

# 石漠化遥感调查

童立强

(中国国土资源航空物探遥感中心)

## 1. 石漠化定义

石漠化目前尚无统一的正式的定义,但一般认为应属荒漠化的一种类型。经 1993 和 1994 年“国际荒漠化公约政府谈判委员会 ICD”的多次讨论,在正式通过的《联合国关于发生严重干旱和或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》中将“荒漠化”叙述为:在包括气候变异和人类活动在内的种种因素作用下,干旱、半干旱和亚湿润干旱区的土地退化。可见荒漠化的本质特征是发生在干旱、半干旱或亚湿润干旱区的土地退化。

我们所讲的“石漠化”是荒漠化的一种,即在湿润-半湿润气候条件下,在岩溶石山分布地区或以岩溶石山分布为主的地区,由水蚀作用引起的石质荒漠化。石漠化的基本过程为气候变异和人类活动而导致的地表森林植被破坏、土壤侵蚀加剧、土层变薄,基岩逐步裸露,地表呈现荒漠景观。其结果是直接导致耕地锐减、农业减产和谷物与畜产品为原料的工业崩溃,造成区域经济衰退,严重威胁到社会的稳定与经济的可持续发展。显然,石漠化的概念包括动态和静态两层含义,动态上指的是石漠化发生、发展的演化过程,而静态上则指的是特定时间演化的结果,即各类石漠化生态景观。

## 2. 石漠化程度分级

通常以裸露基岩占总面积的比例、裸露基岩的结构和分布特征、植被结构等为石漠化分级的基本依据,参照已有荒漠化分级的标准,我们在工作中将区域岩溶石山地表生态景观分为四个等级类型,即无石漠化(岩石裸露程度 < 30%)、轻度石漠化(岩石裸露程度 30 - 50%)、中度石漠化(岩石裸露程度 50 - 70%)和重度石漠化(岩石裸露程度 ≥ 70%)。

## 3. 石漠化演变分级

演变是一定时间区间内的变化,根据适用性原则及遥感技术特点,我们将区域岩

溶石山地表生态景观在一定时间区间内的变化分为五种类型,即明显改善、轻微改善、基本未变、轻微加剧和严重加剧五类来代表石漠化演变情况。

#### 4. 调查使用的遥感数据

1:50000 航片、QuickBird 数据(0.61m 全色+2.44m 多光谱)、IKONOS 数据(1m 全色+4m 多光谱)、SPOT-2 数据(10m 全色+20m 多光谱)、SPOT-5 数据(2.5m 全色+10m 多光谱)、ASTER 15 m 多光谱数据、02B 星多光谱数据、ALOS 多光谱数据、TM 多光谱数据。

#### 5. 技术路线

高分辨率数据源,大比例尺调查【1:50000 航片、QuickBird 数据(0.61m 全色+2.44m 多光谱)、IKONOS 数据(1m 全色+4m 多光谱)及 SPOT-5 数据(2.5m 全色+10m 多光谱)】多采用人机交互目视解译,解译标志清晰。

10m 分辨率以下数据源,小比例尺调查多采取遥感数据与多源数据相结合、计算机自动信息提取与人机交互解译相结合、室内综合研究与实地调查相结合的技术路线。

#### 6. 石漠化遥感信息提取主要步骤

工作中通常采取的石漠化现状遥感信息提取主要步骤为:首先,生成具备时空可比性的石漠化指数图像(植被指数),同时编制工作区碳酸盐岩分布图,建立工作区碳酸盐岩数据库;其次,根据对石漠化典型样区的石漠化指数图像分析,建立准确的石漠化分级阈值;第三,在 GIS 平台上进行计算机自动信息提取,即信息提取形成的图斑为矢量化图斑;第四,人机交互解译修正。

#### 7. 交互解译图像

解译基础影像大都采用彩色合成图像,这是基于人眼对色彩的识别能力大大高于对灰度的识别能力的正确选择。彩色合成处理时,波段选择是关键。理想的情况是波段相关系数最小,方差最大(信息量丰富)。相关系数反映了波段相关程度,其值越小,信息重叠量就越小。方差反映像元亮度值离散度,方差越大,信息量越丰富。实际工作中一般多用近于自然彩色合成图像,即把近红外波段作为绿色波段。

