



269201

物資供应干部培训讲义

水 泥

水利电力部供应司編



水利电力出版社

140

物資供应干部培训讲义

水 泥

水利电力部供应司編

水利电力出版社

內 容 提 要

本书为水利电力工业物资供应干部培训讲义之一。书中簡要地介紹了有关水泥的制造过程，凝結与硬化的原理，以及混凝土常識，并着重地介紹了水泥的品質标准，各种水泥的性能，适用范围和节约水泥的各项措施等。本书可供水利电力部門以及有关部門的供应干部进行业务学习时参考。

水 泥

水利电力部供应司編

*

2755 S 724

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 1/32开本 * 4 1/2印張 * 104千字 * 定价(第8类)0.49元

1960年3月北京第1版

1960年3月北京第1次印刷(0001—9,590册)

目 录

緒 論	2
第一章 水泥的发明和制造	4
第二章 水泥的成分与水泥凝結硬化的原理	10
第三章 混凝土与水泥砂浆的常識	13
第四章 水泥的品質标准	32
第五章 水泥的品种及其特性与使用范围	41
第六章 水泥的节约	64
第七章 水泥的防潮(运输与保管)	91
附录 I 水泥物理性質的檢驗方法	95
附录 II 混合材料的品質标准与掺用量的估算	120
附录 III 早强剂——氯化鈣	127

緒 論

水泥是一种粉状物，它与水化合后成为可塑性的物质，并能逐渐凝結硬化变成象石头一样坚硬的物体，所以水泥是一种水硬性的胶凝材料。

水泥主要用于拌制混凝土和石磚砌体用的砂浆等。水泥混凝土是由水泥、砂、石加水拌合而成，它可以筑成整体的、耐久的、不透水的各种尺寸的结构；再由于混凝土对于鋼筋的握裹力很强，而且它們的膨脹系数又很接近，在构件中取长补短，分担拉应力与压应力，使混凝土与鋼筋混凝土的用途大为广阔，成为建筑工程中理想的材料。因此，在經濟建設中水泥是一种用量大，而且是非常重要的材料之一。

在水利电力建設上，水泥大量地被采用于水工建筑物以及火力发电站、热电站的建設中，不論是水坝、水閘、渠道及其他农田水利工程的建筑物和火电站与热电站的厂房、机炉基础、冷水塔、輸变电工程的变电架构、水泥电杆……等均无不使用水泥的；在苏联伏尔加頓河运河与齐姆良水力发电站工程，用了一百多万吨水泥。我国許多正在建設的水利与水电工程，如三門峽、丹江口等水利樞紐工程，新安江、刘家峽等水力发电工程，使用的水泥均在几十万吨；即将兴建的三峡水利樞紐工程，使用水泥的数量更为龐大，将为数百万吨。在其他各經濟建設部門，如工业厂房、民用建筑、道路、桥梁、港湾工程等，同样的都不可缺少水泥。可以說，在国家經濟建設中很难找到不用水泥的工程。

在国家經濟建設中，水泥虽然是一种不可缺少的材料，但是在旧中国，水泥工业和其他工业一样，在帝国主义、封建势力和官僚资产阶级的統治下，长期遭受着摧殘，不但生产水平低，而且生产能力也得不到充分的發揮，許多水泥厂不是相繼停产、就

是基本处于停产状态，加以帝国主义和国民党反动派的破坏，1949年全国解放时，水泥的年产量只有66万吨。旧中国的水泥工业不仅产量低，而且生产的水泥品种亦少，从1876年开始生产水泥起，至1949年全国解放的七十三年间，只能生产三个品种且标号单一的水泥。解放以后，在党的领导下，国家立即开始恢复遭受国民党反动派严重破坏的国民经济，并在1953年开始了大规模的国民经济建设，中国的水泥工业才获得了新的飞速的发展，到1952年我国的水泥产量由1949年的66万吨增加到286万吨；经过第一个五年国民经济建设计划时期，我国的水泥工业有了更大的发展。1957年年产量猛增为686万吨，大跃进的1958年，水泥工业和其他工业一样，更有了空前飞跃的发展，超过了以往任何一年的增长速度，年产量（不包括土法所制的水泥）达到了930万吨，比解放初期的1949年增长了13倍多。1959年水泥工业仍然是个大跃进，年产量达到了1,227万吨，接近完成第二个五年计划的指标。

