

285902



高等学校試用教科书

胶凝物质工艺学

陈浩烜編



中国工业出版社

81
39

高等学校試用教科书



胶凝物质工艺学

陈浩烜編

中国工业出版社

502708

本书是在原有“胶凝物质工艺学”讲义的基础上，参考其他学校的讲义和有关资料编辑而成。

书中就水泥及其他胶凝物质的原料、生产工艺、硬化过程、使用性能和应用范围等方面作了系统地叙述，以便读者既能合理地选择与使用各种胶凝物质，又能掌握一定的生产知识。

本书适用于高等工业学校混凝土及建筑制品专业，也适用于建筑材料性能学专业。

胶凝物质工艺学

陈浩烜 编

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $11 \frac{1}{4}$ ·字数268,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—887·定价（10-6）1.35元

统一书号：15165·411（建工—27）

前 言

在实现建筑生产工业化的过程中，装配式混凝土及钢筋混凝土构件的应用日益广泛，因此，各种混凝土预制构件生产企业在我国迅速地蓬勃发展起来。不少高等工业院校设置了相应的专业，培养学生能担负有关各种混凝土预制构件生产工厂的设计、生产组织管理及各项技术工作，以及使他们能具有使生产事业进一步提高与发展的研究工作能力。

在各种混凝土预制构件生产中，最主要的材料是胶凝物质，因此就必须学习这方面的知识，特别应该了解胶凝物质的主要使用性质，而生产工艺又与使用性质密切联系，同时构件厂中又可能进行一些地方性胶凝物质的生产，故对此亦应掌握适当知识。

本书主要采用同济大学混凝土及建筑制品专业的胶凝物质工艺学讲义的内容，并参照天津大学、南京工学院及西安冶金学院的胶凝物质工艺学讲义以及其它有关书籍选编而成（胶凝物质工艺学实际上如称为胶凝材料工学似更为恰当）。

本书编写时除主要考虑适用于混凝土及建筑制品专业外，由于在建筑材料性能学专业的教学计划中，也安排学习有关胶结材料方面的知识，且内容要求出入不大，因此除工艺部分须略加删节外，亦可暂供该专业使用。

讲授本书内容时，适宜的讲课课时数约在45小时左右，同时配合现场教学及实验室作业，同学应能比较系统地掌握专业要求的有关科学技术知识。各校在教学计划中对本课程的要求可能有所不同，同时科学技术的发展日新月异，因此使用时，尚须根据具体情况，加以适当的增删。有关结合我国实际的具体情况，更须妥善地加以补充。

本书在历次修改过程中，曾吸取了兄弟院校来同济大学进修的教师们所提出的宝贵意见，同时天津大学、南京工学院、西安冶金学院寄来的讲义资料，都对编写工作帮助很大，非常感谢。本书编写时虽承本教研组黄崇渊、魏金照等同志协助整理和校阅，但因时间仓促和编者水平有限，错误之处在所难免，谨以极为感激的心情，诚恳地盼望读者在使用过程中，给予指正及提出宝贵意见。

陈浩烜于同济大学硅酸盐工学教研组

一九六一年四月

目 录

緒論	5
----	---

第一章 胶凝物质及其原料分类的原则

一、概述	7
二、膠凝物質的分类	7
三、膠凝物質原料的分类	8

第二章 石膏胶凝物质

一、石膏膠凝物質的原料	9
二、石膏的热处理过程	9
三、建筑石膏的生产	11
四、建筑石膏的凝結与硬化	17
五、建筑石膏的建筑性質及应用	19
六、石膏石灰膠凝物質	22
七、硬石膏水泥	22
八、高温煅燒石膏	23
九、其它石膏膠凝物質	24

第三章 气硬性石灰

一、概述	25
二、石灰的原料	25
三、石灰的煅燒过程	26
四、石灰煅燒窑的簡略介紹	28
五、石灰的消解	33
六、石灰的性質	37
七、石灰的硬化	38
八、石灰的应用	39
九、磨細生石灰粉	40

第四章 镁质胶凝物质

一、镁質膠凝物質的原料	43
二、镁質膠凝物質的生产	43
三、镁質膠凝物質的調和剂	44
四、镁質膠凝物質的硬化	44
五、镁質膠凝物質的性質及应用	45

第五章 水硬性石灰及罗马水泥

一、水硬性石灰	48
二、罗马水泥	50

第六章 硅酸盐水泥

一、概述	52
二、硅酸鹽水泥的組成	52
三、生产水泥的原料及生产工艺流程	60
四、水泥熟料的煅燒	72
五、熟料的貯存、粉磨，水泥的貯存、包裝，水泥的防潮，水泥的生产檢驗以	

及安全技术与劳动保护	82
------------	----

六、水泥工厂总平面布置設計原則	88
七、土立窑燒制水泥	89
八、硅酸鹽水泥的硬化及腐蝕	94
九、硅酸鹽水泥的建筑性質与应用	108

第七章 特种硅酸盐水泥

一、快硬硅酸鹽水泥及高級硅酸鹽水泥	119
二、耐硫酸鹽硅酸鹽水泥	120
三、高鉄(鉄質)硅酸鹽水泥	122
四、高镁(氧化镁)硅酸鹽水泥	122
五、塑化硅酸鹽水泥	123
六、憎水硅酸鹽水泥	125
七、加气硅酸鹽水泥	126
八、裝飾用硅酸鹽水泥	127
九、道路水泥	130
十、低热水泥(大壩水泥)	131
十一、堵塞水泥	132

第八章 掺混合材料的水泥

一、活性混合材料	134
二、以石灰及活性混合材料为基础的 水泥(无熟料水泥)	138
三、火山灰質硅酸鹽水泥	143
四、惰性(填充性)混合材料	149
五、混合硅酸鹽水泥(二組分水泥)	150
六、掺惰性混合材料的火山灰質硅酸 鹽水泥(多組分水泥)	152

