

# 矿渣水泥

[苏联] Я. М. 谢尔金 М. Б. 弗连克利 著

59  
24.02

中国建筑工业出版社

本书是矿渣水泥化学及工艺学方面的专著。书中阐述了矿渣和矿渣水泥水化理论的概念，介绍了生产矿渣水泥主要工艺设备的技术特性以及强化工艺过程、提高水泥质量和矿渣水泥在建筑中的应用等方面的问题。

本书可供水泥专业有关人员、高等院校及中等专业学校水泥专业师生参考。

南京化工学院潘新章同志对译稿中工艺部分的原料、生料配料计算等六个章节，提出了许多宝贵意见，谨此致谢。

Я. М. Сыркин М. Б. Френкель  
ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТА  
ГОССТРОЙИЗДАТ УССР

Киев 1962

\* \* \*  
矿 渣 水 泥

戚 昌 民 译

(根据原中国工业出版社纸型重印)

\*  
中国建筑工业出版社出版(北京西外向东路19号)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
北京印刷六厂印刷

\*  
开本: 850×1168毫米1/32 印张: 5 5/16 字数: 141千字  
1965年6月第一版

1973年5月新一版 1973年5月第一次印刷

印数: 1-12,810册 定价: 0.61元

统一书号: 15040·3065

## 目 录

第一章 矿渣水泥的化学 .....	3
一、高炉矿渣的制备和分类 .....	3
二、化学组成对高炉矿渣性能的影响 .....	5
三、高炉矿渣的矿物组成 .....	11
四、高炉矿渣的结构及其成粒机理 .....	12
五、硅酸盐水泥熟料的结构 .....	21
六、矿渣水泥的硬化过程 .....	23
第二章 矿渣水泥的工艺学 .....	33
一、原料 .....	33
二、生料的配料计算 .....	35
三、液态高炉矿渣的成粒方法 .....	42
四、生料的制备方法 .....	48
五、原料的干燥 .....	51
六、原料的粉磨 .....	58
七、生料的调配和均化 .....	65
八、水泥生料的成粒 .....	73
九、熟料的煅烧过程 .....	81
十、煅烧熟料的窑 .....	84
十一、熟料和矿渣的粉磨 .....	104
十二、矿渣水泥粉磨过程的强化 .....	120
第三章 矿渣水泥的性质 .....	125
一、矿渣水泥的组成、硬化速度和强度 .....	125
二、用矿渣水泥及快硬矿渣水泥制得的混凝土强度 .....	137
三、泌水性 .....	138
四、抗冻性 .....	139
五、凝結和硬化放热 .....	140
六、收缩性 .....	141
七、耐热性 .....	142

八、水稳定性	143
九、抗硫酸盐性	144
十、钢筋混凝土中钢筋的抗蚀稳定性	144
十一、水泥长期储存的稳定性	145
十二、生产控制	148
十三、进厂原料的化学成份	149
十四、生料化学组成的控制	149
十五、原料干燥程度的控制	151
十六、料粒质量的控制	151
十七、粉磨水泥时各组份计量的控制	155
第四章 矿渣水泥在建筑中的应用	156
第五章 矿渣水泥和快硬矿渣水泥的生产经济	161
参考文献	167

# 第一章 矿渣水泥的化学

## 一、高炉矿渣的制备和分类

高炉炼铁时,除金属外还生成比重为 1.5—2.2 的矿渣,它主要是硅酸盐及铝酸盐的熔合物。

在高炉中加入矿石,燃料及作助熔剂用的石灰石所组成的炉料。

炉料在高炉中自上而下地运动。随着炉料的下落,温度逐渐升高,于是发生了物理化学变化。在高炉的上段(温度达 300—400°)水份被蒸发,放出结合水并开始了铁的还原过程( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  转变为  $\text{FeO}$ )。在高炉下部,温度为 800—1300° 处发生了石灰石的分解。

矿渣的形成始于 1100—1200°, 这是多孔的矿石与石灰石共熔的结果。

初生的重矿渣向下流动,在更高温度的作用下将新的多孔矿石和石灰石熔解掉,此时  $\text{FeO}$  被碱性更强的  $\text{CaO}$  所替代,而增稠了的矿渣得到熔融。在这个过程中,矿渣向下运动时遇到了与高炉气一起上升的燃料灰份。矿渣吸收了灰份中的化合物:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 以及以硫化铁形式出现的硫等。在高炉的最高温度区,温度为 1500~1600° 处结束所有这些过程,矿渣呈现在金属层的上部。

