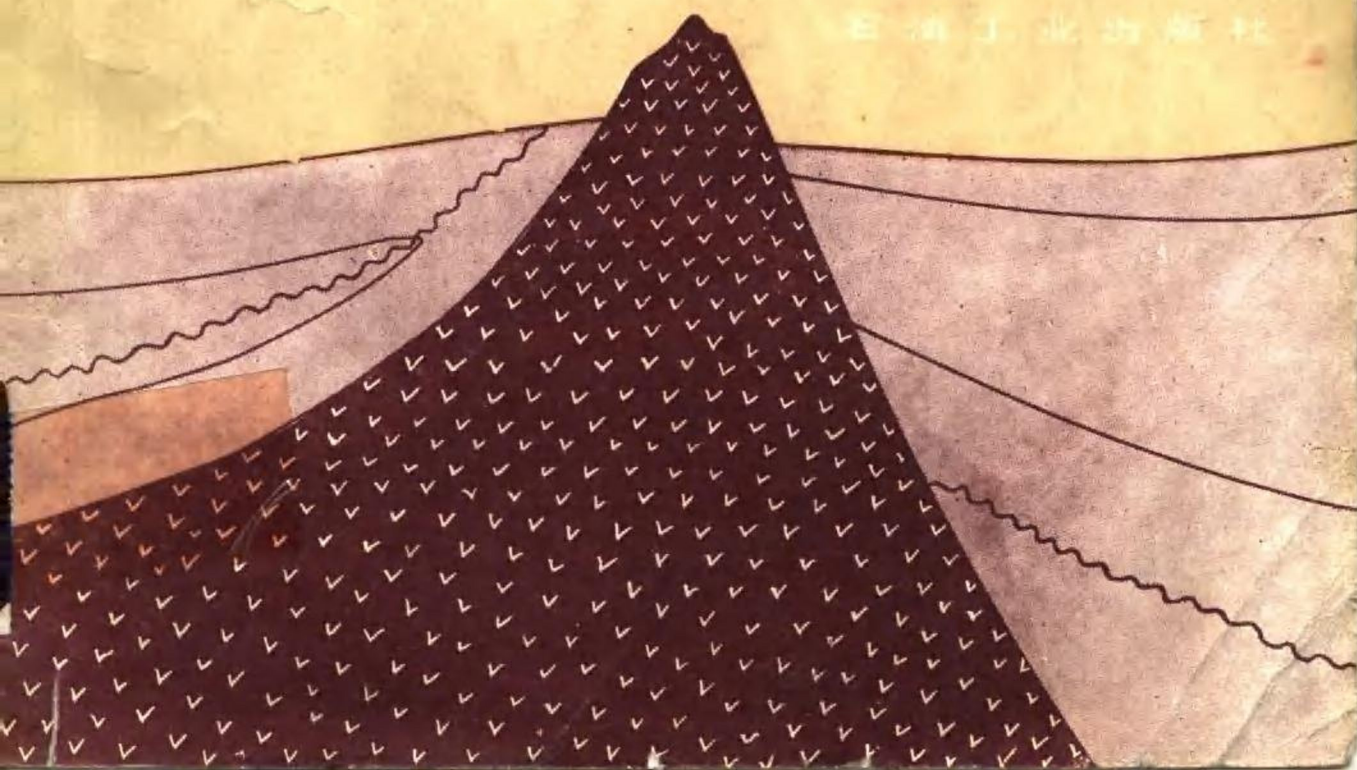


石油地球化学 和地质学

〔美〕J. M. 亨 特 著

石油工业出版社



石油地球化学和地质学

〔美〕J.M.亨特 著

胡伯良 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍石油地球化学的基本原理及其在地质学中的应用。即在石油勘探工作中,石油地球化学与地质学、地球物理学的密切结合。

全书共四部分,十二个章节。第一部分介绍碳和生命起源及石油组成;第二部分为石油成因和运移,第三部分讲石油组成及其产物,主要包括油源岩和储油岩两章;第四部分是应用,论述油苗和地面勘探,地下勘探,原油对比以及远景评价等。书后附图230幅。各章后面附有“辅助阅读材料”。

本书可供石油地质、地球化学、地球物理、采油及油田开发专业技术人员、有关科研人员及院校师生参考。

John M. Hunt

Petroleum Geochemistry and Geology

Copyright © 1979 by W H Freeman and Company

石油地球化学和地质学

[美] J.M. 亨特 著

胡伯良 译

责任编辑 王殿凯

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京丰盛印刷厂排版

北京昊海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 25¹/₄ 印张 600千字 印 1,201-3,200

1986年月9北京第1版 1988年5月北京第2次印刷

书号: 15037·2606 定价: 4.00元

ISBN 7-5021-0129-2/TE·128

序

石油地质科学和石油勘探水平的不断提高,需要比以往任何时候具备更多的关于石油性质、石油成因和石油在地壳岩石中发生变化等方面的知识。在石油时代的早期阶段,大多数石油工作者不大关心石油和天然气“怎样形成”、“为什么运移”和“何时聚集”,他们只关心石油和天然气在“何处”。这些年过去了,现在或多或少都认识到石油和天然气的“怎样”、“为什么”和“何时”是“何处”的关键。

有些人说,可能直到找出最后一滴油,我们也无法回答石油成因、运移、聚集和保存的这些问题。也许可能是这样的,但这也同样是确实的:只有我们更多地知道这些答案,我们才能接近找出这最后一滴油。

