

傅培贵 王树桢 编著

陶瓷用模具制造

轻工业出版社

4.06

陶瓷用模具制造

傅培贵 王树荣 编著

轻工业出版社

内 容 简 介

本书较系统地叙述了陶瓷模具的基本理论知识和制造工艺。书中用两章阐明了陶瓷模具制造用材料——石膏的种类、性质、硬化机理；此外，对人工合成石膏也作了详细阐述，并介绍了当前国内外一些新材料模具和各种脱模剂的制造方法及原理。可供陶瓷行业中的中等技术人员、设计人员和中专校中的师生参考；也可供陶瓷工厂作培训职工的教材。

陶瓷用模具制造
傅 祥 贵 王 梅 荣 编著

轻工业出版社出版

(北京阜成路8号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 $1/32$ 印张：7 字数：150 千字

1984年12月 第一版第一次印刷

印数：1—7,000 定价：1.45元

统一书号：15042·1871

前 言

陶瓷模具的制造如同陶瓷生产一样源远流长，早在新石器时代的仰韶文化时期就已开始。随着陶瓷生产的发展，对陶瓷模具提出了越来越高的要求；因而模具的制作技术不断完善和提高、制模材料不断改进和更新，与此相应的科学研究日益深入开展。现在，陶瓷模具的研制和生产对陶瓷产品质量的提高和生产成本的降低仍然起着十分重要作用。

陶瓷模型制造是一门综合性的工艺造型技术，是科学技术与艺术的结合。然而，有关陶瓷模具方面的专著在国内外还不多见。有鉴于此，作者根据多年生产实践和研究，并参考有关文献编著成本书，目的在将陶瓷模具生产和研制中的经验加以总结和提高，以利陶瓷模具制造技术的发展。

本书共分六章，系统介绍了陶瓷生产中广泛使用的石膏模制造基本知识、工艺原理及制造技术。为适应陶瓷科学技术的发展，书中对新近发展的新材料模具亦作了必要的介绍。全书力求做到理论联系实际，文字通俗易懂，以供广大陶瓷科技人员和工人同志参考。

本书承湖南大学杜海清教授和胡启智讲师的热情支持和帮助并为本书审稿。在编写过程中，贵州省轻工厅林晖、肖汉良同志及贵阳瓷厂敖志富、王伟、孙迎新、李世和等同志给本书提了很多宝贵意见，在此一致表示感谢。

作者于1981年8月8日

概 述

我国陶瓷有悠久的历史 and 精湛的技艺。早在七千多年前就有夹灰黑陶，经过历代劳动人民的辛勤劳动和不断创造，名窑辈出，产品质量高超，形成了中华民族的独特风格。

我国陶瓷模型生产源远流长，据考古发掘材料证明：新石器时代的仰韶文化时期制陶有用陶模生产的，到殷商时代，青铜器铸造中已普遍采用陶范⁽¹⁾。当时的制范技术已趋成熟，不仅能制单合范、双合范，而且还能制复合范。在汉至元、明的制瓷工艺中，日用器皿的流（嘴）、鑿（把）、纽（顶）等部件是用陶模印坯粘合的；器物装饰艺术上的法花、印纹、印贴、浮雕等，也是应用陶模压形和印花。宋代的定窑、耀州窑、龙泉窑等制作的陶范已达到相当高的技术水平。宋以前模型为陶质。由于陶模粗糙，宋代定窑首先采用瓷质模⁽²⁾。

我国古代的能工巧匠在陶范制作上积累了丰富经验，为后来的制模工艺奠定了基础。

据《新唐书·地理志》记载，我国湖北房县、山西汾阳、甘肃敦煌在唐代就开采和使用过石膏。又《康熙通志》记载，石膏以“湖广应城所出为最”。石膏应用到陶瓷生产中是在清末，当时的景德镇陶业学堂首先制成了石膏模型，以后推广于景德镇⁽³⁾，其后各地区普遍使用。

