

高爐矿渣的綜合利用

冶金部建筑研究院編

科学技术出版社

高爐矿渣的綜合利用

冶金部建筑研究院編

科学技术出版社

1959年·北京

本書提要

冶金工業的廢料——高爐礦渣是一種有效的建築材料，可以製造水泥、保溫材料和其他輕質建築材料等。然而我國對礦渣的利用為數極少，大部分被拋棄。尤其目前在冶金企業大躍進的形勢下，礦渣產量也隨之猛增，因此礦渣利用更有其巨大的經濟意義。

本書介紹了高爐礦渣綜合利用的經濟意義和發展前途、礦渣的基本知識，以及根據試驗研究的結果提出用礦渣製造一般建築材料的方法、性能和使用範圍。

本書可供全國各大、中、小冶金企業，建築工地、科學研究機構和專業學校等工作人員參考之用。

總號：1381

高爐礦渣的綜合利用

編 著：冶 金 部 建 築 研 究 院

出版者：科 學 技 術 出 版 社

（北京市西黃門外草廠胡同）

北京市書刊出版業登記證出字第091號

發行者：黃 華 書 店

印刷者：北 京 市 通 州 區 印 刷 廠

開 本：787×1092 1/32 印張：1 1/4

1959年4月第 1 版 字數：3,000

1959年4月第1次印刷 印數：4,545

統一書號：15051·218

定 價：0.91 1角7分

目 次

高炉矿渣·····	1
石灰矿渣水泥·····	4
快硬石膏矿渣水泥和石膏矿渣水泥·····	7
磨细重矿渣混合材料·····	16
湿碾矿渣混凝土·····	21
膨胀矿渣·····	31
热铸矿渣·····	37
热熔矿渣做水泥与水泥熟料·····	39
矿渣棉·····	40

高 爐 矿 渣

一、什么是高爐矿渣

高爐矿渣是煉鐵工業的副產品，同時又是一種非常寶貴的建築材料。

高爐矿渣是怎样生成的呢？

熔煉生鐵時，鐵矿石、燃料（焦炭）和熔劑（石灰石），从高爐的頂上加進去，這些東西在高溫條件下相互發生作用。結果，除了生成鐵水和爐頂氣以外，還生成一種熱熔狀態的非金屬產物，這就是高爐矿渣。高爐矿渣是由矿石中的廢石、燃料中的灰分和熔劑中的非揮發部分所組成的。

熱熔矿渣比鐵水要輕一倍多，所以它浮在鐵水的上面，不與鐵水混合。熱熔矿渣是一種熾熱的融體，溫度高達 $1,400-1,500^{\circ}\text{C}$ 。熔渣在高爐里所占的體積很大，每隔一定時間就要從出渣口放出熔渣一次，有時大高爐出一次鐵須放兩次渣；出一噸生鐵一般就有 $0.7-0.8$ 噸矿渣。由此可見，矿渣的產量是很大的。

从高爐里放出來的矿渣，如果讓它慢慢地冷卻，就凝成大塊的矿渣，我們稱它為重矿渣或塊狀矿渣；如果用水、壓縮空氣或水蒸汽予以淬冷，它就分散成為“粒狀矿渣”，這種處理叫做“成粒”；因為處理時，一般需用冷水，因此粒狀矿渣俗稱“水渣”。

高爐矿渣的成分和水泥的成分很接近，因為高爐矿渣是在高爐中形成的，正好象水泥熟料在水泥窯里燒成的情況一樣，都是石灰質和粘土質物質在高溫下的產物。當然這兩種材料主要成分的比例是不一樣的，高爐矿渣中氧化鈣的含量要少一

些。

高爐矿渣根据所含化学成分的不同，可分为硷性矿渣、酸性矿渣和中性矿渣三种。

二、高爐矿渣有哪些用途

高爐矿渣不但是一种具有广阔发展前途的建筑材料，而且又是一种十分有用的工业原料和农业用料。

矿渣的用途仅在建筑材料方面就不下二十五种；几乎所有利用建筑材料的地方都可用矿渣来代替。矿渣是解决建筑材料来源的一个巨大的潜在力量，是一个取之不尽用之不竭的丰富的材料源泉。

