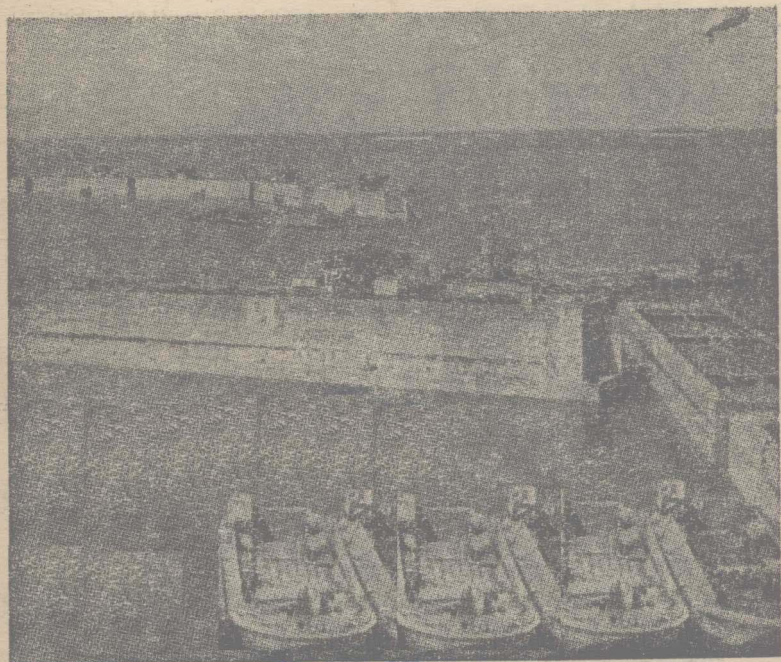


礦渣與混合水泥



中央重工業部華北窯業公司研究所

技術報道之九

一九五一年四月

華北窯業公司研究所技術報道編目

- | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------------------|-------|
| 一. | 冷天如何做混凝土 | 1949年9月初版
1949年11月再版 | 1000元 |
| 二. | 加氣水泥說明書 | 1950年3月出版 | 1000元 |
| 三. | 加氣水泥資料選譯 | 1950年4月印
1951年1月再版 | 2500元 |
| 四. | 氯化鈣快硬防凍劑 | 1950年6月出版 | 1000元 |
| 五. | 水泥防潮須知 | 1950年8月出版 | 1000元 |
| (附長城牌水泥物理性，化學分析及混凝土試驗記錄) | | | |
| 六. | 混凝土的滲透問題 | 1950年9月出版 | 1500元 |
| 七. | 怎樣做好混凝土工程 | 1950年10月出版 | 1000元 |
| 塘沽新港做混凝土的經驗 | | | |
| (附長城牌水泥物理性，化學分析及混凝土試驗記錄) | | | |
| 八. | 介紹軟練法試驗水泥強度 | 1950年11月出版 | 1000元 |
| 九. | 礦渣與混合水泥 | 1951年4月出版 | 1500元 |

目 錄

α

- (一) 礦渣是什麼？
- (二) 礦渣的處理和用途
- (三) 混合水泥的製造
- (四) 混合水泥的特性和用途
- (五) 混合水泥的發展前途

附錄一中華人民共和國波特蘭水泥暫行標準規格草案中有關混合水泥的規定

(一) 礦渣是什麼？

礦渣是冶鐵爐的副產物。在一般鋼鐵廠的冶鐵爐中，鐵礦石的粘土成份，和加進去的石灰石熔劑，在高溫度下結合起來，成爲一種浮在鐵液面層的渣液，每隔2—3小時傾出一次，冷卻後凝成固體，這種固體，就叫做冶鐵爐礦渣 (Blast-furnace Slag)，簡稱爲礦渣 (Slag)。

礦渣因爲是粘土質原料和石灰質原料在高溫下結合而成的物體，所以它的主要化學組成是和波特蘭水泥相同的，它們都是由氧化鈣 (CaO)，氧化矽 (SiO_2)，氧化鋁 (Al_2O_3) 和氧化鐵 (Fe_2O_3 或 FeO) 等組成的。但是每種組成體的成份，礦渣和水泥就有一些差別，譬如氧化鈣，一般水泥都在60%以上，但礦渣很少超過50%的，甚至有低至30%的。礦渣的化學成份，是由鐵礦石的成份和石灰石熔劑的成份所控制，所以不同冶鐵爐所產的礦渣，就有不同的化學成份。表一說明了幾種礦渣的化學成份。

