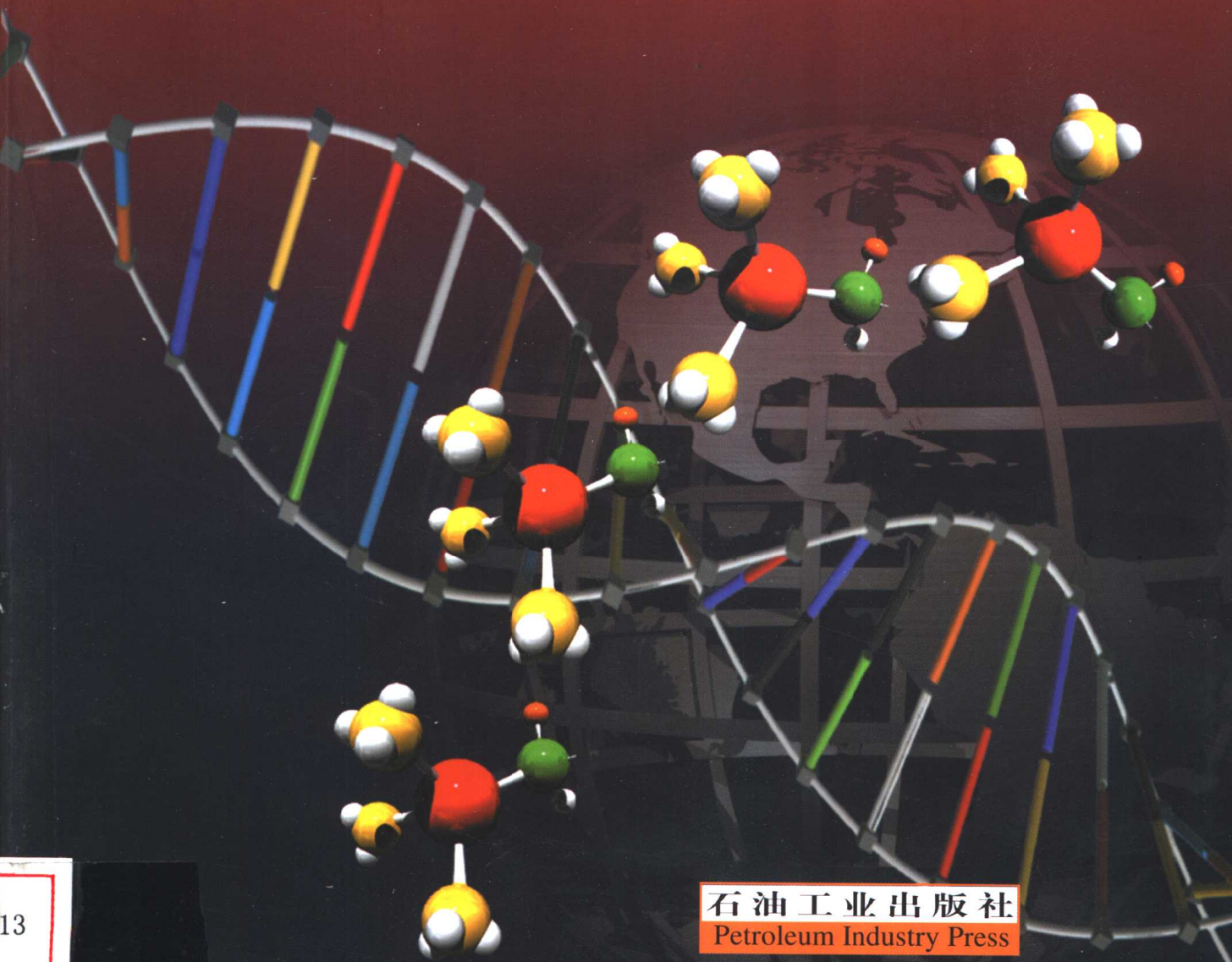


SHIYONG YOUQI DIQIU HUAXUE TUJIAN

实用油气地球化学

图鉴

侯读杰 张林晔 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

实用油气地球化学图鉴

侯读杰 张林晔 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收录了有关石油地质和地球化学基础、烃源岩地球化学、轻烃和天然气地球化学、饱和烃化合物、芳香烃和非烃化合物、油藏及开发地球化学方面的鉴定图表，是石油地质和地球化学工作者的重要参考书。

图书在版编目（CIP）数据

实用油气地球化学图鉴/侯读杰等主编.
北京：石油工业出版社，2003.8
ISBN 7-5021-4272-X

- I. 实…
- II. 侯…
- III. 地球化学-图集
- IV. p59-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 042931 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)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 361 千字 印 1—1500
2003 年 8 月北京第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-4272-X/TE·3001
定价：50.00 元

我们常用老思路在新地区找到石油，但有时也用新思路在老地区找到石油，不过，我们很少在一个老地区用老方法找到更多的石油。过去，我们有过石油已被找尽的想法，其实我们只是找完了思路。

（摘自 P. A. Dickey, 内部资料）

最终的分析得知，首先发现油气的地方是在人们的大脑中。未被发现的油气田作为一个思想存在于找油者的脑海中，当任何人都不认为还可以发现油气田时，就不会再有新的油气田发现。

