

铸石研究

(论文集)

中国科学院地质研究所铸石研究组 编

科学出版社

224
Y2

铸 石 研 究

(论 文 集)

中国科学院地质研究所铸石研究组 编

科 学 出 版 社

1978

序 言

我国的铸石工业在伟大的无产阶级文化大革命中得到了蓬勃发展,提出了大量的科学研究的课题。1968年在中国科学院地质研究所里成立了铸石研究组。遵循伟大领袖毛主席的教导,我们深入工厂,与广大工人、技术人员相结合,开展了一系列有关铸石的科学实验。中国科学院地质研究所和有关工厂的各级党组织,对这项科学研究工作十分重视,给予大力支持,因而顺利地完成了科学研究的任务。1972年我们编写了《铸石》一书,为普及铸石的科技知识做了一点工作。随后,我们又遵循敬爱的周总理关于“在广泛深入实际的基础上,把科学研究往高里提”的指示,继续在铸石学、冶金炉渣及理论岩石学的领域内进行了一些基础理论的研究。其中一部分与结晶学、矿物学和岩石学有较密切联系成果,已经(或即将)在《地质科学》杂志上发表,直接与铸石和炉渣有关的成果,都列入本文集。文集中包括部分工厂的工人师傅的论文。

在我们的工作中,吉林铁合金厂、沈阳新城化工厂、北京铸石制品厂、吉林龙井铸石厂、大连铸石厂、浙江富阳铸造厂、天津辉绿岩铸石厂和牡丹江铸石厂等厂的领导、工人师傅及技术人员始终给予极大的支持。哈尔滨建筑工程学院和北京工业大学有关专业的师生对我们的工作提出了许多宝贵的意见。北京铸石厂革委会还专门组织有关人员审阅了本文集的全部稿件。武汉地质学院的苏良赫教授在百忙之中也十分仔细地审阅了文集全部稿件,并且对我们的研究工作作了不少有益的指导。我们向上述有关单位的同志们表示深切的谢意。

中国科学院地质研究所铸石研究组

一九七七年五月二十九日

目 录

序言.....	(ii)
论铸石的化学组成.....	陈友明 叶大年 郭竞雄 李达周 (1)
玄武岩铸石管结晶作用的研究.....	郭竞雄 叶大年 郝杰 曹正庚 边镜明 (18)
铬渣铸石及其矿物学和岩石学的研究.....	李达周 陈友明 (34)
铬渣铸石中黑色团块成因的探讨.....	叶大年 章和飞 马桂宦 李芳云 (49)
铬渣铸石中的自生铬铁矿的观察.....	叶大年 郭竞雄 马桂宦 章和飞 (58)
硅锰渣铸石热炸的研究.....	郭竞雄 石玉泉 (63)
硅锰合金炉渣结晶过程的实验($\text{CaO-MnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 体系的研究).....	石玉泉 叶大年 陈友明 曾荣树 (81)
铸石砂泵的试制.....	屈彬 刘增旺 郭竞雄 石玉泉 (97)
铸石矿物的X射线粉末法鉴定.....	叶大年 金成伟 (106)
用比重测定铸石结晶程度.....	叶大年 金成伟 (115)
铸石热膨胀系数的测定.....	沈步明 (120)
某高钛炉渣中富钛辉石的X射线衍射资料.....	叶大年 曾荣树 (128)
铸石粉做充填剂的试验.....	杨耀奎 (133)
铁合金炉渣在农业上的试验.....	杨耀奎 (135)

论铸石的化学组成

陈友明 叶大年 郭竞雄 李达周

铸石在国民经济中起着越来越大的作用,无产阶级文化大革命以来,我国的铸石工业获得了很大的发展。因此,对铸石化学成分的规律性;工艺中的物理化学原理;矿物成分和显微结构等等的研究,是具有一定理论意义和现实意义的。在1972年出版的《铸石》一书中^[1],虽然对这些问题作了一些叙述,但是,由于它是一本普及的小册子,不可能作深入的讨论,又由于当时的实践不多,也不可能对这些问题有较深入的理性认识。本文是几年来中国科学院地质研究所实验岩石和工艺岩石研究组关于铸石化学成分问题研究的总结。它将从辉石类质同像替代,硅酸盐物理化学的实验研究资料出发,论证铸石化学组分变化中的规律性及变化范围,从而推导出一种配料计算的新方法,最后对过冷却结晶在铸石生产中的意义加以论述。

一、辉石的类质同像替代及其限度

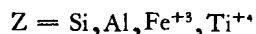
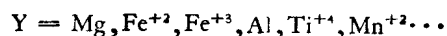
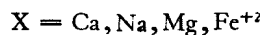
铸石的化学成分是变化的,各种铸石的化学成分变化范围见表1,总的归纳如下(重量百分数):

SiO ₂	46—52	TiO ₂	0—3
Al ₂ O ₃	13—19	Fe ₂ O ₃ + FeO	2—19
MgO	3—14	Na ₂ O + K ₂ O	2—4
CaO	7—13		

由此看来,铸石的化学成分变动范围颇大,可是就其矿物成分而言,几乎一切铸石都是以辉石为主的,尤其是铸石板材中几乎完全没有橄榄石和斜长石。在铸石管材中常常存在有相当量的橄榄石。因此本文仅限于论述铸石板材的化学组分的规律,铸石管材的规律另有专论。

既然铸石主要由辉石组成,论述铸石的化学成分的规律,就必须从辉石的类质同像规律谈起。

辉石是钙、镁、铁、铝的偏硅酸盐(更确切是单链状硅酸盐),它分单斜辉石和斜方辉石两大类,铸石中出现的是前者,单斜辉石有晶体化学式: XYZ₂O₆。



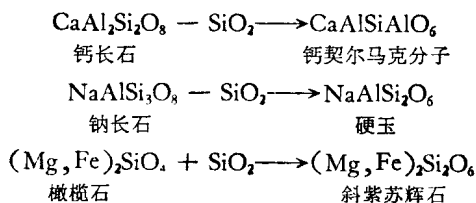
这种复杂的类质同像替代关系,常常有人简化为某些辉石“矿子”的固溶体,可能存在的辉石矿子有:

