

# 新型混凝土工程施工工艺

徐羽白摇编著



化学工业出版社

· 北京 ·



## 前摇摇摇言

从新石器时代的泥结卵石、草筋泥砂浆，经历石灰三合土、火山灰石灰混凝土、糯米汁混凝土等，到近代普遍采用的水泥混凝土、钢筋混凝土，以至最近一些年来发展起来的新型混凝土，混凝土的发展主要遵循了复合化、高强度、高性能化三条技术路线。

自1824年波特兰水泥问世后，特别是20世纪80年代以来，新型混凝土不断涌现、发展迅速，如今已有几十种，成为满足各种功能的主要建筑材料。新型混凝土的种类很多，各自具有特殊的组成材料和施工方法，又分别适用于某一特殊环境和领域。随着我国建筑业的飞速发展，有些新型混凝土技术和施工工艺已在工程中广泛应用，并积累了丰富的施工经验。

我们根据一些工程实践和科研项目，参考国内外有关专家的研究成果，编写了《新型混凝土工程施工工艺》。本书应用知识丰富、可操作性强、通俗易懂，既可作为生产第一线技术人员的参考资料，也可作为高等院校建筑类学生的教学参考书。

本书由徐羽白担任主编并负责全书统稿，姜德贵、谢金忠任副主编，汪海波、王艳艳参加了编写。徐羽白撰写第一章、第三章、第五章、第十一章；姜德贵撰写第二章、第四章；汪海波撰写第六章、第八章；谢金忠撰写第七章、第九章；王艳艳撰写第十章、第十二章。本书由山东农业大学李继业教授担任主审，在此表示感谢。

由于新型混凝土技术发展极其迅速，加之编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请专家和读者提出宝贵的意见。

编著者

2009年 愿月

# 目 录

第一章 高强混凝土	员
第一节 概 述	员
第二节 高强混凝土的原材料	源
第三节 高强混凝土的配合比设计	愿
第四节 高强混凝土的施工工艺	愿
第二章 大体积混凝土	愿
第一节 概 述	愿
第二节 控制温度裂缝的技术措施	愿
第三节 大体积混凝土结构的施工工艺	缘
第三章 泵送混凝土	愿
第一节 概 述	愿
第二节 泵送混凝土的原材料与配合比	苑
第三节 泵送混凝土的施工工艺	愿
第四章 膨胀混凝土	员愿
第一节 概 述	员愿
第二节 膨胀水泥和膨胀剂	员蒙
第三节 补偿收缩混凝土	员员
第四节 自应力混凝土	员愿
第五章 喷射混凝土	员蒙
第一节 概 述	员蒙
第二节 喷射混凝土的原材料与配合比	员苑
第三节 喷射混凝土的施工工艺	员员
第四节 钢纤维喷射混凝土	员苑
第六章 流态混凝土	员怨
第一节 概 述	员怨

摇第二节摇流态混凝土的流化剂材料·····	员园
摇第三节摇流态混凝土的原材料·····	员园
摇第四节摇流态混凝土的配合比设计·····	员园
第七章摇轻质混凝土·····	员员
摇第一节摇概述·····	员员
摇第二节摇轻骨料混凝土的配合比设计·····	员缘
摇第三节摇轻骨料混凝土的施工工艺·····	员远
摇第四节摇加气混凝土·····	员怨
第八章摇聚合物混凝土·····	员源
摇第一节摇概述·····	员源
摇第二节摇聚合物浸渍混凝土·····	员缘
摇第三节摇聚合物水泥混凝土·····	圆源
摇第四节摇聚合物混凝土·····	圆愿
第九章摇防射线混凝土·····	圆怨
摇第一节摇概述·····	圆怨
摇第二节摇防射线混凝土的原材料·····	圆员
摇第三节摇防射线混凝土的配合比设计·····	圆兀
摇第四节摇防射线混凝土的施工工艺·····	圆怨
第十章摇纤维混凝土·····	圆圆
摇第一节摇概述·····	圆圆
摇第二节摇钢纤维混凝土·····	圆源
摇第三节摇玻璃纤维混凝土·····	圆苑
摇第四节摇聚丙烯纤维混凝土·····	圆园
第十一章摇防水混凝土·····	圆缘
摇第一节摇概述·····	圆缘
摇第二节摇普通防水混凝土·····	圆愿
摇第三节摇外加剂防水混凝土·····	圆苑
摇第四节摇膨胀水泥防水混凝土·····	圆园
摇第五节摇防水混凝土的施工工艺·····	圆源
第十二章摇道路混凝土·····	圆兀

