

文章编号: 1007-4619 (2003)06-0490-08

中国西部地区生态环境现状遥感调查

王 桥^{1,2}, 王文杰³, 郑丙辉⁴, 刘玉平⁵, 张林波⁴, 魏 斌¹, 申文明¹

(1. 国家环境保护总局信息中心, 北京, 100029; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097;

3. 中国环境监测总站, 北京, 100029; 4. 中国环境科学研究院, 北京 100012;

5. 国家环境保护总局自然司, 北京 100035)

摘 要: 针对“中国西部地区生态环境现状遥感调查”的需要, 综合运用景观生态学理论、生态系统服务功能理论、可持续发展理论、遥感和地理信息系统技术, 研究中国西部地区生态环境现状遥感数据的处理与集成, 开展中国西部地区土地覆被和生态要素结构变化分析、沙漠化和水土流失强度评价、生态脆弱特征及时空分布规律分析、基于遥感调查的生态环境质量评价、基于多时相遥感数据对比的典型区生态环境遥感分析和生态环境变化成因对策分析等综合性的研究, 并以量化和可视化的形式系统地反映西部地区生态环境现状及其变化的空间分布、空间统计和空间特征规律。

关键词: 遥感; 生态环境调查; 西部地区

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

为配合中国西部大开发战略的实施, 国家环境保护总局与国家测绘局于 2000 年 7 月联合开展了“中国西部地区生态环境现状遥感调查”工作, 旨在利用遥感和地理信息系统(GIS)技术对西部地区生态环境现状进行一次全面摸底, 以全面反映西部地区生态环境的现状和动态变化, 为西部地区生态环境规划、生态恢复和生态环境保护决策提供科学依据。“中国西部地区生态环境现状遥感调查”范围包括陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区、青海省、新疆维吾尔自治区、西藏自治区、四川省、贵州省、云南省、广西壮族自治区、重庆市和内蒙古自治区, 共十二个省、自治区和直辖市, 面积 $597.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。本次遥感调查综合运用景观生态学理论、生态系统服务功能理论、可持续发展理论、遥感和地理信息系统技术^[1,2], 研究了中国西部地区生态环境现状遥感数据的处理与集成, 开展了中国西部地区土地覆被和生态要素结构变化分析、沙漠化和水土流失强度评价、生态脆弱特征及时空分布规律分析、基于遥感

调查的生态环境质量评价、基于多时相遥感数据对比的典型区生态环境遥感分析和生态环境变化成因对策分析等综合性研究, 不仅系统、全面地获取了西部地区生态环境现状和动态变化的空间分布与空间统计信息, 而且用遥感分析和数字化手段揭示出西部地区生态环境现状及其动态变化的空间分布、空间统计和空间特征规律, 形成了《中国西部地区生态环境现状遥感调查分析与研究报告》、《中国西部地区生态环境现状遥感调查技术与工作报告》、“西部地区生态环境现状遥感调查综合数据库”、“西部地区生态环境遥感调查数据库查询系统和多媒体演示系统”、《中国西部地区生态环境现状遥感调查图集》等一系列成果, 并建立了“中国西部地区生态环境现状遥感调查”数据库查询系统^[3,4]。

本次遥感调查在遥感调查数据深加工及其质量保障、生态要素动态变化遥感分析、沙漠化和水土流失指标体系和强度评价、生态脆弱特征及时空分布规律分析、典型区生态环境特征分析、基于景观生态学的生态环境质量评价指标体系和评价和生态环境变化成因对策分析等方面进行了新的探索, 从技术方法上取得一定的突破, 并实现了多时相、多数据

收稿日期: 2002-07-10; 修订日期: 2002-09-25

基金项目: 国家环境保护总局科技发展项目“中国西部地区生态环境现状遥感调查项目”

作者简介: 王 桥(1957—), 男, 研究员, 先后在武汉大学、中国科学院遥感应用研究所地图学与 GIS 方向攻读硕士、博士和博士后。现

主要从事环境遥感和 GIS 理论与应用研究, 已发表论文 40 余篇, 出版专著 5 部。Email: wangqiao@zhb.gov.cn

源、多专题、多尺度的生态环境数据的集成。这些成果不仅为及时摸清中国西部地区生态环境的现状和动态变化、寻找其成因和对策带来了重大的帮助,也为西部地区生态环境建设和管理,特别是生态功能区划和生态环境保护规划提供了新的数据基础,同时还为西部大开发中经济的可持续发展与资源环境的可持续利用提供了宝贵的科学依据,也为今后中国开展大规模的生态环境遥感调查积累了经验。

