

基于管理熵模型的生态文明监测评价研究 ——以温州市为例

时 勘¹, 张中奇¹, 赵雨梦¹, 宋旭东^{2*}, 陈 翼³

¹温州大学教育学院, 温州模式发展研究院, 浙江 温州

²中国人民大学公共管理学院, 北京

³温州大学计算机与人工智能学院, 浙江 温州

收稿日期: 2024年4月24日; 录用日期: 2024年5月27日; 发布日期: 2024年7月15日

摘要

近年来, 生态文明和环境保护引起广泛的社会关注, 成为生态学、环境心理学等多个交叉学科的热点议题之一。为实现生态文明的可持续发展, 探究外部环境和人类行为的交互作用, 本研究从环境监测与评价入手, 采用定性和定量评估相结合的方法, 建构出生态文明监测评价体系。通过管理熵方法构建了生态文明监测指标的管理熵耗散结构模型, 并在浙江省温州市实施了本评价体系, 在试点评价工作中取得了初步成效。结果表明, 该地区监测指标总熵流值为-0.4831 (负熵), 即该地区生态发展与运行效果向健康状态演进。但在土地资源利用效率(0.0286)、友好环境产业发展(0.0278)两项指标熵流值为正, 需进一步改善。本研究有利于提升温州市在生态文明评价的监管效能, 为解决气候变化、自然灾害等潜在危机事件提供客观综合信息, 助力生态文明建设。

关键词

生态文明, 环境监测, 监测指标, 管理熵方法, 耗散结构模型

Research on Monitoring and Evaluation of Ecological Civilization Based on Management Entropy Model

—A Case Study of Wenzhou City

Kan Shi¹, Zhongqi Zhang¹, Yumeng Zhao¹, Xudong Song^{2*}, Yi Chen³

¹Academy of Wenzhou Model Development, College of Education, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang

²School of Public Administration and Policy, Renmin University of China, Beijing

*通讯作者。

³College of Computer Science and Artificial Intelligence, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang

Received: Jun. 24th, 2024; accepted: May 27th, 2024; published: Jul. 15th, 2024

Abstract

In recent years, ecological civilization and environmental protection have attracted widespread social attention and become one of the hot topics in many interdisciplinary disciplines such as ecology and environmental psychology. In order to realize the sustainable development of ecological civilization and explore the interaction between the external environment and human behavior, this study constructs a monitoring and evaluation system for ecological civilization by combining qualitative and quantitative assessment methods, starting from environmental monitoring and evaluation. The management entropy dissipative structure model of ecological civilization monitoring indicators is constructed through the management entropy method, and this evaluation system is implemented in Wenzhou City, Zhejiang Province, and preliminary results are achieved in the pilot evaluation work. The results show that the total entropy flow value of the monitoring indicators in this region is -0.4831 (negative entropy), which means that the ecological development and operation effects in this region evolve to a healthy state. However, the entropy flow values of two indicators, namely land resource utilization efficiency (0.0286) and friendly environment industry development (0.0278), are positive and need to be further improved. This study is conducive to enhancing the regulatory effectiveness of Wenzhou City in the evaluation of ecological civilization, providing objective and comprehensive information for solving potential crisis events such as climate change and natural disasters, and helping the construction of ecological civilization.

Keywords

Ecological Civilization, Environmental Monitoring, Monitoring Indicators, Management Entropy Methods, Dissipative Structure Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球环境问题的日益凸显，生态文明建设已经成为人类社会发展的重要方向。为了实现可持续发展目标，各国纷纷提出了一系列的生态环境保护政策和措施。习近平总书记把生态文明建设摆在全局工作的突出位置，为推进美丽中国建设、实现人与自然和谐共生的现代化提供了方向指引和根本遵循。然而，要全面了解生态环境的状况并有效监测其变化并非易事。实现生态文明的可持续发展，探究外部环境和人类行为的交互作用也很重要。因此，建立一个基于社会心理的、可靠、高效的生态文明监测系统变得尤为重要。

2. 生态文明

生态文明是人类在遵循客观发展规律的前提下，通过改造主观世界的实践过程来促进人与自然、社会以及自身共生共进的和谐关系状态的过程。当今，人们盲目追求经济的高速发展，过度开采资源。生

态系统严重破坏，自然资源过度损耗，迫使人类加快探索生态文明绿色循环的可持续发展模式[1]。党的十八大以来，国家把生态文明建设作为关系中华民族发展的根本大计，展开了一系列开创性工作，从解决突出生态环境问题入手，注重点面结合，实现了由重点整治到系统治理的重大转变。生态文明建设作为中国特色社会主义的重要组成部分，已经成为国家发生历史性变革的显著标志[2]。作为衡量生态文明发展和实施效果的重要手段，生态文明监测逐渐成为研究的热点领域。

