

土法水泥生产 及化驗檢驗方法

河南省工业厅工矿試驗所編写

河南人民出版社

編輯例言

一、在鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义的总路綫光輝照耀下，为了加速我国的工业化，在十五年或者更短的时间內，在主要的工业产品和产量方面赶上和超过美国，尽快的把我国建成为一个具有现代工业、现代农业和现代科学文化的伟大社会主义国家。我們全国人民已經在党的领导下，掀起了轰轰烈烈的全党全民大办工业的高潮。水泥是工业、农业、水利等各项建設工程的重要材料。在发展工业的高潮中，本着以土代洋，土洋相結合的方針，各地区已經建起了許多土法制水泥厂，在土法生产水泥过程中，为了掌握原料质量和生产技术，以提高成品質量，逐步地用科学技术来指导生产，对于水泥生产的基本科学知識和原料化驗、成品檢驗的技术資料，是迫切需要的。根据这一需要，結合当前各地土法水泥厂的具体条件，我們編了这个小册子，以供参考。

二、这本材料的主要内容是：首先扼要的介紹了水泥工业的基本科学知識和土法水泥的生产工艺过程，然后着重地詳述了土法水泥原料的土法化驗方法与成品質量檢驗方法，并提供了建立土法水泥化驗室所必需的設備的資料。因此，它既可以作为水泥生产工作者的参考資料，又是土法水泥化驗檢驗人員的具体操作方法。一般具有初中文化水平的工作人員，都可以全部看懂它。

三、由于我們对水泥化学和水泥工业的知識不足，尤其是接触实际少，因此，虽然在編写中参考了一些材料，但水泥的土法化驗檢驗工作，終究还是一项新的工作，所以内容上还不可避免的还会有不少的缺点和錯誤，尙希各厂直接参加生产的同志和讀者，給予指正，以便进一步的改进。

編者

1958年8月22日

目 录

第一章	概述.....	(1)
第二章	水泥的性質.....	(4)
第三章	水泥的主要用途.....	(7)
第四章	制造水泥的原料.....	(8)
第五章	利用石灰作水泥原料.....	(10)
第六章	配料依据.....	(13)
第七章	煅烧.....	(21)
第八章	水泥原料的鑑定.....	(24)
第九章	水泥成品質量檢驗.....	(49)
第十章	附录.....	(65)

第一章 概述

一、什么叫膠凝材料

它是一种粉末状物质，加水后成为具有粘性的浆状体，放置一定的时间能凝结成坚硬体，这种粉状材料称为胶凝材料，在建筑工程上应用很广泛。

二、膠凝材料的分类

胶凝材料共分两类：一是气硬性，一是水硬性。

气硬性胶凝材料和水后只能在空气中硬化和保持其强度（如石灰、石膏、粘土等），水硬性胶凝材料和水后在空气中开始硬化之后还能够在水中继续硬化（如水泥）。因此气硬性胶凝材料只能用于不受水作用的地面构筑物，而水硬性胶凝材料不但能用于地面的构筑物，而且也可用于受水作用的地下构筑物。

三、膠凝材料的发展史

水泥是一种水硬性的胶凝材料，从发明到现在也不过有140多年的历史，现在已成为工程建筑上不可缺少的重要材料。它的发展过程是：

在原始时代人类是利用自然条件来居住和生活的，后来开始自己造房子，用粘土作为胶凝材料，选用粘性较大的粘土把石块、瓦相连接起来，但这种建筑很不牢固。进一步是利用石膏

作胶凝材料較坚固，有名的埃及金字塔就是利用石膏和石灰砌造起来的。石膏之后就是石灰。但石灰不能經受雨水的冲刷，在水中容易松解，强度也低。怎样制成一种在水中不松解的胶凝材料呢？便成为当时大家所探討解决的問題。到奴隶社会，羅馬奴隶主为了造城堡需要更坚固能經受雨水冲刷的胶凝材料。在劳动人民的实践中发现用石灰和火山灰拌和后制成胶凝材料，具有水硬性，这是制造水硬性胶凝材料的开端。在封建社会的統治下胶凝材料得不到发展，一直到资本主义社会，由于生产力的发展，新的厂房、城市建筑、軍事建筑以及交通道路港口等，都需要更好的胶凝材料。自19世紀到20世紀20—30年代，胶凝材料得到很大的发展，当时应用最广泛的是水硬性石灰，它是将含有8%以上粘土質的石灰石烧制成的。以后又将含有20%以上的粘土質烧制成的水泥，不但凝結硬化快，水硬性好，而且强度也高，名之为“羅馬水泥”（也叫羅馬石灰或天然水泥）。

