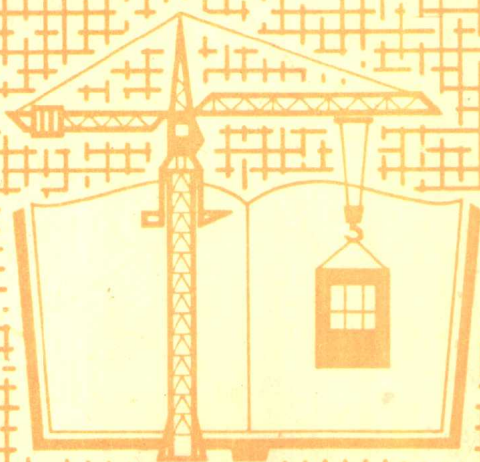


# 混凝土学

重庆建筑工程学院  
南京工学院 编著



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

# 混 凝 土 学

重庆建筑工程学院  
南京工学院 编 著

中国建筑工业出版社

本书系统地阐述了普通混凝土、硅酸盐混凝土、轻集料混凝土、多孔混凝土的原材料、结构构造、性能以及配合比设计。对纤维增强混凝土、聚合物混凝土、自应力混凝土以及其他特殊用途的混凝土亦作了介绍。本书内容丰富、概念清晰，书中尽量吸收了国内外最新科研成果，反映了混凝土科学技术的进展水平。本书中应用流变学、断裂力学、材料力学、复合材料力学、硅酸盐物理化学等理论知识阐述混凝土结构构造、缺陷与性能的关系，有一定水平。

本书系高等学校教学用书，也可供科研、设计、施工、混凝土制品厂等单位的科技人员参考。

高等学校试用教材

混 凝 土 学

重庆建筑工程学院 编 著  
南京工学院

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  
河北省固安县印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：19<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 字数：467千字

1981年7月第一版 1985年7月第三次印刷

印数：42,801—57,700册 定价：2.60元

统一书号：15040·4110

## 前 言

本书系根据《混凝土及建筑制品》专业教材编写会议确定的原则，并按照重庆建筑工程学院提出的，经南京工学院、同济大学、武汉建筑材料工业学院、重庆建筑工程学院等院校讨论修改定稿的《混凝土学编写大纲》，由南京工学院和重庆建筑工程学院共同编写的。

本书各篇章编写人员为：

绪论——蒲心诚（重庆建筑工程学院）；第一篇——第一、二、四、六章——叶连生（南京工学院）；第三、五、七章——姚珪（南京工学院）；第八章——周新益（南京工学院）；第二篇——蒲心诚；第三篇——陈惟时（重庆建筑工程学院）；第四篇——吴丽伦（重庆建筑工程学院）；第五篇第一章——姚珪；第二章——叶连生；第三、四章——陈惟时；第五章——蒲心诚。

南京工学院编写部分由姚珪负责主编，重庆建筑工程学院编写部分由蒲心诚负责主编。全书由蒲心诚整理总成。本书主审为武汉建筑材料工业学院孙复强。

编写系统而全面的《混凝土学》教材，我们还是第一次尝试。为了提高教材水平，在编写过程中，编者尽量吸收了国内外新近的科研成果，力求反映现代混凝土科学技术的进展和水平，并在教材体系上，努力做到系统性、科学性和完整性，在文字阐述上力求做到严密性。但由于编者的水平有限，不妥之处在所难免，衷心希望读者批评和指正。

132 9/08

# 目 录

前 言

绪 论 ..... 1

## 第一篇 普通混凝土

第一章 普通混凝土的原材料	6
第一节 水泥	6
第二节 集料	10
第三节 磨细矿物掺料	22
第四节 混凝土拌合用水	23
第二章 普通混凝土混合料	24
第一节 混凝土混合料的流变特性	24
第二节 普通混凝土混合料的工作性	31
第三节 影响普通混凝土混合料工作性的因素	36
第四节 普通混凝土混合料的离析和泌水	41
第三章 普通混凝土的硬化及结构形成过程	44
第一节 普通混凝土宏观堆聚结构的分层现象	44
第二节 硅酸盐水泥的水化反应及凝结硬化	46
第三节 水泥石的亚微观结构及强度	50
第四节 水泥石-集料的界面粘结和微裂缝	53
第四章 普通混凝土的物理性能	55
第一节 普通混凝土的密实度	55
第二节 普通混凝土的干缩与湿胀	56
第三节 普通混凝土的渗透性	61
第四节 普通混凝土的热性能	63
第五章 普通混凝土的力学性能	67
第一节 普通混凝土的强度	67
第二节 影响普通混凝土强度的因素	69
第三节 普通混凝土的脆性断裂	75
第四节 普通混凝土的弹性模量和细观力学分析	81
第五节 普通混凝土的徐变	87
第六章 普通混凝土的耐久性	95
第一节 普通混凝土的抗冻性	95
第二节 普通混凝土的抗化学侵蚀性	102
第三节 普通混凝土的碱集料反应	105
第四节 普通混凝土中钢筋的电化学腐蚀	105
第五节 普通混凝土的耐火性	107

