

技術知識叢書

代水泥

沈旦申 著

蘇工業學院圖書館
藏書章



上海科學普及出版社

內 容 提 要

國內水泥產量雖然每年增長，但是水泥的供應還是很緊張，目前幾乎沒有一個建築工地不在動節約水泥的腦筋。“代水泥”是節約水泥方法中最有效的技術措施之一，所以現在要在全國範圍內推廣。

本書作者是從事建築材料研究工作的，他在本書內把代水泥發展的歷史、原料來源、硬化原理、製造過程，以及使用範圍和經驗等都作了系統的介紹。由於文筆生動，不僅對土建工作者有實用參考價值，就是對不懂這方面技術的讀者，也會引起興趣，全部理解的。

總號：029

代 水 泥

著 者： 沈 旦

封面設計： 金 雪

出 版 者： 上海科學普及出版
(上海市蘆淞南路475號)
上海市書刊出版業營業許可証出字第086

發 行 者： 新華書店上海發行

印 刷 者： 上海市印刷五
上海江寧路1110號

開本：787×1092 1/32 印張：2 1/16

字數：14,000 統 書 號：T 150128·13

印數：3,000 定 價：2 角 8 分

1957年8月第 版 1957年8月第一次印刷

前 言

提起水泥大家都知道是石头（石灰石）和粘土制成的，原料完全是不值錢的东西，那么，为什么值得我們这样珍惜它呢？原来，生产水泥需要配备大型机械设备的工厂，用掉大量的燃料和电能，经过复杂的生产过程，才能得到一袋袋的成品。水泥是笨重的物资，千百吨的水泥从工厂搬运到仓库，再从仓库搬运到现场，还需要消耗大量的运输能力，如果水泥工厂和建筑工地间隔好几个省分，那么，运输的费用就会超过制造水泥的成本好几倍。

混凝土的各种組成材料中水泥得来最費功夫，价值最貴，因此利用別种膠凝材料代替水泥有极重要的节约意义。

抗日战争时期，西南的水利工程中曾經使用“代水泥”。现在，国内已有多多种代水泥生产，并且有些建筑工地就地取材，在现场制造代水泥，这样，为国家节约了大量水泥，又节约了大量建設資金。

一般說来，大家对于代水泥还是很陌生，有人問，代水泥到底代得上水泥嗎？好，下面讓我們从头至尾地談一談关于“代水泥”的問題。

目 次

前 言

一、談談水泥的历史·····	1
二、水的考驗·····	7
三、代水泥的主要原料·····	13
四、代水泥的硬化原理·····	23
五、代水泥原料的品質标准和成分配合·····	28
六、代水泥是怎样制成的·····	35
七、代水泥的性能·····	40
八、代水泥的質量檢驗·····	43
九、怎样应用代水泥·····	50
十、国内制造和使用代水泥的經驗·····	54
十一、代水泥的新技术·····	57
結 語·····	63
附 录·····	64

一、談談水泥的歷史

人類使用普通水泥只有一百多年的時間，可是把“水泥”這名詞廣義地解釋為將砂石料膠合為整體的膠凝材料的話，那末在有史以前人類就會應用了。介紹代水泥之前，必須回顧一下水泥的歷史，因為代水泥和古代的膠凝材料的關係太密切了。

每年春天，樑上的燕子啣來雜有花瓣的粘土，忙忙碌碌地把樹枝膠合起來，築成它們的香巢，這樣說，最原始的水泥可以算是粘土了。不錯，我們的祖先在土木工程中善用粘土，你看，所謂“土木工程”，不是把“土”字放在首位嗎？。比如“孟子”上所說的“傳說于版築之間”的“版築”，實在就是粘土築成的“椿土牆”，近年發掘殷墟等處的建築遺址發現全是版築。版築施工時先做成盒狀牆版，將粘土分層填入、逐層杵打，築成土牆。在土內摻些瓦礫石子，可以減少土牆裂縫，若是摻些石灰、砂子，土質更加穩定，使用壽命也可以延長。牆內常擱置竹桿、木棍等物，既可防止土牆傾圮，又可防止盜賊穿穴。粘土膠凝材料在祖國的社會主義建設中仍然發揮着重要的作用，例如，在戈壁灘和草灘的蘭新鐵路工地上，普遍地採用

