

周荔青 刘池阳 著

深大断裂与中国东部 新生代盆地油气资源分布

石油工业出版社

深大断裂与中国东部 新生代盆地油气资源分布

周荔青 刘池阳 著

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

深大断裂与中国东部新生代盆地油气资源分布/周荔青,刘池阳著.
北京:石油工业出版社,2006.1

ISBN 7-5021-5339-X

I. 深…

II. ①周…②刘…

III. 新生代-含油气盆地-油气藏-分布-中国

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 140814 号

深大断裂与中国东部新生代盆地油气资源分布

周荔青 刘池阳 编 著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 10011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010)64262233 营销部:(010)64240503

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:16

字数:385 千字 印数 1—1000 册

书号:ISBN 7-5021-5339-X/TE·4112

定价:56.00 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

本书通过系统开展苏北、渤海湾、伊兰-伊通、南-襄等中国东部新生代含油气盆地分析,认识到深大断裂控制了该区新生代盆地的形成与分布,控制了盆地的构造、沉积演化和油气资源分布。主要表现为以下几点。

(1) 深大断裂作为深切入岩石圈地幔、软流圈、地壳深部的结构破损面,是深部构造-热活动的中心区。在区域伸展的背景下,深大断裂诱发岩石圈地幔熔融和深部物质上侵,深部地幔物质运动十分活跃,引发和促进深部成盆作用,因此,它是决定盆地形成的诱发点。同时,它也是盆地深部构造作用继续发展的控制点,它控制岩石圈地幔熔融向深大断裂周邻扩展,引起盆地伸展中心的迁移。深大断裂引起周边地区岩石圈及莫霍面隆起,发育热壳、热幔,火山活动规模大、期次多,具有高的地热流场。

(2) 在区域张扭性应力场下,深大断裂发生强烈的平移和斜向运动,引发成盆部位强烈的走滑拉分作用。因此,深大断裂周邻地区是走滑拉分成盆作用的始发区和中心区,其周邻凹陷具有较大的拉张量(率),发育大中型深断陷,发生继承性快速沉降,进而控制盆地构造活动中心的扩展和迁移。

(3) 在深大断裂的走滑挤压构造作用下,其周邻凹陷发育继承性良好、规模较大的走滑挤压鼻状隆起构造。

(4) 深大断裂周邻发育比深值较高的深断陷,形成湖盆水体的垂向分带,有利于深湖区矿物质的保存。深大断裂引发深部富含矿物质的热流体输出异常,加之地表的较高热流场,使其周邻具有特殊的地面生态环境,特别有利于生物爆发性生长繁殖,往往发育富含碳酸盐岩、油页岩、生物灰岩及富脂藻类的咸化、半咸化湖沉积建造。同时,咸化湖环境也有利于使淡水湖相有机质腐泥化。而深大断裂周邻深断陷与隆起区构成陡峭地形,有利于发育继承性大中型沉积体系,形成有利生烃区与大中型储集体的有利配置。

(5) 深大断裂引起周邻地区较强的构造-热衰减沉降作用,使得即使在中国东部新生代发生的阶段性左旋压扭性作用中,在靠近深大断裂的一侧也常形成残留断陷区,沉积间断时间短,使得深水湖相建造能获得及时封盖,既使烃源岩有效保存,又促进烃源岩持续热演化,从而使深大断裂周邻凹陷的含油气性大大提高。由于深大断裂周邻发育继承性深断陷,发育多套高效优质烃源岩,烃源岩整体热演化程度高,并且深大水体下形成的优质烃源岩与大中型储集体构成高效成藏组合,发育大中型构造圈闭,因此,深大断裂周邻的凹陷油气资源丰度高,含油气层系多,油气田规模大,而远离深大断裂的凹陷油气资源丰度远低于紧邻深大断裂的凹陷。

由不同组合类型深大断裂控制的中国东部新生代盆地具有不同的油气资源分布特征。根据深大断裂类型及其组合关系,将中国东部新生代盆地划分为简单岩石圈断裂边邻走滑

拉张裂陷盆地、复杂岩石圈断裂边邻走滑拉张裂陷盆地、岩石圈断裂带内走滑拉分盆地、双组深大断裂边邻走滑拉张裂陷盆地。在简单与复杂岩石圈断裂边邻走滑拉张裂陷盆地中,靠近岩石圈断裂的坳(凹)陷都具有油气资源丰度高、浅层次生油气丰富、油气层埋藏浅、含油气层位多等特点,其油气富集带主要发育在深大断裂带派生的挤压构造作用形成的鼻状构造高带上。但在简单岩石圈断裂边邻走滑拉张裂陷盆地中,含油气性随与深大断裂间距离的加大呈逐渐下降趋势。而在复杂岩石圈断裂边邻走滑拉张裂陷盆地中,发育多组、多条壳深大断裂,也有较强的走滑拉分构造作用,从而造成盆内发育多个继承性深断陷,形成多个次级富油气中心,因此,往往在每个坳陷中都有富油气凹陷。岩石圈断裂带内走滑拉分盆地的富油气凹陷为分布于深大岩石圈走滑断裂中段的继承型断陷,油气富集带包括走滑挤压形成的盆地中央呈雁行排列的背斜构造群或底辟构造群、沿深大断裂弧形凸出部位发育的鼻状构造高带。双组深大断裂边邻走滑拉分裂陷盆地的富油气凹陷,为发育在继承性活动的北西西向与北东向深大断裂交切带边缘的继承型断陷,油气富集带包括走滑挤压形成的继承性鼻状构造带和控凹断裂带弧形凸出部位发育的继承性鼻状隆起带两大类。

序 一

我国是油气资源紧缺大国,2004 年原油进口量已达到 1.2272 亿 t,比 2003 年增长 34.8%,预计到 2010 年缺口将达到 2 亿多吨。石油天然气资源的发现力度越来越成为国家关注的重要问题,在高油价的情况下,继续加大国内油气资源发现力度,加快“走出去”油气资源战略,尽快解决我国国民经济发展中能源紧缺的问题,已是我国重要的国策之一。

