

陶 粒

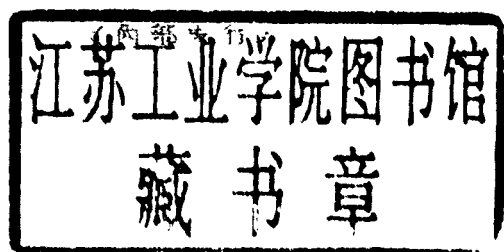
建筑工程部建筑科学研究院建筑材料研究室 編著

(内部发行)

建筑工程出版社

陶 粒

建筑工程部建筑科学研究所
建筑材料研究室編著



建筑工程出版社出版

• 1960 •

內 容 提 要

隨着建築工業的高速度發展，質輕、高強建築材料的需用量愈來愈大；而陶粒，正是供作輕混凝土用的、一種性能優異的好集料。

本書較系統地介紹了：國外建築中陶粒的使用情況；我國近兩年來對陶粒的試驗、研究、試生產和生產經驗。書中一方面從理論上對生產陶粒時粘土的膨脹理論作了闡述，同時還以專門的章節介紹了陶粒的生產工藝、生產設備以及其經濟分析。

本書可供建築和建築材料工業中的生產技術人員、管理人員以及有關科學研究部門的工作人員閱讀。

陶 粒

建築工程部建築科學研究院
建築材料研究室 編著

1960年4月第1版

1960年4月第1次印刷

3,100冊

850×1168 $1/32$

• 90千字 • 印張 $3\frac{5}{8}$ • 插頁1 • 定價(10) 0.61元

建築工程出版社印刷 印刷 • 新華書店發行 • 統一書號：15040·1974

建築工程出版社出版（北京市西郊百萬莊）

（北京市書刊出版業營業許可証出字第052號）

前 言

为了达到建筑工业化，新的建筑材料正向輕質、高强的方向发展。作为輕混凝土結構的人造輕集料——陶粒，近两年来已在我国引起了广泛的注意。

最近几个月来，我院連續收到了150余封关于詢問陶粒試驗研究和生产方面的信函。这些信函来自北京、南京、武汉、福州、内蒙、哈尔滨、貴州、四川等省市的建筑材料工厂、研究机构、建筑工程局、高等院校以及煤炭、水电、石油等工业部門的附屬工程处等。这就充分說明，各地建筑和建筑材料部門，高等院校和科研机关等等許多部門，都极为重視陶粒的生产和应用。

規模巨大、技术新型的南京長江大桥工程，已准备采用陶粒作为輕混凝土桥面板的輕集料；土法生产陶粒已在河南省全面开花，并在1960年要生产数万立方米以上……。总之，人們所以对陶粒引起了广泛的注意，正是由于陶粒具有无可置疑的优良性能所致。

我国对陶粒的研究始于1956年。当时，建筑工程部建筑科学研究院曾在山东博山利用当地的黃土在迴轉窯中燒成了第一批陶粒。繼之，我院与玻璃陶瓷研究院先后在小型迴轉窯中进行多次試驗研究。1958年8月，建筑工程部在北京召开了全国性的新建筑材料會議。在这次会上，我院正式提出了陶粒的研究报告，并在院內先后用陶粒修建了第一栋陶粒輕混凝土裝配式大型牆板的試驗樓房；修建了应用陶粒混凝土牆块的薄壳礼堂和应用陶粒混凝土保温层的悬索結構試驗房屋。

1958年，在党的“土洋并举、两条腿走路”的方針的正确指

导下,我院开始了陶粒土法生产的研究。一年多来,在各兄弟单位的帮助指导下,土法生产陶粒由直火式窑爐改为半煤气,从而大大降低了陶粒的成本,为土法生产陶粒的推广創造了良好的条件。

客观形势向我们提出了这样的要求:需要較系統地将过去的試驗与研究情况;以及陶粒的生产工艺进行总结,以利于对该材料进行更广泛的研究和推广。基于上述願望,我們編写了“陶粒”这本书。

在編写这本书时,我們着重注意了以下两个方面:

一、为了使讀者对陶粒有較系統的了解,并有利于試驗工作的开展,本書先开始闡述試驗室的研究,后轉入工厂或半工厂性的生产工艺的系統介紹;

二、本書各章节都附有一定篇幅的国外資料,以助于研究人員参考。

此外,还应說明:就世界范围来看,陶粒毕竟是一种新的建筑材料,因此有关其理論和性能的測定方法都还没有获得一致的結論。某些資料是我院自己探索的,不一定成熟,只能供作参考。再者,由于編者水平所限,本書的缺点在所难免,因此,希望讀者多多提出意見,以期提高我們的水平。本書如能稍有助于有关單位工作的开展,这便是我們的最大期望。

参加本書編写工作的有建筑工程部建筑科学研究院建筑材料研究室陶質材料組:許国幹、陈烈芳、邵济华、舒培璋和李培基等同志。

建筑工程部建筑科学研究院

1960年3月

目 录

前 言

第一章 緒論	(1)
第一节 陶粒的定义、用途及特性	(1)
第二节 陶粒的分类和技术条件	(2)
第三节 陶粒在国外的發展情况	(3)
第四节 陶粒在国民經济中的意义	(5)
第二章 粘土的膨脹理論	(6)
第一节 粘土在加热过程中的物理-化学現象	(7)
第二节 目前国外关于粘土膨脹理論的几种學說	(13)
第三节 我們对膨脹理論所作的研究及初步結論	(17)
第三章 粘土原料的选擇及其試驗鉴定方法	(30)
第一节 粘土原料的选擇	(30)
第二节 粘土原料的鉴定及其試驗方法	(34)
第三节 工艺因素对粘土膨脹性能的影响	(49)
第四章 陶粒物理力学性能的鉴定	(52)
第一节 陶粒物理性能的鉴定方法	(52)
第二节 陶粒力学性能的鉴定方法	(64)
第五章 陶粒的生产工艺	(69)
第一节 陶粒生产工艺概述	(69)
第二节 粘土原料的取样、开采和半成品的加工成型	(72)
第三节 迴轉窑焙燒陶粒	(80)
第四节 土窑焙燒陶粒	(93)
第六章 陶粒生产的經濟分析	(108)
参考資料	(113)

第一章 緒 論

第一节 陶粒的定义、用途及特性

陶粒是由易熔粘土、頁岩等經高溫快速焙燒后而获得膨脹的人造多孔輕集料。它具有一种封閉式的微孔結構,外壳极为坚硬,顆粒内部具有均匀細小而又互不連通的孔洞。它的焙燒溫度一般在 $1,050\sim 1,300^{\circ}\text{C}$ 。

陶粒比天然小卵石具有許多良好的物理技术性能,具有耐化学、細菌等的侵蝕性,不含有任何对水泥有害的杂质。陶粒的坚硬外壳具有較高的强度,而其容重仅为天然礫石的 $1/2\sim 1/7$,約在 $200\sim 1,000$ 公斤/立方米。陶粒的导热系数也較低,一般为 $0.15\sim 0.20$ 仟卡/米·小时·度。因此,陶粒比天然礫石具有較高的保溫隔热性能。

陶粒主要用来作为輕混凝土的人造輕集料,亦可直接散鋪于屋面工程中或置于隔墙中用作保溫材料。

輕混凝土中采用的輕集料种类較多,一般來說可采用天然輕質岩石:如浮石、凝灰岩、介壳石灰岩等。亦有利利用工业廢料的,如煤渣、膨脹矿渣、燒結熔渣等作輕集料的。但对于輕混凝土和輕型鋼筋混凝土質量來說,人造輕集料——陶粒具有独

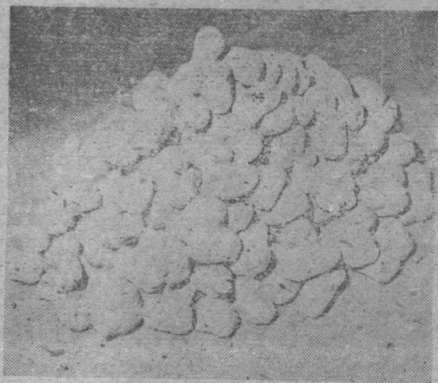


图 1 在土窖中燒成的陶粒。

SWT11536/08

特優良的性質，因為陶粒的組成中不含有對水泥和鋼筋有害的成分，並能耐火、耐水和抗凍。陶粒更突出的優點是其容重可以人為控制，這樣根據不同容重的陶粒可以配制出不同用途的混凝土，如用於隔熱、圍護、承重等構件。

