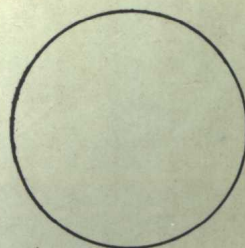
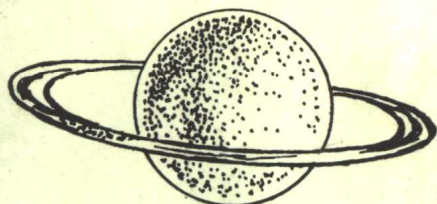
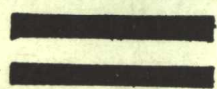


流体包裹体

上

〔美〕 EDWIN ROEDDER 著

卢焕章 王卿铎 等译



中南工业大学 出版社

内 容 提 要

《流体包裹体》全书共十九章，内容可划分为：流体包裹体的基本理论和实验技术；各种地质环境的流体包裹体特征与地质应用；流体包裹体的展望等三大部分。该书对前人研究成果和经验作了客观的评述，进而提出作者认为适宜的理论解释和实验技术方法。就目前已有文献而论，该书是流体包裹体研究的权威性著作之一。

本书是流体包裹体工作者的必备参考书，也是地质院校师生、研究生、地质研究单位和野外地质人员的重要参考书。还可供矿山地质、煤炭、石油、化工、陶瓷、建材、硅酸盐和人造宝石、冶金及金属结构材料等专业研究人员参考。

流 体 包 裹 体

(上)

【美】EDWIN ROEDDER 著

卢焕章 王卿铎 等译

中南工业大学出版社出版

湖南大学印刷厂印刷

(限国内发行)

开本：787×1092 1/16 印张：19.25 字数：456.5千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数：0001—1500

统一书号13442—002 定价：4.50元

译 者 的 话

《流体包裹体》一书发表于1984年5月，是美国《矿物学评论》丛书第十二卷。该书作者是国际成矿流体包裹体委员会(COFFI)主席、全美矿物学会副主席、美国地质调查所高级研究员 Edwin Roedder 博士。

作者在编写这部权威性专著时，不仅充分运用本人从事流体包裹体研究35年来所积累的丰富资料和经验，而且还广泛地参阅了世界上大量流体包裹体研究文献。因而该书较全面地反映了当前国际上流体包裹体研究的水平和发展趋势。

该书内容丰富，具有新颖性、科学性、系统性以及较高的理论水平和实用价值，因而它不仅是流体包裹体研究人员的重要参考书，也是地质研究人员、地质大、专院校师生不可多得的宝贵参考资料。本书分上、下两册出版。

在组织该书的翻译、出版等工作中，自始至终得到中南工业大学科研处、地质系、矿产地质研究所等单位的热忱关心和支持。除此之外，在本书翻译出版过程中还得到全国各兄弟单位的大力帮助，这些单位和个人有：

中国有色金属工业总公司湖南地质研究所，化学工业部化学矿产地质研究院，广西地矿局中心实验室，中国有色金属工业总公司北京地质矿产研究所，江西省地质科学研究所，核工部西北核技术研究所，湖南省地质科学研究所，核工部中南地勘局 230 研究所，黑龙江省地矿局中心实验室，福建省地质科学研究所，广西有色金属地质研究所，地矿部西安地质矿产研究所，湖南省地矿局实验测试中心，山东省地矿局实验室，中国科学院长沙大地构造研究所，南京大学地质系，中国有色金属工业总公司西南地勘公司地质研究所，武汉地质学院，吉林省地质科学研究所，浙江大学地质系，核工部中南地勘局 311 大队，华东地质学院地质系，中国科学院贵阳地球化学研究所，中国有色金属工业总公司矿产地质研究院，核工部北京第三研究所以及范启灏先生等。

直接参加本书翻译、初校人员的单位和姓名分别列在各章末。此外，中南工业大学吴延之副教授（负责前言和致谢、第一、十六、十七、十八、十九章），中国科学院贵阳地球化学研究所卢焕章助理研究员（负责第二、三、六章），中南工业大学何禄卿副教授（负责第四、五章），中国科学院地质研究所李秉伦副研究员（负责第七章），核工业部北京第三研究所徐国庆高级工程师（负责第八、九、十、十一章），山东省地矿局科技处沈崑工程师（负责第十二、十三、十四、十五章）分别担任译稿的复校工作。

中国科学院贵阳地球化学研究所卢焕章助理研究员和中南工业大学王卿铎工程师担任译稿的终校和定稿工作。

因此，本书的翻译和出版是全国各有关包裹体研究单位和流体包裹体工作者通力协作、共同努力的成果。在此，仅向为本书的翻译、出版而给予大力支持和付出辛勤劳动的单位和个人表示最衷心的感谢！

由于参加本书译、校、审的人员较多，文笔各具特点，水平各异，加之任务重、时间紧，虽主观上作了努力，错漏与不妥之处难免，敬请读者批评指正。

1985.7 于长沙

KAC62/05

上册 目 录

前言	(1)
序言和致谢	(2)
第一章 流体包裹体导论	(5)
第二章 包裹体的成因	(15)
第三章 捕获后包裹体中的变化	(49)
第四章 包裹体成分的非破坏性测定方法	(79)
第五章 包裹体成分的破坏性测定方法	(108)
第六章 包裹体样品的选择、制备、岩相学和照相	(148)
第七章 包裹体的测定——加热、冷却、爆裂和压碎法	(178)
第八章 包裹体测定的解释和应用——液体和气体包裹体的成分资料	(221)
第九章 包裹体测定的解释和应用——捕获时的温度、压力和密度	(252)
第十章 包裹体测定的解释和应用——亚稳定性	(290)

