

中國科學院工本建築研究所研究報告

第 1 號

絕熱用泡沫混凝土

黃 蘭 谷

科 學 出 版 社

內 容 提 要

本文係中國科學院土木建築研究所於 1954 年根據蘇聯文獻和用國產原料所進行的試驗結果,介紹絕熱用泡沫混凝土的物理力學性質和用途;闡述泡沫劑和泡沫混凝土的理論和製作方法;討論原料性質對泡沫混凝土的影響。對於絕熱用泡沫混凝土的試驗室製作過程有詳細說明,可供建築工程的設計和施工人員參考,並有助於絕熱用泡沫混凝土製品工廠的生產。

絕 熱 用 泡 沫 混 凝 土

編輯者 中國科學院土木建築研究所
著 者 黃 蘭 谷
出版者 科 學 出 版 社
北京朝陽門大街 117 號
北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 號
印刷者 上海中科藝文聯合印刷廠
總經售 新 華 書 店

1956 年 9 月第 一 版 書號: 0544 印張: 4 1/8
1956 年 9 月第一次印刷 開本: 787×1092 1/16
(滬) 0001—5,844 字數: 67,000

定價: (10) 0.65 元

目 錄

一. 緒言	1
二. 泡沫劑和泡沫	8
一. 泡沫劑的作用	8
二. 松香皂泡沫劑的試料及其分析結果	9
三. 泡沫劑的配製與其原料用量的確定	11
四. 關於確定泡沫劑原料用量問題與泡沫劑配製方法的討論	13
五. 泡沫的製成及其性能的測定	14
六. 泡沫的攪拌時間和泡沫劑的適宜用量	16
七. 泡沫劑原料的種類和用量對泡沫性質的影響	19
八. 松香皂與膠溶液的均勻混合	22
三. 泡沫混凝土	23
一. 水泥試料及其試驗結果	23
二. 泡沫混凝土試件的製作和試驗方法	23
三. 試驗結果和結論	26
四. 試驗結果的應用	41
五. 製造過程中須注意的事項	41
四. 泡沫混凝土的材料用量和費用	44
五. 結語	45
附錄	46
(一) 泡沫劑原料的分析方法	46
(二) 泡沫混凝土導熱係數的測定儀器和方法	48
(三) 生產用三筒式泡沫混凝土攪拌機	49
(四) 工地少量製作絕熱用泡沫混凝土的設備和工具	51
(五) 實驗室製作泡沫混凝土過程的圖片說明	51
參考文獻	62

一. 緒 言

隨着國家工業建設的發展, 建築工程大量需要經濟有效的新型建築材料。多孔混凝土就是其中的一種。

多孔混凝土是一種人工的石材, 其中有均勻分佈的閉合小空氣泡(圖 1), 這種材料是由膠結材料(或加入硅酸成分)、水和泡沫混合後, 用不同的處理方法硬化而成的。由於所用膠結材料的不同, 多孔混凝土可分為泡沫混凝土(以水泥為膠結材料)、泡沫硅酸鹽(以石灰為膠結材料)、泡沫石膏(以石膏為膠結材料)和泡沫菱苦土(以菱苦土為膠結材料)等種類。由於泡沫製成情況的不同, 多孔混凝土也可分為兩種: 將

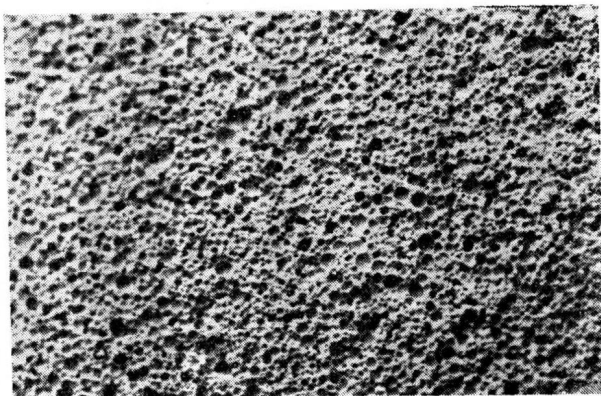


圖 1 多孔混凝土的結構

加氣劑加入膠結材料和水糊漿中以獲得多孔結構者, 稱為加氣混凝土; 由泡沫劑製成泡沫, 然後加入膠結材料和水糊漿中者, 稱為泡沫混凝土。按泡沫混凝土硬化條件的不同, 分為若干種, 其中以下列三種的應用最為廣泛。

(一) **非蒸煉泡沫混凝土**——泡沫混凝土糊漿澆灌入模後, 令其在自然條件下硬化或在溫度為 90°C 、氣壓為 0.7 氣壓以下的蒸氣室中養護 20—40 小時而製得。自然硬化時, 不需特殊的設備, 但必須養護一個月左右才能使用; 蒸氣養護時, 所需硬化時間較短。非蒸煉泡沫混凝土的強度不高, 一般不用作承重構件。

(二) **蒸煉泡沫混凝土**——加有硅酸成分的泡沫混凝土糊漿灌入模型後, 送入蒸煉釜中蒸煉而得。釜中蒸汽溫度為 174.4°C , 其相應的壓力為 8 氣壓, 蒸煉時間為 8 小時左右。蒸煉泡沫混凝土所需的硬化時間短, 強度高, 但須有高壓蒸汽鍋爐和蒸煉釜等設備才能製作。

