



杜玉民 著

惠民凹陷 煤成气成藏动力学研究



地质出版社

惠民凹陷煤成气成藏动力学研究

杜玉民 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统地研究了惠民凹陷煤成气成藏条件、形成机制与控制因素,总结了各成藏要素及其相互作用。通过数值模拟,对各种成藏要素进行定量分析,了解了煤成气藏的形成、演化过程,并在成藏动力学定量研究基础上,详细分析了煤成气成藏动力学系统,指出了有利勘探方向和勘探目标。

本书可供从事煤层气地质研究的科研人员及高等院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

惠民凹陷煤成气成藏动力学研究/杜玉民著. —北京:
地质出版社, 2005.4

ISBN 7-116-04419-1

I. 惠… II. 杜… III. 凹陷—煤层—地下气化煤
气—气藏—动力学—惠民县 IV. P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031884 号

Huimin Aoxian Meichengqi Chengcang Donglixue Yanjiu

责任编辑: 祁向雷

责任校对: 关风云

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京长宁印刷厂

开 本: 787mm×1092mm¹/₁₆

印 张: 8.125

字 数: 200 千字

印 数: 1—700 册

版 次: 2005 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 25.00 元

ISBN 7-116-04419-1/P·2571

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

目 录

绪 论	(1)
0.1 选题的目的与意义	(1)
0.2 主要研究成果	(2)
0.3 主要研究内容与技术路线	(2)
0.3.1 主要研究内容	(2)
0.3.2 技术路线	(3)
0.4 成藏动力学理论简介	(4)
0.5 煤成气地质研究现状	(7)
0.5.1 国内外研究现状	(7)
0.5.2 惠民凹陷煤成气研究现状	(9)
0.6 完成的主要工作	(10)
1 基础地质条件研究	(12)
1.1 地层划分及其展布特征	(13)
1.1.1 地层单元划分及特征	(13)
1.1.2 地层原始厚度恢复	(15)
1.2 区域构造特征	(21)
1.2.1 区域构造单元划分及其特征	(21)
1.2.2 构造演化史分析	(25)
1.2.3 断裂(层)及其组合	(27)
1.3 石油地质条件	(29)
1.3.1 烃源岩与生烃作用	(29)
1.3.2 储盖组合特征	(29)
1.3.3 油气分布规律	(30)
2 煤层及其成烃条件研究	(31)
2.1 煤层识别与分布	(31)
2.1.1 利用测井资料确定煤层厚度	(31)
2.1.2 根据地震资料识别煤层	(32)
2.1.3 煤层纵横向展布	(34)
2.2 煤岩及其有机相特征	(35)
2.2.1 煤岩与煤质特征	(35)
2.2.2 显微组分特征	(36)
2.2.3 煤层形成环境与有机相	(39)
2.3 煤系地层有机质丰度与类型	(39)
2.3.1 有机质丰度	(39)
2.3.2 有机质类型及其生物标志化合物特征	(39)

2.4	煤系地层有机质热演化	(43)
2.4.1	现今演化程度	(43)
2.5	煤层生烃模拟实验及生气量图版	(44)
2.5.1	煤岩生烃热模拟实验	(44)
2.5.2	煤成气产率图版	(45)
2.6	热演化史与二次生烃	(48)
2.6.1	热演化史分析	(48)
2.6.2	成烃演化史	(48)
2.6.3	煤系有机质生烃模式	(50)
2.7	煤层排烃特征与机理	(51)
2.7.1	煤层孔隙基本特征	(51)
2.7.2	煤层排烃机理	(52)
2.7.3	煤层排烃模式	(53)
3	沉积与储盖条件研究	(54)
3.1	地层沉积特征及沉积相	(54)
3.1.1	单井相分析	(54)
3.1.2	微量元素分布特征及应用	(55)
3.1.3	沉积体系划分及特征	(58)
3.1.4	层序地层分析	(60)
3.1.5	沉积相演化及区域古环境分析	(61)
3.1.6	沉积环境对煤层发育的控制	(62)
3.2	石炭—二叠系常规储集层特征	(64)
3.2.1	储集空间类型	(64)
3.2.2	储集层类型	(65)
3.3	盖层的类型及特征	(67)
3.3.1	盖层类型及特征	(67)
3.3.2	盖层评价	(68)
3.3.3	有效盖层封闭性能	(68)
4	定量模型建立与数值模拟分析	(70)
4.1	地质模型建立与参数研究	(70)
4.1.1	地质模型建立	(70)
4.1.2	模型参数研究	(70)
4.2	计算模型的建立	(82)
4.2.1	回剥技术和超压技术	(82)
4.2.2	热压模拟实验法化学动力学方程的标定	(83)
4.2.3	原始有机碳与生烃潜力恢复	(84)
4.2.4	生烃压力与排烃作用模拟	(85)
4.2.5	流体势	(88)
4.3	模拟计算结果分析	(89)
4.3.1	热演化模拟	(89)
4.3.2	生烃模拟结果	(90)
4.3.3	排烃模拟结果	(90)