摇第一节摇概述.....	圆苑
摇第二节摇道路水泥混凝土的组成材料与要求.....	猿园
摇第三节摇道路混凝土的配合比设计与制备.....	猿苑
摇第四节摇道路混凝土的施工工艺.....	猿源

# 第一章 高强混凝土

## 第一节 概述

随着建筑业的飞速发展，提高工程结构混凝土的强度已成为当今世界各国土木建筑工程界普遍重视的课题，它既是混凝土技术发展的主攻方向之一，也是节省能源、资源的重要技术措施之一。近年来，世界各国使用的混凝土，其平均和最高抗压强度都在不断提高。大量的工程实践证明，在建筑工程中采用高强混凝土，不仅可以减小结构断面尺寸、减轻结构自重、降低材料用量、有效地利用高强钢筋，而且能增加建筑的抗震能力，加快施工进度，降低工程造价，满足特种工程的要求。因此，在结构工程中推广应用高强混凝土具有重大的技术经济意义。

### 一、高强混凝土的定义

关于高强混凝土，目前各国还没有一个确切的定义。这是因为在不同的历史发展阶段，高强混凝土的含义是不同的，由于各国之间的混凝土技术发展不平衡，其高强混凝土的定义也不尽相同；即使在同一个国家，因各个地区的高强混凝土发展程度不同，其定义会随之改变。正如美国 ~~强~~教授所指出的那样：“高强混凝土的定义是个相对的概念，如在休斯敦认为是高强混凝土，而在芝加哥却认为是普通混凝土。”

日本京都大学教授六车熙指出：在日本，~~19~~世纪 ~~70~~年代，强度在 ~~30~~以上的混凝土称为高强混凝土；~~19~~世纪 ~~20~~年代，强度在 ~~30~~ - ~~40~~之间的混凝土称为高强混凝土；~~19~~世纪 ~~40~~年代，强度在 ~~40~~ - ~~50~~之间的混凝土称为高强混凝土；~~19~~世纪 ~~50~~年代，强度在 ~~50~~ - ~~60~~之间的混凝土称为高强混凝土；至 ~~19~~世纪 ~~80~~年代，一些工业发达国家将强度在 ~~60~~以上的混凝土称为高强

混凝土。实际上，在 20 世纪 50 年代，美国在工程中已有强度为  $C_{50}$ ~ $C_{60}$  的高强混凝土；到 20 世纪 80 年代末期，美国在西亚图商业大楼的框架柱上，采用了设计强度为  $C_{70}$  的现浇高强混凝土。

我国自 20 世纪 70 年代开始用高效减水剂配制高强混凝土的研究，清华大学土木工程系研制成功的 1 号高效减水剂后，为推广应用高强混凝土创造了有利条件，并使高强混凝土迅速用于建筑工程中。1985 年，7 层的北京新世纪饭店地下 3 层及地上 4 层的柱子首次采用了泵送  $C_{50}$  级高强混凝土，这些实际强度超过  $C_{50}$ ；同期，15 层的辽宁省工业技术交流馆柱子采用了吊斗施工  $C_{50}$  级混凝土，比原设计的  $C_{40}$  级混凝土柱子断面减小了 30%，整体造价降低了 10%。1989~1992 年，上海东方明珠电视塔总高 468 米，高程 10~15 米段采用了  $C_{50}$  级混凝土，高程 15~100 米段采用了  $C_{60}$  级混凝土，高程 100~135 米段也专门试验了 7 层的  $C_{50}$  级泵送混凝土，抗压强度达到  $C_{50}$ ；1992 年，哈尔滨森融大厦成功地采用了强度为  $C_{50}$  的负温泵送混凝土。我国一些单位在试验室条件下已配制出  $C_{70}$  以上的混凝土，在普通施工条件下采用优质骨料、减水剂，也能较容易获得  $C_{40}$ ~ $C_{50}$  级混凝土。通过上述可以充分说明，我国在高强混凝土的研究与应用方面，已经取得了巨大成绩，高强混凝土在建筑工程中具有美好的前景。

