

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

用阜新煤矸石制备阿利特-硫铝酸盐水泥的试验研究

王国平, 孙传敏, 张平萍, 王自有, 苏小丽, 钟素华

成都理工大学地球科学学院, 610059

内容提要: 我国大量堆存和正在排放的煤矸石, 既是一种矿业排量最大的废弃物, 又可以被认为是一种可利用的巨型资源。阜新煤矸石主要由石英、长石、伊利石等矿物组成, 化学成分含60%~67% SiO_2 , 13%~18% Al_2O_3 , 具有高硅低铝特征, 属于目前难以利用煤矸石。本文实验采用了 $\text{C}_3\text{S}-\text{C}_4\text{A}_3\text{S}-\text{C}_2\text{S}-\text{C}_4\text{AF}$ 体系, 利用煤矸石的 Al_2O_3 煅烧成无水硫铝酸钙而不是铝酸三钙。添加 BaSO_4 、 CaF_2 和铬渣, 使硅酸三钙和无水硫铝酸钙能在1300~1360℃共生, 制备出了阿利特-硫铝酸盐水泥。水泥熟料在1360℃, 保温1小时烧成。研制的煤矸石水泥3天和28天抗压强度分别达到了34.7~36.8 MPa 和52.2~54.4 MPa, 达到了525[#] 早强型高性能水泥指标。

关键词: 低铝煤矸石; 阜新; $\text{C}_3\text{S}-\text{C}_4\text{A}_3\text{S}-\text{C}_2\text{S}-\text{C}_4\text{AF}$ 体系; 阿利特-硫铝酸盐水泥

1 低铝煤矸石资源化的意义

煤矸石是我国矿山排放量最大的废渣之一。至1996年底, 全国共有煤矸石山1500多座, 累计堆存量已达30多亿吨, 占地1.2万公顷。并随煤炭工业的发展以每年1.3亿吨的速度增加。这些煤矸石不仅占用了大量土地和农田, 而且也造成了不同程度的环境污染。加强对煤矸石资源化综合利用研究, 使废弃物转化为可利用资源, 不仅可以减少环境污染, 还可以节约有限的矿产资源。

煤矸石实际上是煤层的围岩和夹石的混合物, 一般含有不同数量的碳质。依煤层地质年代、成煤地质环境、地区及开采条件不同, 煤矸石的岩石种类也不相同。以矿物组成为基础, 结合岩石的结构、构造等特点, 煤矸石可以分为高岭石岩类、一般粘土岩类、砂岩-粉砂岩类, 每一类又可分为若干亚类(王国平, 2004)。

高岭石岩类(高铝质)煤矸石: 高岭石岩在岩石学上属于粘土岩, 主要由高岭石族的矿物组成, 有时含一水硬铝石等高铝矿物, 化学组成的特点是 Al_2O_3 含量高(35%~45%), 也可称为高铝煤矸石, 是目前综合利用最多的煤矸石。其中低含铁的高岭石岩煤矸石可通过除砂、除铁、煅烧除碳、超微细粉碎等工序制备煅烧高岭土粉, 用于造纸、涂料、填料

等领域; 还可以用于陶瓷、铝盐化工原料(硫酸铝、氯化铝、氢氧化铝、4A沸石、硫铝酸盐水泥等)(王国平等, 2004a, 2004b)。事实上, 高岭石岩类煤矸石已经成为一种有价值的矿产资源。

一般粘土岩类煤矸石包括: 碳质页岩、页岩、碳质泥岩、泥岩等。矿物组成以粘土类矿物为主, 常见的粘土类矿物有高岭石族、伊利石族、蒙脱石族, 伴有细粒石英、绢云母、铁氧化物和硅酸盐、钛氧化物等。在碳质页岩和碳质泥岩中, 一般均含较多的炭粒。该类煤矸石的化学成分变化较大, 其中 Al_2O_3 和 SiO_2 由组成岩石的粘土矿物种类含量有关, 一般 Al_2O_3 25%~35%, SiO_2 55%~60%。目前主要利用此类煤矸石替代粘土生产砖瓦、硅酸盐水泥、建筑陶瓷等低附加值产品。