1958年水泥工业在党的一整套两条腿走路的方针指导下，出现了大办水泥工业群众运动的热潮，短短的几个月就生产了土法水泥100多万吨，有力地支援了农田水利建设和地方工业的民用建设，并且给今后水泥工业的大发展打下了有利基础，为我国经济建设继续大跃进创造了良好条件。

解放后，我国的水泥工业不但在产量上有了飞跃的发展，而且在品种上，由于党的重视和正确领导，并学习了苏联和兄弟国家的先进经验，由解放前的三个品种增加到二十多个品种，水泥标号也由解放前的单一标号增加到50号、100号、150号、200号、250号、300号、400号、500号、600号9种，并且有些厂已试验成功了700号和800号水泥，这就可以使不同性质的建筑，能合理地使用不同品种和不同标号的水泥，不但降低了工程造价，而且也提高了工程质量。

第一章 水泥的发明和制造

从水泥的发明到水泥全部制造方法的确定，经历了一个相当长时期的摸索过程。水泥制造的几个主要问题是在很长时间，经过很多人的研究、实验和实践才逐渐得到解决的。

一、水泥的发明简史

远在1756年就有人发现含有少量粘土的石灰石，煅烧后具有在水中凝结变硬的性能，从而制成“水硬石灰”；但当时却将水硬石灰加水溶解不开的灰黑色烬块弃之不用，以后在1796年有人将此废弃的烬块粉碎制成“石灰渣水泥”，发现它的水硬性比水硬石灰还强，进而用含粘土量较多(30%以上)的石灰石煅烧并磨碎成粉末，比“水硬石灰”的水硬性高，这就是所说的“罗马水泥”，1800年又有人用含粘土20%以上的石灰石煅烧粉碎制成“天然水泥”，所得的水硬性更高，从而知道石灰石中粘土最佳含量是20~25%；但是，含有适量粘土的石灰石并不是到处都有，因而使制造水硬性较高的天然水泥受到限制。1810年有人用粘土与石灰石两种原料，经人工磨细后按最佳成分配合烧制成与天然水泥同样品质的水泥，解决了原料供应困难和配料的问题。后来，经过许多人的摸索，在制造、实践的經驗中不断研究提高，逐渐充实发展到了现在的制造方法，并从理论上解释了水泥能产生水硬性的道理。

过去很长一个时期，人们认为水泥是英国黎兹市的石工阿斯丁在1824年发明的，并由于其制品颜色与英国波特兰地方的石块相似，而一直称为“波特兰水泥”。实际上，水泥不是英国人发明的，阿斯丁只是在1824年取得了英国由粘土和石灰石的混合物煅烧至碳酸气排出并磨细烧成物所得的水硬性胶凝材料制造的专利权罢了，阿斯丁不但不是发明者，而且在水泥制造方法上，也没有

什么重要貢獻。而英美資本主義者却歪曲了水泥的發明歷史，硬說成是阿斯丁發明的。

蘇聯的歷史研究工作，根據確鑿可靠的資料揭露了歷史的真實性，已証實水泥是在1824年以前由俄國人發明的。1825年出版的俄羅斯賈格洛·徹里賈夫所著“水下建築物用之極其堅固的低廉水泥的製造過程”一書中曾提到在窯中煅燒至“白熱”呈塊狀的石灰和粘土(1:1)混合物的水泥製造過程，并且还提到在製造水泥時，可以使用克里姆林宮破壞了的軍火庫的瓦礫的可能性，而該軍火庫早在1817~1821年間就已經修復，從而我們可以明了，在俄羅斯組織生產水泥不會晚於1817年~1821年，而阿斯丁僅於1824年才得到製造水泥的專利權。因此，應該說水泥是俄羅斯發明的。同時，製造水泥煅燒至白熱溫度為 $1,100\sim 1,200^{\circ}\text{C}$ ，而煅燒至排出碳酸氣， 900°C 以下就夠了，從而也可知道徹里賈夫所說的水泥製造過程是在較完善的情況下進行的。

