

多孔骨料轻混凝土

[苏]Г·А·布热维奇 著 龚洛书等 译

中国建筑工程工业出版社

DUO KONG GU LIAO QING HUN NING TU

多孔骨料轻混凝土

[苏]Г.А.布热维奇 著

龚洛书等译

中国建筑工业出版社

033781

本书主要叙述多孔骨料轻混凝土即轻骨料混凝土的工艺原理。作者根据苏联1970年前在这方面的研究和实践经验，提出了制作轻骨料混凝土拌合物的原材料要求及影响拌合物性能的因素，特别是不同品种轻混凝土的配合比确定方法。书中并对轻骨料混凝土的物理力学性能、生产工艺方法及技术经济作了介绍。

在介绍轻骨料混凝土的以上内容时，作者均与普通混凝土作了对比，并提供不少数据，有一定参考价值。

本书由龚洛书、吴兴祖、郑法学、高学善、陈静云、李国洋、何星华等同志翻译。

Г.А. БУЖЕВИЧ
ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Издательство литературы по строительству
Москва—1970

* * *

多孔骨料轻混凝土

龚洛书等 译

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米1/32印张：8 5/8 字数：194千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷

印数：1—12,140册 定价：0.70元

统一书号：15040·3610

序 言

近十年来在苏联随着房屋及建筑工业化施工方法的推广，轻混凝土的生产也得到了发展。采用干容重不超过1800公斤/米³的多孔骨料轻混凝土^①，可以大大减轻混凝土和钢筋混凝土大型构件的重量，从而减轻房屋及建筑物的自重，同时可减小基础的荷载，降低工程造价，缩短竣工工期。

书中，作者总结了国内外多孔骨料轻混凝土的使用和制作工艺方面的经验以及苏联国家建委混凝土及钢筋混凝土科学研究所（НИИЖБ）多年来的研究成果。

应该说明，在苏联已经形成了一支轻混凝土的研究力量，它促使在短期内建立了轻混凝土制品生产的新的工业部门。同时，在个别工艺问题上专家们还持有着不同的意见。对这些问题，书中将根据混凝土和钢筋混凝土科学研究所和其他科研单位的科研成果和实验资料来进行分析。

在叙述当前多孔骨料轻混凝土的应用和制备问题时作者的根据是：事实上仅存在一种混凝土工艺，这种工艺适用于由不同密实度的骨料和胶结料来获得所需性能的人造硬化石料（混凝土）。当前，各品种密实骨料的混凝土或普通混凝土得到了较多的研究和发展。对普通混凝土的一系列基本原理都可以有效地推广到轻骨料混凝土的应用和实践中去。但此时，需考虑所采用多孔骨料的特殊性能。

① 以下，文中将“多孔骨料轻混凝土”简称为“轻混凝土”。

我们基本上按规范规定的要求来讨论对轻混凝土及其原材料的技术要求。只是在一些个别的问题上提出了新的看法，并认为这些看法在今后将得到运用。

欢迎读者对本书提出批评指正。

目 录

绪 论	1
一、轻混凝土的分类	1
二、苏联轻混凝土发展的现状和远景	8
三、国外的轻混凝土	10
第一章 轻混凝土所用的材料	12
一、胶结料	12
二、骨料	13
三、外加剂	30
四、水	35
五、钢筋	35
第二章 按规定的容重和强度配制轻混凝土的 基本原理	37
一、骨料的影响	37
二、胶结料、水和外加剂的影响	63
三、生产因素的影响	67
四、确定轻混凝土抗压强度的公式	74
第三章 轻混凝土拌合物	83
一、分类	83
二、对轻混凝土拌合物的技术要求	85
三、轻混凝土拌合物的基本性能	88

四、调节轻混凝土拌合物性能的工艺因素	93
五、试验方法	100
 第四章 不同类型轻混凝土的配合比	109
一、轻混凝土配合比选择的基本原则	109
二、密实结构轻混凝土配合比的选择	121
三、密孔轻混凝土配合比的选择	127
四、用多孔骨料的大孔轻混凝土配合比的选择	132
五、其他品种轻混凝土配合比的选择	135
 第五章 轻混凝土的基本性能	137
一、热物理性能	137
二、力学性能	161
三、变形性能	178
四、耐久性	203
五、轻混凝土对钢筋的保护性能	216
六、其它性能	220
 第六章 轻混凝土制品的生产工艺	226
一、制品目录	226
二、生产工艺方案	231
三、各道工艺程序的实施	233
四、轻混凝土制品生产与应用的技术经济指标	254
 参考文献	263

