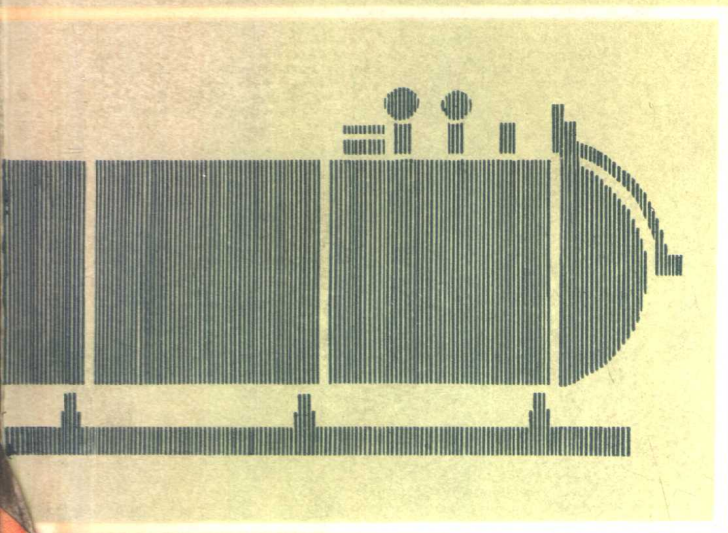


灰砂硅酸盐建筑制品



中国建筑工程出版社

TV525

2

灰砂硅酸盐建筑制品

重庆建筑工程学院
建筑制品教研室

蒲心诚 赵镇浩

中国建筑工业出版社

本书比较系统地介绍了各类灰砂硅酸盐建筑制品(包括灰砂硅酸盐砖、配筋灰砂硅酸盐制品和石灰-砂加气混凝土)的内部结构、材料性能、生产工艺以及使用范围等方面的内容。并对水化硅酸钙的合成条件和单体性质、灰砂硅酸盐混凝土结构的形成原理和缺陷产生的原因、各类制品的成型工艺原理以及合理的生产工艺流程和工艺参数选择进行了比较详细的阐述和探讨。

本书主要供从事硅酸盐建筑制品的科研、设计和生产方面的科技人员和工人阅读,亦可供大专院校有关师生参考。

灰砂硅酸盐建筑制品

重庆建筑工程学院

建筑制品教研室

蒲心诚 赵镇浩

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 10 字数: 268 千字

1980年9月第一版 1980年9月第一次印刷

印数: 1—9,110册 定价: 0.96元

统一书号: 15040·3712

序 言

灰砂硅酸盐建筑制品是以石灰与砂子为主要原料，用一定的工艺方法制成砖、砌块、预制构件、墙板等建筑制品。这类制品都是在水热合成条件下产生强度，其内部的胶凝物质基本上是水化硅酸盐类的矿物，所以称为硅酸盐建筑制品。

1880年，德国学者米哈依列斯提出了以石灰与砂子为原料，在蒸压釜中用高温饱和蒸汽处理的水热合成方法来生产建筑材料的建议。此后，首先是灰砂硅酸盐砖的生产在世界许多国家得到了迅速地发展。近一个世纪以来，随着研究工作的不断深入，这种水热合成的硅酸盐材料性能不断改善，其应用范围也逐渐扩大。目前，可以用这种材料制作密实混凝土、轻骨料混凝土、加气 and 泡沫混凝土；做成的制品种类繁多，诸如：砖、砌块、墙板、预应力构件，等等。总之，除开现浇工程以外，几乎所有在工厂生产的建筑制品与构件，基本上都可以用灰砂硅酸盐混凝土制作，其性能完全可以同水泥混凝土制品媲美。

这样，在混凝土类人造石材的生产工艺方面，除历史悠久的用普通硅酸盐水泥经水化作用产生水化矿物胶凝物质的水化工艺方法外，还并列地发展着用含钙、硅、铝的原料直接合成水化矿物胶凝物质的水热合成工艺方法。随着建筑工业化的发展，以及工业废料和地方资源的大量利用，用后一工艺方法生产建筑制品必将得到进一步发展。除此之外，水热合成方法目前也已渗透到高强度水泥制品的生产工艺之中。例如，在蒸压水泥混凝土制品中，一般都要掺入磨细砂及其他含硅原料，此时，其制品内部除水泥的水化作用以外，水热合成的作用占有重要的地位。

