

硅 磚 的 制 造

培 訓 教 材

鋼 鐵 研 究 院 等 編

冶 金 工 業 出 版 社

硅 磚 的 制 造

培 訓 教 材

北 京 鋼 鐵 研 究 院
鞍 山 焦 化 耐 火 材 料 設 計 院
太 原 鋼 鐵 公 司 耐 火 材 料 廠
長 沙 礦 山 設 計 研 究 院

合 編

冶 金 工 業 出 版 社

硅 砖 的 制 造

鋼鐵研究院等 編

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

— * —

1960年1月第一版

1960年1月北京第一次印刷

印数 5,020 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ • 50,000字 • 印张 $2\frac{4}{32}$ •

— * —

· 統一書号 15062 · 2145 定价 0.25 元

本书是北京钢铁研究院、鞍山焦化耐火材料设计院、太原钢铁公司耐火材料厂和长沙矿山设计研究院合编的硅砖生产培训班的教材。共有两个部分。第一部分讲述了硅砖的制造，共有八章；第二部分讲述了硅砖车间的防尘，共有四章。

本书文字通俗，浅显易懂，具有初中以上文化程度者均能看懂。

目 录

第一部分 硅砖的制造	5
第一章 緒論	5
第二章 硅石原料	6
第三章 矿化剂及粘結剂	15
第四章 硅砖泥料的制备	18
第五章 硅砖砖坯的成型	28
第六章 硅砖砖坯的干燥	31
第七章 硅砖的烧成	33
第八章 硅砖的理化性質及外形、断面組織	44
第二部分 硅砖車間的防尘	52
第一章 緒論	52
第二章 硅砖車間的生产特点及 防止硅尘的主要措施	51
第三章 防尘措施的技术測定	63
第四章 組織措施与个人防护	65

第一部分 硅砖的制造

第一章 緒 論

二氧化硅含量在 93% 以上的耐火砖称为硅砖。它是由硅岩粉碎后加入石灰、鉄鳞、亚硫酸紙浆废液等材料而制成的。硅砖主要有下列三大优点：

1. 高溫荷重軟化点高，并且很接近它的熔点，一般多在 1620°C 以上，有的可达 1650°C 以上。这是一般粘土砖和鎂砖等所达不到的。

2. 在 600°C 以上时，体积变化非常微小，亦即在 600°C 以上时的耐急冷急热性好。

3. 能容纳相当数量的石灰与氧化鉄的侵蝕，而不致降低耐火度太多。

由于硅砖有上述的一些优点，多年来硅砖一直广泛地应用于平爐、电爐、酸性轉爐，加热爐、炼焦爐等，在工业上保持着很重要的地位。但是，硅砖也有其缺点：它的耐火度比較低： $1690 \sim 1730^{\circ}\text{C}$ ； $100 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的耐急冷急热性差。而炼鋼温度往往是接近甚至超过硅砖的耐火度。因此，硅砖在平爐、电爐上的使用寿命比較低，影响炼鋼工业的发展。現在在我国已經在平爐上用鎂鋁砖，电爐上用高鋁砖来代替硅砖。而硅砖主要是大量用于砌筑炼焦爐，另外硅砖也用于玻璃熔爐和烧成耐火砖的倒焰窑等。

1903 年以前炼焦爐是用粘土砖或半硅砖砌筑的。1903 年以后，世界各国即开始用硅砖砌筑炼焦爐。在炼焦爐上采用硅砖、粘土砖及半硅砖作比較，可看出下列各优点：

1. 在用硅砖砌成的炭化室中，煤的結焦時間几乎縮短三分

之二，因而可以提高結焦溫度，而炭化室砌磚體不致有迅速損壞的危險。

2. 在高溫下硅磚對於煤和洗煤水內經常含有的各種鹽類的侵蝕性抵抗性較大。

3. 硅磚在高溫下所發生的一些體積膨脹，使炭化室緊密起來，形成不透氣的炭化室（粘土磚則相反，由於收縮往往使炭化室縫隙增大，造成炭化室壁的損壞和煤氣的燒損）。

4. 炭化室壁和垂直火道，由於採用硅磚砌築，消除了因過熱而造成的扭曲變形現象。

根據使用條件的要求，焦爐硅磚應具有準確的尺寸（要符合圖紙要求），良好的導熱性，高的機械強度，低的气孔率，足夠高的高溫荷重軟化點和尽可能小的殘存膨脹。雖然焦爐硅磚的理化指標不像平爐，電爐用硅磚所要求的那樣高，但是製造上却比較困難。焦爐硅磚的特徵是磚型多，尺寸大，形狀複雜，外形要求嚴格，在技術操作上較難掌握，容易發生廢品。因此必須根據焦爐硅磚的特徵制訂出正確的生產技術操作規程，嚴格貫徹執行；並加強每一個工序的技術監督，保證生產出優質的焦爐硅磚。

