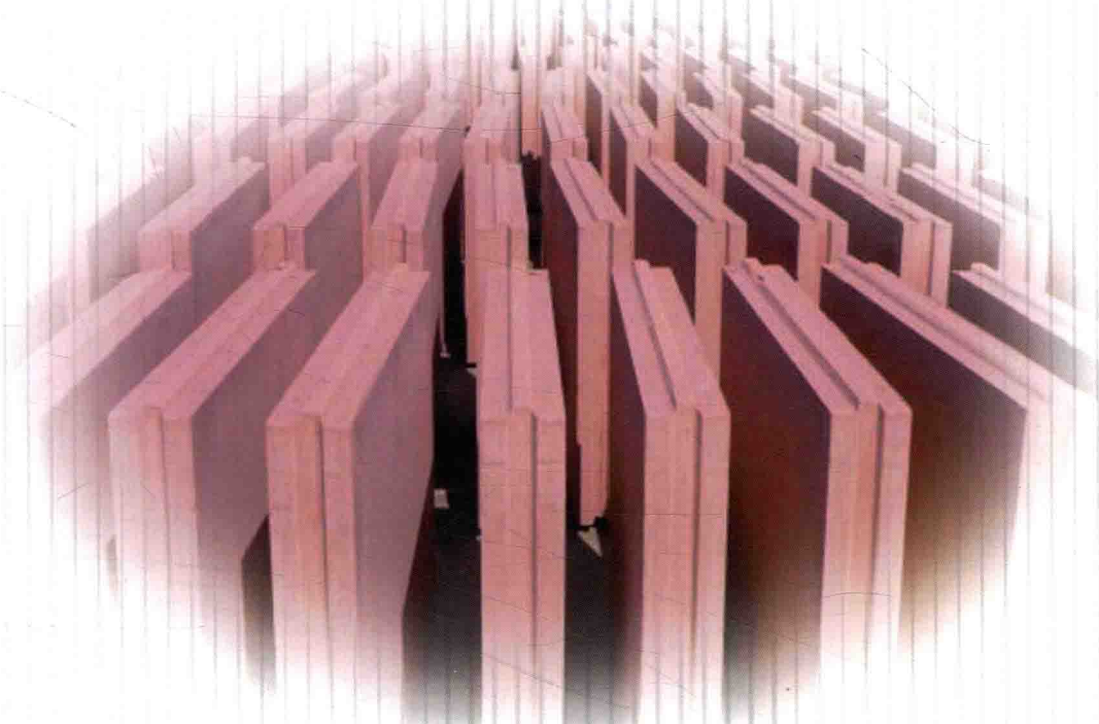


Technical Questions and Answers of Gypsum Application

石膏应用技术问答

赵云龙 徐洛屹 主编



中国建材工业出版社

石膏应用技术问答

赵云龙 徐洛屹 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

石膏应用技术问答/赵云龙, 徐洛屹主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2016. 9
ISBN 978-7-5160-1352-6

I. ①石… II. ①赵… ②徐… III. ①石膏-问题解
答 IV. ①TQ177.3-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 019589 号

内 容 简 介

本书依据现行国家标准、行业标准和有关规范、规定, 以问答的形式介绍了石膏基础知识、熟石膏的制备性能、高强石膏、模具石膏、外加剂与增强材料、石膏改性、石膏粉体建材、石膏复合凝胶材料、耐水石膏、石膏防火材料及石膏基相变材料等, 并针对石膏应用中常见的技术问题提出了解决建议与方法, 为设计、生产、施工建筑石膏提供了指导。

本书可供石膏生产技术人员和建筑施工人员及高校建筑设计专业师生参考, 也可作为石膏建材行业技术人员的培训教材。

石膏应用技术问答

主编 赵云龙 徐洛屹

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 22.25

字 数: 550 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次

定 价: 88.00 元

本社网址: www.jccbs.com 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社网络直销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前言

石膏既是传统的建筑材料，也是重要的新型建筑材料。我国应用石膏的历史悠久，有广泛的应用基础。石膏具有良好的使用性能，能以多种形式应用于建筑物室内的墙体、地面和顶面，可以满足建筑物的防火、保温、隔声、装饰、吸声等多功能的要求。

随着现代技术的不断发展，赋予了传统石膏材料许多新的特征和性能，石膏建材产品的种类在增加，应用技术在提升，性能在不断完善，使石膏有了更多的新型建材特性。目前全社会均在提倡节能、利废、环保、可循环利用的绿色建筑材料。无论是从原料形式、生产制造、使用性能方面，还是从能源与资源的节约、环保与利废的发展等方面，石膏建材完全能够符合绿色建材的标准和要求。

过去的十多年，石膏建材在我国取得了飞速的发展，应用领域和范围不断扩大，新的产品不断涌现。但是在快速发展的同时，石膏建材的应用还存在各种各样的问题，这些问题影响到石膏性能的发挥和市场的推广应用，本书以问答的形式解答了石膏的基本性能和应用方面的部分问题，希望能够对石膏行业生产和应用的从业人员提供一些参考和指导。

