

# 基于遥感技术的煤炭勘查方法研究

谭克龙<sup>1</sup> 万余庆<sup>1</sup> 王晓峰<sup>2</sup> 孙顺新<sup>1</sup> 陈香菱<sup>1</sup>

(1. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 随着煤炭资源的大量开发利用, 其保有储量逐年降低, 易于发现的露头矿、浅部矿日趋减少, 尤其是经济发达的东部地区煤炭资源更为紧缺。当前找煤对象主要为地下隐伏矿床及盲矿体, 找煤难度越来越大, 因此探索如何发挥现代遥感及地理信息系统技术优势开展遥感找煤具有重要意义。本文从遥感找煤的理论基础出发, 通过对以往中国遥感找煤实践的总结, 系统阐述了遥感找煤的方法及存在的问题, 提出了下一步遥感找煤的技术发展思路: 即采用新型的多波段、多极化、多角度、多时相、多分辨率遥感数据, 利用 GIS 工具对各种地理属性、地面属性、地球物理勘探、地球化学勘探、地质钻探成果、遥感影像数据进行空间综合分析, 探索煤田地质背景和成矿规律, 提取深层次煤田信息。

**关键词:** 遥感; 找煤; 煤田预测

**中图分类号:** P627; P618.11      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2012)01-0218-10

## 1 引言

基于遥感进行煤炭资源勘查有着广泛的应用价值, 从 20 世纪 80 年代, 中国开展了遥感技术找煤应用研究。1989 年, 管海晏<sup>[1]</sup>通过太原煤田的航空遥感试验研究, 提出航天遥感数据适用于煤田预测, 航空遥感可用于普查找煤、煤田填图、煤矿火区探测、煤矿防治水和地面塌陷调查。1992 年, 邹远耀等<sup>[2-3]</sup>在卫片上研究了湖南雪峰煤田环形影像与重磁异常的关系, 认为环形影像可以指导找煤, 并利用环状向斜影像模式在湖南中新生代盖层下找煤, 取得了良好的效果。杨锋杰等<sup>[4]</sup>利用 MSS、TM 图像通过隐伏构造分析, 进行了鲁西南浅埋区含煤块段的预测。刘玉荣等(1997)<sup>[5]</sup>通过安徽淮北煤田 TM 图像的研究, 发现覆盖层下的地质体和地质现象通过直接或间接方式作用于土壤层或地表地物(如植被), 这种隐伏地质信息可用于找煤。2000 年以来, 中国地质调查局、国家发改委、财政部先后以不同的投资和补偿形式, 在全国范围内开展煤炭资源大调查, 而遥感作为重要的技术手段, 被广泛应用在 1:20 万的区域性煤

矿资源远景分析与评价、1:10 万以及 1:5 万遥感地质填图之中<sup>[6]</sup>, 在中国新疆阿勒泰地区、云南彝良马河、四川等地, 取得了重要成果。

大量的事实表明, 遥感技术是找煤的有效方法之一。近年来, 新型高分辨率、高光谱遥感技术的发展, 为遥感找煤技术提供了新的数据源, 同时对传统的遥感找煤技术和方法也提出了改进的要求。本研究从遥感找煤的基础理论研究出发, 系统总结了中国应用遥感技术在西北荒漠和高原地区、西南浅覆盖地区和中、东部厚层覆盖地区进行找煤的应用实践, 提出了下一步遥感找煤的技术发展思路。

## 2 遥感找煤的理论基础

遥感是通过空间传感器接受地面目标反射、散射外来电磁波或者目标自身发射的电磁波而获得目标物理参数的技术方法。遥感技术彻底改变了地球科学中传统的点测量状况, 从像元到像元获取地物信息, 进而发展为三维立体测量, 这一信息获取方式的改变对地质找矿有重要的促进作用。遥感找煤是以煤炭遥感理论为基础, 成矿理论为指导, 采用遥感

收稿日期: 2011-06-13; 改回日期: 2011-11-24

基金项目: 中国煤炭地质总局专项、国家自然科学基金(41040011)以及中央高校基本科研业务费专项基金(CHD2010JC103)资助。

作者简介: 谭克龙, 男, 1964 年生, 博士, 教授级高工, 主要从事生态环境及遥感地质等研究; E-mail: Tan-kl@163.com。

手段对找煤标志、控煤因素及煤田分布规律进行研究,从中提取煤矿床赋存信息的过程。基于光谱特征,从中国华北石炭—二叠系煤系标准剖面——山西太原西山标准剖面的光谱研究发现:煤系地层为深灰色,整体反射率较低,而煤层反射率又低于相邻岩石的 5%~30%,具有独特的光谱曲线(图 1)。

裸露的煤层及煤系地层在可见光图像上具有特殊的深色调和层状纹理特征,在白天的热红外图像上表现为高热异常,夜间红外图像表现为低热异常。因此,选择可见光和热红外波段的组合,是比较有效的遥感找煤手段。

煤系地层通常由泥、页、砂岩等组成,机械强度普遍较低,在地壳运动和演化过程中被优先挤压、破坏、风化和剥蚀,从而为植被的发育创造了条件。因此,在覆盖地区,植被和地貌形态可成为找煤的重要间接标志。例如煤系地层中机械强度差异比较大的砂岩和煤层、泥页岩交错出现时,抗风化能力强的砂

岩高高耸起,形成山脊,抗风化能力弱的泥页岩和煤层则出露在山坡或山脚,形成沟谷,沿软弱岩层通常植被发育。在这种情况下,需要仔细研究区域地层的地形特征、植被发育和空间分布规律,以推断煤层的赋存状况。

