

陆地卫星多光谱扫描影象地质 解译的一种途径

邵 震 李翠英

(地质部石油地质综合大队101队)

陈祖荫 钟友良 聂金宗

(北京工业大学)

一、前 言

遥感技术地质应用中的一个重要环节是图象的解译。众所周知,陆地卫星的多光谱扫描(MSS)影象通常仅反映不同光谱通道的地表景观,地质解译就是将地下地质状况与地表景观二者间建立正确的联系。在良好露头区,卫片的目视解译比较容易;在大面积覆盖区,则目视解译相当困难。

我国陆地上的中生代含油气盆地几乎均被一定厚度的第四系覆盖,在这些地区进行石油普查勘探时,如何充分利用卫星多光谱扫描资料,成为许多石油地质工作者颇为关注的研究课题。与此同时,国内外许多遥感地质解译人员在目视分析中确实发现了不少与含油气盆地或构造有关的特殊影象,然而由于对这些特殊影象的成因众说纷纭,又缺少坚实的理论依据,故许多人对这些解译成果尚持怀疑态度。

近年来迅速发展并得到广泛应用的数字化图象处理与模式识别技术,为遥感图象的解译提供了有力工具,本文即试图应用这两门现代技术为大面积覆盖地区遥感影象分析,以及含油气地区特殊影象的解译,开辟一条途径。

由于NASA数据处理机构(NDDF)提供的计算机用兼容磁带(CCT带)具有严格合理的数字图象格式,最适于直接进行自动图象分类处理,我们即以CCT带为基础资料,主要使用我国生产的小型计算机,初步形成了一个简便的图象处理系统,该系统的构成及流程如图1所示。

由于考虑到本系统主要由内存仅32K的DJS-6小型机来实现,故在系统中的程序设计及算法选择时均要求

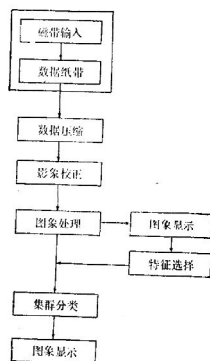


图1 图象处理系统

尽量节约内存,如采用分块处理、串行及迭代计算。同时,为了便于地质人员根据实际效果适时地进行人工干预,因而要求系统具有一定的人机对话功能,以便使输出的影像及分类结果更具实际意义。应用这个系统,以河北深县含油构造为对象,进行了试验性处理。

此项研究是由地质部石油地质综合大队101队及北京工业大学计算机科学系联合进行的。

二、背景资料

本试验所用磁带的编号为841—01545,成象日期为1977年5月12日,象幅中心位于北纬 $37^{\circ}34'$ 东经 $116^{\circ}15'$,成象时太阳俯角 54° ,太阳方位角 138° 。所选试验区位于东经 $115^{\circ}24'41''$ — $115^{\circ}33'11''$,北纬 $38^{\circ}1'37''$ — $37^{\circ}54'36''$ 之间,包括 192×128 个象原,面积共105平方公里。

(一) 地表概况

本地区位于河北冲积平原之深县、束鹿附近,区内地形平坦,但人工沟渠纵横交错,居民点较为密集。

表层土壤以砂壤质潮土较多见,轻壤质潮土分布于地区中部,西北含砂质增加,南部壤质发育,壤中水分较少,仅在富含壤质及低洼地区、沟渠两侧水分相对增加;壤中盐分含量高,地区东南部尤显著,局部形成盐土(图2)。区内土地均经耕作,且以种植麦、棉为主;北部分布小片果园;全区乔木较少,仅见于村庄周围。

成象期间天气晴朗,近日内没有降雨过程。

(二) 油气地质概况

试验区位于冀中拗陷之饶阳凹陷南端,区内有属于任丘油田的两块较小的含油面积,分属不同的含油构造类型。本区的地质特点为:1)沉降幅度大;2)断块差异性活动频繁;3)地质发展过程中具有长期继承性。

