

国产保温材料的制作和研究之一

利用泡沫混凝土作保温材料

水利电力部电力建设科学技术研究所编

水利电力出版社

目 录

第一章 緒論	2
第二章 泡沫混凝土及其制造用的原材料	4
第一节 泡沫混凝土	4
第二节 制造泡沫混凝土的原材料	6
第三章 泡沫剂	9
第一节 泡沫剂的原材料用量确定	9
第二节 泡沫剂的制造	11
第四章 泡沫及其制造与性質的測定	14
第一节 泡沫的攪拌時間和泡沫剂的适宜用量	14
第二节 泡沫剂原料的种类和用量对泡沫性質的影响	17
第三节 松香皂与胶溶液的均匀混合	20
第四节 泡沫的制造及其性質的測定	21
第五章 泡沫混凝土的制造	23
第六章 泡沫混凝土的性能及測定方法	26
第一节 泡沫混凝土的物理性能	26
第二节 泡沫混凝土各种性能的測定方法	31
第七章 工地上泡沫混凝土的制作	37
第一节 准备工作	37
第二节 工地上泡沫混凝土的制作	41
第八章 泡沫混凝土用于热管道及設備保温 施工工艺	45

第一章 緒 論

发电厂內的热力管道和热电站的热力管道及热力网的保温工程是非常重要的,因为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,热能不断地由热介質向周圍的物体散失,成为无可恢复的热散失。它不仅关系到經濟运行,而且对設備的安全和工作人員身体的健康有着密切的关系。例如一对直徑200公厘的法蘭盤沒有保温,在一年內热量損失就相当于一吨煤的含热量。莫斯科城市热力网由于保温工程的不良,在1946年全年的热損失,約为13,000,000万大卡,相当于二万吨每公斤含热量6500大卡的煤。如果热电站內外热力管道的保温工程不良,在經濟价值上的損失往往是非常巨大的。在发电厂內,由于保温工程不良,热力管道的热能大量散失在工作房里,就会影响室温升高,因而造成轉动机械的軸承发热,甚至恶化,使机械損坏,造成設備事故。同时工作人員經常处在高温下工作,也会有害于身体健康。为了提高設備的效率、保护設備的寿命和改善工作条件,在設備和管道內的介質温度大于 $45 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 时,必須采用适当的保温材料来降低热損失和提高热效率,同时保护管道不受外界的侵蝕。

我国在解放以前,发电厂的热力管道由于系統簡單、容量小煤的含热量。莫斯科城市热力网由于保温工程的不良,在1946年全年的热損失,約为13,000,000万大卡,相当于二万吨每公斤含热量6500大卡的煤。如果热电站內外热力管道的保温工程不良,在經濟价值上的損失往往是非常巨大的。在发电厂內,由于保温工程不良,热力管道的热能大量散失在工作房里,就

度升高，保温厚度从50~75公厘增加到150公厘外，尚有热风、瓦斯和煤粉管道的保温工程。我国第一台25,000瓩机组热力管道的保温工程是由苏联设计、采用苏维利特“碳酸镁”板作保温材料的，总共约260吨。如按旧法用石棉砂藻土以胶粘法来保温，势必影响设备投入生产。所以必须采取成型的，即由工厂预制成壳型或板型的，把它放在已经清除铁锈的管道表面上，用铁丝网绑紮牢固，与安装工程平行作业，提前完成保温工程。

苏维利特为15%的五、六级石棉纤维和85%的碳酸镁和碳酸钙等混合而成，色白，分为粉末和板型二种。在我国第一个五年计划开始时，苏维利特板由苏联供应，每吨包括运输费为人民币1400元。迨至国内能生产时，仍维持原价，从而使管道保温费用佔建设投资的大部分。钢铁工业发达的国家，大都采用高炉的废物——矿渣，以高速的蒸汽或压缩空气将矿渣熔融物吹制而成矿渣棉来保温；它是导热系数小、比重轻及价格低廉的保温材料。但是我国钢铁工业正在开始建设，旧有炼钢厂由于设备及厂房的限制，提出要求，未能供应。保温材料便成为我国建设上当前唯一的困难问题。

泡沫混凝土系多孔性建筑材料，苏联远在1928年就开始研究，至1930年在列宁格勒开始生产，1950年对泡沫剂的制作有很大的改进，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，当时仅使用于厂房屋面工程。保温材料的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，它能符合保温理论的要求，有较小的导热系数。1955年我们在峯峯电厂的蒸汽联络管试验，证明泡沫混凝土可以作为低温管道上的保温材料。