尽管石油短缺成为流行的话题,然而我们仍然可能无法利用地球上一半以上的石油聚集,甚至我们到哪里去发现这一半石油也成问题。无论如何,这是事实:我们已经发现的石油是在最容易、最好进去和花费最少的地方,而其余的石油需要通过比以往更高级的方法才能发现和开发。这些更高级的方法大部分要根据石油物理和化学性质方面更完备的知识和控制石油生成、运移和聚集成商业矿藏并保存及最终从岩石中开采出来的物理和化学原理。而且,这些知识不仅有助于我们勘探常规的石油和天然气藏,而且还同样有助于开发任何一种烃类资源,如沥青砂、油页岩、煤成气、饱和气的水以及类似的资源。

我们之中一个经验最渊博和对石油地球化学贡献最大者,从他的繁忙生涯中挤出时间编著成的这部巨著——《石油地球化学和地质学》,对于石油地质学家、石油地球化学家、石油地球物理学家、石油工程师、石油教员以及其他与找油和采油有关的人员来说,这无疑是一个巨大的喜讯。

J.M. 亨特在1946年于宾夕法尼亚州立大学获得了化学博士学位,并在那里工作了一年;后来在新泽西(现在的埃克森)标准石油公司设在俄克拉何马州塔尔萨的勘探实验室工作了十六年,从1956~1963年在那里任地球化学研究室主任。在这个岗位上,他密切地接触主要石油公司的各种石油调查和勘探活动。在1964年,他离开石油工业界,成为伍兹霍海洋研究所(Woods Hole Oceanographic Institution)化学和地质学部主席(从1964~1967年);后来,他任化学部主席(从1967~1974年)。现在他是该所的高级科学家。

亨特博士的整个生涯与石油勘探及石油成因、运移和聚集的应用研究休戚相关。他曾单独地或与其他人一起发表了大量的学术论文,其中有不少是标志着这个学科的杰出进展。其中包括:关于怀俄明州原油组成与地层学关系的研究(Hunt,1953)、关于油源岩的研究(Hunt and Jamieson,1956)、关于委内瑞拉近代沉积中石油运移的研究(Kidwell and Hunt,1958)、关于沉积岩中干酪根^①的研究(Forsman and Hunt,1958)、关于现代和古代沉积中低分子量烃类的分布((Dunton and Hunt,1962)、云塔盆地沥青的组成和

^①干酪根,原文为Kerogen,应译作“生油母质”或“油母质”,但鉴于目前译作“干酪根”者较普遍,本书就不再更改了。——中译本编者

成因 (Hunt, 1963)、碳酸盐岩中石油的成因 (Hunt, 1967)、关于地层圈闭的石油勘探 (Dickey and Hunt, 1972) 以及他关于深海钻井样品中轻烃的研究 (1974~1978)。

亨特博士还参与了大量附加的活动,为他在埃克松和伍兹霍的专业生涯增添了光彩。他是美国石油地质学家协会1964年优秀的演讲者,自那以后,他一直是该协会连续教学课程的讲演者。自1966年以来,他一直是石油地质学家协会会志的编委。他当了多年地球深部取样联合海洋协会 (JOIDES) 咨询组有关有机地球化学的主席,目前他是这个组织和它的被动边缘专门小组的成员。他是1966年红海探险和1969年黑海探险的首席科学家,其结果后来发表在AAPG专题报告NO.20中。他曾在世界许多国家作了有关有机地球化学的讲演,在外国出版物中曾大量连续地引用他在这个领域中的著作。

本书所涉及的范围是非常广泛的,这是化学和地质学关于石油的巧妙结合。绪论部分 (第一部分) 是关于碳和石油的组成;第二部分是由关于石油如何形成、天然气如何形成和它们如何运移和聚集这三个广泛的章节组成;第三部分两章讨论油源岩和储油岩;第四部分的标题为:“应用”,是关于油苗和地面勘探、地下勘探、原油对比和远景评价。丰富的图表、按章写的内容提要以及在书末的大量文献参考资料,大大增加了本书的透彻性和实用价值。

石油勘探中科学进步的历史充满着新方法和新技术的实例,这些新方法和新技术最初只是缓慢地被人注意,但是当它早期获得成功,一旦被人们所接受就会形成热潮,甚至做得太过头。背斜理论一建立,就长期统治着石油勘探,排斥了大量非背斜圈闭的远景,而这些非背斜圈闭目前已发现存在着石油。微古生物、重矿物、电测曲线、地震反射仪、航空磁测、粘土矿物的转化作用、地层圈闭、新全球构造、亮点和热窗等——都是有价值的实例,一旦新概念在石油勘探中起了作用,就会继续被应用,但是由于在使用上得到了成功,而常常把它们做得过分。有机地球化学在石油勘探中的广泛应用,相对地来说时间还是比较短,但它的贡献已经很突出。然而,还必须谨慎地和有条件地使用,或者我们冒着不利于它们最有效利用的风险。

细心阅读亨特博士的书,我想他一定会明白这些问题的复杂性和多样性,它们涉及地球化学的入门,仍然存在着疑问和未知因素以及不同的观点。要使我们在勘探结果中,由于有机地球化学的巨大潜在的贡献而得到最佳的收获,在这个领域中,我们就需要不同读者的经验、知识和建设性的意见的补充,他们每一个人都可能有一些地球化学经验的不同经历。而且地球化学还必须象亨特博士所做的那样把地质学、地球物理学和其他地学分枝适当地综合平衡,其中每一个学科在石油勘探中都有它们各自的重要性。

