

建筑工程部水泥研究院

研究报告集

(二)

建筑工程出版社

建筑工程部水泥研究院
研究报告集

(二)



建筑工程出版社出版

• 1958 •

內 容 提 要

本書是建筑工程部水泥研究院研究报告集的第二集，內容为四种无熟料水泥的研究报告总结。这四种水泥是矿渣硫酸盐水泥、石灰矿渣水泥、石灰燒粘土水泥以及赤泥硫酸盐水泥。書后附有无熟料水泥物理性能簡易測定法、石灰燒粘土水泥、石灰矿渣水泥的技术条件、有关苏联标准和赤泥硫酸盐水泥的使用說明，以及試驗結果等。对于制造和使用这四种水泥的工作人員有很大参考价值。

讀者对象为水泥工业的生产人員及研究人員，專業学校的教师和学生亦可参考。

建 筑 工 程 部 水 泥 研 究 院

研 究 报 告 集 (二)

水泥研究院 編

編 輯：姚留鐵

設 計：閻正堅

1958年9月第1版

1958年9月第1次印刷

5,100册

787×1092 • $\frac{1}{25}$ • 140千字 • 印張 $6\frac{18}{25}$ • 定价(9) 0.65元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发行 • 書号：1209

建筑工程出版社出版(北京市阜成門外大街)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

目 录

利用鞍鋼高爐矿渣制造矿渣硫酸盐水泥的研究報告	(1)
石灰燒粘土水泥研究总结	(53)
石灰矿渣水泥的研究報告	(81)
赤泥硫酸盐水泥	(92)
赤泥硫酸盐水泥混凝土性能試驗報告	(110)

附 录:

无熟料水泥的物理性能簡易測定法的初步介紹	(122)
石灰燒粘土水泥、石灰矿渣水泥的技术条件(暫行)	(141)
固定全苏标准	(145)
石灰矿渣水泥 石灰火山灰水泥	
石灰燒粘土水泥 石灰爐渣水泥	
赤泥硫酸盐水泥使用說明草案	(149)
赤泥硫酸盐水泥試驗結果報告	(158)

利用鞍鋼高爐矿渣制造矿渣硫酸盐

水泥的研究报告

一、前 言

矿渣硫酸盐水泥是我国目前一种新品种水泥。这种水泥的生产，無論在工艺制造上或机械設備上都比較簡單。水泥本身又具有許多优良的性能。因此在經濟价值上及增产水泥方面都具有很大的意义。

早在 1909 年德国学者 H. 庫尔便开始研究了矿渣硫酸盐水泥，到 1928 年先后在苏联、比利时、德、法、等国，广泛的展开了对这种水泥的質量进行改进及轉入工业生产的研究工作。当时苏联的 П. П. 布德尼可夫院士在这項研究工作中，获得了很大的成就。1929 年苏联克拉馬托尔“白粒岩”水泥工厂曾用碱性矿渣生产过这种水泥，并在哈尔科夫化工学院內作过施工試驗，1930 年用这个工厂所生产的矿渣硫酸盐水泥，修筑混凝土和砂漿工程，直到 1937 年經過工程上的观察之后，証明这种水泥完全可以用在鋼筋混凝土和各种砂漿的构筑物上。1935 年苏联国立水泥設計院对这种水泥作了專題研究后，1938 年制定出暫行技术条件，1944 年列入了国家标准 ГОСТ 2543—44。民主德国于 1952 年制定出的这种水泥的国家标准 DIN 4210 中規定，制造矿渣硫酸盐水泥的高爐矿渣中 Al_2O_3 含量不得小于 13%，并要求：

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \geq 1.6 [7]。 \text{比利时以及其他国家，也先后生产了这$$

种水泥。

由于这种水泥具有許多优良的特性，例如抗蝕、抗滲、抗水、水化热低及干縮率小等，特別适用于海港及水利工程〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕，因此引起了世界各国对这种水泥的重視。根据 П. П. 布德尼可夫的研究証明，这种水泥的硬化过程，主要是矿渣中的活性氧化鋁或鋁酸盐在碱性介質（CaO 濃度适当）中水化时，生成易溶性的水化

