



# 油气地质学新进展

王荣华 侯启军 徐树宝 吴国政 编译

石油工业出版社

Petroleum  
Industry  
Press

# 油气地质学新进展

王荣华 侯启军 编译  
徐树宝 吴国政

石油工业出版社

## 内 容 提 要

战后几十年,随着石油和天然气工业迅速发展,发现,油气地质学的一些理论、概念与地下烃类的实际埋藏有很大差异。本书从新的视角为解决一些有争议的油气藏形成和烃类成因问题提供了途径。

本书可作为石油地质工作者和相关专业大学生的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

油气地质学新进展/王荣华编译.

北京:石油工业出版社,2000.12

ISBN 7-5021-3240-6

I. 油…

II. 王…

III. 石油天然气地质-研究

IV. P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第79848号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

850×1168毫米32开本6.375印张176千字印1—1000

2000年12月北京第1版2000年12月河北第1次印刷

ISBN 7-5021-3240-6/TE·2456

定价:16.00元

## 编译者的话

本书主要根据 H.A. 叶廖缅科 (俄)、Г.В. 奇林加尔 (美) 合著的《世纪之交——油气地质学》(俄罗斯科学出版社, 1996) 及其它相关国外文献编译而成。

本书分析研究了 20 世纪末期石油天然气地质学的基础理论问题, 对已被广泛接受的科学原理进行了简要的论述和必要的补充, 整个论述都是从油气地质学的科学观点出发, 对有争议的问题进行了较详细的分析。例如, 在描述含油层系时, 着重论述了相环境及其储集性能和流体压力性质; 对地壳中岩石—水—有机物系统在温度变化的条件下演化给予极大关注, 提出了“临界油藏”的概念; 为了满足油气普查、勘探和开发需要, 根据油储和油藏的一定特性, 对油藏类型进行新的分类; 用新思路详细研究了在温压改变的情况下地层中的异常现象和油、气、水的相互关系, 发展了石油成因理论, 认为沉积岩层的非均质性和动应力是促使有机质演化和初次运移的重要因素。

总之, 该书比较全面系统地论述了油气地质学的最新进展, 希望它的出版能为我国油气地质研究与勘探工作起到积极作用。

在本书的编译过程中得到了大庆勘探开发研究院蔡天成高级工程师大力帮助, 在此表示衷心的感谢。由于时间仓促, 水平有限, 谬误之处, 请批评指正。

编译者

2000 年 12 月于大庆

# 目 录

<b>第一章 科学中的系统方法</b> .....	1
一、自然系统及其分类的基本知识.....	1
二、岩石、水、有机物、天然气自然系统.....	9
<b>第二章 油气层</b> .....	11
一、油气层的组成 .....	11
二、油气储集层 .....	13
三、盖层 .....	23
四、岩层中不均衡的能量强度 .....	30
五、油滞 .....	42
<b>第三章 水</b> .....	48
一、物理化学性质 .....	48
二、水压系统 .....	54
<b>第四章 原油</b> .....	64
一、原油组分 .....	64
二、原油分类的新方向 .....	66
<b>第五章 天然气和凝析物</b> .....	78
一、天然气的成分 .....	78
二、天然气中的同位素成分 .....	79
三、天然气的物理性质 .....	83
四、相态转化和凝析物 .....	88
<b>第六章 岩石中分散的有机物质</b> .....	94
一、在有机溶剂中不溶的有机质部分（干酪根） .....	94
二、可溶于有机溶剂的分散有机质.....	104
三、可溶性和不溶性有机质的联合研究.....	110
<b>第七章 油气聚集及地壳中的含油气单元</b> .....	116
一、油气藏、圈闭、储量、流体性质和产量的分类原则 .....	116

二、油气藏按相变的分类·····	119
三、油气藏按圈闭类型的分类原则·····	130
四、油气田及其垂向分带性·····	135
五、油气藏在沉积盆地中的分布特征·····	141
<b>第八章 油气藏的形成</b> ·····	<b>147</b>
一、烃类的初次运移，介质的非均质性及其在水和气体中的溶解和扩散·····	147
二、游离相的初次聚集和二次运移·····	156
三、油气藏形成的时间·····	166
<b>第九章 石油的成因</b> ·····	<b>170</b>
一、对原始有机质及其演化条件的开拓性认识·····	170
二、有机质演化的阶段性和周期性·····	175
三、能量在石油形成过程中的作用·····	179
<b>结束语</b> ·····	<b>186</b>
<b>参考文献</b> ·····	<b>188</b>

