



国家重点基础研究发展计划

中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测丛书

金之钧 王清晨 主编

深部流体活动及 油气成藏效应

金之钧 胡文瑄 张刘平 陶明信 等著



科学出版社
www.sciencep.com

中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测丛书

金之钧 王清晨 主编

深部流体活动及油气成藏效应

金之钧 胡文瑄 张刘平 陶明信 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书选取深部流体活动较强的渤海盆地济阳拗陷和塔里木盆地塔中隆起作为典型实例,进行系统的地质学、地球物理和地球化学以及模拟实验综合研究,探讨深部流体(含幔源流体)活动特点及规律,重点揭示深部流体(含幔源流体)与浅部流体相互作用的过程及其对油气成藏条件和成藏过程的影响,确定深部流体作用下油气成藏效应和成藏机理,建立深部流体参与下的油气成藏模式。

本书可供从事石油地质研究,特别是油气成藏研究的专家学者;地质流体及相关作用机制研究的专家学者;大专院校高年级学生,特别是研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

深部流体活动及油气成藏效应/金之钧,胡文瑄,张刘平,陶明信等著.
—北京:科学出版社,2007

(中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测丛书/金之钧,王清晨主编)

ISBN 978-7-03-018837-3

I. 深… II. ①金…②胡…③张…④陶… III. 地幔涌流-作用-含油气盆地-油气藏-形成-研究 IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第049971号

责任编辑:谢洪源等/责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2007年3月第一次印刷 印张:10 3/4 插页:4

印数:1—1 200

字数:222 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国典型叠合盆地油气形成富集 与分布预测丛书》编辑委员会

编辑顾问委员会

主 任：刘光鼎 翟光明

委 员：(以姓氏笔画为序)

马宗晋	王乃举	王铁冠
贝 丰	方朝亮	朱日祥
李任伟	李思田	汪集旻
张一伟	范蔚茗	罗治斌
傅家谟	戴金星	

编辑委员会

主 任：金之钧 王清晨

委 员：(以姓氏笔画为序)

王良书	吕修祥	刘树根
汤良杰	纪友亮	李 忠
杨长春	张水昌	陈践发
林畅松	罗晓容	庞雄奇
郑天愉	赵俊猛	钟宁宁
耿安松	贾承造	顾家裕
彭平安		

主 编：金之钧 王清晨

《深部流体活动及油气成藏效应》 参加编写人员名单

金之钧 胡文瑄 张刘平 陶明信

丛书序一

随着国民经济建设的迅速发展,1993年国内油气资源开始供不应求,进口原油3000万t,中国再次成为石油净进口国。这一缺口在继续扩大,到2010年将达到1.2亿t以上。面对这种严峻的形势,我们的对策是什么?

半个世纪以来,中国石油天然气工业从小到大,得到高速的发展,这一巨大成就主要是在新生代陆相碎屑岩沉积盆地中取得的。应当看到,自元古宙晚期以来,中国大陆由大海分割开来的数个块体(如华北、扬子和塔里木)逐渐扩大而发育成为相对稳定的台地,并在古生代末海水退出后形成中国大陆的雏形。在海水退出之前,块体之间的海底形成碳酸盐岩台地,具有比河湖优越得多的生油条件和广阔得多的容纳空间。因此,中国在中、古生代甚至中、新元古代的海相碳酸盐岩地区还应该存在丰富的石油和天然气资源。

国家重点基础研究发展规划项目“中国叠合盆地油气形成富集与分布预测”(编号:G19990433)正是抓住了这一关键,提出了在“叠合盆地”中寻找油气勘探战略接替区的理念。他们把中国大陆上“经历了多期构造变革、由多个原型盆地经多方位叠加复合而形成的、具有复杂结构的盆地”称为叠合盆地,把叠合盆地油气形成富集与分布规律作为急需解决的重大科学问题,并以叠合盆地形成演化过程与成烃-成藏过程为主线开展了研究。五年来,该项目进行了野外施工、考察,室内分析、化验和模拟实验,完成了巨大工作量,获得了丰富的第一手资料,全面完成了研究计划,实现了项目的预期目标。