蘇聯和我國均已先後取消了“波特蘭水泥”的名稱，將石灰質和粘土質為主要原料製成的水泥改稱為“矽酸鹽水泥”。

二、水泥的製造

水泥工業的發展，特別是社會主義國家，已發明了許多品種的水泥，以適應各種不同建築的需要，各種水泥所使用的原料不同，煅燒過程亦稍有不同。在各種水泥中，目前以矽酸鹽類水泥使用最為廣泛，以下就製造矽酸鹽水泥的原料及製造過程作簡要的介紹。

(一)製造水泥的原料 石灰石和粘土是製造矽酸鹽水泥的基本原料。在天然原料或工業副產品中，凡含有石灰質和粘土質成分的都可以用為製造水泥的原料。

1.石灰質原料有石灰石、白堊土、石灰等。其中最主要的是石灰石(俗稱青石)，石灰是用石灰石燒出來的，其成分決定於石灰石的成分，白堊土是白色軟土狀的石灰粉石灰石、白堊土的主要成分是碳酸鈣和少量的氧化矽、氧化鋁、氧化鐵與氧化鎂。

石灰質原料中所含的碳酸鈣愈多愈好，而氧化鎂含量愈少愈好。對石灰質原料所以要提出這樣的要求，是因為矽酸鹽水泥熟料中必須含有一定數量的氧化鈣，而氧化鈣差不多都是由石灰質原料中得來的，如石灰質原料含碳酸鈣太少，也就不能達到水泥熟料中所要求的氧化鈣含量；其次，如用立窯燒制水泥，必須將混合的原料粉制成粒，而且要求混合原料粉的粘性要大，這樣制出的粒堅實而不易碎，有助於窯的通風，並保證熟料的產量和質量（如粒碎就減少了粒子間的空隙，造成立窯通風困難）。要使混合原料粉的粘性大，就需多摻粘土，而只有在石灰質原料中碳酸鈣含量多的情況下，才能多摻粘土。所以，石灰質原料中碳酸鈣的含量愈多愈好。

國家標準中規定水泥熟料中氧化鎂不得超過4.5%（如超過4.5%就影響水泥的體積安定性），要使熟料中氧化鎂不超過4.5%，必須限制石灰質原料中氧化鎂不得超過3%，亦即碳酸鎂不得超過6.3%。

2. 粘土質原料中，有粘土、板岩、頁岩以及工業副產品中的煤灰、頁岩灰、火山灰等。頁岩是粘土埋於地下受壓而成，板岩多系頁岩變成；板岩、頁岩和粘土的成分相似，含氧化矽55~75%，氧化鋁10~20%，氧化鐵2~8%，石灰1~5%，氧化鎂1~3%。

粘土質原料是矽酸鹽水泥熟料中氧化矽與氧化鋁成分的主要來源，所以一般要求粘土質原料中的氧化矽含量最好不低於65%，氧化鋁含量最好不低於13%，如氧化矽含量不夠標準，可用矽石或矽砂補充。

3. 除上述的石灰質與粘土質原料外，還有石灰質與粘土質混合原料也可用來製造水泥，例如，粘土質石灰岩（即水泥岩），粘土質白堊和粘土質泥灰岩，以及煉鐵爐礦渣等。

4. 鐵礦石。水泥的礦物成分中有鐵鋁酸四鈣，它與水起變化後強度雖不高，但它在熟料燒制過程中，能夠在燒成階段時熔化成液體，使矽酸二鈣和氧化鈣容易變成矽酸三鈣（矽酸三鈣是決

定水泥28天内强度高低的的主要矿物成分),所以鉄鋁酸四鈣是不可缺少的,而氧化鉄的含量又影响着鉄鋁酸四鈣的含量。一般說來,矽酸盐水泥熟料含氧化鉄3~5%,因而当粘土質原料含鉄量少、以致使水泥熟料中氧化鉄少于3%时,应加入适量的氧化鉄(可用赤鉄矿石,或黄鉄矿石,或工业廢料硫鉄矿渣)。

5.石膏。煅烧成的水泥熟料最后磨細时,应加入約2~5%的生石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)或熟石膏($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)。加石膏的目的是为了控制水泥凝結的快慢,使在施工时不致在未澆筑捣实前凝結。