在《高强混凝土结构设计与施工指南》（1993 年 1 月）中，具体给出了采用水泥、砂、石原料按常规工艺配制强度为  $C_{50}$ ~ $C_{60}$  的高强混凝土的技术规定。从我国目前平均的设计施工技术实际出发，将强度在  $C_{50}$  以上的混凝土称为高强混凝土，强度在  $C_{40}$ ~ $C_{50}$  的混凝土称为中强混凝土，强度在  $C_{30}$  以下的混凝土称为低强混凝土，是符合中国国情的。因此，多数建筑专家认为，在工程中一般应采用  $C_{50}$ ~ $C_{60}$  的高强混凝土，也是比较实际的。1995 年，中国土木工程学会高强与高性能混凝土委员会以 70 余个工程应用实例出版了《高强混凝土工程应用》论文集，表明我国在高强混凝土工程应用水平已经达到国际先进水平，为编制《高

圆

强混凝土结构设计与施工规程》创造了条件，这将进一步推动我国高强混凝土的应用及发展。

## 二、国内高强混凝土的研究和应用

我国政府对高强混凝土的研究和应用非常重视。1982~1986年，国家自然科学基金委员会和建设部将“高强混凝土的配制、结构设计和施工方法”课题列为重点科研项目；1987~1989年，全国钢筋混凝土标准技术委员会组织了《混凝土结构设计规范》第四批课题“高强混凝土结构性能及设计方法”的研究；1990~1992年，全国钢筋混凝土标准技术委员会又组织了《混凝土结构设计规范》第五批课题“高强混凝土结构基本性能”的研究，并列入了工程建设国家标准重点科研计划；1993~1996年，国家自然科学基金重点资助了“高强与高性能材料的结构与力学性能研究”项目；1997年，国家计划委员会资助1000万元，重点扶持“重大工程中混凝土安全性”研究课题，其中包括高强高性能混凝土。

1983年，由北京市建筑工程局第二建筑公司、建筑工程研究所、北京工业设计院、建筑研究院、建筑材料研究院、冶金建筑研究院等单位合作，对唐山市10层高强预应力混凝土屋架进行了高强混凝土的试验研究。采用比表面积达到 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 的早强硅酸盐水泥，水灰比控制在 $0.35\sim 0.45$ 范围内，选择的砂率为 $45\sim 55$ ，加入水泥质量 $1\%$ 的减水剂和 $0.5\%$ 的塑化剂，混凝土的强度达到 $100\text{MPa}$ 。经过1976年的唐山大地震，这个高强预应力混凝土屋架完好如初，为高强混凝土的发展树立了信心。

20世纪70年代以来，由于高效减水剂和高标号水泥的生产，为在普通工艺条件下制备高强混凝土提供了技术条件，促进了我国对高强混凝土的应用。1978年，海军工程设计和清华大学合作，在连云港海军基地成功地施工了10级混凝土防护门；1982年，衡广复线花县的江村南桥，用10级混凝土浇筑了跨度 $100\text{m}$ 的栽形筒支梁，混凝土的强度实际达到 $100\text{MPa}$ 。1980年以来，我国应用

高强混凝土建造的高层（大于 100m）建筑近 1000 座，遍及全国各大城市；目前世界第三、亚洲第一高层建筑——上海金茂大厦，101 层、101 层，其钢柱加混凝土，就是采用的悦园高强混凝土；1995 年 10 月，北京财税大楼首层四根柱子施工中，采用悦园级商品预拌混凝土，实际施工混凝土强度平均达到 100MPa；1997 年，北京城建集团总公司在供应缘缘缘缘缘的商品混凝土中，悦园~悦园高强混凝土占 10%，达 1000 吨。

