

王铁冠 钟宁宁 侯读杰 等著
黄光辉 包建平 李贤庆

低熟油气形成机理与分布



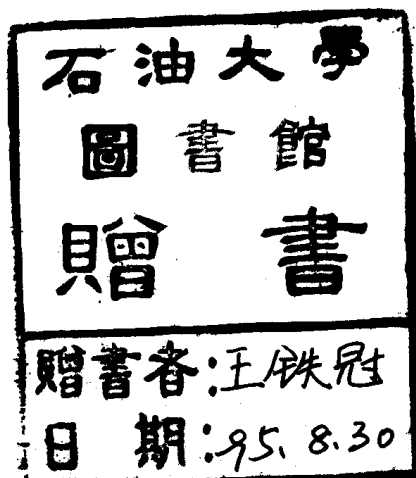
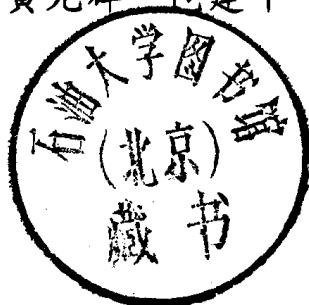
石油工业出版社

682712



低熟油气形成机理与分布

542.55
王铁冠 钟宁宁 侯读杰 等著
黄光辉 包建平 李贤庆



石油工业出版社

内 容 提 要

低熟油气系指所有非干酪根晚期热降解成因的各类低温早熟烃类,其形成机理与分布规律研究将完善与发展当代的油气有机成因理论,拓宽油气勘探领域,尤其对浅层和浅盆油气勘探具有重要的理论与实际意义。本书以我国东部9个第三系沉积凹陷为典型地区,分别结合5个侏罗系、白垩系或第三系中、小盆地的典型低熟原油与源岩样品,采用有机地球化学、有机岩石学 and 同位素地球化学相结合的方法,从显微尺度与分子级水平探索烃类生源构成,系统建立5种生烃机制与模式,并研究低熟源岩的排烃与烃类初次运移,总结归纳国内、外已知低熟油气的分布状况以及地质—地球化学规律。

本书可供从事石油地质学与地球化学科研、教学以及从事油气勘探的科技人员参考,也可作为石油高校研究生与高年级学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

低熟油气形成机理与分布/王铁冠 等著

—北京:石油工业出版社,1995.6

ISBN 7-5021-1454-8

I. 低…

I. 王…

Ⅱ. ①油气田-低成熟油-矿床成因论②油气田-低成熟油-地理分布

N. P618.130.2

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

北京计量印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开 15 1/4印张 2插页 376千字 印1-1500

1995年6月北京第1版 1995年6月北京第1次印刷

定价:25.00元

序

中国有丰富的陆相烃源岩。早在 40 年代,潘钟祥(1941)和孙健初(1943)先后著文,论述陕北延长油田和酒泉玉门油田的油源岩属于非海相沉积。50 年代,在准噶尔盆地、柴达木盆地和四川盆地的中、新生界陆相湖盆沉积内又相继发现油田。60 年代松辽盆地大庆油田的发现和开发,70 年代渤海湾盆地胜利、辽河、大港、华北和中原等油田的发现和开发,不仅证实了陆相生油的理论,而且揭示了陆相生储盖组合可以形成特大油田和复式油气聚集(区)带的实践经验。我国石油地质学家和石油地球化学家通过对大量第一性资料的研究,总结归纳了我国陆相生油岩的特点、环境、运移和转化条件等,为石油有机地球化学的发展作出了重要的贡献。

在中、新生代陆相沉积盆地有机质热演化方面,我国学者亦不断有所创新。早在 70 年代初,法国著名地球化学家蒂索等提出了“干酪根晚期热降解作用生烃”的理论模式。按照这一理论模式,烃源岩中干酪根埋藏成熟达到“生烃门限”的镜质组反射率 R_o 值为 0.5%,进入生油高峰期的镜质组反射率 R_o 值为 0.7%~1.0%。世界各国在建立油气资源评价方法的定量计算中,将烃源岩镜质组反射率小于 0.5%的厚度和体积被视为未达到生烃门限值,属未成熟烃源岩。因此在油气勘探目的层的选择和油气资源量估计中,勘探者往往不考虑“未成熟烃源岩”的贡献,忽视了在处于“门限深度”上下的浅层或浅盆地中寻找油气资源的可能性。自然界中确实还存在着一定数量的各类早期生成的非常规油气资源。在国际深海钻探计划(DSDP)个别钻孔中曾在岩心内发现有未成熟石油的存在。由于我国在陆相湖盆沉积环境具有邻近物源、短距离搬运和快速堆积造成沉积有机质局部富集的特点,某些生烃活化能低的特定有机母质,可以低温早熟生成油气。对低熟油气形成机理的研究,将会进一步充实与完善油气成因理论,拓宽油气勘探领域,改进油气资源评价方法。

本书作者王铁冠教授及其合作者,在前人工作的基础上,对国内外有关资料进行了检索研究,特别是在国内九个中、新生代陆相油源凹陷和五个中、小盆地采集了大量原油和岩样样品,利用现代化的分析仪器设备,进行了有机地球化学、有机岩石学和同位素地球化学的各项分析测试,并进行了实例分析。发现我国存在一些低熟原油,其镜质组反射率值为 0.3%~0.7%。该书作者较全面地提出低熟油气低温早熟成因的五种主要机制和相应的生烃模式,即木栓质体、树脂体、细菌改造陆源有机质、藻类和高等植物生物类脂物及富硫大分子等五种不同原始母质的早期生烃机制,从而发展了我国陆相生油和煤成烃研究的理论和工作水平。

