

建筑石膏及其制品

JianZhu ShiGao JIQI ZhiPin

向才旺 编著



中国建材工业出版社

北新建材(集团)有限公司

建筑石膏及其制品

向才旺 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑石膏及其制品/向才旺编著. —北京:中国建材工业出版社, 1998. 9

ISBN 7-80090-742-2

I. 建… II. 向… III. 建筑材料-石膏 IV. TQ177.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第22332号

内 容 提 要

本书是为了适应我国墙体材料改革和建筑石膏工业的发展而编著的。全书共分十一章,既介绍了建筑石膏的基础理论研究,又介绍了建筑石膏制品如纸面石膏板、纤维石膏板、装饰石膏板、石膏砌块与条板、粉刷石膏、石膏砂浆与混凝土等制品的生产工艺、设备、产品的性能、特点、用途、施工安装方法及相应标准和规范,同时对国外同类产品和生产过程作了适当介绍。

本书可供建筑石膏及制品生产企业、科研单位、建筑施工单位、设计院工程技术人员参考,也可作为大专院校建筑材料类专业师生参考。

建筑石膏及其制品

向才旺 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路11号 邮编:100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售、

北京银祥福利印刷厂印刷

*

开本:850毫米×1168毫米 1/32 印张:14 字数:380千字

1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷

印数:1—8000册 定价:29.80元

ISBN 7-80090-742-2/TU·165

序

石膏作为一种蕴藏丰富的矿产资源和能够加工成多种类型的石膏变体材料,早已引起人们的关注。尤其是加工工艺简单,能耗较低,具有质量轻、凝结快、放射性低、隔声、隔热、耐火性能好等许多优良特性,更为世界许多发达国家的材料科学工作者所喜爱,并从理论和实际应用上进行了大量的研究工作。对石膏资源贫乏的国家和地区,如何有效地利用工业副产石膏,加强环境保护,在资源化方面也进行了卓有成效的研究。我国对石膏的研究工作起步较晚,大体始于70年代后期,尽管研究时间不长,但在石膏脱水相的制备和脱水机理、熟石膏陈化机理、提高石膏制品耐水性和强度性能、高强石膏的生产、硬石膏和工业副产石膏的应用及工艺技术的革新等方面均取得了可喜的成果。

遗憾的是,到目前为止,我国还没有一本比较系统地介绍石膏性能及应用方面的专著。60年代、80年代先后有过几本翻译著作,如原苏联布德尼柯夫的《石膏的研究与应用》,伏尔任斯基、弗朗斯卡娅的《石膏胶结料和制品》,法国石膏工业协会的《石膏》,原联邦德国海尔莫特·哈诺希的《纸面石膏板》,这些著作对于我国石膏工业的发展起到了促进作用。但限于这些国家的工业历史背景、产品标准规范与我国不同,研究工作起点也不一样,在参照这些著作的过程中深感应有一本比较全面地反映我国石膏工业研究与生产应用方面的专著。值得欣慰的是,向才旺副教授根据自己多年从事石膏方面的研究,在总结我国石膏研究与生产应用水平的基础上撰写了《建筑石膏及其制品》一书,填补了我国在这一方面的空白。

从理论上,这本书比较系统地介绍了石膏的脱水温度、脱水相

组成、相变规律、脱水机理及动力学过程、熟石膏的陈化及水化机理；从实际应用上，全面介绍了建筑石膏、纸面石膏板、纤维石膏板、石膏装饰板、石膏砌块、粉刷石膏、石膏砂浆和混凝土的生产工艺过程，制品的性能特点，制品的标准和规范以及制品的施工安装方法。对石膏制品独特的防火性能、隔热性能及隔声性能都有专章叙述，并对石膏制品与国外的差距及今后研究的方向也提出了自己的见解。

综观全书，理论联系实际是本书的一大特点。此外，本书语言流畅、文字简练、图文并茂、实用性强。依本人多年从事石膏研究之体会，此著作面世后必将深受读者欢迎，实乃我国石膏工业一大进步。

发展石膏工业，特别是发展建筑石膏制品，符合我国国民经济可持续发展战略，也符合我国墙体材料改革方向。我希望有更多更好的著作问世，以此来推动我国石膏工业的全面发展。

武汉工业大学

岳文海

1998年5月于武昌马房山

前 言

世界发达国家早在四五十年代就普遍采用新型墙体材料代替实心粘土砖,六七十年代又开始采用保温隔热的复合墙体材料。而我国墙体材料产品95%是实心粘土砖,与国外同体积墙体材料相比,其生产能耗平均高1倍,外墙保温隔热性能相差4~5倍,单位建筑面积采暖降温能耗为同等条件下发达国家的3倍。

