

高强度泡沫砂酸盐

И. Т. 庫特略雪夫 著

基本建設出版社

目 录

一、概論	1
二、泡沫矽酸鹽的簡短發展历史	5
三、泡沫矽酸鹽的生产工艺	12
四、泡沫矽酸鹽的主要物理力学性質	20
五、泡沫矽酸鹽的使用性能	23
(一) 工業建筑屋面用鋼筋泡沫矽酸鹽板的使用性能	23
(二) 泡沫矽酸鹽的抗冻性	24
(三) 軟化系数	25
(四) 水飽和与干燥	25
(五) 泡沫矽酸鹽与面層的結合及其抗冻性	26
(六) 泡沫矽酸鹽的吸水率及還水性	28
(七) 空气条件对已制得的泡沫矽酸鹽强度的影响	29
(八) 泡沫矽酸鹽的强度	31
六、住宅与民用建筑中的泡沫矽酸鹽結構	34
七、泡沫矽酸鹽結構的技术經濟指标	43
八、莫斯科市住宅与民用建筑中, 广泛使用泡沫矽酸鹽的措施	48

一、概 論

1939~1941和1944~1950年，中央工業建筑科学研究院在作者的领导下，曾在無水泥的泡沫矽酸鹽制备方面进行了科学研究性和生产試制性的工作。

泡沫矽酸鹽是一种微孔的輕質人造石，类似天然浮石（見圖1）。

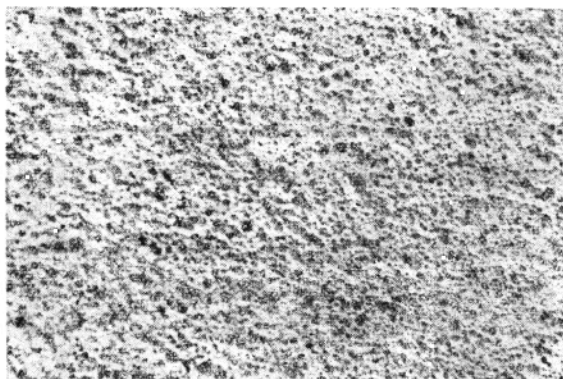


圖1 泡沫矽酸鹽的微孔結構

密閉的微孔結構是泡沫矽酸鹽的主要特征。这种結構决定着泡沫矽酸鹽有很多优良的性質：重量輕、絕热好、比較小的吸水率、高抗冻性和其他等。

第1表中載入具有相同絕热能力的各种牆的特性。显然，可以看出，泡沫矽酸鹽牆每平方公尺的重量与其他种牆每平方公尺重量的比为 $1:2 \sim 1:5\frac{1}{2}$ 。

具有相同絕热能力的各种牆的特性

表 1

編 号	牆 壁 材 料	容 重 (公斤/立 方公尺)	导热系数 (千卡/公 尺·度·时)	所需牆厚 (公 分)	每平方公 尺牆重 (公斤/平 方公尺)
1	矽酸鹽磚	1,800	0.70	64	1,152
2	实体矿渣混凝土	1,500	0.60	50	750
3	矿渣混凝土空心磚	1,200	0.40	39	468
4	空心紅磚	1,350	0.50	42 (有5公分厚 的空气層)	367
5	泡沫矽酸鹽塊	800	0.25	25	200

泡沫矽酸鹽的成份是磨細生石灰，磨細砂，泡沫剂和水，都是一些地方材料。在其成份中摻入水泥完全沒有必要。①

泡沫矽酸鹽制品是在長20公尺、直徑2公尺的蒸压釜中进行真空蒸压处理的。这样保証泡沫矽酸鹽制品在一天內获得高强度。絕热用泡沫矽酸鹽制品的容积重量是300~500公斤/立方公尺，而結構用者是500~1000公斤/立方公尺。