《低熟油气形成机理与分布》一书的出版,拓展了我国石油地质学和有机地球化学的研究领域,也为勘探工作者提供新的思路和机遇。

李德生

1995 年元月

前言

70年代初,法国著名地球化学家 Tissot 等综合归纳前人的研究成果,提出了“干酪根晚期热降解作用生烃”的理论模式,揭示了常规的石油与天然气形成,演化与分布规律。Tissot 建立的生烃模式广泛为各国石油地质界所接受,卓有成效地指导着世界各地的常规油气勘探实践,并且成为建立油气资源评价方法的地质依据。80年代前期,我国石油地质界也引用 Tissot 模式,成功地完成了全国首轮油气资源评价工作。按照这一理论模式,烃源岩中的干酪根埋藏成熟达到“生烃门限。(通常以镜质组反射率 R_o 值 0.5% 为标志)后开始生烃,进入“生油高峰”(R_o 值约为 0.8%~1.0% 左右)后大量生成石油;未进入“生油高峰”的低成熟烃源岩被认为生油量有限,其中未达到“门限值”者被认为是“未成熟烃源岩”或“非烃源岩”。同时,石油地球化学家们还总结出一系列判别烃源岩可溶有机质和原油成熟度的分子级指标。上述观念在多数情况下,特别是从海相地层油气勘探实例来看似乎是可行的。因此,相当一段时期内,在油气勘探与资源评价中,人们不考虑“未成熟烃源岩”的贡献,忽视了处于“门限深度”上下的浅层或浅盆中寻找油气资源的可能性。

然而,无论在国际深海钻探计划实施,还是在国内外油气勘探实践中,不断发现有“未成熟”石油的存在,或者在根本不具备成熟烃源岩的地区发现了石油,甚至在发育“未成熟”烃源岩的地区,已探明的石油储量竟然超过成熟烃源岩的可能生油量。这些例证促使人们反思 Tissot 生烃理论模式的缺陷,并且重新研究与认识“未成熟”——“低成熟”烃源岩对油气的贡献及其生烃机理。事实证明,Tissot 提出的干酪根晚期热降解作用可能是常规的,但绝非唯一的生烃模式,自然界中确实还存在着相当数量的各类早期生成的非常规油气资源。特别是在陆相沉积环境中,由近距离搬运与快速堆积造成沉积有机质的非均质性,沉积物中常含有某些生烃活化能低的特定有机母质,可以低温早熟生成油气,即为低熟油气。低熟油气形成机理的研究,无疑将会进一步充实与完善油气成因理论,促使油气资源评价技术方法的改进与发展,拓宽油气勘探领域,具有重要的理论与实际意义。

在对国内外有关低熟油气成因与分布的石油地质学与地球化学作了较详尽的检索研究后,本书作者们选择黄骅坳陷的板桥与北塘凹陷、临清坳陷的德州凹陷(以德南洼陷为主)与莘县凹陷(主要是禹城和沈庄两个洼陷),苏北盆地的金湖、洪泽与海安凹陷、江汉盆地的潜江凹陷以及东海盆地的西湖凹陷等 9 个二级沉积凹陷作为典型地区,进行系统的剖析研究,同时还对新疆吐—哈盆地侏罗系、甘肃酒泉盆地侏罗—白垩系以及广西百色、山东黄县和云南景谷盆地第三系的典型低熟烃源岩和(或)原油样品,进行了相应的精油剖析。这项研究总共涉及上述 9 个凹陷与 5 个中、小盆地的 102 口钻井以及有关地面剖面和煤矿,采集原油样 33 个,岩样 563 个,进行以有机地球化学、有机岩石学和同位素地球化学为主的 24 个项目的 4187 项次的分析测试,取得了较丰富的各种实验数据。在此基础上,本书建立了木栓质体、树脂体、细菌改造陆源有机质、藻类和高等植物生物类脂物以及富硫大分子(非烃、沥青质和干酪根)等五种不同原始母质的早期生烃机制,并且初步总结了形成低熟油气的地质——地球化学规律以及国内外低熟油气的分布现状。

除绪论以外,全书共分十二章,具体分工如下:绪论、第一、八章、第七章第一节由王铁冠执

笔;第二章由钟宁宁、李贤庆执笔;第三章第一一四节、第六节由侯读杰执笔;第三章第五节由姚焕新、王培荣执笔;第四章由黄光辉执笔;第五章由钟宁宁、包建平执笔;第六章由陈恭洋执笔;第七章第二一四节由包建平、姚焕新、王培荣执笔;第九章由黄光辉执笔;第十、十二章由侯读杰执笔;第十一章由包建平执笔。全书由王铁冠和钟宁宁审定。马安来汇编了参考文献。

这项科研工作得到“八五”天然气国家重点科技攻关项目、国家自然科学基金项目以及中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室、广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室的经费资助。此外,大港石油管理局勘探公司和地质勘探开发研究院、胜利石油管理局勘探公司和地质科学研究院、江苏石油勘探局地质科学研究院以及中国海洋石油东海公司等单位也给予了支持与协助,在此一并致谢。笔者衷心感谢著名石油地质学家、中国科学院院士、博士生导师李德生教授在百忙中审阅本书提出宝贵意见,并为本书作序。但愿本书的出版,对于从事石油地质、地球化学科研与油气勘探的同事们有所裨益,恳切欢迎读者对书中的谬误与不足,给予批评指正。