表一 礦渣的化學成份

試 樣	CaO	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	S
英 國 礦 渣	26.7	37.0	28.0	1.4	—	0.8	3.7
"	31.3	39.8	17.7	1.3	1.7	6.9	1.3
"	38.2	35.2	15.8	1.5	3.5	2.5	1.9
"	42.3	31.8	16.1	1.3	1.5	2.4	1.9
"	44.5	36.2	12.9	0.4	0.6	3.9	1.5
"	49.2	26.3	18.7	1.6	—	2.5	—
四川大渡口礦渣	45.0	35.0	12.5	0.9	—	—	—
石 景 山 礦 渣	39.9	37.8	15.5	1.0	—	4.6	0.7

從冶鐵爐中剛流出來的礦渣熔液，溫度都在 $1400^{\circ}\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之間，如果任它在空氣中慢慢冷卻，就會凝結成灰白色，棕色或黑色的塊狀固體。這種顏色的不同是由礦渣含鹼成份多少而定。含 CaO 成份較高的礦渣，顏色較淡，同時在冷卻過程中或凝結後的短時期內，容易顯呈粉散的現象。這種塊狀礦渣，在應用中不能像水泥一般地表現水硬性，因此使用價值較小。

如果把冶鐵爐中剛流出的溶液立刻施以驟冷的處理，礦渣就會變成灰白色、多孔隙、質地非常輕鬆的粒狀物。這種粒狀物，普通稱為礦渣砂或水渣，富於水硬性，使用價值也大。

(二) 礦渣的處理及用途

因為礦渣的化學成份和水泥類似，所以礦渣的主要用途是製造水泥；但是沒有經過驟冷處理的礦渣，因為沒有水硬性，所以用途只能局限於：

1. 代替粘土，作為波特蘭水泥原料。將礦渣與石灰石，根據化學成份配合起來，與一般波特蘭水泥同樣的程序，製成波特蘭水泥。這種用礦渣做成的水泥，由於其中含有小量 MnO ，所以顏色略帶棕色。同時因為礦渣中含有 CaO 而不是石灰石中的 CaCO_3 ，所以在窯內燃燒的時候，耗煤量較普通原料可大為減低。總之，用礦渣做波特蘭水泥，成本可以降低，而品質可與用普通原料做的水泥完全一樣。

2. 代替碎石或卵石，做為混凝土的粗粒料。將礦渣擊碎成需要的尺寸，和砂，水泥，水拌和起來，做成混凝土，這種混凝土和普通混凝土沒有什麼特殊的區別，因此祇是廢料利用而已。

經過驟冷處理的礦渣砂，用途大為擴大。驟冷的方法有水冷，蒸氣冷，空氣冷等，其中因水冷設備最簡單，所以用的也普遍

，水冷成粒的方法是將熔融中的礦渣，流過鐵槽，用高壓的水流衝擊上去，把礦渣衝成細粒，然後和水一同流入有孔的斗車內，使水份漏盡，再把它烘乾而成。驟冷過程中需要注意的是熔融中的礦渣，須愈快驟冷愈好。驟冷的主要作用是使礦渣砂儘可能地成為玻璃質的非結晶體，這樣才能充份發揮它的水硬性。 CaO 成份愈高的礦渣，愈需足夠的驟冷處理，才能得到較高的水硬性。

礦渣砂的應用範圍，是由它的化學成份和驟冷處理的成效所決定的，一般說來，礦渣砂的 CaO 成份愈高，驟冷處理的愈好，用途也愈廣。礦渣砂的用途可以分成下列四種：

1. 作為輕質混凝土的粒料 驟冷處理後的礦渣砂是一種輕而鬆的物體，如果把它作為粒料做成混凝土，或做成各種混凝土製品，在建築上，雖然不能荷重，但有隔音，保溫等特殊功效。

2. 作為波特蘭水泥原料 方法和未經驟冷處理的礦渣完全一樣，但驟冷後的礦渣砂，極易粉碎，所以在生產中，更可節省成本。

3. 作為礦渣水泥的原料，礦渣水泥 (Slag Cement) 是用礦渣和石灰混合磨細而成的一種水泥，（須注意勿和混合水泥混為一談）在歐美各國都早已採用，因為經過驟冷後的礦渣砂，有很好的水硬性，加入一定量的石灰，混拌磨細，不經煨燒便可產生一定的強度。在製造礦渣水泥時，最好採用 CaO 較高的礦渣砂，石灰則用生石灰，消石灰都可以。據試驗報告，如用生石灰，石灰成份最好在 8~13% 之間；如用消石灰，成份在 20~30% 之間。礦渣水泥凝結較慢，但可摻入速凝劑 如燒粘土，高鋁礦渣，氯化鈉，氯化鉀等都可見效，礦渣水泥的物理性質如下：

