



泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽

A·T·巴拉諾夫 著

建筑工程出版社

泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽

A. T. 巴拉諾夫著

吳 懋 君譯

建 筑 工 程 出 版 社

• 1958 •

原本說明

書 名 ПЕНОБЕТОН И ПЕНОСИЛИКАТ
著 者 А. Т. БАРАНОВ
出版者 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
出版地点 及 年份 МОСКВА—1956

泡沫混凝土和泡沫硅酸盐

吳懋君 譯

★

建筑工程出版社出版(北京市阜成門外大街)

(北京市書刊出版營業許可証出字第052号)

建筑工程出版社印刷厂印刷·新华書店發行

書号931 67千字 850×1168 1/32 2張印張

1958年4 第1版 1958年4 第1次印刷

印數: 1—1,500册 定价(10)0.50元

目 录

前 言	4
第一章 多孔混凝土的制造方法和物理-技术性能	5
1. 多孔混凝土的基本知識	5
2. 泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的物理-技术性能	9
3. 用不同泡沫剂制成的泡沫混凝土和泡沫硅酸 鹽的物理-技术性能的比較資料	30
第二章 制造多孔混凝土所用的材料	32
1. 泡沫剂	32
2. 膠凝材料	48
3. 集料	50
4. 促凝剂和緩凝剂	54
5. 水	55
6. 鋼筋	55
第三章 泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽制品的生产	56
1. 泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽拌合物的拌制	56
2. 泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的配合比的选择	57
3. 制品的成型	67
4. 多孔拌合物的蒸前靜置	70
5. 多孔拌合物的稳定性	71
6. 制备稳定泡沫硅酸鹽拌合物的特性	76
7. 蒸压处理	79
8. 制品生产和質量的檢查	85
参考文献	88

前 言

苏联共产党第20次代表大会关于發展苏联国民經济第六个五年計划的指示中，曾經規定；要通过广泛采用装配式鋼筋混凝土結構和部件、輕質混凝土結構、大型砌塊和工厂預制的現成組合件的办法来實現建筑工程的进一步工業化。

目前，用最輕最賤材料制造的建筑制品和部件必須加以重視。多孔混凝土（泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽）就屬於这种材料。

使用多孔混凝土制品的經驗，証实其广泛用于建筑工程中是合理的而且也是必要的，因为广泛使用这种材料可以保証加快施工速度、提高工程質量、降低工程造价和劳动量。

这本小册子敘述蒸压泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的制造工艺和性能。編写这本小册子时曾經考虑了生产經驗和近年来在这方面的研究成果。

