

遥感图象中矿产信息的提取

北京大学遥感应用研究所 刘燕君



目前,遥感图象的地质解译,应用于构造及工程地质等方面,效果比较显著,但用遥感手段找矿,效果则不甚理想。含矿岩系、与原生矿有关的围岩蚀变带、矿床露头及工业价值尚待查定的矿化点(本文对上述4种地质体统称为矿产信息)相对出露的范围皆小且不连续,在图象上一般仅分布在1个或数个象元点内。而且这些矿产信息与围岩之间,以象元点为单位的电磁波辐射能量的差异较小,反映在黑白图象上很少超过1个灰阶。由于上述原因,欲在1/100万黑白卫片上,目视解译矿产信息是完全不可能的。现阶段,国内外遥感找矿多根据线性构造与环形构造,以已知区的控矿规律,来推断未知矿化地带,圈定找矿与勘探靶区。此法虽取得了一定的效果,但因线性或环形构造具多解性,所以仍难达到直接准确找矿之目的。近年来,国内外曾利用光学方法试图提取矿产信息^[1],以期在图象上直接显示矿产的位置,但尚缺乏成功的实例。国外曾利用计算机数字图象处理系统,以比值彩色合成方法对铁、铀和铜等金属矿床进行信息提取,已取得了良好的效果*。在成功的实例中,处理后的图象上,矿产信息的位置以异常的色彩直接显示出来。此法虽因缺乏制定合成方案的理论依据,而难以广泛应用于不同地质条件下的信息提取,但这一重要进展表明,遥感传感器接收的地面信息中包括矿产信息,而且这种信息是可以被提取的。

实践证明,多数矿产信息能够被提取,是因为计算机数字图象处理所用的磁带亮度值能客观而全面地反映各象元点的地面地质体的电磁波信

息特征。1个象元点的亮度值与该象元点内地物的总亮度成正比。地物的总亮度主要决定于接收信息时的光照条件、大气透过率、天空光亮度及地物的反射率。上述各因素,在传感器接收信息的瞬时,除各地物之间反射率有所差异外,其他条件都是相同的。各象元点之间由于包含的地物不同,因而反射率不同,并导致亮度值的差异,这种差异的存在正是能显示图象的原因。1个象元点的反射率为该象元点范围内各种地物反射率对该地物面积的积分值,即为:

$$\rho = \frac{\sum \rho_i a_i + \rho_2 a_2 \cdots + \rho_n a_n}{A}$$

式中 A —1个象元点的总面积 ($57 \times 79 \text{米}^2$);
 a_1, a_2, \dots, a_n —该象元点内各地物的面积;
 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ —各相应地物的反射率。

虽然矿产信息出露的面积较小,但在 $0.5 \sim 1.1 \mu$ 的范围内,其反射率与围岩有显著的差异,图1

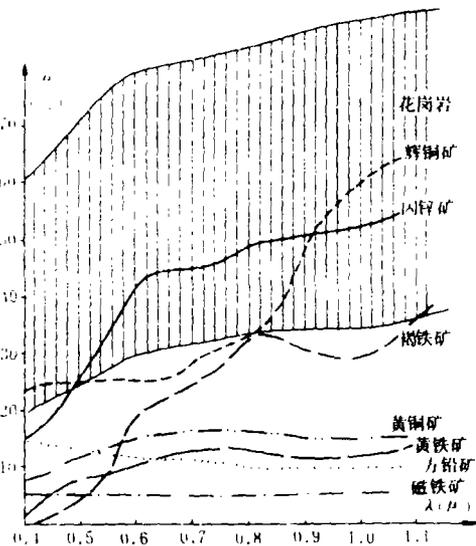


图1 酸性岩类与其相关矿物光谱特征对比
(实验室分析资料,褐铁矿颗粒为 $250 \sim 1200 \mu$,其他为 $74 \sim 250 \mu$;据遥感专辑,第1辑)

* 据1978~1979年国外遥感资料选编(一)、(二);1980年14届国际遥感会议资料;1981年第二届澳洲遥感会议资料;1981年第二届亚洲遥感会议资料。

所示即为一例。这种差异能够造成含矿信息的象元点与围岩象元点之间光谱特征的不同，并以亮度值的形式记录在磁带上，这就是矿产信息可以被提取的物质基础。

作者曾利用 IS 101 电算机数字图象处理系统，以丘陵区沉积变质型铁矿（密云铁矿和迁安铁矿）为例进行实验性研究。根据地物电磁波信息特征及色度学原理，建立了一个提取矿产信息的模式，其效果较理想，现将原理、处理方法和效果简述如下。

