

喀斯特石漠化遥感监测技术研究

况顺达 李志忠 代传固

(1. 贵州省地质调查院; 贵阳 550008; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要:中国西南喀斯特石漠化是我国存在的又一生态地质问题, 如何准确、快速、经济地监测石漠化的变化, 为石漠化的后续治理、石漠化的演变分析提供科学依据, 是迫切需要解决的关键技术问题。本文应用遥感动态监测的基本理论和方法, 从遥感数据选择、数据预处理、石漠化演变图像提取、石漠化变化信息的分类分级、石漠化变化信息自动提取等方面入手, 总结了石漠化遥感监测的技术路线与方法。通过试验区的示范研究与大范围应用及意外调查验证表明, 该方法实用、监测结果准确。

石漠化即石质性荒漠化, 是指在亚热带岩溶石山地区脆弱的生态环境条件下, 由于自然或不合理的人类活动作用下导致植被遭受破坏、土层严重流失而引起基岩逐步裸露的生态退化、地表呈现荒漠化景观的过程。西南喀斯特地区石漠化分布广泛, 涉及 8 个省 330 多个县, 面积 61.74 万 km^2 ^[1, 3]。靠单纯的地面工作对石漠化的自然变化与治理效果监测费时、费力、费钱, 并难以定量监测, 调查的标准和结果也会因人而异。需要利用遥感技术快捷、信息量大的优势对其进行监测。

1 基本原理及方法

石漠化遥感监测是利用变化检测的原理与方法, 对同一地区不同时相遥感数据所生的石漠化指数图像进行变化检测, 提取其中的变化信息, 达到快速监测的目的。并对石漠化变化情况进行量化后, 以确定变化的等级。

变化检测的方法一般是针对特定应用提出来的, 与实际的应用相关。传统的影像的解译与判读主要靠人工进行, 依赖于解译人员的经验, 可重复度和精度都不高, 处理周期也较长, 同一地区或大范围的解译工作量大, 多幅影像的对比解译重复劳动量大。快速、自动的检测方法日益受到重视, 特别是随着遥感信息源的不断增加、数据量急剧增长, 需要研究技术手段和实用的方法, 满足对数据现势性要求的需要。变化检测的方法较多, 赵英时等认为, 将图像经过几何配准和辐射校正等图像预处理后, 选取不同的算法增强和区分遥感图像中相对变化的区域, 将变化检测的方法分为光谱类型特征分析、光谱变化向量分析和时间序列等三大类, 其中第一大类包含多时相图像叠合方法、图像代数变化检测算法、多时相图像主成分变化检测、分类后对比检测等四小类^[4]。邓湘金^[5]根据变化检测方法所使用的知识, 又将变化检测方法分为三大类: 基于模式识别知识的变化检测法、基于混合技术的变化检测法和其它变化检测法。李德仁院士^[6]根据图像配准和变化检测的数据源两个因素, 将变化检测方法分为两大类七种方法: 第一类是先进行图像配准的变化检测方法; 第二类是变化检测与图像配准同步进行的方法。该分类方案不仅包括图像与图像之间的变化检测, 还包含图像与地图数据、DEM 数据、DOM 数据、DLG 数据、DRG 数据等多源的非遥感数据, 不仅是二维图像数据之间的变化检测, 还扩展到三维立体数据间的变化检测问题, 增加了变化检测的难度, 大大提高了变化检测的精度。

2 实验区及数据选择

试验区一位于贵州省南部，地理坐标为东经 $106^{\circ}00'00''$ - $106^{\circ}55'00''$ ，北纬 $25^{\circ}15'00''$ - $26^{\circ}25'00''$ ，面积约 2000km^2 。行政区划包括罗甸县、惠水县、龙里县的部分地区。地处黔中山原向广西低山丘陵过渡的斜坡地带，地势总体上北高南低。属亚热带润湿季风气候区，多年平均气温：春季 16-20 ，夏季 20-26 ，秋季 16-20 ，冬季 6-10 ；除罗甸无霜冻外，其余地区冬季有霜冻，气候垂直分异比较明显，北部高山区较冷，南部低洼地较热；年降雨量 110-1450mm。试验区为坝王河 5 级流域，该流域多伏流，主要由三段组成，北部为发源于惠水县甲烈的摆郎河，往南流至平寨南变成伏流，中段为克度河，由姜塘往南流至塘变附近变为伏流；南段的坝王河从罗甸的大小井流至八总南汇入蒙江^{1,2}。

