

热红外遥感反演地表温度研究进展

陈桥驿¹, 蔡宜泳² (1. 华南农业大学信息学院, 广东广州 510642; 2. 广东友元国土信息工程有限公司, 广东广州 510642)

摘要 介绍在遥感技术支持下用热红外波段反演地表温度的各种方法及其优缺点和适用情况; 总结目前通道法反演地表温度的问题所在, 引出其研究新方向: 组分温度反演; 最后, 对热红外遥感反演地表温度作出总结和提出展望。

关键词 热红外遥感; 地表温度; 组分温度

中图分类号 S176 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)04-01832-04

Research Progress in Retrieving Land Surface Temperature Based on Thermal Infrared Remote Sensing Technologies

CHEN Qiao-yi et al (College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract The methods of retrieving land surface temperature based on thermal infrared remote sensing technologies were introduced. The features of the methods and application range were also discussed. The disadvantages in the channel algorithm of retrieving land surface temperature were summarized. The new direction of component temperature retrieving was introduced. Finally, retrieving land surface temperature based on thermal infrared remote sensing temperature was summarized and forecasted.

Key words Thermal infrared remote sensing; Land surface temperature; Component temperature

地表温度是地—气能量和物质交换过程中的重要参数之一, 在水文、气候、生态、林业、地球化学等各个领域有着重要的应用价值。精确定量反演地表温度的成果将推动旱灾预报和作物缺水研究、农作物产量估算、天气预报、全球变化和全球碳平衡等领域研究的发展。获取地表温度信息的传统方法是通过地面站点定时定点测量, 但地表条件的复杂性使温度在短时间内变化较大, 而且这种离散式的点测量不能获得大范围的、连续的地表温度信息。

遥感技术因为具有多波段、多时相, 能快速、连续、实时、大面积获取地表信息的优势, 已经被应用于地表温度信息的提取。如何精确反演地表参数是推动遥感技术精确化、定量化的关键点之一, 国际遥感界把地表温度反演精度精确到 1 K 作为攻关课题, 具有很高的难度和研究价值。

1 热红外遥感反演地表温度的方法

目前, 热红外遥感反演地表温度的方法主要有两种: ①统计法^[1], 也称为实验法, 利用实测的地面数据, 结合卫星过境时在实测点获得的数据, 建立两者间的回归方程, 求出地表温度。这种方法简单易用, 但理论性较弱, 不能从更深的层面反映地表温度反演的内在关系。②理论法, 根据热辐射传输方程, 消除各种影响因素, 进而求出地表温度, 是目前应用最广的地表温度反演方法。

从理论上讲, 只要物体的温度高于热力学温度(0 K 或 -273 ℃), 就会对外界发射电磁波, 其能量强度和波谱分布位置与物质的表面状态有关, 是物质内部组成和温度的函数^[2]。电磁辐射三大定律: 普朗克定律、斯蒂芬—波尔兹曼定律和韦恩位移定律阐明了物体热辐射强度、波长与温度间的关系, 是热红外遥感反演地表温度的理论基础, 学者们在此基础上发展出了众多的模型和方法。

1.1 单通道法 单通道法就是利用遥感卫星的热红外单通道数据, 结合卫星遥感数据提供的大气垂直廓线数据(如

温度、湿度、压力等), 利用大气辐射方程计算大气辐射和大气透过率等参数, 来修正大气对比辐射率的影响, 从而求得地表温度。单通道法需要知道地表比辐射率、大气廓线以及一个精确的辐射模型^[1-3]。比较典型的单通道法有 3 种。

1.1.1 大气校正法。 卫星传感器接收到的热红外辐射亮度由 3 部分组成^[4]:

$$L_{\lambda} = B_{\lambda}(T_s)\varepsilon_{\lambda}\tau_{0\lambda} + L_{0\lambda}^{\uparrow} + (1 - \varepsilon_{\lambda})L_{0\lambda}^{\downarrow}\tau_{0\lambda} \quad (1)$$