这本小册子的出版对于多孔混凝土工厂的工作人員和設計人員是有实际帮助的。

第一章

多孔混凝土的制造方法和物理-技术性能

1. 多孔混凝土的基本知識

用膠凝材料、水和集料拌成的拌合物硬化后便得一种人造石材。这种人造石材就叫做混凝土。

混凝土可分为下列几种：

(1)重(普通)混凝土，它是以礫石、碎石和砂作为集料的；普通混凝土的容重为1800~2500公斤/立方公尺；

(2)輕質混凝土，它是以輕質材料(浮石、爐渣、陶粒等)作为集料的；輕質混凝土的容重等于1200~1800公斤/立方公尺；

(3)多孔混凝土，它是利用处于密閉气孔內的空气作为“集料”的。多孔混凝土的容重介于300~1200公斤/立方公尺之間。

由于整个材料內分佈有許多气孔，所以多孔混凝土制品的容重很小，同时絕热性能也有很大提高。这就是多孔混凝土的特性和优点。

制造多孔混凝土的下列几个主要方法是一般所熟悉的：

(1)用气体發生剂制造多孔材料——气孔混凝土、气孔玻璃等；

(2)利用預先攪起的泡沫制造多孔材料——泡沫混凝土、泡沫硅酸鹽、泡沫石膏，泡沫菱苦土，泡沫爐渣等；

(3)在混合物中加入过量的水随后把它蒸發掉，以此种方法来制造多孔材料——“微孔混凝土”。

在外国(瑞典、波蘭、法国等)，多孔混凝土的生产有了广泛的發展。在这些国家，以气体發生剂(鋁粉、过氧化氢等)为基础制造多孔材料的方法較其它制造方法用得为多。

苏联最广泛采用的多孔混凝土制造方法，是以建筑砂漿和預先攪起泡沫相混合为基础的。

以泡沫为基础所制造的多孔混凝土，是用膠凝材料、集料、水和泡沫剂拌成的多孔混合物經硬化而得，同时也就是含有大量气孔的建筑灰漿或建筑砂漿。这种混合料是用各种泡沫剂水溶液制成的泡沫和具有澆灌稠度的建筑灰漿或砂漿仔細混合而得。采用泡沫制造多孔混凝土系在泡沫混凝土攪拌机内进行。

泡沫混凝土是用水泥淨漿或砂漿与单独制成的泡沫經過混合而得。气孔混凝土是用水泥淨漿或砂漿与气体發生剂混合而得。

泡沫硅酸鹽是用澆灌的石灰砂漿和泡沫混合而得。如果用同样的砂漿与气体發生剂相混合，即得气孔硅酸鹽。

泡沫石膏用澆灌的石膏漿与泡沫混合而得。把澆灌石膏漿与气体發生剂相混合即得气孔石膏。

泡沫爐渣*是澆灌的爐渣砂漿和泡沫混合而成。

用这种方法也可以用其它材料制造多孔混凝土。

泡沫多孔混凝土可用下列原料制成：

- (1) 水泥——磨細的石英砂——水——泡沫剂；
- (2) 水泥——灰渣混合物——水——泡沫剂；
- (3) 水泥——磨細的石英砂——粉煤灰——水——泡沫剂；
- (4) 水泥——非磨細石英砂(粉石英类)——水——泡沫剂；
- (5) 水泥——磨細的粒狀矿渣——磨細的砂子——水——泡沫剂；
- (6) 石灰——磨細的石英砂——水——泡沫剂；
- (7) 石灰——磨細的石英砂——粉煤灰——水——泡沫剂；
- (8) 石灰——未經磨細的石英砂(粉石英类)——水——泡沫剂；
- (9) 石灰——灰渣混合物——水——泡沫剂；
- (10) (水泥+石灰)——磨細的石英砂——水——泡沫剂；
- (11) (水泥+石灰)——磨細的石英砂——粉煤灰——水——泡沫剂；
- (12) (水泥+石灰)——未經磨細的石英砂(粉石英类)——水——

* B. C. 杜尔金、Л. М. 罗晉費里德、A. M. 謝皮托夫所提出的。

——泡沫剂；

(13)(水泥+石灰)——灰渣混合物——水——泡沫剂；

(14)(石灰+石膏)——水——泡沫剂。

下列物質可用作多孔混凝土的促凝剂：氯化鈣、水玻璃、石膏、硫酸鋁、鋁酸鈉、氯化鋁。

緩凝剂（对于生石灰）是：水解血膠、糖渣、石膏、水玻璃和亞硫酸鹽-酒精廢液。制造多孔混凝土时可用下列泡沫剂：松香膠泡沫剂、松香酪素泡沫剂、皂素泡沫剂、树脂皂素泡沫剂、石油磺酸鋁泡沫剂、水玻璃泡沫剂和水解血膠泡沫剂。

多孔混凝土分为：

(1)按形成气孔的方法分为泡沫混凝土、气孔混凝土和用过剩水方法制得的多孔混凝土；

(2)按所用膠凝料的种类分为泡沫混凝土（气孔混凝土）、泡沫硅酸鹽（气孔硅酸鹽）、泡沫石膏（气孔石膏）、泡沫菱苦土和泡沫爐渣；

(3)按硬化条件分为自然硬化多孔混凝土、蒸制多孔混凝土、蒸压多孔混凝土和碳化多孔混凝土；

(4)按用途分为絕热用多孔混凝土和結構用多孔混凝土。

下列多孔混凝土制品是大家所熟悉的：1)絕热用非蒸压泡沫混凝土制品；2)工業建筑屋面用蒸压鋼筋泡沫混凝土（鋼筋泡沫硅酸鹽）板；3)保护热力管道用的鋼筋泡沫混凝土及鋼筋泡沫硅酸鹽箱涵和弧形塊；4)工業和民用建筑物承重牆和自承重牆、內間牆和楼板用的大型鋼筋泡沫混凝土制品；5)工業建筑屋面用的 KAPI 型大型鋼筋泡沫混凝土板和其他制品。

