



# 建筑材料

建筑工程学院



# 课程内容

某框架结构建筑用材料选用与检测

梁、板、柱

结构材料选用

项目一：  
钢筋混凝土检测

墙体

墙体材料选用

项目二：  
墙体材料的检测

防水、保温、隔热

功能材料选用

项目三：  
防水材料的检测

建筑装饰

装饰材料选用

项目四：  
装饰材料的选用

任务一：水泥检测

任务二：砂检测

任务三：石检测

任务四：砼检测

任务五： 砼配比

任务六： 砖检测

任务七： 砌块检测

任务八：沥青实验

任务九：沥青实验  
参观  
演示

任务十：实训室参  
观

# 课程内容

## 1 任务一 水泥的选用与检测

子任务 1.1：选用水泥

子任务 1.2：检测水泥标准稠度用水量

子任务 1.3：检测水泥强度

## 2 任务二 砂石的选用与检测

子任务 2.1：选用砂石

子任务 2.2：检测砂子的性能

子任务 2.3：检测石子的性能

## 3 任务三 混凝土的选用与检测

子任务 3.1：混凝土配合比设计

子任务 3.2：检测混凝土的和易性

子任务 3.3：检测混凝土的强度

## 4 任务四 钢筋的选用与检测

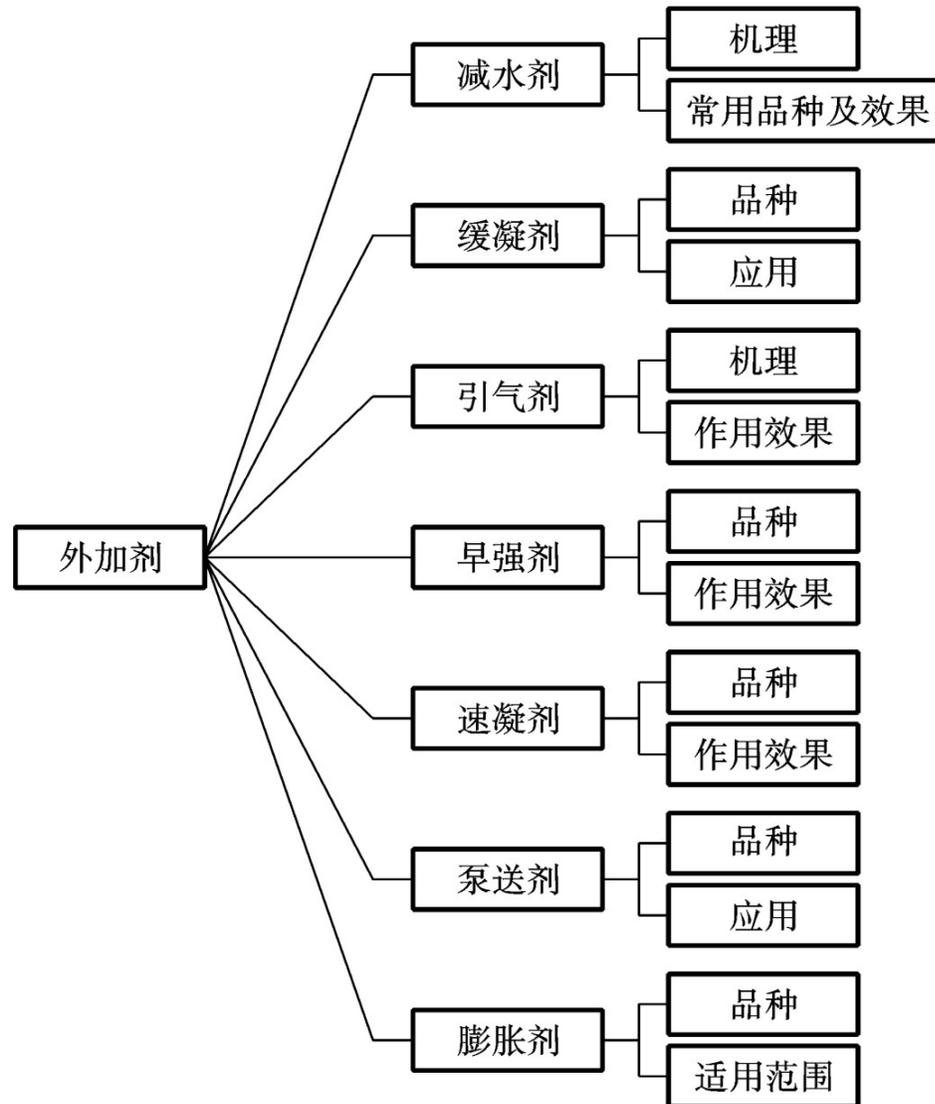
子任务 4.1：选用钢筋

子任务 4.2：检测钢筋的拉伸性能

子任务 4.3：检测钢筋的冷弯性能

# 课程内容

## 学习单元 2.5 外加剂



# 学习目标

## 知识目标

- ① 理解混凝土外加剂的定义与分类；
- ② 熟悉混凝土外加剂在拌制混凝土过程中的作用；
- ③ 掌握不同类型的外加剂的基本特性和应用场景。

## 能力目标

- ① 能够根据工程需求和环境条件，选用合适的混凝土外加剂类型及其掺量；
- ② 熟悉混凝土外加剂的质量标准，判断外加剂的是否适用；
- ③ 能够针对混凝土施工过程中出现的问题，提出合理的外加剂应用方案。

## 思政目标

- ① 培养混凝土外加剂使用过程中的安全操作意识，预防安全事故的发生；
- ② 关注建筑材料的环境影响，推动绿色建筑和可持续发展；
- ③ 培养精益求精、注重细节的工匠精神。

