

大陆裂谷与深部过程

56.5412  
5648

1

# 现代地壳运动研究

国家地震局地质研究所

地震出版社

# 现代地壳运动研究

RESEARCH ON RECENT CRUSTAL MOVEMENT

## 1

### 大陆裂谷与深部过程

CONTINENTAL RIFTS AND DEEP INTERNAL PROCESSES

国家地震局地质研究所

INSTITUTE OF GEOLOGY STATE SEISMOLOGICAL BUREAU

地震出版社

SEISMOLOGICAL PRESS

1985

1-11

## 内 容 提 要

本书共编入国家地震局地质研究所有关中国大陆裂谷作用与深部过程的研究成果18篇。它们从中国地质历史过程、地质构造活动特征、幔源包体流变学特征、新生代玄武岩的时-空分布特征、新生代深部地球化学过程、上地幔软流圈底辟构造的数学模拟和重力模拟实验、岩石共轭剪切网络和电性实验等不同方面探讨了大陆裂谷的性质、类型、构造组合、演化历史、深部作用过程和形成机制,并根据裂谷的体积扩张和大地热流特征讨论了裂谷区的地震活动性及大地震的累积周期。

本书可供从事地质、地震地质、地球物理等研究工作的科技人员及有关大专院校师生参考。

## 现代地壳运动研究

1

大陆裂谷与深部过程

国家地震局地质研究所

责任编辑: 蒋浩旋

\*

地质出版社出版

北京复兴路63号

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 12印张 4插页 309千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数0001—2800

统一书号: 13180·297 定价: 3.10元

## 编 者 的 话

《现代地壳运动研究》是我所的一个不定期出版物，以反映我所在地震地质研究中的一个主题，即对中国大陆现代地壳运动研究的成果，其中包括活动构造研究、古地震研究、震害和水库地震研究、新年代学研究、遥感地质研究、大地形变观测与研究、地壳及地球深部结构物质成分研究、岩石力学试验、数值模拟以及中国大陆岩石圈演化和动力学研究方面的成果。每期将有一个或两个中心内容，如第1期以中国大陆裂谷与深部过程为主，第2期以活动构造方面的研究内容为主，等等。

地震实际上是现代地壳运动的一种表现形式。虽然，远不是所有地壳运动的能量都以地震形式释放，但是人们已经认识到，地震也绝不是地壳运动中的孤立事件。这就导致人们去研究地震与地壳运动其它表现形式的内在联系及其动力学过程，其中活动构造研究最为活跃，也最引人注目。这主要基于下述事实，即大多数地震是发生在活动构造带上。近年来在古地震研究和断层年代学研究上所取得的令人鼓舞的进展，已经有可能对地震断层带上发生的地震和断层活动参数得出定量或半定量的估计，并对未来大震重复周期作出估计和预报。与此同时，在断层的力学和热学性质及其机制的实验研究方面也取得了长足的进展。数值模拟（如果其边界条件能唯一化的话）也提出了解决地震活动迁移的一种可能途径和模式。所有这些，使我们满怀信心地去面向未来，为减轻造成人类巨大生命财产损失的地震灾害，为地震的短期、中期和长期预报这一科学难题的解决作出不懈的努力。

现代科学技术是开拓新的社会生产力的最活跃和决定性的因素。经济建设要依靠科学技术，科学技术要面向经济建设。地震预报的根本目的是为了减轻地震灾害，现代地壳运动研究更是与国家建设和人类生活无不密切相关的。因此，我们愿意与地球科学的同行们共同研究这一与国民经济休戚相关的重要问题，并期望《现代地壳运动研究》的出版，能为这一任务起呐喊、交流和推动的作用。

国家地震局地质研究所

1985.3

## 目 录

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 前 言 .....                       | ( 1 )        |
| 中国地质历史过程中的裂陷作用.....             | 马杏垣等 ( 5 )   |
| 华北平原新生代裂谷系及其深部过程 .....          | 刘国栋 ( 17 )   |
| 华北平原新生代裂谷盆地的演化及运动学特征.....       | 徐 杰等 ( 26 )  |
| 从幔源包体的流变学特征看我国华北地区的裂谷性质 .....   | 何永年等 ( 41 )  |
| 华北地区新生代玄武岩的时-空分布特征与盆地演化 .....   | 陈文寄等 ( 50 )  |
| 鄂尔多斯周缘断陷盆地带的构造活动特征及其形成机制 .....  | 邓起东等 ( 58 )  |
| 鄂尔多斯周边地堑系体积扩张和大震累积周期 .....      | 蒋 溥 ( 79 )   |
| 河套断陷盆地带地质构造特征及其成因机制的讨论.....     | 尤惠川 ( 88 )   |
| 南、西华山断裂带中拉分盆地的构造组合及其演化模式 .....  | 陈社发等 ( 98 )  |
| 林县盆地新生代伸展构造 .....               | 漆家福 ( 107 )  |
| 滇西北裂陷区的基本特征及其形成机制 .....         | 吴大宁等 ( 118 ) |
| 华北大地热流与地震活动性 .....              | 吴乾蕃等 ( 133 ) |
| 华北新生代深部地球化学过程: 同位素和微量元素制约 ..... | 周新华等 ( 142 ) |
| 华北平原北部上地幔软流圈底辟构造的数学模拟.....      | 宋惠珍等 ( 150 ) |
| 用重力模拟实验研究华北地区裂谷与盆地的形成机制.....    | 潘秋叶等 ( 157 ) |
| 汾渭地堑系形成条件及地震活动性的实验研究 .....      | 王春华等 ( 165 ) |
| 岩石共轭剪切网络的实验研究 .....             | 王绳祖 ( 171 )  |
| 地壳内部低阻层的实验研究 .....              | 郭才华等 ( 179 ) |

# CONTENTS

|                                                                                                                              |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Preface .....                                                                                                                | ( 1 )                    |
| Taphrogenesis through the geological history of China.....                                                                   | Ma Xingyuan et al.( 5 )  |
| Cenozoic rift system of North China Plain and the deep internal processes<br>.....                                           | Liu Guodong( 17 )        |
| The evolution and kinematic characteristics of the Cenozoic rift basin in<br>North China Plain.....                          | Xu Jie et al.( 26 )      |
| The rheological features of mantle-derived xenoliths: evidence for the rift<br>nature of North China region .....            | He Yongnian et al.( 41 ) |
| The temporal and spatial distribution of Cenozoic basalts and the evolution<br>of North China basin .....                    | Chen Wenji et al.( 50 )  |
| The structural activity and formation mechanism of the down-faulted<br>basins around Ordos block.....                        | Deng Qidong et al.( 58 ) |
| The volume extensional rate of graben system and the reoccurrence interval<br>of larger earthquakes around Ordos block ..... | Jiang Pu( 79 )           |
| The geological structure of the Hetao down-faulted basin and a<br>discussion on its mechanism.....                           | You Huichuan( 88 )       |
| Structural pattern and evolution of the pull-apart basins in south and<br>west Huashan fault zones.....                      | Chen Shefa et al.( 98 )  |
| Cenozoic extensional tectonics in Linxian basin, Henan Province.....                                                         | Qi Jiafu(107)            |
| The basic taphrogenic feature in North-western Yunnan and its<br>formation mechanism.....                                    | Wu Daning et al.(118)    |
| Terrestrial heat flow and seismicity in North China.....                                                                     | Wu Qianfan et al.(133)   |
| Isotope and trace element constraints on the geochemical evolution of<br>subcontinental mantle beneath North China.....      | Zhou Xinhua et al.(142)  |
| Mathematical simulation of asthenospheric diapir in upper mantle beneath<br>northern North China Plain.....                  | Song Huizhen et al.(150) |
| The mechanical study of rift and graben in North China by using<br>centrifuge.....                                           | Pan Qiuye et al.(157)    |
| Physical simulation studies on the mode of formation of Fen-Wei<br>graben system and related seismic activity.....           | Wang Chunhua et al.(165) |
| Experimental investigation of conjugate shear networks in rocks.....                                                         | Wang Shengzu(171)        |
| Experimental study of low resistivity layer in the Earth's crust<br>.....                                                    | Guo Caihua et al.(179)   |



## 前 言

裂谷(*rift valley*)和造山带一样,是一种全球性的、重要的构造现象,既存在于海洋,也形成于大陆;既存在于地质历史的长河中,也活动于最新的地质时代。现代裂谷是现代构造活动最强烈的场所之一,不仅可以形成规模巨大的盆地带和平原,而且伴随着岩浆和地热活动,并因此与矿产和地震活动密切相关。可以说,它是研究地壳运动和地球动力学的窗口。另一方面,现代大陆裂谷还常常是人类集居的场所和工农业建设的基地,因此,裂谷活动就更与人类休戚相关。所以,自从格雷戈里(Gregory)1894年第一次提出裂谷这一概念,并把它用来说明东非构造以来,裂谷研究就一直是地球科学最活跃的研究内容之一。

与裂谷作用(*rifting*)大致同义的名词还有裂陷作用(*taphrogenesis, taphrogeny*)。在大多数情况下,它们都被理解为地壳或岩石圈在拉张作用下造就的伸展构造,具有伸展构造的一系列共同特征,但实际情况比较复杂,例外之处并不少见。所以,无论在定义或其形成机制方面都还存在许多不同的认识。

格雷戈里认为裂谷是指夹持于正断层之间的狭长凹陷,因此,他认为地堑(*graben*)可以方便地被称为裂谷。伯克修改了裂谷的含义(Burke, 1980),他认为裂谷是“在拉伸过程中,整个岩石圈都发生破裂的地区内的狭长凹陷”。国际构造地质词典(1983)则把裂谷定义为“沿走向大致平行的断层,通过下沉而形成的、并伴有火山和地震活动的地形上的洼地。”莫尔(P. Mohr, 1982)曾通过对地堑、裂谷和裂谷系等的详细研究,对大陆裂谷的有关问题作了综述。

裂陷作用是克伦凯尔(E. Krenkel)在1922年提出的,它是指区域规模的引张块断使地体裂开和沉陷造成沟槽的构造作用,因此,裂陷作用被认为是由张力导致区域性块断和地堑的形成过程,是造山作用的对立物。舒乔特(Schuchert)1923年把裂陷作用定义为“通过引张造成面积增大和断层作用的发生,以补偿别处的造山运动。”马杏垣认为,裂陷作用是与造山作用相对应的,前者使地壳拉伸,造就各种类型的伸展构造(*extensional structures*),后者使地壳收缩,造成挤压类型的构造。他认为挤压作用固然可以造成规模巨大的造山带,形成种类繁多的构造变形,但引张作用也可造就全球范围的构造现象。大型伸展构造是引张力作用于整个地壳或岩石圈的结果;局部的伸展则是引张力作用于局部地段的产物,它可以是其他构造作用引起的。

地堑并不是裂陷唯一的构造型相,半地堑、堑垒并列和盆岭构造也是裂陷带中常见的构造现象。不同类型的正断层,包括铲形正断层和平面状旋转正断层是裂陷带内主要的断层活动形式,雁列式排列的地堑或半地堑组成的断陷盆地带也常被理解为裂陷带。现代裂谷带的地貌反差总是明显的,盆地内堆积有巨厚的沉积物,并常见现代湖泊分布。裂谷带内常见的重力值和高的热流值,壳内常存在低速层和高导层,莫霍面和上地幔软流圈顶面常向上隆起,因而裂谷带内地壳厚度和岩石圈厚度均相对周围地区减薄。莫霍面下的P波速度减小,并常存在异常地幔。裂谷带常伴随着岩浆和火山活动,但并不是所有裂谷全都如此。有些裂谷的火山活动在裂谷形成前活动剧烈,在裂谷活动期继续发生,但逐渐减弱;有的裂谷

火山活动发生在裂谷开始活动之后；有的裂谷很少火山活动。

在一个具体的裂谷中，这些特征的实际情况是很复杂的，它可能与裂谷形成的环境及其过程有十分密切的关系。而裂谷的形成并不是一个简单的过程，它可能具有多幕活动和较复杂的发展阶段，更何况不同的裂谷形成于十分不同的大地构造环境之中。目前的研究还不能在这一方面得到一个简单而明确的模式。至于裂谷的形成机制则更是一个十分复杂的问题。从目前的研究资料来看，裂谷的挤压成因大致可以认为是不能接受的，无论是对冲谷假说或斜坡谷假说，都与裂谷的实际资料出入较大。大多数人都倾向于拉张机制，但具体认识则仍有很大分歧。以下仅是部分认识的概括：裂谷是在拉伸环境下，由于逐渐增加了水平张应力，地壳或岩石圈发生细颈化而形成的；在同一条件下，上部地壳断裂并沿正断层运动，引起壳下或下部地壳塑性流动，包括均衡上升或侧向流动而产生的；由于软流圈对流产生的穹隆作用，并借助于粘性拖拉，因而在岩石圈底部强加了一个牵引力，最终导致岩石圈破裂；地幔上涌或异常地幔的上升及其运动控制着裂谷的形成；上地幔上隆形成的穹隆作用及其在壳内引起的偏应力或者重力滑动而使地壳破裂，等等。总结这些认识，似乎可以把裂谷的形成机制大致归纳为两种类型，即主动方式和被动方式。所谓主动方式指裂谷是由软流圈隆起或深部物质上涌而引起的，即地幔热异常是裂谷形成的动力；在被动方式中，裂谷首先产生于地壳或岩石圈的拉张和破裂，地幔热异常是裂谷形成过程的反映，软流圈上隆是一种适应地壳破裂和沉降的产物。从目前的情况来看，我们不能排除这两种方式中的任何一种，很可能，它们都是存在的，甚至是结合的，只是在不同阶段所处的地位不同而已。

与此同时，人们已经认识到裂陷不一定都是在区域性拉张环境中形成的，它既可以产生于剪切拉张带中，形成如前述雁列式地堑和半地堑带，也可以形成于剪切带内不连续断层交错列重叠段的岩桥区内，即形成拉分盆地。

我国不同时期、不同地区有不同类型的裂谷和裂陷盆地分布，并已为许多学者所注意。本书编辑的是国家地震局地质研究所对这些裂谷和裂陷盆地及其形成机制的部分研究结果，包括有地质、地球物理、地球化学、物理和数值模拟及高温高压下实验研究结果等方面的论文18篇。

在这些论文中，第一篇是综述性文章，它讨论了我国地质历史过程中不同时期的裂陷构造，包括早元古代和中、晚元古代的裂陷作用及早古生代、晚古生代、中生代和新生代的裂陷构造，并给出了上述不同时期裂陷区的分布图，尤其是对中生代和新生代不同裂陷期的裂陷区的空间分布进行了详尽的分析。在此基础上，提出了伸展构造的六种构造样式，并对其几何学和运动学特征进行了总结，对裂陷伸展机制与深部过程的关系进行了分析。

有关华北平原新生代裂谷盆地的八篇论文从地质构造、地球物理场、玄武岩和幔源包体、深部地球化学过程等方面进行了较全面的论述，并用重力模拟实验和数学模拟方法进行了分析。华北平原上部地壳结构复杂，为一多隆多拗、多凸多凹的多层次构造区，中部地壳为一组低速-高导层，地壳厚度和岩石圈厚度减薄，莫霍面和软流圈顶面上隆，热流值高，新生代玄武岩活动强烈。该区早第三纪经历过强烈拉张裂陷，形成了典型的盆岭构造，晚第三纪以来则转入拗陷下沉为主的阶段。这一地区是我国裂谷盆地研究得较好的地区，已有一定程度的综合资料。本书的有关论文从不同方面对这些资料进行了介绍，并对这一裂陷盆地的形成机制进行了讨论。

鄂尔多斯周缘断陷盆地带与华北平原的演化历史和结构特征均不相同。本书有四篇论文



讨论了鄂尔多斯周缘断陷盆地带的构造、岩浆岩、深部构造轮廓和地震活动等。除了进行数值模拟以外，还对其中部分地堑系的物理模拟结果进行了介绍。目前，对这一地区地壳上部构造已有较好的研究，但对其深部结构和构造的研究还处于初期阶段。本书这些论文的初步认识也许会促进这一地区研究工作的深入进行。

本书有两篇论文讨论了走滑断层带中的拉分盆地及其形成机制。在我国，关于拉分盆地的研究尚处在开始阶段。本书所述的南、西华山断裂带中的六个盆地都是典型的拉分盆地，而滇西北裂陷区内众多的盆地则是一个大型拉分区中的盆地群，由不同的构造类型组合而成。

此外，还有少数论文对某些独立的盆地和专门问题进行了讨论，如关于河南林县盆地的研究、共轭剪切网络和地壳内部低阻层的实验研究等。

本书是我所《现代地壳运动研究》文集的第一集。由于编辑时间较短，有些研究成果未能收入其中，只能在以后的文集中再加以反映。

本书由马杏垣主编，刘若新、邓起东和刘国栋任副主编，吴裕文、王景铎编辑。张玉梅负责图件的制图工作，清绘和植字工作得到国家地震局地震地质大队绘图组和我所复印组及万朝珍、张颖等同志的支持和帮助，谨致谢意。



# 中国地质历史过程中的裂陷作用

马杏垣 宿 俭

近年来我国地球科学工作者对中国大陆内部裂陷作用和伸展构造的研究有很大的进展<sup>(2,3,11,12)</sup>,特别是广大石油地质工作者结合石油盆地的研究揭示了形成于不同构造条件下众多的裂谷、地堑等<sup>(4,15)</sup>。本文拟在此基础上探讨裂陷作用在我国地质历史过程中的时、空分布,它们形成的地球动力学条件,伸展构造的样式,运动特征以及裂陷作用的形成机制与深部过程。

## 一、裂陷作用和伸展构造的涵义及其形成条件

### 1. 涵义

本文采用了一个较广义的名词“裂陷作用”(taphrogeny),是因为对裂谷(rift valley)或开裂作用(rifting)有不同的用法和理解。按克伦凯尔(Krenkel)的原意,裂陷作用是指区域规模的引张块断使地体既裂又陷,造成地堑裂谷等沟槽的构造作用<sup>(25)</sup>。裂陷作用是和造山作用相对应的,前者使地壳拉伸,造成各种类型的伸展构造(extensional structures);后者使地壳收缩,造成挤压类型的构造。

裂谷按格雷戈里(Gregory)的原意,指夹持于正断层之间的狭长凹陷<sup>(20)</sup>。近年来伯克(Burke)修正其原意,把裂谷看作是“在拉伸过程中整个岩石圈都发生破裂的地区内的狭长凹陷”<sup>(18)</sup>。他提出“拉伸”是为了说明裂谷是在引张条件下形成的,以区别于其他类型的切穿整个岩石圈的断裂构造,如转换断层和聚合板块边界上的断裂等。这一定义还取消了平行断裂这一条件,因为有的裂谷只在一侧有主干断裂,而另一侧则不能肯定其边界是断层,或是一个陡的单斜挠曲。

本文并未严格按这一定义,因为根据我国地球科学工作的研究程度,还很难确定(至少尚未证实)是否所有地堑、裂谷发育地区的岩石圈整个厚度都发生了破裂。但有一点是应该肯定的,即裂谷是一种伸展构造,应与陆内或克拉通内的地槽,如凯(Kay)提出的克拉通内部地槽或裂陷地槽(zeugo-geosyncline, taphrogeosyncline)等加以区别。一些地槽在发展初期虽然和裂谷一样,经历过开裂成槽,堆积了巨厚的沉积物,但后期演化中它们经历了强烈变形,转化成造山带。而裂谷、地堑等则不然,有的虽然后期也经受了挤压萎缩,但变形比地槽区要弱,并未转化成造山带。因此,本文没有把北祁连山等地槽褶皱带等看作是地堑系或裂谷。

### 2. 形成条件

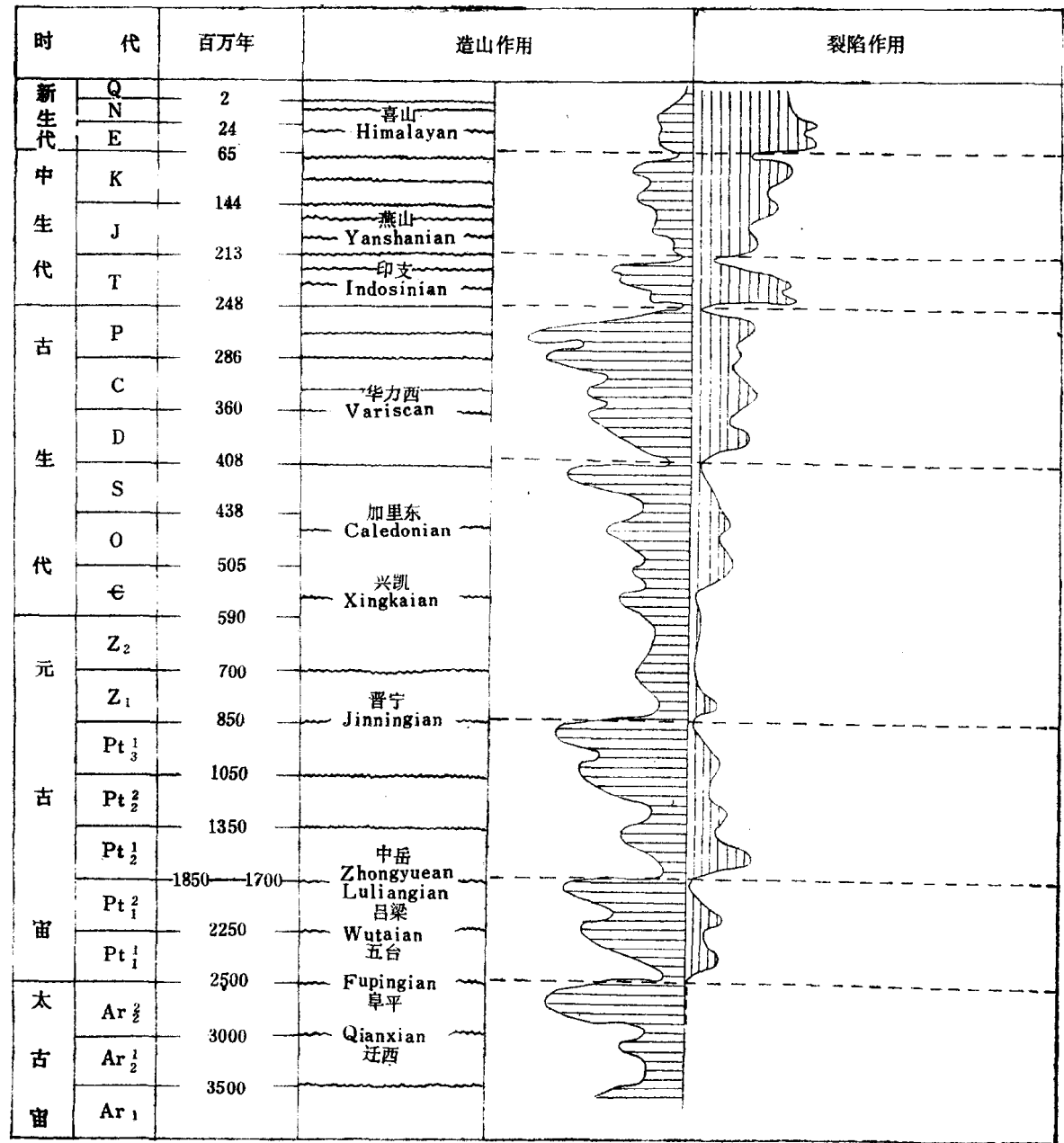
伸展构造是引张力作用于地壳或岩石圈而引起的构造变形结果,包括地堑、裂谷、拗拉槽、盆-岭构造等,它们形成于岩石圈演化的所有阶段和广泛不同的构造环境。若从地球力学的角度考虑,把板块或块体边界作为动力系统,则可以有三种构造环境:1)分开边界系统,属开裂的环境;2)聚合边界系统,属造山的环境,又可进一步分为非碰撞型与碰撞型两种;3)转换边界系统,往往不是单纯的走滑转换,常伴以拉张或挤压成分,成为斜张(trans-tensional,也称为剪切-拉张)或斜压(transpressional,也称为剪切-挤压)。

上述三种构造环境都可以产生裂陷伸展构造。但随着地质历史的发展,各构造单元在不同时期所处的地球动力学环境也会发生改变,不同地史阶段形成的不同类型的伸展构造可以彼此叠加。因此,某种伸展构造一旦形成,在以后的发展中由于不同构造条件的复合,其性质可以发生多次改变。这往往表现在它们的内部构造与边界断裂的性质上,如张性的可以转化为压性的等等。莱茵地堑就曾经历了两个阶段的运动,在中始新世至早中新世经受了伸展作用,产生正断层及下沉,而自中上新世起就变为左旋运动,使挤压轴斜交裂谷,出现年青逆断层<sup>[22]</sup>。

## 二、中国地质历史过程中裂陷作用的时空分布

和造山作用一样,裂陷作用的发展也是分阶段(或旋回)的。如表1所示,从元古宙至

表1 中国地质历史过程中的造山作用与裂陷作用



今中国的造山作用共经历了18个裂陷阶段，每一个阶段都包括着一些地区的伸展、裂陷、沉降及萎缩<sup>[16]</sup>。这样的裂陷旋回在构造序列上表现为开裂—断陷—断拗—拗陷和隆起等随时间发展的不同构造过程。当然，并不是所有的伸展构造都发展得如此完整，有些缺失中间环节，有些则是多层次构造叠加。以下按地史断代加以叙述。

值得指出，很有可能从太古宙起就有裂陷作用存在，如有人就把绿岩带看作是裂谷作用的产物<sup>[26]</sup>，但这些远古时期的构造关系难以准确恢复，故暂不论述。

### 1. 元古宙的裂陷事件

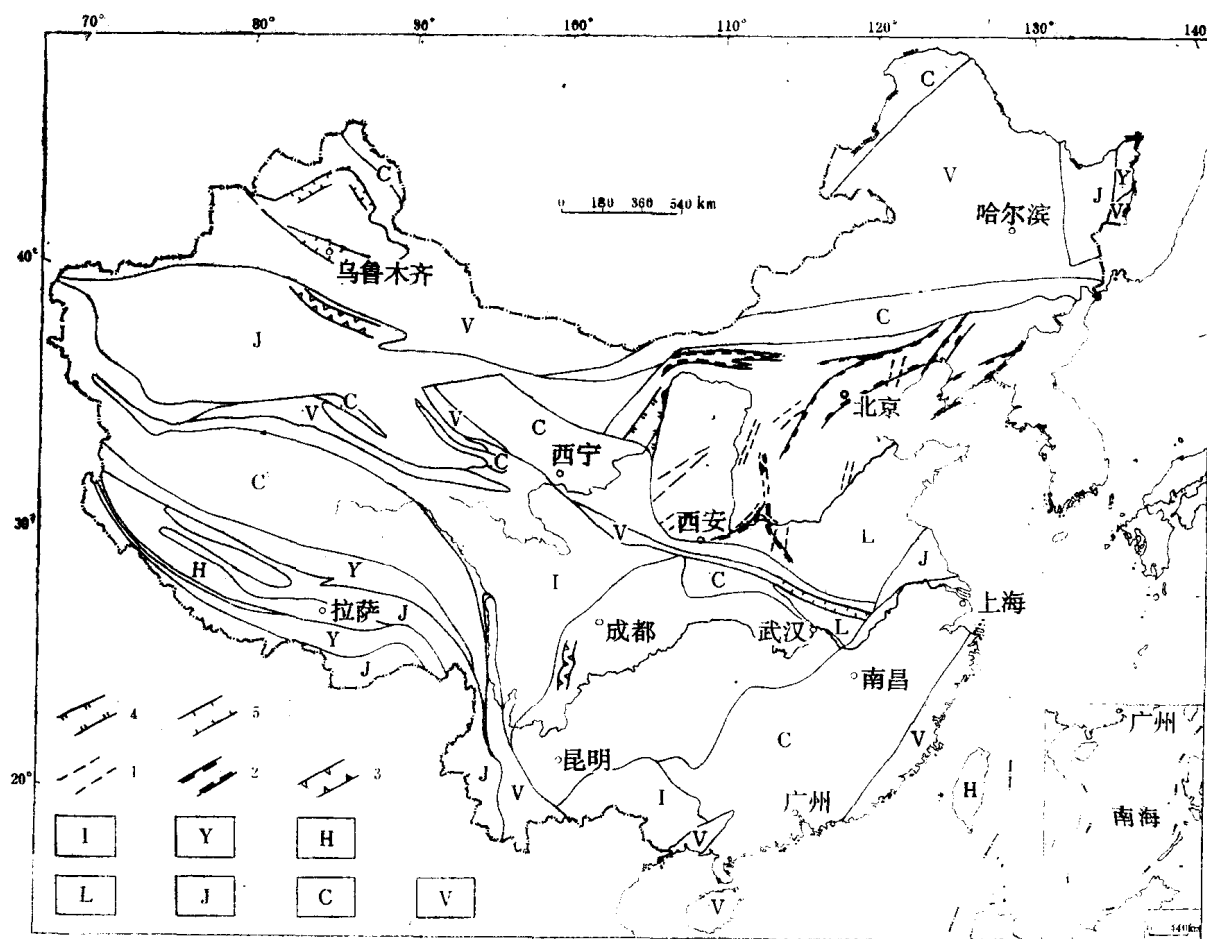


图1 中国大地构造分区及前寒武纪和古生代裂陷区

1.早元古代裂陷，2.中、晚元古代裂陷，3.震旦纪裂陷，4.早古生代裂陷，5.晚古生代裂陷；L.吕梁—中岳旋回，J.晋宁旋回，C.加里东旋回；V.华力西旋回，I.印支旋回，Y.燕山旋回，H.喜山旋回

元古宙占地质历史将近一半，代表从全面活动的太古宙到显生宙的过渡阶段，是一个大陆岩石圈刚性不断增加、面积增大和相应加厚的过程。而我国早元古代的裂陷事件，则是与25亿年前太古宙末的阜平运动、华北等地区的克拉通化及构造体制发生重大改变相联系的。但此时由于地球的热状态不同，裂陷伸展构造的样式与以后各时代的有很大不同。

#### (1) 早元古代(25—17亿年前)的裂陷

如图1所示，早元古代的裂陷可分为双山子期(25—22亿年前)和溱沔期(22—17亿年前)两期，前者裂陷槽地沉积以双山子群、五台群、吕梁群、宽甸群等为代表，后者则以溱沔群、

朱杖子群、野鸡山群、黑茶山群、岚河群、嵩山群等为代表。虽然它们都是克拉通内裂陷的产物，但由于出露条件差等原因，多数情况下恢复其初始裂谷形态是十分困难的。

其中，冀东的青龙裂谷是较清楚的，而且发育于整个早元古代。它是夹持于太古宙片麻岩穹隆之间的狭窄槽地，现出露长度约60余公里，北宽南窄，平均宽度10公里左右。在该处，前期(双山子期)地体开裂成较深的海槽环境，有海底裂隙式玄武岩喷发。大约22亿年前发生过一次构造热事件，使岩层变形发生浅变质、并伴有花岗岩侵入。后期(朱杖子期)的沉积建造，底部为海底浊流，自北而南直入海槽，并携带有砾石堆积。18亿年前，该处又发生一次构造热事件，使岩层褶皱并向东倒转。

溥沱群沉积于受轴向大断裂控制的槽地内，直到最后才褶皱收缩，并在轴部窄槽内堆积了郭家寨群磨拉石与碎屑岩。吕梁山区早元古代晚期的裂陷作用则形成了狭窄的断裂控制的线性地堑。

## (2) 中、晚元古代(17—6 亿年前)的裂陷

早元古代末的吕梁-中岳运动，使褶皱基底固结，奠定了中国大陆壳的主要构造格架。华北原地台往西与柴达木、塔里木地块相联，形成一个横亘中国的巨大原始纬向大陆。扬子地台周围及内部零星出露下元古界露头，表明西南地区当时也曾有稳定地块。所以，自中元古代开始便进入了刚性大陆地台时期，其中华北原地台是此时克拉通化最彻底、面积最大的部分。中元古代时期在太行-五台-吕梁山及雁北地区广泛发育的基性岩墙群，至今未变质，它们是早元古代后地壳稳定及遭受引张的佐证。此外还有一套后造山的火成岩套同时出现，标志着此时大致相当于向现代板块构造过程的转折期。

与此同时，在华北原地台上产生了广泛的陆内和陆缘裂谷系，其中，燕山-太行与熊耳-汉高两槽，类似沙茨基(Shatski)提出的拗拉槽(*aulacogen*)<sup>(27)</sup>。燕山-太行拗拉槽受北东向的北票-长治断裂与东西向的平泉-张家口断裂控制，略呈三叉形，往北东可能与广海相通。它在长城纪和南口纪时发生断陷。到了大红峪组沉积期，沿断裂又有超钾质火山活动，接着产生拗陷和广泛超覆，堆积了6000余米厚的以白云岩为主的海相沉积。晚元古代青白口纪开始该处趋于稳定和萎缩，新生的裂陷发育在辽东。

华北原地台南缘于中、晚元古代也发育了三叉裂谷系。其中一支插入陆内后又夭折，其南段大致以沁源-降县-潼关断裂和铁山河-洛阳-背孜断裂为界，南宽北窄，逐渐向北尖灭，与汉高山断陷遥遥相应，故称为熊耳-汉高拗拉槽；其余两支继续发育成为北秦岭地槽。在熊耳-汉高拗拉槽开裂初期，曾出现快速的初始热构造沉降，伴有偏碱性的钾玄岩系为主的熊耳群火山岩，最厚达5千余米<sup>(27)</sup>。据乔秀夫等(1984)报道，豫西熊耳群与晋南的西阳河群是17—14亿年间的穿时火山岩，正是在这个时限里拗拉槽从南往北开裂，扩展达200余公里。

华北原地台北缘在此期间发育了狼山-白云鄂博裂谷系。它西起阿拉善北部，东至商都，长850余公里；北起白云鄂博，南至固阳一线，宽约110公里。中间以一个近东西向的隆起相隔，分为以白云鄂博群为代表的北支及以渣尔泰群为代表的南支。前者具边缘裂陷性质，伴随滨海沉积不断有火山活动，并且碱性岩浆特别发育；后者为陆内裂谷，伴随沉积作用的火山活动以中基性火山岩为主。

扬子和塔里木原地台的基底都是经过晋宁运动而固结的，尔后在震旦纪初(8.5—7.5亿年前)遭受区域引张作用而开裂，导致地台边缘地区形成裂陷，如在川西苏雄一带形成了以苏雄组为代表的火山裂谷。与此同时，赣北、皖南、浙西也有类似的情况，堆积了早震旦世



的落可寨组、上墅组、铺岭组等火山岩及火山碎屑岩。

在新疆，中、南天山的早震旦世裂谷带也有强烈的火山活动，它包括三次火山作用，间以三次冰期和间冰期堆积。

## 2. 古生代的裂陷

### (1) 早古生代的裂陷

晋宁运动后，中国地台已具有相当大的规模和较高的固结程度，接着许多地带裂陷，形成新的槽地(如祁连、秦岭等)，后来又转化为地槽褶皱带。贺兰拗拉槽是北祁连地槽插入华北地台西北侧的楔状分支，其活动性不如祁连地槽，但具有同步发育过程，从震旦纪到中奥陶世该裂陷逐渐扩大，并在中奥陶世进入高潮，堆积了厚达3至4千米的复理石建造，而后萎缩。加里东运动使北祁连地槽强烈褶皱，但在贺兰拗拉槽主要是掀斜块断作用，形成了一些正-垒构造和宽缓褶断<sup>[7]</sup>。

### (2) 晚古生代的裂陷

在一些加里东褶皱固结区，晚古生代又发生裂陷，如在湘西、桂西地区，从早泥盆世开始就产生了一系列北西向张裂，并伴以海底基性火山岩喷发和层状基性岩的广泛侵入。

黄汲清等指出，华力西旋回是形成古亚洲的主旋回褶皱期，它使中亚-蒙古地槽系全部封闭，从而使中国与西伯利亚陆壳联成一体<sup>[4]</sup>。实际上，在这个超级大陆的形成过程中，于早二叠世晚期，在中国西南和西北都发生了强烈的岩石圈开裂。例如，在川、黔、滇的峨眉山地区，就发生了裂隙式玄武岩喷发，形成典型的暗色岩建造，并由东往西从大陆转为海底喷发。在中国西南和北部，有红河-三江-唐古拉-喀喇昆仑和南天山-北山-兴安岭两条基性及中基性火山岩带。

二叠纪晚期随着天山地槽系的褶皱封闭，准噶尔、吐鲁番内陆盆地逐步形成，并发生掀斜块断作用，边缘部分地堑发育。

在我国地壳构造发展中，印支阶段是一个重要的转折，在此阶段古地理、古构造环境的东、西分异逐步加强。印支运动后，随着秦岭带的闭合，中国大陆东部形成了一个整体。在东亚大陆边缘构造发展过程中，大陆边缘火山岩带及裂陷作用的发育是其重要特征。在西部，陆壳继续增生，可可西里、巴颜喀拉和松潘等槽地转化为宏伟的褶皱系。可见，在此阶段，除藏中、藏南以外，我国广大地区都已成为陆相为主的环境。

## 3. 中生代的裂陷(图2)

中生代的裂陷可大致分三个阶段：1)晚三叠世-中侏罗世；2)晚侏罗世-早白垩世；3)白垩纪。在空间上，它可以根据基底性质、区域构造演化与块体之间的相对运动情况分区加以描述。首先，可以近南北向的贺兰山-龙门山-康滇地轴为界，将我国分为东西两部分。其次，西部以昆仑山为界又可分为西北与西藏-三江两区，东部以大兴安岭-太行山-武陵山一线为界可分为东、西两区，横向上又可以阴山、秦岭为界进一步划分。

### (1) 中国东部的中生代裂陷

中生代裂陷作用总的格局是以大兴安岭-太行山-武陵山一线为界，西陷东隆。西部有鄂尔多斯和川滇大型内陆拗陷，可持续到早白垩世末。东部处于上升隆起状态，其构造发育与西太平洋地区构造活动有密切关系，印支晚期首次出现陆缘火山喷发和不同性质的岩浆侵入，侏罗、白垩纪更加强烈。

晚三叠-中侏罗世裂陷 总的特点是在褶皱隆起的基础上开始出现块断运动与断陷盆

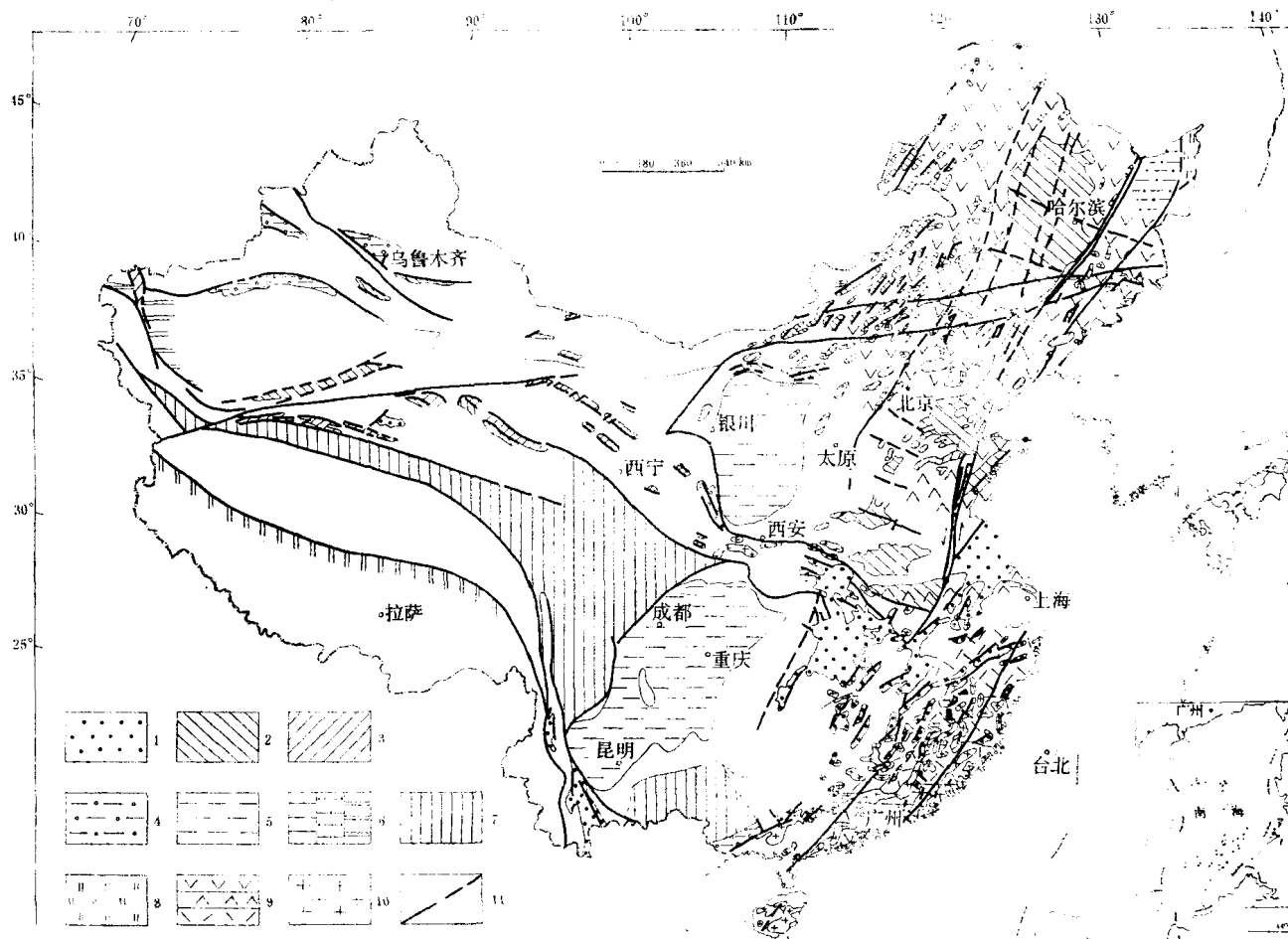


图2 中国中生代裂陷区

1.白垩纪裂陷区；2.晚侏罗—早白垩世裂陷区；3.早、中侏罗世裂陷区；4.晚三叠—早侏罗世裂陷区；5.中生代内陆拗陷；6.海：晚三叠—早侏罗世海侵，中：侏罗、白垩纪海侵，白：白垩纪海侵；7.印支褶皱带；8.活动带；9.火山岩，不同符号代表三个岩区；10.花岗岩；11.断裂

地，如在东南沿海形成一些北东至北东东向的瑞替克-里阿斯陆相或陆相夹滨海海湾相含煤盆地。在横向上，则有地堑、地垒构造发育。在东北、华北，早燕山期含煤盆地的边缘虽然有褶皱逆冲现象，但成盆初期的基性火山岩喷发(如南大岭组)仍表明具有引张开裂的性质。早、中侏罗世，在华南环绕花岗岩穹状隆起边缘的断陷盆地中也均夹有基性火山岩。

**晚侏罗世—早白垩世裂陷** 这是东部环太平洋构造带岩浆活动的鼎盛时期，也是大规模裂陷与不同伸展构造的发育期。裂陷事件主要导致形成了内蒙古东部海拉尔、巴音和硕、多伦等地及东北的赤峰—铁岭一带北东—北北东向的地堑、半地堑含煤盆地群(实际上它们是巨大的蒙古东部、外贝加尔盆地群的组成部分)。在华北，亦有同期的受北西向断裂控制的块断活动及火山-沉积断陷盆地。向南，在苏北、南黄海至东海等地，也都有断陷发育，奠定了后期盆地的基础。在郯庐断裂以西，晚侏罗世受东西向正断层控制的合肥断陷已经定型，并一直持续发展到了白垩纪，成为合肥盆地。在华南，地壳运动与火山活动也很频繁，在一些断陷盆地中开始堆积陆相地层。

**白垩纪裂陷** 此时，中国东部开始出现西隆东陷的格局。松辽盆地在晚侏罗—早白垩世的裂陷基础上继续断拗—拗陷，成为大型盆地，晚白垩世开始萎缩。沂沭断裂带从早期的左

行平移转化为裂谷性质。秦岭两侧及附近的许多盆地，如苏北、南黄海、南襄、江汉、洞庭等盆地，在白垩纪至古、始新世时期断陷并发展。在华南，则以北东—北北东向的线性半地堑、箕状断陷盆地发育为特征，此期是红层发育的鼎盛时期。除东南沿海广泛发育钙碱性火山岩之外，在桂、湘、赣块断盆地中亦有碱性和橄榄玄武岩发育。自晚白垩世开始，南海北部转化为被动大陆边缘，珠江口和北部湾等盆地自此时开始裂陷。

## (2) 中国西北的中生代裂陷

西北的中生代裂陷是在华力西褶皱带与地块相间排列的基础上发展起来的，除在库车、乌鲁木齐等地形成褶皱带山前的边缘断陷外，还有褶皱山系内部的山间断陷，如天山褶皱系内部的吐鲁番—哈密、伊犁、巴音布鲁克以及焉耆等盆地。它们均为北西—南东向雁列的菱形盆地，都曾经历过交替的拉张与挤压阶段。如伊犁—焉耆盆地在三叠纪至中侏罗世曾处于拉张状态接受沉积，而到了晚侏罗世至渐新世则遭受了挤压未接受沉积，直至中新世才再次拉张接受沉积。北山地区的马莲井、二断井等盆地则属于二次纵张型的断陷，沉积了侏罗系，并为白垩系不整合超覆。

另一突出的裂陷事件是形成了一系列与阿尔金走滑断裂系相关的矩形楔形断陷，如受阿尔金构造带北侧断裂控制的车尔臣河中，新生代断陷，以及受南侧断裂控制的格斯、红水沟和清水河侏罗—白垩纪断陷等，而新疆西南边缘的库孜贡苏—库斯拉甫北西向的晚三叠世—侏罗纪断陷槽，则可能是与阿尔金断陷共轭的剪切拉张型断陷。

## 4. 新生代裂陷(图3)

### (1) 中国东部的新生代裂陷

**早第三纪裂陷** 此阶段东北地区在广泛隆起的背景上发育有狭长的地堑，如依兰—伊通、密山—敦化、鸭绿江—珲春等受断裂带控制的早第三纪含煤断陷，后期转化为受挤压。

华北广大地区在经过晚白垩世至第三纪初的隆起剥蚀之后发生了强烈的裂陷。在翘升的贺兰、阴山、秦岭山系与整体上隆的鄂尔多斯地块之间，发生了银川、河套与渭河地堑。往东，介于紫荆关—武陵山断裂和郯庐断裂之间，发育了包括下辽河、渤海湾、华北盆地在内的地堑系。但往南进入河南境内，断陷走向转为北西西向。

秦岭—大别隆起两侧的裂陷，如南襄、江汉、洞庭、苏北等裂陷，与上述裂陷有所不同，它们继承了白垩纪裂陷，并经历了古新世在内的早第三纪裂陷阶段。中国大陆架盆地，如南黄海、东海、珠江口、北部湾等，也大致经历了同样的裂陷过程，并以渐新世为裂陷的最盛期。但华南的箕状断陷，自古新世起开始收缩，红层堆积有的向盆缘断裂方向靠拢，有的则缺失。自始新世晚期以后，华南全面隆起，结束了红层盆地发育<sup>(8)</sup>。

伴随着这一期裂陷，我国东部有广泛的拉斑玄武岩喷发，它们在华北、苏北等地堑系都很发育，最大累计厚度可达二千余米。

**晚第三纪和第四纪裂陷** 晚第三纪突出的裂陷事件是山西地堑系的发育，冲绳海槽上新世开始的裂陷，以及南海洋盆继续渐新世开始的扩张和在中新世发生的断陷下沉。此外，在粤、桂一些地区，也有小型断陷盆地发育。

晚第三纪至第四纪，中国东部的北西向断裂活动及相关的小型裂陷发育是一个特点。如在中国东南地区此类构造就很发育，沿通过浙江嵊县的北西带有一系列上新世至中更新世的盆地，还有玄武岩分布。在华北，最突出的是沿张家口至宁河的北西向左旋走滑断裂的活动，以及一系列第四纪断陷的发育。此外，在闽、粤沿海也有小型断陷形成。当然，还应包