

上海市市政工程技术资料

水泥混凝土混合物的干硬性和测定方法

科学技术出版社

內 容 提 要

本書先從干硬性混凝土混合物的優越性談起，繼述混凝土的技術性質和測定干硬性的各種方法，并討論了選擇干硬性指數問題，最後介紹上海市城市建設局提出的干硬性簡易測定方法，可供各基建單位及土建工程技術人員參考之用。

上海市市政工程技術資料 水泥混凝土混合物的干硬性和 測定方法

編 者 上海市城市建設局

科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 號

大眾文化印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本 787×1092 1/32 • 印張 3/4 • 字數 15,000

1958年8月第1版

1958年8月第1次印刷 • 印數 1—5,000

統一書號: 15119·768

定 價: (9) 0.11 元

X1
S2

目 录

1. 干硬性混凝土混合物·····	1
2. 混凝土混合物的工作度·····	4
3. 混凝土的技术性質和干硬性·····	6
4. 干硬性的測定方法·····	9
5. 关于选择干硬性指数問題·····	15
6. 干硬性簡易測定法·····	19
7. 参考文献·····	23

水泥混凝土混合物的干硬性 和測定方法

(1) 干硬性混凝土混合物

現代混凝土技術可以說是沿着干硬性混合物的道路向前發展的。採用干硬性混凝土混合物能夠充分發揮水泥的活性和粗集料的骨架作用，因而帶來了一系列的優越性，使混凝土加速硬化、提高強度，這樣不但節約水泥，並且由於拆模時間減縮，模板周轉率增加，也節約了製造模板用的金屬和木材；同時，又能做到不用蒸汽養護或減少蒸汽養護時間，就節省了養護費用。如果由於採用干硬性混合物而使混凝土強度提高，設計時結構物的尺寸和斷面得以減小，這樣便可節約更多的建築材料，并使建築成本大大地降低。

歐洲人民民主國家對於應用干硬性混凝土混合物澆制裝配式或預應力混凝土結構有很豐富的經驗，表 1 中摘錄了一些有關的資料^[1]。

表 1 中的混凝土混合物稠度如以沉落度表示應當都是零。

蘇聯 1955 年第五次全蘇鋼筋混凝土和混凝土會議中吸取了歐洲人民民主國家的經驗，在“混凝土製造技術的目前狀況及其在最近年代中的發展道路”這篇學術報告中，著名的混凝土技術專家 Б. Г. 斯克拉姆塔也夫教授指出，過去蘇聯無論在水工建

表 1

構件名稱	混 凝 土 標 号	水 泥 標 号	1立方公尺 混凝土內水 泥用量 (公斤)	水 灰 比
六孔鋪砌板件 (捷克斯洛伐克)	350	450	400	0.35
預应力双鉸軌枕 (捷克斯洛伐克)	600~750	450	550~500	0.30~0.33
預应力梁与軌枕 (匈牙利)	400	500	380	0.35
預应力塔 (匈牙利)	400	500	500~600	0.38
預应力梁与軌枕 (波蘭)	500	500	550	0.28
管与塔 (德意志民主共和国)	500		580	0.30

筑或工业建筑中,甚至有时在制造装配式钢筋混凝土構件时,都应用过分稀軟的混凝土混合物,这是在混凝土技术中的严重缺点。在很多装配式钢筋混凝土結構工厂中,由于缺乏較好的混凝土澆制机械和振动台,致使沉落度达到3~5公分,因而导致混凝土强度的降低或水泥的浪费,并使得硬化緩慢和拆模期限延迟。斯氏認為目前在混凝土混合物的运送和澆制工作組織得正确时,它的稠度在水利工程中澆制大体和混凝土时沉落度可以降低到4~5公分,而在制造装配式钢筋混凝土構件时可降到1~3公分。将来随着干硬性混凝土混合物捣实设备逐渐广泛使用,沉落度可以接近于零。

解放后国内的混凝土技术象其他各种科学技术一样得到显著的进步,振动器的使用已經相当普遍,如上海市市政工程局混凝土路面工程及预制桥樑較早地采用了干硬性混凝土混合物。这些工程中混凝土混合物的配合比和振捣方法,选择几个例子

列表如下 (表 2):