羅馬水泥，因品質較好，很快地得到推广，这是胶凝材料的发展的一个大跃进。同时也打下了发明普通硅酸盐水泥的基础。

后来人类經過細心研究和总结以前的經驗有意識的把石灰石和粘土按一定的比例配合，煨烧后制成一种具有良好水硬性的胶凝材料，即是硅酸盐水泥。

有些人認為英国石匠阿斯匹定是水泥的发明者。阿斯匹定在1824年得到了由粘土和石灰石的混合物烧至碳酸气逃出，研磨成物所得之水硬性胶凝材料制造的专利权。可是，在数年前由于苏联所进行的历史研究揭露了事实真象。历史工作者找到了1825年出版的，俄罗斯，頁格洛·徠主頁夫所作的一本书“水下建筑物用之极其坚固的低廉水泥的制造过程”，这

本書中敘述了于窯中煨燒到“自熱”呈塊狀的石炭和粘土(1:1)混合物之水泥製造過程，同時并用這種水泥在1817—1821年間修復了軍火倉庫。由此可知，俄羅斯組織生產水泥不會比1817年晚，而阿西定僅於1824年才得到製造水泥的專利權，因此實際上水泥的發明，應是俄羅斯人。1949年蘇聯提出把波特蘭水泥改稱為硅酸鹽水泥。

四、國內外水泥工業的進展和發展方向

蘇聯的生產使用水泥的科學是世界上最先進的，在水泥品種方面，蘇聯有十大類五十餘種名稱，在標號方面從25號至600號。這些水泥都被廣泛地、合理地用在各種工程上，並獲得優越的效果，經濟而又有效地服務於共產主義建設。

在技術方面：蘇聯科學家近年來已用愛克斯光，電子光學、光譜、熱分析等先進技術來研究水泥的結構，對水泥方面的科學理論及各種品種水泥的生產都有特別重大的貢獻。

解放後我國進行着大規模的經濟建設，需要很多膠凝材料，因此解放以來水泥工業獲得很大發展。第一個五年計劃最後一年（1957年），我國水泥的年產量已達到600萬噸以上，預計第二個五年計劃，我國的水泥產量到1962年將達到1億噸左右，躍進為第一個五年計劃的14倍多，就六大的超過英國（英國1957年產量1270萬噸）。這種發展速度是古今中外所沒有的，不僅是資本主義世界不可能有，就是世界社會主義建設史上也是沒有的。在品種方面我國已有30多種水泥，已遠遠超過英國（英國只有五種）5、6倍了。解放前我國僅生產高標號、硅酸鹽水泥，解放後才向多標號多品種方向發展，為了合理地使用水泥，今後還是沿着這個方向發展。各地可以結合當地特點生產地方性水泥，例如：靠鋼鐵廠可以利用礦渣生產礦渣水

泥，利用赤泥生产赤泥水泥等等。

五、我國水泥工業的当前任務

我国第二个五年计划的方針是在优先发展重工业的基础上，发展工业与农业同时并举。为了加速我国的工农业飞速发展，就必须大力的发展水泥制造工业。因为水泥是工业、农业、水利、交通、国防等建設不可缺少的重要材料，要把我国迅速的建成为一个具有現代工业、現代农业、現代科学文化富强的国家，就必须有大量的水泥，提供建設需要。因此我們就須要破除迷信，解放思想，敢想、敢干，在“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义总路綫”的精神下，因地制宜，遍地开花，生产各种各样的水泥，以支援国家的各項建設。

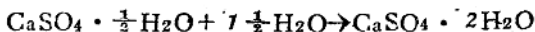
第二章 水泥的性質

7. 遇水結硬——一般胶凝材料，遇水就松散（如粘土、石灰、石膏等），水泥則不然，水泥加水后会結硬，放在水里不但不松解，而且逐漸地硬化，解决了許多高級建筑 and 水中工程上的困难。这种結硬的原因是：水泥加水拌和后，有两种現象，就是：先凝結，后硬化，二者合起来簡称結硬，籠統地叫它干了。凝結也有两种現象：一是从加水成浆起，到凝結开始，称为初凝；二是从加水成浆起，到凝結終了止，称为終凝。凝結的現象就是从本身可变的形态，变为不能再变的形态。