每立方公尺泡沫矽酸鹽的石灰用量为60(容积重量为300公斤/立方公尺时)至150公斤(容积重量为1000公斤/立方公尺时)。

絕热用泡沫矽酸鹽的極限抗压强度为15~40公斤/平方公

① 在E·Л·罗哈伐吉尔“为了建設强人的莫斯科建筑工業”(“莫斯科城市經濟”雜誌, 1950年, №7.) 論文中, 叙有摻入50~100公斤水泥和120~150公斤石灰的“泡沫矽酸鹽”。这种材料其实不是泡沫矽酸鹽, 而是摻有大量石灰的泡沫混凝土。

分，結構用者為40~150公斤/平方公分（見圖2）。

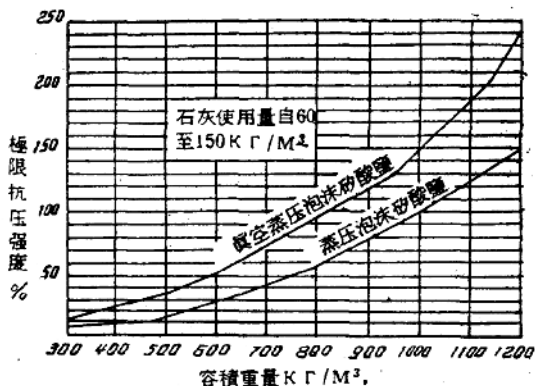


圖2 泡沫矽酸鹽容重在200至1200公斤/立方公尺時的極限抗压强度公斤/平方公分

當泡沫矽酸鹽的容積重量為1200公斤/立方公尺時，其強度可達250公斤/平方公分。泡沫矽酸鹽不會干涸和腐蝕，不受鼠的侵害，不易燃，有足够的耐火性，便于工具加工，便于釘着及加鋼筋。

泡沫矽酸鹽的耐久性並不次於矽酸鹽磚。

泡沫矽酸鹽的生產很容易在現有的矽酸鹽廠中組織起來。為此只需增設些泡沫混凝土攪拌機、砂子干燥筒、磨砂機和制做些金屬模型。把10~20個現有的蒸壓釜改裝成兩個蒸壓釜，使每年生產泡沫矽酸鹽制品16000~18000立方公尺，其改裝費用為20~30萬盧布。

泡沫矽酸鹽和鋼筋泡沫矽酸鹽制品有其各種不同的應用。

最有效者為鋼筋泡沫矽酸鹽用作中層樓板、牆及隔牆中的大型預制板構件。

第2表中列有鋼筋混凝土結構和鋼筋泡沫矽酸鹽結構用于居住房屋中每立方公尺的造价分析。

根据此造价分析，显然可以看出，每立方公尺鋼筋泡沫矽酸鹽制品的造价仅佔整体鋼筋混凝土的64%及装配式鋼筋混凝土的60%。

住宅房屋結構的造价分析

表 2

材 料 名 称	整体鋼筋 混 凝 土	装配式鋼 筋混凝土	装配式鋼筋 泡沫矽酸鹽
礫石	80.0	80.0	—
砂	29.0	29.0	10.5
水泥	71.0	71.0	—
石灰	—	—	23.5
鋼筋	139.0	139.0	139.0
泡沫剂	—	—	5.0
模型	60.0	25.0	10.0
脚手架	50.0	—	—
蒸汽	—	21.0	28.5
电力	3.0	5.0	5.0
工厂中制造	—	73.0	51.0
建筑現場制造或裝配	117	53	26.5
建筑現場混凝土或制			
品的运输	15.0	81.0	40.5
管理费	87	108.0	72.5
共計			
1) 盧布	651	685	413
2) (%)	100	105	64

二、泡沫矽酸鹽的簡短發展历史

多孔性混凝土是一种内含均佈封閉气孔的人工石材。这些气孔显著地降低多孔性混凝土的导热系数和容积重量。

生产多孔性材料的四种方法在苏联曾获得不同程度的發展：

1. 在建筑糊漿和膠泥中形成气孔的方法（Н. А. 巴巴夫教授所研究成的气孔混凝土和И. И. 基塔衣高洛特斯基教授所研究成的泡沫玻璃）；

2. 把建筑用糊漿或膠泥与单独制成的建筑用泡沫相混合的方法（泡沫混凝土，泡沫矽酸鹽，泡沫石膏，泡沫菱苦土——П. А. 列宾捷尔院士，А. А. 勃留西科夫，В. Н. 卡烏夫門，И. Т. 庫特略雪夫，С. И. 基列司教授等人进行研究）；

