

XINXING HUNNINGTU JIQI YINGYONG

新型混凝土 及其应用



金盾出版社

新型混凝土及其应用

编 著 曹文达
曹 栋

金 盾 出 版 社

内 容 提 要

本书除介绍普通混凝土外,重点介绍高强混凝土、流态混凝土、泵送混凝土、耐腐蚀混凝土、轻骨料混凝土、喷射混凝土、耐火混凝土、道路沥青混凝土等具有特殊性能和用途的新型混凝土。主要内容包括新型混凝土的材料组成、技术要求、配制方法及施工要点等,为在特殊工程中正确科学地使用具有特种性能、用途的新型混凝土提供依据。本书内容简炼,通俗易懂,可供工程技术人员和技术工人学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

新型混凝土及其应用/曹文达等编著. —北京:金盾出版社,2001.9

ISBN 7-5082-1599-0

I. 新… II. 曹… III. 混凝土-生产工艺 IV. TU528.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 029308 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 68218137

传真:68276683 电挂:0234

封面印刷:北京印刷一厂

正文印刷:北京万兴印刷厂

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:330 千字

2001 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1—11000 册 定价:18.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

随着我国工业生产的发展和城乡建设步伐的加快,混凝土的应用越来越广泛,现已成为建筑物结构的主要材料。以钢筋混凝土为主要结构材料的建筑物大量出现,对于 20 世纪的社会文明和进步起到了重要的促进作用。

进入 20 世纪 70 年代后,现代科学技术和现代工业突飞猛进,出现了混凝土的低技术性能及落后的施工工艺与社会现代化要求不相适应的矛盾。进入 90 年代以来,随着现代社会都市化的发展与产业技术的进步,高层建筑、大型公共建筑大量涌现,促进了混凝土技术的发展;随着我国人民生活水平的提高和城镇居住环境的改善,需要大量能满足使用要求、具有特殊性能的混凝土。另外,随着混凝土的大量应用,混凝土工艺的现代化、合理化也对混凝土提出了高性能化的要求。

因此,近几十年来,各国对混凝土的和易性、强度、耐久性的高性能化进行技术与开发,使具有高性能的新型混凝土投入使用。目前,高强混凝土、流态混凝土、防水混凝土、耐腐蚀混凝土、纤维混凝土及轻骨料混凝土等新型混凝土的开发使用,使混凝土的高性能化和多功能化成为现实。为进一步推广、普及、应用这些高性能混凝土,特编写此书。

由于作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者指正。

作 者

2001 年 6 月

目 录

第一章 普通混凝土	(1)
第一节 材料组成和质量要求	(1)
第二节 普通混凝土的主要技术性能	(11)
第三节 普通混凝土的配合比设计	(19)
第四节 加外掺料的普通混凝土	(30)
第二章 轻骨料混凝土	(36)
第一节 概述	(36)
第二节 轻骨料	(36)
第三节 轻骨料混凝土的性能及配合比设计	(40)
第四节 轻骨料混凝土的施工	(50)
第三章 高强混凝土	(52)
第一节 概述	(52)
第二节 原材料的选择	(52)
第三节 高强混凝土的配合比设计	(55)
第四节 高强混凝土的施工	(58)
第四章 泵送混凝土	(59)
第一节 泵送混凝土的原材料与配合比	(59)
第二节 泵送混凝土的运输	(62)
第三节 混凝土泵送设备及管道的选择	(63)
第四节 混凝土的泵送与浇筑	(68)
第五章 流态混凝土	(70)
第一节 流化剂	(70)
第二节 流态混凝土的技术性能	(72)
第三节 流态混凝土的配合比设计	(74)
第六章 防水混凝土	(80)
第一节 概述	(80)
第二节 普通防水混凝土	(81)
第三节 加气剂防水混凝土	(87)
第四节 减水剂防水混凝土	(90)
第五节 三乙醇胺防水混凝土	(93)
第六节 氯化铁防水混凝土	(93)
第七节 膨胀水泥防水混凝土	(97)
第七章 耐腐蚀混凝土	(101)

第一节	耐酸混凝土·····	(101)
第二节	耐碱混凝土·····	(107)
第三节	耐油混凝土·····	(109)
第八章	聚合物混凝土 ·····	(112)
第一节	树脂混凝土·····	(112)
第二节	聚合物水泥混凝土·····	(116)
第三节	聚合物浸渍混凝土·····	(119)
第九章	喷射混凝土 ·····	(127)
第一节	喷射混凝土的原材料·····	(127)
第二节	喷射混凝土的配合比·····	(133)
第三节	喷射混凝土的物理力学性能·····	(136)
第四节	喷射混凝土的施工·····	(137)
第十章	纤维混凝土 ·····	(145)
第一节	钢纤维混凝土·····	(145)
第二节	玻璃纤维混凝土·····	(149)
第十一章	耐火混凝土 ·····	(153)
第一节	概述·····	(153)
第二节	硅酸盐系列耐火混凝土·····	(154)
第三节	铝酸盐耐火混凝土·····	(161)
第四节	水玻璃耐火混凝土·····	(178)
第十二章	沥青混凝土 ·····	(189)
第一节	沥青·····	(189)
第二节	沥青混凝土·····	(198)