当地粘土、黃土，来修建既經濟又适用的房屋。这种房屋每平方公尺的造价比磚房的造价要低30元，根据1955年蘭新鐵路沿綫建造职工宿舍和一般办公房屋計算，就可以为国家节约200万元的投資。戈壁灘、草灘一帶气候干燥少雨，据設計人員調查，附近居民利用粘土、黃土建筑 的房屋 因为不受雨水的冲刷，如果养护得宜，可以使用40—50年，保暖和隔热的效果也比較好。世界上科学技术先进的国家如苏联、民主德国，現在仍用粘土建造相当耐久的房屋。

粘土中含有极多而且极細的粒子，所以能起膠凝材料的作用。一顆葡萄那样大 小的粘土 塊里面就含有几千万 顆粘土粒子，粘土加水揉捏成的軟泥团，能塑造任何形狀的模型。举个例子吧，我国世代相傳的民間艺术家“泥人張”用粘土塑造了許多生动逼真 的美术品。再說，粘土漿干燥以后由于微細粒子的分子力及表面粘着的作用便能結成硬塊。再举一个例子吧，頑皮的孩子用泥团搓制成小丸，晒干后成为坚硬的彈丸，从彈弓中飞出来，玻璃窗就会遭殃。

粘土是最早的天然膠凝材料，那末什么是最早的人工膠凝材料呢？

这問題不难回答，最古老的人工制造的膠凝材料是石膏和石灰。人类开始利用石膏和石灰的历史已經无从查考了。石膏矿藏分布得非常广泛，容易发现；石膏石質地較軟，也容易开采和加工，从石膏石煨燒成石膏只要攝氏100多度的温度就够了。石灰石分布更是广泛，常常露出在地面上，从石灰石燒成石灰的温度虽比煨燒石膏的温度要高得多，但是也容易用簡單的方法使石灰石分解为石灰。

五六千年前，埃及人用尼罗河流域所产的雪花石膏和石灰拌制砂漿，砌筑了大金字塔和獅身人面象。我国古代人民不但善用石灰砂漿砌造无数偉大的磚石結構，而且善用石灰拌制混凝土。他們为了增加砂漿和混凝土的粘性，往往掺入一部分糯米漿。

石膏和石灰两种膠凝材料可以把它們看作两兄弟，因为它們的性格也有些相象。虽然石膏砂漿和石灰砂漿結硬的化学作用不同，石膏砂漿主要是依靠取得結晶水，石灰砂漿主要是依靠吸收碳酸气，可是拿它們的性質来分类，都是屬於“气硬性”一类，只能在空气中硬化，經不得水浸，也經不得雨打，水浸雨打都会使它們逐渐丧失膠結的性質。

人类发明石灰和石膏以后又經過了許多年代，大約到公元以前的希臘时代末期才出現了不怕水的砂漿。拌制这种砂漿的膠凝材料是由石灰和一种叫做“散吐灵土”的物質混合而成。后来，羅馬民族繼承了希臘的文化，也利用了另一种叫做“巴茶蘭”的物質制成了耐水的砂漿和混凝土。

散吐灵土和巴茶蘭不是什么特殊材料，都是天然的火山灰燼。散吐灵土的得名是因为这种火山灰出产在地中海中的散吐灵島，至于巴茶蘭則是意大利那不勒斯湾維苏威火山鄰近的一个叫做巴茶里小城出产的火山灰，它同样是以产地而得名。

火山灰从哪里来的呢，請問你看見過火山爆发嗎？当火山爆发时，正象汽水瓶盖开启时那样发出嘶嘶的响声，白烟直冒，液态的岩漿跟着流出来。当然，火山口內流出的岩漿不会象汽水那样冷冰冰地，而是象煉鉄高爐中熔融的鉄水和矿渣一般熾热。图1便是1822年維苏威火山爆发时的景象，您看，火

山口上面矗立着的不是有一棵象松树又象一株香蕈的烟云？火山



图 1. 1882年維苏威火山爆发的景象

山口里还会喷出火焰以及无数大大小小的石块，大的有大假山那样大、小的象大豆、核桃，更小的是象毛髮一样的物体，可以把它們叫做火山渣、火山彈、火山礫、火山砂和火山毛。那如松如蕈的烟云，它的顏色有些是白色的，也有些却好像是煙囪里冒出来的黑烟灰，在高空里慢慢地扩散开来。火山里怎么会有煙囪灰呢？