第六节	普通混凝土的磨蚀与空蚀	108
第七章	普通混凝土的配合比设计	109
第一节	普通混凝土的配制强度	109
第二节	普通混凝土配合料和易性选择	110
第三节	普通混凝土配合比的经济性	111
第四节	普通混凝土配合比设计的原理	112
第五节	普通混凝土配合比设计的步骤	115
第六节	普通混凝土配合比设计实例	116
第八章	普通混凝土的外加剂	119
第一节	外加剂的作用及分类	119
第二节	减水剂	119
第三节	调凝剂	127
第四节	促硬剂	129
第五节	引气剂	130

## 第二篇 硅酸盐混凝土

第一章	硅酸盐混凝土的原材料	132
第一节	石灰	132
第二节	砂	134
第三节	工业废渣	135
第四节	外加剂	139
第二章	硅酸盐混凝土的水热硬化及结构形成过程	141
第一节	水化硅酸钙及其它水化矿物的合成及其性质	141
第二节	水化硅酸钙及其它水化矿物的强度	150
第三节	灰砂硅酸盐混凝土的结构形成	152
第四节	灰渣硅酸盐混凝土的结构形成	156
第五节	水热处理过程中硅酸盐混凝土结构缺陷的发展	162
第六节	硅酸盐混凝土的结构	164
第三章	硅酸盐混凝土的物理力学性能及配合比选择	167
第一节	硅酸盐混凝土的密实度、抗渗性和抗水性	167
第二节	硅酸盐混凝土的强度	168
第三节	硅酸盐混凝土的徐变和收缩	173
第四节	硅酸盐混凝土配合比选择	175
第四章	硅酸盐混凝土的耐久性	177
第一节	硅酸盐混凝土的大气稳定性	177
第二节	硅酸盐混凝土的抗冻性	178
第三节	硅酸盐混凝土的抗蚀性	179
第四节	硅酸盐混凝土的护筋性	133

## 第三篇 轻集料混凝土

第一章	轻集料的种类和性质及生产简介	136
第一节	轻集料的种类	136

第二节	轻集料的性能	136
第三节	人工轻集料生产概论	190
第二章	轻集料混凝土的结构特征和物理力学性能	197
第一节	轻集料混凝土的结构特征和破坏特点	197
第二节	轻集料混凝土的强度和容重	198
第三节	轻集料混凝土的变形性能	199
第四节	轻集料混凝土的热工性能	201
第五节	轻集料混凝土的耐久性	202
第三章	轻集料混凝土的配合比选择	204
第一节	基本参数的确定	204
第二节	轻集料混凝土配合比选择的原则和步骤	206

## 第四篇 多孔混凝土

第一章	加气混凝土的结构形成	211
第一节	发气反应和气孔结构的形成	211
第二节	料浆稳定膨胀的基本条件及其影响因素	213
第三节	加气混凝土蒸压硬化过程	216
第四节	加气混凝土结构	219
第二章	加气混凝土的原材料	221
第一节	基本组成材料	221
第二节	发气剂	225
第三节	气泡稳定剂	228
第四节	调节剂	229
第五节	钢筋防腐剂	231
第三章	加气混凝土的物理力学性能	233
第一节	加气混凝土的容重	233
第二节	加气混凝土的强度	233
第三节	加气混凝土的弹性模量、极限应变和波桑比	236
第四节	加气混凝土的收缩	236
第五节	加气混凝土的耐久性	238
第六节	加气混凝土的热工性能	239
第四章	加气混凝土的配合比选择	242
第一节	水泥-矿渣-砂加气混凝土配合比选择	242
第二节	石灰-水泥-粉煤灰加气混凝土配合比选择	245
第三节	石灰-砂加气混凝土及石灰-水泥-砂加气混凝土配合比选择	248
第五章	泡沫混凝土	251
第一节	泡沫形成的基本原理及泡沫混凝土的结构形成	251
第二节	泡沫剂及其原材料	251
第三节	泡沫混凝土的性能及配合比选择	253