我們从1930年就开始用非蒸压泡沫混凝土来制造絕热材料，起初它仅用水泥制造，后来才摻用了各种細磨的外加物。絕热材料不需要很大的强度，所以非蒸压泡沫混凝土完全适用于此目的。尽管非蒸压泡沫混凝土的生产工艺很为簡易，但由于其水泥用量大，所以它并没有得到广泛的发展。目前正在进行改进非蒸压多孔混凝土制造方法的工作。

蒸压硬化的結構用多孔混凝土（泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽）的容重不大、然而却具有較高的强度指标。这就可以用它来制造絕热性能良好的承重結構。

由于制品在蒸压釜內的硬化方法是有效的，所以結構用多孔混凝土得到了發展。采用多孔混凝土的蒸压处理可以在短期內制得强度相当高的制品，更重要的是，这样就有可能不用水泥或只用少量水泥制造出以石灰、粒狀矿渣为基础的建筑構件。

1936年，在 И. Т. 庫德梁謝夫的领导下，苏联就認真地研究了蒸压泡沫混凝土制造方法。蒸压泡沫混凝土用于鋼筋泡沫混凝土制品的生产之后，这些研究工作就于 1937~1938 年結束。

随后，И. Т. 庫德梁謝夫在苏联中央工業建筑科学研究所制定了用磨細生石灰、未磨細砂和松香膠泡沫剂制造泡沫硅酸鹽制品的基本工艺。

1944~1945 年間，苏联中央工業建筑科学研究所曾会同南方重工業建筑公司研究了鋼筋泡沫硅酸鹽板的制造工艺。研究的成果已載入 И. Т. 庫德梁謝夫著作的小册子“工業建筑屋面用鋼筋泡沫硅酸鹽板”中。这本小册子是 1956 年由苏联建筑和建筑艺术出版社出版的。

苏联中央工業建筑科学研究所的 И. Т. 庫德梁謝夫，В. Н. 巴甫洛夫，М. Я. 克里維茨基，А. Т. 巴拉諾夫，Л. М. 罗晋費里德，建筑科学院的 В. Н. 依万諾夫和其它機構在以后年代所作的研究工作中，曾經研究了改善多孔混凝土工艺的問題，和在蒸压多孔混凝土制品生产中能否采用新原料（其中包括新泡沫剂）的問題。

特別是本書作者和 Л. М. 罗晋費里德共同研究出一种新的泡沫剂——石油磺酸鋁泡沫剂，并且在 1950 年已用于生产中。随后 Л. М. 罗晋費里德又研究出一种以屠宰場的血为基础而获得的水解血膠泡沫剂，并且也已被运用于生产中。

以水泥、砂子、水和泡沫剂为基础制得的泡沫混凝土，在建筑工程中得到了最广泛的应用。泡沫硅酸鹽（以石灰、砂子、水

和泡沫剂为基础) 則用得較少。

2. 泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽 的物理-技术性能

多孔混凝土建筑制品的質量取决于制造制品所用材料的物理-技术性能。

多孔混凝土的主要物理-技术指标决定着制品的使用性能。这些主要物理技术指标有：結構、容重或密度、抗压和抗拉極限强度、吸水性、吸湿性、热傳导性、蒸汽滲透性和空气滲透性、隔音性以及其它性能。多孔混凝土制品的結構、容重和湿度又是决定着其他性能（抗压和抗拉極限强度，热傳导性、吸水性等）的因素。

下面叙述結構用蒸压多孔混凝土（泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽）的主要物理-技术性能。

