

陆地卫星 MSS 图像与地学资料的 综合处理及计算机成矿预测

丁跃民 赵元洪

(浙江大学地球科学系)

1986年8月17日收稿

摘 要

本文研究了陆地卫星 MSS 图像与地质、地球物理、地球化学资料综合处理的方法和计算机成矿预测方法。文中提出了多信息机助综合处理方案,设计了地学资料数字化方法,建立了采用综合定性资料的计算机成矿预测方法,并于浙江省黄岩县五部铅锌矿区进行了应用研究。

研究表明,在综合处理中地学资料数字化和多种数据的几何配准是必需的。综合数据的分析和解译可以提供丰富的地质构造信息。采用综合定性资料的 TQ2 分类预测法是有效的,计算机成矿预测结果是可信的。

一、前 言

遥感与地学资料的计算机综合处理和综合判读,作为地质矿产勘查中一种有效的方法,正在得到广泛的重视。近几年来,许多国家已经开始研究遥感信息与其它地学资料的综合处理和综合应用,尽管综合处理技术尚待进一步的深化和发展,但是在铜矿、铅锌矿、铀矿及油气田等的矿产资源勘查中取得的成效^[1-3]已显示出广阔的前景。

1984年在美国科罗拉多召开的国际环境遥感讨论会第三次“地质勘探中的遥感”专题讨论会上,美国的埃里克森提出了所谓的“遥感与漏斗新勘探原理”^[4],其特点是综合应用卫星遥感、航空地球物理、地球化学勘探、地面地质调查、地震及钻探等各种技术,从上到下、由大到小逐步圈定和缩小找矿靶区,充分发挥遥感技术的特点,提高矿产勘探的效率。因此,遥感信息与地学资料的综合处理和应用,是遥感地质学向纵深发展的一个新的方向。

目前,国内在这方面的研究也已开始,并且越来越受到重视。本项研究工作是在1985年初以浙江省黄岩县五部铅锌矿及外围为研究区,着重探讨了陆地卫星 MSS 图像与地质、航磁、化探资料的综合处理方法,及利用综合资料的计算机自动成矿预测方法,并探讨了它们在研究区地质构造判读和成矿预测方面的应用。

选择1:5万宁溪幅中面积约432平方公里的区域为研究区,区内有浙江省重要的五部铅锌矿,地质工作程度相应较高,地学资料相对较全,具有遥感地质多信息综合研究的必要条件。区内有较大范围的化探异常,并发现有多处矿(化)点,为计算机综合成矿预测提供了有利的条件。因此,在这个地势起伏大、交通不方便的地区,根据区内已知矿床的研

究成果,采用综合信息成矿预测,寻找和推断区内新的成矿有利地段,具有重要的经济价值和实际意义。

二、综合处理与综合预测方法

1. 综合处理方法

综合处理是将遥感图像与地质、物探和化探资料进行几何配准和多信息复合,通过综合显示、图像增强和信息提取,研究复合信息所反映的相关关系和综合特征。

通常大多数地学资料都是由点、线和面构成的图件,因此,必须对这类地学资料进行数字化,并按需要以定性或定量的数据来表示。研究中针对常用的人工数字化方法工作量大、效率低的情况,设计了“定性图件摄像数字化方法”,并应用于试验区 1:20 万化探异常图和地质图。方法的基本步骤是先对这些定性的专题图进行必要的预处理,然后摄像输入计算机,并用控制点作几何畸变校正,最后通过密度分割或多光谱分类方法,形成数字化的定性图件。试验表明,这是一种快速有效的方法。

在多种系统来源的图像和数据中,由于成像与成图的投影方式不同,以及不同时间成像的遥感图像的工作状态各异,都会引起图像本身的几何畸变和图件之间的几何误差。因此,必需选定统一的坐标系,对所有资料进行几何纠正和配准。这样,除了消除 MSS 图像中某些非连续性畸变外¹⁾,一般图像和地学图件的几何配准可采用下列变换函数:

$$\begin{cases} I = F_1(X, Y) \\ J = F_2(X, Y) \end{cases} \quad (1)$$

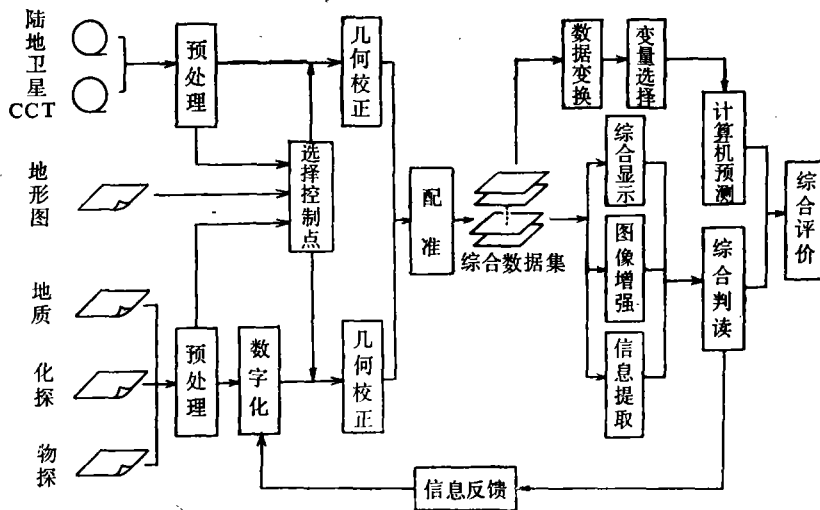


图 1 多信息机助综合处理方案

Fig. 1 The scheme of computer-aided integrative processing of multi-source data

1) 赵元洪、陈岚、丁跃民等,卫星遥感图像(子图)地理位置纠正、分类与成图研究,第四届全国遥感技术学术交流会论文,1985年。

并用下列重取样方法成图:

$$G_N(X, Y) = T[G_0(I, J)] \quad (2)$$

式中, I, J 为图像的行、列坐标; X, Y 为选定的统一坐标系的坐标; G_0 为原始图像; G_N 为配准后的图像。

研究中针对实际问题, 建立并采用了一个多信息机助综合处理方案(图 1)。方案中, 在各种数据几何配准的基础上, 建立多信息的综合数据集, 进而对各种图像进行综合处理和综合判读; 另一方面, 综合判读成果的信息反馈有助于成矿预测。

2. 综合成矿预测方法

计算机成矿预测能更好地综合利用多种信息, 揭示研究区的地质成矿规律, 加速地质矿产研究工作的进程。成矿预测的一种基本方法是从已知到未知, 从已知的典型矿床中提取和分析主要的成矿特征和标志, 建立必要的判别决策, 然后利用多种数据对未知地区进行综合统计分析, 识别和推断成矿有利远景区。

在计算机成矿预测中, 各种地学数据都是以一定的单元或网格来取值的。单元是建立预测模型和成矿预测的基本形式, 它的形状和大小对预测结果有很大的影响。一般, 最常用的单元形状是正方形, 尽管正方形单元包含了机械分割的特征, 但其划分简单, 尤其是在统一的规格前提下可以把众多地学变量所包含的地质矿产信息最大限度地反映出来, 并且便于计算机的存储、处理和成图。此外, 正方形单元的尺寸, 应根据实际工作所采用的地质图的比例尺大小来确定, 使其尽可能地反映成矿地质特征。通常, 对于 1:5 万的比例尺, 单元应取 0.25—1 平方公里^[5]。因此, 实际应用中必须按照采用的比例尺来确定综合数据集的单元大小。

在综合数据集中, 包含了许多定性资料, 例如线性构造、岩性地层等。它们是成矿预测中十分重要的变量。为了利用这些变量, 作者在遥感信息与地学资料的综合成矿预测中, 引入了数量化理论, 根据数量化理论 II 的原理^[6], 经改进建立了采用综合数据集的 TQ2 分类预测法。该方法的特点是可采用定性或定量的变量, 能够有效地解决定性资料的定量化问题。

假设采用 p 个定性变量, 对于某个单元在第 i 定性变量上的取值, 即定性数据可表示如下:

$$\delta_j(X, Y) = \begin{cases} 1, & \text{若该单元在第 } i \text{ 定性变量上有值, 即} \\ & \text{具有该定性特征;} \\ 0, & \text{否则。} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, p$$