我国有12亿人口,人均耕地面积不足1.2亩,只有世界人均耕地面积的1/4,处在经济发展过程中的中国要走可持续发展道路,墙体材料改革势在必行。近年来,在中央和地方各级政府的高度重视下,墙体材料改革步伐不断加快,许多新型墙体材料不断得以开发和应用,建筑石膏制品如纸面石膏板、纤维石膏板、石膏条板、石膏砌块、石膏装饰板、粉刷石膏都在逐步成为墙体材料的主导产品,石膏制品以其轻质、保温隔热、防火、隔音、装饰效果好、施工安装方便等鲜明特点,越来越受到人们的喜爱。

80年代以来,我国建筑石膏制品的研究、开发和生产进入了一个高潮期,科技工作者对石膏的基础理论研究和应用研究不断深化,一批具有80年代国际先进水平的石膏制品生产线已经建成或正在建设中,相应的产品标准与规范也在制订或修订过程中。正是在这种背景下,作者受中国建材工业出版社委托,撰写了《建筑石膏及其制品》一书,旨在总结我国石膏工业的研究成果和应用成果,并提出石膏工业今后着力研究的方向和重点,以期对读者有所启迪。

在编写过程中,作者查阅了近10年来各种刊物和出版物有关石膏及其制品的资料,到一些企业调查和收集了有关石膏制品生

产工艺和产品性能的资料,也请教了我国长期从事石膏科研工作的专家、教授,在各位同仁的大力支持下,终于完成了这本著作。借此机会,谨向关心和支持本书问世的中国建材工业出版社和所有朋友,向被引用资料的单位和文章作者,向热情提供参考资料的施耘、项旭东、龚玉芳、徐征、李逢仁等同志表示衷心感谢。

特别要感谢武汉工业大学岳文海教授在百忙之中拨冗为本书作序,并对本书的编著提出了宝贵意见,提供了参考资料。

全书共分十一章。前言,第一、二、三、四、五、六、七、八、十章由向才旺撰写并任编著;第九章由郭俊才撰写并任副主编;第十一章由吴海根撰写并任副主编。路志军同志帮助收集了大量资料,并负责文稿校对和部分统稿工作。全书最后由向才旺统稿。

由于时间仓促,加上作者水平所限,书中错误之处在所难免,敬请广大读者指正。

作 者

1998年5月于武汉城市建设学院



作者简介:

向才旺, 男, 1953年6月生, 1982年6月毕业于武汉工业大学材料科学专业, 获工学硕士。现任武汉城市建设学院科研处处长、副教授。曾发表《石膏 β -变体的研究》《石膏脱水机制与脱水动力学的研究》《建筑石膏制品防火性能及其应用》等多篇论文, 曾出版《新型建筑装饰材料实用手册》《水泥及混凝土技术进展》《室内建筑装饰材料》等专著。现为中国硅酸盐学会石膏及建筑石膏制品专业委员会委员、湖北省硅酸盐学会理事、湖北省国家级新产品评审专家。

目 录

第一章 建筑石膏原料	(1)
第一节 天然石膏	(1)
第二节 化学石膏	(13)
第二章 石膏的脱水机理及相组成	(21)
第一节 石膏的脱水温度和脱水相	(21)
第二节 石膏的脱水机理与脱水动力学分析	(40)
第三章 建筑石膏	(62)
第一节 建筑石膏的生产工艺过程	(62)
第二节 建筑石膏的相组成分析方法	(78)
第三节 熟石膏的陈化效应	(83)
第四节 建筑石膏的质量标准与检验方法	(89)
第五节 建筑石膏的性能及用途	(95)
第六节 建筑石膏的水化与硬化	(96)
第四章 纸面石膏板	(113)
第一节 概述	(113)
第二节 纸面石膏板生产工艺	(117)
第三节 纸面石膏板的性能与特点	(134)
第四节 纸面石膏板的技术标准	(143)
第五章 纸面石膏板施工安装	(164)
第一节 安装纸面石膏板用的轻钢龙骨	(165)
第二节 轻钢龙骨石膏板墙体体系(QST) 施工安装	(170)
第三节 德国 DIN 标准金属龙骨石膏板隔墙 施工方法	(177)

