

张功成 蔡希源 周章保 等著

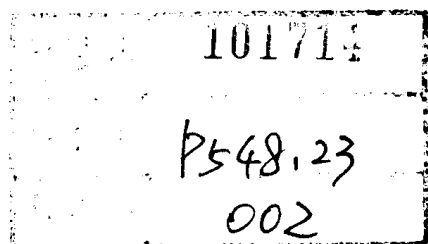
裂陷盆地 分析原理和方法

——以松辽盆地为例

北京)

23

石油工业出版社

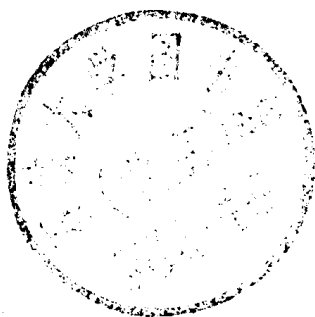


裂陷盆地分析原理和方法

——以松辽盆地为例

53125/25

张功成 蔡希源 周章保 等著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书由四篇十二章组成。

内容包括盆地分析系统的四个子系统。作者对松辽盆地形成演化的板块构造背景、区域构造背景,盆地演化过程中不同阶段的构造样式及其叠加构造(反转构造),地层充填作用与层序地层格架进行了系统分析;对盆地沉降过程与岩石圈的伸展作用、热作用与热史、构造变形过程进行了正演和数值模拟。

本书适合地质专业、石油地质专业等学科的科研、技术人员、项目经理、大专院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

裂隙盆地分析原理和方法:以松辽盆地为例/张功成等著.

北京:石油工业出版社,1996.12

ISBN 7-5021-1938-8

I. 裂…

II. 张…

III. ①拗陷-含油气盆地-石油天然气地质-中国

②石油天然气地质-松辽盆地

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 24740 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京市宇辰贸易公司照排部排版

北京航空航天大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19 印张 470 千字 印 1—1000

1996 年 12 月北京第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1938-8/TE·1629

定价: 20.00 元

前 言

沉积盆地是地球上最显著的地貌和构造单元之一,代表了岩石圈各种流变动力学过程的产物,它们也是石油、天然气和煤等能源、水以及金属与非金属资源的储集地,因此自从地质学创立以来,就是众所关注的研究对象。在本世纪 80 年代中期以前,盆地的大地构造背景、区域大地构造、构造地质学、地层古生物学、沉积学、地热学、深部地质、地球化学等基本上是分别进行的。大体上从 1985 年以来,人们认识到这种分离的研究不能全面地认识盆地的成因和演化历史,国际岩石圈委员会建立沉积盆地成因任务组,就是为了推进这种研究。1991 年 P. A. Allen 和 J. R. Allen 首次出版了“盆地分析的原理和应用”专著,与以前 A. D. Miall 1984 年出版的以沉积学为主的“沉积盆地分析原理”等相比,有了明显的改进,对盆地的板块构造、构造动力学、沉积学、热演化及在油气勘探的应用第一次作了综合分析,确立了盆地分析就是将沉积盆地作为实体进行地球动力学的综合研究。因为沉积盆地记录着地球表面无数万年的沉积过程,盆地的几何形状、构造演化和地层史包含着非常重要的有关岩石圈形变的线索,因此盆地分析是了解岩石圈形变的重要方面。就活动幅度而言,沉积盆地甚至超过了造山带,如喜马拉雅造山带最高仅 8813.48m,而许多盆地的总沉降量都超过 10000m。沉积盆地过去、现在和将来都是石油、天然气、煤等现代社会运行和发展的重要动力物质的开发场所。

多数沉积盆地都属于裂陷型盆地,或者经历过裂谷阶段。如北美 17 个含有大油气田(储量等于或大于 1 亿吨的油田和储量等于或大于 1250 亿立方米的气田)的沉积盆地中,至少有 10 个是属于裂陷型的,南美 7 个含有大油气田的沉积盆地中有 4 个与裂谷有关;非洲 7 个含有大油气田的沉积盆地中有 5 个、亚洲 14 个含有大油气田沉积的盆地中有 9 个;澳洲和新西兰的 5 个含有大油气田的沉积盆地全部为裂谷盆地。松辽盆地是著名的大型典型的大陆裂陷盆地,经历裂谷伸展期、后裂谷热沉降期、反转褶陷期等几个阶段。裂陷作用代表着岩石圈演化的重要方面,对裂陷过程及其与裂陷作用同时进行的沉积过程、热演化及油气的生成等全面研究是跨世纪的“大陆动力学”研究计划的重要组成部分。