表 1 国内外各种类型铸石的化学组成及结晶矿物相

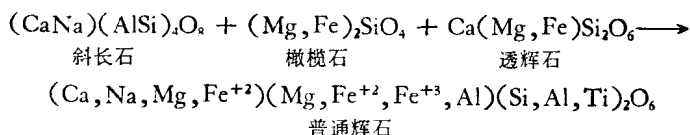
铸石类型	实 例	化 学 组 成 (%)						矿 物 相	文献来源
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	R ₂ O		
无铁铸石	莫斯科铸石厂白色铸石	~60	0.1—0.3	0.3—2	28.5—31	9—10	—	透辉石、少量硅灰石	[2]
	花岗岩和白云石合成铸石	48.9	10.65	2.01	17.2	8.93	4.74	硬玉-透辉石型辉石	[3]
贫铁铸石	沈阳新城化工厂铬渣铸石	48.5—52	13—15	7—9	11—12	11—12	2.5—3.0	铁镁铸普通辉石	
	天津赤卫化工厂铬渣铸石	51.3	21.48	4.47	11.92	8.36	2.50	铁镁铸普通辉石	
	德意志民主共和国曼斯费尔德铜渣铸石	46—49	16—19	3—6	17—22	5—9	3—5	铁镁铸普通辉石	[4]
	大连铸石厂辉绿岩铸石	48—49	15—17	13—14	8—11	7—8	2—3	铁镁铸普通辉石	
	牡丹江铸石厂玄武岩铸石	51—51.7	16—17	9—10	10	7.9—9.6	3	铁镁铸普通辉石	
铁镁铸石	北京铸石厂辉绿岩铸石	46—49	16—18	10.5—12	7—10	7—8	2.5—3.5	铁镁铸普通辉石	
	白银有色公司辉绿岩铸石	48—50	13.6—17	10—12.5	8.6—9.9	9	2.6—3.5	铁镁铸普通辉石	
	锦州砖瓦厂辉绿岩铸石	49—50	15—16	13—14.5	10.5—11	6.6—7.8	2—2.5	铁镁铸普通辉石	
	富阳铸造厂辉绿岩铸石	44—46.5	20—20.5	9.5—13	9.5—10	6—9.7	2—3.5	铁镁铸普通辉石	
	莫斯科铸石厂玄武岩铸石	48—49	16—19	15—16	9—11	6.5—9.5	1.2—2.9	铁镁铸普通辉石	[2]
	顿涅茨铸石厂玄武岩铸石	44.5—47	11—14	8—9	10—12	6—9	2—2.5	铁镁铸普通辉石	[2]
	捷克斯洛伐克玄武岩铸石	47.15	14.91	12.99	10.44	8.37	2.56	铁镁铸普通辉石	本所化学分析
	吉林铁合金厂铝铁渣铸石	48—55	9.5—12	14.5—19.5	6—8	2—5	1.5—2.0	铁铸普通辉石	
贫铁铸石	苏联反射炉炼铜渣铸石	44.5	11.4	27.8	9.0	1.4	—	含铁辉石	
无铁铸石	苏联反射炉炼铜渣铸石	56.52	12.13	17.18	10.07	0	—	含铁辉石	

名 称	晶 体 化 学 式	以氧化物表示的形式
透辉石	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$
钙铁辉石	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$
钙契尔马克分子	CaAlSiAlO_6	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
铁契尔马克分子	$\text{CaFe}^{+3}\text{SiFe}^{+3}\text{O}_6$	$\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
钙铁契尔马克分子	$\text{CaFe}^{+3}\text{SiAlO}_6$	$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
镁契尔马克分子	MgAlSiAlO_6	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
钛辉石	CaAlTiAlO_6	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$
斜顽辉石	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	$2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$
斜铁辉石	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	$2\text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$
钠铁辉石	$\text{NaFe}^{+3}\text{Si}_2\text{O}_6$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$
硬玉	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$

在用天然的玄武岩和辉绿岩生产铸石时,很显然,目的是使上述化学成分的岩浆在一定的工艺条件、各种组分最大限度地按这些矿子的形式组合搭配,并进入辉石晶格。要达到这个目的,就要实现这样的反应,钙长石分子失去一个 SiO_2 分子,以钙契尔马克分子形式进入辉石晶格,钠长石分子失去一个 SiO_2 分子,以硬玉分子形式进入辉石晶格,橄榄石分子以获得一个 SiO_2 分子的方式,搭配成斜紫苏辉石形式进入辉石晶格。也就是:



以上三个反应式可归纳为:



在单斜辉石的晶体化学式 XYZ_2O_6 中X的位置是八次配位的,Y的位置是六次配位的,Z的位置是四次配位的。在铸石的主要组分中,钙钠因离子半径较大(分别是 $0.99 \text{ \AA}$ 和 $0.95 \text{ \AA}$),只能在X的位置,硅因离子半径太小($0.39 \text{ \AA}$),只能在Z的位置,其他元素如铁、镁、钛在辉石的晶格中都有两种可能的晶体化学位置,这就决定了辉石类质同像关系的复杂性。

下面我们将从岩石实验的资料来论述各种类质同像的限制与铸石化学组分变化范围的关系。

硅无疑是最重要的,但是因为晶体化学性质简单,后面还要专门讨论,这里先不谈。

铝在铸石中的作用是非常重要的,铝进入辉石,主要以钙契尔马克分子的形式出现,硬玉分子和钙铁契尔马克分子的形式是次要的。在钙契尔马克分子中,一半的铝是六次配位,一半的铝是四次配位、一个大气压下在透辉石中可以溶解钙契尔马克分子的最大限度是40%(分子数),茨维特柯夫(Цветков)^[6]和坂田(Sakata)^[7]的实验都证实了这一点,40%的钙契尔马克分子,相当于透辉石中含18.8%(重量)的 Al_2O_3 ,也就是说铸石中 Al_2O_3 的上限原则上不应超过19%。根据E.F. 奥斯本(Osborn)^[8]的研究,在 CaO-MgO-

Al_2O_3 - SiO_2 四元体系中, Al_2O_3 在 20% 时, 辉石区已经缩得很小, 而斜长石区则相应扩大, 当 Al_2O_3 达到 25% 时, 辉石区已消失。虽然, 铸石岩浆的结晶过程是在不平衡条件下进行的, 据郑学正^[9] 等人的研究, 不平衡条件下, 辉石的结晶区有所扩大, 但是当 Al_2O_3 到 25% 时, 900℃ 结晶的产物已是辉石和斜长石的共生。由此也可见铸石中 Al_2O_3 的上限应为 19—20%。