#### 8. 工作方法

##### 1) 岩溶石山填图

首先石漠化是发生在特定的岩溶石山区,其次石漠化的分布、发育及演变与岩溶

石山类型密切相关。因此，准确的岩溶石山分布图是石漠化调查的基础，是岩溶石山区生态环境评价指标体系的重要因子，是岩溶石山区生态环境综合整治规划制定的重要前提。另外，为了综合分析研究石漠化的分布、发育规律，还需要编制工作区内岩溶地貌分布图。

岩溶石山岩石分类表（2009 年）

纯碳酸盐岩：碳酸盐岩含量大于 90%，碎屑岩含量小于 10%	灰岩	灰岩占 80%以上，白云岩小于 20%
	白云岩	白云岩占 80%以上，灰岩小于 20%
	灰岩夹白云岩	灰岩占 60 - 80%，白云岩小于 40%
	白云岩夹灰岩	白云岩占 60 - 80%，灰岩小于 40%
	灰岩与白云岩互层	灰岩占 40 - 60%，白云岩占 40 - 60%，
碳酸盐岩夹碎屑岩	碳酸盐岩占 70%—90%，碎屑岩占 10%—30%	
碳酸盐岩夹碎屑岩	碳酸岩占 40%—70%；碎屑岩占 30%—60%	
碎屑岩夹碳酸盐岩	碳酸盐岩占 10%—40%，碎屑岩占 60%—90%	

岩溶石山地貌分类表（2009 年）

相对高差类型		成因类型	形态类型	高 度（m）		坡度 （°）
				相对高差	海拔	
山地	高山	典型岩溶地貌	峰林洼地	200	3500	30
			峰丛洼地			
		非典型岩溶地貌	丘岭谷地			
	中山	典型岩溶地貌	峰林洼地		1000 - 3500	30
			峰丛洼地			
		非典型岩溶地貌	丘岭谷地			
	低山	典型岩溶地貌	峰丛洼地		500 - 1000	30
			峰林洼地			
		非典型岩溶地貌	丘岭谷地			
丘陵		典型岩溶地貌	峰丛洼地	70 - 200		15 - 30
			峰林洼地			
		非典型岩溶地貌	丛丘谷地			
台地		缓丘台地		40 - 70		5 - 15
平原		典型岩溶地貌	峰林平原	10 - 40		5
		非典型岩溶地貌	缓丘平原			

## 2) 石漠化信息自动提取及编图

一般常用的遥感图像计算机分类,无论是监督分类方案还是非监督分类方案,以所使用的分类判决函数来划分,可以有最大似然分类法和最小距离分类法两种,前者基于 Bayes 概率判决函数,后者基于各种距离判决函数,无论是哪种判决函数它们针对的都是待分类遥感图像的每一个像素。这些分类方案存在一些不足:(1)其分类结果仍然是栅格图像,并没有真正实现遥感图像的满足于建立数据库要求的计算机分类成图;(2)在地形高差较大、阴影明显、地块零星多变这样一些地区(如我国贵州、云南、广西、四川、重庆等的山区地带),其分类精度低,准确性不高;(3)这些方法仅仅针对图像本身,而未考虑信息提取解译成图中的归并等技术问题,导致其分类结果不能直接满足成果图的要求。因此,目前目视解译仍是遥感图像解译的主要手段。

由此可见,要实现真正的全自动遥感图像信息计算机自动提取,必需解决两个问题,即改进遥感图像分类方法和提取平台。也就是说,要找出其分类结果能直接满足成果图要求的分类方法,且其分类结果为矢量化的图斑。我们近几年对石漠化信息的计算机自动提取方法进行了一些研究,获得了较满意的应用效果。

### (1) 原理

遥感技术中通常利用植被、土壤(岩石)亮度、植物叶含水量、土壤湿度等作为荒漠化指标,这些指标与常用的地面调查的荒漠化/石漠化指标(植被盖度、裸岩/土占的比例、土壤质地、土壤厚度等)不尽相同,但它是可以从遥感数据中提取的指标,也是荒漠化/石漠化自动监测的基础。显然,从电磁波传输理论及地物反射特征来看,表征石漠化的信息远远不止这些,事实上,由于遥感数据分辨率的不断提高,几乎所有遥感信息及其函数表达方式都可以作为反映裸岩/土占的比例的指标,或者裸岩/土占的比例划分的依据,只不过所采用的遥感模型及分析的难易程度有所不同而已。

