

混凝土工作性

[英] G.H.塔特索尔 著

陈莲英 杜效栋 译

中国建筑工业出版社

混凝土工作性

[英] G.H.塔特索尔 著

陈莲英 杜效栋 译

中国建筑工业出版社

这是一本论述混凝土工作性的专著。随着混凝土技术的发展，用陈旧的方法测试混凝土工作性已不能适应工程的需要。本书研究和比较了各种测试方法之后，利用流变学原理提出了控制混凝土工作性的“两点法”，对从事混凝土工艺的技术人员，提供一种较好的参考资料。

混凝土工作性的涵义比较广泛，至今仍没有一个确切的范围和定义。Workability一词，我国过去称为和易性或工作度。但许多同志感到这两个词并没有确切地反映它的真正涵义。1979年编纂《建筑材料辞典》时，专家们曾就Workability一词的正名，作过较深入的讨论，认为用“工作性”比用“和易性”、“工作度”要确切些。为了统一术语，因此本书译为“工作性”。

本书由建材情报所陈莲英等翻译，李景星校。中国科学院混凝土所林振工程师对译文和书中的术语作了全面的校订。

THE WORKABILITY OF CONCRETE

G. H. Tattersall

A Viewpoint Publication 1976

* * *

混 凝 土 工 作 性

陈莲英 杜效栋 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5¹/₈ 字数：114千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷

印数：1—9,600册 定价：0.70元

统一书号：15040·4567

中 译 本 序

尽管混凝土的工作性（一称和易性）是一个自有混凝土以来早就存在的问题，是一个广大混凝土施工人员所最熟悉的工艺性能，但专以混凝土工作性为主题的较系统完整的著作还是极少的。无怪乎英国水泥与混凝土协会选定了这个专题并由长期从事这项研究工作的 G.H. 塔特索尔 博士 来 承担。

最熟悉的性能不等于最能掌握的性能。一百几十年的混凝土历史，发展到今天，工地控制混凝土工作性，应用最广的工具，仍是陈旧的坍落度测试筒。而谁都知道，仅凭坍落度是很难准确控制新拌混凝土工作性的。尤其是近二三十年来发展很快的各种混凝土新工艺和新技术，包括掺加高效减水剂、超塑化剂等，显然对工作性的掌握已提出了更高的要求，因此，混凝土工作性的重要性及其存在问题，就更显得突出了。

本书的特点是把流变学应用到混凝土工作性的研究中来，在流变学基本原理的基础上，通过回转粘度计等测试技术，对水泥浆体和新拌混凝土的流变学方程作了介绍。特别是从宾汉姆体的规律创造性地提出了控制混凝土工作性的所谓“两点法”。应该承认，这对长期以来全世界普遍局限于应用陈旧测试手段的“单点”试验来说是一个大踏步的前进。这些论点，作者在第十章中作了详细的评述。当然，如何把“两点法”具体见效于工程实践，作者并没有提出较成

熟的想法，因而看来还只是开了个头，大量的工作还有待今后去完成。

在我国，流变学应用于水泥混凝土材料科学还是一个空白。然而，应该认识到这是研究水泥与混凝土所需要的基础理论中的一部分，而且是不可缺少的一部分，因此需要填补这个空白，需要早日普及。可以从水泥浆体和新拌混凝土的弹、粘、塑性随水化硬化而演变的规律来掌握各个阶段的流变特征入手。从这个要求出发，本书或许可给读者提供一些初步的知识。

混凝土工作性的涵义是广泛的。迄今似乎还缺少一个确切而全面的释义。本书虽然提出了一些作者的看法，但总还感到未能给读者一个比较完整的概念。由于缺少了这个基础，所以如何准确评论“二点法”也就感到困难。恐怕这应算是本书的一个缺陷吧。