矿渣的用途可从下面三方面说起。

利用水渣可以供水泥厂制造矿渣矽酸盐水泥，可以制成生产工艺十分简单的石灰矿渣水泥和石膏矿渣水泥，也可以代替水泥制成湿碾砂浆和湿碾混凝土和作为混凝土的掺合料，还可以制成矽酸盐制品、矿渣砖、矿渣瓦、大型砌块、水渣保温板等。

利用重矿渣可以制造耐热混凝土（可耐热 $700-900^{\circ}\text{C}$ ），也可以作为普通混凝土的骨料和掺合料，用于道路工程和基础垫层，又可作为铁路道渣，甚至还可以作为肥田粉、农药、涂料和砖釉的原料，还可以用于橡胶工业和搪瓷工业。

直接利用热熔状态的矿渣，可以制成矿渣棉、膨胀矿渣、热铸矿渣块、玻璃、玻璃丝、管道、绝缘器材和陶瓷；热熔矿渣还可以制成水泥熟料，使高爐既出铁又出水泥。

高爐矿渣有这么多的用途，决不能把它看成是工业废料。所以我们說“高爐矿渣是个宝”。

三、利用高爐矿渣的好处多

从上面所介紹的高爐矿渣的用途来看，高爐矿渣真是一种价廉、物美、用途广的宝贵材料。利用高爐矿渣的好处：

1、高爐矿渣是工业废料，但可用来扩大建筑材料的品种，制成各种新建筑材料和特种材料，它们的成本极为低廉。石灰矿渣水泥和石膏矿渣水泥比同标号的矽酸盐水泥每吨可省20—30元；湿碾矿渣混凝土不但比普通混凝土降低成本30%，而且还能节省80—90%的水泥；把矿渣制成热铸矿渣可以节省大量的铸铁；制成輕質混凝土可为发展輕型结构开辟新的领域。

2、由于热熔矿渣本身温度在 $1,300^{\circ}\text{C}$ 以上，可以不必进行焙烧而获得优良的活性材料，把活性材料用来代替水泥，可以节省大量的燃料。石灰矿渣水泥就是一种不用燃料的水泥。

3、可以免去冶金工厂处理废料的负担。运走废渣需用渣罐車，还得有专用铁路和一个运输部門；如果把矿渣利用起来，这些设备可以省略很多，由于矿渣是炼铁的副产品，能够降低生铁成本。

4、可以免去由于堆积废渣所占用的大块农田；所以说，利用矿渣对农业生产还有直接的好处。

5、矿渣是一种极为有用的工业原料和农业用料，因此利用高爐矿渣还大大地支援了工农业建设。

四、大家都来利用高爐矿渣

高爐矿渣的用途广、好处多，因此我們大家都要重视矿渣的利用。过去把矿渣的利用放在一个极不相称的地位，其中除了几个大的钢铁联合企业如鞍钢、石钢、太钢等利用了极少一部分外，絕大部分的矿渣都被当做废料抛在一边。由于矿渣的利

用面不广，它們的巨大作用始終沒有發揮出来。自从全国工农业生产大跃进以来，各省、市、区甚至各个农业社已掀起了一个全民办鋼鐵工业的、令人振奋的高潮，高爐便不再是几个工业城市所独有，而是遍布了全国各地，所以高爐矿渣已成为一种极为广泛的地方性材料。在这种新的情况下，高爐矿渣的利用應該是人人有份、个个有責。必須指出，在大家都来利用高爐矿渣的同时，必須貫徹中央提出“土洋結合”、“以土为主”的方針。也就是說要發揚共产主义的风格，破除迷信，打掉奴才思想，打垮“条件論”、“設備論”的錯誤思想。事实証明，象山西阳城应朝鉄业社沒有使用任何机器，而是用太阳晒或火炕烤，用耕畜拉石碾，就生产了标号高、性能好的水泥，这种敢想敢干的共产主义风格是值得提倡和学习的。

目前全国各地积存的矿渣有2,500万吨以上，而新生产的矿渣还在繼續不断地增加，矿渣的利用率至今还只有总数的30%左右，这个情况必須迅速予以改变。这就要靠发动群众，人人动手，使矿渣全部地被应用起来，讓工业废料也为社会主义建設服务。