顏色	淺灰色
比重	2.7—2.85
細度 (4900孔篩餘)	7.1 %
初凝時間	1 時 30 分
終凝時間	3 時 50 分
體積安定性(雷氏夾膨脹率)	1 公厘
抗張強度 (1:3 膠砂)	
3 天	21 公斤/平方公分
7 天	25 "
28 天	30 "

從以上紀錄，可見礦渣水泥很够條件作為建築材料，歐美各國曾做各種試驗，証明礦渣水泥在水中的強度較在空氣中的強度更好，所以很多國家用它作海中或地下工程，結果都很滿意。但在一般鋼筋混凝土工程，或較高聳的建築物中，是絕對禁止使用的。我國迄今還很少人注意到這類水泥的製造，中央重工業部基本建設局籌備組研究所（原華北窯業公司研究所）現正着手進行這項試驗。

4. 作為混合波特蘭水泥的原料 混合波特蘭水泥(簡稱混合水泥) 是今天我國水泥工業重要發展之一，詳細情形見後面幾節。

(三) 混合水泥的製造

混合水泥是在波特蘭水泥熟料中，加入經過驟冷的礦渣砂，另加適量石膏，一起磨細而成的一種水泥。在歐洲各國，混合水泥已有五十多年的歷史，按照英國標準，礦渣的含量不得超過 65%，英美稱這種水泥為“波特蘭鼓風爐水泥”(Portland Blast-furnace Cement)。德國混合水泥有兩種：一種叫“鐵波特蘭水泥”(Eisenportland Zement) 礦渣含量不得超過 30%。另一種

叫“高爐水泥”(Hochofen Zement) 礦渣含量不得超過 85%。

根據1950年12月全國水泥專業會議通過的“中華人民共和國波特蘭水泥暫行規格草案”混合水泥已被正式列為我國目前三種波特蘭水泥中的一種——其他二種是普通水泥和早強水泥——並且規定混合水泥的定義如下：

“用水泥熟料最少 30%，加冶鐵爐的礦渣，經驟冷所得的礦渣砂最多 70%，另加適量石膏，混合磨細，所得水泥，符合本標準規格關於混合波特蘭水泥的規定，是為「混合波特蘭水泥」，簡稱「混合水泥」。除礦渣砂外，可用磨頁岩、火山灰及其他屬於火山灰的物質代替，仍須符合在標準規格的規定。”

從這個定義中，我們確定了混合水泥中的礦渣砂成份是 ^在30~70%。但礦渣究竟是否適用，究竟加入多少，這是需要從礦渣的化學成份去決定的，因為礦渣是冶鐵爐的副產物，所以礦渣的化學成份，又被鐵礦石的成份和加入在內的石灰石熔劑的數量所控制，我們在製造混合水泥時，首先需要分析礦渣的化學成份，其中尤須注意的是 CaO 成份，德國和美國都規定製造混合水泥的礦渣砂，所含成份要受下式限制：

$$\frac{CaO + MgO + \frac{1}{3}Al_2O_3}{SiO_2 + \frac{2}{3}Al_2O_3} \geq 1$$

英國格拉斯哥 (Glasgow) 地方所產的礦渣，它的 CaO 成份高達 47~49%，而 SiO_2 與 Al_2O_3 只 31% 與 15%， MgO 約 2~3%，硫化物的 1.5~2.5% 無疑地，這種礦渣做成的混合水泥，它的 CaO 成份必能接近普通水泥，我國石景山鋼鐵廠的礦渣， CaO 成份雖只 39.9% (平均數)，但仍能符合混合水泥的要求，琉璃河水泥廠把它和水泥熟料適當地配合起來能做成超過標準的混合水泥。

