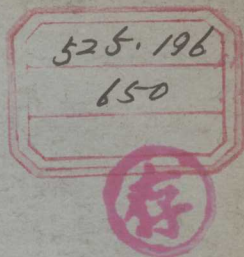


干硬性混凝土

蔣家奮編



建筑工程出版社



內 容 提 要

这是一本系統地介紹干硬性混凝土的小冊子。

干硬性混凝土是一种快硬高强度混凝土，它能节省水泥，提高混凝土質量。降低工程成本，是建筑工程中的一項重要材料。

干硬性混凝土的这些优点，对于貫徹中央多、快、好、省和勤儉建国的方針，具有重大的现实意义。

本书可供干硬性混凝土技術人員、工人和有关中等技术学校学生学习参考。

干 硬 性 混 凝 土

蔣 家 奮 編

*

建筑工程出版社出版（北京市阜成門外大街）

（北京市书刊出版业营业許可証出字第052号）

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

书号 840 34千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 1 $\frac{9}{16}$

1958年7月第1版 1958年7月第1次印刷

印数：1—4,260册

*

統一書号：15040.840

定 價：(10)0.26元

干 硬 性 混 凝 土

蔣家奮 編

建筑工程出版社出版

• 1958 •

目 录

緒 言	3
一、干硬性混凝土概論	5
(一) 什么是干硬性混凝土	5
(二) 干硬性混凝土的用途	7
(三) 干硬性混凝土的应用价值	8
(四) 干硬性混凝土的原理	12
二、干硬性混凝土的配合比計算方法	16
(一) 苏联Y-110-56指示中配合比計算方法	16
(二) 苏联技术科学碩士 И. М. 夫林克里所拟定的配合比計算方法	24
(三) 上述两种配合比計算方法的比較	28
(四) 如何調整配合比	29
三、干硬性混凝土的試驗	31
(一) 干硬度測定方法	32
(二) 混凝土拌和物的容重測定方法	33
(三) 干硬性混凝土試驗的注意事项	35
四、干硬性混凝土的制作	36
(一) 材料的选用	36
(二) 制作的方法	37
五、干硬性混凝土现场施工的經驗	40
(一) 要选用合适的震捣器并要有一定的儲备量	41
(二) 健全震捣器的使用、保养和检修制度	42
(三) 要进一步改进混凝土的操作技术	43
六、干硬性混凝土的推广	46
(一) 如何在现场捣制的混凝土工程上推广采用干硬性混凝土	46
(二) 干硬性混凝土的发展方向	49

緒 言

混凝土是基本建設中一項主要的建筑材料，無論在工業建築或民用建築中，混凝土工程常常是占着主要的地位。因此混凝土制作技術的改進對工程的進度、質量以及造價都有很大的影響。自從混凝土開始應用在建築工程上以來，經過了許多科學家和工程技術人員的努力，在混凝土的組成理論方面，特性方面以至制作技術的工藝方面，都已取得了光輝的成績，有了不少的改進和提高。尤其是蘇聯，近年來在混凝土工藝方面有了飛躍的進展。干硬性混凝土就是蘇聯近二、三年來在建築科學研究工作中所獲得的一項重要的技術成就。

在社會主義建設中，建築工業化已是一個肯定的方向。1954年8月蘇聯共產黨中央委員會和部長會議頒布了“關於在建築中發展裝配式鋼筋混凝土結構和配件的生產的決議”，決定今後在基本建設中大量實行工廠化生產預制構件。1955年蘇聯又召開了全蘇混凝土和鋼筋混凝土會議，總結中特別指出了干硬性混凝土的應用和制作技術的研究具有非常重大的意義。這是因為干硬性混凝土是一種快硬高強度混凝土；它是發展裝配式及預應力鋼筋混凝土結構所必需的一項主要材料。所以現在蘇聯有不少的學者正在繼續進行這項工作。

目前，我國現場攪制工程在混凝土工程中還占着較大的比重。為了節約水泥，前重工業部北滿建設公司于1955年在蘇聯專家建議下，首先在現場攪制的混凝土工程中採用了降低用水量的方法來配制混凝土，打破了中國過去在工地上所採用的用水量很

