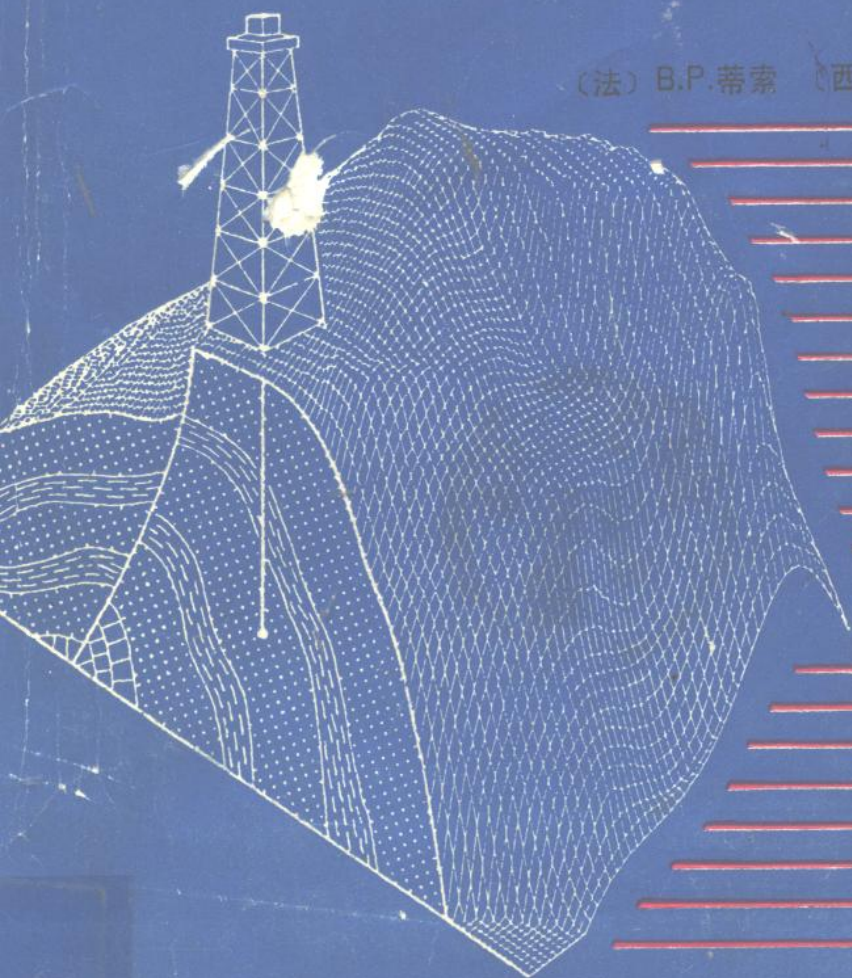


PETROLEUM FORMATION AND OCCURRENCE

石油形成和分布

(法) B.P.蒂索 (西德) D.H.威尔特 著



● 石油工业出版社

TE12/10562)

47641

石油形成和分布

第二版 (增订)

〔法〕B. P. 蒂索 〔西德〕D. H. 威尔特 著

徐永元 徐 濂 郝石生 等译



00256117

5251/17



47641



200367174



石油工业出版社

内 容 提 要

作者主要从地球化学观点出发,并结合地质学原理,论述了有机质转变为石油和天然气的机理,油气运移、聚集和分布的规律,以及生油岩和石油的鉴定与对比、地质与地球化学模型的建立,同时也介绍了煤和油页岩及地球化学化石等。全书分五部分共三十一章。

可供石油地质、有机地球化学和油(煤)田地质技术人员、有关科学研究人员及院校师生参考。

B. P. Tissot D. H. Welte

Petroleum Formation and Occurrence

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984

石油形成和分布

第二版(增订)

[法]B. P. 蒂索 [西德]D. H. 威尔特 著

徐永元 徐 濂 郝石生 等译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京同兴印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 30 1/4印张 751千字 印1—2,000

1989年6月北京第2版 1989年6月北京第1次印刷

书号: 15037·2997 定价: 7.80元

ISBN 7-5021-0146-2/TE·144

出版者的话

1979年我们出版了《石油形成和分布》初版中译本。本译本是根据B. P. 蒂索和D. H. 威尔特1984年的第二版增订本译校而成。

在第二版原著中,作者对初版作了许多修改和补充,增加一些完整的章节,包括天然气、重油和焦油砂、世界油气储量分布、有关油气生成环境的典型例证,以及地质和地球化学模拟;增添了84幅图,从而使本书内容更系统、更充实。