原来是喷发的气体中间还混杂着尘埃一样细小的颗粒，这些細粒就是“火山灰”。火山灰撒落下来可以堆积成很厚的灰层。火山灰撒落的地点不限于火山附近，可能远揚到几百公里以外。

古代希臘人和羅馬人就是利用当地所产的火山灰散吐灵土、巴茶蘭，和石灰、砂石料加水拌合起来，制成石灰火山灰砂漿和混凝土。巴茶蘭的发现和利用虽然比散吐灵土晚一些，但是它比較散吐灵土更加著名。巴茶蘭看起来是紅色或紫色的尘土，顏色比黃土好看，它的品質相当优良。古羅馬时代，用石灰和巴茶蘭拌制的混凝土的建筑物如羅馬的万神殿、人兽角斗的圓形劇場、方形會議厅等許多巨大建筑的遺跡，至今依然屹

立在那里。其中最宏偉的是羅馬萬神殿，這一建築物的重要部分是跨距長達46.7公尺的大圓屋頂，到那里去凭吊古蹟的旅客們，在混凝土的表面還可以清楚地看出當時用木板作為模殼的痕跡。又如近世在維蘇威山腳下發掘出來的足以代表古代羅馬文化的“邦貝”古城，這個地下的城市在公元79年遭到了維蘇威火山大爆發的浩劫，它和另一個叫做“赫古拉農姆”的城市徹底地被火山噴發物毀滅了，但是，今天卻可以在那里看到許多沒有塌毀的石灰火山灰膠凝材料建造的建築物。除此以外，意大利境內還有許多石灰火山灰混凝土建築的水利工程結構物，例如在巴茶里地方有一座叫做“加里哥拉橋”的愷撒大帝時代建築物，至今猶保存着本來的面貌，其實，當時它並不是一座橋而是一座防波堤。這座建築物已有2000年的歷史了，圖2

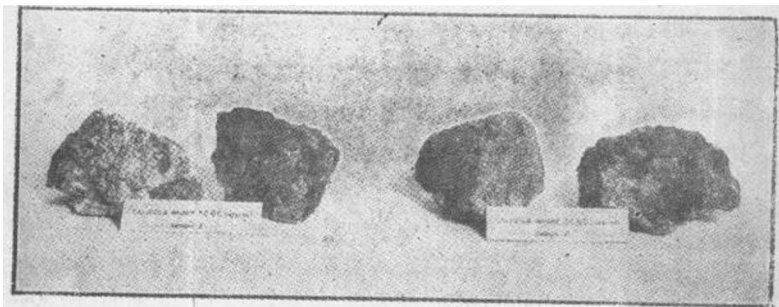


圖 2. 2000年前澆置的混凝土樣品（從加里哥拉橋上取來的）

就是從加里哥拉橋上取來的混凝土樣品。

隨着羅馬帝國版圖的擴展，羅馬的文明傳遍全歐，利用石灰火山灰膠凝材料的技術也就普及歐洲各國。後來歐洲以外的許多國家在土木建築工程中，也廣泛地利用各種火山灰物質拌

制砂漿和混凝土。現在，除了散吐灵士和巴茶蘭以外，世界著名的天然火山灰物質，還有德國萊茵河岸所產以及蘇聯克里米亞的卡拉達格所產的火山凝灰“特拉斯士”（有人稱為“粗面凝灰岩”），法國和瑞士的火山灰“阿里納斯士”，日本的“唐津火山灰”等。我國台灣省大屯火山羣，台北七星及淡水附近等地區，也盛產品質優良的火山灰。此外，我國的地質人員和科學研究人員，目前已在大陸上找到了多種優質火山灰，正在試驗研究中。