从辉石的晶体化学上来看, 并没有对 Al_2O_3 的下限有所限制, 但是在铸石的生产实践中证明 Al_2O_3 的含量太低是不行的, Al_2O_3 含量过低, 辉石的晶体生长速度过大, 难以保证得到结构细密的铸件。A.И. 柯特洛娃 (Котлова)^[10] 的资料(见表 2)证明辉石的线性生长速度随 Al_2O_3 的量的增多而减少。

表 2 辉石中 Al_2O_3 的量对其晶体的线性生长速度的影响 (据柯特洛娃)

透辉石 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (%)	钙契尔马克分子 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (%)	辉石固溶体中 Al_2O_3 的重量 百分数	不同结晶温度下, 辉石的线性生长速度(毫米/分)		
			900℃	950℃	1000℃
100	0	0	0.003		
90	10	4.71	0.001	0.003	0.065
80	20	9.71	0.001	0.003	0.022
60	40	18.80	0.003	0.002	0.009

我们在做铬渣铸石试验时, 发现 Al_2O_3 量少于 13% 是很难保证成品率的, 铸件结构粗化, 容易产生裂纹。也就是说铸石中 Al_2O_3 的上限是辉石晶体化学和硅酸盐物理化学的界线, 而下限只是工艺的界线。铸石中 Al_2O_3 的量最好控制在 15% 左右。

钙在辉石的晶格中只能处在 X 的位置, 因此钙的含量过高, 超过 X 位置的要求, 就会导致硅灰石 (CaSiO_3)、斜长石或黄长石 [$\text{Ca}(\text{MgAl})(\text{SiAl})_2\text{O}_7$] 的出现, 从而破坏了铸石的化学稳定性。铸石中 CaO 的含量一般在 7—13%, 个别的高达 17—22% (德意志民主共和国的铜渣铸石)。辉石晶体化学式允许 CaO 的含量高达 25%, 为什么铸石中 CaO 的含量要比这个数值低得多呢? 原因是, 铸石岩浆中, 中等大小的阳离子特别多, 如 Fe^{+2} 、 Mg 、 Al 和 Fe^{+3} 。它们充满了 Y 的位置外, 有相当的一部分挤入了 X 位置, 所以 X 位置只能容纳较少的钙离子。相反, 如果 Fe^{+2} 、 Mg 、 Al 及 Fe^{+3} 较少时, Ca 的量适当可以增加。德意志民主共和国曼斯费尔德铜渣铸石就是个例子, 因为它贫铁, 而镁量也不算高, 所以它的钙量在铸石中是较高的。也就是说, 铸石中钙的含量上限是伴铁镁铝的总和而浮动的, 一般不超过 13%。铸石中氧化钙的下限是和铸石中的含铝量有关的, 因为有一部分钙和铝要搭配成钙契尔马克分子, 所以辉石中氧化钙的分子数必须大于或等于 Al_2O_3 , 否则就要求形成一部分镁契尔马克分子 MgAlSiAlO_6 。实验证明, 透辉石中所能溶解的镁契尔马克分子是很有限的^[11]。也就是说钙是铝进入辉石的“载体”。我们希望铸石中的 Al 尽可能多的进入辉石晶格, 就要保证足够多的钙做“载体”, 但是钙太多了就妨碍 Mg 、 Fe^{+2} 进入 X 的位置。钙多, 可携进辉石的铝 (位处 Y) 就多, Y 位置的铝越多, 就会把部分 Mg 、 Fe^{+2} 由 Y 位置“赶出来”到 X 位置, Mg 、 Fe^{+2} 到了 X 位置就限制了 Ca 的量不能随意地增加。这里充分地反映出铸石化学成分之间的辩证关系。总之为了保证铸石中辉石含 Al_2O_3 的下限是 13% 左右, 与其分子数相等的 CaO 的重量百分数大约是 7%, 也就是说 7% 是 CaO 的下限, 而 CaO 的上限是取决于 Mg 、 Fe 、 Al 的总和的。

铸石中 Mg 和 Fe^{+2} 的关系是比较简单的,是完全类质同像关系,即 Mg 多 Fe^{+2} 可减少, Mg 少 Fe^{+2} 可以增加,直至完全替代之,从表 1 中可以清楚地看出这一点。我们在沈阳新城化工厂的铬渣铸石和吉林铁合金厂的钼渣铸石中运用了这一规律,前者是部分 Mg 代替 Fe^{+2} , 后者是部分 Fe^{+2} 代替 Mg 。这种类质同像的替代关系对于铸石的化学稳定性和机械强度都没有什么影响。至于 Mg , Fe^{+2} 的总和应与 Ca 量相适应,这点在后面还要叙述。

铸石中的铁有高价低价之分,但是由于铸石岩浆往往是在还原性环境下得到的,所以 Fe^{+3} 在铸石中含量一般都很少。三价铁可以铁契尔马克分子 $\text{CaFe}^{+3}\text{SiFe}^{+3}\text{O}_6$, 钙铁契尔马克分子 $\text{CaFe}^{+3}\text{SiAlO}_6$ 或钠铁辉石 $\text{NaFe}^{+3}\text{Si}_2\text{O}_6$ 三种形式的矿子存在于单斜辉石中,在第一种情况下,有半数 Fe^{+3} 处于四次配位,半数 Fe^{+3} 处于六次配位,在第二、三种情况下, Fe^{+3} 皆为六次配位,从 Fe^{+3} 离子半径 ($0.64 \text{ \AA}$) 来说,它呈六次配位要比四次配位容易得多。茨维特柯夫^[6] 和胡肯荷尔兹等^[12] (Huckenholz H. G. *et al.*) 的实验都证明在常压下透辉石中铁契尔马克分子的溶解度是有限的。土方研一 (Hijikata) 用实验证明^[13], 在常压下钙铁契尔马克分子与透辉石是完全的类质同像系列。奥斯特洛夫斯基 (Острровский)^[14] 和八木键三 (Yagi)^[15] 分别用实验证明在常压下钠铁辉石和透辉石是完全的类质同像系列。由此可见 Fe^{+3} 在辉石中,主要是以六次配位的形式出现,也就是说 Fe^{+3} 和 Fe^{+2} 起着相似的结晶化学作用。这一点在后面的配料计算中是很重要的。

