

文章编号: 0253-9993(2011)04-0643-05

大型露天煤矿地表扰动的温度分异效应

谢苗苗, 白中科, 付梅臣, 周伟, 袁涛

(1. 中国地质大学(北京) 土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要: 以平朔矿区 1987 年、1996 年、2001 年和 2005 年的 Landsat TM 影像为数据源, 依据地表形态与采矿功能划分 5 种地表扰动类型, 以单通道普适性算法反演地表温度。基于空间统计和面积加权的增温贡献率等方法, 分析地表扰动类型的温度分异特征和对矿区增温的贡献程度及动态: 露天采坑和工业场地的地表平均温度最高, 高出矿区最低温度 5 ~ 10 °C, 具有强烈的增温效应; 未复垦排土地表温度处于中等水平, 受到排弃物类型和堆置特征的影响, 具有较大的时空分异特性, 在矿业开发初期具有较高的增温效应; 剥离区和已复垦排土地表温度较低, 具有最低的增温效应, 已复垦排土地的增温效应随着恢复生态系统气候调节功能的显现呈逐年降低趋势。

关键词: 露天煤矿; 地表扰动; 地表温度; 复垦; 平朔矿区

中图分类号: TD88; X171.4

文献标志码: A

Effects of land disturbance on surface temperature in large opencast coal mine

XIE Miao-miao, BAI Zhong-ke, FU Mei-chen, ZHOU Wei, YUAN Tao

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of the Ministry of Land and Resources of China for Land Regulation, Beijing 100035, China)

Abstract: Landsat TM thermal infrared(TIR) bands was used to estimate the spatial dynamics of surface temperature by single-channel method in 1987, 1996, 2001, and 2005 in Pingshuo opencast coal mine area in Shanxi Province, China. The land disturbance types were classified by remote sensed data, which include opencast coal pit, soil removed land, piled land, reclamation land, and industrial centers. An area weighted method was proposed to evaluate the contribution rate of certain disturbance type on temperature increase. Results show that the surface temperature in coal pit and industrial centers are the highest, which are 5 ~ 10 °C higher than the lowest temperature in study area; the contributions of coal pit and industrial centers to temperature increase are great; surface temperature heterogeneity is high in piled land for the differences in waste types and piling structures, and the temperature values are at a middle level; piled land contributes to temperature increase evidently in the first stage of mining; temperature of soil removed land and reclamation land are the lowest in each period; temperature increase contribution of reclamation land decrease for the climate controlling effects of vegetation.

Key words: opencast coal mine; land disturbance; surface temperature; land reclamation; Pingshuo mining area

露天煤矿开采过程中剥离岩石和土壤, 压占、堆积和采掘等扰动过程影响了地表水分蒸发蒸腾循环^[1-3]及地表热容量状况, 从而强烈地影响了地表温度, 引起矿区及周边地区微气候变化^[4]。联合国政府间气候变化专门委员会在第四次评估报告中将煤矸石自燃和低温氧化列为温室气体的来源之一^[5], 地表温度的升高会导致煤矸石自燃、低温氧化释放温

室气体量的增加^[6-9], 更加速了区域气候变暖趋势。露天煤矿的地表温度空间分异研究有助于度量矿业开发的气候变化效应, 并在宏观尺度上对煤矸石的温室气体排放进行监测与预警, 而目前此方面分析较为缺乏。

对煤矿区表面温度的监测多采用热辐射仪实地测量的方法, 虽然探测精度较高, 但观测范围较小, 探

收稿日期: 2010-12-12 责任编辑: 韩晋平

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项基金资助项目(200911015)

作者简介: 谢苗苗(1982—), 女, 河北保定人, 博士后。Tel: 010-82321867, E-mail: xmiaomiao@gmail.com

测周期长,不能有效地进行预警,并且具有一定的危险性^[4]。Landsat TM 等卫星遥感影像的热红外数据具有覆盖范围广、重访周期短等优点,其分辨率适宜于度量大型露天煤矿的地表温度异质性^[5],常被应用于矿区煤火监测的研究^[1-3]。本文以 Landsat TM 影像为数据源,分析了山西平朔露天煤矿区 1987 年、1996 年、2001 年和 2005 年地表温度的空间差异和动态变化,以及对矿区地表扰动类型的响应,鉴别扰动类型对矿区增温的贡献程度,为矿业开发的气候效应研究提供依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况与数据源