石油大学(北京)地球科学系教授

王 铁 冠

江汉石油学院分析测试研究中心教授

钟 宁 宁

1994年12月18日

目 录

绪论	(1)
第一章 低熟油气资源的分布规律	(5)
第一节 国外已知低熟油气的产状与分布	(5)
第二节 中国低熟油气资源分布现状	(11)
第二章 低熟源岩显微组分特征	(20)
第一节 显微组分生烃的化学基础	(20)
第二节 显微组分的岩石学特征	(24)
第三节 低熟源岩显微组分组成	(31)
第四节 生成低熟油气的富氢显微组分割析	(35)
第三章 低熟源岩可溶组分割析	(41)
第一节 氯仿沥青的族组成	(41)
第二节 饱和烃馏分组成	(42)
第三节 芳烃馏分组成	(52)
第四节 总烃馏分组成及生源构成综合剖析	(62)
第五节 非烃馏分组成	(64)
第六节 可溶组分碳稳定同位素组成	(74)
第四章 低熟源岩有机质类型与丰度	(77)
第一节 有机质类型	(77)
第二节 有机质丰度	(84)
第三节 低熟源岩质量分级评价标准	(91)
第五章 低熟源岩有机质演化与低熟油气生成阶段	(95)
第一节 有机质演化的光学标志	(95)
第二节 有机质演化的化学标志	(103)
第三节 有机质演化阶段划分	(105)
第六章 低熟源岩的压实与油气排驱运移	(113)
第一节 低熟源岩的压实特征	(113)
第二节 低熟油气初次运移的动力和方向	(116)
第三节 地层埋藏史与排烃期分析	(120)
第四节 油气初次运移模式探讨	(125)
第七章 低熟油气物理化学特征与判别标志	(128)
第一节 低熟气及其物理化学性质	(128)
第二节 低熟油的物理性质	(130)
第三节 低熟油的化学组成	(133)
第四节 判别标志与成因类型	(148)

第八章 形成低熟油气的地质—地球化学规律	(152)
第一节 石油地质基本特征	(152)
第二节 主要生烃母质分析	(159)
第三节 早期生烃地球化学机理	(163)
第九章 煤系特殊富氢组分早期生烃机制	(168)
第一节 木栓质体早期生烃机制——以吐哈盆地为例	(168)
第二节 树脂体早期生烃机制——以西湖凹陷等为例	(175)
第十章 陆源有机质细菌改造早期生烃机制——以板桥凹陷和景谷盆地为例	(182)
第一节 地质简况	(182)
第二节 生烃母质剖析	(182)
第三节 油源研究	(187)
第四节 有机质演化阶段	(191)
第五节 生烃模式与生烃机制	(194)
第十一章 生物类脂物早期生烃机制——以苏北盆地为例	(195)
第一节 地质简况	(195)
第二节 生烃母质剖析	(198)
第三节 油源研究	(201)
第四节 有机质演化阶段	(205)
第五节 生烃机制与生烃模式	(208)
第十二章 富硫大分子早期降解生烃机制——以德南洼陷和江汉盆地为例	(211)
第一节 地质简况	(211)
第二节 生烃母质剖析	(212)
第三节 油源研究	(217)
第四节 有机质演化阶段	(220)
第五节 生烃机制与生烃模式	(221)
参考文献	(223)
图版及图版说明	(233)

绪 论

一、问题由来

20 世纪中叶,在石油地质学与地球化学领域中,油气有机成因理论经历了从沉积物分散有机质早期生烃学说至干酪根晚期生烃学说的发展过程。

基于从沉积物中发现与石油烃相似的烃类组分(Smith, 1952; 维别尔, 1961)和相同类型化合物(Meinschein, 1959)的事实以及细菌对有机质改造作用的研究成果(Zobell, 1947), 50 年代出现的早期生烃学说认为,在成岩作用早期阶段,埋深几米至几百米的浅层沉积物中,生物遗留下来的天然烃类或沉积有机质经细菌生物化学作用形成石油和天然气(Smith, 1954; Meinschein, 1959)。

但是,进一步的研究表明,沉积物中烃类含量太低,不足以成为已知油气田的烃源。与之相反,与现代沉积物相比较,不同地质时代沉积岩中烃含量却显著增加,表明沉积物埋藏后,在成岩—后生阶段中,生烃作用异常明显(Hunt, 1961)。同时还发现,随着温度或埋藏深度的增加,在达到足够的温度(门限温度)或深度(门限深度)后,干酪根热降解生成的沥青和烃类,数量上呈现出指数增长趋势(Larskaya 和 Zhabrv, 1964; Philippi, 1965)。在此基础上,通过对巴黎盆地等实例分析,Tissot 等(1971)、Tissot 和 Welte (1984)建立了干酪根热降解生烃演化模式,提出并完善了干酪根晚期生烃学说。这一理论模式表明,埋深达到门限值后,干酪根由未熟转为成熟,首先引起其杂原子键断裂,开始释放出烃类和非烃化合物;随埋深持续增加,烃源岩进一步熟化,干酪根的碳键断裂,逐次进入生油、气高峰阶段。这样,干酪根晚期生烃学说揭示了常规油气的生成演化规律。

几乎在干酪根晚期生烃理论广泛为国际石油界所接受,并且卓有成效地应用于指导油气资源评价与勘探实践的同时,在世界上许多国家的油气勘探实践中,也先后发现某些非常规油气资源存在的事实,低熟油(imature crude oil)即为其中典型一例。