(三) **真空蒸煉泡沫混凝土**^{[1, 5]*}——加有硅酸成分的泡沫混凝土糊漿在蒸煉釜中

* 此處及以後方括弧中的數字表示參考文獻的編號, 文獻全名附於書末。

除進行蒸煉處理外，並進行一次或兩次真空處理，以加速其硬化過程的進行。所得到的強度最高。

此外，也可以按其用途的不同，分為絕熱用泡沫混凝土和結構用泡沫混凝土兩種。前者僅用於絕熱，而後者除起絕熱作用之外，同時還可以承受荷重。

泡沫混凝土的單位體積重量小，空隙率大，其相互間的關係如表 1 [2,3]。

表 1 泡沫混凝土在不同單位體積重量下的空隙率

乾燥狀態時之單位體積重量 (千克重/米 ³)	400	500	600	700	800	900	1000
空隙率 (%)	84	80	76	72	68	64	60

泡沫混凝土的吸水率由其單位體積重量、相對濕度和周圍空氣的溫度來決定，其關係列於表 2 [2]。

表 2 泡沫混凝土的吸水率

泡沫混凝土的 單位體積重量 (千克重/米 ³)	泡沫混凝土在不同空氣相對濕度下吸濕量的單位體積百分率 (%)				飽和吸水 (容積%)
	40	60	80	100 (吸濕性)	
400	0.99	1.37	2.07	3.12	21
600	1.44	2.00	2.75	4.32	24
800	1.98	3.65	3.60	5.50	28
1000	2.43	4.27	4.46	6.72	33

泡沫混凝土的導熱係數，決定於環境的溫度和濕度，其關係如表 3 [2] 所示。

表 3 泡沫混凝土的導熱係數 (千卡/米-小時-°C)

單位體積重量 (千克重/米 ³)	正溫度時不同濕度下的導熱係數			負溫度時不同濕度下的導熱係數		
	0	2	5	0	2	5
400	0.095	0.110	0.130	0.095	0.145	0.200
600	0.125	0.145	0.170	0.125	0.175	0.245
800	0.165	0.185	0.210	0.165	0.220	0.300
1000	0.210	0.230	0.260	0.210	0.280	0.360

泡沫混凝土的多孔性結構決定了這些優良的性能，同時也就決定了泡沫混凝土是一種良好的輕質絕熱材料。

泡沫混凝土的抗壓極限強度決定於其單位體積重量，所用材料的性質和種類及其硬化方法等，其數值如表 4 所列 [3]。

表4 泡沫混凝土的抗壓極限強度

單位體積重量 (千克重/米 ³)	360—400	400—600	600—800	800—1000
絕熱用泡沫混凝土的抗壓極限強度(千克重/厘米 ²)	4—8	8—15	——	——
結構用泡沫混凝土的抗壓極限強度(千克重/厘米 ²)	10—15	15—40	40—85	85—150

泡沫混凝土有良好的耐熱性能。按文獻[5],在400°C以下的高溫反而有助於其強度的提高,僅在溫度超過400°C時其強度才開始下降。各種不同溫度對泡沫混凝土的抗壓強度、單位體積重量和體積的影響詳列於圖2。由圖可知,高溫所引起的泡沫混凝土體積減小甚微,可供設計泡沫混凝土高溫絕熱構件時作參考。

泡沫混凝土構件使用於建築物之後,在空氣中能繼續增進強度,這一現象已由實際觀察證明^[2]。在蘇聯最早完成的鋼筋泡沫混凝土屋面工程,截至目前為止已經過了16年,情況良好,證明泡沫混凝土有足夠的持久性。實驗室中用凍融試驗和乾濕

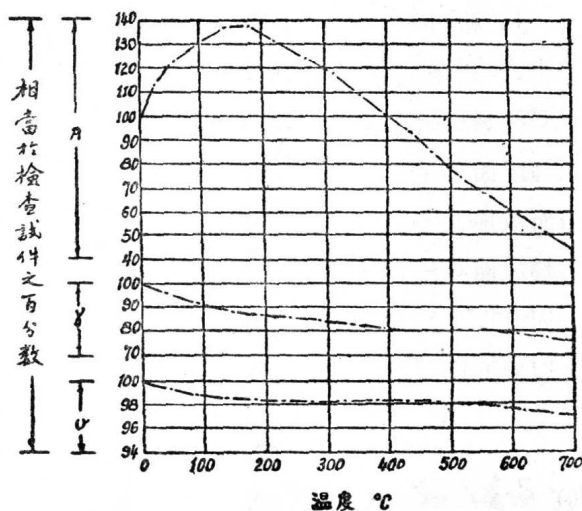


圖2 各種不同高溫對泡沫混凝土性能的影響

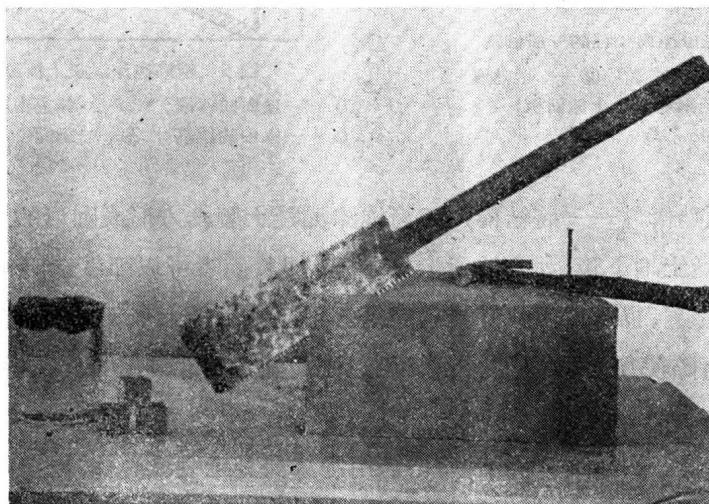


圖3 泡沫混凝土的工作性

(圖中左部表示泡沫混凝土重量很輕的,可以浮在水面上)