(四) 混合水泥的特性和用途

在普通水泥的熟料中加入了礦渣，雖然在化學組成上起了一些變化，但在具體應用中是和普通水泥極少差別的。這可以在世界各國都把混合水泥的規格定得和普通水泥一致這一點上証明。就是在我國的“波特蘭水泥暫行規格草案”中，也把混合水泥的性能，如細度、凝結時間、安定性、強度等定得和普通水泥一致。事實上，我國東北鞍山和華北琉璃河水泥廠都已製造了混合水泥，使用中證明品質和普通水泥很接近，並且獲得了用戶的好評。

表二 混合水泥的化學分析

試 樣	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MnO	MgO	SO ₃	燒 失量
英 國 *	59.05	22.69	8.36	1.39	—	3.29	1.93	1.98
德 國	59.40	23.50	8.50	2.44	0.86	3.27	1.95	—
中 國 *	58.45	24.68	7.52	2.70	—	3.46	0.71	2.00
中國普通水泥 *	62.71	21.77	6.46	2.61	—	2.67	1.53	1.32

* 抽樣化驗結果

表三 混合水泥的物理性質

試 樣	細 度 4900孔 篩餘%	初凝 時間	終凝 時間	體積安 定性 雷氏夾 膨脹率	抗張強度 Kg/Cm ²			耐壓強度 Kg/Cm ²		
					3天	7天	28天	3天	7天	28天
英 國 *	5.9	3:00	4:20	0.5	21.3	30.3	36.0	—	—	—
德 國(平均)	—	—	—	—	—	—	—	250	400	500
中 國 *	2.5	5:40	8:51	2.0	14.3	24.5	36.0	123	217	490
中國普通水泥 *	5.1	3:15	5:25	1.5	26.1	30.9	36.3	461	544	596

* 抽樣試驗結果

表四 1:2:4 混凝土耐壓強度 (Kg/Cm^2)

試 樣	1 天	3 天	7 天	28天
混合水泥	12	59	123	246
普通水泥	15	76	139	276

混合水泥的顏色一般要比普通水泥淡些，比重大約 3.0，要比普通水泥的 3.1 輕些。

從表二的化學分析中，可以看出混合水泥的 CaO 成份要比普通水泥低些， SiO_2 和 Al_2O_3 要比普通水泥高些，這就決定了混合水泥的早期強度比普通水泥要低（表三及表四）：但是混合水泥的強度，增進得快，到28天以後，幾乎追上了普通水泥，所以我們有充分理由可以說明，除了在需要早期強度高的混凝土工程以外，任何工程，包括鋼筋混凝土在內，凡可用普通水泥的，也都能用混合水泥。這也說明了世界各國的水泥規格，為什麼都把混合水泥的強度定得和普通水泥一樣。

混合水泥除了可以代替普通水泥的用途外，因為它的 CaO 相對的低， SiO_2 和 Al_2O_3 相對的高，所以它還有一些特點是普通水泥所不能及的，這些特點也決定了混合水泥在某些工程中比普通水泥更有優越的貢獻。

這些優點，主要表現在下面兩方面：

1. 較低的水化熱 混合水泥在混凝土凝結硬化的過程中，所散播出來的熱量，都可比普通水泥低，水化熱低就直接減小了混凝土因溫度變化所起的脹縮，這種特性對於混凝土，尤其是大體積混凝土的施工和耐久性是有密切關係的。因此世界各國的水壩

工程中，很多是用混合水泥建造的，表五是各種水泥水化熱的比較。

表五 水泥水化熱的比較

試 樣	試驗 次數	水化熱 (卡/公分)		
		1 天	2 天	3 天
普通水泥	13	23~42	42~65	47~75
早強水泥	13	35~71	45~89	51~94
混合水泥	6	18~28	30~51	33~67

2. 抵抗海水侵蝕的能力較大 混合水泥對於海水或其他硫酸鹽類的侵蝕，抵抗力較普通水泥為大。表六說明兩種水泥放在硫酸鹽溶液中，在加速試驗下，混合水泥較普通水泥的抵抗力大 $2\frac{1}{2} \sim 3$ 倍。圖一說明在硫酸鎂溶液中，兩種水泥各浸兩年以後的不同損壞的程度，這是一個明顯的對照。

表六 1:3 水泥砂漿在硫酸鹽溶液中開始損壞的天數

試 樣	15 % 硫酸銣溶液	15 % 硫酸鈉溶液
普通水泥	10	58
混合水泥	25	152

華北窯業公司研究所也正進行東北華北各廠所出混合水泥的耐久性試驗，試驗內容包括海水中的凍融循環。表七是琉璃河水泥廠所生產的長城牌普通水泥和長城牌混合水泥在海水中凍融抵抗力的比較，在50次凍融循環中，混合水泥已顯著地較普通水泥