钛在辉石中的作用是岩石学家十分注意的问题,从巴兹 (Barth)^[16] 开始,茨维特柯夫^[6]、谢格尼特^[11] 和大沼晃助^[17] 都作过研究,确立了钛辉石的矿子有: $\text{CaAlTi}^{+4}\text{O}_6$, $\text{CaMgTi}_2^{+4}\text{O}_6$, $\text{CaTi}^{+3}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ 等,虽然在第一种情况下, Ti^{+4} 的配位是六次还是四次并没有完全肯定下来,但是,只要对比 $\text{CaAl}_2\text{Ti}^{+4}\text{O}_6$ 和钙契尔马克分子 $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ 的分子式,无疑会发现 Ti^{+4} 在数学上是起 SiO_2 的作用,第二种情况下 Ti^{+4} 很明显是起硅的作用。这一点在推导配料计算方法时也是很重要的。三价钛在辉石中存在可以用红外吸收光谱来证明,由于有三价钛存在,钛辉石具有紫红色的多色性。在某些铸石中有这种具紫红色多色性的钛普通辉石,含三价钛的普通辉石是可以溶于热盐酸中的,因此铸石生产中应避免紫红色钛普通辉石的出现。本文作者曾用河北万全膳房堡玄武岩作实验,在氧化环境下熔化 (1350°C), 900°C 结晶时,产生的无多色性的铸普通辉石,若是在还原环境下熔化,结晶出来的是带紫红色多色性的钛普通辉石。这证明铸石发紫红的现象是由于熔化环境是还原的,从而形成含三价钛的普通辉石的缘故。膳房堡玄武岩在生产管材时,岩浆在空气中暴露的时间长一些,所以管材往往无多色性辉石,而生产板材时则有之。

钠在辉石中可以硬玉 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 或钠铁辉石 $\text{NaFe}^{+3}\text{Si}_2\text{O}_6$ 矿子的形式存在,久城育夫等人 (Kushiro, and Schairer)^[18] 的实验证明,在常压下以硬玉形式进入透辉石晶格的矿子不多的,因此钠要进入单斜辉石晶格就主要靠 Fe^{+3} 来携带,铸石中 Fe^{+3} 量很有限,也就是说,钠量不能过多,过多进不了辉石晶格,造成玻璃相多。但是钠在铸石的辉石中,含量比自然界一般普通辉石多些,这是因为铸石是过冷却条件下结晶的缘故,第五节里还要详细谈。

钾因其离子半径太大 ($1.33 \text{ \AA}$) 不能进入辉石晶格,所以钾不是铸石的理想组分,钾只能残留在玻璃相中,因此含钾质高的玄武岩不宜用来生产铸石。

二、铸石的化学成分

几年来,我们实验室对铸石制品进行了几百个样品的X射线粉末法分析,结果表明,铸石板材中结晶的矿物相常常为铸普通辉石,很少发现有橄榄石和斜长石者。因此,铸石主要由铸普通辉石组成的结论是毫无疑问的,但是铸石是不是仅仅有铸普通辉石一个物相呢?在显微镜下(尤其是在反射光下),可以清楚地观察到在铸普通辉石的微晶之间乃是充填着残余的玻璃。因为铸石是由辉石和玻璃两个物相组成,所以铸石的比重(2.95—3.05)总比普通辉石的比重(3.3—3.4)小。

既然铸石是由辉石和残余玻璃组成,那么,铸石的化学成分就不会正好符合辉石晶体化学式的要求。将铸石制品的化学分析数据按辉石的矿子逐一搭配(计算方法,见《铸石》48—49页),最后可以发现铸石制品的化学成分,搭配完辉石矿子后, SiO_2 总是有余的。这个剩余的 SiO_2 分子数我们称之为余硅指数。表3列出了国内外各铸石厂板材的化学成分及余硅指数。

表3 国内外各铸石厂正常产品的化学组成及其余硅指数(K)

厂名		化 学 成 分 (%)									余硅指数(K)			
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O				
北	京	铸	石	厂	49.98	1.10	16.22	10.66		8.10	8.89	4.35		83
大	连	铸	石	厂	47.88	—	17.04	13.97		12.15	7.09	2.30		72
天	津	铸	石	厂	48.33	1.47	16.03	3.35	8.45	7.72	8.73	1.15	2.55	91
富	阳	铸	造	厂	48.07	1.86	16.62	6.74	8.03	10.39	4.37	0.50	3.35	91
沈	阳	新	城	化 工 厂	51.63	—	13.39	1.45	6.93	11.09	11.12	1.55	1.85	88
锦	州	砖	瓦	厂 铸 石 车 间	48.06	1.23	13.91	6.40	10.67	10.03	6.77	0.80	2.00	82
牡	丹	江	铸	石 厂	51.70	0.91	16.92	8.97		10.16	7.66	4.20		117
白	银	有	色	公 司 铸 石 车 间	50.09	0.72	14.09	4.68	10.47	7.90	7.64	2.10	1.80	104
捷	克	斯	洛	伐 克 铸 石 厂	47.15	2.70	14.91	12.99		10.44	8.37	2.56		94
莫	斯	科	铸	石 厂	47.7	2.50	15.0	15.80		9.20	9.7	2.10		85
顿	涅	茨	铸	石 厂	47.1	0.49	18.70	10.60		11.30	9.20	2.25		86
德意志民主共和国曼斯费尔德铸石厂	48	—	17.50	4.50		19.50	7.0	3.5		63				
平	均													90

苏联一度流行柯特洛娃的配方算法^[19],她的观点是,铸石的化学成分应该完全符合辉石晶体化学式的要求,这样可以获得单一辉石相的铸石,这种铸石不但没有橄榄石和斜长石,也没有玻璃。换句话说,铸石的理想成分,按她的意见应该是余硅指数等于零。

从表3中看出,实际情况与柯特洛娃的理论不符合,于是就产生一个问题,究竟是现在国内外的铸石都没有达到理想的化学成分呢?还是柯特洛娃的理论是错误的呢?下面我们将从硅酸盐体系的物理化学实验资料 and 实际例子来证明柯特洛娃的理论是错误的。

奥斯本所作的 $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 四元体系的研究,对铸石生产工艺的物理化学理论分析是非常有用的。图1是这个四元体系 Al_2O_3 15% 的截面,这个截面比较接近铸石岩浆的化学成分。图中硅灰石固溶体(含 Al_2O_3 15%)的成分点为 Wo_{ss} , 顽火辉石固溶体(含 Al_2O_3 15%)的成分点为 En_{ss} , 透辉石固溶体(含 Al_2O_3 15%)的成分点 Di_{ss} 则在