# 第一章 科学中的系统方法

## 一、自然系统及其分类的基本知识

尽管有政治、经济、军事方面的危机，但是全世界石油和天然气的消费仍在增加，而且，由于现今这一代人的利己主义，生态恶化日益加剧。无论对未来如何担忧，也不能迫使人类放弃在保障能源（诸如石油与天然气）供给方面的技术进步。人类在和平利用原子能的过程中，在碰过“钉子”的同时，也在生态保护方面获得了成功。尽管如此，发电站、船只、内燃机至今还不能更多地利用其它能源，石油和天然气的消费还将增加。只有在地下存在油气储量及资源时，才能保障消费的增长。应该确认这样的论断，地下矿产资源是不可再生的，应对这个论点需要作一些修正，从碳氢化合物在地下无机合成的假说出发，那么，这一过程则是永不间断的。从来也没有研究地下深处碳氢化合物合成和充实这部分资源速度的问题，许多学者否定这种无机说能形成油气藏观点。按照一些有机论者（维别尔等人，1966；米勒，1991；亨特，1979）的观点，碳氢化合物可以在更新世和现代的沉积中形成。J.M. 亨特认为，将近9%的碳氢化合物是直接从沉积物中活的生物演化而来，所以，油气藏是可以在现代沉积中形成的，这是不能忽视的因素。除了不可再生，或更确切地说，除有非常微弱的补偿以外，烃类的开采还很复杂。在深度4km以内的盆地中，背斜圈闭油藏分布最广，大多数都已发现，在更深处和海洋盆地的边缘（或内部）分布有特殊油藏，需要特殊的方法来勘探。这就促使了地球物理勘探（特别是各种地震勘探方法）、地球化学勘探、甚至卫星遥感勘探的加速发展。同时也改进了钻探技术，特别是速度的提高，不停钻也能取岩心和流体，而且能在产油层进行水平钻井。根据相邻学科（物理、化学、地

球化学、大地构造学、岩石学等学科)的新成果来重新审查某些理论观点,是势在必行的。

从 Z. 拉马克 (1744~1829) 和 C. 达尔文 (1809~1882) 开始,自然科学就引入了研究自然的直观的系统方法。但是直观法具有主观性。希望客观地研究事物或现象只能依靠对科学方法论的详细、深入的研究。哲学家 F. 培根和哲学家兼数学家 R. 笛卡尔为科学方法论的发展奠定了基础。首先要肯定,只有正确的方法才能带来知识;其次要肯定,定理或假设应该成为科学的合乎逻辑的学说,而不能招致什么疑惑。这两个论点至今不可动摇,而且在此基础上发展起了系统(系统结构)方法。正如 A.H. 德米特里叶夫斯基指出的那样,“系统性是物质世界构成的普遍规律”(1933,第2页)。同时,H.B. 洛帕京的认识也是正确的,他指出,“即使是完善的科学研究方法论,也不能保证获得真正的知识,因为,在很多情况下取决于可靠的经验,取决于有区别的理论资料,取决于科学家的素质,乃至洞察力和创造性的想象”(洛帕京,1983,第22页)。在地质学中,包括石油地质学,B.Г. 阿法纳西叶夫、M.T. 阿巴索夫、A.И. 别尔克、M.Д. 别洛尼娜、A.A. 鲍格达洛夫、И.О. 勃罗德、A.A. 巴基罗夫、B.B. 别洛乌索夫、Л.А. 布里亚科夫斯基、A.H. 德米特里叶夫斯基、H.A. 叶廖缅科、A.Э. 康托罗维奇、Ю.А. 科瑟金、H.Л. 库宁、H.B. 洛帕京、B.Д. 纳利夫金、A.A. 特罗菲穆克等人的著作对系统方法的发展起了重大的影响。

对“系统”的概念有很多的定义,但所有这些定义的共同缺陷都是不甚明确。可以举下面两个例子,B.Г. 阿法纳西叶夫对系统这一概念的定义是“系统是相互联系因素的综合体”(第39页)。与前者相比,Л.М. 格里希安对系统的定义(1980)多少明确一些,认为,系统是“构成某一整体相互联系因素的综合体”。这里的不明确之处就在于“相互联系因素”与“某一整体”。到底是什么样的因素?是什么样的相互联系?相同的,相



