

耐火材料文集

第 三 輯

硅 磚

冶金工业出版社

耐火材料文集

第3輯

硅 磚

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金工业出版社

耐火材料文集 第3輯

硅 砖

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

1959 年12月 第一版

1959 年12月北京第一次印刷

印数 2,820 册

开本850×1168·1/32·150,000 字·印张6 $\frac{8}{32}$

統一書号15062·1938 定价0.80 元

編者的話

我国冶金工业，在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，正在突飞猛进地发展着。

耐火材料工业是冶金工业的先鋒。过去几年来，特别是1958年，随着冶金工业的发展，首先是随着鋼鐵工业的发展，我国耐火材料工业工厂和企业取得了許多成就。耐火材料工业工作者們从世界上各个工业发达的国家，尤其是从苏联介紹了一些有关生产工艺和科学研究的成果和先进技術。但是，由于国内目前还没有一种全国性的专业杂志，所以仅仅发表的一些資料多半分散在一些其他刊物上，讀者参考时頗感不便。因此，我社正在和繼續將国内外有关耐火材料工业方面的文献資料，按內容性质汇集成册陸續出版，以弥补上述缺陷。

本輯就是为上述目的繼第1、2輯之后編輯出版的，介紹了有关硅磚，主要是焦炉硅磚的生产工艺的改进和用隧道窑焙燒硅磚的經驗。本輯主要选自杂志“鋼鐵”和苏联杂志“Огнеупоры”。在編选过程中我社在文字和內容上作了一些修改。

因为这个工作我們刚开始做，一定会有很多缺点，希望讀者提出意見，並且希望广大的耐火材料工作者給予支持，使得这一工作做得更好。

目 录

硅砖的生产技术工艺及質量的改进.....	1
提高焦爐硅砖装窑比的經驗.....	23
增加焦爐硅砖机械成型比例的經驗.....	31
高密度硅砖的生产工艺、性能及使用.....	45
硅砖生坯的加热过程及其与生坯强度变化的关系.....	99
关于焦爐硅砖机械性質的新資料.....	127
硅砖細粒泥料焙烧强化的物理化学实質.....	146
試用列宁格勒耐火材料研究所設計的隧道窑焙烧硅砖.....	156
在隧道窑內焙烧焦爐硅砖的經驗.....	172
輕質硅砖的制造和使用.....	183

硅砖的生产生产工艺及質量的改进^①

本溪鋼鐵公司耐火材料厂

一、前 言

在第一个五年計劃期間，由于冶金工业的迅速发展，我厂从55年起全面开始生产焦爐硅砖及硅砖。至今年，我厂已生产了五座大型焦爐及小型焦爐用硅砖。由于品种繁多，外形規格較严，理化性質要求較高，因此在生产上走了一些弯路。在党及公司的正确领导下，由于苏联专家的无私援助及具体领导以及各兄弟单位的技术协助，在全体职工的努力下，终于試驗成功并进行正常生产。焦爐硅砖的成品率由55年的66.91%提高到目前95~96%的水平。硅砖烧成時間已从过去（55年）238小时减少到139小时；目前大窑最低的記錄是48小时。在理化性質方面， SiO_2 含量大于95%，耐火度为 1710°C ，高溫荷重軟化点为 $1640\sim 1660^\circ\text{C}$ ，真比重 <2.36 ，耐压强度在300公斤/厘米²以上，气孔率为19~22%，即全部合乎部頒标准的要求。

取得以上成績，主要是加强了技术管理，密切了劳技結合，学习了苏联先进經驗及兄弟厂的經驗，提高工人技术操作水平的結果。重点是采取了以下几个方面的技术措施：

1. 取消質量較差的复杂的多种硅石配料方法而代之以質量較高的結晶性的单一成份的配料。
2. 采取了細顆粒配料及合理的顆粒組成和适宜的矿化剂。
3. 扩大了焦爐異型硅砖的机械成型比例。
4. 改进手成型的操作技术。
5. 根据分段干燥原則，加强了異型硅砖的干燥制度。

① 本文由吳万安同志执笔写成。

6. 确定了装窑图及分类装窑的制度。
7. 推广了快速、均匀升温、分段控制火焰性质的操作方法。

二、生产技术总结

1. 原料的选择

在1955年以前，我厂所采用的配料为得利寺硅石及南芬硅石混合配料。南芬硅石是一种纯度较高的结晶性硅岩，得利寺硅石是一种硅岩与燧石岩组成的。这两种原料的理化性质如下表1所示。

