

铸造合金熔炼 配料计算

张文富 编著

ZHUZAO HEJIN RONGLIAN PEILIAO JISUAN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



铸造合金熔炼配料计算

张文富 编著



机械工业出版社

前 言

铸造是机电装备制造业中铸件生产的工艺过程。铸造合金熔炼是将固体金属熔炼成液体金属，浇入特制的砂型或金属型以及由其他材料特制的铸型中，待液体金属冷凝后从铸型中取出，经过清理成为铸件。在机电装备中，铸件重量占其总重量的50%~80%。在国家高端重型设备、机床、高铁轨道交通机车车辆、汽车、农机、船舶、军工国防、航空航天、化工、电力等工业，每年需要提供给国内外大量铸铁、铸钢、有色合金铸件。其中生产铸钢的电弧炉已向大容量、超高功率方向发展。我为北方重工设计的铸钢厂房达8万m²，采用双层重型吊车，安装40t电弧炉和50tLF、50tVOD精炼炉双联，并预留安装80t电弧炉和100tLF钢包精炼炉。

我国是铸件生产大国，年产铸件3500万t以上，全国有两万家铸造厂。但针对当前铸造行业能熟练掌握铸造生产的能工巧匠匮乏，严重影响铸件质量的提高。铸造合金熔炼是铸造生产工艺过程中极为重要的核心工艺环节，掌握铸铁、铸钢、有色合金熔炼配料计算方法，是获得化学成分合格铸件的关键，运用好配料计算方法，对节约金属材料和燃料，降低能耗，低碳减排，降低铸件成本，提高经济效益和社会效益，有着重要实际意义。为此，编写通俗易懂，易掌握的有实际生产应用价值的、有一定先进技术理论水平的铸造合金熔炼配料计算方法的技术书，以促进铸造行业人才技术进步，大量培养出能工巧匠，振兴铸造行业，这是编者多年的衷心夙愿。

为此目的，编者多年在铸钢、铸铁等铸造生产第一线上生产劳动，作过大量配料计算，也曾为民营企业用冲天炉，小型中频感应电炉生产铸铁件作技术服务等，将多年在铸造生产实践中所积累的技术知识，以及收集的大量技术资料加以整理，汇编成《铸铁和铸钢熔炼计算汇编》，在太原科技大学《铸造设备研究》杂志社编辑部王录才教授和游晓红教授等大力帮助下于2008年2月出版。在此深表感谢。由于属于内部发行，我先后到过多家铸造工厂、大专院校，去交流推广这本书。其中大连交通大学陈玉玺教授、刘赵铭教授对本书提出了增加有色合金等修改建议，在与大连理工大学研究生交流时得知他们偏向有色合金新材料研究。为此在原编著的配料计算的基础上，按新标准进行大量修改增补有色合金内容，因此又收集大量最新出版的先进的铸铁、铸钢、有色合金等，尤其是有色合金熔炼和配料计算文献资料，

并根据配料计算公式又作出大量的配料计算例题，与原编著《铸铁和铸钢熔炼计算汇编》汇集在一起，加以整编，汇编成新的《铸造合金熔炼配料计算》。在编写有色合金部分时也得到太原科技大学游晓红教授的指导和帮助，并得到机械工业出版社的大力支持，谨在此一并表示衷心感谢。

由于编者知识水平所限，书中难免有不妥之处，敬请专家、学者赐教指正。

编者

目 录

前言

第一篇 铸铁熔炼的配料计算方法

第一章 铸铁熔炼配料计算的基本知识	1
第一节 铸件牌号化学成分组成及力学性能	1
第二节 合金元素对铸铁组织及性能的影响	7
第三节 铸铁熔炼设备对化学元素增减的影响	9
第二章 铸铁熔炼配料计算对原辅材料的要求	11
第一节 金属炉料	11
第二节 燃料	19
第三节 熔剂	21
第三章 铸铁熔炼的配料计算	23
第一节 铸铁熔炼所需热量消耗的计算	23
第二节 冲天炉熔炼铸铁过程的热平衡计算	24
第三节 冲天炉熔炼底焦、层焦、层料（每批铁料）、熔剂、风量和风压的计算	30
第四节 石灰石需要量计算	35
第四章 冲天炉熔炼铸铁的各种配料计算	37
第一节 配料计算步骤和配料计算方法	37
第二节 配料计算用公式和配料计算例题	37
第五章 中频感应炉熔炼铸铁配料计算	60
第一节 中频感应炉熔炼灰铸铁的配料计算	60
第二节 中频感应炉熔炼球墨铸铁的配料计算	61
第三节 中频感应炉熔炼蠕墨铸铁的配料计算	72

