

混凝土现代技术丛书

轻集料混凝土

龚洛书 柳春圃 编著

中国铁道出版社

1996年·北京

混凝土现代技术丛书

轻集料混凝土

龚洛书 柳春圃 编著

中国铁道出版社

1996年·北京

(京)新登字 063 号

图书在版编目(CIP)数据

轻集料混凝土 / 龚洛书, 柳春圃编著. — 北京: 中国铁道出版社, 1996

(混凝土现代技术丛书 / 吴中伟主编)

ISBN 7-113-02339-8

I. 轻… II. ①龚… ②柳… III. 轻质混凝土 IV. TU528.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08822 号

混凝土现代技术丛书

轻集料混凝土

龚洛书 柳春圃 编著

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区南菜园街甲 72 号)

责任编辑 傅希刚 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 12.625 字数: 278 千

1996 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—2000 册

ISBN 7-113-02339-8/TU·500 定价: 18.70 元

“混凝土现代技术丛书”

编委会名单

顾 问：黄蕴元

主任委员：吴中伟

副主任委员：姚明初

编委会委员（以姓氏笔划为序）：

冯乃谦 吴中伟 沈旦申 洪定海

姚明初 龚洛书 蒋家奋 甄永严

蔡正咏

序

自从波特兰水泥问世以来,混凝土与钢筋混凝土很快就成为主要的建筑材料,广泛地应用于各种建筑工程中。第二次世界大战以后,水泥混凝土的用量迅速增加。目前世界水泥年产量已达13亿吨左右,可制作混凝土30亿 m^3 以上,所以混凝土不仅是用量最多的建筑材料,而且也是当代最大量的人造材料。对这样的大宗材料进行有效的研究开发工作,致力于增加品种、改进工艺、提高性能、降低成本、节约能耗,不断扩大其应用范围,充分发挥其社会效益与经济效益,已成为混凝土科技工作者的光荣职责。

现在,我们正处于新的技术革命的伟大时代,各项技术都在互相渗透、互相促进,形成日新月异之势。混凝土技术也不例外,新技术新成就不断涌现。本丛书为了加速混凝土科学技术水平的提高,使混凝土这种主要材料在我国经济建设中发挥更大作用,对于实用意义较大的混凝土现代科学技术,分期分批出版专册(著)。

中国铁道出版社自组织《混凝土现代技术丛书》以来,已出版了《膨胀混凝土》,《流态混凝土》,《三向应力混凝土》,《粉煤灰混凝土》,《碾压混凝土》,《硫铝酸盐水泥混凝土的特性及应用》,《硅粉混凝土及其应用》,《自应力钢筋混凝土管》,《混凝土养护节能技术》,《真空混凝土工艺及设备》,《混凝土力学性能测定》,《数理统计在混凝土试验中的应用》,《混凝土的徐变》,《混凝土的收缩》,《混凝土力学》等15种。为完善此丛书,拟于近期组织出版的有《天然沸石混凝土应用技术》,《轻集料

混凝土》,《聚合物浸渍混凝土》,《高性能混凝土》,《防腐蚀混凝土》,《纤维增强水泥复合材料》,《大体积混凝土》,《混凝土中钢筋腐蚀与防护》,《混凝土冬期施工》,《混凝土快速硬化》,《混凝土质量非破损检验技术》,《混凝土材料科学》,《混凝土的耐久性》,《混凝土碱集料反应》等。

本丛书除了传播新知识以外,还将发挥宣传教育的作用。解放以来,我国混凝土科学技术进步很快,混凝土工程数量庞大,混凝土结构构件与各种水泥制品品种繁多,满足了基本建设与国民经济发展的需要,成绩是巨大的。但也不能否认,混凝土新技术的开发和普及工作还不能令人满意。至今我国高性能混凝土、高效外加剂、商品混凝土等与先进国家相比还有较大差距,混凝土工程质量问题,尤其是耐久性问题,更应立即加以重视。总的来说,当前我国混凝土技术水平还不高,必须加速信息的传播,加强宣传教育工作,尽快赶上国际先进水平,以保证我国高速度的建设事业对混凝土的需要。

