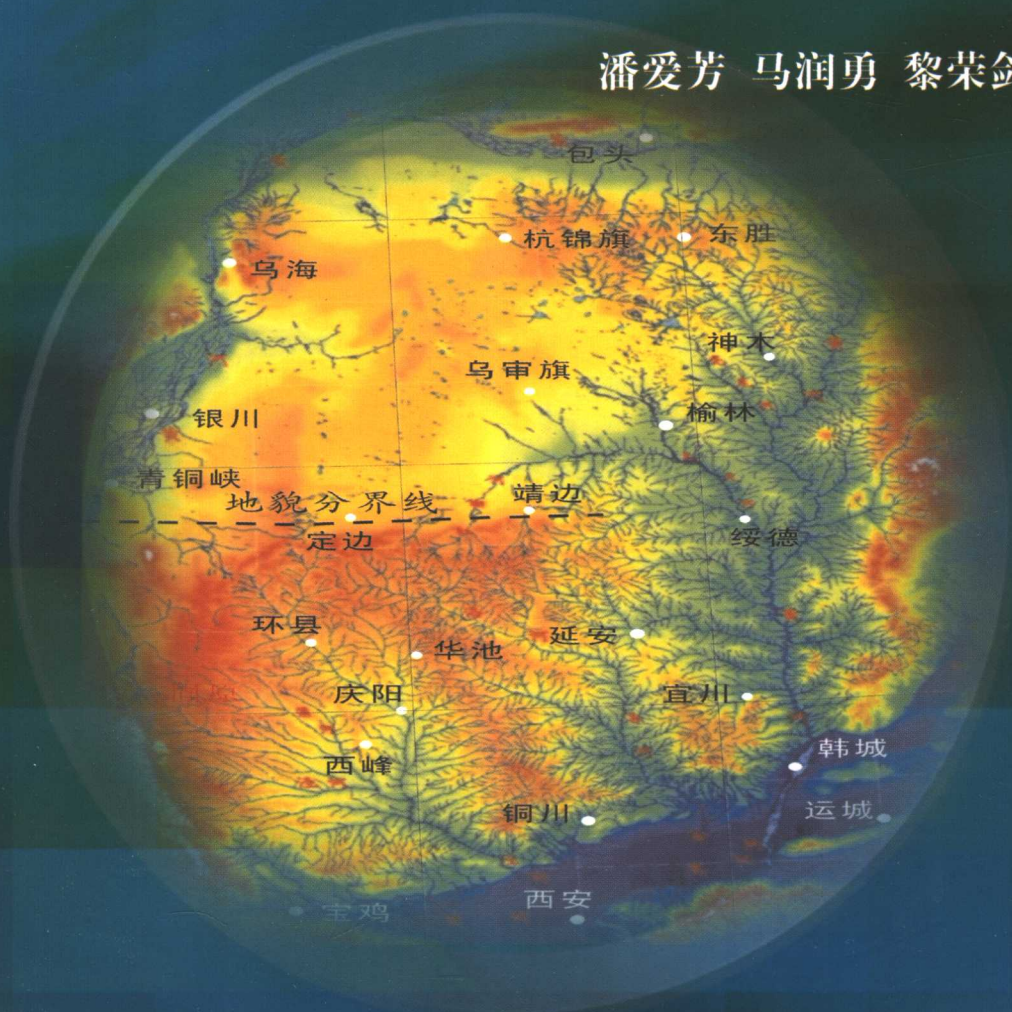


鄂尔多斯盆地

深部流体地球化学研究

潘爱芳 马润勇 黎荣剑 著



石油工业出版社

鄂尔多斯盆地 深部流体地球化学研究

潘爱芳 马润勇 黎荣剑 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从元素地球化学角度系统研究了鄂尔多斯盆地能源矿产分布与基底断裂的关系以及中生代以来深部流体活动及其对多种能源矿产成藏(矿)作用的贡献;以多种能源矿产伴生沥青作为纽带和信息载体探讨了深部流体在能源矿产成藏(矿)中的作用,提出和讨论了鄂尔多斯盆地成藏(矿)的地球化学标志,并据此预测了盆地内多种能源矿产成藏(矿)的有利区段,对鄂尔多斯盆地下一步能源矿产勘探开发具有重要的实际意义。

本书可供地球化学找藏(矿)和油气地质勘探工作者以及高等院校有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地深部流体地球化学研究/潘爱芳等著.

北京:石油工业出版社,2006.3

ISBN 7-5021-5441-8

I. 鄂…

II. 潘…

III. 鄂尔多斯盆地-地幔涌流-地球化学-研究

IV. P594

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 016234 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北天普润印刷厂

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:285 千字 印数:1—500 册

定价:30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

随着矿产勘探的不断深入,对浅层矿产资源的寻找已经越来越困难,而社会发展和进步却日益需要更多的矿产资源作支撑。尤其是能源矿产在国民经济发展中占有极为重要的地位,能源工业的繁荣与发展已成为整个国民经济进一步发展的基本保障。特别是当前我国寻找新的能源矿产基地和扩大能源矿产资源储备的任务非常紧迫,因此科学家们已经将目光转向地球深部。在我国中东部一些含油气盆地中陆续发现与深部流体有关的无机 CO_2 气藏和无机成因油气藏之后,其他含油气盆地是否也存在深源油气藏等问题也逐渐引起了专家学者们的极大关注。

鄂尔多斯盆地是我国重要的能源矿产富集基地,盆地内目前探明了长庆、苏里格庙、榆林、乌审旗、米脂、神木等六大气田,远景总储量约达 10 万亿立方米;大型煤矿有东胜、准格尔、桌子山、乌兰格勒等煤矿,其中东胜煤矿、准格尔煤田、桌子山煤矿已探明储量分别为 727.5 亿吨、260 亿吨和 37.5 亿吨,乌兰格勒煤矿预测储量 83 亿吨。盆地内的原油储藏也十分丰富,总聚油量约 23.8 亿吨,目前,在盆地西南部又发现 4 亿吨级的西峰油田。近年来在盆地边部还发现了重要的砂岩型铀矿床。如此大规模的、多矿种的能源矿产同盆共存,完全用传统的成矿理论去解释显然有些不足,部分气田中所含的二氧化碳、氮、氦等深源气体也难以用表生成矿作用、有机成矿作用等做出圆满解释,因此,迫切需要寻求一些新的认识和理论给予解答,以促进该区油气勘探范围和深度的进一步拓展。鄂尔多斯盆地不同时代、不同类型的多种能源矿产同盆共存,还为地质工作者从事科学研究提供了一个内容丰富的大型试验场。因此,开展对该盆地研究程度还十分有限或尚属空白的能源矿产元素地球化学特征、能源矿产间相互关系,尤其是盆地内是否存在深部流体活动及其在能源矿产成藏成矿中的作用等方面的研究,对丰富成藏成矿理论本身具有重要意义。