不同地物具有不同的波谱特征,反之,不同的电磁波段可以反映不同地物特征,一般说来,可见光波段主要反映的是地物的颜色和亮度差异;近红外波段主要反映的是植被、氧化铁等矿物、碳酸盐和土壤湿度等特征;热红外波段反映地面辐射温度进而揭示地物的热性质,还可以区分不同的硅酸盐矿物和岩溶。如 TM3(0.63-0.69  $\mu\text{m}$ )为叶绿素的主要吸收波段,用于区分地貌特征、植物与覆盖率;TM4(0.76-0.90  $\mu\text{m}$ )是植物的强反射波段,能显示各种地形细节、细微地貌,尤其是植物生长发育的差异和覆盖率的差异,在图像上色调差异明显;TM5(1.55-1.75  $\mu\text{m}$ )、7(2.08-2.35  $\mu\text{m}$ )相

当于绝大部分造岩矿物波谱响应曲线的最大差异谱段，对岩性、地貌和构造反映较好等等。考虑到石漠化分级是以裸露基岩占总面积的比例、裸露基岩的结构和分布特征、植被结构等为其基本依据，通常采用植被指数（VI）运算来增强它们间的差异。

绿色植物叶面对可见光和近红外谱段的截然不同的吸收和反射光谱特性是植被监测的基础。植被指数有多种不同的形式，主要有差值植被指数（AVI）、比值植被指数（RVI）、归一化差植被指数（NVI）。实际工作中多采用有绿度之称的比值植被指数，其构成形式为  $RVI = b_j / b_i$ ， $b_j$  为近红外波段， $b_i$  为红光波段。在植物生长的整个阶段，该指数能较好地反映植被的覆盖度和生长状况的差异。进行运算的各波段数据均为经辐射校正的视反射率的数据。

## （2）辐射校正

大范围多景不同时相的非纹理遥感信息提取，尤其是计算机自动提取信息时，必须消除传感器增益、太阳照度、坡向等的影响，使之变成仅与地物反射率有关的似反射率图像，在此基础上生成石漠化指数图像，从而保证石漠化自动解译的准确性及时空可比性。实际工作中采用 Fraser 等 1992 年提出的对数剩余变换方法对比值植被指数波段进行辐射校正，生成视反射率图像。

Fraser 视反射率图像的定义为：

$$R_i = \frac{DN_i \times G_{..}}{G_i \times G_{.i}} \quad (1)$$

其中： $DN_i$  ——为  $i$  个像元在 波段的亮度值；

$G_{..}$  ——为所有波段所有像元亮度值的几何平均值；

$G_i$  ——为 波段所有像元亮度值的几何平均值；

$G_{.i}$  ——为  $i$  个像元点所有波段亮度值的几何平均值；

$R_i$  ——为  $i$  个像元在 波段的视反射率值；

应用证明石漠化指数模型不但增强了石漠化信息（图 1），而且消除了传感器增益、太阳照度、坡向等的影响，从而保证石漠化自动解译的准确性及时空可比性。

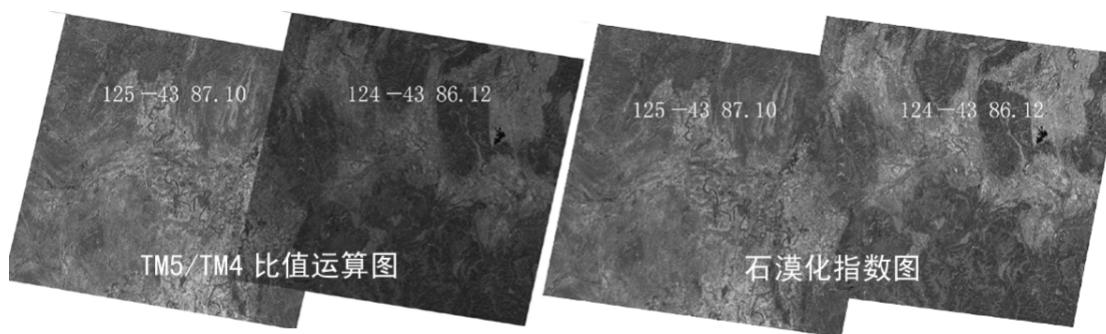


图 1 石漠化指数图与比值运算图效果对比

### (3) 提取方法

西南区又是地形高差较大、阴影明显、地块破碎零星的特点,并且适应在 GIS 系统中对遥感影信息的信息提取制图,我们开发设计了一种在 GIS 系统下,以指定区域的遥感影信息值作为判别指标的二次数据信息分析分类方法,实现了石漠化遥感信息提取和成果图生成自动化,其准确性较高,可以满足较小比例尺调查要求。