### 3 遥感找煤应用研究

遥感找煤的研究区通常范围较大,地质测量的比例尺较小,工作精度要求较低,以确定区域含煤盆地和控煤构造为目标。因此,可选择 TM、ETM、ASTER、SPOT 或 IRS-1C 图像为遥感信息源,开展 1:20 万、1:10 万或 1:5 万工作。首先采用遥感解译结合地面地质调查的方法进行异常区圈定,然后再以少量的物、化探及钻探工程进行验证。遥感找煤程序见图 2。

#### 3.1 煤系裸露地区找煤

中国新疆、西藏、青海、甘肃等荒漠和高原地区,

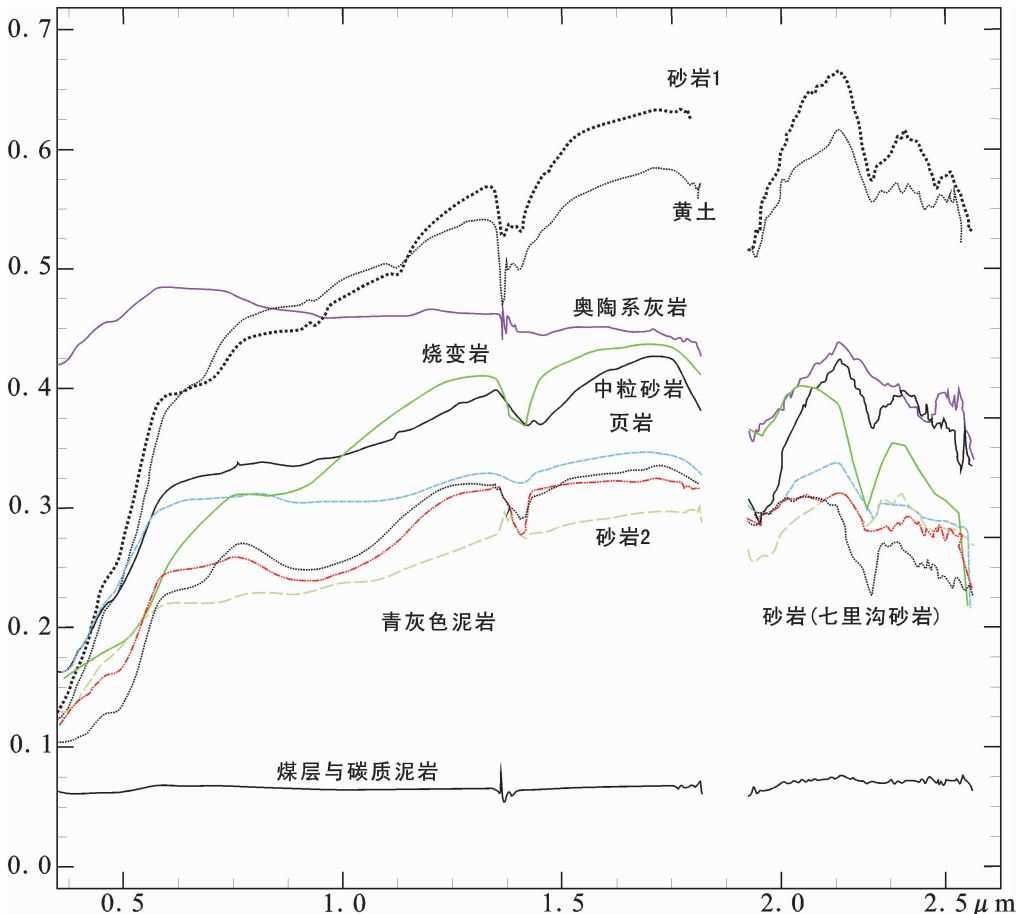


图 1 煤系地层常见岩石光谱曲线

Fig.1 Spectral curve of rocks in the coal measure

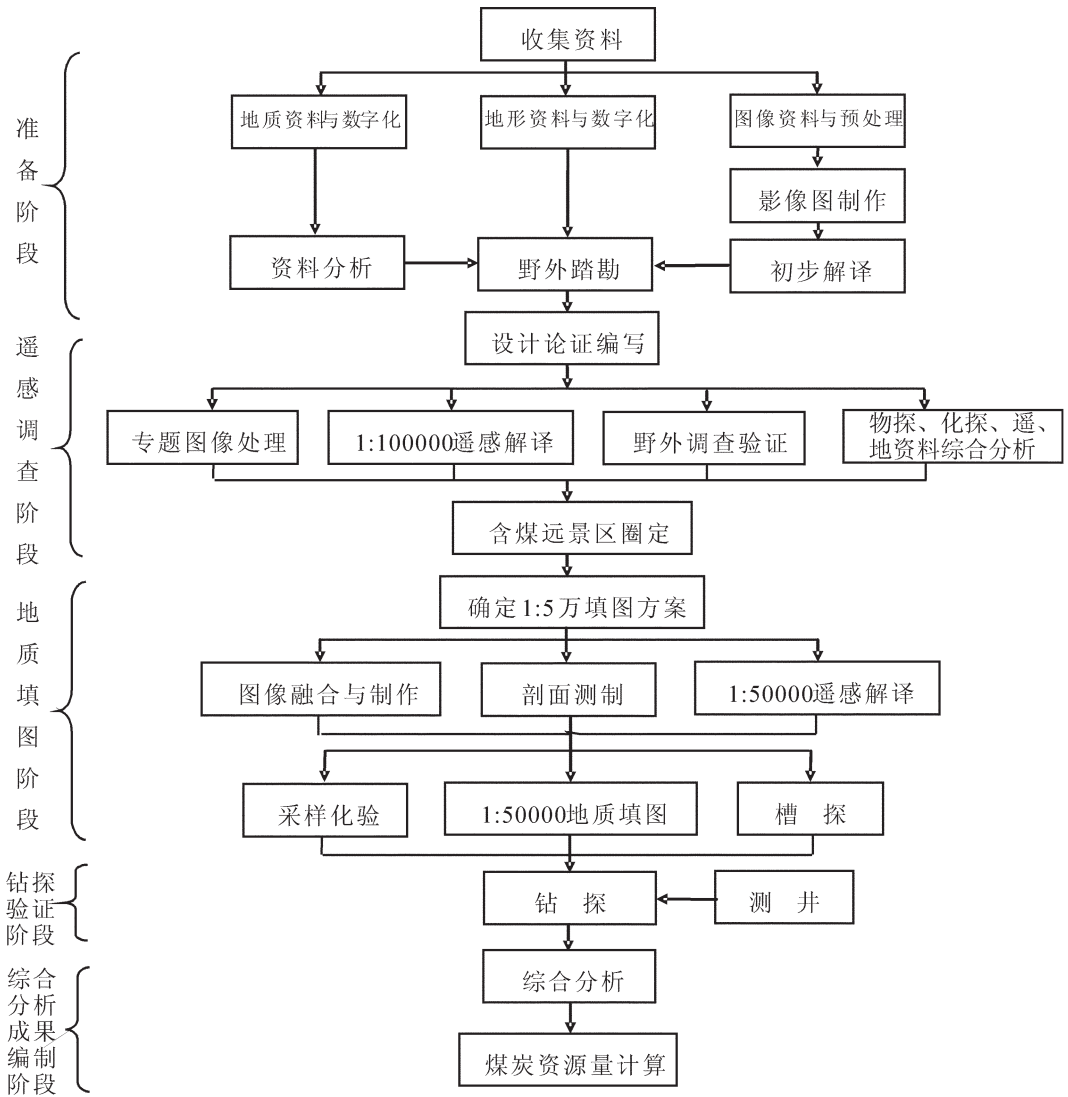


图 2 遥感找煤程序框图

Fig.2 Program of coal prospecting based on remote sensing technology

自然地理条件恶劣,交通不便,工作困难,以往地质工作程度很低,尤其是煤田地质工作,很多地区还处于空白区。荒漠和高原地区含煤盆地及含煤地层出露良好,构造变形相对较小,高分辨率遥感影像清晰,可解译程度较高,能充分发挥遥感宏观、准确、快速、高效的优点,找煤效果明显。

高分辨率卫星遥感图像已经得到广泛应用,在裸露区高分辨率卫星遥感图像进行大比例尺遥感地质填图,具有独到的优势。在中国西北地区进行遥感找煤时,可通过概略解译、踏勘和实测地质剖面,分析研究区地质体与遥感影像之间的关联性,建立煤系地层和构造的解译标志。解译的标志分为直接解

译标志和间接解译标志 2 类。

