si 90	87~95	0.4	0.2	0.04	0.02
硅 75	Si 75	72~80	0.5	0.5	0.04	0.02
硅 45	Si 45	40~47	0.7	0.5	0.04	0.02

注：1. 如有特殊要求，可生产杂质降至锰 $\leq 0.3\%$ 、铬 $\leq 0.3\%$ 、磷 $\leq 0.02\%$ 、硫 $\leq 0.06\%$ 、铝 $\leq 0.5\%$ 、碳 $\leq 0.07\%$ 的产品。

2. 含硅量差在 4% 范围内的并为一批交货，如需方有特殊要求时，经双方协议，可供应含硅差在 1% 以内的产品。

3. 硅 75 铁锭厚度不得超过 100 毫米，硅的偏析不大于 5%。

4. 硅铁应呈块状，小于 20×20 毫米的数量不得超过下列规定：

硅 90、硅 75……不超过总重的 10%；

硅 45 ……不超过总重的 15%。

2. 硅铁生产方法的特点是什么？

冶炼硅铁一般采用矿热炉，用连续操作法进行生产。

所谓连续操作法，就是随着炉料经受高温后，不断地反应和熔化，使料面相应地下降；同时不断地补加新炉料，炉膛中的炉料始终保持饱满状态。根据炉内熔炼积存的合金量定期地放出。在整个冶炼过程中，电极插入炉料内较深，不露电弧，故热量损失少，炉温高。

由于硅铁冶炼的这些特点，整个冶炼过程不分阶段，这种方法叫连续操作法。

此外，也有采用高炉冶炼硅铁。但是，因其炉温低，产品含硅量约为10~20%，现在一般不采用高炉法冶炼硅铁。

3. 为什么有的硅铁会发生粉化现象？

某些成分的硅铁，有时因存放期间遇水或空气湿度过大，同时其中铝、钙和磷杂质含量高，在相隔一定时间以后，就会产生粉化现象，并随之放出有臭味、有毒的磷化氢（ PH_3 ）和砷化氢（ AsH_3 ）气体，严重时甚至还可能发生燃烧现象。

硅铁中的铝、磷和钙含量不当，都会促成硅铁粉化（如图1所示）。当铝和磷含量同时增高到一定数值时，这种硅铁在湿度较大的空气中易产生粉化。有的资料指出，硅铁中含~~磷量在0.04%~0.06%之间~~含铝量~~在0.04%~0.06%之间~~不易产生粉化现象。

有些单位曾经对硅铁的含硅量对硅铁粉化现象作过观察和研究。初步认为，硅铁中硅含量较低（多是废品）往往易粉化。究其原因，可能因硅铁中 FeSi 、 FeSi_2 等硅和铁的化合物温度降低体积膨胀，造成硅铁粉化。含铝高的硅铁遇水后生成氢氧化铝并有气体产生，是硅铁粉化的主要原因。

浇注后冷却速度对硅铁粉化也有影响。硅铁的冷却速度

快、硅的偏析度较小，不易产生粉化；冷却速度慢、硅的偏析度较大，则易产生粉化。同样道理。硅铁锭的厚度过厚，易产生粉化，较薄时则不易产生粉化。

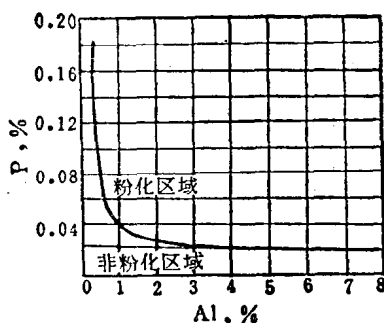


图 1 硅铁含磷、铝量对其粉化的影响

为了防止产生硅铁粉化，应注意以下三点：

1. 硅铁锭的厚度不宜过厚，以减少硅铁含硅量的偏析度。

2. 严格控制硅铁的含硅量，不要过低。控制硅铁的铝、磷和钙含量，为此要用较好的原料，尤其不能使用高灰分的焦炭，以减少铝、磷含量，为减少硅铁的钙含量，冶炼时应尽量少加石灰。