第一章 普通混凝土

第一节 材料组成和质量要求

普通混凝土是指由水泥、粗细骨料(碎石或卵石及硅质砂)加水拌和,经水化硬化而成的一种人造石,主要作建筑(构筑)物承受荷载的结构材料使用。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。

普通混凝土各项技术性能与所选用的材料有着密切的关系。为了确保混凝土的质量,对混凝土的组成材料应进行选择,以满足一定的技术质量要求。

一、水泥

根据混凝土的使用要求,选择水泥时必须考虑以下两点:

1. 水泥品种

水泥有很多种类,在混凝土工程中使用最广泛的是硅酸盐水泥,其中包括普通硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥 5 种。此外,还有快硬硅酸盐水泥、高铝水泥等其他品种的水泥。但最合适的水泥品种必须是水泥本身的特性能满足混凝土工程的特点和所处环境、温度及施工条件等要求。

水泥的性能和它的矿物组成之间存在着一定的关系。硅酸盐水泥的强度与硅酸三钙(C_3S)和硅酸二钙(C_2S)的含量有关。28d 以前的强度取决于 C_3S 的含量,28d 至 6 个月间的强度增长与 C_2S 的含量成近似直线关系。 C_3S 含量高的水泥,早期强度高;反之早期强度低。 C_2S 含量高的水泥强度会随龄期不断增长,因此到 6 个月后这两种水泥强度差值就较小了。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 C_2S 含量高的水泥还要大些。

水泥的矿物组成对水化热的影响也很明显,其中铝酸三钙(C_3A)和 C_3S 产生的水化热较大,而 C_2S 和铁铝酸四钙(C_4AF)产生的水化热较小,从下面水泥水化热的式子中就可以看出:

$$1 \text{ 克水泥水化热(焦耳)} = 571(C_3S) + 260(C_2S) + 840(C_3A) + 126(C_4AF)$$

由此可见,通过调整水泥的矿物组成可以制得性能不同的水泥来满足不同工程的需要。

除了通过调节水泥中矿物组成可以得到不同性能的水泥外,还可以在粉磨硅酸盐水泥熟料时用掺入适量的混合料或外加剂等方法得到不同性能和用途的水泥。

(1) 在粉磨硅酸盐水泥熟料时,适量掺入不同的混合料可以制得普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等不同品种的硅酸盐水泥。

含混合料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。抗硫酸盐侵蚀和抗水侵蚀的性能均优于硅酸盐水泥。这些水泥特别适宜于蒸汽养护。

(2) 在粉磨硅酸盐水泥或含混合料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。

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按一定配合比磨制而成。

常用的憎水表面活性有机物有环烷酸皂和它与油酸的混合物、氯化苯酚。还可用石蜡矿物油类或焦油等非极性物质。

这种水泥的特点是在长期存放中,甚至在潮湿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盐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,如高铝水泥和石膏,无水硫铝酸钙和石灰等。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。

(3) 改变生料中的某些化学成分,烧制成具有特定性能的特种硅酸盐水泥,如以下几种:

① 快硬硅酸盐水泥。这种水泥中含有较多的高活性矿物(C_3S 和 C_3A 的总含量不低于60%)和石膏(含量达6%)。早期强度增进率较大,根据水泥标号的不同,1d的抗压强度可达20~30MPa,为28d强度的45%~50%;3d的抗压强度不低于30~50MPa,为28d强度的75%~80%。适用于紧急抢修工程和需要早期强度高的工程。

如果快硬硅酸盐水泥熟料和适量优质石膏共同粉磨,并磨细到比表面积为5000~7000 cm^2/g 时,则可得到特快硬硅酸盐水泥,这种水泥12h的抗压强度可达到28d强度的50%。

② 抗硫酸盐硅酸盐水泥。这种水泥所使用的水泥熟料含 C_3A 不超过5%,含 C_3S 不超过50%,允许掺入10%~15%的火山灰质混合料,其活性应达到1g混合料在石灰溶液中经30d(滴定15次)所吸收的石灰不少于70mg。

这种水泥具有良好的抗硫酸盐侵蚀和抗冻融及干湿循环破坏的能力,适用于有硫酸盐侵蚀、并经常遭受冻融和干湿循环的工程。

③ 低热大坝水泥。这种水泥的熟料含有较少的快速水化的矿物(含 C_3A 不大于6%,含 C_3S 为40%~50%)。7d的水化热,根据不同的水泥标号,一般不得超过252~294J/g,适用于大体积水工混凝土工程中。