## 第二节 摇高强混凝土的原材料

高强混凝土的原材料主要包括胶凝材料、砂石骨料、化学外加剂、矿物掺和料和拌和水等。原料的选择是否正确，是配制高强混凝土的基础和关键，必须引起足够的重视。

### 一、胶凝材料

水泥是高强混凝土中的主要胶凝材料，也是决定混凝土强度高低的的首要因素。因此，在选择水泥时，必须根据高强混凝土的使用要求，主要考虑如下技术条件：水泥品种和水泥标号；在正常养护条件下，水泥早期和后期强度的发展规律；在混凝土的使用环境中，水泥的稳定性；水泥的其他特殊要求，如水化热的限制、凝结时间、耐久性等。

#### 缘缘缘的品种与强度等级

配制高强混凝土，不一定采用快硬性水泥，因为提高混凝土的早期强度不是目的。过去，配制高强混凝土是比较困难的，所选水泥的强度等级往往是配制混凝土的 1.5~2 倍。也就是说，所采用的水泥的强度等级，一般应高于相应配制混凝土的强度等级，有时也可以略低于混凝土的强度等级。在我国，现阶段随着混凝土材料性质及工艺方法的改善，尤其是混凝土外加剂的广泛应用，配制高强混凝土也就更加容易。

根据《高强混凝土工程应用》的工程实践证明，配制高强混凝土的水泥，一般宜选用强度等级为缘缘缘缘缘或更高强度等级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；当混凝土强度等级不超过悦园时，

源

也可以选用强度等级为  $\geq 42.5$  的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。无论采用何地产的水泥，必须达到强度满足、质量稳定、需水量低、流动性好、活性较高的要求。

### 水泥的矿物成分

水泥熟料的矿物成分和细度是影响高强混凝土早期强度和后期强度的主要因素。对硅酸盐系水泥来讲，其熟料中的主要矿物成分为  $C_3S$ 、 $C_2S$ 、 $C_4A$  和  $C_3A$ 。 $C_3S$  对早期和后期强度发展都有利； $C_2S$  的水化速度较慢，但对后期强度起相当大的作用； $C_4A$  的水化速度最快，主要影响混凝土的早期强度； $C_3A$  的水化速度虽然较快，但早期和后期强度都较低。

由以上可以看出，如果早期强度要求较高，应使用  $C_3S$  含量高的水泥；如果对早期强度无特殊要求，应使用  $C_2S$  含量高的水泥。由于  $C_4A$ 、 $C_3A$  的早期和后期强度均比较低，所以在高强混凝土的水泥中， $C_4A$ 、 $C_3A$  含量应严格控制。高细度的水泥能获得早强，但其后期强度很少增加，加上水化热严重，利用单纯增加水泥细度提高早期强度的方法，也是不可取的。水泥的细度一般为  $800 \sim 1200$  比较适宜。

### 水泥的用量

配制高强混凝土，胶凝物质的所用数量是至关重要的，它直接影响到水泥石与界面的黏结力。从便于施工角度加以要求，也应该具有一定的工作度（流动性）。从理论上讲，为了增加砂浆中胶凝材料的比例，提高混凝土的强度和工作度，国外水泥用量一般控制在  $250 \sim 350$  kg/m<sup>3</sup> 范围内。

根据我国上海金茂大厦、广州国际大厦、海口  $188$  公寓、深圳鸿昌广场大厦、青岛中银大厦等著名的超高层建筑工程实践，高强混凝土的水泥用量一般在  $250 \sim 350$  kg/m<sup>3</sup> 左右，最多不超过  $350$  kg/m<sup>3</sup>。其具体数量主要与水泥的品种、细度、标号、质量有关，另外还与混凝土的坍落度大小、混凝土强度等级、外加剂种类、骨料的级配与形状、矿物掺和料等密切相关。日本的一项资料表明：当采用高效减水剂配制高强混凝土时，如果水泥用量超过  $350$  kg/m<sup>3</sup>，

对混凝土强度增长的作用并不显著。由此可见，配制高强混凝土的水泥用量应当适宜，不能将增加水泥用量作为提高混凝土强度的惟一途径。

根据国内外大量的试验表明：如果混凝土中掺加水泥过多，不仅使其产生大量的水化热和较大的温度应力，而且还会使混凝土产生较大的收缩等质量问题。成功工程经验证明：在配制高强混凝土时，如果高强混凝土的强度等级较低（ $C_{30} \sim C_{40}$ ），水泥用量宜控制在  $300 \sim 350 \text{ kg/m}^3$ ；如果混凝土的强度等级大于  $C_{40}$ ，水泥用量宜控制在  $350 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ 。另外，可通过掺加硅粉、粉煤灰等矿物料来提高混凝土的强度。

