

“十二五”国家重点图书出版规划项目

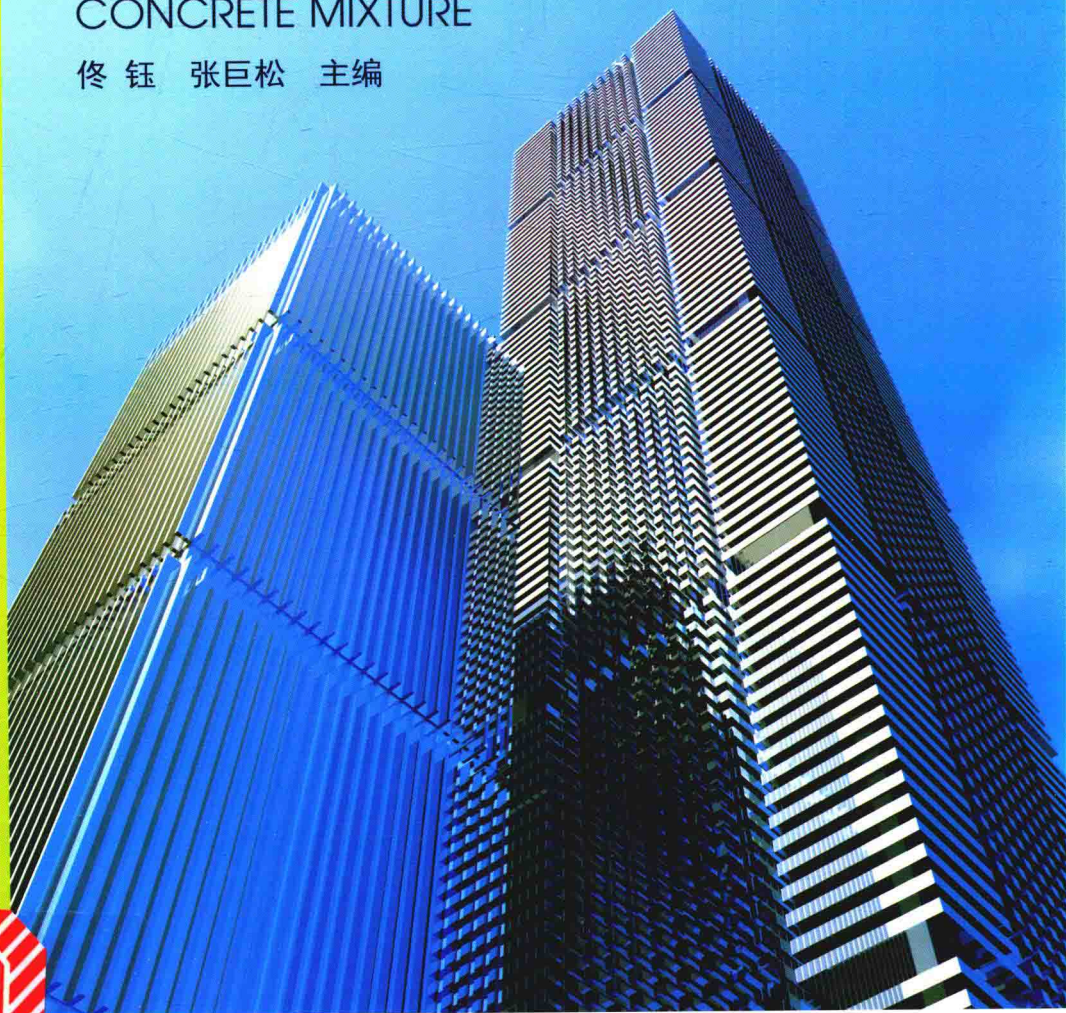
材料科学研究与工程技术/预拌混凝土系列

《预拌混凝土系列》总主编 张巨松

混凝土混合料

CONCRETE MIXTURE

佟钰 张巨松 主编



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家重点

材料科学研究与工程技术/预拌混凝土系列

《预拌混凝土系列》总主编 张巨松

混凝土混合料

CONCRETE MIXTURE

佟钰 张巨松 主编

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

作为《预拌混凝土系列》丛书的重要组成部分,本书在简要介绍混合料组成与结构的基础上,重点讨论混合料的性能、评价方法与主要影响因素,分析探讨混合料坍落度损失的机理、影响因素及其控制措施,收集整理了混合料相关的常见工程问题与案例。书中内容紧密结合混凝土材料生产实践,内容丰富,实用性强,适当兼顾基本理论。

