

HUNNINGTU
混凝土结构设计与施工实用丛书

混凝土外加剂 及其应用手册

HUNNINGTU WAIJIAJI JIQI YINGYONG SHOUC

主编 张彬



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

混凝土结构与施工实用丛书

混凝土外加剂及其应用手册

HUNNINGTU WAIJIAJI JIQI YINGYONG SHOUC

主编 张 彬

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍了外加剂的主要组分、性能、使用要点及其在主要品种混凝土中的工程应用等内容。全书共分为13章,主要内容包括:基础知识、普通减水剂、高效减水剂、引气剂及引气减水剂、高性能减水剂、缓凝剂及缓凝减水剂、早强剂及早强减水剂、防冻剂、膨胀剂、泵送剂、防水剂与絮凝剂、速凝剂、其他混凝土外加剂。本书具有较强的实用性及针对性,能解决工程中的具体问题,可为建筑工程、化学建材设计施工人员及大中专院校相关专业师生提供学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土外加剂及其应用手册/张彬主编. —天津:天津大学出版社,2012. 11

(混凝土结构与施工实用丛书)

ISBN 978-7-5618-4553-0

I. ①混… II. ①张… III. ①混凝土—助剂—技术手册 IV. ①TU528. 042-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 280647 号

出版发行	天津大学出版社
出 版 人	杨欢
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话	发行部:022-27403647
网 址	publish. tju. edu. cn
印 刷	河间市新诚印刷有限公司
经 销	全国各地新华书店
开 本	185mm × 260mm
印 张	14. 75
字 数	368 千
版 次	2012 年 11 月第 1 版
印 次	2012 年 11 月第 1 次
定 价	30. 00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

编 委 会

主 编	张 彬			
参 编	王 慧	白雅君	卢平平	刘海锋
	宋巧琳	张润楠	李香香	陈 达
	姜 媛	姜立娜	徐海涛	程 惠
	韩 旭			

前 言

混凝土是目前世界上应用最为广泛、使用量最大的建筑材料。随着建筑技术的飞速发展,新结构、新工艺对混凝土的性能要求也越来越高,混凝土不仅要具有可调凝、早强、高强、大流动度、轻质、低脆性和高耐久性等性能以及其他特殊性能,还要具备制备成本低、成型容易、适用于快速施工和养护简单等特点。而混凝土外加剂——混凝土的第5种组分是混凝土材料实现高性能化和高功能化的最重要的技术途径。

混凝土外加剂及其应用涉及化工、材料科学与工程领域。本书主要介绍了外加剂的主要组分、性能、使用要点及其在主要品种混凝土中的工程应用等内容。全书共分为13章,主要内容包括:基础知识、普通减水剂、高效减水剂、引气剂及引气减水剂、高性能减水剂、缓凝剂及缓凝减水剂、早强剂及早强减水剂、防冻剂、膨胀剂、泵送剂、防水剂与絮凝剂、速凝剂、其他混凝土外加剂。本书具有较强的实用性及针对性,能解决工程中的具体问题,可供建筑工程、化学建材设计施工人员及大中专院校相关专业师生学习参考。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏及不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2012年8月