前 言

流体包裹体一书是由美国矿物学会所出版的《矿物学评论》丛书中第一次由一个作者所著的书。这套丛书是在十年之前开始以“专题讲座材料”形式出版，从1980年之后是以《矿物学评论》的标题出版。这第十二卷是最大的一卷（644页）并附有大量的参考文献（2001篇）图表（131）和照片（387张）。

Edwin Roedder 在经过30多年的流体包裹体研究之后，由他来汇集这部百科全书性的工作是最适宜的。从1968年开始他是流体包裹体研究——国际成矿流体包裹体委员会“文集”的编辑和主要作者，该“文集”提供了每年发表的800—900条流体包裹体的文献和英文摘要。1965年Roedder编辑了由N.P.Yermakov和其他大量作者（见Ermakov, 1950）书写的文章的英文翻译稿。1972年他出版了《流体包裹体的成分》一书，是作为美国地质协会职业论文出版的。当他从美国矿物学会主席的位子上退休时，提前六个月交了“石盐中的流体”一文给美国矿物学会在印第安娜州印第安纳波利斯举行的年会。

本书在编排上与前几卷有一些不同，表现在目录中只列出每一章的名称，而每一章的详细目录见于每一章的第一页；相同的是题目索引和地区索引列于第十九章之后，最后是大量的参考文献。

《矿物学评论》的其它各卷名称列于前页表中*。

丛书编辑
Paul H. Ribbe
Series Editor
1984. 5. 1于Blacksburg, VA

* 各卷的名称表未译——译者注。

序 言 和 致 谢

本书的主要目的是帮助那些新参加流体包裹体工作的人去了解怎样应用流体包裹体和怎样避免许多易犯的错误和走进死胡同，这些是任何一个开始从事新的研究领域的人所时常要犯的。当然，消除所有的这种迷惑是不可能的。然而，常见的是，科学论文和著作（和一些编者）似乎相信在文章中报导实验的详细情况以及在工作中解决的许多问题是降低身份或者不受欢迎的，我并不同意这种处理，为什么要后来的工作者去遭受挫折和浪费时间去解决那些其他人已经解决的问题？把前人的经验交给他们，使他们可以做新的工作，如果这样做，他们将会遇到他们自己的新问题。

在撰写流体包裹体这本书的困难是各章之间有惊人的互相关连，我曾试图对各章之间的重复部分进行协调，因为每件事不可能在没有重复的情况下达到一个合乎逻辑的次序。

第十一章到第十八章打算讨论在了解地质过程和地质环境方面流体包裹体的应用。为了使读者方便起见，我把用流体包裹体来研究地质环境部分分成八章。在这些环境之间的任意的分界线是很不分明的，也不见得都能接受，特别是当一些地质学家提问时。所以当我不同意他（她）的意见时，我希望读者原谅我，但对所述及的那一点的差异则无足轻重。

虽然在本书中一些资料 and 思想是新的，而另外部分则来自我自己较早的论文和与他人合作的论文。我不再为此而道歉，因为我认为没有必要采用引证记号或者重复那些客气话。从较早的著作（修改了的）中或多或少直接引来的，只占本书的三分之一左右。同样地，许多，但不是全部显微照片也在以前用过。在选择例子时，主要从我自己的经验和文章中选用照片，我认为这个办法不容易犯误引的错误。并且我有这本书中所有的显微照片的底片。

在1939年学习岩相学课程时，我的老师，D.M.Fraser 给我看了从前寒武纪石英岩中的一些包裹体，这些包裹体中的气泡沿着它们的小室迅速地移动，它们可能是一亿年以前的产物。这件事引起了我的兴趣，当我完成了研究生的学习，我便开始研究包裹体。我希望本书的某些方面，同样会使一些人感兴趣。

我试图用列出各章的目录和详细的索引来帮助读者，在参考文献中，我列出了在本书中引用的页数，因为这也能帮助读者了解大量而分散的文献以及它的一些应用，整本构思是采用新闻报导的提纲——“何人、何事、何时、何地 and 何故”：即包裹体能提供什么样的资料，何时和何地形成了包裹体，他们怎样变化，怎样制备样品和进行显微温度测定，怎样解释这些资料以及对一系列的不同的地质环境的每一种，包裹体研究对它来说有那些应用。

流体包裹体作为非常发达的一个科学领域，在已发表的文献中有不少的错误概念，流程以及论述（包括我本人的在内）。我有一份几百个这种错误的档案，但大多数不值得注意，所以在本书中也不提它，除非某些错误导致后来的工作者经常性的混乱和错误的理解时才提出来讨论，已求得包裹体工作者认真思考。

