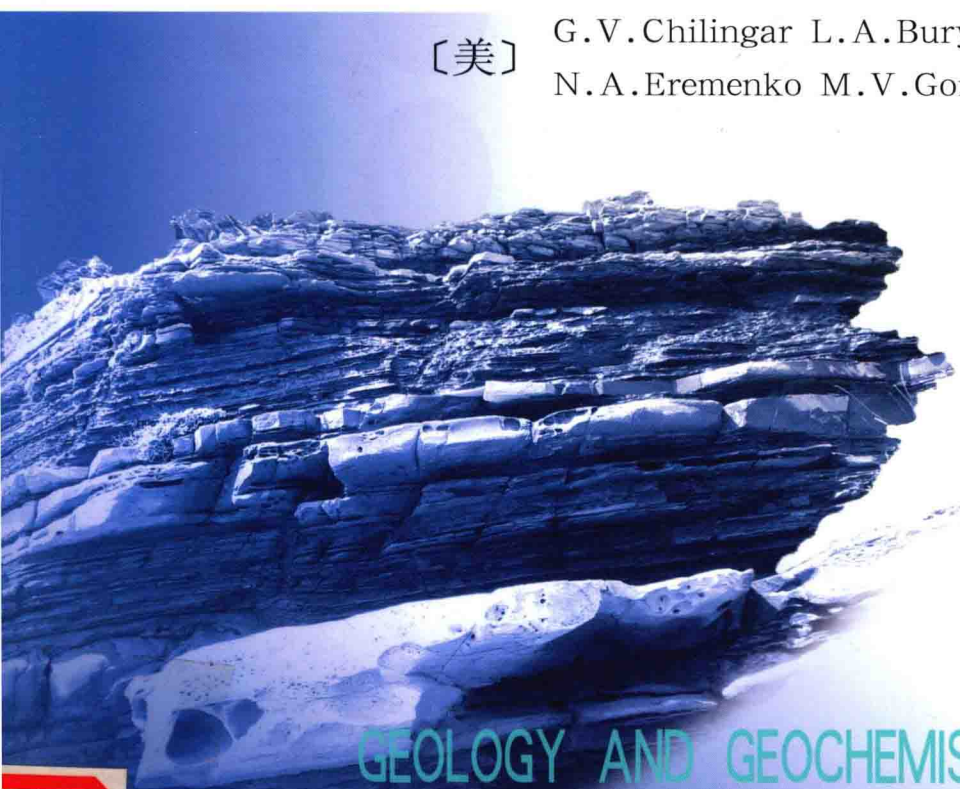




油气地质学与 地球化学

[美] G.V.Chilingar L.A.Buryakovsky 著
N.A.Eremenko M.V.Gorfunkel
王大锐 译



GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF
OIL AND GAS

石油工业出版社

油气地质学与地球化学

[美] G.V. Chilingar L.A. Buryakovsky 著
N.A. Eremenko M.V. Gorfunkel
王大锐 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了油气地质学与地球化学的基本知识,探讨了油气生成、运移与聚集规律,并对地质体进行动态与静态数学建模,建立了地质解释与油气资源预测的基础,对油气勘探开发有重要作用。

本书可供油气地质学家、地球化学家、油藏工程师以及相关专业学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气地质学与地球化学/[美]奇林格(Chilingar)等著;王大锐译.
北京:石油工业出版社,2014.9

书名原文:Geology and Geochemistry of Oil and Gas

ISBN 978-7-5021-9982-1

I. 油…

II. ①奇…②王…

III. ①石油地质学②地球化学

IV. ① TE14 ② P59

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第130484号

Geology and Geochemistry of Oil and Gas

G.V.Chilingar L.A.Buryakovsky N.A.Eremenko M.V.Gorfunkel

ISBN 978-0-444-52053-1

Copyright ©2005 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright ©2014 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier(Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

版权登记号:图字 01-2008-2833

出版发行:石油工业出版社有限公司

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523544 发行部:(010) 64523620

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

2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:15.5

字数:397千字

定价:65.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

随着全球范围内对化石燃料需求的增加,油气地质学与地球化学研究也正在变得更加重要。地质学与地球化学知识是探索发现新的油气藏最有效的工具。钻井技术的进步使得人们得以在深海和大陆架岩层进行油气勘探,因此对那些岩层的地质学研究就变得更加重要。石油地质学和地球化学的发展以及地震与测井技术的进步,使人们对地下沉积岩层和油气的生成、运移以及成藏有了更清楚的认识。

