

稀有石头

〔苏联〕A.Б.丘依柯著

中華全國科學技術普及協會出版

稀有石头

—混凝土—

江苏工业学院图书馆
藏书章

中華全國科學技術普及協會出版
1955年·北京

545-7
935



出版編號：212

稀有石头—混凝土

НЕОБЫКНОВЕННЫЙ КАМЕНЬ
(БЕТОН)

原著者：(苏联) А. В. ЧУЕКО

原出版者：ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬ-
СТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕ-
СКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1953

譯者：李傳善 刘洪福

責任編輯：許菊

出版者：中華全國科學技術普及協會
(北京市文津街3号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第053号

發行者：新華書店

印刷者：北京市印刷一廠
(北京市西便門南大街乙1号)

開本：31×43 1/4 印張：1 1/8

1955年12月第1版

1955年12月第1次印刷

字數：35,700

印數：4,500

定價：2角

本書提要

本書先對混凝土所用的原料，性質以及它凝固、硬化的道理作了通俗的講解；然後說明怎樣製造強度大的或其他合乎建築要求的混凝土；最後簡單地介紹了蘇聯在混凝土製造和施工上的成就，如泡沫混凝土的製造，自動化混凝土工廠的建立，水下澆灌混凝土的方法等。

正在參加我國基本建設的廣大技術工人和幹部將從本書中獲得有關混凝土的基本科學知識。

目次

緒言	1
什麼是混凝土	3
人造石材	
水泥膠漿	
混凝土的性質	
配筋混凝土	
混凝土是怎樣做成的	28
混凝土的配合比	
碎石工廠和混凝土工廠	
現場的混凝土澆灌	
怎樣增加混凝土的強度	
在水下澆灌混凝土	
混凝土有哪些種	51
重混凝土和輕混凝土	
石化了的泡沫	
加氣混凝土	
結束語	59

緒 言

生活在現代的人恐怕誰都知道混凝土和鋼筋混凝土。用混凝土和鋼筋混凝土可以建造高爐、平爐、軋鋼機、機械錘、壓力機和機床等的基礎。

除此之外，建築水塔、棧橋、橋梁或修築公路、飛機場、體育場和燈塔等都需要用混凝土；現代建築物的基礎、支柱、梁、樓梯平台、陽台和窗台也都是用混凝土和鋼筋混凝土造成的。

現在，已經有了專門建築房屋的工廠，在這種工廠裏可以把建築物的各個部份（如牆壁、樓板或樓梯）預先做好，而在施工現場上只需把預製成的各部份安裝起來，房子就造好了。

在莫斯科和蘇聯的其他城市內建築了許多高樓大廈，這些高樓大廈的基礎都澆築了上萬公方的混凝土。樓房的支撐骨架一般都是採用鋼構架。但是，鋼構架不是單獨地而是與鋼筋混凝土一道承受荷重，因為鋼筋混凝土與樓房的全部構

架成为一整体。

在莫斯科的地下鋪設了幾十公里長的地下鐵道隧洞。這些隧洞及車站的構架都是用鋼筋混凝土築成的。

有幾千公里長的鋼筋混凝土管理於地下，做為上下水道之用，甚至許多城市的鋼筋混凝土上下水道與河川相通。

混凝土與其他建築材料不同的地方，是它具有可以在水中硬化的良好性質。正因為這樣，混凝土才可以用於建造燈塔的基礎，修築碼頭設備、防波堤、船塢、橋墩和架設在海上的油井架。這些建築物都直接深入水中數十米。

現在，甚至可以用鋼筋混凝土建造在海上航行的輪船。

在水電站的建設中，混凝土有着特別重要的意義。

按蘇聯發展國民經濟的第五個五年計劃的規定，蘇聯人民正在建造許多巨大的水工建築物如：伏爾加河上的古比雪夫水電站和斯大林格勒水電站，德涅泊爾河上的卡霍夫水電站，卡馬河、額爾齊斯河、涅曼河以及其他河上的許多巨型的水電站。