两位作者都访问过我国,威尔特教授等还和我国胜利油田地质科学研究院合作进行过研究工作,其中部分共同的研究成果在本书中也作了介绍。

本书对石油地质、油气有机地球化学、煤的地球化学等领域的研究人员和投身于油气勘探实践工作的同志来说,不失为一本重要的参考书;对高等院校石油地质专业的师生来讲,则是一本全面而系统的石油地质和地球化学教材;对关心世界油气地质研究动态、从事油气情报研究和参与油气勘探决策的人来讲,可藉以丰富知识、开阔思路;对于致力于与油气勘探开发有关的实验人员来讲,它又是联系实际指南。

本书共分五部分。初版第一部分第四章赵铁龄译,第二部分第五章(除5.1节外)至第八章由陆婉珍、李晋超译,第三部分甘克文译,第四部分范从武译,余者郝石生译,并由郝石生统校(以上为初版章节序次)。本书第二版除第四部分由徐濂译校外,余者均由徐永元译校,并由徐永元负责第二版全书的统校和定稿。

序 言

B. P. 蒂索和 D. H. 威尔特合著的《石油形成和分布》一书的出版, 肯定会得到石油地质学家、石油地球化学家以及与此些学科领域有关的大学师生们和其他一切对自然界中油气的成因和聚集感兴趣的人们的欢迎。这两位科学家长期以来献身于有关油气的性质、成因和分布情况的学术研究和实际调查工作, 我们对有机会分享他们在学术上所取得的、并进一步发展了的丰富的科学知识而深感荣幸。

B. P. 蒂索教授 1954 年毕业于法国国立高等矿业学校, 1955 年毕业于国立高等石油学校, 同年获格勒诺布尔大学地质学博士学位, 后来他开始在法国石油研究院进行石油地质学研究工作, 1965 年任该院地球化学研究部主任, 从 1970 年开始, 他还在国立高等石油学院任教, 讲授有机地球化学课程, 并于 1973 年升任教授。蒂索教授具有渊博的知识和多方面的实际经验。他曾经是法国、新喀里多尼亚和撒哈拉勘探队的成员。在 1960 到 1963 年间, 他率领法国石油研究院的一个代表团赴澳大利亚国家开发部工作。他最出色的成就是以巴黎盆地为“实验室”发展了温度与油气成因关系的理论。近年来, 他致力于北美地区的研究工作, 并发表了有关阿萨巴斯卡焦油砂和尤因塔盆地石油成因的研究论文。他和 J. 埃斯皮塔里埃共同开发了新的热解技术以及鉴定生油岩及其成熟阶段的检测仪器, 并建立了沉积岩中有机质演化的数学模型。蒂索是一位多产作者, 他单独或与他人合作在多种英文或法文书刊上发表了許多有关油气的成因和运移的出色论文。

D. H. 威尔特教授, 1959 年获维尔茨堡大学地质和地球化学哲学博士学位。此后, 他作为一个地球化学研究家在海牙为壳牌国际石油公司进行了三年有关石油和天然气成因方面的研究工作。1963 年, 他回到维尔茨堡, 在那里创建了一个有机地球化学研究实验室。1966 年, 由于他的杰出论文“石油和生油岩的对比”而获得了美国石油地质学家协会 (AAPG) 的主席奖。1966 年, 他访问了美国许多高等院校和工业企业的实验室, 并于 1967 年获得高级地球化学研究家职称。在他离美之前, 他曾与雪弗龙油田公司合作并对油田勘探工作发挥了作用。在其合作期间, 他为加利福尼亚、墨西哥沿岸及美国其他地区的地质—地球化学研究计划进行了工作。1970~1972 年, 他任教于西德格丁根大学, 1972 年, 他任亚琛技术学院的地质、地球化学和石油及煤矿床学教授。在他的科学历程中, 威尔特教授对石油地球化学的学识宝库作出了卓越贡献, 他的许多著作刊载于德文和英文的书刊上。此外, 他还对很多来源于与他有关的石油公司的专用报告作出了贡献。威尔特教授除了仍将在亚琛技术学院继续担任一些教学工作外, 还担任了在朱利希核子研究中心新成立的石油和有机地球化学研究院的院长职务。

蒂索教授和威尔特教授虽然居住在欧洲并且目前正在欧洲学术机构工作, 但他们都时常旅居美国, 并长期积极地参加美国地球化学家和地质学家的活动。他们两人对美国油气成因问题的研究有很大影响, 并在 AAPG 杂志上发表了很多论文。很多读者可回忆起 1973 年 5 月在阿尔伯达省班夫召开的流体地质和沉积岩中有机质的著名会议。在那次会议上, 这两位

