

编 号：0175

内 部

科学技术成果报告

矿物中包裹体研究

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

矿物中包裹体研究

(内部发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: 12 字数: 302千字

1980年12月 北京 第一版第一次印刷

印数: 1—1,700册

科技新书目: 177—28

统一书号: 12176·38 定价: 1.75 元

目 录

前 言	(1)
第一章 矿物中包裹体及其在地质上的意义	(2)
第二章 成岩成矿的物理化学条件的研究方法	(5)
第一节 包裹体的形成机理、假设、分类及各类包裹体的鉴定方法	(5)
第二节 取样及样品的制备	(18)
第三节 测定成岩成矿温度的方法	(24)
一、均一法	(24)
二、爆裂法	(34)
三、淬火法	(42)
第四节 成矿压力测定的方法	(44)
第三章 成矿流体的化学成分及来源的研究方法	(47)
第一节 冷冻法	(48)
第二节 成分分析及稳定同位素研究的方法	(57)
第四章 在地质上的应用	(79)
第一节 南岭各种类型钨矿的气液包裹体研究	(79)
第二节 从包裹体研究探讨我国一些铁矿床的成因	(92)
一、鞍山弓长岭铁矿	(98)
二、海南石碌铁矿	(102)
三、宁芜铁矿	(117)
第三节 大厂、个旧锡矿气液包裹体特征和形成温度的研究	(130)
一、大厂锡石多金属矿床	(130)
二、个旧锡矿	(140)
第四节 华南一些类型的水晶矿床成矿溶液特征的探讨	(149)
第五节 华南几个花岗岩型铌钽矿的形成条件	(161)
第六节 用包裹体方法对一些岩石和陨石形成温度的测定	(172)
第五章 结束语	(183)
主要参考文献	(186)

矿物中包裹体研究

中国科学院地球化学研究所包裹体实验室

前 言

矿物中气液包裹体研究是地质科学的重要组成部分,也是地球化学的一种新方法。它对于查明矿床成因、了解成岩成矿的物理化学条件、以及指导找矿具有重要的意义。

我所在1958年开始从事包裹体工作,1972年正式建立实验室。八年来随着我国社会主义建设的需要及科学技术事业的发展,包裹体实验室发展较快,先后建立了包裹体均一法、爆裂法、淬火法、冷冻法和包裹体成分分析方法。几年来对国内不同类型的Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Nb、Ta、Hg、Sb、Fe、水晶等矿床以及一些岩石进行了大量的包裹体研究工作,积累了一批资料,结合地质工作,对某些矿床的成矿物理化学条件、热液性质、热液来源、矿床成因的解释提供了有用的数据。

本报告共分五章,第一章介绍了包裹体研究的历史发展,阐述了包裹体研究的目的和它在地质上的意义;同时也介绍了包裹体研究在工业上的意义。第二章的第一节介绍了包裹体研究的基本原理,着重论证了包裹体作为成矿溶液和岩浆的样品的意义,在此基础上讨论了包裹体的形成机理,形成之后的变化,包裹体研究的基本假设及所适合的体系。作者根据多年来的实践,提出了包裹体的分类,各类包裹体所代表的地质意义,包裹体的特征。尤其是包裹体的成因和物理状态分类,简单,明确而实用。此外还提出了用包裹体特征这个概念来推断成矿溶液的原始状态和演变的过程。

第二章和第三章着重介绍了包裹体的研究方法,即显微镜下的鉴定,均一法,爆裂法,淬火法,压力估算的方法,冷冻法,成分分析法和包裹体中液体的稳定同位素分析法。同时也介绍了样品制备及测定方法。所叙述的上述方法中有以下几个共同的特点:

1. 详细地介绍了方法的原理,比较了国内外所用的方法,提出了自己采用的办法;
2. 自力更生设计,制造了仪器,详细介绍了这些仪器的性能和特点;
3. 介绍了各种方法的测试条件,误差范围;
4. 介绍了上述方法的应用范围。

其中如成分分析、淬火法均是国内首创的。

第四章是研究成果,即是包裹体在地质上的应用。主要介绍在钨矿,铁矿,锡矿,铋、钼矿,水晶矿,陨石及岩石测定方面的应用。阐述了用包裹体方法在阐明矿床成因,成矿物质来源,在找矿方面的应用,以及在阐明成岩条件上的应用。这些成果是作者们亲自深入矿区,进行地质考察和取样,然后在实验室中做包裹体研究取得的。

第五章介绍了目前包裹体研究的可靠性,存在的问题和今后发展的趋向。这部分阐述了包裹体研究的新课题和发展的趋势。

上述各部分在学术思想上保持其独立性,而在次序上保持系统性,在内容上尽力做到全

面、相互照应及避免过多重复。整个报告既包括了理论基础，又阐述了具体的方法；既探讨了包裹体研究，又结合了在地质上应用的实践。所以本报告具有较广的适用范围，可供广大地质工作者，岩矿鉴定人员，包裹体工作者及大专院校地质、地球化学专业的人员参考。该项研究成果在全国科学大会和贵州省科学大会上均获奖状。

本报告是根据中国科学院地球化学研究所包裹体实验室多年来工作的实践和成果，在涂光炽教授的指导下，由卢焕章、施继锡、喻茨玫、李本超、方根保等同志执笔编写而成的。在编写及审查过程中得到谢先德、王联魁、李锡林、刘国彬等同志的指导和帮助。此外，本研究报告所涉及的地质资料与各地质单位的工作是分不开的。地质部和冶金部所属的一些地质队及矿山提供了不少资料和帮助。特此一併致谢！

应该指出，我国包裹体研究工作还远远跟不上科学技术发展的需要，整个研究水平与国外相比，差距还比较大。在国内普及和推广方面也还很不够。因此，迫切需要将已有的资料加以综合，向有关单位介绍。由于包裹体研究工作在国内外开展的时间不长，我们的实际资料也还不多，文中观点可能与某些单位有不同之处，缺点和错误在所难免，我们衷心地欢迎读者提出批评和建议，以便修改更正。