3. 生态文明监测

3.1. 生态文明监测技术

生态文明监测以高科技手段为支撑，可以对生态环境的各个要素进行实时监测、数据收集和分析，帮助相关部门提供科学决策。通过监测系统，政府和相关行业部门能够了解生态保护和建设成果、资源利用效率、环境质量、生态安全、绿色发展等方面的情况[3]，及时发现问题和风险，制定相应的政策和措施，为生态文明建设提供科学依据和指导。近年来，监测系统的建构研究已经从单一的数据采集转向了多源数据融合、云技术应用和人工智能优化等高级阶段，这无疑将极大地提升生态文明监测的科学性和实用性。国内外多采用物联网、遥感和 GIS 技术、传感器技术、Sentinel-2 影像等技术提取各地环境影响因子并开展生态环境评价和分析监测，这些技术以网络为通信，构成环境监测系统，帮助应对各种复杂的环境条件的环境监测，并被应用于各个领域，服务于人们的日常生活中，包括天气预报、水质污染监测、空气污染监测、农作物损害评估等。

3.2. 生态文明监测指标选择

生态文明监测指标的选择和评估对于实现环境监测和评估方案的目标至关重要。在 20 世纪 70 年代，环境监测指标概念的应用通常集中在生物体上，作为水污染、大气污染等的具体指标，目前这类指标仍然是生态学和环境评估的重要组成部分。随着生物学和生态学的发展，理化指标也纳入生态监测指标体系中，Islam 分析了孟加拉海岸部分理化参数和重金属污染的影响，以此对当地的沿海生态系统进行评估[4]，Rahman 以砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)(VI)、汞(Hg)和铅(Pb)五种重金属元素为指标，监测他们对大气圈、土壤圈、水圈、生物圈等不同自然系统的影响[5]。然而，将生态文明监测指标局限于自然科学指标显然是不够的，其忽略了作为环境主体的人与环境产生的交互作用。加拿大国家环境计划的背景报告中提出了六个领域 45 个指标的注释书目：生活质量指标，环境指数，环境质量概况，生物指标，化学指标和城市环境指标。Bruns 等人在美国国家环境政策法(NEPA)的环境影响评估报告背景下审查了环境监测[6]，提出法律政策在环境监测中的重要意义。我国学者梁龙武基于对京津冀城市群的研究提出，服务业水平、财政收入、居民收入、教育水平、互联网应用是减少环境污染的因素[7]。人文指标的引入使得整个生态文明监测指标体系更加完善，但目前国内在此方面的探索较少，本研究从环境监测与评价出发，探索了构建生态环境友好型指标体系的方法，在调查我国城市和农村生态监测指标的基础上提出了新的生态文明监测指标体系，通过基于异构信息表示、知识图谱构建和多模态数据融合等关键技术，将不同来源、不同层次的数据语义知识汇聚到环境治理模型之中，设计出生态监测与评价系统，为国内外生态环境及解决目前气候变化、自然灾害等危机事件提供评价指标，助力生态文明建设。

4. 管理熵理论与评价模型

4.1. 管理熵理论与耗散模型

管理熵理论来源于德国科学家 Clausius 在 1865 年随热力学第二定律一同提出的熵思想，以及比利时

统计物理学家 Prigogine 在一个世纪后提出的耗散结构理论[8]。所谓管理耗散结构就是管理耗散过程中形成的自组织和自适应管理系统[9]。在之后国内开展的研究中，任佩瑜教授在结合管理科学和复杂科学的基础上，率先提出了管理熵，是指任何一种管理的文化、制度、政策和方法在相对封闭的组织运动中，有效能量会逐渐消耗，而无效能量不断增加，这个不可逆转的过程会使组织管理熵值增加，管理效率递减，系统向无序方向发展[10]。宋华岭教授表示广义管理熵是将管理熵理论运用于整个社会领域的总成，狭义管理熵可用于提高微观企业管理体系的有序度和管理效率的评价[11]。较之先前的研究方法，管理熵的提出有效弥补了一般效能评价方法定性定量指标协同困难、计量结果复杂、过度依靠数值数据等缺陷，是进行组织管理效率评价研究的有效工具[12]。

管理熵在生态监测领域的应用具有重要理论应用前景。根据 Katz 和 Kahn 提出的开放系统理论[13]，生态环境监测系统与其环境之间存在着相互作用和反馈关系，即生态环境监测系统可以被看作是一个开放系统，与外部环境进行持续的物质和能量交换。生态环境监测系统从环境中吸收数据、信息和能量，以不同的方式维持其运行和发展。通过环境监测，我们可以了解生态系统中的变化和趋势，监测不同环境因素的动态变化，从而更好地了解系统的状态和变化趋势。通过系统与环境的相互作用和信息交换，以及系统内部的反馈机制，该生态文明监测系统可以提供及时、准确的数据和信息，帮助相关部门进行决策制定和资源管理等。通过管理熵方法实现的生态文明监测指标的管理熵耗散结构模型将各项指标整合，大大地提升了监管系统的效能，使得公众更加积极地参与生态文明和环境治理的评价工作。

