

混凝土的结构、性能与材料

[美] P.KUMAR MEHTA 著

祝永年 沈 威 陈志源 译

同济大学出版社

混凝土的结构、性能与材料

[美] P.KUMAR MEHTA 著

祝永年 沈 威 陈志源 译

同济大学出版社

内 容 提 要

本书作者为美国加州大学伯克莱分校P·K·Mehta教授,系当今著名材料科学家,对混凝土研究造诣尤深。本书分:(1)已硬化混凝土的结构与性质;(2)混凝土材料、配合比及其早期性质;(3)混凝土工艺的进展,共三大部分。内容丰富新颖,深入浅出。书中附有大量独特的图表、照片和亲自实践的总结性表格,可供大学土木工程系教师、研究生、大专生教学与科研之用,同时也是广大土木工程师和从事混凝土工程的施工人员的重要参考书。

责任编辑 曹焯康 健 灿
封面设计 王肖生

CONCRETE STRUCTURE, PROPERTIES AND MATERIALS

混凝土的结构、性能与材料

[美]P.K. Mehta 著

祝永年 沈 威 陈志源 译

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞科技外文印刷厂排版

青浦任屯印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 536 千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷

印数 1— 3000 定价 14.60元

ISBN7-5608-0808-5/TU·99

P. Kumar Mehta为本书中文版题词:

's a gesture of my personal affection and regard for the Chinese scientists, teachers, and students in concrete technology, I am pleased to present this book to Professor Tsak.

P. Kumar Mehta

Univ. of California, Berkeley
June 3, 1986.

我高兴地将拙作寄赠作为对中国从事于混凝土方面的科研人员、教师和学生们的友情和敬爱的表征，希能早日公诸同好。

P. K. 梅泰

于加利福尼亚大学伯克莱分校

1986年6月3日

**作者谨将本书奉献给
致力于
扩大混凝土材料
在新领域中的应用，
并使之
更耐久、更有效地节能，
以及更有利于生态平衡的
先驱者。**

译 序

本书作者 P. K. Mehta 为美国加州大学伯克莱分校教授，系当今国际知名的材料科学家。他从事于混凝土方面的教学与科研工作多年，取得不少成就并积累了大量宝贵资料。1986年暑，本书在美出版伊始，作者即寄来一本，并在卷首亲笔题词：“我高兴地将拙作寄赠，作为对中国从事于混凝土方面的科研人员、教师们和学生们的友情和敬爱的表征，希能早日公诸同好。”

本书内容丰富、新颖，理论密切联系实际，我们三人在披阅之余，认为该书既可作为师生教学与科研的材料，又可作为混凝土设计和施工人员的参考手册。为了达到原作者的意愿，决定进行翻译，并分工如下：

陈志源教授译第二、三、四、五章；

沈威教授译第六、七、八、九、十章；

祝永年教授译第一、十一、十二章、目录、前言和英汉名词术语对照等，并总全书之成。

原作者在书中兼用英制与国际(SI)两种单位制，译者未加改动，好在本书中第一章末已列出换算表，有需要对换时，读者可随时查照。

全书经蒋锷荃同志仔细审校谨誌感谢。

自开始至译毕前后约半年多，时间较仓促，另一方面限于水平，译文中不尽达意与误谬之处，在所难免，希读者见宥并不吝赐教指正。

译者 1988 年 2 月

前 言

水泥混凝土是当今广泛采用的人造材料。从世界的发展趋势来看，混凝土的前途将日益光大，因在大多数场合下它以低廉的成本提供合适的工程材料，同时收到节能和生态学方面的效益。故工程师们对混凝土应比其它建筑材料钻研得更深透些。

要把混凝土作为一种材料科学论著来写是有不少困难的。第一，尽管混凝土表观简单，但具有十分复杂的结构；因而，通常对于理解和控制材料性质很有利的结构与性质之间的关系不容易应用。混凝土含有许多分布不均的固体成分以及形状和大小不同的空隙，这些空隙部分地或全部地充满着碱性溶液。对于相对地均质且不太复杂的人造材料例如钢、塑料和陶瓷方面所适用的固体力学和材料科学的一些分析方法，对混凝土并不能解决问题。

