

硅铁合金生产工艺

目录

- 一. 硅铁合金的物理性质
- 二. 硅铁冶炼的原材料
- 三. 硅铁冶炼的基本原理
- 四. 硅铁冶炼工艺操作
- 五. 硅铁合金物料计算

硅铁合金的物理性质

- ◆ 纯硅呈钢灰色，有金属光泽的晶体物质，质硬而脆，属于非金属。硅的原子量28.08，密度 2300kg/m^3 ，熔点1683K；铁具有银白色金属光泽，有良好的延展性、导电、导热性、密度为 7.86kg/cm^3 ，熔点1435K。
- ◆ 硅与铁能按任意比例互溶，可以生成 FeSi_2 、 FeSi 、 Fe_5Si_3 、 Fe_2Si 等硅化物，其中以 FeSi 最稳定，熔点为1683K，融化时不分解，能以 FeSi 形式存在与液态合金中，其余的硅化物当加热时在固态即分解。
- ◆ 硅铁是铁和硅组成的铁合金。硅铁的熔点随含硅量增加而升高，标准硅铁的熔点低于1634K。
- ◆ 硅与铁的合金容易产生偏析，合金锭上部和下部的含硅量之差达20%以上。合金锭厚度越大，冷却时间越长，则偏析也越严重。因此，通常要求硅铁锭的浇铸厚度不能大于100mm。

硅铁合金的物理性质

- ◆ 硅铁产品会粉化，这是由于有乙相和磷、铝、钙等杂志的硅铁在潮湿的大气存放会造成粉化，并放出有毒气体 PH_3 和 AsH_3 。
- ◆ 硅铁合金是用于炼钢的脱氧剂和合金添加剂，也是用于铸造的孕育剂。
- ◆ 硅铁的牌号和化学成分：国标GB2272-87。

牌号	化学成分(%)							
	Si	Al	Ca	Mn	Cr	P	S	C
	范围	≤						
FeSi90A11.5	87.0-95.0	1.5	1.5	0.4	0.2	0.04	0.02	0.2
FeSi90A13	87.0-95.0	3.0	1.5	0.4	0.2	0.04	0.02	0.2
FeSi75A10.5-A	74.0-80.0	0.5	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1
FeSi75A10.5-B	72.0-80.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.04	0.02	0.2
FeSi75A11.0-A	74.0-80.0	1.0	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1
FeSi75A11.0-B	72.0-80.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.04	0.02	0.2
FeSi75A11.5-A	74.0-80.0	1.5	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1
FeSi75A11.5-B	72.0-80.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.04	0.02	0.2
FeSi75A12.0-A	74.0-80.0	2.0	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1
FeSi75A12.0-B	74.0-80.0	2.0	1.0	0.4	0.3	0.04	0.02	0.1
FeSi75A12.0-C	72.0-80.0	2.0	-	0.5	0.5	0.04	0.02	0.2
FeSi75-A	74.0-80.0	-	-	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1
FeSi75-B	74.0-80.0	-	-	0.4	0.3	0.04	0.02	0.1
FeSi75-C	72.0-80.0	-	-	0.5	0.5	0.04	0.02	0.2
FeSi65	65.0-72.0	-	-	0.6	0.5	0.04	0.02	-
FeSi45	40.0-47.0	-	-	0.7	0.5	0.04	0.02	-

硅铁冶炼原材料

- ◆ 硅石
- ◆ 硅石中 SiO_2 含量要求大于98%。
- ◆ 硅石中杂质含量要低。硅石中杂质主要指 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 ，这些杂质都是成渣物质，不利于硅铁生产的顺行。因此，为确保产品质量和生产顺行，要求硅石中 Al_2O_3 含量必须小于0.5%， MgO 和 CaO 含量之和小于1%。
- ◆ 硅石要有良好的抗爆性能。硅石在升温过程中，因晶体型转变大及失水，可能出现碎裂，将严重恶化料面的透气性。
- ◆ 硅石入炉时要有一定的粒度。硅石粒度过小，会含有较多杂质，也会严重影响面料的透气性；硅石粒度过大，易造成炉料分层，延缓炉料的溶化和还原反应速度。一般要求12500kv.A矿热炉中入炉硅石粒度为80-120mm。

硅铁冶炼原材料

- ◆ 碳质还原剂（主要介绍焦炭）
- ◆ 焦炭中固定碳含量大于82%。
- ◆ 灰分（A）要低，一般要求小于8%。焦炭中灰分过高，易使炉内面料渣化烧结，影响面料透气性。焦炭中的灰分或是炉内渣量增加，是炉渣变粘的重要原因。
- ◆ 挥发份（V）6-12%。挥发份高的焦炭，一般来说机械强度低，同时在加热过程中，挥发份易于外逸，从保证焦炭有高的固定碳和机械强度角度考虑，应要求焦炭的挥发份低一些。但考虑到挥发份高的焦炭，其比电阻通常都高。因此挥发份一般不予限制。
- ◆ 水分要低。焦炭中水分含量的波动是造成炉况波动和恶化的重要原因，为此要求焦炭中的水分要稳定，且水分小于8%为宜。