其中,鄂尔多斯盆地是否存在深部流体活动,深部流体活动在能源矿产中的作用等问题,到目前为止还是一个非常有争议的问题。笔者以为,鄂尔多斯盆地究竟有无深部流体活动,需要深入研究。事实上,前人的一些研究内容虽然大多不是针对深部流体进行的,得出的结论似乎也大多与深部流体无直接关系,但通过这些研究结果,例如鄂尔多斯盆地深部构造特征、新构造运动特征、地震活动特征、地壳结构特征、构造热事件和热流体活动特征、古地温特征以及沥青分布特征等,我们仍能发现种种深部流体的活动迹象。

最近的一些研究表明,鄂尔多斯中生代晚期深大断裂的强烈活动导致深部流体上涌,促进了天然气的形成和演化。笔者通过对鄂尔多斯盆地地表元素地球化学场研究,发现盆地内的元素地球化学场分布特征受控于深大断裂。为了进一步捕捉一些深部流体活动的信息,笔者进行了大量的野外考察和样品采集、分析工作。研究结果表明,盆地内部分地区断裂、岩层裂隙、节理十分发育,反映中生代以来鄂尔多斯盆地仍然存在构造活动,应当伴有深部流体作用,部分样品的分析结果也反映出盆地内存在深部流体活动信息。

通过对前人资料的充分学习与笔者的进一步研究,认为鄂尔多斯盆地是否存在深部流体问题,不应当再用简单的“有”与“无”两个字来定论,而应该从“多”与“寡”角度开展进一步研究。

本书第一作者从 2002 年开始,在赫英教授指导下开展了对鄂尔多斯盆地能源矿产的一些地球化学研究,作为攻读博士学位期间的研究课题,还同时参加了国家 973 项目——“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律(2003CB214600)”的研究,并得到了该项目的资助,该书是两项工作的总结。

全书共分六章,各章主要内容为:第一章对国内外能源矿产研究现状和进展进行了概述,并简要介绍了本书研究中的样品采集、分析测试等相关情况;第二章简要总结了盆地区域地质特征、地层发育特征及其能源矿产的时空分布规律、深部构造特征,同时还讨论了区域构造、地壳结构、基底断裂、构造活动与深部流体作用之间的内在联系;第三章主要研究了盆地 24 种元素的地球化学场特征,在此基础上进行了元素地球化学分区,并对各分区内元素富集特征、能源矿产分布特征、基底断裂带的地球化学场特征进行了研究,分析了地球化学背景场成因;第四章对盆地石油、天然气、油气伴生水以及一些典型能源矿产或矿区的元素地球化学特征开展了研究,对部分矿区还开展了有机碳、无机碳的同位素地球化学研究;第五章主要对鄂尔多斯盆地能源矿产伴生氯仿沥青“A”的元素地球化学特征进行了研究,并对某些具有代表性矿床(藏)伴生沥青的 Sm—Nd 同位素和激光拉曼光谱特征进行了探讨;第六章主要以流体和元素作为纽带,对盆地内多种能源矿产间的关系进行了研究,阐述了深部流体在能源矿产成藏(矿)中的作用,总结了地球化学找矿标志,并对成藏(矿)有利区段进行了预测。

笔者在课题研究实施过程中,先后得到了西北大学曲志浩教授、高山教授、刘池洋教授、任战利教授、王震亮教授、张复新教授以及长安大学彭建兵教授、杜佩轩教授等的指教与帮助,在此表示衷心感谢。

在野外调查、样品采集和资料收集过程中,长庆石油管理局井下技术作业处万丛礼博士、楚远军书记、陈平高级工程师、韩红旭高级工程师、吕莉工程师,神华集团准格尔有限责任公司陈虎维经理、赵尹桃高级工程师,核工业部 208 地质大队彭云彪队长、苗爱生副队长,核工业部北京地质研究院欧光习研究员,西北大学吴柏林研究员,延长油矿实验室袁树雄主任,西安地质矿产研究所李向民教授级高级工程师以及长安大学谢娟高级工程师等先后给予了许多帮助,在此一并表示感谢。

感谢西北大学教育部大陆动力学重点实验室、中国地质科学院北京地质测试中心、中国科学院兰州分院分析测试中心、中国科学院地球环境研究所生物地球化学实验室、西安地质矿产研究所实验中心有关分析人员等所作的样品测试工作。

本书的出版得到长安大学科技发展基金资助,在此表示衷心的感谢。由于本书作者水平和经验有限,书中可能有错漏之处,敬请批评指正。

著 者

2006 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 国内外研究现状和进展.....	(1)
第二节 科学问题及研究意义	(10)
第三节 研究思路、方法和技术路线	(11)
第四节 样品采集、分析测试及质量评述	(14)
第五节 取得的主要成果	(16)
第二章 区域地质与深部构造特征	(18)
第一节 盆地的形成与演化	(18)
第二节 地层发育特征与能源矿产及其时空分布规律	(20)
第三节 区域构造特征	(26)
第四节 地壳结构特征	(29)
第五节 基底断裂特征	(37)
第六节 构造活动与深部流体作用	(44)
第三章 地表元素地球化学场研究	(50)
第一节 元素地球化学场特征	(50)
第二节 元素地球化学分区与各分区元素富集特征	(55)
第三节 各地球化学分区能源矿产分布特征	(58)
第四节 基底断裂带的地球化学场特征	(59)
第五节 地球化学背景场成因分析	(61)
第四章 岩矿地球化学研究	(67)
第一节 石油的元素地球化学特征	(68)
第二节 天然气地球化学特征	(78)
第三节 油气伴生水元素地球化学特征	(91)
第四节 东胜铀矿地球化学特征	(97)
第五节 黑岱沟煤矿地球化学特征.....	(110)
第五章 能源矿产伴生氟仿沥青“A”的元素地球化学研究	(115)
第一节 鄂尔多斯盆地沥青的基本特征.....	(115)
第二节 石油沥青元素地球化学特征.....	(119)
第三节 东胜铀矿沥青元素地球化学特征.....	(131)

第四节	黑岱沟煤矿沥青元素地球化学特征·····	(136)
第五节	氯仿沥青的 Sm—Nd 同位素研究 ·····	(142)
第六节	沥青的激光拉曼光谱特征·····	(144)
第六章	成藏(矿)规律及找藏(矿)标志·····	(147)
第一节	鄂尔多斯盆地多种能源矿产间的关系·····	(147)
第二节	深部流体在能源矿产成藏(矿)中的作用·····	(150)
第三节	地球化学找矿标志与成藏(矿)有利区段预测·····	(152)
参考文献	·····	(155)

第一章 绪 论

本书中研究的能源矿产，主要指赋存于沉积盆地中的石油、天然气、煤炭和放射性铀矿这四种重要的不可再生能源；所开展的地球化学研究主要指元素地球化学研究和部分同位素地球化学研究；在所开展的研究内容之中，与能源矿产成藏（矿）作用相关的深部流体问题是本书的主要研究内容之一，本书中所指的深部流体具体包括深部的壳源流体、来自地下深部的具有一定化学活性且受基底断裂或深部岩浆控制的、向上运移的地下流体，以及相关的包括幔源流体在内的其他深源流体。