第二節 陶粒的分類和技術條件

一、陶粒集料可按如下方法分類

(一) 按顆粒形狀分：

陶粒礫石——其各個膨脹顆粒呈圓形或橢圓形，它是由粘土塑化成型後焙燒而成的；

陶粒碎石——外表具有不規則的多角形狀，它是由粘土塊直接焙燒製成或通過破碎大塊陶粒後經篩分而獲得；

陶粒砂——粘土原料破碎成細顆粒後再焙燒而成，或由大顆粒陶粒破碎成的細砂。

(二) 按顆粒大小分：

陶粒礫石或碎石	細分類	粗分類
大	20~40毫米	3~40毫米
中	10~20毫米	3~20毫米
小	3~10毫米	—
陶粒砂	細分類	粗分類
粗	1.2~5毫米	5毫米以下
細	1.2毫米以下	—

(三) 按陶粒在松散及乾燥狀態下的容重劃分為如下幾種容重標號：

“300”——容重小於300公斤/立方米。

“500”——容重由300~500公斤/立方米。

“700”——容重由500~700公斤/立方米。

“1,000”——容重由700~1,000公斤/立方米。

粗陶粒砂的容重不應大於1,000公斤/立方米，而細陶粒砂的容重不大於1,200公斤/立方米（在特殊的要求下，可不受此限制）。

二、陶粒礫石或碎石一般須具有如下强度（顆粒强度）：

容重标号	抗压强度
“300”	10公斤/平方厘米。
“500”	15公斤/平方厘米。
“700”	25公斤/平方厘米。

三、陶粒經 3 小时浸水后的吸水率不应大于其重量的30%。

四、陶粒应能經受15次以上的冻融循环試驗。

五、陶粒內不許含有外来杂质和有机物。

六、燒成后的陶粒，其內部微孔結構應該呈均匀分布状态。

七、陶粒在自然干燥状态下的含水量不应大于其重量的5%。

第三节 陶粒在国外的發展情况

在国外，陶粒的生产与应用已有四十多年的历史。最近几年来，由于建筑业向工业化方向的发展，輕質、高强材料的生产已居于首要地位。由于輕混凝土結構的广泛应用，致使陶粒的生产和应用范围大大地扩大了。

在缺乏天然輕集料的国家，如美国、瑞典、丹麦等。陶粒的应用更日益广泛。

美国于1913年开始用粘土、頁岩或瓦板岩試制陶粒。在第一次世界大战期間，由于鋼材供应不足，而用輕的陶粒混凝土造船。在第二次世界大战期間也由于同样的原因，又再次利用了以前的經驗，从而大大地发展了陶粒的生产。自第二次世界大战以后，陶粒的生产更为扩大了。1945年美国生产陶粒的工厂为8个，到1953年增加到37个。在1954年內美国和部分加拿大地区陶粒的使用量达到了1,700,000立方米，至1956年，达到了2,500,000立方米。

在美国，陶粒用迴轉窑进行生产，迴轉窑的直徑約为2~3米，長約18~45米。最初是采用5厘米大小的料块，燒脹后再按需要尺寸碾成碎块的方法生产，可是用这种方式所制得的輕集料，

首先已破坏了陶粒坚硬的外壳，同时其表面极为粗糙且带有孔窝，要多耗费水泥。此外，由此法生产的混凝土的和易性也较差。近年来很多工厂都改用预先将原料捻成圆粒再进行烧胀的方法，如此所得的陶粒具有光滑和封闭的表面，更适合于桥梁和水坝一类的大型结构使用。

英美等资本主义国家在市场上供应的陶粒通常分为以下三种粒径：大粒径（9.52~19毫米）；中粒径（2.41~9.52毫米）和细粒径（2.41毫米以下）。但其具体粒径，随不同工厂而改变。