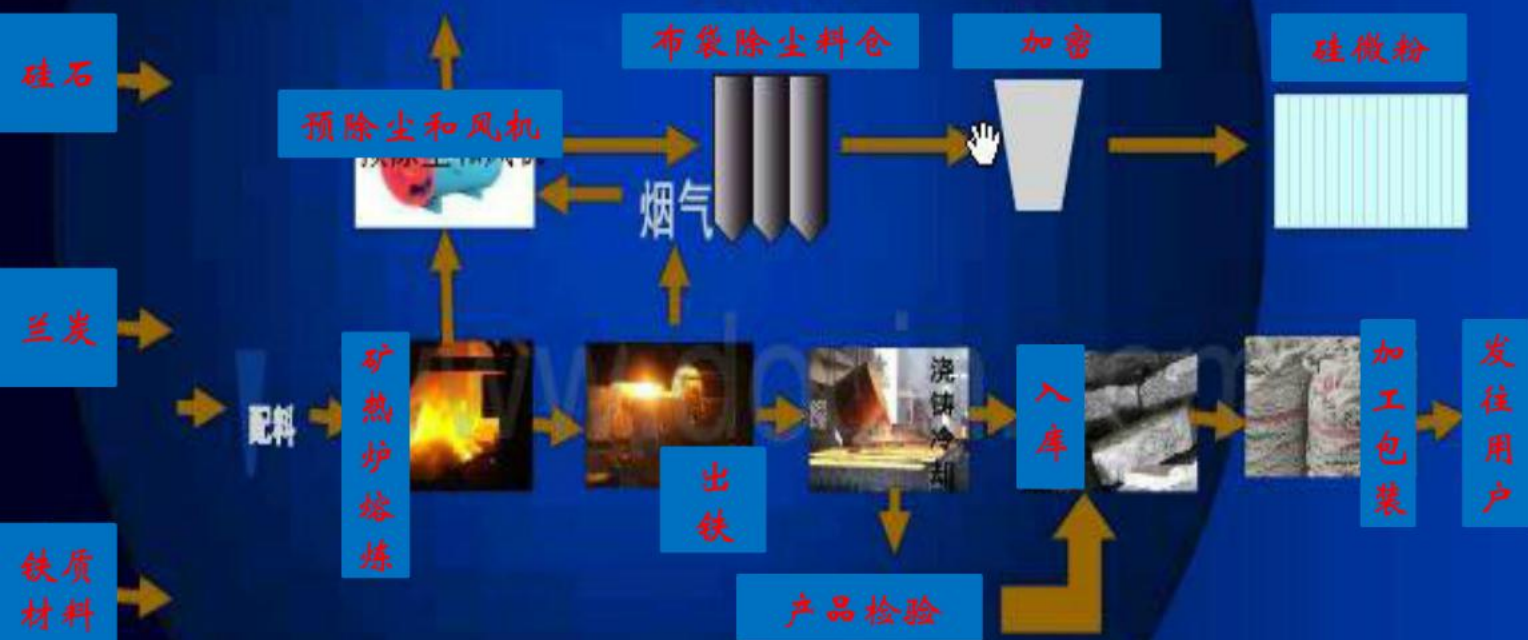
硅铁冶炼原材料

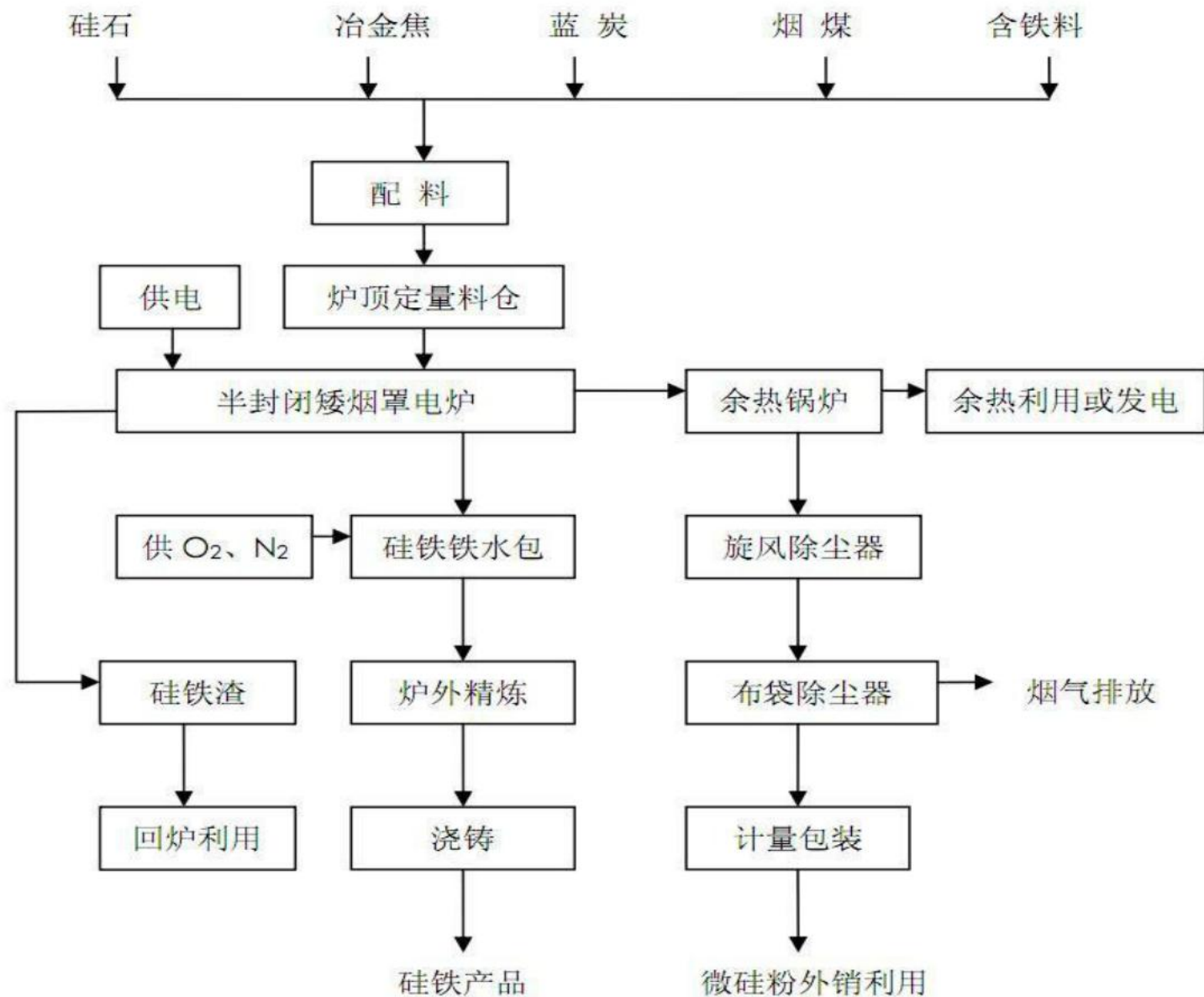
- ◆ 比电阻要高反应能力要强。比电阻：在冶炼过程中，炉内保持有足够大的高温区是炉况顺行和取得良好技术指标的重要条件。而炉内高温区的大小，在很大程度上取决于电极的插入深度。炉料电阻，特别是焦炭的比电阻是影响电极插入深度的一个重要原因。比电阻大，电极插入的深而稳，由此可扩大坩埚区，热损失小。焦炭的比电阻主要和自身结构和种类有关，一般来说焦炭的粒度小，比电阻大；粒度大，比电阻小。
- ◆ 粒度组成合适。焦炭的粒度组成是影响炉料比电阻和透气性的重要因素。粒度大的焦炭比电阻小，反应表面小，还原能力较低，加入炉内说炉料的导电性强，电极下插困难，热损失增加；粒度小的焦炭比电阻大，反应表面大，加入炉内时有利于电极深插，也有利于还原反应进行。但是，粒度过小的焦炭入炉时，易使料面烧结透气性变坏，烧损严重。因此，一般要求12500kv.A矿热炉中焦炭粒度要求3-15mm。

