

基于光谱曲线特征的水污染遥感监测研究

程 博, 王 威, 张晓美, 项 波
(中国科学院中国遥感卫星地面站, 北京 100086)

摘要: 利用先进的野外光谱测试仪对德兴铜矿矿区水污染进行精细测量, 分析了污染水体的波谱曲线特征。根据污染水体的波谱特征, 结合 ASTER 卫星数据的波段特性, 基于三原色机理设计假彩色合成方案, 分析识别水体污染类型和污染程度, 并提供了科学的水体污染波谱曲线。
关键词: 光谱曲线; 水污染; 生态环境
中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0068-03

0 引言

矿山环境问题是当今世界各国关注的焦点问题之一。矿产资源在开发、加工和使用过程中产生的各种污染物质, 使大气、水体、植被和土壤受到污染, 引发众多的生态环境问题, 制约着资源与环境的可持续发展^[1]。其中最直接、最严重的污染当属水污染。矿石、废渣等固体废物中含有的酸性、碱性、毒性、放射性或重金属等成分, 通过地表水体径流污染周围的土地、水域和植被^[2], 其影响面远远超过废弃物堆置场的地域和空间。如何有效地提取矿山环境中水污染信息一直是环境监测的重要问题。

本文采用新型多光谱 ASTER 卫星遥感数据, 首次对矿产资源开发及其引发的生态环境问题进行调查分析研究。研究中, 立足于野外矿山水体波谱实测与环境污染的关联分析, 探讨矿山环境水体污染遥感信息的识别和提取, 进而基于光谱特征监测德兴铜矿区水体污染情况。

1 研究区概况及数据选取

以江西德兴铜矿为研究区, 该矿区矿床类型典型, 矿区基岩发育较为单一, 地形起伏不大, 矿区中露天开采主矿坑、尾矿库、废矿堆放地及生活建筑区特征明显, 便于遥感卫星影像识别, 矿区分布见插图彩片 28。

卫星传感器如 ASTER、SPOT 5、IKONOS 及 QuickBird 等波谱均覆盖了绿光、红光和近红外波段, 分析研究水体在这些波段范围内的遥感信息变化, 对于污染分析研究具有科学指导作用^[3]。本文

以 ASTER 数据为信息源。ASTER 是涵盖可见光到热红外波段的集空间、光谱和辐射高分辨率于一身的多光谱传感器, 具有 14 个波段, 包括 3 个 15 m 空间分辨率的可见光和近红外波段(表 1)、6 个 30 m 空间分辨率的短波红外波段以及 5 个 90 m 空间分辨率的热红外波段, 而且具有同一轨道的(黑白立体像对)立体观察。自从 2004 年 9 月中国遥感卫星地面站停止接收出现故障的美国陆地卫星 Landsat-7(ETM⁺)数据后, ASTER 卫星数据无疑是对中高分辨率卫星数据的较好补充。

表 1 ASTER 的可见光近红外波谱范围

波段	波长范围/ μm	波段	波长范围/ μm	波段	波长范围/ μm
1	0.52~0.60 (绿光)	2	0.63~0.69 (红光)	3	0.76~0.86 (近红外)

2 污染水体的波谱测试及分析

德兴铜矿主要污染源是矿山酸性废水和选矿厂尾矿库碱性废水。

为了更清楚地了解污染水体的波谱特征, 研究成因机理, 并设计图像处理方案, 我们对江西德兴铜矿矿区进行了系统的野外波谱测试。使用的光谱测试仪为美国 Analytical Spectral Devices Inc 公司的 FieldSpec[®] Pro 型便携式野外分光辐射光谱仪。

2.1 酸性废水及大坞河水体波谱曲线分析

受酸性污染的水体主要分布于祝家废石场的酸性废水池和大坞河流域。本研究主要对祝家废石场的酸性废水池及大坞河流入乐安河口处的水体进行了波谱测试分析。研究表明, 受酸性污染的水体波谱曲线具有如下特征:

(1) 水体反射率总体偏低。在酸性废水池中, 深水区的水体反射率最高(在紫光波段附近), 但也不会超过 2%, 并随波长的增长而逐渐降低(图 1)。在 600 nm 附近有一个很小且不很明显的凸起, 具有微弱的反射峰。浅水区的水体在橙红光谱区(620 nm)处有比较强而且波形对称的反射峰, 最强处(近岸处)反射率约为 8% 左右。酸性废水池水体基本为静水, 泥沙含量较低, 主要为化学污染。近岸处水体混浊, 呈橙红色, 可见池底棕红色沉淀物, 近岸处反映更多的是水底沉淀物的波谱特征, 在 640 nm 处的反射峰明显增强, 最高反射率可达 12%, 这是由于酸性废水中含有大量的铜、铁及锌等金属离子所致。

