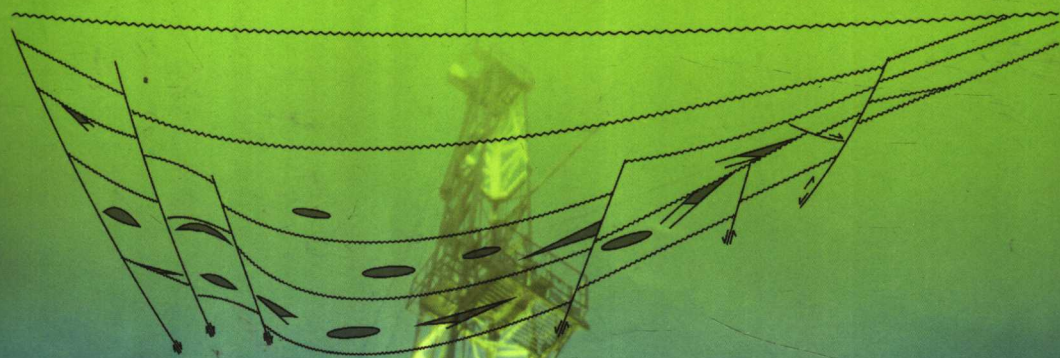


中国东部裂谷盆地 地层岩性油气藏

◎ 杜金虎 赵贤正 张以明 等编著

ZHONGGUO DONGBU LIEGU PENGDI DICENG YANXING YOUQICANG



地质出版社

中国东部裂谷盆地 地层岩性油气藏

杜金虎 赵贤正 张以明 刘 震 邹伟宏 等著
武耀辉 金凤鸣 梁宏斌 易士威 张锐锋

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书根据中国东部裂谷盆地地层岩性油气藏形成条件和大量勘探成果,总结提出了“多元控砂—多元成藏—主元富集”一整套成藏主控因素新观点。认为裂谷盆地砂岩体的形成具有多元控制的特点,构造带类型、边界断层样式、坡折类型、体系域类型和储集相类型都对砂体形成起到控制作用;而砂岩体形成油气藏则受到流体动力、输导系统、临界注入物性和砂体封闭性四个关键因素的制约;若要形成地层岩性油气富集,必须要同时满足充足油源,有利储集体和存在汇流通道三个主要条件。这一新观点对于油气形成分布规律讨论和指导油气勘探实践均有一定积极作用。

本书可作为油气地质与勘探专业的本科生和研究生的教学参考书,也可供从事油气勘探的研究和现场生产的专业人员参考和应用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国东部裂谷盆地地层岩性油气藏/杜金虎等著. —北京:地质出版社, 2007. 9

ISBN 978 - 7 - 116 - 05505 - 6

I. 中... II. 杜... III. 大陆裂谷—含油气盆地—岩性油气藏—中国 IV. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 157167 号

责任编辑:陈 磊 李云浮

责任校对:郑淑艳

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) 82324565 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张:25.25

字 数:615 千字

印 数:1—2500 册

版 次:2007 年 9 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:68.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 05505 - 6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序

近年来,我国东部断陷裂谷盆地的油气勘探正处于从构造油藏向地层岩性油藏转变的重要时期。华北油田地质工作者在勘探程度较高的冀中坳陷和二连盆地,面对复杂的地下地质条件,通过顽强的探索,在地层岩性油气藏勘探方面取得了卓著的成果,为油田的稳定产起到了重要的作用,可喜可贺。本专著从地层岩性油气藏勘探实践中积累的大量宝贵的第一手资料出发,提炼、升华到理论,更具有科学性、实用性和预测性。本专著由经验丰富的油田勘探地质工作者和理论造诣较深的中国石油大学师生联合撰写,理论和实践紧密结合,为专著凭添了色彩。

本专著以裂谷盆地视角,从华北油田盆地类型特征出发,并把它放大到裂谷盆地范围内进行研究,拓宽了视野。首次从实践中总结了主动式和被动式两类裂谷盆地的地质特征、形成机制和地层岩性油气藏类型以及地层岩性油气藏的形成条件,并剖析了中国裂谷盆地主要地层岩性油气藏实例,为地层岩性油气藏研究和勘探开阔了思路,指明了方向,给人以启迪。

作者抓住了地层岩性油气藏勘探三大核心问题:形成机制、分布规律和勘探技术、方法。从成藏动力学、输导系统、地层岩性圈闭形成过程、地层岩性油气藏成藏期次和地层岩性油气藏形成模式5个方面详细地论述了碎屑岩地层岩性油气藏形成机理,颇有新意。

提出了裂谷盆地地层岩性油气藏分布具有“多元控砂—四元成藏—主元富集”的特征。指出了裂谷盆地砂体的形成主要受凹陷类型、构造带类型、坡折带类型、体系域类型和沉积相类型5种因素的控制;地层岩性圈闭成藏主要受油气运移通道、流体动力、储层临界物性和砂体封闭4种因素的控制。阐明了丰富的油源、优越的汇流通道、优质的储层和大型的圈闭是油气富集的主要控制因素。

本专著总结了一套先进而实用的地层岩性油气藏勘探技术和方法,并按勘探的层次系统总结了地层岩性油气藏有利区带评价方法、地层岩性圈闭识别技术和评价方法。层次清楚,实用性强,有利于推广应用。

本专著来自实践,贴近实际,结合生产,既具有较深的理论意义,又具有较强的生产指导价值,是近年来理论与实践相结合,系统总结裂谷盆地地层岩性油气藏少有的佳作,值得借鉴和参考。它对我国石油工业的发展,尤其是地层岩性油气藏的勘探无疑将起到积极的作用。

