

无芯感应电炉熔炼灰铸铁的技术应用与发展（下）

中国铸造协会顾问 李传斌

五、增碳剂及其应用

冲天炉熔炼铸铁时，熔融的铸铁以液滴通过灼热的底焦，增碳效果很好，通常可以通过调整底焦高度、炉料配比和铁液温度来控制增碳量，有必要使用增碳剂的情况很少。

感应电炉熔炼铸铁时，炉内没有碳源，炉料中生铁锭的用量少，废钢的用量多，增碳剂一般是必不可少的。增碳剂的品种及其特征，不仅影响增碳效率，对铸件的冶金质量也有重要的影响。

1. 增碳剂

可以用作铸铁增碳剂的材料很多，常用的有人造石墨、煅烧石油焦、天然石墨、焦炭和无烟煤，以及用这类材料组配成的混合料。

(1) 人造石墨 上述各种增碳剂中，品质最好的是有人造石墨（也有人称之为晶态石墨）。炉料中配加入人造石墨，其作用不仅在于增碳，而且还有预处理铁液的效果。

制造人造石墨的主要原料是粉状的优质煅烧石油焦，在其中加沥青作为粘结剂，再加入少量其他辅料。各种原材料配合好后，将其压制成形，然后在 2500 ~ 3000℃ 下的非氧化性气氛中处理，使之石墨化。经高温处理后，灰分、硫、气体含量都大幅度减少。

由于人造石墨制品的价格高，铸造厂常用的人造石墨增碳剂大都是制造石墨电极或其他成形部件时的切屑、废旧电极和石墨块等循环利用的材料，以降低生产成本。

熔炼冶金质量较高的球墨铸铁时，增碳剂宜首选人造石墨，为此最好向附近用电弧炉炼钢的企业或电解铝生产企业购买废电极，自行破碎到要求的粒度。

(2) 石油焦 这是目前广泛应用的增碳剂。

石油焦是精炼原油得到的副产品。原油经过常压蒸馏或减压蒸馏得到的渣油及石油沥青，都可以作为制造石油焦的原料，再经焦化后就得到生石油焦。在原油加工过程中，产出的生石油焦一般不到原油的 5%。美国生石油焦的年产量约 3000 万 t。生石油焦中的杂质含量高，不能直接用作增碳剂，必须先经过煅烧处理。

生石油焦有海绵状、针状、粒状和流态等品种。

海绵状石油焦是用延迟焦化法制得的，由于其硫和金属含量较高，通常用作煅烧时的燃料，也可作为煅烧石油焦的原料。经煅烧的海绵焦，主要用于制铝业和用作增碳剂。

针状石油焦是用芳香烃含量高、杂质含量低的原料，由延迟焦化法制得的。这种焦炭具有易于破裂的针状结构，有时称之为石墨焦，煅烧后主要用于制造石墨电极。

粒状石油焦呈硬质颗粒状，是用硫和沥青烯含量高的原料，用延迟焦化法制得的，主要用作燃料。

流态石油焦是在流态床内用连续焦化法制得的，呈细小颗粒状，结构无方向性，硫含量高，挥发分低。

石油焦的煅烧是为了脱除硫、水分和挥发分。将生石油焦在 1200 ~ 1350℃ 煅烧，可以使其成为基本上纯净的碳。

煅烧石油焦的最大用户是制铝业，70% 用来制造使铝矾土还原的阳极。美国生产的煅烧石油焦用于铸铁增碳剂的约占 6%。

各种石油焦制品的成分列于表 1，供参考。

(3) 天然石墨 可分为鳞片石墨和微晶石墨两类。

表 1 各种石油焦制品的成分（质量分数）（%）

品 种	固定碳	硫	灰分	挥发分	水分
生石油焦	85 ~ 89	1 ~ 6	0.2 ~ 0.5	10 ~ 14	8 ~ 10
煅烧石油焦	98.5	0.02 ~ 3.0	0.2 ~ 0.5	0.3 ~ 0.5	≤0.5
合成碳制品	99.0	0.01 ~ 0.03	0.1 ~ 0.5	—	≤0.5
低硫合成碳制品	99.9	0.01 ~ 0.03	0.01 ~ 0.03	—	≤0.2