砂岩类(低铝质)煤矸石: 按颗粒大小可分为砾岩、砂岩和粉砂岩; 按矿物成分又可为岩屑砂岩、长石石英砂岩、石英砂岩、粉砂岩等多种, 最常见的为砂岩和粉砂岩。岩石主要由碎屑矿物和胶结物两部分组成, 碎屑矿物以石英为主, 其次为长石、云母矿物等; 胶结物一般为粘土矿物、碳质和化学沉积物(如碳酸盐)。该类煤矸石的化学成分特征是低铝高硅, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 20\%$, $\text{SiO}_2 > 60\%$, 其他杂质如 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 含量变化大。不论提取其中的矿物, 还是选取其中的某种化学组份, 在技术经济上均

注: 本文为财政部矿山保护项目(编号 财建[2003]328号)资助的成果。

收稿日期: 2005-3-10; 改回日期: 2005-6-15; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王国平, 男, 1963年生。在读博士, 主要从事成因与应用矿物学研究。通讯地址, 610059, 四川省成都市, 成都理工大学地球科学学院。

不可行,故目前此类煤矸石仅用于填充土木工程基础(如道路)。低铝煤矸石排放量巨大,综合利用此类煤矸石生产较高价值材料的研究将具有重大资源、环境和经济效应。

2 阜新煤矸石特征

阜新煤矸石主要是砂岩类煤矸石,由石英、长石和伊利石等矿物组成,缺乏高铝矿物(如铝土矿和高岭石)。从表1的数据可以看出,阜新煤矸石化学特征有三点:①高硅(SiO_2 60%~67%);②低铝(Al_2O_3 13%~18%);③碱质较高($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=4.3\%\sim 5.8\%$)。按现有的水泥原料评价标准,阜新煤矸石不适合用于制作硅酸盐水泥($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量太高)和硫铝酸盐水泥(Al_2O_3 含量太低),虽然可以用于制备高硅微晶玻璃,但成本较高。阜新煤矸石属于难利用类型。

为了富集煤矸石中的铝质矿物(高岭石),采用了筛分法和旋流分选法。试验表明,筛分法对 Al_2O_3 的富集意义不大(仅提高2%~3%),旋流分选法能提高 Al_2O_3 含量5%~8%,不能分选出高含量高岭石。因此,作为水泥原料的阜新煤矸石的预处理工艺可以简化为直接干法粉碎至-200目。

3 阜新低铝煤矸石资源化综合利用的新思路

应用矿物学就是将矿物学的研究从天然矿物体系扩展到了人工矿物体系和天然-人工交互矿物体系(孙传敏,1998a,1998b)。从应用矿物岩石学的观点看,煤矸石是天然地质体与人工开发过程综合作

用的产物,具有两重性。一方面,煤矸石是煤炭生产过程中排放出的固体废弃物;另一方面,煤矸石是由矿物组成的、潜在的非金属矿产资源,具有可综合利用属性。为了使阜新煤矸石真正具有矿产资源属性,要求对其的综合利用应具有技术和经济上的可行性,即应具有经济效益和社会效益。使煤矸石成为可利用资源的技术应具有以下条件:

(1) 替代现在使用的某种矿产资源,应比被替代的资源更具有优势;

(2) 生产的某种产品比目前的产品具有更好的性能/价格比;

(3) 可利用现有的生产设备和流程或对其改动不大,尽可能减少固定资产投入;

(4) 能够大规模生产,有产业化前景;

(5) 不会产生由此引发的二次污染。

综合上述考虑,使用阜新煤矸石替代粘土生产水泥可能目前最佳的资源化综合利用方式。

经历100多年的发展,形成了庞大的硅酸盐水泥系列。硅酸盐水泥系列的主要特征是熟料矿物组成以硅酸三钙(C_3S)为主,是当今世界上最主要的建筑用胶凝材料。然而目前大量使用的硅酸盐水泥存在如下一些缺点和不足,特别是烧成温度高(1450℃),电耗、煤耗高。以煤矸石为原料开发硅酸盐水泥的效果将不会太好。