第一章 矿物中包裹体及其在地质上的意义

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晶格的缺陷或窝穴中，至今尚在矿物中存在并与主矿物（我们称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，不论是天然的还是合成的，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。主要有如下几点：

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、爆裂法、淬火法等来测定温度，其中测定矿床形成温度是由气液体包裹体来进行的，测定成岩温度是用玻璃包裹体、熔融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温度。

对于成矿、成岩时的压力，从包裹体研究的角度主要是用含 CO_2 包裹体来测定，目前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。根据气液包裹体对矿床中矿石和脉石矿物中包裹体成分和温度测定等方面的研究，发现气液包裹体中的溶液可能是一个高浓度的 $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 四组分为主的体系，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征。因此很多学者认为，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、地下原生水而形成的矿床，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，因此包裹体的研究能够用来区分矿床的类型。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。这方面的工作对于阐明成矿溶液的来源及性质,以及矿床的交代作用特别重要。成矿溶液的盐度、密度(或总矿化度)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、液相成分的分析来获得成矿溶液的成分、pH 值及稳定同位素的资料。这些资料不仅可以查明矿床的成因,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、热液的产生以及在结晶过程中矿液、岩浆与围岩、地下水相互作用的过程,也就是可以说明一个地质体的演化过程。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数据。

5. 用于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,作出所谓的热晕图。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或其他如深部的地下水、构造运动等因素对早期已形成的矿物作用的结果。研究它有助于查清成岩和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很有价值的。

7. 用于指导寻找热液盲矿体。气液包裹体在找矿勘探上的应用已作为地球化学勘探方法提出来了。目前用于寻找热液盲矿体的包裹体参数有:

- (1) 包裹体的类型和丰度,
- (2) 均一温度——热晕,
- (3) 爆裂温度和爆裂活度——蒸发晕,
- (4) 盐度,
- (5) 包裹体溶液中K/Na、 H_2O/CO_2 比值及一些指示元素含量。

其中用得最多的是热晕和蒸发晕。

A. 热晕 所谓热晕是指在热液矿床周围存在的一条条等温线,这种等温线可由包裹体测温方法求得,这种由等温线组成的图就叫做热晕图。鉴于热液矿床常位于一定的温度范围内,因此根据这种图,结合地质情况,就可以为寻找热液盲矿体提供一些依据。

B. 蒸发晕 这是由于热液对周围渗透扩散的结果,具体反映在一定类型的包裹体离矿体越近数目越多,越远则逐渐减少。因此用包裹体爆裂法测出不同采样点样品中包裹体的相对脉冲数,按其脉冲峰值的高低就可以画出蒸发晕曲线,这种曲线与地球化学探矿的原生晕曲线十分吻合,所以蒸发晕可以为寻找隐伏的热液盲矿体提供依据。

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)的制造质量。设法使其中所含的包裹体数目减少。国外还利用包裹体检查钢铁的质量。检查的标准是根据钢铁中所含的气体和固体包裹体的数目多少。

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

从上面的叙述可以知道,包裹体研究主要有以下三个目的:

1. 查明地壳中流体(包括成矿流体)的地球化学性质和在地质过程中的行为;

2. 了解天然矿物和人工晶体生长条件;
3. 作为矿床勘探的理论基础和重要手段之一。

包裹体研究虽然在地质上有这么多应用,但其发展的道路是相当不平坦的,归结起来,国外包裹体研究的发展过程,大体可以分为以下三个阶段:

第一阶段(1858—1950年):

矿物中包裹体很早就有发现。1858年英国的G. 索尔比(Sorby)应用矿物中包裹体来测定均一温度,并提出了一个计算公式和图表。但是长期以来,他的发现并没有引起人们的重视。直到1933年,W. H. 纽豪斯(Newhow)用均一法测出有争议的密西西比型矿床的温度,并认为是在低温条件下形成的,才引起人们的广泛注意,开始采用均一法来测定一些矿床的温度,并发现了各种类型的包裹体。

第二阶段(1950—1967年):

这是包裹体研究奠定基础的阶段,其主要表现为:

1. F. G. 施密斯(F. G. Smith)在1953年总结了以往发表的500余篇包裹体文献,提出了包裹体研究的状况和主要的发展趋向,推动了这项工作的前进。
2. 发表了一系列包裹体研究的专门著作,如H. П. 叶尔马可夫(Ермаков)的“成矿溶液的研究”一书和E. 洛德的“作为成矿溶液样品的气液包裹体研究”等为包裹体研究奠定了基础。
3. 建立和逐步完善了气液包裹体均一法、爆裂法、冷冻法、压碎法和成分分析等手段。并分别设计和制造了各种方法所需的仪器。
4. 对世界上很多热液矿床进行了气液包裹体的研究,得出了一大批数据,如温度、压力、盐度、pH值、密度和气、液相成分。这就为了解成矿溶液的性质提供了各种参数。

第三阶段(1967年—至今):

这是包裹体研究蓬勃发展的阶段,其主要特点是:

1. 开展包裹体研究的国家和从事包裹体研究的人数大大增加,据不完全统计,全世界已有四十余个国家和近千名包裹体研究工作者,例如苏联、美国、法国、英国、澳大利亚、加拿大等国家在从事这项工作。在上述基础上,1968年在国际地质学会的会议上,成立了国际成矿溶液包裹体委员会(COFFI)。国际成矿溶液包裹体委员会成立之后,开过几次学术会议,并出版了九本包裹体论文集。
2. 运用包裹体研究方法,大量地开展了矿床的研究,解决了不少矿床的成因问题,提出了有关的成矿理论。
3. 开展了包裹体中气、液相成分分析,成矿金属元素的测定,包裹体中液相的稳定同位素(包括H、O、C)和同位素年龄的测定,开始用包裹体的方法来探讨成矿物质的来源,岩浆到热液的演化过程以及成矿溶液与围岩交代作用的过程。
4. 开始用包裹体方法对各种岩石和月岩、陨石的形成条件作了一些研究,尤其是对各种火山岩、花岗岩、变质岩、橄榄岩、碱性岩以及地壳深部的一些物质的研究,为探讨岩石的形成条件提供了一些资料。
5. 开展了用包裹体方法来寻找热液盲矿体的工作,主要在已知矿区上作出验证,少量是在未知矿区上进行的。
6. 一些先进的分析测试技术及方法应用到包裹体研究中,例如中子活化、电子显微镜、离子探针、色谱—质谱联用、电子计算机等新技术,从而提高了包裹体研究数据的正确性及精确性。

表1—1 1967—1978年已发表的包裹体文章的分类及所占比例

类别 总计	矿床	岩石	用包裹体方法找矿	包裹体形成机理	包裹体研究方法	月岩、陨石中包裹体	压力测定	包裹体中同位素测定	金刚石中包裹体	其他
750	240	185	50	50	120	20	13	30	22	20
占%	32.00	24.67	6.67	6.67	16.00	2.67	1.73	4.00	2.93	2.67

7. 发表了大量的包裹体研究论文(见表1—1), 出版了包裹体的论文集和专著, 这一方面突出的有叶尔马可夫的“矿物中包裹体的地球化学系统”一书和E. 洛德的“气液包裹体成分”一书。从这些书和论文中说明矿物中包裹体研究近几年仍主要着重于矿床方面, 开始用他来研究岩石, 用包裹体方法找矿等, 同时, 对包裹体的研究方法和基础理论也进一步进行了探索。

我国的包裹体工作开始很早。古代劳动人民利用水晶和玛瑙中的气液包裹体雕刻成各种各样精致的工艺品。但在解放前, 包裹体研究工作一直得不到开展; 只是在解放后, 才获得了重视和发展。近几年来, 我国的包裹体研究工作发展很快, 许多单位建立了实验室, 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有色金属、黑色金属、稀有元素、放射性矿床、水晶矿等作了大量的温度测定, 收到了较好的效果; 并据此对矿床的分带、矿床的成因与热液的性质作出了较合理的解释; 同时还对一些矿区作出了用于指导找矿的热晕和蒸发晕图。1977年11月召开了全国第一次矿物中包裹体学术会议, 检阅了我国在这个领域中所取得的成就, 提出了今后发展的趋向, 推动了我国包裹体工作的发展。

总之, 国内外在矿物中包裹体研究方面已取得了较大的进展。

(卢焕章执笔编写)

第二章 成岩成矿的物理化学条件的研究方法

本章讨论包裹体的形成机理, 包裹体的分类, 包裹体的鉴定, 用包裹体测定成岩成矿压力、温度的方法。这是包裹体研究的基础部分。

第一节 包裹体的形成机理、假设、分类及 各类包裹体的鉴定方法

一、包裹体的形成机理

(一) 包裹体的捕获

包裹体是怎样形成的? 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, 这些问题虽然日趋明瞭, 但尚未完全解决。下面我们根据现有的资料, 将形成包裹体可能的机理归纳如下:

1. 由于生长速率的改变。

晶体生长的实验表明，晶体生长的速度是和生长溶液的过饱和度成线性关系的，对于任一晶体，生长速率超过某一数值（即溶液的过饱和度很高），活泼的结晶中心就愈多，晶体呈树枝状生长，这时形成的生长层就带有许多缺陷、窝穴，成矿母液常充填、密封在这些凹陷内，在新的生长层中形成许多包裹体。继后，当溶液的过饱和度降低，生长速度减慢，正常的生长层可复盖于快速的树枝状生长层之上，这时形成了更多的包裹体。这种情况在天然水晶中也常见到。天然水晶中的原生包裹体和裂隙，常见于晶体的根部及下部，常呈不透明，而其顶部和中部常呈透明（包裹体很少），这是由于在天然封闭系统（晶洞中），结晶开始时过饱和度较高，晶体生长迅速，捕获的包裹体也就多，致使水晶不透明，而到结晶中后期，成矿溶液浓度降低，生长速率也随之降低，晶体的完整性提高，包裹体和裂隙变少，也就是晶体的缺陷和窝穴变少，因而晶体就显得透明了。

另一方面，除了浓度的影响外，晶体生长的速率，也常受温度的影响，温度下降，使得溶解度降低生长速率降低，这时也会产生某些缺陷，而形成包裹体。

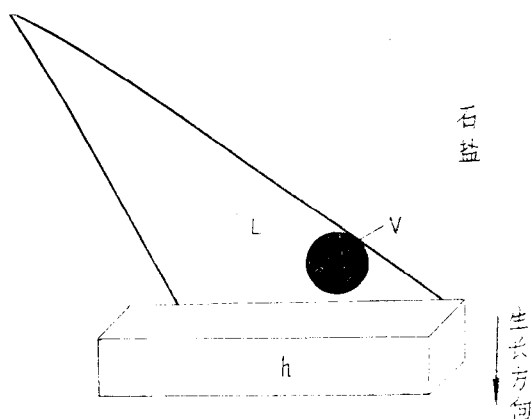


图2-1 石盐中一个包裹体的形成过程
V 气相，L 液相，h 石膏

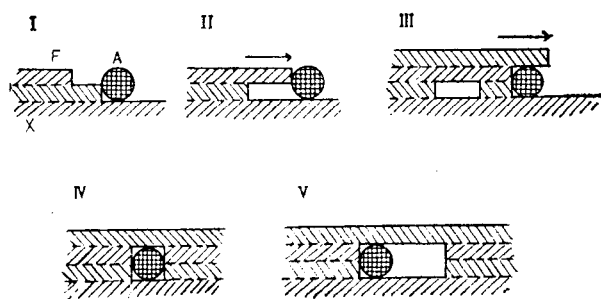


图2-2 杂质致使形成包裹体的过程

I. 杂质A掉到正在生长的晶体X的表面，晶体是在流体（F）中生长的。II. 上面的生长层把杂质往前推移，由于杂质的阻挡，下一层则形成了缺陷，未生长。III. 杂质又被向前推移，密封前述的缺陷成为包裹体（图中白色的部分）。IV. 杂质被密封了。V. 或者杂质阻挡后形成包裹体。