硅铁冶炼原材料

- ◆ 机械强度要高。焦炭机械强度低，不但导致破碎损失大，使产品成本增加，而且入炉后会继续碎裂，影响料面的透气性。
- ◆ 铁质材料。生产硅铁时，含铁料是硅铁成分的调节剂，含铁料有促进 SiO_2 被还原的作用。要求球团含铁量要大于60%；钢屑必须是纯碳素钢屑，不能夹杂外来杂物，含铁量应大于95%。

硅铁冶炼流程





硅铁冶炼的基本原理

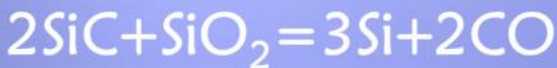
- ◆ 用焦炭中的碳还原硅石中的Si的基本反应。实际生产过程中，采用矿热炉内的高温条件，以焦炭中的碳夺取 SiO_2 中的氧，生成气态的CO通过料层从炉口逸出把硅还原出来。反应式如下： $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ (1-1) 本式是吸热反应。
- ◆ 提高炉温可以加速反应的进行。反应的理论开始还原温度为 1663°C ，即当温度达到 1663°C 时1-1反应才开始进行。Fe有促进 SiO_2 还原的作用：在有铁存在的条件下，1-1式还原出来的硅与铁按下式反应生成硅化铁。 $\text{Fe} + \text{Si} = \text{FeSi}$ (1-2) 生成硅化铁的反应式放热反应，因为铁能降低 SiO_2 还原反应的理论开始反应温度，并改善 SiO_2 的还原条件，所以Fe有促进 SiO_2 还原的作用。冶炼的硅铁含硅越低， SiO_2 被还原的理论开始温度也就越低。也就是说硅铁的牌号越低，理论开始还原温度就越低。相反，生产过程中硅含量越高，开始还原的温度就越高，还原单位硅消耗的热量增加，电耗升高。

硅铁冶炼的基本原理

- ◆ SiO_2 被还原的顺序是： SiO_2 — SiO — Si （从高价氧化物向低价还原），随着开始还原温度的升高， SiO 在高温下是气态，温度升高使其获得的动能增大，特别是刺火严重时，挥发量很大，造成的材料消耗能耗增大。产品增加1%的含硅量，每吨产品多还原10kg硅，不但还原需要的能量增加了，而且由于开始还原温度提高，加大了与外界的温度梯度，增加了散热损失。理论表明，硅标号每上升1%，理论冶炼的电耗升高约100kw.h/吨。在1700℃以上温度时，大部分 SiO 挥发到焦炭气孔中，广泛的和碳接触并作用，按 $\text{SiO} + \text{C} = \text{Si} + \text{CO}$ 反应还原成硅，其中大部分硅与铁形成硅铁，少部分的硅在高温区与 SiO_2 作用，按 $\text{SiO}_2 + \text{Si} = 2\text{SiO}$ 反应生成 SiO ，然后 SiO 又和碳进行反应生成 Si ，结果反映连续不断进行。由此可知 SiO 不但是中间产物，同时它可促进反映加速进行。

硅铁冶炼的基本原理

- ◆ 在较低温度下，焦炭加入过量时， SiO_2 还原反应生成中间产物 SiC ，生成的 SiC 在有铁存在时，可以在较低温度下被铁破坏，生成硅化铁。在高温下， SiC 则与 SiO 作用破坏，生成 Si ，反应式如下：



FeSi 沉积于熔池中，反映连续不断的进行下去。因此， SiC 促进还原反应的加速进行。

- ◆ 综述，硅石中的 SiO_2 用碳还原生成硅铁，要按以下两条路线，一条是先生成中间产物 SiO ，然后再被 C 还原生成 Si ， Si 和铁结合生成硅铁；另一条是先生成中间产物 SiC ， SiC 被铁破坏直接生成 FeSi ，或者是 SiC 被 SiO_2 或 SiO 破坏，生成硅，硅和铁结合生成硅铁。

硅铁冶炼的基本原理

- ◆ 实践证明，在熔炼硅铁的条件下，炉料中 P_2O_5 和 FeO 的还原进行相当完全， Al_2O_3 和 CaO 约有40-50%被还原进入合金中，其余未还原氧化物则组成炉渣。硅铁虽然是无溶剂法、无渣冶炼法，但未被还原的氧化物多少都会形成炉渣，一般渣量多少是合金量的3-5%，炉渣的成分为 Al_2O_3 (45%-62%)、 SiO_2 (23%-46%)、 CaO (9%-18%)。渣量增加除增加冶炼电耗外，还由于熔点高 (1773k-1973k)、黏度大，易使炉底上涨，炉况恶化，同时炉渣与硅铁密度接近，生产时渣铁不易分开，易使硅铁中含渣，因此应尽量使用纯净的炉料以减少炉渣量。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 不正常炉况的形成和影响因素

