

伸展断陷盆地分析

陈发景 汪新文 陈昭年 杨杰 编著

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书阐述了伸展断陷盆地分析的基本原理和方法,并结合国内外一些典型的含油气盆地实例对伸展断陷盆地进行了详细的构造分析。本书内容分为五个部分:伸展盆地的构造演化;伸展断陷盆地的构造几何学,其中包括有半地堑分析和调节带分析;伸展断陷盆地的运动学,其中包括有升降运动、伸展作用、翘倾作用和拆离作用;伸展断陷盆地形成和演化的地球动力学;伸展断陷盆地的构造特征和演化与沉积充填、油气生成、运移和聚集的关系。

本书适宜于构造地质专业和油气地质勘探专业的师生以及油气地质勘探工作者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

伸展断陷盆地分析/陈发景等编著. —北京:地质出版社, 2004. 6

ISBN 7-116-04074-9

. 伸... . 陈... . 断陷盆地—分析
. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 043149 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:黄苏晔

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) 82324573 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787 mm×1092 mm^{1/16}

印 张:18

字 数:430 千字

印 数:1—800 册

版 次:2004 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价:48.00 元

ISBN 7-116-04074-9/P·2472

(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)

前 言

在沉积盆地分析中，除了按照盆地所处的板块构造位置和板块边界的活动性质划分盆地类型外，还可以根据地球动力学背景划分为伸展盆地、缩短挠曲盆地、走滑盆地和克拉通盆地。在伸展盆地中，大陆内裂谷（也称伸展断陷盆地）、裂谷期后大陆内伸展拗陷、拗拉槽（aulacogen）和被动大陆边缘是世界上重要的含油气盆地类型，例如西西伯利亚、北海、锡尔特含油气盆地为大陆内裂谷和裂谷期后大陆内伸展拗陷，尼日尔河三角洲含油气盆地为拗拉槽，巴西东部雷康卡沃、坎波斯、塞尔希培 - 阿拉戈斯含油气盆地属大陆内裂谷和被动大陆边缘。在中国东部地区，松辽（晚侏罗世—白垩纪）、渤海湾、东海、珠江口、琼东南和莺歌海（第三纪）重要的含油气盆地均属于大陆裂谷和裂谷期后大陆内拗陷或被动大陆边缘。西部地区富含油气的二叠 - 三叠纪准噶尔盆地也属于大陆内裂谷和裂谷期后大陆内拗陷。因此，进行伸展盆地分析，特别是对于伸展断陷盆地进行构造分析，不仅有助于沉积盆地形成和演化的理论研究，而且对于中国进一步油气勘探具有重要的理论和实际意义。

在国内外，很多地质学家曾从不同角度对伸展断陷盆地进行过广泛而深入的研究。本书的研究思路主要是根据板块构造学说的基本原理，结合重要的含油气盆地实例，对伸展断陷盆地的构造演化、几何学、运动学和动力学进行构造解析，并讨论这类盆地与沉积充填和油气分布的关系。内容分为 5 个部分：

- 1) 伸展盆地的构造演化；
- 2) 伸展断陷盆地的构造几何学（包括半地堑和调节带分析）；
- 3) 伸展断陷盆地的构造运动学（包括升降运动、水平伸展作用、翘倾作用和拆离作用）；
- 4) 伸展断陷盆地形成和演化的地球动力学；
- 5) 伸展断陷盆地的构造特征和演化与沉积充填和油气运移、聚集的关系。

本书是根据国内外研究成果编写的，其中也包括了笔者和已毕业的研究生（漆家福、庞雄奇、刘德来、吕延防、查明、张光亚、龙胜祥、张晓东、孙家振、余辉、张树林、刘翠容、陶国强、周章保、周建生、杨峰平、苏玉

山、张亚敏、王纪祥等) 历年来的研究成果。笔者曾在 1992 年编写过《伸展盆地分析》一书, 时隔十年, 伸展盆地的研究又有很大进展。这次是在该书基础上修改和补充而成的。补充的重点部分有: 调节带分析; 伸展断陷盆地形成的地球动力学和 伸展断陷盆地的构造特征和演化与油气运移、聚集的关系。由于本书讨论的重点是伸展断陷盆地, 故易名为《伸展断陷盆地分析》。尽管笔者做了很大努力, 但有不少问题, 特别是对于伸展盆地形成、演化的地球动力学, 仍感到资料不足, 需要继续研究, 做进一步补充和修改。

在国内外, 有不少关于盆地分析的教材, 如 Allen 等 (1990) 的《盆地分析》, 陆克政等 (2001) 的《含油气盆地分析》等, 介绍了盆地分析的基本原理和实际应用。本书只是对上述教材中伸展盆地部分的内容进行补充和进一步讨论, 主要目的, 一方面是为石油地质专业研究生和石油勘探家们在科研生产工作中提供可参考的书籍, 另一方面是抛砖引玉, 期望他们能对本书提出宝贵的意见。

目 录

前 言

第一篇 伸展断陷盆地的构造演化和几何学	(1)
第一章 伸展断陷盆地的一般特征和构造演化	(3)
第一节 伸展盆地的概念	(3)
第二节 裂谷的一般特征和类型	(4)
第三节 裂谷的构造演化	(8)
第四节 中国大陆内裂谷和坳拉槽的分布	(20)
第二章 伸展断陷盆地的构造几何学	(32)
第一节 正断层和伸展断块的剖面几何形态	(32)
第二节 半地堑分析	(39)
第三节 控凹边界正断层及伸展断块的平面几何形态	(45)
第三章 伸展断陷盆地群中的传递带或调节带	(52)
第一节 传递带的一般概念	(52)
第二节 传递带或调节带的分类	(54)
第三节 传递带或调节带的实例	(62)
第四节 调节带在油气地质勘探中的意义	(76)
第二篇 伸展断陷盆地的运动学和动力学	(87)
第四章 伸展断陷盆地的运动学	(89)
第一节 水平伸展运动	(89)
第二节 构造沉降分析	(93)
第三节 断块掀斜 (或翘倾) 运动	(108)
第四节 滑脱作用及滑脱 (或拆离) 面深度的确定	(114)
第五章 大陆伸展作用的运动学	(125)
第一节 大陆伸展作用的运动学模式	(125)
第二节 纯剪切伸展模型及数值模拟	(127)
第三节 简单剪切伸展模型与变质核杂岩	(139)
第四节 简单剪切伸展和纯剪切伸展复合模型	(144)
第五节 伸展作用模式的时空变化序列	(146)
第六章 大陆内裂谷的成因模式及动力学	(150)
第一节 概述	(150)
第二节 泛大陆裂解 - 地幔柱模式	(152)
第三节 大陆漂移阶段的洋中脊推力模式	(164)