（摘自 E. A. Beaumont, 石油勘探中的创造性）

作者常常把石油地质综合研究的过程比作是医学上大夫望诊、问诊、触诊、听诊、开单化验及进行各类检查，最终综合分析、开方下药治疗的过程。一种或多种疾病存在于体内，有些是功能性的，有些则是器质性的。功能性病变属于系统中的问题，相当于我们石油地质综合研究客体的隐蔽性部分，如过程、关系与非构造油气藏等；器质性的病变为有实质性的变异，相当于石油地质综合研究客体的实体部分。一个医学大夫不可能钻入人体内部去亲眼看一看实际病变的情况，需要通过触诊、问诊、观诊与听诊，对病灶位置与内涵从多信息角度给出综合性的判断，产生初步诊断结论。然后，根据判断提出进一步的分析与器械检查方案，当检查结果出来以后，会进入更深入的综合分析之中，原先的结论或者被推翻，或者被修改，或者被完善，最后综合提出治疗方案，并以“处方”形式进入治疗过程，这相当于石油地质综合研究的最高层次，即研究结论向生产中的延伸——勘探部署的提出与实施。待用药结果出来后，便可检验诊断过程和结论的正确与否了。很显然，一个综合判断力很强，又对复杂病症有着丰富处理经验的大夫，在诊治方案的确定与决定最终医治效果的水平上有着决定性作用。而医疗检查是医生不可替代的助手。可见，在疾病诊治过程中，大夫的经验与医疗检查的帮助是两个十分重要的因素。这里谈到的石油地质综合研究过程与医学上对疾病的诊治过程有异曲同工之妙。读者从中会看到人的素质和经验与新技术和新方法在决定石油地质综合研究深度和水平上的作用是十分关键的。

（摘自赵文智，何登发等著，石油工业出版社 1999 年出版的《石油地质综合研究导论》，4 页）

当前国际学术界讲究的是自由讨论，互相尊重，重视事实依据，通过实践验证。在国外油气勘探理论和实践中的突出事实是文献中发表的新技术和新认识或新观点此起彼伏，层出不穷。只要有一定依据的论点，就有可能被编者采纳并发表，但当通过实践证明受到修正甚至被否定后，大家就不再论及。所以，在国际学术文献中除个别具体见解讨论外，不存在学术批判。严格地讲，这是科学民主的客观反映，至于是否被人们所采纳，则是勘探家决策者的行为。举例而言，20 世纪 70 年代以来曾经风云过的所谓大西洋型被动边缘盆地油气前景远大之说，逆掩断层带找油有利的见解，现在不是都已寂静了吗！在社会进化过程中，科学界内出现各种各样的见解是十分正常的现象，既有正确的，也有不完善甚至错误的。在学

术界中，刊登与出版是反映了一定历史条件下编者和出版单位的才能；信与不信取决于读者的能力；是否采纳体现了决策者本领；改进或更新观念则体现了科技的进步。由此，所有人都在客观的现实中各尽其能，各负其责。举例来说，珠江口的白云 7-1-1 井原解释目的层为生物礁，结果于 1987 年打出了火山岩，为此，投资的西方石油公司把其远东公司的总地球物理师解雇了；EXXON 公司在美国佛罗里达州东面岸外的一个被多数人认为是亮点的目标投标钻井，结果证明与油气无关，7 名决策讨论者中 6 人认为是亮点的因此引咎辞职，另一名认为非亮点目标者后来受到了提升。应该说，在油气勘探中存在风险是必然的，但当存在另一种否定依据时，则对于主要决策者和专业负责人就应该对失误承担责任。上述白云 7-1-1 井目标在讨论中就有人指出其层速度偏低，与碳酸盐礁的响应不符；佛罗里达岸外的亮点目标，持否定意见者提出是煤系的反映，最后被钻井所证实。这种对待方式，有利于正确地发扬学术民主，提倡创新，避免某些片面性，也符合“实践是检验真理的唯一标准”的原则。

（摘自甘克文的“我国油气勘探理论和实践历史的思考”，2002 年发表于石油工业出版社出版的《中国石油勘探》，7 卷，2 期，72—73 页）

勘探家应具备如下基本素质：

- 1) 哲学家的思维：一分为二，对立统一，唯物论，实践论等；
- 2) 侦探家的精神：通过现象看本质，通过蛛丝马迹分析事物，和较强的逻辑推理能力；
- 3) 探险家的精神：敢于并善于挑战未知，不畏困难，百折不挠；
- 4) 诗人的想象力：解放思想，善于想象，石油是存在于地质家的脑海中；
- 5) 军事家的果敢：善于捕捉机会，敢于决策，善于决策。

（摘自李丕龙，2002，中国石油化工集团公司总地质师培训班讲课材料）

前 言

编写一本《实用地球化学图鉴》是我多年来的一个心愿。记得我在 1984 年刚开始从事石油地质和地球化学研究时,就准备了一个笔记本,把学习各种参考书的心得、重要的公式记下来,同时把一些图版复印下来供研究工作使用。当时就产生了一个想法,如果能有一本这样的工具书该多好啊!