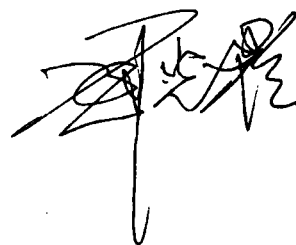
该项目发展和完善了用于叠合盆地油气分析与预测的四项技术,建立了确定碳酸盐岩烃源岩有机质丰度下限的新标准,最终取得了五项创新性成果,对我国早古生代碳酸盐岩层系含油气远景评价提供了理论依据和分析技术,在油气勘探中具有良好的推广前景和指导意义,并据之初步遴选了我国油气战略远景区;发展和完善了叠合盆地油气形成与分布理论,具有重要的科学价值,其总体研究水平居国际先进行列。

值得指出的是,该项目的两位首席科学家金之钧教授和王清晨研究员自始至终发挥了学术带头人的作用,并在项目组织和管理中同心同德、密切合作,为该项目的成功实施付出了艰苦的卓有成效的努力。

此套丛书的出版是对该项目研究成果的一个比较全面的总结,希望此丛书所阐述的叠合盆地油气形成分布理论与分析预测技术在我国叠合盆地的油气勘探实践中发挥更大的作用。值此丛书出版之际我再次呼吁,一定要高度重视前新生代海相残留盆地,这是中国油气勘探二次创业的主要方向。最近探明的轮南-塔河大油田和普光大气田都是典型的前新生代海相层系油气田,显示出我国前新生代海相层系具有良好的勘探前景和巨

大的潜力。

任重而道远，我们当努力探索！

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

2006. 9. 25

丛书序二

油气短缺已成为制约我国国民经济持续稳定发展的瓶颈。研究表明,我国剩余油气资源 80% 以上都集中在叠合盆地内。叠合盆地的共性可概括为:“多期成盆、多期改造、多套烃源岩、多次生排烃、多期运聚散”,其地质过程和油气成藏动力学过程十分复杂。正因如此,尽管我国剩余油气资源潜力大,但勘探难度也大。

金之钧教授和王清晨研究员两位首席科学家敏锐洞察到具有中国地域特色的叠合盆地的特殊性,依托中国石油天然气集团公司和中国科学院,成功组织实施了《中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测》国家 973 计划项目。该项目针对叠合盆地的特殊性,凝练出三个科学问题作为主攻方向,即:①关键构造变革时期的盆山耦合关系与叠合盆地的形成和改造;②多套烃源岩的发育环境与生排烃机理和效率;③多期油气聚散的过程、机理与油气的形成演化规律。围绕这些科学问题,该项目选择塔里木和渤海湾两个叠合盆地作为重点研究地区,以叠合盆地形成演化过程与成烃-成藏过程为主线统领各项研究工作。

经过项目首席科学家、专家组、顾问组以及 100 多名项目组成员 5 年共同努力,项目顺利通过了国家科技部组织的专家组的验收,并获得优秀评价。其创新性成果集中体现在以下 5 个方面。

(1) 库车盆地-天山中、新生代盆-山耦合与油气成藏:揭示出库车盆地-天山盆山系统的深部结构为塔里木板块向北俯冲,浅部变形受重力扩展机制控制的新认识,建立了盆地内部褶皱带挤压环境下盐相关构造变形的地质模型,阐明了东西向构造分段性控制着烃源岩形成与分布规律,建立了储层与盖层的分布受盐相关构造控制的油气预测模型。

(2) 叠合盆地碳酸盐岩烃源岩分级评价及优质烃源岩分布预测模型:首次基于大规模试验和数值模拟,明确提出碳酸盐岩作为烃源岩的有机质丰度下限为 $\text{TOC}=0.5\%$,建立了碳酸盐岩油、气源岩分级评价方法和指标体系,提出了中国叠合盆地海相烃源岩的四种分布预测模式和两种非烃源岩发育模式。

(3) 典型叠合盆地油气成藏机理与成藏模式研究:强调有机-无机、深部流体-浅部流体相互作用,论证了深部流体活动以物质交换与能量交换两种形式参与了油气成藏过程,建立了活塞式、指进式和优势路径式三种油气运移模式,并提出了幕式与事件型流体流动两种驱动机制和五种成藏模式。

(4) 塔里木盆地多期混源油气判识与分布预测:发展了多期油气成藏定年技术,建立了油气成藏期综合判识方法体系,提出轮南可动油主要来自中上奥陶统的新认识,厘定了克拉 2 气藏精细成藏过程,指出了叠合不整合对古岩溶的控制作用,并指出生物礁应成为塔里木盆地勘探新领域。