4.2. 基于管理熵的生态文明监测评价

在生态监测的评价方法方面，目前国内外常用方法主要有主成分分析法、层次分析法、人工神经网络法和综合指数法等。通过这些方法对搜集到的数据进行分析处理，得到对该地区环境的整体评价。然而这些方法的使用在各项评价指标的整合方面仍有不足，评价结果可比较性较差。近年来，国内外有学者使用熵法对环境监测的各指标进行整合，取得了较大的研究进展。Mahamma 计算基于熵的地下水灌溉质量指数等对水质指数和重金属污染指数进行评价和整合[14]，杜元伟基于 AHP 熵对烟台市海洋牧场生态安全进行评价[15]。本研究在评价方法上将管理熵评价方法引入生态监测的评价系统之中，构建了生态文明监测的管理熵耗散结构模型。在解决了管理熵聚合问题之后，使多维度监测系统各要素得以整合，实现统一的生态监测和环境治理，也将生态法治、社区健康和社会公平的多项内容纳入统一的、可比较的环境监测系统之中。

5. 生态文明监测的评价指标体系

5.1. 生态文明监测指标的探索

为构建生态文明监测的评价指标，我们开展了生态文明与环境治理相关专家的实证调研。先后在北京、上海、杭州和温州等地，邀请了 105 位专家，来进行有关环境监测的网络开放式问卷调查。在获得调查数据之后，进行调查内容的编码分析，获得了研究的初步结果。根据这一调研结果，先后在北京、温州两地组织了两场生态监测指标设置的团体焦点访谈，参加调查的专家们来自生态学、马克思主义哲学、社会学和心理学等领域专家共 17 人。对于访谈调查结果的汇总，获得了生态文明问卷调查的基本维度：第一，在自然环境方面，国家生态政策涉及全球气候治理规划，特别是碳达峰、碳中和目标在民众中的信心指数；第二，在社会治理方面，需要了解绿色转型过程中民众对区域统筹政策的心态反应，特别是对绿色法律意识的认识现状；第三，在心理适应方面，需了解民众风险环境意识、生态教育需求和心理承受能力，从而确定问卷调查的结构。

5.2. 生态文明监测指标的构建程序

通过梳理现有生态管理规范和治理标准，我们通过在一些地区的试点，确定了生态环境监测指标的构建程序：步骤一：评价指标的筛选。在我国城市和农村的生态监测指标的调查基础上，提出了新的监测体系一级指标，它们包括：资源利用效率、环境质量保障、生态安全环境、循环金融经济、生态文化建设、民生与环境、国际合作责任、政策法规创新等指标，这将在后期通过实证研究不断完善。步骤二：指标权重的确立。在建立生态监测指标的基础上，针对每项指标在综合考评中的地位，确定指标的评估权重，进而构建综合评估模型。在参考国内外有关生态评估指标之后，我们采用了层次分析法(AHP 法)的多元定量方式，并应用判断矩阵法来综合确定各指标的权重，最后，还采用专家小组评议或德尔菲法来综合界定权重。步骤三：评分标准的确立。由于各项指标的单位、数量级不同，不可能对各项指标直接进行运算或比较。因此，对评估体系的二、三级指标分别建立了相应的定性或定量标准。目前，指标评价分级采用 I (差)、II (较差)、III (中等)、IV (较好)和 V (好)等五个等级依次赋值，最后确立了评分标准。步骤四：评价体系的完善。指标体系将定期进行修订，根据不断出现的新需求，来进行调整和改进。这里，特别需要强调的是核心指标的稳健性和代表性，需要考察生态系统监测的时空变异性，如季节性变化等趋势，以便保证生态监测指标体系的稳定性和持久性。

最后，在获得各类生态监测的评价指标之后，由于生态环境具有较大的地区差异，不同的省份，甚至相同省份的不同地区评价指标在内容上均存在差异。我们已在浙江省内各地区初步进行了有效性验证，通过获得的反馈信息来明确环境监测指标的可操作性。为了考虑地区性指标差异性，还根据不同地区的具体情况，采用多层次分析法设定了监测指标的权重系数。在个别地区还单独设定了监测指标，以便特殊情况下的观察和评价之用。具体流程图如图 1 所示：