大的稀混凝土的坏习惯。这可以说是在中国采用干硬性混凝土的一个开端。一年来，经过领导的重视与工程技术人员、技术工人同志们的共同努力，目前干硬性混凝土已在全国很多建筑企业中得到了推广，并且取得了一定的成就。但是推广这一先进经验的时候，由于缺乏经验，尤其是在现场捣制工程上采用干硬性混凝土还是一个比较新的工作，因此也曾发生过一些问题。

随着社会主义建设的发展，我国的建筑事业要逐步地走向工业化，尤其在当前水泥供应赶不上基本建设发展需要的情况下，采用干硬性混凝土可以大量节约水泥，可以配制出快硬高强度的混凝土。因此，干硬性混凝土的应用将会有广泛的发展前途。但是由于它的历史还很短，有待于大家共同努力，作进一步的研究。

一、干硬性混凝土概論

(一) 什么是干硬性混凝土

按照俄文来翻譯,干硬性混凝土應該是干硬性混凝土拌和物。所謂混凝土拌和物,是指水泥、砂、石、加水拌和后所得到的一种湿润的混合物,也就是未硬化的混凝土。

干硬性混凝土拌和物是指这种混凝土在拌和物状态时显得干稠而难于流动。普通混凝土(塑性混凝土)为了滿足施工的要求,必須具有一定的流动性。流动性的大小,通常是以坍落度来表示的。但是干硬性混凝土拌和物由于比較干稠而不易流动,因此必須用另一种方法来測定它的流动性。

干硬性混凝土拌和物的流动性是用干硬度来表示的。干硬度的測定,按照苏联标准方法的规定,是把要測定的混凝土拌和物称取12公斤,分三层装入标准工业粘度計(见下图)內,放在震动台上进行震动。震动台的震幅須为0.5公厘,頻率須为2800~3000次/分。工业粘度計內的混凝土拌和物震到內外圈相齐平时所需要的時間(秒),即为該混凝土拌和物的干硬度指标。

知道了什么是干硬度,我們就可以介紹干硬性混凝土的定义了。根据苏联建筑材料工业部及冶金化学工业企业建造部1956年联合頒布的关于“在装配式鋼筋混凝土与混凝土結構和配件生产中采用干硬性混凝土的指示”(У-110-56)中的规定:凡在震幅为0.5公厘的 ЦНИПС 实验震台上以标准工业粘度計測得干硬度指标大于30秒,并且以标准圓錐筒測得其坍落度为零的混凝土拌和物,均属于干硬性混凝土拌和物。根据干硬度的大小,又可以把干硬性混凝土分成二类:

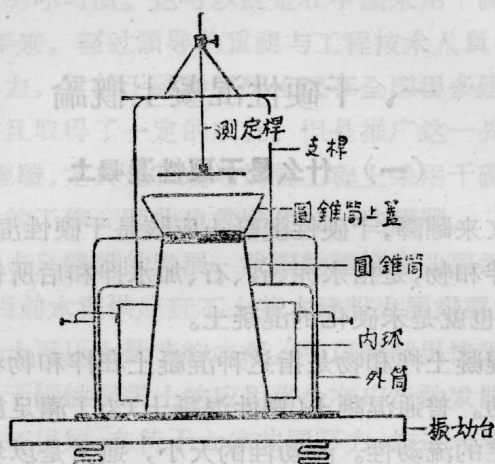


图 1 标准工业粘度計示意图

(1) 普通干硬性混凝土:干硬度指标为30~200秒。

(2) 特殊干硬性混凝土:干硬度指标大于200秒。

干硬性混凝土与普通混凝土之区别,主要表现在下列三个特点:

1. 用水量(每立方公尺混凝土的用水量)小:塑性混凝土,一般用水量约为180公升/立方公尺左右,而干硬性混凝土的用水量常在150公升/立方公尺以下,甚至最低达到110公升/立方公尺。

