



中国东北地区 地球物理位场与构造形迹

张凤旭 张兴洲 张凤琴 等著



地质出版社

中国东北地区地球物理 位场与构造形迹

张凤旭 张兴洲 张凤琴 韩江涛 王彦国 周建波
孟令顺 刘国兴 范美宁 林泽付 管彦武 许家妹

著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内容提要

本书针对东北地区的实际情况开发了三方向小子域滤波、断层倾向分析等技术,将重力一阶导数分析、断层倾向分析和欧拉反演的结果进行了有效的叠置,解决了断裂构造产状分析的难题;将改进的三方向小子域滤波技术应用于东北地区位场面积性资料处理中,突破了传统的重力异常分区模式。上述方法技术在实际应用中取得了良好的效果,为通过位场研究分析区域性和深部地质构造问题,深化地质认识提供了可能。

本书可供从事地球物理勘探、深部地质研究的科研人员,以及有关高等院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国东北地区地球物理位场与构造形迹/张凤旭等

著. —北京:地质出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 116 - 08673 - 9

I. ①中… II. ①张… III. ①地球物理场—研究—东北地区②构造形迹—研究—东北地区 IV. ①P562.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 304263 号

责任编辑:祁向雷 陈 磊

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324519 (办公室) (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 82310759

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12.5

字 数: 300 千字

版 次: 2013 年 12 月北京第 1 版

印 次: 2013 年 12 月北京第 1 次印刷

审图号: GS (2013) 5011 号

定 价: 58.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 08673 - 9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

地球物理位场方法作为区域和深部地质构造研究的重要手段，不仅在揭示地壳乃至岩石圈尺度上的深部构造特征，探索地球深部动力学机制等方面发挥着不可替代的作用，而且在深化区域地质理论认识，探索深部矿产资源勘查新领域等方面发挥出越来越重要的作用。因此，地质与地球物理研究的紧密结合已经成为实现地质理论创新和深部找矿突破的必然途径。本书以国土资源部“松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区”国家专项项目的地球物理研究成果为基础，结合相关的地质、石油地质研究成果，对东北地区的地球物理位场特征做了系统的分析和总结，从地球物理特征方面对东北地区构造单元划分、盆山体系的深部结构、主要深断裂构造格架及上古生界的深部分布特征等一些重要的基础地质问题进行了分析和探讨。

研究区涵盖了北纬 40° 线以北的中国东北部广大地区，包括黑龙江省和吉林省，以及内蒙古自治区东北部和辽宁省北部，总面积约 $140 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区内包括 4 个主要地质构造单元，由西向东依次为额尔古纳-兴安地块、松嫩地块、佳木斯地块和完达山地体，前三者是早古生代早期变质固结的前寒武纪地块，之上发育有未遭受区域变质的古生代沉积盖层，后者是东北亚大陆东缘巨大的锡霍特-阿林中生代增生杂岩的一部分。上述构造单元多被中-新生代盆地所覆盖，盆地总面积近 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其中，西部地区的代表性盆地有漠河盆地、海拉尔盆地、二连盆地及根河盆地和拉布大林盆地；中部地区的代表性盆地有松辽盆地、大杨树盆地和孙吴-嘉荫盆地；东部地区的代表性盆地有佳伊地堑、三江盆地、勃利盆地、鸡西盆地、虎林盆地、敦密地堑和延吉盆地等。

“松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区”国家专项项目研究过程中，重点针对地球物理资料空缺或比例尺小等信息不足的区域实施了 7 条非震地球物理（重力、磁力和电法）剖面，剖面总长度为 3412km。为提高非震地球物理剖面和重磁连片处理解释的精度和可靠性，在总结位场特征的同时，重点采集并收集了大量岩石磁化率、密度物性数据和相关的地震反射剖面及钻井岩心资料作为非震地球物理资料解释的约束条件，对东北地区各基底构造单元及其之上古生界和中-新生界的分布特征进行了重、磁、电、震、井联合正演模拟，为深入研究东北地区的深部构造与物质构成，分析该区晚古生代以来的构造与沉积演化规律，综合评价油气勘探新区和新层系的油气地质条件和资源前景提供了丰富的深部地球物理实际资料和证据。

项目研究过程中,本着重点解决地质问题的思路,针对东北地区的实际开发了三方向小子域滤波、断层倾向分析等技术。将重力一阶导数分析、断层倾向分析和欧拉反演的结果进行了有效的叠置,解决了断裂构造产状分析的难题;将改进的三方向小子域滤波技术应用于东北地区位场面积性资料处理中,突破了传统的重力异常分区模式。上述方法技术在实际应用中取得了良好的效果,为通过位场研究分析区域性和深部地质构造问题,深化地质认识提供了可能。研究中揭示并提出的主要地质问题和认识有:

(1) 揭示出黑河—齐齐哈尔—白城一线存在一向西倾斜的俯冲构造。航磁特征显示,串珠状高磁异常带沿黑河—嫩江—齐齐哈尔—白城一线展布,与沿线分布的大量基性—超基性岩带位置对应;重力延拓结果显示,随着延拓深度增大,重力异常梯度带向西偏移;大地电磁测深结果显示,在松辽盆地西缘的齐齐哈尔之下存在一明显向西倾斜的低阻异常,深度大于20km。这些证据不但揭示出松辽盆地与大兴安岭之间存在一深度较大的物性异常,是重要的盆山构造转换带,而且为松嫩地块和兴安地块间存在古俯冲碰撞带的地质认识提供了深部地球物理证据。

(2) 揭示了西拉木伦河断裂向东、西两侧延伸的位置及其深部产状特征。该断裂沿西拉木伦河河道,经开鲁、通辽与长春东南部伊通盆地内的2号断裂相连,并转为北西走向延至敦密断裂,在敦密断裂以东,该断裂仍呈北西走向,但向北错移到汪清—珲春一线。地质上,这一断裂常被作为华北板块与东北陆块(“佳蒙地块”)间的碰撞缝合带。地球物理场特征显示,在佳木斯—伊通断裂以西的西拉木伦河断裂总体呈近东西向展布,且深度较大、产状近直立,与地表地质确定的断裂带位置基本一致,但在佳木斯—伊通断裂以东地区,该断裂不但明显呈北西向斜列式展布,其东段向北东方向发生较大距离的错移,而且深部异常特征不明显。上述证据表明,西拉木伦河—开鲁—长春—汪清—珲春一线存在一重要的深断裂,是华北板块与东北陆块间的碰撞缝合带,这一缝合带在佳木斯—伊通断裂以西地区保存完好,但在以东地区被中生代构造强烈改造,并向北东方向发生较大规模的左行位移。因此,吉林东部以延吉盆地为代表的中—新生代盆地的基底不是东北陆块,而应属于华北板块北缘增生区。

(3) 综合地球物理证据显示,传统上作为佳木斯地块与完达山地体之间分界构造的同江—密山断裂之下并无明显的异常反映,说明该断裂不是一个延伸很大的断裂;大地电磁测深和磁法证据显示,同江—密山断裂以东地区出露的洋壳组合(超镁铁质岩、堆晶辉长岩和枕状玄武岩等)以高磁、高阻为特征,高阻层厚度小于3km,叠置在均匀的低阻异常体之上。这些证据显示,完达山地体的基性—超基性岩石是无根的,它们是逆冲推覆到高阻大陆地壳之上的洋壳残片。结合地质证据,这套基性—超基性岩被含堇青石的花岗岩所侵入,这一地质证据充分说明这些基性—超基性岩是无根的,之下存在有富铝质的地壳。由此说明,所谓的同江—密山断裂不是一个控制构造单元的深断裂,而是逆冲推覆构造的前端。

(4) 大地电磁测深结果揭示, 东北地区的中-新生代盆地在垂向上普遍具有两低阻层夹一高阻层的“三明治式”电性结构特征。目前的钻井资料揭示, 部分高阻层为火山岩, 部分为上古生界, 部分钻井已见明显的油气显示。因此, 这种“三明治式”电性结构区的油气地质意义值得高度关注。

(5) 剩余重力异常场、大地电磁测深和二维地震资料显示, 在三江盆地东部的抚远-宝清以东地区的第四系之下存在一北东向展布的隐伏的低密度和低电阻率异常。异常宽度 20~30km, 深度 5~6km。这一深度较大的低阻异常与佳木斯地块西侧的佳依地堑平行分布, 二者在垂向上均具有“三明治式”电性结构, 表明该异常可能是与佳木斯-伊通断陷同时形成的另一条重要的断陷构造。这一深断陷构造的进一步确定对深入认识黑龙江省东部地区中-新生代构造演化, 评价深部油气资源前景具有重要的意义。

(6) 重、磁、电、震、井资料的综合解释结果显示, 东北中西部地区的松嫩地块和兴安地块变质结晶基底之上普遍发育有晚古生代沉积, 它们在松辽盆地和二连盆地的中生界之下保存相对较好, 且具有东西向分块、南北向成带状的分布特征, 残余厚度一般在 4~8km 之间, 是有利的油气勘探新层系。

本课题主要研究人员为吉林大学张凤旭、张兴洲、张凤琴、韩江涛、王彦国、周建波、孟令顺、刘国兴、范美宁、林泽付、管彦武、许家妹、董瑞春、邵振华、郭灿灿、王选平、张旭晴、王明常。

各章节编撰人为张凤旭、张兴洲、王彦国、张凤琴 (第一章), 张凤旭、张凤琴、张兴洲、范美宁、管彦武 (第二章), 张凤琴、韩江涛、王彦国、张凤旭、林泽付、许家妹 (第三章), 张兴洲、张凤旭、张凤琴、周建波 (第四章), 张凤旭、韩江涛、周建波、孟令顺、刘国兴 (第五章), 张凤旭、张凤琴、张兴洲、孟令顺、刘国兴 (第六章)。书稿最后由张凤旭统一修改和编撰。张凤琴、王彦国负责部分图件清绘与制作。

本书在编撰的过程中, 得到了俄罗斯自然科学院外籍院士马志红教授的精心修改和指导, 在此表示衷心的感谢!