3. 硅铁应储存库内，严防雨淋。

4. 为什么硅铁中的含碳量很低？

冶炼硅铁用焦炭作还原剂，使较易增碳的自焙电极，采用碳砖砌筑出铁口和流铁槽，有时用石墨粉涂锭模，使用炭质样勺取液体样等等。总之，冶炼硅铁从炉内反应直到出

铁，浇注过程中、与碳接触的机会显然很多。但是，硅铁的含碳量却低于0.1%，一般为0.05~0.07%，这是什么原因？

碳在硅铁中于1187°C时的溶解度曲线如图2所示。图中表明，硅铁中硅含量越高，则其碳含量越低。据资料指出，硅铁中硅含量约大于30%时，硅铁中的碳，绝大部分是以碳化硅(SiC)状态存在。碳化硅在坩埚内易被二氧化硅或一氧化硅氧化而被还原。碳化硅在硅铁中，尤其温度低时，其溶解度很小，易析出而上浮。所以，留在硅铁中的碳化硅很低，故硅铁含碳量很低。

5. 为什么采用比重法测定硅铁中的含硅量？

我们知道，体积相同的铝片和铁片，铝片要比铁片轻。这是什么道理？这就是通常所说的比重不同。从简单意义上说，比重就是一立方厘米体积的物质有多少克重量。经实验测定，铁的比重是7.85克/厘米³，铝的比重是2.7克/厘米³。所以，相同体积的铝片比铁片轻。

据测定，硅的比重是2.4克/厘米³，比铁的比重小。我们已知硅铁是硅和铁组成的合金。体积相同的两块硅铁，其中含硅量越多，即含铁量越少的就越轻；反之，含硅量越少，即含铁量越多的就越重。

由此可知，硅铁中含硅量越多，其比重越小；反之，含硅量越少，其比重越大。人们利用这个道理，绘成一条曲线如图3所示。

这样，根据比重多少，就可知硅铁中的含硅量。从图3可知，45硅铁的比重为5.14，75硅铁的比重为3.10，90硅铁的比重为2.57，等等。

在硅铁生产中，就利用硅铁这个特性，快速分析硅铁的含硅量，这种测定含硅量的方法叫“比重法”。此法简单，

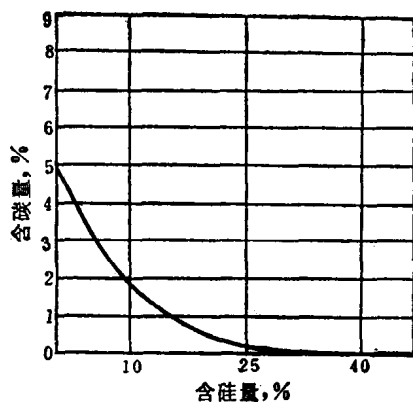


图 2 1187°C时碳在硅铁中的溶解度曲线

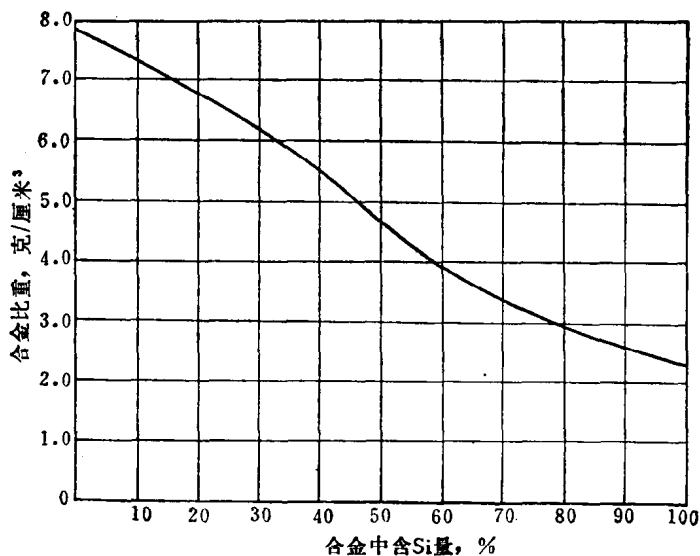


图 3 硅铁比重与合金中含硅量的关系

速度快，在生产中很有实际意义。

由于硅铁中还含有铝和钙元素，它们的比重均与硅的比重不同，例如钙的比重为1.54 铝的比重为2.7，往往影响测定硅含量的准确度。所以，一般根据原料条件和操作特点等原因，绘出修订曲线，用来提高测定硅含量的准确度。