## 第五篇 新型混凝土和特种用途混凝土

第一章	纤维增强和聚合物混凝土	256
-----	-------------	-----

第一节	纤维增强混凝土	256
第二节	聚合物混凝土	258
第二章	自应力混凝土	265
第一节	膨胀水泥	265
第二节	自应力混凝土	266
第三章	水玻璃耐酸混凝土和耐碱混凝土	273
第一节	水玻璃耐酸混凝土的原材料	273
第二节	水玻璃耐酸混凝土的性能及配合比选择	275
第三节	水玻璃耐酸混凝土的养护及酸化处理	277
第四节	耐碱混凝土	278
第四章	耐火混凝土	281
第一节	耐火混凝土的种类和原材料	281
第二节	高温作用下耐火混凝土的性能	283
第三节	耐火混凝土的配合比选择和热处理	285
第五章	防护混凝土	288
第一节	防护混凝土的特点	288
第二节	防护混凝土的原材料	289
第三节	防护混凝土的配合比选择	290
附录一	普通混凝土配合比设计用表	294
附录二	水化硅酸钙的显微照相	297



## 绪 论

由胶结材（无机的、有机的或无机有机复合的）、颗粒状集料以及必要时加入化学外加剂和矿物掺合料组分合理组成的混合料经硬化后形成具有堆聚结构的复合材料称为混凝土<sup>①</sup>。目前应用最广的仍然是由无机胶结材制成的混凝土。这类混凝土的组织结构类似于某些天然岩石，故又称为混凝土人造石。

和其他任何一种材料一样，混凝土材料的产生和发展都是由社会生产实践的需要决定的，同时，它的发展反过来又影响和促进了社会的生产。随着土木建筑事业的迅速发展，要求混凝土具有不同的性能，以满足各种工程结构物和构筑物不同功能的需要。而混凝土材料的新成就，又促进了土木建筑工程的不断革新。在这种相互促进的过程中，混凝土的品种日益增多，它们的性能和应用也各不相同。如将种类繁多的混凝土进行分类，则主要的有：

### （一）按胶结材分

#### 1. 无机胶结材混凝土

（1）水泥混凝土 它以各种水泥为胶结材，其水化矿物胶凝物质由水泥熟料矿物的水化反应获得。

（2）石灰-硅质胶结材混凝土（即硅酸盐混凝土） 它用石灰和各种含硅原料（砂及工业废渣等）以水热合成方法来产生水化矿物胶凝物质。

（3）石膏混凝土 它以各种石膏为胶结材制成。

（4）水玻璃-氟硅酸钠混凝土 它以水玻璃为胶结材，以氟硅酸钠为促硬剂制成。

#### 2. 有机胶结材混凝土

（1）沥青混凝土 它以沥青为胶结材制成，主要用于道路工程。

（2）聚合物胶结混凝土 它以纯聚合物为胶结材制成。

#### 3. 无机有机复合胶结材混凝土

（1）聚合物水泥混凝土 它是在水泥混凝土混合料中掺入聚合物或者用掺有聚合物的水泥制成。

（2）聚合物浸渍混凝土 它是以水泥混凝土为基材，用有机单体液浸渍和聚合制成。

### （二）按混凝土的结构分

1. 普通结构混凝土 它由（重质或轻质）粗集料、（重质或轻质）细集料和胶结材制成。若以碎石或卵石、砂和水泥制成者，即是普通混凝土。

<sup>①</sup> 广义的混凝土还包括无集料的混凝土，有的学者甚至称水泥石为微晶混凝土。

2. 细粒混凝土 它仅由细集料和胶结材制成，主要用于制造薄壁构件。
3. 大孔混凝土 它仅由（重质或轻质）粗集料和胶结材制成。集料粒子外表包以水泥浆，粒子彼此为点接触，粒子之间有较大的空隙。这种混凝土主要用于墙体。
4. 多孔混凝土 这种混凝土既无粗集料、也无细集料，全由磨细的胶结材和其他粉料加水拌成的料浆用机械方法或化学方法使之形成许多微小的气泡后再经硬化制成。

### （三）按容重分

1. 特重混凝土 容重大于2500公斤/米<sup>3</sup>，主要用于原子能工程的屏蔽材料。
2. 重混凝土 容重在1900~2500公斤/米<sup>3</sup>之间，主要用于各种承重结构中。
3. 轻混凝土 容重在500~1900公斤/米<sup>3</sup>之间。其中包括了容重为800~1900公斤/米<sup>3</sup>的轻集料混凝土和容重在500公斤/米<sup>3</sup>以上的多孔混凝土，主要用于承重结构和承重-隔热制品。
4. 特轻混凝土 容重在500公斤/米<sup>3</sup>以下，包括容重在500公斤/米<sup>3</sup>以下的多孔混凝土和用特轻集料（如膨胀珍珠岩、膨胀蛭石泡沫塑料等）制成的轻集料混凝土，主要用作保温隔热材料。