#### 第一次图像信息分类

第一次数值信息分析判别方法为项目组开发设计的统计百分比分类器。统计百分比分类,顾名思义是以统计指定区域数据值百分比特征作为判别函数,把指定区域内一定数值区间个数大于某一百分比阈值的归为一类。其分类思想是建立在同一类地物亮度值为近于相等的较小亮度值区间,在一定区域内是以一类地物为主的假设基础上,其分类结果与判别区域内地物亮度值是否近于正态分布无关,接受在一定区域内有一定极端亮度值地物分布情况(地物亮度值非正态分布情况)。其在一定区域内是以一类地物为主的假设与常规中小比例制图原理相符,也与地面实际相吻合。

分类程序:若有  $N$  个波段,  $M$  个类别,用  $m_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$ ) 代表任一类中任一波段的数据值区间,  $P(m_{ij})$  为分布百分比,  $X_i$  为判别区域,  $S_{ij}$  为对应的某一百分比阈值或分布百分比阈值区间,则只有当

$$j=k \\ P(m_{ij}) > S_{ij} \text{ 或 } P(m_{ij}) \leq S_{ij}$$

时,把  $X_i$  归入第  $k$  类即

$$\text{CLASS}(X_i) = k$$

否则排除在外,不能归入已知类别,即

$$\text{CLASS}(X_i) = 0$$

应用这一分类方法应首先建立地物亮度值区间及分布百分比阈值。地物亮度值区间分布百分比阈值 ( $S_{ij}$ ) 随不同地貌、地形、气候、人类活动有所不同,不能一概而论。

### 第二次图像分析

统计百分比分类结果为以纵横线组成边界的图斑,与实际边界有一定差异。因此,以第一次分类图斑的横竖线为基准线,以其垂直方向一定半径范围数据值作曲线,以其最大拐点处为新边界点,对统计百分比分类结果边界线进行逐点修正。它是统计百分比分类不可缺少的步骤。图 2 显示了二次信息分析分类方法的信息提取效果,分类结果与实际基本相符,且经第二次信息分析的效果明显优于第一次信息分析的效果。

