

# 第四系覆盖层及水体下遥感影像隐伏 地质构造信息的提取\*

李永庆 欧阳贵 江涛

(山东矿业学院)

1988年12月20日收稿

## 摘 要

本文阐述了利用多时相多波段卫星遥感影像和 CCT 磁带进行计算机数字增强处理、提取山东省南四湖含煤区水体下及第四系覆盖层下隐伏地质构造信息的方法,解译出了该区的主要断裂构造格架,指出了隐伏的隆起、凹陷、褶皱和火成岩体的分布范围,为煤田勘探和开采提供了有价值的资料。

**关键词** 含煤区 隐伏地质构造 信息提取 数字图像处理

## 一、前 言

南四湖含煤区位于山东省西南部,包括南阳湖、独山湖、昭阳湖、微山湖及湖区西部的黄河冲积平原、东部的山前倾斜平原和丘陵区,湖区压煤面积约401平方公里,预测—1000米以浅藏煤总储量为14.6亿吨。由于湖区被水体和沼泽覆盖,东、西两侧陆地多为第四系覆盖,难以查清该区的地质构造格局,影响了煤炭资源的开发。笔者根据卫星遥感影像具有反映地质构造宏观综合形态特征及在一定条件下能间接获得覆盖层下地质构造信息的特性,收集了1975年10月、1977年3月、1985年4月不同时相的 Landsat MSS 卫星图像及 MSS CCT 磁带,在 S-575 系统上进行了假彩色合成及各种功能的数字增强处理,初步提取了南四湖含煤区的隐伏地质构造信息。经地质判读和实地验证,确认所提取的隐伏地质构造信息与已获地质资料之间的吻合率达80%以上,并对部分已知断层的延伸方向作了修正,还发现了新的隐伏断裂和隐伏火成岩体,为煤田勘探和下水采煤提供了重要资料。

已获南四湖含煤区的隐伏地质构造信息包括线性构造——隐伏断裂和环形构造——隐伏隆起、隐伏凹陷以及隐伏褶皱、隐伏火成岩体。它们在遥感图像上分别以不同的色调、微地貌差异、特殊的影纹结构和图形反映出来。通过相关分析并与实际资料对照,排除了地表植被和人文活动等干扰因素,编制出了该区遥感影像隐伏地质构造判读图(图1)。

