

隔热泡沫混凝土 的制造和性能

水利电力部电力建设科学技术研究所著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書系統地介紹了泡沫混凝土和粉煤灰無熟料泡沫混凝土的製造和性能。書中詳細地說明了松香皂泡沫劑的製造及原材料的選擇、泡沫混凝土的性能及測定方法。對泡沫混凝土制品在 250°C 以上的性能和粉煤灰無熟料泡沫混凝土制品的製造與性能作了系統的闡述。對試驗結果也作了具體分析和結論。書末并扼要地介紹了在工地上組織生產泡沫混凝土和粉煤灰無熟料泡沫混凝土及其用於熱管道和設備保溫的施工工藝。

本書可供發電廠建設工程的設計、施工人員、建築材料研究人員及中等和高等學校教師參考。

隔熱泡沫混凝土的製造和性能

水利電力部電力建設科學技術研究所著

*

1947R425

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

$787 \times 1092 \frac{1}{2}$ 開本 * $3 \frac{1}{2}$ 印張 * 75 千字

1959年3月北京第1版

1959年3月北京第1次印刷(0001—4,090冊)

統一書號: 15143·1539 定價(第9類)0.38元

序 言

采用泡沫混凝土制品和粉煤灰无熟料泡沫混凝土制品，作为电站或其他厂矿企业中的热力设备和热力管道的高低温保温材料，不仅具有重大的经济意义，且符合就地取材，就地制造的原则，可以减轻繁重的运输任务。用水泥制造的泡沫混凝土制品，已得到了普遍而广泛的采用；粉煤灰无熟料泡沫混凝土制品，也已开始大量生产和采用。为了更进一步使大家了解和采用这种保温材料，本书综合了“利用泡沫混凝土作保温材料”、“泡沫混凝土制品在 250°C 以上的性能”和“粉煤灰无熟料泡沫混凝土制品”三个研究报告作了系统的叙述，供读者参考。

目 录

第一章 概 論	3
第二章 泡沫剂和泡沫混凝土的制造	6
一、泡沫混凝土及其制造用的原材料	6
二、松香皂泡沫剂	11
三、泡沫及其制造与性质的测定	15
四、泡沫混凝土的制造	25
第三章 泡沫混凝土的性质及测定方法	29
一、泡沫混凝土的物理性能	29
二、泡沫混凝土各种性能的测定方法	32
第四章 泡沫混凝土制品在 250°C 以上的耐热及保温性能	38
一、泡沫混凝土及其所用原材料的性能	38
二、耐热性能	40
三、保温性能	52
四、結論	57
第五章 粉煤灰无熟料泡沫混凝土	58
一、材料来源及其性能	58
二、配合比的确定	61
三、制造与养护	63
四、耐热及保温性能	69
五、結論	80
第六章 工地上泡沫混凝土的制造	83
一、准备工作	83
二、泡沫混凝土及粉煤灰无熟料泡沫混凝土的制 作	85
第七章 泡沫混凝土用于热管道及设备保温的施工工艺	94
一、定型预制件的保温	94
二、直接浇灌于管道上的保温	96
第八章 泡沫混凝土的材料用量和費用	102
結語	103
附录一 水解血泡沫剂的制作	105
附录二 紅磚粉无熟料泡沫混凝土制品	107
附录三 矿渣无熟料泡沫混凝土制品	109
附录四 提高粉煤灰无熟料泡沫混凝土耐热度到 600~650°C 的初步研究	111