第六章 纤维石膏板	(213)
第一节 纤维石膏板的生产工艺.....	(213)
第二节 纤维石膏板的性能及特点.....	(223)
第三节 其它纤维石膏板.....	(227)
第四节 纤维石膏板施工安装.....	(230)
第七章 石膏砌块和石膏条板	(238)
第一节 石膏砌块的生产工艺.....	(239)
第二节 石膏空心砌块与石膏夹心砌块.....	(245)
第三节 石膏砌块的应用与施工.....	(251)
第四节 石膏条板.....	(271)
第八章 装饰石膏制品	(278)
第一节 装饰石膏板.....	(278)
第二节 嵌装式装饰石膏板.....	(290)
第三节 吸声用穿孔石膏板.....	(299)
第四节 艺术装饰石膏制品.....	(303)
第五节 装饰石膏板的施工安装.....	(310)
第六节 装饰石膏板常用品种及生产单位.....	(318)
第九章 石膏混凝土及砂浆	(334)
第一节 粉刷石膏.....	(334)
第二节 石膏砂浆.....	(345)
第三节 密实石膏混凝土.....	(352)
第四节 多孔集料石膏轻混凝土.....	(354)
第五节 有机集料石膏轻混凝土.....	(360)
第六节 石膏聚合物混凝土.....	(362)
第七节 石膏胶结料混凝土和砂浆的变形与强度.....	(363)
第十章 建筑石膏制品的防火、隔热与隔声性能	(368)
第一节 建筑石膏制品的防火性能.....	(368)
第二节 建筑石膏制品的隔热性能.....	(386)
第三节 建筑石膏制品的隔声性能.....	(397)

第十一章 建筑石膏及其制品的研究发展动态·····	(426)
附 录·····	(430)
参考文献·····	(437)

第一章 建筑石膏原料

建筑石膏原料主要有天然二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、天然硬石膏(CaSO_4)、工业生产的副产品化学石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、排烟脱硫石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)以及石膏矿开采后的低品位石膏(俗称渣膏)等。

第一节 天然石膏

一、石膏矿床的成因理论

在一般情况下,石膏和硬石膏可以说是海水蒸发后的产物。虽然天然沉积物的水分蒸发后也能生成石膏,但是要受到一定的条件限制。如果取一定量的海水试样做蒸发试验,就会发现,虽然某些蒸发盐产生了自然沉积的现象,但是沉淀物的数量和比例是不同的。

1. 沉淀物的数量

海水中约有 3.5% 的可溶物,其主要成分为:

Na^+	10.6‰	Cl^-	19.0‰
Mg^{2+}	1.3‰	SO_4^{2-}	2.6‰
Ca^{2+}	0.4‰	HCO_3^- 和 CO_3^{2-}	0.1‰
K^+	0.4‰	Br^-	0.1‰

如果在 30℃ 的试验条件下蒸发海水,第一批沉淀的盐类为少量的碳酸盐。然而,在各种石膏尚未沉淀之前,该溶液就已经浓缩了原体积 1/3 (此时溶液中盐的浓度比初始时高 3.35 倍)。在溶液

浓缩到原体积的 $1/2$ 时,硫酸钙先以二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的形态沉淀,然后是无水石膏(CaSO_4)的稳定相。当溶液仅有原体积的 $1/10$ 时,岩盐(石盐 NaCl)开始沉淀,同时还有少量的硬石膏,这种沉淀现象一直持续下去,直到该溶液仅为原体积的 $1/60$ 时,非常易溶的钾盐和镁盐才开始沉淀。这些易溶盐的沉积物开始是硫酸镁(水镁矾 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$),然后是氯化钾(KCl),最后沉积成水化氯化镁(水氯镁石 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。这些沉积矿物经过相互反应能够形成其它的复式盐。

鉴于海水中盐的浓度较低,所以蒸发 1000m 深的海水,只能得到 15m 厚的沉淀物。如果在某处发现这些盐类的沉积厚度达 3500m,相当于蒸发了 240km 深的海水。对于沉积的盐类中的硫酸钙,每蒸发 1000m 深的海水,只能获得 0.55m 厚的硫酸钙。然而在已探明的沉积物矿床中,有的硫酸钙矿床层厚度竟达 500m。

蒸发盐沉积物的矿床要有足够的厚度,它所包含的石膏矿才有开采价值。当海水静止时的蒸发不可能形成如此厚的矿层,必须有富集作用。例如,一般含盐的水不断涌入一个很深的海底盆地,并在该盆地中产生水分蒸发,这样,矿层就可在已沉淀的沉积物中同时产生富集和增厚。

2. 各种沉淀物的比例

若将上述可溶物的主要成分之和作为 100% 计算,则溶解物的各成分所占比例为:

Na^+	30.7%	Ca^{2+}	1.1%
Mg^{2+}	3.7%	K^+	1.1%
Cl^-	55.0%	SO_4^{2-}	7.7%
Br^-	0.3%	HCO_3^- 和 CO_3^{2-}	0.3%