计算机提取矿

产信息的原理和方法

地面上同一种地质体具有相同的电磁波辐射特征，记录到磁带上的亮度值亦应基本一致。但由于多种因素的干扰却往往并不一致，甚至相差很大。如地形（阴坡和阳坡）；云（可透过电磁波的薄层云）的覆盖量；地面湿度等都会引起照度或地物反射率的变化，从而造成亮度值差异。该差异往往大于矿产信息与围岩的差异，因而不消除这些干扰，就不可能识别矿产信息的存在。计算机的比值功能，即任意两个波段亮度值相除。由于上述干扰亮度值的诸因素对同一地物的各波段电磁波信息的干扰是相同的，因而经过比值运算，它们可以作为常数比例因子而约去，从而使比值图象中同一地质体可具有基本一致的亮度值。在山区则可基本消除阴坡与阳坡亮度值的差异，这对矿产信息提取是不可缺少的一步。

比值法不仅可以消除地形等因素的干扰，而且还可以扩大不同地质体之间的差别。如图 2 所示，铅矿体的铁帽与夕卡岩之间反射率的差异很小，最大差值（ 0.9μ ）不过 5%，因而其亮度值的差别也很小。在经过拉伸并放大的各波段黑白卫片上，二者的灰阶仍无明显差别。用各种方案合成的假彩色图象上，依然因其亮度值差别不大而难以用色彩区分。当进行比值处理后，如 MSS 6/5 时，夕卡岩的比值将近似于 1，而铁帽的比值则远大于 1。经计算机拉伸后，二者亮度值之间的差值则能增加到可以区分的程度，从而达到了信息提取的目的。

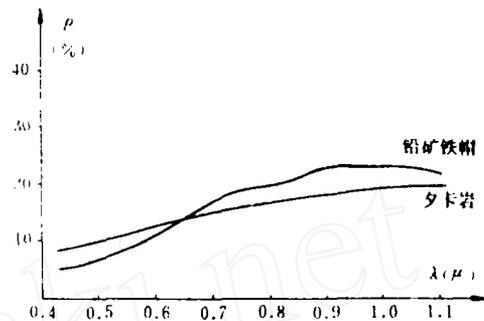


图 2 夕卡岩与铅矿铁帽的光谱曲线对比图
(山西红旗铅矿；据朱小虹)

实践证明，在黑白比值图象上，用肉眼识别矿产信息是很困难的。若选取 3 个能提取矿产信息的比值图象，并根据色度学原理将其配以红、绿、蓝 3 种色光进行合成，使矿产信息与围岩以不同的颜色出现在图象上，同时将图象放大到 $1/30$ 万 ~ $1/5$ 万比例尺，则能够用目视法直接在图象上识别矿产信息，并能圈定其位置。因此，可以认为比值彩色合成法是提取矿产信息的基本方法。

4 个波段的正象，用比值法可产生 12 个单比值图象（如 MSS 5/4 等），任选其中 3 个再配以红、绿、蓝三原色，即可排列出 7920 个比值彩色合成方案。单比值的分子和分母可是正象亦可是负象，另外也可做加减运算（如 MSS 4/5 + 6 等），此称为复比值。进行彩色合成的 3 个图象可为单比值图象；亦可复比值图象；其中之一也可选某一单波段的图象。如此排列，则比值彩色合成方案的数目将趋于无穷大。显然，正确选择合成方案是能否有效地提取矿产信息的核心问题。

在确立方案前，首先应对地物的电磁波信息特征进行研究。一幅图象中地物的种类极其繁多，信息量也很丰富，全面的研究是不可能的，企图在一幅图象中，把各种不同地质体均进行分类也是不可能的。因此，应选择 3 种与矿产信息关系最密切的地物（简称三地物）作为制定矿产信息提取方案的要素。三地物为基本无植被覆盖的矿产信息、围岩及影响矿产信息与围岩光谱特