我相信所有对石油 (地球中除了水以外,它是最丰富的流体) 有兴趣的人,不管是为了科学研究还是商业勘探,不论是学院的学者还是专业的实际勘探家,都将有机会阅读、学习和衡量这部杰出的著作。

H.D. 赫德伯格
普林斯顿大学地质系荣誉教授
1979年1月

前 言

本书是为具有地质学和化学基本知识的学生写的，同样也为对地球化学在石油勘探中的应用感兴趣的石油公司的开发者写的。本书力求作为教科书和参考书两用。在书中讨论了地球化学和石油地质学，而前者为重点。

三十年前，石油地球化学仅限于大石油公司进行少量研究，例如关于地面勘探、原油对比和生油岩的鉴定等课题。今天，它是一种高度多样化的应用科学，有各种地球化学概念，在石油勘探部署中在技术上起重要的作用。本书的目的，是阐明石油地球化的基本原理和说明在石油和天然气勘探中，石油地球化学资料如何与地质学和地球物理学有效地结合。

本书的主要原则和论题的范围写得易于地质学家理解，也易于化学家理解。每一个地球化学的概念，例如碳同位素，优先详细地讨论它们的应用。在本书的开头是石油的组成和利用，为的是使读者充分地理解正要涉及的论题。

世界普遍倾向于简化度量制。不时有人提议以米制作为国际单位系统，现在世界已有三十多个国家接受这种建议，并把它扩大到科学上和商业上普遍使用。在本书中列出了米制和英制两种度量制，目的是使读者能习惯于米制。

本书包括了我给工业上的勘探开发者和大学研究班准备的连续教育课程的笔记。自从1960年以来，我参加了这种课程的准备，当时俄克拉何马州塔尔萨的泽西生产研究公司（先前的卡特研究实验室）是为了帮助埃克松附属学校。A.I. 莱复生(Levorsen)是我们早期教员中杰出的一个讲演者，后来他首先建议我写这本书。我还受到美国、加拿大、南美、欧洲和中东一些主要城市中听课学生们评论的鼓舞。我保存了经常向我提出的有关问题和对这些问题尽可能详细解答的笔记。本书还包括了在我对美国、加拿大、委内瑞拉和苏联访问油田开发者时得到的某些轶事。

今天，石油地球化学是一个进展迅速的领域。本书将提供一个理解基本概念和原理的背景，但读者应通过文献和继续编著的课程去注意新的发展。有关石油地球化学的文献增加得如此之快，以致我无法引证这个领域中所有重要的资料。我感谢我在地球化学界的许多朋友，他们送我很多他们发表前的论文，使我能引证一些最新的参考资料。

我特别感谢对本书的很多评议者，他们慷慨地花费了他们宝贵的时间和提供了他们的丰富经验。地质学家霍利斯·赫德伯格(Hollis Hedberg)和詹姆斯·吉柳莱(James Gilluly)详细评论了全部原稿；琼·惠兰(Jean Whelan)评论了全书的化学部分；布赖恩·希琼(Brian Hitchon)评论了有关地球化学部分，菲利普·洛(Philip Low)、帕克·迪基(Parke Dickey)和彼得·格雷泰纳(Peter Gretener)评论了有关运移的第六章，杰勒德·利靳巴奇(Gerard Lijmbach)评论了第五章。

另外一些对部分原稿提供了有价值的评论的是A.O.伍德福德(Woodford)、塞恩·麦卡洛(Thane McCulloh)、T.P.戈德茨坦(Goldstein)、奥利弗·扎菲里奥(Oliver Zafiriou)和K.O.埃默里(Emerly)。

我还要感谢我的妻子菲莉斯·莱金(Phyllis Laking),她整理本书有关的参考文献、许可信件和索引,并做了不少其他费时的事务。她先前出版她自己著作——《黑海——书目提要》的经验,在整理本书中有很大的帮助。

特别感谢沙伦·卡拉汉(Sharon Callahan)和朱莉·克蒂扎克(Julie Kertyzak),他们为原稿打字,听了无数的录音带;还要感谢克里斯廷·约翰逊,他打了早期的一些草稿。

J.M.亨特

1979年 元月

目 录

序

前言

第一部分	绪论	(1)
第一章	石油地球化学和地质学进展	(1)
第二章	碳和生命起源	(7)
	原始地球	(7)
	原始生命	(9)
	前寒武纪岩石的石油潜力	(10)
	沉积岩中碳的分布	(13)
	碳同位素	(14)
第三章	石油组成及其产物	(18)
	元素组成	(18)
	分子大小的变化	(19)
	分子类型的变化	(19)
	石油的组成和利用	(26)
第二部分	成因和运移	(43)
第四章	石油是如何形成的	(43)
	火成岩和变质岩中烃类的成因	(43)
	活的有机体分子结构	(45)
	有机质的成岩作用	(62)
	有机质的深成热解作用	(74)
	变质作用	(90)
	沉积岩中烃类的分布	(91)
第五章	天然气是如何形成的	(95)
	天然气的来源	(95)
	成岩作用	(96)
	深成热解作用	(102)
	甲烷的碳同位素组分	(111)
	天然气的深度及其在盆地中的位置	(112)
第六章	运移和聚集	(118)
	水	(118)
	初次运移	(123)
	初次运移机理	(129)
	初次运移的方向、途径和距离	(139)
	异常压力	(150)
	运移时间	(156)
	在碳酸盐岩中的初次运移	(157)

