

礦渣水泥混凝土

趙农民編著

上海科学技术出版社

29126 2
480

序

礦渣水泥系礦渣矽酸鹽水泥的簡稱。我國自學習了蘇聯多品種多標號水泥的先進經驗後，礦渣水泥也已開始大量地生產和應用了。它不但被廣泛地採用于水中及地下的混凝土工程，而且在很大程度上也被採用于房屋建築工程中。

由于礦渣水泥的性能較之普通水泥有所不同，因而了解它和熟悉它，從而在操作中採取些適當的措施，是做好礦渣水泥混凝土工程的先決條件。本書的編寫，即着重于該兩方面，并力求實用，以便作為有關混凝土現場工作人員的參考，對屬於一般混凝土工方面的知識，這裡就不再敘述了。

編者學識疏淺，誤漏之處，還希讀者予以指正。

趙農民

1957年8月·北京

目 次

第一章 引述	1
一、关于以往的單品种高强度水泥	1
二、关于礦渣水泥	3
第二章 礦渣水泥的主要性能	7
一、属于优点方面的性能	8
二、属于缺点方面的性能	15
第三章 礦渣水泥的选用	21
第四章 礦渣水泥混凝土操作中的几个問題	31
一、和易性問題	31
二、泌水問題	33
三、干縮裂縫及脫皮掉角問題	35
四、养护問題	37
五、拆摸問題	40
第五章 掺用氯化鈣問題	43
一、关于氯化鈣	43
二、氯化鈣对礦渣水泥混凝土質量的影响	45
三、氯化鈣的使用和操作上的要点	48
第六章 掺用加气剂問題	51
一、加气混凝土特点的形成	53
二、加气剂的应用范围及其用量	56
三、加气剂的使用方法及注意事項	58
附 錄	61
参考文献	64

第一章 引述

隨着祖國大規模經濟建設的發展，水泥在建築材料中的地位愈來愈重要。我國解放前的許多水泥工廠只生產單品種的高強度普通水泥，不論在產量上以及品種上都不能滿足解放後生產發展的需要。因而怎樣合理地生產和使用水泥，使它能適應建設上的需要，做出更多的又好又省的混凝土，這是我國在解放初進行基本建設後面臨着的一個新的課題。

1953年起，學習了蘇聯的多品種多標號水泥的先進成功經驗，我國也開始大量生產，積極地朝着多品種多標號水泥的方向迅速地發展。這樣，不僅使水泥的產量能得到較快的增高，而且還在很大程度上改變了我國過去在水泥使用上的一些不合理浪費現象，可以按照工程的性質和要求合理的選用水泥。

一、關於以往的單品種高強度水泥

我國解放前及解放初期所生產的水泥幾乎都相當於現在的500~600號高標號普通水泥。生產的水泥只有一種，因而，不論在什麼性質和什麼要求的工程上，都只能採用這一種水泥。這不僅是一種很大的浪費，而且從工程質量上來說，也是不可能都得到保證的。

從浪費上來說，可以用一些例子來說明。

譬如，在工程上需要用低標號混凝土的地方，如果能夠採用相應的低標號水泥來製造，那是最理想的。但是由於只有一種

高标号的水泥，因而也就不得不采用它了，这样形成了大材小用，造成了浪费。而事实上，用高标号水泥来制造低标号混凝土，水泥也是不能少用的。因为水泥浆是用来填满混凝土骨料间的空隙的，为了保证混凝土的密实性，水泥都有一个最低用量的定额。水泥用得太少后，不但不能很好的去填满混凝土骨料间的空隙，做出了不密实的混凝土，减低了它的耐久性；而且在操作上，也会有很大的困难。

还有在建筑工程上，水泥砂浆的应用范围是很广的，象砌墙、粉刷、勾灰缝以及砌块石等。这些工程所用的水泥，是可以采用较低标号的，如 200~400 号间的水泥，但也由于都用了标号很高的水泥，所造成的浪费也是非常严重和惊人的。

再有，不论工程性质都用单品种的水泥，在工程质量上也是不能都获得保证的，同样地可以举几个例子来说明。

譬如在受海水、盐沼水和受硫酸盐溶液侵蚀的工程，用普通水泥是不适宜的，因为它没有防止这种化学作用侵蚀的性能。

而在一般的地下或水中的建筑物，尤其是经常受有高压的水工建筑物，这些环境对普通水泥来说也是不相宜的。因为这样的工程必须要具备良好的抗渗能力，而普通水泥是不具备这种特性的，因而也是不能胜任的。现在水利工程的水中部分，已规定不得使用普通水泥了。

