

新疆拜城地区煤田煤层自燃的 陆地卫星遥感探测方法研究

霍彦光, 张 志

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

摘要: 利用 TM 图像, 结合区域实测、地质和区域能源分布资料, 分析了煤田煤层自燃的光谱特征, 对煤田地火燃烧区进行定位; 在此基础上对新疆拜城地区 TM 图像进行线性变换、边界增强、波段运算、多波段假彩色合成等增强处理, 识别并提取影像中煤田煤层自燃引起的地表热信息、地表植被异常和岩石烧变信息等, 通过分析达到探测煤田火区的目的。

关键词: TM 图像; 新疆拜城; 煤层自燃; 红外波段

中图分类号: TP 79; P 618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2004)01-0036-04

0 引言

中国北纬 30°以北地区, 煤炭资源非常丰富, 占全国煤炭储量的 80% 以上, 年产量占全国煤炭总量的 60%~70%。由于自然环境和人为两方面因素的影响, 很多地区煤层自燃现象严重。煤层自燃不仅浪费了煤炭资源, 而且污染了大气, 危害生物健康, 并引发其它灾害, 破坏了人类生存环境。因此, 研究煤的自燃现象十分必要。遥感技术具有大面积同步观测的能力, 其红外波段对煤层自燃区域有很强的探测能力, 对发现及监测煤层自燃意义重大。本文以新疆拜城地区为例, 应用遥感技术对发现监测煤层自燃的可行性及方法加以分析探讨。

1 研究区概况

新疆地区是世界上煤层自燃灾害最严重的地区之一。全疆共有煤火区 48 处, 其中煤田火区 38 处, 煤矿火区 10 处, 已损失煤炭达 20 多亿 t。正在燃烧的面积 10~13 km², 年损失煤炭 221 万~685 万 t。煤火主要位于中生代早中侏罗世中低变质煤田。煤火在全疆 10 大煤田均有分布, 拜城地区煤层自燃为较典型的一例; 铁列克火区为 6 大煤田火区之一。

1.1 自然地理及地质概况

拜城地区位于新疆塔里木盆地北部阿克苏境

内, 天山南麓, 属塔北煤田。煤田基本上处于天山山脚向盆地延伸的部位。该区属高山大陆性气候, 干旱少雨, 气候干燥, 岩层和煤层露头出露地表。位于拜城地区的煤炭资源存在于上、中、下侏罗统及下三叠统中。侏罗统呈较规则的“弓”字形条带状, 沿西南—东北向分布, 三叠统断续的分布在侏罗统北侧^[1]。在遥感图像(插页彩片 9)上可以清楚地辨别出各种相应地层, 该图为经过边缘增强处理的 TM4 TM5 TM2 假彩色合成图像。

1.2 煤层燃烧状况

研究区煤炭以贫煤、气煤为主, 主要分布在侏罗统中^①。拜城境内共有 3 处煤田火区, 分别是铁列克火区、喀拉苏和库尔阿肯火区、乔矿火区(表 1)。其中铁列克火区煤层燃烧情况最为严重, 是本文的主要研究区。

铁列克火区位于拜城西北 45 km 处, 是阿克苏地区重要的能源基地, 同时还供应喀什、和田地区部分煤炭。矿区主要含煤地层为中下侏罗统, 煤系地层厚度 1 200~1 700 m, 以贫煤为主, 自燃层厚度为 8 m, 矿区煤田预测储量 6 794.1 万 t。目前, 燃烧区煤火范围长 1 000 m, 宽 200 m, 面积 0.2 km², 燃烧区已损失煤炭 100 多万 t, 年最大烧失量约 30 万 t^[2]。

收稿日期: 2003-07-28; 修订日期: 2003-10-13

基金项目: 中国地质大学“国家地质学理科基地基金”资助, 校学生科研立项研究项目。

① 张宏达. 新疆煤种分布图 1:100 万. 乌鲁木齐: 新疆煤田勘探公司, 1984。

喀拉苏和库尔阿肯火区、乔矿火区地理地质条件、煤 火燃烧情况等与铁列克火区类似。

表 1 新疆阿克苏拜城煤火调查表^[2]

