

热红外遥感浙江地表热环境分布研究

吴文渊^{1,2}, 金城¹, 庞毓雯¹, 赵丽佳¹, 宋瑜^{1,2},
胡潭高^{1,2}, 张登荣^{1,2}, 徐俊锋^{1,2}

1. 杭州师范大学理学院, 杭州 310036;

2. 杭州师范大学 浙江省城市湿地与区域变化研究重点实验室, 杭州 311121

摘要: 全球气候变暖与人类息息相关, 研究发现不仅是城市的热岛效应引起了局部区域的地表热环境分布差异, 很多地质构造、岩性、土壤、植被等地质及自然地理因素也有影响。本研究选取浙江省作为研究区, 利用 Landsat 8 OLI/TIRS 遥感影像反演地表温度, 分析冬季地表热环境分布及其影响因子。结果表明, 断裂带附近地表热环境受到断裂带分布影响; 岩石和土壤通过不同的地表覆被类型影响地表温度。地表热环境分布与断裂带等自然因素存在一定相关性。

关键词: 热红外遥感, 地表热环境, 断裂带

引用格式: 吴文渊, 金城, 庞毓雯, 赵丽佳, 宋瑜, 胡潭高, 张登荣, 徐俊锋. 2019. 热红外遥感浙江地表热环境分布研究. 遥感学报, 23(4): 796–808

Wu W Y, Jin C, Pang Y W, Zhao L J, Song Y, Hu T G, Zhang D R and Xu J F. 2019. Distribution characteristics of surface thermal environment in Zhejiang province based on thermal infrared remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 23(4): 796–808 [DOI:10.11834/jrs.20197339]

1 引言

全球气候变暖与人类息息相关, 地表热环境分布格局及其影响因素的研究较为重要。近年来的研究发现不仅仅是城市的热岛效应引起了局部区域的地表热环境异常, 很多地质构造、岩性、土壤、植被等地质及自然地理因素对地表热环境也有很大的影响(卢善龙等, 2008, 2009; Wu等, 2012a, 2012b)。断裂带在地热系统中因为高渗透性而起到重要的导热作用, 并在地表指示相应的地热系统(Hanano, 2000; Prol-Ledesma, 2000; Noorollahi等, 2008), 断裂带附近6 km内可以用于评估潜在的地热区域(Noorollah等, 2007; Yousefi等, 2007)。遥感技术也越来越多应用到评估地表温度和地表热环境异常中(Lee, 1978; Allis等, 1999; Coolbaugh等, 2007)。当然, 在遥感技术提取的地表热环境分布研究中, 研究工作通

常利用遥感定量反演和GIS空间分析方法分析地表热环境与土地利用类型(谢苗苗等, 2008)、植被覆盖度(Raynolds等, 2008)、人类活动(霍飞和陈海山, 2010)等因素的定量关系, 但大多研究集中在研究城市热环境分布方面(王莹, 2013; 姜荣, 2016), 较少研究自然背景下地表热环境分布影响因素。然而, 地质及自然地理因素对地表热环境的影响不容忽视, 同时影响机制复杂, 干扰因素较多。部分工作去除建筑区、水体等干扰因素并分析了部分地质因素对地表热环境影响。卢善龙(2008)以金衢盆地作为研究区, 利用热红外遥感影像, 去除地表干扰信息, 建立了尺度分析法, 增强了地表热环境热信息, 并发现盆地内部相关断裂带与地表热环境分布有一定联系; Wu等(2012a, 2012b)在金衢盆地及四川邛崃地区定量统计了相关断裂带附近热红外异常影响范围, 建立断裂两侧距离与地表温度的统计学回归模型, 证明地表热环境

收稿日期: 2017-08-19; 预印本: 2018-03-14

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41402304); 浙江省自然科学基金(编号: LQ13D020002)

第一作者简介: 吴文渊, 1984年生, 女, 讲师, 研究方向为遥感信息提取及地学应用。E-mail: wwyzju@qq.com

通信作者简介: 金城, 1995年生, 男, 研究方向为遥感信息提取及地学应用。E-mail: wxsyx702jc@163.com

中的热高温异常与断裂空间位置之间的具有一定相关性。但是研究表明,去除干扰因素之后的地表热环境分布,不仅与构造因素相关,也还与其他因素相关。本文以浙江省为例,选取了浙南、浙北两个研究区,分析影响地表热环境分布的各类地质及自然地理环境因素,工作中利用 Landsat 8 OLI/TIRS 的热红外遥感影像反演地表温度,去除地表热环境中的人为干扰因素,增强地质及地理等自然信息对研究区地表热环境的影响,并结合相应的浙江省地质及地理信息,分析相关地质及地理自然要素分布对地表热环境的影响,为利用热红外遥感进行地热勘探和生态环境监测提供科学依据。

2 研究区概况及数据

研究区位于浙江省南部地区(119°12'—120°21'E, 28°06'—29°24'N)、北部地区(119°21'—120°46'E, 29°36'—30°49'N),范围涵盖了湖州、嘉兴、杭州、绍兴、金华、衢州、丽水7个地级市(图1)。

浙江省境内发育了一系列北东、北西、近东西向的断裂(图2),其中北东向断裂包括江山—绍兴深断裂、丽水—余姚深断裂、马金—乌镇深断裂、球川—萧山深断裂、鹤溪—奉化大断裂、泰顺—黄岩大断裂、温州—镇海大断裂;北西向包括淳安—温州大断裂、松阳—平阳大断裂、孝丰—三门湾大断裂、长兴—奉化大断裂;近东西向包括湖州—嘉兴大断裂、昌化—普陀大断裂、衢州—天台大断裂。

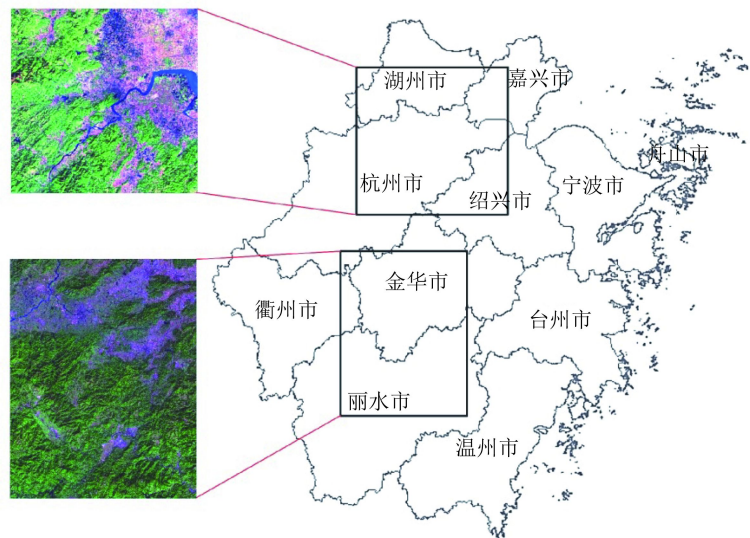


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of study area

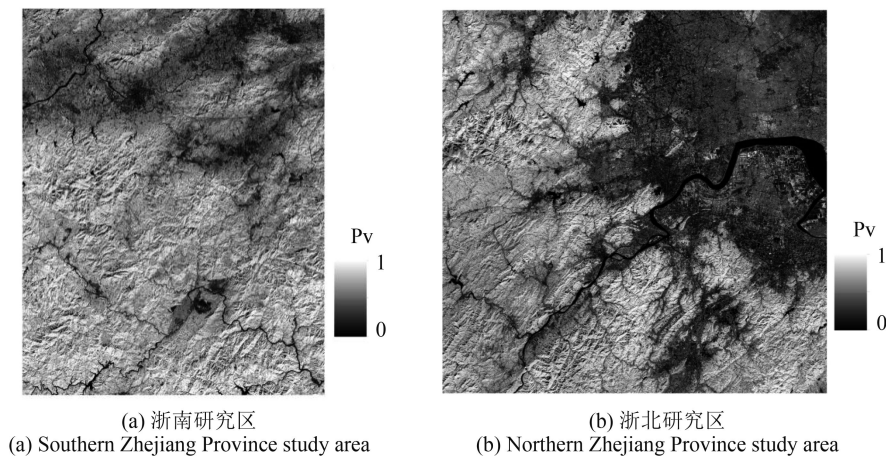


图2 植被覆盖度分布图

Fig. 2 Distribution of vegetation coverage

浙江省境内地形构成复杂土壤类型繁多, 主要包含了人为土、盐成土、潜育土、雏形土、新成土6个土纲, 和紫色土、粗骨土、石灰岩土、潮土、盐土、黄壤、红壤、黄红壤、棕红壤、水稻土10个土类。其中黄红壤分布最为广泛; 盐土多发育在滨海地区; 潮土是早作土壤, 耕性较好, 盛产粮棉; 水稻土是重要的耕作土壤; 其间多为林区发育的紫色土、粗骨土、黄壤、红壤等。