表 1

硅石原料的理化性质

硅石 产地	化 学 组 成, %						耐火度 °C	气孔率, %	结晶 直径 毫米	1450°C 加热后	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O 及 K ₂ O	MgO				真比重	气孔率
南 芬	97.5~ 99.6	0.3~0.9	0.27	0.05	0.08	0.02	1750~ 1770	0.8	0.1~ 0.65	2.55	3.56
得利寺	93~97	1.5~3.0	0.16	—	—	—	1750	0.8	0.02~ 0.2	2.36	—

由于得利寺硅石质量低且波动大，所以成品率及质量指标均低，如表2所示。

表 2

焦墟硅砖的配料比与质量

配料别	配 料 比, %						成品率 %	成 品 质 量			
	南芬硅石		1.5 毫米 得利寺硅石	3 毫米 废硅砖粉	轧钢皮	石灰		气孔率	耐压强度 公斤/厘米 ²	SiO ₂	2 公斤/厘米 ² 荷重软化点, °C
	3 毫米	球磨粉									
旧配料	50	—	30	20	—	2.4	41.54	23.0	240~350	94.2	1630
新配料	55	25	—	20	0.8	2.3	87.5	21.5	400	95.8	1650

由于配料比不同，在加热过程中热膨胀也不是一样的，如图

1 所示。

从图 1 看出，两种配料的膨胀在低温阶段差别较大。旧配料曲点较多，因而，难以掌握烧成。新配料曲点较少，容易掌握，对于缩短烧成时间有利。

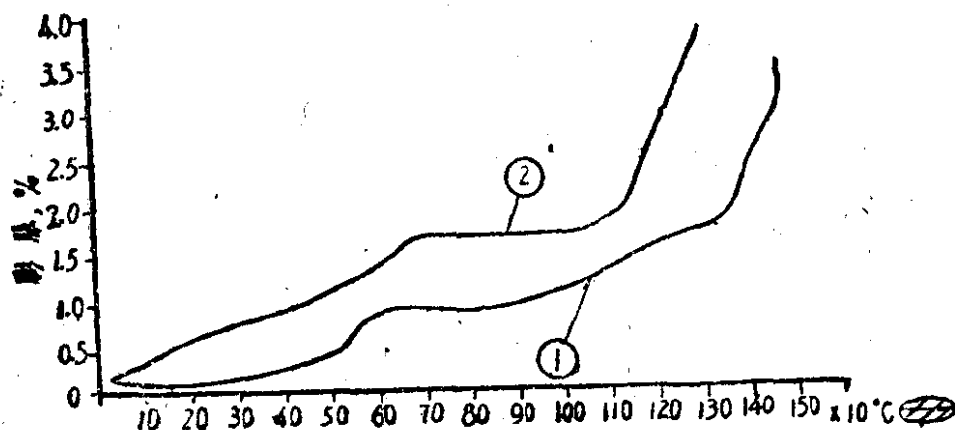


图 1 加热时的热膨胀曲线

1—混合配料；2—单一配料

过去由于对南芬硅石的性质没有进行系统的鉴定，使得生产上未能有机的结合。在 54 年以后，我们进行了一系列的鉴定，对于结晶性南芬硅石有较系统的认识：

1. 组织均匀，纯度较高，杂质较少；
2. 气孔率在 1100°C 以上增大；在 1200°C 变得松散；在 1400°C 以上更为激烈；
3. 从各颗粒转变得知：5, 3~2, 2~1 毫米的三种颗粒在各温度阶段变化无显著差别，在 1400°C 以前变化不大，而在 1430°C 以后才较为显著。1~0.5 毫米在 1400°C 以前与上述情况相似，在 1430°C 则显快。0.5~0.088 毫米的颗粒在 1300°C 以前与上面相似，1300°C 以后转化速度加快，在 1400°C 则显著提高，而在 1400~1430°C 则最大。<0.088 毫米的颗粒较分散。