本书适合作为混凝土从业者的入门指导,也可用作无机非金属材料专业本专科学生的教学参考书。

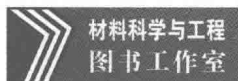
图书在版编目(CIP)数据

混凝土混合料/佟钰,张巨松主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2016.1

ISBN 978-7-5603-5673-0

I. ①混… II. ①佟…②张… III. ①混凝土-混合料
IV. ①TU528.041

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 261992 号



材料科学与工程
图书工作室

责任编辑 张 瑞

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 660mm×980mm 1/16 印张 8.25 字数 126 千字

版 次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5673-0

定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

丛书序

混凝土从近代水泥的第一个专利(1824)算起,发展到今天近两个世纪了,关于混凝土的历史发展大师们有着相近的看法,吴中伟院士在其所著的《膨胀混凝土》一书中总结到,水泥混凝土科学历史上曾有过3次大突破:

- (1)19世纪中叶至20世纪初,钢筋和预应力钢筋混凝土的诞生;
- (2)膨胀和自应力水泥混凝土的诞生;
- (3)外加剂的广泛应用。

黄大能教授在其著作中提出,水泥混凝土科学历史上曾有过3次大突破:

- (1)19世纪中叶法国首先出现的钢筋混凝土;
- (2)1928年法国 E. Freyssinet 提出了混凝土收缩徐变理论,采用了高强钢丝,发明了预应力锚具,成为预应力混凝土的鼻祖、奠基人;
- (3)20世纪60年代以来层出不穷的外加剂新技术。

材料科学在水泥混凝土科学的表现可以理解为:

- ①金属、无机非金属、高分子材料的分别出现;
- ②19世纪中叶至20世纪初无机非金属和金属的复合;
- ③20世纪中叶金属、无机非金属、高分子的复合。

可见人造三大材料金属、无机非金属和高分子材料在水泥基材料在20世纪60年代完美复合。

1907年德国人最先取得混凝土输送泵的专利权;1927年德国的 Fritz Hell 设计制造了第一台得到成功应用的混凝土输送泵;荷兰人 J. C. Kooyman 在前人的基础上进行改进,1932年成功地设计并制造出采用卧式缸的 Kooyman 混凝土输送泵,到20世纪50年代中叶,德国的 Torkret 公司首先设计出用水作为工作介质的混凝土输送泵,标志着混凝土输送泵的发展进入了一个新的阶段;1959年德国的 Schwing 公司生产出第一台全液压的混凝土输送泵,混凝土泵的不断发 展,也促进泵送混凝土的快速发展。

1935年美国的 E. W. Scripture 首先研制成功了木质素磺酸盐为主要成分的减水剂(商品名 Pozzolith),1937年获得专利,标志着普通减水剂的诞生;1954年制定了第一批混凝土外加剂检验标准。1962年日本花王石碱公司服

部健一等人研制成功 β -萘磺酸甲醛缩合物钠盐(商品名“麦蒂”),即萘系高效减水剂,1964 年西德的 Aignesberger 等人研制成功三聚氰胺减水剂(商品名“Melment”),即树脂系高效减水剂,标志着高效减水剂的诞生。

20 世纪 60 年代,混凝土外加剂技术和混凝土泵技术结合诞生了混凝土的新时代——预拌混凝土。经过半个世纪的发展,预拌混凝土已基本成熟,为此组织编写了《预拌混凝土系列丛书》,希望系统总结预拌混凝土的发展成果,为行业的后来者迅速成长铺路搭桥。

本系列丛书内容宽泛,加之作者水平有限,不当之处敬请读者指正!