随着科学技术的进步与我国混凝土科研与生产经验的积累,本丛书拟在新品种与特种混凝土,新工艺、新设备,性能与测试技术,应用理论等方面继续扩大选题范围。希望同行专家与广大读者,给予支持,共同为加速混凝土新技术的发展贡献力量。

吴中伟 姚明初

一九九六年五月

前 言

轻集料混凝土是仅次于普通混凝土的一种发展较早,用量较大的新型混凝土。它具有轻质高强,保温隔热,耐火抗震等优良性能,在国外已广泛应用于工业与民用建筑和其他工业部门,特别是在高层、大跨的土木建筑工程中应用更多。但在我国,发展则较慢。对轻集料混凝土有计划、较大量地试验研究和应用还是从本世纪70年代初才开始的。尽管我国的人造轻集料的产量还不高,应用还不普遍,但我国具有发展各种轻集料生产的丰富天然资源和工业废料,轻集料混凝土的开发与应用是我国建筑工程材料必然的发展方向之一。

我是一个建筑科研工作者,四十多年来主要从事混凝土及其应用技术的试验研究。从70年代初开始,我有幸亲自主持和参加了我国轻集料及轻集料混凝土方面很多课题的试验研究和开发工作,以及有关标准规程的编制。在这二十多年间,我和我的专题协作组的同事们,根据我国建筑领导部门提出的建筑科技发展计划的要求,对我国轻集料及轻集料混凝土进行了大量的试验研究,取得了丰硕的成果。中国铁道出版社《混凝土现代技术丛书》编委会委托我编写这本书的目的,就是要把二十多年来我们所取得的成果介绍给大家,以促进我国轻集料混凝土技术进一步发展。

但是,由于我个人能力和水平有限,不可能把我们专题协作组参加这项工作的百余名科研工作者辛勤劳动所取得的全部成果,正确、全面而又系统地介绍给读者。这本书所写的仅是这些成果的一小部分。因此,可以说,这本书的作者不只是

目 录

第一章 概 论	1
第一节 定义与分类.....	1
第二节 原 材 料.....	4
第三节 主要特点.....	7
第四节 国内外发展概况.....	9
第二章 轻集料性能	31
第一节 概 述	31
第二节 主要性能	33
第三节 试验方法	48
第三章 人造轻集料生产工艺	81
第一节 煅烧型轻集料膨胀机理	82
第二节 煅烧型轻集料生产工艺	86
第三节 非煅烧型轻集料生产工艺	96
第四节 问题和议 议	99
第四章 天然轻集料资源开发	101
第一节 分类与性状.....	102
第二节 资源分布.....	113
第三节 性能及质量指标.....	117
第四节 矿山品质的评定.....	123
第五章 轻集料混凝土配合比设计	137
第一节 一般要求.....	137
第二节 设计参数选择.....	139
第三节 配合比设计方法.....	150

第四节	配合比设计计算实例	158
第五节	国内外配合比设计方法比较	165
第六章	轻集料混凝土拌合物	173
第一节	拌合物的内部构造	174
第二节	拌合物的主要性能	176
第三节	拌合物性能试验方法	183
第七章	轻集料混凝土物理力学性能	195
第一节	一般物理性能	195
第二节	热物理性能	203
第三节	力学性能	214
第四节	短期变形性能	230
第八章	轻集料混凝土长期和耐久性能	247
第一节	长期变形性能	247
第二节	耐久性能	271
第九章	轻集料混凝土性能试验方法	305
第十章	轻集料混凝土的生产工艺与质量检验	319
第一节	生产工艺	319
第二节	质量检验与控制	328
第十一章	轻集料混凝土的应用与展望	336
第一节	在小型空心砌块中的应用	338
第二节	在建筑板材中的应用	347
第三节	在高层建筑中的应用	366
第四节	在其他领域中的应用	375
第五节	展 望	384
主要参考文献		386