硬化就是变硬的現象，也就是强度的增进，時間愈长强度愈高。

为什么水泥遇水后，有凝結和硬化的現象呢？主要的有下列两个原因：①水泥的結硬是結晶的結果，水泥遇水后，經過化学作用，生成无数的小結晶物，这种結晶体，交错攀結，結晶体本身的硬度和各結晶体間表面的磨擦阻力，产生結硬的現象。

例如：熟石膏磨成細粉，加水后遇水化合，生成含二个分子水的結晶物，产生結硬的現象。

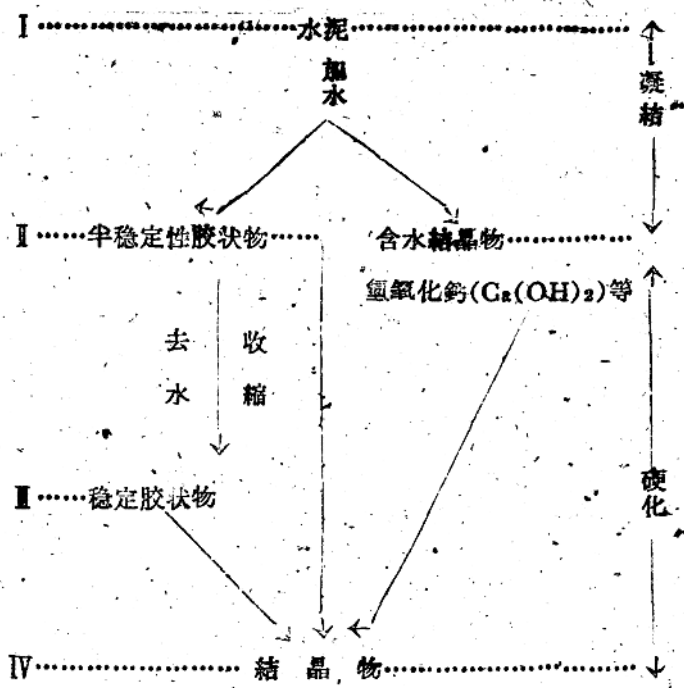


烧石膏 水 結硬石膏

②水泥結硬是胶質脫水的結果。

泥漿或漿糊干后都有相当的硬度，在干燥过程中也有凝結的現象，都是胶質脫水的結果。水泥的細粒遇水后，在表面产生薄膜的胶状物，可是細粒里面，还是干的，正因为中心是干的，外面是含水的胶状物質，所以細粒的中心，从表面胶状物中吸收水分，各个細粒表面胶状物因脫水的原因，就互相胶結硬化。以上这两种原因，經爱克斯光的研究，結晶和胶質并无明显的界限，都是水泥結硬的主要原因。

水泥的結硬过程，可用下图来表示：



水泥加水后，从（I）到（II）的过程是凝結現象，時間比較短。从（II）到（IV）的过程叫硬化，一般水泥在28天以內，硬化已經达到最高的程度。过28天后，强度的增进就很慢了，一直到70年以上还未能停止。

2. 强度高——一般胶凝建筑材料强度是不够高的，而水泥的强度却相当高（能达600号以上），坚硬如石（主要是硅酸三鈣 $3CaO \cdot SiO_2$ 含量多之故），建筑高大的建筑物如果没有水泥，就无法設想了。

3. 建筑物的形状可以隨意制型——用水泥、砂和石子混合

加水后，制成混凝土，可以用模型制成任何形状。（如钢筋混凝土、梁、柱、浴池、管子等），可大可小，可长可短，可方可圆，没有水泥的话要解决近代的建筑工程就成了大的问题。