第一章 概 論

泡沫混凝土是多孔性建筑材料，苏联远在1928年就开始研究，至1930年在列宁格勒开始生产，1950年对泡沫剂的制造有很大的改进，提高了泡沫混凝土的质量。我国在1952年由苏联专家指导开始试制，至1954年经中国科学院土木建筑研究所在哈尔滨第一次试制。蒸炼泡沫混凝土成功后，开始在我国应用，但当时仅使用于厂房屋面工程。保温材料导热系数的数值决定于物质结构和它的容积重量，泡沫混凝土是轻质多孔性的物质，有较小的导热系数，能符合保温的基本要求。1955年我们在峯峯电厂的蒸汽联络管上试用，证明泡沫混凝土是一种品质优良、价廉物美的低温(250°C 以下)保温材料。1956年我们开始对泡沫混凝土的制造及其性能作了系统的试验研究和分析，通过实际试用，确定用普通矽酸盐水泥制成的泡沫混凝土的耐热度可达 350°C 。与此同时我们用电厂废灰——粉煤灰作试验，利用它含有酸性氧化物 SiO_2 和 Al_2O_3 的活性加入适量的石灰和水，使它发生化学反应为不溶于水的含水矽酸钙($x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$)、含水铝酸钙($y\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$)和硫铝酸钙($z\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot n\text{H}_2\text{O}$)等，并分别掺入适量的石膏作促凝剂，和松香皂泡沫剂搅拌均匀成泡沫糊浆，浇灌入模成型，经过 100°C 蒸汽养护24小时制成粉煤灰无熟料泡沫混凝土制品。这种多孔制品，经过1957~1958年一年多的试验研究和分析的结果，其物理性能如下：容积重量为 $350\sim 450$ 公斤/公尺³，耐压强度 $10\sim 20$ 公斤/公

分³，当容积重量为380公斤/公尺³时，导热系数 $\lambda = 0.043 + 0.000136t_{cp}$ 大卡/公尺·小时·°C，耐热度经过 530°C 耐热試驗 16天沒有发生裂紋，升高至560°C后試样发生裂紋，实际在天津一厂410°C和青山电厂510°C蒸汽管道試用 5 个月的结果，完全良好，保温效率符合設計要求，拆开檢查时对金屬管壁沒有产生任何锈蝕現象，因此这种制品合乎使用在 100 大气压510°C 高温蒸汽管道的保温材料的質量标准，成为能就地取材、就地生产、高低温兼用的品質优良和成本低廉的保温材料。

发电厂及热力网的設備和管道的保温工程是非常重要的。热介質在管道內輸送时，它的温度較之周圍环境温度高出很多，热能不断地向周圍的物体散失，成为无可恢复的损失，它不仅关系到經濟运行，而且对設備的安全和工作人員的身体健康有着密切的关系。为了提高設備的效率，延长設備的寿命和改善工人的工作条件，在設備和管道內介質温度大于45~50°C时，必須采用适当的保温材料来降低热损失和提高热效率、保护管道不受外界的侵蝕和防止工作人員燙伤。我国在解放前，由于发电厂热力系統簡單、容量小及温度低，保温工程量小，一般采用石棉砂藻土用胶結法来保温。解放后随着电力工业和其他工业的发展，保温工程量大大增加了，由于介質温度升高，保温厚度也从50~75公厘增加到150公厘。除了汽水管道保温工程外，尚有热风、瓦斯和粉煤灰管道的保温工程。我国第一台 25,000 瓩机组热管道的保温工程是由苏联設計的，采用苏維利特(碳酸鎂)板作保温材料，总共 260 吨。苏維利特由15%的五、六級石棉纖維和85%的碳酸鎂及碳酸鈣混合而成，呈白色，分为粉末和板型两种。开始由苏联供应，每吨包括运输費为人民币1,400元。

以后我們国内开始自己生产苏維利特，接着又开始生产矽藻土制品来代替它。但这两种保温材料成本一直很高，同时也不能滿足大規模經濟建設的需要。

近三、四年来，泡沫混凝土在我国已得到普遍推广和采用，据1956年和1957年两年的統計，共用二万余吨，較之苏維利特板的价格节约人民币2,640万余元，这些錢可以用来建設一个容量为 $4 \times 12,000$ 瓩及 4×75 吨/小时的发电厂。比泡沫混凝土更便宜、耐热度更高、使用范围更广的粉煤灰无熟料泡沫混凝土制品，已在各地开始使用，按1959年火电装机容量600万瓩計算，約需保温材料15万立方公尺，如果全部采用这种制品作电厂保温材料，将代替矽藻土制品作高温材料，可节省人民币750万元，代替用水泥制造的泡沫混凝土制品作低温保温材料，可节省人民币80万元和水泥三万吨。如果推广到全国各工业部門，則节约意义更为重大，对社会主义建設将起着极大的作用。