工程实践经验表明，应通过对各种水泥进行试配，以科学的数据确定制备高强混凝土所用水泥的种类和数量。在满足既定抗压强度的前提下，经济适用是选择水泥的依据。为了使水泥用量最小，要求骨料最好达到最佳级配，并在拌制过程中保持均匀。

## 二、砂石骨料

砂石骨料是混凝土骨架的重要组成材料，一般占混凝土总体积的  $70\% \sim 80\%$ ，它在混凝土中既有技术上的作用，又有经济上的意义。英国著名混凝土专家悉尼·明德斯在《混凝土》中曾明确指出：高强混凝土的生产，要求供应者对影响混凝土强度的三个方面提供最佳状态，即水泥、骨料、水泥浆料黏结。由此可以看出骨料在混凝土中的重要作用。从总的方面，要求配制高强混凝土的骨料，应选用坚硬、高强、密实而无孔隙和无软质杂质的优良骨料。

### 粗骨料

粗骨料是混凝土中骨料的主要组成，在混凝土的组织结构中起着骨架作用，一般占骨料总体积的  $70\% \sim 80\%$ ，其性能对高强混凝土的抗压强度及弹性模量起决定性的作用。粗骨料对混凝土强度的影响主要取决于水泥浆及水泥砂浆与骨料的黏结力、骨料的弹性性质、混凝土混合物中水上升时在骨料下方形成的“内分层”状况、骨料周围的应力集中程度等。因此，如果粗骨料的强度不足，远

其他采取提高混凝土强度的措施将成为空谈。对高强混凝土来说，粗骨料的重要优选特性是抗压强度、表面特征及最大粒径等。

(员) 抗压强度摇混凝土在其他条件相同的情况下，粗骨料的强度越高，配制的混凝土强度越高，因此，要优先采用抗压强度高粗骨料。当骨料强度大于混凝土强度时，骨料质量对混凝土强度的影响不大，但含有多量的软质颗粒和针、片状骨料时，会使混凝土强度大幅度下降。

在许多情况下，骨料质量是获取高强混凝土的主要影响因素。所以，在试配混凝土之前，应合理地确定各种粗骨料的抗压强度，并应尽量采用优质骨料。优质骨料是指高强度骨料和活性骨料。按规定，配制高强混凝土时，最好采用致密的花岗岩、辉绿岩、大理石等作骨料，粒型应坚实并带有棱角，骨料级配应在要求范围以内。粗骨料的强度可用母岩立方体抗压强度和压碎指标值表示。

① 立方体抗压强度摇即用粗骨料的母岩制成缘皂伊皂伊缘皂伊缘皂伊的立方体试块，在水中浸泡源澡(达饱和状态)，测其极限抗压强度，即为粗骨料的抗压强度。配制高强混凝土所用的粗骨料，一般要求标准立方体的骨料抗压强度与混凝土的设计强度之比(岩石抗压强度鞣混凝土强度等级)应大于 鞣缘~ 鞣园

② 压碎指标值摇即在国家规定的试验方法条件下，测定粗骨料抵抗压碎的能力，从而间接推测其相应的强度。在实际操作上，对经常性的工程及生产质量控制，采用压碎指标值比立方体抗压强度更方便。粗骨料的压碎指标值可参考表 鞣园

表 鞣园摇粗骨料压碎指标值

岩摇石摇品摇种	混凝土强度等级	压碎指标值鞣	
		碎摇石	卵摇石
水成岩	鞣园~ 鞣园	鞣园~ 鞣园	≤ 怨
变质岩或深成的火成岩	鞣园~ 鞣园	鞣园~ 鞣怨	鞣园~ 鞣愿
喷出的火成岩	鞣园~ 鞣园	≤ 鞣园	不限