第二章 硅石原料

一、二氧化硅的結晶形態

在自然界里所有的硅石原料及制成的硅磚，其主要成份均為二氧化硅。二氧化硅有八種形態，其中七種為結晶形的（有一定結晶形狀），一種為非晶形的（不生成結晶）。

結晶形的： β （貝他）-石英， α （阿爾法）-石英，

γ (干瑯) - 磷石英, β (貝他) - 磷石英, α (阿尔法) - 磷石英;

β (貝他) - 方石英, α (阿尔法) - 方石英。

非晶形的: 石英玻璃。

以上各种结晶形态的化学成份均是二氧化硅 (SiO_2), 但是物理性質各有不同, 而且在一定条件下可以相互轉化。其性質和相互轉化的关系是制造和使用硅磚的理論基础, 頗为重要。因此必須充分了解它和掌握它。

1. 二氧化硅各种结晶形态的性質:

β - 石英: 在 573°C 以下存在, 眞比重为 2.65。天然的石英, 硅石, 水晶等即为 β - 石英。

α - 石英: 在 573°C 以上存在, 其安定存在的溫度范围为 $573 \sim 870^\circ\text{C}$, 眞比重为 2.53。 -

γ - 磷石英: 在 117°C 以下存在, 眞比重为 2.26~2.28。

β - 磷石英: 在 $117 \sim 163^\circ\text{C}$ 溫度范围内存在, 眞比重为 2.24。

α - 磷石英: 在 $163 \sim 1470^\circ\text{C}$ 溫度范围内存在, 眞比重为 2.23。

β - 方石英: 在 $180 \sim 270^\circ\text{C}$ 以下时存在, 眞比重为 2.31~2.32。

α - 方石英: 在 $180 \sim 270^\circ\text{C}$ 以上时存在, 眞比重为 2.23。

石英玻璃: 在 1710° 以上存在, 但是在很快冷却的情况下常溫时也能存在, 眞比重为 2.20。

2. 二氧化硅结晶形态的轉化:

二氧化硅结晶形态的相互轉化是很复杂的。可以分为迟鈍型轉化和高低型轉化, 可用下面的示意图 (图 1) 表示, 并作說明如下。

迟鈍型轉化:

在图 1 中水平方向的轉化为迟鈍型轉化。这种轉化是从結晶的边緣开始, 极其緩慢地进展到結晶核心。特别是在 870°C 时,

只有在有强矿化剂（钨酸钠 Na_2WO_4 ）存在时以及 α -石英被粉碎得足够细的情况下， α -石英才转化为 α -磷石英。

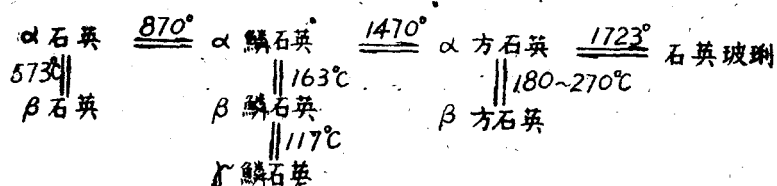


图 1

上述迟钝型转化的温度界限只是在加热时间很长，原料粉碎很细、有强矿化剂存在的条件下才是正确的。在实际中所看到的转化作用是和上述示意图有很大出入的，而是按下列示意图（图 2）进行的。