2 技术路线与遥感数据处理

“中国西部地区生态环境现状遥感调查”总体技

术路线设计的指导思想是:立足于美国陆地资源卫星遥感信息对生态环境要素的现势性反映,充分利用现有资料的可获取性及其时空代表性,通过遥感和GIS技术支持下的多专题、多尺度信息的综合分析和应用,完成项目各项工作目标。总体技术路线与流程见图1。

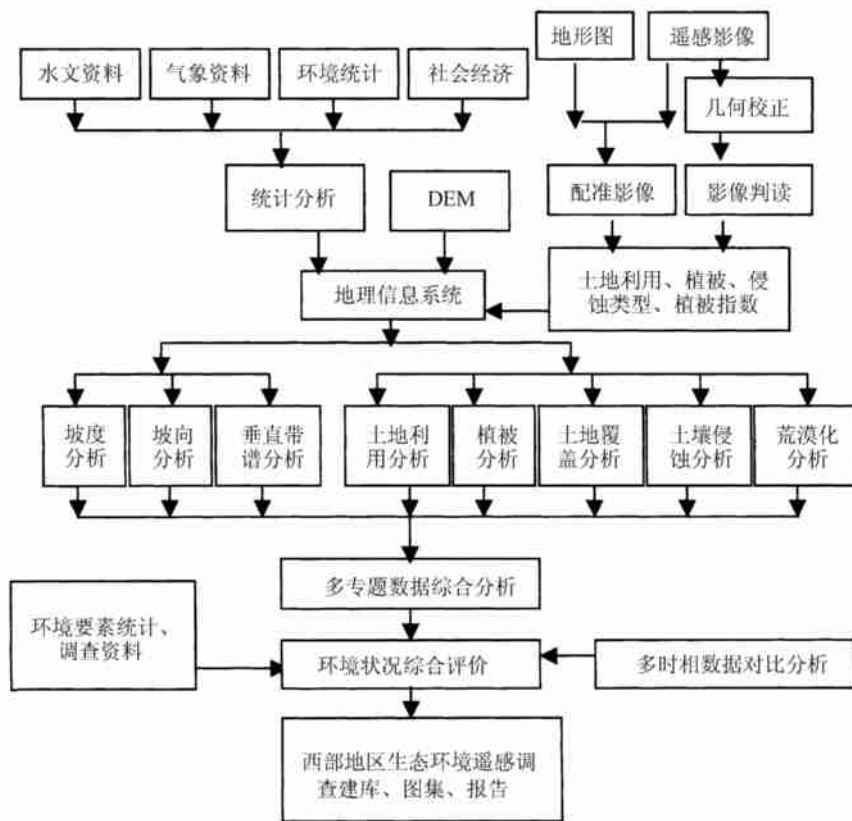


图1 中国西部地区生态环境现状遥感调查技术流程

Fig1. The technological flow diagram of the RS investigation on eco-environment in Western China

本次生态环境遥感调查采用的遥感数据源以美国陆地资源卫星 Landsat 7 ETM+/Landsat 5TM2000年数据为主,个别地区根据实际需要选择部分法国 SPOT 卫星数据。对于无法获得该时段有效时相数据的区域依靠 1999 年的 landsat 7ETM+/Landsat 5TM 遥感数据或中巴资源一号卫星 CBERS-1 的 CCD 数据予以补充,保证覆盖整个西部地区。合计使用数据 338 景。典型地区对比影像基本采用 1986—1989

年期间的有效时相美国陆地资源卫星 Landsat 5TM 数据,共使用数据 69 景。

应用的基础地理数据主要有 1:5 万地形图 10000 幅、1:25 万矢量地形库、1:25 万和 1:5 万 DEM 数据、1:10 万土地利用数据库。另外还使用了 1km 分辨率全国积温数据库、降水数据库、全国干燥度、湿润指数数据库、以及气象、土壤、植被、水土流失等专题图、统计资料等数据。

遥感分类采用全国三级分类系统：一级分为 6 类，主要根据自然生态属性；二级分为 25 个类型，主要根据覆盖特征。分类系统如下：

一级分类	二级分类	
耕地	1	水田
	2	旱地
林地	3	有林地
	4	灌木林地
	5	疏林地
	6	其他林地
草地	7	高覆盖度草地
	8	中覆盖度草地
	9	低覆盖度草地
水域	10	河渠
	11	湖泊
	12	水库、坑塘
	13	冰川和永久积雪地
	14	海涂
	15	滩地
城乡、工矿、居民用地	16	城镇用地
	17	农村居民点用地
	18	工交建设用地
未利用土地	19	沙地
	20	戈壁
	21	盐碱地
	22	沼泽地
	23	裸土地
	24	裸岩石砾地
	25	其他