石灰矿渣水泥

一、石灰矿渣水泥的原料

顧名思义，石灰矿渣水泥的主要原料是石灰和矿渣。为了提高这种水泥的强度和加速它的凝結，还需要加入少量的石膏。

1. 矿渣 做无熟料水泥用的矿渣都應該是水渣，而不是块状的重矿渣，所以也可称“石灰矿渣水泥”为“石灰水渣水泥”。水渣就是将刚从高爐出来的热熔矿渣經冷水驟然冷却而制成的，它具有粒状多孔而疏松的特征，松散容重仅在800公斤/立方公尺左右。热熔矿渣只有在很好的驟冷处理后，才具有較高

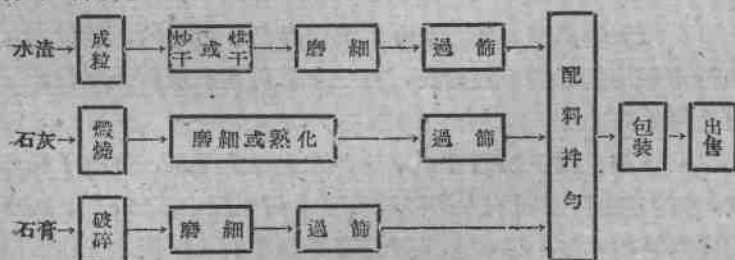
的活性。所以矿渣成粒的好坏对水泥质量影响很大。矿渣的化学成分对水泥质量也有很大关系，硷性的或含铝较高的酸性矿渣都可以制成质量好的水泥。矿渣中的锰是一种有害的成分，氧化锰过多会使水泥强度降低，安定性不良。

2. 石灰 石灰是用石灰石经 900°C 煅烧而成，煅烧石灰在我国各地都有丰富的经验。石灰分生石灰、熟石灰、石灰膏和水硬性石灰等。生石灰、熟石灰和石灰膏都属于气硬性材料。在石灰矿渣水泥中生、熟石灰都可应用，有时连水硬性石灰也可以采用。作为水泥原料的石灰的质量要好些，也就是要熟化速度快、含钙量高一些的石灰。

3. 石膏 生石膏(也称天然石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、熟石膏(也称半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)在石灰矿渣水泥中均可采用。石膏愈纯，水泥的质量愈好。如果水泥是在蒸汽条件下增长强度的，选用生石膏作原料较好；如果是在自然环境中增长强度的，则采用熟石膏作原料它的强度较高。

二、石灰矿渣水泥的制造方法

石灰矿渣水泥是将65—85%水渣、10—30%熟石灰(或生石灰)和5%左右的石膏配合、磨细(或分别磨细后再按比例配合拌匀)制成。它的生产过程如下：



土法洋法都能生产这种水泥，大批的生产可用回轉烘干机将水渣烘干，用球磨机、管磨机或雷蒙式磨机等设备进行粉

碎。小量的生产或在农村中也可采用炒鍋来烘干水渣、用牲口碾碾細各种原料。

三、石灰矿渣水泥的性能

每种材料都具有一定的性能，只有掌握了这种性能在应用中才能充分发挥它的作用。石灰矿渣水泥的主要性能如下：

1. 标准稠度 比普通水泥要高，一般介于28—32%之間。

2. 凝結時間 一般來說，这种水泥的凝結時間是比較緩慢的，通常初凝是2—6小时，而終凝是5—12小时。采用生石灰当作水泥的原料，有时有凝結時間特別快的現象。

3. 安定性 水泥成分选用适当的配合比，則其安定性良好，如采用的生石灰量过多或采用了难以消解或消解很慢的石灰时，会有安定性不良的現象。

4. 耐压强度 从已有的試驗資料中看，矿渣質量好的水泥强度达300公斤/平方公分以上，一般能达200公斤/平方公分左右。

5. 抗张强度 它的抗张强度为耐压强度的 $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{9}$ ，而矿渣矽酸盐水泥的抗张强度只有耐压强度的 $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{16}$ 。

6. 抗蝕性 它具有比矽酸盐水泥更好的抗矿物水作用能力。

7. 水泥儲存期 熟石灰在空气中是易于碳化的，所以石灰矿渣水泥的儲存期不宜延长，在一个月以內石灰矿渣水泥标号可不降低。

8. 使用范围 我国曾使用这种水泥建造平房，浇筑了标号200号的建造厂房用的大型鋼筋混凝土屋面板，在农村中也有用它来筑蓄水池，效果都很好。在苏联用石灰矿渣水泥作胶結材浇成的海岸防波堤，在2—3公尺的海水中經過27年仍然很坚固。有些机器的基础、高爐与炼焦爐的平台及支柱工程中，也都