第一节 国内外研究现状和进展

与含油气盆地有关的能源矿产的研究受到国内外学者的极大关注，在世界现代能源工业百余年的发展历史中，积累了大量的资料，已相继建立了各类矿种本身相对独立、较为完整的学科理论体系及其成藏（矿）理论系统，如石油地质学、天然气地质学、煤田地质学、铀矿地质学或铀矿床学等。目前单种能源矿产的研究程度已经很高，其理论体系已渐趋成熟。因此，能源矿产必然向着多种学科交叉的研究才能进一步得到发展（刘池洋，2005）。

一、能源矿产的地球化学研究

在含油气盆地中，石油、天然气、煤等非金属矿与某些金属矿床的共存乃至共生的实例屡见不鲜（涂光炽，1994；Bazhenova *et al.*, 1998；Clifton *et al.*, 1990；Czochanska *et al.*, 1986；Kvenvolden *et al.*, 1986；Simoneit, 1985；Tiercelin *et al.*, 1989）。其中，石油与天然气的关系十分密切，且石油与油型气具有亲缘关系，因而在学科研究和勘探开发中一直将油、气密切地结合在一起，总体研究程度较高（刘池洋，2005）；20 世纪 40~50 年代，人们开始认识到煤和煤系地层可形成具工业价值的天然气资源，60 年代后期，煤成气的研究又开始为许多地质学家所重视，80 年代以来，煤成油已成为研究和讨论的热点，相关理论也得以快速发展（钟宁宁、陈恭洋，2002）。我国在 20 世纪 80 年代初开始煤成气的研究，经过 20 多年的发展，在煤成气聚集带研究、气体同位素判识煤成气、煤系烃源岩成烃模拟及演化实验、二次生烃等方面达到了国际先进水平（钟宁宁、陈恭洋，2002；李荣西，2000）；铀矿与油、气、煤由于分属于无机和有机矿床类型，因受传统研究思维的影响，它们之间的内在关系研究非常有限，但随着人们对铀富集成矿作用的深入研究，也已逐步认识到相互间的关系。如在铀矿形成中有机质及其产物是最常见和最重要的还原剂之一（张祖还，1984；Andreas, 1972；Charles, 1996；Meunier, 1990；Nakachima, 1984）。

盆地中有机（油、气、煤）与无机（铀矿、钾盐等）、金属和非金属、气体和液体与固体能源矿产共存甚至共生现象十分普遍，这种能源矿产同盆共存的现象必然存在内在的联系和直接或间接的依存关系。但是目前更多的还是对单一矿种的研究，彼此很少相互参照（杜乐天，2002）。对开展成因上的地球化学研究时，较多的仍偏重于用有机地球化学方法研究有机矿产（陈建渝、朱芒征，1999；李贤庆等，2002）、无机地球化学方法研究无机矿产

(朱西养等, 2002) 的手段。要解决目前有机与无机矿产割裂开来研究的现状, 揭示这些金属矿与非金属矿、无机矿和有机矿, 乃至液体、气体和固体矿床之间的关系及其赋存规律, 有效的途径是进行各类矿产间多种学科渗透、融合、交叉和综合研究, 并选取一个能够连接这些能源矿产的纽带和信息载体。通过对有机矿产研究中相对薄弱的无机地球化学的研究, 揭示有机矿产与无机矿产的关系, 通过有机能源矿产中无机组分的研究揭示有机能源矿产成藏(矿)的有关问题, 通过对选取的无机和有机能源矿产间纽带与信息载体的研究, 是认识能源矿产的成藏成矿规律, 揭示能源矿产的富集共存机制的有效手段之一(潘爱芳, 2005c)。

在无机地球化学研究中, 微量元素地球化学, 尤其是稀土元素地球化学, 近 20 年来得到了迅猛发展和广泛应用, 成为地球化学领域中的一个重要分支学科(赵振华, 1997)。目前, 微量元素地球化学已建立了比较完善的研究方法和理论体系(陈德潜、陈刚, 1990; 赵振华, 1997; [苏]多布罗沃利斯基, 1987), 其研究内容几乎涉及地球化学的所有领域(陈俊、王鹤年, 2004)。尤其是微量元素共生组合的研究对解决地质学方面许多重大问题具有重要意义, 如通过元素共生组合的研究, 可以揭示地质作用中各源区的特征, 及其后期地质作用中的各种地球化学行为(董申保, 1998)。目前, 微量元素地球化学研究虽然有了长足发展, 但利用元素地球化学方法开展对有机矿产尤其是石油和天然气成因的研究做得较少。事实上, 自然界的原油及围岩有机质中也广泛存在着以金属元素为主的微量元素, 它们与原油的成因, 成油母质、成油环境及油气演化过程等均有着密切的关系(刘小薇、程克明, 1995), 如据稀土总量可对原油进行分类, 用 Eu 异常值可判断源区沉积环境, 还可利用其轻、重稀土的分馏特征分析原油运移效应, 利用原油中微量元素分布规律, 进行原油分类、分析源岩沉积环境及岩性类型, 利用钒/镍比值来区分海相或陆相原油等(赵孟军等, 1996; 张景廉等, 1999)。再如, 对东营凹陷的一些油田水、原油及下第三系砂泥岩的研究发现, 重金属元素异常富集, 其质量分数大大超过了该地区背景值, 有些已经达到了可以开采利用的品位(金之钧等, 2002); 重质原油中微量金属元素含量与正常原油相比高几倍至几十倍(邓平, 1993)。此外, 金属矿产中也常常伴生有机烃类, 这些烃类对金属矿产的形成起着重要作用(朱西养等, 2004)。基于此, 近些年来通过有机烃异常开展对金属矿床的研究和通过对有机矿产中金属元素地球化学、元素同位素的研究逐步取得了一些进展(鲍征宇等, 1997; 陈远荣等, 2001; 郭占谦, 2003; 金之钧等, 2002; 张景廉等, 1997; 朱弟成等, 2003), 但通过元素地球化学方法对石油、天然气的研究, 尤其是利用元素组合特征对该方面的研究还刚刚起步。相对于石油天然气而言, 关于煤和铀矿的微量元素地球化学方面研究的较多(代世峰, 2002; 刘桂建等, 1999, 2001; 任德贻等, 1999a, 1999b; 孙占学, 2004; 唐修义等, 2004; 王运泉等, 1999; 杨殿忠、于漫, 2002; 赵瑞全, 1998; 张军营等, 1999; 张祖还, 1984; 庄新国等, 1999; 朱西养等, 2004; Ren Deyi *et al.*, 1999; Finkelman, 1993; Gluskoter *et al.*, 1977; Bouska, 1981; Valkovik, 1983; Swaine, 1990; Koglin, 1978; Meunier, 1989; Wood, 1996; Borovec, 1979; Charles, 1996; Meunier, 1990; Shanbhag, 1981), 但在方法上仍需进一步拓展与完善。

地球化学场是地球化学变量在各种尺度空间上的分布, 它与空间内分布的温度场、流体运动场及各种化学反应相互耦合、相互作用、互为因果(Levinson, 1976; Omaljev, 1987)。各类岩石、土壤、流体等作为地球化学场的介质, 是研究地球化学场的重要对象。通过研究这些介质, 可揭示地球化学场的各种规律及其与各种矿产之间的关系, 进而认识各种矿产的

