

# 遥感信息对山西沉积变质铁矿床的研究

李中生

(冶金工业部山西地质勘探公司研究所)

1987年4月20日收稿

## 摘 要

本文叙述了作者用美国陆地卫星3号的数字磁带研究山西北部沉积变质铁矿资源的成果。研究中,利用数字图像增强处理技术,突出了与沉积变质铁矿床有关的遥感信息。通过数学方法对这些信息进行分析后,指出了该区的有利找矿地段和铁矿资源远景,并用“逻辑信息法”证明了遥感变量与沉积变质铁矿床存在的相关关系。

以往对矿产资源进行研究,主要是依靠大量的经长期工作后获得的地表地质、物探、化探及钻探的资料,利用的遥感资料,多数是靠目视判读得到的构造图、岩性分布图及地貌特征图等等。然而,当前各种先进传感器所获得的遥感数据的内容远远不止这些,如果能更充分地利用遥感资料(包括航天、航空遥感图像,数字磁带及遥感研究成果)来研究矿产资源,找出遥感信息与矿产之间的关系及其规律,就能使地质工作者在短时间内取得对矿产资源某些规律的认识,并以此来正确评价和预测矿产资源。这是一个具有经济价值和现实意义的研究课题,对山西沉积变质铁矿的研究,就是对该课题的一次探索。

## 一、研究区概况

研究区位于山西省北部,面积约4000多平方公里,滹沱河沿北东对角线方向近于平分全区,区内已发现的大中型铁矿床,都分布在滹沱河的南部,实际研究范围2656平方公里(图1)。

该区是我国前寒武纪沉积变质铁矿主要成矿区之一,这类矿床是当前世界上铁矿资源开发的主要矿床类型。区内地质构造复杂,地层的划分争议较大。铁矿产于太古界五台群磁铁石英岩层,含铁岩石坚硬,抗风化能力强,矿体出露地表,铁矿信息能直接被传感器获取,这就为该区利用多光谱扫描数据研究沉积变质铁矿提供了有利条件。

本工作仅以遥感信息研究沉积变质铁矿床,故略去了对该区详细地质情况的介绍,以使研究成果能适用于地质工作程度低或没有地质资料的地区。

## 二、矿产信息的提取

原始遥感数据包含着地面各种地物的信息,要满足研究的需要,还必需将矿产信息

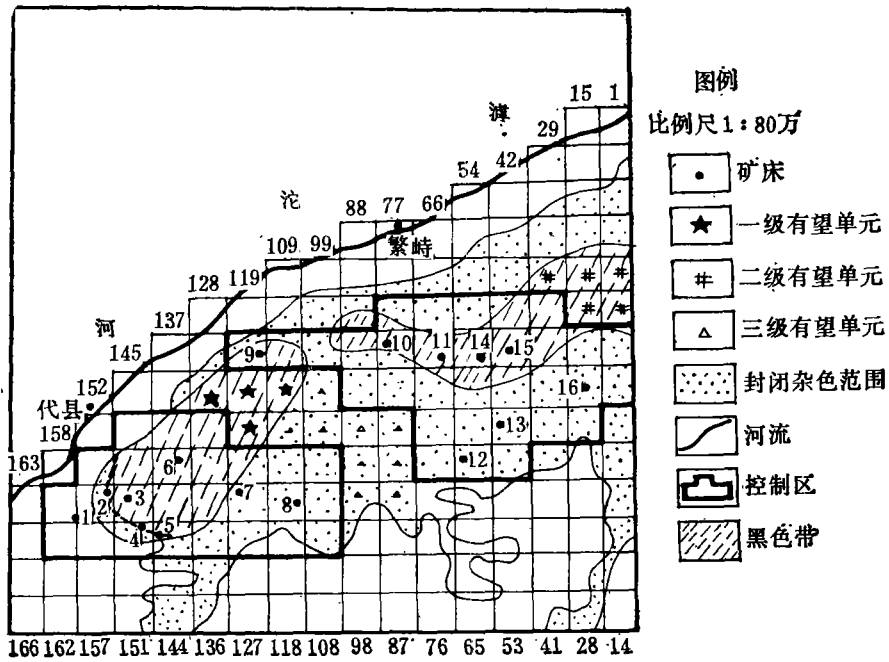


图 1 遥感信息找矿预测图

Fig. 1 Prognostic Map of Remote Sensing Information

和能间接反映矿床规律的有关信息提取出来, 这部分工作借助电子计算机图像处理技术完成。研究中以 Landsat-3 CCT 为原始数据, 通过 IPOS/101 系统对其进行数字图像处理。