4.3.4 煤成气资源量计算	(92)
5 成藏动力学研究	(95)
5.1 典型气藏解剖	(95)
5.1.1 曲古 1 井气源对比	(95)
5.1.2 曲古 1 井气藏成藏模式	(101)
5.2 成藏条件分析	(101)
5.2.1 有效生烃中心分布	(101)
5.2.2 优势运移方向	(102)
5.2.3 成藏期次及其成藏条件	(103)
5.2.4 储盖及其组合	(104)
5.2.5 后生演化作用对气藏规模的影响	(105)
5.3 重点气藏成藏动力学模拟	(107)
5.3.1 剖面 479.3 斜坡带上古生界成藏模拟	(108)
5.3.2 剖面 479.3 成藏模拟	(108)
5.3.3 剖面 500.3 成藏模拟	(108)
5.3.4 剖面 60.4 成藏模拟	(109)
5.4 气藏类型预测	(109)
5.4.1 据生储组合分类	(109)
5.4.2 据圈闭分类	(111)
6 煤成气有利勘探方向	(114)
6.1 有利区带评价	(114)
6.1.1 曲堤潜山构造带	(114)
6.1.2 济阳地堑	(114)
6.1.3 西南缓坡带	(115)
6.1.4 其他区带	(115)
6.2 有利勘探目标	(117)
7 结 论	(118)
参考文献	(120)

绪 论

0.1 选题的目的与意义

煤成气是近年来天然气地质学学科中最具增长潜力的研究领域之一，这不仅表现在有关的新认识、新理论不断出现，也表现在与煤成气有关的储、产量大幅增加。因此，以煤成气成藏动力学研究为题，具有多方面的重要意义。

0.1.1 是我国天然气工业进一步发展的需要

从我国能源组成来看，天然气仅占2%，尽管近几年天然气的勘探实践已经取得重大进展，但勘探开发现状与我国所拥有的非常丰富的天然资源相比极不相称。发展我国的天然气工业，可以支持农业（化肥业）发展、保证重点城市用气，同时缓解煤炭等其它能源运输紧张的矛盾，并且可以减少环境污染、降低原油生产压力。

从我国油气勘探开发现状分析，石油勘探难度越来越大，后备储量增长缓慢，与石油储、产量相比，天然气工业尚属薄弱环节。因而大力发展天然气工业是我国能源战略的重要方向。

济阳坳陷是我国重要的石油产区，石油资源非常丰富，而天然气工业发展却极为缓慢。目前已有的天然气储量集中在浅层，储量丰度低，制约了产量的迅速提升。从区域资料类比分析，隶属渤海湾盆地的华北苏桥、中原文留及大港乌马营地区均已发现以古生界煤系地层为源岩的煤成气田。济阳坳陷（特别是惠民凹陷）石炭—二叠系煤层分布广泛，一般累积厚度达10~20 m，单层厚度大，煤质优良，埋藏深度适中，生气能力强，具有形成大中型煤成气气藏的有利地质条件。目前已在孤北断裂带基本控制煤成气储量 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，惠民凹陷南坡曲古1井区也已发现煤成气藏，虽未形成工业规模的气田，但展示了本区良好的煤成气勘探前景。因此，加强本区煤成气勘探地质研究，是加速我国天然气工业进一步发展的重要组成部分。

0.1.2 是煤成气理论进一步发展的需要

与国外煤成气成熟的勘探理论和技术相比，国内在煤成气地质勘探和地质研究方面还有较大的差距，在煤成气成藏理论、勘探技术水平等方面还有许多需要发展、完善和创新之处。通过本次研究，在地层剥蚀量恢复、煤成气地化鉴别、煤系地层资源潜力与气源对比、二次生烃等方面取得了一些重要成果和认识，提出了符合本区实际地质条件的煤成气地质勘探理论，特别是利用数值模拟手段，定量研究了煤成气成藏动力学过程，有力地推动了煤成气成藏理论的进一步发展和本区煤成气勘探水平的提升。

0.1.3 是与含油气系统理论互相渗透有机结合的需要

含油气系统思想与理论是近年来石油地质学的重大进展之一，其系统的研究思路完全可以引入到煤成气勘探的地质研究中来，从而全面、系统、动态地研究煤成气藏形成、演

化规律，更为深入细致地总结和完善煤成气理论体系，为本区煤成气勘探早日取得更大突破奠定基础。

0.1.4 是天然气地质学从定性描述到定量分析的需要

本研究的主要目的之一是要定量研究煤成气从生成、运聚及至成藏后变化等过程，以提高煤成气成藏动力学研究水平，实现从定性描述到定量分析的跃进。这项工作对于煤成气成藏研究应该有着重要的理论意义和实际应用价值。

0.2 主要研究成果

0.2.1 全面、系统地研究了煤成气成藏条件

本文全面、系统地研究了惠民凹陷南坡煤成气成藏条件、形成机制与控制因素，总结了各成藏要素及其相互作用，有效地推动了煤成气勘探技术在本区勘探中的应用。对本区进行如此全面、系统的成藏动力学研究尚属首次。

0.2.2 首次利用定量数值模拟对煤成气成藏过程进行了定量分析

通过数值模拟，对各种成藏要素进行了定量分析，理清了本区煤成气资源潜力及其分布情况，准确地了解了煤成气藏的形成、演化过程，为本区煤成气勘探提供了量化成果。

0.2.3 采用多种新技术恢复了中生界地层剥蚀量及异常地温场

首次系统研究了本区中生界残留地层情况、恢复了古生界顶面和中生界顶面地层剥蚀量，研究了中生代异常地温场，这对于正确认识本区煤成气资源潜力具有重要意义。

0.2.4 首次利用成藏动力学理论优选了本区勘探方向和目标

在成藏动力学定量研究基础上，详细分析了煤成气成藏动力学系统，为预测煤成气藏分布规律奠定了基础，指出了有利勘探方向和勘探目标。

0.3 主要研究内容与技术路线

0.3.1 主要研究内容

1) 煤成气成藏地质条件研究，包括：①研究工区内基础地质条件，例如构造及其演化史、地层划分及分布、沉积特征等，特别是要弄清中生代原型盆地展布情况；②利用地质、地震、测井等资料以及与邻区煤层进行对比，弄清煤层厚度及分布，通过大量分析化验确定煤岩生烃潜力、生排烃效率及期次；③利用含油气系统观点，全面系统分析各静态成藏要素，特别是圈闭和保存条件，了解气藏后生变化作用。