2. 由于晶体生长机制的改变。

由于晶体生长机制的改变，例如从螺旋状生长改为层状或树枝状生长，常常形成不少的缺陷和窝穴。

3. 由于溶液中一定组分浓度的变化。

生长溶液浓度的变化，特别是溶液中杂质的作用，使得有些晶面生长快，有些晶面生长慢，也容易产生一些缺陷。例如天然水晶中透明生长带和浑油带交替出现。此外，矿物的间断生长，这在漫长的地质过程中是屡见不鲜的。生长中的矿物由于种种原因而停顿，也可能重新开始，在这种浓度变化、生长过程交替的变化中就容易产生包裹体。

4. 由于固体质点、液滴或气泡使生长面局部受阻的影响。

图2-1是石盐中一个包裹体的形成过程，在石盐的生长方向上，有一个石膏晶体阻挡了溶液的充分供给，使石盐中出现缺陷，密封成为包裹体，然后在温度下降时，分出气液相。

图2-2表明一个杂质掉到生长晶体的表面时形成包裹体的过程。

5. 由于溶液中的湍流的影响。

6. 由于在生长晶体中显微构造

或长的镶嵌构造的很快发展。

7. 由于外力的作用,使晶体产生裂隙,成矿溶液又进入裂隙中,溶解了原来的晶体,重新结晶,在这过程中捕获了包裹体。

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、窝穴有关,就其外因来说与外力作用有关,但是自然界的作用相当复杂,时间又相当长,所以形成机理也是十分复杂的。

(二) 捕获之后的变化

包裹体捕获之后有什么变化,特别是成分、空间上有什么变化,这是包裹体研究的重要问题。下面我们分以下几个方面来叙述。

1. 体积上的变化

体积的变化是很明显的,包裹体中的流体被捕获之后,由于温度下降,溶液中一定组分的溶解度降低,另外,包裹体中的壁是十分参差不齐,它们相当于一些晶芽,于是沉淀就在包裹体的壁上进行。据实验测定,目前室温下见到的包裹体体积比原捕获时包裹体的体积大约减少1—2%。一些人认为这对包裹体的均一温度测定几乎没有什么影响,因为当加热的时候,其沉淀物又溶解,这时包裹体又恢复到原来的体积。但是,在这里必须指出的是,在包裹体壁上沉淀的矿物的再溶速率与一个包裹体均一所需的时间相比,显得很不相称,前者要比后者慢得多。因而在做均一法实验时要缓慢升温,使其尽可能达到平衡。

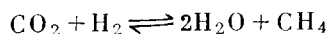
当体系达到平衡时,由于表面能最小,包裹体的形状常呈负晶形或者结晶学的几何状态。但是如果是一种快速的平衡,甚至是不平衡时结晶,则结晶的形状是不规则的,随之而来的包裹体形状也是不规则的。

2. 位置上的变化

包裹体捕获之后的第二种变化是位置上的变化。据报道,包裹体在位置上的移动是由于热梯度的力或者浮力使包裹体发生位移,这在地质时代中是可能的,尤其在碱金属卤化物中包裹体会随着热梯度力位移。人工晶体生长实验也模拟了这一过程。

3. 成分上的变化

包裹体捕获之后,有没有流进和流出,这个问题对于包裹体研究十分重要,E. Roedder和B. Skinner用实验证明没有流出和流进。但是,事实上,成分还是有微弱的变化的,例如 H_2 常常有逸出,另外如果加热到 $700^{\circ}C$ 时,会发生下列反应:



使得包裹体中成分发生变化。

另外,变质岩中的包裹体,当发生前进变质作用时,液体包裹体常常被蒸发干,致使其成分发生变化。

4. 包裹体的消失

已经形成的包裹体由于下述原因而消失了:

(1) 过热使得包裹体爆裂而使其成分呈气体逸出,只保留其空腔。这在地质条件下是十分可能的,例如花岗岩侵入使其接触带发生热变质。

(2) 后期的重结晶作用,使早先形成的大量的原生和次生包裹体被破坏掉。

从上述的讨论中,我们可以认为包裹体捕获以来,虽然发生了种种变化,但是这些变化总起来说是不太重要的。

5. 亚稳定性

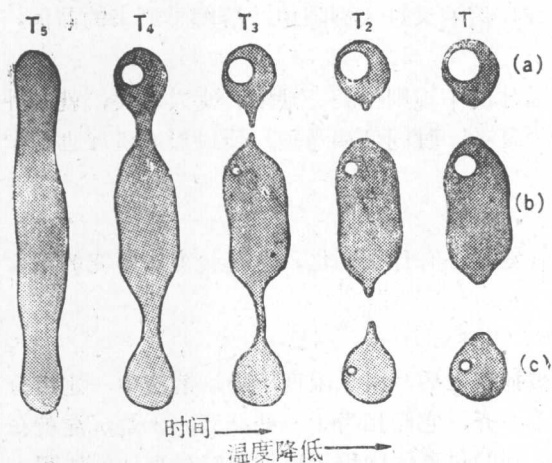


图 2—3 卡脖子包裹体的形成示意图

当晶体生长时形成了管状的窝穴或者大的窝穴时，则可出现“卡脖子”和“叠瓦式”两种现象，这两种现象主要是由于亚稳定性所致。所谓卡脖子是指原先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。叠瓦式重结晶是发生在晶体中较大的窝穴中，在重结晶结果下形成了成群分布的叠瓦式包裹体。这两种情况可以通过图 2—3 和 2—4 形象地予以说明。

