

包体矿物学

何 知 礼

赠

冶金部矿冶研究院

资料室

北京钢铁学院

1979年10月

前 言

近年来,矿物包体的研究,作为一种新技术,在国外获得了迅速发展。每年有数以百计的论文发表。除早已从事这方面研究的英、美、苏、加、日、法、德等科学发达国家外,许多发展中国家也在积极开展研究。目前,全世界已有几十个国家从事这方面工作。自1967年成立国际成矿溶液包体委员会(COFFI)以来,每次国际地质学会上,差不多都有包体研究方面的学术活动。一些国家也相继成立了国家包体委员会或称为国际成矿溶液包体委员会的分会。仅苏联分会,1970年即已有450名研究者,分布在全苏50个地区,其中莫斯科有20个机关和160个研究者。

我国包体研究,始于六十年代初。但直到近几年,才得到应有的发展。去冬,中国科学院、冶金部、国家地质总局、二机部及教育部五大系统,在广西联合召开了《全国首届包成学术会议①》。参加单位100余个,出席代表200余人,提交论文报告100余篇。其中包体方面论文报告占三分之二左右。

包体研究,在地质上有着广泛的实际用途。例如,在解决一些长期争论的著名矿床(如全世界很多地区都有广泛分布的密西西比式大型层状矿床)的成因和成矿规律以及成矿成岩条件方面,已取得了很大成就。而且,已建立了利用气-液包体普查勘探岩浆期后矿床和盲矿体的一些新理论、方法和设备。下列一些包体数据类型,都有可能用于找矿勘探新矿床和寻找盲矿以及用于矿床学研究。这些数据类型包括:均化温度、爆裂活度、子晶丰度、 CO_2 丰度、某些放射性元素(如Rn)的丰度、盐度、 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ 比值、成矿压力,甚至矿物烧失量等。虽然,其中有些只在少数矿床,甚至个别矿床上,进行过试验,但其效果则是比较明显的。苏联、中国、美国、日本、英国和加拿大等都在这方面作过一些很有意义的工作,并获得了一定成果。例如我国,继我们1966年首次在陕西铜厂夕卡岩型铁矿床上发现有原生蒸发晕后,又陆续在其他一些矿床上发现有类似的晕存在,并证实一些内生矿床周围有热晕分布。这就为利用气-液包体普查新矿床和寻找盲矿以及研究矿床成因提供了新的途径或研究实例。

包体研究的原理、方法与设备,还可用于许多其他科学领域。例如,用于检查和改善钢以及其他一些珍贵人造材料(如压电石英和宝石)等的质量。

就包体研究意义与一个多世纪以来(特别是近廿多年来)所积累的大量丰富资料及其所取得各项实际成就而言,包体研究已成为一个具有广阔远景的先进科学领域,正吸引越来越多的人来研究它。

1977年,我们第一次提出,将这一可能的新兴的分支科学命名为包体矿物学(可英译为Inclusion Mineralogy),明确提出了它的主要任务。并先后获得出席冶金地质科研工作规划会议和全国首届包成学术会议的一些长期从事地质科研工作的专家或同行的支持。同时,在1978年召开的《全国第二届矿物岩石地球化学学术会议》①上,再次获得了对包体矿物学这一名词的承认,并在有关计划中建议我们主编一套包体矿物学。

根据包体研究的巨大意义和科学发展的需要,全国首届包成学术会议曾建议在全国推广

① 全国首届包体及成岩成矿实验学术会议简称。

包体及成岩成矿方面的实验研究。并建议在有关高等学校新设这方面的课程、举办专门学习班以及在有条件单位招收研究生。

本年,在我院为冶金部岩矿进修班学员首次开设了包体矿物学这门新课。本书就是我们讲授上述课程时的讲稿补充修改而成。它可供科研、生产以及有关高等学校参考或教学。

鉴于包体矿物学的研究领域十分广阔,所涉及问题很复杂,只能对有关主要问题进行简要叙述。但在内容上,仍试图既叙述一些常用的或简易的方法,以便于在野外试用;又介绍一些最新技术或较完善方法,以便一些有条件单位应用。同时既着重叙述包体矿物学的基本原理、方法和设备,又介绍一些应用实例。考虑到某些基本设备如热台、冷台及爆裂仪等,目前国内市场上尚无定型产品供应,而其本身又不太复杂,因此,我们对各种类型的这类设备进行了较多的介绍,以便需要者按具体情况装置时,有较多的选择余地和参考资料。

包体矿物学的最终目的是为了帮助找矿,因此,编写了第五章。编写第六章的目的是考虑到下述情况:包体矿物学虽然具有很多优越性和实际用途,但它和任何其他新技术一样,有时也需要与其他方法配合,才能取得最好的效果。为此,在该章叙述了一些其他地质温度计。它们是非包体测温中一些较重要的方法,除一部分外,其他都能定量或半定量地测定地质温度。章末还附有地质剖面测压法与闪锌矿压力计。第七章是本书的附录,包括137个附表。这一章集中反映了国外许多矿床(包括一些著名矿床)的成矿温度、成矿压力以及成矿溶液的成分和性质。这些丰富资料,是通过包体研究取得的,而用其他方法是很不易获得的。它为我们了解国外这些不同类型矿床的成因以及其形成时的物理地球化学作用,提供了一些可靠的科学依据。

上述三章主要供读者研究参考,它们对实际工作也可能有所帮助。若本书作教学用,在讲完其他各章后,这三章中的有些内容,也可作任选教材,择要讲授。

书中插图较多,本应全部插入文内,以便阅读时文图对照。但限于纸张关系和为了清楚起见,只好仍象我们所编矿相学(北京钢铁学院,1977)一样,仅将铜版图插入文中,而所有铜版图仍按统一编号,但一律排于书末。各铜版图均于其图号右上角注以符号“*”,如图1*、图3*、图8*……等,以便查阅。