因此，在考虑粒度组成中，一方面要考虑到堆积密度，另一方面要考虑转化情况及烧结性。

4. 从热膨胀中得知，在 1100°C 以上膨胀率开始增大，在

1350°C 以上，膨胀已急剧增加，而在 1400°C 以上则更为剧烈。

根据以上特征，我們对于南芬硅石的使用注意到了下列問題：

1. 加强适当的 <0.088 毫米細粉及加入适当的矿化剂(CaO 与 FeO) 以減輕烧成的松散現象。
2. 注意高溫的轉化阶段，均匀地較慢地升溫。

2. 配料工艺的确定

I、粒度的选择

許多学者指出：用結晶性硅石制造硅砖时顆粒选择是极重要的。布德尼柯夫及凱納尔斯基等認為，最大粒度为 3 毫米， <0.5 毫米的顆粒不应超过 55~65%，而小于 0.088 毫米細粉应达到 30~40%。苏联专家建議泥料顆粒組成如下：

>3 毫米	<0.5 毫米	<0.088 毫米
$<0.5\%$	55~57%	37~42% (不包括废硅砖細粉)

結合我厂原料性質情况，当临界粒度为 3 毫米时，經試驗情况确定：3~1 毫米应占 25~35%，在 30—33% 左右最适宜； <0.5 毫米顆粒应在 58~62% 范围，最多也不应超过 65%，其中 <0.088 顆粒应占 <0.5 毫米篩下的 55~60%，如图 2 所示；

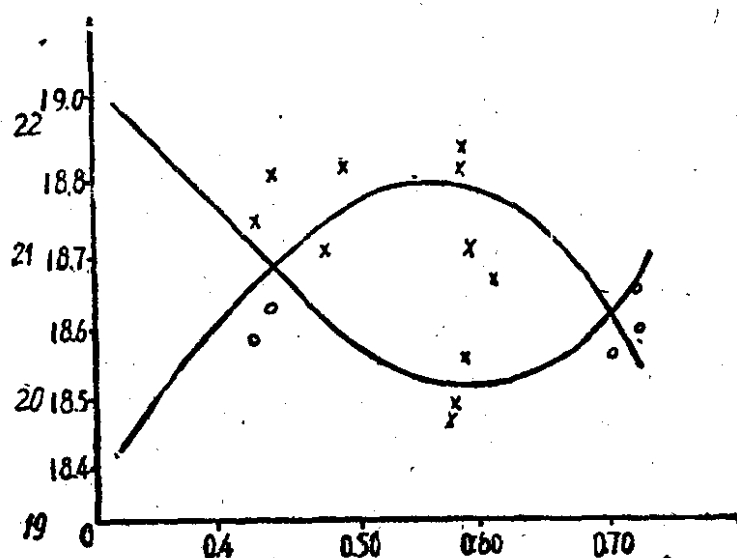


图 2 粒度中 $<0.088/0.5$ (毫米) 与密度、气孔率的关系

$<0.5 \sim <0.088$ 毫米顆粒愈少愈好。

但是,有时 >3 毫米以上顆粒在实际生产中也难以避免, $<1.5 \sim 2\%$ 則无大妨害,超过此数值,則表面出現麻紋及边角不好。

粒度超过上述范围就将出現成型性能不好及成品質量低劣的后果,如表3所示。

表 3

粒度組成与成品率的关系

代 号	粒 度 組 成, 毫 米, %					焦爐硅磚成品率
	>3	$3 \sim 1$	$1 \sim 0.5$	$0.5 \sim 0.088$	<0.088	
1	0.2	20.3	9.7	41.8	27.9	66.6
2	1.4	30.2	5.1	26.08	36.32	89.5

II、矿化剂的确定

在55年以前,我厂是用单一的矿化剂成份,即只使用 CaO 。近来的研究表明:加入 FeO 与 CaO 在一起,能更快地加速石英的轉变。因此,在55年后,我們就采用軋鋼皮与石灰为矿化剂。

对于鉄質矿化剂,我們采用了平爐渣及軋鋼皮两种进行过試驗,結果証明軋鋼皮优越于平爐渣,如表4所示。

表 4

矿 化 剂	真 比 重					气孔率 %
	1100°C	1200°C	1300°C	1400°C	1430°C	
軋鋼皮.....	2.660	2.589	2.538	2.453	2.391	27.7
平爐渣.....	2.661	2.592	2.545	2.468	2.400	28.3

