doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2019.02.012

基于 Landsat 8 影像赤壁 - 嘉鱼地区岩性划分效果分析

何文熹,王 磊,杨玉龙

HE Wen-Xi, WANG Lei, YANG Yu-Long

(中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心),武汉 430205)

(Wuhan Centre of China Geological Survey(Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, China)

摘要:以鄂东南赤壁-嘉鱼地区为例,在缺少地表各岩石单元样品的情况下,对 Landsat 8 可见光近红外和短波红外(VNIR-SWIR)波段反射率数据进行处理提取岩性信息。首先对 VNIR-SWIR 多波段反射率数据进行最佳指数因子(IOIF)运算,得 出最佳波段组合 band7-band5-band2,从其假彩色合成图像上只能识别少量岩性单元;为了减少高相关性波段之间的信息 冗余度,并对波段信息进行集成,后对 Landsat 8 VNIR-SWIR 波段反射率数据采用主成分变换并进行彩色合成,能够有效 增强志留系、侏罗系及第四系地质单元之间的影像差异,从而划分岩性界线。对比已有地质资料,认为提取结果可靠,能为 野外地质工作提供基础信息。

关键词:Landsat 8;岩性;最佳指数因子;主成分分析(PCA);鄂东南赤壁-嘉鱼地区

中图分类号:P407.8;TP79 文献标识码:A

献标识码:A 文章编号:1007-3701(2019)02-0261-09

He W X, Wang L and Yang Y L. Analysis of Lithological Classification Effect in Chibi-Jiayu Area Based on Landsat 8 Image. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2019, 35 (2): 261– 269.

Abstract: Taking Chibi–Jiayu area in southeastern Hubei as an example, lithologic information was extracted from Landsat 8 visible near infrared and short wave infrared (VNIR–SWIR) band reflectance data in the absence of surface rock unit samples. Firstly, the optimal index factor (IOIF) of VNIR–SWIR multi–band reflectance data is calculated, and the optimal band combination band7–band5–band2 is obtained. Only a few lithologic units can be identified from its pseudo–color synthetic image. In order to reduce the information redundancy between high correlation bands and integrate band information, principal component transformation is used for Landsat 8 VNIR–SWIR band reflectance data. The color synthesis can effectively enhance the image differences among Silurian, Jurassic and Quaternary geological units, and thus divide lithologic boundaries. Compared with the existing geological data, it is believed that the extraction results are reliable and can provide basic information for field geological work.

Key words: Landsat 8 image; lithology; optimal index factor; Principal Component Analysis (PCA); Chibi-Jiayu area, southeastern Hubei Province

收稿日期:2019-2-28;修回日期:2019-3-31;责任编辑:庞迎春

项目基金:中国地质调查局项目"长江中游城市群咸宁-岳阳和南昌-怀化段高铁沿线1:5万环境地质调查"(DD20160248)

第一作者:何文熹(1987—),男,硕士,工程师,从事遥感与地理信息系统、遥感地质、矿山开发环境遥感等遥感应用方面研究,E-mail: 174663288@qq.com

遥感技术能够提供地表各种岩石、矿物及地球 化学信息,近几十年来一直被广泛应用于岩性填 图、矿床勘查和地表岩石风化特征研究^[1-4]。前人的 诸多研究已经证明,Landsat TM,MSS 和 SPOT 等 卫星遥感数据在识别地形、构造特征及与金属矿 床有关的蚀变岩方面效果显著,技术已基本趋于 成熟^[5-8],而随后出现的高光谱遥感数据如 AVIRIS、 Hymap、Hyperion 被用于岩石、矿物信息提取等方 面的研究更是取得突破性进展^[9-11]。