W_{0.8}—En_{8.8} 联线上。Di_{8.8}—En_{8.8} 线段不是在辉石的初晶区内，而是在橄榄石的初晶区内，也就是说，完全符合辉石固溶体化学组分的要求的熔浆结晶时，最先结晶的物相是橄榄石，随后才是辉石。铸石不希望有橄榄石，所以应该使铸石熔浆的化学组分投影点落在辉石初晶区内，这个区域在 Di_{8.8}—En_{8.8} 线以上，不言而喻，铸石岩浆的成分与辉石固溶体的成分相比，必须是硅有富余的。图 1 很清楚地表明，目前国内外铸石厂的铸石制品硅都有余是理所当然的，是为了保证辉石最先结晶和避免橄榄石形成的需要。柯特洛娃认为理想的单一矿相辉石的铸石，其化学成分应完全满足辉石晶体化学式的要求，这种理论是错误的。她忽视了物理化学原理，也就是忽视了富含镁铁的辉石固溶体分解熔融的事实，这是她犯错误的根本原因，她不是从事实出发，而是从理论出发的，这是错误的哲学根源。

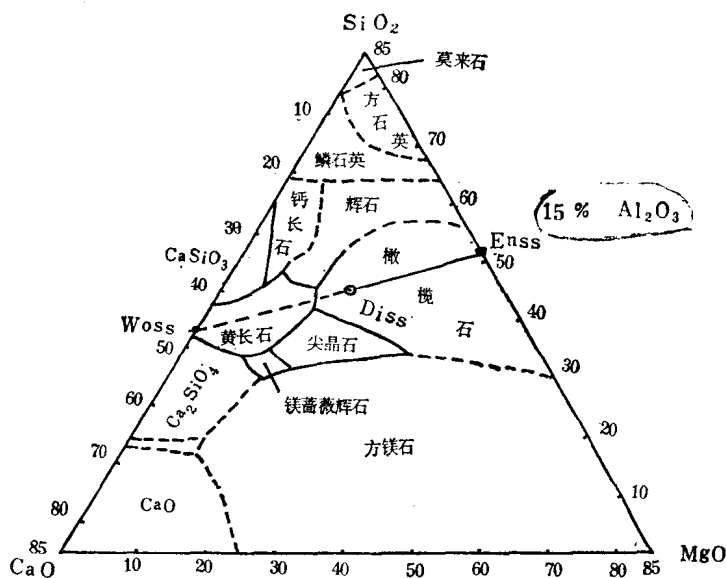


图 1 在 SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO 体系中含 Al₂O₃15% 截面中液相线图(据 E. F. 奥斯本等,1954)

现在我们来讨论铸石的化学组成，应该从国内外铸石厂的制品硅都有余这一事实出发。余硅指数有一个波动范围，大体上是 70—110，平均为 90。

柯特洛娃的理论还可以用具体实例来加以驳斥，福格特 (Fogt) 曾引用过数据的一个高炉渣^[5]，具有如下成分，SiO₂48.9%，Al₂O₃10.0%，FeO1.2%，MgO15.0%，CaO22.7%，MnO1.0%，这样的化学成分几乎完全完全地符合辉石晶体化学式的要求，余硅指数仅仅为 5。若按柯特洛娃的理论，岂不是最理想的辉石岩浆的化学成分，是否可以结晶为单一的辉石相呢？但是据福格特的资料却是辉石、橄榄石和黄长石的集合体。可见余硅指数为零是理想的铸石成分，这种理论是完全错误的。

总之，铸石(指板材)的化学成分接近于辉石晶体化学式的要求，但 SiO₂ 总是有富余的，平均余硅指数为 90。

三、残余玻璃及其化学成分

上一节已经谈到铸石余硅指数，那么要问这部分余剩的 SiO₂ 以什么形式存在呢？X 射

线分析证明,铸石中没有 SiO_2 的结晶相存在,显然它只能是存在于玻璃之中。那么要进一步追问,铸石中残余玻璃是否是石英玻璃呢?有人曾经是这样认为的。铸石中残余玻璃绝不能是石英质的玻璃,理由有如下几点:(1)铸石中残余玻璃的折射率 1.52—1.55,而石英玻璃的折射率是 1.459;(2)将铸石制品置于 1100°C 左右长时间加热,让其其中的残余玻璃重结晶,而后经 X 射线分析和薄片鉴定,证明残余玻璃的成分主要是斜长石质的,重结晶成的斜长石微晶具有平行消光的特点,按微晶法鉴定斜长石的曲线得知是 An_{30} 的;(3)石英质玻璃的线膨胀系数 $5-8 \times 10^{-7}$,普通辉石的线膨胀系数是 $7-8 \times 10^{-6}$,也就是说前者只及后者的十分之一,可见铸石的残余玻璃不可能是石英质的,若是石英质的话,在制品退火过程中必然会产生炸裂现象。斜长石质(An_{30} 成分)的玻璃线性膨胀系数是 $6-7 \times 10^{-6}$ 与普通辉石膨胀系数很接近,因此铸石在退火后有较好的机械性能。从以上三个理由出发,我们得出结论残余玻璃的成分接近于斜长石,而不是石英质玻璃。

残余玻璃的化学成分问题,实质上是玄武岩结晶分异过程中残余岩浆的化学成分的问题,是岩石学上一个很重要的理论问题。鲍文(Bowen)通过实验证明,玄武岩浆结晶分异过程中,残余的岩浆越来越富含钠质和铝的硅酸盐,这就是所谓的“鲍文趋势”^[20]。铸石在结晶过程中辉石大量析出,最终残留的玻璃成分相当于较酸性的斜长石,这和所谓“鲍文趋势”是一致的。但是有时候由于铸石熔浆的环境对铁的影响,使制品中残余玻璃在显微镜下为棕褐色,是富铁的,有时甚至于析出磁铁矿(形成多边形镶嵌结构),这就不不同于鲍文趋势,而类似于费涅尔(Fenner)趋势^[20]。因此,残余玻璃化学成分的问题是个极为复杂的理论岩石学问题。为了简便起见,我们在本文内只讨论第一种情况,即“鲍文趋势”。

铸石岩浆是多组分的,但是可以最大程度地简化它。从上一节得知,铸石的化学成分首先可以简化为:普通辉石-二氧化硅系统,进一步简化为:透辉石-斜长石系统,最后简化为:透辉石 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ -钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)的二元系统。过去一度认为透辉石与钠长石不是简单的共结关系,后来鲍文仔细地研究了 this 二元体系^[21],发现了著名的“斜长石效应”现象,所谓斜长石效应,是指这个系统中永远不可结晶出来纯的钠长石,而只能结晶出富钠的斜长石。鲍文的实验证明,当辉石结晶后,液相的成分向富钠铝的方向演化,但从最后的残余液相中是透辉石的固溶体和 An_{25} 的斜长石共结。可见最终残余液相的化学成分必然略比 An_{25} 基性一些。铸石中的残余玻璃相当于鲍文实验里的最后残余液相,从残余玻璃中重结晶出 An_{30} 与鲍文的 An_{25} 是多么接近。这里两者之间的差别是由于铸石熔浆比鲍文的二元系统复杂得多造成的。