\* 本文在计算机数字图像处理方面得到了中国科学院遥感应用研究所李丽、朱重光的帮助,特此致谢。

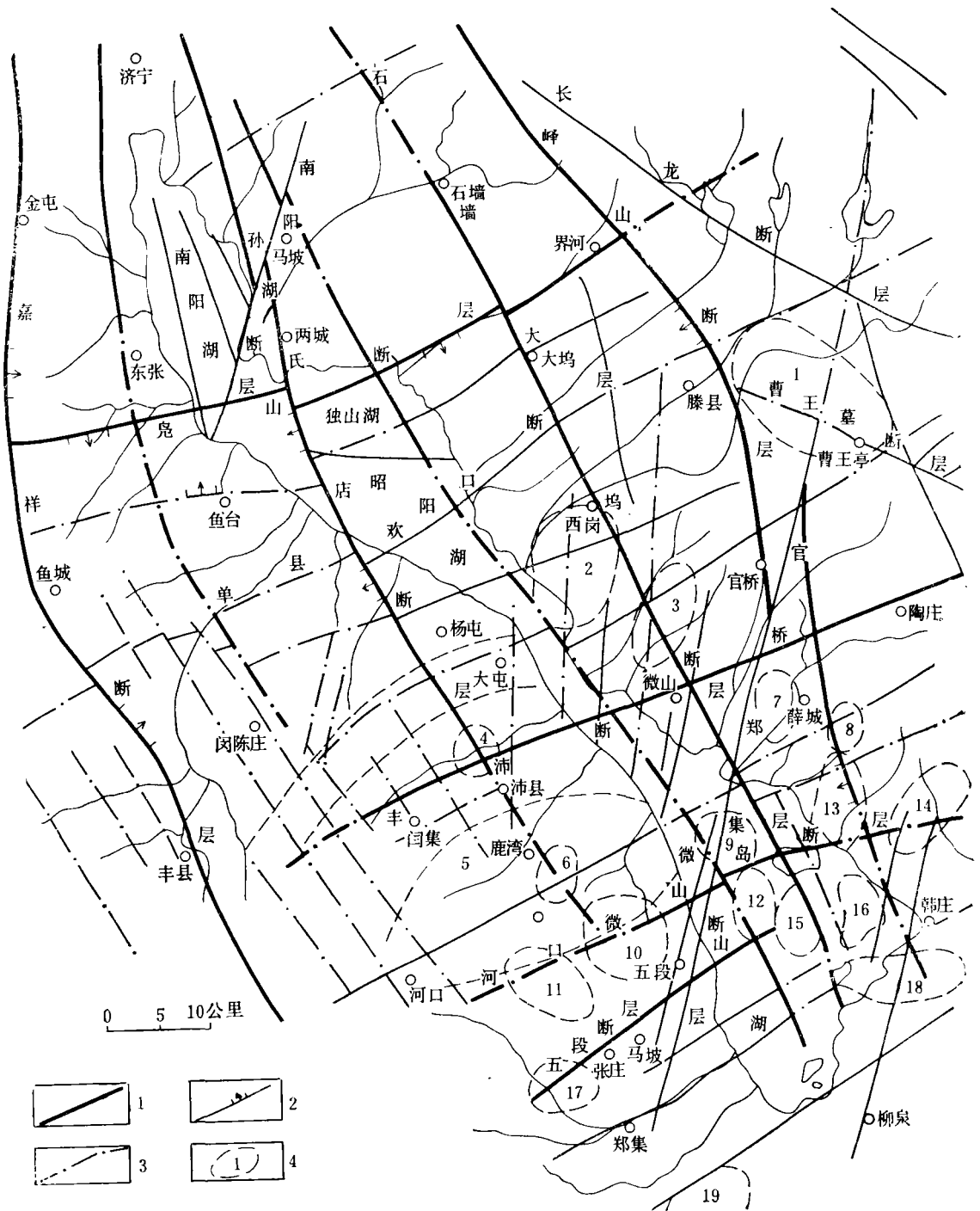


图1 南四湖地区遥感影像隐伏地质构造判读图

1. 隐伏主干断裂, 2. 隐伏断裂, 3. 推测隐伏断裂, 4. 环形构造

Fig. 1 Remote sensing image and concealed structural interpretation map of south Four-Lake area

## 二、隐伏地质构造信息在遥感影像中的显示及其分析和验证

### (一) 隐伏断裂信息显示

该区隐伏断裂可分为4组,北东东向断裂组(北东 $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$ )及北北西向断裂组(北西 $340^{\circ}$ — $350^{\circ}$ )构成该区主要构造格架,为主干断裂;其次尚有北北东向断裂组(北东 $5^{\circ}$ — $15^{\circ}$ )及北西向断裂组(北西 $310^{\circ}$ — $320^{\circ}$ )。以上4组断裂在影像中显示的清晰程度各异,在陆地和水域范围的影像特征也有差异。如北东东向断裂在湖区西部的覆盖区,用5/7波段比值增强后进行密度分割可取得良好的效果,线性特征非常清晰。已知的五段断层、河口—微山岛断层,在用上述方案处理的图像上以明显的色调界面反映出来(图版I图2,图3)。在湖区水域范围内,采用MSS 4, 5, 7波段合成之后再行局部自适应增强直方图均衡化处理(图版I图5),被水体覆盖的北东东向河口—微山岛断裂、丰沛断裂都以较明显的色调界面反映出来。地表验证河口—微山岛断层,于微山岛北侧吕庄南见中寒武统张夏组与第三系官庄组呈断层接触(图4),



图3 图版I中图2的判读图

Fig. 3 Interpretation map from fig. 2 in plate I

有宽约10米的挤压角砾岩带。湖区以东的微山县大洼村见泰山群与官庄组为断层接触,断层面走向北东 $80^{\circ}$ ,倾向南东,倾角 $50^{\circ}$ ,断层带内有断层泥,泥中夹有砾石已经压扁、拉长,断面上见有向南东倾斜,倾角为 $70^{\circ}$ 之次级挤压面,指示该断层经历过再次活动,断面