征的植被。黄土覆盖区，第三种地物则可选黄土。当有三地物光谱资料时，虽然地物反射光谱资料与计算机运算时直接使用的亮度值并不一致，但此资料也可进行定性分析，提出合成方案。多数情况下缺乏光谱资料，这时需在计算机上直接读出三地物的4个波段的磁带亮度值（共12个）。不同波段相除的商数值很小，因此，在比值处理后再进行一次亮度值的拉伸。拉伸后的亮度值是直接影响彩色合成效果的数据。因此，必须读出三地物各单比值图象的亮度值（共36个）。上述48个亮度值数据是设计方案的重要原始资料。为了读出可靠的三地物磁带亮度值及比值图象亮度值，则必须正确选择三地物。这项工作应由熟悉矿区情况的地质人员完成。

根据已知亮度值设计比值彩色合成方案时，可按下列原则进行：

1. 信息分离原则

为了能区分三种地物，在所选的3个比值图象内，三地物的比值亮度值之间均应有一定的差值。一般说，2个地物的亮度差值为10左右时，在彩色图象上即可分辨（计算机运算的亮度值为0~256）。地面观测表明，典型的三地物并不常见，多数为过渡类型地物，如矿产信息与围岩部分被植被覆盖（覆盖面积<50%）或矿化较弱的矿产信息等。实践证明，为不遗漏过渡类型的矿产信息，应将三地物间亮度的差值提高3倍（即为30）以上，方可取得较好效果。这就是信息分离原则。信息分离主要是矿产信息与植被及围岩的分离，而围岩与植被分离的程度与效果是次要的，因此二者亮度差值可小些。该原则用下式表示：

设： A, B, C 各代表所选合成方案中的3个比值图象（单比值或复比值）

A_n, B_n, C_n —相应比值图象中矿产信息亮度值；

A_r, B_r, C_r —相应比值图象中围岩亮度值；

A_v, B_v, C_v —相应比值图象中植被亮度值；

K —计算机数字运算中最大亮度值

$$\left. \begin{aligned} |A_n - A_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \\ |B_n - B_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} |C_n - C_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \\ |A_n - A_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} |B_n - B_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \\ |C_n - C_r| &= 3 \cdot 25 \cdot K \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} |A_r - A_v| &= 2 \cdot 25 \cdot K \\ |B_r - B_v| &= 2 \cdot 25 \cdot K \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} |C_r - C_v| &= 2 \cdot 25 \cdot K \end{aligned} \right\}$$

当满足(1)、(2)、(3)式时，即可取得最佳信息分离效果。在(1)和(2)式满足5项，(3)式满足2项的情况下，可将矿产信息、围岩及植被分离开来

2. 色度学原则

为了在合成图象上能以不同的颜色分出矿产信息、围岩与植被，除应符合信息分离原则外，在色彩的匹配方面还应遵循色度学的原则^[2]。色彩的显示与变化决定于颜色的三种基本特性—明度、色别和饱和度。计算机彩色显示是由红、绿、蓝三原色色光进行合成的结果，因而其色别与饱和度是不变的，图象中各象元点的亮度值则相当于颜色的明度。如果某地物在所选的3个比值图象中的亮度值基本相等，而且数值较大时，用三原色合成后则近于白色；亮度值较小时，合成后呈灰色或近于黑色。以水为例，取MSS7/6、MSS6/5和MSS5/4三个比值图象，各比值图象的亮度值近似，计算机比值拉伸后，因比值小于1而亮度值较大（>200），则合成图象上的颜色近于白色。应指出，通常认为比值拉伸后，比值<1时亮度值小，>1时则亮度值大，实际恰恰相反。如某地物3个比值图象的亮度值有1个最大值时，合成图象的色调必以最大亮度值色调为主。如地物的3个比值图象的亮度值中有2个数值近似，且大于第3个亮度值时，合成颜色为2个近似值颜色的混合色。为了能清晰地显示出3种地物的色彩，每一地物的3个比值图象的亮度值必须有1个较高（或2个较高的近似值），其高值与低值的差值应至少3倍于分辨色彩的最低亮度值（10±，即1/25·K）。为避免三地物具同一种颜色，还必须使三地物的比值亮

度值中的高值分别属于3个比值图象。这一原则以下式表示:

$$\left. \begin{aligned} A_n - B_n &= 3/25 \cdot K \\ A_n - C_n &= 3/25 \cdot K \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} B_n - A_n &= 3/25 \cdot K \\ B_n - C_n &= 3/25 \cdot K \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} C_n - B_n &= 3/25 \cdot K \\ C_n - A_n &= 3/25 \cdot K \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

