

矿物中的包裹体 及其在地质上的应用

中国科学院地球化学研究所包裹体实验室

地质出版社

矿物中的包裹体 及其在地质上的应用

中国科学院地球化学研究所
包裹体实验室

地质出版社

内 容 提 要

包裹体研究是地质科学中的一种方法,它对于查明矿床的成因,了解矿床、岩石的形成条件(温度、压力、成分等)以及指导寻找深部隐伏的热液矿体具有很重要的意义。这本小册子是根据编写单位多年来包裹体工作的实践和成果,参考国内外有关资料,较为系统地介绍了包裹体研究的目的和意义,包裹体的形成机理和分类,包裹体特征,包裹体的研究方法以及包裹体在地质上的主要应用。本书可供广大地质工作者,岩矿鉴定人员,包裹体工作者以及大专院校地质、地球化学专业的人员参考。

矿物中的包裹体及其在地质上的应用

中国科学院地球化学研究所

包裹体实验室

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1977年10月北京第一版·1977年10月北京第一次印刷

印数1—6,000册·定价0.37元

统一书号:15038·新240

前 言

在地质科学领域中，对地质体形成过程的温度、压力、成矿溶液的性质及成分等成岩成矿条件的了解，一直是迫切需要解决的问题；因为它直接牵涉到矿床、岩石的成因和找矿上的实际应用。

在解决这些问题的方法中，测定现代火山和温泉的温度、压力和介质的性质等是属于直接测定的方法。而矿物的标型特征、矿物共生组合、矿物的共结点、固溶体、微量元素、同位素比值和矿物中包裹体研究则属于间接测定地质体形成条件的手段。在这些手段和方法中，包裹体的研究对于测定矿床、岩石的形成温度、压力、成矿溶液的 pH 值、盐度、成分等方面是一个比较有效的直观的方法。

为了交流有关包裹体研究方面的经验，普及这方面的知识和方法，宣传包裹体研究在地质上的应用和意义，推动这项工作的前进，我们编写了《矿物中的包裹体及其在地质上的应用》这本小册子。由于我们水平有限，错误之处难免，敬请同志们批评指正。

本文是集体工作的成果，参加编写和工作的有喻茨玫、施继锡、李本超、许生蛟、卢焕章以及郭逸清、方根宝、孙清华等同志，最后由卢焕章汇总归纳，修改定稿。本文的照片由我所照相组摄，图件由绘图组清绘，特此一并说明和致谢。

本文承涂光炽、王联魁及桂林冶金地质研究所、湖北省地质科学研究所、中国地质科学院地矿所、北京第三研究所等单位从事包裹体工作的同志们审阅，并提出了不少宝贵意见，特此表示感谢。

卢焕章

目 录

一、包裹体研究在地质科学上的意义	1
二、包裹体形成的机理及分类	5
(一) 包裹体形成的机理	5
(二) 包裹体研究的假设	9
(三) 包裹体的分类	10
三、包裹体的显微镜下观察	13
(一) 各相的区别与鉴定的方法	13
(二) 气液包裹体的特征	16
(三) 原生、次生包裹体的区别	19
四、包裹体的研究方法	22
(一) 取样及样品的制备	22
(二) 均一法	26
(三) 爆破法	36
(四) 冷冻法	44
(五) 玻璃包裹体和它的应用	55
(六) 压力估算的方法	59
(七) 气液包裹体成分及其分析方法	65
五、包裹体研究在地质上的应用	80
(一) 包裹体在测定成岩、成矿温度上的应用	80
(二) 包裹体研究在解决成矿溶液来源 及其与围岩的交代作用上的应用	84
(三) 气液包裹体在解决矿床成因上的应用	88
(四) 包裹体在阐述矿床形成条件上的应用	91
(五) 包裹体在寻找热液盲矿体上的应用	95
六、结束语	103
(一) 结论	103
(二) 包裹体研究工作的发展趋向及其与各学科的关系	104

七、包裹体照片	106
参考文献	111

一、包裹体研究

在地质科学上的意义

包裹体是矿物生长时一部分成矿溶液或硅酸盐熔融体被包裹在矿物的晶格缺陷或窝穴中，至今尚在矿物中存在并与主矿物（即含有包裹体的矿物为主矿物）有着相的界限的那一部分物质。