這些水電站發出的電力將保證蘇聯社會主義的生產迅速發展及進一步提高蘇聯人民的物質生活水平。

建造水電站需要很多混凝土，就以古比雪夫水電站為例；2、3年期間就需要澆築600萬公方以上的混凝土，每小時澆築1,000公方左右，幾乎是每秒鐘澆築700公斤混凝土，成為一條「混凝土河」了！

現在，每一工程建築物都離不開混凝土。

那末，這樣良好的建築材料又是什麼東西呢？它的特性怎樣？如何製造？有些什麼種類呢？

什麼是混凝土

人造石材

混凝土是一種人造石材。如果看看混凝土的組織構造，就可以知道它是由不同形狀和尺寸的砂料和石料調製成的；這些砂料和石料又是由一種人造的特殊灰漿——水泥——粘合在一起的。水泥通常也稱為人造膠結劑（或人造粘合劑）。但是，某些天然石頭如砂岩、礫岩和角礫岩却也具有相類似的組織構造。砂岩基本上是由細砂組成的；礫岩是由較大的圓石頭（礫石和卵石）組成的；角礫岩則是由碎石子組成的。這三種岩石都是由各種天然粘合劑——粘土、石灰、石膏和砂石等——粘合而成的。因此，砂岩、礫岩和角礫岩都可以稱為天然混凝土。

從下面圖1和圖2的對比裏，可以很明顯地看到，礫岩的結構和混凝土的結構幾乎是相同的。

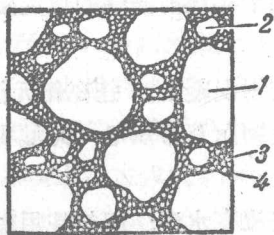


圖1 混凝土的結構：
1和2—大小礫石顆粒；
3—砂粒；4—水泥漿。

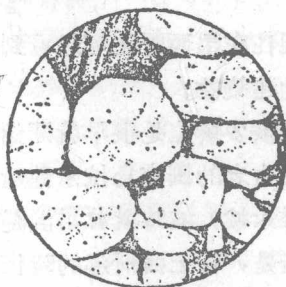


圖2 天然礫岩的結構。

天然石头在自然的条件下，要經過幾百万年時間的变化方能形成；而混凝土只要幾天或幾小時就可以製成。

很早以前，混凝土就已被採用为建築材料。还在紀元前 3,600 年，在埃及就已經用混凝土修成了尼姆斯金字塔。古代巴比倫的混凝土建築物的殘蹟也一直保存到今天。古代的希臘人和卡尔法金人（在非洲北部突尼斯沿海）也很早就使用过混凝土。

紀元前 3 世紀，中國修築的万里長城大部份是用混凝土建造的。

古代的羅馬也是很早就開始使用混凝土。著名的万神庙是羅馬人在 20 世紀初修建的，这个庙的主要部份是一个直徑为 40 米的混凝土圓屋頂。羅馬人曾用混凝土來修築道路和建築城牆，他們甚至用混凝土來建造过水下建築物，其中部份建築物，如那波里（那不勒斯）附近伯助里的防波堤及其他建築物还一直保存到今天；这个防波堤亦称为加里哥黎桥樑。

現在在墨西哥还可以看到幾千年以前修建的以混凝土为基础的建築物。

在俄罗斯也是很早就開始使用混凝土。还在紀元前 800 年，在古老的國家烏拉尔他建築阿尔及希幾尼（此城現为阿尔馬維尔城）城時就曾用混凝土。

但是，在上面所述的時代还没有水泥；起初是用黏土製造混凝土，後來隨着建築技術的發展，開始用石膏和石灰製造混凝土。

古代的建築者把粘土与青草或枯草拌合後，發現这种东

西適宜製造石料，這種石料經曬乾後，它的強度可滿足建造房屋的要求。就這樣創造出一種最普通的混凝土——黏土混凝土。

直到現在，在蘇聯的熱帶地區——烏克蘭和中亞細亞還極其廣泛地應用着這種建築材料。切割完的枯草與黏土拌合後，即成為製造各種尺寸土坯的材料。除了黏土與枯草外，砂子、樹葉、柳枝和蘆草均可用來製造黏土混凝土。