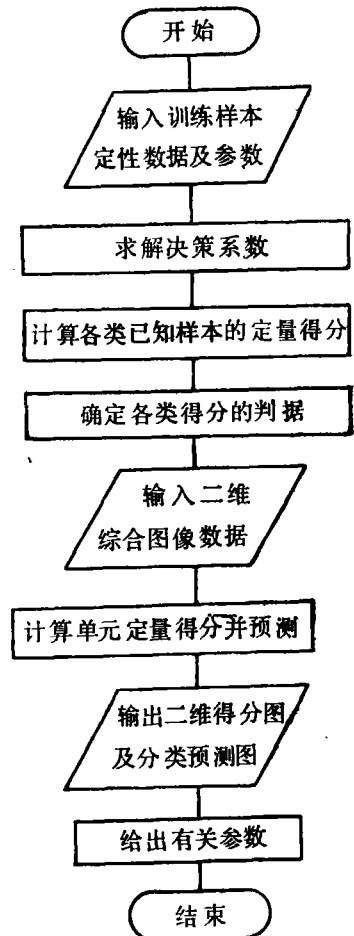


图 2 TQ2 分类预测法程序框图
Fig.2 The block diagram of the TQ2 classifier

其中, X, Y 为该单元的地理坐标。

TQ2 分类预测法是根据已知矿床成矿特征的定性数据, 按照数量化理论 II 的原理, 求得决策系数

$$B = (b_1 b_2 \cdots b_p)^T$$

建立起从定性向定量转化的判别决策函数:

$$S = \sum_{j=1}^p \delta_j \cdot b_j = A^T \cdot B \quad (3)$$

式中, $A = (\delta_1 \delta_2 \cdots \delta_p)^T$, 是某待判单元在 p 个定性变量上取值的向量; S 是待判单元的判别得分。

于是, 假设研究区有 g 个类别: $\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_g$, 由(3)式求得 g 类已知样本的判别得分, 按照判错概率为最小的原则^[6], 求出区分 g 类的 $g-1$ 个判据: $d_i^0 (i = 1, 2, \cdots, g-1)$, 不妨假定满足: $d_1^0 < d_2^0 < \cdots < d_{g-1}^0$, 且 d_i^0 为 ω_i 与 ω_{i+1} 之间的判据, 则 TQ2 分类预测的判别决策可叙述如下:

对任意待判单元 $A = (\delta_1 \delta_2 \cdots \delta_p)^T$, 由(3)式求得判别得分 S_A , 如果存在使下式成立的最小 l :

$$S_A \leq d_l^0, \quad 1 \leq l \leq g-1;$$

则判定 A 为 ω_l 类; 否则, 判定 A 为 ω_g 类。TQ2 分类预测法的程序框图如图 2。

三、综合处理与判读

1. 研究区地质概况

本区位于浙东中生代火山岩区镇海—温州断裂带的西侧。区内主要出露的地层是上侏罗统 (J_3) 和下白垩统 (K_1), 以火山岩为主(图 3), 下白垩统又分成三个岩性段, 区内断裂构造以东北、北北西向为主^[7]。从陆地卫星 MSS 仙居幅影像可见, 本区位于仙居大型环形影像的南缘。

五部铅锌矿是区内主要的矿床, 也是浙东中生代火山岩区中大型的矿床之一, 具有一定的代表性。矿床产于区内次一级火山断陷盆地的边缘断裂中, 受北北西向断裂控制成矿。

2. 图像处理结果与综合判读

为获得研究区更丰富的地质构造信息, 采用了该区 1976 年冬季和 1981 年夏季成像的两个时相的陆地卫星 MSS 数字图像, 以及 1:5 万的地质、航磁和化探资料。几何配准后, 误差均小于 25 米。

综合数据的图像处理提供了研究区丰富的地质构造信息, 尤其是两个时相的 MSS 图像的 KL 变换。结果表明, 第一主成分图像占了原始总方差的 57.7%, 第二主成分占 21.1%, 第三主成分占 13.5%, 共计 92.3%。因此, 前三个主成分图像综合反映了 8 个波