結 構

有人認為，只有在气孔的結構是球狀的情况下，多孔混凝土才具有最好的物理-技术性能。同时还應該对結構再提出一項足以大大改善多孔混凝土性能的要求，即孔隙的均匀性和分佈的一致性。

用石油磺酸鋁泡沫剂所制成的多孔混凝土的結構示于圖1。用其它泡沫剂制成的多孔混凝土亦可看到这样的結構。这

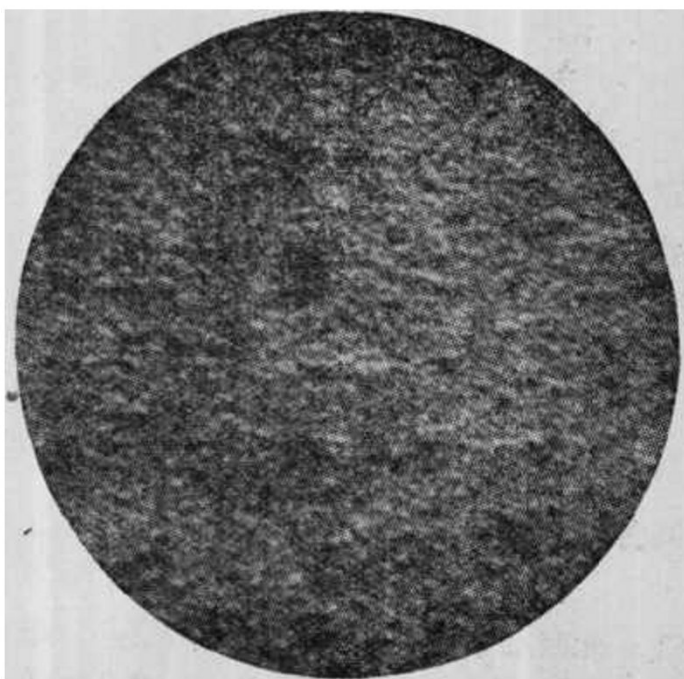


圖 1 泡沫混凝土的結構

里孔隙大都是球形的，但孔隙的大小并不一致。所以，为取得均匀结构而进行的研究是十分有益和必要的。

容 重

新拌制的多孔混凝土，其容重或密度取决于建筑砂浆中加入泡沫所形成孔隙的数量和水料比。

多孔混凝土（泡沫混凝土和泡沫硅酸盐）容重与孔隙率之间的关系列于表 1。

多孔混凝土的容重和孔隙率

表 1

容 重 (公斤/立方公尺)	孔隙率(%)	容 重 (公斤/立方公尺)	孔隙率(%)
300	88	800	68
400	84	900	64
500	80	1000	60
600	76	1200	52
700	72		

调节多孔拌合物所加泡沫或矿物材料的数量，就可以改变其容重。目前，多孔混凝土工厂是在泡沫配量一定的情况下，以改变矿物材料数量的办法来调节容重的。当有能够供给不同数量泡沫的泡沫混凝土搅拌机时，以改变所给泡沫数量的办法来调节容重来得比较方便。

此外，水料比对于容重也是有影响的。水料比愈大，多孔混凝土的容重将愈小。制造多孔混凝土时，规定水料比应将原材料的含水量考虑在内。

装着制品的模型在蒸前静置时，多孔拌合物的容重将有所改变。此时如果多孔拌合物发生沉陷，容重就要增加，如果多孔拌合物不沉陷，由于一部份水份由制品中蒸发出去或从模内流出，

容重就要减小。应该指出，多孔拌合物的沉陷不仅会增加多孔混凝土容重，而且会破坏多孔混凝土的正常结构。

泡沫混凝土的蒸压前容重比干燥状态泡沫混凝土的容重大约大30~40%，而蒸压后的容重比干容重大约大20~25%。在进行试验时，一般是把多孔混凝土试件在温度100~110°C下干燥至恒重。在进行研究时这种方法可以认为是一种正确的方法，但对工厂条件而言，将立方体试件烘至恒重后再测得的容重与强度并不能反映出制品的实际容重和强度，因为制品没有条件受热干燥，以致像上面所讲的一样，制品中仍然含有大量的水份。这些水分会增加制品的容重，并降低其强度。所以，在全苏国定标准 ГОСТ 1781-55对泡沫混凝土和泡沫硅酸盐制品所允许的湿度(15%)下测定试块的强度是比较正确的。