从表 鞣园中可以看出，碎石的压碎指标值比卵石的高，卵石配

制的高强混凝土强度明显小于碎石，因此，一般应采用碎石配制高强混凝土。若配制强度大于  $C_{50}$  的混凝土，粗骨料的压碎指标值还应再小一些。

(圆) 最大粒径摇试验研究表明，用以制备高强混凝土的粗骨料，其最大粒径与所配制的混凝土最大抗压强度有一定的关系。

在普通混凝土施工中，在施工条件允许和强度满足的前提下，粗骨料的粒径可以尽量选得大一些，不仅可降低水化热和水泥用量，而且对提高混凝土强度有利。但是，对高强混凝土来讲，加大骨料尺寸反而降低混凝土强度，这是由于粗骨料是脆性材料、大颗粒骨料存在薄弱弊端；较小的骨料能够增加与水泥浆的黏结强度，混凝土的强度能有所提高。

《普通混凝土配合比设计规程》建议：对  $C_{50}$  及  $C_{50}$  以上强度等级的混凝土，粗骨料的最大粒径不宜超过  $d_{max}$ 。工程试验表明，大于  $d_{max}$  的粗骨料不能用于配制抗压强度  $C_{50}$  以上的高强混凝土，骨料的最大粒径为  $d_{max}$  时能获得最高的混凝土强度。因此，配制高强混凝土的粗骨料最大粒径一般应控制在  $d_{max}$  以内；如果岩石强度较高、质地均匀、坚硬，或者混凝土强度等级在  $C_{50}$ ~ $C_{60}$  以下时， $d_{max}$ ~ $d_{max}$  粒径的骨料也可以采用。

(猿) 异形颗粒的含量摇异形颗粒的骨料主要指针、片状骨料。对于中、低强度的混凝土，异形颗粒的含量要求较低，一般不超过  $d_{max}$ ~ $d_{max}$ ，但对高强混凝土要求很高，一般不宜超过  $d_{max}$ 。

(源) 表面特征摇混凝土初凝时，胶凝材料与粗骨料的黏结是以机械式啮合为主，所以要配制高强混凝土，应采用立方体的碎石，而不能用天然砾石。同时，碎石的表面必须干净而无粉尘，否则会影响混凝土内部的黏结力。

(缘) 各种杂质的含量摇各种杂质主要包括黏土、云母、轻物质、硫化物及硫酸盐、活性氧化硅等。黏土附着于粗骨料的表面，不仅会降低混凝土拌和物的流动性或增加用水量，而且大大降低骨料与水泥石间的界面黏结强度，从而使混凝土的强度和耐久性降低。所以，在配制高强混凝土时，要认真对粗骨料进行冲洗，严格愿

控制含泥量在 1% 以内。

硫化物及硫酸盐的含量，应采用比色法试验鉴别，颜色不得深于国家规定的标准色。

骨料中含有的活性氧化硅易与水泥中的碱（ $\text{NaOH}$  或  $\text{KOH}$ ）发生反应，生成一层复杂的碱——硅酸凝胶（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），体积膨胀大约 2 倍以上，易使混凝土开裂破坏。这种碱骨料反应（简称  $\text{AAR}$ ），还会大幅度加剧冻融、钢筋锈蚀、化学腐蚀等因素对混凝土的破坏作用，更会导致混凝土迅速恶化。因此，在配制高强混凝土时，一定要尽量选择无碱骨料反应的粗骨料。

(3) 坚固性摇粗骨料的坚固性是反映骨料在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破坏的能力。骨料的坚固性是用硫酸钠饱和溶液法检验，即以试棒经过 5 次循环浸渍后，骨料的损失质量占原试棒质量的百分率。粗骨料的坚固性要求与混凝土所处的环境有关，指标见表 10.10。

表 10.10 摇粗骨料的坚固性指标

混凝土所处的环境	在硫酸钠饱和溶液中的循环次数	循环后的质量损失（不宜大于）%
摇在干燥条件下使用的混凝土	5	10
摇在寒冷地区室外使用，并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	5	5
摇在严寒地区室外使用，并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	5	2