式中, L_{λ} 为传感器所接收的波长为 λ 的热红外辐射亮度; $B_{\lambda}(T_s)$ 代表地表物理温度为 T_s (单位为 K) 时的普朗克黑体辐射亮度; ε_{λ} 为波长 λ 的地表比辐射率; $\tau_{0\lambda}$ 为从地面到传感器的大气透过率; $L_{0\lambda}^{\uparrow}$ 为大气上行辐射; $L_{0\lambda}^{\downarrow}$ 为大气下行辐射。式中第 1 项是地表热辐射经大气削弱后被传感器接收的热辐射亮度; 第 2 项为大气上行辐射亮度; 第 3 项为大气下行辐射经地表吸收反射后再被大气削弱最终被传感器接收的辐射亮度。

式(1)是设地表和大气对热辐射具有朗伯体性质, 大气下行辐射在半球空间内为常数的简化版, 如果考虑热辐射的方向性, 则可表示为^[2]:

$$L_{\lambda} = B_{\lambda}(T_s)\varepsilon_{\lambda}\tau_{0\lambda} + L_{0\lambda}^{\uparrow} + \tau_{0\lambda} \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{0\lambda}^{\downarrow}(\theta') \cos \theta' d\Omega' \quad (2)$$

式中, $L_{0\lambda}^{\downarrow}(\theta')$ 为观测角为 θ' 时波长为 λ 的大气下行辐射; $f(\Omega' \rightarrow \Omega)$ 为地表双向反射率分布函数。 $\int_{2\pi}$ 代表半球积分, $d\Omega'$ 代表微分立体角。

利用专业的大气校正软件计算出大气透过率 $\tau_{0\lambda}$, 大气上下行辐射 $L_{0\lambda}^{\uparrow}$ 、 $L_{0\lambda}^{\downarrow}$, 结合地表发射率 ε_{λ} , 运用上面的热辐射公式(2)求出 $B_{\lambda}(T_s)$, 再用普朗克公式即可求出地表温度。由于这种算法需要较精确的实时大气剖面数据进行大气模拟, 限制了该算法的广泛使用^[5]。

1.1.2 单窗法。 覃志豪等为了解决大气校正法计算复杂、误差较大等问题对地表热辐射传导方程作出了修改, 用大气向上平均温度的辐射强度代替大气向下平均温度的辐射强度来简化地表热辐射方程, 然后在此基础上, 将 Plank 函数

进行 Taylor 展开并消元化简,得到适用于 TM 6 的地表温度反演公式如下^[6]:

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]T_6 + D_6 T_a] / C_6 \quad (3)$$

$$C_6 = \pi_6 \varepsilon_6 \quad (4)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6) [1 + \tau_6(1 - \varepsilon_6)] \quad (5)$$

式中, T_s 为待反演的地表温度; a_6 和 b_6 为回归系数; τ_6 为大气透过率; ε_6 为地表辐射率; T_6 为 TM 6 的亮度温度; T_a 为大气向上平均温度。该算法进行地表温度的演算时需要用到 3 个参数,分别为地表辐射率、大气透射率和大气向上平均温度,这算法适合用于只有一个热波段的遥感数据。

1.1.3 普适性单通道法。 Jimenez - Munoz 等提出了一种在假设比辐射率已知的情况下,只需要知道大气水汽含量和波长就可以推演地表温度的普适性单通道法^[4,7],方程如下:

$$T_s = \gamma [\varepsilon^{-1}(\varphi_1 L_{sen} + \varphi_2) + \varphi_3] + \delta \quad (6)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{sen}}{T_{sen}^2} \left[\frac{\lambda^4}{c_1} L_{sen} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (7)$$

$$\delta = -\gamma L_{sen} + T_{sen} \quad (8)$$

式中, L_{sen} 为卫星接收到的辐射亮度; T_{sen} 为亮温; λ 是波长; $c_1 = 1.191 04 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / (\text{m}^2 \cdot \text{sr})$, $c_2 = 1.438 77 \times 10^4 \mu\text{m}/\text{K}$; φ_1 、 φ_2 、 φ_3 可以通过大气水汽含量来求得。普适性单通道法相对其他的单通道法,最大的优势就是不需要大气温度值,和劈窗法相比,该方法相同的方程和系数适用于不同的传感器。

