

# 蒸压加气混凝土砌块配合比与生产配方

## 一 配合比的基本概念

### 1 钙硅比

如前所述，加气混凝土之所以能够具有一定的强度，其根本原因是由于加气混凝土的基本组成材料中的钙质材料和硅质材料在蒸压养护条件下相互作用，氧化钙与二氧化硅之间进行水热合成反应产生新的水化产物的结果。因此，为了获得必要的水化产物(包括质量和数量)，必须使原材料中的氧化钙(CaO)与二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)成分之间维持一定的比例，使其能够进行充分有效的反应，从而达到使加气混凝土获得强度的目的。我们把加气混凝土原材料中的氧化钙与二氧化硅之间的这种比例关系，称为加气混凝土的钙硅比。它是加气混凝土组成材料中CaO与SiO<sub>2</sub>的总和的摩尔数比，称为钙硅比，写成C/S。

加气混凝土不同于水泥等其它硅酸盐材料，其强度还包括气孔的形状和结构，而良好的气孔与结构又有赖于料浆的发气膨胀过程。因此，对某一品种的加气混凝土和一定的材料，生产工艺来说，C/S有一个最佳值和最佳范围。

从我国主要的三种加气混凝土品种来看，水泥—矿渣—砂加气混凝土的C/S在0.54左右；水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土的C/S在0.8左右；而水泥—石灰—砂加气混凝土的C/S约在0.7~0.8之间。

加气混凝土的钙硅比不同于溶液中的摩尔比，更不等于水化硅酸钙的碱度。因此，不能机械地把钙硅比与水化产物的组成和性能等同起来。

### 2 水料比

水在加气混凝土生产中是很重要的，它既是发气反应和水热合成反应的参与组分，又是使各物料均匀混合和进行各种化学反应的必要介质，水量的多少直接关系到加气混凝土生产过程的好坏。

衡量配方中用水量的多少，常用水料比这个概念。水料比指料浆中的总含水量与加气混凝土干物料总和之比。

水料比 = 总用水量 / 基本组成材料干重量

水料比不仅为了满足化学反应的需要，更重要的是为了满足浇注成型的需要。适当的水料比可以使料浆具有适宜的流动性。为发气膨胀提供必要的条件；适当的水料比可以使料浆保持适宜的极限剪切应力，使发气顺畅，料浆稠度适宜，从而使加气混凝土获得良好的气孔结构，进而对加气混凝土的性能产生有利的影响。

不同的加气混凝土品种，原材料性能及产品的体积密度，在一定的工艺条件下，都有它的最佳水料比。一般来说，体积密度500kg/m<sup>3</sup>的水泥矿渣~砂加气混凝土的最佳水料比为0.55~0.65；500kg/m<sup>3</sup>的水泥—石灰—砂加气混凝土的最佳水料比为0.65~0.75；500kg/m<sup>3</sup>的水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土的最佳水料比为0.60~0.75。

从加气混凝土的气孔结构和制品强度出发，通常希望水料比能够稳定在较小的范围内，并保持较低的数值，而当因材料波动需较大范围变动水料比时，将影响浇注的稳定性、气孔的结构和坯体的稠硬化速度，从而大大地影响到制品的质量。

### 3 设计体积密度

加气混凝土的体积密度（原称容重）是加气混凝土制品的一个重要物理性能指标。体积密度与制品的含水量有关。通常，可分为出釜体积密度和绝干体积密度，在自然状态下放置一定时间后，制品的含水因空气湿度的相对稳定而达到相对平衡，此时称为自然状态体积密度（因气候条件而变）。

加气混凝土的设计体积密度是进行配合比计算的基本根据之一，代表所设计的加气混凝土制品在完成蒸压养护后，单位体积的理论干燥重量。即包括各基本组成材料的干物料总量和制品中非蒸发水总量（其中包括化学结合水和凝胶水）。

## 二 加气混凝土的配合比

加气混凝土和其它混凝土一样是由几种材料组成的。因此，就存在用哪几种材料，每种材料用多少的问题。配料中所采用的各种材料用量的百分比就叫作配合比。

对加气混凝土而言，确定一个好的配合比，必须满足下列要求：

（1）制品具有良好的使用性能，符合建筑的要求。在诸多性能中，首先是体积密度和抗压强度，同时，也要考虑到制品的耐久性等性能。

（2）制品或坯体具有良好的工艺性能，与工厂生产条件相适应。如浇注稳定性。料浆的流动性（稠度）、硬化时间以及简捷的工艺流程等。

（3）所采用的原材料品种少，来源广泛，价格低廉，无污染或低污染，并尽可能多利用工业废料。

加气混凝土的配合比的确定和使用，一般要经过理论配合比的研究试验，生产用基本配合比的确定，并考虑配合比的经济性，最后计算确定配方。

### 1 水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土的配合比

#### （1）钙质材料的选用

水泥和石灰都可以单独作为钙质材料来生产加气混凝土，但都存在一些缺陷。以水泥作单一钙质材料，其最适宜的用量为 40%。不仅水泥用量大，产品成本高，而且制品强度较低；而采用石灰作单一钙质材料，粉煤灰虽然可以用到 75% 以上，但是，由于石灰用量单一，其消化特性和硬化特点不能得到有效的调节和补充。一般来说，坯体往往在初期硬化速度较快（快于发气速度），而后期硬化速度又较慢，坯体强度低，静停时间长，难以适应机械切割；又由于石灰质量波动较大，作为单一钙质材料时，增加了控制的难度。因此，目前国内加气混凝土厂都趋向于使用水泥—石灰（以石灰为主）混合钙质材料。这样，既可以降低水泥用量，又可以更好地控制生产。需要说明的是，也有少数工厂现在采用石灰单一钙质材料进行生产，这与所使用的硅质材料粉煤灰的质量及工厂的生产控制水平密切相关。

#### （2）水泥和石灰用量

当配方的 C/S 比确定后，仅是确定了粉煤灰与石灰加水泥的比例，确定石灰与水泥各占多少，也是一个相当复杂的过程，期间，要考虑到形成水化产物，也要考虑到生产中工艺参数的控制，以形成良好的气孔结构；还要考虑到生产周期的长短。一般说来，在钙质材料中，起主要作用的是石灰，这是因为石灰是 CaO 的主要提供材料，也是料浆中热量的主要提供者，对制品的性能起着关键的作用，更对料浆稠化过程及坯体的早期强度起着决定性的作用；水泥也是 CaO 的提供者，但其遇水后迅速反应，产生大量的水化硅酸钙凝胶，料浆粘度迅

速增长；坯体形成后，水泥的初凝促进了坯体强度的提高，从而有利于切割，这对加气混凝土生产来说意义巨大，也就是说，水泥的作用主要是保证浇注稳定性并加速坯体的硬化。通常，在粉煤灰加气混凝土配比中，石灰的用量约为 18%~25%；水泥的用量则是 6%~15%，石灰与水泥总量占 30%~35%相应地粉煤灰为 65%~70%。

### (3) 石膏用量

石膏在加气混凝土生产中的作用也具有双重性，在蒸压粉煤灰制品中，由于石膏参与形成水化产物，掺加石膏可以显著提高强度，减少收缩，碳系数也有很大提高。同时，在浇注过程中，对石灰的消解有着明显的延缓作用，从而减慢了料浆的稠化速度。所以，石膏的掺入量，既要考虑提高制品性能，也要考虑控制工艺参数。如料浆的水料比、石灰的质量及用量等，一般石膏的掺入量控制在 5%以内。

### (4) 铝粉用量

铝粉用量取决于加气混凝土的体积密度。在使用相同质量的铝粉时，制品的体积密度越大，则铝粉用量越小。理论上，我们可以根据制品的体积密度精确计算出铝粉用量：

根据铝粉在碱性条件下，置换水中氢的反应式：



可知，2 克分子的纯金属铝，可产生 3 克分子的氢气，而在标准状态下，1 克分子气体体积是 22.4l，铝的原子量是 27，所以，铝粉的产气量为：

$$V_0=22.4 \times [3/(2 \times 27)] = 1.24\text{l/g}$$

根据上式，可以用气态方程 $(V_1/T_1) = (V_2/T_2)$ 求出任何温度下铝粉的产气量：

加气混凝土体积可以简化为两部分：一部分为基本组成材料的绝对体积，另一部分是铝粉发气后形成的气孔体积。根据气孔体积，可以计算铝粉的用量：

$$m_{\text{铝}} = V_{\text{孔}} / (V_2 \cdot K)$$

式中： $m_{\text{铝}}$ ——单位制品铝粉用量( $\text{g}/\text{m}^3$ )；

$V_2$ ——浇注温度时铝的理论产气量( $\text{l/g}$ )；

$K$ ——活性铝含量

气孔体积等于制品体积减去各原材料及水所占体积（通过材料用量与各自比重求得）。但是，在生产过程中，发气量受到随时变化的温度、料浆稠度等诸多因素的影响，通过理论计算来确定铝粉用量既不可能，也无必要。工厂都是在实践的基础上经验选取，并随时调整。通常，采用铝粉膏时，生产  $600\text{kg}/\text{m}^3$  加气混凝土以干物料 8/万的比例加铝粉膏。

### (5) 废料浆

使用废料浆，不仅可以减少二次污染，而且可以大大改善料浆性能，提高浇注稳定性，并且提高制品性能。因为（新鲜）废料浆中，含有大量的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  及水化硅酸钙凝胶，提高了料浆的粘度，改善了浆体性能。通常，废料浆加入以 5%为宜。

## 2 水泥—石灰—砂加气混凝土

水泥—石灰—砂加气混凝土是历史最悠久的品种。但各国的配合比因各地材料及经济因素也各不相同。

(1) 钙质材料在配料中与粉煤灰加气混凝土有相似的情形，一般来说，单独使用水泥，不仅水泥用量大（多达 35~40%），经济上不合理，而且坯体硬化慢，强度低；单独采用

石灰，也不便于对质量的控制。采用混合钙质材料，无论料浆浇注性能和制品性能，都创造了一个便于调节控制的条件，有利于生产高质量的产品。通常在加气混凝土配比中，石灰用量约占 20~30%，水泥约占 10~20%，石灰与水泥总量占 40%，相应地，砂约占 60%。

### (2) 石膏的用量

石膏在水泥—石灰—砂加气混凝土中与粉煤灰加气混凝土中的作用不尽相同，在此，其作用主要为对石灰消解的抑制，可以使料浆稠化时间延长，使料浆温度上升平缓，有利于形成良好的气孔结构。因而对制品的强度在一定范围内有好处，但当用量过多时，易造成料浆稠化过慢而引起冒泡和下沉，甚至塌模。通常，石膏用量控制在 3% 以内。

### 3 水泥—矿渣—砂加气混凝土

水泥—矿渣—砂加气混凝土是在水泥—砂加气混凝土工艺的基础上发展而来的。其特点是采用水泥为钙质材料，并尽可能多地以矿渣代替水泥，以减少水泥用量。由于目前高炉矿渣的应用前景广阔，矿渣已不再是无用的工业废料而供应渐趋紧张。许多原以矿渣为原料的加气混凝土生产企业，逐步改用水泥—石灰—砂工艺。

表 5-1 各类加气混凝土配比范围

名称	单位	水泥—石灰—砂	水泥—石灰—粉煤灰	水泥—矿渣—砂
水泥 *	%	10~20	6~15	18~20
石灰	%	20~30	18~25	—
矿渣	%	—	—	30~32
砂	%	55~65	—	48~52
粉煤灰	%	—	65~70	—
石膏	%	≤3	3~5	—
纯碱，硼砂	kg/m <sup>3</sup>	—	—	4, 0.4
铝粉膏 **	l/万	8	8	8
水料比		0.65~0.75	0.60~0.65	0.55~0.65
浇注温度	℃	35~38	36~40	40~45℃
铝粉搅拌时间	s	30~40	30~40	15~25

注：\*采用 425 普硅水泥；\*\*铝粉膏用量按 600kg/m<sup>3</sup> 规格计算。

水泥在水泥—矿渣—砂加气混凝土中起着关键性作用，其性能好坏，将直接影响浇注稳定性、坯体硬化速度和制品强度，综合效果来看，使用 425 普硅水泥比较合适，其用量约为 20% 左右，相应地用矿渣量约为 30%，两者之和约 50%，若采用 325 矿渣水泥，则水泥用量将大大增加，矿渣用量则可降低。

## 三 加气混凝土的配方计算

### 1 单位体积制品的干物料用量

在生产绝干体积密度为 500kg/m<sup>3</sup> 的产品时，实际干物料投料量不足 500kg。因为制品绝干体积密度是将单位体积制品在 105℃ 下干燥至恒重的重量。此时，制品含有化学结合水，在计算干物料时，这部分水并没计入配料重量。因此，计算干物料量时，应减去化学结合水



的重量，制品中化学结合水量，视使用的钙质材料多少而异。根据经验，生石灰中 1 克分子有效氧化钙的化学结合水为 1 克分子；水泥中取 0.8 克分子氧化钙所化合的化学结合水为 1 克分子，则不难算出单位体积产品中结合水量，求出单位体积制品干物料用量：

$$m = r_0 - B$$

式中：  $m$ ——单位体积制品干物料用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$r_0$ ——设计体积密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$B$ ——制品中结合水量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

例：绝干体积密度为  $500\text{kg}/\text{m}^3$  的粉煤灰加气混凝土配比为水泥:石灰:粉煤灰:石膏 = 13:17:67:3；水泥中氧化钙含量 60%，石灰有效氧化钙含量 75%，CaO 分子量 56，H<sub>2</sub>O 分子量 18，求单位体积干物料用量？

设：每  $\text{m}^3$  制品化学结合水为  $B\text{kg}$ ， $B_1$  为水泥所需的结合水量； $B_2$  为石灰的结合水量。

则：每  $\text{m}^3$  制品干物量为  $500 - B$

$$B_1 = \{ [13\% \times (500 - B) \times 60\%] / (56 \times 0.8) \} \times 18$$

$$B_2 = \{ [17\% \times (500 - B) \times 75\%] / 56 \} \times 18$$

$$B = B_1 + B_2 = 34\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\text{即：干物料重量为：} m = 500 - 34 = 466\text{kg}/\text{m}^3$$

## 2 配方计算

配方可根据配比用：

$$m_x = mP_x$$

式中：  $m_x$ ——单位制品中某原材料用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$P_x$ ——该种原材料的基本配合比 (%)。

进行计算（当加入废料浆时，加入量抵硅质材料用量）。

废料浆的加入方式有两种，一种是将切除的面包头、边料等直接加入料浆罐；另一种则制成一定比重的废料浆于配料时投入。前者可以测定含水量后经验加入（一般面包头含水率波动不是很大），而一种则可根据各种材料的比重及配比计算废浆的干物料量。用于配料的废料浆通常控制的比重是：

水泥—石灰—砂加气混凝土： 1.2~1.25( $\text{kg}/\text{l}$ )