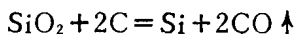
二、硅铁冶炼原理

6. 硅铁冶炼的基本原理和一氧化硅在冶炼反应中的作用是什么？

为什么用硅石、焦炭和钢屑在矿热炉中经过高温加热后，能冶炼出硅铁？要想知道这个道理首先就要了解冶炼硅铁所用的各种原料，在高温条件下的变化规律。

冶炼硅铁主要原料是硅石，硅石中含二氧化硅约98%。二氧化硅很稳定，硅和氧之间的亲和力很强，不易分离。生产上为了把氧从二氧化硅分离除去，采用在矿热炉内高温条件下，以焦炭中的碳夺取二氧化硅中的氧。而且温度越高，碳夺取氧的能力随之增强，这是因为在高温条件下，碳对氧的结合力比硅对氧的结合力大。可见高温时有了碳，二氧化硅就不稳定了，这时二氧化硅中的氧和碳进行反应，生成气态的一氧化碳，通过料层从炉口逸出。二氧化硅中的氧被碳夺走后，剩下的硅与铁形成硅铁，其中有一定数量的硅与铁生成化合物，例如 FeSi_5 、 Fe_2Si_5 或 FeSi_x 等。

二氧化硅与碳作用其反应式如下：



上式是吸热反应，从反应式中可知，为了加速反应的进

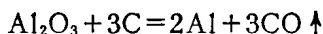
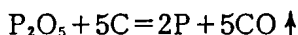
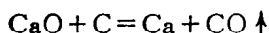
行，应把电极往炉料中插的深些，以提高炉温，扩大坩埚区，同时应增加料面的透气性，使一氧化碳气体尽快逸出。如采取扎透气眼、捣炉等措施，均有利于二氧化硅与碳的反应加速进行，使硅铁较快地生成。

由于冶炼硅铁的矿热炉中有钢屑、有铁，使二氧化硅的还原反应较容易进行，这是因为被还原出来的硅与铁形成硅铁，于是改善了还原过程的条件，所以铁越多二氧化硅的还原反应越容易进行，生产也证明这点，冶炼含硅越低的硅铁，则其单位电耗越低。如冶炼每吨45硅铁的电耗，约为4500~4800度，每公斤硅耗电约为11度。冶炼每吨75硅铁的电耗约为8200~9000度，每公斤硅耗电约为12度。冶炼每吨硅的电耗约为12000~13000度，每公斤硅耗电约13度。

从化学反应上说一般认为，氧化物中的氧被其他物质夺去的反应，叫还原反应。夺取氧的物质，叫还原剂如焦炭等。

依上述硅铁冶炼原理是还原过程。

反应过程中，硅石内的二氧化硅绝大部分被碳还原之外，其他杂质和焦炭带入的灰分，如氧化钙(CaO)，五氧化二磷(P₂O₅)和三氧化二铝(Al₂O₃)等也被碳还原，其中五氧化二磷绝大部分被还原。各反应式如下：

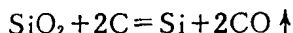


各反应中生成的一氧化碳气体，从炉口逸出，其他生成物如钙、铝和磷等进入硅铁中，因此，要求原料中的杂质尽量少，以保证硅铁的质量。

在冶炼过程中有少部分的二氧化硅，三氧化二铝和氧化

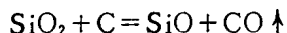
钙等未被还原，而形成炉渣。炉渣成分约含 SiO_2 30~40%； Al_2O_3 45~60%； CaO 10~20%。此种炉渣熔点约为1600~1700°C。渣量大时，消耗电量增加，同时过粘的炉渣，不易从炉内排除，引起炉况恶化。故要采用较好的原料，以减少渣量，降低单位电耗。

· 正常情况下，渣量控制在不大于硅铁量的百分之五为宜。以上是硅铁冶炼基本原理，硅铁冶炼的基本反应是：

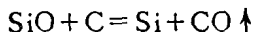


实际炉内的化学反应比这复杂。实验证明氧化物的还原，是由高价氧化物逐步还原成低价氧化物。二氧化硅的还原，在高温情况下，首先被还原成一氧化硅（ SiO ），而后再被还原成硅（ Si ），其顺序是 $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiO} \rightarrow \text{Si}$