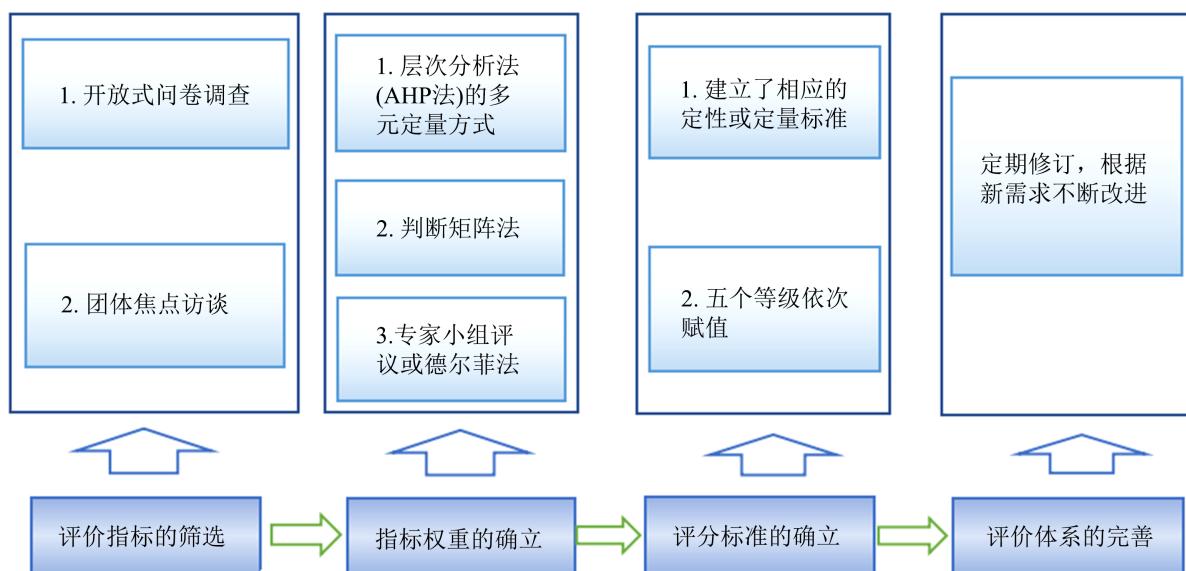


Figure 1. Flow chart for the establishment of the ecological civilization monitoring indicator system
图 1. 生态文明监测指标体系建立流程图

5.3. 生态文明监测指标体系设置

经过对生态文明问卷三个基本维度的确立和四个步骤的细化，最终构建出生态文明监测指标体系。体系框架及指标说明如表 1 所示：

Table 1. Ecological civilization monitoring indicator system and description of indicators
表 1. 生态文明监测指标体系及指标说明

指标体系	监测指标
生态保护和建设成果	自然保护区覆盖率、濒危物种保护、生态修复与重建等指标
资源利用效率	水资源利用效率、能源利用效率、土地资源利用效率等指标
环境质量	大气污染指数、水质状况、土壤污染程度等指标
生态安全	生态系统稳定性、灾害风险评估、生态灾害防治等指标
绿色发展	温室气体排放、可再生能源利用率、环境友好产业发展等指标
循环经济	废物处理和回收利用率、原材料消耗、循环经济模式实施等指标
生态文化建设	生态教育覆盖率、生态文化传播、生态文化保护等指标
民生与环境	环境健康状况、生活环境质量、生活水平与环境等指标
国际合作与责任	跨境生态问题、国际环境公约遵守、国际援助和技术转让等指标
政策法规与管理创新	生态保护政策实施、环境监管和执法、管理创新和组织支持等指标

6. 生态文明监测的第三方评估

6.1. 第三方评估的来源

习近平总书记指出，我国生态文明建设“已进入提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要的攻坚期”。在生态文明监测系统的指标体系确定之后，本研究就进入生态监测系统的实施阶段。此时，通过精准治污、科学治污、依法治污的工作，深入打好生态多维度评估的攻坚战，形成跨学科、跨领域的综合治理体系。目前，关键是通过此生态文明监测系统确定的评估体系三级指标，来参与各地区的第三方评估工作，在获得试点经验和成效之后，为政府、企业和公众提供第三方评估的工具支持，以解决生态文明监测系统的可操作性问题。

6.2. 管理熵评估方法及耗散模型的构建

根据已有经验，评估实施的关键，在于使各项评价指标的叠加融合能够整合成统一指标，这样，评价结果才具有可比较性。为此，本研究在评价方法上将管理熵评价方法引入生态文明监测的评价系统之中。由于解决了管理熵聚合问题，多维度监测系统各要素可以得以整合，实现统一的生态文明监测。

6.2.1. 管理熵耗散模型计量公式

生态文明监测系统下的管理熵是假设相对封闭的生态系统中各因素在运动过程中的能量状态和有序程度状态的变化。生态系统作为非线性的复杂系统，一定时期内在其管理熵的作用下会产生管理熵流值，若人类不正当地使用自然资源且不加以管理干预则会形成正熵增，生态系统的稳定性和健康水平也会不断降低；在施加科学的管理干预后，经由管理耗散的作用就会产生负熵增，生态系统健康水平得到提升。二者共同作用就会使得组织健康系统的管理熵总值发生变化，即管理耗散模型中一级系统的熵流值，也就是体系内由友好生态环境具备的十大维度构成的二级维度熵流值的加权平均，整体生态环境的健康状况就会由生态文明监测系统中十项一级指标熵值结果协同呈现。据此，该管理耗散模型中，二级维度体系管理熵流值的计量公式为：