### 3.3.1 直接解译标志

包括区内各种地质体在遥感影像上呈现的色彩(色调)、纹形图案、大小、形态、影像结构、粗糙度、小煤窑的开采痕迹等。如图 3,为新疆铁厂沟煤田。该煤田的煤层在地表有零星出露,沿煤层有一系列的小煤窑分布。由于长期的小煤窑开采,在地面形成了大量的采空塌陷区,在快鸟图像上清楚可辨。在这类高清图像上,可以清楚地勾绘煤层分布的范围,经过野外验证和调绘,可以达到大比例尺煤田地质填图的要求。

### 3.1.2 间接解译标志

在干旱地区,煤层出露地表,常常氧化自燃,煤



图 3 乌鲁木齐铁厂沟镇 煤矿(快鸟)遥感影像图

Fig.3 Remote sensing images (Quickbird) of the coal mine in Titchanggou Town of Urumqi

层的顶底板被烘烤形成烧变岩。烧变岩具有较强的抗风化性能,经过后期的改造,烧变岩常常会形成正地形出露地表,颜色呈暗红色,相对围岩植被欠发育(图 4~5)。

图 4 为新疆三工河(上图左快鸟 3、2、1 波段合成)到小黄山(上图右 TM4、3、2 波段合成)图像,下部为对应的火区地质图,比较两种图像发现,由于分辨率的差距,导致烧变岩和煤系地层在两类图像上的可解译度差异极大。快鸟图像上的烧变岩为砖红色,煤层露头为灰黑色、条带状;在 TM 图像上的烧变岩和煤层露头的可解译程度显著降低,说明了高分辨率遥感图像对煤炭资源调查的独到优势。

大量反射光谱测试表明:无论是西北地区还是华北地区,烧变区与未烧变区光谱反射率在可见光—红外反射波段均有差异(图 1)。但在  $0.5\sim 0.8\mu\text{m}$  波长范围内,烧变区烧变岩平均反射率低于未烧变区岩石的平均反射率;在  $1.1\sim 3\mu\text{m}$  范围内,烧变区烧变岩平均反射率却高于正常区岩石平均反射率,且差值较大。 $0.8\sim 1.1\mu\text{m}$  范围烧变岩与未烧变岩反射率值处于交错变化,因而  $0.5\sim 0.8\mu\text{m}$ 、 $1.1\sim 3\mu\text{m}$  波长段是区分烧变区与未烧变区的最佳波长区间(图 5),图 5 中,烧变区呈现砖红色,非烧变区

