

中国烃源岩

秦建中 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

中国烃源岩

秦建中等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者从事冀中、二连及海拉尔湖相烃源岩评价,未熟油研究,华北及柴北缘煤成烃研究,青藏高原、华北、南方及塔里木等海相烃源岩评价研究 20 多年生烃系统理论的归纳总结。全书共 5 章,在前言中加了概述,从海陆相不同类型烃源岩的沉积环境入手,分析了陆相湖泊生油气、海相烃源岩或碳酸盐岩生油气,未熟油和煤成烃理论的关系;第 1 章是陆相湖泊烃源岩的有机质含量,不同有机相生排烃模式,成烃热演化机制,油气运移和聚集规律;第 2 章通过热压模拟试验和自然演化剖面,建立了海相四类 10 种不同类型烃源岩的成烃模式,对碳酸盐岩有机质丰度及评价标准进行了研究;第 3 章为海陆沼泽相和湖沼相煤系烃源岩的对比研究,创建了煤系 9 种生排烃模式,对煤系不同类型烃源岩生油气潜力、评价标准、二次生烃和油气运移进行了分析;第 4 章对半咸化—咸化湖泊相烃源岩未熟—低熟石油的成烃成藏条件进行了研究;第 5 章介绍了冀中及冀北拗陷海陆相不同类型烃源岩综合评价实例。全书有 519 个图表,32 幅显微照片。

本书可供广大石油地质、油气地球化学、油田勘探工作者、科研人员及大专院校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国烃源岩 / 秦建中等著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015284-0

I. 中… II. 秦… III. 海相生油—研究—中国 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 026890 号

责任编辑: 谢洪源 刘卓澄 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 陈 敬



2005 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2005 年 11 月第一次印刷 印张: 39 3/4 插页: 2

印数: 1—1 000 字数: 919 000

定价: 130.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(科印))

序

《中国烃源岩》一书是秦建中教授及其研究组 20 多年从事渤海湾盆地冀中拗陷下第三系、二连盆地及海拉尔盆地中生界陆相湖泊烃源岩油气地球化学综合研究和勘探、未熟—低熟油研究和勘探,华北上古生界石炭—二叠系、北方及柴达木盆地北缘侏罗系煤成烃研究,青藏高原中生界、华北中新元古界及下古生界、南方古生界及中生界和塔里木盆地古生界等海相烃源岩研究,在大量样品分析(32 个项目、约 12 000 块样品、83 600 块次和约 80 万个数据)和 30 项研究成果的基础上,经过综合、归纳、提炼、升华和结晶,集中体现了科研、基础理论与油气勘探生产紧密结合的特色。

本书从海陆相不同类型烃源岩的沉积环境入手,全面、系统地分析了陆相湖泊泥岩生油气、海相页岩或碳酸盐岩生油气,未熟油和煤成烃理论及其它它们相互之间的差异和关系。我认为具有创新意义和值得进一步立项深入研究的具有以下两方面:

中国华北北部中新元古界海相烃源岩的分布。本书已经详细论述了冀北拗陷中新元古界洪水庄组页岩、下马岭组页岩及铁岭组碳酸盐岩的生油气能力,尤其是海相页岩为富烃源岩。那么鄂尔多斯盆地是否也发育了这套中新元古界海相富烃页岩呢?我在“七五”期间曾提出对鄂尔多斯盆地中新元古界海相烃源岩进行研究的建议,关键是该地区一直处于相对稳定、晚期成藏并在古或中生界存在区域性盖层,如果存在中新元古界海相富烃页岩那么将对鄂尔多斯盆地天然气勘探具有很重要的意义。实际上,在地震地质剖面中已经有迹象可能解释出这套中新元古界海相页岩,因此,应重视鄂尔多斯盆地中新元古界海相烃源岩的油气勘探和研究。

应重视海相烃源岩未熟油或未熟—低熟油的研究和勘探。未熟油(cool shallow origin of petroleum)最早是由我于 1979 年在“石油实验地质”第 1 期和 1981 年在“Journal of Petroleum Geology”(Vol. 3, No. 4, 427~444)杂志上提出的。经过 20 多年的研究和发展,在我国未熟油理论的研究已经达到相当深度并在石油勘探上有突破,尤其是本书中论述的渤海湾盆地冀中拗陷晋县凹陷下第三系 Es_4 — Ek 组盐湖相或超咸化湖泊相未熟油及饶阳凹陷 Es_1^F 段半咸化湖相(与间歇式海侵有关)未熟—低熟油的沉积环境研究更具有独创性。这就是说,海相烃源岩在未成熟阶段更容易形成未熟油。实际上,加拿大等沥青砂可能就是未成熟海相烃源岩形成的,而且形成的未熟油量和范围远大于我国

的湖相未熟油。因此,国外海相烱源岩未熟油更值得深入研究,可以作为提供
给石油公司海外石油勘探新的思路和建议。

张义纲

2004年8月

前 言

《中国烃源岩》是作者从事渤海湾盆地冀中拗陷下第三系、二连盆地及海拉尔盆地中生界陆相湖泊烃源岩油气地球化学综合研究和勘探、未熟—低熟油研究和勘探,华北上古生界石炭—二叠系、北方及柴达木盆地北缘侏罗系煤成烃研究,青藏高原中生界、华北中新元古界及下古生界、南方古生界及中生界和塔里木盆地古生界等海相烃源岩评价研究等 20 多年对油气生成、运移理论和勘探的归纳总结。

