

中国地质勘查技术院 主办

勘查地球物理 勘查地球化学文集

第 18 集

遥感地质应用专辑

李志中 方洪宾 主编

地 质 出 版 社

中国地质勘查技术院 主办

勘查地球物理
勘查地球化学文集

第 18 集

遥感地质应用专辑

李志中 方洪宾 主编

地质出版社

·北京·

(京)新登字 085 号

图书在版编目(CIP)数据

勘查地球物理勘查地球化学文集 第18集:遥感地质应用专辑/李志中,方洪宾主编. —北京:地质出版社,1994.9
ISBN 7-116-01675-9

I. 勘… II. ①李…②方… III. ①地球物理勘探-文集
②地球化学勘探-文集③地质遥感-应用-文集 IV. ①P631
②P632

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 05153 号

地质出版社出版发行

(北京和平里七区十楼 100013)

责任编辑:徐才

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.375 彩印:2页 字数:350千字

1994年9月北京第一版·1994年9月北京第一次印刷

印数:1-700册 定价:14.00元

ISBN 7-116-01675-9

P. 1353

序 言

80年代以来,世界范围内以发射对地观测卫星为主的实用遥感技术获得了飞速发展。这不仅表现在卫星数量和种类的增加,而且表现在传感器类型的改进和更新上,其中特别是成像光像仪的研制和使用。可以说,正是遥感技术本身的发展,推动了它在资源和环境观测中更深入更广泛的应用。

我国遥感技术应用于地质找矿已取得了突出的成果,成为地质工作者不可缺少的工具和方法。由于遥感技术具有宏观观测地质体的优势,有利于地质工作者更深入地研究地层、岩体、地质构造、蚀变岩石及矿床的空间分布特征和它们的空间组合规律,使矿床预测的准确率大大提高。而多波段传感器的研制和发射则为充分利用计算机技术直接提取蚀变矿化信息提供了可能。目前,许多新矿床的发现都不同程度地使用了遥感技术方法,但是,应该看到,近年来随着遥感资料数量增加及计算机技术特别是地理信息系统的广泛应用,我们与国际先进水平还有一定距离。摆在我们面前的任务仍很艰巨,如何跟上国际发展步伐,并在地质市场激烈的竞争中立于不败之地,值得遥感地质工作者深思,目前,遥感地质工作者应首先做好以下几方面工作:

1. 把遥感图像处理 and 地质找矿工作紧密结合起来;
2. 加强以遥感为主的多种地学方法综合找矿;
3. 尽快建立并完善主要地质现象的系统解译标志;
4. 建立不同矿种的遥感找矿模型;

5. 积极引进新的地质理论和方法以充实遥感地质内容。遥感地质工作要想得到全社会的支持,要想立于不败之地,就必须在地质找矿方面拿出比较过硬的成果。

由李志中、方洪宾两同志主编的“遥感地质应用专辑”收入了近年来遥感地质研究的最新成果,而且其侧重点也在地质找矿方面。从文章的内容和质量来看,都有一定的独到之处,都能针对某一地区的某一矿种谈出一套较系统的遥感工作方法和程序。因此具有较强的实用性。文集集中的文章基本概括了我国遥感技术在地质研究中的主要方面,代表了近年来我国遥感地质研究的总体水平。本专辑以其内容的丰富翔实及论述的深度而不失为一本优秀的遥感地质应用文集。

愿本书的出版对我国遥感地质工作的不断进步有所裨益。

张 雍

1993年8月20日

前 言

“七五”期间，以地矿部航空物探遥感中心为主的一大批科研生产单位，应用遥感技术方法在地质调查和研究方面取得了一系列成果。并从不同角度探索了遥感地质工作的方法和程序，在地质找矿中产生了一定的效益。我们选编的这本“遥感地质应用专辑”收录了这些成果的一部分，其中大多数文章是地矿部航空物探遥感中心近期内的遥感地质研究成果。

近年来遥感技术的广泛应用令人欣喜，但把遥感地质应用研究成果系统汇集在一起的文集却较少。究竟如何选取适合本地区的遥感技术方法指导地质调查和找矿工作，很多人都难以准确全面地回答这个问题，因此在实际工作中走了不少弯路。这本“遥感地质应用专辑”就是试图解决上述问题，满足实际工作的急需。因此文集选择的内容涉及面较宽，且给每篇文章以充分的篇幅阐述研究思路、工作方法及研究成果，目的是使读者充分掌握文章的精华，结合自己的实际工作尽快地应用这些方法解决工作中的难题。

专辑共收入了 27 篇论文，内容包括：遥感综合技术与找矿方法研究；多数据拟合找矿预测；遥感区域构造和成矿构造研究；遥感技术在石油和煤田地质中的应用；遥感地质研究的新思路和新方法等，最后介绍了国内外遥感地质的进展情况。其中多数论文是“七五”期间国家和部委科研项目成果的再次深化总结，因此无论是研究程序还是技术方法都有不少独到见解。有些论文在学术上有一定的突破，并对某一地区的地质情况提出新看法，引起人们的关注；有些论文简要地介绍了一种遥感工作方法的找矿效果及应用前景，其中有些方法属国内首次提出并使用的；还有些论文对遥感地质研究的方法提出了新见解，值得人们思考。总之，本文集尽可能覆盖了国内遥感地质研究的主流和最新进展。

本专辑由地矿部物探化探成果编辑委员会组织专家学者进行了认真的评审。由于篇幅所限，对收入的文稿均做了不同程度的修改。另外有几篇文章因技术问题未收入，还请作者给予谅解。

本专辑在编辑过程中得到航空物探遥感中心领导特别是遥感部领导的大力协助和支持，同时得到了物探化探成果编辑部的大力支持和悉心指导，专辑中的英文翻译由中国地质科学院矿床所张中民同志完成，在此一并深表谢意。