成藏(矿)规律和地球化学机制(鲍征宇等, 1999)。因此, 开展地球化学场分布特征的研究成为揭示各类矿产成藏(矿)规律的一个重要方法和手段之一。在含油气盆地中, 有机地球化学场、无机地球化学场和水化学场的三位一体相互作用、相互促进, 构成了沉积地球化学场的成烃演化, 烃类的形成过程是应力场和地温场对有机和无机地球化学场复合作用的结果, 研究各种场之间的相互作用和对应关系成为今后油气形成演化理论研究的重要课题; 通过对有机地球化学场丰度、变化特征以及沉积成岩、成烃和影响成烃地球化学场变化等相关研究, 可解决有机能源矿产生成、演化以及空间分布特征等重要地球化学问题(刘文汇, 2000, 2001)。如一些专家对中国含油气盆地有机地球化学场总体趋势、变化的规律、烃气干湿度、地球化学场与地热梯度间的关系进行了研究(赵克斌、孙常青等, 2005; 汤玉平等, 2001)。然而在有机地球化学场研究中, 存在吸附烃容易受到污染而出现地球化学场稳定性差, 以及地球化学场的多解性等问题(黎绍杰, 1988), 而无机地球化学场是实现地质和地球化学问题互相转化的重要界面之一, 是地质地球化学作用的对象和空间载体(何厚强, 1997)。事实上, 成矿作用及其他各类地球化学过程都可理解为地球化学场空间结构随时间的演化, 系统研究区域地球化学场的结构特征和规律, 尤其是成矿体系地球化学场的结构特征, 对揭示区域地质背景、成矿环境和控矿因素具有重要作用, 且在多孔介质中, 地质流体输运(扩散、渗流、对流)—反应(溶解、沉淀、蚀变)的动力学过程是许多地球化学过程的共同特点, 无论是地幔对流、壳幔交换、岩浆活动、热液成矿作用还是表生及环境地球化学作用均在无机地球化学场特征中有所表征(於崇文等, 1998)。因此无机地球化学场的研究对矿产资源的勘察、评价与预测均具有重要的指导作用(龚庆杰等, 2002), 迫切需要探索和尝试采用无机地球化学开展油气成藏(矿)规律问题的研究。

二、能源矿产中沥青的地球化学研究

由于沥青中蕴藏着丰富的地质地球化学信息, 因而很早就被用作寻找油气藏的标志和研究油气藏的手段之一。早在 1837 年 Boussingault 就已经开始对沥青质组分的研究。沥青质的元素组成、化学官能团的丰度以及分子结构均与生成沥青质的生源物质特征有密切关系, 在结构上继承了其生源物质的某些特征, 故具有较明显的“原生”特点。研究沥青质中烃的类型、丰度、取代烷基的碳数和芳香度等结构参数, 可为沥青质的结构组成、生源物质的成分研究及母质分类提供依据, 结合目前使用的其他研究方法, 可获得沥青质进一步降解生烃能力和母质岩的信息(Dieckmann *et al.*; 曹寅, 1991)。

由于原始油源的不同, 形成的沥青的光学结构有所差异(Stasiuk, 1997), 原油形成时代不同, 沥青的反射率也有所不同(Curiale, 1986; Hwang, 1998), 所以, 认识沥青的反射率, 对油气藏的研究具有重要意义。早在 20 世纪 50 年代, Karweil 就建立了有机质成熟度、温度及地质时间三者的定量关系图解(Karweil, 1955), 为根据沥青受热史及其反射率推算其形成的地质时间奠定了基础。20 世纪 70 年代, 沥青反射率又被用作衡量油气藏成熟度的指标(P. Robert 1988), 且把沥青作为油气生成与运移的标志(刘德汉, 1982)。80 年代以来, 国内外学者对沥青做了较为深入的研究(陈中凯、金玺励, 1995; 贾荣芬等, 1994; 刘大锰等, 1999; 刘德汉、林茂福, 1983; 刘德汉, 1986; 尚慧云, 1990; 肖金凯, 1983; 张学玉、李国建, 1999; 钟宁宁、秦勇, 1998; 朱军等, 2004; Birger, 1997; Xiao *et al.*, 1996), 尤其是沥青本身结构的规整程度和热演化特征直接决定的反射率(R_o)值, 是标定碳酸盐有机质热演化程度的重要参数, 因此成为油气评价中的重要指标。但油气勘探

的实践表明, 由于在早些时候的研究中过分强调地质时间的作用, 使得模拟计算成熟度明显高于实际测出的成熟度 (肖贤明等, 2000b)。鉴于此, 国内的一些科学工作者对 Karweil 图解进行了适当修改, 使得模拟计算结果更接近实际情况 (肖贤明等, 2000a)。20 世纪 90 年代后期人们对反射率 (R_o) 的进一步研究认为, 无论把 R_o 用作演化指标, 还是用其推测油气生成及运移的地质时间, 都是基于有机质成熟度、温度及地质时间三者之间的定量关系来实现的 (高志农、陈远荫, 1998)。然而, 越来越多的研究显示, R_o 值不仅受控于温度和时间, 还会受到沥青成因类型的影响。但是目前, 对生油岩中沥青的成因尚有不同的认识, 仍有待于更加深入的研究。

在对沥青的进一步研究中, 一种具有特殊性质的原生一同层非均质结晶沥青引起了人们的重视 (高志农, 1999; 高志农、胡华中, 2002)。对煤、泥炭等样品的室内外研究后表明, 压力是控制盆地地层中有机质化学动力学行为的一个重要因素 (陈晓东、王先彬, 1999; 姜峰等, 1998a, 1998b), 且有机质成熟度在超压地层层系中的延缓作用 (Tavish, 1998)。Sajgo 等 (1986) 发现, 压力不仅可以抑制有机质的成熟, 而且还能够加速其演化。对此, Costa (1991) 采用 “Siton 模型”, 从理论上分析了上述结果的合理性。

目前对沥青的研究主要采用元素分析、热解分析、红外光谱、核磁共振, X 射线衍射、化学热解以及同位素、同位素系列研究等手段, 其中红外光谱分析可应用于不同沥青质的母质类型的判识 (Ganz and Kalkreuth, 1987; Dalal *et al.*, 1996)、成熟度演化状况 (Christy *et al.*, 1989; Li, 1993) 以及沥青质再生油、生气的潜力 (Christy *et al.*, 1989) 等方面的研究; 薄层色谱—氢火焰检测技术 (TLC-FID) 也是近年来应用于油藏地球化学研究的一项关键性技术 (张敏, 1995; Larter and Aplin, 1995; Karlsen and Larter, 1991), 并在沥青垫的发现和鉴定中扮演着重要角色 (张敏等, 1997)。