$$D = \sum_{i=1}^n k_i ds_i \quad (1)$$

其中： D 为目目标二级维度体系产生的熵值， i 为该体系中产生熵值的各项三级子指标， k_i 为评价对象各子指标在特定维度下的权重，权重依据该指标反映的生态文明监测系统的监测效能对体系中的贡献率，运用熵权法计算而得，赋权公式为：

$$K_i = \frac{1 + ds_i}{\sum_{i=1}^n (1 + ds_i)} \quad (2)$$

(1)式、(2)式中 ds_i 为各三级生态文明监测指标所产生的管理熵流值，计算公式为：

$$ds_i = -K_B X_i \ln X_i \quad (3)$$

其中， K_B 为管理熵系数，计算公式为 n 为二级维度体系内三级子指标个数， X_i 为各项三级子指标值和指标得分标准值的比值。

管理耗散模型通过管理熵系数表达出下述观点：复杂系统内每增加一个评价子指标，其二级综合维度熵流值会增加一个单位，所追加的边际成本相应上升。系统越庞大，子指标熵的变化对一级系统整体熵值的作用越小。但管理熵系数的功能具有相对性，在把各二级维度体系作为独立系统单元分析时，需考虑每个维度内部的边际成本差异，在将各二级维度体系置于生态文明监测系统的整体考察时，各维度体系又相对转变为简单要素。此时，边际成本的差异可不予计算。

6.2.2. 管理熵耗散模型的建立

① 建立指标体系矩阵 A ：

通过管理熵流值的定量计算可以获得测量指标二级维度矩阵。

$$A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_i)$$

其中， a_i 为目标评价组织的管理熵值。

② 构造各影响因素间的相互作用矩阵 B ：

$$B = (b_{ij})_{10 \times 10}$$

其中， b_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, 10$) 为建立的生态文明监测评价体系中，十个二级体系内部子指标的相互作用力大小。

③ 构造影响因素权重矩阵 C ：

使用熵权法来定量各项指标对于综合评价的不同影响，即评估指标权重。

$$C = (c_i)_{10 \times 10}$$

其中， c_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) 分别代表了 10 个二级维度体系熵流值在一级系统熵流值中的权重。

④ 管理熵流值得出：

$$S = A * B * C = (a_1, a_2, \dots, a_i) * (b_{ij})_{10 \times 10} * (c_i)_{10 \times 10}$$

式中 S 是整个生态文明监测系统的总熵，它由指标体系矩阵 A 、各影响因素间相互作用矩阵 B 和因素权重矩阵 C 相乘而得。当熵流值 S 为负值时，生态监控与运行效果向健康状态演进。当熵流值 S 为正值时，则表明生态监控与运行效果的管理效能可能存在一定问题，需要根据发现的不足加以改进。

6.3. 基于管理熵的温州市生态文明监测评价的实证分析

6.3.1. 指标数据来源

本研究利用生态文明监测系统中的数据分析和机器学习，对温州地区的环境报告、政策文件和社会

舆情等文本信息进行自动化分析，然后对该地区不同来源、不同层次的环境监测数据进行智能处理和挖掘，通过数据预处理、数据清洗、特征提取等技术，对收集到的数据进行初步处理，得到有价值的信息。研究涉及的具体指标数据来自《中国统计年鉴 2022》、《温州统计年鉴》、《2022 年温州环境状态公报》、《温州市排污单位执法监测评价报告》、《温州市第三次全国国土调查主要数据公报》、《温州市能源发展“十四五”规划》、《温州市重点源监测数据公示》等政府文件和公报，经过综合分析、筛选得到了温州市在生态保护和建设成果、资源利用效率、环境质量、生态安全、绿色发展、循环经济、生态文明建设、民生与环境、国际合作与责任、政策法规与管理创新这十个方面的具体数据。

6.3.2. 管理熵流值计算

选取温州市为目标对象进行实证研究，根据所测各项指标建立管理熵耗散模型，以此为基础得出温州市生态监测指标熵流值结果如表 2 所示：

Table 2. Calculation table of evaluation indicators of eco-civilization in Wenzhou City
表 2. 温州市生态文明评价指标计算表

指标	指标得分 D_i	比较值 $X_i = D_i/D$	熵流值 $ds_i = -K_B X_i \ln X_i$	权数 $F_i = (1+ds_i)/\sum(1+ds_i)$	加权得分
一、生态保护和建设成果(熵流值合计：-0.0829)					
自然保护区覆盖率	3.5702	1.4929	-0.2495	0.2087	-0.0521
濒危物种保护	3.9886	1.3444	-0.1659	0.232	-0.0385
生态修复与重建	2.7539	0.7296	0.0959	0.3048	-0.0292
二、资源利用效率(熵流值合计：-0.0119)					
水资源利用效率	4.2314	1.9429	-0.0855	0.2132	-0.0346
能源利用效率	4.1184	1.3564	-0.0814	0.2293	-0.0248
土地资源利用效率	4.2642	0.8906	-0.1711	0.3542	0.0286
三、环境质量(熵流值合计：-0.0153)					
大气污染指数	4.3328	1.3678	-0.2116	0.2587	-0.0520
水质状况	4.6194	1.3144	-0.0414	0.2326	-0.0365
土壤污染程度	4.5190	0.7589	-0.1458	0.3842	-0.0257
四、生态安全(熵流值合计：-0.0224)					
生态系统稳定性	3.3218	1.5845	-0.2084	0.2765	-0.0598
灾害风险评估	3.6906	1.247	-0.1296	0.2832	-0.0315
生态灾害防治	4.2882	0.2497	-0.1693	0.3048	-0.0242
五、绿色发展(熵流值合计：-0.0221)					
温室气体排放	4.3502	1.1360	-0.0924	0.2087	-0.0569
可再生能源利用率	4.1176	1.5698	-0.0501	0.232	-0.0344
环境友好产业发展	4.3289	0.4527	-0.1458	0.3048	0.0278

