



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

中国典型叠合盆地 油气形成富集与分布预测

金之钧 王清晨 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

中国典型叠合盆地油气 形成富集与分布预测

金之钧 王清晨 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是对国家科学技术部 973 项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”研究成果的全面总结,详细介绍了项目获得的库车盆地-天山中—新生代盆山耦合与油气成藏、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式、典型叠合盆地油气成藏机理与成藏模式研究、塔里木盆地多期混源油气判识与分布预测、渤海湾盆地构造演化与隐蔽油气藏分布预测等 5 项重大研究成果,并阐述了项目所建立的碳酸盐岩有效烃源岩分析评价技术、多期成藏流体历史分析技术、叠合盆地混合油气源油源对比技术、叠合盆地油气藏形成年代学分析方法、叠合盆地油气运、聚、散定量评价技术、地震资料叠前高精度成像技术、碳酸盐岩储层地震波场正演模拟技术和碳酸盐岩储层预测技术等一系列方法技术。

本书可供从事石油地质学院系教师和研究生,石油天然气勘探、开发及基础研究单位的工程师与科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测/金之钧,王清晨著
—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 978-7-03-019942-3

I. 中… II. ①金…②王… III. 叠加褶皱-含油气盆地-研究-中国
IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140440 号

责任编辑:谢洪源/责任校对:陈玉凤

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 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 9 月第一次印刷 印张:25 1/4

印数:1—1 200 字数:565 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《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

《中国典型叠合盆地油气形成富集 与分布预测》

参加编写人员名单

金之钧 王清晨

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！

可欣

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、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年开始,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齐心协力，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地动力学研究成果；围绕库车盆地与天山开展的盆地地质、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与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

本书前言

石油天然气既是国际竞争的重要战略资源，又是每一个国家经济发展不可缺少的能源和自然资源。保证石油天然气自给是我国的一项基本国策，在当前国际形势下，加速发展我国独立自主的石油工业尤为必要。尽管我国油气产量连年增长，但远不能满足国民经济快速发展的需求。1993 年我国已变成石油净进口国；其后，供需差距逐年增大。预计到 2010 年，国内年石油供需缺口为 1 亿 t，天然气缺口为 400 亿 m^3 。油气正成为制约我国国民经济持续发展的瓶颈。

造成我国油气供需缺口的原因并非油气资源贫乏。我国油气资源丰富，初步预测石油资源量为 940 亿 t，天然气资源量为 38 万亿 m^3 ，目前探明程度很低，石油和天然气的探明率仅为 21% 和 7%，发展潜力很大。

根据经济技术发展趋势预测，10 年后我国的油气资源仍将以常规资源为主。常规资源中依据地理分布位置可分为海域和陆上两大类，其中陆上资源占 3/4，而陆上油气产量则占全国的 90% 左右，此比例至 2010 年时将不会有大的变化。陆上资源根据所处的盆地类型又可分为简单型盆地和叠合型盆地两大类，而剩余资源的 80% 赋存于叠合盆地之中。因此，到 2010 年时，我国油气资源将以陆上为主，陆上资源又将以叠合型盆地为主，而我国油气勘探所面临的问题也多与叠合盆地特性有关。

在陆相石油地质理论指导下，建国后我国在松辽和渤海湾盆地获得重大突破，并成为世界产油大国。然而，目前在东部老油区，主要目的层探明程度已很高，今后勘探的主要领域是深层，尤其是前新生代地层；在勘探程度低、油气资源潜力大的西部地区，待探明的油气资源主要赋存于前新生代地层中，勘探费用高，探井成功率偏低，油气储量增长缓慢。无论从石油地质理论上，还是油气勘探技术上都遇到了前所未有的困难。造成这些困难的根本原因是：盆地的形成经历了很长的地史时期，在不同时期发育了多种类型的烃源岩、多种成因的储集体、多种结构的储盖组合，油气经历了多期运移、多期成藏、多期改造和调整甚至是破坏的过程，盆地中的油气分布规律极难探寻。我们把这类“经历了多期构造变革、由多个单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。只有研究清楚此类盆地在长期地史时期中的形成演化历史、各演化阶段有利烃源岩在盆地中的发育环境与位置、盆地内热-应力状态随时间的变化规律及其对生排烃过程的控制效应、所形成油气在盆地演化不同阶段的运移、聚集、逸散过程，才能最终摸清盆地中现今的油气分布规律，降低勘探风险，增加探明储量。