中国东部陆上及海域新生代盆地油气年产量约 0.95 亿 t,占我国油气总产量的约 58%。其中我国东部陆上 4 个主要新生代大型含油气盆地的主要油区年产油达到 7000 万 t,目前每年仍以发现 2~3 亿 t 探明储量的速度在发展,但石油储采比约为 1:12,处于稳产的警戒线。因此,继续加大陆上新生代的发现力度是关系其能否持续稳产的关键。而我国东部海域的新生代含油气盆地,累计面积是陆上含油气盆地的 2 倍,资源量是陆上盆地的 1.5 倍,但目前年产油仅有 3000 万 t,勘探潜力很大,是我国本世纪油气资源接替的首选区,当前勘探工作面临的主要任务是加强选区工作,加快大中型油气田发现速度,降低勘探风险。

中国东部新生代盆地发育多套含油气组合,盆地分割性极强,各类盆地油气资源分布极不均衡,使得油气勘探工作十分复杂曲折。因此,深入研究我国陆上新生代含油气盆地资源分布规律,对搞好中国东部陆上含油气盆地老油田挖潜,加快大中型油气田的发现步伐,稳定东部陆上油田产量具有重要意义。同时,根据陆上盆地的油气成藏规律研究,更好地预测海上盆地油气资源分布规律,预测其大中型油气田赋存地质条件,对加快海上大中型油气田的发现速度、提高海域油气勘探效益,有着十分重要的意义。

中国东部新生代盆地普遍发育于深大断裂周边,盆地构造、沉积演化及其油气地质条件明显受深大断裂的深部构造作用及其走滑拉分构造作用控制,从而使得盆地内不同凹陷在烃源岩发育程度、烃源岩品质、烃源岩热演化条件、生-储-盖组合配套性、圈闭发育规模及类型、保存条件等方面存在明显差异,因此,深大断裂必然对盆地油气资源分布产生重要控制作用。

中石化股份公司华东分公司的周荔青同志,在长期从事苏北盆地分析研究的基础上,系统消化吸收前人研究成果,从深大断裂的深部构造作用及其走滑拉分构造作用控制新生代的构造、沉积演化和油气资源分布这一角度出发,开展了渤海湾、伊兰—伊通、南-襄、莺歌海、珠江口、北部湾、江汉、琼东南等中国东部新生代含油气盆地对比分析研究,取得了一系列的重要理论认识进展;建立了深大断裂与新生代盆地拉张量变化、盆地沉降中心扩展与迁移、构造样式类型变化、走滑挤压构造发育规律等关系的理论模型;建立了深大断裂与主要盆地火山活动强度、地热流场的关系模型及深部构造作用与盆地演化关系的理论模型;提出在深大断裂控制下,其周缘形成半咸化、咸化湖泊,发育特殊生态环境下的优质—特优质烃源岩;提出深大断裂引起周边地区较强的构造—热衰减沉降作用,使得即使在中国东部新生代的阶段性挤压隆升作用中,在靠近深大断裂的一侧也常形成残留断陷区,从而大大提高了深大断裂带周边凹陷含油气性;根据深大断裂组合关系进行中国东部新生代盆地分类,系统阐明了不同类型盆地的构造特征、沉积演化特征、油气地质条件及油气资源分布规律。

该项研究对中国东部新生代陆上老区及海上新区的油气勘探有着重要指导意义。研究表明,当前要以大中型油气田为主攻目标,优选受深大断裂控制、火山活动较强、发育多套优质烃源岩、生-储-盖组合有利的含油气凹陷开展主体勘探和深度挖潜。要根据各类盆地油气富集带及主力勘探层的发育规律,选准有利目标,开展精细勘探,提升勘探效益。

总之,在国家油气产业发展的关键时期,我们鼓励更多的中青年研究人员,从前人的研究成果中吸引养分,在扎实研究的基础上,大胆创新,大胆实践,从油气勘探实践的丰富成果资料中提炼出具有我国特色的油气地质理论,更好地推动勘探理论创新,促进油气勘探事业的发展。

中国石化股份有限公司高级副总裁



2005 年 9 月

序 二

中国东部陆上及海域新生代盆地是我国的主产油区,目前每年仍以发现2~3亿t探明储量的速度在发展,但石油储采比约为1:12,处于稳产的警戒线,因此,继续加大陆上新生代盆地的发现力度是关系其能否持续稳产的关键。我国东部海域的新生代含油气盆地,累计面积是陆上含油气盆地的2倍,资源量是陆上盆地的1.5倍。东部海域目前年产油仅有3000万t,勘探潜力很大,是我国本世纪油气资源接替的首选区。当前勘探工作面临的主要任务是加强选区工作,加快大中型油气田发现速度,降低勘探风险。

中国东部新生代盆地发育多套含油气组合,盆地分割性极强,各类盆地油气资源分布极不均衡,使得油气勘探工作十分复杂曲折。因此,深入研究我国陆上新生代含油气盆地资源分布规律,对搞好中国东部陆上含油气盆地老油田挖潜,加快大中型油气田的发现步伐,稳定东部陆上油田产量具有重要意义。同时,根据陆上盆地的油气成藏规律研究,更好地预测海上盆地油气资源分布规律,预测其大中型油气田赋存地质条件,对加快海上大中型油气田的发现速度、提高海域油气勘探效益,有着十分重要的意义。

中国东部新生代盆地普遍发育于深大断裂周边,盆地构造、沉积演化及其油气地质条件明显受深大断裂的深部构造作用及其走滑拉分构造作用控制,从而使得盆地内不同凹陷在烃源岩发育程度、烃源岩品质、烃源岩热演化条件、生-储-盖组合配套性、圈闭发育规模及类型、保存条件等方面存在明显差异,因此,深大断裂必然对盆地油气资源分布产生重要控制作用。

本文作者在长期从事苏北盆地分析研究中,认识到郯-庐断裂对苏北盆地的构造、沉积演化起重要控制作用。在此基础上,作者系统消化吸收前人研究成果,从深大断裂的深部构造作用及其走滑拉分构造作用控制新生代盆地的构造、沉积演化和油气资源分布这一角度出发,开展了渤海湾、伊兰-伊通、南-襄、莺歌海、珠江口、北部湾、江汉、琼东南等中国东部新生代含油气盆地对比分析研究,取得了以下六个方面的重要理论认识进展:

1. 首次根据系统样品分析及实际勘探资料,建立了深大断裂与主要盆地火山活动强度、地热流场的关系模型,阐明了深大断裂周边凹陷具有较强的火山活动和较高的地热流场的特征,建立了深部构造作用与盆地演化关系的理论模型。在东部新生代区域伸展的背景下,深部地幔物质运动十分活跃,深部物质熔融十分强烈。深大断裂作为深切入岩石圈地幔、软流圈、地壳深部的结构破损面,是深部构造-热活动的中心区,首先引起深部物质的上侵,诱发成盆作用,促进成盆作用的扩展,因此是决定盆地形成的诱发点。同时,它也是盆地深部构造作用继续发展的控制点,它诱发岩石圈地幔熔融物质上涌,并控制岩石圈地幔熔融向深大断裂周缘扩展,引起盆地伸展中心的迁移,因此它是盆地演化深部构造作用的关键因素。深大断裂引起周边地区岩石圈及莫霍面隆起,发育热壳、热幔,火山活动规模大、期次多,具有高的地热流场。

2. 在中国东部新生代区域性张扭构造作用下,深大断裂发生强烈的平移运动和斜向运动,引发成盆部位强烈的走滑拉分和一定的走滑挤压构造作用,由此其周缘地区是走滑拉分成盆作用的始发区和中心区。根据大量实际勘探资料,系统建立了深大断裂与新生代盆地

拉张量(率)变化、盆地沉降中心扩展与迁移、构造样式类型变化、走滑挤压构造发育规律等关系的理论模型。深大断裂的周缘凹陷一般具有较大的拉张量(率),发育大中型深断陷,继承性快速沉降,并控制盆地构造活动中心的扩展和迁移。其周缘凹陷发育规模大、继承性良好的走滑挤压鼻状隆起构造。

3. 首次根据新生代盆地的实际勘探资料,提出深大断裂控制了深部富含高矿化度物质热流体的输出、深断陷及地表热异常,有利于生物爆发性生长繁殖,在其周缘形成半咸化、咸化湖泊,发育特殊生态环境下的优质—特优质烃源岩,而半咸化、咸化湖烃源岩的品质及发育程度是决定中国东部盆地的油气资源丰度的关键要素。深大断裂周缘发育比深值较高的深断陷,形成湖盆水体的垂向分带,有利于深湖区矿物质的保存。深大断裂引发深部富含矿物质的热流体输出异常,加之地表的较高热流场,使其周缘具有特殊的地面生态环境,特别有利于生物爆发性生长繁殖,往往发育富含碳酸盐岩、富含油页岩、富含生物灰岩及富脂藻类的咸化、半咸化湖沉积建造。同时,咸化湖环境也有利于使淡水湖相有机质腐泥化。而深大断裂周缘深断陷与隆起区形成的陡峭地形,有利于发育继承性大中型沉积体系,形成有利生烃区与大中型储集体的有机配置。

4. 首次明确提出深大断裂引起周边地区较强的构造-热衰减沉降作用,使得即使在中国东部新生代发生的阶段性左旋压扭性作用中,在靠近深大断裂的一侧也常形成残留断陷区,沉积间断时间短,使得深水湖相建造在沉积后能获得及时封盖,既使得烃源岩能有效保存,又促进烃源岩持续热演化,从而使深大断裂带周边凹陷含油气性大大提高。

5. 由于深大断裂周缘的继承性深断陷发育多套高效优质烃源岩,烃源岩整体热演化程度高,深大水体下形成的优质烃源岩与大中型储集体构成高效成藏组合,发育大中型构造圈闭,因此,富油气凹陷围绕深大断裂分布。深大断裂周缘的凹陷含油气层系多,油气资源丰富,油气田规模大,且以构造及构造-岩性油气田为主。而远离深大断裂的凹陷油气资源丰富度远低于紧邻深大断裂的凹陷。

6. 首次根据深大断裂组合关系进行中国东部新生代盆地分类,系统阐明了不同类型盆地的构造、沉积演化特征、油气地质条件及油气资源分布规律。由不同组合类型深大断裂控制的中国东部新生代盆地具有不同的油气资源分布特征。根据深大断裂及其组合类型,将中国东部新生代盆地划分为简单岩石圈断裂边缘走滑拉张裂陷盆地、复杂岩石圈断裂边缘走滑拉张裂陷盆地、岩石圈断裂带走滑拉分盆地、双组深大断裂带边缘走滑拉张裂陷盆地。

该项研究对中国东部新生代陆上老区及海上新区油气勘探有着重要指导意义。研究表明,当前要以大中型油气田为主攻目标,优选受深大断裂控制、火山活动较强、发育多套优质烃源岩、生-储-盖组合有利的含油气凹陷开展主体勘探和深度挖潜。要根据各类盆地油气富集带及主力勘探层的发育规律,选准有利目标,开展精细勘探,提升勘探效益。

总之,该书较为完整系统地阐述和分析了深大断裂与中国东部盆地形成演化的关系,及其对油气成烃、成藏及油气资源分布规律的控制作用。全书概念明确、思路清晰、资料丰富、图文并茂,是一部理论和实践价值较高的学术著作。它的出版对中国东部石油地质学研究及其发展将起到积极的推动作用。