研究区沉积变质铁矿床的分布规律, 与自然地质景观有一定联系, 为了清楚地反映该区自然地质景观, 采用 7, 5, 4 波段彩色合成—比例扩张—局部增强处理方案, 获得了较清晰的彩色图像(图版 I 图 2), 满足了构造特征和地貌特征分析的需要。

为了达到提取铁矿信息的目的, 对遥感图像做了多方案选择, 对最佳图像再进行分段线性密度变换——跟踪球线性密度变换, 使与铁矿有关的信息得到增强。这套多功能组合处理方案取得成功的关键在于, 分段的局部扩张亮度值范围正好是沉积变质铁矿亮度值范围, 从而使铁矿信息为主的遥感信息得到了突出。

从图 3(图版 I)上可以看出, 该区现有中、大型铁矿都分布于白色调为主的范围, 该图像还留有地貌特征。为了进一步突出铁矿信息, 对图像上铁矿区范围的灰度值继续进行分段线性密度变换, 获得图 4(图版 I), 该图像已基本失去地貌形态特征, 突出了色调特征。图中黑色带分布区与图 3 中的白色调分布区吻合, 但是界线更为清晰。图 4 中紫色带封闭的杂色区与图 3 中蓝黄色调为主的分布区吻合, 它们的判读图即图 1。

图像处理结果是否反映了某种矿床产出的规律呢? 我们结合实际情况进行一些分析。

图 3 中的白色调区和图 4 中的黑色带区, 呈北东向长条状分布, 区内出现的铁矿床规

模较大,大型铁矿床数占 40%,中大型铁矿床数占 40%,小型铁矿床数仅占 20%,这些铁

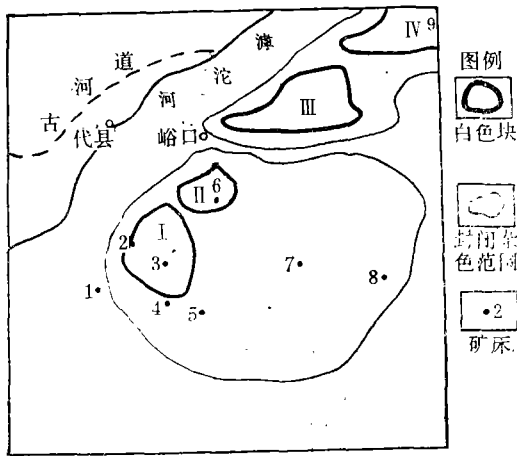


图 6 铁矿遥感异常解译图

Fig. 6 Comprehensive Map of Iron-ore Remote sensing Anomalies

矿床的矿体出露地表的面积都较大。相比之下,在图像上杂色区出现的铁矿床规模较小,多为中小型矿床,矿体出露地表的面积也较小。图像处理结果成功地反映了铁矿床的这一分布规律。

被增强的含有铁矿信息的遥感信息,在图 5 (图版 I) 上显示得更清楚,该图像面积是图 4 图像的四分之一,约 1180 平方公里。图像清晰地显示出滹沱河的古河道和四块白色斑,从它的判读图(图 6)上可以看出, I 号白色斑块是 2 号和 3 号铁矿床的反映,是一个大型沉积变质铁矿床区; II 号白色斑块是 6 号铁矿床的反映,是一个正在勘探的中大型沉积变质铁矿床,有可能发展成为一个

大型铁矿床; IV 号白色斑块位于图像的右上角,是 9 号铁矿床的部分反映,这也是一个大型铁矿床。只有 III 号白色斑块目前尚未发现铁矿床,我们称这个靠遥感技术发现的异常为遥感异常。这个遥感异常位于两个大型铁矿床之中,沉积变质铁矿的含矿层位沿北东方向展布,正好通过该区,并且在遥感异常范围已发现铁矿露头。那么为何地质工作者忽视了这个部位呢? 笔者认为,因为 I, II, IV 号白色斑块位于航磁高异常区,易引起人们的重视,而 III 号白色斑块位于航磁低缓异常区,主要矿体未出露地表,所以该处容易被忽视。因此,这个遥感异常位置,应是今后加强地质工作的地方。

