



耐火材料工艺学

叶·伊·威吉講

天津大学无机化工系

硅酸盐教研室譯

高等教育出版社

第一章 緒論

1. 引言

近年来有关耐火材料工艺学的专门文献的总数，有了极度的增加。这是完全可以理解的，因为国民经济所有各部门的迅速发展，就需要耐火材料工业有相应的发展。

现在，若不吸收一系列的科学研究工作、論文和学术报告中的内容，而只凭一本教科書或即使是許多教科書及教学参考書，想要在足够高的科学水平上来講述这门課程那是不可能的。此外，还需要在硅酸盐工艺学的理論基础——硅酸盐物理化学和硅化学的基础上来闡明耐火材料工艺学上的一些問題。

苏联耐火材料工业史无前例的发展速度，生产革新者和科学工作者的許多成就都要求不断地用新的实际材料来充实文献的内容。在許多情形下，还要求把在理論和实际的一些个别問題上的一些早先形成的見解加以改正。

现代化的耐火材料制品工厂是这样一种企业，它具备有复杂的机械装备和热工装备，具备有各种煤气的、动力的和热力的設備，并具有普遍机械化的工艺过程，而这个工艺过程是以新的生产方法和大大扩大了原料种类为基础的。这些新的生产方法与二十世紀二十年代以前在耐火材料工业中所使用的旧方法有基本的差别，这些差别是：

- 1) 在粘土、硅石、菱鎂矿、白云石和其他耐火原料的开采方面，所有繁重过程的完全机械化；利用浮选方法选出非金屬矿；以及用电力方法精选原料（选高岭土和砂）。

- 2) 在粉碎和制备坯料方面，粉碎产物进行篩分；在某些情况下采

用分散度达到胶体程度的細磨碎;对潤湿坯料,采用泥浆法;使用电解質;对坯料采用真空处理;为了提高坯体的机械强度以及为制不燒的耐火制品,使用某些胶結剂。

3) 在成型方面,采用气錘方法和振动方法;压制特殊制品时使用高压;用半干压法压制鑄錠用磚(管磚、漏斗磚、塞头磚和水口磚)。

4) 在干燥方面,掌握了按“湿法干燥”进行的坯体的人工干燥方法;采用高频电流、电干燥法等等。

5) 在燒成方面,縮短燒成時間并采用高溫燒成;采用制品快速冷却的操作規程;热工設備的自动化;制品装窑出窑的完全机械化。

在这样的现代化的耐火材料工业企业的工作和完善的工艺的情况下,无条件地需要不仅要在化学和物理方面,而且也需要在物理化学、力学和胶体化学方面有深入的知識,还需要能不費力地閱讀硅酸盐系統的相图并且在解决生产实际問題时,要能利用这些相图;要能很好地通曉固相反应、燒結过程、結晶、再結晶等等。

此外,由于工艺生产过程的广泛机械化,就要求工程技術人員知道所有生产机械的机动图和設備的构造,以及这些机械的能影响工艺生产过程的某一阶段的构造上的特性。因此,在講授“耐火材料工艺学”这門課程时,講授者的任务就是应该采取适当的講授方式,务使这門課程能与近代耐火材料工艺生产过程的理論与实际相适应;并且不单要在必要的和足够的程度上來講述最常見的耐火材料的工艺学,而还要講述高級耐火材料的工艺学;还一定要吸收硅酸盐物理化学、普通硅酸盐工艺学及其基本部分——陶瓷——來講述这些內容。

因此,在講授这門課程时,还要講解机械和設備的机动图、热工設備的构造。此外,还要介紹生产过程控制的现代化方法,以及耐火材料的使用。

根据我們的意見,耐火材料工艺学課程作这样的編排,对所有人都是有益的,特别是对将要培养生产领导者的未来的教师們是有益处的。

2. 耐火材料工业在国民經济方面的意义

根据产品的数量、工人的人数、投入的資金和其他一系列的指标，耐火材料工业在国民經济的各部門之中占有显著的地位。耐火材料工业生产的产品是工业主要部門的基本基金的必需組成部分，沒有这种产品就不可能实現在国民經济中具有头等重要意义的一系列生产过程。耐火材料工业的意义就在于此。