石膏加入后,抑制了鋁酸三鈣的凝結作用,从而延緩了水泥的凝結時間;石膏加入量的多少,取决于水泥中鋁酸三鈣的数量。

(二)水泥的制造方法 水泥的制造方法有湿法和干法两种。干法或湿法的选择視原料的干湿状态而定,如原料为干硬的采用干法,原料含水分多的則采用湿法;此外,还要看水源与排水是否便利,以及燃料及动力的供应情况等因素而定。干法用立窖或臥式旋轉窖,湿法用臥式旋轉窖;我国东北及华北各水泥厂多用干法,如湖北省华新水泥厂則用湿法;干法燃料較省,湿法生料配合較便,质量較高。

(三)制造水泥的过程 制造水泥的过程可分为以下三个步骤(以干法为例):

1.原料的磨細与配合:将矿山爆破下来的大块石灰石破碎成25毫米以下的碎块,粘土中所含水分必須烘干,以便于磨研,如硬粘土質原料为頁岩时則需軋碎,将石灰質与粘土質原料与鉄矿石(如粘土質原料含氧化鉄合乎要求,就不加鉄矿石)按一定比例配合成为水泥所要求的成分后,把它磨成細粉,这种已配合好而尚未煅燒的原料称为水泥的生料,以別于已燒成的熟料。

水泥生料研磨的細度,在大型水泥厂里一般要求通过4,900孔/平方厘米篩的在90%以上,立窖生产水泥时,則要求生料全部通过130号篩籠网,其所以要求磨得这样細,是因为原料中的氧

矽、氧化鈣等都是較難于起化學反應的物質；同時，在煅燒過程中達到最高溫度（約 $1,300^{\circ}\text{C}$ 開始到 $1,450^{\circ}\text{C}$ ）以前均成固體狀態，化學反應只是在顆粒之間互相接觸的表面上進行。因此，生料磨得愈細愈均勻，化學反應也就進行得愈完全、愈徹底。這對於煅燒和熟料質量的影響是很大的。

將石灰質、粘土質、鐵粉原料按一定的比例配合成水泥所要求的成分，大型水泥廠各種原料的配合，是先經過對各種原料的化學分析和計算來進行的。這種辦法雖然穩妥可靠，但是化學分析很複雜，而且需要一些昂貴的設備和儀器，在目前用土法生產水泥的地方，還缺乏這種條件，短期內還不可能做到。但是我們可以採用一些有一定科學根據的簡單方法來進行這一工作，如小爐試燒法，酸鹼滴定法與燒失量法等，雖然這些方法不是最理想的辦法，但也能在一定程度上解決問題，給全民办水泥工業，大搞土法製造水泥創造了條件。

2. 窯中煅燒：將已配好並經過磨細的水泥生料送到窯中慢慢地燒到 $1,450^{\circ}\text{C}$ ，繼續煅燒一段時間後，料子有一部分熔化，冷卻後變成結實的黑色小塊，這種黑色小塊就是水泥熟料。

煅燒生料，在大型水泥廠採用臥式旋窯，在一般條件下則用立窯，根據設備情況，立窯又分為若干類型，但不論用哪種類型的窯，生料在煅燒中所起的變化過程，基本上是相同的。即隨着生料在窯內的運動，溫度愈來愈高，化學反應愈來愈激烈，逐漸形成了熟料的各種化合物。

生料在窯中煅燒所起的變化，可分為下述的五個階段。這些階段在臥式旋窯中是很容易劃分的；但在立窯中這些階段並不是互不連續獨立進行的，而往往是交錯進行的。為便於了解窯內的變化情況，把它分開說明：

