

# 基于 PSR 模型的张家口地区生态安全综合评价

刘雅爱<sup>1,2</sup>, 葛京凤<sup>1,3</sup>, 梁彦庆<sup>1,3</sup>, 李玉双<sup>1</sup>

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院, 河北 石家庄 050024; 2. 河北省滦县第一中学,  
河北 唐山 063700; 3. 河北省环境演变与生态建设实验室, 河北 石家庄 050024)

**摘要:** 人口快速增长, 城镇化速度加快以及人类对自然环境不合理开发利用所引发的资源浪费、土壤退化和环境污染等问题, 给生态安全状况带来了重大挑战。以河北省张家口地区为例进行了生态安全综合评价研究。根据该地的社会、经济和环境特点, 运用压力—状态—响应(PSR)模型, 提出以社会经济资源作为模型组成部分的区域生态安全综合评价模型及指标体系。共确定了 29 项评价指标, 经过建立样本矩阵对指标进行无量纲化处理, 运用 AHP 法确定指标权重, 将得到的各指标值采用综合指数法进行运算, 从而得到各指标的综合生态安全指数值。1987—2009 年各县(区)的生态安全指数总体呈增长趋势, 涨幅为 0.035 6; 坝上高原区的平均综合生态安全指数总体要高于冀西北间山盆地区, 平均高 0.006 0。评价结果与实际拟合度较高, 能够反映区域生态问题和区域生态安全状况。

**关键词:** 生态安全; PSR 模型; 综合评价; 张家口地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0270-05

中图分类号: X821

## Integrated Assessment of Ecological Security in Zhangjiakou Rigion of Hebei Province Based on PSR Model

LIU Ya-ai<sup>1,2</sup>, GE Jing-feng<sup>1,3</sup>, LIANG Yan-qing<sup>1,3</sup>, LI Yu-shuang<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environmental Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei 050024, China; 2. No. 1 Middle School of Luanxian County, Tangshan, Hebei 063700, China; 3. Hebei Environmental Evolution and Ecological Construction Lab, Shijiazhuang, Hebei 050024, China)

**Abstract:** A series of issues such as resources exhaustion, soil degradation and environmental pollution caused by rapid population growth, accelerated urbanization and unreasonable development and utilization to natural environment have brought great challenges to the eco-security situation. In consideration of the social, economic and environmental characteristics, we attempted an integrated assessment of the ecological security in Zhangjiakou Rigion of Hebei Province by employing the pressure—status—response model (PSR). An integrated assessment model of regional eco-security and corresponding indicator system were given according to the levels of socio-economy and environment of the study region. Through determining 29 indexes, building sample matrix, using dimensionless processing and determining the index weights with AHP method, each index value was computed by comprehensive index method and then the integrated eco-security index for each index was obtained. Results suggested that overall the eco-security index for every county increased by 0.035 6 between 1987 and 2009. The average eco-security index for Bashang Plateau region was 0.006 0 higher than that of NW Hebei depressed basins. The evaluation result fits well the actual situation and can reflect the regional ecological problems and eco-security status.

**Keywords:** ecological security; PSR model; integrated assessment; Zhangjiakou Rigion

生态环境是人类赖以生存的基础, 然而, 人类对自然界的改造强度不断加大所致的资源耗竭、环境污染等问题, 严重威胁着人类社会的可持续发展。人类

如何适应全球变化, 调控自身行为以维护自身安全便成为当今关注的焦点<sup>[1]</sup>。为此, 国内外学者将“生态安全”列为“国家安全”的组成成分之一, “生态安全”

收稿日期: 2012-09-29

修回日期: 2012-11-23

资助项目: 河北省自然科学基金项目“河北山区生态安全评价与预警调控研究”(D2007000267)

作者简介: 刘雅爱(1986—), 女(汉族), 河北省康保县人, 硕士研究生, 主要从事资源评价与可持续利用等研究。E-mail: liuyaaai79@126.com。

通信作者: 葛京凤(1959—), 女(汉族), 河北省乐亭县人, 本科, 教授, 博士生导师, 主要从事综合自然地理和区域综合开发、资源评价、地产评估等研究。E-mail: gejingfeng@mail.hebtu.edu.cn。