目 录

前 言

第一章 东北地区地质与地球物理研究概况	1
第一节 自然地理概况	1
第二节 地质研究概况	1
第三节 地球物理研究概况	4
一、地球物理研究概况	4
二、研究区存在的地球物理问题	7
第四节 位场异常正反演方法的优选与创新	8
一、余弦变换与离散余弦变换	9
二、断裂构造解析的正反演方法技术	10
三、磁源位置定性解析的视深度滤波技术	26
四、位场异常分离方法	30
五、地层正演拟合及界面反演技术	31
第二章 东北地区位场特征与构造单元划分	36
第一节 区域位场特征	36
一、重力场特征	36
二、莫霍面起伏特征	36
三、航磁异常特征	39
第二节 重力场三方向小子域滤波与大地构造单元	40
一、滤波结果揭示的构造形迹特征	41
二、重力场构造分区	45
三、主构造线的重力场分析	48
四、大地构造单元重新划分	51
第三节 东北地区重点勘探盆地的剩余场特征	51
一、重力异常剩余场的分离	51
二、重点勘探盆地的剩余场特征	52
第三章 非震地球物理剖面异常的结构特征	57
第一节 非震地球物理剖面数据采集与质量评价	57
一、重力测量野外工作及质量评价	57
二、磁力测量野外工作及质量评价	65
三、大地电磁测深野外工作及质量评价	70
第二节 非震地球物理剖面的位场异常与电性结构特征	74

一、实测剖面的位场异常特征	74
二、大地电磁二维反演电阻率断面的电性结构特征	82
第三节 实测剖面位场资料的处理与分析	91
一、霍林郭勒-长春剖面 (XQ01) 的位场异常处理与分析	91
二、本溪-松原剖面 (XQ02) 位场异常处理与分析	94
三、凌源-东乌剖面 (XQ03) 位场异常处理与分析	96
四、克尔伦-松原剖面 (XQ04) 位场异常处理与分析	98
五、柳河-吉林剖面 (XQ05) 位场异常处理与分析	102
六、和龙-春阳剖面 (XQ06) 位场异常处理与分析	104
七、查布嘎图-永安剖面 (XQ07) 位场异常处理与分析	106
第四章 东北地区主要断裂构造划分的地球物理场证据	108
第一节 黑河-齐齐哈尔-白城断裂	108
一、大兴安岭梯度带	108
二、黑河-齐齐哈尔-白城断裂划分的地球物理证据与地质意义	109
第二节 西拉木伦河断裂	110
一、西拉木伦河断裂在松辽盆地段的深部地球物理场证据	111
二、西拉木伦河断裂在佳木斯-伊通断裂与敦化-密山断裂之间延伸段的深部地球物理场证据	111
三、西拉木伦河断裂在敦化-密山断裂以东段的深部地球物理场证据	114
第三节 同江-密山断裂	116
一、地质上的界线——同江-密山断裂	116
二、地球物理界线——抚远-虎林断裂	117
三、“佳蒙地块”东界位置的地质和地球物理差异性讨论	118
第五章 典型盆地的地球物理场特征与地质意义	120
第一节 二连盆地“三明治”电性结构与地质意义	120
一、二连盆地 CEMP (连续电磁阵列剖面) 二维视电阻率反演	121
二、二连盆地二维电阻率反演结果的地质-地球物理解释依据	123
三、二连盆地二维反演电阻率断面的地质-地球物理特征	125
四、二连盆地“三明治”电性结构特征及其地质意义	127
五、二连盆地深部构造正反演及上古生界分布	128
六、二连盆地中-新生界与古生界的构造沉积演化特征	132
第二节 海拉尔盆地地球物理场与深部结构特征	133
一、海拉尔盆地 (XQ04 剖面西段) 正演模拟的约束条件	133
二、海拉尔盆地正演初始模型的建立与构造解释	135
三、正演模拟分析与古生界分布	135
第三节 松辽盆地地球物理场与深部结构特征	137
一、松辽盆地地球物理剖面正演模拟的约束条件	138
二、松辽盆地地球物理剖面正演初始模型的建立与构造解释	138