在美国，陶粒混凝土除广泛使用在墙板、楼板和屋盖中，同时也应用在其他承重结构甚至预应力结构中，并建成22层的陶粒混凝土大楼。丹麦生产陶粒已有15年历史，共有两个工厂，陶粒的年产量共有200,000立方米，平均每个工人每年能生产3,300立方米，所生产的陶粒已广泛使用在建筑工程中。

苏联早在1902年就发现了粘土的膨胀作用。于1925年苏联就已开始研究陶粒。首先是科斯德尔科教授在全苏中央工业建筑科学研究院进行研究。1936~1939年，H. A. 波波夫教授再继续仔细地研究过陶粒混凝土。近年来许多科学研究机关和科学家参加了这项工作，继之建立了不少试生产车间和工业生产的工厂。设计部门已经拟定了年产量达100,000、200,000和500,000立方米的陶粒工厂的标准设计。1956年全苏重型机械制造工业部已开始制造陶粒工厂的主要设备。近年来苏联对陶粒混凝土的使用日趋广泛，例如在1955~1958四年间，在斯大林格勒水电站建设工程的建筑中，就采用了陶粒来代替一般集料。在1955年间，在斯大林格勒水电站工地上进行了试验性陶粒生产，该年即生产了陶粒2,744立方米，到1956年2月陶粒即投入正式生产，1956年年产量达到4,357立方米。而至1957年年底为止，年产量已高达29,210立方米。因此，在该年内采用陶粒混凝土结构建成的住宅已占3,033平方米。在1958年，由于陶粒生产设备的增加，陶粒年产量已达70,000立方米。相应的陶粒混凝土结构的住宅面积扩展到20,000平方米左右。到1959年，该地陶粒年产量将增加到

110,000立方米。此外,在莫斯科州的里阿諾夫城、巴波斯金城、基輔、古比雪夫、列宁格勒等地又修建了若干大小型年产量50,000到200,000立方米的工厂。至1958年4月苏联已有8个小陶粒車間,4个大型陶粒工厂。

根据苏联1958年公布的資料,陶粒产量发展情况如下:

年 份	1957年	1958年	1959年	1960年
陶粒产量	65,000	209,000	535,000	1,620,000

当1965年七年計劃完成时,陶粒产量将高达400万立方米。

从这一实例中可以看出,在苏联陶粒生产是发展得相当快的。他們已成功地应用到了24.5米的預应力桥梁、26米跨度的桁架等装配式結構中去。在莫斯科地下鉄道中陶粒混凝土已作出了重大貢獻。

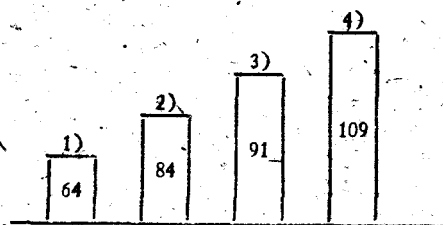
其它社会主义国家如捷克、德意志民主共和国和波兰等,最近也开始生产陶粒。捷克的建筑材料研究院,經对陶粒进行了广泛研究后,1956年建立了一座工业生产的陶粒工厂,年产量达70,000立方米。德意志民主共和国維馬尔建筑材料所,从1954年就开始研究如何利用膨脹粘土生产輕集料。他們采用了各种原料,进行了实验。到1957年,德意志民主共和国也設計了一座年产量达40,000立方米的陶粒工厂。

第四节 陶粒在国民經济中的意义

輕集料的生产是建筑上采用輕结构的先决条件,同时也是建筑工业化的必要措施。在我国目前情况下,为了节约基建投資,大力研究推广陶粒混凝土預制配筋构件更具有重大的技术經济价值,因为构件自重的減輕,可以縮小其截面尺寸,減輕下面的結構荷載,节约材料,同时縮短运输吊装時間,加快基建速度。利用陶粒作为輕集料,还可以提高混凝土的隔热性能。另外,陶粒原料到处皆有,尤适宜在缺乏天然石材及多孔輕集料的地区大量采用。陶粒混凝土应用范围很广,不仅能用于房屋建筑上的构件,亦可用于建造桥梁和造船等方面。

