

勘查地球物理 勘查地球化学文集

第24集

隐伏矿地球物理研究

周凤桐 赵永贵 曹洛华 吴凤翔 主编

地质出版社

勘查地球物理
勘查地球化学文集
第 24 集

隐伏矿地球物理研究

周凤桐 赵永贵 曹洛华 吴凤翔 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

《隐伏矿地球物理研究》(论文集)系在1994~1999年期间国家攀登计划85B-34-06课题中有关专题研究成果基础上编辑的。总共包含11篇论文,其中9篇与课题及其专题的研究成果有关,内容主要包括:利用遥感和综合地球物理资料对铜、金为主的矿产资源进行找矿预测、找矿靶区优选与评价研究,藉助地震CT、分布式阵列音频大地电磁、瞬变电磁及重磁等新技术开展找矿试验研究以及数据处理解释方法技术研究等成果。此外,还选入了有关三维体重磁可视化反演和金属矿勘查中地震方法技术2篇论文。

这些论文所涉及的,不论是利用遥感与航磁复合,中、大比例尺综合地球物理方法进行找矿预测和找矿靶区优选与评价,以至若干地质上的新认识;还是利用分布式阵列音频大地电磁方法、地震CT波速与吸收技术和散射(绕射、衍射)技术寻找隐伏矿,瞬变电磁二维电磁偏移技术和大定源瞬变电磁电阻率成像方法;以及重磁数据向下延拓、三维可视化反演处理解释方法技术等等研究成果,在国外所见不多,在国内也几乎都属于最新研究方向之列。

综上所述,本论文集适宜与矿产资源勘查有关的科研人员、管理人员和从事实际勘查工作的工程技术人员阅读,对大学相关专业教师、研究生和大学高年级学生也是有益的。

图书在版编目(CIP)数据

勘查地球物理勘查地球化学文集·第24集,隐伏矿地球物理研究/周凤桐等主编. —北京:地质出版社,2004.8
ISBN 7-116-04161-3

I. 勘… II. 周… III. ①隐伏矿床-地球物理勘探-文集②隐伏矿床-地球化学勘探-文集 IV. P631-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第063922号

责任编辑:沈效群 陈军中
责任校对:郭慧兰
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083
电 话:(010) 82324508(邮购部)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010) 82310759
印 刷:北京印刷学院实习工厂
开 本:787 mm × 1092 mm^{1/16}
印 张:7.75
字 数:170千字
印 数:1—800册
版 次:2004年8月北京第一版·第一次印刷
定 价:22.00元

ISBN 7-116-04161-3/P·2493

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

应用地球物理方法
及深找盲发现大矿
为全面建设小康社会
提供物质基础

癸未年

刘光晔



前 言

1994~1999年期间,谢学锦、刘光鼎两位院士作为首席科学家,主持并组织实施了国家攀登计划(编号:85B-34):“找寻难识别及隐伏的大矿、富矿的新战略新方法新技术基础性研究”。我们有幸承担了该项目的第六课题——“应用地球物理方法找寻隐伏大矿富矿的研究”(编号:85B-34-06)。课题的主要任务目标:通过开展高精度、高分辨率、大探深的地球物理新方法、新技术在探测隐伏矿中的应用研究和应用基础研究,进行地球物理找矿工程学的探索性研究,同时也为所研究地区的找矿勘查工作提供有价值的资料。在首席科学家们的精心指导下,在原地矿部地球物理地球化学勘查研究所、中国科学院地质研究所及其遥感应用研究所和地球物理研究所、国家地震局地质研究所、西安工程学院等承担与参加单位,以及原地质矿产部地质调查局、中国地质勘查技术院和有关省(区)地质队及矿山等单位的支持下,经过课题及其所属专题全体科技人员的共同努力,完成了计划任务,取得了有意义的研究进展和成果。全部专题研究成果在1999年8月通过了以刘光鼎院士为首的专家组的验收;课题研究成果于1999年10月又通过了由国家科委委托原地矿部科技司主持并组织的以陈颙院士为首的专家组的验收。

《隐伏矿地球物理研究》论文集,即是上述国家攀登计划85B-34-06课题及其有关专题的研究成果为基础编辑而成。总共包含11篇论文,其中9篇是与课题及其专题的研究成果有关的,并由课题与专题参加者以原有研究成果为基础撰写,又做了进一步修改、补充和升华。在这些论文中,涉及找矿预测和找矿靶区优选研究的有2篇:“阴山-燕辽成矿带金矿床遥感与航磁复合勘查构造预测模型研究”和“中、大比例尺综合物探资料在金属矿勘查与评价中的应用”;涉及新方法新技术应用研究和应用基础研究的有7篇,即:“分布式阵列音频大地电磁法找矿应用研究”、“电磁偏移地下电性结构成像”、“定源大回线内TEM资料的视电阻率计算”、“瞬变电磁法的应用实例”、“地震CT法隐伏矿脉空间定位研究”、“地震CT法在寻找隐伏矿体中的应用”和“位场向下延拓的自适应滤波方法”。除此之外,还选入了一篇青年地球物理基金支持的有关重磁反演的论文——“任意三维体重磁异常可视化反演技术”和一篇有关金属矿勘查中的地震方法技术的论文——“从金属矿地震的应用效果探讨其方法技术”。