微晶石墨的灰分含量高，一般不用作铸铁的增碳剂。

鳞片石墨有很多品种：高碳鳞片石墨需用化学方法萃取，或加热到高温使其中的氧化物分解、挥发，这种鳞片石墨产量不多，价格高，一般也不用作增碳剂；低碳鳞片石墨中的灰分含量高，不宜用作

增碳剂；用作增碳剂的主要是中碳鳞片石墨，但实际用量也不多。

天然石墨的成分见表 2。

表 2 天然石墨的成分（质量分数）（%）

品种	固定碳	硫	灰分	挥发分	水分
中碳鳞片石墨	85 ~ 95	0.1 ~ 0.7	5 ~ 15	1 ~ 2	—
微晶石墨	60 ~ 80	0.1 ~ 0.2	20 ~ 40	1 ~ 2	0.5

（4）焦炭和无烟煤 电弧炉炼钢过程中，可以在装料时配加焦炭或无烟煤作为增碳剂。由于其灰分和挥发分含量较高，感应电炉熔炼铸铁时很少用作增碳剂。

关于铸造行业常用的几种增碳剂的成分和堆密度，表 3 中列出了一些典型的测定数据，可供参照。

表 3 常用增碳剂的成分和堆密度

增碳剂	成分（质量分数，%）							堆密度 /g · cm ⁻³
	固定碳	灰分	水分	挥发分	硫	氮	氢	
人造石墨	99.2	0.4	0.20	0.10	0.05	0.005	—	0.84
鳞片石墨（中碳）	85.3	13.2	0.06	0.44	0.35	0.060	—	—
煅烧石油焦（中硫）	96.5	0.4	0.40	0.30	1.50	0.600	0.15	0.77
煅烧石油焦（低硫）	98.3	0.4	0.10	0.20	0.30	0.080	0.04	0.80
干燥焦炭	87.7	9.0	0.30	1.00	1.00	1.000	—	0.64
优质无烟煤	90.0	2.5	2.00	3.5	0.25	0.600	1.10	0.64
沥青焦	97.0	0.5	0.50	0.5	0.4	0.700	0.20	0.55

2. 增碳剂的应用

选用增碳剂时，一般应注意以下几点：

（1）固定碳和灰分的含量 固定碳和灰分是增碳剂中此消彼长的两个对立参数，也是影响增碳效率的两个最重要的参数。增碳剂中的固定碳含量高、灰分低，则增碳效率高，反之则增碳效率低。由于生产条件下影响的因素很多，因此很难严格评定两参数各自对增碳效率的影响。灰分高，对增碳有抑制作用，而且还会使炉渣量增多，从而延长作业时间，增加电耗，增加冶炼过程中的劳动量。

从增碳效率考虑，当然希望增碳剂的固定碳含量高一些、灰分低一些，但同时也要考虑生产成本的因素，以及对铁液质量的影响。

（2）加入方式的影响 增碳剂的加入方式对增碳效率也有很大的影响。

装料时将增碳剂与炉料混匀，置于感应电炉的底层和中部，增碳效率较高。无芯感应电炉熔炼灰

铸铁时，铸铁的目标成分、各种炉料的配比和其他多种工艺因素，都会影响增碳剂的增碳效率。不同增碳剂的增碳效率可参见表 4。

表 4 炉内加入不同增碳剂的成分和增碳效率（%）

增碳剂	成分（质量分数）			增碳效率
	固定碳	灰分	硫	
煅烧硬沥青	99	0.40	0.25	95 ~ 97
低硫煅烧石油焦	99	0.30	0.42	95 ~ 97
中硫煅烧石油焦	98	0.48	1.50	93 ~ 95
沥青焦	94.3	4.30	0.37	88 ~ 91
沥青	87	11.30	1.25	63 ~ 67