本区于中生代开始断裂活动,在始新世早期断陷下沉,沉积了孔店组,由于断层分割,各断块岩性各异,厚度不均。渐新世大面积沉降,形成了厚千余米的沙河街组3—1段连续沉积,其下部有暗色泥质岩,被认为是有利生油的岩系。沙一段沉积后断块差异上升,故其顶部均遭剥蚀,并与东营组呈角度不整合。渐新世后期凹陷再次下沉,东营组均匀分布。渐新世后本区平缓上升,故常缺失东一段并与上第三系成假整合接触。上新世以来,凹陷整体缓慢下降,全区无大差别。

本区为四条发育不同的断裂所分割,其中何庄断裂近东西向,断距约1400米,其北盘长期处相对上升状态。青辉头断裂为北北东向,断距可达1100米,使奥陶系灰岩与沙三段生油岩系接触形成具工业价值的油气聚集。刘家庄断裂活动晚、规模小,但其两侧均形成圈闭,构成下第三系构造油储(图3)。

三、分类算法

ISODATA法^[1]由于其优良的性能及不需占用过多的存贮而适于作为对遥感影像的

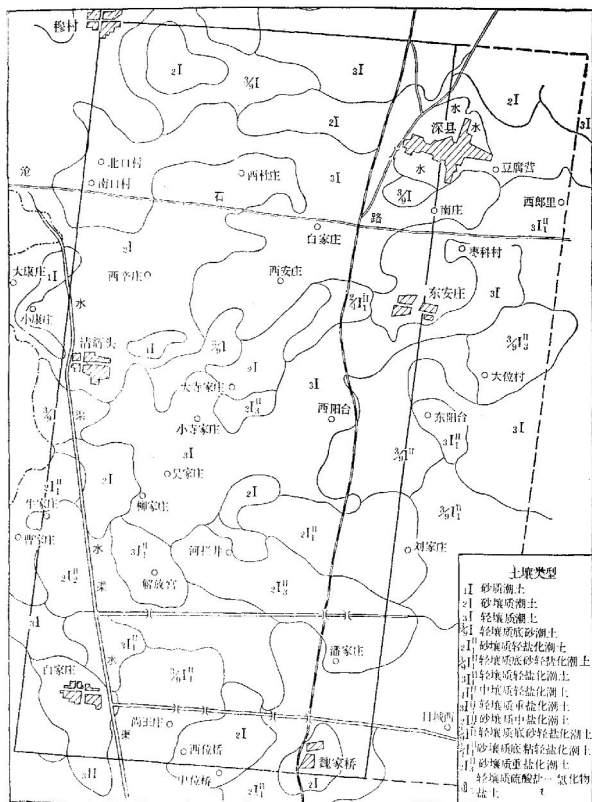


图2 深县地区土壤类型图

分类,但是,这一方法要求预先指定多个参数,而导致使用上的实际困难。CLASS法^[2]不同于上述方法而使用参数较少,然而该方法形成的初始凝聚点过多且分解方案不尽合理。本试验提出的算法在几个方面改进了CLASS法并增加了人/机会话功能,试验证明效果良好。

(一) 算法流程 (图4)