这些论文所涉及的,不论是利用遥感与航磁复合,中、大比例尺综合物探方法进行找矿预测和找矿靶区优选,以至若干地质上的新认识,还是利用分布式阵列音频大地电磁方法、地震CT波速与吸收技术和散射(绕射、衍射)技术寻找隐伏矿,瞬变电磁二维电磁偏移技术和大定源瞬变电磁电阻率成像方法,以及重磁数据向下延拓、三维可视化反演处理解释方法技术等等研究成果,在国外所见不多,在国内也几乎都属于最新研究方向之列。因此,本论文集对于今后沿着这些方向的研究与开发工作,可能会有某些借鉴与帮助的作用。同时,论文集内大多数论文对所研究方法技术在隐伏矿产资源勘查评价中的实际应用、存在问题及进一步建议等做了相应的讨论,因此其中某些方法技术有可能直接或

者通过相应地开发或改进之后，推广应用到我国矿产资源调查评价中去。

论文集的编辑与出版，得到了项目负责人和项目办公室的支持。首席科学家刘光鼎先生为此提出了有关编辑的指导性意见和出版的推荐建议。李立、唐文周、吴广耀、王振东、奚家鉴、张培琴、曹洛华和赵经祥等专家学者，先后参与了论文集相关论文的同行专家评议或审查。在此，我们对以上提到的专家学者以及所有对这项工作提供支持的单位与个人表示衷心的感谢。

编者

2002年9月25日

目 录

阴山 - 燕辽成矿带金矿床遥感与航磁复合勘查构造预测模型研究	
..... 朱振海 燕守勋 王红梅 黄晓霞 (1)	
中、大比例尺综合物探资料在金属矿勘查与评价中的应用	
..... 姚敬金 曹洛华 张素兰 钟 清 (12)	
位场向下延拓的自适应滤波方法	王万银 刘 展 肖庆疆 (30)
任意三维体重磁异常可视化反演技术	吴文鹏 管志宁 (36)
瞬变电磁法找矿应用实例	吕国印 吴凤翔 胡 平 石旭东 张 杰 (45)
电磁偏移地下电性结构成像	吕国印 (55)
定源大回线内 TEM 资料的视电阻率计算	吕国印 (66)
分布式阵列音频大地电磁法找矿应用研究	
..... 赵子言 林品荣 李杏彬 方 慧 郑采君 赵 霞 (71)	
地震 CT 方法在寻找隐伏矿体中的应用	赵永贵 (87)
地震 CT 法隐伏矿脉空间定位研究	常 旭 刘伊克 王 辉 (100)
从金属矿地震的应用效果探讨其方法技术	徐明才 (108)

Contents

- A Research on Structural Prognostic Model of Gold Ore Deposit through Integrated Analysis of Remote Sensing and Aerial Magnetic Data in Yinshan - Yanliao Metallogenic Belt
..... Zhu Zhenhai Yan Shouxun Wang Hongmei Huang Xiaoxia (11)
- An Application of Integrated Geophysical Data in Ore Prospecting and Evaluating
..... Yao Jingjin Cao Luohua Zhang Sulan Zhong Qing (29)
- A Self Adapting Filtering Method Applied to Down Continuation Calculating of Potential Field Data Wang Wanyin Liu Zhan Xiao Qingjiang (35)
- Visualization Inversion Technique of Gravity and Magnetic Anomalies Due to Arbitrarily Shaped Three-Dimensional Body Wu Wenli Guan Zhining (44)
- Some Case Histories of Mineral Exploration by TEM Method
..... Lu Guoyin Wu Fengxiang Hu Ping Shi Xudong Zhang Jie (54)
- Underground Electrical Structure Imaging by Electromagnetic Migration
..... Lu Guoyin (65)
- Calculation of Apparent Resistivity from TEM Sounding Data Acquired within the Fixed - Loop Lu Guoyin (70)
- Application of Distributed AMT to Mineral Exploration
..... Zhao Ziyang Lin Pinrong Li Xingbin Fang hui Zheng Caijun Zhao Xia (86)
- Application of the Seismic Tomography Method to Prospecting for Hidden Ore Bodies
..... Zhao Yonggui (99)
- Locating subsurface auriferous quartz vein by means of seismic tomography
..... Chang Xu Liu Yike Wang Hui (107)
- A Discussion on Seismic Methodology Proceeded from Problems in Practical Seismic Surveys for Mineral Exploration Xu Mingcai (116)