热传导性和热容量

多孔混凝土的热传导性主要取决于容重，与泡沫剂种类的关系却不大。所以在利用各种不同泡沫剂时所获得的导热系数指标都接近于表2所列。

多孔混凝土的导热系数值

表 2

容 重 (公斤/立方公尺)	导热系数(λ) (仟卡/公尺, 小时°C)	容 重 (公斤/立方公尺)	导热系数(λ) (仟卡/公尺, 小时°C)
600	0.150	900	0.250
650	0.165	1000	0.290
750	0.195	1100	0.340
800	0.210	1200	0.390

多孔混凝土的热容量与其容重及所用材料的质量无关。多孔混凝土的热容量为0.17~0.18仟卡/公斤°C。

抗压强度和抗拉强度

多孔混凝土的抗压强度，是决定这种混凝土在建筑中能否用作结构材料的重要性能之一。如上所述，多孔混凝土的强度首先取决于容重（表3）。

蒸压泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽在干燥状态
下的强度与容重之关系 表 3

容 重 (公斤/立方公尺)	抗压極限强度 (公斤/平方公分)	容 重 (公斤/立方公尺)	抗压極限强度 (公斤/平方公分)
360~400	10~15	800~1000	70~100
400~600	15~40	1000~1200	100~150
600~800	40~70		

对于用石油磺酸鋁泡沫剂制成的泡沫硅酸鹽，我們所得的容重与强度間的关系也相仿（圖2）。当正确选用水料比（对各种泡沫剂都是固定的）时，用所有各种泡沫剂均能做出强度相同的泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽。

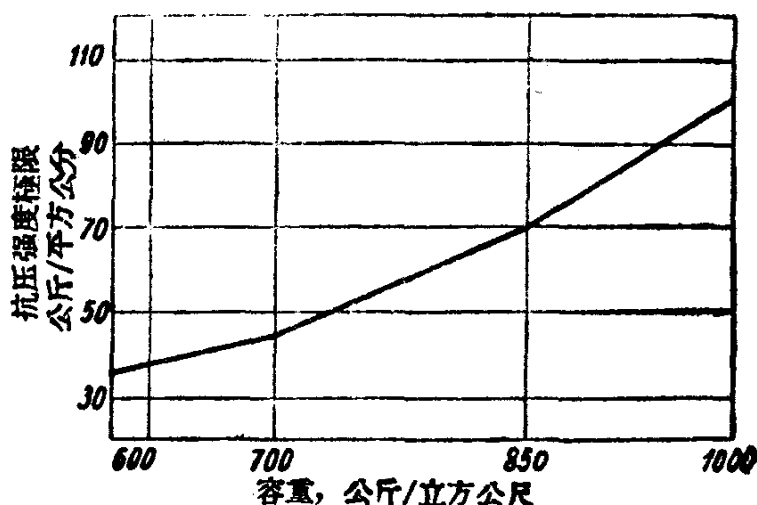


圖 2 不同容重泡沫硅酸鹽的强度
配合比石灰: 砂子=1:4 (按重量)

蒸压硬化的結構用泡沫混凝土，其抗拉極限强度約为抗压極限强度的1/10。

應該記住，泡沫混凝土和鋼筋的粘結强度为 12~16 公斤/平方公分，而泡沫硅酸鹽則为 8~12 公斤/平方公分。

多孔混凝土的配合比对于强度有着重要的意义。泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的强度与配合比的关系列于表 4。

多孔混凝土的强度

表 4

多孔混凝土 的 种 类	水料比	容重 (公斤/ 立方公 尺)	不同重量配合比下的抗压極限强度 (公斤/平方公分), 当重量配合比为					
			水泥: 砂子			石灰: 砂子		
			1:1.3	1:1.6	1:1.9	1:2.5	1:3.5	1:4.5
泡沫混凝土	0.42	750	51	55	49	—	—	—
泡沫硅酸鹽	0.44	700	—	—	—	38	42	40