1) 黄报章等, 浙江省黄岩县五部铅锌矿地质特征及找矿规律研究报告, 1983 年。

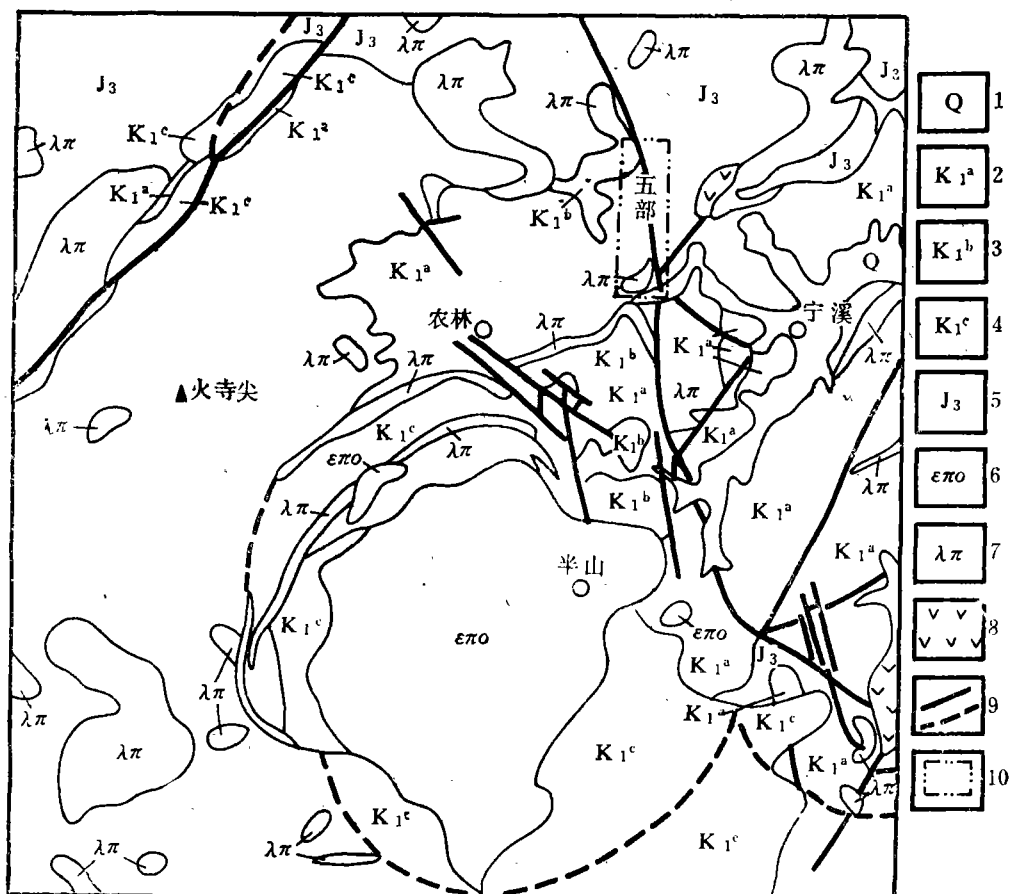
图 3 研究区地质构造略图¹⁾

Fig. 3 The geological map of the study area

1—冲积层；2—下白垩统 c 段。流纹质晶屑熔结凝灰岩；3—下白垩统 b 段流纹质玻屑熔结凝灰岩；4—下白垩统 a 段下部以沉积岩为主，中上部沉积岩、凝灰岩互层，夹多层基性熔岩；5—上侏罗统流纹英安质、英安流纹质玻屑晶屑熔结凝灰岩夹少量沉积岩；6—半山岩体，斑状石英二长岩；7—酸性次火山岩、脉岩、酸性熔岩及熔结凝灰岩；8—安山岩；9—推测、实测断裂；10—五部铅锌矿区北矿段。

段图像的绝大部分特征,有利于综合判读和综合分析。此外, KL 变换的结果给出了研究区信息特征重新组合的图像,其中本区第一主成分图像(图版 I 图 4) 综合地反映出区内大部分的线性构造特征,并增强了主要控矿构造的五部断裂;第二主成分图像则主要包含了原图像中的条带噪声和两个时相不同阳光入射角引起地形阴影差异特征等;而第三主成分图像(图版 I 图 5) 则较好地反映了研究区主要环形构造和环形影像特征。航磁数据与 MSS 图像以及与铅锌化探异常的叠加(图版 I 图 6) 分别显示出区内 NE 向线性构造两侧的航磁特征差异和化探异常的关系。铅锌银元素的化探异常叠加(图版 I 图 7) 更好地反映了区内三元素的综合异常特征和异常的分布格局。