浙江省的岩性以江山—绍兴断裂带为分界线两侧差异明显, 在西北地区, 大多是古老的沉积岩层和变质岩层; 而东南地区主要出露中生代火山岩。

浙江省内植被覆盖率较高, 自然植被以常绿阔叶林为主, 农田以水稻为主。省内河流交错, 湖泊众多, 发育有8大水系, 其中钱塘江是浙江省境内最大的河流, 浙北地区分布有苕溪水系, 浙南地区有瓯江水系。

本研究选取了Landsat 8 OLI/TIRS多光谱及热红外影像和ASTER影像GDEM高程数据影像完成相应的工作, 并使用相应的ASTER影像和SPOT-5等高分辨率影像用于局部研究区的定位精度及分类精度评估。研究中选取了2013年12月和2014年12月的两景图幅行列号为119-039、119-040的Landsat 8 OLI/TIRS的遥感影像数据, 分别覆盖两个研究区。通过辐射校正获得了区域的影像反射率数据, 用于后期的NDVI等遥感自然因子的获取, 并对研究区多光谱影像剪裁和镶嵌。而Landsat 8 OLI的热红外波段影像用于反演研究区的LST(地表温度信息), 从而获得的地表热环境分布图件及热异常信息。Landsat 8 OLI多光谱波段用于提取土地覆盖类型、植被指数、城镇指数和水体指数, 以去除干扰信息获得地表热异常, 并且评估浙江省地表热环境的影响因素。

3 地表热环境分析方法

3.1 地表温度反演方法

3.1.1 辐射传输方程法

Landsat系列卫星热红外数据一直是利用遥感手段反演地表温度时重要的数据源(胡德勇等, 2015)。应用Landsat数据反演地表温度的方法主要包括: 辐射传输方程法、基于影像的反演算法、

单窗算法和单通道算法(Artis和Carnahan, 1982; Qin等, 2001; Jiménez-Muñoz和Sobrino, 2003; Sobrino等, 2004), 其中各有优劣(丁凤和徐涵秋, 2008)。其中辐射传输方程法是地表温度反演理论的基础, 能够被应用于任何传感器上的热红外遥感数据(毛克彪等, 2007; 杨学森, 2015), 并且由于Landsat 8卫星过境时的实时大气剖面数据可通过NASA官网查询获得, 本文选择辐射传输方程法(毛克彪和覃志豪, 2004)进行地表温度的反演。其基本原理基于辐射传输方程模型, 即

$$B_i(T_i) = \tau_i [\varepsilon_i B_i(T_s) + (1 - \varepsilon_i) L_i^\downarrow] + L_i^\uparrow \quad (1)$$

式中, $B_i(T_i)$ 为星上辐亮度, T_i 为对应的亮温值, τ_i 为大气透过率, ε_i 为地表比辐射率, T_s 为地表温度, $\varepsilon_i B_i(T_s)$ 为地表辐射能量值, $L_i^\downarrow$ 表示大气下行辐射, $L_i^\uparrow$ 表示大气上行辐射(杨学森, 2015)。根据影像的成像时间和中央经纬度, 可在NASA官网获取相应的 τ_i 、 $L_i^\downarrow$ 和 $L_i^\uparrow$ 。

T_s 利用普朗克公式的反函数, 根据温度为 T_s 的黑体在热红外波段的辐射亮度求取真实地表温度 T_s

$$T_i = K_2 / \ln(1 + K_1 / B_i(T_s)) \quad (2)$$

式中, K_1 和 K_2 可在影像头文件中获得: $K_1=774.89W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$, $K_2=1321.08 K$ 。 $B_i(T_s)$ 为黑体在热红外波段的辐射亮度值。

3.1.2 地表比辐射率计算

地表比辐射率的获取是整个地表温度反演中非常重要的环节, 国内外学者就如何更好的估算地表比辐射率值进行了大量研究(Becker和Li, 1995; Sobrino等, 2001; 张仁华, 1999; 张霞等, 2000)。覃志豪等(2004)以单个像元为基准, 将地表分为水面、城镇、自然表面。其中水面结构简单, 赋予水体像元以水体的典型比辐射率值0.995; 城镇包括城区、郊区、道路、工业用地等; 自然表面包括耕地、裸地、林地、山地等植被覆盖度较大区域。本研究所选研究区内地类复杂, 仅利用NDVI计算地表比辐射率不够精确, 故选择采取该方法计算研究区地表比辐射率: 水体像元的比辐射率赋值为0.995, 自然表面像元可看成由植被冠层和裸土组成的混合像元, 城镇像元可看成由建筑物与植被组成的混合像元(丁凤和徐

涵秋, 2006), 两者的比辐射率估算则分别根据下式(3)、(4)进行计算

$$\varepsilon_{\text{surface}} = 0.9625 + 0.0614P_v - 0.0461P_v^2 \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\text{building}} = 0.9589 + 0.0860P_v - 0.0671P_v^2 \quad (4)$$

式中, $\varepsilon_{\text{surface}}$ 表示自然表面像元的比辐射率, $\varepsilon_{\text{building}}$ 表示城镇像元的比辐射率。

采用混合像元分解法计算植被覆盖度 P_v (图2), 将影像大致分为3个地类: 水体、植被和建筑, 具体的计算公式如(5)

$$P_v = \frac{(\text{NDVI} - \text{NDVI}_s)}{(\text{NDVI}_v + \text{NDVI}_s)} \quad (5)$$

式中, NDVI表示归一化植被指数, NDVI_v 表示植

被的NDVI值, NDVI_s 表示裸土的NDVI值。当难以区分研究区内植被与土壤的光谱贡献量或不存在完全植被覆盖区和裸土覆盖区时, 则应取 $\text{NDVI}_v=0.70$, $\text{NDVI}_s=0.05$ 来对植被覆盖度进行近似估计(杨学森, 2015)。并且当NDVI大于0.70时, P_v 赋值为1, 当NDVI小于0.05, P_v 赋值为0。

通过上述步骤反演得到浙南研究区、浙北研究区的地表温度数据(图3)。由于研究区内地物类型复杂, 城镇建筑用地、村庄、道路等人为因素造成区域高温。河流、水库、湿地等灌溉区域以及山体阴影往往易造成区域低温。这些因素对自然地表温度场的分析造成了干扰, 因此需要先进行去除。

