生态环境综合评价与动态监测的空间信息定量分析方法及应用*

张增祥 彭旭龙 陈晓峰 王长有

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101 E-mail: env@irsa.irsa.ac.cn)

摘要 通过建立指标体系、专题数据采集和管理、数字环境模型, 提出了一种基于遥感和地理信息系统技术的环境综合评价及其动态监测的定量化研究方法. 同时提出利用环境综合指数反映区域环境状况的思路. 将此方法应用于西藏中部地区的资源环境监测与综合评价, 得到了 1990 年和 1995 年 2 期环境状况综合评价及动态对比结果.

关键词 环境综合评价, 动态监测, 环境综合指数, 模型.

Spatial Information Quantitative Analysis Method on Integrated Assessment and Monitoring of Ecological Environment

Zhang Zengxiang Peng Xulong Chen Xiaofeng Wang Changyou

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 E-mail: env@irsa.irsa.ac.cn)

Abstract This paper summarized remote sensing and geographic information system-based spatial information quantitative analysis method of integrated assessment and monitoring of ecological environment. The study aims at to monitor the environmental changes that caused by the regional development activities using remote sensing and GIS. Considering those effects of many ecological environment factors, spatial overlay analysis is necessary and integrated assessment result is hoped. After these, the digital environmental model to calculate the integrated environmental index by means of making the factors system, special subjects' data overlay analysis was established by the author. This index shows the environmental situation and finds its changes in a period. The conclusions show the environment index in 1991 and 1995 respectively, and the dynamic changes of environment situation from 1990 to 1995.

Keywords integrated assessment of environment, ecological environment index, model, dynamic monitoring.

区域生态环境是一个复杂的系统性整体, 受到人文因素和自然因素的共同影响, 这 2 个因素的各个因子以不同的方式和程度影响区域生态环境状况, 它们之间同时存在相互作用和相互影响, 区域生态环境状况分析必须考虑多要素综合与不同要素的自身特点.

过去开展的大量生态环境质量研究工作, 多数侧重于污染、灾害等方面, 对资源、环境、社会经济等综合分析不足; 定性描述为主, 区域和时间序列的比较研究难以具体化; 定点观测数据为主, 完整空间区域的分析不足, 特别是针对大气、水资源、土壤等方面的研究, 较多依靠的是观测站点的定量数据; 定量分析研究注重单要素, 难以对区域生态环境状况实现多要素的综合分析和整体评价.

1 方法设计

1.1 设计原则

* 本文完成过程中承蒙孙鸿烈、陈述彭、刘东生院士和刘纪远研究员的悉心指导和帮助
张增祥: 男, 35 岁, 博士, 研究员
收稿日期: 1998-04-22

(1) 分析方法的综合性 只有通过综合分析才能全面把握区域性的环境状况变化, 包括区域水热状况、土壤侵蚀、土地利用和土地覆盖、地形地貌特征等方面的一系列因子的综合分析.

(2) 分析结果的定量化 因各个因子对于区域生态环境状况所产生的影响程度不同, 即它们对于生态环境状况的形成与演变的重要性不同, 必须采用定量化的方法加以区别对待, 才能得出区域生态环境状况的数值结果, 避免定性分析所造成的对比困难.

(3) 分析结果的空间性 以具体的数值来表述各个空间位置上生态环境因子的实际状况和生态环境的综合状况.

(4) 动态性 生态环境是在动态平衡中发展的, 它们在时间和空间范围内的生物和非生物成分之间通过不断的物质循环和能量流动而相互作用和相互依存.

1.2 实现方法

(1) 全面分析区域生态环境现状, 把握主要影响要素, 筛选环境因子构成层次系统的指标体系, 并依靠专家知识的支持, 确定各个因子的权系数.

(2) 根据指标体系, 依靠遥感和地理信息系统技术进行各个因子的专题分析.

(3) 将获取的专题分析结果进行标准化处理, 形成符合统一标准要求的各专题因子数据.