张巨松
2015 年 3 月

前 言

作为混凝土极为重要的一种中间形态,混合料在施工过程中所表现出的不仅仅是显著的塑性变形能力,而且在此变形过程中始终保持有较好的连续性和均匀性,从而满足了运输、泵送、浇注、密实等施工操作的需要,也因此成为保证最终硬化混凝土具有需要的力学强度和耐久性的技术关键。但在另一方面,为控制材料成本,混凝土生产经常采用一些地域资源特别是工业灰渣,其来源广泛、质量波动大、更换频率高,对混凝土质量的影响首先就会体现在混合料的性能上。这种情况下,混凝土混合料成为混凝土生产、施工相关技术人员必须面对也是处理最多的技术环节,具有丰富现场经验的从业者可以通过简便可行的检测手段,结合实践经验判定混凝土的质量,给出有效的解决措施,但对于行业初入者以及刚刚走出校门的本专科学生来说,这些经验只能通过1~3年的适应过程来获得,而这一过程无疑是曲折而痛苦的。

本书编写组成员均为多年从事混凝土教学、科研或生产工作的业内专家,深知这一领域对知识和人才的需求状况和关键所在。本书编写的目的主要是为了满足混凝土生产从业者入门培训的需要,也希望有助于缩短相关专业毕业生就职的适应期,更好地促进混凝土行业的健康发展。为此,本书着重加强了以下两个环节:

(1)突出内容的实用性。除非无法回避的部分,书中尽量减少了理论知识的内容,取而代之的是混凝土混合料生产和施工中最为常见、最普遍的工程技术问题及其解决思路和方案,更适合工程需要。

(2)更注重内容的时效性。文中所引用标准、规范等均遵照最新的国家、行业或地方标准,同时关注混凝土行业的重点发展方向,如高性能混凝土、泵送施工、装配式建筑等。

本书的具体编写分工如下:绪论、第1章由张巨松、佟钰编写;第2、3、4章由佟钰编写;第5、6章由佟钰、张巨松编写。全书由张巨松对内容进行了统稿、编排和整理。

由于笔者水平有限,加之混凝土行业的普及性和复杂性,书中内容难免有不足或疏漏之处,敬请专家、读者多多指教!

编 者

2015年7月

目 录

绪论	1
第 1 章 混合料的组成与结构	4
1.1 混合料的组成	4
1.2 混合料的结构	15
第 2 章 混合料的性能	17
2.1 混凝土工作性	17
2.2 混合料的流变学特征	24
2.3 含气量	31
2.4 凝结时间	33
第 3 章 混合料性能评定	35
3.1 取样及试样制备	35
3.2 流动性的评定	37
3.3 离析泌水的评定	53
3.4 含气量的测定	58
3.5 凝结时间的测定	61
3.6 表观密度测试	63
第 4 章 混合料性能的影响因素	65
4.1 流动性的主要影响因素	65
4.2 黏聚性与保水性的主要影响因素	80
4.3 含气量的主要影响因素	83
4.4 凝结时间的主要影响因素	84

第 5 章 坍落度损失	87
5.1 坍落度损失的定义	87
5.2 坍落度损失的机理	88
5.3 主要影响因素	90
5.4 控制坍落度损失的主要技术措施	94
第 6 章 混合料常见工程问题与案例	97
6.1 混凝土混合料的质量控制	97
6.2 常见施工问题与对策	99
6.3 工程实例	111
附录 混凝土混合料涉及的常用技术标准(规范)	117
参考文献	121

绪 论

混凝土是各组成材料(包括水泥、粗细集料、矿物掺合材、外加剂、水等)按一定比例组成的混合物,在搅拌均匀后、凝结硬化之前,称为混凝土混合料,也称混凝土拌合物或新拌混凝土。