本次遥感调查的几何精校正系统采用最小二乘法计算。校正方程根据控制点法取情况采用 2 次多项式进行。像元重采样采用最近邻点法或双线性插值法。校正后每个像元的分辨率为 30m。

在进行镶嵌处理过程中，图像景与景之间的接边

采用最小灰度差算法，接缝处进行灰度加权平滑处理。当图像景与景之间出现灰度差异，需要进行灰度调整时，采用直方图匹配方法进行灰度一致化处理。

影像判读过程中，首先将影像栅格文件进行切割，划分成若干作业区，然后在人机交互环境下根据影像的判读标志和地物分布规律，分层提取目标地类，完成地类的判读和准确定位，再与行政区划图统一图廓边后进行图幅内容接边和矢量图生成。期间，图斑属性和几何精度要经过作业员自检、质检组核查和总体组复查。判读提取目标地物的最小单元一般规定面状地类应大于 6×6 个像元，图斑短边宽度最小为 4 个像元。判读精度要求各图斑要素的判读精度应 >95%；屏幕解译线划描迹精度为一个像元点。最后经过外业核实验证，本次遥感调查判读准确率平均达 97.71%。图 2(图版 I)给出了西部地区生态环境现状遥感解译的实例^[4]。

3 基于遥感调查的生态环境状况分析

3.1 中国西部地区生态环境现状及其动态变化遥感分析

通过对中国西部地区生态环境背景和基于 2000 年时相遥感数据调查的生态环境现状分析，给出了西部地区各生态环境因子的空间分布、面积、比例和特征情况的空间统计、专题图和分析性结论。同时通过 20 世纪 80 年代、90 年代和 2000 年时相遥感数据的对比，分析研究了西部地区生态环境的动态变化，给出分省土地利用/土地覆盖的类型结构变化、空间分布变化、面积比例变化的空间统计、专题地图和成因对策分析。现状与动态变化遥感分析技术流程见图 3。

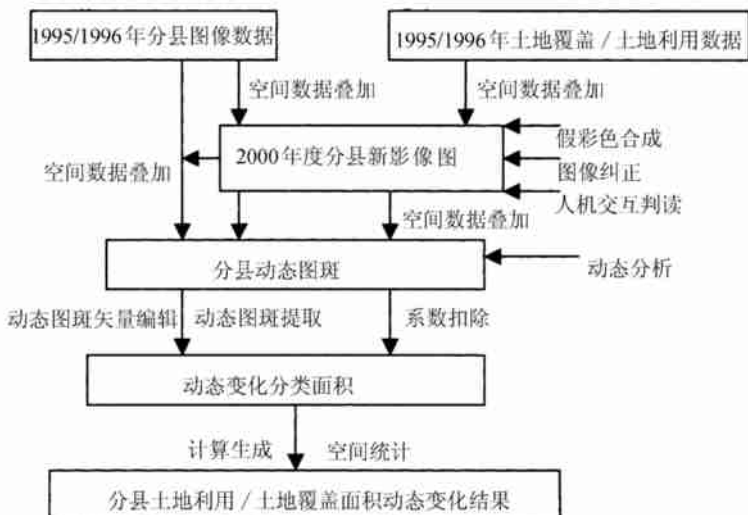


图 3 中国西部地区生态环境现状与动态变化遥感分析技术流程

Fig. 3 The technological flow diagram of the RS analysis on eco-environmental status and change in Western China

现状和动物变化遥感分析的主要内容和结果有:

(1) 生态环境背景综合分析

- 西部地区社会经济状况(包括土地面积、人口、国内总产值、农业产值、工业产值等)
- 西部地区生态环境条件现状(包括地貌、地表土、温度、湿度等)
- 农业生态环境条件现状

(2) 土地覆盖状况综合分析

- 土地覆盖(包括耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地、未利用土地等)组成现状

- 土地覆盖面积
- 土地覆盖空间分布
- (3) 生态环境动态变化分析
 - 多时相土地覆盖面积变化比较
 - 分省土地覆盖结构变化
 - 分省土地覆盖变化特点(增加、减少因子分析)
 - 土地利用/土地覆盖变化原因