本文选择山西省平朔露天煤矿区作为研究区,总面积 3 982.82 hm²,包括安太堡露天煤矿及安家岭露天煤矿的已开采区(图 1)。安太堡露天煤矿自 1986 年开始拉沟和表层岩土剥离,1987 年投入生产,挖损、剥离、压占等矿业开发活动强烈地影响了地表景观。研究区原地貌沟壑纵横,露天矿开采影响了原始地貌形态,构成人为影响的阶梯状地形。1987 年之后外排土场开始复垦,重新种植乔木、灌木和草类,地表植被覆盖有所改善。矿区采掘实行剥离—采矿—复垦一体化工程技术,在同一时期存在多种扰动形式,对于大型露天煤矿地表扰动的温度分异效应研究具有典型意义。



图 1 研究区位置示意

Fig. 1 Location of the study area

本研究采用四期 Landsat TM 影像(轨道号 126/33)作为数据源,遥感数据处理及空间分析所用软件为 ENVI4.3 和 ArcGIS9.2。影像获取时间分别为 1987-08-30、1996-07-21、2001-08-20 和 2005-07-30 的上午 10 时左右,卫星过境时晴朗无云,空气扰动较小,可以真实地反映地表温度状况。研究时点上,煤矸石堆积覆土形成的排土场在 2001 年发生过自燃,已复垦植被受到一定破坏^[4],其他时点自燃现象不显著,煤堆和采坑无自然发火现象。

1.2 地表扰动类型

露天煤矿对地表形态的破坏主要包括挖损、占用和压占等形式^[6],按照露天矿开采过程与景观功能将研究区扰动土地划分为露天采坑、剥离区、未复垦排土场、已复垦排土场和工业场地等类型^[4],未进行矿业开发的区域作为无扰动土地。各扰动类型在 TM 影像上表现出的地表形态特征差异显著,可以进行精确的目视解译。露天采坑呈深坑状形态,有煤层出露;剥离区与未复垦排土场均呈现为黄土裸露的表层特征,差异在于排土场呈现规则的松散阶梯堆积景观^[7];已复垦排土场是外排土场和内排土场经植被恢复后的土地;工业场地包括洗选煤场、运煤通道和办公区域等。

1.3 地表温度反演

本文选取 Jime'nez - Mun'oz 和 Sobrino 提出的单通道普适性算法反演地表温度,包括地表亮温标定、参数估算和地表真实温度计算等 3 个步骤^[8-19]。单通道普适性算法通过经验公式校正大气对热红外传感器的影响,具有较高的精度,误差一般在 0.6℃左右^[9-20]。地表亮温标定由 Landsat 的官方手册获取公式,将像元灰度值转换为亮温。单通道普适性算法所需的反演参数包括地表比辐射率和大气水分含量,通过归一化植被指数 NDVI 和气象参数获取^[20-21]。最后利用单通道普适性算法的反演公式计算得到 4 个研究时点影像的地表温度空间分布数据,地表平均温度与当地气象站当日实测气温分别相差 1、0.1、-0.6 和 -0.8℃,在可接受范围之内。

1.4 矿区地表温度响应的度量

借用贡献率的涵义度量特定扰动类型对研究区温度升高的贡献程度,即扰动类型地表温度增加量占所有扰动类型地表温度增加量的比率。假设矿区周边未经扰动、土地覆盖变化较小的区域地表平均温度为扰动前的原始温度,扰动后高于原始温度的数值即为升温幅度,某种扰动类型的地表升温幅度除以已扰动区域升温幅度即为此扰动类型的增温贡献率。由于各扰动类型占研究区面积的比例不同,采用面积加权的地表温度贡献率(Contribution Rate, C_R)表征扰动类型地表温度升高对矿区增温的贡献程度,即

$$C_{Rk} = \frac{(T_k - T_0) S_k}{(T_d - T_0) S_d} \quad (1)$$

$$T_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n T_{ik} \quad (2)$$

其中, T_k 为第 k 种扰动类型的地表平均温度; T_0 为原始温度; T_d 为矿区内所有扰动类型的地表平均温度; S_k 为扰动类型 k 的面积; S_d 为矿区内已扰动土地总面积。