包裹体在矿物中是比较普遍存在的，不论矿物是天然的还是合成的（见照片1, 15, 16），不管矿物的大小和量的多少，一般都含有包裹体。它是作为成矿溶液和岩浆（硅酸盐熔融体）的样品保存下来，反映了成矿溶液和岩浆的本质特征，即反映了它们的成分、性质和物理化学条件。因此，包裹体的研究在地质科学中有着重要的意义。主要有以下几点：

1. 可以测定成岩成矿时的温度和压力 这方面的工作是目前做得最多的。主要用包裹体的均一法、爆破法、淬火法等来测定温度。其中测定矿床形成温度是由气液包裹体来进行的，测定成岩温度是用玻璃包裹体（硅酸盐熔融体包裹体）和气液包裹体来进行的。目前用这些方法已测得了各种矿床和岩石的形成温度。对于成矿、成岩时的压力是用含 CO_2 包裹体来测定。目前也已测出了一些金属矿床的形成压力。

2. 可以用来划分矿床的类型 根据矿床中矿石矿物和脉石矿物中气液包裹体成分、温度测定等方面的研究，发现一些包裹体中的溶液可能是一个高浓度的 $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 四组份为主的体系，与以 $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ 为主的卤水差不多，同时发现花岗岩矿物中气液包裹体亦具有类似的特点。因此，很多人认为，所谓热液矿床，实际上包括一整套不同的矿床，即从真

正的岩浆分异出来的热液所形成的矿床到雨水、卤水或地下原生水形成的矿床，中间有着由上述几种溶液以不同比例相混而形成的各种过渡类型矿床。这些不同类型的矿床可以通过包裹体的研究来区分。其次，可以从包裹体的类型来划分气成热液矿床和一般的热液或热水矿床，前者以气体包裹体为主，后者以液体包裹体为主。包裹体研究对于划分矿床分带上也有一定的作用，这一方面的例子也是很多的。

3. 可以用来测定成矿溶液的盐度、密度 用气液包裹体冷冻法可以求出成矿溶液的盐度、大致成分及密度。这方面的工作对阐明成矿溶液的来源、性质，以及矿床的交代作用特别重要。成矿溶液的盐度(或总矿化度)、密度的变化反映了它与围岩及各种天然水等的交代、混合的结果。

4. 通过气液包裹体中气、液相的分析来获得成矿溶液的成
分、pH 值及部分同位素的资料 这些资料不仅可以查明矿床的成因，弄清成矿物质的来源，从而指导找矿；而且还有助于说明岩浆的分异作用，热液的产生，以及在运移过程中热液、岩浆与围岩、地下水等相互作用的情况，也就是可以说明一个地质体的演化过程。此外，包裹体中水的分析为研究海水的起源和变迁也提供了有力的证据。

5. 用来指示成矿溶液的流动方向 以方格网或其他形式取样，用包裹体测温的方法测出各点的温度值，将相同的温度点连成等温线。从图上，根据温度的高低并结合地质构造，即可指明当时成矿溶液的流动方向。

6. 通过对次生包裹体的研究，可以了解成岩成矿后的热液及其他活动 次生包裹体是由于后期热液等沿构造裂隙对早期已形成的矿物进行作用，产生重结晶的结果。对它的研究有助于搞清成岩、成矿后热液及其他活动的情况，同时有助于说明矿床的再造过程。次生包裹体的研究，对于花岗岩、变质岩也是十分重要的。因为它不仅有助于搞清变质作用的情况，而且对次生包裹体排列情况的研究，可以分析花岗岩和变质岩地区的构造。

上述研究对于查明矿床成因、成岩成矿过程及其变化是有一定价值的。

7. 用于指导寻找热液盲矿体 主要有三种方法:

(1) 热晕 热晕是热的地质体(岩体、矿床、岩脉等)侵入时对围岩的热扩散现象。这种热的扩散可用等温线来表示。我们常见的热液矿床常位于热晕的中心或一定的温度范围内。因此根据这种图结合地质情况就可以为寻找隐伏盲矿体提供一些依据。

(2) 蒸发晕 蒸发晕是指成矿溶液对周围岩石的渗透扩散交代的范围,具体反映在一定类型的包裹体离矿体越近数目越多,越远就变少的现象上。因此,用包裹体爆破法测出不同位置的样品中包裹体的数目(或爆破响声的大小,脉冲数的高低),按其数值的高低就可以画出蒸发晕的曲线。这种曲线与地球化学探矿的原生晕曲线十分相近。所以,蒸发晕可以为寻找隐伏盲矿体提供依据。