公元前數千年，膠結材料就已用人工焙燒方法製造。最初的膠結材料是從石膏岩中提取出的石膏。含有這種石膏的混凝土稱為石膏混凝土。

後來人們學會了製造石灰，於是就利用石灰作為膠結材料製造新品種混凝土——石灰混凝土。

但是，這幾種膠結材料——黏土、石膏和石灰均具有很大的缺點。

黏土遇雨會很快地膨脹，結果黏土混凝土製成的石料也隨此破壞。在這方面，其他膠結材料——石膏和石灰也不比黏土好。石膏混凝土僅在空氣中硬化和堅固，它怕水，遇雨會逐漸破壞，石灰混凝土也有這樣的缺點。

由於上述的缺點，用石灰、黏土和石膏製成的混凝土建築材料在以前沒有得到廣泛的應用。

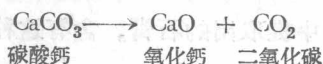
事實上，古代俄羅斯的建築家們早已善於製造水工膠結材料，也就是能在水中硬化的材料。例如，1,000年前，人們把磚或陶器搗成粉末，摻在石灰內，就使石灰有了在水中硬化的性能。

現在，請看下述現象。

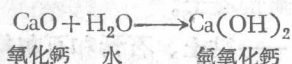
石灰岩經過煅燒，變成煅石灰。如果把水倒在这种煅石灰上，那末这种石头会突然「活」起來，它發熱，碎裂，彷彿沸騰那样急剧地噴出熱气。因此，煅石灰岩称为生石灰，有時也称为「活」石灰。

这現象的原因如下：

石灰岩也就是碳酸鈣 (CaCO_3)，是鈣、碳、氧三种元素組成的化合物。煅燒（約達 900 度）後，二氧化碳 (CO_2) 从其中逸出，我們就獲得氧化鈣 (CaO) 或生石灰：



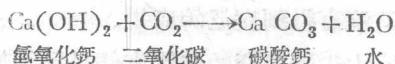
當我們將水倒在生石灰上（像平常所說，使它變熟），生石灰就与水起化学作用：



最後形成白色粉末，即熟石灰（氫氧化鈣）如果水倒得多些，則形成白色的石灰漿。

生石灰熟化時，放出大量潛藏的化学能，这也就是这种石头熟化時会像沸騰一样的原因。

石灰漿遇空气就硬化，因为它 (Ca(OH)_2) 从空气中吸收二氧化碳，重新变为碳酸鈣 (CaCO_3)：



同時水逐漸蒸發。

但是空气中二氧化碳的含量很小（按体積說，不超过 0.04%），而且熟石灰 (Ca(OH)_2) 变为碳酸鈣 (CaCO_3) 的过程極慢，所以甚至在空气中放了很久的石灰漿，在水中还是

可化開，因為大部份的熟石灰未發生變化。再沖上水時，這部份就失去粘結性。

當我們將搗碎的磚粉拌入石灰，換句話說拌入煅燒過的黏土後，所得到的混合物就具有在水中硬化的性能。其產生的原因是由於形成了成份複雜的化合物。其中包括：氧化鈣(CaO)，氧化鋁(Al_2O_3)和氧化矽(SiO_2)。