### （四）按用途分

主要有：结构用混凝土、隔热混凝土、装饰混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、耐火混凝土、道路混凝土、大坝混凝土、收缩补偿混凝土、海洋混凝土、防护混凝土等等。

此外还有按混凝土性能和制造工艺分类等等。

尽管混凝土的类别很多、性能各异，但它们大都属于堆聚结构，都服从于某些控制混凝土行为和性质的共同规律。混凝土学的基本任务之一就是要研究、解释和应用这些规律。

## 三

混凝土材料在历史上可以追溯到很古老的年代。不过最初使用的胶结材是粘土、石膏、气硬性石灰，继后又采用火山灰、火山灰+气硬性石灰、水硬性石灰等。

1824年阿斯普丁（J. Aspdin）发明波特兰水泥后，制作混凝土的胶结材才产生了质的变化。此后，水泥与混凝土的生产技术迅速发展，混凝土的用量急剧增加，使用范围日益扩大。至今，它已成为世界上用量最多的人造材料。这是因为混凝土具有原料丰富、造价低廉、制作简单、造型方便、坚固耐久、维修费低、耐火耐震等优越性。但混凝土同时又存在抗拉、抗折强度低，脆性系数大，容易裂缝，自重大等缺点。这些缺点又限制了混凝土的使用范围。为了改善混凝土的性能，克服这些缺陷，在波特兰水泥发明后一百多年的混凝土发展过程中，特别是近四十年内，混凝土材料经历了许多重大的变革。

1850年法国人朗波特（Lambot）用加钢筋网的方法制造了一条小水泥船。此后，就用钢筋来增强混凝土，以弥补混凝土抗拉强度及抗折强度低的缺陷。这种集中配筋的钢筋与混凝土的复合，大大地促进了混凝土应用于各类工程结构上。1837年科伦（M. Koenen）首先发表了钢筋混凝土的计算方法。1918年艾布拉姆斯（D. A. Abrams）发表了著名的计算混凝土本身强度的水灰比理论。

对混凝土配筋虽然使混凝土可用于受弯和受拉构件，但并未解决混凝土容易裂纹的问

题。用张拉钢筋对混凝土预先施以压应力的方法可以保证混凝土构件在荷载作用下既能抗拉又不致形成裂纹，特别是应用高强材料时，预应力方法最为有效。1928年法国弗列什涅（E. Freyssinet）提出了混凝土收缩和徐变理论，采用了高强钢丝和发明了预应力锚具，为预应力技术在混凝土工程上的应用奠定了基础。

预应力混凝土的出现，是混凝土技术的一次飞跃。它是通过外部条件对混凝土改性。由于预应力技术在大跨建筑、高层建筑、以及在抗震、防裂、抗内压等方面的卓越效果，从而大大地扩展了混凝土的应用范围。标号为1000号的预应力混凝土在重量上即可与钢结构相近。这样，大部分的钢结构工程即可用预应力混凝土结构代替。目前，混凝土的应用已从一般的工业与民用建筑、交通建筑、水工建筑等领域扩展到了海上浮动建筑、海底建筑、地下城市建筑、高压储罐、核电站容器等领域。

利用膨胀水泥生产收缩补偿混凝土和自应力混凝土是混凝土技术的另一突出成就，其本质是变混凝土的收缩本性为膨胀本性以克服混凝土收缩裂纹的产生并应用膨胀性能来张拉钢筋。这是一种内外条件相结合的改性。膨胀水泥广泛用于工业与民用建筑、路面、贮罐自应力管、防水防渗结构、管道接头、构件接缝、二次灌浆等方面。

高效能减水剂的应用是近年来混凝土技术的重大发展。在混凝土混合料中掺入减水剂可以大幅度地降低水灰比（降至0.25~0.30）和提高强度，或者急剧地提高混合料的流动性（坍落度可达20厘米以上），使混合料的拌制、运送、浇注和成型等工艺过程变得容易，使混凝土性能得到改善。目前，由于技术上和经济上的优越性，减水剂已成为混凝土应用极广的外加剂。