(3) 重砂爆破法 它是用重砂中的脉石矿物和重砂矿物的包裹体爆破及测温来寻找原生的岩浆期后矿床的方法。这种方法一般用于河谷及风化壳地区。利用爆破法测定重砂样品的轻矿物(尤其是石英)中的气液包裹体的爆破脉冲数(爆破响声),爆破脉冲数增加的方向表示向岩浆期后成因的原生矿床、矿脉靠近,越近矿体,一定类型包裹体的爆破脉冲数越高。应用这种方法时,要特别注意和其他方法结合起来综合分析才有意义。

国外用上述方法找到过一些隐伏的矿体,因此气液包裹体找矿已作为地球化学找矿的新方法提出来了,并且引起了广泛的重视和注意。

8. 包裹体研究在工业上也有广泛的应用 如通过对包裹体的研究来提高和改进人工晶体(如水晶、宝石等)的质量,使其中所含的包裹体数目减少。国外还利用包裹体来检验钢铁的质量。

以上所列的仅是包裹体研究在地质和工业上的主要意义和应用,相信随着包裹体研究工作的发展,将会得到更多的应用。

矿物中的包裹体很早就被人们发现和研究，早期工作主要是报道有关发现包裹体的消息。简单的观察和实验是由英国的索尔比 (G. Sorby) 于1858年提出来的，他认为可以用气液包裹体测定成矿温度，但是，这一很有意义的发现长期没有引起人们足够的重视。直到1933年，美国的纽豪斯 (W. H. Newhuns) 用均一法测定了在成因上争论不休的密西西比型矿床中闪锌矿的均一温度为115—130℃，认为是在低温条件下生成的，这才引起人们的重视。1953年施密斯 (F. G. Smith) 对前人已发表的400余篇有关包裹体研究的文章进行了总结，并改进了气液包裹体爆破法。苏联的叶尔马可夫 (H. M. Ермаков) 发表了包裹体研究的专著《成矿溶液的研究》。美国的洛德 (E. Roedder) 发表了关于均一法、冷冻法、成分分析及包裹体研究在地质上的应用的一系列论文，提出了气液包裹体是作为成矿溶液样品保存下来的论点，对包裹体研究作了较为全面的论述。特别是60年代以来，包裹体研究工作得到了蓬勃的发展。

我国的包裹体研究工作开始很早。我国古代劳动人民用含气液包裹体的水晶和玛瑙雕刻成各种各样的工艺品。但在解放前，在三座大山的压迫下，包裹体研究工作一直得不到开展。只是在解放后，这方面的研究工作在毛主席和党的英明领导下，才获得了重视和发展。经过无产阶级文化大革命的洗礼，我国的包裹体研究工作如雨后春笋一样蓬勃地发展起来了，自力更生建立了实验室，改进和完善了包裹体的研究方法，并结合地质工作对我国的铁、锡、钨、铜、铅、锌、锑、汞、稀有元素、放射性元素、水晶、钼等矿床作了大量的温度测定，获得了较好的效果；并对矿床的分带和成因以及成矿溶液的性质作出了一定的解释，同时还在已知矿区作出了用于指导找矿的热晕和蒸发晕图。广大地质和包裹体工作者正在华主席为首的党中央的领导下，破除迷信，解放思想，为把我国的包裹体研究工作搞得更好，为促进地质科学事业的发展，为早日实现农业、工业、国防和科学技术的现代化而努力奋斗。

二、包裹体形成的机理及分类

包裹体是怎样捕获而成的？也就是怎样包进去的？这个问题引起大家广泛的兴趣，下面我们简单作一介绍。

（一）包裹体形成的机理

包裹体是在矿物结晶时（晶体生长过程中）由于种种原因造成了结晶构造的缺陷和窝穴，随后这些地方被成矿溶液充填、密封而形成的。

成矿溶液是怎样捕获到结晶构造的缺陷和窝穴中去成为包裹体呢？要回答这个问题，首先要了解晶体生长过程以及晶体中的缺陷、窝穴、位错是怎样产生的。

我们知道，晶芽和晶体生长的必要条件之一是温度的降低和溶液的过饱和。在这样的条件下，就可以通过成核作用产生晶芽，然后晶芽长成晶体。在成核作用开始时的过饱和溶液是不太稳定的，它是杂乱地运动着的质点（分子、离子）和晶芽的混合物。晶体的成长过程实际上就是溶液中的质点不断地向已经形成的晶芽上粘附，而使结晶格子逐渐扩大的过程。晶体成长较为普遍的方式是先形成线晶，然后一些线晶长成面晶，几个面晶合在一起长成晶芽（图1）。