在今天“巴茶蘭”這個名稱已經不僅僅是代表意大利巴茶里附近所產的火山灰了，凡是和火山灰性質相同的材料都可稱做巴茶蘭物質。羅馬人在10—12世紀以後，又發現了天然火山灰的代用品。他們將陶器、磚瓦的碎片磨成細粉，或是將粘土煅燒成塊狀，再把燒成的硬塊粉碎成磚粉一樣的材料，這些粘土質的粉末具有火山灰的性質，也能和石灰混合成不怕水的膠凝材料，因此就叫做人工火山灰。印度和埃及人民也很早就會利用磚瓦粉這一類人工火山灰，印度孟加拉那里所制的磚粉稱為“舍尔基”，埃及的磚粉卻又叫做“荷姆拉”。這些人工火山灰都曾在這兩個古老國家的水利工程建築中大量應用。這裏要順便提一下“水泥”名稱的來源。水泥過去在上海俗稱“水門汀”，華南通稱“土敏土”，都是從歐美各國術語音譯而來；而各國文字中“水泥”這個字卻又是從拉丁文 *Caementum* 演變的，它原來的意義就是“人工的火山灰”。就這一點而論，可以說明火山灰物質在水泥科學的歷史上占何等重要的地位了。

一直到18世紀末、19世紀初，水泥工業才有激急的變革，“天然水泥”問世不久，“普通水泥”就製造成功了，可是分析

一下組成普通水泥的主要原料，仍旧是前面所說那三种古老的膠凝材料——粘土、石灰和少量的石膏，因此也可以說普通水泥是人們积累了几千年劳动的經驗以后又一次重要的生产革新。

这段历史告訴我們，石灰火山灰質水泥非但不是新品种，而且还是最古老的能够在水中硬化的膠凝材料，人們使用这种水泥將近 2,000 年了。从历史的发展看来，分明是普通水泥代替了石灰火山灰質水泥，怎能說是石灰火山灰質水泥是代替普通水泥的“代水泥”呢？这問題言之有理。在水泥科学中將石灰和火山灰这一类材料混合而成的膠凝材料，总称为“石灰混合水泥”，因为制造的时候可以不需要水泥熟料（熟料是水泥原料煅燒而成的粒狀物質，它和少量石膏共同磨細以后就是水泥），有人也叫它們“无熟料水泥”，又因为它们是用当地材料制成的，另有一个名称是“地方性水泥”。那么我們称它“代水泥”是否恰当呢？因为这問題有关本書書名，所以值得討論一下。前面說过，在抗日战争时期，我国的水泥产量不够，中国人民在爱国主义的热情鼓舞下，制成了这类普通水泥的代用品，就命名为“代水泥”，曾在工程中解决了一部分水泥缺乏的困难，因此代水泥这名称不但簡明、易懂，同时还具有历史意义。現代工程中，使用这类水泥的主要目的只是为了節約普通水泥，不但目前如此，在今后工程建設中，可能不用普通水泥的地方还是应当尽量采用这类水泥来代替，因此叫它“代水泥”。

二、水的考驗

石膏、石灰等只能在空气中硬化，这类材料都叫“气硬

性”的膠凝材料，普通水泥能够在水中硬化，所以屬於“水硬性”的膠凝材料。對於“水硬性”這個術語還要搞清楚兩點：第一，所謂水硬性膠凝材料並不是單單只在水中硬化，它在空氣中也能夠硬化；第二，“水硬性”不能解釋為“遇水而硬化的性質”。說得具體一些，就是這種膠凝材料拌成的砂漿和混凝土浸在水裡是不會松解的。

粘土是經不起水的考驗的，俗語說：“泥菩薩渡江，自身難保”泥菩薩一落水自然完了。原來已經結硬的泥塊浸濕以後，水分鑽進膠合的粘土顆粒當中，毫不費力地把顆粒分開，這樣粘土塊就松解了，這道理是人人懂得的。

石膏和石灰也是經不起水的考驗的，水分很容易破壞石膏或石灰砂漿和混凝土的結合。

那麼，火山灰是怎麼樣的呢？火山灰加水調拌成漿，乾燥以後也能結塊，可是這種結塊不但經不起水的考驗，而且在空氣中也是質地松軟，如用手指一捻，立刻就粉碎，即使品質最好的火山灰也是如此。前面不是說過火山灰是有水硬性的嗎？現在怎麼說非但沒有水硬性，甚至氣硬性都沒有，不是前後矛盾嗎？不錯，前面說過火山灰是水硬性的，但是火山灰本身卻沒有膠凝能力，它必須和石灰混合起來才能合成水硬性的膠凝材料。我們可以做一個實驗：