第九章 矿渣水泥

一、高爐矿渣	153
二、矿渣硅酸鹽水泥	157
三、石灰矿渣水泥	161
四、矿渣硫酸鹽水泥	163
五、赤泥硫酸鹽水泥	165
六、活化矿渣	167

第十章 矾土水泥、膨胀水泥及无收缩水泥

一、矾土水泥	169
二、膨胀水泥	175
三、无收缩水泥	177

第十一章 耐酸水泥

一、水玻璃	178
二、具活性硅質掺料的耐酸水泥	179
三、具硅氟酸鈉掺料的耐酸水泥	179
四、耐酸水泥的应用	180

緒 論

在我国伟大的社会主义建設事业中，基本建設是重要战綫之一。要进行基本建設，就需要大量的建筑材料，其中尤以石灰、石膏、水泥等胶凝物质的需要量更大，它們在工业、农业、国防、水利、交通運輸以及各种民用建筑等工程中应用非常广泛。

胶凝物质的科学技术，目前已經成为一門比較完整的学科。

胶凝物质应用的历史非常悠久，远在几十万年前，我們的祖先就开始采用天然粘土作为胶凝物质。后来发展到采用石膏及气硬性石灰調制建筑砂浆，建造大型建筑物。在我国遗留下来的很多古代兴建的城墙、宫殿、墓穴、宝塔、塘工等等雄伟建筑物，表现了数量惊人的胶凝物质的生产規模，坚固耐久的胶凝物质的优良质量，以及高超的施工技术，都足以說明我国劳动人民伟大的創造能力。另外，在古罗马时代，人們已能将火山岩磨細制造抗水的石灰火山灰水泥。十八世紀末叶，人类已經了解生产水硬性石灰及罗马水泥的合理性。到公元1825年俄罗斯建筑者E·切利耶夫首先烧制了硅酸盐水泥，也就是过去一般文献上所称的波特兰水泥。此后人們逐漸探討了水泥的烧成机理及各种性质，掌握了水泥生产工艺的实质，使水泥的品种逐渐增多，质量不断提高，应用范围日見扩大，更好地满足了生产和科学技术发展的需要，同时对胶凝物质提出了越来越高的要求。

在促进現代胶凝物质的生产与科学技术发展的研究工作中，苏联学者A.A.巴依柯夫、B.H.容克、П.П.布德尼柯夫、H.A.托罗波夫等，作出了卓越的貢獻。其他，如法国的H.呂·查德里和J.比埃；德国的W.米哈爱利斯和H.庫尔等也曾作出了貢獻。

我国在公元1886年开始建立水泥工业，但帝国主义的經濟侵略和反动統治的摧殘，使水泥工业的生产停滞不前。解放以来，由于党和政府的关怀，使胶凝物质的生产与研究工工作得到了迅速发展。根据我国工业建設合理佈局的规划，建立了不少的大中型水泥厂和扩建改建了原有水泥厂。同时在促使原料資源的合理与充分利用上、生产技术及經營管理制度的改进上、設備利用率的提高上和生产费用的降低上，都作了巨大的努力。从而使水泥的产量在短短的十余年內增长了数十倍，而且能生产高級水泥，以及其他各种不同标号的水泥。在品种方面已經根据資源及建設需要发展了二十多种新品种水泥。在水泥生产技术和烧成、硬化、腐蝕等理論研究方面，全国性的研究机关、各地的建筑材料研究单位以及高等院校都分別进行了很多研究工作，取得了不少成績。水泥生产需用的机械及热工設備的改进与試制，更是日新月异。随着社会主义建設事业的不断跃进，水泥工业必将有更好更快的发展。

党和政府非常重视地方工业的发展，建筑事业对地方性胶凝物质的需要亦在日見增长，因而石灰、石膏、镁质胶凝物质以及无熟料水泥等的生产与使用也得到飞跃的发展。在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，全国各地大搞土法水泥生产，对及时供应农田水利工程和城乡建設的需要，以及对整个国民經济建設都起了很大的保证与推动作用。

在生产迅速发展的同时，党和政府非常关怀工人的身体健康，各厂在减低劳动强度方面；在降溫、除尘和改善环境卫生方面；以及防火、防爆等安全技术方面；采取了一系列的有效措施。不断地改善了劳动条件，对进一步提高劳动生产率起了很大的作用。

在党的正确领导下，祖国建设事业一日千里，面貌日新；技术革新与技术革命深入开展；与科学分析精神相结合的敢想敢干的共产主义风格不断发扬；广大工人、技术人员与科学工作者在胶凝物质的科学领域中正在不断地创造更伟大的成绩。

综上所述，可以看到胶凝物质的应用历史已久，生产工艺与科学理论的发展又极为迅速。本课程的学习目的，即为系统地研究有关各种胶凝物质的生产技术与科学理论，达到在进行混凝土预制构件生产工作中，能适当地选择与使用各种胶凝物质，而且必要时也能从事各种地方性胶凝物质的生产工作。

在学习中，应该充分运用化学、物理、物理化学、机械及热工等方面的知识，探讨胶凝物质的形成机理，成品的内部结构与所具有的化学、物理及力学性质，充分发挥与控制调节胶凝物质性质的方法及原理，经济合理地选择与使用胶凝物质的原则等等，为混凝土工艺学的学习和今后工作打好基础。

第一章 胶凝物质及其原料分类的原则

一、概述

作为建筑材料的胶凝物质分无机的及有机的两大类。本课程仅研究无机胶凝物质。

无机胶凝物质是矿物粉状（除水玻璃外）物料，与水或其它调制剂（如镁质胶凝物质采用 $MgCl_2$ 溶液）混和后，形成具有可塑性、易成型的浆体，并在以后逐渐硬化成石状体。胶凝物质在硬化过程中同时能胶结与它一起拌和的骨料。硬化是胶凝物质与水相作用时进行了复杂的化学及物理变化过程的结果，硬化过程常进行相当长的时期。