注：增碳剂粒度为 1.5 ~ 9mm。

出铁时在浇包内加增碳剂，然后冲入铁液，增碳效率比在炉内加入者低得多。美国有人在浇包内加入不同增碳剂进行过对比试验，其要点如下。

熔炼的是低碳当量铸铁，目标成分是： $w_c = 2.55\%$ ， $w_{Si} = 1.7\%$ ， $w_{Mn} = 0.4\%$ 。

出铁温度为 1510 ~ 1530℃。

增碳剂加在浇包内，不同增碳剂的增碳效率可参见表 5。

表 5 在浇包内加入不同增碳剂的增碳效率

增碳剂	鳞片石墨	电极碎屑	粒状碳制品	无烟煤	焦炭
灰分 (%)	0.1	0.3	0.6	5.12	11.3
增碳效率 (%)	76	52	48	48	32

注：增碳剂粒度为 1.5 ~ 6.5mm。

(3) 增碳剂中的硫含量 熔炼球墨铸铁时，应采用硫含量低的增碳剂，虽然低硫增碳剂的价格高，但却是必需的。熔炼灰铸铁时，则宜采用硫含量较高的增碳剂，这样不仅可以降低生产成本，而且还可以利用其所含的硫，增强铁液对孕育处理的回应能力，得到冶金质量高的铸件。在这种条件下，片面地追求增碳剂“质量高”而选用低硫的品牌，不仅增加生产成本，而且还有负面影响。

(4) 增碳剂中的氮含量 灰铸铁中含有少量的氮，有促成珠光体的作用，有助于改善铸铁的力学性能。如果氮含量（质量分数）在 0.01% 以上，则铸件就易于产生“氮致气孔”。

废钢中的氮含量高于铸造生铁。用感应电炉熔炼铸铁时，由于炉料中所用的铸造生铁锭少、废钢多，制得的铸铁中氮含量会相应较高。

此外，由于炉料中使用大量废钢，因此必须用增碳剂，而大多数增碳剂中氮含量都比较高，这是导致铸铁中氮含量增高的另一因素。

近十多年来，随着感应电炉的应用不断增多，增碳剂中的氮含量日益受到重视。为避免铸件产生气孔缺陷，感应电炉熔炼铸铁时所用的增碳剂，一定要选购含氮量低的品种，如有可能，应检测增碳剂的氮含量。当前的困难在于：分析增碳剂中的氮含量，尚缺乏简便而准确的方法。

(5) 其他工艺因素对增碳效率的影响 除增碳剂中的固定碳含量和灰分对其在铸铁中的增碳效率有重要的影响外，增碳剂的粒度、加入方式、铁液温度，以及炉内的搅拌作用等工艺因素都对增碳效率有明显的影响。在生产条件下，往往是多种因素同时起作用，难以对每一因素的影响作准确的说明，需要在具体生产条件下通过试验来优化工艺。

出铁时将增碳剂加入浇包内，然后冲入铁液，

此时增碳效率与铁液的温度有关。在正常的生产条件下，铁液温度较高，则碳较易熔于铁液，增碳效率因而较高。

一般说来，增碳剂的颗粒小，则其与铁液接触的界面面积大，增碳的效率就会较高，但太细的颗粒易于在大气中氧化，也易于被对流的空气或抽尘所致的气流带走，因此，增碳剂颗粒尺寸的下限值以 1.5mm 为宜，而且其中不应含有 0.15mm 以下的细粉。

颗粒尺寸的最大值，应该以能在作业时间内熔入铁液为度。如果增碳剂在装料时随金属炉料一同加入，碳与金属的作用时间长，增碳剂的颗粒尺寸可以较大，上限值一般为 12mm。如果在出铁时加入铁液中，则颗粒尺寸宜小一些，上限值一般为 6.5mm。

搅拌有利于改善增碳剂和铁液的接触状况，提高其增碳效率。在增碳剂与炉料一同加入炉内的情况下，由于有感应电流的搅拌作用，因此增碳的效果较好。向包内加增碳剂时，增碳剂可先置于包底，出铁时使铁液直冲增碳剂，或连续地将增碳剂投向液流，不可在出铁后投放在浇包内的液面上。

增碳剂如被卷入炉渣中，就不能与铁液接触，当然会严重影响增碳效果。因此，如采用在出铁时增碳的工艺，应特别注意避免渣、铁混出。MW

（全文完） （20120712）

~~~~~

## 中国铸造协会铸造材料分会年会暨铸造材料专题会将在重庆召开

由中国铸造协会主办，铸造材料分会和重庆长江造型材料（集团）有限公司承办的“中国铸造协会铸造材料分会年会暨节能降耗、绿色安全铸造材料专题会”将于 2012 年 10 月 17 ~ 19 日在重庆召开。

协办单位：苏州兴业材料科技股份有限公司、济南圣泉集团、通辽市大林型砂有限公司、郑州翔宇铸造材料有限公司、杭州飞宝实业有限公司、山东民丰铸造材料有限公司、大连鑫龙铸造工业有限公司

会议地点：重庆市渝北区龙溪街道红叶路 1 号

雾都宾馆太阳城