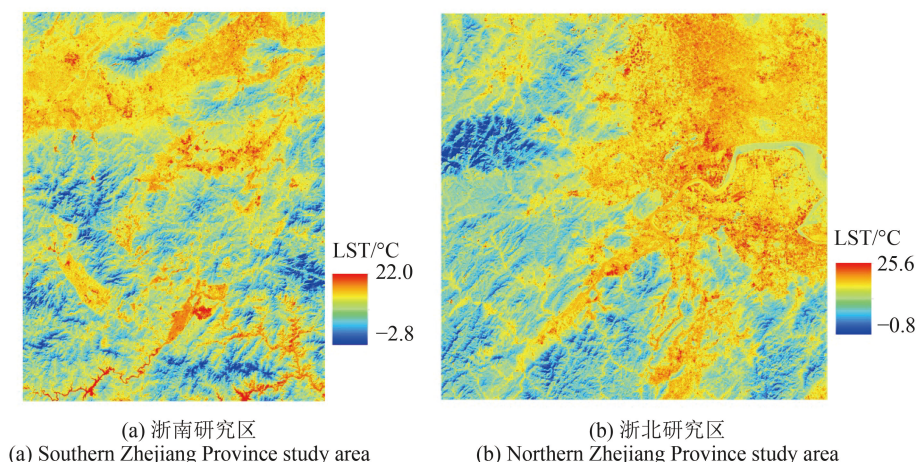


图3 辐射传输方程法反演的地表温度分布图

Fig. 3 Distribution of land surface temperature inverted via radiative transfer equation method

3.1.3 干扰因素的去除

为将干扰信息去除, 首先需通过对影像的分类提取出干扰因素分布区域。鉴于植被指数NDVI、水体指数MNDWI、城镇指数NDBI分别对植被、水体、建筑具有明显的指示性作用(叶琦等, 2012; 徐涵秋, 2005; 陈志强和陈健飞, 2006), 本研究采用最大似然分类方法对遥感影像进行分类, 在分类影像中加入了植被指数NDVI、水体指数MNDWI、城镇指数NDBI等波段, 共计分成水体、农田、林地、山体阴影、城镇建筑用地、裸露地6个大类。结合SPOT-5影像, 利用混淆矩阵法对分类结果进行精度验证, 分类结果中, 119—039影像分类精度为90.83%, Kappa系数为0.87, 119—040影像分类精度为90.90%, Kappa系

数为0.89, 具有较高的分类精度。

然后通过掩膜方式, 将水体、城镇建筑用地、裸露地区域等高温低温干扰区去除。此时影像变得破碎, 难以形成对整个区域的整体认识, 因此需要对已去除干扰偏大的区域温度值进行空间插值。

3.1.4 尺度分析插值法

对于影像破碎区填补方法的研究, 根据分析尺度大小对影像采样, 用克里金插值算法对样本点进行插值处理。本研究参考卢善龙等(2008, 2009)提出的尺度分析插值法, 通过使用300 m×300 m的尺度窗口卷积获得窗口均值, 并将均值赋为样本点的属性值, 并采用克里金插值方法进行

插值计算处理, 获得了连续完整的地表热分布。

3.2 地表热环境影响因素的分析方法

采用分段均值法探究断裂带与地表热异常区分布的空间相关性, 即选择断裂带两侧一定范围为分析区域, 以断裂带为中心, 向两侧分别建立等间距的平行线, 以此对分析区域作等间距划分, 计算平行线上所包含像元的平均温度。实验中在每条断裂带两侧分别建立500 m等间距, 总宽度达15 km的平行线段, 并统计每条线段上对应点的平均温度值, 通过绘制平均地表温度随距离变化的曲线, 来定量描述断裂带与地表温度场的关系。

将地表热分布图与土壤、岩性、NDVI分布图等图件叠加分析, 利用线性回归分析方法描述岩

石、土壤和地表植被覆盖对地表热环境的影响。

4 结果及分析

4.1 断裂带对地表热环境影响分析

通过断裂带与地表热图件的叠加(图4), 可以看出, 沿部分断裂带附近有地表热异常区域分布, 地表热异常条带展布方向大致与断裂走向一致, 少数地表热高温异常区分布稍有偏移, 但平移之后大致沿断裂走向方向分布。通过定量统计分析, 得到了研究区内所有断裂带两侧15 km范围内平均地表温度与平均距离关系曲线图(图5—图6)。将与断裂带走向垂直的方向作为曲线所绘方向, 横坐标轴零点表示断裂带中心位置, 横坐标正负方向为垂直断裂带走向的相应方向。

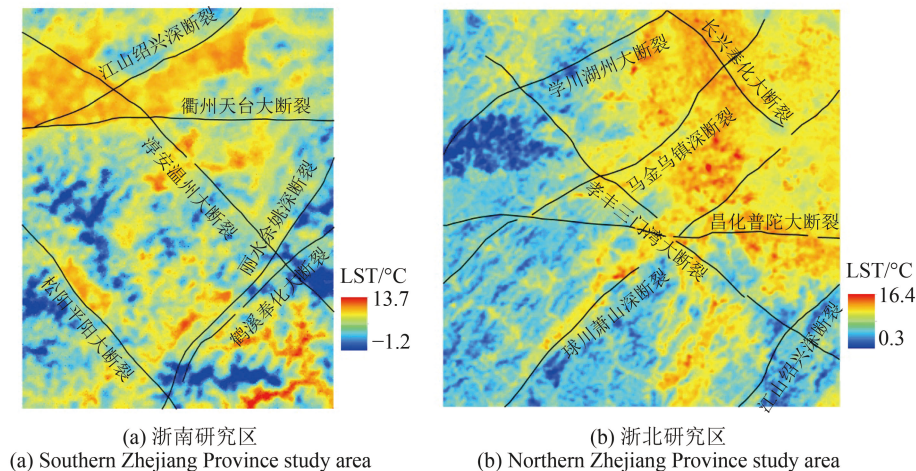


图4 断裂带与地表热分布叠加图

Fig. 4 Superimposition of fault zones and the distribution of land surface thermal environment

从图中可以得出以下结论: (1)断裂带附近地表热信息高温异常区域分布走向大致沿断裂带走向分布方向(图4), 如图4(b)中地表热环境高温异常区走向沿着北东向的球川—萧山深断裂走向展布, 少数地表热高温异常区中心线较断裂带中心线有所偏移, 但走向仍能基本保持一致; (2)不同断裂带分布对地表的热异常分布的影响范围不同, 其中最大增温幅度可达1.5 °C, 最大影响范围在两侧跨度可达20 km左右, 浙南研究区断裂带中, 淳安—温州大断裂(图5(a))影响范围约为左右各10 km, 江山—绍兴深断裂(图5(c))影响范围约为左侧5 km左右, 右侧15 km左右, 衢州—天台大断

裂(图5(e))影响范围约为左右各5 km, 松阳—平阳大断裂(图5(f))影响范围约为左侧5 km左右, 右侧15 km左右, 浙北研究区断裂带中, 昌化—普陀大断裂(图6(a))影响范围约为左右各5 km, 球川—萧山深断裂(图6(c))影响范围约为左右各10 km, 长兴—奉化大断裂(图6(f))影响范围约为左右各10 km; (3)断裂带的走向相近或者交汇易对地表增温形成协同效应, 在温度距离图中表现为“W”型曲线, 如图5(b)浙南研究区的鹤溪—奉化大断裂影响范围两侧各约5 km, 影响范围内离断裂带越近高温异常越明显, 而影响范围外受其北西方向上丽水—余姚深断裂影响, 又如图6(b)浙北研究区的马金—乌

镇深断裂影响范围分布左侧约12 km, 右侧约5 km, 在影响范围之外又受到其他相邻断裂带影响; (4) 异向断裂带交错区易形成片状地热异常区, 如图4(a)、图4(b)中浙南、浙北研究区内均存在数条异向断裂带交错区, 该区域地表温度较周

围区域更高, 形成了面状的“热异常平台”。而以往地质研究也表明, 浙江省内高热流值区域受断裂带分布影响, 并主要沿深大断裂带边缘及交汇处分布(卢善龙等, 2008)。