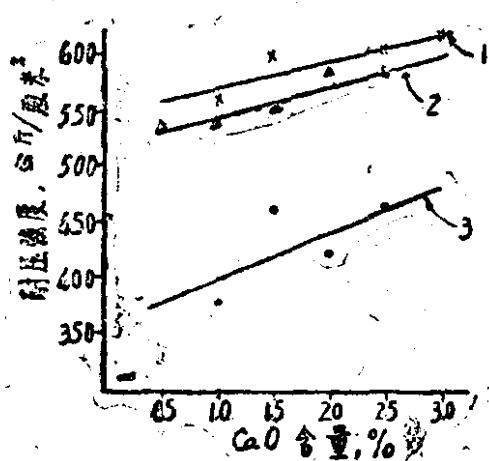
注: 1. 平爐渣及軋鋼皮的化学組成(%)为:

	SiO_2	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	CaO
軋鋼皮	2.38	38.68	52.24	—	—
平爐渣	16.03	4.47	38.36	12.97	15.40

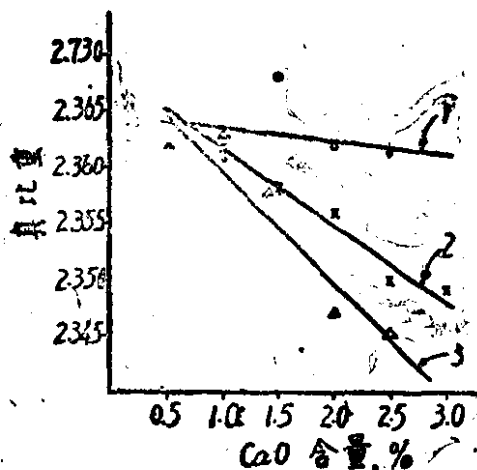
2. 試驗配比为: CaO 2.4%, 平爐渣及軋鋼皮为 1%。

由于平爐渣 FeO 含量較低及質量波动大,因而用軋鋼皮。

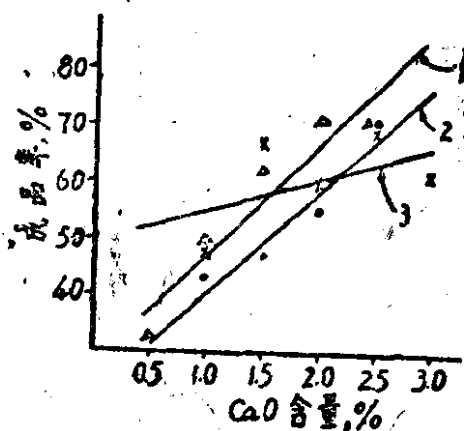
矿化剂加入量与质量的关系如图 3 所示。



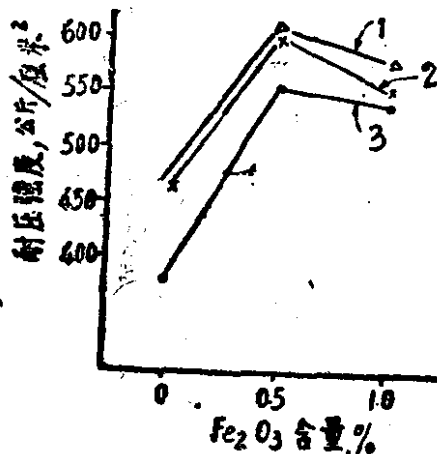
石灰乳加入量对耐压强度的影响
1—Fe₂O₃0.5%; 2—Fe₂O₃1.0%;
3—Fe₂O₃ 0%



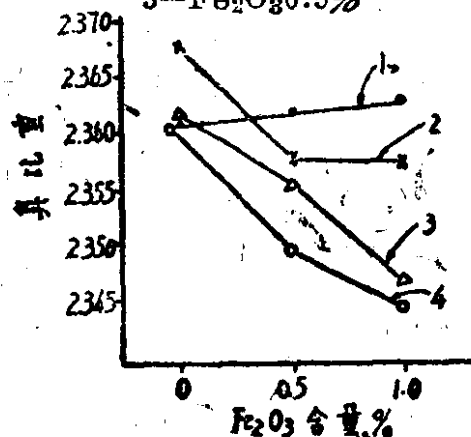
石灰乳加入量对真比重的影响
1—Fe₂O₃0%; 2—Fe₂O₃0.5%;
3—Fe₂O₃1.0%