可以用石灰矿渣水泥。实践证明，石灰矿渣水泥完全可以制造建筑砂浆、70—90号的普通混凝土以及各种建筑配件。在有蒸汽产生的条件下，用这种水泥可配200号，甚至还要高的钢筋混凝土。

四、使用效果

石灰矿渣水泥所用的原料是就地取材，尤其在钢铁大跃进的形势下，矿渣产量大大增加，且分遍在全国各地，石灰是全国各地都有大宗材料，我国有23个省都有石膏矿床。

石灰矿渣水泥的生产工艺简单，质量容易控制，和无熟料水泥和生产普通的水泥相比较，石灰矿渣水泥不需要经过技术复杂的水泥熟料煅烧过程。这种水泥很适合普遍推广，各地都可以因陋就简、在短期内就地建厂投入生产。这样，特别是在边远地区或山区，就可大大地节省水泥运输的昂贵费用。

由于以上几个原因，这种石灰矿渣水泥的成本估计每吨只要20元左右，比矽酸盐水泥的出厂价格便宜一半以上。目前各地正在大量兴建水利建设和基本建设，这些工程都可以使用当地的矿渣制造石灰矿渣水泥，为国家节省大量资金。

快硬石膏矿渣水泥和石膏矿渣水泥

石膏和矿渣都是我国富饶的宝藏，石膏几乎分布于全国各地。按所含的结晶水的不同，石膏可分为：二水石膏、无水石膏和半水石膏三种。无水石膏又分为不溶性无水石膏和可溶性无水石膏；半水石膏又有 β 型——建筑石膏及 α 型——高强度石膏之分。

1. 二水石膏 是含水的硫酸钙，是自然界分布最广的硫酸盐矿物。纯石膏的分子式为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，它的硬度是1.5—2；比重为2.31—2.33。纯石膏的化学成分为 $\text{CaO} = 32.56\%$ ；

$\text{SO}_3 = 46.51\%$; $\text{H}_2\text{O} = 20.93\%$ 。往往石膏內含有很多雜質，如石英、黃鐵礦、碳酸鹽、硫磺、硼酸鹽、粘土等，因而石膏有雪白色、蜜黃色、肉紅色、灰色、褐色、黑色和雜色等。二水石膏與水是不會凝結的，它單獨並不是一種膠結材料，而是生產石膏膠結材料及其它膠結材料的原料。

2. 無水石膏 自然界的石膏礦層中通常伴隨有無水石膏（又可稱硬石膏），即無水硫酸鈣（ CaSO_4 ）。化學上純石膏含有41.18%的 CaO 及58.82%的 SO_3 。

無水石膏的硬度比二水石膏的硬度較大，為3—3.5，比重為2.9—3.1。

將無水石膏和二水石膏在450—750°C之間煅燒即形成不溶性無水石膏，這種石膏幾乎完全不凝結也不硬化。

當石膏加熱到750—1,000°C時，可得到新的變體——即為可溶性無水石膏（ $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_3$ ），此時硫酸鈣分解，在新形成的變體中含有一些“游離”石灰，它重新具有凝結和硬化的性能。它的凝結時間較慢，但機械強度很高。

3. 半水石膏 二水石膏經熱處理脫水變成半水石膏（ $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O} + 1.5\text{H}_2\text{O}$ ），半水石膏是一種良好氣硬性膠結材料，也就是說它與水混合時僅能在空氣中硬化，並保持強度，製品遇水後強度要下降40—50%。由於熱處理形式的不同，半水石膏的結晶也不同，一種是 β 型晶體——建築石膏；另一種是 α 型晶體——高強度石膏。

建築石膏的生產過程，包括石膏石破碎和磨細以及二水石膏經熱處理成半水石膏兩部分。生產方法有兩種：一種是將石膏先磨細成粉末然後熱處理；另一種是把粒度不超過20公厘的石膏小塊進行熱處理，然後磨細。

熱處理方法是在敞開式容器內煅燒二水石膏脫水成半水

石膏。其設備有土窖、火室窖、环形窖、豎窖、旋轉筒式窖等，最近各國都採用了蒸煉鍋和炒鍋生產建築石膏。

熱處理的溫度一般在 $180-190^{\circ}\text{C}$ 以內，熱處理的時間與採用的設備有關，炒鍋（和做飯用的鍋相似）一般在40—50分鐘左右。熱處理溫度的高低和時間的長短對半水石膏的強度起着決定性作用。

