

doi: 10.6046/zrzyyg.2022091

引用格式: 王平. 热红外遥感技术在钢铁去产能监测中的应用[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(2): 271–276. (Wang P. Application of thermal infrared remote sensing in monitoring the steel overcapacity cutting[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 271–276.)

热红外遥感技术在钢铁去产能监测中的应用

王 平

(中测新图(北京)遥感技术有限责任公司, 北京 100039)

摘要: 为了解决以往人工实地监察督导方式对钢铁企业监测耗时耗力等问题, 文章提出基于卫星热红外传感器发现高温异常区, 将传统的遥感解译与热红外异常值监测相结合, 选用第一季度 3—5 月准同步数据, 结合已有钢铁企业范围和同期高分辨率影像等数据分析钢铁企业的热红外阈值, 根据热红外阈值及热异常分布情况提取出疑似钢铁企业/“地条钢”企业; 根据中高分辨率数字正射影像建立解译标志, 套合已有钢铁企业和“地条钢”图斑, 对异常区域进行判定; 最后, 将已有成果作为检验实验精度的依据, 对监测成果进行检验, 形成钢铁去产能监测对比结果, 综合检测正确率为 88.15%。研究结果显示, Landsat8 10.6 ~ 11.19 μm 热红外波段范围能够有效监测到钢铁企业高温异常, 在未来热红外遥感热异常监测中可选取该范围波段。研究旨在为钢铁去产能监测探索更加广泛的数据源, 从而为今后可能出现的数据瓶颈问题、应急监测问题等提供解决问题的思路与方法, 为指导项目生产和钢铁去产能遥感监测提供一定的借鉴。

关键词: 热红外传感器; 热红外遥感; 钢铁去产能; 热异常检测

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097–034X(2023)02–0271–06

0 引言

近几十年来, 我国工业园区包括钢铁生产企业在内促进了经济发展的同时也带来一些生态环境问题^[1]。近几年, 我国开展了钢铁行业供给侧结构性改革, 化解钢铁过剩产能, 取缔“地条钢”冶炼装备等行动。随着我国“双碳”目标的提出, 钢铁企业生产状态监测成为目前的需求热点。研究表明, 热红外遥感对于辅助发现钢铁企业及其生产状况变化具有一定的优势^[2]。热红外遥感是获取区域、全球尺度上地表和大气热状态信息的一种重要手段^[3]。目前在轨的热红外传感器有十多个^[4]。随着热红外遥感应用的深入, 对温度信息的精度和空间分辨率提出了更高的要求。在我国已经有部分学者采用热红外遥感监测地表进行相关研究, 但仍处于理论探究阶段。Landsat8 TIRS 传感器热红外波段可作为主要数据源, 为钢铁企业生产及“地条钢”的监测提供了新思路。

研究旨在为钢铁去产能监测探索更加广泛的数据源和波段范围, 通过开展此项研究, 检测新增钢铁

企业/“地条钢”企业, 能够有效地指导项目生产, 为钢铁去产能遥感监测提供有效的技术经验与思路, 从而为今后可能出现的数据瓶颈问题、应急监测问题等提供解决问题的思路与方法。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

研究区位于我国江苏省, 该地区属东部沿海地区, 是全国钢铁产量居首省份之一。随着 2018 年江苏省《关于加快全省化工钢铁煤电行业转型升级高质量发展的实施意见》的印发, 全省钢铁产业加快由沿江地区转移至沿海地区。因此, 研究该地区的钢铁产业分布具有代表性。研究区春秋两季多以干燥凉爽天气为主, 云覆盖较少, 天气因素对影像质量的影响较小。因此, 在数据源选择时, 选择了与项目同期的第一季度数据作为监测基本数据源。