1969 年开始的国际深海钻探计划(简称 DSDP),先后在墨西哥湾、西太平洋和西地中海的中生界和更新统沉积物岩心中发现未成熟的运移石油、沥青和烃类气体(Davis 和 Brey, 1969; McIver, 1971, 1973)。继而,自 70 年代以来,很多国家和地区又不断发现低熟烃类资源。例如,加拿大波弗特—马更些盆地第三系的天然气、原油和凝析油(Snowdon, 1980; Snowdon 和 Powell, 1982),泰国彭世洛盆地诗丽吉油田第三系烷基原油(Lawwongngam 和 Philp, 1991),印度上阿萨姆盆地中新统环烷—芳香基原油(Dwivedi 等, 1991)以及美国加利福尼亚沿岸圣玛丽亚盆地中新统蒙特利尔高硫重油(Orr, 1986)。虽然烃类的产状、物理性质和化学组成不尽相同,然而上述油气均属低成熟度范畴,不可能是干酪根晚期热降解的产物,运用 Tissot 的生烃演化理论模式既无法阐明其生烃机理,又不能解决其资源评价与勘探实践问题。

日新月异的油气勘探成果表明,干酪根晚期生烃理论虽然是一个主要的生烃模式,但绝非是唯一的油气生成机理,世界上众多低熟油气资源的发现,对现代流行的干酪根晚期生烃学说提出了挑战,也是对沉积物早期生烃学说的否定之否定。毫无疑问,低熟油气形成机理与分布规律的研究,将会进一步发展完善当代的油气有机成因理论,拓宽油气勘探的领域,尤其对于浅层和浅盆油气勘探具有重要的理论与实际意义。

二、低熟油气涵义

根据 Tissot 等建立的干酪根晚期热降解作用生烃模式,人们习惯上常将干酪根成熟作用与烃类的生成划分为下列五个阶段:

- ①未成熟阶段——细菌生物化学降解作用形成生物甲烷气高峰;
- ②低成熟阶段——干酪根早期热降解作用(S—C、S—S 键断裂)生成非烃和甲烷气体;
- ③成熟阶段——干酪根晚期热降解作用(C—C 键断裂)生油高峰;
- ④高成熟阶段——裂解生成凝析油和湿气;
- ⑤过成熟阶段——进一步裂解生成干气。

本文所称谓的低熟油气系指所有非干酪根晚期热降解成因的各类低温早熟的非常规油气,即在生物甲烷气生烃高峰之后,烃源岩中某些特定有机质,在埋藏升温达到干酪根晚期热降解生油高峰以前(相应的源岩镜质组反射率 R_o 值 $< 0.7\%$ 左右),经由不同生烃机制的低温生物化学或低温化学反应生成并释放的液态和气态烃类,包括天然气、凝析油、轻质油、原油、重油和高凝固点油等。低熟油生烃高峰阶段相应的源岩镜质组反射率 R_o 值大体上在 $0.2\% \sim 0.7\%$ 范围内,相当于干酪根生烃模式的未成熟和(或)低成熟阶段,国外文献上惯称为“immature oils”,国内常统称为“低熟油”。鉴于生烃机制的相关性,低熟天然气的形成常与低熟油伴生,并且可能与细菌对有机物分子的生物化学改造或粘土矿物的低温催化作用有关,生成时间常迟于相应的低熟油,有人称之为“生物-热催化过渡带气”(徐永昌等,1994);低熟凝析油的形成还与生成低熟油、气的相对数量比率以及地层温度、压力环境条件相关。

实际上,与常规的成熟油气一样,低熟油气也经历过有机质脱含氧官能团与加氢作用的生烃历程,油气的脂碳键都是氢饱和的,一般不含烯烃。因此,从烃类组成意义上讲,低熟油气的烃类本质上也应属于“成熟”烃类之列,只是因其特定有机母质的生烃活化能较低,可以低温早熟生成油气,生烃高峰出现于干酪根的未成熟—低成熟阶段,才将其归属于“低熟油气”范畴。尽管不同成因的低温早熟原油的成熟度可以有高低之分,一些研究者曾试图将其进一步区分为“未成熟原油”与“低成熟原油”(廖前进等,1987),但是由于这些油气的生烃高峰范围并不受干酪根演化阶段的制约,区分原油的“未熟”和“低熟”已不重要,关键在于认识其生烃机制,控制生烃高峰的范围才有实际意义。国际文献报道的低熟原油,相应的烃源岩镜质组反射率 R_o 值范围约为 $0.3\% \sim 0.7\%$,都一律称为“immature oils”,一般也不再作进一步的原油成熟度分类。

三、研究沿革

1. 国外低熟油气研究进展

(1)树脂体烃源岩模式 基于对波弗特—马更些盆地含煤地层具有二萜烷的轻质环烷基原油和凝析油的研究, Snowdon(1978, 1980)提出树脂体是一种低熟油的潜在油源。Connan 和 Cassou(1980)也报道了沙巴州、加里曼丹和新西兰的第三系陆源低熟凝析油。Nissenbaum 等(1985)将地中海东南海岸平原轻质环烷基凝析油归属于富含树脂有机母质成因的低熟油气, Shanmugam(1985)报道近海吉普斯兰盆地白垩—第三系环烷基原油与亚卢恩褐煤树脂体的含水热解产物气相色谱分析结果非常相似,均由含二萜类的两个未分辨的环烷烃峰包组成,表明这种环烷基石油主要来自树脂体。但是, Lewan 和 Williams(1987)用 10 种树脂体作 $300 \sim 360^\circ\text{C}$ 含水热解实验未生成环烷基油,据此认为树脂体不能在异常低的热成熟度生成液态烃类,树脂体分布的局限性也使之不可能成为重要的油源。Hwang 和 Teerman(1988)从树脂体的密闭含水热解实验产物中,只得到少量二萜类,认为树脂体不是重要的油源,但又指出实验