续表

六、循环经济(熵流值合计: -0.0385)					
废物处理和回收利用率	4.1906	1.5382	-0.2048	0.2491	-0.0546
原材料消耗	4.1399	1.3488	-0.0358	0.2587	-0.0325
循环经济模式实施	4.3457	0.5790	-0.1347	0.3029	-0.0238
七、生态文化建设(熵流值合计: -0.0283)					
生态教育覆盖率	4.5359	1.2315	-0.2248	0.5671	-0.0512
生态文化传播	4.1184	1.2425	-0.1531	0.1322	-0.0345
生态文化保护	4.2642	0.7568	-0.1673	0.3084	-0.0270
八、民生与环境(熵流值合计: -0.0429)					
环境健康状况	3.6906	1.2989	-0.05	0.2351	-0.0526
生活环境质量	4.2882	1.3672	-0.0364	0.2934	-0.0394
生活水平与环境	4.5190	0.1679	-0.1570	0.3945	-0.0237
九、国际合作与责任(熵流值合计: -0.0527)					
跨境生态问题	4.1399	1.2367	-0.3043	0.2479	-0.0588
国际环境公约遵守	3.9886	1.3779	-0.0362	0.2132	-0.0355
国际援助和技术转让	4.2642	0.5468	-0.1599	0.3547	-0.0247
十、政策法规与管理创新(熵流值合计: -0.0648)					
生态保护政策实施	4.2314	1.4683	-0.2499	0.2934	-0.0514
环境监管和执法	3.9886	1.5689	-0.1465	0.2232	-0.0380
管理创新和支持	4.2642	0.1369	-0.2237	0.3407	-0.0236

1) 构建二级维度矩阵 A

根据表 2, 在计算出各二级体系生态指标熵流值的基础上, 构造总熵值各项影响指标的水平矩阵 A:

$$\begin{aligned} A &= (a_1, a_2, a_3, \dots, a_{10}) \\ &= (-0.0829, -0.0119, -0.0153, -0.0224, -0.0221, -0.0385, -0.0283, -0.0429, -0.0527, -0.0648) \end{aligned}$$

2) 构造各影响因素权重矩阵 C

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^{11} (1 + ds_i) * e^{K_{Bi}}}{\sum_{i=1}^{11} \sum_{i=1}^{11} (1 + ds_i) * e^{K_{Bi}}} \quad (4)$$

即各二级指标体系得出的生态文明监测系统指标的构成因素强度大小, 并在消去各子体系的激励熵系数的非线性作用后得到的标准化激励效果, 计算出标准化的生态文明监测指标二级维度水平, 及其在生态文明监测系统中的份额。由公式(4)得出权重矩阵 C 如下:

$$C = \begin{bmatrix} 0.1156 \\ 0.1068 \\ 0.1035 \\ 0.0980 \\ 0.0924 \\ 0.0896 \\ 0.1015 \\ 0.0932 \\ 0.0982 \\ 0.1012 \end{bmatrix}$$

3) 构造各影响因素相互关系矩阵 B

管理熵耗散模型的关系矩阵 B 和权重矩阵 C 都用以解释分熵流值各自对生态文明监测系统一级指标熵流值总熵的影响情况，即各第二级系统的效果对于总生态监测结果施加影响的作用力。用熵权法确定权重矩阵 C 时，关系矩阵 B 的数值可通过权重矩阵 C 用公式(5)确定：

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ a_j/a_i & i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