从技术层面上,混凝土混合料必需满足最基本的技术要求,也就是在搅拌、运输、浇注、振捣和养护过程等施工操作过程中,始终保持连续、均质、便于施工操作并可有效填充模板空间,最终形成牢固、耐久的硬化混凝土结构。这就要求混凝土混合料必须具有合适的、与具体施工方式相适应的性能,包括一定的塑性变形性能以及在变形过程中保持组分不分离的能力。需要注意的是,由于混凝土原料品种繁多、质量复杂,而且对于混合料的性能要求又会随施工方法和环境状态等因素而进行调整,结果导致对于混合料性能进行测量和控制的最可靠方法反而是那些现场工作人员的主观判断。但是,这种做法无疑会带来很大的人为误差,也对混凝土施工质量管理带来了很大困难。

作为最早出现的不靠主观判断来定量测试混合料流动性的方法,美国埃博拉姆斯(Duff Abrams)于1913年发明的坍落度筒测量法尽管存在各种不足,但该方法测试简便、适用范围广,因此至今仍作为实验室和施工现场广泛使用的流动性表征方法。坍落度法的测量结果容易受技术人员操作手法的影响,且对于低流动性混合料的敏感性偏低,为此一些研究者陆续提出了测试混合料施工性能的方法与装置,其中应用比较普遍的例如格兰维尔等提出的捣实因数测试方法与装置,其原理是考察在一定标准功作用下混合料获得密实结构的程度,以此分析混凝土在浇注、密实过程中克服本身内摩擦力所做的有用功,后面将在3.2.5节中进一步详细讨论;此外,还有巴纳尔于1940年首先提出的维勃稠度测试方法与装置,根据标准形状的混合料试锥在机械振动条件下发生一定变形所需的时间长短判断混合料的变形能力(稠度),适合于干硬性混凝土混合料。其他类似的经验试验法还包括贯入度法、流动试验法、重塑试验法、捣实试验法、变形试验法、落锤试验法等。这些经验评定方法尽管

所采用的装置和测试步骤有所不同,但其实质都是检测混合料在自身重力或一定外力作用下,在模具、模板内发生流动变形,获得最小体积并保持良好工作状态的能力,因此都可以从某种程度上对混凝土的工作性进行定量表征。

上述测试方法及其结果的实质是混凝土混合料施工性能的外在表现,为进一步明确混合料工作性的本质、定义、含义及相应的定量评价指标,从20世纪早期开始,国内外学者就开始在相关研究中对其进行细致探讨。

T. C. Powers 对工作性的提法是:塑性混凝土拌合料决定其浇灌难易与分离析抵抗程度的性质,包括流动性与黏聚性两者的效应(1932年)。

1942年,P. S. Roller 提出砂浆的工作性可分解为四个部分,包括:①可塑性,是指砂浆摊铺到指定厚度所需的压力或功;②变形连续性,指砂浆变形流动后仍能保持连续、不断裂的性质;③塑性流动停止的趋势,指砂浆中颗粒体密集排列,可抵抗外力作用、塑性变形不再发生的现象;④保水性,是指砂浆在吸水底面的作用下保持拌合水的能力。

1947年,英国学者 Glanville, Collins, Matthews 等提出:“工作性是决定产生完全密实所需‘有用内在功’数量的混凝土性质”,明确了“有用内在功”作为对浇注成型难易程度的定量测度,意为克服混合料内摩擦所需要做的功。

1955年,P. Hallstrom 提出,工作性应包含稳定性、凝聚性、液性和流动性等几方面含义。

1960年,K. Newman 则认为,工作性=易密性+流动性+稳定性+终饰性。

1970年,O. J. Uzomaka 指出,工作性=易密性+摊铺性+稳定性。

1975年,日本川崎训明将工作性、可塑性和终饰性并列用于表示未固结混凝土的性质,其中工作性表示由稠度所决定的浇注难易及抵抗材料分离程度的性质;可塑性表示容易填充模型,拆模后缓慢变形坍落、不分离的性质;终饰性是指容易终饰、抹面的性能。

1981年,我国学者黄大能提出:

工作性=流动性+可塑性+稳定性+密实性

具体含义可叙述为:①流动性:固、液体混合物,即分散系统中克服内阻力而产生变形的性能;②可塑性:产生塑流的性能,即克服分散系统中的屈服应力后所产生的非可逆变形的性能;③稳定性:分散系统中固体重力所产生的剪切应力能否超过屈服应力的性能,即固、液体混合物在塑性变形时颗粒的位移