也可表示为:

钾盐和镁盐	17.8%	NaCl	77.5%
CaSO ₄	3.7%	CaCO ₃	1.0%

在自然界中,只有极少的由蒸发形成的矿床符合这种比例。一般而言,由蒸发而形成的岩石矿床中,碳酸钙和硫酸钙占有很大的比例。碳酸盐和硫酸盐矿层往往交叉共生在同一矿床中。碳酸盐多以白云石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)形式出现,并非呈纯碳酸钙形态。尽管白云石中所含的镁可以补偿易溶的钾盐和镁盐中镁的含量,但是矿床中仍然存在着严重的缺镁现象。

用蒸发盐形成理论来说明此种变化,认为在有蒸发盐沉积的沉积物矿床中,由于新沉积的蒸发盐常与原有的沉积物发生化学反应,导致矿床内部发生重大变化。

在实验室条件下蒸发海水时,所产生的沉淀物沉淀顺序为:钾盐和镁盐→氯化钠(岩盐)→硫酸钙(二水石膏和无水硬石膏)→碳酸钙(方解石)。这一沉淀顺序已被蒸发岩的古矿床沉积结构所证实。

在很多矿床中,硫酸钙矿层上都未覆盖最易溶盐的矿层。出现这种现象的原因,或者是由于在形成矿床的地点没有这些易溶盐的沉淀条件,或者是在这些盐沉积之后由于地壳的运动而产生了迁移。

石膏矿床的成因除了上述蒸发盐沉积物成因理论外,也有人认为石膏矿床是由于海水涌入内陆盆地形成了咸水湖,咸水经蒸发而产生自然浓缩,导致盐类沉淀形成石膏矿床,炎热而干燥的气候是形成和富集这种矿床的主要条件。有一种理论认为石膏的成因是石灰石矿物化学作用的结果。该理论认为,很多粘土矿中含有大量的黄铁矿(FeS_2),它们呈分散晶体,或者呈结核状晶体,或者取代了某些化石贝壳物质。在雨水和其它地表水的作用下,加之黄铁矿本身略呈酸性,就使它分解并生成硫酸,硫酸再与粘土中的碳酸钙(贝壳等)反应而生成石膏。石灰岩在一定温度和水(一般为酸

性水)的作用下,通过交代反应过程,也能生成硫酸钙。例如在花岗岩中伴生有石灰石时,就容易伴生硫酸钙。

更有人认为石膏矿的形成是一种能生成硫的细菌作用的结果,称之为细菌作用的成因理论。维诺特(Vinot)等人认为,炎热而潮湿的第三迭纪环境曾有很厚的植物层,它形成了大量的富集有机物。在初期,厌氧微生物把硫转化为硫化氢,然后,硫化氢在氧化过程中被需氧微生物转化成硫酸。该硫酸再侵蚀原已沉积而成的石灰岩从而形成了硫酸钙。

二、石膏以沉积物形式形成后的演变

以沉积物形式形成的硫酸钙,在自然界中以二水石膏和硬石膏的形态存在,但如果它们所处环境的温度和压力发生变化,就会出现晶体的转变过程。

研究表明,硬石膏的储量随矿床的深度而增加,二水石膏埋藏较浅。在地壳内部温度和压力作用下,二水石膏脱水转变成结核状硬石膏。在 42℃ 蒸馏水中做试验,二水石膏溶解度大于硬石膏,当水温低于该温度时,二水石膏的沉淀多于硬石膏。在 30℃ 时用与海水成分相近的咸溶液进行试验,证明了在盐的浓度达到标准数值的 3.35 倍时,二水石膏开始分解。当大约有一半硫酸钙沉积之后,硬石膏才成为稳定相。只有当溶液浓缩到原体积的 1/10 时,硬石膏才开始分解。

由于在海水中存在着水化活化剂如硫酸钾和硫酸钠,所以,即使在理论上形成无水石膏的条件,但是水化活化剂的反应动力学过程却有利于形成二水石膏。硬石膏的雏晶在海水中一旦形成,立即被活化剂转化成二水石膏。

有很大一部分二水石膏,通过固态脱水,或者通过溶解而产生离子迁移,然后再重新沉淀,即可转化成硬石膏。后者的初始晶核是在夏天的高温下生成的。从特性角度看,这些沉积物在大于 4~5cm 时所含有的硬石膏,是在原始位置上先形成发育良好的石膏假晶体,然后逐渐转变成硬石膏岩,并向矿床的中心发展。说明初