2) 盆地静态地质模型建立，包括：①根据构造、层序地层学和沉积相研究成果，建立各盆地构造形态、断层、岩性、孔隙度、渗透率分布的精细模型；②在构造、地层等研究成果基础上，应用剥蚀量恢复、平衡剖面恢复等技术确定抬升期的不同位置剥蚀厚度、各断层的活动时期与活动强度；③在地球化学参数研究基础上，结合地震资料追踪烃源层展布，建立烃源岩类型、厚度、TOC、演化程度等参数的描述模型，并恢复原始有机碳含量及原始生烃潜力。

3) 成藏动力学定量分析。应用 PRA 软件系统 1D、2D、BASINFLOW 和 BASIN-RISK 等模块，结合平衡地质剖面恢复技术，选取典型区域剖面、钻井或人工井，恢复地

层沉积史、埋藏史、构造发育史、大地热流、地温梯度特征及其演化历史。

地史模拟：确定不同类型岩石的压实模型，采用动态模型恢复地层的压实过程，反演从沉积开始的地质历史过程中地层厚度变化和埋藏过程，进行单井和剖面埋藏史分析。

热史模拟：进行单井和剖面热演化研究，分析烃源岩不同时期古地温场及对成烃演化的影响。包括可能热源分析、热传递方式确定（辐射、传导、对流）、测定岩石热导率、热容等参数，分析现今热流、地温梯度、古地温梯度、热流值等。

生烃史模拟：结合热模拟实验、热解分析结果和不同类型干酪根化学动力学参数研究结果，确定不同类型干酪根产烃率曲线，分析不同地区不同类型干酪根生烃历史。模拟计算各层位烃源岩在不同时期累计强度和生烃量等。

排烃模拟：主要包括根据烃源岩所处地质环境确定排烃模型、模拟计算不同时期不同地区烃源岩排烃强度和排烃量、反演不同时期不同地区不同部位排烃史。

运聚模拟：包括分析已知油气藏成藏史、确定运载层不同岩性孔隙度、渗透率演化模型，对于重点储盖层分析研究其孔渗性演化历史，分析断层的活动对油气运聚的影响，研究运载层流体势，确定有利聚集带。

4) 勘探方向与目标优选。根据圈闭发育史与油气充注史的模拟研究计算圈闭资源量，研究各圈闭的成藏条件，求取烃源、储层、保存、配置、圈闭幅度和闭合面积等项参数，与已知油气圈闭对比分析，建立其与圈闭资源量计算参数间的关系，估算圈闭资源量。对有利圈闭进行综合评价，指出有利勘探目标。

0.3.2 技术路线

以先进的天然气地质学成藏理论、分析化验技术、地震勘探技术为指导，采用宏观与微观研究相结合、动态与静态研究相结合的技术路线，充分利用工区内的钻井、测井、录井、岩心资料、各类分析化验资料及地震资料，深入开展惠民凹陷南坡煤成气生气中心、储层特征、储盖组合类型、煤成气运移过程、运移形式及运移时间的基础研究工作，在深化解剖重点气藏的基础上建立起本区煤成气成藏一般地质模式及各二级构造带煤成气具体成藏模式。在深入研究煤成气生气子系统、运移子系统及圈闭子系统的基础上，完成本区煤成气含气系统的整体研究，强化较大型气田形成的地质因素研究工作，在煤成气藏形成条件综合研究的同时，预测和寻找煤成气最有利聚集区带，指出有利勘探方向。

应用承接盆地与目标区带研究的含油气系统理论，研究油气从生成到成藏的整个过程，动态分析、重点解剖，理论与实践相结合（图 0-1～图 0-3），建立和完善适于本区煤成气勘探的地质理论体系与勘探技术。

1) 采用关键技术，例如封盖层的封盖性能动态模拟技术、储层储集性能定量评价技术、含油气系统与运聚单元划分技术、模拟计算技术（BasinMod2D）和平衡剖面地质恢复技术等。