代入权重矩阵 C 的具体数值便可计算出关系矩阵 B 取值：

$$B = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.9239 & 0.8953 & 0.8478 & 0.7993 & 0.7751 & 0.8780 & 0.8062 & 0.8495 & 0.8754 \\ 1.0824 & 1.0000 & 0.9691 & 0.9176 & 0.8652 & 0.8390 & 0.9504 & 0.8727 & 0.9195 & 0.9476 \\ 1.1169 & 1.0319 & 1.0000 & 0.9469 & 0.8928 & 0.8657 & 0.9807 & 0.9005 & 0.9488 & 0.9778 \\ 1.1796 & 1.0898 & 1.0561 & 1.0000 & 0.9429 & 0.9143 & 1.0357 & 0.9510 & 1.0020 & 1.0327 \\ 1.2511 & 1.1558 & 1.1201 & 1.0606 & 1.0000 & 0.9697 & 1.0985 & 1.0087 & 1.0628 & 1.0952 \\ 1.2902 & 1.1920 & 1.1551 & 1.0938 & 1.0313 & 1.0000 & 1.1328 & 1.0402 & 1.0960 & 1.1295 \\ 1.1389 & 1.0522 & 1.0197 & 0.9655 & 0.9103 & 0.8828 & 1.0000 & 0.9182 & 0.9675 & 0.9970 \\ 1.2403 & 1.1459 & 1.1105 & 1.0515 & 0.9914 & 0.9614 & 1.0891 & 1.0000 & 1.0536 & 1.0858 \\ 1.1772 & 1.0876 & 1.0540 & 0.9980 & 0.9409 & 0.9124 & 1.0336 & 0.9491 & 1.0000 & 0.9491 \\ 1.1423 & 1.0553 & 1.0227 & 0.9684 & 0.9130 & 0.8854 & 1.0030 & 0.9209 & 0.9704 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

4) 一级系统管理熵流值的最终计算

管理熵流值 S 得出：

$$S = A * B * C = (a_1, a_2, \dots, a_i) * (b_{ij})_{10 \times 10} * (c_i) T_{i \times 10} = -0.4831$$

6.4. 分析与讨论

首先，根据模型评价结果，该地区监测指标总熵流值为 $-0.4831 < 0$ ，说明该地区生态发展与运行效果向健康状态演进。同时也反映出该地区在以下几个方面做出的工作有成效，即：第一，该地区政府重视生态环境的保护，及时调整和执行环境保护的政策，推动可持续发展；第二，企业坚持绿色发展，注重生态安全，资源利用率高，减少了经济发展对环境产生的影响；第三，公民环境保护意识高，节约资源、低碳环保。各主体紧密合作，形成共识，共同承担责任，确保了生态环境的可持续性和人与自然的和谐发展，也推动该地区管理熵流值呈现出有序、稳定、上升的负熵值。

其次，在二级体系中，各管理熵流值均为负数，且熵流绝对值远大于 0.01，说明该地区各二级生态

环境监测指标的实施状况对降低总指标熵流值的作用均是积极的。其中生态保护和建设成果维度的负熵绝对值最大(-0.0829)，政策法规与管理创新维度次之(-0.06481)，反映出该地区政府重视生态环境保护及生态修复的政策发布与实施，注重提供资金支持和政策激励，也加强建立和维护生态保护区和自然保护区，推动生态修复和生物多样性保护，实现人与自然和谐发展。

第三，从三级体系的各项生态监测指标熵流值具体观测该地区的生态环境状况，发现土地资源利用效率(0.0286)、友好环境产业发展(0.0278)两项指标熵流值为正，对该地区生态环境发展有不利影响，拉低了该地区资源利用效率和绿色发展两大体系指标。在后续的实地调研中发现，该地区仍存在有土地大量闲置或低效方式利用、不合理的农业和工业生产方式导致的土地退化、企业缺乏环保技术等问题，证实了该评价体系的有效性。

最后，本研究所提出的监测评价指标体系对环境监测治理具有一定的理论和实践意义。一方面，通过提供生态环境监测的评价方法，可以为政府等管理决策部门提供关键的信息支持，促进环境治理的科学化和精细化，有效地减少了主观因素的干扰，增强了决策的科学性和可信度。此外，通过与计算机技术相结合，可以实现实时分析和文本处理，能够及时发现异常情况，并提供预警和处理方法，这样的决策和咨询系统有助于避免污染的蔓延和生态被破坏的风险，为政策制定者、环保机构和研究人员提供了实用的参考和借鉴，有利于实现可持续发展和生态文明建设的目标。另一方面，在评价方法上，基于管理熵的生态监测评价有利于提升监管系统的客观性，其中涉及公众主观感受的因素使公众更加积极地参与对生态文明和环境治理的协同工作。所以，本研究所提出的基于管理熵的生态监测评价增强了环境治理的客观性，纳入公众主观因素提升了参与生态环境共建共享的参与感，为实现可持续的环境治理做出了实际贡献，也对我国生态文明和健康转型有重要促进作用。

7. 结论与展望

第一，本研究通过对国内外生态监测与评价研究成果的分析和总结，结合我国国情和实际需求，提出了生态文明监测评价体系。具体而言，本研究从以下几个方面展开工作：首先，我们开展生态文明与环境治理相关专家的实证调研，分析当前已有的监测系统存在的问题和不足之处，并得出有关生态文明监测体系各项指标；其次，基于专家团体焦点的会商结果，对监测指标的界定和评估打下了坚实基础；最后，使用该生态文明监测系统对温州某地区进行实地施测，得到相关决策部门的积极反馈。通过建立一个完善的生态文明监测系统，有利于提升监管系统的效能，使公众更加积极地参与对于生态文明和环境治理的评价工作，为实现可持续的环境治理做出了实际贡献。