第二篇 铸钢熔炼配料计算方法

第六章 电弧炉熔炼碳素钢的配料计算	82
第一节 配料计算的意义、注意事项及原辅材料	82
第二节 熔炼碳素钢配料计算方法	83
第七章 电弧炉熔炼合金钢配料计算	89
第一节 采用氧化法熔炼高合金钢的配料计算	89
第二节 电弧炉熔炼合金钢的配料计算方法和实例	93
第八章 中频感应炉熔炼铸钢配料计算	116
第一节 中频感应炉熔炼碳素钢的配料计算	116
第二节 中频感应炉熔炼合金钢采用新料的配料计算	117

第三节 中频感应炉熔炼合金铸钢用返回料和新料的配料计算	124
-----------------------------------	-----

第三篇 有色合金熔炼配料计算方法

第九章 有色合金熔炼用金属炉料	131
第一节 回炉料、新金属和中间合金	131
第二节 配料计算应注意节省新金属和贵重合金	139
第十章 有色合金熔炼设备简介	141
第一节 有色合金熔炼设备的基本任务和要求	141
第二节 有色合金熔炼设备	141
第十一章 铜合金熔炼配料计算	146
第一节 常用铸造青铜合金和黄铜合金化学成分	146
第二节 采用新料熔炼铜合金的配料计算	147
第三节 采用回炉料熔炼铸造铜合金用新金属调整合金元素的配料计算方法	149
第四节 采用回炉料加中间合金和新金属的配料计算	156
第十二章 铝合金熔炼配料计算	162
第一节 常用铸造铝合金化学成分	162
第二节 熔炼铝合金配料计算例题	164
第三节 铝合金熔炼调整成分的配料计算	172
第四节 熔炼铝合金元素含量超标用冲淡法配料计算	175
第十三章 铸造镁合金和锌合金熔炼配料计算	178
第一节 铸造镁合金和锌合金化学成分	178
第二节 铸造镁合金熔炼的配料计算	179
第三节 铸造锌合金熔炼的配料计算	187
第十四章 铸造钛合金熔炼配料计算	191
第一节 铸造钛合金熔炼特点	191
第二节 铸造钛合金化学成分和配料计算	191
第三节 铸造钛合金熔炼配料计算例题	193
参考文献	202

第一篇 铸铁熔炼的配料计算方法

第一章 铸铁熔炼配料计算的基本知识

铸铁熔炼配料计算是根据铸件不同材质化学成分和其力学性能要求，以及采用的不同熔炼工艺和设备，合理选择使用原材料，进行正确的配料计算。以达到获得优质合格铸件，降低原材料消耗和能耗，提高经济效益，才能适应多变的产品市场的需要。为此必须掌握铸铁熔炼配料计算有关的大量基本知识，才能正确的进行配料计算。

第一节 铸件牌号化学成分组成及力学性能

根据全国铸造标准化技术委员会编灰铸铁件 GB/T 9439—2010 技术要求中规定，灰铸铁的生产方法及化学成分由供方决定，但必须达到标准规定的灰铸铁牌号及相应的力学性能指标。如需方对灰铸铁的化学成分有特殊要求时，供需双方应在订货协议中商定。球墨铸铁件 GB/T 1348—2009 技术要求中规定，生产方法、化学成分及热处理工艺，可由供方自行决定，但必须保证协议技术条件上所规定的球墨铸铁牌号或达到本标准规定的力学性能指标。对于化学成分、热处理方法有特殊要求的球墨铸铁件由供需双方商定。可锻铸铁也按新的规定。由于化学成分、热处理工艺不同导致的性能和金相组织的不同。可锻铸铁分为黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁以及白心可锻铸铁。