水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土： 1.25~1.35( $\text{kg}/\text{l}$ )

水泥—矿渣—砂加气混凝土： 1.2~1.3( $\text{kg}/\text{l}$ )

例：已知加气混凝土的配比是水泥:石灰:砂:石膏 = 10:25:65:2，水泥的比重为 3.1，氧化钙 60%，石灰比重取 3.1，有效氧化钙 75%，砂子比重 2.65，石膏比重 2.3，废浆比重 1.25，水料比 0.65，浇注温度  $45^\circ\text{C}$ 。求废浆中固体物料含量及  $500\text{kg}/\text{m}^3$  制品中各物料配方。

设：单位体积废料浆中固体物料为  $x(\text{kg}/\text{l})$ 、含水量为  $y(\text{kg}/\text{l})$ 。

则，单位体积废料浆中各组分绝对体积之和应为 1，即：

$$(0.1x/3.1) + (0.25x/3.1) + (0.63x/2.65) + (0.02x/2.3) + (y/1) = 1$$

各组分重量之和应等于废料比重 1.25，即：

$$x + y = 1.25$$

得：  $y = 1.25 - x$  代入前式得

$$(0.1x/3.1) + (0.25x/3.1) + (0.63x/2.65) + (0.02x/2.3) + (1.25-x) = 1$$

整理得:  $x=0.39(\text{kg/l})$ ;

$$y=1.25-0.39=0.86(\text{kg/l})。$$

这时, 废浆重量百分比浓度为 31.2%。各物料配方根据

$$m=r_0-B \quad m_x=mP_x \text{ 计算。}$$

$$\text{水泥结合水: } B_1=\{[10\%(500-B)\times 60\%]/56\times 0.8\}\times 18$$

$$\text{石灰结合水: } B_2=\{[25\%(500-B)\times 75\%]/56\}\times 18$$

$$B=B_1+B_2=38.74\text{kg/m}^3$$

$$\text{干物料: } m=r_0-B=500-38.74=461.26\text{kg/m}^3;$$

$$\text{水泥: } m_{\text{水泥}}=mP_{\text{水泥}}=461.26\times 10\%=46.1\text{ kg/m}^3;$$

$$\text{石灰: } m_{\text{石灰}}=mP_{\text{石灰}}=461.26\times 25\%=115.3\text{ kg/m}^3;$$

$$\text{砂: } m_{\text{砂}}=m(P_{\text{砂}}-P_{\text{废}})=461.26\times (63\%-5\%)=267.5\text{ kg/m}^3;$$

$$\text{石膏: } m_{\text{石膏}}=mP_{\text{石膏}}=461.26\times 2\%=9.2\text{ kg/m}^3;$$

$$\text{废料浆: } m'_{\text{废}}=mP_{\text{废}}=461.26\times 5\%=23\text{kg/m}^3;$$

( $m'_{\text{废}}$ 为废料浆的干物料重,  $m_{\text{废}}$ 为废浆体重)。

折算成比重为 1.25 的废浆体积 (单位用量)

$$V_{\text{废}}=23/0.39=59(\text{l/m}^3)$$

(折算成重量的废料浆为:  $\quad\quad\quad=74\text{kg}$ )

$$\text{用水量: } W=W_0-W_{\text{废}}=461.26\times 0.65-59\times 0.86=410.52(\text{kg/m}^3)$$

铝粉量: 已知标准状态下, 1g 铝粉的理论产气量为 1.24l/g

则当浇注温度为 45°C, 1g 铝粉的理论产气量为:

$$V_{45}=V_1\times (T_2/T_1)=1.24\times [(273+45)/273]=1.44(\text{l/g})$$

设  $\text{lm}^3$  加气混凝土总体积  $V=1000\text{l}$ , 基本材料的绝对体积为  $V_{\text{基}}$ 。

则  $V_{\text{基}}=(m_{\text{水泥}}/d_{\text{水泥}}) + (m_{\text{石灰}}/d_{\text{石灰}}) + (m'_{\text{废}}/d_{\text{废}}) + (m_{\text{石膏}}/d_{\text{石膏}}) + W_0$  ( $m'_{\text{废}}$ : 为简化计算, 把废料浆干料看作砂, 砂用量不除去于废料量,  $W$  为总用水量)。

$$V_{\text{基}}=(46.1/3.1)+(115.3/3.1)+[(461.26\times 63\%)/2.65]+(9.2/2.3)+461.26\times 0.65$$

$$=469.02(\text{l})$$

铝粉发气气孔体积:

$$V_{\text{孔}}=V-V_{\text{基}}=1000-469.02=530.98(\text{l})$$

根据  $m_{\text{铝}}=V_{\text{孔}}/(V_2\times K)$

铝粉量为:

$$m_{\text{铝}}=530.98/(1.44\times 0.90)=409.78$$

(根据产品说明, 铝粉活性铝含量为 90%)。

至此, 加气混凝土的配方全部计算得出。需要特别提出的是, 以上计算是理论上的用量, 并没考虑搅拌机余料及面包头余料。实际上, 生产中石灰等原材料波动相当大, 使生产中料浆的稠度、浇注温度随之波动, 导致配方的频繁更改, 而往往更改配方落后于生产。因此,

一些企业在积累了相当生产经验以后，均以一套简单的近似计算来确定配方，并在生产中随时调节各原材料的用量，以适应工艺参数的要求，保证产品质量，现仍以上题为例。

为简化计算，单位体积用量可看作与体积密度相等，考虑到搅拌机余料，面包头水等因素，单位体积用量按体积密度干物料量加 5% 的余量计算。

$$\text{即：干物料总量：} m = r_0(1+5\%) = 500 \times 1.05 = 525(\text{kg}/\text{m}^3)$$

废料浆：根据经验数据，5% 的用量约为  $25(\text{kg}/\text{m}^3)$ ；

即比重 1.25 时，体积取  $V_{\text{废}} = 60(\text{l}/\text{m}^3)$ ；

其中含水： $W_{\text{废}} = 50(\text{kg}/\text{m}^3)$

配料用水： $W = W_0 - W_{\text{废}} = 525 \times 0.65 - 50 = 291.25(\text{kg}/\text{m}^3)$ ；

水泥： $m_{\text{水泥}} = mP_{\text{水泥}} = 525 \times 10\% = 52.5(\text{kg}/\text{m}^3)$ ；

石灰： $m_{\text{石灰}} = mP_{\text{石灰}} = 525 \times 25\% = 131.25(\text{kg}/\text{m}^3)$ ；

砂： $m_{\text{砂}} = mP_{\text{砂}} - 25 = 525 \times 63\% - 25 = 305.75(\text{kg}/\text{m}^3)$ ；

石膏： $m_{\text{石膏}} = mP_{\text{石膏}} = 525 \times 2\% = 10.5(\text{kg}/\text{m}^3)$

铝粉： $500\text{kg}/\text{m}^3$  的加气混凝土，铝粉膏用量取 9/万：

$$m_{\text{铝粉}} = 525 \times 0.9\% = 0.473(\text{kg}/\text{m}^3)。$$

根据以上结果，以生产实际采用的模具规格(有时模具较小时，以 2 模为一搅拌单位)计算体积，就可求得实际投料量。在生产中，配合比常因工艺控制参数、生产成本等作适当调整，调整的依据之一，就是保持已知配合比的 C/S，对有关原材料进行调整。

## 配料搅拌及浇注

加气混凝土的配料工艺一般都是将各种物料的计量设备布置在同一楼层的同一房间内，其上层是供料的各种料罐及料仓，下层是进行搅拌和浇注的搅拌浇注机。配料采取分别

控制或集中控制的办法进行操作，以便统一管理，方便工作；各设备的操作方式可以由操作者眼观手动，也可以通过电动式实现自动控制。在国外，已有不少企业以微机进行自动控制；浇注工艺方式主要有移动浇注和定点浇注两种。移动浇注是用行走式搅拌机，将物料配好下到搅拌机内，一边搅拌一边行走，到达模位后将搅拌好的料浆注入模。定点浇注是搅拌机固定，而模具移动到搅拌浇注机傍或下方接受浇注后再移开。

### 一 配料与搅拌浇注设备及其工艺特点

供配料使用的原材料从物理形态分有三种：即液体物料、浆状物料和粉状物料，此外还有铝粉或铝粉膏。

#### 1 液体物料的计量

液体物料常用体积计量罐计量。其构造为一定体积的圆筒(下部为锥形)，进出料管装有电磁阀，筒体上接有液位指示控制器。

#### 2 浆状物料的计量

浆状物料采用料浆计量罐计量，分体积计量式和重量计量式两种。体积计量式料浆计量罐以玻璃液面计观察面进行控制。其结构比较简单，计量精度不高，不便于自动控制；重量式料浆计量罐一般以传感器为计量元件，计量精度高，便于自动控制，但结构较复杂。

### 3 粉状物料的计量

粉状物料的计量均以重量计量进行,使用比较多的是杠杆式粉料计量秤和电子传感式粉料计量秤两种。杠杆式计量秤结构比较简单,但计量精度不高,物料进出料不直观,易造成误操作,且大多只能计量一种物料,使配料系统布置复杂化;电子传感式计量秤计量精度高,能实现自动记录及全程序控制,并可进行多物料计量。计量进出料指示明确,不至形成误操作,但对设备维护保养要求较高。

### 4 铝粉的计量

铝粉和铝粉膏用量较少,一般采用人工计量,但卫生条件较差,国外采用先将铝粉配制成铝粉悬浮液后,再将铝粉悬浮液按配料量进行计量,一般适用于规模较大的企业;国内中小型企业也有采用将铝粉膏集中在一个料仓中,通过给料机送入计量秤,计量后再送入铝粉搅拌机进行搅拌,但因铝粉用量较少,对发气的影响较大,计量略有误差,就容易造成质量事故,所以国内大多数工厂目前仍使用人工计量,以保证计量的准确。

### 5 物料的搅拌

物料的搅拌与料浆的浇注由搅拌机完成,搅拌机必须使各种物料在短时间内搅拌均匀,并能进行加热以调节温度。在更短的时间(1min以内)内将铝粉悬浮液等迅速分散到料浆中,最后进行浇注。搅拌机是所有工艺设备中比较关键的装备。

搅拌机由筒体、搅拌器、传动机构及放料机构组成。影响搅拌机效率和搅拌效果的主要因素是:搅拌器型式、筒体构造、搅拌器与筒体的尺寸关系、电机功率和搅拌器的转速。目前,在加气混凝土生产工艺中,实际采用的搅拌机主要有五种,即涡轮式搅拌机、螺旋式搅拌机、旋桨式搅拌机、桨叶式搅拌机和涡轮与旋桨复合式搅拌机。除以上五种形式,搅拌机还可分移动式(又称浇注车)和固定式,底部下料和侧底部下料,下料管和布料槽等多种形式。

#### (1) 蜗轮式搅拌机(西波列克斯专利)

蜗轮式搅拌机的搅拌器是一个圆型底板和六个顺时针斜向布置的弧型叶片组成的圆盘(图5-1)。筒体为钢质平底圆筒,筒壁四周均匀布置四只长条形挡料板。搅拌器悬挂安装在筒体中轴线上,一般都将驱动电机附着在筒体外壁通过皮带传动使搅拌器转动。

当搅拌器以高速(一般为350~400r/min)转动时,加气混凝土料浆被圆盘上的叶片推动旋转并被推压抛向筒体内壁。因此,料浆中所有的物料均以高速沿圆盘旋转的抛物线方向运动,由于筒体内壁挡料板的阻挡,料浆中便形成沿筒壁和挡板向上翻涌的湍流,这几股上涌的料浆达到筒体上部后又沿着筒体轴心下落在高速旋转的圆盘上方,重新加入旋流之中。

加气混凝土料浆在这种复杂激烈的运动中,各物料之间、物料与筒体内壁、挡料板和圆盘之间发生强烈的磨擦、碰撞、冲击,实现不停的翻滚混合,从而达到搅拌均匀的目的。

这种搅拌机结构比较简单,制作维修和清理都比较方便,因而使用的厂家较多。不过,由于其对料浆的作用主要是推动料浆高速旋转,在挡料板反挡作用下,形成的上行湍流到达顶

端后主要靠料浆重力下落与下沉。因此,当物料粘度较大时(特别是搅拌粉煤灰系列料浆),料浆上下各层次之间就有可能不易混合均匀,短期内不能达到预期效果。

## (2) 螺旋式搅拌机 (乌尼泊尔专利)

这种搅拌机的筒体为一具有锅状底和封顶的圆筒, 搅拌器是螺旋状, 在搅拌器外面套有支撑在筒底和筒壁的导流筒 (图 5-2)。物料由上面进入, 搅拌好的料浆由筒底中部的卸料口排出。

在搅拌器转动时, 料浆受离心力的作用沿筒底弧面向上翻腾, 到达筒体顶部后向中心部抛落并由旋转的螺旋叶片形成的吸力强制地往下拉, 经过导流筒, 推压到筒体底板上, 在底板的阻挡下又重新上升。

这种搅拌机内壁周边没有任何阻挡, 因而使料浆形成更高速的旋转运动状态, 同时, 在搅拌器的吸拉和推送作用下, 料浆快速地上下翻滚。因而, 使料浆各部分都能受到更有力的推压和牵拉, 这对于粘度较大的料浆的搅拌是比较有利的。

## (3) 旋桨式搅拌机 (海波尔专利)

旋桨式搅拌机由带固定桨叶的筒体和带旋转桨叶的搅拌器两部分组成。固定桨叶分层布置在筒体内壁上, 桨叶用钢质板条作成, 旋转桨叶与固定桨叶的倾斜方向相反而又互相交叉。其传动方式又分上传动和下传动两种 (见图 5-3 和图 5-4)。

这种搅拌器以较高的速度旋转, 料浆在各个层次均受到旋转桨叶的推动而旋转流动, 同时又受到与旋转桨叶角度相反的固定桨叶的阻挡, 从而被迫改变流动方向。因此, 在这种搅拌机内, 加气混凝土料浆能够形成更为复杂多变的、互相交叉的湍流, 这对料浆的混合、剪切作用将更为强烈, 存在于物料中的团块就能更好地被打碎分散。

## (4) 桨叶式搅拌机 (司梯玛技术)

这种搅拌机采用较深的筒体, 筒体周边可布置二对挡板。采用螺旋桨式搅拌器, 并在搅拌器主轴上半部加装一对或二对倾角向下的桨叶。

当搅拌器旋转时, 料浆在桨叶的旋转推动下, 一方面在筒体底部的螺旋桨叶作用下, 沿旋转的切线方向向筒体内壁抛出并旋转流动, 另一方面, 还在被迫沿桨叶平面的法线方向向上翻滚。当料浆达到筒体上部时, 又立即被上面的搅拌叶强制下压, 使其迅速下落, 这样, 料层从各方向混合, 效果较好。

