

王跃跃,陈蓉,申朝永,等.基于RS与GIS的碳酸盐岩遥感影像特征研究:以黔南地区为例[J].中国岩溶,2020,39(5):762-774.
DOI:10.11932/karst2019y20

基于RS与GIS的碳酸盐岩遥感影像特征研究 ——以黔南地区为例

王跃跃¹,陈蓉^{1,2},申朝永³,吴愈锋¹,陈炫炽¹,林国敏¹,康文华¹

(1. 贵州大学矿业学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省非金属矿产资源综合利用重点实验室, 贵阳 550025; 3. 贵州省遥感监测中心, 贵阳 550004)

摘要:文章利用 Landsat8 卫星影像数据,结合黔南碳酸盐岩岩性图、黔南构造要素图等地质资料,以石灰岩、白云岩以及石灰岩与白云岩互层三类岩组地层作为切入点,获取并分析了黔南地区碳酸盐岩的空间分布特征及其在遥感影像上的表现特征。结果发现:①石灰岩地层在影像上总体显示为色调单一、地形高差大,基本无水系和建设用地分布;白云岩地层在影像上总体表现为色调丰富、水系发育、建设用地分布多;石灰岩与白云岩互层地层总体影像特征介于二者之间。②分布于不同构造发育区域的碳酸盐岩岩组地层在遥感影像上的表现特征差异较大,即使是同种岩性的地层也会由于受到节理、断层、向斜和背斜等构造的影响形成形态各异的影像。

关键词:Landsat8 卫星影像;碳酸盐岩;构造;遥感影像特征;黔南

中图分类号:P627;P288.245 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2020)05-0762-13 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

随着遥感技术的发展,运用遥感影像来研究岩溶地貌已屡见不鲜,早在高道德《黔南岩溶研究》一书中已初步运用航空摄影像片来研究岩溶地形地貌^[1],之后众多国内外学者运用遥感影像对岩溶地貌进行了大量研究。如利用 Google Earth 影像分析岩溶地貌中节理对岩溶作用的控制^[2];基于遥感影像对岩溶地貌的研究^[3];利用航空像片来研究贵州岩溶地貌^[4]等。这些研究从遥感影像的角度对岩溶地貌的发育、演变特征做了详细地分析探讨,但对于岩溶地貌类型最齐全、各地质时期地层最多^[5-6]的贵州省黔南岩溶地貌遥感影像特征目前还未见学者进行过深入探讨。本文基于2014年到2016年三期 Landsat8 遥感影像,利用波段组合的方法对碳酸盐岩和岩溶地

貌信息进行增强处理,借助 GIS 软件平台结合相关地质资料,并形成了不同岩性的空间分布特征图,在此基础上结合构造特征对照分析其遥感影像特征。通过本文研究使地质工作者得以摆脱立足地面,囿于视野,难以直接对各种地质地貌现象获得综合客观信息的局限,并且本文为岩溶地区基础地质工作、生态环境评价、石漠化地质背景分析、合理利用监测以及有效保护岩溶环境等方面也提供了相关基础资料和数据。

1 研究方法

1.1 数据选取

本次研究采用了贵州省黔南三期 Landsat8 遥感影像,成像时间分别为2014年11月11日、2015年4

第一作者简介:王跃跃(1993—),男,硕士研究生,从事遥感地质研究工作。E-mail:853374266@qq.com。

通信作者:陈蓉,教授,E-mail:1304656630@qq.com。

收稿日期:2017-12-30

月3日和2016年8月29日,同时本文还利用1:50万黔南地区碳酸盐岩岩性图、1:50万的黔南地区构造

要素图(图1),以及黔南研究区的行政区划矢量边界。

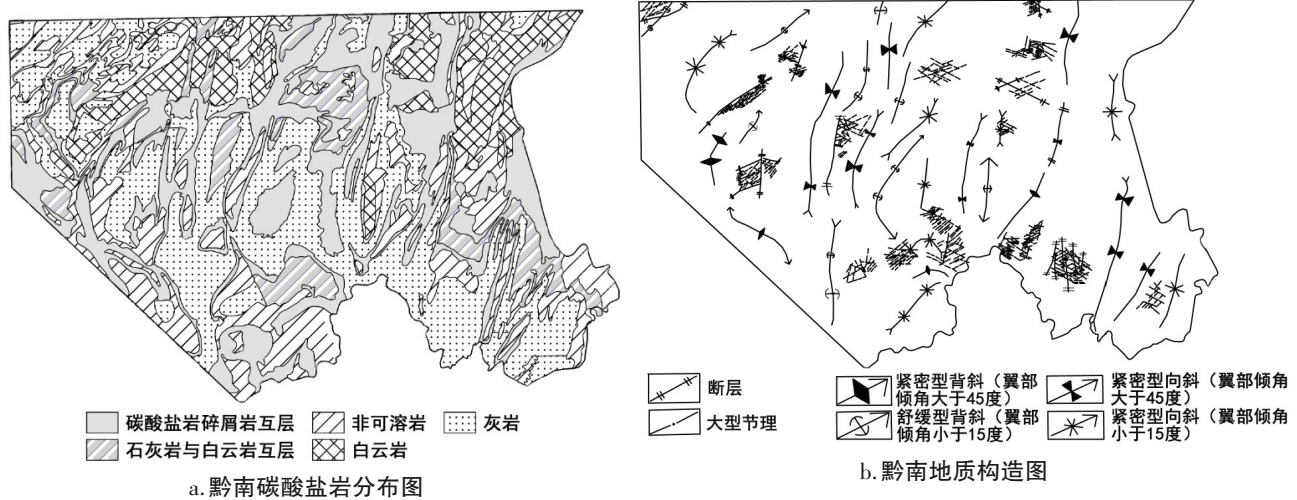


图1 黔南研究区地质背景图

Fig. 1 Geological maps of southern Guizhou area

a. Karst geology b. Carbonate rock group

将上述遥感影像数据中的多光谱影像在ENVI 5.1中以其全色影像为基准进行图像配准和融合。在配准过程中应用多项式变换模型(Polynomial)和定义多项式次方为3的投影变换,并且控制配准误差在0.5个像元内,使得配准后的影像具有相同的坐标系和投影,然后把配准后的多光谱影像与全色影像在ENVI 5.1中运用PCA变换进行融合,使融合后的影像数据空间分辨率达到15 m。最后在ArcGIS中将融合后的影像和地质资料图配准作为本次研究的数据源。

1.2 研究思路

第一,确定满足地质需要的最佳波段并生成黔南研究区假彩色影像;第二,借助ArcGIS将研究区假彩色影像和图1中的a、b图叠加,同时编制研究区石灰岩(石灰岩岩层占岩组(岩石地层单位)总厚度的70%以上)、白云岩(白云岩岩层占岩组总厚度的70%以上)、石灰岩与白云岩互层(石灰岩及白云岩的岩层厚度均大于岩组总厚度的30%,其总厚度大于岩组总厚的70%)在黔南的空间分布图;第三,将遥感影像、碳酸盐岩岩组分布图地理信息化;第四,基于ArcGIS提取各岩性岩组的面积,建立工作区岩性岩组数据库;第五,大量截取不同岩性岩组的影像图,采用人机交互解译的方式分析对比各类岩性岩组在遥感影像上的表现特征。

