

混凝土性能

蔡正咏

建筑工业出版社

混 凝 土 性 能

蔡 正 咏

中国建筑工程出版社

本书系统介绍了混凝土的各种性能，包括未凝固混凝土的性能、强度、弹塑性、体积变形与抗裂性、热学性能、抗渗性、抗冻性、抗蚀性、碱-骨料反应等。对于每种性能均分别阐明它的含义、影响因素、测试方法以及基本数据和基本规律的探讨。

本书可供混凝土工程设计、施工以及混凝土试验研究人员参考。

混凝土性能

蔡正咏

*

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

*

开本：350×1168毫米1/32 印张，5⁵/₈。字数：149 千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

印数：1—34,620册 定价：0.71元

统一书号：15010·3682

前 言

混凝土作为一种主要的建筑材料得到了广泛的应用。各种大型、新型混凝土结构物不断出现,例如高度270米的双曲拱坝,跨度240米预应力混凝土桥梁,520米高的预应力混凝土塔,以及各种海洋混凝土结构物(海上采油平台、海底油罐等)。这些结构物对混凝土的性能提出了更多、更高的要求。在我国为了完成新时期的总任务,争取在本世纪末实现四个现代化,大量混凝土工程犹待兴建,混凝土性能的试验任务很多。为了适应我国社会主义现代化建设的需要,更有效地大量使用混凝土,开展混凝土性能的试验研究,总结和交流有关混凝土性能试验研究成果,介绍有关的技术知识,以便正确掌握混凝土的性能,具有重要的实际意义。

作者从事混凝土试验研究工作以来,曾先后参加加气剂、大坝水泥、粉煤灰等专题混凝土的性能试验,以及若干单项性能试验,包括混凝土劈裂抗拉强度、导温系数、圆环抗裂、抗渗、抗冻、碱-骨料反应等。这本书就是以上述研究试验成果为基础,结合参考近年来国内外有关文献资料,加以取舍、补充,系统整理而成,希望能在我国混凝土工程建设和混凝土试验研究工作中能起一点有益的作用。

全书分为十章,除第一章综合论述混凝土而外,其它九章分别论述九个不同方面的性能,包括每种性能的意义、影响因素、测试方法,以及基本数据或基本规律的探讨。每章分别附有参考文献,便于读者查阅。

影响混凝土性能的因素相当复杂,涉及的学科很广,包括物理、化学、材料力学,乃至流变学等,在编写过程中,深感尚未完全消化的科研成果很多,有待深入研究和探讨的问题不少,因限于作者的水平,自揣本书的深度和广度远不能满足形势的要

求，错误和不妥之处也在所难免，希望读者多加指正。

书中有不少内容取材于许多单位(或个人)的科研成果，这些单位是：水利水电科学研究院、水电部第十三工程局设计院、刘家峡水电工程局、水电部第八工程局、建筑材料科学研究院、上海市建筑科学研究所、同济大学、交通部第一航务工程局科研所、南京水利科学研究所、长江水利水电科学研究院、安徽水利科学研究所、铁道科学研究院、建筑科学研究院、冶金部建筑研究院、河北水利水电学院等。对此谨向有关单位和个人表示衷心的感谢。编写工作承交通科学研究院公路研究所领导和同志们们的热情支持和帮助，在此一并致谢。

作者 1978年国庆于北京

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1-1 混凝土的组成材料	1
1-2 优质经济混凝土的要求与条件	2
1-3 混凝土的特点	3
1-4 混凝土的分类	3
第二章 未凝固混凝土的性能	8
2-1 和易性	8
2-1-1 测定和易性的方法	8
2-1-2 影响和易性的因素	12
2-2 材料的离析	15
2-3 凝结时间	16
2-3-1 测定仪器与方法	16
2-3-2 影响因素	17
2-3-3 凝结时间与滑模施工中滑升时间的关系	20
2-4 硬化过程中的裂缝	20
2-4-1 沉陷裂缝	20
2-4-2 塑性收缩裂缝	21
2-5 振捣	21
2-6 侧压	22
第三章 混凝土的强度	25
3-1 抗压强度	25
3-1-1 水泥标号、灰水比、混凝土强度三者 的经验关系	26
3-1-2 试件尺寸与形状的影响	30
3-1-3 施工方法的影响	33
3-2 抗拉强度	34
3-2-1 关于劈裂法的应力分布与计算公式	35
3-2-2 垫条尺寸的影响	37