作为一个诠释老问题的新概念应运而生,有关生态安全的研究也日益展开<sup>[2]</sup>。目前,生态安全研究已成为地球科学、生态学、生态经济学以及环境科学研究重要的前沿领域<sup>[3]</sup>。

河北省张家口地区属于农林牧交错带和山地平原过渡带,是我国北方典型的生态脆弱区<sup>[4]</sup>,是京津地区重要的生态屏障,也是全国生态建设的重要地区之一。受自然条件的约束,该区域经济发展落后,生态环境尤为脆弱,生态环境的不断破坏和环境质量的持续下降已对该地区的发展构成了严重的威胁。因此,了解该区生态安全状况,加强生态安全评价,适时合理地做好生态安全调控工作,是遏制该地区生态环境恶化和保障经济发展的有力措施。

## 1 研究区概况

张家口地区位于河北省西北部,包括 4 个市辖区和 13 个县,地处北纬  $39^{\circ}30'$ — $42^{\circ}10'$ ,东经  $113^{\circ}50'$ — $116^{\circ}30'$ ,处在冀、京、晋、蒙 4 省(市)交界处,是北京的北大门。研究区主要包括两大地貌类型组合,即坝上高原区和冀西北间山盆地<sup>[5]</sup>。坝上高原区包括康保、沽源、张北和尚义 4 个县,属内蒙古高原的一部分,该区地貌特征变化多端,区域差异显著,形成了典型的波状高原,地面高低变化幅度不大,平均海拔在 1 200~1 500 m。冀西北间山盆地包括赤城、崇礼、万全、宣化、怀安、怀来、涿鹿、阳原、蔚县和张家口市,该区位于张家口坝下地区,属盆地地貌类型,盆地四周山峰高耸,最高峰海拔可达 1 700 m。研究区地处中纬度地区,属暖温带大陆性季风气候,雨热同期,四季分明<sup>[6]</sup>。植被的地域性差异显著,坝上高原区除了坝缘和滨湖地带分布有少量森林外,其余地域主要为多年生草本植物,因此地带性植被主要为温带草原;冀西北间山盆地中平坦的地域都被开辟成耕地,自然植被较少,植被类型主要为灌木草原。

## 2 基于 PSR 模型的张家口地区生态安全评价体系的构建

### 2.1 数据来源

应用县级行政区界线作为计算的基本单元,涉及 14 个县(区)1987,2000 和 2009 年的遥感影像解译数据、1:10 万 DEM 数据、县志、土壤志、经济统计年鉴、土地调查资料等。

### 2.2 评价指标体系的建立

PSR 模型是由加拿大政府提出,后由经济合作发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)首

创的概念框架模型,即压力(pressure)—状态(state)—响应(response)模型<sup>[7]</sup>。该模型的因果关系清晰明了,层次性强,因此,在山区生态安全评价方面引入 PSR 模型具有较强的合理性,可以相对客观准确地反映人与自然间的相互制约相互依存的关系。

结合张家口地区自然条件及社会经济发展现状,根据 PSR 模型中各模块的涵义,构建适合研究区生态环境安全特点的评价结构体系。各指标模块的涵义解释如下。

(1) 压力(P)。由于人口数量的不断增长引起人类为了满足其自身需求而对自然界不合理开发所导致的负面效应给生态系统带来的压力。

(2) 状态(S)。在人类掠夺式地索取自然资源并对自然界造成破坏的背景下,致使自然系统在生态结构和功能方面本能地表现出的状态特征。

(3) 响应(R)。在“压力”的促使下,生态系统为了维持自身平衡状态,需要通过自我调节能力进行缓冲,在压力超越其自身的修复调节能力时,就向社会经济系统进行反馈,促使人类必须利用科学技术手段改善环境和提升自身素质做出“响应”,以达到社会、经济、环境可持续发展的目的。

根据山区生态安全评价 PSR 模型的分析框架,结合各模块之间相互的因果联系,在参考已有的研究成果的基础上<sup>[8-10]</sup>,构建了符合逻辑性,遵循科学性的张家口地区生态安全评价体系(表 1)。