这 3 种方法在应用中各有优势,就反演精度而言,覃志豪等的单窗法和 Jimenez - Munoz 等的普适性单通道法精度要高于传统的大气校正法^[7];就反演地表类型而言,在干旱地区的测试结果表明^[8],3 种方法都能较好地反映地表温度的分布状态,总体趋势接近,大气校正法对绿洲的反演精度较高,普适性单通道法则适用于沙漠地区;就反演参数影响而言,当大气水汽含量较少时,单窗法和单通道法精度比大气校正法要高,当大气水汽含量和大气平均温度较高时,普适性单通道法就会高估大气上下行辐射和低估了大气透过率,产生较大的误差,所以要慎用^[9]。在地表发射率未知的均质区域,普适性单通道法要优于单窗法^[10]。

1.2 劈窗法 也称分裂窗算法,主要是利用一个大气窗口内,两个具有不同大气吸收特征的相近的红外通道间不同的线性组合来消除大气影响,反演地表温度,是目前发展最成熟、应用最多的方法。分裂窗算法最早是用于海面温度反演,然后被移植到陆面温度反演,人们原先多用 NOAA - AVHRR 数据的 4 和 5 通道来反演地表温度,经历了多年的发展,分裂窗算法已经出现了许多种形式,并且拓展到 MODIS、ASTER 等数据类型。

1.2.1 基于 NOAA - AVHRR 数据的劈窗算法。 NOAA - AVHRR 数据劈窗法的一般形式可以表示为:

$$T_s = T_4 + A(T_4 - T_5) + B \quad (9)$$

式中, T_s 为地表温度; T_4 、 T_5 分别为 AVHRR 第 4、5 通道的亮温,单位为 K; A 、 B 为参数,受大气状况和地表发射及其他相

关因子的影响。将上面的公式变形,令 $A_0 = B$, $A_1 = 1 + A$, $A_2 = -A$,可以得到另一种常用表达式:

$$T_s = A_0 + A_1 T_4 + A_2 T_5 \quad (10)$$

一般形式只是 NOAA - AVHRR 劈窗算法的基本形式,在这些基本形式之上,学者们根据不同的情况和实际的需要,综合考虑了大气状况和地表状态(主要是地表发射率)的处理和修正,结合先验经验,估算公式中的参数,发展出了多种基于 NOAA - AVHRR 数据的劈窗算法,覃志豪等将这些算法细分为简单算法、辐射率模型、两因模型和复杂模型 4 大类^[11]。

1.2.2 基于 MODIS 数据的劈窗算法。 MODIS 数据的第 31、32 波段最接近 NOAA - AVHRR 数据的第 4、5 波段,所以是最适合用于劈窗算法的。

Qin 等提出的基于亮温线性组合的二因模型,模型参数少,而且用于各种情况都保持比较高的精度,有较强的代表性,其公式如下^[12-13]:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32} \quad (11)$$

式中, T_s 为地表温度; T_{31} 、 T_{32} 为 MODIS 数据第 31、32 波段的亮温; A_0 、 A_1 、 A_2 为分裂窗参数。

毛克彪等通过对热辐射强度和温度之间的关系计算,对 Planck 程进行线性简化,然后从 MODIS 的近红外波段反演大气水汽含量,通过建立大气水汽含量与热波段透过率的关系,可以从同一景影像中计算透过率,使透过率的求算精确到每一个像元,保证了透过率求算的实时性,形成了针对 MODIS 数据的地表温度反演的劈窗算法,其式如下^[14]:

$$T_s = \frac{[C_{32}(B_{31} + D_{31}) - C_{31}(B_{32} + D_{32})]}{C_{32}A_{31} - C_{31}A_{32}}$$

式中,除了 T_s 外,其他均为系数,且都可以由其对应的通道比辐射率和大气透过率以及大气平均温度来求得。

1.2.3 基于 ASTER 数据的劈窗算法。 ASTER 数据有 5 个可以用于地表温度反演的热红外波段,毛克彪等选用 13、14 波段用于建立 ASTER 数据的劈窗算法,其方程的推演过程和推演 MODIS 影像劈窗算法的过程相类,都是先对 plank 方程进行化简,再利用对应的通道比辐射率、大气透过率和大气平均温度将各系数表示出来。由于适用波段的的不同,所以表达形式略异于针对 MODIS 数据的劈窗算法^[15]:

$$T_s = \frac{(C_{14}(B_{13} + D_{13}) - C_{14}(B_{14} + D_{14}))}{C_{14}A_{13} - C_{13}A_{14}} \quad (13)$$