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  及  $\text{MgO}$  完全进入矿渣中,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  及  $\text{S}$  则在金属和矿渣中都有。

### 高炉矿渣的分类

根据高炉中所用燃料的不同,可将矿渣区分为木炭熔炼矿渣

(属于这一类的有烏拉尔冶金工厂的矿渣)及焦炭熔炼矿渣。

根据冶炼生铁的种类可将矿渣区分为：鑄造生铁矿渣，炼鋼生铁矿渣，特种生铁矿渣（錳鉄，硅鉄，鏡鉄）及炼合金鋼生铁矿渣（鎳鉻合金，钒及其它合金）。

根据矿渣的化学組成可分别碱性，酸性及中性矿渣。

矿渣的碱度可用碱性率来表示：

$$M_o = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

如果碱性率大于1，則矿渣为碱性；小于1为酸性；等于1則为中性。

根据矿渣的稳定程度可分成稳定的（或不分解的），易分解的及不稳定的（自动分解的）矿渣。

根据矿渣的粘滯程度可将矿渣分为短熔矿渣及长熔矿渣。短熔矿渣的特征是具有較短的粘度变化的溫度范围；而长熔矿渣則要較长的時間才会凝固。

长熔矿渣在1500°时的粘度大于20泊，而短熔矿渣則小于①6泊。粘度在6到20泊之間的矿渣为中間矿渣。

根据高炉內的溫度制度，还可将矿渣分为热矿渣或《熟矿渣》，即在正常加热过程下制得的矿渣和冷矿渣或《凉矿渣》，即在高炉受热不足情况下制得的矿渣。

根据矿渣出高炉后冷却速度的不同，可区分为慢冷的或自然冷却的以及快冷的或人工冷却的矿渣。

根据 Н. А. 托罗波夫 (Торопов) 及 О. М. 阿斯特列叶娃 (Астреева) 的建議，可将矿渣按其所含的主要矿物而区分为：偏硅酸盐，正硅酸盐，鈣黃长石，鎂方柱石型等矿渣。

高温液态矿渣可用来制备块状的膨胀性高炉矿渣（泡沫矿渣），它在經過破碎篩分以后可作輕混凝土的骨料用；制备密实的浇注制件，象石材，石块，条石，加筋梁和石板；制备矿渣棉及

① 原文为不小于6泊，恐系刊誤。——譯注

以矿渣棉为基础的隔热材料。

尾矿渣部份用来生产矿渣棉及制备地方性胶凝材料。

水泥工业应用的是粒化高炉矿渣：

- 1) 煅烧石灰矿渣水泥熟料时作生料的粘土质组份；
- 2) 作硅酸盐水泥的水硬性混合材；
- 3) 作生产矿渣水泥的水硬组成，水泥中粒化高炉矿渣的含量不小于成品重量的20%，不大于85%；
- 4) 生产地方性胶凝材料：石灰矿渣水泥，无熟料矿渣水泥及石膏矿渣水泥。

## 二、化学组成对高炉矿渣性能的影响

进入矿渣中并赋予矿渣水硬活性的最重要化合物为氧化钙，氧化铝及氧化硅。

根据这些氧化物的含量，可将矿渣分成碱性的和酸性的。碱性矿渣含有：

氧化铝	8—25%
氧化钙	45—56%
氧化硅	27—31%

酸性矿渣含有：

氧化铝	4—17%
氧化钙	12—40%
氧化硅	40—70%

高炉矿渣中氧化钙的含量超过50—51%时，矿渣的水硬活性会降低。这是因为当氧化钙含量高时，即使在快冷时得到的矿渣也是结晶态的，即活性最低的状态。

当矿渣中CaO含量近65%时，从化学组成来看矿渣已转入水泥的类型，它在磨细以后也象水泥一样具有胶凝性能。

将矿渣中的石灰富化是很困难的，因为这时粘度会大大提高，而且加入的石灰吸收很慢。

氧化钙在矿渣中可能结合成硅酸二钙或钙黄长石。后者不具

胶凝性并降低矿渣的水硬活性。

含石灰多的高炉矿渣在慢冷时会自行崩解和粉化，原因是：

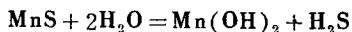
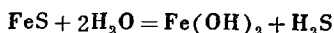
1) 硅酸盐分解：在温度为  $675^{\circ}$  时，不稳定的活性  $\beta$ - $C_2S$  进入多晶转变，生成稳定的、无水硬活性的  $\gamma$  变形。