同時拌制兩種砂漿，成分都是1:3（膠凝材料：砂子），第一種砂漿用的膠凝材料是1分磨細生石灰和3分粘土混合而成的；第二種砂漿用的膠凝材料也是1分磨細生石灰和3分粘土，但是第二種砂漿用的粘土必須是預先放在爐子裡燒成淡紅色後，再用研鉢研過的細粉。調制兩種砂漿水量也應當一樣，

調好的砂漿分別裝進兩只空的火柴盒子，放置一星期後，拆去火柴盒，一定會發現這兩塊砂漿都已經結硬了。然後把它們一齊浸到一盆清水中去，三天以後，觀察砂漿的變化，就可以看到第一種砂漿已經被水浸得面目全非，而第二種砂漿却是安然無恙。如果煅燒粘土不容易得到，那麼拌制第二種砂漿時可以用煤球灰渣來代替。先把灰渣中所有燒剩的黑色煤球殘塊篩除，留下黃色的灰渣就可應用了。我們知道煤球大約是30%粘土和70%煤粉制成的，在爐子裡燃燒的時候，如果煤粉中的碳分完全燒去以後，留下的就都是經過煅燒的粘土質成分。取到這些灰渣後，還要把它研磨成細粉，才可以和石灰調制水硬性的砂漿。

這個實驗證明石灰和未經煅燒的粘土混合的膠凝材料，在空氣中硬化沒有問題，但是它們經不起水的考驗；而石灰和煅燒粘土的合作在水中也是牢不可破的，這就是水硬性。因此從表面上看來，必須依靠兩種材料的“混合”，其實還要依靠兩種材料的互相“化合”。我們都知道“混合”和“化合”的區別，前者是兩種或數種成分混合一起，雖然已到難分彼此的程度，然而各自仍然保持原有的性質，後者是這些成分相互作用，它們之間發生了根本的變化，性質完全改變。上面實驗中石灰和粘土只有“混合”而沒有“化合”，但是石灰和煅燒粘土不僅“混合”並且還發生化學作用，因此從粘土到煅燒粘土，它的水硬性也從無到有，就是因為煅燒以後的粘土已經脫胎換骨，變成火山灰物質了。

總括起來說，火山灰物質的特性是本身沒有膠凝能力，可是它和石灰併在一起就成為水硬性的膠凝材料。干的石灰和干

的火山灰物質混合在一起是不会互相化合的，直到水分参加之后，化学作用方才开始。

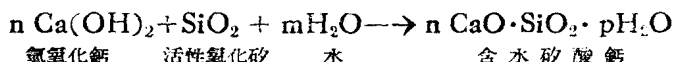
那末，石灰和火山灰物質是怎样会发生作用的？到底发生些什么作用？

談到這一問題，先要搞清楚这些材料是那些化学成分組成的。先說石灰，它的主要成分是氧化鈣(CaO)，氧化鈣遇到水后就变成氫氧化鈣($\text{Ca}(\text{OH})_2$)。氫氧化鈣的化学性質是非常活潑的，它很容易和其他物質化合，并且很容易被水溶解。火山灰、煅燒粘土一類物質的主要成分是氧化矽(SiO_2)、氧化鋁(Al_2O_3)以及少量其他的氧化物，其中有一部分氧化矽和氧化鋁的化学性質也是很活潑的。因此，即使在平常溫度下，性質活潑的氫氧化鈣、氧化矽和氧化鋁在有水的情況下相遇以后，就互相作用起来了。如果把粘土或者花崗石来进行化学分析，我們可以發現化学成分是和火山灰物質差不多的，主要的成分也是氧化矽和氧化鋁，可是这些氧化矽和氧化鋁在平常溫度下，它們的性質是不活潑的，即使碰到活潑的氫氧化鈣也不能起作用。我們把火山灰物質中那部分能和氫氧化鈣起作用的氧化矽和氧化鋁，叫做“活性氧化矽”或“活性氧化鋁”，火山灰物質所以有活性，就是因为有了它們的緣故。