第一章 概 论

第一节 定义与分类

一、定 义

轻集料混凝土是混凝土的一个新品种。在我国,是仅次于普通混凝土的用量较大的一种新型混凝土。

顾名思义,轻集料混凝土是用轻集料配制成的混凝土。这样简单地来理解轻集料混凝土,原则上是没有错的。但显然这还远远不够。按我国《轻集料混凝土技术规程》(JGJ51—90)的规定:“用轻粗集料、轻砂(或普通砂)、水泥和水配制而成的混凝土,其干表观密度不大于 $1950\text{kg}/\text{m}^3$ 者,称为轻集料混凝土。”这里,除和普通混凝土一样牵涉到粗集料、细集料、水泥和水以外,所不同的是还涉及到它的表观密度(原称容重)及其最大限值的两个概念。

首先是关于表观密度问题。因为表观密度分为气干和绝干两种。气干表观密度是指混凝土在空气中自然干燥后的密度。普通混凝土一般都是用气干密度表示的。而轻集料混凝土受其轻集料的多孔性和吸水性的影响,则不宜用这种方法表示。因在常温条件下,混凝土水分蒸发慢,在很长一段时间内,气干密度是一个变数,不能确切表示其密度。以前有些国家曾用它表示,而现除少数国家外,绝大多数国家都是用绝干密度表示。即在最高温度为 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的条件下烘至恒量时混凝土的表观密度,简称干表观密度。这样就使轻集料混凝土的表观密度有了可比性。我国有关规程、标准中的所有轻集

料混凝土的密度,若没有说明则都是指干表观密度。

关于密度的最大限值问题。这是普通混凝土和轻集料混凝土的分界线问题,各国的有关标准规范都根据自己国家的资源情况和技术要求对它有个明确的规定。如美国规定为 $1840\text{kg}/\text{m}^3$;德国和法国为 $2000\text{kg}/\text{m}^3$;前苏联为 $1800\text{kg}/\text{m}^3$,而将 $1800\sim 2200\text{kg}/\text{m}^3$ 定义为次轻混凝土。我国的JGJ51—78将轻集料混凝土的该最大限值规定为 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

经过十多年的工程实践,特别是结构设计中发现,以前把 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ 规定为轻集料混凝土干表观密度的最大限值,是稍低了一些,严格地说,它已经把某些用膨胀矿渣珠、自燃煤矸石和高密度火山渣配制成的混凝土都排斥在轻集料混凝土的定义之外,显然,这对轻集料混凝土这种新型建筑材料的发展是十分不利的。因此,后来在修编中将它作了重大修改,即将其干表观密度的最大限值提高到 $1950\text{kg}/\text{m}^3$ 。这一修改必将进一步扩大我国轻集料资源的应用范围,有利于膨胀矿渣珠、自燃煤矸石等工业废渣的开发与应用。

在实际使用中,又可依粗、细集料品种的名称,直接将其命名为陶粒混凝土、浮石混凝土、膨胀珍珠岩混凝土等;若其细集料全部采用轻砂(如陶砂、膨胀珍珠岩砂或浮石砂等)则可简称为全轻混凝土,或陶粒全轻混凝土、浮石全轻混凝土等;若细集料全部或部分采用普通砂子,部分采用轻砂时,则可称为砂轻混凝土或陶粒砂轻混凝土、浮石砂轻混凝土等。

二、分 类

为了便于使用,在实际工程中,往往按其所用的轻粗集料种类,或按其用途分为若干类别:

(一)按轻粗集料的种类分类

轻集料混凝土按其轻粗集料的种类可分为：

(1)工业废料轻集料混凝土 由工业废料轻粗集料配制成的轻集料混凝土，如粉煤灰陶粒混凝土、自燃煤矸石混凝土、炉渣混凝土等；

(2)天然轻集料混凝土 由天然轻粗集料配制成的轻集料混凝土，如浮石混凝土、火山渣等；

(3)人造轻集料混凝土 由人造轻粗集料配制成的轻集料混凝土，如粘土陶粒混凝土、页岩陶粒混凝土、膨胀珍珠岩混凝土等。

(二)按混凝土用途分类

轻集料混凝土按其用途可分为：

- (1)保温轻集料混凝土；
- (2)结构保温轻集料混凝土；
- (3)结构轻集料混凝土。

轻集料混凝土按用途分类

表 1—1

类别名称	混凝土强度等级的合理范围	混凝土密度等级的合理范围	用 途
保温轻集料混凝土	CL5.0	<800	主要用于保温的围护结构或热工构筑物
结构保温轻集料混凝土	CL5.0 CL7.5 CL10 CL15	800~1400	主要用于既承重又保温的围护结构
结构轻集料混凝土	CL15 CL20 CL25 CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	1400~1900	主要用于承重构件或构筑物

