

应用红外遥感寻找地下热水试验研究

乔玉良,连胤卓,王国芳,李恒利,吕 芳,刘缤艳

(太原理工大学,山西 太原 030024)

摘要:利用陆地卫星红外遥感数据能反映地物辐射温度差异这一特点,通过对遥感影像进行波段差值运算、IHS(HLS)彩色变换和热红外波段密度分割 3 种方法的增强处理,对其进行综合探索研究。并结合地质构造展布规律、地面调查,最后圈定地热异常的分布范围,获得了一项适宜全省乃至更大范围的探寻地下热水资源的技术方法,值得大面积推广应用。

关 键 词:红外遥感;图像处理;地下热水

中图分类号:TP 79 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0323(2008)02-0184-05

1 引 言

地下热水,不仅是一种十分宝贵的综合性矿产资源,同时还是一种新型的绿色能源。经多年实践表明地热资源的综合开发利用具有显著的社会、经济和环境效益,在发展国民经济中已显示出越来越重要的作用。而目前,地热探测还主要采用传统的物探方法,具有周期长、投资大、盲目勘探、投资风险过大等特点,传统的物探方法对地热资源的可持续发展造成一定危害^[1]。而利用蓬勃发展的现代遥感技术对工作区进行地热资源探测的方法恰好能弥补这一缺陷。这种方法主要是利用热红外遥感波段,通过探测地热引起的地表温度异常来实现,具有快速、大范围、节省经费等特点。

2 区域背景与任务

山西省位于中国黄河中游、华北西部的黄土高原地带,东有巍巍太行山作天然屏障,西、南以滔滔黄河为堑,北抵绵绵长城脚下。南北长 680 多 km,东西宽 380 多 km,总面积 15.63 万 km²。地形复杂多样,境内有山地、丘陵、高原、盆地、台地等各种地貌类型,是我国地震活动较多的省份之一。盆地边缘与隐伏基底的断裂活动是地震产生的根本原因,而断裂又是地热水上升的天然通道,这使得山西

省地下热水资源也相对较多。

本项目主要任务是对应用红外遥感技术寻找地下热水资源的方法进行研究,为地热这一绿色能源开发提供基础性和前提性的探索方法和途径。山西地热能资源丰富。迄今为止,全省调查、勘探、开发利用的地热能资源仅限于热水热型地热资源。主要分布在大同、忻州、太原、临汾、运城 5 大盆地的新绛、临猗、夏县、襄汾、曲沃、太原、清徐、忻州、定襄、原平、阳高、天镇、浑源等 25 个县市区内。从已发现的上述地热田中地热水出露点看,相对集中在运城、临汾、忻州 3 大盆地中。本项研究选择了具有代表性的漳沁河流域的忻定盆地、汾河流域的临汾盆地和运城盆地的山前活动断裂带作为重点实验区,其地质构造多为新生代沉积断陷盆地型和褶皱隆起断裂型,地下热水资源丰富^[2]。

地下热水区大多位于黄土高原区,第四系覆盖较厚,无基岩裸露,采用常规地质方法难以达到探测目的,本项研究利用陆地卫星 TM/ETM+所接收的红外遥感数据,判读地质构造展布规律和圈定地热异常区的分布范围。通过计算机多功能隐伏地质构造信息提取和多波段组合地热异常信息提取,突出隐伏地质构造的展布规律和地热异常区的分布范围,为山西省地热资源普查勘探工作提供科学依据。

收稿日期:2007-10-09;修订日期:2008-01-06

基金项目:山西省发改委资助项目,项目编号晋计投资发[2004]226 号。

作者简介:乔玉良(1951—),女,教授。主要从事遥感应用研究。E-mail:proqiao@126.com。

3 信息源选择与资料收集

作为寻找地下热水试验所需的信息源,我们选择了尽量能体现实验区温度差异的 TM 与 ETM+ 数据各 15 景,同时,为了更好地进行研究区的地质解译,还选用了研究区 SPOT 数景和 1:19 000 彩红外航片(像幅为 23 cm * 23 cm)160 张。此外,还收集了 1:50000 地形图以及相关地质、气象资料等等。

4 项目研究的关键技术

本项目以满足山西省地下热水资源合理开发利用为目标,在遥感技术与地质专业结合的基础上,对山西地下热水形成条件及分布特征进行深入研究。通过应用红外遥感数据,项目组经过反复试验,最终采用图像波段差值运算法、IHS(HLS)彩色变换法和热红外波段密度分割法 3 种方法,探索了热红外遥感在寻找地下热水中的应用研究。通过图像增强处理与专题信息提取,结合地面调查,达到能够快速、准确地寻找地下热水资源之目的,找到一条适宜本省乃至更大范围的探寻地下热水资源的技术方法。