試驗的結果來表示它的耐久性。泡沫混凝土試件經 15 次凍結和融解之後，其耐壓強度之減低不超過未凍融前強度之 10%，而經 15 次浸濕和乾燥之後，其試件耐壓強度之減低不超過乾濕前強度之 20% [2,3]。

優良的工作性是泡沫混凝土的另一特點；它在硬化之後，可以鋸製成任何尺寸的塊狀物，可以鉋平，並有釘着性（見圖 3）。

泡沫混凝土的用途頗為廣泛，一般都製成預製構件應用於建築物上，以達到絕熱和承重的目的。其主要應用範圍如下：

1. 廠房屋面的絕熱板——將絕熱用泡沫混凝土板敷設於普通鋼筋混凝土屋面板之上，作為絕熱層，其上另作防水層，如圖 4 所示。如果將結構用鋼筋泡沫混凝土板直接敷設於屋架上（圖 5），則可以免除沉重的普通鋼筋混凝土屋面板和另加的絕熱層，以減輕屋面重量、節省材料用量和勞動力。根據文獻 [2,4]，12 厘米厚的鋼筋泡沫混凝土屋面板與普通鋼筋混凝土屋面板上加 15 厘米厚礦渣混凝土絕熱層者相比較，前者可以減輕屋面重量 40%、節省屋架鋼材 18.5%、水泥 20%、鋼筋 10%、勞動力 40%，因此可以減低屋面造價約 20%。

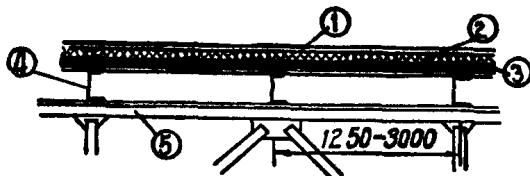


圖 4 廠房屋面工程的一般構造

- ①——屋面防水層； ②——絕熱層；
- ③——普通鋼筋混凝土屋面板；
- ④——鋼樑； ⑤——鋼屋架

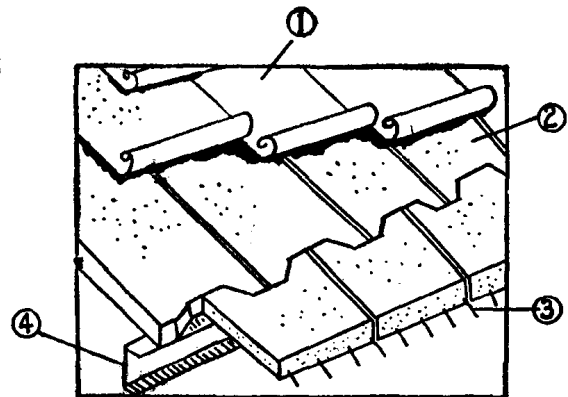
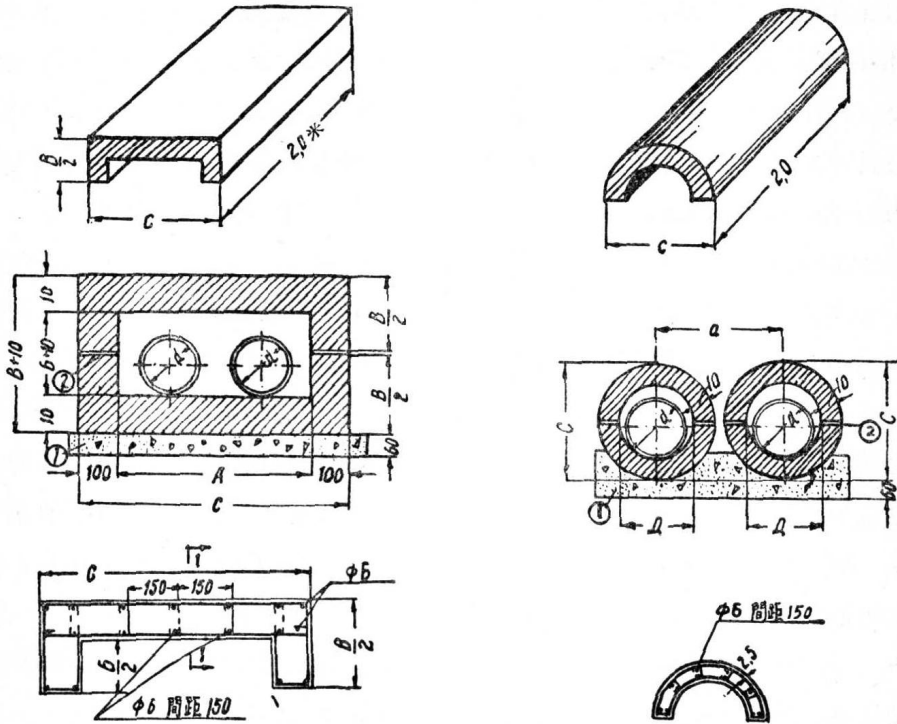


圖 5 鋼筋泡沫混凝土板屋面構造

- ①——屋面防水層； ②——鋼筋泡沫混凝土屋面板；
- ③——板中的鋼筋； ④——鋼樑

2. 管道絕熱構件——將結構用鋼筋泡沫混凝土製成方形或圓形的管道絕熱構件，以代替普通混凝土地下管，如圖 6 所示；據文獻 [4]，前者可以節省造價 40%。在不承受外加荷重的管道，也可以用強度較高的絕熱用泡沫混凝土來製成絕熱構件，以代替石棉灰；據國內實際使用的經驗 [10]，用這種泡沫混凝土構件較用石棉灰時可以節省造價 88% 以上。