1.3 波段选择

Landsat8影像有11个波段、光谱信息丰富,为了获得最佳的地质解译图以完成地质解译工作,在进行遥感影像处理时,利用选取最佳波段组合的方法来合成假彩色影像图。选择最佳波段时以波段方差和标准差越大,信息含量越多;波段组合对所研究地物类型的光谱差异尽量大为原则来确定波段的组合。基于此原则,本文选择美国学者查维茨提出的最佳指数法(OIF)进行最佳波段选择,其公式如下:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 G_i}{\sum_{j=1}^3 |K_{ij}|} \quad (1)$$

式中: G_i 为第*i*个波段的标准差; K_{ij} 为*i*和*j*两个波段的相关系数。根据(1)式计算出的OIF数值越大,说明相应波段组合的影像信息量越大、影像信息的重叠和冗余较少,这样就能得出最佳波段的组合^[7-13]。

Landsat8包含了11个波段,其中1~9波段属于OLI传感器,10和11波段属于TIRS传感器。OLI中的第8波段为全色波段,第9波段为卷云测定;TIRS中的10和11波段用于地表温度的研究,这些波段对本文研究意义不大,故本文只选择OLI中的1~7波段进行统计。利用ENVI5.1中computer statistics工具分别对Landsat8影像的每一个波段进行统计,得出他们的最大值、最小值、均值、标准差以及各个波段之间的相关系数矩阵,见表1和表2。

表1 波段特征统计表

Table 1 Statistics of band features

波段	最小值	最大值	平均值	标准差
1	9 854	35 789	6 715. 11	3 252. 82
2	8 310	37 378	6 092. 88	3 633. 86
3	7 850	38 245	5 767. 51	4 026. 86
4	6 948	40 244	4 991. 35	5 125. 45
5	5 898	58 498	5 501. 22	5 432. 86
6	5 910	49 384	8 173. 07	5 850. 64
7	5 375	51 947	8 094. 09	5 677. 23

从表1可以得出:band6和band7的标准差较大(band6>band7),即信息含量最多,二者需选其一,而band7在岩性、地质构造的解译中目视解译效果更佳,因此为必选波段。

表2 波段相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of band

波段	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.96	0.93	0.86	0.78	0.75	0.71
2	0.96	1.00	0.95	0.91	0.81	0.78	0.75
3	0.93	0.95	1.00	0.96	0.87	0.79	0.75
4	0.86	0.91	0.96	1.00	0.94	0.84	0.78
5	0.78	0.81	0.87	0.94	1.00	0.93	0.78
6	0.75	0.78	0.79	0.84	0.93	1.00	0.91
7	0.71	0.75	0.75	0.78	0.79	0.91	1.00

通过对表2进行相关性分析,得出波段组合157,147、357、257、457相关性较小,根据公式(1)分别计算这5种组合的最佳指数法,结果见表3。

表3 波段组合最佳指数法计算结果表

Table 3 Calculation result of band combination using optimal index method

波段	$\sum_{i=1}^3 G_i$	$\sum_{j=1}^3 K_{ij} $	最佳指数法 (OIF)
147	14 055. 50	2. 35	5 981. 06
157	14 362. 91	2. 28	6 299. 52
257	14 743. 95	2. 35	6 274. 02
357	15 136. 95	2. 41	6 280. 89
457	16 235. 54	2. 51	6 468. 34

由表3可知,波段457组合的最佳指数法最大,故本文最终选择波段4、5、7组合为假彩色合成RGB波段。

2 岩性分布特征

2.1 假彩色影像图获取

将融合后的影像按波段4、5、7假彩色合成后在ArcGIS10.0中按照贵州省黔南研究区的矢量边界裁剪得到研究区的范围,并在ENVI5.1调节影像数据真值,使得影像的整体亮度均匀如图2。

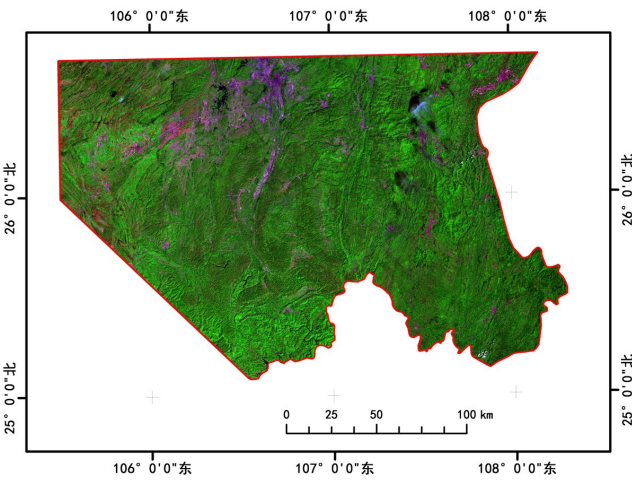


Fig. 2 Pseudo-color synthetic map of southern Guizhou area

2.2 岩性分布特征

各类岩性在黔南研究区均有分布。其中碳酸盐岩较为发育,主要分布在以黔南为中心的织金、紫云、罗甸、长顺、贵阳、平塘、独山、荔波、凯里等地区。为了方便统计分析研究区各岩性的分布面积,本文将图2和图1b配准,在ArcGIS10.0中以图1b为基准利用shapefiles文件创建面要素勾绘出黔南岩性分布图并矢量化(图3)。

借助ArcGIS10.0对矢量化后的黔南岩性分布图进行空间数据统计,得到研究区总面积约为36 687 km²。其中,碳酸盐岩的面积约为29 043 km²,占研究区总面积的79.17%;非可溶岩面积约为7 644 km²,占研究区总面积的20.83%。研究区碳酸盐岩分布较为集中,主要为石灰岩、白云岩、石灰岩与白云岩互层、碳酸盐岩与碎屑岩互层。其中,石灰岩面积12 150 km²,占研究区总面积的33.12%;其次是碳酸盐岩夹碎屑岩面积为9 506 km²,占总面积的25.91%;白云岩(面积为4 053 km²)、石灰岩夹白云岩(面积为3 334 km²)等类型的岩组出露面积则相对较少,各占总面积的11.05%和9.09%(图4)。

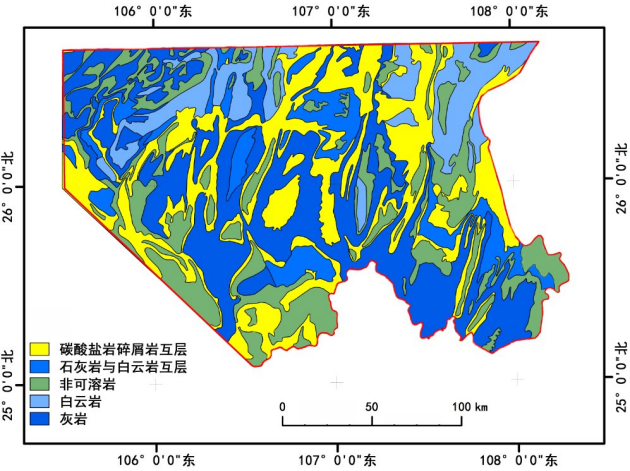


图 3 黔南岩性分布图

Fig. 3 Map showing distribution of lithologies in southern Guizhou

3 碳酸盐岩地层的遥感影像特征

研究区的主要地貌类型除了典型的峰林、峰丛、岩溶盆地、溶丘洼地外,由正负地形组合而成的峰林盆地、峰林谷地、溶丘洼地、峰丛洼地和峰丛谷地等组合地貌类型也分布广泛^[14]。从Landsat 8假彩色合成后的影像上可以看出:不同的岩性、构造在假彩色影像上的表现特征各不相同,如纹理、色调、形状。