1.3 多通道法 主要是利用多光谱数据对地表温度和地表发射率进行同步反演。MODIS 和 ASTER 数据具有较高的光谱和空间分辨率,为多通道法提供了高质量的数据源。经过多年的发展,多通道法已经发展出了多种模型。

1.3.1 昼夜法。 其核心理论就是利用昼夜两次观测数据组建 $2N$ 个方程,解 $N+7$ 个未知数(N 个通道比辐射率,昼夜 2 个地表温度,1 个各向异性因子和 4 个大气参数,分别为昼夜 2 个大气温度和 2 个大气水汽含量),解决了原来的 N 个方程对应 $N+4$ 个未知数(N 个通道比辐射率,1 个地表温度,1 个各向异性因子和 2 个大气参数)的不确定性问题。这个方法

是专门针对 MODIS 设计的,对大气温度和水汽含量的精度要求不高^[16]。但是 MODIS 热红外通道间高度相关性导致了反演结果的不稳定^[17]。

1.3.2 灰体发射率法。找出对于两个不同的波段有相同发射率的温度,这个方法只适用于灰体,限制了它的推广^[18]。

1.3.3 温度发射率分离法(TES)。从广义的角度来说,只要涉及到温度和比辐射率分离的温度反演法都可以称为 TES。而狭义 TES 是指用热红外高光谱的一个时相观测数据同时反演地表温度和比辐射率。TES 需要引入相关的经验知识作为约束条件解决由通道间高度相关性引起的不稳定问题,从而发展出各种 TES 算法^[19]:有以同温黑体的辐射亮度曲线作为地物辐射亮度波谱曲线包络线的包络线法;以先验知识获得某个通道发射率作为参考反射率求其他通道发射率的参考通道法;建立平均发射率与 α 剩余方差经验关系的 α 剩余法;以多光谱各波段中已知最大发射率所对应灰体的辐射亮度曲线代替同温黑体的辐射亮度曲线为包络线的发射率归一化法(NEM);通过两波段的发射率比值求地表温度的比值法(RAT);直接建立平均发射率与各波段间发射率的变化范围的经验关系的最大最小值差别法(MMD);还有综合了 NEM、RAT 和 MMD 算法的 ASTER 官方算法等,ASTER 官方算法也能用到其他多波段热红外数据上,但要注意建立不同传感器间的发射率经验关系以提高精度。

2 地表温度反演的问题

从上面提到的方法和模型可以看出,热红外遥感反演地表温度已经取得了丰硕的成果,但问题和成绩总是同时存在的,目前用通道法反演地表温度遇到的瓶颈主要是如下 4 点。

2.1 热红外遥感本身的复杂性导致大气校正困难^[2] 热红外遥感中,卫星接收的信号除了受大气的吸收、散射等削弱影响外,大气自身的发射信息和大气中的气溶胶和水汽的发射信息叠加到地物热辐射信息上,使问题复杂化。另外,地表层热状况复杂多变,地物热过程中热量变化也对地表温度产生影响,更是增加了获取具有空间和时间代表性真实地表温度的难度^[18]。

2.2 平均温度对混合像元无意义 在地表温度反演中,为了避开方向性带来的复杂问题,一般只有垂直角度的数据^[20],该类型数据不含有地物的三维几何结构信息,只能把地表混合像元看作是同温同质的整体,反演得到的地表温度是像元的等效温度或平均温度^[21],其物理意义不明确,无法真实地反映出地表的温度信息,对精确的遥感反演没有意义。

2.3 反演数据高度相关,反演结果不稳定 由于各通道的物理过程非常相似,另外不同通道间地物的比辐射率差异、大气效应的差异和地表温度差异不大,造成了热红外遥感信息通道的高度相关。如 NOAA - AVHRR 的两个热红外波段高度相关;MODIS 的 7 个通道只有 3 个独立信息成分,其用于反演的 14 个独立方程最多只能提供 5 个独立信息。高度相关则代表着有效信息少,不能组建足够的独立方程组,方