鋁酸盐，它与 CaSO_4 （硫酸盐激发）在液相中反应，迅速形成水化硫酸鋁鈣（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot \text{aq}$ ），此为产生强度的主要因素。同时矿渣中的活性氧化矽或矽酸盐在碱性激发作用下，也将形成水化矽酸鈣（ $1 \sim 1.5$ ） $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$ 。在水化产物中，除上述两种水化矿物外，还可能存在晶体的水化鋁酸鈣 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{aq}$ 〔1〕〔4〕。

这种水泥也存在着某些缺点，例如水泥在空气中硬化时，硬化体表面受 CO_2 的作用，使水泥与空气接触的表面层中的 CaO 与空气中的 CO_2 作用，生成 CaCO_3 ，大大地降低了这一层水泥的碱性，使表层的水泥不能很好的硬化，易于脱落。这种现象就是所謂“起砂”现象〔2〕，但在水泥水化时，加以充分的养护，保持湿润，或在水泥中多掺熟料，就可減輕或避免这种现象。使用这种水泥时，不允許与矽酸盐水泥、石灰等碱性胶凝材料混合使用〔1〕〔2〕，否則会使水泥硬化体发生破坏，影响工程質量。

在我国目前大跃进的形势下，鉄的产量将随鋼鉄工业已出現的飞跃发展景象而空前提高，因此高爐矿渣的产量也将迅速增加。为达到充分利用工业廢渣的目的，利用高爐矿渣生产矿渣硫酸盐水泥，具有重大意义。

我院于1956年开始进行矿渣硫酸盐水泥的研究。当时主要是为了利用鞍鋼高爐矿渣在鞍山水泥厂生产矿渣硫酸盐水泥，所以我們的工作，首先是研究鞍鋼矿渣制成的矿渣硫酸盐水泥的質量 and 性能。矿渣硫酸盐水泥的質量，主要决定于矿渣的質量，而鞍鋼矿渣中 Al_2O_3 含量很低（8%左右），質量很差。根据各国資料〔1〕〔3〕〔4〕〔7〕所載，認為这类矿渣是不适合于生产矿渣硫酸盐水泥的，在苏联認為这类矿渣只可制得200*左右的矿渣硫酸盐水泥，按照德国的标准 DIN 4210，这类矿渣是不用来制造矿渣硫酸盐水泥的。通过我們的研究，証明在一般的情况下，鞍鋼矿渣仅可制得200*左右的矿渣硫酸盐水泥，但若增加熟料掺加量（5%左右）和提高水泥的粉磨細度，可达到300*的水泥，但又出現这样的問題，即用这样的水泥制成的混凝土的强度低。为了利用鞍鋼矿渣制得較高标号的矿渣硫酸盐水泥，并解决其存在的缺点（混凝土强度低等），进行了进一步的研究，并初步

得出結果,采用掺加某些外加剂(例如燒粘土)的方法,便可提高其标号至400*,同时也改进了混凝土强度低的问题和“起砂”问题。矿渣硫酸盐水泥的研究工作,尚在繼續进行,現仅将已得出的研究試驗結果总结如下。

二、矿渣硫酸盐水泥的研究試驗

I. 試驗所用的原料情况

1. 矿渣:

鞍鋼的高爐矿渣,分为鑄造生鉄矿渣与煉鋼生鉄矿渣两类,这两种矿渣的化学成份的波动范围如表1所示(根据1955年11月~1956年1月鞍鋼分析資料)。

鞍鋼高爐矿渣化学成份波动范围

表 1

矿渣种类	化 学 成 份 (%)							碱性系数 $\left(\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2}\right)$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	S	
鑄造生鉄矿渣	36—41	9—11	41—43	3—6	0.4—0.6	0.7—1.1	1.2—1.5	0.9—1.0
煉鋼生鉄矿渣	36—40	7—10	42—47	3—7	0.4—0.6	1.0—2.8	0.8—1.5	1.0—1.1

(續)			
矿渣种类	活性率 $\left(\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}\right)$	質量系数 K* $\left(\frac{\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2+\text{MnO}}\right)$	質量系数 F** $\left(\frac{\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}\right)$
鑄造生鉄矿渣	0.20—0.30	1.3—1.5	1.35—1.55
煉鋼生鉄矿渣	0.19—0.30	1.3—1.5	1.35—1.55