4.1 图像波段差值运算法的专题信息提取

ETM+6 与 ETM+7 波段相减,能使一部分反射的太阳辐射能得以抵消,突出了温差引起的光谱特征。通过多次试验,我们采用 ETM+(6-7)、4、3 波段合成影像。但直接采用 ETM+(6-7)、4、3 波段组合生成的图像色彩并不鲜明,温度异常区段影像反映得并不突出,所以有必要采用一些图像处理手段来增强信息。

图像增强就是改善图像的视觉效果或将图像转换成一种更适合人或机器进行分析处理的形式。它分光学增强方法和数字增强方法两种,数字增强处理又分空间域处理和频率域处理两种方法。在实际工作中多采用线性拉伸这一空间域处理方法,因为进行这种处理既能增强图像的可视效果又不会给图像信息造成太大的损失。它主要通过按比例扩大原始灰度等级的范围,从而达到增强图像整体对比度的效果^[8]。

项目通过 ENVI 软件的 Interactive Stretching 功能来实现,通过分别调整 R、G、B3 个通道内的亮度关系,使得地热资源信息更加突出,其它干扰信息降到最低。图 1、2 为定襄县上汤头和运城市夏县处理后的地热异常区结果。



图1 定襄县上汤头地下热水信息提取结果
Fig.1 The result of geothermal water information extraction in Shangtangtou of Dingxiang County

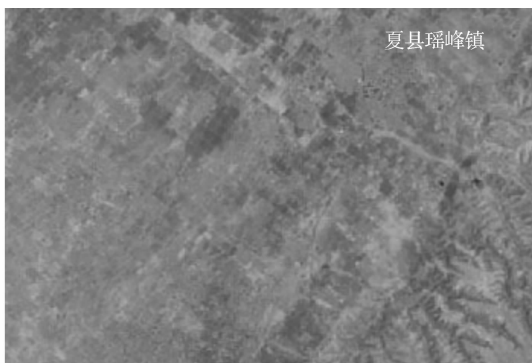


图2 夏县瑶峰镇地下热水信息提取结果
Fig.2 The result of geothermal water information extraction in Yaofeng of Xia County

4.2 IHS(HLS)彩色变换法的专题信息提取

本试验通过色彩变换,不仅可以使热红外波段的遥感信息和分辨率较高的遥感波段相融合,提高热辐射模拟的地面精度,更重要的是可以将热红外信息以符合人眼视觉感受的颜色序列的变化,形象、直观地反映在图像上。在融合之前要对其影像数据进行预处理,如灰度拉伸、直方图均衡等,使得影像色调均衡、清晰^[5]。

首先,我们要将 TM6 波段图像灰度值转化为亮温值。亮温就是下垫面的辐射温度。利用亮温计算模式可以得到 TM6 图像灰度值和地面亮温之间的定量关系:

$$L = 0.005\ 631\ 4DN + 0.124 \quad (1)$$

其中: L 为辐射亮度值; DN 为 TM6 图像的灰度值。如不考虑大气影响,则可通过辐射亮度 L 推算地面亮温 T :

$$T = K_1 / [LN(K_2/L + 1)] \quad (2)$$

T 为亮温; $K_1 = 1\ 260.56$; $K_2 = 60.766$ 。

用 ENVI 软件处理时,我们可先将两个公式代

人对 TM6 进行 Band Math 计算,接着进行 HLS 变换。变换时以 TM6 波段图像为主。首先进行灰度拉伸,使温度之间的差异更加明显,把灰度拉伸后的图像滤去灰度值低于 85 的部分,将得到的图像作为 H 值。然后把几何分辨率相对较高的 TM8 波段作为 L 值参与 HLS 色彩变换。为了使最低温区与最高温区在变换后颜色不至于混淆(即 H 为 0 和 255 时,色调都是红色),我们未将 TM6 波段的灰度拉伸到 0~255,而是仅拉伸到 0~170。这样,变换后,高温点与低温点在色调上可完全区分开。从而随地温的升高,颜色变化的顺序为蓝—绿—黄—橘红—红,高温区以红色表示。研究表明:试验区裸岩、裸地、滩涂及居民地都显浅红色,只有地热异常区显示独特的暗红色调(图 3 为原平市大营附近的地热异常区处理结果,见图版 I)^[4]。

在 ENVI 中把 TM6、TM7、TM83 个波段分别放进 H、S、L 通道进行 HLS 色彩变换。Landsat7 的 TM6 波段的 ETM+ 图像,地面分辨率 60 m×60 m,而全色波段 TM8 的地面分辨率为 15 m×15 m。将热红外波段和全色波段的图像融合,可将处理图像提高到 15m 的分辨率,这对寻找地下大面积的热水已是足够了。

