

含油气盆地流体包裹体 分析技术及应用

张 甬◎著

石油工业出版社

含油气盆地流体包裹体 分析技术及应用

张 鼎 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从基础的流体包裹体分类谈起,总结自然界中包裹体特征,列出包裹体在常温下分类;说明了流体包裹体地质岩相学特征和描述含油气盆地烃包裹体的显微特征。具体阐述含油气盆地流体包裹体在实际研究中的应用和分析方法,对分析研究涉及的实验原理、方法和相关仪器进行了归纳和说明。本书最大的特色是将流体包裹体实验分析测试与含油气盆地应用密切结合起来,每种分析方法都有实际应用例子加以说明。

本书对从事地球科学和油气勘探的学者有较强的参考价值,本书对流体包裹体研究的技术工作者和实验室研究人员有很好的帮助作用。同样也适合高校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

含油气盆地流体包裹体分析技术及应用/张鼎著.

北京:石油工业出版社,2016.8

ISBN 978-7-5183-1314-3

I. 含…

II. 张…

III. 含油气盆地-流体包裹体-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 123670 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523537 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:19.5

字数:497 千字

定价:150.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

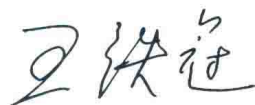
序

沉积盆地地层的流体包裹体是古地质流体属性的沉积记录,其中烃包裹体又蕴含着古烃类组成、古温度与古应力状态、流体状态、油气源以及油气成藏与演化历史的丰富信息,获取这些信息对于油气地质学理论与油气勘探实践均具有重要意义。

在油气地质学与地球化学领域,油气藏流体包裹体的研究也已经得到石油地质家与勘探家的普遍关注,主要是通过流体包裹体测温,结合地层埋藏史分析,厘定油气充注成藏的期次及其地质年龄(时间),重建油气成藏历史,可望构成支持油气勘探部署的有用信息。

但是,目前这项研究尚存在着诸多问题,正如[英] Emery 和 Robinson(1999)所指出:“从样品采集、制备到数据采集,尤其是解释,都要加倍小心;不幸的是,沉积岩的流体包裹体数据被频繁收集和悉数报道,但是地质解释缺乏慎重,一厢情愿”,“甚至难以对成果做出评价”。因此,要求研究者既要熟练掌握成岩矿物学知识与显微测温技术,还要精通石油地质学原理,熟悉研究区地质背景。为此实验测试专家与石油地质专家需要相互学习,使得分析测试成果与区域石油地质背景紧密结合,为研究区的油气勘探提供可靠的参考依据。

张鼎高级工程师撰写的《含油气盆地流体包裹体分析技术及应用》一书详细论述了流体包裹体的基础理论和具体测试方法,并附有其应用研究例证。全书以流体包裹体的概念、流体包裹体的多种研究方法及其操作、研究成果为论著主线,向读者展现流体包裹体的测温技术及作者对含油气盆地流体包裹体的最新研究成果。无疑该专著的出版会有利于研究者的相互学习,我相信流体包裹体的实验测试与地质研究人员,特别是青年学者,会从这部专著中获得裨益。



2016年6月9日

于中国石油大学(北京)

前 言

地质流体赋予了地球生命和希望,让我们的星球生机盎然、生命延续。不止生物体,非生物体也因地质流体而此消彼长,元素转移、矿物生成、岩石胶结、油气运移均以地质流体为载体,封存在矿物中的流体包裹体就是古地质流体、古油气的“足迹”,通过流体包裹体,我们可以窥视古地质流体、古油气形成时的地质状况。

早在公元 10 世纪,我国就对流体包裹体留下记录“滴翠珠”、“禹余粮”、“空轻”……。但真正将流体包裹体应用于科学研究应在 19 世纪中期,Sorby (1858) 提出包裹体地质温度计原理和方法。随后流体包裹体研究进入快速发展期,从测温发展到成矿流体研究和地球化学研究。现今,主要是利用人工合成流体包裹体对其进行 PTVX 研究、流体包裹体成分分析。流体包裹体研究已广泛应用于成岩分析、矿床学、构造地质学、岩浆岩演化和油气勘探等领域。