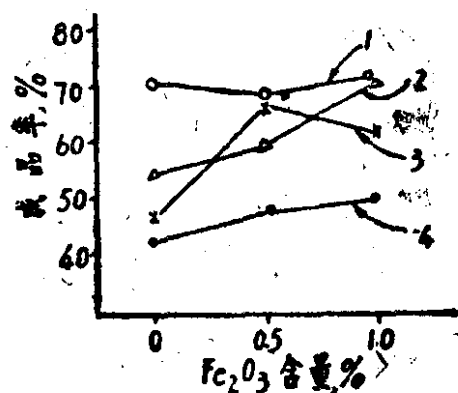
石灰乳加入量对成品率的影响
1—Fe₂O₃1.0%; 2—Fe₂O₃0%;
3—Fe₂O₃0.5%



軋鋼皮加入量对耐压强度的影响
1—CaO2.5%; 2—CaO1.5%;
3—CaO1.0%



軋鋼皮加入量对真比重的影响
1—CaO1.0%; 2—CaO1.5%;
3—CaO2.0%; 4—CaO2.5%



軋鋼皮加入量对成品率的影响
1—CaO2.5%; 2—CaO2.0%;
3—CaO1.5%; 4—CaO1.0%

图 3 矿化剂对产品质量的影响

图 3 各种試驗資料証明，CaO 含量愈高，則成品率愈高，軋鋼皮含量为 1% 左右。因而，除电爐和平爐爐頂砖外，对于其他用途的砖我們都采用 2.5% CaO 和 0.8% 軋鋼皮。

II、废砖量的确定

对于废砖加入量，我們进行了如下試驗（表 5）。

表 5

废砖量与質量之关系

废砖配 入 量	产 品 質 量						成品率 %
	砖坯密度 克/厘米 ³	SiO ₂ , %	真比重	气孔率 %	耐压强度 公斤/厘米 ²	荷重软化点 °C	
0	2.26	95.9	2.357	20.0	539	1650	74.7
10	2.16	95.6	2.361	22.6	392	1640	93.5
20	2.14	95.8	2.356	23.7	322	1650	93.4
30	2.11	95.1	2.359	23.9	279	1650	92.5
40	2.04	94.9	2.362	26.3	253	1650	92.3

因此，在生产中，加入 10~20% 废砖，对于提高成品率有显著的影响，但超过 30%，則所起的作用不大。所以，我厂在配料中一般都加入 10~20% 废砖，在 20 公斤以上者，形状复杂，則加入 30%。对于机械成型，由于砖坯組織比較一致，在烧成中裂紋发生的机会比手成型要少，为提高密度起見，則用 10% 废砖。

IV、其他

1. 紙浆废液加入量：砖坯强度随紙浆废液加入量的增加而提高，如表 6 所示。

表 6

紙浆废液的含量与砖坯質量的关系

紙浆废液加入量, %	气 孔 率, %	砖坯耐压强度, 公斤/厘米 ²
1.0	20.7	46
1.5	20.5	59.5
2.0	20.0	65.5
2.5	19.7	90

最近資料还証明，紙漿廢液对于轉化还有好处，因此可以适当提高它的含量。我們由于受到来源的限制，加入量为0.8~1.2%左右（經研究部門确定：加入量过大，則降低干燥速度）。

