

结构用轻骨料混凝土

陈增林 皮心喜 张传镁编译

湖南科学技术出版社

结构用轻骨料混凝土

陈增林 皮心喜 张传镁 编译



湖南科学技术出版社

结构用轻骨料混凝土

陈增林 皮心喜 张传镁 编译

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1982年7月第1版第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 9.125 字数: 206,000

印数: 1—8,400

统一书号: 15204·79 定价: 0.95元

编 译 者 序

结构用轻骨料混凝土,是一种重要的新型建筑材料。它具有质量轻和强度高双重特点。国外已用之于建设高楼大厦和桥梁等重要建筑物,成效显著。为了适应我国发展新型轻质高强建筑材料的需要,我们根据1974年欧洲水泥协会组织一些著名专家编写的《*Lightweight Aggregate Concrete Technology and World Application*》、1977年欧洲混凝土委员会和国际预应力联合会共同出版的《*Manual of Lightweight Aggregate Concrete Design and Technology*》以及日本村田二郎所著《人工轻量骨料コンクリート》等书,编译了这本《结构用轻骨料混凝土》,供广大土建工作者、土建院系师生及有关人员参考。

全书共八章,分别介绍了轻骨料生产工艺和技术性质;轻骨料混凝土物理力学性质;配合比设计和制作工艺;轻骨料混凝土结构设计原则;经济效果的分析和美观问题;世界上已建成的一些具有代表性的轻骨料混凝土建筑物以及它们的主要技术资料。各主要章节均附有图或照片,总共约150幅。

我们所根据的以上原著中,强度和应力单位多为牛顿/毫米²,容重单位多为公斤/米³,但也有分别使用

公斤/厘米² 及公斤/分米³ 的,编译时未予换算为同一单位,因为改动单位会要改变相应的图表和有关公式。这些单位的差别是一目了然的,不易混淆;它们之间的关系也很简单(1牛顿/毫米² 约为10公斤/厘米²,1公斤/分米³ 等于 1000公斤/米³),为一般读者所熟悉。但请读者阅读时加以注意。

本书第五章承湖南大学杨人伟副教授审阅,特此致谢。书中不妥和错误之处,请读者批评指正。

编译者

1981年9月

目 录

导言	(1)
----	-------

第一章 结构用混凝土轻骨料的制造与性质	(5)
---------------------	-------

第一节 引言	(5)
--------	-------

第二节 轻骨料的来源与制造	(9)
---------------	-------

一、天然轻骨料	(9)
---------	-------

二、从工业副产品获得的人造轻骨料	(12)
------------------	--------

三、用工业方法生产的人造轻骨料	(20)
-----------------	--------

第三节 轻骨料的性质	(34)
------------	--------

一、比重	(34)
------	--------

二、颗粒容重	(35)
--------	--------

三、松散容重	(38)
--------	--------

四、颗粒形状与表面特征	(41)
-------------	--------

五、级配	(45)
------	--------

六、颗粒结构、强度与变形模量	(50)
----------------	--------

七、孔隙率、吸水率与浮粒率	(58)
---------------	--------

八、化学成分及有害物质	(65)
-------------	--------

九、耐久性	(67)
-------	--------

十、附表	(73)
------	--------

第二章 轻骨料混凝土的性质	(81)
---------------	--------

第一节 容重和抗压强度	(82)
-------------	--------

第二节	抗拉强度（劈裂强度和抗弯强度）	（89）
第三节	变形性质	（93）
一、	外部荷载引起的弹性变形	（93）
二、	徐变	（99）
三、	收缩	（104）
第四节	混凝土和钢筋之间的粘结力	（107）
第五节	对持续荷载和疲劳荷载的抗力	（111）
第六节	对集中荷载的抗力	（112）
第七节	耐久性	（113）
一、	对冻融作用和防冻盐作用的抗力	（113）
二、	抗火性	（116）
三、	化学稳定性	（116）
四、	耐磨性	（117）
第八节	湿度的影响	（118）
一、	吸水性和湿度平衡	（118）
二、	透水性	（118）
第九节	热学性质	（119）
一、	导热性	（119）
二、	温度膨胀系数	（124）
三、	比热	（124）
四、	温度应力引起的裂缝	（125）
第十节	声学性质	（127）
第十一节	减振能力	（128）
第十二节	对钢筋的保护能力	（128）