根据对沥青的研究, 探索沉积岩中有机质结构的方法也很多 (徐冠军等, 2003)。20 世纪 80 年代以来, 采用钨离子催化氧化 (简称 RICO) 技术研究煤、干酪根、油页岩、沥青质等大分子结构的方法得到广泛应用 (王子军等, 1997; Boucher *et al.*, 1991; Guo, 2000; Mojelsky *et al.*, 1992; Stock and Tsc, 1983)。Strausz 等 (1992) 和 Peng 等 (1999a, 1999b) 曾用这种方法研究了沥青质分子结构, 取得了重要成果; 对于生物降解程度不太高的原油, 可用其正构烷烃单体碳同位素组成进行油/油对比和母质来源等问题的研究 (Bakel *et al.*, 1993)。由于原油中沥青质的化学组成基本上不受生物降解作用的影响 (Rubinstein and strausz, 1977; Rubinstein *et al.*, 1979), 因此, 沥青质热解用于生物降解原油的油/油、油/源岩对比。早期对沥青质的研究主要集中于热解分析 (Rubinstein *et al.*, 1979; Behar *et al.*, 1983), 尽管这些研究结果表明热解产物的地球化学特征与原油相似, 但热解分析毕竟是一个间接的方法, 且热解产物也受热解温度等因素的影响。为了获得纯净的沥青质, 近些年来许多科学工作者常常首先对沥青质进行清洗, 然后着重对沥青本身进行研究 (Jones *et al.*, 1988; Philp *et al.*, 1987), 然而对清洗出来的产物研究的又较少。实际上, 对于被沥青质吸附的初始油气组分的研究具有特殊意义, 对这些初始油气组分的研究开始受到重视 (潘长春、肖中尧, 1997)。

沥青质重组分抗后生变化能力强, 是评价高演化碳酸盐烃源岩及辨别沥青成因的重要组成。其分析研究是当今有机地球化学研究的一个技术难点和学术热点, 且对分析技术要求较高。实践表明, 高效液相色谱 (HPLC)、SFC、热解色谱等技术与质谱、红外光谱的联用是沥青质最有前途的有效检测手段 (Hsu *et al.*, 1994; Sheu *et al.*, 1992; Serio and Bassi-

lakis, 1996)。此外, 同位素地球化学还给出了沥青的生成时代和运移、沉淀的时代, 揭示了这些同位素年龄与地质构造事件的一致性。尤其是同位素体系的研究可较准确地确定烃源岩与油气的关系及原油生成和运移的年龄, 并进而讨论原油的成因与演化, 因而成为现今沥青研究中的重要手段之一。

目前对煤中渗出沥青体的研究还存在许多不同的认识 (Su *et al.*, 1998), 20 世纪 70 年代认为渗出沥青体是亚烟煤和高挥发分烟煤阶段 (第一次煤化作用跃变), 是稳定组/镜质组释放出来的一种渗出物; 80 年代初认为渗出沥青体是有机质 (包括煤) 进入成熟阶段的产物, 它的出现标志着液态石油的形成及可能的多次运移; 80 年代后期百色褐煤中渗出沥青体的现象, 成为低温条件下由树脂体形成未成熟石油的直接证据。目前也有人认为, 沥青可看成是干酪根的碎块, 是干酪根成烃的中间产物, 因此对沥青研究有助于了解煤成烃的过程和性质, 为煤系油气勘探提供新的信息 (Strausz *et al.*, 1999)。

一般认为, 沥青质分子中含有一个或多个稠合芳环体系, 环以及环与环之间连接有丰富的取代基, 主要是甲基、短的脂肪链和一些环烷烃 (Ignasiak *et al.*, 1977; Mansoori, 1997; Sarret *et al.*, 1999; Speight, 1996)。这些取代基主要为 O、N 和 S 等, 它们在沥青质分子骨架中连结着丰富的脂肪族的侧链或支链 (Calemma *et al.*, 1998; Strausz *et al.*, 1999)。因此沥青的显微组分、富含 O、N、S 等原子的化合物、低熟烃源岩可溶有机质中的非烃和沥青质等, 是生成低熟油气的重要母质 (Acevedo *et al.*, 1997); 沥青质分子中含有 4~10 个稠合芳核体系 (Bergmann *et al.*, 2000; Calemma *et al.*, 1998; Strausz *et al.*, 1999), 芳环上连有丰富的脂肪性结构单元, 支链结构可以从较短的 $C_1 \sim C_4$ 到长链单元 C_{40} 。这些支链结构在空间里可能发生卷曲、盘绕, 在沥青质分子骨架中形成一些“笼”形结构 (Acevedo *et al.*, 1997; Murgich *et al.*, 1999; Mujica *et al.*, 2000; Schabron and Speight, 1998), 这种结构特征使得沥青质分子可以较好地吸附、包裹一些以烃类为主的其他组分。由于得到了沥青质分子骨架的有效保护, 这些被吸附、包裹的组分所遭受的油藏后期地球化学演化作用的改造较少, 被认为是具有原生性的成分 (Behar *et al.*, 1983; Ekweozor, 1984, 1986), 所以, 这些物质含有重要的有机地球化学信息, 在油/油对比、油/源对比、油藏有机质沉积环境以及油藏的次生改造、煤成油、沥青铀矿等方面的研究中通常可以获得较好的地质信息。

研究表明, 沥青的元素组成主要是 C、H, 少量 O、N、S 及金属等 (曹寅, 1991), 沥青族组分常由饱和烃、芳烃、沥青质、非烃等组成 (杜佰伟等, 2003)。通过这些组分的研究可以判断这些沥青是否经过了氧化、水解和生物降解、稠变等作用。根据轻组分是否大量散失以及各种组分的比例等指标, 可判断沥青的成熟度从而研究与之相伴生能源矿产的演化进程。

近年来对地质体中沥青的分类尚未统一, 综合起来, 主要包括五种: ①一种是传统的成因派分类, 主要代表有 Rogers、Jacob 以及 Durand 等 (Durand, 1980; Jacob, 1989; Rogers, 1974)。其中以 Rogers 的分类影响最大, 大部分分类术语沿用至今, 他将沥青划分为四种成因类型, 即储层沥青、石墨沥青、地沥青及油母沥青 (Rogers, 1974); ②第二种观点考虑了沥青形成与油气生成的关系, 将沥青分成前油沥青与后油沥青 (金奎励、陈中凯, 1991); ③第三种观点主要依据沥青产出的地质特点将沥青划分为原生一同层沥青、后生一储层沥青、岩浆热变质沥青和表生一浅层氧化沥青四大类 (傅家谟, 1989); ④20 世纪 90 年代初, 肖贤明等在对前人分类总结的基础上, 提出将我国烃源岩中的沥青划分为三类六型 (肖贤明

等, 1991); ⑤20 世纪 90 年代中期, 刘大锰等 (1996) 在研究塔里木盆地地下古生界烃源岩沥青光性特征基础上, 识别出藻类型沥青和动物型沥青并结合热模拟实验结果, 探讨了现代蓝藻及虾姑形成沥青的机理, 并建立了形成模式。

