

※※※※※※※※

※ 内部资料 ※

※※※※※※※※

铸铁孕育 译文集

河北工学院科技情报研究室

一九八二、三、

编 前

自从本世纪二十年代孕育现象被人们发现以来，孕育技术已成为灰铸铁、球铁、蠕铁和可锻铸铁生产中控制组织、提高性能、改进工艺和扩大应用范围必不可少的一个环节。经过六十年代和七十年代两次大发展，出现了各种各样的孕育剂和孕育方法，至今方兴未艾。铸造工作者，无不着眼于多能、长效复合孕育剂和后孕育、瞬时孕育方法的研究成功。

结合我们近期的科研和毕业设计指导工作，为了推波助澜，特将散见于各种杂志与内部资料上的一些译文，选编成册，供参考。在此，谨对原文译者致谢！

由于时间与水平所限，编者未校对原文。由于印刷方面的原因，一切照片从略。必须指出，显然是原文作者在试验条件和学术观点上的不同，文章之间颇多出入，敬请读者注意。

钱 立 刘志强

82. 3.

目 录

铸铁孕育五十年来的成就.....	1
美国最新孕育处理技术动态.....	18
铸铁用 C—Si 系孕育剂.....	25
气力喷射孕育法.....	36
球铁的钡孕育剂.....	38
灰铁和球铁孕育处理的若干问题.....	44
影响球铁和灰铁中孕育作用和孕育剂衰退的某些因素.....	56
球化剂、孕育剂及处理工艺的研究与发展.....	67
长效复合变质剂 YCM 的研究.....	80
含钡孕育剂对铸铁白口深度的影响.....	90
铸铁中阻碍石墨球化元素的作用机理.....	92
钡对灰铸铁的孕育效果及孕育衰退的影响.....	103
孕育丝孕育法的技术发展动态.....	112
整块孕育芯.....	116
铁水的孕育丝孕育法.....	120
灰铸铁的孕育处理及其对获得最佳使用性能的意义.....	136
钛对铁水孕育衰退的影响.....	142
关于铁水中含硫量与孕育效果的关系.....	144
孕育摘记.....	158

铸铁孕育五十年来的成就

[美] V. H. Patterson, M. J. Lalich

内 容 提 要

文章讨论了往铸铁浇包里加各种孕育剂所得的结果及这些孕育剂对铸铁件机械性能方面的影响。并追溯到使用于灰铁和球铁的各种孕育剂的发展。文中列出了表明各种常用孕育剂成分的表格，且包括各种不同合金用作孕育剂的理由。同时还介绍了为从这些孕育剂的使用中得到最佳效果而应遵循的各种建议和预防措施。

最后，叙述了有关孕育技术的某些最近的发展情况。这些包括型内孕育，各种合金的加入方法，瞬时浇包孕育法以及一种新的、称之为质量控制的孕育工艺过程。

引 言

(孕育是一种通过使过冷度减至极小以控制灰铁和球铁的组织性能的方法。)例如，在灰铁中通过孕育剂的适当使用，铸铁中的石墨在凝固期间将趋向于以均匀分布的细小A型片状的形式析出。另一方面，若灰铁中不采用孕育措施，将有过冷倾向发生，这就可能引起铸件中形成B型、D型的片状石墨，从而导致对于某一给定铸铁的机械性能低于予期的指标。在强烈过冷的情况下，将出现过大的激冷白口层或产生渗碳体。这时，与很差的机械性能一样，导致铸铁的切削加工性恶化。本文讨论最近50年来在灰铸铁孕育方面所取得的成就。

高强度铸铁的发展

在20年代为了工程上特别是适应汽车工业的需要，对高强度灰铸铁有了相当大的兴趣。细小无规则分布的石墨片是较优越的。因此，更多的精力花费在寻求控制石墨类型和尺寸的方法上。〔虽然在浇包内添加硅铁和其它铁合金被用来调整铸铁的成分和控制白口倾向，但硅铁中的铝和钙的多少在当时并没有控制，因为还不了解这些元素在形核方面的重要性。正如我们现在所以认识到的，〔控制钙的含量对于降低白口和促进灰铸铁中A型片状石墨的均匀分布方面是非常有效的。〕