我国 JGJ51—90 规程对这三类轻集料混凝土合理的强度等级、密度等级,及其适宜的工程应用范围提出了具体的建议(见表 1—1)。

第二节 原 材 料

从定义中已经了解到,轻集料混凝土和普通混凝土一样,它是胶凝材料、粗细集料、水为主要材料按一定比例组合而成。在必要的时候还可加入一定量的无机矿物粉料(又称掺合料)和化学外加剂。

一、胶凝材料

胶凝材料包括的范围十分广泛。无论是有机胶凝材料或无机胶凝材料都可用于配制轻集料混凝土。无机胶凝材料品种繁多且性能复杂。一般地说,水泥、石膏,或是石灰、菱镁类的,都可以用来配制轻集料混凝土。但无论是从世界上看或是从我国范围内看,用作轻集料混凝土的胶凝材料最主要的,用量最大的是无机胶凝材料——水泥。其他胶凝材料则用得很少。本书涉及的也主要是水泥类的胶凝材料。

水泥是建筑工程中应用最广的一种胶凝材料。水泥加水后形成的水泥浆,可赋予轻集料混凝土拌合物必要的和易性,满足施工的要求。水泥浆不仅自身能硬化,而且还能将粗细集料粘结在一起,使轻集料混凝土具有一定的机械强度。不仅如此,硬化的水泥浆即水泥石,还影响到轻集料混凝土的变形性能和耐久性。

随着我国水泥工业的迅速发展,用于建筑工程的水泥品种越来越多。和普通混凝土一样,应用于轻集料混凝土的主要是五大品种水泥,即硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸

盐水泥、火山灰硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。其他品种的水泥,如铝酸盐类水泥、硫铝酸盐类水泥,以及各种特种水泥,如膨胀水泥、快硬水泥、矾土水泥等也可应用。一句话,适用于普通混凝土的水泥品种,轻集料混凝土也可适用。但其性能指标必须符合相应标准的要求。

二、轻集料

轻集料是轻集料混凝土关键性的组成材料。关于轻集料品种、性能及其有关生产工艺等一系列问题,本书将在有关章节中作系统介绍。这里要说明的是,我国轻集料资源十分丰富,品种很多。其中大多数常用轻集料品种都已编制了相应的国家标准或行业标准,即:

- 1.《粉煤灰陶粒和陶砂》(GB2838—81);
- 2.《粘土陶粒和陶砂》(GB2839—81);
- 3.《页岩陶粒和陶砂》(GB2840—81);
- 4.《天然轻集料》(GB2841—81);
- 5.《膨胀珍珠岩》(JC209—92);
- 6.《超轻陶粒和陶砂》(JC487—92);
- 7.《自燃煤矿石轻集料》(JC/T541—94)。

凡符合上述有关标准的轻粗、细集料,都可用来配制轻集料混凝土。

对其他一些轻集料,如煤渣(又称炉渣)、膨胀矿渣珠和非煅烧粉煤灰轻集料等,虽未制订出专门的标准,但若其性能指标满足 JGJ51—90 规程中第二章第二节的有关要求的都可用于轻集料混凝土。

除轻粗、细集料外,普通砂也可用作轻集料混凝土的细集料,但其各项技术指标必须符合《普通混凝土用砂质量标准及

试验方法》(JGJ52—92)的要求。用普通砂全部或部分代替轻砂配制轻集料混凝土,混凝土的密度增大,但其强度和弹性模量也随之增大,适用于制作结构轻集料混凝土。

其实,为了改善轻集料混凝土的某些强度与变形性能,调整轻粗集料的级配,在其表观密度满足设计要求的情况下,加入一定量的质量符合相应标准要求的普通碎石、卵石集料,也是可以收到预期的技术经济效果的。

三、掺合料

混凝土中加入一定比例的无机矿物磨细粉料,如粉煤灰、硅灰、矿渣粉、沸石粉等掺合料,在普通混凝土中已得到较普遍的应用。试验和工程实践表明,这些掺合料同样适用于轻集料混凝土,但应用最多的是粉煤灰。