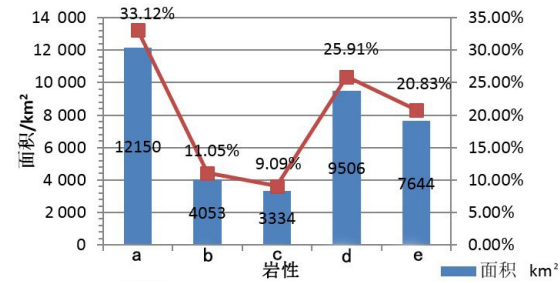


图 4 不同岩性岩组面积分布图

Fig. 4 Map showing area distribution of different lithologies in southern Guizhou

a-石灰岩 b-白云岩 c-石灰岩白云岩互层 d-碳酸盐岩碎屑岩互层 e-非可岩溶

这些特征间接验证了岩石性质和地质构造是影响地貌发育的一个重要因素^[15-20]。为了探讨不同碳酸盐岩在遥感影像上的表现特征,本文从石灰岩、白云岩和石灰岩与白云岩互层三个方面来开展探讨。

3.1 石灰岩地层的遥感影像特征

黔南地区石灰岩分布面积最大,占总面积的33.12%。为了分析石灰岩地层在遥感影像上的表现特征,以图1、图3为基础,借助ArcGIS 10.0绘制研究区石灰岩地层的遥感影像图(图5),以及石灰岩地区的地质构造图(图6)。

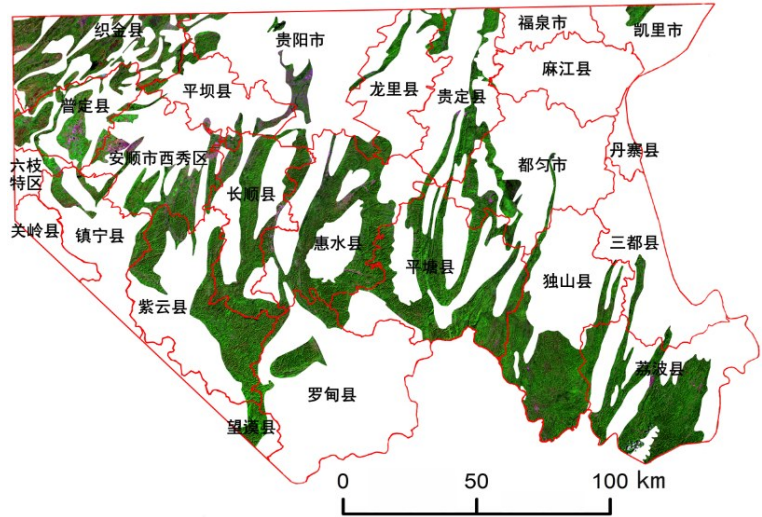


图 5 黔南石灰岩地层遥感影像图

Fig. 5 Remote sensing image of limestone strata in southern Guizhou

由图1a和图5得知石灰岩在泥盆系、石炭系及二叠系中均有发育,但空间分布呈明显的不均匀性:在安顺和织金等地的北东方向呈零星小块排列分布;惠水东西方向的广大地区呈环状、条带状平行分布;长顺、独山和荔波的南部呈大面积的块状分布;贵阳

周边、都匀、凯里、罗甸南部、紫云西南方向、关岭、平坝和龙里等地区基本没有分布。图6反映了黔南石灰岩地层中的构造主要有节理、断层、向斜和背斜,空间上分布较为均匀。

岩溶地貌形成的原因之一是石灰岩在地表的分

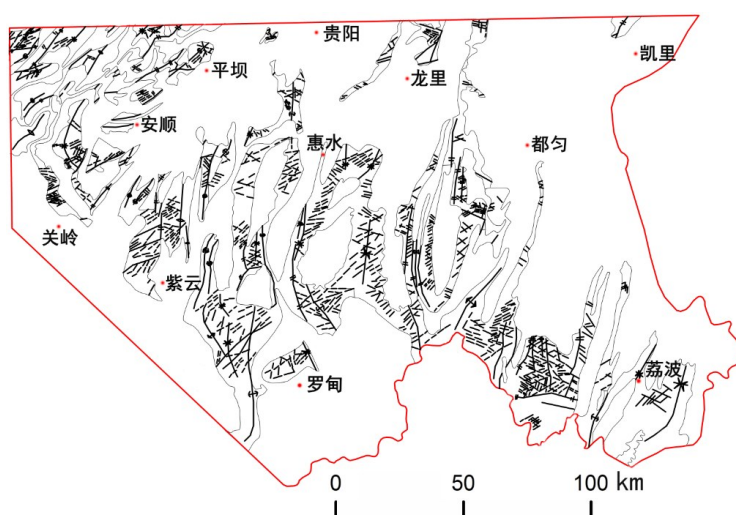


图6 黔南石灰岩地区地质构造图

Fig. 6 Geologic structural map of limestone areas in southern Guizhou

布和出露,也是石灰岩地区流水长期溶蚀的结果^[21]。分布于不同构造部位上的石灰岩地层,其影像特征也千差万别。本文在图5中截取影像50余张,探寻石灰岩地层在遥感影像上的表现特征。

(1)无构造影响区。主要分布有中寒武统高台

组和下寒武统清虚洞组石灰岩,其受到明显的溶蚀作用,易形成高差小的峰丛洼地等地形地貌,造就纹理均匀的蜂窝状、蠕虫状、不规则线条状等深绿色影像。如安顺、织金一带(图7a)和荔波以南的广大地区(图7b)。

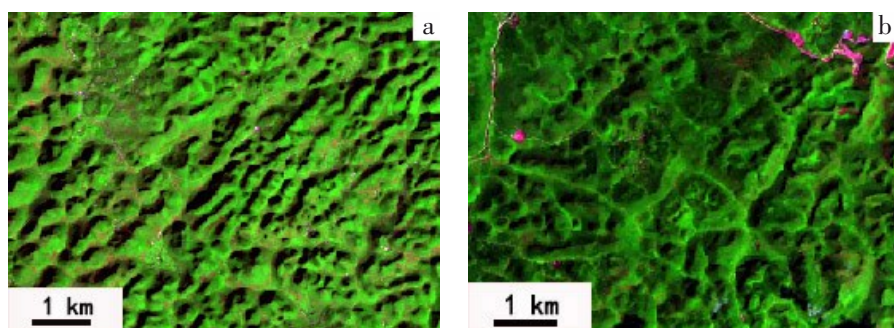


图7 无构造影响区石灰岩地层遥感影像

(a. 安顺、织金一带 b. 荔波以南)

Fig. 7 Remote sensing images of limestone areas without tectonic effect

(a. Anshun and Zhijin county b. South of Libo)

(2)节理发育地区。绝大部分石灰岩分布于紧密的褶皱区,其间由于节理倾角大和空间位置发生变化,使得地层在垂直方向的展布受到控制,并贯穿整个碳酸盐地层,这利于降水下渗,以致此类地区中地表水系不发育、基本无建设用地分布,其影像特征普遍呈刀砍纹形状结构,节理的线性条纹明显。分布于节理带间且地形较高的山峰,由于碳酸盐岩风化成土速度缓慢和受大气降水的侵蚀,往往易发生石漠化,影像上纹理较粗大,阴影突出,如平塘县四寨镇地区(图8a);少部分分布于舒缓褶皱区,在此类