註: * 苏联資料(1)提出按質量系数K将矿渣分为两类,第一类的K>1.6,为高活性矿渣;第二类的K≤1.6,为低活性矿渣。

** 德国标准 DIN4210提出:生产矿渣硫酸盐水泥的矿渣,要求F>1.6, Al₂O₃>13%。

根据苏联資料(1)認為活性率 $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$ 为0.25~0.33、MnO<1.5

的碱性矿渣可制造200*~300*的矿渣硫酸盐水泥。根据德国标准DIN 4210規定制造矿渣硫酸盐水泥的矿渣,其Al₂O₃含量不应小于

13%,并要求 $F = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \geq 1.6$ 。由表1可知鞍鋼高爐矿渣的化学成份中 SiO_2 含量相当高,而 Al_2O_3 含量很低,因此不是所理想的制造矿渣硫酸盐水泥的优良矿渣。

鞍鋼高爐矿渣的水淬情况:在1956年上半年湿法水淬和半干法水淬两种方法同时采用,下半年以后便全部采用半干法水淬矿渣。我們在进行研究試驗中采用过两种水淬方法的矿渣,其区别大致如表2所示。

鞍鋼高爐矿渣的性質

表 2

水淬方法	矿渣种类	容重(公斤/立升)	水份(%)	色泽	粒度(公厘)	易磨情况
湿法水淬	鑄造生鉄矿渣	0.3—0.7	20—60	白	不規則	易磨
半干法水淬	煉鋼生鉄矿渣	1.3—1.5	7—8	黃	小于5	不易磨

由于煉鉄厂与水淬厂之間的运输设备上的限制,采用半干法水淬的矿渣,仅为*5、6、7、8高爐的煉鋼生鉄矿渣,因此目前鞍山水泥厂所采用的半干法水淬的矿渣,即为*5、6、7、8高爐的煉鋼生鉄的混合矿渣(碱性矿渣)。根据1956年7月至10月鞍山水泥厂生产上所用的矿渣的化学分析,其化学成份一般的波动情况如表3所示。

鞍鋼煉鋼生鉄矿渣化学成份波动范围

表 3

波动情况	化 学 成 份 (%)							$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	S	
波动范围	36—40	7—11	0.6—1.5	43—47	3—6	0.4—2.0	0.6—1.0	1.0—1.1
一般情况	37—38	7—9	0.7—0.9	45—46	4—5	0.5—1.0	0.7—0.8	1.0—1.05

(續)

波动情况	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$
波动范围	0.2—0.3	1.4—1.5	1.45—1.55
一般情况	0.2—0.3	1.4—1.5	1.45—1.55

在我們的研究試驗中，所採用的礦渣的化學成份及其質量情況列入表 4。

試驗所用的高爐礦渣的化學成份及一般性質

表 4

礦渣編號	取樣日期	水份 (%)	容 重 (公斤/立升)	色 澤	水 泔 方 法	活 性 (石膏吸收)
鞍Ⅲ ₁	56.1.24	65	0.30	白	濕法	367.2
鞍Ⅲ ₅	56.4.16	5.5	1.42	黃	半干法	356.4
鞍Ⅲ ₂₅	56.9	7—8	1.4—1.5	"	"	—
鞍Ⅲ ₂₇	57.2	7—8	1.50	"	"	329
鞍Ⅲ ₂₉	57.7	7—8	1.43	"	"	308.4

(續 1)

礦渣編號	化 學 成 份 (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	FeO
鞍Ⅲ ₁	37.90	9.61	0.67	44.67	5.61	0.87	—	—
鞍Ⅲ ₅	39.28	7.29	1.67	46.10	4.52	0.80	—	—
鞍Ⅲ ₂₅	38.96	7.24	1.10	45.94	4.73	0.52	1.46	0.72
鞍Ⅲ ₂₇	39.72	8.63	0.57	46.49	3.71	—	0.56	—
鞍Ⅲ ₂₉	39.49	7.39	0.58	47.66	3.22	0.44	0.61	0.56

(續 2)

礦渣編號	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$
鞍Ⅲ ₁	1.06	0.254	1.54	1.58
鞍Ⅲ ₅	1.09	0.186	1.45	1.48
鞍Ⅲ ₂₅	1.10	0.186	1.49	1.49
鞍Ⅲ ₂₇	1.04	0.217	—	—
鞍Ⅲ ₂₉	1.08	0.187	1.46	1.51