〔在20年代末期和30年代初期，人们继续在灰铸铁的浇包添加物方面进行研究。但是没有出现过象现在我们所用的孕育合金相近的铁合金。当时对重要的生核元素钙及铝的控制是很差的。〕在1938年劳林(Loring)等指出，当用高过热原铁水浇注灰铸铁时，其抗拉性能降低了5000~10000磅/吋²。但是，当把铁水的原始含硅量降低到0.75%左右，并在出铁时把硅铁加到浇包中，过热铁水铸件恢复了抗拉性能。研究者们推测在工业硅铁中作为“杂质”存在的钙及铝可能是添加物中的有作用部分。

约在1923年或1924年史沫莱(Smalley)评价了硅铁、硅钙、硅镁及硅锆合金对硬度、抗拉强度及白口铸铁的石墨化作用的有关影响。其镁合金的成分为：12%镁、40%锰、40%硅、其余为铁。其硅铁是含硅约50%且多半只含有微量的钙和铝。其硅锆合金含有35%锆，45%硅及20%铁。他的试验表明硅钙是所试几种合金中最好的石墨化剂。

在改善孕育剂特性方面的进展

注意一下1930年以前关于铸铁浇包添加物的论文，有意思的是没有讲到孕育。“孕育”这个词不知是什么时候首次用来描述为了控制铸铁组织而在包内添加一些物质的处理过程。然而这大概是30年代的事。买力加(Merica)在1937年在他的讲演记录中说，石墨残留理论或许也是导致在罗斯、密洪工厂开展的所谓“孕育”或浇包石墨化处理的发展的主要原因。他说，在1936年美国生产的灰铸铁件有10~15%是多种高强度级的。

国际镍公司的伊斯(Eash)大概在30年代后期进行而于1941年发表的研究进一步激发了对灰铸铁进行孕育处理的兴趣。伊斯报导，通过孕育剂以加入0.7%镍及0.35%硅的含2.25%碳及2.25%硅的灰铸铁，与未经孕育的同成分铸铁相比，前者抗拉强度提高20000磅/吋²以上。(但是，对高碳当量的铸铁，孕育对强度的改善是很小的。这是因为在同样的铸造条件下，相同的灰铁铸件其碳当量低者具有较大的过冷倾向。)

伯吉斯(Burgess)在指出了伊斯的论文只局限于讨论加镍和硅铁对铸铁的孕育作用后，注意到仅单独用硅铁孕育经常也能获得满意的结果。伯吉斯还指出，给定数量的复合添加物不仅比同类数量的75硅铁更有效一些而且也使孕育效果更为持久。由于这些优点，相当数量的特殊石墨化孕育剂发展起来了，伯吉斯注意到作为一个典型的专利石墨化孕育剂的硅—锰—锆合金。他进一步指出，通过联合采用加铬及石墨化孕育剂到浇包铁水中，能获得具有高冲击值和低白口倾向高强度铸铁。

三十年代期间，在美国导致更加复合的石墨化孕育剂发展的重要

研究是由联合碳化物及碳研究室与美国钒金属公司（现称为福特矿物公司）所领导的铁合金生产所组织的实验室作出的。这一研究终于改进了作为孕育剂的标准硅铁，加上改进了的七种专用孕育剂均列于表1※，当时应用的其它孕育剂也列在表中。这18种孕育剂中，第2、3、8、9和15号至今仍用于现生产中，但是第15号孕育剂已作了一些修改，该合金内含一些钡，而钙的含量则减少了。

孕育方法的发展

四十年代期间，更多的精力用在决定孕育效应的方法上。因而，在加孕育剂于铁水的方法上取得了相当大的进展。如图1所示※。

图1示出的孕育方法比较昂贵些，因为它有为保证良好混合的专用设备。使用这种加入法的经验表明，孕育剂中较细小的颗粒将漂在液面上，并通过氧化而失去作用。此外，没有某种振动装置是难以