地区中节理平行展布构成交叉线性网络状的岩溶沟谷系统,此种情况下地形不再是限制岩溶谷道发育的主要因素,谷间峰锥往往沿同一方向不等间距排列,在形状上为长条状绵延数十公里并保持在同一方位,该地区的岩溶影像纹理浅显呈花生壳状,如麻江县凤山镇地区(图8b)。

(3)节理和断层共同发育区。节理和断层为大气降水的下渗提供了条件,水流沿着断层面和节理面溶蚀石灰岩,形成第四纪红黏土和亚黏土,在影像上整体呈现三角形、菱形和多边形组合等形成的网

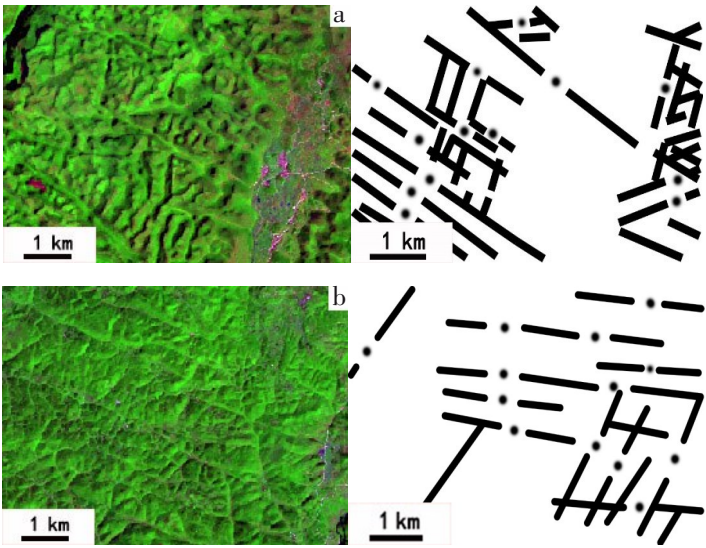


图 8 节理发育区石灰岩遥感影像及对应构造图
(a.平塘县四寨镇地区 b.麻江县凤山镇地区)

Fig. 8 Remote sensing images of limestone areas and corresponding geological structure map in areas with well developed joints
(a. Sishai town, Pingtang county b. Fengshan town, Majiang county)

状图案。在水流侵蚀、搬运作用强烈的地区,红黏土堆积在断层和节理带间形成的低洼地形带往往石漠化不发育,影像上色调为粉红色,如织金县以西(图

9a);反之,红黏土堆积在峰丘、溶丘上,影像特征则为巨大的三角形和菱形格网的棱角上嵌入红晕色的不规则斑块,如独山县南部地区(图 9b)。

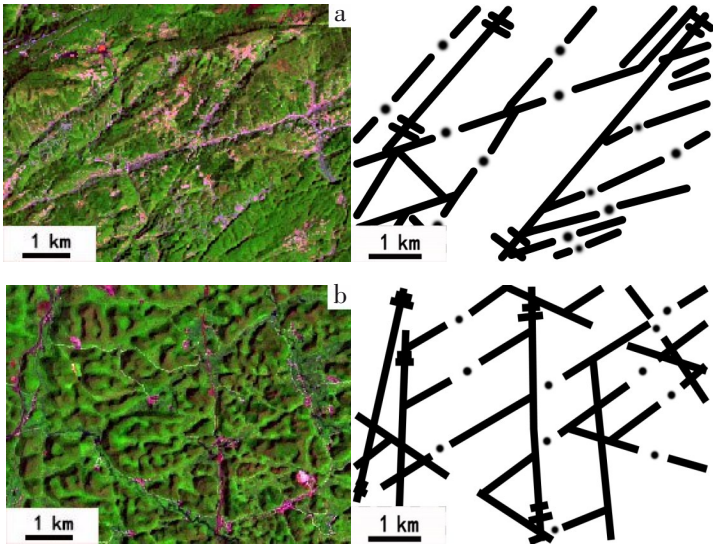


图 9 节理和断层发育区石灰岩遥感影像及对应构造图
(a. 织金县以西 b. 独山县南部地区)

Fig. 9 Remote sensing images and corresponding geological structure map of limestone in areas with well developed joints and faults
(a. West of Zhijin county b. Southern Dushan county)

(4)背斜发育区。分布于紧密型背斜上的石灰岩地层在影像上呈明显的条带状,且条带平行排列绵延数百里、岩层层理清晰,如平塘县马坡村一带(图 10a);舒缓型背斜上发育的石灰岩地层在影像上

也显示为条带状,但部分背斜在垂直条带方向出现断裂,导致岩层层理不明显、线性延伸不连续和在背斜断裂处有块状分布的影像特征,如平塘县平里河附近(图 10b)。

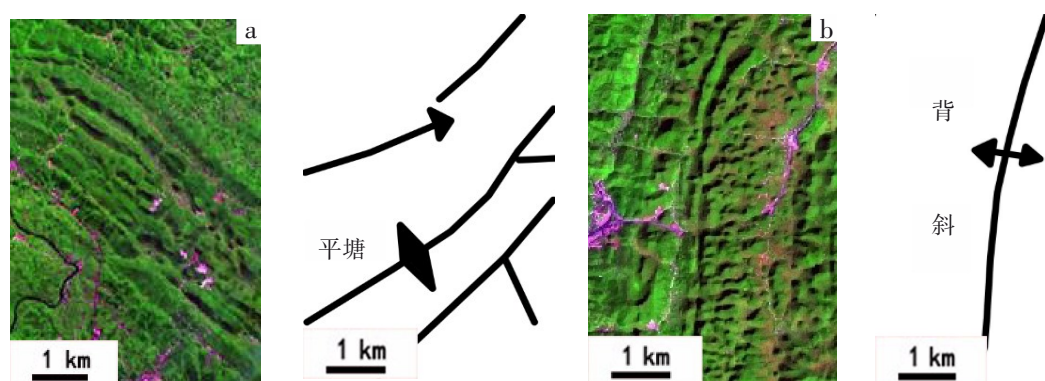


图 10 背斜发育区石灰岩遥感影像及对应构造图

(a. 平塘县马坡村一带 b. 平塘县平里河附近)

Fig. 10 Remote sensing images and corresponding structural maps of limestone in areas with well developed anticlines

(a. Mapo country, Pingtang county b. Near Pinglihe, Pingtang county)

(5) 向斜发育区。紧密型向斜发育区的影像特征与背斜地区呈现的条带状线形平行排列纹理极其相似,具有很强的规律性。石灰岩地层在向斜核部拗陷形成明显的走向线,在翼部凸起并与走向线平行对称分布,地层层理清晰可见,如惠水县大塘镇

镇一带(图 11a);分布于舒缓型向斜的石灰岩地层往往受到节理的影响形成特殊影像,如马蹄形、粽子形和霉点状等图案,在整个舒缓型向斜地区中霉点状所占面积最大且最为典型,如惠水县摆金镇一带(图 11b)。