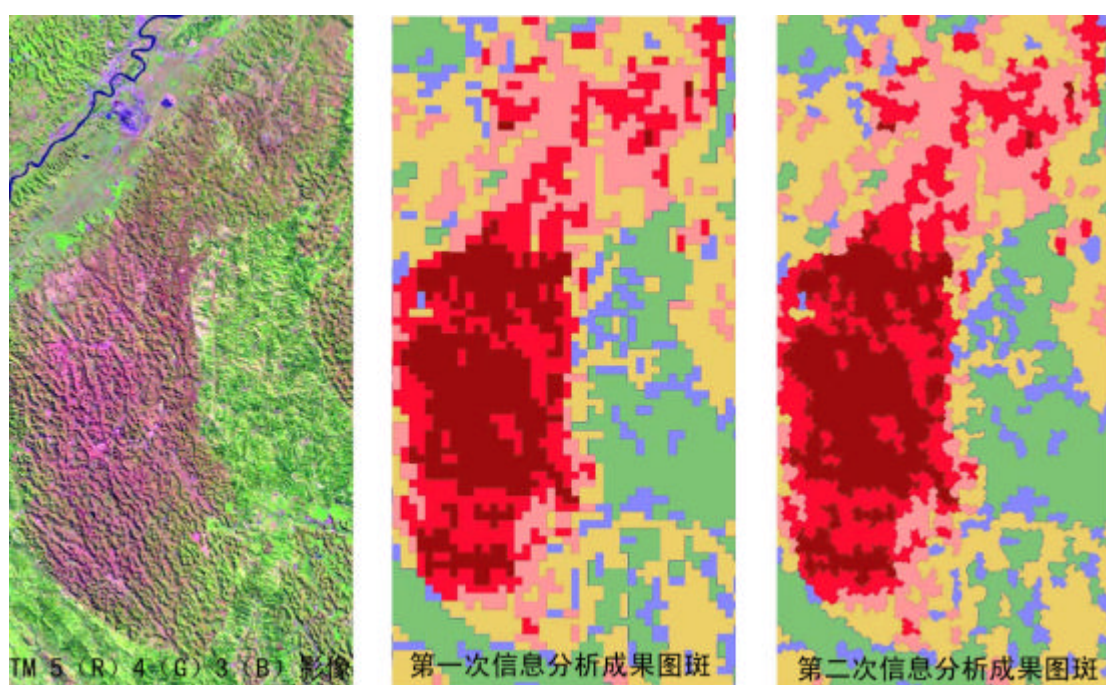


图 2 二次数据信息分析分类方法的信息提取效果

#### A. 斑马图像信息提取效果

斑马图像原为 jpg 格式,大小为  $13.4 \times 19 \text{cm}^2$ , 1583 像素\*2244 像素,如图 3 所示为斑马原始图像和不同判别分析区域(精度)提取的斑马矢量成果图。从图像角度衡量,信息提取效果显著。

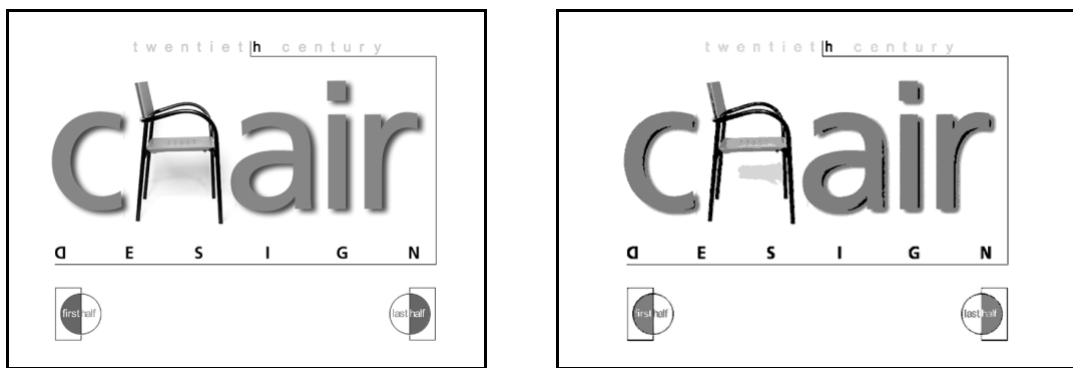


A 原始 jpg 格式斑马 B  $4 \times 4$  分析区域的矢量斑马 C  $6 \times 6$  分析区域的矢量斑马

图 3 原始斑马和不同判别分析区域的矢量斑马

#### B. “Chair” 图像信息提取效果

“Chair” 图像原为 jpg 格式，大小为  $15 \times 11.25 \text{cm}^2$ , 1772 像素\*1329 像素，分辨率为 300 像素/英寸。如图 4 所示为“Chair”原始图像和提取的“Chair”矢量成果图。



A 原始 jpg 格式“Chair”图像

B  $4 \times 4$  的分析区域的矢量“Chair”

图 4 原始“Chair”和矢量“Chair”

#### C. 遥感图像植被盖度信息提取效果

以中国广西壮族自治区某地区的遥感图像植被盖度信息提取为例，来说明计算机自动提取制作植被盖度矢量化成果图的效果。信息提取区位于广西壮族自治区西北部，属右江流域，最高海拔 624m，最低海拔 165m，相对高差 459m，属中低山丘陵地貌区。

使用的遥感图像数据为美国陆地卫星五号星数据（下称 TM 数据），时相为 1999 年 9 月 24 日。计算机自动提取信息前，采用 Fraser 等 1992 年提出的对数剩余变换方法对 TM 数据进行了辐射校正，生成视反射率图像，然后对视反射率图像采用  $\text{TM}4/\text{TM}3$  的比值运算来增强植被信息，生成植被指数图像，其目的是消除传感器增益、