试验区为五级岩溶流域单元，峰林、峰丛、漏斗、溶沟、落水洞等各类岩溶地貌发育。发育重度石漠化、中度石漠化、轻度石漠化、微度石漠化等不同程度的石漠化。

使用的遥感数据为 1990 年 6 月 10 日、1998 年 11 月 7 日 TM 数据，利用 1:5 万地形图，1:5 万区域地质图、1:20 万区域地质图、1:20 万区域水文地质图，其它的辅助数据有 1:10 万的土地利用图等。

3 石漠化遥感监测的方法与步骤

石漠化遥感监测的技术流程如图 1。

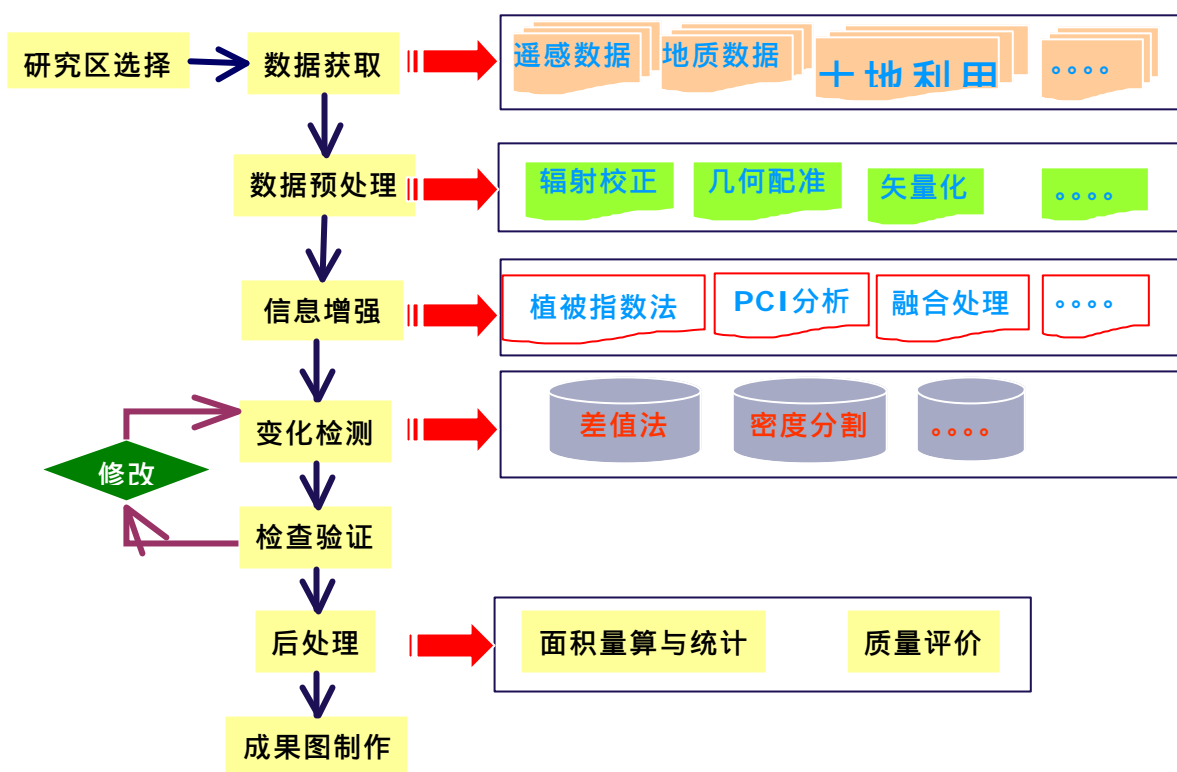


图 1 喀斯特石漠化遥感监测流程图

3.1 数据预处理

3.1.1 辐射校正

1. 1:20 万贵阳幅水文地质报告，贵州省地质矿产局
2. 1:20 万罗甸幅水文地质报告，贵州省地质矿产局

TM 数据进行辐射校正采用内部误差辐射校正的方法得到遥感影像的表现反射率，利用以下公式^[7-9]：

$$\text{计算光谱辐射亮度 } L \quad L = Gain \times DN + Bias \quad (1)$$

$$\text{计算表现反射率 } r \quad r = \frac{p * L * D^2}{ESUN * Cosq} \quad (2)$$

3.1.2 几何校正

以 1:5 万地形图为基础图件，在地形图上选择控制点，采用高斯克吕格投影 6 度分带系统对 1990 年图像进行二次多项式纠正。使用项目组开发的影像快速自动配准模块对 1998 年图像进行相对配准。校正精度控制在一个像元以内。