本书在编写过程中，得到了已故的国内著名建材专家沈荣熹博士的指正和修改。本书的出版是对沈荣熹博士的缅怀，激励业内更好地推动石膏建材的技术进步和发展。

本书由赵云龙、徐洛屹编写，参与编写的还有赵婷婷、刘玮、杨再银。本书在编写时参考和引用了国内一些专家学者的观点和资料，在此表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限，本书还存在不少的缺点和错误，诚恳希望读者批评指正！

编者

2016年8月

目 录

第一章 石膏基础知识	1
一、二水石膏	1
(一) 二水石膏基础	1
(二) 二水石膏成分检测	4
二、熟石膏	5
三、无水石膏(硬石膏)	8
(一) 无水石膏基础	8
(二) 无水石膏的粉磨	17
(三) 无水石膏的水化硬化	18
(四) 无水石膏的激发	21
四、石膏胶凝材料	28
五、工业副产石膏	31
(一) 工业副产石膏基础	31
(二) 烟气脱硫石膏	36
(三) 磷石膏	53
(四) 柠檬酸石膏	64
(五) 氟石膏	65
(六) 钛石膏	70
(七) 芒硝石膏	73
(八) 盐石膏	74
(九) 硼石膏	75
(十) 再生石膏	76
六、石膏的应用	77
七、石膏质量管理	79
第二章 熟石膏的制备与性能	82
一、二水石膏的脱水	82
二、二水石膏的煅烧	86
(一) 煅烧设备	86
(二) 煅烧工艺	94
三、熟石膏的陈化效应	105
四、熟石膏的水化与硬化	108
五、熟石膏的物理性能	110
六、熟石膏的检验分析	118

第三章 α 型高强石膏	124
一、 α 型高强石膏基础	124
二、生产工艺	125
三、应用	134
四、检验分析	134
第四章 模具用石膏	138
第五章 外加剂与增强材料	145
一、外加剂	145
(一) 品种与研发方向	145
(二) 减水剂	147
(三) 保水剂	156
(四) 防水剂	163
(五) 缓凝剂	165
(六) 促凝剂	174
(七) 消泡剂	174
(八) 引气剂 (发泡剂)	175
(九) 润滑剂	177
(十) 胶粘剂	177
(十一) 增稠剂	183
(十二) 转晶剂 (媒晶剂)	185
(十三) 低膨胀剂	185
(十四) 激发剂	186
(十五) 抗徐变剂	189
二、增强材料	190
第六章 石膏改性	196
第七章 石膏粉体建材	200
一、干粉建材加工设备	200
二、抹灰石膏	200
三、粘结石膏	235
四、嵌缝石膏	236
五、石膏罩面腻子	238
六、石膏保温砂浆	252
七、石膏基自流平砂浆	262
第八章 石膏复合胶凝材料	277
一、石膏复合胶凝材料的配置	277
二、掺合料	287
(一) 水泥	287
(二) 粉煤灰	290
(三) 矿渣粉	293

(四) 石灰·····	294
(五) 火山灰·····	296
(六) 膨润土·····	297
(七) 高岭土·····	297
(八) 硼砂·····	298
(九) 沸石粉·····	298
(十) 硅灰·····	298
(十一) 填料与砂·····	299
(十二) 碳酸钙·····	301
第九章 耐水石膏·····	302
第十章 石膏防火材料·····	313
第十一章 石膏晶须·····	317
一、制备工艺·····	317
二、性能特点·····	327
三、应用领域·····	331
第十二章 石膏基相变材料·····	334
参考文献·····	346

第一章 石膏基础知识

一、二水石膏

(一) 二水石膏基础

1. 天然石膏的定义是什么？

答：天然石膏是自然界中蕴藏的石膏石。天然石膏的主要成分是硫酸钙，并常含有各种杂质和附着水（又称游离水），是一种重要的、具有广泛用途的非金属矿物，按是否含有结晶水又分为二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和无水石膏（ CaSO_4 ）两种。

2. 二水石膏的定义是什么？

答：二水石膏又称石膏或生石膏，是自然界中稳定存在的一个相。多数工业副产石膏的主要成分也是二水石膏，均归属此类。它们既是脱水产物的原始材料，又是脱水产物再水化的最终产物，这种最终产物也可称为再生石膏。

3. 二水石膏的物理性能是什么？

答：纯天然二水石膏呈白色或无色透明，硬度（莫氏）为 1.2~2.0，密度为 2.2~2.4g/cm³。常温下在水中的溶解度很低，在 20℃ 时，被分解为 CaO 的二水石膏的溶解度为 2.05g/L。当温度为 32~41℃ 时能够产生最大的溶解度。在稀硫酸和硝酸及在某些盐类溶液中，石膏的溶解度比在水中大。石膏是热的不良导体，其导热率在 16~46℃ 时为 0.285W/(m·K)。