太阳照度、坡向等的影响，从而可以保证植被自动解译的准确性及时空可比性。信息提取区的 TM 图像大小为 1860 像素\*1860 像素，实地为 55.8\*55.8km<sup>2</sup>。

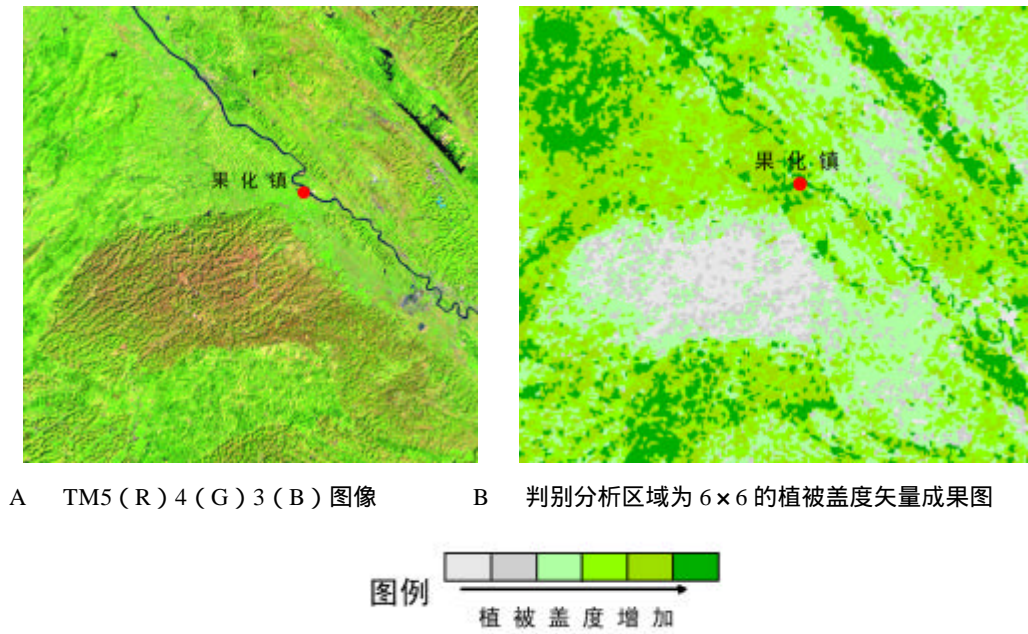


图 5 原始图像和 6\*6 分析区域的植被盖度矢量成果图

如图 5 所示为小区 TM5 ( R ) 4 ( G ) 3 ( B ) 图像和判别分析区域为 6 像素 × 6 像素时，提取的植被盖度矢量成果图，图斑符合数据库要求。植被盖度分 6 级，分级阈值区间为 255-135-120-105-90-75-0。统计区域内有 70% 的像素属于某一分级阈值区间就判别为这一类。成果图最小图斑实地面积为 180 × 180m<sup>2</sup>；理论上，判别分析区域越小，矢量成果图与实际越吻合，精度也越高；判别分析区域越大，矢量成果图斑综合性越强，位置精度降低。对 TM 数据而言，笔者认为，平原地区及低山丘陵地貌区的判别分析区域可以到 4 像素 × 4 像素，可满足于 1 : 5 万成图要求；在中低山丘陵地貌区，判别分析区域可以到 6 像素 × 6 像素，可满足于 1 : 10 万成图要求。