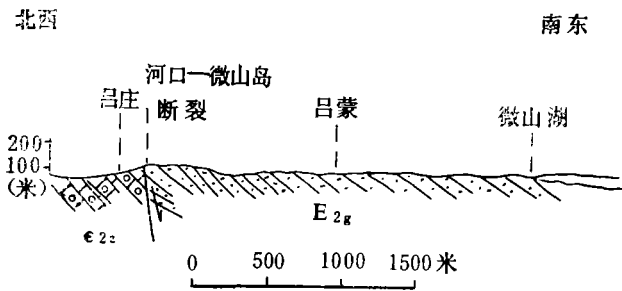


图4 微山岛吕庄—吕蒙构造剖面图

Fig. 4 The Structure Profile Section in Luzhuang-Lumeng of Weishan island

上盘(南盘)上冲,显示挤压特征。该断层控制了晚侏罗世一早第三纪沉积,后使官庄组发生冲断。

北北西向断裂组的影像特征在湖区和湖区以东的陆地,以明显的色线和色调界面、不同地貌单元的突变线、不同影纹结构的分界线显示出来,这是通过采用自适应增强直方图均衡化、5/7 波段比值增强密度分割以及 4, 5, 7 波段合成灰度扩展等方法(图版 I 图 7)提取到的该组隐伏断裂构造信息,如北北西向石墙一大坞断层在微山岛北侧湖区,其东侧的深水区和西侧的浅水区之间的突变线指示了该断层的存在,并与微山岛上已知断层相连。微山岛以南湖区的线性影像特征较隐晦,但该断层往北伸展到湖东山前倾斜平原地区,可见呈北北西方向延伸的色线指示了该断层的存在,色线以西影纹结构较粗,以东结构较细,反映了断层两侧的差异(图版 I 图 2 和图 5, 图 3 和图 6),在以往的地质调查中,由于被水体和松散沉积物覆盖,该断层一直未能发现。属于北北西向断裂组的还有已知的峰山断层和孙氏店断层,它们在经过处理的图像上也有所显示,峰山断层是山区丘陵与山前倾斜平原的分界线,地貌显示的线形影像反映

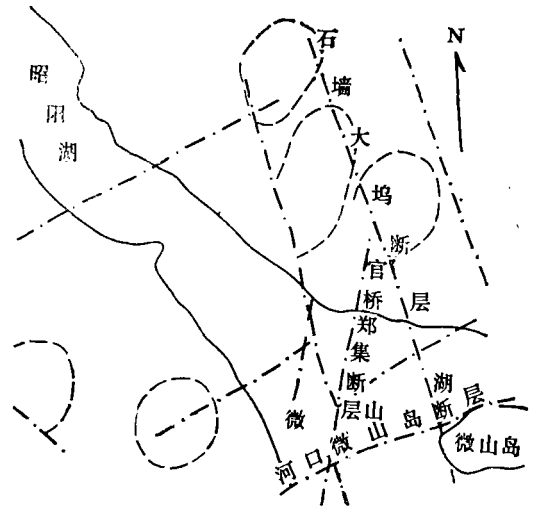


图 6 图版 I 中图 5 的判读图

Fig. 6 Interpretation map from fig. 5 in plate I

清楚(图版 I 图 7, 图 8)。宏观的北北西向断裂组成一系列阶梯式正断层相互平行展布,它们控制了南四湖的形成与演化。

北北东向断裂组为该区内较发育的小构造,常将煤层错移,断层落差一般数米至数十米,少数可达百米左右(图 9)。井下观察,该组断裂力学性质属压扭性,由于规模较小,在遥感图像上不能完全显示出来,通过计算机增强处理及光学边缘增强之后,发现了官桥—郑集断层及南阳湖断层。它们都是以较明显的色线异常指示其隐伏断层存在的(图版 I 图 5 和图 7)。官桥—郑集断层在官桥附近将峰山断层左旋错开;南阳湖断层在南阳湖区将孙氏店断层左旋错