绪 论

一、轻混凝土的分类

轻混凝土由胶结料、多孔粗骨料、砂子（多孔的或密实的）和水组成的拌合物制成。为改善拌合物和硬化后混凝土的性能，必要时还可掺入各种外加剂。在浇灌以前，上述拌合物称为“轻混凝土拌合物”，而成型后则称“新浇轻混凝土”。由于混凝土中水泥凝结和硬化的结果形成的轻的人造建筑材料称为“多孔骨料轻混凝土”，或简称为“轻混凝土”（不够准确，因为原则上加气或泡沫混凝土按其容重也属于轻混凝土一类）。

硬化后的轻混凝土按四个基本特征分类：即它们的性能、应用范围、原材料品种和混凝土的生产工艺。

按性能分类 容重可作为轻混凝土的基本分类特征。相应分为容重（干燥状态）小于500公斤/米³的特轻混凝土和容重为500~1800公斤/米³的轻混凝土两类。

在工程实践中还有用多孔骨料制备的次轻混凝土。它们的容重为1800~2200公斤/米³。但它们的性能与轻混凝土相近。本书对此种混凝土不予讨论。

按其内部结构可分为：（1）密实的或普通轻混凝土（图1—a），它由胶结料（有时掺外加剂）、水、粗细骨料配制而成，其中粗骨料间的空隙完全为砂浆所填满；（2）次密实的（少砂的）轻混凝土——粗骨料间的空隙部分地为砂浆

所填满；(3)不密实的(大孔的)或无砂的轻混凝土(图1—b)，一般在其组成中不含砂(或含砂量不大于骨料体积的20%)，制备此种混凝土时胶结料用量不应超过300公斤/米³；^[10,83,70](4)“假密实的”(密孔的)轻混凝土，在其拌合物制备时，加入发泡剂(泡沫剂或加气剂或引气剂)，^[13,25,48]如泡沫陶粒混凝土(图1—c)加气陶粒混凝土等等。