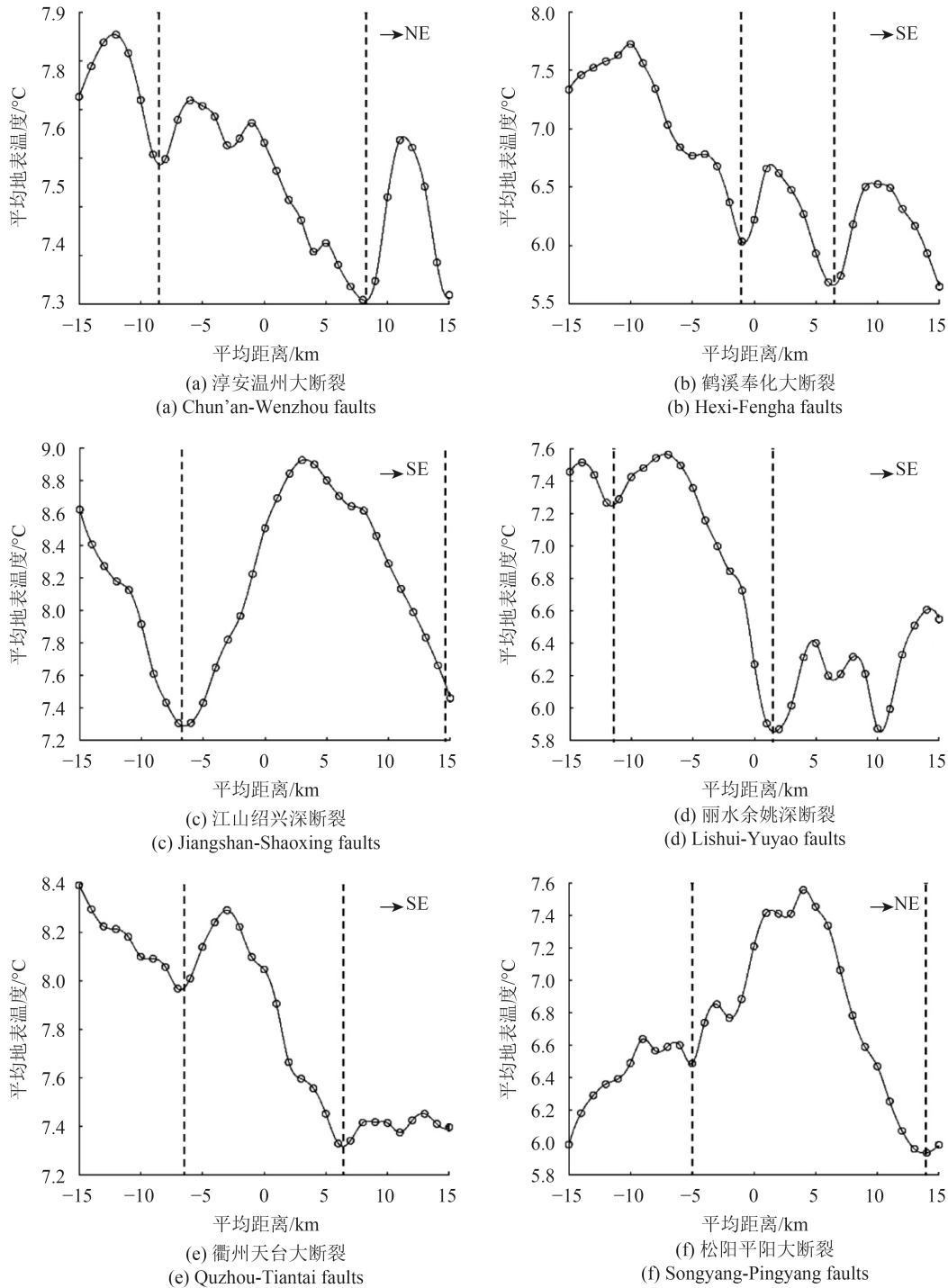


图5 浙南研究区内断裂带两侧15 km范围内平均地表温度与平均距离的关系曲线

Fig. 5 Relation curve of the average land surface temperature and the average distance within the 15 km range of faults zones in southern Zhejiang Province study area

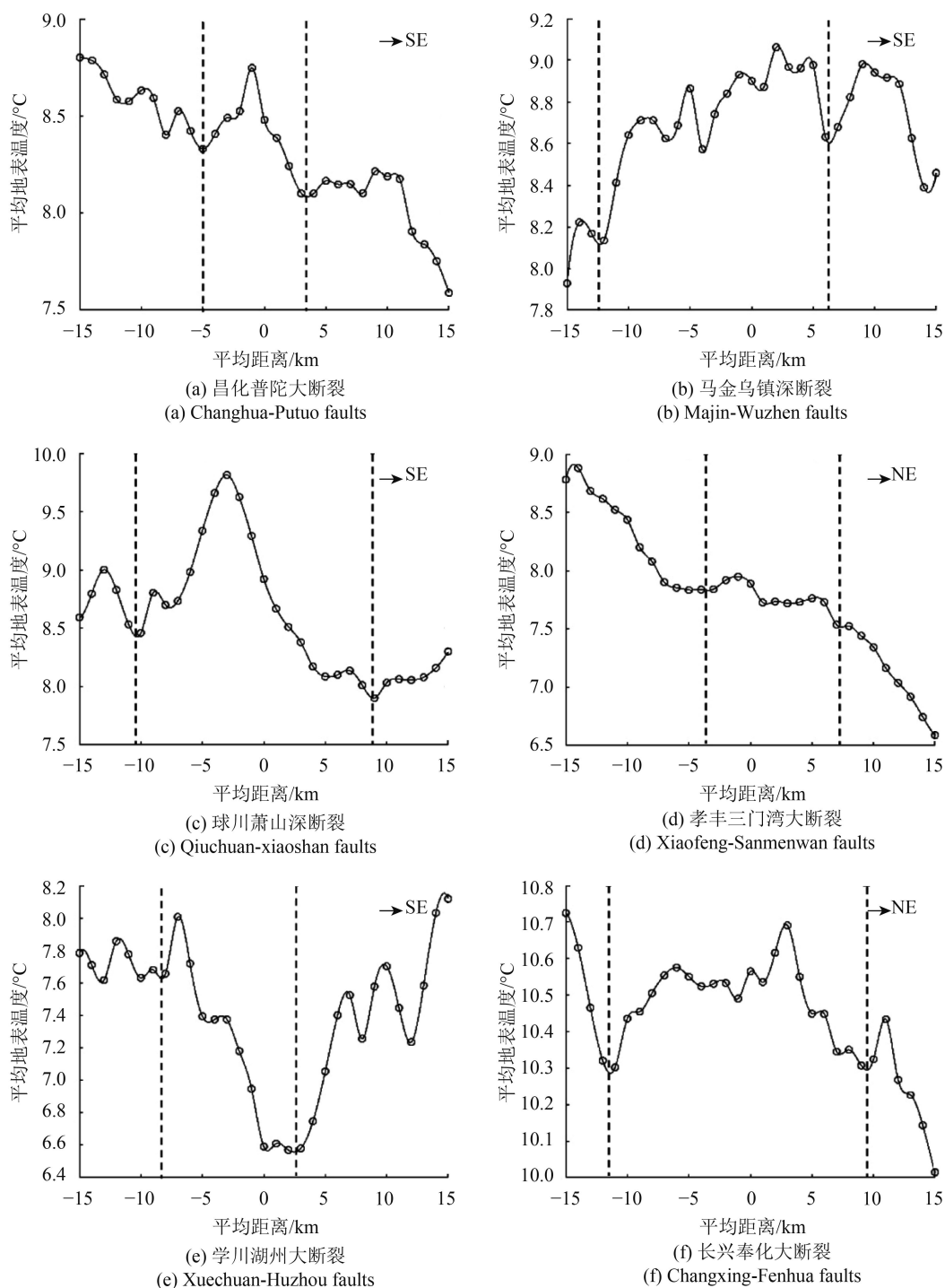


图6 浙北研究区内断裂带两侧15 km范围内平均地表温度与平均距离的关系曲线

Fig. 6 Relation curve of the average land surface temperature and the average distance within the 15 km range of faults zones in northern Zhejiang Province study area