4. 我国国家标准 GB/T 5483—2008《天然石膏》将天然石膏产品按矿物组分分为哪几类？

答：我国国家标准 GB/T 5483—2008《天然石膏》将天然石膏产品按矿物组成成分分为以下三类：

① 石膏（代号 G）：在形式上主要以二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）存在。

② 硬石膏（代号 A）：在形式上主要以无水硫酸钙（ CaSO_4 ）存在，且无水硫酸钙（ CaSO_4 ）的质量分数与二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和无水硫酸钙（ CaSO_4 ）的质量分数之和的比不小于 80%。

③ 混合石膏（代号 M）：在形式上主要以二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和无水硫酸钙（ CaSO_4 ）存在，且无水硫酸钙（ CaSO_4 ）的质量分数与二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和无水硫酸钙（ CaSO_4 ）的质量分数之和的比小于 80%。

5. 天然二水石膏的种类有哪些？

答：天然二水石膏依据物理性质可分为透明石膏、纤维石膏、雪花石膏、普通石膏和土

石膏五类，见表 1-1。

表 1-1 天然二水石膏类别

类别	透明石膏 (也称透石膏)	纤维石膏	雪花石膏 (也称结晶石膏)	普通石膏	土石膏(也称黏土 质石膏或泥质 石膏)
外观和特征	通常无色透明，有 时略带淡红色或浅 色，呈玻璃光泽	纤维状集合体，呈 乳白色，有时略带蜡 黄色和淡红色，有丝 绢状光泽	细粒块状集合 体，呈白色、半透 明状态	致密块状集合 体，常不纯净， 光泽较暗淡	有黏土混入， 杂质较多，呈 土状
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 含量 (%)	≥ 95	94~85	84~75	74~65	64~55

在确定天然二水石膏类别时，应先进行化学成分分析，根据所得 CaO 、 SO_3 和结晶水的百分含量分别计算 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的量，然后分别取三个计算值中的最小值作为定级的依据。

6. 石膏结晶水的测定应注意什么？

答：石膏品位指原料中二水硫酸钙的百分含量，天然石膏的品位以结晶水计算比较精确。过去在建材行业大都采用建筑材料化学分析中的石膏分析方法，即在 $350\sim 400^\circ\text{C}$ 下测定结晶水含量。这样高的温度将会引起原料中黏土矿物部分脱水以及可能存在的自然硫和有机物失重，给测定的结果造成正偏差，特别是低品位的黏土质石膏，黏土杂质对结晶水及其水质的影响是不容忽视的。

7. 天然二水石膏矿石常见的外观结晶形态有哪几种？

答：天然二水石膏矿石常见的外观结晶形态有如下几种：

- ① 纤维状：是纤维状集合体，绢丝光泽，通常比较纯净。
- ② 雪花状：是粒状集合体，半透明，结晶通常比较紧密。
- ③ 块状：是致密块状集合体，玻璃光泽，常不纯净。
- ④ 鳞片状：为小片状集合体，小片呈玻璃光泽且透明。
- ⑤ 碎粒状：碎粒半透明，有光泽（在碎粒中不时可见燕尾形双晶）。

8. 二水石膏中的结晶水有几种结合状态的水？

答：二水石膏中的结晶水至少有两种结合状态的水，即结构水和沸石水所组成。

一般认为，结构水是在二水石膏转变为半水石膏时脱出的水，而沸石水则保留在半水石膏中，只有在半水石膏转变为无水石膏Ⅲ时才被脱出。因此，半水石膏的形成量与这两种水的比例有关。

9. 为什么二水石膏应根据各种不同要求来控制其转变温度?

答: 二水石膏在一定温度下加热能够转变为半水石膏, 进一步加热则脱水转变为无水石膏, 再进一步加热则分解为氧化钙和三氧化硫。其转变温度因加热方式、加热速度和颗粒级配而不同。

10. 二水石膏和半水石膏两种水化物的分解温度是什么?

答: 二水石膏和半水石膏两种水化物的分解温度, 就是它们的水蒸气压力等于一个大气压时的温度。而且, 二水石膏的分解速度随温度升高而加快, 其分解温度亦随加热速度而升高。

11. 二水石膏的分解速度与哪些因素有关?

答: 二水石膏的分解速度取决于盐类的阳离子、阴离子及其浓度, 并且分解速度按如下离子顺序而递增: SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 I^- 、 Br^- 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Na^+ 。其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 对于晶体的造型有着较好的影响。也可以使用任何阴离子活性的表面活性物质, 例如二元羧酸及其衍生物, 或烷基芳基磺酸盐以促进其分解速度。

12. 天然石膏中的杂质对建筑石膏有哪些影响?