呈黄色(黄土覆盖)。

### 3.2 浅覆盖区找煤

中国西南地区煤系地层埋藏较浅,完全被古近—新近纪和第四纪地层或植被覆盖,如四川、贵州和云南等省区,煤炭资源丰富,地质、地貌条件复杂,植被生长茂盛,在这些地区找煤应遵循“从已知到未知、从简单到复杂”的原则。首先通过踏勘和实测地质剖面,掌握已知区地层、构造、含煤地层、煤层及其他矿产情况,建立含煤地层、含煤盆地和构造的直接及间接解译标志;然后进行全区地层、构造、地貌和植被解译,确定调查区煤田遥感地质构造格架,划分构造单元;再结合已知资料分析构造控煤作用,特别是控盆、控煤构造的性质和规模,聚煤盆地的展布范围、成因类型,研究聚煤期的古地理、沉积环境、同沉积构造和聚煤规律;最后推断圈定可能的含煤远景区和富煤地段。这些地区的遥感找煤主要依靠地貌、植被等间接解译标志和构造规律分析来进行。

1998—2001 年中煤航测遥感局与云南煤田地质局,应用 TM 遥感手段,在云南三江地区解译主要断裂构造 33 条,控煤断裂 13 条;确定芒棒盆地、尼西盆地为新生代断陷聚煤盆地,中甸和小中甸为新生代拉分聚煤盆地,永胜区分别为二叠纪和三叠

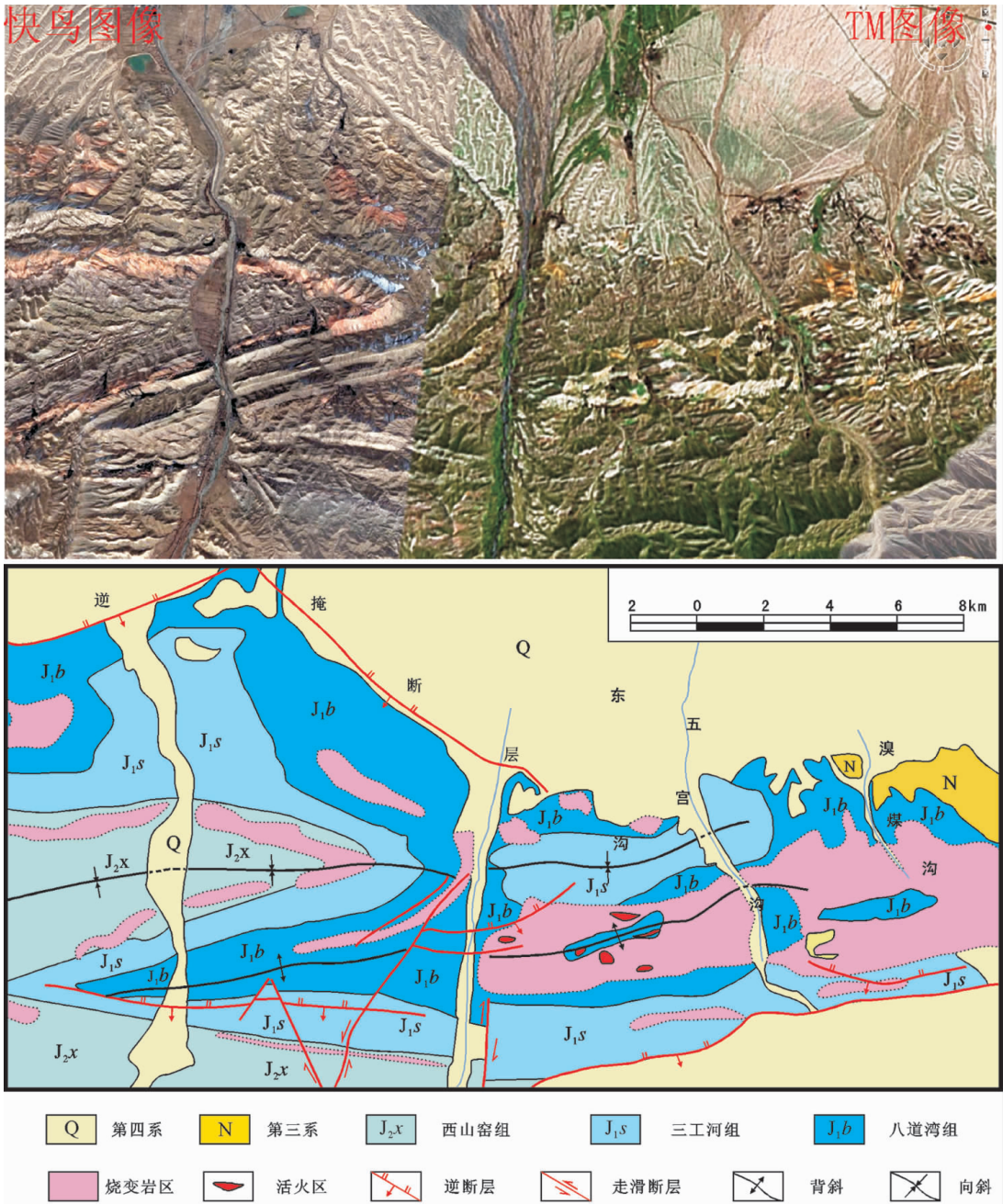


图4 新疆三工河(上图左快鸟)到小黄山(上图右 TM)遥感图像和地质图

Fig.4 Image (upper left: Quickbird, upper right: TM ) and geological map in Sangonghe oasis of Xinjiang

纪大陆边缘型聚煤盆地以及新生代断拗聚煤盆地。在芒棒、中甸、永胜 6 000 km<sup>2</sup> 范围圈定含煤远景区 11 处,总面积 273 km<sup>2</sup>,其中芒棒区 2 处(图 6)、中甸区 5 处、永胜区 4 处。通过橄榄寨—芒棒含煤远景区和永胜新民—新碗厂含煤远景区的 1:5 万地质填图和钻探控制,新获煤炭资源量 (333+334,)7 559 万