本书之基本内容为作者等负责完成美国石油地质学家协会博士基金项目“松辽盆地伸展构造与反转构造的平衡剖面正演模拟”、参加国家八五攻关项目“85-102-01-06 含气盆地的成因类型之特征之六一典型盆地分析及远景评价”之构造和沉积相研究、负责完成中国地质行业科学发展基金(93004)、参加中国石油天然气总公司 85 攻关项目“中国东部中生代含油气盆地构造”的部分成果。本书之目的在于确定松辽盆地各演化阶段的板块构造背景,阐明松辽盆地所在区域的区域地球动力学环境及其时空演化;根据构造发展确定松辽盆地的演化阶段,阐明各阶段之构造样式及其在二维和三维空间的组合与变化,论述不同构造阶段之间构造的叠加特别是反转关系;正演模拟伸展与反转构造的形成过程及与油气藏的关系;划分盆地超层序、层序、准层序,建立层序地层格架与层序地层学模式;结合当代沉积学论述白垩系的体系域、沉积体系、沉积相和沉积环境;正反演盆地的垂直运动、水平运动和盆地的热史。所有工作在于全面剖析松辽盆地的各个方面之特征,建立裂陷盆地和盆地分析的理论体系和技术方法路线。

在前述研究基础上撰写了本专著。前言为张功成、蔡希源撰写,第一章由张功成撰

写，第二章由张功成、蔡希源撰写，第三章由蔡希源、张功成、魏魁生撰写，第四章由张功成撰写，第五章由张功成、周章保撰写，第六章由张功成撰写，第七章由何贞铭、蔡希源撰写，第八章、第九章由魏魁生、蔡希源撰写，第十章由周章保、张功成撰写，第十一章由周章保撰写，第十二章由张功成撰写，结论由蔡希源撰写，全书由张功成主编，蔡希源主审。

感谢中国科学院院士王鸿祯教授、中国地质大学（北京）刘和甫教授、陈发景教授、徐怀大教授、王德发教授、中国石油天然气总公司勘探开发研究院副总地质师宋建国教授、北京科技大学蔡美峰教授的关怀和指导，感谢美国石油地质学家协会基金会及中国地质行业基金会的资助。在研究过程中，大庆石油管理局勘探开发研究院、物探公司、中国地质大学（北京）、吉林省油田管理局勘探开发研究院、辽河石油勘探局勘探开发研究院、地矿部北京石油地质研究所、吉林石油指挥所、北京科技大学给予了大量的支持和帮助。大庆石油勘探开发研究院副总地质师徐宏高级工程师、朱德丰博士、张晓东高级工程师，以及梁慧社博士、王玉新博士给予了大量的帮助，谨表示衷心的感谢。

序

1

张功成等的专著《裂陷盆地分析原理和方法——以松辽盆地为例》是一部具有理论意义和应用价值的科学成果。

盆地地质一向是大陆地质研究的重要组成部分。近年的研究认识到对盆地的形成机制、填充过程和结果形式都与大陆岩石圈以至更深部的动力演化史密切相关。盆地地质和造山带地质以及两者之间的相互关系是当前大陆动力学研究的重要领域。盆地又是油、气和煤的生成和赋存场所，是重要的能源基地。美国著名地质学者 P.J. Wyllie 在其组织的百余专家、历时数年写成的《固体地球及社会》巨著中，在其优先及推荐研究课题中列入了“沉积盆地与大陆边缘”和“沉积盆地分析。”美国固体地球科学 90 年代优先研究课题中列入了“沉积盆地分析和动力学”。所以盆地地质研究所具有的理论与实际意义与日俱新，方兴未艾。

盆地地质的研究有较长的历史。60 年代地学革命以来，盆地地质首先是同现代沉积学相结合。随着板块学说的兴起及其对各地质学科的普遍影响，出现了将盆地作为一个整体，进行多学科综合研究的局面，而其主要方向则是同地质构造相结合。70 年代巴黎第六大学 Aubouin 和 Pomtrot 主持的盆地研究室是最早的盆地研究专门机构之一，对石油勘探发挥重要作用的盆地模拟技术则是与计算机技术相结合的成果。随着大陆动力学的发展，传统的盆地分类体系受到一定的冲击。但不论从大陆地质的观点，或从能源地质的观点来看，裂陷成因的大型盆地都占有极为重要的地位。

中国盆地地质的研究，特别是与石油地质相结合的研究，可以上溯到 40 年代。50 年代开始的大规模石油地质和盆地地质调查研究，几十年来取得了众所周知的巨大成就。但真正应用现代沉积学的理论和方法，分析积累的资料，进而对盆地整体的构造背景、充填过程和发展阶段进行较全面的探讨，从而对在盆地深部、边缘和邻区寻找新的油、气资源提供科学的依据，则不过是最近十几年才开始的。

松辽盆地是对我国石油开采，对国民经济发展作出过长期和巨大贡献的生产基地。生产部门的同志们对盆地的石油地质和勘探开发作过总结。高等学校如中国地质大学和长春地质学院的同志们也曾就松辽盆地的层序地层和盆地发展发表过论文和专著。在现阶段，中国东部的石油地质和石油生产任务面临着严峻的局面。因而对松辽盆地多年积累的丰富资料，以现代的理论、观点和技术方法予以整理总结，提出盆地边缘和新区油气资源的设想，是十分有益的和十分必要的。张功成等在专著中，充分发挥了长年积累的详实资料的作用，运用现代盆地分析的观点，就构造背景、构造样式、沉积模式和盆地模拟四个方面，作了全面的分析和说明，特别是应用构造沉降分析和数值模拟，进行了盆地热史分析，提出了深层油气远景评价，指出了今后的勘探方向，是很可贵的。我相信这一工作对松辽盆地今后工作的发展，对其它盆地工作的借鉴都将起一定的作用。谨对作者们取得的可喜成果致以衷心的祝贺。