正是在这一背景下，国家科学技术部国家重点基础研究发展规划批准启动了“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”项目（编号：G19990433）。这一项目由金之钧和王清晨任首席科学家，自 1999 年起执行，至 2004 年结束。

项目的总体研究目标为：

- 1) 发展和完善叠合盆地油气形成与分布理论，为中国石油工业的二次创业提供理

论基础。

2) 对早古生代碳酸盐层岩系含油气远景评价提供理论依据和分析技术, 并初步遴选战略储备远景区。

3) 带动相关基础学科及应用学科的发展, 发表一批高质量科学论文, 形成我国油气资源研究领域的优秀科学家群体。

项目的具体目标为:

1) 全面完成两条基干剖面的地质学、地球物理学、地球化学综合研究。在渤海湾盆地提交连接太行山隆起-渤海湾盆地-鲁西隆起的基干剖面, 在塔里木盆地提交连接天山和塔里木盆地的基干剖面, 在剖面上反映由地震波揭示的深部(尤其是莫霍面之上)细结构和地表地质构造特征, 深化盆地深部地质结构对早古生代海相碳酸盐岩成烃成藏控制的研究。

2) 揭示塔里木盆地早古生代海相碳酸盐岩层序地层基本特征及其控制因素; 再造盆地在关键构造变革时期的构造古地理及岩相古地理变迁史; 揭示基底与盖层统一变形和差异变形特征; 揭示古生代海相碳酸盐岩盆地对后期盆地的制约, 以及中生代盆地对早期盆地的改造作用。

3) 建立早古生代海相优质烃源岩形成发育的有机相模式及古环境界定指标体系; 探讨有效排烃量与各种生排烃地质条件的定量关系; 建立一套适合我国碳酸盐岩实际情况的海相有效烃源岩判识和评价标准; 探讨早古生代海相烃源岩二次生烃的过程和机理。

4) 发展和完善混源油气对比与多期次成藏定年技术, 地质历史时期压力恢复技术; 揭示盆地深部流体活动规律及对早古生代海相碳酸盐岩成烃成藏效应; 阐明深层高压条件下油气运聚机理; 建立油气聚散过程统一定量模型。

5) 揭示多期次构造变动条件下早古生代碳酸盐岩不同类型油储空间的形成机理、制约因素和分布模式; 揭示复杂地质条件下碳酸盐岩储层地球物理响应特征; 探索适合我国叠合盆地碳酸盐岩储层分布预测的方法和技术。

6) 将对叠合盆地形成演化、油气形成富集方面的新认识应用到塔里木、渤海湾等典型叠合盆地的油气勘探实践中, 为寻找油气勘探新领域、新层系发挥指导作用。

7) 在五年研究成果的基础之上, 阐明我国叠合盆地油气形成与分布理论, 其中将包括成盆-成烃-成藏过程的基本规律和油气藏的分布规律, 特别是碳酸盐岩层系油气形成与分布规律。此理论将对我国 21 世纪初在叠合盆地进行油气勘探起指导作用, 并丰富世界油气勘探理论宝库。

围绕这一目标, 项目设置了 11 个课题, 分别为:

01. 中国典型叠合盆地的深部三维结构

课题负责人: 郑天愉、赵俊猛

02. 中国典型叠合盆地深部热体制转换与热史反演

课题负责人: 王良书、张福勤

03. 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

课题负责人: 王清晨、李忠

04. 中国典型叠合地层层序地层分析与构造古地理-岩相古地理再造

课题负责人：林畅松、纪友亮

05. 中国典型叠合盆地应力场分析与构造变形三维解析

课题负责人：贾承造、汤良杰

06. 中国典型叠合盆地优质烃源岩发育环境及控制因素

课题负责人：陈践发、张水昌

07. 中国典型叠合盆地碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与效率

课题负责人：钟宁宁、耿安松

08. 中国典型叠合盆地油气成藏期年代学研究

课题负责人：彭平安、吕修祥

09. 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

课题负责人：金之钧、刘树根

10. 中国典型叠合盆地油气聚散机理及定量模拟

课题负责人：庞雄奇、罗晓容

11. 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

课题负责人：杨长春、顾家裕

来自国内石油大学、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、中国地震局地质研究所、中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院、中国地质大学、南京大学、成都理工学院等 17 个科研、教育、生产部门的 185 位科研骨干先后参加了本项目的研究。

5 年来，各课题组认真执行项目研究计划，开展了如下五方面的研究：

1) 地球物理观测。这一任务主要由 01 课题完成。对塔里木的地球物理调查以人工地震宽角反射-折射探测为主，完成了库尔勒—吉木萨尔、拜城—大柴旦以及格尔木—花海子综合地球物理剖面地震宽角反射-折射探测任务，剖面总长 2400km，获得了优秀记录。共 118 人在野外工作 71 个工作日，投入 204 台地震记录仪，配备 CDJ-6B，CDJ-2.5S 三分向检波器和 GPS 定位仪；钻机 4 台，各种车辆 34 辆。经过一维、二维资料处理与解释，获得了 17 个爆炸点的折合记录截面图和相应的二维射线追踪与理论地震图，获得了上述三条剖面的岩石圈二维速度结构、泊松比结构以及 Q 值结构。通过重磁联合反演，获得了诸剖面的岩石圈二维密度与磁性结构。根据上述几条剖面，揭示了塔里木盆地和天山造山带、阿尔金造山带的地壳上地幔结构与构造、盆山耦合关系以及盆地深浅部构造关系。

对渤海湾盆地的地球物理调查以宽频带地震台阵野外流动观测为主要手段。利用先进的便携式宽频带数字地震仪，完成了对长度总共 1290 km 的剖面的野外流动观测。该剖面自东向西穿过盆地的东部边界郯庐断裂，到达鲁西隆起，由南向北进入济阳拗陷，然后垂直于盆地主要构造线的走向，经埕宁隆起、黄骅拗陷、沧县隆起、冀中拗陷，进入西边界——太行山隆起后，终止于汾渭裂谷北端。通过对 200 多个地震事件，111 000 多条原始地震记录的分析研究，建立了渤海湾盆地南缘和西缘盆山边界结构、盆地内的沉积结构以及全部剖面的地壳结构，完成了对华北北部地区上地幔间断面的地震成像、地壳平均泊松比值分布和上地幔各向异性的研究。

2) 对成盆与改造问题的综合研究。这一任务由 02，03，04 和 05 课题共同完成。

在对塔里木盆地的研究中,重点解剖了库车—天山盆山系统的盆山耦合问题,应用了大量的露头、测井、地震等资料,开展了库车盆地中、新生界等的层序地层和构造古地理研究,系统地建立了库车拗陷中新世代层序地层系统和层序对比框架,并建立了适用于陆相前陆盆地层序地层研究的层序级次和划分方法;对库车—天山接合带和盆地内部的节理和脆性断裂进行了野外露头测量,并恢复了第三纪的古应力状态;对库车盆地中新生界砾岩和砂岩的组分开展了系统的岩石学和地球化学研究,揭示了碎屑组分的变化趋势和控制因素,厘定了盆地演化构造变革的关键时期;对盐相关变形构造进行了野外地质测量、地震反射剖面精细解释和构造物理模拟实验,建立了盐构造地质模型,确定了盐构造变形的运动学特征和动力学机制。此外,还利用三维可视化分析软件,通过对盖层构造图和厚度图的三维拟合,对塔里木盆地中北部各主要构造层进行基底顶面拟合,获取了不同时期基底构造形态,并综合其他资料,建立基底—盖层统一变形和差异变形的构造样式和运动学模式。通过基底和盖层构造的对比研究,探讨叠合盆地基底—盖层统一变形机制。