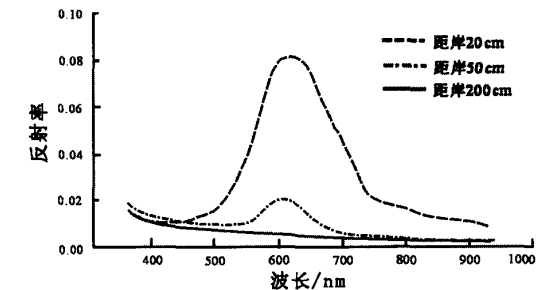


图 1 祝家废石场酸性废水池水体的反射波谱曲线

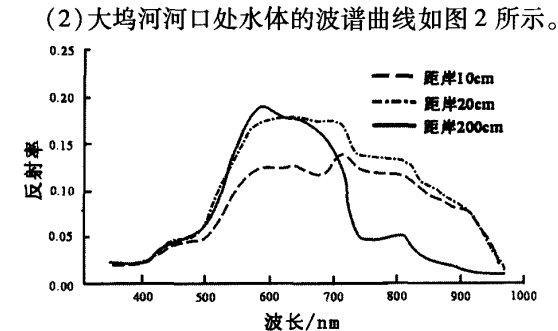


图 2 大坞河河口水体的反射波谱曲线

距岸 200 cm 处仍属浅水区, 在 540 ~ 720 nm 区间内有一个高反射峰, 而且在 820 nm 处存在小反射平台; 在近岸处(距岸 10 cm、20 cm), 水体在 540 ~ 740 nm 区间内的反射峰较高而且宽缓, 在 820 nm 处也存在小反射平台, 并在 1 070 nm 附近存在另一个较高反射峰, 与酸性废水池的酸性废水波谱曲线有着明显的差别。大坞河河口处深水水体的波谱曲线特征主要与水体中泥沙含量有关, 同时含有酸性污染, 表明酸性废水池中的废水渗滤到大坞河中, 大坞河接纳酸性废水后, 水中重金属离子浓度增加, 河水呈棕色。因为酸性污染导致波谱曲线在 540 ~ 720 nm 区间内具有高反射, 大坞河河口浅水处反射曲线的差异可能是河底中大量的金属及硫铁氧化物在沉积物中累积产生反射叠加的结果。

2.2 碱性废水波谱曲线分析

受碱性污染的水体主要分布于各个尾矿库附近及乐安河上游中。本研究主要对 4 号尾矿库及乐安河的水体进行了波谱测试及分析。受碱性污染的水体波谱曲线具有如下特征:

(1) 4 号尾矿库碱性水体的波谱曲线明显与酸性水体曲线不同, 最主要的特点是在绿光波段(560 nm 处)具有较强的反射峰, 波峰不对称, 深水区峰值反射率可达 60% 左右(图 3), 近岸处反射峰值在 36% 左右。该反射峰值随着测试点距岸距离的增加而升高。水体较为清澈, 呈铜绿色, pH 值在 11 左右。在 740 nm 以后的波段范围内, 具有与正常水体相似的曲线特征。

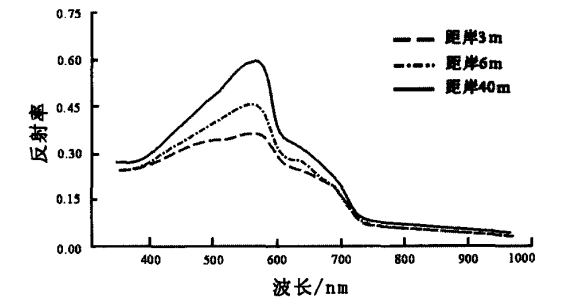


图 3 4 号尾矿库水体的反射波谱曲线

(2) 位于与大坞河交汇处的乐安河上下游水体有明显差异, 对比图 2、图 4 可以看出, 乐安河上游水体的反射率值明显降低, 在 710 nm、815 nm 处具有的较强反射峰, 可能与悬浮物有关; 在 580 nm 和 650 nm 处有两个较弱的反射峰, 可能与碱性污染有关; 在 680 nm 和 740 nm 处有两个吸收谷; 距岸较近处, 由于受水下沉积物的影响, 反射率相对较高。