学者花了好几天时间介绍了在这一学科领域内的各种专门性论题，并对某些与会地质学家所提出的问题和意见作了说明。蒂索和威尔特都参加了乔伊迪斯深海钻探计划所取岩心的油气研究工作，对这项工作帮助很大，他们还是乔伊迪斯有机地球化学小组的成员。

早在十七世纪，当很多人提出与神秘的“燃素”说有关的设想时，油气的成因问题就已对科学家提出了挑战。随着石油工业的发展，这个单纯是科学好奇的问题已经成为一个极为重要的实际问题。对油气成因的认识时常意味着油气勘探的成败与否。由于地质学家、地球化学家和地球物理学家的共同努力，油气勘探已取得了很大进展，但这个问题仍然方兴未艾，还有很多令人困惑不解的未知数和不确定性。或许，目前比以往更突出地充满着未知数和不确定性，而且显然对实际的石油勘探工作至关重要，这就是关于油气的运移和聚集方式。

蒂索和威尔特不仅作为地球化学家来研究他们的课题，而且他们具有丰富的地质学知识。本书是以有机质的产生和聚集——油气的基本供给源泉（第一部分）为开始的。接着是十分重要的第二部分——有关这些有机质转化为干酪根，然后又转化成石油或天然气的课题。同时还论述了煤和油页岩形成的重要机理。第三部分论述了油气藏的形成以及油气从生油层运移到储集层的疑难问题。第四部分涉及到油气的组成和分类，“地球化学化石”以及油气特性、地质环境和石油在储集岩中后期蚀变之间的相互关系。第五部分包括了生油岩的实际鉴定和评价、油一油和油一生油岩的对比以及对地球化学在油气勘探中实际应用的评价。

蒂索和威尔特的这部著作是世界上两位在油气的形成、运移和聚集方面处于领先地位的研究家主要从地球化学观点出发并与地质学理论结合的专著。本书条理清楚，具有实用价值，文笔流畅易读。书中的丰富图表使读者对本书更易理解。同时该书也是一部参考文献的宝库。书中全面地归纳了不同的观点，合理且符合逻辑地列出了标题。蒂索—威尔特这本书的许多优点之一是广开思路地探索问题，而避免了教条主义态度——是对所论主题的深奥学识的真实反映。本书特别突出的一点是介绍了近代石油地球化学研究中的实用方法和所需的复杂仪器，同时还探讨了与这方面有关的许多理论性问题。

本书作为高等院校的优秀教材和本学科的指导参考用书都将居于重要地位，所有参加实际工作的地质学家和地球化学家都应人手一册。毫无疑问，阅读此书，必将会涌现出更多优秀的石油勘探家。

H. D. Hedberg

普林斯顿大学地质学(名誉)教授

1978年

初 版 前 言

《石油形成和分布》一书所探讨的主要问题是各有关学科之间的实质性联系。解决这个问题要以诸多的学科领域为基础,如生物学、海洋学,而最重要的是化学和地质学的各门分支学科。不论是在学术上还是在工业生产上,那些从事与油气有关的研究工作和实际工作的人长期以来都承认这个事实。这些人员的数量还在不断地增加,他们正期待着能得到有关油气勘探各方面知识的综合性资料。

多年以来,我们一直在不同的国家举办有关油气的成因、运移和聚集问题的讲习班。通过举办这些讲习班,我们产生了要写一本书的想法,在对此问题经过讨论研究之后,认为这样一本书不应请各专门学科领域内的许多专家一起来写。纵然该书的工作量很大,但还是应该由我们两个杂家人来写。这样,我们期望本书将易于阅读,并希望有关这一课题的许多疑难问题能更好地为读者所理解。

但愿科学界人士和地学、化学或其他分支学科的大学高年级学生能从本书中得到收益。本书亦有助于使有机地球化学与地学相结合,并使两者更好地融为一体。但最主要的,我们希望本书将对在油气勘探及其有关领域内工作的成员有用。长期以来,在进行实际勘探工作的地质学家和更多地从事化学实验工作的研究人员之间缺乏相互交流,我们相信,本书是联系两者的桥梁。

通过本书,我们要论证有关油气的生成和运移原理的汇总和应用对于油气的调查工作是大有裨益的。多年来,在很大程度上,都是根据对适宜构造的认识来作钻探决策的,而对构造的选择主要是基于直接的感觉和一般的经验,因为关于圈闭内是否含有油气的可靠资料很少。但假如按照本书所介绍的,系统地利用油气的形成和分布的综合性认识,就能够提高预测含油气构造的成功率,从而可减少勘探投资的冒险性。遵照这个观念,就要求未来的石油地质学家必须具有某些油气地球化学方面的知识。为此,有机地球化学的教学工作必须得到发展。我们希望本书可作为一本包括有机地球化学教程内容在内的油气地球化学基础教程。