本書的叙述，基本上是根据我国解放以来利用泡沫混凝土作保温材料的过程。所以用水泥制造的泡沫混凝土，也在本書中占了一定篇幅。但这对了解泡沫混凝土的制造和一般性能，对制造粉煤灰无熟料泡沫混凝土有很大帮助。同时，泡沫混凝土目前我国应用还是相当普遍的，在今后的一段時間內还要被采用，特别是在生产粉煤灰无熟料泡沫混凝土不便的时候，如生产量小、不值得修建一个养护池、沒有蒸汽和粉煤灰等，而有土法生产的水泥，則将还需制造水泥泡沫混凝土，因此予以介紹。

第二章 泡沫剂和泡沫混凝土的制造

一、泡沫混凝土及其制造用的原材料

1. 泡沫混凝土

泡沫混凝土是一种人造保温材料，是由胶结材料加水及与泡沫混合后，硬化而成的一种多孔性制品。其组织为均匀分布的很多细致闭合气泡，直径约为0.5~1.5公厘（见图2-1），气孔率很大，可达85%，因此具有较小的比重，可轻达300公斤/公尺³，耐压强度较低，一般为4~8公斤/公分²。

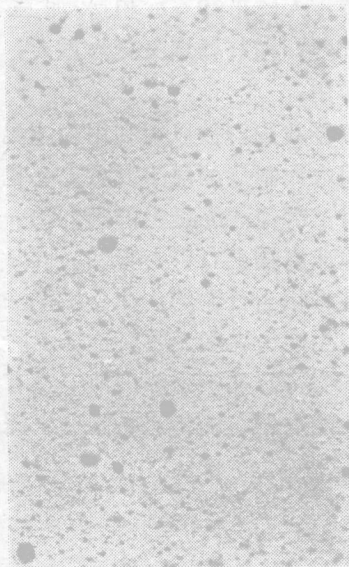


图 2-1

因为空气是优良的隔热气体，而泡沫混凝土中有无数密闭的细小气孔，空气不能产生对流作用，因此起着良好的隔热作用。

泡沫混凝土的气孔率越大，其容重就相应减轻（表2-1），保温性能也就愈好。当比重为385公斤/公尺³时，导热系数：

$$\lambda = 0.065 + 0.00014 t_{cp}$$

大卡/公尺·小时·°C，

式中： t_{cp} 为冷热面平均温度。

泡沫混凝土是密闭多孔

組織，其吸水率較小，一般不超過25%，因而使其具有良好的防凍性能，就是處於潮濕之處，也不會吸收大量的水分而降低保溫效能。

表 2-1 各種容量的泡沫混凝土的氣孔率

干燥状态时的单位重量($\frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^3}$)	400	500	600	700	800	900	1000
气孔率(%)	84	80	76	72	68	64	60

其抗压强度与容积重量有一定关系，当容重增加时，抗压强度也随着增大，见表2-2。

表 2-2 泡沫混凝土容重与抗压强度的关系

单位重量($\frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^3}$)	360~400	400~600	600~800	800~1000
抗压强度($\frac{\text{公斤}}{\text{公分}^2}$)	8~15	15~40	40~85	85~150

泡沫混凝土的用途：可分为隔热用和结构用两种，后者除起隔热作用外，还可以承受一定的荷重。

泡沫混凝土是一种容易加工的材料，它可以按照需要的形状，制成各种不同的制品，如半圆瓦、弧形、条、板等形状。当它硬化后，也可以用工具加工达到规定的要求。

2. 制造泡沫混凝土的原材料

制造泡沫混凝土用的胶结材料，主要有如下几种：水泥、石灰、石膏及菱苦土等。这里所采用的是普通矽酸盐水泥，其它胶结材料暂不介绍。

普通矽酸盐水泥：在使用前，首先应测定水泥的物理及

化学性能,要求含有較多的矽酸三鈣($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$),有害的成分愈少愈好,如三氧化硫(SO_3)及氧化鎂(MgO)不应超过3~4.5%。其次,所用水泥的标号一般不低于300号,因为使用低标号的水泥,常使所制得的泡沫混凝土强度过低(小于4公斤/公分²),如要达到規定强度,則水泥用量过多。最后,快凝水泥或緩凝(終凝時間超过8小时)水泥不宜使用,因为它們要影响泡沫糊浆的沉陷和質量不均,造成浪費。同时,水泥的初凝時間还影响着泡沫混凝土的澆灌厚度,若澆灌厚度大,而初凝時間长,虽然泡沫的稳定性合于規定,但因泡沫糊浆层的压力使泡沫破裂而发生收縮和裂縫現象。