古代希臘和羅馬人民虽然早已会利用火山灰物質，可是过去除了知道这一類物質是經過高溫煅燒而成以外，不能解釋其中的理由。近代的水泥科学工作者才发现这类膠凝材料拌制的砂漿和混凝土經得起水的考驗，有下面两个原因：

第一个原因，这种膠凝材料遇水以后，其中石灰生成的氫氧化鈣慢慢地和火山灰物質中的活性物質起作用，活性物質吸

收了氧化鈣的成分，成为一种新的物质——含水化合物，这一变化可以用化学方程式表示如下：



生成的含水矽酸鈣具有膠合砂石料的能力，如果將含水矽酸鈣的性質与氫氧化鈣的性質比較一下，主要的分別就是氫氧化鈣可溶于水，而含水矽酸鈣却是不怕水的物质，这变化用專門名詞說明就是“可溶性”大为降低。

第二个原因，火山灰物质中的活性成分，在氫氧化鈣的水溶液中体积会膨胀起来，可以做这样一个实验：

选择一种火山灰物质，或就拿煤球灰渣来做试验，剔去没有烧完的煤球块，再把它研磨成细粉，磨得愈细愈好，应象面粉一样。称取20克细粉分装入两只同样大小的玻璃瓶中，各装10克。同时把一小块生石灰放在另一只大玻璃瓶中用清水溶解成透明的石灰水，然后将石灰水注入任何一只装有煤球灰渣细粉的玻璃瓶中，瓶口用塞子盖紧，再用力摇动瓶子，使灰渣浮在石灰水中。又把清水注入另一只玻璃瓶中，同样盖紧后摇动一次。两只瓶子放在一起，静止约一小时，等到黄色的灰渣都沉淀到瓶底以后，比较一下沉淀物的体积，它们依然是一样的。

再把这两只瓶子移置火爐旁边，或其他温度比较高的地方，每天猛烈摇动三四次。经过两个星期以后，再比较沉淀物的体积，就可以看到清水中的煤球灰渣的体积一点也没有变化，可是石灰水中的煤球灰渣的体积却是已经膨胀了好多倍（图3）。如果我们仔细地观察石灰水中的煤球灰渣颗粒的形状，就会发现有一部分细粒也完全改变了样子，这一现象在摇

动玻璃瓶时看得更清楚，我們所看到浮在水里的已經不是粒子，而是象絨毛那样的物质，这些絨毛能够浮悬在石灰水中相当長的时间，不会立刻沉淀到瓶底。

这个現象說明煤球灰渣細粉已經吸收了氧化鈣，也就是矽酸鈣和鋁酸鈣的水化物已經形成了。

体积膨脹有些什么好处呢？原来砂漿和混凝土难免有些空隙，而水分又是无孔不入的，它們会从空隙里鑽进去破坏砂漿和混凝土的結構。石灰火山灰水泥拌制的砂漿和混凝土中，火山灰活性物质和氫氧化鈣作用以后，能象海綿吸到水分一样，体积膨脹起来，可以把砂漿和混凝土中的空隙堵塞住，阻擋了水分侵入砂漿和混凝土中的道路，因此更加經受得起水的考驗。

各种火山灰物质的活性高低是不同的。所謂活性高，就是它和氫氧化鈣結合能力較强，活性的高低是評定火山灰物质的品質的主要的指标。活性愈高，和氫氧化鈣的作用愈强愈快，混合材料的品質也愈好。

由于火山灰物质并不能单独使用，而必須与其他材料混合

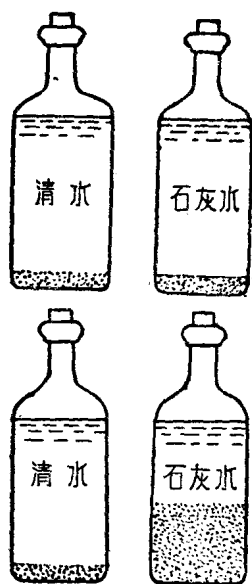


图 3. 活性混合材料体积的膨脹

上：清水和石灰水中活性混合材料的体积原来是一样的。

下：后来清水中活性混合材料的体积沒有变化，但是石灰水中活性混合材料的体积却膨脹起来了。