差大的，不同量的？是物理联系，还是逻辑联系？就其整体而言，是逻辑的，力学的，能量的，还是其它任何一种联系？不过，谈到这一定义时，评论比创立要容易得多。我们力求使该定义接近石油地质理论问题的研究目标。根据上述定义，可以用最普通的方式来表达：地质系统是构成统一整体，而又各具时代变化特性的岩石圈的相互联系的自然因素的总和。这里下的定义最接近Л. А. 布里亚科夫斯基等人著作（1990）中的思想。这里所说的相互联系因素指的是发生在自然界中的包罗这些因素的各种过程的全部，这些过程最终不仅导致组成因素的变化，而且导致整个系统的实质性变化，即出现新的系统。

在系统研究过程中，很多作者（B. Г. 阿法纳西叶夫、Ю. А. 科瑟金等）建议运用最普通的系统结构分析。我们完全赞同这种建议，相互作用规律不仅出现在系统的因素之间（内部规律），而且出现在不同系统之间（外部规律），要把这种广泛的涵义贯穿到结构分析概念中去。当然，是否把现有的方法论的建议具体运用到了地质系统，其中包括自然地质分类（结构分级的或起源成因的地质分类），至今尚不知晓。任何一门科学的发展都不可避免地要从分类开始。观察自然对象，把它们变为研究目标，这是分类的不可回避的第一步。

“分类使科学技术从经验知识的积累走向理论总结、系统方法的高度。只有在对各种因素有了理论认识的情况下，系统方法才能得以实现。实际上，分类的必要性促进了科学技术理论观念的发展，分类的建立使知识发展发生质的飞跃。以牢固的科学基础为依据的分类不仅是对科学（技术）状态或其部分科学的全面描述，而且，也能对不太清楚的因素或规律作出有根有据的预测。根据门捷列夫的周期系统预测未知元素的特性就是一例。”（雅库申，1975）。

分类的建立有两种方法：演绎法和归纳法。

第一种方法用于划分原始的一般性概念，用于在分类过程中

的从属概念的划分。分类体系本身所用的方法保证了划分基础的统一性和分类的稳定性。第二种方法是对个别对象的概念或对所有对象的总概念按类合并。与第一种方法相比，逻辑的统一和分类的稳定就比较难以保证。演绎法便于知识领域的系统化，归纳法便于实际材料的处理。这两种方法反映了自然科学研究中的两个方面——分析与综合。“然而，要强调指出，方法论中的工作顺序毕竟要保持一定程度的稳定，先分析，然后在分析的基础上超越分析，即综合”（克德罗夫，1980）。

在“超越”分析的综合方面，地质科学（包括石油地质学在内）严重落后，下面简要谈一谈其落后的原因。

形式（数理）逻辑在建立分类时承认，必须遵循划分概念的规则。其规则（按科瑟金等人的主张，1978）如下：

（1）事物的分类应该严密而精确，即使不十分严密，首先也要使它们的每一类有别于其他类，其次要能够在它们之间找到相似点。

（2）应按对象所具有的确定的唯一特征以类、亚类等形式分类。

（3）可以分类的全部对象都应各归其类。

（4）可以分类的每一个对象应各归一类，而且，一个对象只能归一个类（亚纲、种、亚种等）。

（5）如果进一步细分类，任何一类中的对象至少要分为两个亚类。

因此，在建立分类时，形式逻辑规则要求用演绎法。在地质科学中，通常用归纳法建立分类。这样，新的“属”具有该“属”的固有的特性（现象），它是由“种”类对象的集合构成的（这里的“种”、“属”、“纲”只限于附属分类这一涵义）。同时，分类也常常出现复杂情形，某些“种”消失了，而一些以前不存在的新的“种”出现了。可以把这些“种”分成类（如某些次生矿），而这类对象只可在“属”概念中存在。

Ю.А. 科瑟金与其合著者 1978 年十分确切地指出：“通常认为，分类（划类分析）是由以下几个步骤组成的：

- (1) 划出若干应该作分类分析的对象（具体的对象）。
- (2) 确立这些对象的特征。
- (3) 揭示对象中的特征分布。
- (4) 按特征分布把对象加以归类。
- (5) 在分级结构分类中，确立分类的并列从属关系。