在写作本书时我得到了很多人的帮助，世界上的许多作者送来了油印本和资料，一些人提供了原始的一些出版印刷品，这些都在本书中引用了。最重要的是，几年来我与我的许多同事进行了讨论，使我得益非浅，因此，对本书来说，要感谢的人可以列出一个表。我特别感激我的论文的共同作者，在本书中我引用我们共同工作的成果，例如：R.J.Bodnar，我把我与它共同工作的结果作为第九章的一部分的主要来源。在1981年由加拿大矿物学会举办了一次引人注目的流体包裹体的专题讲座：流体包裹体在岩石学上的应用，并且作为一本手册出版，Hollister and Crawford (1981)，其中有一部分与本书所提供的内容是重复的，虽然撰写本书的计划远比我参加该专题讲座的活动早。但我从准备和提供我的论文到专题讲座的工作中得益很多，同时也从与专题讲课有关的其他包裹体工作者的交谈中得到很大教益。

其他许多人，多得无法一一列出，他们以各种方式给我以帮助，特别是H.E.Belkin and E.L.Libelo，他们熟练的洗印了本书用的照片，另外是美国地质调查所的图书馆员，帮我找出了许多的参考文献。

一些人帮助我打本书前面几章的字，特别要感谢A.Sangree的编辑工作和我的太太Kathleen的编辑磋商以及她的惊人的耐心。

初稿的各部分由很多学者审阅过，人太多不能一一在这里列出，但是下面这些人曾对本书的一章或许多章作过周到的评述，他们是：E.C.Alexander, Jr., A.T.Anderson, Jr., L.D.Ashwal, C.E.Barker, M.D.Barton, P.B.Barton, Jr., H.E.Belkin, S.C.Bergman, P.R.L.Browne, I.-M.Chou, M.L.Crawford, C.G.Cunningham, P.J.Eadington, N.K.Foley, J.Guha, D.M.Harris, I.Haapala, D.O.Hayba, P.Heald-Wetlaufer, R.T.Helz, R.Henley, L.S.Hollister, S.S.Howe, R.Kreulen, S.D.Ludington, P.T.Lyttle, H.O.A.Meyer, S.Morasse, R.Petrovich, N.M.Ratcliff, T.J.Reynolds, W.I.Rose, Jr., L.P.Rowan, R.L.Rudnick, R.O.Rye, E.T.C.Spooner, T.G.Theodore, G.C.Ulmer, and R.W.T.Wilkins. 特别是J.W.Hedengvist and R.J.Bodnar，他们对本书作了全面的评述。这些同事们有责任指出本书中的错误和遗漏，我相信这是存在的，我将乐于接受给我指出所有的缺点。

我非常感激，美国矿物学会的会员们也有相同的感激之情，《矿物学评论》的编辑P.H.Ribbe的连续的努力工作和无私的贡献。只有《矿物学评论》丛书的作者们才真正了解他所完成的繁重任务。

Edwin Roedder

1984.2.17

本书所采用的缩写符号

<i>T</i>	温度
<i>P</i>	压力
<i>V</i>	体积
<i>T_h, P_h</i>	均一时的温度和压力
<i>T_t, P_t</i>	捕获时的温度和压力
<i>T_d, P_d</i>	爆裂时的温度和压力
<i>T_m</i>	冷冻温度
<i>T_e</i>	初熔温度
<i>T_n</i>	成核温度
<i>X_{CO₂}</i>	CO ₂ 的克分子分数 (<i>X_{CH₄}</i> , <i>X_{H₂O}</i> 等类推)
Salinity	以相当的 wt % NaCl 表示。
<i>Kbar</i>	千巴压力
<i>atm</i>	大气压
δ	表示样品与标准的同位素千分数比值 (氢和氧 通常以 SMOW 为标准, 碳通常以 PDB 为标准)
<i>equiv</i>	当量

第一章 流体包裹体导论

目 录

第一节 流体包裹体的一般特征.....	(5)
第二节 背景.....	(7)
一、历史的回顾.....	(7)
二、文献来源和总结.....	(8)
(一) 用英文出版的文献.....	(8)
(二) 苏联出版的书籍.....	(8)
(三) 会议论文集.....	(9)
(四) 论文摘要集.....	(10)
第三节 从流体包裹体获得的数据.....	(10)
一、温度.....	(11)
二、压力.....	(11)
三、密度.....	(12)
四、成分.....	(12)
第四节 流体包裹体的应用.....	(13)

第一节 流体包裹体的一般特征

“一个流体包裹体的自述”

你喜欢我吗?
为什么你老是看着我这个小人物。

我看到了你明亮的眼睛,
你想用歌声去打开我的心灵。

不要告诉我你了解我。
只要知道了我的秘密,
就能填补你心灵的空虚。

从你疑惑的眼光, 我知道,
你想知道我的过去,
是均匀的还是不均匀?

你听得见我的呼唤吗？

我想给你诉说衷肠。

只要你真的爱我，

我就把什么都告诉你。

据 Jayanta Guha

1982年3月6日于 Chicoutimi

除了在变质岩样品中的晶体是在固体状态下生长之外，在地球上和地球以外样品中的所有晶体都是从某种类型的流体中生长的。许多陨石和月岩样品中的矿物以及地球上火成岩样品中的矿物是在流体硅酸盐熔体中生长的。在这些样品中的一些矿物是在另外的低密度气相存在的条件下生长的，在许多沉积岩和一些变质岩中，以及几乎在所有矿床中的新晶体是从含有各种溶质的含水流体中形成的。在结晶作用之后，几乎所有地球上的沉积岩、变质岩和火成岩中的矿物一次或多次的裂开，而这些裂隙在液态或气态流体存在时又愈合了。在晶体生长和裂隙愈合的过程中，周围流体介质的一小部分通常被捕获而在主矿物中形成流体包裹体。如果在流体中也存在固体物质，这种固体物质被生长中的晶体以固体包裹体的形式封入，通常，当主晶体包围该固体包裹体时，一些流体也被捕获进去。