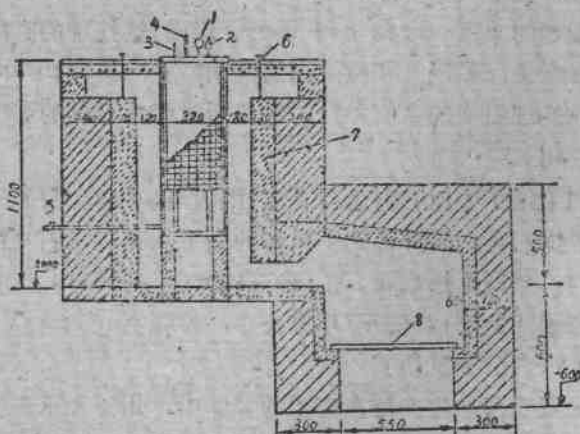
我們採用了太原石膏進行試驗，因設備的限制，我們用電熱烘箱來煅燒石膏，同樣得到了良好的效果。將二水石膏粉末裝在小盤內，放進電熱烘箱，在 $180-190^{\circ}\text{C}$ 烘干5—6小時，其恆重抗壓強度達到138公斤/平方公分，抗張強度24公斤/平方公分（ $7\times 7\times 7$ 公分試塊）。

高強度石膏的生產是在密閉的容器中，用飽和水蒸汽加熱二水石膏，其結晶比建築石膏密實，是針狀晶体，它的機械強度較高，一般可達300—400公斤/平方公分左右，因此，稱為高強度石膏。生產方法有自蒸法、阻抑法、密封炒鍋法，用得廣泛的是自蒸法。

自蒸法的主要設備是自蒸鍋，是一個垂直的金屬圓筒，上下兩端設有裝卸石膏塊的洞口和密封器，自蒸鍋中垂直裝有很多金屬管，這些管子上下兩端與總氣室連通，裝用石膏碎塊粒徑為15—50公厘，自蒸鍋的壓力是靠石膏岩本身含有的附着水和結晶水形成的，煙氣順金屬管流過（熱氣通過管壁傳給石膏岩）把石膏岩碎塊加熱，而結晶水分解出來變成蒸汽。石膏碎塊在1.2—1.3大氣壓下壓蒸6—7小時，烘干3—4小時（沒有壓力），其溫度為 $130-150^{\circ}\text{C}$ ，然後將碎塊從鍋中取出，用任何一種磨細設備磨細成粉末即成。

我們曾用自己製造的簡單自蒸鍋（如下圖）進行了試驗，同樣得到了良好的結果，其強度已達到300公斤/平方公分以上（7

天抗压强度)。



石膏自蒸鍋設備圖

- 1—壓力表； 2—安全閥； 3—溫度計； 4—放氣管；
5—放氣管； 6—煙囪擋板； 7—耐火磚衬壁； 8—爐篦

另外还可制作水平旋轉自蒸鍋，它的构造和上述自蒸鍋相同，不同的是它可以旋轉，使石膏碎块受热更为均匀，它可装粒度在50公厘以下的石膏碎块，粉末不必过篩。

一、快硬石膏矿渣水泥

(一) 原 料:

1. 半水石膏 建筑石膏和高强度石膏都可以应用，由于半水石膏具有迅速凝結的特点，因而快硬石膏矿渣水泥的早期强度是由半水石膏来承担的。快硬石膏矿渣水泥的活性，主要决定于半水石膏的活性，因而采用高强度石膏配制的快硬石膏矿渣水泥要比用建筑石膏配制的快硬石膏矿渣水泥强度高些。

2. 高爐矿渣 对矿渣的要求 CaO ——不小于46%， Al_2O_3

——不小于9%，FeO——不大于2%，MnO——不大于3%为佳。如果 Al_2O_3 含量大一些，CaO 的含量可以稍低一些。矿渣的活性也对快硬石膏矿渣水泥有很大影响，用水渣比用重渣配制的快硬石膏矿渣水泥的活性要大一倍以上。

(二) 配 制:

快硬石膏矿渣水泥就是由磨细的半水石膏和高炉矿渣按不同的比例混合而成，半水石膏与矿渣可以混合磨细或分别磨细。其配合比通常采用1:0.5—1:4 (石膏:矿渣)，采用哪种配合比，决定于工程工期的要求和制品的种类。1:0.5—1:1 (石膏:矿渣) 它的早期强度来得高些，可以快速拆模；1:2—1:4 (石膏:矿渣) 它的早期强度来得稍低些，但其水硬性较好，后期强度来得高。

另外，应该特别指出：我国的矿渣大部分是酸性和中性的，为了激发矿渣的活性，可掺入3% (混合料重的) 的磨细生石灰。但使用硷性矿渣时决不要掺入石灰，否则会引起安定性不良或开裂的现象。

(三) 性 能:

快硬石膏矿渣水泥具有半水石膏的一切良好的建筑性能，不但能迅速的凝结硬化，而且又具有普通水泥的水硬性。不但能在空气中凝结硬化，而且在潮湿空气中、水中都能凝结硬化，它的后期强度还能不断增长。特别是经蒸汽处理后，其强度显著增高，蒸汽养护后1天的试块抗压强度大于自然养护28天试块的抗压强度。

我们曾用太原的二水石膏制得的高强度石膏与太原、石景山水渣配制过快硬石膏矿渣水泥，将部分试验结果列入表1和表2。

快硬石膏矿渣水泥在不同养护条件下的强度

试件养护条件 及 试验期	不同配合比时强度 (公斤/平方公分)									
	石膏:矿渣 1:3		石膏:矿渣 1:2.5		石膏:矿渣 1:1.5		石膏:矿渣 1:1		石膏:矿渣 1:0.75	
	抗压	抗张	抗压	抗张	抗压	抗张	抗压	抗张	抗压	抗张
成型后3小时	3.4	14.4	4.3	23.6	7.9	27.4	8.3	38.9	8.4	59.6
空气养护7天	20.2	133.7	21.8	155.9	23.9	138.9	21.5	145.23	29.5	132.6
空气养护28天	21.6	201	23.4	220	25.6	241	23.8	217	22.4	132
空气养护3个月	18.9	208	19.9	107	23.4	231	23.3	195	21.7	182
汽蒸后1天	15.2	235	16.1	239	22.7	246	28.9	199	28.0	167.4
汽蒸后空气养护28天	35.9	440	36.8	377	36.1	373	31.3	298	27.4	271
汽蒸后水中养护28天	41.1	403	39.9	339	40.4	310	33.6	238	27.4	232
水中养护7天	13.6	100	15.5	95	14.5	87	11.5	87	9.9	61
水中养护28天	29.1	203	29.8	223	29.0	232	24.3	150	19.9	113
水中养护3个月	27.4	261	26.9	228	26.0	231	27.5	207	16.3	154

注:此表是采用石景山的水渣。

表2

快硬石膏矿渣水泥在不同养护条件下的强度

编 号	配合比 (重量比) 石膏:矿渣	生 石 灰 掺 量 %	标 准 稠 度 %	不同养护情况下的抗压强度(公斤/平方公分)						
				空 气 中		水 中		汽 蒸 后 空 气 中		汽 蒸 后 水 中
				7天	28天	7天	28天	7天	28天	7天
rm1	1:1	5	36	111	216	135	—	270	436	156
rm2	1:2	5	33	97	208	110	—	305	502	207
rm3	1:3	5	32	98	218	106	—	311	508	215
rm4	1:4	5	32	74	238	96	—	464	532	371
rm5	1:1	5	37	60	172	42	—	101	238	69
rm6	1:2	5	34	34	138	24	—	112	170	53
rm7	1:3	5	34	19	96	17	—	88	112	47
rm8	1:4	5	32	14	88	12	—	85	70	48

注: 1. 石膏活性200(公斤/平方公分);

2. rm1—rm4为太原水渣, rm5—rm8为太原重渣;

3. 水中28天强度还会高。

(四) 经济效益: 快硬石膏矿渣水泥是一种价廉的地方性建

表3 太原快硬石膏矿渣水泥的价格和普通水泥的价格比较表

胶凝材料名称	元/吨	胶凝材料名称	元/吨
快硬石膏矿渣水泥		水泥	
1:1 (石膏:矿渣)	22.1	太原400# 矿渣水泥	46.62
1:2	20.4	太原500# 矿渣水泥	42.50
1:3	19.6	大同500# 普通水泥	42.77
1:4	19.1	大同 00# 矿渣水泥	46.12