又譬如在大体积混凝土工程中，采用普通水泥也是不太合适的。因为水泥与水分接触后，便会发出一种叫“水化热”的热量，应用普通水泥发生的这种热量是比较大的。因而在大体积的混凝土工程上采用了普通水泥以后，就会使混凝土结构在凝结和硬化过程中发生许多的裂缝现象。这是因为水泥在凝结硬化过程中发出的水化热使混凝土温度上升而膨胀，但待热量逐

漸消散后，體積又收縮。由於體積大，水泥散出的熱量也多，所以膨脹和收縮的幅度也大。混凝土從最初的象髮絲樣的裂縫開始，一直可以發展到幾個月後的大條裂縫，甚至會使整個混凝土結構裂開。

此外，在其他的工程中，由於具體的要求不同，或是要求能耐高溫；或者是施工條件的限制，要求凝結時間較慢的混凝土工程等，只有一個品種水泥就不能夠很好地適應。

因而多品種多標號水泥的生產，不但可以大量增加水泥的產量，滿足建設工程上日益增長的需要量，而且還降低了成本。更重要的是使不同性質不同要求的工程，能選擇到合理而科學的品種和各種標號的水泥，從而消滅了以往的不合理現象，保證了工程質量。

二、關於礦渣水泥

水泥是用含有石灰質及粘土質的天然材料作為基本原料的。將這些天然材料先磨細了，然後按照適當的成分加水調成生料漿，放在 $1,450^{\circ}\text{C}$ 高溫下的旋窯里去鍛燒。經過鍛燒後，便燒成象豆子一樣大小的顆粒，這就叫作熟料。再在熟料中加入適當的石膏後，一起磨成細小的粉末，便是一般的普通水泥了。

由於水泥不但在空氣中會硬化，在水中或潮濕的環境中也都硬化，而且能硬化得更好些，所以稱它是一種水硬性的膠結材料。

礦渣水泥與普通水泥在成分上不同的地方，即是在普通水泥熟料中，另外又加入了一部分的粒狀高爐礦渣。根據我國國家建設委員會批准的，於 1956 年 10 月 1 日起實施的三個品種的水泥標準（建築材料標準 101-56）中規定，它的定義是：

“凡在矽酸鹽水泥熟料中，按水泥成品重量均勻地加入 20~85% 的粒狀高爐礦渣，並按需要加入適量石膏，磨成細粉，制成的水硬性膠凝材料，稱為礦渣矽酸鹽水泥（簡稱礦渣水泥）。

允許用不超過 15% 火山灰質的混合材料代替部分粒狀高爐礦渣”。

礦渣是煉鐵工業中的副產品，也就是在熔煉生鐵的高爐中傾倒出來的浮在鐵液面層上的渣滓。

由於在煉鐵的時候，高爐中除了礦石和作為燃料的焦炭以外，還需要加入石灰石來作為熔劑，因而礦渣的形成，也正和制

造普通水泥中熟料的生產過程一樣了。因為礦石中除了鐵的成分外，便是具有着粘土成分的廢礦；在熔煉的過程中，經過高溫後，鐵的成分便形成鐵液而與廢礦分開，而這種具有粘土質的廢礦和石灰石也在高溫的燃燒情況下結合起來了。圖 1 就是生產礦渣的示意圖。