根据表列数据可以看出，泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽均有其最好的强度，这个最好的强度决定于膠凝材料和硅酸成分間的比例。能使制品获得最大强度的配合比，就是該材料最好的配合比。

研究表明，当蒸压处理后硬化了的多孔混凝土中 CaO 和与其化合的 SiO_2 的比值等于 0.93 或接近于此值时，用石灰或石灰和水泥混合物制成的蒸制多孔混凝土，其强度將是最大的。这说明，当膠凝物質处在含水硅酸-鈣($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)状态时，泡沫硅酸鹽才能获得最高的强度。我們分析泡沫硅酸鹽配合比和强度后所取得的資料（表 5 和 6）就是前述情况的確証。

泡沫硅酸鹽膠凝物質的成分是根据化学分析而确定的。曾經測定过可溶性 SiO_2 （用 Steopoe 法）的数量和与 SiO_2 化合的 CaO 的数量。为此目的还测定了泡沫硅酸鹽中 CaO 的总数、游离的 CaO 和与 CO_2 化合的 CaO 。

与 SiO_2 化合的 CaO 数量，是根据 CaO 总数減去游离 CaO 和与 CO_2 化合的 CaO 所得之差数来确定的。

泡沫硅酸鹽的强度与 CaO 和 SiO_2 的比值的关系 表 5

硬化过的多孔混凝土中 CaO 和 SiO_2 之比	抗压極限强度 (公斤/平方公分)
2.7	18
1.5	27
1.3	39
1.0	65
0.93 (理論的)	—
0.8	43

泡沫硅酸鹽的强度与含水硅酸鈣类型的关系 表 6

石灰和砂子的原始 配合比 (按重量)	泡沫硅酸鹽在蒸压釜內硬 化后含水硅酸鈣的类型	泡沫硅酸鹽試件的 抗压極限强度 (公 斤/平方公分)
1 : 3	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$	27
1 : 3	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	50

关于多孔混凝土的配合比对其强度的影响問題，是十分重要同时又是十分复杂的，其所以重要，是因为根据各种工艺上的因素，材料的强度首先取决于配合比，其所以复杂，是因为配合比同样地取决于許多与原材料种类和数量有关的因素。例如，大家都知道：水泥的活性愈高，蒸压泡沫混凝土的强度就將愈大；同时在蒸压处理时采用矿渣硅酸鹽水泥是十分有效的。

И. Т. 庫德梁謝夫曾經确定：石灰磨得愈細，泡沫硅酸鹽的强度就愈高；同时放过一个时期的磨細生石灰有着最好的强度指标。在生石灰中存有部分熟化的顆粒（熟石灰粉）时不仅不降低泡沫硅酸鹽的强度，甚至还会有所提高。因为此时石灰的分散度有了增大。

И. Т. 庫德梁謝夫的資料和我們的实验証明：石灰温度活性

的下限（配合比1：1的生石灰和水的混合物生热时的最高温度）处于 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 之間，在这种温度下不会出现多孔拌合物的沉陷现象。生石灰对于蒸压泡沫硅酸鹽强度的特殊影响并没有发现。这点从列于表 7 的数据中可以看出。

泡沫硅酸鹽的强度指标

表 7

石灰的种类	泡沫硅酸鹽的容重 (公斤/立方公尺)	配合比 石灰—砂子	抗压極限强度 (公斤/平方公分)
磨細生石灰	700	1 : 4	50
石灰漿	700	1 : 4	47

註 石灰漿是用生石灰配制的，并根据生石灰計算进行配量。采用石膏（石灰重量的5%）作为石灰漿的促凝剂。

硅酸成分对于多孔混凝土的强度也有很大的影响。它在泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽制品的蒸压处理时起着特殊的作用，因为二氧化硅在此条件下和氫氧化鈣起化学反应，而生成膠凝物質。在泡沫混凝土制品的蒸压处理时，硅酸成分的作用还在于：細散的石英对水泥矿物的水化过程有着良好的影响。