用灰砂硅酸盐混凝土制作建筑制品和构件，可以合理利用一些地方资源作原材料，从而节约大量的水泥。灰砂硅酸盐混凝土

是以石灰、砂子为基本原料，这些地方资源可就地取材，价格便宜，贮量丰富。硅酸盐混凝土制品的成本一般要比水泥混凝土制品低 25~30%。用硅酸盐混凝土代替水泥混凝土制造建筑制品（以 1 吨水泥制作的混凝土计），可以平均节约 200 公斤标准燃料。目前，我国的墙体材料基本上还是粘土小砖，如果用灰砂硅酸盐制品代替一部分粘土小砖作墙体材料，会得到良好的技术经济效果。

1960 年，我国建成了北京硅酸盐制品厂。此后，各地相继建立了一批灰砂硅酸盐制品企业。特别是四川地区，近几年来建成了几十个灰砂硅酸盐制品工厂，其灰砂硅酸盐砖总产量居全国之冠。

为了促进我国灰砂硅酸盐建筑制品的快速发展，为早日实现四个现代化多作贡献，笔者试图从灰砂硅酸盐混凝土的结构形成、材料性能、生产工艺，使用特点等方面向读者作较为系统的介绍。但由于水平有限，缺点错误在所难免，希望广大读者批评指正。

本书编写工作由蒲心诚主持，序言、第一章至第六章及第十一章的第一节和第二节为蒲心诚编写，第七章至第十章以及第十一章的第三节为赵镇浩编写。

本书在编写过程中得到了国家建委东北建筑设计院、《硅酸盐建筑制品》编辑部、北京市建筑材料科学研究所、重庆市第一砖瓦厂、四川资中灰砂砖厂和齐齐哈尔铁路局加气混凝土厂等单位的大力支持和帮助，一并表示深切的谢意。

目 录

序言

第一章 水热处理的物理化学过程	1
第一节 水化硅酸钙的水热合成及其性质	1
第二节 水化硅酸钙单体的强度	17
第三节 灰砂硅酸盐混凝土的结构形成	20
第四节 蒸压处理过程中灰砂硅酸盐混凝土结构缺陷的发展	29
第二章 灰砂密实硅酸盐制品的原材料	35
第一节 石灰	35
一、石灰的煅烧	35
二、石灰的消化	38
三、石灰的硬化	40
四、磨细生石灰	40
五、石灰的质量要求	42
第二节 硅质原料	45
第三节 外加剂	47
第三章 灰砂密实硅酸盐混凝土的结构和物理力学性能	50
第一节 灰砂密实硅酸盐混凝土的结构	50
第二节 灰砂密实硅酸盐混凝土的密实度、抗渗性和耐水性	54
第三节 灰砂密实硅酸盐混凝土的强度	56
第四节 灰砂密实硅酸盐混凝土的变形性能	67
第五节 灰砂密实硅酸盐混凝土的收缩	71
第四章 灰砂密实硅酸盐混凝土的耐久性	74
第一节 灰砂密实硅酸盐混凝土的大气稳定性	74
第二节 灰砂密实硅酸盐混凝土的抗冻性	76
第三节 灰砂密实硅酸盐混凝土的抗蚀性	81