若硅铁电炉的主要反应能够顺利进行，则硅铁炉料就能以正常速度下沉，炉况就处于正常状态；若硅铁冶炼的某些因素发生变化，如原材料发生变化、电压波动、设备故障停炉等影响，会使硅铁冶炼的某一环节的主要反应异常，次要反应或副反应发展，导致炉料下沉减慢，炉内积渣，冶炼操作困难等状况，恶化生产技术指标。主要反应异常的情形有如下几种：

◆ SiC的生成反应

由于SiC的生成反应在很低的温度下 ΔG_0 就已成负值，而且焦炭对SiO\CO的吸附作用很强以及SiO₂的熔化度使SiC的生成条件大大改善。因此炉料中的焦炭在进入坩埚之前就已被生成SiC的反应所消耗掉，当炉料亏炭时生成的SiC减少，使进入坩埚区的SiC少，SiO₂多。当炉料多炭时生成大量的SiC，使进入坩埚区的SiC过多，SiO₂过少。

硅铁冶炼的基本原理

◆ SiC的破解反应

当进入坩埚区SiC过多SiO₂过少时，则SiC的破解反应不完全，产生的Si少，生产率降低。由于炉渣中含SiC高而使炉渣变稠，几乎不能排泄，使大量的SiC积存炉底，产生炉底上涨，坩埚缩小，电极上抬并进入而塌料频繁，坩埚间和到出铁口通道阻塞。当进入坩埚内SiC减少，SiO₂增多时，使内SiC的破解反应朝生成SiO的反应方向发展，使炉内P_{SiO}过大，且炉渣含SiO₂升高，渣量增加。当坩埚区温度降低时，即使进入坩埚内SiC和SiO₂比例正常，SiC的破解反应也因此不能充分进行，造成坩埚区被半成品（即SiC和SiO₂）充填而缩小，炉内反应减少，炉料下沉减慢，烧结区扩展并使上层炉料严重板结。当坩埚区缩小后电弧区温度升高产生较多的SiO，P_{SiO}增大。若炉内因亏炭而积存大量的SiO₂使坩埚缩小，此时若补充焦炭由于电极上抬，坩埚区温度降低，SiC的破解反应减弱，会有焦炭下不到底的现象。若电炉热停路频繁或电压低输入坩埚内的功率减小时，坩埚区温度降低，也有炉底亏炭的假象。

硅铁冶炼的基本原理

◆ SiO的捕集反应

SiO的捕集反应主要指SiO的歧化反应和SiO转化为SiC的反应。若料层太薄，或料面温度过高，或刺火塌料频繁，使SiO的捕集反应减少，造成大量SiO损失和热量损失，使电炉生产率降低，消耗增加。若炉内产生过多的SiO，由于初期SiO在预热层大量捕集，过多的SiO的歧化等反应放出大量热量，使料面温度升高，炉料比电阻减小，形成的SiO₂与SiC的半熔状物，造成炉料透气通道被堵塞，当此处长久得不到炉气的预热，温度降低，形成炉料板结，并由外向里发展，此种情况若未及时处理，则SiO₂随后在坩埚区边缘逐渐聚集，使坩埚缩小，由于炉渣含SiO₂较高，炉渣粘稠不易排出，造成炉内积渣，并进而炉底上涨，坩埚继续缩小，最终会使坩埚分隔不通，炉况严重恶化。

过多的SiO从坩埚区逸出，不但带走坩埚区大量的热量，而且减少了坩埚区Si的生成，降低了电炉生产率。

硅铁冶炼的基本原理

主导硅铁冶炼反应的应是SiC的破解反应，一般炉况变化发生在SiC的破解反应受阻，次反应或副反应发展时，进而产生炉内积渣，坩埚收缩，电极上抬等一系列炉况变化。

◆ 产生不正常炉况的影响因素

◆ 焦炭用量的影响

由于焦炭水分、固定碳含量的变化，造成焦炭配入量的不准。当焦炭过多时，电极上抬，坩埚温度降低，进入坩埚的SiC多、SiO₂少，使SiC的破解反应不完全，造成坩埚内积存SiC后坩埚缩小；当焦炭过少时，进入坩埚内SiC少、SiO₂多，使SiO₂不能充分还原，渣量增加，PSIO增大。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 电压的影响

当系统电压波动时会对炉况产生影响。当电压过高时，电极上抬，坩埚温度降低，SiC的破解反应减弱，使坩埚内积存SiC和SiO₂，造成坩埚缩小；当电压过低时，输入坩埚内的功率减小，破解SiC的反应区域减小，生成SiC的区域增大，炉料运行减慢，是SiC形成粗大晶粒增加了破解难度。

◆ 极心圆的影响

极心圆直径大小不合理会对炉况产生影响。极心圆过大时热量不集中，渣铁排不净，造成电极上抬，使坩埚区温度降低，SiC的破解反应减弱，渣量增加；极心圆过小集中，炉心化料快并使SiO₂气化增多，硅的挥发损失增加，由于坩埚区小且电极上抬坩埚区温度降低，因此SiC的破解反应减少，生产率降低，电耗损升高。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 硅石的影响

硅石性能的变化，质量的降低会对炉况产生影响。硅石杂质含量高，渣化快，强度和抗爆性能差，粒度大小不均匀，使硅石过早熔化，炉料透气性变差，因此SiC生成快，SiO捕集差。由于化料速度大于还原速度，以及炉料比电阻降低，使电极上抬，因此坩埚温度降低，SiC的破解反应减弱，渣量增加。硅石大小不均，使炉料中形成SiC和SiO₂不均匀，影响SiC破解和SiO₂的还原，渣量增加并使PSiO增大。