从石灰、石膏、水硬性石灰、罗马水泥、硅酸盐水泥（硅即砂）到特种水泥的生产，人类逐渐掌握由煅烧天然石料进步至煅烧人工调配的原料，以获得具有各种不同性质、能适应各种不同需要的胶凝物质的方法，使胶凝物质的品种逐渐增多，质量不断改进。随着某些化合物呈现胶凝性质的周期性的发现以及在胶凝物质科学领域中其它研究工作的逐渐深入，可以预料，有胶凝性质的新化合物将更迅速地被人类发现、生产与应用。社会主义国家在生产方面和科学技术方面的高速度发展在全世界范围内所起的巨大影响，也促使人类在胶凝物质科学领域中的研究、生产与应用迅速向前推进。目前已在生产实践中应用的与正在研究的胶凝物质的品种至为繁多，为使应用与研究方便起见，须将其进行适当的分类。

二、胶凝物质的分类

胶凝物质的分类有很多不同的方法：

1. 按照主要性质及使用范围的特征来分类，主要可分为气硬性的及水硬性的两种。气硬性胶凝物质只能在空气中硬化，并能在空气中长期保持其强度，或继续增长其强度。属于此类的，主要有气硬性石灰、石膏胶凝物质、镁质胶凝物质、水玻璃等。水硬性胶凝物质不仅能在空气中，而且亦能在水中硬化（先在空气中硬化而后再放在水中），并长期保持与继续增长其强度。属于此类的，主要有水硬性石灰、罗马水泥、硅酸盐水泥、矾土水泥、火山灰质水泥、矿渣水泥、以及掺有惰性混合材料的水泥等等。

气硬性胶凝物质只适用于不受水作用的地上建筑物中，而水硬性胶凝物质则既可用于地上的建筑物中，也可用于受水作用的地下建筑物和水工建筑物中。

有时，将上述气硬性胶凝物质中的水玻璃为主要组成而配制的耐酸水泥，另列为能承受酸类作用的耐酸胶凝物质。

此种分类方法并无关于胶凝物质的化学成分以及它们在硬化时的化学过程的资料。但以此决定其适宜的使用条件是方便的。

2. 根据胶凝物质硬化最终生成物的性质和形式来分类，主要有下列数类：（1）硬化时生成水化硅酸钙的胶凝物质；（2）硬化时生成水化铝酸钙的胶凝物质；（3）硬化时生成含水硫酸钙的胶凝物质；（4）硬化时生成氢氧化钙和碳酸钙的胶凝物质；（5）硬化时生成氢氧化钙和氧化钙的含水复合物的胶凝物质。

根据此种分类方法，将胶凝物质分类时，其决定的原则是根据在硬化体中最多的水化

生成物而定。此种分类方法在化学方面不很精确，但在胶凝物质应用技术的研究上讲是比较方便的。

3. 根据胶凝物质硬化时所发生的化学和物理化学过程为基础，苏联学者茹拉乎辽夫 (B. Ф. Журавлёв) 将胶凝物质的类型分为：(1) 熟料的 (如各种硅酸盐水泥，高铝水泥，罗马水泥)；(2) 镁质的 (如苛性苦土，苛性白云石)；(3) 石膏的 (如建筑石膏，高强度石膏，无水石膏水泥等)；(4) 石灰的 (如气硬性石灰和水硬性石灰)；(5) 火山灰质的 (如石灰火山灰质水泥)；(6) 矿渣的 (如石灰矿渣水泥，石膏矿渣水泥)；(7) 复合的 (如矿渣硅酸盐水泥，火山灰质硅酸盐水泥)。

此种分类方法的主要特点是分类所根据的胶凝物质的硬化过程与其技术性质相紧密联系。

此外，也可根据加工的原则，将胶凝物质分为需要烧结的与不需要烧结的；根据原料特性可分天然的与人工的等各种分类方法。

三、胶凝物质原料的分类

制造胶凝物质的原料是天然原料和一些工业废料，这些原料或是单独地，或是几种配合，经适当的技术加工而制得胶凝物质。原料根据来源不同，可分为两大类：

1. 天然原料：

如石膏岩主要是由二水石膏或无水硫酸钙组成，实际称为石膏石和硬石膏。这种岩石主要为单独用于制造石膏胶凝物质，或与其它原料相配合以制造石膏——矿渣水泥以及在制造硅酸盐水泥或其它胶凝物质时应用。

石灰——粘土——镁质岩主要由碳酸钙，碳酸镁和粘土矿物组成。这种岩石的主要种类是石灰石，泥灰石，粘土，菱镁矿和白云石等。这些岩石中还含有一些其它杂质。它们是生产苛性苦土，苛性白云石，石灰，罗马水泥，硅酸盐水泥，石灰——烧粘土水泥等的原料。也用于与它类原料相混合以制造矾土水泥及混合水泥。

高铝岩是指矾土，主要由含水氧化铝组成，与其它原料混合用于生产矾土水泥。

硅质岩是指硅藻土、硅藻石、火山岩、凝灰岩、浮石、石英砂等，此种含硅量较多的岩石，用于制硅酸盐水泥的原料，或与其他原料或胶凝物质混合以制造各种混合水泥。

2. 工业废料：

矿渣、煤渣、赤泥、页岩灰、活性硅质渣及砖瓦生产的废品等工业废料，与其它原料混合以生产混合水泥。矿渣可直接作为制造硅酸盐水泥的原料，或用以制造各种矿渣水泥。

使用工业废料的优点为不必要组织采石场开采矿石，可使成品成本降低。

另外，有为改善胶凝物质、砂浆或混凝土的性质，或为节约胶凝物质而掺入的活性混合材料及惰性混合材料。更有加速或延缓其凝结与硬化的外加剂；提高其流动性和耐冻性的一些表面活性物质；耐酸的磨细掺料；耐热的磨细掺料等等。

第二章 石膏胶凝物质

一、石膏胶凝物质的原料

石膏胶凝物质可由天然二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 天然硬石膏 (CaSO_4) 以及主要含二水或无水硫酸钙成分的工业废料中制得。

二水石膏比重为 2.2~2.4, 易分裂, 是软质矿物, 莫氏硬度为 2, 导热性不良, 石膏石中杂质的极限含量应不超过 35%, 但杂质对原料品质的影响应视用途而定, 因此有些原料虽杂质较多, 仍可适当地加以应用。

