

文章编号:1674-6139(2025)11-0015-05

基于综合指数模型的资源环境承载能力监测预警研究

——以广西为例

杨惠楠,张伟冰,韦妮园,周婉玲,赵翠昭

(广西国土资源规划设计集团有限公司,广西 南宁 530000)

摘要:随着城镇化和工业化步伐的加快,城市面临环境污染与资源枯竭的双重挑战。为此,建立资源环境承载能力监测预警机制显得尤为关键。文章以广西为实例,设计了一套包含3类7级16项的评估指标体系,并设定了明确的阈值和预警等级。通过综合指数模型分析,广西呈现出西北部承载力高、东南部低的空间特征。针对此现状,提出了具体的优化策略。研究不仅揭示了广西资源环境的实际承载状况,还为区域可持续发展和生态文明建设提供了宝贵的参考依据,有助于促进资源的合理开发利用。

关键词:资源环境承载力;监测预警;指标体系;综合指数模型

中图分类号:X32

文献标志码:A

Research on Monitoring and Warning of Resource and Environmental

Carrying Capacity Based on Comprehensive Index Model

——A Case Study of Guangxi

Yang Huinan, Zhang Weibing, Wei Niyuan, Zhou Wanling, Zhao Cuizhao

(Guangxi Land and Resources Planning and Design Group Co., Ltd., Nanning 530000, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization and industrialization, cities are facing the dual challenges of environmental pollution and resource depletion. Therefore, establishing a monitoring and early warning mechanism for resource and environmental carrying capacity is particularly crucial. Taking Guangxi as an example, this paper designs an evaluation index system consisting of 3 categories, 7 levels, and 16 items, and sets clear thresholds and warning levels. Through comprehensive index model analysis, Guangxi exhibits spatial characteristics of higher carrying capacity in the northwest and lower in the southeast. Specific optimization strategies are proposed based on this current situation. This study not only reveals the actual carrying capacity of resources and environment in Guangxi but also provides valuable reference for regional sustainable development and ecological civilization construction, contributing to the rational development and utilization of resources.

Key words: resource and environmental carrying capacity; monitoring and warning; index system; comprehensive index model

前言

随着工业化和城镇化加速,资源耗损、环境污染与生态破坏问题日益凸显,经济发展与资源环境保护

矛盾加剧^[1-2]。广西作为西部边疆省份,生态环境脆弱,资源开发与恢复受限,环境矛盾突出。为此,建立资源环境承载能力监测预警机制显得尤为关键^[3]。研究以广西全境各县(区)为基本单位,构建涵盖资源、环境、社会经济三大维度的承载力监测指标体系,并设定指标阈值和预警等级,进行承载能力监测预警评估。旨在通过预警机制为优化承载力及制定可持

收稿日期:2025-03-12

作者简介:杨惠楠(1983-),女,大学本科,正高级经济师,研究方向:国土空间规划、土地利用、土地政策。

通信作者:张伟冰

续发展战略提供科学依据,促进广西经济发展与环境保护的协调,提升各区域资源环境承载力。

针对资源环境承载力预警,国内外学者结合不同地区及资源类型,在预警理论与模型上进行了广泛探索^[4-6]。预警理论主要聚焦于研究思路、模型、基本概念、内容及方法;预警指标则多关注 PSR 体系及“水-大气-土地-生态”等综合体系^[7]。在模型应用上,学者们采用熵权 TOPSIS、综合指数模型等方法进行承载力评估^[8]。然而,目前资源环境承载力预警仍缺乏统一指标体系和高效实践方法,预警指标及阈值等问题需进一步研究。因此,文章以广西为例,系统探讨资源环境承载力预警的指标体系,并研究提出相关策略。

1 资源环境承载力监测预警指标体系

1.1 资源环境承载力监测预警指标体系构建

资源环境承载力监测预警评估涵盖资源、环境、社会经济三大维度,需统筹分析各要素与承载力的关系,构建科学、客观、系统的评估指标体系。在构建过程中,应注重指标数量的合理性及语义的非重叠性,遵循针对性、可操作性、可度量性及科学性原则。鉴于影响因子间的递进关系,文章采用“目标-准则-指标”层次结构体系。此次研究共构建了包含 3 类 7 级 16 项指标的监测预警指标体系,所选指标数据均源自国土调查、统计年鉴、环境质量公告及双评价成果等权威资料,统计口径与国家统计局一致,见表 1。

