

# 区域生态安全灾变态势分析方法 ——以辽河流域为例

王 耕<sup>1,2</sup>, 王 利<sup>2</sup>, 吴 伟<sup>1</sup>

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 大连理工大学环境与生命学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要** 在实际生产生活中人们关注的不仅是基于 P-S-R (压力-状态-响应) 框架的生态安全状态评价, 而是未来生态安全灾变态势问题。灾变是由风险演变而来。存在生态安全隐患, 就存在生态安全灾变的风险, 生态安全隐患是生态安全灾变的风险源。生态安全灾变风险是指在一定区域内, 由于各种隐患因素对人与自然环境复合生态系统可能产生的危害作用, 从而使生态安全状态所承受的恶化和灾变的可能性, 是人们不能确切把握且不愿接受的安全状态恶化的一种态势。以区域突发型生态安全隐患和缓发型生态安全隐患的危害作用为研究对象, 采用生态风险评价和地理信息系统 (GIS) 分析技术相结合的方法, 以辽河流域为例探讨了生态安全灾变态势的理论与方法。

**关键词** 区域生态安全灾变风险 态势分析 辽河流域

文章编号 1000-0933 (2007) 05-2002-10 中图分类号 X988, X171.1 文献标识码 A

## Research on the method of regional ecological security disaster trend analysis : a case study at the reaches of Liaohe River

WANG Geng<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>2</sup>, WU Wei<sup>1</sup>

1 Urban and Environmental College of Liaoning Normal University, Dalian 116029

2 School of Environmental and Biological Science and Technology in Dalian University of Technology, Dalian 116024

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (5) 2002 ~ 2011.

**Abstract** : People pay attention to not only the state assessment of ecological security based on P-S-R (Pressure-State-Response) in practice, but also the future disaster trend problem. Disasters are caused by taking risks. Where there is hidden danger, there is also risk of a disaster. Ecological security dangers are factors of disaster. Ecological security disaster risk is the probability of deterioration and disaster which the ecological security state receives, as a result of the hidden danger harm to the compound eco-system in a certain areas, and it is the deterioration trend of ecological security state that people do not truly control or like to accept. This article applies the geography information system (GIS) analysis technique and ecological risk assessment method, according to the harm of regional paroxysmal and gradual dangers, study the theories and methods which related to the disaster trend (risk) based on the case study of Liaohe River.

**Key Words** : regional ecological security disaster risk ; trend analysis ; Liaohe River

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (20073003) ; 国家教育部博士点基金资助项目 (20020141027) ; 辽宁省教育厅青年基金资助项目 (2004F010)

收稿日期 2006-03-15 ; 修订日期 2006-11-12

作者简介 王耕 (1973 ~), 女, 辽宁沈阳人, 博士生, 主要从事生态安全与生态管理研究. E-mail : wanggeng2003@sohu.com

**Foundation item** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 70073003) ; National Ministry of Education Ph. D. Foundation (No. 20020141027) ; Youth Scholar Fund of Department of Education of Liaoning Province (No. 2004F010)

Received date 2006-03-15 ; Accepted date 2006-11-12

**Biography** WANG Geng, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecological security and ecological management. E-mail : wanggeng2003@sohu.com

生态安全或者环境安全已经被视为非传统的重大安全威胁之一,是国家安全的重要组成部分,与国防安全、经济安全同等重要,都是国家安全的重要基石<sup>[1]</sup>。近年来国内外许多学者从理论与方法上对生态安全进行了广泛的研究<sup>[2~14]</sup>,如美国环保局环境监测与评价项目和区域生态脆弱评价项目,俄罗斯国家生态预报<sup>[1]</sup>,我国长江三峡库区、海岛区和自然保护区等生态安全评价及生物保护等研究<sup>[5~18]</sup>。从生态安全评价框架来看,大都是基于联合国环境规划署(UNEP)和 OECD(联合国经济合作开发署)等部门所发展的一项反映可持续发展机理的“压力-状态-响应”(P-S-R, Pressure-State-Response)概念框架或者 P-S-R 的扩展框架<sup>[9]</sup>。P-S-R 框架是评价人类活动与资源环境可持续发展方面比较完善的、权威的体系,正因为如此,左伟、陈东景、杨京平、吴国庆、郭中伟、薛雄志等许多学者在此框架下完成了区域生态安全评价<sup>[6,20~24]</sup>,笔者也对辽河流域生态安全进行了类似的研究<sup>[5,26]</sup>。综合本人以及各位学者的研究过程与内容,生态安全状态评价研究比较成熟,趋势研究正处于探讨阶段<sup>[7,28]</sup>,尤其是人们倍加关注的生态安全灾变态势的研究尚缺乏。因此,笔者在充分研究 P-S-R 框架评价的基础上,从地理科学和安全科学的角度出发,以辽河流域为例探讨了生态安全灾变风险与态势问题,意在揭示生态安全灾变的规律,以完善区域生态安全的机理认识。

1 生态安全灾变研究的基本原理

安全不是瞬间的结果,而是对系统在某一时期,某一阶段过程状态的描述,因此生态安全是一个动态过程,是关于时间和空间的连续函数。生态安全从诞生时起就孕育着各种隐患,而且无时无刻不受到隐患及危害的威胁。在安全科学中,隐患是不确定性因素,在一定条件下触发或由量变累积到质变,安全就发生流变——突变<sup>[9,30]</sup>。生态安全隐患越小,生态安全程度越高;生态安全隐患越大,生态安全程度越低,因此生态安全隐患触发或由量变累积会导致生态安全状态恶化甚至灾变。在实际生产生活中人们关注的不仅是生态安全的现时状态,而是未来 5a 或 10a 生态安全状态将怎样演变,是越来越安全?还是越来越不安全?如果生态安全有恶化趋势,在生态安全灾变发生之前,人们是可以通过预警理论采取应急响应来控制不良趋势发展,调控恶化状态,这就是生态安全“以人为本”的特点,也是生态安全灾变态势研究的现实意义。