和这个过程同时发生的是体积增大10%，矿渣崩解及活性消失。矿渣含石灰大于48%时就有自行崩解的倾向。

$MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $P_2O_5$ 、 $Cr_2O_3$  及其它氧化物能稳定矿渣中的  $\beta$  型硅酸二钙。

在矿渣成粒时硅酸二钙的  $\beta$  变形来不及转变为  $\gamma$  型，因为矿渣在急冷时，化学平衡状态得到固定，或者说产生了《淬火》现象；

2) 锰或铁分解：这是硫化锰或硫化铁进行水解的结果，其反应：



当矿渣中氧化亚铁或锰的含量超过3%及硫化物的硫含量大于1%时，就会产生这种分解。

在一般的高炉矿渣中  $FeO$ 、 $MnO_4$  及硫化物硫的含量是不足以引起锰或铁分解的，只有在高炉受热不足而形成的凉高炉矿渣及特种生铁矿渣中才会出现崩解；

3) 石灰及镁分解：这是游离钙及镁水化的结果，在通常的矿渣中没有这种分解。

在用作矿渣水泥生产的粒状高炉矿渣中，所有上述的自行崩解现象均不产生。

苏联冶金工厂冶炼的碱性矿渣中含  $Al_2O_3$  4~10%，酸性矿渣中为13—24%。氧化铝对矿渣在急冷后形成水硬活性最大的玻璃态结构是有利的。

当碱性激发剂及硫酸盐激发剂存在时，矿渣中的氧化铝剧烈地将氢氧化钙及硫酸钙结合，生成水化硫酸铝酸钙及水化铝酸钙，使得含氧化铝较高的矿渣水泥有较快增长的早期强度。当细磨矿



渣水泥或熟料預磨后再和矿渣一起进行补充粉磨时，氧化鋁的作用就降低。

在这种情况下，水泥有較高的强度是因为矿渣中氧化鋁含量少，而强度指标則与用氧化鋁含量高的矿渣制得的水泥沒有多大差别。

矿渣中含有的氧化硅对氧化鋁及氧化鈣來說是有多余的，它阻碍矿渣中化合物的結晶和水化，从而降低矿渣的活性。

有些冶金工厂采用高鎂原料炼鉄，因而矿渣中氧化鎂的含量較高。

氧化鎂与氧化鈣不同，它大大降低矿渣的粘度，降低熔合物温度并在成粒后易于制得玻璃态的高活性矿渣。

II. II. 布德尼科夫認為，在碱性及酸性矿渣中含 7~10% 的氧化鎂能提高矿渣的反应能力。氧化鎂对粒化矿渣水硬活性的良好影响，可解释为成粒时含鎂化合物分解所放出的碱对渣粒中的玻璃相有活化作用。

国立水泥設計院在研究含氧化鎂 18.35% 的酸性高炉矿渣时指出，用这种矿渣制得的水泥具有正常凝結，体积变化均匀及强度增长良好的特点。

国立南方水泥設計院在研究含  $MgO$  14.27% 的矿渣时，也得出同样的結論。和矿渣水泥不同，当硅酸盐水泥中氧化鎂含量过高，方鎂石（游离的，僵烧的氧化鎂）就会造成体积的不均匀变化。方鎂石的水化較主要熟料矿物的水化要慢得多，它发生在已硬化的砂浆或混凝土中并伴随着巨大的体积变化。