本书介绍了在地质学与地球化学研究体系内,通过电子仪器的革新所产生的仪器分析领域中的重大进展与飞跃。作者以四部分内容展现本书主题。前三部分内容主要阐述了油气地质学、地球化学的基础知识,地下流体的生成、运移与聚集;第四部分为地质系统的数学建模。

第1—3章系统介绍了沉积岩及其在地下流体的演化与储集中所起的作用。主要侧重于对油气资源形成的物理条件(如在极高温度和高压状态下)的讨论。

第4—6章讨论了地下水、石油和天然气的物理与化学特征。对于油气水的开发工程与数学模拟来说,这些物理与化学特性都是同等重要的,因为在开采过程中这些特性会因饱和度的变化而对流体的相对运动造成影响:(1)岩层的润湿性会影响开采技术并影响最终采收率;(2)相对渗透率会影响液体向生产井的流动;(3)不混溶的流体之间的密度差异随着储集层内流体的枯竭而影响液体从储集层内一个部位流向另一部位的重力泄流;(4)流体的黏度会影响各种流体的相对流动性;(5)流体的化学特性会影响吸收作用、最终的采收率以及所产出的油气经济效益。

第7—10章讨论了石油与天然气的形成和聚集:(1)不同植物碎屑形成的石油烃类的化学组成的变化;(2)一套储集层内不同部位油气的来源;(3)地下流体最终在封闭的地质圈闭内聚集之前的运移;(4)应用沉积地质学原理探讨含油气圈闭。

第11章对静态与动态地质建模进行了分析与研究。在不考虑时间约束的前提下进行了静态系统建模(即地质体系的组成与构造的建模),建立了地质解释与油气资源预测的基础;而动态建模则涵盖了随时间推移而发生的各种地质变

化，用于油气生产和油气田开发方面的研究与应用。

本书可供地质学家、地球化学家、油藏工程师以及石油地质、工程和地球化学专业的学生参考。

《石油科学与工程》杂志主编

E. C. Donaldson

前 言

石油与天然气工业中的各项进展与油气资源的勘探、开发、生产和新发现有着密切的关系。油气资源的勘探、开发与生产必须建立在可靠的信息之上，这些信息有助于人们判定地下的地质条件和含油、含气地层的特征。

绝大多数陆相石油和天然气储量是在碎屑岩、碳酸盐岩，有时也可能是火山岩或火山碎屑岩构成的沉积盆地内发现的。在这些盆地中，储集层内的高压、良好的储集层岩石物性和良好的圈闭（盖层）性能很大程度上取决于它们的形成、演化进程、沉积作用以及后来发生的成岩作用（即在沉积作用和近地表温度与压力条件下的石化作用之后，发生在沉积物内的物理、化学和生物化学作用），以及退化作用（或外成作用，是物理和化学作用，它们发生在经过了石化到变质过程后处于高温和高压状态的沉积岩内），这些作用会导致岩层发生各种变化，据此可以预测生成石油和天然气的潜力。

考虑到石油地质学家与油藏工程师们的兴趣所在，本书探讨了 20 世纪末到 21 世纪初期石油地质学与地球化学的一些重大理论和实际问题。目前，对一些常规问题的处理并不统一，也就是说，人们对科学观念的了解是粗略的，仅仅是照章办事和维持现状，而一些存在争议的和革新性的问题则得到了更为详细的处置。本书从石油地质学、地球化学和一些相关学科展开讨论。比如：在描述含油气层序时，首当其冲的是各种沉积环境以及储集层和流体封盖性质等。人们正在关注随地下温度与压力变化的地壳内部岩石—水—有机质体系之间的转变。人们已经识别了一些新的储集层和油气聚集类型，也明确了它们的勘探与开发特点。

在油气田开发与生产过程中，各种常见的油藏工程问题可以通过地质学、地球化学与工程技术的综合研究得以解决。比如，这些研究可以确定储集层的分隔状态，区别混合开采现状，确定完井问题（比如油管泄露或固井水泥作业质量欠佳等），在投产试验前预测流体的特征（黏度与密度），识别断裂的几何形态，监控注水进程和水侵状态，或者用于解释产出泥状沉积物的原因。