多亏我们的合作者、同事及朋友们的帮助,才完成了本书的编写工作。特别是,这与吕埃—马迈松法国石油研究院(I F P)、朱利希岩心设备有限公司(K F A)和亚琛市莱茵—威斯特法利克高等学校(R W T H)的同事们的帮助分不开。我们非常感激认真地阅读了本书各部分手稿的P. Albrecht、Ch. Cornford、W. Dow、B. Durand、G. Eglinton、A. Hood、R. Pelet、J. Williams和M. A. Yüklér等人。感谢R. Didelez夫人在本书最终手稿的组织和整理过程中不知疲倦地协助我们工作。我们更要感谢我们的夫人们在本书编写过程中所给予的耐心支持。

最后还要特别向H. D. Hedberg致谢,感谢他审阅了全书,并提出了宝贵的意见,而且在工作过程中始终给我们以鼓励。

B. P. 蒂 索

D. H. 威尔特

1978年4月

第二版前言

《石油形成和分布》一书第一版问世已将近六年了。在初版前言中，我们曾表示，希望该书会有助于促进有机地球化学与其他地质科学融为一体，并增进地质学家和在油气勘探实践中注重化学方面研究的学者之间的学术交流。我们相信，我们确实为达到这些目标而作出了应有的贡献。而且，我们非常高兴地看到，在石油科学领域里，这两个方面都在蓬勃地发展，并注意到其在总体上对地质科学发展的影响。为了增添一些新的重要论题，充实本书的内容已显得十分必要，诸如生物标记化合物、天然气的形成、重油和焦油砂、油气运移及其模拟，特别是借助于高速电子计算机的地质和地球化学模拟。显然，电子计算机模拟将持续地发展下去，并将更好地使该领域发生革命性的变化。任何时候，只要有可能对通常十分复杂的地质作用过程提供合适的软件，电子计算机就可以用作为检验地质学设想和假想的实验工具。地质作用过程的计算机模拟的特大优点在于它不受物理学或物理化学的原理所干扰，总是以百万年而不是以十年为计量单位的地质年代因素也才第一次可以用具有巨大存储量的高速电子计算机来处理。这样，就实现了地质科学中地质时代的真正定量化处理。我们认为，这种借助于电子计算机的定量处理方法必将对石油工业，特别是石油勘探工作产生一次经济上和智力上的冲击。我们关于油气的形成、运移和聚集的概念也将越来越定量化，因此它可以用作为寻找油气的预测工具。不论是在成熟的勘探区寻找“遗漏”的油气藏，还是在风险性大的新勘探区寻找新的油气藏，这种方法均有助于降低勘探成本。电子计算机智能化的结果为一些重要的地学领域如地质学、地球物理学及地球化学所迫切需要的综合分析提供了更大的可能性。我们期望本书第二版能为在科学上更加先进的、从而能进一步减少油气勘探风险性的决策，也能为不断增长的各门地质学科之间的密切协作这两个方面贡献我们的力量。

我们不但对初版正文作了修改，而且增添了一些完整的章节，包括天然气、重油和焦油砂、世界油气储量的分布，有关油气生成环境的典型例证以及地质和地球化学模拟。对其他章节也作了补充和调整，例如关于地球化学化石（生物标记化合物）、油气的初次运移、沥青质和胶质、煤——一种可能的生油岩，生油岩鉴定的新技术以及原油与生油岩之间的相互关系等。我们还收集了270多篇新的参考文献，增加了84幅插图，还作了其他方面的修改。文献索引也有了相当程度的扩充。

在此，我们对吕埃—马迈松法国石油研究院（IFP）和朱利希岩心研究设备有限公司（KFA）的合作者和同事们深表谢意。尤其要感谢对本书给予学术指教和建议的P. Albrecht、B. Durand、D. Leythaeuser、R. Pelet、M. Radke和J. Ruilkötter。本书作者之一——D. H. 威尔特对与中华人民共和国胜利油田研究院的科学家们富有成效的合作表示感谢，对于胜利油田研究院允许我们发表有关中国东北部临邑盆地中共同工作所取得的资料而感到欣慰。

我们同样要衷心感谢美国环境科学研究所（IES）的R. Didelez夫人，朱利希岩心研究设备有限公司的B. Hartung夫人以及法国石油研究院的G. Trambly夫人，她们对本书第二