3-2-3	试件尺寸的影响	37
3-2-4	劈裂抗拉与轴向抗拉的经验关系	37
3-2-5	抗拉与抗压的经验关系	38
3-2-6	不同品种水泥混凝土劈裂抗拉强度 与抗弯强度	40
3-3	抗弯强度	40
3-4	握裹强度	42
3-5	抗剪强度	45
3-6	疲劳强度	46
3-7	支压强度	47
第四章 混凝土的弹塑性		49
4-1	应力与应变的关系	49
4-2	弹性模数	50
4-2-1	静弹性模数	50
4-2-2	泊松比	53
4-2-3	抗剪弹性模数	53
4-2-4	动弹性模数	53
4-2-5	静弹性模数与动弹性模数的关系	55
4-3	微细裂缝	56
4-4	极限拉伸	58
4-5	徐变	59
第五章 体积变形与抗裂性		64
5-1	干缩变形	64
5-1-1	影响干缩的主要因素(1.水泥品种与混合材, 2.混凝土配合比, 3.化学外加剂, 4.养护时间)	65
5-1-2	圆环试验与干缩抗裂性(1.圆环干缩应力的理论 计算, 2.圆环尺寸的选择, 3.国内外圆环试验成 果)	75
5-2	自生体积变形	83
5-3	温度变形	88
5-3-1	混凝土温差抗裂试验	88
5-3-2	大体积混凝土内外温差与裂缝率的调查分析	89
5-3-3	大体积混凝土的温度变形与防裂问题	90

第六章 热学性能	94
6-1 水泥水化热与混凝土的绝热温升	94
6-1-1 不同水泥混凝土发热量的综合评定	94
6-1-2 影响水泥水化热的因素(1.水泥熟料的矿物成分、 2.混合材的掺量, 3.水灰比, 4.温度)	96
6-1-3 混凝土绝热温升(水泥水化热)与时间 的经验式	101
6-1-4 三种条件下测定水泥水化热的比较	102
6-2 导温系数(热扩散系数)	106
6-3 导热系数	108
6-4 比热	110
6-5 容重	110
6-6 热膨胀系数	111
6-7 各种骨料和混凝土的热学性能参考值	112
第七章 抗渗性	116
7-1 抗渗性的意义及其要求	116
7-2 抗渗性的评定指标与试验方法	117
7-2-1 抗渗标号	117
7-2-2 渗透系数 K	117
7-2-3 测定渗透距离计算渗透系数 K	118
7-2-4 测定渗透距离计算扩散系数 D	120
7-3 影响因素	122
7-3-1 水灰比和养护龄期对硬化水泥浆抗渗性的影响	122
7-3-2 水灰比和石子最大粒径对混凝土抗渗性的影响	123
7-3-3 水泥品种、养护龄期和加气对于混凝土抗渗性 的影响	124
7-3-4 粉煤灰对于混凝土抗渗性的影响	126
7-3-5 捣实方法对于混凝土抗渗性的影响	127
7-4 简单小结	127
第八章 抗冻性	130
8-1 评定混凝土耐久性的总指标——抗冻性	130
8-2 混凝土抗冻性试验结果的评定	131
8-3 抗冻性试验的方法与设备	133

8-4	提高混凝土抗冻性的有效方法——加气混凝土	135
8-5	控制混凝土抗冻性的主要因素	141
第九章	抗蚀性	146
9-1	抗环境水侵蚀性	146
9-2	抗磨损气蚀性	151
9-3	混凝土的碳化与钢筋的锈蚀	154
9-4	电流的腐蚀性	159
第十章	碱-骨料反应	162
10-1	问题的提出	162
10-2	碱-骨料反应危害混凝土工程的历史经验	162
10-3	碱-骨料反应引起破坏的原因和影响因素	163
10-4	鉴定活性骨料的方法和标准	164
10-5	抑制碱-骨料反应的措施	165
10-6	碱-骨料反应的安全膨胀率	166