本书中所有探讨都是在系统地讨论了一些特殊地质体系的基础上展开的。根据这些探讨，对地质体进行了动态与静态数学建模。数学方法与计算机技术的应用拓宽了综合地质学、地球物理学、地球化学和工程技术信息解决问题的

范围。对最新信息用计算机进行数学处理可以加快对区域和区内的石油与天然气远景的预测。总体而言，可以提高石油天然气勘探、开发和生产的经济与地质效益。

G. V. Chilingar

L. A. Buryakovsky

目 录

1 科学的系统研究方法	1
1.1 自然体系与分类	1
1.2 一个特殊的自然体系：岩石、水、有机质和天然气	6
1.3 石油地质学中的系统方法	7
2 含石油与天然气的岩石	14
2.1 含油气层的构成	14
2.2 储集层岩石	15
2.2.1 孔隙度	15
2.2.2 渗透率	16
2.3 盖层	23
2.4 石油与天然气储集层	27
3 地下温度与压力	31
3.1 深部岩石的变形	31
3.1.1 孔隙度和渗透率与埋藏深度的关系	31
3.1.2 温度	32
3.1.3 古温度	39
3.2 异常地层高压	40
3.2.1 测井数据	41
3.2.2 地震数据	41
3.2.3 钻井数据	42
3.2.4 压力与温度的影响	45
3.2.5 地层水化学的影响	48
3.2.6 次生蒙皂石	50
3.3 异常地层压力的成因	50
4 水	53
4.1 水的物理与化学特征	53
4.2 油田水的分类	56
4.3 水驱	59
4.3.1 地下水类型	59
4.3.2 水驱体系	60
5 石油	65
5.1 石油的组成	65
5.2 石油的分类	66
6 天然气与凝析油	76

6.1	天然气的组成	76
6.2	天然气的同位素组成	77
6.2.1	碳	77
6.2.2	氢	78
6.2.3	硫	78
6.2.4	氮	78
6.2.5	惰性气体	79
6.3	天然气的物理特征	80
6.3.1	天然气密度	80
6.3.2	燃烧热值	81
6.3.3	天然气的可压缩性	81
6.3.4	天然气柱底部的压力变化	81
6.3.5	天然气的黏度	82
6.3.6	天然气水合物的形成	83
6.3.7	天然气在水中的溶解度	83
6.3.8	石油中烃类气体的溶解度	84
6.4	相位变换与凝析油	84
7	分散有机质	88
7.1	有机溶剂中的不溶有机质：干酪根	88
7.2	有机质可溶与不溶组分的综合研究	97
8	石油与天然气的成因	100
8.1	原始有机质及其转化	100
8.2	有机质的阶段式成熟与循环转化	102
8.3	石油生成过程中能量的作用	104
9	石油与天然气的聚集	108
9.1	沉积盆地	108
9.1.1	盆地	108
9.1.2	油气系统	108
9.1.3	成藏组合带	109
9.1.4	预测	109
9.2	烃的排出（初次运移），介质的非均质性，在水与天然气中的溶解、扩散	111
9.2.1	上覆压力	113
9.2.2	孔隙压力	113
9.2.3	岩石的压实作用	113
9.2.4	温度	113
9.2.5	地球化学非均质性	113
9.2.6	压缩天然气的可溶性	115
9.2.7	扩散作用	115
9.3	初次聚集与自由相运移（二次运移）	116

9.4 油气藏形成的时间	124
9.4.1 古地质学方法	124
9.4.2 矿物学技术	125
9.4.3 氦—氩技术	125
9.4.4 沸点 200℃ 以下石油裂解产物组成的确定	125
9.4.5 体积法技术	126
9.4.6 饱和压力技术	126
10 石油与天然气藏的分类	127
10.1 油气藏与圈闭类型的分类、储量、流体性质与采收率	127
10.2 根据相态关系的油气藏分类	129
10.2.1 天然气藏	129
10.2.2 油藏	130
10.3 根据驱动机理进行的石油与天然气储集层分类	134
10.3.1 溶解气驱	135
10.3.2 气顶驱	137
10.3.3 水驱	138
10.3.4 重力泄油	140
10.3.5 混合驱储集层	140
10.3.6 开放型混合驱储集层	141
10.3.7 封闭型混合驱储集层	142
10.4 根据圈闭类型的油气藏分类	142
10.4.1 由褶皱形成的圈闭	143
10.4.2 在各种建造内形成的圈闭	143
10.4.3 由沉积相带改变而限制的圈闭	143
10.4.4 以毛细管力大于重力作用形成的圈闭	143
10.4.5 以水动力为主的圈闭	143
10.4.6 在缺少构造高度的背斜或单斜中的油气藏	144
10.4.7 “临界状态”的油气藏	145
10.5 油气藏的纵向分带	145
11 石油地质学中的数学建模	150
11.1 地质体系的数学建模原理	150
11.2 静态地质体系模型	152
11.2.1 分析方法	153
11.2.2 统计学方法	161
11.3 动态地质体系模型	184
11.3.1 分析方法	184
11.3.2 统计学方法	185
11.3.3 分析与统计学综合研究	188
11.4 油气藏加速勘探的工作步骤	201