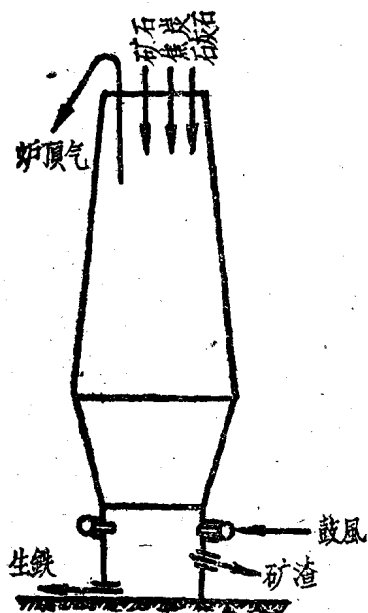


圖 1 生產礦渣的示意圖

但在高爐中傾倒出來的，只是一種液體狀的礦渣，這樣的礦渣並無水硬性，使用價值不大，不能符合作為水泥熟料中加入物的要求。

因而在我國的水泥標準中，也同樣規定着必須是經過快速冷卻處理而成的粒狀礦渣。因為，這樣才能使礦渣有較大的活性率

(氧化铝高、氧化硅低)，使矿渣能和水泥熟料一样，具有一种独立的水硬性，虽然它和水泥熟料比起来，水硬性是较弱的。

快速冷却处理而成的粒状矿渣，它的加工方法一般可以分为湿法成粒、半干法成粒及干法成粒三种。

湿法成粒就是普通所谓水淬，使液体状的矿渣直接浸入冷水，或用冷水浇射而使骤冷成粒。此法用水量，且成粒后的矿渣含水率大，需要再经过蒸发水分的干燥处理，成本较高。

半干法成粒的过程如图 2 所示的那样。液状的矿渣倾入受渣池后，再流入有高压水水流冲射的成粒斜槽而成粒；接着，成粒矿渣即与快速转动着的圆筒上的叶子接触，而成为细粒飞扬出去，使它的含水率和温度得到降低。

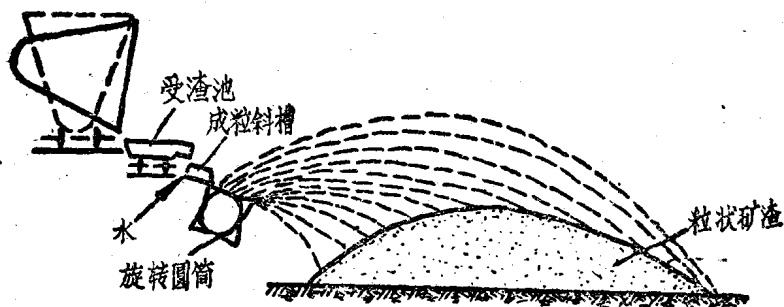


图 2 半干法矿渣成粒过程示意图

故半干法成粒可以避免湿法成粒中存在的含水量过大的缺点，而且用水量也大大地减少。

干法成粒完全用机械装置来进行成粒和冷却过程。成粒矿渣所含的水分，在成粒机内就被蒸发掉了，所以成了几乎是完全干燥的粒状矿渣。此法用水量更低，生产速度高。

三种成粒法中，湿法成本最高，所成之粒状矿渣质量最好。

矿渣水泥根据上述国家标准的规定，共分为 200 号、250

号、300号、400号及500号五个标号。它們各齡期的强度指标,以及与其他二个品种水泥的比較,如表1所示。

表中所規定的指标,其試驗方法系按照國定的“水泥物理檢驗标准方法”,試驗1:3硬練膠砂强度指标不得低于表中数值。

表1 水泥在各齡期的强度指标表

水泥标号	普通水泥			火山灰質水泥		礦渣水泥	
	3天	7天	28天	7天	28天	7天	28天
抗压强度(公斤/平方公分)							
200	—	100	200	90	200	90	200
250	—	140	250	110	250	110	250
300	—	180	300	140	300	140	300
400	160	260	400	190	400	190	400
500	220	350	500	270	500	270	500
600	260	420	600	—	—	—	—
抗拉强度(公斤/平方公分)							
200	—	12	18	11	18	11	18
250	—	12	18	11	18	11	18
300	—	15	22	14	22	14	22
400	15	19	24	18	24	18	24
500	19	23	27	22	27	22	27
600	21	27	32	—	—	—	—

从表1中可以看出,礦渣水泥在7天齡期的强度指标上較普通水泥規定得低些,这是由于礦渣水泥有早期强度低的特性的原因。但是在28天齡期的强度,則規定得与普通水泥完全是一样,而且这是可以在出厂前所經過的檢驗中得到証明的。

因而用礦渣水泥來做混凝土,經過这几年来我國各地建設工程中实践的成功經驗証明,只要充分熟悉它的性能,在操作中采取一些适当的措施,混凝土以及鋼筋混凝土工程的質量是完全可以得到保証的。对礦渣水泥的任何怀疑,都是不必要的。

