

实用钢筋混凝土工艺学

李立权 编著

中国建筑工业出版社

实用钢筋混凝土工艺学

李立权 编著

中国建筑工业出版社

本书是作者根据对钢筋混凝土工培训的基本要求,并根据城乡建设环境保护部发布的《钢筋混凝土工程施工及验收规范》(GBJ 204—83)以及现行有关标准和规定,从工艺学角度广泛地介绍了钢筋混凝土施工、构件生产和质量管理等,按照理论联系实际的原则,对混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土基本理论知识及传统的工艺和新工艺、新技术、操作要领、质量检验等作了较详细的阐述。所有工艺计算均以例题说明。除可作钢筋混凝土工学习、培训用书外,亦可供中专、技校及有关技术人员参考。

实用钢筋混凝土工艺学

李立权 编著

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: 850×1168毫米 1/32 印张: 13⁵/₈ 字数: 366 千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷

印数: 1—13,180册 定价: 4.90元

ISBN7—112—00393—8/TU·280

统一书号: 15040·5532

目 录

第一章 概述	1
第一节 钢筋混凝土 发展概况	1
第二节 混凝土的 硬化机理	3
第三节 混凝土的 技术特性	7
第四节 混凝土的 分类	11
第五节 钢筋混凝土与 预应力混凝土	13
第二章 混凝土的 组成材料及其 配合比	16
第一节 水 泥	16
第二节 骨 料	20
第三节 水	27
第四节 外加 材料	28
第五节 混凝土配合比 设计	35
第三章 钢筋及其 加工工艺	50
第一节 钢材的 品种及质量要求	51
第二节 钢筋的 配置及构造	57
第三节 钢筋的 冷处理	72
第四节 钢筋加工 的基本工艺	86
第五节 钢筋的 焊接	108
第六节 钢筋骨架 的 绑扎与安装	134
第七节 开料和 代换	149
第四章 混凝土施工 的基本工艺	163
第一节 搅拌 工艺	163
第二节 混凝土的 输送	176
第三节 混凝土的 浇筑	186
第四节 混凝土的 养护	202
第五节 混凝土的 脱模	212
第五章 混凝土现浇 施工工艺	214

第一节	基础	215
第二节	框架结构	223
第三节	拱壳结构	233
第四节	其他构件	237
第五节	大模板施工	242
第六节	滑升模板施工	252
第七节	升板法施工	259
第八节	喷射混凝土	266
第九节	真空吸水密实成型	274
第六章	预制构件生产工艺	278
第一节	预制场的基本条件	278
第二节	多孔空心板	281
第三节	槽形板	283
第四节	方形或矩形截面构件	287
第五节	屋架	291
第七章	预应力混凝土生产工艺	293
第一节	预应力混凝土的分类	293
第二节	基本规定	294
第三节	先张法	301
第四节	后张法	330
第五节	安全措施	339
第八章	季节性施工	341
第一节	冬期施工	341
第二节	夏期施工	366
第九章	混凝土缺陷的修补	369
第一节	外表面缺陷的修补	369
第二节	内部缺陷	376
第十章	混凝土工程的质量管理	380
第一节	质量检验的标准	380
第二节	混凝土强度的标准差和变异系数	388
第三节	质量管理图	392
第四节	构件结构性能的检验	397

附录一	五种水泥主要性能及 适用范围	416
附录二	普通混凝土配合比 设计用计算表	417
附录三	国产钢筋的品种、 机械性能和主要用途	418
附录四	日、美、英等国钢筋混凝土用 热轧钢筋机械性能表	419
附录五	钢筋截面面积及 重量表	421
附录六	钢筋冷拉前后截面面积及 重量对比表	422
附录七	I、II 级 钢筋拉力值	423
附录八	温度、龄期对混凝土强度 影响参考曲线	424
附录九	地基土冻胀性的 分类	425
附录十	混凝土工程 施工记录	426
附录十一	钢筋混凝土主要 用料容重比重表	427
附录十二	本书参照的规范、 标准目录	428
参考文献		429