## (5) 复合型搅拌机

这类搅拌机保留了上述各类搅拌机的优点后作适当的改进复合而成。

# 二 生产配料

## 1 浆状物料的配料

加气混凝土生产工艺中, 将砂、矿渣及粉煤灰以湿磨工艺进行磨细时, 这些材料都以浆状形态进行配料, 在废料浆单独进行计量配料时, 也视同浆状物料。

配料前, 应测定并调正待使用的灰浆比重或浓度, 以确定其称量值。浆状物料的计量采用体积计量或重量计量, 当配料中使用多种浆状物料时, 宜采用一个有足够容量的计量罐累加计量。在有数种浆状物料进行配料时, 应将比较稳定的材料放在最前。如在水泥-矿渣-砂加气混凝土的配料过程中, 计量程序应为砂浆、废料浆, 最后投矿渣浆。当配料中使用可溶油、水玻璃时, 可于浆状物料计量好后投入其中, 全部计量工作完成后 (包括加水), 即可向搅拌机投料。一般来说, 浆状物在搅拌投料顺序中排第一。

## 2 粉状物料的配料



粉状物料的配料分两种形式，一种是多种物料的累加计量；一种是分别对各物料进行计量。当粉煤灰以干物料进行配料时，因用量较大，且又需先行搅拌制浆。所以，宜单独使用一台计量秤。

以累加计量方式进行计量时，计量进料次序应遵从搅拌投料顺序，累加计量的电子秤，一般都是自动控制，但操作者必须监视并记录各物料的准确计量。当出现误动作时，应及时以手动操作进行补救，以保证配料的准确；各材料独自计量时，应严格把握计量秤（杠杆秤）是否完全空载或是否满载，特别是投料时，容易在未投尽时，输送设备即停止运转，造成较大的计量误差。

计量后的物料投入搅拌机的速度，既要考虑下料后，能让搅拌机充分搅拌均匀而不至结团结块，又要给石灰等材料（特别是采用快速石灰时）留有足够的搅拌时间。一般水泥、石灰的投料时间控制在 2~3min。

### 3 其它物料的配料

铝粉经计量后先投入铝粉搅拌机与脱脂剂等一起搅拌均匀后待用。当采用移动式搅拌机（浇注车）时，还应将搅拌好的铝粉悬浮液预先投入料浆搅拌机内的铝粉搅拌罐。

碱液采用碱液计量罐进行体积计量（浓度已预先调制好）。水玻璃（以量杯计量好后）投入方式应视采用的搅拌机形式（移动式或固定式）及工艺控制情况而定。一般采用移动式搅拌机（浇注车）时，可将水玻璃投入料浆计量罐；而采用固定式搅拌机时，则宜在投入铝粉前将水玻璃直接投入搅拌机。

## 三 投料与浇注

投料与浇注，是将各种计量好的物料按一定次序加入搅拌机直至浇注入模，也是各种物料开始进行初步反应的阶段，特别是水泥与石灰的消解，将极大地影响到坯体质量的好坏。因此，在此阶段应严格掌握各种物料的投料次序，控制料浆的搅拌时间，准确进行浇注。

### 1 浇注前的准备

在浇注前，应作好以下准备工作：

- （1）检查搅拌机，消除筒体内的残留物和积水，检查各传动部件或行走机构是否完好灵活、计时器件和各开关阀门是否灵活准确。
- （2）检查模具和模车辊道情况，保证装配处密封良好和行走正常。
- （3）检查初养设施工艺状况符合工艺要求。
- （4）了解上一班浇注情况及本班原料情况和配料情况，落实作业要求和应变措施。

### 2 投料与操作顺序

投料顺序一般是先浆状物料和水。其次是粉状物料，最后投辅助材料和发气材料。

（1）向搅拌机投入浆状物料，并加水、加温，在以蒸汽加热时，应考虑到蒸汽已带入部分水分。因此，加水时应留有余量，并且，通入蒸汽前应先排除蒸汽管中的冷凝水。当采用干磨粉煤灰又没预先制浆时，可先投水再加干粉煤灰进行搅拌。

（2）在使用移动式搅拌机时，应先将制备好铝粉悬浮液或碱液先行分别投入搅拌机上的铝粉搅拌罐和碱液罐。

（3）投入粉状物料（钙质材料），当投入总量的 50%时，开始记录搅拌时间，全部投完约 1~2min 后，采样测定稠度（扩散度——以直径为 50mm，高为 100mm，内壁光洁度较

高的铜管，钢管或塑管置于平板玻璃上，注满料浆后迅速提起，测量其塌落面直径，测试前塑料管内壁与玻璃应以湿布擦拭，注入料浆应刮平），并作适当调整后待浇注。若采用移动式搅拌机（浇注车），此时应将浇注车开至待注模位。

（4）当搅拌达到时间要求时，立即开启碱液贮罐及铝粉搅拌罐（机）阀门，将铝粉悬浮液及碱液加入搅拌机。当铝粉搅拌时间一到，立即开启下料阀，向模具进行浇注，并测定浇注高度。

（5）浇注完毕，应及时将有关工艺参数填入工艺控制卡，作好原始记录。

（6）观察记录发气情况。

至此，浇注工作结束，进入发气与静停阶段。如前所述，此阶段没有太多的操作，但对生产有着及其重要的关系。

## 浇注稳定性

加气混凝土与密实混凝土不同，它存在着一个浇注稳定性问题。所谓浇注稳定性是指加气混凝土料浆在浇注入模后，能否稳定发气膨胀而不出现沸腾、塌模的现象。要做到浇注稳定，实质上就是使料浆的稠化与铝粉发气相适应。当料浆的稠化跟不上发气速度，则塌模；当料浆稠化过快则发气不畅，产生憋气、沉陷、裂缝。因此，保证浇注稳定性乃是提高加气混凝土产量、稳定质量、降低成本的关键之一。

### 一 加气混凝土料浆的发气和稠化过程

#### 1 料浆发气膨胀过程

在加气混凝土料浆中，铝粉与水在碱性环境下反应，最初生成的氢气立即溶解于液相中。由于氢气的溶解度不大，溶液很快达到过饱和。当达到一定的过饱和度时，在铝粉颗粒表面形成一个或数个气泡核，由于氢气的逐渐积累，气泡内压力逐渐加大，当内压力克服上层料浆对它的重力和料浆的极限剪应力以后，气泡长大推动料浆向上膨胀。气泡长大后内压力降低，膨胀近于停止；但由于氢气不断补充，内压力再次加大，气泡进一步长大，料浆进一步膨胀，因此铝粉与水反应产生氢气与料浆膨胀是处于动态平衡状态。

由此可知，料浆膨胀的动力是气泡内的内压力，料浆膨胀的阻力是上层料浆的重力和料浆极限剪应力。

发气初期，铝粉与水作用不断产生氢气，内压力不断得到补充，此时料浆可能还处于牛顿液体状态，没有极限剪应力，因此料浆迅速膨胀。

随着石灰、水泥不断水化，料浆的骨架结构逐渐形成，极限剪应力不断增大，这时，铝粉与水的反应仍在继续进行，只要气泡内压力继续大于上层料浆的重力和极限剪应力，膨胀就会继续下去。当铝粉与水的反应接近尾声，料浆迅速稠化，极限剪应力急剧增大，这样膨胀就会逐渐缓慢下来。当铝粉反应结束，气泡内不再继续增加内压力，或者这种内压力不足以克服上层料浆的重力和料浆的极限剪应力时，膨胀过程就停止了。

#### 2 料浆的稠化过程

加气混凝土料浆失去流动性并具有支承自重能力的状态称为稠化。稠化是由于料浆中的石灰、水泥不断水化形成水化凝胶，使坯体中的自由水越来越少，水化凝胶对材料颗粒的粘

结和支撑,从而极限剪应力急剧增大的结果。因此,料浆的稠化过程就是在化学和吸附作用下,料浆极限切应力和塑性粘度逐渐增大的过程。

料浆稠化意味着失去流动性,因此一根细铁丝在料浆表面划一道痕,如果料浆尚未稠化,此沟痕必然流平闭合;如果料浆已经稠化不再流动,此沟痕无法闭合,这是目前鉴定稠化的经验方法。然而,此法非常粗糙,无法定量,更不能表示其稠化过程。

料浆极限剪应力随时间的变化曲线,可以看作是料浆的稠化曲线,采用拔片法来测定各个时间的剪切应力,来绘制稠化曲线,当实际稠化曲线低于理想稠化曲线,表示料浆稠化太慢,有可能产生塌模;当实际稠化曲线高于理想稠化曲线,表示料浆稠化太快,有可能产生不满模、憋气等现象。

## 二 浇注过程中的不稳定现象

不同品种的加气混凝土浇注稳定性的现象,有相同之处,也有不同之处,产生的原因也不尽相同。不同品种的加气混凝土为实现浇注稳定、对原材料和工艺参数的要求也不一样。

如水泥—矿渣—砂加气混凝土生产中要求料浆浇注后 6~8min 铝粉发气基本结束,否则就会出现铝粉发气时间太长而引起的收缩下沉。而以水泥、石灰为混合钙质材料的加气混凝土,一般正常的发气时间为 15~20min,有的甚至达 30min。

在水泥—矿渣—砂加气混凝土中,无论发生在料浆膨胀过程中,还是在膨胀结束后的冒泡,都被认为是浇注不稳定的现象。而对粉煤灰加气混凝土来说,有人认为在料浆稠化后,发生在坯体表层的冒泡不一定是浇注不稳定的表现,在某些情况下甚至还是有益的。

另外,对水泥—矿渣—砂加气混凝土,铝粉在搅拌机内的搅拌时间大于 15s 就能使其基本实现均匀分布;而对掺入生石灰的加气混凝土,由于料浆粘性大,即使搅拌 30s,仍可能会因铝粉搅拌不匀而造成浇注不稳定。

以水泥、石灰为混合钙质材料的加气混凝土,由于石灰消化过程中的放热,使铝粉发气过程中料浆的温度不断地升高,温度的变化既影响料浆的稠化又影响着铝粉的发气,使它们两者间的协调比以水泥为单一钙质材料的水泥—矿渣—砂加气混凝土更为困难。

### 1 稳定浇注的宏观特征

稳定浇注的基本要求如下:

#### (1) 料浆的发气及膨胀过程

①发气开始时间紧接在料浆完成浇注之后,或在料浆即将浇完之前。料浆的膨胀不得在浇完之后长时间不起动,或者尚有大量料浆未浇注入模,而模内料浆已开始上涨。

②发气时,料浆膨胀平稳,模内各部分料浆上涨速度基本均匀一致。

③气泡大小适当,模具各部分各层次料浆中的气泡大小均匀,形状良好。

④发气即将结束时,料浆开始明显变稠,进而达到稠化和及时凝固,使料浆能够保持良好的气孔结构。

⑤料浆凝固后,发气反应及料浆膨胀结束,并能保持体积的稳定。

#### (2) 发气过程的相关工艺参数

料浆的稠化速度与铝粉的发气速度应互相适应和协调一致。

如图 5-6 所示,当铝粉开始进行发气反应时,料浆的稠度(以料浆的极限剪应力表示)处于最低值,随着发气过程继续进行,料浆极限剪应力逐步增加,直到铝粉大量发气阶段结

束之前仍保持较低值；当铝粉大部分气体发出之后，料浆应进入加速稠化期，当铝粉发气基本结束时，料浆应当达到稠化点，并开始进入凝结阶段。例如，对水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土来说，在比较理想的状况下，铝粉发气在料浆浇注接近完毕时就已开始，料浆浇注结束后即开始膨胀，料浆平面平稳上升，此时料浆极限剪应力很小，料浆保持着良好的流动性，发气激烈进行，料浆迅速膨胀，在 2~10min 内达到最大，12min 后，发气趋缓，而稠化加速，约在 20min 时料浆达到稠化点，此时，料浆将表现出明显的塑性，用细铁丝划痕时，料浆表面能留下清晰的划沟。此后，尽管铝粉尚有微量余气产生，但料浆极限剪应力值已经足以阻止其自由膨胀，少量气体只起进一步充实气泡结构、增强气泡内压力、增强气孔结构的支撑力的作用。其它品种加气混凝土，因具体工艺条件不同，这种相互适应的关系在图形上可能有所不同，但发气与稠化相互适应的要求是相同的。如果料浆的发气与稠化相互适应，浇注成型过程就是稳定的，否则，就不稳定。

## 2 浇注过程的不稳定现象

浇注过程中的不稳定现象，在不同的加气混凝土品种和不同的具体情况下，有各种不同的表现，归纳起来，主要有以下几种。

### (1) 发气过快

所谓发气过快是指铝粉发气反应过早，或速度过快。例如，铝粉发气反应不在料浆浇注即将完毕时，而是提前在浇注过程之中，甚至提前到搅挫过程中。这样，就造成一边浇注，一边发气，气泡结构受到很大破坏，甚至使浇注失败。发气速度过快与发气过早相关，但主要表现为铝粉的反应速度。当发气速度过快时，料浆将迅猛上涨，往往造成料浆稠化滞后而发生冒泡、沸腾等不良现象。

### (2) 发气过慢

发气过慢现象基本上与发气过快的情况相反，即往往发生料浆膨胀困难，发不到应有的高度或有其他破坏现象。

### (3) 冒泡

这种现象通常发生在料浆膨胀到一定高度或发气基本结束之后，料浆表面出现浮出的气泡或是在表层料浆下鼓起气泡，随后气泡爆裂，气体散失。冒泡轻微时，只是模具中个别角落或部分区域发生，严重时可以形成整个模具中普遍冒泡的局面。冒泡现象可能不一定给浇注成败造成决定的影响，但必然影响料浆内部的气泡结构。冒泡严重时，由于大量气体散失，往往会造成坯体的收缩下沉，甚至使坯体报废。

### (4) 沸腾

这是由于气泡结构不稳定而形成的全面破坏现象，很象水在锅内沸腾一样。沸腾现象通常都有一个渐变的发展过程，一开始可能只是局部冒泡，甚至只是个别角落或部位少量冒泡，然后逐步发展，冒泡点不但不能停止，反而迅速扩展，最终形成整个料浆气泡迅速破坏（塌模）的连锁反应。

沸腾现象可能产生在发气基本结束之后，也可能产生在发气过程之中或发气初期，少数情况产生在料浆稠化之后。沸腾现象在使用水泥作单一钙质材料的水泥—矿渣—砂加气混凝土中产生的频率比其它加气混凝土中高些。体积密度低的加气混凝土比体积密度高的加气混凝土容易产生。

产生沸腾的料浆不能形成正常的坯体，因此是完全的破坏。

#### (5) 发气不均

产生这种现象时，料浆表面各部分上涨速度不一致，料浆不是平稳上升，而是某些部分因发气量大于其它部分而上涌外翻。也有上下层发气不均匀及气孔大小不合要求。这种现象往往使坯体产生层次或疏密不同的气孔结构，严重时会造成塌模破坏。