当矽酸盐水泥用量为300~350公斤/公尺³,泡沫稳定性符合規定时,泡沫混凝土的澆灌厚度与初凝時間的要求关系如表2-3所示。

表 2-3 泡沫混凝土允許澆灌厚度及初凝時間

澆 灌 厚 度 (公分)	初 凝 時 間 (小时)
50~60	不迟于1.5~2
20~30	3
10~15	4

胶:分为皮胶、骨胶两种。皮胶的粘度較骨胶为优,在使用前須測定其比粘度及含水量。胶的粘度,即粘液的粘滯性,将一定濃度的粘液,通过粘度計的时间(秒)与相同条件的水通过粘度計的时间(秒)之比,即为比粘度。

$$\text{比粘度} = \frac{\text{胶溶液通过粘度計的时间}}{\text{水通过粘度計的时间}}$$

胶的含水量即为胶內所含的水分,測定方法是将胶放在

烘箱內，用 110°C 的溫度烘乾至恆重，根據其減少的重量，算出含水量。

$$\text{含水量} = \frac{\text{未烘乾前重量} - \text{烘乾後重量}}{\text{未烘乾前重量}} \times 100.$$

我國各地各種膠的含水量及粘度見表2-4。

表 2-4 膠的含水量及粘度

膠 類	產 地	含水量(%)	粘 度
骨 膠 (1)	哈爾濱松江化工厂	15	2.4
骨 膠 (2)	哈爾濱松江化工厂	17	2.3
骨 膠 (3)	哈爾濱松江化工厂(友好牌)	14	1.5
骨 膠 (4)	哈爾濱松江化工厂(友好牌)	18	1.7
骨 膠 (5)	哈爾濱松江化工厂(友好牌)	9	1.8
骨 膠 (6)	哈爾濱松江化工厂(友好牌)	8	1.6
骨 膠 (7)	大連火柴厂	15	2.1
骨 膠 (8)	天津華北骨膠厂(飞机牌)	17	2.2
骨 膠 (9)	天津華北骨膠厂(飞机牌)	16	2.3
皮 膠	哈爾濱松江化工厂	15	3.0
魚 鱗 膠	天津發記鯨膠厂	15	3.9
動 物 膠	石家莊	15	2.05

優質的膠應當沒有腐臭和發酵現象，潔淨無塵土及雜物，不得含有脂肪（用小塊膠放入水中加熱溶解後，如有油斑浮於水面，即證明有油脂存在）。膠在溫度 $35 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的水中能緩緩溶解在 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 的水中發生膨脹。膠應保存在乾燥和通風處，使不受潮濕和高溫。

松香：以潔淨透明、顏色較淺者為優，乾燥狀態，無粘性及渾濁顏色，使用前須測定其皂化係數（皂化係數即中和一克松香所需之鹼性物質的毫克數）。各種松香的皂化係數見表2-5。

表 2-5

松香的皂化系数

松 香 种 类	广东 特級 (1)	广东 特級 (2)	广东 一級	广东 二級 (1)	广东 二級 (2)	广东 二級 (3)	广东 四級 (1)	广东 四級 (2)	哈尔濱 松香	美 国 W.W. (1)	美 国 W.W. (2)
顏 色	淡黃	淡黃	黃	黃	黃	黃	橙	橙	深黑	橙	黃
皂化系数	171	179	169	175	175	161	170	171	165	171	177

若松香內含有松节油（取一小块松香置于热水中，待其溶化后，視液面上是否有油斑），須經過处理，使松节油蒸发后方可使用。松香的軟化点不低于 65°C ，黑色松香不能使用。

碱：分固体与液体两种，其中含有氫氧化鉀（ KOH ）、氫氧化鈉（ NaOH ）、碳酸鈉（ NaCO_3 ）、碳酸鉀（ K_2CO_3 ）等四种成分。在使用前必須分析其含碱成分的数量的%值，然后决定碱的使用数量。各地碱的含碱量見表 6。

表 2-6

碱的总含量

碱 类	产 地	总 碱 量 (%)	度数 (純度) (%)
氫 氧 化 鈉	哈尔濱	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	北京和平工业社	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	天津新泰工业原材料行	67(Na_2O)	86(NaOH)
液体氫氧化鈉		29(Na_2O)	38(NaOH)
氫 氧 化 鉀	沈阳新生化学研究所	63(Na_2O)	75(NaOH)