在現代化的技术情况下，若沒有耐火材料，則冶金工业、机械制造工业、炼焦工业、化学工业、陶瓷工业、玻璃工业、水泥工业、运输业以及国民經济的其他部門等都是不可能进行生产的。

耐火材料的主要消費者是黑色冶金工业和有色冶金工业(要占所生产的耐火材料 50% 以上)。

3. 耐火材料工业發展的簡短历史概述

耐火材料的工业产生應該認為是在十五世紀末出現，即在欧洲出現第一批高爐的时候。

耐火材料工业在“工业革命”时代达到显著的发展，在这个时代一系列的工业部門，无疑地首先是冶金工业，获得了蓬勃的增长(熔鉄爐、采用热風等等)。

十九世紀后半叶，是工业資本非常迅速发展的时期，其特点是冶金工业的迅速增长和发展。由于在工业上运用了新的炼鋼方法，为冶金工业展开了新的时代，对耐火材料的需要也就大大地增加了。

在十九世紀以前，俄国冶金工业的发展很慢，当时俄国的主要冶金基地是烏拉尔。

在这个时期耐火材料的生产是集中在冶金工厂、玻璃工厂和其他

需要耐火材料工厂的輔助車間內。这种情况大約延續到十九世紀七十年代。那时耐火材料的生产技术极为簡陋。用手工来粉碎原料，当时仅仅只有几个企业具有碾机和破碎机。成型也是用手工进行。干燥則是天然干燥，而燒成是在很簡陋的土窑內进行。

在对原料完全沒有研究和生产技术簡陋的情况下，耐火材料的質量是不能令人滿意的。在当时高爐重要部位的砌体都要用天然石料（耐火砂石）来鋪砌，耐火材料的質量就可以想見了。

有些工厂則是利用一部分进口的耐火材料或者由国外輸入耐火粘土。在 1880 年在俄国南部和中部建設了專門的耐火材料工厂。到 1914 年帝国主义战争开始时，俄国对耐火材料的总需要量大約为 76 万吨，自己所生产的耐火材料仅敷需要量的 80% 左右，其余的由国外輸入。

在这个时期，耐火材料的生产技术，就建設專門耐火材料工厂來說，虽然前进了一步，但还是极其落后的，工人有着繁重的体力劳动和受着殘酷的剝削。每天工作時間延长到 16 小时。在工厂內工人发生了很多的不幸事故，因为完全沒有安全技术和工人的劳动保护。

沙皇政府对这些事情毫不关心。在硅磚耐火材料工厂內的工人，有很大的死亡率。

在俄国除了初等的陶业学校之外，就沒有培养耐火材料工业的专业干部学校。生产的领导掌握在知道并牢牢保守生产“秘密”的工长的手中。

在帝俄时代陶瓷工业完全沒有研究所和研究机构。

4. 苏联耐火材料工业的發展

在偉大的十月社会主义革命后，俄国的耐火材料与陶瓷工业的面貌有了根本的改变。

在 1914—1918 年战争时期及后来的国内战争期中,俄国大部分的耐火材料工厂遭到破坏,因而耐火材料工业发展的根本改变是在 1923 年开始。在 1924—1928 年这一段时期中,耐火材料制品产量总的情况列在下表中:

耐火材料制品的产量 (单位:千吨)			
1924—1925 年	1925—1926 年	1926—1927 年	1927—1928 年
461.0	533.7	563.4	568.7

但是已有的耐火材料生产水平还完全不能满足因国家工业化而发展着的需要。

在这时期耐火材料工业面临着下列重要任务:

- 1) 迅速增加耐火材料的产量;
- 2) 大大提高耐火材料制品的质量;
- 3) 掌握以前需要由国外输入的耐火材料品种的生产技术;
- 4) 开展科学研究工作;
- 5) 培养足够数量的工程技术人员。

与此同时,耐火材料工业的另外一个任务是尽快地改善生产的方法与方式,以减轻在沙皇俄国当时耐火材料工业中所存在的沉重劳动条件。

以上这些任务确定了在斯大林五年计划后来的年代里耐火材料工业发展的性质和速度。

自第一个五年计划开始起,就在耐火材料工业的根本性的有系统的改建和技术改进方面有计划地展开了工作。在新工厂的建设及旧工厂的改建中投下了巨大的资金。

1926—1927 年中,在乌拉尔及西伯利亚开始建立了两个大型粘土耐火材料工厂,以保证这两地区的冶金工业的生产。与此同时,在马格尼托哥尔斯克及库兹涅茨克联合企业中,也建立了巨大的耐火材料车间。在乌克兰及苏联中部建立了许多耐火材料工厂。

新建成的耐火材料車間及工厂是巨大的机械化企业，其技术水平及产品的数量与旧式的及半手工业方式的生产毫无相同之处。由于建筑了新工厂，改建了旧的工厂，使耐火材料工业的面貌改变得无法辨認了。

1934 年耐火材料的产量和 1927—1928 年比較已增加了两倍。在 1934 年苏联耐火材料的产量已占欧洲第一位，世界的第二位。

从 1933 年起，苏联已有耐火材料向国外輸出。現在苏联耐火材料工厂技术水平的特征有下列各点：

- 1) 原料的采掘、运输与干燥等一切过程都已完全机械化。
- 2) 制品的成型及再压，是在大部分已自动化的、构造不同的各种压制机械上进行。
- 3) 标型磚总产量中有 60% 是用最有效的方法——半干压法来制造的。
- 4) 异型磚及特异型磚用苏联专家們所設計制造的各种手工压磚机成型，也有用气錘搗固法及振动法成型的。
- 5) 半成品一般是在本国設計的最完善的人工干燥器中进行干燥。
- 6) 大部分的制品(80% 以上)是在連續操作的窑爐中燒成，并采用自动控制。

由于采用了根据全部流水作业原理所組織起来的新生产方法，应用了新品种的耐火材料，所有生产过程的机械化及劳动条件的巨大改善，使得耐火材料制品生产制造过程的时间由 22—30 昼夜縮短至 6—7 昼夜。

在扩大耐火材料的品种及提高質量上也进行了許多工作。已掌握下列制品的生产方法：高爐磚、加热爐磚、焦爐特异型磚、多熟料磚、体积密度为 0.8—1.0 的輕質耐火磚、鉻磚、鈍橄欖石耐火磚、碳化硅磚、鎂質水口磚、电爐用硅磚、平爐及电熔爐爐頂用的热稳定性鉻鎂磚等。

从生产量、机械化的程度及劳动条件來說，苏联的耐火材料工业把

主要资本主义国家的耐火材料工业远抛在后面。比如苏联耐火材料工业 1940 年的平均生产量为 34000 吨,而英国的平均生产量为 24000 吨,德国为 17000 吨,美国为 28000 吨(此生产量指全国总年产量/全国耐火材料工厂数目)。

在国家工业化的年代中,在开展科学研究工作方面和在培养耐火材料工业的干部方面曾做过很多工作。

1930 年组织了全苏矿物来源的建筑材料研究院(ВИСМ),其中有耐火材料部门。

1932 年在哈尔科夫和列宁格勒成立了全苏耐火材料研究院(ВНИО)。

从 1933 年起在莫斯科开始出版了专门的服务于耐火材料工业和冶金工业的杂志“耐火材料”。建立了许多设计院。为了培养熟练技术工人干部,曾广泛地发展了最低限度的技术知识小组网、社会主义劳动技师班、职工学校等。