在理想的情况下，溶液中质点向晶体上粘附的次序首先是先粘附在三面凹入角的地方（图2中1的位置），其次是两面凹入角的地方（图2中2），再就是没有凹入角的地方（图2中3），所以晶体生长是一个行列、一个面网平行地向外移动的（见图1及2）。但是影响晶体或矿物生长的因素是多种多样的。例如，我们上面提到的温度、成分等条件发生变化时就会影响矿物和晶体的生

长（如生长速度、晶体大小等），使晶体产生了缺陷和窝穴。此外，当几个线晶或几个面晶、几个晶芽粘在一起时，往往会发生

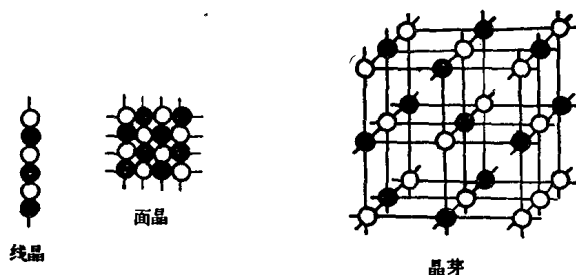


图 1 晶体从溶液中发生的过程

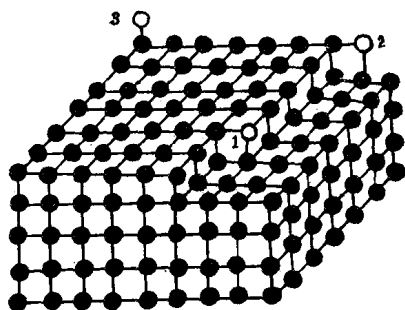


图 2 晶体成长图解

位错。在这种缺陷、窝穴和位错的地方由于存在使成矿溶液充填的空间，因而就比较容易把浸泡晶体的成矿溶液包进去，形成了气液包裹体。由于晶体生长是一个行列、一个面网平行地向前推进的，受物理化学条件改变而形成的晶体缺陷和窝穴也就分布在晶体的生长面上，因此，充填这种缺陷和窝穴而形成的包裹体也分布在晶体的生长面上，这就是我们常见的沿着晶体生长面的一个个或成群、成层分布的，有时形状很象主矿物负晶形的原生包裹体。

以上探讨的是包裹体形成的主要机理，即包裹体是由于矿物

的不规则结晶过程中，把成矿溶液包裹在矿物晶格的缺陷和窝穴中而形成的。

第二种机理是由于重结晶。这是一部分原生包裹体以及假次生、次生包裹体的形成机理。

我们先来看看以下事实，例如在水晶中，我们在晶体的某一部分常见分布着许多平行排列甚至是几十层次的包裹体，而在其邻近，虽然它们是位于同一生长面上的，但却很少甚至没有包裹体分布。其次对于水晶来说，形成水晶的成矿溶液，依照人们的常识，应当是 SiO_2 为主，然而包裹体中溶液的分析表明， SiO_2 并不是溶液的主要成分，而 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等却是主要成分，那么 SiO_2 到那里去了。这是因为一方面， SiO_2 在溶液中的溶解度是很小的，有限的；另一方面，当温度下降时，包裹体内溶液所含的阳离子的溶解度也相应降低，一些络合物也相应分解、破坏而形成了沉淀，这种沉淀一种可能是形成子矿物（我们把包裹体中含有的矿物叫做子矿物），另一种可能是沿着包裹体的腔壁产生沉淀。因为包裹体的腔壁本身就是十分良好的天然晶芽，因而很容易沿着腔壁结晶和沉淀。这已由电子显微镜对包裹体的观察得到证实。在电子显微镜下，包裹体的腔壁是呈参差不齐的树枝状的。因此，这种继续结晶是一个较为普遍的现象。同时，后期热液沿着已结晶的矿物的裂隙或解理进来之后，溶解已结晶的矿物，随着温度、压力的下降，发生重结晶，从而捕获形成假次生包裹体和次生包裹体。