(5) 渤海湾盆地构造演化与隐蔽油气藏分布预测:提出了深部隐藏油气藏成因类型和探测技术,建立了以叠前高精度成像为主体的地震资料精细处理技术和以边缘检测为

主体的裂隙储层地球物理探测技术，建立了以成藏体系为单元的油气聚散定量模型，提出了以门限控烃理论为基础的隐蔽油气资源评价新方法，并成功地应用到油气勘探实践。

尤其难能可贵的是在项目执行过程中，金之钧教授和王清晨研究员两位首席科学家和项目组研究人员在解决叠合盆地油气形成富集重大基础理论问题的同时，立足国家重大需求、紧密结合生产实践，为全国新一轮油气资源评价提供了极有价值的参数；发展和完善了叠合盆地构造解析与层序地层学分析方法与技术、叠合盆地油气成藏定年方法与技术、叠合盆地油气资源评价方法与技术 and 叠合盆地深部油储地球物理预测方法与技术；积极参与油田的勘探部署讨论，为油田增储上产做出了积极贡献。

本丛书的出版是对该项目的系统总结，相信对我国叠合盆地的研究及油气勘探都将发挥积极作用。同时还展示了一支从事盆地分析和油气成藏研究的优秀科研团队的成长历程和科研活力，我为这样一批中青年科学家的快速成长感到由衷地高兴。基于我国的地域特色，叠合盆地油气成藏理论研究和勘探实践将会面临更加艰难的探索过程，而其中的海相碳酸盐岩的研究和勘探则更难。衷心希望这个优秀的科研团队能在我国海相碳酸盐岩层系原型盆地恢复、构造改造、动力学过程及其油气成藏效应、油气分布规律研究方面能有新的建树。

王清晨
2006.9.28

丛书前言

石油天然气既是国际竞争的重要战略资源，又是每一国家经济发展不可缺少的能源和自然资源。尽管我国油气产量连年增长，但已不能满足经济快速发展的需求，从1993开始，我国已经成为石油净进口国。日益增大的油气供需缺口将制约国民经济的持续发展，寻找油气勘探战略接替区已成当务之急。

我国油气资源非常丰富，但勘探难度越来越大，根本原因在于含油气盆地的结构特殊，在国际上被称为“中国型盆地”。我国含油气盆地多属“叠合盆地”，在长期演化过程中经历过多次构造变革，具有“三层楼”结构，烃源岩种类多，油气经历了多期运移、聚集乃至破坏的过程，油气藏的分布状态复杂；而我国陆上油气资源的80%赋存在叠合盆地中。因此，叠合盆地油气形成富集与分布规律成为急需解决的重大科学问题。

正是在这一背景下，国家科学技术部启动了国家重点基础研究发展规划项目“中国叠合盆地油气形成富集与分布预测”（编号：G19990433）。本项目由中国科学院刘光鼎院士、中国石油天然气集团公司翟光明院士、中国地质大学王鸿祯教授、石油大学金之钧教授和中国科学院地质与地球物理研究所王清晨研究员建议，并由金之钧和王清晨任项目首席科学家。

1999年在项目论证时，我们提出，我国陆相油气地质理论、世界海相油气地质理论都不能解决我国叠合盆地油气勘探中碰到的独特的油气地质问题。为解决结构复杂的叠合盆地中油气形成富集理论与分布预测问题，必须遵循油气形成的自然规律，从含油气盆地形成（成盆）、沉积有机质向烃类物质转化（成烃）、油气生成后的运移-聚集-保存（成藏）等三方面进行研究。我们从油气勘探实践面临的问题中凝练出三个科学问题，作为本项目的主攻方向，即：①关键构造变革时期的盆山耦合关系与盆地结构的形成和改造；②多套烃源岩的发育环境与生排烃机理和效率；③多期油气聚散的过程、机理与复杂含油气系统的形成演化规律。围绕上述科学问题，本项目选择塔里木和渤海湾两个既有复杂叠合盆地共性又有构造演化个性的盆地，以盆地形成演化过程与成烃-成藏过程为主线，开展了关键构造变革时期盆山耦合与叠合盆地形成机制，叠合盆地的构造-层序系统分析与反演建模，叠合盆地多套烃源岩的发育环境与生排烃机理，叠合盆地油气聚散过程与成藏环境，叠合盆地含油气系统演化与油气远景预测等五方面的研究。