3. 在建筑膠泥中掺入多孔性集料的方法（矿渣塊^①——Е. М. 哈伏罗鎗斯基等人进行研究）；

4. 在建筑膠泥中掺入多余水，随后令其蒸發的方法（微孔塊^②——Л. Г. 古林諾夫，Ю. Е. 卡尔尼洛維奇等人进行研究）。

在这四种方法中，苏联应用得最早和最广泛的是形成泡沫的方法。

气孔混凝土仅在里加市一个工厂生产。

矿渣塊暫且还是小量地应用（始自1948年）。

微孔塊还未在生产上使用，因为这方面的研究工作尚未結

① 原文为Термиз

② 原文为Микропорит

東。

泡沫石膏、泡沫菱苦土和泡沫玻璃沒有大規模地利用。在生产多孔性混凝土的四种方法中，从工艺观点来看，以掺入多余水者最有效（微孔塊），而最合理者是形成泡沫的方法（泡沫矽酸鹽，泡沫混凝土和其他等）。微孔塊的气孔是連通的，而利用形成泡沫法所制得的气孔是封閉的，互相不連通的。

正因为如此，由形成泡沫法所制得的多孔性混凝土的吸水性比微孔塊低 $1/3 \sim 1/2$ ，抗冻性高 $9 \sim 11$ 倍，吸湿性低 $1/2$ ，軟化系数大 $1/2$ 倍，与鋼筋的結合强度高 $1 \frac{1}{2}$ 倍等等。

微孔塊中需除去200%的水份（佔干燥材料重），而泡沫矽酸鹽仅需除去40~50%，即減少 $3/4 \sim 4/5$ 。微孔塊在蒸压后的干燥需要很多劳动力、电力和热量；而泡沫矽酸鹽的干燥，一般在倉庫中于自然条件下进行即可。

其他各种多孔混凝土（气孔混凝土，矿渣塊）的結構性質都介于泡沫矽酸鹽与微孔塊之間。

在苏联，应用得最广泛的是以形成泡沫法所制成的多孔性混凝土，計有下列几种：1、非蒸压絕热用泡沫混凝土（ОСТ616）；2、蒸压泡沫混凝土（Гост 1781—49）；3、泡沫矽酸鹽（技术条件 ТУ 63—49 和真空蒸压多孔性混凝土标准 НР 139—49，НР 140—49 和 НР 141—49）。

非蒸压絕热用泡沫混凝土的研究，在苏联始于1928年。結果，苏联学者（А.А.勃留西科夫，B.H.卡烏夫門等人）沒有依賴外国，独立地研究出祖國自制的用松香膠泡沫剂制的泡沫混凝土。

非蒸压絕热用泡沫混凝土的水泥用量大，强度低，不易运输，有显著的沉陷現象，並且，在实际使用前需在倉庫中养护28天。

在混合物中加入磨細摻料（矽藻土，矿渣，石灰石等等），並使制品在正常压力下進行养护，这样可以改善非蒸壓絕热用泡沫混凝土的缺陷，但是，其主要缺点（水泥用量大和强度低）仍然存在。

蒸壓泡沫混凝土和泡沫矽酸鹽的研究始于1936年（中央工業建筑科学研究所——И. Т. 庫特略雪夫和Н. Н. 列西格等人），結果，研究出用作工業建築物絕热屋蓋的鋼筋泡沫混凝土板和有面層的泡沫矽酸鹽塊（見圖3）。