王鸿祯（院士）
1996 年 5 月于北京

目 录

第一篇 构造背景

第一章 松辽盆地的板块构造背景

- 第一节 裂谷盆地发育的大地构造环境····· (3)
- 第二节 松辽盆地的火山岩地球化学····· (4)
- 第三节 松辽盆地板块的漂移运动····· (7)
- 第四节 古太平洋板块的相对运动及对中国东北大陆板块的作用····· (8)

第二章 中国东北晚中生代裂陷作用与伸展构造及其反转构造

- 引言····· (10)
- 第一节 裂谷期前大地构造格架····· (10)
- 第二节 中国东北裂谷系伸展构造····· (12)
- 第三节 伸展构造的结构····· (18)
- 第四节 伸展构造的运动学特点····· (23)
- 第五节 后裂谷期热沉降作用····· (27)
- 第六节 东北裂谷系的反转及与郯庐断裂的关系····· (28)
- 第七节 裂谷系演化的动力学与形成机制····· (32)

第三章 松辽盆地地层-岩石格架与构造演化

- 第一节 岩石地层组合划分····· (35)
- 第二节 岩石地层时代标定····· (42)
- 第三节 松辽盆地的非海相地层····· (45)
- 第四节 松辽盆地构造运动与构造区划····· (47)

第二篇 构造样式

第四章 松辽盆地裂陷作用与伸展构造

- 第一节 断陷边界主断裂的几何学····· (51)
- 第二节 断陷结构····· (60)
- 第三节 裂谷作用的空间迁移方向与方式····· (60)
- 第四节 深层次伸展····· (67)
- 第五节 半地堑边界主断裂的动力学····· (67)
- 第六节 拆离作用、伸展作用与沉积作用的关系····· (70)
- 第七节 构造样式····· (73)

第五章 松辽盆地热沉降拗陷期同沉积构造样式

第一节	断裂构造样式	(76)
第二节	松辽盆地后裂谷期正断层发育特征	(77)
第三节	伸展方向及断层形成时代	(77)
第四节	后裂谷正断层的形成机制	(81)
第五节	同沉积背斜	(87)
第六章 松辽盆地反转构造		
第一节	反转构造的基本概念	(88)
第二节	反转构造的基本类型	(89)
第三节	松辽盆地的反转构造样式	(91)
第四节	松辽盆地反转构造的运动学	(101)
第五节	松辽盆地的反转期与构造应力场方向	(105)
第六节	松辽盆地反转构造和油气藏的关系	(110)

第三篇 沉积样式

第七章 沉积相分析		
第一节	岩芯相分析	(119)
第二节	测井相分析	(130)
第三节	地震相分析	(135)
第四节	沉积环境分析	(148)
第八章 松辽盆地白垩纪层序地层特征		
第一节	超层序	(162)
第二节	形成沉积层序的主要影响因素	(174)
第三节	三级层序及地层格架	(176)
第四节	沉积体系及体系域	(196)
第五节	基准面相对升降变化	(210)
第九章 非海相沉积层序模式及其应用		
第一节	引言	(217)
第二节	非海相沉积层序模式	(218)
第三节	层序地层学在油气藏预测中的应用	(228)

第四篇 盆地模拟

第十章 构造沉降史分析		
第一节	构造沉降史分析的原理和方法	(235)
第二节	构造沉降史的数值模拟原理与方法	(241)
第三节	松辽盆地构造沉降分析与数值模拟	(247)
第十一章 地热史分析与深层油气评价		
第一节	地热史分析	(261)

第二节	深层有机质成熟度·····	(266)
第三节	深层油气远景评价·····	(271)
第十二章	盆地构造正演模拟	
第一节	问题的提出·····	(273)
第二节	平衡剖面的原理·····	(274)
第三节	平衡剖面正演的参数·····	(275)
第四节	平衡剖面技术正演模拟张性构造·····	(276)
第五节	平衡剖面正演模拟技术在反转构造中的应用·····	(279)
结论	·····	(282)
参考文献	·····	(286)

第一篇 构造背景

第一章 松辽盆地的板块构造背景

第一节 裂谷盆地发育的大地构造环境

许多沉积盆地都属于裂陷型盆地，或者经历过裂谷阶段。如加利福尼亚盆地、马拉开波盆地、印度尼西亚盆地、北海盆地、苏伊士湾盆地、苏尔特盆地等，它们不仅有大油气田，而且油气储量的丰度也很高。裂谷盆地可以形成于各种大地构造环境：