阴山 - 燕辽成矿带金矿床遥感与航磁复合 勘查构造预测模型研究^①

朱振海 燕守勋 王红梅 黄晓霞

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 以阴山 - 燕辽成矿带为试验区, 研究横向构造的遥感判别方法及利用航磁数据反演线性构造的新方法, 分析与大富型金矿床的相关关系及控岩、控矿作用。在矿产资源信息系统的支持下, 将已知金矿与解释的横向构造复合, 发现有较好的复合结果。结合区域构造、岩浆活动和区域地质背景, 建立了阴山 - 燕辽成矿带的大富金矿控矿构造预测模型。

关键词: 遥感; 航磁; 横向构造; 预测模型

随着地质勘探工作的不断深入, 迄今为止凡有明显地表露头的金属矿床已大部被查明。由于采矿工业技术的不断进步及民间采掘的遍地开花, 矿床的开采速度加快, 已探明的浅表矿床几乎被开发殆尽, 目前金属矿床的勘探正向深部努力开拓。

在勘探深部盲矿中, 利用模型勘查方法已经成为矿产勘探方法研究的热点。遥感与航磁复合矿产预测是一种宏观战略勘查, 可在较短的时间内通过快速搜索, 圈划出有利的勘探靶区, 为当今地质找矿界所广泛重视。20 世纪 90 年代以来, 国内外的遥感地质找矿实践中, 发现垂直于区域走向构造的横向构造与大富矿床有一定的相关关系。

一、阴山 - 燕辽金矿成矿带地质矿产背景

阴山 - 燕辽金成矿带 (东经: $107^{\circ} \sim 121^{\circ}$, 北纬: $40^{\circ} \sim 43^{\circ}$) 是我国主要的金矿成矿带和重要金产地之一, 包括: 乌拉山 - 大青山金矿带和燕辽金矿带的中西部, 总面积约 21.6 万 km^2 。已知金矿床 146 处, 其中大一超大型金矿床 7 处 (包括: 金厂峪、东坪、小营盘、哈达门沟等), 金矿点 538 处。已探明的金储量 334 t, 预测资源量约 $1\,000 \text{ t}^{[1]}$, 也是我国黄金潜在资源量较大的地区之一。

(一) 区域地质背景

阴山 - 燕辽金矿成矿带, 位于华北地台北缘中西段, 大面积分布前寒武纪地层。太古宙末麻粒岩抬升至地表后, 古元古代发育北东向裂谷, 沉积形成色尔滕山群、二道洼群等^[2]。华北地台北部发育东西两个中元古代裂谷系, 东部为沈阳 - 北京北东向裂谷, 沉

① 国家科委攀登计划 B 资助课题 (编号: 85 - 34 - 06 - 01)。

积了未变质的长城系、蓟县系等地层；西部为渣尔泰坳拉槽和白云鄂博地斜，分别沉积了渣尔泰山群和白云鄂博群。马家店群可能为华北地台北部南侧第三裂谷枝的沉积。其上的什那干群为太古宙—元古宙古地核—萌地—雏地台形成后的第一套盖层。古生代是兴蒙洋（古亚洲洋）演化期，其历经兴凯—加里东—海西旋回构造演化，导致西伯利亚地台与华北地台对接，形成了统一的古亚洲大陆。阴山—燕辽地区只残留了少量古生代沉积。印支差异升降运动后，燕山期以来强烈的伸展运动，形成侏罗纪—白垩纪及第三纪断陷盆地，形成河湖相沉积及陆相火山岩。第四纪以来，喜马拉雅期以上升运动为主，铸定了现代地貌格局。

阴山—燕辽金矿成矿带的基本构造样式，由中生代以来的东北—北北东向滨太平洋构造系叠加、复合在古生代以前的东西向古亚洲构造系之上而成^[3]。东部东北—北北东向构造线较西部发育强烈；西部主要发育东西向的古亚洲构造系。本区历经中元古代、古生代、中生代、新生代等反复“开/合”旋回，发育有与走向构造近直交的、往往因被掩蔽而难以识别的横向构造^[4]。

区内岩浆岩十分发育，主要为五台期、吕梁期、华力西期、燕山期侵入岩，以海西—燕山期侵入岩（归纳为重熔型、同熔型、碱性花岗岩）最为强烈，与金矿成矿关系密切。

（二）金矿矿床地质特征

区内金矿集群产出，沿断裂呈带状分布，大都集中在基底隆起边缘或构造单元边缘地带。绿岩带变质镁铁质火山岩（角闪质片麻岩类）为主力矿源层和含矿围岩。花岗岩类侵入岩与金矿空间依存，70%以上金矿分布在距花岗岩体5 km之内；碱性花岗岩、重熔花岗岩、同熔花岗岩既是金矿的源岩，又是金矿化的热动力源，也是一些矿床的围岩。矿带分布与矿床定位明显受构造控制，东西向大断裂构造控制矿带展布，次级断裂或多组断裂交切处及褶皱控制矿田、矿体。但是，大一超大型金矿“偏在的异常成矿构造体”，仍是当今需要深化认识和研究的热点^[5]。