中级和高级技术人员的培养工作在莫斯科、列宁格勒、斯维尔德洛夫城、基辅、哈尔科夫、德涅泊尔彼得罗夫斯克、诺沃契尔卡斯卡、高尔基城等城市的许多中等技术学校和学院中组织起来了。我们苏联的许多学者在科学方面也获得了巨大的成就。

哈尔科夫和列宁格勒的耐火材料研究院,还有许多高等工业学校中的专业教研室,在各方面促进了原料基地的迅速调查工作和新生产方法的探讨工作。

例如:巴依可夫院士在耐火材料烧成理论方面的著作、泽麦陈斯基院士在耐火材料工业原料基地考查上的著作。布德尼可夫院士、别梁金院士、库可列夫教授、别列日诺、卡依纳尔斯基、阿弗古斯契尼克、托罗波夫及许多其他专家们在硅酸盐物理化学以及耐火材料工艺学领域中曾进行了许多卓越的工作。

在耐火材料方面苏联专家们所完成的巨大工作使得有可能顺利地

解决耐火材料工业上的任何問題，这些問題是由于国民經济中使用耐火材料的各部門的发展和改善而产生的。

很明显，苏联耐火材料工业在增加产量上、在建設新的和改建老的工厂上、在改善制品質量上、在掌握新的生产方法和生产組織上、在制造新品种的耐火材料和高級耐火材料上、在改善工人的劳动条件上、以及在扩大耐火材料工业的原料基地上所取得的許多成就；是只有在社会主义的經济制度下才能取得的。

只有这样的制度才能培养出各种必要的人材，設立許多地質研究所、設計院、建筑研究院和建立物質基础。若沒有这样的制度，則把极端落后的耐火材料工业改造成为国民經济中的一个先进部門，并把它在这样短的时期中提高到能与欧美相匹敌的相当高的水平上乃是不可思議的。

抵抗德国法西斯侵略的偉大卫国战争暂时中止了耐火材料工业的增长，相当多的工厂遭到破坏。然而我們光荣的苏联軍隊給以一系列的强有力的打击，迎头歼灭了德国野蛮人，而苏联人民在列宁-斯大林党的领导之下已經不单治愈了这些創伤，而且使生产远远地超过了战前的水平。

由于党和政府的經常关怀使国民經济所有各部門(包括耐火材料工业在內)得以获得为世界上所未見过的巨大的增长。

历次五年計划的順利完成使得我們有可能采取 1951—1955 年的新的五年計划，这个五年計划保証苏联国民經济各部門的更进一步的发展、苏联人民物質福利的增长、以及文化和卫生保健水平的提高。

在五年計划中規定了各种重要工业产品生产的增长率，以 1955 年与 1950 年比較，大約是如下的数字：

生鉄	增加	76%
鋼	增加	62%
鋼材	增加	64%

水泥	增加 120%
蒸汽鍋爐	增加 170%
精銅	增加 90%
鋁	至少增加 160%
鋅	增加 150%

就从这些数字里，足够使人信服地了解到在五年計劃中在耐火材料工业面前的那些任务了。

完成五年計劃就是我們祖国在从社会主义发展到共产主义的道路上向前迈进了一大步。

“……第五个五年計劃再次地在全世界面前显示出偉大的社会主义的生命力和社会主义經濟制度比資本主义經濟制度带有根本的优越性。这个計劃是一个和平經濟的和文化建設的計劃。它将促进苏联和各人民民主国家的經濟合作的事业进一步的巩固和扩大……”。

“……这个五年計劃所拟定的苏联經濟的和平发展，是与資本主义国家的經濟相对立的，这些国家走着使国民經济軍国主义化、为資本家求得最高的利潤和使劳动人民更进一步貧穷化的道路。”^①

苏联人民以最兴奋和热烈的心情接受了五年計劃所提出的各种任务，并且光荣地完成着它們，他們知道这是自己文化和幸福生活的保証。

我們苏联人民理应以自己的祖国和人类最偉大的天才列宁和斯大林而自傲，他們給我們国家的劳动人民开辟了人类历史上是第一次的一条通向文化繁荣和人类各方面知識中的科学及技术水平增长的大道。