(1) 与陆内伸展作用有关的裂谷：裂陷盆地的形成与演化有不同的方向，沿着不同的方向在不同的阶段形成不同结构的裂陷盆地：①与陆内伸展作用有关的裂谷是大陆拉张条件下形成的盆地，并且它们的裂谷特征依然很明显，这类盆地有：肯尼亚裂谷、格朗德裂谷、贝加尔裂谷、莱茵裂谷、苏伊士盆地、红海盆地、吉普斯林德盆地等；②热沉降作用明显的盆地有北海盆地、苏尔特盆地、库泊盆地；③后期演化过程中经历了挤压和局部反转的盆地，如第聂伯—顿涅茨盆地、阿纳达科—阿德莫尔盆地、阿马迪斯盆地，其圈闭幅度和沉积盖层的厚度与反转程度有关。

地质历史演化期间大多数大陆裂谷经历大陆拗陷期后经过弱反转结束，而这种构造是大陆岩石圈构造研究的重要组成部分，松辽盆地即是这类盆地中典型的实例。

(2) 与离散型板块边界有关的裂谷：陆间裂谷、被动大陆边缘盆地、拗拉谷盆地属此类型，是与陆内伸展作用有关的裂谷盆地持续的大规模拉张形成的。在裂谷盆地之上形成了被动大陆边缘沉积盖层的盆地如大西洋沿岸盆地、坎贝盆地、丹皮尔盆地。

(3) 与俯冲作用有关的裂谷：包括与俯冲作用有关的①弧后陆缘盆地如东海盆地、渤海湾盆地，它们是太平洋板块的俯冲作用和喜马拉雅大陆碰撞带的剪切挤压应力作用形成的；②弧后拉张盆地，如印度尼西亚盆地等。

(4) 与碰撞作用有关的裂谷：Molnar 与 Tapponier (1975) 认为板块碰撞使机械能在岩石圈中横向传递是大陆裂谷形成的一种原因，如格朗德裂谷、贝加尔裂谷、莱茵碰撞谷等 (艾伦, 1991)。

(5) 与平移板块作用有关的裂谷：如阿亚基尔盆地—普罗格列索盆地，加利福尼亚盆地，是板块平移过程中的局部拉张作用形成的。

从以上分析可以看出，裂谷作用沿两个大的方向演化形成两大序裂的裂陷盆地，其一伴随威尔逊旋回发生，依次形成大陆断陷裂谷；陆间裂谷和夭折谷；大洋裂谷和被动大陆边缘盆地；弧后裂谷；碰撞谷和拗拉槽，可以称之为大旋回。其二整个序裂在同一大陆岩石圈上发展，由大陆断陷裂谷，经热沉降发展为大陆拗陷，最后受区域应力场或岩石圈深层热衰竭等作用而反转 (图 1—1)。在规模上第一种旋回影响着全球构造，同时也受全球因素的控制；第二种旋回往往是区域伸展运动的结果，在地史期间第一类旋回发生过三次 (Khain, 1994)，而第二类旋回在不同的区域以不同的机制如单剪 (Wernicke, 1981, 1985)，纯剪 (Mcckinzie, 1978)，联合剪切 (Barbier, 1986)，双层悬壁梁模式 (Kusznir, 1992) 等方式发生过多次。

