

工业技术资料

(粉煤灰的综合利用)



1972年第4号

广东人民出版社



毛主席语录

要节约闹革命。

工业学大庆

粉煤灰的综合利用

广州市建材一厂

一、利用粉煤灰制造硅酸盐砌块

在毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针指引下，我国工业战线的广大革命职工，大搞综合利用，把危害人民健康的“三废”（废渣、废水、废气）变成活宝。

由于我国社会主义建设的飞跃发展，火力发电厂也为适应工业生产的需要而不断扩大，因此每天燃烧剩余的废煤灰、煤渣，排出的数量极多，过去，倒在河里，淤塞河道；占用农田堆积，又影响农业生产。

毛主席指出：“一切矛盾着的东西，互相联系着，不但在一定条件之下共处于一个统一体中，而且在一定条件之下互相转化”。只要按照事物发展的客观规律，充分发挥人的主观能动作用，是可以把“废”转化为宝，把“害”转化为利的。

我们厂利用发电厂排出的废煤灰、煤渣制造建筑材料——硅酸盐砌块，正是把“废”变成宝，把“害”化为利。下面介绍我们厂利用这些废料制成建筑用的砌块的具体做法。

（一）使用原材料

（1）煤灰：又名粉煤灰，是经过磨细的煤燃烧后的灰粉。由于在它的化学成分中，二氧化硅（ SiO_2 ）占40~60%，

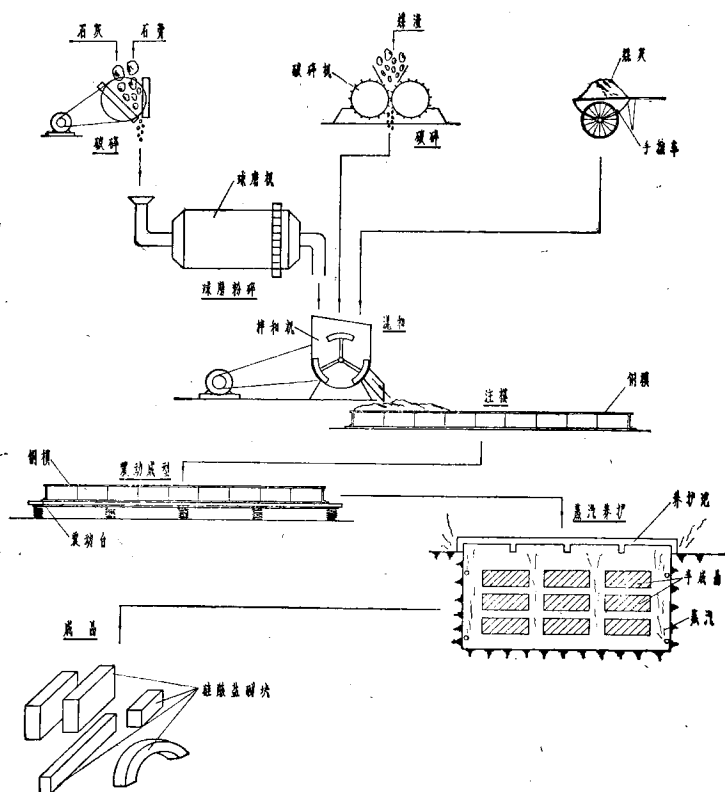
三氧化二铝 (Al_2O_3) 占20~30%，故活性较高，适宜于制造硅酸盐制品；

(2) 煤渣：是煤块燃烧后的废渣；

(3) 石灰：是石灰石经过煅烧的成品；

(4) 石膏：采用天然生产的矿石。

(二) 工艺流程(如图)



工艺流程图

(三) 制造方法

其制作过程，大约分为原料加工、拌和、成型、养护等几个阶段，现分述如后：

(1) 原材料加工及配比量

首先我们谈谈这些材料混合之后，为什么会结硬，而产生强度。

这是因为石灰中的氧化钙 (CaO) 和活性材料粉煤灰中的氧化硅 (SiO_2)、氧化铝 (Al_2O_3)，在 $90\sim 100^\circ\text{C}$ 的蒸汽养护中，水热合成为水化硅酸钙和水化铝酸钙，因而产生了强度。