中国科学院院士

田在艺

2005年9月16日

目 录

绪 论	(1)
第一章 中国东部新生代盆地形成的区域构造背景	(11)
第一节 中国东部新生代盆地形成的基底构造特征	(11)
第二节 中国东部新生代板块边缘构造动力学环境	(16)
第三节 中国东部主要岩石圈断裂与新生代盆地形成演化	(26)
第二章 郯-庐断裂对苏北盆地油气资源分布的控制作用	(38)
第一节 郯-庐断裂对苏北盆地构造作用的控制	(38)
第二节 郯-庐断裂对苏北盆地深部构造作用的控制	(52)
第三节 郯-庐断裂对苏北盆地沉积作用的控制	(58)
第四节 郯-庐断裂与苏北盆地油气资源分布	(62)
第三章 深大断裂对渤海湾盆地油气资源分布的控制作用	(79)
第一节 郯-庐断裂对渤海湾盆地形成演化起主要控制作用	(80)
第二节 多条深大断裂同时对渤海湾盆地的形成演化起控制作用	(103)
第三节 深大断裂与渤海湾盆地油气资源分布	(121)
第四章 郯-庐断裂对伊通盆地油气资源分布的控制作用	(131)
第一节 郯-庐断裂对伊通盆地构造演化的控制作用	(131)
第二节 郯-庐断裂对伊通盆地沉积演化的控制作用	(142)
第三节 郯-庐断裂与伊通盆地油气资源分布	(145)
第五章 深大断裂对南-襄盆地油气资源分布的控制作用	(155)
第一节 深大断裂对南襄-盆地构造、沉积演化的控制	(154)
第二节 深大断裂与南襄-盆地油气资源分布	(167)
第六章 与深大断裂相关的含油气盆地分类	(175)
第一节 深大断裂与盆地分类	(175)
第二节 分类术语及各类区别	(177)
第三节 中国东部主要新生代盆地的类别特征	(182)
第七章 深大断裂与油气资源分布	(197)
第一节 中国东部新生代盆地油气资源分布的极不平衡性	(197)
第二节 不同类型盆地的构造特征	(202)
第三节 不同类型盆地的地热流场特征	(215)
第四节 不同类型盆地的沉积特征	(218)
第五节 不同类型盆地的含油气性	(222)
第六节 不同类型盆地的油气资源分布规律	(229)
参考文献	(236)

绪 论

一、研究工作的理论与实践意义

我国是油气资源紧缺大国,2004年原油进口量已达到1.2272亿t,比2003年增长34.8%,预计到2010年缺口将达到2亿多吨。石油天然气资源的发现力度越来越成为国家关注的重要问题,在高油价的情况下,继续加大国内油气资源发现力度,加快“走出去”油气资源战略,尽快解决我国国民经济发展中能源紧缺的问题,已是我国重要的国策之一。

中国东部陆上及海域新生代盆地油气年产量约0.95亿t,占我国油气总产量的约58%。其中我国东部陆上4个主要新生代大型含油气盆地的主要油区年产油达到7000万t,目前每年仍以发现2~3亿t探明储量的速度在发展,但石油储采比约为1:12,处于稳产的警戒线,因此,继续加大陆上新生代盆地的发现力度是关系其能否持续稳产的关键。而我国东部海域的新生代含油气盆地,累计面积是陆上含油气盆地的2倍,资源量是陆上盆地的1.5倍,但目前年产油仅有3000万t,勘探潜力很大,是我国本世纪油气资源接替的首选区,当前勘探工作面临的主要任务是加强选区工作,加快大中型油气田发现速度,降低勘探风险。

中国东部新生代盆地发育多套含油气组合,盆地分割性极强,各类盆地油气资源分布极不均衡,使得油气勘探工作十分复杂曲折。因此,深入研究我国陆上新生代含油气盆地资源分布规律,对搞好中国东部陆上含油气盆地老油田挖潜,加快大中型油气田的发现步伐,稳定东部陆上油田产量具有重要意义。同时,根据陆上盆地的油气成藏规律研究,更好地预测海上盆地油气资源分布规律,预测其大中型油气田赋存地质条件,对加快海上大中型油气田的发现速度、提高海域油气勘探效益,有着十分重要的意义。

中国东部新生代盆地普遍发育于深大断裂周边,盆地构造、沉积演化及其油气地质条件明显受深大断裂的深部构造作用及其走滑拉分构造作用控制,从而使得盆地内不同凹陷在烃源岩发育程度、烃源岩品质、烃源岩热演化条件、生-储-盖组合配套性、圈闭发育规模及类型、保存条件等方面存在明显差异,因此,深大断裂必然对盆地油气资源分布产生重要控制作用。

在中国东部新生代强烈拉张的构造背景下,广泛发生岩石圈地幔物质熔融作用,深部热物质运动十分活跃(刘池阳、赵重远,2002、2003)。而深大断裂深切入地球内部,必然使深部物质运动更加活跃,更加复杂,深部构造-热作用更强,从而进一步促进岩石圈的伸展减薄。因此,深大断裂对盆地形成演化及对油气形成演化起极为重要的控制作用。深大断裂作为岩石圈地幔物质熔融上侵的主要通道,必然强化了深大断裂周缘的深陷作用,同时作为异常热流通道,必然对周缘的盆地产生热影响,有利于周缘地区后期的烃源岩热演化。同时,深大断裂的热异常输出和大量矿物质输出,还形成地球表面的特殊生态环境,有利于形成品质优异的咸化湖烃源岩,并常形成油、盐、碱等多种矿产共生。

另一方面,自晚白垩世以来,中国陆块受到西南部印度板块、特提斯域的构造作用,东部

受到太平洋板块俯冲消减构造作用,整体处于旋扭应力场中,深大断裂普遍具有较大的水平扭动及斜向位移分量,也对盆地形成演化产生重要影响。近年来越来越多的研究者认识到,由于中国大陆在新生代处于特定的区域构造应力场,走滑构造作用对这类盆地的形成、演化也起到极为重要的作用,从而控制了这些盆地内部成油气地质条件的分异及油气资源空间分布的规律。因此,不深入地研究深大断裂走滑构造作用对这些盆地的影响,就无法更加深入地

从盆地形成动力学角度出发去认识这些盆地的内部油气富集规律。

深大断裂带作为一种深切入地球深部的结构破损面,必然要引起深部物质运动流场的变化,成为一种十分重要的深部物质流体运动边界,对岩石圈地幔流体的运动方向及壳内物质流体运动方向必然产生重要影响。而不同的深大断裂组合关系,形成不同的深部物质流动场,必然控制深大断裂周缘地区的深部构造运动。同时,不同类型的深大断裂组合还对地壳所受的构造应力场产生重要作用。在不同的区域构造背景下,不同规模的深大断裂,不同的深大断裂组合,都将形成不同的构造应力场。因此,深大断裂常造成区域应力场和构造环境的分区,从而决定各区域具有不同的盆地形成演化特征。因此,加强深大断裂及其组合类型对盆地形成演化控制的研究,必然有助于深化对盆地油气资源空间分布规律的认识。