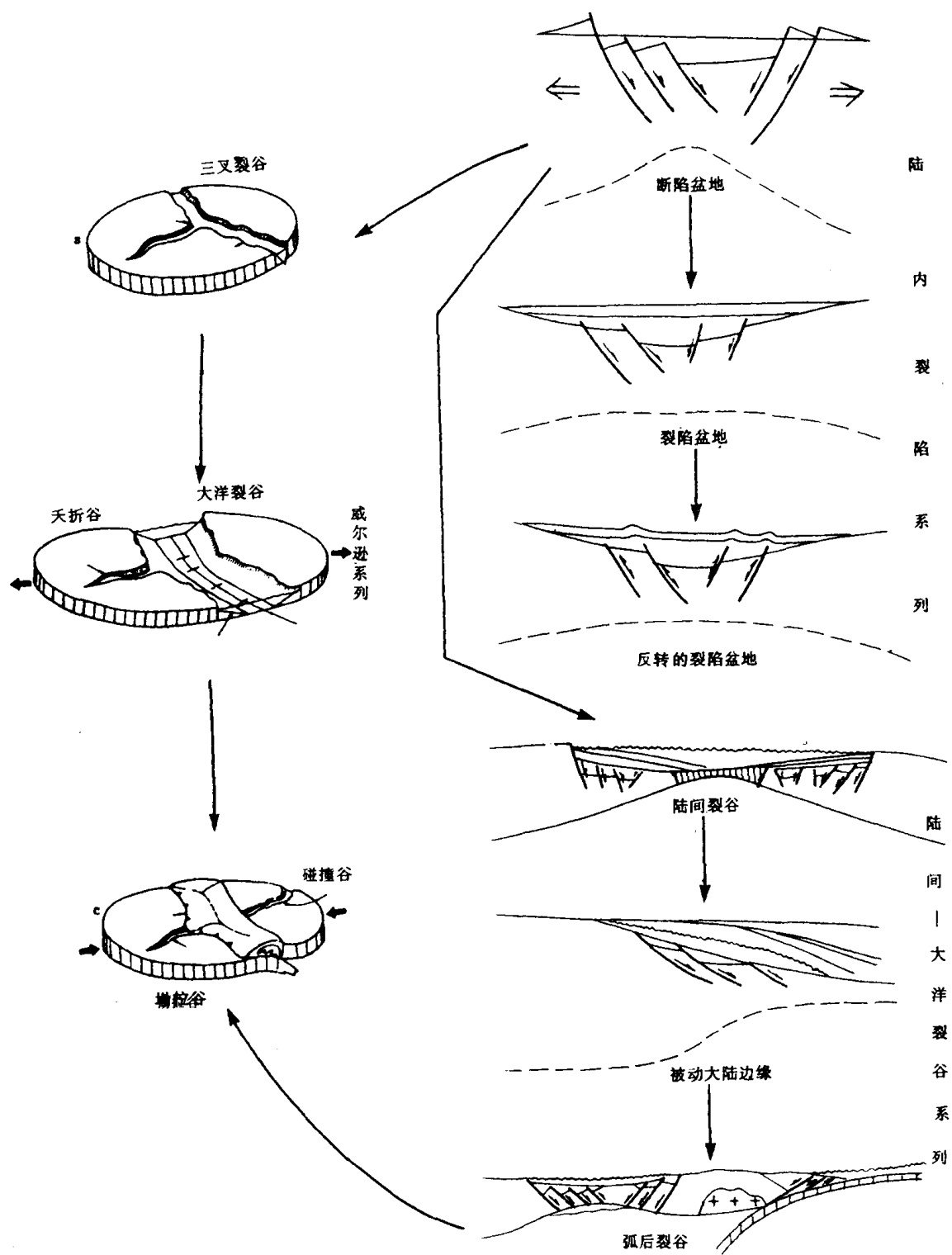


图 1—1 裂陷盆地的演化序列

第二节 松辽盆地的火山岩地球化学

松辽盆地的大地构造背景在其发展的不同阶段不同，恢复其大地构造环境对于研究盆

地的古构造和形成的动力学等有重要意义。裂谷期的重要特征是火山岩大量发育。火山作用与构造变动、盆地形成机制紧密相关，不同构造背景、不同动力机制下形成的沉积盆地，其火山活动特征、火山岩岩石化学特征均有很大差异。松辽盆地内中生代火山岩分布广泛，系燕山期岩浆活动的产物，主要发育于晚侏罗世—早白垩世早期的裂谷期。对火山作用的研究是解决松辽盆地形成背景的一个重要方面。

松辽盆地北部有 100 多口钻遇裂谷期地层的井中都钻遇火山岩和火山碎屑岩，其中火山碎屑岩类占 1/3，熔岩类占 2/3，钻井揭示的火山岩类型中酸性、中性、基性均有分布，而以酸性火山岩居多。