二、包裹体研究的假设和体系

(一) 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前提。

1. 捕获于包裹体中的成矿溶液应当是

一个单一的均匀相，并且成矿溶液在捕获时充满了包裹体的整个空间。

2. 在包裹体密封之后，其空间大小、成分等没有发生明显的变化。

3. 整个包裹体可以看作是一个封闭体系来研究。

(二) 包裹体所适合的体系

根据包裹体中成分分析的研究，包裹体中主要组分是 H_2O ， $NaCl$ ， CO_2 等，因此，包裹体中溶液的性质应适合于 $H_2O-NaCl-CO_2$ 体系的一切热力学性质，但由于目前尚未见到这三元体系的相图，故在这里选用了 $H_2O-NaCl$ 体系和 H_2O-CO_2 体系的相图，分别列于图 2—5、2—6、2—7。

以上是关于流体包裹体所适合的体系，对于玻璃包裹体和熔融包裹体，根据对其成分分析，认为应适合于 $K_2O-FeO-Al_2O_3-SiO_2$ 体系。从这个体系中不仅可以得出这种岩浆包裹体的 P、T 和成分的范围，而且可以说明从岩浆到热液之间的不混溶性。

有了上述的相图，我们就不致于出现有关这方面的错误。为了使理解得直观起见，我们列出了 $H_2O-NaCl$ 体系和 H_2O-CO_2 体系中包裹体的性状。

三、包裹体的分类

有关包裹体的分类方法目前是很繁多的，有的甚至十分繁锁；为了简单明瞭和实用起见，我们把它归纳为两种分类，即按成因分类和室温下的物理状态分类。考虑按这两种分类的原因，一方面，我们前面已经说明，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，成矿溶液的本质特性往往在包裹体的物理状态（如气液比、颜色、大小和状态等）上表现出来，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。

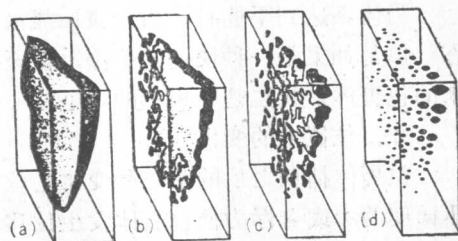


图 2—4 叠瓦式包裹体形成示意图

a→d. 表明一个温度降低的过程，被包裹的流体随着时间的推移，温度下降，溶解度降低，结晶出固体，致使液体互相分割成为小的气液包裹体。

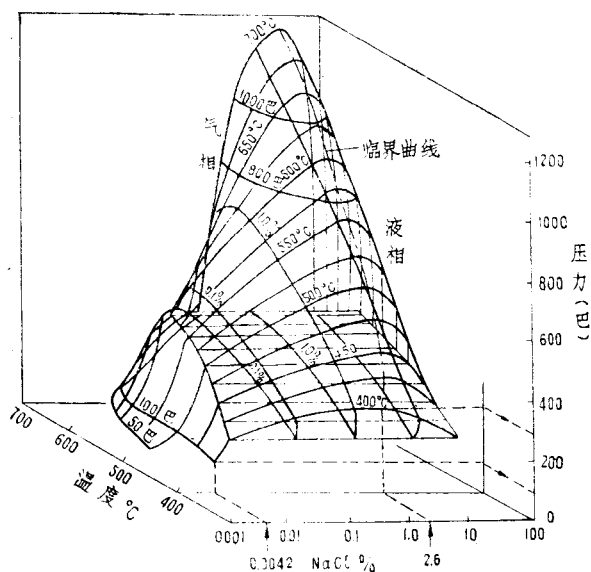


图 2—5 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系的P-T-X相图

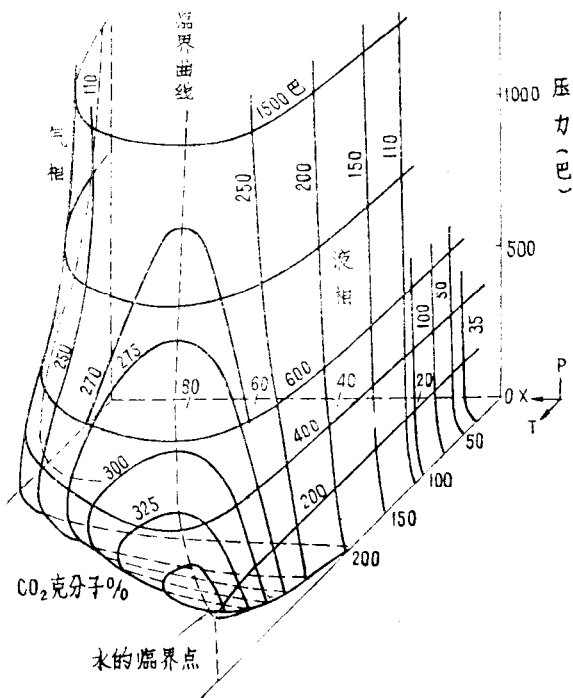


图 2—6 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系的P-T-X相图

(一) 按成因分类

包裹体按成因分类分成原生、次生及假次生三种。

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，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形成时的成分和物理化学条件（温度、压力、pH值等）。

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；它所含的溶液显然与先前形成的矿物的成矿溶液是不同的，而是代表了后期热液的性质，这也就是原生和次生包裹体之间本质上的区别。

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，而成矿溶液再进入这些裂隙发生重结晶时形成的包裹体。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，它与次生包裹体相比，虽然它们在主矿物中排列分布上有相似之处，但其溶液的性质不一样，其本质上是不同的。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。