在粒化高炉矿渣中氧化鎂存在于玻璃相，是以細磨的，与其它化合物相結合的状态出現。以方鎂石存在的  $MgO$  則从未在矿渣中发现过。

这就說明了在矿渣水泥及用矿渣水泥制得的混凝土中存在着体积的均匀变化。

因此矿渣中  $MgO$  含量高对矿渣水泥的性能有好处，在应用于建筑中不会产生体积变形。

当矿渣用作粘土组份时，其中氧化镁的含量不应超过7.5%。

氧化亚锰能降低高炉矿渣的活性，因为锰对玻璃的性能和结构以及对矿渣中某些化合物的活性都有不良的影响。

矿渣中氧化亚锰含量高会使高炉受热不足，降低出炉矿渣的温度，也降低矿渣的水硬活性。

根据南方水泥设计院的研究资料，高锰矿渣成粒时形成的矿渣玻璃是没有活性的。原因是这样的：在水的作用下，粒化矿渣颗粒在玻璃化时形成了硅酸的表面胶膜，这个膜提高了矿渣玻璃的水稳定性，使得水及氧化钙在颗粒内部的扩散发生困难，并且减慢了矿渣的水硬化过程。锰能促使渣粒形成硅酸膜，并增加胶膜的扩散阻力。

特种锰铁过热碱性矿渣具有更高的温度，出炉的铁中含有大量氧化铝及少量氧化硅。因此与酸性马丁炉锰矿渣不同，这种矿渣有着令人满意的水硬性<sup>①</sup>。

在南方的一个水泥厂中，用锰铁矿渣试生产的水泥具有300~400的标号，其可磨性较高。

经8小时蒸压硬化的硬棘胶砂试体的三天强度等于甚至超过正常硬化矿渣水泥的180（有时90）天的强度，略为超过克拉马托尔斯克好的硅酸盐水泥的七天强度。所得的水泥体积变化均匀。

根据 Д. Я. 什捷尔恩 (Д. Я. Штерн) 在东方一个水泥厂用含氧化亚锰10%的酸性矿渣试生产矿渣水泥的资料：加入25%熟料的水泥标号为300，体积变化均匀。

С. М. 罗雅克 (С. М. Рояк) 及 В. Ф. 克雷洛夫 (В. Ф. Крылов) 研究指出，南方冶金工厂马丁炉生铁矿渣的低水硬活性不仅是氧化亚锰的有害作用的结果，矿渣碱度低使得氧化铝含量更显得不足以及熔炼马丁炉生铁时高炉加热过程相对的不足是主要的原因。

① 研究这种矿渣来生产矿渣水泥的工作是由 И. Л. 兹纳奇科-亚沃尔斯基 (И. Л. Значко-Яворский), А. Я. 切伊特利内伊 (А. Я. Чейтлин), Д. Я. 什捷尔恩, К. Г. 康德拉托娃 (К. Г. Кондратова) 等所进行。

因此氧化亚锰含量较高<sup>①</sup>，不能作为矿渣不适于制备矿渣水泥的依据。

此时还应估计到矿渣的碱度，其中氧化铝的含量，矿渣的出炉温度等。

高炉矿渣中的其它化合物，硫化钙在水化时放出氢氧化钙，能提高矿渣活性；氧化亚铁对矿渣水硬活性没有影响；特种生铁矿渣中含有的二氧化钛，能降低矿渣的水硬活性，因为钛酸钙的水硬性较硅酸钙为低。

表1为苏联一些冶金工厂所冶炼的高炉矿渣的平均化学组成。

表 1

矿 渣	百 分 含 量								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	S	Mo	Ma
南方冶金区									
铸造生铁矿渣	38.4	8.4	0.21	0.43	49.8	1.7	2.4	1.1	0.22
炼钢生铁矿渣	39.19	5.95	0.45	1.58	47.4	2.63	0.19	1.14	0.15
锰铁矿渣	29.84	9.55	0.62	9.63	45.67	4.10	1.61	1.26	0.32
中部冶金区									
铸造生铁矿渣	38.01	9.00	0.22	0.64	47.5	2.0	2.39	1.05	0.23
炼钢生铁矿渣	42.5	4.22	0.39	0.17	48.7	3.17	0.58	1.11	0.10
锰铁矿渣	30.81	9.48	0.40	11.26	41.31	3.84	3.00	1.12	0.30
东方冶金区									
铸造生铁矿渣	39.17	16.82	0.20	0.82	37.44	5.08	0.82	0.76	0.43
炼钢生铁矿渣	39.59	15.33	0.49	1.52	37.87	4.63	0.48	0.77	0.38
硅铁矿渣	43.37	16.80	0.15	0.92	31.16	5.44	1.09	0.61	0.38
锰铁矿渣	33.30	14.00	0.94	11.4	30.50	1.51	1.10	0.68	0.42