第一章 概 述

第一节 钢筋混凝土发展概况

一、简单的历史

我国最早的混凝土，目前已发现的是4500年以前新石器时代的白灰夯土地基。在国外，两千年前的古罗马已用石灰、火山灰作混凝土，建造跨度为43.43m的著名的万神殿圆屋顶。可以这样说，混凝土的历史是源远流长。

然而现代的水泥混凝土，是由英国一位瓦匠约瑟夫·阿斯普丁于1824年写的《改进人造石块的生产方法》论文，取得了发明水泥专利而开始的。此后，1847年法国人兰波特用钢丝作骨架制成混凝土小船及花盆，这是最原始的钢筋混凝土；1918年艾布拉姆斯发表了计算混凝土本身强度的水灰比理论；1928年法国弗列什涅采用了高强钢丝和发明了预应力锚具，奠定了预应力混凝土的基础。这些就是混凝土技术的几个发展阶段。

经过一百六十多年的实践，特别是近四十年的研究，混凝土的科学技术在理论上已成为一个独立的体系，在工艺上也有了許多创新和变革，在建筑材料中的地位也越来越重要。其使用范围已从陆上建筑进入到地下建筑，从海港码头扩展到海上飘浮物，从盛水的槽池发展到各种液体的贮罐，并且成为核电站防辐射的容器等等。其消耗量按全世界人口平均计，每人每年已超过1t，成为人类创造新时代的一种不可缺少的工程材料。

二、混凝土的优缺点

混凝土之所以发展如此之快，应用之广，是由于以下的几个优点：

(1) 原材料非常丰富 水泥的原材料以及砂、石、水等材

料，在自然界极为普遍，极为丰富，均可以就地取材，而且价格低廉。

(2) 混凝土可以制成任何形状 混凝土在凝结前，可以按照模板的形状做成任何结构。微小的装饰花纹，几十万立方米的构筑物，都能单个预制，或连续不断地整体浇筑。制作简单，施工方便。

(3) 能适应各种用途 既可以按照需要配制成各种强度的混凝土，还可以按照其使用性能在配料上、工艺上采取措施制成特定用途的混凝土。具有耐火、耐酸、耐油、防辐射等特点，用途广泛。

(4) 经久耐用，维修费少 混凝土对自然条件影响具有较好的适应性。对冷热、冻融、干湿等的变动，对风雨侵蚀、外力撞击、水流冲刷、使用磨损等都有一定的抵抗力。在正常使用情况下是一种寿命较长的工程材料。

同时，混凝土也有其缺点，如自重大，抗拉强度不高，早期强度低等。目前，混凝土工作者正在针对这些存在问题，对混凝土的改性工作进行研究，并且已取得初步效果。

三、混凝土的前景

目前建筑材料总的发展方向是高强、轻质、耐久、多功能。混凝土的前景也在这几方面有比较明显的进展。

(一) 高强混凝土

混凝土的发展史，近几十年来表现在强度上是日益提高。世界各国混凝土的平均强度，在30年代约为100号，50年代则为200号，60年代上升至300号，70年代已提高到400号。国外已将高强混凝土的尺度提高1000号。据凯斯勒等人的报告，21世纪生产中常用的混凝土将为1350号^①。

(二) 轻质混凝土

轻质混凝土已从三个方面开始发展：一是低强度，只作保温

^① 郑法学、戴振国等编译，《展望二〇〇〇年的混凝土》，中国建筑工业出版社，1982年。

隔热的填充材料，如加气混凝土、膨胀珍珠岩混凝土等；二是中等强度，能作保温承重墙使用，如浮石混凝土、膨胀玻璃球混凝土等；三是强度较高，能作一般民用建筑结构构件用，如陶粒混凝土、矿渣膨珠混凝土等。

（三）流态化

从混凝土的工作度来看，一百多年来的历史，经历了可铸性→塑性→干硬性。现在由于外加剂和泵送设备的发展，已由流态化混凝土取代了低工效的干硬性混凝土，加快了施工的速度。