油气勘探领域的流体包裹体研究虽起步较晚,但越来越多的石油地质专家将烃包裹体作为油气藏机理研究的有效手段。目前,烃包裹体研究取得了很多成果:(1)激光扫描共聚焦显微镜可对流体包裹体三维体积和气液比进行精确测定;(2)烃包裹体岩相学和有机地球化学研究相结合,分析储层中油气的充注期次、充注路径、成藏过程、烃来源、成熟度和受生物降解程度等;(3)烃包裹体温度测定与压力的热力学计算方法及组分模拟,研究油气藏成藏期次和成藏温压条件;(4)流体包裹体同位素测年或均一温度推测油气藏运移和形成时间;(5)流体包裹体地层分析:对钻孔储层的密集取样进行在线色谱—质谱的包裹体有机和无机组分快速分析与流体包裹体的鉴定相结合,评价油气运移和聚集方面有很大进展;(6)烃包裹体丰度 GOI 和 EGOI 值、颗粒荧光分析,分别对储层中含油饱和度,或油层、运移通道、水层进行辨别,区分地层剖面古油水界面。

烃包裹体研究成果较为丰富,但比较缺少将这些成果整合并详细介绍在生产中具体应用的书籍。本书将含油气盆地烃包裹体研究成果统一整理,同时注重基础知识和流体包裹体实验研究分析的讲解,做到理论成果和实验分析相结合。按照先原理后应用的编排原则,第一和第二章介绍含油气盆地流体包裹体的基本概念、原理和地学特征;第三章用图示生动描述了含油气盆地流体包裹体的显微特征;第四章至第十二章阐明含油气盆地流体包裹体在油气勘探领域研究中的主要方法及应用,包括从分析方法的原理、步骤、实验结果处理,到科研生产中的具体应用实例。其目的是将流体包裹体在含油气盆地中具体研究应用及实验方法提供给读者,希望能帮助到流体包裹体行业的专家学者。由于笔者水平原因,书中的不足之处还请读者指正。

本书由张鼎著。以下人员参与了部分章节的资料提供及校对工作:中国地质大学(北京)赵欣第二章,中国石油勘探开发研究院余小庆第三章,塔里木油田凡闪第四章,加拿大滑铁卢大学田隆第五章,大港油田潘文龙第十章,中国石油勘探开发研究院陈建平、张文龙、魏彩云第十章,米敬奎第十一章,中国地质大学(北京)蒋静第十二章。书中还引用了部分同行业专家的学术成果和资料,在此特别说明并向他们致谢。

本书编写过程中受到中国石油勘探开发研究院张水昌所长、陈建平教授、王晓梅副总地质师、罗忠主任、高志勇主任、倪云燕主任、石昕主任等,以及塔里木油田王招明总地质师、杨海军院长、杨文静院长、肖仲尧主任、张宝收主任等领导 and 专家的大力支持、指导和帮助,在此谨向他们表示衷心感谢。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 包裹体定义	(1)
第二节 包裹体分类	(2)
第三节 流体包裹体的形成	(26)
第四节 流体包裹体非均匀体系	(28)
第五节 流体包裹体后生变化	(30)
参考文献	(33)
第二章 含油气盆地流体包裹体研究的地学基础	(36)
第一节 地质背景研究	(36)
第二节 包裹体的岩相学研究	(37)
参考文献	(41)
第三章 含油气盆地烃包裹体的显微特征	(42)
第一节 烃包裹体的识别	(42)
第二节 烃包裹体的显微特征	(46)
第三节 伴生盐水包裹体的识别	(66)
第四节 盐水包裹体中子矿物的识别	(67)
参考文献	(67)
第四章 含油气盆地流体包裹体的温度分析及应用	(69)
第一节 流体包裹体的均一法测温	(69)
第二节 流体包裹体均一温度的应用	(77)
第三节 流体包裹体的爆裂法测温	(87)
第四节 流体包裹体盐度的估测	(89)
参考文献	(94)
第五章 含油气盆地烃包裹体的 GOI 和 EGOI	(98)
第一节 砂岩古油层的 GOI	(98)
第二节 碳酸盐岩古油层的 EGOI	(101)
第三节 气藏烃包裹体含量统计方法	(110)
第四节 含油气盆地烃包裹体的 GOI 和 EGOI 特点	(114)
参考文献	(114)