三、松辽盆地地球物理剖面正演模拟分析与古生界分布 144

第四节 虎林盆地位场特征与盆地二分的构造意义 147

一、虎林盆地重力场的分离及异常分区 147

二、基底深度反演 149

三、盆地单元结构的地质-地球物理综合分析 150

四、盆地构造单元的重新划分 152

第五节 伊通盆地地球物理位场特征与断裂系统的解析 153

一、伊通盆地布格重力异常的基本特征 154

二、伊通盆地断裂构造的划分 155

三、断裂划分的其他地球物理证据 157

四、伊通盆地的“三明治”电性结构解析 159

五、断裂构造的基本性质及构造动力学解释 159

第六节 “大三江盆地”地球物理位场特征与地堑式构造 161

一、“大三江盆地”的重力场分析 162

二、“大三江盆地”的电性结构分析 164

第七节 延吉盆地深部地球物理场与构造属性 165

一、延吉地区地球物理剖面正演模拟的约束条件 166

二、延吉地区地球物理剖面地质正演初始模型的建立 168

三、延吉盆地地球物理剖面正演模拟与构造属性 169

第六章 中国东北地区油气勘探远景探讨 171

第一节 吉-黑东部重力剩余场与油气勘探新领域 171

一、庆阳负异常圈闭区 171

二、桦南负异常圈闭区 172

三、敦化-密山负异常圈闭区 173

四、完达山负异常圈闭区 173

第二节 大兴安岭梯度带域地球物理场与油气勘探新领域 174

一、大兴安岭梯度带域地球物理剖面正演模拟的约束条件 174

二、大兴安岭梯度带域地球物理剖面地质正演初始模型的建立 175

三、大兴安岭梯度带域地球物理剖面正演模拟与古生界分布 176

四、大兴安岭梯度带域内的油气勘探新领域 177

第三节 东北地区上古生界分布规律与油气勘探远景区 178

一、上古生界分布的区域性地质特征 178

二、上古生界分布规律的地球物理场认识 179

三、新层系油气勘探远景区 179

参考文献 181

第一章 东北地区地质与地球物理研究概况

中国东北地区并不是海西期褶皱变质带，而是早泥盆世以来拼合成统一的复合地块，即“佳木斯-兴蒙地块”（简称“佳蒙地块”），其北界为蒙古-鄂霍次克缝合线、南界为西拉木伦-珲春缝合线、东界为中锡霍特缝合线。本章阐述了中国东北地区的地质与地球物理研究概况，在此基础上，详细地论述了在“佳蒙地块”这一重大地质理论研究中，优选和创新的地球物理位场研究模式和研究方法，为后文解决“佳蒙地块”的断裂构造格架、典型盆地的深部结构特征等重大的地质问题提供地球物理理论与方法、技术的支持。

第一节 自然地理概况

研究区位于北纬 40°线以北的中国东北部广大地区，包括黑龙江省、吉林省和内蒙古自治区东部及辽宁省北部部分地区。研究区主体分别以额尔古纳河、黑龙江和乌苏里江为界与俄罗斯接壤，东南部与朝鲜接壤；西部与蒙古国接壤。区内分布的山脉有大、小兴安岭，张广才岭，老爷岭，长白山以及完达山。平原主要有三江平原和松嫩平原。山区海拔在 600~1400m，平原地区海拔为 50~200m。涉及的主要盆地为：西部的海拉尔盆地、二连盆地、突泉盆地和扎鲁特等盆地，中部的大杨树盆地、松辽盆地、孙吴-嘉荫等盆地，东部的大三江盆地、延吉盆地、梅河盆地和柳河等盆地。

研究区主要发育黑龙江、松花江、乌苏里江及嫩江，均属于黑龙江水系。除黑龙江中段河水走向为北西外，其上游的额尔古纳河、支流松花江、乌苏里江等河水流向均为近北东向或者北东向。区内较大的湖泊有呼伦湖、贝尔湖、兴凯湖、镜泊湖和五大连池。

研究区气候大部分属于中温带。最北部漠河地区属于北温带，同属大陆性季风气候，是我国气温最低的区域，季节冬长夏短，冬季在极地大陆气团控制下，气候严寒、干燥；春季干燥多风、夏季酷热多雨，秋季温和凉爽，降温急剧，年平均降水量 425mm，雨量 70%集中在 6~8 月。逢雨季，草地往往形成沼泽。总体上，适合野外测量时间较短，每年野外工作时间一般集中在 7~10 月之间进行。

研究区交通比较方便，主要的公路交通干线有国道 111 线、201 线、203 线等，省道 301 线、303 线和 308 线等。较大乡镇之间一般都有县道、乡道相连。这为野外数据采集提供了便利。

第二节 地质研究概况

研究区处于西伯利亚板块和华北板块所夹持的中亚构造带东端（图 1-1）。大地构造

上，该区西北以近东西向展布的蒙古-鄂霍次克缝合带为界与西伯利亚板块相邻；南以近东西向展布的西拉木伦河缝合带为界与华北板块为邻；东隔日本海与太平洋板块毗邻。这种特定的大地构造背景形成了东北地区独特的北东向盆-山体系构造格局。因此，该区也一直被视为是中国大陆内部研究古生代与中生代构造作用过程，即古亚洲洋构造域与滨太平洋构造域叠加转换机制最具代表性的地区。