喜值专著面世之际,写此数语以之为序。

廖建设
2007.6

前 言

我国陆上油气勘探已进入地层岩性油气藏与构造油气藏勘探并重的新阶段，大部分盆地地层岩性油气藏已成为近年储量增长的主体。我国裂谷盆地地层岩性油气藏勘探的突破表明地层岩性油气藏将是裂谷盆地最现实、最有潜力的油气勘探领域。现阶段积极转变勘探思路，加强对裂谷盆地地层岩性油气藏的基础理论研究，积极推广地层岩性油气藏勘探的新技术、新方法，是进一步发展我国裂谷盆地地层岩性油气藏勘探良好形势的迫切需要。

我国石油地质工作者经过研究论证，明确认为裂谷盆地地层岩性油气藏勘探具有巨大的资源潜力，提出地层岩性油气藏是近期油气勘探的重点。近几年来我国裂谷盆地新探明的石油储量中，地层岩性油气藏占一半以上，各主要含油气裂谷盆地地层岩性油气藏都取得一批新突破、新进展，地层岩性油气藏成为当今我国裂谷盆地油气勘探的主要对象。

随着我国裂谷盆地地层岩性油气藏勘探的进展，现已发现多种类型的地层岩性油气藏，及时总结其形成与分布规律，显然是非常重要的。裂谷盆地地层岩性油气藏的形成和分布是裂谷盆地基本地质条件和石油地质作用相综合的结果。各裂谷盆地其自身的形成演化历史、地质结构特点、沉积背景以及成藏条件等方面的差异，导致各盆地地层岩性油气藏的类型、形成机理和分布特征存在显著差异。

本书在详细论述我国裂谷盆地特征和地层岩性油气藏形成条件，以及对典型地层岩性油气藏解剖的基础上，深入探讨了碎屑岩地层岩性油气藏形成机理的5个方面，包括：①成藏动力特征；②输导系统特征；③地层岩性圈闭形成过程；④地层岩性油气藏成藏期次；⑤地层岩性油气藏形成模式。

通过对我国裂谷盆地地层岩性油气藏形成、分布和富集综合研究，认为裂谷盆地地层岩性油气藏具有“多元控砂—四元成藏—主元富集”的特征。裂谷盆地砂体的形成和分布受①凹陷类型；②构造带类型；③坡折带类型；④体系

域类型；⑤沉积相类型5种因素的控制。裂谷盆地地层岩性圈闭具有“四元成藏”的特征。地层岩性圈闭能否成藏主要受四大成藏主控因素制约：①油气运移通道；②流体动力；③储层临界物性；④砂体封闭。裂谷盆地地层岩性油气富集具有“主元富集”的特征。油气富集主要控制因素是：①丰富的油源；②优质的砂岩体圈闭；③汇流通道。裂谷盆地“多元控砂—四元成藏—主元富集”特征明确了地层岩性油气藏研究中的砂体形成、地层岩性油气藏形成、地层岩性油气藏富集3个关键层次具有战略性的、决定性的控制因素，是对地层岩性油气藏形成、分布和富集规律的总结。

同时，在对裂谷盆地地层岩性油气藏综合研究基础上，总结出一套适用的地层岩性油气藏勘探技术和方法，主要包括：①地层岩性油气藏有利区带评价方法；②地层岩性圈闭识别技术；③地层岩性圈闭评价方法。本书还介绍了华北探区近年来在地层岩性油藏勘探过程中所形成的地层岩性油气藏有利区带评价方法和地层岩性圈闭识别技术等一系列行之有效的勘探技术和方法。

在我国裂谷盆地地层岩性油气藏勘探取得重大突破之后，为了总结地层岩性油气藏勘探中规律性的认识和成功的勘探经验，有效指导未来的勘探工作，特著此书，以供国内同行参考。

本书是华北油田近年来探索并突破地层岩性油气藏勘探实践的总结归纳和提升，由杜金虎、赵贤正、张以明等组织确定框架、拟定提纲并统编全书。由华北油田多年从事地质岩性油藏勘探的主要技术骨干和石油大学（北京）资源环境学院的科研骨干联袂编著。第一章由赵贤正、费宝生、邹伟宏、王余泉、祝玉衡编写；第二章由金凤鸣、费宝生、李先平、张彦民、邢海燕、编写；第三章由易士威、雷怀玉、杜维良、张久强、刘喜恒编写；第四章由史原鹏、杨德相、降栓奇、肖杨编写；第五章由梁宏斌、刘震、张锐锋、柳广弟、高先志、郝琦、王志宏、张舒亭、铁铮编写；第六章由张以明、刘震、柳广弟、孙平、高先志、郝琦、崔永谦编写；第七章由杜金虎、张以明、邱毅、罗宁、武耀辉、常建华、彭怀春编写；第八章由杜金虎、张凤藻、费宝生、金凤鸣、卢学军编写。

尽管作者竭尽全力编著这本书，但由于作者知识水平有限，在编写过程中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