第三章 轻骨料混凝土配合比设计（130）

第一节	轻骨料混凝土组成对混凝土性质的影响	（130）
-----	-------------------	-------

一、基本关系	(130)
二、骨料的种类和级配	(132)
三、水泥强度和含量	(138)
四、含水量与有效水灰比	(139)
五、外加剂	(143)
第二节 新拌混凝土的性质	(145)
一、稠度	(145)
二、新拌混凝土的容重	(147)
三、新拌混凝土的气孔含量	(147)
第三节 配合比设计计算	(148)
一、骨料的选择	(149)
二、水泥用量计算	(150)
三、骨料含量计算	(151)
四、配合比计算例题	(155)
第四节 高强度轻骨料混凝土配合比设计	(168)
一、基本配合比	(168)
二、混凝土强度和轻骨料容重	(168)
三、配合比设计	(168)
四、高强度轻骨料混凝土的生产	(169)
第四章 混凝土的制作	(171)
第一节 轻骨料的试验、储存及预先处理	(171)
第二节 混凝土的配料	(172)
第三节 混凝土的搅拌	(173)
第四节 混凝土的现场控制	(174)
第五节 预拌混凝土	(176)
第六节 混凝土的运输	(177)

第七节 混凝土的浇灌	(178)
第八节 混凝土的饰面	(180)
一、水平表面	(180)
二、竖直表面	(181)
第九节 混凝土的养护	(182)
一、正常温度养护	(182)
二、加热养护	(183)
三、冷天施工	(185)
第十节 特殊的加气轻骨料混凝土	(186)
第十一节 苏联工厂中轻骨料混凝土构件的 生产	(188)

第五章 钢筋轻质混凝土和预应力轻质混凝土的

设计	(190)
第一节 轻质混凝土按强度与容重的分类	(190)
一、强度等级	(190)
二、容重等级	(191)
第二节 钢筋的类型	(192)
第三节 钢筋的混凝土保护层	(193)
第四节 设计前提	(193)
一、设计重量	(193)
二、变形	(194)
三、强度	(198)
四、钢筋的拉应力	(199)
第五节 设计	(199)
一、弯曲、带轴向力的弯曲及仅有轴向力的设计	(200)
二、受压构件	(202)

三、剪力和扭力设计	(206)
四、工作荷载下裂缝宽度的限制	(206)
五、工作荷载下挠度的限制	(207)
第六章 应用轻骨料混凝土的经济性	(209)
第一节 材料费用	(210)
第二节 技术上的优点	(211)
第三节 经济上的优点	(212)
一、预制装配式结构	(213)
二、结构工程(房屋)	(217)
三、桥梁	(219)
四、特殊结构	(221)
第四节 结论	(222)
第七章 轻骨料混凝土的美观问题	(223)
第八章 著名的轻骨料混凝土建筑物简介	(229)
一、墨尔本市(澳大利亚)南区公园街的住宅 建筑	(229)
二、海伦市(荷兰)“阿尔吉门·伯格里杰克养老金” 办公大楼	(235)
三、豪斯顿(美国)商场大厦	(239)
四、尼美金(荷兰)附近马斯·瓦尔运河上的杜肯伯 格塞桥	(245)
五、伊库塔库·科贝(日本)商业中心大厦	(250)
六、慕尼黑市(西德)可拆卸的预应力混凝土桥	(252)
七、得克萨斯州(美国)圣安东尼奥市丽奥旅馆希尔	

顿大厦·····	(258)
八、约翰勒斯堡(南非)标准银行大楼·····	(265)
九、哈特菲尔德(英国)室内游泳池·····	(273)
十、博斯韦尔市(苏格兰)牛顿街罗克斯州政府 大楼·····	(278)

导 言

使用人造轻骨料（膨胀粘土陶粒或膨胀页岩陶粒、膨胀矿渣、烧结粉煤灰陶粒等）的混凝土，是能够用于承重构件结构的唯一类型的轻质混凝土，因此，本书所涉及的仅限于这类混凝土。泡沫混凝土或骨料颗粒间带有空隙的无砂混凝土，或用高度充气砂浆构成的混凝土，在这里都不予考虑。来源于火山的天然轻骨料，如火山渣或浮石，主要用于制作隔热或隔音混凝土，它们也超出了本书的范畴。