二、典型金矿控矿构造模型研究

（一）大一超大型矿床的成矿“偏在性”

大一超大型矿床成矿具有元素优先性（铜最易于形成超大型矿床，金、铁等次之）^[6]、成矿类型的选择性与地域偏集性^[7]、成矿时控性（如中国36个矿种484个大一超大型矿床主成矿期为中生代）、与一定构造格局的依存性（如裂谷构造、陆缘增生带等是大一超大型矿床的有利成矿构造背景）等。在有利于成矿的构造背景中，确定形成于矿源形成期、具有后继岩浆成矿^[5]的岩浆-构造动力学条件和聚矿条件的构造类型，对大一超大型矿床勘查意义重大。

（二）横向构造的概念与控矿作用分析

岩石圈存在着物质组成与结构的横向不均一性，必然在具有不同运动速率或不同伸展量或收缩量的相邻块体间产生撕裂，发育与伸展或收缩运动方向相平行的断裂构造，从遥

感影像角度将其称为横向构造。其主要标志有4点。

- a. 横向构造与伸展或收缩运动方向平行展布，因此，其与区域走向构造近于直交。
- b. 在伸展构造区，横向构造均为正断层或走滑断层；在斜向拉伸时，与走向断层一样，具有伸展分量和走滑分量；往深处延伸，横向构造大都表现为断裂，但也可以是横向隆起。
- c. 横向构造往往间隔开两侧不同的构造样式、沉积面貌、运动学特征及基底性质。
- d. 横向构造具有高渗透性，往往是岩石圈运动中最长期活动的单元，甚至切穿整个岩石圈，成为深部物质上导的通道。

三、遥感与航磁复合分析

横向构造和矿源层的遥感解释方法，易受地表线性景观界限的干扰，航磁对线性构造的识别易出现多解性，将两者有机地结合，相互验证，可大大提高判断的准确度。

(一) 遥感信息的解译方法

1. 横向构造的遥感解释

线性构造的遥感解释方法很多，横向构造作为线性构造的一种，具有突出的地质形态特征：与走向构造直交（或大角度斜交）、断续不连贯的线性分布、隐蔽的破碎带、多期岩浆活动等。

我们采用多种方法处理不同分辨率的遥感数据，利用已知的大桦背横向构造进行对比分析，AVHRR（甚高分辨率辐射计）数据对弥散破碎带有特殊的综合效果，特别是使用了中红外波段增强了横向构造的显示效果（图1）。对阴山-燕辽金矿成矿带进行了线性构造判读（图2），共解释出11条横向构造。

- a. 大桦背横向构造：走向北北西，北纬 41° 处的经向位置为 $109^{\circ}33'$ ；
- b. 土默特右旗横向构造：走向北北西，北纬 41° 处的经向位置为 $110^{\circ}36'$ ；



图1 阴山-燕辽金矿成带 AVHRR 遥感影像

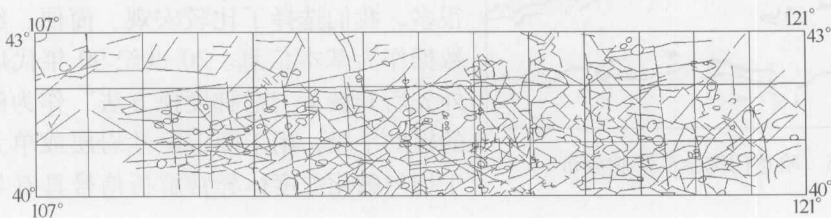


图2 阴山-燕辽金矿成矿带线性构造遥感解译

- c. 呼和浩特横向构造：走向北北西，北纬41°处的经向位置为111°41'；
- d. 察哈尔右旗横向构造：走向北北西，北纬41°处的经向位置为112°41'；
- e. 镶黄旗横向构造：走向北北西，北纬41°处的经向位置为113°48'；
- f. 宣化横向构造：走向近南北，北纬41°处的经向位置为115°07'；
- g. 延庆横向构造：走向近南北，北纬41°处的经向位置为116°04'；
- h. 滦平横向构造：走向北北西，成微弧形，北纬41°处的经向位置为117°09'；
- i. 迁西横向构造：走向北北西，北纬41°处的经向位置为118°26'；
- j. 赤峰横向构造：走向北北西，北纬41°处的经向位置为119°12'；
- k. 绥中-建昌横向构造：走向变为北西，仍与走向构造呈大角度交叉。