第四节	与大洋岩石圈俯冲作用有关的弧后扩张模式	(165)
第五节	与陆 - 陆碰撞或陆内俯冲作用有关的模式	(169)
第六节	控制大陆内裂谷形成和演化的作用力	(178)
第三篇	伸展断陷盆地的构造特征与油气关系	(193)
第七章	伸展断陷盆地的构造特征与生储盖层、热史和成熟度的关系	(195)
第一节	构造特征与充填沉积物层序	(195)
第二节	裂谷期前、裂谷期和裂谷期后的烃源岩和储、盖层分布.....	(198)
第三节	埋藏剥蚀史、地温史和成熟史综合分析.....	(207)
第八章	构造特征与油气运移	(224)
第一节	油气运移指向	(224)
第二节	断层在油气运移中的作用	(229)
第三节	封存箱.....	(239)
第九章	伸展断陷盆地的油气聚集类型	(246)
第一节	“ 三层楼 ” 式叠加的油气聚集类型	(246)
第二节	渤海湾盆地中几种常见的油气聚集类型.....	(248)
第三节	火山岩、盐和泥构造	(258)
第四节	反转构造	(268)
参考文献	(274)

第一篇

伸展断陷盆地的 构造演化和几何学

第一章 伸展断陷盆地的一般特征和构造演化

第一节 伸展盆地的概念

伸展盆地是指与岩石圈（先）伸展（后）减薄或（先）减薄（后）伸展作用有关的一类盆地。其中裂谷类型是最常见的，也是最早发生的一种伸展盆地（Dickinson, W. R., 1977; 马杏垣等, 1983）。裂谷（rift 或 rift valley）是 Gregory, J. W. (1984) 描述东非裂谷时首先采用的术语。他给裂谷下了一个定义，即裂谷是在平行的正断层之间的一种狭长凹陷。后来 Burke, K. (1980) 对 Gregory 的定义作了较大的修改，即将裂谷定义为是由于整个岩石圈遭受伸展破裂而引起的狭长凹陷。Burke (1980) 还对该裂谷定义作了如下的解释：第一，裂谷定义中未提到平行断裂，这是因为许多大家熟知的裂谷，例如康涅狄特（Connecticut）裂谷，其边界就不是两条平行断层，而仅仅是在一边具有大型断层；第二，至于提到整个岩石圈遭受破裂，是强调裂谷为一种大尺度构造，而把中、小型地堑构造（例如，在挤压背斜顶部——中和面以上——发育的张性地堑，盐丘构造上部产生的地堑）排除在外；第三，提到伸展破裂是指必须将控制裂谷的正断层与贯穿地壳或岩石圈的其他断裂（例如走滑断层）区别开来。

Burke 对 Gregory 的裂谷定义所做的补充和修改是十分重要的。考虑到还有地幔上隆引起岩石圈减薄的因素，裂谷的定义应当是“由于整个岩石圈减薄和遭受伸展破裂而引起的，并且常常是一侧为正断层限制的断陷盆地”。按此定义，由于走滑断层产生的拉分盆地（Reading, H. G., 1980）以及纵弯褶皱和盐拱形成的地堑均不应包括在裂谷盆地范畴。在中国，大多数石油地质家将裂谷称为箕状断陷盆地（李德生, 1980; 杨继良, 1983），或者是伸展断陷盆地（陈发景, 1983），或者是裂陷盆地（马杏垣等, 1983; 刘和甫等, 2000）。在本书中，所提到的裂谷和伸展断陷盆地都是指这类型的盆地，它们是同义词。

除了裂谷外，坳陷(sag)、坳拉槽(aulacogen)和被动大陆边缘等盆地也属于伸展盆地，它们都是由裂谷演化而来。裂谷与坳陷、坳拉槽和被动大陆边缘的关系可以简要地表示，如图 1-1。

在裂谷中，由于岩石圈上隆、减薄或区域应力场产生的张性偏应力足以克服岩石强度，从而形成控制边界正断层（Bott, M. H. P., 1981）。裂谷形成后有两种情况：一种情况是张性偏应力不足以造成脆性破裂，那么岩石圈均衡引起的沉降作用就会在无断裂或很少断裂的情况下发生；另一种情况是，热源供应中断，并不再有新的热源，那么岩石圈就会发生热收缩作用或榴辉岩化，并引起沉降。这种裂谷期后的沉降是区域性的，盆地是统一的，与分隔的裂谷盆地不同。它们被称之为裂谷期后大陆内坳陷（或简称坳陷）。从裂谷演化为坳陷过程中，有时中间发育断坳（以坳陷为主，发育少量控凹正断层）。由此也可以看出，裂谷期后断坳 坳陷，表明盆地向克拉通化方向发展，到后期已经与克拉通内

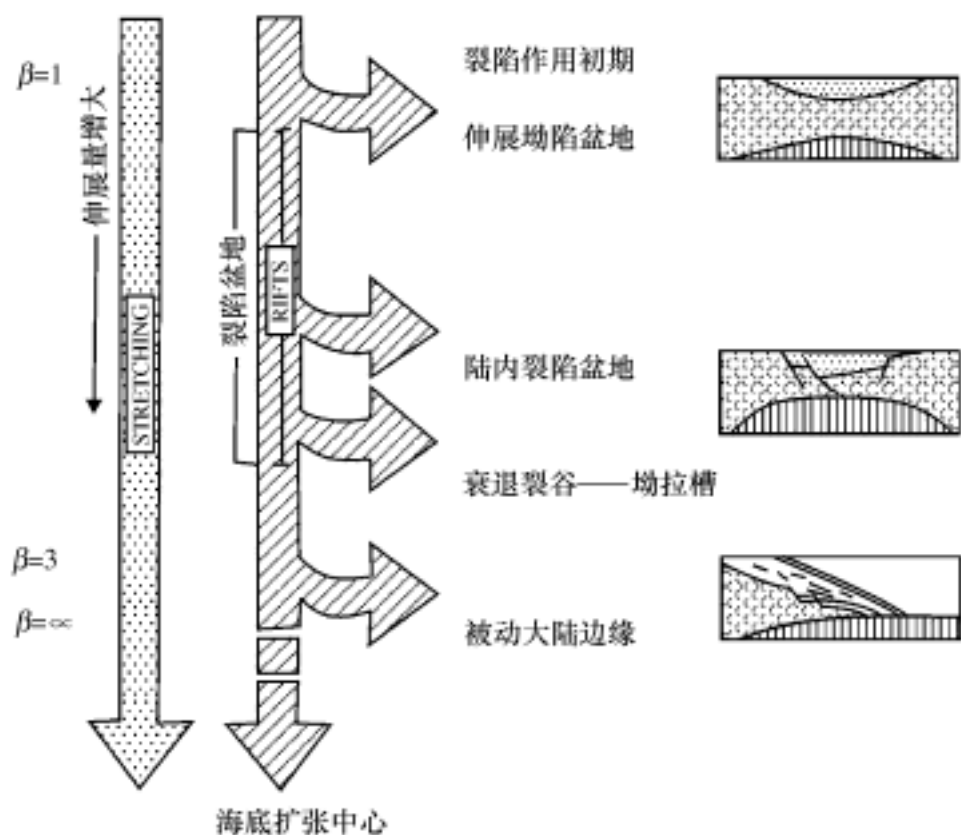


图 1 - 1 岩石圈伸展、减薄产生的裂谷与拗陷、拗拉槽和被动大陆边缘关系示意图
(据 Allen, P. A. 等, 1990)