本书主要综合和提炼了“六五”至“十五”期间国家科技攻关、中国石油和中国石化作者负责的油气勘探科技项目“中国海相烃源岩生排烃机制研究”、“青藏高原油气生成条件研究”、“羌塘盆地油气生成及盆地模拟综合研究”、“青藏高原烃源层模拟试验及生烃、排烃模式研究”、“青藏高原有机岩石学及沉积有机相研究”、“松潘—阿坝地区烃源岩及油气资源潜力研究”、“二连盆地及冀中拗陷未熟—低熟油成因机制、成藏条件和资源预测”、“冀中地区煤成气(油)研究及资源评价”、“冀中拗陷多源天然气的生成富集规律”、“冀晋地区石炭—二叠系分布区天然气勘探方向及目标评价”、“任丘油田的地质规律及勘探经验”、“深层油气藏储集层与相态预测”、“冀中区域探井和重点探区生油条件评价”、“二连盆地新区生油条件评价及排队”、“二连盆地侏罗系石油地质特征及含油气远景评价”、“塔里木盆地志留系沥青砂岩的研究”、“塔里木盆地东北部烃源层评价”、“三水盆地 C—P 系碳酸盐岩烃源层研究”、“楚雄盆地烃源层评价及油源对比”、“福山凹陷下第三系烃源层综合评价”、“柴北缘地区中新世地层生排烃机制与潜力评价”和“海拉尔盆地油气生成条件及盆地模拟综合研究”等的研究成果。在大量烃源岩样品分析(32 个项目、约 12 000 块样品、83 600 块次和约 80 万个数据)和项目研究工作的基础上,集 30 项研究成果之精华,经综合、提炼和升华而成。这些研究成果都是科研与生产紧密结合的集中体现,也是作者等一大批研究人员兢兢业业认真研究的结晶。

1. 主要内容及简介

全文共 5 章。在前言中,从海陆相不同类型烃源岩的沉积环境入手,概述了陆相湖泊生油气、海相烃源岩或碳酸盐岩生油气,未熟油和煤成烃理论的关系。在我国油气生成和运移理论中,泥(页)岩烃源岩干酪根热降解生烃理论一直处于主导地位,并不断地深入、发展和完善。随着海、陆相成烃理论或不同沉积环境烃源岩的成烃模式的深入研究,产生了泥(页)岩生烃理论、海相碳酸盐岩生烃理论、沼泽相煤系烃源岩生烃理论、半咸水—超咸水烃源岩的未熟—低熟油理论和富烃源岩生烃理论等,除未熟—低熟油外,它们都源于干酪根生烃理论,只是沉积环境、岩性、有机质丰度和生烃母质的不同。

第 1 章从陆相湖泊富烃源岩的沉积环境研究开始,对陆相湖泊烃源岩的有机质含量,生烃反应机理,评价标准,有机质类型和有机相,不同有机相生排烃模式,成烃热演化机制,油气运移和聚集规律等进行了综合研究,提供了一套应用油气地球化学新技术新方法

进行陆相湖泊烃源岩综合评价的研究思路。

第2章从分析海相富烃源岩的沉积环境入手,提出了海相烃源岩干酪根类型或有机相的划分的有效指标,通过热压模拟试验和自然演化剖面,建立了海相四类十种不同类型烃源岩的成烃模式,对海相页岩和碳酸盐岩生排烃能力、吸附能力、生排烃下限值、有机质丰度的恢复、评价标准等进行了研究,并结合我国海相碳酸盐岩时代老、热演化程度高、有机质丰度低和缺少或没有镜质体等特点,选择和筛选适用于海相碳酸盐岩的主要成熟度指标。

第3章为石炭—二叠系滨海或滨湖相沼泽相煤系烃源岩和侏罗系深湖—浅湖或浅海—较深水沼泽相煤系烃源岩生烃及生油能力的对比研究,通过热压模拟试验创建了煤系9种生排烃模式,并用实际地质剖面排烃模式进行了验证,提出成煤环境烃源岩有机质类型随沉积相或亚相的变化而变化,华北地区石炭—二叠系煤和碳质泥岩对气(油)的贡献要大于暗色泥岩,而侏罗系湖相泥岩的生排油能力是控制形成油田的主要因素,成煤环境盆地要形成工业性油田或油气田要具备一定的沉积环境、生油显微组分和Ⅲ₁—Ⅱ₂型或更好的有机质类型,在相同条件下,泥岩排油量明显优于煤及碳质泥岩。

第4章从未熟油或未熟—低熟油的概念开始,提出烃源岩形成未熟油或未熟—低熟油条件为:①盐湖相或超咸化湖泊相和半咸化湖相或微咸化—半咸化—咸化湖相的强还原或硫酸盐沉积环境;②浮游水生物为主的可溶有机质或Ⅱ₁—Ⅰ型干酪根;③可溶有机质含量很高,沥青“A”含量一般大于0.2%,或有机碳含量在2%以上和沥青“A”含量也大于0.15%;④未成熟中晚期—低成熟早期,相当于 $R^o=0.3\%$ 或 $0.4\%\sim 0.65\%$;⑤泥岩与砂岩互层(最好为1:1~1:3)或断面直接与储层相接触或沿断面或不整合面短距离运移,并对未熟油和未熟—低熟油的成藏条件进行了解剖。