轻集料混凝土加入粉煤灰,可以显著改善混凝土拌合物的和易性,减少水泥用量和提高混凝土的耐久性,其收到的技术经济效果优于普通混凝土。

轻集料混凝土所用的粉煤灰的质量指标应符合 GB1596—91 或《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》(JGJ28—86)的要求。JGJ28—86 规程在我国首次对用于混凝土的粉煤灰的性能技术指标作了较具体的规定(见表 1—2)。

粉煤灰品质指标和分类(JGJ28—86) 表 1—2

序号	指 标	粉煤灰级别		
		I	II	III
1	细度(0.08mm 方孔筛的筛余%) \geq	5	8	25
2	烧失量(%) \geq	5	8	15
3	需水量比(%) \geq	95	105	115
4	三氧化硫(%) \geq	3	3	3
5	含水率(%) \geq	1	1	不规定

用于轻集料混凝土的粉煤灰掺量、设计粉煤灰混凝土配合比的超量系数、取代水泥率、配合比的设计方法等在规程中也相应作了规定,可参照执行。

四、化学外加剂

化学外加剂在普通混凝土中的应用已较普遍,已被誉为混凝土的第五组成材料。国内外的研究和工程实践表明,在轻集料混凝土中掺入化学外加剂,可以收到同样的效果。凡是适用于普通混凝土的外加剂,同样适用于轻集料混凝土。但其质量指标必须符合相应标准的要求,主要的有:

1. 混凝土外加剂(GB8076—87);
2. 混凝土泵送剂(JC473—92);
3. 砂浆、混凝土防水剂(JC474—92);
4. 混凝土防冻剂(JC475—92);
5. 混凝土膨胀剂(JC476—92);
6. 混凝土外加剂应用技术规范(GBJ119—88)。

第三节 主要特点

轻集料混凝土与普通混凝土(或粘土砖墙)相比,具有如下主要特点:

一、轻质高强

轻集料混凝土的表观密度一般为 $800\sim 1950\text{kg}/\text{m}^3$ 。结构用轻集料混凝土,其表观密度为 $1400\sim 1950\text{kg}/\text{m}^3$,比普通混凝土可减轻 $20\%\sim 40\%$,而强度可达到普通混凝土常用的强度等级 CL15.0~CL50.0。用作墙体的结构保温轻集料混凝土强度可达 CL5.0~CL15.0,表观密度仅 $800\sim 1200\text{kg}/\text{m}^3$,

比普通砖墙轻 30%~50%。

二、保温性能好

表观密度为 $800\sim 1400\text{kg/m}^3$ 的轻集料混凝土是一种性能良好的墙体材料。其导热系数 $0.23\sim 0.52\text{W/m}\cdot\text{K}$, 仅为普通混凝土导热系数的 $1/6\sim 1/3$ 。与粘土砖墙相比, 其砌体不仅强度高, 整体性好, 且保温性能也很好, 可使墙体的厚度及质量减少一半左右。用超轻陶粒混凝土制成的多排孔小砌块, 其技术经济效果更为显著。

三、抗震性能强

轻集料混凝土由于密度小、质量轻、弹性模量低, 在地震荷载作用下所承受的地震力小, 振动波的传递速度也较慢, 且结构的自震周期长, 对冲击能量的吸收快, 减震效果显著。若不仅在承重结构采用轻集料混凝土, 在围护结构也采用轻集料混凝土小砌块作填充墙, 可大大减轻建筑物的质量, 其抗震效果将更显著。

四、耐火性能好

轻集料混凝土由于导热系数低, 热阻值大, 在高温作用下, 温度由表及里的传递速度将大大减慢, 可保护钢筋, 其耐火极限时间可达 $3\sim 4\text{h}$ 。对同一耐火等级的构件来说, 钢筋轻集料混凝土板的厚度可比普通混凝土减薄 $20\%\sim 30\%$ 。

五、施工适应性强

轻集料混凝土的生产和施工工艺与普通混凝土基本相同, 不需要特殊的生产设备, 就可制作任何形状的结构构件或