结语..... 203
 参考文献..... 204
 附录 A 湿润性与毛细管..... 221
 A.1 引言 221
 A.2 湿润性 221
 A.3 接触角的改变与石油运移中的界面张力 226
 A.4 浮力 229
 A.4.1 关于样品的问题 230
 A.4.2 天然气运移 230
 附录 B 渗透率..... 232
 附录 C 名词术语..... 236
 附录 D 单位换算..... 238

1 科学的系统研究方法

1.1 自然体系与分类

即使存在着政治的、经济的和军事的危机，但全球石油与天然气的消费却持续增长。经济问题正在变得更加严峻。无论未来如何发展，都不可能阻挡人类利用石油和天然气来推动科技的进步。一些环境科学家们反对建造核电站，而力举可替代能源，但这类能源可能还不能满足全球能源需求的 15% ~ 20%。因此，对使用和天然气的需求量还将增加。

通常，对于有限的矿产资源存在着两种不同的学术观点，这是应该澄清的。由于存在着油气无机成因的观点，关于油气聚集过程的争论就会一直存在。本书对油气无机成因的假说不予讨论，因为绝大多数科学家不承认无机过程能够形成大量石油的可能性。油气有机成因理论的倡导者们（Weber 等，1966；Miller 1991；Hunt 1979）相信可以在更新世和第四纪的沉积物中发现油气。Hunt（1979）提出大约 9% 的烃类可以直接从生物体进入沉积物；它们可能源于第四纪的烃类聚集。这些资源量是不能被忽略的。

除了油气资源不可替代性或极低的可替代性之外，也很难找到新的油气资源量。绝大多数“容易找到的”资源量（埋藏深度浅于 4000m 并与成熟盆地内最常见的背斜圈闭相伴生的资源）都已被找到了。寻找非常规圈闭内和埋藏深度极大的离岸海域盆地内的油气资源就需要非常规的勘探技术。这样就促进了地球物理（主要是地震学）、地球化学，甚至空间勘探技术的加速发展。

勘探钻井技术也取得了同步发展：（1）钻井速率提高；（2）实现了不间断钻进中的取样作业；（3）发展了钻井过程中的测井与随钻测量技术；（4）实现了油气产层的水平钻进。我们应该以多学科相结合的方法（物理学、化学、地球化学、构造地质学、岩石学、数学地质学等）来重新审视一下古老的理论观念。这种重塑工作的基础就是科学的系统研究方法。

直观的系统研究方法是由两位杰出的生物学家提出的，他们是 Jean Baptiste Lamarck（拉马克）（1744—1829）（在他 1809 年出版的《动物和哲学家的哲学》一书中提出的）和 Charles Darwin（达尔文）（1809—1882）（在他 1859 年出版的《物种起源：自然选择或者最有天赋的生命为生存而进行的竞争》一书中提出的）。然而，直观的研究是主观性的。对现象的客观描述仅仅能够通过科学方法的发展才能得以实现。

英国政治家、哲学家和作家 Francis Bacon（1561—1626），法国数学家、科学家和哲学家 Rene Descartes（1596—1650）创立了客观研究方法的基本原理。Francis Bacon 在自己最重要的哲学著作《Instauratio Magna》（1620）中重申了自然科学实验的意义，将其视为以经验为依据的发现和可以促进人类掌控自然的一种方法。Rene Descartes 在他的《Meditation on First Philosophy》（1641）、《Discourse on Method》（1637）和《Principles of Philosophy》（1644）的著作中驳斥学究式的哲学并强调一个人应该怀疑所有的直观经