各种非蒸壓絕热用泡沫混凝土自1930年已經开始生产，（在列寧格勒），蒸壓鋼筋泡沫混凝土屋面板的生产始自1938年（在齊略賓斯克），鋼筋泡沫矽酸鹽屋面板的生产始自1945年（在哈爾科夫），砌牆用泡沫矽酸鹽的生产始自1947年（在哈爾科夫）。

目前，生产蒸壓泡沫混凝土和泡沫矽酸鹽有以下一些城市：莫斯科附近的雷脫卡里諾（見第4圖）、哈爾科夫、基輔、斯契爾里德馬克、諾沃西比爾斯克、克拉斯諾雅爾斯克、黑龍江上的共青城、第聶伯彼得羅夫斯克、塞爾鐸白斯克和列寧格勒。

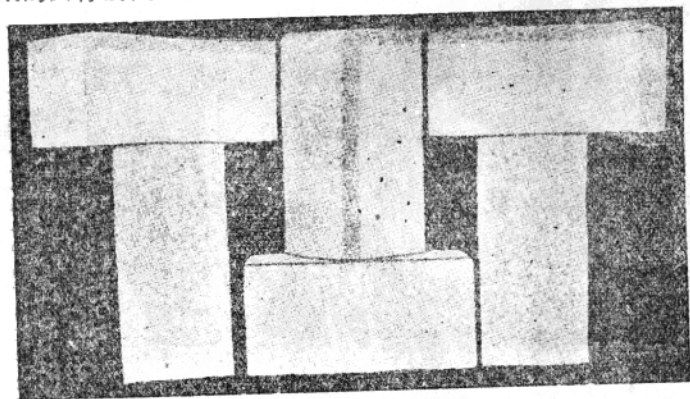


圖3 砌牆用有面層的泡沫矽酸鹽塊

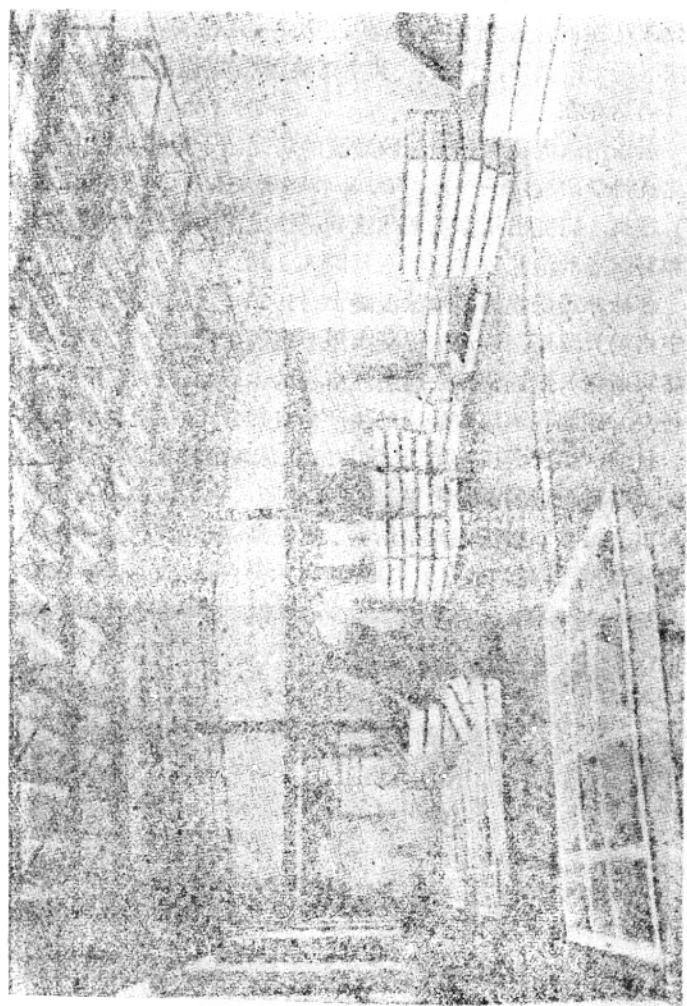


圖 4 在雷波卡里諾（莫斯科附近）多孔性混凝土（泡沫混凝土和泡沫砂酸鹽）工厂的制品拆模車間

1951年，將建設几个新的蒸压多孔性混凝土工厂（泡沫矽酸鹽和泡沫混凝土）。

1949~1950年，中央工業建筑科学研究院研究出一种新的，更有效的泡沫矽酸鹽和泡沫混凝土的生产方法——真空蒸压法（И.Т.庫特略雪夫和М.Я.克里維茨基的工作）。