在铸石整个结晶过程中,残余玻璃的化学成分是逐渐变化的,但是,铸石完成结晶作用(指工艺上结晶处理阶段)时,残余玻璃的成分大体上接近 An_{30} 的斜长石(当然包含少量的镁、铁)。

上面谈到铸石中残余玻璃的化学成分大体上相当于 An_{30} 斜长石。残余玻璃的含量占多少呢?如果知道了这一点,我们就不但了解了铸石化学成分的特征,而且也知道了这些元素在结晶相辉石及玻璃相中的分配。

在以前的苏联^[22,23]和捷克斯洛伐克^[24]的文献里,或是忽略了残余的玻璃相,或是低估了玻璃相的含量。因为粒度很小,要用直接的办法求出玻璃相的含量是十分困难的。前面说过,在反射光显微镜下,放大倍数较高时,可以清楚地看到残余玻璃的形态,用目估法

估计, 它们的体积含量是 20—30%。最近苏联文献中也有人估计铸石残余玻璃量 20—25%^[25]。残余玻璃的含量显然是取决于铸石结晶的程度, 但是结晶程度越来越高, 残余玻璃量会不会越来越趋近于零呢? 如果从抽象的物理化学定义出发, 答复是肯定的。实际是什么呢? 铸石的比重大多为 2.95—3.05, 不是普通辉石的 3.3—3.4, 这个事实说明铸石中结晶相和残余玻璃的比例大体上是固定的。铸石制品往往不会因为在结晶炉 (880—900℃) 内呆的时间长了而增加其比重。也就是说残余玻璃的量不会越来越趋近于零。

在显微镜下很清楚地表明, 残余玻璃是分布于晶体之间, 很象砂岩中碎屑和胶结物的关系一样, 正如砂岩的胶结物含量不会为零一样, 铸石中残余玻璃的含量不会趋近于零。如果我们把晶体或晶体的集合物简化为球形, 那么, 是可以从数学的角度来证明球粒之间孔隙 (或胶结物) 的体积百分率与球粒粒径分布的关系的, 这种数学的证明在某些岩石学^[26]、材料科学^[27] 或耐火材料^[28] 的科学中都有论证。我们曾经用这种方法来证明, 铸石中残余玻璃的重量百分比下限是 20% 左右, 论证的过程另有一文, 这里不再赘述, 而只是引用其结果。如果铸石是等粒的球粒结构, 球粒之间的孔隙为残余玻璃所充填, 从结晶学的等大球最紧密堆积原理得知, 球与孔隙的体积之比是 74.05: 25.95, 即玻璃的体积百分数是 26%。铸普通辉石比重 3.25—3.35, 取平均值 3.30, 最终残余玻璃的化学成分相当于 An_{30} , 比重接近于 2.47, 那么铸石中结晶相与玻璃相的重量百分比是 79:21, 如果铸石是一种连续不等粒的球粒结构, 结晶相与残余玻璃相的体积比是 80:20, 重量比是 85:15。考虑到铸石球晶中本身就夹杂一定量的玻璃质, 所以铸石中残余玻璃的下限大概是 20—15% (重量) 之间。

从上面的论述中归纳出两点: (1) 铸石中最终残余玻璃的化学成分接近 An_{30} ; (2) 残余玻璃的重量百分比下限大约是 20—15%。

这个结论对不对呢? 我们可以间接地来验证它。 An_{30} 的化学成分是已知的, SiO_2 61.1%, Al_2O_3 24.4%, CaO 6.1%, Na_2O 8.4%, 我们从铸石制品的化学分析数据中减去 20%* 的 An_{30} 的化学成分, 余下的化学成分是结晶相——辉石的化学成分, 如果上面叙述过的两点结论是正确的话, 余下的组分应该完全或非常接近辉石的晶体化学式的要求。计算的结果完全证实了这一点。计算方法见表 4。

表 4 富阳铸造厂铸石扣除残余玻璃后结晶相的晶体化学计算

氧化物	铸石化学组成(%)	重量20%玻璃的化学组成(%)	扣除玻璃后结晶相化学组成(%)	氧化物分子数($\times 1000$)	阳离子数($\times 1000$)	氧离子数($\times 1000$)	以氧离子数等于6为基数的阳离子数
SiO_2	48.07	12.22	35.85	597	597	1194	1.71
TiO_2	1.86	—	1.86	24	24	48	0.07
Al_2O_3	16.62	4.88	11.74	115	230	345	0.66
Fe_2O_3	6.74	—	6.74	42	82	82	0.24
FeO	8.03	—	8.03	111	111	111	0.32
CaO	10.39	1.22	9.17	164	164	164	0.47
MgO	4.37	—	4.37	109	109	109	0.31
R_2O	3.85	1.68	2.17	35	70	70	0.20

* 在《铸石》一书中我们估计玻璃的含量为 10—20%, 几年来镜下鉴定的实践表明, 这种估计偏低了一些, 应该是 20—40%, 下限是 20% 左右, 从该书 22 页计算出来的辉石晶体化学式中, X 位置的原子数大部分都偏小一点, 也表明 10% 的玻璃含量是估计偏低了。

铸普通辉石的晶体化学式计算结果:

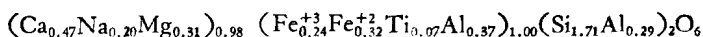


表 4 只是一个实例,我们对国内外的铸石制品的化学全分析资料进行了数十个同样的计算,也都得到和表 4 一致的结果。这些结果一部分已经列在《铸石》一书中。从理论计算推导出来的铸普通辉石的晶体化学式可得出结论:铸普通辉石的晶体化学特征是富铝、贫钙。这个结论最近已被 X 射线衍射分析所证实。

四、配料计算的余硅指数法

前面三节从实际材料出发,归纳了铸石化学成分的变化范围和规律,并且从硅酸盐物理化学原理和晶体化学理论来论证它们。指出铸石是由铸普通辉石和残余玻璃组成,辉石约占 80%,玻璃约占 20%,铸普通辉石以富铝、贫钙为特征,残余玻璃的化学成分接近于 An_{30} 的斜长石。从这些实际材料出发,自然而然就会引出一个配料计算的新方法——余硅指数法。