(4) 用不同的原材料,生产出不同于硅酸盐水泥的新水泥品种。如高铝水泥,它的矿物组成与硅酸盐水泥不同,主要是以低碱性的铝酸钙(CA 和 $C_{12}A_7$)为主。

这种水泥适宜在常温下使用。具有快硬高强特性,1d的强度可达到最高强度的80%,3d则可达到最高强度100%。制得的混凝土较致密,不透水性、抗冻性较好。由于快硬、高强、水化热大,可用于紧急抢修工程和冬季施工工程。这种水泥还具有较高的耐高温性能,适宜配制耐火混凝土。

综上所述,不同品种的水泥具有不同特性,因此选用的水泥品种必须能适应混凝土工程的特点和所处的环境、温度和施工条件等,才能保证工程的质量。选用水泥可参照表1-1。

表 1-1 常用水泥选用表

序号	工程特点或所处环境条件	优 先 选 用	可 以 选 用	不 得 使 用
1	一般地上土建工程	普通硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	
2	在气候干热地区施工的工程	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 高铝水泥
3	大体积混凝土工程	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	高铝水泥
4	地下、水下的混凝土工程	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 抗硫酸盐硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	
5	在严寒地区施工的工程	高标号普通硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥 特快硬硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 高铝水泥	火山灰质硅酸盐水泥
6	严寒地区水位升降范围内的混凝土工程	高标号普通硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥 特快硬硅酸盐水泥 抗硫酸盐硅酸盐水泥	高铝水泥	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥
7	早期强度要求较高的工程($\leq C30$ 混凝土)	高标号普通硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥 特快硬硅酸盐水泥	高标号水泥 高铝水泥	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥
8	大于 C50 的高强度混凝土工程	高标号水泥 浇筑水泥 无收缩快硬硅酸盐水泥	特快硬硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥 高标号普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥
9	耐酸防腐蚀工程	水玻璃耐酸水泥	硫磺耐酸胶结料	耐铵聚合物胶凝材料
10	耐铵防腐蚀工程	耐铵聚合物胶凝材料		水玻璃型耐酸水泥 硫磺耐酸胶结料
11	耐火混凝土工程	低钙铝酸盐耐火水泥	高铝水泥 矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
12	防水、抗渗工程	硅酸盐膨胀水泥 石膏矾土膨胀水泥	自应力(膨胀)水泥 普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥

续表 1-1

序号	工程特点或所处环境条件	优 先 选 用	可 以 选 用	不 得 使 用
13	防潮工程	防潮硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	
14	紧急抢修和加固工程	高标号水泥 浇筑水泥 快硬硅酸盐水泥	高铝水泥 硅酸盐膨胀水泥 石膏矾土膨胀水泥	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥
15	有耐磨性要求的混凝土	高标号普通硅酸盐水泥 (≥ 425 号)	矿渣硅酸盐水泥 (≥ 425 号)	火山灰质硅酸盐水泥
16	混凝土预制构件拼装锚固工程	浇筑水泥 高标号水泥 特快硬硅酸盐水泥	硅酸盐膨胀水泥 石膏矾土膨胀水泥	普通硅酸盐水泥
17	保温隔热工程	矿渣硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	低钙铝酸盐耐火水泥	—
18	装饰工程	白色硅酸盐水泥 彩色硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	—

2. 水泥标号

每一品种的水泥,按其强度等级的高低分为不同标号,因此在水泥品种选择后,还要合理选择水泥的标号。

水泥标号的选择应与设计的混凝土强度等级相适应。在确保混凝土的主要技术性能的前提下,充分利用水泥的活性,以取得良好的技术经济效益。根据长期生产实践经验,水泥标号可从以下三个方面考虑:

(1) 一般情况下,水泥标准抗压强度应为混凝土强度等级的 1.5~2 倍。

(2) 配置高强度混凝土时,水泥标准抗压强度应为混凝土强度等级的 0.9~1.5 倍。

(3) 用高标号水泥配制低强度等级混凝土时,由于每 m^3 混凝土的水泥用量偏少,会影响混凝土的主要技术性能。因此,在混凝土中可以掺一定数量的混合料,以补充胶凝材料的不足,如掺适量的粉煤灰等。

二、骨料

骨料是指在配制混凝土时,与水泥、水等拌和在一起的砂、石等颗粒状材料,亦称为集料。

骨料一般占混凝土总体积的 3/4 左右,是混凝土的主要组成材料。骨料在混凝土中一般以惰性材料存在,比单纯的水泥浆具有更高的体积稳定性和耐久性。骨料多属于地方性材料,价格低廉,来源丰富,作为混凝土的填充材料能明显降低混凝土的成本。因此,骨料在混凝土中有着重要的技术和经济意义。正确合理地选择和使用骨料可以保证混凝土的质量,节约水泥,降低成本。