目 录

1	基础知识	(1)
1.1	混凝土	(1)
1.1.1	混凝土的组成	(1)
1.1.2	混凝土的基本性能	(10)
1.1.3	水泥与外加剂的相容性	(11)
1.2	混凝土外加剂	(15)
1.2.1	混凝土外加剂的定义及分类	(15)
1.2.2	混凝土外加剂的主要功能及应用范围	(16)
1.2.3	常用混凝土外加剂品种	(16)
2	普通减水剂	(18)
2.1	概述	(18)
2.1.1	普通减水剂的作用机理及分类	(18)
2.1.2	减水剂的基本性能	(26)
2.1.3	减水剂的特点及适用范围	(28)
2.2	普通减水剂对混凝土性能的影响	(29)
2.2.1	普通减水剂对新拌混凝土性能的影响	(29)
2.2.2	普通减水剂对硬化混凝土性能的影响	(39)
2.3	普通减水剂的应用	(51)
3	高效减水剂	(54)
3.1	概述	(54)
3.1.1	高效减水剂的特性	(54)
3.1.2	高效减水剂的适用范围	(56)
3.1.3	高效减水剂的主要品种及性能	(56)
3.1.4	高效减水剂的作用机理	(68)
3.2	高效减水剂对混凝土性能的影响	(70)
3.2.1	新拌混凝土性能	(70)
3.2.2	硬化混凝土性能	(78)
3.3	高效减水剂的应用	(82)
4	引气剂及引气减水剂	(85)
4.1	引气剂	(85)
4.1.1	引气剂的特点	(85)
4.1.2	引气剂的适用范围	(86)
4.1.3	引气剂的主要品种	(86)
4.1.4	引气剂对混凝土性能的影响	(88)

4.2	引气减水剂	(90)
4.2.1	引气减水剂的特点	(90)
4.2.2	引气减水剂的适用范围	(90)
4.2.3	引气减水剂的主要品种及性能	(90)
4.3	引气剂及引气减水剂的应用	(92)
4.3.1	引气剂的应用	(92)
4.3.2	引气减水剂的应用	(93)
5	高性能减水剂	(95)
5.1	概述	(95)
5.1.1	高性能减水剂的特点	(95)
5.1.2	高性能减水剂的适用范围	(95)
5.1.3	高性能减水剂的主要品种及性能	(95)
5.2	高性能减水剂的应用	(99)
6	缓凝剂及缓凝减水剂	(102)
6.1	缓凝剂	(102)
6.1.1	缓凝剂的特点	(102)
6.1.2	缓凝剂的适用范围	(102)
6.1.3	缓凝剂的主要品种及性能	(103)
6.1.4	缓凝剂对混凝土性能的影响	(111)
6.2	缓凝减水剂	(113)
6.2.1	缓凝减水剂的特点及适用范围	(113)
6.2.2	缓凝减水剂的主要品种及性能	(113)
6.3	缓凝剂及缓凝减水剂的应用	(118)
7	早强剂及早强减水剂	(122)
7.1	早强剂	(122)
7.1.1	早强剂的特点及适用范围	(122)
7.1.2	早强剂的作用机理	(122)
7.1.3	早强剂的种类	(123)
7.1.4	早强剂对混凝土性能的影响	(134)
7.2	早强减水剂	(141)
7.3	早强剂及早强减水剂的应用	(142)
7.3.1	早强剂的应用	(142)
7.3.2	早强减水剂的应用	(143)
8	防冻剂	(145)
8.1	概述	(145)
8.1.1	防冻剂的特点及适用范围	(145)
8.1.2	防冻剂的作用机理	(146)
8.1.3	防冻剂的品种	(147)
8.1.4	防冻剂的技术性能	(148)