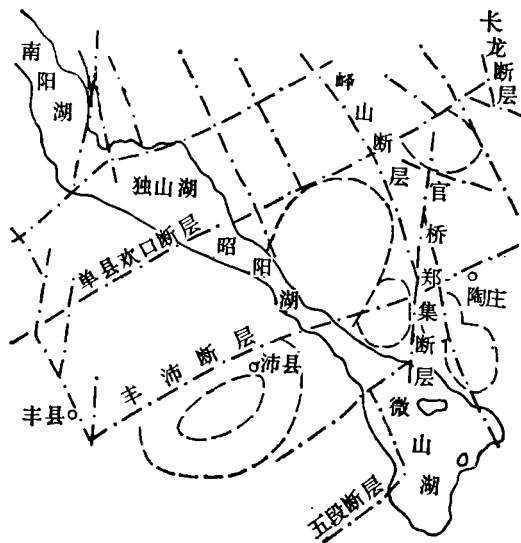


图 8 图版 I 中图 7 的判读图

Fig. 8 Interpretation map from fig. 7 in plate I

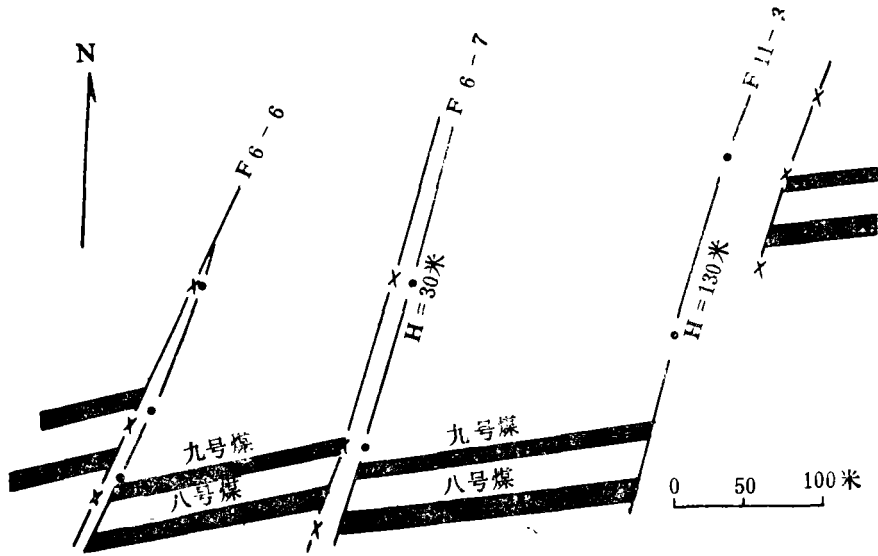


图9 孔庄煤矿东部煤层构造图

Fig. 9 The structure map of coal seam in the east of Kongzhuang mine

开,其影像特征隐约可见。在孔庄煤矿西部矿井中,常见北北东向断层左旋错开北北西向断层,所以笔者认为上述判读成果是可靠的,并对区域峰山断层的南延提出了新的认识。

北西向断裂组仅在研究区东北角出现(图版 I 图 7, 图 8),断裂影像为清晰的不同地貌单元的分界线,经验证,该组断裂分别为区域长龙断层与曹王墓断层的西延部分,表现为北盘上升、南盘下降的正断层。

通过影像判读和综合分析,各断裂组活动的顺序依次为:北西向、北东东向、北北西向、北北东向。在古生代之前,北西向断裂已有活动,到了中生代,在燕山运动强烈影响下发生了北东东向断裂活动。与此同时,北西向断裂也发生复活并与北东东向断裂共同组成“X”型断裂,这两组断裂规模都较大,长度由数十公里到百公里以上,落差由几百米到千米以上,在这两组断裂交叉活动下形成了一系列的断块凸起和断块凹陷,在凹陷内保存了古生代沉积的煤层,所以这两组断裂常是含煤区中井田的边界线。到了第三纪早期,北北西向断裂组表现了较强的活动性,多数断层东盘相对上升,落差达千米以上,使本区东部抬升为丘陵山区,西盘相对下降构成西部平原区,湖区以西沉积了较厚的第三纪地层。通过判读还发现,北北西向断裂发生过右旋扭动,错开了北东东向断裂,在它们的交汇部位发生了岩浆侵位,在湖西孔庄煤矿西端,北北西向断层非常发育并导致了火成岩侵位,且使煤层遭受破坏和变质,证实了遥感图像判读的可靠性(图 10)。