第二，本研究基于管理熵理论，利用管理熵方法分析了生态文明监测系统各维度指标的正、负熵流值，同时识别出该地区某时某刻生态环境在不同维度下的协同变化趋势，将形成的管理熵耗散模型应用于生态环境指标的评估，使各项评价指标的叠加融合能够整合成统一指标。由于解决了管理熵聚合问题，多维度监测系统各要素可以得以整合，实现统一的生态监测，进而产生针对性的环境治理方案，将生态法治、社区健康等多项内容纳入可比较的环境监测系统之中，丰富了管理熵理论在生态学领域的应用。

第三，在未来研究中，由于生态环境具有较大的地区差异，不同的省份，甚至相同省份的不同地区评价指标在内容上均存在差异，本系统仍需在全国各地进行有效验证。通过获得的反馈信息来明确环境监测指标的可操作性，而且个别特殊地区需要单独设定监测指标。在后期调查和评价工作实施中，重点在两个方面加以推进，一方面，将扩大应用地区，进行对比分析。首先在温州地区政府、企业和社区取得实施成效，在这之后会在浙江省范围内的一些城市进行监测系统的验证性工作，进而在浙江省和全国范围内进行宣传和推广工作。另一方面，为取得逻辑上更为紧密的因果推断，后期重点将纳入逐月、逐年的纵向动态数据，例如面板数据的形式，进一步分析来获得更为稳定和明晰的研究结论。

基金项目

浙江省“生态文明与环境治理”文科实验室、浙江省哲学社会科学新兴(交叉)重大项目“重大突发公共卫生事件下公众风险感知、行为规律及对策研究”(项目编号: 21XXJC04ZD); 温州大学“一点灵心理服务平台温州模式发展研究”(项目编号: RH2206022)。

参考文献

- [1] 吴云雁, 张永军, 秦琳. 为绿色转型而学习——欧盟可持续发展教育政策分析[J]. 比较教育研究, 2023, 45(4): 12-21.
- [2] 周宏春, 宋智慧, 刘云飞, 等. 生态文明建设评价指标体系评析、比较与改进[J]. 生态经济, 2019, 35(8): 213-222.
- [3] Stevens, D.L. (1994) Implementation of a National Monitoring Program. *Journal of Environmental Management*, **42**, 1-29. <https://doi.org/10.1006/jema.1994.1057>
- [4] Islam, M.S., Idris, A.M., Islam, A.R.M.T., Ali, M.M. and Rakib, M.R.J. (2021) Hydrological Distribution of Physico-chemical Parameters and Heavy Metals in Surface Water and Their Ecotoxicological Implications in the Bay of Bengal Coast of Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, 68585-68599. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15353-9>
- [5] Rahman, Z. and Singh, V.P. (2019) The Relative Impact of Toxic Heavy Metals (THMs) (Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chromium (Cr)(VI), Mercury (Hg), and Lead (Pb)) on the Total Environment: An Overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, **191**, Article No. 419. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>
- [6] Brims, D. A., Staley, C. S., Rope, R. C. and Moor, K. S. (1993) An Ecosystem Approach to Ecological Characterization in the NEPA Process. *Environmental Analysis. The NEPA Experience*, 103.
- [7] Liang, L., Wang, Z. and Li, J. (2019) The Effect of Urbanization on Environmental Pollution in Rapidly Developing Urban Agglomerations. *Journal of Cleaner Production*, **237**, Article ID: 117649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117649>
- [8] Prigogine, I. (1978) Time, Structure, and Fluctuations. *Science*, **201**, 777-785. <https://doi.org/10.1126/science.201.4358.777>
- [9] 任佩瑜, 王苗, 任竞斐, 等. 从自然系统到管理系统——熵理论发展的阶段和管理熵规律[J]. 管理世界, 2013(12): 182-183.
- [10] 任佩瑜. 中国大型工业企业组织再造论[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 1997(4): 16-20.
- [11] 宋华岭, 王今. 广义与狭义管理熵理论[J]. 管理工程学报, 2000(1): 30.
- [12] 薛倚明, 朱厚强, 邱孝一, 等. 管理熵理论应用于 HT 信托公司员工激励的实证分析[J]. 管理评论, 2017, 29(8): 147-155.
- [13] Katz, D. and Kahn, R. (2015) The Social Psychology of Organizations. Routledge.
- [14] Mohammad, S., Islam, A. and Shit, P.K. (2022) Geospatial Assessment of Groundwater Quality Using Entropy-Based Irrigation Water Quality Index and Heavy Metal Pollution Indices. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 116498-116521. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20665-5>
- [15] Du, Y. and Gao, K. (2020) Ecological Security Evaluation of Marine Ranching with AHP-Entropy-Based TOPSIS: A Case Study of Yantai, China. *Marine Policy*, **122**, Article ID: 104223. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104223>