1.2 数据源及其预处理

研究所使用的基础数据库包括已知钢铁企业矢量边界和已知“地条钢”企业点位数据以及高分辨

收稿日期: 2022–03–14; 修订日期: 2022–06–06

基金项目: 中国国土勘测规划院项目“2018 年遥感监测生产—土地资源全天候遥感监测数据处理与分析项目”(编号: 0701–184150100006)资助。

作者简介: 王 平(1991–), 女, 硕士, 工程师, 主要从事自然资源遥感研究。Email: wp15533259688@163.com。

率遥感影像,来源于“2018 年遥感监测生产——土地资源全天候遥感监测数据处理与分析项目”提供的基础数据库,其中遥感影像为北京二号(BJ-2)卫星影像,空间分辨率为 1 m。由于热红外波段对地面温度敏感,为进一步排除其他生产企业对高温异常点的干扰,借助高分辨率遥感影像,通过目视解译逐一排除非钢铁企业,从而提高检测精度。高温异常点热红外遥感检测数据源为 Landsat8 TIRS 数据,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台,空间分辨率为 100 m,辐射分辨率满足要求,云覆盖率小于 5%,产品轨道号为 120 和 121,行编号为 36~38。数据选取时间为 2018 年 3—5 月,同样选择项目第一季度监测结果作为对比数据。根据美国地质调查局官网数据,Landsat8 B11 因定标参数存在不确定性,因此采用 Landsat8 B10 进行单波段地表温度反演,其光谱范围为 10.6~11.19 μm。采用 ENVI 软件,利用 B10 波段制作热

红外波段遥感影像图。

2 实验分析

2.1 技术路线

采用传统的目视遥感解译与热红外异常值监测相结合的方法实现钢铁企业检测,包括疑似新增钢铁企业的提取和已有钢铁企业的生产状态监测 2 部分。首先采用 Landsat8 第一季度 3—5 月数据开展高温异常检测,采用同期高分辨影像等目视解译,划定热红外阈值并提取疑似图斑。根据解译标志,叠加已有钢铁企业图层和“地条钢”企业图层,确定高温异常区,实现对新增图斑和已有钢铁企业生产状态检测。最后,利用项目成果检验实验精度,探索 10.6~11.19 μm 范围内热红外波段在钢铁企业高温异常区检测中的应用价值。技术路线如图 1 所示。