(4) 建立生态环境综合评价与动态监测模型, 实现定量表述, 定量结果落实在每一个空间位置.

2 数据采集与管理

2.1 数据采集

数据采集是开展综合性、定量化计算分析的基础, 必须涵盖指标体系所要求的全部专题内容. 专题数据包括能定量反映环境某一因子状况的各种数据, 表现为 4 种方式:

(1) 通过卫星遥感技术直接从空间获取的数据, 这些数据经过一系列的计算, 产生环境评价所需的专题数据, 如植被指数和植被覆盖度等数据.

(2) 利用各种观测仪器从地面直接量测的数据, 如水热要素的各种数据都是利用这些数据而计算获得的.

(3) 间接获得的专题数据, 即对各种专题制图的内容数字化而形成, 如土地利用、海拔高度、土壤侵蚀类型、沟谷密度等专题内容.

(4) 主要包括社会经济方面的一系列统计数据.

2.2 数据标准化

通常采用分级标准化的方法, 即对于原始结果进行分级分等和对于各个等级实现定量赋值. 表示为:

$$V_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 10 \qquad (1)$$

式中, V_i 为某一专题类型的第 i 分级的标准化值, x_i 为第 i 级别, $x_{\min}$ 为本专题类型划分的最小级别, $x_{\max}$ 为最大级别.

数据标准化过程中, 要注意保证不同指标因子对于影响区域生态环境状况的相互一致性, 即根据各因子对于生态环境状况的形成演变是否有利的原则, 依照统一顺序实现标准化.

2.3 数据编码

(1) 字符编码适用于反映各个专题因子的空间地理位置和专题属性, 各个专题分类体系形成相对独立的编码系统.

(2) 数字编码适用于建立数字模型后经过标准化处理的具体专题内容, 实际上是专题分类体系的定量化反映. 所有专题因子的标准化处理结果采用统一的编码方法.

2.4 数据组织与分析

(1) 有序数值阵列方法 作为评价指标的所有专题数据均转换为栅格格式. 在建立栅格数据时, 采用统一的地理坐标、统一的转换方法和统一的栅格大不, 从理论上保证具有同一地理位置的栅格可以实现多重专题属性的表达. 多专题空间叠加分析时, 以栅格为最小分析单元, 每个单元对应各个参评因子自身属性来进行环境综合评价分析. 标准化处理后的专题数据落实在每一个基本分析单元, 每个单元均具有地理坐标和多重专题属性. 可用下式表示:

$$K_P = f(x_P y_P) \quad (2)$$

式中, K_P 为第 P 个分析单元的第 K 个专题属性, (x_P, y_P) 为该单元在二维平面中的坐标值.

(2) 单元分析方法 采用单元分析方法可以避免采用矢量数据开展叠加分析时可能出现越来越多的细小图斑. 并且, 随着参评指标数目的增加, 空间分析时迭加的专题数据因子也随之增加, 这些细小图斑的数量将急剧增多, 给数据的管理与分析造成越来越大的困难. 这些方法形成的成果可以迭加其他属性而进一步方便应用, 如迭加行政属性, 可以满足不同行政尺度要求下的区域分析与对比的需要.

(3) 三维数值模型方法 使专题内容和分析结果实现三维分析, 包括专题属性的三维分析及其与地形相结合的三维分析, 充分体现研究区域的地貌特点, 准确、客观和直观地反映各要素及其综合环境状况, 以及充分体现区域分异特点, 包括水平分异和垂直分异.

3 环境综合评价与动态监测模型

3.1 指标体系的确立

指标体系的确立是在充分而全面把握研究区域生态环境特点的基础上开展的, 选取对评价环境状况意义最大和最主要的一系列专题要素作为评价因子. 并根据这些因子的相互独立性和相互关系构建层次结构模型. 整个指标体系应该同时保证全体指标的科学性、系统性和全面性, 以及可获取性.