但是，熟石灰與煅燒過的黏土拌合後仍不能製出有足夠強度的混凝土，經過一個時期它會很快地崩壞。

學者們為發明一種能製成特別強固而耐久的混凝土的灰漿曾化費了很多的勞動。

這種灰漿即是水泥。

水泥是俄國建築家耶·契李耶夫於19世紀初期發明的。

那末這種稀有石頭的灰漿是甚麼東西呢？

水泥膠漿

現代的混凝土是由三種主要成份：水泥、水和骨料所組成。

骨料分為粗細兩種。粗骨料為礫石或碎石，它構成混凝土的骨架。粗骨料中間還摻着細骨料——砂子。剩下來的空隙由水泥膠漿——用水混合的水泥填充。

水泥是混凝土的主要組成部份。水泥的粘結力愈大，水泥與骨料表面粘結得也愈強，混凝土的強度也就愈大。

水泥又是怎麼回事呢？

水泥怎樣將砂、石子與砂粘結在一起成為混凝土呢？幾世紀以來，人們就想用純石灰石製造礦物質膠結材料(註)。

但是，在18世紀初葉俄國建築家們確定了含有黏土的石灰

石的混合物可使生石灰具有在水中硬化的性能。耐水的膠結材料（黏合劑）就是用這種石灰石製成，在18世紀這種膠結材料稱為土敏土或水泥。

至今保存着的彼得第一給莫斯科城防司令官的手諭就寫着：

「上校司令官先生：見信立即運來三桶或二桶水泥。彼得於聖彼得堡。1710年5月22日」。

在18世紀末期，俄國科學院院士弗·米·雪維爾金的研究奠定了用泥灰岩製造水泥的科學基礎，這種泥灰岩除了含有石灰石外，極大一部分是黏土。後來，在1818年—1822年間彼得堡交通學院的教研組證明水泥漿內還含有氧化矽（ SiO_2 ）礬土（ Al_2O_3 ）和氧化鐵（ Fe_2O_3 ），它們與氧化鈣（ CaO ）化合在一起。在同一年內，彼得堡區域內就開始製造水泥，它是石灰石和黏土的人工混合物。

在膠結材料的發展過程中，俄國建築家耶·切里也夫進行了真正的改革。他於19世紀20年代發明了一種製造水泥的方法，就是把黏土與石灰石混合物煅燒到結塊。這一方法一直延用到現在。

後來，俄國的阿·爾·舒略琴科教授在發展和改善水泥的生產上又做了很大的貢獻。因此，人們公正地稱他為俄羅斯水泥生產之父。在舒略琴科的領導下建立了俄國的最大水泥工廠之一——沃爾斯克水泥工廠。

在19世紀的中期，隨著水泥的生產方法的改善與質量的提高，水泥已成為製造混凝土的主要膠結材料。從這時起，混凝土已成了不可缺少的建築材料。

下面談談現在是怎樣製造水泥的。

水泥是用含有三份石灰岩跟一份黏土的混合物來製成的。這種混合物有時可在自然界中發現，它稱為泥灰岩。俄國巨大的水泥工廠就都建立在泥灰岩礦區——諾沃羅斯克區、頓巴斯的阿姆弗羅西耶夫卡站附近以及其他地區。