#### (6) 料浆稠化过快

料浆稠化过快一般指料浆稠化大大超前于铝粉发气结束的时间，因而对铝粉的发气和料浆顺利膨胀造成障碍。这种现象表现坯体竖立地“长出”模框，表示料浆已失去良好的流动性。在生产中，常见的现象是憋气、发不满模，甚至料浆表面出现裂缝，同时伴随放气现象。稠化过快情况严重时，也会导致坯体的破坏、浇注失败。

#### (7) 料浆稠化过慢

料浆稠化过慢是指稠化大大滞后于铝粉发气结束时间。稠化慢的料浆虽然发气舒畅，但保气能力差，而且容易形成气泡偏大，料浆超常膨胀，有时还会造成料浆发满模具之后向模外溢出，这种料浆形成的气泡结构也不够稳定，容易冒泡、沸腾和塌模。

#### (8) 收缩下沉

这是发气膨胀结束后料浆出现的不稳定现象。“收缩”指坯体横向尺寸的减小，坯体与模框之间形成收缩缝。“下沉”指料浆从原来膨胀高度下降。收缩下沉由多种原因引起，但总的后果都是气孔结构受到不同程度的破坏，这必然影响到制品的性能。在生产板材时，还将导致混凝土与钢筋粘着力（握裹力）减弱，对板材的结构性能带来不利影响。收缩下沉严重时，将直接造成浇注失败而成为废品。

#### (9) 塌模

塌模是浇注完成后，料浆在发气膨胀过程中出现的一种彻底破坏的现象。多数是因料浆冒泡导致沸腾而塌模，有时是料浆在发气结束后，由于模内某一局部的不稳定，出现气孔破坏，初凝的料浆严重下沉，并牵动其余部位的料浆也失去平衡而依次逐渐形成不同程度的破坏，因而有时会出现塌牛模的情况。

塌模的原因也是多方面的，但结果都使浇注完全失败。

### 三 影响浇注稳定性的因素

加气混凝土的发气过程是由于铝粉在碱性溶液中的化学反应，而且这个反应是在具有流变特性的加气混凝土料浆的特定环境中进行的。铝粉的发气反应表现为料浆体积的膨胀，而料浆自身弹—粘—塑性特性的变化在宏观上就表现为料浆的逐步稠化和凝结。这两个随时间而变化的过程同存于一个体系中，若相互谐调一致，发气过程就稳定。因此，影响这两个过程的因素也必然影响到浇注过程的稳定。为了分析浇注过程的稳定性，必须首先了解影响上述两个过程的主要因素。

#### 1 影响发气速度的因素

##### (1) 铝粉的发气特征

用于加气混凝土的发气铝粉或铝粉膏，由于生产工艺和质量控制上的差别，各生产厂的产品，甚至同一工厂不同批次的产品总不会完全相同。因而，铝粉或铝膏在使用中表现出来的实际发气特性曲线就会有不同的形状，并与料浆的极限剪切应力曲线形成不同的对应关



系。如图 5—7 所示。在 (a) 图情况下, 铝粉发气速度基本上在工艺要求的范围内, 料浆膨胀速率落在图中阴影面范围内, 在这种情况下, 在铝粉大量发气期间, 料浆极限剪应力保持较低值, 发气舒畅。在 (b) 的情况下, 铝粉发气的前期虽然也有短暂的集中发气时间, 但随后变得缓慢, 有较多的铝粉留在料浆接近稠化时才发气, 在这种情况下, 后期发气过程受阻, 可能发生憋气和冒泡现象, 浇注不够稳定。在图 (c) 的情况下, 铝粉发气更不集中, 发气曲线平缓上升, 大量的气体在料浆稠化后发出。在这种情况下, 料浆膨胀迟缓, 后期憋气严重, 甚至料浆不能正常膨胀, 在料浆内部气泡穿孔合并, 冒泡甚至下沉。出现以上现象, 主要是铝粉颗粒组成不良, 虽有部分细颗粒, 但偏大粒子较多, 或者混有某些活性低的颗粒。如果铝粉过细, 则其发气时间将大大提前, 在此情况下, 如果料浆太稀, 保气能力太差, 也可能发生严重冒泡, 甚至沸腾。在某些情况下, 可能在搅拌机内出现大量发气的现象, 其浇注稳定性就会受到更大的影响。

#### (2) 料浆温度

铝粉的发气反应速度与温度有密切的关系。温度高, 反应进行得快, 在较高的温度下, 介质溶液对反应物和反应产物的溶解速度和溶解度相应增大, 这无疑将有利于反应的进行。铝粉发气反应速度与温度的关系, 可由实验测定, 温度越高, 反应开始时间越早, 反应速度越快, 反应结束时间越早。相反, 则反应进行迟缓, 时间拖长。由此可见, 通过改变料浆温度, 可以在一定程度上协调发气和稠化过程。当然, 这只能是在一定范围之内, 而不可能无限地调节, 正象料浆稠化速度的调节不可能无限制的适应发气速度一样。如果为了适应稠化快的料浆, 而过多地提高温度, 例如将料浆温度提高到  $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ , 这在大多数情况下恐怕在搅拌中就发气了, 另外也必然会促使料浆更快稠化, 效果将适得其反。

#### (3) 搅拌时间

搅拌铝粉的时间主要从两个方面影响发气速度及其与料浆稠化的协调性。一方面是铝粉投入料浆的时机; 另一方面是铝粉在料浆中所需搅拌时间。前者主要是从调控铝粉与碱溶液接触的时间来调节铝粉开始发气的时机; 后者主要是从铝粉搅拌时间的长短来调控铝粉的发气速度。为了使铝粉发气能在适当的稠度条件下进行, 显然应当选择一个适当的时机。过早, 料浆太稀; 过晚, 料浆太稠, 对铝粉发气和料浆膨胀都不利。

#### (4) 碱浓度

料浆中的碱浓度越高, 铝粉反应越快。铝粉在碳酸钠溶液中的发气速度比在石灰溶液中快。当溶液中加入氢氧化钠时, 铝粉的反应速度将大大加速。因此, 有的工厂常常备用一些氢氧化钠溶液来调节发气速度。

#### (5) 石灰

在以石灰为主要钙质材料, 石灰消解生成了  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 因此, 石灰中  $\text{A}-\text{CaO}$  含量的多少及消解温度, 直接影响发气速度。所以, 以石灰为钙质材料时一般不加碱液。

#### (6) 水泥品种

水泥的水化速度及水化热影响铝粉发气。如果水泥中含有较多的铬酸盐, 它会使铝粉表面氧化, 使发气反应变得迟钝。但在石灰用量较大时, 水泥的影响很小。

#### (7) 石膏

石膏会显著延缓铝粉的发气过程，根据北京加气混凝土厂的实验，在水泥—石灰—砂加气混凝土中，当石膏用量是铝粉重量的3倍左右时，铝粉的发气速度将延长5~8倍。若石膏用量更多时，铝粉的发气还将受到更严重的抑制。当然，这一关系也并不总是成正比关系发展下去。因此，在使用石膏作调节剂的加气混凝土中，石膏用量是否适当，不仅关系到制品性能，而且也影响发气过程。

#### (8) 外加剂

某些外加剂对铝粉发气过程也有不同程度的影响。例如在化学脱脂剂中，平平加在20℃~30℃的水温下可以使铝粉脱脂，获得正常的发气速度，但在40~50℃的水温下，虽然也能脱脂，但同时又使发气速度比正常的情况有所减慢。

水玻璃和某些强氧化剂能够抑制铝粉发气。三乙醇胺和乙二醇等外加剂，在作为石灰消化抑制的同时，还可以起到促进铝粉发气的作用。而减水剂NNO则与此相反。

#### (9) 水料比

加气混凝土料浆的水料比对铝粉发气过程有间接的影响。水料比太小，料浆太稠，其极限剪应力势必偏大，因而气泡不易成长和推动料浆膨胀，发气过程迟缓甚至受阻。水料比太大时，料浆粘度太小，保气性差，气体容易浮升逃逸，已经形成的气泡也容易合并、破裂，因而也对发气过程有不良影响。

## 2 影响料浆稠化速度的因素

### (1) 水泥的品种和用量

当水泥中氧化钙含量(或更确切的是指C<sub>3</sub>S含量)高时，其水化速度快，凝结硬化也快。尤其在以水泥为主要钙质材料的加气混凝土料浆中，水泥的作用更为明显。在使用以石灰为主的混合钙质材料时，水泥对料浆的稠化速度不起主导作用，但水泥用量的增加，在一定程度上可以延缓稠化，而在坯体硬化过程中，能显著提高坯体强度。

相同种类的水泥，甚至相同标号和相似化学成分的水泥，在加气混凝土料浆稠化硬化过程中，效果可能很不相同。因此，生产中还应及时调整。

### (2) 石灰的性能和用量

石灰中所含有效氧化钙的数量和结晶状况决定着石灰的消化温度、消化时间和消化特性曲线。当以石灰为主要钙质材料时，石灰的消化温度、消化时间和消化特性曲线在加气混凝土料浆的稠度、稠化速度和坯体的硬化方面起着重要的作用。

一般的情况下，石灰消化越快，加气混凝土料浆的稠化速度也越快，这是因为石灰消化时吸收了大量的水分并生成氢氧化钙凝胶的缘故。

石灰的消化温度对加气混凝土料浆稠化速度有一定的促进作用。一般来说，消化温度高，使料浆温度也相应提高，可以进一步促进水泥和石灰的水化凝结，料浆稠化必然加速。生产实践证明，使用高温快速灰，料浆稠化过快，浇注稳定性很差。

石灰用量高时，加气混凝土料浆稠度大，稠化也快；用量小，料浆流动性好，稠化也较缓慢。在采取其它措施的情况下，可以有所改变。

生石灰在运输贮存过程中受潮后，一部分生石灰会消化生成消石灰。含有消石灰成分的石灰，在消化温度和速度方面比原来有所减小。人们利用这一现象，采取措施，从控制石灰中消石灰含量入手达到改变石灰消化特性的目的。

### (3) 料浆温度

料浆的初始温度（或称浇注温度）对料浆的稠化速度有重要影响，在使用石灰的各类加气混凝土中，料浆温度不仅对水泥的水化速度产生影响，更重要的是将影响石灰的消化进程。像大多数化学反应一样，温度越高，反应越快。无论是快速灰、中速灰还是慢速灰，其受初始温度影响的规律性基本相同，即温度高，反应快。同一种石灰，在不同的初始温度下，其消化规律也不同，即温度越高，消化时间越短，消化温度越高，而且消化曲线的斜率越大。掌握料浆的初始温度，控制料浆的升温速度和料浆最终达到的最高温度，不仅影响到料浆中各物料的化学反应和料浆稠化过程，还影响到气泡的最终体积。例如当料浆温度由 40℃ 升到 70℃ 时，氢气体积将膨胀 11% 以上，若每模坯体中铝粉发气产生的氢气体积为 2.5m<sup>3</sup> 时，则氢气的总体积将膨胀约 0.274m<sup>3</sup>。如果在整个模具中存在温度不均恒的情况，这种膨胀则可能给已经定形的坯体带来不良的影响。

### (4) 水料比

无论哪种加气混凝土，水料比都会对料浆的稠度和稠化速度产生重要的影响。在一般情况下，水料比小，料浆稠化过程中粘度增长的速度快，达到稠化的时间短；水料比大，料浆粘度增长速度慢，达到稠化的时间长。由于水料比的减小，料浆的碱度及碱度增长速度加强，因此水料比小的料浆其后期发气膨胀速度可能会更快，而水料比大的料浆则为前期膨胀较快。在实际生产中，水料比可能因为操作误差造成波动而偏离原配方规定的值。如果是采用蒸汽在搅拌机内对料浆加热，应注意蒸汽中的含水量和蒸汽冷凝水对料浆含水量的影响。必要时，应将这部分由蒸汽带入的水量从配料中要求的总水量中扣除。

### (5) 石膏

石膏对石灰的消化有抑制作用，因而使加气混凝土料浆稠化时间延长。石膏过多时，有可能影响气泡的稳定，发生冒泡和收缩下沉，甚至料浆不能稠化而发生塌模。

### (6) 其它材料

硅质材料的细度决定料浆需水量。在相同水料比时，硅质材料越细，料浆越稠。某些具有潜在水化活性的硅质材料如粉煤灰等，其细度越高，在料浆被激发时表现出的水化活性越大，料浆越容易因此而加速变稠。而一些外加剂则是通过对石灰等材料的作用，影响料浆的稠化速度。

### (7) 搅拌工艺

搅拌工艺对料浆稠化的影响主要表现在搅拌强度和搅拌时间上。在有限的时间内，能否将加气混凝土料浆充分搅拌均匀，水泥、石灰等胶凝材料能否均匀分布到料浆的每一部分的微小空间，关系到料浆能否均匀地稠化和硬化。搅拌强度还可以对物料起到再分散的作用，防止结团，促进反应，改善料浆流动性。在生产中搅拌强度的差异对料浆均匀性和稳定性有重要影响。

搅拌时间不仅关系到料浆的均一性，而且在一定程度上决定着料浆浇注入模时的初始粘度，从而可以调整料浆稠化速度与铝粉发气速度之间的相互关系。当铝粉发气快，而料浆稠化速度较慢时，可以适当延长搅拌，使料浆稠化过程的起点高一些。反之，则可以适当缩短搅拌，以此降低料浆的初始稠度去适应铝粉发气的需要。

在搅拌强度不够的情况下，可延长搅拌时间的办法来达到搅拌均匀的目的。当产生使料浆过稠的不良后果时，应当首先改善搅拌机的工作状态。有的操作人员无原则地随意减少料浆搅拌时间或者提前加入铝粉，则降低了料浆性能，破坏了气孔结构。

#### (8) 特殊工艺措施的影响

在生产中，根据不同情况可以采取不同的工艺措施以解决某些具体的工艺问题，这些措施可能对料浆的稠度和稠化产生重要的影响。例如使用减水剂、促凝剂可以使料浆增稠，使用硫酸钠可以促进发气并加速料浆稠化，使用氟石膏则可促凝。当使用植物脱脂剂时，其中的某些成分可以起到延缓石灰消化，推迟料浆稠化的作用。有的工厂为了解决石灰消化快的问题，采取分二次加料的方法来消除料浆升温过快和温度过高的现象。在这种情况下，第一批投入的石灰在料浆中消化放出热量，使料浆温度升高、粘度增大，但在连续的搅拌下并不能形成凝聚结构。第二批投入的石灰，应当恰好为工艺要求的料浆初始温度，即当第二批石灰搅拌完成后，料浆温度适合浇注。这种方法浇注的加气混凝土料浆一般都较稠，而且稠化时间早，但相对于一次加料的料浆来说，其稠化过程稍缓些，基本上可以避免速凝。