答: 通常生产建筑石膏应使用品位达二级以上的二水石膏, 石膏胶凝材料的质量不仅取决于石膏的纯度, 还取决于所含杂质的种类和各种杂质的相对含量等。一般来说, 过量的杂质会对石膏胶凝材料的强度不利, 并使其软化系数下降, 标准稠度需水量降低, 并导致制品的表观密度增加。因此, 在生产中可根据试验结果适当调整所需原料等级。

石膏中杂质的类型很多, 主要有碳酸盐类(石灰石、白云石等)、无水石膏和黏土矿物类(高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石等), 还含有少量的石英、长石、云母、黄铁矿、有机质, 以及 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 等易溶盐类, 这些杂质的相对含量对石膏制品的性能有着重要的影响。

一般石膏中含黏土矿物类杂质越多, 制成的建筑石膏力学强度越低, 这是由于黏土矿物遇水后容易软化和变形的缘故。无水石膏杂质由于水化速度缓慢, 其含量高时, 可影响建筑石膏的早期强度, 对后期强度却是有益的。碳酸盐类、无水石膏和石英等杂质, 在石膏煅烧温度范围内都是惰性物质, 而其本身密实度大、吸水性差, 所以它们的存在可降低标准稠度需水量, 若含量适当, 不仅可提高制品的密实性和硬度, 而且还可提高制品的强度。 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 等易溶性盐类的存在, 可提高建筑石膏在水中的溶解度, 加快其水化与硬化过程, 同时也增加了建筑石膏硬化体结晶接触点的不稳定性, 使接触点的强度降低, 而且使制品在潮湿环境中容易析出“盐霜”, 因此其含量必须有所限制。石膏中的杂质对石膏的分解有利, 在炒制建筑石膏时, 可降低煅烧温度, 节约能耗。

总的说, 天然石膏中的黏土矿物类杂质对建筑石膏性能的影响有利有弊。除模具、医药、造纸、高级雕塑艺术品等特殊用途的熟石膏外, 一般用于建筑制品的建筑石膏对原矿纯度的要求不必太高, 但要注意杂质的种类和相对含量, 最好根据用途的要求合理使用石膏资源, 以达到节约能源、降低原料成本的目的。

(二) 二水石膏成分检测

1. 检验天然石膏的批量确定和抽样是怎样进行的?

答:我国现行国家标准 GB/T 5483—2008《天然石膏》对天然石膏的检验规则规定如下:

(1) 组批原则:天然石膏产品的验收和供货按批量进行。天然石膏以同一次交货的同类别、同等级产品 300 t 为一批,不足 300t 时亦按一批计。

(2) 抽样方法:采用方格法。根据矿石质量、块度均匀性和矿堆体积大小确定方格间距。取样时应在不同深度上取样,每次取样量大致相等。

散装交货时,每批量抽取点数不得少于 10 点,每次取样量不应少于 10kg,由此组成总样品。

包装交货时,每批量抽取袋数不得少于 20 袋,每次取样量不应少于 5kg,由此组成总样品。

2. 如何计算石膏的品位?

答:若原料是纯净的二水硫酸钙,则其化学组成为: $\text{CaO}=32.56\%$ 、 $\text{SO}_3=46.51\%$ 、 $\text{H}_2\text{O}=20.93\%$ 。按此任意一个化学组成成分换算成二水硫酸钙的含量为 100%,则 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}=4.78\text{H}_2\text{O}=2.15\text{SO}_3=3.07\text{CaO}=100$ 。为了方便起见,以下称 4.78H₂O 为“水值”,2.15SO₃ 为“硫值”,3.07CaO 为“钙值”。

实际上,由于在各种原料石膏中总是或多或少含有其他杂质,这些杂质的成分中包含了 H₂O、SO₃ 和 CaO,因此原料的化学分析所得到的 H₂O、SO₃ 和 CaO 的总量不能代表二水硫酸钙中 H₂O、SO₃ 和 CaO 的量。一般情况 $4.78\text{H}_2\text{O} \neq 2.15\text{SO}_3 \neq 3.07\text{CaO}$,而且每个值可能大于 100,但只能有两个以下的值大于 100。假定在 4.78H₂O、2.15SO₃ 和 3.07CaO 三者之中有一个受杂质的影响最少或不受影响,那么其数值一定更接近于或者等于真实的二水硫酸钙含量,且为三者中的最小值,必定小于 100;反之,若三者中的一个为最小值,则该值也必定受杂质的影响最少或不受影响,即该值最接近于或等于真实的二水硫酸钙含量。因此,以水值、硫值和钙值三者中的最小值作为石膏的品位是比较合理的,将其称为“水、硫、钙最小值品位算法”。

将不同的二水石膏进行试验,所得的 H₂O、SO₃ 和 CaO 换算成水值、硫值和钙值。由计算可以得知,绝大部分二水石膏的水值为最小值,只有少数的水值稍大于硫值(如确定在 180℃ 下测定结晶水,则其水值仍为最小值)。而它们的钙值大都属于最大值。由此可见,对二水石膏而言;以结晶水为基准计算品位比较切合实际,以 CaO 计算是最不精确的。

3. 根据二水硫酸钙中的结晶水如何计算半水石膏中的结晶水?