目次

序

前言

第一章 裂谷盆地概论	(1)
第一节 综述	(1)
一、裂谷盆地的类型	(1)
二、裂谷盆地的分布	(2)
第二节 裂谷盆地形成的动力学	(4)
一、地幔的蠕动作用	(4)
二、板块的相互作用	(6)
三、地球自转角速度的变化	(7)
第三节 构造特征及构造演化	(7)
一、盆地结构特征	(7)
二、断裂构造特征	(10)
三、变换构造带特征	(14)
四、反转构造特征	(18)
五、构造带样式特征	(21)
六、构造样式特征	(28)
七、构造演化特征	(37)
第四节 沉积充填特征	(41)
一、沉积的平面分布特征	(41)
二、沉积纵向发育特征	(42)
第五节 油气分布特征	(43)
一、油气的分布受主力生烃中心的控制	(43)
二、不同的构造部位有不同的油气分布特征	(44)
三、发育了三种类型成藏组合	(48)
四、成熟生油层内不整合面上下油气富集	(49)
第二章 地层岩性油气藏形成的地质条件	(51)
第一节 层序地层格架	(51)
一、地层层序格架	(51)
二、层序地层特征	(51)
三、层序的划分和分级	(60)
四、体系域与地层岩性油气藏	(61)
第二节 沉积条件	(63)
一、沉积特征	(63)

二、沉积相展布模式	(71)
三、沉积相带与地层岩性油气藏	(82)
第三节 构造条件	(85)
一、构造运动的特征	(85)
二、断层的特征和作用	(87)
三、凹陷结构特征	(95)
第四节 烃源条件	(103)
一、烃源层的分布特征	(103)
二、烃源岩特征	(111)
三、烃源条件与地层岩性油气藏	(125)
第五节 坡折带条件	(128)
一、坡折带类型和分布	(129)
二、坡折带的形成	(130)
三、坡折带的作用	(132)
四、坡折带与地层岩性油气藏	(135)
第三章 地层岩性油气藏类型及特征	(137)
第一节 地层岩性油气藏概念	(137)
一、综述	(137)
二、地层岩性油气藏概念	(138)
第二节 地层岩性油气藏类型及特征	(141)
一、地层油气藏类型及特征	(141)
二、岩性油气藏类型及特征	(142)
三、复合油气藏类型及特征	(147)
第四章 典型地层岩性油气藏剖析	(149)
第一节 地层油气藏	(149)
一、地层不整合油气藏	(149)
二、地层超覆油气藏	(150)
第二节 岩性油气藏	(152)
一、岩性尖灭油气藏	(152)
二、岩性透镜体油气藏	(158)
三、河道砂岩油气藏	(161)
四、生物礁滩油气藏	(164)
五、成岩圈闭油气藏	(165)
六、裂缝性油气藏	(166)
第三节 复合油气藏	(168)
一、构造岩性油气藏	(168)
二、构造地层油气藏	(171)
三、地层岩性油气藏	(172)
第五章 地层岩性油气藏形成机理	(175)
第一节 成藏动力特征	(175)

一、地温场特征	(175)
二、压力场特征	(181)
三、温-压系统特征	(190)
四、流体势特征	(196)
第二节 输导系统特征	(203)
一、输导系统类型	(203)
二、典型凹陷的输导系统特征	(204)
第三节 地层岩性圈闭形成过程	(219)
一、岩性圈闭形成过程	(219)
二、地层圈闭形成过程	(224)
第四节 地层岩性油气藏成藏期次	(226)
一、基本原理和研究方法	(227)
二、典型岩性油气藏成藏期次分析	(227)
三、地层岩性油气藏成藏期次特征	(234)
第五节 地层岩性油气藏形成模式	(236)
一、源内成藏模式	(236)
二、源外成藏模式	(240)
第六章 地层岩性油气藏形成、分布及富集规律	(244)
第一节 地层岩性油气藏与构造油气藏形成和分布的差异性	(244)
一、圈闭形成期次	(244)
二、油气运移成藏	(246)
三、油气藏烃类充注期	(246)
四、保存条件	(248)
五、油气藏分布的构造带类型	(250)
六、油气藏分布的体系域类型	(252)
七、油气藏分布的流体动力场	(252)
第二节 裂谷盆地“多元控砂”机理	(254)
一、二连盆地“多元控砂”特征	(254)
二、冀中坳陷“多元控砂”特征	(264)
三、其他裂谷盆地“多元控砂”特征	(275)
第三节 地层岩性油气藏“四元成藏”机理	(295)
一、地层岩性油气藏形成和分布受多种因素制约	(295)
二、地层岩性油气藏“四元成藏”特性	(300)
三、典型岩性油气藏“四元成藏”特征分析	(305)
第四节 地层岩性油气藏“主元富集”规律	(308)
一、丰富的油源是地层岩性油气富集的物质基础	(309)
二、优质的砂岩体圈闭是地层岩性油气富集关键因素	(317)
三、汇流通道是地层岩性油气富集重要因素	(329)
第七章 地层岩性油气藏勘探技术和方法	(336)
第一节 地层岩性油气藏有利区带评价方法	(336)
一、有利区带评价的重要性及主要参数	(336)