随着石油资源的不断减少和新的分析检测技术和研究手段的不断涌现, 人们越来越多地认识到对沥青的相关研究具有重要的地球化学意义, 因此促进了该领域的极大发展。在国内, “六五”、“七五”、“八五”期间实施的中国南方海相地层油气勘探等国家重点科技攻关项目中, 沥青在油气勘探中的意义受到普遍重视 (傅家谟等, 1989; 刘洛夫等, 2001; 徐克定等, 1993; 徐伟民, 1991; 应维华, 1991)。其后对四川盆地 (黄籍中、冉隆辉, 1989; 林峰等, 1998; 王一刚等, 1996; 叶军等, 1999)、准噶尔盆地 (王屿涛, 1994; 张景廉等, 1997; Parnell *et al.*, 1994)、塔里木盆地 (郭汝泰, 2002; 刘洛夫等, 2001; 杨斌、陈克迅, 1989; 叶德胜、刘树辉, 1991; 张景廉等, 1998) 中的沥青均进行了专门研究。尤其是 20 世纪 90 年代后期, 围绕浙西康山沥青脉的讨论使得对沥青的研究再度成为“热点” (王守德等, 1997; 吴士清、冯加良, 1997; 支家生, 1997; 周坤、冯思源, 1997)。但是, 目前对沥青的研究大多用于油气, 在对煤的研究中很少涉及, 而对铀矿的研究则更少。因此, 对沥青在能源矿产勘探开发研究中的应用还十分有限, 尤其是通过对沥青的微量元素特征研究能源矿产及其共存关系还没有开展。

三、能源矿产相关的深部流体地球化学研究

深部流体及其与成藏成矿关系的研究目前国内外已取得一些重要进展。许多大一超大型金属、非金属、油气矿床和成矿聚集区形成过程中, 深部流体都起到了重要作用, 且在国内有许多矿藏 (床) 实例 (曹荣龙等, 1995; 胡瑞忠等, 1993; 牛树银等, 1996; 毛景文等, 2000; 孙丰月等, 1995; 朱上庆等, 2000; Groves, 1993; Ledair, 1993; Mitchell *et al.*, 1981)。如, 日本一些富 CH_4 气井以及美国新墨西哥州一口 CO_2 气井的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的研究表明, 其气体中显示有幔源成因组分 (Kutina, 1994; Wakita, 1983); Sugisaki 等 (1994) 对采自世界 55 个地区的岩石样品的分析表明, 在一些幔源岩石包裹体中都含有重烃以及姥鲛烷和植烷等异戊间二烯化合物。虽然目前对地幔烃的形成机制尚存在有机或无机两种截然不同的观点, 但地幔岩石中普遍存在烃类已为许多研究所证实 (Price, 1993; Domine, 1991)。对现代海水热流体活动和大陆热泉的调查发现, 现代海底和大陆热水活动区不但有金属矿化, 还见有以高含多核芳香烃为特征的热液石油, 且在红海海槽、Escanaba 海槽、Guaymas 盆地、Juan de Fuca Ridge、Wakamiko 海底火山口、黄石公园、坦喀尼克湖、Waiyapu 地热区、Uzon 火山口等地, 均发现了金属和石油、天然气等有共存现象 (Bazhenova *et al.*, 1998; Clifton *et al.*, 1990; Czochanska *et al.*, 1986; Kvenvolden *et al.*, 1986; Simoneit, 1985; Tiercelin *et al.*, 1989)。最近, 中国大陆科学钻探工程钻从 476m 开始, 发现了甲烷、乙烷、丙烷和丁烷等烃类气体、氦气、二氧化碳、一氧化碳气体及氮气、氩气的异常, 并且在 1000m 前后流体异常的元素组合存在明显差异。根据其流体各组分的相关性研究, 证实其中一部分来源于深部, 而出现深部流体异常处的岩石中存在裂隙、晶洞、破裂面、断层, 构成流体迁移的通道和存储空间 (许志琴, 2004; 罗立强等, 2004)。

大量证据表明, 不同时代的地壳运动、不同形式的构造运动中、在岩石圈的不同圈层内均有大量的流体作用, 并由此产生各种矿化和变质现象等 (杨金中, 1998)。深部流体是促使成藏成矿作用的直接动力和物质来源 (杜乐天、戎嘉树, 1996; 刘建明等, 1998), 这与

下地壳拆沉作用所造成的壳幔物质再循环不无关系(高山, 1998)。其中油气的生成、运移和聚集都会受到深部流体的影响, 在有壳内高导层的盆地中, 深部流体可向上地壳中的生油和储油层提供大量的热流体, 并产生高压流体, 对油气运移起到主导作用(徐常芳, 2003)。研究表明, 深部流体在油气成藏中具有重要意义(金之钧等, 2002; 高波等, 2001), 其所携带的大量的热有助于提高有机质成熟度, 加快有机质生烃; 携带的各种元素可能成为烃源岩生烃的催化剂; 所具有的强溶解和强扩散能力, 会在上升过程中萃取、富集沉积物中的分散有机质, 为油气的形成补充物源; 在上升过程中与围岩、储层发生的化学反应, 可改善储层的孔渗条件, 有利于油气的聚集成藏; 所具有的较高压力和含水量, 可抑制烃类的热裂解而有利于油气的保存, 这种较高的压力还可以形成自身压力破裂, 有利于油气向浅部运移等。总之, 深部流体具有的特殊物质组成和物理化学特性, 使得其对地球形成、发展和演化以及成藏成矿作用发挥极为重要的作用(曹荣龙, 1996; 李明诚, 1995; 谢鸿森, 1997; 张铭杰等, 2000; Navon *et al.*, 1988; Simoneit, 1990, 1995; Sugisaki and Mimura, 1995)。

近年来, 有关我国沉积盆地中深部流体活动的研究成果已有大量报道, 人们越来越多地发现深部流体参与成藏成矿的证据。如在济阳坳陷、莺一琼盆地、三水盆地、四川威远、塔里木盆地、松辽盆地, 乃至东海的某些钻井内, 都已证实有深部来源的烃类气体和非烃气藏, 并有金、铀等金属矿产和煤、盐等非金属矿产与其伴生(陈荫祥, 1995; 崔永强等, 2001; 郭占谦等, 2000; 侯启军等, 2002; 李慧莉等, 2003; 孙永传等, 1995; 王嗣敏等, 2004; 杨雷、金之钧, 2001, 2002; 岳伏生, 2003; 云金表, 2003; 张景廉等, 2001; 曾溅辉, 2000; 郑乐平等, 1995)。我国东部地区地许多含油气盆地分布于深断裂带两侧, 其形成和演化与断裂有一定关系(赫英等, 2002; 朱炎铭等, 2001)。其中松辽盆地的一些气藏甚至存在无机成因烷烃等气藏(郭占谦等, 2000), 深反射地震资料显示, 松辽盆地地壳中存在的“网状”结构以及部分深大断裂成为其形成无机成因气的构造条件, 其气源是地球深部物质不同圈层内发育的流体(云金表, 2003; 侯启军等, 2002); 辽河油田原油的微量元素、干酪根 Pb、Sr 同位素等研究表明, 部分原油源区为亏损型地幔(张景廉等, 1999)。东营凹陷盆地存在幔源富二氧化碳流体的活动, 同时也存在幔源富氢流体的活动, 深部热流体不但在能量上, 而且在物质上都对油气藏的形成产生了重要的影响(曾溅辉, 2000; 金之钧, 2002)。在济阳坳陷沿高青—平南断裂带存在无机成因的 CO₂ 气藏, 且天然气藏分布区同时也是岩浆岩发育区(戴金星, 1995; 戴春森, 1994, 1996; 岳伏生等, 2003; 郑乐平等, 1997), 黄骅坳陷含油储层包裹体中发现孔西潜山带孔古 3 井和孔古 7 井储层包裹体中均不同程度地具有幔源氦的介入(张晓宝等, 2003), 苏北盆地部分油气藏(井)中 He 的研究表明具幔源氦的同位素组成特征(陶明信等, 1997); 研究发现, 渤海湾盆地存在高温流体包裹体, 表明该区地下存在高温热流体活动(孟元林等, 2003)。