2. 石膏:

試驗所用的石膏，一般都是採用太原天然二水石膏，在電爐內煅燒至 700°C 左右，保持恆溫 3 ~ 4 小時，另外也採用了太原天然無水石膏和撫順 301 廠的人造石膏。現將試驗所用的石膏的化學成份列入表 5。

試驗所用的石膏的化学成份

表 5

石膏 編 号	石膏种类	产 地	化 学 成 份 (%)							煨燒 温度 (°C)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	結晶水	
Г ₁	天然二水石膏	太原	0.58	0.10	0.10	33.03	1.00	44.88	18.72	—
КГ ₁ *	煨燒石膏	"	0.83	0.13	0.11	41.80	1.66	55.40	—	700°C
КГ ₄ *	"	"	0.38	0.05	0.05	41.07	0.62	57.10	—	700°C
A ₁	天然无水石膏	"	0.39	0.07	0.04	35.32	0.66	48.79	12.23	—
Γa	人造石膏	撫順	0.13	2.93	0.09	33.44	0.29	44.03	16.36	—
КΓa*	煨燒人造石膏	"	0.38	3.52	0.12	39.44	0.34	52.74	—	700°C

註: * 由于电爐中温度不完全一致, 使 700°C 左右煨燒的石膏中含有 1 % 左右的游离 CaO。

3. 熟料:

試驗所用熟料采用小屯水泥厂熟料, 其化学成份及矿物組成列入表 6。

試驗所用的熟料的化学成份及矿物組成

表 6

熟料 編号	化 学 成 份 (%)						系 数			矿物組成 (%)				游离 CaO
	燒失 量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ H	Π	P	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
K ₁	0.68	20.80	6.91	5.07	62.89	3.60	0.85	1.74	1.36	43.4	26.8	9.7	15.4	—
K ₂	0.53	21.18	6.05	4.59	63.09	3.82	0.86	1.99	1.32	46.6	25.5	8.3	13.9	—
K ₃	0.54	20.80	5.95	5.14	63.28	3.82	0.89	1.88	1.15	53.0	19.7	7.1	15.6	—
K ₁₁	0.79	21.52	6.04	4.26	63.29	3.36	0.86	2.08	1.42	47.4	25.9	8.8	13.0	0.80
K ₁₈	1.04	20.42	5.65	4.80	62.61	2.45	0.90	1.96	1.18	54.3	17.6	6.8	14.6	0.67

4. 石灰:

采用鞍鋼耐火材料厂的生石灰, 消解为消石灰, 其化学成份列入表 7。

試驗所用的石灰的化学成份

表 7

石灰編号	名 称	燒失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
И	生石灰	4.60	1.53	0.45	90.93	2.13
ГН	消石灰	23.51	1.72	0.56	68.28	4.36

5. 白云石:

采用鞍钢耐火材料厂所用的大石桥白云石, 在电爐內煅燒至 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$, 保持恒溫 4 小时, 其化学成份列入表 8。

試驗所用的白云石的化学成份

表 8

白云石編號	名 称	燒失量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
Д	白 云 石	46.60	0.24	0.90	0.77	30.30	21.63
КД	煅燒白云石	29.52	0.30	0.82	0.79	37.39	31.45

II. 碱性激发剂的研究

根据資料〔1〕指出, 矿渣硫酸盐水泥的碱性激发剂可采用矽酸盐水泥熟料、石灰或白云石。碱性激发剂的主要作用是在水泥水化过程中造成碱性环境, 促进矿渣的水化作用。在适当的碱性介質 (CaO 濃度 < 1.08 克/立升) 下, 矿渣中的鋁酸盐 (或为活性氧化鋁) 在液相中与溶解的 CaSO_4 起作用生成 硫鋁酸鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$), 这便是矿渣硫酸盐水泥产生强度的主要因素。

若用熟料作为碱性激发剂, 則熟料水化后, 放出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 在矿渣硫酸盐水泥中便造成了碱性介質。若用燒白云石作为碱性激发剂, 則可得到 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 其中 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为碱性物質, 对矿渣水化有利, 同时可保証水泥中的 CaO 濃度 不会过高, 避免高盐基性鋁酸盐的形成, 并保証水泥的安定性, 所以从理論上看, 掺加燒白云石作为碱性激发剂是很有利的〔1〕。采用石灰作为碱性激发剂时, 一般是采用消石灰, 但也可用生石灰, 至于采用那一种碱性激发剂最合适及掺加量为多少, 則应根据矿渣的种类及碱性激发剂的来源等通过試驗确定。