灾变是由风险演变而来,存在生态安全隐患,就存在生态安全灾变的风险。生态安全灾变风险是指在一定区域内,由于各种隐患因素对人与自然环境复合生态系统可能产生的危害作用,从而使生态安全状态所承受的恶化和灾变的可能性。因此,生态安全灾变风险是“状态”的“风险”,是人们不能确切把握且不愿接受的一种不确定性态势。针对灾变风险的研究能够充分辨识灾变的隐患,正确地估测安全状态恶化态势,为保护生态安全提供更有效的信息,也更有利于区域可持续发展。从系统的角度看,区域生态安全灾变风险属于生态风险范畴。人与自然复合生态系统不论是结构和功能的恶化,还是生态安全状态的恶化,都会严重影响整个系统的人口-资源环境-经济的可持续发展。运用生态风险评价理论和方法所度量的灾变风险不仅可以确定生态安全隐患对生态安全发展态势影响的可能性和强度,而且还可以依此建立风险预警模式和生态风险管理机制,从而实现区域系统资源开发与生态环境的协调健康发展。

2 生态安全灾变研究的方法

2.1 风险源及其危险性

2.1.1 风险识别

区域生态安全的研究对象是一个结构复杂的综合系统,其涵盖的层面广阔,包括自然生态系统、社会子系统、经济子系统等等,因此生态安全隐患既包括自然界隐患,如地震、洪水等,又包括人类活动带来的隐患,如环境事故等;既有突发型隐患,如自然灾害等,又有缓发型隐患,如水土流失、荒漠化等;既有污染型隐患,如大气污染、水污染等,又有资源型隐患,如水资源紧缺等。只要隐患具有可能直接或间接地产生不利的安全状态影响并具有不确定性,即是区域生态安全灾变风险研究所应考虑。本文根据隐患因素之间的相互关系,充分考虑空间和时间的差异,对辽河流域 2000 年 5 月 13 日拍摄的地球资源探测 7 号卫星影像完成土地利用类型的划分,获取土地沙化、水土流失等数据,结合 2004 年野外考察和收集的 latest 资料,从大气圈、水圈、岩石圈、生物圈以及人类活动的隐患因素出发,确定了多维空间结构的生态安全灾变风险源(表 1)<sup>[1,32]</sup>,其中自

然灾害概率依据 1949 ~ 2004 年 55a 间区域的历史纪录统计,隐患权重根据熵权法确定。

表 1 辽河流域生态安全隐患因素 (括弧内为指标权重)

Table 1 Ecological security danger factors of Liaohe River (The index weight in bracket)

| 五大圈层<br>Five spheres               | 生态安全隐患指标<br>Ecological security danger factor          |                                                   |                                                                      |                                                                           |                                                                 |                                                                               |                                                                             |                                                                                 |                                            |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 大气圈隐患因子<br>Atmosphere dangers      | 干旱*<br>Drought<br>(0.0088)                             | 雨涝*<br>Waterlog<br>(0.0062)                       | 大风*<br>Cloudy<br>(0.0052)                                            | 扬沙*<br>Sand blowing<br>(0.0093)                                           | 沙尘暴*<br>Dust storm<br>(0.0257)                                  | 霜冻*<br>Frost<br>(0.0027)                                                      | 冰雹*<br>Hail<br>(0.0165)                                                     | 寒潮*<br>Cold wave<br>(0.0804)                                                    | 雪灾*<br>Snow disaster<br>0.0266             |
| 水圈隐患因子<br>Hydrosphere dangers      | 洪涝<br>Flood<br>(0.0132)                                | 地方病<br>患病比例<br>Endemic<br>(0.0040)                |                                                                      |                                                                           |                                                                 |                                                                               |                                                                             |                                                                                 |                                            |
| 岩石圈隐患因子<br>Geosphere dangers       | 地震*<br>Earthquake<br>(0.0012)                          | 地面沉降*<br>Subsidence<br>(0.1081)                   | 泥石流滑坡*<br>Coast<br>(0.1081)                                          | 崩塌*<br>Dilapidation<br>(0.1081)                                           | 冻土<br>Frozen earth<br>(0.0009)                                  |                                                                               |                                                                             |                                                                                 |                                            |
| 生物圈隐患因子<br>Biosphere dangers       | 近 20a 来<br>植被锐减<br>指数<br>Plant<br>decrease<br>(0.0746) | 草地退化<br>程度<br>Degraded<br>grassland<br>(0.1081)   | 农业病虫害*<br>Agriculture<br>diseases<br>and insect<br>pests<br>(0.0057) | 农业草害*<br>Agriculture<br>grass diseases<br>and insect<br>pests<br>(0.0057) | 森林病虫害*<br>Forest<br>diseases<br>and insect<br>pests<br>(0.0060) | 森林火灾*<br>Forest fire<br>(0.1081)                                              |                                                                             |                                                                                 |                                            |
| 人类活动隐患因子<br>Human activity dangers | 水资源<br>紧缺风险<br>Water<br>shortage risk<br>(0.0087)      | 水土流失<br>风险<br>Soil-water<br>loss risk<br>(0.0027) | 地下水<br>超采模数<br>Grand water<br>exploitation<br>modulus<br>(0.0327)    | 空气污染<br>指数<br>Air pollute<br>index<br>(0.0062)                            | 降水 pH 值<br>Precipitation<br>pH<br>(0.0642)                      | COD <sub>Cr</sub><br>超Ⅲ级风险<br>COD <sub>Cr</sub><br>SuperⅢ<br>risk<br>(0.0035) | BOD <sub>5</sub><br>超Ⅲ级风险<br>BOD <sub>5</sub><br>SuperⅢ<br>risk<br>(0.0122) | NH <sub>3</sub> -N<br>超Ⅲ级风险<br>NH <sub>3</sub> -N<br>SuperⅢ<br>risk<br>(0.0060) | 环境事件<br>Environmental<br>event<br>(0.0015) |

