

黑龙江省遥感矿化蚀变信息提取方法研究

黑龙江省遥感矿化 蚀变信息提取方法研究

Heilongjiangsheng Yaogan Kuanghua Shibian Xinxi Tiqu Fangfa Yanjiu

初禹 付毓姣 王少华 郭令芬 丁宇雪 著

初禹 付毓姣 王少华 郭令芬 丁宇雪 著

中国地质大学出版社



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

黑龙江省遥感矿化蚀变信息提取方法研究

Heilongjiangsheng Yaogan Kuanghua Shibian Xinxi Tiqu Fangfa Yanjiu

初 禹 付毓姣 王少华 郭令芬 丁宇雪 著

内 容 简 介

本书全面介绍了遥感蚀变信息提取原理、技术路线、工作流程和相关技术要点。系统阐述了黑龙江省主要蚀变矿化类型的遥感异常特征,并在此基础上开展了成矿远景预测,为优选找矿靶区提供了科学依据。

本书可供从事遥感地质专业教学、科研及生产人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

黑龙江省遥感矿化蚀变信息提取方法研究/初禹等著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5625-3573-7

I. ①黑…

II. ①初…

III. ①地质遥感-应用-蚀变-方法研究

IV. ①P627

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 283548 号

黑龙江省遥感矿化蚀变信息提取方法研究

初 禹 付毓姣 王少华 郭令芬 丁宇雪 著

责任编辑: 张 林

责任校对: 戴 莹

出版发行: 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码: 430074

电 话: (027) 67883511

传 真: 67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本: 787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数: 304 千字 印张: 11.875

版次: 2014 年 12 月第 1 版

印次: 2014 年 12 月第 1 次印刷

印刷: 武汉市籍缘印刷厂

ISBN 978-7-5625-3573-7

定价: 48.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

遥感技术是 20 世纪 60 年代发展起来的一门新兴的综合性科学技术。从纷繁冗杂的遥感数据中有效、准确地提取专题目标特征信息,一直是遥感界努力探索的目标。围岩蚀变是成矿作用中经常发生的一种现象,是成矿的重要指示信息,围岩蚀变往往预示着矿体的出现,而提取热液蚀变岩石信息对找矿具有标志性意义,同时还可根据蚀变矿物的分布范围和强度预测矿产的种类及富集程度。

黑龙江省位于我国最北部,是植被高度发育覆盖区,尤其是黑龙江省北纬 48° 以北地区具有浅覆盖层较厚,裸露基岩较少的特点。笔者依托黑龙江省地质矿产勘查开发局 2012 年开展的地球化学、遥感和地质找矿信息研究为主的找矿靶区优选项目,尝试针对浅覆盖区开展矿化蚀变信息提取方法研究。此项工作为开展黑龙江省矿化蚀变信息提取方法研究打下了良好的基础。遥感蚀变信息提取的方法、技术和实践是本书介绍的重点。

本书是由黑龙江省地质调查研究总院长期从事遥感地质学研究的人员执笔,哈尔滨师范大学地理科学学院地理系矿物岩石矿床学专业相关教师辅助完成。本书共分 7 章 14 节。第一章概论,介绍遥感蚀变信息提取工作,黑龙江省矿产资源情况及国内外有关矿化蚀变信息提取方法研究;第二章蚀变信息提取技术路线,详细阐述遥感蚀变信息提取调查内容及技术路线;第三章数字图像处理,介绍蚀变信息提取采用的数据源及图像处理方法;第四章遥感蚀变信息提取,扼要介绍了信息提取的基本理论和基本方法;第五章蚀变信息提取应用实践,详细介绍了黑龙江省铁染异常信息特征和羟基异常信息特征,提取铁染异常区 316 处,铁染异常区面积 $27\,547.99\text{km}^2$,提取羟基异常区 353 处,羟基异常区面积 $33\,889.45\text{km}^2$;第六章遥感蚀变信息综合研究,获取黑龙江省潜在矿产资源的分布位置,圈定成矿远景预测区,圈定成矿远景区 33 个,远景区面积共计 $37\,370.85\text{km}^2$ 。第七章对本次黑龙江省矿化蚀变信息提取方法研究结果及存在的不足进行了综合阐述。

本书由初禹、付毓姣、王少华、郭令芬、丁宇雪主笔。参加写作的主要人员有张金莲、于荣文、耿卫华、周向斌、侯玉树、谭福成、高永志、杨汉水、孙长江、梁中梅,孙亮对全书的部分插图进行了清绘。

在写作过程中,我们参阅国内外及黑龙江省大量地质文献,并得到本领域专家马晓阳、耿卫华的指导和帮助;书稿在修改过程中,得到了中国地质大学(武汉)计算机学院陈伟涛老师等许多同志的帮助;谨在此一并表示感谢。

由于笔者的理论知识和工作水平有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请指正。

笔者
2014 年 6 月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 遥感蚀变信息提取工作简介	(1)
第二节 矿产资源概况	(5)
第三节 国内外研究现状	(10)
第二章 蚀变信息提取技术路线	(18)
第一节 遥感蚀变信息提取调查内容	(18)
第二节 遥感蚀变信息提取技术路线	(18)
第三章 数字图像处理	(20)
第一节 遥感蚀变信息提取数据源	(20)
第二节 图像处理	(24)
第四章 遥感蚀变信息提取	(32)
第一节 信息提取的基本理论	(32)
第二节 信息提取的基本方法	(36)
第五章 蚀变信息提取应用实践	(47)
第一节 黑龙江省铁染异常信息提取	(47)
第二节 黑龙江省羟基异常信息提取	(95)
第六章 遥感蚀变信息综合研究	(120)
第七章 矿化蚀变提取方法研究结果及不足	(180)
第一节 结 论	(180)
第二节 存在的问题及建议	(181)
主要参考文献	(182)

第一章 概 论

随着近年来矿产勘查步伐的加快,探矿权合作的不断加强,可供勘查的找矿靶区越来越少,以往历史积累的资料再开发已成为当务之急。为此,从地质找矿工作的实际需要出发,开展遥感和地质找矿信息相结合的找矿方法的研究。