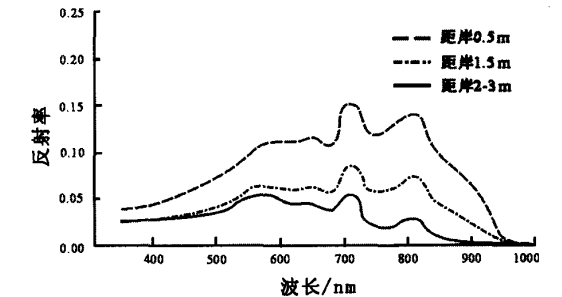


图 4 乐安河上游水体的反射波谱曲线

综上所述, 德兴铜矿矿区各类水体的波谱曲线(图 5)主要有如下特征: 酸性污染水体在红光波段呈高反射, 使酸性水体呈现红色、棕红色或橙红色; 大坞河酸性污染水悬浮泥沙含量高, 水体反射波谱曲线与含泥沙水体的波谱曲线类似; 碱性水体泥沙含量较少, 主要受碱性石灰乳污染, 强反射绿光导致碱性水体颜色发绿或铜绿色; 乐安河上游河

道经常被翻沙淘金,水体较混浊,而且2号、4号尾矿库位于乐安河上游河道附近,碱性水体时常渗漏,使得乐安河上游水体既含泥沙,又受到一定的碱性污染,其波谱曲线具两种水体波谱曲线叠加的特征。

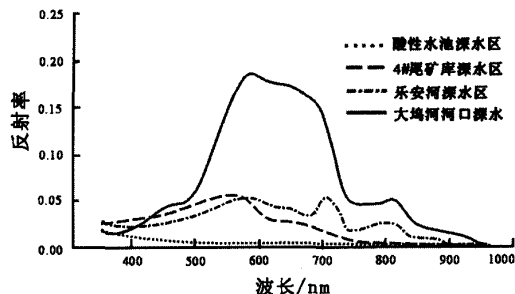


图5 几种主要污染水体的反射波谱曲线

3 遥感影像特征

由图5可知,污染水体与清洁水体之间的差别不仅反映在光谱曲线形态上,也反映在遥感图像的影像特征上。传统的识别方法多利用彩色合成、单波段灰度分割或多波段图像分类等方法,在实际应用上取得了一定的效果^[4,5]。在彩色合成中,波段组合的选择至关重要,短波红外波段由于水体本身反射率已很低,影响了对污染水体的识别。因此,这里选择ASTER的2、3、1波段进行彩色合成。如插页彩片29所示,图像中不同的污染水体差别明显。

根据三原色原理可以知道,在受污染的酸性水体中,祝家废水池的水体虽然重金属离子含量高,但大都沉积在池底部,浅水面含量比较低,而且水较深,反射率很低,在红光波段仍有少量金属离子引起的微弱反射凸起,在彩色合成影像上以黑色调为主,略微呈现红色,总体上为黑红色;而大坞河自祝家废石场流向乐安河中的污染水由于水浅,多数反映的是水底重金属沉积物和泥沙的红光和绿光高反射的特征,水体呈粉红色。

碱性水体(4号尾矿库中的废水)仅在绿光波段(Band 1)呈高反射,在彩色合成影像上呈蓝色。由于4号库碱性废水和尾砂一起排放,因重力分离尾砂逐渐沉积下来,受泥沙含量的影响,强碱性污染区呈现粉红色,如插页彩片29所示。类似的还包括2号库和1号库内的残留碱性水体。乐安河上游水体属弱碱性污染区,上游存在较严重的翻沙淘金现象,导致水体混浊。此外,由于历史采矿的原因,在2号库堆放尾砂初期靠近乐安河沿岸(铜埠),尾砂渗滤

比较严重,而且铜埠为铜商的交易场所,也会有一定程度的影响。4号库也有一定的渗滤,但污染极弱,在图像上呈蓝黑色。

乐安河下游,即大坞河河口处的水体属混合污染水体,既有来自于祝家废石场废水池的酸性污染,又有来自于上游的弱碱性污染,水体呈粉红色和蓝色混合。生活用水呈黑色,为清洁(未污染)水体。