Landsat 8 为美国国家航空航天局 (NASA)于 2013年2月发射的陆地资源卫星,其携带的 OLI (Operational Land Imager)陆地成像仪传感器包括 8 个空间分辨率为 30 m 的多光谱波段和一个空间 分辨率为 15 m 的全色波段(表 1),在 0.45-0.90 µm 可见光和近红外(VNIR)波谱区间有4个波段,在 1.55-2.43 µm 短波红外(SWIR)波谱区间有2个波 段,基本继承了TM/ETM+数据的特点,同时进一步 对波段设置进行了优化,因而对该传感器在岩性识 别能力的深化研究具有理论及实践意义。

Landsat 系列卫星数据因其光谱信息丰富,被 广泛用于遥感岩性信息提取,其中图像色彩变换和 增强是一种较为直观和高效的方法,可以最大程度 加大地表不同岩石单元的光谱差异。本文以鄂东南 赤壁-嘉鱼为研究区,利用 Landsat 8 反射率数据进 行最佳指数因子运算、主成分变换和彩色合成等, 充分挖掘 Landsat 8 数据可见光-近红外和短波红 外中岩性信息。研究证明,此方法可在缺少地表岩 石样品的情况下,有效划定各影像岩性单元,对相 同条件下的地质填图工作具有借鉴意义。 1研究区概况

1.1 地理位置

研究区地处湖北省东南部、长江中游南岸,为 幕阜山低山丘陵与江汉平原的过渡地带,包括赤壁 市和嘉鱼县的一部分(图1红色方框范围)。地理坐 标为东经:113°45′~114°00′,北纬:29°40′~29°50′。 1.2构造背景

研究区位于扬子准地台下扬子台坪大冶台褶 带上,跨两个四级构造单元,中伙铺—青峰以南为 咸宁台褶束,以北为梁子湖凹陷,历经多次构造运 动,加里东、华力西-印支运动以垂直升降为主;燕 山运动早期形成褶皱、断裂,构成了研究区主体构 造格局(图 2)。

1.3 地层概况

嘉鱼-赤壁地区主要地层分布及组成见图 3。

志留纪地层主要分布东南部陆水水库周边地 区及中部尖峰脑-丁家庄一带,岩性以粉砂质页岩、 粉砂岩和页岩为主。石炭纪地层出露较少,主要分 布于北部的九甲王家和丁母山水库一带。岩性主要 为白云岩、灰岩等碳酸盐岩。二叠纪地层出露较为 齐全,主要分布在东北部的丁母山、虎山、行将山, 东南部的石家山,及西部的编辑山等地区,岩性主 要为生物屑灰岩、硅质岩和粉砂质页岩。三叠纪地 层主要分布在凤凰山、石家山和石滚山等地区,岩 性主要为灰岩和碎屑岩。侏罗纪地层主要分布在石 滚山、钉铜山、神明山一带,岩性主要为粉砂岩、粗 砂岩等陆相碎屑岩。

波段	波段名称	波长/μm	空间分辨率/m
band-1	气溶胶	0.433-0.453	30
band-2	蓝	0.450-0.515	30
band-3	绿	0.525-0.600	30
band-4	红	0.630-0.680	30
band-5	近红外	0.845-0.885	30
band-6	短波红外1	1.560-1.660	30
band-7	短波红外 2	2.100-2.300	30
band-8	全色	0.500-0.680	15
band-9	卷云	1.360-1.390	30

表1 Landsat 8 OLI波段参数设置 Table 1 Specteal bands setting of Landsat OLI







图2 鄂东南嘉鱼-赤壁地区构造纲要图

Fig. 2 Structural outline map of Jiayu-Chibi area, Southeastern Hubei Province



图3 鄂东南嘉鱼-赤壁地区地质图 Fig. 3 Geological map of Chibi-Jiayu area, Southeastern Hubei Province

2数据预处理

研究采用 Landsat 8 OLI 数据,获取时间为2017年2月16日,覆盖工作区范围为29°40′00″—29°50′00″N,113°45′00″—114°00′00″E。为了全面挖掘 Landsat 8 可见光-近红外、短波红外波段的岩性信息,需对 Landsat 8 所有波段进行数据预处理,从而减小数据在获取过程中形成的各种误差,提高岩性信息提取的精度。