答:二水硫酸钙中结晶水的理论含量为 20.93%,经 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$ 反应后, $\frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$ 结晶水脱出,变成半水石膏。半水石膏中结晶水的理论含量为 6.20%,但因二水石膏中含有不同量的杂质,而使二水石膏中结晶水的含量达不到 20.93%,使用一简单公式可计算出半水石膏中结晶水的含量:

$$\text{半水石膏结晶水含量 (\%)} = \frac{\text{二水石膏中结晶水实际含量 (测定值)}}{3.375} \times 100$$

4. 在 180℃ 下测定结晶水应注意哪些事项?

答: ① 二水石膏在 180℃ 时的脱水速度比 360℃ 时缓慢, 称量样品不要太多, 以 0.5~1g 为度, 应平铺于宽口称量瓶内, 置烘箱内烘干。

② 烘干后得到的是Ⅲ型 CaSO_4 , 这与 360℃ 下烘干得到的Ⅱ型 CaSO_4 的性质不大相同, Ⅲ型 CaSO_4 是一种比硅胶吸潮能力还大的强干燥剂, 若干燥器中的硅胶不太新鲜, 它能夺取硅胶中的水分变为半水石膏。因此操作需小心, 称量瓶从烘箱中取出应立即盖上盖子, 冷却称量过程中切勿打开。

5. 石膏化学分析方法试验的基本要求有哪些?

答: (1) 试验次数与要求

每项测定的试验次数规定为两次。用两次试验平均值表示测定结果。

在进行化学分析时, 各项测定应同时进行空白试验, 并对所测结果加以校正。

(2) 质量、体积、体积比、滴定度和结果的表示

质量单位用“g”表示, 精确至 0.0001g。滴定管体积单位用“mL”表示, 精确至 0.05mL。滴定度单位用“mg/mL (毫克/毫升)”表示, 滴定度和体积比经修约后保留有效数字四位。各项分析结果均以百分数计, 表示精确至小数点后二位。

(3) 灼烧

将滤纸和沉淀放入预先已灼烧并恒量的坩埚中, 在氧化性气氛中缓慢干燥, 不使有火焰产生, 灰化至无黑色炭颗粒后, 放入高温炉中, 在规定的温度下灼烧。在干燥器中冷却至室温, 称量。

(4) 恒量

经第一次灼烧、冷却、称量后, 通过连续对每次 15min 的灼烧, 然后冷却、称量的方法来检查恒定质量, 当连续两次称量之差小于 0.0005g 时, 即达到恒量。

(5) 检查 Cl^- 离子 (硝酸银检验)

按规定洗涤、沉淀数次后, 用少许水淋洗漏斗的下端, 用数毫升水洗涤滤纸和沉淀, 将滤液收集在试管中, 加几滴硝酸银溶液, 观察试管中溶液是否浑浊。如果浑浊, 继续洗涤至硝酸银检验不再浑浊为止。

二、熟石膏

1. 半水石膏的定义是什么?

答: 根据形成条件的不同半水石膏分为 α 型半水石膏与 β 型半水石膏两个变体。当二水石膏在饱和水蒸气条件下, 或在酸、盐的溶液中加热脱水, 即可形成 α 型半水石膏; 如果在缺少水蒸气的干燥环境中脱水则形成 β 型半水石膏。在显微镜下可以明显观察到这两种半水石膏的区别, α 型半水石膏为形状规则的晶体, 一般为短柱状; β 型半水石膏的微观晶体呈松散聚集的含有微孔隙的固体。 α 型半水石膏的晶体缺陷少, 而 β 型半水石膏的晶体缺陷多, 因而 α 型半水石膏的内比表面积比 β 型半水石膏的内比表面积小。

通过差热曲线也可以看出两者的区别。 α 型半水石膏和 β 型半水石膏脱水转变为Ⅲ型无水石膏的温度相同，而 α 型半水石膏转变成Ⅲ型无水石膏后，要进一步转变为Ⅱ型无水石膏的放热峰在 220°C ，但 β 型半水石膏的进一步转变温度则为 350°C 。

两者在宏观性能上的区别是： α 型半水石膏标准稠度比 β 型半水石膏的小，因而其水化后转变为二水石膏制品的密度比 β 型半水石膏的大，其强度高于 β 型半水石膏，而吸水率低于 β 型半水石膏。

2. 什么叫建筑石膏？建筑石膏如何分类？

答：建筑石膏是天然石膏或工业副产石膏在一定温度下加热脱水，制成的以 β 型半水硫酸钙（ $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）为主要组成的气硬性胶凝材料，其半水硫酸钙的含量（质量分数）应不小于60.0%。

根据我国现行国家标准 GB/T 9776—2008《建筑石膏》，按原料种类可分为天然建筑石膏（N）、脱硫建筑石膏（S）、磷建筑石膏（P）三类。按2h抗折强度（MPa）可分为3.0、2.0、1.6三个等级。