火区名称	火区类型	发火原因	火区范围				煤类时代	煤层厚度 /m	自燃情况		燃烧时间
			长度/m	深度/m	宽度/m	面积/km ²			年损失煤炭量/万 t	已损失煤炭量/万 t	
铁列克	燃烧区	小窑开采	1 000	10~100	200	0.20	贫煤 J ₁₋₂	8	10~30	150	1985 年起火
喀拉苏、 库尔阿肯	古燃烧区	小窑开采	51 000	100~300	195	10.00	气煤、弱粘 煤 J ₁₋₂	12~20		9 987	
乔矿	古燃烧区	小窑开采	7 000	100	50~100	0.70	贫煤 T ₃	8	10~30	2 000	1958 年起火

1.3 煤层自燃原因

煤层自燃是由自然或人为因素或两方面共同作用引起的,一般通过温度、氧气、供给时间、煤化学成份及有自燃倾向的煤层等几个方面起作用。根据中国北方各煤田出产的煤进行自燃倾向测定,煤在地表堆放 3~6 个月将会自燃发火^[3],发火时间取决于煤变质程度、煤化学组分及煤在大气中接受的外界热辐射程度等。

新疆大部分地区处于干旱和特干旱地区,气温变化剧烈,日温差极大,蒸发量大于降雨量,植被稀少、风化强烈,形成了有利于煤田大规模自燃的气候条件。煤炭中硫、磷含量较高,具有较强的自燃倾向,再加上采矿历史久远及近年来小煤窑滥采滥挖,煤层自燃现象非常严重。如铁列克火区,由于采空区上部塌陷,地表出现小塌陷坑,造成上下通风,使得矿区西平硐采空区内残留的煤柱和碎煤氧化速度加快,起火燃烧。

2 煤层自燃与电磁波谱关系

2.1 煤层自燃引起地表热场变化

煤层在地下燃烧,热量通过岩石传导和裂隙中的空气对流向上逸出,在地表形成热异常。随着埋藏深度变化,热量逸出形式不同,有明火喷火、沿裂隙逸出热气和通过岩石土壤传导到地表再辐射 3 种方式。这 3 种方式在地表形成的热辐射温度分别为: >300℃, 0℃~300℃, 10℃~80℃^[2]。煤层在发火前的氧化增温阶段为临界阶段,此阶段地面辐射温度一般高出正常地表温度 5℃~10℃^[2]。

煤层自燃逸出的热量,改变了地物原有的热红外辐射特征。当温度达 160℃ 以上时,地物能主动发射中红外电磁波,因此, TM 中红外波谱对高温火区有所反映^[2]。其中 TM5 对 300℃ 以上的高温火区有反映, TM7 影像对 160℃ 以上的火区有反映^[4]。

2.2 地物光谱特征变化

煤层燃烧改变了上覆地层的矿物成分及地层的

结构、构造、抗风化能力和植被发育状况(如图 1),同时,也改变了燃烧区和烧变区地物的可见光光谱特征(0.38~0.74 μm),反射率平均降低 9.7%^[2]。燃烧区和烧变区的遥感影像特征,如色彩、色调、纹理、亮度和对比度也产生相应的变化。在图 1 中,可以看到地表岩石土壤在煤火烘烤烧变作用下,经过一系列物理化学的复杂变化,质地变得致密坚固,在露头剖面上形成了明显的分层现象,由于强烈的氧化作用使岩土中的铁离子富集,导致颜色呈赭红色。



图 1 乌鲁木齐市西山矿区煤田火区实地景观图

总之,在煤层发火前、燃烧中和熄灭后等各过程中,煤层及其上覆盖地层的地球物理特征均发生了明显的变化。

选用中红外波段(1.3~5 μm)图像,用于探测地表明火区;选用热红外波段(8~14 μm)图像,用于探测煤田火区形成的热异常区域;选用可见光波段(0.5~0.8 μm)彩红外摄影和多光谱扫描图像,用于探测烧变岩。对应于陆地卫星(Landsat)各波段图像, TM6 波段可用于探测煤火异常区; TM5 TM4 TM3 合成图像可用于探测烧变岩区; TM6 TM4 TM3 波段合成可用于大面积煤田火区监测;明火和烧变岩区在 TM7 波段图像上呈明显的亮色条带和亮点。

3 影像信息提取方法研究

在利用 TM 图像进行煤层自燃信息提取时,要

充分考虑到成像时间、地形、气候、地层岩性等因素的影响,才能最大限度地减少这些因素带来的干扰,最有效地提取有用信息。合适的遥感影像是提取煤层自燃信息的基础,尤其在近、中、热红外波段,其像元亮度值反映了地表温度的高低,即地表温度越高,像元亮度值越大。由于煤层自燃对地表景观有极其重要的影响,所以,可以通过地表景观(如植被、裂隙等)信息间接获取煤层自燃信息。由于在 TM 影像上煤层自燃引起地表热辐射异常与太阳辐照引起地表(裸露的石英砂岩、地表煤堆等)热异常难以区分^[5],所以解译出的热信息并不全是煤田火区的显示,需在野外工作中验证。