建筑材料科学研究院副院长、副总工程师

黄大能

一九八三年元月

前 言

根据水泥与混凝土协会的建议，我把几年来由该协会在福尔玛·格兰其培训中心一年一度举办的高等混凝土工艺学专题讲座的讲稿整理成这本小册子。本书的内容比讲稿有了较大的充实，但其目的相同，是为了提高混凝土工程师的实践知识。希望本书对读者进一步了解混凝土工作性问题有所帮助。

为了使读者不被科学弄得眼花缭乱，书中尽可能少地进行数学计算。读者可以不读第三、八、九章，而不失对主要理论的理解。

许多朋友对此书提出了宝贵意见，作者谨表谢意，这里特别要感谢伦敦大学皇家学院J.M.伊尔斯顿(J.M. Illston)博士，伯明翰大学B.P.休斯(B.P. Hughes)教授，预拌混凝土技术中心J.D.迪瓦尔(J.D. Dewar)先生和水泥与混凝土协会T.J.梯普勒(T.J. Tipler)先生等的有价值的评论。

建筑研究院的D.C.泰切纳(D.C. Teychenne)博士使作者得以参阅当时尚未发表的资料，这里一并致谢。

G.H.塔特索尔

目 录

第一章	绪言	1
第二章	经验测量法	4
第三章	土力学研究法	18
第四章	浓悬浮液流变学	33
	I. 具有线性流动曲线的材料	33
第五章	新拌混凝土流变学	50
第六章	对工作性的实际要求	60
第七章	影响工作性的因素	67
第八章	浓悬浮液流变学	90
	II. 非线性流动曲线的材料	90
第九章	水泥浆体流变学	96
第十章	结论	107
附录A	土力学方程	110
附录B	通过毛细管的流动	114
附录C	同轴回转粘度计方程	118
附录D	流变学术语定义选录	120
附录E	工作性测量的标准规范	127
	参考文献	129
	另附: 两点测量法的新发展及应用范围	137

第一章 绪 言

把新拌混凝土工作性解释为它的工作能力，这近乎赘述，但却是最全面的定义，因此先从这个定义谈起并非无益。当然，略微接触实际就会很快发现，工作性这个定义在某种程度上必须包括新拌混凝土在模型或模板内，或许还要通过稠密钢筋的流动能力、被捣实至最小体积的能力，在某种运输作业或成型过程中的良好工作状况以及其它要求。

之所以要迫切了解工作性的性质，有三个重要的实际原因。这里所谓“了解”，可以用开尔文条件加以解释，那就是一个现象只有在能够被测量时才可以被深入地认识。这三个原因是：拌合料的配合比设计、工艺过程与质量控制。

拌合料配合比设计的目的是为了制备尽可能经济的但又符合质量要求的混凝土。既然工艺过程的效能是影响新拌混凝土的一个重要因素，那么在配合比设计方法中，必须对工作性加以考虑，其中主要有两方面，（1）考虑拌合料组成中的不同因素对工作性的影响，（2）力求定量的测出各种实际条件下所要求的工作性。

第二个原因与第一个原因相辅相成，是涉及到对新拌混凝土可能施加的各种工艺过程。众所周知，如果某种较干硬的混凝土拌合料受到具有50~300赫兹频率的振动力的振动，它首先是下沉、然后呈现液化状态并易于流动，最后把所含的气体排出。这种现象当然很普通，但尚无人对它进行解释。同样，人们对泵送混凝土也没有真正的了解。

最后是关于新拌混凝土质量的控制问题。刚搅拌的混凝土不仅必须具有符合要求的工作性，而且为得到此工作性所使用的测量方法也应该能够有效地控制所加入的水量。目前最可靠的工作度测量法还是由有经验的搅拌机操作者进行主观判断。