李志中 方洪宾

1993, 7 月

目 录

1. 遥感综合技术找矿预测应用研究 崔新省 邓兆伦 (1)
2. 初论侵入构造的遥感地质研究 张 雍 李志中 方洪宾 (13)
3. 遥感及地植物信息在铅锌矿勘查中的应用 王品清 (21)
4. 寻找内生隐伏矿数值预测法的应用效果 何裕盛 曹书静 (29)
5. 多数据拟合在新疆库米什地区找矿中的应用研究
..... 方洪宾 孙莉 张学勤 赵福岳 吴承芝 杨清华 张雍 (40)
6. 遥感技术在阿尔夏地区铜、银矿预测中的应用
..... 杨清华 张学勤 赵福岳 吴承芝 方洪宾 张雍 (51)
7. 滇西来利山-老平山锡成矿区多源地质信息的数字图像处理及成矿预测
..... 陈大克 (61)
8. 遥感技术及多数据综合图像处理方法在鄂西地区找金中的应用
..... 王青华 张维清 (69)
9. 利用遥感方法对通化南部地区进行铜、金矿成矿有利地段预测 赵长英 (78)
10. 多数据拟合处理技术在休宁地区找矿中的应用 徐小磊 谷丰 (86)
11. 丹东地区剪切带型金矿的遥感地质研究 吕贻锋 李志中 曹兴男 (93)
12. 遥感图像在铜陵地区断裂构造分析中的应用 刘文灿 (101)
13. 安徽省马鞍山环形构造的分类分级分期研究及典型环形构造的影像成因机理探讨 ...
..... 宋利好 (110)
14. 龙羊峡-寺沟峡区段断裂构造系统的遥感分析 李廷祺 王 毅 张义彬 (119)
15. 利用区域重、磁资料和遥感图像研究吉林辽宁东部区域基底构造及岩体形态
..... 刘洪学 吕庆田 徐淑贞 吴宣志 (126)
16. 应用遥感图像和现代构造理论研究口泉山推覆构造带
..... 李志中 孙 莉 赵长英 (139)
17. 大同煤田遥感构造及应力场分析 李志中 赵长英 晋佩东 (147)
18. 遥感技术结合壤中气测量解决巴林石隐伏矿体预测问题 刘 刚 (157)
19. 吉林老岭成矿带金矿遥感物化探找矿模型分析 丁 谦 (163)
20. 综合分析方法在胶北地区金矿普查中的应用 孟凡让 王品清 (168)
21. 油气微渗透影像特征、图像处理、检测方法和形成机理研究 王福印 (173)
22. 应用机载侧视雷达图像研究塔里木盆地北缘的含油气构造 ... 段 鹏 赵振远 (182)
23. 热红外辐射在大气中衰减问题的探讨 王品清 (190)
24. 遥感构造研究的理论与方法探讨 李志中 张 雍 赵长英 晋佩东 (197)
25. 遥感地质构造解译的建议 邓兆伦 (205)
26. 我国遥感地质学进展和趋势 何裕盛 (214)
27. 90年代遥感地质展望 王品清 (218)

Contents

1. The Application of Remote Sensing Integrated Technique to Ore Prospecting and Prognosis
..... *Cui Xinsheng, Deng Zhaolun* (1)
2. A Preliminary Discussion on the Remote—Sensing Geological Study of Intrusion—Related Structures
..... *Zhang Yong, Li Zhizhong, Fang Hongbin* (13)
3. The Application of Remote Sensing and Geobotanical Information to the Exploration of Lead—Zinc Ore Resources
..... *Wang Pinqing* (21)
4. The Effects of Applying the Numerical Prognostic Method to the Prospecting for Endogenic Concealed Deposits
..... *He Yusheng, Cao Shujing* (29)
5. The Application of Multiple Data Fitting to the Ore—Prospecting Work of Kumishi Area, Xinjiang
..... *Fang Hongbin, Sun Li, Zhang Xueqin, Zhao Fuyue, Wu Ghengzhi, Yang Qinghua, Zhang Yong* (40)
6. The Application of the Remote—Sensing Technique to the Prognosis of Copper and Silver Deposits in Aerxia Area
..... *Yang Qinghua, Zhang Xueqin, Zhao Fuyue, Wu Chengzhi, Fang Hongbin, Zhang Yong* (51)
7. Digital Image Processing of Multi—Source Geological Information and Metallogenic Prognosis for the Lailishan—Laopingshan Tin Metallogenic Province, Western Yunnan
..... *Chen Dake* (61)
8. The Application of the Remote—Sensing Technique and the Multiple Data Integrated Image Processing Method to the Gold Prospecting in Western Hubei
..... *Wang Qinghua, Zhang Weiqing* (69)
9. The Application of the Remote Sensing Method to the Prognosis of Favorable Places for Copper and Gold Mineralization
..... *Zhao Changying* (78)
10. The Application of Multiple Data Fitting Processing Technique to the Prospecting Work in Xiuning Area
..... *Xu Xiaolei, Gu Feng* (86)
11. Remote—Sensing Geology of the Shear Zone Type Gold Deposits in Dandong Area
..... *Lu Yifeng, Li Zhizhong, Cao Xingnan* (93)
12. The Application of Remote—Sensing Images to the Analysis of Faulted Structures in Tongling Area
..... *Liu Wencan* (101)
13. Classification, Grading and Period Division of Circular Structures in Maanshan Area, Anhui Province, with a Preliminary Discussion on Genetic Mechanism of Images of Typical Circular Structures
..... *Song Lihao* (110)
14. Remote—Sensing Analysis of the Fault Structural System of Longyangxia—Sigouxia Area
..... *Li Tingqi, Wang Yi, Zhang Yibin* (119)
15. A Study of Regional Basement Structures and Shapes of Rock Masses in Eastern Jilin and