（四）多功能

目前，利用各种外加材料或选择适当的骨料和胶结料，已能生产既能承受结构荷载，又能兼有一种或两种功能的防渗、防碱、防辐射、防酸等混凝土。采用磷酸高铝混凝土，耐火度达到1500~1650℃。可以这样预期，随着科学技术的发展，混凝土也将能相适应地满足科学技术的要求，生产出各种新功能的混凝土。

（五）新技术

混凝土新技术的发展，一是在材料结构方面的复合化开拓了新领域，如外加剂、聚合物、纤维材料等在混凝土中的应用。其中钢纤维混凝土在我国已逐步推广。联邦德国在斯图加特市用玻璃纤维混凝土建成了一座直径为31.02m的展览厅屋盖^①。二是在工艺方面将改变传统的成型方式。其中真空吸水工艺、高频振动成型已得到广泛的应用；压轧成型、填石压力灌浆成型也将逐步得到推广。

第二节 混凝土的硬化机理

一、水泥的水化

普通混凝土是由粗骨料、细骨料、水泥和水拌合在一起，并

① 摘自中国建筑科学研究院情报研究所，《国外建筑工程材料概况》，中国建筑工业出版社，1982年。

由水泥水化起胶结作用而成的一种复合物。

水泥和水接触后，水化的进行是从颗粒外表面开始，同时向内向外发展，成为水泥凝胶。图1-1：(a)图为水泥粒子；(b)图为与水混合后初始反应期；(c)图为凝结期；(d)图为硬化期。一个单位体积的水泥所形成的水泥凝胶体积，约为原来的2.2倍。

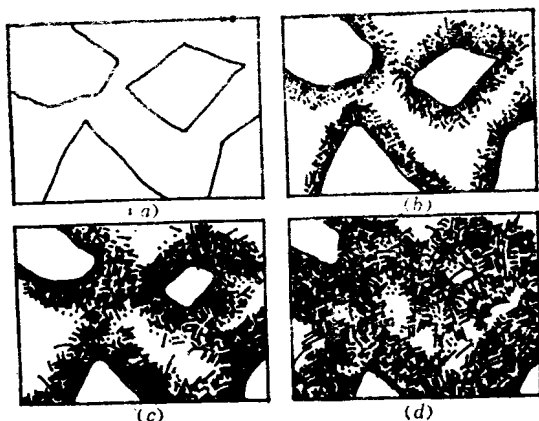


图 1-1 硅酸盐水泥水化过程示意图

(a)水泥粒子；(b)初始反应期；(c)凝结期；(d)硬化期

水加入水泥中和水泥起化学作用部分，叫化合用水，它以原子的形态参加了凝胶晶体保存下来，所以又叫结晶水或非蒸发水。不起化学作用部分的水，用作提高混凝土的工作性，改善成型条件，叫物理用水，因为最后被蒸发掉，又叫蒸发水。还有一种既未参加结晶，又没有被蒸发掉的，叫游离水，是对水泥浆体结构及性能无益的水，但为数极微。

蒸发水存在于凝胶微晶孔中的是凝胶水，蒸发后所遗留的孔洞叫凝胶孔。存在于由水所占据的未被凝胶体填充的空洞中的是毛细水，蒸发后所遗留的孔洞叫毛细孔。这些孔洞的存在是混凝土的缺陷。但如果妥善养护，在潮湿环境下它能作为通道以吸收外界的水分，使混凝土继续水化，能自行将毛细孔填充缩小，在理

想的条件下甚至可以消灭毛细孔。

二、力学强度的形成

水泥水化后所发生的强度主要是由它的矿物组成中的硅酸三钙 (C_3S) 和硅酸二钙 (C_2S) 的含量而定。早期强度取决于硅酸三钙和铁铝酸钙的含量, 后期强度取决于硅酸二钙的含量。此外, 水泥的细度对早期强度也有直接关系, 细度越细, 越易于水化, 早期强度也越高。