2) 根据烃源岩成烃条件研究和数值模拟结果，建立热演化和生烃方程。

3) 将地质模型与运聚体系研究相结合，建立二维运聚体系的地质模型。

4) 以埋藏演化、构造演化为主线，模拟各个地质历史时期地史、热史和烃类生、排、运、聚史。

5) 应用模拟计算技术分析和划分含油气系统、油气运聚单元。计算各运聚单元的油气资源量、区带和圈闭资源量，分析各重点圈闭成藏史和充注史。

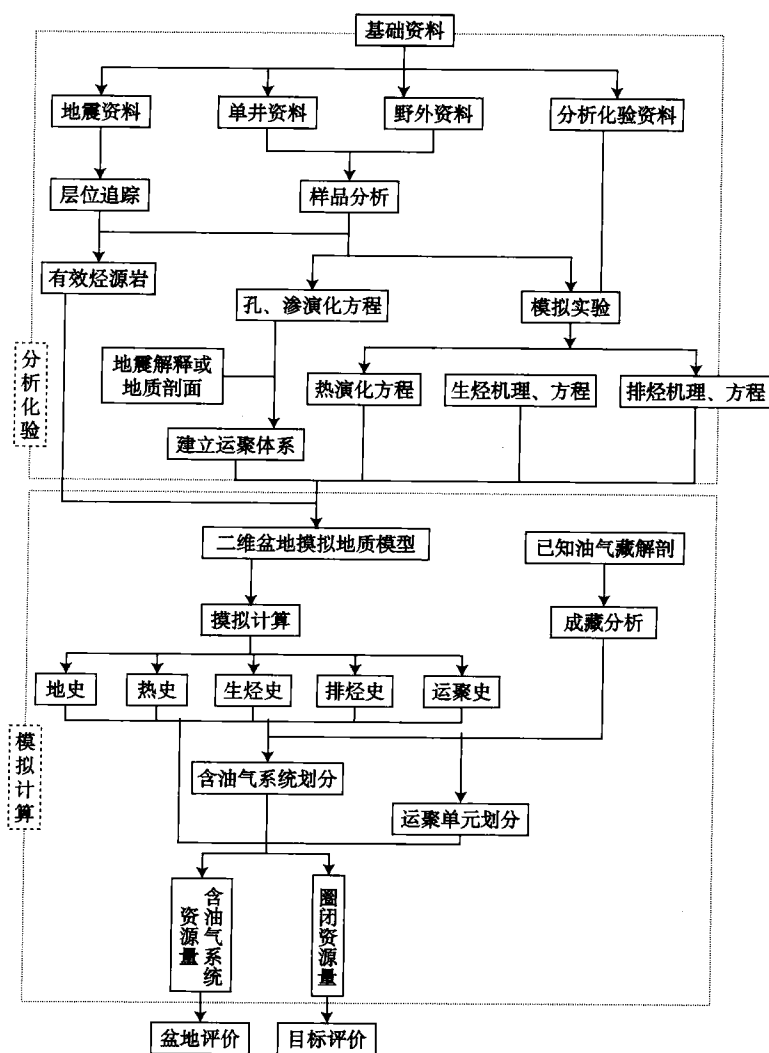


图 0-1 成藏动力学研究流程图

0.4 成藏动力学理论简介

我国对油气油藏的研究始于 20 世纪初，已有 90 多年的历史，在油气勘探实践过程中，形成了一套以有机生油理论为基础的油气生成、运移、聚集成藏的石油地质理论。胡见义等（1986）综合了 I C White（1985）、E H Mccollough（1934）、莱复生（1936）、M K Hubbert（1940）、M T Halbourty（1972，1980）等人有关圈闭特征、机理的阐述，结合我国油气勘探成果，以圈闭成因划分大类，以圈闭形态、遮挡方式和储集层类型划分亚类和细分类，把油气藏分为四个基本类别，即构造圈闭油气藏、非构造圈闭油气藏、水动力圈闭油气藏和混合圈闭油气藏，并阐述了各类油气藏圈闭形成机理。