4.2 地表植被覆盖、岩石、土壤对地表热环境影响分析

植被覆盖度是指单位面积中植被垂直投影面积所占的百分比(Gitelson 等, 2002), 反映陆地表面积植被生长动态变化, 作为影响地球系统水、碳

循环, 物质和能量交换过程的关键地学因子(瞿瑛等, 2010), 应用于植被覆盖与地表温度格局相关性研究(Weng 等2004; 张小伟 等, 2010)。研究表明, 浙南研究区主要以山区为主, 植被发育茂盛, 区内植被覆盖度68.5%; 浙北研究区以河流水网密布为特征, 主要分布农田和林地, 区内植被

覆盖度45.3%。

对区内植被覆盖度与地表热信息进行了分级统计(表1),并对全区点的地表热信息和植被覆盖度进行了相关性分析,结果显示相关系数分别为0.252和0.699,通过了显著性检验,说明植被覆盖度对地表热环境有一定的影响。结果表明:(1)浙南、浙北两个研究区地表温度与植被覆盖度呈显著负相关,即随着植被覆盖度的增加,地表植被增多,植被蒸腾作用增强,地表热环境降温。(2)而当植被覆盖度大于0.45时,随着植被覆盖度的上升,降温幅度明显减弱,意味着植被到达一定数量后,蒸腾作用为地表降温的效率减缓。(3)两个研究区地势地貌有区别,地表覆被类型有区别,但是总体变化趋势基本一致。

表1 植被覆盖度与地表温度统计表

Table 1 Statistical of vegetation cover and land surface temperature

植被覆盖度	浙南研究区地表 平均温度/℃	浙北研究区地表 平均温度/℃
0.00—0.15	9.30	10.70
0.15—0.30	8.38	9.84
0.30—0.45	7.59	7.75
0.45—0.60	7.38	6.39
0.60—1.00	7.16	6.19

研究区内岩石和土壤不同,使得区内形成不同的地貌类型和地物类型,种植了不同的植被和作物,从而进一步影响地表温度。

区内岩石和土壤的分布本身具有一定的相关性,土壤的化学组成具有岩石背景和成土母质的特性(张志华等,2003)。研究区内燕山期中酸性岩浆活动发育,出露岩浆岩分布广数量多,分别占到研究区岩层总面积的87.41%(表2)、56.47%(表3)。这些火成岩中,中酸性偏多,中性基岩偏少(张旗等,2009)。研究区内黄红壤出露最多,黄红壤是一种黄壤向红壤过度的土壤形态,一般出露在气候温凉湿润的山区,其成土母质主要为花岗岩、砂岩、中酸洗岩浆岩的风化物,水热条件较好,植被长势茂盛,植被覆盖度较高。其次,出露黄壤较多,在气候较湿润的山区,其成土母质主要为第四纪红色黏土和紫红色砂岩风化物,但土壤湿度低于黄红壤,日照度低于黄红壤区,土层上植被主要为亚热带常绿阔叶林,阔叶落叶混

交林。再次,还有多分布于低山丘陵区红壤,其成土母质多为第四纪红热黏土、花岗岩等,水热条件相当优越,植被作物生长最为旺盛,在研究区分布较少。此外,低山丘陵中还分布部分红壤性土,其成土母岩包括花岗岩、流纹岩、砂岩、页岩等,植被主要为南亚热带季雨林,区内少量分布于天台县等区域。研究区坡度大、切割深的山丘地区还有粗骨土,土体浅薄,土层松散,细土物质少,沙粒含量高,缺乏有机质,保水性差,不利于植被生长。另外,区内还广泛分布水稻土,作为在自然土壤上发育而来,并经过水耕熟化、淹水种稻而形成的人为耕作土壤,具有较高的碳密度较高,固碳潜力较大(潘根兴和赵其国,2005;潘根兴等,2003;Pan等,2004;吴博文和刘汉生,2015),主要分布在浙北研究区内的杭嘉湖平原,水源充足,土壤肥沃,有利于水稻生长。

研究区内不同的岩石类型的风化过程、成土作用和空间分布,影响土壤类型、成分和空间分布。由于地表环境复杂多样,如水文、太阳辐射、降水条件等,也都对土壤的成分和分布产生差异。由于土壤的变化,使地表植被的形态多样,作物类型不同,或植被根本无法生长,这都间接影响地表形态,从而使地表热格局发生变化。

由于岩石和土壤相比较,土壤位于地表,更为直观地与地表热环境分布相关,工作中对研究区的土壤与地表热信息对应统计(表2、表3),并进行了一元线性回归分析。根据上述表中的统计结果,按平均温度高低依次对土壤类型进行赋值。对浙南研究区内的黄壤、粗骨土、黄红壤、红壤、紫色土、潴育水稻土分别赋值为1—6,对浙北研究区内的黄壤、黄红壤、渗育水稻土、滨海盐土、潮土、脱潜水稻土分别赋值为1—6。将浙南研究区和浙北研究区的土壤类型与温度进行相关性分析,结果显示相关系数分别为0.533和0.617,通过了显著性检验,说明土壤和地表温度之间有一定相关性。结果显示,滨海盐土区域地表热环境相对高温,可能是由于该土类含盐量较高,不利于植被生长。而研究区中的潮土、水稻土等区域内相对高温,推测是由于该土类秋冬保温性能较好。

表2 浙南研究区内土壤类型与地表热信息统计表

Table 2 Statistical of soil types and land surface thermal information in southern Zhejiang Province study area

土壤类型	最低温度/℃	最高温度/℃	平均温度/℃
黄红壤	1.826	13.745	7.138
粗骨土	-1.160	11.636	6.742
黄壤	-1.249	9.853	5.013
紫色土	3.979	10.368	7.962
潯育水稻土	4.488	11.173	8.607
红壤	2.521	10.405	7.663

表3 浙北研究区内土壤类型与地表热信息统计表

Table 3 Statistical of soil types and land surface thermal information in northern Zhejiang Province study area

土壤类型	最低温度/℃	最高温度/℃	平均温度/℃
黄红壤	1.189	13.398	6.656
黄壤	0.306	8.906	4.740
滨海盐土	7.642	11.803	9.761
渗育水稻土	4.269	13.197	9.610
脱潜水稻土	6.654	12.950	10.104
潮土	6.433	16.420	9.965

4.3 断裂带、地表植被覆盖与土壤对地表热环境的综合影响分析

为了评估断裂带、地表植被覆盖与土壤对地表热环境的综合影响,研究中采用多元线性回归分析方法来分析。在浙南研究区选择了江山绍兴深断裂,在浙北研究区选择了球川萧山大断裂作为典型断裂带进行分析。但由于断裂带两侧温度与距离曲线(图5(c)和图6(c))显示,断裂带的异常峰值一般会与中心有所偏移,为了更好进行统计分析,在评估断裂带对地表热环境综合影响过程中将设定距离的相对中心偏移至热异常峰值位置。江山绍兴深断裂热异常峰值沿南东向偏移了4.7 km,球川萧山大断裂热异常峰值沿北西向偏移了3.3 km。根据两条断裂带的影响范围,以0.5 km为间距,在断裂带热异常峰值中心两侧建立15 km的缓冲区,对应相应断裂带的异常影响宽度。在缓冲区内,统计每个点的断裂带距离、植被覆盖度和土壤类型与地表温度之间的关系,其中将地表温度作为因变量,断裂带距离、植被覆盖度和土壤类型分别为自变量。多元线性回归分析得

到的回归方程为

$$T_s = 6.967 - 1.453F_{v_s} + 0.550S_s - 0.087D_s \quad (6)$$

$$T_n = 9.214 - 3.632F_{v_n} + 0.459S_n - 0.083D_n \quad (7)$$

式中, T_s 为浙南研究区地表温度, F_{v_s} 为浙南研究区植被覆盖度, S_s 为浙南研究区土壤类型, D_s 为浙南研究区点与断裂带的距离; T_n 为浙北研究区地表温度, F_{v_n} 为浙北研究区植被覆盖度, S_n 为浙北研究区土壤类型, D_n 为浙北研究区点与断裂带的距离。回归方程的复相关系数 R 分别为0.786和0.739,且3个因子均通过了显著性检验。