程数小于未知数个数,这时的反演成了不确定性问题^[22],而且反演的结果对误差敏感。

2.4 比辐射率的确定困难 比辐射率依赖于地物的组分,而且与地物的表面状态(表面粗糙度等)和物理性质(介电常量,含水量等)有关,并随着测量的辐射能波长、观测角等条件的变化而变化^[2]。但目前的比辐射率还没有一般的理论计算公式,只能通过测量才能获得其具体的函数公式^[23]。然而地表像元多为混合像元,比辐射率不固定,时空变化较大,且地面测量都是以点测为主,与卫星遥感数据相匹配的大范围比辐射率资料的获取非常困难。

3 热红外遥感反演地表温度的新焦点——组分温度

由于通道法本身的缺陷,导致了其无法突破现在的困境,尤其是等效温度和平均温度模糊的物理意义,使得地表温度反演的意义不大。所以具有明确物理意义,能真实反映地表温度信息的组分温度成为地表温度反演研究的新方向。

20 世纪 80 年代,Kims 等用连续植被冠层为样本对混合像元的热辐射的规律作了研究,得到冠层的热辐射亮度是视角函数的结论^[24]。二向性反射表明,反射不仅具有方向性,而且这种方向性会随着入射的方向变化而变化,所以地表的反射会随着太阳入射角和观察角的变化而有着明显的差异。另外,比辐射率一般随视角天顶角的增大而减小。就地表多数物体而言,比辐射率随视角天顶角增大而显著减小的角度大约始于 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,表面越粗糙则近似各向同性的角度范围越大。试验证明,对于有植被的地表,由各向同性的假设引起的误差可以达到 300%^[2],因此角度因素带来的影响不可忽视。

由于不同角度可以观测到比辐射率和辐射亮度的明显变化,而且多角度数据间的相关性比通道数据要低很多,这对组分温度反演有着巨大的好处,引起了学者们的广泛关注,一些研究人员已经着手用多角度数据反演地表组分温度。

李小文等提出了一个概念模型,首次将地表像元看成内部有着不同组分温度的非同温同质体,充分考虑了热辐射的方向性关系,是后来各种热辐射方向性模型的基础^[25];陈良富等基于材料比辐射率不随温度发生变化和局地热平衡的这两个前提下,提出组分有效发射率的概念,得到一个非同温混合像元热辐射模型^[17];徐希孺等在同温混合像元热辐射方向性模型基础上,运用遗传算法反演混合像元的组分温度^[21]。遗传算法能对多个参数进行有效的同步反演,而且遗传算法反演组分温度非常稳健,在宽松的先验知识条件下,可以解决数据间高度相关所带来的不确定性反演问题^[26];王锦地等应用多角度方向辐射观测数据对非同温像元组分温度的估计,提出了多组分像元热红外辐射模型的线性反演方法^[27]。

徐希孺等提出通过利用比辐射率矩阵来精确表达开放复杂目标体系的热辐射方向性、结构特征和描述目标体系内各组分的相互作用,在对描述热辐射方向性方面有很强的普适性^[28-29];范闻婕等研究提出,在用矩阵反演组分温度时如

何利用绝对误差传递公式求取“最优角度组合”^[29];王勤奋等提出了矩阵表达和对象的统计特征相结合的方法,利用目标的统计特征,放大测量波动量的组分表达,抑制了矩阵反演因数据的高度相关带来的不稳定^[30]。

何立明等发展了一种同时反演组分温度和进行大气校正的迭代算法^[31]和针对宽波段传感器的反演方法^[32];黄华国等把主要用于通量模拟的 CUPID 模型引用到了组分温度反演并进行拓展改良,并且提出了一种基于热像仪的数据测量方法^[33-35],用于更高精度的组分温度信息的获取;刘强等在辐射传输方程中添加热发射项,直接把一个常用的可见光波段的冠层模型——SAIL 模型改造成热红外波段模型;还有其他的诸多模型不再列举^[36]。

总之,组分温度物理意义明确,实用价值大,是地表温度反演的必然发展趋势。

4 小结和讨论

热红外遥感反演地表温度是一个复杂而艰巨的工作,经过专家学者的努力探寻,该领域的发展成果累累,但由于一些问题无论是用通道法反演平均温度,还是用多角度数据反演组分温度都无法回避,反演中问题的根源所在,搞清楚这些问题有利于提高反演的精度。