**本单元的任务是深入了解混凝土外加剂的种类、性能、作用机理以及在工程实践中的正确使用方法。能够识别不同外加剂的特点，理解其对混凝土性能的影响，掌握其掺加方法和注意事项，从而在实际工作中能够科学合理地使用混凝土外加剂，提高混凝土的质量和工程效益。**

**混凝土外加剂的发展历程是一个漫长且不断进步的过程，可以追溯到古代的建筑工程实践，而现代意义上的混凝土外加剂的发展则始于工业革命时期，至今已有约一个世纪的历史。**

**在古代，虽然没有现代意义上的混凝土外加剂，但人们已经开始使用一些天然材料来改善混凝土的性能。例如，秦始皇在修建万里长城时，采用了糯米汁、猪血、豆腐汁等材料作为凝胶材料的增强剂，以提高混凝土的粘力和耐久性。这些实践可以被视为混凝土外加剂的雏形。**

**到了 19 世纪，随着工业革命的兴起，混凝土外加剂的应用逐渐受到重视。1824 年波特兰水泥的问世，为混凝土外加剂的发展提供了基础。此后，人们开始尝试使用各种化学物质来改善混凝土的性能。例如，1895 年已经用增水剂和塑化剂掺入道路铺设的混凝土中，有效地改善了混凝土的耐久性。**

**进入 20 世纪，混凝土外加剂的研究和应用取得了显著进展。1910 年，混凝土外加剂作为正式工业产品出现。20 世纪 30 年代，美国开始使用引气剂，随后在 1935 年研制成以木质素磺酸盐为主要成分的塑化剂。这些早期外加剂的应用，为混凝土工程提供了更好的性能和耐久性。**

随着科技的进步，混凝土外加剂的种类和性能不断丰富。1962年，日本成功研制出萘系高效减水剂，名为 Mighty；1964年，联邦德国也成功研制出三聚氰氨系高效减水剂，名为 Memlment。这些高效减水剂的出现，大大提高了混凝土的工作性能和强度。

在我国，混凝土外加剂的研究和应用相对较晚，但发展迅速。从上世纪 50 年代开始，我国开始进行木质素磺酸盐和引气剂的研究和应用。随着改革开放的深入和建筑业的快速发展，我国的混凝土外加剂产业得到了快速发展，不仅产量规模庞大，生产种类也非常丰富。中国混凝土外加剂协会 2007 年度调查结果显示，当年全年混凝土外加剂总产量已达到 424.79 万吨，涵盖了减水剂、引气剂、膨胀剂、缓凝剂、速凝剂等多种类型。