自然界中的石膏石是沉积岩, 一般常呈白色。在有杂质存在时, 会使石膏具有各种不同的颜色。石膏石按我国石膏质量标准 (建标 16—60), 根据物理性质分为五类: 1. 透明石膏, 呈片状结晶, 无色透明如玻璃。2. 纤维石膏, 呈纤维状结晶, 絹絲光泽。3. 雪花石膏, 呈细粒块状, 白色半透明。4. 普通石膏, 緻密粒状, 不纯净。5. 土石膏, 呈土状, 不纯净。

硬石膏常伴生于石膏石矿层中, 在自然界中一般常含达 8% 以上或更多的结晶水。硬度在 3~4, 比重 2.9~3.0。

在生产磷肥料时所得的磷石膏主要含二水石膏及少量未洗除干净的磷酸。以磷石膏作为原料时应先将可溶性磷酸用水洗除, 以免 P_2O_5 使成品凝结变慢, 强度降低。

对石膏原料质量的评定主要应根据其用途, 而且不仅要分析原料的化学成分, 还应了解其物理结构及杂质在原料中的分布情况。并经过煅烧及研究其成品的性质后才能加以最后确定。

天然石膏不仅主要可作生产石膏胶凝材料的原料, 也可掺入硅酸盐水泥中以减慢其凝结速度, 用作制造硫酸盐矿渣水泥的原料, 用作其它化学工业上的原料, 以及直接用为建筑物的装饰材料或雕塑成各种装饰品等。

我国天然石膏的主要产地为湖北的应城、山西的太原、青海的西宁等地。随着建设事业的发展, 各地不断发现很多石膏矿藏, 蕴藏量极为丰富, 产量在第一个五年计划期间增长了 2.7 倍, 预计在第二个五年计划中, 我国石膏的产量自将有更多的增长。

二、石膏的热处理过程

天然二水石膏在加热到一定温度时即很快脱水, 随着加热温度的继续提高能够形成一系列新的、性质上互相完全不同的变体, 这些变体是由于石膏失去结晶水和结构改变而形成的。

二水石膏脱水的程度和速度决定于加热的温度和时间, 同时也决定于水蒸汽的压力。当周围介质中蒸汽压力小于石膏在该温度的分介压力, 即开始脱水。加热至 65°C , 已可使二水石膏慢慢地脱水, 在 107°C 时, 二水石膏能很快地分解为半水石膏, 并激烈地放出水蒸汽。

半水石膏有 α 型及 β 型两种, 在水蒸汽丰富的环境中 (1.3 表压, 125°C) 脱水时, 生成 $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 在水蒸汽极少的环境中脱水时, 生成 $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 。在生产条件

的生产, 而从十四世紀开始有了制硝工业。彼得大帝前的俄国, 除了食盐和硝之外, 还出产鉀碱, 这鉀碱并且出口到其他的国家。硫酸銅和一些无机顏料也有少量的生产。十八世紀初由于火药制品的增多, 硝的生产有了特别的增长。

十九世紀內建立了生产无机酸(硫酸、盐酸)和盐(硫酸盐、硫化鈉等)的工厂。1850年建立了科克山(Кокшан)厂, 出产鉻盐、銅矾、鉄矾和鉀碱。拜迪由日斯基(Бондюжский)厂(建于1868年)出产硫酸鋁和明矾。1875年在彼得堡建立了在当时是最现代化的勤捷列夫(Тенгелев)化学工厂, 出产硫酸、硝酸和盐酸以及由这些酸制取的无机盐——硫酸鋁等。1896年該厂掌握了过磷酸鈣的生产。1900年俄国总共有526家化学企业, 其中有很多家是生产无机盐的。

但是, 俄国的化学生产的规模是比较小的。沙皇政权袒护外国资本的政策不能促进俄国化学工业的发展。俄国化工生产的增长和化工原料基地的扩大得不到鼓励, 而沙皇政府还以高价从国外进口化学商品。俄国的土地上蕴藏着很多的鉀盐、芒硝和其他资源, 但是这些无机盐并未加以开采。鉀盐从德国进口(从草木灰制取鉀碱算是例外)。芒硝也是进口的, 不过有些数量的芒硝在俄国是用在盐酸生产中得到的硫酸鈉, 以及加工进口硝石为硝酸时得到的硫酸鈉, 再加以溶解和結晶而制得的。还进口其他的无机盐和制无机盐的原料, 其中有磷矿、硼矿等。

1913年俄国进口:

	千吨
鉀盐.....	77.0
鈉硝石.....	43.4
过磷酸鈣.....	196.7
磷矿.....	53.6
硼矿.....	3.8

1912年俄国工厂生产:

	千吨		千吨
过磷酸鈣.....	150.1	硅酸鈉和硅酸鉀.....	12.8
硫酸鈉.....	71.0	硫酸铵.....	11.0
漂白粉.....	26.3	氯化鋅.....	6.7
硫酸鋁和明矾.....	19.6	鉄矾.....	1.7
鉀碱.....	16.4	硫酸鎂.....	1.0
硫化鈉.....	2.9	重鉻酸鈉.....	0.9
氯化鋁.....	2.1	硫代硫酸鈉.....	0.04
銅矾.....	1.0	氟硅酸鈉.....	0.04
		氟化物和氟化氢.....	0.02

十月革命后, 苏联在建立强大的化学工业的同时无机盐也有了巨大的发展。

很多化学工厂在国内战争时期被完全破坏或是部分破坏了。1920~1921年总共只生产了各种盐类25000吨。由于俄罗斯电气化全国委员会远景计划的完成, 在许多化学工厂里恢复和新建了盐类的生产, 从而成为大的化学企业〔曉耳科沃(Шелко)、契尔諾列欽

根据結晶格子的不同可分为三种：单斜晶系的二水石膏，六方晶系的半水石膏和斜方晶系的硬石膏結晶格子。脱水半水石膏的結晶格子和半水石膏一样，而可溶硬石膏和不溶硬石膏結晶格子类似。