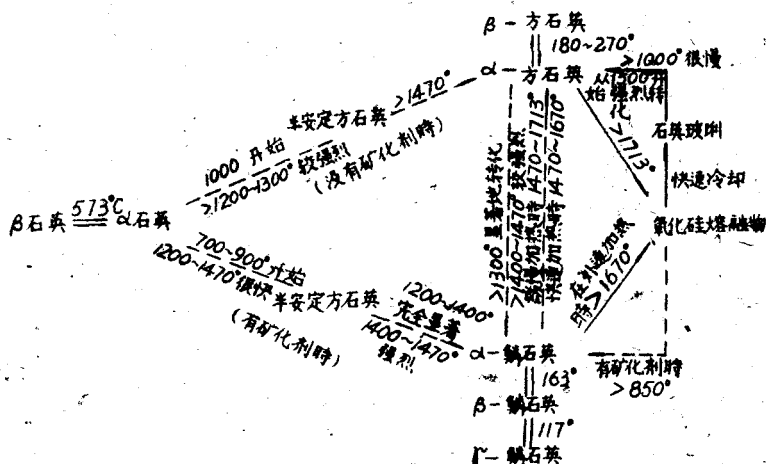


图 2

迟钝型转化的速度和程度，取决于温度的高低，温度作用的时间，颗粒的大小，显微组织（结晶的大小），矿化剂的种类和

数量。温度高，高温作用时间长，颗粒小，结晶小，矿化剂既强量又多，则转化就快；反之则慢。

高低型转化：

在图 1 中，垂直方向的转化为高低型转化。这种转化到了固定温度就会骤然发生的，而且不是从结晶核心或边缘开始和缓慢地进展，而是整个结晶同时骤然转变。

无论是迟鈍型转化或高低型转化都伴随着体积的变化。体积的变化直接影响到硅砖的生产和使用过程。兹将二氧化硅各结晶形态转化时发生的体积变化值列于表 1。

表 1

β -石英 $\rightarrow$ α -石英	体积变化 (%) +0.82
γ 鳞石英 $\rightarrow$ β -鳞石英	+0.20
β 鳞石英 $\rightarrow$ α -鳞石英	+0.20
β 方石英 $\rightarrow$ α -方石英	+2.80
α 石英 $\rightarrow$ α -鳞石英	+16.0
α 石英 $\rightarrow$ α -方石英	+15.4
α 石英 $\rightarrow$ 石英玻璃	+15.5
石英玻璃 $\rightarrow$ α -方石英	-0.9

二、硅石的种类

制造硅砖的硅石原料主要可以分成三种：结晶性硅石、胶结性硅石和脉石英。

结晶性硅石是由石英颗粒彼此紧密接触而组成的，石英颗粒之间几乎没有或只含有极少量的胶结物质。化学成份比较纯，二氧化硅含量高，外观颜色有白色，淡灰色，灰色，黑色；断面致密，有时呈贝壳状。石英结晶较大，肉眼可看见石英颗粒，有明显的粒状组织，煅烧时转化比较缓慢。在自然界中蕴藏量很丰富，是制造硅砖的主要原料。我国辽宁省的南芬硅石，鞍山硅石，河南省的铁门硅石均属结晶性硅石。

胶结性硅石是由石英颗粒被大量的胶结物质（是由微小的无

定形二氧化硅以及硅酸鉄、石灰和氧化鋁所組成) 胶結而成的。胶結物質約含30~75%。化学成份沒有結晶性硅石那样純。外觀顏色有白色、淡灰色、灰色、黑色。断面致密，呈貝壳狀，沒有明显的粒狀組織，煅燒時轉化很迅速。山西五台山硅石就屬於胶結性硅石。

脉石英是火成岩，結晶很大，化学成份很純，二氧化硅含量可达99%以上，外觀顏色呈乳白色，坚硬，断面致密，呈腊狀。煅燒時轉化很緩慢，膨脹性大，用以制造硅磚時比較困难，吉林省的江密峰硅石即为脉石英。

三、硅石的物理化学性質

硅石原料質量的優劣，是制造硅磚的先决条件，它关系到制造硅磚時所采用的工艺过程。硅石原料的質量應該根据它的一系列物理化学性質来决定，不能仅仅根据某一项性質来評定。例如：如果单用化学成份和耐火度来决定原料的優劣，而忽視了显微組織、煅燒性質等物理性質，并且沒有采用相应的工艺过程，在生产上将会造成很大的損失。往往有許多硅石原料，化学成份很純，耐火度也很高，如脉石英，但是并不一定是制造硅磚的理想原料，因为結晶大，膨脹性高，制成的磚坯在燒成过程中难轉化，并且容易破裂。