以上分析表明,电子计算机图像处理技术不仅可以为遥感地质研究提供丰富的新资料,而且能为普查找矿直接提供新线索。

### 三、用“镶嵌模型”估计矿床产出概率及评价找矿潜力

数学地质者用“镶嵌模型”估计矿床产出概率,他们所用的数据是各种地质图件<sup>[1]</sup>,本文用的是遥感数字处理图像。

首先把研究区划分成 166 个等面积单元,每个正方形单元面积约 16 平方公里(图 1)。在图 1 上可见有 6 种单元:(1)空白;(2)黑色带;(3)杂色带;(4)黑色带有矿床出现的单元;(5)杂色带有矿床出现的单元;(6)仅有矿床出现的单元。与之相对应的频率为  $f_1=46$ ,  $f_2=36$ ,  $f_3=68$ ,  $f_4=11$ ,  $f_5=4$ ,  $f_6=1$ 。如果由此镶嵌体中随机抽取一个单元,其中可能含有一个矿床的机会由以下三个条件概率给出:

$$P_{x_1} = f_4 / (f_2 + f_4) \approx 0.234$$

$$P_{x_2} = f_5 / (f_3 + f_5) \approx 0.056$$

$$P_0 = f_6 / (f_1 + f_6) \approx 0.021$$

其中  $P_{x_1}$  为黑色带出现矿床的概率;  $P_{x_2}$  为杂色带出现矿床的概率;  $P_0$  为空白单元出现矿床的概率。

上述  $P_{x_1}$ 、 $P_{x_2}$  及  $P_0$  的估计没有考虑到已发现矿床的 16 个单元以外还有矿床产出的可能。将已发现矿床的 16 个单元置于控制区内(图 1), 则控制区 58 个单元的概率和为:

$$33 \times 0.234 + 22 \times 0.056 + 3 \times 0.021 = 9.017$$

这个数比已知铁矿床数少, 取校正因子  $F = 16/9.017 = 1.77$ , 则修正概率  $P_{x_1}^* = F \cdot P_{x_1} = 0.41$ ;  $P_{x_2}^* = F \cdot P_{x_2} = 0.10$ ;  $P_0^* = F \cdot P_0 = 0.037$ , 用修正概率重新计算, 控制区 58 个单元的概率之和恰为:

$$33 \times 0.41 + 22 \times 0.1 + 3 \times 0.037 = 16$$

则全区概率之和为:

$$47 \times 0.41 + 72 \times 0.1 + 47 \times 0.037 = 28$$

这个结果表明, 控制区之外可能还有相当于  $28 - 16 = 12$  个铁矿床资源量的潜力。

“镶嵌模型”用遥感信息对研究区铁矿床产出概率的估计, 还需进一步分析。从图 1 可知, 反映大型铁矿床信息的黑色带单元, 控制区已占 70.2%, 反映中型铁矿床信息的杂色带单元, 控制区已占 30.6%, 1 号矿床被黄土覆盖, 黄土区在图 1 上表示为空白单元, 控制区只占了 6.4%, 这说明铁矿床产出概率大(0.41)的黑色带区, 只剩下 29.8% 的单元有找矿潜力, 杂色区所剩的 69.4% 的单元, 铁矿床产出概率为 0.1, 空白区(黄土)虽然有 93.6% 的单元在控制区外, 但其矿床产出的概率只有 0.037, 矿床产出的概率也就是找矿成功的概率, 据此可对研究区的找矿工作部署做如下建议(图 1):

(1) 在两个控制区之间的黑色带区, 即 112, 122, 123, 130 号单元, 是全区找矿成功可能性最大的地段。图 5(图版 I)及图 6 的遥感异常正处在该部位, 所以这四个单元的范围应是全区找矿工作的重点。

(2) 黑色带区 5, 6, 19, 20, 32 号单元, 是二级找矿有望单元。

(3) 两控制区之间的杂色单元, 是三级找矿有望单元。

(4) 遥感信息反应的黄土覆盖区内的铁矿床产出概率仅 0.037, 故不能依靠目前的多光谱遥感信息去发现黄土覆盖区内的铁矿床。

## 四、遥感变量的研究

“镶嵌模型”计算的是经图像处理的一目了然的与铁矿有关的宏观遥感增强信息, 但遥感图像上还有许多似乎杂乱无章的信息, 由于看不出它们与矿产的关系, 往往容易被舍弃。为了充分利用所获取的信息, 我们通过数学方法来评价图像上所有出现的遥感信息, 挑选出那些与铁矿有关的信息, 以帮助找矿, 其方法如下。