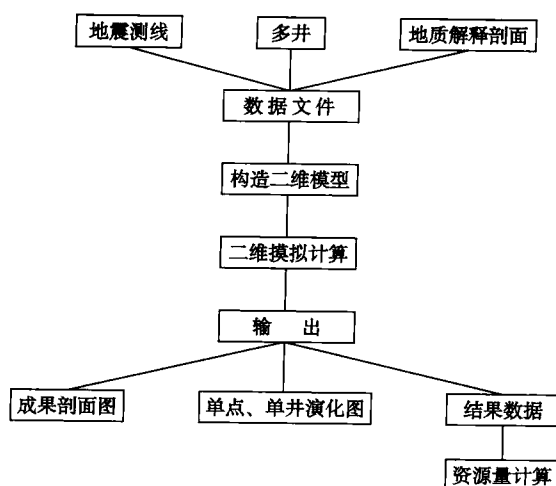


图 0-2 一维盆地模拟工作流程图

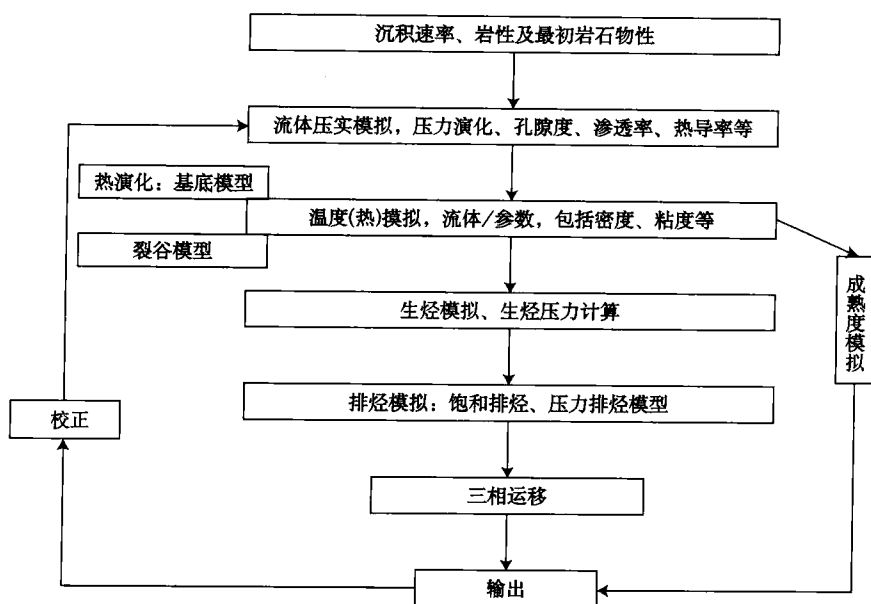


图 0-3 二维盆地模拟工作流程图

随着现代油气成藏理论不断发展和完善，国内外就油气运移问题进行了广泛讨论和研究，大部分学者认为初次运移是压实作用、热力作用、粘土矿物脱水作用引起的。美国地质学家赫德伯格提出了甲烷及其它气体可作为油气运移动力。油气初次运移可能的相态有油相、乳浊液、胶体溶液、真溶液、单分子扩散等。二次运移的驱动力是浮力、水动力和构造运动力等。

关于油气在圈闭中的聚集机理，长期以来停留在定性描述的基础上，认为油气在单一圈闭中的聚集从圈闭最高点开始，然后由较高部位向较低部位聚集，直至充满整个圈闭。

油气在系列圈闭中的聚集服从格索 (W C Gussow, 1951~1954) 所阐明的差异聚集原理。近十几年来, 许多学者用流体势来研究油气运移和聚集的机理, 提出了定量研究油气运移的新方法。

油气藏形成理论的发展大体可分为三个阶段 (胡见义等, 1991)。第一阶段是初期阶段, 提出了油气藏的背斜说或重力说, 这一理论在油气勘探中发挥了巨大的作用, 数万个油气藏都是在这—理论指导下发现的。第二阶段是在 20 世纪 50 年代及其以后的 20 年间, 详细研究了油气藏形成的基本条件, 掌握了油气的分布规律, 大大增强了油气藏勘探的科学性。主要成果表现在以下方面: ①确定油气藏形成的地质环境, 包括大地构造位置、盆地类型、古地理面貌和生物环境。②有机质的类型、丰度、演化和成烃评价。③盆地沉积条件、成岩过程、储集层的演化形式。④热力场及其演化。⑤盆地内构造带、局部构造的形成、类型及分布。⑥排烃、运移、聚集条件的分析。⑦油气藏类型与分布。⑧水动力条件与区域保存条件。该阶段发现了大量的油气藏。第三阶段是近十多年来对油气藏形成机制进行的研究, 深入探讨了形成油气藏的各项条件之间的有机配置关系, 目前这一阶段仍在继续发展。

近年来国内外学者运用计算机技术、物理模拟技术进行了系统的油气成藏条件、机制以及其间有机配合关系的研究。①以热力场 (地温场) 作为成烃的主要控制因素, 通过物理模拟研究不同类型、不同丰度有机质的成熟度和成熟门限、石油窗以及油气生成化学动力学机制。②油气初次运移研究取得了长足的进展, 在对排烃机理的实例分析和实验室模拟研究基础上, 通过计算机模拟耦合压实史、超压形成史、热史和烃类形成史, 重建排烃过程 (Ungerer, 1990; Welte, 1987; 王新洲等, 1996)。③将流体势引入含油气盆地系统, 进行含油气盆地范围内地下流体运动的数值模拟, 并结合油气生成和保存条件、沉积盆地发展演化条件, 进行成藏过程中油气二次运移和聚集的定量研究, 对盆地油气资源及二次运移区域方向、聚集的主要区带、层位作出定量模拟分析 (Ungerer, 1990; Dahlberg, 1982; England 等, 1987; 石广仁等, 1994; 郝石生等, 1994)。④提出了流体封存箱理论 (Hunt, 1990)。⑤Catalan 等 (1992)、Thomas 和 Clouse (1995) 以及其他学者进行了一系列油气成藏的模拟实验。⑥油藏模型研究得到重视, 如定量流动模型、储层结构模型、储层非均质模型及岩石物理模型等 (张一伟等, 1994)。⑦油藏与储层地球化学研究逐渐深入 (王铁冠等, 1997; 林壬子等, 1996; 梅博文等, 1992)。⑧油气藏的保存与破坏研究也得到了重视。⑨Magoon (1994, 1995) 提出了含油气系统概念和理论。

成藏机制研究中存在的问题主要有: ①油气生成过程中催化剂的作用没有引起足够的重视, 排烃的定量模型也不完善, 需要在了解排烃机理的基础上, 确定可靠的排烃效率。②油气成藏的动力学机制, 如油气运移通道占据整个孔隙和裂隙的多大体积、各种圈闭中低熟油聚集的机理、油驱水的动力学过程、油气二次运移过程中油气饱和度增长和散失量及其影响因素等, 还处于理论分析和推测阶段。③目前油气成藏动力学的研究大多局限于盆地范围内宏观研究, 即定性或定量地研究盆地范围内二次运移和聚集规律及其控制因素, 很少涉及到各种圈闭条件下二次运移和聚集过程的动力学研究。④大多数模拟实验局限在研究常温常压、静水条件下、均质、各向同性的单一储层中油气运移和聚集过程。目前还没有开展地下温压和动力条件下、不同储层和盖层组合、非均质各向异性岩石组成的单一或复合圈闭系统、油气二次运移和聚集的动态模拟实验研究。⑤油气二次运移效率的