① 党第十九次代表大会对 1951—1955 年苏联发展的五年計劃的指令。苏联国立政治出版社，1952。

5. 对緒論的意見和补充

同志們，緒論結束了，当然我不能在这講中詳細地講述苏联工人和專家們在耐火材料工业这方面的一切工作、发明和成就。但是在进行这门課时，你們自己能詳細地熟悉它們。

同时我想指出，在緒論中我只講述了耐火材料工业发展的历史概述，根本沒有提到陶瓷的发展，因为在人类发展历史中它具有自己最悠久的历史。

古老俄罗斯陶瓷的艺术是保存到現今最优美的古迹。

大家都知道，考古发现的古物证明了早已在数千年前就开始应用了陶瓷。亚述人和埃及人早就知道了燒成陶瓷制品和制造有色的瓷釉。亚述教堂的裝飾証实了这点，而埃及的金字塔和陵墓也証明了这点。

陶瓷工业的生产在其他欧洲和亚洲的国家里也在发展着，如古老俄罗斯大教堂的裝飾(弗拉基米尔教堂，諾夫哥洛德教堂等)，可以作为古老俄罗斯陶瓷生产的最好的范例。

沃茲尼西尼亚教堂(在莫斯科城郊的哥洛明村庄)和瓦西里亚白拉壤教堂是十六世紀俄罗斯建筑式的世界建筑古迹。这两个教堂是由带有陶瓷裝飾的磚所建造的。

欧洲陶瓷工业发展的新阶段是在公开了生产瓷器的秘密时才开始的。

大約在公元前 300 年在中国就发明了瓷器，但是制造瓷器的秘密，欧洲人很长时期不知道。中国瓷器制品——花瓶、大盘子、茶壺、碗的特点是制品的白色、釉的光澤、各种各样耐久的色彩和具有高度艺术性的裝飾。

俄罗斯陶瓷工业的发展是在 1723 年彼得大帝第一頒布法令以后开始的。

在俄罗斯出現第一个国产瓷器是由于卓越的研究者和工艺技师德米特利亚·伊万諾維奇·維諾格拉德緊張而努力的工作結果。維諾格拉德是罗蒙諾索夫最亲近的战友。他没有依靠外国而制造了瓷器。从那时保留下来一直到現在的瓷器工厂是現今在列宁格勒的罗蒙諾索夫工厂。值得注意的是，偉大的俄罗斯学者罗蒙諾索夫也研究过瓷器的制造，建立了生产陶瓷的理論基础。他表述了陶瓷坯体形成过程的理論如下：

“燒結是粉状物体的轉变。粉状物体与水混合成为泥团，按照人的願望可以做成一定形状，然后慢慢地用火力干燥，就成为石状物質。这个过程与玻璃熔制过程的區別是，石状物料不熔融，在灼热时不軟化，也不能拉长成为綫状。陶器和制磚工人那里的燒結例子非常普通，然而制造瓷器是最好的燒結例子。”（“真物理化学教程” 1752 年）

苏联人民研究偉大的俄罗斯学者們的遗产并予以改进，同时为了掌握自然界新的現象和規律，为了祖国的幸福和繁荣，繼續着自己的工作。

第二章 物理化学、矿物学及胶体学說的 基本定律对硅酸盐系統的应用

由于对生产耐火材料最主要的原料——天然硅酸盐及人造硅酸盐的研究取得了最新的成就，因而根本地改变了生产的技术方法和流程。

因为在耐火材料工艺学中最复杂的问题都是与熔融、溶解、结晶、再结晶、固态反应及其他物理-化学过程有关，所以为了要掌握耐火材料及高级耐火材料的现代生产工艺过程，不仅要善于将物理化学及矿物学的基本定律实际应用于硅酸盐系统，而且要善于以这些定理为基础来管理与改善耐火材料工艺过程。