1967年由 Rogorina 合成人工矿物无水硫铝酸钙,其分子式为 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$,简写为 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 。1958年 Kiein 在膨胀水泥中测出该矿物,其晶体结构与方钠石 $\text{Na}_8[\text{AlSi}_3\text{O}_4]_6\text{Cl}_2$ 、蓝方石 $(\text{Na}, \text{Ca})_{4-8}[\text{AlSi}_3\text{O}_4](\text{SO}_4)_{1-2}$ 相似,结构中存在很多空

表1 阜新煤矸石化学成分分析结果表(%)

Table 1 Chemical compositions(%) of coal gangues from Fuxin district

矿区名称	样品号	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	SO_3	烧失量	合计
艾友矿区	1	61.13	15.10	1.77	1.98	3.42	1.35	3.03	2.34	0.69	0.06	0.17	—	9.05	100.14
	2	61.61	13.95	1.48	1.23	2.07	2.62	2.75	3.05	0.38	0.04	0.11	0.64	10.54	100.47
	3	60.40	13.34	1.52	1.10	1.26	2.51	2.58	3.29	0.37	0.03	0.10	0.32	13.01	99.83
	4	67.46	17.29	0.52	1.78	3.50	0.41	3.88	3.06	0.56	0.05	0.15	—	1.13	99.79
	5	60.09	18.41	0.46	1.18	0.76	4.54	3.44	0.21	0.61	0.07	0.17	—	9.65	99.59
	6	62.74	18.74	0.39	0.67	0.57	2.71	4.84	0.94	0.63	0.04	0.20	—	6.89	99.36
海洲矿区	7	60.62	13.86	3.99	1.76	1.52	3.16	2.71	2.16	0.46	0.05	0.15	0.20	9.78	99.88
	8	63.90	14.78	0.77	1.51	1.42	2.95	2.65	3.50	0.50	0.04	0.15	0.02	7.73	99.92
	9	65.00	16.26	1.26	1.86	5.45	0.50	3.04	2.51	0.58	0.06	0.15	0.79	2.77	100.23
	10	62.54	15.75	1.82	3.17	7.81	0.32	2.99	2.16	0.58	0.09	0.15	0.69	2.15	100.22
新邱矿区	11	60.42	14.90	1.16	1.56	3.11	2.23	2.46	3.26	0.43	0.07	0.16	0.36	9.69	99.81
	12	61.50	15.53	1.96	1.56	3.50	1.58	2.94	3.02	0.53	0.07	0.13	0.45	7.60	100.37
清河门矿区	13	61.28	17.69	2.94	2.11	5.23	1.01	3.35	2.26	0.53	0.08	0.12	0.65	2.93	100.18
	14	65.30	14.84	1.75	0.91	1.28	2.87	2.51	3.59	0.32	0.04	0.11	0.18	6.64	100.34

腔,水分子易于通过,故十分容易水化为钙矾石并产生体积膨胀。美国研究膨胀水泥的学者格里宁等,20世纪60年代后期首先研究成功了 $C_2S-C_4A_3\bar{S}$ 型超早强水泥。我国从1972年开始先后研制成功了系列硫铝酸钙型水泥,称为中国第三系列水泥,其中有超早强水泥、快硬高强水泥、无收缩水泥、膨胀水泥、自应力水泥、喷射水泥、白水泥、彩色水泥等(王燕谋等,1993)。

传统的硫铝酸盐水泥的主要原料为高铝质矿石,即:铝土矿,要求 Al_2O_3 含量达50%以上,以保证能生成足够多的无水硫铝酸钙($C_4A_3\bar{S}$)。用高硅低铝的原料来制备 $C_4A_3\bar{S}-C_2S-C_4AF$ 型的硫铝酸盐水泥时,熟料中早强矿物 $C_4A_3\bar{S}$ 的含量过低,虽然后期强度矿物 C_2S 含量高,这种类型的水泥难以达到早强、高强的效果。如果将后期强度矿物 C_2S 中的相当一部分转化为具有早强、高强作用的矿物 C_3S ,形成 $C_3S-C_4A_3\bar{S}-C_2S-C_4AF$ 型硫铝酸盐水泥,就可以很好的解决早强偏低的问题。这种水泥也称之为阿利特-硫铝酸盐水泥(Alite-sulphoaluminate cement)(李艳君等,1999,2000;宋旭辉等,2003;张文生等,1998),它发挥了 C_3S 和 $C_4A_3\bar{S}$ 两种矿物的早强、高强特性。阿利特-硫铝酸盐水泥除具有传统硅酸盐水泥的优良性能外,还具有硫铝酸盐型水泥水硬化快,早期强度高,硬化时体积收缩小或不收缩等优良性能,适用于抢修,防水,地下工程,矿井,桥梁,高层建筑,饰面材料等。国内有过利用高铝质煤矸石(35%~45%)制备阿利特-硫铝酸盐水泥熟料的研