结果显示,地表植被覆盖、土壤类型、点与断裂带之间距离对地表热环境分布有一定的影响;植被覆盖度的增加会减缓地表热环境的高温形成,土壤类型的不同对地表热环境有不同的增温或者降温效应,而断裂带则会使得两侧地表热环境温度增加。

5 结 论

地表热环境分布与深大断裂带的分布以及自然环境都存在一定的相关性,本研究基于Landsat 8 OLI/TIRS遥感影像,利用辐射传输方程反演得到了浙江省地表温度,并将干扰区域剔除后利用尺度分析插值法得到了浙江省地表热环境分布图。并初步探讨了深大断裂带、植被覆盖度和土壤岩性等地质地理因子对地表热环境的影响。

结果显示,分段均值法可用于研究断裂带与地表热环境之间的关系,并能有效获取断裂带对地表热异常的影响范围。断裂带对其附近自然表面的地表热环境有一定的影响,在断裂带两侧一定范围内热环境呈现高温异常区,断裂带交汇处出现更为明显的热异常。

岩性、土壤通过影响土壤地表的湿度、生物条件等,影响地表植被的长势及适应度,进而影响植被对区域小气候的调节作用,从而对地表热环境有所影响。植被覆盖度和土壤类型的不同,会对地表热环境有不同的降温或者增温效应。

本研究可为地热资源远景勘探和生态环境监测提供技术应用参考。关于断裂带、岩性与土壤影响地表热环境分布的深层机理仍需要后期进行深入研究和探讨,进而通过去除其他相关因素对地表热环境的影响,更加精确地探究单一影响因子对地表热环境分布的影响。

参考文献(References)

- Allis R G, Nash G D and Johnson S D. 1999. Conversion of thermal infrared surveys to heat flow: comparisons from Dixie Valley, Nevada, and Wairakei, New Zealand. *Geothermal Resources Council Transactions*, 23: 499–504
- Artis D A and Carnahan W H. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4): 313–329 [DOI: [10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)]
- Becker F and Li Z L. 1995. Surface temperature and emissivity at various scales: definition, measurement and related problems. *Remote Sensing Reviews*, 12(3/4): 225–253 [DOI: [10.1080/02757259509532286](https://doi.org/10.1080/02757259509532286)]
- Chen Z Q and Chen J F. 2006. Investigation on extracting the space information of urban land-use from high spectrum resolution image of ASTER by NDBI method. *Geo-Information Science*, 8(2): 137–140 (陈志强, 陈健飞. 2006. 基于NDBI指数法的城镇用地影像识别分析与制图. *地球信息科学*, 8(2): 137–140) [DOI: [10.3969/j.issn.1560-8999.2006.02.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1560-8999.2006.02.026)]
- Coolbaugh M F, Kratt C, Fallacaro A, Calvin W M and Taranik J V. 2007. Detection of geothermal anomalies using advanced space-borne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, 106(3): 350–359 [DOI: [10.1016/j.rse.2006.09.001](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.001)]
- Ding F, Xu H Q. 2006. Comparison of two new algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal band. *Geo-Information Science*, 8(3): 125–130 (丁凤, 徐涵秋. 2006. TM热波段图像的地表温度反演算法与实验分析. *地球信息科学*, 8(3): 125–130) [DOI: [10.3969/j.issn.1560-8999.2006.03.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1560-8999.2006.03.025)]
- Ding F, Xu H Q. 2008. Comparison of three algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal infrared band. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 24(1): 91–96 (丁凤, 徐涵秋. 2008. 基于Landsat TM的3种地表温度反演算法比较分析. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 24(1): 91–96)
- Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R and Rundquist D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 76–87 [DOI: [10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)]
- Hanano M. 2000. Two different roles of fractures in geothermal development//*Proceedings of World Geothermal Congress*. Kyushu-Tohoku, Japan: World Geothermal Congress: 2597–2602
- Hu D Y, Qiao K, Wang X L, Zhao L M and Ji G H. 2015. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared data using mono-window algorithm. *Journal of Remote Sensing*, 19(6): 964–976 (胡德勇, 乔琨, 王兴玲, 赵利民, 季国华. 2015. 单窗算法结合Landsat8热红外数据反演地表温度. *遥感学报*, 19(6): 964–976) [DOI: [10.11834/jrs.2015038](https://doi.org/10.11834/jrs.2015038)]
- Huo F and Chen H S. 2010. Numerical simulation of the effect of anthropogenic heat on UHI. *Meteorology and Disaster Reduction Research*, 33(3): 49–55 (霍飞, 陈海山. 2010. 人为热源对城市热岛效应影响的数值模拟试验. *气象与减灾研究*, 33(3): 49–55) [DOI: [10.3969/j.issn.1007-9033.2010.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9033.2010.03.008)]
- Jiang R. 2016. Spatial Temporal Variation Characteristics and its Influencing factors of Thermal Environment in the Urban Area of Shanghai. Shanghai: East China Normal University (姜荣. 2016. 上海市城区热环境时空变化特征及其影响因素研究. 上海: 华东师范大学)
- Jiménez-Muñoz J C and Sobrino J A. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22): 4688 [DOI: [10.1029/2003JD003480](https://doi.org/10.1029/2003JD003480)]
- Lee K. 1978. Analysis of thermal infrared imagery of the Black Rock Desert geothermal area. *Colorado School of Mines Quarterly*, 4(2): 31–44
- Lu S L. 2008. Numerical Environment Modeling of Jinqu Basin Based on the Geological Factors. Hangzhou: Zhejiang University: 46–48 (卢善龙. 2008. 基于地质要素的金衢盆地环境数值模型的建立. 杭州: 浙江大学: 46–48)
- Lu S L, Shen X H, Zou L J, Li C J, Zhang G F, Wu W Y, Liu Y and Zhang Z. 2009. Subsection mean method for relation analysis of the land surface temperature field and the fault: a case study of the Jiangshan-Shaoxing fault between Jinhua and Quzhou of Zhejiang Province. *Acta Geologica Sinica*, 83(2): 239–246 (卢善龙, 沈晓华, 邹乐君, 李长江, 章桂芳, 吴文渊, 刘瑛, 张重. 2009. 用于地表温度场与断裂构造关系分析的分段均值法——以江山—绍兴断裂金衢段为例. *地质学报*, 83(2): 239–246) [DOI: [10.3321/j.issn:0001-5717.2009.02.009](https://doi.org/10.3321/j.issn:0001-5717.2009.02.009)]
- Lu S L, Shen X H, Zou L J, Zhang G F, Wu W Y, Li C J and Mao Y J. 2008. Remote sensing image enhancement method of the fault thermal information based on scale analysis: a case study of Jiangshan-Shaoxing fault between Jinhua and Quzhou of Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Geophysics*, 51(5): 1484–1493 (卢善龙, 沈晓华, 邹乐君, 章桂芳, 吴文渊, 李长江, 毛燕军. 2008. 基于尺度分析的断层热信息遥感图像增强方法——以江山—绍兴断裂金衢段为例. *地球物理学报*, 51(5): 1484–1493) [DOI: [10.3321/j.issn:0001-5733.2008.05.022](https://doi.org/10.3321/j.issn:0001-5733.2008.05.022)]
- Mao K B and Qin Z H. 2004. The transmission model of atmospheric radiation and the computation of transmittance of MODTRAN. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 27(4): 1–3 (毛克彪, 覃志豪. 2004. 大气辐射传输模型及MODTRAN中透过率计算. *测绘与空间地理信息*, 27(4): 1–3) [DOI: [10.3969/j.issn.1672-5867.2004.04.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5867.2004.04.001)]
- Mao K B, Tang H J, Zhou Q B, Chen Z X, Chen Y Q and Qin Z H. 2007. Retrieving land surface temperature from MODIS data by using radiance transfer equation. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 43(4): 12–17 (毛克彪, 唐华俊, 周清波, 陈仲