积; T_{ik} 为 k 类型内第 i 个像元的地表温度值; N 为 k 类型内的像元总数。 C_{Rk} 值越大表明此扰动类型对地表温度升高的影响越强烈,对区域增温具有更大的贡献,是造成局地气候潜在变化的重点区域(式(1))。 T_k 或 T_d 由式(2)计算得到。

2 地表扰动过程

自1987年之后矿区扰动范围随生产能力增加逐步扩大,至2005年已增加至3 832.44 hm²,未扰动区域迅速减少(图2)。研究时段内,露天采坑和剥离区面积增长迅速,排土场面积呈现先降低后升高的趋势,工业场地面积自1999年安家岭煤矿开工建设后增长迅速。至2005年,工业场地、露天采坑和剥离区面积比例基本保持一致,未复垦排土场面积最大;已复垦排土场面积持续增加,1996年复垦土地面积达到322.19 hm²,至2005年已复垦排土场与前期未复垦排土场规模相当(图2)。

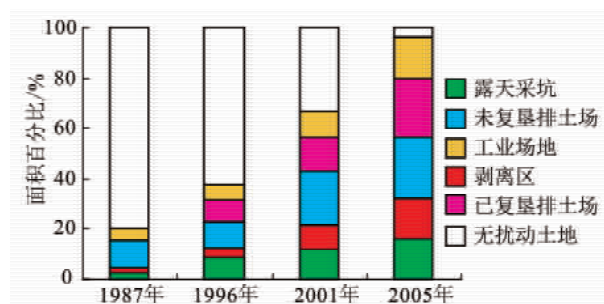


图2 地表扰动类型面积比例变化

Fig. 2 The area proportion of land disturbed types

研究时段内剥离区与露天采坑向东北侧扩展,工业场地向东南侧延伸(图3)。南排土场于1990年开始植被恢复,开矿初始的采坑经充填成为内排土场(图3(b)),自1997年开始复垦。至2001年南排土场和西排土场复垦完毕(图3(c)),但南排土场部分植被由于煤矸石自燃受到破坏,植被覆盖度有所下降^[4]。至2005年,安太堡内排土场和安家岭西排土场完成复垦任务,已复垦土地面积达到922.81 hm²(图3(d))。