\* 突发性隐患因素 Suddenly dangers

2.1.2 危险性分析

隐患对生态安全可能产生的危害性是隐患的危险性。根据生态安全隐患类型,风险源的危险性分析分为突发型隐患的危险性和缓发型隐患的危险性。

( ) 突发型隐患危险性分析

突发型隐患主要是自然灾害,在灾害风险评价中,通常用危险度来度量危险性<sup>[3]</sup>。突发型隐患的危险性是隐患触发的可能性大小。一般地,隐患触发概率越大,隐患的危险性越高,则对生态安全灾变的威胁越大。因此,隐患危险性的高低通常可用如下范式予以表达 危险度 = λ × 危险概率。其中 λ 为隐患的权重值。

( ) 缓发型隐患危险性分析

缓发型隐患主要是环境灾害,它的致灾危险性分析就是估算承灾体受损风险。承灾体受损风险一方面取决于一定出现概率条件下的危害势 (对于承灾体则为来自环境空间的压力),另一方面取决于承灾体的承受能力 (受承灾体易损性限制)。承灾体对某种因子的危害势承受能力 C 大于其危害势 P 的概率称作承灾体暴露于该环境风险场的可靠度  $R_0 = P(C > P)$ ,也可称之为安全概率。相应的承受能力 C 小于危害势 P 的概率称作承灾体受损的风险率,记作  $F_0 = P(C < P)$ 。如果 C 与 P 为连续型随机变量,概率密度分别为  $f_C(x)$  和  $f_P(x)$ ,或已知二者的联合概率密度函数为  $f_{CP}(x, p)$ ,则可通过对概率密度函数积分求解  $R_0$  与  $F_0$ 。由于受资料限制, C 与 P 的概率密度函数往往无法确定,即使得到了概率密度函数,由于函数过于复杂,也很难通过积分法求解 因此在解决实际问题时,通常采用近似方法,即在假设 C 与 P 服从正态分布或对数正态分布情况下,利用一次二阶矩的方法求解<sup>[4]</sup>。本文 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 污染风险就是利用此法求得。对于资源型环境灾害,承受能力可解释为资源供给,外界环境压力则解释为资源需求,因此资源型风险实为求解“供给”与“需

求’之间的紧缺程度。本文水资源紧缺程度、水土流失等环境灾害风险根据选取相应指标进行模糊评价所得。

§) 隐患危险性综合分析

将突发型隐患因子的危险性指数和缓发型隐患因子的风险率综合评价过程属于多目标优选问题,可运用模糊评价方法获得综合危险性指数  $SD$ 。

2.2 风险受体分析

‘受体’即风险承受者,受体的灾变风险可以推断、分析或代替整个区域的安全灾变风险<sup>[5]</sup>。在生态安全研究中,受生态安全隐患直接威胁的是人口、资源环境和经济发展;间接威胁的是人与环境、经济可持续发展的生态安全程度。前者为直接受体,后者为间接受体。不论是直接受体,还是间接受体,受到风险源的危害作用,都将推进生态安全状态的恶化,对生态安全灾变敏感。因此,选取此两者作为风险受体,可以最大程度上反映整个区域的生态安全灾变风险状况,又可达到简化分析和计算、便于理解和把握的目的。

2.3 危害评价

危害评价的目的是确定风险源对风险受体的损害程度<sup>[6]</sup>。生态安全具有地域差异性,相同强度的隐患因素作用于不同的区域系统,可能对区域生态安全状态产生不同强度的灾变威胁,同时,不同区域系统的破坏程度和抗干扰能力也是不同的。本研究以基于 P-S-R 框架评价的状态指数来反映不同区域生态安全状态,以复合生态系统的破坏程度和社会性参数来体现直接受体的易损性。

2.3.1 状态指数

状态指数反映区域生态安全的现状。准确恰当地测算生态安全现实状态是风险度量的基础。目前生态安全状态评价以基于 P-S-R 概念框架的评价方法最为成熟,本文也选取一定的评价指标基于此进行了生态安全静态评价,评价结果就是生态安全状态指数,可以衡量其状态的相对安全性。

2.3.2 直接易损度

安全灾变风险的直接受体具有宏观性,因此只能进行较粗糙的计算<sup>[7]</sup>。为了较客观评价隐患因素可能造成的危害后果,直接易损度的计算可以通过选取直接受体的破坏程度和社会性参数相关指标进行模糊评价而得出(如表 2),权重采用模糊二元权重法。同一地区同一时段或时期易损度是相同的。

2.3.3 综合易损度

综合易损度是风险受体生态安全状态指数和直接易损度的综合,在相同风险下,不同区域的综合易损度指数是不同的。综合易损度指数以下式公式表示: $SL = SS \times SK$

$SL$  为区域生态安全综合易损度指数; $SS$  为生态安全状态指数; $SK$  为区域直接易损度指数。

2.4 风险度量

‘风险度量’即评估危害作用的大小以及发生的概率的过程<sup>[8]</sup>,也是前述各分析部分的综合阶段,计算公式为: $SR = SD \times SL$ ,其中  $SR$  为区域生态安全灾变风险归一化值; $SD$  为风险源综合危险性归一化指数; $SL$  为综合易损度归一化指数。当风险源危险性最小时,即突发型隐患的触发概率为 0,只有缓发型隐患发生作用时,安全灾变风险最小;当风险源危险性最大时,即突发型隐患的触发概率为 1,与缓发型隐患同时发生作用时,安全灾变风险最大;当风险源危险性为最可能值时,即突发型隐患按照统计概率触发时,并与缓发型隐患同时发生作用时,安全灾变风险值为最可能值,也是最需要判断灾变态势的情况。