3. β 型半水石膏有哪些特性？

答： β 型半水石膏有以下特性：

（1）水化快

由于 β 型半水石膏微粒具有极其发育的表面，故水化快，料浆便于成型，在较短时间内能达到很高的强度，被广泛应用于医疗、食品、建筑装饰、工艺雕塑、陶瓷等行业中。

（2）标准稠度大

β 型半水石膏的比表面积大，因而工作时标准稠度用水量大（ $>65\%$ ），使产品强度偏低。

（3）不稳定性

β 型半水石膏具有很大的活性，容易吸潮，吸潮后转化为二水石膏，具有促凝作用，为此包装运输和存放时要注意避免吸潮。

（4）需经陈化使性能趋于稳定

刚炒制的半水石膏性能很不稳定，必须在一定条件下贮存使其性能趋于稳定，在陈化过程中晶体表面的裂隙有一定的弥合，物料的比表面积明显减少，所引起的标准稠度需水量降低，使试件的密实度增大，物理力学性能得到改善。

4. 石膏中的杂质对石膏活性有什么影响？

答：石膏中的杂质越多，也就相当于胶凝材料中惰性掺合料增加，因而会使熟石膏的强度下降。不同 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 含量其产品质量是不同的。制取高强度石膏最好采用硫酸钙含量在90%以上的原料。

5. 建筑石膏中带有未完全燃烧的煤粉，对生产纸面石膏板有什么影响？

答：在脱硫石膏中未完全燃烧的煤粉微粒在0.01%~0.05%之间，一般不会对石膏制品产生明显影响。目前，许多石膏工厂干燥煅烧石膏采用机械式排燃烧炉或是煤的流化床式

燃烧炉,其未完全燃烧的粉煤飞灰较多,尤其是颗粒度在 $100\sim 200\mu\text{m}$ 的煤粉,当脱硫熟石膏用于生产纸面石膏板时,在石膏板成型凝固过程中,煤粉颗粒将会迁移到面纸和石膏芯之间的界面,妨碍面纸和石膏的粘结。

6. 熟石膏中可溶性 Na 对其影响是什么?

答:熟石膏中可溶性 Na 含量偏高,极易形成可溶性多结晶水的盐类,影响石膏晶体间接触点的连接,从而影响纸面石膏板的粘结性能,使石膏板容易产生变形。因此,Na 含量偏高是石膏板在受潮时易产生变形的主要原因之一。

7. 如何通过测定结晶水含量来鉴别熟石膏质量?

答:熟石膏是一种结晶混合物,其中含有二水石膏、半水石膏和无水石膏。建筑石膏在炒制过程中欠火时会出现生石膏,或者火大、炒制时间过长时造成过烧出现无水石膏,这些都会影响石膏的凝结时间,影响产品的正常使用。有时由于熟石膏放置时间过长而受潮,也会影响其正常使用。通过测定结晶水的含量,可判断熟石膏质量的好坏。一般合格的熟石膏结晶水的含量在 $4.5\%\sim 5.0\%$ 之间。若熟石膏的结晶水含量远低于此标准值,则说明熟石膏过烧,若熟石膏的结晶水含量远高于此标准值,则说明熟石膏欠火或者受潮。

8. 温度不同对半水石膏的溶解度有无影响?

答:在没有缓凝剂的情况下,所有半水石膏在 2h 内都转变成二水石膏。大量的半水化物(约 95%)是在 30min 左右就会水化成二水化物的。

温度下降会减缓半水石膏的溶解速度,也就影响了钙离子和硫酸根离子的扩散。若增加熟石膏量则正与此相反,虽然温度下降了,但是半水石膏的溶解度增加了,有利于结晶的条件,溶液的密度也增加了。由此可知,温度效应随某一个占主导地位的因素而异。此外,温度对已硬化的熟石膏的结构也会产生明显的影响。

9. 半水石膏与二水石膏在 20°C 水中的溶解度是多少?

答: 20°C 时半水石膏在水中的溶解度是 8g/L ,二水石膏的溶解度是 2g/L 。

10. 半水石膏的溶解析晶过程可分为哪几个阶段?

答:二水石膏在不同条件的热处理中其结构水容易脱出,成为各种晶体的半水石膏。

半水石膏的溶解析晶过程可分为以下三个阶段:

- ① 水化作用的化学过程阶段——半水石膏的溶解和水化。
- ② 结晶作用的物理过程阶段——二水石膏的析晶和晶体长大。
- ③ 硬化的力学过程阶段——二水石膏晶体的连生和结晶网络的形成。

11. 不同的处理方法对半水石膏水化起什么作用?