方法会引起热解产物的变化。Weston 等(1989)从新西兰塔拉纳基盆地白垩—第三系 22 个油样中,检测出相当数量倍半萜烷和二萜烷树脂生源标志物。Snowdon(1991)指出在 R_o 值 0.7% 的煤和烃源岩中,无论树脂体,还是二萜烷标志物都不发育,甚至缺失,可作为低温条件下树脂体生烃与排烃的旁证,进而提出“树脂体烃源岩模式(resinite source rock model)”和“树脂体假说(resinite hypothesis)”。

(2)木栓质体早期生烃 Khorasani(1991)根据对挪威斯匹茨卑尔根岛金斯湾第三系煤的天然和人工成熟作用研究,证实木栓质体和木栓质成分在低热应力条件下,可释放出相当数量的脂族和芳香族成分,形成大量液态烃类。

(3)藻类生物类脂物早期生烃 早期研究发现藻类细胞质中可以含有相当数量油状物质,例如,布朗丛粒藻(*Botryococcus braunii*, Kiitz.)死亡沉积后,可以形成弹性藻沥青、藻煤和油页岩。其活体生理上处于褐色停滞期时,藻体干重的 76% 由丛粒藻烯和异丛粒藻烯两种烃类化合物组成(Maxwell 等, 1968; Kinghts 等, 1970)。Hillen 等(1980)从澳大利亚湖泊中收集丛粒藻,无需发酵,用试剂直接抽提出相当于干重 30% 的液态烃,其中包括直链和支链烯烃(含丛粒藻烯),经裂化与加氢可精炼成常规燃料。Bazhenova 和 Arefiev(1990)依据对东库页岛和西堪察加半岛下第三系低熟硅质岩研究,提出由硅藻类脂物经细菌降解,并加入细菌类脂物,形成可溶沥青,其中非烃和沥青质可作为烃类来源。

(4)干酪根早期降解生烃 Gransch 和 Posthuma(1974)提出委内瑞拉马拉开波盆地高硫石油是白垩系 La Luna 富硫干酪根早期生成产物。Tissot(1984)指出,通过杂原子链断裂,在热演化的早期,可形成沥青质和非烃。Orr(1986)研究加利福尼亚高硫重油的干酪根/沥青质/硫的关系后,认为富硫的 II-S 型干酪根中,芳香结构的硫键在热力学上非常稳定,而在类脂结构中硫化物基团的硫键在热力学上极不稳定,因此富含不稳定含硫官能团的高硫干酪根可形成低熟的富非烃和沥青质石油。Baskin 和 Peters(1992)进一步阐明由于干酪根中弱的 S—C 键优先断裂,在低熟阶段富硫干酪根首先生成大量可溶沥青,随着热解温度升高,再由新生的可溶沥青生成游离的低熟石油。

(5)细菌的作用 Zobell(1946, 1964)提出某些细菌是使有机质加氢、脱羧基形成石油产物的媒介,细菌活动随沉积物埋藏深度增加、温度和压力增长而迅速递减,以至停止,因此细菌对有机质的作用仅限于有限埋深的范围内。Shimkus 和 Trimonis(1974)对现代黑海沉积物的研究表明,浮游植物和(或)细菌是沉积有机物质的主要来源。

2. 国内低熟油研究现状

我国地球化学界对低熟油的认识和研究始于 80 年代初。史继扬等(1982)在国外研究胜利油区油、岩样品时,发现义—18 井原油的 6 项成熟度参数(例如 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值仅为 0.17)显示出未成熟性,从而首次报道我国未熟油的存在。黄第藩等(1984, 1988)、廖前进等(1987)综合大港、胜利、辽河、泌阳、江汉和百色等油田低成熟油地球化学特征,按照甾烷成熟度参数区分为二类,即未熟原油(C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值 < 0.25 , C_{29} 甾烷 $\alpha\beta/(\alpha\alpha+\alpha\beta)$ 值 < 0.20)、低熟原油(C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为 $0.25 \sim 0.42$, C_{29} 甾烷 $\alpha\beta/(\alpha\alpha+\alpha\beta)$ 值为 $0.20 \sim 0.40$),并认为在未成熟油和低熟油的成因上,可溶有机质(胶质和沥青质)是比干酪根更为直接的母源物质。史继扬等(1985)按照 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值($0.20 \sim 0.32$),将苏北盆地下第三系原油归类于低熟油,并发现原油的甾、萜类成熟度参数值均高于生油岩,认为系原油运移效应所致。

傅家谟等(1985)确证江汉盆地广 33 井潜一段原油(C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为 0.24)

属未成熟原油,其成因可能与膏盐沉积环境有关。盛国英等(1986)进一步从江汉盆地王1-34-9井潜一段原油芳烃馏分中检测出丰富的长链烷基噻吩和长链烷基四氢化噻吩含硫化物,推测可能与早期成岩阶段一定的介质环境条件下未熟油和低熟油的成油机理有关。

周光甲(1987)系统总结了济阳坳陷低熟油的成熟度与原油化学特征,确定 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值 <0.35 , C_{27} 甾烷 $\alpha\beta/(\alpha\alpha+\alpha\beta)$ 值 <0.25 (相应的 R_o 值 $<0.44\%$)为低熟油范围;并提出断块湖盆快速沉降,物源充足,沉积有机质类型复杂,某些类型母质可能在成岩作用早期转化成分散沥青,或通过干酪根早期降解成烃。周光甲等(1990)、宋一涛(1991,1992^①)通过对现代和古代沉积物中藻类分布状况与生态环境、藻类干体抽提物烃类组成与热模拟实验研究,论证了丛粒藻和颗石藻(属金藻门)的生烃机理及其对低熟油的可能贡献。