伟大领袖毛主席教导我们:“不破不立。破,就是批判,就是革命。破,就要讲道理,讲道理就是立,破字当头,立也就在其中了。”

苏联的铸石文献里^[22,23,29],大都推崇柯特洛娃的配料计算方法,这个方法的原理大致是这样的,认为铸石最理想的化学成分应是完全符合辉石晶体化学式要求的,这样可以确保铸石是由单矿物辉石组成。计算的方法步骤类似岩石化学中常用的 CIPW 诺姆(理想矿物)^[30]计算,不过此时诺姆是第一节里所指出的矿子,而 CIPW 法的诺姆是, Mt, Ap, Ab, An, Or, Di, Hy, Ol 等等。在按原料的化学分析搭配辉石矿子(诺姆计算)时,最后必然出现两种情况中的一种,即 SiO_2 分子有余,或 SiO_2 分子不足。当 SiO_2 有余时,配料需加白云石 CaMgCO_3 , 完全中和酸性氧化物 SiO_2 分子成透辉石矿子 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, 当 SiO_2 不足时加入石英砂。但是,我们国家十几年来铸石工业发展的实践证明,柯特洛娃的配料计算方法是完全行不通的,这个方法的错误归纳有如下几点:

(1) 完全符合辉石晶体化学式要求的熔浆在结晶的时候,不可避免地首先析出橄榄石,而不是辉石,因此根本达不到单一矿相的目的,相反,出现橄榄石影响铸石的性能。

(2) 在她的计算法中,完全没有考虑到辉石的类质同像替代是有条件的,也是有限度的,因此她完全没有注意到化学组分之间的辩证关系,使配料计算法变为一种不切实际的空想。譬如,铸石的辉石中并不能容纳过多的硬玉矿子,硬玉矿子只有高压下才能大量进入辉石晶格,但柯氏在计算中大量地搭配成硬玉分子。

(3) 在她的计算法中,用形而上学的观点来对待 Fe^{+3} , 把 Fe^{+3} 一律算成铁契尔马克分子 $\text{CaFe}^{+3}\text{SiFe}^{+3}\text{O}_6$, 而忘却了原料熔化是在强还原或弱还原环境下进行的,全部或大部分 Fe^{+3} 还原成 Fe^{+2} , 即使有部分 Fe^{+3} 存在,也大都优先以 $\text{NaFe}^{+3}\text{Si}_2\text{O}_6$ 或 $\text{CaFe}^{+3}\text{SiAlO}_6$ 形式存在于辉石晶格之中(见第一节)。铸普通辉石不可能含有铁契尔马克分子。

针对旧方法的三个主要缺点,我们提出一种新的配方算法,称为“余硅指数法”。它的理论基础是,铸石的化学成分在搭配为辉石矿子后, SiO_2 分子总是有余的,余硅在矿物相成分的反映是铸石由 80% 铸普通辉石和 20% An_{30} 成分的玻璃组成,所余的硅藏于残余玻璃之间。为什么硅必需有余已在第二节里论述过了。这个方法同柯特洛娃方法的

最大差别就在于此,柯氏法余硅指数为零。

1. 余硅指数的计算

在第一节里提到的辉石矿子,大多数都存在有这样的规律,即

$$N.M. \cdot (CaO + MgO + FeO) = N.M. (SiO_2) \quad (1)$$

在硬玉 $NaAlSi_2O_6$ 中, $4N.M. (Na_2O) = N.M. (SiO_2)$ (2)

在钛辉石 $CaAl_2TiO_6$ 中, $N.M. (CaO) = N.M. (TiO_2)$ (3)

因此在铸普通辉石的化学组分中存在这样的规律,即(1)+(2)+(3)得:

$$N.M. (SiO_2 + TiO_2) = N.M. (CaO + MgO + FeO) + 4N.M. Na_2O \quad (4)$$

铸石中所余的硅,赋存于残余玻璃中,它的化学组分中氧化物分子数($N.M.$)之间的关系如下:

	An_{30}	20% An_{30}	$N.M.$
SiO_2	61.1	12.22	204
Al_2O_3	24.4	4.88	
CaO	8.4	1.68	22
Na_2O	6.1	1.22	27

$$N.M. (SiO_2) - N.M. (CaO) - 4N.M. (Na_2O) = 204 - 22 - 4 \times 27 = 74 \quad (5)$$

铸石中所富余的 SiO_2 , 理论上是 74 个分子数, 我们称它为理论的余硅常数(k)。但实际上铸石化学组分中余硅的数目不一定正好是 74, 常波动在 70—110 之间, 这个数字我们称之为余硅指数(K), 实际平均的余硅指数($\bar{K}$)为 90。于是铸石的化学成分中存在有下面的关系:

$$K = N.M. (SiO_2 + TiO_2) - N.M. (CaO + MgO + FeO) - 4N.M. (Na_2O) \quad (6)$$

前面说过 Fe^{+3} 起 Fe^{+2} 类似的作用, 钾和钠一样常存在于残余玻璃之中, 这样(6)式可以近似地用(6')式代替

$$\begin{aligned} \bar{K} = & N.M. (SiO_2 + TiO_2) - N.M. (CaO + MgO + FeO + 2Fe_2O_3) \\ & - 4N.M. (Na_2O + K_2O) \end{aligned} \quad (6')$$

(6')式就是我们提出的余硅指数配料计算法的基本公式。

2. 配料计算的步骤

① 按铸石主原料的化学全分析求出氧化物的分子数($\times 1000$)。

② 将 TiO_2 的分子数并入 SiO_2 分子数中, 得到酸性氧化物分子数总和 [$N.M. (SiO_2 + TiO_2)$]。

③ 将 CaO , MgO , FeO , $2Fe_2O_3$ 的分子数合并, 因为原料中的高价铁可能转化为亚铁, 所以只能考虑铁的原子数, 即, $FeO + 2Fe_2O_3$ 的总铁数。这样得到碱性氧化物的总和 [$N.M. (CaO + MgO + FeO + 2Fe_2O_3)$]。

* $N.M.$ 表示分子数。

④ 将 Na_2O , K_2O 分子数的 4 倍而加和 ($4N.M.\text{R}_2\text{O}$)。

$$\textcircled{5} \quad K = N.M.(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) - N.M.(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3) - 4N.M.\text{R}_2\text{O} \quad (7)$$