在重结晶过程中形成的包裹体，其中有二种形式值得注意，一种叫“卡脖子”，一种叫“叠瓦式”（图3及4，照片17，18，19）。所谓卡脖子是指原先被包裹的成矿溶液由于重结晶而“卡断”，形成几个气液比不同的包裹体。“叠瓦式”是指重结晶作用发生在晶体较大的窝穴中，在重结晶中形成了成群分布的包裹体。

形成包裹体的第三种机理是由于外来应力造成的位错。晶体在形成过程中和形成以后，往往受到外来力的作用遭受变形，而

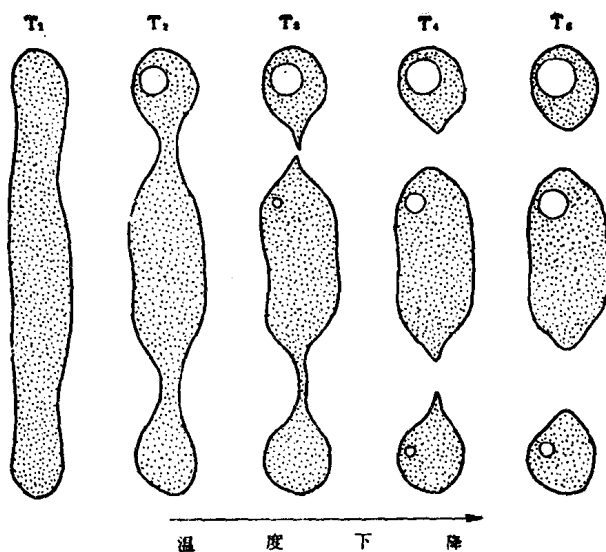


图 3 “卡脖子”形成包裹体的过程

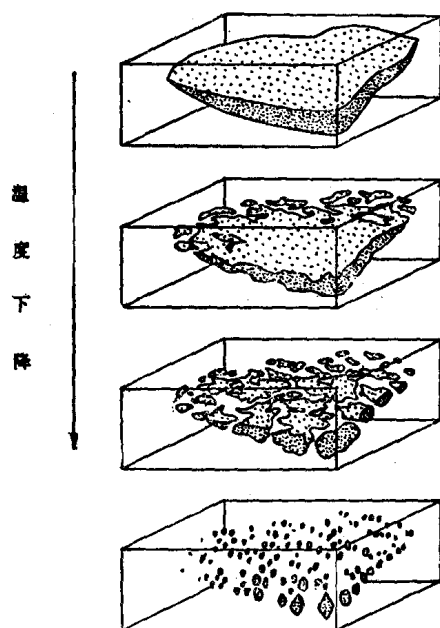


图 4 “叠瓦式”包裹体形成示意图

在其内部便产生“扭歪”、“错列”、“挠曲”等，使得晶体内部的原子排列错位。随着塑性形变作用的增长，这种位错形成的空隙被成矿溶液充填而形成了包裹体。

除了上述所列的几种机理，还有其他的形成包裹体的可能性。例如，当很多晶体一起生长时，它们互相粘连，或机械堆积，形成许多空隙，在这些空隙中就有可能把浸泡晶体的成矿溶液密封起来形成包裹体。

以上探讨的是气液包裹体的形成过程。玻璃包裹体的形成过程与原生气液包裹体的形成过程相似，故这里不再赘述。

总之，包裹体的形成就其内因来说是与晶体的不规则生长、缺陷、窝穴和位错有关，就其外因来说与形成矿物的物理化学条件及外力作用有关。它们之间常常互相交织在一起，因此形成包裹体的机理是复杂的。再加上自然界的有些条件我们目前尚难模拟，所以我们探讨的包裹体的形成机理也是相对的。

(二) 包裹体研究的假设

不少学者根据包裹体的形成机理，提出了包裹体研究的假设，这些假设也就是包裹体研究的基础。

1. 捕获于包裹体中的成矿溶液是一个单一的均匀相。并且成矿溶液在捕获时充满了包裹体整个空间。

2. 在包裹体密封之后其空间大小没有发生明显的变化。许多研究者指出，实际上存在一些使包裹体空间大小改变的因素，例如，成矿溶液遇冷的沉淀，包裹体腔壁上的再结晶，子矿物的晶出，以及主矿物的热胀冷缩等现象。但是，这些因素在矿物重新加热过程中大部分消除了，如在包裹体加热时所含子矿物及沉淀的溶解，主矿物的热膨胀等。因此，当包裹体达到均一温度时，其空间大小没有什么明显的变化。