轻质混凝土是从1918年起开始使用的。从那以后，它们的应用在数量和品种上都日益增多，并已普及于全世界：从美国到澳大利亚，从欧洲到日本。为什么这种材料能取得如此大的成就？理由是它能达到高的强度，同时能达到相对地低的容重，而且它还具有许多其它有利的性质。这样，轻骨料混凝土就为钢筋混凝土和预应力混凝土结构开辟了新的、更广泛的应用领域，并使得建造跨距越来越长的混凝土结构成为可能。

用于各种结构的轻质混凝土的容重，一般系介于 1500 和 1950 公斤/米³之间，而28天的立方体抗压强度常常在 200 公斤/厘米²以上，有时高达600公斤/厘米²。一般地说，强度是伴随混凝土容重的增加而增加的，然而，值得注意的是，在德国已经获得平均 28 天强度为 555 公斤/厘米²而容重只 1660 公斤/米³的结构混凝土。不管怎样，轻质混凝土所达到的强度，足以使其适用于预应力结构。弹性模量也是随混凝土的容重为转移的：就本书所述的结构轻骨料混凝土来说，模量从140000

到250000公斤/厘米²不等。弹性模量低于普通混凝土，当然意味着发生变形的可能性要大一些；但是，这并不是没有某些好处。其好处是：在地震情况下反应较好，不容易遭受外力的破坏（支撑下沉，热效用等）。

一般地说，但不是一概而论，轻骨料混凝土的收缩量和徐变比普通混凝土大一些，抗拉强度与抗压强度之比值也常较普通混凝土多少低一些。但另一方面，轻骨料混凝土的导热系数则较普通混凝土低得多。

此外还应当指出，用人造骨料制作的混凝土的各种物理力学性质，较之普通混凝土要均匀得多。事实上，混凝土性质的变动，必须部分归咎于天然骨料的特性易起变化，而通过工业制造程序生产的人造轻骨料，则有固定不变的物理性质，这就可使设计人员在估计实际结构所能达到的数值时，减少一些不定的因素。

在轻骨料混凝土的配合比设计中，必须特别注意正确选择水灰比，它随骨料的含湿量为转移。此项选择决定轻质混凝土的制作和使用方法，对强度和流变性质具有相当大的影响。

在许多情况下，结构用轻骨料混凝土也能提供经济利益，因为较高的人造骨料的成本，往往可被结构构件尺寸的减小和钢筋的节约所抵销。自重的减轻，还能有效地节省支柱和基础的费用。同样，预制构件的运输和吊装费用也可减少，因为可以雇用类型较轻的车辆和起重装置。此外，在世界范围内，很多地方高质量天然骨料的成本不断上升以及采取它们日趋困难，使得轻骨料混凝土成为一种越来越具有竞争性的材料。

本书最后一章所介绍的十项结构物，充分说明结构用轻骨料混凝土的应用具有多种多样的可能性。

轻骨料混凝土在多层建筑结构中，起初仅限于用作楼板，

例如在玛林娜市政大楼（高180米）那样。后来，终于把轻骨料混凝土用到整个结构上去了，一个典型例子就是豪斯顿的商场大厦（高218米）。将轻骨料混凝土用于建造悬吊式楼层建筑的楼面，是它的一种非常合乎逻辑的应用。

另外一个重要的应用领域是用于大跨度屋面构件，然而，轻骨料混凝土最有利的应用还是用于预制构件中。在这方面，“升板”法值得引起我们的注意，此法将楼板在地面预制好，再顶升到它们的最终高度。同样也要注意使用“整体标准间”——预制的三向单元，圣安东尼奥市（得克萨斯州）的丽奥旅馆大厦就是采用这种单元建造的。

在桥梁结构中，轻骨料混凝土的使用，往往限于最长的跨距（通常是中跨）或其一部分。在本书所列举的例子中，威斯巴登市的杜克霍夫桥（拱跨96.4米）和马斯·瓦尔运河上面的三座荷兰桥（中跨为112.20米）值得注意。后述三桥的中跨，几乎全是用预应力轻骨料混凝土通过悬臂法建造的。