为此,作者从深大断裂对新生代盆地形成演化的控制作用这一角度出发,更加深入地讨论各类盆地内部油气资源空间分布规律的盆地动力学背景,以期进一步提升该区油气地质理论研究水平,更好地指导该区的油气勘探实践。

二、研究现状及发展趋势

近年来,大陆边缘地质、地球动力学、走滑构造、含油气盆地分析理论飞速发展。国内外学者提出了不同类型盆地形成演化的地球动力学机理,将沉积盆地的成因分为热力、重力和应力三大类(Boot M. H. P., 1976;赵重远等,1980、1985;刘池洋,1983、1990),将应力成因的盆地划分为拉张(离散型)、挤压(聚敛型)、走滑(转换型)、复合型四类(赵重远等,1980、1985;刘池洋,1983、1990),各类沉积盆地形成于不同的板块构造背景和动力学环境中。Raymond V. Inger Soll and Cathy J. Busby (1995)对各类盆地又进行了细分,分别建立了各类盆地的深部构造响应、地热流场分布、构造及沉积演化模式。

自20世纪70年代后期以来,我国学者即开始用板块构造理论和环太平洋构造沟弧理论体系分析中国东部中生代构造形成演化,不断丰富完善了中国东部板块动力学演化模式(朱夏,1979、1981;王鸿祯等,1982;赵重远等,1991;环文林、冯志强等,1992;刘池洋,1993;徐嘉伟等,1993;张恺,1995;龚再升等,1997;姚伯初等,1999;王伟锋等,1999;高抒,2002;翟明国等,2003、2004)。通过对中国东部板块动力学条件的研究,国内学者普遍认为中国东部中生代主要发育主动大陆边缘盆地群,仅在南海北部自晚渐新世以来发育准被动大陆边缘盆地(冯志强,1997;龚再升等,1997)。

通过近年来的研究,学者们普遍认识到中国东部中生代经历了四次大的盆地构造作用转折时期(印支—早燕山期、早—中燕山期、晚燕山晚期—喜马拉雅早期、喜马拉雅晚期)。赵重远、刘池阳认为(1991、1993、1997),秦岭-大别山造山带在印支期—燕山早期闭合,当时中国仍处于以南北向板块构造作用为主的时期。进入中晚燕山期(J_3-K_1)以来,中国东部处于环太平洋构造域古太平洋板块俯冲消减作用的早期,以异常热作用占据主导地位,以发育沟-弧-盆体系的岛弧火山岩和一系列走滑拉分火山、火山-沉积建造为主。自晚白垩世以来(K_2),中国东部进入一个新的演化时期,以受印支板块及太平洋板块的双向构造作用为

主,弧后拉张及右旋走滑构造作用控制了盆地的演化。晚第三纪以来,印度板块与中国板块“陆-陆碰撞”加剧,喜马拉雅造山带快速隆起,南海海盆二次扩张,太平洋板块消减方向及强度发生变化,中国东部再度进入新的构造演化期(刘池阳等,2002)。翟明国等(2003、2004)认为,中生代构造体制转折始于150~140Ma,终于110~100Ma,峰期是120~110Ma,总体上是由挤压构造体制转化为伸展构造体制,由东西向转变为北北东向的盆-岭构造格局。前晚侏罗世时呈现出北东东向褶皱逆冲带与挤压挠曲盆地带相邻并存的盆-山结构,晚侏罗世时呈现出北北东向裂谷盆地与断隆相间的盆-岭结构,晚侏罗世后则呈现出北东—北北东向盆地与“活动”断隆相间,并受北东东向褶皱逆冲带控制的盆-山结构。对深部结构的研究表明,中国东部岩石圈在古生代末期开始减薄,在中生代急剧减薄,地幔和下地壳发生大规模置换,至130~110Ma到达顶峰,发生大规模热事件,发生强烈火山活动。

自20世纪80年代以来,结合国际岩石圈动力学计划,在中国东部广泛开展了大地电磁测深、全地壳地震勘探等深部地球物理勘探及深部地学断面研究,代表性的研究如下扬子区(陈沪生等,1999)、华北地区(刘国栋,1985)、江汉盆地(张胜业等,1990)、华北盆地(孙武成,1985)、东海盆地(江为为,2001;栾锡武,2001)等。通过研究,划分出一系列岩石圈、壳深断裂,确认了郯-庐断裂、太行山东、沧东、大别-舟山等一批岩石圈断裂、壳深大断裂;同时认识到深大断裂具有明显岩石圈减薄、软流圈顶部抬升、莫霍面抬升、居里等温面抬升等现象,并且周边一定范围内也存在壳、幔顶面抬升与增温现象。深部地球物理勘探对中国东部新生代盆地形成演化的地球动力学研究有重要推动作用。

我国学者在大陆边缘张性盆地、裂谷盆地构造理论指导下,系统开展了中国东部中新生代盆地构造、沉积演化的规律研究(朱夏,1986;赵重远、刘池阳等,1990;李思田,1990;刘池洋,1993;李德生等,1997;陈发景等,1996;谯汉生等,1999;张文昭等,1997;张渝昌等,1997;王涛,1997;张功成等,1999;周玉琦等,2004),开展了中国东部盆地地球动力学分类。谯汉生等(1999)从盆地地球动力学特征出发,把中国东部中生代含油气盆地划分为五大类九个亚类:克拉通裂谷、克拉通边缘裂谷、弧后裂谷、衰退裂谷、弧后裂谷-前陆盆地,边缘海裂谷、陆缘裂谷、陆块间走滑伸展裂谷、构造活动带小型断陷盆地等。周玉琦等(2003)则根据中国东部沉积盆地所处大陆边缘板块动力学环境,将其划分为四大类:陆内走滑拉分裂陷盆地、陆内走滑-拉张裂陷盆地、主动大陆边缘盆地、复合型大陆边缘盆地。在沉积盆地地球动力学分类的基础上,研究者们深入分析研究了各类沉积盆地的标志性构造,沉积、火山作用特征,以及各类盆地的标志性油气地质特征。