较好地了解混凝土工作性有助于上述三个问题的解决。这样就可以提高效率、少遭失败、较合理地使用原料，最终降低混凝土生产成本。

这个问题的重要性已引起广泛重视，这可从已出版的一些论文和旨在建立满意的工作性测量法的大量工作中充分看出。

测量工作性的目的是为了提出一个或数个试验方法，所得的试验结果以一组常数 W_i 表示某个混凝土的特性，而这个特性应该是唯一的。这就意味着，具有相同的常数值两种混凝土，在任何情况下它们的工作状况应该都是相同的。很明显，常数愈少，涉及的实际问题就愈简单。到目前为止，几乎所有已提出的试验可以认为 W_i 仅含有一个常数 W_1 ，或者说各种常数将合并为单一数字。这样，所测量的工作性结果就用坍落度、捣实因数等这样的单一的数字来表示。经验表明，这些试验并不提供单一的特性：它们将把混凝土划为性质相似的种类，可以看出这些混凝土在不同条件下工作状况是不同的。如是，里奇^[1]对捣实系数相同的混凝土进行三轴试验得到了不同的结果，而迪尤尔^[2]指出，细集料的类型与拌合物的贫富对捣实系数与坍落度或维勃时间之间的关系有很大影响。休斯与巴拉明^[3]也得出这样的结论。

这就清楚表明，只有一个常数是不充分的。还将看到，虽然需要多个常数，但实际上，把需要的常数限制为两个是

可能的。

在具有一组常数 W_i 的试验方法一旦确立后，必须对具体使用的混凝土提供所要求的各种常数值，还必须提供如何能够生产具有这些常数值的混凝土的资料。到目前为止，仅使用已经确立的单一常数试验或单点试验的资料。现在所使用的工作性表所介绍的是以坍落度或捣实系数所表示的不同施工条件下所要求的工作性，关于拌合料成分与比例的变化对这些特性的影响业已出版了很多资料。虽然这一工作对研究拌合料配合比设计有所帮助，但仍然为其使用的试验方法所局限。

本书将首先对已经规定的各种单点试验法予以介绍，继之根据某些基础科学原理对这些现有的单点试验法提出评定，并提出可能的发展方向和两点试验法。然后将讨论施工对工作性的要求和如何满足这些要求，这里主要介绍单点试验的条件，但也对两点试验法提供有限的资料。

在对某些基础科学理论进一步讨论之后，将简要介绍某些基础研究的进展情况，从而导致对混凝土工作性有更深入的了解。最后，将对目前混凝土的“最先进的水平”和可能前景提出作者的看法。

第二章 经验测量法

主观判断

已经提出,测量工作性最可靠的方法依然是有经验的搅拌机手凭主观判断。即使人们对这种说法持有异议,但毫无疑问,这种主观判断方法至今仍被广泛应用。此外,尽管有实验测量的数据可以使用,许多混凝土工程师宁愿相信自己对工作性的主观判断,也不相信目前任何工作性试验法所获得的数据。但所谓“经验”并非一般经验,而是指某些具体集料和某些特定拌合料配比方面的很专门的经验。

根据对搅拌机里及施工现场的混凝土工作性的主观判断,可以把混凝土分为高工作性和低工作性或半干硬性和塑性混凝土,等等。但不同的人对某个术语的理解可能不同。即使在拌合料配比设计资料中收录某些实验数据时,通常也需要对这些数据作性质方面和数量方面的说明。如《道路施工参考4》^[4]虽已载明了坍落度与捣实因数,但在性质上标出了高工作性、中等工作性、低工作性和最低工作性四种。厄恩特洛依与沙克劳克^[5]在研究高强混凝土拌合料中发现,还须再加极低工作性一类。

英国标准试验法

最早不靠主观判断来测定工作的一个方法是艾勃拉姆斯设计的坍落度筒测量法。它与捣实因数试验法及维勃试验法一起收录在英国标准 1881~1970 年第二部分《混凝土试验法》中(见附录 E)。这些方法是混凝土工艺师所熟悉的,

但为了本书的完整性，这里简单加以介绍。

坍落度试验

如图 1 所示，坍落度试验装置为一金属板制成的空心截头锥筒，两端开口，高300毫米，底径200毫米，顶径 100 毫米，实验时被置于一块不吸湿的底板上。用标准方法将混凝土从筒的上端分四层浇灌。每浇完一层便予以捣实。浇灌完成后垂直提起锥筒，混凝土自然坍落后测出其坍落度。这种试验对操作者的技术偏差是很敏感的，可以获得预期的也可获得不同的实验结果，因此也受到反对者的指责，如格兰维尔、柯林斯与马修斯 (Matthews) ^[6] 在二十五年前就提出过批评。