3.1 时相选择

新疆煤田分布区夏季植被普遍茂盛,有利于植被信息的提取;植被对地下煤火反应敏感,可借助植被信息、水系分布情况及区域资料初步判断煤火情况。由于夏天太阳辐射较强,地表裸露的石英砂岩、煤堆等受太阳辐射产生的热异常比较强,在 TM 图像上产生一定的干扰,结合区域实测资料,可将这种干扰排除;已烧变区因地表物质变化,也产生了很强的热异常。综合考虑,笔者选择 1992 年 8 月遥感图像。

3.2 植被信息与煤火异常区热信息的关系

由于煤层自燃的影响,地表一般不发育植被。研究区含煤地层上有水系分布,且水系周围分布着绿洲,可以通过提取水系周围的绿洲分布状况,确定研究区煤层自燃的范围。在插页彩片 9 中,水体呈蓝色,为显示较强的水体信息,该图已进行分段线性拉伸和边缘增强处理。为了突出显示植被信息,对图像进行植被指数运算。在植被指数图中,植被明显不连续分布。

植被指数采用归一化植被指数运算公式

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (1)$$

植被指数图如图 2。对插页彩片 9 和图 2 分析,可以发现,植被分布沿水系并不是连续的,造成植被不连续分布的原因很多。本研究认为,其中之一是沿水系地区由于受煤层自燃影响,地表植被不发育,造成植被不连续分布。

研究区位于天山南麓,河流水源主要为天山冰雪融水。水流在经过煤火区时,沿着煤火燃烧形成的地表裂隙流动,导致水系在火区间发育,这也是研究区煤火多分布在水系周围的原因之一。

3.3 直接探测煤火异常区热信息

在 TM 影像上,利用 TM3 假彩色合成图像中(插页彩



图 2 拜城地区火区植被指数图

片 10), TM6 反映的是煤田火区热异常范围, TM4、TM3 波段具有较高的几何分辨率,其中 TM3 对地质体(包括烧变区)解译效果较好,可用于研究煤田火区地质构造,而 TM4 波段对植被、土壤等信息显示效果好,为煤田火区解译提供了许多间接信息。在插页彩片 10 中,大面积的红色区域为地表热异常区;西北方远离火区处,可以看到一小块颜色异常区。和地质资料及地质图结合分析认为,该处地表为石炭系砂岩,由图 2 植被指数图可知,该处地表缺少植被覆盖,因此该区域热异常是由太阳辐射引起地表砂岩温度过高造成的。

在 TM7 TM5 TM4 假彩色合成图像中(插页彩片 11), TM7 反映煤田火区的燃烧主体。以铁列克地区为例,可以看到几个亮度值很高的红点,表明该处温度很高,在亮点周围一定范围内无植被分布,是出露地表的明火区域。在右侧进一步放大图中,最下方一红色亮点东侧有植被分布,对比区域地质资料和地质图可知,这是由于烧变区有第四系覆盖物,改变了地表的含水、温度等状况,适合植物生长。

4 结论

通过对 TM 图像的增强处理,结合区域实测资料、地质资料、资源分布资料等,可以间接或直接探测煤田自燃信息。在探测过程中,应注意对地表地物(如植被)异常、景观生态异常信息及红外波段的利用。研究表明,对煤田火区探测时,温度信息起着至关重要的作用,如果有条件采用高温分辨率图像,将大大提高探测的灵敏度和准确性。由于烧变岩对生态环境的影响较大,运用遥感技术对地表景观的综合研究,是遥感技术的优势。运用遥感技术探测煤层自燃的方法也有一定的局限性,比如难以区别煤火异常和由于太阳辐射引起地表异常,这就需要借助实测资料来弥补遥感技术的不足。

致谢: 本研究得到中国地质大学(武汉)地球科学学院张利华老师的帮助,在此表示感谢!

参考文献

[1] 王广平,吴广涛,等. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993.
[2] 管海晏,冯·亨特伦,等. 中国北方煤田自燃环境调查与研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.