第5章介绍了冀中拗陷及冀北拗陷海陆相不同类型烃源岩综合评价研究实例,认为:①冀中拗陷及冀北拗陷下第三系至中新元古界的沉积演化特征控制着主要烃源岩的发育;②冀中拗陷北部发育 $ES_3-ES_4^+$ 和 C_2b-P_{1s} 两套主要烃源层;③冀中拗陷中部发育 Es_1^f 段和 Es_3 段上部两套富烃源层;④冀中拗陷南部各凹陷烃源岩类型、层段多变,三个凹陷主要烃源层及生烃层位、沉积环境、生烃机制及油气类型、干酪根类型和热演化程度不同;⑤冀北拗陷中新元古界发育洪水庄组页岩、下马岭组页岩和铁岭组碳酸盐岩三套主要烃源岩,并对冀中拗陷及冀北拗陷的油气勘探方向或前景进行了预测。

全书由秦建中执笔统编,张志荣参加了全书的部分编图、清绘和文字编修工作,史习慧参加了前言中概述部分的编写,李恋参加了第1章的编写,刘宝泉、郭树芝和国建英参加了第2章和第5章第5节的编写和部分工作,张渠、郑伦举等也参加了第2章的部分研究工作,郭爱明、刘宝泉和郭树芝等参加了第3章的部分工作,王静参加了第4章和第5章第3节的编写,马顺平、杜秀英和王东良等分别参加了第5章第2节、第5节和第6节的编写和部分研究工作。本书在出版过程中得到无锡实验地质研究所徐旭辉所长、郑冰副所长等领导的支持和帮助,无锡实验中心张美珍等和华北油田研究院生油研究室王东良等全体人员的配合和支持,张义纲、曹寅、黄第藩、费宝生等教授的指导,在此表示深深感谢。

2. 油气生成理论新进展概述

石油和天然气成因自始至终围绕有机论与无机论、海相论与陆相论、浅成论与深成论三大主题进行讨论和研究,逐渐形成以有机论为基础、以干酪根热降解生烃为主线的海、陆相成烃理论。

最早的石油成因研究是围绕有机成油和无机成油展开的。由于有机成因论占有有力的地质和地球化学依据并一直处于主导地位和指导着石油和天然气的勘探实践,绝大多数人都以有机成因理论为基础从事石油地球化学的研究工作。

20世纪20年代至30年代初期,以唯海相成油论独树一帜为特征并对陆相成油持否定态度。30年代初期至50年代中期为陆相成油论的提出和论证时期。50年代中期直到现今,是海相成油论和陆相成油论并存发展的阶段。近一个世纪的勘探实践是这一认识发展的基础。我国以陆相油气田为主,陆相生油理论的发展是我国石油地质学的特色(黄第藩等,1982)。

不同沉积相(或沉积环境)具有不同的生烃机制、生烃模式和生烃理论是现代也是将来讨论和研究的主题之一。海相和陆相以及它们的过渡相带烃源岩由于有机质来源(类型及种类)、岩石类型(矿物成分)和地球化学环境(还原和咸化程度等)的差异,其生烃机制、生烃模式和生烃理论也存在着很大的差异。

海相烃源岩有机质主要是海生浮游生物以及部分搬运来的陆源高等植物。岩石类型主要是海相页(泥)岩、含钙页(泥)岩、钙质页(泥)岩、泥灰岩和灰岩等。处于还原、咸水、弱碱性和弱水动力条件等沉积成岩环境为特征。海相页岩、含钙页岩及钙质页岩是最重要的烃源岩。但是,海相碳酸盐岩也可以作为烃源岩,这就形成了海相碳酸盐岩生烃理论。

陆相湖泊烃源岩有机质主要是湖生浮游生物和部分搬运来的陆源高等植物。岩石类型主要是泥(页)岩。处于强还原—还原、淡水—微咸水、弱酸性和弱水动力等沉积成岩环境为特征,尤其是淡水是其最突出的特征,这就形成了陆相淡水湖泊泥岩生烃理论。但是,陆相湖泊(及海陆交互的潟湖)也有半咸水—咸水,甚至超咸水(盐水),它们的生物来源、沉积成岩环境及生烃机制和生烃模式与淡水湖泊烃源岩有些差异,这就形成了半咸水—咸水—超咸水湖泊泥岩的未熟—低成熟生烃理论。

海陆或陆湖交互的沼泽相烃源岩有机质主要是陆源高等植物。岩石类型主要是煤、碳质泥岩和煤系泥岩。弱还原—弱氧化环境、多为淡水等,尤其是陆源高等植物是其最突出的特征,这就形成了煤成烃理论。

浅成论主要依据是在现代沉积中发现了液态烃,由于浅成烃的数量和化学特征与深成烃有很大差别,取而代之的是深成论,它是现代油气生成研究理论的基础。无论是海相、陆相湖泊还是沼泽相烃源岩,它们的生烃都具有辩证的统一,它们在达到某一温度、时间和压力条件下(成熟门限)均是干酪根裂解形成石油和天然气的过程,只有在特殊环境下形成的烃源岩在未成熟—低成熟阶段早期才能形成未熟—低成熟石油。