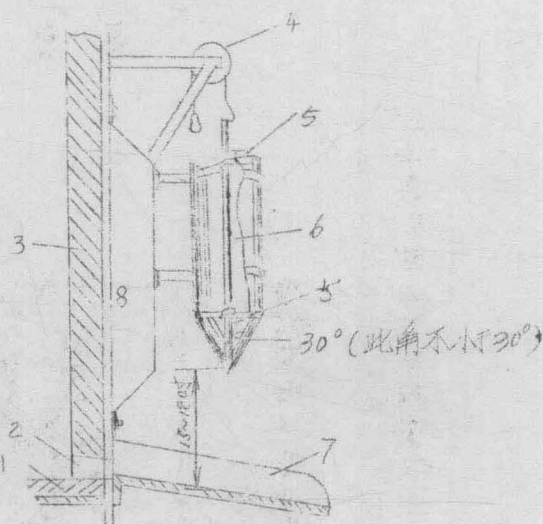


图1. 在出铁槽的熔铁流中加合金的方法。

- | | | |
|--------|--------|---------|
| 1. 炉底 | 2. 出铁口 | 3. 耐火砖衬 |
| 4. 滑轮 | 5. 导管 | 6. 起闭杆 |
| 7. 出铁槽 | 8. 风箱。 | |

※ 表1图1引自美国铸造工作者协会1944年出版的《合金铸铁手册》第二版本。

育 剂	成 份 %						
	C	Ca	Cr	Mn	Si	Ti	Zr
a		100					
Si	.	30~35			60~65		
i-Ti		5~8			45~50	9~11	
i-Mn-Ti-Ca	3.0	1※	38~42	8~11	14~16	1※	
i-Mn-Ti-Ca	3.0	1※	28~32	14~16	15~21	1※	
i-Mn-Zr(三级)			30~52	5~10	14~35		1~6
i		0.5~0.8			80~90		
i		0.5~0.8			74~78		
	90~100						
i※※					30※		
i※※※					30		
	28~46				45~56		
	50				42※		
a				20~25	47~54		
a-Zr		2.5		5~7	60~65		5~7
L					20~25	20~27	
r					47~52		35~40
r					39~43		12~15

※ 大约, ※※ 60%Mo, ※※※ 60%Ni

由硅铁带入的钙加入量与核心数的关系

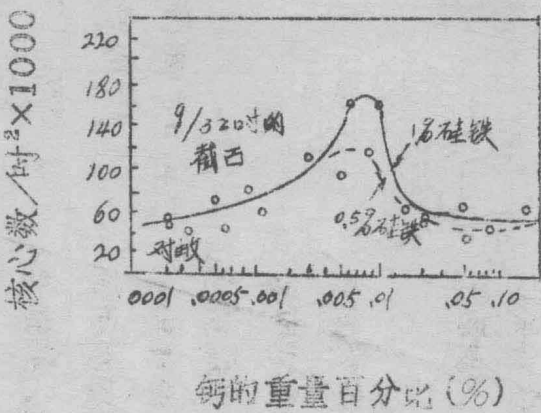


图 2 加硅铁所引入的钙量对铁石墨核心数的影响。

保持孕育剂通过漏斗容器的开口时具有均匀的流量。

孕育对球墨铸铁的影响

随着 1948 年球墨铸铁的问世，就开始了旨在控制石墨球分布的孕育剂（通常称之为“二次孕育或孕育剂”）的研究工作。当时认为硅铁是最有效的。比较 75 硅铁和 85 硅铁显示出二者的差别很小。已发现在硅铁中含 1.00~1.50% 的铝及 0.50~1.10% 的钙在使铸态球铁中拥有最多石墨球数及最少碳化物方面有重要意义，参看图 2。孕育薄壁球墨铸铁件加 1% 的 75 硅铁或 85 硅铁已成为通常的习惯，对于大断面铸件则需要较少的硅铁。从那时起，铁合金生产者确定并强调严格控制硅铁中的钙、铝含量。

五十年代孕育剂和孕育方法的发展

在五十年代，发表了许多关于灰铸铁及球墨铸铁的文章。多数文章叙述了铸铁经孕育后所获得的改善了的性能。虽然只有少数包含有新孕育剂成分的文章获得了专利，其中特别是科斯勒 (Kessler) 的一份具有重要意义。该专利涉及到的是一个含有 72% 硅、20% 锰、1% 钙、1% 铝、2% 钡及 4% 铁的石墨化孕育剂。它声称钡的加入导致铸铁凝固成在珠光体基体上均匀分布有厚片状石墨质点的显微组织。

其它文章描述合金和含有硅铁镁的孕育剂在铁水液面下加入的技术。利用惰性气体（例如氮）或通过插入铁水的石墨管或耐火材料管输送粒状添加物，或在加孕育剂时搅动铁水。好些这种方法都不能令人满意，因为载送气体的导入引起铁水温度损失。此外，孕育剂不适当的颗粒度连同过份细小的碎末可能堵塞管子而使铁水处理不足。