表 2

施工年分	工程名称 和結構部分	混凝土成 分配合比	水灰比	捣 实 方 法
1951 年	襄阳南路 路面	1:2.06:4.04	0.56	振动器 (1/4 匹馬力, 頻率每分鐘 3000 次) 兩座分別安裝在方样板 三分之一处, 同时振动。
1953 年	广桑路路 面	1:2.30:4.25	0.54	用苏联 II-7 型表面振动器振实, 电动机 3/4 匹馬力, 頻率每分鐘 2800 次, 一次振实。
1954 年	西藏北路 路面	1:1.94:4.24	0.52	同上。
1952 年	長寿桥混 凝土预制 樁	1:1.53:2.61	0.40	用附管式振动器振实。
1956 年	混凝土加 工厂预制 丁字梁 (桥梁)	1:2.61:4.86	0.60	用附管式振动器振实, 丁字梁表 面再用 II-7 型表面振动器振压。
1955 年	肇嘉浜埋 管工程溝 管	1:2.10:3.40 1:2.30:3.70	0.60	人工和振动器同时操作, 溝管內 部模板裝置兩組附管式振动器。 由于長時間連續振動, 底部混凝 土混合物中水分上升, 湧至頂部, 会发生严重的析水現象, 因此采 用不同稠度的混凝土成分配合 比, 上部混凝土混合物的稠度較 为干硬。

这些混凝土混合物的稠度一般都控制在沉落度 3 公分以
下。

1956 年起, 国内土建工程部門掀起了一个推广干硬性混凝

土混合物的热潮,从各方面的資料看来,許多地区的工程中采用干硬性混凝土混合物,并开展有关的科学研究工作,都取得了一定的成績;但是由于摸索的时间尚短,还没有整套成熟的理論和实践作为准繩,有許多問題尚待进一步研討。

本文就混凝土混合物的干硬性及其測定方法問題作一些簡單說明,并提出点滴的意見以供从事混凝土工作的同志討論。

(2) 混凝土混合物的工作度

如果單就混凝土的搗实工作來說,主要目的是消除混凝土混合物中所有的空隙。

最簡單的搗实方法就是在混凝土混合物表面夯搗,驅走內部空气,并迫使混合物中粒料相互投合,填滿模型,同时水泥砂漿挤入粗集料的空隙,并充滿模型的每个角落,剩余的砂漿則升至表面。根据这一情况分析,夯搗工作必須克服两种摩擦力,一种是混凝土混合物粒料之間的摩擦,另一种是混凝土混合物与接触物界面的摩擦,例如与模型內面的摩擦及与鋼筋表面的摩擦。前一种称为“內部摩擦”,后一种称为“表面摩擦”。所謂內部摩擦事实上也是顆粒与顆粒的表面摩擦,顆粒表面的性質直接影响混凝土混合物的性質,比如顆粒形狀比較圓整,表面比較光滑的集料拌制的混凝土混合物容易搗实。至于外部的表面摩擦和結構物的尺寸、形狀、鋼筋的尺寸、間距、排列的緊密程度都有很大的关系。一般情況下,克服表面摩擦要比克服內部摩擦所需的工作大得多,这一事实从实践中可以得到証明,例如結構断面窄小、鋼筋密列的混凝土結構物必須采用流动性极大的混凝土混合物或者是特別加强搗实工作,否則难免出現蜂窝和孔

穴；又如竹筋混凝土的結構物由于竹筋含率比鋼筋含率要高得多，竹筋形狀往往是扁平的，摩擦面积又大，于是所要求混凝土混合物的沉落度就要比断面尺寸相同的鋼筋混凝土結構高一倍。至于澆搗面积較大，結構形狀較簡單的結構物，如混凝土路面版和一些預制構件，由于摩擦表面較小，便有条件采用稠度干硬的混凝土混合物。

使用振動器时发生的振動能量也是用于克服混凝土混合物的摩擦力，使混凝土混合物变成“重質的液体状态”。在振動作用的影响下，粒料撞動，混凝土混合物暂时变成稀薄，这一现象叫做“流化”，但当振動停止后，流化现象也立即消除。流化的混凝土混合物內摩擦力显著减低，粗集料的顆粒由于本身重力而下沉，粗細集料滑动到适当的位置，水泥漿填满集料間和模板內部的空隙，空气在这“重質的液体”中形成气泡，升至表面。不論是內部摩擦或是表面摩擦，我們都可称为“表面束縛”，受到振動后的流化现象，使混凝土混合物从表面束縛中解放出来。实际上一切搗实工作都是为了达到这个目的。这里順便提一下，为減輕混凝土混合物的表面束縛，还有各种新的技术措施，比如掺加塑化剂、加气剂一类表面活化物質，也能有效地減輕搗实工作。