书中除叙述我们自己的一些研究成果外,其余着重引用了英国、苏联、美国、加拿大、日本及澳大利亚等国一些学者和我国地质部、中国科学院、冶金部、二机部和教育部所属科研、教学、生产单位的一些资料。其中有些地方直接引自前人著作。第一章第六节和第六章第三节,分别主要根据刘国彬和张理刚同志的综合研究材料。书中涉及我们的一些研究成果,都是在笔者原工作单位和现在工作单位,原冶金部北京地质研究所和北京钢铁学院的领导下和同志们们的热情支持和帮助下进行的。

本书编写工作,承冶金部地质司、我院有关部门及国家地质总局所属有关单位热情关怀。并蒙陈光远教授及陈兆喜、陈希廉、刘正杲、唐静宜、曹诺农、袁怀雨、喻铁阶同志大力支持。莫岳树、赵永夫、张平三同志帮助抄录表格,赵永夫同志还帮助描绘部分插图、鹿鸣同志帮助拍摄大部照片,苏守田同志等热情提供资料或帮助。

本书系首次试编,时间十分匆促,同时又缺乏经验,未能将各有关方面的成果进行更好的汇集。所以,尽管作了一定努力,但错误之处,一定不少,望读者不吝指正。

仅向被引用资料的国内外学者或同行,及热情关怀或帮助本书编写工作的领导和单位以及个人,致深切的谢意!

何知礼 1979年冬于北京钢铁学院

目 录

第一章 概 论

一、矿物中的包体和包体矿物学及其主要任务	9
(一) 矿物中的包体	9
(二) 包体矿物学及其主要任务	9
二、包体矿物学研究领域及其相互关系	10
(一) 矿物学研究	10
(二) 岩石学研究	11
(三) 矿床学研究	11
(四) 地球化学研究	12
(五) 应用研究	12
(六) 技术研究	12
(七) 今后方向	13
三、包体矿物学的数据类型和在地质学及普查勘探中的意义	13
(一) 包体矿物学的数据类型	13
(二) 包体矿物学在地质学及普查勘探中的意义	13
四、包体类型、特征及其成因意义	15
(一) 概况	15
(二) 按状态和成分分类	15
(三) 按成因分类	19
(四) 按成因、状态和成分分类	20
(五) 鉴别正常包体与异常包体的标志	21
(六) 区分原生包体与次生包体的准则	22
五、水的 P-T-V 关系	23
(一) 温度与压力的关系	23
(二) 水的 P-T-V 图解	23
六、正常包体形成机理	24
(一) 研究目的和任务	24
(二) 晶体缺陷及其与包体的关系	24
(三) 原生包体形成机理	25
(四) 假次生包体形成机理	26
(五) 包体的防止与消除	27
(六) 结论	28
七、异常包体的成因	28
(一) 研究意义	28

(二) 物理成因的包体·····	28
(三) 化学成因的包体·····	30
八、包体研究中的显微镜及小电子计算机·····	32
(一) 偏光显微镜·····	32
(二) 干涉显微镜和相差显微镜·····	33
(三) 电视显微影相分析仪·····	33
(四) 立体显微镜·····	34
(五) 其他显微镜·····	34
(六) 小型电子计算机·····	35
九、包体矿物学发展史·····	35
(一) 萌芽时期·····	35
(二) 实用时期·····	36
(三) 蓬勃发展时期·····	36

第二章 包体测温法

一、概述·····	38
(一) 地质测温学的几个发展方向·····	38
(二) 地温计及遍在矿物·····	39
二、均化法·····	39
(一) 优缺点·····	39
(二) 原理·····	40
(三) 仪器设备·····	43
(四) 实验工作·····	49
(五) 压力校正·····	50
三、计算法·····	52
(一) 计算法及其优缺点·····	52
(二) 索尔比法·····	52
(三) 索尔比法与均化法所得结果的比较·····	53
(四) 耶尔马可夫法·····	54
四、图解法·····	54
(一) 图解法及其优缺点·····	54
(二) 因格松图解·····	55
(三) 耶尔马可夫图解·····	55
(四) 列姆列英图解·····	56
(五) 卡留日内—沃兹尼亚克图解·····	57
五、爆裂法·····	59
(一) 优缺点·····	59
(二) 应用范围·····	59
(三) 原理·····	59
(四) 方法和仪器·····	62

(五) 爆裂法中某些问题的讨论	75
(六) 爆裂图的解释	83
(七) 爆裂法测温实例	85
六、淬火法	90
(一) 淬火法及其用途	90
(二) 玻璃包体及其分类	90
(三) 玻璃包体与气—液包体的简单区别	91
(四) 工作方法和原理	92
(五) 玻璃包体的成分分析	93
(六) 讨论	93

第三章 包体测压法

一、概述	95
(一) 压力测定的意义	95
(二) 压力测定法分类	95
(三) 包体测压法所用的 CO_2 包体	95
二、 CO_2 密度法	96
(一) 方法与步骤	96
(二) 测定实例	98
(三) 适用范围	98
三、 CO_2 比容法	98
(一) 方法与步骤	98
(二) 适用范围	99
四、 CO_2 浓度法	99
(一) 方法与步骤	99
(二) 测定实例	100
五、克分子分数法	100
(一) 方法与步骤	100
(二) 测定实例	101
(三) 适用范围	104
六、均(化)一爆(裂)法	105
(一) 其他有关方法的简单评述	105
(二) 纳乌莫夫等的结论和均一爆法的产生	105
(三) 方法与步骤	107
(四) 测定实例	107
(五) 测定精度	108
七、气态包体测定法之一	109
(一) 方法与计算公式	109
(二) 测定实例	111
(三) 适用范围	113