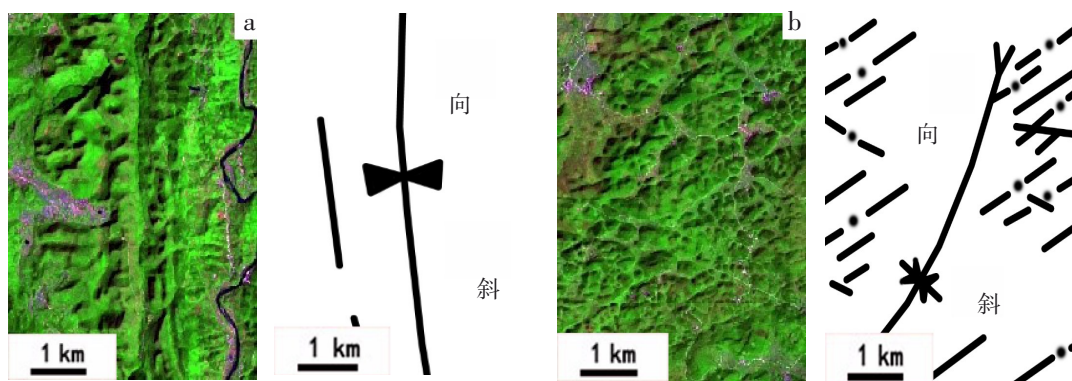


图 11 向斜发育区石灰岩遥感影像及对应构造图

(a. 惠水县大塘镇一带 b. 惠水县摆金镇一带)

Fig. 11 Remote sensing images and corresponding structural maps of limestone in areas with well developed synclines

(a. Datang town, Huishui county b. Baijin town, Huishui county)

3.2 白云岩地层的遥感影像特征

白云岩在黔南的出露面积较少,占总面积的 11.05%。同上借助 ArcGIS10.0 绘制研究区白云岩地层遥感影像图(图 12)及其地质构造图(图 13)。

从图 12 可以看出白云岩分布比较集中,主要成片分布于贵阳、安顺一线和都匀、凯里地区。由图 13 可知黔南白云岩地层中的构造主要有节理、断层、舒缓型向斜和背斜,其中节理、舒缓型向斜和背斜主要分布于贵阳、安顺地区;断层主要分布于凯里、都匀地区。在图 12 上截取白云岩影像 30 余张,探寻白云岩地层在遥感影像上的表现特征。

(1) 无构造影响区,白云岩主要分布于奥陶系下统和寒武系中统,一般遭受明显的溶蚀和剥蚀作用,形成高差百余米的丘峰与洼地等地貌类型。遥感影像上表现为绿色斑点状夹杂不规则条带和细纹,深绿斑点与条带代表了单体或群体锥峰,浅绿斑点与细纹则是缓坡上发育良好、覆盖厚的第四系红土,充填于沟谷中的岩溶洼地形成紫红、深绿及浅绿相间的网状图案;另外,影像水系发育(黑色)、建设用地分布多(紫红色),在风化剥蚀严重区域,破碎感强。如麻江县下司镇(图 14)。

(2) 节理和断层共同发育区。白云岩主要分布

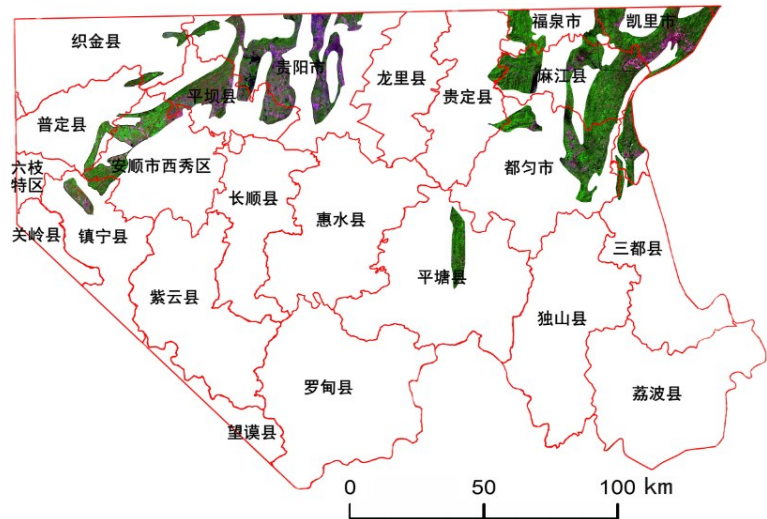


图 12 黔南白云岩地层遥感影像图

Fig. 12 Remote sensing image of dolomite in southern Guizhou

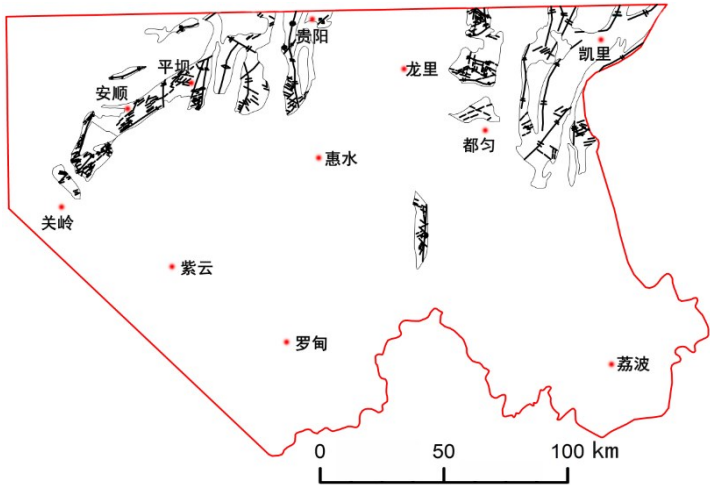


图 13 黔南白云岩地区地质构造图

Fig. 13 Geological structure map of dolomite areas in southern Guizhou



图 14 麻江县下司白云岩地层遥感影像

Fig. 14 Remote sensing image of dolomite in Xiasi town, Majiang county

于下三叠统安顺组,由于节理和断层通透性好,其节理面和断层面在空间上近乎直立状态,地表水优先选择此种破裂面作为与地下水连接的通道^[22],故地表水系发育。在流水的强烈侵蚀下,溶丘间往往发育有较大封闭性洼地 and 小型浅平洼地,峰林间发育有负地形谷地。沟谷中堆积发育红土为非石漠化地区,在影像上呈紫红色;溶丘、峰丛发育不明显,在影像上呈块状。形成的影像特征是紫红色格网中嵌入亮绿色不规则斑块,如安顺市镇宁上寨白云岩(图15)。

(3)节理发育区。白云岩在负地形中发育率很低、沟壑纵横、高差相差较大,故发育成为槽谷,在正地形中发育成为基座相连的峰丛,形成面状、绿叶状和表面凹凸起伏的影像特征,如麻江县坝芒白云岩(图16)。

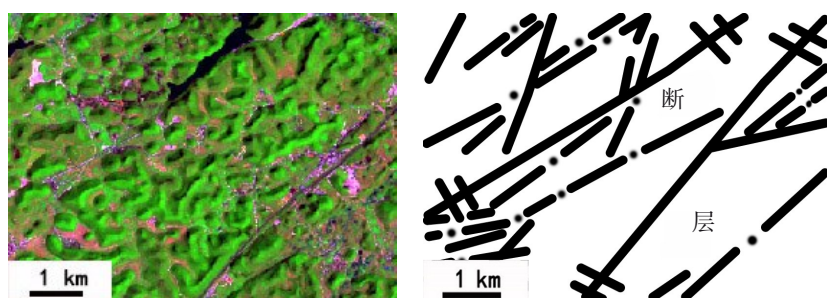


图 15 安顺市镇宁白云岩遥感影像及对应构造图

Fig. 15 Remote sensing image and corresponding tectonic map of dolomite in Zhenning town, Anshun City