第一章 绪 论

1-1 混凝土的组成材料

水泥、水、细骨料（砂）、粗骨料（石）以及必要时掺入化学外加剂与矿物混合材，按一定比例配合通过搅拌成为塑性状态的拌合物，称之为新拌混凝土或未凝固混凝土。扣除混凝土中的粗骨料，其余部分称之为砂浆。扣除砂浆中的细骨料，其余部分称之为水泥净浆。混凝土拌合物在一定条件下随着时间逐渐硬化具有强度和其它性能的块体称之为硬化混凝土。

混凝土中组成材料的比例随着石子最大粒径等具体条件而不同，图 1-1 示出一般硬化混凝土的组成：

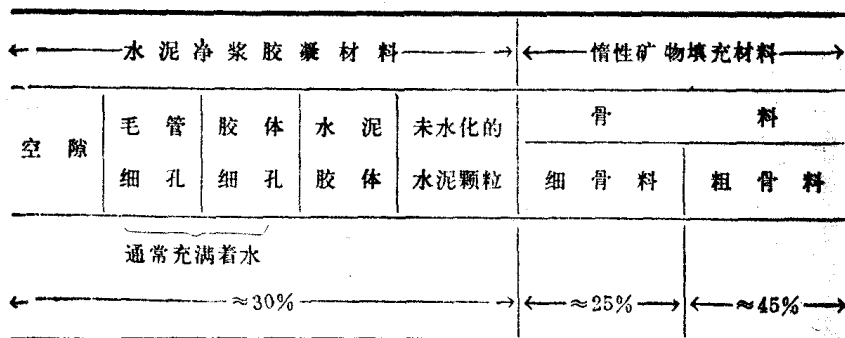


图 1-1 硬化混凝土的组成

从图 1-1 看出，混凝土是由粗细骨料为惰性矿物填充材料，水泥净浆为胶凝材料构成的材料。前者约占总体的70%左右。约占总体 30% 左右的水泥净浆又可分为水泥胶体，胶体细孔，空隙，毛管细孔和未水化的水泥颗粒等，胶体细孔和毛管细孔通常充满着自由水。构成水泥净浆的各相数量随着水化反应的进行而改变。即，水泥胶体和胶体细孔增加，毛管细孔和未水化水泥颗粒减少。水泥净浆的质量对于混凝土的性能起决定性的作用，但

由于骨料占据混凝土中的大部分体积，骨料的质量对于混凝土的性能也有很大的影响。

混凝土中各组成材料的作用如下：

1. 水的作用 加水的目的是：①使水泥水化产生胶凝作用并变硬；②使混凝土拌合物具有流动性，通常流动性所需的水量要比水泥水化所需的水量多得多，特别是不加减水剂和流化剂时，因此混凝土的用水量主要根据原材料的需水性和施工要求的流动性而定。

2. 水泥净浆的作用 混凝土的质量主要取决于水泥净浆，它的主要作用是：①包裹骨料表面并填充骨料的空隙；②使混凝土拌合物具有适于施工的和易性，作为干涩骨料之间的滑润材料；③使硬化混凝土具有所需的强度、耐久性等重要性能。硬化水泥浆的性能主要取决于水泥的性能、水灰比、水泥水化的程度等。

3. 骨料的作用 原则上骨料属于惰性材料，它的主要作用是：①同水泥相比，骨料价廉易得，故作为填充材料；②能增大混凝土对于磨损、风化等破坏作用的抵抗能力；③可以减少水泥净浆干缩、发热等不良作用，作为调节材料。

1-2 优质经济混凝土的要求与条件

混凝土必须同时满足必要的强度、耐久性和经济性三个方面的要求。兹将优质经济混凝土的主要性能、相互关系及控制因素示于图1-2：

获得优质经济混凝土的三个基本条件是：

1. 选择适宜的原材料。原材料主要包括水泥、混合材、外加剂和砂石骨料等。选择时既要考虑就地取材，便利易得，又要考虑质量优良，适宜工程要求。

2. 选择适宜的混凝土配合比。要正确处理保证工程质量与节约水泥的关系，使混凝土具有适宜的和易性、强度和耐久性等性能，充分满足工程设计和施工提出的要求，同时还要兼顾经济效