(二) 按物理状态分类

物理状态的分类主要根据在室温下所存在的相的区别以及各相所占的比例来划分包裹体类型的。简单来说可以分为固体包裹体和流体包裹体，详细见表2—1。

固体包裹体从成因上来讲是岩浆包裹体，它可分为三类包裹体：结晶质包裹体是指矿物中包裹的小矿物，这在岩石中很常见。结晶质—玻璃质包裹体和玻璃包裹体，是岩浆或硅酸

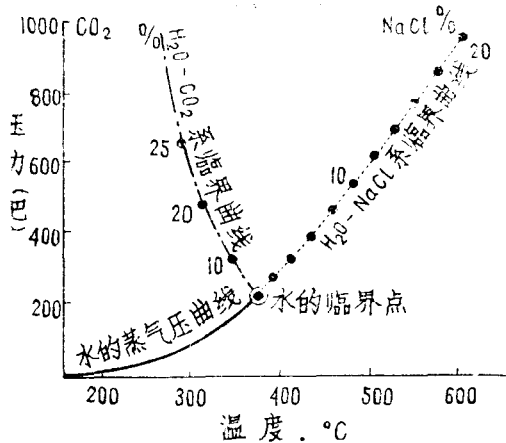


图 2—7 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系和 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系的临界曲线

体三种。所谓多相包裹体是指除气相和液相外，尚存在其它相的包裹体。在气体包裹体和液体包裹体之间实际上存在以下几种包裹体：

纯液体包裹体，气液比为 0；

液体包裹体，气液比为 1—50%；

临界状态气液包裹体，临界状态的气液比；

气体包裹体，气液比为 51—99%；

纯气体包裹体，气液比为 100%。

由于液体包裹体和气体包裹体较其他三种包裹体常见，故把它们列出来作代表。下面详述几种常见的包裹体的特点：

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。这种包裹体代表形成这种岩石的岩浆或硅酸盐熔融体的样品。它由玻璃质+气孔组成。

2. 熔融包裹体，它和玻璃包裹体一样同属于岩浆包裹体，不过熔融包裹体只见于侵入岩中。熔融包裹体由结晶质+玻璃质+气孔组成。所以也叫结晶质—玻璃包裹体。

3. 气体包裹体，是指气液比 ($V_{\text{气}} / (V_{\text{气}} + V_{\text{液}})$) 大于 50% 的气液包裹体。 $V_{\text{气}}$ 是气相占包裹体内的体积， $V_{\text{液}}$ 是液相占包裹体内的体积。

4. 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 0 的包

盐熔融体在成岩过程中被包裹在矿物中，由于所处的地位（或深度）不同，因而冷却速率也不同，而形成的两种包裹体，前者见于侵入岩中，由于侵入岩有一定的深度，散热慢，因此被包裹的岩浆或硅酸盐熔融体大部分结晶出来（成为结晶质），小部分不结晶成为玻璃质。由于从岩浆变成结晶质或玻璃质，体积缩小，所以出现一个气相。玻璃包裹体见于火山岩，次火山岩中，由于火山作用喷出地表，骤冷致使其由玻璃质和气孔组成。如果冷却速率较慢，在玻璃质中可见到一些小的子矿物出现。

流体包裹体又叫气液包裹体，它又可以分为气体包裹体、液体包裹体和多相包裹体。

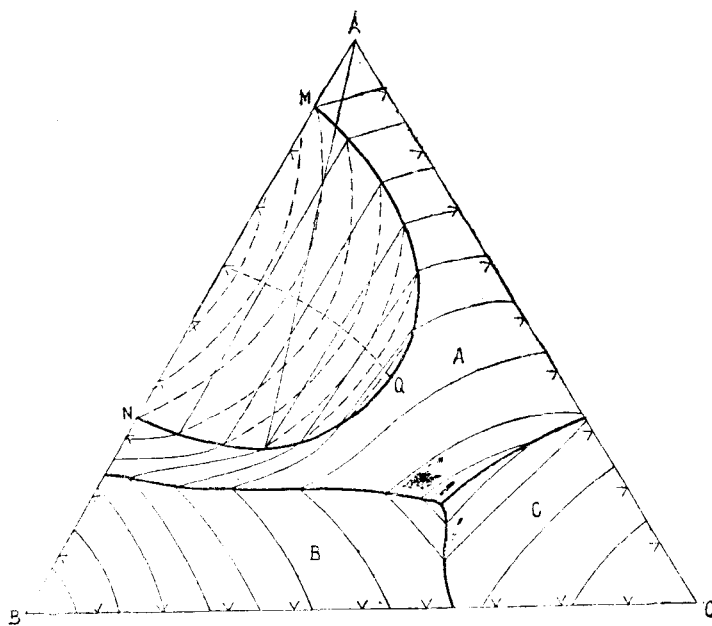


图 2—8 $\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 体系的相图
图中 A 端为 $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO})$ ，B 端为 SiO_2 ，C 端为 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)$