3. 絕熱牆壁——如圖 7 所示，將結構用泡沫混凝土製成磚塊，砌築絕熱牆壁，可以減輕牆壁重量，提高絕熱效果。採用絕熱用泡沫混凝土時，則須將其砌築在牆壁內部以增加牆壁絕熱能力；冷藏庫及工業生產上需要絕熱的壁層，均可使用，如圖 8 所示。



a. 方形泡沫混凝土管道絕熱構件
(雙管, 直徑 50—200 毫米)

b. 圓形泡沫混凝土管道絕熱構件
(雙管, 直徑 200—600 毫米)

圖 6 泡沫混凝土管道絕熱構件

①——底座; ②——1:3 水泥砂漿填縫, 厚 10 毫米

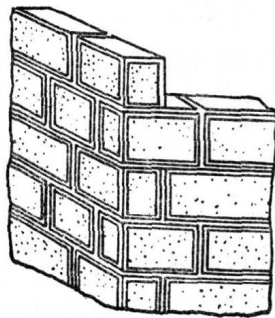


圖 7 結構用泡沫混凝土塊砌築的牆壁

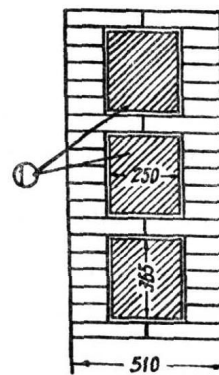


圖 8 絕熱用泡沫混凝土塊填塞的磚牆

①——絕熱用泡沫混凝土塊

蘇聯在多孔混凝土的研究、應用和生產等方面都有卓越的成就^[15]。1928 年蘇聯已開始進行非蒸煉泡沫混凝土的研究, 由於蘇聯學者 A. A. 勃留什柯夫 (A. A. Брюшков), Б. Н. 卡烏夫曼 (Б. Н. Кауфман) 教授的努力, 用松香皂泡沫劑製成了絕熱

用的泡沫混凝土；1930年，在列寧格勒即已開始生產各種具有絕熱性能的非蒸煉泡沫混凝土，這種混凝土至今仍廣泛使用於各種絕熱工程中。因為非蒸煉泡沫混凝土有水泥用量大、硬化時間長、強度低和容易發生沉陷現象等缺點，所以在1936年又開始進行蒸煉泡沫混凝土的研究，即在水泥中加入細粒度的硅酸成分（砂、硅藻土、礦渣、煙灰……等）製成泡沫混凝土糊漿，以減少水泥用量，並進行蒸煉處理，促進水泥水解分泌物與硅酸成分之間的化學反應，使生成硅酸鹽，以提高強度。同年開始進行用石灰代替水泥的泡沫硅酸鹽的研究。在蘇聯中央工業建築科學研究院 И. Т. 庫德利亞舍夫（И. Т. Кудряшев）及 Н. Н. 列西格（Н. Н. Лессиг）等的努力下，用於工業建築屋面的蒸煉鋼筋泡沫混凝土板和有面層的泡沫硅酸鹽砌塊研究成功。1938年，鋼筋泡沫混凝土就開始實際應用；泡沫硅酸鹽也在1945年開始使用。現在蘇聯已有十幾個城市設有生產多孔混凝土製品的工廠，這種工廠並在繼續增建，以供建築工程的需要。

1947—1950年蘇聯學者在泡沫劑的改進方面完成了許多極有意義的工作；新的有效的泡沫劑不斷出現，對於提高泡沫混凝土的質量起了很大的作用。

1949—1950年，庫德利亞舍夫和 М. Я. 克利維茨基（М. Я. Кривицкий）在蘇聯中央工業建築科學研究院研究出一種新的更有效的多孔混凝土的製造方法——真空蒸煉法，因而與一般的蒸煉處理相比較，其生產率提高至1½倍，或在相同的生產率下提高強度20—30%，這樣就有可能在很大的程度上減輕鋼筋泡沫混凝土的單位體積重量和減少屋面板的厚度。1952年在蘇聯黑龍江上的共青城已開始用真空蒸煉法生產多孔性混凝土。

1950年，蘇聯中央工業建築科學研究院多孔性材料研究室的工作人員〔庫德利亞舍夫，Л. М. 羅捷恩費里德（Л. М. Розенфельд），克利維茨基和 А. Т. 巴拉諾夫（А. Т. Баранов）〕進行了泡沫硅酸鹽碳化的研究，即在硬化過程中通入二氧化碳氣體，使其進一步碳化成碳酸鹽而硬化。結果證明，碳化法能獲得較真空蒸煉法強度更高的泡沫硅酸鹽。

因為泡沫硅酸鹽的吸水性較大（20—40%），上述機關又進行泡沫硅酸鹽憎水性的研究，在水解血泡沫劑（見後文）中加入重金屬的硫酸鹽，使其反應生成一種複鹽，此複鹽被氣泡中的空氣氧化，生成不溶性的化合物，在泡沫硅酸鹽的氣孔表面形成不透水的薄膜，以提高其憎水性。

1952年後，庫德利亞舍夫，В. В. 米哈依洛夫（В. В. Михайлов）和 Н. И. 切吉利（Н. И. Чегирь）等已着手進行預應力泡沫硅酸鹽大型構件試製的研究，這對於多孔混凝土的發展將有很大的貢獻。

在蘇聯先進科學技術的指導下，我國於 1952 年才開始試製絕熱用泡沫混凝土，並用於工業上管道和溶液儲槽的絕熱。有些單位（第二機械工業部第四局設計處、重工業部有色金屬管理局第五工程公司等）在試用過程中取得了寶貴的經驗，已經比較成功地使用於實際建築工程中，收到了提高絕熱效能和減低工程造價的效果^[10,11]。