进入 21 世纪，混凝土外加剂的研究和应用继续向高性能、环保、多功能等方向发展。随着新材料、新工艺的不断涌现，混凝土外加剂在混凝土工程中的作用将越来越重要，为建筑业的发展做出更大的贡献。

总的来说，混凝土外加剂的发展历程是一个不断创新、不断进步的过程。从古代的天然材料到现代的化学合成物，混凝土外加剂的性能和应用范围得到了极大的拓展和提升。未来，随着科技的不断进步和环保要求的提高，混凝土外加剂将继续发挥其重要作用，推动建筑业向更加高效、环保、可持续发展的方向发展。

那么，什么是外加剂呢？在拌制混凝土过程中掺入的不超过水泥质量的 5% (特殊情况除外)，且能使混凝土按需要改变性质的物质，称为混凝土外加剂。



主要作用	主要品种
改善混凝土拌和物流变性能	各种减水剂、引气剂及泵送剂
调节混凝土凝结硬化性能	缓凝剂、早强剂及速凝剂等
调节混凝土含气量	引气剂、消泡剂、泡沫剂、发泡剂等
改善混凝土耐久性	引气剂、防水剂、阻锈剂等
改善混凝土其它特殊性能	膨胀剂、着色剂、防冻剂等

在混凝土施工中，根据工程特性和环境条件合理选择外加剂，能够显著提高混凝土的工作性能和耐久性。对于冬季施工或抢修工程，由于时间紧迫且环境温度低，混凝土需要快速达到一定的强度以满足结构安全和使用要求。在这些情况下，早强剂是一种常用的外加剂。早强剂能够加速混凝土的硬化过程，提高早期强度，从而缩短施工周期，适应冬季低温条件。通过合理使用早强剂，我们可以在保证工程质量的同时，提高施工效率，降低工程成本。

混凝土外加剂种类繁多，除了早强剂外，还有减水剂、速凝剂、防水剂等多种类型。每种外加剂都有其独特的作用机理和应用场景。

◆ 减水剂是指在混凝土坍落度基本相同的条件下，能减少拌和用水量的外加剂。

■ 1. 减水剂的作用机理及使用效果

水泥加水拌合后，由于水泥颗粒表面电荷及不同矿物在水化过程中所带电荷不同，会产生絮凝结构，其中包裹着部分拌合水，致使混凝土拌合物的流动性较低。加入适量减水剂后，由于减水剂分子能定向吸附于水泥颗粒表面，使水泥颗粒表面带有同一种电荷（通常为负电荷），形成静电排斥作用，促使水泥颗粒相互分散，絮凝结构破坏，释放出被包裹的部分水，从而有效地增加混凝土拌合物的流动性。

减水剂中的亲水基极性很强，因此水泥颗粒表面的减水剂吸附膜能与水分子形成一层稳定的溶剂化水膜，这层水膜具有很好的润滑作用，能有效降低水泥颗粒间的滑动阻力，从而使混凝土流动性进一步提高。

◆ 减水剂是指在混凝土坍落度基本相同的条件下，能减少拌和用水量的外加剂。

### ■ 1. 减水剂的作用机理及使用效果

根据使用条件的不同，混凝土掺用减水剂后可以产生以下三方面的效果。

（1）在混凝土配合比不变的条件下，可增大混凝土拌和物的流动性，改善施工条件或实现泵送及自流平且不致降低混凝土的强度。

（2）在保持流动性及水灰比不变的条件下，可以减少用水量及水泥用量，以节约水泥。

（3）在保持流动性及水泥用量不变的条件下，可以减少用水量，从而降低水灰比，使混凝土的强度与耐久性得到提高。

◆ 减水剂是指在混凝土坍落度基本相同的条件下，能减少拌和用水量的外加剂。

## ■ 2. 减水剂的常用品种及其效果

减水剂是使用最广泛、效果最显著的一种外加剂，按其减水能力及功能情况，可分为普通减水剂、高效减水剂、早强减水剂、缓凝减水剂、缓凝高效减水剂及引气减水剂等；按其化学成分可分为木质素系、萘系、水溶树脂系等。