(一) 水泥石

水泥与水拌合后称水泥净浆, 硬化后称为水泥石。水泥石能够产生强度的因素有二: 一是固体表面间的物理吸引。水泥水化后水泥凝胶粒子的体积极小, 胶粒间的距离也很小, 相互密集, 交错接触, 构成了骨架结构, 产生了分子间力的结合。二是化学键的作用。化学键是原子形成原子团时各原子因电子配合关系而产生的相互结合。化学键的结合比分子间力的结合要牢固得多。

(二) 混凝土

混凝土几种材料之间的界面粘结机理, 大致有三种:

一是物理作用形成的粘结力。是在水泥及骨料接触面上由不饱和的分子引起的强力吸附效应。

二是物理作用中的机械咬合作用 (或叫啮合作用)。这种作用产生于凹凸不平的骨料表面, 它与水泥石紧密地咬合在一起。其结合的情况大致是: 对于平滑骨料表面的粘结层厚度约为 $1\mu m$ 以下; 对于粗糙骨料的粘结层则较厚; 对于多孔骨料则和水泥石结合得更好, 水泥浆渗入其孔隙, 骨料又吸收一部分水使水灰比降低, 粘结层更密实坚强。

三是化学键的作用。用含有碳酸钙、碳酸镁的岩石或石英砂作骨料时, 在一定的条件下能与水泥的组分发生化学反应而形成较强的化学键粘结层。其中石灰石表面生成的碳铝酸盐的化合物, 可使界面粘结层强化。这时, 化学键取代了物理作用的粘结力, 大大增强了混凝土的强度。

综上所述, 混凝土结构强度的形成, 除水泥的作用外, 骨料的

强度、组分、容重、粒形、表面状态、级配和洁净程度，均起着不容忽视的作用。

三、混凝土的堆聚过程

混凝土组成材料的性能，仅是决定混凝土性能的内在因素，怎样将它们合理地堆聚组织在一起，则是一个人为的因素，也是混凝土工艺的一个主要任务。

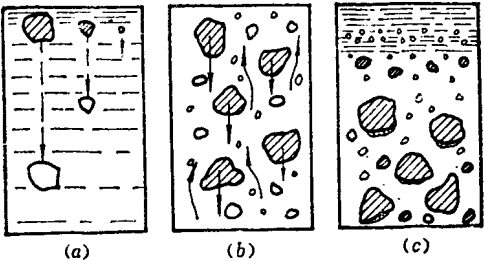


图 1-2 混凝土外分层形成过程示意图

新拌混凝土（亦叫拌合物）由于材料颗粒的大小不一和浆体的流动性，在浇筑成型过程中发生上升和沉降运动，因而形成不同程度的分层现象。如图1-2，（a）图表示不同粒径的颗粒在粘性流体中的沉降距离；（b）图表示气体或浆体向上升，粗大颗粒向下沉，作分层的流动；（c）图表示分层的结果。这种现象叫外分层。其结果是造成下部强度大于上部，上表层为最疏松最软弱的部位。

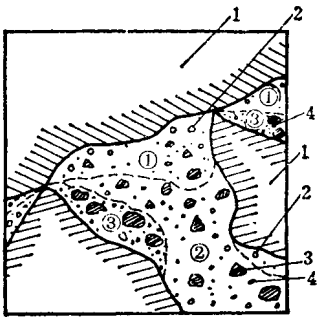


图 1-3 混凝土的内分层

1—粗骨料；2—气泡；
3—砂子；4—水泥

称为充水区。该区含水量最大，水分蒸发后则形成沉降缝隙或接

触孔，其孔隙较毛细孔大，为混凝土中最弱的部位，是渗漏的主要通道，也是裂缝的发源地。区域②，位于两颗粗骨料的侧方，砂浆分布比较正常，称为正常区。区域③，位于粗骨料的上方，是砂浆体中最密实和强度最高的部位，称为密实区。