制作聚合物浸渍混凝土、聚合物水泥混凝土以及聚合物胶结混凝土，使混凝土进入了使用有机无机复合胶结材和高分子有机胶结材的新阶段。由于聚合物进入混凝土材料中，大大提高了混凝土的物理力学性能。例如聚合浸渍混凝土的抗压强度和抗拉强度较其基材可提高2~4倍（最高的抗压强度已达2500~2800公斤/厘米<sup>2</sup>）。这种混凝土有很高的耐腐蚀性能，它几乎不吸水、不渗水，抗渗压力可达50公斤/厘米<sup>2</sup>，抗冻融循环在1100次以上。

尽管混凝土可以达到很高的抗压强度，但相对而言，其抗拉强度却提高不多，拉压比总是保持在1/10左右。混凝土破损时，表现出典型的脆性材料突然破坏的特点。这个缺点大大地限制了混凝土材料的应用范围。

为了降低混凝土的脆性、提高其延性，人们进行了长期的研究，提出了分散配筋。1940年意大利列维（L. Nervi）提出了钢丝网水泥这种配筋材料，使得配筋混凝土具有某些匀质材料的性能，于是出现了大跨度的钢筋混凝土建筑物和薄壳结构。后来，人们更进一步提出了纤维配筋的概念。由于纤维对混凝土的分散配筋，大大地提高了混凝土的抗裂性，增加了混凝土的延性。目前，石棉纤维、耐碱玻璃纤维、有机合成纤维、金属纤维等均应用于纤维增强混凝土中。

提高混凝土材料的拉压比、降低其脆性的研究探索工作目前仍在继续进行。除开分散配筋外，改变混凝土脆性的最基本问题是要减少其微观结构中共价键的分量，增加离子键、次价键、甚至金属键的分量，以期降低混凝土中键的方向性和饱和性。因此，混凝土材料亦正沿着从单纯的无机非金属材料向着有机与无机相结合、金属与非金属相结合的方向发展。

由于混凝土技术的不断进步，特别是近期以来的快速发展，世界各国使用的混凝土平均强度不断提高。例如，三十年代的混凝土平均强度约为100公斤/厘米<sup>2</sup>，五十年代约为200公斤/厘米<sup>2</sup>，六十年代约为300公斤/厘米<sup>2</sup>，七十年代即已上升到400公斤/厘米<sup>2</sup>左右。目前，在工业发达国家，600号的混凝土已经普遍采用，800号的混凝土用量不断增加，而1000号以上的混凝土则已实用于工程上。在混凝土用量方面，全世界平均每年每人超过1吨以上。

混凝土及其制品另一缺点是自重大。随着建筑技术的发展，建筑物趋向高层和大型化。因此，减轻高层建筑和大跨度结构的自重是十分重要的课题。除采用高强度混凝土以减小构件的截面外，降低混凝土本身的自重也是十分重要的任务。

为了有效地减轻混凝土的自重，一是采用轻集料制成轻集料混凝土；二是在混凝土中加入气泡，制成多孔混凝土。因此，近二十年来，轻集料混凝土和多孔混凝土得到了迅猛的发展。

目前，结构用轻集料混凝土多为300~500号，最高标号已达800号。这些高强度轻集料混凝土广泛用于高层建筑、大跨度桥梁以及高强度预制构件上。墙体用轻集料的松散容重主要向着小于500公斤/米<sup>3</sup>方向发展，用这种轻集料制成的混凝土的强度为50~100公斤/厘米<sup>2</sup>，而容重则在1000公斤/米<sup>3</sup>以下。

多孔混凝土，特别是加气混凝土是近几十年来得到高速发展的品种之一。这种混凝土的自重很轻，保温隔热性能好，并且具有可加工的优点。容重为500~700公斤/米<sup>3</sup>的多孔混凝土广泛用于屋盖、楼板和墙体上。

尽管混凝土的价格比其他建筑材料（钢材、有色金属、木材等）低，消耗的能源也较小（生产1吨水泥所消耗的能源大约只有生产1吨钢铁的1/6）。但是，由于它的用量甚大，因此，节约资源和能源仍然具有极为重要的经济意义。

利用地方性材料和工业废渣（粉煤灰、炉渣、各种冶金渣等）生产硅酸盐混凝土是就地取材、节约水泥、降低建筑成本、节约能源的有效途径之一。特别是灰砂硅酸盐混凝土具有优良的物理力学性能，其抗压强度可达700公斤/厘米<sup>2</sup>以上。和水泥混凝土相比，硅酸盐混凝土的成本要低25~30%。如用硅酸盐混凝土代替水泥制作预制构件（以1吨水泥制作的混凝土计），平均可以节约200公斤标准燃料。除此之外，应用工业废渣制作硅酸盐混凝土制品，不但可以节约大量的工业废料处理费用和堆置废渣所需的场地，而且是保护环境、化害为利的有效措施。