遥感影像在获取过程中,会受到大气吸收与 散射、传感器定标、地形等因素影响,利用辐射 校正可以有效消除非地物变化所造成的图像辐 射值改变。采用 ENVI5.2 软件完成,利用 FLAASH 大气校正模块进行影像的大气校正,反 演为地表反射率数据。

3 岩性信息提取方法

3.1 VNIR-SWIR 最佳波段组合法

彩色合成是影像彩色增强应用最为广泛的一种处理技术。由于 Landsat 8 各波段所反映的地质

信息各不相同,选择 Landsat 8 影像中合适的波段 进行波段组合,继而进行 RGB 彩色合成是提取岩性 信息最实用而快捷的方法;在选择相应波段的过程 中,应尽可能使所选波段包含信息量大、波段间彼此 相关性小且对地表各地质单元有较好的可分性[12]。依 据上述原则进行波段选取,首先需对 Landsat 8 VNIR-SWIR 波段进行数据统计,表 2 和表 3 为 Landsat 8 数据 7 个波段之间的相关系数分布及单 波段影像的最小值、最大值、平均值、标准差及特征 值。其中,波段之间相关系数反应了两个波段之间 的信息重叠度,如果两个波段的相关系数越大,则 说明他们间的信息重叠度高;而波段间的相关系数 越小,表明各波段图像数据独立性越高,信息的冗 余度越小。各波段平均值代表了单波段影像的整体 亮度;标准差代表了单波段影像像元值的离散程度 即信息量的大小,数据越离散,越能反映地面不同 目标之间的差别。

本文依据 Landsat 8 数据 VNIR-SWIR 波段 的统计数据,采用 Chavez 提出的最佳波段组合 指数法^[13]选择 3 个波段进行 RGB 彩色合成来提 取地表岩性信息。其中最佳指数因子 IOIF = $(\sigma x + \sigma y + \sigma z)/(|\gamma xy| + |\gamma xz| + |\gamma yz|)$,表达式中: σx 、 σy

表2 Landsat 8 VNIR-SWIR 波段相关系数统计结果	
Table 2 Landsat 8 VNIR-SWIR Statistical results of band correlation coef	ficient

Correlation	b1	b 2	b 3	b 4	b 5	b 6
b 2	0.987127	1				
b 3	0.918916	0.945834	1			
b 4	0.864919	0.896271	0.957929	1		
b 5	0.161662	0.169069	0.262249	0.326507	1	
b 6	0.397482	0.422537	0.491544	0.619905	0.795418	1
b 7	0.585938	0.611472	0.64712	0.769106	0.63287	0.949781

表3 Landsat 8 VNIR-SWIR 9波段基本统计数据 Table 3 Landsat 8 VNIR-SWIR 9 Band basic statistics

BasicStats	Min	Max	Mean	Stdev	Eigenvalue
b 1	-0.08234	0.902095	0.238535	0.087791	0.007707
b 2	0.023442	0.243916	0.385878	0.037705	0.001422
b 3	-0.013212	0.160952	0.620457	0.021931	0.000481
b 4	0.005547	0.230219	0.092913	0.006908	0.000048
b 5	0.001233	0.152623	0.198788	0.005276	0.000028
b 6	-0.003521	0.073681	0.079015	0.002746	0.000008
b 7	0.007354	0.08276	0.053631	0.001335	0.000002

和 σz 分别为单波段 x,y 和 z 的标准差;γxy、 γxz、γyz 分别为波段 x、y、z 两两之间的相关系数,由此可知,最佳指数因子 IOIF 越大,对应的 波段组合所包含的信息量就越大,其反映的地 质信息也越明显。

通过对 7 个波段中可能出现的所有 3 波段组 合情况进行最佳指数因子计算,结果显示:Landsat band 7、band 4 和 band 3 波段组合所对应的 IOIF 值最大,对其进行 R:band 7,G:band 4,B:band 3 假彩色合成处理,得到结果图如图 4 所示。