1. 形成初始凝聚点。
2. 对全部样品点分类并进行迭代,直到误差小于指定的参数或迭代次数达到允许的

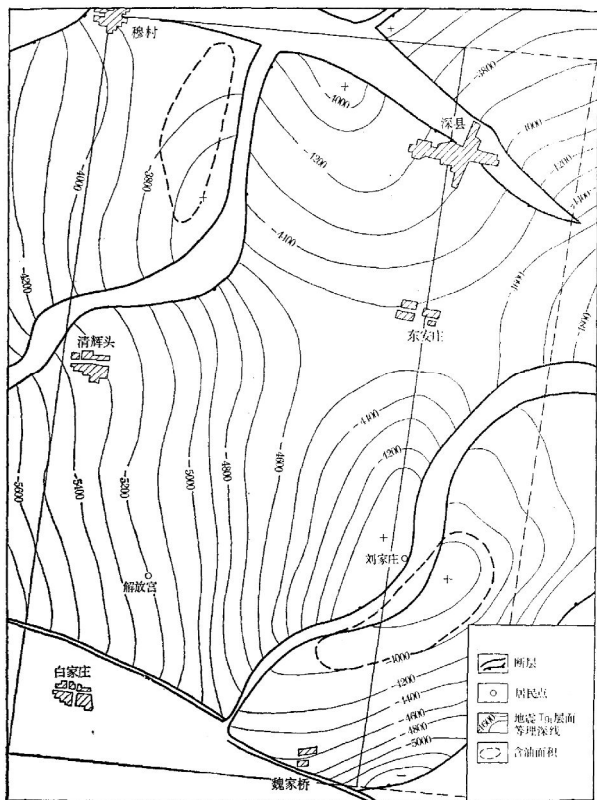


图3 深县地区地质构造简图

界限。

3. 输出分类结果, 若已满足要求则转向5。

4. 用人/机会话进行对已分各类的剔除、合并或分解, 形成新的凝聚点并转向2。

5. 输出最终结果以及各类影像。终止。

(二) 初始凝聚点的产生

CLASS应用一种确定的方法在N维特征空间中形成 $2N+1$ 个初始凝聚点, 这一方法是富有启发性的和有效的, 但当N较大时初始点数将会过多而造成困难。作者建议在N维

空间产生以下 $2N+1$ 个初始凝聚点:

$$\begin{aligned} P_1 &= (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n) \\ P_{2k} &= (\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_{k-1}, \bar{X}_k + S_k, \bar{X}_{k+1}, \dots, \bar{X}_n) \\ P_{2k+1} &= (\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_{k-1}, \bar{X}_k - S_k, \bar{X}_{k+1}, \dots, \bar{X}_n) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $\bar{X}_i$ 为全部样品点第 i 特征的均值, S_i 为标准差。

(三) 样品点的分类

首先, 计算每个样品点到所有凝聚点的距离并将其归入最近凝聚点所代表的类。其次计算各类的均值作为新的凝聚点并计算新旧凝聚点间的距离, 当每一类的新旧凝聚点距离都小于参数 R 或迭代次数大于参数 Q 时, 分类过程停止; 否则重复此过程。

(四) 类的分解

无论 ISODATA 或 CLASS, 在对某个类进行分解时, 都只在一个特征方向上将一类分成两类。与此不同, 作者认为对一类的分解仍是一个集群问题。对于一个类, 逐个考察每个特征的标准差, 若此标准差超过阈值 S_0 , 则在该特征方向上仿照式 (1) 产生两个新的凝聚点, 于是每个类可以分解为多到 $2N+1$ 个子类。

作者提出的阈值 S_0 的经验公式如下:

$$S_0 = \bar{S}_{\max} (1 + M/C \times I \times I_1^p) \quad (2)$$

其中, $\bar{S}_{\max}$ 为各类最大标准差的平均值, M 为样品总数, C 为最终希望分成的类数 (对 C 无法估计时可用初始凝聚点个数作为 C 的代替), I 为迭代次数, I_1 和 p 为参数。

式 (2) 表明, 分解阈值应随着样品点数 M 和迭代次数 I_1 的增加而增加。对于同样数目的样品点, 阈值应随着分类数的增多而减少。

(五) 类的合并

两类是否应当合并, 取决于其均值间的距离, CLASS 提出的参考阈值为:

$$\tau = \frac{N}{3m} \sum_{k=1}^m D_k$$

其中, N 为特征空间维数, m 为当前类数, D_k 为第 k 类与其它各类间的最小距离。

当 N 较大时, 由上式所得的阈值将会过大而导致多数的类都将合并, 作者提出的阈值经验公式为:

$$\tau_0 = (\bar{D}_{\min} \times M/C \times J)/I_1^{p_2} \quad (3)$$

其中, $\bar{D}_{\min}$ 为各类与其它类间最小距离的平均值, J , p_2 是参数。

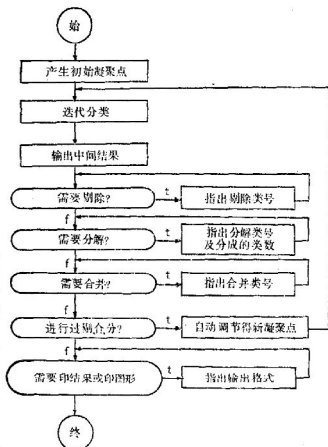


图4 算法流程图

上式表明, τ_0 随各类间距离和样品数的增加而增加, 随分类和迭代次数的增加而减少。

在实际计算中, 式(2)和(3)仅作为参考, 每次迭代结束后将输出各类点数、均值、标准差及类间距离, 可以根据经验判断是否应进行分解、合并或删除某些类。

使用上述算法对试验地区之多光谱扫描影像所做分类之最终结果, 各类的点数、标准差和类间距离等如表1所示。

表1 输出各类有关参数

类型	标准差	类型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
类型	标准差	点数	1150	2171	41	56	3121	2905	2002	880	1833	1827	2211	2921	6	3452
1	33.69			9.54	43.02	271.25	22.93	27.39	32.30	10.85	10.93	18.66	15.26	45.00	259.15	34.97
2	4.09				42.63	278.55	14.78	18.14	24.79	7.57	7.71	9.21	6.86	36.37	295.68	26.18
3	21.02					290.21	45.39	46.63	49.14	43.66	43.55	43.38	43.66	57.80	291.33	49.66
4	475.46						285.99	292.05	290.25	278.99	275.07	286.09	281.59	302.20	294.09	296.19
5	5.27							7.92	10.14	21.21	13.37	9.43	7.97	22.22	247.28	12.46
6	7.12								12.80	22.50	19.62	9.39	12.61	19.17	246.16	9.07
7	6.32									31.33	21.95	19.05	17.96	14.78	243.33	8.55
8	10.96										14.89	13.20	13.75	41.49	257.15	31.30
9	7.13											13.18	7.38	35.39	253.27	25.86
10	5.13												6.19	28.39	251.05	18.11
11	4.08													29.87	250.93	19.83
12	9.90														236.02	10.57
13	332.69															242.85
14	5.42															

表中4、13两类为孤立点

(六) 特征的选择

作为MSS图象分类的特征,除了最基本的四个光谱通道的辐射值之外,还有辐射值的各种比值以及纹理特征值等等,在文献中有报道的约有20种,因此如何选择较少的特征而又不致过分降低分类系统的性能(即不致使分类变的过分粗糙而失去意义)是非常必要的。在本次试验中我们主要根据:1.地质工作者的经验以及对各特征的物理意义及其相关程度的了解;2.各特征的频数—特征数值直方图;3.单特征分类图等。选出7个特征,它们是4、5、6、7四波道的灰阶值(CCT带上的记录值),以及4/5, 5/6, 5/7等3个灰阶比值,并分别用 r_4 、 r_5 、 r_6 、 r_7 、 $100 \times r_4/r_5$ 、 $100 \times r_5/r_6$ 、 $10 \times r_6/r_7$ 表示。由前节中(1)式可知,共可形成15个初始凝聚点,在迭代10次,经分解、合并、剔除后最终产生12类,输出图象如图版I所示。

四、各类光谱特征及其再次分类

(一) 各类光谱特征

不同波道的目标辐射度 L_i ,可按下式由CCT带的灰阶记录值 C_i 算出^[6],

$$L_i = C_i \cdot K_i \text{ (毫瓦/厘米}^2 \cdot \text{球面度)}$$

其中, i 为波道号, K 为卫星增益因数

表2给出了所分出各类的各波道辐射度及其比值。由各类的光谱曲线可以发现,除了为数甚少的Ⅲ、Ⅳ、ⅩⅢ等类外,占象原99%以上的其余各类,可根据光谱曲线的形态分成迥然不同的三组。