1. 砂

凡粒径在 5mm 以下的骨料称为砂或细骨料。

配制混凝土一般都用天然砂。天然砂是岩石风化后形成的大小不等的矿物散粒组成的混合物。天然砂指的是河砂、海砂和山砂。由于河砂比较洁净,所以,配制混凝土常用它。对于配制混凝土用的砂子的质量要求如下:

(1) 限制砂中有害杂质含量。配制混凝土用的砂要求清洁不含杂质,以保证混凝土的质量。在天然河砂中常含有一些有害杂质,如粘土、淤泥、碎云母等,粘附在砂的表面,妨碍水泥与砂的粘结,降低混凝土强度;同时还增加混凝土的用水量,从而加大混凝土的收缩量,降低混凝土的抗冻性和抗渗性。砂中的硫酸盐及硫化物和有机杂质对水泥产生腐蚀作用,影响混凝土的耐久性。砂中杂质含量应符合表 1-2、表 1-3 规定。

表 1-2 砂中含泥量及砂中的泥块含量限值

混凝土强度等级	大于或等于 C30	小于 C30
含泥量(按质量计,%)	≤3.0	≤5.0
泥块含量(按质量计,%)	≤1.0	≤2.0

表 1-3 砂中有害物质含量的限值

项 目	质 量 指 标	项 目	质 量 指 标
云 母 含 量 (按 质 量 计, %)	≤2.0	硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO ₃ , 按质量计, %)	≤1.0
轻物质含量(按质量计,%)	≤1.0	有机物含量(用比色法试验)	颜色不应深于标准色,如深于标准色,则应按水泥胶砂强度试验的方法,进行强度对比试验,抗压强度比不应低于 0.95

对砂中的无定形二氧化硅含量有怀疑时,应根据结构或构件的使用条件,进行专门试验后,再确定其适用性。在一般情况下,海砂也可以配制混凝土和钢筋混凝土,但由于海砂含盐量较大,对钢筋会产生锈蚀作用,故对于水上和水位变化区的钢筋混凝土,海砂的含盐量(氯化钠的总含量)不宜超过 0.1%,必要时应进行淋洗。有些杂质如泥土、贝壳和杂物可在使用前经过冲洗、过筛处理将其清除。特别是配制高标号混凝土时,更应严格控制有害杂质的含量。

(2) 砂的粗细程度和颗粒级配。砂的粗细程度,是指不同粒径的砂粒,混合在一起后的总体的粗细程度,通常有粗砂、中砂与细砂之分。在相同重量的条件下,细砂的总表面积较大,而粗砂的总表面积较小。在混凝土中,砂的表面需要由水泥浆包裹,砂的总表面积越大,则包裹在砂粒表面的水泥浆就越多。因此,一般来说用粗砂拌制混凝土比用细砂拌制所需的水泥浆为少。

砂的颗粒级配是指大小颗粒间的搭配情况。级配良好的砂子,在采用不同粒径的砂子混合时,互相能较好地填充搭配,使砂子的空隙率达到最小。但采用同一粒径砂子混合时,不能实现相互间的填充搭配,所以空隙率最大。

在配制混凝土时,砂子的颗粒级配和粗细程度应同时考虑。当砂中含有较多的粗砂,并以适当的中砂及少量细砂填充其空隙,则可达到空隙率及总表面积较小,这样的砂是比较理想的砂,它不但可以减少水泥浆用量,还可以提高混凝土的密实性与强度,从而使混凝土获得良好的技术经济效果。

砂的粗细程度和颗粒级配,常用筛分析的方法给予测定,用级配表示砂的颗粒级配,用细度模数表示砂的粗细度。

筛分析的方法,是用一套孔径为 10、5.0、2.5、1.25、0.63、0.315、0.16mm 的标准筛,将经过烘干的 500g 干砂作为试样,置于这套标准筛中,由粗到细依次过筛,然后称出各筛号上的筛

余量 $m_1、m_2、m_3、m_4、m_5、m_6$,并计算出各筛号上的分计筛余百分率 $a_1、a_2、a_3、a_4、a_5、a_6$ 及累计筛余百分率 $A_1、A_2、A_3、A_4、A_5、A_6$ 。累计筛余率与分计筛余率的关系,见表1-4。

表 1-4 累计筛余百分率和分计筛余百分率的关系

筛孔尺寸(mm)	分计筛余率(%)	累计筛余率(%)
5.0	$a_1 = (m_1/500) \times 100\%$	$A_1 = a_1$
2.5	$a_2 = (m_2/500) \times 100\%$	$A_2 = a_1 + a_2$
1.25	$a_3 = (m_3/500) \times 100\%$	$A_3 = a_1 + a_2 + a_3$
0.63	$a_4 = (m_4/500) \times 100\%$	$A_4 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$
0.315	$a_5 = (m_5/500) \times 100\%$	$A_5 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5$
0.16	$a_6 = (m_6/500) \times 100\%$	$A_6 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6$

细度模数 M_x 的公式如下:

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1}$$

细度模数(M_x)愈大,表示砂愈粗。普通混凝土用砂的细度模数范围一般为 3.7~0.7,其中按细度模数(M_x)可将砂分为粗砂、中砂、细砂、特细砂四级:

粗砂: $M_x = 3.7 \sim 3.1$

中砂: $M_x = 3.0 \sim 2.3$

细砂: $M_x = 2.2 \sim 1.6$

特细砂: $M_x = 1.5 \sim 0.7$

骨料级配对于混凝土的和易性、经济性都有显著的影响,对于混凝土的强度、抗渗性、耐久性等也有一定影响。使用级配良好的骨料可以节约水泥用量,并有利于配制出质量较高的混凝土。因此,了解骨料颗粒级配情况对于判定骨料质量、确定混凝土配比、进行混凝土质量管理等都非常重要。

一般说来,较好的骨料级配应当是:空隙率小;总表面积小,可以减少湿润骨料表面的需水量及包裹在骨料表面的水泥浆量;有合适含量的细颗粒以满足混凝土的和易性要求。

我国现行标准规定的混凝土中所用的天然砂的合理级配区见表1-5,其合理级配曲线如图1-1、图1-2、图1-3所示。

表 1-5 天然砂颗粒级配区的规定

筛孔尺寸(mm)	级配区	I 区	II 区	III 区
10.00	累计筛余率(%)	0	0	0
5.00		10~0	10~0	10~0
2.50		35~5	25~0	15~0
1.25		65~35	50~10	25~0
0.63		85~71	70~41	40~16
0.315		95~80	92~70	85~55
0.16		100~90	100~90	100~90

注:① 天然砂的颗粒级配应处于表中的任何一个级配区内。砂的实际颗粒级配与表中所列的累计筛余百分率相比,除 5mm 及 0.63mm 筛外,允许稍有超出分界线,但其总量不应大于 5%。

② 各区砂细度模数 M_x 大致为: I 区—3.7~3.1; II 区—3.0~2.3; III 区—2.2~1.6。

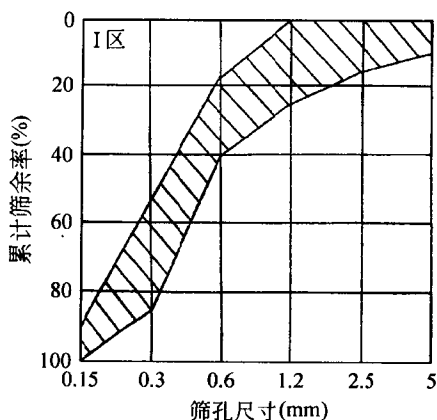


图 1-1 粗砂级配区

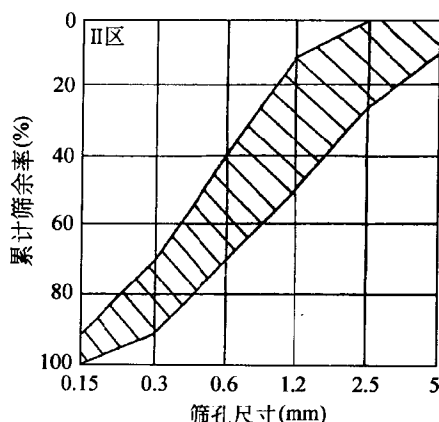


图 1-2 中砂级配区

在天然砂的三个级配区中,Ⅱ区为中砂级配区,粗细适宜,是最好的级配区,配制混凝土时应优先选用Ⅱ区砂;Ⅰ区为粗砂级配区,当采用Ⅰ区砂时,应提高砂率,并保持足够的水泥用量,以保证混凝土良好的和易性;Ⅲ区为细砂级配区,当采用Ⅲ区砂时,应适当降低砂率,以保证混凝土的和易性和强度。

当砂子的颗粒级配不符合规定时,可以通过分级过筛重新加以组合或将不同的天然砂混合使用,以调整天然砂的级配。

2. 石子(碎石和卵石)

颗粒粒径大于 5mm 的骨料称为石子或粗骨料。

配制混凝土所用的粗骨料有碎石和卵石两种。碎石是由天然岩石经过破碎而得,杂质少,较干净,表面粗糙,颗粒富有棱角,与水泥粘结牢固。天然卵石有河卵石、海卵石和山卵石。河卵石表面光滑,比较洁净,杂质较少,在混凝土中常被采用。而海卵石、山卵石中含有较多杂质,使用前必须加以冲洗,因此很少使用。

对配制混凝土用的石子质量要求有如下几个方面:

(1) 颗粒级配和最大粒径。

① 颗粒级配。石子的颗粒级配原理与砂子基本相同,也是采用筛分析的方法测定。但石子的颗粒级配有连续级配和单粒级配。

连续级配是指颗粒的尺寸由大到小连续分级,其中每一级粒径的石子都占适当的比例,当粒径分布在一个合理范围内且大小颗粒比例适当时,大颗粒之间的空隙由小颗粒填充,因而减小空隙,形成较密实的骨架。

