

混 凝 土 的 基 本 知 識

陈 新 編 著

建 築 工 程 出 版 社

混凝土的基本知識

陳 新 編 著

*

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外南風土路)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第052號)

建筑工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店

書號563 17千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 1

1957年7月第1版 1957年7月第1次印刷

印數: 1—3,500冊 定價 (10) 0.18元

*

統一書號: 15040·563

G93.5
C389

混凝土的基本知識

陳 新 編 著

建筑工程出版社出版

• 1957 •

目 录

序 言.....	3
第一章 混凝土的材料.....	4
第二章 混凝土的强度及其他.....	8
第三章 混凝土的施工.....	15

序 言

大家知道，混凝土是由水泥和不同粒度的砂子、礫石或碎石粘結成的一种建筑材料。混凝土由于制作时所用的材料性質和質量、材料的配合量、施工过程中規定的技术措施和施工方法的不同，在凝固硬化以后，性質变化的范围是很大的。它可以制成像天然石料那样坚固密实而体質很重的混凝土，也可以制成体質很輕而不甚坚固的多孔混凝土。

由于混凝土制作方法不同，能够得出极其不同的性質；由于它能够根据工程需要，制成各种形狀的結構和構件；并且由于它耐火耐久，成本便宜，以及現在混凝土的制造能够高度机械化和工廠化，所以混凝土便成为一种非常重要的建筑材料了。

由于混凝土具有其他建筑材料所沒有的許多特点，特別是它的强度可以在制作时根据工程需要用科学方法来調整，因此，所有民用、工业、道路、水利、国防工程等各种建筑部門都在广泛地使用着混凝土。

根据第二个五年計划建設的偉大綱領，我們將要进行許多規模空前的基本建設工程。不久，无数宏偉的廠房、桥梁、堤坝、隧道等都要建設起来。所有这些，都將要逐步地改变我們国家的面貌，建立起我国社会主义工业化的基础。

要建設这些工程，最基本最主要的材料就是混凝土。为了使混凝土工程做得又好、又快、又省，我們就有必要来充分認識它和掌握它。只有当我们努力学习并掌握了混凝土方面的基本理論和知識后，才有可能做好混凝土工程。

第一章 混凝土的材料

普通的混凝土是由水泥、砂、石子和水混合組成的。这些材料的品質是不是合乎規定的标准,对于制成混凝土質量的好坏,有很大关系。現在,把这四种材料的有关知識分別的談一下。

先講水泥。水泥是用石灰石和粘土等作为主要原料、由水泥工廠加工制成的一种水硬性膠結材料。什么是水硬性膠結材料呢,因为这种材料能在水中硬化,并且与气硬性膠結材料有重要的区别。例如石灰是一种气硬性的膠結材料,它只能在空气中間硬化,所以石灰的使用只能在同空气接触并且比較干燥的地方。如果把它埋在土中与空气接触不到,那末,即使是經過了几十年,还是像雪花膏那样柔軟,不会硬化的。而水泥呢?不但能在空气中硬化,还能够在水中硬化,并且硬化得更好些。因此,水泥这种材料是無論在地面上或地面下,潮湿的地方或者是水中都可以使用。

水泥的种类很多,性能和强度也不一样。因此那一类工程选用那一种水泥是合理使用水泥的首要問題。目前,我国主要出产的水泥品种有四大类:就是矽酸鹽水泥,火山灰質矽酸鹽水泥,矿渣矽酸鹽水泥和混合矽酸鹽水泥。这四种水泥还有許多不同的标号(也就是强度),一般的有200、300、400、及500号四种。

矽酸鹽水泥就是常用的普通水泥,至于其他三类水泥都是經過水泥工廠在普通水泥中摻加一定数量混合材料(如高爐矿渣,火山灰等)的水泥。

普通水泥的顏色是灰綠色的,它的主要性能是在加水后12小时內就凝結,經過28天,它的强度就达到不低于标号規定的数字。

这种水泥适用在一般的水中、地上及地下的工程上。

其他三种掺加混合材料的水泥，性能大致与普通水泥相同。但火山灰質及矿渣水泥的抗水性和耐蝕性的能力强于普通水泥，水化作用时的发热量也低于普通水泥，后期强度的生長比普通水泥快得多，所以，这类水泥特别适用在水工工程和制造大体积混凝土工程上：如海港、碼頭、堤坝等等。不过这二种水泥的耐冻性較差，干縮性及吸水性較大，早期强度发展緩慢。因此，在使用这类水泥施工时，必須特别注意养护工作。