分析 Landsat 7-5-2 假彩色合成图,可以看到, 图像反映的地貌和纹理信息丰富,整个研究区主要 由深蓝色、浅绿色、暗绿色、浅紫色、暗紫色和绿色 夹浅紫色几种色调组成,参照已知地质图资料(图 3),图中浅紫色、暗紫色、及绿色夹浅紫色部分为人 类活动痕迹明显的第四系分布区;呈西南-北东向 分布的绿色宽条带(图4中A、B处)与地质图中的 志留系岩层分布大致吻合,但区内东北部志留系和 二叠系岩层(图4,C)色调相似,无法区分;工作区 东南部及北部的暗绿色区域(图4,F、D)与地质图 中的二叠系岩层分布大致吻合;但工作区中侏罗系 岩层并无明显解译标志,无法进行影像地质单元划 分;且工作区西南部的志留系(图 4,E)和第四系岩 层色调相似,几乎不能加以区别。因此,运用最佳波 段组合方法只能进行部分岩性划分。

3.2 主分量彩色合成法

针对 Landsat 8 数据的可见光-近红外波段和 短波红外波段,进行主成分分析处理,用以去除各波 段之间的信息冗余度,将岩性信息集中表达在有限的 几个主分量中,从而达到增强岩性信息的目的。

首先,用 Landsat 8 VNIR-SWIR 7 个波段的反 射率数据进行数据统计计算,从表 1 可以看到,可 见光-近红外波谱区间内相邻波段之间的相关系数 平均值为 0.64904 (b1,b2,b3,b4 波段相关系数较 高(见表 2 中加粗数字),而 b5 与前 4 波段相关系 数较小,信息量相对独立,见表 2 加粗数字),短波 红外波谱区间内相邻波段之间相关系数的平均值 为 0.949781(见表 2 加粗数字),可见 Landsat 8 数 据相邻波段间的数据量存在很大冗余,尤其是短波 红外波段;然后对原始数据进行主成分变换处理,



图4 鄂东南嘉鱼-赤壁地区Landsat 8 7(R)-5(G)-2(B) 彩色合成图 Fig. 4 Landsat 8 7(R)-5(G)-2(B) Color composite image of Jiayu-Chibi area, southeastern Hubei Province

处理后的统计数据如表 4 所示,每个主成分变换后的主分量为原始数据每个波段的加权和,并各自反映了不同的地物信息,表 4 中数据值即为原始数据 波段对主分量的贡献因子。

从表 4 中贡献因子分布及表 3 中各波段的标 准差分布可以看出,第一主分量包含了所有波段的 信息,且权重相当,因此信息含量最多,包含了丰富 的纹理细节,但其统计信息没有很强的指向性;第 二主分量包含的信息几乎全部来自近红外波段,可 见光波段贡献为负值,短波红外波段信息贡献量较 少;第三主分量信息主要来自短波红外波段,贡献 为负值;第四主分量信息主要来自 band 1,band 2 和 band 7;和 band 4、band 6 的贡献值存在明显负 相关;第五主分量的信息量和 band 7 有很强的负 相关,但和 band 6 有较强正相关;第六和第七主分 量信息量只占不到 1.0 %,可以认为是噪声分量。

为了更直观地分析各主分量所包含的信息,提 取每个主分量的单波段影像,见图 5。PC1 包含了 原始数据集中方差最大的那部分,反映总体反射率 的大小,但图中志留系、二叠系、三叠系和侏罗系岩 层单元出露的区域影纹及色调特征明显,与周围第 四系反差明显,水系部分色调高亮,边缘明显,可以 很好地反映工作区内的主要地质单元影像信息。 PC2 波段信息主要来自 Band 5 近红外波段,而工 作区内植被覆盖面广,因此地质单元受植被波谱特 征影响较大,与碳酸盐、碎屑岩和页岩相对应的 OH⁻、CO₃²⁻、Fe²⁺、Fe³⁺离子吸收效应表现不明显,此 主分量影像上,整体色调偏暗,不能很好区分各岩 性单元和第四系覆盖物界限。PC3 波段信息量主要 来自短波红外波段,因区内出露较多的地质单元岩