第二章 礦渣水泥的主要性能

普通的混凝土是由水泥、水、砂子及石子混合而成的，而其中只有水泥是具有膠結能力的。水泥在和水接觸后，經過了物

表 2 三个不同品种水泥的特性比較表

水 泥 特 性	水 泥 种 类		
	普通水泥	火山灰質水泥	礦渣水泥
28 天齡期以前的早期强度	較 高	較 低	較 低
在妥善养护下的后期强度 (60 天或 90 天) 的增進率	較 小	較 大	較 大
在低温 (10°C 以下) 环境中的凝結硬化速度	較 快	顯著緩慢	顯著緩慢
在較高温度 (60°C 以上) 并保持潮湿的环境中 (如蒸汽养护) 的强度發展	較 慢	快	較 快
水化热	較 高	較 低	較 低
耐熱性	較 强	—	强
耐冻性	較 强	較 弱	較 弱
耐蝕性	弱	强	較 强
耐水性	差	好	較 好
干縮率	較 小	較 大	較 大
吸水率	較 小	較 大	較 小
和易性	好	較 好	較差且有泌水

[附注] 含燒粘土的火山灰質水泥的耐蝕性与耐水性均較差。

理化学作用就能凝結和硬化,它能將拌和的砂子和石子膠結在一起,成为一種整体性的坚硬的建筑材料。所以水泥在混凝土中占有着很重要的地位,要拌制成良好的混凝土,熟悉水泥的性能是重要的一环。

由于礦渣水泥的成分与普通水泥不同,因而在性能上也有着許多相异之处。表2所列的为礦渣水泥与普通水泥、火山灰質水泥在大体上的比較。

就从表2这些大体上的比較来看,可以知道礦渣水泥与普通水泥的性能,是有着很大的出入的。在这些不同的性能中,有些勝于我們以往慣用的普通水泥的,有些則比較差些。所以有必要对它們有足够的了解和認識。

一、属于优点方面的性能

礦渣水泥的特性,对工程有利方面可以分为:耐水性和耐蝕性較强,水化热低,耐热性强,在高温潮湿环境下强度發展快及后期强度大等五方面。

1. 耐水性和耐蝕性較强

在地下或水中工程的混凝土,由于經常与周圍的环境水接触,尤其是象水工隧洞与其他經常在一側承受高水压的混凝土,它就会因此受到水的分解性的侵蝕和滲透。如果在环境水中还含有象硫酸鹽之类有侵蝕性的物質时(如修建在海水中的混凝土工程),那么混凝土受到的化学侵蝕作用將更为嚴重。因而在这样环境下的混凝土,必須使它能够具有抵抗这些侵蝕性的能力。

混凝土与周围水經常接触,所以發生分解性侵蝕和滲透的原因是:当水泥在水化时,將析出大量的氫氧化鈣來,它在水中

的溶解度是很高的。这些氢氧化钙如果经常与水接触，那就使混凝土受到了很大的损害。假如它还受着单侧的高水压时，那么由于压力的缘故，渗透和溶解更易发生，渗透过混凝土的水将这些溶解后的胶状白色物质从混凝土中不断带出来，使混凝土的内部形成无数的空隙，这就使建筑物的寿命大大地减短。普通水泥与水接触后的情况，正是这样。因而在这种环境下的混凝土，如果用普通水泥来拌制的话，那是非常危险的，现在已经规定不准采用了。

在矿渣水泥中由于矿渣中的活性二氧化硅、三氧化铝，能够吸收水泥在水化时所析出的氢氧化钙而生成硅酸钙和铝酸钙的水化物，而这种水化物是不溶于水的。因而也就增加了混凝土的耐久性，具有了较好的耐水性。

矿渣含量愈高的水泥，它的抗渗能力也就愈好，如果再做得很密实，可以承受很高的水压。表3是南湾水库所做的矿渣水泥混凝土抗渗能力试验成果，可以作为参考。

表 3 矿渣水泥混凝土抗渗强度试验成果

配合比	水灰比	28 天耐压强度 (公斤/平方公分)	抗渗性标号	备注
1:1.9:2.79	0.50	—	B ₃ 以上	加气混凝土
1:2.12:3.53	0.53	218	B ₃ 以上	
1:2.26:3.54	0.55	253	B ₃ 以上	

〔附注〕 上表所示成果受仪器设备限制，最大加压力仅能达到8公斤/平方公分(B₃)。

受到含有硫酸盐类等物质的水侵蚀时，普通水泥的混凝土由于水泥在水化时所析出的氢氧化钙与水中的硫酸盐类作用，形成硫酸钙结晶，而此种硫酸钙在混凝土中又与铝酸四钙水化

物生成硫鋁酸鈣水化物的針狀結晶，體積增大，能使混凝土膨脹而破壞。但在礦渣水泥混凝土中，由於氫氧化鈣幾乎沒有，因而就能避免此種體積膨脹的破壞作用了。

表 4 是三種水泥的試體在 28 天后浸入 10% 的硫酸鈉溶液中，經過半年後的強度發展比較表。一般的說來，礦渣水泥的抗蝕能力不如火山灰質水泥，但要比普通水泥好得多。