在多数包裹体文献中，流体包裹体这个术语只用于捕获于流体的包裹体，即在地表温度下，其大部分为流体那些包裹体。熔融包裹体这个术语是用于在地表温度下基本上是固体的那些包裹体。然而我们将要看到，在这两个极端之间存在一个连续的统一体，这是因为在捕获时所包含的过程，研究方法，在包裹体数据的解释上存在的问题，对所有这些包裹体来说基本上是一样的，所以我把所有的包裹体均采用流体包裹体这个术语，因此，在这里所用的这个术语代表了捕获时被捕获物质的状态（即液态或气态）并且不代表我们现在所观察到的它的条件。当冷至地表温度时，在许多包裹体中的流体形成了晶体，而捕获自硅酸盐熔体的包裹体中的流体，则可能遇冷而形成玻璃，液体包裹体（或气体包裹体）这个术语可用在一旦必须把熔融包裹体和室温时为流体包裹体相区分时。可以通过采用组成上的术语，例如气体、水溶液、CO₂、油、或熔融包裹体来进一步消除其含糊性。

变质岩中的矿物，特别是在缺水环境中重结晶的矿物（Yoder, 1955）可能没有流体包裹体（气体、液体、或熔融包裹体）；如果有包裹体存在的话，则大多数是由CO₂组成。确信是在地球深处形成的大多数物质，例如金刚石，榴辉岩中的一些矿物基本上是没有流体包裹体的，最明显的例外是由许多碱性玄武岩带到地表的纯橄榄岩和橄榄岩的包体或“捕虏体”中矿物内的CO₂包裹体（Roedder, 1965a）。液体包裹体在一些陨石中也见报导（Yasinkaya, 1967; Fieni et al, 1978; Warner et al, 1983）。

包裹体很少大于1 mm 并且通常是看不见的。在另一方面，含有10毫升甚至上百毫升的流体的单个包裹体的博物馆标本也有报导（Hidden, 1882; Prikazchikov, 1959; Prikazchikov, 1964; Rankin and Greenaway, 1978）。在任一给定样品中的包裹体数目

通常与包裹体大小^①成反比,因为非常小的包裹体的数量要比大包裹体多得多。在绝大多数样品中,大小在1—10 μm 的包裹体要比大于10 μm 的包裹体多出10倍,甚至100倍,在电子显微镜下已揭露出大量的小到 $\sim 0.02 \mu\text{m}$ ($2 \times 10^{-6} \text{cm}$; Green and Radcliffe, 1975)的包裹体。可能沿颗粒边界位错和边界捕获的包裹体的大小一直连续变小到单个水分子 ($\sim 2 \times 10^{-8} \text{cm}$ 的大小; Spear and Selverstone, 1983)。普通的白色石英或白色的方解石的白色是由于每立方厘米中有 10^{19} 个包裹体所致。绝大多数流体包裹体研究是对大小为10—100 μm 的包裹体进行的,变质地体中的一些包裹体研究是对小于10 μm 的包裹体进行的。

第二节 背景

一、历史的回顾

与一些古代文献中简短地提及不同,第一个明确地描述包裹体是十一世纪中亚的学者——Abu Reykhan al-Biruni (Lemlein, 1950)。Robert Boyle's (1672) 关于在石英中一个大的移动气泡的描述显然是英文的第一篇有关包裹体的参考文献。早期的自然学家对大的包裹体显出很大的兴趣和重视 (Dewey, 1818; Dwight, 1820; and Smith, 1953), 虽然一些早期报告已研究了所捕获流体的性质 (即 Dolomieu, 1792)。第一个建立起特定包裹体成分的实际分析工作的是 Breislak (1818), Davy (1822), Brewster (1823a) and Nicol (1828); 这种工作作为矿物和岩石是从水中形成的水成论的理论是最强有力的支持。在以后的155年里由于各种各样理由,作了大量的包裹体研究。许多研究的目的是为了应用和证明由 Sorby (1858) 提出的理论不能成立。Sorby 认为存在于大多数包裹体中的气泡是从较高的捕获温度 (T_t) 冷到观察时的温度的过程中包裹体中液体和包裹的物质的不同收缩的结果^②。Sorby 指出与包裹体中流体相似的各种液体溶液在加热时的膨胀系数 (以及相反地, 在遇冷时的收缩系数) 要比包裹体的物质或主矿物大一或二个数量级。因此认为捕获温度可以从加热到使气泡消失这一点的温度来估计, 这个温度即是均一温度 (T_h)。虽然绝大多数早期的工作是以描述为主, 偶见一些定性分析的资料 (即 Zirkel, 1870), 并且一些定量的分析是在没有现代化技术和仪器的条件下作出的。尽管存在这些限制, H.C. Sorby and Ferdinand Zirkel 的工作是十分出色的。他们许多有关包裹体含义的结论, 经得起时间的考验, 并且他们的许多观察至今仍然是正确和有用的。

①在本书中, 如同在绝大多数包裹体文献中一样, 大小这个术语用的相当不严格, 因为包裹体的形状是非常不规则的。大小一般代表包裹体主体的最大尺度而忽略其切片方向, 对大小作更精确的定义在包裹体研究中是没有意义的。