定量研究,即散失量和聚集量的定量关系仍停留在推测阶段。⑥断层开启程度及其散失量的定量研究、断层封闭性演化史的定量研究尚未取得明显进展。⑦地下温度压力条件下,油气相态行为的确定、三相流体在不同介质中的运移机理、多相多反应组分系统储层-流体相互作用的反应动力学机制及其与储层演化之间的关系大多停留在定性或半定量的阶段。

我国石油地质工作者经过 40 多年的勘探实践,对陆相含油气盆地油气藏形成条件及成藏模式进行了深入探讨(田世澄等, 1996; 袁国礼等, 1998; 康永尚等, 1998),提出了不同类型含油气盆地或凹陷的油气聚集、分布模式。含油气系统和成藏动力学的研究在中国东部陆相含油气盆地也取得了很大进展。

成藏动力学是运用系统论的方法,从盆地发育的动力学背景、构造、沉积动态演化与油气藏形成、聚集的动力学系统的角度,探寻油气聚集分布规律的一种新的系统工程。主要研究内容有:①盆地演化的深部过程和动力学背景;②盆地构造、沉积的演化特征和时空展布;③盆地的生、储、盖、圈、保等成藏条件及温压场等动力学参数;④地层孔隙流体压力特征研究、动力学系统划分及分析各系统的成藏条件和成藏过程;⑤进行数值模拟,恢复盆地的演化史、沉积史、热史、生烃史、流体压力演化史、排烃史、运聚史,分层、分期研究各系统的形成演化和油气藏分布规律。

0.5 煤成气地质研究现状

0.5.1 国内外研究现状

除组成差异之外,煤成气与油型气最大的区别在于其母质和其初次运移,而在二次运移、聚集以及成藏后生演化等方面差别不大。因此有关煤成气的早期研究集中在煤成气的生成方面,并且常常和煤成油联系在一起。

有关煤和油气成因的最早记载可能是由俄罗斯学者罗蒙诺索夫于 1759 年提出来的(波达波夫, 1962)。西方学者 Rogers 也早在 1860 年就已指出,宾夕法尼亚系中的油、气是由处于一定煤阶的含煤地层所生成的(Waples, 1990)。

1965 年,在澳大利亚吉普斯兰含煤盆地内发现了油气田。Brooks 等(1969)用实验和有机地球化学的方法研究了吉普斯兰盆地第三纪 Yallourn 花粉煤和 Morwell 层土状褐煤。Leythaeuser 等(1969)可能是最早将可溶有机物质产率和组成与作为煤化程度指标的挥发分和镜质组反射率 R_o 联系起来的学者。其所研究的德国 Saar 地区晚石炭世煤的总组成变化最大处,大体是在挥发分为 25%、 R_o 为 1.2% 处。

在 20 世纪 60 年代以前,虽有像西爪哇盆地这样的真正由腐泥煤为主形成的有工业意义的油田,但人们并没有从理论上讨论煤层能形成具工业意义的油气田的问题。

在澳大利亚白垩系—第三系和印度尼西亚马哈坎三角洲等第三系含煤盆地中油田的发现,使含煤岩系中能找到大量烃类聚集的认识逐渐得到普遍认同。

1989 年,在我国的吐哈侏罗系含煤盆地中发现了石油,并认为侏罗系八道湾组煤和泥岩是主要的贡献者(黄第藩等, 1990, 1992, 1995; 程克明, 1994; 程克明等, 1995)。金奎励等于 1992 年提出煤的基质镜质体也是吐哈盆地生油的主要组分(金奎励等, 1997; 赵长毅等, 1994; 陈中凯等, 1996)。

自从 20 世纪 80 年代以来,国际上煤成油的研究一直是一个热门课题。1990 年 4 月美国化学学会地球化学分会在波士顿召开了煤和陆源有机质成油专题学术讨论会,发表了专集 (Mukhopadhyay, 1991)。90 年代以来,专门论及煤成油气方面的专集和论文很多 (Law, et al., 1993; Scot et al., 1994; Murchison, 1987; 黄第藩等, 1992; 胡社荣等, 1995, 1996, 1997; 侯慧敏等, 1997; Huang et al., 1997)。

翁文波于 1982 年提出“陆源植物的特征组分之一木质,既可成煤,也可形成石油和天然气。”他从油气成因理论角度探讨了这一问题。范光华等 (1985)、李建新 (1989) 和杨斌等 (1989) 认为,准噶尔盆地一些油田与侏罗系含煤岩系有关。王屿涛等 (1987) 认为,依奇克里克油田和柯克亚原油来自侏罗系含煤岩系。黄第藩等 (1991) 认为,柴达木盆地侏罗系含煤岩系对油田的形成作出了贡献。

刘宝泉等 (1984) 和高瑞琪等 (1984) 分析了孢粉和现代松科花粉的产烃率。何中恒 (1983)、王涵云等 (1983)、刘玉英 (1986)、贾蓉芬等 (1987)、傅家谟等 (1987)、关德师 (1987)、张文正等 (1987)、沈平等 (1987) 较早对我国石炭—第三系中的煤岩及煤显微组分进行了热模拟实验研究。阎霞等和刘宝泉等于 1986 年用热解气相色谱法研究了干酪根的类型及其演化。许化政 (1987) 从热解色谱 (Rock-Eval) 分析获得了不同煤阶的生烃潜力 ($S_1 + S_2$) 值。

梁狄刚等 (1990) 提出煤岩中烃类的排出通道主要是气孔和微裂隙,煤岩在构造力或大量生气膨胀力的作用下,可以产生大量微裂隙和气孔。戴卿林 (1995) 对煤成油的运移作了系统研究。赵长毅等 (1997, 1998) 对构造力在煤成油的运移中的重要作用作了深入的探讨。金奎励等于 1989 年进行了油气排驱的研究,结果表明抽提之后煤样的孔隙比抽提之前增加了 2~5 倍。