根据苏联經驗，应用装配式陶粒混凝土楼板代替普通混凝土楼板时，每块面积可扩大50~100%，减少自重20%。节省鋼筋用量10%，降低总成本22%左右。陶粒混凝土墙块則比磚墙块便宜47.4%。

此外，应用了陶粒混凝土后起重机利用率可提高1.5倍。陶粒混凝土的防震性能优于磚砌体和普通混凝土及矿渣混凝土。見下列抗震系数^①比較图。



1—磚砌体；2—普通混凝土；3—矿渣混凝土；4—陶粒混凝土

因此，防震区以及其它特殊地方，陶粒可作为混凝土的良好集料。

第二章 粘土的膨脹理論

为了能正确的拟定陶粒的生产工艺，掌握陶粒的生产技术，并有效的利用各种材料，必須首先掌握用粘土原料生产陶粒的基本原理。

大家知道，陶粒是用粘土原料經高溫快速焙燒而成的人工輕集料。在焙燒过程中，粘土形成高溫可塑状态而具有一定的粘

① 抗震系数等于靜力加速度和材料抗压极限强度之比，因此，抗震系数愈大的材料，其抗震性能愈好。

度，与此同时，在此粘土可塑状态的溫度範圍內又有气体产生。由于这些气体的压力，促使粘土发生膨脹。至于粘土軟化和膨脹的最主要的物理和化学作用究竟如何，目前世界各国学者都正进行着广泛的研究，但由于粘土矿物成分及化学成分的复杂性，粘土成型以及焙燒过程中外界条件的影响（如焙燒速度、焙燒介質等），到目前为止，粘土膨脹理論还没有一种大家公認的結論。这尚待进一步研究。

現把已有的資料分为下列三类，分別进行叙述。

第一节 粘土在加热过程中的物理-化学現象

一、粘土原料在加热时，发生一系列的物理-化学变化。乌克兰苏維埃社会主义共和国科学院院士、苏联科学院通訊院士 П. П. 布德尼科夫早在1927年就已研究出把粘土的焙燒过程分为四个阶段：

第一阶段——加热到 120°C ，排出湿存水和調和水。

第二阶段——加热到 400°C ，水分，主要是物理水及部分化学的結合水排出；在此阶段，粘土的性質并无显著变化。

第三阶段——从 400°C 升高到焙燒任何制品所需的最高溫度，在此阶段粘土的晶系发生了不可还原的变化，粘土原料中排除了化学的結合水和其他揮发性物質，便进行一系列的物理和化学变化。

第四阶段——制品的冷却。

由上面可以清楚地看出，粘土材料在加热过程的第三阶段，是其主要阶段。

二、粘土原料在不同阶段的加热过程中，可能气化的物質有：

（一）游离水和物理結合水——这种水在 $100\sim 180^{\circ}\text{C}$ 即会蒸发，显然，它并不会直接影响粘土的膨脹。

（二）矿物及水化物的結合水——它們主要是在 $200\sim 600^{\circ}\text{C}$ 逐漸逸去。其中某些化合物，甚至在長久的加热情況下

(維持到 $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$)才能排除。高岭土的两个水分子中的一个,則必須要在高溫下进行長時間的加热才能排除,便是一例。由此看来,它參予粘土膨脹的可能性是很大的。

此外,在粘土中尚含有一定数量的云母和角閃石类含水矿物。它們是各种矿物风化后的产物,其化学成分是鋁和鉀的矽酸盐(通常含有鎂、鉄等雜質及氫氧化物及氫),其中 $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ 之值,在 $1.5\sim 4.0$ 間。

在土壤中云母組的代表矿物可以以各种不同大小的碎粒存在,有时其量很多。在某些土壤 $< 1\mu$ 的細粒中,云母的含量可达25%,或更多些。

从白云母的差热曲綫看出,它有二次吸热反应:第一次在 $600\sim 870^{\circ}\text{C}$ 間,第二次在 $1,090\sim 1,170^{\circ}\text{C}$ 間。白云母随其結晶的轉变而析出其云母层中的 OH^- 离子,即排出其結構水。