表2 各类光谱特征平均值

	L_4	L_5	L_6	L_7	L_4/L_5	L_5/L_6	L_5/L_7
I	0.7605	0.8792	0.8142	1.606	0.865	1.079	0.5474
Ⅰ	0.7605	0.8321	0.8142	1.679	0.9139	1.021	0.4955
Ⅱ	0.3315	0.7222	0.7886	1.679	0.459	0.9181	0.4301
V	0.702	0.7065	0.759	1.606	0.9936	0.9308	0.4726
Ⅴ	0.702	0.7065	0.8142	1.752	0.9936	0.8677	0.4847
Ⅵ	0.8435	0.628	0.7038	1.46	1.024	0.8922	0.4820
Ⅶ	0.7995	0.9106	0.897	1.752	0.2779	1.015	0.5119
Ⅷ	0.7215	0.785	0.7452	1.533	0.9191	1.053	0.4881
X	0.741	0.785	0.8418	1.752	0.9439	0.9325	0.4804
Ⅹ	0.7215	0.7893	0.8004	1.606	0.9378	0.9611	0.4983
Ⅺ	0.624	0.5652	0.7228	1.679	1.104	0.7819	0.4304
XⅣ	0.6435	0.628	0.7728	1.679	1.024	0.2126	0.4602

A组:包括Ⅰ、Ⅱ、Ⅶ、Ⅷ四类,其光谱曲线如图5所示。各光谱通道辐射值的范围为:

L_4 0.7~0.8, L_5 0.79~0.91, L_6 0.74~0.89, L_7 1.53~1.75 (单位: mm/cm²球面度,下同)

在可见光谱段内平均辐射度为0.8099,由于该组各类的 L_4/L_5 (0.865~0.9139)均小于 L_5/L_6 (1.015~1.079),从而使这些类的真实色彩更具黄色调。

B组:包括V、Ⅴ、Ⅵ、Ⅺ、XⅣ等五类,其光谱曲线如图6所示,各波道辐射度分布范围为:

L_4 0.6~0.7, L_5 0.56~0.69, L_6 0.7~0.81, L_7 1.53~1.75

可见光谱段内的平均辐射度较A组为低仅0.6881;且与A组相反,其 L_4/L_5 (0.9936~1.104)均大于 L_5/L_6 (0.7819~0.9308),从而其真实色彩更具红色调。

C组:包括X、Ⅹ两类,光谱曲线见图7,其平均辐射度为0.7765,且 L_4/L_5 与 L_5/L_6 几乎相等,故而该组各类呈明亮的白色。

(二)土壤类型是影像分类的基本因素

地面实况调查表明,五月初的北方大地,新绿初绽,植被较少,这时的多光谱扫描影像当然主要反映裸露的土壤,具有不同光谱曲线的A、B组仍反映两种不同的土壤。

A组亮度大、偏黄色, 具有粒度粗、水分少、腐植质贫瘠的砂质或砂壤质潮土的光谱特点; B组亮度小、偏红色, 具有粒度细、水分多、腐植质丰富的轻壤质潮土的光谱特点。关于土壤粒度、腐植质以及铁的氧化物对土壤反射光谱的影响, 已有许多专门报道, 在这些文献^[3,4]里即已提出利用多光谱资料对土壤进行分类, 本实验实现的自动分类结果,