在此时期内，将惰性气体引入浇包铁水的多孔塞方法在法国发展起来。桶形浇包上装有多个碳化硅塞子，气体通过这些塞子吹入以达

到有效的有条理的搅动铁水。具有合适粒度的添加物投在搅动着的金属熔池上，其结果使孕育剂均匀分布并使铸铁有效地成核。

五十年代中采用的其它方法还包括为在出铁时将孕育剂及合金元素均匀加入铁水而专门设计的锥形耐火材料注口。将孕育剂自动加入到铁水中去的电子装置也发展起来了。在东德通过浇包下部的小口将镁丝压入铁水获得了专利。墨化剂在气体压力下通过装在贮存器上的多根导管加到铁水中。而这些导管则是用能够控制进入铁水的孕育剂和其它合金数量的特殊测量装置装备起来的。

纵然很多五十年代的孕育技术在今天并不常用，但它们丰富了孕育处理的一般的综合知识，并帮助人们去发展新的想法、理解关于铸铁组织的控制。

六十年代孕育剂的发展

在六十年代，铸铁孕育处理方面有了较大的发展。由于控制空气污染的需要，使用感应电炉和电弧炉已经代替了许多冲天炉。当冲天炉被保留下来时，通常增加控制污染系统，同时还设有热风和富氧送风装置。废钢和外购废料被用作炉料以取代部分或全部原先使用的生铁，熔化温度进一步增高以致金属氧化更甚。所有这些因素都使发展更有效的石墨化添加物成为必要。结果，采用了预期能改进老产品的生核与衰退特性的新的特殊的复合孕育剂（参见图3及图4）。有一些既适用于灰铸铁也适用于球墨铸铁。这些复合孕育剂中的大多数至今仍在应用之中。随条件的变化，孕育剂表现出不同的性能特性。因此，对于一个给定的使用条件，某种孕育剂就优于另外一些，因此，铸造工作者喜欢按照各自对确定的熔化条件的适应性来选择一种或几种适宜的专用孕育剂。

含钡、铈、铈及镁的孕育剂在60年代得到发展。1962年，一种含钡的孕育剂被承认为美国专利。1963年用于孕育处理的含铈硅铁获得了一项英国专利。在那时之前，道森(Dawson)也已认识到将铈作为一种孕育剂是有好处的。但是，第一个大量生产的、适用的含铈孕育剂是由米科森

(Mickelson)发展起来并在1967年予以报导。在1960年生产了一种发热的、约含有2.00% 镁的硅铁孕育剂，它已用在灰铁和球铁的某些范围。型内孕育和“瞬时浇包孕育”或许是60年代中发展起来的最重要的、同时也是最新的孕育技术。上述方法的前者，是将精细破碎的石墨化孕育剂安放在直浇口底部或是放在浇

