铸件化学成分的控制与配料（下）

驻马店柴油机厂 （河南 463000） 杨群收 崔 勇
驻马店高级技工学校 （河南 463000） 康晋辉 姚恩广

三、配料

在配料前选择原材料时，既要照顾到铸件的质量要求，还要注意到各材料的价格，以及库存量，尽可能多地利用本厂的回炉料、废钢和废铁，以降低库存积压和铸件的生产成本。

配料方法及公式，除碳的配料计算方法是两个以上外，其他元素的配比计算均是累积法。

1. 碳的计算

$$C = 1.8\% + C_L/2$$

式中 C——铁液的含碳量，（%）；

C_L——炉料中的平均含碳量，（%）；

1.8%——在用冲天炉熔炼时，炉料在预热、熔化、过热及还原过程中，脱碳量和增碳量的（估算）中间值。

该式只适应用于冲天炉碳量的计算，不适用于电炉配料的计算，且为了计算结果符合本单位设备的熔炼情况，1.8%系数需根据多次熔炼经验的修正进行选取。

例如：HT250 牌号灰铸铁的 $w_C = 3.1\% \sim 3.4\%$，新生铁的 $w_C = 3.8\%$，回炉料的 $w_C = 3.2\%$，废钢的 $w_C = 0.4\%$。

估算配比，新生铁加入量为 40%，回炉料加入量为 35%，废钢加入量为 25%，则

$$C = 1.8\% + \frac{3.8 \times 0.4 + 3.2 \times 0.35 + 0.4 \times 0.25}{2} \times 100\% = 3.17\%$$

2. 累积计算法

就是将按比例投入的各种炉料，各自代入成分的量相加在一起，把熔炼过程中的增减率计算在内，再调整到目标成分的范围，该计算方法适用于冲天炉的配料，也适用于电炉的配料。

使用原材料的化学成分含量如表 2 所示。

表 2 原材料的化学成分（质量分数）（%）

原材料	C	Si	Mn
生铁 Z18	3.5	1.6～2.0	0.5
回炉料	3.2	1.9	0.8
废钢	0.4	0.27	0.5

用上述原材料并配用 75SiFe、65MnFe，用冲天炉生产灰铸铁 HT200，其化学成分要求如表 3 所示。

表 3 HT200 灰铸铁化学成分（质量分数） （%）

C	Si	Mn	P	S
3.1～3.4	1.8～2.1	0.7～0.9	<0.15	≤0.12

根据实践经验应考虑到，增碳量为 10%，炉料中硅的熔炼损耗为 15%，锰的熔炼损耗为 20%，硅铁中硅的熔炼损耗为 20%。锰铁中锰的熔炼损耗为 25%。

经调整后材料配比如表 4 所示。

表 4

原材料	配入量（%）
生铁 Z18	45
回炉料	40
废钢	15

累积代入的成分：

$C = (3.5\% \times 0.45 + 3.2\% \times 0.4 + 0.4\% \times 0.15) \times 1.1 \approx 3.2\%$

$Si = (1.8\% \times 0.45 + 1.9\% \times 0.4 + 0.27\% \times 0.15) \times (1 - 0.15) \approx 1.37\%$

$Mn = (0.7\% \times 0.45 + 0.8\% \times 0.4 + 0.5\% \times 0.15) \approx 0.568\%$

上述计算中，1.1 为增碳率，0.15 为熔炼损耗率。当然，每次配料不可能一次配料计算成功，需多次调整配料比，方能达到理想结果，对于初掌握者来说，尤其是这样。

3. 列方程式法

该配料方法的优点是，在掌握了冲天炉增碳量之后，可一次配料成功，不需试调配几次。

原材料的化学成分含量见表2。

铸件材质HT200，各化学成分要求范围见表3。

冲天炉增碳量为10%。

先确定回炉料的加入量为40%，回炉料代入碳：

$$3.2\% \times 0.4 = 1.28\%$$

总入炉料应代入碳（即未增碳10%以前的量）：

$$\frac{3.2\%(\text{要求碳量中限})}{1+10\%(\text{增碳量})} \approx 2.91\%$$

生铁和废钢共需代入碳：

$$2.91\% - 1.28\% = 1.63\%$$

列方程式：设生铁加入量为x。

$$3.5\%(\text{生铁含碳量})x + 0.4\%(\text{废钢含碳量}) \times [(1-40\%)-x] = 1.63\%$$

得$x=45\%$

废钢加入量：$(1-40\%)-45\% = 15\%$

以上配料，碳达到了预期目的，但硅、锰仍达不到要求，需要补加硅铁和锰铁。补加硅铁、锰铁及其他任何铁合金，均可用下式求得。

$$\text{补加量}(\%) = \frac{\text{要求值}(\%)}{\text{合金含量}(\%) \times \text{收得率}(\%)} \times 100\%$$