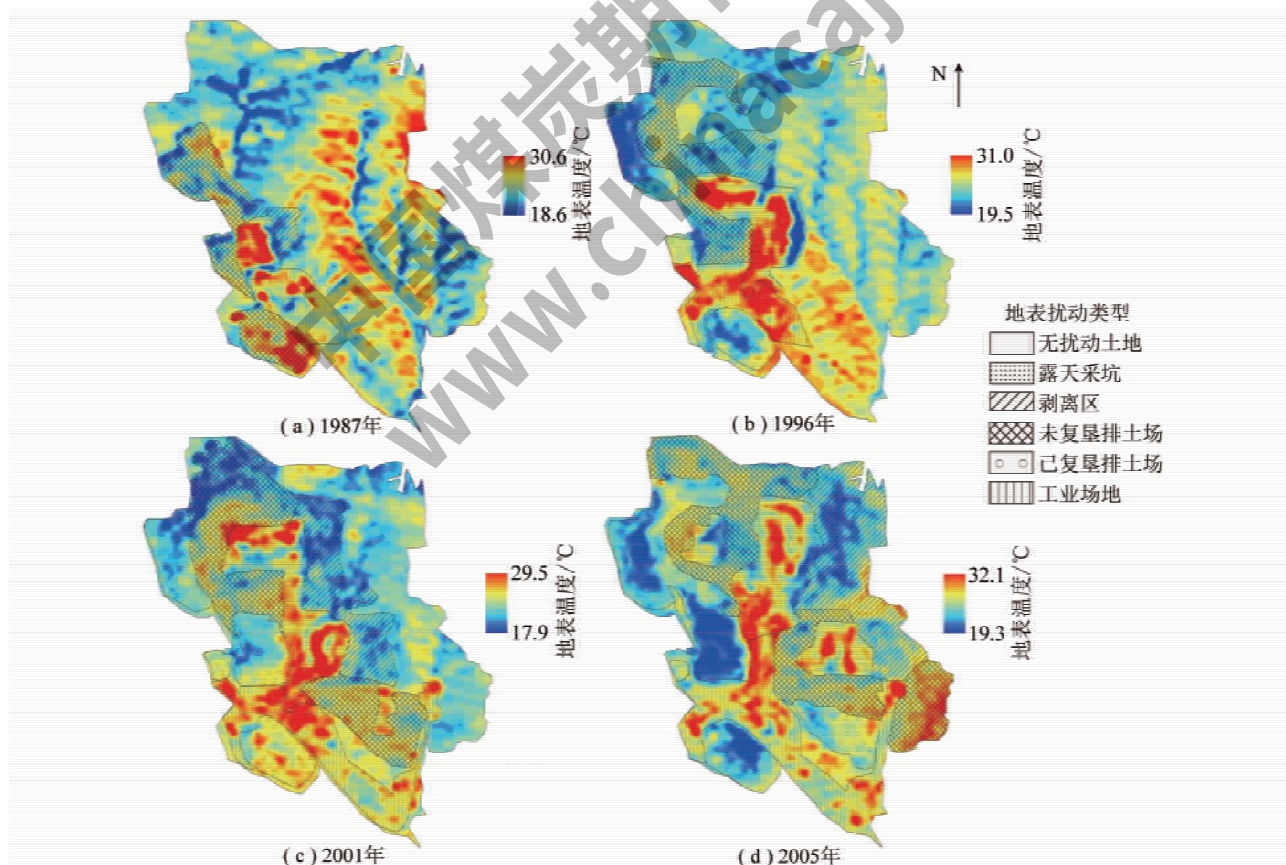


图3 研究区地表温度分布与扰动类型对比

Fig. 3 The comparison of surface temperature and disturbance types

3 地表温度对扰动类型的响应

矿区地表温度在扰动前后存在明显的时空差异,扰动前地表温度的空间分异与山脊的自然分布相一

致。在矿业开发扰动后,矿区地表温度在空间上呈现边界明显的异质性分布,露天采坑、剥离区土地、未复垦排土场、已复垦排土场和工业场地的地表平均温度均存在较大差异(图3)。

3.1 矿区不同扰动类型的地表温度分异

露天采坑的人为扰动和地表破坏最为强烈,裸露的煤及矸石具有较高的吸收率与辐射率,其地表平均温度在 4 个研究时点中均为最高,分别高出研究区地表温度最低值 6.3、5.5、6.2 和 9.4 °C。其次为工业场地,其中的运煤通道、洗选煤厂等地形式均具有强烈扰动特性,体现为地表温度的高值特征。1987 年和 2001 年工业场地地表平均温度比露天采坑的地表温度分别略低 1.0 和 0.2 °C,1996 年和 2005 年的工业场地地表平均温度高出露天采坑 0.3 和 0.1 °C。

排土场的表土经过压实紧密度增加,地表反射率上升,裸露地表蒸发量加大,造成土壤含水量降低,使得地表温度升高。在 5 种扰动类型中处于中等水平,4 个研究时点的地表平均温度分别为 23.8、23.3、22.1 和 25.1 °C。排土地表温度存在空间分异,高温区域位于矸石堆场与矸石含量高的排土场平台,自燃风险较高,自燃和低温氧化释放的温室气体更多。如 1987 年未经复垦的南排土场矸石含量高,地表温度接近露天采坑的温度。2005 年,东排土场未经表土覆盖,排弃的岩石和矸石裸露,同样呈现地表温度的高值特征(图 3)。

矿区地表温度的低值区域主要位于剥离区和已复垦排土场。剥离区的表土层被剥离后,土壤的结构和水分含量与剥离前改变较小,显示出地表温度的低值特征。已复垦排土场经植被恢复,植被的蒸腾作用改变地表潜热和显热分配形成地表能量新平衡,对降低地表温度具有重要作用,1996 年、2001 年和 2005 年已复垦排土场的地表温度均低于矿区地表温度平均值。2001 年由于煤矸石自燃已复垦的南排复垦区植被受到破坏,地表温度上升^[6],西排复垦区和内排土地表温度略有上升,西排东侧排土场转变为复垦土地的过程伴随地表温度的小幅下降。2005 年西排复垦区和安太堡内排土场复垦区形成地表温度的低值区域,南排土场煤矸石自燃区域通过补植和自然演替得到恢复,地表温度降低较为明显(图 3)。