版手稿的组织、协调和出版工作给予了极大帮助。最后，我们还要再次致谢我们的夫人，感谢她们在本书第二版的出版过程中所作的耐心协助。

B. P. 蒂·索

D. H. 威尔特

1984年7月

《低油生成分布》

《有机地球化学文集》

第四版

《地球科学出版社》

石油地质 低油

《干酪根地球化学》

该书极苦56页

秦巨宗

王成凤

3367

目 录

第一部分 从地质观点剖析有机质的产生和聚集

第一章 有机质的产生和聚集及有机碳的循环	1
1.1 光合作用——大量有机质产生的基础	1
1.2 地球历史时期中有机碳的估算	3
1.3 黑海中有有机碳的估算	6
概要和结论	7
第二章 生物圈的演化	8
2.1 浮游植物和细菌	8
2.2 高等植物	10
2.3 生物圈的地质历史	11
概要和结论	12
第三章 近代水体环境的生物产率	13
3.1 有机质的原始提供者	13
3.2 影响生物原始产率的因素	14
3.3 目前海洋中生物体的原始产量	17
概要和结论	18
第四章 生物体——细菌、浮游植物、浮游动物和高等植物的化学组成	19
4.1 蛋白质和碳水化合物	19
4.2 类脂化合物	20
4.3 木质素和丹宁	28
4.4 在细菌、浮游植物、浮游动物和高等植物中重要化学组分的定性和定量分布	29
4.5 天然组合及其对生物体组成的影响	32
概要和结论	33
第五章 沉积作用及有机质的聚集	35
5.1 富含有机质的古代和现代沉积物及其地质意义	35
5.2 溶解有机质及微粒状有机质的作用	36
5.3 沉积有机质的聚集机理	37
概要和结论	39
第一部分参考文献	40

第二部分 沉积盆地中有机质的演化结果，石油和天然气的生成

第一章 有机质的成岩作用、深成热解作用和后成作用	44
1.1 成岩作用	45
1.2 深成热解作用	46
1.3 后成作用和变质作用	46

概要和结论	47
第二章 有机质的早期转变作用, 从生物到地球化学化石和干酪根的成岩作用途径	48
2.1 早期转变作用的意义和主要阶段	48
2.2 生物降解作用	49
2.3 缩聚作用	53
2.4 非溶解作用	56
2.5 年轻沉积物中有机质的同位素组成	58
2.6 成岩作用的结果和平衡	59
概要和结论	60
第三章 地球化学化石及其在油气形成过程中的意义	61
3.1 成岩作用—深成热解作用, 深部烃类的两种不同来源	61
3.2 直接或通过早期成岩作用从活的生物体中继承得到的烃类, 地球化学化石 (生物标 记化合物)	65
3.3 正构烷烃和正脂肪酸	66
3.4 异构烷烃和反异构烷烃	73
3.5 C_{10-} 支链烷烃	73
3.6 无环的类异戊间二烯化合物	73
3.7 三环双萜类化合物	77
3.8 近代和古代沉积物中存在的甾族化合物和五环三萜类化合物	78
3.9 成岩作用和深成热解作用过程中甾族化合物和三萜类化合物的演变	80
3.10 其他多萜烯类化合物	84
3.11 芳香烃类	84
3.12 含氧和氮的化合物	85
3.13 作为地球化学化石分子可能来源的干酪根、沉积岩中的极性部分和原油中的沥青质	86
概要和结论	87
第四章 干酪根: 组成和分类	88
4.1 干酪根的定义和重要性	88
4.2 干酪根的分选	89
4.3 干酪根的显微组分	89
4.4 确定干酪根结构的化学和物理方法	92
4.5 化学分析	93
4.6 物理分析	94
4.7 干酪根的一般结构	97
4.8 干酪根的沉积环境和组成, 演化途径	100
4.9 小结	105
概要和结论	105
第五章 从干酪根到油气	106
5.1 干酪根的成岩作用、深成热解作用和后成作用	106
5.2 干酪根演化的实验模拟	112
5.3 干酪根的结构演化	115
5.4 深成热解过程中烃类的形成	117
5.5 碳同位素分馏和干酪根的演变	125
5.6 用实验方法从有机物质中产生烃类	127