上述的内外分层，是在混凝土浇筑成型时同时形成的。是先天性的。如何减少这种缺陷，则是混凝土工作者在施工过程中所应予以注意的了。

第三节 混凝土的技术特性

混凝土的技术特性，从两个方面介绍。一是新拌混凝土，它的工作性应满足施工的要求；二是硬化后的混凝土，它应满足使用上的各种要求。

一、工作性

工作性（亦叫和易性）是指新拌混凝土的工艺性能。它要求新拌混凝土在搅拌、输送、浇筑的全过程中能保持均匀、不离析、有塑性而又能密实成型的性能。

工作性 = 流动性 + 可塑性 + 稳定性 + 易密性

在施工过程中，为了施工的方便，根据施工工艺、构件尺寸、钢筋疏密等情况，把工作性划为六类，如表1-1。

新拌混凝土工作性的分类

表 1-1

类 别	坍 落 度 (cm)	干 硬 度 (s)
特干硬性	0	大于 180
干 硬 性	0	30 ~ 180
低流动性	1 ~ 3	15 ~ 30
流 动 性	5 ~ 8	15 ~ 30
大流动性	10 ~ 12	—
特流动性	大于15	—

（一）影响新拌混凝土工作性的五个因素

1. 水泥的影响

水泥的影响有三个方面的影响：一是品种的影响，硅酸盐水泥、普通水泥、粉煤灰水泥的工作性一般比火山灰水泥或矿渣水泥好。二是细度的影响，水泥的细度越细，泌水性越小，工作性越好。三是用量的影响，当水灰比相同时，水泥用量多些，工作性也好些；但用量过多时，水泥浆过厚，强度下降，也不经济。

2. 水灰比和用水量的影响

水灰比越大，工作性越好。当水灰比相同时，用水量增大，水泥用量也增多。用水量增多，坍落度也增大；但用水量过多，新拌混凝土将出现离析、泌水，工作性反而不好，强度也下降。

3. 骨料的影响

在水泥浆用量相同时，粗细骨料级配良好的新拌混凝土的流动性好。如果细骨料为粗砂，而粗骨料颗粒又较细时，则工作性差，甚至出现松散现象。骨料的外形圆滑，新拌混凝土的流动性和可塑性好。扁平的和针状的粗骨料对工作性不利。多孔骨料则要增大用水量。

4. 砂率的影响

砂率，即混凝土配合比骨料总量中砂子所占的百分率。在一定的范围内，砂率的增加使新拌混凝土的润滑作用增大。砂率过小，新拌混凝土易产生离析和泌水，甚至不足以填充粗骨料的空隙。但砂率过大，水泥用量少时，包裹砂子的水泥浆不足或过薄，则新拌混凝土的流动性将减弱，甚至影响强度。

5. 外加剂的影响

可按工程的要求，掺用各种外加剂。详见本书第二章第四节。

（二）工作性的测定

测定的方法根据新拌混凝土的性质分为两种。对于流动性混凝土可用坍落度方法测量；对于干硬性混凝土可用工作度方法测量。测量方法如下：

1. 坍落度

如图1-4，将测定用的新拌混凝土分三层(每层稍大于10cm)装入坍落度筒中；每装完一层，用捣棒在平面沿螺旋式由外至内均匀而垂直地插捣25次。三层插捣完毕后将筒面刮平，将坍落度筒垂直提起。此时，混凝土下陷，将坍落度筒放在混凝土旁，量其高度差，其数值以厘米计，即为坍落度值。

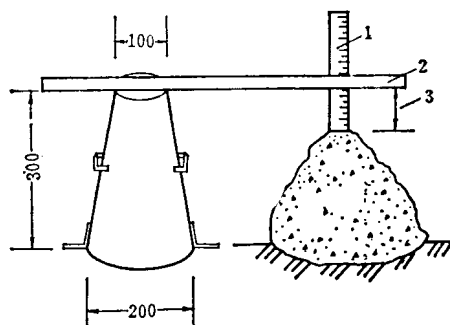


图 1-4 混凝土坍落度的测定

1—钢尺；2—直尺；3—坍落度(cm)

2. 工作度

如图1-5，料筒形状与尺寸基本上同坍落度筒，但不带踏板，下口稍小(约14.5cm)，能放入15×15×15cm的立方体试模内，上口加斜形料斗，防止新拌混凝土漏入试模内。先将立方体试模固定在标准振动台上(振幅为0.35mm，频率为3000±200次/min)，按坍落度试验法将新拌混凝土装入筒内，刮平，垂