秦匡宗(1987)通过干酪根的热解聚反应试验结果,提出干酪根化学结构具有多聚物性质,其热解前期存在着一个热解聚阶段,可以生成高产率的解聚沥青,可能是未熟油的主要来源之一。

王铁冠和钟宁宁(1990)、王铁冠(1992a,b)证实我国确有与马更些盆地相似的树脂生源未成熟烃源岩,预测沿海地区和近海海域可望发现未成熟—低成熟煤成烃。钟宁宁等(1992)^②在国内首次鉴定并发现吐—哈盆地下侏罗统八道湾组煤富含木栓质体(含量可达13.5%),其相对含量与煤的可溶组分含量、饱芳比及转化率呈正相关性,在 R_o 值为0.5%左右出现木栓质体生烃高峰,标志其对低熟油的贡献。王铁冠等(1993)^③通过对7个凹陷和5个中小盆地的研究,提出了树脂体、木栓质体、藻类和高等植物生物类脂物以及陆源有机质细菌降解改造等四种早期生烃机制与相应的生烃演化模式。

此外,在临河坳陷(陈安定,1982^④)、百色盆地(蔡舜天、郭亦秋,1984)、泌阳凹陷(马万怡,1986^⑤)、东濮凹陷(黄飞、朱家蔚,1990^⑥)、黄骅坳陷(廖前进等,1990)^⑦、辽河坳陷(李茂芬,1993^⑧)、吉林伊通地堑(兰文波,1993)、松辽盆地(刘晓艳等,1993)、柴达木盆地(黄第藩等,1989)以及准噶尔盆地(王屿涛,1993)等地区均有发现低熟油的报道。

① 宋一涛,1992,济阳坳陷含颗石藻生油岩的特征及生油机理研究,胜利石油管理局科技攻关成果。

② 钟宁宁、王铁冠、熊波、黄光辉,1992,吐—哈盆地煤成烃的有机岩石学研究,国家自然科学基金专题研究报告,江汉石油学院。

③ 王铁冠、钟宁宁、侯读杰、包建平、黄光辉、李贤庆、熊波,1993,我国低熟油气及其几种生烃机制,国家重点科技攻关项目85-102-02-06专题阶段性专项报告,江汉石油学院。

④ 陈安定,1982,临深2井原油成熟度研究,第二届有机地球化学及陆相生油会议论文。

⑤ 马万怡,1986,泌阳凹陷白云岩中的未成熟原油,第三届有机地球化学会议论文。

⑥ 黄飞、朱家蔚,1990,东濮凹陷文南地区未成熟原油特征研究及其勘探意义,中原油气,增刊2,23-29页。

⑦ 廖前进、于俊利、刘雨金,1990,黄骅裂谷盆地油气生成与资源潜力研究,大港石油管理局石油地质勘探开发研究院。

⑧ 李茂芬,1993,辽河断陷低熟油的特征,辽河油田勘探开发研究院。

第一章 低熟油气资源的分布规律

第一节 国外已知低熟油气的产状与分布

一、产状与分布规律

在国际石油地质学和石油地球化学文献中,有关低熟油气的报道始见于 60 年代末(如 Ewing, 1968, 参见 McIver, 1974)。仅根据石油地球化学文献的不完全统计,国外已知低熟油气资源产地总计有 19 处(其中包含油气显示点 3 处,表 1—1 和图 1—1)。从全球范围来看,国外已发现的低熟油气主要集中在亚洲,共计有 10 处(占产地总数的 52.6%),其次为北美洲(5 处,占 26.3%)和大洋洲(2 处,占 10.5%),南美洲和欧洲发现较少(各有 1 处,分别占 5.2%),非洲至今尚无低熟油气报道。就产层与烃源岩层位而言,国外绝大多数低熟油气集中分布于第三系,尤其是渐新统(E_3)—中新统(N_1)最为多见,在相当程度上显示出自生自储性。上述低熟油气产层的埋藏深度主要分布于 1100~3000 m 上下,其烃源岩的镜质组反射率值的分布范围为 0.3%~0.7%,呈现出低成熟性。

国外已知低熟油气的烃类产状差异甚大,从天然气、凝析油到轻质油、正常原油、重油以至固体沥青,各种产状无所不包。其中研究程度高、报道最多的主要是凝析油—原油—重油系列的液态烃类,其原油密度变化范围自 0.75~0.97g/cm³ 不等。对于低熟气(相当于生物—热催化过渡带天然气;徐永昌等,1994)和固体沥青的研究,则相对较为薄弱。文献中,对低熟石油成熟度的判别标志不尽相同,表 1—1 中除了相关源岩的镜质组反射率值之外,主要列举了正烷烃 CPI(或 OEP 值)、 C_{29} $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 20S/(20S+20R)值以及轻烃石蜡指数与庚烷值等常规使用的烃类成熟度参数。

众所周知,原油的某些化学组成参数,如含硫量、饱芳比、姥植比(Pr/Ph)、 $\delta^{13}C$ 值等,可以提供有关生烃原始母质与沉积环境诸方面的重要信息。纵观表 1—1 所列的国外已知低熟油物理化学性质,从上述参数的显著差异不难看出这些低熟油气的生烃母质、沉积环境,乃至生烃机制上,均可能有所不同。通常陆相淡水湖泊与沼泽环境陆生高等植物生源的低熟石油常显示出高饱芳比、高姥植比和低含硫量的特征,富硫酸盐的咸水泻湖(海相)和盐湖(陆相)环境生成的低熟油具高含硫量、低姥植比和低 CPI(或 OEP)值等特征,细菌微生物活动及其生源贡献可能导致原油 $\delta^{13}C$ 值降低。鉴于文献中对各地低熟油气研究程度的差异,本节只能对表 1—1 中部分典型实例作一简要分析。