二、“富油气凹陷”分析方法	(337)
三、层序地层学方法	(339)
四、储集相带预测方法	(341)
五、盆地宏观运移条件分析方法	(347)
六、区带保存条件评价方法	(353)
第二节 地层岩性圈闭识别技术	(353)
一、地震相分析技术	(353)
二、地震反演技术	(360)
三、地震属性分析技术	(366)
第三节 地层岩性圈闭评价方法	(369)
一、地层岩性圈闭评价思路和方法	(369)
二、地层岩性圈闭“四元成藏”分析方法	(369)
三、地层岩性圈闭地质风险分析方法	(372)
四、地层岩性圈闭优选方法	(374)
第四节 华北探区地层岩性油藏勘探技术和方法	(374)
一、地层岩性油藏勘探存在的难点	(374)
二、地层岩性油藏区带优选评价方法	(374)
三、地层岩性圈闭识别评价技术方法	(376)
第八章 裂谷盆地地层岩性油气藏的勘探方向	(378)
第一节 陡坡带地层岩性油气藏有利勘探方向	(378)
一、陡坡带的地质特征	(378)
二、地层岩性油气藏的分布特征	(378)
三、陡坡带油气藏分布模式	(381)
第二节 缓坡带地层岩性油气藏有利勘探方向	(382)
一、缓坡带地质特征	(382)
二、地层岩性油气藏的分布特征	(382)
三、缓坡带油气藏分布模式	(385)
第三节 洼槽带地层岩性油气藏有利勘探方向	(386)
一、洼槽带地质特征	(386)
二、地层岩性油气藏的分布特征	(386)
三、洼槽带油气藏分布模式	(387)
第四节 中央构造带地层岩性油气藏有利勘探方向	(388)
一、中央构造带的地质特征	(388)
二、地层岩性油气藏的分布特征	(388)
三、中央构造带油气藏分布模式	(389)
第五节 大断层下降盘负地形河道砂岩性油气藏勘探	(389)
参考文献	(390)

第一章 裂谷盆地概论

第一节 综 述

1894 年 Gegory 在研究东非时,把裂谷作用概念引入到地质文献中,至今已有 110 多年了。这期间对裂谷和裂谷盆地的研究,大体经历了:初步认识阶段、深入认识阶段和全面认识阶段。

(1) 初步认识阶段:20 世纪 60 年代,对裂谷成因的认识有了较大的进展。Shatsky 根据石油探井资料,于 1964 年首次从俄罗斯地台中识别出“坳拉谷”,后来被证实是埋藏的古裂谷。同时认识到洋中脊本身几乎都带有轴向地堑的特点,从而识别了大陆裂谷和大洋裂谷,进一步认识到裂谷作用加速了大陆的解体和洋盆的形成(宋建国、窦立荣,1994),改变了过去认为地壳演化只是单方向的,大洋通过造山运动转化为大陆,洋壳演化为陆壳的观点。同样,大陆通过裂谷作用可以转化为洋盆,如红海、亚丁湾(许志琴,1980)。

(2) 深入认识阶段:20 世纪 70 年代,重视对裂谷的成因研究,认为裂谷是岩石圈伸展作用产生的负向构造单元,在地壳中广泛分布。

(3) 全面认识阶段:20 世纪 80 年代以来,对裂谷的成因机制、演化模式、裂谷盆地的沉积充填、构造样式及其油气的形成与分布的研究,逐渐深入,日趋完善。

裂谷盆地是重要的含油气盆地类型,无论是中国或世界上都是如此。据统计,世界上 37 个大型油气田中,分布在裂谷盆地内的有 9 个,占 24.3%,其储量占世界总储量的 10%。如中国渤海湾盆地、二连盆地、海拉尔盆地等,是中国的重要的产油区;欧洲北海裂谷系大油区、苏伊士-红海裂谷盆地油区、第聂伯-顿涅茨古裂谷油区、北美西海岸加利福尼亚裂谷系,石油可采储量达 12×10^8 t。

一、裂谷盆地的类型

裂谷盆地,按照自身的特性、所处的构造位置和成因,可以分为不同类型。按照裂谷的自身特性可分为活动裂谷和不活动裂谷;按照所处的构造位置,有二分:大陆裂谷(即发育在陆壳上的裂谷)和大洋裂谷(发育在洋壳上的裂谷),和三分:大洋型裂谷(即轴部和四周都是由洋壳组成,一般指的是大洋中脊)、陆间型裂谷(即轴部具洋壳性质,谷缘带为变薄的陆壳,两侧为正常地壳,以红海-亚丁湾为代表)及大陆型裂谷(即裂谷下部具变薄的陆壳,以东非、贝加尔、莱茵和中国渤海湾盆地为代表)。按照成因可分为主动式裂谷盆地和被动式裂谷盆地。这最早是由 Sengor 和 Burke 等在 1978 年提出来的(Ziegler, 1992),但是没有被实践证实。作者在研究中国东部裂谷盆地时,发现这两

类盆地在中国东部表现比较明显：以渤海湾盆地为代表的主动式裂谷盆地，莫霍面隆起与盆地沉降中心明显地呈镜像关系；同时根据内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地质断面资料（卢造勋、夏怀宽，1992），渤海湾盆地辽河拗陷，由于上地幔物质上涌，使下地壳具有较多的超铁镁质，莫霍面呈多层的壳幔过渡带，地震波呈多个波组特征；中地壳具有菱形拉伸滑脱构造，厚度相对两侧地区变薄，具有典型的裂谷区的壳幔构造特征。说明这类盆地形成的动力与上地幔的活动有关；而在研究东北亚地区二连盆地、海拉尔盆地时，发现莫霍面隆起与盆地沉降中心不呈镜像关系（图 1-1）；同时根据江苏响水至内蒙古满都拉地质断面资料（马杏垣等，1991），二连盆地上地幔密度为 3350 kg/m^3 ，上地幔高导层埋深 110 km ，基本为正常值，具有稳定大陆岩石圈的特征。说明这类盆地形成的动力与上地幔活动关系不密切，主要是受太平洋板块和印度洋板块与欧亚板块相互作用的远程构造应力作用。因此，二连盆地、海拉尔盆地及蒙古诸多的中小型盆地属被动式裂谷盆地。这两类盆地既存在共性，又存在差异（表 1-1）。