在水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土中，采用混合湿磨工艺，对改善料浆性能有显著的作用。采用混合湿磨的加气混凝土料浆，在发气初期的 30~40min 内，粘度增长缓慢，从而发气顺畅，并且料浆悬浮性能好，无泌水现象，稠化较快，能够较好地与铝粉发气过程相配合。坯体塑性强度发展也比较快，但也不是掺得越多越好。目前，加气混凝土行业中，采用高钙粉煤灰的较多，其生产特性类似于混合湿磨。

### 四 加气混凝土浇注不稳定现象分析

加气混凝土料浆在浇注过程中的不稳定性问题是一种比较复杂多变的现象。它在不同品种的加气混凝土中既有共同之处，又有不同之处。

#### 1 水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土的浇注稳定性

浇注时最理想的情况是发气和稠化同时结束，即稠化正好出现在没有体积膨胀的瞬间，但原材料中石灰、水泥和铝粉在与水反应过程中都发热，它们的成分与掺量的变化都会影响料浆的升温速度和温度的绝对值，都会影响热膨胀值的大小，其中，尤以石灰的影响更为显著。因此，稠化和体积膨胀完全同步是有困难的。一般铝粉发气应在料浆体积可以自由变化的状态下进行，铝粉发气完成后，料浆还允许自由膨胀一点，这就是要求的操作控制点。料浆浇注的不稳定现象，均由于此点控制不好而产生。

##### (1) 塌模及其控制

①前期塌模 前期塌模即发生在料浆发气过程前期的塌模，一般指浇注 15min 以内，在高膨胀阶段的塌模。通常由下列原因引起：

- a. 水料比大，料浆粘度增长缓慢，气泡极易汇集成大气泡并上浮；
- b. 铝粉颗粒太细，覆盖面积大于  $6000\text{cm}^2/\text{g}$ ，早期发气太快；
- c. 料浆温度太低，生石灰消化温度较低。

解决办法主要围绕提高料浆的粘度、抑制铝粉发气及采用稳泡措施进行，其途径有：

- a. 检查粉煤灰采灰点，避免使用存放时间久、出现板结的粉煤灰；
- b. 检查粉煤灰的磨细效果，保证粉煤灰细度；
- c. 在条件许可的情况下适当加入部分石灰湿磨；

- d. 粉煤灰浆中掺入一定量的废料浆（掺入时间尽量提前）；
- e. 适当减小水料比，促使粘度迅速增长；
- f. 加入适量水玻璃，延缓铝粉发气；
- g. 加入一定量的可溶油等气泡稳定剂；
- h. 配料中适当增加石灰掺量；
- i. 延长料浆的搅拌时间。

②后期塌模 后期塌模即发生在料浆接近稠化时，局部发生冒泡、沉陷而引起的塌模，一般发生在 15min 之后。后期塌模常因石灰性能波动或石灰消化速度过快引起。

当采用消化速度过快，消化温度过高的石灰，由于料浆温度在模内高度方向变化大，顶部散热快，温度最低；底部散热次之，温度较低；中部不易散热，温度最高。这样气孔压力、压力梯度、极限剪应力沿模高方向都不均匀，中部极限剪应力最大，发气就容易被抑制，欲向极限剪应力较小的地方伸展产生纵向裂缝。顶部极限剪应力最小，发气最舒畅，但当某一局部由于继续发气或气体压力的传递，亦会在顶部拉断料浆表面而形成冒泡及塌模，其解决的主要途径有：

- a. 抑制生石灰的消化速度（参见“原材料制备·生石灰”）、配料中适当增加石膏，并可考虑适量加入三乙醇胺等；
- b. 将部分生石灰提前消化，延长石灰存放时间；
- c. 调整配合比，适当减少石灰用量，增加水泥用量；
- d. 不要使用过粗的铝粉（盖面积小于 4000cm<sup>2</sup>/g）或适当减小铝粉用量；
- e. 适当降低浇注温度。

#### （2）冒泡程度的控制

冒泡一般发生在料浆稠化之后，此时料浆已形成坯体，并不发生体积变形。冒泡是由热膨胀而引起的。当坯体中部温度高，气体压力大时，将产生膨胀力。由于坯体顶部温度低，料浆塑性强度低，就有可能在顶面的薄弱部位造成破裂，排除部分气体而使坯体内部膨胀力减小，这就是冒泡。

掺有生石灰的加气混凝土，在水料比较大、铝粉发气时间较长、坯体温度升高缓慢的条件下，在料浆稠化后，经常是不冒泡而保持了浇注稳定。在水料比较小、铝粉发气时间较短时，在料浆稠化后将出现冒泡，但不一定是破坏因素，而往往是属于正常现象，正常的冒泡在生产中被看作是发气结束的一个标志，是发生在离坯体顶部 3cm 的深度范围内（此范围正好属面包头而将被切掉），其特征是冒泡时一次放出的气体量较大，但不连续，有时是脱泡（将坯体表面冲开一片，冒出气体，而后又重新盖合坯体表面，坯体没有因此而下沉）。深入制品内部形成大孔的冒泡是不允许的，但陪模壁的冒泡（在制品外表面下的气泡痕迹）难以避免。

当坯体表面塑性强度较大，虽然坯体内部有一定的膨胀力，却不能在坯体顶面造成裂缝，气体无法排除，我们称之为憋气。（当发气后期出现面包头竖起时，往往伴随憋气现象）这时，膨胀力继续要求坯体体积膨胀，但却因塑性强度高而不能膨胀，又不能在顶部排除气体，往往在坯体上部形成水平裂缝，这将对坯体产生破坏。



因此，粉煤灰加气混凝土出现适量的冒泡，有利于获得良好的坯体，但冒泡量过多易于坯体中因料浆下沉而出现密实部分或出现深层孔洞，对坯体形成破坏。

消除因憋气引起的水平裂缝，首先应该使坯体出现冒泡，增加热膨胀值。为此，可以用多掺生石灰、提高料浆温度，或用消化温度较高的生石灰来提高坯体温度升高值，也可适当加大水料比，降低顶面坯体的塑性强度。

出现严重冒泡时，应适当减少石灰用量或适当降低料浆的浇注温度；用降低坯体温升来减少热膨胀值；严重的冒泡还可能由于环境温度太低，顶面坯体塑性强度太低而引起，考虑以适当的措施来保证环境的温度。

### （3）泌水

泌水是指料浆在浇注后期（一般将满模时），在模具四角及边沿，因料浆与混合水的分离而出现一层不含物料的清水，这种现象主要是由于粉煤灰过粗、料浆保水性能差，而石灰中生烧成分较多，造成料浆温度偏低，坯体稠化硬化较慢，使料浆满模后仍未稠化，粗物料下沉而引起。出现此现象，轻者形成的坯体周边较软，中部较硬，不利于切割；重则极易引起塌模。当出现泌水时，应立即调节配合比，增加胶结料（石灰、水泥）的用量。同时，应调整磨机的粉煤灰出料细度，在有条件的情况下，可以采用粉煤灰与石灰、水泥等胶结料混磨工艺，以改善浇注稳定性。

### （4）坯体龟裂

坯体发气结束后，表面出现不规则裂纹，主要原因是石灰过火成分较多，或与原使用石灰相比，消解温度及  $A \cdot CaO$  含量明显提高，也因为因石灰存放过久及吸湿、发热量较低，从而增加石灰用量所致。

遇有坯体龟裂现象，首先必须检查石灰性能，及时根据石灰性能调节其用量；若发生经常性含有过量过火石灰，则应在工艺上采取相应的措施，如提前部分消解、混磨等；另外，石灰的运输与贮存应严格把握。

### （5）面包头竖起

发气后期，料浆高于模框时不是向模框外漫延，而是垂直向上升起，我们称之为面包头竖起。面包头竖起主要是发气滞后于稠化，也就是稠化后继续发气，这一现象极易造成坯体的破坏，一般可采用增加石膏等延缓石灰的消解或改用中速石灰等办法，使稠化适应发气。

### （6）切割后坯体裂缝及其它破损

坯体在切割时，易造成一定的破坏，较常见的有裂缝及缺棱掉角，其原因主要表现在两方面，其一是坯体强度过低，轻微的震动碰撞或遇剪应力所致。可通过重新选择采灰点，以保证所采粉煤灰存放期较短，活性较好；保证粉煤灰的磨细度；保证水泥的质量及配料量等措施予以改善。其二是机械原因损坏，除切割机的因素，主要原因在于浇注底板不平整（造成原因是起吊时，没使所有吊钩钩牢底板；底板置放不平整等）；底板、小车、模框等设备刚度不够等。可通过加强操作管理及设备维护等予以避免。对于变形和质量过差的设备应有计划进行修理或更换。

## 2 水泥—石灰—砂加气混凝土的浇注稳定性

水泥—石灰—砂加气混凝土浇注稳定性与水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土有相似之处，其主要的影响因素也是原材料性能和工艺方法。但在控制和操作上，又有其特点：生产的主

要原料砂相对于粉煤灰来说，其物理化学性质稳定，因此，在浇注稳定性上一般可看作相对稳定的因素，而石灰与水泥作为主要影响因素。

通常，在水泥—石灰—砂加气混凝土中，钙质材料（水泥和石灰）的总量较高（达配料量的 35%~40%）。因此，石灰及水泥质量的波动，对浇注稳定性有着更显著的作用。特别是如果石灰消化太快，消化放热又高，料浆可能在短时间内（如 5~6min）达到 90℃ 的高温，使料浆失去流动性而稠化，铝粉的发气反应不能完成，出现发气不畅、憋气，造成不满模及气孔不封闭且大小不均匀。严重时可能发生因石灰过高的水化热使气泡再膨胀，产生坯体分层开裂，影响到生产的正常进行。

水泥—石灰—砂加气混凝土中的砂，在浇注静停过程中基本不参加水化反应。坯体强度的形成主要靠石灰与水泥消解产生的凝胶及水泥初凝强度的贡献。其中，凝胶中的  $\text{SiO}_2$  由水泥提供。因此，要获得的良好坯体及合适的静停时间，所采用的水泥必须严格符合要求，水泥的用量也必须得到保证。一些国家为了保证以砂为硅质材料的加气混凝土的质量。常采用砂与石灰的混磨工艺或采用以水泥作为单一钙质材料的生产工艺，虽然生产成本有所增加，但产品的成品率及质量均有较大提高。

### 3 水泥—矿渣—砂加气混凝土的浇注稳定性

水泥—矿渣—砂加气混凝土是我国历史较长的产品，其生产中浇注稳定性的影响因素亦是原材料，水料比等工艺参数。因此，可以通过控制原材料的质量（如水泥、矿渣及铝粉的质量）及生产工艺参数（如配合比、水料比、浇注温度等）进行调节，所不同的是，水泥—矿渣—砂加气混凝土常使用碱性较强碳酸钠作调节剂。因此，铝粉的发气反应是生产中必须经常调节的因素。

通常，在使用了强碱性的碳酸钠时，铝粉发气反应一般都较快，如果工艺条件处理不当，常会发生发气过早的问题。甚至铝粉在搅拌机中便开始反应发气，或边浇注边发气。料浆在模具内互相冲击翻卷，气泡受到很大破坏。发生以上情形，一般采用增加水玻璃用量，减少碱用量或降低料浆温度，更换颗粒较粗的铝粉等办法加以解决。值得提出的是，如此调整，极易使浇注稳定性

## 原材料存储

南方与北方所属地区不同，在生产加气混凝土砌块的砌块厂里能够使用的原材料很多种，原材料不同需用工艺有所不同，工厂在选择原料的时候，关键是看当地的资源条件、生产的产品品种以及工厂的生产、技术、设备条件。生产完整的加气砖的材料可以分为四类：基本原料、发气材料、调节材料和结构料。

### 加气混凝土砖基本材料

加气混凝土砖基本材料是指形成加气混凝土的主体材料。在配料浇注和蒸压养护等工艺过程中，它们将发生一系列物理化学变化，并相互作用，产生以水化硅酸钙为主要成份的新生矿物，从而使加气混凝土具有一定的强度。

基本材料共分两大类。一类是硅质材料，主要成分为  $\text{SiO}_2$ ，如砂、粉煤灰等；另一类是钙质材料，主要成分是  $\text{CaO}$ ，如生石灰、水泥、粒状高炉矿渣等。以上材料构成了我国加气混凝土的三大系列：水泥—石灰—砂系列，水泥—石灰—粉煤灰系列和水泥—矿渣—砂系列。此外，含硅的尾矿粉、煤矸石等也可用来作为原料。

## 一 砂

砂是加气混凝土工业广泛采用的硅质材料，在加气混凝土中的作用主要是提供  $\text{SiO}_2$ 。

自然界中的砂由岩石风化或水流冲击形成，其外观和颗粒状态不尽相同，化学成分和矿物组成也不一样。

砂的主要化学成分是  $\text{SiO}_2$ ，也有少量的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$  等。砂的矿物组分很复杂，有时可达几百种，含量最多的是石英，其次是长石，有时还夹杂着云母、碳酸盐、粘土等。

砂中还含有一定数量的  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$ ，在加气混凝土生产过程中，它们生成可溶性  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和  $\text{K}_2\text{SO}_4$

## 二 粉煤灰

粉煤灰在加气混凝土中的作用主要是提供  $\text{SiO}_2$ 。同时，其中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  也具有较大作用（特别是在浇注以后的静停过程中）。传统上，按照排灰方式的干法和湿法区分，分别称之为干排灰和湿排灰。随着现代燃烧技术的发展，流化床锅炉应用日趋普及，因而，粉煤灰中又有了性质与一般粉煤灰性能迥异的高钙粉煤灰。

大约每燃烧 1t 煤，生成 150~200kg 粉煤灰。全国每年排放的粉煤灰已超过 7000 万吨，占用了大量土地（或山谷）、江河、湖泊。因此，如何利用粉煤灰是我国迫切需要解决的问题。

### 1 粉煤灰的特性

粉煤灰是从煤粉炉烟道气体中收集的粉末。煤中除可燃物外，主要含有粘土质矿物，所以，粉煤灰实际上是粘土质矿物在高温下燃烧后的产物。锅炉中煤粉的燃烧温度高达 1100~1500℃，由于煤粉中的粘土矿物在燃烧过程中生成的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，在 1000℃ 时便成为熔融状。在排出炉外时经急速冷却，因大部分自由分子来不及形成晶体而成为细小的球形颗粒状玻璃体，从而具有良好的活性。

## 三 石灰

石灰是石灰石（主要成分  $\text{CaCO}_3$ ）经高温煅烧，分解释放出  $\text{CO}_2$ ，但尚未达到烧结状态的白色块状物。其主要成分是  $\text{CaO}$ ，其分解反应式如下： $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

$\text{CaCO}_3$  的分解反应是吸热反应，分解 1kg 的  $\text{CaCO}_3$  理论上需要 1780kJ 的热量。 $\text{CaCO}_3$  分解时，按重量约 44% 的  $\text{CO}_2$  逸出，但其体积仅缩小 10~15%。因而石灰具有多孔结构。