答:(1) 细磨二水石膏的作用机理

由于半水石膏的水化产物为二水石膏,因此掺入二水石膏后就相当于在半水石膏水化时引入了与晶核生成结构相同的成核基体,加快了晶核的生成速度,加大了晶核的生成数量。

在单位反应物中晶核数量的增加必然会降低生成物的晶体尺寸，因此在半水石膏中掺入二水石膏后使其水化产物的晶体结晶变得细小。细小晶体具有较大的膨胀能，掺入二水石膏时膨胀率加大。

(2) 其他无机盐的作用机理

对于半水石膏水化体系，反应物离子浓度的提高可以增大二水石膏的晶体尺寸，除细磨二水石膏外其余外加剂的引入均加大了水化产物的晶体尺寸。根据膨胀能理论，结晶粗大的晶体具有较小的膨胀能，因此膨胀率降低。

12. 建筑石膏长期存放时应注意的事项有哪些？

答：由于建筑石膏吸水后会导致结块或强度降低，甚至报废，因而在贮存时应注意防水、防潮。建筑石膏的贮存期一般为3个月，超过3个月后，强度将随着时间延长而出现不同程度的降低。超过贮存期的石膏应重新进行强度检验，并按照实际检验强度使用。

13. 建筑石膏的堆积密度和比表面积是怎样表示的？

答：建筑石膏的堆积密度是指散料在自由堆积状态下单位体积的质量。该体积既含颗粒内部的孔隙，又含颗粒之间的空隙，常用 kg/m^3 表示。

比表面积是指单位质量粉体的总表面积，用平方米每克表示 (m^2/g)。石膏粉体的粒径越小，则比表面积越大，比表面积越大，则颗粒的表面活性越大。比表面积对粉料的湿润、溶解、凝聚等性质都有直接的影响。

14. 建筑石膏在我国的应用与发展前景如何？

答：国外的建筑石膏及制品工业已向轻质、高强、复合、多功能、环保等方向发展，正在逐步取代传统的室内墙体材料和装饰、装修材料，从而成为石膏制品中的主导产品，应用亦相当普遍。我国经过多年的推广，现也有不少人认识到了石膏建筑制品的舒适性（隔热、隔声、调节湿度）和安全性（防火），使得近几年来建筑石膏的研究与开发得到迅速发展。随着我国建筑业和建材工业的发展，对石膏及石膏建筑制品的需求量将会越来越大，尤其是具有节能和环保特点的石膏基复合墙体材料必将成为我国室内墙体材料的主要产品。

三、无水石膏（硬石膏）

(一) 无水石膏基础

1. 无水石膏胶结料原料及生产工艺有哪些？

答：无水石膏胶结料所用的石膏一般有三种来源。一是天然无水石膏；二是副产无水石膏；三是由二水石膏（包括天然二水石膏和副产二水石膏）经高温煅烧制取的无水石膏。由于来源不同，无水石膏的胶凝性能则不同，其中天然无水石膏和副产无水石膏因无须煅烧，且储量很大，是无水石膏胶结料的主要原料。

对无水石膏胶结料原料的要求一般为：

(1) 无水石膏

经 40°C 下恒重的磨细无水石膏，应符合 CaSO_4 含量 $\geq 85\%$ ；杂质的含量 $\leq 12\%$ 且对无

水石膏性能无不良影响；化学结晶水含量 $\leq 3\%$ ； $\text{pH} \geq 7$ 。

(2) 激发剂

天然无水石膏本身活性非常差，水化能力低，凝结硬化慢，只有当掺入酸性或碱性激发剂，才能成为具有一定强度和良好物理性能的胶凝材料。因此，激发剂的选择是无水石膏胶结料的关键。按照德国标准规定，经过 40°C 干燥后，在使用时无水石膏胶结料中允许的激发剂含量为：碱性激发剂 $\leq 7\%$ ；盐类激发剂 $\leq 3\%$ ；复合激发剂 $\leq 5\%$ ，盐类激发剂中结晶水不在含量计算之列。

2. 利用煅烧二水石膏生产无水石膏胶结料的生产工艺由哪些基本工序组成？

答：① 在破碎机内破碎至粒径 $50\sim 100\text{mm}$ 和 $30\sim 40\text{mm}$ 的石膏石块石，适宜在立窑或回转窑内煅烧。

② 二水石膏在立窑或回转窑内煅烧，物料在 $600\sim 750^\circ\text{C}$ 的煅烧带保持 $3\sim 4\text{h}$ ，在冷却带保持 $6\sim 8\text{h}$ 。物料在立窑内保留时间包括预热时间达到 $16\sim 18\text{h}$ 。

③ 冷却后的无水石膏，在锤式或辊式破碎机内进行破碎，破碎后的粒径在 $60\sim 80\text{mm}$ 以下。

④ 硬化激发剂经干燥后，粉磨到粒径在 $2\sim 3\text{mm}$ 以下。

⑤ 将所有组分计量后在球磨机内共同粉磨。达到 $80\mu\text{m}$ 筛筛余量小于 15% ，即可包装出厂。

⑥ 当使用高炉矿渣或粉煤灰时，先将其干燥至湿度 1% 以下，然后与无水石膏共同磨细。

3. 用天然（或副产）无水石膏生产无水石膏胶结料的生产工艺是什么？

答：用天然（或副产）无水石膏生产无水石膏胶结料时，不需高温煅烧，使原矿石破碎后与激发剂共同粉磨即可，生产工艺大大简化。

天然无水石膏胶结料的主要生产设备为：生料破碎机、生料和激发剂粉磨机、混料机和包装机。设备投入不大，占地面积小，建厂投资少。

4. 在无水石膏胶结料生产中应注意哪几方面的问题？

答：① 生产无水石膏胶结料所用无水石膏的细度应尽可能细，为提高早期强度，建议 200 目筛余量不超过 4% 。由于矿渣的硬度大于无水石膏，因此，生产时应将两种原料分别粉磨后再混合。