固体碱应洁白，存放在密閉容器內，不得受潮，凡受潮的碱不得使用。一般棒状中空的碱最好不采用。

二、松香皂泡沫剂

1. 泡沫剂原材料用量的确定

泡沫剂是用定量的碱和松香中的松脂酸、并根据胶的比粘度加入适量的胶溶液制成，使其生产的泡沫具有足够的稳定性。其原材料用量的确定：

(1) 干胶与松香的比例：可由胶用量与其比粘度的关系曲线（图 2-2）求出，此曲线是根据库德利亚舍夫的试验数据得出的，即由胶的比粘度求出 1 公斤松香的胶用量。例如按表 2-4 中哈尔滨松江化工厂皮胶的比粘度为 3.0，则得出胶的用量为 1.18，即干胶与松香之比为 1.18:10。

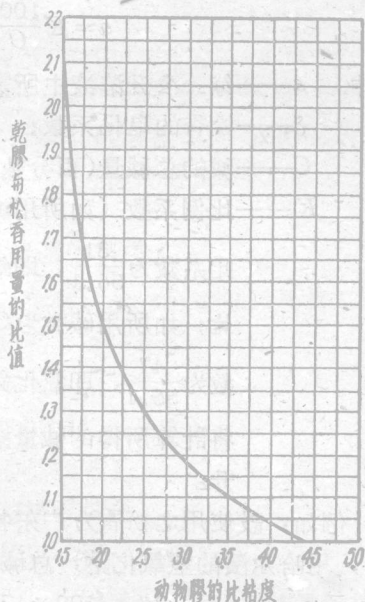


图 2-2

(2) 含水胶的数量 = $\frac{\text{干胶的比值}}{1 - \text{自然含水率}(P\%)}$ 例如胶的含水量为 15%，按胶的比例值计算。

$$\text{含水胶的数量} = \frac{1.18}{1 - 0.15} = 1.39 \text{ 公斤.}$$

(3) 胶与水的比例：为配成浓度为 50% 的胶溶液，干胶

与水的重量比为1:1。因为一般胶中含有自然水 $P\%$ ，因此自然含水胶与水之重量比应为 $1:(1-0.2P)=1:0.7$ 。

按前例含水胶与水的重量比应为1.39:1.033。

(4)碱用量的确定：配制碱溶液时，可根据其总碱量及所用松香的皂化系数来确定，碱溶液的浓度计算式如下：

$$a = K \frac{100\delta}{C}$$

式中 a ——每一公升溶液中所需碱类的重量(克)；

δ ——松香的皂化系数；

C ——碱的总碱量(百分数)；

K ——比例系数(如所用碱类为氢氧化钠或碳酸钠，

此系数为 $\frac{31}{56.1}$ ，即氧化钠与氢氧化钠当量之比；

如所用碱类为氢氧化钾或碳酸钾，则此系数为 $\frac{47}{56.1}$ ，即氧化钾与氢氧化钾当量之比)。

将计算所得的碱量溶解于水，并稀释至1公升。

例如，设使用之松香为广东特级(1)，其皂化系数为171，用哈尔滨的氢氧化钠，总碱量为73%，按公式计算

$$a = \frac{31}{56.1} \times \frac{100 \times 171}{73} \approx 130 \text{ 克}$$

即一公斤松香配一公斤碱溶液所需碱量为130克。

另外，也可按碱溶液的比重确定其浓度，上述碱溶液浓度的确定，须以所用松香的皂化系数为根据，但松香的皂化系数大都在170左右，因此碱溶液的浓度就不会有很大的变动，这就可以近似的用测定碱溶液比重法来确定其浓度。表2-7为配制碱溶液的波美度和比重。

表 2-7

碱溶液的濃度

碱 的 种 类	波 美 度	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

当溶液不純时(含有氯化物、硫酸盐等), 将影响其溶液的波美度和比重, 因此这是一个近似的方法。

2. 泡沫剂的制造

泡沫剂的制造过程为溶化胶、制作松香皂以及将二者加以混合, 其簡單工艺程序如图 2-3 所示。

(1) 制造用工器具:

玻璃量杯 2个(1,000C.C.以上者)

比重計 1只(量液体比重)