混凝土混合物在流化过程中轉变成重質液体状态的程度，視振動作用所减小混凝土混合物的摩擦力的情况而定；这就与振動能量的大小，混凝土混合物的性質，振動的时间等多种因素有关。因此，使用振動器也須做完足够的工作才能充分搗实；所謂足够的工作也就是克服混凝土混合物內部摩擦和表面摩擦必需的工作。同时还应当說明，在搗实工作中还免不了有一部分能量損失，例如使用附着式振動器，便有一大部分的能量消失在

模壳的振动上。所以，我們認為用下列公式表示它們之間的關係是比較明確的：

$$\text{捣实工作} = \text{克服表面摩擦所需的工作} + \text{克服內部摩擦所需的工作} + \text{損失的工作}$$

直到現在，我們還不能用數值把這些關係表示出來，但是明確了這樣的關係以後，可以根據能做到的捣实工作和條件估計混凝土混合物應有的性質，也可以從已知混凝土混合物的性質估計充分捣实所需的工作，這些都可以經過試驗而決定。

混凝土混合物的性質，不僅應當適合捣实工作，也應適合運輸和灌注的工作，特別是有些特殊的工作，例如應用混凝土泵運輸，澆制水下混凝土等，都對混凝土混合物的性質提出特殊的要求。

總之，混凝土混合物必須有適應工作的性質，這一性質可稱為“工作度”或“和易性”。至於稠度比較干硬的混凝土混合物工作度是用“干硬性”來表示的，因為干硬性的概念要比工作度或和易性清楚一些。過去習慣上，工作性指數也是用振動時間（秒）來表示的，這樣，“工作度指數愈大混凝土混合物工作度愈差”，不及“干硬性指數愈大混凝土混合物愈干硬”的概念比較明顯。

(3) 混凝土的技術性質和干硬性

蘇聯技術科學博士 A. E. 杰索夫 (Десов) 教授將混凝土的技術性質分為“組織特性”和“結構特性”。組織特性是指混凝土中粗細集料顆粒的形狀和分布的狀況，以及水泥石和集料之間的接觸和結合的情況。結構特性是指水泥石的顯微結構，並與水

泥的矿物組成，水泥中摻加的外加劑和混合材料，水泥的細度，集料的品質，混凝土的硬化條件以及其他因素有關。

組織特性簡單地說就是水泥石和集料的結合是否均勻和緊密，它決定於搗實工作是否完善，不論是流動性的或者是干硬性的混凝土混合物，搗實工作直接影響混凝土強度和水灰比的關係，可用下圖（圖1）說明：

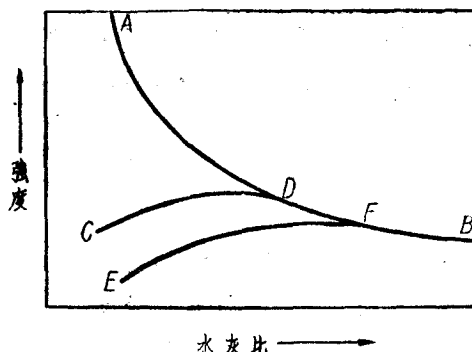


圖 1 水灰比和強度關係曲綫

圖中 AB 是充分搗實的混凝土水灰比與強度的關係曲綫， CDB 和 EFB 是兩條未能充分搗實的混凝土水灰比與強度的關係曲綫。假定這三種混凝土各種條件都相同而只有搗實工作不同， AB 曲綫的混凝土是經過較強的振搗，強度完全能夠符合水灰比定律，水灰比愈小強度愈高； CDB 和 EFB 曲綫則不能符合這一定律，水灰比減低到某一數值，水灰比愈小強度反而愈低，只是大於這一水灰比的部分曲綫仍然是符合規律的，如 DB 段和 FB 段，這部分曲綫並且是和 AB 曲綫重合的。 CD 段和 EF 段強度所以降低的原因顯然是由於搗實工作未能充分消除混凝土混合物中的空氣，水灰比愈小，混凝土組織特性愈差，強

度必然也愈低。

从曲线中也可以看出一个问题，就是对于干硬性混凝土混合物来说，组织特性更是重要，对组织特性的要求必须保证捣实工作完全克服了内部摩擦和表面摩擦，否则即使结构特性很好也不能获得品质优良的混凝土。我们可以说，将用干硬性混凝土混合物无疑是有利于混凝土的结构特性，但为组织特性带来了困难。

