

迟元林 云金表 蒙启安 等著

松辽盆地深部结构 及成盆动力学与油气聚集

石油工业出版社

松辽盆地深部结构 及成盆动力学与油气聚集

迟元林 云金表 蒙启安 殷进垠 门广田 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在松辽盆地深部综合地球物理剖面解释的基础上,综合盆地周边区域地质、地球物理、地球化学和油气勘探与研究资料编写而成。书中采用地球动力学系统分析方法,以盆地地质、地球物理、地球化学、地热特征、油气分布规律、盆地深部地质、地球物理特征等方面为基础,阐述了松辽盆地形成机制、动力过程与演化规律,及其与盆地油气资源、富集规律的关系。

本书汇集了松辽盆地及周边区域历年油气研究成果,全面展示了盆地构造与盆地地球动力学系统研究现状,具有许多独到见解,对推动我国沉积盆地地球动力学与成藏动力学研究以及盆地油气勘探具有重要的理论意义。

本书可供广大地质学、石油勘探开发科技工作者及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

松辽盆地深部结构及成盆动力学与油气聚集/迟元林等著.
北京:石油工业出版社,2002.6

ISBN 7-5021-3802-1

I. 松…

II. 迟…

III. ①松辽盆地-大地深部构造

②松辽盆地-大地动力学

③松辽盆地-油气聚集

IV. P548.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 040736 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)
北京乘设伟业科技排版中心排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 454 千字 印 1—1500

2002 年 6 月北京第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3802-1/TE·2772

定价:30.00 元

序

松辽盆地是我国油气最富集的地区之一,其特殊的地质、石油地质条件一直备受国内外地质学家的关注。随着大规模的油气勘探,在地质、地球物理、地球化学、地热及油气成因、成藏等诸方面都积累了大量的资料,也取得了许多具有科学价值的研究成果,在指导油气勘探方面发挥了重要的作用。随着勘探工作的纵深发展和大量新现象的发现,以及取得了越来越多的周边区域地质研究新成果,亟待从盆地整体演化规律来认识盆地的油气潜力和富集规律,从而为整体、动态、系统分析油气成藏规律,并为开展新的勘探领域和重新审视盆地的油气资源和富集规律奠定基础。盆地地球动力学系统分析从一个方面提供了实现上述目的的途径。

近几十年来,地质与油气地质理论、技术的发展日新月异。新理论、新技术与新方法的出现和使用,使系统研究一个盆地的形成、演化以及盆地内油气生成、运移和聚集的全过程成为可能,为有效认识和发现资源提供了可靠工具,也为盆地地球动力学与盆地成藏动力学研究提供了手段和依据。

盆地成藏过程是盆地地球动力过程的一部分,因此要想全面系统认识盆地成藏规律就必须对盆地动力学过程有深入的研究。自 20 世纪 80 年代以来,由于“板块上陆”研究,使具有丰富油气资源的沉积盆地成为岩石圈板块研究的最新单元,它正在进行着的地质过程反映了板块演化的过程,故盆地动力学研究已成为地学前缘热点课题。盆地是岩石圈在地球动力过程中形成的,因此不同的岩石圈结构、性质,不同的地球动力作用,必将产生不同的盆地类型和盆地内部物质的变化,对油气的生成、运聚、富集具有重要的控制作用。然而由于以往资料 and 认识的原因,此方面研究甚为薄弱。为了推动这项研究在我国的发展,“九五”以来大庆油田的勘探在此方面做了大量工作,本书就是近年来工作的总结。

本书以盆地区域构造、沉积、地热、油气分布规律和深部地质地球物理为基础,结合周边区域地质研究成果,深入阐述了盆地的形成演化规律、盆地形成的动力学过程,以及盆地动力学过程与油气形成的关系,提出了盆地“无机”油气生成的可能。是一部将盆地动力学与成藏动力学相结合研究的有益探索书。本书的出版,必将推动沉积盆地地球动力学研究,使成藏动力学研究达到一个新高度。伴随这一理论方法的进一步完善和提高,对松辽盆地油气勘探新领域和后备战场的发现,增加新储量,实现“稳定东部,发展西部”与“油气并举”战略方针将产生深远影响。

前言

大庆油田是我国目前发现的最大的油田,也是当今世界上陆相盆地中发现的最大的油田,它的勘探与开发不仅改变了我国石油工业的面貌,同时也促进了石油地质理论的发展,为我国“陆相生油”理论的发展提供了有力的证据,并促进了该理论体系的完善,形成了具有特色的中国陆相石油成藏理论。正因如此,国内外石油地质学家都十分关注该盆地的勘探与研究。

松辽盆地的研究是伴随松辽盆地的石油勘探开始的。在盆地石油勘探之前也曾有些学者做了些工作(李四光,1936;克拉梭(Krasser),1906;横山又次郎(Yokoyama)、矢部长克(Yabe)、大石三郎(Oishi),1908,1922,1933;谭锡畴、王恒升,1929),但仅限于推断,或主要是地层调查工作。随着盆地石油勘探与开发资料的积累,石油地质学家们从多方面对盆地进行了研究,如关于陆相盆地成油理论与油气田分布的研究(杨万里等,1985;高瑞琪等,1997;蔡希源,2000),关于盆地地层划分、沉积体系与储集层特征的研究也积累了大量研究成果(崔同翠,1987;高瑞琪等,1992,1994;王衡鉴等,1981;赵翰卿,1987;杜博民等,1984;王东坡,1993)。松辽盆地构造形成演化与盆地地球动力学的研究一直是倍受关注的问题,但也是争议最大的问题。

松辽盆地勘探初期按照传统大地构造理论对盆地定义有两种理论,即地台(拗陷)盆地(唐智、穆之、王大赉等,1963)和断拗盆地(或称深拗陷盆地)。前一种理论认为松辽盆地区域结构和地壳波状运动格式的配合是盆地形成的主要因素,盆地在中新生代的发育历史也具有波状运动特点;而深拗陷盆地理论则认为从盆地区域构造特征、基底结构及其与上覆地层的关系,以及重磁场特征来看,盆地区既非典型地台拗陷,也非山前拗陷或山间盆地,也就是属非地台、非地槽的第三种构造单元——断陷盆地,它是地壳块断振荡作用的结果。1977年钟其权等认为松辽盆地是在东北地槽系华力西期褶皱带拼合基底地壳上发展起来的一个中新生代大型断拗型盆地。