1954 年，在中國科學院土木建築研究所、重工業部東北工程管理局、第一機械工業部設計總局第四設計分局和第一機械工業部電器工業管理局電表儀器廠等單位合作之下，由蘇聯專家的指導，在哈爾濱第一次試製成功蒸煉鋼筋泡沫混凝土板；並實際使用於哈爾濱電表儀器廠廠房屋面工程，達到了減輕屋面重量和屋面絕熱的目的，使用情況良好^[12]。

雖然在試製工作中取得的經驗還很少，但是，顯然我們已經正確地選定了絕熱建築材料的發展道路，並且有了一個良好的開端。

1955 年 2 月，在建築工程部舉行的設計及施工工作會議總結中，非常明確地提出了：“我部當前推行工廠化施工的方針，是在重點基地積極地有計劃地發展鋼筋混凝土、鋼筋泡沫混凝土、泡沫混凝土、泡沫硅酸鹽混凝土及其他大型預製構件的生產。”

為了貫徹這一方針，必須積極學習蘇聯先進經驗，結合我國建築材料的資源情況，對泡沫混凝土進行系統的深入的試驗和研究工作，以求全面掌握泡沫混凝土製造工藝的規律性，配合建築事業工業化的發展。

如前所述，非蒸煉泡沫混凝土有良好的絕熱性能，在製造過程中不需要複雜的設備，因此在我國建築事業工業化發展的初期，對其進行系統的試驗和研究是很適應目前需要和必要的工作。

特別是根據我國目前的情況，雖然有少數單位比較成功地試用了泡沫混凝土，但是也有很多單位由於缺少可靠的資料根據，未能掌握製作技術，以致所製得的泡沫混凝土不能達到要求的強度，結構亦不均勻，甚至做不成功；還有更多的單位，希望採用泡沫混凝土，但完全不掌握它的製作技術，所以迫切需要可靠的資料；因此泡沫混凝土的試驗研究工作就顯得格外重要和迫切。

二. 泡沫劑和泡沫

一. 泡沫劑的作用

泡沫是泡沫混凝土主要組成成分之一。由於泡沫將空氣帶到了泡沫混凝土糊漿的內部,使其在硬化後具有互相分離的多孔結構,因而獲得單位體積重量小、空隙率大、絕熱性好和抗凍性高等優良性能。

泡沫是一種以空氣為分散相、水為分散介質的分散體系。在此體系中空氣為非連續相,水為連續相。空氣的濃度很容易達到 90%,有時甚至可達到 98%。分散介質在此體系中雖僅是將分散相互分開的薄膜,但仍然是連續相。在泡沫應用於製造泡沫混凝土以前,還祇用於礦物的浮選、葡萄酒和啤酒的釀造,以及保證肥皂的洗濯作用和糖果的生產等。泡沫是由泡沫劑製成的,為了說明泡沫和泡沫劑,我們可以研究一下乳濁液和乳化劑,因為泡沫和乳濁液相互間的關係很密切,而泡沫和泡沫劑之間有着與乳濁液和乳化劑之間相同的關係。

乳濁液是一種液相分佈在另一種液相中的分散體系,其中的分散相和分散介質都是液體。例如加少量的苯於盛有水的瓶中,將瓶搖動即可得到乳濁液;但是這樣的乳濁液很不穩定,分散在水中的苯很快就聚析出來。如果希望得到穩定的乳濁液,必須加入乳化劑。乳化劑的作用過程為:當乳化劑加入上述溶液中後,即被水所吸附,存在於水與苯兩種液相的界面之間;由於吸附作用的產生,引起水的表面張力的降低,使苯的表面張力大於水的表面張力,結果水就被苯滴拉過去包裹苯滴,形成穩定的苯分散在水的乳濁液中。乳化劑之所以能够降低液體的表面張力,是由於它是一種表面活性物質,這可以由吉布斯 (Гиббс) 吸附定律^[9]來解釋。等溫吸附作用由下式表示,

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \frac{d\delta}{dC},$$

式中: Γ ——單位表面積內溶質的過量; C ——溶液濃度; R ——氣體常數; T ——溶液溫度; $\frac{d\delta}{dC}$ ——在單位濃度變化下所引起的液體表面張力的改變。當乳化劑加入溶液中時,即產生吸附作用,使乳化劑聚集在液體的表面,根據上式, Γ 為正值,因此 $\frac{d\delta}{dC}$ 必為負值,這就說明液體的表面張力是隨乳化劑濃度的增加而減小的。

泡沫形成的原理和乳濁液完全一樣,所不同的只是泡沫的分散相為氣體,而乳濁液的分散相為液體。既然由於表面張力的存在,液體都有維持其最小總表面積的本能,

那末欲製得穩定的泡沫,就必須往水中加泡沫劑(相當於促成乳濁液時的乳化劑),以降低水的表面張力。泡沫劑加入水中之後,就產生正的吸附,水的表面張力顯著降低,於是經過攪動就可以製成泡沫了。

可以降低水的表面張力的物質很多,例如鉀肥皂、鈉肥皂、皂素、蛋白、磷酸鋁等等。用於泡沫混凝土製造的泡沫劑有下列四種:

1. 松香皂泡沫劑 (клееканифольный пенообразователь)——1930—1934 年 М. Н. 格恩茲列爾 (М. Н. Гензлер), 卡烏夫曼等所提出,用松香、鹼和動物膠等製成。

2. 皂素脂泡沫劑 (смолосапониновый пенообразователь)——為 1947—1948 年庫德利亞舍夫, В. Н. 巴甫洛夫 (В. Н. Павлов) 的研究結果。用一種含有皂素的野生植物的根所製成。

3. 石油磺酸鋁泡沫劑 (алюмосульфонатный пенообразователь)——由煤油接觸劑和硫酸鋁所製成。根據 1949—1950 年羅捷恩費里德,巴拉諾夫等的研究結果,這種泡沫劑有下列優點^[1]:

- (1) 發生泡沫所需的攪拌時間較其他泡沫劑為短,由 5—6 分鐘減少至 1—1½ 分鐘;
- (2) 氫氧化鈣和鋁鹽之間發生反應,可以提高泡沫混凝土糊漿的穩定性;
- (3) 這種泡沫劑均勻而有塑性,因此可以減少泡沫混凝土糊漿的用水量,提高製品的強度;
- (4) 每立方米泡沫混凝土所需泡沫的費用較其他泡沫劑少 33—50%。

4. 水解血泡沫劑 (гидролизованный кровяной пенообразователь)——1950 年由羅捷恩費里德用水解後的動物血和重金屬的硫酸鹽研究成功。這種泡沫劑在提高泡沫硅酸鹽的憎水性上有顯著的效果,已如前述。

根據我國的情況,這四種泡沫劑中,以松香皂泡沫劑的原料為最易取得,其他三種尚不能普遍採用,因此我們僅就松香皂泡沫劑一種進行了試驗工作。

二. 松香皂泡沫劑的試料及其分析結果

松香皂泡沫劑由松香、鹼和動物膠所製成。先令松香和鹼中和,生成松香皂,然後加入動物膠以增加泡沫的穩定性。除用動物膠之外,也可以用水玻璃為穩定劑,用水玻璃的泡沫劑,其所製成的泡沫混凝土在性能上與用動物膠時並無顯著區別。根據文獻[7],用水玻璃時,泡沫混凝土的軟化係數可較用動物膠時提高約 30% (由 0.65 提高至 0.85)。

按文獻[2],配製松香皂泡沫劑的原料要求如下。

松香:

1. 軟化溫度不低於 65°C ;
2. 不含松節油 (松香溶於熱水時,可由液面有無油漬以辨識其是否含有松節油);
3. 無粘性及渾紅顏色。

動物膠:

1. 動物的骨膠或皮膠,在溫度為 $35-50^{\circ}\text{C}$ 的水中能緩緩溶解,但在 $5-15^{\circ}\text{C}$ 的水中僅發生膨脹;
2. 沒有腐爛的氣味和發霉的痕跡;
3. 不含脂肪雜質 (含有脂肪雜質的膠溶於熱水時有斑點,凝固後表面有白色薄膜)。

鹼:

可採用氫氧化鈉、氫氧化鉀、碳酸鈉和碳酸鉀等,工業用固體鹼和液體鹼均可採用。

為了確定泡沫劑原料的正確配合比,以保證泡沫的性能,事先進行了原料分析。分析項目為:

松香的皂化係數——中和 1 克重松香所需氫氧化鉀的毫克重數;

鹼的總鹼量——氫氧化鉀或氫氧化鈉中的有效鹼量;

膠的比粘度——一定濃度的膠溶液在一定溫度下自粘度計中流出一定容量所需時間與蒸餾水在相同條件下所需時間之比。

上述各項的分析方法詳述於附錄 (一)。

我們一共採取了十種松香試料,七種鹼的試料和十三種動物膠的試料。經按附錄 (一) 所述方法進行分析和試驗,結果如表 5, 6 及 7 所示。

表 5 松香的皂化係數

松香種類	廣東特級 (1)	廣東特級 (2)	廣東一級	廣東二級 (1)	廣東二級 (2)	廣東四級 (1)	廣東四級 (2)	哈爾濱松香	美國 W.W. (1)	美國 W.W. (2)
顏 色	淡黃	淡黃	黃	黃	黃	橙	橙	深黑	橙	黃
皂化係數	171	179	169	175	175	170	171	165	171	177

表 6 鹼 的 總 鹼 量

鹼 類	產 地	總鹼量(%)	度數(純度)* (%)
氫氧化鈉	哈爾濱	73 (Na_2O)	94 (NaOH)
氫氧化鈉	天津新生化工社	71 (Na_2O)	92 (NaOH)
氫氧化鈉	北京和平工業社	66 (Na_2O)	85 (NaOH)
氫氧化鈉	北京永安化工社	71 (Na_2O)	91 (NaOH)
氫氧化鈉	天津新泰工業原料行	67 (Na_2O)	86 (NaOH)
液體氫氧化鈉		29 (Na_2O)	38 (NaOH)
氫氧化鉀	瀋陽新生化學研究所	63 (K_2O)	75 (KOH)

* 工業上鹼的純度用度數表示,就氫氧化鈉來說,其度數相當於其總鹼量的 1.29 倍。如已知鹼的度數,即可據以計算其總鹼量。

表 7 膠 的 含 水 量 和 比 粘 度

膠 類	產 地	含水量(%)	比 粘 度
骨 膠 (1)	哈爾濱松江化工廠	15	2.4
骨 膠 (2)	哈爾濱松江化工廠	17	2.3
骨 膠 (3)	哈爾濱松江化工廠(友好牌)	14	1.5
骨 膠 (4)	哈爾濱松江化工廠(友好牌)	18	1.7
骨 膠 (5)	哈爾濱松江化工廠(友好牌)	9	1.8
骨 膠 (6)	哈爾濱松江化工廠(友好牌)	8	1.6
骨 膠 (7)	大連火柴廠	15	2.1
骨 膠 (8)	天津華北骨膠廠(飛機牌)	17	2.2
骨 膠 (9)	天津華北骨膠廠(飛機牌)	16	2.3
皮 膠	哈爾濱松江化工廠	15	3.0
魚 鱗 膠	天津發記膠廠	15	3.9
桃 膠	大 連	16	3.0
豬 皮 膠	北 京	14	24.6