究(蔡凤礼,2001)。

如果用阜新低铝煤矸石来生产硫铝酸盐水泥,则早强矿物 $C_4A_3\bar{S}$ 含量必然偏低,难以达到早强、高强的效果。鉴于此,我们考虑利用阜新煤矸石来研制阿利特-硫铝酸盐水泥。在 $C_3S-C_4A_3\bar{S}-C_2S-C_4AF$ 体系中, $C_4A_3\bar{S}$ 和 C_3S 这两种早强和高强矿物一般不能共同存在,因为硅酸三钙通常在1400℃以上由硅酸二钙与高钙液相反应生成,而无水硫铝酸钙在高于1400℃又会分解(王燕谋等,1982),为了 $C_4A_3\bar{S}$ 和 C_3S 这两种早强和高强矿物共同存在于所设计的水泥熟料体系中,实验中适当地提高 $CaSO_4$ 加入量,使 Ps 值(Al_2O_3/SO_3)<3.82(标准值),一般在3.4~3.5左右,使煤矸石中的 Al_2O_3 能尽可能生成 $C_4A_3\bar{S}$,在熟料中出现“饱和”的煅烧石膏(图2);添加 CaF_2 作为熔剂以降低液相出现的温度,使 C_3S 与 $C_4A_3\bar{S}$ 共存;添加 $BaSO_4$ 和铬渣来引入 Ba^{2+} 、 Mg^{+} 和 Cr^{3+} ,利用 Ba^{2+} 、 Mg^{+} 对 Ca^{2+} , Cr^{3+} 对 Fe^{3+} 的类质同相,提高 C_3S 、 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 、 C_4AF 等熟料矿物的水化活性。

4 试验研究

4.1 实验所需的实验仪器和设备

小球磨、方孔筛、天平、制样压力机、恒温干燥箱、马弗炉、物料桶、X-射线粉晶衍射仪、扫描电子显微镜、标准稠度与凝结时间测定仪、水泥净浆搅拌机、水泥胶砂搅拌机、水泥胶砂振动台、抗折仪、抗压仪等。

表2 试验水泥的物理性能(I)

Table 2 Physical property of the experiment cement(I)

组别	率值		煅烧温度(℃)	初凝(min)	终凝(min)	抗折(MPa)			抗压(MPa)		
	KH	Cm				1d	3d	28d	1d	3d	28d
2-0	0.700	1.06	1300								
2-1	0.735	1.16	1300	130	175	0.4	1.0	1.2	0.8	2.5	3.8
2-2	0.738	1.15	1300	38	53	0.9	1.5	2.0	2.6	5.0	7.1
2-3	0.779	1.20	1300	41	71		1.8	1.6		5.5	7.1
2-4	0.854	1.34	1250	103	159	0.5	1.2	1.2	1.7	3.5	5.2
2-5	0.906	1.41	1300	56	76	1.0	1.6	3.0	3.2	5.7	11.6
2-6	0.912	1.41	1300	94	145	1.6	1.5	2.0	5.0	6.1	11.9
2-7	0.947	1.48	1250	84	135	1.1	2.2	4.3	4.6	7.5	14.2
2-8	0.965	1.50	1300	55	70	0.8	2.8	4.4	2.8	10.8	19.4
2-9	0.966	1.50	1300	94	155	0.4	1.2	2.2	1.8	6.7	10.1
2-10	1.030	1.61	1250	52	81	0.4	3.0	3.5	1.7	12.4	14.3
2-11	1.047	1.63	1300	46	79	0.6	2.9	3.1	1.7	13.1	17.2
2-4*	0.855	1.33	1300	24	29	0.5	0.6	2.8	1.1	0.8	9.7
2-5*	0.915	1.42	1300	几分钟后就初凝		0.6	1.9	4.7	1.3	7.8	21.9
2-6*	0.937	1.45	1300	27	快速	0.6	3.0	4.8	1.6	12.0	23.3
2-7*	0.949	1.47	1300	20	27	0.7	2.9	4.6	1.6	11.8	23.2
2-8*	0.973	1.51	1300	20	40	1.5	3.5	5.0	4.0	13.8	24.8