◆ 操作的影响

冶炼操作主要是围绕电极深插，炉料透气良好，扩大坩埚进行。若操作中不当使电极上抬，坩埚温度降低，SiC的破解反应减弱；或炉料透气差，使CO排出困难，炉内反应减慢，并且不利于SiO捕集反应。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 热停炉的影响

热停炉后坩埚区温度降低，SiC的破解反应停止，未及时破解的SiC转变为致密的粗大晶粒，使其破解难度增加，同时也会因电极的上下移动而使生料落入坩埚内，造成渣量增加，坩埚缩小。

◆ 炉况的维护

一般坩埚区温度高低决定坩埚大小，料面透气范围的大小是坩埚大小的表现，所以在炉况的维护时要求：①电极深插稳插②料面透气性好，火焰区宽大均匀。因为电极深插，坩埚区温度提高，使SiC的破解反应区增大，SiC的破解反应加快；炉料透气性好，以利于SiO捕集和热量的利用，也有利于扩大坩埚提高炉内还原反应速度，降低消耗，因此冶炼操作主要是围绕这两点进行，以保证炉况的稳定良好。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 正确判断炉况

要维护好炉况首先必须正确对炉况作出判断，以利于正确操作和及时处理。

◆ 炉况正常时表现为：电极深而稳，坩埚大，炉料透气均匀，火焰区宽大，炉料沉料正常，还原反应快，出炉时间短，铁水温度高，产量质量正常，消耗低等。

◆ 当炉况不正常时表现为：

①若初期电极起伏，炉料透气性还好，坩埚还较大，但随后电极位置高，塌料增多，坩埚缩小，铁水温度低等，应与焦炭用量偏多，粒度过大，电压偏高等有关。

②若初期电极深插，用不足负荷（或电流波动），随后炉料透气性差，变粘，料面出现较多的SiO₂燃料产生的白烟，刺火增多坩埚收缩，渣量增加并逐渐积渣，使电极位置上移等，应与焦炭用量不足出现亏炭有关。

硅铁冶炼的基本原理

- ③若初期电极深插，负荷不足，反应减弱，沉料减慢，火焰软弱无力，随后炉心透气差（或炉心不走料），坩埚区缩小等，应与电压偏低有关。
- ④若初期电极深插，炉内反应正常，但炉心透气差（或炉心不走料），出炉不倒表，铁水流不尽，出现三相坩埚不通，随后电极位置高难以下插等，应与极心圆过大有关。
- ⑤若电压起伏大，炉内反映正常，但炉心化料快，坩埚较小， SiO 挥发损失增加，电耗高等到，应与极心圆过小有关。
- ⑥若料面易烧结，收火快，出炉渣量多，为此用炭量一般呈上限，因此电极难以深插稳插，坩埚难以扩大。这应与硅石质量较差，如杂质多，强度低，抗爆性能差，硅石粒度大小不均等，使硅石出现较早地熔化有关。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 不正常炉况的处理

首先应在炉况变化初期及时根据不正常炉况的判断分析其影响因素，进行逐个排除，找准真正影响因素加以解决，以使炉况不至于恶化。并通过加强操作可使炉况恢复正常。当炉况恶化后，一般会出现电极上抬，料面透气性差，刺火或塌料，坩埚缩小，炉内积渣等此时必须进行洗炉处理才能使炉况恢复正常。洗炉的目的是通过加入洗炉材料使炉内的积渣排出或部分转化为合金，从而使电极得以下插，扩大坩埚，并最终使炉况恢复正常。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 洗炉方法：

采用在炉料配比中配入少量的石灰石和直接对三相坩埚加入一定量的铁屑（并配有适量焦炭）的办法洗炉，一般经过24小时就可以使电极下插并达到炉况基本恢复正常的效果。

◆ 洗护的理论依据：

炉料中配入石灰石后比电阻增加，促使电极深插，促使炉内反应，加快炉料进行，减轻炉料烧结，改善炉料透气性；CaO与炉渣中 Al_2O_3 \、 SiO_2 结合放出热量，降低炉渣黏度，有利于SiC的破解反应和炉渣的排出。Fe或（FeO）与少量C加入坩埚后按⑥和⑦式进行反应，不但破解SiC、降低炉渣熔点和黏度，而且使 SiO_2 更多的被还原减少了炉渣量。一般在炉况正常，炉渣中SiC和 SiO_2 含量合适情况下不会造成 Al_2O_3 的积存，只有当 SiO_2 过多，SiC过多（或 SiO_2 过少）时炉渣黏度大才会产生 Al_2O_3 的积存。当炉渣中SiC和 SiO_2 尽可能地转化成合金后，炉渣量减少，积存的 Al_2O_3 被CaO作用后排出炉外，所以炉底下降，电极下降，电极下插，坩埚扩大，烧结区变薄，透气性改善，炉况得以恢复。

硅铁冶炼的基本原理

◆ 对产品质量的正确控制

对于软化点低，较易熔的硅石冶炼硅铁时，要提高炉温比较困难，合金含硅量不宜控制过高，否则维护炉况的操作变难，指标变差；对于软化点较高的硅石冶炼时合金中硅可控制较高。通过控制过高的炉温和过多的用炭量不但使炉况维护增加难度，热损失增加，而且根据选择性还原理论，会造成过多的 Al_2O_3 被还原，使产品含铝和电耗增加，因此当维护好炉况正常，并根据原材料状况控制合适的炉温和炭量，选取合理的合金含硅量控制才能获得较好的产品质量和最佳的经济技术指标。炉内主要反应受影响，次要反应或副反应发展是使炉况出现异常的根由。主导硅铁炉内反应的是 SiC 的破解反应。对炉况及时正确判断是维护好炉况的先决条件。炉况变化初期及时排出影响因素，并通过加强操作可使炉况恢复正常；炉况恶化后必须采取洗炉才能使炉况恢复正常。炉况维护操作主要是围绕电极深插，炉料透气性好，利用扩大坩埚的出发点。