表 1 资源环境承载力监测预警指标体系表

目标层	准则层	指标层	指标内涵	数据来源
资源 承载力	土地 资源	人均耕地面积(亩)	反映区域耕地与人口之间的关系	国土变更调查成果/七普
		人均城镇用地 (平方米)	反映区域城镇建设用地范围内 人口的密集程度	国土变更调查成果/统计年鉴
		每万元 GDP 地耗(m ²)	反映区域的土地依赖水平	国土空间规划/水资源公报
	水资源	水资源开发利用率(%)	反映区域水资源的 开发潜力和利用水平	水资源公报/双评价成果
		人均水资源量(m ³ /人)	反映区域水资源条件	水资源公报/统计年鉴
		每万元 GDP 水耗(m ³)	反映区域的水依赖水平	年度环境质量公告
		PM _{2.5} 平均浓度	反映区域大气环境的污染情况	年度环境质量公告
	环境 承载力	自然 环境	空气质量优良 天数比率(%)	反映区域对大气环境治理的成效
环境 承载力		SO ₂ 排放量(万吨)	反映区域大气环境的污染情况	年度环境质量公告
		NO ₂ 排放量(万吨)	反映区域大气环境的污染情况	统计年鉴
		污水处理率(%)	反映区域对水环境污染治理的成效	2020 年广西水土保持公报
生态 环境	水土保持率(%)	反映区域水土流失情况	年度市县森林覆盖率监测成果	
	森林覆盖率(%)	反映区域林业资源承载情况	七普	
	社会 经济 承载力	人口	人口密度(人/平方公里)	统计年鉴
		城镇化	城镇化率(%)	反映城市化水平
	经济	人均 GDP(元/人)	反映了区域经济发展水平	国土变更调查成果/七普

1.2 资源环境承载力监测预警指标阈值划分

警限是预警程度的等级分界线,代表各状态的临界值。然而,自然资源与生态环境的复杂性及警

限的模糊性,使得警限阈值的确定成为技术难题。研究在总结现有研究和文献资料的基础上,设定了超载、临界超载、不超载三个资源环境承载力等

级,并依据资源环境耗损的加剧或趋缓程度,划分了红色、橙色、黄色、蓝色、绿色五级预警等级,由高到低依次表示警报的严重程度。

2 资源环境承载能力监测预警评价方法研究

研究需对指标进行标准化,以整合入统一的评估预警模型。基于前文划分的预警指标警限阈值,采用自然分级法,依据警情严重程度从 0 到 1 对初始数据进行标准化处理。

指标权重的确定方法多样,包括德尔非法、主成分分析法及熵权法等。研究选用熵权法,这是一种客观赋权方法,依据熵的特性,通过计算熵值评估指标的离散程度,进而反映其权重。鉴于熵权法能客观真实地揭示指标数据中的隐含信息,研究对广西资源环境承载力评估预警指标的权重确定采用并改进了熵权法,具体步骤如下:

- (1)对广西 14 个市 16 个指标数据进行原始数据收集。
- (2)研究对收集的数据进行了标准化处理,改进了传统熵权法的极值法。依据前文指标警限阈值

及五类定性结果的自然分级,研究参照警限进行赋值,以精确反映各指标实际状况。

(3)计算第 j 项指标下第 i 年份中占该指标的比重:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}, i = 1, \cdots, j = 1, \cdots, m$$

式(1)

(4) 计算第 j 项的指标熵值:

$$E_j = -K \sum_{i=0}^n P_{ij} \times \ln P_{ij}$$

式(2)

其中, K 为玻尔兹曼常量, $k = \frac{1}{\ln n} > 0$,满足 $E_j \geq 0$ 。

(5) 计算信息熵冗余度(差异):

$$D_j = 1 - E_j, j = 1, \cdots, m$$

式(3)

(6) 计算各项指标的权重:

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=0}^m D_j}, j = 1, \cdots, m$$

式(4)

(7)经计算,得出广西 16 项指标的权重,并进行均值化处理以统一标准。总权重为 1,其中资源承载力权重0.411 6,环境承载力权重0.181 0,社会经济承载力权重0.407 4,见表 2。

表 2 评估预警指标权重表

预警层(A)	目标层(B)	准则层(C)	指标层(D)	—	权重
区域资源 环境承载力(A1)	资源 承载力 (B1)	土地资源(C1)	人均耕地面积(亩)	D1	0.091 2
			人均城镇用地(平方米)	D2	0.053 6
			每万元 GDP 地耗(m ²)	D3	0.027 8
		水资源(C2)	水资源开发利用率(%)	D4	0.097 5
			人均水资源量(m ³ /人)	D5	0.086 8
			每万元 GDP 水耗(m)	D6	0.054 7
	环境 承载力 (B2)	自然环境(C3)	PM _{2.5} 平均浓度	D7	0.000 5
			空气质量优良天数比率(%)	D8	0.000 6
			SO ₂ 排放量(万吨)	D9	0.067 8
		生态环境(C4)	NO ₂ 排放量(万吨)	D10	0.057 6
			污水处理率(%)	D11	0.054 5
			水土保持率(%)	D12	0.087 1
	社会经济 承载力 (B3)	人口(C5)	森林覆盖率(%)	D13	0.067 1
			人口密度(人/平方公里)	D14	0.045 9
		城镇化(C6)	城镇化率(%)	D15	0.057 8
			人均 GDP(元/人)	D16	0.149 5
		经济(C7)			

预警模型的确定:在分析区域资源环境承载力要素内涵及相互影响机理的基础上,研究利用综合指数模型构建广西区域资源环境承载力指数。

$$Q_p = \sum_{j=1}^6 W_j * Y_j$$

式(5)

$$Q_s = \sum_{j=7}^{11} W_j * Y_j$$

式(6)

$$Q_u = \sum_{j=12}^{16} W_j * Y_j$$

式(7)

$$Q = Q_p + Q_s + Q_u$$

式(8)

式(5) - 式(8) 中, Q_p 为资源承载力监测预警指数, Q_s 为环境承载力监测预警指数, Q_u 为社会经济承载力监测预警指数, Q 为区域资源环境承载力监测预警指数, W_j 为第 j 指标的权重值, Y_j 为广西壮族自治区 j 指标标准化后的数值。

3 资源环境承载力监测预警实证评价分析

3.1 单项评价

综合预警结果显示,环境承载力阈值最高,37 个县(区)(33.33%)处于不超载状态,空气质量优良,污染物浓度低,仅污水处理绿化率局部超载。相比之下,社会经济承载力阈值最低,超载县(区)33 个(29.73%),不超载仅 13 个(11.71%),城镇化与人均 GDP 阈值得分最低。资源承载力方面,43 个县(区)(38.74%)超载,人均耕地与人均城镇用地阈值低,土地资源利用集约性不足。

单项预警中,每万元 GDP 水耗、人均耕地、人均城镇用地、每万元 GDP 地耗、城镇化率、人均 GDP 阈值较低是重要超载因素。污水处理与水资源开发利用影响较小,空气污染影响最弱。总体来看,超载因素主要集中在土地资源、水资源、生态环境资源,后续研究应针对这三方面提出优化建议。

3.2 综合评价

在定性分级中,各项承载力指数与资源环境承载力相对应,分为红色超载、橙色超载、黄色临界超载、蓝色临界超载及绿色不超载五级。定量分级时,采用自然分级法将指数等级划分为五级,分别得出

资源、环境、社会经济承载力的等级划分结果。预警结果显示,广西 111 个县(区)中,仅 10 个县(区)资源环境承载力不超载,24 个超载,77 个临界超载,其中 5 个为红色超载。整体而言,研究区资源环境承载状况处于临界超载,局部县(区)超载,主要因人均耕地不足、人均城镇用地及每万元 GDP 地耗过大、人均水资源短缺、人口密度过高所致。空间分布上,广西西北部资源环境承载力较高,东南部较低。不超载区域主要集中在西南部,其余县(区)零散分布,见表 3。