4.3 热红外波段密度分割法的专题信息提取

我们运用密度分割法将不同的亮度值赋予不同的色彩,这样就可以清晰地分层显示其亮度。例如把一幅 TM6 图像作密度分割,就可以得到辐射温度等值线图。目前有关密度分割的研究表明,地表温度分布的异常现象可以反映地下热水富集带信息。干旱地区由于地下水通过岩石和土壤的毛细管作用和热传导作用,以及地表强烈的蒸发作用,导致地表土壤湿度和温度的变化,从而在热红外遥感图像上出现热或冷的异常。这使热红外遥感寻找地下热水成为可能。

首先按照第二种方法要将实验区 TM6 波段图像灰度值转化为亮温值。

然后将归一化的变量进行均值滤波,由于归一化的变量值域为 0~255,但其数值变化呈跳跃式分布,因此,必须按窗口进行滤波。这里采用 9×9、15×15 统计窗口分别进行两次均值滤波。由于均值滤波是一个值域不断变窄,即最大值减小、最小值增大的过程。因此,均值滤波一方面可以扩大异常信息范围,使点状异常变成面状异常;另一方面,又有平滑抑制高值点的副作用,使部分可能作为异常的高值点受到屏蔽而消失。

最后将形成的最终变量进行最优密度分割,提取地下热水异常信息。此次采用的 TM6 影像灰度值在 0~125 之间。分割后将 TM6 亮度值 110~121 设为背景值,122~123 设为 II 级地热异常,124~125 设为 I 级地热异常。这样,就把植被和无关地物的干扰控制在背景值内,地热异常则在高亮度值范围内。在较小的环形地质构造内,地热异常分布在环状裂隙或环的核心部位。在较大的环形构造内,地热异常多呈半环状分布,这是由于断层遮挡所致,地热异常出露于断层下端。

经过处理后将异常区分为两级, I 级赋予绿色, II 级赋予红色。在地热田或地热异常集中地段, I 级异常比较发育,其外围有 II 级,甚至于有 III 级异常环绕。地热异常几乎全部控制在环形构造内,这是地热异常的遥感构造影像模式。

经过处理得到 TM6 密度分割图,经假彩色合成得到图 4(见图版 I)的图像,从临汾市地质构造特征入手结合遥感地质构造和现有的资料对其进行判读,可确认红色斑块即为热水异常区。

做完上面的图像后我们又选取已知有热水分布的临汾市襄汾县西贾乡德西毛村附近的图像进行同样方法处理。结果如图 5(见图版 II),非常明显的红色斑点即为异常区。这说明在临汾市这种地质条件下使用密度分割法完全可行。

为了证明在其它地质环境下此法的可行性,我们又选取吕梁的柳林县作为试点,图 6(见图版 II)即为 ENVI 处理出的结果,图中的红色线条为高温地区。发现红色线条较多较杂,整体不够清晰,但总体仍然反映出异常。为此我们仔细分析了柳林青龙的地质结构,它位于三川河谷北侧,为柳林泉群的组成之一,南北两侧多褶皱和小断裂,组成一个向西凸出的弧形构造组合体,热水出自河北岸中奥陶系灰岩裂隙溶洞中。反观临汾东亢村与襄汾县的地质结构,东亢位于山前倾斜平原的前缘,基底为一个约 0.5 km² 的断块隆起,埋深 65~80 m,岩性为火成岩夹薄层砂页岩,隆起两侧有北东—南西向断裂,热水来自基岩裂隙构造中。而襄汾县地貌上为近东西向分布的黄土高台地,第四系松散冲积厚 80~200 m,下伏被燕山期火成岩穿插的奥陶系石灰,大致为北西西—南东东向分布的似菱形断块隆起,面积约 0.5 km²,热水产于灰岩裂隙溶洞中。从中我们可以看出柳林青龙与临汾东亢的地质结构具有明显差异。因此这种处理方法较适合于盆地,其它地区是否合适还有待进一步研究与考证。

5 结 语

本项目从理论和实际应用两个方面对红外遥感寻找地下热水技术进行了深入分析,在实际应用中与国内外同类技术相比有以下优势:

(1)综合国内外有关地热资源应用及其勘探技术的相关文献报道,尽管也有好多应用遥感技术研究地热资源的内容,但主要以地震和火山地热为主,而少量的地下热水的研究又以地质学方法、地球物理勘探方法、地热异常现象调查法以及地球化学等常规调查方法为主,这些方法虽然精度高,但对仪器要求规格高、花费大、周期长;而现代蓬勃发展的热红外遥感技术,具有可快速、经济、大区域定量研究热量资源和热场分布变化的特点,具有很好的经济效益和广阔的开发市场^[3]。

(2)在利用遥感技术探寻地下热水的研究中大部分仍主要着重于遥感影像的地质构造分析与影像的解译处理上,解译误差大,只能达到一定的定性分析,而本次研究着重挖掘了热红外技术在遥感影像成像中地热信息的重要作用,使其解译精度得到大大提高,达到90%以上。