3.1.3 掩膜处理

利用 masking 技术对图像中非碳酸盐岩分布区、水体等非石漠化信息进行掩膜处理，以减少干扰信息。

3.2 生成石漠化指数图像

地表植被的覆盖状况能够较好地反映石漠化的分布情况，植被覆盖度的高低与石漠化的程度呈负相关关系，石漠化程度越高，植被覆盖度越低；石漠化程度越低，植被覆盖程度越高。可以利用植被指数的方法来计算石漠化的信息。利用改进的增强植被指数（EVI）图像能很好的反映石漠化的情况。EVI 可以利用下式求得^[10-11]：

$$EVI = 2.5(r_{NIR}^* - r_{Red}^*) / (r_{NIR}^* + C_1 r_{Red}^* - C_2 r_{Blue}^* + L) \quad (3)$$

利用上式分别对经过预处理后的两个时像 TM 数据进行处理，得到两个时间段的石漠化指数图像。

3.3 石漠化变化指数图像

利用差值法对两个时像的石漠化指数图像进行计算，得到石漠化的变化指数图像（图 2）。

$$F = F1 - F2 \quad (4)$$

式中 F1 代表晚期石漠化指数图像，F2 代表早期石漠化指数图像。

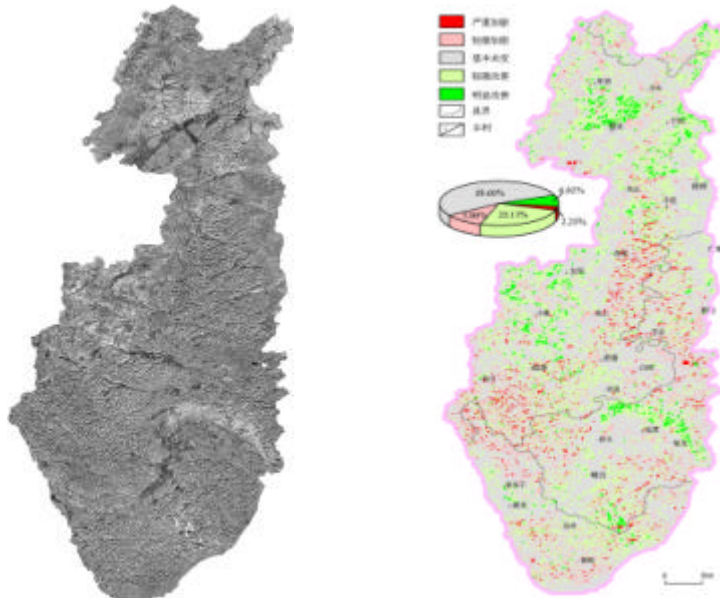


图 2 试验区 1990-1998 年石漠化变化指数图像

图 3 试验区 1990-1998 年石漠化变化监测结果图

3.4 石漠化变化信息自动提取

利用 RS 与 GIS 一体化技术对石漠化的变化指数图像 F 进行处理，根据石漠化变好与

加剧情况，划分为明显改善、轻微改善、基本未变、轻微加剧及严重加剧五个量化等级（表 1）。根据野外调查结果确定每个量化等级的阈值。利用不同的阈值对石漠化的变化指数图像进行自动信息提取^[12]，得到喀斯特石漠化监测结果图（图 3、表 3），该结果图与传统的遥感监测结果不同、为矢量图，不仅与遥感影像图的投影参数相同，能叠加显示、分析等；还带有拓扑结构、每个图斑有矢量属性，便于 GIS 统计分析、建立石漠化数据库，为后续的石漠化演变分析提供了方便。其结果不仅包含了石漠化变化信息，同时还定量地确定了其变化程度，根据变化的程度划分变化的等级。

表 1 石漠化变化等级划分表

变化程度等级	标 准
明显改善	石漠化程度由高至低改善三个等级（以上）
轻微改善	石漠化程度由高至低改善两个等级
基本未变	石漠化程度等级变化在一个范围以内
轻微加剧	石漠化程度由低至高加剧两个等级
严重加剧	石漠化程度由低至高加剧三个等级以上

表 2 坝王河五级流域 1990 年与 1998 年石漠化遥感监测结果表

变化等级	严重加剧	轻微加剧	基本未变	轻微改善	明显改善
面积 (km ²)	43.99	156.28	1153.58	490.81	117.63

从表 2 及图 2 的监测结果可以看出，从 1990 年到 1998 年坝王河五流域内石漠化总体呈现改善的趋势。但局部又有差异，流域北部甲烈—摆榜—小寨、中部的克度北东等地，石漠化改善明显。在 743 波段假彩色合成图上（图 4，图中白色箭头所指处），可以明显地看到此现象。但在部的斗底—平谷、西南部的翁吕—塘边一线，石漠化呈现加剧的趋势。在石漠化改善明显的地区，地下水循环一般以水平运移为主，地势坡降相对较小（图 5）。