第六章 含油气盆地流体包裹体的光谱分析及应用	(116)
第一节 烃包裹体的荧光光谱分析	(116)
第二节 烃包裹体的颗粒荧光分析	(134)
第三节 烃包裹体的红外光谱分析	(141)
第四节 流体包裹体的拉曼光谱分析	(151)
参考文献	(177)
第七章 流体包裹体打开方法和前处理	(184)
第一节 样品挑选	(185)
第二节 样品净化	(185)
第三节 打开流体包裹体	(187)
参考文献	(192)
第八章 固体包裹体成分分析及应用	(194)
第一节 扫描电子电镜分析	(194)
第二节 电子探针分析	(196)
第三节 离子探针分析	(197)
参考文献	(198)
第九章 盐水包裹体成分分析及应用	(199)
第一节 四极质谱法	(199)
第二节 电感耦合等离子质谱法	(200)
第三节 激光剥蚀电感耦合等离子质谱分析	(201)
第四节 质子诱发 X(γ) 射线分析	(204)
第五节 同步辐射 X 射线荧光分析	(205)
第六节 离子色谱法	(207)
第七节 原子吸收分光光度计	(208)
第八节 常规数据分析及计算	(209)
参考文献	(210)
第十章 烃包裹体成分分析及应用	(213)
第一节 气相色谱分析及应用	(213)
第二节 成分色谱—质谱分析及应用	(227)
第三节 稳定同位素分析及应用	(252)
参考文献	(255)
第十一章 含油气盆地流体包裹体的压力分析及应用	(261)
第一节 子矿物形成压力分析	(261)
第二节 盐水包裹体形成压力分析	(261)

第三节 烃包裹体形成压力分析	(267)
参考文献	(278)
第十二章 含油气盆地烃包裹体期次及形成时期	(280)
第一节 烃包裹体期次	(280)
第二节 烃包裹体形成时期	(281)
第三节 推测油气成藏时期的方法	(292)
参考文献	(297)

第一章 绪 论

自然界和地质界“包裹体”一词应用很广,但包裹体不管在定义上还是分类上都是百家争鸣。定名的主要争议:(1)流体包裹体的范畴,以前以被包裹前的流动状态定义流体包裹体,故岩浆熔融包裹体列在流体包裹体中^[1],但在室温下已是固相;(2)烃包裹体定名很不统一,中文有油气包裹体^[2,3]、石油包裹体、有机包裹体^[4]、烃包裹体^[5]多种叫法;英文有 Petroleum Inclusion^[6,7]、Oil Inclusion^[8,9]、Hydrocarbon Inclusion^[10,11]、Hydrocarbon Fluid Inclusion^[12];(3)盐水包裹体和烃包裹体相态定名没有统一。在包裹体分类上更是百家争鸣:(1)流体包裹体分类依据的不同,有的以被包裹前的相态为依据,有的以常温下相态为依据^[13],有的以在矿物中的位置为依据分类^[1];(2)对烃包裹体的分类依据更不一致,有的以相态为依据^[14],有的以烃包裹体烃成分的轻重为依据^[1],有的以烃包裹体的荧光特征为依据^[15],有的以烃包裹体分布位置或成因分类^[16];(3)最常见的气液包裹体分类也不同,有的按均一化后成均一气相还是均一液相分,有的按常温下包裹液相,气液相、气相分;(4)盐水包裹体和烃类包裹体分类依据没统一。

随着包裹体研究方法的提高更新,很多方法是依据常温下包裹体的状态,如固体包裹体、液相包裹体(含气液相包裹体)、气相包裹体所选用的测试方法和前处理可能完全不同,但相同相的包裹体所用方法可能是相同的,故以常温下对包裹体进行分类更直观易辨,并有利于选择测试仪器和前处理方法,这也是实验室分析流体包裹体现有标准的主要分类方案^[18]。