- Liaoning Using Regional Gravity and Magnetic Data and Remote—Sensing Images
 *Liu Hongxue, Xu Shuzhen, Lu Qingtian, Wu Xuanzhi* (126)
16. The Application of the Remote—Sensing Image and Modern Tectonic Theory to the Study of Kouquanshan Nappe Structural Belt
 *Li Zhizhong, Sun Li, Zhao Changying* (139)
17. Remote—Sensing Structure and Stress Field Analysis of the Datong Coalfield
 *Li Zhizhong, Zhao Changying* (147)
18. The Application of Remote—Sensing Technique Combined with Soil Gas Survey to the Prognosis of the Balinshi Concealed Deposits *Liu Gang* (157)
19. Analysis of Remote—Sensing and Geophysical—Geochemical Ore—Prospecting Model for Gold Deposits in the Laoling Metallogenic Belt, Jilin Province
 *Ding Qian* (163)
20. The Application of Integrated Analysis of Remote—Sensing and Geophysical—Geochemical Data to the Prospecting for Gold Deposits in Northern Shandong (Jiaobei) Area
 *Meng Fanrang, Wang pinqing* (168)
21. Image Characteristics, Image Processing, Detection Method and Formation Mechanism of Oil and Gas Micropermeation *Wang Fuyin* (173)
22. The Application of Air—Borne Side—Looking Radar Images to the Northern Margin of the Tarim Basin *Duan Peng, Zhao Zhenyuan* (182)
23. A Tentative Discussion on the Attenuation of Thermal Infrared Radiation in the Atmosphere *Wang Pinqing* (190)
24. A Discussion on the Theory and Method for Remote—Sensing Structural Study
 *Li Zhizhong, Zhang Yong, Zhao Changying, Jin Peidong* (197)
25. Suggestions on Remote—Sensing Geological Interpretation
 *Deng Zhaolun* (205)
26. Advances and Development Trend of Remote—Sensing Geology in China
 *He Yusheng* (214)
27. Prospects for Remote-Sensing Geology in 1990's *Wang Pinqing* (218)

遥感综合技术找矿预测应用研究

崔新省

(中国地质大学, 北京 100083)

邓兆伦

(地质矿产部航空物探遥感中心, 北京 100083)

最新矿床成因研究表明: 矿质是多来源的, 成矿是多阶段的, 成矿作用是多因素的, 矿床成因是复杂的, 有些矿床的成因比较清楚, 有的则比较复杂, 甚至矿床开采完毕, 其成因还争论不休。根据矿床成因概括的矿床成因模型, 有的比较成熟, 易于为研究者接受, 如斑岩铜矿模型等, 有的则众说纷纭, 同一个矿床出现多个成因模型, 莫衷一是。

矿床是地质体, 它产于一定的地质环境中, 矿床及其环境有各种属性, 在地球物理、地球化学和遥感信息上与无矿地段的属性不同, 它们是矿床存在的指示标志, 可以用各种方法检测出来。根据矿床上述标志总结出来的“找矿模型”, 看得见摸得着, 对于找矿来说比较现实。研究工作的重点, 放在提取找矿标志和总结找矿模型问题上。

众所周知, 每种找矿方法只能在一定范围内适用, 以探测地质体为目的的方法, 除传统的地质方法外, 尚有地球物理, 地球化学方法和新近发展起来的遥感方法。传统的地质方法, 包括古生物、地层、矿物, 岩石和构造等地面和钻探研究, 所获资料可靠, 但基本上为地表信息, 其研究深度与研究者的知识水平和工作程度有关, 对深部的研究多属推断的, 而且点、线之间广大地区的变化情况也多是推断的, 人为因素较多。物探方法使用较长的波长, 资料反映的是地质体深部各种属性的信息。化探资料反映的是地质体的地球化学属性和矿化浓集程度。遥感方法使用从可见光到红外、热红外及微波探测, 资料反映的基本上也属地面浅部的结构信息和光谱信息, 但资料基本上是连续的, 宏观性、立体性强, 比地面地质方法有较多优越性, 而且从提取光谱信息中发展起来的矿物填图和岩性填图, 更能反映地质体的蚀变和岩性变化的全貌信息。以遥感方法为先导, 上述各种方法紧密结合起来, 将使人们对地质体从空间上从各种属性上有全面的认识, 这对地质找矿有非常现实的意义。

不同类型的矿床有不同的地质问题和找矿标志, 针对不同的地质问题, 合理地选用某种方法, 或灵活地综合不同的方法, 是快速取得找矿效果的关键。在华北地台北缘找矿预测方法中作了下面的尝试。

一、建立区域构造格架, 研究矿产分布格局

利用遥感影像研究构造, 效果明显。

朝鲜北部的利原—惠山一带由南东至北西分布着检德特大型铅锌矿、甲山大型铜锌矿、云兴大型铜矿、卢仲里金矿和惠山大型铜矿等, 前两个矿床为层控型, 赋存于下元古界碳

酸盐岩中，云兴和惠山大型铜矿为热液型或斑岩型，产于断裂带中，附近有中酸性浅成—超浅成岩体或岩脉。这是朝鲜矿化丰度最高的成矿带，受南东-北西走向的北大川，长坡里-惠山和虚川江3条相互平行的断裂带控制，从它们的走向趋势看，应该延伸到我国长白山地区。因此，对鸭绿江两岸的地质对比主要通过遥感资料研究来进行，国内部分研究，还充分利用了区域重、磁和化探资料。

将鸭绿江两岸10景TM磁带在I²S101图像处理系统上进行镶嵌，采用色调调整，最佳拼接点选择和拼接点两侧灰度圆滑等技术处理，制作成1:20万优质镶嵌图像，作为研究区域构造的重要资料。中国部分的区域重、磁资料进行各种转换处理和反演，绘成各种过渡性专题图件，包括磁化极图，上延3个高度（10、20、30 km）图，一阶导数图，磁化强度图等，与遥感图像一起解译研究区域构造格架。

断裂在遥感图像上的方向、长短、宽窄变化一目了然，解译标志直观清楚。断裂规模的判断和构造单元划分主要根据重、磁场的5个特征：①异常轴的展布方向，②异常的梯度变化，③异常幅值或强度，④异常的平面形状，⑤局部异常的分布疏密等。重磁场推断的断裂有深度意义。将遥感与重、磁场资料结合起来解译，可将本区断裂分为：超岩石圈断裂（台缘断裂）或岩石圈断裂、地壳断裂和基底断裂（图1）。从断裂形态以及相互交切关系确定断裂方向为：东西向，弧形及北东向，北北东向。