硅铁冶炼工艺技术

硅铁冶炼的顺利进行，不仅取决于正确的配料，更重要的是取决于均匀的加料。加料要做到少加勤加，禁止偏加料，炉料与电极呈垂直方向投入。炉料必须混合均匀，炉口料面要保持一定形状，料面应低于炉衬上沿200mm左右，电极四周应呈现一个宽而平的锥型，椎体高度应为200-300mm，三相电极之间的炉口区料面应控制较高一些。为保持炉内良好的透气性，要做到勤扎眼和捣炉。以不破坏坩埚为原则，捣炉要快而透，沿电极切线方向，捣炉过程中应及时加新料或附加部分焦炭，以减少热损失。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 配料操作

按批顺序配料（配料顺序为硅石、焦炭、球团，每批了一次配成），每批料以300kg硅石为基准。

- 75%硅铁理论配比为：硅石：焦炭（干基焦炭，路口烧损率为10%）：球团矿=300：168：55
- 用 $\Sigma fe=95\%$ 的钢屑生产75%的硅铁，理论配比为硅石：焦炭（水分8%）：钢屑=300：165：35

◆ 不可随意改变料比、料批。

- ◆ 焦炭水分增加1%（水分以8%为基准），料批中焦炭量增加0.6kg。

◆ 冶炼供电

炉内电流电炉可简化为两路，即：

主电路：电极-电弧-熔融物-电弧-电极

支电路：电极-炉料-电极

硅铁冶炼工艺技术

- ◆ 通过炉料支路的电流大小与电极间电压成正比，与炉料支路的电阻成反比。炉内料层通过的电流主要从炉料下层通过，若炉内功率不变，二次电压提高，电弧就被拉长，电极上抬，虽然电效率和功率因数增加，但由于高温区上移，路口热损失增加，炉温下降，金属挥发增大，坩锅区缩小，炉况变坏，二次电压过低，电效率和输出功率降低，还因电极下插深，料层电阻增加，通过炉料支路电流过小，炉料融化，还原速度减慢，坩锅缩小。
- ◆ 因此，不可随意升降电极，要与炉况实际情况结合，主要通过调整炉况来调整电流，刚放下电极后，要缓慢升负荷，约20分后视电极焙烧情况满负荷运行。
- ◆ 冶炼电压应保持在145v-152v之间；每次调整电流时，电极升降幅度要小，三项电极一次电流要基本平衡在240A左右，禁止超越280A。

硅铁冶炼工艺技术

- ◆ 误操作过流造成跳闸，不要擅自送电，需经检查后方可送电，每次送电前都要适当提升电极，负荷逐步增加，直至满负荷运行。
- ◆ 三相电流应尽量保持平衡，最大波动不准超过25%。
- ◆ 下放电极需要根据电极消耗和焙烧情况，每次下放50-100mm，下放电极送电后，需仔细观察电极是否烧结好，如有漏糊或软断可能，应立即回座铜瓦，小负荷运转直至电极烧结完好。
- ◆ 硅铁生产炉况的判断处理

硅铁生产炉况正常的主要特征是电炉负荷稳定，电极下插深度1500mm左右，料层松软，料面透气性好，料面高度适中，炉心火焰大，全炉均匀的冒浅黄色火焰，很少有刺火塌料现象，炉料均匀自行下沉，炉口温度低，炉眼易开，出铁均匀，合金成分稳定，产量高。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 还原剂过剩

由于料中碳过多，焦炭电阻小，导电性强，导致通过炉料电流多，电极上抬，下插深度浅，坩锅缩小，电极周围塌料夹带刺火，电弧响声大，炉料埋不住弧，路口温度升高，严重损伤设备，远离电极区域的料面没有或呈现微弱的蓝色火焰，出铁口不易打开，出铁不畅且量小、质量差。

● 处理方法：

- 适当向电极周围投入含硅料 (SiO_2)，稳定电极，防止电极上移。
- 组织人员彻底捣炉，改善炉料结构。
- 如果采取以上两项措施，无明显效果，应立即针对计量、原料、设备等方面做全面检查。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 还原剂不足

症状：路况发粘，料面透气性差，化疗区小，炉膛火焰不足，刺火现象严重，带有白色强烈火焰，电极工作不稳，电流波动大，捣炉粘块大，电极周围易结聚。捣炉后仍无大面积冒火，出铁不畅，产量低。

● 处理方法：

- 适当投入含碳料，但不能偏加焦炭，先稳定电极。
- 彻底捣炉，附加焦炭，在电极周围多扎透气孔，加强料层透气性，扩大坩锅。
- 采取以上措施无明显效果，则应调整料比，批料中适当加入焦炭。

◆ 电极维护与操作

自焙电极因操作不当或某种原因产生事故，常见的电极事故有：过早烧结、电极糊悬糊、漏糊、软断和硬断。

● 过早烧结：

电极糊在铜瓦上沿已经烧结变硬称为过早烧结，这会造成铜瓦和电极接触不良而打弧烧坏铜瓦，还易造成电极硬断。

硅铁冶炼工艺技术

- 产生过早烧结的原因有：

- 铜瓦冷却水量少冷却强度不够。
- 铜瓦与电极接触不良，引起打弧使局部电极糊烧结加快。
- 电极糊过早软化，挥发分提前排出，使烧结加快。
- 因冶炼原因造成电极下插困难，长时间没有下放电极。
- 炉料透气性不好，刺火严重而频繁，使电极周围热量过分集中。

- 处理措施：

- 降低该相负荷，加强电极冷却。
- 适当在该相处少加硅石，加快电极消耗。
- 因电极糊原因则要用高挥发份、高软化点的电极糊，或加电极糊块，使电极焙烧减慢。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 漏糊

液态或半液态电极糊从电极壳破损处流出称为漏糊。

● 产生漏糊的主要原因有：

- 电极壳与铜瓦接触不良，引起打弧击穿电极壳。
- 电极烧结不好，电流过大电极壳局部融化。
- 电极壳焊接质量不好，焊缝开裂。
- 电极定位板绝缘不好，或电极糊等导电物在相间导电打火烧穿电极壳。