在对渤海湾盆地的研究中,完成了 89 口系统连续测温井、700 余口试油井的 2000 余试油温度资料分析和 240 余块岩样的热物性参数测定、收集和整理工作,揭示了盆地的热结构;对盆地周围的燕山、鲁西、胶东、太行山进行了地质考察、剖面实测和样品采集,在对碎屑岩进行岩石学、岩石化学分析的基础上,厘定了中生代盆山体系关键变革时期;通过编制盆地及相邻山地的一套揭顶基岩地质图(1:100 万)和古生界碳酸盐岩顶面虫眼图及构造等深图,揭示了中—新生代构造变革对古潜山形成分布的控制作用。对中生代岩浆岩及其地幔包体进行了岩石学和地球化学研究,揭示了中生代时地幔的不均一性,为探讨壳幔作用和软流圈—岩石圈相互作用提供了新资料。

3) 对成烃问题的综合研究。这一任务由 06 和 07 课题共同完成。研究采取了地质研究、实验模拟和数值模拟三结合的技术路线,即:地质研究先行,室内的分析测试和实验模拟交叉进行。重点对鄂尔多斯盆地西缘的 8 个奥陶系—石炭系剖面和三塘湖盆地、渤海湾盆地、四川盆地的海相地层剖面进行了地质研究,考察了碳酸盐岩生烃地质特征,共采得奥陶系、石炭系和二叠系 139 个碳酸盐岩和泥质碳酸盐岩样品。作为比较,还考察了松辽盆地的石油钻井的白垩系青山口组二段、三段泥质岩的生烃地质特征以及西加拿大盆地泥盆系—石炭系的海相地层生烃地质特征,采集各时代的碳酸盐岩样品 51 个。课题还通过国际合作从 6 个国家 14 个盆地的 11 条剖面和 34 个钻孔中取得 190 个研究样品。实验分析工作主要分为高温高压的模拟实验和组成成分的检测两部分。对不同有机质丰度的三个系列 16 个碳酸盐岩和泥质岩样品进行了 112 次累计连续加热加压时间达 5400h 以上的高温高压生排烃模拟实验;分别在封闭体系(金管)和开放体系两种条件下进行了生烃催化机理研究;开展了密闭加水体系碳酸盐岩排烃模拟实验;自行设计、制造了一套测定碳酸盐岩、泥岩有机质吸附残留油气量的模拟实验装置,进行了吸附气实验和吸附油量实验;完成了 5 个体系的天然气耗竭的 TSR 反应实验模拟及相应的分析测试;完成了 5 个不同初始成熟度 4 种不同升温速率的碳酸盐岩烃源岩二次生烃的热解化学动力学模拟;对实验模拟样品进行抽提、岩石热解、矿物成分、岩石有机碳含量、镜质体反射率、干酪根元素、气相色谱和色谱—质谱分析等项目分析。在对优质烃源岩发育条件的研究中,开展了对塔里木盆地和渤海湾盆地的野外观