研究硅石原料時一般应根据下列各項物理化学性質：

1. 外觀及断面；
 2. 显微組織；
 3. 夹杂物；
 4. 化学成份；
 5. 耐火度；
 6. 吸水率；
 7. 煅燒性質。
1. 外觀及断面；

从硅石原料的外观及断面来识别其质量很为重要，因为在矿上采矿及工厂验收原料时首先是根据硅石的外观和断面来鉴定的，同时也可以初步鉴定硅石是属于结晶性的，还是胶结性的或是脉石英，以及夹杂物的种类及夹杂程度。优良的硅石原料应该是致密的，有时有贝壳状或鳞状的断面，没有明显的层状结构，在层与层之间没有夹杂物，并且不带有石灰石的外壳。硅石的外观颜色取决于一些杂质的存在。例如，铁质化合物赋予硅石红褐色，而含有机质的硅石则带有灰色，黑色，淡红色等。

将矿上运来的硅石原料，按其外观及断面的不同，取出典型的样品，并分别作物理化学性质的试验。根据试验结果可以将取出的典型样品作为选料时的标准样品。

2. 夹杂物：

硅石的杂质有机械杂质和化合杂质二种。机械杂质（夹杂物）可用机械方法在某种程度上能够除净。例如黄土、粘土可用水冲洗掉。石灰石外壳可以用铁锤敲掉。根据技术条件，硅石原料的机械夹杂物不得超过2~3%。化合杂质是不能用机械方法除掉的，因此化合杂质超过4%的硅石就不能使用（当然还要看耐火度）。

由矿山运来的硅石应将黄土、粘土、石灰石等夹杂物去掉。特别是带有很厚石灰石外壳的硅石不适合制造硅砖，因为随硅石混合硅砖的石灰石细粒，在烧成过程中变成未消化的石灰。含有未消化的石灰的硅砖，在仓库保管时，一旦与潮湿空气相接触，石灰即开始消化，引起体积的剧烈膨胀，以致使硅砖毁坏。硅石上的石灰石外壳，如厚度在0.5毫米以下还可以使用，超过0.5毫米就不宜使用。硅石上夹有的石灰石外壳，常常用肉眼即可看出，但有时石灰石外壳的颜色与硅石相似，很难测定。在这种情况下，为了识别石灰石可用下列简单方法：首先在可疑的地方洒些水，然后滴上盐酸。盐酸对硅石不起作用，而对石灰石则发生作用并发出嘶嘶声音，有碳酸气（ CO_2 ）逸出。用此法即可识别

石灰石。

3. 显微組織：

研究硅石的显微組織（内部組織）对評定硅石的質量很重要。显微組織是要用偏光显微镜来观察的，它可以正确地識別硅石是胶結性的，还是結晶性的，含有那些雜質，雜質的分布情况和大致数量，石英顆粒大小和形状，轉化难易等。根据显微組織的观察，在某种程度上可以判断硅石的煅烧性質。例如，在观察結晶硅石的显微組織时，若发现硅石内部的石英顆粒比較小，并以锯齿状互相間結合得很致密，顆粒大小不一，这說明这种硅石在煅烧时比較容易轉化，膨胀性小，并具有不易松散的趋向，用它可以制造出致密的，烧成时不易出裂紋的硅砖。結晶硅石含石英顆粒較大，顆粒的大小差別不大，且均为圓形。这种硅石烧成时膨胀性大，轉化慢，易松散，用它制成的硅砖气孔率高，强度差，并且容易出現烧成裂紋。所以，最好不单独使用这种硅石制砖而采用轉化較慢的硅石与其配合制砖，从而減少烧成裂紋的废品。

4. 化学成份：

硅石的化学成份一般是由下列各氧化物組成的：二氧化硅（ SiO_2 ）、三氧化二鋁（ Al_2O_3 ）、三氧化二鐵（ Fe_2O_3 ）、氧化鈣（ CaO ）、氧化鎂（ MgO ）、氧化鉀（ K_2O ）、氧化鈉（ Na_2O ）、灼烧減量等。硅石的化学成份愈純，二氧化硅含量就愈高，耐火度也愈高。除二氧化硅以外的氧化物均为雜質。其中最有害的雜質是氧化鈉、氧化鉀、三氧化二鋁。