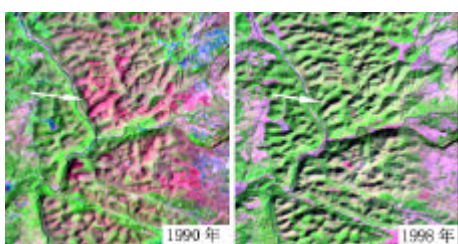


图 4 石漠化演变遥感图

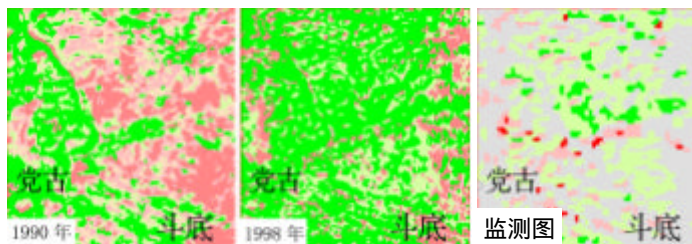


图 5 石漠化遥感现状调查图及变化监测图

从 1992 年以来，当地政府在石漠化地区实施了一系列比较重要的工作，如鼓励农民修建沼气池来解决老百姓做饭用的燃料问题，以改变传统的砍伐森林作为燃料的方式；实施封山育林工程；实施移民搬迁工程等有效措施，大大减少了人为对自然的破坏，并辅以生态整理工程，使石漠化得到了改善。而在石漠化加剧的地区，主要为乌江期地貌，地势坡降相对较大，地下水循环一般以垂直运移为主，降雨后地表水快速渗漏，地下水埋藏较深，地表植物生长缓慢或难以生长，单纯靠自然措施石漠化向难以良性循环的方向发展。

以上事例说明，在自然条件比较好的地区，治理石漠化相对比较容易；而在自然条件差的地区，单纯靠自然措施治理石漠化的难度比较大。

利用以上方法在西南喀斯特部分地区的石漠化遥感变化监测推广应用表明，该方法快

速、准确，能定量地反映石漠化的变化，对石漠化演变分析、后期石漠化治理具有重要指导意义。

4 结论与讨论

(1) 喀斯特石漠化遥感监测涉及众多的技术，影响的因素多，其中遥感数据的预处理、石漠化指数图像及其变化图像的处理、变化信息自动提取极为关键，对结果的影响较大。通过多种方法对比试验分析，总结出本文的方法，并在大范围内推广应用，表明该方法化具有快速、准确、能定量地反映石漠化的变化，对石漠化演变分析、后期石漠化治理具有重要指导意义。

(2) 通过野外调查、结合室内数字图像处理，将喀斯特石漠化的变化划分为明显改善、轻微改善、基本未变、轻微加剧及严重加剧五个量化等级，对区域石漠化的演变分析及提供预警给出了具体的量化指标，为政府决策提供依据。

(3) 影响喀斯特石漠化变化的因素众多，在自然条件好的地区，如地下水位埋藏较浅、地势起伏较小，不纯碳酸盐岩布露区一般比较容易治理，减少人为破坏，石漠化的改善程度较好；而在自然条件较差的地区，如地下水位埋藏较深、地势起伏较大，纯碳酸盐岩布露区一般比较难以治理，加上人为破坏，石漠化容易加剧。

参考文献

- [1] 袁道先，我国西南岩溶石山的环境地质问题，大自然探索，1996.no4：21-23
- [2] 王世杰，喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨，中国岩溶，2002，no.2：101-105
- [3] 鞠建华、宋鸿儒、周萍，我国西南地区石漠化现状遥感调查，全国国土资源与环境遥感技术应用交流会论文集（武汉），2004：14-17
- [4] 赵英时，遥感应用分析原理与方法，北京：科学出版社，2003
- [5] 邓湘金，基于模式识别知识的遥感图像变化检测研究：[博士论文]，北京：中国科学院电子研究所，2002
- [6] 李德仁，利用遥感影像进行变化检测 武汉大学学报（特刊），2003：7-12
- [7] 朱述龙，遥感图像获取与分析，北京：科学出版社，2000
- [8] 梅安新，彭望球等，遥感导论，北京：高等教育出版社，2001
- [9] Jenson John R., Introduce digital image processing: a remote sensing perspective, 2nd ed. Prenticse Hall. Englewood Cliffs, N.J, 1996
- [10] Enhanced Vegetation Index (EVI) [R]. <http://tbrs.arizona.edu/project/MODIS/eviphp>, 2003.
- [11] 王正兴、刘 闯、Huete Alfredo, 植被指数研究进展：从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI，生态学报，2003，23（5）：979-987
- [12] 童立强，西南岩溶石山地区石漠化信息自动提取技术研究，国土资源遥感，2003，58(4)：35-40