絹云母的二个吸热反应是 $820\sim 900^{\circ}\text{C}$ 和 $1,125^{\circ}\text{C}$ 左右。黑云母在 $1,160^{\circ}\text{C}$ 左右。

角閃石类矿物也类似上述云母組,它也有二个吸热反应,其第二次吸热反应发生在 $1,000$ 、 $1,035$ 、 $1,075$ 、 $1,125$ 和 $1,220^{\circ}\text{C}$ 。

云母和角閃石类含水矿物高溫失水情况見图2所示。

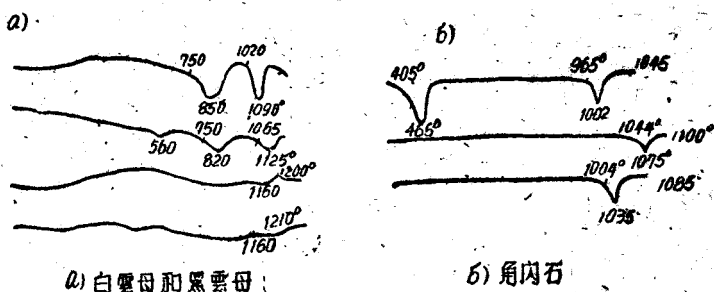


图2 云母和角閃石类含水矿物差热曲綫

因此,这些含水矿物的參予膨脹作用是無疑的。此外,还有近似云母的水云母和蛭石,也常出現于粘土之中。它們和云母相

似，其放热反应常在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以下，虽然温度较低、含量较少，但在快速烧成陶粒的工艺中，亦应予重视。

(三) 粘土中有机物的干馏产物：粘土的有机混合物在 $400\sim 800^{\circ}\text{C}$ 下析出其挥发和干馏产物，而粘土中有机物完全烧尽实际上是在 $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ 。在快速升温或缺乏氧气的情况下，有机物烧尽可能要到粘土发出软化时的温度。所以，有机物实际上是在整个焙烧过程中都在析出挥发及其干馏产物，其主要的便是氢与碳。因此，较易与氧或其他氧化物作用生成气态物质，同时，这种产物又能和固态氧化物（如 Fe_2O_3 等）作用，促使粘土软化，造成粘土膨胀所必要的粘度。因此，粘土中有机物的挥发和干馏产物对粘土的膨胀起着重要作用。

(四) 碳酸盐分解的气体产品：在易熔粘土中一般都含有碳酸钙和碳酸镁，有时还含有少量的碳酸亚铁和碳酸锰。碳酸钙的强烈分解是在 $850\sim 950^{\circ}\text{C}$ ，碳酸镁是在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，碳酸亚铁是在 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，碳酸锰是在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。这些碳酸盐的分解过程和加热的速度有关，也和矿物数量及其物理状态有关。当粘土物料经焙烧已具有一定的粘度，此时正当碳酸盐分解，则碳酸盐的分解气体也有可能参与粘土的膨胀的作用中。

(五) 氧化铁的气体分解产物：粘土中的 Fe_2O_3 是在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以下开始分解的，但要在 $1,350^{\circ}\text{C}$ 左右其分解的限度才可以达到大气中氧的分压。粘土在氧化气氛中焙烧到 $1,300^{\circ}\text{C}$ 以下时氧化铁的分解对粘土膨胀过程所起的作用不大。粘土在还原气氛焙烧时，由于介质中氧的分压降低了氧化铁的分解温度便会降低，从而使氧化铁分解析出的氧参与粘土的膨胀作用。但必须指出不可过高估计氧化铁的分解作用。因为只有当焙烧介质中含有一氧化碳、氢或其他还原剂，也即对还原反应创造了很好的热工条件时，才可能使氧化铁分解，并参与粘土的膨胀作用。