在地震剖面上，松辽盆地火山岩主要有以下特征（图 1—2）：

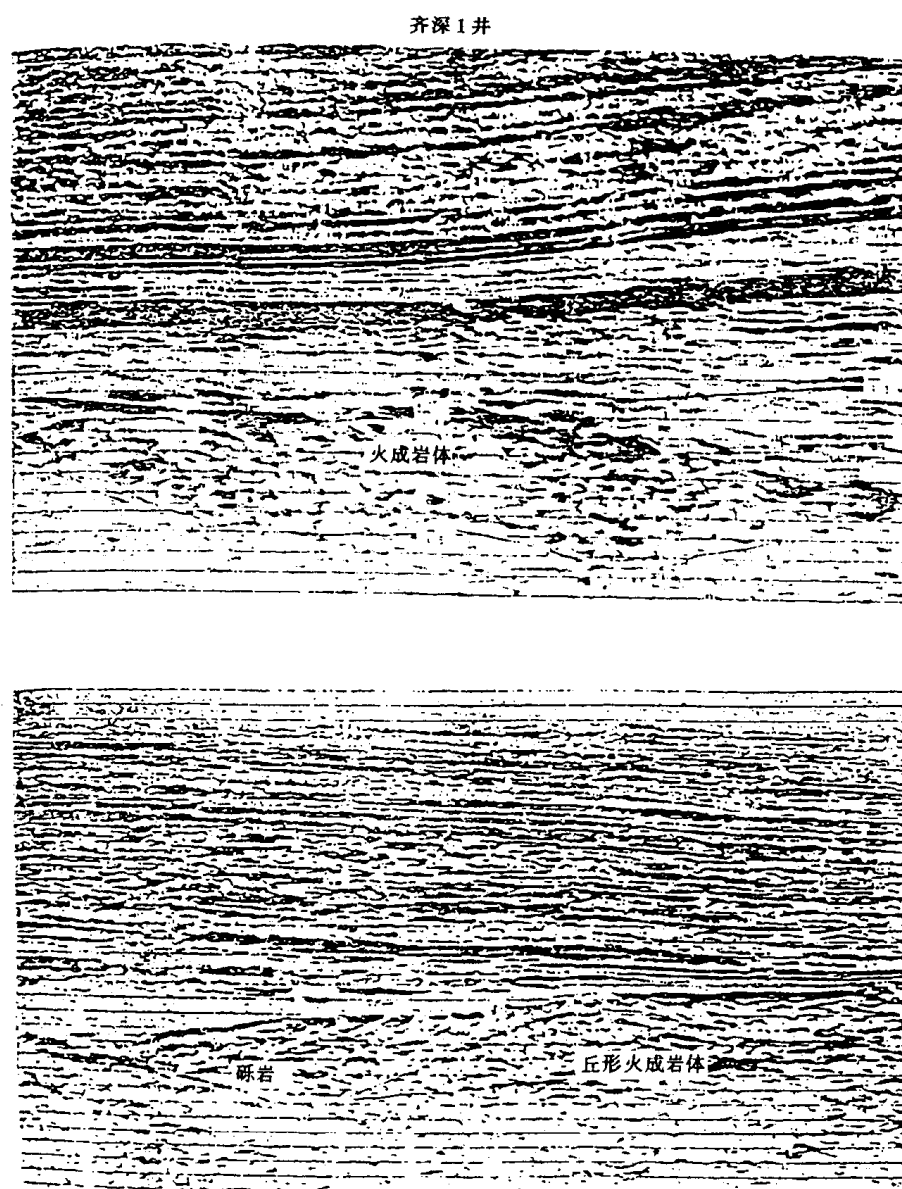


图 1—2 松辽盆地火山岩地震相

- (1) 分布于晚侏罗世—早白垩世断陷盆地中，特别是断陷底部；
- (2) 反射外形主要呈层状或丘状，也有呈透镜体状者；

(3) 反射振幅强, 连续性较差, 但断陷底部也有连续性较好, 平行成层的火山岩。陆伟文(1989)认为平行成层者多为玄武岩, 堆积成丘者以凝灰岩和熔岩夹层为主。

晚侏罗世断陷发育阶段, 在各断陷中分布着规模不等的火山岩。大规模的断陷如杏山断陷、古龙断陷、常家围子断陷等, 火山岩分布范围广、厚度大, 断陷中也沉积有一定厚度的陆源碎屑岩。小型断陷之中, 有的以沉积岩为主, 而另一些几乎全为火山岩和火山碎屑岩充填。在一些断陷间, 特别是古龙断陷附近往往有一层数米到数十米厚的火山岩或火山碎屑岩。

根据中央古隆起东部杏山断陷分析, 断陷期火山活动主要有三期: 第一期发育于断陷初期, 分布在断陷底部, 地震反射呈强振幅、较连续的平行层状, 与基底面基本平行。该层向断陷边缘有逐渐减薄的趋势。这期火山作用范围很广, 但各断陷中活动强度有所差异。

第二期火山活动在第一期火山活动静止一段时间以后, 地震相为强振幅不连续丘状或层状结构。该层与第一层有一定角度, 而与 T_4 反射层基本平行。该期火山岩在各断陷普遍发育。

第三期火山活动发育在晚侏罗世末期, 地震反射为强振幅较连续相, 层状平行结构, 厚度不大, 仅几十米到数百米。 T_4 面多为该层顶面。在第二期和第三期火山岩之间是一套厚度较大的陆源碎屑夹煤层沉积, 地震相为弱振幅较连续相。

国内外学者对火山岩的研究表明, 尽管世界火山岩的形成时代、产出方式和火山岩类型变化比较大, 但它们在地表的分布不是杂乱无章的, 而是受着大地构造环境的制约。因此可根据火山岩确定松辽盆地的大地构造背景。

根据刘德来和陈发景等(1988)的火山岩资料, 松辽盆地火山岩有如下几个特征:

(1) 火山岩系列(图 1—3, 图 1—4)主要属于钙碱性系列, 其次是碱性系列。

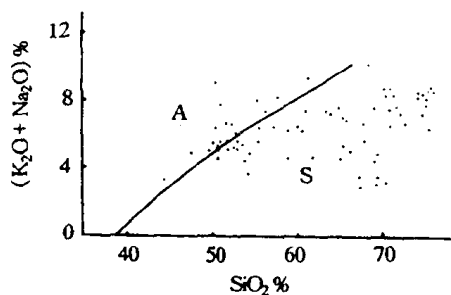


图 1—3 火山岩 $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ 图解
(刘德来和陈发景等, 1994)