(1) 泥(页)岩生烃理论。海相页岩或钙质页岩(正常浪基面以下)和陆相湖泊(较深水—深水)泥岩干酪根热降解的石油和天然气是目前世界石油和天然气勘探和开发的主体,而我国则以陆相湖泊泥岩为源岩的石油占绝对优势。

海相页岩或钙质页岩主要发育在盆地相、大陆斜坡、台地凹陷和潟湖亚(或微相)相带内,沉积时水体相对稳定,多处于正常浪基面以下,还原环境,咸化—半咸化(某些潟湖亚相);有机质来源主要是海生浮游生物以及少部分搬运来的陆源高等植物、有机质类型多为Ⅱ₁型干酪根。

陆相湖泊泥岩主要发育在深湖相、较深湖相及浅湖相带内,处于强还原—还原环境、弱水动力条件,多为淡水—微咸水;有机质来源主要是湖生浮游生物和部分搬运来的陆源高等植物、有机质类型变化较大,可从Ⅰ、Ⅱ₁到Ⅱ₂型干酪根,甚至还有Ⅲ型干酪根。

海相页岩和陆相湖泊泥岩中保存和残留的有机质是生成石油和天然气的物质基础,目前世界上的大油气田常常与富烃源岩(TOC>2%,Ⅰ—Ⅱ₁型干酪根)相伴随;当有机碳含量小于0.3%~0.5%时,一般认为就是非烃源岩了。

烃源岩有机质类型与原始有机物来源、有机物显微组分的构成和元素组成有关。Ⅰ和Ⅱ₁型干酪根在成熟阶段是生油的,而且多为重质原油,海相有机质多为高含硫的环烷基原油,陆相湖泊有机质多为低硫高蜡原油;Ⅱ₂型干酪根在成熟阶段主要是生油的,多为轻质油并伴生湿气;Ⅲ型干酪根即使在成熟阶段也主要是生气的,并伴生凝析油或轻质油气。

无论是海相还是陆相湖泊烃源岩,干酪根在某一时间内均必须达到一定的温度(或埋藏深度)后才能大量裂解生成石油,这就是成熟门限温度(或深度),一般相当于 $R^o > 0.5\%$ 。不同的成熟阶段,干酪根裂解生成的产物也不同,成熟阶段主要产物是石油,高成熟阶段主要产物是凝析油气,过成熟阶段主要产物是干气。

(2) 海相碳酸盐岩生烃理论。海相碳酸盐岩有机质的来源、沉积环境与海相页岩相似,只是岩石类型不同。

1) 作为烃源岩的海相碳酸盐岩主要岩性是灰岩、泥灰岩、白云质灰岩及钙质页岩。

2) 有机质丰度一般相对较低,由于碳酸盐岩的有机质类型相对较好(Ⅰ—Ⅱ₁型)、对烃类的吸附能力相对黏土岩较低,且烃类转化率相对较高,其烃源岩有机碳下限值可能也相对较低,一般为0.1%~0.3%之间,但是认识尚不一致。

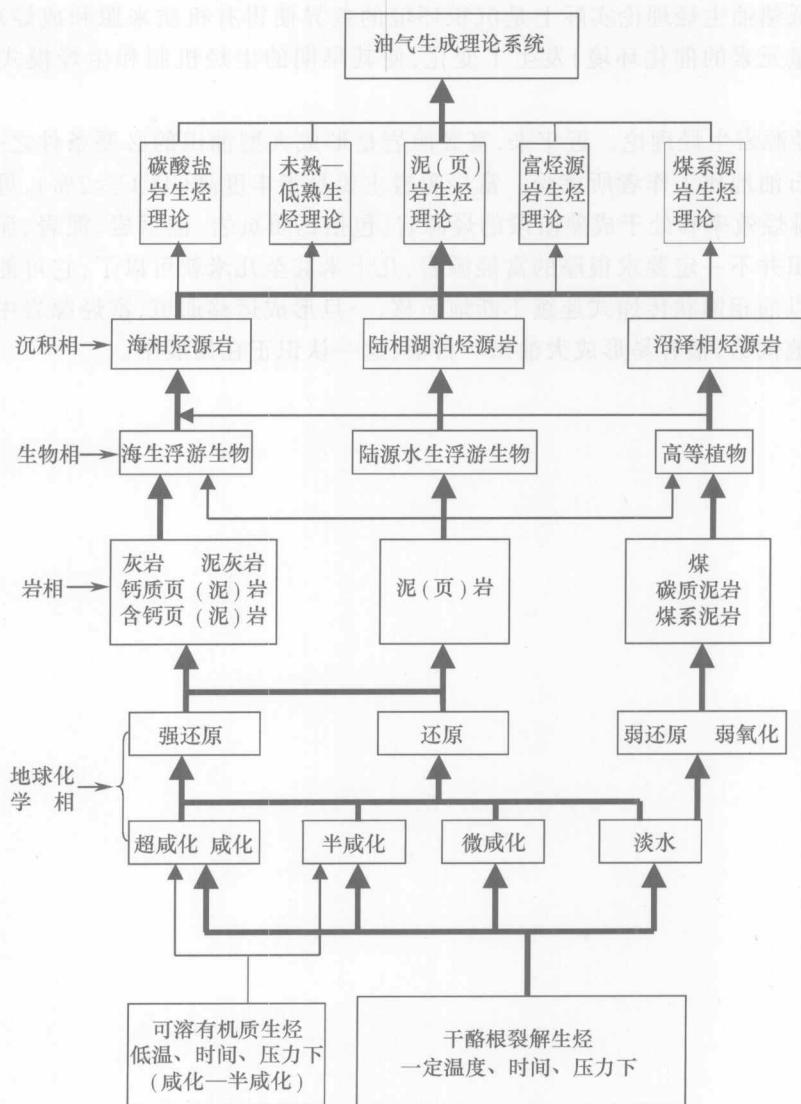
3) 尽管海相碳酸盐岩干酪根(源于海生浮游生物)也是在某一时间内达到一定的温度(或埋藏深度)后才能大量裂解生成石油,但是其生烃机制和模式很大程度上不同于泥(页)岩,碳酸盐岩和CO₂等介质使得干酪根裂解化学反应发生了一些变化,生油门限温度(深度)、石油窗下限温度(深度)、排烃机制及烃类相态也发生了变化。