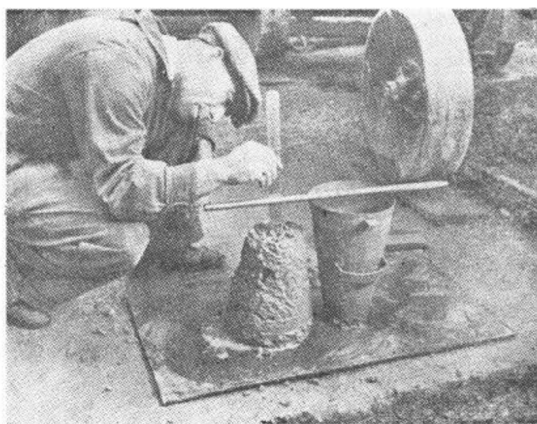


图 1 坍落度试验。测量坍落度

各种不同的坍落形式示于图 2，有“正规型”坍落、坍陷型坍落和剪切型坍落。剪切型是锥体的一半沿斜面剪切而产生的坍落。确定试料最佳测量点往往是困难的，但可以假定最高点为最佳测量点。对于相同的拌合料进行试验所得的

结果不仅数量上可能很不相同，而且在性质上也可能很不同。譬如，格兰威尔等发现，如果在特定的拌合料中，加入少量水将会使这种拌合料发生坍塌或剪切坍塌，但如果加入的水量稍减一些就会产生小于25毫米的正规型坍塌度。另一方面，观测得到不同的工作性的拌合料也可以得到相近的坍塌度。对于工作性很低的拌合料来说，用坍塌度试验方法则不能进行区别，所得到的坍塌度均为零。

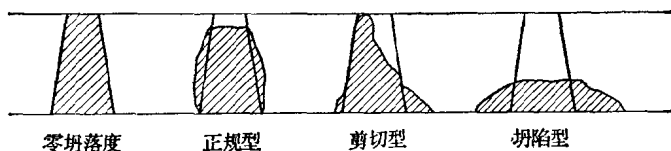


图 2 坍塌度类型

捣实因数试验

格兰维尔、科林斯与马修斯^[6]首先进行了捣实因数试验，他们认识到混凝土充分捣实以及测量这种密实性是很重要的。他们认为，浇灌混凝土所做的功应包括振动时损失的功和克服混凝土本身内摩擦力以及钢筋与模板的阻力所做的有用功。其中只有克服内摩擦力所做的功才是混凝土本身所具有的特性，这恰是混凝土工作性的定义和进行测量的基础。

格兰维尔等发现，测量产生某一密实度所需的功并不理想，所以后来他们研制了捣实因数试验装置，用此装置可以测出不同的功所产生的不同的密实度。简便起见，使混凝土从某一标准高度在重力作用下降落所做的功定为标准功值。

试验装置如图 3 所示，仅由两个锥形漏斗和一个圆筒制成。它们依次一个在另一个的正上方垂直地安装在一个立架

上。最上面的漏斗容积最大，中间漏斗次之；下面圆筒最小。这些容器的内表面光滑，以减小表面摩擦阻力。

试验时，用铲子把混凝土装满最上方的漏斗，然后打开漏斗底门，使混凝土落入下一个漏斗，混凝土落满第二个漏斗后开始溢出。这时打开第二个漏斗的底门，混凝土开始向圆筒下落，直到溢出。然后用两把钢铲将溢出的混凝土括去抹平。再测出圆筒内已具有一定密实性的混凝土的重量，最后将所测得的重量除以圆筒内达到完全密实的混凝土的重量，所得的商即为捣实因数。诚然，这个因数就是密度之比。圆筒内完全密实的混凝土重量可以用拌合料中各组成成分