最后，轻骨料混凝土的一个新的应用领域是浮式结构物，例如，一个载重吨位为350000吨的大船坞正在吉诺亚兴建。

根据本书所列举的例子不难看出，轻骨料混凝土的应用，在今后将有很大的发展，特别是在下列结构中更会占有重要地位：

多层建筑；

基础底层土质不好的结构；

预制装配式结构（旨在节省运费和安装费）；

大跨度屋面；

建筑物里外都由表现建筑艺术的混凝土组成的结构，以及用单层预制混凝土板组装的结构，这种混凝土板，既起承重作用，又起隔热作用；

高度防火结构；
抗地震结构；
中等跨度或大跨度桥；
浮式结构。

因此，在结论中必须肯定，由于轻骨料混凝土能使大型单层构件拥有良好的物理和力学性质以及高度的一致性，所以特别适于工业化生产，并从而取得实际节约效果。

此外，轻骨料混凝土还有一项好处是，它能利用有关普通结构混凝土的已有经验以及为后者所制定的工艺原则。这两种材料性质的差别仅限于数量方面和一些特殊性质而已。

因此，它是一种重要的“新”材料，凡使用某种建筑材料取得良好成绩的一切经验和论证，都可以为它提供借鉴。

第一章 结构用混凝土轻骨料的制造与性质

第一节 引言

轻骨料的来源有多种，按照国际材料与结构研究试验所协会（RILEM）的建议，轻骨料一般可以分为：

- 1.天然轻骨料：浮石、泡沫熔岩、火山渣、火山凝灰岩、多孔石灰岩等；
- 2.由工业副产品获得的人造轻骨料：炉渣、煤渣、膨胀矿渣、烧结煤矸石陶粒、烧结粉煤灰陶粒等；
- 3.工厂制造的专用人造轻骨料：膨胀粘土陶粒、膨胀页岩陶粒或膨胀板岩陶粒等。

以上这些都是用以制造结构用轻质混凝土的骨料。其它用于制造隔热混凝土的一些轻骨料，诸如珍珠岩、蛭石和聚苯乙烯等，在这里都不予考虑。此外，用植物材料（例如木料）制作的轻骨料也不予考虑。

供结构用混凝土的轻骨料产品种类很多，这些产品的商业名称，随它们的来源和生产国家而异。主要常用轻骨料的简要说明见表1.1，RILEM的详尽分类的建议见附表（一）。

应用最广的轻骨料膨胀粘土陶粒或膨胀页岩陶粒的工业生产通常与水泥工业或陶瓷工业有共同之处。

现代化的生产工厂，越来越趋于高度自动化，它们所生产的骨料，在质量上也都日益均匀。目前的研究工作，正着眼于

表1.1

用于结构的一些

骨 料	种 类	生 产 方 法	颗粒形状和表面特征
-----	-----	---------	-----------

1 高强度 (制得的混凝土)

火山凝灰岩	N	筛分为所需的粒级, 筛分前将粗块破碎	破碎后, 颗粒形状不规则, 具有或大或小的表面孔隙
多孔石灰岩	N	同上	同上
粘土陶粒	N + P	预制成所需形状和尺寸, 在回转窑或立窑中膨胀, 或在烧结炉中烧结	浑圆和球形颗粒, 光滑或略粗糙, 有时有裂缝; 烧结的颗粒更具有开口结构和棱角
页岩陶粒和板岩陶粒	N + P	将原料破碎后在回转窑中膨胀或在烧结炉中烧结	常有棱角或略呈浑圆, 有时扁平, 长形或角状; 大多数情况下, 表面有致密光滑的外壳
烧结粉煤灰(飞灰)陶粒	BP	将原料制成球形或小团块, 然后在烧结炉中烧结	同粘土陶粒
泡沫熔岩	N	筛分为所需的级配, 筛分前将大块破碎	无破碎颗粒时, 颗粒浑圆, 呈不规则形状, 破碎颗粒有棱角, 表面有开口孔隙
膨胀矿渣	BP	将熔融矿渣用水蒸汽膨胀, 然后破碎	颗粒不规则, 有棱角, 表面粗糙有开口孔隙
烧结煤矸石陶粒	BP	在烧结炉中烧结之前或以后进行破碎	有棱角, 表面有开口孔隙

2 中等强度 (制得的混凝土)

浮 石	N	筛分为所需的级配; 筛分前将过大的颗粒进行破碎	浑圆形颗粒, 具开口结构, 但表面较光滑
-----	---	-------------------------	----------------------

3 低强度 (制得的混凝土)

珍珠岩	N + P	将原料破碎, 然后在900~1200℃温度下膨胀	浑圆颗粒, 形状规则, 但表面有些粗糙
蛭 石	N + P	云母膨胀(剥层)	立方形或层状颗粒

注: N——表示天然骨料 N + P——表示工厂制造的人造骨料 BP——表示工业副产品