一、淡水浸析	81
二、硫酸盐类侵蚀	83
三、酸类侵蚀	85
第四节 灰砂密实硅酸盐混凝土对钢筋的保护性能	86
第五章 灰砂硅酸盐砖生产工艺	90
第一节 灰砂硅酸盐砖的基本生产工艺流程	90
第二节 石灰和砂子的运输与储存	92
第三节 原料的破碎与粉磨	95
一、破碎与粉磨概述	95
二、破碎与粉磨设备	96
三、石灰的粉磨工艺	109
第四节 配合比选择与物料计量	112
第五节 混合料的搅拌与消化	119
一、第一次搅拌	119
二、混合料的消化	123
三、第二次搅拌	126
第六节 砖坯的成型与堆码	126
一、压制成型工艺原理	126
二、成型设备	130
三、取砖和码坯	137
第七节 灰砂硅酸盐砖的蒸压处理	139
一、蒸压釜的构造	139
二、蒸压制度	143
三、蒸压过程的热工计算	146
第八节 成品堆场	149
第九节 灰砂硅酸盐砖生产工艺实例	152
第十节 灰砂硅酸盐砖的生产控制和质量检查	155
第六章 配筋灰砂硅酸盐制品生产工艺	160
第一节 配筋灰砂硅酸盐制品的基本生产工艺流程	160
第二节 灰砂混合料的和易性	166
第三节 配筋灰砂硅酸盐混凝土配合比选择	169
第四节 石灰-砂胶结料的制备	170
第五节 灰砂混合料的制备	171

第六节 生产配筋灰砂硅酸盐制品的钢模	173
第七节 配筋灰砂硅酸盐制品的振动成型	176
一、振动密实原理和工艺参数的选择	176
二、灰砂硅酸盐制品的振动成型设备	181
三、配筋灰砂硅酸盐制品的振动成型工艺	187
第八节 配筋灰砂硅酸盐制品的蒸压处理	192
第九节 配筋灰砂硅酸盐制品的生产控制和质量检查	195
第七章 石灰-砂加气混凝土结构形成的基本原理	198
第一节 石灰-砂加气混凝土的气孔结构	198
一、气孔结构的形成	199
二、石灰-砂料浆的塑性强度	201
三、料浆浇注稳定性的条件	203
四、影响气孔结构的因素	204
第二节 石灰-砂加气混凝土的相组成	205
一、坯体在蒸压养护前的凝结过程	205
二、坯体在蒸压养护过程中的硬化反应	207
三、石灰-砂加气混凝土在蒸压养护过程中相形成的特点	209
第八章 石灰-砂加气混凝土的原材料与配合比选择	212
第一节 基本组成材料	212
一、生石灰	212
二、水泥	214
三、砂	215
第二节 发气剂与气泡稳定剂	216
一、发气剂	216
二、气泡稳定剂	220
第三节 调节剂	222
一、石膏	223
二、三乙醇胺	226
三、菱苦土	227
第四节 钢筋与钢筋防腐剂	229
一、钢筋	229
二、钢筋防腐剂	229

第五节 石灰-砂加气混凝土配合比选择	230
一、基本组成材料的硅钙比选择和用量计算	230
二、水料比选择和用水量计算	232
三、铝粉用量计算	234
四、其它材料用量	234
五、例题	235
第九章 石灰-砂加气混凝土生产工艺	238
第一节 石灰-砂加气混凝土的生产工艺流程	238
第二节 原材料的加工	243
一、原材料的磨细	243
二、铝粉脱脂	245
三、钢筋防腐处理	248
第三节 配料与搅拌	249
一、配料	249
二、搅拌	249
第四节 料浆的浇注	253
一、模具准备	253
二、浇注方法	254
三、料浆的浇注稳定性	255
第五节 坯体的静停与切割	262
一、坯体静停	262
二、坯体切割	263
第六节 蒸压养护	263
一、抽真空	264
二、升温	265
三、恒温	266
四、降温	267
第十章 石灰-砂加气混凝土制品的基本性能	268
第一节 物理性能	268
一、容重	268
二、孔隙率	268
第二节 力学性能	269
一、抗压强度	269

二、其它强度	270
三、变形性能	271
四、抗震性能	272
第三节 热工性能	272
一、热传导系数	272
二、蓄热系数	274
第四节 水作用下的性能	274
一、水分在制品中存在的形态	274
二、水分的浸入	275
三、吸水性能与含水率	276
四、耐水性能与软化系数	277
五、吸湿性能	278
第五节 耐久性	279
一、抗冻性	279
二、碳化稳定性	280
三、化学稳定性	283
第六节 其他性能	284
一、收缩与裂缝	284
二、蒸汽与空气的渗透性	286
三、盐析	287
四、钢筋防腐剂对钢筋与加气混凝土粘结力的影响	287
第十一章 灰砂硅酸盐制品的应用	289
第一节 灰砂硅酸盐砖的应用	289
第二节 配筋灰砂硅酸盐制品的应用	293
第三节 石灰-砂加气混凝土的应用	295
附录	298
附录一 某些水化硅酸钙的中、俄、英名称对照表	298
附录二 《蒸压灰砂砖》部标准 (JC153-74)	298
参考文献	304