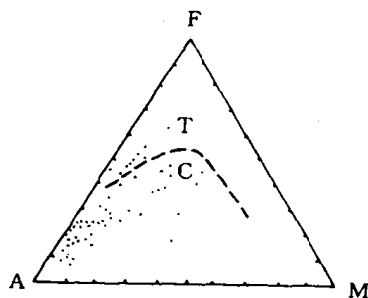


图 1—4 松辽盆地北部 SiO_2 % 频率直方图
(刘德来和陈发景等, 1994)

(2) 在松辽盆地裂谷期火山岩的 SiO_2 含量直方图上, 显示双峰, 峰值范围相当于中性岩和酸性岩(图 1—5)

(3) 将松辽盆地玄武岩样品的主要元素分析数据投影到牛来正夫硅-碱图上(图 1—6), 它们基本都落入岛弧和活动大陆边缘区。

以上松辽盆地火山岩岩石化学特征表明裂谷期盆地所在构造环境为岛弧和活动大陆边缘环境。

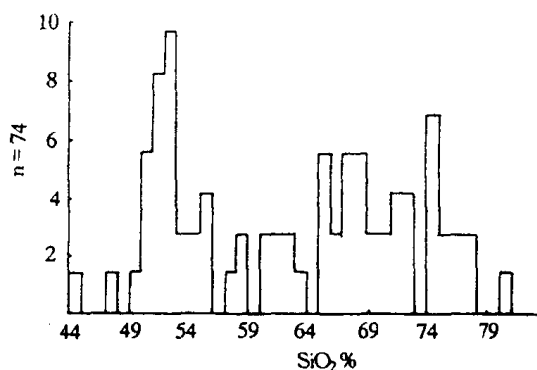


图 1—5 火山岩 AFM 图解
(刘德来和陈发景等, 1994)

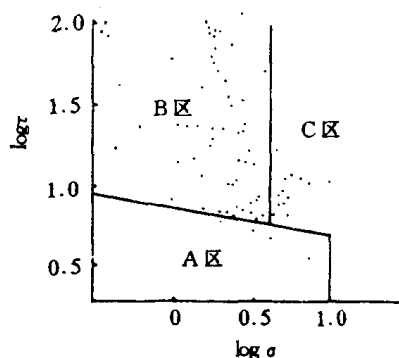


图 1—6 硅-碱图 (牛来正夫, 1975)
(刘德来和陈发景等, 1994)
A. 板内稳定构造区; B. 岛弧及活动
大陆边缘; C. 碱性岩区

第三节 松辽盆地板块的漂移运动

松辽盆地在不同演化阶段的古纬度不同。根据古地磁测算的磁倾角数据, 计算出松辽盆地各地质时期的古纬度。取现今计算点的经纬度为 125°E , 45°N , 松辽盆地从晚二叠世至第三纪的漂移模式见图 1—7, 在中新生代其漂移历史为:

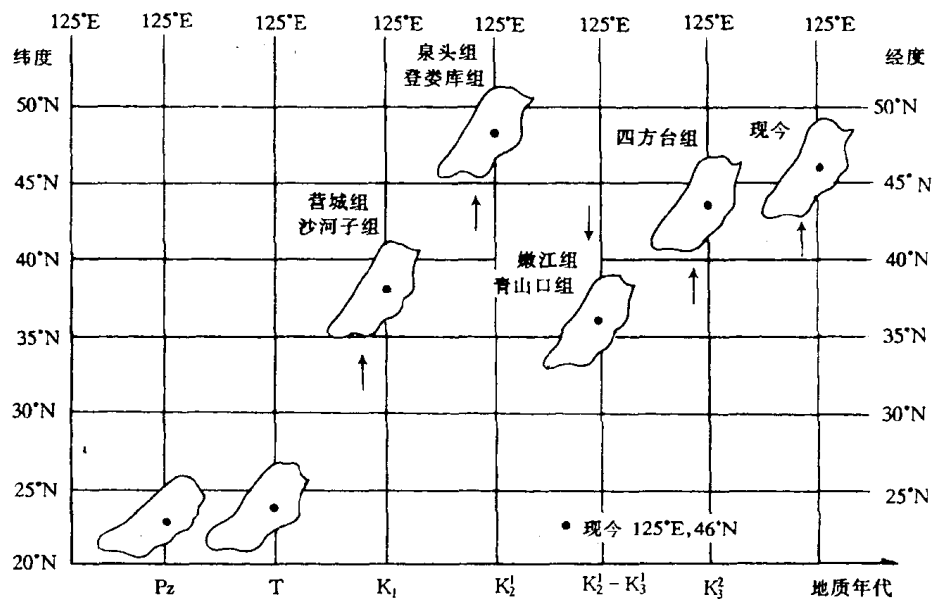


图 1—7 松辽盆地古纬度变迁图 (方大钧和谢锦龙, 1987)