②通常, 在较早的文献中, 把液体中的气体或气泡 (其范围从高压气体到接近真空) 叫做易变体, 而把整个包裹体, 不管其存在的相如何, 叫做液泡或空隙, 现在这两个名词已不采用。也许气泡这术语对于流体包围的 (或由玻璃包围) 气相来说是最合适, 但遗憾的是一些地质学家不正确地把这个术语应用到含有气液和液相的整个包裹体中。

在 Sorby 那个时代,包裹体是许多地质学家广泛研究的题目和争论的问题,从他们的研究中得出的一些结论,对一些地质思想的教育是那样的混乱,而且许多影响使他们对包裹体丧失信心。Phillips (1875) 指出在同一样品中存在着在成分上和特征上有很大的差异的不同的包裹体,显然 Sorby 对此问题是过份简单化了。对流体包裹体证据挑战的最严重的问题之一是渗漏。Skinner (1953) 和在那个时期的一些其他作者发表了证据,证明在一定条件下,包裹体是会渗漏的,15年之后他放弃了原来的结论 (Roedder and Skinner, 1968), 但是即使在今天,一些人勉强接受了包裹体的资料是基于两个理由: (1) 许多包裹体的次生成因的证据; 可见 (2) 流体包裹体渗漏这个错误已被证实。一般来说, 在自然界中, 特别是在特定的变质环境中, 一些流体包裹体有渗漏现象; 但是这种渗漏在许多其他环境中是可以忽略的。实际上, 成因上的不明确和后成的环境可能使资料更加有意义, 如果所用的技术适合于解决这种模棱两可的话。如果你得出的结论超出了可利用的事实(和它们的) 限度, 则误差可能增大。不幸的是, 包含这样的结论的文章已发表了不少, 有些过份的称赞包裹体研究, 有一些过份贬低包裹体研究, 这些文章已造成相当大的误解。不管它们的成因和历史, 包裹体的确代表了在地球历史的某些时候存在的早先的流体的实际样品。据此, 流体包裹体是了解地质作用的重要线索。

二、文献来源和总结

(一) 用英文出版的文献

流体包裹体的文献非常多但甚分散。Smith (1953) 提供了在 1953 年以前出版的 400 多篇文献及其全面注释的文献目录, 但是由于近年来对包裹体的兴趣大增, 从那时以来, 文献几乎增加到二倍, 任何人如果对包裹体有兴趣, 应学习 Sorby 的经典论文 (Sorby, 1858), 这篇论文表明他在这个领域中是一个思路非常清楚的人, 正如他在许多其它领域一样, 这本书将在他去世 75 年和他的关键性的论文发表 125 年之后发表。他是一个了解所有科学的人, 并且被广泛承认为显微岩石学之父 (D. W. Humphries, 引自 Johnson, 1979), 他也是流体包裹体研究之父。

Gübelin (1953) 出版了一本 220 页的以流体和固体包裹体为基础的鉴定宝石的书。在最近几年为一些人举办了一系列的流体包裹体专题讲座, 如在伦敦的帝国学院 (1978), 纽芬兰的圣约翰纪念大学, 1979 年澳大利亚的特罗布 (La Trobe) 大学, 加拿大矿物学会在卡尔加里大学 (1981) 和在孟买的印度技术研究所 (1982), 所有的这些专题讲座的讲义均已发行。在流体包裹体成分和它的意义, 以及获得这些资料所用的许多方法的可靠性的广泛评述已由 Roedder 在 1972 年发表, 因为那篇论文不再由美国政府的印刷所保存, 那篇文章的一些片断将包括在本书中, 主要是在第四章和第五章中。

除了专题讲座外, 在西方开过许多有关流体包裹体研究的会议。其中一些会议是由 COFFI (国际成矿流体包裹体委员会) 在各种国际会议上组织的, 而其它一些会议是单独组织的 (详见 Roedder, 1968a), 在苏联举行的会议甚至对它的规模也不甚清楚 (见下面)。

(二) 苏联出版的书

G. B. Naumov, Mironova and Naumov (1976) 报导说, 在 1975 年他们的流体包裹体文献目录有 2900 条。其中 2/3 以上的论文是用俄文发表的, 2900 篇中的 70% 是在 1965—1975 年之间发表的, 由于这些俄文文献 Smith (1953) 收集很少, 所以 Lemmlein (1956) 对苏联流体包裹体工作作了简短的评述并作为附录加到 Smith 的书俄文译本上。这个附录也已译成英文 (Lemmlein, 1956b)。对西方的流体包裹体工作定期性的评述已在苏联发表, 但是尽管如此, 虽有大量的流体包裹体著作已在苏联发表, 一个精彩的简短的有关苏联各种研究现状的评述是 Bakumenko and Dolgov (1977) 作的, 并已经译成英文。

除了由 Deicha (1955) 写的 126 页的法文书外, 从苏联来的书均是非英文的包裹体的书。一本 169 页的有关包裹体研究的书 (Kalyuzhnyi, 1960) 是用乌克兰文写的, 那本书强调鉴定和研究所存在的相的方法, 特别是由 Kalyuzhnyi 和他的同事们所采用的方法。已有大量的在关包裹体的书在苏联出版: Lesnyak (1964, 219 页); Kostyleva (1964, 98 页, 有关爆裂法); D.N. Khitarov (1965a 主要是成分, 189 页, 336 篇参考文献); IKorskii (1967a, 121 页, 有关 Khibiny 碱性岩体中的有机包裹体), Ermakov and Dologov (1979, 271 页) 《热压地球化学》, 热压地球化学是流体包裹体研究在苏联常用的同义词); Moiseenko and Malakhov (1979 年, 200 页, 有关包裹体研究的仪器和方法); Rekharsky (1980, 200 页, 也是有关包裹体研究的仪器和方法) 等。