# 一、减水剂

## 常用减水剂

种类	木质素系	萘系	树脂系
类别	普通减水剂	高效减水剂	早强减水剂
主要品种	木质素磺酸钙(木钙粉, 又称 M 型减水剂)、木钠、木镁等	NNO, FDO, FDN, UNF, JN, HN, MF 等	SM
适宜掺减水 (水泥质量 ×%)	0.2 ~ 0.3	0.2 ~ 1.2	0.5 ~ 2
减水率	10% ~ 11%	12% ~ 25%	20% ~ 30%
早强效果	—	显著	显著 (7d 可达 28d 强度)
缓凝效果	1 ~ 3h	—	—
引气效果	1% ~ 2%	部分品种 <2%	—
适用范围	一般混凝土工程及大模板、滑模、泵送、大体积及夏季施工的混凝土工程	适用于所有混凝土工程, 更适于配制高强混凝土及流态混凝土、泵送混凝土、冬季施工混凝土	因价格昂贵, 宜用于特殊要求的混凝土工程, 如高强混凝土, 早强混凝土, 流态混凝土等。

- ◆ 缓凝剂是指能延长混凝土凝结时间，并对后期强度无明显影响的外加剂。其质量应符合《混凝土外加剂》（GB 8076—2008）的规定。

缓凝剂能使混凝土拌合物在较长时间内保持塑性状态，以利于浇灌成型，提高施工质量，而且还可延缓水化放热时间，降低水化热。

缓凝剂的品种有糖类及碳水化合物，如糖钙、淀粉等，常用掺量为水泥质量的 0.1% ~ 0.3%；木质素磺酸盐类，如木质素磺酸钙、木质素磺酸钠等，常用掺量为水泥质量的 0.2% ~ 0.3%；羟基羧酸及其盐类，如柠檬酸、酒石酸钾钠等，常用掺量为水泥质量的 0.03% ~ 0.1%；无机盐类，如锌盐、硼酸盐等，常用掺量为水泥质量的 0.1% ~ 0.2%。

缓凝剂常用于长时间运输的混凝土、高温季节施工的混凝土、泵送混凝土、滑模施工混凝土、大体积混凝土、分层浇筑的混凝土等。缓凝剂及缓凝减水剂不适用于 5℃ 以下施工的混凝土，也不宜单独用于有早强要求的混凝土，柠檬酸、酒石酸钾钠等缓凝剂，不宜单独用于水泥用量较低、水灰比较大的贫混凝土。

◆ 在搅拌混凝土过程中能引入大量均匀分布的、稳定而封闭的微小气泡的外加剂，称为引气剂。其质量应符合《混凝土外加剂》（GB8076—2008）的规定。

### ● 1. 引气剂的作用机理

引气剂是表面活性剂。当搅拌混凝土拌合物时，会混入一些气体，引气剂分子定向排列在气泡上，形成坚固不易破裂的液膜，故可在混凝土中形成稳固、封闭的球形气泡，直径为 0.05 ~ 1.0mm，均匀分撒，可使混凝土的很多性能改善。

### ● 2. 引气剂的作用效果

#### （1）改善混凝土拌合物的和易性

引气剂使新拌混凝土中引入大量微小气泡，在水泥颗粒之间起着类似轴承滚珠作用，能够减小拌合物的摩擦阻力从而提高流动性；同时气泡的存在阻止固体颗粒的沉降和水分的上升，从而减少了拌合物分层、离析和泌水，使混凝土的和易性得到明显改善。含气量每增加 1%，混凝土拌合物的坍落度可增加 10mm 左右。