随着现代科学的迅速发展以及新的测试技术的使用，人们对混凝土内部结构和性能之间的依存关系的研究和认识也日益深入。目前，广泛应用流变学的原理来研究和描述混凝土混合料的性质以及混凝土在荷载作用下的行为；应用表面化学的理论来研究减水剂的减水机理；应用固体物理学方法、统计力学方法以及弹塑性理论来研究混凝土的强度；应用断裂力学的理论来研究混凝土在荷载作用下裂缝的引发、传播和断裂问题；应用热力学方法来研究大量的水化反应、水热合成反应、混凝土腐蚀反应在能量上的可能性以及水化产物的稳定性及转化问题等等。

但是，对混凝土的许多性能和其内部结构之间的关系的研究，在某些方面还只限于作一些定性的解释或经验的阐述，缺乏确切而简明的函数表达式，而对于某些方面的关系甚至还不清楚或者还不很清楚。这不仅与研究工作不够有关，而且与混凝土本身结构的复杂

性（非均质性和不连续性）有关。

为了进一步改善混凝土的结构，提高混凝土的性能，必须把混凝土从其结构形成直至结构破坏视为一个统一的全过程。运用现代科学理论和测试方法将混凝土的研究工作从宏观研究逐步深入到亚微观和微观级的研究，找出材料的组分、结构和性能的基本关系，以期达到能按指定性能设计混凝土材料或按已有的结构状态预测混凝土性能这个目标。

为了进一步推进混凝土科学的发展，进一步提高混凝土的强度、减轻混凝土的重量、改善混凝土的性能、降低混凝土的成本，以满足建筑工程对建筑材料高强、轻质、多功能、经济耐久的要求，摆在我们面前的任务是很多的，其中主要的有：

1. 研究各种水化物单体的胶凝性能、强度、变形性能、以及在各种环境中的稳定性，研究它们不同的组合对混凝土性能的影响，以便根据混凝土不同的使用要求，提出混凝土中水化物的种类和数量。

2. 研究胶凝材料的各种水化反应，水热合成反应的热力学和动力学，研究各种水化物单体的生成条件、生成速度，研究混凝土结构形成的流变学，以便判明反应过程的方向，了解反应的速度，控制结构形成过程的发展，使获得具有所要求的水化物组成、预定的凝结硬化速度、设想的混凝土结构和指定的混凝土性能。

3. 进一步研究混凝土多组分、多相、多孔堆聚结构和工程性质的关系，研究孔的特征、数量和分布对混凝土性能的影响，找寻降低孔隙容积和改善孔的结构新的有效措施。特别应着重研究水泥石和集料间的接触区性质，寻求提高集料和水泥石界面粘结力的途径。

4. 进一步探索在混凝土掺入新的有机高分子聚合物，使混凝土中构成双套连续结构（一套为硬化后的水泥石，一套为固化后的聚合物），以期能增加混凝土中分子键的分量以及能自由旋转的共价键分量，从而提高混凝土的延性和拉压比。例如，掺聚醋酸乙烯的聚合物水泥混凝土即具有较大的延性，其极限变形率为不掺者的300%，拉压比有大幅度的提高。

5. 进一步研究高效经济的减水剂仍是今后混凝土发展的重要方向。同时，研究其他类型的外加剂，以满足混凝土速凝、缓凝、早强、抗冻、防水、阻锈等方面的要求。

6. 进一步探索采用优质和价廉的混凝土原材料、改进混凝土及其制品的生产工艺、充分利用资源和节约能源以及大幅度降低成本的新途径。

### 三

《混凝土学》是“混凝土及建筑制品”、“建筑材料工程”等专业的主要专业课程之一。在教学计划中，本课程是在《物理化学》、《力学》、《建筑材料物相分析》、《胶凝材料学》等课程之后开设的。

本课程是培养学生牢固掌握各类混凝土的结构、性能、各种参数与结构和性能的关系的基本理论以及各种混凝土的基本试验技术，使学生能根据实际工程中对各种混凝土的使用要求，正确地选用原材料，合理地设计和选用它们的配合比，最后制成经济、合用、耐久的各种混凝土。同时，也注意引导学生运用前修课程及一些现代科学知识来解释和研究混凝土的结构和性能，为学生今后从事混凝土科学研究准备好必要的理论基础，使学生今后能适应混凝土材料科学日益发展的需要。