- (1) 晚二叠世到早三叠世发生了约 25° 的绝对逆时针旋转运动, 松辽盆地处于 22°N - 23°N 的低纬度地区。
- (2) 早三叠世马家屯组沉积末期 - 早白垩世泉头组沉积时期发生了大规模的北向漂移, 其中火石岭组 - 沙河子组的古纬度为 38.30°N 、营城组为 37.43°N 、登娄库组为 48.61°N 、泉头组为 47.99°N , 早白垩世松辽盆地古纬度为 40.65°N , 与早三叠世马家屯组古纬度相差 17.38° , 漂移距离大约 1738km。

(3) 晚白垩世青山口组古纬度为 37.62° 、姚家组 38.46° 、嫩江组为 36.13° 。松辽板块向低纬度有 6.6° 运动。

(4) 嫩江组末开始，松辽板块由渐渐向北运动，最后到目前的位置上。

第四节 古太平洋板块的相对运动及对中国东北大陆板块的作用

中国东北（包括松辽盆地，下同）在古生代及其前期位于西伯利亚板块和华北板块间的陆间兴安大洋板块中，在海西晚期东北地区不同的板块碰撞成为统一的大板块，并与南北两侧的大陆板块完全对接，形成统一的西伯利亚—兴安—华北大陆。在相邻的扬子板块对华北板块的三叠纪向北俯冲—碰撞作用影响下，中国东北大陆岩石圈南北向的挤压作用一直持续到早中侏罗世。中侏罗世以后，东北岩石圈南北向的挤压构造背景转变为受太平洋板块影响的构造环境。

西太平洋板块现在发现的最古老的岩层为侏罗系。因而有关其前期演化及构造性质存在着不同的认识（Ner 等，1977，1982；任纪舜等，1990）。三叠纪末—早侏罗世初，太平洋地区存在着三个板块，它们之间有三个洋脊，位于赤道的三联点附近产生新的洋壳，即现在的太平洋板块（Pavoni, 1991），在太平洋板块增生的过程中，前述各板块沿不同的方向以不同的速率运动。100Ma 时，太平洋—伊泽那齐板块间的洋脊俯冲消减于东亚大陆岩石圈板块之下。85Ma 时库拉板块从法拉隆板块中分裂出来。其中中生代时与中国东北地

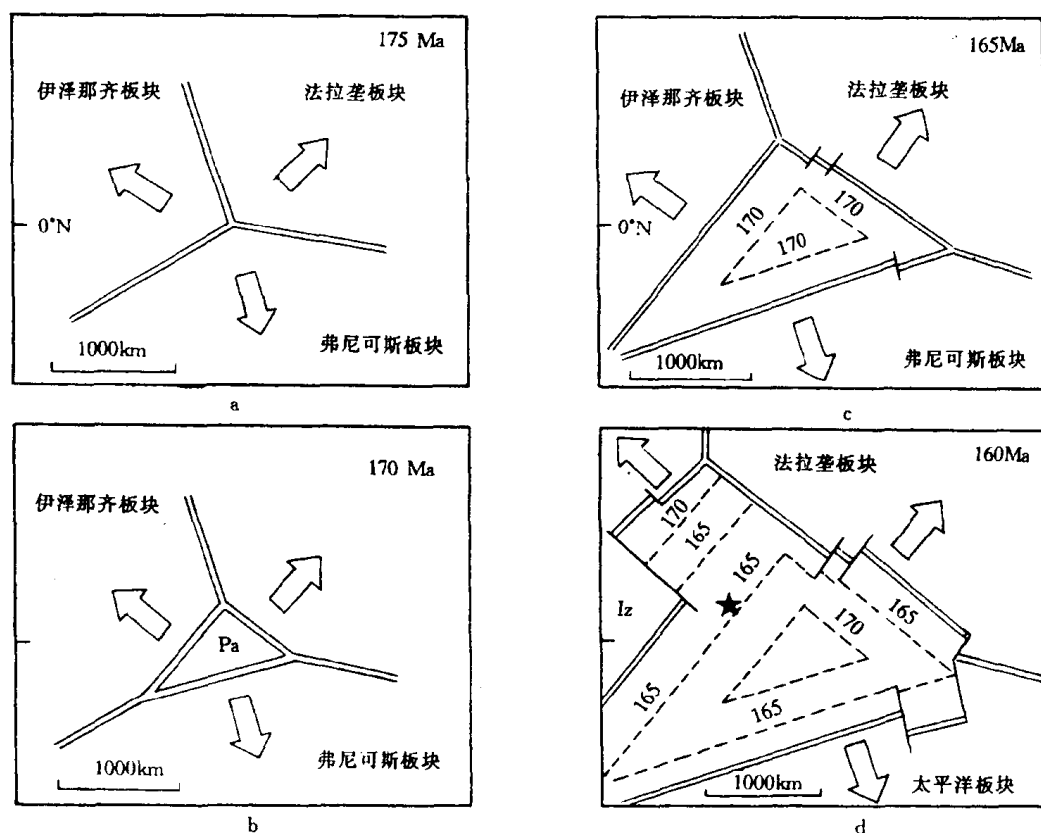


图 1—8 西太平洋板块构造演化 (Pavoni, 1991)