解译出的11条横向构造基本上都垂直走向构造发育，除受滨太平洋构造体系影响的绥中-建昌横向构造以外，其他10条都是近南北走向。大部分横向构造都穿过大地构造单元界线并大致呈等间距，平均断距110 km，最大断距为140 km，最小断距为100 km。

2. 矿源岩的遥感解译方法

利用高分辨率成像光谱数据进行区域岩性填图，是当前国际上地质遥感应用研究前沿。本课题中采用了中国科学院上海技术物理研究所研制的72波段成像光谱仪，对余太典型试验区进行了面积全覆盖，所获得的数据光谱分辨率为10 nm，空间分辨率达9 m。为了解决遥感识别含金矿脉的问题，刘庆生博士^①采用了R/Q因子分析方法，利用主成分轴表示变量（波段）和样品（像元），由R型分析结果直接获得Q型分析结果，将Q型因子载荷矩阵转换成图像，便可显示出识别目标。从图4可见含金矿脉比原始成像光谱图像（图3）有明显增强，完全可与矿区1:1万比例尺矿脉地质图（图5）相比拟。



图3 金矿区成像光谱原始遥感图像

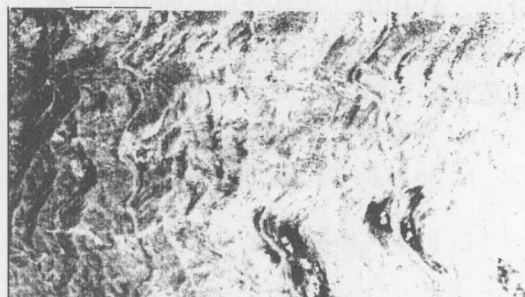


图4 金矿区成像光谱矿脉信息增强图像

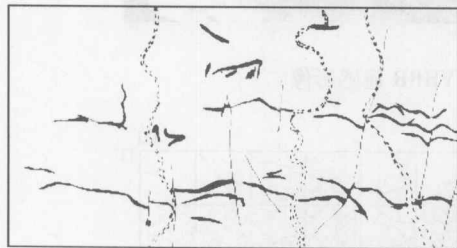


图5 哈达门沟金矿矿脉分布

(二) 横向构造的地球物理判别

利用地球物理方法研究地下地质构造的技术很多，我们选择了比较宏观、简便、经济的航磁数据作为基本信息。20世纪90年代以来，国内外先后开展了“总梯度模方法”作为磁异常解释的辅助手段，用于圈定磁性岩层或单元边界。由于均匀磁化二度体异常解析信号具有与磁化方向

① 中国科学院遥感应用研究所的刘庆生博士参与了成像光谱数据的处理。

无关、受叠加异常影响小、不受正常场选择的影响、对磁性块体边界和线性构造反映明显等特点，对隐伏线性构造、磁性岩脉的定量解释具有较大的应用价值。管志宁等^[8]研究了二度有限延伸薄板体总梯度模反演的的方法，张明华^①研究了反演薄板参数的非线性计算方法。张明华利用区域航磁数据，对阴山—燕辽成矿带进行了横向构造的航磁解释研究（航磁数据只收集到东经 $111^{\circ} \sim 120.5^{\circ}$ ）。从航磁横向构造解释结果（图6）中可见，横向构造发育十分明显。解释出的主要横向构造有13条。