2. 水灰比(用水量与水泥用量之比值)小:配制快硬高强度的干硬性混凝土,水灰比一般都在 0.5 以下,可以低达 0.3 以至 0.25。

3. 砂率(砂子用量与砂石总用量的比值)小:由于砂率小,润湿砂子表面所需要的水量也相应地减少。所以可以说这个特点是与用水量少的特点互相适应的。

根据上述特点,我們就可知道,干硬性混凝土从其实质来说,

就是将混凝土中的加水量减低到接近于化学作用所需要的水量，使混凝土中存在的游离水分减少到最低的程度，这样就大大地减少了混凝土中的空隙和毛细管。这确是提高混凝土性能最根本的方法，也是混凝土技术中长久想达到的目的。

(二) 干硬性混凝土的用途

干硬性混凝土是一种快硬高强度混凝土，在苏联主要应用在钢筋混凝土制品企业生产中，如楼板、屋面等空心构件，屋面用的肋形结构，以及墙砌块等构件。现代钢筋混凝土结构已趋向装配式结构方面发展。而在装配式结构中又趋向于采用高标号混凝土，以减少构件的断面，节省水泥用量。近几年来由于预应力混凝土的迅速发展，快硬高强度混凝土更是一种不可缺少的材料了。

目前，由于我国混凝土工程中现场捣制的整体式结构所占的比重还较大，所以在1956年6月建筑工程部和冶金工业部联合颁布的“关于使用干硬性混凝土的指示”中不仅规定了干硬性混凝土在预制构件中的使用范围，而且也规定了在整体结构中的主要使用范围。

1. 在预制构件中，规定干硬性混凝土的主要使用范围为：

- (1) 多孔空心的楼板以及大型楼板等；
- (2) 肋条朝上的楼板、大型楼板以及工字截面的柱等；
- (3) 柱、横梁、大梁、预加应力梁、实心板、路边石等。

2. 在整体结构中，干硬性混凝土规定只能使用于少筋及无筋的构件上。主要使用范围为：

- (1) 混凝土垫层、地坪、路面等；
- (2) 柱基、设备基础等；
- (3) 配筋不经计算的梁；
- (4) 厚度在10公分以下的平板等。

在整体结构中,干硬性混凝土宜采用較低的干硬度指标。施工中需用震捣设备捣实。

(三) 干硬性混凝土的应用價值

干硬性混凝土的应用价值可以分为两个方面

1. 在技术上的价值

(1) 提高混凝土的早期强度和28天强度

采用干硬性混凝土,可以在不增加水泥用量的情况下,提高混凝土强度50%左右。这是由于减少了用水量就等于降低混凝土的水灰比,因而提高了混凝土强度的緣故。水灰比低至0.4以下,混凝土的28天强度可以超出所使用的水泥标号。根据建筑材料工业部水泥工业研究院所作的試驗:用500号普通水泥(每立方公尺混凝土的水泥用量为450~500公斤)和北京的砂石材料(属于中等质量),配制出的干硬性混凝土,在标准条件(温度为 20°C 左右,相对湿度在90%以上)下养护至28天,所得强度接近700公斤/平方公分。

干硬性混凝土强度的提高,不仅表现在28天强度上,同时也反映在早期强度上。以上述水泥及水泥用量所配制的干硬性混凝土来讲,它的一天强度即可达到100公斤/平方公分,三天强度即可达到350公斤/平方公分,七天强度即可达到500公斤/平方公分。如果在配制出的混凝土中再掺入促凝剂(如氯化钙、石膏等),它的一天强度即可达到300公斤/平方公分(約合28天强度的50%),三天强度即可达到400公斤/平方公分(約合28天强度的70%)。这样就可以在不用蒸汽养护条件下,达到使混凝土快硬的目的。所以在苏联Y-110-56指示中就強調指出,采用干硬性混凝土来制作高标号混凝土(400号或400号以上的混凝土)是特別适合的。