20世纪70年代至80年代随着板块构造理论的引入和盆地勘探研究的深入,松辽盆地形成演化的研究进入了一个崭新阶段。1977年程学儒等通过对区域重磁场、基底岩性、结构、盆地深层地质特征的深入研究,提出裂谷成因的认识;郭成凯结合东亚中新生代板块演化认为松辽盆地为弧后盆地,之后由于研究的深入相继提出了多种观点,现概况如下。

(1)板内断拗盆地:朱夏(1978)提出松辽盆地是中国板块内部中生代受太平洋板块的“峰线”控制的断陷—拗陷转换型盆地。李德生(1982)认为古生界地台在侏罗纪和白垩纪时期由于拉张作用而破裂,局部地幔上涌,形成一系列板内断陷—拗陷盆地,如松辽盆地等。

(2)克拉通内复合盆地:杨万里、杨继良、高瑞琪等在1980年认为松辽盆地属克拉通内复合盆地,程学儒在1982年提出了松辽盆地为新克拉通内复合盆地的见解,高瑞琪等在1985年进一步提出松辽盆地为克拉通内转化型盆地。他们认为松辽盆地具有克拉通内复合盆地的基本特征,但不是一个单一的裂谷盆地,尽管盆地所处的位置距大陆边缘比较近,某些特征与弧后盆地有些相似,但还不属于边缘盆地,考虑到它与克拉通内盆地的异同点,及其在发育过程中出现的盆地性质转化和以拗陷期为主要成油期的特点,认为松辽盆地是拗陷和断陷相叠置的大型复合式含油气盆地,其性质属于克拉通内复合型盆地(1990)。

(3)裂谷盆地:1979年和1987年程学儒提出松辽盆地早期具有大陆裂谷性质。1980年

H.D.Klemme 将松辽盆地归于克拉通内裂谷盆地;童崇光提出松辽盆地是裂谷盆地,属于中国东部裂谷系的一部分,其特征与北海裂谷盆地有很多相似性。刘和甫等(1985,1992,1996)等学者均持这种观点。

(4)弧后盆地:1979 年高名修认为松辽盆地是弧后盆地,属古亚洲大陆安第斯式板块碰撞带的弧后盆地;1983 年杨祖序提出松辽盆地属于弧后内陆裂谷盆地;1992 年 Bally 认为松辽盆地是弧后盆地。

此外,还有中国型板块侧缘盆地(扭性)(赵重远,1978)、克拉通内拗陷盆地(陈发景,1982)、长期发育叠合盆地(郭成铠,1985)、缝合带型盆地(徐旺,1996)等意见。然而,由于深部资料的限制和某些研究手段的限制,关于盆地地球动力学方面的研究仍然停滞在推断上。

本次工作是以盆地地球动力系统过程分析为指导,通过对盆地重力场、磁力场、深地层反射资料以及 MT 资料的处理分析,结合区域资料系统地分析了盆地深部地质特征、深部与盆地构造的藕合关系,基底构造格局、样式与盆地构造的关系;应用波动理论分析了深部地质作用与构造沉降、构造变形的关系;应用地热流资料,分析对比了松辽盆地与周边中生代沉积盆地地球动力学过程的差异性;应用火山岩资料,综合区域地质研究成果,分析了盆地形成的地球动力学背景。在此基础上,分析了盆地油气资源系列与油气分布规律。具体思路是:

(1)将盆地形成纳入岩石圈演化的地球动力学系统。

众所周知,盆地是岩石圈板块特定演化历史阶段的产物,因此盆地的沉降过程是岩石圈变形、地壳均衡调整的结果。所以探讨盆地形成演化的动力学过程,无疑离不开地壳(岩石圈)组成、性质分析。有了“母体”没有足够外部条件,同样没有盆地形成,这个外部条件便是盆地形成的动力条件。岩石圈板块在地球动力作用下发生变形过程形成了盆地,因此盆地形成动力学过程是一个地球动力学系统过程(王东坡,1997)。它应包括地球动力、岩石圈组成与性质和变形系统三部分。

①地球动力。

地球动力亦指导致地壳变形、均衡调整的各种机械能。按照现代地球演化观点与板块运动学观点,地球原动力可分为 3 种:自发动力、诱发动力和派生力。其中,自发动力指来自地球内部热与物质对流形成的机械力;诱发动力指板块内部作用诱导形成的地幔对流;派生力指板块相互作用导致的应力。地球内部热与物质对流是盆地形成的根本原因,热和物质对流具体体现在软流圈、莫霍面、地幔羽的位置和火山作用上,它们的差异是造成盆地多样性的原因。

②岩石圈组成与性质。

岩石圈是盆地形成的依托,又是盆地区岩石圈和地幔对流、远程应力场之间作用不可缺少的媒介。岩石圈性质具体包括:岩石圈物质组成、流变性、块断结构。其中块断结构是地壳、岩石圈均衡差异性的主要控制因素;流变性则是块断间变形差异的根本原因。正是因为岩石圈具有流变性,岩石圈(地壳)具有分层性,出现了壳内高导层、弹性岩石圈(变形圈)与塑性变形圈(动力圈)、弹性地壳与塑性地壳之分。它们的差异是制约一个地区变形机制的主要因素,如拆离面(带)深度的变化控制了上地壳是单剪还是纯剪的变形方式。

③变形系统。

沉积盆地是岩石圈在地球动力(包括地球原动力和其他机械能、均衡调整作用力)作用下,发生沉降并沉积充填的产物。其基本特征是地表发生沉降。据现代地质、地球物理研究,导致盆地沉降的动力有七种(Dickinson,1994;Ingorsol 和 Busby,1995),它们分别是地壳减薄、地幔-岩石圈加厚、沉积和火山岩负载、构造负载、软流层流动和地壳密度加大。它们导致地壳