- 新, 陈佑启, 覃志豪. 2007. 用辐射传输方程从MODIS数据中反演地表温度的方法. 兰州大学学报(自然科学版), 43(4): 12–17 [DOI: [10.3321/j.issn:0455-2059.2007.04.003](https://doi.org/10.3321/j.issn:0455-2059.2007.04.003)]
- Noorollahi Y, Itoi R, Fujii H and Tanaka T. 2007. GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan. *Computers and Geosciences*, 33(8): 1008–1021 [DOI: [10.1016/j.cageo.2006.11.006](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.11.006)]
- Noorollahi Y, Itoi R, Fujii H and Tanaka T. 2008. GIS integration model for geothermal exploration and well siting. *Geothermics*, 37(2): 107–131 [DOI: [10.1016/j.geothermics.2007.12.001](https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2007.12.001)]
- Pan G X, Li L Q, Wu L S and Zhang X H. 2004. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils. *Global Change Biology*, 10(1): 79–92 [DOI: [10.1111/j.1365-2486.2003.00717.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2003.00717.x)]
- Pan G X, Li L Q, Zhang X H, Dai J Y, Zhou Y C and Zhang P J. 2003. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands. *Advance in Earth Sciences*, 18(4): 609–618 (潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 代静玉, 周运超, 张平究. 2003. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题. 地球科学进展, 18(4): 609–618) [DOI: [10.3321/j.issn:1001-8166.2003.04.019](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-8166.2003.04.019)]
- Pan G X and Zhao Q G. 2005. Study on evolution of organic carbon Stock in agricultural soils of China: facing the challenge of global change and food security. *Advances in Earth Science*, 20(4): 384–393 (潘根兴, 赵其国. 2005. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全. 地球科学进展, 20(4): 384–393) [DOI: [10.3321/j.issn:1001-8166.2005.04.003](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-8166.2005.04.003)]
- Prol-Ledesma R M. 2000. Evaluation of the reconnaissance results in geothermal exploration using GIS. *Geothermics*, 29(1): 83–103 [DOI: [10.1016/S0375-6505\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(99)00051-6)]
- Qin Z, Karnieli A and Berliner P. 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18): 3719–3746 [DOI: [10.1080/01431160010006971](https://doi.org/10.1080/01431160010006971)]
- Qin Z H, Li W J, Xu B, Chen Z X and Liu J. 2004. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6. *Remote Sensing For Land and Resources*, 16(3): 28–32, 36, 41 (覃志豪, 李文娟, 徐斌, 陈仲新, 刘佳. 2004. 陆地卫星TM6波段范围内地表辐射率的估计. 国土资源遥感, 16(3): 28–32, 36, 41) [DOI: [10.6046/gtzyyg.2004.03.07](https://doi.org/10.6046/gtzyyg.2004.03.07)]
- Qu Y, Liu S H and Xia J Z. 2010. Image processing methods to determine the fractional vegetation cover of winter wheat using digital camera. *Arid Land Geography*, 33(6): 997–1003 (瞿瑛, 刘素红, 夏江周. 2010. 照相法测量冬小麦覆盖度的图像处理方法研究. 干旱区地理, 33(6): 997–1003) [DOI: [10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2010.06.023](https://doi.org/10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2010.06.023)]
- Raynolds M K, Comiso J C, Walker D A and Verbyla D. 2008. Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 112(4): 1884–1894 [DOI: [10.1016/j.rse.2007.09.008](https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.008)]
- Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C and Paolini L. 2004. Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434–440 [DOI: [10.1016/j.rse.2004.02.003](https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003)]
- Sobrino J A, Raissouni N and Li Z L. 2001. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sensing of Environment*, 75(2): 256–266 [DOI: [10.1016/S0034-4257\(00\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00171-1)]
- Wang Y. 2013. Temporal and Spatial Changes of Urban Thermal Environment Remote Sensing Research in Shenyang City. Changchun: Jilin University (王莹. 2013. 沈阳市城市热环境时空变化遥感研究. 长春: 吉林大学)
- Weng Q H, Lu D S and Schubring J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4): 467–483 [DOI: [10.1016/j.rse.2003.11.005](https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005)]
- Wu B W and Liu H S. 2015. Water and soil conservation monitoring practices and prevention effects of transmission line engineering. *Soil and Water Conservation in China*(3): 62–64 (吴博文, 刘汉生. 2015. 输电线路工程水土保持监测实践及防治效果. 中国水土保持(3): 62–64) [DOI: [10.14123/j.cnki.swcc.2015.0078](https://doi.org/10.14123/j.cnki.swcc.2015.0078)]
- Wu W Y, Zou L J, Shen X H, Lu S L, Su N and Kong F L. 2012b. Thermal anomalies associated with faults: a case study of the Jin-hua-Quzhou Basin of Zhejiang Province, China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(6): 1850–1867 [DOI: [10.1080/01431161.2011.602992](https://doi.org/10.1080/01431161.2011.602992)]
- Wu W Y, Zou L J, Shen X H, Lu S L, Su N, Kong F L and Dong Y P. 2012a. Thermal infrared remote-sensing detection of thermal information associated with faults: a case study in western Sichuan Basin, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 43(1): 110–117 [DOI: [10.1016/j.jseas.2011.08.015](https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.08.015)]
- Xie M M, Zhou W, Wang, Y L and Chang Q. 2008. Thermal environment effect of land use in urban area: a case study in Ningbo urban area. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 44(5): 815–821 (谢苗苗, 周伟, 王仰麟, 常青. 2008. 城市土地利用的热环境效应研究——以宁波城区为例. 北京大学学报(自然科学版), 44(5): 815–821) [DOI: [10.13209/j.0479-8023.2008.125](https://doi.org/10.13209/j.0479-8023.2008.125)]
- Xu H Q. 2005. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 9(5): 589–595 (徐涵秋. 2005. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 9(5): 589–595) [DOI: [10.3321/j.issn:1007-4619.2005.05.012](https://doi.org/10.3321/j.issn:1007-4619.2005.05.012)]
- Yang X S. 2015. Research on the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat8 Data. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 10–11 (杨学森. 2015. 基于单通道算法的Landsat8卫星数据地表温度反演研究. 北京: 中国地质大学(北京): 10–11)
- Ye Q, Zhao P and Sun J. 2012. Comparative analysis of vegetation coverage along the Yangtze River in Anhui Province based on MOD-

- IS/NDVI and EVI. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 21(3): 361–368 (叶琦, 赵萍, 孙静. 2012. 基于MODIS/NDVI与EVI的皖江流域植被覆盖比较分析. *长江流域资源与环境*, 21(3): 361–368)
- Yousefi H, Ehara S and Noorollahi Y. 2007. Geothermal potential site selection using GIS in Iran//*Proceedings of the 32nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA: Stanford University: 174–182
- Zhang Q, Jin W J, Li C D and Wang Y L. 2009. Yanshanian large-scale magmatism and lithosphere thinning in eastern China: relation to large igneous province. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 21–51 (张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2009. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄: 与大火成岩省的关系. *地学前缘*, 16(2): 21–51) [DOI: [10.3321/j.issn:1005-2321.2009.02.002](https://doi.org/10.3321/j.issn:1005-2321.2009.02.002)]
- Zhang R H. 1999. Some thinking on quantitative thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing for Land and Resources*, 11(1): 1–6 (张仁华. 1999. 对于定量热红外遥感的一些思考. *国土资源遥感*, 11(1): 1–6) [DOI: [10.6046/gtzyyg.1999.01.01](https://doi.org/10.6046/gtzyyg.1999.01.01)]
- Zhang X, Zhang B, Zheng L F, Tong Q X, Wang J F, Shu R and Xue Y Q. 2000. Study on the retrieval of emissivity spectra from airborne thermal infrared data. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 19(5): 361–365 (张霞, 张兵, 郑兰芬, 童庆禧, 汪骏发, 舒嵘, 薛永祺. 2000. 航空热红外多光谱数据的地物发射率谱信息提取模型及其应用研究. *红外与毫米波学报*, 19(5): 361–365) [DOI: [10.3321/j.issn:1001-9014.2000.05.009](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-9014.2000.05.009)]
- Zhang X W, He Y, Cai J Z and Li Z Q. 2010. GIS-based analysis on the relationship between land use/cover and land surface temperature in Zhejiang Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 31(2): 295–299 (张小伟, 何月, 蔡菊珍, 李正泉. 2010. 基于GIS的浙江省土地利用/覆盖与地表温度的关系. *中国农业气象*, 31(2): 295–299) [DOI: [10.3969/j.issn.1000-6362.2010.02.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6362.2010.02.024)]
- Zhang Z H, Li Y Z and Li Z M. 2003. A sequence of rock, soil and crop. *Geology of Chemical Minerals*, 25(1): 37–40 (张志华, 李雅卓, 李钟模. 2003. 岩石、土壤、农作物关系浅议. *化工矿产地质*, 25(1): 37–40) [DOI: [10.3969/j.issn.1006-5296.2003.01.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-5296.2003.01.005)]