3.2 扰动类型的增温贡献率

由于生产阶段的不同,各扰动类型的扰动范围和地表温度特征均发生较大变化,对增温的贡献率也体现出明显的时间异质性(表 1)。

1987 年为地表扰动的初始阶段,露天采坑的采掘扰动强度和面积均较小,对温度升高的贡献率未达到最高(表 1)。而由于南排土场和西排土场的矸石含量较高,加之排土场面积占有绝对优势(图 2),复垦前对矿区增温的贡献率最高。

1987—1996,露天采坑扰动强度和范围持续增加

(图 2),煤层出露面积的扩大和生产中扬尘的增多加剧了能量的聚集效应,增温贡献率上升为 5 种扰动类型中的第 1 位。排土场扩展速度较为平缓(图 2),并经覆土、压实和平整,增温贡献率有所下降(表 1)。复垦后排土场的地表温度远远低于矿区平均温度,但仍高于矿区周边的未扰动区域,所以其增温贡献率呈现正值;1996—2005,其增温效应逐渐降低,恢复生态系统的气候调节作用逐渐凸显。

表 1 不同扰动类型的增温贡献率
Table 1 Contribution rate of different land disturbance types

扰动类型	1987 年	1996 年	2001 年	2005 年
露天采坑	17.10	26.85	29.65	21.44
剥离区	4.82	8.73	2.42	12.17
未复垦排土场	51.86	25.41	26.06	28.65
已复垦排土场		17.33	15.82	15.05
工业场地	26.21	21.68	26.04	22.69

至 2005 年,矿区采掘潜力变小,露天采坑面积增长速度变缓,矿区扰动土地结构逐渐趋于稳定(图 2),扰动类型的增温贡献率亦保持在较稳定的水平,工业场地和露天采坑的增温贡献程度相似。而由于东排土场显示出较高的地表温度,未复垦排土场对矿区的增温效应有所增加,位列 5 种扰动类型中的首位,达到 28.65%。剥离区面积在各个时点均为最小(图 2),且具有较低的地表温度,因此增温贡献率处于较低水平。

4 结论与讨论

矿业开发剧烈地改变了地表温度分布状况与局地气候,地表温度的时空异质性与扰动类型和生产阶段密切相关。露天采坑和工业场地具有明显的增温效应,其地表平均温度高出矿区最低温度 5~10 °C。未复垦排土场的地表温度处于中等水平,由于排土场的物质组成与堆置结构差异较大,地表温度存在较高的时空异质性,在矿业开发初期具有较高的增温效应,此后对增温的贡献大幅降低。剥离区和已复垦排土场具有较低的地表温度,复垦过程可以调控矿区植被覆盖与土壤水分状况,有效降低地表温度,减少矿区对区域升温的影响,但降温效果受到煤矸石自燃、复垦阶段等因素的影响出现相应变化。未复垦排土场和已复垦排土场内部存在明显的地表温度空间分异,4 个时点内的变化也较明显,往往与地表物质组成成分、排弃堆置结构、复垦效果等具有密切联系。

未来将结合实测数据开展小尺度研究,进一步探

讨地表温度分异的机理,以期为矿区的生态环境建设提供依据。

参考文献:

- [1] 卞正富,雷少刚,常鲁群,等.基于遥感影像的荒漠化矿区土壤含水率的影响因素分析[J].煤炭学报,2009,34(4):520-525.
Bian Zhengfu, Lei Shaogang, Chang Luqun, et al. Affecting factors analysis of soil moisture for arid mining area based on TM images[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(4): 520-525.
- [2] 吴立新,马保东,刘善军.基于SPOT卫星NDVI数据的神东矿区植被覆盖动态变化分析[J].煤炭学报,2009,34(9):1217-1222.
Wu Lixin, Ma Baodong, Liu Shanjuan. Analysis to vegetation coverage change in Shendong mining area with SPOT NDVI data[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(9): 1217-1222.
- [3] 王力,卫三平,王全九.榆神府煤矿开采对地下水和植被的影响[J].煤炭学报,2008,33(12):1408-1414.
Wang Li, Wei Sanping, Wang Quanjiu. Effect of coal exploitation on groundwater and vegetation in the Yushenfu Coal Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(12): 1408-1414.
- [4] 彭建,蒋一军,吴健生,等.我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J].地理科学进展,2005,24(2):38-48.
Peng Jian, Jiang Yijun, Wu Jiansheng, et al. Eco-environmental effects of mining and related land reclamation technologies in China[J]. Progress in Geography, 2005, 24(2): 38-48.
- [5] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [EB/OL]. <http://www.cc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>. 2007-04-2010-12-05.
- [6] Carras J N, Day S J, Saghafi A, et al. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia[J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 78(2): 161-168.
- [7] 王继仁,陈启文,邓存宝,等.煤自燃生成甲烷的反应机理[J].煤炭学报,2009,34(12):1660-1664.
Wang Jiren, Chen Qiwen, Deng Cunbao, et al. Reaction mechanism of coal spontaneous combustion producing methane[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1660-1664.
- [8] 梁运涛,罗海珠.煤低温氧化自热模拟研究[J].煤炭学报,2010,35(6):956-959.
Liang Yuntao, Luo Haizhu. An experimental modeling of coal self-heating under low temperature oxidation conditions[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 956-959.
- [9] 陈晓坤,易欣,邓军.煤特征放热强度的实验研究[J].煤炭学报,2005,30(5):623-626.
Chen Xiaokun, Yi Xin, Deng Jun. Experiment study of characteristic self-heating intensity of coal[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(5): 623-626.
- [10] Zhang Jianzhong, Kuenzer C. Thermal surface characteristics of coal fires 1 results of in-situ measurements[J]. Journal of Applied Geophysics, 2007, 63(3-4): 117-134.
- [11] 武建军,刘晓晨,蒋卫国,等.新疆地下煤火风险分布格局探析[J].煤炭学报,2010,35(7):1147-1154.
Wu Jianjun, Liu Xiaochen, Jiang Weiguo, et al. Spatial analysis of risk for underground coal fire in Xinjiang, China[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(7): 1147-1154.
- [12] 蒋卫国,武建军,顾磊,等.基于遥感技术的乌达煤田火区变化监测[J].煤炭学报,2010,35(6):964-968.
Jiang Weiguo, Wu Jianjun, Gu Lei, et al. Change monitoring in Wuda coalfield fire area based on remote sensing[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 964-968.
- [13] 陈云浩,李京,杨波,等.基于遥感和GIS的煤田火灾监测研究——以宁夏汝箕沟煤田为例[J].中国矿业大学学报,2005,34(2):226-230.
Chen Yunhao, Li Jing, Yang Bo, et al. Monitoring coal fires based on remotely sensed data and GIS technique in coalfields: a case study of Rujigou coal field in Ningxia, China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(2): 226-230.
- [14] 樊文华,李慧峰,白中科,等.黄土区大型露天煤矿煤矸石自燃对复垦土壤质量的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):319-324.
Fan Wenhua, Li Huifeng, Bai Zhongke, et al. Effect of gangue spontaneous combustion on reclaimed soil quality of large-scaled open-cast mine in loess area[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 319-324.
- [15] 白中科,赵景遵,李晋川,等.大型露天煤矿生态系统受损研究——以平朔露天煤矿为例[J].生态学报,1999,19(6):870-875.
Bai Zhongke, Zhao Jingui, Li Jinchuan, et al. Ecosystem damage in a large opencast coal mine: a case study on Pingshuo Surface Coal Mine, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(6): 870-875.
- [16] 叶宝莹,白中科,孔登魁,等.安太堡露天煤矿土地破坏与土地复垦动态变化的遥感调查[J].北京科技大学学报,2008,30(9):972-976.
Ye Baoying, Bai Zhongke, Kong Dengkui, et al. Dynamic change of land destroy and reclamation on ATB opencast coal mine[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 30(9): 972-976.
- [17] 魏忠义,白中科.露天矿大型排土场水蚀控制的径流分散概念及其分散措施[J].煤炭学报,2003,28(5):486-490.
Wei Zhongyi, Bai Zhongke. The concept and measures of runoff-dispersing on water erosion control in the large dump of opencast mine[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(5): 486-490.
- [18] Jiménez-muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving landsurface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): ACL2-1-9[doi: 10.1029/2003JD003480].
- [19] Sobrino J A, Jiménez-muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [20] Jiménez-muñoz J C, Sobrino J A. Error sources on the land surface temperature retrieved from thermal infrared single channel remote sensing data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(5): 999-1014.
- [21] Valor E, Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American Areas[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 57(3): 167-184.