2.5 灾变态势分析

由灾变风险度量,最大、最小风险值实际上分别表征了灾变的极端风险,灾变风险最可能值在灾变最大风险和最小风险区间。灾变态势分析主要是研究灾变风险最可能值在最大与最小风险值之间变化趋势问题,可通过灾变指数来判断。灾变指数的确定有两种方法:一种是选取最小风险值和最大风险值的均值,规定超过均值的风险即为灾变态势增强,反之亦然;另一种是选取超过最小风险值的倍数,规定超过倍数越大,态势越强,反之亦然。本研究所计算的最大风险值较大,选用后者方法来判断态势。

表 2 辽河流域生态安全直接易损度指标  
Table 2 Ecological security direct damage indicator of Liaohe River

| 指标类别<br>Index type                       | 指标名称<br>Index name                                                                   | 模糊二元权重<br>Fuzzy duality balance weight |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 承灾体破坏程度<br>Receptor damage               | 自然生态系统质量 Natural eco-system quality                                                  | 0.111                                  |
|                                          | 人口密度 Population dense (person/km <sup>2</sup> )                                      | 0.069                                  |
|                                          | 产值密度 万元/km <sup>2</sup> GDP dense (10 <sup>4</sup> yuan/km <sup>2</sup> )            | 0.082                                  |
|                                          | 人均 GDP Per capita GDP (10 <sup>4</sup> yuan/person)                                  | 0.135                                  |
|                                          | 基本建设投资比例 Capital construction investment (%)                                         | 0.095                                  |
|                                          | 教育事业支出占财政支出比例 Percentage of education investment by government expenditure (%)       | 0.073                                  |
| 承灾体社会性参数<br>Receptor sociality parameter | 环境污染治理投资占 GDP 比例 Percentage of environmental pollution investment by GDP (%)         | 0.099                                  |
|                                          | 工业废水达标率 Rate of treatment of industry waste water (%)                                | 0.095                                  |
|                                          | 城镇居民储蓄 Amount of Saving Deposits of Urban and Rural Residents (10 <sup>4</sup> yuan) | 0.117                                  |
|                                          | 人均粮食生产总量 Per capita output of grain (kg)                                             | 0.124                                  |

3 GIS 关键技术

地理信息系统 (GIS) 技术是伴随着地理科学、计算机技术、遥感技术和信息科学的发展而成长起来的一门新兴学科,其基本技术是数据库、地图可视化及叠加、拓扑等空间分析<sup>[9]</sup>。本文借助 GIS 侧重于评价单元的划分,隐患因子分类与量化,GRID 格网创建等。

3.1 评价单元划分

根据矢量面状评价单元和栅格点状评价单元各自优缺点的特征,本文采用了二者相结合的划分方法,使指标因子数据载体与分析评价单元分开,即用栅格点状单元作为指标因子的数据载体和基本评价分析单元,用矢量面状单元作为综合评价分析单元间或数据载体 (社会经济数据),二者之间用模型予以关联<sup>[5]</sup>。所采用的评价单元如下:

3.1.1 行政单元

行政单元在以国家、省域为尺度进行区域生态环境质量评价时采用较多。主要优点是统计数据容易获取,所得的结论便于各行政单元生态保护与建设政绩的确定与比较 缺点是对行政单元中生态系统本身的结构与功能分异不能进行深入分析。本文进行生态安全状态评价时,响应指标中如社会减灾能力、人均国内生产总值等数据采集均以行政单元进行统计。

3.1.2 流域单元

以小流域为评价单元主要是考虑区域生态系统的地貌分异以及水文过程形成的生态空间格局。本文在河流污染级别和 COD 排放量等指标数据采集均按照流域单元法进行统计。

3.1.3 网格单元

生态安全评价因子虽然属于 GIS 管理下的矢量数据,但它们有着各自不同的自然统计单元。人均国内生产总值、环境污染治理投资等信息是以行政区为统计单元 洪涝、干旱等状况是以二级流域为统计单元 利用不同平台遥感数据获取的地表不同类型的专题信息是以像元作为统计单元。统计单元的不同是不便于多源数据相关比较和分析的,而在 GIS 技术的支持下,经过网格化处理的数据及其派生出的结果,可以以不同单元为基础进行空间分异规律研究,同时也便于和遥感数据结合<sup>[40]</sup>。根据辽河流域生态安全研究目的,选择相应分辨率 (1.5km × 2.5 km) 格网作为基本评价分析单元,共生成 2.5km × 2.5 km 单元网格 40010 个。

3.2 GIS 插值技术

空间插值常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,以便与其他空间现象的分布模式进行比

较,它包括了距离加权平均方法、样条函数和克里金插值方法<sup>[9]</sup>。隐患因子中如干旱指数、暴雨量、大风日数、冻土深度、洪水频次等指标的数据都是等值线图,只能通过 GIS 将等值线或等值面转成点,再插值形成 GRID 数据。本文选择克里金插值方法创建图形文件,再将图形文件转出,形成 MapInfo Point Table (\*.tab) 文件,插值形成的数据点数必须超过所确定的 GRID 单元网格——40010 个,才能便于赋值建立数据库。