八、气态包体测定法之二	113
(一) 方法与步骤	113
(二) 测定实例	113
(三) 适用范围	113

第四章 包体成分研究法

一、概述	114
(一) 研究意义	114
(二) 包体的大致成分	115
二、偏光显微镜法	117
(一) 偏光显微镜法及其优点	117
(二) 偏光显微镜下包体中一些相的大致区别	117
三、几种打开包体研究成分的方法	118
(一) 微钻法和压碎法	118
(二) 研磨浸滤法	119
(三) 研磨—电渗—爆裂法	120
四、冷冻法	123
(一) 冷冻法及其意义	123
(二) 原理	124
(三) 仪器设备(冷台)	125
(四) 冰点测定	128
(五) 盐度与密度的测定	129
(六) 按相图和水化物估测成分	129
五、测定 CO_2 的 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 反应法	132
(一) 定性分析	132
(二) 定量分析	132
六、气相色谱法	134
(一) 过去工作情况	134
(二) 本法准备工作和步骤	134
(三) 仪器设备	135
(四) 混合气体的色谱及研究实例	137
七、激光拉曼光谱法	139
(一) 仪器设备和本法原理	139
(二) 分析实例	140
(三) 分析能力及局限性	142
八、中子活化分析法	142
(一) 中子活化分析的一般特点和用途	142
(二) 中子活化分析在包体研究中的应用	143
九、扫描电镜法	143
(一) 几种可能方法的简单比较	143

(二) 本法原理及工作方式	144
(三) 样品选择和制备	146
(四) 测试条件	146
(五) 局限性和存在问题	146
(六) 应用实例	147
(七) 补充实验	148
(八) 结论	149

第五章 包体矿物学在矿床学和普查勘探等中的应用实例

一、用包体研究矿床成因和矿物沉淀环境	150
(一) 贵州万山汞矿的成因	150
(二) 美国密西西比式大型层状矿床的成因	151
(三) 层状黄铁矿型火山岩矿床形成的温度条件	153
(四) 宁芜玢岩铁矿成矿温度及矿床成因	157
(五) 鞍山铁矿床假象赤铁矿化带成因及富铁矿形成条件	161
(六) 加拿大布利贝尔铅锌矿成因	165
(七) 用包体研究矿物变质过程和形成历史	166
(八) 对比地层	167
(九) 近地表低温矿床气—液包体特征：以南澳大利亚贝尔塔那硅锌矿体为例	167
(十) 用洞穴沉积物中液态包体的稳定同位素测晚更新世的古温度	169
二、用包体矿物学阐明区域地质或矿区地质方面的问题	170
(一) 用包体数据阐明成矿与母岩的关系	170
(二) 用包体数据解决年代学方面的问题和区分含矿与非含矿岩脉	171
三、包体矿物学在普查勘探新矿床和寻找盲矿体方面的应用	172
(一) 有可能用于找矿的九种包体数据和48个研究实例	172
(二) 原生蒸发晕找矿法原理和方法	179
(三) 次生蒸发晕找矿法原理和方法	182

第六章 其他地质测温、测压方法

一、普通地质测温法	192
(一) 现代地质作用温度的直接测量	192
(二) 过去地质作用温度的间接测量	192
(三) 其他估测温度的方法	192
二、普通矿物测温方法	193
(一) 结晶习性	193
(二) 矿物物理性质	197
(三) 矿物化学性质	202
三、稳定同位素地温计	212
(一) 基本原理	212
(二) 硫同位素地温计	214

(三) 氧同位素地温计.....	217
(四) 氢同位素地温计.....	221
(五) 碳同位素地温计.....	224
(六) 稳定同位素地温计的检查及其有关问题.....	224
四、地温计表.....	228
(一) 说明.....	228
(二) 贝特曼地温计表.....	229
(三) 谢德列茨基地温计表.....	234
五、其他地质测压法.....	234
(一) 地质剖面法.....	234
(二) 闪锌矿地压计.....	234
参考文献.....	235
铜版图.....	239

第七章 各种类型岩石与矿床的矿物中气—液包体研究结果 (附表1—137) ...	265
--	-----

第一章 概 论

一、矿物中的包体和包体矿物学及其主要任务

(一) 矿物中的包体

包体是矿物形成过程中被捕获的成矿介质，被称为成矿溶液的样品 (sample)。它相当完整地记录了矿物形成条件和历史，是矿物最重要的标型特征之一，可以作为译解成矿作用，特别是内生成矿作用的密码。

各种矿物，不论其地质年代和成因，不论是天然的还是合成的，也不管其量的大小和多少，几乎都有包体。气—液包体①目前研究较多。它们是一些小体积的流体，是矿物形成时或形成后受几种机理中的某种机理作用而封闭在晶体内的。它可代表晶体生长过程中存在的或后来浸没它的流体。几乎所有矿物中均有包体。而且几乎所有矿石或脉石中都有气—液包体产出。气—液包体一般很小，多小于 10μ ，很少大于 1mm 。但数量很多，如一些乳白色石英中可多达 10^9 个/ cm^3 ，不过总体积常小于试样体积的 0.1% 。在此情况下，每个包体所含物质约为 10^{-12}g (设包体密度为 1)。H. Vogelsang (1869.) 曾发现花岗岩石英中包体数达 10^{11} 个/ cm^3 ，而 Ferdinand. Zirkel (1873) 报导和估计兰方面中充气 (gas-filled) 包体竟高达 3.6×10^{11} 个/ cm^3 。包体有时也较大，但十分罕见，国内玛瑙中曾发现有达 5cm 者。对透明矿物，通常可在显微镜下在矿物的双面磨光的薄片上进行研究，对小包体可在普通岩石薄片上观察，较大的包体，有时可用放大镜或肉眼观察。因包体很多，在一定条件下，在高倍显微镜下不难在透明矿物中见到。虽然，各种矿物中广泛分布有包体，但从中能轻易获得最佳、最有意义的比较罕见。