铸铁牌号字母代号分别为：灰铸铁 HT；球墨铸铁 QT；蠕墨铸铁 RuT；可锻铸铁 KT；其中黑心可锻铸铁：KTH、白心可锻铸铁 KTB、珠光体可锻铸铁 KTZ；耐热铸铁 RT。

灰铸铁牌号、化学成分及其金相组织见表 1-1 不同壁厚灰铸铁的化学成分见表 1-2。各类球墨铸铁化学成分、组织与性能见表 1-3，球墨铸铁和灰铸铁化学成分的对比如表 1-4。

国外可锻铸铁的化学成分见表 1-5，耐热铸铁的牌号及化学成分见表 1-6，蠕墨铸铁的生产举例见表 1-7，铁素体可锻铸铁的化学成分见表 1-8，高硅耐蚀铸铁的化学成分见表 1-9。

表 1-1 灰铸铁牌号、化学成分及其金相相织

灰铸铁 牌号	铸铁主 要壁厚 /mm	化学成分 (质量分数,%)					金相组织 (体积分数)	
		C	Si	Mn	P	S	石墨	基体
HT100	—	3.4~3.9	2.1~2.6	0.5~0.8	<0.3	<0.15	初晶石墨长度 250~100 μm , 无 定向分布, 含量 12%~15%	珠光体 30%~ 70%, 粗片状铁 素体 30%~ 70%, 二元磷共 晶 <7%
HT150	<30	3.3~3.5	2.0~2.4	0.5~0.8	<0.2	≤ 0.12	片状石墨, 长 度 120~150 μm , 无定向分布, 含 量 7%~11%	珠光体 40%~ 90%, 中粗片 状, 铁素体 10% ~6%, 二元碳 共晶 <7%
	30~50	3.2~3.5	1.9~2.3	0.5~0.8	<0.2	≤ 0.12		
	>50	3.2~3.5	1.8~2.2	0.6~0.9	<0.2	≤ 0.12		
HT200	<30	3.2~3.5	1.6~2.0	0.7~0.9	<0.15	≤ 0.12	片状石墨 80% ~90%, 过冷石 墨 10%~20%, 长度 60~250 μm , 无定向分布, 含 量 6%~9%	珠光体 >95% 中片状, 铁素体 <5%, 二元磷 共晶 <4%
	30~50	3.1~3.4	1.5~1.8	0.8~1.0	<0.15	≤ 0.12		
	>50	3.0~3.3	1.4~1.6	0.8~1.0	<0.15	≤ 0.12		
HT250	<30	3.0~3.3	1.4~1.7	0.8~1.0	<0.15	≤ 0.12	片状石墨 85% ~90%, 过冷石 墨 10%~15%, 长度 60~25 μm , 无定向分布, 含 量 4%~7%	珠光体 > 90%, 中细片 状, 二元磷共晶 <2%
	30~50	2.9~3.2	1.3~1.6	0.9~1.1	<0.15	≤ 0.12		
	>50	2.8~3.1	1.2~1.5	1.0~1.2	<0.15	≤ 0.12		
HT300	<30	2.9~3.2	1.4~1.7	0.8~1.0	<0.15	≤ 0.12	片状石墨 80% ~95%, 过冷石 墨 5%~20%, 长 度 30~120 μm , 含量 3%~6%	珠光体 > 98%, 中细片 状, 二元磷共晶 <2%
	30~50	2.9~3.2	1.2~1.5	0.9~1.1	<0.15	≤ 0.12		
	>50	2.8~3.1	1.1~1.4	1.0~1.2	<0.15	≤ 0.12		
HT350	<30	2.8~3.1	1.3~1.6	1.0~1.3	<0.10	≤ 0.10	片状石墨 75% ~90%, 过冷石 墨 10%~25%, 长度 30~120 μm , 含量 2%~4%	珠光体 > 90%, 中细片 状, 二元磷共晶 <1%
	30~50	2.8~3.1	1.2~1.5	1.0~1.3	<0.10	≤ 0.10		
	>50	2.7~3.0	1.1~1.4	1.1~1.4	<0.10	≤ 0.10		

表 1-2 不同壁厚灰铸铁的化学成分 (质量分数,%)