表 3 试验水泥的物理性能(Ⅱ)

Table 3 Physical property of the experiment cement(Ⅱ)

组别	率值		煅烧温度(℃)	初凝(min)	终凝(min)	抗折(MPa)			抗压(MPa)		
	KH	Cm				1d	3d	28d	1d	3d	28d
2-4#	0.819	1.24	1300	37	67	0.8	2.0	4.6	2.2	10.0	23.5
2-5#	0.877	1.67	1320	32	52	1.4	3.6	6.3	3.8	16.9	33.9
2-7#	0.910	1.37	1320	75	135	3.4	4.6	6.2	13.2	22.3	34.6
2-8#	0.933	1.40	1320	60	100	2.7	4.6	7.1	9.8	25.4	39.1
2-9#	0.951	1.48	1320	208	308	3.4	5.2	7.2	12.3	25.9	40.3
3-0	0.682	1.05	1320	快凝		1.2	1.1		3.9	4.9	
3-1	0.802	1.21	1320	45	75	1.5	3.1	4.8	4.2	14.3	21.1
3-2	0.848	1.28	1340	40	68		3.6	6.2	2.7	19.5	27.2
3-3	0.900	1.35	1340	57	110	4.3	1.9	6.8	20.0	9.5	39.3
3-4	0.921	1.38	1340	150	300	2.7	4.5	5.1	10.4	26.5	31.8
3-5	0.941	1.41	1350	200	330	2.6	4.7	6.8	9.6	23.1	39.3
3-6	0.901	1.35	1350	295	355	1.8	2.9	5.2	7.2	18.9	31.1
3-7	0.908	1.36	1350	270	335	2.0	3.3	7.0	6.8	21.8	45.2
3-8	0.921	1.38	1350	265	330	2.8	5.3	7.1	10.2	27.4	40.9
3-9	0.922	1.38	1350	279	354	4.6	5.1	7.4	21.8	27.7	45.5
3-10	0.942	1.41	1350	232	312	3.4	5.3	7.7	13.5	31.4	49.7
3-11	0.940	1.41	1350	193	273	3.1	4.5	6.9	11.8	29.4	40.1
3-7#	0.908	1.41	1360	60	120	1.9	4.3	7.5	8.5	24.0	46.1
3-8#	0.921	1.41	1360	160	243	2.0	4.7	7.5	8.3	25.8	44.6
3-9#	0.922	1.43	1360	269	342	1.9	4.9	7.9	7.7	26.6	50.0
3-10#	0.940	1.46	1360	171	219	2.7	6.1	7.5	12.9	34.9	54.5
3-11#	0.947	1.49	1360	60	120	3.0	5.8	7.7	14.3	36.7	52.1

注:①Cm为碱度系数,表示生、熟料中配入的CaO总量与生成有用熟料矿物($C_4A_3\bar{S}+C_2\bar{S}$)所需要的CaO总量之比;②KH为石灰饱和系数,是熟料中全部二氧化硅生成硅酸钙($C_2\bar{S}+C_3\bar{S}$)所需的氧化钙含量与全部二氧化硅理论上全部生成硅酸三钙($C_3\bar{S}$)所需氧化钙含量的比值,即表示熟料中二氧化硅被氧化钙饱和成硅酸三钙的程度。物理性质由四川省水泥质量监督检测所测定。

4.2 试样制备

将各原料进行粉磨,细度要求控制在 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余为5%以下,加水拌和均匀,作成截面为 $\Phi 4.0\text{cm} \times 0.8\text{cm}$ 试饼,在 100°C 温度下烘干后,放入马弗炉中煅烧,当达到设定温度后再保温 $90 \sim 120\text{min}$,最后将煅烧好的熟料块从炉中取出,用风扇将熟料块快速冷却。