单粒级石子是采用省去一级或几级中间粒径的石子,组合成具有所要求级配的不连续粒级。有学者认为,这种单粒级组成的间断级配有可能更大限度地发挥骨料的骨架作用,但这种级配的骨料易使混凝土产生离析,和易性差。实际采用什么样的骨料级配应根据骨料的实际情况、施工

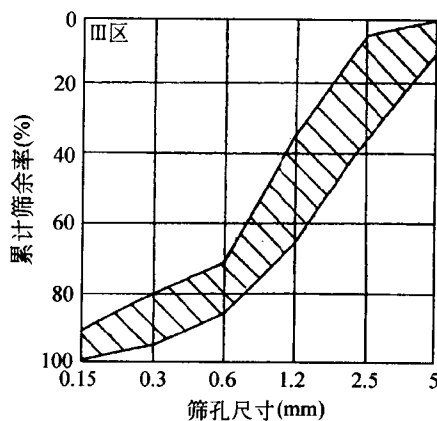


图 1-3 细砂级配区

条件、混凝土质量要求等各方面的因素综合考虑,经试验后确定。

我国现行标准规定的碎石和卵石的颗粒级配范围,见表 1-6 和图 1-4。

表 1-6 碎石或卵石的颗粒级配范围

级配情况	公称粒级 (mm)	累计筛余率(按质量计,%)											
		筛孔尺寸(圆孔筛)(mm)											
		2.50	5.00	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100
连续粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0	—	—	—	—	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—	—	—	—	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—	—	—	—	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0	—	—	—	—
单粒级	5~40	—	95~100	75~90	—	30~65	—	—	0~5	0	—	—	—
	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—	—	—	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0	—	—	—
	31.5~63	—	—	—	95~100	—	—	75~100	45~75	—	0~10	0	—
	40~80	—	—	—	—	95~100	—	—	70~100	—	30~60	0~10	0

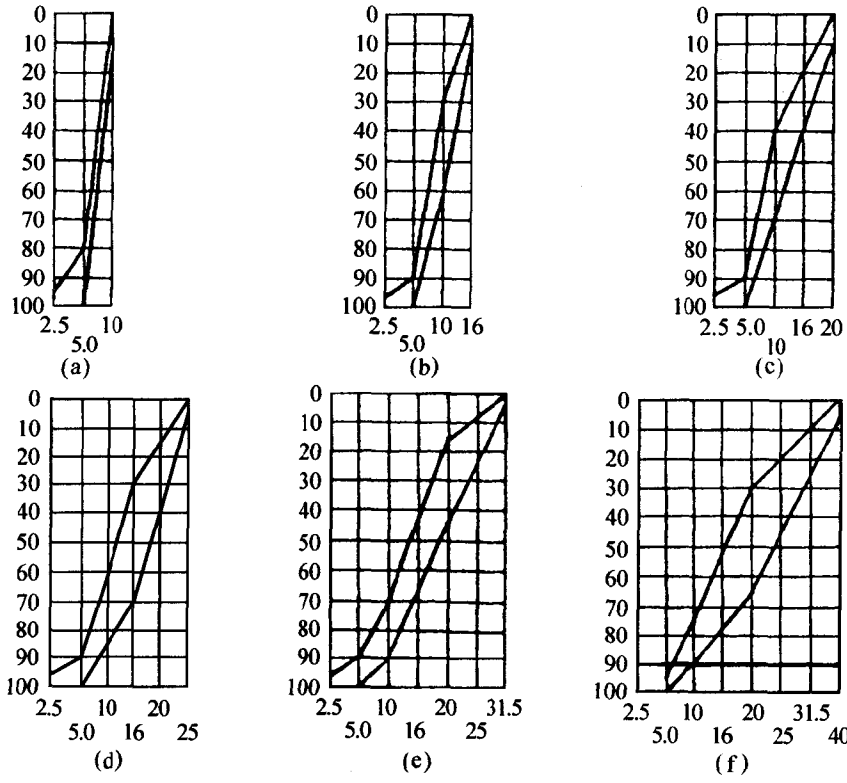


图 1-4 碎石或卵石连续粒级级配曲线

图中:横坐标—筛孔尺寸(mm) 纵坐标—累计筛余率(%)