上面所举的在不同温度下煅烧所得产物的数据均为实验室的研究结果，实际生产中，为了强化煅烧过程，須視原料性质，制备方法，煅烧设备的构造及其它因素而用較高的温度。因此，所得工业建筑石膏中，除半水石膏外，还含有可溶硬石膏。如采用短时间高温煅烧的方法，产品中更可能含烧僵石膏和二水石膏。这种情况，特别对于采用顆粒較粗或顆粒粗细不同的原料煅烧时，顆粒内外脱水情况不同，更为显著。

1 公斤二水石膏变成半水石膏，理論上需要138 千卡热量，而变成硬石膏时，則需 173 千卡热量，实际上考虑到热量损失时，热量消耗要大些。

三、建筑石膏的生产

建筑石膏的生产流程按照粉磨和煅烧的先后可分下列几种：

1. 先煅烧后粉磨——本流程中石膏可在土窖、室窖、輪窖中进行煅烧。此时入窖原料常先用顎式破碎机破碎成 70~300 毫米大小。也可在迴轉窖中进行煅烧，此时入窖料块应小于 15 毫米。如应用蒸压釜进行热处理时，則石膏块大小約为 25~50 毫米，处理后的石膏經磨細制成产品。此种流程根据生产方法不同，设备与投資亦不相同，应視生产规模的大小，对质量的要求，加以适当选用。产品质量一般讲不够均匀。

2. 先粉磨后煅烧——先将原料粉磨到产品最后要求的細度，再置于蒸炼鍋内进行热处理。制成产品质量均匀且洁淨，不过石膏石粉磨时要比煅烧过的石膏困难得多，特别在石膏原料湿度較大时，如粉磨一吨石膏石耗电量为 15 度，而粉磨一吨煅烧石膏耗电仅为 6~8 度。

3. 粉磨与煅烧同时进行——原料在豎井磨或风扫磨中粉磨，同时通入热空气进行处理。通入热空气温度較低时，仅粉磨与干燥同时进行，而温度較高时，則干燥、粉磨与煅烧同时完成。此种流程中粉磨与煅烧可互相促进，设备布置紧凑，連續操作，省去专门煅烧设备，操作人員减少。不过系統比較复杂。

石膏生产应用的破碎及粉磨设备，按物料性能不同，可选用顎式破碎机、錘式破碎机、輪輥机、籠式粉磨机、球磨机、管磨机等。在要求細度較高时，常采用設有六角篩、振動篩或选粉机的圈流系統。

具体的煅烧设备及过程如下：

1. 在土窖、室窖及輪窖内煅烧石膏

在少量或临时性生产时采用土窖，将石膏石砌成堆墩，用木柴作燃料，在窖下部燃烧。因煅烧不均，故成品质量低，含大量生烧及过烧物，劳动力及燃料消耗均大。

室窖是用砖砌成的窖室，窖底有炉栅，栅下有燃烧木柴的燃烧室，室墙上設門以送入石膏块，上部装管子以通烟道气及水蒸汽。此种窖的成品上下层煅烧不均，每块石膏内外部煅烧不均，并只能烧石膏块；劳动力及燃料消耗均大。

輪窖即多室窖，是将燃料直接加入窖室内的石膏石中間燃烧，它具有室窖的缺点。

以上所举的三种石膏煅烧窖均不合时代要求，在当前生产中已极少应用。

2. 在立窖内煅烧石膏

煅烧石膏的立窖带有完全燃烧的外部燃烧室，燃料可用煤炭、木柴及各种地方性燃

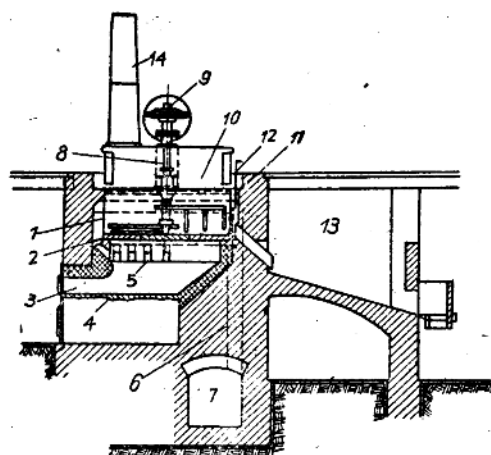


图2-1 普通石膏蒸煉鍋

料。入窑气体温度在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 間，故块状物料应以足够大的速度通过，以免过烧，所得产品质量不均。燃料消耗约为产品重量的 $5\sim 8\%$ 。

3. 在蒸煉鍋內制造建筑石膏及模型石膏

蒸煉鍋用鍋炉板焊或铆成直筒1，一般鍋的直径 $1.5\sim 3$ 米，高 $1\sim 2.5$ 米，鍋底2由鑄铁做成，底平或向上拱起，尤以后者为宜，可拆换。底厚 $60\sim 90$ 毫米，壁厚 $15\sim 20$ 毫米。鍋底有燃烧室3及炉栅4，炉栅上可烧木柴、泥煤、煤等。燃烧气体先加热锅底，后經一排孔5入砖砌炉膛內，加热鍋壁，再經烟道6入水平烟道7后至烟囱。鍋內攪拌器由齿輪传动9带动立軸8轉动，攪拌器由电动机經皮带传动或經減速器而迴轉，軸上装悬挂刮刀11的的橫梁10。

已粉磨的生石膏应少量地分批加入預热的鍋中并不断地攪拌，鍋內溫度在 $130\sim 190^{\circ}\text{C}$ 之間，由于石膏脱水所释出的蒸汽，将各个石膏顆粒包围，显著地提高受热物料的流动性，出現犹同液体的沸騰現象。物料高度因石膏脱水而降低，当沸騰現象終止时，石膏的煅燒完成。在 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ 时出現第一次沸騰現象，此时主要生成半水石膏。第二次在 $170\sim 190^{\circ}\text{C}$ ，此时生成脫水半水石膏。