第一节 包裹体定义

地质学中包裹体的研究起源可追溯到 11 世纪,中亚的学者 Abu Reykhan 首先对包裹体做了明确描述,19 世纪中叶 Sorby 等^[18]在石英和黄玉中发现了各种形态的包裹体,并明确了包裹体的定义,之后国内外很多专家定义过包裹体^[19-22]。包裹体(Inclusion):矿物在生长过程中或形成后所捕获而包裹在矿物颗粒内部的外来物质,有 3 个方面特征:(1)相对封闭系统;(2)有明显的相界面;(3)有独立的地球化学体系。

一、流体包裹体定义

流体包裹体是包裹体中的一种。1858 年,英国的 Sorby^[18]对流体包裹体的性质和成因进行了开拓性的研究,认为可以用气液包裹体测定成矿温度。1933 年,美国的 Newhouse^[23]用均一法测定了密西西比型铅锌矿中闪锌矿的均一温度,将该矿床定义为低温热液矿床,从而引起人们对流体包裹体的重视。1953 年,Smith^[24]通过对前人发表的 400 多篇文献进行了系统总结,并且发明了爆破法,该方法使测定不透明矿物中流体包裹体的温度成为可能。由于人们对流体包裹体进行深入细致研究的结果^[25,26],使流体包裹体有了较为全面和科学的定

义^[19-22,26,27]。流体包裹体(Fluid Inclusion):在赋存矿物形成时或形成后被包裹其中的成岩流体、成矿流体、岩浆水、变质水、石油、天然气,有独立的相界,在常温下能流动,自成为一个独立的流体地球化学体系,包括:

- (1)流动体系,包裹体形成后,还为流体系统;
- (2)等容体系,包裹体形成后,包裹体的体积没有发生变化;
- (3)封闭体系,包裹体形成后,包裹体组分未发生变化,与赋存矿物未发生反应,没有物质的进入或逸出。

二、烃包裹体定义

石油的侵入与成岩作用关系尚有争议,后者与储层物性密切相关。有人依据石英胶结物中存在烃包裹体及其均一温度同现今储层温度相近,以及油、水饱和带之间孔隙度的相似^[28],认为石油侵入不会终止成岩作用。有人根据一些含油砂岩或碳酸盐岩储层孔隙度的显著差异,认为石油充满储层会抑制成岩作用^[29,30]。最近的实验表明,只要达到一定的温压条件,即使在石油饱和度很高的环境下也会发生石英的胶结和捕获油气成烃包裹体^[31],悬浮油滴分布在盐水溶液中,矿物结晶生长时,捕获盐水溶液,形成盐水包裹体;捕获油滴,形成烃包裹体;二者一起捕获就形成既含油气又含盐水的包裹体。这些成果为利用烃包裹体及其伴生盐水包裹体,探讨油气的形成、运移、聚集与后期变化奠定了基础。

烃包裹体的研究虽然起步较晚^[32],但是最近 20 多年日益受到石油地质学家的重视,成为研究油气成藏机理的一种有效方法^[4,33,34]。1981 年,Burruss 较为全面地介绍了烃包裹体的定义及研究概况^[13]。近年来,国内学者对烃包裹体进行了一系列的描述^[16,24,35-37]。因为石油是由饱和烃、芳香烃、非烃和沥青组成,当石油是流动状态时,必含有一定量的饱和烃和芳香烃,当热演化到固体时就主要是沥青了;而天然气也是由轻烃组成,故本书建议用“烃包裹体”一词。烃包裹体(Hydrocarbon Inclusion)是被封闭在晶体矿物中的烃类,是矿物生长过程或形成后又重结晶过程中将周围的石油、天然气包裹在内,它与赋存矿物有着明显相界限,是一个独立的流动体系、等容体系、封闭体系。烃包裹体有 4 方面涵义:(1)烃包裹体是属于流体包裹体的一个类别,它的一般特征符合对流体包裹体的界定;(2)烃包裹体中的流体必须包含一个或一个以上独立的烃类相态(液态烃、气态烃);(3)烃包裹体中可以混合其他少量气体,如 CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S , He 等以及 H_2O ;(4)烃包裹体中的固体部分多称为沥青,与石油演化晚期成固态的沥青对应起来。