(岩石圈)变形的的基本方式有两种:一种是单纯地导致地壳沉降,壳内构造变形较弱;另一种是通过地壳的机械变形,致使地壳拉伸减薄发生沉降,变形过程可分为纯剪切和简单剪切两种。在地球岩石圈的沉降过程中构造变形与单纯地导致地壳沉降的作用往往是相互促进的。

(2)将深部地壳结构变化作为一个动态过程。

地球在不断演化,地壳和地幔在进行不断调整,且在不断地进行物质交换,因此现今地壳结构,或地幔起伏变化是地球演化至现今的表现,在盆地形成过程中一直是变化的。我们知道松辽盆地的形成经历了区域隆起、断陷与拗陷3个主体演化过程,因此地幔隆起并非是自开始至今都保持不变。因此,运用现今地壳和地幔结构一定要考虑到其对应关系,只有现今构造格局可能与地幔起伏有明显关系,而断陷期则不同,这很可能与其他结构面,如拆离带起伏、热流底辟体有较好关系。

(3)将实际情况、模拟反演以及系统因素相综合。

盆地地质特征、深部地质特征是一切研究的基础,只有在对实际情况进行详细的描述,建立合理地质模型,开展相应的模拟才是有效的。而模拟结果的分析又必须置于盆地形成系统过程的分析基础上。

基于这一设想我们首先进行地质描述,包括构造、地层、沉积情况的描述,对盆地块断沉降、旋回性、地热史进行了恢复,通过比较学研究,建立了伸展盆地模型。利用建立的模型探讨了不同因素对盆地变形、沉降过程的影响。

(4)将含油气系统分析置于盆地演化系统之中。

含油气系统的形成是盆地演化系统中物质变化系统的一部分。因此这一系统首先隶属于盆地系统。正是盆地演化这一系统自身变化,以及与外界进行的热、物质交换导致了盆地含油气系统的发育。

总之本书是一本应用现代地球动力学系统分析方法,全面阐述盆地形成演化地球动力学过程,目的是为进一步探讨盆地油气资源和指明油气分布规律,为盆地深入勘探提出自己的见解。由于盆地地球动力学研究是当前地质学前沿问题,许多因素有待深入研究,加之深部资料有限,笔者自身水平有限,故书中一定存在不少谬误之处,谨请专家学者批评指正。

全书共分九部分,前言由迟元林执笔;第一章由云金表、蒙启安执笔;第二章由云金表、殷进垠、庞庆山执笔;第三章由殷进垠、庞庆山、赵荣执笔;第四章由赵利华、迟元林执笔;第五章由云金表、殷进垠执笔;第六章由云金表、赵利华执笔;第七章由云金表、迟元林执笔;第八章由迟元林、殷进垠、门广田执笔。全书由迟元林、云金表、蒙启安、殷进垠、门广田统稿和定稿。在本书的撰写过程中得到了大庆油田公司勘探开发研究院科技人员、大庆石油管理局物探公司研究所科技人员、大庆石油学院部分教师和吉林大学地球科学学院部分教师的大力支持,在此向他们表示衷心的感谢。

目 录

第一章 区域地壳结构与大地构造环境	(1)
第一节 地壳结构	(1)
一、区域重磁场特征	(1)
二、莫霍面起伏	(3)
三、纵向层圈结构	(4)
四、块断结构	(7)
第二节 前中生代地质特征与板块构造演化	(10)
一、前中生代地层——岩浆岩特征	(10)
二、前中生代板块构造演化	(14)
第三节 中生代地质特征与板块演化	(17)
一、火山岩分布特征	(17)
二、火山岩岩石学特征与板块环境	(21)
第四节 新生代沉积古地理与盆地类型	(28)
一、晚中生代—新生代沉积古地理	(28)
二、新生代区域板块构造演化与盆地群分布	(34)
第二章 基底岩性及基底结构研究	(39)
第一节 前人研究成果与基本认识	(39)
第二节 松辽盆地周边石炭系—二叠系特征	(41)
一、石炭系	(42)
二、二叠系	(45)
三、晚古生代地质演化特征	(47)
第三节 基底岩性预测分析	(54)
一、松辽盆地及其周边岩石密度、磁性特征	(54)
二、松辽盆地基底岩性预测	(58)
第四节 石炭系—二叠系厚度预测	(61)
一、地震资料预测分析过程	(61)
二、磁性体最小埋深法对石炭系—二叠系厚度的佐证	(65)
三、石炭系—二叠系厚度及分布预测结果综合分析	(67)
第五节 松辽盆地基底结构分析	(67)
一、富拉尔基构造带	(67)
二、明水—林甸—大安构造带	(67)
三、松辽古中央地块	(68)
四、东部构造带	(68)
第三章 松辽盆地地质特征	(69)
第一节 盆地构造样式、地层层序及沉积特征	(69)

一、构造样式·····	(69)
二、地层层序及沉积体系特征·····	(69)
第二节 断陷层构造格局及基本特征·····	(79)
一、断陷层构造特征·····	(79)
二、断层形态与沉积和深部构造的关系·····	(88)
三、断陷期断陷形成模式分析·····	(89)
第三节 坳陷层构造面貌及基本特征·····	(92)
一、构造单元划分·····	(92)
二、局部构造·····	(96)
三、构造分布规律·····	(96)
四、坳陷层构造形成机制分析·····	(97)
五、盖层构造具长期、多期继承性发育特征·····	(100)
第四节 盆地盖层断裂系统·····	(102)
一、盖层断裂特征及分布规律·····	(102)
二、断裂类型与形成机制·····	(103)
三、主要大断裂带特征·····	(107)
四、断层发育史·····	(109)
五、断裂对沉积的控制作用·····	(109)
第四章 盆地坳隆块体运动、热史及演化规律研究·····	(113)
第一节 构造沉降及旋回分析·····	(113)
一、构造沉降分析·····	(113)
二、旋回性分析·····	(121)
第二节 盆地坳隆块体运动史·····	(126)
一、松辽盆地中浅层构造发育史分析·····	(126)
二、断陷层分布特征·····	(130)
三、凹陷类型·····	(131)
第三节 松辽盆地地热及热史特征·····	(134)
一、地热特征·····	(134)
二、热史分析·····	(135)
第四节 盆地类型与地质演化规律·····	(138)
一、盆地类型·····	(138)
二、松辽盆地的形成和演化史·····	(139)
第五章 盆地深部地质特征及形成机制·····	(143)
第一节 固体地球研究的新进展·····	(143)
一、大陆地壳研究的某些进展·····	(143)
二、大陆地壳深反射地层特征·····	(152)
三、地球存在垂向流体通道·····	(162)
第二节 深部地球物理特征及地壳结构·····	(164)
一、深部层圈结构·····	(164)
二、深部块断结构·····	(172)