	二次运移和聚集	(160)
第三部分	产状	(165)
第七章	油源岩	(165)
	有机质和烃类的数量	(165)
	有机质的类型	(173)
	干酪根的组成	(177)
	有机质的成熟作用	(181)
第八章	油贮中的石油	(224)
	储集油的特征	(225)
	热成熟作用	(229)
	降解作用	(244)
	储集原油时代的确定	(252)
	天然沥青及其有关物质	(255)
第四部分	应用	(262)
第九章	油苗和地面勘探	(262)
	油苗	(262)
	地球化学勘探	(278)
第十章	地下勘探	(279)
	天然气体和汽油	(279)
	C ₁₅₊ 烃类	(289)
	干酪根	(292)
	指示石油接近的指标	(302)
第十一章	原油对比	(305)
	分析方法	(305)
	储集原油的对比	(310)
	源岩—原油对比	(321)
第十二章	远景评价	(333)
	地球化学资料的分析 and 解释	(333)
	地球化学在未来勘探中的作用	(346)
附录		(351)
	本书采用的缩略词	(351)
	地质时代表	(353)
	参考文献	(355)

第一部分 绪 论

第一章 石油地球化学和地质学进展

石油地球化学是应用化学的基本原理研究石油的成因、运移、聚集和演化的科学，并用这些知识勘探和开采石油、天然气和有关的沥青。虽然在古代就已经知道石油，但是仅在本世纪才发展了大量获得这种矿物燃料的技术能力，目前石油需要满足世界经济发展的需要。现在世界每天大约需要6000万桶(80万吨)石油，估计在2000年每天将需要12000万桶(160万吨)石油。寻找和生产如此巨大数量的石油，现在已经需要并且将来还需要很多人——石油地质勘探学家、地球物理学家和地球化学家以及石油钻井和开发工程师们的创造性的艰苦工作。

没有确切的证据说明什么时候开始应用地质学或地球化学的原理进行石油勘探。自有史记载以来，就已知道了石油和天然气的自然渗出——油苗和气苗，并且通常在这样的油、气苗位置上打手摇钻。石油常常是打盐水井的副产品。在公元前600年，孔夫子就已记载了几百米深的井(Owen, 1975, P. 2)。在某些盐业中，常常用燃烧天然气来蒸熬盐水。到1132年，中国的钻井工具已达到大约1000米的深度。到十八世纪末为止，缅甸仁安羌油田(Yenangyaung)已有500口以上的井，并且每年大约生产40000吨石油。巴库壮观的石油和天然气流结果引起了苏联早期石油工业的发展。在1870年，巴库年产石油大约达到28000吨。陆军上校德雷克(Edwin L. Drake)1859年在宾夕法尼亚州泰特斯维尔(Titusville)附近钻的井被认为是开始了美国石油工业蓬勃发展的历程。到1871年为止，700000吨石油——世界产量的91%产自宾夕法尼亚地区的德雷克油井。1890年，巴库的石油稳定地增长到接近400万吨，几乎相当于宾夕法尼亚和纽约一年的产量(Owen, 1975, P. 101)。

这些由盲目开掘油井者进行的早期勘探冒险活动很少应用或没有应用地质学的知识。后来，地质学原理才发挥了作用。最初的和最重要的是“背斜理论”。说起来很简单，这理论是：因为石油比水轻，所以要在地下构造褶皱最高的部位寻找它。这样，背斜就成为比向斜钻探石油更有利的地方。

背斜理论的概念最早由加拿大地质调查所的地质学家和化学家下斯特里·亨特(T. Sterry Hunt)在1861年4月在蒙特里尔的一次公开讲演中提出来的。随后，他在《加拿大自然学家和地质学家》上发表了讲话的细节(Hunt, 1861, P. 249)：

这些井沿着一个低而宽的背斜轴线分布，几乎呈东西向延伸，通过加拿大西部半岛，并终止在恩尼斯基伦(Enniskillen)地面汉密尔顿(Hamilton)群的页岩和石灰岩中，它们在那里被

几英尺厚的粘土覆盖。由于我们已经见到了所含的石油，毫无疑问它们是从含角石的石灰岩(Corniferous Limestone)运移上来的。这些石油比同时渗入多孔地层的水更轻，所以它们向上进入地层的较高部位，即背斜轴的顶部，在那里聚集了相当面积的石油，并在覆盖着的汉密尔顿页岩中通过垂直裂隙而到达地面，形成了这一地区的油泉。

在这同一个报道的第250页，他说：“在上述德雷汉(Dereham)的汤希普(Township)一个产出数量可观的石油井，大约在蒂尔逊堡(Tilsonburg)西南四分之一英里处，我们可以有理由期望沿着它次一级的背斜或褶皱线发现其他的一些石油。”

当亨特正在描述恩尼斯基伦(Enniskillen)的背斜时，俄亥俄州马里塔大学E. B.安德鲁斯教授正在撰写关于弗吉尼亚西部和俄亥俄州东南部背斜(Andrews, 1861)的论文。他描述了几个顶部有石油的背斜，其中典型的是弗吉尼亚(现在的西弗吉尼亚)的考溪(Cow Creek)油田。在图1-1中，背斜轴线标有A的地方是油泉和天然气泉。安德鲁斯认为在背斜顶部的张力发展了裂隙，在漫长的地质时期内充满了石油。他写道：“在沿着巨大隆起之中央带形成的破碎岩石中，我们得到了最大数量的石油。”