人机交互解译

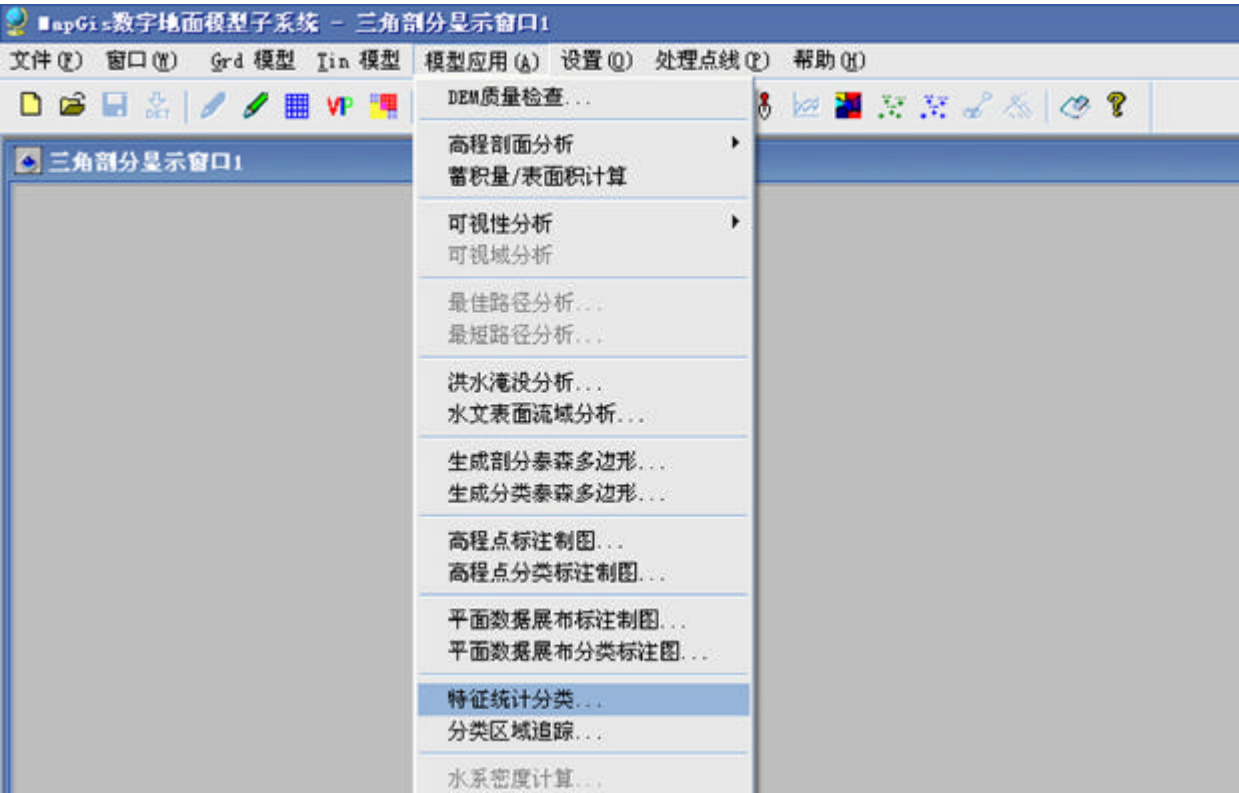
卫星图像是由无数不同亮度值的像元组成的，使用计算机自动识别圈定石漠化类型，其原理就是将同一等级的亮度值按同一类图斑归并在一起。但是，由于图像上同物异谱和同谱异物现象（即相同的物体光谱差异很大和不同的物体光谱差异很小）非常普遍，这使遥感信息的计算机自动识别和提取存在一定的误差，因此需要采用人机交互解译的方法，取长补短。可以说，自动解译分类是提高工作效率的前提，而人机交互解译是提高精度的保证。