(1) 干燥階段：在這個階段里生料被烤干，而且被熱氣加熱，溫度升高到 450°C 時，粘土中的化合水被烤掉。

(2) 預熱階段：混合的原料繼續被熱氣烘烤，溫度又上升到 600°C 以上時，混合原料中的碳酸鈣開始分解成氧化鈣和二氧化

碳。

(3) 碳酸盐分解阶段：温度升高到 800°C ，碳酸鈣分解很激烈，到 900°C 以上时，碳酸鈣全部分解成氧化鈣和二氧化碳。

(4) 燒成阶段：从碳酸鈣开始分解的温度起，混合原料就开始起着变化，到 $1,300^{\circ}\text{C}$ 就生成鉄鋁酸四鈣、鋁酸三鈣、矽酸二鈣以及少量的矽酸三鈣和一部分未参加变化的氧化鈣，温度在达到 $1,300 \sim 1,450 \sim 1,300^{\circ}\text{C}$ 之間时，是料子燒得好坏的一个关键。在这个温度范围内，鉄鋁酸四鈣和鋁酸三鈣就熔化成液体，这种液体使矽酸二鈣和氧化鈣易起变化而成矽酸三鈣。随着温度的下降，熔化物变硬了。这种从物料开始熔化到熔化物又变硬的阶段，叫做燒成阶段。

(5) 冷却阶段：物料燒成后温度下降，叫做冷却阶段。

大型水泥厂燒制水泥的新式窑是臥式圓筒旋窑(直径 $3 \sim 4$ 米，长 $50 \sim 150$ 米)，窑身略有傾斜，外包銅板，內衬耐火磚，原料自高端注入，借窑身的傾斜与旋轉，使原料緩緩向下端流动；同时，自下端吹入預先烘干磨碎的煤粉，由于窑內温度很高，煤粉入窑后即行燃燒，全窑自上端起温度逐渐增高。这种窑产量虽大，但需要的設備較多，花費投資亦大。土法生产水泥一般多用土立窑。这种土法立窑多系圓柱形的，內层用耐火磚，外面用青磚或紅磚(窑內温度低的地方也可用青磚或紅磚)砌成。

用立窑煅燒生料时需要将生料制成料球，再送入窑中进行煅燒，这是因为立窑煅燒所需要的空气全部或大部从下面而来，用球状物料可使空气較順暢地从下面上来，以利煅燒。

3. 熟料的磨細：生料煅燒成熟料后，經冷却并研細至需要的細度，在磨細时加入适量的石膏 ($2 \sim 5\%$)，所得的細粉就是水泥。

水泥成分必須进行質量的檢查，檢驗的項目通常有細度、标准稠度、凝結時間、安定性以及强度等(參閱第四章)。

第二章 水泥的成分与水泥凝結硬化的原理

一、水泥的成分

矽酸盐水泥是由石灰質原料、粘土質原料及輔助原料如鐵矿石，按所要求的成分均匀配合、磨細、煅燒以后，再加入少量的石膏共同磨細而得的产物。因此，水泥的主要成分乃是氧化鈣、氧化矽、氧化鋁和氧化鐵。但是这些成分并不是各不相关的单独存在着，而是按照一定的組成成为化合物存在的，也就是一般所說的水泥矿物組成。

矽酸盐水泥的矿物組成，主要有矽酸二鈣、矽酸三鈣、鉄鋁酸四鈣和鋁酸三鈣等四种，它們的不同含量决定着水泥具有不同的物理性質与化学性質。

水泥熟料中含矽酸三鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，化学簡式为 C_3S) 及矽酸二鈣 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，簡式为 C_2S) 最多，所以用石灰質与粘土質制成的水泥叫做矽酸盐水泥。

矽酸三鈣与水起化学变化的速度很快，是决定水泥28天内强度高低的主要东西。

矽酸二鈣与水起化学变化的速度比矽酸三鈣慢些，但是水泥后期强度的增长全依賴它。

鋁酸三鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，簡式为 C_3A) 与水起化学变化的速度最快，是决定水泥3天内强度高低的主要东西；但它的含量不能过多，过多則使水泥水化时急速凝結硬化，造成施工困难。

鉄鋁酸四鈣 ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，簡式为 C_4AF) 与水起化学变化后强度不高，其水化物沒有胶凝性。但它在水泥熟料燒制过程中，能在燒成阶段时熔化成液体，使矽酸二鈣和氧化鈣容易变成矽酸三鈣。