## （2）提高混凝土的抗冻性和抗渗性

引气剂在混凝土内部引入大量微小的均匀分布的封闭气泡，一方面阻塞了混凝土中毛细管渗水通路，另一方面具有缓解水分结冰产生的膨胀压力的作用，从而提高了混凝土的抗渗性和抗冻性，混凝土耐久性大大提高。

## （3）降低弹性模量及强度

由于气泡的弹性变形，使混凝土弹性模量降低，对提高混凝土的抗裂性有利。另外，气泡的存在，减少了浆体的有效面积，造成混凝土强度降低。通常混凝土含气量每增加 1%，混凝土抗压强度要损失 4% ~ 6%，抗折强度降低 2% ~ 3%。但是由于和易性的改善，可以通过保持流动性不变减少用水量，使强度不降低或部分得到补偿。

◆ 在搅拌混凝土过程中能引入大量均匀分布的、稳定而封闭的微小气泡的外加剂，称为引气剂。其质量应符合《混凝土外加剂》（GB8076—2008）的规定。

### ● 3. 引气剂的品种

引气剂主要有松香树脂类、烷基苯磺酸盐类和脂肪醇磺酸盐类，其中松香树脂类中的松香热聚物和松香皂应用最多。引气剂的掺量一般只有水泥质量的万分之几，含气量控制在 3% ~ 6% 为宜，含气量太小时，对混凝土耐久性改善不大，含气量太大时，会使混凝土强度下降过多。

引气剂适用于配制抗冻混凝土、泵送混凝土、港口混凝土、防水混凝土以及骨料质量差、泌水严重的混凝土。抗冻性要求较高的混凝土必须掺入引气剂或引起减水剂，其掺量应根据混凝土含气量的要求，通过试验确定。引气剂不适宜用于蒸汽氧化的混凝土及预应力混凝土。

◆ 早强剂是指能提高混凝土的早期强度并对后期强度无明显影响的外加剂。其质量应符合《混凝土外加剂》（GB8076—2008）的规定。

● 早强剂的作用

早强剂能促进水泥的水化与硬化，缩短混凝土养护周期，加快施工进度，提高模板和场地的周转率。早强剂可用于蒸汽养护混凝土及常温、低温和负温（最低气温不低于  $-5^{\circ}\text{C}$ ）条件下施工的有早强或防冻要求的混凝土工程。混凝土早强剂主要有氯盐类、硫酸盐类和有机胺类三种，但越来越多的是使用由它们组成的复合早强剂。

◆ 早强剂是指能提高混凝土的早期强度并对后期强度无明显影响的外加剂。其质量应符合《混凝土外加剂》（GB8076—2008）的规定。

● 1. 氯盐类早强剂

主要有氯化钙和氯化钠，其中氯化钙是国内外应用最为广泛的一种早强剂。

氯化钙的早强作用是，氯化钙能与水泥中的 C3A 作用生成不溶性的水化氯铝酸钙，氯化钙还与 C2S 水化生成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  作用生成不溶于氯化钙溶液的氯氧化钙，这些复盐的生成增加了水泥浆中固相的含量，形成坚固的骨架，促进混凝土强度增长，同时，由于上述反应的进行，降低了液相中的碱度，使 C2S 的水化反应加快，也可提高混凝土的早期强度。

氯化钙不仅具有早强与促凝作用，还能产生防冻效果。但其最大的缺点是含有  $\text{Cl}^-$  离子，会使钢筋锈蚀，并导致混凝土开裂。因此《混凝土外加剂应用技术规范》

（GB50119—2013）规定氯化钙掺量在钢筋混凝土中  $\geq 1\%$ ，在无筋混凝土中掺量  $\geq 3\%$ ；在使用冷拉或冷拔低碳钢筋混凝土结构、大体积混凝土结构、骨料具有碱活性的混凝土结构、预应力结构中，不允许掺入氯盐早强剂。

为了抑制氯化钙对钢筋的腐蚀作用，常将氯化钙与阻锈剂  $\text{NaNO}_2$  复合使用。

### ● 2. 硫酸盐类早强剂

硫酸盐类早强剂包括硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ）、硫代硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ）、硫酸钙（ $\text{CaSO}_4$ ）、硫酸钾（ $\text{K}_2\text{SO}_4$ ）、硫酸铝 [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ] 等，其中硫酸钠应用最广，亦称元明粉，是缓凝型早强剂。