例如：硅目标中限$w_{Si}=1.95\%$，炉料中代入硅是1.37%，还差0.58%的硅量，需要添加硅铁来补充其差，硅铁的需补加量即可用上式算出：

$$75\text{SiFe 补加量}(\%) = \frac{0.58\%}{75\% \times 0.8} \times 100\% \approx 1\%$$

若锰目标中限是$w_{Si}=0.8\%$，炉料代入的锰是0.568%，还差0.232%的锰量，需添加锰铁来补充。

$$65\text{MnFe 补加量}(\%) = \frac{0.232\%}{65\% \times 0.75} \times 100\% \approx 0.5\%$$

在生产普通铸铁或普通钢时，掌握了以上方法基本可以指导生产了。但是，在生产合金钢，特别是高合金钢时，还要考虑到，为保证材质有足够的合金成分含量，在添加铁合金时随之而代入其他成分，另外还要考虑到如何降低生产成本。

例如，用电炉生产合肥水泥研究设计院研发的“中碳多元合金钢”时，常用的铬铁化学成分如表5所示。

表5 常用铬铁的化学成分（质量分数）(%)

类别	Cr	C	Si
低碳铬铁	60	0.5	2.0
高碳铬铁	62	9.5	3.0

在配料过程中，w_{Cr}取中限5%，就需要加入表5中两类铬铁共计8%（因为两类铬铁的含铬量接近，所以先混在一起计算其加入量），才能接近中限要求。由于铬铁中含有一定量的碳和硅，加入8%铬铁的同时，势必引起碳和硅的增加。另外，在保证$w_{Cr}=5\%$时，如果全部用高碳铬铁，碳量必超。如果全部用低碳铬铁，再用增碳剂调碳，又会因为低碳铬铁的价格比高碳铬铁的价格高的太多，而使生产成本上升。在保证化学成分合格又要降低生产成本的情况下，我们采用低碳铬铁和高碳铬铁的搭配使用。在实际生产中，当炉前化验结果出来后（碳、硅），要想很快地正确搭配投料比，确有一定困难，而且往往容易忙中出错，因此要不断总结经验，做到熟能生巧。为了便于配料，我们列制一个常规配料表（如表6所示），操作起来就方便、快捷、准确了。

表6 常规配料（质量分数） (%)

炉前化验	铬铁加入量		铬铁代入
C	低碳铬铁	高碳铬铁	硅量
0.2	4	4	0.2
0.3	4	4	0.2
	5	3	
0.4	5	3	0.18
	6	2	

使用表6有两个问题需要说明：

第一，有两栏格内的高低碳铬铁为什么是两种配比呢？尽管都是“中碳多元合金钢”，这是由于所要浇注的铸件不同，根据其服役状况的不同，有意识地取碳的上限或下限。

第二，炉工在操作中只要注意投料质量，硅含量就不会超限。炉前化验硅含量，加上铬铁代入硅量的和，与目标硅量的差，再加硅铁补充。

在了解上述配料基本知识和注意事项后，虽然可以指导生产，但要使铸件化学成分稳定在最佳含量范围内，从而达到最佳物理性能的匹配，做到物尽其用，还不足到，需进一步了解并掌握以下因素。

（1）即便是同一材质要求的铸件，由于铸件几

何形状不同，以及服役工况的差异，所以有意识地把其中某个成分控制在上限，或控制在下限。

例如，球磨机的一仓衬板在服役工作时所承受的冲击力较大，而二仓衬板所承受的冲击力相对较小；大直径球磨机衬板所承受的冲击力大，而小直径球磨机衬板所承受的冲击力就小。因此，即便要求都是“中碳多元合金钢”材质，但是在配料作业中，前者的碳量应有意识地地取下限，提高其冲击韧度，防止工件断裂而失效。后者的碳量则应取上限，从而提高其硬度，增强抗磨损能力。此外，由于隔仓板几何形状复杂，厚薄悬殊大，孔多体长，自身产生应力，虽然承受的冲击载荷较小，其含碳量也应有意识地取下限。