表 1-1 被动式裂谷盆地与主动式裂谷盆地主要特征对比表

特 征	被动式裂谷盆地	主动式裂谷盆地
地貌	主要为北东向线型洼地	主要为北北东—北东向线型洼地
基底性质	为 Pz 地槽褶皱基底	为 Pz 地台基底，局部为 Ar 结晶基底
构造	为正断层控制的半地堑或地堑断陷；凹凸相间呈线型排列；以中型背斜、断块圈闭为主	为正断层控制的半地堑或地堑断陷；凹凸相间呈线型排列；以中型背斜、断块圈闭为主
沉积和火山作用	沉积了厚达 $3000 \sim 4000 \text{ m}$ 陆相类磨拉石建造，并伴随钙碱性火山活动	沉积了厚达 $10000 \sim 13000 \text{ m}$ 的第三系（古、新近系）河湖相沉积，并伴随亚碱性火山活动
地球物理	重磁力从东北向西南缓慢下降，正负相间南北分区；大地热流值偏高，为 $56.28 \sim 65.86 \text{ mW/m}^2$	重力场变化平缓，布格重力值为 $-70 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右；大地热流值较高，为 $61.70 \sim 98.38 \text{ mW/m}^2$
深部构造	地壳厚度 $42 \sim 44 \text{ km}$ ；上地幔隆起与上覆拗陷不呈镜像关系；上地幔密度为 3.35 g/cm^3	地壳厚度 $31 \sim 36 \text{ km}$ ；上地幔隆起与上覆拗陷呈镜像关系
盆地结构	二元结构不明显，上覆拗陷层系薄或不发育	二元结构清楚，古近系为断陷，新近系为拗陷
代表盆地	二连盆地	渤海湾盆地

从表中可以看出二者的共性是：在地貌上为一系列的线型洼地；在构造上为受张性断层控制的半地堑或不对称的地堑；在沉积上充填一套巨厚的陆相类磨拉石建造；大地热流值偏高等。不同点主要是：主动式裂谷盆地莫霍面隆起与上覆拗陷呈镜像关系，而被动式的裂谷盆地莫霍面隆起与上覆拗陷不呈镜像关系。说明了主动式裂谷盆地的形成与上地幔上升产生拉张，使地壳减薄关系密切。而被动式的裂谷盆地的形成，主要是受到远场应力作用的结果。因此，主动式裂谷盆地的规模、沉积厚度均较被动式的裂谷盆地大。

二、裂谷盆地的分布

裂谷盆地主要发生在以离散板块运动和张性构造环境中，全球分布较为广泛，如东非

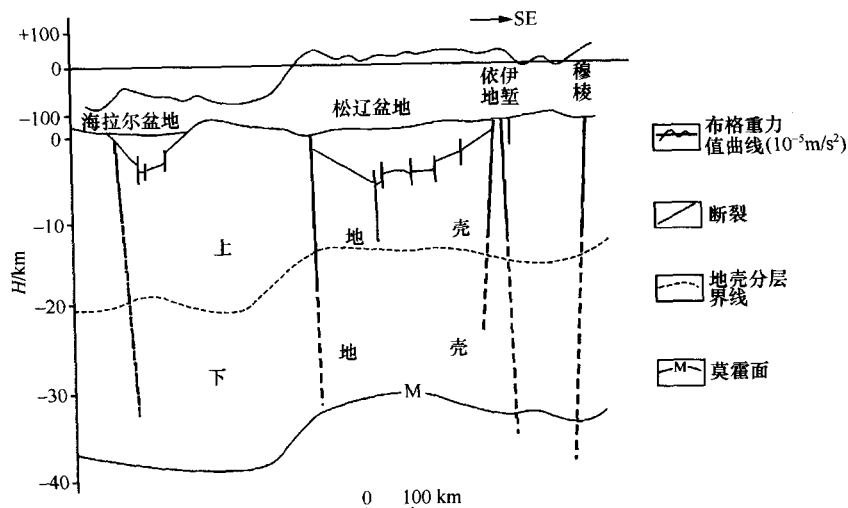


图 1-1 被动式裂谷盆地与主动式裂谷盆地岩石圈及上地幔结构剖面图
(据徐好民等, 1989, 简化)

裂谷系、红海-亚丁湾裂谷系、欧洲北海裂谷系、莱茵裂谷系、第聂伯-顿涅茨古裂谷系、北美西海岸加利福尼亚裂谷系、东北亚裂谷系、中国东部裂谷系、山西汾渭裂谷系等。

东非裂谷系是世界上最典型的现代大陆裂谷系，位于非洲地台东部元古宇褶皱基底上，近南北向展布，全长 7000 km，宽数千米至二百千米。由东、西两支裂谷组成，交汇于马拉维湖。东支北端阿法尔盆地与红海-亚丁湾裂谷系相交。该裂谷系可能在侏罗纪和白垩纪就开始了裂谷发育阶段，在新生代的中新世以来为裂谷发育的全盛时期。构造特点为受正断层控制的两条雁行式地堑组成，水平扩张量约 5 ~ 10 km。火山活动频繁，热流值为 4.4 微卡/厘米²·秒；正常地壳厚度 40 km，壳幔混合带厚约 25 km (许志琴, 1980)。

莱茵裂谷系，位于西欧华力西褶皱带基底上，全长 600 km，最宽达 100 km，西北与北海裂谷系相接。北部以箕状断陷构造为特征，南部发育垒堑状构造，水平扩张量为 4.5 ~ 5 km。裂谷内堆积了从中始新统至更新统厚 3000 m 以上的陆相沉积，岩浆活动以碱性玄武岩和超基性岩为主，其中中新世最强烈，热流值为 1.6 ~ 4.0 微卡/厘米²·秒。地壳厚度 24 ~ 30 km，壳幔层厚 15 km。