项目下设11个研究课题：01课题“中国典型叠合盆地的深部三维结构”属基础观测，调查典型叠合盆地的深部三维结构，为其他相关课题的研究打基础。02、03、04及05课题将围绕成盆动力学问题进行研究。其中02课题“中国典型叠合盆地深部热体制转换与热史反演”，进行盆地热流与古地温研究；03课题“中国典型叠合盆地关键构造变革时期的盆山耦合与深部过程”，进行盆山系统动力学研究；04课题“中国典型叠合盆地层序地层分析与构造古地理-岩相古地理再造”，进行构造古地理和油气生储盖层

分布规律研究；05 课题“中国典型叠合盆地应力场分析与构造变形三维解析”，进行盆地构造变形研究；06 和 07 课题将围绕成烃问题进行研究。其中 06 课题“中国典型叠合盆地优质烃源岩发育环境及控制因素”，侧重优质烃源岩生成环境和富集规律的研究；07 课题“中国典型叠合盆地碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与排烃门限及效率”侧重碳酸盐岩生排烃机理研究和生排烃门限与效率的定量研究。08，09，10，11 课题将围绕成藏动力学问题进行研究。其中 08 课题“中国典型叠合盆地油气成藏期年代学研究”，进行成藏期年代学研究；09 课题“中国典型叠合盆地深部热流体与盆地流体相互作用及成藏效应”，进行盆地深部流体的成藏效应研究；10 课题“中国典型叠合盆地油气聚散机理及定量模拟”，进行油气运聚散过程的定量化研究；11 课题“中国典型叠合盆地深部油储形成机理、分布模式与分布预测方法”，进行盆地深部储层形成机理与地球物理识别的联合研究。参加研究工作的单位主要有石油大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院广州地球化学研究所、南京大学、中国地质大学、中国科学院兰州地质研究所、中国石油勘探开发研究院、成都理工大学、中国地震局地质研究所、大庆石油学院、西北大学等大学和科研院所。

五年来，通过首席科学家、项目专家组、咨询组、课题负责人和骨干研究人员的同心协力，各课题已经全面完成了计划和任务，并初步形成了一个兼顾基础科学问题和国家目标的石油天然气研究基地，一批中青年科学家在“973”项目提供的广阔天地中得到锻炼，迅速成长。

本丛书所反映的是项目各课题的部分创新性成果，将分册出版。在各课题研究成果的基础上，全面集成《中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测丛书》，在理论、方法和技术体系上的创新，并反映各课题在我国西部围绕塔里木盆地、天山、阿尔金山开展的地震勘测剖面和相关盆山动力学研究成果；围绕库车盆地与天山开展的盆山地质、地球化学及其动力学研究成果；围绕塔里木盆地开展的层序地层学研究成果；围绕塔里木盆地开展盐构造、叠合不整合与古应力场等的构造解析研究成果；围绕优质烃源岩发育环境及控制因素开展的地质、地球化学研究成果；围绕碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与排烃门限及效率开展的研究成果；围绕油气成藏期年代学开展的地球化学研究成果；围绕深部热流体与成藏效应开展的研究成果；围绕油气聚散机理及定量模拟开展的研究成果；围绕深部油储形成机理、分布预测开展的地质与地球物理研究成果。

我们相信，本丛书的出版将会促进我国在叠合盆地进行油气勘探的实践与理论水平，丰富世界油气勘探理论宝库。

金之钧 王清晨

2006. 8. 15

本书序

油气的成因理论是当今前沿科学的重大课题之一，而且是个一直有争论的问题。从 18 世纪 70 年代至今，对油气成因问题的认识，基本上可归纳为无机成因和有机成因两大派。从 18 世纪至 19 世纪中叶，就形成了古典无机生成假说（如碳化说、宇宙说等）与古典有机生成假说（如动物说、植物说等）两大学派之间的激烈争论。在两种成因说争论中，无机成因说几度兴衰。长期的生产实践和科学研究证实：在油气中有相当大的部分，特别是石油是有机成因的，但这并不排除在油气中有相当的部分，特别是天然气是无机成因的。近几十年来，由于现代科学的进步，核科学、宇航技术和宇宙化学的发展，深部地质及海洋地质新成果不断积累，特别是气体地球化学和同位素地球化学的新进展以及与之相关新仪器的出现，使以臆测为基础的古典无机成因的天然气假说，发展为有定量科学依据的现代无机成因的天然气学说。无机成因气不仅在地球上普遍存在，而且还可形成有工业价值的气藏。因此，研究无机成因油气，不仅在理论上具有重大意义，而且在生产实践上日益显示出重要的作用。