三. 泡沫劑的配製與其原料用量的確定

泡沫劑的配製是製造泡沫混凝土中的重要步驟之一,其結果直接影響泡沫混凝土的質量。

泡沫劑配製的原理是用鹼類定量地中和松香中的松脂酸,並根據膠的比粘度加入適量的膠溶液,使其加水攪動後能發生大量的泡沫,並具有足夠的穩定性。

泡沫劑的配製步驟及各種原料(松香、鹼、膠和水)的用量比例如下。

1. 膠溶液的製備——將膠塊表面擦拭乾淨,敲碎至邊長約為 1 厘米的小塊,盛入有雙層底的水浴(圖 9)的內部容器中,然後注入室溫的水,令乾膠與水的重量比為 1:1;因為膠塊中有自然含水量 $P\%$ (事先測定),因此膠塊(自然含水狀態)與水之重量比應為 $1:(1-0.02P)$ 。浸膠至水分被膠塊全部吸收而膨脹為止,約需 3—4 小時。膠塊

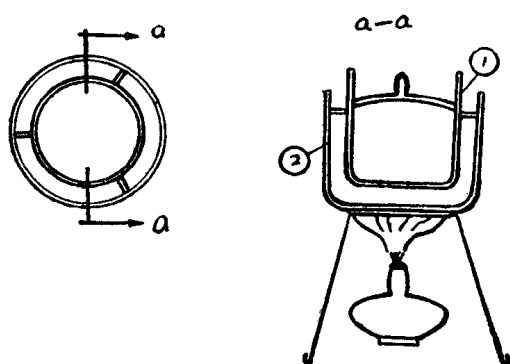


圖 9 配製膠溶液用的水浴
①——內部容器；②——外部容器

浸好後，注熱水於水浴的外部容器中，令膠溶液維持 60—70°C，使膠塊完全軟化成均勻的膠液（約 1.5—2 小時）。操作中使用水浴的目的，在於使膠液溫度緩緩上昇，以免底部的膠塊粘着桶底。最後，將製得的膠液冷卻至 30—40°C 備用。

2. 鹼溶液的配製——配製鹼溶液時，根據其總鹼量和所用松香的皂化係數來確定鹼溶液的濃度。其計算式如下：

$$a = K \cdot \frac{100 B}{C},$$

式中： a ——每 1 升鹼溶液中所需鹼類的重量（克重）； B ——松香的皂化係數； C ——鹼的總鹼量（百分數）； K ——比例係數（如所用鹼類為氫氧化鈉或碳酸鈉，此係數為 $\frac{31}{56.1}$ ，即氧化鈉與氫氧化鈉當量之比；如所用鹼類為氫氧化鉀或碳酸鉀，則此係數為 $\frac{47}{56.1}$ ，即氧化鉀與氫氧化鉀當量之比）。將計算所得的鹼量溶於水，並稀釋至 1 升。

3. 松香皂的製備——將鹼溶液注入油浴之內桶中（油浴的構造與水浴相同，但外部容器中不注水而注油，因為油的沸點都在 100°C 以上，當所需溫度超過或接近 100°C 時，須用油浴），並予煮沸；同時將松香碾碎成能通過孔徑為 1 毫米的篩的細粉，在不斷地攪拌下將碾碎後的松香緩緩加入鹼溶液中，所加松香重量的千克重數和鹼溶液容積的立升數相等，即為 1:1。至松香完全溶解後，令其繼續沸騰一小時，鹼溶液中的鹼量就全部被松香中的松脂酸中和了。在溶液沸騰過程中，水分蒸發很多，此時用 70°C 的熱水注入溶液中，補足其蒸發損失。於是松香皂製備完成，將其冷卻至 50—60°C 備用。

4. 泡沫劑的合成——泡沫劑由松香皂

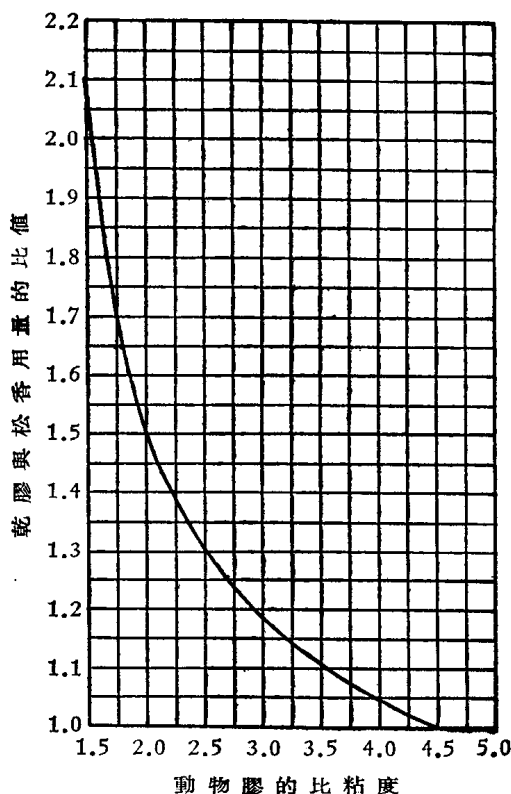


圖 10 膠用量與其比粘度的關係

與膠溶液配製而成，它們之間的重量比由膠的比粘度來決定。根據庫德利亞舍夫的試驗數據^[2]，膠用量與其比粘度的關係應如圖 10 所示。

根據圖 10 確定膠用量之後，將定量的膠溶液緩緩倒入松香皂中，此時膠溶液的溫度為 30—40°C，松香皂為 50—60°C。將松香皂與膠溶液充分攪拌均勻，就得到濃泡沫劑。將濃泡沫劑與 50°C 的熱水按 1：5 體積比配合，並用火加熱，令其在不斷攪拌下沸騰一小時，然後用 100°C 的熱水補足沸騰時蒸發掉的水分，於是泡沫劑即製備完畢。