东北亚裂谷系，位于西伯利亚地台南部到中朝地台北广大地域上，呈北东向分布，延伸长约 3000 km，西到贝加尔湖，东至锡霍特-阿林构造带，宽约 1250 km。主要分布在中国东北部、蒙古和俄罗斯境内，包括海拉尔盆地、开鲁盆地、二连盆地、额尔古纳盆地以及蒙古塔木察格盆地、东戈壁盆地、乔巴山盆地、俄罗斯贝加尔湖等。这些盆地发育在不同的基底上，在中国东北部和蒙古境内的盆地主要是发育在海西期地槽褶皱基底上。这些盆地的规模一般较小，多为半地堑箕状断陷或不对称的双断断陷。从二连盆地和海拉尔盆地的资料来看，地壳的厚度 40 ~ 44 km，上地幔隆起与上覆拗陷不呈镜像关系，未发现壳幔混合带，上地幔密度为 3.35 g/cm³，属正常值。发育有钙碱性火山岩，大地热流值偏高，为 1.35 ~ 1.58 微卡/厘米²·秒。

中国东部裂谷系，位于中国东部，北起沈阳南达北部湾发育了一个巨型的大陆裂谷系的线性盆地区，呈北北东向展布，延伸长约 3000 km，宽度 250 ~ 450 km。裂谷系的東西两侧分别受郯庐断裂带和紫荆关断裂带的控制；南北向受北西西向的阴山深断裂、北秦岭深断裂、南岭深断裂带限制或分割成三段，即渤海湾盆地区；南襄盆地、苏北盆地、江汉盆地区；百色盆地、莺歌海盆地、珠江口盆地区。地壳厚度 29 ~ 36 km，向两侧明显变厚。上地幔隆起与上覆拗陷呈镜像关系。根据渤海湾盆地辽河拗陷地质断面资料，下地壳具有较多的超铁镁质，莫霍面呈多层壳幔过渡带，地震波呈多个波组反射特征，估计壳幔混合带厚 15 ~ 20 km。沉积了厚达 10000 ~ 13000 m 的古近系和新近系河湖相沉积，并伴随着亚碱性火山活动。大地热流值较高，为 1.48 ~ 2.36 微卡/厘米²·秒。

这些裂谷盆地的基底由不同的大地构造单元组成（胡见义等，1984），自北而南包括华北地台区、秦岭褶皱系、扬子地台区、华南地台区等。由于各个盆地的基底性质不同、所处的构造位置不同和受力作用的方向不同，因此各个盆地构造特征和演化也有所差异。渤海湾盆地发育在华北地台基底上，自侏罗纪至新近纪发育了两个裂谷期（旋回），第一裂谷期为侏罗纪至白垩纪；第二裂谷期为古近纪至新近纪。古近纪渐新世沙三段是裂谷盆地发育的全盛期，新近纪转入后裂谷期拗陷发育阶段，从而形成统一的盆地。南襄盆地发育在秦岭褶皱系太古宙和元古宙变质岩及中生代大片酸性侵入岩基底上，发育了一个裂谷期，经历了晚白垩世初始裂陷，古近纪渐新世核桃园组是盆地发育的全盛时期，新近纪转入后裂谷期拗陷发育阶段。江汉盆地发育在扬子地台基底上，发育了一个裂谷期，经历了晚白垩世初始张裂期，始新世晚期潜江组是盆地发育的全盛时期，新近纪转入后裂谷期拗陷发育阶段。珠江口盆地发育在华南地台基底上，发育了一个裂谷期，经历了晚白垩世初始张裂期，古近纪始新世—渐新世恩平组盆地发育到全盛期，渐新世晚期盆地转入后裂谷期拗陷发育阶段。

在这里还需要说明一点，有的学者（童崇光，1980；吴振明等，1985）将松辽盆地划归东部裂谷系，但作者认为松辽盆地虽然侏罗纪演化阶段具有裂谷盆地性质，白垩纪及其以后属于相对稳定的地台型盆地演化阶段，故未将其划为东部裂谷系。

第二节 裂谷盆地形成的动力学

随着裂谷盆地的地质特征及其演化被揭示和研究工作的逐步深入，许多学者对盆地动力学进行了有益的探讨。盆地动力学是地球动力学研究的重要组成部分，是当今地质学研究中的前缘领域，也是十分复杂的难题。它对油气和其他矿产资源的勘探以及人类生存发展有着密切的关系。根据前人的研究成果，认为地壳运动的动力主要有：地幔的蠕动、板块俯冲作用、地球自转速度的变化、其他天体的引力等或几种力的联合作用的结果。下面就裂谷盆地形成的动力学进行粗略的探讨。

一、地幔的蠕动作用

上地幔软流层的物质是不均一的，尤其是放射性元素含量分布不均，势必引起温度、密度的差异，从而产生缓慢的蠕动（陈国达，1985）。地幔蠕动有两种方式，即纵向蠕动

和横向蠕动。

1. 地幔纵向蠕动的的作用

当上地幔软流层某些部分,由于温度增高而体积增大、密度减小,则从深处向浅处蠕动,致使热能(包括放射性热能)向外扩散。其结果是该处因失热而逐渐收缩,相应部位地壳因受热膨胀,密度减小,从而引起该处以水平运动占优势的强烈地壳运动。这时该处地壳产生强烈的褶皱及断裂、岩浆侵入及喷发、岩石变质、地震等,大地热流增高,构造—地貌反差强度增大,沉积物分选差,岩性变化大,形成强烈活动区。