第一节 遥感蚀变信息提取工作简介

采用遥感等先进理论和技术,以最新的遥感数据为基础,充分收集近年来新取得的地质资料和矿产信息,研究区域成矿规律和矿致异常特征,研究主要蚀变矿化类型的遥感异常特征,在此基础上,优选找矿靶区并择优进行踏勘性检查。

选用合适的遥感数据,对全省主要构造格架进行解译推断;选取合适的波段组合,研究主要蚀变矿化类型的遥感异常特征,通过踏勘性检查,建立主要蚀变矿化类型解译标志;研究遥感异常的分布规律和特征,优选找矿靶区。

在以往成矿规律研究和资源潜力评价的基础上,充分收集近年来取得的地质资料和矿产信息,结合新的成矿理论和找矿成果,研究全省主要金属矿产成矿规律和成矿条件,优选找矿靶区。

一、工作区地理位置及范围

工作区为黑龙江省行政管辖区域。黑龙江省地处中国东北部,是中国位置最北、纬度最高的省份,西起 $121^{\circ}11'$,东至 $135^{\circ}05'$,南起 $43^{\circ}25'$,北至 $53^{\circ}33'$,境内南北相距 1 120km,东西相距 930km(图 1-1)。北、东部与俄罗斯为界(边境长 3 200km),西部与内蒙古自治区相邻,南部与吉林省接壤。全省土地总面积 47.3 万 km^2 (含加格达奇和松岭区),居全国第六位。

全省共划 12 个地级市、1 个地区、18 个县级市、46 个县、1 个自治县、64 个市辖区。省会哈尔滨,是我国东北北部政治、经济、文化中心,是中国省辖市中面积最大、人口居第二位的特大城市。哈尔滨市位于东经 $125^{\circ}42'$ — $130^{\circ}10'$,北纬 $44^{\circ}04'$ — $46^{\circ}40'$ 之间,地处东北亚中心位置,被誉为欧亚大陆桥的明珠,是第一条欧亚大陆桥和空中走廊的重要枢纽。

二、交通概况

黑龙江省内交通便利,交通运输方式包括铁路、公路、水路及航空 4 种方式。

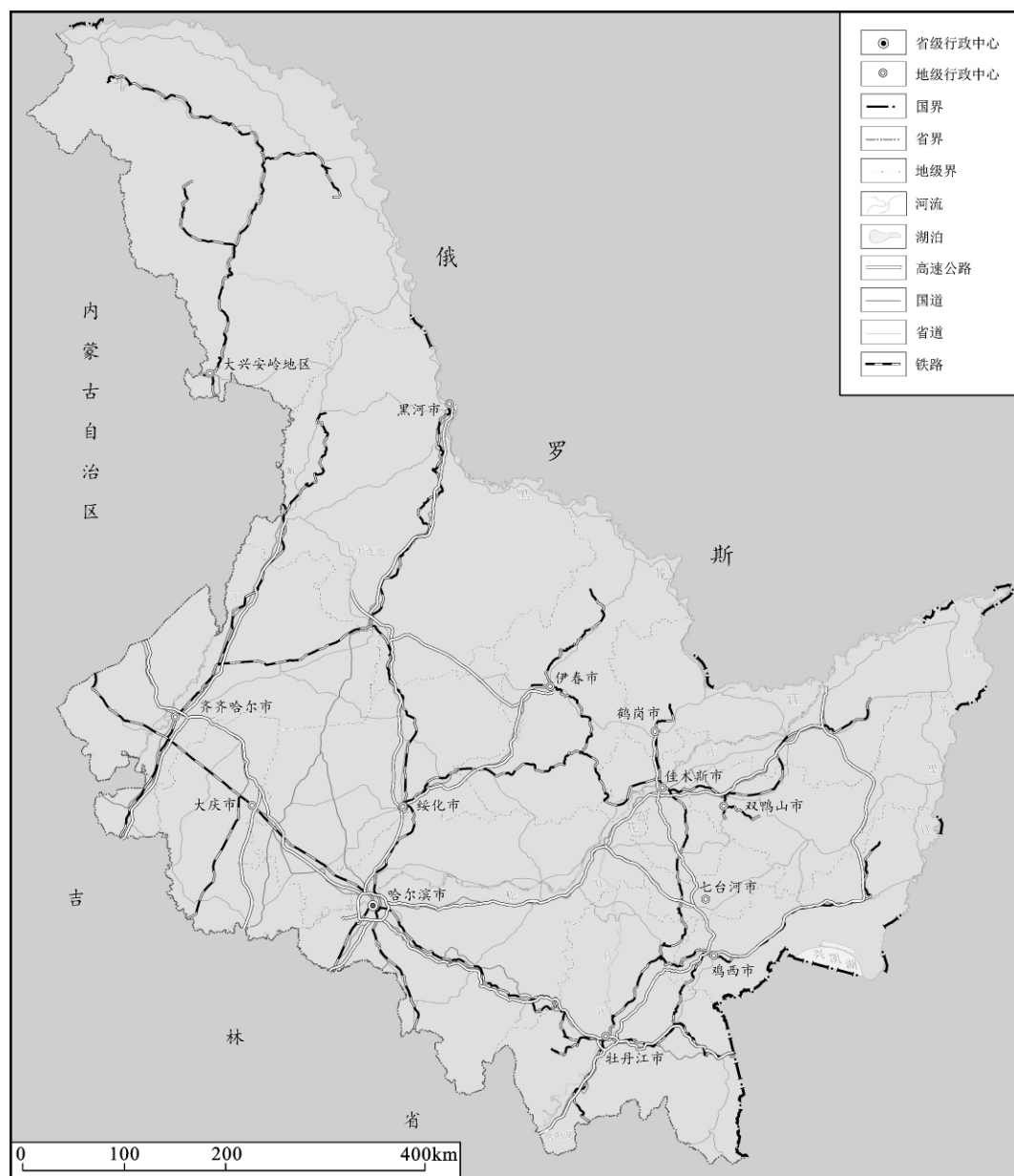


图 1-4 黑龙江省交通位置图

1. 铁路

黑龙江省是我国修建铁路最早的省份之一,交通运输以铁路为主干。全省铁路 26 条,干支线以哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯 4 个经济中心城市为轴心向四周辐射,并通过国际干线和国内干线外接俄罗斯、朝鲜,内连吉林省、辽宁省和内蒙古自治区。其中,通过全国最大的陆路口岸满洲里口岸和位居第三位的绥芬河口岸,分别与俄罗斯后贝加尔铁路和远东铁路接轨,牡(丹江)图(们)铁路与朝鲜相通。京哈、拉滨、平齐、通让、牡图 5 条铁路干线与全国铁路相接。全省铁路营运里程 5 121km,居全国之冠。

