

# Ne-Ks-Qz-H<sub>2</sub>O 等硅酸盐体系的实验研究

曾荣树

(中国科学院地质研究所)

近几年来,作者比较系统地研究了在5Kbar压力下的霞石(Ne)-六方钾霞石(Ks)-石英(Qz)三元系和霞石-六方钾霞石二元系;在一个大气压和过冷却条件下的透辉石-钙契尔马克分子体系及透辉石-钠长石-钙长石体系,同时根据相图中物相的特征,结合岩浆的形成作用,开展岩石成因的研究,取得了一些进展。

**1. 实验方法:** 高压实验在内加热高压釜中进行,高温炉由白金丝或钨丝制成,利用氩气作压力介质,样品座的两端均有热电偶(Pt/Pt13Rh),用来控制实验温度,实验过程用记录仪连续记录。用凝胶作为实验用的样品,纯金或白金作实验容器。由于没有控制氧逸度,在测定液相线温度时,忽略

了在两种容器之间氢对含水体系熔化温度的影响。管子首先用热盐酸溶液(25%)处理,洗净置干后,在850℃的硅碳棒炉中隔夜退火,或用Bunsen灯加热退火,随后管子的一端焊好待用,凝胶置于干燥器中防止吸收水分,但是仍然含有2%左右的水,在计算样品含水量时必须考虑到这部分水的存在。

把已知量的凝胶(20—50mg)及去离子水密封装入管中,根据不同的实验条件,样品在高压釜恒温加热至少8小时,最长3天,用氯化钠为标准校正温度,其结果与Clark的资料吻合。实验结果用偏光显微镜及X-射线衍射仪鉴定。当某一组分的实验温度与它的液相温度相差10℃左右时,实验最

与行政的重任,走上讲台,亲授新课,编写讲义,整顿教学秩序,努力开创教学与科研的新局面。早在北京地质学院建院伊始,在没有教学大纲、教材与现成经验可循的情况下,她先后亲自讲授《普通地质学》、《晶体光学及造岩矿物》、《岩浆岩岩石学》、《变质岩岩石学》、《沉积岩岩石学》、《岩组学》、《费德洛夫法》等课程,起到了奠基与开拓的作用。从1958年起,她又先后主编与编著了我国第一本《岩浆岩岩石学》、《构造岩组学》和《费德洛夫法》等教科书。她还热情关怀科普与继续教育工作,多次深入地质队办培训班,亲自授课与现场指导。她治学严谨,一丝不苟,教德高尚,堪为楷模。她培养的学生与研究生遍布全国各地。

“人生七十古来稀”。七十高龄的池际尚教授还主持着若干国家重点科研项目,精心为国家培养硕士与博士研究生,还在为赶超国际先进水平奋力拼搏,为中国地质事业的崛起而奋战。她为我国地质、岩石学的发展,奋斗了近半个世纪,不愧为地学界的精英。人们将永远记住她!在她七十寿辰之际,我们祝愿她健康长寿、成果丰硕!

终产物的玻璃含量多达90%，如果该组分靠近相图不同结晶物相的边界线，由于物相的鉴定非常重要，通常利用德拜相机延长曝光时间来鉴定物相。物相的化学成分分别用 Cameca Camebax 与岛津 EMX-SM 7 电子探针分析。

**2. 霞石-六方钾霞石二元系：**该体系是成岩残余体系的重要组成部分。鲍文测定了霞石-六方钾霞石在一个大气压和无水条件下物相平衡的关系，同时推测在富钾区域的结晶物相，鲍文等曾认为霞石与六方钾霞石之间有一个连续的固溶体。后来在综合无水 and 含水条件下一个大气压到 1kbar 的实验资料，测出在 1050℃ 下存在着六方钾霞石与低温霞石互相不混溶的区域，它们之间不存在连续的过渡关系，推测了富钾区域在高温下物相结晶的边界线，认为在霞石和富钾物相之间没有共结点。几十年来，人们研究了在不同压力下成岩残余体系的相图，但对于 Ne-Ks 体系一直没有进行深入讨论。作者在研究 5kbar 下成岩残余体系时，首先系统地测定了该压力下霞石-六方钾霞石体系的相图。