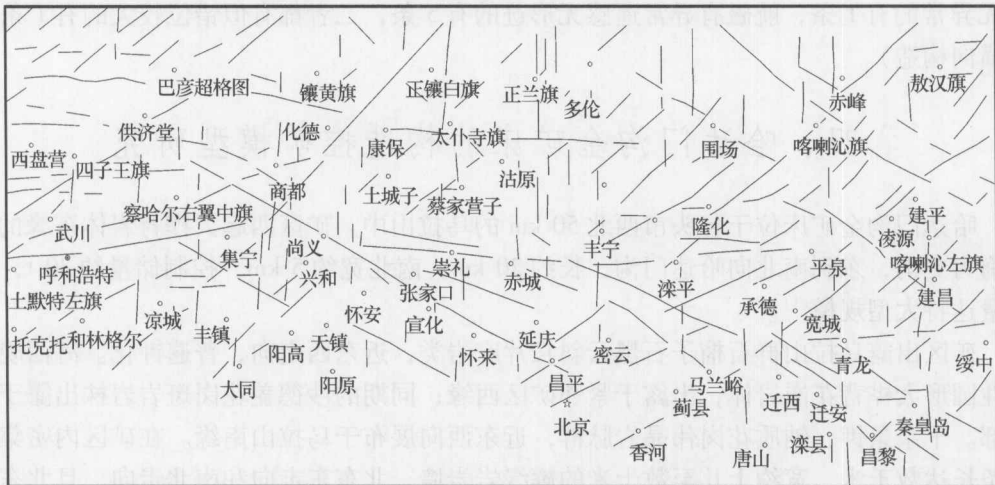


图6 航磁横向构造解释结果

- a. 呼和浩特横向构造，经度位置在 $111^{\circ}41'$ 附近（仅在武川东—四子王旗之间发育）；
- b. 察哈尔右翼中旗横向构造，经度位置在 $112^{\circ}41'$ 附近；
- c. 镶黄旗西横向构造，经度位置在 $113^{\circ}40'$ 附近；
- d. 怀安横向构造，经度位置在 $111^{\circ}24'$ 附近；
- e. 宣化横向构造，经度位置在 $115^{\circ}07'$ 附近；
- f. 延庆东横向构造，经度位置在 $116^{\circ}04'$ 附近；
- g. 丰宁横向构造，经度位置在 $116^{\circ}40'$ 附近；
- h. 滦平横向构造，北部经度位置在 $117^{\circ}10'$ ，南部经度位置在 $117^{\circ}21'$ 附近；
- i. 承德西横向构造，仅在承德以南发育，经度位置在 $118^{\circ}01'$ 附近；
- j. 赤峰西横向构造，在南部青龙以南经度位置为 $118^{\circ}57'$ 左右，北部赤峰附近经度位置为 $118^{\circ}51'$ 左右；
- k. 建平横向构造，在建平—秦皇岛之间发育，经度位置约为 $119^{\circ}43'$ ；
- l. 昌黎横向构造；
- m. 建昌—围场横向构造。

其中后两条是北西向垂直于滨太平洋构造系的横向构造。

航磁解释的横向构造基本上都与走向构造垂直，断续分布，延伸较长，多呈现破碎带

① 张明华. 区域矿产和油气预测的地球物理新方法 with GIS 技术研究, 博士后研究报告, 1998.

状, 构造带基本等距发育 (间距在 60 km 左右), 在一些构造交汇点形成“米”字格局, 较大的交汇点分布在集宁、尚义和商都之间。区域线性走向构造在航磁解释图上反映也比较明显, 大多也都是断续的线性展布。

将遥感横向构造解译图与航磁横向构造解释图套合, 可发现两套横向构造解译结果有非常好的吻合性。遥感与航磁解译的横向构造总共有 16 条, 其中遥感解译的有 11 条, 航磁解释的有 14 条 (其中有 1 条为无数据), 遥感与航磁复合较好的有 8 条, 遥感有形迹航磁无异常的有 1 条, 航磁有异常遥感无形迹的有 5 条, 二者都有但错位较大的有 1 条 (赤峰横向构造)。

四、哈达门沟金矿床的构造控矿模型研究

哈达门沟金矿床位于包头市西北 50 km 的乌拉山中。矿区西起大桦背岩体东缘的南北向梅力更沟, 东到南北向哈达门沟, 长约 20 km, 南北宽约 5 km, 控制储量约 30 t, 远景储量达特大型规模^[1]。

矿区出露乌拉山群石榴子石黑云斜长片麻岩类, 近东西走向, 普遍钾化。海西晚期偏碱性圆形大桦背花岗岩体, 出露于紧邻矿区西缘; 同期的沙德盖花岗岩斑岩株出露于矿区北部。千余条钾、钠质花岗伟晶岩脉群, 近东西向展布于乌拉山南缘。在矿区内密集分布多条长达数千米、宽约十几至数十米的辉绿岩岩墙, 北东东走向和南北走向, 且北东东走向切割南北走向。多条东西走向、南倾断裂构造为主容矿构造。

近百条含金矿脉以东西向展布为主, 少量呈南北向 (图 7)。矿脉由蚀变岩-含金石英脉及其中的角砾岩组成。矿脉群南有长达 7~8 km、宽约 80~200 m 的山前钾化带。含金矿石包括含金黄铁石英脉型、含金钾长蚀变岩型和含金绢云母石英绿泥蚀变岩型 3 种。矿化为钾长石-乳白石英-黄铁矿、烟灰石英-细粒黄铁矿-方解石、石英-碳酸盐岩-镜铁矿等 3 个阶段。围岩蚀变带为钾长石-碳酸盐岩内部蚀变带和绿泥石外部蚀变带。成矿温度为 270~240℃。成矿物质来源为混合源, 上地幔成分高^[1]。

在哈达门沟金矿带中, 发现了一条近南北向展布、隐蔽性较强、地面难识别、具有找矿指示意义的横向构造带 (图 8)。该构造带南北延伸控制长度约 132 km, 切穿呼-包坳陷、内蒙地轴、兴-蒙地槽系等不同地质构造单元, 在航磁异常平面图上, 表现为密集梯级带, 分开西部高磁异常区与东部低磁异常区 (图 9), 与遥感影像融合清晰可见 (图 10)。遥感解译的横向构造位置较航磁梯度带的位置略微偏东, 且破碎带为低磁区, 说明破碎带西倾并未被磁性物质所充填。此构造带在各种比例尺的地质图件上少有反映, 仅在哈达门沟金矿地质图有所反映。

