

矿物包裹体在碳酸盐岩区油气 评价中的意义

施继锡 付家谟 李本超 贾蓉芬

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

内容提要: 本文对我国河北等若干地区碳酸盐岩油气储集层及非储集层研究证明, 油气藏形成的各个阶段均可形成包裹体。其中有机包裹体是烃类原生及次生运移的直接标志。油气评价中, 可以利用包裹体的类型、特征、古温度及气相成分等, 进行生油热历史及有机成熟史的研究。通过包裹体研究, 可获得古油田水的化学组成、盐度、碳、氢、氧稳定同位素值、氧化还原电位、酸度及压力等参数, 从而进行油气生成及储集条件的讨论。

主题词: 矿物包裹体 碳酸盐岩 石油与天然气 地球化学

第一作者简介: 施继锡 男 52岁 副研究员 地球化学及矿物包裹体

矿物包裹体, 是矿物生长时一部分成矿流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有着相界限的那一部分物质。因此, 它是成岩成矿作用流体的原始样品, 它反映了成矿流体的本质特征。

矿物包裹体按照物理状态分类, 可分为固体包裹体及流体包裹体两大类。碳酸盐岩中出现的是流体包裹体。流体包裹体又叫气液包裹体。本文所讨论的都是流体包裹体, 文中简称包裹体。

包裹体的研究作为一种地球化学新手段, 已被广泛用来了解金属和非金属矿产的成矿流体的来源、性质、成矿的物理化学条件, 以及讨论矿床成因、指导找矿等问题, 并已取得显著的成效。包裹体研究虽已扩展到岩浆岩、变质岩及沉积岩, 但却很少有人研究碳酸盐岩矿物中的包裹体与油气资源之间的关系。近年来国外偶有零星报导, 但很难了解到具体的研究情况。国内傅家谟等曾作过若干研究, 并发表过有关论述^[1]。

世界各地在碳酸盐岩区曾发现过很多大型油气资源。我国碳酸盐岩分布广泛, 厚度巨大, 地质历史较长。因此, 矿物包裹体一旦成功地应用于碳酸盐岩区油气评价中, 将具有重要的意义。

本文的目的, 是在碳酸盐岩区包裹体多年研究工作的基础上, 探索包裹体如何应用于油气资源研究这个新课题。重点讨论包裹体应用于碳酸盐岩区油气评价的可能性及包裹体在油气资源研究中可能解决的主要问题。

一、包裹体在油气资源评价中应用的可能性

(一) 油气藏形成的各阶段均可形成包裹体

事实证明，不论是在生油岩中烃类原生运移阶段或是油气向储集层聚集的次生运移阶段，沉积物只要发生结晶或重结晶的作用，就能在晶体中形成包裹体。它们可以是常见的气液两相液体包裹体，也可以是含有烃类的包裹体，称为烃包裹体或有机包裹体。原生运移形成的包裹体，往往出现在碳酸盐岩层中，其中的有机包裹体为碳酸盐岩中烃类的原生运移提供了直接证据。次生运移时形成的包裹体，往往产于碳酸盐岩层的方解石脉或与其同期形成的萤石、重晶石、石英等矿物中。其中的有机包裹体乃是油气次生运移聚集及演化的直接标志。图版 I，1、2 分别为生物礁中的液体包裹体及有机包裹体。

（二）油气藏形成的规律及地质条件与沉积改造矿床有相似之处

沉积岩中有机质生化作用相当于沉积改造矿床的沉积阶段，而热转化成油，运移聚集及随后的热演化则大致相当于沉积改造矿床的改造阶段。当油气生成并聚集形成油气藏时，分散于沉积岩中的某些无机物质，也经改造重新聚集而形成各种沉积改造矿床。因此，石油往往与金属、非金属沉积改造矿床共存。如苏联的顿巴斯汞矿，同时又是天然气藏。美国的密西西比河谷型矿床就是石油与非金属、金属矿床共存的典型例子。我国一些油田附近分布有萤石、重晶石、铀矿床等的例子也很多。它们不仅共存，而且它们的生成条件也极为相似，这方面涂光炽教授曾有过详尽的论述。笔者在研究我国碳酸盐岩区沉积改造矿床时，在矿物中发现很多有机包裹体。见图版 I，3—6。因此，包裹体同样适用于碳酸盐岩区油气资源的研究。