2. 公路

黑龙江省域范围内共有国道 10 条,总里程 5 001km;省道 30 条,8 173km;县道 235 条,8 488km。区域内公路网络形成了以哈尔滨为中心,沿哈尔滨至齐齐哈尔、哈尔滨至佳木斯(同江)、哈尔滨至牡丹江(绥芬河)、哈尔滨至伊春(嘉荫)、哈尔滨至黑河经济轴带呈辐射状分布。

除大兴安岭行政公署所在地加格达奇区外,地市区域中心城市与省会哈尔滨市全部实现了二级以上沥青(水泥)路相贯通。全省 65 个县(市)中,51 个县(市)实现了二级以上沥青(水泥)路相贯通。

3. 水路

水运是黑龙江省经济发展和对俄贸易的主要窗口及重要通道。黑龙江水系是我国主要通航的三大水系之一,主要通航河流有黑龙江、松花江、乌苏里江、嫩江及额尔古纳河、第二松花江和兴凯湖、镜泊湖等,总通航里程 7 667km。其中,松花江航线是黑龙江省水运干线,每年 5~11 月通航;黑龙江航线位于中国最北部,在同江和俄罗斯哈巴罗夫斯克市(伯力)与松花江和乌苏里江相接;乌苏里江航线为中俄界河航线,冬季封航。目前水运航线有 25 个国家一类口岸和 9 个边境互市贸易区,可沟通我国黑龙江、吉林、内蒙古自治区三省区以及俄罗斯远东地区哈巴罗夫斯克(伯力)、布拉戈维申斯克(海兰泡)、共青城等大中城市。江海联运通过黑龙江下游(俄罗斯境内)出海可直达日本、韩国等国和我国东南沿海港口。

三、自然地理概况

1. 地貌特征

黑龙江省地域辽阔,地形复杂多样。西北部、北部和东南部高,东北部和西南部低(图 1-2),主要是由山地、台地、平原和水域构成。西北部为北东-南西走向的大兴安岭山地,山体形态浑圆,一般海拔在 1 000m 左右,沟谷中沼泽发育,地下有永久冻土层,土壤层发育不完全,分布不连续,物理风化作用占主导地位。北部为北西-南东走向的小兴安岭山地。东南部山地为北东-南西走向的张广才岭、完达山、老爷岭山区,海拔 600~1 000m,山势低缓,老爷岭地区较高,切割深度相对较大。沟谷中亦有沼泽发育,土壤层发育较完全,分布较连续,水系沉积物分选性较好,物理风化、化学风化和生物风化均表现出相当的强度。西南部是松嫩平原。山地海拔高度在 500~1 400m 之间,占全省土地面积的 24.7%;丘陵海拔高度在 200~500m 之间,占全省土地面积的 35.8%;平原海拔高度在 50~200m 之间,呈波状起伏形态,相对高度在 50~100m 之间,占全省土地面积的 37%,水面及其他占 2.5%。

2. 气候概况

全省气候类型属寒温带—温带、湿润—半湿润季风气候,冬季漫长寒冷,夏季湿热短暂,西北端长冬无夏春秋相连。全年平均气温 $-6\sim 4^{\circ}\text{C}$,1 月 $-32\sim 17^{\circ}\text{C}$,7 月 $16\sim 23^{\circ}\text{C}$,西北部气温最低。全年无霜期 90~120 天,年平均降水量 250~700mm,集中在 6~8 月。



图 1-2 黑龙江省地势图

3. 土地覆被特征

黑龙江省山区、半山区植被发育,生长着茂盛的森林,主要以松树、桦树、杨树、柳树为主,北部主要为针叶林,东、南部主要为阔叶林,呈现出地带性分布的特点。林下为茂密的灌木和草本植物,沟谷中沼泽发育,水系沉积物和土壤表层有机质含量高。

黑龙江省处于高纬度地区,在寒冷的气候条件下,一年中土壤冻结达几个月之久,北部有永久冻土层,微生物分解作用缓慢,使有机质大量积累,影响着土壤的性质。在土壤的发育时间上,黑龙江省大多数森林沼泽区,尤其是大兴安岭地区,土壤多处于幼年发育阶段,土壤层很薄,有机质在表层积累,化学-生物风化作用与淋溶作用很弱,剖面风化为 A 层和 C 层,缺少 B

层或 B 层不发育,土壤的性质在很大程度上还保留着母质的特征。

东部小兴安岭和完达山区多属于成熟阶段的土壤,B 层较为发育,易风化的矿物质分解较完全,土壤各层位发育。此外,局部地区发育有潜育层,主要出现在沟谷、缓坡等水流不畅的环境中。一些地区还发育有灰化层,主要出现于针叶林植被地区,土壤层上部的碱金属和碱土金属淋失,只有极耐酸的 SiO₂ 残留在上部,形成一个强酸性的灰白色淋溶层。

综上所述,黑龙江省自然景观的突出特征是,气候寒冷,地表植被发育,沟谷中强烈沼泽化,土壤分布不连续,永久冻土和季节性冻土发育,物理风化、化学风化和生物风化作用各地差异较大,不同地区的地球化学景观差别较大。