程度,也就是混凝土在外力作用下集料保持均匀分布的能力;④密实性:固、液体混合物在进行捣实时克服内在和表面的抵抗力以达到混合物完全致密的能力。这一论述经 30 余年的发展,目前在混凝土领域中重新进行了阐释,将混凝土混合料的工作性定义为流动性、黏聚性与保水性的矛盾统一。

工作性是评价混凝土混合料在施工过程包括搅拌、运输、浇注、捣实等工序中获得稳定密实结构所需内在功及其抵抗离析能力的综合评价指标。或者说成,混凝土混合料在消耗最少能量的情况下,通过一定施工操作过程达到稳定和密实的程度。由于混凝土混合料成分和性能的复杂性,以及施工工艺、设备、参数的多样性,导致难以采用单一试验测试或性能指标即可全面反映混合料的工作性。

随着现代建筑施工技术的发展,混凝土已改变了原本现场搅拌浇注的施工模式,以电子计量、集中搅拌、长距离运输、泵送施工为特征的商品混凝土生产及施工技术成了当今主流,相应混凝土混合料的配合比设计与施工性能也随之进行了调整。此外,高性能混凝土、绿色混凝土等概念的兴起也对混凝土混合料的结构与性能提出了不小的挑战。

混凝土混合料不仅必须具有符合要求的工作性,而且工作性的测量方法也应有助于实现混凝土配合比特别是用水量的快速调整。本书从组成、结构、性能、测试方法、主要影响因素等多个层次对混凝土混合料特别是商品混凝土进行阐释,作为一本入门读物,可以促进商品混凝土从业者特别是材料专业毕业生能够尽早进入角色,能够在商品混凝土的生产过程中有助于提高效率、减少工程失误、合理地使用原材料,最终起到降低混凝土生产成本、保证混凝土质量的作用。

第 1 章 混合料的组成与结构

对于任何天然或人造材料来说,其组成与结构都是决定其性能与应用的根本因素。作为最大宗的人造材料,混凝土各组成材料的性质与配比以及结构的致密性、均匀性,都是实现混凝土混合料性能优化的最基本技术手段,进而也影响了硬化混凝土的力学性能和耐久性。本章将主要从施工性能和使用性能的角度,对混凝土混合料的组成与结构进行说明讨论。

1.1 混合料的组成

混凝土组成材料是实现混凝土性能的基础,只有控制好原材料,合理利用原材料,才可能获得性能优良、施工方便、成本低廉的混凝土。但在混凝土的生产实践中,往往原材料的可选择余地很小,原因主要在于原料供应渠道和成本方面的限制,同时混凝土生产厂家也不可能存放过多品种、太多数量的原材料,其结果是实际生产中不得不降低对原料品质的要求。充分利用原有材料或地方区域性材料,只是在必要时引入适当的补救措施,保证混凝土混合料以及硬化后混凝土满足所需使用性能要求。下面将主要从混凝土混合料的角度对主要原材料的性能及其选择原则进行讨论。

1.1.1 水泥

作为混凝土最重要的组成材料,水泥是决定混凝土性能的最基本要素。对于混凝土混合料而言,质量分数最高、体积分数也最大的砂石集料自身没有产生塑性变形的能力,只有依靠足够数量水泥浆体的存在,才能完全包裹砂石集料的表面并全部或部分地充填集料间的空隙,起到减少滑移摩擦、促进混合料变形的能力,同时在运动过程中保证混合料始终维持为一体、不离析。

高质量水泥浆体的存在对于混凝土混合料乃至硬化混凝土来说不可或缺,为此,必须选用质量优良的水泥,其典型特征应包括:需水量低、流动性大、

与外加剂的相容性好;具有较高的胶砂强度;颗粒分布合理,具有良好的工作性和耐久性;严格控制碱、氯离子等有害组分的含量等。在此基础上,应根据实际工程特点,对水泥品种和用量等进行合理选择。