4.3 水泥的制备

将熟料、石灰石、石膏按一定的比例进行掺和配比。将配比好的样加入小型球磨机中粉磨 15min ,细度要求为,过 0.08mm 筛,筛余量不超过10%。

4.4 水泥物理性能的测定

水泥细度,水泥标准稠度用水量、凝结时间按国标GB1345,水泥胶砂强度按国标GB-177规定的方法进行测试。测得水泥的物理性能见表2、表3。

性能测试表明,利用阜新煤矸石制备的阿利特-

硫铝酸盐水泥有良好的早强性和高强性,如3-10和

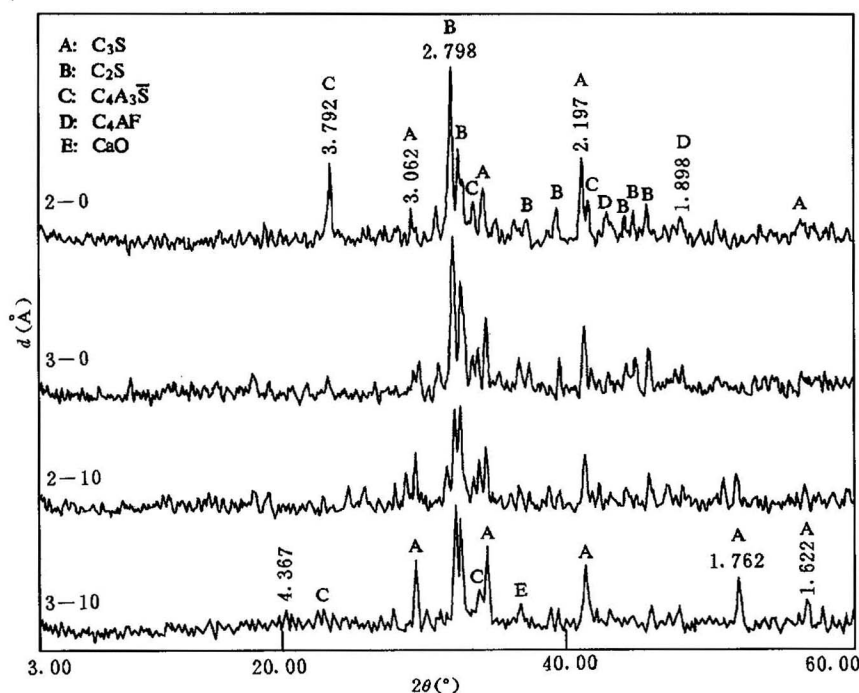


图 1 煤矸石硫铝酸盐型水泥熟料 X-射线衍射特征

Fig. 1 X-ray powder diffraction of alite-sulphoaluminate clinkers

3-11样品水泥砂浆(加5%石灰石作混合材,1:3标准砂)试验表明,3天强度超过了325#,28天强度超过425#,达到了525#。水泥的放射性检测合格,完全满足建材产品的要求。

5 煤矸石水泥矿物学特征

从4个熟料样的 XRD 分析图谱中(图1)可以看出,所有样品均检测出 C_3S 、 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 、 C_4AF 四个矿物,由于试样中所含 Ba^{2+} 较少,含 Ba^{2+} 的矿物相难以鉴定。图谱中各物相衍射峰的变化趋势与上述四个样品的熟料矿物设计一致,证明了试验过程的可靠性。从3-10#熟料 SEM 照片可以看出,熟料中无水硫铝酸钙矿物晶体呈等轴粒状,晶体生长良好(图2)。硅酸三钙呈良好的板状晶体,与无水硫铝酸钙粒状矿物共生(图3)。熟料水化物主要为树枝状 C-S-H 凝胶和针状钙矾石,形成了水泥的网状结构,其他对水泥强度贡献不大的矿物,如片状 $Ca(OH)_2$ 和吸附在凝胶孔内的胶凝水、未水化水泥颗粒充填在微孔中(图4)。

6 结论

阜新煤矸石具有高硅低铝特征,属于目前难以利用煤矸石。添加过量石膏使煤矸石的 Al_2O_3 生成尽可能多的无水硫铝酸钙。添加 $BaSO_4$ 、 CaF_2 和铬渣,使硅酸三钙和无水硫铝酸钙能在 $1300\sim 1360^\circ C$ 共生,利用阜新煤矸石制备了阿利特-硫铝酸盐水