随着工作经验的增加,我的笔记本也越来越厚。有了十来本这样的自编工具书手册。同时,也随着研究领域和兴趣的拓宽,研究的工作从烃源岩地球化学、生物标志物研究、勘探地球化学、资源评价逐步转向油藏地球化学和开发地球化学、天然气地球化学等领域。研究的区域也基本上覆盖到全国主要的各大盆地。在工作中,不断地需要对比一些资料,查阅一些图版,有时甚至需要查阅几十本书。由此感到,在研究工作中确实迫切需要一本这样的工具书,与油田现场工作的同志谈及此事,也得到热情鼓励,希望能早日看到此书,并提出由于许多现场资料比较匮乏,这样的工具书对现场工作的同志更为重要。与石油工业出版社的编辑们商量此事,也是大力支持,一路绿灯。得到这么多朋友的热情关心和鼓励,编写一本这样的书自己也感觉到是一件义不容辞的事情。

正因为大家的期望比较高,此书作为地球化学方面的工具书,自己也感觉到责任和压力大。同时承接此书后,也面临着几个方面的困难。首先是科研任务比较重。如果能抽出一年的时间,专门编写此书,当然更好。但作为一个大学教师,不进行科研,就意味着不能生存。科研必须做,书也只能抽时间编。好在二者并不完全矛盾,因为通过科研工作,我理解了许多图版的实际应用价值和部分图版的一些不足及局限性。第二个方面是如何选取各种图版。大家可以看到在许多专著和研究报告中,每个研究者有自己喜欢应用的图版和作图方法。对各种图版的使用也是仁者见仁、智者见智。但我们考虑到本书的定位,主要是以石油地球化学为主,兼顾到部分石油地质图版,目的是为石油地质工作者和石油地球化学工作者提供一本石油地球化学资料的解释工具书。同时这方面也是我们科研工作的特长。在地球化学领域,有关生物标志物方面的工具书相对较多,主要有三本:(1)由 R.P.Philp 编著,傅家谟、盛国英翻译,科学出版社 1987 年出版的《化石燃料生物标志物—应用与谱图》。(2)由 Peters 和 Moldowan 编著,姜乃煌,张水昌等翻译,石油工业出版社 1995 年出版的《生物标志化合物指南》。(3)由王培荣主编,石油工业出版社 1993 年出版的《生物标志物质量色谱图集》。因而本书收录的原则以石油地球化学为主,收录在地球化学分析和研究工作中常用的图鉴,但对生物标志物方面的鉴定则主要选取重点,对该方面要求较多的专业人员,可参阅上述工具书。第三个方面是图版的使用方面。因为石油地球化学是一门新兴的交叉边缘学科,特别是在最近几十年,由地质学(包括煤田地质学、沉积学、地层学、石油地质学等)、有机地球化学和生物学等学科相互渗透而迅速发展的一门新的学科分支。由于学科发展迅速,许多理论和观点不断发生变化,从而影响着应用。以我们常用的 C_{29} 甾烷成熟度参数为例,在过去传统的地球化学教科书中,早期把 C_{29} 甾烷称为豆甾烷,后来发现是错误的。正确的名称为 24-乙基胆甾烷。关于 24-乙基胆甾烷的异构体,在过去常常被认为 20R 异构体随着热成熟作用逐步转变为 20S 异构体 (Mackenzie et al., 1982, Steroid hydrocarbons and the thermal

history of sediment. Nature, 295, 223—226)。但最新的研究成果认为 (Requejo, 1992, Quantitative analysis of triterpane and sterane biomarker: Methodology and applications in molecular maturity studies. In: biological Marker in Sediments and Petroleum, Prentice Hall, Eglewood Cliffs, N.J., p223—240), 这可能与异构体的稳定性不同, 20S 异构体更稳定, 从而造成比值增大, 目前还没有发现 20S 和 20R 异构体之间存在平衡状态的证据。同时, 生物降解可造成该比值增至 0.55 以上, 风化现象造成比值降低。Gallegos 和 Moldowan 1992 年研究发现 (Gallegos and Moldowan, 1992, The effect of hold time on GC resolution and the effect of collision gas on mass spectra in geochemical biomarker research. In biological Marker in Sediments and Petroleum, Prentice Hall, Eglewood Cliffs, N.J., p156—181), 在 24-乙基胆甾烷 20S 异构体的色谱峰, 常常被 C₂₉ 甾烷异构体 (可能是 $\alpha\beta\alpha$) 污染, 从而造成 C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R) 可能太高。同时, 20S 和 20R 分别有一个 24S 和 24R 异构体, 它们也常常被忽略, 并且常常一起定量 (Peters 和 Moldowan, 1995, 《生物标志化合物指南》, 石油工业出版社, 姜乃煌等译, p169—170)。类似的例子还有很多, 如有关轻烃方面的研究, 庚烷值与 Mango 参数方面, 天然气计算成熟度的方面等。因而许多图版可能仅仅在某一地区适用。有些图版可能随着研究程度的深入, 已经失去了应用价值; 有些图版则可能有一定的应用价值, 但要慎重。总之, 图版是广大地球化学工作者工作经验的精华与总结, 但也不能代替研究工作。同时在使用过程中, 也要理解其图版的原理, 灵活应用。否则, 则可能犯“形式主义”的毛病, 同时, 由于地质样品的非均质性, 数据分析过程中的误差, 均可能影响到图版的应用。图版的解释也要尊重客观数据, 同时根据样品的地质背景、构造、沉积和地层骨架方面认识 (这一点非常重要!), 再根据各种数据和资料综合分析, 才能得出科学的认识。最后一个方面, 也是编写本书比较困难的一个方面, 就是有关原始参考文献问题。因为国人的习惯, 许多人对参考文献不太重视, 近些年这方面改进许多, 但许多专著中仍找不到原始的出处。因而, 我们也只能列出转印的参考文献。同时, 在国家攻关和油田合作的研究报告中, 也有相当重要的有价值的图表, 考虑到本书的实用性, 也同样收录, 但仅列出主要完成者的姓名, 报告名称省略, 以表示对作者贡献的尊重, 同时也对油田的报告保密。