研究时把全区划分成 166 个等面积的正方形单元(或称网格), 每个单元可以看成是一个样品, 在一个单元里可以观察到许多不同颜色的遥感信息, 在此将一种颜色看成是一种遥感变量, 统计铁矿床单元里出现的所有遥感变量, 再用数学方法对这些变量进行筛选。统计的遥感变量如下:

(1)影纹细而密集,(2)影纹较粗,(3)水系较粗而宽,(4)水系较细而密,(5)水系不明显、不发育,(6)山区,(7)黄土区,(8)环形影像,(9)线形影像长度累计和大于均值,(10)线形影像交汇点数大于均值,(11)白色,(12)深蓝色,(13)浅蓝色,(14)黑色,(15)黄色,(16)绿色,(17)红色,(18)紫色,(19)杂点色,(20)黑色带,(21)蓝色带,(22)绿色带,(23)红色带,(24)紫色带,(25)黄色带,(26)黄红色带,(27)杂色,(28)不圆滑黑色块。

对以上遥感变量采用二态变量取值,如果有铁矿床单元出现,赋值为 1,否则为 0。这样就得到一个  $28 \times 16$  的原始遥感数据表,这是一组已知沉积变质铁矿床表现的遥感信息特征,其中有许多遥感变量并不与铁矿床有关或关系不密切。为此,先用遥感特征向量长度分析法对其进行筛选。基本原理是把  $N$  个已知矿床看成  $N$  维空间,每个遥感变量(共  $P$  个)为  $N$  维空间中的一个向量。通过计算各遥感变量的向量长度,来评价变量的重要性,矢量长度越大,则该变量与矿床的关系越密切。把原始遥感数据表当成一个原始资料矩阵,矩阵的每一行是一个遥感特征向量,向量长度  $L_i$  为

$$L_i = \sqrt{\sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad (i = 1, 2, \dots, P)。$$

乘积矩阵  $B = A \times A'$  中各行的向量即为逻辑向量。逻辑向量长度即反映了某变量出现对矿床的意义,又反映了该变量和其它每一变量同时两两出现对矿床的意义,在此,把大于遥感特征矢量长度平均值的变量,定为铁矿床有利遥感信息标志,这样从 28 个变量中挑选出 12 个变量,这些变量及它们的矢量长度是:

(1)红色,40.63;(2)绿色,37.76;(3)黑色带,35.33;(4)黄色,34.84;(5)水系较粗且宽,33.97;(6)深蓝色,29.68;(7)环形影像,29.38;(8)线形影像长度和大于均值,28.49;(9)线形影像交汇点数大于均值,28.49;(10)影纹细而密集,26.83;(11)紫色,26.46;(12)白色块,25.71。

矢量长度定量反映的这些遥感变量,大体上分为三类:(1)色调,是地面某种物质或某些物质的组合反映;(2)自然地貌特征,如水系,影纹密集程度等,这类变量能间接地反映某些与矿床有关的地质构造;(3)图像判读成果,如环形影像,线形影像,影像交汇点数等,这类变量属于加工变量,是目视判读获得的变量,虽然有一定人为因素的影响,但仍是遥感地质研究中有效的重要变量。例如,用研究区 16 个矿床的储量与线形影像累计长度做回归分析,相关系数为 0.66,回归方程为

$$Y = 11.661547 + 0.000149X$$

其中  $Y$  为线形影像累计长度,  $X$  为铁矿储量,这表明从遥感图像上判读出的线形影像特征,确与铁矿床存在某种内在的联系。

以上用遥感特征向量分析法挑选出来的变量,定量地反映了其在遥感图像上出现的规律与沉积变质铁矿床的关系。这些变量与铁矿床规模存在的关系可用逻辑信息法的计算结果来探讨<sup>[2]</sup>。

从全区 16 个矿床中选出 8 个矿床,按储量规模从小到大排成两个序列,它们与遥感变量构成的资料矩阵见表 1。

通过计算得到这 8 个铁矿床的对象权(也称变量分权总量),从表 2 可以看出对象权

表 1 遥感变量数据表  
Table 1 Table of Remote Sensing Variables

组号	编号	序号	信息标志号 (即变量号)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I 小矿	A1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	B1	2	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
II 中矿	A2	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
	B2	4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
III 中大矿	A3	5	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	B3	6	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
IV 大矿	A4	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	B4	8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