第三节 地壳组成及内部结构·····	(174)
一、上地壳·····	(174)
二、中地壳·····	(176)
三、下地壳·····	(176)
四、中下地壳内部结构·····	(176)
五、地壳热流底辟体·····	(179)
第四节 幔隆及壳幔结构·····	(180)
一、幔隆成因·····	(180)
二、幔隆与壳幔结构演化分析·····	(184)
第五节 高温高压实验证据及其对本区壳幔结构解释·····	(185)
一、不定时温压同步的岩石形变与破裂连续过程高压试验成果·····	(185)
二、应用实验成果对松辽及周边壳-幔结构的解释·····	(187)
第六节 地壳形成演化·····	(189)
一、地壳形成演化阶段·····	(189)
二、地壳演化过程·····	(190)
第六章 盆地地球动力学机制及影响因素探讨·····	(193)
第一节 伸展构造几何学及影响因素·····	(193)
一、盆地伸展模型·····	(193)
二、构造几何学理论分析·····	(196)
三、盆地断陷几何学分布规律与控制因素·····	(197)
第二节 盆地沉降及控制因素·····	(198)
一、伸展盆地沉降幅度及控制因素·····	(198)
二、断陷宽度与热沉降量的关系·····	(200)
三、热作用与盆地沉降关系·····	(201)
四、地壳刚性程度与沉降量关系·····	(203)
第三节 深部及基底断裂与盖层断裂系统耦合关系·····	(203)
一、深部断裂与盖层断裂系统纵向耦合关系·····	(203)
二、深部断裂与盖层断裂平面对应关系·····	(206)
三、深部断裂与盖层断裂形成过程·····	(207)
第七章 松辽盆地形成地球动力学背景分析·····	(209)
第一节 松辽盆地火山岩与盆地动力源·····	(209)
一、火山岩分布与年龄·····	(209)
二、火山岩系列与板块环境·····	(212)
三、火山岩来源与壳-幔作用·····	(214)
第二节 地表热流与壳-幔热结构·····	(215)
一、大地热流与岩石圈热结构·····	(215)
二、研究区壳幔热结构·····	(216)
第三节 中新生代远程应力场·····	(218)
一、区域板块远程应力场分析·····	(218)
二、剪切-挤压应力场模拟·····	(218)

第四节 盆地地球动力学过程与类型·····	(219)
一、盆地地球动力学过程·····	(219)
二、盆地地球动力学类型·····	(221)
第八章 盆地油气资源潜力与油气分布规律·····	(222)
第一节 油气资源系列与勘探方向·····	(222)
一、松辽盆地板块动力学类型·····	(222)
二、盆地油气资源形成模型·····	(225)
三、勘探方向·····	(235)
第二节 深断裂带与油气资源分布·····	(236)
一、深大断裂控制物源沉积体系、沉积体系域和沉积相带的展布·····	(236)
二、深大断裂控制高地温场展布·····	(237)
三、深大断裂控制储集层内流体势异常的分布·····	(237)
四、深大断裂控制了圈闭条件的展布·····	(237)
五、油气田沿深大断裂分布,且具“层楼式”油气分布模式·····	(238)
第三节 盆地演化与有机含油气系统·····	(240)
一、盆地阶段性发育造成了含油气系统的多样性·····	(240)
二、盆地具有下气上油的性质·····	(256)
三、盆地多旋回发育造成含油气系统叠合·····	(256)
第四节 盆地演化与无机系统·····	(257)
一、国内外研究进展情况·····	(257)
二、松辽盆地 CO ₂ 气藏特征与富集规律·····	(260)
三、勘探方向·····	(268)
附录 用镜煤反射率确定古热流的原理和方法·····	(269)
参考文献·····	(271)

第一章 区域地壳结构与大地构造环境

盆地不但是独立地壳单元演化的结果,而且也是区域地壳和地幔相互作用的产物。众所周知,地壳结构在地球发展演化中是不断变动的,它是地壳表层沉积盆地结构特征的控制因素。正所谓“地球的奥秘在深部”(张文佑,1984),“地表演化的根本原因在于地球内部”(陈国达,1992)。区域地壳结构控制着地球表层沉积盆地的形成和演化,影响着盆地内部地层格架、构造格架,最终决定着盆地内部石油和天然气的生成、运移、聚集及成藏。因此,对含油气盆地分析应该从形成沉积盆地的母体——地壳的结构入手,从沉积盆地所处的大地构造环境入手,即从盆地形成演变过程开始。正如著名石油及大地构造学家朱夏指出的“只有研究了盆地的全过程,才能最终确定盆地的含油性及盆地内油气的分布规律。”

第一节 地壳结构

一、区域重磁场特征

松辽盆地及赤峰—开原深断裂以北地区(松辽及其周围)的重磁地球物理场具有明显的分区性。根据重磁异常强度、梯度、分布范围、形态和轴向等基本特征,可将此区重磁场分成西部、中部和东部三个区,它们之间大致以嫩江断裂带、牡丹江断裂带为界。