结合地质资料分析，本区吕梁运动奠定了东西向构造基础；印支运动对东西向构造产生改造影响，局部形成弧形构造，总体为北东向构造；燕山运动北北东向构造叠加于前两期构造之上。

印支运动对东西向构造的改造表现有二：一是太古界狼林群隆起并向北东推移，使下元古代至古生代地层随同其间发育的褶皱、断裂呈向北东凸出的带状弧形展布；在朝鲜的德城至检德一带，褶皱带由北东向弯转为南北向，检德至惠山，褶皱带呈北北西向，内弧延过鸭绿江。在我国长白山沿江村至十七道沟，由北西—北西西转为近东西向，十七道沟—八道沟总体近东西向，过八道沟后呈北东向向南西延伸至朝鲜境内，这就是内弧虚川江断裂带；外弧的长坡里—惠山断裂带及北大川断裂带与内弧同步弯转。这样，北大川断裂带，长坡里—惠山断裂带及虚川江断裂带的最外一条断裂—春冬断层均延过鸭绿江至我国长白山玄武岩之下。狼林隆起及线性构造的弧形弯转在TM图像上非常清楚。鸭绿江等北东向断裂，切断了弧形褶皱带的中国部分，使下元古界呈不连续分布（图1、图2）。

由于狼林太古界地块隆起并向北东推移，使原来分布于其北部近东西向展布的（营口—检德）下元古代裂陷槽的巨厚地层被推挤呈北东凸出的弧形展布，这样，受推挤呈弧形展布的下元古界必然被拉薄、拉断，而狼林隆起的東西两侧受影响小的地方则下元古界出露齐全，厚度变化小。从下元古界的岩性展布来看（图2），符合上述结论：在朝鲜以检德为中心，下元古界分布最宽，向北北西向逐渐变窄，过鸭绿江延至我国长白境内分成两支，一支在二十道沟东侧向北西延伸，为碳酸盐岩系，另一支由沿江—十八道沟延至六道沟以西，因玄武岩覆盖呈不连续状态。吉林的老岭地区和通化—正岔，为两段下元古界，上、中、下地层齐全，但出露不宽，厚度不大。它们之间为古生界所隔。辽宁部分从营口—岫岩—宽甸呈东西向宽带状展布，宽甸以东至鸭绿江，下元古界以底部为全，中、上部次之；以西隆昌州—草河口一带三者出露齐全。

纵观全区，下元古界出露最全者有两处：一是检德一带，一是营口—宽甸一带。它们

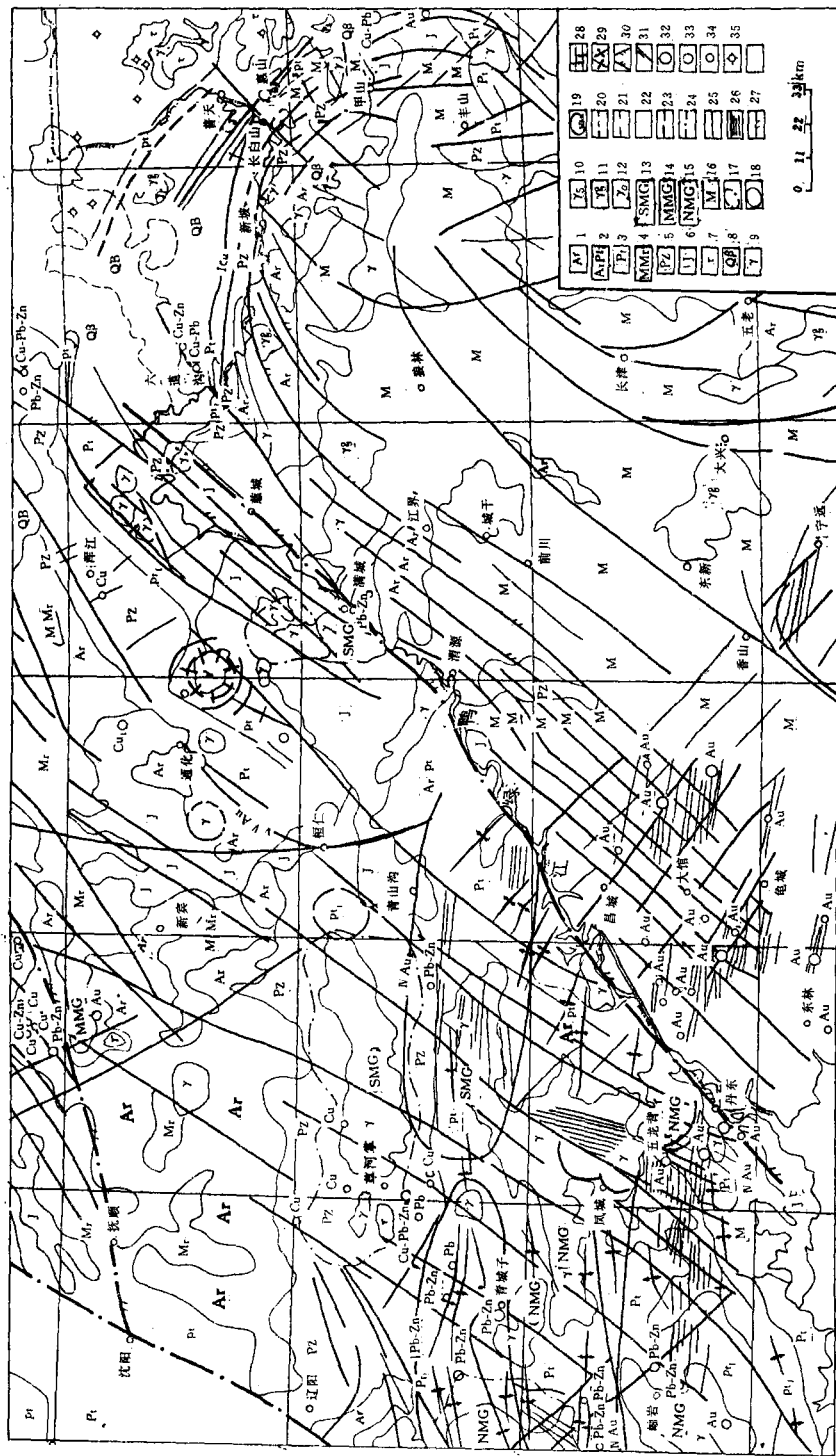


图 1 鸭绿江两岸区域构造遥感、重磁综合解释图

Fig. 1. Remote-sensing and gravity-magnetic composite interpretation map of regional tectonics on both sides of the Yalu River.