2. 泥料水份随砖坯及成型压力的不同而異。成型水份在一定压力下有促进增加砖坯密度之作用，如表7所示。

表 7

泥料水份与砖坯密度的关系

水 份	砖 坯 密 度
5.20	2.14~2.16
5.32	2.17
5.80	2.23

因此，無論手成型的或机械成型的砖坯，在不过压及产生断面不良，变形情况下，应采用相适应的高成型水份。由于焦爐硅砖外形較严，泥料水份波动宜少，我們的为 0.3%。

3. 成 型

I、机械成型

机械成型显然有很多优点，許多研究資料都証实了这一点，無論对理化指标、操作、劳动强度的改善、成品率的提高及稳定，都有一系列好处，因此尽可能采用机械成型。

1. 模型的制作：模型設計既要考虑到制品質量，同时也要考虑到模型制作方便。茲将本厂几点做法簡要介紹如下：

1) 沟稜弧度由3毫米扩大到6毫米，裂紋有显著减少。

2) 为节省材料，模板可采取两面加工，正面磨損后再翻过来使用。

3) 相对称的模型，模板串用。

4) 一面加压的压砖机，上模板要較厚一些，一般为25毫米，如有沟稜，則为30毫米。

5) 长寬有一尺寸相同而另一尺寸相差不大者，且訂貨数量

不多，則設計成阶梯式模板，一套模型可成型 6~7 种砖型。

6) 模板采用渗炭，以便增加硬度。模板渗炭的好坏直接影响着模板的使用寿命，而渗炭的结果，则决定于渗炭的增炭作用时的温度和渗炭剂的成份。我厂渗炭温度介于 920~970℃ 之间。超过这个温度，则使晶粒变粗而发脆，我厂的渗炭剂成份如下 (表 8)。

表 8

类别	渗炭剂配合比例				木炭粒度, 毫米, %				渗炭深度	渗炭层硬度
	焦炭	木炭	BaCO ₃	Na ₂ CO ₃	75	5~2	2~0.5	<0.5		
原配	—	89.5	10	0.5	24	26	21	29	1.13	67.5
新配	60	20	10	10	21	38	18	23	1.37	66.0

在渗炭工作上，我們感到：1. 炭粒很重要，应消除小于 0.5 毫米炭粒；2. 增加部分焦炭，可以减少渗炭剂的收缩，BaCO₃ 和 Na₂CO₃ 使用过多时，并不起渗炭作用。自改进炭粒以后，我厂模板质量有显著好转。

7) 要保持模型各面锥度均匀。模型锥度关系着出砖，我厂的锥度波动范围允许为 0.75~0.25 毫米。一般说来，在不影响外形合乎技术条件规定及图样的前提下，锥度可以大一些。这对降低裂纹有保证。

8) 上模板钻孔是减少层裂的有效方法，模型沟稜下口不得小于上口。

2. 操作问题：在成型砖坯中发现的废品，最多是裂纹，其次是尺寸有厚有薄和掉边掉角。出现的裂纹有如下几种形态：层裂，沟稜裂，中部裂纹（长形砖容易产生）。

在操作问题上，我們进行过下列试验标定和改进。

1) 水份、压力与体积密度的关系如表 9 所示。

只从此表的数据就可以得出三者的互相关系：

① 提高压力可以促使密度增加，但到一定限度后密度的增

表 9

水 份	加 压 次 数	砖 坯 密 度
5.20	5	2.08~2.12
5.80	5	2.16
5.32	5	2.13
5.20	7	2.14~2.16
5.80	7	2.18~2.17
5.32	7	2.15~2.16
5.20	9	2.16~2.17
5.80	9	2.22~2.23
5.32	9	2.17
5.20	11	2.17~2.18
5.80	11	2.24~2.25
5.32	11	2.18

加率就較小；

② 适当地提高水份，可以促使密度提高。

半成品的密度不同，就使得烧成后砖坯体积膨胀不一，如表10数据所示。

表 10

砖坯密度(干燥后)	体积膨胀率(烧成后), %
2.03	9.2
2.05	9.3
2.09	9.6
2.11	10.5

体积密度愈大，则膨胀率愈高。在我厂，机械成型的密度为2.22，模型缩尺为3%；手工成型为2.17~2.14，缩尺为2.5%。由此可以清楚地看到，在正常生产操作中，在固定压力下和同一模型中，控制单重（即成型时装泥量），就控制了砖坯密度。因而，检查单重的正确性和控制单重是十分必要的。