第二点，混凝土的结构与其它材料相比其材料性质不是静态的。这是因为结构中的三种明显不同的成分中的两种，即水泥浆体和水泥浆体与骨料之间的过渡区是随着时间不断地变化着。在这一点上混凝土跟木材和其它有生命的东西相似。事实上，混凝土这个词来源于拉丁名称 *Concretus*，它的意思是生长。混凝土的强度和其它性质决定于连续多年不断形成的水泥水化产物。虽然这些产物是不溶的，但它们在潮湿的环境中能缓慢地分解和再结晶，因而赋予混凝土愈合微裂缝的能力。

第三点，混凝土不像其它材料拿来就可以使用，一般需要于使用前在工程现场或现场附近加以拌制。一本典型的混凝土著作一开始总是详细地叙述配制混凝土的材料即水泥、骨料和外加剂的成分和性质。接着描述配合比设计方法，称量、搅拌和输送设备；混凝土捣实、抹面和养护工艺。混凝土作为一种材料的性质以及左右着性质的一些原理，放在书的很后面才讲，而诸如试验方法、规范（标准）和应用常是一些含混不清的不够科学的报告。

本书不是一本应有尽有的混凝土论著。（本书是为了土木工程专业的大学生而写的，力求以简单、清楚和科学的方式介绍混凝土科学和技术）。所谓科学的方式并不意味着对理论物理、化学或数学的强调。因为这个材料的极为复杂和动态的性质，理论模型只能产生出“理论混凝土”。这已在实践中证明是没有价值的。事实上在混凝土工业中有一句众所周知的打趣话：“凡是抽象的都不是混凝土。”有关混凝土各种性质的知识以及影响这些性质的因素是修订现行混凝土施工规范的主要依据。这些知识大多不来源于理论研究，而来源于实验室和现场的经验。这种经验给混凝土的各种性质以及各种因素“为什么”和“怎样地”影响混凝土性质提供了令人信服的解释。因此，对本科目用科学来处理，作者认为凡是可能的地方就要强调结构-性质关系，也就是说，除了介绍现状之外，并对观察到的品质作合理的解释。

关于题材的组织作者采取了与传统有些不同的方法。在许多国家中由于大多混凝土是预拌的，并由于预拌混凝土工业已日益担负起选择混凝土组成材料和配合比的责任，故没有必要在书的开头部分地把这些题材作为重点。大多数从事混凝土设计、施工和分析的土木

工程师主要感兴趣的是已硬化的混凝土的性质。因此，本书的第一部分专门论述硬化后的混凝土的各种性质，例如：强度、弹性模量、干燥收缩、温度收缩、徐变、拉应变能力、渗透性、以及经受物理和化学破坏作用过程中的耐久性。以简明扼要的方式叙述了术语的定义，每种性质的根源及其意义。

本书第二部分讲的是混凝土的生产。对常用的水泥、骨料和外加剂的成分及性质方面分别在各章中作了最新的报导，有一章专门讲混凝土混合物的配比原理，再一章则描述混凝土在早期的各种性质以及这些性质如何地影响新拌混凝土的浇、捣等各项操作。在这章的后面一部分也简单地讨论了保证质量的要领，如快速试验，现场试验和统计控制表格等。

在本书第三部分中描述由于在特殊工程中创造性地应用混凝土，从而使混凝土工艺获得较大的进展。提供了几种类型的特种混凝土的成分、性质和应用方面的最新报导，包括结构用轻混凝土，核屏蔽用重混凝土、高强混凝土、高和易性混凝土、收缩补偿混凝土、纤维增强混凝土、含聚合物的混凝土以及大体积混凝土。最后一章对混凝土作为一种建筑材料的前途作了预测。这些预测是根据工程性质、成本经济、节能以及生态学方面而作出的。

许多独特的图表、照片和总结性表格都列入书中，将有助于教学。新的术语在本教科书中第一次出现时用粗体字并加以定义。在每章开头有个提纲；每章结尾有自我测试题和提高性读物介绍。当本书用作土木工程材料课的教材时，按照授课对象的水平，教师可删节某些章节。（例如，对本科大学生讲时，水泥和外加剂两章可能内容太多）或者有些章节需加补充（例如，对研究生讲时，强度和尺寸改变似乎还可加深）。