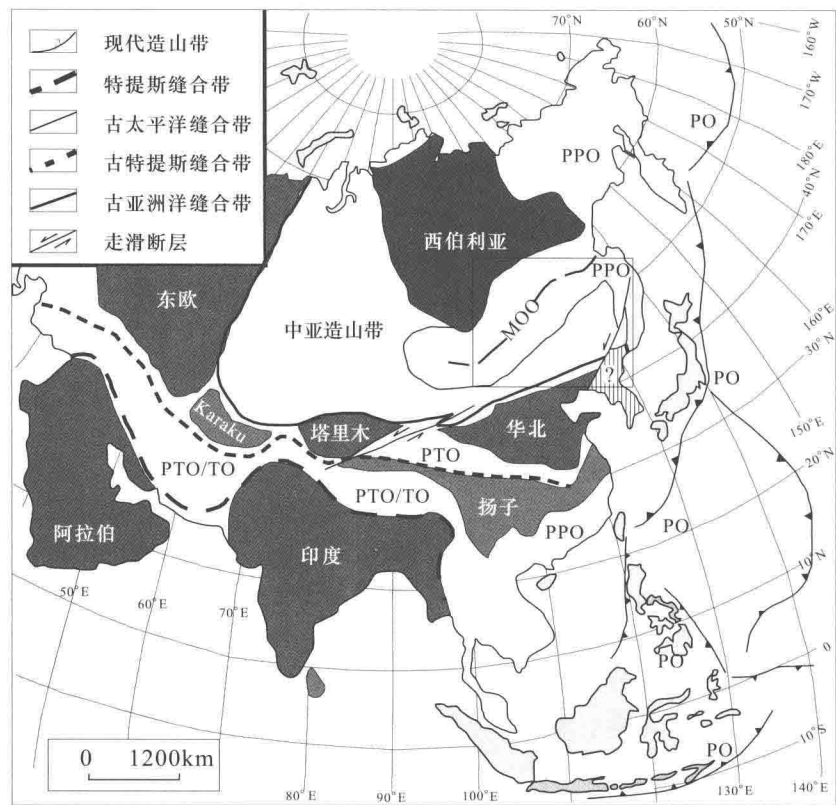


图 1-1 研究区大地构造位置图

(据 J. Y. Li, 2006)

PPO—古太平洋造山带；MOO—蒙古-鄂霍次克造山带；
PTO—古特提斯造山带；TO—特提斯造山带；PO—东亚环太平洋造山带

黄汲清等（1962）根据地槽发展多旋回模式，将该区主体分为内蒙古-大兴安岭和吉黑两个多旋回演化的地槽褶皱系，时代为华里西期，同时指出东北地区以佳木斯地块为代表的变质构造单元是华里西期地槽褶皱系中经“兴凯运动”最终固结的前寒武纪地块。20 世纪 70 年代，黄汲清等（1977，1980）又根据生物群特点的不同，将延边地区从吉黑褶皱系中划出，归入滨太平洋地槽褶皱系。任纪舜（1984）强调了印支运动在研究区构造演化中的重要性，认为印支期是研究区多旋回地槽褶皱系的最终褶皱期。在槽台多旋回理论发展的同时，李春昱等（1984）首先应用板块构造理论划分了中国大陆的板块构造轮廓，在东北地区划分了 4 条板块俯冲带。这一划分方案将索伦山-贺根山晚古生代俯冲带作为华北板块与西伯利亚板块的最终缝合带，将那丹哈达岭早中生代俯冲带作为太平洋板块向东亚大陆俯冲的标

志, 并认为这是导致东北地区宽阔的中生代钙碱性岩浆岩带和东部深源地震发生的原因。

20 世纪 90 年代, 张贻侠等 (1998) 通过对满洲里-绥芬河地学断面的深部地球物理与区域地质的综合研究, 提出东北地区的佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳-兴安地块等曾是独立演化的微板块, 这些微板块于早石炭世拼合成一个统一的大陆。谢鸣谦 (2000) 也提出中国东北及邻区的大地构造格局主要由微板块和之间的造山带所构成的认识。余和中等 (2001) 根据松辽盆地周边地区构造、沉积和古地理特征研究, 结合盆地内钻井及地球物理资料, 认为佳木斯地块与松嫩地块在早泥盆世完成拼接, 额尔古纳地块与松嫩地块于晚泥盆世—早石炭世完成拼接。翟光明等 (2002) 根据对东北地区地质-构造背景和长波航磁异常解释结果, 提出该区可能存在“兴-蒙陆块”的认识。

虽然在本世纪初人们已普遍认识到东北地区的前中生代构造格局由多个相对稳定的陆块拼合而成, 但由于受华里西期变质褶皱带或碰撞造山带观念的影响, 多数研究者仍将前中生界作为中-新生代盆地的结晶基底 (余和中等, 2003; 沈安江等, 2006; 张吉光等, 2007; 刘昭君, 2007)。