由图像处理结果可判读出区内主要的线性构造特征和环形构造特征(图 8)。在众多的线性构造中,1 号是五部铅锌矿的控矿构造——五部断裂,在遥感图像上,尤其在第一

主成分图像上(图版 I 图 4) 具有明显的线性特征, 并可见化探异常沿断裂线断续分布(图版 I 图 6, 7)。此外, 2 号, 3 号和 4 号则是由图像判读得到的新的主要构造特征。北北西向的 2 号和 3 号线性构造与五部断裂呈平行、等间距分布, 分别位于区内农林、火寺尖一带, 在黄报章等人的研究报告中曾推测为一组断裂。在 MSS 图像上有明显的线性特征, 并在 KL 变换的第一主成分图像上得到显著增强。水系呈追踪异常, 构造两侧色调影纹不同, 并且这两条线性构造又是本区上部航磁高异常区的东西两界, 这些都说明了断裂的存在。

北东向的 4 号形迹, 在第一主成分图像上表现出清晰的线性特征, 横贯全区中上部, 水系沿构造线的追踪和形迹两侧纹理特征的显著差异均说明了断裂存在的可能性。在航磁图上, 线性构造北西侧是大范围的高磁正异常, 呈北东向展布, 而东南侧几乎都是低缓

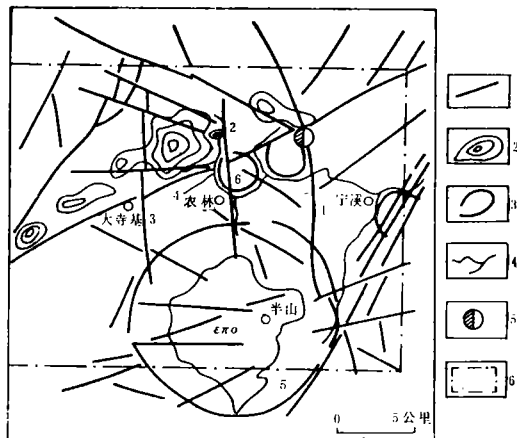


图 8 研究区陆地卫星图像解译的线性与环形构造

Fig.8 Linear and circular structures interpreted from landsat images at the study area

- 1——线性构造; 2——航磁正异常; 3——环形构造; 4——水系;
5——五部矿; 6——成矿预测范围。

的磁负异常(图版 I 图 6), 反映了两侧深部不同的地质特征, 地质图上该形迹的东端局部有推测断层。从仙居幅 MSS 卫星像片可见, 3 号线性构造处于仙居大型环形构造的南缘边界, 因此, 推断为本区大寺基—白石垵区域性断裂。

另一方面, 遥感图像还清晰地反映出区内主要的环形构造。本区南部侵入岩体周围的 5 号半山环形构造在两个时相的图像 KL 变换的第三主成分图像上得到了完美的表现(图版 I 图 5)。它的成因是火山活动和岩浆侵入并重, 反映出中生代半山古火山口的位置所在。6 号的农林环形构造是几组不同方向断裂的交汇处, 受其影响, 水系的发育呈向心状-环状特征。其它环形构造也由水系特征表现。

因此, 遥感图像综合处理, 并结合地质、航磁等资料的综合判读是地质构造分析的一种有效方法。

四、计算机成矿预测与评价

1. 变量的选择

计算机成矿预测是通过选取的各种变量来反映其成矿地质特征。因此,成矿预测的结果在很大程度上取决于选用的变量。地学变量应从各个方面尽可能地反映研究区的成矿地质条件,这样才能更好地揭示研究区隐含的地质矿产信息。

以往对区内五部铅锌矿的研究表明,基底断裂叠加后期火山活动产生的断陷盆地或次级断块的边缘断裂,具有较高铅锌丰度的断陷盆地地层,以及化探异常,都是五部铅锌矿成矿的有利因素,也是主要的找矿标志。这些特征有助于从综合数据集中选取合适的岩性地层,断裂构造和化探异常等变量。