果，防止浪费。

3. 加强施工控制，保证施工质量。优质经济的混凝土能否在工程中充分实现，在很大程度上取决于施工中材料的称量、拌和、浇筑、振捣、养护等方面。许多工程事故，往往由于施工不良引起的，必须高度重视施工质量，加强施工控制。

1-3 混凝土的特点

混凝土作为建筑材料的特点是：能够制成各种形状和尺寸的构件或结构物；同其它材料相比，价格较低，容易就地取材；施工、制造比较容易，不需特别熟练的工种；它的抗压强度比较高，耐久性、耐火性比较好，结构物建成后的维修费几近于无。由于这些优点，适宜广泛用于水工、河港、道桥和各种土木建筑结构物。但是，同抗压强度相比，它的抗拉强度较低，需要发展钢筋混凝土、预应力混凝土或其它特种混凝土来弥补这个缺点。由于收缩而容易发生裂缝，需要研究采用收缩补偿混凝土等来改善它的抗裂性。混凝土的自重较大，这对于重力坝和海洋结构物是一个优点，对于结构混凝土则是一个缺点，需要采用轻骨料等来减轻它的重量。由于混凝土需要一定的硬化时间，所以施工期较长，要用快硬，早强水泥和其它措施来加速施工进度。

1-4 混凝土的分类

混凝土可以根据不同的条件分类如下：

1. 根据一般性和特殊性划分

如：普通混凝土（卵石混凝土，碎石混凝土），特种混凝土；

纤维增强混凝土（掺入金属纤维或玻璃纤维或合成纤维等）；
塑料混凝土（聚合物水泥混凝土，聚合浸渍混凝土，树脂混凝土）。

2. 根据胶凝材料或外加剂划分

如：膨胀混凝土（自应力混凝土，收缩补偿混凝土）；

适当加气
缩小水灰比
减少单位用水量

抗 渗 性

质量均匀的混凝土

适当养护
优良的骨料

优良的水泥

级配良好的骨料

低的砂率(不使水量过多)

可塑性稠度(配合比)

易于施工

适当操作

适当温度

密实不透水

化学安定

C₁A, MgO, fCaO 少

不发生假凝

滚圆的骨料

适当磨细的水泥

• 振捣

• 充分搅拌

• 振捣

• 水分损失减至最低限度

• 结构安定

• 加大石子最大粒径

• Na₂O, K₂O 少

体积变形小

抵 抗 溶 出
化学作用
其它反应
外来生

抗 风 化
温度变化
湿度变化
冻 融

抗 磨 损
流 水
机械磨损

缩小水灰比
减少水泥量(见上)
均匀的混凝土(见上)
适当养护(见上)
惰性骨料

• 对水泥中碱有抵抗性在混

凝土中稳定

优良的水泥(见上)