随着国家对油气资源的迫切需求, 从 2004 年起, 国土资源部油气资源战略研究中心以加速我国油气勘探新区、新领域和新层系调查研究为目标, 组织实施了国家油气资源战略选区专项研究工作, 其中, 吉林大学承担的“大庆探区外围中-新生代盆地演化及油气前景”项目 (2004~2008) 通过大量的基础地质研究, 证明东北地区广泛分布的上古生界没有遭受区域变质, 大面积分布的花岗岩的形成时代为中生代, 而非传统所认为的晚古生代。同时提出, 东北地区在晚古生代期间的构造性质并非是造山带背景, 而是一个相对稳定的构造单元, 早古生代早期的变质结晶基底之上发育有厚度巨大的上古生界, 其中暗色泥岩发育, 油气地质条件良好。吉林大学的研究者将这一稳定的构造单元谓之“佳木斯-兴蒙地块”, 简称为“佳蒙地块” (王成文等, 2008, 2009; 张兴洲等, 2008; 周建波等, 2009)。该地块的基底构造单元由西向东主要由额尔古纳-兴安地块、松嫩地块和佳木斯地块 3 个早古生代早期 (峰值年龄 500Ma) 变质固结的前寒武纪陆块所构成, 它们在晚石炭世前拼合成统一的构造单元, 之上发育了区域性分布且厚度巨大的上古生界沉积; 中生代完达山地体增生到该构造单元东缘, 东北地区整体转为滨太平洋构造域, 在晚古生代沉积盆地之上叠加了规模巨大的晚中生代含油气盆地。

上述进展改变了东北地区中-新生代盆地之下为晚古生代变质结晶基底的传统认识, 为开展东北地区中-新生代盆地之下上古生界油气勘探新层系研究提供了重要的地质理论基础和丰富的实际地质资料。在此基础上, 国土资源部油气资源战略研究中心和中国地质调查局从 2009 年起, 分别针对东北地区上古生界油气资源前景组织实施了“松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区”国家第二批油气资源战略选区专项 (2009~2012) 和“松辽盆地深部及外围油气基础地质调查”中国地调局计划项目 (2011~2015)。这些项目已经取得的成果进一步证实和揭示了东北地区上古生界具有良好的油气资源前景, 目前, 东北地区的上古生界已普遍被各油田企业作为重要的油气勘探新层系。

本书内容作为“松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区”国家专项项目下设的“松辽盆地及外围上古生界石油地质综合研究”子项目 (2009~2012) 的一部分, 重点通过地球物理位场特征的研究, 并结合地质和地震及钻井资料的综合分析, 对东北地区主要构造单元的横向与垂向构造关系及组成特点提出了解释, 其主要目的是为深化地质认识,

优选有利油气勘探区域提供深部证据。

第三节 地球物理研究概况

一、地球物理研究概况

几十年来,围绕东北地区的油气勘探与开发,各油田公司在该区开展了大量的非震和二维、三维地震等地球物理勘探工作,积累了大量的实际资料。但早期的地球物理勘探工作主要集中在诸如松辽、海拉尔、二连及三江等大-中型盆地内部,且勘探深度有限;盆缘及盆山结合区域的地球物理勘探工作基本上处于空白状态。20世纪80年代末至90年代初,配合国际岩石圈研究计划的实施,中国岩石圈委员会在我国东北地区布设了满洲里-绥芬河和东乌旗-东沟两条地学大断面,分别由原长春地质学院和辽宁地震局组织实施。这两条地学大断面垂直东北地区北东向总体构造格局,由西向东穿越了东北地区中部和南部主要构造单元。首次通过地质、地球物理和地球化学等多学科的实际调查与综合研究,揭示了东北地区深达岩石圈地幔的结构、构造与组成特征,并从岩石圈尺度上对该区的构造演化提出了全新的解释(卢造勋等,1992;张贻侠等,1998)。《中国满洲里-绥芬河地学断面》(张贻侠等,1998)根据多学科综合证据,提出有如下主要认识:

(1) 东北地区的基底构造单元由多个微板块拼合而成,拼合时代为早石炭世。

(2) 莫霍面不是一个连续的界面,而是一个具有一定厚度,且在横向上存在明显间断的过渡带。低速与高速相间的莫霍过渡带在大兴安岭主脊之下厚度最大,达12km,向东西两侧逐渐减薄;莫霍间断主要出现在大的构造单元之间。

(3) 软流圈隆起与大型盆地沉积中心呈镜像关系,但莫霍隆起与松辽盆地的沉降中心不呈镜像关系,总体偏于盆地东部,与松辽盆地东部存在大型向东倾斜的拆离构造相对应。

(4) 指出在松辽盆地东部的肇东附近和海拉尔盆地深部(3000~10000m)存在明显的流体富集区。

地学大断面成果从岩石圈尺度上为深化东北地区大地构造演化的认识起到了重要作用,极大地提高了东北地区深部地质与构造研究程度。到目前为止,这两条地学大断面成果仍是该区研究方法最全、揭示深度最大和最为系统的综合性剖面资料,成为该区区域构造和深部构造及演化研究的重要基础。