(3)国内外同类技术在热红外影像温度反演验证结果与精度时,也多以 NOAA、MODIS 等的热红外波段劈窗算法为主,图像分辨率低、误差大,因此精度也低,成果不理想。而本次研究中,我们利用 TM/ETM+数据比 NOAA、MODIS 热红外波段具有更高的空间分辨率,适合地表温度和热空间分布的精确定量分析的特点,使其反演精度达到 2K 左右,能够更好的验证图像处理结果的准确性^[7,9]。

6 存在问题

本项研究在热红外影像处理方面取得了一定进展,但地热异常区的遥感信息识别仍然只是一项探索性的技术工作,它不能完全代替常规的地热勘探方法。遥感技术必须与其它技术方法相配合,与专业知识及专家思想相结合才能取得比较好的应用效果。由于遥感影像存在着太阳能辐射的干扰、微小温差在卫星传感器上很难识别、分辨率太小带来的混合像元问题、成像条件、同物异谱和同谱异物性、遥感信息传输过程中引起的信息衰减和增益等不可避免的据点。在图像处理过程中我们发现在某些方面仍有许多不足,还有待进一步完善。如果以后有

可能得到更多的经费支持和充足的时间,我们可以改善计算机软硬件环境,应用高分辨率图像进行更详尽更精确更实用的研究。我们相信能够在此基础上解决以上问题的不足,在图像处理方法上会有更进一步的突破。

参考文献:

- [1] Li T R, Wang L. Cross Century Choice: Main Energy Tendency in the 21st Century[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000. [李天瑞, 王龙. 跨世纪的抉择——21 世纪能源大趋势[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.]
- [2] Zhou H F, Liu C, Shi K F. A Review of Study on Geothermal Resources Exploration[J]. Progress in Geophysics, 2003, 4: 656-661. [周厚芳, 刘闯, 石昆法. 地热资源探测方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 4: 656-661.]
- [3] Zhou Y R. The Application of Thermal Infrared Remote Sensing Techniques in Geothermal Surveying[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1998, 4: 24-28. [周彦儒. 热红外遥感技术在地热资源调查中的应用与潜力[J]. 国土资源遥感, 1998, 4: 24-28.]
- [4] Qiao Y L. Primary Investigation on Applying Infrared Remote Sensing Technology to Find Groundwater Spacecraft [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 1998, (04): 24-28 [乔玉良. 应用红外遥感寻找地下热水初探[J]. 航天返回与遥感, 2002, 1: 33-35.]
- [5] Zhao H. The Research of Temperature Information Retrieval from Thermal Remote Sensing Image[D]. Wuhan University, 2005. [赵慧. 热红外遥感影像中温度信息的提取研究[D]. 武汉大学, 2005.]
- [6] Yang F J, Han Z. Thermal Infrared Remote Sensing of Geothermal Resources[J]. Mine Surveying, 1999, 3: 25-27. [杨锋杰, 韩震. 地热资源的热红外遥感[J]. 矿山测量, 1999, 3: 25-27.]
- [7] Pagano T S, EUiot D A, Gunson M R, et al. Operational Readiness for the Atmospheric Infrared Sounder(AIRS) on the Earth Observing System Aqua Spacecraft[A]. Proceedings of the International Society for Optical engineering (SPIE)[C]. Proc. SPIE 3rd Int. Asia-Pacific Remote Sensing Symp., 2002: 35-43.
- [8] Wang K L. Prediction on Underground Thermal Water Resources in Harbin Region[J]. Coal Technology, 2004, 23(1): 99-102. [王可丽. 哈尔滨地区地下热水资源预测[J]. 煤炭技术, 2004, 23(1): 99-102.]
- [9] Cao K, Jiang N. The Study on the Model of Terrestrial Heat Search by Infrared Remote Sensing Based on TM6 Image[J]. Remote Sensing Information, 2006, 2: 18-22. [曹凯, 江南. 基于 TM6 的地热资源的热红外遥感探查模型研究[J]. 遥感信息, 2006, 2: 18-22.]

**Study on Application of Finding Geothermal Water by Using
Infrared Remote Sensing Technology**

QIAO Yu-liang, LIAN Yin-zhuo, WANG Guo-fang,
LI Heng-li, LV Fang, LIU Bin-yan

(*Surveying Department of Taiyuan University of Technology ,Taiyuan 030024,China*)

Abstract: Using three images enhancement method (images subtract operation, IHS, density slicing on thermal infrared bands), this paper studied the application of thermal infrared remote sensing on detecting underground hot water, based on TM6 image which can reflect the radiate temperature difference. Combining the geological structure distribution rules and the field investigation, we get the unusual distribution area and the method which can detect underground hot water resource in the Shanxi province.

Key words: Thermal infrared remote sensing; Image processing; Underground hot water