第二节 矿产资源概况

一、矿产资源分布特点

黑龙江省是矿产资源大省,矿产种类较全。截至 2010 年底,全省共发现各类矿产(含亚矿种) 133 种,占全国当年已发现 234 种矿产(含亚矿种)的 56.8%。全省已查明资源储量的矿产有 81 种,占全国当年已查明 223 种矿产(含亚矿种)资源储量的 36.3%,全省已查明资源储量和已发现尚未探明资源储量的各类矿产见图 1-3,表 1-1。

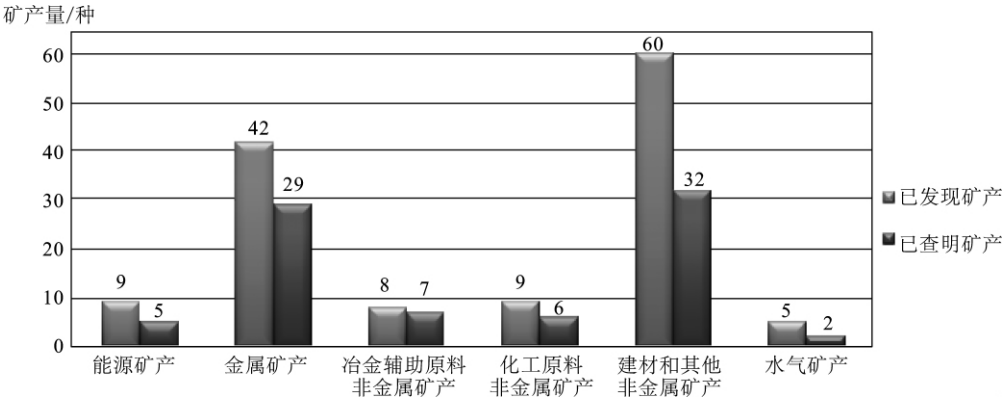


图 1-3 黑龙江省部分已发现和已查明矿产资源种类对比图

表 1-1 黑龙江省已查明资源储量和已发现未探明资源储量矿产统计表

序号	矿产类别	已查明资源储量矿产		已发现未探明资源储量矿产	
		矿种数	矿种名称	矿种数	矿种名称
1	能源矿产	5	煤、石油、天然气、铀、地热	4	煤成气、褐煤蜡、油页岩、钍
2	黑色金属矿产	3	铁、钛、钒	2	锰、铬
3	有色金属矿产	11	铜、铅、锌、镁、镍、钴、钨、锡、钼、铋、锑	1	汞

续表 1-1

序号	矿产类别	已查明资源储量矿产		已发现未探明资源储量矿产	
		矿种数	矿种名称	矿种数	矿种名称
4	贵金属矿产	7	岩金、砂金、银、铂、钯、铋、钨	2	钨、铍
5	稀有、稀土金属和稀散元素矿产	8	铍、钽、镓、铟、铊、镉、硒、碲	8	锂、铌、钼、钨、铈、镨、钇、锆
6	冶金辅助原料非金属矿产	7	硅线石、普通萤石、熔剂用灰岩、冶金用白云岩、铸型用砂、耐火黏土、菱镁矿	1	蓝晶石
7	化工原料非金属矿产	6	硫铁矿、化肥用蛇纹岩、泥炭、砷、硼、磷	3	自然硫、重晶石、天然碱
8	建筑材料及其他非金属矿产	32	石墨、压电水晶、熔炼水晶、硅灰石、石棉、云母、含钾岩石、石榴石、叶蜡石、沸石、颜料用黄黏土、制灰用石灰岩、水泥配料用砂岩、玻璃用砂、玻璃用脉石英、硅藻土、陶粒用页岩、水泥配料用页岩、陶瓷土、膨润土、陶粒用黏土、水泥配料用黏土、饰面用辉长岩、铸石用玄武岩、岩棉用玄武岩、饰面用花岗岩、珍珠岩、浮石灰、火山灰、饰面用大理岩、水泥用大理岩、玻璃用大理岩	28	高岭土、水泥用灰岩、蓝宝石、玛瑙、玉石、电气石、刚玉、红柱石、滑石、方解石、麦饭石、黑曜岩、松脂岩、霞石正长岩、透闪石、透辉石、石膏、硅石、蛭石、砖瓦用黏土、建筑用石、建筑用砂、火山渣、电石用灰岩、泥灰岩、明矾石、蛋白石、芒硝
9	水气矿产	2	地下水、矿泉水	3	二氧化碳气、硫化氢气、氮气
10	合计	81		52	

已查明资源储量的 81 种矿产按工业用途分为 9 类,其中能源矿产 5 种;黑色金属矿产 3 种;有色金属矿产 11 种;贵金属矿产 7 种;稀有金属和稀散元素矿产 8 种;冶金辅助原料非金属矿产 7 种;化工原料非金属矿产 6 种;建筑材料和其他非金属矿产 32 种;水气矿产 2 种。已发现尚未探明资源储量的矿产 52 种。

矿区矿产地数为 806 处(包括共伴生矿产地,不含当年注销煤矿产地数),分为固体燃料、黑色金属、有色金属、贵金属、稀有金属和分散元素、冶金辅助原料非金属、化工原料非金属和建材及其他非金属矿产。其中开采矿区为 496 处(包括基建、停采、闭坑矿区),矿山总数为 3 573 处。

矿产地规模(包括共伴生矿产地),按矿区保有资源储量统计,大型 88 处,占全省矿产地

数的 10.92%; 中型 197 处, 占全省矿产地数的 24.44%; 小型及以下 521 处, 占全省矿产地数的 64.64%。统计表明黑龙江省矿产地规模以中、小型为主, 合计占全省矿产地数的 89.08%。

能源矿产中石油、天然气油(气)田, 大型 2 处, 小型 2 处; 煤矿产地分为煤田、矿区和井田, 其中大型 9 处, 中型 20 处, 小型 45 处; 黑色金属和有色金属矿产, 大型 3 处, 中型 9 处, 小型 42 处; 贵重金属及稀有金属矿产, 大型 14 处, 中型 35 处, 小型 66 处; 冶金辅助原料非金属矿产, 大型 3 处, 中型 3 处, 小型 6 处; 化工原料非金属矿产, 中型 14 处, 小型 11 处; 建材及其他非金属矿产, 大型 37 处, 中型 76 处, 小型 31 处。黑龙江省主要能源矿产、主要金属矿产和主要非金属矿产分布示意图见图 1-4、图 1-5、图 1-6。