对我国东部主要深大断裂的研究取得一系列进展。近年来,对郯-庐断裂带及其北延段、红河断裂带、大别-秦岭造山带的研究逐步深入,提供了一系列地表地质调查、深部地球物理勘探、地应力测量、断裂活动期测年数据、地温场测定的资料,以及深大断裂周缘伴生构造及火山岩研究成果,进一步表征了深大断裂带的几何学、运动学特征和深部构造特征。万天丰(1995)通过对郯-庐断裂系的系统研究,提出在区域构造应力场多次变化的影响下,郯-庐断裂自印支期以来经历了构造运动属性的多次变迁:一是以左行走滑为主(250~208Ma),二是以正断层活动并伴有右旋运动为主(135~52Ma,23.3~0.73Ma),三是以逆断层并伴有左旋运动为主(208~135Ma,52~23.3Ma,以及0.73Ma)。

通过对红河断裂系的地表调查、断裂系伴生构造、大地构造背景研究,以及断裂系与周边莺歌海盆地形成演化关系的研究(郭令智等,2001;孙家振等,1995;钟志洪,1992;何家雄

等,2000;龚再升等,2004),专家学者们普遍认为,受周边区域应力场控制,红河断裂系在新生代经历了由左旋→右旋→左旋的多次构造运动方向演变,以右旋占据主导。在红河断裂系的走滑作用下,莺歌海盆地形成了相应的构造样式、盆地沉降中心的规律性迁移、呈雁行排列的断裂系及泥底辟构造等构造现象。魏顺民等(2001)研究了红河断裂带现今的伴生构造,开展了构造应力测量、构造岩分析,认识到它现今是一条典型的走滑断裂带,由尾端拉张区、中段走滑区、前端挤压-走滑区组成,目前处于右旋走滑运动状态,曾经历左旋→右旋→左旋多旋回运动;新活动源于印支板块与欧亚板块碰撞后派生的青藏高原隆起的侧向滑移,以及断裂带西部印支板块的推挤。

深大断裂对盆地构造、沉积、火山活动的控制作用的研究逐步深化。正如刘池阳(1993、1994年)所述,大型断裂的剪切平移运动十分普遍,既可作为单纯剪切平移,也常以斜向运动的水平运动分量表现出来。在大型断裂周边,常发育油气资源丰度特高的“小而肥”含油气盆地。具剪切平移特征的盆地,油气的生成、成藏和分布独具个性,只有加强研究才能更加深刻地认识盆地内油气资源的分布规律。由于勘探手段的局限性,理论认识的片面性,现象本身的复杂性,缺乏指导性理论和可行的方法,使得剪切、平移构造与古构造成为盆地构造研究的薄弱环节,它必将是今后沉积盆地研究中的一个重要方向。通过研究,必将揭示出更为深刻的油气成藏模式和内在规律,使我国盆地构造和油气地质研究进入一个新阶段。

国外一批学者系统开展了深大断裂带走滑构造作用与周邻盆地含油气性分析,建立了深大断裂走滑构造作用模式(Harold G. Reading,1985;Peter F. Ballance and Harold G. Reading,1985;B. J. Bluck,1985;R. J. Steel and T. G. Gloppen,1985;K. B. Sporli,1985;K. B. Lewis,1985)。根据 T. P. Harding. R. C. Vierbuchen. N. Christie-Blick 等(1985)对圣·安德列斯断裂对太平洋西岸一系列走滑拉张盆地,如洛杉矶盆地、圣·莫尼卡盆地、圣·克鲁斯盆地、帕顿盆地构造形态演化控制作用的研究,揭示了深大断裂走滑运动作用使其周边产生各种不同伴生构造,既有走滑拉分构造,又有走滑挤压构造;据此建立了拉张构造区平移(剪切拉张)断层的构造型式、板块构造背景和油气圈闭关系模式;揭示了离散构造区的深大断裂平移运动,在其不同部位产生分离侧接和拉分盆地、雁行强制褶皱、雁列反向断陷、受阻弯曲向斜、雁列正断层、负花状构造、呈直线性排列的地垒和地堑断片等构造样式。深大断裂平移运动在周边将产生不同的伴生断裂构造系统,在走滑盆地中,有独特的地层记录,主要包括地层厚度不协调、盆地不对称性、幕式快速沉降、局部相变和不整合。

我国学者广泛开展了深大断裂与盆地构造样式关系研究,通过地震勘探和研究,在渤海湾盆地的黄骅坳陷及冀中坳陷(谯汉生等,1999;梁狄刚,2001)、辽河坳陷(陈全茂等,1998;廖兴明等,1996)、渤海海域(王国纯,1998;葛建党,2001)、淮北断陷(程有义等,2004)、苏北盆地(周荔青,1997;郭旭明,2003)、伊通盆地(王永春等,2000;李献甫,2002)、莺歌海盆地(张树林等,1996)等处,识别出与深大断裂活动相关的走滑-拉张、走滑-挤压构造样式,识别出渤海湾、苏北盆地内部的右旋走滑断裂系,以及莺歌海盆地、伊兰-伊通地堑与盆缘断裂走滑运动相关的内部雁行断裂系、走滑挤压隆起带、花状构造带。根据各类文献汇总统计,在中国东部大部分盆地中,都已发现走滑成因构造样式,如正、负花状构造,正、负反转构造,雁行断裂,帚状断裂系,平行断裂系等,同时也发现不同类型的走滑拉张裂陷盆地内有不同的构造样式类型与分布规律。深大断裂对构造的分区性产生重要作用,是十分重要的区域构造应力场调节带和转换带,造成各断块之间的构造运动学、动力学特征存在明显差异(赵红