加入石膏的作用，是减缓石灰的消化速度，降低其消化温度，而且石膏还能与上述混合料中的铝酸盐，在液相中生成水化硫铝酸钙 ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{PCaSO}\cdot\text{RH}_2\text{O}$)，使制品的强度大大提高。

煤渣主要是作为骨料使用，但是它本身有一定的活性，在生产实践中，能减少砌块在蒸汽养护过程中发生变形。

许多试验资料证明，粉煤灰、石灰、石膏的粒径越细，参加化学反应的表面积也越大，相互间化学作用接触面增多，水化生成物也就增加。故细度越细，制造出来的砌块强度就越高。

基于上述道理，我们在利用粉煤灰制造硅酸盐砌块时，必须把石灰和石膏进行粉磨加工，根据规范要求，其细度为：在 900 孔/平方厘米筛上的筛余量不大于 5%；在 4900 孔/平方厘米筛上的筛余量不大于 20%。

至于粉煤灰的粒径也是要求越细越好。如果发电厂都是采用湿法排灰的，取用时它还含有很大的水分，不易加工，同时生产过程中可以适当控制，调节配比量，故不必加工

磨细，以免增加工作困难和成本，宜直接采用。煤渣在砌块中，相当于混凝土中的石子一样，起着骨料作用，所以要求破碎成为 3～5 厘米的粒径。

原材料的配合比例好坏，直接影响到成品的优劣，因此既要考虑成本，也要多处理废料和考虑产品的质量。我们厂在开始生产时，采用的配合比是：粉煤灰为 27%；石灰 11%；石膏 2%；煤渣 60%。后来考虑要多处理发电厂废料粉煤灰，并解决曾一时出现的煤渣来源短缺的问题，经过细致分析，在粉煤灰中带有粗颗粒，细度不符合技术要求，实际石灰还未充分利用，通过“三结合”研究，决定把粉煤灰中的粗颗粒作骨料计算，相应增大粉煤灰用量，因而把配合比调整为：粉煤灰 43%；石灰 12%；石膏 2%；煤渣 43%。经实践证明，效果良好。

（2）搅拌与成型

搅拌的作用，是将上述四种物料加水混和均匀，拌和的均匀与否，是保证硅酸盐砌块强度的重要条件，必须特别加以重视。

初生产时，我们采用普通混凝土搅拌机，胶结料（煤灰、石灰、石膏）往往粘结在搅拌机的鼓筒壁上，由于煤渣是一种轻质的骨料，不容易在搅拌中起着击散灰团的作用，同时这种机械性能不够理想，它的拌和过程如图 1：