牌号	铸件主要壁厚/mm	C	Si	Mn	P	S
HT100	所有尺寸	3.2~3.8	2.1~2.7	0.5~0.8	<0.3	≤0.15
HT150	<15	3.2~3.7	2.0~2.4	0.5~0.8	<0.2	≤0.12
	15~30	3.2~3.6	2.0~2.3			
	30~50	3.1~3.5	1.9~2.2			
	>50	3.0~3.4	1.8~2.1			
HT200	<15	3.1~3.5	1.9~2.2	0.6~0.9	≤0.15	≤0.12
	15~30	3.0~3.4	1.8~2.1	0.7~0.9		
	30~50	3.0~3.2	1.5~1.8	0.8~1.0		
	>50	3.2~3.5	1.4~1.7	0.8~1.0		
HT250	<15	3.2~3.5	1.8~2.1	0.7~0.9	<0.15	≤0.12
	15~30	3.1~3.4	1.6~1.9	0.8~1.0		
	30~50	3.0~3.3	1.5~1.8	0.8~1.0		
	>50	2.9~3.2	1.4~1.7	0.9~1.1		
HT300	<15	3.1~3.4	1.5~1.8	0.8~1.0	<0.15	≤0.12
	15~30	3.0~3.3	1.4~1.7	0.8~1.0		
	30~50	2.9~3.2	1.4~1.7	0.9~1.1		
	>50	2.8~3.1	1.3~1.6	1.0~1.2		

表 1-3 各类球墨铸铁的化学成分、组织与性能

球墨铸铁类别	铸件	化学成分(质量分数,%)										热处理与金相组织	力学性能			
		C	Si	Mn	P	S	残余Mg	残余RE	其他	抗拉强度 R_m / (N/mm ²)	伸长率 A (%)		冲击韧度 α_k / (J/cm ²)	硬度 HBW		
高强度球墨铸铁	柴油机曲轴	3.6~3.8	2.0~2.2	0.6~0.8	<0.1	<0.2	0.035~0.05	0.04~0.055				正火珠光体	750~800	3		260~275
	汽车发动机曲轴、凸轮轴	3.7~3.9	2.0~2.3	0.6~0.8	<0.1	<0.03	0.04~0.05	0.01~0.03				正火珠光体+小于10%的铁素体	760~930	2~4		255~280
超高强度球墨铸铁	拖拉机齿轮	3.2~3.5	2.9~3.1	0.65~0.75	—	—	0.03~0.06	0.03~0.05	Mo0.2			等温淬火状贝氏体+少量马氏体	1480~1530		30~36	HRC47~51
	方向节轴类导向轮	3.6~3.7	2.8~3.4	<0.5	—	—	0.04~0.06	0.02~0.08				铸态使用铁素体为主	500~680	12~21	47~150	170~202
大截面大尺寸高强度耐磨球墨铸铁	1000马力 ^① 柴油机曲轴	3.8~3.9	2.1~2.3	0.6~0.7	—	—	0.045	<0.003	Mo0.06~0.07 Cu0.8~1.0			正火珠光体	650~800	2~3	10~15	240~260
	犁铧、拖拉机、推土机铸件	3.2~3.9	4.0~4.8	8.5~9.5	—	—	0.025~0.05	0.03~0.05				不热处理奥氏体体积分数为70~80%+渗碳体+马氏体				HRC36~45

① 1 马力 = 735.499W。

表 1-4 球墨铸铁与灰铸铁化学成分的对比 (质量分数,%)

铸铁名称	C	Si	Mn	P	S	残余 Mg	残余 RE
球墨铸铁	3.5 ~ 3.9	2.0 ~ 3.1	0.3 ~ 0.8	<0.08	<0.03	0.03 ~ 0.06	0.02 ~ 0.05
灰铸铁	2.9 ~ 3.5	1.4 ~ 2.1	0.6 ~ 1.0	0.1 ~ 0.5	0.1 ~ 0.12		

表 1-5 国外可锻铸铁的化学成分 (质量分数,%)

可锻铸铁种类	C	Si	Mn	P	S	Cr	其他
标准白心可锻铸铁	2.6 ~ 3.4	0.4 ~ 1.2	<0.6	<0.2	<0.3	<0.15	
标准黑心可锻铸铁	2.0 ~ 3.2	0.7 ~ 1.8	<0.6	<0.2	<0.08		
标准珠光体可锻铸铁	2.0 ~ 3.2	0.7 ~ 1.8	<1.2	<0.2	<0.2	<0.06	

表 1-6 耐热铸铁件牌号及化学成分 (质量分数,%) (GB/T 9437—2009)

牌 号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
			不大于				
HTRCr	3.0 ~ 3.8	1.5 ~ 2.5	1.0	0.10	0.08	0.50 ~ 1.00	—
HTRCr2	3.0 ~ 3.8	2.0 ~ 3.0	1.0	0.10	0.08	1.00 ~ 2.00	—
HTRCr16	1.6 ~ 2.4	1.5 ~ 2.2	1.0	0.10	0.05	15.00 ~ 18.0	—
HTRSi5	2.4 ~ 3.2	4.5 ~ 5.5	0.8	0.10	0.08	0.5 ~ 1.00	—
QTRSi4	2.4 ~ 3.2	3.5 ~ 4.5	0.7	0.07	0.015	—	—
QTRSi4Mo	2.7 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	0.5	0.07	0.015	Mo0.5 ~ 0.9	
QTRSi4Mo1	2.7 ~ 3.5	4.0 ~ 4.5	0.3	0.05	0.015	Mo1.0 ~ 1.5	Mg0.01 ~ 0.05
QTRSi5	2.4 ~ 3.2	4.5 ~ 5.5	0.7	0.07	0.015	—	—
QTRAl4Si4	2.5 ~ 3.0	3.5 ~ 4.5	0.5	0.07	0.015	—	4.0 ~ 5.0
QTRAl5Si5	2.3 ~ 2.8	4.5 ~ 5.2	0.5	0.07	0.015	—	5.0 ~ 5.8
QTRAl22	1.6 ~ 2.2	1.0 ~ 2.0	0.7	0.07	0.015	—	20.0 ~ 24.0

表 1-7 蠕墨铸铁生产举例

处理方法	化学成分(质量分数,%)								金相组织 (体积分数)	力学性能					
	C	Si	Mn	P	S	Mg	RE	其他		抗拉强度 R_m (N/mm^2)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm^2)	伸长率 A (%)	冲击韧度 α_k (J/cm^2)	硬度 HBW	弹性模量/ (N/mm^2)
镁处理法	3.2~ 3.6	2.0~ 2.5	0.1~ 0.6	—	—	0.015 ~ 0.004	0.004 ~ 0.01	Ti 0.015 ~ 0.035	60%~90% 蠕虫状石墨 素体基体	300~ 400	250~ 350	1.5~ 7.5	—	130~ 180	133000 ~ 161000
	3.7	1.7	0.3	—	—	0.015 ~ 0.035	Ce 0.002 ~ 0.013	Ti 0.06 ~ 0.13	铁素体基体	200~ 400	230~ 390	3~5	—	—	—
稀土处理法	3.5~ 3.8	2~3	0.04~ 0.2	—	—	—	Ce 0.02	—	60%~90% 蠕虫状石墨 素体基体	380	310	7.8	32	150~ 170	160000
	3.5~ 3.6	2.4~ 2.6	0.6~ 0.8	0.02~ 0.06	<0.01	—	钇 0.1 ~0.15	—	$\geq 70\%$ 蠕虫 状石墨 珠光体 铁素体	320~ 500	270~ 420	2~8	20~30	143~ 241	140000 ~ 170000
	3.8~ 4.1	2.2~ 2.9	0.3~ 0.95	<0.07	<0.02	—	0.04~ 0.06	Ca 0.0017 ~ 0.0029	蠕虫状+球 状珠光体+ 50%铁素体	350~ 390	—	—	—	158~ 185	—
稀土硅 铁合金	3.5~ 3.9	2.0~ 2.9	0.7~ 1.2	<0.07	<0.03	—	0.05~ 0.08	—	蠕虫状少量 球状铁素体	350~ 450	抗弯 700~ 980	3~4	7~11	170~ 250	—

表 1-8 铁素体可锻铸铁的化学成分

牌 号	化学成分 (质量分数,%)						孕育剂加入量 (质量分数,%)				应用产品
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Bi	Al	B	其他	
KTH330-08	2.6 ~ 2.8	1.5 ~ 1.8	0.55 0.70	<0.12	<0.25	<0.05	<0.01	0.01			水暖件
KTH330-08	2.5 ~ 2.8	1.4 ~ 1.8	0.5 ~ 0.7	<0.1	<0.25	<0.06	0.005	0.009			农机配件
KTH350-10	2.6 ~ 2.8	1.4 ~ 1.6	0.4 ~ 0.6	<0.07	0.15 ~ 0.30	<0.06	0.01	0.01	0.002		汽车零件
KTH350-10	2.4 ~ 2.7	1.3 ~ 1.7	0.4 ~ 0.6	<0.07	0.15 ~ 0.20	<0.06	0.005 ~ 0.01	0.007 ~ 0.01			瓷瓶钢帽
KTH350-10	2.3 ~ 2.8	1.4 ~ 1.9	0.5 ~ 0.8	<0.05	0.15 ~ 0.20	<0.05	0.004			硅铁 0.3	阀门零件
KTH350-10	2.4 ~ 2.7	1.2 ~ 1.6	0.4 ~ 0.6	<0.07	0.12 ~ 0.15	<0.06	0.005 ~ 0.012	0.005 ~ 0.010		1号合金 0.2 ~ 0.4	汽车零件
KTH350-10	2.5 ~ 2.7	1.5 ~ 1.8	0.4 ~ 0.5	0.06 ~ 0.08	0.15 ~ 0.20	<0.06	0.003 ~ 0.005	0.01			铁道配件

表 1-9 高硅耐蚀铸铁的化学成分 (质量分数,%) (GB/T 8491—2009)

牌 号	C	Si	Mn ≤	P ≤	S ≤	Cr	Mo	Cu	RE 残留量 ≤
HTSSi11Cu2CrR	≤1.20	10.00 ~ 12.00	0.50	0.10	0.10	0.60 ~ 0.80	—	1.80 ~ 2.20	0.10
HTSSi15R	0.65 ~ 1.10	14.20 ~ 14.75	1.50	0.10	0.10	≤0.50	≤0.50	≤0.50	0.10
HTSSi15Cr4MoR	0.75 ~ 1.15	14.20 ~ 14.75	1.50	0.10	0.10	3.25 ~ 5.00	0.40 ~ 0.60	≤0.50	0.10
HTSSi15Cr4R	0.70 ~ 1.10	14.20 ~ 14.75	1.50	0.10	0.10	3.25 ~ 5.00	≤0.20	≤0.50	0.10

第二节 合金元素对铸铁组织及性能的影响

铸铁的金相组织及力学性能,是由铸铁中所含的除铁以外的碳、硅、锰、硫、磷俗称五大元素的多少所决定的。当铸铁中加入不同合金元素及实行不同的

热处理工艺时，所得到的铸铁组织及力学性能也有所不同。因此，正确的进行配料计算必须掌握铸铁中主要化学元素对铸铁金相组织和力学性能的影响和作用。

一、碳 (C)

碳是铸铁的主要化学成分，是铸铁的重要标志，铸铁与铸钢的主要区别在于碳含量的多少。铸铁碳的质量分数在 2% ~ 4% 之间，而铸钢碳的质量分数在 2% 以下。

碳是最强的促进石墨化元素。碳在铸铁中以游离碳或化合碳 (Fe_3C) 的形式存在，铸铁中的游离碳就是石墨，化合碳是碳化三铁，金相组织中称为渗碳体。铸铁中石墨析出的多，使铸铁的金相组织粗大，降低力学性能和硬度。如果石墨析出物过少，又使铁液流动性降低，铸造性能不好，铁液冷凝时收缩增大。铸铁中的渗碳体可提高铸铁硬度。

为了获得好的铸造性能和力学性能，铸铁中碳的质量分数多在 3.0% ~ 3.6% 之间。

二、硅 (Si)

硅也是较强的促进石墨化元素，硅在铸铁中溶解度比碳大得多，在一般铸铁中硅的质量分数在 1.3% ~ 3% 之间。硅的质量分数增加到 1.5% 时就显著增加游离碳，而促进石墨化，减少铸件白口倾向，改善加工性能。所以在熔炼铸铁过程中加入 75% 硅铁或 45% 硅铁来增加铸铁的硅含量。

在生产实践中严格控制碳、硅含量来得到铸铁所需要的金相组织和力学性能。通过试验发现一个规律：每增加 1% 的硅（质量分数），相图共晶点相应下降 1% ~ 3%，即硅对铁碳相图的影响。说明硅可以使共晶点向左移，其移动量点约相当于碳量的 1/3，根据这一关系可以把硅含量简化折合成碳量，并把这个碳和硅含量的总和称为“碳当量”，采用符号 CE 表示，即

$$\omega(\text{CE})\% = \omega(\text{C})\% + \frac{1}{3}\omega(\text{Si})\%$$

共晶点处碳的质量分数为 4.26%，当碳当量值大于 4.26% 时为过共晶铸铁，小于 4.26% 时为亚共晶铸铁。

三、锰 (Mn)

锰是中等程度阻碍石墨化元素，锰在铸铁中的作用和硅正相反，能延缓或阻止碳化物分解出游离碳，使铸铁变硬。锰的质量分数超过 4% ~ 5% 时会使铸铁变成硬而脆的白口铁。锰只有在质量分数为 1% 以下时，才能有效地提高铸铁的力学性能和硬度。锰的质量分数超过 0.8% 时会增加铸铁的收缩，所以铸铁中

锰的质量分数一般控制在 0.5% ~ 0.8% 之间，对薄壁小件锰含量控制低限。

锰能溶解在铁的固溶体中，和碳组成碳化物 (Mn_3C)，锰还可以与铸铁中硫化合成为硫化锰 (MnS) 形成熔渣而上浮于金属液面，有利于减少硫对铸铁性能的危害。

四、硫 (S)

硫是强烈阻碍石墨化元素，铁液中含硫量高时会使铁液变稠流动性不好，也阻碍气体从铁液中逸出，浇注的铸铁件容易产生气孔，含硫量过高铸件表面粗糙。硫与铁形成低熔点 (985℃) 的硫化铁 (FeS) 而使铸件产生热裂。硫是铸铁的有害元素，配料计算时应严格控制硫的含量，硫含量越低越好，硫的质量分数不宜超过 0.1%。铸铁中由于有锰的存在，锰与硫形成高熔点的硫化锰 (MnS)，从而抵消一部分硫的有害作用。

五、磷 (P)

磷是弱的促进石墨化元素，增加含磷量使铁液的流动性增加和减少铸件缩孔。但增加了铸件的冷脆性，磷的质量分数在 0.11% ~ 0.12% 以下时，可以提高铸铁的耐磨性，当磷的质量分数超过 0.3% 时铸件容易产生缩孔，多于溶解度磷与铁形成磷铁化合物——磷化三铁 (Fe_3P)，又与铁中的碳化三铁 (Fe_3C) 及铁形成三元共晶体，增加铸件的脆性，磷可谓是有害元素。所以对重要机器零件应严格控制磷的含量。

六、铸铁中铬、钼、铜、镍、稀土合金等其他元素

铸铁中加入的其他元素如：铬、钼、铜、镍等合金元素，是为了提高铸件特殊的力学性能，或者改善其他铸造性能，形成低合金铸铁或者高合金铸铁。尤其加入稀土合金元素后能有效使铁液脱 S 除气净化，改善铸铁的石墨化组织形状，因而形成球墨铸铁和蠕墨铸铁，显著的增加铸件力学性能和铸造性能。

第三节 铸铁熔炼设备对化学元素增减的影响

国内铸铁熔炼设备主要采用冲天炉熔炼，其次是工频感应炉和中频感应炉。采用电弧炉熔炼铸铁的仅有几个大厂，其中有大连机车厂铸铁分厂，曾用过电弧炉熔炼，现改为工频感应炉，由于炉衬采用的耐火材料不同，在熔炼过程中对元素的烧损或增加有所不同。掌握不同熔炼设备和不同熔炼工艺条件，对各种元素的增减影响，能够更准确的进行配料计算，使之获得经济优质合格的铸件。见表 1-10、1-11。