表 4. 礦渣水泥耐蝕性試驗參考比較表

試體在 28 天后浸入 10% 的硫酸鈉溶液 中之天數	耐壓強度(公斤/平方公分)		
	普通水泥	含 30% 爐渣 的礦渣水泥	含 30% 赤頁岩 之火山灰質水泥
7 天	216	146	174
28 天	278	242	266
3 個月	264	326	332
6 個月	崩潰	333	355

2. 水化熱低

水泥在與水接觸後，就會起一種水化作用，同時還發出了一定的熱量。而熱量大小，在一定時間內是隨著水泥硬化的發展而不斷地增加著；同時，一般說來硬化過程愈快的水泥，其發熱量也愈高；硬化得遲緩的，則其發熱量也低。

水化熱的發生，使混凝土的溫度不斷地增加。一般結構斷面不大的混凝土工程，由於其體積小發熱量也小，而且表面積較大，熱量發散較易，對結構不致引起損害。但在大體積^①的混凝土結構工程中，體積大，發熱量也大，而能夠發散熱量的結構表面積却相對地小了，因而蘊藏在混凝土內部的大量熱量，就使混凝土內部的溫度不斷地升高，使體積膨脹，產生了較大的內應

^① 混凝土厚度在 6 公尺以上的，稱為大體積混凝土。

力。而經過一定時間，當這些熱量逐漸發散完畢後，混凝土的溫度又開始降低，積體也因之收縮，這時，結構物就容易產生裂縫了。這樣，就使混凝土結構的質量受到了損害，尤其是一些象混凝土水壩及橋墩等類的龐大結構，往往會因此而崩裂。

因此，對於這種大體積混凝土工程，必須要選用水化熱較低的水泥，以保證工程的質量和安全。根據試驗證明，普通水泥在水化作用時所發出的熱量較大，火山灰質水泥就小，但是礦渣水泥在這三種水泥中要算是最低的一種。

礦渣水泥中礦渣加量，與它在水化時的發熱量也有關；礦渣加量愈多，發熱量也就愈小。表 5 是蘇聯國立水泥科學院用直接法（0.3 水灰比淨漿）測得的普通水泥和礦渣水泥三天齡期的水化熱比較表。

表 5 蘇聯的普通水泥與礦渣水泥 3 天齡期水化熱比較表

指 標	普通水泥	礦 渣 水 泥	
		礦渣 30%	礦渣 70%
抗壓強度(公斤/平方公分)	350	300	204
水化熱(卡/克)	77	52	32

表 6 則是我國目前的一些水泥工廠所生產的礦渣水泥水化熱的試驗資料，也是通過直接法試驗的。

礦渣水泥給大體積混凝土創造了非常有利的施工條件。

表 6 國產礦渣水泥 3 天齡期水化熱參考表

廠 別	礦渣加量	水泥標號	水化熱(卡/克)
鞍山水泥廠	75%	200	20
重慶水泥廠	40%	300	50
琉璃河水泥廠	20%	—	55

3. 耐热性强

在混凝土中經硬化后的水泥,在一定的高温下,能使它的各种成分先后發生脫水現象,而使强度下減。其中以氫氧化鈣和碳酸鈣更甚。

礦渣水泥硬化后所生成的氫氧化鈣比起普通水泥來要少得多,因而它的耐热性要强得多。这不但因为氫氧化鈣發生脫水現象;还在于当氫氧化鈣脫水后,还很可能与水分接触而發生第二次水化,这样就会因体積膨脹而使混凝土結構受到損害。

在三种水泥品种中,礦渣水泥的耐热性較之普通水泥和火山灰質水泥都好,因而也最适合于有耐热要求的工程。

礦渣水泥具备适用于热車間的有利条件,不但可用來作为建筑物的混凝土結構,还可用來作成水泥砂漿。根据資料說明,在 100°C 以下时,用礦渣水泥拌制成的砂漿,其强度不因温度升高而减少;用來作为混凝土結構时,一般適用在 200°C 以下的受热場合下。受热情况在 $200\sim 1,250^{\circ}\text{C}$ 时,則应该在礦渣水泥中再掺加些耐热材料,如金鋼砂或耐火粘土磚之粉末等。