从图 1 可以看到，混合料是附在筒壁转动，到达顶部时由于物料的自重，回跌到筒的下方，常不能将煤灰团击散，使物料达到均匀，因此，影响制品的质量。

后来采用卧式的强制搅拌机。这种机械在拌和过程中带有强制的作用。它的拌和部分构造形式与拌料过程，见图 2：

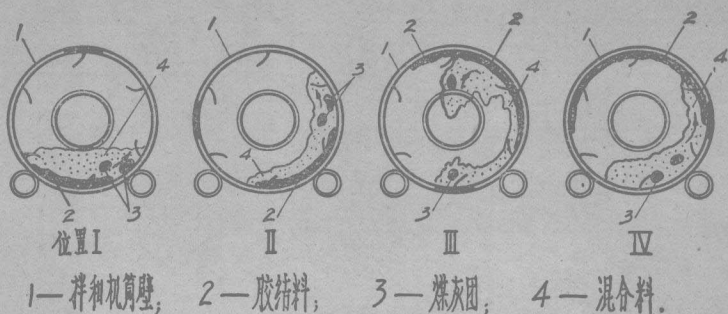


图 1 普通混凝土搅拌机工作过程

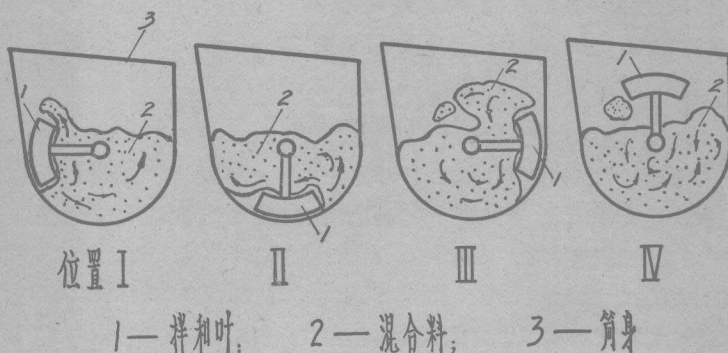


图 2 强制式搅拌机工作过程

图 2 中，拌和叶从位置 I 至 IV 不断的移动，物料在不断地被冲击，粉煤灰团也在拌和叶和筒壁间被挤压而破碎，物料在强制的情况下拌和，确保物料的均匀，质量大为提高。经过实际测定，成品的抗压强度比普通搅拌机拌和的提高 30%；每次拌和数量由 400 公升增加到 1000 公升；每次拌和时间也比原来缩短 40%，即在同一时间的产量增大了三倍。

目前，国内硅酸盐制品的成型方法，可分为浇制、压制

和振实三种，浇制硅酸盐制品的特点，是拌制时用水量最多，便于成型，但强度较低。压制硅酸盐制品的用水量最少，强度却最高，因加压成型要有特殊的加压设备，所以对大型构件的成型，很少采用压制的方法，多采用振动台使制品密实，它的用水量和强度，介于上述两种方法之间。

我们生产的砌块是采用后者制作的。振动台的一般要求是：振幅（重载）0.2~0.7毫米；振动频率 2940 转/分；台面尺寸可视钢模大小选用。

操作时是将拌和均匀的混合料，卸至钢制模板内，一起放在振动台上，开动马达振动成型，振动时间大约三分钟左右，如混合料表面浮现出黑色浆料，和有密实平整的感觉，便可认为时间已足，停止振动。

（3）水热处理的原理与养护操作

混合料的凝结和产生强度，是通过水热处理而获得的。硅酸盐制品的水热处理有两种方法：处理温度不超过 100°C 时，相应的蒸汽压力为零，所以又称非蒸压处理；水热处理的温度大于 100°C 时，蒸汽具有与温度相应的饱和压力，称为蒸压处理。

采用蒸压处理，制品的强度和质量较好，但目前解决蒸压处理所需的设备——高压釜，还有一定困难，而根据一些国内外资料，认为用无压普通蒸汽养护，也能取得很好的效果。所以我们采取了普通蒸汽养护方法。下面着重介绍普通蒸汽养护的工作原理和特点。

（甲）蒸汽供入和混合气体排出的几种情况

一般养护池（室）是与大气自由连通的，当直接送入蒸汽加热时，蒸汽的供入和混合气体的排出，会出现下述三种情况：

(A)蒸汽的供入和混合气体的排出，都是在养护池(室)的底部，即按“自下而下”的方式进行。(如图 3)

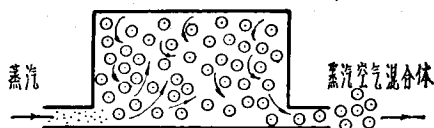


图 3 养护室按“自下而下”的方式加热

(B)蒸汽在底面处供入，而混合气体由养护池(室)盖下面排出，即按“自下而上”的方式进行。(如图 4)

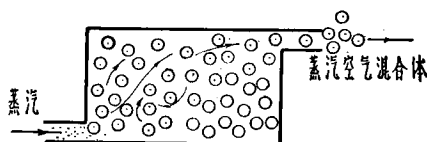


图 4 养护室按“自下而上”的方式加热

(C)蒸汽由养护池(室)盖下面(即池上方)供入，而混合气体由底部排出，即按“自上而下”的方式进行。(如图 5)

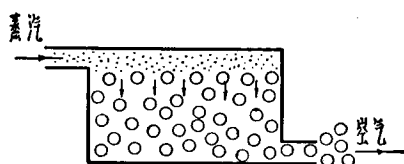


图 5 养护室按“自上而下”的方式加热

上述的第一种情况(即“自下而下”的方式)，当蒸汽供入养护池(室)与空气相混合时，温度高的蒸汽、空气混合气体是比较轻的，竭力上升至顶盖处。在这个运动中又与其他的混合气体相混合。蒸汽、空气混合气体一与较冷的养护池墙壁相接触，温度即行降低，形成了下降的气流，集中到池底处排出池外。由于在较冷地点下降气流的引力较大，因此，养护池围护结构的受热沿其四周能自动平衡。所以，要使养护池中和缓地逐渐升温，最好采用这种方式进行。