溫度計 1只(測溶液溫度用)

天 平 1台(称胶、松香、碱用)

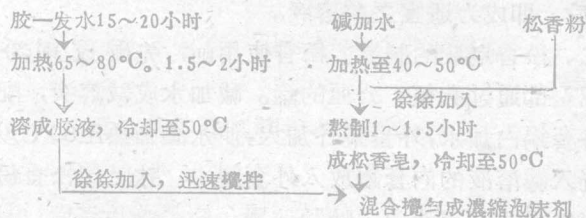


图 2-3 泡沫剂制作工艺簡图

套 鍋

2个(白鉄皮制)(见图2-4)

白鐵皮水桶 9个(10公斤的3个、5公斤的2个、2.5公斤的4个)

細鐵絲篩 1个(篩松香粉用)

胶皮手套一副

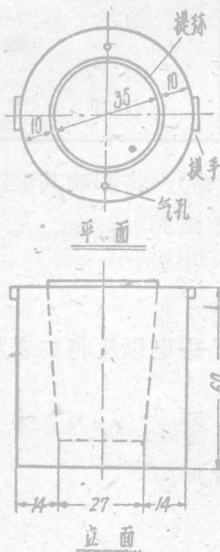


图 2-4 套鍋

(2) 制造过程:

甲、胶溶液的制造: 先将胶擦干净, 放于电烘箱内, 先以 110°C 的温度烘干, 测知其含水率, 按胶用量计算法得出胶的用量。

将胶锤碎成4~6公分的碎块, 或放入桶内, 加入与干胶同样重量的冷水(配成50%浓度的胶液)进行浸泡, 浸泡时间冬季为15~20小时, 夏季为3~4小时。熬煮时间冬季为15~20小时, 夏季为3~4小时。熬煮时将浸泡之胶及水倒入套锅内, 外套锅内加水, 套锅外加火, 在胶溶解前, 温度可以加高, 待溶解后使胶溶液温度保持 $65\sim 80^{\circ}\text{C}$ 并经常搅动, 维持 1.5~

2小时后, 即成为适宜之胶溶液。

乙、松香皂液的制造: 松香使用前, 先碾成细粉末, 使之能全部通过孔径1公厘的筛。碱加水成碱溶液, 配制时先将外套锅内加水, 外套锅外加火, 使水温加热至 80°C 以上, 并将盛入碱溶液的 inner 套锅放入外套锅中, 这时把松香粉末逐渐不停地加入碱溶液中, 随加随搅。松香粉加完后, 继续煮沸 1.0~1.5 小时, 直到松香完全溶化, 溶液的颜色一致、没有颗粒时为止。此时碱溶液中的碱量全部被松香中的松脂酸中

和了。在溶液煮沸过程中，水分蒸发很多，此时应向溶液中注入70°C的热水，以补足其水分。最后使成为松香皂液，将其冷却至50~60°C备用。

丙、混合配制：将熬好的松香皂液及胶液冷却至50°C左右，将胶溶液徐徐加入松香皂液中，急烈搅拌，至搅匀产生小泡为止，即成为浓缩泡沫剂。浓缩泡沫剂须储存在密封的木箱中、或玻璃及陶土等器皿中，并将其置于阴凉的地方，这样冷天可保存20天，热天不可超过10天。待使用时，将浓缩泡沫剂与60~70°C的热水按1:5体积比配合，用火加热，令其在不断搅拌下沸腾一小时，然后用100°C的热水补足沸腾时蒸发掉的水分，泡沫剂的制备即告完毕。

3. 注意事项

- (1) 开始制作时，须将一切工具材料等准备齐全；
- (2) 制作时要注意清洁；
- (3) 配料过程中要严格控制各种材料的份量；
- (4) 熬煮过程中要严格控制溶液的温度及熬煮程度；
- (5) 往碱液内加入松香粉末时必须徐徐加入，随加随搅，切勿突然倒入，以免松香结成大粒不易溶化；
- (6) 处理碱液时要带胶手套，以免烧伤；
- (7) 操作时注意安全，以免被热水或火烫伤。

三、泡沫及其制造与性质的测定

1. 泡沫的搅拌时间和泡沫剂的适宜用量

泡沫既然是一种以空气为分散相的体系，那就必须使其中的空气达到一定的浓度，若搅拌时间过短，则体系中的空