礦渣水泥中,礦渣的加入量愈高,則其耐热性也愈好。

4. 在高温潮湿环境中强度發展快

混凝土的强度發展得是否好,与混凝土中的水泥凝結硬化是否正常有关。在其他条件相同的情况下,凝結速度是和一定的养护温度成正比的;养护温度高,凝結得快,它的强度發展得也就快。普通混凝土的正常养护温度是 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$, 在低温条件下,强度的發展就很慢,因而技術规范中規定,当日平均气温^①在 4°C 以下或最低气温在 -3°C 以下时,就得按冬季条件下的規定進行施工,也就是必須要采取加热或保温措施。

① 日平均气温以每日 6 时、14 时及 21 时測得的平均值为准。

礦渣水泥在低温条件环境中,由于它的凝結及硬化表現得顯著的迟緩,尤其是 300 号及 300 号以下的礦渣水泥更甚,因此通常在 10°C 以下的环境下,就須要采取加热和保温措施了。不然的話,在这种情况下是不適宜用礦渣水泥混凝土施工的。

然而,在高温和潮湿的环境下,礦渣水泥的强度非但不比相同养护条件的普通水泥發展得慢,而且反而比它發展得快,这就是因为礦渣水泥对温度的影响有着特別敏感的特性。强度的發展虽然不如火山灰質水泥,但比普通水泥在同样情况下要發展得快得多,这可以拿水泥快速試驗中的情况來說明。

水泥快速試驗是將二套同样的水泥漿制成的 2 公分立方試体來作試驗,先將二套都放在温度为 $20^{\circ}\text{C}(\pm 2^{\circ}\text{C})$ 的潮湿环境中,經過 20 小时后取出一套。即將取出的那套放在罐內的蒸架上,使罐中的水加热至沸点并使繼續沸騰 4 小时。然后把这一套試塊和那套在 20°C 潮湿环境下保持 24 小时的試体,在冷却后分別作耐压試驗。試驗結果可以証明这二者之間的比值,对不同性質的水泥可以相差很大。若設

$$\eta = \frac{\text{試体在 } 20^{\circ}\text{C} \text{ 潮湿环境下保持 20 小时,然后經汽蒸 4 小时的耐压强度}}{\text{試体在 } 20^{\circ}\text{C} \text{ 潮湿环境下保持 24 小时的耐压强度}}$$

則这一个比值 η , 在含有大量礦渣的礦渣水泥,可以达到 10 及 10 以上;而普通水泥的 η 值,却只在 5~10 之間。

因而,礦渣水泥在高温度 (60°C 以上) 并保持在饱和湿度的潮湿环境中 (如蒸汽养护), 它的强度發展是較快的。表 7 是三

表 7 三种水泥在蒸汽养护下 (80°C) 强度发展的相对比較

养护時間	普通水泥	礦渣水泥	火山灰質水泥
12 小时	45%	52%	68%
20 小时	58%	72%	85%
最終强度 (72 小时)	90%	112%	104%

种水泥在蒸汽养护下强度发展的相对比较资料,可以作为参考。

矿渣水泥中矿渣加量愈多,则它的这种特性也就愈显著。

5. 后期强度大

水泥和混凝土的强度指标都以 28 天龄期强度为准,这里所指的后期强度,是指 28 天以后的,象 3 月、6 月、1 年等龄期的强度而言。

各个品种的水泥,由于它所含的矿物成分不一样,因而它们的后期强度发展率也不同。普通水泥的后期强度发展得比较慢,矿渣水泥虽则有早期强度低的缺点,但是在后期的耐压强度上却远超过普通水泥,即使在抗拉强度上也仅次于火山灰质水泥而胜过普通水泥不少。

我国建筑材料工业部的建筑材料工业综合研究所,曾经对国产的各品种水泥用 1:3 硬练胶砂做了强度增进率的比较试验,现将试验结果列于表 8。从表 8 中所列的数值上,可以看出矿渣水泥后期强度的发展是很显著的。

表 8 国产各品种水泥的后期强度增进率比较表
(以 28 天龄期的强度为 100)

水泥种类	龄 期			
	28 天	3 月	6 月	1 年
抗压强度增进率(%)				
普通水泥	100	112~118	116~118	118~121
火山灰质水泥	100	107~129	115~142	125~146
矿渣水泥	100	101~142	113~160	123~168
抗拉强度增进率(%)				
普通水泥	100	106~111	105~118	103~114
火山灰质水泥	100	111~124	119~148	122~168
矿渣水泥	100	110~125	119~141	118~143