不仅如此,采用干硬性混凝土,由于用水量較少,也能比同水

灰比而用水量較大的混凝土强度提高 5~10%。

(2) 提高混凝土的密实性

塑性混凝土的容重(单位体积的重量)一般都在 2300 公斤/立方公尺左右,而干硬性混凝土的容重一般都在 2500 公斤/立方公尺以上。这就说明了干硬性混凝土的密实性是比較高的。这是因为干硬性混凝土中所含的水量較少,所以混凝土中游离的水分也相对减少。混凝土中游离水分(不与水泥起水化作用的水分)在混凝土的硬化过程中,会慢慢蒸发而在混凝土中留下許多的空隙或微細的毛細管。干硬性混凝土中既然减少了游离水分,因此在混凝土硬化过程中,内部所留存的空隙及毛細管也就相应的减少,从而就提高了混凝土的密实性。

关于混凝土密实性与用水量的关系,我們可以从苏联建筑实验室实验員手冊中所介紹的一个計算混凝土密实度的公式中得到說明:

$$H_T = 1 - 0.02 - 0.001(B - KI)$$

式中: H_T ——混凝土的密实度;

B ——混凝土中全部用水量(公升/立方公尺);

I ——混凝土中水泥用量(公斤/立方公尺);

K ——系数,代表混凝土中与水泥起化学作用的水分。

式中($B - KI$)即为混凝土中的游离水分。由此可以看出,用水量的多少直接影响到游离水分的多少;而游离水分的多少,又直接影响到混凝土的密实度。

(3) 提高混凝土的抗渗性及抗冻性

混凝土的抗渗性及抗冻性与混凝土的密实性有直接的关系的。混凝土中的空隙及毛細管在有水压的情况下,会成为渗水的通道。干硬性混凝土由于游离水分少,結構比較紧密,因此就大大地提高了它的抗渗性。而在低温的情况下,混凝土中毛細管及空

隙內的水分又会結冰膨胀，破坏混凝土的結構。干硬性混凝土由于游离水分少，結構比較緊密，因此就大大地提高了它的抗冻性。

立 建筑材料工业部水泥工业研究院用500号普通水泥，以0.7水灰比，130~150公升/立方公尺的用水量配制的干硬性混凝土(震动成型)作抗滲性試驗能达到12个大气压而不漏水，作抗冻性試驗，能达到50次冻融循环而不破坏。这样的試驗結果，在用水量多的塑性混凝土中是不可能得到的。

(4) 提高混凝土与鋼筋的握裹力(粘結力)

混凝土和鋼筋的握裹力与混凝土的耐压强度有直接的关系。混凝土耐压强度愈高，則其握裹力愈大。混凝土握裹力的增加，对先张法預应力混凝土构件是非常有利的。

干硬性混凝土由于用水量少，而耐压强度較高，因此它的握裹力也比較高。当水灰比为0.7时，其握裹力可达40公斤/平方公分，粘結系数(握裹力/耐压强度)可达0.2左右。

至于其它的混凝土物理力学性能，如弹性模量、抗折强度等，根据一般情况来估計，是与混凝土的耐压强度与密实性有直接关系的。这就不一一介紹了。

(5) 有利于冬季施工

干硬性混凝土有較多的早期水化热量和較高的早期强度，因此可以利用这个条件来采用比較簡單而經濟的蓄热法进行混凝土冬季施工。

2. 在經濟上的价值

(1) 节省水泥

在保持混凝土强度及硬化条件不变的情况下，采用干硬性混凝土較塑性混凝土能节省水泥10~25%。

干硬性混凝土节约水泥的途径，主要是通过降低用水量达到的。在維持水灰比不变的情况下(即維持混凝土强度不变)，降低

用水量也就相应地减少了水泥用量。实践证明在同水灰比的情况下降低用水量后的混凝土强度是充分有保证的。

干硬性混凝土能大量节约水泥的优点，是混凝土技术和配制工艺上的一个革新。这对于缓和我国当前水泥供应赶不上基本建设需要的紧张局面，具有重大的现实意义。

(2) 可以提前拆除模板，增加模板的周转率，节省木板

干硬性混凝土的早期强度发展比较快。在温度为 20°C 以上的潮湿环境中，干硬性混凝土的一天强度即能达到 28 天强度的 30% 左右，三天强度即能达到 28 天强度的 50% 以上。由于干硬性混凝土具有这种快硬高强度的性能，因此无论应用在装配式构件生产上或是现场捣制的整体式结构上，都可以达到提前拆除模板的效果，从而增加模板的周转率，节省木材用量，降低工程成本。