混凝土混合物中水泥浆的数量是影响稠度的主要因素。根据苏联学者 В. М. 莫斯科文 (Москвин) 和 Б. Д. 特林克尔 (Тринклер) 的论文^[2]，1 立方公尺混凝土中水泥浆的用量可以按下式确定：

$$T = M_{\text{обш}} \delta + V_n$$

式中： T ——水泥浆的绝对体积(立方公尺)；

$M_{\text{обш}}$ ——集料的总表面积(平方公尺)；

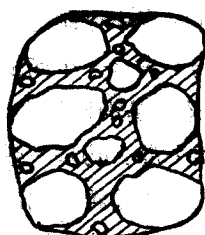
δ ——水泥浆层的厚度(公尺)；

V_n ——捣紧状况下砂的空隙体积(立方公尺)。

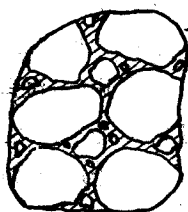
上式说明水泥浆填充集料间的空隙并包围在集料外表，起滑润的作用。集料之间水泥浆层愈厚，混凝土混合物流动性愈大，反之，则干硬度愈大，因此，流动性的混凝土混合物需要大量的水泥浆，干硬性混凝土混合物就不需这样多的水泥浆，水泥用量也就能节省(图 2)。

除水泥浆的数量影响混凝土混合物的工作度以外，水泥浆的粘度也是一个重要的因素，例如我们已知在混凝土混合物中掺加磨细的混合材料以后粘度就急剧增加。关于水泥浆，砂浆和混凝土混合物的粘度问题，各国学者正进行深入的科学研究，目前我们只能看到片断的关于混凝土混合物在自重影响

下或压力及振动作用下的流动问题的资料。这是一个很重要的课题,也是解决干硬性问题的主要关键。



集料間水泥漿層較厚的
混凝土混合物



集料間水泥漿層較薄的
混凝土混合物

图 2

推广使用干硬性混凝土混合物时发生的几个主要的技术问题中,干硬性问题是首先遭遇到的。如果干硬性问题无法解决,那么,混凝土成分配合的经济性,混凝土的质量,捣实工作所需能量和时间等一系列的技术问题就无法解决。为保证混凝土的质量,同时又要求最大限度的节约,我们必须配合设计时选择适当的干硬性指数,并在施工中严格地控制这一干硬性指数。

(4) 干硬性的测定方法

目前各国测定混凝土混合物工作度和稠度的方法,不下数十种之多,其中应用较普遍的有下列各类:

1. 沉落度试验;
2. 流动率试验;
3. 贯入度试验;
4. 坠落试验;
5. 拌和器试验;
6. 变形试验;
7. 密实度试验;
8. 滑溜试验等。

这些试验中沉落度试验各国沿用已久,美国采用最早,至今

約有 40 年，雖然現在已有許多著作論証凭借这一方法不能測量混凝土混合物的工作度，并已証明同一沉落度的混凝土的混合物工作度变异范围极大，但是在施工过程中控制混凝土混合物的均匀性和防止加水量过多來說，仍不失是一个簡易而有效的試驗法。如所周知，沉落度試驗适用范围是有限制的，它对于水灰比較小的或是水泥用量較貧的混凝土混合物是不适用的，因为这样的混凝土混合物的沉落度往往由于圓錐体崩散或一側坍塌，不能表示真正的沉落度。对于干硬性混凝土混合物沉落度总是接近于零或等于零，不能測出其干硬性。

上述各类試驗中，变形試驗是比較好的混凝土混合物工作度測定法。1932 年美国 T. C. 鮑威尔斯 (Powers) 倡議了“重型試驗法”，这是一个从流动率試驗改进而成的变形試驗，这方法用跳桌跳动的次数測量混凝土混合物的試样从截头圓錐体形狀改成圓柱形需要的工作。这一方法也不适用于干硬性混合物：苏联学者 A. E. 杰索夫的論文指出，如用重型試驗測定干硬性混凝土混合物时，重型数(跳动次数)將达 500~700 次之多^[8]。