验——这些怀疑可以被用作科学的逻辑性解释的基础，这就是科学研究的基本原理与先决条件。这两种观念迄今依然未被撼动，并被用于科学的系统方法中。

Dimitriyevskiy 曾做出过正确的点评：“系统就是物质宇宙结构中的一种常见形式”（1993）。与此同时，即使是最好的研究方法也不能确保直观获得的知识是否正确，它们在很大程度上取决于：（1）经验基础的可靠性，（2）足够的分析和深刻的学术理论解释，（3）科学家的素养，（4）唯物主义观认识世界，比如直觉知识和创造性思维（Lopatin, 1983）。

关于“系统”，已经有大量的定义。然而，所有定义都是含糊不清的。比如，其中一种定义为：“系统就是一套相互作用的因素”（Afanasyev, 1973），一种更为清晰的定义是：“系统就是一种复杂的相互关联的因素，它们可以形成一些整体”（Gvishiani, 1980）。所谓“含糊不清”存在于“复杂的、相互关联的因素”和“一些整体”中。这样，就引发了一些问题：究竟是何种因素以及这些因素是如何相互作用的？这些因素是一致的吗？它们的影响规模会变化吗？它们是异质的吗？它们的联系方式是物理学的还是形式逻辑式的？整体是什么样的：逻辑性的，机械性的，能量的？或者根本不存在？

我们知道批评比创新更为容易。这样，就让我们为“地质体系”下一个更好的定义，以便对石油地质学的理论问题进行探讨。

可以认为，地质体是一种岩石圈内相互关联的自然要素的集合体，它以一个整体存在，随着时间的推移，它的一些特征会发生改变。这与 Buryakovsky 等（1990）给出的定义相似：“相互关联的元素被自然地包含在一些正在发生的进程之中，最终会导致整个体系的实质性变化，也就是说，会诞生一个新的体系”。

许多学者提出了一些最常用的方法，用于系统研究中的系统—结构分析。如果结构分析被普遍认为是一种不仅可以用来解释系统的组分之间（内部模式），而且可以解释系统之间（外部模式）的相互关联方式的话，则这些常规的方法是可以被接受的。然而，这样做却不能为地质系统的研究提供什么方法学的建议，尤其是在地质系统的（成因的）分类方面更难做到。对于任何科学分支的发展而言，必须有明确的分类方式（C）。对所观察到的自然现象进行认识，将其转化为研究的问题，这就是研究的第一步，而不可避免的步骤就是进行分类（C）。

“C”促进了科学或技术分支从知识的经验积累阶段向理论汇总阶段（即科学的系统研究）的转变。如果将各种现象进行了理论综合研究，就可能完成这种科学探索。实践中，这种“C”对科学与技术向着理论化发展起到了推进作用。C的发展在知识进展中是一种量的飞跃。不仅要在严格的科学基础上实践 C（因为它在很大程度上反映着科学与技术的状况），而且 C 也促进科学家们对一些未知、未解的事实或规律进行有重大价值的探索与预测。这方面的一个实例就是利用门捷列夫元素周期律对未知元素的预测。

可以用两种方式来发展 C—演绎法与归纳法。

演绎法是在进行细分的进程中确定一些开创性的概念，然后在这些进程中再识别出一些次级的标识。这些细分原理的统一性和 C 的稳定性都是由完成它的方法的进步来得以保障的。归纳法又叫逻辑归纳法，其基本原理是从个别前提得出一般性结论，或者是为个别前提得出结论。在保证逻辑的统一性和 C 的稳定性方面，使用演绎法困难一些。演绎法适用于将分散的知识系统化，而归纳法则在处理自然数据时更为便利。这两种方法都是自然科学中常用的探索方式——分析与综合。“然而，需要强调的是，从方法论来讲，实