[3] 吴丽君,赵伟,刘俊荣. CBERS-1 卫星 IRMSS 数据在中国北方汝箕沟煤田煤层自燃区遥感分析中的试应用研究[J]. 航天返回与遥感,2001,(3):59 — 64,69.
[4] 万余庆,吴军虎,雷学武. 应用遥感图像提取煤层自燃信息时必须考虑的几个影响因素[J]. 国土资源遥感,1998,(1):33—39.
[5] 康高峰,雷学武,等. TM 影像在新疆奇台北山煤田火区动态监测中的应用[J]. 国土资源遥感,1996,(2):56 — 62.

THE DETECTION OF THE COAL SELF—COMBUSTION ZONE
IN BAICHENG OF XINJIANG BY REMOTE SENSING OF LANDSAT

HUO Yan—guang, ZHANG Zhi

(Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract : According to the TM image in Baicheng of Xinjiang as well as the information of geology and mineral resources, the coal self—combustion zone in the Baicheng coalfield was delineated. On such a basis, together with an analysis of the spectral character, the authors adopted various enhancement measures such as linear transform, edge enhancement, band calculation and synthesis of multi—band pseudo colors, which led to the identification of the abnormal information of the ground, vegetation and burnt rocks caused by the coal fire in the Baicheng coalfield. The result of the study has provided reliable basis for detecting the coal self—combustion zone.

Key words : TM image; Remote sensing; Coal self—combustion; Infrared band

第一作者简介: 霍彦光(1981—),男,中国地质大学(武汉)地球科学学院资源环境与城乡规划管理 014001 班学生。

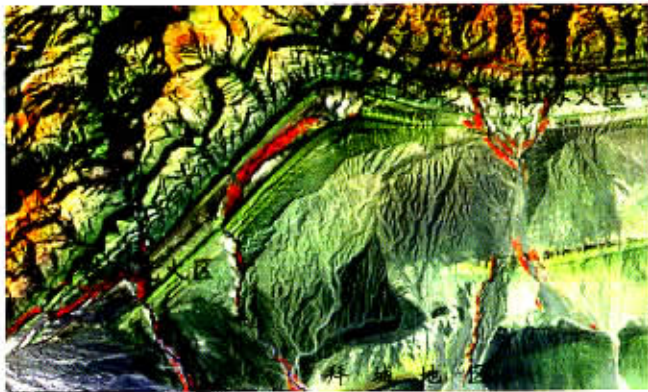
(责任编辑:周树英)

下 期 预 告

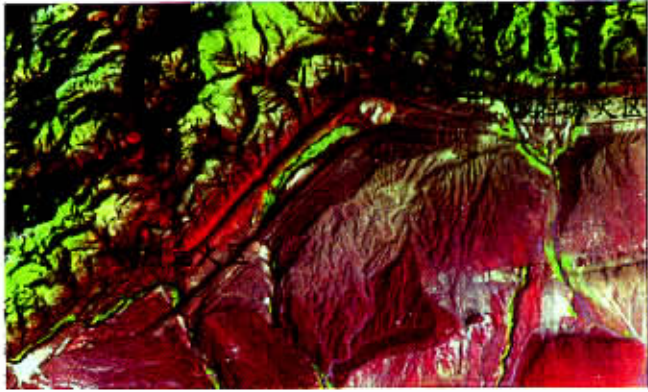
- 杨 桃 遥感影像解译的研究现状和发展趋势
齐泽荣 提高中巴卫星 IRMSS 图像空间分辨能力的
 光谱保真融合方法
覃志壕 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计
张 东 一种新的实用土地利用/覆盖图生成方法
白朝军 西藏自治区盐湖矿产资源遥感信息提取

敬 告 订 户

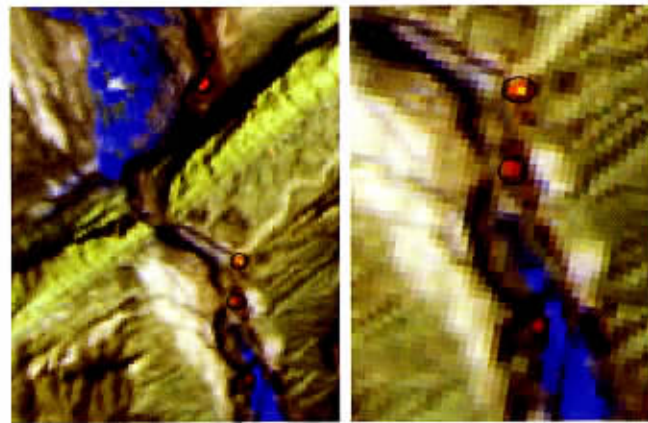
《国土资源遥感》2004 年起可通过邮局订阅,邮发代号:82—344,错过邮局订阅时间者,仍可通过本刊编辑部订阅。