8.2	防冻剂对混凝土性能的影响	(151)
8.2.1	对新拌负温混凝土性能的影响	(151)
8.2.2	对硬化负温混凝土性能的影响	(151)
8.3	防冻剂的应用	(152)
9	膨胀剂	(153)
9.1	概述	(153)
9.1.1	膨胀剂的特点及适用范围	(153)
9.1.2	膨胀剂的作用机理	(154)
9.1.3	膨胀剂的主要品种及性能	(156)
9.1.4	影响膨胀剂膨胀作用的因素	(162)
9.1.5	膨胀剂的选用	(163)
9.2	膨胀剂对混凝土性能的影响	(164)
9.2.1	对新拌混凝土性能的影响	(164)
9.2.2	对硬化混凝土性能的影响	(165)
9.3	膨胀剂的应用	(166)
10	泵送剂	(171)
10.1	概述	(171)
10.1.1	泵送剂的特点及适用范围	(171)
10.1.2	泵送剂的作用机理	(172)
10.1.3	泵送剂的技术要求	(173)
10.1.4	泵送剂的主要组分及性能	(174)
10.2	泵送剂对混凝土性能的影响	(179)
10.2.1	对新拌混凝土性能的影响	(179)
10.2.2	对硬化混凝土性能的影响	(180)
10.3	泵送剂的应用	(181)
11	防水剂与絮凝剂	(184)
11.1	防水剂	(184)
11.1.1	防水剂的特点及适用范围	(184)
11.1.2	防水剂的作用机理	(184)
11.1.3	防水剂的技术要求	(186)
11.1.4	防水剂的主要品种及性能	(189)
11.2	絮凝剂	(192)
11.2.1	絮凝剂的特点及适用范围	(192)
11.2.2	絮凝剂的技术要求	(192)
11.2.3	絮凝剂的主要品种及性能	(193)
11.3	防水剂及絮凝剂的应用	(194)
11.3.1	防水剂的应用	(194)
11.3.2	絮凝剂的应用	(195)

12 速凝剂	(196)
12.1 概述	(196)
12.1.1 速凝剂的特点及适用范围	(196)
12.1.2 速凝剂的作用机理	(196)
12.1.3 速凝剂的技术要求	(198)
12.1.4 速凝剂的主要品种及性能	(198)
12.2 速凝剂对混凝土性能的影响	(201)
12.3 速凝剂的应用	(207)
13 其他混凝土外加剂	(208)
13.1 混凝土阻锈剂	(208)
13.1.1 混凝土阻锈剂的定义和锈蚀机理	(208)
13.1.2 混凝土阻锈剂的分类	(209)
13.1.3 阻锈剂在混凝土中的应用	(211)
13.2 混凝土养护剂	(214)
13.2.1 混凝土养护剂的定义	(214)
13.2.2 混凝土养护剂的品种及养护机理	(215)
13.3 混凝土脱模剂	(217)
13.3.1 混凝土脱模剂的定义和作用原理	(217)
13.3.2 脱模剂的品种与性能	(218)
13.3.3 混凝土脱模剂工程应用的技术要点	(219)
13.4 混凝土减缩剂	(220)
13.4.1 减缩剂分子结构	(220)
13.4.2 减缩剂加入法试验	(221)
13.4.3 减缩剂对混凝土自由干燥收缩的减缩效果	(222)
13.4.4 减缩剂对提高受限混凝土结构抗裂性能的作用效果	(223)
13.4.5 减缩剂对于水泥石孔结构的影响	(224)
参考文献	(225)

1 基础知识

1.1 混凝土

1.1.1 混凝土的组成

水泥浆体是混凝土的胶凝材料与活性组分。混凝土的性能在很大程度上取决于水泥浆体的性能。混凝土外加剂在混凝土中的作用效果由水泥与外加剂之间的相互作用决定。生产水泥时所用的生料质量、煅烧条件、水泥的细度和颗粒尺寸及其分布、水泥矿物组成等也会影响硬化水泥浆体的物理化学性能。

1. 水泥

(1) 水泥的生产工艺

水泥的基本生产工艺可以用“两磨一烧”来概括。石灰石与黏土混合粉碎后添加少量萤石、铁粉磨细(一磨),经回转窑煅烧(一烧)得到水泥熟料,急速冷却后与少量石膏混合磨细(二磨)即是成品水泥。大多数水泥在此过程中掺入不同种的掺和料而配制成不同品种的水泥。

(2) 水泥的分类

水泥根据矿物组成可分为铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥和硅酸盐水泥三个系列。由于前两个系列水泥的使用量较少,因此本书仅以硅酸盐水泥为重点进行详细介绍。

根据新的国标《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),硅酸盐水泥可分为六大类,即:硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

1) 硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、0~5%(质量分数)的石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为硅酸盐水泥(即国外通称的波特兰水泥)。