混凝土的领域是广阔的，而人的努力总达不到十全十美的。因此读者可能在本书中找出不少缺点。作者自己知道删节了某些资料。例如，由于作者不太熟悉美国之外的大量优秀的混凝土论著，故没有把它们列入参考书目中。限于篇幅是个主要矛盾。这一缺点希望能通过参阅每章末所列供进一步研究的书籍和报告而获得补偿。此外，有几个重要的题材没有包括在内。土木工程师懂得建筑装饰混凝土，混凝土结构的维修，混凝土组成材料（水泥、骨料和外加剂）的试验方法是有帮助的。遗憾的是不可能把认为有用的资料都写进这本字数有限的书里去。

在计算机时代已有需要多讲些为了预测混凝土性质而发展起来的数学概念，例如，干缩、徐变、开裂和耐久性。在出版的文献中有些作品确实激励着人们的智慧而应在进一步更深入的研究中加以应用；另一方面，许多关于材料的微观结构方面的作品则是以一些成问题的假定为依据的，因而它们的价值是不大的。由于作者在区分有意义和没有意义方面的努力不够而造成的失误，以致于本书没有选用这些内容，则由作者负主要责任。希望教师和学生个人自己能补偿这个不足。

然而，作者愿意提出一个告诫。由于混凝土的品性接近于有生命的东西，它不能单凭机械地去对待。无论在实际上或理论上把混凝土分析成孤立的几个单元时，这个材料的性质就被破坏了。F. Capra 在他的《转折点》(The Turning Point) 一书中对有生命系统的系统观点所作的短评时说，简化论者对各别的有机体的描述可能有用的，而且在有些场合是需要的，但是把它作为完整的解释那是危险的。几千年前在 Srimad Bhagvad Gita 中发表过同样的观点：

“坚持把单独的一个结果并认其为是完整的知识，在实际上是没有基础和没有理由的，这种知识是狭窄的，因而也是琐碎的。”

目 录

第一部分

已硬化的混凝土的结构和性质

第一章 混凝土概论 (1)

- 混凝土作为一种结构材料 (1)
- 现代混凝土的组成成分(5)
- 混凝土的类型(7)
- 已硬化的混凝土的性质及其意义(8)
- 计量单位(10)
- 自我测试(11)
- 进一步学习的参考文献(11)

第二章 混凝土的结构(12)

- 定义 (12)
- 意义 (12)
- 复杂性 (12)
- 骨料相的结构(14)
- 水化水泥浆体的结构(15)
 - 水化水泥浆体中的固体(17)
 - 水化硅酸钙, 氢氧化钙, 硫铝酸钙, 未水化熟料颗粒
 - 水化水泥浆体中的空隙(18)
 - C-S-H中的层间空间, 毛细孔, 气孔
 - 水化水泥浆体中的水(19)
 - 毛细管水, 吸附水, 层间水, 化学结合水
 - 水化水泥浆体中结构-性质的关系(20)
 - 强度, 尺寸稳定性, 耐久性
- 混凝土中的过渡区(24)
 - 过渡区的意义(24)
 - 过渡区的结构(25)
 - 过渡区的强度(26)
 - 过渡区对混凝土性质的影响(27)
- 自我测试(27)
- 进一步学习的参考文献(28)

第三章 强度 (29)

定义(29)

意义(29)

强度-孔隙率的关系(30)

混凝土的破坏方式 (31)

抗压强度及其影响因素 (31)

材料的特性和比例 (32)

水灰比, 加气剂, 水泥品种, 骨料, 拌和水, 外加剂

养护条件 (37)

时间, 湿度, 温度

试验参数 (39)

试件参数, 加荷条件

不同应力状态下混凝土的行为 (41)

单轴向压力作用下混凝土的行为 (41)

单轴向拉力作用下混凝土的行为(43)

抗拉强度试验方法

抗压和抗拉强度间的关系 (46)

剪切应力下混凝土的行为 (47)

双轴向和多轴向应力下混凝土的行为(47)

断裂力学应用于混凝土 (50)

自我测试 (50)

进一步学习的参考文献 (51)

第四章 尺寸稳定性 (52)

变形的类型及其意义 (52)

弹性行为 (53)

应力-应变的非线性关系 (53)

弹性模量的各种类型 (55)

静弹性模量的测定 (56)

泊松比 (57)

影响弹性模量的因素 (57)

骨料, 水泥浆基体, 过渡区, 测定参数, 过渡区测定参数

热收缩 (59)

影响热收缩的因素 (60)

干缩和徐变 (61)

原因 (61)

可逆性 (62)

与徐变有关的专用术语 (63)