表 1-10 熔炼设备对元素的增减情况

元 素 炉种	元素变化(%)					焦耗 (%)	铁液温度 /℃	备 注
	C	Si	Mn	S	P			
普通冲天炉	+ (10 ~ 15)	- (10 ~ 30)	- (15 ~ 20)	+ (50 ~ 70)	—			冷风正常熔炼
三排大风口冲天炉	+ (1.5 ~ 8)	- (10 ~ 15)	- (15 ~ 20)	+ (20 ~ 40)	—	10 ~ 15	1350 ~ 1370	
三排小风口冲天炉	+ (10 ~ 20)	- (15 ~ 20)	- (20 ~ 25)	+ (20 ~ 50)	—	10 ~ 15	1380 ~ 1420	
多排小风口冲天炉	+ (10 ~ 20)	- (20 ~ 25)	- (25 ~ 35)	+ (30 ~ 50)	—	6 ~ 8	1360 ~ 1390	
卡腰三节炉	+ (5 ~ 10)	- (10 ~ 15)	- (15 ~ 20)	+ (5 ~ 10)	—	5 ~ 6	1380 ~ 1420	
二排大间距炉	+ (20 ~ 30)	- (10 ~ 20)	- (20 ~ 30)	+ (20 ~ 40)	—	10 ~ 15	1400 ~ 1450	
煤粉化铁炉	+ (0 ~ 10)	- (15 ~ 20)	- (25 ~ 35)	—	—			
工频和中频感应炉 (酸性炉衬)	-5	+ (2 ~ 3)	-15	0	0	—	1450 ~ 1500	加石墨增碳, 增碳率 70% ~ 90%

注: 1. 工频感应炉和中频感应炉: Cr: - (10 ~ 20), Mo: -5, Ti: - (15 ~ 20), Cu: -5。

2. (+) 增加, (-) 减少。

表 1-11 冲天炉层焦消耗和配碳量对元素增减情况 (%)

层焦消耗	配碳量	2.2	2.6	3.0 ~ 3.4	3.4 ~ 3.6	备 注
	10	+85	+55	+25	-10	
12	+90	+60	+30	-10	熔炼正常	
14	+100	+70	+40	-15	熔炼正常	
15 ~ 16	+105	+75	+45	-15	熔炼正常	

第二章 铸铁熔炼配料计算 对原辅材料的要求

铸铁熔炼炉料包括金属炉料、燃料及熔剂等原辅材料。生产实践证明，现代铸造生产如不重视科学管理或管理不善，乱堆、乱放、乱用，往往影响正常熔炼导致铸件废品增加，减少经济效益。所以准确的进行铸铁熔炼配料计算，必须对所用炉料加强管理和要求，标签分类堆放。

第一节 金属炉料

金属炉料包括：生铁（生铁锭）、回炉铁（废铸件、浇冒口、注余）、废机铁、废钢及铁合金（硅铁、锰铁、稀土合金）等。金属炉料应按不同炉料牌号分别堆放，并立标签标示。生铁分为铸造生铁和炼钢生铁，以及以钢屑为原料采用热风焦炭熔化炉生产的再生铁（土铁）。

每批金属炉料重量为冲天炉熔化率的 $1/8 \sim 1/10$ ，料块尺寸不允许超过炉径的 $1/3$ ，料块重量不超过批料重量的 $1/10 \sim 1/20$ 。

一、生铁

《铸造用生铁》（GB/T 718—2005），其化学成分见表 2-1。本溪钢铁公司生产的生铁多为炼钢生铁，质量好，含磷、硫低。炼钢生铁牌号及化学成分见表 2-2，球墨铸铁用生铁牌号及化学成分见表 2-3，国内部分地方产生铁化学成分见表 2-4。

表 2-1 铸造用生铁（GB/T 718—2005）

生铁号	牌号	Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14	
化学成分 (质量分数,%)	C	>3.3						
	Si	>3.20	>2.80	>2.40	>2.00	>1.60	$1.25 \sim$	
		~ 3.60	~ 3.20	~ 2.80	~ 2.40	~ 2.00	1.60	
	Mn	1 组	≤ 0.50					
		2 组	$>0.50 \sim 0.90$					
		3 组	$>0.90 \sim 1.30$					
	P	1 级	≤ 0.060					
2 级		$>0.060 \sim 0.100$						