要精确测定千百万年或多少亿以前形成的地质体形成过程中的物理地球化学作用的温度、压力、介质成分及性质，并非轻而易举。而测定它们无疑对解决矿床成因，探索成矿理论及指导普查勘探等都有重大实际意义。经近 160 年努力，气—液包体的研究已成为解决这些问题的较直接而又较可靠的方法之一。

(二) 包体矿物学及其主要任务

包体矿物学是研究矿物包体的一门科学。其主要任务为：测定矿物、岩石、矿床等地质体形成时的物理地球化学作用的温度、压力、介质成分和性质，以及其他有关参数如爆裂活度等，并用以解决有关地质方面的实用问题和理论问题。其原理、方法、设备，尚可应用于其他科学研究：如选矿学、炼钢学、化学、药学、制糖学及宝石学等。

① 我们和苏联多称为气—液包体 (газово-жидкое включение)。而一些西方国家常称为 “fluid inclusion”，并被译为 “液包体”，实际译 “流态包体” 似更合适些。

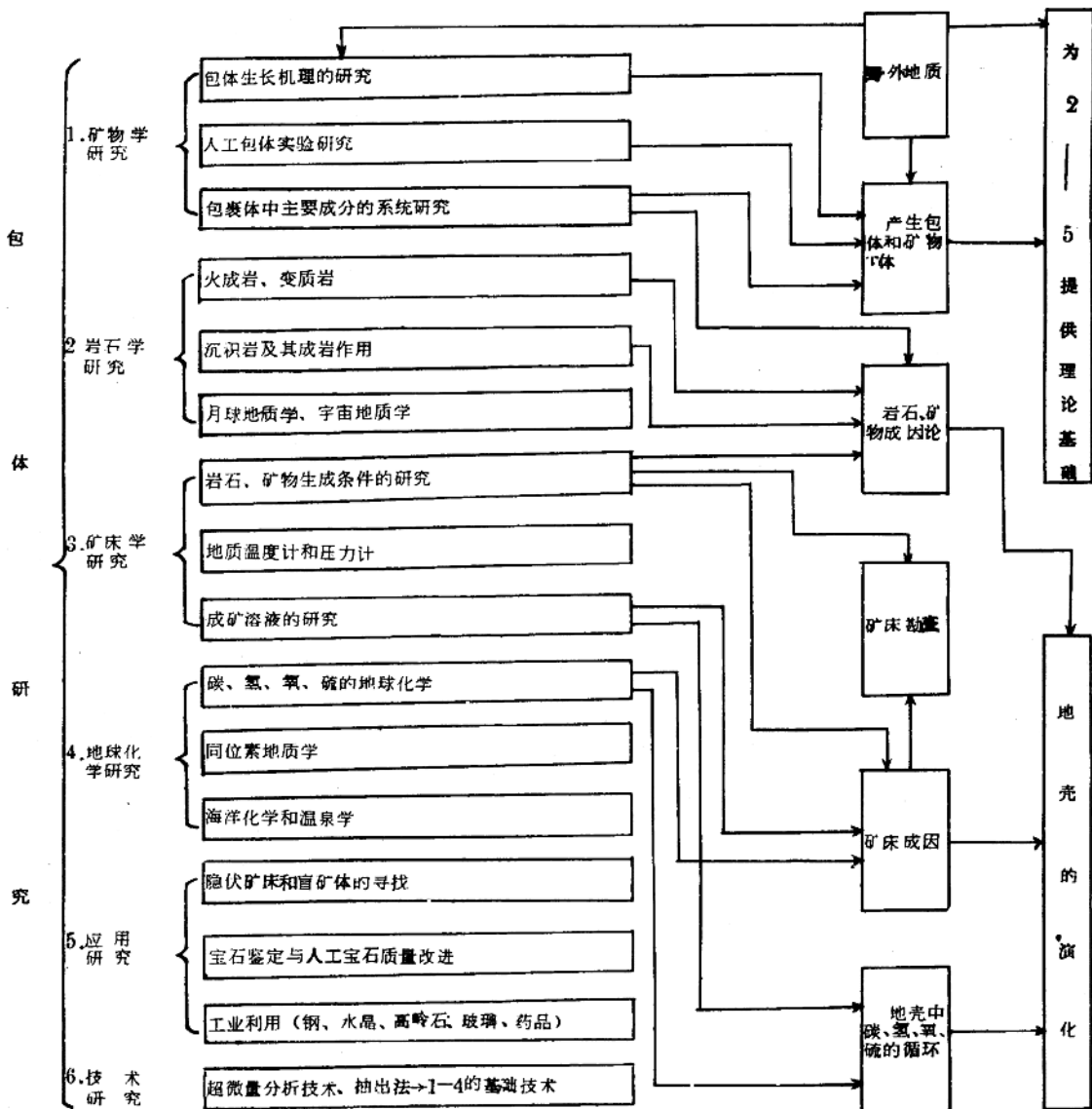


图1 包体研究领域及其相互关系 (据矢野岛告, 1972, 仅个别地方作了一点修改)