3.3 隐患因子量化与赋值

不同类型的隐患因子量化方法不同。对于点状隐患因子,如大气污染可以按照点源随距离衰减原理量化其强度值。对于线状隐患因子,如交通噪声影响可以沿道路线按照不同距离的缓冲区量化其值。面状隐患因子的量化较复杂,如流域整体性因子——洪水隐患可以按照流域单元法统计洪水影响范围 响应因子如环境污染治理投资等,可以按照行政单元法进行量化;一般面状因子如采矿塌陷隐患、水土流失隐患可以按照因子属性进行量化 图 1)。总之,录入 GIS 属性数据库表 \*.tab 中的不论是统计信息数据,缓冲区分级数据,遥感影像解译数据和 DEM 信息,还是 GIS 插值数据均需要“投影”到 Grid 网格上,完成格网属性赋值过程。为了便捷计算,可以编写 Map basic 赋值程序嵌入 MapInfo 工具管理器中。

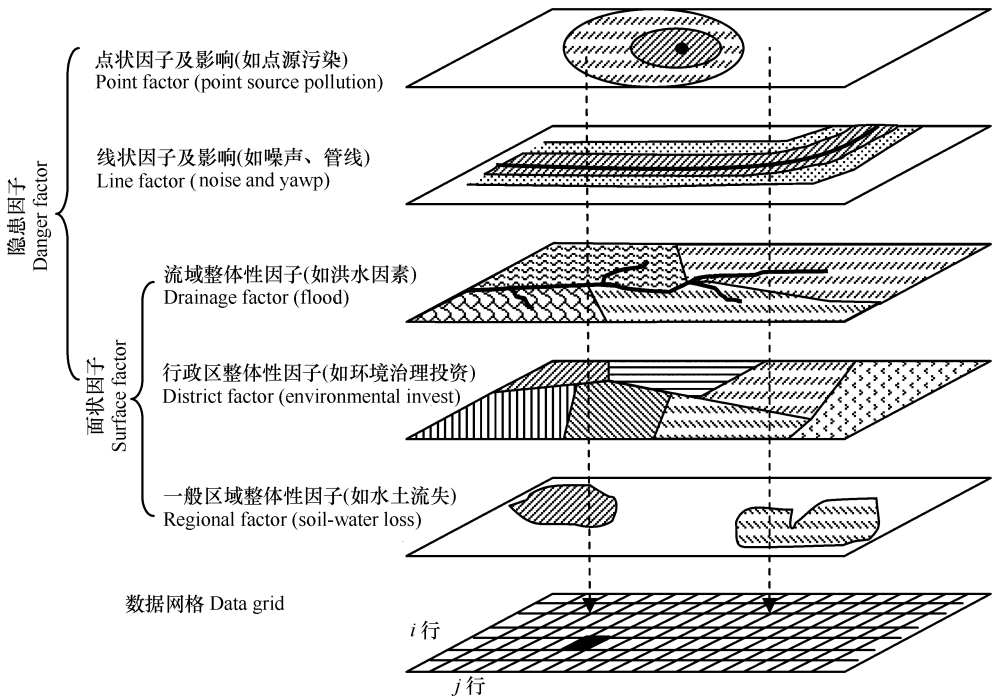


图 1 辽河流域生态安全隐患因子量化

Fig. 1 Ecological security danger factors quantization of Liaohe River

4 实例分析

4.1 辽河流域生态安全灾变风险计算

根据前述方法,辽河流域生态安全隐患危险性指数、生态安全状态指数、综合易损度指数和灾变风险指数等均以格网单元计算,为了便于直观展示,以辽河流域城市为单元统计如表 3 所示。

4.2 辽河流域生态安全灾变态势分析

根据辽河流域生态安全灾变风险测算,灾变风险最可能空间分布如图 2 所示,其中赤峰、阜新、本溪、盘锦、四平灾变风险相对较大,沈阳、辽源、抚顺、营口灾变风险相对较小,但从发展态势看(如图 3 所示),通辽、赤峰、鞍山、沈阳和辽源灾变指数较大,灾变态势较强,应优先建立风险预警系统加强安全管理。