图3 熟料中硅酸三钙呈良好的板状晶体(SEM)

Fig. 3 Tabular C_3S in clinker (SEM)

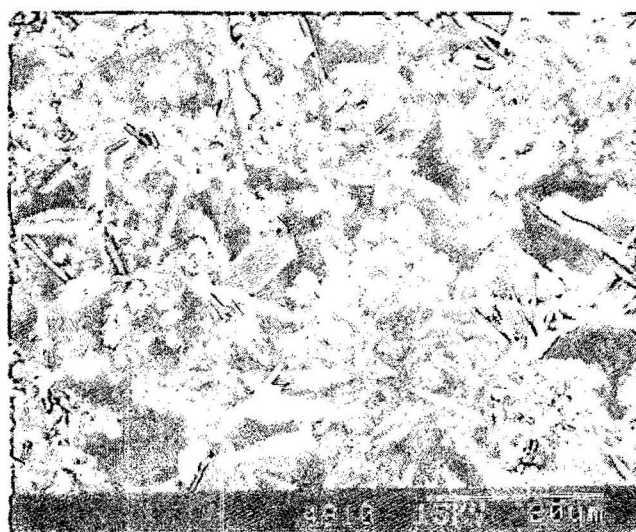


图4 树枝状 C-S-H 和针状钙矾石构成水泥的网状结构(SEM)

Fig. 4 Network structure composed of C-S-H and acicular ettringite in hydration sample (SEM)

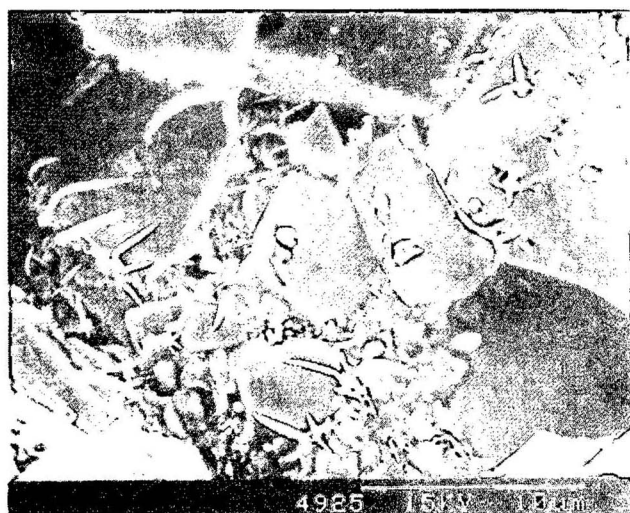


图2 熟料中的粒状无水硫铝酸钙矿物,针状矿物为煅烧石膏(SEM)

Fig. 2 Granular calcium sulphoaluminate in clinker (SEM)

泥。水泥熟料在 $1360^\circ C$, 保温1小时烧成。试验制备的煤矸石水泥3天和28天抗压强度分别达到了34.7~36.8 MPa 和52.2~54.4 MPa, 达到了525# 早强型高性能水泥指标。利用阜新煤矸石生产阿利特-硫铝酸盐水泥应有良好的技术经济可行性和经济与环境效益。