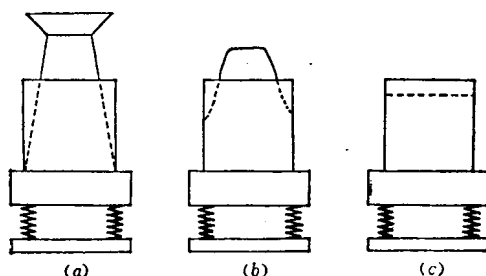


图 1-5 混凝土工作度的测定

(a)下料前；(b)振动中；(c)振动后

直提出圓筒。开动振动台及秒表，振动至试模中混凝土面呈水平状并填满四个角时，停止振动及秒表。所得时间以秒为单位，即为工作度。

二、硬化后的性能

混凝土硬化后，其物理力学性能主要有下列三个方面：

（一）强度

强度是混凝土的主要的力学性能。强度又分为抗压、抗拉、抗剪以及与钢筋粘结的强度等。世界各国均以抗压强度为主要指标。

抗压强度以标号表示。其测定方法是将混凝土按标准方法做成 $15 \times 15 \times 15\text{cm}$ 的立方体试块，在标准条件下养护28d进行抗压试验，所得每平方厘米的压力值，即为其标号。

混凝土标号一般分为100、150、200、250、300、400、500、600等。其他强度基本上随着抗压强度的升降而升降。其大致比例是：

抗拉强度约为抗压强度的7~14%；

抗弯强度约为抗拉强度的1.7倍；

与钢筋的粘结强度，对光面钢筋约为1.0~3.5MPa，对变形钢筋约为1.5~6.0MPa；除随抗压强度升降外，还随混凝土的干湿程度和温度而变动。干的比湿的高；温度在200~300℃时，其粘结力只等于常温的一半。

影响混凝土强度的因素，将在本书第二章第五节配合比设计中介绍。在其他条件相同时，通常的情况是：

1. 水泥标号愈高，强度愈高；
2. 水灰比愈小，强度愈高；
3. 骨料级配良好，强度也好；
4. 骨料愈坚硬，强度也愈高；
5. 骨料棱角较多，强度也较高；
6. 片、针状骨料过多，强度会降低；
7. 骨料不洁净，强度会降低；

8.振捣愈密实，强度愈高（注意，~~振捣时间与强度不成比例~~，对混凝土的过度振捣将导致强度下降）；

9.机械搅拌比人工搅拌强度高；

10.养护时温湿程度愈高，强度增长愈快（常压蒸汽养护则不能超过规定温度）。

（二）密实度

在本章第二节水泥的水化和混凝土的拌合过程中，我们已了解到混凝土是一个多孔结构的组织。其孔隙的多少是随配合比和施工工艺的不同而有所差异。一般用密实度表示。如表1-2。

混凝土密实度分级表

表 1-2

等 级 名 称	密 实 度
高密实度混凝土	0.87~0.92
较高密实度混凝土	0.84~0.86
普通密实度混凝土	0.81~0.83
较低密实度混凝土	0.78~0.80
低密实度混凝土	0.75~0.77

混凝土的密实度除反映强度的高低外，还反映抗渗性、抗油性、抗碱性、抗冻性、耐久性等的程度。在施工过程中除应按提高混凝土强度的措施来提高其密实度外，还可在下列两个措施上进行控制：

- 1.按配合比严格控制用水量；
- 2.采用外加剂，借以减少孔隙和改变孔隙的性质，使互相连通的毛细孔变为独立的不相连的单孔。

（三）收缩与膨胀

混凝土除具有与各种材料相同的热胀冷缩性能外，还由于下列原因产生胀缩：

- 1.混凝土在硬化初期得不到合理的养护，水泥的水化尚未完成，水分即行蒸发，因而发生收缩，甚至形成裂缝。
- 2.混凝土在硬化期中得到合理的养护，水化比较完全，结构