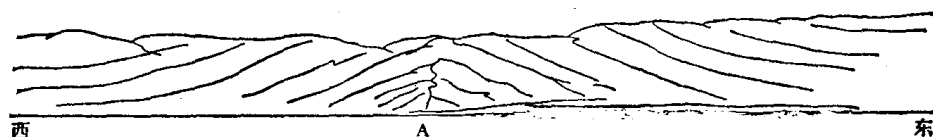


图 1-1 弗吉尼亚考溪背斜横剖面(现在的西弗吉尼亚)

马里塔大学E. B.安德鲁斯在1861年素描。在顶部A产出石油和天然气泉(Andrews, 1861)

这种在构造高点寻找石油的基本原理仍然是在石油勘探初期的地区首要的勘探目标。然而，很久以前，地下构造的地球物理制图就已补充了地面地质制图。

在1900年初，由于产油地区延展到整个美国和加拿大，很快就认识到在不少向斜中象背斜一样有石油。实际上，在用背斜理论无法解释的各种地质条件下，都可能发现石油。有一段时期，由于石油聚集外观的流动性质，地质学家在确定井位时难以使钻探者相信使用地质学原理的重要性。在早期某些时候，失望的钻探者觉得钻“干孔”的最好方法是雇用一个地质学家。在这些困难的时期，一个宾夕法尼亚的法官在一个法庭的初期讨论上清楚地表达了石油的性质，当时他说：“石油是一种易逸去的矿物”。他的意思是指石油可以从它生成的地方运走，因此使得它难于在法律上限定它的地理范围。

大约在第一次世界大战时，在堪萨斯、俄克拉何马和加利福尼亚的大型背斜的正下方发现了石油，这导致地质构造勘探活动的恢复，地质学家牢固地控制了勘探的决策。在1920年反射波地震法成功地应用于地下构造的制图，更进一步加强了对背斜理论的信念。接着，在1930年中期，发现了巨大的东得克萨斯油藏。这个地层圈闭油、气藏的发现使钻探者和地质学家同样都明白：寻找石油需要全部可利用的地球科学原理。勘探地质学家再也不能简单地寻找褶皱构造了。他们必须懂得沉积学、地层学、古生物学、地球化学、矿物学、岩石学、地貌学和历史地质学。用鼻子闻闻去找油的“野猫井”时代一去不复返了，利用全部有价值的科学资料深入细致地研究，正在不断发现新的油田。

即使采用所有这些新方法，寻找石油仍然是一种高度冒险的事业。今天，在10个野猫井中只有一个好的石油显示被发现。在50个野猫井中大约只发现一个石油储量超过100万桶的油田，或天然气储量超过6亿立方英尺的气田。鉴于这些原因，美国石油工业已经无法

满足它的广大人口的能量需要,这也就没有什么奇怪了。勘探地质学家必需是一个慎重的乐观主义者。在这种工业中,没有保守主义的立足之地。周期性的预言:世界正在短缺的石油必须用注入新的思想、新的概念和新的勘探途径来弥补。构造制图已让位于地层学的方法——礁、盐丘、不整合、逆倾斜的尖灭(updip pinchouts)、岩相制图、铰合线(hinge lines)、三角洲沉积、非海相沉积以及最后把这些概念应用到滨外的钻探中。

H. D. 赫德伯格(Hedberg, 1954, P. 1724)扼要讲述了这样的寻找石油的哲理:

为了地质勘探取得有效的结果,经济地开发租借地和利用开采特许权,必须取得一般有利的地质区域。这样的界限应该是地质的,但不应该被地质上的过分自信所约束——即不应该被部分的地质学家的一种言过其实的感觉所迷惑。大部分地区的评价一般将需要钻探,并且在得出合理的、结论性的结果之前,这种钻探常常将需要广泛地进行。不应该被过分的地质上的保守性所妨碍;同时又决不应是任意的,而应该总是有充分的地质依据来作保证。

由于石油变得更难寻找,很清楚,地质学家需要懂得石油地球化学。石油的组成是什么?它随着深度、温度和压力是怎样变化的?我们怎样运用这样的知识来帮助我们寻找商业性石油聚集?

加拿大的T. S. 亨特不仅被称作世界第一个石油地质学的真正权威,而且他还是一个知识广博的科学家,在寻找石油的工作中他应用化学的概念。他的第一篇关于石油成因的讲演支持了在波恩的化学教授K. G. 比斯乔夫(Bischof)关于石油是由有机物质缓慢分解成因的观点。亨特在他的理论中详细地阐明了低等海洋生物可能是石油的原始物质(Hunt, 1863, P. 527);

在北美古生代岩石中,曾产生沥青的有机物质或是由海洋植物衍生来的,或是由海洋动物的残余物衍生来的。这些生物,特别是低等生物,其元素组成不同于植物的,但差别不太大,并由于它们的变化可能很容易产生沥青。有机质可能转化为沥青的这种转化作用与产生很多沥青质的煤的转化作用并没有很大的差别;的确,其中有些地沥青在组成上十分接近。真正的石油保存有较大比例的氢,它们是在至今仍未完全了解的条件下引起的变化而发生的,更大比例的氢是以化合状态保持着。