4.1 数据质量的问题 数据的分辨率不足以使地表像元都为纯像元,大多数都是以混合像元的形式存在,所以原本简单的反演模型不再适用,反演亚像元下的组分温度使反演的难度和 workload 都增大;数据间的高度相关使可用信息量降低,反演不稳定,利用增加通道数量来增加信息量,却不能解决未知数个数多于反演方程数的问题,使地表温度反演成了一个不确定性的问题。另外,目前用于地表温度反演的数据多是热红外数据,其易受大气影响的特性使反演精度的提高比较困难。对于这问题:①可从硬件入手,研发具有更高分辨率的传感器,提高数据质量。高质量的数据可以减少数据处理的工作,对反演模型的要求比较低,就算用简单的方法和模型也能获得高精度的结果。②结合其他类型数据辅助反演,例如可见光分辨率高,信息量丰富,微波数据受大气干扰较小,可以为热红外反演地表温度提供良好的辅助数据。

4.2 模型参数设置和反演难度及精度的问题 热红外遥感过程复杂,参数众多,反演模型的数理设计中参数取舍,参数作为变量或常量的设定都会影响反演难度和精度,达不到精确效果。引入先验知识可以有效地减少模型的参数,减低反演难度,增加稳定性,同时也应该注意的是,要在简化模型,降低反演难度的同时兼顾到结果的精度,寻找两者的平衡点。

4.3 比辐射率的测定的问题 比辐射率因其多变性和测量工具的限制,所以目前很难得到精确、大范围、连续、实时的比辐射率分布信息。作为地表温度反演的重要参数,显然这会对反演精度造成影响。加强比辐射率的测定显然是促进反演研究的明智之举,而且比辐射率的测定应该向大范围、连续、与卫星数据同步的方向发展。如果在这个方面取得突破,那么可以预见,地表温度反演研究将会跃上一个新台阶。

另外要注意的是,地表温度反演系统复杂,受外界条件的影响较大,所以既要兼顾细节,也要着眼大局^[38],避免由于过度钻研技术细节而忽略了一些大前提而使所作的工作变得没有意义。相信随着研究的不断深入,热红外遥感反演地表温度无论是在理论还是应用方面,都将会取得更大的突破。

参考文献

- [1] 张佳华,李欣,姚凤梅,等. 基于热红外光谱和微波反演地表温度的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(8):2103-2104.
- [2] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:32,107-119.
- [3] 柳钦火,徐希儒,陈家宜. 遥测地表温度与比辐射率的迭代反演方法[J]. 遥感学报,1998,2(1):1-8.
- [4] 李欣,张佳华,张文忠. 遥感反演地表温度的研究进展[C]//中国气象学会2007年年会生态气象业务建设与农业气象灾害预警分会场论文集. 广州:[出版者不详],2007:67-69.
- [5] 丁凤,徐涵秋. TM 热波段图像的地表温度反演算法与实验分析[J]. 地球信息科学,2006,8(3):125-130.
- [6] 覃志豪,ZHANG M H,KARNIELI A,等. 用陆地卫星 TM 6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):458-462.
- [7] SOBRINO J A,JIME' NEZ-MUNOZ J C,PAOLINI L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT - T TM5 [J]. Remote Sensing of Environment,2004,90:435.
- [8] 孟宪红,吕世华,张宇,等. 使用 LANDSAT - 5 TM 数据反演金塔地表温度[J]. 高原气象,2005,24(5):721-726.
- [9] 樊辉. 基于 Landsat TM 热红外波段反演地表温度的算法对比分析遥感应用[J]. 遥感信息,2009(1):36.
- [10] 涂梨平,周斌. 利用 Landsat/TM 热红外数据进行陆面温度反演的比较[J]. 科技通报,2007,23(3):326.
- [11] 覃志豪,ZHANG M H,KARRFIELI A. 用 NOAA - AVHRR 热通道数据演算地表温度的劈窗算法[J]. 国土资源遥感,2001,48(2):33-38.
- [12] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等. 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法——以 MODIS 数据为例[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):66-67.
- [13] QIN Z,DALL' OLMO G,KARNIELI A,et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA - AVHRR data [J]. Journal of Geophysical Research,2001,106(19):22655-22670.
- [14] 毛克彪,覃志豪,施建成,等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(8):703-706.
- [15] 毛克彪,唐华俊,陈仲新,等. 一个从 ASTER 数据中反演地表温度的劈窗算法[J]. 遥感信息,2006(5):9.
- [16] 王君华,黄永璜. 我国利用 MODIS 数据反演陆面温度的研究进展[J]. 广西气象,2005,26(4):18-19.
- [17] 陈良富,徐希儒. 陆面温度反演的新进展[J]. 国土资源遥感,1999,41(3):47-50.
- [18] 甘甫平,陈伟涛,张绪教,等. 热红外遥感反演陆地表面温度研究进展[J]. 国土资源遥感,2006,67(1):8.
- [19] 张猛. 温度与发射率分离方法的对比分析[D]. 长春:吉林大学,2008:15-20.
- [20] 陈良富,庄家礼,徐希儒. 用多角度数据遥感数据反演混合像元组分温度的可行性分析[J]. 地理研究,2000,19(2):172-173.
- [21] 徐希儒,庄家礼,陈良富. 热红外多角度遥感和反演混合像元组分温度[J]. 北京大学学报:自然科学版,2000,36(4):555.
- [22] 陈良富,庄家礼,徐希儒. 热红外遥感中通道间信息相关及其对陆面温度反演的影响[J]. 科学通报,1999,44(19):2122-2126.
- [23] 徐希儒,陈良富,庄家礼. 基于多角度热红外遥感的混合像元组分温度演化反演方法[J]. 中国科学:D 辑,2001,31(1):81-82.
- [24] KIMES D S,SMITH J A,LINK L E. Thermal IR exitance model of a plant canopy[J]. Applied Optics,1981,20:623-632.
- [25] LI X W,STRAHLER A H,FRIEDL M A. A Conceptual model for effective directional emissivity from nonisothermal surfaces[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1999,37(5):2508-2517.