这时，通常明显地或不明显地应用以下形式规则：

(1) 分类应该是离散的，即任何一个对象只能属于同一级分类中的一种。

(2) 对象特征能够作为个别特征表现出来。

(3) 可原则上给对象的特征作出一个明确的（范畴上的）可靠的判断。

(4) 可原则上也能对对象 1 的特征和对象 2 相应的同一特征做出同样的判断。”

在进行自然对象分类时，如果执行了全部五个步骤和四项规则，就不会有任何分类问题了。实际上也是如此，四项规则没有一项是可以不遵循的。进而可以说，在建立分类时我们不能忽视在划分概念范围方面的某些规则。坚持分类到底的准则往往不适用，恪守分类的连续性和相称性，恪守种类不可取消，其结果只能是牵强附会。恪守分类的离散性会使分类更加零碎，带有移转演替的特征。混杂类会影响分类的连续性。地质学中的通用方法与正式规则的任何一条都不相符，因而，岩石就不可避免地分为沉积岩、火山岩、变质岩。所谓研究出来的特征实际上常常是按照类推猜想出来的。所以，对对象这些特征的判断是概率论的判断。“实际的或可能的特征多样性会使我们不是根据特征的有无，而往往是根据其出现的频率来评价分类”（科瑟金等，1978）。

因此，在建立分类时，形式逻辑演绎法与地质科学所用的归纳法之间存在着明显的矛盾。用数理逻辑归纳法建立起来的分类

评价的任何尝试都会导致否定的结果。A.A. 特罗菲穆克等人的著作（1963）就是一例。非常遗憾，在形式逻辑文献中尽管建议用归纳法建立分类，但我们根本找不到任何标准。显然，从分析到综合这一“超越”（B.M. 克德罗夫，参见前文）过程需要对形式逻辑的有关划分作进一步的详细分析。

形式逻辑规则难以用于地质学的原因之一是研究对象的性质（特性）特殊。在地质学中，对存在的事物—物体进行客观的研究。在形式逻辑中利用抽象思维、思维结果、十分有限的相应术语和定义时，只有这些事物具有一定程度的可靠性时（有时非常小）才能在研究对象中获得表现和反映。

我们从形式逻辑的一个原始概念着手，即从一个集着手。就是说，任何分类都从选择的定义和集的限制开始。对分类研究来说，选择集而且对它作一定的限制是必要的。虽然某些对象是根据一种普通存在的特征定义的，但在数理逻辑的同一集内要对这些对象的某种集合加以研究。当然，像油藏、日蚀、地质构造、时间这类对象，无论如何也不能考虑到一个集合去。从形式逻辑的观点出发，这种“集合”是不合规则的。但把油藏（或气藏）、圈闭、油田、含油气区、含油气带、含油气州、含油气大区、含油气盆地、含油气省、含油气大地构造单元统一在同一集合中，不知为什么有人认为这是完全可以接受的。由于石油地质学中所存在的概念混乱而又没有准确的术语，因而，可以认为，这里的“集合”第一方面指的是事物（油藏）的一种情形，在数量和质量上有一个量度；第二方面指的是面积（面积、地域等等），有面积（ $M^2$ ）量度；第三方面指的是构造，即地层的空间结构（这里  $M^3$  不能反映实质）；最后，第四方面指的是时间（在了解盆地或含油气省时具有历史的涵义）。十分明显，从形式逻辑的观点来看，建立在这种“集合”上的分类（尤其是分级结构），是根本站不住脚的。但是建立在这种“集合”上的或“集合”的一部分上的分类得到了石油工作者的赞许。在形式逻辑中，集概

念本身的分类（如“对象的集合”）指的是离散性。然而，在地质学中一方面分为“连续性”，即相互联系过程或其表现的一致性，仅只用于分析方法中的划分；另一方面，在地质学的分级结构中发现阶段进程有质的突变，新的特性出现了，旧的特性消失了。在上述“集合”中，可以在成分之间建立起源关系。这种关系不是彼此之间的过渡，而是一种对象的性质随另一种对象的状态与性质的改变。其结果是按起源成因分类的这种“集合”或其“子集”的多次尝试。就是说，在建立这种分类时，不用形式逻辑中方法论的详细分析而尝试建立起源成因的分类有时是自然的分类。