第二种情况(即“自下而上”的方式)，它的过程与前不

同，当较热的蒸汽、空气混合气体，上升到池盖下面（池上方），可能立即逸出室外，在蒸汽来量较大的地方，形成了上升的混合气体的气柱，在其他地方却处于静止状态，造成养护池（室）的升温慢和温度极不均匀。

第三种情况（即“自上而下”的方式），蒸汽由养护池上方供入，并均匀地沿平面分布，这时蒸汽并不与空气相混合，逐渐将空气压至底面处的出口排出，直到最后养护池（室）从上至下，全部被纯蒸汽充满，并有多余的纯蒸汽逸出为止。只有按这个方式进行，才能将空气全部排出，并使养护池（室）充满纯蒸汽。

（乙）普通养护池（室）的优缺点

利用粉煤灰生产硅酸盐砌块，最简便的水热处理办法是采用普通养护池（室）进行蒸汽养护。

普通养护池（室）结构简单，一般使用粘土砖（红砖）砌筑，可建筑在地面以下，或在地平面上，但均应采取下列措施来保证蒸汽的有效利用，和减少热量的损失：

（A）养护池（室）的四壁要求传热性小，这在墙体批挡层上加入一定量的木屑（锯木留下的木糠）能达到一定效果。

（B）要采用密实闭合的门（养护室）或密闭的盖（养护池），故此常用粘质泥土封闭室门或池盖的周围，以防漏气。

（C）蒸汽管要敷设在池内地坪的四周，在管内要钻孔，孔径2~3毫米，间距在100~150毫米左右，以便蒸汽输入均匀。

这类养护池（室）有它的优点：

（A）构造比较简单，一般小型生产厂和农村，都能自行建造。

（B）特别是坑道式的养护室，投资比较小，收效又快捷。

(C)生产操作比较简单，一般人员都很容易掌握。

由于具有上述的优点，目前还有一些单位采用这种养护池（室）进行生产，效果尚能满足要求，制造出来的硅酸盐砌块，抗压强度达到100公斤/厘米²，可以代替粘土砖使用。但这种养护池（室）也存在下列缺点：

(A)为着要求蒸汽进入池内，使温度升高到90°C以上，必须做到密封和不漏气。因此，养护池在受热时内部压力升高，当压力增大到一定限度时，多余的蒸汽、空气的混合气体就要寻找出路，结果在池盖或室顶部逸出混合气体，形成上述第二种情况，即以“自下而上”的形式进行工作（如图6），蒸汽流向上方，到达池盖下部，热的蒸汽、空气的混合气体便逸出池外，而在池的中部和底部，温度较低的混合气体却停滞不动，约保持40~50°C的温度，而池盖下面温度达到80~90°C。由于池内各处温度很难达到一致，形成加热不均匀，使制品质量不能达到均一的强度，位于池上部的制品强度较好；位于池底部的制品强度较差。

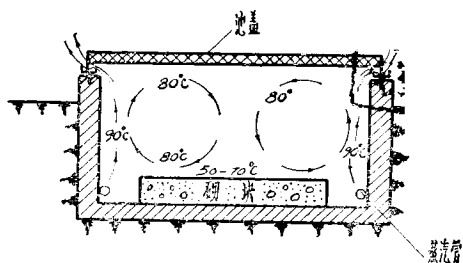


图6 普通养护池受热过程混合气体运动示意图

(B)蒸汽损耗量较大。因为一般的湿热养护，供给蒸汽管道的压力经常在变化，这就使得养护池内的压力不稳定，也就不可能保持规定的蒸汽供给量，由于蒸汽压力的不断变化，养护池便产生了“呼吸”现象，当压力小和供汽量不足时，便吸入室外的冷空气，而压力大和供汽量多余时，便

向外排出多余的热蒸汽和空气的混合气体，这样便破坏了养护池的密封性，也是造成大量蒸汽的损耗，据一些资料介绍，这种养护池的制品真正利用的蒸汽量，仅为耗用蒸汽量的15~20%。

(C)养护时间较长。当“呼吸”现象发生，冷空气被吸入养护池内时，蒸汽和空气混合气体的温度便开始降低，在温度降低到比硅酸盐制品的温度还要低时，蒸汽和空气的混合气体便立即吸取制品的热量，至温度不再下降，这样池内的相对湿度不会达到100%，因此制品便会出现局部的干燥现象，延长了养护时间，因为硅酸盐制品处于良好的养护条件中时，可在3~6小时获得所需的强度，但浴浸在较冷和干燥的混合气体中，必须经过15~20小时，甚至几昼夜，才能达到应有的强度。