陶瓷模型的制造最初是作为辅助工序出现的，以后随着陶瓷工业的发展逐渐成为一门工艺技术。在唐英的《陶冶图说》中有“修模有专门行业，名家有个数，必须熟谙火性，

才能测算加减”的记载。由此可见，陶瓷模型在清乾隆年间已发展成专门的行业。

陶瓷模型工艺是一门综合性的造型技术，它综合了车削、浇铸技术和雕刻、雕塑、立体造型等艺术。可以说，陶瓷模型工艺是技术与艺术的结合。

陶瓷模型制造工艺包括器物的模种制造和模具复制两个主要部分。模种制造在技术上相当于机械业中的车、钳、铣、刨；模具复制相当于铸造工艺。

模型生产为绝大多数陶瓷制品成型中所必须，它决定了产品的外形或内形，其质量对产品的制作具有重要意义。根据计算，石膏模的消耗在陶瓷生产中占生产成本的10~12%。因此，模具制造在陶瓷生产中具有重要的经济价值。

近几年来，国内外争先恐后地发展新产品，陶瓷产品的更新已成为陶瓷工厂发展的新方向。为了与这种新的生产发展形势相配合，模具制造也越来越显得更为重要。

本章参考文献

- (1) 陶范 是指铸造青铜器和陶瓷器的陶质模型，一般由外范、内范组成。外范按器物外型制造，常常分割成几块，用“子母口”接合，称合范；内范比外范小，按器物内形制造。范上雕镂纹饰、铭文等。
- (2) 河北省曲阳定窑瓷厂：《定窑研究经验总结》，8页。
- (3) 江西省轻工业厅陶瓷研究所编：《景德镇陶瓷史稿》，三联书店1959年2月第一版，285页。

目 录

概述

第一章 石膏

- 一、石膏的种类..... (1)
- 二、石膏的性质..... (2)
- 三、石膏的硬化机理..... (4)
- 四、石膏质量的鉴定..... (9)
- 五、人工合成石膏..... (11)
- 六、轻烧提纯石膏的方法..... (14)

第二章 影响石膏性能的因素

- 一、细度..... (16)
- 二、煅烧..... (17)
- 三、加水量..... (20)
- 四、表面硬度..... (26)
- 五、吸水率..... (28)
- 六、扩散系数..... (30)

第三章 模型制造基础

- 一、模型常用语..... (34)
- 二、工艺选择..... (35)
- 三、受力分析..... (39)
- 四、放尺..... (42)

五、加工余量.....	(44)
六、分块.....	(45)
七、自动断边.....	(46)
八、平面图到立体形.....	(47)
九、模型设计.....	(50)
十、定位与定位方法.....	(80)
十一、加工精度及检查.....	(85)
十二、车削基础.....	(92)
十三、常用几何作图.....	(95)

第四章 模具制造

一、模种制造.....	(101)
二、模纹装饰.....	(135)
三、石膏母模.....	(143)
四、硫磺母模.....	(149)
五、石膏模浇注.....	(171)
六、修模、干燥与使用.....	(176)

第五章 新材料模具

一、改性石膏模.....	(184)
二、无机填料模.....	(192)
三、无机材料模.....	(194)
四、有机塑料和其它材料模.....	(195)
五、金属模具.....	(197)
六、橡胶模.....	(200)
七、自硬化合成材料模.....	(202)

第六章 脱模剂

- 一、坯泥浆或釉浆脱模剂..... (205)
- 二、植物、动物、矿物油..... (205)
- 三、普通肥皂液..... (207)
- 四、碱皂液..... (207)

第一章 石膏

石膏是模具生产的主要原料，它是一种非金属矿物。其主要成份是硫酸钙，按其中结晶水的多少又分为二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和无水石膏（ CaSO_4 ）两种。除天然石膏之外，还有人工合成石膏，常见的有磷石膏、硫胺石膏、芒硝石膏、氟石膏、乳石膏、苏打石膏等。

目前陶瓷工业中做模型用的主要是天然石膏。本章主要介绍天然石膏的种类、性质、硬化机理、质量鉴定以及人工合成石膏等。

一、石膏的种类

按二水石膏的产出形状，石膏的种类共有五种：

（1）透明石膏：也称透石膏，通常无色透明，有时略带淡红色，呈玻璃光泽。

（2）纤维石膏：是纤维状集合体，呈乳白色，有时略带蜡黄色和淡红色，绢丝状光泽。

（3）雪花石膏：又称结晶石膏，细粒状集合块体，呈白色、半透明。

（4）普通石膏：致密块状集合体，玻璃光泽，常不纯净。

（5）土状石膏：又称粘土质石膏或泥质石膏，土状光泽，呈土状、层状、团块状、脉状，分别为蓝色、灰黑色、赭灰色、灰色。

我国石膏资源丰富，分布甚广，全国三十个省市自治区，除京、津、沪三市之外，几乎每个省、自治区都蕴藏有丰富的天然石膏，若以县为一个矿区，全国就有一百多处。仅山西省的储量据目前已探明的就达十八亿吨之多。我国石膏矿层绝大部分离地面很近或露于地表，容易开采。