# 第一篇 普通混凝土

普通混凝土是指由水泥、粗细集料（碎石或卵石及硅质砂）加水拌合，经水化硬化而成的一种人造石，主要作为承受荷载的结构材料使用。为了改进混凝土的工艺性能和力学性能，常常加入某些外加剂及矿物掺合料。普通混凝土是历史最悠久、应用最广泛，用量最多的混凝土品种。

普通混凝土的力学性能及耐久性能与所选用的组成材料有着密切的关系。关于各种水泥的组成、特性、水化硬化机理已在专门课程《胶凝材料学》中论述。本篇仅简要介绍几种普通混凝土常用的水泥的特性。外加剂近年来国内外有较多的研究，发展很快，本篇将专列一章讨论。

## 第一章 普通混凝土的原材料

### 第一节 水 泥

根据混凝土的使用要求，选用水泥时必须考虑以下几项水泥技术条件：

1. 水泥标号。
2. 在各种温、湿度条件下，水泥早期和后期强度发展的规律。
3. 在制品的使用环境中，水泥的稳定性。
4. 各种水泥的其他特殊性能。

#### 一、硅酸盐水泥

典型的硅酸盐水泥的氧化物组成及矿物组成如表1-1所示。

硅酸盐水泥的组成

表 1-1

氧化物组成		矿物组成	
氧化物	含量(%)	矿物	含量(%)
CaO	62~67	C <sub>3</sub> S	30~60
SiO <sub>2</sub>	20~24	C <sub>2</sub> S	15~37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4~7	C <sub>3</sub> A	7~15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2~5	C <sub>4</sub> AF	10~28
SO <sub>3</sub>	1~3		

水泥的性能和它的矿物组成之间存在着一定的关系。在相同细度和石膏掺入量的情况下，硅酸盐水泥的强度主要与 $C_3S$ 和 $C_2S$ 含量有关。28天以前的强度取决于 $C_3S$ 含量，28天至6个月间的强度增长与 $C_2S$ 的含量成近似的直线关系。图1-1示出了两种不同组成的水泥的典型强度发展曲线。

硅酸三钙含量高的水泥，早期强度高；反之早期强度要低得多。但硅酸二钙含量高的水泥强度会随龄期不断增长，因此到6个月后强度差值就较小了。到了12个月龄期时，两种水泥的强度几乎相等，而最终强度可能硅酸二钙含量高的水泥还要大些。图1-2示出了水泥中硅酸三钙含量与3天和7天强度的关系。

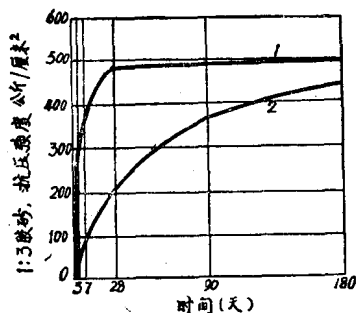


图 1-1 两种不同组成的水泥的强度-龄期特征曲线

- 1—70% $C_3S$ , 10% $C_2S$ ;
- 2—30% $C_3S$ , 50% $C_2S$

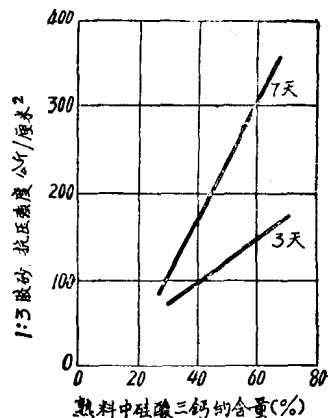


图 1-2 强度与硅酸三钙含量的关系

硅酸盐水泥中 $C_3A$ 和 $C_4AF$ 的含量比较少，它们除了对水泥早期强度有一些有利的影响外，还可能对水泥的最终强度有负的影响。

有人提出，只要知道单矿物在水泥中所能分担的强度，就可能由水泥的矿物组成预言水泥的强度，即：

$$\text{强度} = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF)$$

式中括号内的符号表示该矿物占水泥的百分重， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 分别表示含1%所对应的矿物所分担的水泥石的强度。这样将很容易在制造水泥的时候预测水泥的强度，减少许多常规试验。但实际上，水泥的强度还取决于细度、水灰比、养护条件及龄期等因素。