甚至在某些矿渣平均化学组成较为均匀的工厂中，个别熔合物中矿渣的个别氧化物，还是波动在很大的范围内。加入高炉中

① 原文为氧化亚锰含量较低，显然是不正确的。——译注

的炉料以及炉料中个别组份在化学组成上不可避免的差异，炉料中各组份在加料时的不均匀分布，炉料不同的运动性能，原料不同的温度条件等等都是高炉矿渣化学组成不均匀的原因。

例如在新图利 (Новотульский) 冶金工厂一昼夜内所生产的各种熔合物中，高炉矿渣一次分析的  $\text{SiO}_2$  及  $\text{CaO}$  含量的数值如下 (表 2)。

表 2

熔 合 物 序 号	在 高 炉 矿 渣 中 的 含 量 %	
	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$
1	38.1	47.5
2	37.4	44.5
3	36.4	50.1
4	34.6	52.3
5	35.0	53.2
6	—	50.6

矿渣化学组成的不均匀性要求工厂化验室对投入生产的矿渣组成进行仔细的和有效的控制。

由表 1 的数据可见，南方和中部冶金工厂的高炉矿渣主要是氧化铝相对含量不高的碱性矿渣。

粒化高炉矿渣是否适用于制造矿渣水泥要根据全苏国家标准 ГОСТ 3476-60 来决定。

矿渣的水硬活性用活性率来表示：

$$Ma = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$$

国家标准对降低矿渣活性的氧化亚锰含量作了限制。

根据 ГОСТ 3476-60，生产水泥用的粒化高炉矿渣应当满足表 3 所列的要求。

上述标准对铁合金高炉矿渣及磁性钛铁熔合物是不适用的。

苏联南方及中部地区的冶金工厂熔炼的是碱性矿渣，而且主要是熔炼炼钢生铁矿渣，高炉是在助熔剂含量少，加热过程强化

表 3

指 标	碱性矿渣			酸性矿渣		
	级 别			I 级	I 级 类 别	
	I	II	III		1	2
碱性率不得小于	1.0	1.0	1.0	0.9	0.70	0.6
活性率不得小于	0.25	0.20	0.12	0.40	0.30	0.50
氧化亚锰%含量不得大于	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	2.0

的条件下操作的。这样做会使得矿渣中氧化钙的含量降低，氧化硅的含量增多。与铸造生铁矿渣相比，氧化铝的含量降低了。

П. П. 布德尼科夫及 И. П. 兹纳奇科-亚沃尔斯基建议用考虑了矿渣碱度（氧化钙及氧化镁）、氧化镁的影响，并考虑了氧化硅及氧化亚锰对矿渣活性降低的公式，来表示粒状高炉矿渣的活性，

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}} > 1$$

其中  $K$  为质量系数。

矿渣的水硬活性与矿渣直接成粒前的温度、成粒方法及成粒过程的参数等有关。

苏联冶金工厂熔炼的高炉矿渣，用作干法生产水泥的原料组分。用作湿法生产时因矿渣容易变稠，故需要采用稳定外加剂。用矿渣代替生料中的粘土在经济上是有效的，因为石灰石的用量减少了，粘土的开采和运输也能省掉。

### 三、高炉矿渣的矿物组成

高炉矿渣中含有约 90% 的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$ 。因此，可以把高炉矿渣大致看作  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  的三元系统。

碱性高炉矿渣的主要晶相组成是硅酸二钙 ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) 及钙黄长石 ( $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ )，而在酸性矿渣中则是  $\alpha$  假稳硅灰石

( $\alpha\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ )及鈣长石( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ )。

此外，在高炉矿渣中尚有下列矿物：透輝石( $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ )，鎂方柱石( $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ )，鈣鎂橄欖石( $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot \text{SiO}_2$ )，鎂蔷薇輝石( $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ )，尖晶石( $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ )，二硅酸三鈣( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ )等。

在特种生鉄的高鋁渣中还可能含有鋁酸盐： $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ①， $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