在流体包裹体方面的第一本书是由 Ermakov 写的 (1950, 有时译成 Yermakov)。这本书 460 页已由俄文翻译成英文, 它总结了 1950 年以前的苏联大量流体包裹体方面的工作。其后的苏联有关流体包裹体的书, 提供的文献在某种程度上是混乱的, 除此之外, 某些书则文献极少。自从 Ermakov 书出版之后, 以 Ermakov 为主编的“全苏光压矿物原料研究所所报”创刊了。第一卷的第二部分 (177 页, 莫斯科 1957) 和第二卷的第二部分 (134 页, 莫斯科 1958, 论述到包裹体, 已译出附在 Ermakov 的英文版书中, 我知道这个出版物至少已出版了五卷以上, 但我尚未见到 (见批注“参考”)。

(三) 会议论文集

第一届全苏矿物温度计和压力计会议是在 20 年以前在莫斯科举行的 (1963 年 5 月 17—24 日), 会议主要述及包裹体研究, 共提交 60 余篇论文。后来出版了《矿物温度计和压力计》一书 (Smirnov et al, 1965), 共 328 页, 但未译成英文。在这本书的一篇论文中对文献的 400 余个包裹体分析数据作了评述 (Khodakovskiy, 1965)。这次会议的另外 38 篇论文由莫斯科矿产资源出版社在 1966 年出版 (Ermakov, 1966a), 是全苏光压矿物原料研究所所报第九期。

第二次地质温度压力计会议 (主要为包裹体) 于 1965 年在 Novosibirsk 举行, 会议共有 102 篇论文, 分两卷出版书名为《矿物压力计和温度计》, 第一卷 (Ermakov, 1968a, 368 页) 共 47 篇论文, 讨论矿床的形成的一般物理化学问题和包裹体研究作为勘探手段的应用。第二卷 (Ermakov, 1968b, 320 页) 包括 53 篇论文, 述及到矿床形成的热力学机制, 特定成矿阶段中单个矿物的详细研究和包裹体研究的方法。

第三次会议在莫斯科地区举行, 西方人不晓得那次会议的情况, 会议收到 161 篇论文, 并发表 280 页的论文摘要专辑 (Entin, 1968)。第四次会议在 Rostov—on—Don 举

行,会议只收到144篇论文,出版351页的包括236篇详细摘要的书(Ermakov and Trufanov, 1974)。第五次会议1976年在Ufa举行,包括255篇论文(Ermakov, 1976),第六次会议于1978年在Vladivostok举行,共有二卷论文摘要,第一卷是地质学中的热温热压地球化学,第二卷是热压地球化学和矿床成因(Ermakov, 1978)。第七次会议原定1983年在L'vov举行,后来又改到1984年举行。

除了上述一系列会议外,苏联还举行了有关包裹体的专门学术会议,例如,其中之一是1975年在L'vov举行的“在矿物形成的内生过程中碳和它的化合物”会议,以及许多其它较小的会议。大部分这些会议都是公开宣布的,这些会议的论文摘要都已翻译并作了索引,除个别只作分类外还有一些摘要没有多大用处(Roedder, 1968a)。

在西方也举行一些较小的会议,有一些已出版了专刊。其中三个比较出名的是在“Schweizerische Mineralogische and petrographische Mitteilungen”第50卷第一部分(1970, 208页);法国矿物学杂志Bulletin de Mineralogie, 1979年第102卷第5—6期(197页);化学地质(Chemical Geology) 1982年第37卷第1—2期(特刊, 213页)。中国第一届流体包裹体会议于1977年广西举行,出版375页的包括45篇论文和10篇摘要,以及许多图版的书(科学出版社1981)。中国另外一个较小的会议是在1981年举行,收到48篇论文(chi, 1981)。流体包裹体研究现在至少有27个国家已开展。

(四) 论文摘要集

从1968年以来,每年均出版一本流体包裹体研究和其有关论文的英文摘要本,书名为“流体包裹体研究——国际成矿流体包裹体委员会记录”(Roedder, 1968a)。这种英文摘要汇编有时简化为“COFFI”代表。虽然原来的宗旨只在于对成矿流体的研究,但摘要汇编却包括了所有类型的流体包裹体(水溶液的、有机的、硅酸盐熔体的、气体的包裹体等)。

第三节 从流体包裹体获得的数据

地质学家的工作就象是一个侦探,期望从现存的证据中去重建过去漫长年代所发生的事。与侦探不同的是,地质学家们是研究在几百万年,甚至几亿年以前发生的事件,并且必须综合才能从漫长的地质史中得出不寻常的稀少的线索。正如在第十一章到第十八章所详述的那样,流体包裹体提供了距地表很远的流体的记录,尽管是复杂的、少量零碎的和很小的。但流体包裹体仍提少量供的但是有用的线索,这些线索对于揭露过去的地质过程有用。不管他们的成因和历史,流体包裹体代表了真正的样品(只有少数例外),而且是唯一的样品(即存在于地质时期的某个时候的岩石中所存在的流体的样品)。因此他们在了解地质参数(形成岩石或穿过岩石的流体的温度、压力、密度和成分方面)是一个重要的线索。在许多岩石中,只有他们能提供这些数据。