第一章 水热处理的物理化学过程

第一节 水化硅酸钙的水热合成及其性质

众所周知，经蒸压处理后的灰砂硅酸盐材料具有优良的物理力学性能，可以用来制作各种建筑制品，包括配筋制品和预应力制品；也可以用来制作多孔混凝土制品。

为什么这种材料具有优良的物理力学性能呢？怎样来控制或调整这些性能以满足建筑功能上的不同要求？这就不能不联系到这种材料经蒸压处理后，在其内部水热合成所生成的胶凝物质的种类、性质以及它们的生成条件。

人们在生产斗争和科学实验中发现，蒸压处理后的硅酸盐混凝土中水热合成了大量的水化硅酸盐矿物，其中最主要的是各种水化硅酸钙矿物。研究人员还用人工方法水热合成了许多水化硅酸钙单体并对它们的性质进行了大量的研究（这些水化产物有的在自然界中早已发现，有的尚未被发现），然而自然界存在的一些水化硅酸钙矿物还未能全部用人工方法合成。现根据已有的资料将蒸压工艺处理条件下可能产生的水化硅酸钙矿物列于表 1-1 中，并将其制取方法和主要特征分述于后。

1. C_3SH_2

用 C_2S 和 CaO 在温度为 $250\sim 450^\circ C$ 下蒸压合成，或用 C_3S 在 $150\sim 450^\circ C$ 下水化而成^[18]，在 $CaO-SiO_2-H_2O$ 系统中亦可以用 $C/S=3$ 的组成，在 $200\sim 400^\circ C$ 下蒸压合成^[19]。用差热分析方法对 C_3SH_2 进行鉴定时，于 $530^\circ C$ 、 $740^\circ C$ 和 $900^\circ C$ 处有三个吸热效应^[3]，它在 $530^\circ C$ 和 $740^\circ C$ 时脱水，在 $900^\circ C$ 时，这个化合物分解为 $\gamma-C_2S$ 和 CaO 。

C_3SH_2 的晶体呈针状（图 1-1），它是钙硅比最高的水化硅

酸钙矿物，在蒸压硅酸盐制品中不出现。

2. $C_2SH(A)$

$C_2SH(A)$ 可以用下列方法取得：

(1) 在 $100\sim 200^\circ C$ 下水化 C_3S ；

(2) 在低于 $200^\circ C$ 下水化 C_2S ；

(3) 以 $C/S=1.8\sim 2.4$ 的石灰和结晶石英粉末（或硅胶）混合物在 $150\sim 200^\circ C$ 下蒸压处理2~5昼夜。

$C_2SH(A)$ 的晶体呈棱柱薄片状（图1-2），尺度较大，可达100微米。 $C_2SH(A)$ 的热谱于 $430\sim 480^\circ C$ 时略呈双叉形的吸热效应（图1-14）。在X射线谱上（图1-16）几乎有 $Ca(OH)_2$ 的全部线条。 $C_2SH(A)$ 晶体在 $600^\circ C$ 以下加热时都不起变化，如高于此温度则生成 $\beta-C_2S$ 粉末， $900^\circ C$ 时 $\beta-C_2S$ 变为 $\gamma-C_2S$ 。

3. $C_2SH(B)$

$C_2SH(B)$ 可以下列方式制取：

(1) 在 $160\sim 220^\circ C$ 下水化 $\beta-C_2S$ 和 $\gamma-C_2S$ ；

(2) 以 $C/S=1.8\sim 2.4$ 的石灰和磨细石英粉（或硅胶）混合物在 $160\sim 250^\circ C$ 下水热合成，所需的时间比 $C_2SH(A)$ 长2~4倍。