自南向北沿横向构造带分布海西-印支期花岗岩基、南北向辉绿岩脉; 中元古代变质闪长岩体、二长岩体; 加里东期闪长岩体; 印支期、海西期和燕山期花岗岩体及流纹岩、玄武岩; 数条南北向暗色脉岩 (中-北部); 南北向片理、片麻理、破劈理带和元古宙石英岩。相应的南部有哈达门沟大型金矿; 中-北部有十八顷壕小型金矿、小余太铁矿及民采金矿。在 1997 年 10 月野外工作时, 新发现了多条南北向 Pb-Cu-Au 矿化石英-钾长石脉, 在中生代火山岩中发现了金矿化异常。在小余太北东九分子沟、西九分子沟、羊素壕、哈不气沟、石哈河等南北向冲沟中有大规模砂金采矿, 这些矿点大都与南北向矿化石

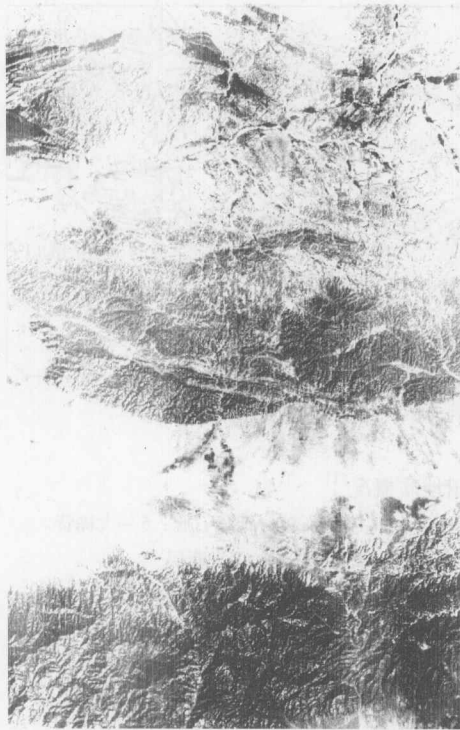


图 10 试验区航磁、TM 数据融合

花岗岩体，岩体的根部向东延伸约 8 km，基本上是从大桦背横向构造入侵，岩体为东西走向^①；北侧为沙德盖重熔花岗岩体，两者地面最近距离约 1.3 km。两岩体上侵释出成矿物质的同时，分别提供水平分力，合力为南东向，驱使矿液向南东运移；大桦背重熔花岗岩体上拱使东西向断裂从西向东张开，向东逐渐收敛提供聚矿空间，矿脉主要沿东西向构造分布，并向西矿化减弱；矿体与伟晶岩脉一起集群分布在大桦背横向构造线两侧。从岩体成岩到矿化结束，持续了 35 Ma。

期?) 花岗岩体、东西向断裂带对成矿有共同控制作用。但是，没有注重横向构造的存在及其控岩、控矿的作用，未重视沙德盖花岗岩基的辅助控矿作用。

综合前人大量地质研究和地球化学分析结论，我们认为哈达门沟大型金矿床形成在中偏深环境；S、C 等同位素表明成矿物质来源为上地幔源；H、O 同位素表明成矿流体为岩浆热液；大桦背岩体成岩年龄为 322 Ma 前后；含金石英脉形成年龄为 287 Ma 前后^[1]；成矿前存在浅层次东西向走向构造带和切达上地幔的南北向大桦背横向构造带。

矿源：金源为乌拉山群矿源层及重熔花岗岩析出；

热液源：为重熔花岗岩析出；

热动力：重熔花岗岩体；

控矿构造：大桦背横向构造带和东西向走向区域断裂带，即这两方向断裂带的交切部位，起着导岩、导矿、容矿的作用。

概括的成矿模型(图 11)：西侧为大桦背重熔

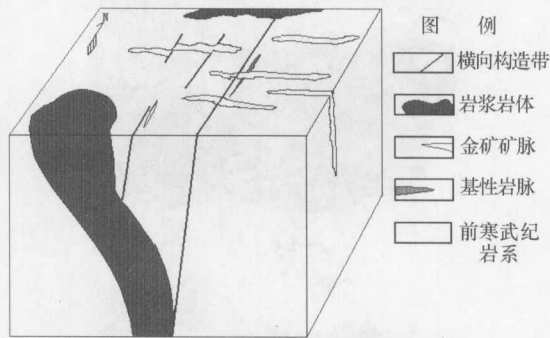


图 11 哈达门沟大型金矿床的成矿构造模型

五、横向构造系统与已知大型金矿床的复合

选择阴山-燕辽金矿成矿带内目前已知超大、大及中型岩金金矿(表 1)进行复合分析。利用矿产资源信息系统将遥感图像、金矿分布图和解译的横向构造图进行叠合(图 12)，结果表明：在阴山-燕辽成矿带，横向构造与已知的超大、大型金矿发育有着较好的相关关系，中、小型金矿的关系更为密切，二者之间确实存在着成因上的关系。由于横