高温液态矿渣的温度随着出炉而降低，此时就开始结晶过程。固相矿渣的结构与冷却制度及矿渣的化学组成有关。碱性矿渣在慢冷时凝固成为整体或块状物，这是个别矿物晶体的集成物，中间有玻璃物质胶合着它们。

这种矿渣在快冷时生成细粒——渣粒，矿渣的玻璃态被保留了下来，只有少数化合物形成了晶体。

#### 四、高爐矿渣的结构及其成粒机理

慢冷高炉矿渣根据其组成的不同，或转变成坚固的石状体，或变成细粉。这种矿渣没有水硬性能。这些慢冷矿渣主要是由与水不起化学反应的鈣、鎂的硅酸盐及鋁酸盐所组成。如果高炉矿渣在出炉时加以快冷，那末所得矿渣就具有水硬活性。

Г. А. 帕索夫(Г. А. Пассов)认为粒化高炉矿渣处于玻璃状态，因此它们乃是过冷液体，具有较高的热含量或者所谓水硬势。

粒化高炉矿渣的内能较慢冷的要高。

矿渣具有较高热含量的假说能得到某些证实，即在个别情况下，玻璃含量较多及反玻璃化效应较高的或具有较高溶解热的矿渣，具有较高的水硬性。然而一系列的事实和理论设想都说明，热含量不是决定粒状矿渣水硬活性的唯一因素。

如果玻璃状态及热含量真正能决定化学组成相同的粒化矿渣的活性，那末完全是玻璃态的矿渣应具有最高的活性。但 H. A.

① 原文为  $5\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ，恐系刊误。——译注

托罗波夫及 Б. В. 沃尔康斯基 (Б. В. Волконский) 根据实验指出, 在粒化矿渣的热含量和水硬活性之间没有直接的关系, 有时热含量小的矿渣活性反较高。

М. И. 斯特列尔科夫用粒化矿渣的内部结构来解释其活性, 内部结构与矿渣的化学组成及其玻璃态组份的热含量有关。粒化高炉矿渣是具有结晶相及玻璃相二重性能的物质。

因此, 矿渣的活性既决定于析出的晶体种类及晶体量, 又决定于玻璃态的数量及性能。与其他玻璃一样, 矿渣玻璃具有一定的水稳定性, 这个性能与矿渣表面上因矿渣与水作用而出现的胶态硅酸薄膜有关。这个膜的出现是因为粒状矿渣中也存在和普通玻璃一样的高聚合硅酸阴离子所造成。

在矿渣玻璃中存在能与石灰和硫酸钙起反应的铝酸高聚物。上述阴离子的大小由矿渣中钙、镁阳离子的数量及成粒温度所决定。最具活性的矿渣玻璃是其中酸性阴离子为单独的  $\text{SiO}_4$  及  $\text{AlO}_4$  团所组成, 这些  $\text{SiO}_4$  及  $\text{AlO}_4$  团被类似正硅酸钙结构中的阳离子钙所隔离, 矿渣玻璃的这种结构称为正硅酸盐型。镁的存在有利于形成正硅酸盐型结构, 因此在一定限度内镁对粒化矿渣的水硬活性有良好的影响。

与此相反, 锰能破坏正硅酸盐型结构, 提高矿渣玻璃的水稳定性, 降低<sup>①</sup>矿渣的水硬活性。

粒化矿渣活性的二个因素——热含量及化学组成是互相联系的, 在一定程度上能够互相抵消的。因此不能同意穆斯格农格 (Мусгунг) 认为最重要因素是热含量的意见, 也不能同意把化学组成放在第一位的 Б. 勃隆季奥 (Блондио) 的观点。

高炉矿渣成粒的实质和实际意义在于将矿渣在熔融态时  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  所具有的活性固定下来, 防止其生成惰性化合物。

在组成高炉矿渣的化合物中, 大颗粒晶体没有水硬性能。这

① 原书漏写。——译注

一点可由快冷<sup>①</sup>矿渣中不存在大晶体而得出，而且为某些矿渣化合物的一系列研究所证实。

以 $\alpha$ 或 $\beta$ 变型稳定下来的硅酸二钙具有能够硬化的性能，而 $\gamma$ 变型则没有水硬性。因此产生了这样的问题：处于玻璃态中的细粒晶体，例如胶体尺寸的晶体所形成的矿渣化合物是否会呈现水硬性能呢？还是在矿渣玻璃中根本不存在一定的化合物。