除了以上所談的几种水泥外，尚有許多特殊用途的水泥：如矾土水泥又名高鋁水泥或早强水泥，这种水泥的特性是在12小时內可达到普通水泥强度的一半，三天即可达到設計强度的要求；耐硫酸鹽水泥，它的特点是比普通水泥有較大的抗侵蝕性，能抵抗酸性水或酸性气体的侵蝕作用；膨脹水泥，它的特点是在硬化时体积能够适当膨脹，一般用在修复破坏的混凝土結構及堵塞接縫等；裝飾水泥即通常所叫的白水泥，一般用于建筑艺术裝飾上面，使用时加入顏料后玫瑰多彩，人造大理石工程都用此种水泥作为膠結料。

水泥在运输保管时最怕受潮，受潮后就会硬化失效，因此，存放水泥的仓库必須干燥。堆水泥时下面要擱高离开地面30公分左右，袋裝水泥堆置高度一般不要超过10包，也不可靠牆壁以免吸潮。取用水泥时，最好把早运到的水泥先用，以縮短貯存時間。为此，堆放水泥的仓库应有計劃地布置水泥进仓及取用順序，并按照品种、标号、出廠日期分別堆置，各堆間留出通道以利取用。如果没有特殊情况，也沒有經過有关技术人員提出必要措施，則不同品种、标号的水泥，不要混什掺用。使用貯存的水泥如果发现有硬块（不能捏散的）时，应当按照試驗后确定降低的标号使用。仓貯水泥最好在三个月內用完。

混凝土中用的砂是天然产品，这种东西几乎各地都有。就砂

的产地講，在山区里找到的砂叫山砂，一般是顆粒尖銳多角，含的泥灰什質較多；在河道里撈到的叫河砂，在海灘或湖边撈到的叫海砂和湖砂。这三种砂因为經常被水洗刷，顆粒大都成为圓形，砂也比较洁淨。

混凝土中用的砂最好是質地坚硬，富有稜角而又洁淨，其中特别要注意选用洁淨的砂。因为有超过規定量的泥灰等混在砂里，对于混凝土的質量是有害的。例如有泥灰粘附在砂粒的表面，就会阻碍水泥漿与砂粒的膠結；腐爛的草屑杂物混在砂里，就会影响制成混凝土的結硬和不密实。因此，有这种情况的砂时，在工地上就应该过篩和用水冲洗干净。

其次，混凝土中用的砂应该是由几种粗細不同的顆粒搭配起来，而且在搭配中含有較多的粗砂为最好。为什么呢？因为这样搭配起来的砂，粒与粒之間的空隙很小，砂的总表面积也小，用来填满和包裹砂粒的水泥漿用量就小，这样就节省了水泥的用量。至于砂要怎样搭配才好？这是一个專門性的問題。現在只能以簡單的图來說明一下砂要怎样搭配才算最好。如图1的第一种情况，只有一种粒度，空隙最大；第二种情况含有二种粒度，空隙就較小；第三种情况是較理想的了，含有三种粒度，空隙最小。看一下这个图，就可以知道怎样搭配才算最好。

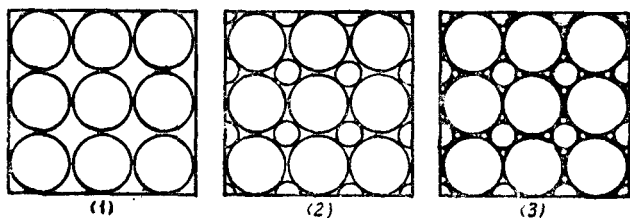


圖 1 砂粒級配示意图

在工地或予制場里，砂大都是露天堆放。这样，砂中的含水量就不稳定，它跟着天气的变化而变化。砂的体积和重量也跟着发生变化。如含水量为5~6%的湿砂，体积要比干砂胀大近 $\frac{1}{3}$ 倍，每一立方公尺重量也平均要比干砂重500公斤。因此，砂的这一特性，在施工中应加注意。