根据苏联資料〔1〕〔4〕指出, 碱性激发剂的掺加量, 一般的情况是 $0 \sim 5\%$ 熟料, 或 $0 \sim 2\%$ 石灰, 对于每一种矿渣來說都有其最适当的碱性激发剂掺加量。若碱性激发剂过少, 得不到足够的碱性介質, 矿渣不能很好地水化, 使水泥强度不能充分发挥; 若碱性激发剂过多, 則在水泥水化过程中, 液相中的 CaO 濃度 大于 1.08 克/立升, 可溶

性的低盐基铝酸盐将形成不溶性的高盐基铝酸盐 ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{aq}$), 而固体的 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{aq}$ 与液相中的 CaSO_4 起作用, 将形成膨胀性的硫铝酸钙, 破坏了水泥硬化体的结构, 使其安定性不良。这就是所谓“石膏膨胀”现象〔1〕〔4〕。因此严格控制碱性激发剂的掺加量对生产矿渣硫酸盐水泥有特别重要的意义。

1. 熟料掺加量的研究:

在我们研究熟料掺加量的第一次试验中, 固定石膏掺加量为15% (石膏掺加量的决定见下节), 然后变动熟料掺加量 (2~8%), 配制矿渣硫酸盐水泥, 进行一般物理性能试验。这次试验所用的原料编号如下: 矿渣——鞍 M_{25} ; 烧石膏—— $\text{K}\Gamma_1$; 熟料—— K_1 (见表4、5、6)。试验结果列入表9, 其中“1017”的水泥采用的矿渣编号为鞍 M_1 。

根据试验结果可看出, 熟料掺加量大于4%时, 可制得300*的矿渣硫酸盐水泥*, 其3天、7天强度都很高, 凝结时间正常, 安定性合格, 28天强度随着熟料掺加量的增加而提高, 并未发现因“石膏膨胀”而使强度下降的现象。但从理论上分析, 熟料掺加量超过某一范围, 产生“石膏膨胀”, 会使强度下降。在这次试验中熟料一直加到8%, 强度未见下降, 而加8%的熟料, 对矿渣硫酸盐水泥而言, 一般都已过量, 同时7天至28天的强度增长率都很低, 所有这些情况都是与资料〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕不相符合的。为了进一步明确这些问题, 我们又进行了以下试验, 试验结果列入表10。这次试验所用原料编号如下: 矿渣——鞍 M_{27} ; 烧石膏—— $\text{K}\Gamma_1$; 熟料—— K_2 (见表4、5、6)。

根据这次试验结果, 得出以下结论:

①熟料掺加量从0%增加至1.6%时, 水泥强度逐渐下降, 这一情况可说明鞍钢碱性矿渣在不掺加碱性激发剂的情况下 (实际上由烧石膏中带入了少量的游离 CaO , 其数量约为水泥重量的0.1~0.2%) 制得的矿渣硫酸盐水泥的强度较高。这时水泥中的碱度, 是比较适当的, 在这种情况下, 可制得250*的水泥。若超过最适当的碱度 (水泥 $a=2$, $a=4$, $a=6$, $a=9$) 时, 就产生“石膏膨胀”现象而使强度下降。

表 9 熟料掺加量对矿渣硫酸盐水泥质量的影响——1

水泥 編号	配 合 比 (%)		細 度 (4900 孔/平方公分 篩余%)	比 面 积 (透气法) (平方公分/克)	凝 結 时 間 (小时:分)		安 定 性 (冷浸法)	1:3硬煉胶砂强度(公斤/平方公分)					
								抗		压		抗	
	矿渣	燒石膏	熟料		初凝	終凝		3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
电K ₂	83	15	2	1.4	1:43	2:10	合格	143	186	236	19.0	19.2	24.1
电K ₃	82	"	3	1.8	1:54	2:24	"	152	213	252	18.4	25.0	26.5
电K ₄	81	"	4	1.7	1:37	2:02	"	184	259	347	19.9	25.0	28.5
电K ₅	80	"	5	1.7	1:06	1:46	"	173	284	349	18.4	26.1	28.5
电K ₇	78	"	7	1.5	1:04	3:58	"	140	284	370	12.4	23.8	26.8
电K ₈	77	"	8	1.9	1:08	1:38	"	163	306	416	13.4	22.8	32.2
1017	80	"	5	1.7	1:00	3:00	"	—	322	393	—	22.4	29.0