众所周知, 金是地幔成因的, 赫英等(2001)研究发现, 胜利油田部分原油中金的含量极高, 其油渣中的金可达工业品位, 其气藏区的岩石中金含量大部分在 $(0.20 \sim 0.92) \times 10^{-6}$ 之间, 非气藏区的岩石金含量在 $(1.2 \sim 5.5) \times 10^{-9}$ 之间, 认为富集地幔岩浆去气是其形成的主要机制; 张景廉(2001)研究发现, 该区第三系赋油沉积岩地温在 100℃ 左右, 这个温度不足以使金与有机化合物络合, 因此认为这些金与富烃、富碱、富金的地幔热流体同源; 对胜利油田火山岩中的流体包裹体研究表明该区二氧化碳气藏的形成与新生代富含 CO₂ 的碱性橄榄玄武岩浆有关(赫英, 2001); 胜利油田还在太古界片麻岩地层中发现了高产油气流(朱桂清, 2003)。

很多学者注意到含油气盆地及其外围有深部流体活动,并可形成一系列矿产,认为较高的温度、高盐度、较强还原性的水体有利于烃类的成熟和演化,并溶入到成矿热液中(庄汉平、卢家烂,1996)。在盆地演化的不同阶段、盆地内外不同部位可找寻不同类型石油、天然气和处于油气田上方及外围的铀矿床以及其他金属矿产(李怀渊等,2000)。

正是由于深部流体在油气成藏(矿)过程中的积极作用,关于石油和天然气的成因问题在国内外产生了有机和无机的讨论(郭占谦等,1994;郭占谦,2003;赫英,1999;王先彬,1982;张景廉等,1997;Gold *et al.*, 1980; Sherwood *et al.*, 2002)。我国自80年代以来,相继有一大批学者大力提倡并致力于无机成因油气的研究(陈荫祥,1985;陈沪生,1998;符晓,1988;罗志立,1992;毛景文等2001;徐永昌,1996;张恺,1995,1997;张子枢,1992),20世纪80年代以来,在世界范围内众多的含油气盆地之中,相继发现了深部流体的活动,为进一步探讨油气成因奠定了基础(Navon, *et al.*, 1988; Horita, Berndt, 1999; 张铭杰等,2000)。虽然因地球深部的去气作用而沿断裂上升的深部热流体在油气形成中的重要作用已逐渐为人们所认识,但迄今为止,除了非烃气外,国内外所发现的完全由地球深部热流体形成的油气藏毕竟还是少数,因此,有些学者认为,地球深部热流体对油气形成的贡献,可能还需要通过其与地壳浅部流体发生混合与交换作用来实现(赫英等,2002;岳伏生等,2003;朱炎铭等,2001)。由此可见,深部流体成藏成矿作用研究目前在国内外已经取得很大进展,不再局限于金属和无机矿产的研究,目前已波及到有机矿产,尤其是油气成藏过程中深部流体的作用与贡献的研究。

四、鄂尔多斯盆地能源矿产地球化学研究

前人对鄂尔多斯盆地油气矿产的研究主要集中在有机地球化学和同位素方面。如基于传统的油气地球化学角度研究了鄂尔多斯盆地部分地区的区域地球化学特征(王凤国,2003;孙长青等,2003);从有机质丰度、可溶有机质族组成及其生物标志化合物特征,研究了盆地中西部马家沟组浅水碳酸盐沉积体系(陈建平等,2003);通过分析苏里格庙地区盒8段储集层中有机包裹体的丰度、储集层的热解特征等研究了该储层的古含气边界的变化及天然气的保存条件(黄志龙等,2004);以下古生界奥陶系烃源岩为主要研究对象,利用地球动力学—地球化学结合法反演恢复了下古生界奥陶系烃源岩热流演化史(叶加仁等,1997);根据天然气组分中的C、H、He、Ar同位素特征研究了盆地中部天然气田混源的地球化学特征与标志(李贤庆等,2003);对盆地地下奥陶统马家沟组碳酸盐岩的各种沉积环境的有机相特征进行了研究(夏新宇等,1999);研究了盆地中部奥陶系马家沟组水溶烃的分子地球化学特征(李贤庆等,2002);提出了微量元素、稳定同位素和有机质等判识油源层缺氧环境的地球化学指标(腾格尔等,2004)等。除以上之外,从元素地球化学入手,结合岩石、古生态特征,研究了奥陶系元素地球化学与沉积环境、烃源岩分布及海底热流体活动的关系(席胜利等,2004),同时还研究了盆地中部气田下古生界的水化学特征,并初步提出了天然气藏富集区(或含气区)的水化学综合判识指标(李贤庆等,2002)等。对鄂尔多斯盆地煤地球化学研究则主要集中于对煤中微量元素含量及迁移富集特征的研究(卢新卫等,2003;宋党育等,2003;庄新国等,1999;陈冰如等、窦廷焕等,1998;钱丽君等,1987;曾凡桂,2000;解光新,2003)。近年来对鄂尔多斯盆地可地浸砂岩型铀矿逐步开展了一些地球化学研究,如朱西养等(2002,2003)研究了东胜地区砂岩型铀矿的微量元素地球化学特征;张如良(2004)研究表明,鄂尔多斯深盆气与铀矿化有密切关系;潘爱芳等(2004,

2005a, 2005b) 从含油气盆地地表元素地球化学场入手, 研究了铀与其他能源矿产的分布与赋存特征及其相互关系。由此可见, 鄂尔多斯盆地能源矿产的地表元素地球化学研究几乎为空白, 能源及其相关流体中的元素地球化学问题研究除了煤和沥青之外也涉及得非常少。

前人对鄂尔多斯盆地沥青的地球化学特征研究主要集中于对氯仿沥青“A”和C的相互关系、含量、转化率, 以及沥青的判识和赋存形式等方面的研究(文志刚、张爱云, 1997; 谢增业等, 2002; 吴征等, 1999; 李景贵等, 1998; 文志刚, 1997; 魏东岩等, 2000), 且研究程度很低, 大多数集中在油气方面, 对沥青元素地球化学的研究涉及较少。并未涉及到对煤、铀中伴生沥青的研究。事实上, 沥青同时存在于这些能源矿产及其围岩之中, 其生成、演化与能源矿产的成藏成矿具有密切关系, 因此, 沥青成为提取各种能源矿产生成、演化、运移、富集成矿的重要信息来源之一。把沥青作为主要研究对象, 并从沥青自身的地球化学特征研究入手, 认识鄂尔多斯能源矿产的成藏成矿规律, 揭示能源矿产的富集共存机制具有十分重要的意义(潘爱芳, 2005c)。