1949年8~9月，在中央建筑管理总局雷脫卡里斯基鋼筋泡沫混凝土工厂，在世界技术中第一次掌握真空蒸压多孔性混凝土的生产，这样有可能使工厂的生产率提高50%，並在很大的程度上降低鋼筋泡沫混凝土的容重及縮短屋面板的厚度。

目前，在作者的领导下，正在使雷脫卡里斯基鋼筋泡沫混凝土工厂过渡到真空蒸压泡沫矽酸鹽制品的生产。①且与B.Б.米哈依洛夫教授和“中央建筑配件”托拉斯总工程师契基尔一起，共同着手制造用于牆及中層樓板的預加应力鋼筋泡沫矽酸鹽板及梁的試驗構件。

生产泡沫矽酸鹽用的泡沫剂，曾研究过四种：松香膠泡沫剂（М.Н.金磁列尔，卡烏夫門等人在1930~1934年进行的研究），皂素脂泡沫剂（И.Т.庫特略雪夫，B.Н.巴甫洛夫等人在1947~1948年于中央工業建筑科学研究院进行的研究），石油磺酸鋁泡沫剂（Л.М.罗金飞列特，А.Т.巴拉諾夫等人在1949~1950年于中央工業建筑科学研究院所做的工作）和水解血泡沫剂——一种水解后的动物血（Л.М.罗金飞列特等人在1950年在中央工業建筑科学研究院进行的研究）。

在上述的泡沫剂中，石油磺酸鋁有最好的技术經濟指标。与松香膠及皂素脂泡沫剂比較，它具有下列优点：

1. 攪拌泡沫时仅需1~1½分鐘，而其他泡沫剂則需5~6分

① 1952年已在共青团正式应用真空蒸压生产多孔性混凝土——譯者註，

鐘；

2. 由于泡沫剂中含有硫酸鋁及泡沫矽酸鹽中含有石灰，氫氧化鈣與鋁鹽間發生化學作用，導致增加泡沫矽酸鹽糊漿的穩定性；

3. 石油磺酸鋁泡沫剂同时亦是一种塑化剂，这样，就可能降低泡沫矽酸鹽的水結因素，因而提高其强度；

4. 石油磺酸鋁泡沫剂的造价（以每立方公尺泡沫矽酸鹽計算），比其他泡沫剂便宜 $1/3 \sim 1/2$ 。

1950年10月在雷脫卡里斯基鋼筋泡沫矽酸鹽工厂的生产中使用了石油磺酸鋁泡沫剂。

1950年，中央工業建筑科学研究所多孔性材料試驗室的工作人員們（И. Т. 庫特略雪夫，Л. М. 罗金飞列特，М. Я. 克里維茨基和А. Т. 巴拉諾夫），进行了真空蒸压泡沫矽酸鹽和由二氧化碳泡沫所制成的泡沫矽酸鹽的初步研究。所得結果使有可能得出結論，与真空蒸压法比較，碳化法可制成强度高得更多的泡沫矽酸鹽。

因此，泡沫矽酸鹽制品在真空蒸压和真空碳化作用下的硬化，將由下列步驟組成（見圖5）。

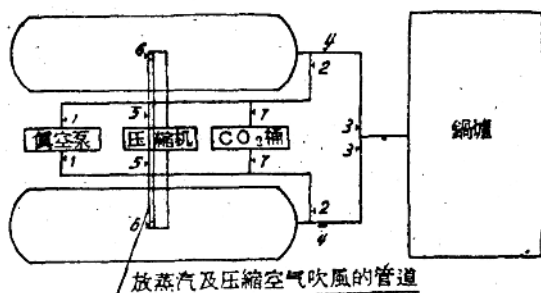


圖5 真空蒸压和真空碳化泡沫矽酸鹽的生产圖

1. 打开气門(1)和(2), 使蒸压釜内部形成真空; 其余的气門全部关闭;