表 3 辽河流域生态安全灾变风险计算

Table 3 Ecological security disaster risk calculation of Liaohe River

| 地区<br>Areas     | 最小<br>危险指数<br>Min-danger<br>index | 最大<br>危险指数<br>Max-danger<br>index | 最可能<br>危险指数<br>Probable<br>danger index | 安全<br>状态指数<br>Security<br>index | 综合易<br>损度指数<br>Receptor<br>damage index | 最小<br>灾变风险<br>Min-risk<br>index | 最大<br>灾变风险<br>Max-risk<br>index | 最可能<br>灾变风险<br>Probable risk<br>index | 灾变指数<br>Disaster<br>index |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 朝阳市<br>Chaoyang | 0.0607                            | 0.6906                            | 0.1106                                  | 0.6782                          | 0.5607                                  | 0.0231                          | 0.2626                          | 0.0421                                | 0.8206                    |
| 四平市<br>Siping   | 0.0566                            | 0.6865                            | 0.0877                                  | 0.6934                          | 0.7048                                  | 0.0277                          | 0.3355                          | 0.0429                                | 0.5479                    |
| 锦州市<br>Jinzhou  | 0.1004                            | 0.7302                            | 0.1580                                  | 0.6543                          | 0.2501                                  | 0.0164                          | 0.1195                          | 0.0258                                | 0.5733                    |
| 盘锦市<br>Panjin   | 0.0256                            | 0.6554                            | 0.0754                                  | 0.7219                          | 0.7927                                  | 0.0147                          | 0.3751                          | 0.0431                                | 1.9438                    |
| 辽源市<br>Liaoyuan | 0.0194                            | 0.6492                            | 0.0583                                  | 0.5651                          | 0.6034                                  | 0.0066                          | 0.2214                          | 0.0199                                | 2.0102                    |
| 铁岭市<br>Tieling  | 0.0867                            | 0.7165                            | 0.1652                                  | 0.4263                          | 0.6034                                  | 0.0223                          | 0.1843                          | 0.0425                                | 0.9052                    |
| 沈阳市<br>Shenyang | 0.0260                            | 0.6558                            | 0.0828                                  | 0.4666                          | 0.3208                                  | 0.0039                          | 0.0982                          | 0.0124                                | 2.1825                    |
| 鞍山市<br>Anshan   | 0.0269                            | 0.6567                            | 0.0891                                  | 0.6259                          | 0.6738                                  | 0.0114                          | 0.2770                          | 0.0376                                | 2.3099                    |
| 辽阳市<br>Liaoyang | 0.0523                            | 0.6822                            | 0.0905                                  | 0.6599                          | 0.6997                                  | 0.0242                          | 0.3150                          | 0.0418                                | 0.7286                    |
| 本溪市<br>Benxi    | 0.0335                            | 0.6633                            | 0.0703                                  | 0.8258                          | 0.7519                                  | 0.0208                          | 0.4119                          | 0.0436                                | 1.0963                    |
| 抚顺市<br>Fushun   | 0.0318                            | 0.6616                            | 0.0886                                  | 0.4290                          | 0.6262                                  | 0.0085                          | 0.1777                          | 0.0238                                | 1.7900                    |
| 赤峰市<br>Chifeng  | 0.0329                            | 0.6628                            | 0.1550                                  | 0.6761                          | 0.5879                                  | 0.0131                          | 0.2634                          | 0.0616                                | 3.7029                    |
| 阜新市<br>Fuxin    | 0.1004                            | 0.7302                            | 0.1393                                  | 0.5927                          | 0.6316                                  | 0.0376                          | 0.2734                          | 0.0522                                | 0.3875                    |
| 营口市<br>Yingkou  | 0.0325                            | 0.6623                            | 0.0748                                  | 0.5862                          | 0.5806                                  | 0.0111                          | 0.2254                          | 0.0254                                | 1.3005                    |
| 通辽市<br>Tongliao | 0.0295                            | 0.6594                            | 0.1525                                  | 0.4256                          | 0.6088                                  | 0.0077                          | 0.1708                          | 0.0395                                | 4.1626                    |

5 主要结论

基于 P-S-R 框架的生态安全评价只是反映某一时段或时期的生态安全状态,但是不能全面客观解释与分析生态安全的演变过程。为弥补 P-S-R 框架研究的不足,本文在 P-S-R 框架基础上增添了隐患动态变化的因素,以辽河流域为例探讨了生态安全灾变态势问题,为生态安全演变分析提供了思路和方法。生态安全演变过程极其复杂,不同区域如长江、黄河和海河等,生态安全隐患与安全状态的时空演变机理不同,指标上有所区别,权重也不同,不能套用一般研究模式,今后生态安全演变研究还应突出不同区域生态安全 (特殊) 机理研究。另外,生态安全演变趋势研究还应增加安全快速反应内容,即安全预警系统的研究,以便及时掌握生态安全受损状态,适时地采取必要的调控措施。