的比重来计算，或通过向圆筒填满完全密实的混凝土的试验来确定。

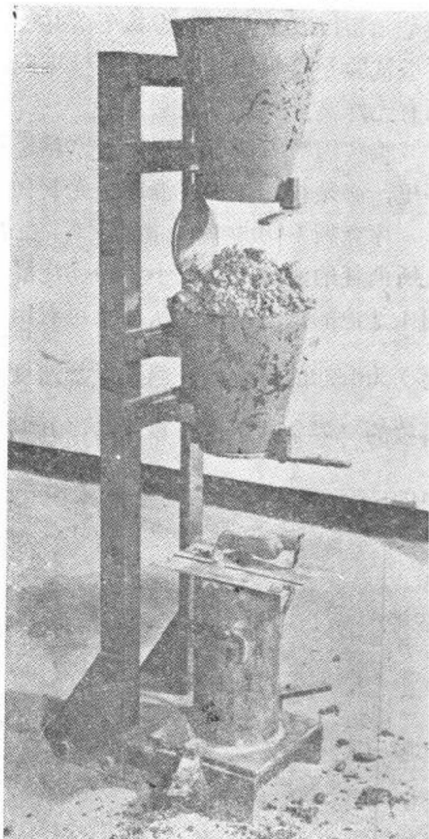


图 3 捣实因数试验装置，混凝土试料已从第一个漏斗落入第二个漏斗，但尚未落进圆筒

这些作者自己并不认为这个试验方法能很好地对混凝土进行分类，因此又增补了堆积试验法和平板试验法。堆积试验是拍摄混凝土以标准方式下落并使之凝结时的堆积情况。平板试验是检查用标准方法在模板内浇灌制成的混凝土的板面有无蜂窝。

捣实因数方法不足之处是富粘聚性的混凝土可能粘在漏斗里，必须捣落。加气混凝土尤其如此。

库森斯 (Cusens) 指出^[7]，在捣实因数试验中，混凝土所消耗的能量，大大小于振动浇灌混凝土时所耗的能量。图 4 是他的试验结果。从图上可看出，捣实因数（或密度比）为 0.70 的拌合料，当在以加速度为 $1 \frac{1}{2}g$ 和频率为 100 赫兹的一般条件下进行振动时，其密度比可达到 0.88，因此

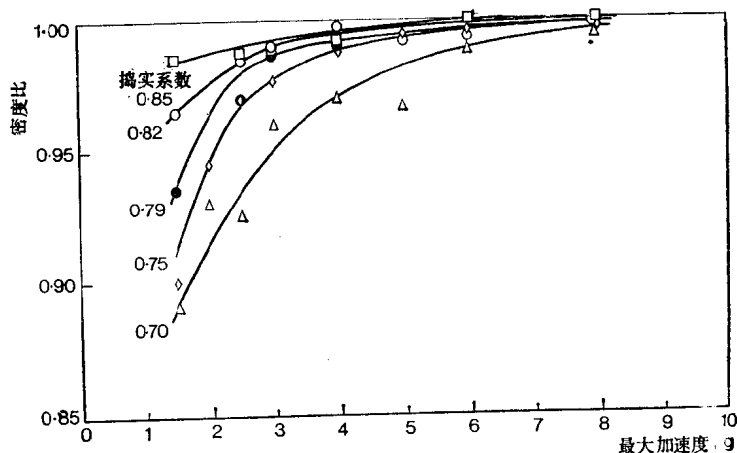


图 4 密度比与最大加速度（由 102 毫米立方体试验确定）之间的关系。所有试样均以 100 赫兹振动 1 分钟。
(库森斯)^[7]