近年来，很多学者为測定干硬性混凝土混合物的工作度又改进了重型試驗的方法，其中較著名的是美国 C. E. 吳厄尔佩儿 (Wuerpel) 改进为“振动重型試驗法”，瑞典 V. 彭尔納尔 (Bährner) 建議了“微拍試驗法”(Vebe fest)，他將改进的重型試驗仪(苏联称为工业粘度計)裝置在振动台上，称为“微拍仪”(Vebe-meter)，并用“微拍度”(Vebedegree)●表示混凝土混合物的工

● 微拍度以 $\frac{V_2}{V_1} \cdot t$ 表示， V_1 与 V_2 是混凝土混合物振动以前和以后的体积，

$\frac{V_2}{V_1}$ 的值可以忽略， t 是混凝土混合物从圓錐形变成圓柱体所需的時間。

作度。瑞典另一學者 P. 赫爾斯特羅姆 (Hallström) 則將重型試驗儀改進為“流動儀”(Mobility meter)。蘇聯學者對於重型試驗的改進有標準工業粘度計(國定全蘇標準 6901-54)和 B. Г. 斯克拉姆泰也夫 (Скраттаев) 工作度簡易試驗法, 此外還有 И. Г. 索瓦洛夫法, 第 200 科學研究所 (НИИ-200) 試驗法, 夫林克里試驗法等, 都是按振動台的振動時間測定混凝土混合物的工作度和粘度。

現在蘇聯規定工業粘度計是測定干硬性的標準方法, 這方法說明如下:

工業粘度計由下列零件所組成(圖 3):

1. 圓柱形容器 1, 其直徑為 300 公厘, 高度為 200 公厘, 平底, 容器壁上有梯級形切口三處:

2. 柱形圓環 2, 其直徑為 315 公厘, 高度為 130 公厘, 在環的上端裝有阻板 3, 借助於該阻板即能將環安設於圓柱形容器內, 容器內應部與環下端平面間的距离可作梯級形的變更, 可將環 2 的阻板 3 安置在容器壁上不同的切口內;

3. 帶漏斗 5 的金屬圓錐形模型 4;

4. 三腳架 6, 固定於容器壁上的鐵扣 7 內;

5. 厚度為 2~3 公厘的平面圓盤 8 與杆 9 相連, 杆 9 可以在定向裝置 10 內作豎向移動, 亦可用夾緊螺栓 11 將其固定。

用工業粘度計測定干硬度的步驟如下(圖 4):

1. 將工業粘度計固定在中央工業結構物科學研究所型 (ЦНИПС) 圓周式振動的試驗室用振動台(圖 5)上。

2. 振動台的振動頻率應為 2700~2800 次/分鐘, 在負荷下振幅應為 0.5 公厘。

3. 確定振動台振幅時, 應將工業粘度計固定於振動台上, 在

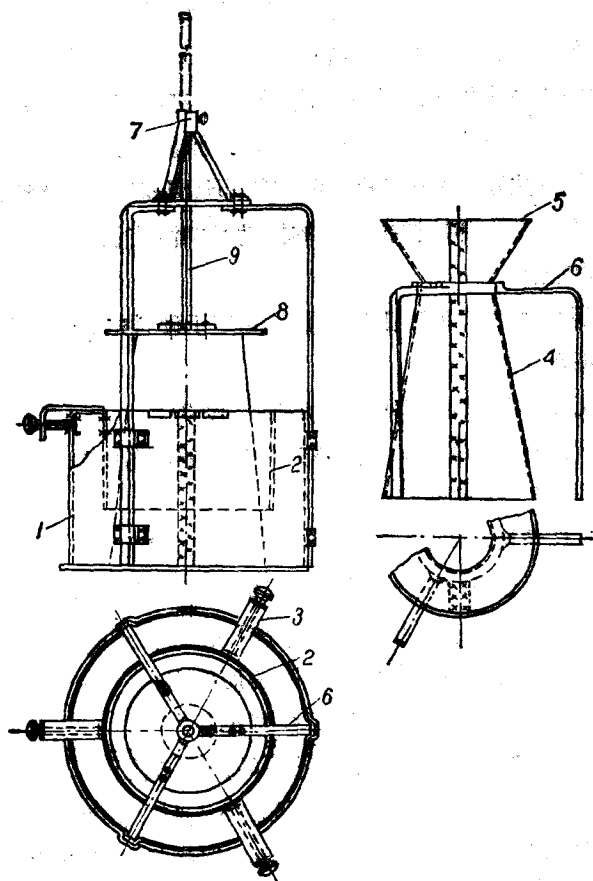


图 3

固定处設一振动記錄器,在負荷振动时进行測定,并取 4 次讀數的平均值。

4. 安置容器內的圓环时应使环下端平面与桶底之間留出根据粗集料最大粒徑而决定的下列間隙:

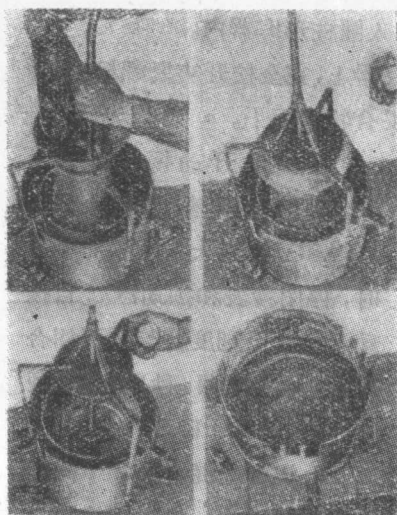


图 4 用工业粘度计测定干硬度的步骤

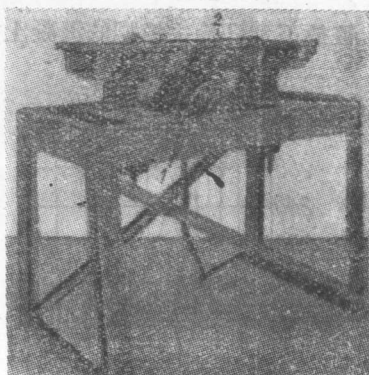


图 5 試驗室用振动台

粗集料最大粒徑 (公厘)	間 隙 尺 寸 (公厘)	阻 板 安 放 的 位 置
40	70	內器邊緣的頂面上
20	50	最淺的切口內
10	30	中等的切口內
5	10	最深的切口內

用阻板上的螺栓將环固定在适当的位置。

5. 混凝土混合物干硬性指数的测定必須在拌好后20~30分鐘内进行。

6. 將帶漏斗的空圓錐筒放入容器內,称好12公斤混凝土混合物試样,分三层裝入圓錐筒模型內,每层用直徑为16公厘,長度为600公厘的彈头投棒插搗25次,未能裝入圓錐筒內的試样

保留在漏斗內。对混凝土混合物也不加抹平，然后将圓錐筒連同漏斗揭去，这样部分試样可落入圓柱形容器內。

7. 將帶圓盤的三脚架裝在仪器上，完全松开夾緊螺栓，將圓盤放下到已除去模型的混凝土混合物表面上。

8. 同时开动振動器和秒表，观察杆的降落，当杆上的刻度綫和三脚架头上的平面相合时，停閉秒表和振動器。自振动开始起至刻度綫与平面相合时止，这段时间（秒）即为干硬性指数（或称干硬度）。

9. 混凝土混合物的干硬性应連續測两次，每次須换用一分新的混合物。

在缺乏負荷下振幅为 0.5 公厘的振動台时，可以根据“混凝土混合物干硬性指数与振動台振幅的关系曲线图”（图 6）將不同振幅的振動台上所測得的干硬性指数换算为 0.5 公厘振幅的振動台上相应的干硬性指数。

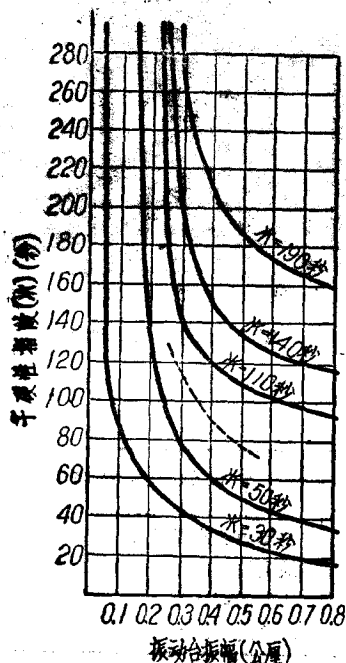


图 6 不同振幅干硬性指数换算图

数。

为了縮短測定混凝土混合物干硬性指标的操作時間，試驗干硬性指标較大的混凝土混合物时可利用配备有加压物的工业粘度計。加压物为 10 公斤重的金屬圓板，使混凝土混合物受 30 克/平方公分的压力，測得結果，也用曲线图换算到用标准方法