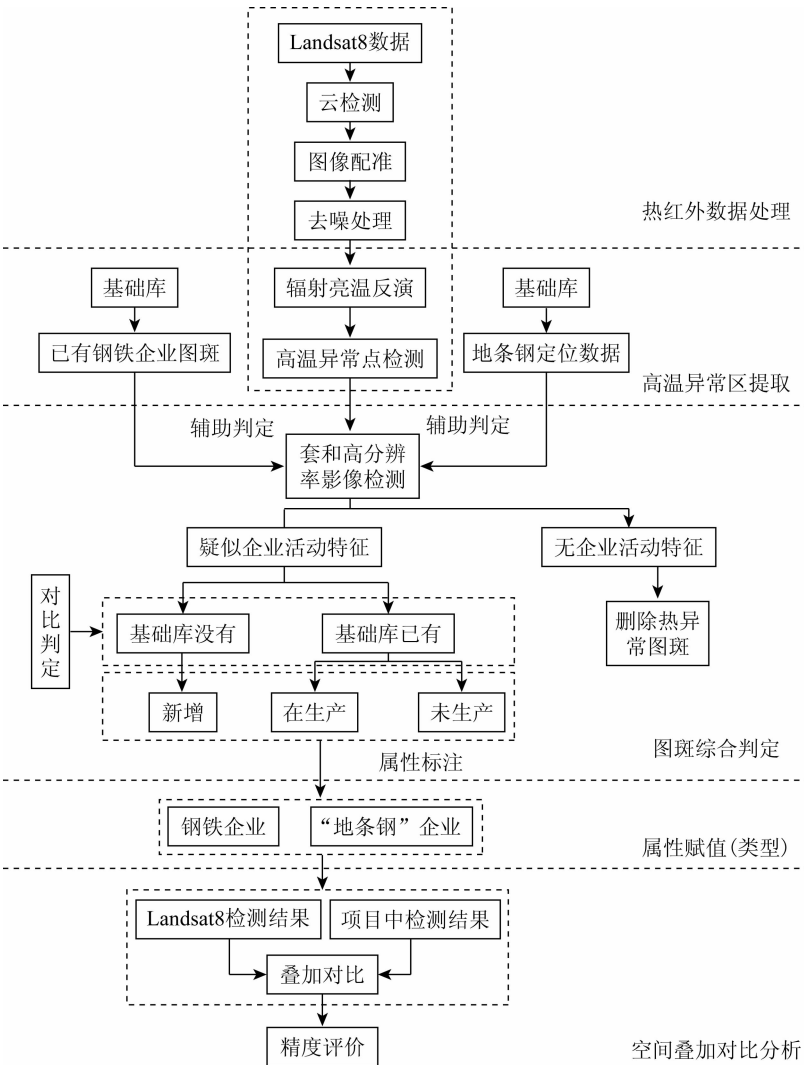


图 1 技术路线图

Fig.1 Technology roadmap

2.2 高温异常区检测

当钢铁企业生产中地物温度达到一定程度时,在包含高温目标与常温地物的混合像元中,高温目标的发射能量、反射能量和常温背景地物的反射能量在某一个数量级,能够被遥感探测器所识别。在监测过程中,根据钢铁企业内部设备分布状况可设定高温目标,对其进行异常监测。

辐射亮温是传感器测得的热辐射强度相应的温度,不是真实的地表温度,但辐射亮温与地表温度具有很强的相关性,可以反映出下垫面的热辐射信息。针对 Landsat8 TIRS B10,通过公式即可反演得到目标钢铁企业的辐射亮温值。首先,将热红外波段的亮度值(DN)转换为大气顶部的光谱辐射值;然后,将大气顶部光谱辐射值转换成亮度温度值,利用 Planck 公式^[5]进行辐射亮温的计算。

2.2.1 计算方法

地理空间数据云平台提供的 Landsat8 数据产品为 level 1T 级,已进行几何纠正。依据研究区矢量数据对影像进行辐射校正^[6-9],将 OLI 影像灰度值转换为表观辐射亮度,TIRS 影像波段灰度值转换为热辐射强度。

光谱辐射值转换公式为:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L, \tag{1}$$

式中: L_{λ} 为波段 λ 的大气顶部光谱辐射值; Q_{cal} 为影像以 16 位量化的亮度值(DN); M_L 和 A_L 分别为波段 λ 的调整因子和调整参数。

Planck 公式为:

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) - 273.15, \tag{2}$$

式中: T 为传感器处的辐射亮温,℃; K_1 和 K_2 为热红外波段的定标常数,对于 TRIS B10 波段, $K_1 = 774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1\,321.08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ 。

依据光谱辐射值转换公式计算为光谱辐射图。采用 ENVI 软件,选定 Thermal Infrared1 (10.9) 波段,得到 B10 辐射亮温图像^[10-12]。依据 Planck 公式得到单位为摄氏度的地表温度图像,最后对地表温度图像栅格分类,形成辐射亮温图(图 2)。

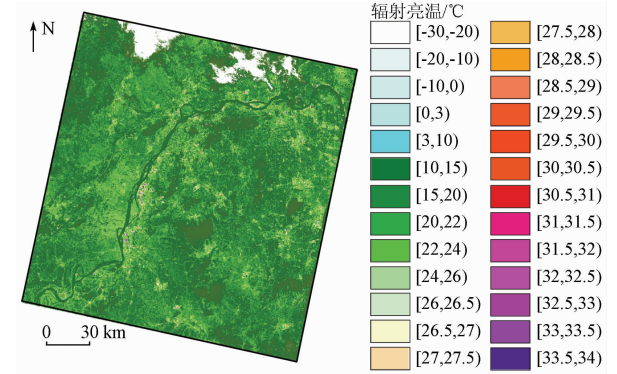


图 2 辐射亮温图像
Fig. 2 Radiant temperature image

2.2.2 阈值判定及异常区提取

热异常的检测主要在已知钢铁企业资料的基础上,结合当天气象状况、不同时相的高分辨率遥感影像、热异常提取结果进行宏观和微观分析^[13-17],剔除人工假异常区,建立遥感解译标志,提高所检测区域的遥感热异常预测准确性。图 3 为典型地物的高