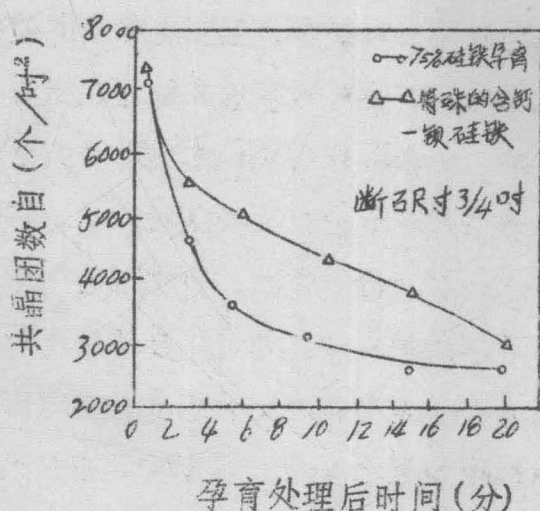


图3 特殊孕育剂在铸铁的形核及衰退方面的有益作用举例。

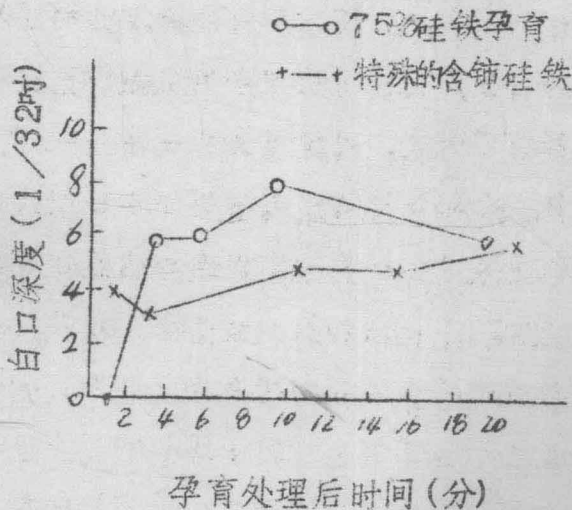


图4 特殊孕育剂对灰铸铁的白口深度的影响与孕育后时间之间的关系。

注系统中的一个适当的反应室内。它能很好地起到孕育作用，但为了保证孕育均匀，必须仔细地控制合金的熔化速度及预定的进给量。例如在一箱多铸时，一些铸件可能被充分孕育而其它件则可能处理不足（如图5所示）。

这个问题导致在浇口杯、直浇道底部或在铸型浇注系统流经的地方嵌入固体或压实成块的孕育剂的

发展。这些孕育剂具有团块状、丸状或砖形，这有助于消除采用松散的细碎材料时得到的不合理结果。这种固体嵌入孕育剂后来发展成把它们铸成合适的形状与尺寸用于对既定量的金属进行处理。

在60年代还有一种由粉碎了的石墨化孕育剂但用腊或硬脂酸粘结组成的片状型内孕育剂。根据铸型的大小在型内放置一个或几个这样的小板片。很可能是由于型内孕育的成功导致“型内球化”工艺的发展。

“瞬时浇包”孕育工艺内容包括：在一个薄壁钢管中填以精细破

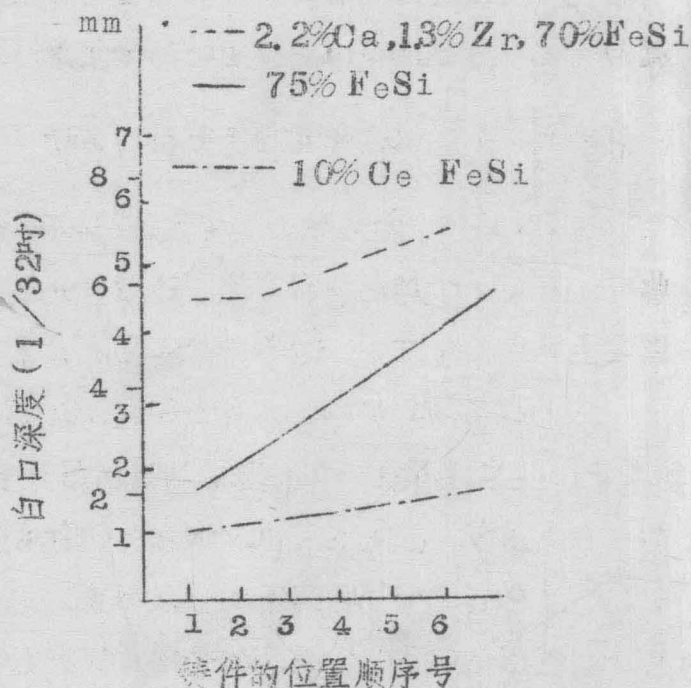


图5 在型内采用粒状孕育剂时一箱多铸铸件的白口变化实例。

碎的孕育剂使制成园棒形，或用一个孕育剂的固体棒，该棒被一个导管支持着，因此其一端保持与浇包倒出的液流相接触。在铁水从浇包流向铸型时，把该棒跟它接触的部分化掉。这个方法具有很高的效果。