当矿产信息与围岩的谱貌特征近似而难于满足(1)、(2)、(3)式时,可对某1单波段图象先进行预处理,改变其谱貌特征,然后再进行比值处理;也可用2个比值图象和1个单波段的图象进行彩色合成。后者因单波段的亮度值远小于比值亮度值,故易满足(4)、(5)、(6)式,其亮度值的差值远大于 $3/25 \cdot K$,在这种情况下,三地物的颜色明显不同而易区别。

比值彩色合成图象可直接从计算机彩色屏上观察,如图象不够理想时,可使用TLM命令(即跟踪球线性密度变换功能)。通过移动游标位置,调正图象的对比度和亮度而使图象达到最佳清晰度。

效果验证

为验证上述模式,现以北京密云铁矿及河北迁安铁矿为例,将其处理效果简述如下

1. 密云铁矿

比值彩色合成图象的比例尺为1/30万。采样点为 512×512 ,其范围主要在密云县境内,东至兴隆县西缘,西至密云水库西缘,北至古北口,南至密云县城南,密云水库位于象幅的中偏西部。象幅内出露地层主要为太古界密云群,此为矿区矿产信息的围岩,风化较强烈,植被覆盖程度中等,以灌木草丛为主,有小面积的松树林。在1/100万黑白卫片上,密云群色调较浅,无明显花纹特征,与其他岩层的界线不清。长城系、蓟县系及青白口系的沉积岩构成中一高山区,阴坡植被较发育。此外,沿前寒武系沉积岩旁侧有燕山期碱性—酸性岩体侵入,老的酸性侵入体呈东西向延伸,出露在象幅最南部。

太古界变质岩中,沙厂组上部和大槽组内普

遍有整合产出的沉积—火山沉积型的磁铁矿石岩,为本区铁矿的主要层位。全县已知的铁矿床及矿化点100余处。矿点集中分布在3个地区,即密云水库南部沙厂—水峪、水库东北芦头—兵马营及水库西北冯家峪—四合堂一带(此区大部分在象幅外)。矿石矿物为磁铁矿,有些矿体的风化表面有1~2米或更薄的赤铁—褐铁矿铁帽(如沙厂铁矿),有些地区具轻微褐铁矿化,其地表颜色多呈黄褐色,与不含矿的蓝灰色、灰绿色的变质岩可区别。此种沉积变质型的铁矿,其规模虽然比其他类型要大,但对于1/100万的卫片来说仍是微不足道的,因而在黑白卫片上或假彩色合成象片上,仍难以发现铁矿信息。

密云水库周围可分为陡峭山区与缓山丘陵区。二区图象处理的方案不同,现仅以缓山丘陵区为例,将其处理效果介绍如下。根据三地物的磁带亮度值,并参考片麻岩、磁铁矿石岩的地物波谱曲线*及磁铁矿与褐铁矿的实验室波谱曲线特征^[3],所选的合成方案为MSS5/4—R、MSS6/5—G和MSS7/6—B。处理后的图象内,太古界变质岩显示为蓝、红及品红相间的杂色。其中除与老的酸性侵入体的界线呈过渡关系外,与其他各类岩层的界线均十分清晰,可直接在图象上勾划,其部分精度可达1/5万地质图的要求。

磁铁矿矿产信息呈青色散布在红、蓝及品红色调中。由于矿产信息颜色不突出,因而将此图象求反(即变成该图象的负象),并用TLM功能进行调整。在最终处理的图象中,矿产信息的色彩十分醒目,效果甚佳。其中水体呈黑色;长城系、蓟县系及青白口系的沉积岩为青蓝色;发育有少量植被的围岩(角闪斜长片麻岩为主)则呈绿色大面积分布;裸露的围岩(仅有茅草及灌木丛)呈浅黄色的斑点散布于绿色的基底中;而其中蓝青色的点为围岩中小片松树林。靠浅黄色点的杏黄色或桔红色的异常点,即为磁铁矿的矿产信息。此种彩色异常点共154个(图3)。经北京市地质局地质研究所鉴定,其中除3个彩色异

* 据北京市地质局地质研究所资料

常点尚需进一步核实及35号点以南有2个小型铁矿因植被发育未显示外,其余各点均与已知点相符。彩色异常点包括大、中、小型的铁矿床;矿化点及含矿围岩内强烈铁染的部位;铅、锌矿的