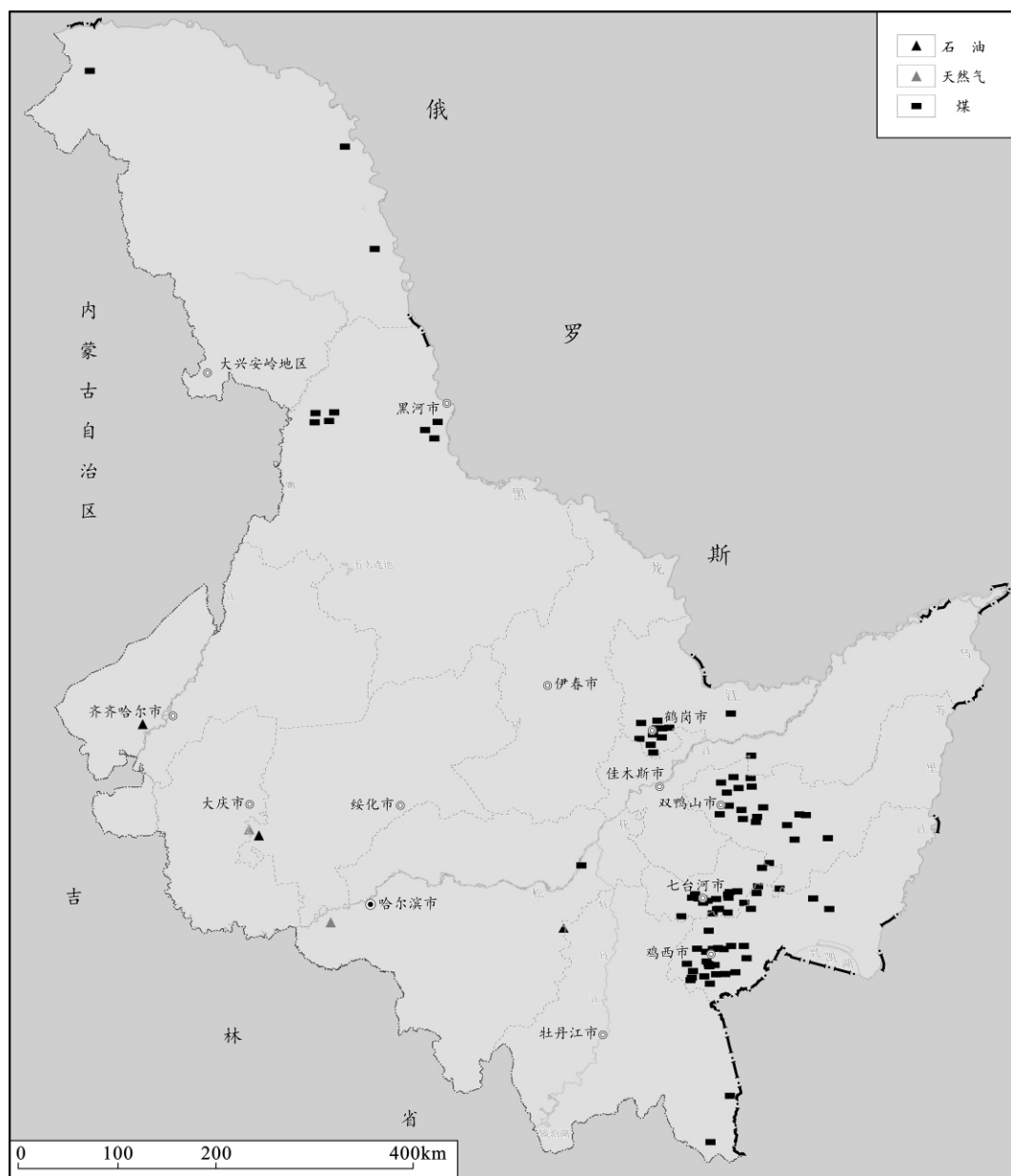


图 1-4 黑龙江省主要能源矿产分布图

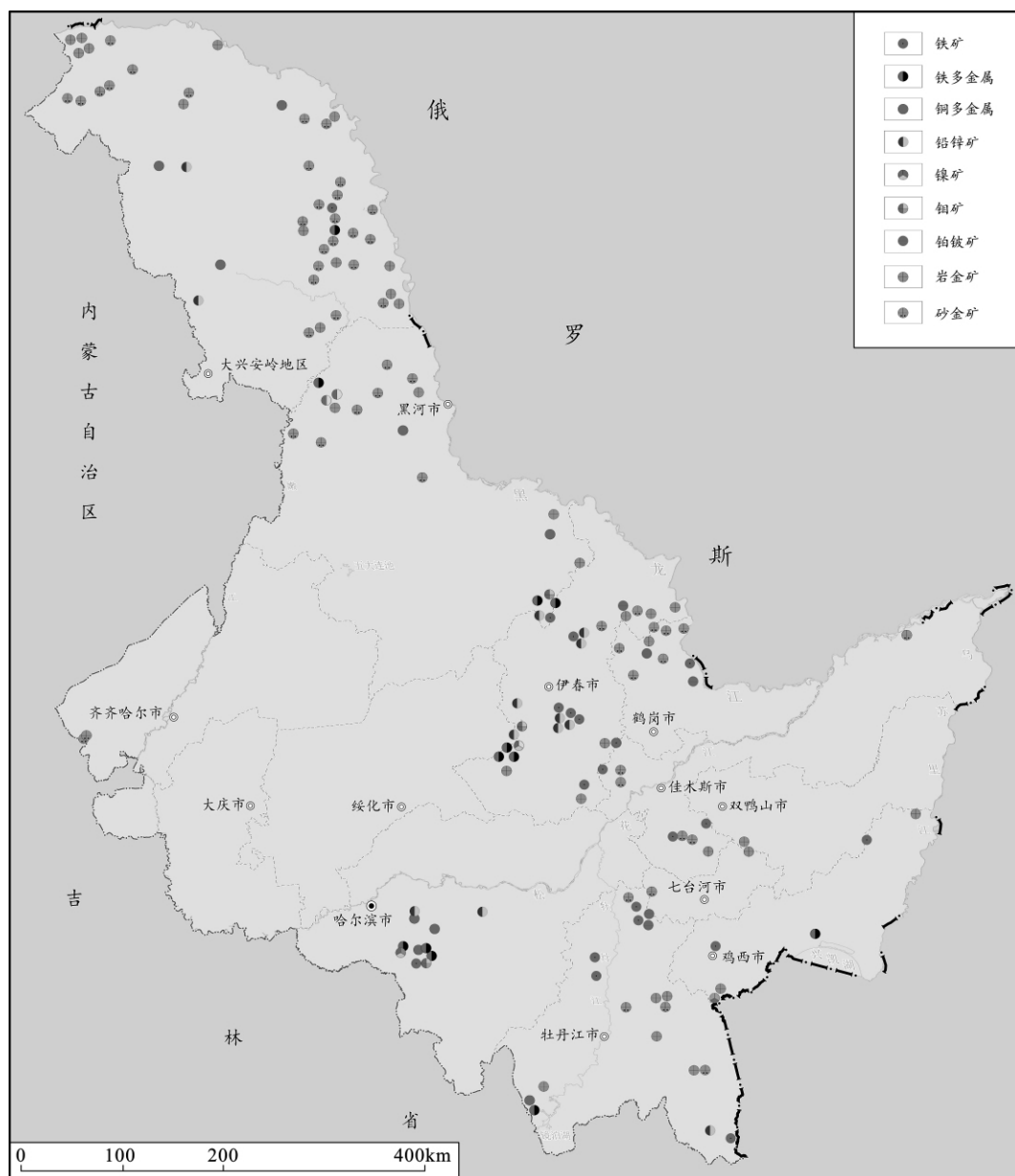


图 1-5 黑龙江省主要金属矿产分布图

二、矿产资源基本特点

黑龙江省在大地构造上处于内蒙古—兴安和滨太平洋区域成矿构造复合部位。自新太古代以来,不同沉积环境的地层发育齐全,沉积建造类型多种多样;岩浆侵入和喷发活动频繁而强烈;变质及变形作用具有普遍性、多样性。复杂的地质构造和良好的成矿条件,形成了不同成因类型的各类矿产。