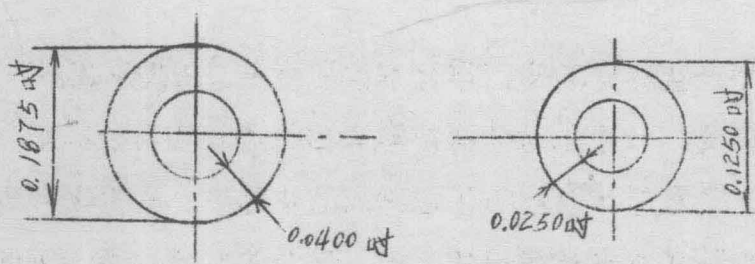
近代在孕育方面的革新

在70年代，对铸铁的型内及浇包孕育技术的兴趣仍不断增长。此外，发展了一些新的孕育剂。高度的兴趣在于配合自动造型的自动浇注上用的孕育方法，这一部分的应用日益增多。

在1971年莫尔(Moore)和凯斯勒(Kessler)设计了一个浇注系统，在型内开设一个处理用的液池用于后期的孕育、球化处理或加入合金元素。在此系统中，熔融的铸铁由直浇口下部流至处理液池中。然后再流经一个闸门浇口进入型腔。这个闸门浇口控制熔融金属在处理浇杯中与添加物接触的时间，同时也使铁水在进入型腔之前净化。

(近代发展是用于灰铸铁的常规混合型的孕育剂。这类孕育剂是由硅铁、石墨、硅化物和熔剂混合组成，熔剂是用以控制孕育剂的熔化速度的。)这一想法是基于所有铸造厂具有不同的操作技术这个设想拟定的。所以，对每一个铸造厂都会有一种最好的孕育剂，只要铸造实践控制在合理的限度之内。

70年代在灰铁和球铁有控制的孕育工艺过程方面最新最有益的发展可能是已获得专利的质量控制(OQ)孕育工艺。其实，质控工艺乃是运用特殊的以孕育剂为芯的钢丝，图6及图7示出了这种带有孕育剂的孕育丝，孕育剂经40/140目筛分。在浇注时，孕育丝以一个可控制的速度直接进给到金属液流中。当丝在金属液中化开时，孕育剂完全均匀地混合在金属中，参看图8。因为金属在孕育后立即进入



品 目	材 料	重量(%)
外壳	美国钢铁学会标准C-1010钢	89.2
孕育剂	FeSi	10.8

注：该丝每一吋长含孕育剂0.151克

图6 用于质控(OQ)孕育工艺的孕育丝断面尺寸

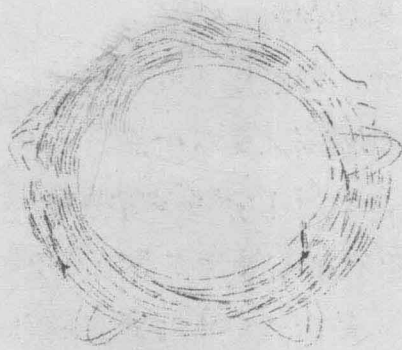


图7 孕育丝圈及小波表示
经过细筛的孕育剂粉

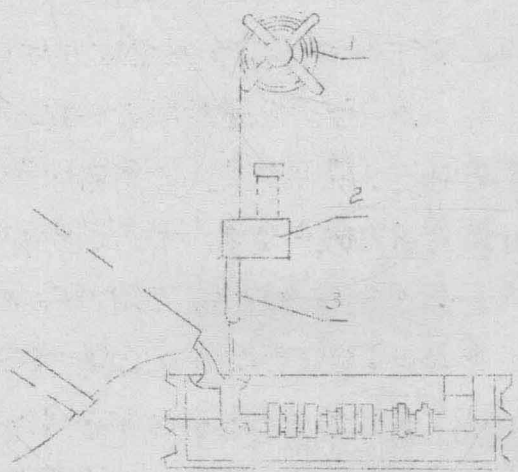


图8 质控过程自动操作的略图
1. 卷绕盘 2. 控制装置
3. 导管。

型腔，所以不产生孕育衰退。(孕育剂常用量是0.02~0.03%)此工艺的操作过程是，一个电动机构使孕育剂的进给端自动降低，致使在铸型到达浇注位置后孕育丝的下端进入浇口杯中。当金属液开始进入浇杯时，光电系统立即起动馈丝机构。当浇注完毕，经传感或限时装置使馈丝停止，并升起进给端，这样下一个铸型即可进入浇注位置。因此，质控工艺使计算机控制孕育工序成为可能，它可以很方便地用在自动造型及自动浇注过程中。