二、包裹体在油气资源评价中可能解决的主要问题

（一）用于生油热历史、有机成熟史的研究

油气的演化变质程度是油气远景评价的重要课题。利用包裹体可测定古温度及划分演化变质程度。

1. 利用包裹体进行古温度的测定

古温度的确定在油气研究中有多种方法。包裹体均一法测定古温度具有直观、省时、简便、经济、准确等特点。包裹体的均一温度，经过一定的压力校正，即得到矿物形成的古温度。

生油热历史及有机成熟史的研究，主要是要获得岩层经受过的最大古温度。就碳酸盐岩而言，如果对岩石中的颗粒，胶结物中各期有代表性的包裹体进行详细的均一温度测定，就可以确定出该岩层经历的最大古温度。笔者测定了广西泥盆系含大量碳沥青的某生物礁古温度为240—260℃；河北平泉含油苗的岩石古温度仅为120—145℃，这些结果与该区油气演化情况是一致的。

2. 利用包裹体的类型、特征确定油气演化程度和阶段

包裹体的类型及特征反映了矿物形成时的物理化学条件及代表一定的地质意义。流体包裹体（气液包裹体）可分为气体包裹体、液体包裹体及多相包裹体三种类型。液体包裹体中仅有单一液相的包裹体称为纯液体包裹体。多相包裹体中又包括CO₂包裹体、子矿物包裹体及有机包裹体。不同成因的矿物晶体中、包含有不同类型的包裹体。在碳酸盐岩中主要见到的有：液体包裹体、纯液体包裹体、子矿物包裹体及有机包裹体。包裹

体的特征,包括包裹体的气液比、大小、多少、形态、颜色、分布等,同样反映成矿流体的本质特征。

曾对代表不同演化阶段的矿物样品进行观察,其中的包裹体类型及特征有一定差别。

河北平泉含油苗岩层中的包裹体,其类型主要是纯液体包裹体,其次是液体包裹体及有机包裹体。液体包裹体的气液比为5—10%,大小为3—7 μ ,数量较多,形态较规则,均匀分布。有机包裹体主要是含液态烃的包裹体,荧光下发黄色,约5—10 μ ,形态不规则,分布较均匀。

川东气储集层中的包裹体,其类型以液体包裹体为主,气液比10—15%。其次为纯液体包裹体及有机包裹体,有机包裹体呈浑圆形含液态及气态烃,荧光下发暗黄色,一般5—12 μ ,数量较多,分布不均匀。

广西及贵州含大量碳沥青的碳酸盐矿物中液体包裹体约占80%,其气液比10—20%,有少数纯液体包裹体。有机包裹体主要由气态烃及固体沥青组成,荧光下发蓝绿色,5—15 μ 大小,形态不规则,数量较多,但分布不均匀。

3. 利用包裹体的气相成分来推断油气的演化程度

实验证明,原油从未成熟到低成熟阶段,气体以 H_2O 、 CO_2 为主。演化到成熟、高成熟阶段则 CH_4 增加,到最终甲烷气阶段,则90%的气体为 CH_4 ,仅有极少量的 CO_2 。

笔者初步分析了代表不同演化阶段矿物中包裹体的主要气体成分,部分结果见表1。从表1可知,随着演化程度的增加, H_2O 、 CO_2 减少,而 CH_4 增加,与上述实验结果相一致。

(二) 用于油气生成及储集条件的研究

由于包裹体所包裹的是成岩成矿母液的原始微滴,对其研究无疑可获得油气生成及储集时的物理化学条件信息,这对于评价含油气远景的理论研究及生产实践都有着一定

表1 不同演化阶段矿物中包裹体气相成分分析结果

Table 1 Chemical analysis of gaseous phase in inclusion from minerals in different evolution stage

样品产状	岩层的 R_o	气相成分 (ppm)			比值 (重量比)	
		H_2O	CO_2	CH_4	CO_2/CH_4	CH_4/H_2O+CO_2
河北平泉含油白云岩层中萤石	1.55	40	1.4	0.062	22.6	0.0015
川东含气灰岩层中的萤石	未测	260	1.4	0.51	2.6	0.0021
广西上林含碳沥青灰岩中方解石	6.03	575	29.1	4.7	6.19	0.0075
贵州丹寨含碳沥青灰岩中方解石	3.13	1150	336.9	173.1	1.94	0.008