第三章 水泥的主要用途

水泥由于以上的性质，所以已成为建筑工程上的重要材料；现将水泥的主要用途列举如下：

1. 工业方面——厂房、仓库和机器底脚等；
2. 农业方面——粮仓、晒场、牛槽、马棚、猪圈等；
3. 交通方面——海港码头、铁路、公路、桥梁、机场、电杆、隧道等；
4. 水利方面——筑坝、发电、灌溉、防水堤岸等；
5. 国防工程方面——港口要塞、防御工事，火药库，防空洞等；
6. 市政建筑方面——水井、蓄水池、水塔、街道、桥梁、游泳池、运动场、剧场、大厅、住宅、下水道等；
7. 水泥还可以作预制品——如预制梁、铺地砖、水泥管等；若水泥加以石棉及砂，可以作瓦管子，平板、水槽等；若加些白石子或各种颜料，可以做成各种美术图案；另外，水泥可以单独和砂配合，成为水泥胶砂，用来涂墙砌砖等。

第四章 制造水泥的原料

将含有多量碳酸鈣的白堊土（或石灰石等）加入适量的粘土和无烟煤粉，用人工或机械粉碎配成混合材料，加水成球，烧至将近熔融，冷却后，加入2—5%的石膏，一同磨细，所得的细粉，就是水泥。兹分述如下：

一、白 堊 土

白堊土是由含有碳酸鈣的天然岩石，经历无数次物理碎裂和化学分解等天然程序而成为松散的矿物质。白堊土结构松散，容易开采，很适合于土法制造水泥。它多分布在山区和丘陵地带，我省信阳、许昌、洛阳、新乡等专区和开封专区西部分布最广。白堊土由于结构松散，气孔率很大，因此能吸收大量的水分，并且也很容易放出自己的水分。白堊土的特点是不分层，因此，同一地方的白堊土的物理性质及化学成分变化很小。干燥的白堊土能经受严寒而体积未有任何改变，湿的白堊土在冻结时因结冰而裂成小粒甚至粉末。

二、石 灰 石

即碳酸鈣（ CaCO_3 ）在自然界中成两种形式存在：即文石和方解石，（文石是六角形晶体，方解石是菱形晶体）。

石灰石由于本身结构紧密，硬度大，强度高，不但是制造水泥和石灰的原料，而且它本身就是一种重要的建筑材料。石灰石结构紧密，只能吸收很少量的水分（5%以下）。在干燥及

吸水时，它不改变体积，因此，石灰石沒有裂縫。干的和濕的都能經受严寒，在冬季保存沒有显著的变化，并且最重要的一点就是不因其中的水分結冰而裂开。如果石灰石中含粘土量多就不然了。

我省除豫东地区外，在山区絕大部分都分布有石灰石，并且原料又多又好。但目前由于缺乏粉碎設備、土法制水泥的工厂一般不用它作原料。当然在不久的将来，設備与动力能够解决时，这些原料都将被大量的开采和使用。

三、粘 土

粘土的种类很多，有紅粘土、黄粘土、黑粘土和白粘土等，一般采用紅粘土。我省凡有白堊土和石灰石分布的地方大部都有紅粘土。經過对这些紅粘土的化学分析和简单的物理檢驗，其化学成分和物理性能，絕大部分合乎一般土法生产水泥的要求。个别地方粘土的質量較差一些（如氧化鉄含量低，氧化硅含量高），但加以人工处理后，仍可应用。此外，无烟煤及石膏，我省更是大量出产。

粘土的特性是和水后能够形成軟泥（可塑性的泥浆），干后保持所給予的形状，煨燒后能具有像石块那样的硬度。

四、各種原料的主要化学成分

①白堊土——主要化学成分是碳酸鈣（ CaCO_3 ）其次有：二氧化硅（ SiO_2 ）、三氧化二鋁（ Al_2O_3 ）、三氧化二鉄（ Fe_2O_3 ）、氧化鎂（ MgO ）、硫酐（ SO_3 ）和粘土等。常因含有杂质而呈不同的顏色：如黄色、微黄色和灰白色，以白色为最佳。但無論呈什么样的顏色，只要碳酸鈣含量不低于76%均可采用（低者可加入适量的石灰）。白堊土的性質很軟，容易