若 $K > 90$, 表示原料中 SiO_2 偏高, 即要求用附加料补充碱性氧化物中和之。

若 $K < 90$, 表示原料中 SiO_2 偏低, 即要求附加料补充酸性氧化物 SiO_2 , 中和过多的碱性氧化物。

也就是说, $K - 90 \geq 0$, 是判别原料性质、选择附加料的种类的准则, 因此称之为配料计算的判别式。

⑥ 依据配料计算判别式, 选择附加料的种类, 求出附加料的有效碱性氧化物分子数或有效酸性氧化物分子数。它的计算方法仍旧是用 (6') 式, 不过式子左边不是 $\bar{K}$ 而是附加料的有效碱性或酸性氧化物的分子数。

⑦ 按 (7) 式和附加料的有效分子数列出方程, 求出主原料和附加料之比。

在 (7) 式中没有 Al_2O_3 , 是不是 Al_2O_3 在配料中不重要呢? 不是的, 在第一节里我们就强调了 Al_2O_3 的重要性。铝主要是以 CaAlSiAlO_6 的形式 (少量 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 形式) 参加辉石晶格的, 前者 CaO 分子数总等于 SiO_2 分子数, 即铝在辉石中的含量不会影响 CaO 与 SiO_2 的数量关系, 而 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 中 Na_2O 分子数的四倍即 SiO_2 的分子数, 这等于考虑了 Al_2O_3 的作用。(7) 式只是说明 SiO_2 , CaO , MgO , FeO , $2\text{Fe}_2\text{O}_3$, R_2O 分子数之间的数学关系, 也不是配料的唯一原则。 Al_2O_3 的量在铸石中是可变动的量, 因为它晶体化学位置上的两重性, 使它不致对其它几个组分数学关系发生影响, 但不等于 Al_2O_3 量没有要求。如果原料 Al_2O_3 含量少于第一节中所给的范围, 那么则要求附加料补充之。(7) 式中清楚地表示 CaO 和 $\text{MgO} + \text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的明确关系, 即 $\text{MgO} + \text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 多, CaO 则减少, 但是还应附加上条件 $\text{CaO} < \text{MgO} + \text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \geq \text{Al}_2\text{O}_3$ 。同时 R_2O 必须是 Na_2O 或以 Na_2O 为主。没有这些附加的条件就会重犯柯特洛娃的缺点。

应该说明一点, 我们的“余硅指数”配料计算方法是从国内各个铸石厂的生产实际采用的配料比中归纳出来的, 最后加以理论上的论证而系统化的。几年来, 我们把这一配料的计算方法用来说明国内各主要铸石厂的生产实际, 到工厂征求有经验的工人师傅和技术人员的意见。迄今为止, 各种方法比较起来, 这种方法更接近于生产实际。下面我们只举两个例子来说明。

例一, 大连铸石厂所采用的主原料是辉绿岩 (牧城驿和夏家河两地辉绿岩 1:1), 化学成分见表 5。

表 5

氧 化 物	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	R_2O
重量百分数	48.48	1.75	16.82	10.98	6.05	0.56	13.79	2.33
氧化物分子数 ($\times 1000$)	807	22	165	196	150	4	192	37
余硅指数 K	$N.M.(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) - N.M.(\text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + 4\text{R}_2\text{O})$ $= (807 + 22) - (196 + 150 + 8 + 192 + 148) = 829 - 694 = 135$							

原料的余硅指数 $K = 135$, $K - 90 = 135 - 90 > 0$, 表明原料 SiO_2 偏多, 要求补充附加料必须是富含碱性氧化物的。

该厂所用附加料是白云岩,角闪岩,铬铁矿和萤石,它们之间的配比是5:7:2:1,附加料中铬铁矿是结晶中心,萤石是助熔剂,量很少,计算中略去。附加料的有效碱性氧化物分子数分别见表6和表7。

表6 角闪岩的化学组成及有效碱性氧化物分子数

氧 化 物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	R ₂ O
重量百分数	48.82	10.42	5.54	22.21	9.00	6.95	2.00
氧化物分子数(×1000)	813	102	99	551	56	97	32
有效碱性氧化物分子数	$N.M.(CaO + MgO + 2Fe_2O_3 + FeO + 4R_2O)$ $- N.M.(SiO_2) = 99 + 551 + 2 \times 56 + 97$ $+ 4 \times 32 - 813 = 987 - 813 = 174$						

表7 白云岩的有效碱性氧化物分子数

氧 化 物	SiO ₂	CaO	MgO
重量百分数	1.99	31.47	20.36
氧化物分子数(×1000)	33	561	505
有效碱性氧化物分子数	$N.M.(CaO + MgO - SiO_2) = 1066 - 33 = 1033$		

附加料总的有效碱性氧化物分子数为:

$$174 \times \frac{5}{5+7+2+1} + 1033 \times \frac{7}{5+7+2+1} = 540$$

主原料中要求用碱性氧化物来中和的二氧化硅分子数为 $135 - 90 = 45$ 。假设每吨(1000公斤)辉绿岩所需用的附加料为 x 公斤,则有方程式:

$$1000:540 = x:45$$

$$x = 83 \text{ 公斤}$$

即,辉绿岩:附加料 = $\frac{1000}{1000+83} : \frac{83}{1000+83} = 92:8$,实际生产中采用的比例是94:6,两者是十分接近的。

这个例子表明余硅指数的算法可以说明各铸石厂配料的规律性。伟大领袖毛主席教导我们:“马克思主义的哲学认为十分重要的问题,不在于懂得了客观世界的规律性,因而能够解释世界,而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”“许多自然科学理论之所以被称为真理,不但在于自然科学家们创立这些学说的时候,而且在于为尔后的科学实践所证实的时候。”下面我们再举一例,说明运用余硅指数法具体解决铸石原料配比问题。

例二,沈阳新城化工厂铬渣铸石的配料计算。(见表8)

余硅指数为负值,表明原料太缺乏 SiO₂,再有铝量不符合要求,必需补充 SiO₂ 和 Al₂O₃,附加料分别是石英砂和电厂粉煤灰。它们的有效 SiO₂ 分子数分别见表9和表10。

设炉料配比为:铬渣:粉煤灰:石英砂 = $(1-x-y):x:y_0$ 。

在铸石中要求余硅指数为 $\bar{K} = 90$,则有方程:

$$549x + 1300y - 1360(1-x-y) = 90$$

$$1909x + 2660y = 1450$$

(8)