影响干缩与徐变的因素 (63)

材料与配合比,时间与湿度,混凝土构件的几何图形,影响徐变的其它因素,

干缩和徐变的估算 (69)

伸长率与开裂 (70)

自我测试 (71)

进一步学习的参考文献 (72)

第五章 耐久性 (72)

定义 (72)

意义 (73)

概述 (73)

水,作为破坏的介质 (73)

水的结构 (74)

渗透性 (75)

水泥浆体的渗透性 (75)

骨料的渗透性 (76)

混凝土的渗透性 (76)

混凝土破坏原因的分类 (77)

表面磨损造成的损坏 (78)

孔中盐类结晶造成的开裂 (80)

冰冻作用造成的损坏 (81)

冰冻对已硬化水泥浆体的作用 (81)

冰冻对骨料的作用 (83)

控制混凝土抗冻性的因素 (85)

引气,水灰比和养护,水饱和度,强度

混凝土的表面剥落 (87)

火灾的损坏 (89)

高温对水泥浆体的影响 (89)

高温对骨料的影响 (89)

高温对混凝土的影响 (90)

化学反应的破坏 (91)

水泥浆体组分的水解 (91)

阳离子交换反应 (92)

形成可溶性钙盐,形成不溶性和非膨胀性钙盐,含镁盐溶液的化学侵蚀

形成膨胀性产物的反应 (94)

硫酸盐侵蚀 (94)

硫酸盐侵蚀中包含的化学反应 (94)

历史事故选载 (95)

硫酸盐侵蚀的控制 (97)

碱-骨料反应 (99)

有助于反应的水泥和骨料品种 (99)

膨胀机理 (100)

历史事故选载 (101)

膨胀的控制 (102)

结晶的MgO和CaO的水化 (103)

混凝土中埋入钢筋的腐蚀 (103)

埋入钢筋腐蚀而引起混凝土破坏的机理 (104)

历史事故选载 (105)

腐蚀的控制 (107)

海水中的混凝土 (108)

理论方面 (108)

受侵蚀混凝土的历史事故 (110)

历史事故中的教训 (112)

自我测试 (114)

进一步学习的文献 (115)

第二部分

混凝土材料、配合比和早期性质

第六章 水硬性水泥 (117)

水硬性和非水硬性水泥 (117)

定义、石膏和石灰的化学 (117)

波特兰水泥 (118)

定义 (118)

生产过程 (118)

化学组成 (119)

通过化学分析确定化合物组成 (121)

化合物的结晶结构和活性 (122)

硅酸钙, 铝酸钙和铁铝酸钙, 氧化镁和氧化钙, 碱和硫酸盐化合物

细度 (124)

波特兰水泥的水化 (125)

意义 (125)

水化机理 (125)

铝酸盐的水化 (126)

硅酸盐的水化 (128)

水化热 (130)

凝结、硬化过程的物理特征 (131)

水泥特性对强度和水化热的效应 (133)

波特兰水泥的类型 (133)

- 特种水硬性水泥 (136)
 - 分类和名词术语 (136)
 - 掺混合材料的波特兰水泥 (136)
 - 火山灰反应及其作用,水化热,强度发展,耐久性
 - 膨胀水泥 (142)
 - 快凝早强水泥 (143)
 - 调凝水泥,特早强和高铁水泥,超早强水泥
 - 油井水泥 (144)
 - 白水泥和彩色水泥 (146)
 - 铝酸钙水泥 (147)
- 自我测试 (149)
- 进一步学习的参考文献 (150)

第七章 骨料 (152)

- 意义 (152)
- 分类和名词、术语 (152)
- 天然矿物质骨料 (153)
 - 岩石分述 (153)
 - 矿物分述 (155)
 - 二氧化硅矿物,硅酸盐矿物,粘土族矿物,碳酸盐矿物,硫化物和硫酸盐矿物
- 轻骨料 (157)
- 重骨料 (158)
- 高炉矿渣骨料 (159)
- 从粉煤灰制得的骨料 (159)
- 从再生混凝土和城市垃圾制得的骨料 (159)
- 骨料的制备 (161)
- 骨料的特性及其意义 (162)
 - 密度和视比重 (162)
 - 吸水性和表面水分 (163)
 - 压碎强度、耐磨性和弹性模量 (164)
 - 体积稳定性 (164)
 - 粒径与级配 (167)
 - 粒形和表面织构 (169)
 - 有害物质 (170)
- 骨料特性的试验方法 (171)
- 自我测试 (172)
- 进一步学习的参考文献 (173)