对综合数据集中诸多变量的统计选择后表明,从陆地卫星图像判读并数字化反馈的近南北向线性构造,北东向线性构造,铅、锌、银三元素的化探异常和下白垩统的三个岩性段以及酸性次火山岩均对分类预测起了较大的作用。这一结果与以往专题研究表明的主要成矿标志比较相似。因此,为从构造、地层岩性及化探异常等主要方面来综合评价成矿提供了可能性。在研究区的计算机成矿预测中采用了 9 个定性变量:(1) 陆地卫星近南北向(含北北西)线性构造(SN);(2) 陆地卫星近北东向线性构造(NE);(3) 铅元素化探异常($Pb > 140ppm$)(P);(4) 锌元素化探异常($Zn > 250ppm$)(ZN);(5) 银元素化探异常($Ag > 0.5ppm$)(AG);(6) 下白垩统 a 岩性段(KA);(7) 下白垩统 b 岩性段(KB);(8) 下白垩统 c 岩性段(KC);(9) 酸性次火山岩(AV)。

2. 成矿预测

研究区成矿预测单元采用 0.5×0.5 平方公里的正方形网格。根据五部铅锌矿区等处选择的训练样本定性数据,用 TQ2 方法建立了采用上述 9 个定性变量的判别决策函数:

$$S = 0.014SN - 0.052NE + 0.038AG + 0.077PB + 0.007ZN \\ + 0.011KA - 0.052KB - 0.177KC - 0.009AV \quad (4)$$

并求得各类的判据(表 1)。

表 1
Table 1

类 别	无异常区	一般区(含异常区)	成矿区 II	成矿区 I
得分范围	$S \leq -1.770$	$-1.770 < S \leq 0.016$	$0.016 < S \leq 0.110$	$S > 0.110$

按照这一预测模式,由计算机对研究区每一单元进行计算判别,并对得分判别结果加密插值,给出了成矿预测图(图版 I 图 9)。图中红色与黄色区域为得分大于 0.016 的成矿区 I 和 II,前者的成矿可能性更大。成矿预测结果除扩大了五部铅锌矿所在的 1 号远景区外,还指出了本区东南角岭头王一黄查坑的 2 号远景区,中上部的农林一马家山 3 号远景

区和北西部的小金坑一带的 4 号远景区,以及区内东部的平极岭,坦头东面等小的成矿区。

3. 预测结果分析与评价

表 1 指出由 TQ2 方法求得的单元得分值越高,则成矿的可能性越大。从式(4)的预测模式可见,9 个变量中,对成矿得分值有利的因素有近南北向(含北北西向)线性构造(SN),铅(PB)、锌(ZN)、银(AG)三个化探元素和下白垩统 a 段地层(KA),与五部矿的研究结果有较好的吻合。因为北北西向的五部断裂是该矿床的最主要的控矿构造,下白垩统 a 段地层又是该矿床的主要围岩之一,铅锌银化探异常,指明了矿床成矿的标志。因此,预测模式从控矿的构造、成矿的物质来源和矿化等方面表现了五部型铅锌矿的成矿地质特征。在这五个有利因素中,铅元素变量的作用最大,这也是铅锌矿成矿的最重要标志,而锌元素系数较小恰好证明了铅锌元素异常有极好的相关性,银是铅锌矿成矿的指示元素,因此在预测模式中的作用居第二位,北北西向的线性构造和 K₁ 地层的作用相近。其它变量则相应地起削弱作用,在不同程度上区分出成矿区 I、成矿区 II、一般区(含部分化探异常区)和无异常区,其中最主要的 K₁ 地层变量表现了部分无化探异常的区域。因此,这一预测模式是可行的。

在预测结果中(图版 I 图 9),1 号成矿区包含了五部铅锌矿的北矿段和南矿段,并扩展了主要矿区北矿段的范围。2 号成矿区位于岭头五一黄查坑一带,这里的地层岩性条件类似于五部矿区,主要出露有上侏罗统 J₃ 和下白垩统 a 段地层,而且在五部断裂南端延伸与北北东向的镇海—温州区域性断裂的交汇处,是铅锌银化探的异常区,因此是有利的成矿远景区,已探出多处铅锌矿点。3 号成矿区位于农林—马家山一带,主要地层是下白垩 a 段,图像判读表明,该区内有北北西向线性构造与北东向的区域性断裂交汇,并与农林环形构造相交,该区和五部铅锌矿都位于仙居大型环形构造南缘的边界,因此也是成矿的有利地区。4 号成矿区位于小金矿一带,主要地层是上侏罗统 J₃,并浸出大面积的酸性次火山岩,图像判读表明,该区也有北北西向和北东向的线性构造,是次级断块的边缘,化探结果反映出银元素的异常和局部少量的铅锌异常;有关研究表明¹⁾,五部型铅锌矿的指示元素中,银具有上高下低的指示意义,是矿床前缘的标型元素,因此,可推测其深部是铅锌矿成矿的有利地段。其中,2 号和 3 号成矿远景区已是地质工作者关注和工作的地区。