意义。

1. 用于油田水性质及来源的研究

(1) 油田水化学组成的研究

包裹体的成分十分复杂,气相中既无机气体,又有有机气体及稀有气体。液相是含有各种离子的盐水溶液。主要是 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^- 、 HCO_3^- 及某些微量元素等。有关包裹体的成分分析方法,作者曾作过专门介绍^[2]。

油田水的化学组成也是一个复杂的综合体由盐类、气体、有机质、微量元素等组成,其中盐类的浓度及组合情况是油田水的主要参数之一,它决定着油田水的物理化学性质,是区别于其它水的基础指标。前人工作^[3]业已表明,油田水的化学组成与油气之间有着某些直接的关系。包裹体的盐水溶液是代表形成碳酸盐矿物时油田水的原始样品。因此,对其离子浓度及组合情况的研究,更能说明当时油田水的特征及与油气藏之间的关系。如果分别测定原生运移及次生运移时形成的包裹体液相成分,那么就可以了解到从原生运移到次生运移期间油田水的演化情况,为评价油气远景,预测油气藏提供重要信息

笔者对我国河北平原及川东碳酸盐岩储油气层内萤石包裹体进行了液相成分的分析,有少 SO_4^- 而富 Cl^- 、 Na^+ 的趋势。贵州含碳沥青碳酸盐岩中方解石包裹体液相成分中 SO_4^- 则明显增加(表2)。

表2 包裹体液相成分分析结果

Table 2 Analysis results of liquid phase in inclusions

样品产状	H ₂ O (mg)	液相成分×10 ³ (ppm)							比 值			
		K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻	K/Na		Cl/SO ₄	
									重量	原子	重量	原子
河北平泉含油白云岩层中萤石	9.8	7.6	63.8	40.0	1.6	42.8	30.6	35.5	0.12	0.07	1.40	3.89
川东含气灰岩层中的萤石	6.2	2.5	25.6	116	6.4	22.4	12.6	35.5	0.10	0.15	1.78	4.84
贵州丹寨含碳沥青灰岩中方解石	9.1	1.5	8.3	62.2	5.7	31.6	131.8	3.3	0.18	0.11	0.24	0.66

(2) 油气形成时流体中盐度的确定

流体中的盐度是用包裹体冷冻法进行测定的。其详细原理及方法见文献^[4]。石油生成中盐度是重要的因素,国外统计认为,对成油最有利的盐度为10—8 wt% (相当于NaCl)。

笔者测定了河北平泉含油苗岩层中矿物包裹体盐度为13—14.5 wt% (相当于NaCl),贵州寒武系含碳沥青碳酸盐岩层中包裹体的盐度为16—26 wt% (相当于NaCl)。

(3) 油田水来源及演化的研究

包裹体中提取H₂O和CO₂可直接获得成矿流体的C、H、O的稳定同位素数据。大量

资料表明,对于油气生成最有利的水是地下封存的具有一定盐度的古海水。笔者对碳酸盐岩地区川东储气层及贵州非储油气层中萤石包裹体中氢稳定同位素测定及矿物的氧同位素测定,结果列于表3。并投入氢氧稳定同位素关系图中(图1)。从图可看出:前者以海水为主,而后者接近大气水。

2. 用于油气生成和聚集时物理化学条件的研究

大型油气田的形成需要有利的沉积环境及适当的物理化学条件,如一定的氧化还原性、酸度、温度、压力等。由于包裹体在油气的生成及聚集阶段都可以形成,并能区分,因此,通过包裹体研究,可以了解生成和聚集时的环境与物理化学条件及其演化。

(1) 用包裹体确定酸度

酸度对油气的形成有一定控制作用。利用包裹体成分测定的定量结果,通过计算,可以间接获得流体的酸度。其方法有两种:

表3 稳定同位素分析结果

Table 3 Analysis results of stable isotopes

样品产状	稳定同位素值‰(SMOW)		
	萤石包裹体测定的 δD	方解石测定的 δO^{18}	计算为成矿流体的 δO^{18}
川东储气层	-29.27	+16.96	+0.37
贵州非储油气层	-51.9*	+3.49	-7.66