第八章 外加剂 (174)

- 意义 (174)

名词、术语、规范和分类 (175)

表面活性化学制品 (176)

名词术语和组成 (176)

作用机理 (176)

引气表面活性剂, 减水表面活性剂

应用 (177)

引气剂, 减水剂, 超塑化剂

调凝化学制品 (180)

名词术语和组成 (180)

作用机理 (180)

应用 (181)

促凝剂, 缓凝剂

矿物质外加剂 (184)

意义 (184)

分类 (184)

天然材料 (185)

火山玻璃, 火山凝灰岩, 烧粘土和烧页岩, 硅藻土

副产品材料 (187)

粉煤灰, 高炉矿渣, 凝聚硅灰, 稻壳灰

应用 (190)

改善工作性, 抗温差开裂的耐久性, 抗化学侵蚀的耐久性, 配制高强混凝土

结语 (193)

自我测试 (195)

进一步学习的参考文献 (195)

第九章 普通混凝土的配合比设计 (197)

意义和目的 (197)

考虑要点 (198)

造价 (198)

工作性 (199)

强度和耐久性 (199)

理想骨料级配 (200)

具体原则 (200)

工作性, 粘聚性, 强度, 耐久性

设计程序 (201)

计算实例 (205)

附录: 从设计规定强度决定平均抗压强度的方法 (207)

自我测试 (209)

进一步学习的参考文献 (209)

第十章 早期阶段的混凝土 (211)

定义和意义 (211)

配料、拌和与运输 (212)

浇灌、捣实和抹面 (214)

混凝土的养护和脱模 (216)

工作性 (219)

定义及意义 (219)

测量 (220)

坍落度试验, 维勃试验, 密实系数试验

影响工作性的因素及其控制 (221)

用水量, 水泥用量, 骨料特征, 外加剂

坍落度损失 (222)

定义 (222)

重要性 (223)

原因和控制 (223)

离析和泌水 (226)

定义和重要性 (226)

测定 (226)

原因和控制 (227)

早期的体积变化 (227)

定义和重要性 (227)

原因和控制 (227)

凝结时间 (229)

定义和重要性 (229)

测定和控制 (229)

混凝土的温度 (230)

意义 (230)

寒冷气候中浇筑混凝土 (223)

成熟度概念, 混凝土温度的控制

炎热气候中浇筑混凝土 (233)

混凝土温度的控制

混凝土质量的测试和控制 (234)

方法及其意义 (234)

快速强度试验 (235)

方法A(温水法), 方法B(沸水法), 方法C(自然养护法)

现场试验和非破损试验法 (235)

表面硬度试验法, 贯入抗力试验技术, 拔出试验, 超声脉冲速度试验, 成熟度仪,

除强度以外的性能检测方法

钻芯试件试验 (237)

质量控制图 (237)

原
书
缺
页

工作性,强度,韧性和抗冲击性,弹性模量,徐变和干缩,耐久性

应用 (282)

聚合物混凝土 (283)

名词术语和意义 (283)

聚合物混凝土 (284)

乳胶-改性混凝土 (285)

聚合物浸渍混凝土(286)

辐射屏蔽用的重混凝土 (288)

重要性 (288)

混凝土作为屏蔽材料 (288)

材料与配合比 (289)

重要性质 (289)

大体积混凝土 (290)

定义和意义 (290)

总的考虑 (290)

材料和配合比 (291)

水泥,外加剂,骨料,配合比设计,控制温度上升的施工实践,后冷却,预冷却,表面绝热原理的应用 (296)

辊筒-压实混凝土 (297)

概念和意义 (297)

材料、配合比和性质 (298)

自我测试 (299)

进一步学习的参考文献 (300)

第十二章 混凝土的展望 (302)

将来对结构材料的需要 (302)

将来混凝土的供应 (304)

混凝土结构胜过钢结构的一些优点 (304)

工程上考虑的事项 (304)

维修,抗火性,周期性荷载的抵抗性,振动阻尼,挠度的控制,抗爆炸性,抗低温性

经济上的考虑事项,能源方面的考虑事项,生态方面的考虑事项(305~306)

将来的更好的制品 (307)

结束语 (308)

附: 英汉名词术语对照 (309)