料。又經過保温性能測定，导热系数与容重与苏維利特相仿，耐压强度为大，耐热度較差， 300°C 以上发生裂縫。这因为一般混凝土的耐热度为 250°C ，在 250°C 以內时，混凝土的变形是膨脹， 250°C 以上是收縮，因而产生裂縫。我們就將泡沫混凝土作为 250°C 以內的保温材料在大連工程上正式使用。嗣后推广至全国范围使用。至于 $250\sim 510^{\circ}\text{C}$ 高温管道的保温材料，由于耐热度要求較高，是采用吉林省生产的經焙燒的矽藻土制品，或泡沫矽藻土制品来代替苏維里特板。根据1956及1957二年的施工經驗总结，在热力管道与热力网上共用泡沫混凝土二万餘吨，蒸汽养护的每吨制造成本仅80元，較之苏維利特板的价格节约了人民币 2,640 万餘元，可以建設 $4\times 12,000$ 瓩 及 4×75 吨/小时机組厂房及安裝二套国产机組全部費用的中型发电厂二座。采用泡沫混凝土作低温管道上的保温材料，对基本建設的增产节约起了一定的作用。

第二章 泡沫混凝土及其制造 用的原材料

第一节 泡沫混凝土

泡沫混凝土是一种人造保温材料，是由膠結材料加水及与泡沫混合后，硬化而成的一种多孔性膠凝制品。其組織为均匀分佈的很多微細閉合气泡，直徑約为 $0.5\sim 1.5$ 公厘(見图 1)，气孔率很大，可达85%，因此具有較小的比重，可輕达 300 公斤/立方公尺。耐压强度較低，一般为 $4\sim 8$ 公斤/平方公分。

因为空气为优良的隔热气体，而泡沫混凝土中有无数的密

閉的細小氣孔，空氣不能產生對流作用，因此起着良好的隔熱作用。

泡沫混凝土的氣孔率越大，其比重就相應減輕（表1），保溫效能也就增高。當比重為385公斤/立方公尺時，導熱系數

$\lambda = 0.065 + 0.00014T_{cp}$ 大卡/公尺·小時·度，式中 T_{cp} 是冷熱面平均溫度。

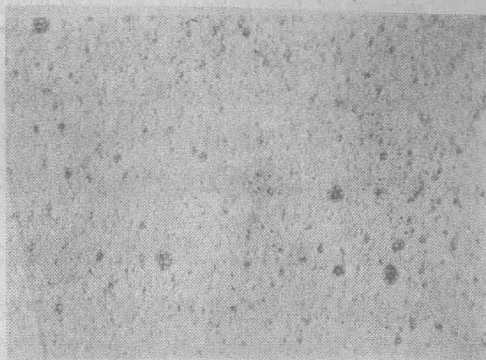


圖1 泡沫混凝土制品

表1 各種比重的泡沫混凝土的氣孔率

干燥状态时的單位重量 (公斤/立方公尺)	400	500	600	700	800	900	1000
氣 孔 率 (%)	84	80	76	72	68	64	60

泡沫混凝土是密閉多孔組織，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。

其抗壓強度決定於其單位容積重量，當比重增加時耐壓強度也隨着增大，見表2。

表2 泡沫混凝土比重與抗壓強度關係

單位重量 (公斤/立方公尺)	360—400	400—600	600—800	800—1000
抗壓強度 (公斤/平方公分)	8—15	15—40	40—85	85—150

泡沫混凝土的用途可分为隔热用和結構用二种，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。当它硬化后，也可以用工具加工达到规定的要求。

第二节 制造泡沫混凝土的原材料

制造泡沫混凝土用的膠結材料主要有如下几种：水泥、石灰、石膏及菱苦土等种类。这里所采用的为普通矽酸鹽水泥，其他膠結材料暫不介紹。

普通矽酸鹽水泥：

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 (3CaOSiO_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/平方公厘)，如要达到规定强度，则水泥用量过多；最后快凝水泥或緩凝(終凝時間超过8小时)水泥不能使用。儲存時間超过6个月，或因受潮失去原有活性的水泥也不应使用，均能影响水泥糊漿沉陷和質量不均，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，而初凝時間長，虽然泡沫的稳定性合于规定，但因泡沫混凝土层的压力，使泡沫破裂而发生收縮和裂縫現象。