十分明显，反应物質表面的純淨和这些物質原始表面积的大小在此情况下有着头等重要的意义。正是由于这个道理，所以在多孔混凝土生产中通常都采用磨細、細散状态的而 CaO 含量又很大的石灰和 SiO_2 含量很大的砂子。

同样明显，随着石灰中 CaO 含量和砂子中 SiO_2 含量以及这些材料分散度的不同，石灰和砂子的配量也将有所改变。这个关系在叙述配合比选择的问题时将要更加詳細地解釋。这里我們只提供一些用不同产地的砂子所做多孔混凝土的强度試驗結果(表8)。

泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的試驗表明，利用七个不同产地的砂子均能制取强度足够的多孔混凝土。但是抗冻性試驗証明，当容重为 700 公斤/平方公分时，用 SiO_2 含量小于 75% 的砂子制成的多孔混凝土是不抗冻的。

用不同产地的砂子制成的多孔混凝土强度指标 表 8

砂子的产地	SiO ₂ 的含量 (%)	容重 700 公斤/立方公尺的泡沫混凝土		容重 700 公斤/立方公尺的泡沫硅酸鹽	
		水泥和砂子的重量配合比	抗压極限强度 (公斤/平方公分)	石灰和砂子的重量配合比	抗压極限强度 (公斤/平方公分)
莫斯科州“瓦尔古沙”采砂場	98.89	1 : 1.6	57	1 : 3.5	64
新西伯利亞州的依斯基地模 *	91.80	1 : 1.3	68	1 : 3.5	80
土庫曼的哈德西里市区	84.56	—	—	1 : 3.5	45
烏拉尔的巴来金	82.77	1 : 1.6	57	1 : 3.5	46
新西伯利亞州的克里伏謝金	82.20	1 : 1.3	51	1 : 3.5	52
巴什里利亞的基季里	75.16	1 : 1.6	50	1 : 3.0	52
土庫曼的哈德西里市区	65.98	1 : 1.6	46	1 : 4.0	39

* 这种砂子是粉状石英。其余各种砂子是采用磨細状态的，粉磨細度用 200 号篩子上的篩余量表示約等于 1%。

水料比对于多孔混凝土的强度亦有不小的影响。这点从圖 3 所示的数据就可以看出，这里泡沫硅酸鹽的每种配合比均有其最好的水料比。这个原則对于泡沫混凝土來說也是正确的。有趣的是，

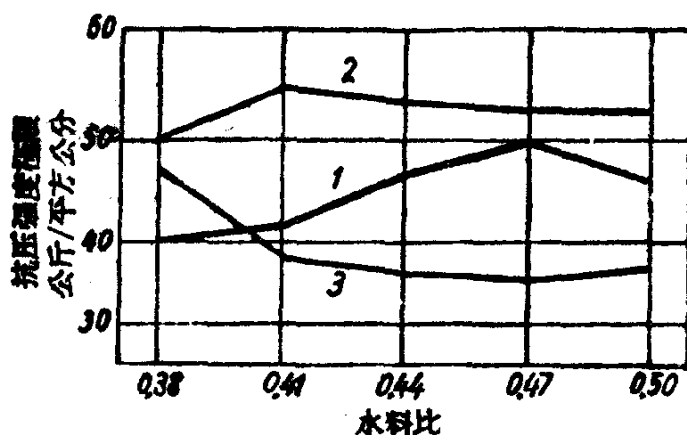


圖 3 配合比不同的泡沫硅酸鹽的最佳水料比
石灰和砂子的配合比:

1—1:2.5; 2—1:3.5; 3—1:4.5

是，蒸压硬化的泡沫混凝土和泡沫硅酸鹽的最大强度并不与最小水料比相符合。这是因为在增加水料比时，創造了使泡沫和矿物料攪拌得更为均匀和把气孔間的砂漿“包裹”得更好的条件。此外，还可能使