抵抗土壤和地下水中的盐类

掺用适当的混合材

缩小水灰比
减少用水量(见上)
提高强度
适当养护(见上)
密实均匀的混凝土(见上)
专门的表面抹平
• 减少砂中细颗粒
• 用抗磨的骨料
• 机械抹平

耐久性

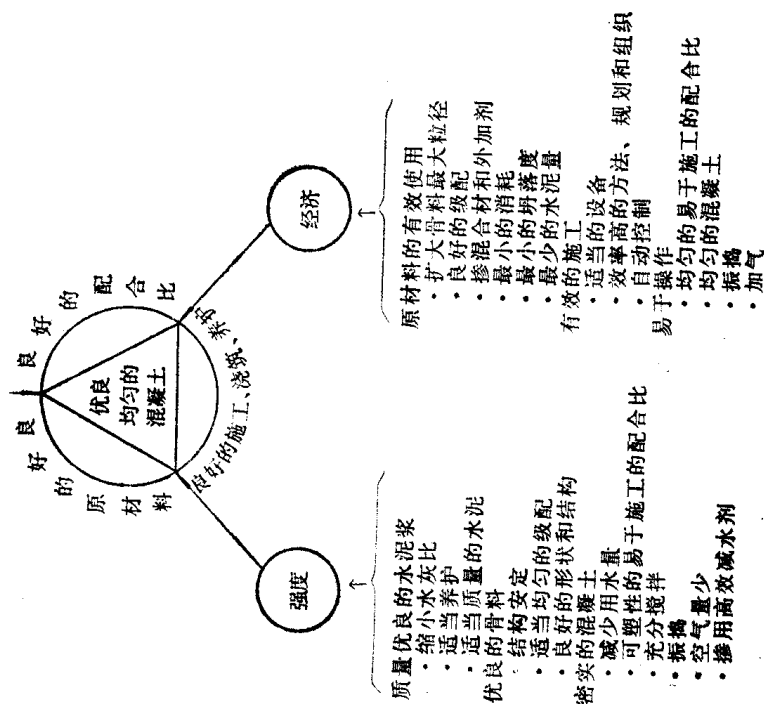


图 1-2 优质经济混凝土的主要性能、相互关系及控制因素

超早强混凝土（1天达到28天强度的40~50%）；
超快硬混凝土（加水1~2小时后即有相当的强度）；
防水混凝土（加防水剂）；
加气混凝土（加加气剂）；
泡沫混凝土（加起泡沫剂）。

3. 根据容重划分

如：轻混凝土（1.5~2.0吨/立米）；
重混凝土（2.5~6.0吨/立米）。

4. 根据强度划分

如：高强混凝土（抗压强度 ≥ 500 公斤/厘米²）；
超高强混凝土（抗压强度 ≥ 1000 公斤/厘米²）。

5. 根据流动性（稠度）划分

如：干硬性或无坍落度混凝土（坍落度 ≈ 0 ）；
流动混凝土（坍落度 ≥ 20 厘米）。

6. 根据水泥用量划分

贫水泥混凝土（大体积内部 ≤ 170 公斤/立米）；
富水泥混凝土（大体积外部 ≥ 230 公斤/立米）。

7. 根据施工方法或工程用途划分

如：预填骨料混凝土；
泵送混凝土；
水中混凝土；
喷射混凝土；
预应力混凝土；
海洋混凝土；
坝工或大体积混凝土。

参 考 文 献

- [1-1] 小林一輔著，《最新コンクリート工学》，森北出版株式会社，1976年。
[1-2] 伊東茂富著，《コンクリート工学》，森北出版株式会社，

1972年。

[1-3] U. S. B. R., «Concrete Manual», Eighth Edition,
1975年。

[1-4] 日本コンクリート学会編, «コンクリート便覧», 技報堂
1976年。

第二章 未凝固混凝土的性能

2-1 和 易 性

混凝土拌合物是否适于施工操作的性能称为和易性。所谓和易性好,就是说混凝土拌合物容易拌合,具有良好的可塑性,运输浇筑时不易发生石子或水分的离析现象,浇入模板后容易铺砌,容易捣固,浇好以后析水少,块体上下层的质量比较均匀一致,表面容易抹平。

和易性是由流动性、粘聚性、析水性等性能组成的一个总的概念。这些性能并不是在所有情况下相互一致的,例如增加用水量可以提高流动性,但并不一定能改善粘聚性和析水性。在一般情况下,用水量过多总是会降低混凝土的质量。所以,和易性无法用一种指标评定,要用几种指标分别评定。目前的试验指标也并不十分完善,施工实践对于和易性的判断能起很大作用。试验室配制的混凝土拌合物,其和易性是否良好,必须在施工实践中进行考验。

施工对于混凝土拌合物和易性的要求,取决于结构物的尺寸和形状,钢筋的密度,运输、浇筑、捣固等施工设备和施工方法,施工的气温等因素。在一般施工规范中主要提出拌合物流动性的要求,无筋混凝土要求的坍落度一般不超过5~7厘米,钢筋混凝土要求的坍落度一般稍大,但在5~12厘米范围内。对于混凝土拌合物的粘聚性和析水性,目前还没有标准,应当尽可能使拌合物具有较好的粘聚性和较小的析水率。

兹就混凝土拌合物和易性的测定方法和影响和易性的因素两个方面分别阐述如下:

2-1-1 测定和易性的方法

测定混凝土拌合物和易性的方法很多,兹将几种主要方法介绍如下: