

中国满洲里-绥芬河地学断面

1 : 1000000

说明书

长春科技大学（原长春地质学院）地学断面项目组

张贻侠 孙运生 主编
张兴洲 杨宝俊

地质出版社

中国满洲里-绥芬河地学断面

1 : 1000000 说明书

长春科技大学（原长春地质学院）地学断面项目组

张贻侠 孙运生 主编
张兴洲 杨宝俊

地质出版社

· 北 京 ·

序 言

中国满洲里-绥芬河地学断面(以下简称满-绥断面)是中国岩石圈委员会配合全球地学断面计划(GGT)在中国境内设计的11条一级地学断面之一,是地质矿产部“八五”深部地质调查重点项目之一。项目进行过程中,岩石学和构造学研究得到国家自然科学基金会49372094和49372141项目资助。

根据以往我国对大剖面研究的经验,本项目在设计时,确定以地质问题为出发点和落脚点,采用多学科综合研究手段,尤其强调地质与地球物理的结合。本着以上宗旨,本项目下设四个课题:第一个是地质课题,下设构造、岩浆岩、变质岩、地层、新构造运动、盆地分析等6个专题;第二个是地球物理课题,下设重力、磁法、大地电磁、折射地震、反射地震、天然地震、地热、古地磁等8个专题;第三个是地球化学与物性课题,包括地球化学和物性2个专题;第四个是数字化和综合课题,包括数字化和综合解释2个专题。

所有课题和专题,都是在相互配合下完成的,并都按时通过验收。项目总经费为300万元。研究人员克服困难,以尽可能省的经费完成尽可能多的工作。如反射地震测深,在大庆石油管理局的支持下,仅用70万元就完成了130km的测量和资料处理。按设计要求,本项目在总长1300km的断面域内完成了全剖面的重力、磁法测量及广角反射地震测深工作;完成了30个点的大地电磁测深和35个点的热流测量和资料收集;地质观测路线80条,采集岩石标本2500块,化石标本200块,磨制岩石薄片2000片;实测同位素年龄标本13个;采集地化样品1320块,分析地化组合样品112件。这些实物工作量,较好地满足了项目研究的需要。

为提高断面的研究水平,我们广泛开展了国内、国际的合作。折射地震剖面东段(由林甸到绥芬河)650km的野外测量和资料解释由地质矿产部陕西二物承担,西段(从满洲里到林甸)650km野外工作由辽宁地震局地震大队完成,并由俄罗斯科学院西伯利亚分院专家参与野外工作设计和施工指导。资料处理解释由俄罗斯专家与我院专家共同完成。垂直反射地震测深130km由大庆石油管理局完成野外测量,由我院专家与他们一起进行资料处理。地热专题研究工作与日本专家合作完成,并由日方提供先进的野外测量仪器。

为使研究工作得到国内各方面专家的指导,项目成立了以校外专家为主的学术委员会。国内外专家的广泛参与,对提高本项目研究水平起了重要作用。

在研究工作中,我们尽量贯彻多学科综合研究的原则。仅在我院就有地质、地球物理、地球化学等各方面的专业人员50多人参加了本项目的研究。各课题组和专题组之间经常交流研究成果;各专业人员之间,互学互补,提高了研究人员素质。在此期间出版论文集2本,发表论文50余篇。

根据地矿部科技司的要求和专家组的建议,本项目不仅要出成果,而且要出人才,要尽量让青年人挑担子,因此从项目到课题均采用了“双负责人制”。许多青年同志通过地学断面的研究工作得到了锻炼。这几年参加项目研究的人员中,有近70%晋升了职称,有5

名年青同志由助教或讲师破格晋升为副教授或教授。在我院形成了一支宝贵的深部地质研究力量。

概括满-绥断面所做的工作,首先是全面、系统地总结了东北北部地区的地表地质迄今所得的成果,包括本次工作中新的发现和对重要地质事实的认定,为本区今后地质工作和与周边国家的对接研究奠定了一个新的基点。同时基于此次地质、地球物理和地球化学的综合研究成果,探索了断面域深部及上地幔的大陆岩石圈的组成、结构、演化和动力学模型。鉴于断面域所处的特定地质位置,这一初步模型和所提出的科学问题,可能对我国大陆东部和北部的深部研究工作是一项重要补充。这项深部研究成果或许会对我国今后的地表和深部地质研究工作产生一定影响。

对于一所高等学校来说,有机会牵头组织多部门、多学科的“国家队”(包括与俄、日学者的合作),是受益颇多的,在许多方面给了我们有益的启示。

关于多学科综合研究的必要性虽已渐被公认,但做起来实非易事。主要障碍来自研究人员各自的知识局限性和长期形成的狭隘专业工作习惯。参加满-绥断面工作,迫使我们改善自己的知识结构,开阔眼界,去学习原专业之外的必要知识。要学会倾听他人的意见,而不能再抱残守缺,各搞各的。外国学者可能较早地认识了这种结合的必要性。研究者在完成欧洲地学断面时也曾抱怨过地质学家与地球物理学家之间的交流不够。他们认为没有这种交流,二者成果不能合而为一。在这一点上,中外所见略同。

满-绥断面域内可资利用的深源包体甚少。我们对深部的了解,除依靠对岩浆岩体系的地球化学分析外,主要靠地球物理探测所得数据。当我们把满-绥断面域地表地质所见(包括地球化学)与所获得的深部地球物理信息作综合分析时,我们遇到了如下两类问题:首先是,这些地球物理信息的地质含义究竟是什么?重、磁、电、震、热等探测数据,并没有直接告诉我们是何种岩石、处于何种状态并以何种组合形式输出了这些信息;另一类问题是,基于地表地质的理论概念和所见事实对这些地球物理探测结果加以解释,不可避免地出现了多解性,甚至会遇到一时无法理解的情况。这反映了我们迄今对比海洋板块复杂得多的大陆岩石圈板块知之尚少。也说明若干基于地表地质而建立的某些地质概念,正面临着深部地质的检验。

举例来说,具有长期演化历史、组成和结构复杂而又厚度巨大的大陆岩石圈板块,在地表上大都可被分解为若干块体。这些块体是什么?小板块或微板块(miniplate或microplate)、地体(terrane)、地块或断块(block)、板片(flake)等术语的深部定义为何?例如,作为这些块体分界标志的断裂延深情况如何?除已知随深度有断裂倾角变化、脆-韧性转变而外,在更深的层次上,是否仍可用这一术语来描写物质或物性的不均匀性或不连续性?如果可用的话(如深大断裂、超壳断裂、岩石圈断裂等),那么深层次“断裂”的状态、性质又是怎样的,它们与浅层次断裂有无区别?在分析动力学和运动学时,我们不清楚在同一应力作用下,各层次的构造变动是否同步、表现形式有无区别,以及流体起怎样的作用、物质流变有什么规律等。诸如此类,还可举出一些。这就不难理解,为什么俄、德科学深钻的设想与结果之间差别会如此之大。即使这些深钻涉及的仅是地下10km左右的浅部,许多事实均出人意料,何况更深的层次。因此,对于探索大陆深部的难度应有清醒估计。当然这也意味着深部研究领域的前景广阔,引人入胜,具挑战性,值得为之献身。

是否可以这样期望:在加强地质、地球化学与地球物理之间合作的同时,应开展物性

研究。其中应包括不同温压条件下（有或无流体的参与）的实验研究，以及对现有实验数据的严格统计分析。这是因为一方面物性与物质的组成和状态相关联，同时又具备可测量的物理信息，从而提供了一个地质-地球化学家与地球物理学家联手的纽带。

满-绥断面所提出的问题，比已解决的问题要多得多。读者将会与我们抱有同感：仅就满-绥断面域所涉及的我国东北地区而言，深部地质研究仅仅是个开始。

看来保证科学工作的持续性是基础研究取得进展的必要条件之一。以欧洲地学断面为例（该断面长 4,600km，宽 200~300km，深 450km。涉及 14 个国家。），若不计前期工作，历时 12 年（1980~1992）。用他们自己的话说，这（指 1992 年由 15 位知名专家合作的总结：A Continent Revealed: The European Geotraverse）是进一步研究的新起点或“跳板”（Springboard）。欧洲地质研究的详细程度，众所周知。即使如此，他们并不认为这项研究可以告一段落。至于某些“出理论”的经典地区（如阿尔卑斯），大批学者孜孜以求，时逾百年，依然不衰，足以说明基础研究欲有所成，益持续，忌中断。

依据专家对各课题的评审意见，我们又对断面做了必要的补充工作，特别是对反射地震的成果作了进一步的解释。对满-绥断面有关的科学问题作了进一步的探讨。

最后，请允许我们以满-绥断面全体工作人员的名义，再一次感谢所有一贯给予我们指导和支持的国内外各兄弟单位和各位专家。

作者

1998 年 5 月

目 录

序言	张贻侠 孙运生
第一章 图件说明	叶茂、穆石敏、迟效国、金旭 (1)
一、地质条带图	(1)
二、地质剖面图	(1)
三、布格重力异常条带图	(2)
四、航磁异常条带图	(2)
五、高精度重、磁异常剖面图与热流剖面图	(2)
六、地球物理综合解释剖面图	(2)
七、垂直反射地震测深所示地壳精细结构剖面图	(3)
八、解释性剖面图	(3)
九、地质时空演化流程图	(4)
十、地球化学垂向分带图	(4)
十一、地球动力学模型图	(5)
第二章 拼合的大陆板块	张兴洲、穆石敏、杨宝俊、迟效国 (6)
一、拼合大陆的地球物理证据	(6)
1. 重、磁场	(7)
2. 电性	(7)
3. 热流	(8)
4. 速度结构	(8)
二、地球化学结构模型	(11)
1. 地球化学分区	(11)
2. 垂向地球化学分带	(12)
3. 断面地球化学结构模型的检验	(14)
三、拼合的大陆板块——黑龙江板块群	(14)
1. 额尔古纳-兴安徽板块	(15)
2. 黑河-扎赉特拼合带	(16)
3. 松嫩-张广才岭微板块	(16)
4. 嘉荫-牡丹江拼合带	(18)
5. 佳木斯微板块、兴凯微板块和牡丹江-穆棱拼合带	(18)
第三章 黑龙江板块群的地球动力学	张兴洲、穆石敏、陈琦、杨宝俊 (20)
一、中生代地球动力学	(20)
二、新生代地球动力学	(21)
三、地球动力学模型	(22)
四、壅冰模型	(23)

第四章 若干重要地质问题的讨论	张贻侠、陈琦、张兴洲、穆石敏	(24)
一、松辽盆地的形成机理和基底构造		(24)
二、大兴安岭和张广才岭岩浆岩带的成因		(26)
三、大兴安岭重力梯级带的性质及成因		(28)
四、郑-庐断裂带北延问题		(30)
五、斜向俯冲		(31)
结束语		(34)
致谢		(35)
参考文献		(36)

第一章 图件说明

叶 茂 穆石敏 迟效国 金 旭

本地学断面的主要图件是按国际岩石圈计划委员会于1987年推荐的“全球地学断面(GGT)编图指南”编制的。根据实际需要,在某些方面作了必要的补充和修改。

中国满洲里-绥芬河地学断面全长1300km,沿测线平面走廊域宽100km。断面大致呈北西-南东向展布,两端均与俄罗斯国界相接。剖面图的地表水平线与地球大地水准面曲率弧形线相吻合。主要的平面图和剖面图比例尺均为1:100万。编绘在156×113cm²图纸上的全部图件,除索引图外,共11幅。其中7幅是依据上述编图指南要求安排的,其余4幅,即地球化学垂向分带图、地球动力学模型图、重磁精测剖面及热流剖面图和反射地震剖面图是根据本次工作结果补充增加的。

现将有关图件说明分述如下。

一、地质条带图

地质条带图基于对以往资料的收集整理和本次地质研究成果综合编制而成。所依据的地质资料包括:(1)1993年以前本区地质资料,其中包括黑龙江省区域地质志(1993年)和内蒙古自治区区域地质志(1990年)等,以及对断面域及邻区(包括俄罗斯等相邻国家)公开发表和内部交流的最新地质研究成果的跟踪调查(截止1996年3月);(2)断面域及邻区1:20万和1:5万区调报告及相关图件;(3)本项目在断面域及邻区所进行的野外调查和室内研究成果。以上资料基本反映了断面域地质研究的最新进展。表现在图件上的新认识有:(1)牡丹江以东地区,将原晚元古界变质岩系解体出部分古生界地层,二者为构造叠置关系;(2)原归属于佳木斯微板块作为地层单元的黑龙江群,确定为与古缝合作用相关的混杂岩;(3)根据大兴安岭地区野外调查和岩相、年代学综合研究,将原上侏罗统木端组以上地层划入下白垩统;(4)根据对比断面域及邻区综合研究成果,确定了各时代侵入体的构造属性。

二、地质剖面图

地质剖面图是沿地质条带图中线下延10km切制的,以表达断面域地质构造单元的空间关系。剖面图主要依据走廊域地表地质体产状、时间演化序列及相互关系,并结合地球物理所提供的深部信息而编制的。根据本断面地质研究程度的实际情况,除对具有准确年代学证据的地质体用相应代号表示外,其它少数地质体作了如下处理:(1)将原黑龙江省地质图(1993年)中的K₁火山岩和内蒙古自治区地质图(1990年)中的J₃-K₁火山岩统

一表示为 J_3-K_1 火山岩；(2) Pz 表示未分的上、下古生界；(3) $An\in$ 表示前寒武纪克拉通基底。

地质条带图与地质剖面图使用同一种图例，图例中重点表示各地质单元的基本岩性组成特征。

三、布格重力异常条带图

本图依据地质矿产部 1990 年编制的中华人民共和国 1:100 万布格重力异常图绘制的。绝对重力值采用波茨坦系统。大地测量坐标采用 1954 年北京坐标系，高程整理采用 1956 年黄海系统。正常重力公式采用 1901~1909 年的赫尔默公式。图中黑直线是广角地震测深剖面，红直线是反射地震测深剖面，“ Δ ”为炮点。

四、航磁异常条带图

磁力资料取自 1979 年地质矿产部航空物探总队编制出版的 1:100 万航磁图。根据 GGT 编图指南要求，对数据进行了 IGRF. 1990 系数改正。

五、高精度重、磁异常剖面图与热流剖面图

重磁剖面高精度测量是本项目重、磁专题组于 1991 年完成的。沿断面全线分别设置重力测点 291 个、磁力测点 434 个。重力测量采用 CG-3 型高精度重力仪，磁力测量采用 CZM-2 型质子磁力仪。重力异常总均方差为 $\pm 0.59 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，磁力异常总均方差为 $\pm 2.73 \text{nT}$ 。在某些重要构造区段（如齐齐哈尔、尚志和穆稜等地）加密重力测点。野外实际测量是沿 301 国家公路进行的，而图中重、磁异常剖面曲线是经过向断面域中心线投影后所得的。

大地热流密度剖面曲线是依据断面域及其邻区编辑整理的 35 个热流数据绘制而成。其中包括本项目地热专题组新测定的 7 个热流数据。收集的热流数据共 28 个，其中海拉尔盆地 18 个、松辽盆地 10 个。新测得的数据在满洲里乌奴格吐山 1 个，其热流密度值为 30mW/m^2 ；鸡西 3 个，平均热流密度值为 54mW/m^2 ；黑龙江多宝山 1 个，其值为 40mW/m^2 ；黑龙江铜山 2 个，其平均值为 40mW/m^2 。

六、地球物理综合解释剖面图

1. 广角地震速度剖面及莫霍过渡带

速度剖面是依据本项目完成的广角地震测深资料编制的，全长 1300km。地震测量工作以林甸为界分东西两段进行，各长 650km。东段布设 7 个炮点，炮点间距为 61~96km 不等，接收以三分量地震仪进行。资料处理进行了反演及二维正演拟合。西段设 7 个炮点，采用追逐、相遇观测系统，观测点距为 2~9km。为得到更切实际的速度分布，采用了回折波层析成像技术，辅以首波、反射波技术，给出了纵波波速的精细分布。对 P 波 S 波还进行了联合解释，并以此为基础绘出了地壳结构及断裂分布。Moho 是依据 Pm 波震相特征而绘制

的。基于广角地震测深显示的莫霍面具一定厚度的事实,本剖面图用具一定厚度的莫霍过渡带来表示。

2. 电阻率分布

沿断面均匀布置了 30 个大地电磁测深点,以 MSS-04 型五分量实时系统进行了野外测量,最大周期为 4096s。资料解释过程中采用了一维反演和人机交互自动剖分单元的二维反演。

3. 密度分布

按 Nafe-Drake 公式,首先由地震波速度分布换算出初始密度分布,然后对重力异常进行人机交互拟合,从而得出断面岩石密度分布。

4. 天然地震震源深度

共收集到震级为 4 级以上的天然地震 134 次。其中浅源地震 82 次,震源深度为 6~48km;深源地震 52 次,震源深度为 300~600km。按震级分,7 级以上深源地震 6 次,浅源地震 1 次;6~7 级深源地震 20 次、浅源地震 6 次;5~6 级深源地震 14 次,浅源地震 26 次。

5. 拆离层及某些地质界线

依据电性结构、速度结构并辅以地表地质及其它有关资料绘出了若干拆离层及地质界线。

七、垂直反射地震测深所示地壳精细结构剖面图

垂直反射地震测深剖面分东西两部分,实际总长度约为 130km。安达以东约 69km,采用炸药震源,道间距为 25~50m,覆盖次数为 30 次或 15 次。安达以西约 60km,使用可控震源,道间距为 50m,覆盖次数为 48 次。资料解释过程中进行了正演、时频分析和三瞬(瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率)处理等。地壳结构剖面图是根据地震波反射强震相而编制的。

八、解释性剖面图

解释性剖面图是表达断面域地壳演化历史和现存状态的综合性图件。资料主要来源是:(1)根据地表地质而获取的地质事实,以及对地球物理和地球化学等信息的综合解释;(2)依据地球物理探测数据并参考地球化学和地表地质资料而获得的深部(>10km)综合信息的分析;(3)根据物性实验数据,结合地质、地球物理和地球化学的综合分析,对地壳深部物质构成和物理化学状态的推测。为了表达之方便,除按 GGT 编图指南的规定外,对如下问题作了特殊处理:(1)大于 60km 深度的部分垂向比例尺缩小一倍;(2)地过 15km 深度附近标注了韧性转变界面;(3)根据本断面的实际情况,未采用以变质级别为主的三分地壳模式。地壳下部褐色基调上叠加了深褐色短线,以表示各地质构造单元地球化学组成上的差异;其中, M 代表地壳分异指数,由 $M = \frac{w(\text{MgO}) + w(\text{TFeO}) + w(\text{CaO})}{w(\text{SiO}_2) + w(\text{Al}_2\text{O}_3) + w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})}$ 公式求出; M' 代表上地幔分异指数,由 $M' = \frac{w(\text{MgO}) + w(\text{TFeO})}{w(\text{SiO}_2) + w(\text{Al}_2\text{O}_3) + w(\text{CaO}) + w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})}$ 公式

求出。样品的采集及处理见本章地球化学垂向分带图的说明；(4)基于本断面 Moho 过渡带的特殊复杂性,在浅褐色基调上叠加花纹以反映其垂向和横向的不均一性及局部所具有的流变特征；(5)除火成岩注明岩性外,其它岩性请参照地质条带图图例；(6)Pz、An $\in$ 分别表示未分的古生代地层和前寒武纪克拉通基底；(7)用绿色表示中生代(J₃—K₁)大陆伸展作用形成的盆岭构造；(8)断面域地壳内存在的多处流体富集带,用原地体基色花纹上再叠加断横线来表示。

九、地质时空演化流程图

地质时空演化流程图是用以分析和说明解释性剖面图的辅助性图件。它在地质条带图、地质剖面图和解释性剖面图之间起桥梁作用,反映了各地质构造单元、各类地质作用的时空演化及配置关系,表达了地壳演化的总体特征。本断面时空流程图以地质构造单元即微板块为基本表达单位,对同一单元内局部构造属性做了分别表达。各地质单元的构造亲缘性色标与解释性剖面图一致。

解释性剖面图与地质时空演化流程图使用相同图例,岩性组成请参照地质条带图和地质剖面图图例。

十、地球化学垂向分带图

本断面地球化学垂向分带图是为建立岩石圈三维结构模型提供地球化学依据而增设的。本图以下列资料的综合分析为基础编绘而成：(1)岩石化学全分析数据,数据取自黑龙江省区域地质志(1993年)和近年来在本区科研工作所积累的化学分析资料；(2)本项目地球化学专题组走廊域采集测试的地球化学“组合”样品数据共112件。“组合”样品是以侵入体和各地层小区中的群(前寒武纪)、统或组(古生代以来)为单位,依同种岩石组合而成。分析工作由地质科学院物探化探研究所承担。为获得高精度测试数据,对不同元素选择了不同的测试方法。主要测试方法有：X 荧光光谱、中子活化、原子吸收光谱、原子荧光光谱和极谱。共测试元素53种,数据测试精度合乎要求。

这些数据基本覆盖了断面域及其以北地区主要地质构造单元,具有较好的代表性。每类岩石的平均化学成分较好地反映了各地质构造单元不同时期岩石地球化学特征。

地球化学垂向分带和横向分区是根据地球化学综合研究成果并参照地质、地球物理研究成果而确定的。地壳浅部的地球化学成分,依据地表所见各类岩石的出露面积和垂向分布厚度的加权平均计算而得。花岗质岩石的厚度平均取7km。地壳中部以地表所见太古宙和早、中元古代岩石,按其在地壳中的厚度加权计算所得的平均成分为代表。对地壳深部带的推断,既考虑了各地质时期地壳分异演化特点,又根据岩浆岩成因研究所确定的地壳分异演化模型,采用质量平衡关系式计算而得。岩石圈地幔的化学成分,则以新生代玄武岩所携带的尖晶石二辉橄榄岩类包体的平均成分为代表。软流圈地幔是以玄武岩部分熔融模型为假定前提而求出源区可能的组成。

基于上述计算所得到的各个深度地球化学带的平均组成,提取了特征地球化学参数值,标在地球化学垂向分带图上。

十一、地球动力学模型图

本图示意表示中生代和新生代两个阶段本区的地球动力学状况。

残余的大洋板块代表中生代时太平洋板块的俯冲事件,大的空箭头代表斜向俯冲方向,断线箭头为其作用于断面域的分量。太平洋板块代表新生代以来的俯冲事件,带横线的大箭头代表了各大板块的运动方向或其对本断面的应力作用方向。

断面图纵向比例尺做了夸大表示。Moho 过渡带以下用绿色,以上用黄色表示。为表示增生带边界,同江-宝清断裂西移。其它各构造单元示意其相对位置。符号说明请参见总图例。

第二章 拼合的大陆板块

张兴洲 穆石敏 杨宝俊 迟效国

众所周知,满-绥断面域处于由西伯利亚板块东南缘、华北板块北缘和西太平洋板块消减带所挟持的一个地区。地表地质研究、深部地球物理和地球化学探测结果表明,这部分大陆壳是由不同时代、不同来源和以不同方式拼合起来的诸多微陆块组成。如果不计断面两端邻区,由西向东断面域穿越了四个微陆块和分隔微陆块的三条古缝合带:

额尔古纳-大兴安岭微陆块,黑河-扎赉特古缝合带;

松嫩-张广才岭微陆块,嘉荫-牡丹江古缝合带;

佳木斯微陆块,牡丹江-穆棱古缝合带;

兴凯微陆块。

这些微陆块是微小板块的陆块部分。各微陆块基底岩石的变质建造和构造热事件说明它们至少曾分属于两种地壳类型迥异的早前寒武纪古老陆块。额尔古纳-大兴安岭微陆块的早前寒武系岩石为岛弧或大陆边缘建造,以一套变质的基性—中酸性深成岩和火山岩为主,代表一种成熟度较低的地壳类型。其它三个微板块的早前寒武系组成相同,主要为 TTG 岩系、麻粒岩和富铝片麻岩(孔兹岩系),代表一种高成熟度的地壳类型。也许这三个微板块是由一个陆壳裂解而生,但在晚古生代时期,这些微陆块先后又拼合为一体。中生代以来,这些微板块群体作为西伯利亚板块和华北板块之间的拼合板块,周旋于诸大板块之间,而且作为欧亚板块的一部分,同时又受到太平洋板块俯冲的影响。微板块群体拼合的属性,使得本区难于找到典型造山带的一系列特征。

现今地表所见,断面域总体地势由西向东呈阶梯状降低。域内盆、岭相间,且发育有两条巨大的岩浆岩带。盆-岭体系和岩浆岩带的展布方向,以及构造单元的边界,往往与古缝合带有一致性。这反映了本区中、新生代以来地壳的构造变动与古构造之间有某种继承关系。另一方面,由于各微板块的组成和结构各异,在中、新生代时期,尽管它们已经拼合为一个整体,在统一的地球动力学条件下,构造式样既有统一性,又有各自的特点。

本章将讨论满-绥断面域所涉及的大陆板块,是由哪些微小的板块拼合起来的,它们的地质、地球化学和地球物理证据何在。至于这一大陆是在怎样的地球动力学条件下、在什么时候、以何种方式拼合为一体,将在地球动力学一章中讨论。

一、拼合大陆的地球物理证据

当我们用统一科学目标把地质与地球物理研究结合起来的时候,地球物理信息所蕴藏的地质意义,将被最大限度地发掘出来。我们对本断面域微板块拼合的认识,在很大程度上依赖于地球物理探测。

1. 重、磁场

地壳的重、磁场特征对于认识不同微板块及其边界具有重要作用。断面域区域重力场总体上呈中间正、两侧负的特征。西区自满洲里到甘南,总体上呈北东向负异常展布,在负异常中叠加有若干局部正异常。这与兴安微板块相对应。松嫩微板块以大庆为界,东西两侧不同。东侧异常无明显走向,西侧呈北北东向条带状异常。佳木斯微板块总体上呈北东向负异常。依据重力反演,张广才岭花岗岩延深不大于10km。

嫩江断裂表现为一条北东向正异常带。牡丹江断裂及北安-大安断裂则是重力场的分界线。佳伊断裂及敦密断裂表现为线性梯度带。总之,这些主要断裂在重力场上都有明确的显示。

区域磁场总体上呈中间平缓、两侧呈起伏变化的特点:西部兴安地区磁场变化剧烈;中部的松嫩磁场平缓;东部张广才岭为正异常区;穆棱则为较平缓变化区。断面西端的嵯岗附近为北东东向正异常带,它对应于德尔布干断裂。海拉尔盆地表现为负背景中叠加有若干近南北向局部正异常。牙克石—甘南间为正负交替变化的磁场,相当于中生代火山岩及花岗岩分布区。嫩江断裂以东为北东向紧密排列的条带状异常,以西为宽缓负背景中叠加有局部正异常,断裂带本身呈很强的串珠状异常。松嫩区位于甘南与尚志之间,异常宽缓、方向多变。大庆的东西两侧也有明显不同,负背景中若干局部正异常为基底隆起或基底花岗岩的显示。北安-大安断裂表现为一条北东向正异常带。佳伊断裂,表现为串珠状、线状异常。张广才岭区正异常为花岗岩的反映。穆棱以东的较平缓磁场区与张广才岭明显不同,意味着二者有不同的构造演化史。牡丹江断裂表现为磁场的分界线。东侧为负,是元古宇老地层及元古代花岗岩的反映;西侧为正,是印支期花岗岩的显示。敦密断裂呈现线性正异常带。

依据视磁化率资料,张广才岭花岗岩地区,深层花岗岩视磁化率范围明显较地表出露范围小,说明花岗岩延深不深。重、磁对应分析表明,大兴安岭地区二者的相关系数较低,意味着这里的岩浆活动频繁。在尚志及甘南附近,相关系数正负交替出现,这里似乎是不同构造类型块体的结合部位。依据定量反演结果给出了断面域横向分块、纵向分层的磁性结构模型。

2. 电性

除松辽盆地深部外,幔内高导层基本上可以连续追踪,但起伏较大,总体上呈三隆四拗形态,与地形近似呈镜像关系。最深处在满洲里及尚志附近,达110km。最浅处在海拉尔、穆棱附近仅有64km。松辽盆地下部呈巨大低阻体。据拜泉附近大地电磁测深结果,多数测点也呈巨大低阻体反映,少数点测得值为60km。利用松辽盆地热流值,依据相应公式求得的上地幔高导层埋深与拜泉测深结果基本一致,因此可以认为松辽盆地上地幔高导层埋深为60km左右。西部上地幔高导层电阻率值为 $20\sim 50\Omega\cdot m$ 。东部为 $200\sim 350\Omega\cdot m$ 。这反映了上地幔物质的部分熔融程度和温度在横向上有变化。总体看,断面西部部分熔融程度较高,温度较高。东部较差,温度偏低。

值得提出的是,断面域大部分地区皆有壳内高导层。西部壳内高导层埋深为20~30km,厚度为2~3km,电阻率值为 $20\sim 40\Omega\cdot m$ 。东部埋深为20~38km,厚度为2~3km,电阻率值为 $20\sim 50\Omega\cdot m$ 。电性结构图及博斯蒂克电阻率断面图清楚地显示出横向分块、纵向分带的特征。主要断裂,如德尔布干断裂、嫩江断裂、佳伊断裂、牡丹江断裂及敦密断

裂等,在电性特征上均有显示。嫩江断裂及牡丹江断裂附近的幔内高导层,正处在埋深由深变浅的转折位置,且为地震多发地段,显然它们可能是重要的构造界线。整体看,断面域壳内高导层由西向东逐渐抬升,埋深由西端的 32km 上升到东端的 20km。穆棱以东有十分明显的双层壳内高导层,自西向东逐渐变深至 20~35km,推断为大型缓倾斜构造面的显示。

3. 热流

仅就断面域及邻区所获得的热流数据看,盆地热流密度值高,如海拉尔盆地平均值为 59mW/m^2 (18 个数据),松辽盆地平均值为 70mW/m^2 (9 个数据),鸡西盆地平均值为 54mW/m^2 (3 个数据)。其它地区(山区)的热流密度值偏低,如满洲里只有 30mW/m^2 ,多宝山 40mW/m^2 (3 个数据平均),富锦为 48mW/m^2 。

大地热流密度值与幔内高导层埋深关系密切。幔内高导层上隆区偏高、下拗区偏低。它与 Moho 过渡带埋深也有一定关系,Moho 过渡带浅处(如松辽盆地)热流值高,深处偏低。

大陆地表的热流来自两部分,即从上地幔来的热流和壳内放射性元素产生的热能。从地幔热流的变化更能说明该区构造与岩浆的活动性。为了计算地幔热流密度值,我们根据 Cermak 提出的由地震波速转换生热率的方法,计算了岩石生热率的垂向分布,进而得出断面域地幔热流分布。依据地幔热流分布特征可以看出不同构造单元地幔热流密度值的差别。从西到东为:①额尔古纳为 23mW/m^2 ;②海拉尔盆地为 33mW/m^2 ;③大兴安岭为 33mW/m^2 ;④松辽盆地为 50mW/m^2 ;⑤佳木斯为 25mW/m^2 。可见,盆地两侧较老地块的地幔热流密度值偏低,而松辽盆地显著偏高,海拉尔盆地与大兴安岭地区居中。

松辽盆地与海拉尔盆地的热结构有很大差别。前者的地幔热流密度值为 50mW/m^2 ,后者为 33mW/m^2 ,各占地表热流值的 62% 及 52%。松辽盆地所以有如此高的地幔热流值,可能与其下部的热柱有关。两个盆地的地壳热结构也不相同。松辽盆地壳内 10km 以上层位对地表热流的贡献比下部层位大得多,而海拉尔盆地上、下部地层对地表的贡献几乎相等。这说明松辽盆地地壳内生热放射性元素向地表的富集程度比海拉尔盆地高。这一区别,也许对两个盆地的评价有所帮助。

4. 速度结构

对满-绥断面域的波速研究利用了四种方法,即由天然地震面波波散计算的 S 波波速(记为 V_s),由一般广角地震数据计算的界面 P 波波速(记为 V_p),由回折波 CT 成像技术计算的随深度变化的 P 波波速(记为 $V_p(h)$)和由近垂直反射数据计算的层速度(记为 V_n)。

V_s 与 V_p 的图像所反映的地壳速度结构基本上呈层状,难以反映介质中波速不均匀性。因此本节着重讨论 $V_p(h)$ 与 V_n 的分布特征。 $V_p(h)$ 与 V_n 可以较细地反映介质中波速变化。

自大兴安岭东侧至哈尔滨附近,松辽盆地宽约 450km。沉积盖层平均波速为 4.85km/s 。底界面速度在横向上变化较大,如齐齐哈尔下方为 6.15km/s ,向东南 70km 处变为 5.70km/s ,至大庆附近增为 6.30km/s 。齐齐哈尔以西 20km 处,速度等值线分布呈现局部弯曲状态,这可能是介质有明显的变化,或者是断裂构造的反映。盆地以下地壳的中间层,若以速度为 6.40km/s 的等值线为界,分为上下两部分:上部约 10km 厚度范围内,速度具有复杂的变化,如在 12km 左右深处,高速与低速相间,速度等值线弯曲多变,以至局部封

闭;在 6.40km/s 这个界线以下直至 Moho 过渡带速度变化较小。海拉尔下方有一宽约 60km 的高速块体,其东侧有一个低速块体。松辽盆地下方,除大庆之下深 16km 左右有一高速异常体外,速度变化是简单的。

Moho 过渡带之上的平均速度,断面的西部、中部、东部分别为 6.40km/s、6.25km/s 和 6.45km/s,并且 $V_p(h)$ 具有不均匀变化的特点。Moho 过渡带的速度变化较小。免渡河以西为 8.10km/s,甘南至尚志附近的 600km 范围内均为 8.00km/s,尚志以东为 7.80~8.00km/s。该速度与折射的结果相吻合。需要指出的是,上述讨论仅指“界面”而言。实际上 Moho “界面”本身是一个具有一定厚度的带(我们称之为过渡带),而且具有内部结构。例如甘南以西 180km 范围内, Moho 过渡带呈现极为复杂的结构。这一段 Moho 过渡带的上覆地壳为高速,而且该段 Moho 过渡带的震相反射同相轴呈叠瓦状,纵向上重复出现。这一结构意味着该段 Moho 过渡带的物质组成或状态是不均匀的。这种具有一定结构的不均匀性,可能蕴藏着更为深刻的、有待查明的深部动力学背景。

基于近垂直反射所得哈尔滨东、肇州、安达与泰康东的四条层速度平均曲线,可见自安达向东,具有相似的变化,即有两个高速层与两个低速层。第一个高速层,在安达的深度为 9km,肇州为 10km,哈尔滨东为 12km。速度值分别为 6.60km/s、6.70km/s 与 7.20km/s。第二个高速层,深度分别为 21km、21km 与 20km,速度值分别为 7.70km/s、7.80km/s 与 7.80km/s。第一个低速层的深度分别为 14.0km、16.0km 与 17.0km;相应的速度分别为 4.80km/s、5.50km/s 与 6.20km/s。第二个低速层为 28km、27km 与 26km,速度分别为 6.20km/s、6.50km/s 与 6.40km/s。也就是说,自安达向东,第一高速层渐深,第二低速层渐浅,二者呈逐渐靠拢的趋势。同时, Moho 速度跃变点亦渐浅,分别为 32km、32km 与 29km。由安达向西至泰康,层速度变化平缓。与前述的第一高速层相应的高速层在此仍有表现,深度约 9km,速度约 6.30km/s。该高速层之上的地层速度虽然是递增的,但变化率不稳定,之下的地层在 12.5km 处稍有降低,即由 9km 深处的 6.30km/s 变为 6.10km/s,表明第一低速层到了这里已经变得不明显。再向下部,波速呈稳定递增变化,在约 34km 深处出现 Moho 速度跃点。

对于 Moho 过渡带的速度而言, $V_p(h)$ 与 V_n 两种速度的数值与深度变化基本一致。即 $V_p(h)$ 在 Moho 过渡带的下为 8.00km/s,深度从大庆的 33km 缓慢地变至哈尔滨的 29km。而 V_n 在 Moho 过渡带的下亦为 8.00km/s,深度从安达的 32km 变至哈尔滨的 29km。对比之下,上部地壳的 $V_p(h)$ 和 V_n 变化是剧烈的。如哈尔滨附近, $V_p(h)$ 在 15km 处出现低速体, V_n 在 17km 深处为低速层。又如泰康东,在 8km 深处呈现一个高速体, V_n 在 9km 深处为不明显的高速层。此外, $V_p(h)$ 在大庆至肇州间深 17km 处有一高速体, V_n 在 20km 左右为一高速层。下部地壳的速度分布,仅在大庆以西两者基本一致。以东 V_n 表现出复杂的变化,特别是向东抬起的低速层尤为醒目。

这种速度变化的地质含意是极为深刻的。基于我们的综合分析,地壳的低速层可能是某种构造带的显示,要么是低角度的推覆,要么是滑脱,或者是二者叠加。而且其中可能不同种程度地充填有流体。至于低速层的横向变化,可能起因于岩性的横向差异。被夹在低速背景中的高速层,可能是由变质较深或较偏基性的岩石组成,其所以在这里出现,也必有它们的构造原因。

尽管我们在满-绥断面域的松辽盆地进行了仅 130km 的垂直反射地震观测,但确实

得了该范围内地壳精细结构图像，这为我们提高断面域的研究水平，起了重要作用。

安达—肇州 60km 的反射剖面，深、浅部的震相均清晰可靠。哈尔滨 9km 的反射剖面，浅部的透明性好，深部的震相可靠。西部 65km 的反射剖面用可控震源，取得的中上部震相清晰可靠，下部震相呈断续同相轴，但层位可以对比连接。因此把这些剖面连为一体是可信的。

在连接起来的 130km 垂直反射地震剖面上，从速度结构看，地壳似可分为上下两部分。上部以 6s（约 17km）为底界，呈现缓倾斜的推覆、拆离的复杂结构。6s 以下为下部，构造面相对平缓。以大庆为界西东两侧又略有差别，西段为断续平缓交叉断裂，东段的断裂倾角较大。

垂直反射地震提供了丰富的地质信息。例如安达附近由一条拆离断裂和松辽盆地沉积底界面圈围了一个高速、高密的块体，可能为某种古老基底的残留体。又如泰康东盆地底界面下，出现了一个低速、透明的块体，可能是遭受到剪切破裂的含水花岗岩体。

松辽盆地的底界面自西向东呈现抬起→下降→抬起→下降→抬起的状态，最深处位于大庆附近，约 14km，最浅处位于哈尔滨东，约 3km。在肇州附近深约 10km。登娄库组底界面反射连续性好，与盆地底界面的升降状态相似。上覆的沉积层以扶扬油层 T_2 为最强，并且正断层发育。在剖面的下部，以安达为界，以西具有多组向西抬起的拆离断裂，主要延展形式包括透镜体状、平行、折升、穿插等。安达以东为向东抬起的拆离断裂伴随零星的近水平构造线。在肇州地壳下部变得复杂，断续的强构造线方向多变，拆离断裂向东抬起的角度多于三组，延伸的长度少则几公里，多则几十公里。这些拆离断裂看来多经历了推覆-滑覆的多期活动过程。

反射地震剖面给出了 Moho 过渡带更为精细的内部结构图像。从泰康东至大庆，Moho 过渡带的厚度从 2km 变至 7km，Moho 过渡带顶面较平缓，底面起伏剧烈。Moho 过渡带的内部呈弯曲的震相线，颇与物质流变的形态相似。从大庆到肇州，Moho 过渡带厚度较薄为 3km。在 40km 的水平距离内，Moho 过渡带抬起约 5km。哈尔滨附近的 Moho 过渡带深度最小，为 29km。

Moho 过渡带的顶面，并非都是连续的。如在肇州附近，Moho 过渡带“裂开”了。地震图上表现为透明的火炬状。这些“切断”Moho 过渡带顶面的火炬状体，高约 10km，宽近 10km。推测为岩浆房。Moho 过渡带之下，一般为一些断续的反射震相，表明这里也是有结构的，只不过因信息微弱，暂时难于深入分析罢了。

已识别出松辽盆地之四条低角度断裂，被称之为 HD_1 、 ZD_2 、 AD_3 和 DD_4 。其中 HD_1 位于哈尔滨剖面上，该断裂的震相不明显，由在它上下的反射层信息可以确定之。预计剖面若继续东延，将可能呈现 HD_1 的整体形态。肇州附近的 ZD_2 西端深 6km，东端深 16km，呈叠置结构，横向延伸 30 余公里，下降梯度约为 0.3km/km，震相明显，多相位、多组结构。安达附近的 AD_3 与 ZD_2 几乎平行，延伸长度也达 30 余公里， AD_3 包含两套层位，分别有 2~3 个相位，有较好的连续性，向西呈喇叭口状，经过偏移处理， AD_3 仍然存在。在大庆西从松辽盆地底界面开始向东下倾，有一个延伸约 50km 的拆离断裂 DD_4 ，它从 7km 降至 17km，震相表现出断续的多相位，并具横向变化。 DD_4 的存在使该断面的上部地壳更加活动。 DD_4 即是通常所谓的“北安-大庆-大安”断裂的中段部分。

松辽盆地的“上拗下断”的基本图像在垂直反射地震剖面上有清晰的显示。其中较具