硅酸盐水泥分为两种类型,不掺加混合材料的称为Ⅰ型硅酸盐水泥,代号为P·Ⅰ;在硅酸盐水泥粉磨时掺加不超过水泥质量5%的石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称为Ⅱ型硅酸盐水泥,代号为P·Ⅱ。

2) 普通硅酸盐水泥

一切由硅酸盐水泥熟料、6%~15%(质量分数)的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),代号为P·O。

掺活性混合材料时,最大掺量不得超过15%(质量分数),其中允许用不超过水泥质量5%的窑灰或不超过水泥质量10%的非活性混合材料来代替。

3) 矿渣硅酸盐水泥

所有由硅酸盐水泥熟料、粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥),代号为 P·S。水泥中粒化高炉矿渣掺加量按质量分数计为 20%~70%。允许用石灰石、粉煤灰、窑灰和火山灰质等混合材料中的一种材料代替矿渣,代替量不得超过水泥质量的 8%,替代后水泥中粒化高炉矿渣的质量分数不得低于 20%。

4) 火山灰质硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥),代号为 P·P。水泥中火山灰质混合材料的掺量按质量分数计为 20%~50%。

5) 粉煤灰硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为粉煤灰硅酸盐水泥(简称粉煤灰水泥),代号为 P·F。水泥中粉煤灰掺加量按质量分数计为 20%~40%。

6) 复合硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、两种或两种以上规定的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为复合硅酸盐水泥(简称复合水泥),代号为 P·C。水泥中混合材料总掺量的质量分数应大于 15% 且小于 50%。水泥中允许用不超过 8% (质量分数) 的窑灰代替部分混合材料;掺矿渣时混合材料掺量不得与矿渣硅酸盐水泥重复。

(3) 水泥品种的选择

工程上配制普通混凝土主要选用五个品种的硅酸盐水泥和复合型水泥,必要时,也可以选用特种水泥,选用的主要根据是混凝土工程的特点、所处环境、温度及施工条件等,具体选用详见表 1-1。

表 1-1 五种水泥的主要特征及适用范围

名称	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
主要特征	1. 快硬早强 2. 水化热高 3. 耐冻性好 4. 耐热性差 5. 耐腐蚀性差	1. 早强 2. 水化热较高 3. 耐冻性较好 4. 耐热性较差 5. 耐腐蚀性较差	1. 早期强度低,后期强度增长较快 2. 水化热较低 3. 耐热性较好 4. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗力和抗水性较好 5. 抗冻性较差 6. 干缩较大	1. 早期强度低,后期强度增长较快 2. 水化热较低 3. 耐热性较差 4. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗力和抗水性较好 5. 抗冻性较差 6. 干缩较大 7. 抗渗性较好	1. 早期强度低,后期强度增长较快 2. 水化热较低 3. 耐热性较差 4. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗力和抗水性较好 5. 抗冻性较差 6. 干缩较小 7. 抗碳化能力较差

续表

名称	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
适用范围	1. 快硬早强工程 2. 配制高强度等级的混凝土	1. 地上、地下及水中的混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构, 包括受循环冻融的结构及对早期强度要求较高的工程 2. 配制建筑砂浆	1. 大体积工程 2. 配制耐热混凝土 3. 蒸汽养护的构件 4. 一般地上、地下和水中的混凝土及钢筋混凝土结构 5. 配制建筑砂浆	1. 大体积工程 2. 有抗渗要求的工程 3. 蒸汽养护的工程构件 4. 一般混凝土和钢筋混凝土工程 5. 配制建筑砂浆	1. 地上、地下、水中和大体积混凝土工程 2. 蒸汽养护的构件 3. 一般混凝土工程 4. 配制建筑砂浆
不适用处	1. 大体积混凝土工程 2. 受化学侵蚀水及压力水作用的结构物	1. 大体积混凝土工程 2. 受化学侵蚀水及压力水作用的结构物	1. 早期强度要求较高的混凝土工程 2. 位于严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程	1. 早期强度要求较高的混凝土工程 2. 位于严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程 3. 处于干燥环境的混凝土工程 4. 对耐磨性要求高的工程	1. 早期强度要求较高的混凝土工程 2. 位于严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程 3. 有抗碳化要求的工程