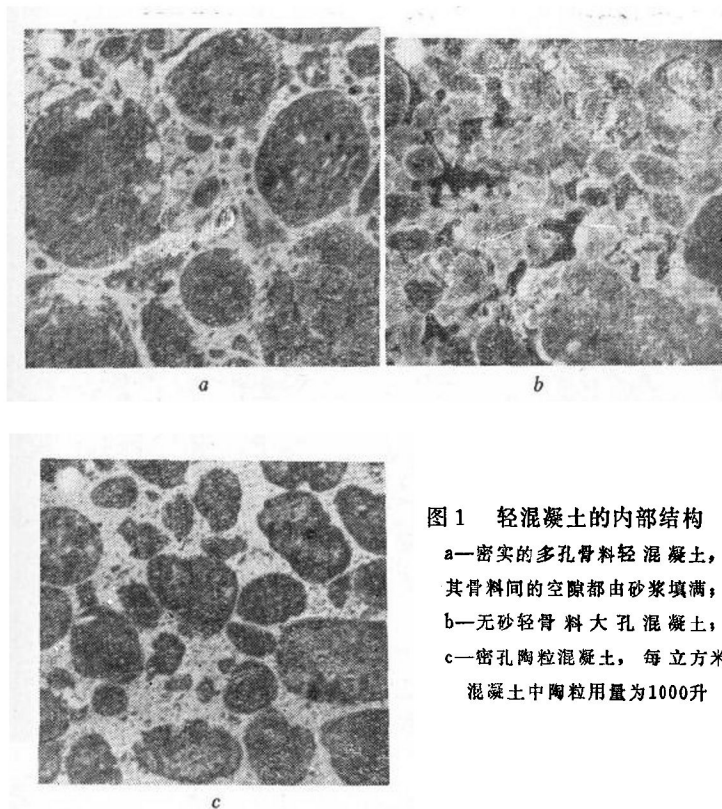


图1 轻混凝土的内部结构

- a—密实的多孔骨料轻混凝土，其骨料间的空隙都由砂浆填满；
- b—无砂轻骨料大孔混凝土；
- c—密孔陶粒混凝土，每立方米混凝土中陶粒用量为1000升

次密实的（少砂的）、大孔的（无砂的）或“假密实的”（密孔的）轻混凝土仅用作保温或结构-保温材料。它们的抗压强度标号一般不高于100。在密实结构的新浇混凝土中，骨料之间空隙的体积小于3%，在次密实和假密实的混凝土中则小于25%，而不密实的混凝土则小于40%。显然，新浇轻混凝土的内部结构特征可按苏联国家标准ГОСТ 11051—64测定的水泥砂浆或水泥浆充填粗骨料间空隙的程度来表示。但是，仅用这个指标来评价已硬化的轻混凝土的密实度是不够的。为此，首先应按抗渗性指标才能较正确地评定它的密实性。按苏联国家标准ГОСТ 4800—59测定的抗渗性为B-2时，称为次密实性混凝土；B-4时——标准密实性混凝土；B-6时——高密实性混凝土。特密实轻混凝土的抗渗性标号为B-8或更高。

一般以抗压强度、轴心抗拉强度、抗冻性和抗渗性等设计标号来表示轻混凝土的特性。必要时，还可用混凝土的其他特性（耐磨性、耐火性^[43]等等）来确定设计标号。

混凝土和钢筋混凝土构件中采用下列抗压强度设计标号或极限抗压强度值（ R_6 ）公斤/厘米²的轻混凝土（按ГОСТ 11050—64《强度和容重的确定方法》测定）：25，35，50，75，100，150，200，250和300。近年来，制作了标号350，400和500的高强轻混凝土。在个别情况下还获得了设计标号为600的轻混凝土。标号为5、10和15的轻混凝土仅作为保温材料使用。无砂（大孔的）混凝土的标号规定为15，25，35，50，75和100。

抗压强度为100公斤/厘米²或100公斤/厘米²以上的轻混凝土可按轴心抗拉极限强度值（ R_p^0 ）分成下列设计标号：P11，P15，P18，P20，P23，P27和P31。

抗压强度为100, 150, 200, 250, 300, 400, 500和600的混凝土, 其弯曲抗拉强度的设计标号相应为15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50。

按抗冻性(冻融循环次数), 轻混凝土的设计标号(M_{ps})可分成: 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150 和 200。试验研究表明, 高强轻混凝土甚至可承受冻融循环500次以上。

按使用范围和用途分类 轻混凝土可在预制、预制-现浇和现浇的建筑结构中采用。

实际上, 除特殊情况(如具有强烈侵蚀性介质)外, 所有用普通混凝土的地方均可以采用轻混凝土。在这种情况下应该考虑到轻混凝土的一些特殊性能(弹性模量低, 耐磨性差, 在许多情况下收缩和徐变大, 等等)。

按用途分成保温、结构-保温和结构轻混凝土。这三种混凝土既可用在普通建筑工程中, 也可用在特种结构及特种构筑物中。

用于保温或围护保温结构的特轻混凝土(工业厂房的屋面板、居住建筑的闷顶楼板、冷库的墙、热力管道保温瓦等等)。这些混凝土的容重不超过500公斤/米³(干燥状态), 导热系数较低, 其值不超过0.15千卡/米·时·度。这些混凝土的抗压强度一般不大于15公斤/厘米²。在许多情况下还规定其湿度。

结构-保温轻混凝土用于外围护结构(房屋的外墙、组合屋面等)。它是目前在苏联推广使用轻混凝土中的基本品种。此种混凝土的容重一般在700~1400公斤/米³之间, 其导热系数低于0.5千卡/米·时·度。在个别情况下容重可达到1600公斤/米³(例如墙体砌块)。结构-保温轻混凝土的抗

压强度与其应用范围有关。如用做墙板时轻混凝土的抗压强度标号为50~100，对大型墙体砌块为35~100，墙砖为25~100，单层屋面板为100~300，现浇墙体为15~50。围护结构混凝土的抗冻性不应低于15次，根据使用条件由设计确定。结构-保温混凝土出厂时应控制一定的湿度，对不同品种混凝土规定的最大湿度值在重量的12~20%范围内。

结构-保温轻混凝土的特点是具有不同的内部结构（密实的、次密实的、大孔的、“假密实的”）。但是，首先应尽量制备以砂浆完全填满粗骨料间空隙的轻混凝土。结构-保温混凝土可以配筋，也可以不配筋。

结构轻混凝土一般用于对导热性能没有要求的钢筋混凝土结构（如柱、梁、屋架等等）。他们均具有密实的内部结构。此种混凝土的抗压强度标号不应低于50（制作预应力钢筋混凝土构件时则大于或等于150）。抗冻标号不小于15。