中国油气勘探的指导理论，从 20 世纪 70 年代末之前以只找腐泥型源岩有关油气的油型学说的“一元论”，其后发展为不仅可在腐泥型的，而且也可以在腐殖型的源岩中勘探油气的“两元论”。

至 20 世纪 90 年代早期，在中国东部裂谷盆地发现了一批无机成因天然气气藏，尽管绝大多数是 CO_2 气藏，近来还发现一批无机成因烷烃气藏（如松辽盆地昌德气藏、兴城气藏等），使中国勘探油气的指导理论从“两元论”发展为“多元论”。这对石油学界产生了很大冲击，无机成因油（气）论再度受到关注。正是在这样的背景下，本书作者和他们的合作者，依托国家“973”项目的资助，开展了艰辛的研究和探索，另辟途径，研究油气成因，并取得重要进展。

长期以来，有机成因观点和无机成因观点处在对抗性的论争之中，包括俄罗斯学派在内的国外学者也是如此。但是否就非此即彼呢？本书作者通过大量阅读文献和实地调研，认为有机质演化和无机地质作用往往都聚焦在沉积盆地这同一空间中，有时在时间上也是重叠的，二者之间可能是相互影响、相互作用或相互耦合的，当然有时也会随机地产生在同一盆地中而互不影响，完全从相互对立的角度看待有机成烃和无机成烃这两种作用似乎带有一定的“感情”色彩。因此，作者们便确定了从有机-无机相互作用和影响的观点入手来研究这一课题。应该说这是学术思想上的重要突破，其意义在于不再是从对立的观点来看待有机和无机的关系问题，而是从相互联系和相互影响的角度来研究两者的关系。这是一个很大的思想转变，有了这个转变，才导出研究新方向和获得研究硕果。

作者们紧紧围绕深部与浅部流体相互作用、有机与无机互相作用及其油气成藏效应这一核心科学问题，开展了有机-无机作用之间的物质交换、内生与外生作用之间的能量传递、无机地质作用对生烃作用的影响、深部无机流体（熔体）活动对盆地内储集层

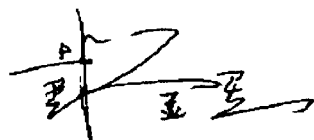
的改造等问题的研究。研究工作获得如下重要进展：①通过地质-地球化学综合研究，建立了中国东部壳幔不同层圈流体判别体系。②提示了渤海湾塔中地区深部流体作用的各种地质-地球化学特征，特别是在油气藏中的各种响应。渤海湾地区深部流体可以划分为富 CO_2 和富 H_2 两系列，这两种深部流体均不同程度地参与了该区的油气成藏过程。③通过加氢模拟实验证实，深部物质 (H_2) 的加入可以使生烃效率明显提高。④建立了深部流体能量传递计算模型，通过实例解剖和深源热能估算，认为岩浆热液活动对渤海湾地区带来了巨大能量，并对促进该区生烃作用强度具有显著效应。这些新认识和新观点必将为油气勘探开拓新的思路，例如，关于济阳拗陷深部流体热能传递对于古地温场影响程度的理论估算，为认识地温场的时空变化规律提供了新的解释，也为研究深部热能对盆地内有机质热演化进程的制约作用提供了新的模型，这对于资源评价无疑具有重要指导意义；再如，关于深部流体活动对储集岩层的改造问题，特别是深部流体作用下可以形成一些新的储层类型，为拓展勘探领域提供了新的思路。毫无疑问，在新的思路和研究框架下所开展的研究工作，必然会得到许多新的认识和结果，因此可以相信，在这一思路和框架所进行的后续研究，还将获得更多更新的成果和认识。