- 1—鞍山群含铁建造; 2—辽河群鞍山群未分; 3—辽河群鞍山群混合岩及混合花岗岩; 4—混合岩及混合花岗岩; 5—古生代盖层; 6—火山岩; 7—火山灰; 8—玄武岩; 9—花岗岩;
- 10—燕山早期花岗岩; 11—燕山晚期花岗岩; 12—海西晚期花岗岩; 13—酸性花岗岩; 14—弱酸性花岗岩; 15—无酸性花岗岩; 16—磁力高; 17—推断岩体主体部分;
- 18—岩性边界; 19—区域成矿预测区; 20—地质体隐伏边界; 21—浑江-太子河坳陷边界; 22—坳陷区; 23—台缘深断裂; 24—岩石圈断裂; 25—地壳断裂;
- 26—基底断裂及纬向韧性剪切带; 27—纬向断裂带; 28—一向背斜向斜带; 29—印支期东北-西北向及弧形褶皱带; 30—印支期东北-西北向及弧形断裂带;
- 31—不同规模的北东向断裂; 32—大型矿床; 33—中型矿床; 34—小型矿床; 35—火山口

都处于北纬 40°—41°上下,可能是原裂陷槽的位置,未经受大的位移和变动,而它们之间呈断续的弧形展布,所以,在中国一边寻找层控铅锌矿重点应放在营口—宽甸一带。

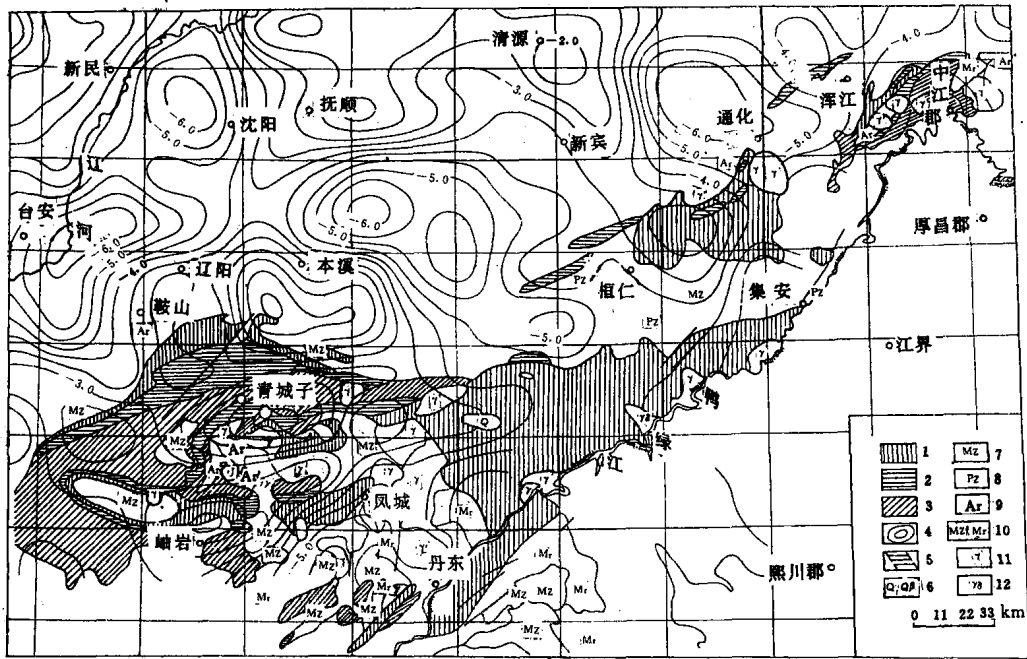


图 2 鸭绿江西岸下元古界岩性展布及磁性顶深图

Fig. 2. Map showing distribution of Lower Proterozoic rocks and magnetic top depths on both sides of the Yalu River (Chinese part)

- 1—基底深度等值线; 2—下元古界盖县组、花山组、临江组; 大栗子组南大川统; 3—下元古界大石桥组、珍珠门组、非大川组; 4—下元古界高家峪组及里尔峪组、台山及新开河组、城津组; 5—推断大石桥组分布区; 6—第四系、第四纪玄武岩; 7—中生界; 8—古生界; 9—太古宇; 10—混合岩 混合花岗岩; 11—花岗岩类; 12—花岗闪长岩

弧形曲率最大的部位发育横断层,如甲山—惠山,长白—十八道沟一带及荒沟山一带,它们有利于岩浆和火山活动,因而有利于内生金属矿床的寻找。

二、利用磁性顶界面反演,推断层状铅锌矿有利赋存地段

朝鲜检德层控型铅锌矿,赋存于下元古界北大川统碳酸盐岩中,这一地层与我国吉林的老岭群珍珠门组,辽宁的辽河群大石桥组可以对比(表1)。

借鉴朝鲜的经验:层状铅锌矿体与贮矿围岩厚度正相关,并和第一期褶皱关系密切等开展研究和找矿预测。

研究区属地台区,下元古界在吉南,辽东和朝鲜表现为下部变质岩系,无磁性到微弱磁性,中部碳酸盐岩系和上部片岩系,无磁性。底部与强磁性的鞍山群、狼林群呈不整合接触,顶部被上元古或古生界无磁性岩系不整合覆盖。