海相碳酸盐岩烃源层主要分布于下古生界、中新元古界和中生界地层中,据世界碳酸盐岩大油气田的统计,206个大油气田中,烃源层为碳酸盐岩的占30%以上;122个大油气田中,烃源层TOC含量在0.5%~5.5%之间者占82%。毫无疑问,碳酸盐岩只要具备相当的有机质丰度就可以成为重要的烃源层。

海相碳酸盐岩烃源层的评价存在诸多困难,如古生界地层尤其是泥盆纪以前的地层中缺乏镜质体;一些传统的确定有机质热演化的手段已不能完全适用;有机质的碳化程度较高,残余有机质不能完全反映油气的生成过程等。这些问题在对羌塘盆地油气生成的研究中作了有益的探索(赵政璋,秦建中等,2000)。

(3) 煤系烃源岩生烃理论。煤系是泥岩烃源岩的一种特殊类型,其主要差别是:①沉

积环境多为海陆沼泽或湖泊沼泽相,弱还原—弱氧化,多为淡水,高等植物发育;②烃源岩有机质来源主要是高等植物,干酪根为Ⅲ₁、Ⅲ₂型,部分深湖—较深湖相发育有Ⅱ₂型,以生气为主,Ⅲ₁和Ⅱ₂型干酪根可以生成一些轻质油;③煤系烃源岩由煤、碳质泥岩和煤系泥岩和泥灰岩组成,有机质丰度一般很高,主要分布于侏罗系、石炭—二叠系和第三系中,不同地区、不同层位由于有机显微组分的差异,对生烃的贡献不尽相同,有的煤碳质泥岩大一些,有的煤系泥岩重要一些,有的同等重要;④与湖相暗色泥岩相比,煤系烃源岩的排烃期较晚,相当于煤系烃源岩成熟—高成熟阶段($R^o=0.8\% \sim 1.8\%$),排烃量也小于湖相暗色泥岩。