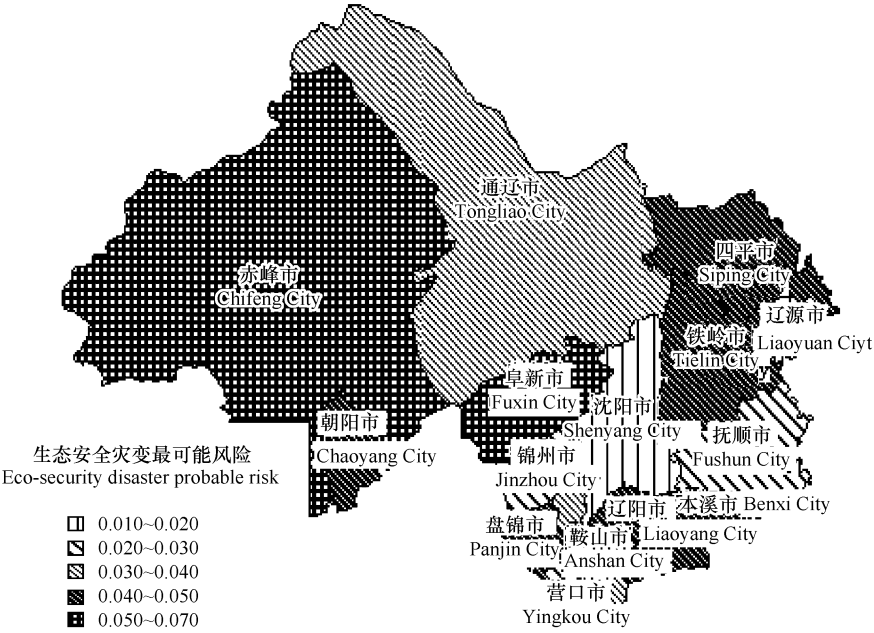


图 2 辽河流域生态安全灾变最可能风险空间分布

Fig. 2 The ecological security probable risk of disaster of Liaohe River

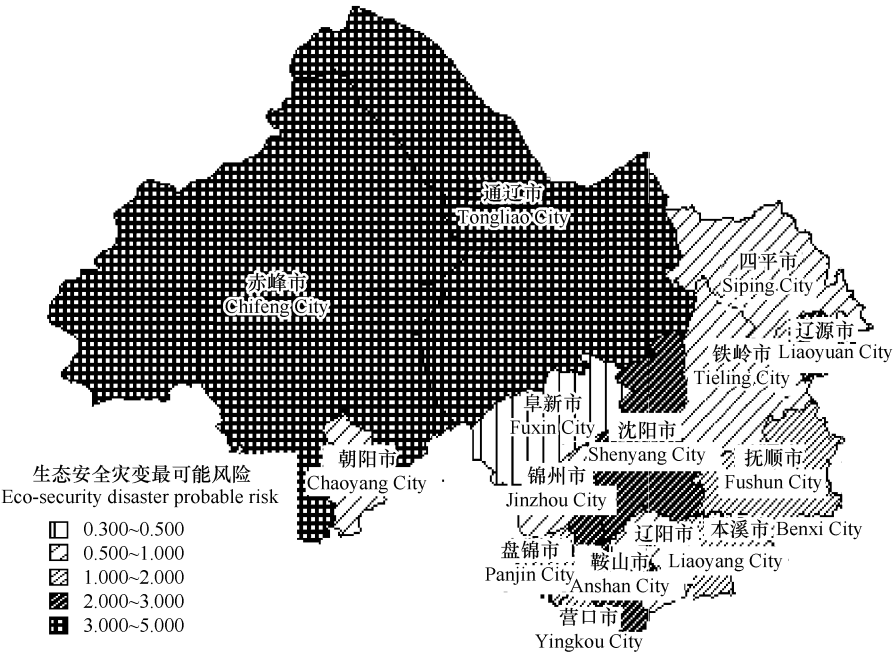


图 3 辽河流域生态安全灾变态势空间分布

Fig. 3 The ecological security disaster trend of Liaohe River

References :

[1] Qu G P. The problems of ecological environmental have become a popular subject of country safety. Environmental Protection,2002, 5 :3 —5.

[2] Dokken, Karin . Environment, security and regionalism in the Asia-Pacific :is environmental security a useful concept ?Pacific Revie,2001, 14 4) 22,509.

[3] Dyson J S. Ecological safety of paraquat with particular reference to soil. Planter, 1997,73 6) 467 —468, 471 —474,477 —478.

[4] Jiao Y M , Xiao D N. Spatial neighboring characteristics among patch types in oasis and its ecological security. Chin J Appl Ecol,2004,15 ( ) :31



—35.

- [5] Litfin, Karen T. Constructing environmental security and ecological interdependence. *Global Governance*, 1999, 5 (4) :359.
- [6] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13 (4) :354—358.
- [7] Wang G X, Cheng G D, Qian J. Several problems in ecological security assessment research. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14 (4) :1551—1556.
- [8] Zuo W, Zhou H, Wang Q. Conceptual framework for selection of an indicator system for assessment of regional ecological safety. *Soils*, 2003, (1) : 2—7.
- [9] Zhou C X, Shen W S. Advances in ecological security. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19 (1) :56—59.
- [10] Chen G J. On ecological security. *Chongqing Environmental Science*, 2002, 24 (4) :1—4.
- [11] Wu K Y. Background analysis on the formation of ecological security theory. *Journal of Hefei University of Technology (Social Sciences)*, 2003, 17 (4) :24—27.
- [12] Cui S H, Hong H S, Huang Y F, *et al.* Progress of the ecological security research. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 5 (4) :861—868.
- [13] Xu H G, Bao H S. On the method of ecological security design for nature reserves. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15 (1) :1266—1270.
- [14] Liu H, Wang H, Zhang X W. Research review on ecological security assessment. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25 (1) :74—78.
- [15] Zuo W. Study on comprehensive assessment of the regional ecological safety based on RS, GIS — a case study of Zhongxian County, Chongqing City. Beijing : Surveying and Mapping Press, 2004. 66—89.
- [16] Xiao R B, Ouyang Z Y, Han Y S, *et al.* Ecological security assessment of Hainan Island. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19 (6) :769—775.
- [17] Kongjian Yu. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 36 :1—17.
- [18] Li W J, Wang Z J. A method for designing buffer zone in Yancheng Biosphere Reserve : taking red crown crane as objective species. *Chin J Appl Ecol*, 2000, 11 (6) :843—847.
- [19] Wang H M, Guo W, Cheng S L, *et al.* National ecological security. *Management World*, 2001, 2 :149—151.
- [20] Chen D J, Xu Z M. Study on assessment of the ecological security in the continental watersheds in North West China — a case study at the middle reaches of Heihe river watershed, Zhangye Prefecture. *Arid Land Geography*, 2002, 25 (4) :219—225.
- [21] Yang J P, Lu J B. System analysis of ecological security. Beijing : Chemistry and Industry Publishing House, 2002. 139—143.
- [22] Wu G Q. Study on ecological safety and its evaluation of regional agricultural sustainable development Regional agriculture sustainable development. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16 (4) :227—233.
- [23] Guo Z W. To build the early warning and maintaining system of national ecological security. *Science and Technology Review*, 2001, 1 :54—56.
- [24] Xue X Z, Lin T, Cao X H. Building coastal ecological safety indicator system. *Xiamen University (Natural Science)*, 2004, 43 (supplement) :179—183.
- [25] Wang G, Nie B C, Wang L, Wu W. Research on methods of ecological security assessment of the middle and lower reaches of Liaohe River based on GIS. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2005, 3 (4) :18—23.
- [26] Wang G, Wu W. Assessment on ecological security spatial differences of the west areas of Liaohe River based on GIS. *Environmental Science*, 2005, 26 (4) :28—33.
- [27] Shi X Q, Zhao J Z, Ouyang Z Y. Urban eco security and its dynamic assessment method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (2) :3237—3243.
- [28] Gong J Z, Xia B C, Guo L. Assessment and Prediction Models of Urban Ecological Security. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45 (1) :107—111.
- [29] He X Q, Ma S Q. Research on Model of "R-M" Theory in Safety Science. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2001, 30 (4) :425—428.
- [30] Xiao G P, Hu A Z. The research on the basic concept and its interrelations of safety science. *China Safety Science Journal*, 1995, 5 (1) :27—31.
- [31] Wang G, Wu W. Assessment on ecological security spatial differences of east areas of Liaohe River based on GIS. *Journal of Safety and Environment*, 2006, 6 (4) :119—122.
- [32] Wang G, Wu W. Research on Mechanism and an Indicator System for Impact Factor of Regional Ecological Security. *China Safety Science Journal*, 2006, 16 (4) :11—15.
- [33] Su G W, Gao Q H. Behavior subject-oriented qualities and time scale issues of natural disaster risk. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12 (1) :9—16.
- [34] Zeng W H. Research on risk forecasting and model of evaluating environmental pollution accident. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2004, 24 (4) :329—334.
- [35] Cheng J L, Lu Z H, Fan Y H. Method of ecological risk assessment for opencast mine area. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (2) :2945—2950.
- [36] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70 :253—262.