② 无水石膏胶结料生产中，硫酸盐类激发剂的掺入量应严格控制，尤其是一价阳离子硫酸盐，一般不超过 1% ，掺入过多会引起制品出现盐析现象。明矾石或煅烧明矾石的掺量不宜超过 3% ，否则会引起水泥石膨胀过大，使强度下降。

③ 多种盐类激发剂复合的效果好于单一激发剂。

④ 碱性激发剂能较好地提高无水石膏胶结料的耐水性，但对无水石膏胶结料强度的提高不如复合激发剂。

5. 无水石膏Ⅱ的定义是什么？

答：无水石膏Ⅱ又称 β 型无水石膏，或称不溶性无水石膏。它是由二水石膏、半水石膏

和吸潮后的无水石膏Ⅲ经高温脱水后在常温下稳定的最终产物。在自然界中稳定存在的天然无水石膏也属此类。

6. 无水石膏Ⅲ的分类有哪些?

答: 无水石膏Ⅲ一般分为 α 型与 β 型两个变体, 它们分别由 α 型与 β 型半水石膏脱水而成。无水石膏Ⅲ的变体最早由 Lehmann 等人确定, 他们认为除 α 型无水石膏Ⅲ与 β 型无水石膏Ⅲ以外, 还存在一种类似 β 型无水石膏Ⅲ的无水石膏。这种无水石膏是在水蒸气压极低的状态下迅速排除水分, 越过 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 的中间阶段直接形成, 其比表面积约是 β 型无水石膏Ⅲ的 10 倍。

7. 人工制取无水石膏的特点及煅烧产物有哪些?

答: 人工制取的无水石膏因在形成时留下晶格缺陷和微孔结构, 较天然无水石膏的水化速度快很多, 而和半水石膏相比, 它的水化速度还是很慢的。但人工制取无水石膏的煅烧温度十分关键, 不同温度下煅烧出的无水石膏, 其水化能力存在很大差别, 一般煅烧温度在 $400 \sim 560^\circ\text{C}$ 时生成的无水石膏是 A II-S, 称为慢溶型无水石膏, 这种无水石膏常用来生产抹灰石膏和各种无水石膏制品。煅烧温度在 $560 \sim 780^\circ\text{C}$ 时生成的无水石膏是 A II-U, 称为不溶型无水石膏, 它的性质与天然无水石膏基本一致, 一定要有激发剂等活化手段才能使用。煅烧温度在 $780 \sim 1000^\circ\text{C}$ 时生成的无水石膏是 A II-E, 称为浇筑石膏, 因硫酸钙分解生成部分氧化钙, 氧化钙有自身活化能力, 所以常用来浇筑地板等。

8. 在不同温度下焙烧成的无水石膏Ⅱ在晶体结构上有什么不同?

答: 在熟石膏工业中, 经焙烧制成的无水石膏Ⅱ常被称为过烧石膏。

在低温 (350°C) 下烧成的无水石膏和在高温 ($700 \sim 800^\circ\text{C}$) 下烧成的无水石膏, 它们在遇水时水化成二水石膏的速度是不同的。低温烧成的无水石膏因具有晶格结构缺陷, 加快了它的水化动力进程。因为此时它从无水石膏Ⅲ的六角形晶系转变为正交晶系。

与此相反, 高温下烧成的无水石膏却很稳定。由于没有晶体结构缺陷, 它的密度增加了。这种无水石膏的惰性与天然无水石膏的相近。

9. 天然无水石膏由哪些化学成分组成?

答: 天然无水石膏主要由 CaSO_4 组成, 是一种在自然界中经常与二水石膏以及岩盐共生的石膏, 因而是一种常含有杂质的硫酸盐。无水石膏的矿层一般位于二水石膏层下面。无水石膏通常在水的作用下变成二水石膏, 因此在天然无水石膏中常含有 $5\% \sim 10\%$ 的二水石膏。

10. 天然无水石膏有哪些特性?

答: 天然无水石膏化学组成的理论含量为 CaO : 41.2% , SO_3 : 58.8% , 属斜方晶系, 纯净的无水石膏透明、无色或白色, 含杂质而成暗灰色, 有时微带红色或蓝色。天然无水石膏矿物的杂质主要包含了方解石、白云石等碳酸盐类矿物, 少量二水石膏、蒙脱石、水云母