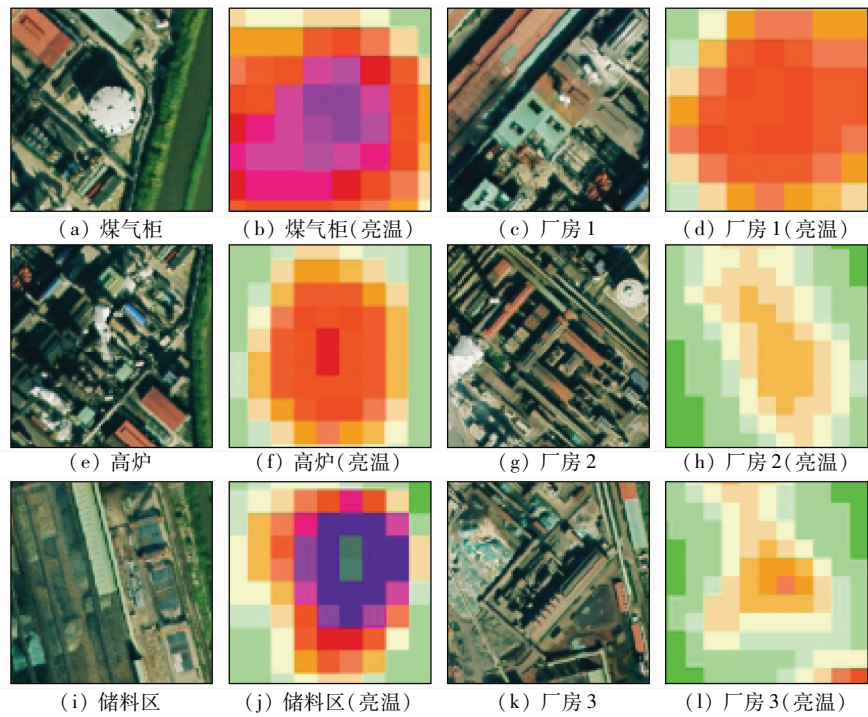


图 3 典型地物的 BJ-2 影像和亮温图像
Fig. 3 BJ-2 images and brightness temperature images of typical ground objects

分辨率影像和亮温图像。制定研究区域内钢铁企业的煤气柜的温度阈值为 28 ~ 33.5 ℃,厂房的温度阈值为 27 ~ 29.5 ℃,高炉的温度阈值为 27.5 ~ 29.5 ℃,储料区的温度阈值为 27 ~ 43 ℃。

2.3 图斑综合判定

研究中依据同季度 BJ-2 影像作为辅助判读依据。钢铁企业的解译属于特殊地物及状态的识别,主要是指识别建设状态、线性构造和设施等代表性地物或者地表状态。研究通过演绎或归纳法,从目标物的相互联系中解释图像。

若能从遥感影像上解译出关键设施高炉、储料区、煤气柜和电除尘器中任一种,则可判定该企业为疑似钢铁企业。

1)高炉:高炉是横断面为圆形的竖炉,多呈现为厂房建筑上的柱状烟囱,且有输料管道相连。

2)煤气柜:煤气柜呈圆柱型建筑,体积较大,在遥感影像上较容易识别,一般大、中型钢铁企业都设有该设施。

3)电除尘器:电除尘器在遥感影像上呈现出长方体状,往往排列成组出现,是调查大、中型钢铁企业遥感识别的重要标志。

4)由于矿石呈现出暗红色、灰色等,煤呈现出黑色,因此,钢铁企业的贮料区在影像上的色调有别于水泥厂、火电厂等其他工业的贮料区。

以高温异常区为基准、已有的全国钢铁企业和“地条钢”企业为辅,套合高分辨率影像开展图斑判断,在 500 m 左右缓冲区搜索。

1)界线内或者定位点存在高温异常区。有钢铁企业名录矢量边界或者疑似地条钢生产坐标点位,且所检测到的高温异常点在矢量边界之内的区域或者与坐标点位吻合,为在生产状态下的钢铁企业或者“地条钢”企业。