$C_2SH(B)$ 的天然矿物称为水硅钙石。在它们的热谱上，于 $540\sim 560^\circ C$ 处（用硅胶的）或于 $610^\circ C$ 处有吸热效应。它的晶体呈纤维状（图1-3）。 $C_2SH(B)$ 加热到 $550^\circ C$ 以上时，转变为 $\beta-C_2S$ 。

4. $C_2SH(C)$

$C_2SH(C)$ 可用下列方式取得：

(1) 在 $170\sim 350^\circ C$ 下水化 $\beta-C_2S$ 和 $\gamma-C_2S$ ；

(2) 在 $190^\circ C$ 下用石灰和硅胶进行蒸压处理；

(3) 以 $C/S=1.5\sim 2.0$ 的石灰和磨细石英砂混合物在 $225\sim 285^\circ C$ 下蒸压处理5~10昼夜。

$C_2SH(C)$ 在 $740^\circ C$ 时开始脱水，并形成 $\gamma-C_2S$ 。在差热曲线上于 $740^\circ C$ 处有明显的吸热效应。这种水化硅酸钙的晶体呈细粒状（图1-4）。

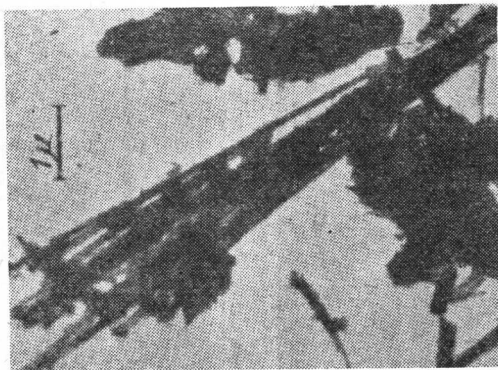


图 1-1 C_3SH_2 的电子显微镜照相

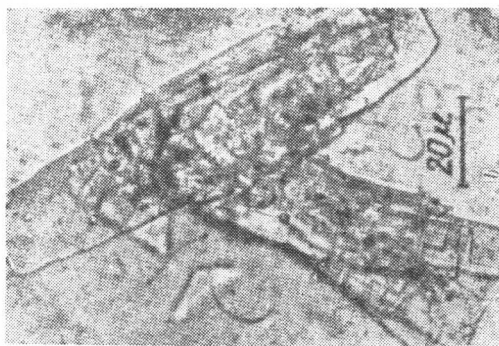


图 1-2 合成 $C_2SH(A)$ 的显微照相
a—单个晶体, b—具有代表性的结晶连生体

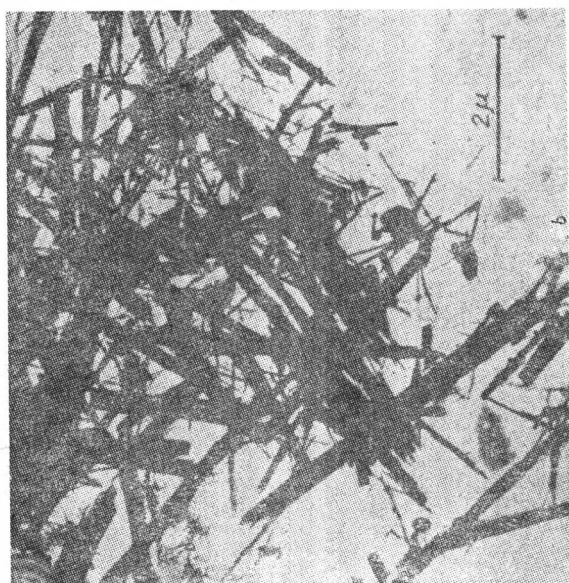
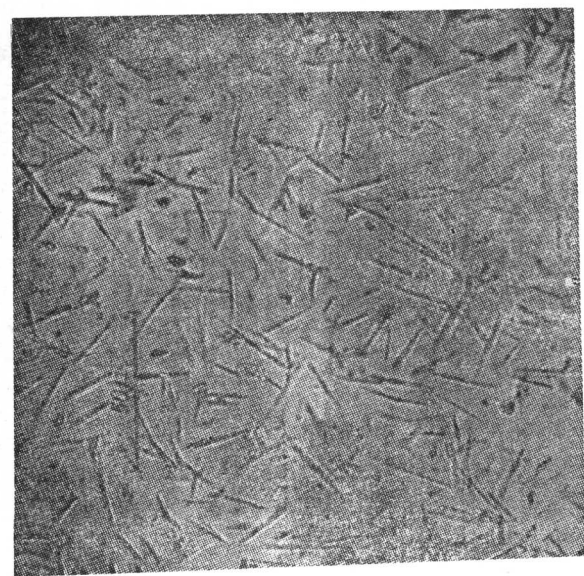