黑龙江省矿产资源具有以下特点。

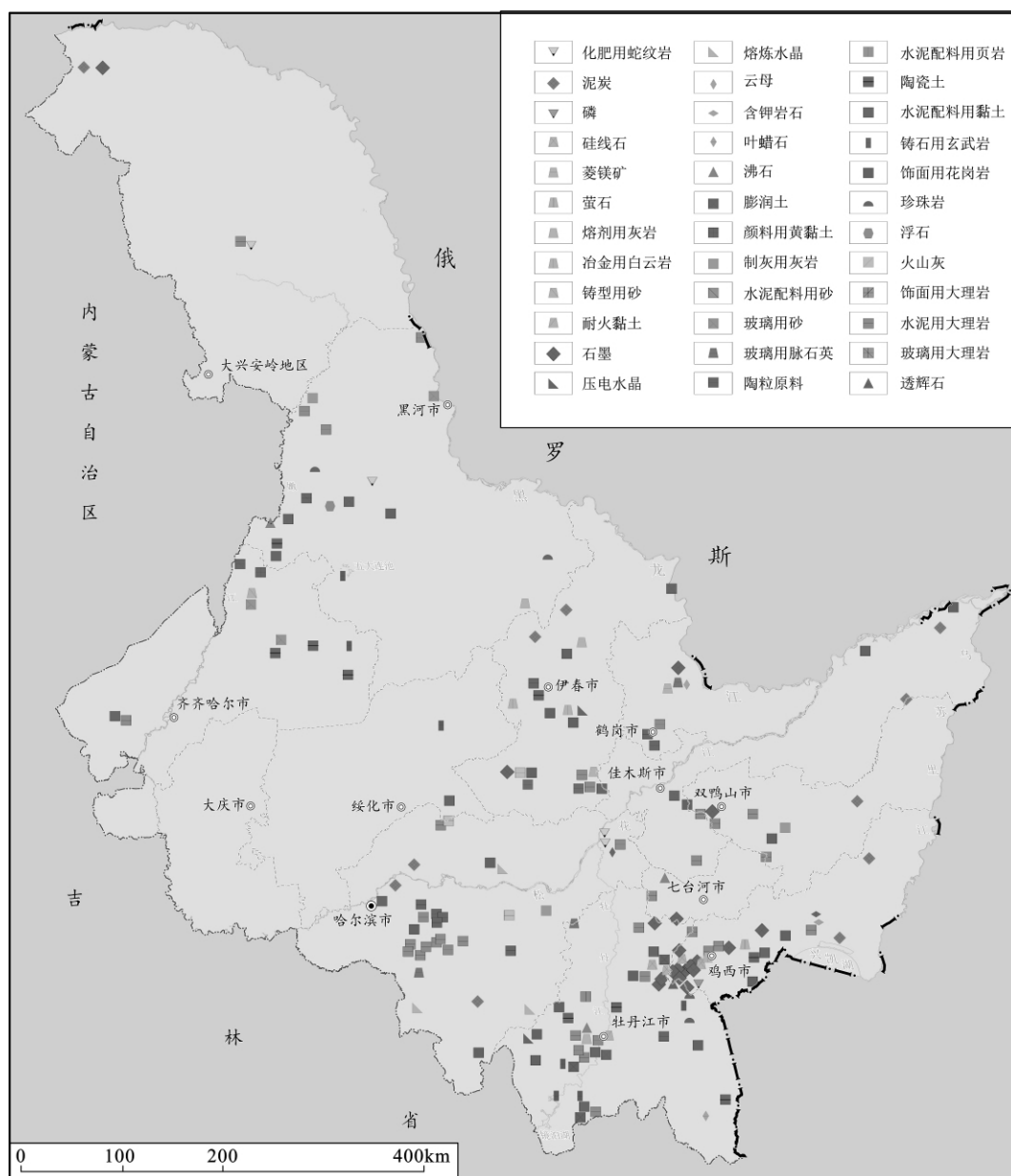


图 1-6 黑龙江省主要非金属矿产分布图

(1) 能源矿产地位显著。石油累计探明地质储量 578 759.83 万 t(累计探明可采储量 239 865.31 万 t),保有可采储量 53 418.31 万 t,石油累计探明地质储量和保有可采储量均居全国第 1 位。天然气累计探明地质(气)储量 3 941.66 亿 m^3 ,累计探明可采储量 1 787.09 亿 m^3 。保有地质可采储量 903.8 亿 m^3 ,居全国第 7 位。煤炭累计查明资源储量 236.583 53 亿 t,占全国查明总资源储量 10 000 亿 t 的 2.37%,保有资源储量 220.495 71 亿 t,居全国第 11 位。黑龙江省的煤种齐全,并且多为低硫、低磷,特别是七台河、鸡西煤田的炼焦用煤,储量大、质量好,具有煤种优势和在东北三省的区域优势。

(3) 中小型矿多、大矿少,贫矿多、富矿少,共伴生矿多、单一矿少。矿产规模(包括共伴生矿产地):大型矿产地88处,占全省矿产地数的10.92%;中型矿产地197处,占全省矿产地数的24.44%;小型及小型以下矿产地486处,占全省矿产地数的60.30%;规模不清35处,占全省矿产地数的4.34%。富铁矿保有资源储量(矿石)2500万t,占铁矿保有资源储量(矿石)36037.9万t的6.9%;富铜矿保有资源储量(铜)4.59万t,仅占铜矿保有资源储量(铜)375.449万t的1.28%。嫩江县多宝山铜(钼)矿中共伴生矿产有钨、金、银、铂、钯、铋、锑、镓、硒共9种,逊克县翠宏山铁多金属矿中共伴生矿产有铜、铅、锌、钨、钼、银、铟、镉、碲、硫铁矿共10种,铁力市二股铁多金属矿中共伴生矿产有铜、铅、锌、钨、锡、铋、钼、银、钽、铌、镭、砷、硼、硫铁矿共14种。

黑龙江省查明资源储量的矿产与全国同类矿产相比,保有资源储量居全国前 10 位的有 54 种。其中排序列第 1 位的有 9 种:石油、品质石墨、颜料用黄黏土、含钾岩石、铸石用玄武岩、岩棉用玄武岩、火山灰、水泥用大理岩、硅线石。排序列第 2 位的有 7 种:铌矿、玻璃用大理岩、浮石、玻璃用脉石英、陶粒用页岩、钨矿、砂金。排序列第 3 位的有 5 种:硒矿、铂钯矿、铈矿、珍珠岩、泥炭。我国开发利用的 45 种主要矿产中,黑龙江省的石油、天然气、煤、钛矿、铜矿、钨矿(共伴生)、钼矿(共伴生)、铂族金属矿产、金矿、石墨、玻璃用脉石英、水泥用大理岩、饰面用花岗岩等,矿产的保有资源储量具有优势或潜在优势。