2)界线内或者定位点不存在高温异常区。有钢铁企业名录矢量边界或者疑似“地条钢”生产坐标点位,但在矢量边界中和坐标点位上没有高温异常点,需要结合 BJ-2 影像和实地调研确定该企业内部结构是否发生本质变化(拆除等)。

3)界线内或者定位点以外的区域存在高温异常区。不在钢铁企业名录边界中或者疑似“地条钢”生产坐标点位的情况下,在其他区域检测到的高温异常区,可能为处于生产状态的疑似“地条钢”企业,需要结合高分辨率遥感影像进一步确认。

如图 4 所示,图 4(a)为钢铁企业的 BJ-2 卫星遥感影像,其空间分辨率为 1 m;图 4(b)为地表亮温图像(图例参考图 2),图 4(c)为 Landsat8 B10 的

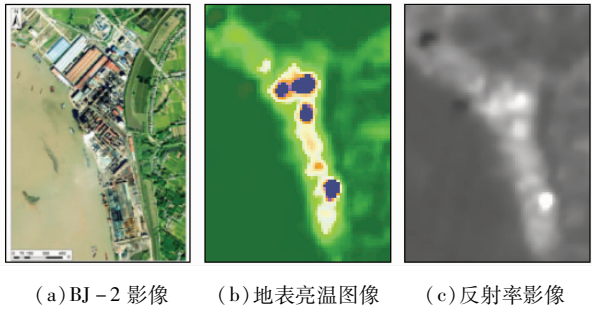


图 4 BJ-2 影像与热异常图、热红外波段反射率图对比
Fig.4 Comparison of BJ-2 images, thermal anomaly maps and thermal infrared reflectance maps

反射率影像。从图 4(c)中可以分析出 B10 中的钢铁企业区域明显存在较高的反射率。根据图 4(b)可知,钢铁企业的热异常值非常明显,根据颜色范围可基本判断出其温度异常处于 29 ~ 41 ℃之间。

通过热异常图的热异常区域提取,辅以高分辨率遥感影像,进一步综合判定热异常区,形成热异常图。图 5 为热异常图的局部截图(图例参考图 2),在已知钢铁企业位置(黑色圈起部分)有明显的被检测出的热异常,其余部分(红色圈起部分)为疑似钢铁企业或“地条钢”企业位置,检测出的热异常结果可提供给监督部门,作为后期开展实地调查的依据。

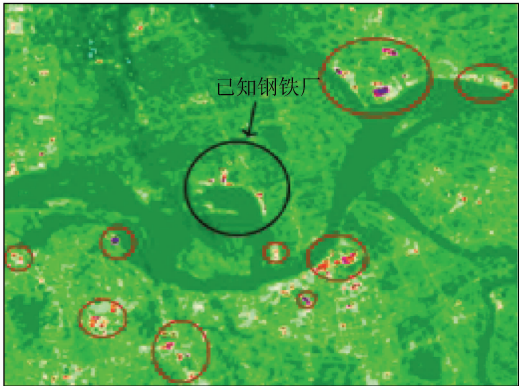


图 5 钢铁企业热异常
Fig.5 Abnormal heat in steel industry

2.4 对比分析

将 Landsat8 TIRS(100 m 空间分辨率)监测到的热异常点与 NPP VIIRS(375 m 空间分辨率)热异常点监测结果逐图斑检验对比,结果如图 6 所示。监测结果显示,由于数据源空间分辨率差异导致 Landsat8 B10 数据监测高温异常点较多,且细节反映效果明显,热异常敏感度较高;检测图斑筛选参考了高分辨率影像,在某种程度上与人工判读结果趋于一致,最终导致检测效果较为吻合,综合检测正确率为 88.15%(表 1)。