同时实现各个参评因子权系数的定量化表达, 准确、客观、合理地体现不同参评因子对于分析环境综合状况的贡献程度. 评价指标类型繁杂, 其贡献程度即重要性往往是一笼统的或模糊的概念, 权系数代表其重要性, 需要进行定性转定量的工作, 科学地计算出各指标的权系数, 为综合评价提供量化基础.

3.2 环境综合评价模型

经过标准化处理和采用有序数值阵列管理的环境评价专题因子数据是一组反映区域环境某一方面状况的有序数据, 它们之间以统一的空间位置共同反映同一地点或同一分析单元的环境状况. 每一分析单元均具有多重专题属性, 包括专题属性及其权系数 2 个方面. 通过对这些属性值采用多级加权求和模型的方法来实现环境质量的定量化评价, 其结果就是代表环境特点的环境评价综合指数, 它是一个空间型的评价结果(图 1).

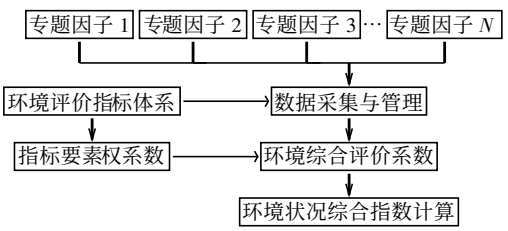

图 1 环境综合评价空间型结果的生成

分析和统计分析方法的结合应用, 其结果同样落实在每一个基本分析单元, 但只是一个原始结果, 必须采取相关方法进行分析, 以客观反映环境状况. 这些方法包括统计分析和叠加分析等, 用以实现不同的研究目的. 统计分析方法可以对原始数据结果进行分级、分等, 从而了解环境状况的区域分异规律, 最终实现环境质量分区, 展现环境质量的区域差异, 便于指导资源的合理利用和制定环境保护规划. 叠加分析方法可以进行环境质量与各个评价指标之间的判别分析, 确定影响环境质量的主要指标, 以便合理利用资源和切实保护环境措施的落实具有更强的针对性. 与数字高程模型的叠加分析还有助于掌握环境质量分异的垂直变化规律.

加权求和的环境评价结果用下式表示:

$$E_P = \sum_{i=1}^{18} k_i k_e \quad (i = 1, 2, 3, \cdots\cdots n) \quad (3)$$

式中, E_P 为第 P 个分析单元的环境质量指数, k_i 为第 i 个专题指标要素经过标准化处理后的定量表达值, k_e 为反映该专题要素对于环境质量评价重要性的权系数.

由此得出的环境评价结果落实在每一个分析单元, 对其进行统计分级来获取研究区域的环境质量状况.

3.3 动态监测模型

环境状况动态监测主要表现其综合状况的时间序列特点, 主要针对不同专题因子的数据和不同时期的数据进行对比, 从空间上和数量

上分析动态变化特征和规律及其未来发展趋势(图 2). 实际上, 动态监测研究是立足于环境现状, 对其过去直到现在这一时期内所产生的变化, 包括变化的区域分布与数量特征, 所开展的时间序列分析工作, 以便于掌握其演变速率和演变规律特征, 为更好地了解其现状和展望其未来提供帮助.

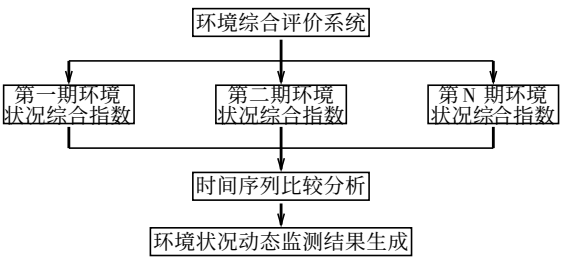

图 2　环境状况时间序列对比结果的生成

动态监测模型的建立仍然以基本分析单元为对象, 以各个专题指标和环境状况为监测内容, 以数学比较运算来得出不同时期间研究目标的变化量. 同环境评价一样, 空间叠加分析与统计分析方法用于了解其区域分异规律和动态演化规律特性.