按文獻 [2] 的記述，濃泡沫劑加水時，不再加熱令其沸騰，僅用 50°C 熱水與之混合。我們認為加熱沸騰確有必要，詳見後文討論。

四. 關於確定泡沫劑原料用量問題與泡沫劑配製方法的討論

上述泡沫劑的配製方法，是我們在實驗室所採用的方法。在確定泡沫劑原料的用量時，必須先測定松香的皂化係數、鹼的總鹼量和動物膠的比粘度，然後據以計算各種原料用量。在工地缺少化學分析設備，不能進行上述原料的分析和測定時，則將無法使用。茲根據試料分析結果、文獻記載和國內許多工地試製泡沫混凝土的實際經驗，提出一種簡便方法，近似地確定原料用量。

1. 製備膠溶液時，膠（自然含水狀態）與水的重量比採用 1：0.7。

根據表 7 所列試驗結果，大多數動物膠的含水量恆在 15% 左右，因此膠（自然含水狀態）與水的重量比可採用 1：(1—0.02×15)，即 1：0.7。但此時應注意，採購動物膠時，須符合前述材料要求。

2. 按鹼溶液的比重確定其濃度——前述鹼溶液濃度的確定，須以所用松香的皂化係數為根據。按表 5 的試驗結果，松香的皂化係數大多在 170 左右，因此鹼溶液的濃度也就不會有很大的變動，這就可以近似地用測定鹼溶液比重的方法來確定其濃度。按文獻 [6] 可依表 8 配製鹼溶液。

表 8 鹼 溶 液 的 濃 度

鹼 的 種 類	波美度 (Бомэ)	比 重
氫 氧 化 鈉	20	1.16
氫 氧 化 鉀	21	1.17
碳 酸 鈉	22	1.18
碳 酸 鉀	24	1.20

鹼溶液不純時（含有氯化物、硫酸鹽等），將影響其溶液的波美度和比重，因此這是一個近似的方法。

3. 選定膠與松香的重量比為 1.5 : 1——乾膠與松香的重量比應根據膠的比粘度確定,按表 7 的試驗結果,膠的比粘度約在 1.5—3.0 之間(參看圖 10),則乾膠與松香的重量比應在 2.1 : 1 和 1.1 : 1 之間;如選定此重量比為 1.5 : 1,尚不致引起太大的誤差。事實上,按文獻 [10, 11] 及其他工地的經驗,將乾膠與松香按重量以 1.5 : 1 配合,尚無不良影響。

上述確定原料用量的方法僅屬近似的,因此只適用於工地小量製備泡沫劑之用,如在專門生產泡沫混凝土製品的工廠或建築基地大量配製時,自仍應以精確方法測定為準。

對於泡沫劑配製方法問題提出下列兩點意見:

(1) 按文獻 [10, 11] 及其他工地的施工經驗,浸膠時間均採用 12—24 小時。浸膠時間過長,並無必要,相反地會多費時間,尤其是在炎熱季節容易引起膠液發臭,影響泡沫的質量。哈爾濱某工地就發生過這樣的情況,後來縮短浸膠時間至 4 小時,才消除發臭現象。

(2) 大量配製泡沫劑時,濃泡沫劑製得後,可俟使用時再行按 1 : 5 的體積比加入熱水,因為不加水的濃泡沫劑較易保存。根據文獻 [2],濃泡沫劑應保存在有蓋的玻璃器具、陶瓷器皿或木桶中,置於陰涼處所。保存時間在冬季不宜超過 20 天,在夏季不宜超過 10 天。

五. 泡沫的製成及其性能的測定

泡沫由在泡沫混凝土攪拌機中攪動泡沫劑和水而成。我們在試驗中所用的是實驗室用的小型泡沫混凝土攪拌機,這是我們仿照蘇聯中央工業建築科學研究院實驗工廠的產品自己製造的(圖 11),其構造如圖 12 所示。

攪拌機由裝置在金屬支架 ① 上的兩個攪拌筒——泡沫筒 ② 和混合筒 ③ 所組成。泡沫筒裝置在帶有撥翅 ④ 的旋轉軸 ⑤ 上,撥翅 ④ 是一塊彎曲的鋼板,其上鑽有許多直徑為 5 毫米的圓孔,作攪動泡沫之用。混合筒則裝置在帶有彎曲的斜形撥翅翼 ⑥ 的旋轉軸 ⑦ 之上。電動機 ⑧ 轉動時,由三角皮帶通過傳動輪 ⑨ 和 ⑩,使旋轉軸 ⑤ 在軸

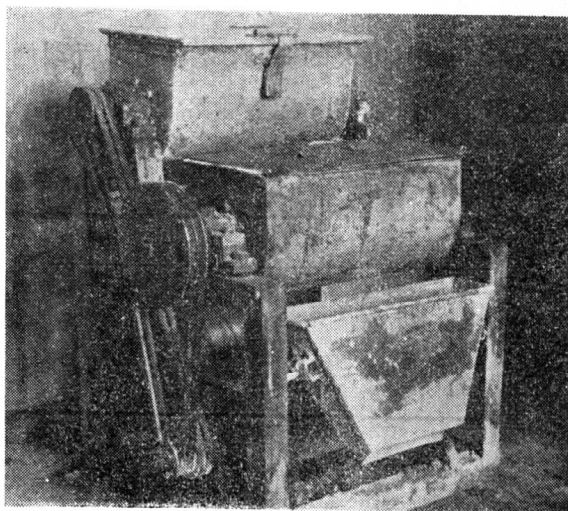


圖 11 試驗室用 15 升泡沫混凝土攪拌機