在蒸煉石膏时，如果加入占二水石膏重量 $0.1\sim 0.2\%$ 的 NaCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 或 MgSO_4 等外加剂时，則可以使石膏的脱水溫度降低，蒸煉过程亦可加快。制得产品中并能含 $20\sim 30\%$ 的 α -半水石膏，产品标准稠度需水量降低，凝結時間縮短，而力学强度提高。同时此种吸湿性外加剂可使石膏起陈化作用，即顆粒表面层进行水化，改变表面对水的潤湿性质，而更有助于上述效果。

煅燒好后，将閘門12打开，成品落入鍋旁斜仓13中儲存而起均热作用，逐漸冷却。仓用紅砖砌成，內壁砌有熟料砖，使其不会吸收由石膏粉末中蒸发出的水汽。二水石膏脱水时生成的水蒸汽，經管14到降尘室后排入空中。

成品的均热可使少量余留的二水石膏顆粒借物料余热变成半水石膏，而如有可溶硬石膏存在时，此时放出的水蒸汽可将它水化成半水石膏。因此經均热后，成品质量均匀，能改善产品性质。

根据鍋的大小，蒸煉時間由50分钟到2小时。每次循环的产量約 $1.5\sim 2.5$ 吨。燃料消耗以标准燃料計，为成品重量的 $5\sim 7\%$ 。

最近应用的大型（ $12\sim 14$ 立方米）高产量（ $10\sim 14$ 吨）蒸煉鍋装有內部传热管。管分上下二层排列，相互排成 90° 或成一致方向，如图2-2所示。

图中所示鍋炉由帶有球形底部2的鼓筒1和四个烟管3組成。在焊接的金属結構4上装有攪拌机。机由叶片6和轉軸5組成。而由电动机8通过減速器9和錐形齿輪轉动10驱动。鍋炉上盖以具有套管12的頂盖11，蒸汽即通过套管排出。制成的石膏从盖有閘板的

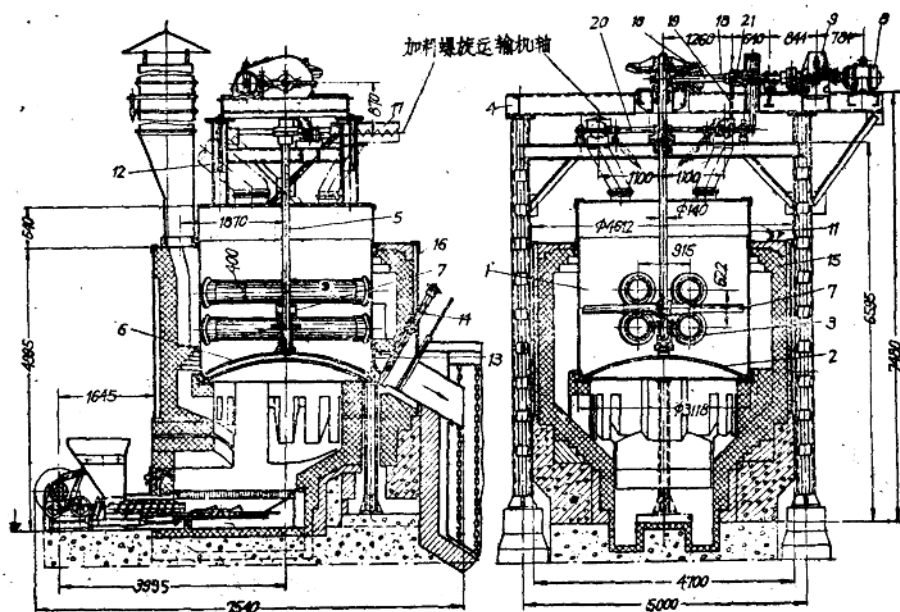


图2-2 大型石膏蒸煉鍋

卸料口 13 排出。鍋炉支承在三个鑄鉄鑄成的支座上。鍋炉下部埋在 砖砌的 燃烧室中。热气从燃烧室进入鍋炉的衬壁与炉壳間隔內，而后进入烟管中。为了更均匀而完全地煨燒石膏，在垂直軸上装以叶片，借以攪拌石膏。叶片 7 装在焰管之間，而叶片 6 固裝在軸的下部。在下面的叶片上裝有相互連接的短鍊(图上未表明)。当垂直軸旋轉时，攪拌机下面叶片借鍊条將石膏从炉底刮出。已煨燒好的石膏通过裝有特殊閘板 14 的出料口从炉中放出，进入漏斗中。鍋炉砖衬 15 的外面用焊成的鋼壳包住。在砖衬和外壳間用炉渣 填充以作隔熱之用。用二个螺旋运输机 17 將生石膏裝入鍋炉中，螺旋运输机由水平軸 18 通过鏈条传动 19 来驅动。利用裝在水平軸 18 和裝料螺旋运输机 20 上的牙嵌离合器 21 控制螺旋的動作，使二个螺旋运输机同时或分別开动。

用蒸煉鍋生产石膏，可得洁淨而质量均匀的产品，且便于調节及控制煨燒制度，管理簡單。而此种大型蒸煉鍋更可一个鍋代替几个(4~5)小鍋，因而单位产品所需工作人員少；有机械化燃烧炉，节省燃料，管理更为方便；单位产品所需厂房面积亦較小。但用蒸煉鍋生产石膏仍属間歇操作，且原料需經預先干燥粉磨，生产过程比較复杂。

利用上述蒸煉鍋制造石膏在目前国外应用較为广泛，茲举配合此种鍋炉的整个生产車間的一种生产工艺流程为例說明于下。下图 2-3 即示此种生产石膏的工艺流程。

图中石膏石自料斗用鋼板喂料机 1 送入顎式破碎机 2，而后送到錘碎机 3 中作二次破碎。石膏石被提升机 4 自破碎室运至料斗 6 中，由此沿出料管通过碟式喂料机 9 送到豎井式粉磨机 10 中。在料斗 6 的底上裝有条形閘門 8。在豎井式或环-輻式磨机中同时完成物料的粉磨和干燥，物料的干燥是由煨燒石膏鍋炉 22 中出来的气体沿导管 5 送到粉磨机中来实现。石膏粉末被气流从豎井式粉磨机吸入分級装置中。分級装置由慣性除尘器 11、空气管道 12、复式旋风收尘器 13 和袋式收尘器 16 組成。气流与处于悬浮状态的石膏粉末的