* 为方解石包裹体测定值

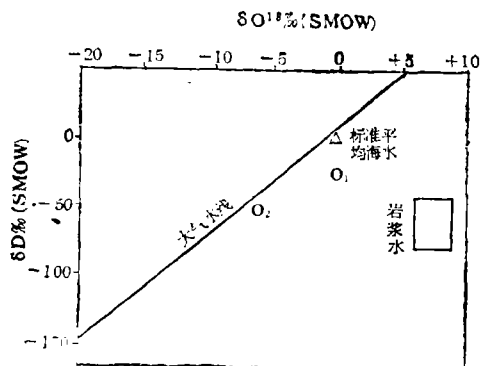
a. 利用包裹体中 CO_2 及 HCO_3^- 的浓度计算pH。

b. 利用包裹体液相成分中阴、阳离子总和之差与 CO_2 总量、离子强度以及均一温度等参数来计算出流体酸度。

对我国川东储气层中萤石包裹体中流体的pH初步进行计算,结果是7.2—7.6。

(2) 利用包裹体研究氧化还原性质

研究表明,只有在还原环境下才能形成油气。利用包裹体研究可以确定油气从生成到聚集阶段的氧化还原性质。一般有两种方法:



O₁—川东储气层中萤石

O₂—贵州非储油气层中萤石

岩浆水据Hughp,和Taylor JR(1979);

大气水 Craig(1979);

见Barnes, Hubert Hoyc(1979)编

(Geochemistry of Hydrothermal Deposits

p. 244, Fig.6.4)

图1 稳定同位素关系图

Fig.1 Relations between the stable isotopes

- a. 利用包裹体冷冻时过冷却现象研究氧化还原性质。
- b. 利用包裹体中气相成分来研究氧化还原性质。其中又可分为：
 - (a) 计算求得流体氧逸度，用氧逸度来表示氧化还原性质。
 - (b) 计算还原参数，来研究氧化还原性质〔5〕。

笔者对河北平泉碳酸盐油储集岩及川东气储集岩中萤石包裹体，进行了过冷却现象观察及气体成分计算，证明均为还原环境，且河北平泉的成矿流体更为还原。

(3) 利用包裹体确定油气生成及聚集时流体的压力

确定生成及聚集时流体的内压力有其特殊的意义，因为只要知道压力，就能大致的推断埋藏深度、古温度及讨论有关生油历史等问题。

利用包裹体进行流体内压的估算，一般是利用二氧化碳包裹体或包裹体中CO₂的含量来估算〔6〕。

随着工作的扩大及深入，包裹体用于碳酸盐岩区油气资源的研究范围必将更为广泛。例如，包裹体也有可能进行生油岩性质的研究等。

包裹体用于油气资源研究的理论、方法虽然公开报道的不多，但已取得一定成果〔7—10〕，并在生产实践中也取得了某些效果。如美国南部的新墨西哥州及德克萨斯州交界处的二叠系碳酸盐岩盆地中大型油田的发现就是其例。包裹体研究，作为一种新的地球化学手段，在我国才刚刚开始引入到油气资源的研究中，本文仅是初步尝试。笔者相信，将包裹体研究与有机地球化学、地质、地震等相结合，必将为我国的油气远景评价、油气预测，作出应有的贡献。

本文工作中，得到我所曹俊臣、刘德汉、汪本善以及贵州省石油指挥部杨惠民、黄蕴明等同志的支持与帮助，特此一并致谢！

收稿日期 1985年3月18日

参 考 文 献

- 〔1〕 傅家谟、贾蓉芬，1984，地球化学，1期，1—9页。
- 〔2〕 李本超、施继锡，1982，中国科学，5卷，457—463页。
- 〔3〕 刘崇禧，1978，地球科学，2期，124—134页。
- 〔4〕 中国科学院地球化学研究所包裹体实验室，1982，矿物中包裹体研究，科学文献出版社，48—49页。
- 〔5〕 李秉伦，1982，地质化学，2期，223—224页。
- 〔6〕 中国科学院地球化学研究所包裹体实验室，1982，矿物中包裹体研究，科学文献出版社，42—47页。
- 〔7〕 M.J.Klosterman, 1981, Applications of Fluid Inclusion Techniques to Burial Diagenesis in Carbonate Rock Sequences, Applied Carbonate Research program Technical Series Contribution * 7.
- 〔8〕 Burruss, R.C. et al., 1983, Geology, 11, p. 567—570.
- 〔9〕 Visser, W., 1982, Chemical Geology, 37, p. 95—101.
- 〔10〕 Burruss, R.C., 1981, Hydrocarbon Fluid Inclusion in Studies of Sedimentary Diagenesis, (Mineralogical Association of Canada.) Short course in Fluid Inclusion; Application to petrology, Calgary.