当一些地质学家正在思索着石油成因时,而另一些已经把他们的注意力转移到地球化学的实际使用方面,如定碳比理论。把煤的变质作用与石油的产状建立关系的这种理论,十九世纪末在H. D. 罗杰斯(Rogers)的一系列论文中逐渐地发展了。美国地质调查所(USGS)的D. 怀特(White, 1915)在他作为主席而向华盛顿科学院的演讲中清楚地阐述过的概念仍然保留着它的价值。他指出美国东部的油田在煤的固定碳(非挥发碳)含量为60%的地方就不再存在;煤的固定碳值在65~70%附近气藏消失。这种理论首次指出了地球上的石油和天然气聚集受变质作用的限制。这种理论仍然以今天修改过的形式使用着,这些将在后面再讨论。

当钻探延展到美国西部和南部,位于有利构造上的许多井没有钻遇石油,但有好的孔隙性。自然而然就提出这个问题:“石油的不存在是由于缺乏油源物质吗?”沥青质页岩作为宾夕法尼亚石油聚集的源岩早在1860年就由地质学家J. 纽伯里(John Newberry)提出来了。后来,纽伯里和其他人强调在俄亥俄和肯塔基的石油应该到同俄亥俄黑色页岩接触的砂岩中去找。

石油起源于沥青质源岩层,并运移到储集层的原理到1926年已完好地建立起来了。那

一年,美国石油研究所联合美国地质调查所支持了一项详细的研究课题,希望发展识别油源岩的特征性指标。P. D.特拉斯克(Parker D. Trask,1942)担负这个繁重的任务,并最终发表了他35000个样品的分析结果,这些样品取自美国各产油区的岩屑和岩芯。特拉斯克的研究没有得到一种肯定的鉴定油源岩的方法,但他弄清了很多关于与产油带有关的沉积物的地球化学。

在那时候,在这个领域的研究者一直探索着能极准确地测定石油聚集的一种“魔术盒子”。一种直接的地面勘探方法的最早的可能性出现在德国和美国1929年的专利文献中,名曰“在地球上发现有利矿产的方法和仪器”发明家G.劳布梅耶(Laubmeyer)计划化验土壤气的烃类作为地下石油聚集的一种指标。大约在同时,年轻的苏联核物理学家V. A.索柯洛夫(Sokolov)也在试验地面勘探的方法。在1930年,他和他的同事M. G.格里维奇(Gurevitch)发明了一种仪器,测量铀系元素放射性分裂时释放出来的氦气和钍射气(Sokolov,1933)。索柯洛夫发现:如果在油藏上面存在微油苗,它们能改变地表土壤吸附放射性气体的百分含量,他们的仪器能显示出这种差别。他在整个格罗兹内(Grozny)油田和巴库油田做了试验,并发现某些地面的证据,能够识别地下油藏。于是,索柯洛夫把直接灵敏地分析甲烷和重烃的方法与这种放射性调查结合起来。这就导致苏联其后几个年代热衷施行的地面地球化学勘探程序。

索柯洛夫和劳布梅耶倡导的工作鼓舞了美国的地球化学家,罗赛尔(Rosaire,1938)和霍维茨(Horvitz)创办了一个公司,专为没有地球化学工作人员的石油公司完成地面勘探。在那时候,主要的石油公司开始在它们的实验室设立地球化学组,研究地面勘探。除了在例外的环境中,这些研究没有能够准确地指出石油聚集,但是他们作为一种区域性的“工具”还是有一些价值。在第九章中将详细讨论地面勘探。

在历史上,地面勘探是发展所有地球化学勘探的重要推动力。早期的地球化学家很快认识到地下的方法象地面的一样能用于勘探,而且今天研究钻井岩屑、岩芯和地下流体比地面勘探更多。

不少成功的开发地质学家对于他们正在寻找的石油具有化学上的认识。这样,自然地有助于他们更明智地作出关于石油租借地的期限。这些早年第一流的野外地质学家中有一个叫W.E.普拉特(Pratt),他成为亨布尔(Humble)石油和炼制公司的首席地质学家和董事。在1941年,普拉特在堪萨斯大学作了一系列的讲演,在石油成因、运移和聚集的基本原理方面显示出非凡的远见卓识。他在这些讲演中提出的很多概念,后来的研究和勘探进程表明它们是正确的。他在那时候最重的是关于烃类普遍存在的论述(Pratt,1943,P.9-10):

石油是基本的地球作用的一种必然结果,这种作用是如此典型,它们在地球历史的每个连续的循环中被重复。我相信地球上的石油远远地比通常认识到的更丰富和分布得更广泛。石油是未变质的近海成因的海相岩石的普通组分。这种特征性的岩石组成了地球总的大陆面积的40%。石油是普通的地质营力在普通的地球物质上直接作用的创造物

今天我们所认识到的烃类,事实上在所有的沉积岩中都发现了,所以只有当估价出沉积岩中烃类的数量后,才能判定一个未变质的剖面中是否有烃类。在富含石油或贫油地区之间的真正区别只是数量的多少而已。

普拉特还清楚地描述了现在认为最符合逻辑的石油成因理论,即石油中小的分子是由大分子在深处通过自然裂解形成的。在堪萨斯的讲演中,他说道(1943,P.17,18):

在地壳中,石油经过地质时代的演化是以分子变小同时发生氢碳比增加为标志。年青的石油以次饱和为特征,它们氢不足,而含有较少的气;它们是沥青质的,由大分子或重分子组成。另一方面,在地质上较老岩石中石油常常是石蜡基的,含有小的充分饱和的分子,典型地含有大量的游离气体。这些事实意味着在自然界的实验室里存在着逐渐的自然裂解。