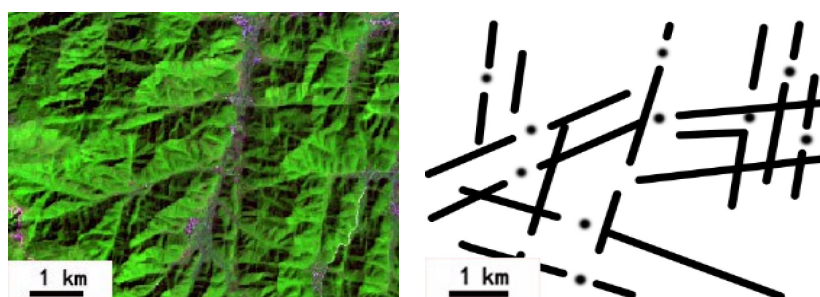


图 16 麻江县坝芒白云岩遥感影像及对应构造图

Fig. 16 The remote sensing images and corresponding tectonic maps of dolomite in Bamang, Majiang county

(4)分布于舒缓型背斜部位,同时受几组节理控制的白云岩,在背斜核部形成光滑连续的条带状图案;背斜翼部由于地表水沿着节理面下渗,流水侵蚀

作用较为强烈,造就峰丛槽谷的地貌,在遥感影像上表现为纹理分明的亮绿色粗斑状图案。如平塘县牙周镇白云岩(图17)。

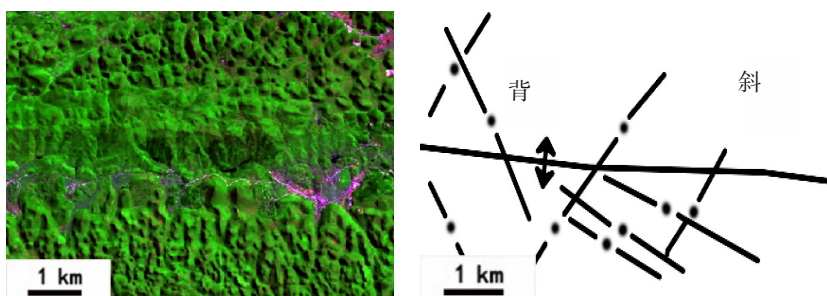


图 17 平塘县牙周白云岩遥感影像及对应构造图

Fig. 17 Remote sensing image and corresponding tectonic map of dolomite in Yazhou town, Pingtang county

(5)分布于舒缓型向斜部位的白云岩,在向斜核部拗陷形成明显的走向线,在翼部凸起并与走向线平行对称分布,地层层理清晰可见,翼部部分区域呈现线性构造延伸不远,具有断裂的影像特征。如丹寨县大田村白云岩(图18)。

3.3 石灰岩与白云岩互层地层的遥感影像特征

石灰岩与白云岩互层地层在黔南的出露面积最少,占总面积的9.09%。同上借助 ArcGIS10.0 绘制研究区石灰岩与白云岩互层地层遥感影像图(图19)

及其地质构造图(图20)。

从图19可看出石灰岩与白云岩互层地层主要分布于贵阳、平坝、安顺、关岭一线、龙里南部、荔波北部和罗甸北东方向。从图20可知该类地层中基本都有构造分布,主要类型有:紧密型和舒缓型向斜、节理、断层。在图19中截取石灰岩与白云岩互层地层影像30余张,探寻该类地层在遥感影像上的表现特征。

(1)研究区中的石灰岩与白云岩互层地层基本

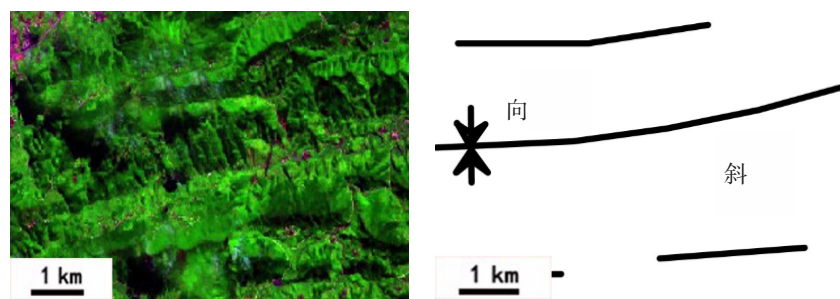


图 18 丹寨县大田村白云岩遥感影像及对应构造图

Fig. 18 Remote sensing image and corresponding tectonic map of dolomite in Datian village,Danzhai county

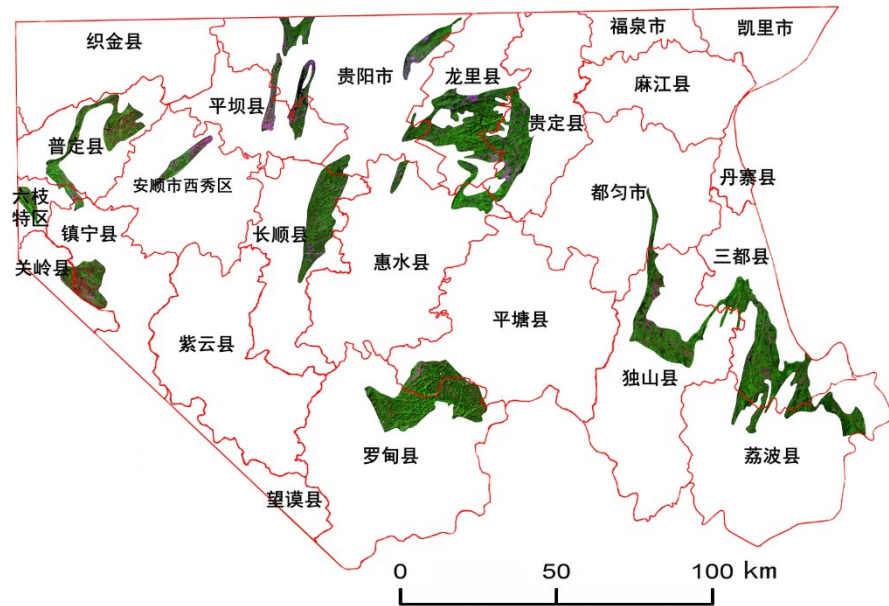


图 19 黔南石灰岩与白云岩互层地层遥感影像图

Fig. 19 Remote sensing image of limestone interbedded with dolomite in southern Guizhou