用作浇包添加物的现代孕育剂

一些从40年代开始一直应用到60年代初期的孕育剂已列于表1。作为比较，现代使用的一些石墨化孕育剂示于表2。

表2中的1号合金是最普通的75硅铁已广泛用于灰铁及球铁的孕育剂，75硅铁的孕育作用在本文中已经多次谈到。其后两种是它的改进型。2号孕育剂是低铝低钙的，虽然有时使用但通常被认为是低效孕育剂。3号孕育剂，由于它的高钙含量，能在比1号孕育剂更大的时间范围内防止衰退，但是还没有明确的证据证实这一点。4号孕育剂是含硅50%的硅铁，但比标准的50硅铁所含的铝和钙要高一些，用来取代75硅铁以降低成本。5号孕育剂与4号的相同但含有少量的镁。发展这个比较新的孕育剂是为了补足球铁铁水在保持期间由于衰退而损失的一些镁量。6号孕育剂是含有少量镁的硅铁，可以适用于与5号孕育剂同样的目的。

7号孕育剂为标准的硅钙合金，是早先孕育剂中的一个高效孕育剂。然而在今日，发现这种孕育剂用处很小，这是由于其高钙含量使它非常活泼，并产生很多浮渣。

孕育剂号	成分 (%)									
	Si	Al	Ca	Sr	Oe	Mn	Ba	Mg	Zr	其它
1	74/79	0.60/1.25	0.50/1.00							Fe 其余
2	74/79	0.40/0.50	0.10/0.20							"
3	74/79	0.60/1.10	1.0/2.0							"
4	46/50	最大 1.20	0.60/0.90							"
5	46/50	最大 1.50	0.60/0.90					1.0/1.50		"
6	58/61	0.90/1.20	0.50/0.70					2.0/2.50		NaNO ₃ 10.0
7	60/65	0.90/1.10	2.8/3.2							"
8	50/55	1.0/1.30	5.0/7.0							Ti 9~11
9	60/65	1.0/1.50	1.5/3.0			9.0/11.0	4.0/6.0			"
10	60/65	0.75/1.25	0.60/0.90			5.0/7.0	0.60/0.90		5.0~7.0	"
11	36/40	最大 0.50	最大 0.50		9.0/11.0					总稀土 11-15
12	73/78	最大 0.50	最大 0.10	0.80/1.00						"
13	46/50	最大 0.50	最大 0.10	0.60/1.00						"
14	78/82	1.0/3.0	2.25/2.5						12.5/17.5	"
15	74/79	3.0/4.0	0.50/0.80					0.50/1.00		"

※ 还有其它对铸铁孕育有效的适宜的孕育剂，但其成分保密。它们的大多数是捣碎了的混合物，包括硅铁、硅钙、硅铁镁、稀土混合物、石墨及熔剂。

8号孕育剂是普通的灰铸铁墨化剂，而且在薄壁铸件中降低白口非常有效。其高钛含量有助于防止由炉料或型砂添加物产生的氮所引起的针孔缺陷。

9号及10号孕育剂适用于灰铁和球铁。这些合金中的锰能降低它们的熔点，从而加快其溶于铁水的速度。钡和钙是强的生核剂有助于铸件防止白口，而且较高钡的浓度使合金比较不易衰退。

11号孕育剂是一个在灰铸铁中防止白口的有效孕育剂，正日益普遍应用，特别是用于孕育处理电炉熔化的铸铁。这种孕育剂在反对少量的杂质元素（例如常出现在灰铸铁中的铬）形成碳化物倾向方面是有效的。其低铝含量有助于防止高碳当量的灰铸铁件在薄壁部位产生多孔性针孔缺陷。当11号孕育剂用于球墨铸铁时，严格地说可以不作为一个孕育剂看待，它配合无钨的镁合金以严格控制的数量加入，并限于要求高石墨球数量及低的白口倾向的经二次孕育的球铁铁水。这样孕育剂也将中和在灰铁及球铁中的杂质元素（如Bi, Pb）的有害作用。

12号孕育剂是一个有效的石墨化孕育剂，它既可用于灰铸铁也可用于球墨铸铁，旨在使灰铸铁具有最小的收缩敏感性的这种孕育剂在降低白口的同时使共晶团数量减小的程度不象其它孕育剂那样大。

13号孕育剂与12号相似，只不过它是由价格更低廉的50硅铁制成。

14号孕育剂如同其它特殊孕育剂一样，它比75硅铁的孕育作用更为有效。因此能在较小的加入量下应用。这种产品的独特之处在于，当在湿型铸造中应用时，它提供标准的含铝量，而对于型铸造时则提供较高的含铝量。

最后一种孕育剂被制成各种铸造形状和尺寸大小，适用于型内孕育。