关于包裹体应用的最早的和最显著的例子是在矿床研究中,一个矿床的成矿流体被假定只富含现在存在的那些组份,甚至与矿床中这些组份的丰度成正比。然而,大多数流体所含的,除了成矿元素外,是大量的挥发份和可溶性的盐类,而这些东西在矿床中除流

体包裹体外不留任何痕迹，因此我们可以通过对这些包裹体研究来了解成矿过程。

一、温度

用流体包裹体去解释过去地质事件中的温度是由 Sorby 在 1858 年提出的。从那以后，流体包裹体地质温度计的资料已出现在成千篇科学论文中，并且包裹体已成为最为广泛采用的地质温度计。尽管这是个最常见的用途，但流体包裹体最惊人的方面是很少提到的，即自然界所提供了如此巨大数量的温度线索。在普通石英或方解石的每 cm^3 中可能含有 1 亿个流体包裹体，每一个都是自含记录 (Self-contained recording) 的地质温度计，给我们保存了过去特定时刻的温度，即在密封特定包裹体那个时刻的温度。这 1 亿包裹体的大多数可能记录了相同的温度（或者有几个温度，它们代表样品所遭受的少量其它地质作用），这一点对我们来说毫不足怪。

流体包裹体在地质温度计上的应用是基于在从捕获温度冷却到观察时的温度时主矿物和包裹体中所含流体的不同收缩的结果。流体远比主矿物收缩得厉害，最简单的是在地表时，这种不同可从流体中看到气泡。我们可以通过加热样品直到气泡消失（即流体包裹体均一化）来复原这个过程，在显微镜下，去获得在几百万年或几亿年前气泡首次出现的温度（图 1-1）。正如在以后的章节中要详述的可以观察到许许多多的错误现象，为此必须进行校正（有时是主要的），实际上，这就是地质温度计的均一法。用此法获得的温度范围，对许多硅酸盐熔融包裹体来说是可以从 1000°C 以上（即包裹体中的流体为熔体或熔浆）直至室温或者更低。这样的显微镜研究以及在非常低的温度下进行的研究，有时可用“显微温度计研究”这个术语。

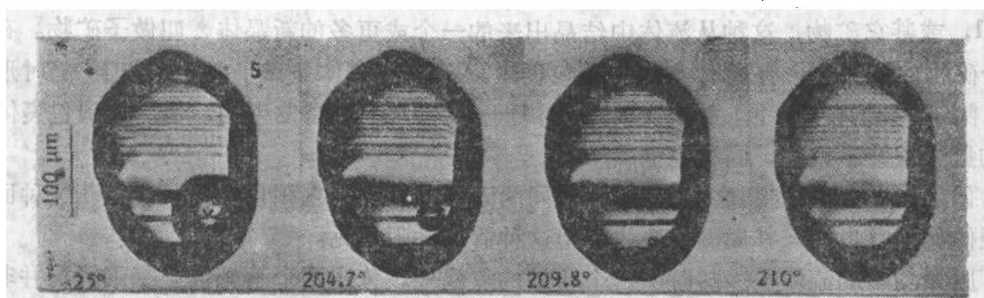


图1-1 科罗拉多州 Creede 闪锌矿 (S) 中一个大的原生包裹体在不同温度时的一组显微照片 (样号 ER 57-34)，包裹体中的水平状界线为空穴壁上的摆动条纹。在加热时气泡体积随温度的增加而缩小。这个包裹体可以认为它在 210°C 时均一到液相 (据 Roedder, 1972)。

二、压力

流体包裹体获得的数据可以提供捕获时环境的压力信息。各种手段已用在这个研究中。所有均基于相似流体的热力学性质的实验资料，并且许多仅提供了形成时的最大或最小压力，即使这样有限的资料也是有用的，所测的压力范围从接近大气压直到许多千巴。

三、密度

如果现在存在于包裹体中的每个相（即液相、气相或晶体相）的密度和成分是可以测定的，单个包裹体的体积不变，则在包裹体中物质的总平均密度是可以计算的。这种密度在了解地壳中流体的循环是重要的，因为这种循环通常是由于密度不同所致。只有流体包裹体能直接提供这些以前流体密度的资料。

四、成分

根据包裹体在低温和高温下相的特征，许多非破坏性方法可以获得流体包裹体成分的定性、半定量、甚至定量的资料，可是，有一些仍然需要打开包裹体来分析。非破坏性方法一般包括所见的岩石外，最常见包裹体类型是由低粘度的流体和一个在地表温度下通常比液体的体积要小的气泡所组成。液体体积与包裹体总体积之比有时叫做充填度。液相一般是含小于10 wt%盐类的水溶液，但盐类的浓度从大于50 wt%到0 wt%。溶质主要是由Na、K、Ca、Mg、Cl和SO₄，以及较小量的其它离子所组成。虽然Na和Cl一般来说是最丰富的，但上述的许多单个的离子有时可能占有主导地位，在液相和气相中CO₂是常见的，并且可能是主要的。CH₄也在许多包裹体中存在。如果气泡仅是由收缩引起的，则它是仅含有几毫米汞柱蒸汽压的水蒸气（实际上是一个真空），这也是在室温下大多数水溶液的特征。在其它的包裹体中，气泡是高压气体（最常见的是CO₂），这些高压气体以前是溶于流体中。在低温下，有时甚至在液氮温度（-196℃），可以通过对相性质的研究来测定流体包裹体的成分。