4 结论

(1)对德兴铜矿的开采进行深入剖析,在了解铜矿开采造成周边环境污染成因的基础上,利用先进的野外光谱仪对矿山地物进行细致测量,通过野外实测的矿山地物波谱曲线分析,了解污染地物在遥感影像上的诊断特征,为进一步确定矿山环境污染信息提取方案提供了依据。

(2)德兴铜矿水体污染主要有由于废石堆浸喷淋造成的酸性水体、尾矿堆放和选矿废水造成的碱性水体和混合污染水体。波谱测试结果表明,酸性水体和碱性水体分别在红光和绿光波段具有反射峰,而大坞河和乐安河水体分别具有酸性水、碱性水与含悬浮泥沙杂质水体的混合波谱曲线特征。根据不同水体的波谱特征,结合ASTER数据在可见光和近红外波段(VNIR)的波段分布,采用彩色合成分析方法能有效区分水体污染类型和污染程度。

参考文献

- [1] 陈述彭. 地球信息科学与区域持续发展[M]. 北京:测绘出版社,1995.
- [2] 刘圣伟,甘甫平,王润生. 用卫星高光谱数据提取德兴铜矿区植被污染信息[J]. 国土资源遥感,2004,(1):6-10.
- [3] 王晓红,聂洪峰,杨清华,等. 高分辨率卫星数据在矿山开发状况及环境监测中的应用效果比较[J]. 国土资源遥感,2004,(1):15-18.
- [4] 张志敏,张天桥,康冬舟,等. 遥感图像多光谱假彩色合成处理及其在环境地学中的应用[J]. 影像技术,2002(1):33-36.
- [5] Ferrier G. Application of Image Spectrometer Data in Identifying Environmental Pollution Caused by Mining at Rodaquilar, Spain [J]. Remote Sens. Environ., 1999, 68:125-137.
- [6] 刘成. 德兴铜矿酸性废水成因的研究[J]. 有色矿山,2001(4):57-59.
- [7] 龚莹. 德兴铜矿酸碱废水水质分析方法[J]. 有色金属,2002(5):114-117.

参考文献

- [1] 王海晖,彭嘉雄,吴巍. 基于小波包变换的遥感图像融合[J]. 中国图象图形学报, 2002,7(9):932-937.
- [2] 曹闻,张勇. 基于小波包变换与 IHS 变换的遥感图像融合[J]. 测绘学院学报, 2004,21(2):114-117.
- [3] 徐建达,王洪华. 基于 IHS 变换和小波变换的遥感影像融合[J]. 测绘学院学报,2002,19(3):198-199.
- [4] 李昞程,魏俊,彭天强. 基于 IHS 变换与小波变换的遥感图像融合[J]. 数据采集与处理,2003,18(3):268-271.
- [5] 陈思锦,秦其明,王文君. 利用小波分析改进 Brovey 遥感影像融合方法[J]. 测绘学院学报,2004,21(2):118-120.
- [6] 周礼,王章野,金剑秋,等. 基于 HVS 的小波图像融合新算法[J]. 中国图象图形学报,2004,19(9):1088-1094.
- [7] 刘斌,彭嘉雄. 基于小波包变换的区域图像融合方法[J]. 计算机工程与应用,2004,21:36-39.
- [8] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [9] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB 7 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

REMOTE SENSING IMAGE FUSION BASED ON IHS TRANSFORM AND BEST TREE TRANSFORM

WANG Sheng-li, YU Xue-xiang

(Department of Resources and Environmental Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainai 232001, China)

Abstract: This paper has discussed the problem of the fusion of the multi-spectral and panchromatic remote sensing images, studied the fusion method based on the IHS transform and Wavelet Packet Transform, and put forward the fusion method based on the IHS transform and Best Tree Transform. First, the multi-spectral remote sensing image is transformed with the IHS transform. Second, the panchromatic image and the *I* component of the multi-spectral image are transformed with the Wavelet Packet and the Best Tree Transform and then merged. At last, the merged image is obtained by inverse IHS Transform. The fusion image is fairly clear in vision and at the same time makes the entropy greatest.