目前,国内外基于多光谱数据的遥感地质找矿的研究及其成果较多,主要可分为两个部分:遥感地质解译与蚀变信息提取。遥感技术的地质找矿应用,曾对我国遥感技术的发展做出了阶段性的历史贡献,促进了我国矿产资源的发现。最典型的例子是我国第二大钾盐基地——新疆罗布泊钾盐矿床最先就是通过陆地卫星图像发现的。在遥感图像上可清楚地看到罗布泊呈暗褐色环带状的钾盐矿影像特征,后来经实地考察和钻探,得到了证实。20世纪80年代初期利用遥感图像对大兴安岭西坡进行煤田地质解译,一举发现了18个含煤盆地,使得

遥感技术迅速在煤炭系统得到广泛应用和发展。此外,新疆塔里木盆地石油天然气的发现,伊犁盆地砂岩型铀矿床的扩大等也都是遥感找矿的成功实例。在国外,遥感技术找矿更有许多突出的实例,例如至今人类找到的最大矿床——澳大利亚奥林匹克坝矿床,就是在遥感解译的环状构造与重力资料解释的 NWW 向深断裂的交汇部位找到的;巴基斯坦的大型斑岩铜矿也是根据遥感影像模式发现的。

矿化蚀变信息是找矿的一个重要标志,而这些对找矿有指导意义的矿化蚀变信息常常受其他地物信息的干扰,并受遥感图像的波谱分辨率和空间分辨率的制约,往往表现得很微弱。遥感信息提取技术是遥感技术体系的重要组成部分,经过几十年的发展,研究出了许多行之有效的方法,如主成分分析、比值运算、IHS 变换、模式识别、密度分割、小波变换、神经网络、遗传算法等,特别是针对 TM、ETM 的多光谱遥感信息提取技术体系日趋完善。近年来,一些主要应用于高光谱数据的信息处理方法,如噪声调节变换、MNF、正交空间变换、光谱匹配、光谱角、混合像元分解等也被引入到多光谱的异常提取中,并取得了一定的效果。

一、国外遥感找矿研究成果

国外对矿化蚀变信息的提取开始早于国内,自 20 世纪 50 年代开始,特别是 60 年代,美国和日本的一些实验室系统地、大量地进行了各种矿物、岩石的可见光至近红外光谱测定和光谱特性研究。1970 年后,美国 Hunt, Salisbury 等陆续发表了包括矿物、岩石和矿石在内的可见光—近红外光谱特性专著,较系统地研究了岩石矿物的光谱特性,分析了产生这些光谱特性的原因,并讨论了不同岩类光谱特性的变化规律及影响因素。