当矽酸鹽水泥用量为300—350公斤/立方公尺，泡沫稳定性符合规定时，泡沫混凝土的澆灌厚度与初凝時間的要求关系如表3所示。

表 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

膠:

分为皮膠、骨膠二种，皮膠之粘度較骨膠为优，在使用前需測定其比粘度及含水量。膠的粘度，即膠液的粘滯性，將一定濃度的膠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。

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

表 4

膠的含水量及粘度

膠 类	产 地	含水量(%)	粘 度
骨膠(1)	哈尔濱松江化工厂	15	2.4
骨膠(2)	哈尔濱松江化工厂	17	2.3
骨膠(3)	哈尔濱松江化工厂 (友好牌)	14	1.5
骨膠(4)	哈尔濱松江化工厂 (友好牌)	18	1.7
骨膠(5)	哈尔濱松江化工厂 (友好牌)	9	1.8
骨膠(6)	哈尔濱松江化工厂 (友好牌)	8	1.6
骨膠(7)	大連火柴厂	15	2.1
骨膠(8)	天津华北骨膠厂 (飞机牌)	17	2.2
骨膠(9)	天津华北骨膠厂 (飞机牌)	16	2.3
皮 膠	哈尔濱松江化工厂	15	3.0
魚 鱗 膠	天津发記膠厂	15	3.9
动物膠	石家庄	15	2.05

膠的含水量即為膠內所含的水分。測定方法是將膠放在烘箱內，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4。

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），膠在溫度為 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的水中能緩緩溶解，在 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的水中僅發生膨脹。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，各種松香的皂化係數見表5。

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 二級 (3)	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	黃	橙	橙	深黑	橙	黃
皂化係數	171	179	169	175	175	161	170	171	165	171	177

若松香內含有松節油（取一小塊松香置於熱水中，待其溶化後，視液面上是否有油斑），須經過處理，使松節油蒸發後方可使用。松香的軟化點不低於 65°C ，黑色松香不能使用。

碱：

分固體與液體二種，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数量的%值，然后決定碱的使用数量。各地碱的含碱量見表 6。

表 6

碱 的 总 碱 量

碱 类	产 地	总碱量 %	度数(純度)%
氢氧化鈉	哈尔濱	73 (Na_2O)	94 (NaOH)
氢氧化鈉	天津新生化工社	71 (Na_2O)	92 (NaOH)
氢氧化鈉	北京和平工业社	66 (Na_2O)	85 (NaOH)
氢氧化鈉	北京永安化工社	71 (Na_2O)	91 (NaOH)
氢氧化鈉	天津新泰工业原材料行	67 (Na_2O)	86 (NaOH)
液体氢氧化鈉		29 (Na_2O)	38 (NaOH)
氢氧化鉀	沈阳新生化学研究所	63 (Na_2O)	75 (NaOH)

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

第三章 泡 沫 剂

第一节 泡沫剂的原材料用量确定

泡沫剂是用定量的碱和松香中的松脂酸、并根据膠的比粘度加入适量的膠溶液制成，使其产生的泡沫具有足够的稳定性。其原材料用量的确定：

(1) 干膠与松香的比例：

可由膠用量与其比粘度的关系曲綫求出，此曲綫是根据庫德利亞舍夫的試驗数据得出的，即由膠的比粘度求出 1 公斤松香的膠用量。例如按表 4 中哈尔濱松江化工厂皮膠的比粘度

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。

(2) 含水胶的数量

$$= \frac{\text{干胶比值}}{1 - \text{自然含水率}(p\%)}$$

例如胶的含水量为 15% 按胶的比值计算。

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 $1:(1 - 0.02p) = 1:0.7$ 。

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, 其计算式如下:

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

式中 a ——每一公升碱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

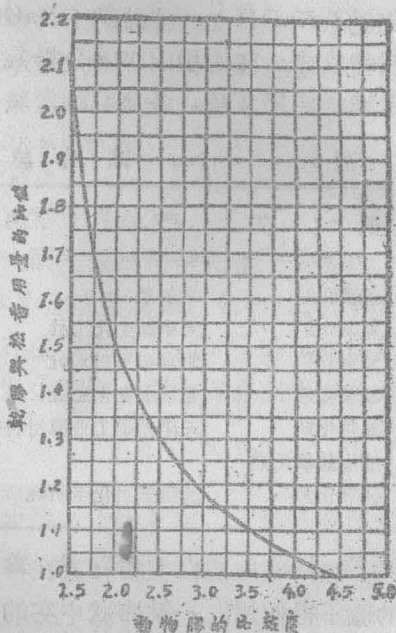


图 2 胶用量与其比粘度的关系

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，这就可以近似地用测定碱溶液比重法来确定其浓度。表 7 为配制碱溶液的波美度和比重。