概要和结论	131
第六章 天然气的形成	132
6.1 石油天然气的组分和鉴定	132
6.2 有机质成岩作用过程中生成的天然气	133
6.3 有机质深成热解作用和后成作用阶段中生成的天然气	135
6.4 无机来源的天然气	137
6.5 沉积盆地中天然气的组成和产出——以西欧为例	138
6.6 沉积盆地中天然气的分布	141
概要和结论	142
第七章 油气形成与地质过程的关系, 石油和天然气的形成时间	143
7.1 油气形成的一般过程	143
7.2 生油潜量和转化率	145
7.3 有机质的性质——气区和油区	145
7.4 温度、时间和压力	147
7.5 油气生成的时间	148
7.6 生油岩沉积时间和油气生成时间的比较	149
概要和结论	151
第八章 煤及其与油气的关系	152
8.1 煤生成的综述	152
8.2 泥煤的形成	152
8.3 煤化过程	155
8.4 煤岩学	159
8.5 油气的生成	162
概要和结论	167
第九章 油页岩, 一种具有潜在经济价值的、富含干酪根的沉积岩	168
9.1 历史	168
9.2 油页岩的定义及油页岩与生油岩的异同	168
9.3 有机质的组成	169
9.4 沉积条件	170
9.5 油页岩的密度	171
9.6 油页岩的热解	171
9.7 油页岩的产油率和页岩油的组成	172
9.8 油页岩的分布和储量	174
概要和结论	175
第二部分参考文献	176

第三部分 油气的运移和聚集

第一章 引言	199
概要和结论	200
第二章 初次运移的物理化学状态	201
2.1 温度和压力	201
2.2 压实作用	204
2.3 流体	208
2.4 初次运移的可能模式	208

概要和结论	218
第三章 初次运移的地质和地球化学状况	219
3.1 初次运移的时间和深度	219
3.2 生油岩沥青和原油的成分变化	222
3.3 初次运移的地质和地球化学状况的评价	224
3.4 关于初次运移的结论和设想	227
概要和结论	229
第四章 二次运移和聚集	230
4.1 油气的浮升和毛细管压力	230
4.2 水动力学和二次运移	232
4.3 二次运移的地质及地球化学含义	233
4.4 二次运移的结束和油气聚集	236
4.5 二次运移的距离	238
概要和结论	239
第五章 储集岩、圈闭和油气藏位置	240
5.1 储集岩	240
5.2 圈闭	241
概要和结论	244
第三部分参考文献	246

第四部分 原油的组成 分类及地质因素的影响

第一章 原油的组成	253
1.1 石油与生油岩沥青的比较	253
1.2 原油鉴定的分析程序	253
1.3 原油中化合物的主要族组分	256
1.4 原油中烃类的主要类型	258
1.5 含硫化合物	270
1.6 含氮化合物	272
1.7 含氧化合物	272
1.8 高分子量的含氮、硫、氧化合物、胶质和沥青质	274
1.9 有机金属化合物	278
1.10 原油主要组分的协变性分析	279
概要和结论	281
第二章 原油的分类	282
2.1 概述	282
2.2 研究历史	282
2.3 所提出的原油分类的依据	283
2.4 原油的分类	283
2.5 原油主要类型的特征	285
2.6 小语	287
概要和结论	288
第三章 原油和沉积物中的地球化学化石——沉积环境和地质历史的标志物	289
3.1 分子化石的意义	289
3.2 作为地质环境标志的地球化学化石	290

3.3 作为早期成岩作用阶段标志的地球化学化石	295
3.4 作为热成熟作用标志的地球化学化石	295
3.5 地球化学化石应用的现状与未来的发展	298
概要和结论	298
第四章 控制石油类型的地质条件	300
4.1 原油组成的一般规律和地球化学规律	300
4.2 与沉积环境有关的地球化学规律	300
4.3 与热演化有关的地球化学规律	307
4.4 关于原油组成规律性的小结	311
概要和结论	312
第五章 原油的蚀变	313
5.1 热蚀变作用	313
5.2 脱沥青作用	314
5.3 生物降解作用和水洗作用	316
概要和结论	320
第六章 重油和焦油砂	321
6.1 定义	321
6.2 重油的组成	322
6.3 重油的比重和粘度	324
6.4 重油的成因和分布	326
6.5 重油的世界储量及其地质背景	328
6.6 提高重油的利用价值	329
概要和结论	330
第四部分参考文献	331

第五部分 油气勘探：油气生成和运移原理的应用

第一章 生油岩的鉴定	339
1.1 有机质的数量	339
1.2 有机质的类型	340
1.3 有机质的成熟作用	351
1.4 关于生油岩鉴定的结论	368
概要和结论	374
第二章 石油和生油岩的对比	375
2.1 对比参数	376
2.2 油—油对比的实例	377
2.3 油—源对比的实例	382
概要和结论	390
✓ 第三章 油气远景区的确定：油气生成和运移原理的应用——地质模型的建立	391
3.1 地球化学信息的获得	392
3.2 盆地中油气生成的初步概念模型	393
3.3 沉积盆地演化的数字模拟——地质模型的建立	394
概要和结论	397
第四章 地球化学模型：油气远景评价的定量方法	399