此外，水泥燒成后，除含有上述四种主要化合物外，还含有

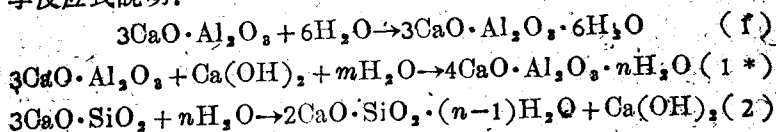
一种有害的东西，就是氧化鎂 (MgO)。氧化鎂在熟料中一般被认为是呈游离状态存在的，多系由石灰質原料带来的。氧化鎂也能与水起变化，但变化很慢，混凝土澆筑成几年甚至几十年后还是在变化，它与水起变化后，生成氫氧化鎂，体积变大，使已經硬化的混凝土脹裂，强度降低，因之起到破坏混凝土的作用。所以，在选择原料时应注意含氧化鎂高的原料不能应用。在国家标准中，限制了氧化鎂在矽酸盐水泥熟料中不得超过4.5%。

在水泥熟料中还含有一些沒有起变化的氧化鈣，通常称为游离石灰，其含量多少視燒制时的燒成情况而定，它是在燒成阶段中生成矽酸三鈣时沒有作用完全而剩下來的。它与水作用生成氫氧化鈣，体积增大，所以它的含量多了，制成的水泥安定性差，会使混凝土产生裂紋，降低强度。因此，水泥熟料中游离氧化鈣的含量，一般規定不得超过1~1.5%；在土立窖生产中，由于条件限制可适当放寬，但必須保証产品的体积安定性的原則。

二、水泥凝結与硬化的原理

水泥与水拌合后先凝結再硬化，能将砂石胶結起来产生抵抗外力的能力。因为水泥的凝結与硬化必須在水中或潮湿的环境中才能发生，所以叫做水化作用。正因如此，水泥才被称为水硬性胶結材料。

矽酸盐水泥水化作用的生成物，以水化快慢为序，用下列化学反应式說明：

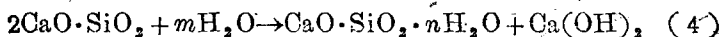
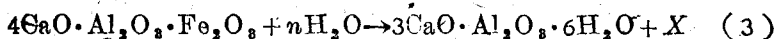


注：(1*)式中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是从(2)式中水化后新生成的。

(1)式中 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 是絨毛狀的、均質的、結晶的水化物。

(2)式中 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (n-1)\text{H}_2\text{O}$ 是无定形体的水化物， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 系結

晶体。



水泥的水化作用包括两个方面：一是水泥成分被水分解溶于水中或悬于水中；一是水泥吸收水分到粒的表层与水进行化合。

水泥与水拌合后，从(1)与(2)两式的反应，首先产生的是铝酸三钙水化物和氢氧化钙，它们可溶于水中，但溶解度不高，因之很快就达到饱和，在连续的化学反应下，再进而达到饱和，这种化学反应连续不断地进行，就分析出一种胶质物体来，这种胶质物体有一部分混在水中悬浮，后来就包围在水泥微粒的表面形成一层胶凝薄膜(参阅图2-1的1、2)；(2)式中所生成的矽酸二钙水化物几乎不溶于水，只能以无定形体的胶质包围在水泥微粒的表层，也可能渗入水中一些。

由水泥各种成分所生成的胶凝膜，逐渐发展接連起来成为胶凝体(参阅图2-1的3)，此时就表现为水泥的初凝状态，水泥开始有胶粘的性质。此后，水泥各成分在不缺水不干涸的情况下，继续不断地照上述水化程序发展、增强和扩大，就产生：

1. 胶凝体增大并吸收水分，使凝固加速，结合更密。

2. 由微晶(結晶核)的产生进而生出結晶体，結晶体与胶凝体相互包围渗透并达到一种稳定状态，这就是硬化的开始(参阅图2-1的4)。

3. 水化作用继续深入水泥微粒内部，使未水化部分再来参加以上这些化学变化，直到水分完全没有及胶质凝固和結晶充盈而止。

但无论水化时间继续多久，很难将水泥微粒内核全部水化完了。从试验证明，几十年的试体，它的强度还在增加中，古老建筑物拆下来的水泥块被磨碎后，仍能起水化作用，足以证明水化作用能够长期存在。