当碱溶液不纯时（会有氯化物、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。

表 7 碱溶液的浓度

碱 的 种 类	波美度	比 重
氢氧化钠	20	1.16
氢氧化钾	21	1.17
碳酸钠	22	1.18
碳酸钾	24	1.20

第二节 泡沫剂的制造

泡沫剂的制造过程为溶化胶与制作松香皂以及二者的混合而成，其简单工艺程序如图 3 所示。

1) 制造用器具

玻璃量杯 2 个（1,000C.C. 以上者）

比重计 1 只（量液体比重）

温度计 1 只（测溶液温度用）

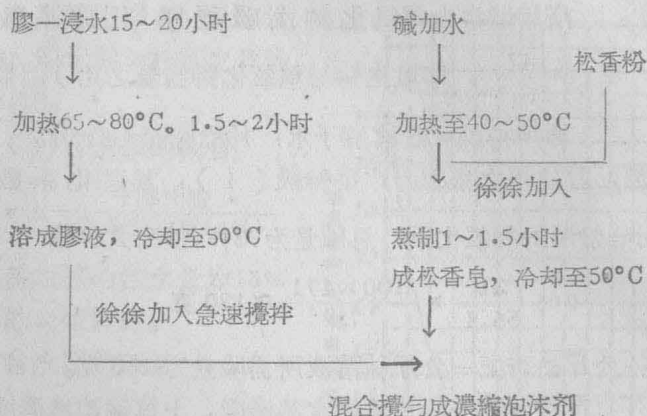


图3 泡沫剂制造工艺简图

- 天平 1台(称膠、松香、碱用)
套鍋 2个(白鉄皮制)
(见图4)
白鉄皮水桶 9个(重量10公斤
3个, 5公斤2个)
細鉄絲篩 1个(篩松香粉用)
膠皮手套一副

2) 制造过程:

(1) 膠溶液的制造:

先将膠擦干淨，放于电烘箱內，以110°C的温度烘干，測知其含水率，按膠用量計算法得出膠的用量。

將膠錘碎成4~6公分的碎块，或放入桶內，加入与干膠同样重量的冷水(配成50%濃度的膠液)进行浸泡，浸泡時間冬季为15~20小时，夏

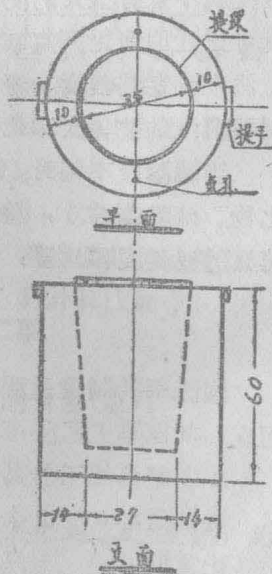


图4 套鍋

季为 3 ~ 4 小时。熬煮時間冬季为 15 ~ 20 小时，夏季为 3 ~ 4 小时。熬煮时將浸泡之膠及水倒入套鍋內，外套鍋內加水，套鍋外加火，在膠溶解前，溫度可以加高，待溶解后使膠液溫度保持 $65 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 并經常攪動，維持 1.5 ~ 2 小时后，即成为适宜之膠溶液。

(2) 松香皂液的制造：

松香使用前，先碾成細粉末，使之能全部通过孔徑 1 公厘的篩。碱加水成碱溶液，配制时先將外套鍋內加油，外套鍋外加火，使油溫加热至 80°C 以上，并將盛碱溶液的內套鍋放入外套鍋中，这时把松香粉末逐漸不停地加入碱溶液中，随加随攪。松香粉加完后，繼續煮沸 1.0 ~ 1.5 小时，直到松香完全溶化，溶液的顏色一致，沒有顆粒时为止。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，以补足其水份。最后便成为松香皂液，將其冷却至 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 备用。