硫酸钠掺量应有一个最佳控制量，一般在 1% ~ 3% 之间，掺量低于 1% 时早强作用不明显，掺量过多则后期强度损失也大，另外还会引起硫酸盐腐蚀。

### ● 3. 有机胺类早强剂

有机胺类早强剂主要有三乙醇胺、三异丙醇胺等，其中常用的为三乙醇胺早强剂。

三乙醇胺是呈淡黄色的油状液体，呈碱性，易溶于水，属非离子型表面活性剂。

三乙醇胺不改变水泥的水化生成物，但能促进 C3A 与石膏之间生成钙矾石的反应。当与无机盐类材料复合使用时，不但能催化水泥本身的水化，而且可在无机盐类与水泥反应中起催化作用，所以，在硬化早期，含有三乙醇胺的复合早强剂，其早强效果大于不含三乙醇胺的复合早强剂。

三乙醇胺的掺量一般为 0.02% ~ 0.05%，可使 3d 强度提高 20% ~ 40%，对后期强度影响较小，抗冻、抗渗等性能有所提高，对钢筋无锈蚀作用，但会增大干缩。

- 4. 复合早强剂

以上三类早强剂在使用时，通常复合使用效果更佳。复合早强剂往往比单组分早强剂具有更优良的早强效果，掺量也可以比单组分早强剂有所降低。众多复合型早强剂中以三乙醇胺与无机盐类复合早强剂效果最好，应用最广。

◆ 速凝剂是指能使混凝土迅速凝结硬化的外加剂。速凝剂主要有无机盐类和有机盐类两类，我国常用的速凝剂是无机盐类，主要有红星 I 型、711 型、728 型、8604 型等。

红星 I 型速凝剂是由铝氧熟料（主要成分为铝酸钠）、碳酸钠、生石灰按质量 1:1:0.5 的比例配制而成的一种粉状物，适宜掺量为水泥质量的 2.5% ~ 4.0%。711 型速凝剂是由铝氧熟料与无水石膏按质量比 3:1 配合粉磨而成，适宜掺量为水泥质量的 3% ~ 5%。

速凝剂掺入混凝土后，能使混凝土在 5min 内初凝，10min 内终凝，1h 就可产生强度，1d 强度提高 2 ~ 3 倍，但后期强度会下降，28d 强度为不掺时的 80% ~ 90%。速凝剂的速凝早强作用机理，是使水泥中的石膏变成  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ，失去缓凝作用，从而促使 C3A 迅速水化，并在溶液中析出其水化产物晶体，导致水泥浆迅速凝固。

速凝剂主要用于矿山井巷、铁路隧道、引水涵洞、地下工程以及喷锚支护时的喷射混凝土或喷射砂浆工程中。

- ◆ 泵送剂是指能改善混凝土泵送性能的外加剂。

泵送剂主要由减水剂、引气剂、缓凝剂和保塑剂等复合而成，其质量应符合《混凝土泵送剂》（GB 8076-2008）标准。泵送剂适用于工业与民用建筑及其他构筑物的泵送施工混凝土；特别适用于大体积混凝土、高层建筑和超高层建筑；适用于滑膜施工等；也适用于水下灌注柱混凝土。

◆ 膨胀剂是指能与水泥、水拌和后经水化反应生成钙矾石、氢氧化钙，使混凝土产生一定体积膨胀的外加剂。

混凝土膨胀剂分为三类：硫铝酸钙类混凝土膨胀剂、硫铝酸钙 - 氧化钙类混凝土膨胀剂、氧化钙类混凝土膨胀剂。

膨胀剂使用应注意以下问题：

- （1）含硫铝酸钙类、硫铝酸钙 - 氧化钙类膨胀剂的混凝土（砂浆）不得用于长期环境温度为  $80^{\circ}\text{C}$  以上的工程。
- （2）含氧化钙膨胀剂配制的混凝土不得用于海水或有侵蚀性水的工程。
- （3）掺膨胀剂的大体积混凝土，其内部最高温度应符合有关标准的规定，混凝土内外温差宜小于  $25^{\circ}\text{C}$ 。