1993~1994年,受中国石油天然气总公司委托,辽河石油勘探局和原长春地质学院共同承担了“下辽河盆地及其外围中生代区域构造和深部构造研究”项目,在松辽盆地南缘地区完成了3条总长度970km的大地电磁测深剖面,揭示了该区主要断裂及低阻异常区的分布特点。1996~1999年,大庆油田公司为揭示松辽盆地深层及基底构造特征,在松辽盆地北部实施了6条深反射地震剖面(地震记录长度15s)和重、磁、电测深剖面(松深I、II、III、IV、V和VI),剖面总长度1030km。松深大剖面取得的主要成果和认识:

(1) 揭示出松辽盆地北部中-新生界之下存在厚度较大的石炭系一二叠系。

(2) 上古生界存在明显的褶皱和推覆构造。

(3) 松辽盆地基底中发育犁式断裂，以网状反射结构和高导电性为特征。

(4) 莫霍面与松辽盆地等断陷盆地呈“偏移镜像”关系。

松深大剖面成果为揭示松辽盆地的深部结构、构造及组成提供了重要信息。到目前为止，这一成果仍是盆地内部揭示深度最大、探测精度最高和最为系统的地球物理资料，成为研究松辽盆地深部构造与组成的骨干剖面。

该区大规模的区域性地球物理调查工作开始于 2005 年。随着国家油气资源战略选区项目的开始，吉林大学在一轮选区项目“大庆探区外围中-新生代盆地演化与油气前景”实施过程中，分别于 2005 和 2006 年在东北北部地区完成非震地球物理剖面 12 条（表 1-1，表 1-2，），剖面线总长度 3127km。2009~2011 年，吉林大学在承担第二轮选区项目“松辽盆地及外围上古生界石油地质综合研究”过程中，又在东北南部地区完成了 7 条非震地球物理剖面，剖面线总长度 3412km（表 1-3）。其中，地面重力剖面数据采集比例尺为 1：5 万，地面磁力数据采集比例尺为 1：5 万，大地电磁测深点距为 3~5km。与此同时，沈阳地调中心承担的“松辽盆地深部及外围油气基础地质调查”中国地调局计划项目不但在松辽盆地西侧开展了一系列非震地球物理测深工作，而且实施了由西向东穿越海拉尔盆地、松辽盆地、勃利盆地和虎林盆地的深反射地震剖面。

表 1-1 大庆探区外围非震地球物理剖面位置（2005 年）

线号	起始点号	经度	纬度	长度/km
1	起点	119°55′52.07″	50°49′12.75″	360.3
	终点	119°43′52.28″	48°28′56.55″	
2	起点	120°15′50.41″	51°30′26.39″	359.6
	终点	124°15′54.42″	50°16′24.60″	
3	起点	123°39′54.94″	53°18′27.69″	153.8
	终点	123°13′59.50″	52°11′35.80″	
4	起点	120°43′10.88″	49°15′48.78″	468.6
	终点	124°53′44.06″	47°11′40.25″	
5	起点	127°12′34.07″	49°05′14.21″	140.2
	终点	126°44′46.60″	48°04′30.86″	

上述地球物理剖面基本穿越了东北地区主要盆地和基岩出露区，为全面系统地研究与揭示东北地区的深部构造与组成特征积累了丰富的实际资料。主要区域性地球物理勘探工作程度见图 1-2。

表 1-2 大庆探区外围非震地球物理剖面位置（2006 年）

线号	起始点号	经度	纬度	长度/km
1	起点	124°07′42.01″	47°57′50.15″	361.1
	终点	126°51′08.91″	47°22′14.61″	
2	起点	124°32′36.02″	47°23′13.48″	229.8
	终点	126°43′58.12″	46°37′52.59″	

表 1-3 最新完成的野外非震地球物理剖面位置

年份	剖面编号	起始点号	经度	纬度	长度/km
2009	XQ01	起点	45°33′38.08″	119°39′53.05″	591
		终点	43°55′14.00″	125°14′27.63″	
	XQ02	起点	41°13′38.03″	123°45′22.15″	536
		终点	45°10′07.95″	124°48′36.38″	
	XQ03	起点	41°15′53.87″	119°23′42.09″	665
		终点	45°44′49.73″	116°14′50.73″	
2010	XQ04	起点	48°13′27.26″	115°51′21.59″	971
		终点	45°06′25.40″	124°46′59.68″	
2011	XQ05	起点	42°19′27.16″	125°45′36.27″	210
		终点	43°45′40.03″	126°33′18.77″	
	XQ06	起点	42°34′25.07″	129°00′27.97″	232
		终点	43°48′58.05″	129°22′18.90″	
2012	XQ07	起点	44°16′13.60″	120°57′24.89″	207
		终点	45°47′57.12″	121°38′30.48″	