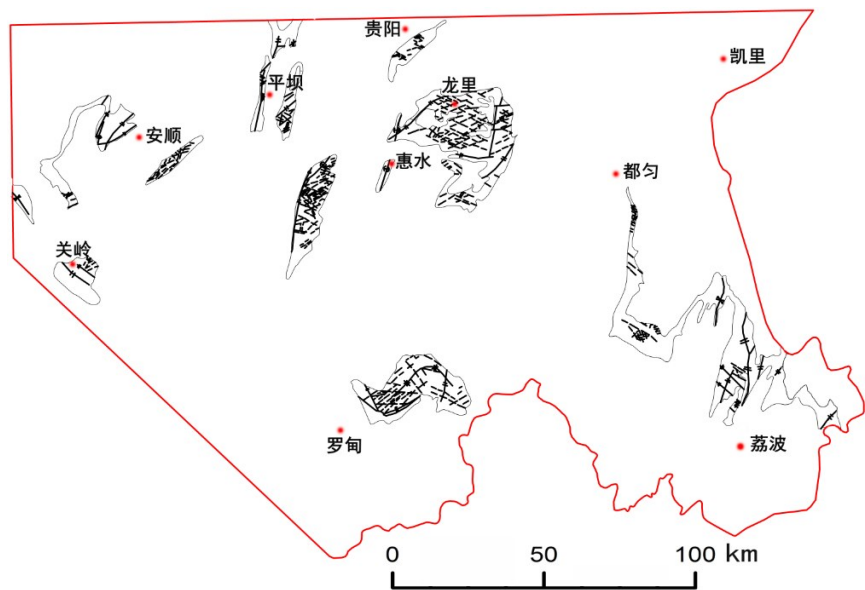


图 20 黔南石灰岩与白云岩互层地区地质构造图

Fig. 20 Geological structural map of limestone interbedded with dolomite in southern Guizhou

都有节理分布。如罗甸县徐家冲一带(图 21),以石灰岩与白云岩互层为主体的三叠系地层形成起伏较大的峰丛深洼地形,受几组大型节理的影响,峰体多且颜色深暗并作细长的扁豆状定向排列,狭窄的岩

溶洼地则呈亮绿色的线状沿节理方向展布,且有相互交叉,局部形成规则的 x 型图案,总体构成花生壳状图案。这里锥峰个体较小,峰体则相对较大,体现了岩溶向深发育的特点。

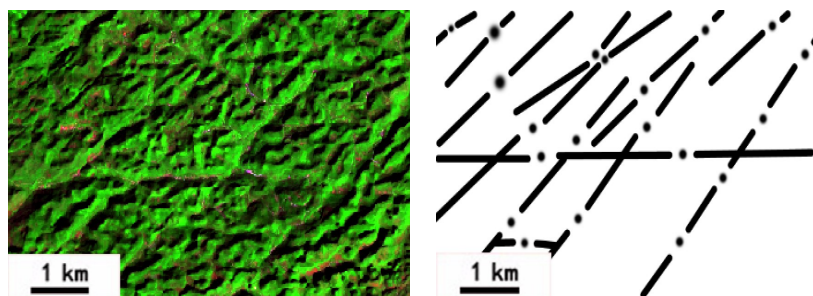


图 21 罗甸县徐家冲石灰岩与白云岩互层地层遥感影像及对应构造图

Fig. 21 Remote sensing image and corresponding structural map of limestone interbedded with dolomite in Xujiachong, Luodian county

(2)向斜发育区。石灰岩与白云岩互层地层的影像特征受交错发育的大型节理展布所控制。如罗甸县董架乡一带,三叠系石灰岩与白云岩互层地层多形成起伏较大的峰丛洼地地形(图 22a),影像中向斜的核部有明显的走向线,受到几组大型节理的影响,在翼部脊状峰丛和深陷的槽谷组合成不规则的

网格状图案。三都县甲良一带(图 22b),石炭系石灰岩与白云岩互层地层分布于紧密型向斜上,形成峰丛浅洼,向斜核部有明显走向线,在翼部凸起并与走向线平行对称紧密排布,其间峰林和洼地则显示为深绿色块状和浅绿色的麻点状,总体反映为密集的绿色条带状平行排布。

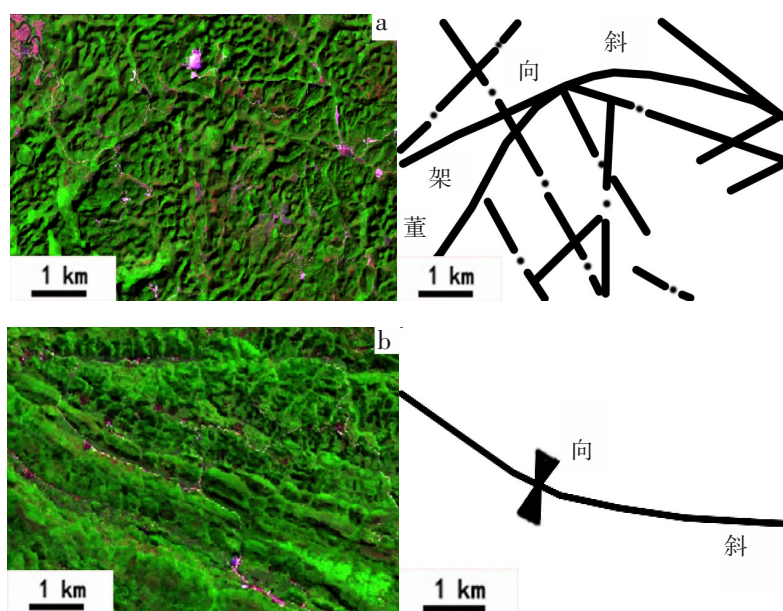


图 22 向斜发育区石灰岩与白云岩互层地层遥感影像及对应构造图

(a. 罗甸县董架乡一带 b. 三都县甲良一带)

Fig. 22 Remote sensing images and corresponding tectonic maps of limestone interbedded with dolomite in areas with well developed synclines

(a. Dongjia country, Luodian county b. Jialiang, Sandu county)

(3)节理和断层共同发育地区。石灰岩与白云岩互层的三叠系地层中地表水沿着断层面和节理带

下渗,第四纪红黏土发育良好,影像上显示为红晕色斑点状;由于地形切割深度强烈、地形高差较大,这

为正地形的峰丛和负地形的洼地发育提供了条件,并且节理和断层的走向线明显,在影像上反映为网

格状中夹杂有深绿色椭圆形和红晕色斑点状,如罗甸县花红关(如图23)。

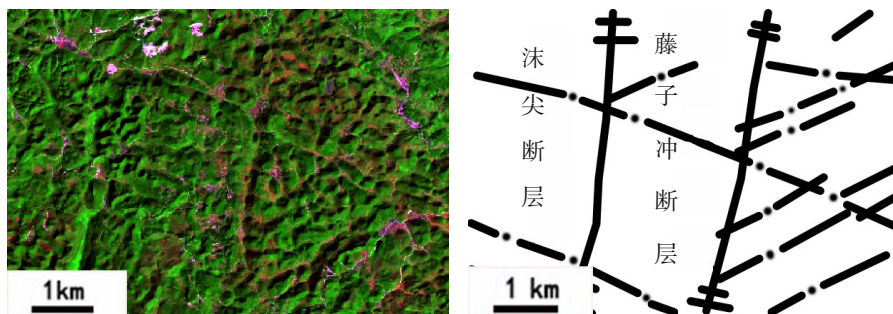


图23 罗甸县花红关石灰岩与白云岩互层地层遥感影像及对应构造图

Fig. 23 Remote sensing image and corresponding structural map of limestone interbedded with dolomite in Huahongguan, Luodian county

在黔南新构造运动^[23]和岩溶向深发育的作用下,岩溶高原地面逐步解体^[24],不同的岩性地层、构造和较老岩溶时期形成的岩溶地貌被大面积间歇性抬升,使得新老岩溶地形沿水平、竖直方向不断更替造成上述碳酸盐岩在影像上的差别。