## 1 对石灰的要求

### (1) 采用磨细生石灰

在加气混凝土生产中，一般均采用磨细生石灰粉，而不宜使用消石灰。因为生石灰粉消化时，放出大量的热量，促进了水化物凝胶的生成，有利于生产工艺的控制，从而保证了产品质量。而采用消石灰，大大提高了需水量，加之不能提供消化热，从而延缓了坯体的硬化，不利于形成较好的坯体，既增加了工艺控制难度，也降低了产品的质量。

### (2) 消化速度

在加气混凝土生产中，石灰的消化速度对加气混凝土的浇注稳定性具有较大影响。加气混凝土料浆在浇注后的初期，铝粉大量发气，料浆缓慢稠化，保持足够的流动性，使发气顺畅，并形成良好的气孔结构。而一旦发气结束，料浆应迅速稠化，稳住气泡，同时支撑住浆体，以形成一定强度的坯体。这就要求以石灰来保证料浆稠化速度与铝粉发气速度的相互适应，一般来说，生产加气混凝土的石灰以 9~15min 的速度为好。

## 四 水泥

水泥是一种广泛使用的水硬性胶凝材料，品种很多，适用于加气混凝土的是硅酸盐水泥。按国家标准，硅酸盐水泥分为五个品种，即：硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。加气混凝土使用较多的是 425 普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥。

## 五 粒状高炉矿渣

在炼铁过程中，从高炉内排出的熔融状态的废渣液，经水淬急速冷却成为松散多孔的细小玻璃态颗粒，叫粒状高炉矿渣，俗称水淬矿渣或水渣，是一种良好的活性材料。随着工业技术的发展，水渣目前已被水泥工业大量作为活性混合材。在加气混凝土行业，前苏联使用比较广泛，而在我国，目前只有少数工厂仍在使用的。

加气混凝土的原料绝大多数要进行加工制备，以符合工艺要求，通过加工制备，使物料改变物理形态，改善物理化学性能以及便于计量与输送。

粉煤灰的脱水浓缩是针对湿排粉煤灰进行的。湿排粉煤灰从排灰源用高压水经排灰管道排入灰池时，按设备条件，排入的粉煤灰悬浮液浓度通常只有 2.5~5%，即水和灰的液固比高达 40:1~20:1。因此，必须把过多的水分除掉才能投入使用。一般对脱水程度要求能达到以下两点：

(1) 脱水后的粉煤灰料浆浓度一般不低于 50%，按配方要求粉煤灰的用量来确定其允许含水率。

(2) 脱水浓缩的粉煤灰浆要便于输送和贮存。

通常，采用的脱水方法有自然沉降、自然沉降加真空脱水和机械脱水三种。

### 1 自然沉降

自然沉降是一种比较原始的脱水方式，基本不需要设备投入，但脱水时间较长，占地面积较大。通常是砌筑连在一起的几个贮浆池，轮流注满粉煤灰悬浮液，使表层的水溢出，并经一定时间沉淀后，用人工或机械挖取。自然沉降脱水后的粉煤灰含水率由气候条件决定，一般能满足生产要求。

## 2 自然沉降加真空脱水

在专用的沉降池中，沉降池底部设真空排管。当灰水排入池中后，先以自然沉降从溢流口排出清水，溢流水排完后，开动真空泵将沉积在池底部粉煤灰浆中的游离水吸去，脱水的粉煤灰含水率约为 30% 左右，可采用机械挖取及皮带输送机输送。

## 3 机械脱水

机械脱水也可分为两种，一种是真空脱水机械，是以旋转的筒体，粉煤灰悬浮液喷淋于筒体外表，并从筒体中部以真空泵抽吸脱水，脱水后的粉煤灰含水量较低。若采用湿磨，乃需加水。而采用干磨则需进行烘干，考虑到设备投入较高，一般加气混凝土生产中不采用此法脱水。

为了使用方便和灰浆浓度更为稳定，在有条件的情况下，可将排灰管直接接至厂内，在厂内有限的地方，以较快的方法处理浓度很小的大量粉煤灰悬浮液，实现连续、快速、高效率地使粉煤灰悬浮液得到浓缩，通常采用耙式浓缩机脱水浓缩。

由耙式浓缩机为核心设备的脱水生产线由进灰管、灰渣分离振动筛、排渣胶带输送机、耙式浓缩机、浓浆搅拌罐、砂浆泵、贮浆罐等设备组成。灰水经振动筛去渣后引入浓缩池，在池内自然沉降到池底，清水由上边溢流口排出，池底粉煤灰通过浓缩机的钢耙收集到底部中心卸料口，经管道排入搅拌罐。这时的粉煤灰为较浓的浆状，在搅拌罐内的灰浆调整到适当浓度后用砂浆泵输送到贮浆罐备用。

机械脱水可使粉煤灰浆浓度达到 53~56%。其浓缩脱水的速度由进灰、排灰速度及钢耙转速决定，而钢耙转速取决于粉煤灰的细度。粉煤灰细，沉降速度慢，容易被搅动泛起，则钢耙速度应慢些；反之粉煤灰粗则可快些，排浆次数也可快些。根据我国一些厂的经验，钢耙转速通常在 4~8m/min。

使用浓缩池应当注意以下几个方面：

(1) 灰水放入池后应适时启动耙灰机。启动过早不利于粉煤灰沉降；启动过晚，则容易发生“压耙”事故。

(2) 脱水过程中，新的灰水输入时，应避免向池中直接冲卸，以免把已经沉降的粉煤灰重新搅动泛起，最好在沉降池前设一溜槽，使灰水平缓流入池内。

(3) 沉降池应设紧急排浆口，以便在必要时将不合要求的灰水排出。

(4) 在突然停电或发生机械故障时，应用高压水冲排池底的积灰，以免因静置时间过长而结池。

浓缩后的粉煤灰浆，均要测定其含水量，是以干燥前后的重量来确定其含水率，但费时较长，不便于控制使用。比较方便的是通过测定粉煤灰浆的比重来换算出含水率，此法在控制球磨机出料速度也同样快捷方便。方法是，先称取一定体积（500ml）的粉煤灰浆，换算其比重，然后烘干称量干灰重量，计算浓度；重复以上步骤，建立粉煤灰浆比重与浓度对应关系，列出不同比重时对应浓度关系表以被查用。需要注意的是，此法是建立在粉煤灰比重



不变的条件下的，也就是说，适用于某一种粉煤灰。当粉煤灰出现变化时，此表也应相应修正。

## 块状物料的破碎和磨细

为了使物料符合工艺要求，一般钙质材料与硅质材料都要经过磨细，而有些块状物料进入磨机前，还必须首先进行破碎，以达到要求的进料粒度。

### 一 破碎

块状物料如生石灰和天然石膏等，在进行磨细之前必须破碎到适合磨机要求的进料粒度。常用的破碎机械有多种，加气混凝土行业主要使用颚式破碎机和锤式破碎机。选择破碎机主要根据物料的品种，出料粒度与产量，同时参考设备的投入与维修。

在加气混凝土工厂中，块状物料的破碎量小而简单，常采用单独一台（种）破碎机进行；破碎点也是生产线的主要扬尘点，应注意防尘及安全工作。

破碎机的进料口，常被用于物料的第一次均化，操作人员应树立工艺质量观念，严格按工艺操作规程进行操作。破碎后的粒状物料，通过输送设备送至磨头仓，磨头仓的作用一是储备物料，保证粉磨的连续进行，二是对物料进行第二次均化。

### 二 磨细的作用

对粒状物料进行磨细是加气混凝土生产工艺的主要环节之一。磨细一般分干磨、湿磨、干混磨及湿混磨四种。磨细对从浇注成型到制品的最终性能都有着重要的影响。

1 磨细可以极大地提高物料的比表面积，增强物料参加化学反应的能力。

2 磨细使物料颗粒变小，也打破了如粉煤灰的团粒，产生了许多新的表面，处于新表面的石英晶体被研磨扭曲晶格，变得不完整或无定形化，提高了溶解速度；粉煤灰、矿渣颗粒熔融物坚硬的外壳，也因磨细被打破，有利于玻璃体的无定型硅的溶解；从而促进了  $\text{SiO}_2$  与  $\text{CaO}$  的反应，起到了激发某些物料内能的作用（如粉煤灰、矿渣），使得这些材料的活性得以充分发挥。

3 经磨细的物料，单颗粒的体积和重量大大降低，减缓了物料的沉降分离速度，为料浆的稳定创造了条件。

4 磨细的料浆具有较好的保水性及部分成分的溶解而提高的粘度，可以使料浆具有适当的稠度和流动性，给发气膨胀创造了良好的条件。

5 适当细度的物料，有利于料浆保持适当的稠化速度，有利于形成良好的气孔结构及提高坯体强度加快硬化速度，以适应切割。

6 当两种以上物料（包括钙质材料和硅质材料）同时进行磨细，可以提高材料的均匀性，并使其进行初步反应，特别水热球磨，能产生 C—S—H 凝胶，对料浆及制品均有利。

### 三 材料的磨细

磨细的流程主要是由磨头仓、喂料机、磨机及料仓（料罐）等组成，中间以溜管、螺旋输送机、斗式提升机、气力输送装置及输送泵等联接。根据不同的磨细形式及材料，装置不同的设备，加气混凝土生产一般选球磨机作磨细设备。球磨机由一个圆形筒体、两个端盖、端盖的轴颈支承轴承和装在筒体上的齿轮组成。

根据需要，可在筒体的进料端加装给料器。在出料端加装圆筒料筛，筒体内装入一定量的适当规格的研磨体（钢球和钢段）和被磨物料，通常其总装入量为筒体有效容积的 25~45%，当电动机通过齿轮带动筒体转动时，磨内研磨体和物料在摩擦力和离心力的作用下被带动作相应的弧形运动。当磨机转速达到工作速度时，钢球通过衬板被带到筒体的上部，在接近顶端的位置，由上向下抛落或泻落，从而对下部物料进行冲击；而钢段则主要作翻滚运动，从而对物料进行研磨。钢球的冲击，以破碎大颗粒为主，钢段的研磨是以磨细较小的颗粒为主。球磨机就是通过这不断的冲击和研磨，实现对物料的磨细。磨细的物料通过磨机出料端的格子板，扬料板和轴颈内的出料螺旋卸出料罩的圆筒筛内过筛卸出。

### 1 干磨

加气混凝土原材料采用干磨，主要是石灰单一干磨、石灰和石膏的混磨、石灰和粉煤灰（或砂）的混石灰的单独磨细是加气混凝土工厂最常见的粉磨方式。其过程是块状石灰经破碎以后进入磨头仓，由磨头仓经给料机送入球磨机。石灰的硬度并不高，但相对于其它原材料，却有其特殊性。即石灰在磨细过程中易吸湿而引起糊磨，使磨机效率降低。通常，在磨细的过程中需要加入适量的助磨剂，用得比较多的是三乙醇胺，其方法是在喂料器出料口设一自流滴管，控制一定的速度滴加。三乙醇胺的加入量一般控制在 0.16%~0.3%之间。

采用三乙醇胺助磨剂，除了提高粉磨效率，消除糊磨现象外，还能有效延缓石灰的消化速度（但作延缓剂时，还需适当增加用量），这对使用的快速石灰，是一个很好的调节手段。另外，在石灰的 A—CaO 含量较高，消化温度较高的石灰，也可掺入大约 5% 的炉渣来助磨，也能起到提高效率，调节消化速度的作用。

在规模较小的企业，石膏不是采用单独一台磨机进行粉磨，通常是按配比掺入石灰混磨或与石灰轮换使用同一台磨机磨细。前者石膏还能起到助磨作用，两种物料混合更加均匀，有利于石膏发挥调节石灰消化速度和促进水化产物生成的作用，但是，因石膏已掺入石灰，比例已固定，若生产中需单独调整石灰或石膏的比例时，都将带入另一物料。因而，减少的生产中调节的机会；后一种形式在粉磨后分别送入不同的配料仓，配料时，石灰、石膏仍单独计量配料，但在轮换粉磨物料时，仍然使石灰里掺有一定的石膏或石膏里混有部分石灰，而且，主要集中在轮换的开始阶段，石膏中掺入石灰对浇注的影响较小，但石灰中混有石膏，对浇注的影响就此较大。因此，配料时更应注意。

粉煤灰与砂的干磨，在控制上比石灰方便。有些工艺也采用混磨胶结料，如干粉煤灰中掺入石灰和石膏、水泥；或砂中掺入部分石灰、水泥等，具有提高粉磨效率、使物料充分混合的优点。

干磨的质量控制主要是检测物料的细度。一般都是以测定物料的筛余量来实现。

### 2 湿磨

湿磨，故名思意就是湿法磨细（主要针对硅质材料）。在工艺上基本与干磨相同，所采用的磨机也相似，所不同的贮存改用罐，而输送改用泵。

当所采用的硅质材料含有较多的水份时，可采用湿磨工艺来制浆，从而避免了湿物料的烘干工艺及烘干过程的能源消耗。湿磨也能大大降低生产场地的粉尘污染，提高生产效率。通常，湿磨是在磨机喂料口加水，加水量直接影响磨机出浆的浓度及物料的细度。加水量大，则出料速度快，而细度较粗；加水量小，出料慢，出料细度小，但也往往造成糊磨或出料堵塞。因此，各厂都应根据各自的原料，掌握各自合适的加水量。一般，以控制出料的比重较为方便（参见第一节），既可控制浆体浓度，也能控制细度。

硅质材料磨细后的贮浆罐通常设置于两个以上，不仅有贮存作用，以保证配料的连续进行，更是磨细的质量控制点，以控制细度和调节浓度，同时，浆体的贮存过程，也能改善其自身的某些性能（特别是粉煤灰）。如悬浮性，因为贮存有利于粉煤灰玻璃体的溶解，提高浆体的粘度，从而改善其悬浮性能，有利于提高浇注稳定性。

为了改善硅质材料浆体的悬浮性，近几年来，我国科技人员结合国情，开创出水热球磨工艺，这是将部分石灰等提前与硅质材料一同加水湿磨，提供了一个石灰预先消化并与硅质材料初步反应的机会。水泥—石灰—砂加气混凝土的水热球磨是投入磨细的是全部的砂子、石膏，掺入配比中 5% 的石灰（约占石灰用量的 25%）；水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土的水热球磨是全部粉煤灰和石膏，掺入配比中 5~10% 的石灰（约占石灰用量的 20~30%）。

## 液体物料及铝粉悬浮液的制备

### 一 纯碱溶液的配制

纯碱和硼砂系固体粉末，在水中溶解较慢（尤其是硼砂），因此，必须事先配成溶液才能满足配料浇注的要求。

碱溶液的浓度不宜太高和太低，浓度太高，在贮存和输送过程中，纯碱和硼砂容易结晶析出，使管道和阀门堵塞；浓度太低，使配碱和贮存容器体积增大，同时还要增加配制碱溶液的操作次数。根据北京加气混凝土厂的情况和经验，碱溶液浓度在 35~40% 比较适宜。