基本分析单元的前后对比运算表示为:

$$\Delta E_P = (E_P^i - E_P^{i-j})/(t_i - t_j)$$
$$(P = 1, 2, \cdots; t_i = 1, 2, \cdots; t_j < t_i) \quad (4)$$

式中, ΔE_P 为第 P 个分析单元在 t_i—t_j 时段内单位时间的变化量, E_P^i 为该单元在第 t_i 时刻的环境状况, E_P^{i-j} 为此时以前 t_j 时刻的环境评价结果.

4　西藏中部地区资源环境遥感监测与综合评价

采用上述方法, 在西藏中部地区实现了 1990 年和 1995 年 2 期环境状况的综合评价, 以及动态对比结果.

具体研究中, 首先征求我国在青藏高原资源环境研究领域的 20 余位专家的意见, 建立了容纳水文、气象、土壤侵蚀、土地覆盖、地形地貌等方面 18 个环境影响因子的指标体系, 并采用层次分析方法确定了全部参评因子的权系数(表 1).

表 1　西藏中部生态环境影响因子相对于总目标的权系数分配

一级参评因子	二级参评因子	三级参评因子
水热状况 ($A = 0.3$)	热量 ($B_1 = 0.117$)	> 0℃积温 ($F_1 = 0.076$)
		年平均温度 ($F_2 = 0.041$)
	湿润系数 ($B_2 = 0.063$)	
	径流稳定性 ($B_3 = 0.042$)	
	降水稳定性 ($B_4 = 0.078$)	相对降水变率 ($G_1 = 0.046$)
		年均降水强度 ($G_2 = 0.031$)
土壤侵蚀 ($A_2 = 0.2$)	水力侵蚀 ($C_1 = 0.068$)	
	风力侵蚀 ($C_2 = 0.042$)	
	冻融侵蚀 ($C_3 = 0.022$)	
	重力侵蚀 ($C_4 = 0.026$)	
	人为侵蚀 ($C_5 = 0.042$)	
土地覆盖 ($A_3 = 0.3$)	植被 ($D_1 = 0.159$)	植被指数 ($H_1 = 0.107$)
		人工植被率 ($H_2 = 0.052$)
	垦殖指数 ($D_2 = 0.066$)	
	土地利用程度 ($D_3 = 0.075$)	
地形地貌 ($A_4 = 0.2$)	海拔高度 ($E_1 = 0.102$)	
	坡度 ($E_2 = 0.056$)	
	坡向 ($E_3 = 0.042$)	

根据生态环境评价指标体系, 依靠遥感方法采集各个专题因子的数据, 并进行标准化处理与建立数据库, 依照参评因子相对于生态环境演变的有利与否, 使其位于 0～10 之间. 确定参评因子的权系数后, 实现以 100m×100m 实地面积为基本分析单元的生态环境综合指数计算. 图 3 所示为西藏中部地区 1995 年生态环境综合指数分级结果.