磁性顶界面是指产生磁场的源体顶面组成的一个统计平均界面。反演的方法很多,这里用的是由候重初等提出的直接利用位场计算磁性顶界面的深度。本区南部,不存在磁性

岩浆岩和火山岩，因此，磁性顶界面反演的基底深度等值线（图 2），在本区就是反映太古宇顶面的起伏，其深度就是太古宇以上地层厚度的总和，在只有下元古界分布的地区即为下元古界的厚度。可以看出，青城子以东、以西存在着一个长 50 km 公里，宽 25 km 的下元古界厚度区，最大厚度 5 km，平均 4.5 km。这里是下元古界 3 个岩系齐全的复向斜，尽管存在着褶皱叠加和逆冲叠瓦推覆断层系使地层重复和加厚现象，使该厚度不能完全反映原始沉积成岩厚度，但褶皱叠加和逆冲叠瓦推覆断层在下元古界中普遍存在。所以，磁性顶界面反演厚度大的地方原始沉积也应该是相对较厚。这里分布有青城子等大、中型铅锌矿矿床 3 处，小矿床、矿点 170 余处，因此，这一带具备寻找大、中型层控铅锌矿床的物质前提。其它地区则不具备这种条件，这与上节分析是一致的。

对青城子铅锌矿床构造研究表明，层状矿体受吕梁期紧闭线型褶皱和层间剪切，层内剪切的控制，印支期为北东向宽缓褶皱，脉状矿体受北东向断裂控制，与检德铅锌矿控矿构造类型一致，不同的是后者第一期褶皱走向北北西，前者为北西西。

利用遥感图像解译的线性构造信息，结合常规地质资料中的矿产及有关地层岩性信息，进行统计分析和含矿概率及含矿岩系嫡值的计算，共圈出 13 个概率异常和 27 个嫡值异常。两者吻合部位对层控铅锌矿有明显指示意义。其中石家西沟异常经地面验证结果表明，地表植物异常，激电异常及地球化学异常吻合，并见铅锌矿矿石。由此进一步证明青城子地区寻找大、中型铅锌矿是有前景的。

表 1 中国辽东吉南与朝鲜北部前寒武系对比表
Table 1. Correlation of Precambrian strata in east Liaoning and south Jilin of China and in north Korea

宇界	系	中国辽东—吉南				朝鲜北部	
		辽东		吉南			
元上	震旦系	金县群		八道江群		驹岬系	
		五行山群		浑江群		天垩山系	墨川统
	青白口系	细河群		细河群		柯堂隅统	直岬统
古中	蓟县系 长城系						
宇下		辽河群	盖县组	老岭群	花山组 临江组 大栗子组	摩天岭系	南大川统
			大石桥组		珍珠门组		北大川统
			高农峪组	集安群	达台山组（部分清河组）		城津统
			里尔峪组	新开河群			
太古宇		鞍山群		鞍山群		茂山群 狼林群	

三、追踪韧性剪切带，寻找五龙型金矿

我国丹东地区的五龙金矿、四道沟金矿储量仅有朝鲜天摩大型金矿带的 1/10 左右。那么，天摩金矿与五龙金矿受什么构造控制呢？在我国境内能否找到更多的五龙型金矿？有人根据第一代卫片（MSS）解译，天摩一带存在规模较大的北西西向断裂，认为金矿是受它控制的，于是在中国境内沿北西西方向断裂找金，但这组断裂过江后在我国不发育，未见成效。

在 TM 镶嵌图像上，强大而明显的北北东向线性断裂切割分布于正地形上的较弱的北东东向线性影像上，经地面检查，标本鉴定，发现构造岩为花岗质糜棱岩和糜棱岩化花岗岩，又经岩组分析，石英变形测量和富林图解，确定该北东东向较弱之线性影像为韧性剪切带之反映。这组韧性剪切带在天摩金矿带同样发育，它与北西西向断裂呈 15° — 20° 的夹角，并被后者所切割。据花岗质糜棱岩含金分析结果，金的富集状态受变形强度控制，与韧性剪切带的强带正相关。

区内的三股流花岗岩体为无磁性花岗岩体，根据对花岗岩重、磁场特征的研究，花岗岩可分为磁性花岗岩、弱磁性花岗岩和无磁性花岗岩三类。统计表明：金矿与无磁性花岗岩有关，说明金矿与花岗岩无成因联系，花岗岩的作用仅仅是为金的活化和迁移富集提供热源。金几乎与强磁性花岗岩无关。普遍认为金来自变质岩系——辽河群。

根据上述认识，建立了五龙金矿成矿模型：

1. 辽河群海底火山喷发沉积，形成初始矿源层；
2. 中、高级区域变质作用、深熔作用、花岗岩化作用及韧性剪切作用使金活化转移，局部富集。金的富集与韧性剪切的强带正相关；
3. 无磁性的中酸性岩体的热流作用，使金进一步富集，在北东、北北东向断裂的次级断裂中沉淀成矿。

五龙金矿找矿模型：在盖县组（吉林的集安群和老岭群的花山组）地层中找韧性剪切带，若附近有无磁性花岗岩体又有北北东或北北西向脆性裂隙，就可能找到五龙型金矿。

找矿预测：丹东-盖县以南，为辽河群盖县组分布区，从 TM 图像解译出一个较宽的韧性剪切带，沿此带分布若干个无磁性花岗岩体，砂金矿床、矿点星罗棋布。据此预测该带为寻找五龙型金矿远景区。在其中的杨木和沙里寨作了初步验证，新发现十多条含金石英脉，地表品位为 $(0.05-8.29) \times 10^{-6}$ （图 1）。

四、提取蚀变岩光谱信息，寻找斑岩铜矿

前已述及，狼林隆起向北东凸出的弧形曲率最大处有利于内生矿产的寻找，在朝鲜部分分布有云兴铜矿和惠山铜矿，云兴铜矿离长白县 10 余公里，惠山铜矿与长白县一江之隔，距鸭绿江 700 m。所以，长白县一带为研究的重点地区。

斑岩铜矿是火山活动的产物，它具有面型蚀变的特点，蚀变面积比斑岩体或矿床大十几倍到几十倍。这种蚀变岩为含氢氧根的高岭石类岩石，同时，矿体及蚀变岩富含黄铁矿，它易于氧化为褐铁矿。高岭石类蚀变岩及其土壤，黄铁矿及其风化土壤，通过 TM 数据处