在本身研究内容的拓展同时，作者们在研究方法上大胆突破。传统上关于油气成因的研究集中在地球化学物源追踪研究等。本书除了继承上述研究路线外，还大胆引进无机地球化学研究的理论和方法，打破有机与无机之间的限制，在矿物学、岩石学、微量元素和稀土元素地球化学等方面进行了许多探索性研究，并取得一些很有意义的结果，不仅为论证深部来源流体对盆地内油气成藏的参与提供了新的依据，而且对于今后开展类似工作也具有很好的启发和借鉴。无独有偶，近几年国际上一些地球化学家也开始尝试应用无机地球化学方法研究石油地质问题，包括研究石油沥青中的微量元素和同位素（甚至 Re-Os 同位素）等，藉以解决有机地球化学方法难以解决的问题。由此看来，有机和无机方法的综合应用，将是未来石油地质研究的一个重要趋势。本书率先进行了有益的尝试，是值得肯定和赞赏的。

传统的油气成因理论由有机说与无机说构成，本书论述了油气可由有机作用与无机作用结合形成，可谓“复合说”，为油气成因理论增添新类型这无疑是个创举。在目前国内外发现油气田中有专家认为 99% 以上是有机成因，有机成因油气分布广，是油气形成的上流理论，但其局限在各种构造类型“黑盆地”中，世界上至今未发现充足地球化学依据的无机成因油田，然而发现有充分地球化学依据的无机成因气田，后者分布地域有限，目前主要在裂谷型“黑盆地”，未来可能在“红盆地”中发现。因此，无机成因油气研究将来可开辟“红盆地”油气勘探一个崭新领域。作者们指出好些（油）气田都有无机地质作用参与的痕迹，尽管现在很难确定“无机”因素贡献的大小，但在这些（油）气中（特别在东部盆地）无机地质作用的影响是不可忽视的。因此，当研究一个盆地油气成藏问题时，除注意有机成因与无机成因油气外，不可忽视复合成因油气，只有这样才能作出更符合客观规律的判断，更有效地指导油气勘探。本书从宏观指导思想强调了地球层圈的相互作用，超越了有机成烃理论与无机成烃理论的矛盾状态，强调了在某些地质条件下，盆地热流体对成藏的重要作用，强调了有机无机相互作用及对生烃成藏的影响，开拓了成藏研究新思路，为进一步研究盆地深部热流体中的热能与物质对成藏的影响奠定了基础。专著可贵之处为油气勘探指出新方向、新思路；为油气成

因理论提出新类型，故是油气成因理论的一部力作，具有重大的实践和理论意义，推荐大家值得一读，读后定收益匪浅。

勤奋是创新之母，聪慧是创新之父，只有勤奋和聪慧结合才能催生创新。《深部流体活动及油气成藏效应》专著是勤奋和聪慧结合的结晶，是以金之钧博士为首一批年富力强作者们耕耘在油气科技园地上结出的硕果，是筑造中华宏伟的科技长城的一块基石，所以，她的问世是可喜可贺的。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Jin Zhi-jun, the author mentioned in the text.

本书前言

本书是在国家基础研究发展规划项目(973)子课题研究成果基础上,进行选择综合归纳和补充提高编写而成的。项目名称为“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”,子课题为“中国典型叠合盆地深浅部流体相互作用与油气成藏机理”(编号GB199943309)。课题研究工作自2000年始,至2004年结束,2005年至2006年又补充了部分研究工作,前后持续约七年时间。在这七年时间中,作者围绕“深部流体对油气成藏的影响”这一主题开展了大量探索性研究工作,取得了一系列新的资料和认识,也积累了一些经验教训,在此结成此集,以供对这一问题感兴趣的专家学者参考和指正。

关于“深部流体对油气成藏的影响”的立题最初是受到“无机成油论”的启发。在前苏联和现今俄罗斯石油地质学界,无机成油(气)观点由来已久,至今仍然相当活跃。世界上其他国家的一些学者也从不同方面或不同程度上关注和讨论无机油气问题。这不能不使人们对油气形成的无机因素进行深入思考。特别是20世纪90年代,戴金星院士在我国东部松辽盆地论证了世界上第一个无机天然气藏,接着人们又在渤海湾等盆地中发现了一系列无机CO₂气藏,徐永昌教授等通过系统的同位素地球化学工作论证了它们的幔源成因,更引起人们对无机油气的兴趣。考虑到中国东部裂谷盆地中发育有大量火山岩和侵入岩,深部无机物质的加入和影响必然存在,并有可能发挥了重要作用,这进一步促使我们下决心对油气成藏的无机因素开展专题研究。因此,我们便首先选择了岩浆热液活动比较强烈的渤海湾盆地为主要对象,开展了此项探索性研究工作。