传统逻辑中的“集合”的概念只能非常有限地用于地质科学。我们分析一下“矿物”这个集的概念。矿物是一个开放性集合，具有复杂组合的特点，随着地壳时间的变化，矿物有很多组合与新生的规律。很难确定“矿物”这个集的范围，因为矿物在自然环境中是不断变化的。某些矿物结合后生成新的矿物，就是说，集里的成员数量减少了。另一种情况则是分化出新的矿物，就是说，集里的成员数量增加了。而且，在演化过程中，矿物的某些部分可以获得新的性质，并转变到别的集合，因而分布到分级结构的不同级别中去了，譬如，能够形成低一级的化学元素或者高一级的种类。在石油地质学中，沥青系列包含从碳沥青开始到石油天然气为止的各种矿物，这个矿物集合就可以看作“开放性集合”。它们之间复杂的相互联系、相互作用、不同的成因、不同矿物（如石油与天然气）形成于同一环境的可能性，或者相反，同一矿物（如天然气）形成于完全不同环境的可能性，温压状况的改变所引起的复杂变化与相互转化，这些因素的存在就难以选定它们的实际特征，只有根据它们的实际特征才能按形式逻辑的标准对它们作出自然的分类。即使把“开放性集合”的研究范围缩小到三个因素：石油、天然气和凝析油，按“成分”来详细分析油气藏的类型，建立其自然分类也是一个非常复杂的课

题。事实上，连续系列的存在，无数实际自然类的存在及它们在客观条件（其中包括分类条件—详细分析）改变时的相互转化必然会导致概念划分上的交叉及对形式逻辑规则的破坏。

地质学中的成因（尤其是石油地质学中的成因）是极其重要的。然而，怎样来认识它们呢？就形式逻辑的涵义来说，很少有人建议用整体来定义部分，这在自然科学中有时称之为借助属来定义类别。

在按概念分类规则构成的自然分级结构的分类中，从属（集里的子集）中划分的各类都保持有自己类别的实质特征。实质上得到的只是机械的组合与划分。这是古希腊朴素的唯物主义观念所固有的原则，从亚里士多德时代开始它就存在于形式逻辑中。在分级结构的地质体中，一切都是特别复杂的。地质体受生成过程的影响，生成过程受本身的规律所限制，而且也能导致深刻的质变。进入矿物（或其他化合物）中的元素在本质上改变了自己的特性。例如，氢元素和氧元素的共同特点是什么？也正是这两个元素构成了矿物——水。下一级物体简单机械的组合不会导致上一级物体的形成。从形式逻辑的观点出发，这是早应料到的。以花岗岩这种岩石的结构成分为例，不管它们是什么时候结合在一起，在它们化合成岩石的某种（生成）过程结束之前，花岗岩这种岩石是不会形成的。聚集起来的成分重新组合构成岩石需要高温和高压。而且重新生成的岩石不是花岗岩，而是另一种岩石——片麻岩，因为组成花岗岩的成分本身只在形成花岗岩的过程中出现。

总括前面所说的内容，可以得一个结论：在全部地质学（其中包括石油地质学）中，分类时要研究各种不同性质的集及它们之间的联系，而不是从形式上选定特征的一致性，而是有质量突变特征的演化（生成）过程。在数理逻辑中没有深入研究类似的起源成因分类的方法。系统概念则完全适合于地质对象的研究和地质分级结构的建立。

## 二、岩石、水、有机物、天然气自然系统

这样，科学研究的系统和系统方法在地质问题的研究中是自然的和必不可少的。系统方法不应该看作是元素的简单集合。系统结构始终存在于不停的运动之中，存在于相互联系的变化之中，存在于元素之间的相互转化之中，存在于同外部系统的相互作用之中。通常，这些过程是物化过程。但原则上讲，它们可以是任何种类的过程。在这种情况下，系统能量状况的变化非常重要。可以肯定地说，能量是系统的本质特征。看来，研究问题的广义方法应该涉及整个系统的能量状况，而不是个别元素或能量的种类。我们同意 B.E. 科马罗夫的观点（1984，第 163 页），“地球正是以自己的‘下部构造层’（包括地心）这种矛盾的统一作为自己的进化根源”。地壳划分的任一系统都有能量的表现，哪怕是最小的系统都应该能识别出来。所建立的地质系统的能量（E）是地壳环境中潜能（包括弹性的和地表的）（ $\Pi$ ）、动能（K）、自由能（化学的）（C）的总和，但它不是一个常数：