(一)重力场特征

研究区及邻区重力异常的数值及其变化的主要趋势基本与地形成镜像关系,与区域地质结构有密切的关系(图 1-1-1)。松辽盆地位于三区的中部区西部。

1. 西部区

位于嫩江断裂带以西,为一巨大的重力负异常区,异常梯度大(大兴安岭东坡可达 $1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2/\text{km}$),强度大(极值达 $-95 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$),异常走向 NNE($\text{NE}20^\circ \sim 30^\circ$)。异常区东侧为著名的大兴安岭重力异常梯级带(向南延至武陵山);异常区北端对应漠河盆地,异常走向 NNW,异常值较高;异常区西部为 NNE 走向,相对高的重力异常对应海拉尔盆地。

2. 中部区

中部区位于嫩江断裂带和牡丹江断裂带之间,是以正异常为主的重力异常区,异常梯度比较小,局部异常轴向变化频繁,异常多由 1~2 条等值线圈闭,面积大小不一且形态变化较大。松辽盆地以正异常为主[异常值为 $(-5 \sim 10) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$],局部异常轴向不规则,总体呈 NNE—NE 向,亦有局部 NW 向异常,异常形态变化较大;小兴安岭以负异常为主[异常值为 $(-10 \sim 5) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$],异常整体呈 NW 走向,局部异常多呈单线圈闭,规律性差;对应张广才岭为负异常[异常值为 $(-25 \sim -5) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$],异常走向 NE;依兰—伊通地堑和敦化—密山断裂带为异常梯级带。

3. 东部区

位于牡丹江断裂带以东,重力异常特征南北有别。北部为正异常[异常值为 $(5 \sim 25) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$],局部异常高低相间排列,不紧密,形态多为等轴状,方向性不明显;南部为负异常[异常值为 $(-20 \sim -5) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$],异常走向近 SN 向。

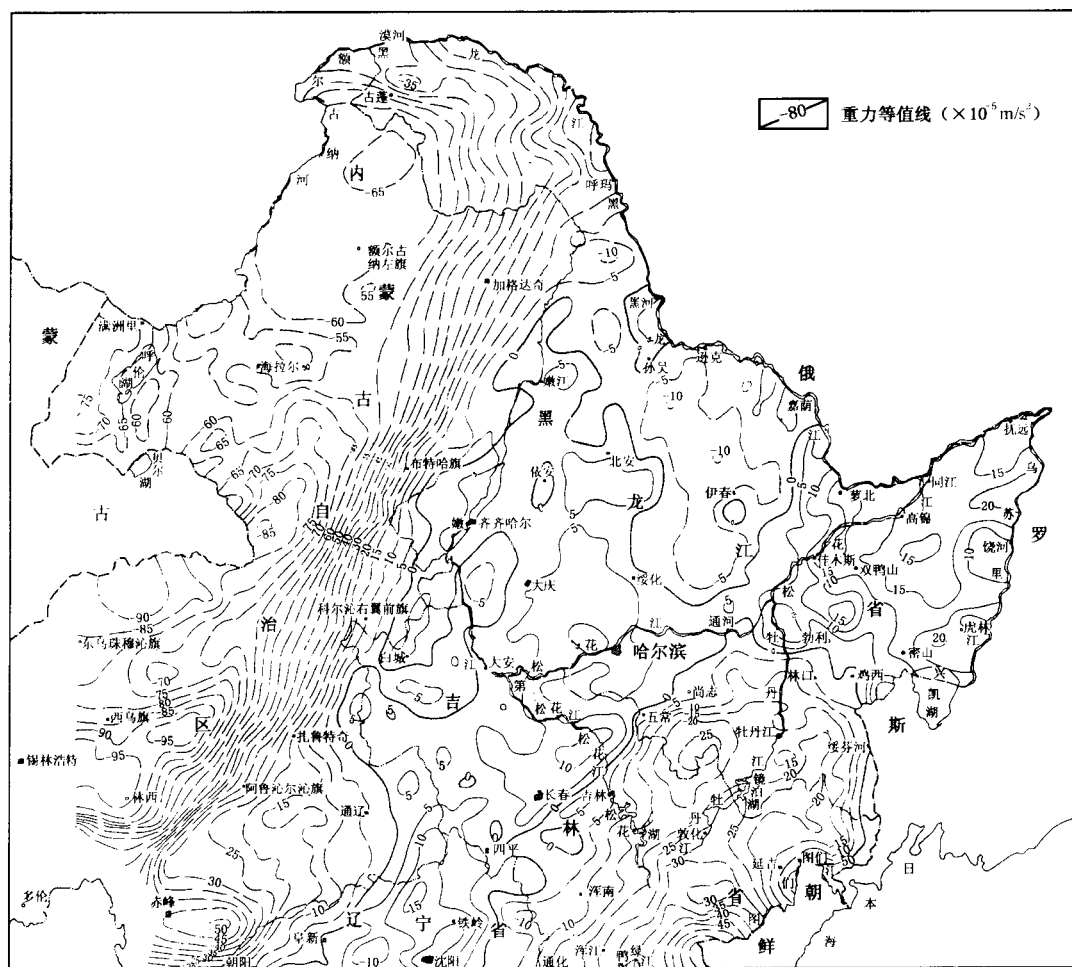


图 1-1-1 东北地区北部重力区域场图

(二) 磁场特征

研究区及邻区磁场区域性差异较大,不仅表现在区域背景的性质、强度及水平梯度的变化上,而且也表现在异常的形状、规模、走向及相互间的组合分布规律等方面(图 1-1-2)。

1. 西部区

位于嫩江断裂带以西,磁异常以正负局部条带分布为特征,方向以 NNE 为主,异常峰值变化范围为 $-200 \sim 500\text{nT}$ 。异常区北端漠河盆地区表现为近 EW 向异常;西部海拉尔盆地为平缓的负异常区,异常值 $0 \sim -100\text{nT}$,局部有 100nT 的正异常。

2. 中部区

位于嫩江断裂带和牡丹江断裂带之间,松辽盆地为负背景场,分布有宽缓的正异常,异常变化范围 $-200 \sim 200\text{nT}$ 。异常变化表明存在 NNE 和 NWW 向两组近正交的构造线;小兴安岭和张广才岭则为宽缓的正背景场上无规律分布,局部有强正磁异常,异常排列紧密。

3. 东部区

位于牡丹江断裂带以东,以平缓正异常、没有稳定走向为特征,局部叠加有规模不大的线性正异常。

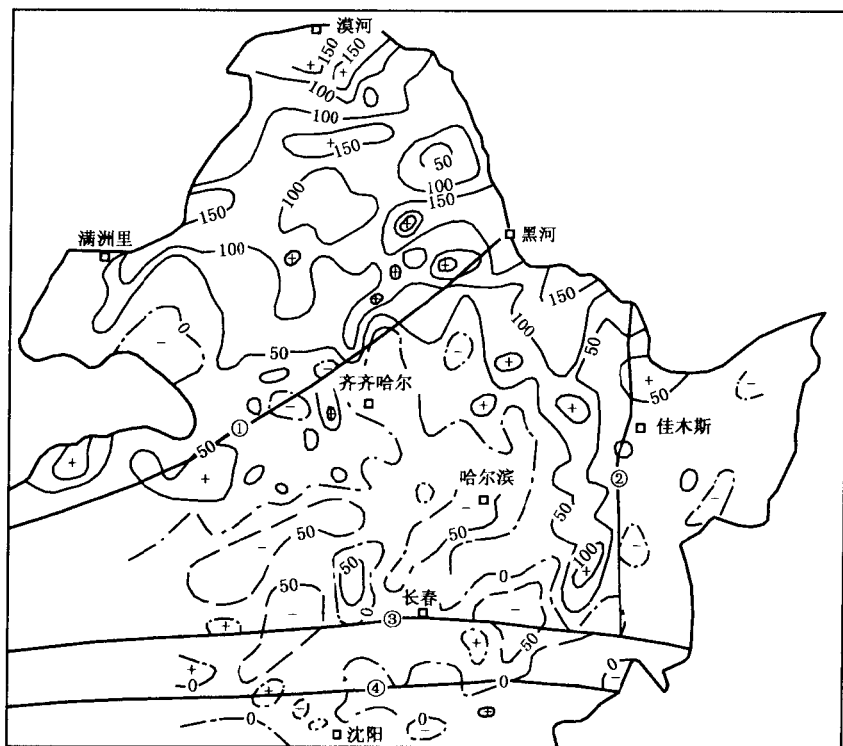


图 1-1-2 东北地区区域磁场图(单位:nT)

①贺根山-黑河深断裂;②牡丹江深断裂;③西拉木伦深断裂;④赤峰-开原深断裂

二、莫霍面起伏

从李安峰等人应用重力资料计算的莫霍面深度图上(图 1-1-3)可以看出,莫霍面走向基本呈 NE 向展布,深度变化的规律是松辽盆地区为一地幔隆起带,从中间向东西两侧逐渐变深,最浅的位置在明水-安达-长岭一线,最浅深度小于 29km,这条连线向东西两侧,莫霍面的深度逐渐增大,但莫霍面下降的梯度有所不同,西部从大兴安岭的东坡向西深度变化梯度比较大,在 100km 宽的范围内,莫霍面深度增大 7km,在大兴安岭山脉处出现两个 NE 向的宽缓的局部凹陷区,最大深度达 46km;东侧莫霍面平缓下降,其中有两个凹陷,一个与张广才岭位置一致,最大深度达 38km,另一个与长白山脉对应,深度达 42km;在佳木斯地块上为莫霍面隆起,最浅部位在三江盆地的绥滨断陷,深度 31km。

总的来说,此区莫霍面的起伏与上覆构造关系密切,主要表现为:

(1)莫霍面的隆起和凹陷分别对应中生代沉积区和褶皱山区,如松辽盆地、海拉尔盆地、三江盆地分别对应着莫霍面隆起,而大小兴安岭、张广才岭、长白山则分别对应莫霍面凹陷。

(2)莫霍面深度图以 NE、NNE 向线性构造最为清晰、完整,而 EW、SN 向构造线表现为被 NE、NNE 向改造、破坏,呈断续分布的特点。

(3)莫霍面的起伏与现代地形之间具有密切的镜像关系,是地壳现代均衡的表现,但也不是处处都表现为这种镜像关系,如哈尔滨以东地区,表明这一地区的地壳是仍处于一种重力的不平衡状态,可能是新构造运动的活跃区。

(4)深大断裂与莫霍面变化带对应,如依兰-伊通断裂、敦化-密山断裂等。

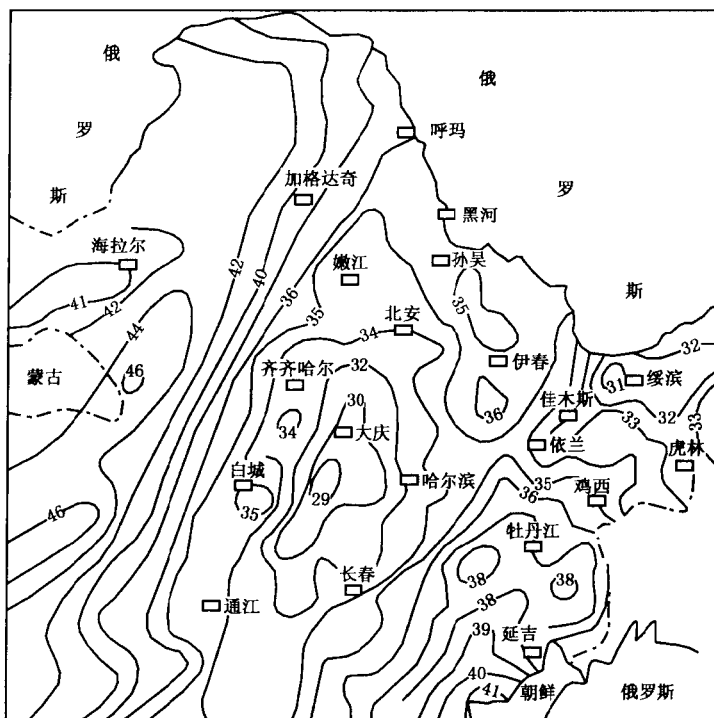


图 1-1-3 莫霍面深度图(单位:km)

依据莫霍面深度、起伏变化及形态特征也可将研究区划分成三个区,由此可见,莫霍面起伏是新生代以来调整的产物,但它继承了中生代构造面貌,具体特征如下:

(1)西部区:位于嫩江深断裂带以西,深度变化在 36~46km 之间,总体向西倾斜,走向 NNE,北端漠河盆地为 NWW 走向,西部海拉尔盆地呈局部凸起。

(2)中部区:位于嫩江断裂带和牡丹江断裂带之间,深度变化在 29~35km,35km 等深线范围与松辽盆地现今边界相当,莫霍面起伏轴线呈 NNE 向,最高点对应松辽盆地中央拗陷区。松辽盆地主要生油层青山口组底面拗陷形态的变化趋势亦与莫霍面起伏形态对应较好(图 1-1-4)。

(3)东部区:位于牡丹江断裂带以东,深度变化范围 31~38km,北部对应三江盆地,为莫霍面局部凸起,凸起中心在绥滨断陷,最高点 31km;南部为莫霍面局部凹陷,中间为过渡带。

三、纵向层圈结构

根据岩石圈物质组成、温压条件不同,将其划分成不同的层圈结构(Ranalli,1989),这是现代岩石圈及构造研究的重要发现。处于初级发展阶段的大洋型岩石圈仅有地幔岩构造层与硅镁质构造层,而演化阶段较高的大陆型岩石圈在地幔岩及硅镁层之上增加了硅铝质构造层。由此可看出地球表层的硬壳结构取决于自身的演化阶段。

通过对鄂伦春-佳木斯、额尔古纳右旗-林口及满洲里-绥芬河三条航磁大剖面的重磁资料的重新处理和 Parker 正则化及广义逆等方法的正反演综合解释(郭占谦,1996)认为,松辽盆地所在的东北部地区的地壳结构在莫霍面之上可以划分为上、中、下三个地壳圈层,在上、中地壳层圈间还夹有一段低密度层段。就满洲里-绥芬河的航磁大剖面来说,地壳圈层平均密度有所不同。上地壳平均密度为 $2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的圈层埋藏深度为 16~20km;中地壳平均

密度为 $(2.75 \sim 2.80) \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的圈层埋藏深度为 23~28km; 下地壳平均密度为 $(3.0 \sim 3.1) \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的圈层埋藏深度为 29~45km。需要特别指出的是, 松辽盆地的地壳深部结构在上中地壳间存在一个平均密度为 $2.45 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的低密度层段, 厚约 2~5km, 顶面埋深为 18~20km(图 1-1-5)。跨越中国东北的“满绥地层断面”也证实了该区地壳纵向上具有明显的分层性, 在 16~20km 处为上地壳拆离面(图 1-1-6)。其次, 从松辽盆地大地电磁资料也发现 18~20km 处有一低电阻($3\Omega\text{m}$)层, 它与低密度层正好对应。

现代地质学的研究认为, 根据地球物理资料划分的上地壳包括了沉积盖层和变质的结晶基底或花岗岩基底; 下地壳为玄武岩或辉长岩层, 其底界为莫霍面; 莫霍面以下为橄榄岩层或榴辉岩层, 称之为地幔盖层。在地球自转、地极移动以及日月吸引产生的固体潮等因素的影响下, 这些地质和地球物理性质不同的圈层之间

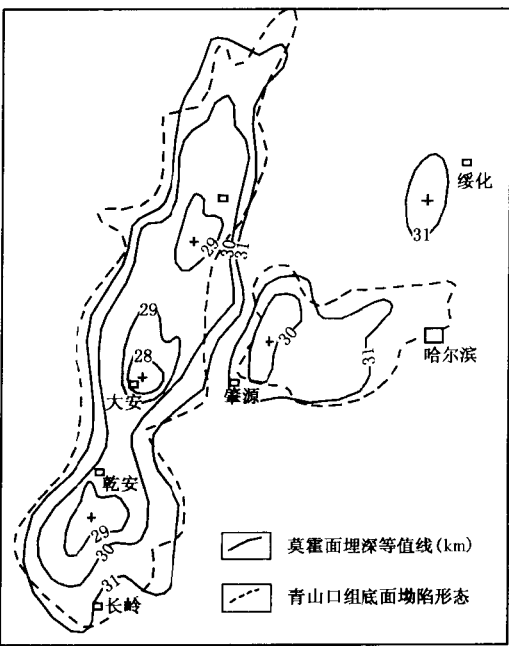


图 1-1-4 松辽盆地莫霍面隆起带与青山口组底面坳陷形态的镜面对称关系 (高瑞琪等, 1990)

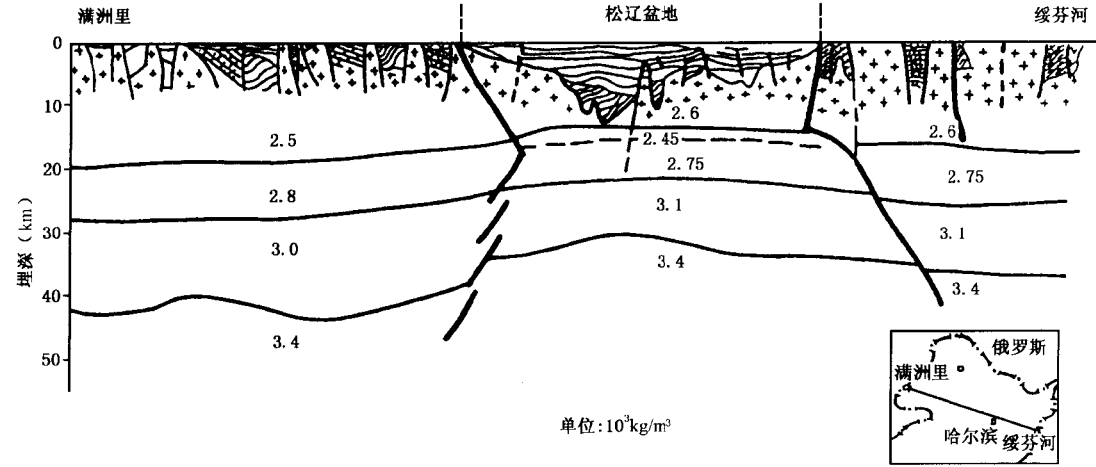


图 1-1-5 满洲里-绥芬河综合解释剖面

可能发生相对滑动, 从而形成断续延伸的顺层滑动断裂(张文佑, 1984)。层间滑动常沿各层圈间的软弱带发生, 壳内的软弱带对脆性地壳中的断裂具有吸收作用, 所以地壳浅部的断裂都终止于软弱带或收敛于该带。J. H. Steward 在研究了美国西部盆岭省的构造特征后, 提出了向下断面倾角变缓并最终收敛于滑动面(或滑脱构造)的铲形断层模式; 刘国栋通过对华北平原区的北东-北北东向断裂的研究, 发现断裂倾角几乎都随深度增加而变缓, 并最终近水平的角度收敛于壳内的低速高导层上。

松辽盆地的松 I 地震深反射大剖面、松深 I - VI 剖面及“满洲里-绥芬河地学断面”在 16

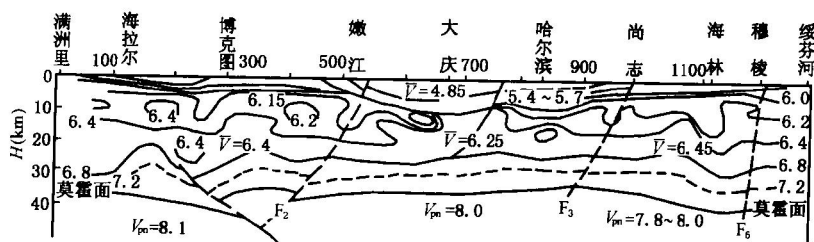


图 1-1-6a 满洲里-绥芬河地学断面地震特征
(据杨宝俊,1997)(单位:m/s)

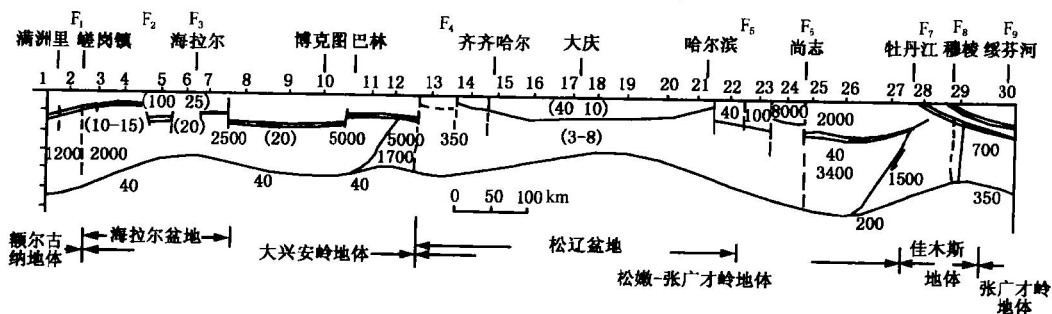


图 1-1-6b 满洲里-绥芬河剖面解释成果图(单位:Ωm)
(焦新华、李春华,1994)

F₁—德尔布干断裂;F₂—海拉尔盆地内部断裂;F₃—海拉尔盆地内部断裂;F₄—嫩江断裂;

F₅—松辽盆地东部边界断裂;F₆—佳伊断裂;F₇—牡丹江断裂;F₈—敦密断裂;F₉—绥芬河断裂

~20km 深度处都存在一纵波速度为 6.3~6.37km/s 的低速层段。它是地壳中的软弱带,是上地壳与中地壳间的滑脱拆离带(图 1-1-7)。它的存在和长期活动给松辽盆地沉积层带来

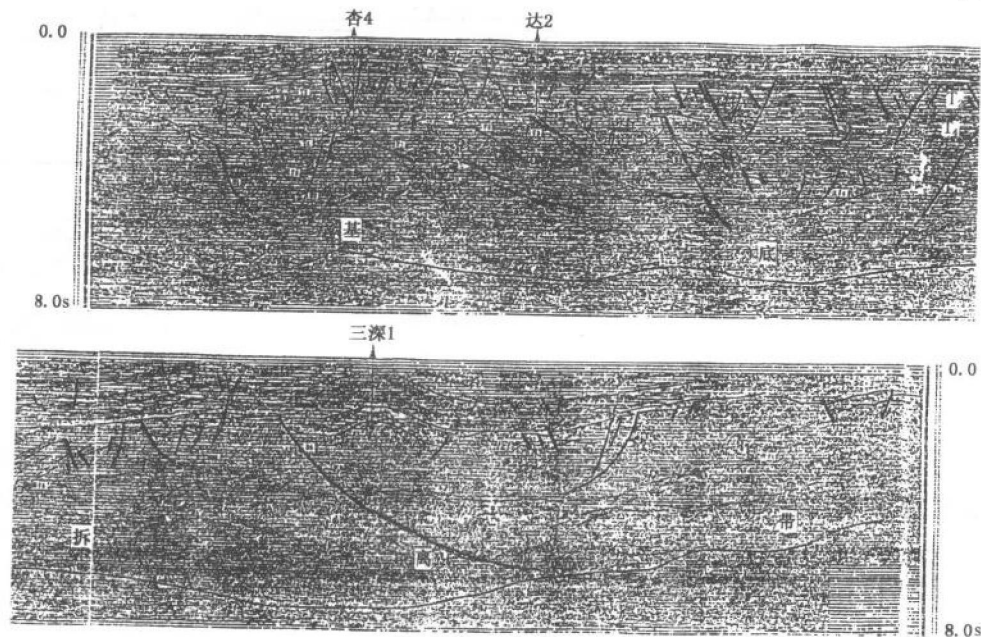


图 1-1-7 松 I 剖面基岩内幕解释