段,具有生动性、直观性和灵活性的特点,更有利于教学工作的组织与实施^[2]。在课堂教学中,教师不仅应积极制作多媒体课件,而且制作的课件应具有针对性和启发性^[3]。因此,在讲授人居环境科学课程的过程中,应在多媒体课件中加入一些与人居环境科学课程相关的图片、视频和动画。将学生最关注的人居环境热点问题更为生动地展示给学生,激发他们对该课程的兴趣,以更好地引发学生对这些问题的思考。

2.2.2 注重专题式案例教学。案例式教学强调在案例教学过程中穿插实践内容,使学生将所学理论知识应用于实践中^[4-5]。在教学过程中,鼓励学生参与教学当中,实现学生由被动学习转变为主动学习的目的。人居环境科学加强案例分析,有助于培养学生独立思考能力、自学能力和分析判断能力,培养学生的创新精神,为他们提供更广阔的思维空间。因此,这就要求教师对课程进行精心策划和指导,根据教学要求,使学生融入案例中,通过学生的独立思考和自学,提高其分析问题和解决问题的能力。

案例 1:青岛 300 市民状告规划局,讨要“环境权”,他们质问人大和政府,明确规定风景区海岸线 200 m 范围内不许建住房、别墅等建筑物,而规划局为什么违反规定,批准项目。该案例让学生能够认识到,青岛市民不是为个人和本单位的利益,而是为城市的现在和未来,为广大市民的长远利益,为争取公共空间而奋斗。市民积极参与到了规划实践中,为提升自己所在城市的环境质量与艺术质量而努力,其根本是对规划的支持。这说明广大市民有了人居环境的观念,已经有意识地参与到了城市管理当中^[1]。

案例 2:北京旧城与菊儿胡同

北京菊儿胡同坐落于北京市东城区西北部,是一个充满着丰富文化底蕴的地方。20 世纪 80 年代,北京旧城内的四合院平房区,已开始大面积演变为危破房,因此,北京市政府将菊儿胡同列为北京危旧房改造项目。建筑大师吴良镛为了不打破北京旧城的城市布局,保证菊儿胡同依旧拥有民族文化特色,改造过程中采取“肌理插入法”,即对四合院的改

造并不是将其全部拆除,而是根据其肌理局部地以旧代新,用“新四合院”代替原有的传统四合院。将传统四合院的独树一帜的居住形制与楼房单元相结合,组成住户居住的基本单位。重新修建的菊儿胡同按照“类四合院”模式进行设计,抽取传统空间形态的原型,用新材料和理念创造新的人居环境,同时解决一些目前面临的问题。通过该案例的讲解,使得学生进一步认识到城市“有机更新”是“按照城市内在的发展规律,顺应城市之肌理,在可持续发展的基础上,探求城市的更新和发展。”“有机更新”思想及建造“类四合院”住房体系,既能满足现代生活需求,又能适应旧城环境及其肌理的原则。