吨。在隐伏区找煤,要在遥感图像上寻找地表特殊标志,然后结合构造、成煤分析以及物探、化探等资料,综合圈定含煤区。以新疆富蕴县扎河坝含煤区和哈拉通沟含煤区为例,首先对已知含煤区的遥感图像进行了分析,建立了遥感影像异常与该区 1:20 万地质、重磁之间的对应关系,再开展综合分析,圈定含

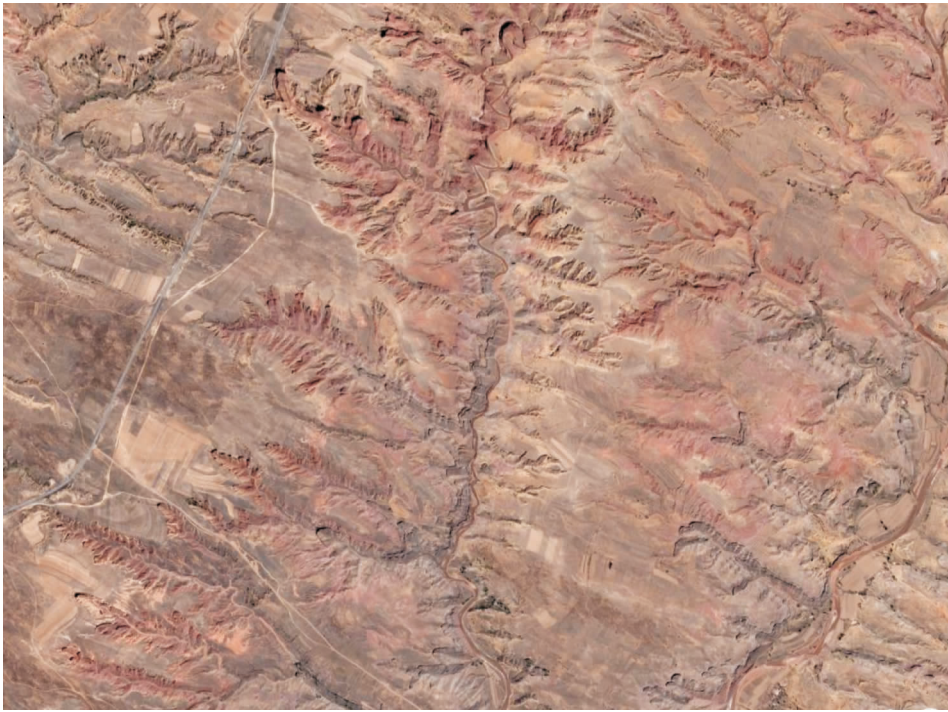


图 5 神府煤田乌兰木伦镇北烧变岩快鸟 3、2、1 波段合成图像

Fig.5 Image (synthesis of Quickbird 3, 2, 1) of burnt rocks in northern Wulanmulun of the Shenfu—Dongsheng coalfield

煤远景区(图 7)。

### 3.3 深埋区找煤

寻找埋藏较深的煤炭资源,主要通过研究区域控矿构造格架,总结成矿规律来进行。遥感图像覆盖范围大、概括性强,对构造解译具有优势,为宏观研究提供了有利条件。遥感图像对于环形、线性构造、推覆体构造及隐伏构造的判译简捷、准确,结合地质特征分析能反映不同类型的成矿信息。

#### 3.3.1 线性影像解译

线性影像解译分析是研究区域地质构造的有效手段之一。地壳的构造变形常以丰富的构造地貌景观和线性构造信息显示在遥感图像上。深部构造信息也有可能通过地层的动力变形和深部地球化学反应传递到地表。在覆盖区找煤时,线性构造研究主要进行:对遥感新发现的线性构造的地质意义的研究;对已知断裂构造在走向上的发展趋势的追索判读;对新发现的线性构造与已知断裂的共生组合特征研究。

#### 3.3.2 环形影像解译

以色彩、色调差异或地形、水系和植被等纹理特

征组成的比较隐晦的环形影像常常是隐伏岩体或深部构造的反映。隐伏、半隐伏含煤盆地也可产生环形影像,因此,环形影像具有找煤意义。

对区域上圈定的环形影像,可进一步进行重力和磁力探测。隐伏、半隐伏含煤盆地呈重力低反映,隐伏岩体呈磁力正异常。

#### 3.3.3 逆冲推覆构造解译

以往在遥感找煤解译分析中,主要是在煤盆地内判读含煤远景区。近些年来逆冲推覆构造研究表明,在席状外来岩系、冲断体或推覆体下掩盖有含煤地层。因此,与含煤盆地或含煤地层有关的外来地质体,都应作为遥感解译研究的目标。

逆冲断层往往是由居于高位的线性构造来表征,即正向地貌背景上的线性构造,一般与山脊线重合或平行,其两侧影像特征有明显差异。

淮南煤田是中国东部重要的煤炭基地之一。原来一直认为淮南煤田南界为南升北降的阜风正断层,通过对淮南地区 TM 遥感图像的解译与调查,发现淮南煤田南缘一系列低山丘陵是由阜风断裂和