二、包体矿物学研究领域及其相互关系

由于包体在自然界分布很广, 在人工合成的一些物质中也分布普遍, 因此与包体研究有关的科学领域十分广泛。可以把包体研究的领域及其相互关系归纳于图1。至于这些领域目前的大致状况如下:

(一) 矿物学研究

包体研究中最基础、最重要的课题是在矿物学上。矿物学研究为包体研究提供理论。例如, 它将帮助阐述矿物晶体缺陷是如何形成的、包体是怎样包进去的、包体形成后经过什么变化等问题。但这些方面还不如晶体物理、晶体化学进展大。对这些问题和次生包体形成问题的矿物学解释还不十分完善。

用人工合成矿物研究包体的目的在于：1) 解释包体形成机理；2) 验证包体作为地温计—地压计所起作用。为了测定气—液包体形成温度，主要采用了均化法和爆裂法。

(二) 岩石学研究

国外岩石学研究中，早已记载了气—液包体和由晶质或非晶质构成的固态包体的情况。

固态包体取出困难，过去研究也很不深入。曾用爆裂法测定固态包体的激发温度。近年，用扫描电镜对固态包体的研究已取得很好进展。同时用电子探针和激光探针微量分析。已能对其主要成分和次要微量成分进行分析。并且，用均化法原理和淬火技术研究岩浆熔融体的组成和变化及火成岩类的生成条件，已取得较具体资料。

关于变质岩类液态和气态包体中发现的二氧化碳和甲烷的研究还不多。对成岩作用、沉积作用过程中生成的矿物中的包体的研究，还处于初期阶段。最近，我国关于钟乳石中气—液包体成的发现及其成因的初步研究，对包体矿物学的某些基础理论和技术作了适当的修改补充。

尚可研究岩石中 H_2O 含量、微量元素、同位素和包体中的 H_2O 含量、微量元素、同位素的关系。用次生包体分析花岗岩和片麻岩地区的构造。研究火成岩的次生包体，对解决岩石所受二次热液钟变作用也有一定意义。另外，由于包体的存在必然影响岩石的物性，因此，岩石力学和地球物理学等方面也需要研究包体。对月岩和陨石中的包体也进行了研究。

随着这些研究活动的进展，将为岩石、矿物成因理论与矿床成因理论增添新的科学根据，并将使我们对地壳的演化有更明确的认识。

(三) 矿床学研究

在这方面，包体研究的主要目的是在于搞清成矿流体的状态和生成条件等问题，并且据此提出新的矿床成因理论来指导深部矿床和隐伏矿床的勘查。目前，对各种包体的成分分析和生成温度的测定方面的资料正日益增多，对成矿溶液的性质和生成条件已渐掌握。

用冷却显微镜使包体中的水溶液冻结，借助于冰点测定含盐度的变化，用此法只能换算出氯化钠的浓度。但是，可在镜下测定各个包体，而且氯化钠是一般包体溶液中首要的成分。所以，冷冻法是研究包体溶液时大量使用的方法。利用气相色谱分析气—液包体中的气相和水等，已制订出较好的方法和技术。这些方法再和其他微量分析技术结合起来，将使包体成分的研究得出详细的分析值。

测定生成温度的实例很多。我们将在最后一章中引述国外在这方面的大量研究成果。同时，列出许多矿床的压力测定和成分分析值。目前，浅—中深热液矿床的温度界限已大体查明。而且由结果可以看出，这些温度与按硫化物矿物共生等情况推测的温度相当一致。国内不少矿床的形成温度已进行初步测定。另外，国内外也正在用整个矿脉或矿体等温线来推测矿液活动方向的尝试。同时已发现某些其他包体数据，如爆裂活度、盐度、子晶丰度、 CO_2 丰度、某些放射性元素（如Rn）的丰度、K/Na比值、压力梯度、甚至还有石英烧失量，在一些矿脉或矿体周围有明显变化。如把以上这些有意义的资料和矿液流动方向以及它们与富矿的关系理论化，那末，将大大有助于普查勘探工作和指出新的找矿方向。

不少人认为爆裂法干扰因素较多，测温结果较差。不过，近年来对有些干扰因素已进行了较详细的研究，有些干扰已能得到较好的排除。爆裂法的主要用途为测定不透明矿物的相对温度、结合均化法测定成矿压力，特别用于普查勘探隐伏矿床和盲矿体，苏联、中国和日本在这方面都已取得了一些很有意义的成果。

近年来，非常盛行的O、H、C等的同位素地球化学研究法，对包体研究也适用，并有

助于矿床成因的研究。例如，包体中 O、H 同位素研究，可论证从矿液产生阶段原生水的存在到矿物沉淀的整个过程中，矿液与母岩的相互作用及矿液的演化情况。

这样，今后可进一步明确一个矿区中矿液演化的特点，研究并总结出岩浆水的分化情况。

（四）地球化学研究

成矿溶液的研究是矿床学研究的重要问题。但也直接当作地球化学问题来研究，也有人把它作为地壳中水和易挥发物研究的一部分。故查明这种水的性质，就为水的地球化学提供了重要资料。