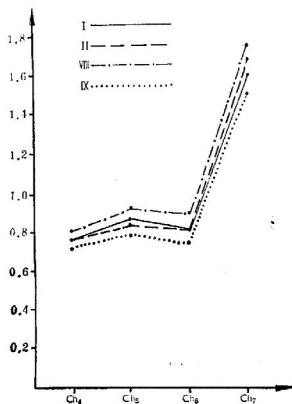


图5 A组各类光谱曲线

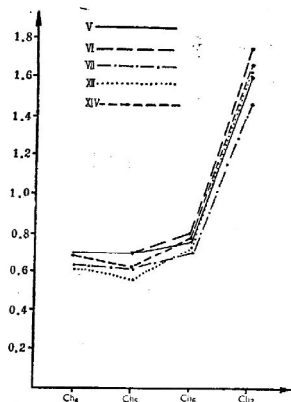


图6 B组各类光谱曲线

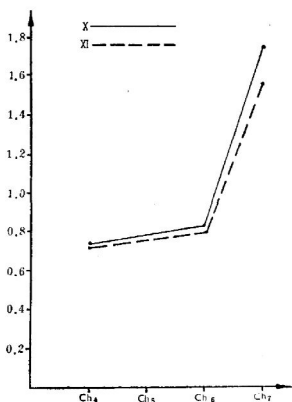


图7 C组各类光谱曲线

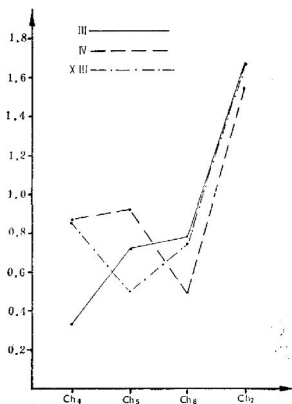


图8 几类特殊的光谱曲线

与文献中提到的某些典型壤的光谱特征颇为相似。

C组的光谱曲线则与土壤的盐化有关,文献指出:常见的可溶性盐(NaCl , Na_2CO_3 , KHSO_4)在整个可见光谱段都具有均匀和十分亮的反射比。在含盐量较低的情况下,具有上述游离态盐类土壤的光谱特性并不发生很大改变;在含盐量很高土壤表层已有盐结皮时,土壤的光谱特性将被这些盐类改造,X、Ⅱ类正是不同土壤被高含盐改造的结果。

(三)含水量对影像分类的影响

Robert曾指出:“水分的变化对土壤的颜色没有显著的影响”,“曲线形状并不随水分含量的改变而发生变化”^[6]。因此,水分的增减仅是使土壤的灰度水平升高或降低。

A组中,I、Ⅱ、Ⅲ类均属砂质或砂壤质潮土,它们的成分和粒度相似,其曲线形状也相似,仅由于含水量不同,使平均灰度水平不同才导致分类上的差别。此三类的平面亦密切相关,多以Ⅲ类为核心,I、Ⅱ类则围绕Ⅲ类分布,这和含水量的自然分布相对应。在B组中这种影响亦颇清楚,如水渠由色调最暗的Ⅳ类构成,这是由于春灌后水渠内湿度最大,随着远离水渠分布着Ⅴ、Ⅵ和Ⅶ类,其平均灰度也相应地增加。

此外,B组中的Ⅳ类色调最暗,其位置与居民点一一对应。Ⅳ类光谱曲线具A组特征,平面分布却与B组密切,地面调查多与果园有关。

综上所述,按不同的分类准则,可将试验区的影像分成具不同实际意义的子影像,其相互关系如图9所示。

(四)影像平面分布与地质构造的关系

对照影像分类图、土壤类型图和地下构造图,可发现某些类的分布与地质构造有关。在靠近断裂下降盘的一侧地形相对低洼,其上多发育轻壤质潮土,水分及腐植质均较丰富,加之人工耕作活动,在影像分类图上自然形成B组各类的带状分布。例如沿柳家庄—西安庄一线北东向分布的Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ各类恰位于青辉头断裂的东盘。又如图象南端白家庄—魏家桥一带Ⅳ、Ⅴ类的北西向带状分布则处于衡水断裂之北盘。