SIGNIFICANCE OF MINERAL INCLUSIONS FROM CARBONATE AREAS IN THE OIL AND GAS PROSPECT EVALUATION

Shi jixi Fu Jiameo Li Benchao Jia Rongfen

(Guiyang Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

Abstract

This paper deals with how the inclusion is used in a new study field which is about the evaluation of oil-and-gas resources in carbonate areas. The authors put emphasis on the possibility of the inclusion application in the oil-and-gas prospect evaluation and some major problems which might be resolved by using the inclusion study method in the research of oil and gas resources.

On the basis of the research on the oilandgas reservoirs and nonreservoirs of carbonate rocks in Hebei, Sichuan, Guizhou provinces and Guangxi Zhuang Autonomous Region, it has been proved that the inclusion can be formed in each stage of oil and gas accumulation and may be a fluid inclusion of gas and liquid phase, often seen in carbonate rocks, or an organic inclusion containing hydrocarbons. However, the organic inclusion can directly provide evidence for primary and secondary migration of hydrocarbons from carbonate rocks. In the oil and gas resource evaluation, it is possible to investigate the thermal history of petroleum genesis and the maturity of organic matter according to the type, feature, palaeotemperature, and gaseous-phase composition of inclusions. For example, the type of the inclusion from oil-bearing indication rocks in Pingquan, Hebei is mainly of the pure-liquid inclusion and fluid-hydrocarbon-bearing organic inclusion, and the homogenization temperature is 120—145°C. For another example, the type of the inclusion from carbonate minerals with a large amount of anthraxolite in Guangxi is mainly of the gas-liquid phase fluid inclusion, however, the organic inclusion in the minerals consists mainly of gaseous hydrocarbon and solid bitumen, and the homogenization temperature is 240—260°C. The analysis results show that the gaseous-phase compositions in inclusions are mainly H₂O and CO₂ in low stage of evolution, but CH₄ is increasing along with the evolution development towards high stage. Taking the inclusion in Pingquan, Hebei, and Shanglin, Guangxi as an example, its CH₄/H₂O + CO₂ values are 0.0015 and 0.0075 (wt%) respectively. Moreover, the inclusion can be used to study the origin and estrapment conditions of oil and gas in order to obtain chemical compositions of ancient oil-field water, salinity, stable isotopes of C, H, O, oxidizing reduction potential, acidity, and fluid pressure parameters etc. May be determined by using inclusion study. For example, the

liquid compositions of the inclusion from oil and gas reservoirs in Eastern Sichuan and Pingquan, Hebei are S-poor, but Cl, Na-rich, the fluid salinity is 13—14.5 wt%, and the D value of the mineralizing fluid in Eastern Sichuan is -29.27%, $\delta^{18}\text{O}$ is + 0.37%, pH=7.2—7.6, these show that it is of palaeo-seawater character. The reduction parameter of the fluid is 1.0, indicating a reducing environment.