抗压强度标号大于300的轻混凝土为高强轻混凝土。在工程中采用的结构轻混凝土的容重不大于1800公斤/米³。但个别的多孔骨料高强轻混凝土容重可达2000公斤/米³。

根据不同的使用条件对轻混凝土还有一些特殊的要求（如耐火性、耐磨性、抗渗性、耐侵蚀性等等）。这类混凝土称为特种轻混凝土，它们是在特殊的条件下应用的，如作为耐火混凝土，道路混凝土，水工混凝土，耐化学腐蚀混凝土等。

结构轻混凝土（特别是高强轻混凝土）的技术特性和制作工艺和重混凝土相似。

按所采用的原材料品种分类 轻混凝土可采用不同的胶结料、矿物的或有机的骨料制备。主要还是推广用矿物原料制备的轻混凝土。

按所采用的矿物胶结料品种，轻混凝土可分为：水泥轻混凝土（采用波特兰水泥、火山灰质波特兰水泥、矿渣波特兰水泥等），石灰轻混凝土，石膏轻混凝土，混合胶结料（水泥-石灰、石灰-矿渣胶结料等）轻混凝土和水玻璃轻混凝土。

有机胶结料轻混凝土，如各种聚合物轻混凝土目前只在有限的范围内使用。

按所用的矿物骨料品种（首先是粗骨料），轻混凝土分为两类：即目前使用最多的天然多孔骨料和人造多孔骨料轻混凝土。

第一类是采用火山灰质多孔骨料的轻混凝土^[5,58,60]（浮石混凝土^[3,16]、凝灰岩混凝土^[78,79]火山灰混凝土、火山渣混凝土）和沉积岩质多孔骨料的轻混凝土（蛋白石混凝土、海绵硅质岩混凝土、多孔石灰石骨料的轻混凝土）。

第二类是专门制作的人造多孔骨料轻混凝土^[67,68]：陶粒混凝土^[11,15,19,22]，烧结多孔骨料混凝土^[11]，膨胀矿渣混凝土，珍珠岩混凝土^[23,24,44]，蛭石混凝土^[62]。以及以工业废料做骨料的轻混凝土：炉渣混凝土^[38]，用废弃高炉矿渣制备的矿渣混凝土^[20]，粉煤灰混凝土^[7]，烧岩混凝土，碎砖混凝土等等。

轻混凝土一般根据所采用的多孔粗骨料的名称来命名。当采用几种不同品种的多孔骨料时首先应写粗骨料的名称，然后写细骨料的。例如：陶粒珍珠岩混凝土，烧结多孔骨料珍珠岩混凝土。

有机质骨料的轻混凝土至今还很少采用。它们主要有水泥木质纤维板，阿尔鲍利特（Арболит）^[12,70]，菱苦土混凝土，木屑混凝土^[70,71]，聚苯乙烯骨料混凝土等等。

可按多孔骨料的最大粒径来划分轻混凝土。一般的保温和结构-保温轻混凝土可用最大粒径到40毫米的多孔骨料制作，它们被称为粗粒轻混凝土。骨料最大粒径到10毫米的为细粒轻混凝土，它用于薄壁承重构件或预制围护结构的填缝。

不用砂的轻混凝土叫无砂轻混凝土，而砂的数量不足以填满粗骨料间的空隙者称为少砂轻混凝土。

按生产工艺分类 轻混凝土拌合物的制备与捣实工艺以及养护条件对轻混凝土的性能有显著的影响。

通常在强制式搅拌机中制备轻混凝土拌合物，所得的轻混凝土称为“一般制备的”（或称“按普通混凝土拌合物制备工艺制备的”）。如果采用同时对骨料破碎和活化（如炉渣，矿渣，粉煤灰，烧岩等）的轮碾机，则可降低胶结料用量，得到“低水泥活化混凝土”（或称“苏醒混凝土”）^[18,20,59,60]。在个别情况下，通过在搅拌机内拌合活化了的材料和多孔粗骨料以获得“综合制备的轻混凝土”。

按浇灌时混凝土拌合物的捣实方法，轻混凝土分为松散的（不捣实的）、夯实的、振实的^[4]、振动夯实、振动挤压、振动压轧、真空、振动真空和离心的等。在国外还采用了颠动法捣实的颠实混凝土（Шорбетон）。