(4) 水泥强度等级

硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六个等级。

普通硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四个等级。

矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六个等级。

2. 砂子

粒径在 0.15 ~ 4.75 mm, 化学成分为 SiO_2 者称为砂子, 砂子可分为天然砂与机制砂。天然砂又可分为河砂、海砂和山砂。河砂的洁净度较高, 因此配置混凝土时多采用河砂。

配制混凝土所用砂子应达到《建设用砂》(GB/T 14684—2011) 的有关标准, 其具体要求如下。

(1) 颗粒级配与粗细程度

为了保证配制出来的混凝土有较好的和易性, 强度高, 密实度好, 并能节约水泥, 应选用颗粒级配好、粗细程度适当的骨料。对于细骨料砂子来说, 希望选用的砂子的空隙率小, 总表面积也小。空隙率小, 混凝土密实度就好, 省水泥浆。砂子空隙率的大小取决于颗粒级配的好坏, 而总表面积的大小又取决于砂子的粗细程度。

颗粒级配指的是不同粒径砂粒搭配的比例状况。图 1-1(a)、1-1(b) 分别为单一粒径砂和两种粒径砂; 图 1-1(c) 中的砂粒搭配具备三种以上的粒径, 其空隙率最小, 级配合理。

砂子的颗粒级配和粗细程度常用筛分析的方法进行测定。用细度模数表示砂子的粗细程度, 用级配区表示砂子的颗粒级配。筛分析的方法是用一套孔径为 9.50、4.75、2.36、