总之, 由于笔者水平有限, 许多有价值的图表尚不能完全收录, 挂一漏万的可能性比较大, 因而也希望广大的石油地质和地球化学工作者, 能够及时地帮助我们提供有关有价值的图版和表格, 指出书中的错误, 为本书的第二版提供新的素材, 笔者在此表示感谢。应该说明的是, 本书的写作, 得到了中国地质大学、江汉石油学院、胜利油田地质科学研究所等单位的大力支持, 同时, 还要感谢胜利油田地质科学研究所刘庆、唐洪三、张学军、张守春同志为本图鉴提供一些重要的信息, 感谢江汉石油学院姜蕾为本图鉴进行大量的扫描和清绘工作。我也要特别感谢我的爱人曹芙蓉同志多年来对我坚持油气地球化学这个冷门专业的热情鼓励、大力支持。此外, 我还要感谢我们课题组成员李贤庆、唐友军、朱俊章、陈奇同志多年来的合作。石油工业出版社周家尧、谭忠心编辑为本书的出版提供了很多好的建议, 并为本书图件的清绘、出版、审校花费了大量的心血。没有他们, 也就没有本书的出版。正是因为诸位的关心和支持, 我们才能斗胆出版此书, 在此, 笔者向您们表示衷心感谢。

侯读杰
中国地质大学 (北京)
houdujie@263.net
2003 年 3 月

目 录

第一部分 石油地质基础

图 1—1	中国区域构造单元分区略图	2
图 1—2	中国及邻区板块构造划分示意图	3
图 1—3	中国板块构造盆地分类	4
图 1—4	中国含油气盆地群带划分	5
图 1—5	碳酸盐岩、蒸发盐岩、煤和冰碛岩的纬向出现频率	5
图 1—6	中国含油气沉积盆地类型图	6
图 1—7	显生宙全球海平面变化旋回	6
图 1—8	中国莫霍面深度	7
图 1—9	地球历史上的重大生物变革	8
图 1—10	在以往地质历史中,古浮游植物群和总浮游植物丰度的变化	9
图 1—11	陆地植物的出现和演化	9
图 1—12	地质历史上陆壳增生、湖泊发展、生物演化与高蜡油时代分布的关系	10
图 1—13	中国陆相主要生油层系和储集层系对比图	11
图 1—14	中国陆相主要生油层系和储集层系对比图(续)	12
图 1—15	成岩作用阶段划分及与油气生成和储集的关系	13
图 1—16	中国主要沉积盆地热流分布图	14
表 1—1	全球标准年代地层(地质年代)表的主要单位	15
表 1—2	中国及邻区构造旋回划分及大地构造年表	16
表 1—3	中国地壳构造发展简史	17
表 1—4	中国地壳演化构造阶段	18
表 1—5	中国中生代构造幕划分与成盆期对比表	19
表 1—6	盆地演化序列与构造旋回	20
表 1—7	陆相中各种沉积相的主要鉴别标志	21
表 1—8	湖盆主要砂体类型沉积特征和鉴别标志	23
表 1—9	几种沉积相的主要鉴别标志	24
表 1—10	海相中各种沉积相的主要鉴别标志	26
表 1—11	碳酸盐岩理想的标准相带模式	27
表 1—12	中国主要油气区含油气层系表	28
表 1—13	中国含油气盆地分类	29
表 1—14	中国油田驱动类型	30
表 1—15	各种岩性的测井特征	30
表 1—16	测井相模版	31
表 1—17	碎屑岩系八大沉积作用的储层表征及勘探开发中的问题	32

第二部分 地球化学基础

图 2—1	在远景评价中通过应用地球化学参数改进预测效果	34
图 2—2	不同地质时期中石油和有机碳的分布	35
图 2—3	原油和岩石中可溶有机质主要化合物组成	35
图 2—4	石油中典型化合物的 API 和密度分布图	36
图 2—5	不同类型化合物在水中的溶解度	36
图 2—6	在地质历史中水生沉积物中有机物质的主要天然组合	37
图 2—7	各种生物体中碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 演变序列图	37
图 2—8	沉积时期及沉积之后有机质综合演化图	38
图 2—9	在沉积和成岩作用过程中有机质的演变	38
图 2—10	沉积有机质演化的一般模式	39
图 2—11	有机质成烃演化模式图	40
图 2—12	在与有机物质演化有关的地质条件下烃类的来源	41
图 2—13	典型的沥青质结构图	41
图 2—14	不同干酪根类型的结构成分示意图	42
图 2—15	根据饱和烃与芳香烃的碳同位素判断海相陆相环境	42
图 2—16	塔里木原油研究表明海相油和陆相油似乎并不服从 Sofer 划分线	43
图 2—17	541 个油田中六种类型原油的组成三角图	43
图 2—18	不同类型原油的宏观组成分布	44
图 2—19	表示原油热成熟作用和蚀变作用主要趋势的三角图	45
图 2—20	苏林的油田水分类	45
图 2—21	不同地质时代原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布图	46
图 2—22	正常原油的碳同位素曲线	46
图 2—23	我国不同沉积环境沉积有机质中干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布特征	47
表 2—1	现代海洋、湖泊和陆地各种生物中碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 统计表	48
表 2—2	有机质演化主要阶段及其特征	48
表 2—3	原油的分类	48
表 2—4	按粘度、相对密度对原油分类标准	49
表 2—5	中国主要含油气盆地重质油常规物性参数	49
表 2—6	正链烷烃的一般名称和物理常数	50
表 2—7	一些常用的油—油/油—源对比参数表	50
表 2—8	由各种类型有机质生成的原油的一些典型特征	51
表 2—9	碳酸盐岩和页岩原油的一些特征	51
表 2—10	石油分析中经常涉及的红外光谱特征吸收峰的归属	52
表 2—11	苏林的天然水成因分类表	52
表 2—12	中国海相含油气盆地油田水化学主要特性指标表	53
表 2—13	中国中生代陆相含油气盆地油田水化学主要特性指标表	54