Key words: Image fusion; Wavelet packet transform; Best tree transform

第一作者简介: 王胜利(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为遥感图像处理与模式识别。

(责任编辑: 李 瑜)

=====

(上接第 70 页)

A STUDY ON WATER POLLUTION MONITORING BASED ON REMOTE SENSING SPECTRAL CHARACTERISTICS

CHENG Bo, WANG Wei, ZHANG Xiao-mei, XIANG Bo

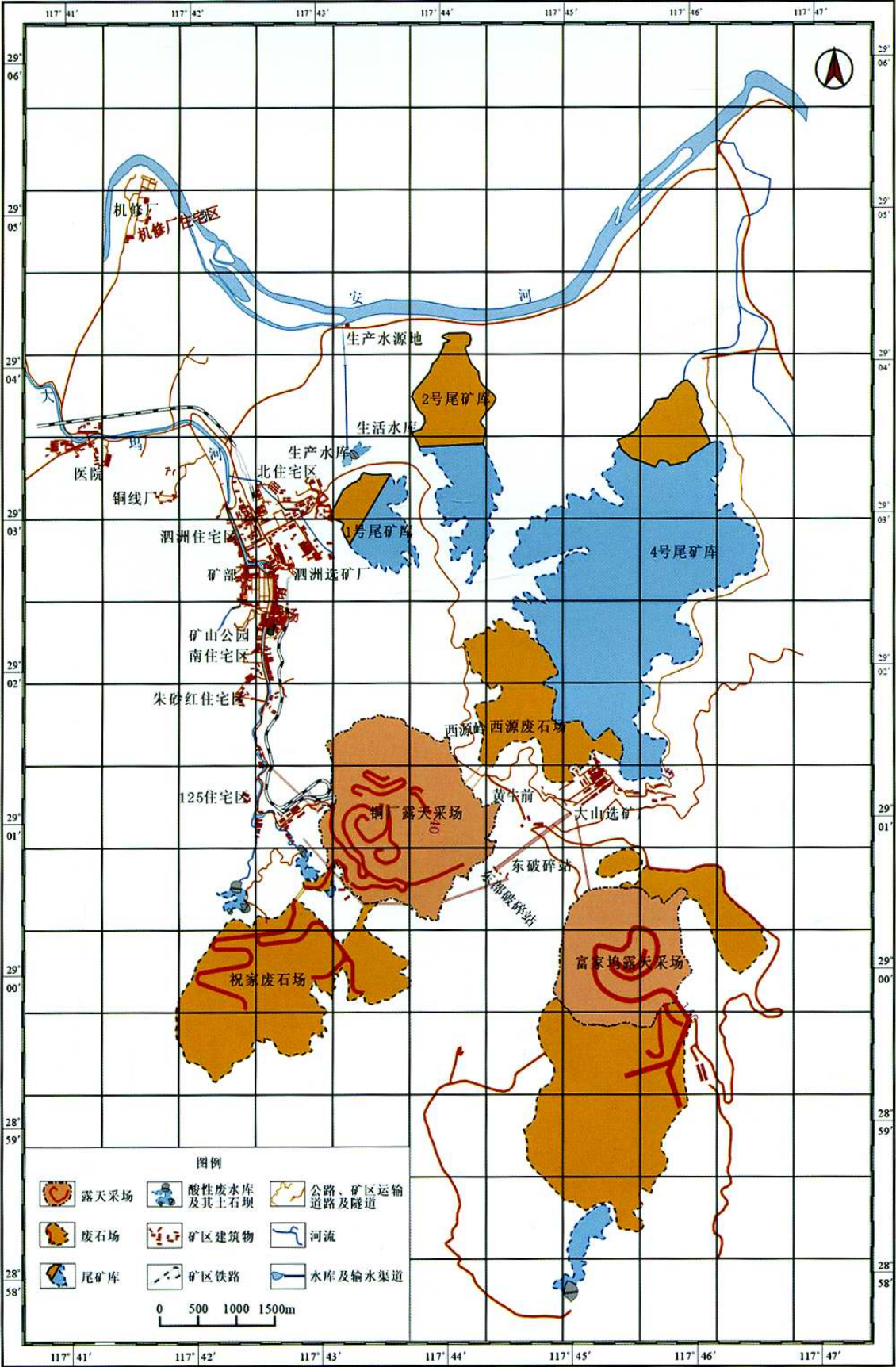
(China Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China)

Abstract: Based on the field investigation into the Dexing copper mine, the authors drew the spectral curves for the mine with advanced hyper-spectral field testing instruments, and further realized the pollution and the diagnostic remote sensing spectral features of the water. Combined with the characteristics of ASTER and based on the theory of tricolor, this paper carried out false color composition to distinguish water pollution types and degrees effectively. The result can be regarded as a valuable reference for other similar applications of the satellite data.