践中常用的研究方法不外乎是：首先进行分析，然后（在分析的基础上）进行总结归纳。”（Kedrov, 1980）。

从广义上讲，地球科学，尤其是石油地质学落后于那些将归纳—综合作为“重要的”分析方法的自然科学。下面就简要地分析这种滞后的原因。

按照形式逻辑原则，C的发展需要应用构成某种概念的一些次级分类原理（据Kosygin, 1978）：

（1）研究对象的分类必须有严格的定义。其原因为：①每个研究对象可与其他任何对象区别开来；②可以确定每个对象之间的相似性。

（2）必须用能够统一识别的参数对研究对象进行同一等级的和次级的分类。

（3）一个可以分割的集合体的所有单元都必须被包含于C。

（4）一个可以分割的集合体的每个单元都必须可以纳入一个（而且只有一个）等级，或者次级、更次级……的分类中。

（5）如果一个分类等级存在着次级单元，则在这一等级中的各单元必须可以被再次分为两个以上的次级分类单元。

所以，形式逻辑学原理需要以演绎法来促进C的发展。在地质科学中，C往往会用归纳法研究的方式来得以发展。在一个“种”内的所有单元产生了一个新的“属”，而这些种的所有特点都与该“属^①”的特征相关。在历史的进程中，一些“种”可能消失了，而一些以前并不存在的“种”出现了。一些“种”（比如某种次生矿物）可能会被选，它仅仅在“属”的概念等级上存在。

Kosygin (1978) 提出，C的发展由以下步骤构成：

（1）确定一些研究对象的集合体（客观存在物），它们可供分类学研究。

（2）确定研究对象的各种参数。

（3）建立在各研究对象之间分布的各种参数。

（4）根据研究对象的分布将它们按照分类单元分类。

（5）确定分类学（在C的等级制度体系内）的分级单元。

在上述过程中，以下条件都是明确的：

（1）分类必须是抽象的，即任何研究对象可能仅仅属于一种单一等级的分类体系。

（2）各研究单元的诸参数可能以抽象的参数来表达。

（3）一个研究对象可能被归于一套分类系统并且拥有一个可靠的参数（P）。

（4）有可能（从原理上讲）存在与研究对象O1相匹配的参数P同样也适用于研究对象O2的相同参数P的情况。

如果在对自然研究对象进行分类时，上述5个阶段和4个条件都可得到实现和满足，则进行分类学研究就不会存在任何问题。在实践中，上述4个条件并不是独立存在的。而且，我们在发展一项C时，就不得不忽略一些常规的次级分类概念。作为次级分类的一个基础——连续性定律往往是无法实现的。只有通过演绎法，才有可能满足次级单元的连续性和相称性（此举是为了分类而不是使研究对象相互交叠）。如果不遵守分类工作的抽象性原则，就会导致分类体系逐渐分裂的后果，即分类体系会出现相互交叠。混源物会干扰分

^①此处“种”，“属”和“分类”仅仅用于次级分类中较为狭窄的含义中。

类体系并产生交叠的结果。将岩石的次级分类单元划分为沉积岩、火成岩和变质岩是一种非正规的分类法（但显然也是不能废除的）。在实践中，这种分类所使用的参数往往仅供类比时参考。这就是人们认为这些参数属于一个指定的研究对象具有统计上的意义。“一些参数的实际或潜在多解性（现象）会导致我们的判断不依赖于某个参数的存在与否，而靠它出现的频率”（Kosygin, 1978）。

所以，在用形式逻辑法（演绎法）来发展C的做法与地质科学（归纳法）的研究方法之间存在着争议。任何试图用形式逻辑的方式采用归纳法去产生C的做法都必将产生一种负面的结果。笔者尚未发现任何用归纳法发展C的定律（或者介绍）的专著出版。显然，为了在从分析到综合的转化阶段获得成功，研究者就需要在形式逻辑系统内开发出相应的分支。

形式逻辑在地质系统中应用非常困难的一个原因就在于所研究的对象的性质（特征）。地质学的研究对象都是客观存在的现象（物体）。这些研究对象在主观研究中的可靠性是十分有限的，有时甚至相当低。另一方面，形式逻辑研究的多是理论上的概念（思想产物），它们都可由相应的术语和定义清晰地厘定。

我们来思考一个“集合（set）”——它是形式逻辑学中基本概念之一。任何C都是以对一个设定的选择和描述开始的。为了进行分类，这一设定必须经过选择并给以某种界定。在一个完整的集合内，数学逻辑要考虑至少具有一种基本参数的研究对象。没有人会试图将一个油藏、一个地质构造、一个日环食和时间合并到一个“集合”项目中去的。从形式逻辑的观点来讲，这样一个“集合”是不明确的。与此同时，出于某种原因，人们确信下列集合是相当合理的：油（或天然气）藏，圈闭，油气田，区域，预测，面积，盆地，油气区，和地质构造（以“地区”开始，以“石油”为前缀的集合体）。虽然在石油地质学中已经有大量而繁琐的定义且缺乏明确的术语，但依然可以将上述的“设定”总结如下：