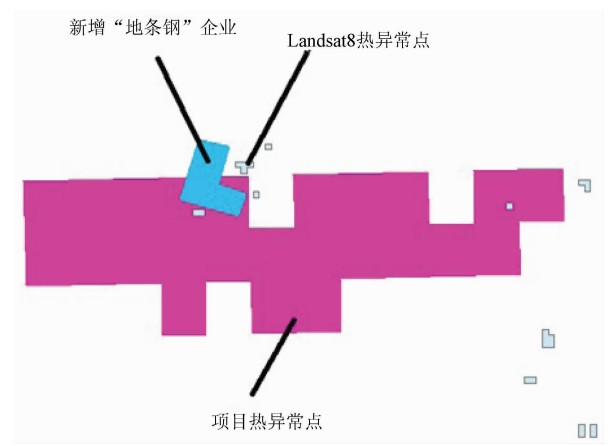


图 6 高温异常区监测结果对比

Fig. 6 Comparison of monitoring results of high temperature anomaly area

表 1 监测结果对比				
Tab. 1 Comparison of monitoring results				
监测类型	Landsat8 TIRS 结果/个	项目监测 结果/个	未生产/ 个	正确率/ %
高温异常点	119	135	—	88. 15
已知钢铁企业	50	58	8	—
已知“地条钢”企业	8	12	4	—
新增钢铁企业	1	1	—	—
新增“地条钢”企业	7	8	—	—
新增其他企业	53	—	—	—

3 结论

通过研究表明,10.6 ~ 11. 19 μm 热红外波段范围能够有效地监测到钢铁企业高温异常,可作为未来热红外遥感监测热异常情况的数据来源之一。通过研究,为钢铁去产能监测探索了更加广泛的数据源,从而为今后可能出现的数据瓶颈问题、应急监测问题等提供解决问题的思路与方法。对指导项目生产和钢铁去产能遥感监测具有一定的借鉴意义。但由于数据源有限,本研究过程采用的算法较为单一,今后将进一步在该波段监测热异常值的应用中提升技术方法,达到更好的监测效果。

1) 由于与项目同期的 Landsat8 数据时相获取只能满足一个季度,在实际项目应用的过程中,通过多时相的运算结果反复验证将更加可靠。

2) 不同时相的地表情况较为复杂,数据中钢铁企业的地表亮温随时间变化有所不同,未考虑地表其他地物的干扰,因此,后期如能更深入地进行试验,综合考虑地表复杂因子的影响,将会减少后期异常点图斑筛选的工作量。

根据实验结果可推测在热红外波段范围内,空间分辨率越高,热异常点越多,热异常检测的敏感度越高,但还需要进一步实验证明此项判断的准确性。

参考文献 (References) :

[1] 张爱因,张晓丽. Landsat8 地表温度反演及其与 MODIS 温度产品的对比分析[J]. 北京林业大学学报,2019,41(3):1-13.
Zhang A Y, Zhang X L. Land surface temperature retrieved from Landsat8 and comparison with MODIS temperature product[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(3):1-13.

[2] Synder W C, Wan Z, Zhang Y. Classification - based emissivity for land surface temperature measurement from space[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(14):2753-2774.

[3] Li Z L, Tang B H, Wu H, et al. Satellite - derived land surface temperature: Current status and perspectives[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 131:14-37.

[4] 徐涵秋. 新型 Landsat8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. 地球物理学报, 2015, 58(3):741-747.
Xu H Q. Retrieval of the reflectance and land surface temperature of the newly - launched Landsat 8 satellite[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(3):741-747.

[5] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono - window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel - Egypt border region[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(18):3719-3746.

[6] 张玉君. Landsat8 简介[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1):176-177.
Zhang Y J. Landsat8 introduction[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1):176-177.

[7] Schmugge T, Hook S J, Coll C. Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65(2):121-131.

[8] 杨佩国,胡俊锋,刘 睿. HJ - 1B 卫星热红外遥感影像农田地表温度反演[J]. 测绘科学, 2013, 181(1):60-62.
Yang P G, Hu J F, Liu R. Land surface temperature retrieval method in farmland area for HJ - 1B IRS4[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013, 181(1):60-62.

[9] 陈 峰,殷守敬,朱 利,等. HJ - 1B 热红外辐射定标对地表温度反演的影响[J]. 遥感学报, 2016, 20(4):601-609.
Chen F, Yin S J, Zhu L, et al. Radiometric calibration of the HJ - 1B thermal channel and its effects on land surface temperature retrieval[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2016, 20(4):601-609.