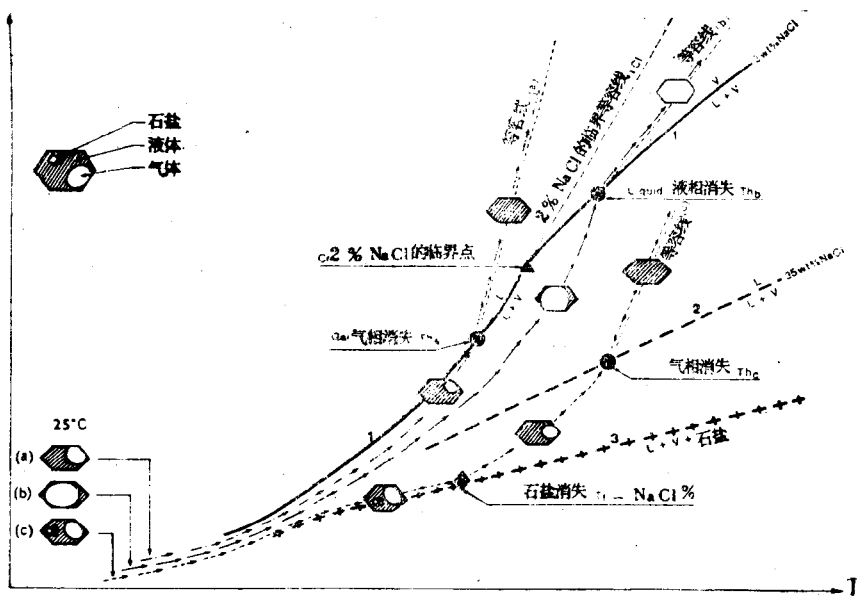


图 2—9 $H_2O-NaCl$ 体系中包裹体的性状

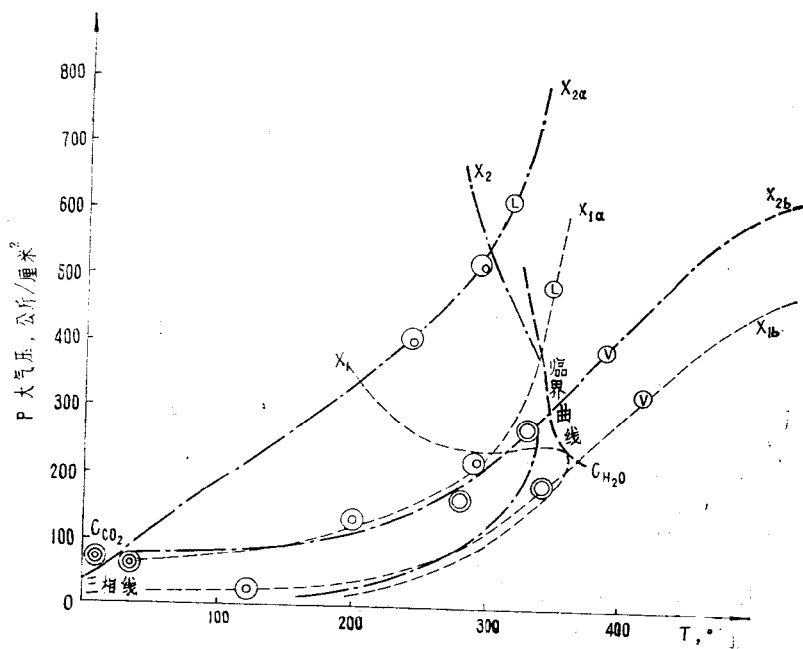


图 2—10 H_2O-CO_2 体系中包裹体的性状

X_1 4 克分子% CO_2 的 PTX 图的切面

X_{1a} 在 $20^\circ C$ 时, 水占 60% 的含 4 克分子% CO_2 的包裹体的等容线

X_{1b} 在 $20^\circ C$ 时, 水占 20% 的含 4 克分子% CO_2 的包裹体的等容线

X_2 16 克分子% CO_2 的 PTX 图的切面

X_{2a} 在 $20^\circ C$ 时, 水占 50% 时的含 14 克分子% CO_2 包裹体的等容线

X_{2b} 在 $20^\circ C$ 时, 水占 20% 时的含 17 克分子% CO_2 包裹体的等容线

裹体（即包裹体内无气相）称为纯液体包裹体。

5. 多相包裹体，是指由气相、盐水溶液相及其它相组成的气液包裹体。它又可以分为以下三种：

（1）含液体二氧化碳包裹体，它由气相、液体 CO_2 、水溶液相所组成。液体 CO_2 的鉴定是基于气体 CO_2 和液体 CO_2 之间的相变是在20—32℃之间，其临界点接近31.5℃，超过这个范围，液体 CO_2 就变成气体 CO_2 了。

（2）含子矿物包裹体，它是因为所包裹的溶液中由于过饱和而析出了子矿物。经过鉴定，出现在包裹体中的子矿物一般有石盐、钾盐、方解石、石膏、磷灰石、萤石、赤铁矿等。这些子矿物的鉴定，一方面是借其光性，另一方面可以通过电子探针等方法来测定。

（3）含有机物或与水不相混溶的液体的包裹体。它一般含有一些有机液体（如油珠、各种烷类等）和无机液体（如 H_2S 等）。

我们将包裹体的二种分类法的产出特征列于表2—2和2—3。通过这两个表，我们就把包裹体的物理状态分类和各类包裹体所代表的地质意义联系起来了。当我们在显微镜下看到某一种包裹体，我们就可以对它所代表的成矿溶液的特征有一概略的了解。

四、包裹体的显微镜下观察

包裹体一般都很小。根据显微镜下观察，大于0.1毫米的包裹体是很不常见的。国内目前发现最大的气液包裹体直径在5厘米左右（在水晶和玛瑙中），但一般是小于0.01毫米。电子显微镜的研究表明，大量的包裹体在 2×10^{-5} 毫米左右。由于包裹体本身很小，因而它的总体积小于整个样品体积的1%。包裹体虽然很小，但其数量却相当多，据统计，在含矿的石英中，每立方厘米中有100万到1000万个包裹体，有人甚至认为在乳白色的石英中，包裹体的数目每立方厘米可达1亿个。由于包裹体的数目很多，在一般的显微镜下均可以见到，这就为包裹体的研究和应用提供了方便。

（一）各相的区别与鉴定的方法

气液包裹体一般由气相和液相所组成，除此之外，尚有其他各种相，在显微镜下对包裹

表2—1 包裹体的分类

分类原则	类	别
成因分类	原生包裹体 假次生包裹体 次生包裹体	
物理状态	固体包裹体	$\left\{ \begin{array}{l} \text{结晶质包裹体} \\ \text{玻璃包裹体} \\ \text{熔融包裹体（玻璃—结晶质包裹体）} \end{array} \right.$
分 类	流体包裹体	$\left\{ \begin{array}{l} \text{气体包裹体} \\ \text{液体包裹体} \left\{ \begin{array}{l} \text{含子矿物包裹体} \\ \text{含液体}\text{CO}_2\text{包裹体} \end{array} \right. \\ \text{多相包裹体} \left\{ \begin{array}{l} \text{含液体}\text{CO}_2\text{包裹体} \\ \text{含有机物包裹体} \end{array} \right. \end{array} \right.$