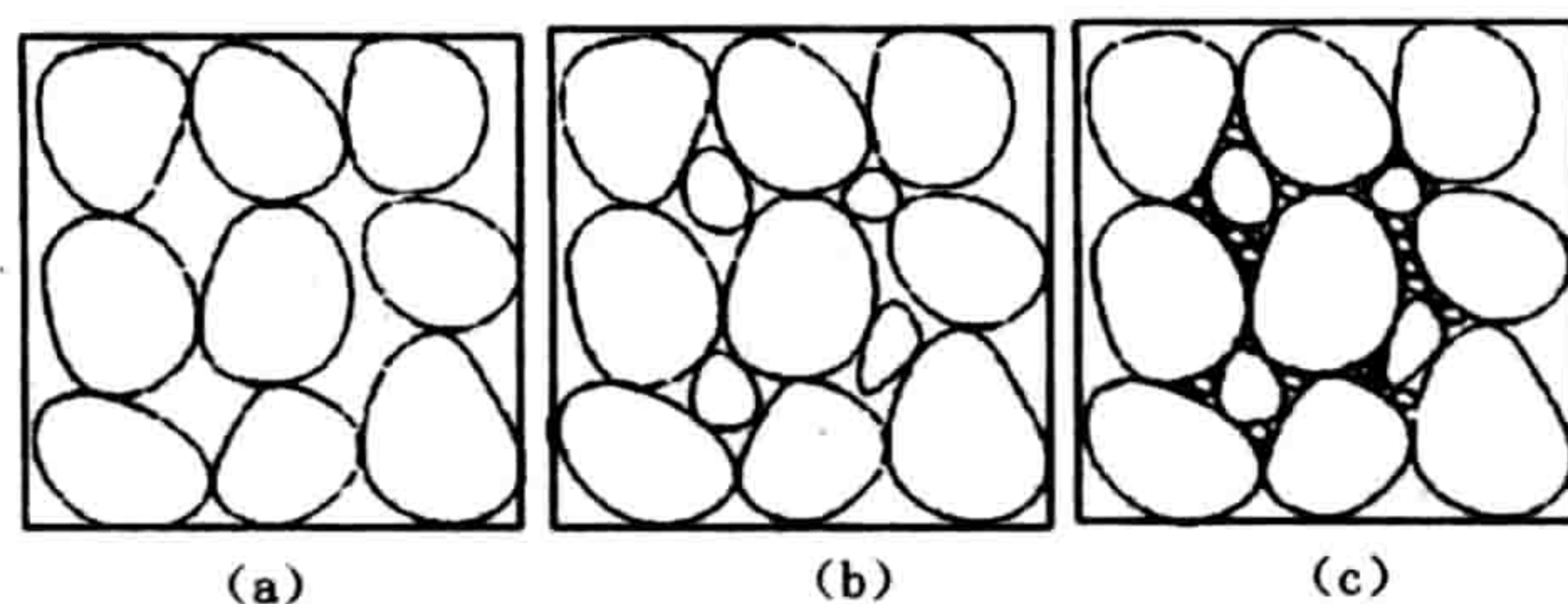


图 1-1 骨料颗粒级配

(a)单一粒径砂;(b)两种粒径砂;(c)多种粒径砂

1. 18、0.60、0.30 和 0.15 mm 的标准方孔筛,将 500 g 干砂试样由粗到细依次过筛,然后称量留在各筛子上的砂量,并分别计算出各筛子的分计筛余百分率 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 α_5 和 α_6 及累计筛余百分率 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 和 A_6 。且

$$A_1 = \alpha_1$$

$$A_2 = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$A_3 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

$$A_4 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4$$

$$A_5 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5$$

$$A_6 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6$$

砂子的粗细程度用细度模数(M_x)表示,即

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

计算所得的 M_x 值越大,表示砂子越粗。普通混凝土用砂的细度模数通常在 1.6 ~ 3.7, 其中, $M_x = 3.1 \sim 3.7$ 为粗砂, $M_x = 2.3 \sim 3.0$ 为中砂, $M_x = 1.6 \sim 2.2$ 为细砂。

砂的颗粒级配应符合表 1-2 的规定,砂的级配类别应符合表 1-3 的规定。对于砂浆用砂,4.75 mm 筛的累计筛余量应为 0。砂的实际颗粒级配除 4.75 mm 和 600 μm 筛挡外,可以稍微有超出,但各级累计筛余超出值总和应不大于 5%。

表 1-2 颗粒级配

砂的分类	天然砂			机制砂		
级配区	1 区	2 区	3 区	1 区	2 区	3 区
方孔筛孔径	累计筛余百分率/%					
4.75 mm	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0
2.36 mm	35 ~ 5	25 ~ 0	15 ~ 0	35 ~ 5	25 ~ 0	15 ~ 0
1.18 mm	65 ~ 35	50 ~ 10	25 ~ 0	65 ~ 35	50 ~ 10	25 ~ 0
600 μm	85 ~ 71	70 ~ 41	40 ~ 16	85 ~ 71	70 ~ 41	40 ~ 16
300 μm	95 ~ 80	92 ~ 70	85 ~ 55	95 ~ 80	92 ~ 70	85 ~ 55
150 μm	100 ~ 90	100 ~ 90	100 ~ 90	97 ~ 85	94 ~ 80	94 ~ 75

表 1-3 级配类别

类别	I	II	III
级配区	2 区	1、2、3 区	

(2) 砂的含泥量、石粉含量和泥块含量

①天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 含泥量和泥块含量

类别	I	II	III
含泥量(按质量计)/%	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 5.0
泥块含量(按质量计)/%	0	≤ 1.0	≤ 2.0

②机制砂 MB 值 ≤ 1.4 或快速法试验合格时,石粉含量和泥块含量应满足表 1-5 的要求;机制砂 MB 值 > 1.4 或快速法试验不合格时,石粉含量和泥块含量应符合表 1-6 的规定。