二、研究区存在的地球物理问题

东北地区是我国最重要的石油工业基地。几十年来，大庆油田、吉林油田、东北石油局和华北油田等油田企业为国家的经济社会发展做出了巨大贡献。但经过近 50 年的勘探与开发，我国传统意义上的主力油田多已进入萎缩阶段，因此，应用新的理论和方法技术寻找油气勘探新区、新领域和新层系，为国家经济社会快速发展和油田企业自身发展提供充足的接续资源已经成为一项十分紧迫的任务。目前，有关东北地区构造单元划分、构造性质及其组成已经提出了新的地质认识，为油气勘探新区与新层系研究提供了地质理论基础，同时，无论是盆地内部还是盆地外围的基岩出露区都已积累了大量的地球物理资料。这些认识和实际资料显示出东北地区的中新生代盆地和火山岩覆盖区之下可能存在具有油气勘探新区和新层系的有利异常区域，并已受到油田企业的高度关注，作为今后油气勘探的重点领域。但制约上述问题深入的主要地球物理问题是：

- （1）盆地内部和外围基岩区的地球物理勘探程度和资料精度差异甚大，资料拼接难度很大，因此重磁连片处理结果对区域构造解释的可靠性有待提高。
- （2）盆地内部虽有大量的重磁电资料，并有大量的二、三维地震和钻井资料对其进行验证和标定，但目前的勘探深度普遍较浅，尚不能满足清晰解释中-新生界之下结构、构造及组成特征的需要。
- （3）基岩区的地球物理工作主要为重、磁、电剖面资料，基本上没有地震和钻井资料的验证，因此，非震资料所确定的一些异常区的地质和石油地质意义存在很大的不确定性。
- （4）岩石物性资料是地球物理资料处理解释的重要基础，但目前取得的物性资料地点

分散,尤为严重的是多数岩石的岩石类型没有经过详细的岩石学鉴定,所获的物性参数缺乏明确的地质意义,因此,在加强岩石物性研究的同时,要对其岩石样品进行详细的地质鉴定。

(5) 物性参数的提取尚无明确的标准。鉴于地球物理资料在岩性分层方面无法与地质剖面资料进行对比,因此,按组级地层单位或按岩性段加权提取物性参数,将大大提高地球物理资料的解释精度和可靠性。

(6) 传统位场正反演方法技术的局限性:目前,东北地区一些新的地质认识给地球物理数据处理方法与技术提出了更高的要求。以往的位场资料处理与解释多是针对盆地内部的油气勘探而进行,采用的方法也大都使用位场异常的解析延拓和导数分析等常规方法技术,对揭示区域性大深度的地质构造问题,诸如垂向沉积-构造层划分、盆山间的构造关系和主要断裂构造的产状等存在很大的不确定性。因此,针对研究区地质构造特点,优选和开发适合研究区位场数据处理的方法和技术是极其重要的。

为了解决以上地质问题,项目在对新完成的7条总计长度3412km的非震地球物理剖面进行资料数据处理过程中,采用了新的位场异常正反演方法,获得了良好的处理解释结果。

第四节 位场异常正反演方法的优选与创新

位场作为地球物理场的主要研究内容,从特定的角度、不同的层次反应了地壳结构与成分的变化。建立在位场理论基础上的重磁勘探是一门集物理学、数学及计算机科学等多学科知识为一体的地球物理学学科(徐宝慈等,1995)。由于重磁方法自身具有成本低、周期短、效果好等特点,已成为解决地质构造、固体矿产资源和一次性能源(石油、天然气和煤)的勘探、地震及地质灾害预测、环境及工程监测等方面问题不可缺少的重要手段(王谦身等,2003;罗孝宽等,1991;陈善,1986)。

频谱分析和滤波技术作为物探资料数据处理中的一种重要手段是与现代计算机的发展紧密相关的。早在20世纪50年代初期,滤波技术已在多种物探资料的数据处理中得到广泛应用并起着重要作用。当时二维资料处理还受到一定条件的限制,许多方法只局限于剖面解释,或局限于简单模型、简单滤波的研究,其中局部场与区域场的分离,求导和解析延拓是最早发展起来的。从20世纪50年代末到60年代,物探数据处理开始转向重视Fourier变换的滤波方法和波谱的研究(朱文孝等,1989;穆石敏等,1990;吴宣志等,1987;刘祥重,1993)。计算机成图的绘制和显示方法的发展使二维资料数字处理逐渐广泛地采用。1965年快速Fourier变换(DFT)的问世,使重磁资料数据处理中的波数域方法成为主要方法。

随着信号分析理论的发展与完善,位场数据处理的方法不再局限于Fourier频谱分析的理论。近年来,重、磁异常数据处理的方法技术已经渗透到Hilbert变换(Nabighian, 1972; Stanley et al., 1976, 1977; Mohan et al., 1982)、Hartley变换(张贤达, 2003; 胡广书, 2003)、离散余弦变换(DCT)(Ahmed et al., 1974; Rao et al., 1990; Dinstein et al., 1990; Cvetkovic et al., 1992)等信号分析领域中,在重、磁异常数据处