粉碎，是手工制造水泥的最好原料。

②石灰石——其化学成分几乎是纯净的碳酸钙(CaCO_3)。其他成分与白垩一样也有二氧化硅(SiO_2)、三氧化二铝(Al_2O_3)、三氧化二铁(Fe_2O_3)、氧化镁(MgO)、硫酸(SO_3)和粘土等。也常因含有各种杂质而呈不同的颜色：如白色、灰色和褐色等，以白色为最佳。但由于机械强度高，粉碎困难，故一般手工制造水泥，都是将其煨烧成石灰而后使用。

以上两种是制造水泥的主要原料，但在使用时特别注意氧化镁(MgO)的含量。一般在生料中不能超过3%，在使用前最好先送到化验单位进行原料的化学分析，再确定生产，以免造成浪费。

③粘土——粘土的主要化学成分是二氧化硅(SiO_2)占总量的55—70%，其他成分与石灰石、白垩土一样，但除碳酸钙以外，三氧化二铝(Al_2O_3)、三氧化二铁(Fe_2O_3)、氧化镁(MgO)等含量较高。

④石膏——有天然的二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和天然的无水石膏(CaSO_4)，二水石膏，在 170°C 时能分解为半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)其中 $1\frac{1}{2}$ 分子的水变成蒸气。在水泥烧块磨细时一般加入未煨烧过的石膏(生石膏)。

第五章 利用石灰作水泥原料

目前由于我省缺乏粉碎设备，在石灰石蕴藏丰富的地区和平原地区大部分水泥厂都利用石灰来制造高标号水泥。

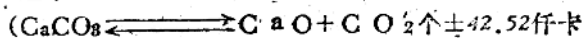
一、制造石灰的原料

凡是含碳酸鈣 (CaCO_3) 为主的天然矿物, 都可以作为石灰原料, 如: 石灰石、白堊土、石灰質火山灰、泥灰岩、方解石和文石等, 都可以用来制造石灰。原料中若粘土質含量大于 8% 者, 制造出来的石灰为水硬性石灰, 小于 8% 者为气硬性石灰, 一般都利用气硬性石灰作为制造高标号水泥的原料。

二、石灰石的煅烧及影响煅烧过程的因素

煅烧过程: 干燥——→预热——→分解——→冷却。

在操作正常的窑内, 各个热区大致占窑的总体积的百分率为: 预热区 25%。分解区 50%。冷却区 25%。预热、冷却这两个过程主要是传热过程, 而分解过程除了受热外还有化学反应过程, 这个化学反应过程即碳酸鈣 (CaCO_3) 的分解。



碳酸鈣 (可逆反应) 氧化鈣 二氧化碳

如果温度升高, 则碳酸鈣 (CaCO_3) 分解出二氧化碳 (CO_2) 的分压也将变大, 它是在 600°C 开始分解, 到 920°C 分解开始加快 (因为这时分解出二氧化碳 (CO_2) 的分压略大于大气压) 如果温度再增加到 1000°C , 这时分解速度会增加到 30 倍。

石灰石的煅烧温度通常均在 1000°C — 1200°C , 这温度是由于原料的性质及窑的构造所决定, 其温度是指被煅烧物料的温度。

含有杂质的石灰石的煅烧温度, 要比煅烧纯的石灰石低一些, 约在 1000 — 1100°C 之间, 不然会使有效氧化鈣减少。

被煅烧的石料块愈小愈好, 这样可使煅烧速度加快, 煅烧时间缩短, 使煅烧设备利用率增高。但是不能太小, 一般块的大小是在 60 — 200 毫米之间。另外如果块状大小不均使窑内阻

力变大，因此在这方面也要求石灰石块大小一致。燃料块大小約在40—60毫米之間，以免造成石灰过火或欠火等情况之发生。

三、石灰石的分类（根据粘土、雜質含量來分类）

	碳酸鈣(CaCO ₃)%	粘 土 %	碳酸鎂(MgCO ₃)%
石 灰 石	95—100%	0—2%	0—3%
泥 灰 炭	70—90%	8—30%	0—5%
普通石灰石	87—95%	0—8%	0—5%
白云質石灰石	70—90%	0—8%	5—25%
白 云 石	50—70%	0—8%	25—30%
白云石泥灰岩	50—70%	8—30%	5—25%