二、石膏的性质

二水石膏也称为软石膏、水石膏，它是最常见的一种石膏。分子式是： $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ；分子量为172.2。石膏的理论化学成分为：氧化钙(CaO)32.56%、三氧化硫(SO_3)46.51%、结晶水(H_2O)20.93%。由于石膏形成条件的不同，不同矿床的石膏化学成分是颇有出入的。我国部分石膏矿的化学成分见表1-1。

石膏属单斜晶系，结晶体由于(010)面发达，常呈板状出现，集合体一般为纤维状、叶片状、针状、致密状、粒状等。常见有燕尾形双晶。

外观颜色普通为白色，成晶体者常为无色透明，有时因含有各种杂质而呈灰、褐、肉红、灰黄、黑色。条痕白色。解理十分完全，解理面呈玻璃光泽或珍珠光泽；纤维状者呈绢丝光泽。石膏是软质矿物。莫氏硬度1.5~2，指甲可划刻。比重介于2.31~2.33。性脆，粉末具有粗糙感。抗压强度为20~60公斤/厘米²。

石膏的结构属于层状晶格型，同时 Ca^{++} 和 SO_4^{--} 离子层又为水分子的晶面所分开。钙被6个硫酸的氧和2个水分子所包围，硫处于氧的四面体中间，而水分子在结构中紧邻二个氧和一个钙。水和氧的键角为 $108^\circ(1)$ 。

表1-1

我国部分地区石膏化学成分

序号	产地	外观特征	等级	CaO	SO ₃	结晶水	不溶物	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	附着水	烧失量
1	湖北应城(九槽)	白	1	32.57	44.98	19.23	0.30	0.02	—	微	0.10	1.33
2	湖北应城(十槽)	白	1	32.61	45.00	20.30	0.24	0.045	—	微	0.06	1.60
3	湖北应城	黑	4	25.53	45.46	14.14	3.97	0.75	0.75	0.62	0.30	4.40
4	湖南浏阳	白	1	32.83	46.15	20.28	0.64	0.09	0.52	0.27	—	—
5	山西土山	雪花状青色	1	32.49	44.34	20.00	0.20	0.08	0.08	0.88	—	—
6	山西西山	雪花状青色	2	31.59	42.59	19.25	1.80	0.35	0.35	0.80	—	—
7	贵州黄平	雪花状青色	1	31.81	44.85	20.40	1.03	1.48	1.48	0.71	—	—
8	河南安阳	雪花状	3	26.04	33.43	16.55	11.23	0.97	5.51	3.35	0.15	—
9	湖南平江	—	—	32.78	46.03	21.19	—	—	—	—	—	—
10	河南三门峡	灰白色粉状	—	31.32	38.50	16.40	2.15	0.06	0.06	3.12	R ₂ O 1.64	—
11	甘肃武威	—	—	32.00	44.00	19.80	—	—	—	—	—	—
12	江苏南京	—	—	—	—	20.21	—	0.50	0.50	—	SiO ₂ 0.32	—
13	云南宜良	—	2	28.77	44.07	—	3.90	0.96	0.96	3.50	—	—
14	江苏南京	—	—	40.04	53.04	—	—	1.34	1.52	3.64	SiO ₂ 1.20	—

石膏略溶于水，在水中的溶解度比较小，在20℃时，溶解度为2.05克/升（按CaSO₄折算）。当温度在32~41℃时溶解度最大。石膏在不同温度下的溶解度见表1-2。

许多科学家指出，石膏的溶解度是各不相同的，这种差别多半是由于石膏能够形成过饱和溶液以及由于石膏颗粒大小不同的缘故。这种因颗粒大小不同而造成的差别高达20%。

25°C时粒径为0.002毫米的石膏的溶解度为2.08克/升；而当粒径为0.0003毫米时，则为2.48克/升（均按 CaSO_4 折算）。

在120°C脱水的石膏较之 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 易于形成过饱和溶液；在110份重量的水中能溶解1份重量的 CaSO_4 。