预测结果对化探异常区内已知含矿单元(包括矿床、矿点和矿化点)的识别率达 87.2%,因此,这一成矿预测结果是可信的,对该区的找矿工作也是十分有益的。

五、结 语

开展遥感与地学资料的综合处理及其应用研究是十分重要的,陆地卫星图像与地质、物化探资料的综合处理和综合分析是地质矿产勘查的一种十分有效的方法。陆地卫星图像和综合处理,并结合地质、航磁等资料的综合判读,能够为地质构造分析提供丰富的信息。

1) 徐外生等,浙江五部火山岩型铅锌矿地球化学特征的研究,1982 年。

采用综合定性资料的 TQ2 分类预测方法是有效的, 本文建立的成矿预测模式在本区是可行的, 预测的几个成矿远景区, 经分析评价是可信的。

参 考 文 献

- [1] Marston, R. A. 等(崔肖波译), 通过陆地卫星对犹他州中西部矿点进行地质、地球物理和地球化学的综合勘查, 国外地质勘探技术, (5), pp33—34, 1985.
- [2] Missallati, A., et al., Simultaneous use of geological, geophysical and Landsat digital data in Uranium exploration, Remote Sensing of Environment, No. 8, 1979.
- [3] Conradsen, Knut et al., Application of integrated Landsat, geochemical and geophysical data in mineral exploration The international symposium on remote sensing of environment, third thematic conference, Remote Sensing for Exploration Geology, April, 1984.
- [4] Erickson, Don, Remote sensing and the funnel philosophy—An exploration scenario. Third thematic conference, Remote Sensing for Exploration Geology, April, 1984.
- [5] 朱裕生, 矿产资源评价方法学导论, 地质出版社, 1984 年。
- [6] 董文泉等, 数量化理论及其应用, 吉林人民出版社, 1979 年。

Integration of Landsat-MSS Images and Geoscience Data for Computer Based Mineral Prospecting

Ding Yuemin Zhao Yuanhong
(Dept. of Geology, Zhejiang University)

Abstract

Integration and digital image analysis of remotely sensed, geological, geophysical and geochemical data are gaining wide recognition as effective tools for mineral exploration.

This study involves methods for integration of image processing of two-temporal LANDSAT-MSS images, geological, geophysical and geochemical data, and for a computer based mineral prospecting. In this paper, a general scheme of computer aided integrative processing of multi-source data and a digitalizing method for the qualitative geoscience data were described; a computer based mineral prospecting method, TQ2 classifier, using integrated qualitative data was designed. These methods were applied to Wubu Lead-Zinc deposit area in the south of Zhejiang Province.

It is necessary and important for the integration of digitize geoscience data and of co-registered multi-source data. The analysis and interpretation of integrated data can provide much information about geological structure. The TQ2 mineral prospecting method using integrated qualitative data is effective, and the result of mineral prospecting by computer is reliable.



图4 两时相MSS图像
KL变换的第一主成分图像



图5 两时相MSS图像
KL变换的第三主成分图像



图6 数字化后化探异常
与航磁的叠加显示



图7 数字化后铅、锌、银
化探异常叠加显示

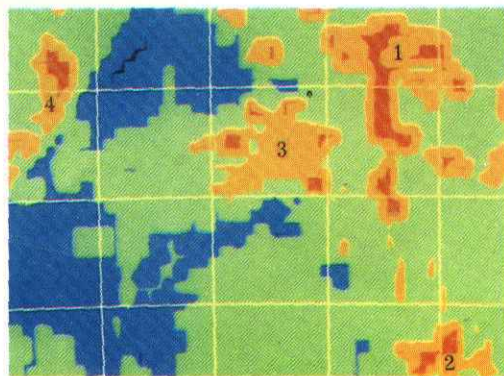


图9 计算机成矿预测图