$$E = \Pi + K + C \neq \text{常数}$$

在所有上述不等量成分之间存在着复杂的转化，而且，总的变化趋势不是在今天的每个地质系统中都能看得出来的。

应该把系统的划分和限定看作是系统分析的第一步。确定系统的界限是系统结构分析中重要的一步。这些界限决定了逻辑理论基础“假设”（杰卡尔特，1950），而且在很大范围内预先确定了认识事物的“正确方法”（培根，1938）。在石油地质学中常常选择沉积组合（建造）或沉积盆地作为基础（支撑）系统。例如，按照 A.H. 德米特里叶夫的说法，“含油气的，乃至远景的或可能含油气的组合是一个复杂的系统……”（德米特里叶夫等人，1982，第 6 页）。或者，按 H.B. 洛帕京的说法，“一个沉积盆地的完整系统是由多构造层、多套沉积岩系及其内部的矿物、

水和天然气（流体）、沉积化石和微生物等多种元素相互组合而成。”（洛帕京，1983，第12页）。有很多学者（德米特里叶夫斯基，1982；德米特里叶夫斯基等，1992；布里亚科夫斯基等，1984；等）采用了类似的分类系统。在对很多石油地质问题的认识和分级结构的建立中，这是不可避免的一步。

从最简单的、包括物质基本元素的系统开始分析，这是适合的。当然，根据需解决的问题，可以进一步划分很多别的系统或子系统，但在第一阶段可只划分出由以下元素组成的系统：岩石、水、有机物（或其演化物）和天然气，在一个有限的地质空间中，上述元素的同时存在并且相互联系是对一个系统分类的共同基础。在这种情况下，部分岩石（矿物）毫无条件地成了主要的基本元素，但其他组成元素在系统的发展中不是中立的，而是存在着元素与岩石基质之间相互作用。且各元素的质量大小不一。通常，岩石构成了系统质量或体积的百分之几十（除煤炭和泥炭外），水和蒸汽充满了岩石的孔隙，其量的比例可从百分之十几到零之间变化，有机物或其转化物占百分之几，有时高达百分之十（泥炭、煤炭），有时少得可怜。天然气与系统中的其它元素融为一体。某些元素及整个系统对温压变化和地化状况的变化特别敏感。这些问题的研究详见本书以下几章。



## 第二章 油 气 层

### 一、油气层的组成

在前面所述的岩石—水—有机物—天然气系统中，岩石是主要的。在地壳中含油气的岩层与非含油气岩层相互交替分布，这套岩层称之为含油气层系或含油气组合。在沉积岩层中含油气组合是相对较小的岩层组合，但它们的组合结构是完全不同的。H. A. 叶列缅科与 A. B. 乌里亚诺夫（1960）综合归纳了世界各地的资料，划分出了 15 个独立的沉积岩相：

- (1) 灰岩和白云岩。
- (2) 灰岩和白云岩夹泥岩薄层。
- (3) 灰岩和白云岩夹砂层(沙)与泥岩薄层。
- (4) 泥岩(页岩)夹灰岩薄层和透镜体。
- (5) 泥岩(页岩)和砂岩(沙)夹灰岩薄层(白云岩)。
- (6) 泥岩夹灰岩(白云岩)、砂岩(沙)、泥灰岩薄层。
- (7) 泥岩(页岩)和泥灰岩夹砂岩与沙。
- (8) 泥岩(页岩)夹砂岩与砂岩薄层和透镜体。
- (9) 泥岩(页岩)夹沙、砂岩、砾岩(砂砾)薄层。
- (10) 砂岩夹砾岩薄层。
- (11) 砂岩和砂。
- (12) 含煤沉积。
- (13) 含盐和含石膏沉积。
- (14) 杂色沉积。
- (15) 复理石相。

有时会遇到特别致密的裂缝岩层，在这种岩层中石油仅沿裂缝运移。事实上从这些岩层的基质中不可能采出油气。因此，应该再划分出一类含油气组合，即致密裂缝岩层，还有火山岩和变