● 处理措施：

- 小的点滴漏糊—降低负荷焙烧。
- 严重漏糊要立即断电，小洞用耐火泥、石棉绳堵住。
- 在铜瓦以下漏糊时，将洞堵住后放倒电极，用铜瓦夹住漏糊处，缓慢提升负荷。
- 严重漏糊应将炉口露出的电极糊全部清理掉，用铁皮打箍焊好，补加电极糊，并架木柴烘烤，待表面硬结才能送电，缓慢升负荷焙烧。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 预防措施:

- 电极壳的接长和焊接，必须严格按照操作要求进行。
- 下放电极必须按规定进行，坚持少放勤放。下放后视烧结情况逐步提升负荷。通常放电极后20分钟才能满负荷运行。
- 发现电极烧结缓慢时，要用糊柱高度、风量、冷却水量下放电极间隔、调节几种不同性能的电极糊搭配等方法来调节烧结速度。

◆ 硬断

电极在已烧结部分折断称之为硬断。

● 原因:

- 电极糊质量不好，如灰分过高、挥发份过低、粘结力差造成电极度低。
- 电极烧结时在挥发阶段停留时间短，电极中气孔率高，强度低。
- 电极糊中带入灰尘杂物等造成局部有杂物，载面减小，电流密度增大或烧结不好，在此载面上发红突然折断。
- 电极糊柱因各种原因造成高温段上移，融化过早，造成颗粒分层，影响烧结强度。
- 炉况不好电极上抬，炉子缺碳发粘，电极波动，电极升降过频或捣炉操作不当，使电极受外力产生裂缝而折断。

硅铁冶炼工艺技术

- ▶ 停电后升负荷过快，造成热应力裂断，或停电时间过久，因激冷激热产生应力使电极裂开剥落而折断。
硬断通常都有局部小裂缝发红，后来越来越亮，瞬间甚至发白打弧折断，断时有耀眼的弧光和响声，电流表突然回零。若断头很短，埋在料里较难判断，可放圆钢插入进行试探。
- ◆ 处理措施：
 - ▶ 若大电炉断头200-400mm时，取出不便，若不在出铁相，可在出铁时将断头坐下，在此相加些石灰或硅石以加速消耗。若小电炉要设法取出。
 - ▶ 如断头长则必须取出，然后放下电极，此相送电后不让打弧也不加料，让另两相电流帮助焙烧。也可在该相炉口加木柴同时焙烧，此时注意减少负荷，防治引起烧结不良漏糊折断。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 预防措施:

- 确保电极糊质量，避免外来杂质，控制冷却手段正确掌握电极焙烧进程，增加电极强度。
- 因各种因素引起停炉时，对时间短的要停止电极冷却风机和减少冷却水量。对时间长的要按停电处理办法处理，如抬起电极200-300mm，在电极周围加适量焦炭、活动电极等操作。以减少温度急变对电极产生的内应力。
- 长时间停电则应在2小时左右活动一次电极，以预防电极头与半融料粘结，使电极受到外力损坏。
- 停电后开始送电时一定要特别小心，要缓慢提升负荷，避免电流过大冲击，产生热应力而折断，一相电极折断后更应注意另两相电极。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 软断

电极未焙烧好就折断称之为软断。

◆ 原因

- 电极糊质量不好，挥发份过高，软化点偏高。
- 电极糊块度过大，造成电极糊架空，烧结过程中出现空洞。
- 电极壳厚度不够，承受不住较大的应力而断裂。
- 电极壳脱焊。
- 漏糊后及时停电，电流上升，造成电极壳在软断交界处断裂。
- 电极消耗过快，电极下放间隔时间太短，电极焙烧不良等因素，造成先漏糊再软断。
- 电极一次下放过长，电极软，铜瓦夹不住，电极下滑没有及时停电，造成铁皮烧毁软断。
- 下放电极后升负荷太快，在软断交界处受大电流冲击而断。软断常发生在下放电极后5-20分钟内，在新放下的电极处。

硅铁冶炼工艺技术

◆ 处理方法：

立即将铜瓦松开倒放到原来的位置，将流油处夹在铜瓦夹，夹住原来的硬头。注意不能夹歪电极头，清理流出的电极糊，关小冷风及冷却水，观察情况送负荷，若夹住硬头较多，可基本给满负荷焙烧，且正常冶炼；若夹住硬头较少，降负荷焙烧。无论什么情况本相电极要间隔较长时间才能下放。若放下的断头已经接上，正常冶炼；若仍未能接上，但经过焙烧后，断处不再流油，基本变硬，则将下面断头取出，按照电极硬断处理。若仍流油，还要夹住硬头焙烧；难以处理时应另焊一个铁皮在电极底部，重新加电极糊，按新电极焙烧程序焙烧。有时倒放铜瓦，夹住原来硬头却拔不起来，可送电用电阻焙烧电极。其方法是抬起其他二相电极送电，用其它二相控制负荷，使断电极处于低电压、高电流的情况下，用电阻热加速焙烧，焙烧良好即可投入正常生产。

硅铁冶炼工艺技术

软断是事故中最麻烦的一种，需注意预防。首先注意一切使电极烧结不好变软的因素，并经常检查调整各项影响烧结的因素，放电极后升负荷不能操之过急，发现焙烧不好要降低负荷焙烧，经常检查电极糊质量变化，注意电极壳制作质量，电极下放长度和间隔，电极糊柱不要过高，或一次加入过多电极糊等。

硅铁合金物料计算

氧化物分配表

氧化物	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	MgO
被还原的%	98	99	50	40	100	0
进入渣中的%	2	1	50	60	0	100