- (1) 实质（油气藏）——这是一个既定定性又定量的参数；
- (2) 面积（区域，地域）——这是可以测量的，比如平方米；
- (3) 地质构造——地球表面层理的空间构型；
- (4) 时间（在这个概念中，人们将一个盆地或一个油气区置于演化进程中予以考虑）。

显然，用一个C（尤其是分等级的C）表示这种“设定”是不合理的。然而，多个C用于这样的“设定”或者单元则可以被石油地质学家们接受。在形式逻辑学中，关于“设定”的概念有着非常明确的定义，“设定”就是一个“研究单元的集合体”，具有“设定”的抽象含义。另一方面，在地质系统中“设定”被认为是“连续性”的，由相互关联的过程，或者它们的直接后果构成的一个统一的整体。出于分析的目的，这些单元仅仅是有条件地被分开。而且，在进行地质学的分级时，就会出现质的飞跃，即一些新的特征出现了，而一些陈旧的特征则消失了。在上述“设定”中，可以在许多内容之间建立起一些前所未有的关系。我们所做的也就是这类建立关系的工作，而不是什么转变性的工作（指不是某个研究对象根据其他研究对象的地位和性质所发生的自身性质的改变）。因此，我们可以注意到大量为发展创新性C的努力工作，有时是自然性质的C，在这种情况下，就不存在什么关于指导C发展的形式逻辑方法了。

一个“集合体”的概念，正如形式逻辑学中所定义的那样，仅仅可能有条件地被用于地质科学的范畴里。我们将“矿物”作为一个集合体例子来讨论。矿物是一种开放式集合

体，随着地壳的演变它们的组合与新生矿物会发生改变，产生复杂的组合并出现大量的构型。对于这一“集合体（矿物）”而言，由于它在不断地演化中，很小且难以鉴定。一些矿物结合形成新的矿物。所以，该集合体是减小的。在一些其他情况下，一种矿物可能会分解成多种矿物，这样，该集合体就会增大。在这种转化的前提下，一些矿物就会转化出新的特征（或者转变为位于不同分级体系的其他等级的集合体）。比如，可能会形成新的化学元素（次一等级），或新的岩石（高一等级）。

一个含沥青的矿物集合体（以含碳物质为一端开始，以石油和天然气为另一端结束）在石油地质学中可能会被认为是一种开放式集合体。一般而言，“开放式集合体”是一种集合（也可成为“设定”），在某种程度上它可以被延伸或缩减。“开放体系”的鉴定特征就是它可以与四周的环境交换物质、能量和信息。

按照形式逻辑学的理论，就无法给这种“开放体系”选择一种可供分类的重要参数。造成这种现象的原因有很多：（1）复杂的相互关系；（2）不同的起源；（3）在相同环境中形成的不同矿物（比如石油和天然气）；相反的情况下，一种矿物（比如天然气）又可在许多不同环境下形成；（4）当自然界温度和压力改变时，就会发生复杂的改变与转化。即便如此，为了通过“构成一成分”方法来创立一套关于油气聚集的分类体系，将上述“开放体系”大致分为三种要素（石油、天然气和凝析油），则要开发一套自然分类系统就非常困难。研究对象是以一种连续系列存在的：当环境发生改变时（包括技术性改变，比如油气的开采等），就会出现无穷尽的自然种类和改变了的类型。所有这些情况的结果使得一些分类等级相互叠加，这样也就违反了形式逻辑学中将整体概念再细分的原理。

在地质学中，尤其是在石油地质学中的初始性参数可能扮演一种重要的角色。但如何利用它们呢？形式逻辑学中从一般到特殊的概念（或者像在自然科学中应用的那样，通过一个属来确定一个种的定名的方式）在这种情况下就无计可施了。

如果利用细分整体概念的原理来建立自然的等级分类法，则在一个属的每个种（一个集合中的次级集合体）就可以成为一个属的重要参数。相反，包含在一个属里的每个种都具有其重要的种的特征。所进行的仅仅是正常的增加或目标的细分。这一原理从本质上源于亚里士多德（Aristotle）时代的形式逻辑学中古希腊人朴素的唯物主义概念。