利用水地球化学研究海水起源及变迁，在红海海底卤水的存在与温泉水、火山气体等问题中，也缺少不了包体研究。

若从地球化学的观点出发，对包体的研究加以总结，那末，在地壳—生物圈—水圈—大气圈中，C、H、O 的循环中赋予包体以一定位置时，包体的研究将有更广阔的前景。

（五）应用研究

这方面最重要的是普查勘探隐伏矿床和盲矿体，除上面已提到的外，我们将在下面进行较详细的叙述，并在第五章中引用一些实例。

此外，在实际生活中应用的一些矿物内的包体，具有明显的不良作用。如宝石中的包体，特别是现代工业上具有如此重大用途的金刚石和其他一些贵重宝石，祖母绿、红宝石及蓝宝石等中，许多都含有各种晶质固态包体和高密度液态 CO_2 包体。它们造成宝石的内部瑕疵，但又是鉴定天然的、合成的、仿造的宝石的重要标志。当然，在个别情况下，某些宝石中含有大的包体而易被观察者看见时，也可能成为高级工艺美术品的原料，如某些玻璃中含有很大的液态包体就是这种情况。

作为磁器工业原料的高岭石和光学材料及压电石英等，当其中包体较多时就不能作为高级优质材料使用。另外，具有重大意义的压电石英，已查明常常形成于一定的温度间隔。高于或低于该温度间隔下形成的石英就不大宜于作压电材料。而测定这些矿物形成温度、压力等条件，最好是用包体研究方法。

在某些情况下，矿物中含有较大数量有用包体时，又可提高综合利用价值。例如，伟晶岩系锡石中常含有高量 Nb、Ta。而研究表明，它们是作为细微的铌、钽矿物包体存在于锡石中的。

在化学药品工业中，产品的不纯物多存在于包体中。故应努力制造无包体的结晶。同样，为了改善压电石英和其他人造宝石以及钢的质量，也可利用包体研究的原理方法，使它们能成为少含包体和杂质的产品。

某些岩石虽然坚硬，但经热处理后极易粉碎，可用包体研究的某些设备，确定这种予热处理的最低或最佳温度，从而减轻磨矿碎矿的工作和降低成本。

从结构力学方面的目的出发，对于凝固时常产生空隙的石灰、水泥和石膏，正在研制无空隙的材料。还有许多人在研究利用空隙制造具有新特性的物质。

（六）技术研究

上述各种与包体研究有关的领域的发展，与近年来分析技术的进步是分不开的。如质谱分析、x 光显微分析、原子吸收光谱分析、激光显微分析、活化分析及扫描电子显微镜等仪器的发展和普及，使包体分析也能直接采用这些仪器，并不断获得新的研究成果。

对于固态包体，用扫描电子显微镜、电子探针、激光分析仪进行主要成分和微量成分的

分析已基本确立。并能利用气相色谱和质谱分析,对包体的气相和易挥发物质的少量样品进行分析研究。

对于水溶液中的盐类和金属离子及阴离子的分析,尚未确立常规的分析方法。尽管有高精度的原子吸收光谱分析技术,可是样品的抽出和分离仍有困难。另外,超微量元素分析技术—活化分析,在一些国家也未成为常规的分析方法。把适用于包体研究的超微量分析技术作为一种常规分析技术,仍然是当务之急。

(七) 今后方向

1. 加强包体矿物学在矿床学和找矿勘探中的应用研究,并综合整理已积累的大量资料,建立新的普查勘探理论,以便更好地指导普查勘探新矿床和盲矿体。

2. 加强包体矿物学的理论研究,为包体矿物学的顺利发展提供理论基础。在这些研究中要特别注意包体矿物学中某些薄弱环节,如变质成因及外生成因包体以及各种正常成因和异常成因包体的形成机理及其区分标志等的研究。

3. 研究与建立某些适于包体矿物学的超微量分析技术以及在确保无污染的情况下对某些包体成分进行分离与提纯的技术。

4. 研制一些轻便、快速、高质量测试仪器,为包体矿物学的发展提供设备基础。

5. 加强热心包体矿物学的科技人员的培养。并在工作中注意吸收其他有关专业(特别是物理、化学及物理化学等)方面的专家和技术人员参加包体矿物学的研究,以加速本学科的发展。

包体虽小,但包体研究涉及的科学领域却十分广泛,且这些研究领域都相互联系着。只有进行综合研究,才有希望取得矿床查勘理论上的进展。地质工作者研究包体绝不能离开大自然,而必须结合野外地质工作。今后研究包体的方向是建立综合性研究体制和进行综合研究。

上面我们主要据矢岛淳告的资料和国内部分工作及我们工作中的一些体验,对有关问题作了叙述。鉴于包体研究在普查勘探中的巨大实际意义,下面我们将就这一问题再补作一些介绍。

三、包体矿物学的数据类型和地质学及普查勘探中的意义

(一) 包体矿物学的数据类型

包体研究可取得下列有意义的数据类型:均化温度、爆裂温度、压力、成分、密度、盐度、PH、Eh、同位素成分、爆裂活度、子晶丰度、某些放射性元素(如Rn)的丰度,甚至石英烧失量等。在成分一项中,尚包括一些有意义的元素或成分的比值,如K/Na、H₂O/CO₂。按气—液包体研究所得这些数据,将大有助于解决地质学上,特别是矿床学与找矿勘探中的一系列理论问题和实用问题。当然,这些数据类型的重要性并非每个都相同,其中的仅在个别矿床上进行过研究,发现有一定意义。

(二) 包体矿物学在地质学及普查勘探中的意义

包体矿物学将帮助解决诸如下列一些问题:成岩成矿的温度与压力、成矿溶液的性质与来源、矿床成因和成矿过程、成矿期和成矿阶段的划分、矿液活动方向、矿床分带、成矿与母岩及围岩的关系,富矿的成矿规律。包体研究数据,不仅能澄清区域地质或矿区地质方面的问题,和估计露头或沉积物中的蚀变或风化的物质,以及研究沉积环境。更重要的是,包