虽然我们的研究受到无机成油论的启发,但我们并不是以无机成油观点来研究油气生成的,而是从有机和无机两方面因素相互作用和补充、盆地内部因素和盆地外部因素相互影响和耦合的角度来探讨油气的形成过程。之所以如此,是因为长期以来人们要么坚持有机观点,要么坚持无机观点,而实际上盆地中的油气本来就生成于有机和无机共存的环境之中,有机因素和无机条件在油气形成过程中都各自发挥着不同的作用。因此,只有从有机和无机相互作用的视角才可能更加全面的揭示油气形成的真实条件和过程。这正是本书以“深部流体活动及油气成藏效应”立论的内涵所在。本书第一章比较系统的阐述了我们开展此项工作的背景资料 and 主要思路。

之所以选择深部流体作为突破口来研究有机-无机相互作用对油气成藏的影响,主要基于两方面的考虑。一方面是因为在中国东部裂谷盆地中,岩浆熔体和热液流体的活动非常强烈,从广义上讲,无论是岩浆还是热液都可以划归到深部流体的范畴,故此深部流体的活动是沉积盆地内“无机”地质作用的最重要形式;另一方面,从地质作用过程中物质和能量的传递来看,地质流体是最为活跃的因素,不仅是物质传输的主要方式,而且也是能量传递的主要载体,因此,紧紧抓住深部流体这一因素,便抓住了油气形成过程中无机因素的关键环节,从而可以为研究有机-无机相互作用打开突破口。

要揭示油气形成过程中深部流体的影响,首先必须确定深部流体的基本特点及其地球化学判别标志,这是我们开展的第一项基础工作,也是本书第二章所介绍的中心内

容。在大量收集整理前人研究成果基础上,本次工作又补充分析了来自上地壳、下地壳和上地幔等不同层圈岩浆岩或幔源矿物中流体组分和同位素特点,总结归纳了不同来源流体的主要组分、稀有气体和碳同位素等方面的异同,提出了判别不同来源深部流体的地球化学标志,从而为追溯深部流体活动特点和作用规律提供了技术支撑。特别是对 Kr 与 Xe 同位素组成的成功测试,填补了我国这方面的空白。

从理论上讲,深部流体活动对油气成藏的影响可以分为物质效应和能量效应两个方面。从物质层面上考察,又可分两个层次来研究,一是全面查证深部流体的化学组成,揭示其中“烃源组分”的类型和分布;二是在现有油气田中寻找深部流体物质补给的地球化学证据,探讨深部流体组分输入的情况和影响程度。本次工作通过大量地球化学测试分析,总结了研究区深部流体组成的基本特点,特别是发现深部流体大致可以划分为富 CO₂ 流体和富 H₂ 流体两大类,前者可能是某些无机成因 CO₂ 气藏的来源(也可以通过多级反应生成 CH₄ 等烃类),后者可能会通过加氢反应等方式提高沉积有机质的生烃潜力,这为深部流体作为生烃作用的额外物源提供了前提,本书第三章重点介绍了这方面的研究资料。

对渤海湾盆地一些油气田开展的详细地球化学工作显示,深部流体的确不同程度地进入到含油气系统中,在有些地方甚至很强烈,有多期深部流体活动痕迹。一些气藏或油溶气的碳同位素也表现出深部流体不同程度的参与,断裂带附近最为显著。毫无疑问,深部流体对油气成藏的影响是客观存在的。为了从有机-无机相互作用的角度揭示深部流体与沉积有机质相互作用的机理和生烃效率,本次研究开展了一系列加氢实验研究,结果表明,沉积有机质在加氢情况下的生烃效率明显提高,并随着有机质类型、温度压力条件和环境介质情况的不同而变化,是一个值得进一步探索的新领域。本书第四章对这方面的研究成果进行了介绍。