Distribution characteristics of surface thermal environment in Zhejiang province based on thermal infrared remote sensing

WU Wenyuan^{1,2}, JIN Cheng¹, PANG Yuwen¹, ZHAO Lijia¹, SONG Yu^{1,2}, Hu Tangao^{1,2},
ZHANG Dengrong^{1,2}, XU Junfeng^{1,2}

1. School of Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China;

2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Urban Wetlands and Regional Change Institute of Remote Sensing and Earth Sciences
Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China

Abstract: Land surface thermal environment is an important factor in the surface ecological environment and is related to human survival and society development. Similar to the heat island effect in urban areas, some high temperatures are detected beside active faults in the region of natural surface and are affected by the lithology, soil, and vegetation. Therefore, these geological and geographical factors impact the land surface thermal environment. In our research, we investigated the distribution characteristics of surface thermal environment in Zhejiang Province on the basis of land surface temperature through thermal infrared remote sensing of Landsat 8 OLI/TIRS images. We analyzed the effects of fault activity, lithology, soil, and vegetation on the land surface thermal environment by using multiple linear regression analysis. Results showed that the active faults could cause thermal anomalies within a certain distance, the rocks and soils could affect land surface temperature depending on their cover types, and the vegetation coverage could reduce the effect of high temperature in the surface thermal environment. In conclusion, the proposed method is effective for tectonic activity monitoring and can serve as a scientific basis of research on ecological environment.

Key words: inferred remote sensing, surface thermal environment, fault zones

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41402304); Zhejiang Provincial Natural Science Foundation of China (No. LQ13D020002)

《遥感学报》投稿指南

1. 收稿范围

《遥感学报》是中国精品科技期刊和中国遥感领域的权威学术刊物。学报主要刊登遥感及其相关领域的具有创新性、前沿性和探索性的学术论文。内容涉及遥感基础理论、技术方法以及遥感数据的应用,重点涵盖以下几个方面:遥感卫星平台;遥感载荷和传感器的设计与调试;遥感数据获取、分析和解译及通导遥融合技术;遥感数据处理方法;遥感在大气、海洋、农林、生态、环境、灾害、国土、资源、安全等各个领域的监测和应用。欢迎国内外学者赐作!

2. 投稿要求

(1) 总体要求:作者在投稿前,应广泛系统查阅分析研究领域相关的国内外最新研究成果,以保证研究成果的创新性,稿件应主题突出,论点明确,论据充分,逻辑清晰,数据准确,结构严谨,试验合理,结论扎实,文字精炼,观测、试验、统计数据需充实且是新近的。

(2) 文章题目:字数不超20字,精炼、准确地体现研究的内容。在文章的首页脚注提供基金项目、第一作者和通信作者简介(姓名,出生年,性别,学历或职称,研究方向和E-mail)。

(3) 中英摘要:中文摘要300—500字,英文摘要1000字左右,中英文摘要无需完全一致,应有研究的目的及意义、方法、结果和结论。关键词5—7个,建议涵盖数据、方法、研究对象和区域等。

(4) 正文结构:以体现文章重要价值和意义的引言开始。文章的一、二、三级标题分别按1, 1.1, 1.1.1编号,其余类推,顶格书写。专业术语、人名地名等应符合标准规范,首次出现的英文缩略词,应写出全称。计量单位应采用中国法定计量单位符号,前后统一。

(5) 数理公式:建议用 $\mathtt{type}$ 公式编辑器编写,并在公式后面加上序号。所有括号均用圆括号“()”表示,变量用斜体,常数(如 π)等和标识用正体;向量、矢量、矩阵、集合均用粗体。

(6) 表格要求:采用三线表形式绘制表格。标题需要中英文对照位于表格上方,表中的物理量符号和单位符号之间以“/”分隔。

(7) 插图要求:图片需色调分明,层次清晰,分辨率不低于300 dpi。若内容涉及国界、保密或集体研究成果的稿件,需按国家有关规定办理图片审核手续,审核通过后方可出版。确认文中所有图的彩图和黑白图,若有必要出彩图请以彩图示意。标题需要中英文对照位于图的下方,若有子图,每个子图下方都要有中英文小标题,并按照(a)(b)(c)…排序。

(8) 参考文献:按照“作者,年”形式标注。文后列出的参考文献,要求中英文对照,列出全部作者,作者一律姓先后,按照作者姓氏拉丁字母顺序排列。投稿前,请自行检查文中引用的参考文献在后文是否列出,文后列出的参考文献在文中是否引用。参考文献格式示例如下:

期刊:作者(全部列出). 出版年. 论文名. 刊名. 卷(期): 起止页码

专著:作者或原作者(译者)(全部列出). 出版年. 书名. 版次. 出版地:出版社

文集:作者(全部列出). 出版年. 文题. 主编者. 文集名. 出版地:出版社

(9) 具体稿件格式体例参照《遥感学报》官网(www.jors.cn)下载中心“学术论文中文体例”,学报官网二维码见学报封底版权栏。

3. 投稿方式

全部稿件需登录《遥感学报》官网进行网上投稿,投稿步骤:

(1) 点击作者登陆;

(2) 首次使用学报投稿系统,请先按照下面的步骤注册新账号:

●新用户注册;

●接收确认信函,点击信函中的超链接激活新账号;

●通过个人E-mail和密码登录本系统,进入系统投稿或者查看稿件状态。

具体投稿细则请见《遥感学报》官网“投稿须知”!

4. 注意事项

(1) 投稿前请仔细阅读投稿须知和指南,如遇到问题可通过学报QQ作者服务号(535215261)或致电编辑部询问(010-58887035),不要多次重复投稿。

(2) 投稿前,作者需签署版权转让声明和成果保密审查证明,邮寄至学报编辑部(地址:北京市海淀区北四环西路19号)。

(3) 投稿后,作者署名、基金项目、工作单位及排序不可再改动。

5. 国际数据库收录情况

EI Compendex 数据库(EI)

荷兰斯高帕斯数据库(Scopus)

美国剑桥科学文摘(CSA)

美国乌利希期刊指南(UPD)

美国EBSCO 数据库(EBSCO)

俄罗斯文摘杂志(AJ)

日本科学技术文献数据库(JST)

波兰哥白尼索引(IC)

6. 联系方式

QQ作者服务交流群(535215261):投稿咨询、稿件进展、编辑排版、录用证明、学术探讨、数据共享、遥感资讯。

遥感学报微信公众号:定期发布推送好文推荐、科考现场、院系风采、前沿资讯、招生招聘、学术会议等最新信息,订阅请从微信搜索“遥感学报”点击关注或扫描学报封底版权栏二维码。