(丙)无压纯蒸汽养护池(室)的工作特点

这种养护池(室)由于与外界大气经常连通，因而压力始终等于大气压力，故也称为常压养护。它与普通养护池比较，不同的部分是：在养护池内除有下部供给蒸汽的管道外，在上部(池盖板下)也有供给蒸汽的管道，另外还增加了一套和外界自由连通带有冷凝器的排气管。构造如图7。

无压养护池消除了不必要的蒸汽损失，耗汽量比普通养护池要减少50~70%，同时由于加热均匀，蒸汽热能被充分利用，大大缩短了蒸汽养护时间，一般只要6~8小时就可以使制品达到应有的强度。

无压纯蒸汽养护池的所以有这样高的效果，主要是利用了纯蒸汽的固有特性来工作，控制了“呼吸”现象和处理密封与蒸汽损耗的矛盾。下面介绍它的控制原理：

升温方式：前面说过要使池内和缓地逐渐升温，最好采

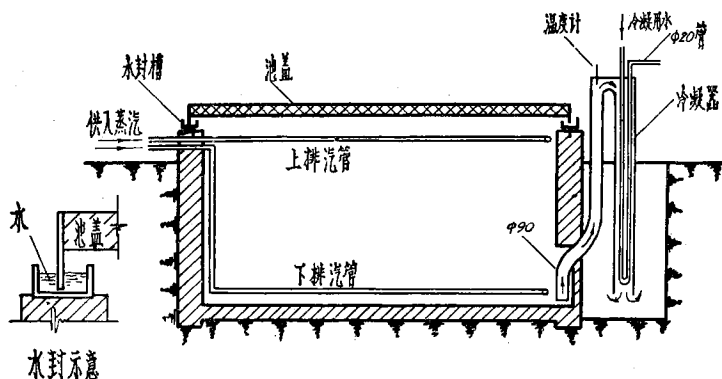


图 7 纯蒸汽无压养护池构造示意图

用“自下而上”的方式。即开始蒸汽从下排供汽管送入，蒸汽上浮与空气混合，而至全部充满混合气体。如图 8。

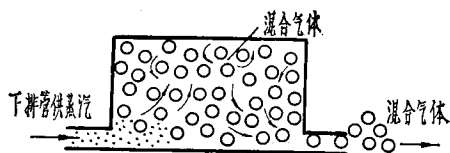


图 8 下排管供蒸汽池内混合气体情况

排气和恒温方式：上面说过要使池内充满纯蒸汽必须采用“自上而下”的方式，因此当养护池的温度升至 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ 以后，关闭下排供汽管道，开启上排供汽管供汽，由于纯蒸汽容重比混合气体轻得多，故充满了池的上部，如图 9—A，随着上排供汽管的供汽量不断增加，池内上

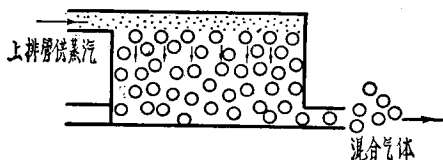


图 9—A 上排管开始供汽

部的蒸汽量越来越多，将池内的混合气体压到池的下部，通过排气管排出池外。

如图 9—B，直至全部混合气体被排出池外，池内便完全充满了具有大气的压力和 100°C 温度、100% 相对湿度的饱和纯蒸汽。如图 9—C。

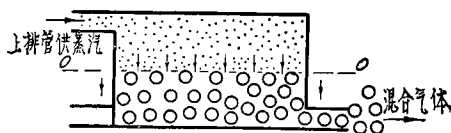


图 9—B 混合气体大量排出

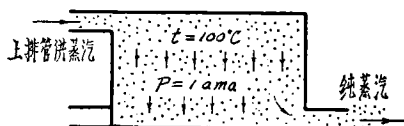


图 9—C 充满饱和纯蒸汽

图 9 上排管供汽池内气体流动情况

上述的理论，经过一些单位的实验证明，取在池内分上、中、下及左、中、右九处放置温度计（如图10示），测得各处温度基本一致，详见下表：

位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	100.5	105	100	103	103	100	100.5	104	101