① 刘安洲等。内蒙古乌拉山金矿带控矿条件、成矿规律及找矿预测研究，1995。

表1 阴山—燕辽金矿成矿带已知超大、大及中型金矿床一览表

序号	名称	产地	坐标位置	规模	类型	储量/t	品位/(g·t ⁻¹)	相关构造
1	哈达门沟	内蒙古包头市	109.46°, 40.74°	大	蚀变岩	1.28	4.0	大桦背
2	白云鄂博	内蒙古包头市	109.86°, 41.82°	中	蚀变岩	5.15	15.1	
3	水晶屯	河北省崇礼县	115.09°, 41.84°	中	石英脉	0.33	9.24	宣化东
4	小营盘	河北省宣化县	115.21°, 40.76°	大	石英脉	20.14	7.74	宣化东
5	谷嘴子	河北省崇礼县	115.22°, 40.83°	中	石英脉	—	6.07	宣化东
6	蔡家营子	河北省张北县	115.24°, 41.45°	中	伴生金	—	—	宣化东
7	张全庄	河北省宣化县	115.25°, 40.71°	中	石英脉	4.67	14.24	宣化东
8	东坪	河北省崇礼县	115.40°, 40.87°	大	石英脉	5.37	11.8	宣化东
9	后沟	河北省赤城县	115.61°, 40.90°	中	石英脉	—	5.5	局部构造
10	黄土梁	河北省赤城县	115.65°, 40.93°	中	石英脉	—	6.0	
11	大营子	河北省丰宁县	116.78°, 41.01°	中	石英脉	—	3.5	滦平西
12	北于沟	北京市怀柔县	116.82°, 40.82°	中	石英脉	1.32	7.74	滦平西
13	西驼古	北京市密云县	117.02°, 40.65°	中	石英脉	—	9.50	滦平西
14	牛圈子	河北省丰宁县	117.17°, 41.41°	中	伴生金	—	—	滦平西
15	狮子岭	河北省承德市	117.86°, 41.05°	中	蚀变岩	1.16	7.62	
16	岔沟	河北省迁西县	118.15°, 40.41°	中	石英脉	0.20	7.88	迁西
17	金厂峪	河北省迁西县	118.44°, 40.30°	超大	石英复脉	61.36	7.08	迁西
18	峪耳崖	河北省宽城县	118.51°, 40.29°	中	蚀变岩	8.76	11.51	迁西
19	钟头	河北省宽城县	118.58°, 40.32°	中	石英脉	—	13.60	
20	牛心山	河北省宽城县	118.60°, 40.34°	大	石英脉	8.28	24.02	
21	莲花山	河北省赤峰市	118.60°, 42.28°	中	石英脉	5.07	8.90	
22	大岔沟	河北省青龙县	118.63°, 40.34°	中	石英脉	—	20.00	
23	下营坊	河北省平泉县	118.67°, 40.73°	中	蚀变岩	4.82	3.46	
24	红花沟	河北省赤峰市	118.68°, 42.15°	大	石英脉	8.54	15.79	
25	安家营子	内蒙古喀喇沁旗	118.81°, 41.87°	中	石英脉	6.33	10.00	
26	毛家店	辽宁省凌源县	118.96°, 40.74°	中	石英脉	2.50	1.00	赤峰东
27	柏杖沟	辽宁省凌源县	119.03°, 40.70°	大	石英脉	12.00	15.00	赤峰东
28	漏风赤	内蒙古喀喇沁旗	119.25°, 41.86°	中	蚀变岩	2.93	20.05	局部构造
29	厚大线	辽宁省建平县	119.47°, 42.22°	中	石英脉	0.40	8.00	局部构造
30	撰山子	内蒙古敖汉旗	119.51°, 42.36°	中	蚀变岩	5.78	13.47	
31	南大线	辽宁省建昌县	119.65°, 40.43°	中	蚀变岩	2.80	11.89	
32	小盘岭	辽宁省绥中县	119.92°, 40.47°	中	石英脉	—	5.00	
33	金厂沟梁	内蒙古敖汉旗	120.14°, 41.93°	大	蚀变岩	22.96	7.20	
34	大庙	辽宁省朝阳市	120.21°, 41.75°	中	石英脉	3.00	15.00	
35	二道沟	辽宁省北票市	120.37°, 41.93°	中	石英脉	6.90	13.59	
36	水泉	辽宁省锦西市	120.89°, 40.92°	中	石英脉	5.01	6.73	