2. 打开气門(3)和(4), 进行制品的蒸压处理; 关闭全部其他的气門;

3. 打开气門(5)和(6), 用空气压缩机往蒸压釜内吹风, 以清除釜内的蒸汽和多余水;

4. 打开气門(1)和(2), 将釜内空气进行第二次抽空;

5. 制品的碳化——在打开汽門(7)及(2)时;

6. 打开汽門(5)及(6)用压缩机往釜内进行第二次送风——干燥制品。

与磚及混凝土相比較, 泡沫矽酸鹽也象一般多孔性混凝土一样, 吸水率比較高, 这是它的不良特性。

因此, 在1950年中央工業建筑科学研究所多孔性材料試驗室, 曾进行了用水解血泡沫剂制造泡沫矽酸鹽和在石灰砂膠泥中掺入硫酸鹽以使泡沫矽酸鹽憎水的研究工作。在拌合泡沫和石灰砂膠泥的过程中, 硫酸鹽和水解血泡沫剂中的某些成份产生了反应, 結果生成一种复鹽。此复鹽經泡沫矽酸鹽气泡中的空气氧化后就变成一种不溶性的化合物。此时, 在泡沫矽酸鹽气泡的迅速發展的表面上生成一种不滲水的薄膜, 此薄膜減低了泡沫矽酸鹽的吸湿性①, 吸水率及蒸气滲透性②, 提高了泡沫矽酸鹽的使用質量。

水解血泡沫剂由肉品工厂的廢物制成, 在我們国家的任何工業中心都有大量的这种地方材料。

① ГИДРОСКОПИЧНОСТЬ—吸湿性, 即空气温度为100%时的吸湿率——譯者註

② ВОДОПОГЛОЩАЕМОСТЬ——譯者註

三、泡沫矽酸鹽的生產工藝

泡沫矽酸鹽由石灰、砂、水和泡沫劑所制成。

生產真空蒸壓泡沫矽酸鹽的主要原料石英砂(50~80%)，這種材料大量地蘊藏於蘇聯許多工業中心的附近：莫斯科、列寧格勒、基輔、哈爾科夫、高爾基城、齊略賓斯克、庫依貝舍夫城、薩拉托夫、諾沃西比爾斯克、德聶泊爾彼特羅夫斯克、斯大林格勒、羅斯托夫、諾沃羅西斯克、黑龍江邊的共青城、斯契里泰瑪克及其他等城市。

煙灰和磨細的礦渣是泡沫矽酸鹽摻料的無窮源泉。為此，亦完全可以採用粉石英、矽藻石、矽藻土、蛋白土和其他等材料。

砂子或其他摻料的細度應磨得接近水泥的細度，因為用細磨砂所製成泡沫矽酸鹽的強度，在很大的程度上高於粗磨砂。

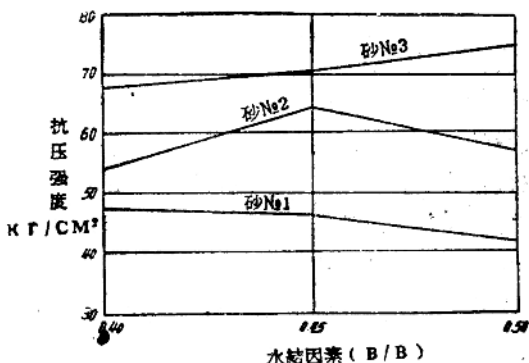


圖6 砂研磨細度與泡沫矽酸鹽極限抗壓強度的關係

圖 6 用圖解說明在最适宜的水結因素下，磨細砂的細度和泡沫矽酸鹽強度的關係。砂子的粒徑列于第 3 表。

由圖 6 可看出，由比較細的 №3 砂所制得 泡沫矽酸鹽，其強度比較粗的 №1 砂高 50%。

表 3

砂 子 編 号	各种篩孔上的剩留量 (%)			篩孔为 0.09 公厘的篩子通过量 (%)
	0.6 公厘	0.3 公厘	0.15 公厘	
1	29	21	12	38
2	0	29	16	55
3	0	0	23	77