图 4 给出了部分西部地区遥感现状与动态变化遥感分析结果。

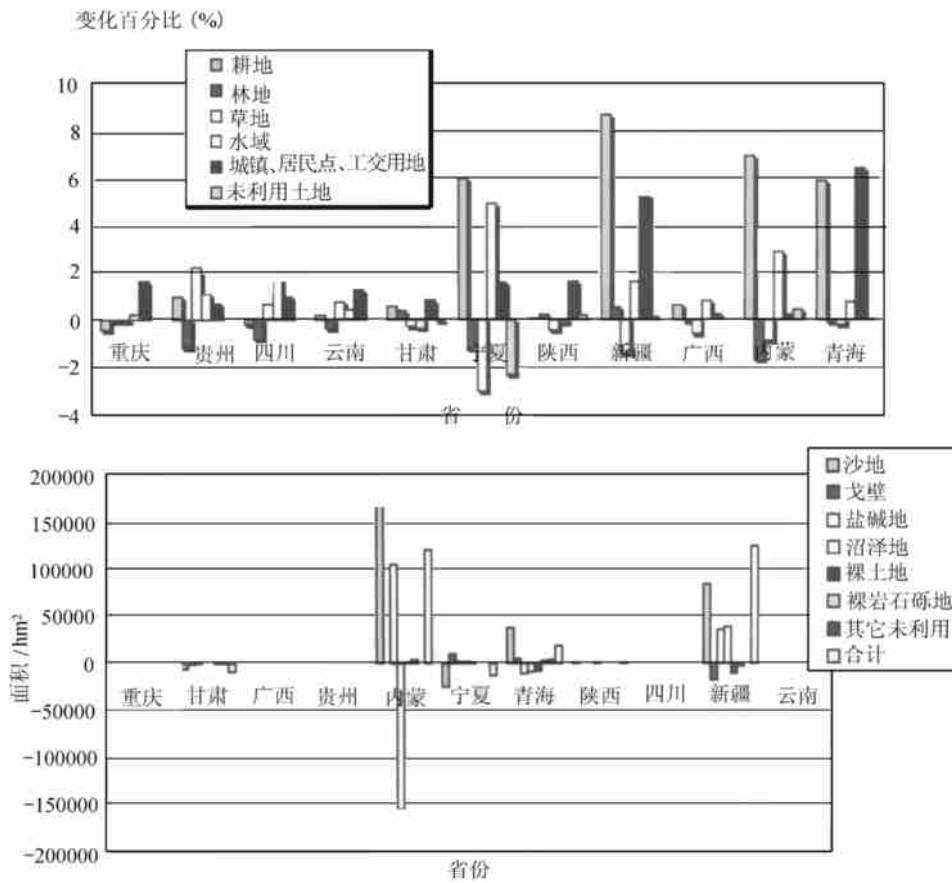


图 4 动态变化遥感分析举例

Fig. 4 The samples of the RS analysis on dynamic change

3.2 沙漠化、水土流失现状遥感分析

在提出中国西部地区沙漠化、水土流失(水蚀)和石漠化评价指标体系的基础上,利用基于 20 世纪 90 年代中期 TM 图像解译的土地覆盖数据、气象数据、基于 NOAA 卫星的植被指数 (NDVI) 数据、土壤侵蚀等大量基础数据,对西部地区沙漠化、水土流失(水蚀)进行遥感分析,说明了土地目前的质量状况,

远离未退化状态的程度,自然环境的脆弱性等,并给出退化土地的空间分布,造成土地退化的原因的分析^[2]。

本次西部沙漠化和水土流失现状调查,干旱区的划分采用了桑斯威特湿润指数 I_m :

$$I_m = \frac{P}{E_p} \quad \text{其中} \quad E_p = 16.0 \left(\frac{10T}{H} \right)^a$$

P 为降水量, E_p 为可能蒸散量,可能蒸散量的概念

是在给定的气候条件下,满足地面植物最大生长有充足的水分供应时,土壤水分以水汽形式失去的最大可能量。 T 为平均温度, H 为年热量指数, $H = \sum_1^{12} h$, h 为月热量指数, $h = \left(\frac{T}{5.0}\right)^{1.514}$, a 因地面而异的系数,是 H 的非线性函数。 $a = 6.75 \times 10^{-7} H^3 - 7.71 \times 10^{-5} H^2 + 1.79 \times 10^{-2} H + 0.49$; 当 $T < 0^\circ\text{C}$ 时, $h = 0$ 。表 1 给出了根据湿润指数划分的干湿气候区情况^[2]。