普拉特的地质学和地球化学原理实际应用于油田的经营,使得亨布尔石油公司从相对地小的企业发展成美国最大的石油生产者。

其他国家不久也认识到寻找石油是一个复杂的问题,需要精确的科学知识。虽然苏联石油领域的技术发展得较迟,但它已经获得大量石油地球化学和有关有机质的背景资料。苏联地球化学之父V. I. 维尔纳德茨基(Vernadskii)真正促进了苏联广博的矿物资源的开发。在他的著作《地球化学概论》(1934,此书曾翻译为多种文字)中,他重申在石油成因中有机质的重要性:“在地球表面,在总体上没有一种化学营力比有生命的有机体发生得更持久,因而在它的最终结果中更有力——生物圈的化学现象曾持续到整个地质历史的进程。”维尔纳德茨基(1934,P.152—153)是第一个清楚地论述烃气(大量的甲烷)起源于各种类型的有机质,它还能有与石油无关的来源:“天然气的一部分成因上与油田有关,即石油的气相。另一些气与沉积岩中的分散有机质有关。它的成因可以用如下的公式表达:“海洋生物—海洋淤泥—沉积岩—天然气。”维尔纳德茨基否定了石油成因的无机学说:“石油生成的一般特征是清楚的。我们应该认为石油是沉积矿物,与有机质有成因上的联系。有机体无疑地是石油的原始物质,石油不含有任何重要数量的原始烃类”。维尔纳德茨基也认识到在非储集岩中大量分散的石油,例如在页岩中的油远远超过储集岩中聚集的石油。

苏联有许多地球化学家从事于石油勘探工作。虽然苏联的石油工业开始得较迟,但它在最近的年代取得了显著的进步,苏联发现的新的石油储量仍有上升的趋势,而美国48个相连的州却有下跌的趋向。

许多其他国家在最近十年,它们的地球化学研究和应用石油地球化学进行勘探这两者都有增加。分析技术发展迅速,已有可能详细地研究整个沉积盆地中各种类型的烃类的分布。油源岩的鉴定、原油对比、原油与油源岩的对比、由地球化学资料对盆地的评价以及区域有机质的成岩和变质作用已变成许多大石油公司承认的常规地球化学技术。甚至较小的公司正密切地注视着这样的技术,如泥浆录井和岩屑气体分析录井,用来评价油源岩的特征以及检测储集层中的石油。一个最令人鼓舞的趋向是石油地质学家认识到如果没有适当的生油和聚集条件,仅有合适的储集岩特征的良好构造或地层圈闭也是没有价值的。甚至在一个潜在的含油远景半定量的评价时,了解一个盆地中石油成因、运移和聚集也是很有意义的。

下面章节为地质学家提供石油地球化学的背景,并介绍如何运用地球化学概念和技术去帮助判定新的石油和天然气藏。

概 要

1. 石油地球化学包括应用化学原理研究石油的成因、运移、聚集和演化,并用这些知识勘探和开发石油、天然气和有关的沥青。

2. 十九世纪末期的定碳比理论是最早的地球化学概念，这一概念使石油和天然气聚集与变质作用建立了联系。煤的固定碳含量超过60%的地方，油田就变为气田；此值在65~70%左右时，气田就消失。

3. 对石油聚集上方垂直运移的天然气进行地面地球化学勘探是主要石油公司中早期发展地球化学组织的主要推动力。

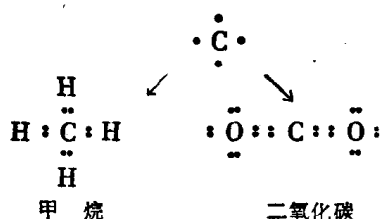
4. 在十九世纪晚期，地面地质学家从野外观察首先发展了这种概念：石油起源于含沥青的页岩中的有机质，并运移到砂岩中。

辅助阅读材料

Owen, E. W. 1975. Trek of the oil finders: A history of exploration for petroleum.
Amer. Assoc. Petro. Geol. Memoir 6, Tulsa, Okla.: American Association of
Petroleum Geologists.

第二章 碳和生命起源

碳[来源于carbo,意思是“木炭(charcoal)"]在元素周期表上第四组,表示它在最外边的电子层有四个电子。碳不常形成强的碳-碳键,而当碳基与其他元素联合时保持很强的键。最稳定的元素或元素的化合物是那些在外层含有八个电子(一种八偶体)的。推测碳的这种构型是由共价键形成的;那就是以它们自己和其他元素共享电子的形式形成。例如,碳迅速地被氢所还原,或被氧所氧化,在地壳中形成两个最普遍的碳的化合物——甲烷和二氧化碳。



碳原子形成一种电子八偶体,由四个氢原子每个共享一个电子或由两个氧原子每个共享两个电子围绕碳原子。

真正单一的碳不能成为所有生命的基本元素,但在于它能联合它们自己而形成碳链、环、络合物和桥合结构。另外,只有一个元素硅也带有一个四价键,能造成这种情况。硅链能在实验室中制造,但它们在自然界中不能存在,原因如下:(1) Si-Si的键能为53千卡/克分子,比C-C键能83千卡/克分子弱很多;(2) 硅的最外层电子迅速地与水、氧或氨(阿摩尼亚)起化学反应,这样硅链在这些化合物中不稳定;(3) 硅不能与氧形成双键,象碳形成二氧化碳气体的形式产生二氧化硅的单体那样。二氧化硅只能以高分子量的固体聚合物存在。这些结晶的固体不能象二氧化碳那样通过水圈和生物圈进行循环。