第二节 包裹体分类

一、前人对包裹体分类

将国内外代表性专家对包裹体的分类方案列于表 1-1。1953—1976 年,最有代表的是 1969 年 Ermakov^[44]提出的分类方案,他根据包裹体的成分和成因,建立了 21 个类型,并且根据相的相对比例,建立了一种应用很广的分类。

表 1-1 国内外代表专家包裹体的分类

作者	分类依据	大类	种类	特征
Ermakov 等(1950)	包裹体状态和成分	固态包裹体	晶质的包裹体	存在于侵入体矿物中,包裹体中出现的相主要为晶体或晶体+气体
			非晶质的包裹体	主要分布于喷出岩中,也存在于陨石和月岩中
		气态包裹体	气相	气相达 75% 以上,除气相外主要为液相,被捕获于气态溶液介质中,均一化为气相
			气-液态相	气相达 50% ~ 75%,除气相外主要为液相;从水溶液中捕获,均一化为气相
		液态包裹体	真水溶液包裹体	主要见于一般热液矿床或热液活动有关的其他矿床中;被捕获于各种浓度和温度的水溶液,加热后均化为液相;按成矿溶液的性质不同,可细分为真水溶液包裹体、胶体水溶液包裹体、含碳酸的水溶液包裹体
			胶体水溶液包裹体	
			含碳酸的水溶液包裹体	
Kalyzhyy (1960)	包裹体状态和成分	固相包裹体		包裹体中为固相或固相+气相
		液相包裹体	气液包裹体	包裹体中液相 > 3/4 (液相+气相)
			液气包裹体	包裹体液相 < 1/4 (气相+液相)
			复杂包裹体	包裹体中为 $H_2O + (CO_2, \text{玻璃, 石油})$
			CO_2 包裹体	包裹体中为液相,液气相、液气固相
			石油包裹体	包裹体中为液相,液气相、液气固相
		气相包裹体		包裹体中为气相、气固相
Smith (1963)	相变	固态包裹体		包裹体为固体
		复杂包裹体		加热时未知化合物晶质相溶解于液相中,并在某一温度之上消失
		水盐包裹体		加热时气相或液相收缩或晶质相溶解于液相中,并在某一温度之上消失
		碳化物包裹体		加热时气相或液相收缩,并在某一温度之上消失
		含水硅酸盐包裹体		加热时气相收缩,并在某一温度之上消失
		玻璃质包裹体		包裹体为固态玻璃质
何知礼 (1982)	成因、状态和成分	正常包裹体	固态晶质包裹体	包裹体内以结晶质和气体为主,含少量液体和金属物质或易溶卤化物;常见于一些侵入岩矿物中
			固态非晶质(玻璃)包裹体	包裹体内的相和晶质的相似,因是在高温低压或常压下形成的,因而成为玻璃包裹体;主要见于火山岩、某些浅成岩及其有关的矿床中