(3) 可以减少或免除蒸汽养护的处理

用普通塑性混凝土制作预制构件的时候，为了早日达到出厂强度，不得不采用蒸汽养护的方法。

由于干硬性混凝土具有快硬早强的性能，因此使用干硬性混凝土制作构件的时候，可以在保持混凝土强度及水泥用量不变的条件下，较普通的塑性混凝土缩短蒸汽养护时间 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。苏联 V-110-56 指示中就建议在采用干硬性混凝土进行蒸汽养护制作混凝土制品时，可以采用 6~8 小时的蒸汽养护制度（其中升温为 2 小时，恒温为 3~5 小时，降温为 1 小时）。

在干硬性混凝土中掺用促凝剂或者采用快硬水泥或振动强化水泥时，混凝土强度很快地就能达到 28 天强度的 70%，这样就可能省去构件生产中蒸汽养护这一工序。

在混凝土构件的生产过程中，蒸汽养护所消耗的费用是很大的。因此减少或者省去蒸汽养护处理可以大大地降低构件的生产成本。

(四) 干硬性混凝土的原理

干硬性混凝土具有硬化快,强度高,密实性大、又能节省水泥等优点,其根本的原因,在于减少了混凝土中的用水量,即直接地减少了混凝土中多余有害的游离水分。这是最基本的因素。除此以外,也还有一些其他的因素。现在从水泥硬化理论与物理力学两个方面来说明干硬性混凝土的原理:

1. 水泥硬化理论方面

根据苏联A.A.巴依可夫的学说,把水泥硬化的过程分为三个时期:

(1) 溶解期(准备期)。当水泥与水接触后,水泥颗粒表面即与水起化学作用,生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等可溶物溶解于水中,使水泥颗粒暴露了一层新的表面层。再继续与水作用又生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等可溶物,溶解于水中,直到形成了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的饱和溶液。

(2) 胶化期(凝结期)。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液形成以后,水泥与水的化学作用仍继续进行,这时水化作用的反应产物,不经过溶解而直接析出,形成微小的固体颗粒,即生成胶凝体系。此时水泥浆就逐渐失去流动性,产生了凝结现象。

(3) 结晶期(硬化期)。形成胶凝体系的胶状颗粒逐渐转化为大块不溶解于水的晶体。这时水泥就具有抵抗机械强度的性能,即产生了强度。

从上述水泥硬化理论就可以看出,水泥的凝结与硬化速度是与水泥在水化过程中, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液的形成速度直接有关。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液形成得早,则水泥的凝结与硬化就快;反之,则慢。至于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液形成的速度,主要是由下面两个因素来决定的:

①与水泥在水化过程中生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的数量及速度有关。在

水化过程中,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 愈多、愈快,則 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液形成的速度就快。这个因素与水泥的品种、矿物組成及硬化条件(硬化时的温度等)等因素有关。

②与水泥在水化过程中的用水量有关。在水化过程中,用水量愈多,則 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液的形成速度較慢;反之,則較快。

由此可见,干硬性混凝土由于用水量少,因此在水化过程中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液的形成是比較快的,胶体及晶体的形成也相应地加快。这就意味着干硬性混凝土的凝結和硬化是比較快的。这也就說明了干硬性混凝土硬化快和早期强度高的原因。

2. 物理力学方面

(1) 粗集料的骨架作用与混凝土强度的关系

在混凝土組成材料中,材料受力較弱的部分不是集料,而是水泥。如果把混凝土的組成材料分为粗集料(石子)与水泥砂浆两个部分,則較弱的部分是水泥砂浆部分,石子的强度一般都能达到1000公斤/平方公分以上。如果混凝土中水泥砂浆过多,則会在混凝土中形成一层較厚的水泥砂浆层。这层水泥砂浆层在混凝土中受到荷重时,由于其厚度較大,因此就成为一种承受荷重的材料;又由于其强度較低,所以在受到荷重后,混凝土的破坏也常从这层水泥砂浆层的被压碎开始而引起整个混凝土的崩碎。这种现象我們可以在用水量較多,砂率較大的塑性混凝土中时常见到。