(3)式中 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 是結晶体，X是构造不詳的无定形体。

(4)式中 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 是无定形体水化物， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 系微量的結晶体。

利用水泥在水中凝結硬化的性能，把它使用到工程上去，虽已有很久的历史，但由于水泥的成分很复杂，这些成分与水化后的产物亦复杂，再加以水化时的新产物再互起反应相结合，又与原成分中未水化部分起作用，生成的新化合物就更多而复杂。所以，水泥的水化原理是逐渐研究才知道的。上面所述只是就现在的科学水平，对其凝結硬化现象的简单解释。当然，对其水化理论还在不断地研究，还可能有新的发展。

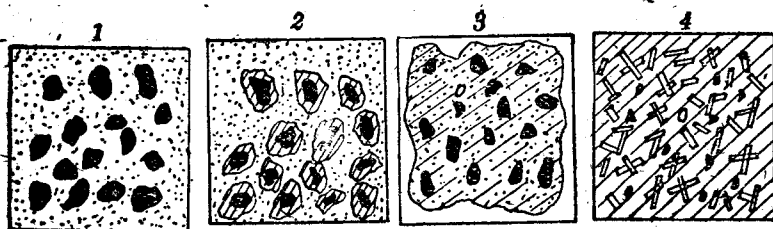


图 2-1 水泥水化后的凝固变化

1. 自水泥中析出新生胶质；2. 水泥微粒表层生出胶凝膜；3. 胶凝膜发展成为胶凝体并生出结晶核；4. 胶凝体扩展的同时结晶体萌芽，并透入胶凝体内。



水泥微粒；



新生的胶质；



水泥微粒表层胶凝膜开始形成；



胶凝膜发展成胶凝体；



新结晶体萌芽， $[\text{Ca}(\text{OH})_2, 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ；



小气泡。

第三章 混凝土与水泥砂浆的常識

一、混 凝 土

用砂子、石子以胶凝材料凝結制成的人造石体，在工程上被称为混凝土。

混凝土按所用胶凝材料的不同，有水泥混凝土、沥青混凝土、石灰混凝土……等。通常所称的混凝土是指水泥混凝土而言（本讲义所述指水泥重混凝土）。

混凝土具有耐久、耐火、整体性、可塑性（流态时）、刚性强、取材易、造价廉等优点，所以，被广泛地应用在各项建筑中，成为一种主要的理想建筑材料。

（一）混凝土的分类 按混凝土单位体重的轻重，可分为重混凝土（又称普通混凝土）与轻混凝土。

1. **重混凝土**：用坚硬、强韧、密致、比重大的骨料，如石灰岩、閃长岩、花岗岩等制成的混凝土，它的结构密实，其容重在2,400公斤/立方米左右，耐压强度较大。水利水电工程的混凝土结构物，如混凝土水坝、水闸……以及火力发电厂机炉基础等等都是。

2. **轻混凝土**：容重在1,800公斤/立方米以内，它又被分为两类：一类是容重在1,000~1,800公斤/立方米，它是用较轻的粗骨料，如浮石、凝灰岩、熔岩……等制成的；一类是容重在300~1,000公斤/立方米范围内，是在胶凝材料中掺入泡沫剂等，仅用轻的细骨料，这种混凝土内分布很多气泡，故很轻。

混凝土按单位体积重量来分类，除上述的分法以外，还有将它分为重型混凝土（容重在2,000公斤/立方米以上）、次重型混凝土（容重在1,800~2,000公斤/立方米）、轻型混凝土（容重在1,000~1,800公斤/立方米）及特轻型混凝土（容重低于1,000公斤/立方米）四类；或分为重混凝土（容重在1,800~2,500公斤/立方米）、轻质混凝土（容重在1,200~1,800公斤/立方米）及多孔混凝土（容重在300~1,200公斤/立方米）三类……等几个分法。

究竟是轻混凝土好，还是重混凝土好，这就需要看工程对它的要求而定。有些工程要求在符合一定质量条件下，同时并要求混凝土愈轻愈好，以尽量减少建筑物构件本身的重量，例如，完全为保温绝热用的混凝土，就是要求愈轻愈好；恰恰相反，有些工程不是要求减轻而是要求尽量增加混凝土的单位体积重量，如