1989 年,吐哈盆地台参 1 井出油,黄第藩等 (1990) 最先确定了侏罗系八道湾组生油岩是台北坳陷油田的主要贡献者。钟宁宁等 (1990) 认为,木栓质体是吐哈盆地煤成油的主要显微组分。

80 年代以来,虽然煤能生油已为大多数研究者所接受,但能否形成以煤层为主要来源的大中型油气田还存在一些争议。是煤层生油为主,还是煤系中的泥岩生油为主?能否形成以煤层为主要贡献组分的有工业价值的油气田?低熟煤系地层烃源岩发育区能否形成低熟油田?有机地球化学和显微组分方法在评价煤成油中究竟有多大的作用?在我国,王屿涛 (1994) 率先提出了对煤层形成油田的质疑,并认为在准噶尔盆地对一些油田形成作出主要贡献的是煤系中的泥岩而不是煤岩本身。陈建平 (1995) 也提出了西北侏罗系盆地内不能形成煤成低熟油田的认识。

煤层的孔隙结构分为裂隙孔隙和基质孔隙两类。煤层中液态烃在初次运移时,裂隙孔隙更有意义。已有的研究表明裂隙孔隙是煤层渗透率的主要贡献者 (Mekee 等, 1986)。许多学者认为阻碍烃类,尤其是石油从煤层中排出的两个主要原因是煤的微孔隙性和热塑性,而主要生气阶段烃类气体的排出主要依靠微裂隙。

煤成气的二次运移主要有分子扩散、渗流和脉冲式混相涌流等三种方式。其运移方向、距离、时间、通道等的定性研究可采用烃类组成、同位素组成、生物标志物、自生矿物包体及自生矿物转化程度等方法。定量研究则可根据综合考虑应力场、温度场和压力场三场耦合的成藏动力场各类模型计算求得。

天然气成藏对盖层的要求较高，特别是盖层封盖能力（可用排替压力和孔喉结构分布来表征）。气藏形成后仍具有动态平衡的特征，烃类气体不断散失，烃源岩生成的烃类不断充注进行补充。气藏的规模除取决于圈闭容量等因素外，与充注和散失的相对速度有关。而且成藏后的生物化学作用、热化学作用和断裂活动等地质作用可能会对气藏起到破坏作用。

总的看来，国内外煤成气地质研究有如下发展趋势：①十分重视煤系有机质的来源和显微组成，并将其与生烃潜力、产气量紧密联系起来。②分析化验不断采用高新技术，例如天然气中微量生物标志物的富集与分析、单体烃同位素分析、含氮化合物分析等。③采用系统动态的观点，将天然气的生运聚散作为一个动态演化的系统，对该系统的研究不断由定性、半定量向量化方向发展。④模拟实验更为符合实际，不仅模拟不同显微成分的生烃演化规律，而且对煤系地层烃类排出、二次运移直至聚集的过程都进行了实验探索，获得了多项参数。⑤对煤层本身的储集性能和封盖能力有了进一步的认识。煤成气理论的出现和发展，已使煤成气成为我国天然气勘探的重要领域，在全国气层气探明储量中，煤成气已占一半以上。作为渤海湾盆地组成部分的济阳拗陷，中古生界煤系地层发育，尤其是上古生界 C~P 煤系地层分布范围广、厚度较稳定，隶属渤海湾盆地的华北苏桥、大港乌马营及中原文留地区均已发现以古生界煤系地层为烃源岩的煤成气田。济阳拗陷与这些地区的地质背景相似，亦应具备形成煤成气田（藏）的基本条件。目前，已分别在沾化凹陷孤北断裂带渤 93、义 155 井区和惠民凹陷南坡曲古 1 井区发现煤成气藏，展示了济阳拗陷煤成气良好的勘探前景。

0.5.2 惠民凹陷煤成气研究现状

与国内外煤成气的勘探现状、技术相比，本区在煤成气的地质勘探和地质研究方面尚处于起步阶段。自 1986 年以来涉及到本区、与煤成气有关的研究成果主要有四项。1986~1989 年胜利油田地质科学研究所贾俊德、李学田、向奎等人完成的《济阳拗陷天然气（含煤成气）地质综合研究及数字模拟技术》，对中古生界煤成气资源作了初步预测，煤成气总资源量 $641 \times 10^8 \sim 1601 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；1995 年由王秉海、王捷、何立琨等人完成的《济阳、临清拗陷天然气藏形成条件及勘探方向研究》，重点研究了临清拗陷煤成气形成条件及勘探目标，临清拗陷煤成气资源量为 $836 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，济阳拗陷沿用全国二次资评结果，煤成气资源量为 $1254 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；1997 年唐再君、项希勇、曹忠祥等人完成了《山东探区煤成气资源潜力及勘探前景分析》，首次较系统地研究了中古生界煤系地层分布、沉积特征、源岩有机地化特征及煤成气勘探目标，并对黄河以北地区煤成气赋存条件、资源潜力作了初步分析；1997 年地质科学研究所廖永胜、潘仲俊、张守春等人完成了《济阳拗陷深层烃源岩评价》，对上古生界煤层做了热模拟实验，提出了煤系烃源岩的生气量图版。但由于以上研究基本上沿用了油型气的研究方法，还存在很多问题需要进一步研究。