许久以前在陶瓷工艺学中，以及在耐火材料工艺学中，仅仅把原料的化学组成作为改进制造这种或那种制品的工艺过程的理论基础，我们以后可以看到这是完全不够的。

现在我们来研究基本的变化及物理化学原理。

1. 物质状态

物质有三种聚集状态：固态、液态、气态。

固态物质具有三种形态：结晶态、玻璃态、无定形态，在适当的条件下结晶态是最稳定的。

在硅酸盐工艺学中最令人注意的是结晶态。在结晶态的物质中离子、原子或分子，說得更正确些是它们的振动中心，在空间中有着規則的排列。这就导致形成所谓的结晶格子。无定形物质质点的排列是没有秩序的。

晶体的一些物理性质（如光折射率、导热系数、双折射率等）在不同

方向是不相同的(各向异性),但在同一个平行的方向上却永远是一样的。无定形物質是各向同性的。

和化学組成相同的液体、玻璃体及无定形物質相較,結晶物質含能量最少,因此結晶态是比較穩定的。

无定形状态的不稳定性表現在适当的溫度下它可以轉变为結晶态,而直接的可逆轉變是不可能的。

玻璃状态的特点是質点排列得較密,部分質点的排列有些規則。

玻璃态也具有无定形状态所具有的那些性質。玻璃是不稳定的形态,在适当的加热时它轉变成稳定的形态——結晶态。

从内部的結構来看,固体与液体要比液体与气体相近得多。液体的溫度若愈接近临界溫度,則其結構愈接近晶体結構。

这种相似处也表現在液体中存在着分子、原子或离子的締合体,即質点的有規則的空間排列的結構团。

随着液体溫度的降低,其結構团的数量便增加。由于液体有結構团存在而且結構团又能起变化,所以液体也可能有着象結晶物質所具有的多晶轉變現象,例如硫和氮等。

結晶物質与无定形物質之間的一个特征性的区别是,易結晶物質(图 1)及玻璃态物質(图 2)的冷却曲綫的性質不同。

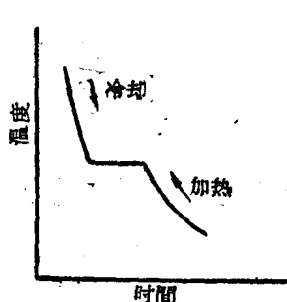


图 1. 易結晶物質的冷却曲綫。

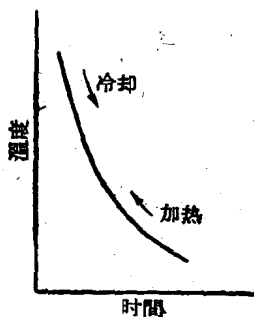


图 2. 玻璃状物質的冷却曲綫。

曲綫上的水平停留区相当于結晶溫度。此停留区是由于从液态变为結晶态时所发生的結構变化所放出的热而造成的。至于无定形或玻璃态物質就看不到有这种現象。

玻璃态物質比結晶态物質儲藏的能要多些，在常溫时玻璃态物質是不稳定的。

玻璃态轉变成液态的变化是可逆的，然而玻璃态轉变成結晶态的变化則是不可逆的，而且这种轉变只在一定的溫度时才能进行。此时性質发生跳跃式的改变，并放出多余的能。相反地，由晶体直接变成玻璃而不經過液态的阶段，則是到目前为止还没有見到过的現象。

在結構方面玻璃与組成它的原来的液体相似，但含有相当大量的失去活动性的結構团。

2. 相平衡理論

在开始叙述相平衡之前，应该回忆一下基本的原理和概念。

在自然界和工程中所遇到的物質(系統)有均匀的(均态的)和不均匀的(非均态的)。为了能科学地理解这些系統的定义，現在就来看一看这些系統。

所謂系統就是一些处在同一物态的或不同物态的化学上活潑的物質的总合。

系統中处在同一物态的、可以用机械方法使之互相分开的各个均匀部分叫做相。例如在冰-水-蒸汽的系統中有三个相：固相、液相和气相。液态的未饱和溶液本身形成一相，但由这种溶液与存在于它上空的蒸气所組成的系統則是二相的了。