铁帽。值得注意的是,47号点位于第四纪地层中,与航磁异常点吻合,这可能是一个隐伏的铁矿点。

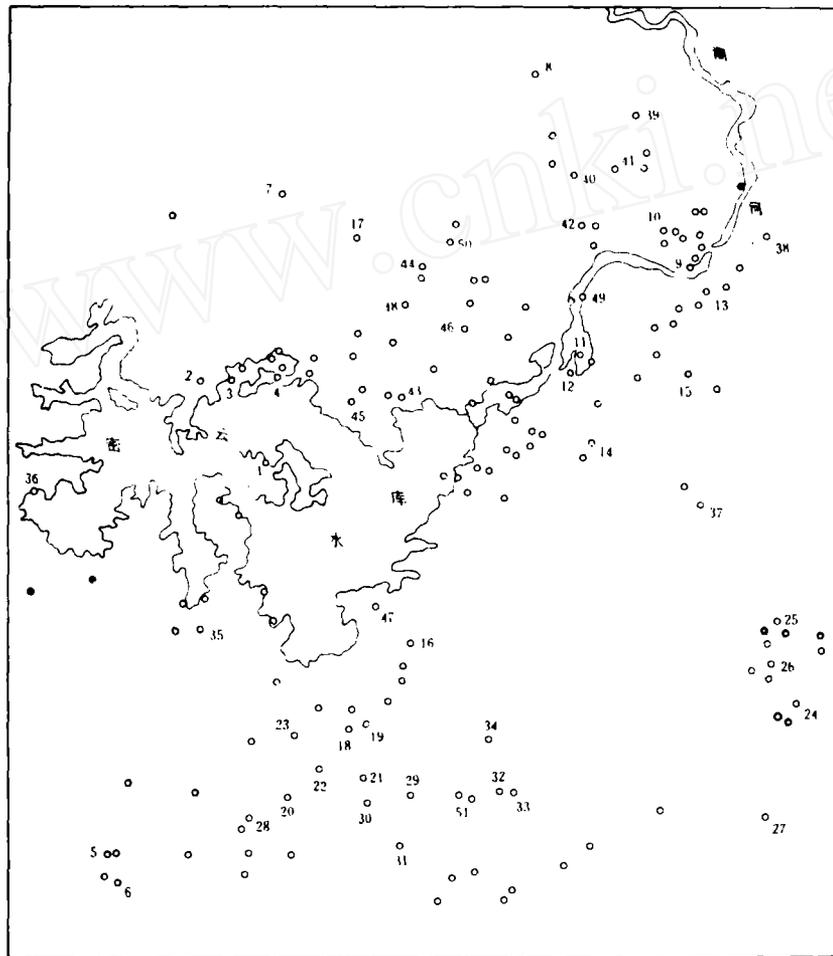


图3 密云地区比值彩色合成图象中异常点分布图

○²⁾—有地名矿点和矿区异常点; ○—无地名的矿化点及异常点; ●—性质待查的异常点

2. 迁安铁矿

图象的范围在迁安县境内,采样点为512×512。矿床成因类型与密云铁矿基本相同。地貌类型为低山丘陵区,植被发育中等。围岩的岩性与密云铁矿不同,以灰色的变粒岩、麻粒岩为主。经测定磁铁矿石岩(矿产信息)与围岩的波谱特征十分相近,因此本区必需采用与密云地区不同的信息提取方案。象幅范围内滦河以西为长城系沉积岩及含矿的太古界变质岩;滦河以东出

露大面积的第四纪地层,其中亦有许多矿产信息分布。考虑比值彩色合成的方案时,围岩选为变粒岩与麻粒岩而未选择第四纪地层,因而河东的已知矿产信息多未显示。现就河西的效果进行验证。

在所试用的6个方案中,效果最佳的信息提取方案是:①MSS5/4—R, MSS7/6—G, MSS4—B; ②MSS7/4+5+7—R, MSS5/4+5+7—G, MSS4/4+5+7—B

并求反,其结果矿产信息的颜色鲜明突出。此外,使用③MSS7/5-R, MSS5/7-G, MSS6/4-B;④MSS7/4-R, MSS5/4-G, MSS6/4-B;⑤MSS7/4+5+7-R, MSS5/4+5+7-G, MSS4/4+5+7-B;⑥MSS5/4-R, MSS6/5-G, MSS7/6-B并求反,也取得了较好的效果,矿产信息亦可显示,但色彩不够突出。