注：流体包裹体又叫气液包裹体，固体包裹体又叫岩浆包裹体

表2—2 包裹体产出特征表

物理状态分类	成因分类	产 状
气体包裹体	原生 假次生 次生	气成—高温热液矿床（伟晶岩、矽卡岩、气成热液矿床）、火山岩中
液体包裹体	原生 假次生 次生	热液、热水溶液矿床及受热液蚀变的岩石中
多相包裹体	原生 假次生 次生	变质岩、沉积岩、岩浆岩中及矿床中
玻璃包裹体	原生	喷出岩、浅成岩、斑岩
熔融包裹体	原生	侵入岩

表2—3 一些包裹体的特征和成因意义

类别	室温下包裹体特征	加热时的包裹体特征		成因	
		均一时的情况	均一后所含物质的状态	原始成岩成矿介质状态	包裹体成因
玻璃包裹体	由玻璃、气体和子矿物等组成，部分包裹体中见液体	逐渐熔化，子矿物溶解或结晶变粗，气孔消失	岩浆或硅酸盐熔融体	岩浆岩和火山岩、次火山岩	原生包裹体
气体包裹体	分三种情况 1. 全为气体 2. 气液比 $>60\%$ 3. 处于临界状态	分二种情况 1. 液相消失 2. 在临界点转换	流体	如伟晶岩、云英岩、矽卡岩、气成热液矿床	原生、假次生、次生
液体包裹体	分三种情况 1. 全为液体 2. 气液比 $<60\%$ 3. 处于临界状态	1. 气相消失 2. 在临界点转换	流体	热液矿床、热水和卤水矿床	原生、假次生、次生
含NaCl子矿物包裹体	由气相、液相、子矿物相组成	加热时子矿物溶解，气相消失	高盐度的流体或盐水熔融体	可能是岩浆分异出来的盐水溶液，常见于斑岩、伟晶岩等	原生
含液体CO ₂ 包裹体	由气相、水溶液相、液体CO ₂ 相等组成	加热时液体CO ₂ 相消失，最后均一成一相	流体	常见于变质岩及含挥发分高的矿床	原生、假次生、次生
熔融包裹体	由结晶质，玻璃质和气孔所组成结晶质可以有几种	加热时结晶质和玻璃质熔融，逐渐填满气孔，最后均一为熔融状态。	岩浆或硅酸盐熔融体	侵入岩	原生

体中各个相进行区分是一个重要的内容。

根据我们和美国的E. 洛德的资料, 我们对世界的很多矿床的1000个气液包裹体进行了统计, 现将结果列于表2—4。

从表2—4可知, 在气液包裹体中除了气相和盐水溶液相外, 尚有其他各种相。在1000个被统计的气液包裹体中, 除盐水溶液及气相外, 其中液体CO₂见到的几率最高, 占25.8%, 因此这对于我们考虑问题是很重要的。除表上所列的外, 还有石英、绿泥石、磷灰石、锆石、白云母磁铁矿、十字石、榍石、白云石、硅铈石、氟盐、钾冰晶石、针铁矿、赤铁矿、氯硼钠石、冰晶石、氯化亚铁、黄玉、黄铁矿、氟硼镁石、水云母、钾长石、硼砂等子矿物, SO₂、SO₃等气体以及一些尚未识别的相。现将包裹体中各主要的相的大致区别叙述如下(见表2—5):

表2—4 包裹体中一些相的统计(共1000个)

	液 体	NaCl	KCl	碳酸盐	有 机 相			液 体	其它相
	CO ₂ 相	子矿物	子矿物	子矿物	气 相	液 相	固 相	H ₂ S相	
见到包裹体个数	258	159	59	40	61	77	51	32	263
所占百分比	25.8	15.9	5.9	4.0	6.1	7.7	5.1	3.2	26.3

1. 气相、液相的鉴定方法

气液包裹体中气相的成分, 根据研究主要是由水蒸气、CO₂、CO、SO₂、SO₃、N₂、CH₄、Ar等组成, 其中主要是水蒸气, 其次是CO₂。

液相的成分主要是一个0—60% 盐类的水溶液, 盐类的成分有Na⁺、K⁺、Ca⁺⁺、Mg⁺⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、CO₃⁻²、SO₄⁻²等, 其中以Cl⁻和Na⁺为主。

包裹体中气相、液相的鉴定主要依据如下几点:

(1) 气相一般存在于液相之中, 由于比重和表面张力的关系, 它将尽量处于最小表面积形态, 因此呈球形或椭圆形, 故又称气泡。

(2) 当倾斜样品或在一个热梯度影响下, 液相中的气泡可以移动, 有时在包裹体中见到气泡来回不停地跳动。

(3) 在加热过程中, 气相会发生收缩或扩大, 或者是液体发生收缩或扩大。

(4) 水溶液相可以借其折射率来确定(纯水的折射率为1.333)。

(5) 冷冻时, 当温度下降到摄氏零下若干度时, 溶液能冻结并析出盐类沉淀, 气相也略有收缩。

(6) 把包裹体压碎时其中的气体和液体便释放出来。

2. 子矿物的鉴定

子矿物的鉴定主要根据其晶形、光学性质、成分以及加热、冷冻时的变化来确定。晶形、光学性质和物理性质可用岩石显微镜在高倍数下测定各种参数(如颜色、晶形、折射率、光性等); 加热和冷冻是在显微加热台和冷冻台上进行的; 成分则可用电子探针等进行分析。