始沉积物是二水石膏,以后很快地转变成硬石膏。

二水石膏和硬石膏矿床的地质结构是非常复杂的。只要石膏和硬石膏的稳定性参数,例如压力和温度,若在纵坐标方向或横坐标方向上超过了极限,它们就会产生局部的或全部的水化或脱水。导致这种变化的因素有:矿床的埋藏深度、水对矿床的侵蚀、地质构造的压力或总应力的变化以及地壳局部冷热造成的温度变化等。

在地壳板块明显汇集区域内,形成了非常密实的地质构造。若在此构造中形成硬石膏和二水石膏,它们就会以塑性方式转变,并在矿层的形成和移动中起润滑剂作用。它们是在很大的压力下通过复杂的变质作用产生转变,中间流体虽然有利于石膏形成,但在很高的有向应力和高温条件下则有利于形成硬石膏。

当二水石膏在高压状况下脱水时,游离的结晶水在晶粒之间起润滑剂作用。沉积物如处于塑性状态,即使施加很小的有向应力也能造成很大的褶皱,并在许多沉积物中产生流动蠕变。所有的二水石膏在转变成无水石膏时,每个 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 分子失去两个结晶水分子,而逆转变则是获得两个结晶水分子。当无水石膏转变成二水石膏时,由于吸收水分导致无水石膏体积的增大,从理论上讲可增大 60%(分子体积比)。这种转变的感应压力约为 $2 \sim 69\text{kN/m}^2$ 。当矿床埋藏不深时,这种转变速度很慢,并伴随有二水石膏溶液。这种溶液在周围的沉积物中有时能再结晶成纤维状晶体,从而加大了矿体的裂隙。

当矿床埋藏较深时,无水石膏在它的整个转变过程中都处于被抑制的状态,从而导致地壳压力逐渐升高。这种应力最终以爆炸力的形式释放出来。曾出现过地表被增高 6m 的情况,这种现象是由于地下水的存在所引起。

二水石膏本身的物理特性随矿床的地质构造而异。研究表明,斑状变晶的二水石膏是无水石膏二次水化的初始阶段,后来在剥离覆盖层的过程中,或是在覆盖层很薄的情况下,或是在矿床露头

时形成了细颗粒的雪花石膏。

在石膏和硬石膏的矿床内,存在着数量不等的钠盐、钾盐和镁盐,这些盐类即使比例很少,也能改变建筑石膏(或称熟石膏)制品的性能。不仅在硫酸钙刚刚沉淀后的盐水中可能存在着这些盐类,而且在后期渗透进矿床的咸质地下水中也可能含有这些物质。这种现象可以用元素化学来解释:无水石膏是在含有易溶盐,特别是在含有氯化钠的水溶液中二次水化成二水石膏的。通常以杂质形态存在于石膏矿床中的盐水,与粘土质矿物一接触,就会在其表面产生正离子交换反应。交换反应过程中, Ca^{2+} 进入溶液, Na^+ 被吸附到 Ca^{2+} 原来的位置上。由于每种溶解的离子的吸收数量取决于它的浓度,所以当水化溶液向无水石膏提供一部分水分子使其成为二水石膏时,上述现象就更加明显,从而增加了 Na^+ 的浓度。因此,当矿层顶部开始水化时,采矿场底部盐的浓度就最大。

如果粘土质矿物中吸收的 Na^+ 达到饱和状态,就会在岩石缝隙中的溶液内形成 Na^+ 的富集。富集的 Na^+ 与 SO_4^{2-} 反应先生成硫酸钠,或者与剩余的 Cl^- 反应生成氯化钠。来自水化物溶液中的 Cl^- 具有负电性,因此它在石膏中的浓度较低。

从运动学的观点来看,石膏矿床应该是一个动态的体系,石膏矿物在地壳内各种复杂的物理化学运动作用下,可以改变其结构形态及其在地层中的位置。有时硫酸钙大量富集,成为有开采价值的石膏矿床;有时需要清除矿床中原已存在的杂质,甚至对整个矿床进行净化处理;有时在前一地质年代形成的二水石膏会被溶解,在以后的另一个地质年代重新生成。

三、天然二水石膏

天然二水石膏又称为二水硫酸钙,化学分子式为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,是由两个结晶水的硫酸钙复合组成的层积岩石,一般层积在距地表800~1500m深处。二水石膏的理论质量组成为: $\text{CaO}32.56\%$, $\text{SO}_346.51\%$ 和 $\text{H}_2\text{O}20.93\%$ 。

石膏依其结晶结构有以下主要变体:有细粒状的密实石膏或