4 结 论

本文利用Landsat8遥感影像结合GIS技术手段,系统地开展了碳酸盐岩在遥感影像上表现特征的研究,编绘了黔南岩性的空间分布图,统计了各岩性岩组的分布面积,对照构造要素图,分别对石灰岩、白云岩、石灰岩与白云岩互层地层在遥感影像上的表现特征进行论述。

(1)借助ArcGIS10.0软件平台,进行不同岩性的分类、提取、叠加和统计,得到碳酸盐岩在黔南地区中分布均匀且面积大,占总面积的79.17%;非可溶岩除了在罗甸、猴场和荔波东北部成块分布外,其余都是零星分布,占总面积的20.83%。碳酸盐岩中石灰岩在黔南分布面积最大,为总面积的33.12%;白云岩分布面积次之,为总面积的11.05%;石灰岩与白云岩互层分布面积最小,为总面积的9.09%;

(2)全面截取黔南全境碳酸盐岩出露地区的遥感影像。对比分析影像资料,发现无论是否受到构造的影响,石灰岩在Landsat8遥感影像上颜色较深,易于和其他岩石区分,并呈块状、条带状、环状分布,地形高差大、色调单一、纹理均匀,水系、建设用地分布少。白云岩地层在影像上总体表现为破碎感较强,主色调呈亮绿,色调丰富、水系发育、建设用地分

布多。石灰岩与白云岩互层地层影像特征介于二者之间;

(3)黔南碳酸盐岩的遥感影像表明,在各种碳酸盐岩地层中岩溶性影像都有明显的反映。研究区影像中的网格状、菱形状、面状和绿叶状等图案本质上都是这些线性影像交叉发育的结果,并且线性影像往往是断层与节理的反映,而条带、环带状影像则与背斜、向斜等构造有关;

(4)构造发育形式对碳酸盐岩地层的遥感影像特征有较大影响。石灰岩、白云岩、石灰岩与白云岩互层的三种岩性地层在节理发育、节理和断层共同发育、褶皱(背斜和向斜)发育,以及褶皱和节理共同发育的不同构造区域,其影像特征有较大差别。如在纹理上不同表现为线状、网格状、条带状、块状、绿叶状、花瓣状、霉点状、蘑菇状以及三角形、菱形等;色彩上不同则表现为绿色、深绿色、浅绿色、红色、紫红色等。

参考文献

- [1] 高道德,张士从,毕坤,等.黔南岩溶研究[M].贵阳:贵州人民出版社,1986,1-385.
- [2] 杨瑞东,盛学庸.从谷歌影像分析区域大型“X”共轭节理系统对宏观岩溶作用的控制[J].地质论评,2008,35(3):193-203.
- [3] Rao D P. Remote sensing application in geomorphology [J]. Tropical Ecology, 2002,43(1): 49-59.
- [4] 毕坤,盛学庸,董存忠.航空像片在区域岩溶地貌研究中的应用[J].中国岩溶,1996,13(2):113-119.
- [5] 张世丛.黔南岩溶发育规律探讨[J].中国岩溶,1984,3(2):34-47.
- [6] 毕坤.同期异形在岩溶地貌演化中的意义:以黔南地区为例[J].中国岩溶,1984,3(2):56-66.

- [7] 许茜.多源遥感影像融合最佳波段选择及质量评价研究[D].青岛:山东科技大学,2007.
- [8] 张焜,李宗仁.基于ZY-102C星数据的遥感地质解译:以塔吉克斯坦帕米尔地区为例[J].国土资源遥感,2015,27(3):143-152.
- [9] 邓书斌,陈秋锦.ENVI遥感图像处理方法(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2016:112-133.
- [10] 张明华.西藏墨脱公路断裂构造遥感分析及信息提取[J].国土资源遥感,2006,3(1):56-61.
- [11] 刘宁宁.多源遥感影像在东昆仑成矿带东段地质构造解译与成矿预测中应用[D].北京:中国地质大学,2015.
- [12] John R. Jensen. Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective Third Edition [M]. The United states of America: Pearson Education, 2005, 143-164.
- [13] 张焜,李宗仁.基于ZY-102C星数据的遥感地质解译:以塔吉克斯坦帕米尔地区为例[J].国土资源遥感,2015,27(3):143-152.
- [14] 杨明德,张英骏.贵州西部的岩溶地貌[J].中国岩溶,1987,6(4):345-352.
- [15] 李宗发.贵州喀斯特地貌分区[J].贵州地质,2011,28(3):177-181.
- [16] 赵吉发.碳酸盐岩相与岩溶地貌发育的初步探究:以贵州三叠系为例[J].中国岩溶,1994,13(3):261-269.
- [17] 王润生,熊盛青,聂洪峰等.遥感地质勘查技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1699-1743.
- [18] 焦树林.喀斯特地区流域地貌与岩性的统计关系探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):95-100.
- [19] 韩源.地质遥感中地质构造的识别与分析[J].信息系统工程,2011,7(22):31-33.
- [20] 杨晓平.基于TM遥感影像的流域地貌研究[J].科技通报,2003,19(2):150-153.
- [21] 宋林华.喀斯特地貌研究进展与趋势[J].地理科学进展,2000,19(3):193-202.
- [22] 杨瑞东,文雪峰,魏晓,等.利用Google Earth研究构造对喀斯特地貌的控制和对碳酸盐岩岩系风化成土的影响[J].地球与环境,2009,37(4):319-325.
- [23] 熊康宁.新构造运动对贵州锥状喀斯特发育的影响[J].贵州地质,1996,13(2):181-186.
- [24] 冯金良,崔之久,朱立平.高海拔山地碳酸盐岩风化壳的发育特征及其地貌意义[J].中国岩溶,2002,21(4):239-244.

Research on remote sensing image characteristics of carbonate rock based on RS and GIS: An example of southern Guizhou region

WANG Yueyue¹, CHEN Rong^{1,2}, SHEN Chaoyong³, WU Yufeng¹, CHEN Xuanchi¹, LIN Guomin¹,
KANG Wenhua¹

(1. Mining College, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. The Key Laboratory for Comprehensive Utilization of Non-metallic Mineral Resources in Guizhou, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Remote Sensing Monitoring Center of Guizhou, Guiyang, Guizhou 550004, China)

Abstract The purpose of this work is to obtain and analyze the spatial distribution characteristics of carbonate rocks in the southern Guizhou area and their expressions on remote sensing images. The data used include the Landsat8 satellite image, a geological map of scale 1 : 50 million, carbonate rock distribution map and tectonic map of the study area. The limestone, dolomite and limestone interbedded with dolomite are primary objects to observe. The results show that whether or not it is influenced by the structure, the limestone strata are generally characterized by single color, large topographic relief and non-river system and construction land distribution on the image. The image features of the dolomite strata are rich colors, well-developed rivers and more construction land. And the image features of limestone interbedded with dolomite strata are between the limestone and dolomite strata. Structural styles, such as joints, faults, and anticlines, have great influence on the characteristics of the remote sensing image of carbonate rocks, resulting in quite different feature seen on remote sensing images.

Key words Landsat8 satellite image, carbonate rocks, tectonic landform, remote sensing image features, southern Guizhou region

(编辑 张玲)