为了更清楚地了解各种气化物质在膨胀中的作用，可参见图

3。

由图3可以看出：当温度在 $1,000\sim 1,400^{\circ}\text{C}$ 时，随着粘土

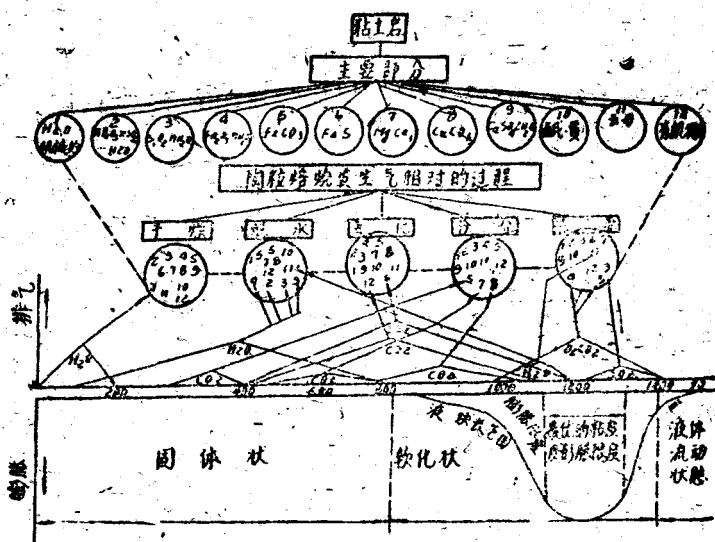


图 3 粘土岩内各种氧化物在受热膨胀过程中的物理、化学变化图解。

的液相增长，粘土开始软化。同时在此温度范围内也产生了大量的气体，导致粘土的膨胀。

由图 3 也可以看出：如果能设法降低粘土的熔点，使粘土在 800°C 左右造成膨胀时所必须的粘度，则此时有大量气体产生，可能使粘土得到更理想的膨胀率。

因此，要想使陶粒膨胀得很好，必须在大量产生气体的同时，粘土有适当的粘度。

当这两个因素同时存在时，气体则靠其压力作用，力图外逸，使处于高温可塑状态、并具有一定粘度的粘土，发泡膨胀。当冷却时，熔融体即行硬化，其内部形成气泡，从而使粘土形成蜂窝状的多孔材料。

气体产生温度，不能过低或过高于粘土软化或可塑状态的温

度。在前一种情况下，当粘土尚未完全軟化成可塑状态时，則已产生的气体便从物料中預先析出，这就达不到使粘土膨胀的目的。在后一种情况下，由于溫度不断提高，則处在可塑状态下的粘度变小，而使得引起膨胀的气体产生后就立即逸出，則同样达不到使粘土膨胀的目的。因而当粘土受热达到产生气体的溫度时，粘土必須具有适当的粘度。因为气体要使軟化了的粘土膨胀起来，气体所产生的压力，就应当克服物料粘度对它的阻力。当焙燒溫度过低时，物料內部液相并未形成或形成过少，这时在物料內具有无数細孔通道，不能抑制气体的压力，气体就很容易地沿着这些物料內原有的通道，由物料內逸出，就不能使粘土获得良好的膨胀。反之，若物料內液相过多、粘度过小，則也不能抑制住气体压力，也就是說气体很容易穿过物料逸出。所以当气体压力等于或略小于粘土的粘結力时，是粘土最好的膨胀条件。

因此，粘土在加热到一定溫度条件下，所能达到的可塑状态时的粘度，具有十分重要的意义。

粘土是一种复杂的混合物。它沒有一定的熔融溫度。当升高溫度时，粘土开始变軟；溫度再繼續升高，粘土逐漸熔融并具有一定的粘性；最后变成完全熔融的液体。粘土从开始軟化到变成液体这个溫度范围，可称为軟化范围。在这个范围内粘土中的固相不断減少，液相不断增加，逐漸使粘土由固态变成可塑状态，最后完全变成液体。

一般在粘土膨胀溫度內，物料具有固相、液相和气相三相同时存在。

固相主要是由氧化矽和氧化铝，以及少量的熔剂組成。在膨胀的过程中，固相不断減少，大約粘土在膨胀开始时，其固相是50~70%，而在結束时是10~30%。

液相是粘土中易熔成分和由氧化矽、氧化铝等組成的易熔化合物和共晶混合物。在膨胀結束时，粘土中液相的数量可达70%或70%以上。

气相按粘土的成分及数量而变化，并且依粘土热处理条件