(a) 5~10mm 公称粒级 (b) 5~16mm 公称粒级 (c) 5~20mm 公称粒级

(d) 5~25mm 公称粒级 (e) 5~31.5mm 公称粒级 (f) 5~40mm 公称粒级

② 最大粒径。公称粒级的上限为该粒级的最大粒径。

骨料的最大粒径对混凝土强度的影响还与混凝土的水泥用量等因素有关。一般在水泥用量少的混凝土中,采用大粒径骨料比较有利,因骨料的粒径越大,需要润湿的比表面积越小,可以降低用水量和水泥用量。在大体积混凝土中采用大粒径骨料对于减少水泥用量、降低水泥水化热也有明显的作用。对于一般配比的结构混凝土,尤其是高强度混凝土,当粗骨料最大粒径超过 40mm 后,由用水量减少而获得的强度提高被骨料粘结面积减少及大骨料造成的不连续性、不均匀性的不利影响所抵消,因而并没有什么好处。当水泥用量为 $446\text{kg}/\text{m}^3$ 时,粗骨料最大粒径超过 20mm,混凝土抗弯强度有降低的趋势。对于防水混凝土来说,粗骨料最大粒径增加时,对于混凝土的抗渗性有明显的不良影响,因此最大粒径不宜过大。

粗骨料最大粒径的选用除了对混凝土的主要技术性能和水泥用量等产生影响外,还受到结构截面的尺寸、配筋构造及施工方法等条件的限制。为了保证混凝土建筑物的质量,《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92)中规定:混凝土的粗骨料,其最大粒径不得大于结构物最小截面的最小边长的 $1/4$,同时不得大于钢筋间最小净距的 $3/4$ 。对混凝土空心板,粗骨料最大粒径不宜超过 $1/2$ 板厚,且不得大于 50mm。

(2) 石子的强度与坚固性。

① 碎石的强度。碎石的强度可用岩石的立方体抗压强度和压碎指标值表示。岩石的立方体抗压强度应由生产单位提供,工程中可用压碎指标值进行质量控制。

② 立方体抗压强度。它是从开凿出的母岩中制取 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的立方体试件或直径与高度均为 50mm 的圆柱体试件,在水中浸泡 48h,达到吸水饱和状态时,测得的极限抗压强度值。

当混凝土的强度等级为 C60 及以上时,应进行岩石的立方体抗压强度检验。岩石的抗压强度应大于或等于混凝土强度等级的 1.5 倍,且火成岩不宜低于 80MPa,变质岩不宜低于 60MPa,水成岩不宜低于 30MPa。

③ 压碎指标。压碎指标是测定碎石或卵石抵抗压碎的能力,间接地推测其相应的强度。碎石的压碎指标值应符合表 1-7 的规定。

表 1-7 碎石的压碎指标值

岩石品种	混凝土强度等级	碎石压碎指标值(%)
水成岩	C55~C40	≤ 10
	$\leq \text{C35}$	≤ 16
变质岩或深成的火成岩	C55~C40	≤ 12
	$\leq \text{C35}$	≤ 20
火成岩	C55~C40	≤ 13
	$\leq \text{C35}$	≤ 30

注:水成岩包括石灰岩、砂岩等。变质岩包括片麻岩、石英岩等。深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等。喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

④ 卵石的强度。卵石的强度用压碎指标表示。其压碎指标值应符合表 1-8 的规定。

表 1-8 卵石的压碎指标值

混凝土强度等级	C55~C40	$\leq \text{C35}$
压碎指标值(%)	≤ 12	≤ 16

③ 坚固性。石子在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗碎裂的能力,称为坚固性。

石子的坚固性是采用硫酸钠溶液法检验,试样经 5 次循环试验后,其质量损失应符合表 1-9 的规定。

表 1-9 碎石或卵石的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的质量损失(%)
在严寒及寒冷地区室外使用,并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	≤8
在其他条件下使用的混凝土	≤12

(3) 针片状颗粒含量。凡石子颗粒的长度大于该颗粒所属粒级平均粒径的 2.4 倍者为针状颗粒;厚度小于平均粒径 0.4 倍者为片状颗粒。平均粒径是指该粒级上、下限粒径的平均值。

石子在混凝土中形成受力骨架,但是石子中针片状颗粒在外力作用下极易破坏,这将影响混凝土的强度。因此,混凝土中所用石子要限制针片状颗粒的含量。石子中针片状颗粒含量应符合表 1-10 的规定。

表 1-10 碎石或卵石中针片状颗粒含量的限值

混凝土强度等级	大于或等于 C30	C25~C15
针片状颗粒含量(按质量计,%)	≤15	≤25

(4) 含泥量及泥块含量。含泥量是指碎石或卵石中粒径小于 0.08mm 颗粒的含量;泥块含量是指碎石或卵石中粒径大于 5mm,经水洗、手捏后变成小于 2.5mm 的颗粒含量。

含泥量过多将会严重影响骨料与水泥浆的粘结力、降低和易性、增加用水量、加大混凝土的干缩量、降低混凝土的抗冻性。泥块含量对混凝土性能影响更大,特别是对混凝土的抗渗性、抗拉性和收缩性影响更显著。