体矿物学可以作为普查勘探新矿床和找盲矿体的工具。在这些方面，温度、盐度、爆裂活度等尤为重要，并获得了较广泛的应用。

许多著名矿床的成因，长期争论不休。直到用矿物包体测出矿床形成温度和有关数据后，才为这些矿床的成因提供了科学上的重要根据。密西西比河流域大型铅锌矿的成因问题就是如此。又如，近年来国内外均发现许多岩浆期后矿床周围常有蒸发晕和热晕存在。因此，已有可能用原生蒸发晕、次生蒸发晕和热晕指导普查勘探新矿床和寻找盲矿。而且已有不少实例证明，在某些情况下，它们比重砂找矿法、化探的原生晕及分散流等更为有效。现已建立了利用气—液包体普查勘探岩浆期后矿床的理论、方法和仪器。利用蒸发晕和热晕，有可能帮助解决某些疑难矿床的成因。因为，岩浆期后矿床周围或热液通道附近，可能出现这两种晕，而外生矿床周围则无。任何参数，只要能指出某地区几个侵入体中哪一个侵入体最可能与所研究的矿床有关，它就是很有用的资料。了解矿床形成的地质和构造环境，对找矿勘探工作很重要。包体研究可以帮助解决这些问题。例如，产在可能有关的几个深成岩体周围的含矿脉，根据包体测温所得水平温度梯度，在趋向其中某个深成岩体方向增大，就可认为与该岩体有成因上的联系。利用包体进行“填图”，也有成功的实例。水平温度梯度有可能指示矿源区，至少可以指示矿液流动的某一方向。在被许多世代不含石英脉切割的构造复杂地区，包体成分或温度显示几个世代的石英有差异。可利用这种差别澄清年代学方面的问题。并从许多世代的脉中区分出成矿阶段的脉。对压电石英矿床的研究表明：产生优质晶体和劣质晶体的矿脉，其包体差别很大。这些研究成果，可能直接用于这些特殊矿床。但其原理可用于任何矿床。在任何特定地区，形成不含矿（或少含矿）的矿脉和形成含矿富的矿脉，矿液之间是有差异的。这两种液体的包体，在某种参数或多种参数方面应不同。气—液包体有一种似乎很明显但很少用的用途，即鉴别交切的岩墙、岩脉的年断关系。而这种关系由于构造复杂和蚀变等原因，有时难于查清。但由于后期岩墙的热作用，可使石英脉等中的包体发生爆裂（根据空的包体，或者按岩墙附近样品的爆裂大大减少作为证明），这就可以较清楚地确定相对年令。

矿床发生风化后，物化性质稳定的矿物（如石英）将继续残留于铁帽或土壤中，其原来的气—液包体不发生变化。可利用砂岩里碎屑石英中的包体确定母颗粒（host grain）的来源。甚至用包体爆裂法，对比含铁建造中的石英岩或对比油井剖面的生产层位。可用光学法鉴定河流沉积物的石英颗粒（即使所有有用矿物早已流失），是否标志有某些矿床的极不寻常的“沸腾”或者是多相包体的存在。此法有助于评价土壤、盖岩和铁帽，以确定早先存在的或隐伏的矿体的可能性。此处，酸溶后的残余物由于大大浓集了样品的有用部分，因而特别有用。E.罗德发现，某些交代的锰矿石，经酸淋滤后的百分之几的残碴中的包体，可用来确定已被交代的物质的特性。某些玻璃包体，在彻底的绢云母热液蚀变和泥质蚀变，已把所有关于原岩性质消除很久以后，还能在火成岩的石英中保持不变。曾用此法辨认红土中石英颗粒的来源。研究冰积区含矿砾石和卵石中的包体，也有助于描绘出上游出露的矿体性质。鉴于此法有效，因此有可能用来帮助查明构成威特瓦特兰德砾岩或类似的其他砾岩的石英卵石的来源这一悬而未决的问题。

包体数据还可用于研究矿石沉淀环境。在普查勘探中，常常需要一种有效的地质模型作指导。现在已经有了一些利用气—液包体数据较正确地确定矿石沉淀模型的例子。我们将在第五章中就这个问题和连同以上所述包体数据在其他方面的应用问题举一些实例。

四、包体类型、特征及其成因意义

(一) 概况

内生矿作用是在一定的物理地球化学作用条件下进行的。在高温高压条件下，成矿介质一般是均化的，部分处于非化状态。矿物形成过程中，由于晶格缺陷等原因，可以捕获部分成矿介质而形成包体。包体的特征正好反映了成矿作用过程中成矿介质的物理地球作用的温度、压力、成分、密度及其他性质。各种不同成岩成矿条件下形成的包体必有差异。因此，包体是矿物最重要的标型特征之一，具有重大实际意义。显然，包体的特征，可作为正确划分成岩成矿作用和正确划分矿床成因类型的科学依据。

矿物中的包体种类比较繁多。为了理论研究和实用，必须进行适当分类。苏联、加拿大、日本等一些学者都提出了他们认为比较合理的分类方案。而已有方案也是相当多的。其中有些分类较简单，有些虽较详细但较复杂。总的说来，一般正常成因的包体按状态和成分可大致分为：固态、气态、液态三大类，每大类尚可细分。若按成因可分为原生、假次生和次生三类。