第三部分 烃源岩地球化学

图 3—1	根据 TOC 和总烃含量判断烃源岩的质量	56
-------	----------------------	----

图 3—2	根据有机碳和 PG 值判断烃源岩生烃潜力	56
图 3—3	应用热解资料评价烃源岩可使用对数坐标或正常坐标	57
图 3—4	烃源岩的概率统计分布图	58
图 3—5	地球化学录井和烃源岩评价常用的一种绘图格式	58
图 3—6	干酪根的 H/C-O/C 原子比三分法	59
图 3—7	划分干酪根 H/C 原子比范围的依据	59
图 3—8	根据氢指数和氧指数判断有机质类型图版	60
图 3—9	干酪根显微组分或全岩显微组分三角图是最常用的一种直观表现形式	60
图 3—10	根据热解资料评价烃源岩	61
图 3—11	降解率 D 与 T_{\max} 值划分生油岩类型图版	62
图 3—12	I 型生油岩 T_{\max} 与 R_0 关系图版	62
图 3—13	II 型生油岩 T_{\max} 与 R_0 关系图版	63
图 3—14	III 型生油岩 T_{\max} 与 R_0 关系图版	63
图 3—15	有机质的测井响应及识别	64
图 3—16	孢子体荧光光谱变化特征	65
图 3—17	孢子体的荧光参数与镜质组反射率的关系	66
图 3—18	根据镜质组反射率 VR 资料估算最大古温度与海拔高度的关系	67
图 3—19	镜质组反射率与深度呈对数关系	67
图 3—20	三个盆地不同时代烃源岩的最大古温度与镜质组反射率的关系	68
图 3—21	阿拉斯加 North Slope 盆地某井根据测定逐段回归确定的平均镜质组 反射率	68
图 3—22	镜质组反射率与温度和有效时间的关系图	69
图 3—23	有机变质阶段与有效受热时间的关系	69
图 3—24	有机质成熟度与温度关系的 Karweil 图版	70
图 3—25	根据 Karweil 图和 TZ1 井埋藏史推算沥青形成地质时期的计算方法	71
图 3—26	应用镜质组反射率资料估算剥蚀厚度	71
图 3—27	根据温度与海拔高度的关系估算剥蚀量	72
图 3—28	有机碳恢复系数曲线	72
图 3—29	国内外早期文献常用的成熟度指标 LOM 与镜质组反射率的关系图	73
图 3—30	中国中、新生界生烃门限的时温关系曲线	73
图 3—31	中国各地质时代生油岩中有代表性的转化率曲线	74
图 3—32	Waples-lopatin 方法图	74
图 3—33	Lopatin 图版	75
图 3—34	泌阳凹陷烃源岩残余有机碳的恢复系数	75
表 3—1	中国学者陆相生油层评价标准	76
表 3—2	中国学者干酪根类型指标的对应关系	76
表 3—3	描述未成熟烃源岩石油潜能(数量)的地球化学参数	76
表 3—4	描述干酪根类型和排出产物特点的地球化学参数	77
表 3—5	描述热演化程度的地球化学参数	77

表 3—6	有机质的测井响应	77
表 3—7	中国含油气盆地主要生油层地球化学基本参数	78
表 3—8	中国油页岩岩样热解分析基础数据表	80
表 3—9	我国油页岩成熟度判别表	81
表 3—10	烃源岩有机组分(干酪根)分类(透射光)	81
表 3—11	烃源岩有机组分分类(反射光, 荧光)	82
表 3—12	沉积物中分散有机质的分类	83
表 3—13	中国陆相烃源岩分散有机质的分类	84
表 3—14	烃源岩显微组分分类	85
表 3—15	烃源岩显微组分中英文对照分类表	86
表 3—16	有机成熟度指标汇总及在评价下古生界高过成熟烃源岩的有效性	87
表 3—17	TTI 与 R_o 的关系表	87
表 3—18	生油量计算方法一览表	88