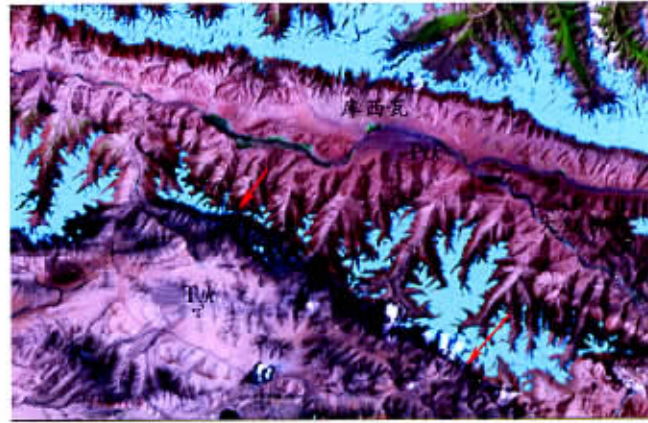
彩片9 拜城地区火区 TM4TM5TM2 假彩色合成图像



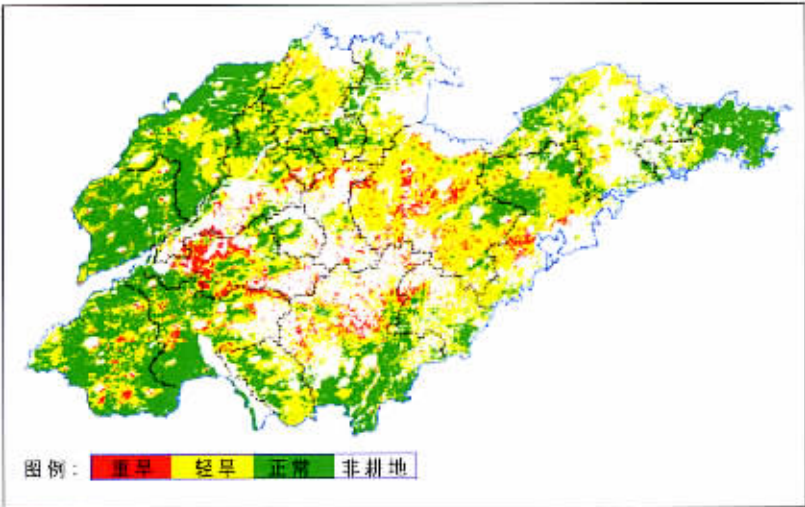
彩片10 拜城地区火区 TM6TM4TM3 假彩色合成图像



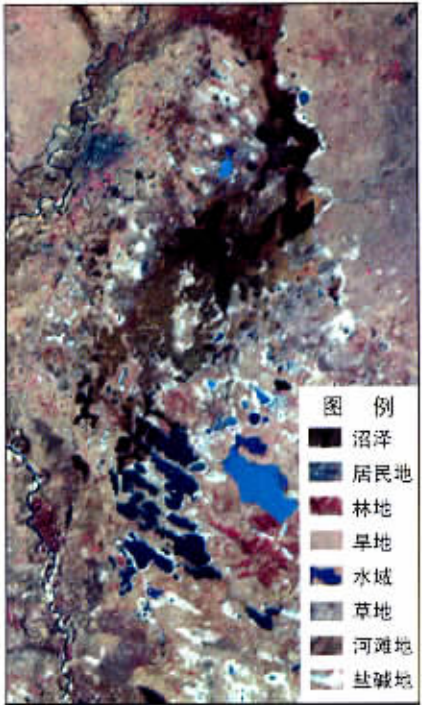
彩片11 TM7TM5TM4 假彩色合成图像
(左: 铁列克火区局部放大图; 右: 进一步放大图)



彩片12 原克勒青河群(T₃k)中的深变质岩(P_{tk})影像
(箭头所指为三十里营房-郭扎错断裂)



彩片13 气象卫星遥感监测山东旱情分布图
(山东省气象中心)



彩片14 TM4TM3TM2 假彩色合成图像

(彩片12 见刘刚,等一文; 彩片13 见赵玉金,等一文; 彩片14 见韩敏,等一文)