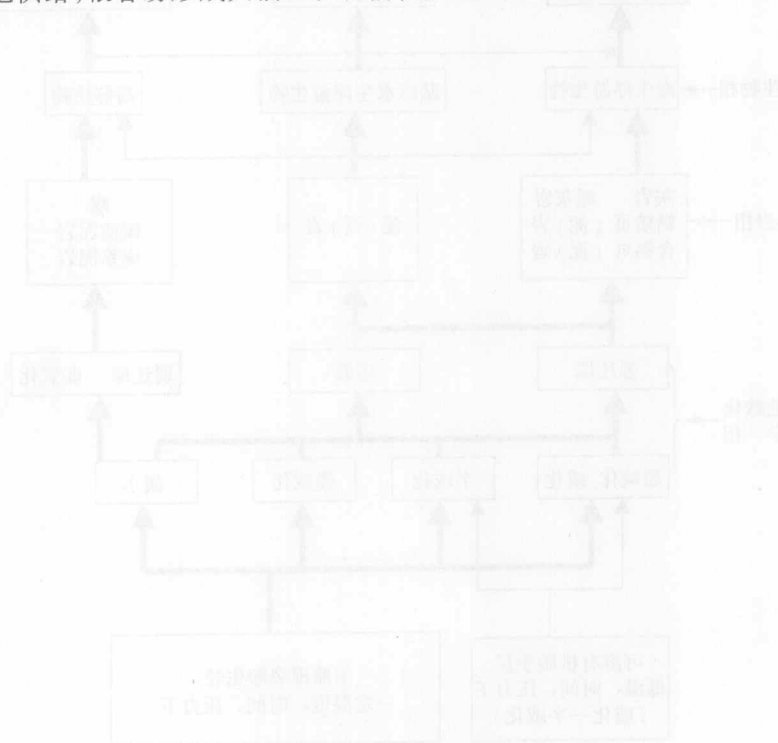


海、陆相不同类型烃源岩生烃理论系统

(4) 未熟—低熟油生烃理论。未熟—低熟油生烃理论是对干酪根生烃理论的补充和完善,它主要是指在特殊环境下沉积成岩的未成熟—低成熟烃源岩在干酪根大量生油之前,主要靠可溶有机质或特殊有机组分(例如颗石藻、树脂体等)生成的未熟—低熟油。①沉积环境以半咸化—咸化湖相和盐湖相为主,还原—强还原甚至为 H_2S 环境,有利于可溶有机质的保存;②原始有机质主要来源于水生浮游生物,有机质类型多为 I—II₁ 型,或富含早期生油有机显微组分;③可溶有机质丰度较高,一般沥青“A”大于 0.2%,但是有机碳含量并不一定很高;④烃源岩处于未成熟—低成熟阶段,一般 R^o 变化在 0.3%~0.65% 之间;⑤未熟—低熟油一般较重,排烃条件受到一定的限制。

未熟—低熟油生烃理论实际上是沉积环境的差异使得有机质来源和成烃环境(特别是矿物和微量元素的催化环境)发生了变化,使其早期的生烃机制和生烃模式也发生了变化。

(5) 富烃源岩生烃理论。近年来,富烃源岩是形成大型油田的必要条件之一的认识,逐渐被广大石油地质工作者所接受。富烃源岩主要是指丰度高($TOC \geq 2\%$),母质类型好(I—II₁),排烃效率和处于成熟阶段的烃源岩(包括钙质页岩、油页岩、泥岩、泥灰岩等)。形成大型油田并不一定要求很厚的富烃源岩,几十米甚至几米就可以了,它可能是沿富有机质页理面以油相网状传递式连续不断地运移,一旦形成运移通道,富烃源岩中的石油就会源源不断地供给,很容易形成大油田。目前,这一认识正在发展中。



目 录

序

前言

1 陆相湖泊烃源岩的油气生成、运移和聚集	(1)
1.1 陆相湖泊泥岩烃源层的沉积环境	(1)
1.1.1 陆相湖泊类型及规模	(1)
1.1.2 水动力条件及其特征	(2)
1.1.3 地球化学特征	(4)
1.1.4 古生物特征	(6)
1.1.5 有机质沉积特征	(6)
1.1.6 沉积演化	(8)
1.2 陆相湖泊烃源岩的有机质丰度	(8)
1.2.1 有机质含量	(8)
1.2.2 泥质烃源岩生烃反应机理探讨	(12)
1.2.3 泥质烃源岩的排烃下限	(14)
1.2.4 陆相湖泊泥岩烃源层的评价标准	(18)
1.3 陆相湖泊泥质烃源岩的有机质类型和有机相	(20)
1.3.1 沉积有机质	(20)
1.3.2 不同有机质类型特征	(21)
1.3.3 沉积有机相	(37)
1.4 陆相湖泊不同有机相烃源岩的生排烃模式	(40)
1.4.1 热压模拟实验	(40)
1.4.2 藻类相(I型干酪根)烃源岩的生排烃模式	(42)
1.4.3 含草本藻类相(II ₁ 型)烃源岩的生排烃模式	(46)
1.4.4 含藻类草本相(II ₂ 型)烃源岩的生排烃模式	(48)
1.4.5 木本相(III型)烃源岩的生排烃模式	(50)
1.4.6 不同有机相生排烃模式	(51)
1.5 陆相湖泊泥质烃源岩有机质的热演化	(55)
1.5.1 沉积有机质的演化过程	(55)
1.5.2 有机质热演化的控制因素	(60)
1.5.3 有机质成熟阶段划分的主要指标	(72)
1.5.4 热演化史和生烃史的研究	(75)
1.6 陆相湖盆的油气运移	(78)
1.6.1 初次运移	(79)
1.6.2 二次运移	(85)

1.6.3	油源对比与油气运移	(92)
1.7	陆相湖泊烃源岩综合评价和油气聚集规律	(96)
1.7.1	陆相湖泊的油气聚集规律	(96)
1.7.2	陆相湖盆烃源层的资源评价	(103)
1.7.3	湖相烃源层综合评价	(109)
2	海相烃源层的油气生成	(111)
2.1	海相碳酸盐烃源岩特征	(111)
2.1.1	海相碳酸盐烃源岩的沉积环境	(111)
2.1.2	海相烃源岩中的有机质	(120)
2.1.3	海相碳酸盐岩与陆相碎屑岩的区别	(124)
2.2	海相烃源岩的有机相	(125)
2.2.1	海相烃源层有机相的划分	(125)
2.2.2	有机相的划分标志	(127)
2.3	海相不同类型烃源岩的生排烃模式	(138)
2.3.1	热压模拟实验方法及实验条件的选择	(139)
2.3.2	海相不同类型烃源岩的油气产率	(141)
2.3.3	海相不同类型烃源岩的生排烃模式	(157)
2.4	海相不同类型烃源岩排烃下限值研究	(175)
2.4.1	方解石、蒙脱石对排烃影响的模拟实验	(175)
2.4.2	灰岩、泥岩排烃影响模拟实验	(178)
2.4.3	从自然样品热解分析研究样品的排烃下限值	(181)
2.4.4	排烃下限值理论计算公式	(182)
2.4.5	海相烃源岩排烃下限值的确定	(185)
2.5	高成熟—过成熟海相烃源岩原始有机质丰度的恢复研究	(186)
2.5.1	热压模拟实验有机质丰度的变化规律	(187)
2.5.2	自然演化剖面有机质丰度的变化规律	(201)
2.5.3	原始有机质丰度的恢复方法研究	(207)
2.5.4	高成熟—过成熟烃源岩原始有机质丰度的恢复	(217)
2.6	海相碳酸盐烃源岩的评价标准和生烃反应机理探讨	(220)
2.6.1	烃源岩有机质丰度的下限值研究	(220)
2.6.2	海相碳酸盐烃源岩的评价标准	(228)
2.6.3	碳酸盐烃源岩生烃反应机理探讨	(230)
2.7	海相碳酸盐岩的成熟度指标	(237)
2.7.1	适用于海相碳酸盐岩的成熟度指标	(237)
2.8	小结	(248)
3	含煤环境不同类型烃源岩的油气生成和运移	(252)
3.1	国内外煤成烃研究的发展趋势	(252)
3.1.1	煤系烃源岩生烃能力的认识	(253)