石漠化动态演变信息提取采用的是两个  $RVI=100 \times b_i/b_j$  比值植被指数图像的差值

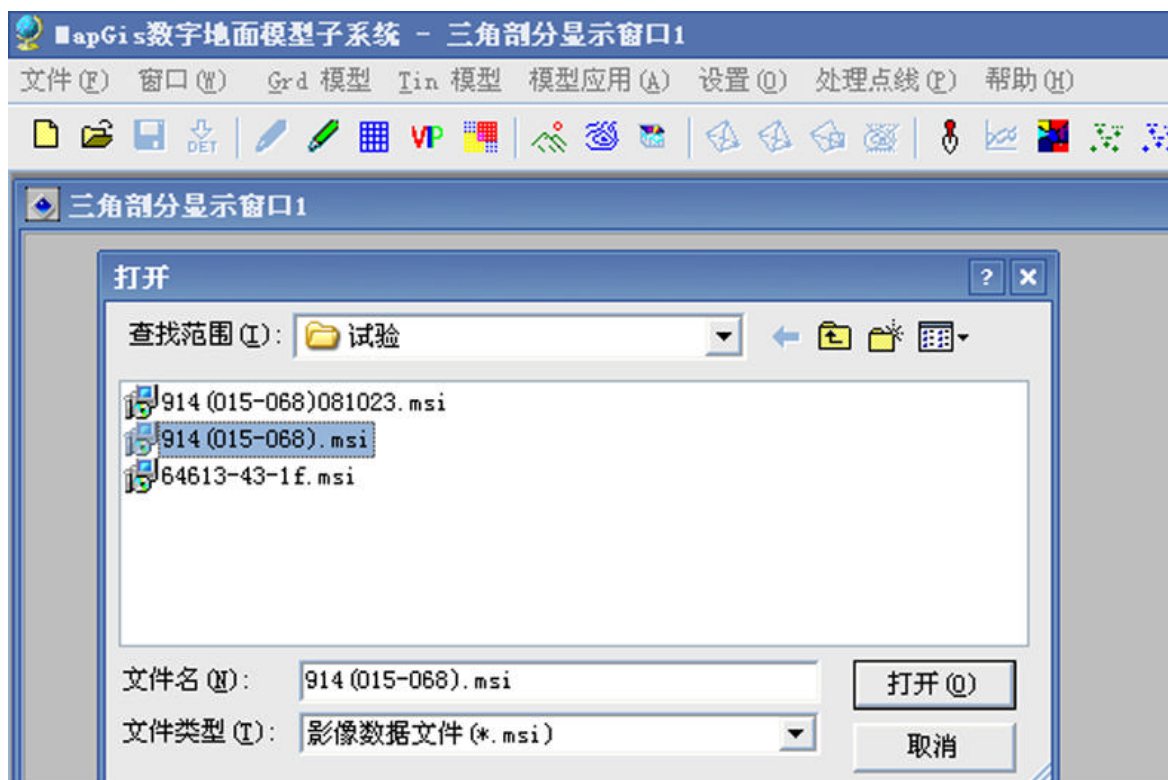
图像，在 GIS 平台上用二次图像分析分类方法提取变化信息，然后人机交互解译修改成图。

9.MAPGIS 系统石漠化自动提取步骤

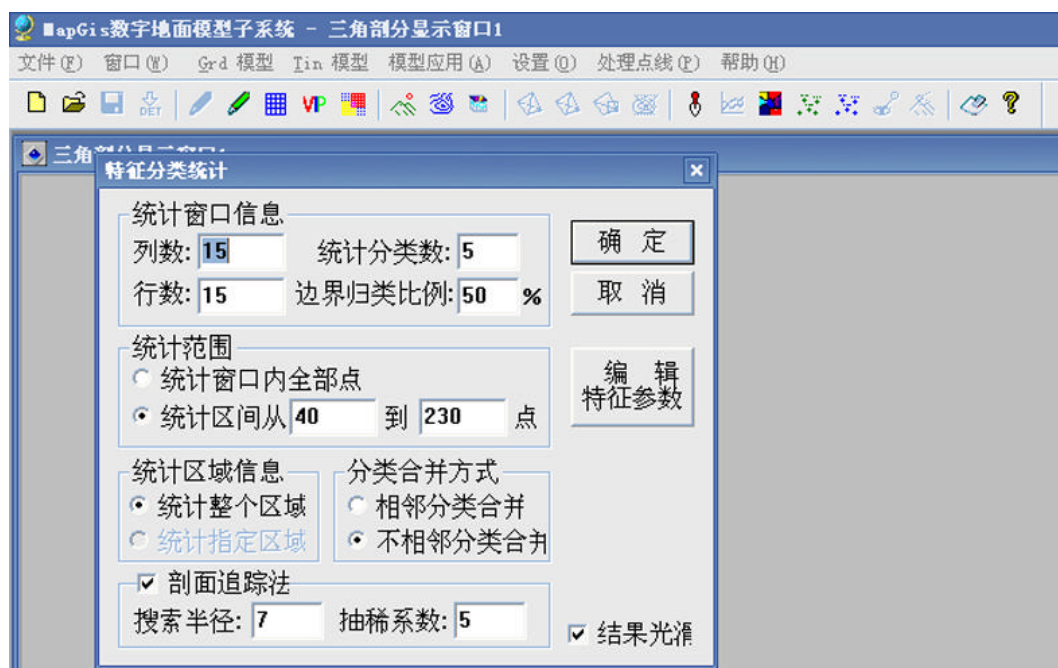
进入界面：



装入石漠化指数图：



图斑参数设置：



信息提取参数设置：