综合以上研究成果，本区煤成气的研究已经取得了一些初步认识，为本次工作奠定了基础。①初步建立了煤成气分析测试和地化鉴别技术。②对济阳、临清拗陷上古生界煤系地层展布、沉积特征及资源潜力作了初步评价，认识到煤成气成藏条件是济阳拗陷优于临清拗陷，济阳拗陷的南部优于北部。③对曲古 1、义 155 井区等煤成气藏进行了气源对比研究和成藏条件分析。④探讨了上古生界煤系地层二次生烃作用和热演化条件。⑤提出了第三系快速沉积对中古生界煤岩热演化的热滞作用。但同时也存在一些问题有待进一步深

人,例如地质、地球化学、模拟实验与资源评价等研究所采用的方法仍是沿用油型气技术,对煤成气专项技术研究不够;煤成气研究尚不够深入细致;各单位、学科及专业间结合有待深入等。要发现一定规模的煤成气田(藏),需具备起决定作用的一些基本条件,依据目前的研究现状,须切实加强以下几个方面研究。

1) 通过开展煤系地层分布、有机质含量及类型、热演化程度以及煤成气气源条件的分析研究工作,来寻找和确定煤成气的生气中心及分布范围。从国内外的实际情况来看,煤成气田(藏)都位于生气强度中心附近。如果生气面积较大,则生气强度需在 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上,如果生气范围较小,则需在 $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上,才有利于煤成气聚集成一定规模的气藏。确定生气中心,则必须明确煤系地层分布、构造及热演化、煤质和煤气发生率等条件。

2) 通过对储层性质、类型研究及盖层评价工作,来表明煤成气有利的储盖组合类型。不同的储层类型、储层性质、储层厚度和分布面积,制约着气藏的成因、类型及分布。封盖条件对煤成气藏的形成和保存至关重要。

3) 运用流体包裹体测定、同位素分析等技术来分析济阳拗陷煤成气的运移相态与主要运移期次。通过研究济阳拗陷中古生界煤系地层成岩作用阶段及有机质热演化阶段,分析天然气生排烃过程、温压环境条件,结合天然气运移机理,确定天然气运移以何种方式为主。运用包裹体分析技术,研究其中的流体介质的性质、组分和物理条件,结合生物标志化合物分析技术,综合判断天然气的运移相态、时间及运移方向。

4) 在煤成气藏类型及综合地质研究的基础上,开展煤成气含气系统的研究,建立济阳地区煤成气藏地质模式及二级构造带煤成气成藏模式,探讨大中型气田形成条件,为最终发现大中型煤成气田奠定地质基础。

0.6 完成的主要工作

通过两年多的工作,本项目在各有关方面大力支持下完成了大量研究工作,取得了许多有创建性的新认识。

1) 采集岩心、岩屑样品,进行了烃源岩、储层、盖层等常规分析以及煤岩吸附解吸实验、同位素年龄、宇宙核素和宇宙尘埃特征元素等特殊分析(表 0-1)。

2) 统计了多口探井分层数据、煤层厚度,解释二维地震剖面约 3000 km,尝试了利用三维地震资料预测煤层厚度及分布,结合地震资料预测了石炭-二叠系地层分布,基本弄清了石炭-二叠系煤层展布、沉积环境和有机相带。

3) 对多条地震剖面进行了平衡剖面分析,读取泥页岩声波时差数据 5000 余个,利用声波时差法对地层剥蚀量进行了恢复,利用稀土元素数据,研究了济阳拗陷自太古宇至第三系物源构成,编制了中生界残余地层等厚图、上古生界顶面剥蚀厚度图和中生界顶面剥蚀厚度图。

4) 对石炭-二叠系煤系地层生烃潜力进行了深入研究,进行了低熟煤岩样品的热模拟实验、盆地数值模拟、流体包裹体等分析,初步弄清了其热演化生烃史和运聚成藏史。

5) 确定了二次生气中心及其分布,提出了二次生气门限深度,进行了部分井石炭-二叠系的单井相分析、生储盖及其组合分析。

表 0-1 分析化验项目及块 (次) 统计

研究项目	分析化验项目	块 (次)
烃源岩	有机碳	123
	氯仿沥青 A	22
	族组分	22
	干酪根镜检	26
	镜质体反射率	28
	干酪根元素	15
	GC-MS	11
	热解	113
	全岩光片	12
	岩石轻烃	7
	生气量	20
储 层	薄片	42
	扫描电镜	6
	阴极发光	5
	X-衍射	4
	岩心光面	12
盖 层	常规孔隙度、渗透率	69
	地层条件下渗透率、突破压力	4
	扩散系数	2
	中值半径	6
	优势孔隙	6
其 它	同位素年龄	7
	镜质体反射率	11
	裂变径迹	15
	宇宙核素分析	30
	宇宙尘埃特征元素	108
	流体包裹体均一温度盐度	24
	流体包裹体荧光分析	21
	煤岩吸附解吸实验	1
总 计		748

6) 解剖了曲古 1 和义 155 等煤成气气藏, 划分了上古生界含气系统, 总结了本区煤成气藏的形成条件和成藏模式。

7) 定量研究了本区煤成气成藏的动力学特征, 利用数值模拟手段再现了重点圈闭的成藏、演化历史。

8) 优选了济阳地堑东部和曲堤地垒东段为有利区带, 指出邻近二次生气中心、反向断层遮挡圈闭是利成藏部位。