格、刘池阳,2000)。杨旭升、刘池阳(2004)等研究认为,冀中拗陷衡水断裂带具有构造调节转换带性质,它明显地将拗陷分为南、北两区。

通过长期地震勘探和研究,研究者们基本搞清了中国东部主要新生代盆地的构造迁移规律,如渤海湾盆地(王同和,1999;赵文智,2000;胡见义等,2001)构造活动中心由郯-庐断裂向远端迁移,伊兰-伊通盆地发生由南向北的构造迁移(王永春等,2001;李献甫等,2002),苏北盆地发生由西向东的构造迁移(周荔青,1996),南-襄盆地发生由东向西的构造迁移(何明喜,1990),莺歌海盆地沉降中心由北部向中央逐步迁移(钟志洪等,2000)。刘池阳(1997)系统研究了中国各类含油气盆地沉积-沉降中心迁移的形成机制,提出了含油气盆地沉积-沉降中心迁移主要受深部地球动力学作用的重要认识。

杨明慧、刘池阳(2001)及魏永佩、刘池阳(2003)研究建立了苏丹穆格莱德盆地大型走滑断裂末端走滑拉分盆地的构造特征及沉积响应模式。张云银(2003)、鲁国明等(2002)研究了郯-庐断裂的构造活动历史及其对渤海湾、松辽、合肥盆地构造、沉积演化的控制作用,郭占谦(1996)则研究了松辽、渤海湾、江汉及南海等含油气盆地油气田的分布与盆地中的深大断裂相伴的关系。研究者们认为深大断裂控制了盆地的沉积体系、地温场、构造区带及流体压力场的展布,从而控制了盆地中油气藏的分布。

深大断裂是深部物质上涌的主要通道,郭占谦(2001)研究了中国原油的地球化学特征,通过列举大量实验分析数据,证实在我国原油中普遍存在有较多含量超过中国陆壳平均含量一倍以上的成矿元素,发现了许多在地壳稀少而地球深部富集的元素,如 Co、Ni、Mo、Re 等。尤其是铼金属,在地壳圈层中浓度极低,而中国原油的铼金属是地壳平均含量两个数量级倍数,表明深部热物质活动与中国原油形成演化具有极为密切的关系。解习农(1999)、何家雄(2000)等通过对莺歌海盆地储层进行流体包裹体、裂变径迹分析等研究,揭示红河深大断裂是深部热流的重要通道,在邻近红河断裂系的部位,明显存在深部热活动异常。通过对我国东部中生代盆地主要含油气层系的流体包裹体研究,普遍发现含有异常热流体侵入证据的高温阶流体包裹体(王永春等,2001;龚再升等,2004;陈全茂等,1998)。

对深大断裂与沉积作用的关系也开展了许多研究工作,“中国油气区第三系”项目(叶得泉等、王仪诚等、姚益民等、张师本等,1993)系统研究了中国东部第三纪沉积盆地的沉积建造系列、古生物、古生态环境及其与成油气地质条件的关系,指出深水咸化湖泊环境形成的烃源岩是中国东部新生代富油气盆地形成的决定因素。陆永潮、任建业等(1999)研究了伊兰地堑盆地的沉积充填序列及其转换-伸展过程的响应,建立了拉分构造作用旋回性与盆地沉积建造的关系模型。杨明慧、刘池阳(2002)对冀中拗陷北区构造-沉积响应关系的研究,建立了构造作用与沉积响应的对应关系。胡受权等(1998、2002)建立了南-襄盆地拉张构造作用旋回与沉积层序建造的关系。谯汉生等(1999)则建立了渤海湾盆地拉张构造作用与断陷层序关系模式。

深大断裂与火山活动关系密切,P. Mann M. R. Hepton D. C. Braley K. Burke(1985)在“拉分盆地的构造演化”一文中,提出了拉分盆地的岩浆作用模式,认为火山活动只出现在一部分拉分盆地中,火山岩成分反映构造环境,拉斑玄武岩和碱性玄武岩形成于大陆走滑边界带,而钙碱性岩浆则是弧后和大陆碰撞带内走滑带的典型特征。我国学者通过中国东部中生代火山岩岩石学及超铁镁包裹体研究(鄂莫岚等,1987;池际尚等,1989;周新民,1992),认识到中国东部新生代火山岩系主要形成于陆内拉张构造环境下(岩石圈地幔发生局部熔

融作用,通过深大断裂向地壳浅层运动),以发育拉斑玄武岩、碱性、强碱性玄武岩为主。不同盆地、不同构造部位的玄武岩形成于不同的深度,规模也有较大的差别,具有不同的岩石地球化学特征和超铁镁包裹体矿物组成。对于各新生代盆地的火山岩空间分布规律、时代及其岩石化学特点,也已见到广泛的研究成果报道,如冀中坳陷(刘池阳,1990;梁狄刚,2002)、伊兰-伊通盆地(王永春,2000)、苏北盆地(周新民,1992;周荔青,1996)、辽河坳陷(陈全茂,1998)、渤海湾盆地(刘中云等,2001;安作相等,2002)。各盆地中均发育多期次火山岩,火山岩在分布上具有明显的层位性和部位性特点。

我国学者广泛开展了主要含油气盆地,如下扬子地区及苏北盆地(王良书,1990)、辽河坳陷(汪集旻,1986)、南海被动大陆边缘(龚再升、汪集旻等,2004)、渤海湾盆地(任战利,1999)热史的正、反演模拟研究,编制了中国东部各主要新生代含油气盆地的地温场、大地热流场分布图。学者们广泛应用一维、二维岩石圈、地壳拉张减薄模型,计算了各盆地壳、幔组成对热流场的贡献率,模拟计算了各盆地大地热流场、地温场的平面规律和热演化史。一部分学者则以实验分析技术为基础,以构造演化史分析及计算机模拟计算为依托,开展沉积盆地的热史反演,如根据生油岩镜质反射率测量、包裹体测温、裂变径迹测量等,反演盆地的古地热流场。通过深大断裂与盆地热史关系研究,普遍认识到深大断裂产生重要的深部构造作用,其周缘往往都形成具有高异常热流的区域。