含泥量及泥块含量对高强度混凝土的影响更大,所以必须限制石子中含泥量和泥块含量,见表 1-11。当含泥量和泥块含量超过表中限值时,应过筛冲洗后方能使用。

表 1-11 碎石或卵石中含泥量及泥块含量的限值

混凝土强度等级	大于或等于 C30	小于 C30
含泥量(按质量计,%)	≤1.0	≤2.0
泥块含量(按质量计,%)	≤0.50	≤0.70

注:① 对有抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土,其所用碎石或卵石的含泥量应不大于 1.0%,泥块含量应不大于 0.5%。

② 对于等于或小于 C10 级的混凝土所用碎石或卵石的含泥量可放宽到 2.5%,泥块含量可放宽到 1.0%。

(5) 有害物质含量。碎石和卵石中的有害物质是指硫酸盐及硫化物、有机物等,均不得超过表 1-12 中的规定。

表 1-12 碎石或卵石中的有害物质含量的限值

项 目	质 量 要 求
硫化物及硫酸盐含量(折算成 SO_3 ,按质量计,%)	≤1.0
卵石中有机质含量(用比色法试验)	颜色应不深于标准色。如深于标准色,则应配制成混凝土进行强度对比试验,抗压强度比应不低于 0.95

当石子中夹杂着活性氧化硅(活性氧化硅的矿物形式有蛋白石、玉髓和鳞石英等,含有活性氧化硅的岩石有流纹岩、安山岩和凝灰岩等)时,如果混凝土中所用水泥又含有较多的碱,就可能发生碱—骨料破坏。这是因为水泥中碱性氧化物水解后生成的氢氧化钠和氢氧化钾与骨料中的活性氧化硅起化学反应,在骨料表面生成了复杂的碱—硅酸凝胶,这样就改变了骨料与水泥浆的原来界面。这种凝胶被水泥所包围,它能不断吸水且出现体积无限膨胀,把水泥面胀裂。这种碱性氧化物和活性氧化硅之间的化学作用通常称为碱—骨料反应。一般当水泥中含碱量超过 0.6% (折算成氧化钠含量) 时,就需要检查骨料中活性氧化硅的破坏作用。

三、拌和用水

在拌和混凝土的用水中,不得含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质,如油脂、糖类等。凡是能饮用的自来水和清洁的天然水,都能用作混凝土的拌和用水。污水、pH 值小于 4 的酸性水、含硫酸盐(按 SO_3 计)超过水重 1% 的水均不得使用。由于海水中含有硫酸盐、镁盐和氯化物,对混凝土有侵蚀作用,对钢筋还会造成锈蚀,因此一般不得用海水拌制混凝土。

第二节 普通混凝土的主要技术性能

混凝土的主要技术性能包括:混凝土拌合物的和易性,以及硬化后混凝土的强度和耐久性等。

一、混凝土拌合物的和易性

混凝土拌合物的和易性,是指新拌和的混凝土,在保证质地均匀、各组成成分不离析的条件下,适于施工工艺要求的综合性能。它包括流动性、粘聚性和保水性三个方面的含义。

混凝土拌合物在自重作用下,产生流动的性能,称为流动性。在运输和浇灌时,不出现分层离析,保持整体均匀的性能,称为粘聚性。混凝土拌合物均匀一致地保持水分的性能,称为保水性。

目前,反映混凝土拌合物和易性的方法,通常是以测定混凝土拌合物的流动性,作为和易性的一个主要指标,再根据经验目测评定粘聚性和保水性。

混凝土拌合物的流动性用坍落度表示。具体测定方法是:将混凝土拌合物按规定方法分三层装入标准圆锥筒内,每层插捣 25 次。装满刮平后将筒垂直提起,拌合物由于自重将会产生坍落现象。量出坍落的高度(以 cm 计)即为坍落度,如图 1-5 所示。坍落度越大,表示拌合物的流动性越大。在测定坍落度的同时,应观察拌合物的粘聚性和保水性。可以用捣棒在已坍落的拌合物锥体一侧轻敲,如发生局部倒塌,则说明粘聚性不良。另外,检查拌合物锥体下部是否有水析出,如有水析出,则表明保水性差。

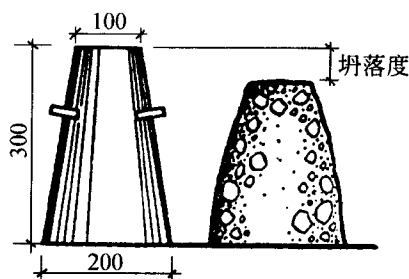


图 1-5 混凝土拌合物坍落度的测定

坍落度测定方法适用于流动性好的塑性混凝土。

对于拌合物坍落度小于 1cm 的低流动性和干硬性混凝土,可以采用维勃稠度仪测定其维勃稠度,如图 1-6 所示。测定方法如下:

把维勃稠度仪的容器放在振动台上,喂料漏斗转到坍落度筒的上方,按测定坍落度的方法将拌合物装满坍落度筒。然后转离喂料漏斗,垂直提起坍落度筒,把透明圆盘转到拌合物锥体