产生的生态环境综合指数结果与各个参评因子的原始标准化结果一起, 落实在每一个基

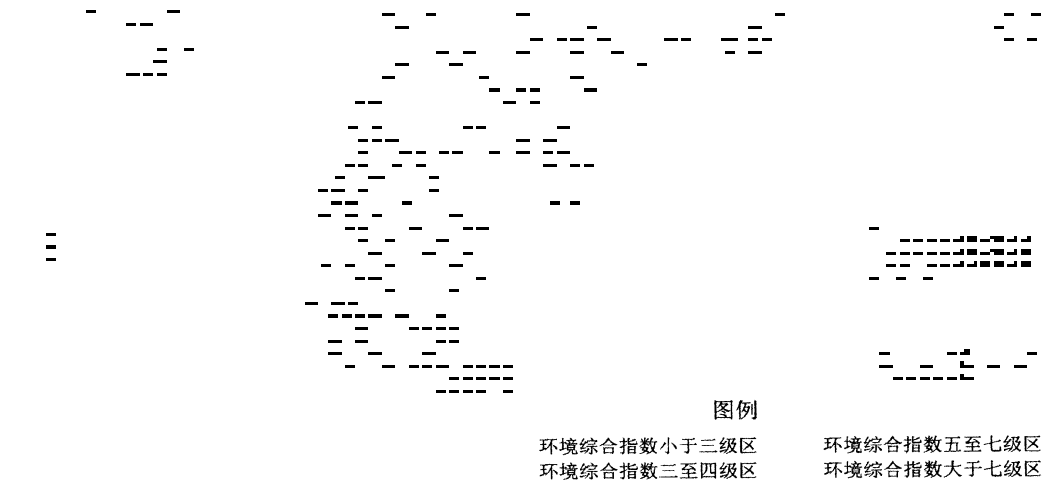

图 3 西藏自治区中部地区 1995 年生态环境综合指数分级

本分析单元. 并且, 生态环境综合指数包括 1991 和 1995 年的 2 期结果, 针对每一个基本分析单元的指数比较, 即产生该空间位置的生态环境状况变化结果. 图 4 所示为西藏中部地区的生态环境综合指数在 1991～1995 年期间的动态监测分级结果.

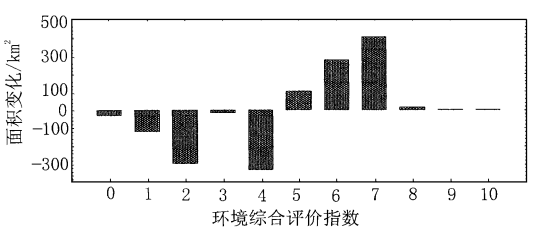

图 4 西藏 "一江两河 "地区环境综合指数分级动态变化

5 结论

环境综合评价及其动态监测定量研究方法对于开展区域对比和时间比较分析具有更明显的实用性. 这一方法已经在中等区域尺度的研究工作中得到了实际应用, 并取得了客观、准确的系列化成果.

(1) 建立指标体系和确定各个因子的权系数是影响最终结果的关键, 必须针对研究区域特点和广泛征询专家意见, 充分考虑科学性与区域特殊性的紧密结合.

(2) 有序数值阵列和空间数值模型是开展区域环境评价的有效方法, 特别是采用遥感和地理信息系统技术开展环境综合评价, 对于多专题和多时相的大量数据分析.

(3) 基本分析单元直接影响分析结果的精度, 它代表一定的空间区域范围.

参 考 文 献

1 中国科学院环境科学委员会等. 天津-渤海湾地区环境遥感论文集. 北京: 科学出版社, 1985
2 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土地利用. 北京: 科学出版社, 1992
3 徐冠华等. 三北防护林地区再生资源遥感的理论及其技术应用. 北京: 中国林业出版社, 1994
4 王长耀等. 资源环境动态遥感与模型分析试验研究. 北京: 宇航出版社, 1993
5 陈正宜等. 晋陕蒙接壤地区脆弱生态系统遥感监测与管理研究. 北京: 宇航出版社, 1994
6 中国科学院遥感应用研究所等. 黄土高原水土保持林区遥感综合研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996
7 1∶500000 黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列图编委会. 黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究. 北京: 地震出版社, 1992
8 刘纪远等. 中国国家资源环境遥感调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996
9 张增祥等. 西藏自治区中部地区资源环境遥感监测与综合评价研究. 北京: 宇航出版社, 1998
10 曾志远, 潘贤章. 利用遥感与地理信息系统进行流域环境模拟探讨. 遥感新进展与发展战略. 北京: 中国科学技术出版社, 1996
11 柯正谊等. 数字地面模型. 北京: 中国科学技术出版社, 1993