二、典型实例浅析

1. 加拿大马更些三角洲—波弗特海域低熟油气

马更些河位于加拿大西北地区西部,向北流入波弗特海(图 1—2)。60 年代中期马更些三角洲成为重要的石油探区,1969 年首次发现石油,70 年代后期石油勘探扩大到波弗特海海域。

80 年代初,对马更些三角洲白垩—第三系估算的原油资源量不足 1.4×10^8 t,天然气(湿气)资源量超过 560×10^8 m³。依据石蜡指数(<1)、庚烷值(<12)、稳定碳、氢同位素比值(δD_{SMOW} 值 $<-120\%$, $\delta^{13}C_{PDB}$ 值 $<-26.5\%$)、Pr/ nC_{17} 值(0.8~1.3)、原油中热不稳定的二萜类

表 1—1 国外已知低熟油气产状、产地与物理化学性质

序号	烃类 产状	产 地		产 层		物理化学性质										烃源岩		参考文献
		国别	地区	层位	埋深, m	密度 g/cm ³	硫, %	% 芳比	石蜡指数	庚烷值	CPI	Pr/Ph	$C_{29}\frac{20S}{20S+20K}$	$\delta^{13}C, \%$	层位	$R_o, \%$		
1	原油 天然气	加拿大	波弗特海域	E ₁ —N ₁	1500~ 4600	0.8498~ 0.9659	0.03~ 0.02	—	—	—	—	2.7~ 3.2	0.12~ 0.40	-25.09~ -28.74	E ₁	0.40~ 0.65	Curiale, 1991	
2	凝析油 轻质油	加拿大	马更些三 角洲(陆上)	E	1246~ 3970	—	—	—	<1	<12	—	2~5	—	-27±	E	0.40~ 0.60	Snowdon 和 Powell, 1982	
3	凝析油	美国	阿拉斯加 库克湾	E ₃ — N ₁	2491~ 3361	0.7927	0.03	10.2	—	—	1.8	4.2	0.30	—	—	—	Magoon 和 Anders, 1992	
	原油				2316	0.9013	—	—	—	—	—	—	—	0.50	—	E ₃ — N ₁		—
4	重油	美国	加利福尼亚 海岸	N ₁	432~ 1927	>0.9	1~6.1	0.2~0.9	—	—	—	0.57~ 1.00	—	-21.8~ -23.3	E ₃ — N ₁	<0.3	Baskin 和 Peters, 1992; Orr, 1986	
5	油显示	公海	墨西哥湾 西部	J	136	0.97	5.0	0.8	—	—	—	—	—	—	?	?	McIver, 1974	
6	原油	委内 瑞拉	马拉开波 湖区	K	—	高	高	—	—	—	—	—	—	—	K	—	Cransch 和 Posthuma, 1974	
7	凝析油	新西兰	—	E ₃	3073~ 3095	—	0.04	3.4~3.5	—	—	1.00~ 1.04	3~5	—	-27.7~ -27.9	E ₃	0.50	Connan 和 Cassou, 1980	
8	原油 凝析油	澳大利 亚	吉普斯兰 盆地(海上)	K ₂ — E ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	K ₂ — E ₁	<0.50	Shanmugam, 1985	
9	沥青显示	公海	西太平洋 Shatsky 海岭	N ₁	4	—	—	1.9~ 5	—	—	—	—	—	—	?	?	McIver, 1974	

续表

序号	烃类 产状	产 地		产 层		物理化学性质										烃源岩		参考文献
		国别	地区	层位	埋深,m	密度	硫,%	饱芳比	石蜡指数	庚烷值	CPI	Pr/Ph	$C_{29}\frac{20S}{20S+20R}$	$\delta^{13}C, \%$	层位	$R_o, \%$		
10	原油	俄罗斯	西堪察加半岛	E ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E ₁	0.4~0.7	Bazhenova 和 Arefiev, 1990		
11	原油	俄罗斯	东库页岛	E ₃	—	0.82~0.86	0.17~0.45	—	—	—	(OEP) 0.81	1.8	0.35	E ₃	0.3~0.6	Bazhenova 和 Arefiev, 1990		
12	原油	朝鲜	西朝鲜湾盆地	E	—	—	低	—	—	—	1.1	—	—	E	—	Killops 等, 1991		
13	凝析油	马来西亚	沙巴	N ₁	1662~2184	0.7753~0.7994	0.05	4.0~23.7	—	—	0.99~1.06	10.1~13.0	—	—	—	Connan 和 Cassou, 1980		
14	凝析油	印度尼西亚	加里曼丹	N ₁	1265~1288	0.7527~0.7547	0.02~0.06	8.3~10.8	—	—	—	3.5~4.0	—	—	—	Connan 和 Cassou, 1980		
15	原油	泰国	彭世洛盆地	E	1445~2118	—	—	3.5~8.7	—	—	1.08~1.25	2.7~4	0.23~0.31	E	—	Lawwongnam 和 Philp, 1990		
16	原油	印度	上阿萨姆盆地	E ₃ -N ₁	2300~4000	0.7839~0.9279	—	—	—	—	—	4~9	—	E ₃	0.3~0.42	Dwivedi 等, 1991		
17	沥青	以色列	死海裂谷	K ₂	600~3550	—	10	—	—	—	1~2.5	<<1	0.47~0.58	K ₂	0.3~0.42	Tannenbaum 和 Aizenshtat, 1984		
18	凝析油	以色列	地中海东南岸	N	1128~1157	0.8381	2.5	—	0.123	0.53	—	0.7	—	N	0.42	Nissenbaum 等, 1985		
19	凝析油 显示	意大利	撒丁岛西陆架	E ₃	362	—	—	0.4	—	—	—	—	—	—	—	McIver, 1974		