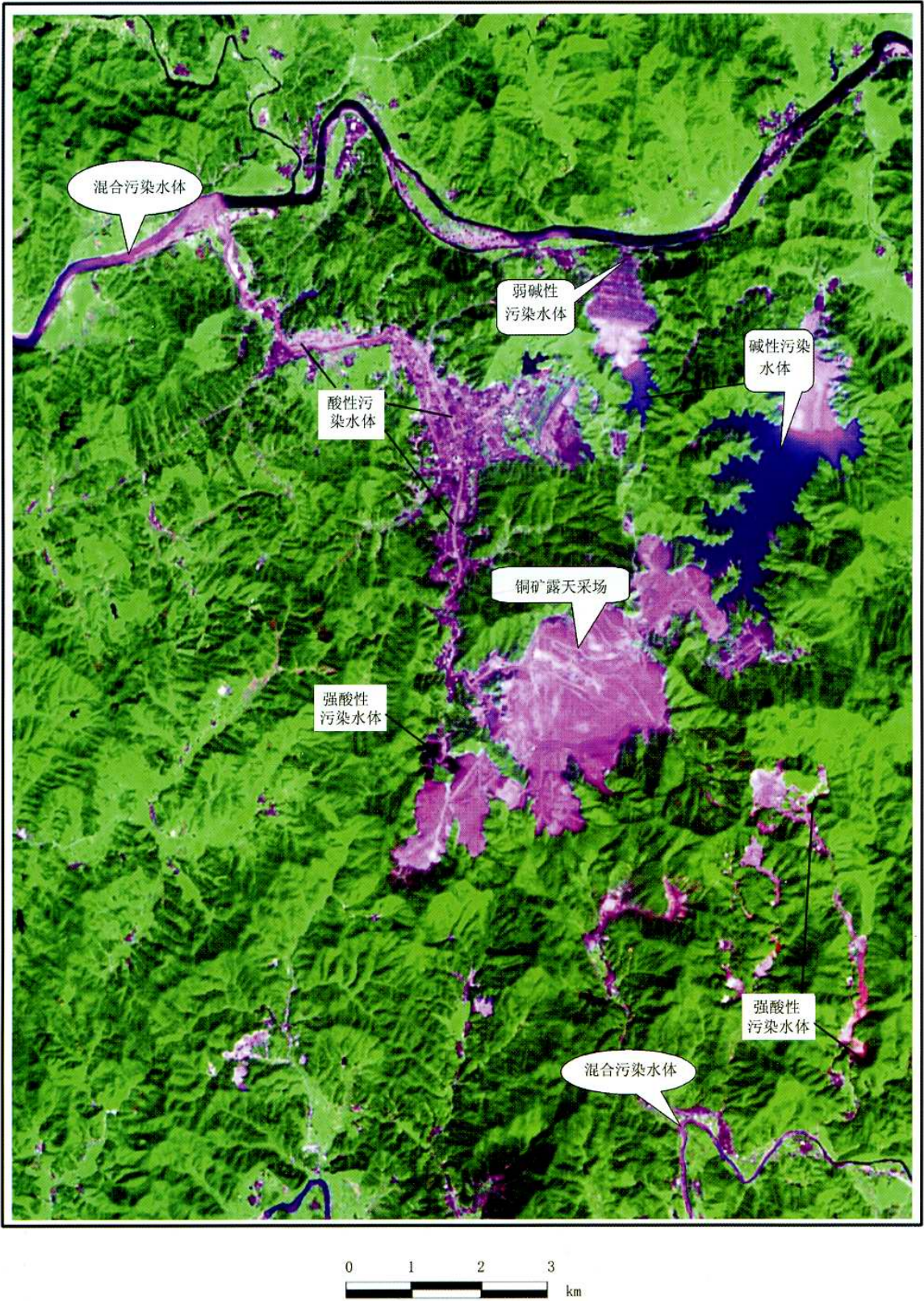
Key words: Spectrum; Water pollution; Ecological environment

第一作者简介: 程博(1974-),男,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事遥感卫星信息处理及应用研究。

(责任编辑: 刁淑娟)



彩片28 江西德兴铜矿区分布图



彩片29 ASTER 2、3、1波段假彩色合成图像