3.1.2	影响煤系烃源岩生烃能力的研究	(253)
3.1.3	煤成烃模式的建立	(254)
3.1.4	煤系烃源岩评价	(254)
3.2	成煤环境不同类型烃源岩的有机质含量	(254)
3.2.1	成煤环境不同类型烃源岩的评价标准	(255)
3.2.2	滨海沼泽相煤系烃源岩(以冀晋地区石炭—二叠系为例)	(258)
3.2.3	大中型湖泊沼泽相不同类型烃源岩(以柴北缘地区中下侏罗统为例)	(265)
3.2.4	成煤环境不同类型烃源岩的有机质含量	(281)
3.3	成煤环境不同类型烃源岩的有机岩石学和有机质类型	(281)
3.3.1	煤系烃源岩的有关术语及有机显微组分分类	(282)
3.3.2	滨海沼泽相不同类型烃源岩的有机质类型(以冀晋地区石炭—二叠系为例)	(289)
3.3.3	大中型湖泊沼泽相不同类型烃源岩有机质类型(以西北柴北缘地区侏罗系为例)	(294)
3.3.4	成煤环境不同类型烃源岩的有机质类型	(310)
3.4	成煤环境不同类型烃源岩的生排烃模式	(311)
3.4.1	模拟实验样品的筛选、仪器和方法	(311)
3.4.2	成煤环境不同类型烃源岩热压模拟实验样品的油气产率	(313)
3.4.3	成煤环境不同类型烃源岩的生排烃模式	(321)
3.4.4	冀中东北部石炭—二叠纪煤系排烃模式实例	(330)
3.5	成煤环境不同类型烃源岩对油气的贡献	(335)
3.5.1	冀中地区煤成气和煤成油主要来源于石炭—二叠纪煤和碳质泥岩	(335)
3.5.2	柴北缘原油主要来自中下侏罗统的湖相泥岩(或页岩)	(343)
3.5.3	冀中东北部石炭—二叠纪煤和碳质泥岩生排油气量远大于暗色泥岩	(357)
3.5.4	柴北缘下侏罗统湖相暗色泥岩油气资源量大于煤和碳质泥岩	(359)
3.5.5	成煤环境不同类型烃源岩对油气的贡献	(365)
3.6	结论	(366)
4	半咸化—咸化湖泊相烃源岩未熟—低熟石油的成烃成藏条件	(368)
4.1	未熟—低熟石油的概念及判别标志	(368)
4.1.1	未熟石油、未熟—低熟石油及低熟石油的概念	(368)
4.1.2	未熟石油、未熟—低熟石油判别指标	(369)
4.2	半咸化—咸化湖泊沉积环境	(375)
4.2.1	湖泊盐度分类	(375)
4.2.2	盐湖相(咸水—超咸水湖泊)烃源岩的沉积环境和实例	(376)
4.2.3	半咸化湖泊相烃源岩的沉积环境和实例	(380)
4.3	水生浮游生物为主的有机质类型	(386)
4.3.1	盐湖相烃源岩	(386)
4.3.2	半咸化湖相富烃源岩	(394)
4.4	可溶有机质丰度	(398)