註: *苏联ГОСТ2543—44規定矿渣硫酸盐水泥的强度标准如右表。在我們的研究試驗

中, 对于矿渣硫酸盐水泥标号的 衡量, 除按苏联这一标准外, 并同时按矿渣硫酸盐水泥的强度标准, 衡量矿渣硫酸盐水泥的28天强度及400°以上的矿渣 硫酸盐水泥的标号。

水 泥 标 号	1:3硬煉胶砂7天强度 (公斤/平方公分)			
	抗	拉	抗	压
150	10	10	90	
200	11	11	110	
250	13	13	140	
300	15	15	170	

燃料掺加量对矿渣硫酸盐水泥质量的影响——2

表10

水 泥 編 号	配合比(%)		比 面 积 (透气法) (平方公 分/克)	凝 结 时 間 (小时:分)		安 定 性 (冷浸法)	1:3硬鑄胶砂强度(公斤/平方公分)						1:2 軟 鑄 胶 砂 强 度 (公斤/平方公分)							
							抗		压		抗		拉		抗		压		抗	
	矿渣	燒石 膏		3天	7天		28天	3个月	3天	7天	28天	3个月	3天	7天	28天	3个月	3天	7天	28天	3个月
a-1	85.0	15.0	0.0	2:18	3:45	合格	100	147	233	296	17.2	21.3	25.5	27.2	53	81	99	37.9	51.2	52.6
a-2	84.8	"	0.2	1:54	3:21	"	101	158	221	262	14.1	21.2	26.0	24.2	45	68	82	32.4	44.7	47.8
a-4	84.4	"	0.6	1:18	3:53	"	93	141	189	244	14.9	21.0	26.3	25.7	46	53	54	24.8	34.9	34.4
a-6	84.0	"	1.0	1:23	2:58	"	102	124	156	199	10.6	15.2	21.9	24.3	45	57	51	23.2	30.6	36.4
a-9	83.4	"	1.6	1:43	2:44	"	102	145	161	204	10.0	14.8	20.5	22.9	36	44	59	21.4	30.0	35.5
a-11	83.0	"	2.0	1:16	2:19	"	109	149	187	241	14.0	16.5	18.0	22.6	36	55	64	21.8	33.4	36.4
a-12	82.0	"	3.0	1:08	3:15	"	114	172	235	275	13.1	16.5	26.4	23.7	54	67	95	25.7	37.5	41.8
a-13	81.0	"	4.0	0:55	2:03	"	97	193	273	327	9.7	15.1	24.0	24.4	58	84	93	18.7	38.2	40.3
a-14	80.0	"	5.0	0:40	2:22	"	116	212	294	354	13.0	21.0	24.3	28.7	64	93	103	21.8	39.0	44.8
a-15	77.0	"	8.0	0:45	1:10	"	82	202	345	406	8.9	16.2	28.0	26.0	50	118	137	14.5	38.7	45.5
a-16	75.0	"	10.0	0:47	1:11	"	85	196	340	410	8.8	15.8	23.1	28.0	50	134	150	13.1	35.7	46.4
a-18	70.0	"	15.0	0:31	1:28	"	105	210	364	433	8.5	14.4	24.8	27.9	47	126	144	12.1	9.4	3.2

②当熟料掺加量从2.0%增加至15%时，强度又随着熟料的增加而提高，但7天至28天的强度增进率却很小。在这种情况下，可能是由于熟料本身发挥了强度，因此熟料愈多，强度也就愈高，但“石膏膨胀”的现象还是存在的，这种破坏力量，可能就是使7天至28天强度增进率很低的原因。

③在所有的水泥中，安定性（冷浸法）都良好，并未发现体积不均匀现象，这可能是由于矿渣中 Al_2O_3 含量较低，生成膨胀性硫铝酸钙的破坏作用，尚不足以在安定性试饼上表现出体积不均匀现象。