4.1	定量评价沉积盆地中生油潜量的必要性	399
4.2	干酪根降解和烃类生成的数学模拟	400
4.3	生油岩的生烃潜力、转化率	403
4.4	模型的有效性	404
4.5	与有机质类型有关的活化能的意义	404
4.6	数学模型在油气勘探中的应用	405
4.7	古地温梯度的恢复	408
4.8	运移模型	413
4.9	小结	415
	概要和结论	416
第五章	油气的生成环境	417
5.1	在阿拉伯碳酸盐岩地台中油气的生成环境	417
5.2	在年轻三角洲地区油气的生成环境	427
5.3	中华人民共和国的临邑盆地	427
5.4	加拿大西部深盆地中天然气的生成环境	429
	概要和结论	435
第六章	世界石油和天然气储量的分布及其地质—地球化学意义	437
6.1	引言	437
6.2	石油和天然气储量的地质背景	437
6.3	石油储量的时代分布	442
6.4	石油和煤的时代及地质构造分布的意义	443
6.5	沉积盆地的油气丰度及大油气田和大油气区所起的作用	447
6.6	世界石油和天然气的最终资源量	451
6.7	未来油气区的古地理线索	452
	概要和结论	454
第五部分	参考文献	455
附录	本书中所使用的一些词头和单位符号说明	467
谢启		469

第一部分 从地质观点剖析 有机质的产生和聚集

第一章 有机质的产生和聚集 及有机碳的循环

未降解有机质的产生、聚集和保存是生油岩存在的先决条件。本书所用的“有机质”或“有机物质”这一术语，仅指直接或间接来源于生物机体部分的以单体或聚合物形式存在的有机分子所组成的物质。这里不包括象贝壳、骨骼和牙齿等矿物骨骼部分。首先，有机质应是由活的生物体所合成的，而后来它必须沉积和保存在沉积物之中。在以后的地质作用过程中，部分沉积的有机质可以被转化成为类似石油的化合物。重要的是要认识到，在地壳发展的历史过程中，有机质的合成、沉积和保存的条件已经发生了很大变化。

1.1 光合作用——大量有机质产生的基础

作为全球性现象所出现的光合作用是一与潜在生油岩的形成有关的、值得注意的历史事件。光合作用的过程是把光能转变为化学能。光合作用基本上是水中的氢与二氧化碳作用，产生以有机形式存在的葡萄糖以及氧。氧是从水分子中，而不是从二氧化碳中释放出来的。自养生物能够从葡萄糖中合成多糖类，如纤维素和淀粉以及所有其它所需的组分。图1.1.1为一个简单的光合作用反应方程式。

光合作用是地球上造成有机质大量产生的基本过程。象能起光合作用的细菌和蓝绿藻这样的原始自养生物体是能产生大量有机质的最早的生物体。光合作用最基本的先决条件是具有能吸收光的绿色色素即叶绿素（图1.1.2）。在原始自养生物体中，叶绿素以相对游离的状态存在于生物体的细胞中。在进化较高级的植物中，叶绿素集中在绿色树叶的叶绿体中。这些叶绿体是完成光合作用的“工厂”。

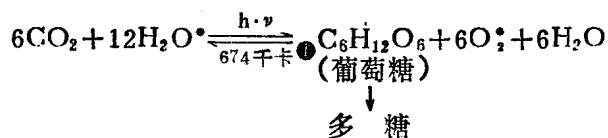


图1.1.1 光合作用方程式

绿色植物在阳光（光能： $h \cdot \nu$ ）作用下形成能量较大的葡萄糖。氧是这个过程的副产品

有机生命最古老的记录形式大约出现于3.1~3.3Ga^①前，它是南非斯威士兰群沉积物中发现的细菌和类藻体（Schopf et al., 1965）。然而，可能地球上的生命至少与最老的已知岩石一样老，为3.7Ga。