沙漠化和水土流失类型主要根据土地利用类型划分为:耕地沙漠化、耕地水土流失、草地沙漠化、草地水土流失。沙漠化和水土流失现状评价的具体指

标的选取主要以能反映沙漠化和水土流失的特征和发生原因,并能从遥感图像上提取到的指标为主^[5]。评价指标体系见表 2—表 5^[4]。

表 1 基于湿润指数划分的干湿气候区
Table 1 The arid and humid area division based on the index of moisture

I_m	干湿气候区
<0.05	极端干旱区(Extreme arid area)
$0.05-0.20$	干旱区(Arid Area)
$0.21-0.50$	半干旱区(Semi-arid area)
$0.51-0.65$	干旱亚湿润干旱区(Dry sub-humid Area)
>0.65	湿润区(Humid area)

表 2 耕地沙漠化评价指标体系(风蚀)

Table 2 The evaluation index system of desertification of cultivated land

沙漠化程度	风蚀特征	堆积特征
轻度	耕地中零星风蚀斑	无沙丘或固定沙丘
中度	风蚀洼地和风蚀沟密集 $<30\%$	流动沙丘面积 $<30\%$
严重	风蚀洼地和深槽密集 $30\%-50\%$	沙丘清晰可见,流动沙丘面积 $30\%-50\%$
极严重	风蚀深槽,风蚀谷 $>50\%$	流动沙丘面积 $>50\%$

表 3 草地沙漠化评价指标体系(干旱亚湿润地区)

Table 3 The evaluation index system of desertification of grassland(dry sub-humid area)

沙漠化程度	植被盖度/ $\%$	地表特征
轻度	>50	无沙丘或固定沙丘
中度	$30-50$	流动沙丘面积 $<30\%$
严重	$10-30$	沙丘清晰可见,流动沙丘面积 $30\%-50\%$
极严重	<10	流动沙丘面积 $>50\%$

表 4 草地沙漠化评价指标体系(半干旱和干旱区)

Table 4 The evaluation index system of desertification of grassland (semi-arid and arid area)

沙漠化程度	植被盖度/ $\%$	地表特征
轻度	>40	无沙丘或固定沙丘
中度	$20-40$	流动沙丘面积 $<30\%$
严重	$5-20$	沙丘清晰可见,流动沙丘面积 $30\%-50\%$
极严重	<5	流动沙丘面积 $>50\%$

表 5 水土流失(水蚀)评价指标体系

Table 5 The evaluation index system of water erosion

沙漠化程度	沟壑密度/ (km/km^2)	坡度/ $(^\circ)$	植被覆盖度/ $\%$
轻度	<1	<5	>50
中度	1	$5-15$	$30-50$
严重	$2-3$	$15-25$	$10-30$
极严重	>3	>25	<10

图5(图版I)给出了本次遥感调查所获得的部分省区沙漠化和水土流失(水蚀)空间分布部分情况。

3.3 基于遥感调查的中国西部地区生态环境综合评价

运用西部生态环境现状遥感调查的成果,对影响生态环境质量的相关要素进行定性和定量分析,选取主要生态环境因子进行定量分析,进行了中国西部生态环境综合评价。为便于把握生态系统的持续性,从地表结构分异认清自然生态特性,我们选择县级行政区域作为评价基本单元,即选择中尺度作为评价的尺度范围。由于生态现状的好坏归根结底是它的生态服务功能的发挥的状态,因此本项目选取评价指标时紧紧围绕生态功能来考虑,并通过压力、状态、响应三种指标类型来表述。这三类指标从不同的角度涵盖了在中尺度下生态系统所发挥的功能。压力指标反映生态环境所面临的压力,阐明生态系统承受压力的程度,或者人类向生态环境索求的程度。状态指标指示生态环境的现状,反映生态系统在各种自然、人类等因素综合作用下所表现出的一种状态,即其生态功能现状。响应指标是指生态环境压力后所产生的反映,当然状态指标也是对生态压力的一种响应形式,但由于状态指标反映了多种综合作用的结果,难以对压力的作用进行明确的阐述,因此又选取了反映指标对超出生态系统承载能力进行分析。由压力、状态和响应构成的评价指标体系见表6。

表6 生态评价指标体系

Table 6 The ecological evaluation index system

指标类型	具体指标
压力	人口密度
	人类干扰指数
状态	可发挥生态功能的土地覆盖类型覆盖率
	生态功能极低的土地覆盖类型覆盖率
	生态功能较高的土地覆盖类型覆盖率
	格局
活力	生态功能较高的土地覆盖类型的重要值
	生态功能较高的土地覆盖类型的破碎度
响应	单位面积年均 NDWI 值
	退化土地覆盖率