### 2.3 评价指标的无量纲化处理

通过收集、计算、整理得到的各评价指标,由于不具备同样的量纲而无法进行直接评价。对于同一指标来说,尽管可依据其实测数值大小来确定它们对生态安全的影响程度,但由于缺少一个可作比较的参考标准而无法准确反映其对生态系统的影响<sup>[11]</sup>。因此采用极差标准化方法首先对各指标进行无量纲化处理,具体步骤如下。

2.3.1 建立样本矩阵 定义  $X$  为区域生态安全状况对应于  $m$  个评价指标与  $n$  个评价对象的样本矩阵,得到:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: $x_{ij}$ ——第  $j$  个评价对象在第  $i$  个评价指标上的实际值,  $x_{ij} \in [0, 1]$ 。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{mm} \quad (2)$$

2.3.2 矩阵元素标准化

$$d_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_j(x_{ij})}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})} & \text{(正效应)} \\ \frac{\max_j(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})} & \text{(负效应)} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $d_{ij}$ ——标准化处理后的值； $x_{ij}$ ——实测值； $\max(x_{ij})$ ——实测最大值； $\min(x_{ij})$ ——实测最小值。具有正效应的指标，其值越大说明对山区生态安全的贡献率越大；反之，具有负效应的指标，其值越大说明对山区生态安全的贡献率越小<sup>[9]</sup>。经标准化处理后，样本矩阵  $X$  转化为矩阵  $D$ ，得到：

$$D = (d_{ij})_{m \times n} \quad (d_{ij} \in [0, 1]) \quad (4)$$

2.4 评价指标权重的确定

用若干个指标对山区生态安全状况进行综合评价时，由于各指标对评价对象的评价作用程度不尽相同，因此，需要通过赋予各指标不同的权重值，从而体现该指标对山区生态安全的重要程度<sup>[12]</sup>。对评价指标合理赋予权重值是科学评价山区生态安全的关键。本文采用层次分析法(AHP方法)<sup>[13]</sup>确定评价指标的权重值，在明确问题范围的基础上，通过建立递阶层次结构构建判断矩阵，填写完判断矩阵之后进行层次单排序、总排序及一致性检验，最终得到各指标的权重值<sup>[14-15]</sup>(表 1)。

表 1 张家口地区生态安全评价指标体系

目标层(O)	准则层(A)	因素层(B)	指标层(C)	指标属性	指标权重	
张家口山区生态安全综合评价	压力(P)	人口承载压力	C <sub>1</sub> 人口自然增长率/%	逆	0.025 8	
			C <sub>2</sub> 人口密度(人/km <sup>2</sup> )	逆	0.032 2	
		社会经济发展压力	C <sub>3</sub> 人均 GDP(元/人)	逆	0.021 8	
			C <sub>4</sub> 农民年人均纯收入(元/人)	逆	0.023 5	
			C <sub>5</sub> 城镇化率/%	逆	0.044 3	
			C <sub>6</sub> 区域开发指数/%	逆	0.051 0	
			C <sub>7</sub> 道路密度指数/(km·km <sup>-2</sup> )	逆	0.032 9	
			C <sub>8</sub> ≥25°坡耕地面积指数/%	逆	0.023 1	
		资源环境压力	C <sub>9</sub> 土地退化指数/%	逆	0.076 1	
			C <sub>10</sub> 农业污染负荷指数/%	逆	0.048 9	
			C <sub>11</sub> 工业污染负荷指数/%	逆	0.041 3	
			资源数量	C <sub>12</sub> 人均耕地(hm <sup>2</sup> /人)	正	0.018 9
				C <sub>13</sub> 人均水资源量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /人)	正	0.023 7
		C <sub>14</sub> 人均矿产资源量(t/人)		正	0.012 3	
	状态(S)	资源环境质量		C <sub>15</sub> 植被覆盖率/%	正	0.045 1
			C <sub>16</sub> 生物丰度指数/%	正	0.020 3	
			C <sub>17</sub> 景观破碎化指数/%	逆	0.011 8	
			C <sub>18</sub> 水网密度指数/%	正	0.048 3	
		生态稳定程度	C <sub>19</sub> 土壤有机质变化率/%	正	0.048 3	
			C <sub>20</sub> 生态系统弹性度/%	正	0.058 2	
			C <sub>21</sub> 农田旱涝保收率/%	正	0.019 1	
			C <sub>22</sub> 自然灾害成灾率/%	逆	0.012 9	
			生态环境整治	C <sub>23</sub> 当年造林面积/hm <sup>2</sup>	正	0.030 2
				C <sub>24</sub> 退化土地恢复率/%	正	0.032 6
	响应(R)	社会文明程度	C <sub>25</sub> 劳动者素质/%	正	0.049 0	
			C <sub>26</sub> 万名农业人口农业科技人员数(人/万人)	正	0.024 5	
		科技投入能力	C <sub>27</sub> R&D 投入强度/%	正	0.041 1	
			C <sub>28</sub> 农业污染治理投入强度/%	正	0.040 3	
			C <sub>29</sub> 工业三废处理率/%	正	0.042 5	