当上地幔软流层上部物质(特别是重的)因重力分异自浅处向深处蠕动、聚集,促使热能在内部积累。其结果是地球该处内部因积热而逐渐膨胀,相应部位地壳因热能消散而相对收缩,从而导致该处地壳运动减弱,以垂直运动占优势,产生伸展断陷。这时该处地壳的褶皱及断裂、岩浆侵入及喷发、岩石变质、地震等相对较弱,大地热流降低,构造—地貌反差强度变小,沉积物分选良好,岩性变化小,转化为相对稳定区。地壳构造发展这种规律,陈国达教授称之为地幔蠕动、热能聚散交替假说。它与裂谷盆地构造发育特征十分相符。如中国东部渤海湾盆地的发育,从中生代开始,三叠纪上地幔软流层上涌,地壳受热膨胀拱升,普遍缺失三叠系沉积,进而发生初始张裂、断陷,形成中下侏罗统含煤沉积建造。中晚侏罗世地壳持续受热膨胀,密度减小,从而引起该处以水平运动占优势的强烈地壳运动(即晚侏罗世),产生强烈的褶皱及断裂,岩浆侵入及喷发等。如燕山期花岗岩侵入,晚侏罗世兴安岭群强烈的火山喷发,在大兴安岭地区中生代火山岩厚达8500 m。因构造—地貌反差强度增大,下白垩统卢沟桥组在北京丰台和石家庄地区发育一套分选性差的粗碎屑岩沉积。随着热能的消散,构造活动逐渐减弱,在古近纪盆地强烈拉伸断陷,裂谷盆地进入第二裂谷期发育阶段,构造—地貌反差强度变小,沉积物分选变好,发育了良好的烃源层系和储集层。当地球内部热能的积聚达到一定的程度后,软流层又从深处向浅处蠕动,致使热能向外扩散。地壳受热膨胀,构造活动逐渐加强,在新近系与古近系之间形成角度不整合接触,产生反转构造,构造—地貌反差强度增大,发育了新近系一套以河流相为主的粗碎屑岩沉积。这可能就是裂谷盆地发育由初始张裂→伸展断陷→强烈挤压→张裂→强烈伸展→挤压隆升、消亡的原因。

另外,莫霍面隆起与盆地沉降中心明显地呈镜像关系,说明软流圈上涌,形成地幔柱,导致大规模低起伏的正向岩石圈挠曲,并在岩石圈内产生偏张力。这从地学断面资料也得到证实。如内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地学断面资料(卢造勋、夏怀宽,1992),渤海湾盆地辽河坳陷,由于上地幔物质上涌,使莫霍面呈多层的壳幔过渡带,地震波呈多个波组特征;中地壳具有菱形拉伸滑脱构造,厚度相对两侧地区变薄,具有典型的裂谷区的壳幔构造特征。说明这类盆地的形成的动力与上地幔的活动有关。

2. 地幔横向蠕动的的作用

软流圈上涌,不仅产生纵向蠕动,同时还会引起软流圈横向蠕动,在岩石圈底部产生剪切牵引力。这种剪切牵引力虽然在每单位面积内相对较小,但若考虑岩石圈板块的规模,通过对流软流圈施加在岩石圈板块上的累积应力可能是非常大。关于中国东部新生代盆地形成机理,陈国达教授(1992)提出了一种新的认识。认为这些盆地呈北北东—南南西、北东—南西以至东北东—西南西方向展布,以及主要盆地作雁行式排列。究其原

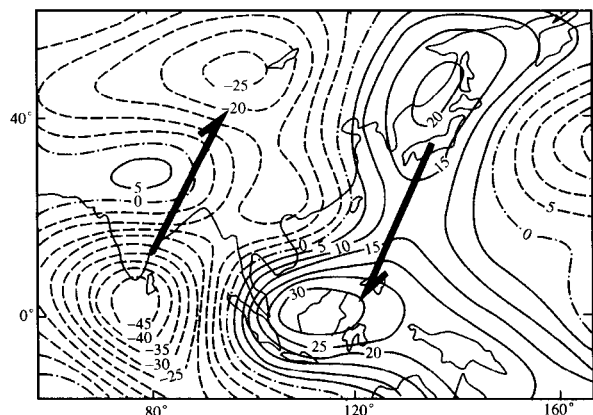


图 1-2 亚洲东南部地区新生代岩石圈应力场示意图
(据陈国达, 1992)

因, 主要是由于亚洲东部—太平洋西部岩石圈下面地幔, 自新生代以来的应力场特点所决定的。根据曾维鲁 (1985) 利用美国哥达特宇航中心 1981 年 GEMIOB 地球重力模型计算并绘制低阶 (2~12 阶) 和高阶 (13~36 阶) 自由空气重力异常图 (图 1-2)。从图中可以看出: 在东亚—西太平洋地区存在两个重力高区, 一是在日本海北部附近 (正 $20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$), 二是在菲律宾以南 (正 $30 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$), 显示西太平洋南段的地幔自北偏东向南偏西方向蠕动。而在