在表4中列出了高炉矿渣中碰到的某些化合物在熔融时的分解特性。

表 4

化 合 物	熔融曲线上最高点的 形 式	熔 融 性 能	熔融时的分解情况
$2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	尖锐的(二条切线)	一致熔	没有或很少分解
$\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	隐藏的	不一致熔	完全分解
$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	尖锐的(二条切线)	一致熔	没有或很少分解
$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$	隐藏的	不一致熔	完全分解
$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	斜的(一条切线)	一致熔	分解很多
$2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$	隐藏的	不一致熔	完全分解
$\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$	隐藏的	不一致熔	完全分解
$2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	斜的(一条切线)	一致熔	分解很多
$2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$	斜的(一条切线)	一致熔	分解很多

按照兰金(Ранкин)及赖特(Райт)的资料，钙黄长石( $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ )在过热的矿渣中可能完全进行热分解。这就是说，在足够高的成粒温度下，钙黄长石可能完全不存在于矿渣玻璃中。如果在粒化矿渣中有这个化合物的晶体，那末在矿渣玻璃中钙黄长石还是有可能不存在。

为了解决钙黄长石存在的可能性问题，国立南方水泥设计院，详细地研究了在常温下及在沸腾态下石灰-石膏溶液与矿渣颗粒之间的反应。曾经确定：在常温下生成硫铝酸三钙，而在沸腾态下则生成硫铝酸一钙。例如，对含95%玻璃质的下列组成(以百

<sup>①</sup> 原文为“慢冷”，但与文章中的前后意思不符，应该是“快冷”之误。——译注



分数計)的酸性高鋁矿渣进行了研究:

$\text{SiO}_2$  38.4;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.5;  $\text{CaO}$  38.9;  $\text{MgO}$  3.6;

$\text{FeO}$  0.54;  $\text{MnO}$  2.72;  $\text{S}$  0.63。

X射綫法及显微镜法均未发现其中有鈣黃长石。将这种矿渣按B. B. 托瓦罗夫(Товаров)法粉磨到比表面为6000厘米<sup>2</sup>/克并进行煮沸148小时。經118小时后矿渣停止吸收石膏(图1)。通过計算得出,此时石膏对氧化铝的分子比为1.07。

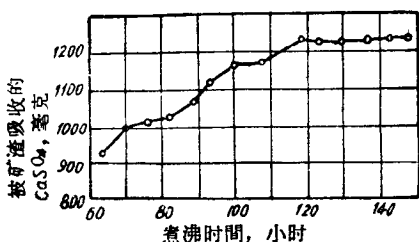


图1 粒化矿渣从石灰-石膏溶液中吸收 $\text{CaSO}_4$ 的动力学

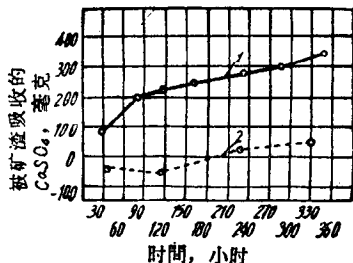


图2 未进行热处理的高炉矿渣的石膏吸收能力比較:  
1—未經热处理的; 2—在900°下煅烧1小时的

如果将粒化矿渣在900°下加热,則随着加热時間的增长,在其中开始形成在X射綫下、繼而在显微镜下能够发现的鈣黃长石小晶体;石膏吸收量减少(图2),而在达到足够的加热時間后,吸收就完全停止。

这些試驗說明在正常成粒的矿渣中,鈣黃长石不應該大量存在,指出了上述关于鈣黃长石存在于粒化高炉矿渣中的观点是錯誤的。

按照O. M. 阿斯特列叶娃, B. V. 拉宾(B. V. Лапин)及其它学者的研究,在粒化矿渣中能观察到某些数量的 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ 以及 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 晶体。然而 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ 在熔融时的分解和 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的很大离解能力使我們可以假設,在矿渣玻璃中不存在这些化合物。如果它們存在,那末矿渣就不会具有水硬性能。