但是，泥灰岩礦床是不易發現的，地質人員找到的石灰岩常常是黏土含量太少或是過多，不合要求的標準，所以用這樣的石灰岩製造水泥時應拌合純石灰石（如白堊）或黏土。

大多數的水泥工廠是利用人工拌合的材料，有時用硬砂礫土、軟砂礫土、黏土頁岩及爐渣或者油頁岩的灰代替黏土，因為這幾種東西在化學成份上與黏土相近。

製造拌合料時，應將石灰石與黏土先搗碎並均勻地拌

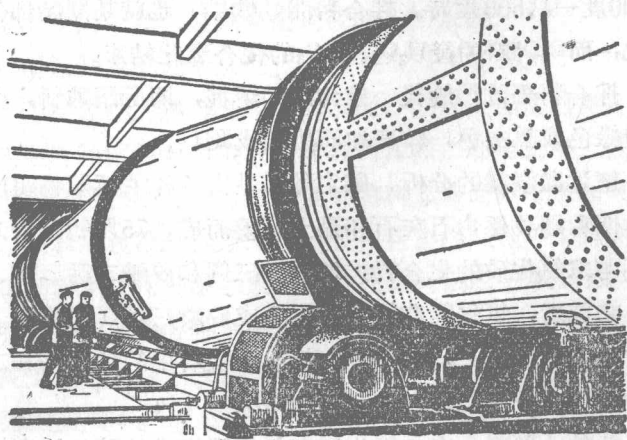


圖5 製造水泥的迴轉窯。

和，然後，將拌合料加入慢慢轉動的巨大窯內。這個窯是個金屬圓筒，長達 100 米，直徑約 4 米。圓筒橫放着，進料口稍高些。在另一端用壓縮空氣不斷地將石油或煤粉從巨大的噴射器內噴入爐內。

由於迴轉窯的坡度與旋轉，石灰岩與粘土的拌合料在本身重量的作用下不斷地迎着火向前移動，越燒越熱。拌合料在沿着窯前進過程中，發生下列變化：在 100 度時拌合料被烘乾；當拌合料經過 450 度—500 度一帶時，其中的有機物質——來自動物或植物的物質，就都燒掉，而且其中化合着的水也隨之消失；溫度約 900 度時，石灰石(CaCO_3)分解成氧化鈣(CaO)和二氧化碳(CO_2)，後者隨爐氣一同排出；然後，在 1,200 度—1,300 度時，碳酸鈣開始與拌合物中的其他物質，氧化矽(SiO_2)礬土(Al_2O_3)和氧化鐵(Fe_2O_3)化合。最後，在 1,400 度—1,500 度時，拌合料開始燒結，也就是開始部份地熔化，而 CaO 跟 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的化合至此結束。

拌合料經過煅燒後，成為硬的熔塊，即所謂熟料，顏色是淺綠色或黑灰色，粒度如同桃核或豌豆。

經過顯微鏡的分析，確定熟料是由四種主要礦物組成，而這四種礦物係由石灰石和黏土煅燒而成。75% 的熟料為氧化鈣與二氧化矽的化合物，即矽酸三鈣和矽酸二鈣。

在前者，氧化鈣和氧化矽化合成矽酸三鈣（在化學上氧化矽也稱為矽酸），即 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ；後者中的氧化鈣和二氧化矽化合成矽酸二鈣，即 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。

此外，熟料含有：氧化鈣和氧化鋁組成的礦物，即鋁酸三鈣 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ；氧化鈣、氧化鋁和氧化鐵三者組成的礦

物，即 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。

由於四分之三的熟料係由氧化鈣的矽酸鹽構成，因此，用這種熟料製造的水泥稱為矽酸鹽水泥。

矽酸三鈣($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)一般在溫度 1,700 度時方能形成，但是在水泥迴轉窯內溫度不超過 1,500 度。這就是不僅要用氧化矽和石灰製造水泥，還必須使用黏土的原因，因為在黏土中除了氧化矽外，還含有氧化鋁和氧化鐵，它們是降低二氧化矽與石灰燒結溫度的熔劑。

在自然界中很難找到類似矽酸三鈣和矽酸二鈣的礦物，因為在自然條件的影響下，這種礦物極不穩定，容易風化。

熟料中所含的各種礦物比例是可以不同的，水泥性質就隨着這個比例而變化，例如，水泥中含有多量的矽酸三鈣，就能很快形成堅硬的混凝土。這種水泥更適宜於低溫條件下硬化，所以，冬季最好是使用矽酸三鈣水泥。

但熟料並不就是水泥。

為使熾熱的熟料變成好的水泥，應儘快地使熟料冷卻。為此在迴轉窯的旁邊裝設一特殊的轉桶，即冷卻機。在冷卻機中，溫度達 900 度—1,200 度的熟料靠着迎面吹來的氣流冷卻。熟料經過冷卻機冷卻後，裝在料倉內，過一個時間，將它運到磨上，用鉄滾輾成細粉。在熟料輾成細粉時須加 3% 的石膏和 15% 的各種水硬性混合料，如硬矽藻土、軟矽藻土和泥灰土。這幾種水硬性混合料不但提高水泥的質量而且降低水泥生產成本。