上述指标体系中大部分要素都可直接由遥感调查获得。其中生态环境质量相对良好区表示生态结构十分合理、系统活力极强,外界压力较小,无生态异常出现,生态系统功能极其完善、稳定,处于可持续状态;生态环境质量相对较好区表示生态结构比较合理、格局尚完好,系统活力较强,外界压力较小,无生态异常,生态系统生态功能较完善,无生态异常,系统尚稳定,生态系统可持续;生态环境质量相对一般区表示生态结构完整,具有一定的系统活力,外界压力较大,接近生态阈值,系统尚稳定,但敏感性强,已有少量的生态异常出现,可发挥基本的生态功能;生态环境质量相对较差区表示生态结构出现缺陷,系统活力较低,外界压力大,生态异常较多,生态功能已不能满足维持生态系统的需要,生态系统已开始退化;生态环境质量相对极差区表示生态结构极不合理,自然植被斑块破碎化严重,活力极低,生态异常大面积出现,生态系统已经严重恶化。

3.4 典型地区生态环境变化遥感分析

为了更深入地反映西部地区生态环境动态变化状况,本项目选择了黄河源头地区、川西岷江源头及若尔盖湿地地区、滇池流域、黑河流域、晋陕蒙交界地区、新疆塔河流域下游地区、长江三峡库区和阴山北麓地区8个地区作为遥感调查深入研究的典型地区,通过多时相遥感数据对比分析,深入研究了典型地区生态环境现状及其变化的规律(其总体技术流程见图6),特别是分析了黄河源区和四川西北部森林和湿地的动态变化;黄河源头区生态环境近十年的变迁;黑河流域和塔里木河下游地区干旱地区水资源不合理利用和对生态环境的影响;晋陕蒙接壤地区、黄土高原地区的水土流失严重和资源开发对生态环境的影响;阴山北麓地区生态环境的退化;长江三峡水库建设、库区移民对库区生态环境质量产生的影响;滇池流域生态系统的破坏和湖泊富营养化严重等问题,给出了西部典型地区生态环境现状及其动态变化特点的空间分布、空间统计、成因与对策分析结果。图7—图10是部分遥感分析结果举例(图版I)。

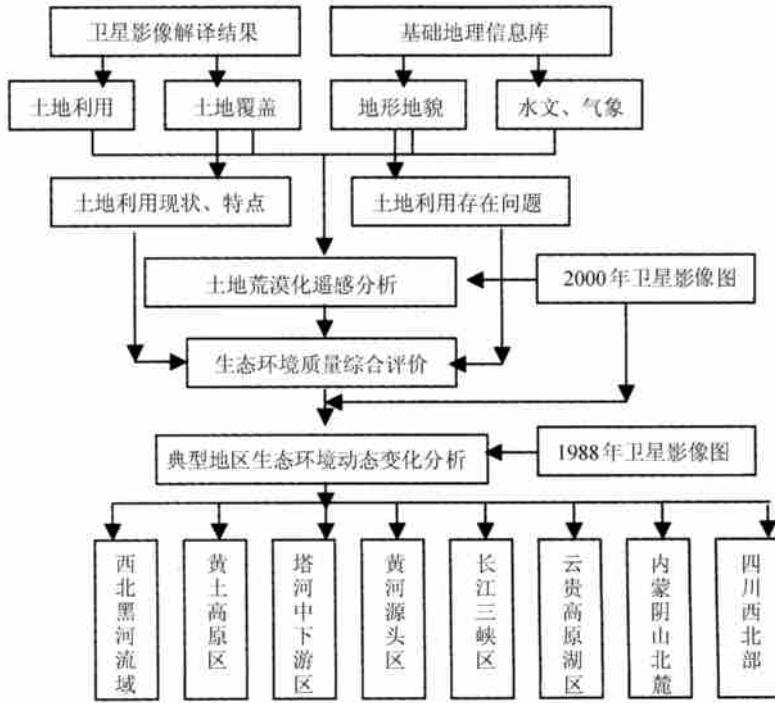


图 6 典型地区生态环境现状及其变化遥感分析总体技术流程

Fig. 6 The technological flow diagram of RS analysis on eco-environmental status and change in typical regions