可以推断在约2Ga以前，有机质光合作用的产物已明显地遍及全世界，而这个时间可作

① 1卡=4.18J,

② Ga即10⁹年，3.1Ga即为31亿年。

为零的基准点。在达到该点以前，可能另需 1 Ga 时间使独立存在的 最原始的生物体充分扩大其光合作用，使有机质大量产生。

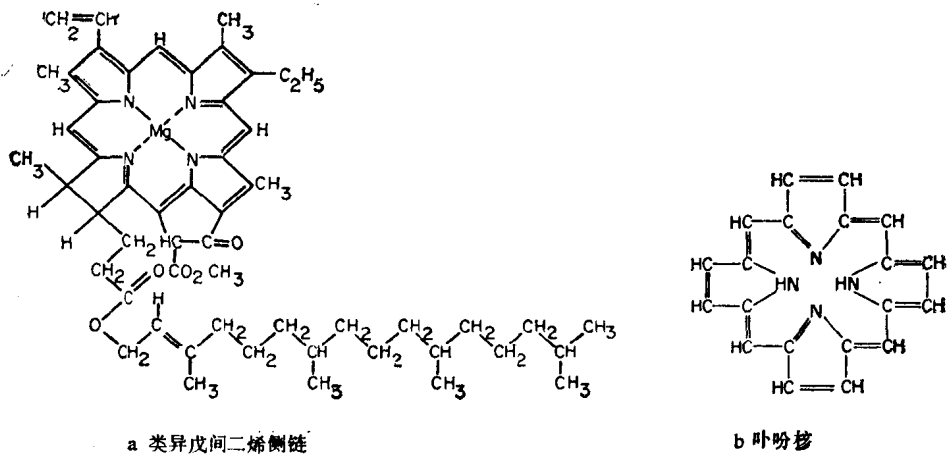


图1.1.2

(a) 叶绿素分子，它是植物吸收光的绿色素， 是进行光合作用的先决条件。 叶绿素分子 中的叶绿基侧链是沉积物和石油中链状类异戊间二烯化合物的一种重要来源， 同样， 含氮的卟吩核是卟啉的前驱物； (b) 卟吩核的结构

图1.1.3 概括地说明了在有机碳的循环过程中被认为是重 要的地质事件。 没有水就没有生命。 所以， 在大约 4Ga 以前， 即当水在地球表面成为普遍的物质以前， 大量的生物（即使是最原始的生物）是不可能存在于地球上的。

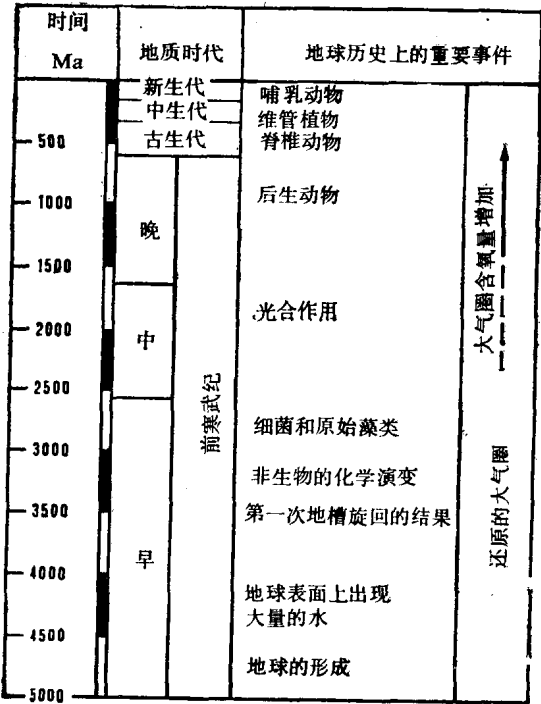


图 1.1.3 在地球的历史发展过程中推测的与生命演化有关的重要事件图

在大约 2 Ga 以前， 即当光合作用成为普遍的现象以前， 在地球上还未产生大量有机质

即使是最原始的生物）是不可能存在于地球上的。 在元古代时期， 大气圈是还原状态， 即实际上无游离氧存在。

一般都赞同早期的地球大气圈没有游离氧的说法， 但它含有H₂、 CH₄、 N₂和H₂O。 然而， 这个观点不是没有人反对的， 而甲烷一氮的 假说尤其是有疑问的。 关于这个假说问题， Calvin (1969) 认为早在四十多亿年以前就开始了非生物的和化学的 演化作用。 当在大约3Ga前首次出现原始生物的时候， 它们可能利用了非生物作用所产生的有机分子作为新陈代谢的能量来源。 因此， 我们推测最早出现的生物是异养生物。 然而， 异养生物不可能以这种方式大量繁殖。 可以认为， 到这些异养生物群将通过非生物作用所产生的有机质几乎全部消耗尽的时候， 光合作用即发展为第二种能量来源。

在这个过程中， 能够利用阳光作为另外一种能量来源的异养生物就能独立生活， 而再进一步的演化就避免了食料短缺之患。 生活在现代的某些紫色细菌显示了这种性质。