生产大型构件时，在上述各种方法中通常采用振实轻混凝土，而在制备小块制品时（例如墙砖）则用振动挤压法^[9]。

按硬化条件轻混凝土分为自然硬化，短期常压加热硬化（用蒸汽或电热）^[36,40]或蒸压釜中高压硬化等几种。目前预制厂生产中基本上采用蒸养轻混凝土制品。在小范围内采用电热养护，暂时几乎没有采用蒸压釜处理。

二、苏联轻混凝土发展的现状和远景

目前，各国采用多孔骨料轻混凝土的总量每年约为4500~5000万立方米。其中苏联约占30%。

目前，苏联每年制备1200万立方米以上的轻混凝土制品和结构。近十年来人造多孔骨料的生产基地不断扩大，促进了在工业化建筑中广泛采用轻混凝土。轻混凝土主要用于制作大型构件，苏联目前55%以上的外墙大板和接近95%的民用大型砌块房屋均用轻混凝土制作。

1968年苏联全部居住面积25%以上的墙体是用多孔骨料混凝土制作。

最近，苏联轻混凝土制品和构件的数量，每年增长约100~150万立方米，而将来可指望每年增长200~300万立方米。

与此相应，1970年建筑工作者采用的轻混凝土配筋结构

各种多孔骨料轻混凝土的生产和使用量 表 1

轻 混 凝 土 种 类	轻混凝土的产量 (百万立方米)	
	1966年	1970年
采用天然多孔骨料	2	3
采用人造多孔骨料	10.5	15
其中：陶粒	5.5	7.6
膨胀矿渣	0.3	1.2
烧结多孔骨料	0.2	0.7
膨胀珍珠岩和蛭石	0.1	0.5
炉渣、废弃的和水平高炉矿渣	4.4	5
总 计	12.5	18

将从1968年占预制钢筋混凝土生产总量的7%增加到11~13%，而将来这个百分数还会不断增长。

可以认为，1970年轻混凝土生产量比1966年增长50%。

预计，苏联各种多孔骨料的轻混凝土结构及制品的采用量的增长如表1所示。

为了保证构件及制品产量的增长，大大加速了天然轻骨料的开采和人造轻骨料的生 产（表2）。

轻混凝土用多孔骨料的开采及生产量 **表 2**

多 孔 骨 料 的 品 种	轻混凝土多孔骨料的开采及制作量 (百万立方米)	
	1966	1970
天然多孔骨料	3	5
人造多孔骨料	15.5	25
其中：陶粒	8.2	13
膨胀矿渣	0.6	2
烧结多孔骨料	0.5	1.2
膨胀珍珠岩和蛭石	0.2	0.8
炉渣和粉煤灰	3	4
废弃和水淬高炉矿渣	3	4
总 计	18.5	30

1966年基本上采用标号为100号的轻混凝土制作 构件。但是由于承重结构产量的增长，在轻混凝土制作总量中低标号混凝土的比重不断下降（表3）。

使用高标号轻混凝土必须同时改善它们的性能：降低容重，减少收缩、徐变，提高抗冻性、弹性模量及在不同介质中的耐久性。

不同标号轻混凝土的使用量

表 3

轻混凝土的抗压强度标号	多孔骨料轻混凝土的产量 (百万立方米)	
	1966年	1970年
100号以下	10.5	14.5
150~250号	1.5	2.5
300号及300号以上	0.5	1
总 计	12.5	18

三、国外的轻混凝土

近年来,世界各国的轻混凝土生产得到了广泛的发展 [31,42,54,55,75,83]。在保加利亚,匈牙利,德意志民主共和国,波兰,捷克斯洛伐克以及其它东欧各国主要发展用轻混凝土制作大型预制构件的生产。在西方国家中大部分轻混凝土均用于制作小砌块^①和现浇结构。美国墙体材料总量中80%以上为混凝土小砌块。

但是,目前在这些国家中同样出现了发展轻混凝土大型构件、特别是承重结构生产的趋势。因此,容重较大的轻混凝土得到优先发展。现在,在西方,容重小于1200公斤/米³的轻混凝土已很少采用。

在国外,轻混凝土产量最高的国家是美国。

目前,美国制作轻混凝土所用的多孔骨料每年平均产量约为1800万立方米(与苏联相同)。据国际预应力协会(FIP)统计,在苏联和美国每年制作40万立方米预应力轻混凝土结构。在美国结构轻混凝土用量约为300万立方米,其

① Камень, 此处译小砌块。