续表

作者	分类依据	大类	种类	特征
何知礼 (1982)	成因、 状态 和成 分	正常 包裹体	气态包裹体	系两相低密度气—液包裹体,均化成气相;可作为气成矿物特征
			液态包裹体	系两相高密度气—液包裹体,均化成液相;为热液矿物特征
			纯液态包裹体	即单相液态包裹体,可作为冷水沉积或低于 50℃ 温水沉积矿物的特征
			多相包裹体	系含固、液、气三相的包裹体,常见于内生矿物中
			高盐度包裹体	在室温下,包裹体中可见石盐子矿物
			CO ₂ 包裹体	在低于 CO ₂ 临界温度下,常可见到三相流体,即水溶液、液态 CO ₂ 和气态 CO ₂
			有机质包裹体	在室温下,在气—液包裹体中含石油和(或)其他有机质(如甲烷、己烷、沥青等)的包裹体
		异常包裹体		由物理作用或化学分解作用、非均匀母液形成的,不符合包裹体矿物学的基础理论的
谢佛德 (1990)	包裹 体相 态	单一液相包裹体		室温下全为液相
		富液相的两相包裹体		液相占主体,常出现一个小的蒸气气泡,气泡最大可达总体积的 40% ~ 50%
		富气相的两相包裹体		以气相为主,且占包裹体总体积的 50% 以上,但薄的液相环边仍然可见
		单一气相包裹体		完全为低密度蒸气相所充填,没有可见的液相
		多相的固相包裹体		除液相和气相外还包含了一个或多个固态结晶相,固相占包裹体小于 50%
		多固相包裹体		除液相和气相外还包含了一个或多个固态结晶相,固相占包裹体大于 50%
		不混溶的液相包裹体		以出现两种不混溶相为特征,一相是水溶液,一相是富 CO ₂ 的液相或油
		玻璃包裹体		捕获硅酸盐熔浆而成的
芮宗瑶 (1986)	捕获 时的 流体 特征	液相 + 固相		固体微粒以悬浮方式存在于矿物生长的流体中,与子矿物区别主要表现为各种相的比例不同
		液体 + 气体或液体 + 蒸汽		流体为主液体和蒸汽组成或主液体和液体中某种很次要的气体成分组成
		两种不混溶流体		两种液体组成的非均一流体
刘鑫等 (1991)	气液 比	纯液体包裹体		气液比 < 5%, 含单相液体
		气液包裹体		5% < 气液比 < 60%, 含气、液两相
		气体包裹体		气液比 > 60%, 含气、液两相
		有机包裹体		5% < 气液比 < 60%, 含烃类液体和气体

续表

作者	分类依据	大类	种类	特征
张文淮 (1993)	包裹体相数的不同	固体包裹体		是以晶质矿物或非晶质粉末等形成包裹在矿物当中的一种包裹体
		热水溶液包裹体	纯液相包裹体	室温下为单一的液相
			纯气相包裹体	室温下全为气相
			富液相包裹体	室温为液相和气相,但液相总体积大于气相体积,液相占总体积的 50% 以上
			富气相包裹体	室温为液相和气相,气相占总体积 50% 以上,均一时为气相
			含子矿物的多相包裹体	室温下为三相,气相、液相和子矿物组成
			含液体 CO ₂ 包裹体	低于 CO ₂ 临界温度时,可见液相 CO ₂ 、气相 CO ₂ 和水溶液
			有机包裹体	除液相、气相外,含有机液、气或固态沥青
		熔融包裹体	非晶质熔融包裹体	单一玻璃质熔融包裹体
			晶质熔融包裹体	结晶质硅酸盐和气泡组成
			熔融—溶液包裹体	由硅酸盐、易溶盐类、气体和水溶液组成
卢焕章等 (2004)	包裹体相数的不同	流体包裹体	纯液体包裹体	室温下全为液相
			纯气体包裹体	室温下全为气相
			液体包裹体	室温下主要是由液相和一个小气泡组成的二相包裹体,液相占 50% 以上,均一时为液相
			气体包裹体	室温下含有一个较大的气泡和少量的液体,气相占 50% 以上,均一时为气相
			含子矿物包裹体	通常由气相、液相和子矿物组成
			含液体 CO ₂ 包裹体	由气相 CO ₂ 、液相 CO ₂ 和盐水溶液所组成
			含有机质包裹体和烃包裹体	除盐水溶液、气相或其他非有机质外,全部或部分含有有机质
		岩浆包裹体	玻璃质熔融包裹体	由玻璃质 + 气泡组成,有时见少量结晶质
			流体熔融包裹体	由流体 + 气泡 + 结晶质(有时有玻璃质)组成
			结晶熔融包裹体	由结晶质 + 气泡组成
汤倩 (2005)	物理状态	流体包裹体	纯液体包裹体	室温下为单相液体包裹体,通常是从均匀流体中捕获,形成温度一般较低
			纯气体包裹体	室温下为单相气体包裹体,一般是在火山喷气、气成条件或沸腾条件下形成
			液体包裹体	室温下主要是由液相和一个小气泡组成的二相包裹体,液相占 50% 以上,均一时为液相
			气体包裹体	室温下含有一个较大的气泡和少量的液体,气相占 50% 以上,均一时为气相