## (二) 隐伏隆起、凹陷、褶皱和岩体信息的显示

在本区遥感影像中,还提取了有意义的环形构造 18 处,经过判读、分析与个别验证,它们分别为隐伏隆起、隐伏凹陷、隐伏褶皱和隐伏岩体。隐伏隆起的影像色调浅而亮,边界较整齐,明显受断裂控制,如丰沛—薛城隆起不仅影像特征明显,而且与物探资料完全吻

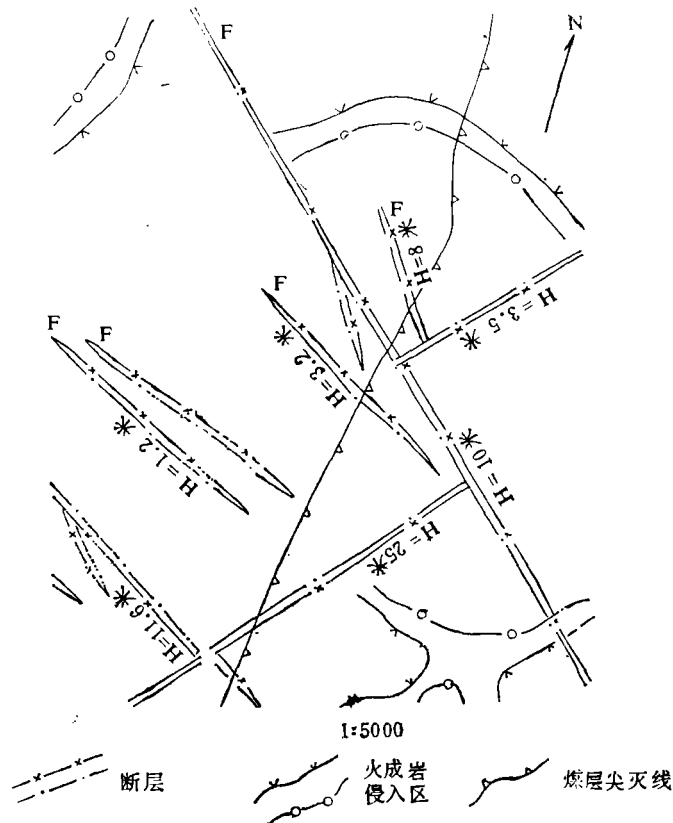


图 10 孔庄煤矿西部煤层构造图

Fig. 10 The structure map of coal seam in west of Kongzhuang mine

合,为正磁异常区(50—100 $\gamma$ )。隐伏凹陷的色调深而暗,为负磁异常区(-50—-150 $\gamma$ ),如郑集凹陷,其北界大致以五段断裂与丰沛隆起相隔。隐伏火成岩体的影像色调较浅,边界圆滑而呈弧形或不规则形状,界线隐晦,显微正地貌,常成群出现在线性影像的交汇处,如图 1 中的 1, 4, 6—18 号环形构造,都可能是隐伏岩体的显示。经过验证, 4 号环形构造恰好与孔庄煤矿西部矿井中侵位于煤系中的火成岩体相对应,该环形构造正位于丰沛断层与孙氏店断层的交汇处附近,证明本区的岩浆活动受断裂控制是很明显的。湖区西部隐伏于地表以下二百余米的丰沛背斜,在经过计算机自适应增强均衡化处理后的图像中,获得了较清晰的显示(图版 I 图 11,)。该背斜在影像中表现为多层环形,其主体轮廓和呈北东东方向展布的褶皱轴向均可辨认,与深部钻孔资料基本一致(图 12)。隐伏向斜的影像特征为深色的椭圆形体。湖区东部的 2 号和 3 号环形构造恰与深部的含煤向斜相对应。

### (三) 隐伏地质构造信息对地质灾害的预测

必需指出,在已提取的隐伏地质构造信息中,微山湖区的北东东向及北北西向线性影像及 9, 12, 15 和 16 号环形构造应予以重视,影像特征表明,至少有 3 条北北西向断层和