2.5 山区生态安全的综合评价

各评价指标从不同方面单向反映山区生态安全状况时，由于涉及指标多数数据量大，对各县(区)各年的生

态安全状况评价较为繁琐，且各指标只能从自身角度反映生态安全状况，无法精确反映一个区域一个时段的整体情况，因此本文采用综合指数法对各地各年的

生态安全状态进行综合评价,具体计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^m W_i \times D_i \quad (5)$$

式中: $P$ ——评价指标综合指数; $W_i$ ——第  $i$  个指标权重值; $D_i$ ——第  $i$  个指标标准值; $m$ ——指标个数。 $P$  值越大,区域的综合安全指数越高。

依据上述方法,得到各县(区)1987,2000,2009 年的综合安全指数。

### 3 张家口地区生态安全综合评价结果分析

#### 3.1 区域总体生态安全评价结果分析

从图 1 可以看出,对于同一年份来说,不同的地区综合安全指数不尽相同,而同一地区的综合安全指数年际差异也较为显著。1987—2009 年,各县(区)的生态安全指数均呈增长趋势,且个别县增长幅度较大,其中张北县增长速度最快,增长值为 0.085 3,而尚义县增长最慢,增长值为 0.001 9。在 1987—2000 年,除坝上的康保县和尚义县之外,各县(区)的综合安全指数均呈增长趋势,其中宣化县增长速度最快,增长值为 0.063 5,而康保县和尚义县相应分别下降了 0.009 9 和 0.043 3。在 2000—2009 年,相对 1987—2000 年增长速度较慢,其中怀来县、阳原县未增长,而宣化县、怀安县、涿鹿县、蔚县出现了负增长现象。总体来说,涿鹿县生态安全指数较高,而张家口市区、蔚县、阳原县、怀安县、宣化县、万全县和坝上的康保县生态安全指数相对较低。

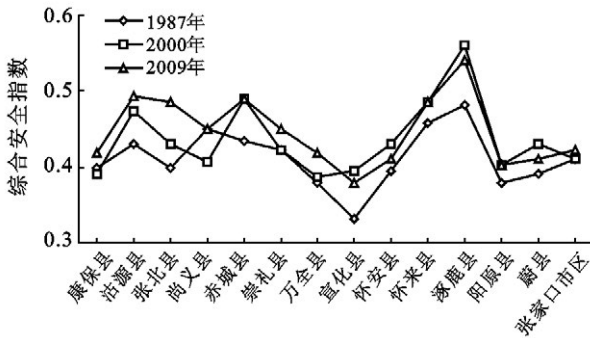


图 1 3 个时段各县(市区)综合安全指数曲线

#### 3.2 生态安全子系统的时空演变分析

研究结果表明,总系统的平均综合安全指数值在 1987—2009 年总体呈现上升趋势,说明该地区生态安全有了明显改善,生态系统向好的方向发展。而同一时间段内,不同县(区)综合安全值差异也较为显著,坝上高原区的总系统平均综合生态安全指数总体要高于冀西北间山盆地(图 2—4)。