[10] 朱亚静,邢立新,潘 军,等. 短波红外遥感高温地物目标识别方法研究[J]. 遥感信息, 2011(6):33-36.
Zhu Y J, Xing L X, Pan J, et al. Method of identifying high - temperature target using shortwave infrared remote sensing data[J]. Remote Sensing Information, 2011(6):33-36.

[11] Van de Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(6):1119-1131.

[12] 陈良富,徐希孺. 热红外遥感中大气下行辐射效应的一种近似计算与误差估计[J]. 遥感学报, 1999, 3(3):165-170.
Chen L F, Xu X R. An approximate numeration and error estimation on atmospheric downward radiance effect in thermal infrared remote sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 1999, 3(3):165-170.

[13] 陈鹏飞,卢 力,朱华忠,等. 不同分辨率遥感影像的钢铁厂识别适宜性研究[J]. 地球信息科学,2015,17(9):1119–1127.
Chen P F,Lu L,Zhu H Z,et al. Research on the suitability of image at different resolutions for the identification of steel enterprise using remote sensing[J]. Journal of Geo – Information Science, 2015,17(9):1119–1127.

[14] 田国良,柳钦火,陈良富. 热红外遥感[M]. 北京:电子工业出版社,2014:5–13.
Tian G L,Liu Q H,Chen L F. Thermal remote sensing[M]. Bei-jing:Publishing House of Electronics Industry,2014:5–13.

[15] Andersen H S. Land surface temperature estimation based on NO-AA – AVHRR data during the HAPEX – Sahel experiment[J]. Journal of Hydrology,1997,188 – 189:788 – 814.

[16] Prata A J,Caselles V,Coll C,et al. Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites:Current status and future prospects[J]. Remote Sensing Reviews,1995,12(3):175–224.

[17] 李特雅,宋 妍,于新莉,等. 卫星热红外温度反演钢铁企业炼钢月产量估算模型[J]. 自然资源遥感,2021,33(4):121–129. doi:10.6046/zrzyg.2020399.
Li T Y,Song Y,Yu X L,et al. Monthly production estimation model for steel companies based on inversion of satellite thermal infra-red temperature[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(4):121–129. doi:10.6046/zrzyg.2020399.

Application of thermal infrared remote sensing in
monitoring the steel overcapacity cutting

WANG Ping

(China TOPRS Technology Co. , Ltd. , Beijing 100039 , China)

Abstract: The monitoring of iron and steel enterprises through manual field supervision is time – consuming and labor – intensive. To address this problem, this study proposed identifying the high – temperature anomalous areas based on satellite – carried thermal infrared sensors. Then, based on conventional remote sensing interpretation combined with thermal infrared anomaly monitoring and the quasi – synchronous data of March to May in the first quarter, as well as the scope of existing iron and steel enterprises and high – resolution images of the same period, this study extracted information on suspected iron and steel enterprises/low – quality steel enterprises according to the thermal infrared threshold and the thermal anomaly distribution. Subsequently, interpretation symbols were constructed according to the medium – to high – resolution digital orthophoto maps (DOMs), and anomaly areas were identified by overlapping the map spots of existing iron and steel enterprises/low – quality steel enterprises. Finally, the monitoring results of the new method were tested using existing project results, forming the monitoring comparison results of steel overcapacity cutting. As a result, the comprehensive detection accuracy was 88. 15% . The results of this study show that the Landsat8 data with a thermal infrared band of 10. 6 ~ 11. 19 μm can effectively monitor the high – temperature anomalies of iron and steel enterprises. Therefore, this band can be selected for future thermal anomaly monitoring based on thermal infrared remote sensing. This study is designed to explore more extensive data sources for monitoring steel overcapacity cutting and to provide approaches to solve the possible data bottlenecks and emergency monitoring problems. It can be used as a reference for guiding both project production and remote sensing monitoring of steel overcapacity cutting.

Keywords: thermal infrared sensor; thermal infrared remote sensing; steel overcapacity cutting; thermal anomaly detection

(责任编辑: 张 仙)