表1-2 石膏溶解度（克/升）与温度关系

温 度 (°C)	二水石膏平 均溶解度* (C_∞)	α 型半水石膏 最大溶解度 ($C_{\max}$)	β 型半水石膏 最大溶解度 ($C_{\max}$)	α 型半水石膏 的过饱和度 ($\frac{C_{\max}}{C_\infty}$)	β 型半水石膏 的过饱和度 ($\frac{C_{\max}}{C_\infty}$)
15	1.99	7.91	8.74	3.98	4.39
20	2.05	7.06	8.16	3.44	3.98
30	2.09	6.10	7.07	2.91	3.38
40	2.11	5.70	6.12	2.70	2.90
60	2.07	5.17	4.68	2.50	2.26

*二水石膏平衡溶解度数值按 CaSO_4 折算。

石膏溶于盐酸（不起泡），在稀盐酸、硝酸及多种盐类的溶液中的溶解度比在水中为大。

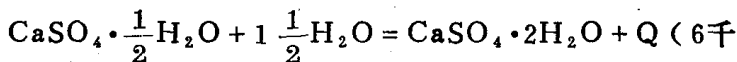
石膏是热的不良导体，石膏还有良好的隔音、吸音、吸湿、隔热、防火等性能，这些性能与陶瓷工业中石膏模关系不大，本书不作详细介绍。

三、石膏的硬化机理(2)

脱水石膏与水拌合，起初，浆体具有流动性和可塑性；随后，石膏浆体逐渐变稠直到开始丧失其流动性的“初凝”，随着硬化过程的进行而更加致密，直到“终凝”。随着多余

的水份蒸发，在模具中留下的孔隙、强度随之增大，这一过程叫石膏的水化反应过程。

(一) 半水石膏的水化理论



卡/克)

吕·查德理的溶解结晶理论认为半水石膏加水之后发生溶解，并生成不稳定的过饱和溶液，溶液中的半水石膏经过水化析晶为二水石膏。为此不断进行半水石膏的溶解和二水石膏的析晶，直到半水石膏完全水化为止。

这种溶解-结晶理论的依据是：因为二水石膏比半水石膏具有小得多的溶解度。从表1-2可看出，β型半水石膏的溶解度比二水石膏的溶解度大得多。所以半水石膏的饱和溶液对二水石膏来说，则属于过饱和溶液，故二水石膏能很快析晶。由于二水石膏的沉淀析出，便破坏了溶液中原有半水石膏溶解的平衡状态，又使半水石膏进一步溶解，以补偿二水石膏的沉淀析晶。为此，半水石膏的水化过程，可以分为以下两个阶段：

(1) 半水石膏在水中溶解，生成半水石膏的饱和溶液。

(2) 在饱和溶液中沉淀析出二水石膏晶体。

从图1-1中可以看出，半水石膏的溶

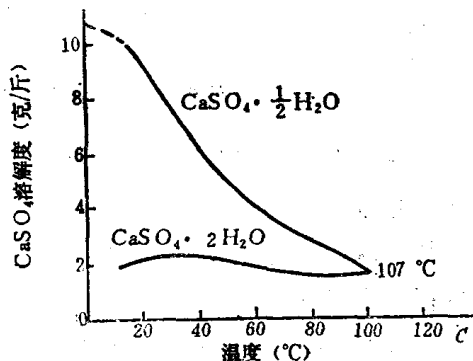


图1-1 溶解度与温度的关系

解度，随温度的升高而减少。为此，相应的过饱和度也随之减少，当温度达到 100°C 左右时，根本不能建立起液相的过饱和度。

（二）影响半水石膏水化反应的因素

从石膏加热脱水的各种相转化及溶解-结晶理论可知，石膏的煅烧温度、粉磨细度、结晶形态、杂质情况以及水化时的条件等等，都能影响半水石膏的水化速度。如果其他条件相同， β 型半水石膏的水化速度，大于 α 型半水石膏的水化速度。据资料介绍，在常温下， β 型半水石膏达到完全水化的时间为7~12分钟，而 α 型半水石膏达到完全水化的时间则为17~20分钟。

添加外加剂也能影响半水石膏的水化速度，这是由于添加缓凝或促凝剂后，能使半水石膏的溶解度减少、溶解速度降低或溶解度增加、溶解速度增加。一般常用的缓凝剂有：骨胶、皮胶、桃胶、蛋化胶等胶性物质和腐植酸、草果酸、柠檬酸、硼砂以及羧型减水剂等高分子物质。促凝剂有：硅氟酸钠、氟化钠、氯化镁等；掺入少量的二水石膏作为晶胚也可以起到加速凝结硬化过程的作用。