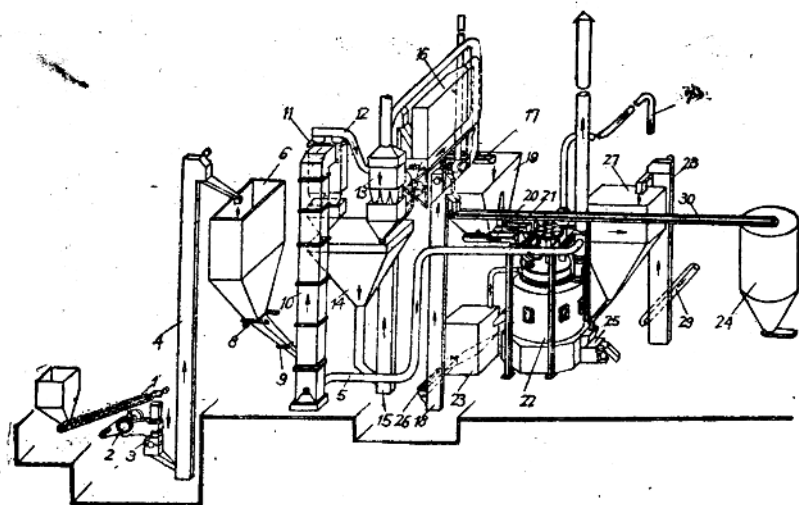


图2-3 石膏生产車間工艺流程图

顆粒一起通过慣性除尘器 11, 物料顆粒在其中沉降下来; 而后落入漏斗 14 中。石膏粉末与气体一起被带到复式旋风收尘器 13 中, 在其中进行气体的輔助净化。最后, 最小顆粒落到袋式收尘器 16 中。磨細石膏从所有三个粉末沉降装置中收集到总料斗 14 中, 而后用斗式提升机 15 和螺旋运输机 17 輸送到装在石膏煅烧鍋炉上的漏斗 19 中。磨細石膏被二个螺旋运输机 20 和 21 从漏斗 19 中周期地装料到石膏煅烧鍋炉 22 中。鍋炉由燃烧装置 25 烧热, 在煅烧石膏时形成的蒸汽通过气道 17 引入微粒沉降室。当煅烧完成后, 热的石膏从鍋炉自流地送入漏斗 23, 用螺旋运输机 16, 斗式提升机 18 和螺旋运输机 30 運送到暫存仓库 24 中。燃料用带式运输机 29, 斗式提升机 28 通过中間漏斗 27 供給到燃烧室 25。

4. 在粉磨过程中煅烧石膏

在石膏制造中, 将粉磨与热处理同时进行在工艺上最为合理。此时, 物料干燥并脱水, 使粉磨过程容易, 而粉磨的物料顆粒改善石膏脱水的条件, 使整个生产过程加速。现举在慢轉磨中此种生产方法的生产流程为例(如图 2-4 所示)說明如下:

破碎石膏由小仓 1。用喂料机 2 均匀地送入管 3 时, 由混合燃烧室 4 来的热气流将其送到球磨机 5 内, 此处气流速度降低, 大顆粒沉下磨成細粉, 由气流送到磨尾, 在磨内物料干燥, 粉磨并脱水。粉磨物料沿管 6 送到选粉机 7, 于是大顆粒經管 8 到螺旋运输机 9, 而后沿管 10 到管 3 再入磨。細顆粒从选粉机 沿管 11 抽到旋风分离器 12, 在此物料与气流分开經螺旋运输机 13 入儲仓 14。烟气从旋风分离器出来后沿管 15 由鼓风机 16 抽出。部分气体沿管 17 与燃烧室中出来的热气体再一起入磨。另一部分烟气与水蒸汽沿管 18 到降尘室 19 后送出外界。烟气温度入磨前为 $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$, 而出口时平均为 150°C , 成品温度約 $100 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 。每公斤成品耗热 $280 \sim 350$ 千卡(4~5% 标准燃料), 每吨成品电能消耗 20~30 度。

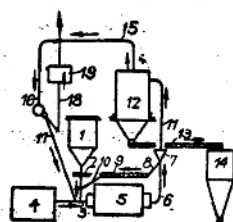


图2-4 在粉磨过程中煅烧石膏的生产流程

如果采用的磨机系风扫磨或豎井磨等, 則因煅烧过程不均匀, 故产品亦常可能不均匀,

含可溶硬石膏与二水石膏，凝固快，使用时需加缓凝剂。在本例中，系采用球磨机，物料在磨内停留时间较长，故产品质量较均匀。

5. 在迴轉窖內煅燒石膏

迴轉窖是焊接或铆接成的铁筒，长8~30米，直径1.5~3米。产量可达1.5~2吨/时，标准燃料消耗为产品重量4.5~7%。窖安装倾斜2~5°，以每分钟0.25~6轉旋轉。入窖石膏石大小一般不超过15毫米。

窖的类型有：(1)炉气在胴体外表面周围加热；(2)炉气自胴体的操作室或貫穿的特制耐热管中通过；(3)炉气开始包复在胴体外，而后在胴体内空間流过。

現以热效率較高的第(3)种类型的迴轉窖为例，如图2-5所示說明如下：

筒(胴)內用铁隔板1分成五个相通部分，物料自儲仓2經過喂料机3入窖。筒全部用砖围砌。炉5用重油燃烧，生成烟氣在混合室6中与空气混合以降低温度后，經一系列管孔7到砖壁以加热筒的外部。炉气沿筒經上升烟道8和上部水平烟道9后，入筒內与物料直接接触，放出余热，而后与蒸汽同时到烟室10，在此沉降下的尘粒用螺旋运输机11送出。成品經螺旋运输机4运出，最好再在特殊仓內均热。本例所示之窖，尺寸如图所註，轉速为2轉/分钟，傾斜角3°，物料在窖中停留時間約1.5小时，标准燃料消耗4.5~5%。