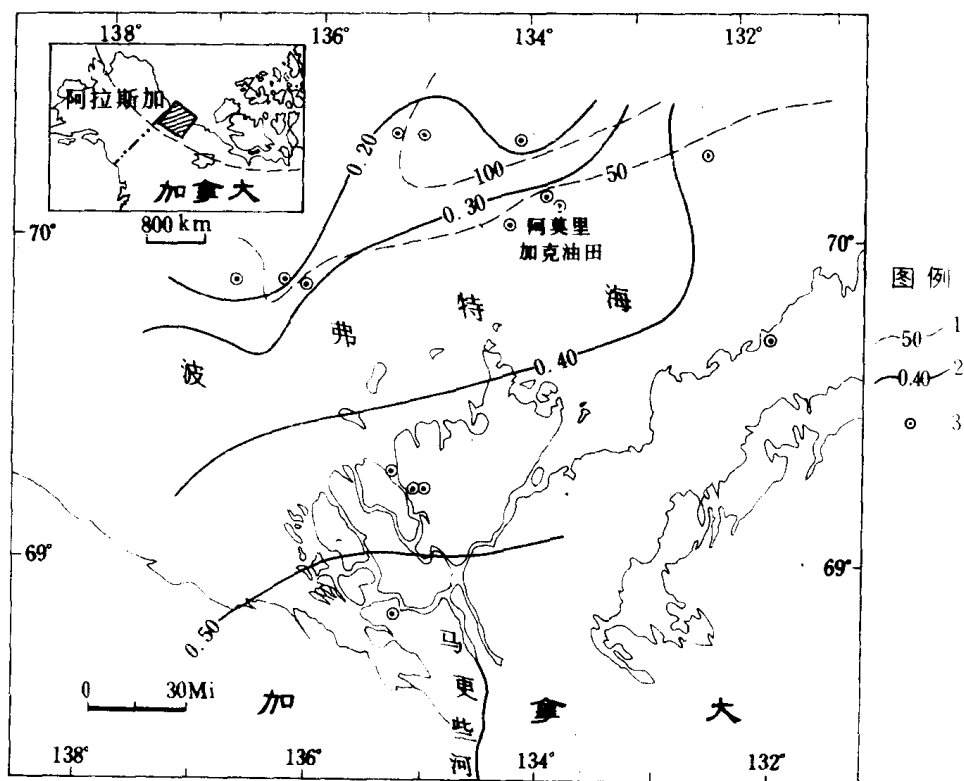


图 1—2 马更些三角洲和波弗特海烃源岩成熟度与关键井井位分布(据 Curiale, 1991)

1— $(17\alpha+17\beta)$ -二降羽扇烷/藿烷; 2— C_{29} 甾烷 20S/(20S+20R); 3—关键探井井位

生物标志物的存在以及相应烃源岩镜质组反射率 R_o 值 $< 0.6\%$, 确认第三系凝析油和原油均属陆源有机质成因的低熟油范畴, 提出了树脂或树脂体早期生油的假说(Snowdon 和 Powell, 1982)。

由于波弗特海海上油气勘探的进展, 90 年代初, 马更些三角洲—波弗特海的第三系石油资源量增至 $12.9 \times 10^8 t$, 天然气资源量也达到 $3.17 \times 10^{12} m^3$ 。仅在波弗特海的加拿大海域就发现 42 个油气田, 探明石油储量 $2.1 \times 10^8 t$, 天然气储量 $31.1 \times 10^8 m^3$; 其中最大的阿莫里加克(Amauligak)油田石油储量为 $1.14 \sim 1.57 \times 10^8 t$, 占全海域总储量的 $53\% \sim 75\%$ 。鉴于波弗特海第三系烃源岩的 $(17\alpha+17\beta)$ -二降羽扇烷/藿烷值高达 $50\% \sim 80\%$, 标志陆生高等植物(被子植物)的生源贡献, C_{29} 甾烷 20S/(20S+20R) 值为 $0.12 \sim 0.50$ (图 1—2), 而且在阿莫里加克油田原油, 这项比值仅为 $0.30 \sim 0.37$, 表征原油的低成熟性, 因此陆源低熟油在波弗特海石油储量中占很大比率(Curiale, 1991)。

2. 泰国彭世洛盆地诗丽吉油田低熟油

彭世洛盆地是泰国北部一系列第三纪扩张裂谷盆地之一, 位于两条区域性走滑断裂带相挟的三角地带, 周边为破碎的古生界与中生界复杂构造(图 1—3)。该盆地宽 100km, 第三系沉积厚达 8000m, 盆地中部发育一个东西向地堑。1981 年在地堑南侧的一个局部基底隆起上发现诗丽吉油田, 现已探明地质储量 $0.5 \times 10^8 t$, 其中可采储量为 $580 \times 10^4 t$ 。第三系烃源岩为湖相泥岩, 具有可观数量的陆生高等植物生源输入。据采自 12 口井的原油样品分析, C_{29} 甾烷 20S/(20S+20R) 值为 $0.23 \sim 0.31$ (平均值 0.27), C_{29} 甾烷 $\alpha\beta/\alpha\alpha\alpha$ 值为 $0.58 \sim 0.86$ (平均值 0.73), $C_{31}\alpha\beta$ 升藿烷 22S/22R 值为 $1.2 \sim 1.45$ (平均值 1.28), T_m/T_s 值为 $0.41 \sim 0.67$ (平均值