如果除了以上情况外，溶液又被飽和，并且有过剩的固态飽和物質存在，則此系統就是由三相組成的。

均态系統不論在物理方面或是化学方面其各部分都是均一的。

由此可知均态系統是由一个相所組成的，并且只能以单一的一种物态存在：气态、液态或固态。均态系統的实例如气体、液体、合金、真溶液。

我們也应当正确地、科学地理解組分的概念。由系統中選擇出来的一定数目的能独立存在且不改变的組成部分称为組分，該数目应是最少的，但要足够用来把每一相的組成借化学方程式表出。不可以把組分的概念与系統的組成部分的概念混为一談。例如，表徵 $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ 分解过程的系統中有三种化合物。然而这个系統中的組分数目却是二，因为在上述方程式中任意选出两种化合物 (MgO 、 CO_2 或 MgCO_3 、 MgO 或 MgCO_3 、 CO_2) 时，由于前两种化合物有一定比例，即可得到第三种化合物的比例。

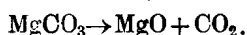
NaCl 水溶液中存在有 Na^+ 、 Cl^- 、 H^+ 、 OH^- 离子，虽然如此，然而这个溶液是二元系統，因为所有这些离子和分子任何可能的組合都可以由 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 两种組分得到。

制造各种陶瓷制品(其中包括耐火材料)所用的粘土和其他原料，是非均态系統，因为它们是所有各种矿物的不均匀的混合物。如果系統在某一条件下不改变自己的状态，那么我們認為它是处在平衡状态。

在什么样的一些条件下系統能改变自己的状态呢？

这些条件就是：溫度、压力和濃度。

現在来看一看下面这个例子：



这个分解反应的研究結果表明，随着溫度或压力的改变， MgCO_3 的分解过程可以停止，而这时系統的組分数目由二减少到一。同样，水-冰-蒸汽系統也可以这样。

由此可知，非均态系統的平衡在很大的程度上决定于外部的条件：压力、溫度以及相与組分数量的比例，換句話說，也就是反应物質混合物的濃度。

系統的所有这些参数(即压力、溫度和濃度)就叫做系統的自由度。确定系統状态所必要的独立参数的最少数目即自由度的数目。

由以上所述可知,在系統中相、組分和自由度的数目之間存在着一定的关系,这个关系在物理化学中称为相律。这个关系对于研究耐火材料工艺过程有着很大的实际意义,因为耐火材料的燒成問題是与硅酸盐的熔融和轉变有关的,而这个問題又主要是以系統平衡的理論为基础来加以解决的。

3. 相律

对于任何处在平衡状态下的系統,相律以最普遍的公式确定了相、組分与自由度的数目間的数学关系。相律的表述方式如下。

自由度的数目 F 与相的数目 P 的总和等于組分的数目 K 加上 2:

$$F + P = K + 2$$

由这个方程式可以看出,随着相的数目增加,自由度的数目便减少,即系統的状态变得更为固定。对于不包含气相的硅酸盐系統来說(在恒压条件下研究), $F + P$ 之和减少了 1,即

$$F + P = K + 1$$

根据自由度的数目可把系統分为以下三类:

$F = 0$ 无变量系統,

$F = 1$ 单变量系統,

$F = 2$ 双变量系統。

第一种系統(无变量系統)的例子:在溫度为 0° 及压力为 4.579 毫米水銀柱时的水-冰-蒸汽系統。因为如溫度升高冰块就融化,固相便消失;如压力增加气相就消失。因此在这种情况下縱使改变一个自由度,系統的状态便会破坏:

$$F = 1 - 3 + 2 = 0$$