（三）石膏水化时结晶结构网的形成

石膏在水化过程中，仅形成水化产物，并不一定能形成具有强度的石膏制品。只有当水化物晶体，互相连生形成结晶结构网时，才能硬化并形成具有强度的石膏制品。其发展过程大致分下列三个阶段：

（1）第一阶段，相应于结晶结构网的形成，即石膏浆体中的晶体微粒彼此之间存在一个薄膜，晶体粒子之间是通过

水膜，以范德华分子引力相互作用，此时石膏浆体的强度低，还具有触变复原的特性。

(2) 第二阶段，相应于结晶结构网的发展，即水化物晶核大量形成、长大，晶体之间互相接触、连生，而形成一个结晶结构网，此时石膏浆体具有较高的强度，没有触变复原的特性。

(3) 第三阶段，相应于结晶结构网的调整，即在晶体与晶体粒子的接触点的区间内，被歪曲和变形的晶格（因与规则晶体比较，具有高的溶解度），产生接触点的溶解和较大晶体的再结晶，产生这种再结晶的条件，是在潮湿的条件下，从而破坏了结晶结构网的连生，而降低了石膏浆体的结构强度。

(四) 影响结晶结构网形成的因素

据资料介绍，石膏晶体尺寸是：长度为5~20微米；直径为5~100微米，常见二水石膏晶体尺寸一般为25~50微米。单晶极限抗拉强度为200~300公斤/厘米²，而石膏制品的实际抗拉强度却只有20公斤/厘米²左右。这个事实说明，提高石膏制品强度的潜力很大，同时也说明，决定石膏硬化浆体强度的结构因素；不仅与水化物的单晶体有关，而且与其他因素，特别是结晶接触点的性质和数量有关。主要是与水膏比、温度、半水石膏的分散度有关。下面就这几个问题叙述如下：

1. 水膏比（即石膏粉与水的比例），低水膏比的浆体，也就是单位容积水内加的石膏粉较多的浆体，随着过饱和度的提高，在晶体表侧附近，出现了很大的结晶应力，起破坏作用。而水膏比高的浆体，也就是单位容积水内加的石膏粉

较少的浆体，则由于硬化体结构内部孔隙率增大，不仅要求提高浆体的过饱和度和延长硬化时间，而且也降低了浆体的结构强度。

2. 温度，试验表明：石膏硬化浆体最大塑性时强度，随浆体硬化时的温度而定， 60°C 时比 20°C 时小。是由于温度为 20°C 时过饱和度比 60°C 时大，因而形成初始结构所消耗的水化物，只10%（ 60°C 时为25%）。为此，初始结构网形成以后，水化物继续形成，可以使结构网进一步密实，因而起到了强化作用。

但是，当达到某一限度值后，水化物继续增加，就会对已形成的结构网产生一种内应力。当结晶应力大于当时浆体的结构强度时，就会导致结构破坏，使塑性强度降低。

3. 半水石膏的分散度，半水石膏的细度与塑性强度见图1-2。即在一定分散度范围内，最高强度随分散度的增加而提高，这是因为石膏粉愈细，分散度愈大，则半水石膏的溶解度也大，而相应的过饱和度也大。

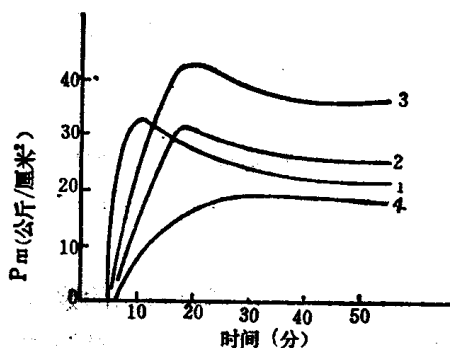


图1- 半水石膏细度
与塑性强度关系

1. 比表面积为 $3060\text{厘米}^2/\text{克}$
2. 比表面积为 $3180\text{厘米}^2/\text{克}$
3. 比表面积为 $12000\text{厘米}^2/\text{克}$
4. 比表面积为 $15000\sim 18000\text{厘米}^2/\text{克}$

但若分散度过大并超过一定值之后，强度反而会降低，这是因为随分散度的增加，其过饱和度的增长超过一定的数