续表

作者	分类依据	大类	种类	特征
汤倩 (2005)	物理状态	流体包裹体	含子矿物包裹体	通常由气相、液相和子矿物组成,最常见的子矿物有石盐、钾盐等;偶见磁铁矿和硫化物
			含液体 CO ₂ 包裹体	从包裹体中心向外,由气相 CO ₂ 、液相 CO ₂ 和盐水溶液所组成
			油气包裹体	除了气相和液相外,包裹体中还有碳氢化合物
		岩浆包裹体或硅酸盐熔融包裹体	非晶质熔融包裹体	由玻璃质组成
			结晶质熔融包裹体	由结晶质组成
			晶质—流体熔融包裹体	由结晶质 + 流体组成
伍新和等 (2009)	成分不同	纯液体包裹体		室温下全为液相
		纯气体包裹体		室温下全为气相
		液体包裹体		室温下主要是由液相和一个小气泡组成的二相包裹体,液相占 50% 以上,均一时为液相
		气体包裹体		室温下含有一个较大的气泡和少量的液体,气相占 50% 以上,均一时为气相
		含子矿物包裹体		通常由气相、液相和子矿物组成
		含液体 CO ₂ 包裹体		由气相 CO ₂ 、液相 CO ₂ 和盐水溶液所组成
		含有机质包裹体		除盐水溶液、液相、气相或其他非有机质外,全部或部分含有有机质
		油气包裹体		

1985—2003 年,中国最有代表的是芮宗瑶的分类方案,他根据捕获时的流体特征将包裹体分为由均一体系形成的包裹体和由非均一体系形成的包裹体^[40]。其中,均一体系形成的包裹体又分为原生包裹体、次生包裹体、假次生包裹体和出溶包裹体;非均一体系形成的包裹体包括液相 + 固相、液体 + 气体或液体 + 蒸气、两种不混溶流体 3 类。张文淮等^[22]在此分类基础上,又根据室温下包裹体中出现的物相种类分为固体包裹体和热水溶液包裹体,其中热水溶液包裹体又分为纯液相包裹体、纯气相包裹体、富液相包裹体、富气相包裹体、含子矿物的多相包裹体和、含液体 CO₂ 包裹体和有机包裹体 7 大类。

2003 年以来,有些学者在著作及文献中阐述了一些流体包裹体类型的划分方案,这些分类大多以流体包裹体的物理状态、成因、形成期次等指标为划分依据。其中,卢焕章等^[1]根据包裹体相数的不同(1 相、2 相、不少于 3 相),将流体包裹体分为纯液体包裹体、纯气体包裹体、液体包裹体、气体包裹体、含子矿物包裹体、含液体 CO₂ 包裹体、含有机质包裹体和烃包裹体等 8 种类型;又根据碳氢化合物物理相态将烃包裹体分为液相烃包裹体、含沥青液相烃包裹体、气液相烃包裹体、含沥青气液相烃包裹体和气相烃包裹体等。

其实自然界和地质界“包裹体”一词应用很广,除了表 1-1 所列出的熔融包裹体、盐水包裹体和烃包裹体外,还有很多常见并称为“包裹体”的,如,石英晶体生长过程中包裹的金红

石、电气石等晶质矿物^[45] (图 1-1),琥珀中含的生物体^[46] (图 1-2),苔纹玛瑙中的氧化锰^[47],超高压变质矿物如石榴石、绿辉石、绿帘石、蓝晶石等的多相固体包裹体 (Multiphase Solid Inclusion) 和出溶包裹体 (Exsolution Inclusion)^[48,49],这些都定义在包裹体范畴中。