在断裂的上升盘,尤其是构造上处于隆起的部位(如古潜山顶部、构造顶部),地形相对较高,多分布砂或砂壤质潮土,故而常见A组各类的块状分布。例如西杜庄以西即有Ⅲ类的块状分布,其位置与长期处于上升趋势的潜山顶部相重合(该潜山已被证实含工业油流)。在刘家庄构造顶部亦见有Ⅲ类影像分布。此外在河拦井一带也有A组影像分布区,但在构造图上为断块的斜坡,据此似可推测在该斜坡地带将有隆起部位发现。

五、讨 论

(一)试验表明,在试验区内深埋于第四纪沉积下的地质构造是通过不同类型土壤的不均匀分布在多光谱影像中显现出来的,这是由于本地区的现代地貌不但受基底的长期继承性活动控制,也受差异活动的断块本身的构造格架影响,同时各基岩块体上覆地层不均匀分布引起的差异压实作用及新构造运动,也使现代不同地貌单元发育着不同类型的土壤。

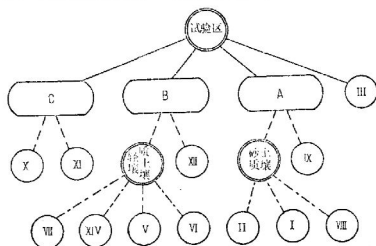


图9 试验区影像分类

- X: 盐化轻壤潮土
- XI: 盐化砂壤质潮土
- XII: 富含水轻壤质潮土
- XIV: 含水轻壤质潮土
- V: 少含水轻壤质潮土
- VI: 干燥轻壤质潮土
- II: 含水砂或砂壤质潮土
- I: 少含水砂或砂壤质潮土
- VIII: 干燥砂或砂壤质潮土
- IX: 居民点
- X: 果木林
- III: 不详

许多资料证明, 土壤中的成分、粒度、含水量以及腐殖质和铁的氧化物的含量, 对地面反射率的影响是相当强烈的, 从图10中可以看出, 在同等干燥的情况下, 轻壤和砂土的反射比差可近6%; 而同样的轻壤当水分从干燥增到10%时反射率降低达10%, 由卫星测得的目标辐射度的简单表达式