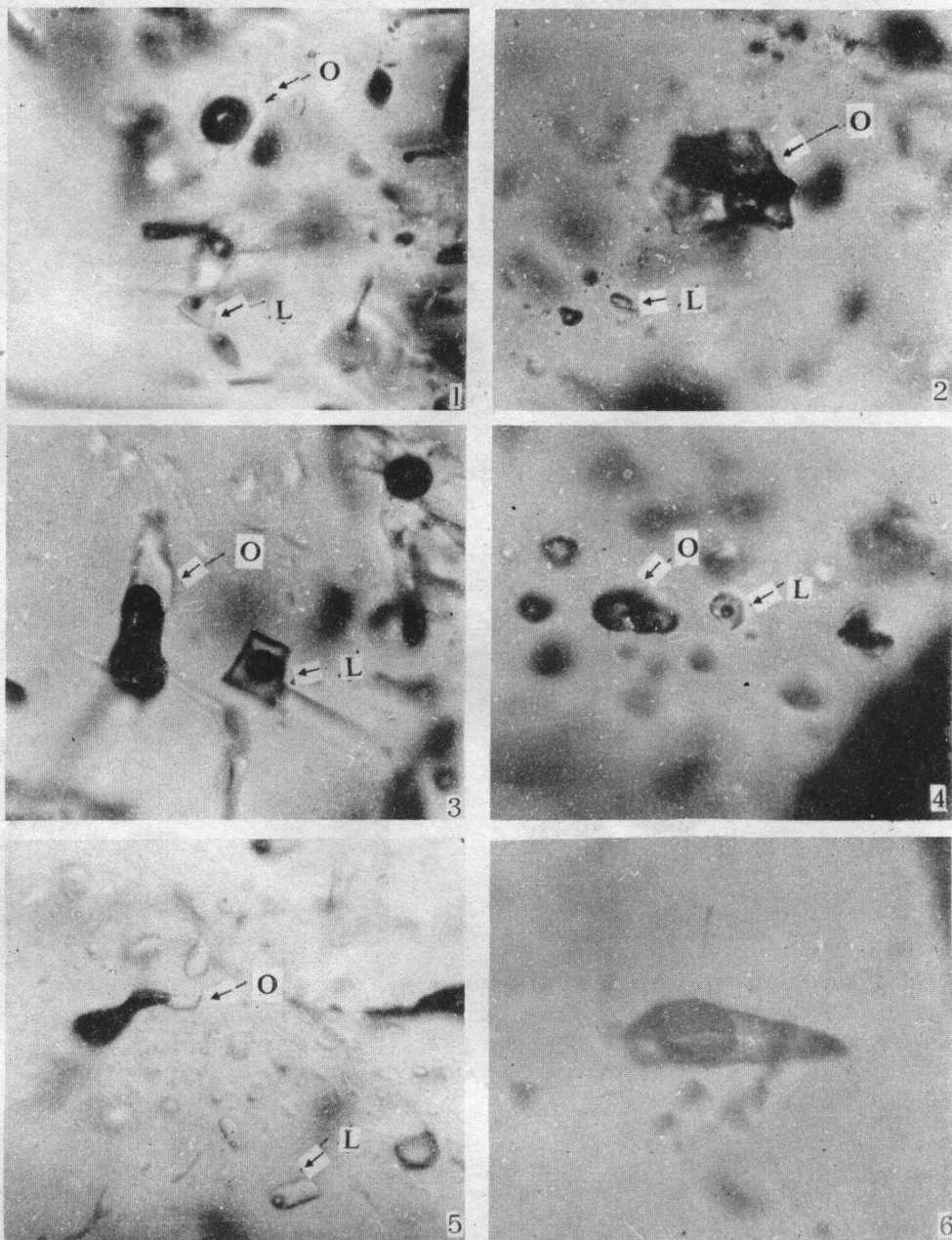
请订阅《中国地质文摘》月刊

《中国地质文摘》是经国家科委批准从1988年起国内发行。出版《中国地质文摘》的目的是及时报道国内有关地球科学的重要文献（包括重要中译文）的基本内容，使广大地质科技人员在不阅读原文的情况下能了解当前国内地质科技发展概况、先进地质科技水平和发展趋势，以及最新地质科技成就等情报信息或线索。《中国地质文摘》是从事野外地质找矿、科研、教学工作不可缺少的情报资料和检索工具。

《中国地质文摘》的内容包括地球科学各个学科和各种地质勘查技术方法。情报量丰富，报道及时。全年出版12期，报道文摘8000篇左右，每期报道文摘600多条，约40万字。定价每期3.00元，全年36元。为了使读者使用和保存方便，本刊编辑部已将1986年12期合订成上、下两册，定价40元。欲订阅者请从速函告北京阜外北街275号，地矿部情报研究所发行组办理。银行帐号：北京建行西四支行21514。

《中国地质文摘》总编辑部

MINEPAL INCLUSIONS, CARBONATE ROCK, OIL GAS EVALUATION



1. 广西泥盆系生物礁中液体包裹体 (L) 及有机包裹体 (O) ×400 2. 广西泥盆系生物礁中有机包裹体 (O) 及液体包裹体 (L) ×400 3. 河北平泉萤石中有机包裹体 (O) 及液体包裹体 (L) ×400 4. 川东萤石中有机包裹体 (O) 及液体包裹体 (L) ×400 5. 四川方解石中有机包裹体 (O) 及液体包裹体 (L) ×400 6. 贵州二叠系石英中有机包裹体 (O) ×400.