正如我们所知道的这样,自从地球上开始有生命以来,碳是所有生命的基本构造物。所以,碳的化学常常被归属于有机化学,而把其他所有元素的化学称为无机化学。非碳的100多种元素各自与其他元素化合形成大约70000种无机化合物,而碳与它自己和其他元素化合形成大约四百万种有机化合物。碳在我们吃的食物中,在我们呼吸的空气中,在我们穿的衣服中,在我们造的房屋中,在加热我们住房和供给我们汽车、火车和飞机能源的燃料中,碳是地球上最普遍的元素,它存在于地壳的各个地方。

原始地球

由于石油是有机成因的,如后面所讨论的那样,这对于推断地球上生命的起源和发展是很有意义的。关于前寒武系原油的推测,实质上依赖于前寒武纪时有机质形成和保存的程度。

地球象已知的最老的陨石和地球上的岩一样老,大约 4.7×10^9 年(Patterson, 1956)。

最初，地球大概由90%的铁、氧、硅和镁和10%的其他自然元素组成。有一个模式提出由于下落微星的冲击能量，地球在最初十亿年被加热，并由于重力和放射性衰变而地球凝缩。由于温度升高而铁熔化，并下沉到中心，而较轻的物质浮到表面。实际上，地球从相对的均一体转化为不均匀的层状体，有一个致密的铁芯，一个地幔原生体和一个轻质的外壳，如图2-1所示。在关于这个模型的注释中，普雷斯和西弗尔(Press and Siever, 1978, P.12—13)写道：“在地球历史中，差异作用可能是最重要的事件。它导致地壳的形成，

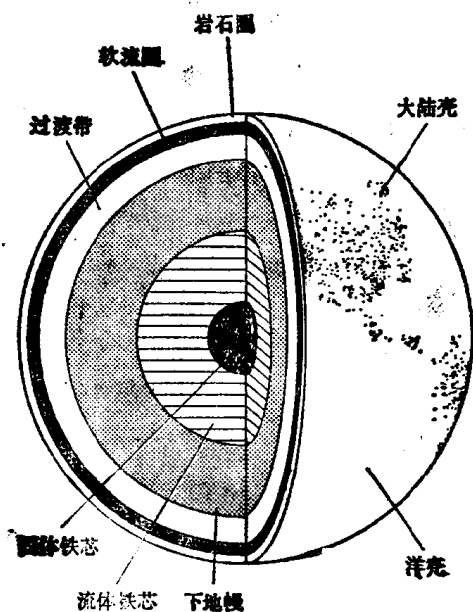


图 2-1 地球的重力分带

在中央的铁芯有最大的密度，向地表密度减小，形成一个由轻质岩石组成的外壳（据《地球》(Earth) 第二版。 dF. Press and Siever, 1978)

最后导致大陆的形成。差异作用可能最初使内部气体逸散，最后导致大气层和海洋的形成。”虽然这个模型的细节是推测的，但普遍一致认为在最初十亿年，地球经历了大变动，毁灭了原始地壳。未发现地球岩石的年龄超过 3.7×10^9 年，而月岩的年龄在 $3.1 \sim 4.5 \times 10^9$ 年。

对大气层的演化问题争论更大。一个模型提出 (Holland, 1962)，最早的大气层正在减小，它含有氢和一些水蒸汽，但没有氧。它还可能含有少量的氮、甲烷和氨。由于地球温度的升高和较轻的物质来到地表，由于火山作用提供大量的水蒸汽、二氧化碳、氮和氢进入大气层。氢逐渐向外层空间散发，水蒸汽凝结，留下氮和二氧化碳作为主要的大气成分。大约到 3.7×10^9 年以前为止，大气中有足够的二氧化碳，由于地表水的酸度较高，引起了广泛的化学风化。在前寒武纪，这种风化使得硅

充分被溶解，形成大量的燧石和石英沉积。其他的证据，如前寒武系沉积的碳同位素分析。支持这样的模式：前寒武纪的大气层比今天的有更高的二氧化碳的比例 (Galimov, et al., 1968)。

在主要为氮和二氧化碳的大气层中，生命限于单细胞有机体，这种有机体能生活在还原条件下，如今天在嫌氧的不流动的水中发现的硫酸盐还原菌。正如我们现在所了解的那样，氧气变为大气层的重要组分前，生命一直没有发展。

地球化学的证据支持这种思想：无氧化大气层一直存在到大约 2×10^9 年以前。广泛分布的苏必利尔湖型铁矿层是由铁和硅的互层组成，它们是前寒武系独有的，没有一层的年龄小于 1.7×10^9 年 (Govett, 1966)。全部产在陆地上的这些地层表明当时存在着一种无氧化的大气层，在这种大气条件下，大量的二价铁可以以溶解的状态搬运到沉积的地点。例子有北美的苏丹 (Soudan) 组 (2.5×10^9 年) 上、印度的德哈瓦 (Dharwar) 组 (约 2.5×10^9 年)、苏联的克里伏依罗格 (Krivoi Rog) (约 2.1×10^9 年) 以及北美休伦世的铁矿 ($1.7 \sim 2.5 \times 10^9$ 年)。

无氧化大气层的其他证据：大约在 2×10^9 年前存在含铀的砾石和碎屑云母矿。霍兰 (Holland, 1975) 估计那时氧的部分压力大概不会大于 0.004 大气压。今天，氧部分压力是