对于相对稳定的鄂尔多斯盆地而言, 盆地内是否存在深部流体活动并参与成藏(矿)也是众多专家学者争论的热点。赵文智等(2003)认为, 在鄂尔多斯盆地占主要地位的三叠系、侏罗系油田主要分布在陇东—志靖和安塞这一宽近千米、长300余千米的北东向带状区域内, 这与北东向基底断裂在中生代的隐性活动有关, 其产生的裂隙和断层, 为深部热流体运移提供通道, 因此也不能排除有深部物质的带入, 并在油气藏形成与演化中发挥的重要作用。梁恕信等(1993)、朱西养等(2002)研究表明, 盆地北部东胜砂岩铀矿的微量元素地球化学特征研究显示该矿床具外生和深源双重性质的组合, 深部热流体在铀成藏成矿中具有重要作用。谢增业等(2002)对盆地内陕参1井、陕53井的沥青特征研究后认为, 这些沥青来源于深部。最近, 万丛礼等(2004)研究认为, 中生代晚期深大断裂的强烈活动导致深部流体上涌促进了鄂尔多斯上古生界天然气藏的形成和演化。

当然, 许多业内人士对鄂尔多斯盆地是否存在深部流体持怀疑态度, 且认为鄂尔多斯盆地油气藏中没有或不具备存在深部流体成分的条件, 主要受以下因素制约: ①盆地构造稳定, 断裂主要集中在周缘, 而且以挤压性质为主, 不利于幔源气的上涌; ②中生代晚期以来构造活动和热事件较弱, 岩浆活动停息, 不利于无机成因气的发育; ③天然气甲烷的碳同位素系列中, 虽然有部分倒转, 实际上是煤系不同源气或同源不同期煤成气的混合结果; ④部分二氧化碳气藏虽然具有无机成因, 也只是碳酸盐岩水解或者酸溶作用的结果; ⑤对盆地中氦的分析结果表明主要为壳源成因(戴金星, 1990; 戴春森等, 1996; 丁巍伟、侯路, 2005; 孙明良等, 1993; 夏新宇, 2000; 张水昌, 1994)。

事实上, 有一些间接证据反映了鄂尔多斯盆地存在深部流体活动。例如, 对盆地中新世代晚期古地温恢复表明, 其古地温梯度、古大地热流值远高于现今值, 表明存在一期分布广、活性强的构造热事件和热流体活动(任战利, 1999); 盆地地表元素地球化学特征反映有深部流体活动信息(潘爱芳, 2005a, 2005b); 盆地壳内普遍存在相对稳定的壳内高导层(梁恕信, 1989; 马杏垣等, 1991; 屈健鹏, 1998; 赵国泽, 2004); 盆地内部与其周缘相比地震活动虽然相对较弱, 但5级以上的地震仍时有发生(江娃利等, 2000; 国家地震局兰州地震研究所, 1985), 反映了断裂的现代活动; 盆地中部的定边—绥德东西向基底断裂至今仍在活动, 甘肃庆阳县城附近、宁县以东等地发现白垩系有对冲、甚至掩冲在第四系黄土之中的现象等都反映了盆地内强烈的喜马拉雅构造运动(王庭斌, 2004; 邸领军等, 2003)。由此可见, 虽然从鄂尔多斯盆地已有的地质地球化学研究的一些成果发现盆地存在

深部流体活动的迹象,但盆地深部流体活动相关的研究还十分有限,且有关盆地内是否有深部流体活动还存在很大的争议,也是一个亟待加强研究的课题。

第二节 科学问题及研究意义

在充分学习和分析国内外含油气盆地地球化学研究现状和进展的基础上发现,包括鄂尔多斯盆地在内的国内外含油气盆地当前亟待解决的科学问题主要集中在以下五个方面。

(1) 系统研究区域元素地球化学场的结构特征和规律,对揭示含油气盆地地质背景、成藏(矿)环境和控藏(矿)因素具有重要作用,且通过元素地球化学场的研究对能源矿产资源的勘察、评价与预测均具有重要的指导作用,因此,迫切需要探索和尝试采用元素(或无机)地球化学开展油气成藏(矿)规律问题的研究。显然,以鄂尔多斯盆地为研究对象,揭示区域元素地球化学场与多种能源矿产同盆共存富集、成藏(矿)及其分布规律,对丰富能源矿产研究理论、拓展能源矿产研究方法均具有重要意义。

(2) 由于能源矿产的形成是有机地球化学和无机地球化学共同作用的产物,因此,仅局限于用有机地球化学理论去研究有机矿产、无机地球化学理论去研究无机矿产,远远不能全面解决能源矿产成藏(矿)中的各种问题,迫切需要通过多种学科交叉的研究,才能使得一些问题得到逐步解决。因此开展能源矿产及其伴生流体中的元素地球化学研究,不仅对促进最终解决诸如多种能源同盆共存机制等问题具有重要意义,而且能对利用无机地球化学理论研究有机矿产尤其是油气藏的成因机制提供范例。

(3) 与国内外许多含油气盆地一样,鄂尔多斯盆地具有油、气、煤、铀等有机能源矿产和无机能源矿产同盆共存的现象,但是它们之间有无成因联系是亟待解决的重要科学问题之一。沥青同时存在于这些能源矿产及其围岩之中,如把沥青作为主要研究对象,并从研究沥青的元素地球化学特征入手,有利于该问题的解决,这对最终揭示能源矿产间的关系具有重要的意义。

(4) 油气成藏成矿过程中深部流体的作用与贡献虽然已逐步受到重视,但是鄂尔多斯盆地是否存在深部流体活动,以及深部流体是否参与了能源矿产成藏(矿)作用却是一个非常具有争议的问题,因此,确定鄂尔多斯盆地究竟有无深部流体活动本身就是一个具有重要研究价值的科学问题。从方法上讲,通过流体中的元素地球化学特征及其行为的研究,对揭示深部流体在能源矿产成藏成矿中的作用、丰富鄂尔多斯盆地成藏(矿)研究理论具有重要意义。

(5) 成藏(矿)理论及其规律的研究,其最终目的是指导找藏(矿)实践、解决能源矿产勘探开发中的实际问题。而能源矿产成藏(矿)预测标志的总结和建立是能源矿产成藏(矿)理论研究的最终目的,因此,总结和建立鄂尔多斯盆地能源矿产成藏(矿)预测标志具有重要的现实意义。

鄂尔多斯盆地主体地区跨越陕西、甘肃、宁夏、内蒙古四省区,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,是陕西乃至我国的重要能源基地。盆地内石油、天然气资源量丰富,且石油当量在全国诸含油气盆地中名列第3,仅次于松辽盆地和渤海湾盆地,同时盆地内的煤炭资源也极为丰富,位居全国诸含煤盆地之首,占全国煤炭资源总量的37%。近年在盆地内又多处发现可地浸砂岩型铀矿,尤其在盆地北部发现了低成本特大型砂岩型铀矿床,使得该盆地同时还成为铀矿床的有利勘探开发区。如此大规模的、多矿种的能源矿产同盆共存,完全用传统的成矿理