进行地质体的分等级研究工作是非常复杂的。地球按照自己的演化进程发展，并由于重大的质变加剧了这种复杂性。构成矿物（或其他化学成分）的元素可以完全改变特征。比如，气态的氧和氢与由氧、氢元素构成的固体矿物或水之间有相似的特征吗？从形式逻辑学观点来看，较低等级的研究对象的简单聚集作用将会产生较高等级的研究对象。然而，这种情况并未发生过。让我们考虑一下花岗岩的成分（矿物）。如果不考虑它们结合的延续时间，在某种可以将这些矿物组合成岩石的初始过程发生之前，花岗岩就不会形成岩石的形态。为了将这些成分转化为花岗岩，就需要高温和高压条件。而且，新形成的岩石可能会有所不同：它们是花岗岩而不是片麻岩，因为在这种岩石的形成过程中产生了一些花岗岩成分。

因此，我们可以得出结论：地质学，尤其是石油地质学中C的分类学可涵盖许多不同性质的集合体。这些集合体不仅拥有正常选择出的参数而且也包含了以突变为特征的转变（原创性的变化）过程。形式逻辑学研究目前尚没有开发原创性C的合适技术能力。在这些情况下，要发展地质学分等级的C就可以尝试系统分类法。

1.2 一个特殊的自然体系：岩石、水、有机质和天然气

在从事地质学研究时，系统研究就成为自然且有用的工具。一个系统并不能被认为是某种元素成分（组分）构成的集合体。作为一个统一体，一个系统总是处在一种重复不停顿地发展状态，在系统的元素之间存在着内部之间和相互之间的变化，以及与外部环境的交换作用。这些变化通过各种过程实现，通常是物理化学反应。自然系统的重要特征就是它的能量状态。这种充满能量的状态是该系统的一个最为重要的参数。显然，对问题的原创性研究必须将该系统的能量状态作为一个整体考虑，而不是将其作为单个元素或各种能量分析。根据 Komarov (1984) 的观点，演化的大地水准面动力源是一个与它下伏壳层，包括它的核心部位是一个相互矛盾的整体。在地壳内所有已经确定的系统都应该被认作一个开放体系，至少从能量的观点来讲如此。开放地质系统的能量 (E) 是潜在的能量 (P) (包括弹性的和表面能量)，动力能量 (K) 和自然 (化学的) 能量 (F) 的总和。地壳内的这种总能量 (E) 并不总是恒定的：

$$E = P + K + F \neq \text{恒定}$$

在这一个术语中，存在着复杂的转化关系。仅有少量的地质系统内转化的最常见的趋势可以被识别。

系统分析的第一阶段是对一个系统边界的厘定。设定一个体系边界是体系——结构分析的一个重要步骤。这些边界确定了“假定法则” (Descartes, 1950)，这是建立逻辑结构的一个基础。此外，这一假定在很大程度上确定了认知的“真正”方法 (Bacon, 1938)。一套沉积序列 (地层组) 或者一个沉积盆地也是石油地质学中最常被选择的主要 (参考性) 体系。这是在许多石油地质学问题或在发展分等级的体系中认知的一个必经之路。

研究工作都从包含最简单结构的系统分析入手。接下来，在调研的重要实验基础上，许多其他系统或次级系统可以得到确认。然而，在这第一个阶段，我们认为地质体系应该由下列成分构成：岩石、水、有机质 (或者它的转化产物) 和天然气。作为一种普通的体系，这种划分的基础是在有限的地质空间内这些成分存在的同时性与规律性。该体系的基本成分是岩石 (矿物) 组分。然而，其他组分在该体系的演化中却并不是可有可无的。它们彼此相互关联，并与四周的基质 (岩石) 产生物质交换，而且它们彼此的体积是不相等的。在这一体系内，岩石的质量与体积比往往占到百分之几十 (煤和泥炭的情况除外)。水和气充填了岩石内部的空隙，它们也在该体系内占到了百分之十到几十的份额 (与岩石相比，这个份额比较小)。有机质或者其转化产物通常仅占很少的百分含量，有的可以达到 10% (煤、泥炭)，有的则可少到忽略不计的程度。天然气绝大部分都溶解在该体系内的液体里。体系内的每种成分与该体系一起构成一个整体，这个体系对温度、压力和地球化学环境的变化十分敏感。