2) 在裂纹的克服方面，我们采取了如下改进措施：

a. 对于层裂，我们是采取首先控制泥料水份，压打时贯彻先轻后重的操作方法及采用上模板鑽孔。

b. 对于沟稜裂紋，主要是保持錐度均匀及一定的錐度，沟稜弧度适当的扩大，模板表面要光滑平整。

c. 对于长条砖裂紋，主要出型取砖时两端受力中間弯曲产生显微应力，我们采取底下垫一薄板（鋁質的），出砖时一齐拿出。此一措施采取效果如下：

	符 号	废品率%	符 号	废品率%
不用薄板.....	2199	19.97	6250	13.96
用薄板.....	2199	4.13	6250	2.82

此外出砖不平也有影响。

3) 为克服掉边角，我们采取提高密度及边角抗泥操作法砖板上垫棉布条提高紙浆废液之含量等措施。模板与模壁間隙大也造成掉边角等，我们是飞边不大于1.5毫米。

模壁接触处不严及不光滑也容易造成掉边角。

II、手工成型

由于焦爐硅砖及煤气爐玻璃窑爐等类硅砖形状复杂，有的单重大，因此仍有采用手工成型（今后尚待改进机械成型）。成型所造成的缺陷，在裂紋方面，由于在显微应力范围或被表面由于細粒和石灰乳、紙浆废液造成薄层所遮蔽，不易发觉，而在烧成后則暴露。因此，对于手工成型的操作工艺应引起注意。

1. 模型制作中的改进：

1) 对于带沟稜的砖坯应尽可能放在砖坯受压打的两面，而不要放在周边的模芯上。而不得已时，在橫芯上則应割开。

2) 孔眼砖应平做，不要使孔眼活芯安設在模柳上。

3) 带底模型如沟槽較寬，則应割开，即叫带小底。

4) 斜坡模型用两种活芯。焦爐斜烟道用的硅砖带斜坡的砖型是很多的，如图4所示。

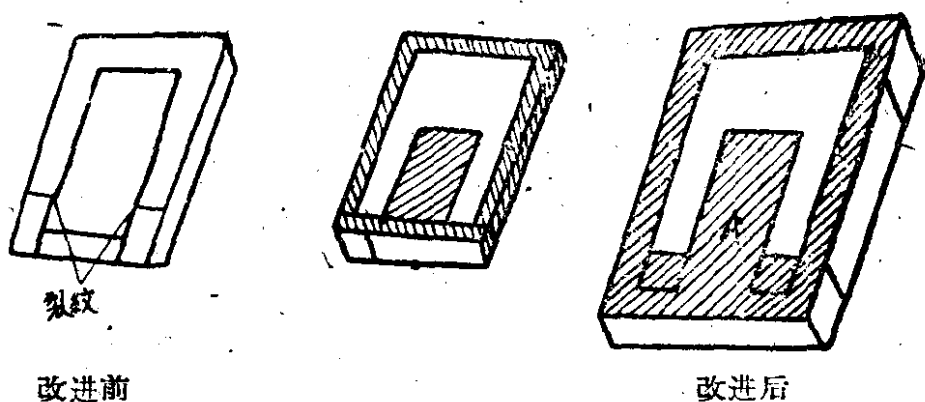


图 4

在卸模型时，取出A模芯，其余仍然固定，因而不致由于边太薄而带动泥料受到应力而生裂纹。

5) 对于带缺口的砖模芯则应割开。

6) 模型四边皆为活芯，活芯与模槌有相对的 2~3 毫米锥度。

7) 对于梯型砖，应如图 5 所示制作。

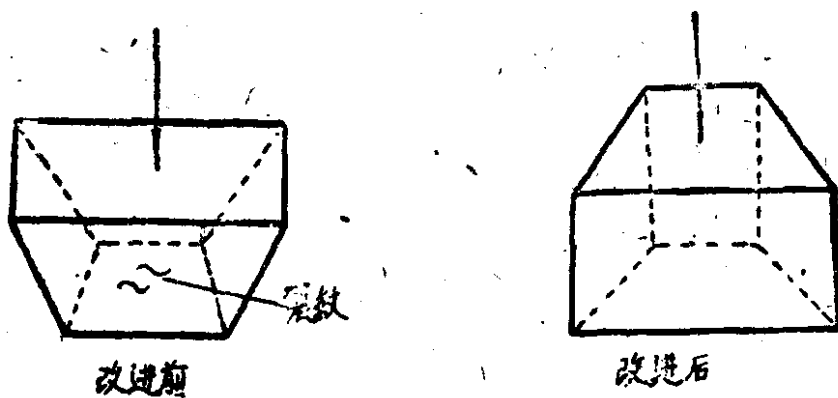


图 5

8) 校正尺寸：为保证各部份尺寸正确性，我们根据成型方法的不同及厚度大小进行加尺或减尺。凡带底的模型，乃沿厚度方向加尺；对于斜形砖，在小头减尺，大头加尺，即凡在尺寸不稳定地方进行调整。

9) 筒型砖的中心棒要长到模芯外面，要使得先拔中心棒而再去模芯。