1. 品种

对于常规的混凝土工程来说,所采用的水泥品种以通用水泥,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和粉煤灰硅酸盐水泥这5种硅酸盐系水泥最为普遍,除了P. I型硅酸盐水泥之外,P. II型硅酸盐水泥和其他4种通用水泥中均掺入了不同数量的活性混合材,如磨细矿渣、火山灰质材料、粉煤灰等,或者少量的非活性混合材,如石灰石粉、窑灰等。混合材的掺用原则是:混合材的水化活性越高,可掺用的比例也越大。例如,磨细矿渣中CaO质量分数达40%左右,接近水泥熟料中CaO的质量分数,因此在矿渣水泥中的最高掺入量可达水泥质量的70%,而且可以采用部分非活性混合材料来替代磨细矿渣;比较而言,火山灰质材料和粉煤灰的水化活性相对较低,因此掺入量在火山灰质水泥和粉煤灰水泥中质量分数为20%~40%。

除了通用水泥之外,水泥生产厂家还可以通过调整水泥熟料矿物成分、粉磨细度、矿物混合材品种和掺量等,得到具有特定水硬化性质的硅酸盐系水泥(称为特性水泥),如中热低热硅酸盐水泥、耐硫酸盐水泥、自应力/膨胀水泥、快硬高强水泥、白色/彩色水泥等,或者满足特定用途要求的专用水泥,如道路水泥、油井水泥、砌筑水泥等。

根据我国多年生产经验,只要水泥质量符合国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)及相关国家标准、行业标准的规定,均可用于调配混凝土,但不同水泥品种之间存在较大性能差异,即使相同的水泥品种也可能因强度等级不同而导致在凝结硬化过程和强度发展等方面表现出一定的差异。科学研究和实际生产中,应根据混凝土的设计强度、耐久性要求、使用环境、服役寿命等多方面因素,合理选择水泥品种。例如,海港工程应采用抗硫酸盐水泥,大体积混凝土应采用中热、低热水泥,等等。在购买水泥时,应要求供货方提供水泥中混合材成分、含量、凝结硬化性能、早中期强度等数据,作为水泥选择和使用的依据。

与硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥相比,使用混合材料的水泥所具有的共性可简单归纳如下:

(1) 凝结硬化缓慢, 早期强度低, 但后期强度持续发展, 可赶上甚至超过同强度等级的硅酸盐水泥。因此, 掺混合材的硅酸盐水泥不宜用于早期强度要求高的工程, 如冬季施工、抢险加固等。

(2) 环境温度敏感度高, 适合于蒸气养护或蒸压养护, 因为反应温度的提高有利于激发混合材的水化活性, 可加速水化反应和强度发展的历程。

(3) 耐腐蚀性好。混合材的水化反应可持续消耗熟料水化所产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 同时水泥中熟料的减少也有利于降低 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和单硫型水化硫铝酸钙 (AFm) 的相对含量, 再加上混合材二次水化可改善混凝土的密实度, 因此水泥石和混凝土抵抗软水及硫酸盐侵蚀的能力均有所提高。

(4) 水化热低, 放热速度慢, 可用于大体积混凝土工程。

(5) 抗冻性、耐酸性、抗碳化性等能力偏低。

如上所述, 掺混合材硅酸盐水泥的性能随混合材种类不同而各有特点, 其应用范围也因此有所差异, 其中矿渣硅酸盐水泥的抗渗性差, 但耐热性良好, 可用于使用温度不高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的混凝土工程; 火山灰质硅酸盐水泥的抗渗性好, 但干缩大, 不宜用于干燥环境中的永久性工程; 粉煤灰水泥的需水量低、流动性好、干缩小、抗裂性好, 应用则较为广泛。

除了硅酸盐系列水泥之外, 一些不同体系的胶凝材料也已实现了工程应用, 比如硫铝酸盐水泥应用于抢修、堵漏、涵洞等工程, 氯氧镁水泥用于加工建材制品等。此外, 一些新的胶凝体系如磷酸盐水泥、地聚物水泥等的研发也取得了很大进展。