(3) 混合配制：

將熬好的松香皂液及膠液冷却至 50°C 左右，將膠溶液徐徐加入松香皂液中，急烈攪拌，至攪勻产生小泡为止。即成为濃縮泡沫剂。濃縮泡沫剂須儲存在密封的木箱中，或玻璃及陶土等器皿中，并將其置于阴涼的地方。这样冷天可保存 20 天，热天不得超过 10 天。待使用时將濃縮泡沫剂与 50°C 的热水按 1:5 体积比配合，用火加热，令其在不断攪拌下沸騰一小时，然后用 100°C 的热水补足沸騰时蒸发掉的水分，泡沫剂的制备即告完毕。

3) 注意事項：

(1) 开始制作时，須將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。

第四章 泡沫及其制造与性质的测定

第一节 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，则体系中的空气浓度不足，分散介质的薄膜很厚，若搅拌时间过长，则将由于搅动影响，破坏已经构成的泡沫，适宜的搅拌时间显然是随泡沫筒中搅翅的形状而不同，但对于某种一定形式的泡沫混凝土搅拌机来说，其适宜的搅拌时间应固定不变。

选定泡沫剂与水的用量为53毫升和330毫升，如表9的规定，分别不同的搅拌时间制出五种泡沫，用泡沫性质测定器测定其沉陷距、分泌液和泡沫倍数。所用的原料为广东一级松香

表 8 在不同搅拌时间下的泡沫性质

搅 拌 时 间 (分 鐘)	4	6	8	10	12
靜置 2 小时后的沉陷距(公厘)	10	15	9	12	17
靜置 2 小时后的分泌液(毫升)	92	84	86	88	88
泡沫倍数	32	36	36	36	35

25克，哈爾濱氫氧化鈉 3.2 克和松江化工厂骨膠(2)41.2克，結果如表 8 所示。

由表 8 可知，在攪拌時間為 8 分鐘時能获得最小的沉陷距，攪拌 6 分鐘時能获得最少的分泌液，而得到最大的泡沫倍数，則在 6 ~ 10 分鐘之間，因此 6 ~ 8 分鐘為最合理的攪拌時間。

关于泡沫剂与水的适宜用量，要在泡沫混凝土的單位体积重决定后，按表 9 選擇 2 种水量和 3 种泡沫剂用量，配制 6 种泡沫剂和水的用量，然后根据其所制成泡沫的性質選擇最好的一种。

表 9 泡沫剂与水的用量（用于 15 公升泡沫混凝土攪拌机）

泡沫混凝土容重(公斤/立方公尺)	泡沫剂(毫升)	水(毫升)
300	60~75	360~420
400	53~68	330~390
500	45~60	300~360
600	38~53	270~330

表 10 为用 15 公升泡沫攪拌机作泡沫剂与水的用量試驗結果。試驗所用原料与上項試驗相同，但攪拌時間均為 8 分鐘。結果表明，当水量較少，而泡沫剂用量較多时，所得的泡沫性質常較好。这虽然是意料中的結果，但是我們不能根据这种趨勢，用繼續減少水量和繼續增加泡沫剂的用量来提高泡沫的性質。因为在提高泡沫性質的同时，还需要考虑到泡沫混凝土的單位体积重量和泡沫剂的节省，只有能使泡沫混凝土达到要求單位体积重量的泡沫剂最少用量，才是最合理的用量。

表 10 为經試驗得出的結果，括弧中数字为最合理的配量。

表10 泡沫剂与水的用量試驗結果（以15公升泡沫混凝土攪拌机）

泡沫混凝土 容量 重量 / 公方	水 量 (毫升)	泡 沫 剂 用 量 (毫升)	靜置 2 小时后的 沉 陷 距 (公厘)	靜置 2 小时后的 分 泌 液 (毫升)	泡沫倍数
300		60	15	96	32
	[360]	[68]	6	87	33
		75	6	84	32
		60	10	106	29
	420	68	8	111	28
		75	7	111	28
400		53	20	89	35
	[330]	60	21	106	35
		[68]	16	95	33
		53	19	109	31
	390	60	18	110	30
		68	20	110	29
500		45	22	91	37
	[300]	53	21	87	38
		[60]	19	90	37
		45	21	140	36
	360	53	22	142	25
		60	27	137	26
600		38	14	70	43
	[270]	[45]	9	61	45
		53	11	68	44
		38	13	63	36
	330	45	10	85	38
		53	9	88	37

注：泡沫剂用量，为已將濃縮泡沫剂与 50°C 的热水按 1:5 体积比配合而成。