图 1-1 水晶中的电气石包裹体,单偏光



图 1-2 琥珀中的生物包裹体

对于烃包裹体分类最早是 Burruss 和 Crawford 等提出过的分类方案^[13]。在国内,对烃包裹体的分类非常不一致(表 1-2),主要原因是分类依据不同,有人以相态为依据^[4,14],有人以烃包裹体烃成分的轻重为依据^[1],有人以烃包裹体的荧光特征为依据^[15],有人以烃包裹体分布位置或成因为分类依据^[16]。

表 1-2 前人对烃包裹体的划分方案

作者	分类				
	分类对象	分类依据	大类	亚类	特征
施继锡等 (1987), Burruss 等 (1981)	有机包裹体	相态、颜色、大小、分布等特征	烃有机包裹体	纯液体包裹体	颜色一般为黑褐色,发不同颜色及强度的荧光,多出现在成熟度较低的地区
				两种液态烃组成的包裹体	两种液态烃的颜色往往不同,另外都不呈圆形,因而确定为液相,多出现在成熟度较低的地区
				气态烃 + 液态烃组成的包裹体	气态烃相可占总体积的 10% ~ 60%,呈圆形或椭圆形,灰黑色或黑色,液态烃相透明无色或黄、褐色等色
				气态烃组成的有机包裹体	主要由气态烃组成,也见少量的液态烃或固体沥青,液态烃往往无色透明,占 5% ~ 10%,固体沥青为黑色,多分布在边缘,成厚壁状
				固体沥青组成的有机包裹体	固体沥青占 80% ~ 90%,黑色,无一定晶形,其次为少量的液态烃或气态烃,液态烃透明无色,气态烃为灰黑色

续表

作者	分类				
	分类对象	分类依据	大类	亚类	特征
施继锡等 (1987), Burruss 等 (1981)	有机包裹体	相态、颜色、大小、分布等特征	含烃有机包裹体	液态烃相 + 盐水溶液有机包裹体	液态烃相为浅黄色、浅灰色,呈近圆形,盐溶液相无色透明,无一定形状
				液态烃 + 气态烃相 + 盐水溶液相有机包裹体	各相比例不同,演化程度高则气态相相对大;气态烃相为黑色,液态烃相为灰、浅灰、黄等色,盐水溶液相为无色
				气态烃 + 盐水溶液相有机包裹体	外表上很难与一般盐水溶液包裹体区分,必须经过加热试验或成分分析方能确定
施继锡等 (1987)	有机包裹体	形成时间的关系	成岩包裹体	原生包裹体	主晶体生长期间捕获的
				次生包裹体	主晶体生长沉积结束之后形成的
张文淮等 (1993)	有机包裹体	地质条件和地质环境	原生有机包裹体		常出现在矿物生长环带、成岩时形成的同生脉体、矿物自生加大边中的含有石油、天然气等有机质的包裹体
			次生有机包裹体		因后期构造运动出现的构造裂隙和充填脉中的有机包裹体,或产生在切穿成岩矿物颗粒边界的有机包裹体
		物理相态	有机包裹体	一种液态烃组成的包裹体	包裹体只含一种液态烃,主要出现在成熟度较低的地区
				两种液态烃组成的包裹体	包裹体含两种液态烃,主要出现在成熟度较低的地区
				气态烃 + 液态烃组成的包裹体	包裹体含气态烃和液态烃,主要产于高成熟度原油产区
				主要由气态烃组成的包裹体	气态烃含量占包裹体总体积的 60% ~ 90%,液态烃很少,多出现在演化程度较高的地区
				固体沥青 + 少量气态烃组成包裹体	包裹体主要含固体沥青以及少量的气态烃,多出现在演化程度较高的地区
			含有机质的包裹体	液态烃 + 盐水溶液包裹体	包裹体内除了含有液态烃外还含有盐水溶液,主要出现在低—高成熟度油区
				液态烃 + 气态烃 + 盐水溶液包裹体	演化程度高则气态烃含量增高,多见于高成熟度原油产区
				气态烃 + 盐水溶液	出现在演化程度较高地区