第四部分 轻烃和天然气地球化学

图 4—1	根据轻烃特征判断油层或非油层	90
图 4—2	川南地区油、气、水层典型的气样组分特征	91
图 4—3	轻烃组成三角图判断油气产层	91
图 4—4	轻烃成熟度参数庚烷值图版	92
图 4—5	根据 C_4-C_7 轻烃组成判断原油的类型	92
图 4—6	C_7 烃类形成的动力学模式图	93
图 4—7	不同类型的天然气在不同的成熟阶段 C_1-C_3 同位素的大致范围	93
图 4—8	原油和凝析油 Mango 参数图	94
图 4—9	根据轻烃参数区分不同来源的油	95
图 4—10	塔里木盆地 141 个原油的 P_2 与 N_2/P_3 关系图	95
图 4—11	根据轻烃的化学组成区分原油的母质	96
图 4—12	根据原油芳香烃 (C_6A)、链烷烃 (C_6P)、烷烃 (C_6N) 组成进行原油类型划分	96
图 4—13	根据原油 $Mcy C_5/nC_6$ 、 CyC_6/nC_6 和 BZ/nC_6 可对原油的类型进行划分	97
图 4—14	根据原油轻烃中的苯/环己烷和甲苯/甲基环己烷可判断原油的成熟度	97
图 4—15	根据轻烃六员与五员环的比值关系区分原油的母质类型	97
图 4—16	原油的 C_7 轻烃组成可帮助鉴别海相油和煤成油	98
图 4—17	根据轻烃特征判定原油的分馏效应	98
图 4—18	有关天然气碳同位素成因的一些基本图件	99
图 4—19	根据甲烷的碳同位素和比例确定天然气的成因	100
图 4—20	III型有机质甲烷和乙烷的碳同位素与成熟度的关系	100
图 4—21	根据碳同位素成分进行天然气分类	101
图 4—22	用 Chung 图来表示柯克亚地区天然气的碳同位素分布与组成	102
图 4—23	I、II型干酪根几种同位素与成熟度的关系图	102
图 4—24	张义刚 X 型鉴别图	103

图 4—25	根据甲烷、乙烷、丙烷的碳同位素鉴别天然气是否为煤成气	103
图 4—26	根据甲烷碳同位素及 $C_1/(C_2+C_3)$ 判断天然气的成因	104
图 4—27	根据甲烷、乙烷和丙烷的碳同位素判断有机烷烃气的成因	105
图 4—28	根据甲烷、乙烷和丙烷的碳同位素可大致确定煤层甲烷气的成熟度	105
图 4—29	根据甲烷、乙烷碳同位素对天然气进行分类	106
图 4—30	根据 $\delta^{13}C_3 - \delta^{13}C_2$ 划分天然气的类型	106
图 4—31	根据塔里木盆地氢同位素和 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 划分天然气类别	107
图 4—32	根据甲烷、乙烷碳同位素对塔里木盆地天然气进行分类	107
图 4—33	根据天然气的组成和碳同位素判定天然气的成因	108
图 4—34	II 型干酪根生成的两种混合气的混合图	109
图 4—35	根据甲烷和乙烷碳同位素值判断天然气的混源情况	109
图 4—36	混源天然气的特征	110
图 4—37	煤成气和油型气混合造成甲烷和乙烷碳同位素的变化	110
图 4—38	煤成气与油型气混合的比例造成 $C_1 - C_4$ 碳同位素的变化	111
图 4—39	根据 $\delta^{13}C_1 - R_0$ 图鉴别油型甲烷和煤型甲烷	111
图 4—40	根据甲烷碳氢同位素成分判断天然气的类别	112
图 4—41	煤层甲烷的主要特征图	112
图 4—42	根据 $\delta^{13}C_4 - \delta^{13}C_3$ 和 $\delta^{13}C_1$ 进行天然气分类	113
图 4—43	煤层和裂解气中二氧化碳与甲烷的关系图	113
图 4—44	CO_2 含量与碳同位素的关系图	113
图 4—45	有机与无机二氧化碳的鉴别图	114
表 4—1	煤成气和油型气综合鉴别指标	115
表 4—2	天然气成因类型综合鉴别表	115
表 4—3	中国海相天然气成因分类判识综合数据表	116
表 4—4	中国陆相天然气成因分类判识综合数据表	116
表 4—5	根据石蜡指数和烷芳指数判断油型气和煤成气	116
表 4—6	中国主要含油气陆相成因天然气分类参数表	117
表 4—7	生物降解作用对异构己烷的变化	117
表 4—8	天然气对比用的某些配对化合物	117
表 4—9	油型气降解的级别	118
第五部分 饱和烃化合物		
图 5—1	烃源岩生物标志物基本骨架结构例举	120
图 5—2	支链烷烃化合物的鉴定图版	121
图 5—3	倍半萜烷的鉴定图版	121
图 5—4	陆源母质来源的原油 (a 和 b) 与海、陆混合母质来源的原油 (c 和 d) 的甾烷分布对比	122
图 5—5	二萜类化合物的鉴定图版	123
图 5—6	甲藻甾烷的质量色谱图鉴定图版	123
图 5—7	不同类型的甲基甾烷的保留时间	124