(或稳定大陆内) 拗陷难以区别。

当裂谷继续伸展, 如果为三叉裂谷, 其中两支演化成原始洋或大洋盆, 另一支发育不足, 形成拗拉槽或发育不足的裂谷。这里所指的发育不足是相对另两支原始洋和大洋盆而言。如果仅是一支裂谷, 其发育程度相当拗拉槽, 则称为裂陷槽或裂陷海槽。拗拉槽或裂陷槽具陆壳, 但其伸展程度比裂谷或裂谷期后拗陷要高。如果裂谷继续发展, 即从大陆裂开进入漂移阶段, 则在洋盆边缘发育被动大陆边缘盆地, 其中楔状体沉积物记载了岩石圈在大陆漂移过程中持续不断的冷却作用及其本身负载大量沉积物的响应。

第二节 裂谷的一般特征和类型

裂谷的形成与岩石圈伸展和减薄作用有关。在威尔逊旋回的各个阶段和各种不同的板块构造环境中均可以见到裂谷的形成。它们是: 与大陆裂开和漂移作用有关的裂谷; 与俯冲作用有关的裂谷和 与大陆碰撞作用有关的裂谷。

1. 与大陆裂开和漂移作用有关的裂谷

可分成大陆内、大陆间和大洋裂谷三类。

大洋裂谷带和大洋中脊一样, 随着时间推移改变其位置和分叉, 常常是一个分支丧失活动性后, 即成为巨大补偿凹陷的中心。以大西洋北部为例, 大西洋中脊裂谷体系在中生代分布在加拿大和拉布拉多海中格陵兰岛之间, 到新生代, 裂谷体系开始在现在的大西洋北部地方发育, 而在巴芬湾 - 拉布拉多海, 裂谷被宽的拗陷所代替, 裂谷本身迅速被拗陷沉积物覆盖。

现代大陆间裂谷下面为洋壳, 谷肩是陆壳, 它们是大陆裂谷演化为大洋裂谷的过渡产

物。例如，印度洋附近的亚丁湾和红海南部即为大陆间裂谷。

现代大陆内裂谷下面为陆壳，谷肩也为陆壳，裂谷下面的陆壳厚度要比周围薄一些。现代大陆内裂谷作用的特征是：负布格重力异常；高热流（ $90 \sim 115 \text{ mWm}^{-2}$ ，也即是大于 2H. F. U ）和火山活动（表 1 - 1）。东非裂谷是典型的大陆裂谷系，其特征是在两个大的隆起区发育，即北部的埃塞俄比亚隆起和南部的东非隆起（图 1 - 2），在北非还发现其他穹窿隆起，例如 Tibesti 和 Hoggar 区的隆起。这些隆起常常与广泛分布的火山活动相伴生，但缺乏裂谷。其他裂谷系是美国西部的 Rio Grande 裂谷，欧洲的莱茵地堑和中亚的贝加尔裂谷。

表 1 - 1 4 个大陆裂谷中布格异常、伸展作用和火山活动的关系

裂谷	火山活动特征	地壳伸展作用范围 /km	布格异常 / $(10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$
肯尼亚	体积大，发生于裂谷期前和裂谷晚期	25 ~35	- 100 ~200
Rio Grande	体积小，在南部发生于裂谷早期和晚期，在北部发生于裂谷晚期	32	- 160
贝加尔	同裂谷期	10	- 20 ~30
莱茵	发生于裂谷晚期	5	10



图 1 - 2 非洲大陆火山区和裂谷作用的位置

（据 Allen, P. A 等，1990）

黑色区是年龄小于 26 Ma 的火山岩区。大的穹窿，例如埃塞俄比亚和东非隆起的特征是具有发育良好的裂谷。较小的隆起，例如 Tibesti 隆起和 Hoggar 隆起，具有火山活动，但缺乏裂谷

一般将裂谷作用归为两类（Sengor, A. M. C. 和 Burke, K., 1978; Turcotte, D. L. 和

Emermann, S. H., 1983; Morgan, P. 和 Baker, B. H., 1983; Keen, C. E., 1985), 即主动裂谷和被动裂谷作用。在主动裂谷作用中, 地表变形与热柱或热席对岩石圈底部的撞击作用 (impingement) 相伴生。来自地幔柱的传导加热作用, 源于岩浆生成的热的传递作用或者对流加热作用均可以使岩石圈变薄。如果来自于软流圈的热流很大, 大到可使大陆岩石圈迅速减薄, 将会引起均衡隆起, 隆起产生的张应力于是引起裂开作用。主动裂谷的实例是东非裂谷。

在被动的裂谷作用中, 首先是大陆岩石圈的张应力引起它破裂, 其次才是热的地幔贯入岩石圈, 地壳穹窿作用和火山活动仅是次要过程 (Turcotte, D. L. 和 Emermann, S. H., 1983)。Mckenzie, D. (1978) 提出的有关沉积盆地成因的模式属于这类被动裂谷作用。如果被动裂谷作用发生, 首先产生裂谷作用, 随之发生穹窿作用, 因此裂谷作用是区域应力场的被动响应。Rio Grande 裂谷可能是由于这种被动裂谷作用产生的。

Sengor 和 Burke (1978) 讨论了裂开作用和热穹窿火山活动的相对时间, 并根据它推测主动或被动裂谷。但实际上难以确定裂谷究竟是属于主动裂谷还是属于被动裂谷, 因为对于小的地幔热流来说, 隆起量可能是很小的。

主动裂谷与热点有关的现象是地壳大面积呈穹窿上升和呈三叉 (triple junction) 破裂 (Burke, K. 和 Dewey, J. F., 1973), 红海 - 苏伊士 - 亚喀巴湾裂谷系、红海 - 亚丁湾 - 埃塞俄比亚裂谷系 (图 1 - 3)、东非鲁瓦湖 - 马拉维 - 鲁瓦哈、鲁菲吉裂谷系均属于这种三叉裂谷系的实例。三叉裂谷系中每支裂谷发育不平衡, 如红海 - 亚丁湾 - 埃塞俄比亚裂谷系, 其中红海南部和亚丁湾两臂已发育为陆间裂谷, 而另一臂埃塞俄比亚裂谷仍处于大陆内裂谷状态, 发育不足 (图 1 - 3)。大西洋被动大陆边缘附近的尼日尔盆地也是这样一种由三叉裂谷系中发育不足的一臂演化而成的, 原为三叉裂谷, 演化中其他两臂发育为大洋, 另一臂由大陆内裂谷发展成与海岸线近乎垂交的坳拉槽 (图 1 - 4)。大的河流沿坳拉槽搬运碎屑物质进入大洋, 形成前积的三角洲和海底扇沉积体系。

2. 与俯冲作用有关的裂谷

弧后裂谷和弧后边缘海盆地与俯冲作用有关, 虽然也属伸展盆地, 但与聚敛型板块活动有关。主要有两种类型: 一种常常是早期弧后裂开, 晚期演化为弧后边缘海, 为小洋盆, 具洋壳, 与西太平洋主动大陆边缘有关的边缘海属此类型; 另一种类型为弧后盆地, 与安第斯型主动大陆边缘有关, 分布于“山弧”后方, 在大陆壳上发育。

3. 与大陆碰撞作用有关的裂谷

Burke (1980) 还划分出一种在形态上与坳拉槽相似的碰撞谷 (impactogen)。这种裂谷的发育与大陆碰撞有关, 两个大陆在碰撞时除了产生走滑断层外, 还在与碰撞带垂直相交的方向形成拉张应力, 产生碰撞谷。Tapponnier P. 和 Molnar P. (1975) 在讨论碰撞作用形成走向滑移断层时, 曾指出贝加尔地堑系和山西地堑系是由于喜马拉雅运动时印度板块与亚洲大陆碰撞产生的拉张应力场引起的 (图 1 - 5)。

莱茵地堑系属于碰撞谷。由于在平面上这种碰撞裂谷与造山带近乎垂交, 很像前述的坳拉槽, Burke, K. (1980) 认为可以根据其地质发展史区别它们。其方法是确定和重塑裂谷的形成时间和历史, 如果它是与大洋张开期同时开始的, 那么它应为坳拉槽, 如果仅仅是大洋封闭为褶皱带形成的时间, 那么即为碰撞谷。例如莱茵地堑和波兰凹陷都与阿尔卑

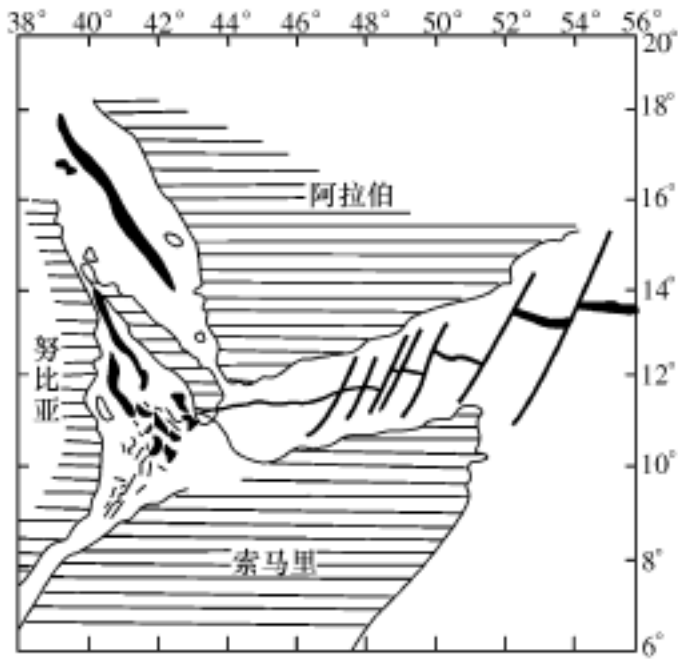


图 1 - 3 红海 - 亚丁湾 - 埃塞俄比亚裂谷分布示意图

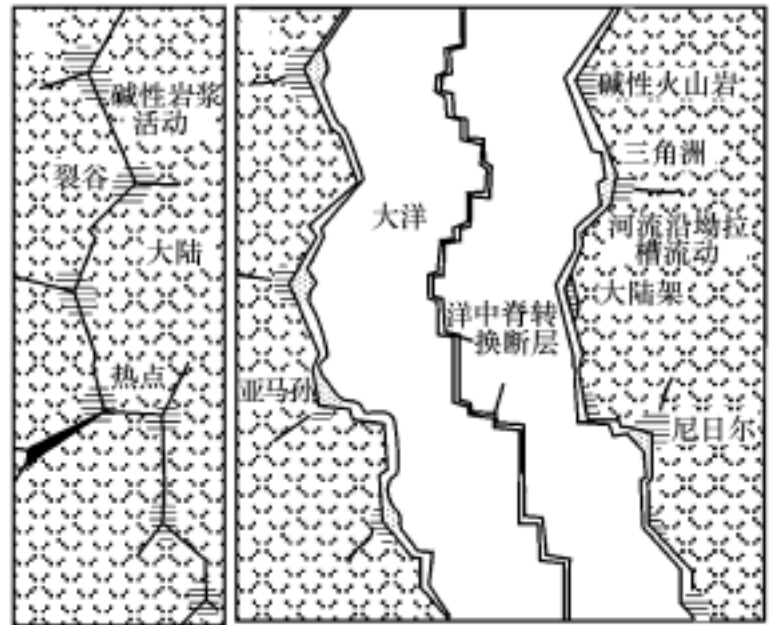


图 1 - 4 表示大陆内裂谷发育为被动大陆边缘、坳拉槽的示意图

(据 Dewey, J. F. 和 Burke, K., 1974)

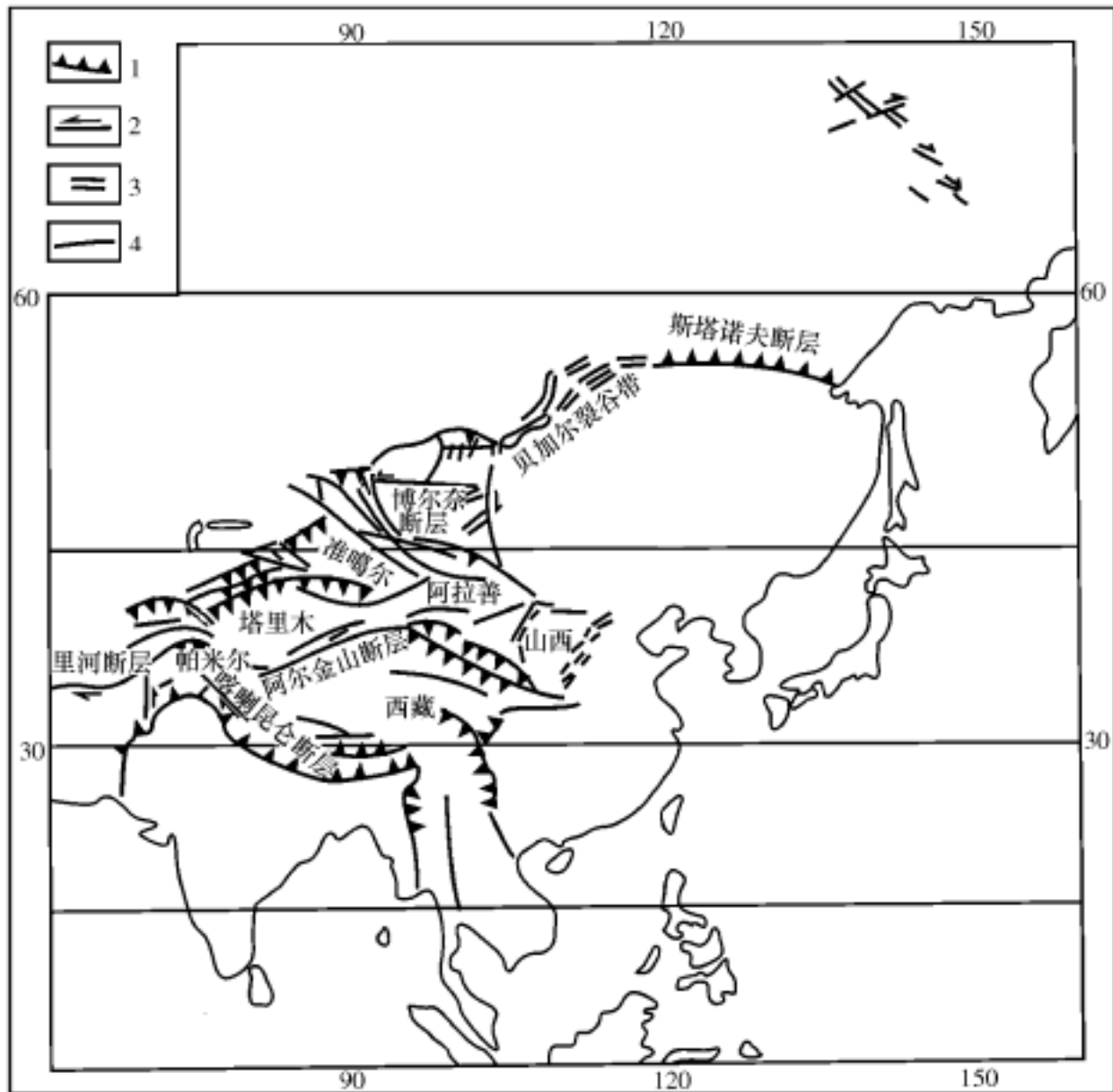


图 1 - 5 亚洲内部地震活动断层分布示意图

(据 Zonenshain, L. P. 和 Savostin, L. A., 1981)

1—逆掩断层；2—走滑断层；3—正断层；4—性质不明的断层

斯褶皱带垂直相交。莱茵地堑地质历史的开始是与中始新世阿尔卑斯运动碰撞事件同时的，而波兰坳陷的地质历史是在三叠纪开始的，与阿尔卑斯洋张开期同时。因此可以认为莱茵地堑是碰撞谷，而波兰坳陷是坳拉槽。格林威尔（Grenville）造山运动的碰撞也被认为是北美 Keweenaw 大陆裂谷形成的一种原因。

第三节 裂谷的构造演化

一、与大陆裂开和漂移作用有关的裂谷演化

与大陆裂开和漂移作用有关的裂谷演化呈下列 4 条路线：

- 1) 大陆内裂谷 大陆间裂谷 大洋；
- 2) 大陆内裂谷 坳拉槽；
- 3) 大陆内裂谷 被动大陆边缘；
- 4) 大陆内裂谷 大陆内坳陷。

现结合实例讨论如下。

（一）大陆内裂谷 大陆间裂谷 大洋

例如埃塞俄比亚 - 红海 - 亚丁湾三叉裂谷系，其中埃塞俄比亚为大陆裂谷，红海南端和亚丁湾为大陆间裂谷，红海北部（占红海 1/3）比南部处于更早的演化阶段，红海南部（占红海 2/3）比红海北部演化程度高，但比亚丁湾要差一些。

除了地壳性质和厚度反映裂谷的演化特征外，裂谷的沉积充填物、火山岩成分以及热流值等，也能反映裂谷的演化程度。

如埃塞俄比亚裂谷前为穹窿，古近纪晚期和新近纪为初始大陆内裂谷，堆积陆相粗碎屑岩，主要是冲积扇和湖相沉积物，基性火山岩为碱性。苏伊士湾裂谷演化程度稍高，始新世末至渐新世为隆起阶段，在古近纪晚期和新近纪初裂陷，下部为陆相粗碎屑岩沉积，上部为海相沉积，厚达 2 ~3.5 km。下中新统抱球虫泥灰岩为生油岩，夹一些砂岩和礁灰岩储集层，中中新世晚期或晚中新世发育蒸发岩。

红海裂谷的演化和苏伊士湾相似，只是演化程度要比苏伊士湾高得多（图 1 - 6）。其演化历史是，渐新世发育区域隆起，在隆起顶部开始破裂，形成原始大陆内裂谷，有火山活动和河、湖相沉积夹玄武岩。玄武岩具碱性性质，经同位素年龄测定属渐新世，所以推测

隆起和开始裂开时间为渐新世（Moretti, I. 等，1998）。

裂陷发育发生于早中新世和中中新世，它的特征是发育地堑（半地堑）、地垒（半地垒）构造，并且裂陷。沉积开始是一层海侵式底砂岩，后来是厚层蒸发岩堆集，覆盖在渐新世碎屑岩之上。沉积物厚 2 ~5 km。推测中新世时，红海仍处于大陆内裂谷阶段，但大陆岩石圈厚度减薄。

晚上新世中央海槽以西另一个裂谷开始发育，与此同时，中央海槽的岩石圈已经减得很薄，使得大洋型玄武岩得以侵入，新的洋壳由拉斑玄武岩、辉绿岩和辉长岩组成，同位素年龄测定为 3.5 Ma，属晚上新世。从那时开始，海底扩张一直延续到现在。

红海南与印度 Carlsberg 大洋中脊相连，热流值高达 92 ~180 mW/m²（2.2 ~4.3

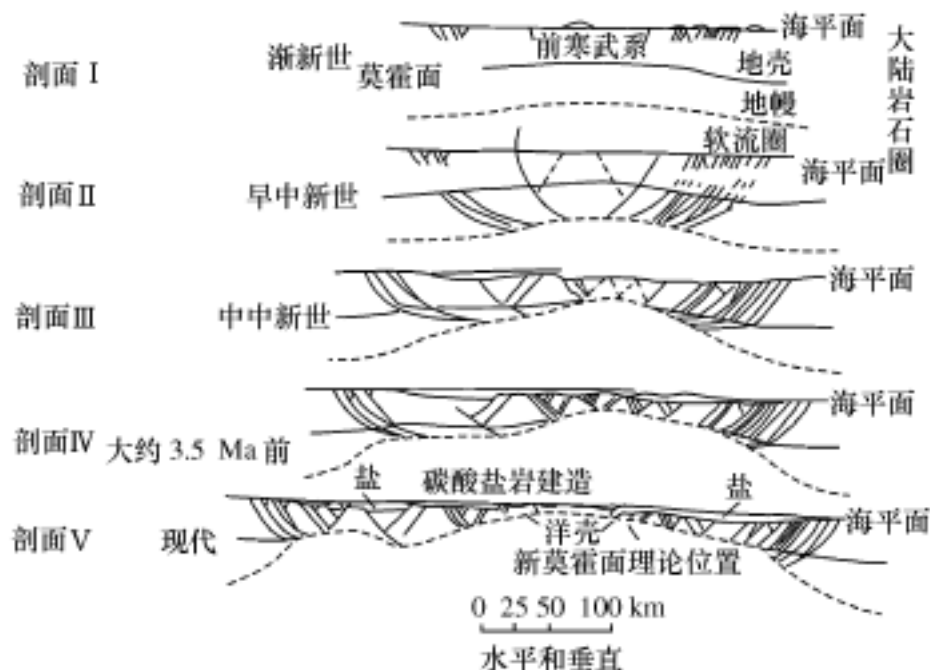


图 1 - 6 南红海的构造演化系列

(据 Lowell, J. D. 等, 1975)

H. F. U), 地温梯度在 28 ~50 /km 以上, 说明红海南部大陆间裂谷是由于热点和地幔柱使地壳隆起破裂和进一步海底扩张造成的。地温梯度高使石油遭受破坏, 在 3 km 或大于 3 km 深度的钻井里仅有气体显示 (Lowell, J. D. 等, 1975)。石油分布在红海北部和苏伊士湾大陆内裂谷。

(二) 大陆内裂谷 坳拉槽

贝努埃凹槽裂谷系南段和尼日尔盆地是大陆内裂谷 坳拉槽演化的实例。

贝努埃凹槽裂谷系的西北为上几内亚隆起, 东南为刚果克拉通西北的喀麦隆隆起, 它们均为前寒武系的变质岩系。裂谷系从乍得盆地南端经贝努埃凹槽至尼日尔三角洲, 在白垩世产生, 可能向北东方向延伸, 为特提斯海和大西洋的通道。同时因北西构造线的影响, 出现一些北西向海湾。

贝努埃凹槽裂谷系北、中、南 3 段的演化程度有很大不同。

1) 贝努埃凹槽中段, 这是一个宽 125 ~145 km、北东 - 南西向的大陆内裂谷, 在白垩纪形成。其中 4000 m 厚沉积为早白垩世晚期 (中阿尔必期)、晚白垩世早期 (晚塞诺曼期) 和晚白垩世中期 (中塞农期) 地层。晚白垩世中期末, 上述地层受侧向挤压, 盆地回返。

2) 贝努埃凹槽北段, 白垩纪时为大陆内裂谷, 呈三叉分布, 其中充填有海相地层。第三纪转化为大陆内坳陷, 即乍得盆地, 充填有陆相沉积物。下白垩统含油, 分布在三叉裂谷范围内, 有卡内娜萨迪奇和米安多那油田。

3) 尼日尔盆地是在贝努埃凹槽南段基础上发育的古近、新近纪坳拉槽, 古新世开始海进, 古新统一始新统阿卡特组为块状泥岩, 晚始新世开始到中新世为典型的三角洲层系沉积, 下部称为阿格巴达组, 为砂、页岩沉积, 上部叫贝宁组, 为砂岩沉积。由于三角洲层系前积, 负荷不均一, 最下部泥岩上拱形成泥脊, 并产生正断层和滚动背斜, 形成很多小而肥的油田 (Weber, K. J 等, 1975) (图 1 - 7)。

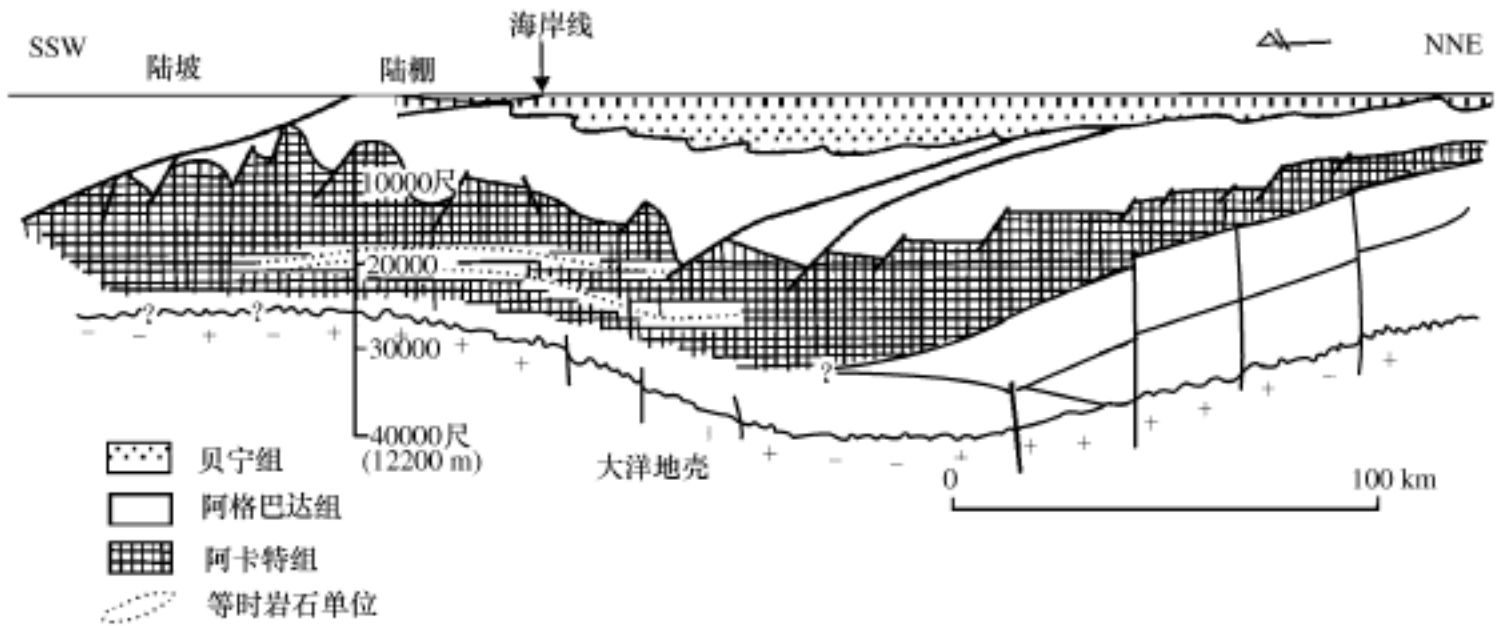


图 1 - 7 尼日尔三角洲沉积剖面图

(三) 大陆内裂谷 被动大陆边缘

巴西东部雷康卡沃、坎波斯、塞尔希培 - 阿拉戈斯和圣埃斯皮里托等盆地，非洲西部加蓬、宽扎和下刚果等盆地都是大陆内裂谷 被动大陆边缘的实例 (Campos, C. W. M. 等, 1975)。

1. 巴西东部被动大陆边缘盆地的演化阶段可划分为裂谷前克拉通阶段、大陆内裂谷阶段、过渡阶段和大规模拉开被动大陆边缘阶段

(1) 裂谷前克拉通阶段 (早白垩世前) (图 1 - 8)

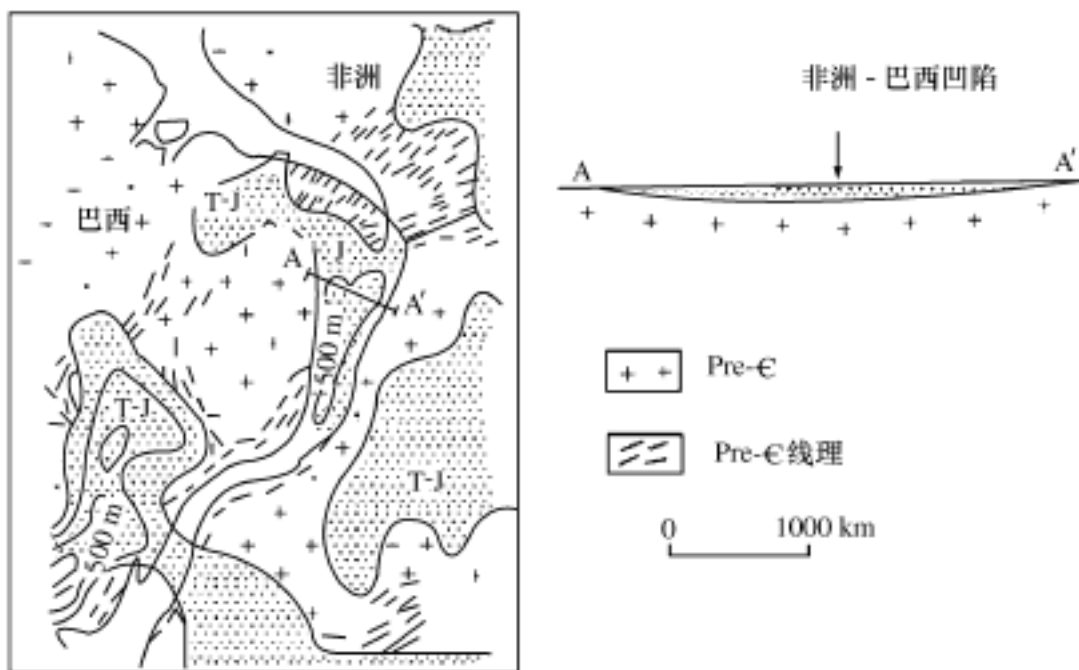


图 1 - 8 克拉通内部的古地理

(据 Campos, C. W. M 等, 1975)

为典型的克拉通阶段。构造长时间稳定，未发现有意义的断层。

克拉通内部层系的沉积特点是下部为河、湖相红色岩系，主要是页岩和细至中粒砂，底部为蒸发岩和灰岩 (二叠纪?)。上部为浅灰色具交错层的细至粗粒砂岩。该层系时代

无古生物资料说明，根据其地层位置推测其大部分岩层属晚侏罗世。

据 Ponte 等解释，晚侏罗世南非、巴西在裂谷前为统一大陆，在裂谷前期隆起地带发育晚侏罗世凹陷，发育河、湖相沉积。该层系缺乏生油岩，但具有良好储集层。

(2) 大陆内裂谷阶段（早白垩世尼欧克姆期）

地层主要为碎屑岩层系，细—粗粒砂岩，灰至黑色粉砂岩和页岩夹薄的灰岩层逐渐过渡和交互。在北部塞尔希培 - 阿拉戈斯盆地，层系的顶部发育淡水介壳灰岩。在南部坎波斯和圣埃斯皮里扎盆地，分布侵入脉岩和喷出火山岩，它被解释为是南大西洋形成前裂谷作用的结果。本层系厚度大约为 5000 m。据介形虫资料，本层系为早白垩世尼欧克姆期形成。

图 1 - 9 表示这些裂谷盆地。构造特征总的是发育高角度正断层和向西翘倾的半地堑型凹陷和半地垒型凸起，断层作用强度大，密度也很大，可以看到落差大于 4000 m 的断层。

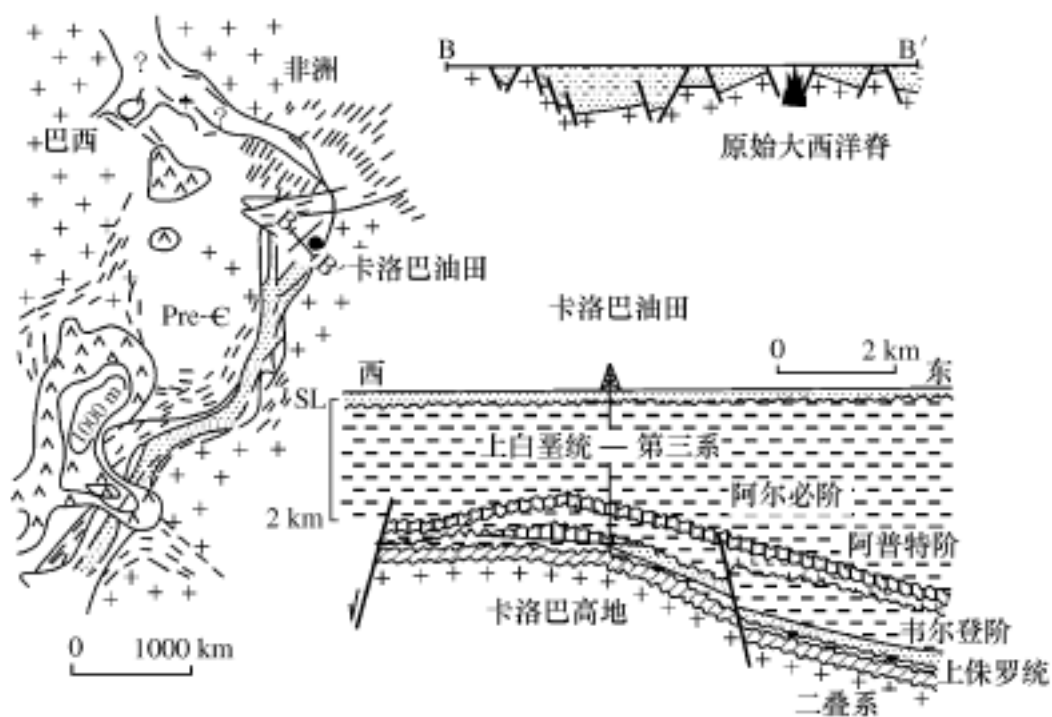


图 1 - 9 裂谷盆地古地理

(据 Campos 等, 1975)

沉积环境为河流 - 湖相，在断陷期，在比较靠近主断层处发育河流粗碎屑沉积，纵向往上广泛发育湖相沉积，最后以冲积作用告结束。

在一些盆地，例如雷康卡沃盆地，发育生长断层，具有河流三角洲沉积，并伴随发育泥岩底辟。

裂谷的构造作用在油气聚集中起着重要作用。地垒断块使得早白垩世生油页岩产生的油气圈闭在上侏罗统储集层中，与生长断层上升盘差异压实有关的下白垩统穹状披覆构造是良好的构造圈闭。本阶段形成的典型油田是卡洛巴油田，位于目前大陆架上的塞尔希培 - 阿拉戈斯盆地。它由断块组成，通过断层活动，将上侏罗统储集层与下白垩统生油页岩联系起来。

(3) 过渡阶段（或蒸发岩阶段，早白垩世阿普特期）

地层为蒸发岩层系，由底砾岩、细—粗粒砂岩、暗灰色页岩、灰岩和蒸发岩（硬石

膏、岩盐、钾镁盐) 组成。该层段的厚度在阿拉戈斯盆地达到 200 m, 在塞尔希培盆地达到 500 m。根据介形虫和孢粉资料, 该层系属于早白垩世阿普特期。

古地理分布表明此阶段本区为一大的海湾, 形成广泛分布的蒸发岩, 往南受雷奥 - 格兰德 - 瓦尔维斯脊控制。图 1 - 10 表示蒸发岩盆地可能延伸至原始大西洋中脊。

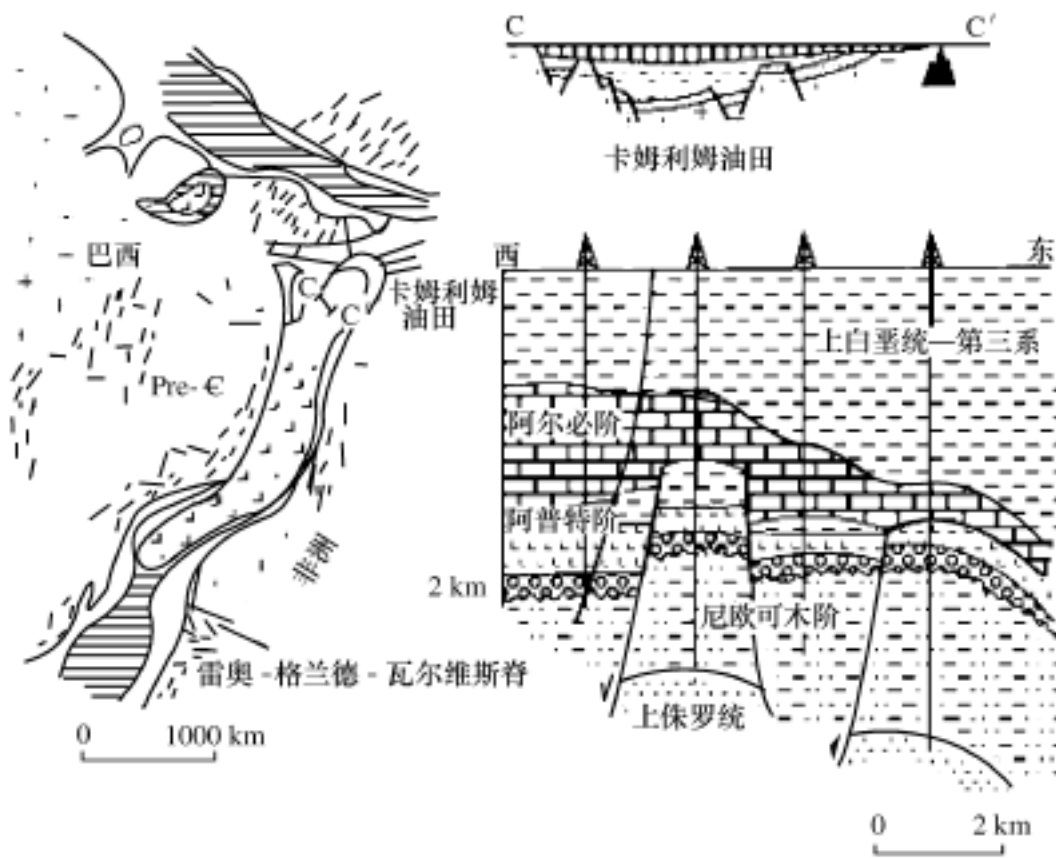


图 1 - 10 蒸发岩盆地的古地理
(据 Campos 等, 1975)

底部砾岩构成储集层, 受限制的环境有利于生油岩的形成。蒸发岩可作为盖层。圈闭属披盖构造类型, 受地垒控制, 如卡姆利姆油田。

(4) 拉开阶段——浅水台地型边缘海阶段 (早白垩世晚期阿尔必期—晚白垩世桑顿期)

这个阶段主要是下沉作用。沉积物开始为砂、页岩, 接着主要是台地碳酸盐岩相沉积。图 1 - 11 D - D 表示这种类型的盆地。最大厚度分布在吉奎亭洪哈盆地, 大约厚 2500 m。据有孔虫、菊石和孢粉资料, 该层系形成于早白垩世晚期阿尔必期—晚白垩世桑顿期。

台地碳酸盐岩相特征是, 在高能量时期沉积钙屑岩, 它们组成良好的储集层。与这种沉积物伴生的泥质碳酸盐和页岩被认为是生油岩。

(5) 大规模拉开阶段——开阔边缘海阶段 (晚白垩世坎潘期—上新世)

在此阶段, 大陆进一步大规模拉开分离, 并发生强烈向东倾斜的下沉, 导致整个盆地形成向东倾斜的区域斜坡。岸外地区更加明显地下沉, 形成开阔边缘海沉积。

沉积物特点是形成厚的深水页岩和细—粗粒砂岩。这是由于在前述的碳酸盐岩台地基础上发育海底峡谷, 细—粗粒砂岩以浊流方式搬运沉积在深水中, 由于区域性向东倾斜和下沉, 大陆供给的大量沉积物产生前积作用, 形成厚的碎屑物楔状体, 并沿陆棚边缘形成