表4 Landsat 8 VNIR-SWIR 9主成分分析统计结果 Table 4 Landsat 8 VNIR-SWIR 9 Statistical results of principal component analysis

Eigenvector	b 1	b 2	b 3	b 4	b 5	b 6	b 7
PC1	0.071612	0.082391	0.124442	0.196928	0.496508	0.661302	0.499976
PC2	-0.240747	-0.27127	-0.330441	-0.430849	0.676442	0.000039	-0.340671
PC3	-0.272891	-0.292396	-0.419695	-0.374818	-0.511611	0.420691	0.29099
PC4	0.504491	0.418117	-0.196905	-0.566792	0.080505	-0.247258	0.378187
PC5	0.287146	0.2811	0.216989	-0.285343	-0.166173	0.561139	-0.606247
PC6	-0.34063	-0.115071	0.768684	-0.481438	0.000175	-0.098345	0.19596
PC7	-0.639883	0.753026	-0.149825	0.025362	0.008059	0.003803	-0.018172

性主要为泥质岩、砂岩和页岩,其中粘土矿物的羟 基(OH⁻)在 Band 7 波段有明显的吸收峰,而 Band 7 波段在第三主分量贡献为正值,因此影像上,岩层 出露区域像素值偏低,影像色调偏暗,可以和周围 第四系覆盖物区分。PC4 波段信息主要由 Band 1、 Band 2(蓝光波段)和 Band 7 波段贡献,影像上地 质单元反映较弱,整体色调偏暗,强反射区域为蓝 色工矿厂房及部分住宅区。PC5 波段可见光-近红 外波段贡献较为平均,但在 Band 6 具有强反射,在

Band 7 具有强吸收,可以反映碳酸盐岩(CO₃²⁻)和 泥质岩(OH⁻)的光谱特征,影像上工作区东南部三 叠纪地质单元(色调偏亮)和二叠-志留纪地质单元 (色调偏暗)界限区分明显。

综上所述,在主成分变换的结果数据中,PC5、 PC3和PC1三个主分量的信息能够很好反映地表 地质单元的光谱响应特征,故采用R:PC5-G:PC3-B:PC1色彩组合方案。在此基础上进行岩性遥感解 译,如图 6。



图5 Landsat 8 VNIR-SWIR主成分变换1-6主分量影像图 Fig. 5 Landsat 8 VNIR-SWIR principal component transformation 1-6 principal component images



图6 Landsat 8岩性信息遥感解译图 Fig. 6 Remote sensing interpretation map of lithology information (Landsat8 OLI反射率数据主成分变换R:pc5-G:pc3-B:pc1彩色合成影像) S-志留系;P-二叠系;T-三叠系;J-侏罗系;Q-第四系

遥感解译图中,工作区东南角志留系呈暗紫 色,而与其相邻的二叠系和三叠系在影像上表现为 亮紫色,界限明显;分布于工作区中部陆水河附近 的志留系岩性单元呈暗紫色;分布于工作区东北部 二叠系、志留系和石炭系岩性单元也呈暗紫色,三 者从影像色调上很难区分;分布于工作区北部的暗 紫色区域经核实为二叠系岩性单元和志留系-石炭 系岩性单元。