碱溶液的温度根据碱溶液的浓度和贮存条件而定。当碱溶液浓度定为 40% 时，其温度最好保持在 60~80℃，低于此温度时，由于纯碱和硼砂的溶解降低，溶解速度减慢，配制搅拌时间要加长，另外，配好的溶液也容易结晶析出，对生产使用不利。一般要求能在 80℃ 以上，此时溶液浓度比较稳定。

### 二 可溶油的配制

将 40~50℃ 的热水加入可溶油搅拌机（容积为 0.2m<sup>3</sup>，转速 80r/min，电机功率 0.2kW）内，开动搅拌机；加入三乙醇胺和油酸，继续搅拌，直到油酸全部溶解为止。注意，用凉水配制时，需要多搅些时间并最好在开始时少加些水，等搅开后再补齐。

### 三 铝粉悬浮液的配制

目前，加气混凝土行业大多数企业已采用铝粉膏作为发气剂，但也不排除以铝粉为发气剂。通常，若采用铝粉时，均以脱脂剂进行脱脂，而不使用烘烤法脱脂，以保证生产的安全。

### 1 铝粉的脱脂

#### (1) 以拉开粉（二丁奈酸钠）作脱脂剂

将拉开粉用 50℃ 左右的热热水稀释溶解。拉开粉与水的重量比为 1:500。使用时把拉开粉溶液计量注入铝粉脱脂搅拌机内，然后加入经计量的铝粉，搅拌至铝粉悬浮在水中即可使用。1g 拉开粉可处理铝粉 25g。

#### (2) 以 SP 型稳泡脱脂剂处理铝粉

用温度为 50~60℃ 的热热水浸泡稳泡剂干粉 8 小时，配制重量比为干粉:水=1:20。使用时把溶液搅匀，取溶液连同渣滓一起加入铝粉脱脂搅拌机中即可。

1gSP 干粉可处理铝粉 1g。

#### (3) 以净洗剂 7102 作脱脂剂

将净洗剂计量后倒入桶内，放自来水使液面到达预定的高度，搅拌使溶液均匀。溶液浓度为 1%。使用时先在铝粉搅拌机内放适量温水，水温约 40℃。然后计量净洗剂溶液并倒入搅拌机，在搅拌的情况下放入计量好的铝粉并继续搅拌至形成悬浮液即可。

1g 净洗剂可处理 100~150g 铝粉。

#### (4) 以皂素粉为脱脂剂

先计量皂素粉，然后将其倒入已经放有适量自来水的铝粉搅拌机中，搅拌约 1 分钟。将计量好的铝粉倒入搅拌机，搅拌至铝粉悬浮于水中为止。

1g 皂素粉约可处理铝粉 1~1.5g。

除以上工艺而外，还可以用平平加，石蜡皂，天然皂素植物和洗衣粉等处理铝粉，因平平加，石蜡皂已基本不用，天然植物类使用很少，洗衣粉等使用时可以直接加入水中，因而本节不再详述。

必须提及的是，如皂素粉等起泡力较强的材料，在使用时应注意不要过分搅拌，以免泡沫过多溢出搅拌机。处理铝粉的水温虽然对脱脂有一定帮助，但水温过高（比如 60℃ 以上），可能会促成脱脂铝粉表面的氧化而造成发气迟缓，严重时可能发生不发气现象。另外，处理好的铝粉悬浮液最好及时使用，不要长时间贮存，以免影响发气和浇注的稳定。

### 2 铝粉膏制备悬浮液

通常，铝粉膏不用脱脂，且目前市场提供的铝粉膏多为亲水性的，水分散性较好，可直接投入搅拌机。但为了使铝粉能迅速与料浆混合均匀，并改善浆体的稳定性，在实际使用中，还是将其制成悬浮液。其方法是将 1500g 铝粉膏（大约一模用量）与 500s 普通洗衣粉溶入 6~8l，50℃ 左右的温水中，经搅拌即可。

加气混凝土的生产，经过了浇注工艺后，料浆经发气、稠化、初凝等一系列物理化学变化形成了坯体，坯体在一定温度的条件下，继续完成其硬化过程，以达到切割所需的强度要求，这一过程为静停。切割是对加气混凝土坯体进行外形加工的重要工序，是加气混凝土制品实现几乎任意的尺寸的必要手段。

静停和切割在生产过程中是密不可分的两个工序。静停质量的好坏，不仅关系到前道工序浇注成型目标的实现，更影响到下道工序切割的成败，而切割则是加气混凝土制品达到外形尺寸的必然步骤。

## 坯体的静停

坯体静停，从定义来讲，是料浆浇注、发气、稠化及初凝以后的继续硬化，直至可以切割的阶段。但从生产特点来讲，则从料浆浇注入模便开始了静停。一般，我们将浇注以后至发气结束的这一过程称为发气和稠化过程，而将发气结束至坯体硬化，适合切割的过程称为静停过程。

### 一 静停的作用

发气稠化过程，是加气混凝土坯体形成的过程。以形成良好的孔结构来达到浇注的目的。该过程主要决定于原材料性质及浇注控制的工艺参数等，环境条件相对比较次要。

静停过程没有多少操作和控制，只是坯体内部仍在进行物理化学的反应。在这一过程中，由于水泥和石灰等胶凝材料产生的水化物凝胶继续不断地增多，使坯体中的自由水越来越少，而凝胶更加紧密。硅质材料颗粒在凝胶的粘合和支撑下，越来越牢固地占有固定的位置，形成以硅质材料颗粒为核心的弹—粘—塑性体结构。当坯体塑性强度达到一定的数值，能够承受其自身的重力并在切割工艺中具有保持其几何形状不发生有害变形的能力时，我们就说它已经硬化，或者说其硬化程度已经适合切割。也可以说，静停的过程就是坯体硬化的过程。在这一过程中，除了原材料性质、工艺参数外，环境温度及时间也是其直接影响因素。

### 二 影响坯体硬化速度的因素

硬化速度指加气混凝土坯体达到可切割的硬化程度所需要的时间。在工艺上，硬化速度又称为静停时间。静停时间关系到生产的组织及生产能力的发挥。

加气混凝土坯体的硬化过程不仅是其料浆流变特性变化过程的继续和发展，而且硬化过程的发展规律与料浆稠化过程的发展规律在很大程度上是一致的。在一般情况下，料浆粘度增长速度快，坯体塑性强度增长也快；反之，料浆粘度增长慢，坯体强度增长也慢。料浆从浇注入模到形成可切割的坯体，在宏观上发生一系列弹—粘—塑性演变，使料浆从流体逐步这个由稠化到形成结构强度的过程在微观上就是加气混凝土料浆体系由分散悬浮体系到凝聚结构，再到凝聚结晶结构的形成和发展过程。因此，坯体强度的变化规律同其料浆粘度的变化规律一样，取决于原材料的组成及其物理化学性质。浇注过程中控制的工艺参数等，调节这些因素，可以影响料浆的稠化过程，同样也可以影响坯体的硬化，从而使我们有可能在较短的时间内获得理想的坯体。

#### 1 胶结料用量

胶结料指水泥、石灰等钙质材料和采用混磨工艺制备的含有一定量水泥、石灰的混合材料。胶结料用量的变动是影响坯体硬化速度的重要因素。在总配料量和工艺条件一定的情况



下，增加胶结料用量，坯体硬化就会加快，反之则会变慢。但改变胶结料用量就是改变配合比，因此，提高胶结料用量；应考虑到制品的性能要求。

## 2 水泥与石灰相对用量

胶结料中水泥与石灰的总量相对固定后，两者用量比例对坯体的硬化也有直接影响。一般情况下，石灰用量增加（石灰与水泥总量不变），料浆稠化加快，坯体初期强度增加较快，而后强度增加减慢，并且坯体强度也有所降低。在以砂为硅质材料的加气混凝土生产中尤为明显，而水泥增加，料浆稠化减缓，坯体后期强度增长较快，并且坯体的强度也较高。由于测定坯体强度方法的限制，坯体强度包括抗压应力和抗剪应力。在实际生产中，往往经水泥和石灰用量调整后，虽然坯体强度值相近，但后者的坯体明显优于前者，切割时不易产生裂缝或破损。这是因为，增加水泥用量后，提高了坯体强度中抗剪应力。

## 3 石灰和水泥的品种

石灰和水泥品种对坯体硬化的影响是，石灰的消解速度快、消解温度高，有效钙含量高，则坯体硬化快。特别是石灰的消解温度较高，当料浆稠化时（石灰消解结束），则坯体内部温度较高，有利于坯体的快速硬化。但过高的温度也易造成坯体裂缝等损坏；水泥一般相对稳定，对坯体的影响也较稳定，水泥凝结时间短，则坯体硬化快。

## 4 水料比和浇注温度

水料比对坯体硬化也有影响，一般来讲，水料比增大，坯体硬化延缓，并且坯体的硬化时间与水料比成正比。

对加气混凝土坯体来说，浇注温度高则坯体升温起点高，有利于水化反应的快速进行，水化反应放热集中，从而提高坯体的温度，加快硬化速度。

## 5 硅质材料

硅质材料对坯体硬化速度的影响，主要表现在粉煤灰的性质上。粉煤灰中， $Al_2O_3$ 含量高，坯体硬化较快；粉煤灰颗粒较粗，且未经磨细时，因其需水量较大，所以坯体的硬化较慢；粉煤灰中，含碳量较高时，坯体硬化较慢。

## 6 废浆和混磨

废浆的掺入和采用混磨工艺，对坯体硬化均有促进作用。废浆本身不仅具有较高的碱度，而且经长时间贮存后，各物料初步进行了水化反应，凝胶数量较多。混磨工艺则使部分物料先行反应，有利于坯体的硬化。

# 三 坯体的静停

坯体的静停，也就是静置坯体以待其硬化，静停质量的好坏，除了影响静停时间的长短，从而影响生产能力的发挥及生产的正常进行，还影响到生产的成品率及制品质量。

静停的环境温度的高低，直接影响到静停时间的长短。静停的环境温度高，则相对地静停时间短，反之，则静停时间长。这是因为环境温度低，坯体热损失大，温度上升较慢，不利于坯体硬化。同时，当环境温度过低时，坯体热损失较大，造成坯体内外温度差别很大，坯体内外的硬化程度不同，由此而引起的应力将使坯体在蒸压养护前即有可能产生裂纹。因此，硬化不均的坯体，在进行翻转、切割和切面包头工序时，容易产生变形、裂纹、沉陷及外层剥落等弊病。

当坯体因为环境温度太低而具有过量水份就进行养护时，由于温度应力和湿度应力，将使坯体发生局部或全部变形。

因此，加气混凝土生产中，对静停的环境温度有一个基本要求，即一般应不低于 20℃，为了缩短静停时间，提高产量和质量，目前工厂大多采用定点浇注，热室静停，静停的温度要求在 40℃~50℃，有些移动浇注工艺，因没有热静停室，冬季普遍采用暖气来提高车间温度。

采用热室静停工艺，必须解决模具的行走问题，若解决不好，也极易造成塌模（因浇注完毕即进入热室）、坯体裂纹而影响产量质量。一般采用的行走方式为轨道输送（如乌尼泊尔）、专用推车机构（如海波尔、司梯玛等）及国内多采用的以卷扬机钢丝牵引或人工推行。前两种方式因设备性能较好，模车行走稳定。可以保持连续行走，而后两种方式因牵引时震动过大，不便于连续行走，应在浇注完毕后一次牵引就位，避免因震动引起塌模。

还需说明的是，有些工厂在切割以后也采用热室静停（称为釜前静停），以图提高人釜的坯体温度，从而减少蒸压过程的升温时间，但是，若控制不好，极易造成坯体脱水（特别在北方干燥地区），严重影响水化反应的进行，降低制品性能。

#### 四 坯体在硬化过程中的缺陷及其原因

加气混凝土在硬化过程中虽然基本上处于静止状况，不会受到外力的破坏和干扰，但是由于坯体内部的原因和硬化环境某些不利因素的影响，也常会产生各种不利于坯体质量和制品性能的缺陷。由于加气混凝土品种的不同和生产工艺的差别，各生产厂中加气混凝土坯体出现的缺陷也各不相同。

##### 1 硬化不均

同一坯体各部分硬化程度不一致。由于坯体在静停过程中，因为坯体的不断散热，导致坯体各部分温度不均匀，从而致使加气混凝土坯体各部分的硬化程度也不同，越靠近模边和上下表面，温度就越低，硬化也就越慢，强度(指坯体强度)越低，而中心部位温度较高。尤其是在室内自然静停硬化条件下，这种现象更加明显。如果室内温度较低，还可能形成内外强度悬殊的问题，经实测，坯体中部中心处的强度与四角部位和表底层的坯体强度相比，边角部一般只及中心的 60~90%，严重时差距更大。

坯体硬化不均可能造成硬化不足的假象，导致错过切割时机。当以模中部硬度为切割依据时，又可能边缘坯体坍塌或裂缝，若采用翻转切割，则造成的破坏更严重。造成坯体硬化不均的原因较多，但主要的是以下三点：

(1) 环境温度过低。通常，生产加气混凝土的模框为钢板制成（只有极少量是钢木复合，如弗汉工艺的模框），因此，模框的保温较差，环境温度对坯体有直接的影响。因而，目前大多厂家采用热室静停，以保证坯体的正常硬化。

(2) 搅拌不均。由于搅拌机的能力或配料投料的误差，易造成搅拌不均的现象。特别是以石灰为主要钙质材料，且石灰质量不好，致使配料时加大石灰用量时，更易发生此现象。也有因设计不合理，钙质材料下料过快而引起。这种硬化不均不同于前一种，由中心到边缘逐步降低强度。而是强度高的部分和强度低的部分不均匀地间隔存在。切割后的产品，除有

钢丝切不透的现象外，切割缝成波浪形，也是比较常见的现象。除此以外，制品强度不均，坯体有团状硬块及不均气孔，对产品质量也都存在破坏。

(3) 料浆沉析。当浇注后料浆发生沉析，也会引起坯体的硬化不均，主要表现在下部强度较高，而上部较低。发生沉析比较常见的因素是粉煤灰过粗且未经磨细，砂子细度过粗等，有时喷油燃煤的粉煤灰，烧失量过大的粉煤灰和堆放时间过久的湿排灰也有此现象。一般可通过保证磨细度，粉煤灰或砂与石灰、水泥进行球磨，加入废料浆，碱液等方法进行调节，有时，甚至只要提前制浆，也能得到较大的改善。值得提出的是，当铝粉搅拌不均，也会出现上下分层的现象。虽不属于沉析，但其结果也是导致坯体强度上下不均，此原因引起的表现特征是坯体上层气孔多而大，而下层则少且小，引起的原因一般是铝粉搅拌不均等。