4 结 论

2000年西部地区生态环境现状遥感调查结果表明,西部地区总体自然环境条件较差,土地类型多样,难利用土地面积大(约占总面积的33%)。草地、林地面积较大,但分布不平衡,高质量林地少(仅占48.06%),草地生态质量较差(高覆盖草地仅占27.97%);农业条件较差,交通与工矿用地面积小,城市化程度较低。从5年间遥感资料的对比分析结果看,以反映人类活动的耕地、城镇、居民点、工交用地在扩大,反映具有生态价值的林地、草地、水域在减少,同时,因生态环境恶劣而未能利用的土地在增加,因此,总体上中国西部地区生态质量在下降。比较突出的问题有:

(1) 农业耕地增加以毁林、毁草为代价

西部地区耕地总面积不断扩大,耕地增加的来源主要有两个方面,一是来自草地开垦,对耕地扩大的贡献率达到69.5%;二是林地开垦,对耕地扩大的贡献率达到22.38%。

(2) 林地整体生态功能下降

林地的整体生态质量在下降,生态功能衰退。值得注意的原因是林地退化为草地(占林地总减少

量的50.3%)和林地开垦为耕地(占总减少量的46.7%)。

(3) 草地退化使生态系统更加脆弱

草地退化现象严重(草地退化为沙地已占到草地减少的30%)。草地在总面积减少的同时,质量也在不断下降,主要表现在草地等级下降,草地承载力下降,草地超载情况严重。

(4) 难利用土地面积增大成为突出问题

难利用土地明显增加,特别是沙地、盐碱地面积增加迅速。草地变为沙地已占难利用土地增加量的83.1%。

(5) 城市发展占用大量优质耕地

建设用地中耕地占用贡献率达75.34%。

(6) 生态恢复速度赶不上破坏速度,生态环境总体质量下降

总之,我国西部地区生态环境形势严峻,生态退化和生态破坏的范围在扩大,程度在加剧,危害在加重。其特点是局部有所改善,整体还在恶化,个别生态问题初步得到控制,大部分还在继续发展,治理赶不上破坏,生态环境呈现由系统结构性破坏到功能紊乱演变的态势。有必要进一步利用遥感数据丰富的光谱特征、空间特征和动态特征的特点,更加深入地研究我国生态环境状况及其变化的机理。

参考文献(References)

- [1] Huang Jiazhu, Zhao Rui, et al. The Application of Remote Sensing and GIS Dynamic Survey on Resources and Environment in the Changjiang River Delta Area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, **9**(1): 34—39. [黄家柱, 赵锐等. 遥感与GIS在长江三角洲地区资源与环境动态监测中的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2000, **9**(1): 34—39.]
- [2] Gao Zhiqiang, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang. The Relations Analysis Between Ecological Environmental Quality of Chinese Land Resources and Population. *Journal of Remote Sensing*, 1993, **3**(1). [高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和GIS的中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究[J]. 遥感学报, 1999, **3**(1).]
- [3] Wang Q, Huang J, et al. Atlas of Remote Sensing Investigation on Eco-environment in Western China. [M]. Science Press, 2002 [王桥, 黄洁等. 中国西部地区遥感调查地图集[M]. 科学出版社, 2002.]
- [4] Wang Q, et al. Analysis and research report of Remote Sensing Investigation on Eco-environment in Western China. [R]. State Environmental Protection Administration 2001 [王桥等, 中国西部地区生态环境遥感调查分析与研究报告, [R]. 国家环境保护总局, 2001.]
- [5] Wang Xinyuan, Guo Huadong et al. Dynamic Monitoring of Ecological Environment of Ejina Banner Oasis by Remote Sensing [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, **21**(1): 60—62. [王心源, 郭华东, 额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析[J]. 水土保持通报, 2001, **21**(1): 60—62.]

The Remote Sensing Investigation of Eco-environmental Status in Western China

WANG Qiao,^{1,2} WANG Wen-jie³, ZHENG Bing-hui⁴, LIU Yu-ping⁵, ZHANG Lin-bo⁴, WEI Bin¹, SHEN Wen-ming
 (1. The Information Center of State Environmental Protection Administration, Beijing 100029, China;
 2. The Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 3. The Chinese Environmental Monitoring Center, Beijing 100029, China;
 4. The Chinese Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China; 5. State Environmental Protection Administration, Beijing 100035, China)

Abstract: Aiming at the demand of Remote Sensing Investigation on Eco-environment in Western China, this article synthetically utilizes the theory of Scenic Ecology, the theory of the service function of ecological system, the theory of the sustainable development and the technology of RS and GIS to study the process and integration of the RS data about eco-environmental status in Western China. Based on that, the research staff develop the complex research about the constructional change of the landcover and eco-elements in Western China, about the evaluation of the intensity of the desertification and water erosion, about the analysis of the ecological frail characteristic and temporal and spatial distribution law, about the evaluation of the eco-environmental quality based on RS investigation and about the analysis of eco-environmental RS in typical regions and the cause and countermeasure on the eco-environmental change based on multi-temporal RS data comparison. Furthermore, the author systematically reveals the law of the spatial distribution, spatial statistics and spatial characteristics in the form of quantitation.