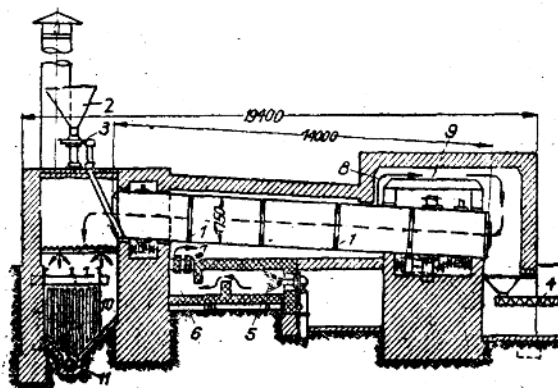


图2-5 煅燒石膏用迴轉窖

6. 在加压下用蒸汽处理石膏

在加压下用蒸汽处理二水石膏粉末可制得高强度石膏，成品几乎全是 α -型晶体的半水石膏，无二水及无水石膏杂质。

在压蒸鍋中，石膏中的結晶水以液体状态析出，不变为蒸汽，因此結晶不分裂。 α -半水石膏为相当大顆粒的晶体，故拌和时需水量小。标准稠度需水量仅40%左右。因此，用高强度石膏做成制件的密度大，抗水性及强度均提高，制品抗压强度可达400~500公斤/平方厘米，抗拉强度亦較高，故可作制造承重结构的胶結材之用。

在压蒸时应采用压力較低的蒸汽，如压力升高至3~5大气压时，成品晶体将开始变为纤维状，压力升达7大气压时，則得长而細的針状結晶，于是标准稠度用水量升高，强度降低。

压蒸鍋的构造如下图2-6所示。压蒸鍋是一个密封的金属容器1，有加料閘2及卸料

圖3。在加料時，石膏石由分配錐筒分配到整個壓蒸鍋的斷面。

飽和或過熱蒸汽通入直立蒸汽管4，從4再轉到水平環形蒸汽管5，而自5再經壓蒸鍋的接頭通入壓蒸室1中。在壓蒸鍋下部連着一個脫水篩6，冷凝水經此流下，而在吹風時爐氣也可經此排出。鍋與供氣系統用絕熱材料包住。壓蒸設備由四個或六個(或更多)聯成一組。

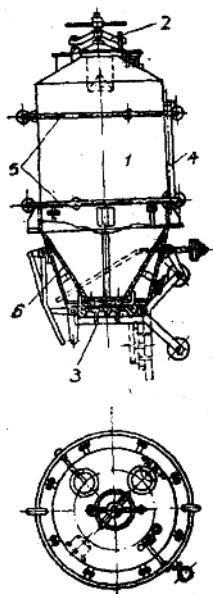


圖2-8 壓蒸鍋

入鍋物料為25~50毫米的石膏石塊。石膏石入鍋後，用爐氣在60℃預熱30分鐘以減少飽和蒸汽通入時的凝結，因而也降低蒸汽消耗，將鍋全部密閉後，再將鍋與蒸汽管相連。並將冷凝水管與儲水器相連。而後石膏用1.3表壓的飽和蒸汽(124.5℃)處理。在鍋中要經1小時才能達此壓力及溫度。每15分鐘放冷凝水一次。壓蒸處理5~7小時。而後通入160~165℃爐氣4~5小時，使達排氣管中出來的空氣乾燥為止。整個循環約為：加料0.5小時，預熱0.5小時，壓蒸6小時，去壓0.5小時，熱爐氣吹4小時，卸料0.5小時。卸出之料在球磨機或管磨機內粉磨。粉磨時，不應再有蒸汽釋出，否則證明其中仍含有二水石膏，而在粉磨過程中，如存有某些蒸汽壓力，部分成品將轉化其變體，而使質量下降。

此法缺點為：原料破碎時小塊廢品多；消耗蒸汽量大；乾燥時有水化逆反應發生，而水化逆反應生成的再生二水石膏起促凝作用；又此種石膏制品的塑性變形大，生產時燃料消耗與電耗均較大，產品成本增加。

現有建議採用自動壓蒸法製造高強度石膏。(BIOC法)即置石膏石在密閉容器中，容器的填充系數取0.5左右，在加熱時借石膏脫水而得的蒸汽進行壓蒸。加熱初期先進行短時間60~80℃的預熱及乾燥；迅速升壓，經5小時左右的壓蒸後，打開排氣管，再在鍋中以不加壓而加熱(140~170℃)下進行攪拌2~3小時，使之乾燥後磨細。如以多次間斷或不斷地放出蒸汽，可將石膏脫水與乾燥合併為一個循環。

以自蒸法製造高強度石膏最為便利，但在開始升溫階段，爐內溫度不能很好的平衡，而此時壓力也太小，可產生 β -半水石膏及可溶硬石膏。在減壓烘乾階段，爐內溫度變化亦較大，也要防止生成其它變體的石膏而影響成品性質。

除上述各法外也可將石膏在110~130℃沸騰的飽和鹽溶液中煮沸。大塊石膏煮5~7小時後很快用淡水洗淨，並經乾燥粉磨而成高強度石膏。產品質量均勻，強度較高。但生產時須很快將大量水分蒸發。飽和鹽溶液一般以硫酸鎂、食鹽、碳酸鈉或氯化鈣等製成。如以95% CaCl_2 飽和溶液及5% KCl 飽和溶液組成的混合溶液中再加入亞硫酸鹽酒精廢液，可使溶液濃度提高，進一步改進 α -半水石膏的結晶條件。目前有以烴基——芳基磺酸鹽為介質，則效果更佳。

經燒成後的石膏塊，在未磨細前，石膏塊應外觀均勻，有透明針狀體，摸之有滋潤感，且有一定強度，過火者成石灰狀，看不出結晶，用手指可碾成細粉。欠火者仍有石膏石的外觀，且較堅固。

以上說明了生產石膏的各種煅燒設備以及工藝過程，就目前國內情況講，石膏廠的生產設備還正在向機械化與自動化的要求發展，各廠生產設備條件很不一致。現列我國一般