深大断裂引起的深部异常热流体上侵输出,对湖盆的生态环境产生重要影响,常形成特优质烃源岩。通过对中国东部咸化湖泊烃源岩特征及咸化湖泊形成机理研究,认识到中国东部半咸化、咸化湖泊主要形成于具备以下条件的地区:强烈拉张深陷的深大水体、半干旱气候区、深部异常热流体输入、相对封闭的地貌环境。在深大咸化水体中,发育大量咸水藻类,使烃源岩具有极强的生烃潜力,是富油气凹陷形成的重要决定因素(孙镇城等,1997;叶得泉等,1993;王铁冠等,1995;张林晔等,1999;黄汝昌等,1999;胡见义等,2002)。研究表明,中国东部主要含油气盆地,如渤海湾盆地(梁狄刚,2002;张文昭主编,1997)、苏北盆地(周翥虹等,1999;毛凤鸣等,2002)、南-襄盆地(周小进等,2004;秦伟军等,2004)等,都广泛发育半咸水、咸水相优质低熟—未熟烃源岩。

中国各类含油气盆地勘探程度逐步提高,根据最新的油气地质理论进展,全国组织了以高成熟区标定为主要方法的第三次“资源评价”。研究成果表明(谯汉生等,1999;李国玉,1998;周玉琦,2004),陆上盆地油气资源探明率已达到30%~50%,海域资源探明率仅1%~10%。中国东部陆上大量的研究成果及勘探成果资料,为深化油气资源空间分布规律研究;预测大中型有利勘探目标奠定了基础。国内专家学者普遍开展了中国东部盆地,如渤海湾盆地(赵文智等,2000;池英柳,2000;胡见义等,2001;龚再升等,2001;康竹林,1997等)、辽河坳陷(廖兴明等,1996;陈全茂等,1998)、伊通盆地(王永春,2000)、苏北盆地(周荔青,1996、1999)的油气资源空间分布规律研究;从盆地地球动力学演化角度出发,认识各盆地富油气凹陷、富油气区带、富油气勘探层系的分布规律。

三、研究思路及技术路线

作者自1990年以来,从事苏北盆地分析研究,认识到郯-庐断裂的走滑与深部构造作用对苏北盆地的构造、沉积演化起重要控制作用,使得靠近岩石圈断裂一侧的高邮、金湖、溱潼凹陷持续深陷,发育多套优质烃源岩,具有高异常地热流场,与大型砂体有机配置,发育良好的生-储-盖组合,发育大型北北西向鼻状构造高带,从而具有较高的油气资源丰度(周荔青

等,1996、1998)。中国东部盆地是否普遍受到深大断裂的上述影响?哪些盆地也具有上述特征?深大断裂对中国东部盆地油气资源分布还有哪些控制作用?不同类型深大断裂的深部构造作用及走滑拉分构造作用有哪些特点?这些都是需要深入研究、加以回答的问题。正如刘池阳教授所述:只有认真研究深大断裂的深部构造作用及走滑构造作用,才能深刻地揭示出含油气盆地油气成藏的内在规律(刘池阳,1993、1994、2000)。为了更好地解答这些问题,更加深刻地掌握中国东部盆地油气资源空间分布的盆地地球动力学背景,作者一直在跟踪研究这些问题,努力寻找这些问题的答案。

通过开展渤海湾、伊兰-伊通、南-襄、莺歌海、珠江口、北部湾、江汉、琼东南与苏北盆地的对比研究,作者认识到深大断裂对中国东部盆地的影响既有一定共性——即同时具有拉张作用的深部热流场通道,走滑剪切作用形成的走滑拉分与走滑挤压构造作用等并存,又具有鲜明的个性特点。这些盆地分别受到不同规模、不同组合类型的深大断裂控制,由于盆地的位置差异及区域构造应力场的明显差异,因此形成了不同的盆地构造、沉积演化、火山活动特点;各类盆地的油气地质条件具有明显差异,从而形成不同油气资源空间分布规律。因此,有必要开展中国东部深大断裂与各种盆地构造、沉积演化及油气地质要素的关系研究,找出各类深大断裂及其组合类型与盆地油气资源分布的关系。

本书以与深大断裂密切相关、具有典型意义的苏北、渤海湾、伊兰-伊通、南-襄等新生代含油气盆地为例展开解剖,建立深大断裂控制盆地油气资源分布的典型模式(图0-1)。在研究中以大量地球物理勘探、钻井、油气地质研究、实验分析资料为基础,针对性地补充采集部分有机地球化学、裂变径迹、包裹体测温等实验分析样品,应用含油气盆地分析理论技术,系统分析研究深大断裂对盆地深部构造、构造演化、沉积演化、火山活动的控制作用,研究深大断裂对盆地内各凹陷、各区带、各勘探层的烃源岩品质、热演化条件、生-储-盖组合、局部构造圈闭、油气保存条件等的重要控制。并据此讨论深大断裂对中国东部典型盆地富油气凹陷、油气富集带、主力勘探层系分布的控制作用。在此基础上,从深大断裂组合类型出发,进行盆地分类,讨论中国东部新生代盆地油气资源分布特征的差异性(图0-2)。

四、取得的主要理论进展

通过本项研究,取得了以下八个方面的重要理论认识进展:

(1)在中国东部新生代区域伸展的背景下,深部地幔物质运动十分活跃,深部物质熔融十分强烈,深大断裂作为深切入岩石圈地幔、软流圈、地壳深部的结构破损面,是深部构造-热活动的中心区,首先引起深部物质的上侵,诱发成盆作用,促进成盆作用的扩展,因此是决定盆地形成的诱发点。同时,它也是盆地深部构造作用继续发展的控制点,它诱发岩石圈地幔熔融物质上涌,并控制岩石圈地幔熔融向深大断裂周缘扩展,引起盆地伸展中心的迁移,因此它是盆地演化深部构造作用的关键因素。深大断裂引起周边地区岩石圈及莫霍面隆起,发育热壳、热幔,火山活动规模大、期次多,具有高的地热流场。

(2)在中国东部新生代区域性张扭构造作用下,深大断裂发生强烈的平移运动和斜向运动,引发成盆部位强烈的走滑拉分和一定的走滑挤压构造作用,由此其周缘地区是走滑拉分成盆作用的始发区和中心区。其周缘凹陷具有较大的拉张量(率),发育大中型深断陷,继承性快速沉降,并控制盆地构造活动中心的扩展和迁移。其周缘凹陷发育规模大、继承性良好的走滑挤压鼻状隆起构造。

(3)深大断裂周缘发育比深值较高的深断陷,形成湖盆水体的垂向分带,有利于深湖区