混凝土中用的石子也是天然产品。普通用的有礫石(卵石)和碎石二种；礫石或卵石像砂一样，在山区、河里、湖边找来后即可应用；碎石是大块岩石经过采石场的机器轧碎或用手工敲碎的石子。

像砂一样，在混凝土中用的石子应该质地坚硬、干净，不含泥块、草屑及其他杂质。如果含泥量等超过容许量，就应该用水冲洗或淘洗干净。

混凝土中用的石子形状最好是多稜角的，其次是圆形的，最差的是扁平的与细长的。通常用碎石制成的混凝土强度要比用礫石制成的高些，因为碎石多稜与灰浆粘结力强，礫石则表面光滑不易粘结，但是在灰浆数量相同的情况下，用礫石制成的混凝土施工时，其和易性却好得多。

石子像砂一样，也要讲究大小搭配，并且尽可能多用一些大的，这样就能使石子与石子间的空隙减到最小，需用的砂浆就能减少。如果只用同样大小的一种石子，石子间的空隙可能高到一半以上，这就需要用很多砂浆来填满空隙，造成了水泥的浪费。因之，这个问题在配合比设计时要注意，在施工中也应注意。

水是到处皆有，但是混凝土中用的水却不能乱用。只有可以供人饮用的水，像自来水，清洁的河水，井水等才可用来拌制混凝土。如果是含有油、酸、糖、碱或其他污浊物质的水，是不能用来拌制混凝土的。因为这些水对混凝土的强度影响很大。至于海水，也可以用来拌制混凝土，不过要看工程情况，并且要考虑制成混凝土的强度会低些。因此能找到淡水，最好用淡水来拌制混凝土。

第二章 混凝土的强度及其他

混凝土的强度是怎样产生的呢？与那些因素有关系呢？这个问题是混凝土工程科学的基础知识。不了解这些道理，要正确地做好混凝土工程是有困难的。

在谈混凝土的强度是怎样产生的问题以前，先谈混凝土的强度是什么。混凝土的强度就是混凝土的耐压能力，它是以标号来表示的。譬如140号混凝土，就是说这种混凝土的试块（每边是20公分的立方体）做好后在摄氏15至20度的气温下养护28天，然后放在压力机上试验，如果得到的耐压强度每平方公分不少于140公斤，那末这种混凝土就叫140号混凝土；如果是每平方公分面积能够受压200公斤不出一毛病，就叫200号混凝土。这个强度根据配合成分的不同，可以大，可以小，在事先就可以计算出。

为什么混凝土的标号要以它的耐压强度来表示呢？因为混凝土同天然石料一样，最基本的性能是承受压力。如果要它承受切力（即抵抗折断的力）或拉力，强度是很低的。譬如110号的混凝土，承受切力的强度只有受压的 $\frac{2}{10}$ ，而承受拉力的性能更低，只有受压强度的 $\frac{1}{10}$ ，由于这个缘故，混凝土在工程结构中主要是用来承受压力。这就是混凝土用耐压能力来表示其强度的原因。

现在来谈混凝土的强度是怎样产生的。大家知道，普通混凝土是由水泥、水、石子、砂四种材料组成的。这四种材料中，光是把砂、石子混在一起是不会凝固结硬的，只有在加入水泥和水以后，水泥起了水化作用，它们之间才会凝固结硬为整体，成为混凝土。所以，混凝土强度的产生是水泥水化作用的结果。

那末，水泥的水化作用是怎么回事呢？这种作用像石灰加

水后一样，会变成一种胶糊，不过又不像石灰那样在水化当时有明显的高热散发出来。这种胶糊在水分逐渐蒸发出来的同时，就会逐渐密实硬化产生强度。如果水化作用进行得很好，强度就会很高。从这里可以知道，混凝土的强度与水泥和水有密切的关系。