Key words: remote sensing, eco-environmental investigation, western China

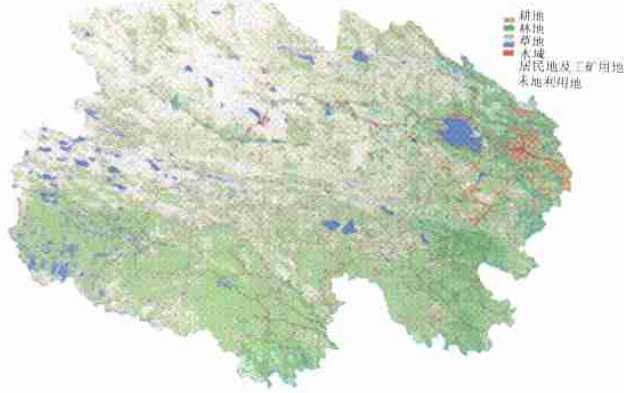


图2 部分省区 2000 年时相生态环境现状遥感解译

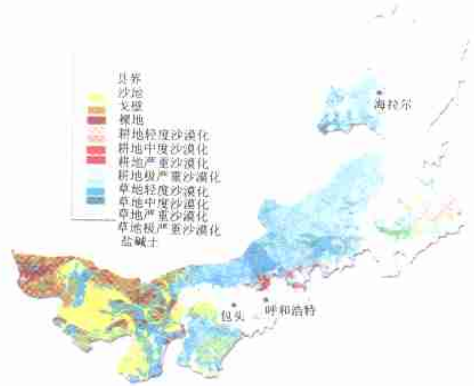


图5 部分省区沙漠化和水土流失（水蚀）空间分布情况

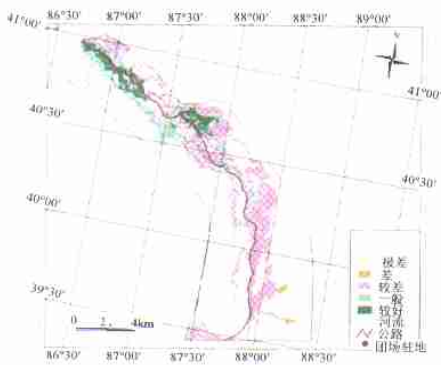


图7 新疆塔河下游生态环境评价

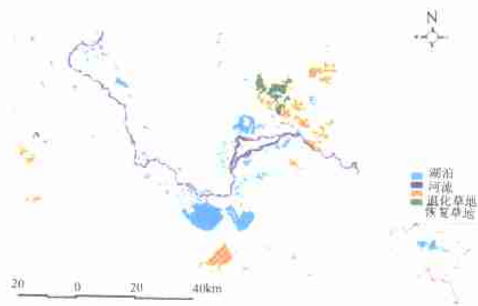


图8 黄河源区草地动态变化

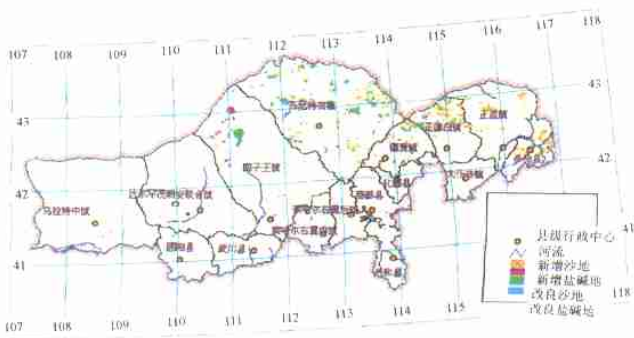


图9 阴山北麓沙地、盐碱地动态变化

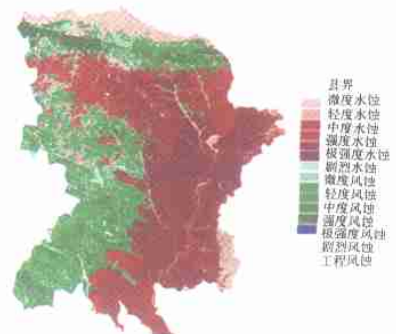


图10 晋陕蒙接壤地区土壤侵蚀状况