（2）根据铸件的服役状况，对特定的铸件应取什么样的金相组织，不同成分对组织影响，能引起材质综合性能产生怎样的变化等，都应做到心中有数。

例如，油田钻井用的泥浆泵高铬双金属缸套的内套和采石厂用的破碎机锤头，其材质都是高铬铸铁，由于工况条件各不相同，在控制其化学成分的上下限时就存在差异。如碳和锰，在高铬铸铁中，碳含量高时金相组织中碳化物量多，材质相对硬度高，耐磨性好，而韧性低。锰在高铬铸铁中起到稳定奥氏体的作用，但由于奥氏体是软相，硬度低而韧性好，只有在强冲击磨损条件下发生相变，才能使硬度提高，耐磨损性能良好。

而泥浆泵缸套的内套，由于主要承受的是滑动磨损，几乎不存在冲击磨损，对材质的硬度要求高而对韧性要求相对低些，所以其含碳量应控制在中上限，而锰含量应控制在中下限。

破碎机锤头的情况就不同了，工作中承受着强冲击磨损，对材质的冲击韧度及硬度要求都高，而耐磨性和冲击韧度又是一对矛盾，有时还不得不顾此失彼。为了实现材质冲击韧度和硬度的最佳配合，需弄清诸多因素之间的相互关系，此处不再赘述。仅对高铬锤头材质的碳和锰量来说，碳含量应适当取中下限，而锰含量应取中上限。

四、炉前调整化学成分

由于低谷电价低，而焦炭价格不断上升。另外，随着科学技术的不断进步，对铸件质量要求越来越高，对铸件化学成分的控制也越来越严格，因此越来越多的厂家选用中频电炉生产铸件。

在市场竞争中，为了降低生产成本，用粒子钢或废钢加增碳剂来生产球墨铸铁，用废钢生产铸钢件，这就要求炉工和炉前技术人员需掌握调整成分即调料的技术。

调料仍按上述的配料公式，只是应用起来速度较慢。如果公式的计算过程全部理解了，在生产过程中则无需用笔，通过口算、心算就可解决问题。

以1t电炉调硅含量为例，如果终硅含量要求是 $w_{Si}=1.8\%$，炉前化验是 $w_{Si}=1.3\%$，相差0.5%，需计算补加的硅铁。

硅铁的含硅量按70%计算（75SiFe真实含硅量大都达不到75%，且还有熔炼损耗），心算时把70%念作0.7，乘多少（即加入量）接近于0.5%的0.5呢？心算“7×7=49”，硅铁加入量按0.7%时带入硅是0.49%，接近于0.5%，为了成分更准确些，无非是在称硅铁时，适当多称一点即可。

如果需要补加0.2%的硅，心算“3×7=21”，加入0.3%的硅铁就可以了。

心算的公式可以这样排列：

合金含量×x（加入量）=需要补加量

生产中，用增碳剂或生铁如何提高碳，用废钢如何降碳，都可以通过心算或口算一次确定。

除上述之外，还应有炉前三角试片的观察分析能力，例如，同样的HT200或HT250，但由于铸件的大小、厚薄不同，要求各成分含量的高低就不同，特别是用大型冲天炉熔炼、浇注生产体积大小不同的铸件，仅靠炉后配料控制铁液的化学成分含量，是不能满足各种铸件结晶组织和物理性能要求的。在这种情况下，炉前观察分析三角试片尤为重要。

例如，当浇注薄壁铸件时，三角试片的白口深度比以往观察（经验）的大时，就要及时往浇包中适量加硅铁进行调补。当浇注厚大铸件时，如果三角试片的白口深度过小，就要及时往浇包中加入适量的锰铁。另外，可通过观察三角试片铁液的翻花花纹，来分析判断铁液性能，以便及时采取措施。

作为铸造熔炼技术工作者来说，在实践中应把理论与实践结合起来，掌握规律，总结经验，制订工艺，只有这样，工作起来才能得心应手，游刃有余，作业无误。**MW**　　（全文完）（20101222）