从能量层面上考察,也分两个方面进行了研究。一是确定深部流体的能量载荷,二是查证这种异常叠加能量对全盆地或局部地温场的影响。本次研究借助于流体状态方程对深部流体的能量效应进行了计算,结果表明深部流体是能量传输的良好载体,可以通过射流或对流方式直接为沉积盆地提供“额外”的能量。古地温研究结果表明,济阳拗陷沙河街期至东营期火山-岩浆活动期间,盆地地温场远高于现今地温场,深大断裂附近地温异常尤其显著,这无疑与岩浆热液等深部流体带来的热能有关。对侵入岩体附近烃源岩的详细研究发现,有机质镜质体反射率明显增高,岩浆热液的能量大大促进了有机质的热演化,产生了一定的生烃效应。实际上,整个渤海湾盆地中发育数以百计或更多的侵入体,在火山-岩浆作用期还发育巨大的深部岩浆房,它们的能量贡献对于当时古地温场的影响无疑是巨大的。也许正是由于这一特殊的能量贡献,使渤海湾盆地中沉积有机质的生烃效率大大提高,从而造成了今天格外丰富的油气聚集。本书第五章介绍了这方面的研究成果。

此外,本书第六章还探讨了深部流体活动对储层的影响和改造问题。由于深部流体的巨大能量和特殊组分,它一方面可以对储层产生物理改造作用,另一方面还可以与储层岩石发生反应而产生化学改造作用。这两种情况在渤海湾盆地中都有发育。最典型的物理改造是深部流体减压隐爆而形成的隐爆角砾岩储层,以下辽河盆地欧利驼子油田的角砾岩化粗面岩储层为代表。深部流体的化学溶蚀和交代作用对砂岩储层的改造比较普

遍，但本次没有做深入研究，只是对侵入岩体因受热液溶蚀-交代而形成有效储层的特例进行了介绍和讨论。之所以介绍上述两个特例，是想说明在深部流体作用下，一些通常条件下不能成为储层的岩层或岩石也可以发展为储层，这就大大拓展了人们的思路和勘探领域。

实际上，深部流体的活动及其对油气成藏的影响不仅仅发生在渤海湾盆地，也不仅限于东部裂谷盆地，在中部鄂尔多斯盆地和西部塔里木等盆地中也有显示。以塔里木盆地为例，二叠纪时期遍布盆地的火山-岩浆作用对烃源岩、储层和油藏的影响和改造是非常强烈的。其中深部流体对碳酸盐岩储层的改造最为明显，主要形式是通过碳酸盐岩的溶蚀而改善储层物性，在个别部位还通过溶蚀-交代形成了萤石化碳酸盐岩储层。另外，深部流体活动对志留系沥青的改造及其再次生烃也可能有一定影响。因此，深部流体作用对于中国大部分含油气盆地来讲，都是不可忽视的因素。通过对深部流体作用特点和规律的研究，不仅可以使我们更加全面的认识影响油气形成和聚集的不同方面，提高对油气成藏规律的理论认识水平，还可以拓展我们的勘探视野，增加新的油气勘探领域。

本书对深部流体成藏效应的研究仅仅是一个开端，对许多问题的研究还有待深化，许多认识也都是初步的，甚至可能存在谬误之处。而且还有一些问题尚未涉及，比如深部流体活动对油气运移的影响问题，原油中深部流体作用痕迹的判识问题，等等，都还没有开展系统深入的研究。此外，本次工作主要立足于深部流体对油气成藏有利方面的研究讨论，实际上深部流体活动也会产生严重的破坏作用，我们也没有进行研究和总结，都需要后续工作的补充和完善。

最后要说明的是，在开展此项研究工作过程中，得到了许多方面的大力支持和热情帮助，我们对此深怀感激和谢意。首先要感谢课题专家组的刘光鼎院士、马宗晋院士、戴金星院士、王铁冠院士、张一伟教授和贝丰教授等，在长达5年多的研究过程中，我们曾多次得到他们的指导；还要感谢杜乐天教授、郭占谦总工和张景廉研究员等专家，他们在深部流体和无机油气研究方面给予的指导使我们少走很多弯路；更要感谢课题组其他成员的密切合作和无私贡献，他们是郝芳教授、刘树根教授、曾溅辉教授、李国蓉教授、蔡忠贤教授、张金川教授、陆现彩副教授和张文兰博士等，5年多的合作不仅使我们共同提高，更发展和加深了我们的友谊，特此致以深深的谢意；还要感谢参与此项工作的许多研究生同志，他们是杨雷、朱东亚、陈庆春、宋玉财、张学丰和刘国勇等，他们的参与带来了活力和生气，使我们的研究愉快而卓有成效；最后要特别感谢各油田公司及具体油田的大力协助，包括胜利油田、塔里木油田和辽河油田等，他们不仅为我们的研究提供了舞台，而且还无偿提供了大量基础资料，再次致以深深的谢忱。