3. 包裹体被捕获密封后，没有外来物质的加入，包裹体本身物质也没有流出。美国的E·洛德等人专门为此做了实验，结

果证明在包裹体密封之后,物质的流入及流出是不大可能发生的,因而包裹体就可以作为原始的成矿溶液来研究。

4. 包裹体可以作为一个地球化学体系来研究。包裹体中被包裹的溶液是一个从纯水到含有60% (重量) 的盐水溶液,而且盐类在大多数情况下是以NaCl为主,因此,该溶液的物理化学性质应适合NaCl—H₂O体系的压力—体积—温度相图。同时,包裹体中所含的气体,以CO₂和水蒸气为最多,所以,如果把包裹体作为一个地球化学体系来研究的话,应大致适合NaCl—CO₂—H₂O体系的相图。

(三) 包裹体的分类

有关包裹体的分类方法目前是很繁多的,有的甚至十分繁琐。为了简单明了和实用起见,我们把它归纳成两种分类,即按成因分类和物理状态分类。我们在前面已经说明,包裹体的研究就是要为查明矿床的成因寻找根据,因此,包裹体的成因分类就显得十分突出和必要。另一方面,成矿溶液的本质特征往往在包裹体的物理状态上(如气液比、颜色、大小、分布特征等)表现出来,这些现象都比较直观,容易为人们区分和掌握。因此,我们认为把包裹体按成因和物理状态来分类是比较合适的。

1. 成因分类 包裹体按成因分成原生、假次生、次生三种。

(1) 原生包裹体 它是与主矿物同时形成的,即它所包含的溶液就是主矿物的成矿溶液(或硅酸盐熔融体),也就是说,这种包裹体是形成主矿物的成矿溶液的样品,它的性质代表了该矿物形成时的成矿溶液的成分和物理化学条件(温度、压力、pH值、盐度等)。见照片1, 2, 3, 4, 20。

(2) 次生包裹体 它是在矿物形成后,后期热水溶液沿裂隙、解理等进入先前形成的矿物进行溶解和重结晶过程中捕获形成的包裹体。它所包含的成矿溶液显然与先前形成的矿物的成矿溶液不同,而是代表了后期热液的性质。这也就是原生、次生包

裹体之间的本质上的区别。见照片5和6。

(3) 假次生包裹体 它是在主矿物结晶过程中, 由于应力和构造的作用, 使已结晶的矿物发生破碎和裂开, 以致成矿溶液进入这些裂隙发生重结晶而形成的包裹体。这种包裹体与原生包裹体相比, 虽然物理化学条件上有些改变, 但其溶液的性质却是相同的, 也就是说本质上是一致的。假次生包裹体与次生包裹体相比, 两者在主矿物中排列分布上有相似之处, 但它们所含的成矿溶液的成分及性质是不一样的, 所以, 两者在本质上是不同的。假次生包裹体对于已形成的原生包裹体来说是次生的, 但比后期热液形成的次生包裹体来得早, 也就是说, 它是在晶体生长的过程中形成的。因此, 我们把这种包裹体通俗地叫做假的次生, 真的原生。见照片13, 14。

2. 物理状态分类 物理状态分类主要根据相的区别以及各相所占的比例来划分。简单来说, 可以分为固体包裹体(也叫玻璃包裹体、硅酸盐熔融体包裹体)和气液包裹体。详细地可以分为以下四类:

(1) 玻璃包裹体 是指成岩作用过程中捕获的岩浆或硅酸盐熔融体所形成的包裹体, 它代表形成这种岩石的岩浆或硅酸盐熔融体的样品。这种包裹体常见于火成岩中(特别在火山岩中)。由于研究范围的限制, 我们把大矿物中包含的小的结晶矿物这样的包裹体不包括在内。见照片12。

(2) 气体包裹体 是指气液比($V_g/V_g + V_m\%$)大于50%的气液包裹体。 V_g 是气相的体积, V_m 是包裹体内液相的体积。见照片8。

(3) 液体包裹体 指气液比小于50%的气液包裹体。在这里, 我们把气液比等于零的包裹体(即无气相)叫做纯液体包裹体。见照片1, 2, 3, 4, 7。

(4) 多相包裹体 是指由气相、盐水溶液相及其他相组成的气液包裹体。它又可以分为以下几种:

①含液体 CO_2 包裹体 它由气相、液体 CO_2 、盐水溶液相所