图 5—8	三萜烷的化合物鉴定图版	125
图 5—9	应用雷达图可比较好的表现多参数之间的相关性	126
图 5—10	根据金刚烷系列化合物判定有机质的类型	127
图 5—11	姥姣烷和植烷的一种主要形成途径	127
图 5—12	根据干酪根的同位素及可溶有机组成 Pr/Ph 判定烃源岩的母质类型	128
图 5—13	应用 Pr/Ph、Pr/nC ₁₇ 和 Ph/nC ₁₈ 判断原油成因	128
图 5—14	海相原油的类异戊二烯烷烃组成随成熟度的变化特征	129
图 5—15	Pr/nC ₁₇ 和 Ph/nC ₁₈ 区分烃源岩有机质类型	129
图 5—16	应用类异戊二烯烷烃确定可溶烃的母质类型	129
图 5—17	根据类异戊二烯烷烃判断原油的沉积环境	130
图 5—18	根据裂解色谱特征判定不同烃源岩的产物	130
图 5—19	根据二萜类化合物判断原油和烃源岩的生源组成	131
图 5—20	根据 Pr/Ph 及 C ₃₅ /C ₃₄ 藿烷确定吐哈原油的类别	131
图 5—21	应用二萜烷指数对吐哈原油的生源研究	132
图 5—22	根据甾烷 C ₂₇ —C ₂₉ 组成三角图	132
图 5—23	重排甾烷含量与粘土矿物含量及成熟度的关系图	133
图 5—24	运移效应对各种成熟度参数的影响	133
图 5—25	各种生物标志物参数的适用范围及与 R _o 的关系	134
图 5—26	应用各种生标参数区分塔中原油和柯克亚原油	134
图 5—27	根据饱和烃 CPI 参数和甾烷参数划分原油及烃源岩成熟度	135
图 5—28	根据甾烷、萜烷划分原油和岩石的成熟度	136
图 5—29	生物标志物绝对定量研究对进行深入地球化学研究至关重要	137
图 5—30	根据 C ₂₉ /C ₂₇ 重排甾烷和 Pr/Ph 关系确定原油的生烃母质	137
图 5—31	根据 C ₂₆ 重排甾烷比值 24-降胆甾烷/ (24-降胆甾烷+27-降胆甾烷) 和甲藻甾烷比值可区分不同来源的原油	138
图 5—32	根据 C ₂₆ 甾烷的比值和奥利烷的比值判定原油的时代	138
图 5—33	北阿拉斯加地区原油中 C ₂₆ 甾烷随地质年代的变化特征	139
图 5—34	根据 4-甲基甾烷、3-甲基甾烷和甲藻甾烷区分塔里木盆地不同来源原油	139
图 5—35	根据 C ₂₆ 重排甾烷和 C ₂₆ 甾烷估计的古纬度	140
图 5—36	24-降胆甾烷/ (24-降胆甾烷+27-降胆甾烷) C ₂₆ 重排甾烷随地质年代的变化	141
图 5—37	根据原油的成熟度参数及岩石的成熟度参数可提供有关原油的烃源岩层信息	142
图 5—38	根据甲藻甾烷和 C ₂₆ 降甾烷区分塔里木盆地不同来源的油	142
图 5—39	松辽盆地烃源岩中的 4-甲基甾烷 (m/z231) 分布型式	143
图 5—40	根据不同类型生标组成判定原油的沉积环境	144
表 5—1	饱和烃馏分常见化合物的特征碎片	145
表 5—2	饱和烃馏分中常见化合物鉴定表	146

表 5—3	原油中一些生物标记化合物时代分布	146
表 5—4	作为生物输入和沉积环境指示物的非环状生物标志物	147
表 5—5	饱和烃馏分中常见的生物标志物	148
表 5—6	南海相地层中生物标记烃生源及分布	149
表 5—7	常见支链烷烃化合物保留指数表	150
表 5—8	黄县褐煤二萜类鉴定表	151
表 5—9	常见的甾烷化合物鉴定表	151
表 5—10	烃源岩和原油中 C_{30} 甾烷鉴定表	152
表 5—11	五环三萜类化合物综合鉴定结果	152

第六部分 芳香烃和非烃化合物

图 6—1	萘系列化合物鉴定图	154
图 6—2	应用二苯并噻吩可估计烃源岩的镜质组反射率	154
图 6—3	典型来源于碳酸盐岩和泥页岩的原油的二苯噻吩参数投影图	155
图 6—4	3-甲基联苯/2-甲基联苯与成熟度的关系	155
图 6—5	下扬子地区原油中几个常见多环芳香烃系列内组成的变化规律	156
图 6—6	根据三芴系列化合物组成判断原油生烃母质或烃源岩的沉积环境	157
图 6—7	西加拿大盆地菲系列化合物随深度的变化特征	157
图 6—8	不同的研究者所得到的甲基菲指数 MPI1 与 R_o 的关系	158
图 6—9	MPI1 甲基菲指数与镜质组反射率 R_o 的关系图	158
图 6—10	根据 Pr/Ph 和 DBT/P 确定原油及烃源岩的沉积相带	159
图 6—11	根据 DBT/P 和硫含量可将高硫原油划分成两类	159
图 6—12	二苯并噻吩 (DBT) 可作为一种有效的成熟度参数	160
图 6—13	海、陆相原油的 DBT-MDBT-DMDBT 相对含量三角图	161
图 6—14	根据菲、苯并噻吩、二苯并噻吩的分布三角图可以帮助确定原油的生烃母质及烃源岩的沉积环境和氧化还原条件	161
图 6—15	甲基二苯并噻吩比值 (MDBT) 和甲基二苯并呋喃比值 (MDBF) 与镜质组反射率的关系	162
图 6—16	根据萘烯和 1,7-DMP 参数区分原油和烃源岩的生源	162
图 6—17	根据原油中的萘系列化合物帮助确定原油的有机质生源输入和原油的类型	163
图 6—18	芳香烃参数计算中常用的几个化合物质量色谱图	164
图 6—19	根据萘系列和菲系列化合物确定原油及烃源岩的生源母质	165
图 6—20	根据芳香烃化合物的分布判断不同层段中高等植物的丰度	166
图 6—21	根据蒽系列化合物判断烃源岩的成熟度	167
图 6—22	脱羟基维生素 E (m/z 121+135+149) 系列化合物分布图	167
图 6—23	根据苯并芘系列化合物确定烃源岩的成熟度	168
图 6—24	烷基咪唑系列谱图	168
图 6—25	三芳甲藻甾烷在不同地质时代中的分布	169
图 6—26	苯酚标样经衍生化后作 GC/MS 的 TIC 图	170