## 2 不硬化

不硬化现象是指坯体硬化时间过长（超过 4 小时以上，有时甚至达 12 小时以上）而无法切割的现象，引起的原因主要为配料中石灰用量过多，且质量较差，而水泥用量过少，标号较低或掺有较多混合材，以及环境温度较低时（低于 5℃）。当生产板材时因配料中加入一定量的菱苦土，以及矿渣质量较差，也时有发生。有效地避免不硬化，可以从增加水泥用量或选用较好的水泥（如 425 硅酸盐水泥）及好的石灰，提高环境温度（如热室静停）等着手。当采用石灰和石膏轮磨时，石灰中掺混着过多的石膏，也易出现此现象。

## 3 收缩下沉

收缩下沉是指料浆发气结束，坯体形成中期，坯体出现下沉和周边裂缝，造成的主要原因有水料比过大，水泥、石灰质量较差和矿渣活性较低等。

## 4 坯体表面裂缝

坯体在静停后期往往出现一些裂缝，大面是龟裂，四周靠模框则为环绕一周的均匀缝隙。主要可能是石灰掺量过多（特别是采用快速灰时）或浇注温度过高所引起，配料时石膏因误差而投入过少也是起因之一。解决的方法是及时掌握原材料的波动，保证计量与投料的准确，同时，应注意合适的静停温度。

## 5 坯体内部裂缝

坯体在脱模后，常在侧面或端面出现一些水平面的、弧形的和横向的裂缝。这类裂缝因为深入坯体内部，所以对制品影响较大，而且常常造成切割时发生坯体碎裂断落甚至坍塌。

产生以上裂缝的原因大多与发气不够均匀舒畅有关。当料浆温度高，稠化快时，铝粉发气后期的气体和温度上升，可能使已经稠化的坯体产生水平层裂。当料浆发气早，边浇边发气时，已经发气的料浆从浇注口注入模具之后，又从底部涌向两侧与两端，形成气孔密度不均的弧形分层，在坯体硬化过程中，这些分层的界面处就容易产生裂缝。

另外，机械损伤也是造成坯体裂缝的一大原因，如坯体的降温收缩、模具的机械震动、吊运、摆度或辊道的振动以及脱模时的损伤等。

解决坯体裂缝应从具体情况出发，根据其成因，从工艺控制或机械设备控制出发。

## 五 坯体强度的测定

坯体强度是判断坯体是否适合切割的一个重要指标，也是对浇注及静停质量的检验。因切割方式的不同，对坯体强度的要求不同。一般地说，不采用将坯体进行搬运、翻转的切割方式，对坯体硬化程度的要求低些。

判断加气混凝土坯体的硬化程度是否宜于进行切割，也就是说是否达到切割的强度要求，在生产中采用两种方法，一种是经验法，凭操作者的经验判断是否可以切割，通常都是以手指按压坯体表面或手掌拍压坯体表面，凭感觉判断其硬度。也有以打开模具侧板分别按压各部位，判断坯体上、中、下各部位硬化是否均适宜。有时借助钢钎插向坯体内部，以了解坯体内部强度。这种方法比较简单，但是，随意性较大，又不能得到定量的结果，对于生产的记录，分析及研究没有帮助。另一种方法是仪器法，即借助仪器，定量地测出坯体的强度。塑性强度需要特殊的仪器装置，不便于在生产现场灵活使用，一些工厂只是利用测试出某种加气混凝土坯体的可供切割的塑性强度范围，实用上有相当的局限性；比较常用的是“落球仪”（图 6-1）和“落锥仪”（图 6-3）。“落球仪”是测定坯体的表面硬度，以一定高度落球压痕的直径来表示；普瓦维坯体硬度计的原理与落球仪一样（图 6-2），“落锥仪”是测定坯体的表层塑性强度，以一定高度的落锥深度表示。这两种方法都可以间接地定量反映坯体的硬化程度，给出的是有标准试验方法的客观数据，其科学性、可靠性和可对比性，都比经验法进了一大步。但是，这两种方法还只是反映了坯体的表面强度，不能反映坯体内部中下层的硬化情况，特别是当坯体硬化不均匀时，其测试数据也就失去了意义。为了解决这一问题，中国建材科学研究院和常州建材研究设计所共同研制了一种贯入式坯体强度测定仪（图 6-4），它是由盲径 10mm，长度 330mm 的插杆 1；可固定在插杆上的深度限位片 2；测力弹簧 3，套筒 4；游标 5，和标尺 6 组成。当手握套筒以一匀速将插杆插入坯体时，插杆受到的坯体阻力压缩弹簧，套筒与插杆发生相对移动，并推动游标移动而指示一定数值。坯体强度越大，对插杆的阻力越大，需要施加的贯人力也越大，因而弹簧压缩量也越大，游标同时指示出相应的数值，从而测出了坯体近中部的强度。通常，为了使用方便，采用测定仪与经验相结合，确定出适合切割的贯人力范围，用以指导对坯体硬化程度的判断。该仪器结构比较简单，使用方便，可以在坯体的不同部位，不同深度随时测出坯体的硬化程度。测定结果比较全面地反映了坯体情况，可用以比较准确地掌握切割强度。必须指出的是，该仪器尚有不甚完善之处，不同的人员、不同的插入速度以及插入时的垂直度与稳定程度，都对测试结果有一定影响。

## 坯体的切割

由于加气混凝土由浇注、发气膨胀而形成坯体，所形成的坯体体积较大，要达到所要求的外形尺寸，必须于最终形成产品前进行分割加工，这就是加气混凝土的切割，是加气混凝土生产过程中的一个重要工艺过程。

## 一 切割工序的意义与工艺要求

切割工序的意义在于：切割工序是加气混凝土制品外形尺寸形成的加工工序。加气混凝土成品外形尺寸的可变动范围，取决于切割工艺的适应能力，其外形尺寸的准确程度，取决于切割工序的设备性能和工作质量，切割工作过程对制品外形尺寸的影响不仅是决定性的，也是一次性的。因此切割是产品外观质量的重要工序；切割工序同时可以对加气混凝土制品的外部形状进行加工，如铣槽、刮边、铣侧平面、倒角或作板材大面的特种表面处理等；切割工序还影响上道工序浇注和下道工序蒸压养护的生产效率及成本支出，切割工序上时间节拍掌握严格，可以保证模具的周转，满足蒸压养护的入釜编组，既不至坯体过长时间的停留，避免了坯体失水及底板的延搁，也保证了釜的利用效率及蒸汽的合理使用（倒汽），从而保证了单位时间产量。

为了实现良好的外形尺寸，加气混凝土在切割过程中，都要借助于一定的切割工具，不论是手工切刀割还是机械切割，即使用的切割工具都必须满足一定的要求：

### 1 切割尺寸的灵活性

加气混凝土切割工具完成切割的灵活性是指可进行的最大和最小的切割尺寸范围及其变动的最小间隔，以及在特殊要求情况下，可能采取的，临时性变通措施。最基本的要求是按国家标准《蒸压加气混凝土砌块》和《蒸压加气混凝土板》所载明的多种规格要求，并尽可能地满足当地建筑部门所要求的常用规格及习惯尺寸。

### 2 切割尺寸的精确性

加气混凝土制品的切割尺寸，直接影响到建筑施工速度和效率及建筑施工的方法。目前，国内建筑的特点还主要是灰浆砌筑，这对加气混凝土制品的尺寸要求尚不是很高，但是过大的尺寸偏差（特别是正负偏差同时存在时），对施工的不利影响还是很大的。如墙与柱的联结及墙面抹灰，都直接影响了施工效率和材料耗量。国外加气混凝土施工，多已进入胶泥粘结、组合拼装及以直接装饰阶段，墙面的砌筑以胶泥粘结，板材与结构梁柱的组装式结构，墙面也都不打底而直接进行装饰。这就对制品提出了更高的要求，另外，尺寸偏差大的制品，在完成保温建筑时，由于连接缝隙的热桥作用而影响建筑物的功能，对于板材来说，尺寸的误差，更易带来施工安装的不便并影响建筑质量。因此，切割尺寸的精度是加气混凝土坯体切割工具的又一基本要求。

### 3 切割工具的生产能力

切割工序不仅要完成对坯体的外形加工，还要保证前后工序的正常运转，实现企业的生产能力。因此，切割工具必须达到一定的生产能力。

此外，切割工具的操作简单，维修方便，对坯体同时有其它外形加工能力以及对坯体的损伤程度也都是最基本的要求。

## 二 切割的工艺类型

根据加气混凝土坯体切割的基本要求，在设想完成切割的方式所必须考虑的是经济性和合理性。因此，目前不管采用哪种方式切割都是以钢丝作为切割材料，而各种切割方式，乃至各种专利技术的切割机，也都是围绕钢丝如何切割坯体、坯体如何与模具底板分离来展开



工作的。比较通俗的切割方式的划分为：预铺钢丝切割、钢丝压入切割和坯体与底板分离后再以钢丝切割。在设计具体的切割方式时，往往是以上三种基本方式的组合。

### 1 预铺钢丝切割

预铺钢丝切割是预先按要求将切割钢丝铺设在底板或切割台上，待坯体形成后或移到切割台上，将钢丝从下向上拉出而完成切割。我国许多小型加气混凝土厂采用的人工切割属前一种，而后一种可以看出已经成复合方式，国产的预铺钢丝卷切式（杨浦式）和预铺钢丝提拉式（北京常州式）的纵切属后一种，切割前已经完成了坯体与底板的分离。

### 2 钢丝压入切割

压入式切割是将钢丝自上而下(或坯体自下而上)压入坯体达到分割坯体的目的，这是实现切割的最简单的方式。但是，显然存在着中间部位的坯体难以切透的问题。钢丝长度适合切割坯体的宽度和长度受到一定限制，司梯玛切割机是典型的压入钢丝切割方式，另外，预铺钢丝提拉式（北京常州式）的横切，国产翻转式切割机的横切、乌尼泊尔的横切等也都是压入钢丝切割。

### 3 坯体与底板分离后再以钢丝切割

这是所有切割机中运用最多的切割方式，虽然坯体与底板分离方式很多，但都有一个共同的优点，就是能进行大体积坯体的切割。通常，分离坯体与底板的方式有：底板由若干块小块组成，逐块分离以便钢丝通过而完成切割（西波列克斯切割机）；以负压吸吊（连模框）坯体至预铺钢丝的切割机（杨浦式）上或有可以通过钢丝的切割台的切割机（海波尔）上，完成切割；以夹具夹起坯体移至有可以通过钢丝的切割台（底板）的切割机上（弗汉）完成切割；将坯体翻转 90° 并移开底板进行切割（国产翻转切割机、恒天切割机）等。

## 蒸压过程中的热传递

在蒸压釜内，当高压蒸汽送入后，在蒸汽与坯体之间，蒸汽与釜体和蒸养车底板等设备之间将进行一系列热交换过程，将蒸汽的热量传给坯体（包括与之接触的设备）。热量传递效率越高，坯体升温就越快，坯体内外达到均匀温度的时间也就越短。

蒸汽与坯体的热交换是从坯体外露的表面首先开始的。当高温的蒸汽与坯体表面接触时，被迅速冷却，同时释放出气化热，蒸汽冷凝后在坯体表面形成水膜并充满外表气孔。这时，坯体表面首先被加热，逐渐形成坯体外层温度和湿度高于坯体内层温度和湿度的情形。在这种情况下，表层温度势必向较低的内部传递，较高温度的水分也将向内层渗透。这种传递和渗透直到坯体内外温度湿度达到平衡为止。在坯体与模板接触的部分。热量的传递通过模板间接进行。由于没有和蒸汽直接接触的机会，也没有冷凝水由外向内的迁移运动，因而这部分坯体的温度增长将滞后蒸汽直接接触的部分。当坯体内外各部分温度接近均衡，釜内蒸汽达到要求的温度时，升温过程即告结束，养护进入恒温阶段。

恒温的目的主要是使制品充分进行水化反应，生成足够的水化产物并达到必要的结晶度，使制品获得良好的性能；同时坯体中心部分少量尚未达到恒温温度的部分将在恒温阶段前期达到与外层一致的温度。在此期间，由于制品内部水化反应大量进行，放出较多的水化热，可能出现釜内温度再升高的现象（有时釜内压力升高 0.1MPa）。

降温阶段的热交换与升温过程相反，由于釜内蒸汽的排出，气压下降，制品表面水分迅速汽化，吸收制品热量并随之带出釜外，坯体表面湿度和温度的降低，使制品内部的高温液体向表层迁移。釜内制品的温度就是在这样连续进行的水分迁移和不断汽化中降低温度。同样，由于模底板的阻隔，制品与模底板接触部分的降温过程将滞后于其它的部分。由于在降温的开始阶段制品的内部处于饱水状态，降温过程基本上靠水分的迁移和汽化完成，因而热交换较快，降温速度也较快；在后期，制品内部水分已经大量减少，气泡内的空间逐步由高温液体变成蒸汽，水分迁移变慢，热交换速度随之降低。此时制品内外的热传导将因温度差而逐渐发生更多的作用，但整个制品总的降温速度将明显低于前一阶段。这也是实际中常见的现象。

由于在整个蒸压过程中，热量在坯体内部的传递主要靠冷凝水的迁移和蒸汽的渗透来完成，所以加气混凝土坯体的透气性对坯体内部的传热具有较大的影响。表现为对坯体升温速度的影响。影响加气混凝土坯体透气性的因素主要是原材料的品种，同品种的加气混凝土，则材料的细度影响透气性。一般来说，从品种看透气性比较好的依次为水泥—矿渣—砂、水泥—石灰—砂和水泥—石灰—粉煤灰；从细度看，较粗的材料优于较细的材料。

干空气的传热效率大大低于蒸汽。空气中含湿量越高，其含热量和放热系数也越高，所以，蒸压釜内含有干空气，对热交换是一种阻碍。例如，在田 2.85×26m 的蒸压釜内，当装满 12 个 6m×1.5m×0.6m 的加气混凝土坯体时，除去坯体、底板和小车的体积后，尚有约 100m<sup>3</sup> 的自由空间，若不进行抽真空，釜内坯体经 3h 的升温达到 120℃ 左右，6.5h 才能达到恒温温度均匀，而若进行 30rain 抽真空，使釜内真空度达 -0.06MPa，则 1.5h 便可升温达 175℃ 以上，3h 左右可达到均匀恒温。这是因为空气在坯体表面形成一层静止的薄层，这层气膜的导热系数很小，它阻碍蒸汽向坯体的传热。同样，根据气体方程，计算出这部分空气将使蒸汽压力下降 0.06MPa，气体和坯体的温度都将低于相应压力的饱和蒸汽温度。

另外，蒸汽经过热交换后形成的冷凝水也将吸收一部分热量，且冷凝水较多时，聚集在釜的底部，加之空气的比重大于蒸汽，因而往往造成了釜内上下部分的温度差异。因此，在生产中，在升温的同时应及时地排放过多的冷凝水。