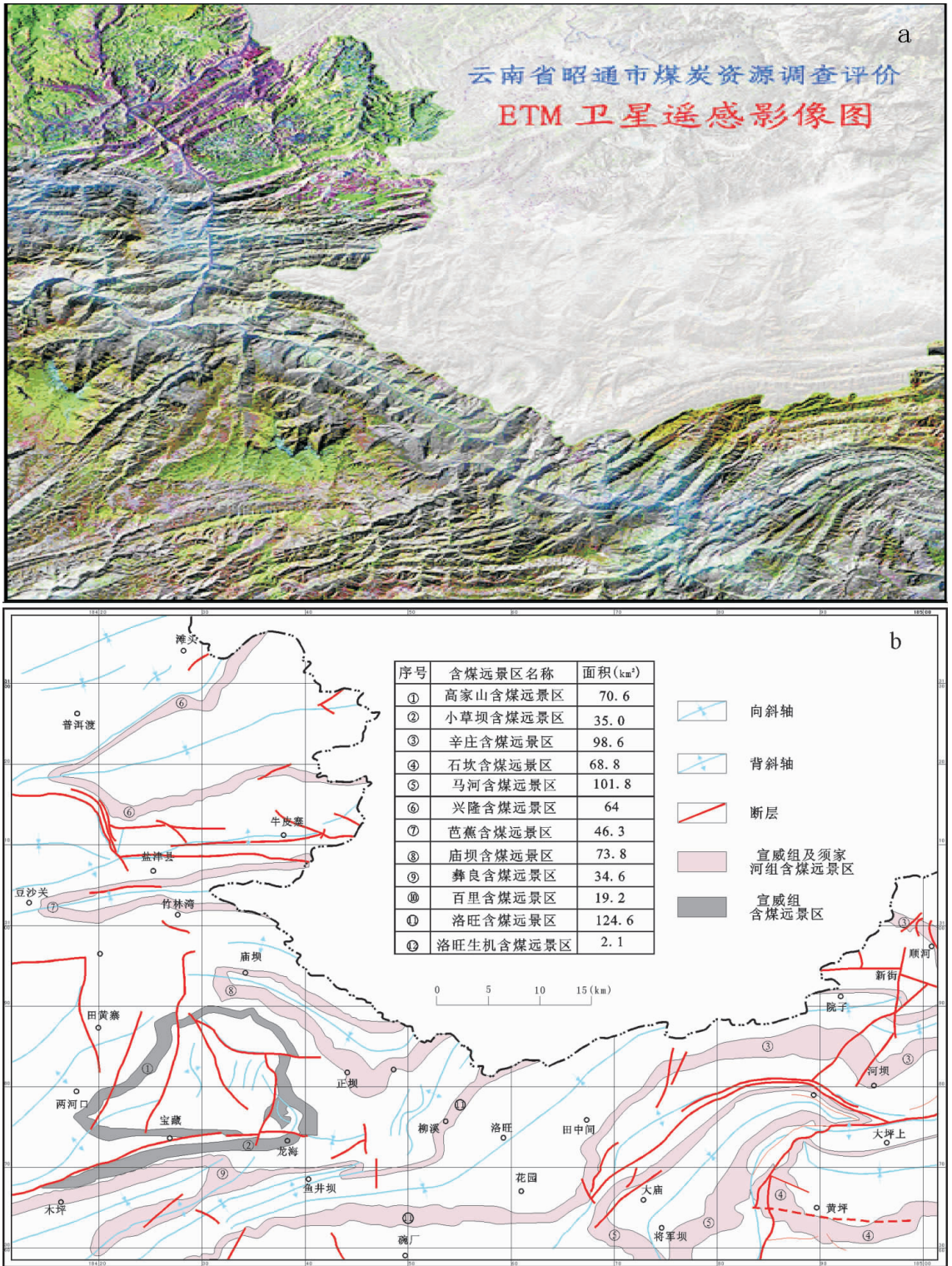


图 6 云南昭通地区 ETM 遥感图像(a)和含煤远景区分布示意图(b)

(含煤远景区分布在一个个的向斜构造之中,影像上对各个含煤建造反映非常清楚,但是由于煤系地层的强烈风化,在地表看不到煤层)

Fig.6 ETM image (a) of Zhaotong area in Yunnan and distribution map of coal-bearing perspective zones (CBPZ) of the corresponding area (b) located in synclines.

The coal-bearing formation is very clear in ETM image; nevertheless, because of strong weathering, coal seams can not be seen on the surface along coal series. Blocks plotted in red represent coal-bearing formations

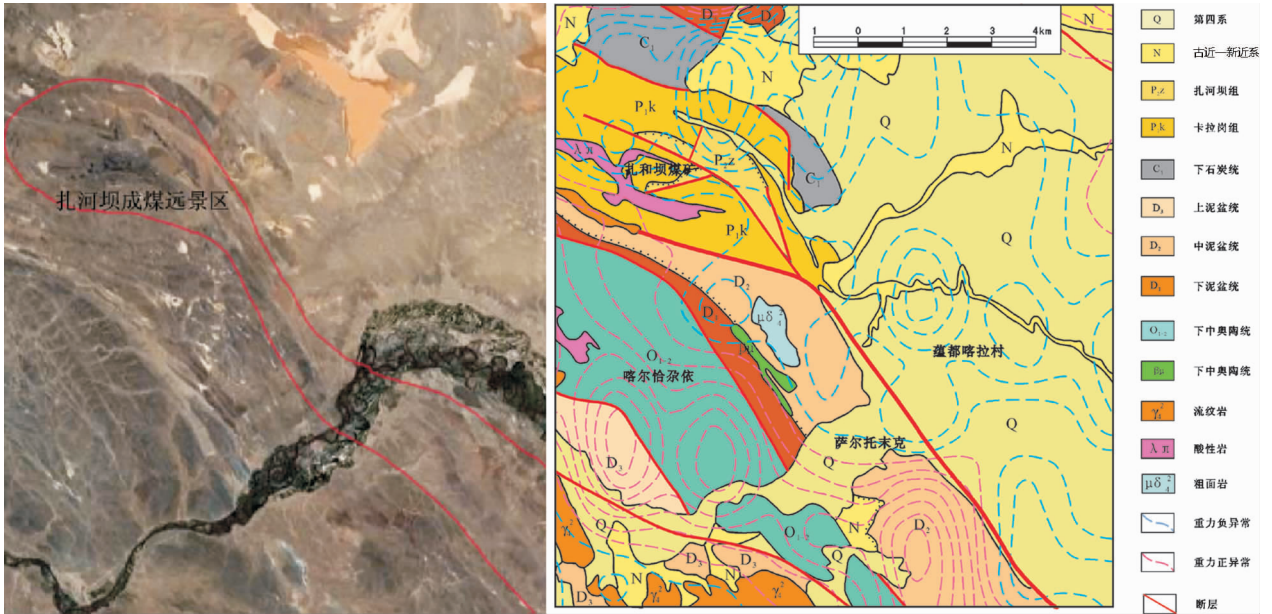


图 7 扎河坝含煤区快鸟图像(左)与重磁异常综合图(右)