对制品均匀性的试验，也如温度测定一样，在上、中、下及左、中、右九个不同位置，放置混凝土试块，结果，其抗压强度也基本一致。证明无压纯蒸汽养护，是一项切实可行的水热处理方案。

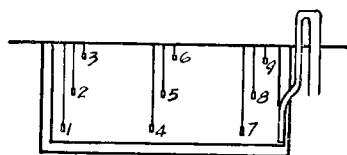


图10 测定均匀性时的温度计布置

(丁)无压纯蒸汽养护的实际应用

我们根据上述的原理建造养护池，并制定如下的生产操

作程序:

静置 为了保证砌块中的石灰在蒸汽养护前充分消化,以及得到足够的蒸前强度,必须对成型后的砌块给予一定的静停时间。规范指出:温度在 15°C 以上时,静置不应少于3小时。

升温阶段的操作 升温时使用下排蒸汽管供汽,此时以冷凝器排出的雾汽多少为控制标志,要求排气口的雾汽略微可见为标准,同时升温速度每小时为 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。此阶段蒸汽是用于加热养护池和提高制品温度。当温度升高和有淡薄雾气出现时,冷凝水缓缓断续滴下,这是逐步排出一部分气体的表现。

排气阶段的操作 排气是养护池内达到纯蒸汽养护的一个重要过程,即排除池内混合气体达到纯蒸汽状态。池内温度升高到 90°C 以上时,就开始排气,这时先开启上排供汽管及冷却水管,随着上排管的逐渐开启,逐渐关小下排的供汽管,直至完全关闭。但仍须保持冷凝器出口有冒气现象。开始为了不使上排供汽管的蒸汽与池内混合气体混合,上排管的阀门宜小开,待上排管的送出蒸汽充满池的上部,约5~10分钟左右,才逐步开大阀门。由于此时池内制品大量吸收热量,同时又需要大量蒸汽去替换池内的混合气体,所以要开大上排管的阀门,冷凝器的出口有大量雾气排出,说明池内混合气体正在迅速排除。在大量雾气排出和有大量冷凝水流下时,阀门便应适当关小些,避免不必要的蒸汽损失。

恒温阶段的控制 当池内温度达到 100°C 时,表示排气阶段的结束,一般根据冷凝水的大小来调节阀门,以保证在 100°C 的恒温条件下养护砌块。

降温 这阶段是由停止供给蒸汽,至逐渐冷却制品可出

池的温度为止，降温时间不应过快，以每小时不超过 30°C 为宜，以防止砌块发生收缩变形或开裂。

生产初期的养护制度，采用静置4小时，升温8小时，恒温8小时，降温2小时，即4—8—8—2制。后来经过试验研究，认为规范规定的静置时间不应少于3小时，是指天气较冷的地区，而处在天气暖和的广州，在夏季一般池温都保持 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，而且石灰经过球磨后，放置在敞开的仓库，已有部分陈化，静置时间是可以缩短的。升温速度方面，在 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 阶段，每小时升温 $6\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，在 $70\sim 100^{\circ}\text{C}$ 阶段，每小时升温 $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ 。因此调整为静置2小时，升温6小时，恒温6小时，降温1小时，即2—6—6—1制。经过实践，效果与原养护制度一样，获得良好的产品。当冬季较冷时，静置、升温和降温阶段，要适当延长1小时，否则制品容易出现表面起粉、疏松、开裂等现象。这是必须注意的。

(4) 成品和质量检验

恒温结束以后，便将池盖四周的水封（见图7处）排除，随后揭去池盖进行降温，由于制品的温度下降，蒸汽和水分都会经过制品气孔往外冲，因此，如果制品与空气的温差太大，蒸汽和水分急速外逸，便会引起制品开裂和降低强度。所以要求制品出池时，池内外的温度差距不要太大，一般温差不应大于 40°C ，这才从池内将养护好的制品连同钢模一起吊出池外，然后拆除钢模，检验人员立即逐件检查，分别外观的等级，然后送到堆场储放，待通过物理性能检验，抗压强度达到要求，方得分级出售使用。

产品质量标准，是按照一九六四年建筑工程部部颁标准《蒸养粉煤灰混凝土砌块生产应用规程（BJG 13—64）》为检查尺度。