表 3 广西资源环境承载力定性分级结果表

预警状态	预警等级	县级单元个数(个)
不超载	绿色	10
	蓝色	57
	黄色	20
临界超载	小计	77
	橙色	19
	红色	5
超载	小计	24
	合计	111

4 政策启示

根据监测预警结果,对红橙预警区、绿色无警区及预警等级变动区实施综合奖惩;对易超载且环境影响大的要素进行单项管控。

4.1 综合配套措施

对红色、橙色超载预警区实施严控,深入剖析超载原因,严格区域审批,暂停相关行业项目新建扩建,设定超载产业退出时间表,实行城镇建设用地减量,严惩破坏资源环境行为,追究刑责,强化监管。对绿色无警区实施鼓励,依据维持年限给予阶梯奖励,建立生态保护与发展权补偿机制,平衡经济放缓,挖掘生态优势。预警等级转变地区,超载恶化参照红色预警区管控,超载改善则给予相应奖励。

4.2 单项管控措施

针对土地资源、水资源及环境要素,旨在提升管控效能,明确超载与临界超载地区管理重点。

(1)土地资源:强化管控,超载区严控城镇增长,执行人均用地标准,限制新城新区设立;临界超载区严控新增建设用地,优化布局,保护生态农业用地;不超载区鼓励存量用地,加强耕地保护。

(2)水资源:刚性约束承载能力,纳入综合评价体系。超载区编制用水削减方案,发展节水农业,淘汰高耗水工业,暂停新增取水许可;临界超载区暂停高耗水项目,加大节水力度,严控用水总量;不超载区严控水源消耗与排污总量。

(3)生态环境:依据超载程度执行排放标准,严格排污许可,完善排污权制度,推进清洁能源替代,双重控制取水量与污染排放,综合整治水体污染。

5 结束语

文章构建了一套包含 3 类 7 级 16 项指标的评估预警体系,用于资源环境承载力的定量与综合评价,设定了超载、临界超载、不超载 3 个阈值及 5 级预警。以广西县(区)为实证研究对象,运用综合指数模型分析发现,广西整体资源环境接近超载,仅 9.1% 区域未超载。空间上,西北部承载力较强,东南部较弱,超载主要集中在东部,主要因为人均耕地短缺、城镇用地扩张、地耗高及人口密度大。根据预警结果,文章提出了针对性的奖惩策略,并对土地、水、生态环境等关键要素实施单项管控。该研究不仅为广西资源环境管理提供了科学指导,也为其他地区提供了评估方法和思路,

对促进区域可持续发展具有重要意义,有助于实现资源环境的合理利用与保护。

参考文献:

- [1]罗巧灵,许琪敏,陈非雨,等.面向国土空间规划的鄂州市资源环境承载力评价[J].武汉大学学报(工学版),2023,56(7):807-816.
- [2]徐牧天,鲍超.资源环境承载力弹性区间测度与未来情景分析——以兰西城市群为例[J].资源科学,2023,45(10):1961-1976.
- [3]周来友,胡新忆.基于熵权 TOPSIS 模型的工业资源环境承载力评价研究:以新余市为例[J].环境工程,2023,41(增刊2):783-786;793.
- [4]彭颖,朱章林,谭星宇,等.湖北省资源环境承载力评价与预警研究——基于压力-支撑力-调节力视角[J/OL].环境科学与技术,1-11[2023-12-18] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1245.X.20231016.1454.002.html>.
- [5]顾红.长三角地区国土资源环境承载力状态评价与预警研究[J].上海国土资源,2023,44(2):1-6.
- [6]张春彦,孟博阳.基于国土空间规划的涉县山地小城镇资源环境承载力评价——以西达镇与关防乡为例[J].建筑与文化,2023(8):90-92.
- [7]戴熔堃.河南省资源环境承载力时空演变规律及预测研究[D].焦作:河南理工大学,2023.
- [8]靳祯雨.基于国土空间规划的资源环境承载力评价——以巴彦淖尔市为例[J].中国资源综合利用,2024,42(4):65-67.