Fig.7 Image of coal-bearing area (left) and composite map of gravity and magnetic anomaly (right) in Zaheba coal-bearing area

山金家断裂高角度逆冲推覆形成,在推覆体下依然存在比较可观的二叠系煤系地层。经安徽煤田地质局一四七队钻探证实,南缘推覆构造下确实存在煤层,新获得煤炭远景储量 11 亿 t(图 8)。

根据构造控煤规律推断可能的煤田分布区域:当煤田或异常群的分布排列具一定规律性,特别是与一定的成煤地质条件有空间联系时,需进行未知区预测与查证;寻找逆冲推覆构造形迹,研究其对煤系的控制,预测逆冲岩席下的赋煤性;对具有重力低异常的环形影像需作进一步的异常查证工作;遥感影像异常本身的特征包括异常强度、形态和产状等与已知的煤田遥感影像异常相似时,则可认为由地下矿体引起,有必要考虑做进一步的异常查证工作。

### 4 结论与讨论

遥感技术是大面积找煤的一种重要手段,在各类资源调查与找矿过程中发挥着重要的作用。但是,在不同覆盖的区域,遥感的作用显著不同。

(1)在中国西北部裸露地区,可直接用低—中等分辨率卫星图像圈定含煤远景区,然后用高分辨率卫星图像进行大比例尺煤田地质填图和圈定远景区/靶区,甚至在部分人迹罕至的区域,可以直接在

高分辨率图像上解译含煤地层,发现新的煤矿床。

(2)在中东部植被欠发育区和浅层覆盖区,首先利用中等分辨率的(ETM,ASTER)图像进行解译和识别,解译出控煤构造、煤系地层的风化土壤等,圈定浅层隐伏区、半隐伏区盖层下隐伏煤盆或含煤向斜或背斜构造,结合研究区的地质、物探、化探资料,确定靶区。再对靶区采用高分辨率卫星图像解译和判别出间接标志,如含煤岩系中的抗风化标志层、煤层燃烧后的烧变岩。

(3)在东部植被覆盖区下,主要强调构造解译,通过中等分辨率遥感图像解译和信息提取,发现隐伏构造,分析构造控煤规律,依靠地貌影像特征和植被影像特征预测含煤盆地及其赋煤性。然后借助 GIS 技术,综合分析地质、物探(重、磁异常)、化探资料,确定靶区,再进行钻探,验证靶区。

总之,遥感作为资源勘查的重要技术手段,属于前期工作,具有视域广、宏观性强、费用低、效率高的优势,是选择后续工作靶区的最有效手段。但遥感也离不开地面地质调查、野外验证等常规地质工作,必须通过地面工作,验证解译结果、修正解译标志、发现有利区域,再进行后续详细解译和综合分析。遥感必须通过 GIS 技术手段实现与常规地质、物探(重、