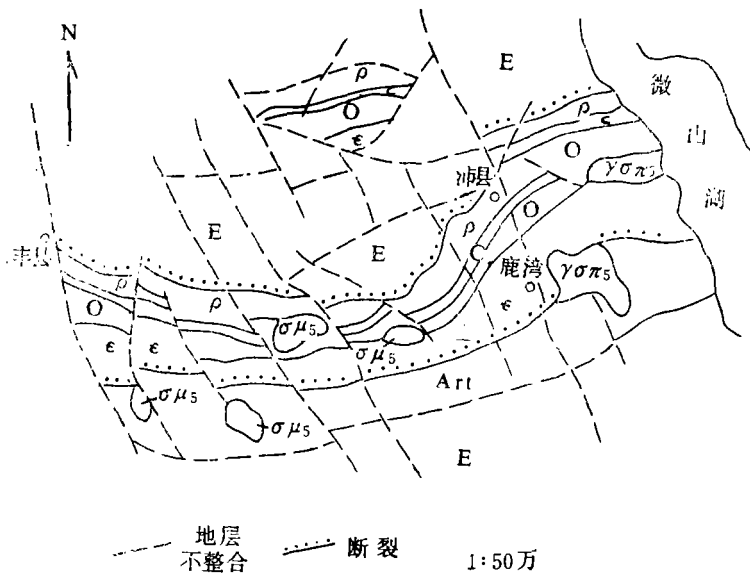


图 12 江苏丰沛地区基岩地质图  
(据江苏省地质志)

E——第三系, P——二叠系, C——石炭系, O——奥陶系, ε——寒武系, Art——太古界,  $\delta\mu_5$ ——闪长玢岩  $\gamma\delta\pi_5$ ——花岗闪长斑岩

Fig. 12 The Geologic map of basement rock in Fengpei area of Jiangsu

4 条北东东向断层分别纵贯和横过湖区,尤其是北北西向断层在第三纪以来有活动显示,如石墙一大坞断层西北端的兖州地区及孙氏店断层西南端的鱼台和独山湖附近都发生过 4 级以上地震,湖区南部的微山湖段也有地震活动。据此认为,纵贯湖区的北北西向断裂组可能导水,影响湖下采煤,尤其是北北西向断层与北东东向断层的交汇部位,环形构造比较发育,推测湖下应有火成岩体分布,煤层可能受到岩浆侵位的破坏,应继续开展对湖区隐伏地质构造的研究。

### 三、提取隐伏地质构造信息方案的探讨

覆盖区及水体下隐伏地质构造遥感信息的提取难度较大,通过以上的研究工作和初步实践,证明应用遥感技术探测一定深度的地质体是可行的,而原始遥感图像的质量、所采用的处理方案及其增强方法的匹配则是重要的和关键的。所谓选择有效的处理方案,就是要根据研究区所处的地质、地貌背景和判读研究对象来选择不同的处理方案。通过多种方案的试验和比较,笔者认为,欲提取本研究区覆盖层及水体下的隐伏地质构造信息,以计算机数字图像处理方法中的比值增强、密度分割、局部自适应增强直方图均衡化等方案的相互匹配效果较好,可达到显示一定深度的隐伏地质构造信息的目的,如图版 I 图 2 就是先用 MSS5/7 波段比值增强再进行密度分割后,提取出湖西第四系覆盖区及湖区水体下的隐伏断层和隐伏火成岩体的遥感信息的。经验证确认,微山湖两侧陆地浅蓝色影