理,可以提取出来。于是设计获取含 Fe^{3+} 的岩石和土壤以及含 OH^{1-} 矿物的岩石和土壤的图像处理方案。

由于含氢氧根的粘土矿物在 $2.15-2.4 \mu m$ 附近为吸收谷 (图 3), 而在 $1.65 \mu m$ 附近有最高的反射率值。因此, 用 $1.65 \mu m/2.22 \mu m$ (相应于 TM5/TM7) 可使含粘土矿物蚀

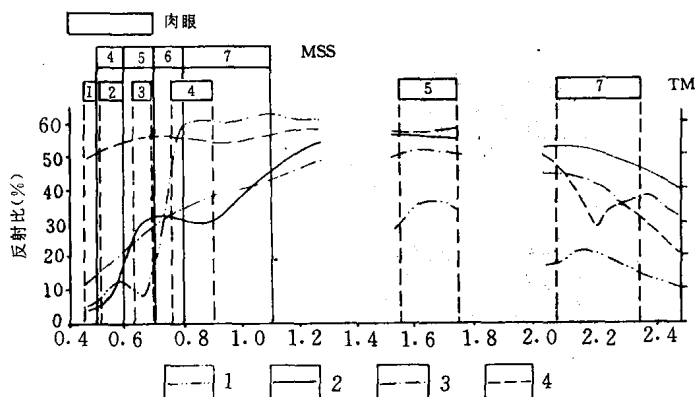


图 3 铁、粘土、碳酸盐类与植物叶绿素的特征吸收带位置

(据国外遥感地质通讯, 总 033)

Fig. 3. Locations of characteristic absorption bands of iron, clay, carbonates and vegetation chlorophyll

变信息得到增强。一般地说, 在干旱地带, 这一比值高即表明有含氢氧根矿物或岩石存在, 但在植被密度较大的地区则受到影响, 因为 $1.65 \mu m/2.22 \mu m$ 也会受到植被叶面所含水量的影响。为了“消除”植被效应采用了包括植被指数 (IR/R) 和反植被指数 (R/IR) 在内的即 $1.65 \mu m/2.22 \mu m$ (红) IR/R (绿) R/IR (蓝) 做 3 个变量的彩色合成图像如 (图版 I-1), 减少植被的影响从而突出蚀变岩。从图版 I-1 看出: 红色斑块应该是高岭石类蚀变岩, 但有的斑块颜色浓些, 有的淡些。浅青色为植被, 深青蓝色为密林, 浅蓝色为农田, 白色为水体。

为了识别含 Fe^{3+} 岩石和土壤, 划分植被与含蚀变岩植被区的界线, 利用褐铁矿等在红光波段反射率较高而在绿光波段反射率较低的特征, 采用 TM5/7 (红), TM3/1 (绿) 和 TM4/3 (蓝) 进行彩色合成 (图版 I-2)。从图版 I-2 可以看出: 水体为浅红紫色, 植被为蓝色, 密林为深蓝色, 农田暗灰色, 一些基岩露头为黄色, 红色斑块范围与图版 I-1 中的一样, 但饱和度变高, 图版 I-1 中的淡红色部分表现为饱和的紫红色,

对比图版 I-1 和图版 I-2 两个图像可看出: 由于图版 I-2 没有消除植被叶面含水量对蚀变岩的影响, 所以紫红色斑块分不出浓淡两部分, 而水体也呈现浅紫红色。因此, 图版 I-1 中的红色斑块中浅色部分包含了蚀变岩和植被, 而色浓部分则主要为高岭石类蚀变岩。据以上分析进行蚀变岩填图 (图 4)。由图可看出, 蚀变岩沿惠山-梨树沟断裂和虚川江断裂带分布, 在马鹿沟一带集中分布, 形成一个蚀变中心。经野外 11 个点的实地验证, 上

述红色斑块分布区均属高岭石、地开石、花岗斑岩脉和绢云母绿泥石等蚀变岩。

在区域重力异常图上，马鹿沟一带为一负值异常中心。1987年航空物探遥感中心完成吉林鸭绿江沿岸地区航空磁测，从所获得的 ΔT 平面等值线图(1/10万)来看，马鹿沟一带有一个吉C-87-241异常，面积3—4 km²，异常值300 nT左右。从区域化探测量得知，马鹿沟-十九道沟为Hg、Au、Ag、As、Sb、Zn、Bi、Mo异常带。根据斑岩铜矿的地质特征模型，推断这里存在一个隐伏斑岩体。