元素分配表

元素	Si	Fe	Al	Ca	P	S	SiO
进入合金%	98	95	85	85	50	0	0
挥发%	2	5	15	15	50	100	100

说明：焦炭炉口烧损率为7-10%，SiO的挥发量是
是
硅石加入量的8%-11%。

硅铁合金物料计算

◆ 硅石与焦炭比计算

➤ 设100kg硅石入炉，完全还原需碳量为X₁



则 $X_1 = (100 * 98\% * 24) / 60 = 39.2\text{kg}$

◆ 焦炭灰份中的成分被还原需要碳量计算。

➤ 设焦炭灰份中的氧化物70%被还原，并以SiO₂计算（焦炭中SiO₂的含量约为40-60%），组合焦炭灰份为8%，还原需碳量为X₂。



则： $X_2 = (50 * 8\% * 70\% * 24) / 60 = 1.12\text{kg}$

硅铁合金物料计算

- ◆ 电极糊增碳量计算：一顿硅铁约消耗1.8吨硅石，55kg电极糊。则每100KG硅石需要电极糊的量为3.1kg，设电极糊增碳为 X_3 。则 $X_3=3.1*78%*90%=2.176\text{kg}$ 。
- ◆ 还原100kg硅石需要的纯碳量为： $X_1+X_2-X_3=38.14\text{kg}$ 。
- ◆ 实际生产中应考虑焦炭的固定碳含量、水分、及炉口烧损等，则还原100kg硅石所需要的湿基焦炭为：
$$38.14 / \{ (1-\text{水分}) * \text{固定碳} * (1-\text{炉口烧损}) \}$$
$$=38.14 / \{ (1-8\%) * 84\% * (1-10\%) \}$$
$$=55\text{kg}$$
- ◆ 考虑实际生产过程中的SiO的挥发损失以及焦炭中灰份还原影响较小，电极糊用量稳定，计算可简化为：
$$39.2 / \text{湿基焦炭固定碳含量} * (1-\text{焦炭水分}) * (1-\text{炉口烧损})$$

硅铁合金物料计算

◆ 钢屑加入量

➤ 生产一吨硅铁消耗1.8吨硅石。

➤ 标准铁中的铁含量：

$$100\% - \text{铝含量} - \text{钙含量} - \text{硅含量} = 100\% - 1.5\% - 0.7\% - 75\% = 23\%。$$

➤ 但实际生产中硅铁中铁含量约为：

$$100\% - 1.5\% - 0.7\% - 77\% = 20.8\%$$

计算取实际生产数据

➤ 电极壳消耗带入铁量0.4%，出铁钢钎带入铁量1%，原材料中还原带入铁量1%。

➤ 每吨硅铁约需纯铁量为：

$$20.8\% - 0.4\% - 1\% - 1\% = 18.4\%$$

➤ 100kg硅石中需配加钢屑（95%铁）：

$$(184 \times 100) / (95\% \times 1800) = 10.8\text{kg}$$

硅铁合金物料计算

- ◆ 球团代替钢屑计算方法
- ◆ 生产75%硅铁时300kg硅石中加入35kg钢屑，钢屑含铁95%，球团矿含铁60%。
- ◆ 则生产75%硅铁时300kg硅石中球团的配入量为：
 $35 \times 95\% / 60\% = 55\text{kg}$ 。

即1.57kg的球团矿相当于1kg钢屑。

14000kv.A矿热炉生产75%硅铁理论配料如下

炉型 \ 料比	硅石: kg	焦炭: kg	球团矿: kg	钢屑: kg
14000kv.a	300	168	55	35

14000kv.A矿热炉生产72%硅铁理论配料如下

炉型 \ 料比	硅石: kg	焦炭: kg	球团矿: kg	钢屑: kg
14000kv.a	300	168	62	40

硅铁合金物料计算

冶炼1吨硅铁所需要的炉料表

项目 [Ⓜ]	计算值/kg [Ⓜ]	实际值/kg [Ⓜ]
硅石 [Ⓜ]	$100 \times 1000 / 56.60 = 1767^{\text{Ⓜ}}$	1750—1850 [Ⓜ]
干焦炭 [Ⓜ]	$51.23 \times 1000 / 56.60 = 905^{\text{Ⓜ}}$	1050—1200 [Ⓜ]
球团矿 [Ⓜ]	[Ⓜ]	310—330 [Ⓜ]
钢屑 [Ⓜ]	$12.28 \times 1000 / 56.60 = 217^{\text{Ⓜ}}$	220—230 [Ⓜ]

硅铁合金物料计算

年产1万吨硅铁所需资源

	硅石 (吨)	焦炭 (吨)	钢屑 (吨)	球团矿 (吨)	用电 (度)
单耗	1.8	1.125	0.225	0.32	10000
日耗	54	33.75	6.75	9.6	300000
月耗	1620	1012.5	202.5	288	9000000
年耗	19440	12150	2430	3456	108000000

设每天的产量为30吨硅铁，每月生产30天，每年生产12个月。

硅铁合金物料计算

年产1万吨硅铁所需成本

	硅石	焦炭	钢屑	球团矿	用电(万元)	合计
单耗	180	1125	450	384	5000	7139
日耗	5400	33750	13500	11520	150000	214170
月耗(万元)	16.2	101.25	40.5	34.56	450	642.51
年耗(万元)	194.4	121.5	486	414.72	5400	7710.12

设每天的产量为30吨硅铁，每月生产30天，每年生产12个月。

98%硅石价格约为：100 元/吨；

84%焦炭价格约为：1000 元/吨；

钢屑价格约为：2000 元/吨；

球团矿价格约为：1200 元/吨；

电价约为：0.5 元/度。

年产一万吨硅铁项目年盈利率

- ◆ 年产一万吨硅铁成本约为7710.12万元
- ◆ 预计销售收入为：8500元 X 10000 = 8500万元
- ◆ 预计年利润为： 789.88万元
- ◆ 年利润率为：
 - 成本利润率 = { (8500万元 - 7710.12万元) / 7710.12 } X 100% = 10.24%
 - 销售利润率 = { (8500万元 - 7710.12万元) / 8500 } X 100% = 9.3%
- ◆ 上述成本中只包含生产耗材、购买费用，不计劳动力成本、设备损耗、折旧以及税收成本等。

2008年1月-2012年3月硅铁价格走势

2008年1月-2012年3月硅铁价格走势图