抵抗力大。這項試驗現仍繼續進行中。

表七 水泥海水凍融抵抗力比較

試 樣	凍融循環次數	失重%
長城牌混合水泥	50	2.36
長城牌普通水泥	50	8.47

因為混合水泥具有較大的海水侵蝕的抵抗力，所以在德國荷蘭等地都曾把混合水泥普遍應用到海水工程中，如海港、碼頭等，此外，同樣地，混合水泥也適用在深入地下，不與空氣接觸，易被硫酸鹽類侵蝕的工程中，如建築物基礎、隧涵、地下水管等

（五）混合水泥的發展前途

混合水泥不僅在應用上還具有普通水泥所不能及的一些特性，並且因為使用了一部份價廉的礦渣原料，所以生產成本也可相當的降低。礦渣是冶鐵爐的副產品，在任何鋼鐵廠中，每天都有大量生產，如果不加利用，從鋼鐵廠方面說，對於如何處置這些日益累積的廢品，至感頭痛；再從國家經濟立場來說，這些有用的材料廢棄不用，實在也是非常可惜的事。

但是一種新產品的出現，必然會遭遇到一些困難。混合水泥在歐洲初創的時候，有許多用戶，認為水泥中摻入了礦渣一類的雜質，是一種有害無利的產品，甚至有人還認為是一種欺騙的行為。後來雖然有許多專家根據理論力爭，並且有許多工廠不顧反對，仍舊製造，但是大家還是懷疑，不敢大胆使用。他們主要反對的理由是礦渣中的硫化物易被氧化，易使混凝土脹裂或直接侵蝕鋼筋。然而經過若干年的使用，證明這一論斷完全不符事實。

在德國後來把混合水泥應用在海水工程和地下工程中，發現有較普通水泥更良好的結果，於是混合水泥才開始大量推廣，到1930年時，德國生產了約一百萬噸的混合水泥。

目前我國製造混合水泥的工廠還很少，一般工程人員對它也還不够熟悉。可是外國的經驗值得我們吸取，尤其是混合水泥方面的經驗，必然會對我們新民主主義建設事業有極大幫助的。

附錄一中華人民共和國波特蘭水泥暫行標準規格草案中有關混合水泥的規定；

第一章 種類與定義

第三條 混合波特蘭水泥(簡稱混合水泥)

定義—用水泥熟料最少30%，加冶鐵爐的礦渣，經驟冷所得的礦渣砂最多70%，另加適量石膏，混合磨細，所得水泥符合本標準規格關於混合波特蘭水泥的規定，是為「混合波特蘭水泥」，簡稱「混合水泥」。除礦渣砂以外，可用燒頁岩，火山灰及其他屬於火山灰質的物質(註)代替，仍須符合本標準規格的規定。

用途—與普通水泥相同，特別在海水工程或地下工程需要耐硫酸鹽類侵蝕者。

(註) 凡含可溶性矽酸的物質，不論天然或人造，在加入石灰和水後，具有膠凝性質者，都叫做火山灰質的物質。

第四條 化學成份

燒失量(最高)	5%
---------	----

不溶物

氧化鎂 MgO (最高) 5 %

氧化硫 SO_3 (最高) 2.75 %

第五條 物理性

細度：篩餘最高百分數

4900孔 / 平方公分 ~~12~~ 10

凝結時間：費卡針

初凝：最少分鐘 45

終凝：最多小時 10

安定性：雷氏法最高(公厘) 10

抗折強度：1比2膠砂(軟練法)

最低 公斤 / 平方公分

3 天 10

7 天 18

28 天 30

耐壓強度：1比2膠砂

最低 公斤 / 平方公分

3 天 30

7 天 70

28 天 150

硬練強度試驗

抗張強度：1比3膠砂

最低 公斤 / 平方公分

3 天 —

7 天 ~~18~~ 20

	28 天	25
耐壓强度：1 比 2.75 膠砂		
最低 公斤 / 平方公分		
	3 天	—
	7 天	200 280
	28 天	350 400

附註：本附錄係從標準規格草案中摘出，有關普通水泥及早强水泥的規定因不關本報道，故未列入。但普通水泥的規定數字是和混合水泥一致的。

二、混合水泥各項試驗方法的規定是與普通水泥一致的也不列入。