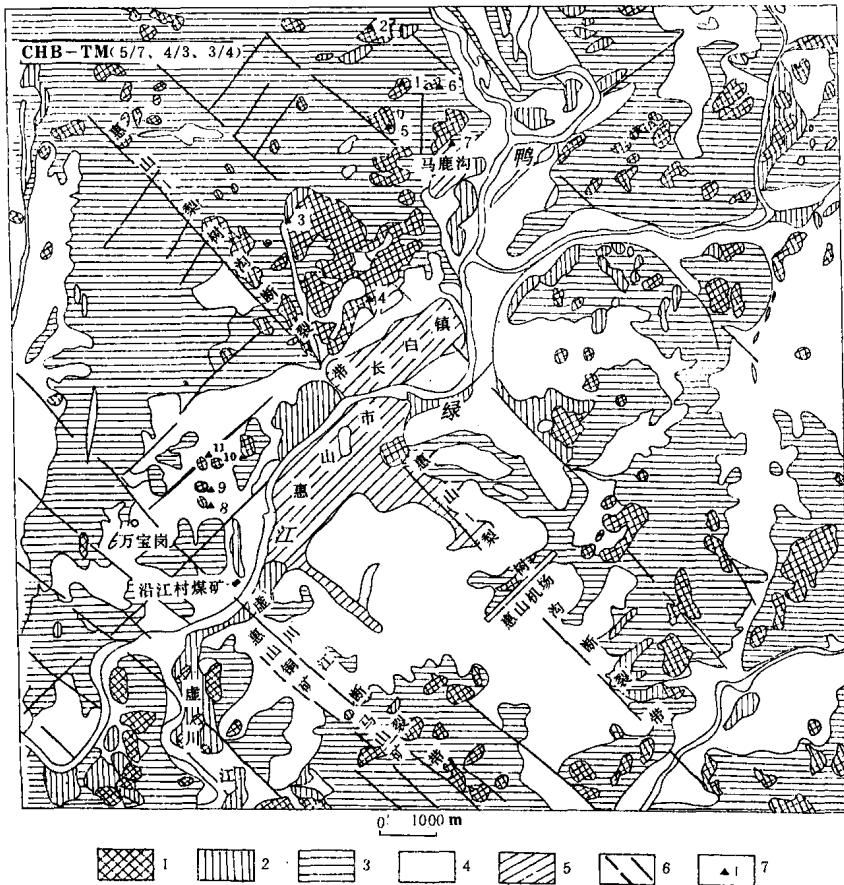


图4 长白地区TM数据图像处理解译图

Fig. 4. Image processing interpretation map of TM data of Changbai Mountains

1—蚀变岩；2—未蚀变岩；3—植被；4—农田；5—城镇；6—断裂、推断裂；7—野外验证点

在这里，初步做了水系沉积物测量，圈出3km²的金异常，在10 kg沉积物中淘出粗金24粒，在构造裂隙中充填有黄铁矿脉，局部见铜蓝。所以，马鹿沟一带有望找到上金下铜的斑岩铜矿。

五、朝鲜惠山式铜矿控矿条件追踪及勘查程序

惠山铜矿在鸭绿江南岸700 m，受春冬断层控制(图5)，是在找煤过程中发现的。它与我国长白沿江村煤矿遥相呼应相距不过1000 m。通过遥感图像解译，发现春冬断层穿过

鸭绿江延至长白县沿江村-万宝岗一带(图6), 实地考察发现: 春冬断裂的西盘为晚达统灰岩, 相当我国 F_2 断层西盘中奥统灰岩, 东盘为平安煤系即我方 F_2 东盘之中一上石炭统煤系; 春冬断层之上存在下元古界惠山群石英岩、片岩系, 它相当我国老岭群临江组片岩, 以较低角度推覆在煤系及中奥陶灰岩之上, 在我国为 F_1 断层。即控制惠山铜矿的构造及地层岩性组合与我长白沿江村的构造及地层岩性组合一一对应。这里的鸭绿江宽度不到 100 m, 从地层及断层走向看, 两岸地层, 构造是相连的。

通过对 TM 图像的区域构造解译及研究发现: 春冬断层是虚川江断裂带最东面的一组断层, 其上为下元古界上部片岩, 推覆于石炭—二叠煤系地层之上, 这一断裂呈弧形从沿江村—万宝

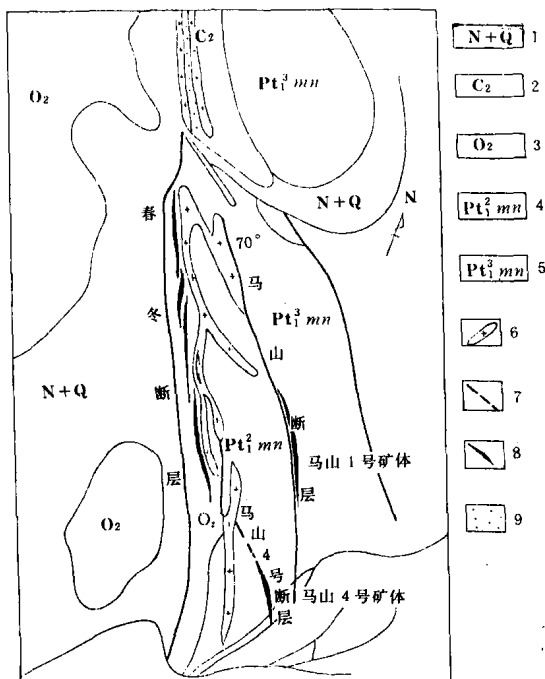


图5 惠山铜矿地质概图

Fig. 5. Geological sketch map of the Huishan copper deposit

1—第三系、第四系地层; 2—中石炭统; 3—中奥陶统; 4—下元古界惠山群上段; 5—下元古界惠山群中段; 6—花岗斑岩; 7—断层; 8—矿体

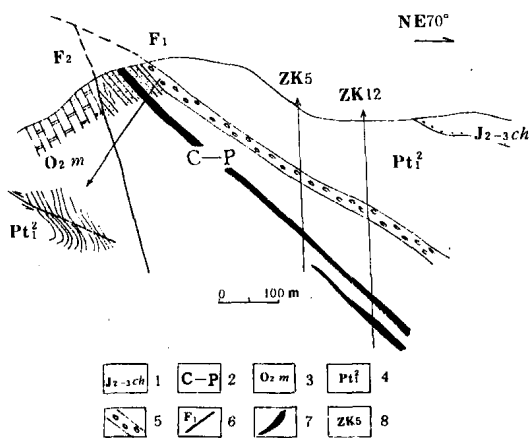


图6 长白沿江村地质剖面图

Fig. 6. Geological section of Yanjiang Village, Changbai County

1—侏罗系长白组凝灰岩、安山岩、流纹岩; 2—石炭—二叠系石灰岩、煤系夹灰岩透镜体; 3—马家沟组壳晶灰岩(大理岩化); 4—下元古界临江组石英岩; 5—断层角砾岩带; 6—断层及编号; 7—矿体; 8—钻孔及编号

岗—十八道沟—十七道沟—十三道沟—八道沟一带展布。

对区域化探资料作计算处理, 发现沿江村—万宝岗—十八道沟—十三道沟存在一个 As、Sb、Bi、Pb、Cu 等元素异常带。区域重力异常图上, 沿江村—万宝岗一带为负异常。航磁为孤立的正异常(C-87-236号异常)。推测此异常为隐伏岩体所引起, 应该有成矿远景, 所以, 确定沿江村—万宝岗一带作为寻找惠山式铜矿的靶区。

地面遥感验证发现上述靶区内的水泥厂以北存在与惠山铜矿初期发现的雄黄雌黄露头与春冬断层对应的 600 余米断层存在强