测和采样,在详细的沉积相和地球化学分析研究基础上,提出了我国新元古界和下古生界海相烃源岩的发育模式。

4)对成藏动力学问题的综合研究。这一任务由08,09,10和11课题共同完成。这方面的研究包括两方面的工作,一是理论探讨和方法摸索;二是典型实例分析。在理论探讨和方法摸索方面,开展了对混源油的油源对比、成藏年代学的研究;应用计算模拟和实验对比方法对深部流体能量传递效应进行了定量研究;开展了含油气流体在岩石微孔中的传递性质及其对油藏形成影响的理论研究;开展了超临界流体与沉积有机质相互作用模拟实验研究;采用物理模拟实验方法研究,并结合有效通道系数和滞留烃率研究结果,建立油气聚集的动力学方程和滞留烃量计算模型;通过叠前去噪、叠前深度偏移最佳孔径等技术摸索了叠前高精度成像方法,通过裂隙性油气藏AVO分析和含裂隙、溶洞复合介质地震波场模拟等技术摸索了碳酸盐岩储层地震波场正演模拟方法。在典型实例分析方面,在轮南地区通过常规的烷烃、芳烃化合物,特别是沥青质的详细研究,结合固体沥青、包裹体、油藏非均质性和同位素年代学等方法,对该地区的油源和成藏期次与年代问题进行了研究;围绕库车盆地勘探中提出的地球化学热点问题,利用已获得的大量分析测试结果,特别是利用新近发展的生烃动力学与同位素动力学研究,根据天然气组分与同位素模拟,深入探讨了库车地区的天然气主要母源与原油裂解气的可能性;采用储层包裹体等成藏地球化学记录,对库车地区克拉2等典型天然气藏的成藏过程开展了深入讨论,建立起克拉2气田天然气成藏地质地球化学模型,确定了成藏期次、时间及规模、古温度、古压力等条件;对塔里木盆地不同流体系统相互作用及成藏效应开展了研究工作,对3万个流体数据进行了重新处理与分析,绘制分析图件90余张,划分了塔里木盆地水文地质旋回和流体动力系统,探讨了流体相互作用带、流体运动样式、流体运动特征与油气成藏效应;通过对岩心观察、薄片鉴定、稳定同位素分析等,揭示了塔河油田奥陶系碳酸盐岩地层的流体演化史和流体地质作用过程,探讨了其对储层形成的影响;通过对露头岩石和岩心的采样分析,确定了东营凹陷深部流体活动证据;进行了三个系列20组的油气生成过程中的加氢反应模拟实验,从正演与反演两个方面探讨烃源岩加氢生烃效应。

5)对油气资源潜力预测的综合研究。在上述所有研究的基础上,开展了对叠合盆地油气资源潜力预测的综合研究,基本上从两个方面展开:①塔里木盆地、渤海湾盆地油气远景预测;②中国海相碳酸盐岩层系油气远景预测。07,08,09,10,11课题有意识地将本课题及项目组的新成果和新认识应用到油气潜力的评价和勘探实践中。项目组与产业部门紧密结合,将碳酸盐岩评价标准推向中国两大集团公司,并被他们应用到已经完成或正在进行的油气资源评价中。尤其值得一提的是,由国家发展与改革委员会同国土资源部共同牵头的全国新一轮油气资源评价也采用了本项目提供的指标体系。该研究为全面客观地认识我国大面积分布的碳酸盐岩的油气资源潜力提供了科学依据。

经过五年的勤奋努力,项目全面完成了研究任务,获得了数项重大研究成果。本书是对这些研究成果的一个概括性总结,侧重对典型叠合盆地的成盆与改造①碳酸盐岩层系烃源岩分级评价②叠合盆地成藏特征③叠合盆地油气远景及分布预测④等问题进行阐述,所引资料均为项目所属各课题的最新研究成果,是项目全体参研人员智慧和心血的结晶。关于各课题的详细研究成果,请参阅本丛书其他各分册。

我们意识到,与国外大型油气盆地相比,中国的叠合盆地具有鲜明的地域特色。从全球看,随着简单盆地油气勘探成熟度的逐渐提高,对复杂叠合盆地的油气勘探也势必越来越重要。针对叠合盆地特点进行油气勘探的前导性基础研究必将完善和发展世界油气地质理论。因此,尽管我们的研究成果还有不成熟之处,但我们仍愿奉献出来,为推动我国乃至世界石油天然气工业的发展聊尽绵薄之力。