(二) 按状态和成分分类

1. 耶尔马可夫分类

1950年，耶尔马可夫提出一个简单分类（表1），各类包体概况示于图3。近年他又将该分类作了详细补充，分为6类11型（图3）。现将这三类包体简述如后：

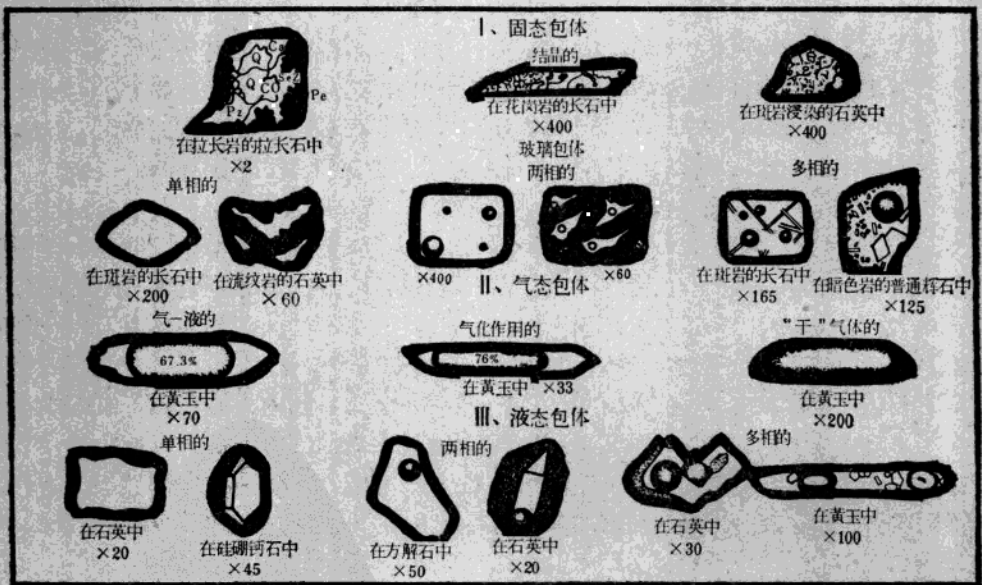


图2 矿物中包体的类型
(据H.Π.耶尔马可夫)

固态包体：它来源于火成作用。其被捕获时成矿介质为岩浆熔体。均化后仍恢复到熔体状态。固态包体一般又分为晶质的与非晶质的。

表1

包体类型、特征及其成因意义表

类 型	特 征 及 其 成 因 意 义			
	包体中观察到的相及其比例	加热后的均化相	捕获的母介质的状态	包体的来源
I 固态包体			岩浆熔体	火成的
1. 结晶的	$K; K + \Gamma$	液态熔体	在深处凝固的熔体	侵入体的矿物
2. 非晶质的	$C; C + \Gamma; C + \Gamma + K$	液态熔体	在地表凝固的熔体	喷出体的矿物
II 气态包体	Γ		超临界气态溶液	气 成 的
1. 主气的	$\Gamma 3/4 + \mathcal{K} 1/4$	气 体	气 态 溶 液	真气成矿物
2. 气—液的	$\Gamma 1/2 \sim 3/4 + \mathcal{K} 1/2 \sim 1/4$ $\Gamma 1/2 + \mathcal{K} 1/2 + K$	气 体 (蒸 气)	水 气 溶 液	“气液成”矿物
III 水溶液包体	$\mathcal{K} 1/2 + \Gamma 1/2 + K$ $\mathcal{K} 1/2 + \Gamma 1/2$ $\mathcal{K} > 1/2 + \Gamma < 1/2$ $\mathcal{K} + K$ $\mathcal{K}$	水溶液	各种浓度和温度的水溶液	热液的 冷水的

表中: K —晶体; C —火山玻璃; Γ —气体(蒸气); $\mathcal{K}$ —液体, 数字示室温下包体固定体积中相的相对量。

(据H. H. 耶尔马可夫)

晶质包体存在于侵入体矿物中, 包体中出现的相主要为晶体或晶体+气体。有时含少量液体和金属矿物或易溶卤化物。呈单相、双相或多相出现。在残余岩浆作用中, 可形成含水较多的晶体—流体包体。1972年, B. H. 罗曼诺夫对东非碳酸盐岩的研究表明: 橄榄石形成温度为 $1000 \sim 1020^{\circ}\text{C}$, 辉石、霞石为 $870 \sim 939^{\circ}\text{C}$, 磷灰石、方解石为 $640 \sim 700^{\circ}\text{C}$, 石英为 $800 \sim 860^{\circ}\text{C}$ 。可见根据晶质包体特征和形成温度, 说明这些岩石是在地壳深部较高温和较高压形成的。

非晶质包体主要分布于喷出岩中, 也存在于陨石和月岩内。非晶质包体中的相和组分虽然与晶质包体近似, 但因形成条件不同, 因而物质的状态亦异。非晶质包体由于其形成时冷却迅速, 来不及结晶, 故呈玻璃出现, 其中也含有少量气体和液体。

气态包体: 主要见于一些气成矿物中和一些气—液成矿物内。常分布于伟晶岩、云英岩、夕卡岩及碳酸岩中。气态包体又可分为气相的和气—液相的两种。前者被捕获于气态溶液介质中。后者是从水溶液中捕获的。两者加热后皆均化为气相。前者含气相可达75%以上, 而后者含气相达50~75%。两者中除气相外, 主要为液相, 有时可含少量子矿物。若气态包体中的气相为气态 CO_2 或液体 CO_2 , 则称为碳酸包体或 CO_2 包体。

液态包体: 包体来自热液。主要见于一般热液矿床或与热液活动有关的其他矿床中。它们被捕获于各种浓度和温度的水溶液, 加热后均化为液相。包体中液相占50%以上, 其余为气相。有时由于成矿溶液的浓度较高, 可以析出盐类和其他子矿物。按照成矿溶液的性质不同, 又可分为真水溶液包体、胶体水溶液包体及含碳酸的水溶液包体。

单相水溶液包体, 被认为是来自冷水沉积的, 或来自低于 50°C 的温水中沉积的。这类包