表 1-5 石粉含量和泥块含量(MB 值 ≤ 1.4 或快速法试验合格)

类别	I	II	III
MB 值	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.4 或合格
石粉含量(按质量计)/% *	≤ 10.0		
泥块含量(按质量计)/%	0	≤ 1.0	≤ 2.0

* 此指标根据使用地区和用途,经试验验证,可由供需双方协商确定。

表 1-6 石粉含量和泥块含量(MB 值 > 1.4 或快速法试验不合格)

类别	I	II	III
石粉含量(按质量计)/%	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 5.0
泥块含量(按质量计)/%	0	≤ 1.0	≤ 2.0

(3) 有害物质

混凝土用砂要求洁净,有害物质的含量不准超过规定的限值。砂中的有害物质包括云母、有机物、硫化物及硫酸盐、轻物质、氯化物、贝壳等。若其中云母及轻物质含量过多,会使混凝土表面形成薄弱层;若黏结在骨料(砂、石子)表面,还会破坏水泥浆包裹骨料的黏结力,起隔层的破坏作用。硫化物与硫酸盐类物质含在砂中,将导致水泥石被腐蚀并使钢筋锈蚀,从而降低混凝土的强度和耐久性。各种有机物(沥青、植物纤维、煤粉等)含量多,会直接影响混凝土硬化和强度。所以有害物质限量应符合表 1-7 的规定。

表 1-7 有害物质限量

类别	I	II	III
云母(按质量计)/%	≤1.0	≤2.0	
轻物质(按质量计)/%	≤1.0		
有机物	合格		
硫化物及硫酸盐(按 SO ₃ 质量计)/%	≤0.5		
氯化物(以氯离子质量计)/%	≤0.01	≤0.02	≤0.06
贝壳(按质量计)/% *	≤3.0	≤5.0	≤8.0

* 该指标仅适用于海砂,其他砂种不作要求。

(4) 坚固性

砂子的坚固性是指砂子在自然风化和其他外界化学、物理因素作用下抵抗破裂的性能。

①采用硫酸钠溶液法进行试验,砂的质量损失应符合表 1-8 的规定。

表 1-8 坚固性指标

类别	I	II	III
质量损失/%	≤8		≤10

②机制砂除了要满足①中的规定外,压碎指标还应满足表 1-9 的规定。

表 1-9 压碎指标

类别	I	II	III
单级最大压碎指标/%	≤20	≤25	≤30

(5) 表观密度、松散堆积密度、空隙率

砂的表观密度、松散堆积密度、空隙率应符合如下规定:

- ①表观密度不小于 2 500 kg/m³;
- ②松散堆积密度不小于 1 400 kg/m³;
- ③空隙率不大于 44%。

(6) 碱集料反应

经碱集料反应试验后,试件应无酥裂、裂缝、胶体外溢等现象,在规定的试验龄期膨胀率应小于 0.10%。

(7) 含水率和饱和面干吸水率

当用户有要求时,应报告其实测值。

3. 石子

普通混凝土所用粗骨料有卵石和碎石两种。卵石是天然岩石经自然风化、水流搬运和分选、堆积形成的粒度大于 4.75 mm 的岩石颗粒。其按产源不同,可分为海卵石、河卵石和山卵石等几种。其中,河卵石比较洁净,并呈自然级配,工程上应用较多。碎石是天然岩石

或大卵石经破碎、筛分而得到的粒径大于 4.75 mm 的岩石颗粒。碎石表面比较粗糙、见棱见角,与水泥浆有较好的黏结力,且洁净度比卵石高,但是价格比较高。

国家标准《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011)将卵石、碎石按技术要求分成三类。其中,Ⅰ类用于强度等级大于 C60 的混凝土,Ⅱ类用于强度等级为 C30 ~ C60 及有抗冻、抗渗要求或有其他要求的混凝土,Ⅲ类则用于强度等级小于 C30 的混凝土。此外,标准就粗骨料的质量要求规定了以下几个方面。