混凝土的强度和水泥的关系是：所用的水泥强度大，混凝土的强度就大；所用的水泥强度低，混凝土的强度也就低。因为高强度的水泥颗粒很细，水化作用就进行得快而好，强度也就生长得快而高。至于低强度水泥的情况就是相反。那末要混凝土的强度大，是不是只要选用高标号水泥就行了呢？这是要看情况决定的，为了合理地使用水泥，普通混凝土中所用的水泥标号，应该在混凝土标号的二倍到二倍半之间。如果用高标号水泥来做低标号混凝土，一般说是不经济的，因为制造钢筋混凝土工程时，为了保证混凝土有足够的紧密度，使钢筋不致生锈，水泥的用量不应少于下表的规定：这样的话，计算起来即使是强度已经够了，限于这个规定又不得不多用些水泥。因此，遇到这种情况，应该想办法在水泥里而掺些其他材料，像粘土、砧粉等来降低水泥标号以节约水泥的用量，既能满足了这个技术条件，并且也不会影响需要的混凝土强度。

每立方公尺钢筋混凝土最小水泥用量

表 1

单位：公斤

建 筑 物 性 质	捣 固 方 法	
	人 工	振 动 器
室内的钢筋混凝土建筑物	220	200
室外的普通钢筋混凝土建筑物	250	220
直接与水接触，可能受到寒害影响的建筑物	265	240

混凝土强度和水的关系在于用水量的多少。混凝土的用水量多少是用水灰比来表示的。水灰比就是用在混凝土中水的重量和

水泥重量的百分比。它与混凝土强度的关系是：水灰比大，混凝土的强度小；水灰比小，混凝土的强度就大。

水灰比大，为什么混凝土的强度会低呢？要講明这一点，首先要談談水在混凝土中的作用。我們在拌制混凝土时加水，主要是为了讓水泥起水化作用。但是水泥水化作用所要的水量很少，不过是用量的10~20%，多余的水分在混凝土結硬过程中会慢慢地蒸发出来。如果用水量过多了，水泥漿变稀，多余水分被蒸发后会在混凝土内部生成无数細小相連的小孔，这样就会降低混凝土的强度和耐久性。我們知道，任何一种材料，質地愈紧密，强度愈大，而形成混凝土有空隙的基本原因是由于被蒸发的多余水分所造成，因此，在各种环境下，要求有耐久性的混凝土，它的水灰比有一个最大限值，見表2。如果对混凝土的耐久性无特殊的要求，那么水灰比的数值主要按照强度的要求而决定。

各种环境下要求耐久性的混凝土的水灰比最大限值 表 2

結構物種類	混凝土種類	
	鋼筋混凝土	普通混凝土
房屋内部建筑物	0.75	不限制
結構物外部除與雨水接觸以外經常乾燥部分	0.65	"
結構物經常浸在水下不受冰凍影响的部分	0.65	0.75
結構物接近水面或地下水面 因水位升降不時浸潤部分	寒冷地區	0.65
	溫和地區	0.75
結構物與含酸鹼等侵蝕性的土壤或地下水相接觸的部分	0.50	0.65

但是，也不可因此而尽量縮小水灰比来提高混凝土的强度，應該照顧到操作时的条件和結構物的情况，使混凝土有一个适当的稠度。因此，施工前選擇确当的水灰比是一件很重要的工作。在确定了水灰比，規定了多少用水量以后，在操作时就必須絕對地遵守

如果貪圖操作省力，隨意地多加些水，就有可能使混凝土強度達不到工程設計的要求而發生危險。

水泥和水與混凝土的強度關係這樣密切，砂、石的強度與混凝土的強度有沒有關係呢？當然也有關係。不過一般質地較好的天然砂、石的本身強度都是高於混凝土的強度的，只有用顆粒形狀極為光滑或細長的石子時，才會影響到混凝土的強度的。實際情況也是這樣，混凝土的破裂多發生在灰漿的膠合部分，所以決定混凝土強度的主要因素是水泥的強度和水灰比。

此外，還有溫度、濕度、混凝土的和易性等，也都與混凝土強度的發展有影響的。

大家知道，在熱天制的混凝土強度生長的快，在冷天制的混凝土強度生長的慢，甚至在冰凍天氣，混凝土的強度一點也不發展。這是什麼道理呢？前面已談過，混凝土的強度是水泥水化作用後凝固產生的。這種化學反應在溫度高的時候進行的快，強度也增長的快；相反在溫度低的時候就慢了，至於在冰凍天氣時，混凝土中水分變成冰珠，水化作用就無法進行，強度也就不能生長了，甚至遭到凍結後的混凝土還會嚴重地降低質量。所以，在冬季做混凝土工程時一定要採取一些措施。就是說要想辦法來提高混凝土的溫度，直到混凝土已經達到不受冰凍影響的強度為止。如果沒有冬季施工的方法和設備，在氣溫降低到攝氏零上四度以下的时候，就要停止混凝土的施工了，否則是不能保證混凝土的質量的。