3 结语

党的十八大首次提出建设美丽中国,把生态文明融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程。人居环境建设体现了人与自然的相互联系与相互作用,理性的人居环境是人与自然的和谐统一。人居环境科学作为一门新兴学科,顺应了生态文明建设的需要,它是在研究人与环境之间相互影响的科学,以人为本与生态文明应当视为人居环境建设的基本准则。教学改革是高等教育改革永远不变的主题,要与时俱进,不断实践和探索^[6]。因此,人居环境科学课程应适应时代的要求,不断发展和完善。教师应研究和关注最新的科研动向,强化实践教学,进一步提高人居环境的教学质量,培养学生更加适应时代发展的需要,成为创新型、复合型的应用型人才。

参考文献

- [1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 郑子成,李廷轩,吴德勇. 浅析多媒体教学在地学基础课程中的应用[J]. 中国林业教育,2008(5):64-66.
- [3] 张强,庞晓玲. 论发挥多媒体教学优越性的关键环节[J]. 黑龙江农业科学,2012(9):110-112.
- [4] 潘建红. 教育学“案例教学”刍议[J]. 科技咨询,2007(4):112-113.
- [5] 张尤新,杨菁,朱艳凌. 案例式教学法在生物化学教学中的应用研究[J]. 辽宁医学院学报:社会科学版,2012(2):112-118.
- [6] 徐小逊,朱雪梅,鲜俊仁. 生态工程学课程教学改革探索[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6948-6949,6957.
- [7] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [8] 黄华国,辛晓洲,柳钦火,等. 扩展 CUPID 模型模拟土壤组分温度分布[J]. 农业工程学报,2007,23(1):140-143.
- [9] 黄华国,柳钦火,刘强,等. 利用多角度热图像提取冠层组分温度和方向亮温[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(3):292.
- [10] 刘强,陈良富,柳钦火,等. 作物冠层的热红外辐射传输模型[J]. 遥感学报,2003,7(3):161-166.
- [11] 贾媛媛,李召良. 被动微波遥感数据反演地表温度研究进展[J]. 地理科学进展,2006,25(3):96.
- [12] 张仁华. 对于定量热红外遥感的一些思考[J]. 国土资源遥感,1999,39(1):3.
- [13] PEI L, WANG H B, YAN H. Monitoring of Summer High Temperature Damage by Using MODIS Data to Estimate Air Temperature[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(4):849-851, 871.
- [14] 刘海军,李喜凤,王瑾. 西安市热岛效应的反演研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(9):5450-5451,5469.

(上接第 1835 页)

- [26] 庄家礼,陈良富,徐希孺. 用遗传算法反演连续植被的组分温度[J]. 遥感学报,2001,5(1):1.
- [27] 王锦地,李小文,孙晓敏,等. 用热辐射方向性模型反演非同温像元组分温度[J]. 中国科学:E 辑,2000,30(S1):54-60.
- [28] 徐希孺,范闻捷,陈良富. 开放的复杂目标热辐射特性的矩阵表达式[J]. 中国科学:D 辑,2001,31(12):1046-1051.
- [29] 范闻捷,徐希孺. 论热红外多角度遥感数据的相关性及视角优选配置[J]. 中国科学:D 辑,2003,33(8):809.
- [30] 王奋勤,范闻捷,秦其明,等. 矩阵表达与对象统计特性相结合的组分温度反演方法[J]. 遥感学报,2004,8(2):102-105.
- [31] 何立明,阎广建,王锦地,等. 利用 ATSR_2 数据提取地表组分温度[J]. 遥感学报,2002,6(3):161.
- [32] 何立明,阎广建,王华,等. 从宽波段热红外图像反演组分温度的相关问题讨论——通道响应函数和比辐射率波段变化的影响[J]. 遥感学报,2005,9(3):234-241.
- [33] 黄华国,辛晓洲,柳钦火,等. 用 CUPID 模型模拟小麦组分温度分布