大小变化的顺序与铁矿床规模的变异序列(变化顺序)一致,说明计算结果正确,可以用对象权来研究沉积变质铁矿床。

表 2 铁矿床对象权表  
Table 2 Table of Iron Deposit Target Weights

第一序列	矿床	A1 (14号)	A2 (4号)	A3 (6号)	A4 (10号)
	对象权		0.787	1.063	1.152
第二序列	矿床	B1 (15号)	B2 (5号)	B3 (12号)	B4 (2号)
	对象权		0.056	0.632	2.134

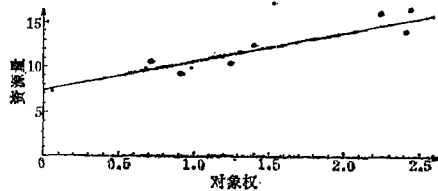


图 7 铁矿资源量与对象权分布的关系图

Fig. 7 Relationship Map Between the Quantity of Iron-ore resources and target weight

将 8 个铁矿床的储量取自然对数值,它与对象权的关系从图 7 上明显地反映出来,对其进行相关分析,计算资源量对数值和对象权的相关系数,得  $r=0.79$ ,当检验水平  $\alpha=0.05$  时,检验临界值  $r_{\alpha}=0.71$ ,  $r > r_{\alpha}$ 。可见二者有紧密地线性相关关系。因此,以遥感变量对象权为自变量,资源量对数值为因变量进行回归分析,得回归模型:

$$Y = 6.396 + 1.617X$$

对回归模型进行显著性检验,得  $F = 4.16$ ,当检验水平  $\alpha = 0.05$  时,检验临界值

$F_a = 3.79$ ,  $F > F_{\alpha}$ 。表明回归模型能刻划出资源量对数值与遥感对象权之间的关系。

回归分析结果证明了本次研究挑选遥感变量的方法是成功的,选出的遥感变量与沉积变质铁矿资源呈正相关关系,可以作为该区铁矿资源评价的重要变量参加计算和分析。

## 五、结 论

- (1) 用遥感信息研究的结果表明,山西北部沉积变质铁矿资源仍有较大潜力。
- (2) 图像处理成果的质量是定量研究遥感信息的关键。
- (3) 遥感地质研究成果的定性描述,可以通过数学方法定量表示,且更为深刻。
- (4) 正确挑选出的遥感变量,可以作为该区普查找矿的遥感信息标志及铁矿资源评价和预测的重要变量。

## 参 考 文 献

- [1] 赵鹏大等,矿床统计预测,地质出版社,1983年。  
 [2] 朱裕生,矿产资源评价方法学导论,地质出版社,1984年。

## A Study of Metamorphosed Sedimentary Iron Deposits Using Remote Sensing Information in Shanxi Province

Li Zhongsheng

(Institute of Shanxi Geological Exploration Co., Ministr of Metallurgical Industry)

### Abstract

This paper presents an achievement about a study of metamorphosed sedimentary iron deposits using Landsat-3 MSS CCT in the north of Shanxi province.

The remote sensing information concerning metamorphosed sedimentary iron deposits are enhanced by using digital image processing technique, they as statistical variable are applied to metallogenic prognosis. The results of the calculation indicates some favourable sectors of the area for geological exploration, and shows a good prospect of iron ore resources. Furthermore author uses the model of "Logical Information processing" to study the remote sensing variables, a correlative relationship is shown clearly between the variables and metamorphosed sedimentary iron deposits.



图 2



图 3

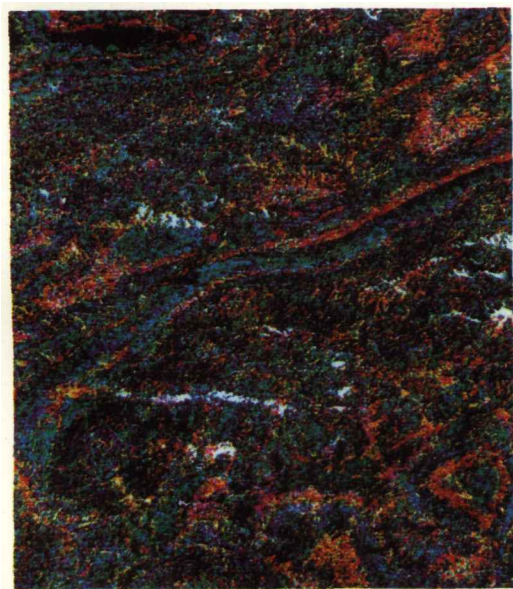


图 4



图 5