在山区生态安全评价体系的 PSR 模型中,各子系统的数值大小对生态安全的贡献率不尽相同,对于压力子系统的全部指标和状态子系统的局部指标为逆向指标,即指标数值越大代表对生态安全的贡献率越小;而状态子系统的绝大部分指标和响应子系统的全部指标均为正向指标,即数值越大代表对生态安全贡献率越大。在 1987,2000 和 2009 年 3 个年份,压力子系统的平均生态安全指标值分别为 0.218 2, 0.261 4, 0.231 1, 状态子系统的分别为 0.121 6, 0.101 8, 0.122 5, 响应子系统的平均生态安全指标值分别为 0.069 6, 0.066 8, 0.104 6, 由此可知,压力子系统生态安全指数先上升后下降,表明全区域在 1987 年的环境压力最大,到 2000 年有所好转,到 2009 年又开始恶化,说明人口、社会经济发展和自然环境压力 2000—2009 年开始加大;状态子系统的生态安全指数先下降后上升,表明全区域资源数量、资源环境质量和生态稳定程度 1987—2000 年间下降,而 2000—2009 年开始有所改善;响应子系统生态安全指数先有一个小的下滑而后快速升高,表明全区的生态环境整治程度、科学技术投入能力以及社会文明程度 1987—2000 年变化较小,而从 2000—2009 年投入强度加大,全民素质整体提高,社会文明建设进入了一个新阶段。

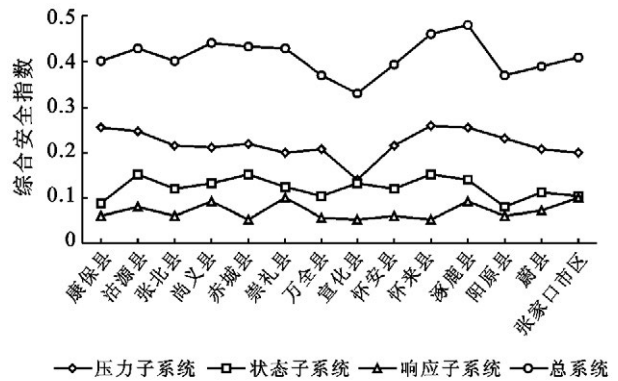


图 2 1987 年各系统综合安全指数对比

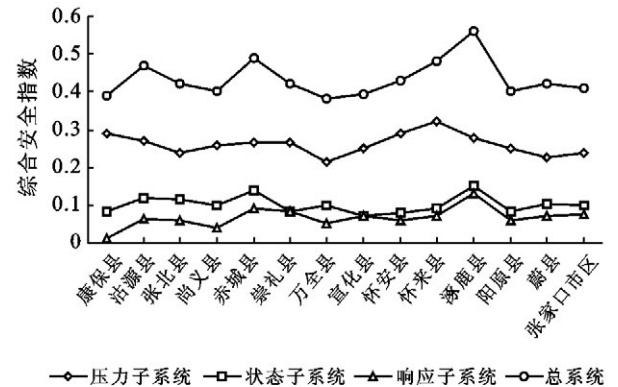


图 3 2000 年各系统综合安全指数对比

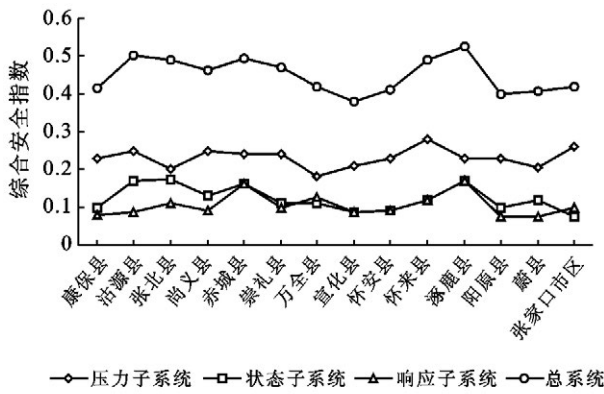


图 4 2009 年各系统综合安全指数对比

## 4 结论与讨论

本文通过对研究区生态特征进行研究分析,在 PSR 模型基础上,同时结合遥感图像解译数据及当地社会经济和自然环境统计数据,构建了一套适合于张家口地区的生态安全评价指标体系;采用 AHP 方法确定合理的权重,从而得出张家口地区的生态安全综合指数,并对其评价。