2. 用量

水泥浆体为混凝土混合料提供了重要的内聚性和变形能力。水泥用量偏少, 则混凝土混合料的流动变形能力差, 对集料和钢筋的包裹能力低, 混凝土结构体中可能出现宏观裂缝、孔洞、露筋等严重缺陷, 大幅降低混凝土的强度和密实度; 反之, 水泥用量过大, 则不仅增大了生产成本, 影响混凝土的经济性, 同时由于水泥石干缩及结构体内外温差等原因容易导致混凝土出现收缩裂纹或温度裂缝。因此, 根据混凝土设计强度合理选择水泥强度等级是十分必要的, 水泥强度等级高则计算水灰比也高、水泥用量少; 水泥强度等级过低则水泥用量偏大, 影响经济性和尺寸稳定性, 混合料的黏稠度也偏高, 不利于泵送、振捣等施工操作。

根据我国建工行业标准《普通混凝土配合比设计规范》(JGJ 55)规定,水泥用量由计算得到的水胶比、矿物掺合材取代率以及选用的单位用水量三者推算得出,但水泥用量必须大于或等于一定的最小水泥用量,以满足不同地区、不同使用部位的耐久性要求。如混凝土生产厂家只能使用高强度等级水泥,则可采用矿渣、粉煤灰等矿物掺合材取代部分水泥,增大混凝土混合料中胶凝材料的总量,改善混合料的施工性能。原则上,能保证混凝土设计强度要求,并使混凝土混合料具有良好的工作性的最小的水泥用量,可作为混凝土的最佳水泥用量。

1.1.2 集料

集料或称骨料,包括粗集料(石子)和细集料(砂),总体积约占混凝土总体积的 3/4,是混凝土的主要组成材料之一。国家标准《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685)、《建筑用砂》(GB/T 14684)对混凝土用粗细集料的质量做出了明确规定。总体而言,高质量集料的特征包括:坚固耐久、均匀洁净、级配优良、针片状颗粒含量低;颗粒表面稍为粗糙,不包含可能干扰水泥水化或与水泥水化产物反应生成膨胀性物质的有害组分。特定情况下还应满足比热容、体积质量等特殊要求。

需要注意的是,集料是大宗的地方性材料,多是利用当地资源以提高混凝土的经济性,但必须同时考虑货源、生产方法、运输方式以及堆放条件等因素对集料质量和均质性的影响;必要时,可以考虑使用外地供应的高品质集料或用其部分取代地产集料。

1. 粗集料的选择

(1) 最大粒径。

粗集料最大粒径首先取决于混凝土构筑物的最小截面尺寸以及钢筋密度。级配合理情况下,选择最大粒径更大的粗集料有利于降低集料的空隙率和总表面积,从而起到减少混凝土单位用水量 and 水泥用量的作用,因此,在模板空间及钢筋间距允许的条件下,应尽量选用粒径较大的粗集料,特别是对一般强度等级的混凝土。反之,对于大体积混凝土而言,所使用的粗集料最大粒径不宜小于 31.5 mm,但应注意,当粗集料粒径过大时(> 40 mm),粗集料在堆放过程中容易发生离析或在混凝土混合料中出现重力沉降,因此必须采用

适当的工艺措施加以避免;此外,由于集料比表面积的减小和混凝土不均匀性的增大,混凝土随集料粒径增大而呈现强度降低的趋势。因此,对于 C60 ~ C80 或更高强度等级的混凝土,粗集料最大粒径一般控制不大于 25 mm。

(2) 级配。

粗集料的颗粒级配按工艺情况分为连续级配和单粒级两种。连续级配是按颗粒尺寸由小到大连续分级,每级集料都占有一定比例。《混凝土质量控制标准》(GB 50164)中推荐混凝土生产宜采用连续级配,可保证配制出的混凝土混合料流动性良好,不易离析,而且也有利于提高混凝土的强度和耐久性,并降低水泥用量。