国外早在 1976 年,戈茨利用短波红外波段的 $1.6\mu\text{m}$ 和 $2.2\mu\text{m}$ 波长两谱带反射比的比值定量划分蚀变岩和未蚀变岩;艾布拉姆斯等(1977)注意到陆地卫星多波段扫描($0.5 \sim 1.1\mu\text{m}$)光谱范围内含褐铁矿的蚀变岩石由于三价铁强吸收光谱而产生独特的反射光谱,并在内华达州金矿根据图像对褐铁矿蚀变岩石进行填图;罗曼等(1977)采用 MSS 4/5, MSS 5/6 和 MSS 6/7 比值图像对以次生黏土、氧化硅及褐铁矿为特征的热液蚀变区进行识别填图;Ambrams(1984)利用 TM 图像波段比值 + 主成分变换方法排除了植被覆盖因素干扰提取蚀变信;1989 年,Rockwell 在比值特征空间中进行非监督分类,结合野外光谱曲线完成对干旱山区 SiO_2 , Fe, FeO 矿物的填图工作;1994 年,Jaerte 在比值特征空间内,利用主成分分析和 HIS 变换,与实验室光谱比值曲线作对比,分析出相应的岩性和样本光谱曲线的相应关系,完成强风化地区水热液蚀变岩石填图;Crosta 和 Loughlin(1991)利用 Landsat-5 TM 图像数据,选择 4 个波段(TM1, TM3, TM5, TM7 或 TM1, TM4, TM5, TM7),设计了主成分变换 + 特定主因子求反的方法填制巴西热带地区残积土壤中的三价铁和羟基蚀变岩信息图。

Rokos 等(2000),利用 TM、SPOT 数据、数字高程模型及地球化学信息等,在 ERMapper 系统下对爱琴海盆地第四纪岛弧中的岛屿和弧后火山岩地区的低温热液型金矿进行了研究,用 TM5/7, TM3/1 等比值和主成分分析等数学运算进行蚀变带的识别,并结合提取的线性构造统计分析进行成矿预测。Tangestani 和 Moore(2001)利用 3 种主成分分析法对伊朗 Meiduk 地区斑铜矿蚀变区进行了对比分析。Kusky 等(2002),利用 TM5/7, TM5/

1, TM5/4 的假彩色合成及分析, 在阿拉伯-努比亚地盾的干旱气候下提取金矿化蚀变信息。

二、国内遥感找矿研究成果

国内矿化遥感信息提取技术的应用研究开始于 20 世纪 60 年代, 近十余年, 得到了较为全面的研究和快速发展, 技术方法由单一到综合、由简单到成熟。

1991 年, 赵元洪等提出了波段比值的主成分复合法。1994 年, 何国金和胡德永提出了“微量信息处理方法”。同年马建文在排除和减小环境因素干扰方面进行了研究及探索, 并提出了采用 TM 图像掩膜 + 波段选择主成分变换 (SPCA) + 人机交互与 PC 组分数据二维散点图掩膜分类方法提取矿化弱信息。1999 年, 张远飞总结了国内外有关从 TM 图像上提取金矿化蚀变信息的方法技术, 并在此基础上加以拓展和深化, 形成了“多元数据分析 + 比值 + 主成分变换 + 掩膜 + 分类(分割)”这种识别提取“矿化弱信息”的方法。刘庆生利用 MAIS 成像光谱数据运用了选择主成分分析法、混合像元分解技术进行信息提取结果发现第 1、3、7 主成分的假彩色合成图像和混合像元分解后再作算术运算的假彩色图像均清晰显示了含金矿化蚀变带。同年刘素红利用掩膜和多因子逐步正交变换提取出遥感数据中的岩性信息, 并在次年与马建文一同研究了在 TM6 波段信息的基础上, 利用 Gram-Schmidt 投影方法将反射光谱信息叠加到 TM6 波段上进而在高山区进行含矿蚀变弱信息提取的方法。2002 年, 王晓鹏、谢志清以 ETM 图像数据为信息源基于光谱特征和纹理特征的对与铜矿有关的主要蚀变类型的矿化蚀变信息进行提取及分类。2003 年, 刘成利用混合像元线性分解模型提取植被覆盖中等覆盖的辽南卧龙泉地区的黏土类蚀变信息。同年, 张玉君等提出了“去干扰异常主分量门限化技术”, 包括预处理、蚀变遥感异常提取与后处理三大部分, 非常有效地提取出了金属矿床的蚀变信息。杨金中对主成分分析、波段比值等分析研究, 提出了一套比较实用的遥感找矿异常提取的技术流程, 为西部重要成矿区带遥感找矿异常提取工作的开展提供了重要的实践依据。2003 年, 甘甫平、王润生根据多种遥感数据对遥感矿化信息提取基础与技术方法进行了研究。同年王永江、王润生对西天山吐拉苏盆地与火山岩有关的金矿遥感找矿进行了研究。

陈赶良(1995) 经研究认为, 虽然 Fe_2O_3 含量升高与褐铁矿化有关, SiO_2 含量的增加与硅化有关, 而 CaO 和 MgO 含量的增加与碳酸盐化有关, 但直接应用成分含量难以说明蚀变特征, 而提取成分因子, 相对而言, 能较好地反映蚀变特征。通过对原生矿、氧化矿、围岩和外围岩石的地球化学成分研究: ①所选取的成分因子基本能反映蚀变的化学成分特征, 其中, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 反映出矿区氧化程度、硅化均强于外围; 从原生矿—氧化矿—围岩 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$ 逐渐减少, 说明黏土矿化依次减弱; $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$ (为 0.26 ~ 0.27), 而 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$, 可见在黏土矿化中, 以高岭石为主, 强度顺序为高岭石化 > 伊利石化 > 蒙脱石化; $\text{CaO}/\text{MgO} < 1$, 反映碳酸盐化中以白云石化为主; ②外围岩石与矿区岩矿石的地球化学因子有明显的差异, SiO_2 含量、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值低于矿区, 说明外围硅化、褐铁矿化较矿区弱; $\text{CaO} + \text{MgO}$ 、 CaO/MgO 比值远高于矿区, 且 $\text{CaO}/\text{MgO} > 1$, 反映了外围碳酸盐含量高, 方解石较白云石发育;