研究数据显示,1987 年全区综合安全指数为 0.411 4,2000 年为 0.436 1,2009 年为 0.447 0。时间上,1987—2009 年,全区综合安全指数总体呈现增长趋势,其中坝上高原区的张北县增长速度最快,这种现象源于近年来京津风沙源治理工程的启动,对张家口地区尤其是坝上地区的治理力度的投入加大,对坝上地区实施退耕还林还草,使环境得到优化。从地貌上看,坝上高原区的综合安全指数比冀西北间山盆地地区要高。1987,2000 和 2009 年坝上高原区的综合安全指数分别为 0.419 7,0.425 0 和 0.462 6,冀西北间山盆地地区的综合安全指数分别为 0.408 1,0.440 6,0.440 7。坝上高原区的综合安全指数涨幅为 0.042 9,尤其是 2000 年到 2009 年间,坝上高原区的综合安全指数增长值达到 0.037 6,而冀西北间山盆地地区 1987—2009 年间的综合安全指数涨幅仅为 0.032 6。导致上述现象的原因是冀西北间山盆地区的工业相对比较发达,个别区域属于重工业地区,环境污染比较严重,而坝上高原区以发展农牧业和生态旅游为主,工业相对较少,污染指数较小。同时,政府的政策也起到了很大作用,坝上高原区近年来受到政府的高度关注,京津风沙源治理成效显著,也有利于坝上地区的生态恢复和提高。

所研究的张家口地区生态安全系统是一个基于 PSR 模型基础,压力—状态—响应子系统相互作用的结果,3 个系统中压力子系统的综合安全指数最高,平均值为 0.236 9,状态子系统次之,平均值为

0.115 3,响应子系统最低,平均值为 0.080 3。因此,三者对生态系统的影响程度为:压力子系统>状态子系统>响应子系统,可见,目前张家口地区的生态系统中人口、资源和社会经济发展所带来的压力仍较大,而人类对生态安全的响应程度还不够强烈,对生态系统恢复和改善的投入力度还远远不够。

综上所述,本文最终的评价结果与该地区的实际情况较吻合,拟合度较高,其中状态子系统与总系统的变化趋势基本一致,呈显著的正相关,说明在紧扣人地关系基础上构建的张家口地区生态安全评价 PSR 模型是可行的。

致谢:沈彦俊研究员对本文英文摘要部分进行了修改和润色,特此致谢!

### [参 考 文 献]

- [1] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展[J].生态学报,2005,25(4):861-868.
- [2] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-359.
- [3] 邹长新,沈渭寿.生态安全研究进展[J].农村生态环境,2003,19(1):56-59.
- [4] 刘燕华,李秀彬.脆弱生态环境与可持续发展[M].北京:商务印书馆,2001:22-31.
- [5] 王卫,梁丽萍,高伟明,等.首都生态圈可持续发展透视:冀北地区可持续发展状态、问题与对策[M].石家庄:河北人民出版社,2001:5-9.
- [6] 和继军,蔡强国,方海燕,等.张家口地区水土保持措施空间配置效应评价[J].农业工程学报,2009,25(10):69-75.
- [7] Rainerw A L Z. Development of environmental indicator systems: experiences from Germany[J]. Environmental Management, 2000,25(6):613-623.
- [8] 幸莉,肖洪安,张锐,等.基于 PSR 框架的农地集约利用评价研究:以四川省为例[J].国土与自然资源研究,2011(4):38-40.
- [9] 王振祥,朱晓东,石磊,等.安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系[J].应用生态学报,2006,17(12):2432-2434.
- [10] 李中才,刘林德,孙玉峰,等.基于 PSR 方法的区域生态安全评价[J].生态学报,2010,30(23):6495-6503.
- [11] 左伟.基于 RS, GIS 和 Models 的区域生态环境系统安全综合评价研究:以长江三峡库区重庆市忠县为例[D].南京:南京师范大学,2002.
- [12] 彭补拙,窦贻俭,张燕.用动态的观点进行环境综合质量评价[J].中国环境科学,1996,16(1):16-19.
- [13] 佟春生.系统工程的理论与方法概论[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [14] 黄德才,胥琳. AHP 法中判断矩阵的比例标度构造法[J].控制与决策,2002,17(4):485-486.
- [15] 董玉成,陈义华.层次分析法(AHP)中的检验[J].系统工程理论与实践,2004(7):106-109.