濕度像溫度一樣對混凝土強度的增長有着關係。在夏天制混凝土時往往可以看到剛搗好的混凝土在烈日的曝曬下，很快地在表面上會出現一絲絲的裂縫，如果不馬上加以遮蓋潤濕，髮絲樣的裂縫就會慢慢擴大，尤其是礦渣水泥或火山灰質水泥，因為干縮性較大，這種現象就更厲害。這是什麼原因呢？就是缺乏潮濕的環境，混凝土中的水分蒸發得太快，面層含有的水分不夠水化作用的

各种温度及不同养护时间的混凝土强度发展率

表 3

水泥種類	養護時間 (天)	養 護 溫 度							
		1°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
普 通 水 泥	2	—	—	—	25	30	35	40	45
	3	10	15	25	33	39	45	50	55
	5	20	28	38	50	55	60	65	70
	7	30	39	48	60	68	75	80	85
	10	38	49	60	72	80	85	89	92
	15	50	60	70	82	90	95	97	100
	28	65	80	90	100	105	110	—	—
礦 火 山 灰 質 水 泥	2	—	—	—	15	18	24	30	35
	3	6	8	13	21	25	32	42	50
	5	10	16	22	32	37	42	55	60
	7	16	24	30	42	46	54	67	80
	10	25	34	42	53	62	70	82	90
	15	36	45	55	70	78	87	92	100
	28	55	70	85	100	105	110	116	—

需要所造成。缺乏湿润的环境,不仅混凝土表面容易起髮裂,影响强度,严重的还会使面上的一层混凝土变得松脆无力。因此,周围环境的温度愈高,混凝土愈要处在湿润的环境中。这样,不但有利于混凝土强度的上升,并且混凝土的質地也比較密实,不易透水,耐磨損耐久。

現在談混凝土的和易性問題。和易性就是混凝土施工时是容易或是困难的程度。譬如說混凝土的和易性好,就是說这种攪拌好的混凝土在运输时,不会有砂石与水泥漿分离或泌水的現象,在澆搗时,容易貼合于模板鋼筋,不易发生蜂窩麻面等現象。如果和易性不好,情况就会相反,不仅操作起来困难,还不容易保証制成混凝土的質量。

和易性一般用坍落表示,在水泥漿数量相同的情况下(即同一个水灰比和配合比)混凝土在試驗时坍落度較大的,可以認為是和易性較好的。或者,坍落度虽較小,但看上去富有粘性,砂漿和石子結成一体,不显多砂多石和多水現象,搗实时阻力又很小,用泥刀抹几下表面即呈光滑的也可認為是和易性較好的。这个工作在工地常做,所以將試驗混凝土坍落度的方法用图表示如下:

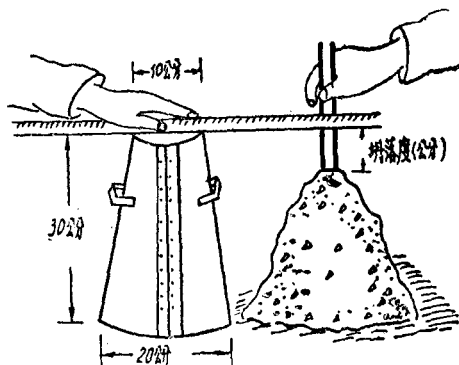


圖 2 坍落度試驗

当然,和易性对于混凝土的强度耐久性和材料的节省上都有直接的影响。和易性好,就能保證省时、省力和在适当節約水泥的条件下制成坚固,耐久而又均匀的混凝土。我們常在工地上看到有的混凝土有蜂窩麻面現象,多半是混凝土和易性不好难于操作所造成的緣故。因此,根据工程結構情况和工地上施工的条件,普通混凝土的坍落度可參照表 4 的数值。