这可解釋为，第一，比較細的砂的吸附能力高得多，因而可能使泡沫混凝土形成較均匀的結構和較小的气孔。第二，砂的較細顆粒能使砂和石灰的接触表面急剧增大，因而，石灰与矽酸間的反应亦愈完全。

石灰採用 CaO 含量不低于 70% 的磨細的生石灰。

石灰磨得愈細，泡沫矽酸鹽強度愈高。圖 7 以圖解表明石灰研磨粒徑和細度与泡沫矽酸鹽強度的关系。

14 种石灰的分散程度列于第 4 表。

表 4

石灰編號	石灰不同粒度(公厘)的含量(%)				
	0.33~0.22	0.22~0.15	0.15~0.12	0.12~0.09	0.09~0.06
1	100	—	—	—	—
2	—	100	—	—	—
3	—	—	100	—	—
4	—	—	—	100	—
5	—	—	—	—	100
6	20	20	20	20	20
7	—	25	25	25	25
8	—	—	33.3	33.3	33.3
9	—	—	—	50	50
10	—	—	—	—	100
11	25	25	25	25	—
12	33.3	33.3	33.3	—	—
13	50	50	—	—	—
14	100	—	—	—	—

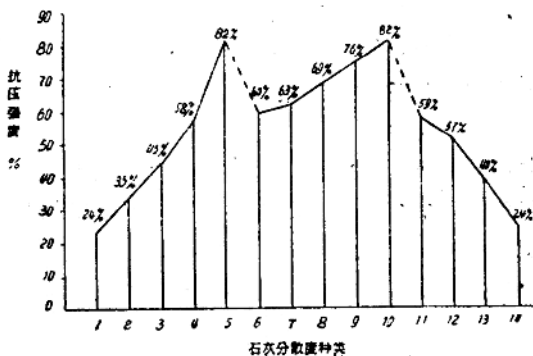


圖 7 生石灰研磨細度与泡沫矽酸鹽極限抗压强度的关系

前五种石灰（1~5）中每一种石灰仅有一种粒度——自0.32~0.22公厘至0.09~0.06公厘。相繼的五种石灰（6~10）有相等数量的不同粒度，其粒度种数自5（6）降到1（10）。最后四种石灰（11~14）粒度的取法与上相同，但其分散程度的排列次序相反。

根据第7圖的这些数据，可以作出結論，磨得較細的石灰保証泡沫矽酸鹽的强度較高。同时，相对的最大活性的粒徑必須等于或小于0.22公厘。除了細磨以外，使石灰在0.22公厘以下的範圍內具有各种不同粒度亦很重要。

圖8及圖9表明生石灰和磨細砂的配合比与泡沫矽酸鹽强度的关系。

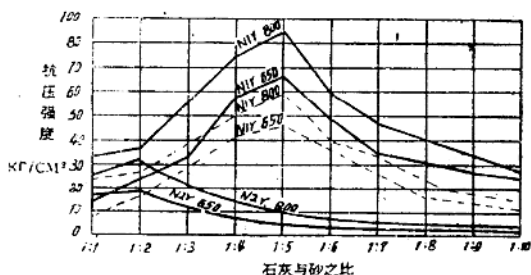


圖8 石灰与砂的比值与泡沫矽酸鹽强度的关系

N₁ CaO含量为89%的波特利斯基工厂生石灰

N₂ CaO含量为40%的無名工厂的生石灰

註:

1. N₂石灰的試件沉陷1--2cm
2. ——— 干燥試件
3. 非干燥試件