图 6—27	烷基吡啶的质量色谱图	170
表 6—1	常见芳香烃化合物特征碎片离子	171
表 6—2	芳香烃化合物鉴定表	172
表 6—3	常用的芳香烃地球化学参数	173
表 6—4	常用的萘系列化合物成熟度参数	174
第七部分 油藏及开发地球化学		
图 7—1	原油的密度与 HPI 的相关关系	176
图 7—2	根据 GPI, OPI, HPI 判定原油性质	176
图 7—3	轻质原油储集岩含油等级划分图版	177
图 7—4	中质原油储集岩含油等级划分图版	177
图 7—5	重质原油储集岩含油等级划分图版	177
图 7—6	原油性质判别图版	178
图 7—7	储层热解烃总量 S_T 与有效孔隙度 ϕ_e 关系图版	178
图 7—8	储层热解总烃含量 S_T 与有效孔隙度 ϕ_e 关系图版	179
图 7—9	储层的热解总烃 S_T 与有效孔隙度 ϕ_e 的判别图版	180
图 7—10	不同程度生物降解对典型成熟原油的影响	181
图 7—11	根据轻烃组成判断蒸发分馏作用	181
图 7—12	应用轻烃参数判定蒸发分馏效应和生物降解的作用	181
图 7—13	应用生物标志物判断生物降解程度	182
图 7—14	轮南油区原油全油 $\delta^{13}C$ 值与芳香度 (甲苯/正庚烷) 关系图	183
图 7—15	轮南油区原油 $Ts/(Ts+Tm)$ 值和 C_{27} 重排甾烷/ C_{27} 甾烷值关系图 (a) 和原油分馏指数 $[FI=nC_{10}/(nC_{16}+nC_{25})]$ 与饱和烃/芳香烃值关系图 (b)	183
图 7—16	轮南油区原油石蜡度 (正庚烷/甲基环己烷值) 与芳香度 (甲苯/正庚烷值) 关系图 (a) 和原油分馏指数 $[FI=nC_{10}/(nC_{16}+nC_{25})]$ 与蜡含量关系图 (b)	184
图 7—17	气洗作用对正构烷烃分布的影响	184
图 7—18	油藏注入充填的过程	185
图 7—19	断层面对油气运移方向的影响	185
图 7—20	石油中酚随运移距离的变化	186
图 7—21	估计油藏混合作用所需的时间	186
图 7—22	$m/z195$ 质量色谱图	187
图 7—23	不同运移距离原油的含氮化合物特征	187
图 7—24	根据含氮化合物判断油气的运移方向	187
图 7—25	苯并吡啶与成熟度的关系	188
图 7—26	根据色谱指纹判断夏 502 地区剖面上油藏连通性	188
图 7—27	原油中的苯并[a]吡啶和苯并[c]吡啶浓度与比值和原油运移距离关系	189
图 7—28	海相油和煤的抽提物进行混源模拟实验得到的各种生标参数	189
图 7—29	根据甲基酚类化合物判断油气运移方向	190
图 7—30	根据含氮化合物判断油气的运移方向	190
图 7—31	砂岩中原油包裹体捕集的模式	191

图 7—32	应用 Z_1 和 Z_2 确定的烃类相态图	191
图 7—33	利用天然气组分确定油气藏相态	192
图 7—34	利用气体地球化学系数 ϕ_1 和气油比确定烃类相态	192
图 7—35	根据色谱指纹判断夏 502 地区不同断块原油的油藏连通性	193
表 7—1	油藏地球化学的方法与应用	194
表 7—2	原油生物降解的顺序	195
表 7—3	原油中性含氮化合物的类型	195
表 7—4	利用气体的 Z 成分区别油气藏的相态	196
表 7—5	不同油气藏相态气组分的比例关系	196
表 7—6	预测烃类相态的轻烃指标	196
表 7—7	划分不同油气藏相态的油气比和气体化学系数界限	196
附录		
附表 1	国际单位制的基本单位和辅助单位	197
附表 2	国际单位制的基本单位	197
附表 3	地质年代和地层时序表	199
附表 4	全国主要的地学类刊物通讯地址	206
	真实的院士个性与科研工作	209

第一部分 石油地质基础

石油和天然气的勘探，似乎是神秘而具刺激性的生产活动。有时候超越人们的认识而鬼使神差般地有所发现，有时候则像捉弄人似的不随心愿而使勘探的希望破灭。不知情者说地质家无能，进行勘探要靠运气。我们说地质家不是神仙，也不是算命先生，更不是呼油唤气的魔术师。勘探活动是一项以地质资料为依据，以科学理论为指导，借鉴实践经验而开展的生产活动。大量的成果说明，勘探家的勘探活动是卓有成效的。但或因资料数据不足，或因理论的不完备，或因实践经验的狭隘，做出一些有悖于实际情况的判断是常有的事。有时候，地质人员的分析认识并不错，但或因施工的方法不对，或因措施不当，或因决策失误，或因甘冒风险而导致一些出乎意料的事端亦屡见不鲜。勘探家要妙想天开，破除禁锢，做勇敢的探索者；勘探家又要尊重资料，脚踏实地，做讲求科学的实践者；勘探家还要解剖自我，反思成败，做“经一蹶长一智”的愚翁。

（摘自宋建民，1999，刊于《中国油气勘探》，邱中建，龚再升主编，地质出版社，石油工业出版社，p1087）