某些种类石灰石的大致化学成分

名 称	氧化矽(SiO ₂)	氧化鋁(Al ₂ O ₃)	氧化鐵(Fe ₂ O ₃)	氧化鈣(CaO)	氧化鎂(MgO)	總失量
普通石灰石	1.10	1.33	0.79	51.49	1.99	43.17
純石灰石	0.42	0.25	0.17	55.32	0.50	43.77
泥 灰 岩	10.31	3.01	1.05	42.59	4.23	38.74
白云質石灰石	2.20	2.46	0.38	43.01	8.71	43.12
白 云 石	1.27	0.78	1.33	43.25	9.27	43.64
白云質泥灰岩	10.29	3.33	0.94	32.02	14.11	39.18

四、气硬性石灰的種類

①块状生石灰：它是由石灰石煨燒而成的其成分絕大部分

为氧化鈣 (CaO) 和氧化鎂 (MgO)。

②生石灰粉——将块灰磨細，所得之成品称为石灰粉。其成分与块灰相同。

③熟石灰 (消石灰) —— 是将块灰淋以适量之水經過熟化 (消解) 作用后所得之粉末状成品，称为熟石灰。其主要成分是氫氧化鈣 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)。

④石灰浆——将块灰加足量之水經熟化 (消解) 作用后得到稠粘状物，称为石灰浆。其主要成分是氫氧化鈣 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 及水。

石灰石中的杂质，如粘土、碳酸鎂、石英等会影响石灰的性質，并多少会降低它的熟化 (消解) 能力。煅烧純石灰石，所得到的石灰可以全部熟化 (消解) 而生成氫氧化鈣 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)。若不作水泥原料，用在其他的建筑上，上述杂质，不仅沒有影响，而且会提高它的質量。

三. 塊石灰外觀鑑別

①顏色观察：其断面顏色青灰色質佳，白或灰黄色次之。用指甲刮之如全部断面硬度相同，則其組織一律，質量較佳，否則則为未烧透块灰；

②过火：凡过火块灰面呈玻璃状結晶，質硬难化、色彩暗淡，并呈灰黑色；

③欠火：凡欠火块灰，其断面中部色彩深于边緣色彩，以指甲刮之中部硬于边緣，較新鮮烧透之块灰为重，投入盐酸內发生沸騰現象，并排出气体。

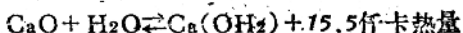
在采用石灰作水泥原料时，一般都利用气硬性石灰作为水泥原料。就是将块状石灰淋以适量的水，經熟化后变为熟石灰，将热量放出，以便人工成球。

6. 生石灰消解成消石灰（熟石灰）：

将石灰块放在能吸水的平地上，将大块击碎后，铺成均匀的25公分厚的一层，然后用喷壶或胶皮管喷水，喷水后再铺一层石灰，然后再喷水，重复上述手续，一直铺到石灰层的总高度达到7—7.5公尺为止。下层不应喷水太多，因上层多余的水会流到下层去。最上面一层喷完水后，再在上面铺一层厚约10公分的砂，两天后在具有代表性的三、五处将砂去掉，检查石灰消解情况，如果完全松散成粉末状消石灰，即为消解完成，可以应用；如果石灰没有完全松散成粉，或粉末还潮湿，那就是尚未消解完全，须将砂再铺好，继续消解。如果需要立即使用，则可通过铁筛网，把未消解好的颗粒去掉，不然这些未消解的颗粒以后在制品中继续消解，生成氢氧化钙并发高热，不易成球，体积膨大，造成制品开裂。

生石灰消解成为消石灰在从理论上需水量为生石灰重量的32.73%，而实际需取用二倍至三倍多的水量，因为消解时放热的缘故，生成大量的蒸气，而且还有些水分被气体所带走。水蒸气的生成使石灰疏松而成为很细的粉末，对消解过程产生有益的影响，同时避免了物料温度过高。水分如果过多，产生的热量不足使其变成蒸气，而部分水分留在石灰中，使石灰粉末潮湿，影响消解石灰的质量。消石灰中水分含量不应超过5%。水量不够时，引起消石灰的“过热”现象，在产生过热的地方，由于没有足够的水分，氢氧化钙的各个颗粒部分地脱水而和未消解的石灰颗粒胶结成为很紧密的块子，很难使其继续消解。

石灰的消解过程是氧化钙和水作用生成氢氧化钙的过程：



氧化钙 水 氢氧化钙