决定混凝土和易性好坏的因素是很多的,像水泥的品种和性能,水泥漿的多少,砂、石的粗細和形狀,还有在混凝土中摻入其他外加剂等,都能影响混凝土的和易性。

什么原因呢 試驗証明,用相同的水灰比,普通水泥的和易性比矿渣式火山灰質水泥要好些。因为矿渣或火山灰質水泥吸水性

适用于各种結構物的混凝土坍落度

表 4

結 構 物 種 類	混凝土坍落度(公分)	
	人工澆搗	振動器澆搗
無鋼筋或有少量鋼筋的混凝土基礎、地板下面的基礎、厚度大于20公分具有疏列鋼筋的混凝土牆，斷面大于 60×30 公分具有疏列鋼筋的梁及拱	2~5	0~3
密列鋼筋的混凝土基礎，厚度 12~20 公分具有中等密列鋼筋的混凝土牆混凝土樓板，斷面大于 40×20 公分的混凝土梁斷面大于 30×30 公分的混凝土柱	5~7	3~5
斷面小于 30×30 公分的混凝土柱斷面小于 40×20 公分的混凝土梁，厚度 10~12 公分的混凝土牆	8~12	3~6
厚度小于 10 公分具有密列鋼筋的混凝土牆斷面高而狹窄的具有密列鋼筋的混凝土梁，牆	12~14	5~7
以管及沟槽輸送的稀混凝土	18~20	

較大或保水能力較差，所以用这二种水泥拌制混凝土时，可适量多用些水或者增加一些攪拌時間，和易性才会好一些。其次，在相同的水灰比情況下，水泥漿的数量增多，混凝土的和易性也好一些。但是这种办法要多用水泥，只有其他办法解决不了时，才可考虑这一办法。再次，在水泥漿的数量不变时，能够选用較粗的砂、石顆粒时，和易性也会好一些，但不是說全部都用粗大的，还是要粗中細粒搭配好。如果砂、石子的顆粒較為光滑，像用礫石或卵石搗制混凝土，則和易性会更好一些，但是，光滑的砂、石顆粒与水泥漿的粘結力要比碎石差一些。还有水灰比用得大一些，混凝土的和易性也要好一些，但是随着水灰比的增大，混凝土的强度与耐久性也会减低，透水性也会大些，所以采用这个办法，應該看工程的情况和施工的条件。

近年，人們找到了一种造紙廠的廢液，用来作为塑化剂掺入混凝土中，能够在保持混凝土各种性能不降低的条件下，减少水泥用

量約10%。当然,这种掺用塑化剂的混凝土和易性是很好的;否則,在减少水泥用量的情况下,很难得到和易性好的混凝土。

第三章 混凝土的施工

当我们了解与掌握了混凝土的材料和混凝土强度发展的一些基本知识后,对于我们如何做好混凝土工程是有帮助的。但是,这不是說我們懂了这些知識后,就一定能够做出好的混凝土来。因为,好的混凝土是有四个条件的,第一,要有足够的强度。第二,要有足够的耐久性。第三,要有适当的和易性。第四,是要經濟,要节约水泥。

那末,怎样达到上述四个要求呢?这就决定于制造混凝土的一系列的技术規程了。这些規程就是混凝土的配合、攪拌、运输、澆灌、搗固和养护。只有熟悉与掌握了这些技术規程后,才能有把握做出优质的混凝土。

混凝土的配合,就是决定水泥、水、砂和石子的配合比例,以及算出做成每一立方公尺混凝土时这几种材料各需要多少?这是混凝土施工过程中首先要决定的問題。混凝土質量低劣的原因,往往是由于成分配合的不好所造成,当然,其他的技术操作沒有做好也会影响混凝土的質量,但是总的說来,如果配合得不好,即使是其他操作都很認真也是无法达到上述四个要求的。所以,做好混凝土配合比的工作,可以認為是混凝土工程科学中最重要的工作之一。

在談現今科学的混凝土配合法之前,有必要研究一下过去的混凝土配合法。过去的混凝土配合就是用 $1:2:4$, $1:3:6$ 等固定的体积比配合混凝土材料。这样的方法在我国沿用了很長时