$$L_c = \frac{S_c \tau_c \rho_c H_c \cos \alpha}{\pi} + S_c L_{pc}$$

可知, 在同样的大

气光学条件下 (亦即 τ_c ——大气透射率,

H_c ——地面辐射度, L_{pc} ——大气的后向辐

射度均为常数的情况下) 目标辐射度仅为 ρ_c (目标反射率) 和 $\cos \alpha$ (地面取向因素) 所

决定。在实验区所处的平原地区, 地形起伏微弱, 其区域地形梯度每公里不大于0.4公尺,

局部起伏不大于3公尺, 因此, 与 ρ_c 比较, $\cos \alpha$ 的变化对目标辐射度变化的贡献, 实在

达到可以忽略的地步。也可以认为, 在实验区内不同类型土壤的不均匀分布, 才是使地

下构造在多光谱影像中有所反映的根本原因。

问题的症结在于: 这种土壤造成的影像与地质构造的对应是否具有普遍的意义或至

少在同一类型的沉积盆地内具有普遍意义。党振荣¹⁾在对比研究了任丘地区地下构造与

现代地貌单元后认为, 不但在任丘地区而且在整个冀中拗陷乃至黄骅拗陷的“地表效

应”都是历历在目的。因此, 在不同盆地进行这方面研究是非常必要的。

应该指出, 目视卫片分析是无法胜任这一研究的, LANDSAT 提供的计算机用带及

数字图象处理技术, 以较高的分辨本领和辐射灵敏度为区分不同类型的近代堆积提供了

有力工具, 在大面积覆盖地区为快速精细的预测地下构造和石油地质评价开辟一条途径。

(二) 试验证明, 本文所提出的集群分类算法是有效的, 由于合理的选择特征,

因而最终的分类结果除了个别的类型难以有确定的实际意义之外, 大都能和实际地物建

立一定的联系。此外, 我们还根据地质资料圈定的个别构造部位并用该位置上相应的象

原光谱均值作为该构造部位的典型特征, 这种人工指定计算与自动集群结果在某些类型

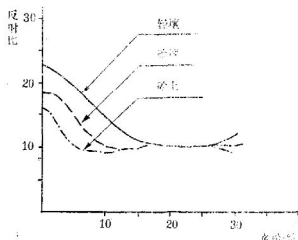


图10 不同粒度土壤的反射比与水分的关系

图10 不同粒度土壤的反射比与水分的关系

问题的症结在于: 这种土壤造成的影像与地质构造的对应是否具有普遍的意义或至少在同一类型的沉积盆地内具有普遍意义。党振荣¹⁾在对比研究了任丘地区地下构造与

应该指出, 目视卫片分析是无法胜任这一研究的, LANDSAT 提供的计算机用带及数字图象处理技术, 以较高的分辨本领和辐射灵敏度为区分不同类型的近代堆积提供了有力工具, 在大面积覆盖地区为快速精细的预测地下构造和石油地质评价开辟一条途径。

(二) 试验证明, 本文所提出的集群分类算法是有效的, 由于合理的选择特征, 因而最终的分类结果除了个别的类型难以有确定的实际意义之外, 大都能和实际地物建立一定的联系。此外, 我们还根据地质资料圈定的个别构造部位并用该位置上相应的象原光谱均值作为该构造部位的典型特征, 这种人工指定计算与自动集群结果在某些类型

1) 党振荣, 1979, 任丘地区地下构造的地表效应及其实用性的探讨, 古潜山, 第3期。

上是完全可以比较的,从而说明发展有监督分类方法是完全必要的,这样将能更合理地确定分类准则,使最终分类更加精确。

(三)利用光谱特征曲线所作的分类结果表明,量 L_4/L_6 与 L_5/L_6 可能是值得重视的两个特征。在以上实践的基础上,进一步进行特征选择和建立分级判决树,可能是发展有监督分类的可行途径。

(收稿日期 1981年8月1日)

参 考 文 献

- [1] Ball, G. H. and Hall, D. J., 1977, ISODATA, A novel method of data analysis and pattern classification, Stanford Research Inst. Tech. Rep. AD699616.
- [2] Frederick, R. F. and Richad, A. N., 1976, CLASS, A nonparametric clustering algorithm, Pattern Recognition, Vol. 8.
- [3] Обухов, А. И., Орлов, Д. С. 1964, Спектральная отражательная способность главнейших типов почв и возможность использования диффузного отражения при почвенных исследованиях. Почвоведение, No. 2. P83-93.
- [4] Kristof, S. J. and Zachary, A. L., 1971, Mapping soil types from multispectral scanner data; Proc. 7th Int. Symp. On Remote Sensing of Environ., Vol. 1—P2095-2108.
- [5] Robert, G. R., 1974, 遥感手册. 汤定元等译, 国防工业出版社, 1979.

AN APPROACH TO GEOLOGICAL INTERPRETATION OF LANDSAT MULTISPECTRAL SCANNING IMAGES

Shao Zhen Li Cuiying

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, Ministry of Geology)

Chen Zuyin Zhong Youliang Nie Jinzong

(Beijing Polytechnic University)

Abstract

An attempt has been made at geological interpretation of the data of sizeable coverage areas obtained by Landsat by means of digital image processing and model identification. The method of non-supervise classification proposed in this study is essentially an improved variety of cluster algorithm. It is not only characterized by convenience rapidity and easier adaptation to minicomputer from the viewpoint of formation, disintegration and integration of initial condensation points, but also enhances the interactive function and makes the result of classification more satisfactory. The output result of classification displays the special distribution of soil types. Since the distribution of some soils corresponds to relative subsurface structures, a feasible approach is provided for geological interpretation of covered areas.