4.4.1	盐湖相未成熟烃源岩	(399)
4.4.2	半咸化湖相未成熟—低成熟烃源岩	(403)
4.5	未成熟—低成熟烃源岩及其成烃模式	(407)
4.5.1	盐湖相烃源岩有机质的演化及其成烃模式	(407)
4.5.2	半咸化湖相烃源岩有机质的演化及其成烃模式	(412)
4.6	排烃条件	(416)
4.6.1	未熟石油的排烃条件	(416)
4.6.2	未熟—低熟石油的排烃条件	(418)
4.7	成藏条件及含未熟—低熟油系统	(422)
4.7.1	未熟油的成藏条件	(422)
4.7.2	未熟—低熟油的成藏条件	(428)
4.8	结论	(435)
5	烃源岩综合评价——以冀中及冀北拗陷为例	(438)
5.1	冀中拗陷沉积演化特征	(438)
5.1.1	中新元古界及古生界	(438)
5.1.2	中生界	(439)
5.1.3	新生界	(440)
5.2	冀中拗陷北部轻质油—天然气烃源岩	(444)
5.2.1	油气源对比	(444)
5.2.2	典型有机地球化学剖面 and 两套主要烃源层	(467)
5.2.3	下第三系 E_{s3} — $E_{s4}^{\perp}$ 段和石炭—二叠纪煤系两套主要烃源层的分布特征	(471)
5.2.4	冀中拗陷北部发育下第三系 (E_{s3} — $E_{s4}^{\perp}$) 轻质油气和石炭—二叠纪煤系 (C_2b — P_{1s}) 凝析 气两套主要烃源层	(491)
5.3	冀中拗陷中部下第三系富烃源岩和古潜山油藏	(493)
5.3.1	油源对比	(493)
5.3.2	整体发育 E_{s3} 段和 $E_{s1}^{\perp}$ 段两套主要烃源层, 不同洼槽各有千秋	(514)
5.3.3	$E_{s1}^{\perp}$ 段富烃源岩	(522)
5.3.4	E_{s3} 段及 E_{s4} — E_k 组烃源层	(526)
5.4	冀中拗陷南部未熟油、轻质油—天然气烃源岩	(533)
5.4.1	晋县凹陷 E_{s4} + E_{k1} 段未熟油烃源岩	(533)
5.4.2	束鹿凹陷及深县凹陷烃源层	(547)
5.4.3	冀中拗陷南部各凹陷变化大, 发育多种类型烃源岩	(568)
5.5	冀北拗陷中新元古界海相烃源层特征	(570)
5.5.1	中、新元古界的主要烃源岩	(573)
5.5.2	主要烃源层及有机质含量的平面分布	(579)
5.5.3	中、新元古界烃源岩的有机质类型	(581)
5.5.4	中、新元古界烃源岩的热演化	(584)
5.5.5	油苗的分布特征及油源对比	(592)

5.5.6 冀北拗陷中新元古界发育三套主要烃源层,而且有机质热演化程度不高,多处于成熟阶段	(603)
5.6 冀中、冀北拗陷不同类型烃源岩油气综合评价、资源量估算及勘探前景 ...	(604)
5.6.1 冀中拗陷及冀北拗陷海陆相不同类型烃源岩油气综合评价	(604)
5.6.2 冀中及冀北拗陷资源量评价及勘探前景	(606)
主要参考文献	(609)
Abstract	(615)
图版说明	(619)
图版	(621)

1 陆相湖泊烃源岩的油气生成、运移和聚集

我国以陆相油气田为主,陆相湖泊泥岩烃源层生油理论是我国石油地质学的特色。目前我国已在中新生代含油气盆地中发现了众多规模不等、成因各异的油气藏和油气聚集带,例如世界著名的大庆油田、任丘古潜山油田以及渤海湾盆地第三系断块油气藏和油气聚集带等,我国大部分油气藏均属湖泊相泥岩烃源层成因的。

1.1 陆相湖泊泥岩烃源层的沉积环境

湖泊相是陆地上的汇水盆地和大量陆源碎屑最终的沉积场所,分布在构造沉降强烈地带。在湖盆内部,由湖岸至中心依次为滨浅湖亚相(或三角洲亚相)→较深湖亚相→深湖亚相,沉积物的分布一般呈环带状分布,较深湖亚相和深湖亚相是形成湖泊泥岩烃源层的有利场所。在绝大多数湖盆中,洼槽或凹陷是烃源层评价和油气聚集的基本单元。

1.1.1 陆相湖泊类型及规模

从陆相湖泊发育的规模和普遍性来说,以构造成因的淡水湖泊最为重要,沉积物以碎屑沉积为主,岩性、岩相和沉积厚度变化很大。主要有中小型断陷型和大型拗陷型两类湖盆(图 1.1)。

中小型断陷型湖盆,以强烈的断陷作用为主,湖盆多为不对称箕状型(祝玉衡,张文朝等,2000),其沉积特点表现为陡侧沉积厚度大,水体深,为湖盆的沉积沉降中心,也是烃源层相对最厚和最好的(图 1.1A);缓侧沉积厚度小,水体浅,烃源层一般不发育,地层横剖面表现为由陡侧向缓逐层减薄的楔状体。湖盆发育的中早期为最大深陷扩张期,深水沉积发育,形成巨厚的烃源层。断陷湖盆的大小及展布状况主要受基底构造和主断裂的控制。在湖盆演化过程中,常因构造沉降或断裂活动的不均一性而形成多隆多洼的构造格局,从而将湖盆分割成多个沉积洼槽,形成多沉积洼槽、多沉积生油中心的环境特征。因此,陆相湖泊应以沉积洼槽为单元进行烃源岩评价。

大型拗陷型湖盆以较均匀的整体升降构造活动为主,盆地面积大,地形平坦(图 1.1B)。边缘斜坡宽缓,中间无大的凸起分割(于兴河,2002)。沉积中心和沉降中心位于湖盆中央,其沉积特征表现为由湖盆边缘向湖盆中心,岩性由粗变细,颜色由红变黑,沉积厚度由薄变厚,烃源岩由差变好、由薄变厚。沉积相表现为由滨湖亚相(或三角洲亚相)→浅湖亚相→较深湖亚相→深湖亚相的变化规律,呈环带状分布。深陷扩张期,深水面积很大,形成广泛的烃源层。