④水泥的“起砂”现象，随着熟料掺加量的增加而逐渐改善。熟料掺加量大于5%时，水泥的“起砂”层小于0.5公厘，可以基本上消灭“起砂”现象，而碱度较适当的水泥（a—1），则“起砂”现象十分严重，其1:3硬练胶砂试体与空气接触的表面“起砂”层的厚度竟达3公厘以上。

⑤在熟料掺加量大于4%时，虽然可能存在“石膏膨胀”的破坏作用，但水泥强度却大大地超过不掺加熟料的、碱性适当的水泥（a—1），可达到300*以上，而且安定性合格，“起砂”现象基本上消灭了，长期强度（3月）也不因存在“石膏膨胀”现象而下降。所以根据水泥的物理性能看，熟料掺加量为4~5%，是可以考虑采用的。所以我们在以下的试验中，采用了这种熟料掺加量。

2. 石灰掺加量的研究:

采用消石灰作为碱性激发剂进行了以下试验。试验结果列入表11。试验所用的原料编号如下：矿渣—鞍山26；烧石膏—KF₁；消石灰—ГИ（见表4、5、7）。

表11

石灰掺加量对水泥质量的影响

水泥编号	配合比(%)		细度(4900孔/平方公分筛余%)	比面积(透气法)(平方公分/克)	标准稠度(%)	1:3 膠砂 水量 (%)	凝結時間 (小时:分)		安 定 性 (冷浸法)	1:3硬練膠砂溫度 (公斤/平方公分)			
										抗 压	抗 拉	3 天	7 天
	矿渣	燒石膏	消石灰				初凝	終凝					
ГИ-0	85	15	—	5140	23.7	7.725	1:14	2:49	合格	134	208	303	16.0
ГИ-0.5	84.5	15	0.5	—	26.7	9.25	1:10	3:18	"	104	140	153	16.7
ГИ-1	84	15	1.0	—	25.0	9.25	1:37	2:57	"	75	114	165	11.1
ГИ-2	83	15	2.0	—	24.3	9.25	1:23	1:53	"	57	129	208	8.5
ГИ-5	80	15	5.0	—	24.7	9.25	0:20	2:40	"	62	138	200	7.0

从試驗結果看出，掺加0.5%的消石灰，已使水泥的碱性过高，强度显著下降，这同时也証实了以上所述的用鞍鋼碱性矿渣制成的矿渣硫酸盐水泥，在不加碱性激发剂的情况下，其碱度较为适当的結論。若过多地掺加石灰（5%），也不能使水泥强度提高。尤其是早期（3天）强度，随着石灰掺加量的增加而降低。

3. 煅烧的白云石作为碱性激发剂：

用煅烧的白云石作为碱性激发剂时的情况与采用石灰时的情况相似，亦即加入极少量的白云石后，就使水泥强度降低了，其原因如上所述。

4. 熟料中矿物組成变动时，对矿渣硫酸盐水泥質量的影响：

我們曾采用以下几种矿物組成不同的熟料配制矿渣硫酸盐水泥，并进行了物理試驗。水泥配合比为：矿渣81%，燒石膏15%，熟料4%。熟料有以下几种：① C_3S 含量高（52.3%）， C_2S 含量低（21.3%）；② C_3S 含量低（37.44%）， C_2S 含量高（33.96%）；③ C_3A 含量高（10.2%）；④ C_3A 含量低（8.32%）。

試驗結果說明，熟料矿物組成的变动，对矿渣硫酸盐水泥的質量，没有什么影响。

■. 硫酸盐激发剂的研究

根据資料〔1〕指出，矿渣硫酸盐水泥的硫酸盐激发剂，可采用各种类型的石膏，例如天然石膏、天然无水石膏、人造石膏、煅烧至600—750°C的石膏和粘土質石膏〔8〕等，而以煅烧至600—750°C的天然石膏較好〔1〕，对于硫酸盐激发剂作了以下几項研究試驗：

1. 石膏掺加量的研究：

在研究石膏掺加量时，是在固定了熟料掺加量为4%的情况下进行的。石膏采用燒石膏，其掺加量的变动范围为11—19%。試驗結果列入表12，試驗所用的原料編号如下：矿渣—鞍Ⅲ₂₇；燒石膏—KГ₁；熟料—K₁（見表4、5、6）。