霞石的熔点为 900℃，六方钾霞石的熔化温度超过高压釜所能承受的限度，所以没有测定。初晶区的霞石、六方钾霞石均属六方晶系。由于高压的作用，在水饱和体系中结晶物相的熔点显著降低，导致霞石-六方钾霞石之间的离溶线被固相线截断，同时它们的不混溶区域相应扩大。二元共结点的组分为  $Ne_{5.0}Ks_{4.4}$ ，共结温度为 800℃，共结点的测定对于研究 Ne-Ks-Q 三元系的结晶作用，确定霞石、六方钾霞石初晶区的范围有很大意义。

**3. 成岩残余体系：**霞石-六方钾霞石-石英三元系被鲍文称为成岩残余体系，是实验岩石学重要的硅酸盐体系。通常利用它来解释碱性和酸性火成岩的成因。作者主要研究

该体系在 5kbar 压力下贫硅部分相平衡的关系。实验证明，Ne-Ks-Q 体系在  $PH_2O=5kbar$  下，含水量必须在 15% 以上，才能保证达到饱和状态。相图的研究必须在水饱和条件下进行，因为在不饱和条件下，结晶物相的熔点及初始结晶区与饱和条件下的熔点及结晶区域相差很大。本体系的相图是在饱和水压条件下完成的。

作者研究了霞石固溶体、碱性长石固溶体、石榴石以及六方胞霞石，系统地测定了它们的化学组分及晶胞参数。通过近千个实验的分析，作出在二氧化硅不饱和区的相图，测定了初晶区及液相线的温度，找到该体系的不变点位置 ( $Ne_{2.5}Ks_{6.1}Q_{2.4}$ ) 及熔点 (630℃)，首先确认了在碱性长石与霞石结晶边界线的液相面最高点 ( $Ne_{6.7}Ks_{3.7}Q_{2.6}$ ，715℃)。同时用一系列实验测出在碱性长石区与六方钾霞石区熔体的分离结晶与平衡结晶曲线，解释岩浆结晶过程中物相的结晶道路。

利用该体系在不同压力下的相图可以解释碱性岩的结晶过程及其演化。首先可以解释为什么在火山岩中石榴石普遍发育，而在深成岩则罕见。自然界有些原岩的成分投影在无水相图或低压相图的石榴石区，可是在高压下（即深成条件下）由于石榴石区变小，这些组分的石榴石初始结晶作用受到抑制，压力释放后（即在喷出条件下）石榴石区域扩大，因此出现石榴石的结晶作用。利用 5kbar 的相图可以解释东格陵兰岛巴伯杰格杂岩体超镁铁质碱性岩的结晶作用，同时解释石榴石、霞石、钾长石复杂的连生结构。

**4. 在常压与过冷条件下的透辉石-钙矽尔马克分子体系：**实验选择二元系的  $Di_{10.0}$ ， $Di_{9.0}CaTs_{1.0}$ ，…… $Di_{6.0}CaTs_{4.0}$  作为起始组分，在 1400℃ 熔化，保持 1 小时，降至 1200℃，恒温 1—3 天，最后在空气中淬火。

实验的结晶作用是在过冷却条件下进行的, 所谓过冷却度是指组分的液相线温度与结晶温度之差。实验表明,  $Di_{60}CaTs_{40}$  的结晶产物中含有橄榄石 ( $Ca_{0.003}Mg_{1.994}Si_{1.015}O_4$ ), 修改了 de Neufville 与 Schairer (1962) 测定的相图。