但是在干硬性混凝土中,由于用水量少、砂率小,因此水泥及砂子的用量就少,粗集料(石子)的用量相对地增多。在灌筑成型时,又經過激烈的震搗,石子在混凝土中就形成了紧密的骨架。在石子之間的水泥砂浆层是比較薄的,因此在混凝土中受到的荷重主要由石子骨架来承受。由于石子的强度較高而在干硬性混凝土中又能充分發揮其强度,因而就提高了混凝土的强度。

上述情况可以用下列两个混凝土試块的剖面來說明:

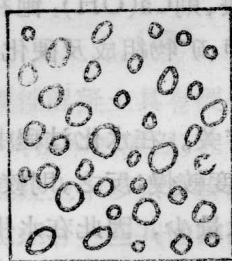


图 2 用水量多,砂率大的塑性混凝土试块



图 3 用水量少,砂率小的干硬性混凝土试块

第一种混凝土的水泥砂浆层较厚,在受荷重时,往往是沿着水泥砂浆层破坏,粗集料一般都能保持完整。混凝土的强度是由强度较低的水泥砂浆层所决定的,所以混凝土的强度较低。

第二种混凝土的水泥砂浆层较薄,粗集料紧密的连在一起形成骨架。荷重主要由粗集料来承受,由于粗集料的强度较高,因此混凝土的强度也比较高。

(2) 材料的密实度与强度的关系

材料的密实程度,往往直接影响到材料的强度,密实度愈大,则强度也愈大。混凝土也是如此。

我們知道,在混凝土中与水泥起化学作用的水分是很有限的,大約是水泥用量的20%左右。可是为了满足灌筑混凝土时所必需的流动性或和易性,在混凝土中所加入的水量是远超过水化作用所必要的水量的,这些多余的水分便成为游离水分,在混凝土硬化过程中逐渐蒸发,使混凝土内部留下空隙或孔道,减少了混凝土承受荷重的面积,并且使混凝土内部产生局部应力。因此混凝土中的空隙愈多,则强度也愈低。

在干硬性混凝土中,由于水灰比小,用水量少,所以混凝土中的游离水分也就绝对地减少了,从而空隙也就相应地减少(可以从

干硬性混凝土的密实性较高得到说明)。另外干硬性混凝土必须震捣才能成型,而强力震捣又能使混凝土更加密实,空隙更加减少,因而混凝土的强度就比较高。

(3) 水泥砂浆对粗集料的粘着力与混凝土强度的关系

在一般情况下,混凝土的强度与水泥砂浆对粗集料的粘着力是有直接关系的。当混凝土受到荷重产生了内部应力,而内部应力又大于水泥砂浆与粗集料的粘着力时,则混凝土中的集料即与水泥砂浆脱离而破坏混凝土。

干硬性混凝土由于水灰比小,用水量少,含砂率小,因此水泥砂浆与粗集料的粘着强度是比较高的,所以混凝土的强度也比较高。

(4) 混凝土的析水性与强度的关系

塑性混凝土的析水量较多,因此容易形成分层而降低混凝土的强度。同时在混凝土内部,也会在水泥砂浆与粗集料接触的表面上出现一层很薄的水膜,因而减弱了水泥砂浆与粗集料的粘着力。

在干硬性混凝土中,由于用水量少,几乎没有什么析水,因此它的强度也就比较高。

(5) 所用材料的质量与混凝土强度的关系

干硬性混凝土所用材料,根据技术条件的规定,与塑性混凝土相比,虽无很大的区别,但在配制高标号混凝土时,所用的水泥标号较高,要求砂、石的级配较好,含泥量较少,石质强度较高。因为这些因素都与混凝土的强度有一定的关系,所以配制干硬性混凝土时也应给予足够的重视。