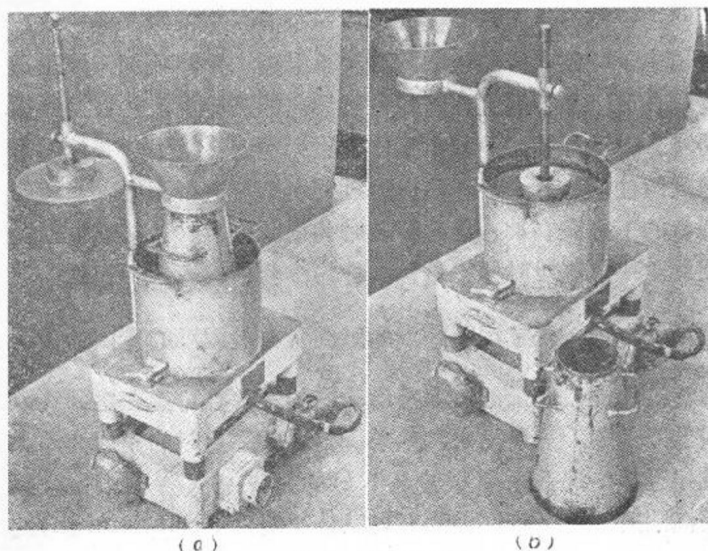
库森斯认为如果用干硬拌合料进行试验, 将不会得到理想的结果。休斯认为^[8], 目前只要拌合料配比设计方法允许, 就都使用振动。所以捣实因数试验在很大程度上仅限于用人工捣实的一般拌合料^[9], 或限于用在施工现场质量控制。他认为如果采用振捣法浇灌混凝土还是用维勃稠度计试验法好。

维勃稠度计试验

维勃稠度计试验是英国的第三个标准试验法。这个试验是巴纳尔 (Bahrner) ^[10] 首先提出的, 主要用于采用振捣法浇灌的混凝土的试验。其装置见图 5。振动台上安装一圆筒形模型, 另附有一个单独的坍落度筒。试验时, 首先用标准方法向放在圆筒形模型里的坍落度筒中浇灌混凝土, 然后移去锥模, 从而在筒模内形成一个混凝土锥体。把一块直径稍小于圆筒内径的透明圆盘置于混凝土锥体顶部, 此圆盘装配在可以上下垂直移动并带有导向的圆棒上, 然后接通振动物器。振动开始, 混凝土锥体由于振动而自行坍落并最后重塑成圆柱形。这个过程可以通过透明圆盘进行观察。当透明圆盘的下部完全被水泥浆覆盖时为试验终点。从接通振动物器到试验终点这段时间以秒计, 称为维勃秒, 表示工作性, 准确至 $\frac{1}{2}$ 秒。确定试验终点的时间常常是困难的, 因为透明圆盘被水泥浆润湿的速率是不均匀的, 并且可能在达到终点前已降为零。一般说来, 如果确定试验终点时的速度为零, 或接近零, 那么这个试验是不好的。某些人^{[11][12]}主张采用沉陷时间记录器。但休斯与巴赫拉明^[3] (Bahramian) 发现, 使用这种记录器得到的曲线并不容易更精确地得到维勃时间, 而建议用曲线下的面积来表示混凝土的内聚性。

巴纳尔引入了维勃时间 (t) 的校正系数。试验结果以维勃度, 即用 $(V^1/V_0) t$ 表示。 V_0 与 V^1 分别表示混凝土振动前与振动后的体积。休斯与巴赫拉明^[8]曾指出, 由于混凝土在形成锥体过程中排除了空气孔隙, 故不需对维勃时间予以校正, 而振动前尚未排除空气孔隙的较小工作性的混凝土, 其维勃时间将减少。因而在这种情况下, 采用校正系数可能导至相反效果。他们认为用维勃度代替维勃时间完全是自找麻烦。

在进行上述英国标准的各种试验过程中, 如果试验方法略有变化, 结果就不同。因此在《BS1881, 第二部分, 1970》标准中, 对试验方法作了细致而具体的规定, 当然这些规定是从实际试验出发的。这里只是对这些规定的基本原则予以



(a)

(b)

图 5 维勃装置

(a) 行将试验 (b) 试验结束