对比①方案获取的1/25万图象和滦河以西的1/10万矿产分布图时,可见矿产图中共标出的38个大、中、小型的铁矿及矿化点,在彩色图象中除有3个小矿点未显示外其他均已显示。图象的矿产信息与实况的符合率可达92%。将滦河以西北半部象幅放大到1/5万,并结合现场验证,其结果表明,图象的各类信息与地面地质十分吻合,地面矿产信息全部显示出来(图4)。图象中水域因受铁质污染而呈黑色至褐红色;基岩及被浮土、茅草、灌木或稀疏的树木覆盖的基岩为绿色、黄绿色至黑色。基岩中长城系砂砾岩与太古界变粒岩和麻粒岩的区别是前者无矿产信息分布。第四纪地层出露地区图象呈现黄色调,其中分散的浅黄褐色斑点是建筑群或农田,浅黄绿色斑点为树林。铁矿信息分布在以绿色调为主的基岩中间或边缘,呈不同深浅的褐红色斑点。在象幅范围内有16个大、中、小型的铁矿床及矿化点,全部清晰地显现在图象上。值得注意的是含铁较低的岩石、尾矿砂或含尾矿砂的水在图象上均有反映。如水厂矿西南的尾矿砂(含铁量为12.37%),在图象中亦呈现为矿产信息的色调。

在目前,利用信息分离原则和色度学原则进行比值彩色合成提取矿产信息,尚处于实验阶段。虽然,诸如陡峭山区地形影响的消除及有矿和无矿蚀变类型的区分等问题尚待进一步研究,但就现有实验效果而言,不仅表明地面的矿产信息是可以提取的,而且处理后影象判读的符合率也是较高的。相信,随着遥感技术的日益完善及广泛应用,矿产信息提取的方法必将对我国的找矿勘探事业将起巨大的推动作用。

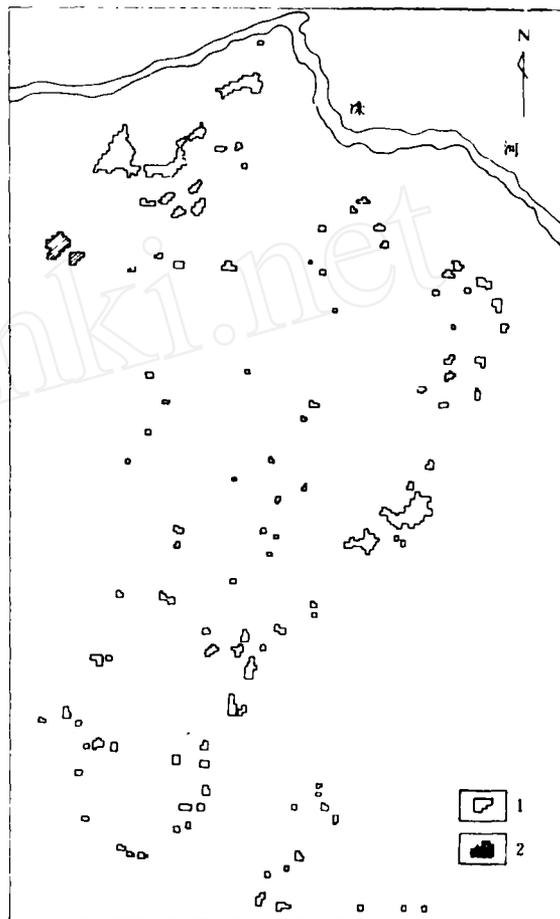


图4 迁安地区比值彩色合成图象中矿产信息分布图
1—为褐红色的象元点,示矿产信息; 2—尾矿砂信息

工作中承蒙首钢地质队支持及王西华同志协助工作,北京地质局地质研究所提供矿产资料,王汝焯和李琦同志对计算机信息提取的原理与方法给予指导并进行操作,殷纯焱副教授代作矿样的分析与计算,王营新同志绘图,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Siegal, B. S. & Gillespie, A. R., Remote Sensing in Geology, New York, 1980, p. 119~139
- [2] 荆其诚,色度学,科学出版社,1979, 42~56页
- [3] 地质情报研究所译,遥感专辑,第一辑,地质出版社,1982, 46~47页