[7] Huang C F. Risk assessment of natural disaster theory and practice. Beijing :Science Press, 2005. 122 — 134.

[8] Paul A. Zandbergen. Urban watershed ecological risk assessment using GIS :a case study of the Brunette River watershed in British Columbia, Canada. Journal of Hazardous Materials, 1998,61 163 — 173.

[9] Luo Y Q, Zeng K, Luo Y, *et al.* Digital Geography Information System Construction and Advanced application of MapInfo. Beijing :Tsinghua University Press, 2003. 20 — 40.

[10] Kesselman F C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid :enabling scalable virtual organizations. Supercomputer Applications, 2001, 3 5 — 9.

[11] Кочуров Б И. Экологические ситуации и их прогноз. Геогр и прир- ресурсы, 1992, 2 5 — 13.

参考文献：

[1] 曲格平. 关注生态安全之一：生态环境问题已经成为国家安全的热门话题. 环境保护, 2002, 5 :3 ~ 5.

[4] 角媛梅, 肖笃宁. 绿洲景观空间邻接特征与生态安全分析. 应用生态学报, 2004, 15 (1) 31 ~ 35.

[6] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13 (5) 354 ~ 358.

[7] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题. 应用生态学报, 2003, 14 (10) 1551 ~ 1556.

[8] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究. 土壤, 2003, 1 2 ~ 7.

[9] 邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展. 农村生态环境, 2003, 19 (1) :56 ~ 59.

[10] 陈国阶. 论生态安全. 重庆环境科学, 2002, 24 (5) 1 ~ 4.

[11] 吴开亚. 生态安全理论形成的背景探析. 合肥工业大学学报 (社会科学版), 2003, 17 (5) :24 ~ 27.

[2] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展. 生态学报, 2005, 25 (4) 861 ~ 868.

[3] 徐海根, 包浩生. 自然保护区生态安全设计的方法研究. 应用生态学报, 2004, 15 (11) :1266 ~ 1270 .

[4] 刘红, 王慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评. 生态学杂志, 2006, 25 (1) 74 ~ 78.

[5] 左伟. 基于 RS、GIS 的区域生态安全综合评价研究——以长江三峡库区忠县为例. 北京 测绘出版社, 2004. 66 ~ 89.

[6] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价. 自然资源学报, 2004, 19 (6) :769 ~ 775.

[8] 李文军, 王子健. 盐城自然保护区的缓冲带设计——以丹顶鹤为目标种分析. 应用生态学报, 2000, 11 (6) 843 ~ 847.

[9] 王韩民, 郭玮, 程漱兰, 等. 国家生态安全：概念、评价及对策. 管理世界, 2001, 2 149 ~ 151.

[10] 陈东景, 徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究——以黑河流域中游张掖地区为例. 干旱区地理, 2002, 25 (5) 219 ~ 224.

[11] 杨京平, 卢剑波. 生态安全的系统分析. 北京：化学工业出版社, 2002. 139 ~ 143.

[12] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究. 自然资源学报, 2001, 16 (5) 227 ~ 233.

[13] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策. 科技导报, 2001, (1) :54 ~ 56.

[14] 薛雄志, 吝涛, 曹晓海. 海岸带生态安全指标体系研究. 厦门大学学报 (自然科学版), 2004, 43 (增刊) 179 ~ 183.

[16] 王耕, 吴伟. 基于 GIS 的辽西河流域生态安全空间分异特征. 环境科学, 2005, 26 (5) :28 ~ 33.

[17] 施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. 生态学报, 2005, 25 (2) :3237 ~ 3243.

[18] 龚建周, 夏北成, 郭冻. 城市生态安全评价与预测模型研究. 中山大学学报 (自然科学版), 2006, 45 (1) :107 ~ 111.

[19] 何学秋, 马尚权. 安全科学的“R-M”基本理论模型研究. 中国矿业大学学报, 2001, 30 (5) 425 ~ 428.

[10] 肖贵平, 胡安洲. 关于安全科学基本概念及相互关系的研究. 中国安全科学学报, 1995, 5 (1) 27 ~ 31.

[11] 王耕, 吴伟. 基于 GIS 的辽东河流域生态安全空间差异评价研究. 安全与环境学报, 2006, 6 (5) 119 ~ 122.

[12] 王耕, 吴伟. 区域生态安全机理与扰动因素评价指标体系研究. 中国安全科学学报, 2006, 16 (5) 11 ~ 15.

[13] 苏桂武, 高庆华. 自然灾害风险的行为主体特性与时间尺度问题. 自然灾害学报, 2003, 12 (1) 9 ~ 16.

[14] 曾维华. 环境污染事故风险预测评估模式研究. 防灾减灾工程学报, 2004, 24 (5) 329 ~ 334.

[15] 程建龙, 陆兆华, 范英宏. 露天煤矿区生态风险评价方法. 生态学报, 2004, 24 (2) :2945 ~ 2950

[17] 黄崇福, 著. 自然灾害风险评价理论与实践. 北京：科学出版社, 2005. 122 ~ 134.

[19] 罗云后, 曾琨, 罗毅, 等. 数字化地理信息系统建设与 MapInfo 高级应用. 北京：清华大学出版社, 2003. 20 ~ 40.