像与深蓝色影像之间的色调界面,正是已知五段断层与河口—微山岛断层的显示,湖区出现的深蓝色、浅绿色、黑绿色、黄黑色所在区域,分别代表陆地、深水域、半深水域、浅水域。不同深度水域之间的直线形分界线是指示隐伏断层存在的标志。影像中出现的黄黑色环形影像可能是隐伏侵入体的标志。该处理方法在提取隐伏地质信息中之所以收到较满意的效果,其主要原因是考虑到了研究区地质背景的差异性。隐伏断层两侧的地质体光谱密度值差异较大,而地质体本身又比较均一,光谱密度值基本相同,覆盖层也比较单一,密度值近似,通过先比值增强,扩大断层两盘的差异(包括地质体本身性质的差异和地貌差异),再进行密度分割,这样就可以使覆盖层和水体中所获基底断裂信息不致于衰减并反映在处理后的图像上。又如提取湖西隐伏丰沛背斜地质信息,采用了局部自适应增强直方图均衡化进行图像处理,效果很好。该方法是在像元周围的局部区域内,用相等频率的直方图,独立地对每一像元进行变换来实现图像的增强。在无特征的区域,该方法能大大加强其对比度,湖区西部广为第四系覆盖,厚度达 200 余米,沉积物较均一,地表微地貌特征不明显,适合采用这种方法进行图像处理。实践证明,经上述方法处理后的图像,能显示隐伏丰沛背斜褶皱的多层环形影像,隐伏褶皱信息能增强到如此清晰的程度是很难得的。

## The Extraction of Hidden Geologic Structural Information From Remote Sensing Images in the Covered District and Under Water

Li Yongqing Ouyang Qui Jiang Tao

(Shandong institute of Mining and Technology)

### Abstract

This paper describes the application of the optical and digital image enhancement processing to the multiband satellite remote sensing images and "CCT". By this method, the hidden structural information under water and Quaternary System in the coal district of South Four-Lake in Shandong Province, P.R.C. is extracted. The main fracture framework is interpreted and the hidden uplifts, depression, folds, igneous rock and their distributive ranges are pointed out. At the same time, the valuable data for the coalfield prospecting and opening are provided.

**Key words** Coal district Hidden structural Information extract digital image processing

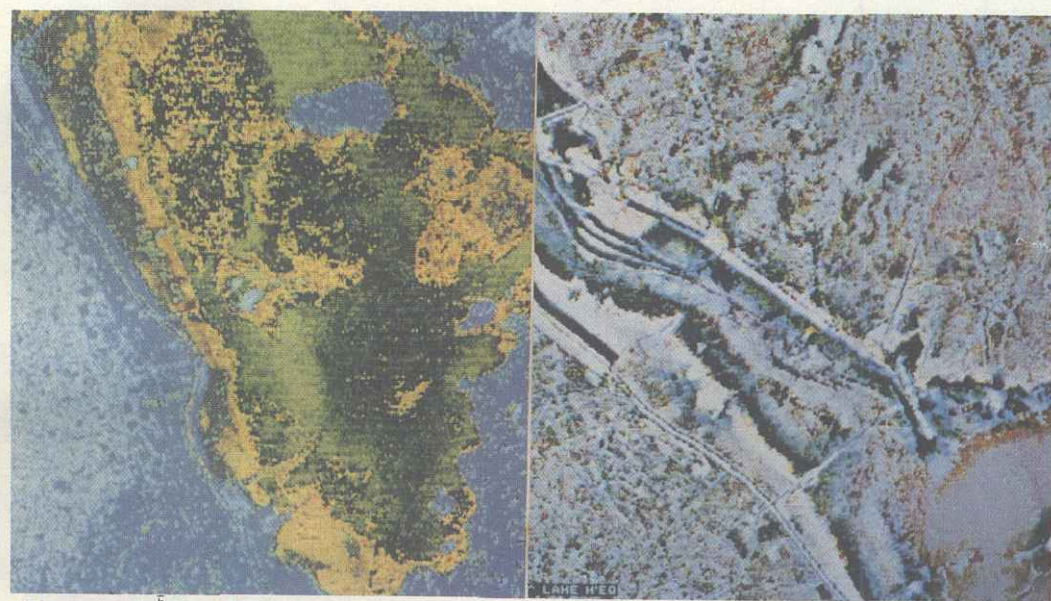


图2 MSS  $\frac{5}{7}$  比值增强密度分割提取北北西向及北东东向线性影像及环形影像

图5 MSS 4、5、7 合成局部自适应增强直方图均衡化提取北北东向及北东东向线性构造



图7 4、5、7 波段合成灰度扩展提取陆地各方向的线性构造和环形构造

图11 自适应增强直方图均衡化提取多层环形构造