## 膨胀剂的适用范围

用途	适用范围
补偿收缩混凝土	地下、水肿、海水中、隧道等构筑物，大体积混凝土（除大坝外）、配筋路面板、屋面与卫浴间防水、构件补强、渗透修补、预应力混凝土等
填充用膨胀混凝土	结构后浇带、隧道堵头、钢管与隧道之间的填充等
灌浆用膨胀砂浆	机械设备的底座灌浆、地脚螺栓的固定、梁柱接头、构架补强、加固等
自应力混凝土	仅用于常温下适用的自应力钢筋混凝土压力管



在混凝土中掺用外加剂，若选择和使用不当，会造成质量事故。

### ● 1. 外加剂品种的选择

外加剂的品种应根据工程设计和施工要求选择，通过试验及技术经济比较确定；严禁使用对人体产生危害、对环境产生污染的外加剂。在选择外加剂时，应根据工程需要、现场的材料条件，参考有关资料，通过试验确定。

### ● 2. 外加剂掺量的确定

混凝土外加剂均有适宜掺量。掺量过小，往往达不到预期效果；掺量过大，则会影响混凝土质量，甚至造成质量事故。因此，应通过试验试配，确定最佳掺量。



### 3. 外加剂的掺加方法

外加剂的掺量很少，必须保证其均匀分散，一般不能直接加入混凝土搅拌机内。对于可溶于水的外加剂，应先配成一定浓度的溶液，随水加入搅拌机。对于不溶于水的外加剂，应与适量水泥或砂混合均匀后，再加入搅拌机内。另外，外加剂的掺入时间，对其效果的发挥也有很大影响，减水剂有同掺法、后掺法、分掺法等三种方法。同掺法，为减水剂在混凝土搅拌时一起掺入；后掺法，是搅拌好混凝土后间隔一定时间，然后再掺入；分掺法，是一部分减水剂在混凝土搅拌时掺入，另一部分在间隔一段时间后再掺入。而实践证明，后掺法最好，能充分发挥减水剂的功能。



#### • 4. 外加剂与水泥及混凝土的相容性

人们在使用外加剂时发现，不同厂家生产的符合国家标准质量要求的水泥和外加剂在配制混凝土时，性能会有很大差异，有些外加剂起不到应有的改善混凝土性能的效果，甚至出现了负面影响，如混凝土和易性差、凝结不正常，人们把这些问题归结为水泥与外加剂的相容性。

外加剂与水泥的相容性可描述为：将符合标准要求的某种外加剂，掺入到符合要求的水泥中，外加剂在所配制的混凝土中若能产生应有的作用效果，则称该外加剂与该水泥相适应；若外加剂作用效果明显低于使用基准水泥的检验结果，或者掺入水泥中出现异常现象，则称外加剂与该水泥适应性不良或不适应。



#### • 4. 外加剂与水泥及混凝土的相容性

一般来说，影响外加剂与水泥适应性问题的主要因素有：

- （1）水泥方面，如水泥的矿物组成、含碱量、混合材料种类、细度等；
- （2）化学外加剂方面，如减水剂分子结构、极性基团种类、非极性基团种类、平均相对分子质量及相对分子质量分布、聚合度、杂质含量等；
- （3）混凝土的配合比；
- （4）环境条件方面如温度、湿度等。

水泥与减水剂的相互作用既受到减水剂分子结构、极性基团的特性及平均分子质量等的影响，也受到水泥颗粒的吸附特性、水化特性等影响，这些因素相互作用，共同对外加剂的使用效果产生影响。为避免混凝土外加剂出现不良反应，工程中使用外加剂，应符合《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119—2013）中的要求，并在使用前先进行相容性试验。



**完成学习通作业**