图 1-3 合成 $C_2SH(B)$ 的显微照相
a—在光学显微镜下；b—在电子显微镜下

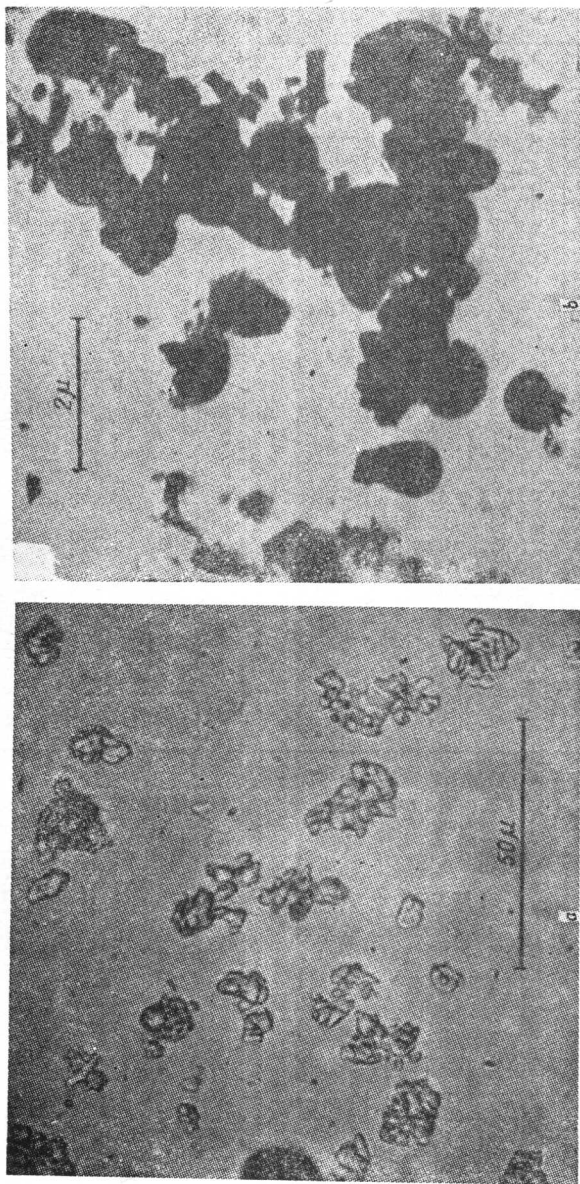


图 1-4 $C_2SH(C)$ 的显微照相
 a—在光学显微镜下, b—在电子显微镜下

常见水热合成水化硅酸钙

名称或符号	别 名	化学计算式	结 晶 化
			按X, C, 马麦多夫及H, B, 别洛夫
C_3SH_2		$C_6S_2H_3$	$[Ca_4(Si_2O_7)(OH)_2] \cdot 2Ca(OH)_2$
$C_3SH(A)$	α - C_2S 水 化 物	$C_{1.8 \sim 2.4}SH_{1 \sim 1.25}$	
$C_2SH(B)$	β - C_2S 水 化 物	$C_{1.8 \sim 2.4}SH_{1.1 \sim 1.5}$	
$C_2SH(C)$	γ - C_2S 水 化 物	$C_{1.5 \sim 2.25}SH_{0.3 \sim 0.4}$	
C_2SH_2	CSH(II)	$C_{1.7 \sim 2}SH_{2 \sim 4}$	
斜方硅钙石		$C_4S_3H_{1.5}$	$Ca_8[Si_6O_{17}](OH)_6$
硅酸钙石		$C_3S_2H_3$	$Ca_3 \cdot 2H_2O[SiO_3(OH)]_2$
CSH(A)	燧石CSH	$CSH_{1.1}$	
CSH(B)	CSH(I)	$C_{0.8 \sim 1.5}SH_{0.5 \sim 2.5}$	
托贝莫莱石			
14Å	温泉淖石	$C_5S_6H_{10.5}$	$Ca_{10}[Si_{12}O_{31}](OH)_6 \cdot 18H_2O$
11.3Å	$C_4S_5H_5$ $C_5S_6H_5$	$C_5S_6H_{5.5}$	$Ca_{10}[Si_{12}O_{31}](OH)_6 \cdot 8H_2O$
9.3Å	单硅钙石	$C_5S_6H_3$	$2 \{ Ca_{10}[Si_{12}O_{31}](OH)_6 \cdot 3H_2O \}$
硬硅钙石		C_6S_6H	$Ca_6[Si_6O_{17}](OH)_2$
白钙沸石	$C_2S_3H_2$	$C_2S_3H_{2.5}$	$24 \{ Ca_4[Si_6O_{17}](OH)_2 \cdot 4H_2O \}$