(4) 颗粒级配摇骨料的颗粒级配是否良好，对混凝土拌和物的工作性能和混凝土强度有着重要的影响。良好的颗粒级配可用较少的加水量制得流动性好、离析泌水少的混凝土混合料，并能在相应的施工条件下，得到均匀致密、强度较高的混凝土，达到提高混凝土强度和节约水泥用量的效果。

在配制高强混凝土时，最好采用连续级配粗骨料，即不大于最大粒径的石子都占一定比例，然后通过试验从中选出几组密度较大的级配进行混凝土试拌，选择和易性符合要求、水泥用量较少的一组作为

采用的级配。配制高强混凝土的粗骨料颗粒级配范围，见表 5.2.2

表 5.2.2 粗骨料的颗粒级配范围 (mm)

级配情况	累计筛余 (按质量计) 筛孔尺寸 (圆孔筛)	75	150	300	600	900	1500	2000
		0	0	0	0	0	0	0
连续级配	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘
	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘
	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘
	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘
	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘	缘-缘

### 5.2.3 细骨料

高强混凝土对细骨料（砂）的要求与普通混凝土基本相同，在某些方面稍高于普通混凝土对细骨料的要求。砂中的有害物质主要有黏土、淤泥、云母、硫化物、硫酸盐、有机质以及贝壳、煤屑等轻物质。这些有害物质或影响水泥与骨料的胶结，或对水泥均有侵蚀作用，或影响混凝土的强度及耐久性。因此，配制高强混凝土最好用纯净的砂，起码有害杂质含量不能超过国家规定的限量。

根据工程实践证明，配制高强混凝土时，对有害杂质应按以下标准严格控制：含泥量（淤泥和黏土总量）不宜超过 5%；云母含量按质量计不宜大于 5%；轻物质含量按质量计不宜大于 5%；硫化物及硫酸盐（折算成  $SO_3$ ）含量按质量计不宜大于 5%；有机质含量按比色法评价，颜色不应深于标准色。

细骨料的级配要符合要求。在混凝土组成中，细骨料所占比例同样要比普通强度混凝土所用的量要少一些。采用的砂子的细度模数应大于 2.5，最好控制在 2.5-3.0 范围内。

### 三、化学外加剂

配制高强混凝土掺加一定量的高效减水剂，这是改善混凝土性能不可缺少的重要措施之一。大量的工程实践证明，高效减水剂掺量虽较少，在按要求改善混凝土性能，尤其在混凝土强度增长方面，显示出十分显著的效果，已经成为高强混凝土中重要的材料。1950年，日本进行了掺加高效减水剂配制普通工艺高强混凝土技术的研究工作，并获得成功。我国于20世纪70年代初期开始研制和生产高效减水剂。1976年，清华大学研究成功的萘系高效减水剂，大大促进了我国高效减水剂的迅速发展，为高强混凝土的发展打下了良好的基础。

#### 1. 高效减水剂的类型

根据我国混凝土外加剂的质量标准，高效减水剂的减水率必须大于15%。按化学成分不同高效减水剂可分为萘系、多羧酸系、三聚氰胺系和氨基磺酸盐系四大类。目前，最常用的是萘系和三聚氰胺系高效减水剂。

萘系减水剂是以煤焦油中分馏出的萘及萘的同系物为原料，经磺化、缩合而成，对水泥具有强烈的分散作用，减水、增强效果均优于普通减水剂。目前，国内生产的品种主要有萘系、萘系、萘系、萘系等，减水率一般为15%~25%。三聚氰胺系高效减水剂也称为树脂系减水剂，其主要成分为三聚氰胺甲醛缩合物，属阴离子表面活性剂。目前，国内生产的品种主要有萘系，减水率最高可达25%~30%，是一种极好的早强、非引气型高效减水剂，是配制高强混凝土的首选外加剂。

#### 2. 高效减水剂的选择

在普通工艺的施工条件下，高强混凝土离不开高效减水剂，究竟选用哪一种高效减水剂，并不是一个简单的问题，必须科学、合理、慎重地选择，才能达到预期的目的。

配制强度等级较高的高强混凝土时，应首先选用非引气型高效减水剂，常用的商品牌号有萘系、萘系、萘系、萘系等。用量一般为水泥用量的1%~2%，减水率可达15%~25%。