大量的实验资料证明在透辉石-钙 契尔马克分子体系中,  $Al_2O_3$  能够进入透辉石结构, 即使在一个大气压下, 钙 契尔马克分子也能够 在辉石的结晶格架中存在。作者第一次用电子探针分析了不同比例的  $Di$ - $CaTs$  实验组分结晶而成的透辉石成分, 这些成分具有两个明显的特征: 第一, 都含有少量的顽火辉石分子, 这很显然与实验条件有关。过冷却结晶作用促进顽火辉石分子的形成, 这种现象与郑学正等的实验相似。第二, 透辉石固溶体中  $Di$ ,  $CaTs$  的比例几乎相同。根据实验结果可以认为在二氧化硅不饱和的体系中, 把辉石的含铝量作为岩石形成时压力的标志是不可靠的, 因此, 建立辉石地质压力计时必须十分谨慎。

**5. 在过冷结晶条件下存在于  $Di$ - $Ab$ - $An$  体系的含  $Mg$  斜长石组分——麦肯齐分子的研究:** 七十年代以来, 很多学者研究了月球玄武岩和大陆海底玄武岩斜长石的含镁量及其存在条件。Bryan 研究海底玄武岩的斜长石, 指出  $Ca$  ( $Fe$ ,  $Mg$ )  $Si_3O_8$  组分存在于斜长石固溶体, 强调温度的下降有利于  $Ca$  ( $Fe$ ,  $Mg$ )  $Si_3O_8$  的产生。Longhi 等计算了月岩, 陆地及人工合成的岩石中, 斜长石与玄武岩熔体之间  $Fe$ 、 $Mg$  的分配系数, 认为月岩与陆上玄武岩化学成分的异常可以用  $Ca$  ( $Fe$ ,  $Mg$ )  $Si_3O_8$  和  $\square Si_4O_8$  的组

分来解释, 其中  $Ca$  ( $Fe$ ,  $Mg$ )  $Si_3O_8$  占大多数。Murphy 认为在  $CaMgSi_3O_8$  分子中, 镁呈四面体配位, Sclar 等利用等克分子的透辉石和二氧化硅作起始组分, 在  $1200^\circ C$  合成了  $CaMgSi_3O_8$  分子, 并且测出它的晶胞参数, 我们认为它属于亚稳定的物相, 因为在鲍文等人已发表的相图中没有  $CaMgSi_3O_8$  的结晶区域。

在简化玄武岩体系  $Di$ - $Ab$ - $An$  三元系中, 作者选择位于斜长石区的  $Ab_{20}An_{80}$ ,  $Di_{50}$  作为起始组分, 该组分的液相温度是  $1325^\circ C$ , 样品置于  $1450^\circ C$  1 小时, 然后降至  $1155^\circ C$ , 恒温 120 小时, 最后在空气中淬火。实验产物为树枝状辉石与板状斜长石。斜长石的成分:  $CaMgSi_3O_8$  为 5.2%,  $CaAl_2Si_2O_8$  为 72.3%,  $NaAlSi_3O_8$  为 22.5%。作者认为含镁斜长石  $CaMgSi_3O_8$  的存在, 说明玄武岩中斜长石的含镁量反映了它的形成条件, 必须把  $MgO$  含量的变化与岩浆冷却速度或过冷却度结合起来。 $CaMgSi_3O_8$  可能是一种反映岩石成因的指示矿物。

为了纪念作者的导师、本届国际矿物协会副主席、英国曼彻斯特大学地质系教授 W.S. Mackenzie (麦肯齐) 在长石矿物学研究领域所作出的贡献, 同时感谢他的悉心指导, 作者建议把  $CaMgSi_3O_8$  分子命名为麦肯齐分子 (Mackenzie's molecule)。这项提议得到本届国际矿物协会主席 P. Wyllie 教授等人的支持和赞同, 并于 1985 年在法国的《Bulletin de Mineralogie》杂志发表了关于麦肯齐分子的研究论文。