第四系覆盖物在影像上颜色不均一,无明显规 律,根据其母岩成分不同,主要为红、绿、蓝、黄等细 小斑块构成,部分区域可根据影像色彩组合特征细 分至二级影像单元。

水系在彩色合成影像上表现明显,根据水深度,颜色由紫色--蓝色--青色渐变。

出露于区内中北部的侏罗系岩性单元在彩色 合成影像上无明显色调特征。

4 结论

(1)Landsat 8 数据最佳波段假彩色合成方案 得到的结果虽然能很好表现地形、纹理信息,但只 能区分出研究区内部分岩性,岩性提取效果并不太 理想。 (2)Landsat 8 数据的 VNIR-SWIR 波段虽然对 地表岩性信息识别有较大优势,但相邻波段间仍然 存在较大数据冗余,经过主成分变换处理后的主分 量各自包含了地表不同类别的岩性信息,且各自不 相关,可以有效地实现岩性信息的提取。

(3)主成分变换后的主分量为灰度图像,虽对 大的岩性单元有增强作用,但在表达一些微小而重 要的岩性单元上还存在不足,对各主分量进行彩色 合成后,能够有效增强志留系、第四系及侏罗系地 质单元之间的影像差异,从而划分岩性界线。

(4)研究区内二叠系和志留系岩性单元均表现 为暗紫色,很难通过色调划分界限,考虑两种地质 单元岩性组合不同,分别为生物屑灰岩、硅质岩和 粉砂岩和页岩,影像纹理特征会有不同,因此可采 用高分辨率遥感影像进行进一步岩性划分。

参考文献:

- [1] 侯德华,张立国,王 硕,王金贵,程州.基于GF-2-影像西藏桑耶地区岩性-构造遥感解译
 [J].中国地质调查, 2018,5(5):66-73.
- [2] 张 焜,马世斌,李宗仁,刘世英. 高分一号卫星数据遥感 地质解译[J].遥感信息,2016,31(1):115-123.
- [3] 周灵洁,张正伟,程远,沈能平,张宗山,游富华.西昆仑

北部地区铅锌铜矿带遥感构造蚀变信息提取与成矿预测[J]. 大地构造与成矿学,2011,5(4):603-611.

- [4] 王 彪,陈利燕,王 核,任广利,吴玉峰,黄朝阳,付王伟. 遥感蚀变信息定量提取方法在成矿预测中的应用—— 以西昆仑塔什库尔干地区为例[J].大地构造与成矿学, 2011,35(3): 372–377.
- [5] Salisbury J W, Mimms D L, Bender L V, Podwysocki M H, Jones O D. Analysis of Landsat 4 TM data for lithologic and image mapping purpose [C]. // Barker J. Landsat 4 Science Investigations Summary, Greenbelt. 1984.
- [6] 齐跃明,梁杏,万军伟.TM图像上断裂构造的识别及其 地质应用——以安徽南部东西向断裂构造为例[J].华南 地质与矿产,2003,(2):68-71.
- [7] 李昌国,张玉君.试用主分量分析方法提取澜沧江兰坪 地区铜矿化蚀变遥感信息 [J].国土资源遥感,1997. (1): 20-30.
- [8] Sultan M, Arvidson R E, Sturchio N C. Lithological mapping in arid regions with Landsat thematic mapper data: Meatiq dome, Egypt [J]. Geological Society of America Bulletin,

1987, 9(6):748-762.

- [9] Bernard E, Hubbard, James K, Crowley. Mineral mapping on the Chilean—Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 9:173–186.
- [10] 傅 锦,韩晓青,张杰林,裴承凯. 基于Hyperion数据的岩 矿蚀变信息的特征峰提取法 [J]. 世界核地质科学, 2008,25(1):40-47.
- [11] 阚明哲,田庆久,张宗贵.新疆哈密三种典型蚀变矿物 HyMap高光谱遥感信息提取 [J]. 国土资源遥感, 2005,63):37-40.
- [12] 姜小光,王长耀,王成.成像光谱数据的光谱信息特点 及最佳波段选择——以北京顺义区为例 [J]. 干旱区地 理,2002,23(3):214-220.
- [13] Chavez P S, Berlin G L, Sowers L B. Statistical methods for selection Landsat MSS ratios [J]. Journal of Applied Photographic Engineering, 1982, 8(1):23–30.