中国东经 $102^\circ \sim 106^\circ$ 的南北构造带以西地区, 地幔中存在两个重力低, 一是在印度半岛以南 (负 $45 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$), 二是在贝加尔湖以西 (负 $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$), 显示出地幔自南偏西向北偏东方向蠕动, 同太平洋南段地幔蠕动的方向相反。这样就形成了一对右旋剪切力。势必牵引岩石圈相应部位发生同样规模的剪切运动, 使邻接中国大陆的西太平洋壳体向南移动, 而中国西南部及印度壳体向北移动, 从而形成右旋剪切应力场, 并派生出北西—南东向的张力。故形成了中国东部北东向雁行式新生代裂谷盆地。

二、板块的相互作用

从大地构造位置而言, 中国绝大部分地区属于欧亚板块。东边为太平洋板块, 中国东部的台湾省位于欧亚板块与太平洋板块之间的边界上。西南部为印度板块, 喜马拉雅构造带位于欧亚板块与印度板块之间的碰撞带上。三大板块的相互作用对中国中、新生代的构造应力场、裂谷盆地的形成与发展及其构造变形必将产生巨大的影响。

中、晚侏罗世—白垩纪, 主要受库拉板块沿北北西方向朝日本斜向俯冲消减, 诱发地幔上涌, 地壳受热膨胀、拉伸变薄, 地球自转速度持续较快, 亚洲大陆相对南移, 从而形成北西—南东向的挤压, 导致北东向褶皱和配套断裂的产生, 如冀中地区高阳、阜平等复式背斜, 太行山东、大兴、高阳—博野、兰聊等压性断层, 主要是在这时形成 (这些断层后期转换为张性断层)。大量的岩浆沿断裂上涌, 火山喷发遍及华北东部地区。这时在中国东部大陆边缘发生剧烈的俯冲和仰冲, 在其后方——东北亚地区势必产生拉张, 这可能是二连盆地、海拉尔盆地等, 在早白垩世就开始拉张、断陷的主要原因。

古近纪, 早期由于日本海盆的拉开, 日本从亚洲大陆分离出去, 太平洋板块俯冲带后撤 (庄培仁等, 1985), 并转向北西西向俯冲; 同时, 白垩纪末, 印度板块沿南西向北北东方向推移, 并在始新世与渐新世之间, 与欧亚板块相碰撞, 此后, 印度板块继续以每年约 50 mm 的速度向北北东方向推进 (邓起东等, 1979)。中国东部地壳在太平洋板块和印度板块的联合作用下, 形成北东—南西向的挤压; 同时地幔软流层上涌, 地壳受热膨胀、岩浆扩容, 随后冷缩断陷, 岩石松弛, 形成以正断层为主, 导致北西向拉张, 从而产生北

东向或北北东向的半地堑和地堑型盆地。

三、地球自转角速度的变化

地球自转角速度的变化，就会引起地壳运动，产生构造变形。一般自两极向赤道运动，自东向西运动的趋势。如中纬度地区（北纬 35°附近）产生强烈的挤压作用，出现了地中海带和我国昆仑—秦岭东西向复杂构造带；另外，北半球山字型构造弧顶向南，而南半球山字型弧顶向北；东亚大陆相对太平洋向南滑动，出现宏伟的新华夏系构造等。

在中国东部早、中侏罗世，由于地球自转速度加快，主要受到南北方向的强烈挤压，在燕山地区形成东西向煤盆及东西向的断裂。如京西、蔚县等东西向煤盆；祁吕贺山字型等的形成；东西向的断裂早期多由南向北推挤，如燕山地区鸡鸣山逆掩断层，南盘下马岭组被推在下中侏罗统煤系之上，后期多由北向南逆冲，如赤城—北票断裂等。

中晚侏罗世，由于库拉板块沿北北西方向朝日本斜向俯冲，诱发地幔上涌，地壳受热膨胀、拉伸变薄，地球自转速度持续较快，亚洲大陆相对南移，从而形成北西—南东向的挤压，导致北东向褶皱和配套断裂的产生，如高阳、阜平等复式背斜，太行山东、大兴、高阳—博野等压性断层。

上述仅列举了裂谷盆地形成动力学几个方面的因素，实际上可能要复杂得多，有时可能是某个因素起主导作用，有时可能是几个因素联合作用的结果。这还有赖于进一步深入研究。

第三节 构造特征及构造演化

一、盆地结构特征

大陆裂谷（张剪）盆地的结构，一般表现为隆拗相间、凹凸相间（或堑垒相间）排列；凹陷结构以单断箕状凹陷最发育为其特色，其次为不对称双断凹陷。一般，单断凹陷的分布在靠近隆起的部位，双断凹陷多发育在拗陷内部，且少见。

1. 单断箕状凹陷结构特征

单断箕状凹陷物源主要来自湖盆两岸，沿陡岸往往发育有水下扇，呈裙边状分布，个别发育有深水浊积扇；缓坡发育有扇三角洲、冲积扇，中央为湖区。若凹陷开阔，常常发育有中央潜山构造带或断裂构造带，凹陷结构较为复杂，在陡翼一侧发育有主洼槽，在缓翼一侧还可以形成次洼槽。

单断箕状凹陷根据内部结构和沉积特点还可以细分为：单断断槽式、单断断阶式、单断断超式和单断反转式 4 种类型（图 1-3）。

（1）单断断槽式凹陷（洼槽）：即在单断凹陷中单边主断层的对面发育了一条相向而对的同沉积老断层，使之形成深洼槽，在断槽中形成了巨厚的成熟烃源层，油气资源十分丰富，如二连盆地阿南洼槽等。

（2）单断断阶式凹陷（洼槽）：在单断凹陷中与边界主断层平行发育有同向同生断层，在断根部位又形成次洼槽，发育有成熟烃源层，使油气更加丰富，如二连盆地淖仁淖尔凹陷等。