氧化鈉和氧化鉀能够显著的降低硅石的耐火度。所以，一般規定制造硅砖的硅石原料其氧化鈉氧化鉀的总量不应超过0.2~0.4%；另一方面，氧化鈉和氧化鉀促进石英的轉化作用是很强的。

三氧化二鋁不但能显著的降低硅石的耐火度，而且会显著地降低成品的高溫荷重軟化点。若以氧化鈣（ CaO ）及三氧化二鐵（ Fe_2O_3 ）的含量固定，其三氧化二鋁（ Al_2O_3 ）含量为2%，則荷重軟化点要降低125℃；若为6%，則要降低275℃。

氧化鈣 (CaO)、氧化鎂 (MgO)、三氧化二鐵 (Fe_2O_3) 等雜質對硅石質量的影響不像 Na_2O , K_2O , Al_2O_3 那樣大, 只要分布均勻, 含量不很高, 在某種意義上來說對製造硅磚是有益的, 因為對硅石的耐火度影響較小, 另外能促進石英結晶的轉化, 況且我們在製造硅磚時還需要加 CaO 及 Fe_2O_3 。

5. 耐火度:

能夠用來製造硅磚的硅石原料, 其耐火度不得低於 1710°C 。特等優質的硅石耐火度可高達 1750°C 以上。例如, 河南省鉄門硅石的耐火度高達 $1750\sim 1770^\circ\text{C}$ 。硅石的耐火度超過其熔融溫度是由于硅石熔成液體, 其粘度很高的緣故。

6. 吸水率:

硅石吸水率的大小, 可表示它的致密程度。吸水率是評定硅石質量的重要指標。硅石的吸水率愈高, 則其質量愈差。硅石吸水率高對製造硅磚的不利影響, 主要有三個方面:

① 硅磚配料中一般只能加入 $2\sim 2.5\%$ 石灰。加入石灰的目的是使其包圍在硅石顆粒的表面, 使各硅石顆粒結合成一整體, 促進石英的轉化和磚坯的燒結。假如是吸水率很高的硅石, 即孔隙很多, 會吸收大量的石灰。這樣, 為了把硅石顆粒結合的 $2\sim 2.5\%$ 石灰就會不足, 然而又不能多加石灰, 因為過多的加入石灰會降低硅磚的耐火度。

② 吸水率高的硅石比較疏松, 在粉碎及混煉時會產生過多的細粉, 不能保證泥料有正確的顆粒組成, 嚴重的影響硅磚質量。

③ 用吸水率高的硅石制成的硅磚, 其氣孔率一定高, 不能用它製造質量高的硅磚。

優良的硅石, 其吸水率在 1.5% 以下。吸水率超過 4% 的硅石不宜使用。

7. 煅燒性質:

了解硅石的煅燒性質是評定硅石質量的重要方法之一。優良的硅石經高溫 (1450°C 以上) 煅燒後不致發生碎裂, 分散和嚴重

的龟裂现象（允许有个别的大裂纹），其吸水率不超过3~4%，并且没有熔洞。硅石经煅烧后，颜色会变浅，甚至变为白色。这种颜色的变化没有什么意义，因为硅石的颜色主要是含有的有机物所赋予的，煅烧后有机物被烧掉，即失去颜色。

硅石经过煅烧后，真比重会降低。这表明石英结晶的转化。真比重降低的多少即表明石英结晶转化的程度。按照苏联Г.В. 庫柯列夫教授的意見，把硅石煅烧至测温錐 146 号弯倒，并保温一小时，然后测定其真比重，根据真比重的大小，把硅石分成四类，如表 2 所示。

表 2

硅 石 名 称	煅烧至测温錐 146 号弯倒，并保证 1 小时的真比重	
I 快速转化硅石	2.40 以下	
II 中速转化硅石	2.40~2.45	
III 慢速转化硅石	2.45~2.50	
IV 特慢转化硅石	2.50 以上	

第 I、II、IV 类硅石，如其它条件符合要求，可以制出质量优良的硅砖。第 I 类硅石由于煅烧时转化太快，用这种硅石制砖时，烧成过程中易产生裂纹。一般不单独使用它，除非在烧成过程中虽转化快，但并不松散的硅石方可单独使用，例如山西五台山硅石。