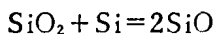
冶炼硅铁，在1700~1800°C时，将发生如下反应：



也就是说二氧化硅首先被碳还原成一氧化硅，然后再被还原成硅，其反应式如下：



被还原出来的硅，部分的将和二氧化硅作用，又产生一氧化硅，其反应式如下：



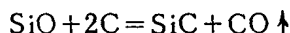
从上述的三个反应式中，可以看到一氧化硅对促进冶炼反应的进行是个重要环节。一氧化硅在高温情况下是以气体状态存在，低温时不稳定。因此，一氧化硅在炉内坩埚中是气体，少量的一氧化硅从炉口逸出后，被空气氧化（ $\text{SiO} + 1/2\text{O}_2 = \text{SiO}_2$ ）而成为二氧化硅，冷却后呈灰白色，部分凝结在电极、铜瓦等处。在约为1700°C以上高温时，大部分的一氧化硅挥发到焦炭的气孔中，广泛地和碳接触并作用，按

第二个反应式，还原成硅，其中大部分硅与铁形成硅铁，少部分的硅在高温区与二氧化硅作用，按最后反应式又生成一氧化硅，然后又和碳进行反应，结果反应连续不断地进行。由此可知，一氧化硅不但是反应的中间产物，同时，它可促进反应加速进行。

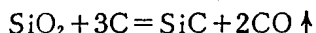
由于一氧化硅在高温下是气体，易挥发而损失掉，尤其当塌料或大刺火时，逸出或喷出的白色气体多是一氧化硅。因此，要求及时处理塌料或大刺火的现象，否则，将造成一氧化硅的大量损失，减少产量，增高单位电耗。

7. 反应中碳化硅的产生和破坏的原因是什么？

冶炼硅铁时在反应中二氧化硅首先被还原成一氧化硅。部分的一氧化硅气体在上升过程中与料层中焦炭接触并作用后，较易生成碳化硅。其反应式如下：

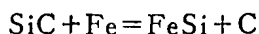


冶炼过程中，焦炭加入量过多时，更易产生碳化硅。其反应式如下：



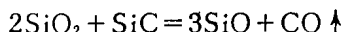
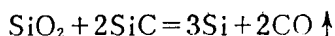
往往在修炉时于料层内部发现大量碳化硅（冷却后呈褐色，稍有光泽并是针状结晶），说明产生碳化硅的反应是存在的，并且是中间产物。

碳化硅（SiC）的熔点约为2500°C，不易熔化，电阻小，导电性强。因此，炉中积存过多碳化硅，使炉况恶化。虽然碳化硅易产生，但在冶炼中由于炉料中有钢屑，碳化硅较容易被铁（Fe）破坏，其反应式如下：

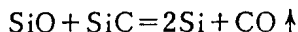


冶炼45硅铁，因炉料中钢屑较多，碳化硅更易被破坏，所以，碳化硅对炉况没有影响。碳化硅在高温时，还可被二

氧化硅所破坏，其反应式如下：



较大容量硅铁电炉，因炉温高，碳化硅更易被破坏。碳化硅在高温时还可以被一氧化硅破坏，其反应如下：



较小容量的电炉中冶炼硅铁时，由于炉内温度较低，破坏碳化硅的反应，不易充分进行，因此，有时有较多的碳化硅存在炉内，因它的熔点高，导电性强，致使电极不能较深地插入炉料，造成炉况恶化。此种情况在较小容量的硅铁电炉是比较经常发现的，为了纠正这种不正常现象，应将炉中碳化硅尽量掘出，或附加些钢屑破坏碳化硅，同时适当地减少焦炭加入量，以改善炉况。

8. 高温下形成的“坩埚”的作用是什么？

什么是坩埚？坩埚就是每相电极下面的“坩”型高温区，也就是主要的反应区。

二氧化硅在较高温度下，粘度比较大，每当捣炉时就会发现很粘稠的炉料，甚至呈玻璃丝状。电极附近的炉料，因距离电极位置不同，受热程度也不相同，高温处即熔化，低温处即粘结。所以，在电极周围自然地形成由粘结炉料组成的“坩”型高温区，即主要反应区，习惯称为坩埚。坩埚顶和壁是粘稠的熔融状炉料，其组成为粘稠的炉料混合物；已进行部分反应而生成的化合物；硅铁颗粒；液体合金；碳化硅和三氧化二铝等。坩埚内部是气体空间也就是电弧区。坩埚内的温度约为1800~2000℃以上，能够使化学反应比较充分地进行。冶炼75硅铁，当大塌料时，可看到坩埚的部分形状，在电炉修洗炉时，也可看到坩埚的部分轮廓。