如果在从捕获温度冷至地表温度时，流体变成过饱和并形成可溶性盐，例如NaCl，或其它矿物，这种从流体中结晶出来的一个或更多的新晶体，叫做子矿物。在这些子矿物中可能也含有液体加气体的包裹体，这些包裹体是在子矿物冷却结晶时形成的。除了形成子矿物外，主矿物从流体中进一步结晶是经常发生的，但所加到包裹体壁上的量通常并不重要，同时也觉察不到。

偶尔在一个晶体生长的过程中，相同的固体晶体或其它相也被捕获。捕获这种固体包裹体的同时也捕获其周围的流体，但这种情况并不常见。

原始均匀的流体在冷却时除一个收缩的气泡外，分出两个不相混溶相的情况并非罕见。一些作者采用三相包裹体这个通用术语，当用这个术语来代表这种在冷却才出现三相的包裹体时，而又未加说明；另外一些人采用相同的术语去说明包裹体含有晶体相、液相和气相。其结果造成含糊不清，有时无法判别，并且常常令人不快。通常，在一给定的包裹体中，有两个液体和一个气泡，一个是水溶液，一个是液体CO₂，气泡是在一定压力下的CO₂气泡。不太常见的是，与水不相混溶的第二种液体是碳氢化合物。这种包裹体不能是从一个原始不均匀的流体中捕获的，在这种情况下碳氢化合物液体是悬浮在水中的。

在火成岩和陨石中的包裹体（有时叫做岩浆包裹体）可能由一个无色到棕色的硅酸盐玻璃和一个收缩的气泡组成，有时还会有一个或更多的子矿物，例如辉石或长石。更少见的是那些由硫化物熔体，CO₂或碳氢化合物流体组成的包裹体。在快速冷却的岩石中包裹体可能主要是硅酸盐玻璃，而在缓慢冷却的岩石中则倾向于具有子矿物，并且在

深部的侵入岩中的硅酸熔融包裹体可能完全结晶而变成“石质”包裹体，因此很难辨认（因为它们与固体包裹体相似）和研究（因为它趋于不透明）。在任一给定的岩石中，大的包裹体容易结晶，而小的则趋于玻璃质。

由于水（加少量 CO_2 ）是许多液体包裹体的主要组份。所以包裹体中所存在的流体的量，对主矿物的水或（OH）的化学测定不会造成很大的误差，不管你用什么方法，实际上测得的结果是准确的，但仍几乎不可能测得确切的水量。存在包裹体流体中的任一溶质通常作为样品总分析的一部分；液体包裹体对不同的“纯”矿物分析作出贡献，一些非挥发份的每一组份可贡献到矿物分析中大约 100 ppm。作为一个极端的例子，在一些花岗岩长石中的流体中，包裹体含有 NaCl 子矿物是很常见的，长石单晶的 x 射线照相可以看见 NaCl 的粉晶衍射线（Roedder and Coombs, 1967）。

已作的流体包裹体的许多化学分析（包括我自己作的在内）受到很大的局限性。化学操作有理由认为没有问题；但是样品太小以及包裹体和主矿物的成分广泛变化使包裹体的化学分析远离常规，并且包含着极大的分析不确定性。因为体积随半径的立方而变化，所以一些相对大的包裹体可能要比成千的小包裹体所包含的流体来得多，这个简单的事实就可使为了试验分析的准确性而需获得真正的完全一样的样品成为不可能。

更严重的是这样的一些问题，如所萃取的包裹体是多成因的，在萃取时大规模的污染或丢失。这些因素在许多研究中是不可能估计到的。所用样品的本质的性质的重要性没有得到应有的强调以及在获得可用物质的困难方面是大多数包裹体研究中的主要问题。所用样品的性质对选择合适的研究方法和估价所获得的测量值的精确度、准确度时是首先需要考虑的重要问题。

第四节 流体包裹体的应用

因为流体包裹体在地质样品中几乎无处不有，因此对它们的研究能应用到各种地质问题和领域中。本书各章节所讨论的一些应用包括如下内容：

（1）在矿床研究中，流体包裹体已提供了用于各个方面的许多资料，这些方面包括立即见效的矿床勘探问题和同样重要的、在较长时间才能见效的了解矿床形成的物理和化学环境问题。

（2）在研究月岩和陨石样品中，流体包裹体帮助我们重建各种地球以外（也许地球体的早期）的过程。

（3）在宝石学，流体包裹体可被看作为缺陷的特征，因为包裹体通常是宝石不完美的所在，这就是昂贵的宝石和便宜的矿物标本之间的不同，但是它们也在勘探宝石矿方面、宝石鉴定、确定宝石的来源和区分天然和人工宝石之间却成为有意义的缺陷。

（4）在地层和沉积作用方面，流体包裹体被看作有用的“指纹印”以鉴定砂岩，石英岩和砾岩中的碎屑颗粒的来源。

（5）在复杂的火成岩和变质岩地带，有时流体包裹体用于阐明岩石成因和构造作用；在上升和侵蚀作用时压力和温度的变化，它们甚至有助于辨认出隐爆和爆发的火山作用。