四、硅石的技术条件

表 3

等 级	化 学 成 份, %			耐火度 °C	吸水率 %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO		
特 等	>98	<0.5	<0.5	>1750	<3.0
I 等	>97	<1.3	<1.0	>1730	<4.0
II 等	>96	<2.0	<1.2	>1710	<4.0

注：硅石块度不大于 300 毫米，其中 <25 毫米的硅石块不得大于 5%。

第三章 矿化剂及粘結剂

一、矿化剂的作用及选择

能够加速石英結晶在煅烧过程中的轉化作用的物質称为矿化剂。制造硅砖时，在配料中加入矿化剂的作用就是使石英結晶更快地轉化为磷石英和方石英，从而可以降低烧成溫度或縮短烧成時間。另外，由于矿化剂在烧成过程中与二氧化硅起作用，生成一定数量的液体。此液体一方面能減輕由于石英轉变的体积膨胀所发生的应力，起着弹性作用，減輕了砖坯开裂的趋向；另一方面充填于裂紋中以及顆粒間的間隙內，使砖成为整体，起結合作用，增加了砖的强度。

矿化剂对于硅砖的制造起着有益的作用，几乎是制造硅砖所不可缺少的。但也有其缺点，即加入矿化剂能够降低硅砖的耐火度。因此，矿化剂的选择具有很重要的意义。理想的矿化剂应该是既能促进石英結晶的轉化和砖坯的燒結，又对硅砖耐火度的影响較小，而且比較經濟，容易取得。

茲将各种矿化剂对石英轉化的影响列于表4。

表 4

矿 化 剂	在1300°C下加热1小时 石英真比重的变化	石 英 轉 化 %
不加矿化剂	2.625	—
CaO (氧化鈣)	2.585	12
BaO (氧化鋇)	2.605	6
Cr ₂ O ₃ (氧化鉻)	2.605	6
Fe ₂ O ₃ (三氧化二鉄)	2.550	23
FeO (氧化亚鉄)	2.530	29
Al ₂ O ₃ (三氧化二鋁)	2.615	3
Na ₂ SiO ₃ (硅酸鈉)	2.390	72
Na ₂ CO ₃ (碳酸鈉)	2.350	85
K ₂ CO ₃ (碳酸鉀)	2.325	92

从表 4 可以看出,促进石英轉化最强烈的矿化剂是 Na_2SiO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 。但是,实际上不采用这些矿化剂,因为它们对硅砖耐火度影响最大,少量的加入即能显著的降低硅砖的耐火度。另外,这三种物质均能溶解于水,在成型及干燥过程中,由于毛细管的作用,会从砖坯中心部份向表面扩散,密集于砖坯表面部份。这样中心部份矿化剂较少,轉化較慢;表面部份矿化剂較多,轉化較快,由此会产生应力,引起砖坯組織的破坏和开裂。另外,从經濟观点上来講,采用硅酸鈉(Na_2SiO_3), 碳酸鈉(Na_2CO_3), 碳酸鉀(K_2CO_3)作矿化剂也是不經濟的。因此,虽然能够强烈的促进石英結晶的轉化,在实际生产上是不采用的。最好和最經濟的矿化剂是 FeO (氧化亚鉄)和 Fe_2O_3 (三氧化二鉄), 其次是 CaO (氧化鈣), 最坏的是三氧化二鋁。所以,生产上广泛采用氧化鉄和石灰作矿化剂。

氧化鈣和氧化鉄除能較好地促进石英結晶的轉化和最經濟外,尚有很多优点,現分別叙述如下:

- 氧化鈣: 1. 不溶于水(遇水后生成的氢氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 是不溶于水的)。
2. 氧化鈣的加入往往是調成石灰乳加入的。石灰乳有粘性,能够使松散的硅砖配料粘結在一起,产生一定的塑性,以利砖坯的成型和增加砖坯的强度。
3. 对硅砖耐火度的影响較小。
4. 减少砖坯在烧成过程中的膨胀及开裂傾向,促进砖坯的燒結。

- 氧化鉄: 1. 不溶于水。
2. 对硅砖耐火度的影响較小。
3. 减少砖坯的烧成膨胀及烧成开裂。
4. 有利于鳞石英的生成,促进砖坯的燒結。
5. 降低成品的气孔率与提高耐压强度。