(1)烧成温度($1360^\circ C$),比传统硅酸盐水泥的烧成温度($1450^\circ C$)低了 $90^\circ C$,可节约大量能源。煤矸

石含有少量碳质,可以进一步节省能耗。

(2)本文提出的技术可以应用于现行的水泥生产设备,无需对设备进行改造,烧成温度的降低,可以提高产能15%~20%,降低水泥生产成本10%左右。

(4)“活化剂”Ba盐、Cr渣、CaF₂用量少,可用工业废渣,不会因此增加成本。

(5)我国煤矸石的堆存和排放量巨大,许多地方的煤矸石中高岭石和相应的Al₂O₃含量比阜新煤矸石高,更利于生产本文提出的煤矸石高性能水泥,有极为巨大的潜在价值。

参 考 文 献

- 蔡凤礼. 2001. 利用高铝煤矸石和盐石膏低温烧制阿利特-硫铝酸盐水泥熟料的研究. 水泥, (6):4~8.
- 李艳君, 刘晓存, 陈亚明. 1999. MgO对阿利特-硫铝酸盐水泥熟料矿物形成及性能影响的研究. 水泥, (1):1~3.
- 李艳君, 刘晓存, 陈亚明. 2000. Fe₂O₃对阿利特-硫铝酸盐水泥性能影响的初步研究. 水泥工程, (3):9~11.
- 孙传敏. 1998a. 21世纪矿物学展望:广义矿物学. 见:欧阳自远, 主编. 世纪之交矿物学岩石学地球化学的回顾与展望. 北京:原子能出版社, 180~182.
- 孙传敏. 1998b. 广义矿物学与矿产资源开发. 矿物岩石, (增刊): 110~112.
- 宋旭辉, 杨树新, 田斌守. 2003. 阿利特-硫铝酸盐水泥的试生产. 水

泥, (2):23~24.

- 王国平. 2004. 阜新矿区混堆煤矸石利用工业分类初探. 中国煤田地质, (2):13~15.
- 王国平, 孙传敏. 2004a. 浅论煤矸石资源化及其分类. 煤炭经济研究, (5):18~20.
- 王国平, 孙传敏. 2004b. 煤矸石资源化的主要途径. 中国矿业, (3): 40~44.
- 王燕谋, 苏慕珍, 邓君安, 等. 1982. CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-SO₃五元系统中水泥矿物组成的研究. 硅酸盐学报, (4): 369~376.
- 王燕谋, 苏慕珍. 1993. 中国的第三系列水泥. 中国建材科技, (6): 1~5.
- 张文生, 余其俊, 冯修吉. 1998. 含钡硫铝酸盐水泥熟料煅烧过程的研究. 建筑材料学报, (1):182~185.

References

- Cai Fengli. 2002. Testing for Alite-sulphoaluminate self-stressing cement. Cement, (2):11~3.
- Lui Xiaocun, Li Yanjun. 1998. Performance on compound of Alite-sulphoaluminate cement and silicate cement. Cement, (2):10~12.
- Li Yanjun, Lui Xiaocun, et al. 2000. Effect of Fe₂O₃ on forming chamotte mineral of Alite-sulphoaluminate cement. Cement, (3): 5~7.
- Wang Fusheng, Yang Haiyan, Tang Shifa. 1997. Experimentation on the compound sulphoaluminate cement. Shandong Building Materials, (6):4~6.
- Zhang Haiwen, Chen Zhifeng, et al. 2002. Exploring study on fire-making β-C₂S sulphoaluminate cement by using industrial waste residue. Cement Guide for New Epoch, (2):5~28.

Experiment Study on Alite-sulphoaluminate Cement Using Coal Gangues from Fuxing District, Liaoning Province, China

WANG Guoping, SUN Chuanmin, ZHANG Pingping, WANG Ziyou, SU Xiaoli, ZHONG Suhua
College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, 610059

Abstract

Voluminous wastes-coal gangues-have been discharged from innumerable coal mines in China, which produce a great deal of environment problem. The coal gangues from the coal mines of Fuxing district, Liaoning Province, are mainly composed of quartz, illite, and feldspar, with a chemical composition of 60%~70% SiO₂, 13%~18% Al₂O₃, belonging to the high-silica/low alumina type coal gangues. This type of coal gangue has been considered difficult to use as a raw material for high-quality cement. A system C₃S-C₄A₃ $\bar{S}$ -C₂S-C₄AF has been designed in which the alumina of gangue has been taken to form sulphoaluminate (C₄A₃ $\bar{S}$) other than aluminate (C₃A) and thus form alite-sulphoaluminate cement. The C₃S and C₄A₃ $\bar{S}$ can be in paragenesis at 1300~1360 °C in using BaSO₄, CaF₂, Cr₂O₃ in industrial waste as activating agent. The clinkers have been prepared at 1360 °C for 1 hour. The compressive strength of the prepared alite-sulphoaluminate cement has been measured up to 34.7~36.8 MPa and 52.2~54.4 MPa for 3 and 28 days, respectively.

Key words: coal gangue; Fuxing district; system C₃S-C₄A₃ $\bar{S}$ -C₂S-C₄AF; alite-sulphoaluminate cement