水泥就是這樣製成的。它是灰色的，摸時感覺很柔軟的、很細的粉末。用每平方厘米有 10,000 孔的篩子去篩它，

則將有 60% 以上的水泥（按重量計算）穿過篩子。

水泥種類很多，有的水泥硬化快，有的水泥硬化慢。用以建造最重要的混凝土建築物的水泥可製成膠結力較強的膠漿，而他種水泥所製成的混凝土則強度較小。

水工建築物所用的水泥是一種，修築道路所用的水泥又是一種，供建築上使用的灰漿是第三種，所有這些水泥的區別，是由於前面所談過的，四種基本礦物在水泥中所佔的比例不同。

水泥磨得愈細，質量愈好，它的膠結性能也就愈大。這是顯而易見的。要知道，水泥顆粒愈細，全部顆粒的表面愈大，物理化學反應也愈完全和迅速。反應的快慢和水泥顆粒粗細的關係可以從煤塊和煤粉燃燒速度的比較一例中明顯地看到，如把 500 克重的煤塊燒完，要 30 分鐘，而燒同樣重的煤粉，只要 0.4 秒，燃燒速度相差 4,500 倍。

固體在磨碎時，其總表面積就顯著增加。1 立方厘米的

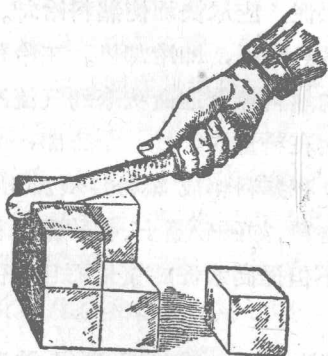


圖 4 物體分得越小，總表面積越大。

任何物體的表面面積為 6 平方厘米。將 1 立方厘米的物體分成 1,000 份，其總表面面積將為 60 平方厘米，分為 100 萬份時，總表面面積將達 600 平方厘米。再碾磨下去，這 1 立方厘米的物體就可磨到這樣的細，其總表面面積要以數千和數萬平方厘米計算。在這樣非常微細的情況下，反

應將加速幾倍。

1 立方厘米水泥含有數百萬水泥顆粒。它們的總表面面積要以數千平方厘米來計算，這就是磨細了的水泥具有很大的膠結性能的原因。

水泥有膠結性能的秘密又在哪儿呢？

我們把水泥與水拌合後，可得到稠而粘的水泥漿，這時，可以毫無困難地使一根試針沉入水泥漿內，但是這種現象只在初期存在。經過 2、3 個小時後，水泥漿即比較稠密，這種現象稱為水泥的初凝。此後，試針沉入水泥漿的速度將愈來愈慢。待 8—10 小時後，水泥漿更為硬化，以致試針僅能沉入 1 公厘，這種現象稱為終凝。結果水泥漿變成了水泥塊。

這種水泥塊放在水內，不僅不被沖毀而且變得更加堅固。

當我們將黏土與水拌合後，即形成一種混合物，其中的黏土顆粒被一層厚水膜包着。隨着這混合物的乾涸，起初水份從大孔隙中蒸發出來，然後從小空隙——毛細管中蒸發出來，硬化的部份就彼此逐漸接近，黏土就此硬化。此時黏土把與它混合在一起的全部顆粒都膠合起來了。

但是，假若將黏土浸濕，水會重新把它的顆粒分開，用黏土做的人造石材也就遭到毀壞。

水泥硬化時，還會發生另外一種現象。

水泥放入水中後，水與水泥顆粒間產生化學反應。水泥中所含的一部份礦物（如矽酸三鈣）分解成較簡單的化合物而與水化合，另一部份礦物則未經化學分解即與水化合，在