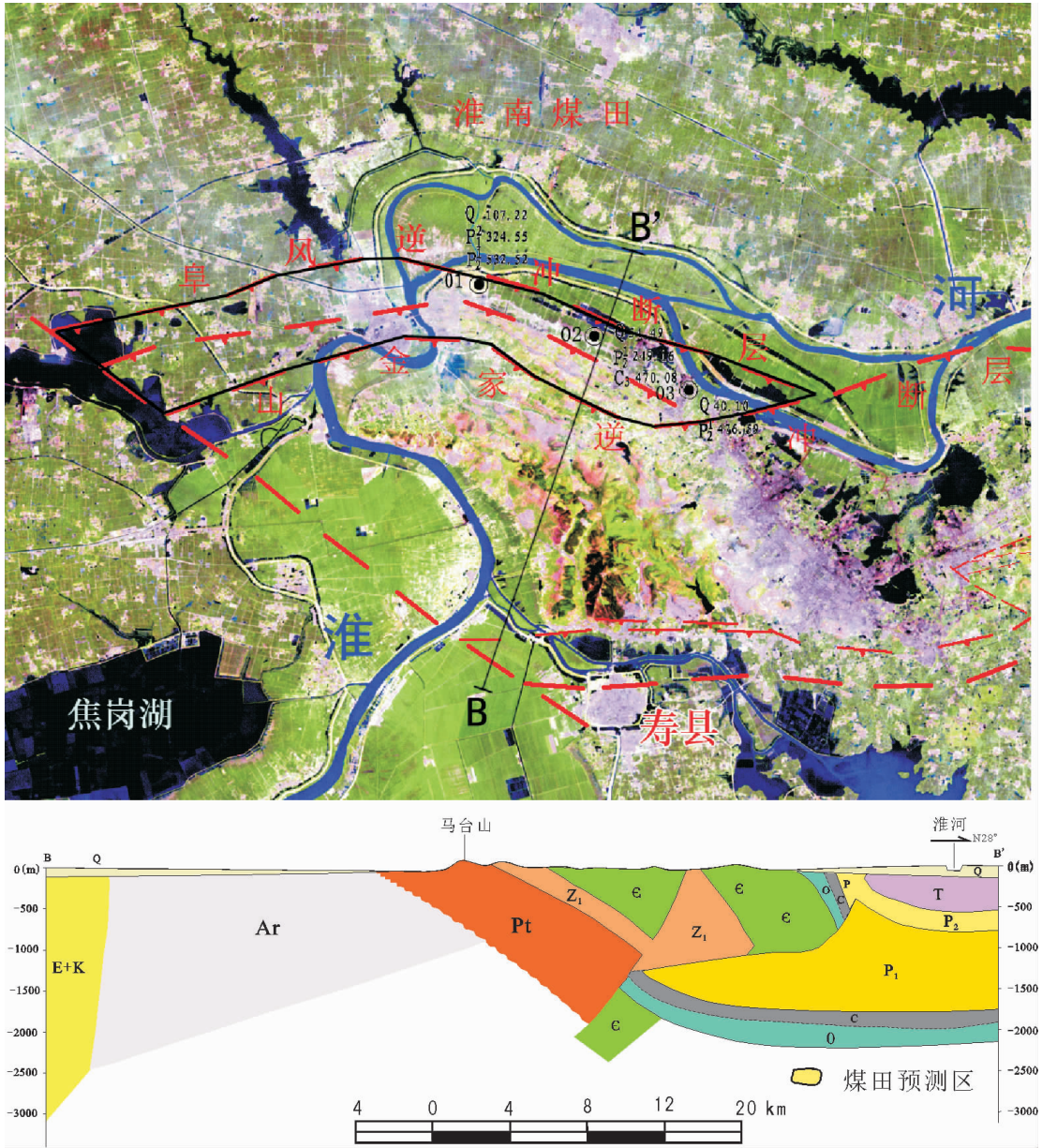


图8 淮南煤田南翼东段遥感地质图(a)和BB'地质剖面(b)

Fig.8 Remote sensing geological map (a)of the eastern segment of south Huainan coalfield (b)

磁异常)和化探的紧密结合,才能提高找矿工作效率。随着遥感技术的不断发展,与地质学、地理学、煤岩学、数字地质学、地球物理学、构造地质学、地质力学以及现代沉积学等新理论和新方法的紧密结合,遥感找煤方法与传统的找煤方法相比,具有某些优势和良好的发展前景。

参考文献(References):

[1] 管海晏, 遥感技术在煤田地质工作中的应用 [J]. 地质学报, 1989,

1:36-49.

Guan Haiyan. Application of remote sensing technology in coal field geology [J]. Acta Geological Sinica, 1989, 1:36-49 (in Chinese with English abstract).

[2] 邹远耀. 环形影像与重磁异常相关性及其找煤意义 [J]. 煤田地质与勘探, 1992, 2:16-20.

Zhou Yuanyao. Correlativity of the circular structure images with the gravity and magnetic anomalies and its implication for the future coal investigation [J]. Coal Geology & Exploration, 1992, 2:16-20 (in Chinese with English abstract).

- [3] 邹远耀. 湖南省中生代盖层下遥感找煤与成效 [J]. 中国煤田地质, 1993, 5(3):58-60.  
Zhou Yuanyao. Application and achievements of remote sensing to explore coal resource under Mesozoic-cenozoic cap rock in Hunan Province [J]. Coal geology of China, 1993, 5 (3):58-60(in Chinese).
- [4] 杨锋杰, 王明镇, 李增学, 等. 鄂尔多斯盆地南部环境影像特征及地质意义[J]. 地球科学与环境学报, 1996, 25(3):37-41.  
Yang Fengjie, Wang Mingzhen, Li Zengxue, et al. Ring structure in South Ordos basin and its geologic genesis [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 1996, 25 (3):37-41 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘玉荣, 王四龙, 凌怡淙, 等. 隐伏煤田的 TM 信息提取及地质效果[J]. 国土资源遥感, 1991, 32(3):29-33.  
Liu Yurong, Wang Si long, Ling Yizong, et al. Technique of TM image information extraction and its geological effect in a buried coal field [J]. Remote Sensing for Land &Resource 1991, 32(3):29-33(in Chinese with English abstract).
- [6] 吕录仕, 毛耀保, 吴军虎, 等. 青海大武煤田推覆构造遥感分析与含煤远景区预测[J]. 中国地质, 2001, 28(6):43-46.  
Lv lushi, Mao Yaobao, Wu Junhu, et al. Remote sensing analysis of nappe and predication of prospective coal-bearing areas in Dawu Coal Field, Qinhai [J]. Geology in China, 2001, 28 (6):43-46(in Chinese with English abstract).

## The exploration method of coal resources based on remote sensing technology

TAN Ke-long<sup>1</sup>, WAN Yu-qing, WANG Xiao-feng<sup>2</sup>, SUN Shun-xin<sup>1</sup>, CHEN Xiang-lin<sup>1</sup>

(1. Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau of China Coal, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** With increasing large-scale exploration of coal resources, coal reserves have been reduced year by year, and outcrop and shallow ore deposits are diminishing day by day, particularly in eastern China. Therefore, the main exploration targets should be focused on concealed or blind coal deposits whose detection and exploration are rather difficult, and modern remote sensing and geographic information system technology can play an important role in this aspect. Based on coal-prospecting practice in the past, this paper describes the methods and problems of remote sensing for coal exploration, and puts forward some new ideas: analyzing a variety of geographical attributes, surface properties, geophysical and geochemical exploration, geological drilling results and remote sensing image data and using new remote sensing data with multi-band, multi-polarization, multi-angle, multi-temporal and multi-resolution characteristics to investigate geological setting and mineralization regularity and extract coal information in depth.

**Key words:** remote sensing; coal prospecting; coal field prognosis

---

**About the first author:** TAN Ke-long, male, born in 1964, doctor and senior engineer, engages in the study of ecology and remote sensing; E-mail: Tan-kl@163.com.