水泥的矿物组成对水化热的影响则更具有明显的加和性。伍茨（Woods）等人曾试验过许多水泥，并用最小二乘法计算了单矿物对水泥总水化热的贡献，从而得到如下的计算水泥水化热的式子：

$$1 \text{ 克水泥的水化热 (卡)} = 136(C_3S) + 62(C_2S) + 200(C_3A) + 30(C_4AF)$$

式中括号内的符号为该矿物含量的百分率。

由此可见，调整水泥的组成可以制得不同要求性能的水泥。

水泥的细度、凝结时间和安定性都应符合国家有关标准要求，因为它们都会影响水泥及混凝土的物理-力学性能。图1-3示出水泥细度对不同龄期混凝土强度的影响。

影响水泥强度的因素很多，除了水泥本身的化学组成和细度外，还受砂子或其他集料的颗粒组成，加水量，拌合程度，试验时的大气温度和湿度，试块的填模与密实方法、养护条件，测定强度的方法及试件龄期等因素的影响，所以为了能评价水泥的强度性能及不

同水泥之间的可对比性，许多国家都定有试验水泥强度的标准方法，详细规定了各种技术条件。

## 二、其他各种类型的硅酸盐水泥

在粉磨熟料时掺入混合材或外加剂，改变磨细度等而得到不同性能和用途的水泥。

(一) 在粉磨硅酸盐熟料时掺入适当量的混合材可以制得如下几种主要的水泥：

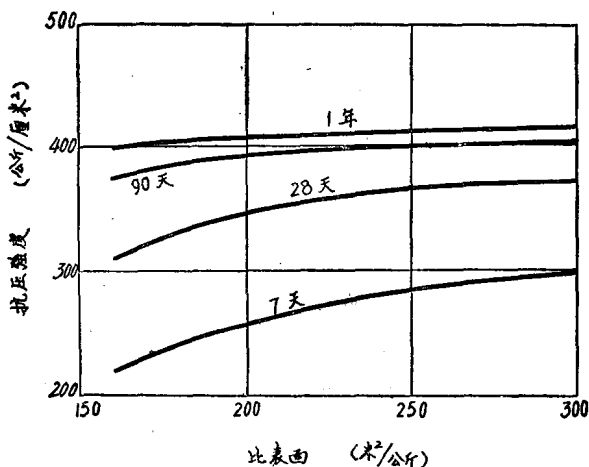


图 1-3 不同龄期混凝土强度和水泥细度之间的关系

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。

含混合材的硅酸盐水泥的水化过程较硅酸盐水泥复杂。火山灰和粉煤灰中含有活性氧化硅和氧化铝。它们能和硅酸盐水泥水化析出的氢氧化钙结合，形成具有胶凝性的物质。粒状高炉矿渣在氢氧化钙存在的条件下，能激发其潜在的水硬性能。所以这些水泥特别适宜于蒸气养护。

含混合材硅酸盐水泥早期强度比硅酸盐水泥低，但在潮湿的环境中，

后期强度增长较大。它们抗硫酸盐侵蚀和抗水侵蚀性能均优于硅酸盐水泥。火山灰质硅酸盐水泥水化热比较低。

(二) 在粉磨硅酸盐水泥或含混合材的硅酸盐水泥时掺入某些外加剂，以改善水泥某一特定性能的主要有以下几种：

1. 防潮水泥 用硅酸盐水泥熟料、石膏和憎水表面活性有机物质按一定配比磨制而成。常用的憎水表面活性有机物质有环烷酸皂和它与油酸的混合物、氯化苯酚。还可用石腊矿物油类或焦油等非极物质。

这种水泥的特点是在长期存放中，甚至在潮湿的空气中都不会结团和降低强度。

2. 塑化水泥 用硅酸盐水泥熟料、石膏和塑化剂按一定配比磨制而成。常用的塑化剂有亚硫酸纸浆废液的浓缩物等。

这是一种塑性大、和易性好的水泥，所配制的混凝土混合料易于拌和、浇捣和抹面。

3. 抗冻水泥 用硅酸盐水泥熟料、石膏和引气剂按一定配比磨制而成。常用的引气剂有松香热聚物和松香皂两种。

这种水泥配制的混凝土混合料具有良好的和易性，硬化后抗冻性能好，耐久性好。适用于严寒地区、要求抗冻标号较高的工程，如水工、公路、桥梁、港湾、码头和飞机跑道等。

4. 膨胀水泥 用硅酸盐水泥熟料和特制的膨胀剂、稳定剂按一定配比磨制而成。膨胀剂有多种类型，如矾土水泥和石膏，无水硫酸铝，无水硫酸钙和石灰等。调整膨胀剂的掺量可以制得不同膨胀值的水泥。适用于配制补偿收缩混凝土和自应力混凝土。

(三) 改变生料的某些化学成分，烧制成具有特定性能的特种硅酸盐水泥，主要有以下几种：