对于大部分颗粒粒径集中在某一种或两种粒径上的颗粒称为单粒级。单粒级集料便于分级储运,可减少运输过程中的颗粒离析现象。使用时应将不同大小的单粒级集料通过适当组合,实际配制混凝土并综合测评混合料的工作性,符合要求的才能作为实际生产用的集料级配;一般情况下,单粒级粗集料不宜单独用于配制混凝土。行业标准 JGJ 52 中对单粒级或不满足级配范围的石子虽然未定义为禁止使用的不合格品,但强调必须配合连续级配或经试配验证后才能使用。

(3) 颗粒形状与表面状况。

卵石形状浑圆、表面光滑,有利于混凝土混合料的流动变形,因此在流动度相同的情况下,可同时减小单位用水量 and 水泥用量,但卵石与水泥砂浆的黏结能力差,通常不能用于配制高强混凝土。对比而言,碎石的棱角分明、表面粗糙,尽管颗粒间摩擦力较大,导致所拌制的混凝土工作性低于卵石混凝土,但却保证了集料与砂浆间的牢固结合,因此广泛用于混凝土特别是高强混凝土的生产。

(4) 其他性能。

集料的力学性质一般均可满足混凝土强度等级要求,但对中高强度等级的混凝土来说,一些试验资料也表明,如使用质地软弱、强度偏低的岩石作为集料,会导致混凝土强度达不到预期水平,特别是在低水灰比的情况下,即集料强度可能成为决定高强混凝土强度增长的关键因素之一。集料的力学性能可以通过原生岩石钻芯取样得到的立方体试样,直接测试轴心抗压强度的方法,一般来说,集料轴心抗压强度应不低于普通混凝土强度的 1.5 倍,而高强

混凝土所用粗集料的抗压强度应比混凝土设计强度高 30% 以上;也可以根据《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52)的规定,采用标准方法得到的压碎指标或筒压强度作为集料力学性能的评价指标。

针片状颗粒的空隙率高、比表面积大,因此在集料中的含量不宜过高,否则包裹颗粒表面及填充空隙所需的砂浆量随之增大,对混凝土混合料的工作性不利;针片状颗粒在运动过程中倾向于沿容器内壁取向排列,不利于混凝土性能的各向均质性;此外,针片状颗粒在外力作用下,易于发生弯折断裂,导致混凝土的力学强度相应降低。

含泥量和泥块含量的存在会加大混凝土的用水量,影响外加剂的使用效果,削弱粗集料与砂浆之间的黏结,影响硬化混凝土的抗冻性、抗渗性和体积稳定性等,对于高强混凝土的影响尤其明显。对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土,粗集料中泥的质量分数和泥块的质量分数分别应不大于 1.0% 和 0.5%。

2. 细集料的选择

混凝土混合料中可采用的细集料包括天然砂和人工砂。传统混凝土工业主要采用天然砂,特别是河砂,其表面圆滑、质地坚硬洁净,有利于混凝土混合料的工作性能。近年来,随着建筑行业的蓬勃发展,河砂资源愈见匮乏,很多地区缺乏天然砂源,也开始使用人工砂。人工砂是机制砂和混合砂的统称,所谓机制砂是由机械破碎、筛分制成的,多是利用机制碎石过程的边角碎料进一步破碎而成,其颗粒棱角尖锐,表面粗糙,质地纯净,但片状颗粒和石粉的含量较多,成本也相对较高;机制砂和天然砂按一定比例混合后,称为混合砂。由于天然矿产资源日趋紧张,一些符合建筑用砂质量标准的尾矿砂也开始在工程中使用,并取得了较好的应用效果,同时也有利于工业废渣尾矿的资源化利用,可取得显著的环保效益。

参考相关国家标准《建筑用砂》(GB/T 14684)、建筑行业标准《普通混凝土用砂石质量及检验方法标准》(JGJ 52),配制混凝土时所采用的细集料应重点关注以下几方面技术问题:

(1) 力学性能。

细集料的力学性能通常采用坚固性来表示,即粗细集料在自然风化和和其他外界物理化学因素作用下抵抗破裂的能力。实验室中可以采用硫酸钠溶液