注：1.表中水化硅酸钙的符号采用鲍格符号。

2.表中符号C代表CaO，S代表SiO₂，H代表H₂O。例如C₆S₆H即表

5. 斜方硅钙石

斜方硅钙石可用石灰水和硅胶在300~350℃下合成或用石灰-氧化硅玻璃(C/S=1.67)在200~350℃下水热处理制得^[18]，其晶体呈纤维状(图1-5)。

6. 硅酸钙石

硅酸钙石可以用石灰和硅胶(C/S=2或3/2)在100~160℃下长期(15~100昼夜)水热合成而得。在硅酸钙石的热谱上，于370℃处有吸热效应，820℃处有放热效应，其晶体呈棱柱状(表1-1)。

表 1-1

学 式	C/S	H/S	比 重	晶体形状	附 注
按其他研究者 ^(76,85)					
Ca ₆ (Si ₂ O ₇)(OH) ₆ [伯尔克等]	3	1.5	2.61	纤维、针状	半结 晶体
Ca ₂ (HSiO ₄)(OH)[海勒]	1.8~2.4	1~1.25	2.8	棱柱薄片状	
	1.8~2.4	1.1~1.5	2.66	针状、纤维	
	1.5~2.25	0.3~0.4	2.67	不规则颗粒	
	1.7~2	2~4		纤维状	
Ca ₄ (SiO ₃) ₃ (OH) ₂ [加尔德、泰劳]	1.33	0.5	2.36~2.73	纤维状	半结 晶体
Ca ₃ (HSiO ₄) ₂ ·2H ₂ O[麦高]	1.5	1.5	2.64	棱柱状	
	1	1.1		针状、细长薄片	
	0.8~1.5	0.5~2.5	2.4~2.46	纤维状	
Ca ₅ Si ₆ O ₁₈ H ₂ ·8H ₂ O	0.83	1.75	2.44	薄片状	半结 晶体
Ca ₅ Si ₆ O ₁₈ H ₂ ·4H ₂ O	0.83	0.91	2.44	薄片状	
Ca ₅ Si ₆ O ₁₈ H ₂	0.83	0.5	2.44	薄片状	
	1	0.66	2.7	纤维状	
Ca ₄ (Si ₆ O ₁₅)(OH) ₂ ·3H ₂ O[马凯 泰劳]	0.66	0.83	2.39	鳞片状	

示6CaO·6SiO₂·H₂O。

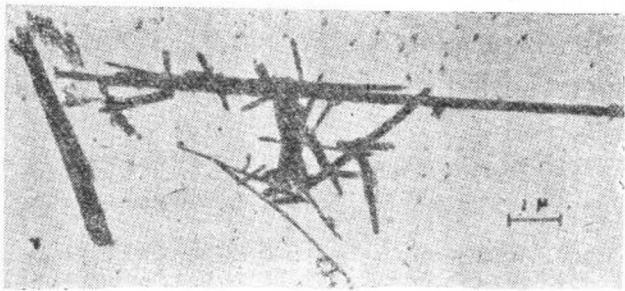


图 1-5 合成斜方硅钙石的显微照相