(1) 颗粒级配

石子级配的原理和砂子相同。所用的一套标准筛筛孔的尺寸为 2.36、4.75、9.50、16.0、19.0、26.5、31.5、37.5、53.0、63.0、75.0、90.0 mm 共 12 个筛挡。试验过程中也要同砂子一样计算分计筛余百分率和累计筛余百分率。

卵石、碎石的颗粒级配应符合表 1-10 的规定。

表 1-10 颗粒级配

公称粒径 /mm		累计筛余百分率/%											
		方孔筛孔径/mm											
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90
连续粒级	5 ~ 16	95 ~ 100	85 ~ 100	30 ~ 60	0 ~ 10	0							
	5 ~ 20	95 ~ 100	90 ~ 100	40 ~ 80	—	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				
	5 ~ 40	—	95 ~ 100	70 ~ 90	—	30 ~ 65	—	—	0 ~ 5	0			
单粒粒级	5 ~ 10	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0								
	10 ~ 16		95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0							
	10 ~ 20		95 ~ 100	85 ~ 100		0 ~ 15	0						
	16 ~ 25			95 ~ 100	55 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 10	0					
	16 ~ 31.5		95 ~ 100		85 ~ 100			0 ~ 10	0				
	20 ~ 40			95 ~ 100		80 ~ 100			0 ~ 10	0			
	40 ~ 80					95 ~ 100			70 ~ 100		30 ~ 60	0 ~ 10	0

石子的级配分为连续粒级和单粒粒级两种。连续粒级是指颗粒的尺寸从小到大连续分级,其中每一级石子都占适当的比例。这种级配的石子适合配制普通塑性混凝土或流动性大的泵送混凝土。单粒粒级石子在工程上应用比较少,主要用于组合成具有要求级配的连续粒级或与连续粒级混合使用,以改善级配或配成粒度较大的连续粒级,不宜用单一的单粒粒级配制混凝土。

(2) 含泥量和泥块含量

卵石、碎石的含泥量和泥块含量应符合表 1-11 的规定。

表 1-11 含泥量和泥块含量

类别	I	II	III
含泥量(按质量计)/%	≤0.5	≤1.0	≤1.5
泥块含量(按质量计)/%	0	≤0.2	≤0.5

(3) 针、片状颗粒含量

卵石、碎石的针、片状颗粒含量应满足表 1-12 的要求。

表 1-12 针、片状颗粒含量

类别	I	II	III
针、片状颗粒总含量 (按质量计)/%	≤5	≤10	≤15

(4) 有害物质

配制混凝土使用的粗骨料也要求洁净度高,应严格控制有害物质的含量,如有机物、硫化物及硫酸盐等,它们对混凝土的危害很大。有害物质限量应符合表 1-13 的规定。

表 1-13 有害物质限量

类别	I	II	III
有机物	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 SO ₃ 质量计)/%	≤0.5	≤1.0	≤1.0

(5) 坚固性

采用硫酸钠溶液法进行试验,卵石、碎石的质量损失应符合表 1-14 的规定。

表 1-14 坚固性指标

类别	I	II	III
质量损失/%	≤5	≤8	≤12

(6) 强度

为保证混凝土强度的要求,石子必须强度足够、质地坚实。卵石和碎石的强度,可用岩石的抗压强度和压碎指标两种方法表示,工程上用压碎指标表示比较多。检验压碎指标是将一定气干状态下 9.5 ~ 19.0 mm 的石子去掉针、片状颗粒,装入要求规格的圆筒内,在压力机上以 1 kN/s 的速度均匀加载至 200 kN,并稳定荷载 5 s,卸载后用孔径为 2.36 mm 的筛子筛去压碎的颗粒,称取试样的筛余量,并根据下式进行计算

$$Q = \frac{G - G_1}{G} \times 100\%$$

式中:Q——压碎指标,%;