

DOI: 10.5846/stxb202108272419

陈思含, 邵超峰, 高俊丽, 赵润, 杨岭. 基于可持续发展目标的资源型城市可持续发展评价技术及应用——以湖南省郴州市为例. 生态学报, 2022, 42(12): 4807-4822.

Chen S H, Shao C F, Gao J L, Zhao R, Yang L. Evaluation technology and application of sustainable development in resource-dependent cities based on SDGs: a case study of Chenzhou, Hunan Province. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(12): 4807-4822.

基于可持续发展目标的资源型城市可持续发展评价技术及应用

——以湖南省郴州市为例

陈思含¹, 邵超峰^{1,*}, 高俊丽^{1,2}, 赵润¹, 杨岭³

1 南开大学环境科学与工程学院, 生物质资源化利用国家地方联合工程研究中心, 天津 300350

2 深圳市环境科学研究院, 深圳 518001

3 湖南四达科技咨询有限公司, 长沙 410205

摘要:资源型城市作为我国重要战略保障基地, 面临较为突出的不可持续问题, 定量化开展可持续发展水平监测评估是推动其绿色转型发展、激活再生动力的重要途径。基于联合国可持续发展目标体系(SDGs), 结合行星边界理论, 从资源型城市可持续发展特征出发, 建立了由 2 个系统、4 个支柱、12 个领域和 48 项指标组成的资源型城市可持续发展评价指标体系。借鉴全球 SDGs 监测评估实践经验, 考虑指标属性, 综合确定各指标的阈值, 并采用改进的离差标准化、障碍度分析及耦合协调度分析等方法建立综合评价技术体系。以拥有“有色金属之乡”称号的郴州市国家可持续发展议程创新示范区为评价对象, 对其 2005—2019 年连续 15 年的可持续发展水平进行实证分析。结果表明: (1) 郴州市可持续发展水平整体上呈现稳步上升趋势, 得分由 0.398 上升到 0.610。(2) 4 个支柱中, 自然资源支柱的得分进步幅度最大, 高达 71.3%, 说明郴州市已经逐步提高对资源利用效率的重视, 同时意识到挖掘替代资源的重要性, 资源保障与利用能力不断提升; 而发展动力支柱得分始终处于较弱或中等水平, 已成为制约郴州市可持续发展和绿色转型的主要因素, 其中科技创新驱动是该支柱发展关键障碍因子。(3) 15 年间郴州市的人类发展系统和自然环境系统耦合向好发展, 耦合协调度由 0.631 提高至 0.780, 但与同类型城市相比, 郴州市人类发展系统的改善具有一定滞后性和不充分性, 如何将郴州市自然环境优势转化以提高人类发展水平是郴州市进一步需要探索的。提高创新能力、挖掘并培育壮大接替产业、积极探索自然资源转化路径, 协调平衡保护与发展的关系, 正是以郴州市为代表的资源型城市实现可持续发展的有效途径。

关键词:资源型城市; 可持续发展目标; 示范区; 可持续发展评价; 指标体系

Evaluation technology and application of sustainable development in resource-dependent cities based on SDGs: a case study of Chenzhou, Hunan Province

CHEN Sihan¹, SHAO Chaofeng^{1,*}, GAO Junli^{1,2}, ZHAO Run¹, YANG Ling³

1 National & Local Joint Engineering Research Center on Biomass Resource Utilization, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

2 Shenzhen Academy of Environmental Sciences, Shenzhen 518001, China

3 Hunan Sida Technology Consulting Co., Ltd., Changsha 410205, China

Abstract: As strategic support bases in China, resource-dependent cities are facing more prominent unsustainable problems. It is very important to carry out quantitative monitoring and evaluation of sustainable development level in these

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42071292); 湖南省创新型省份建设专项(2019sfq06)

收稿日期:2021-08-27; **采用日期:**2022-03-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shaochaofeng@163.com

cities, which will promote their transformation development and activate regenerative power. Based on the Sustainable Development Goals (SDGs) of “Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development” and the planetary boundary theory, an SDGs-oriented sustainable development evaluation index system for resource-dependent cities was established regarding the development characteristics of resource-dependent cities, consisting of 2 systems, 4 pillars, 12 fields, and 48 indicators. Drawing on the global practical experience and considering the indicator categories, the indicator thresholds were determined comprehensively, and a comprehensive evaluation technology system was established by using improved deviation standardization, barrier degree analysis, and coupling coordination degree analysis. Chenzhou in Hunan Province, as a National Innovation Demonstration Zone for Sustainable Development, is known as the “home of non-ferrous metals”. Its sustainable development level from 2005 to 2019 was analyzed. The results show that: (1) The level of sustainable development in Chenzhou presented a steady upward trend, with a score rising from 0.398 to 0.610, but it tended to decline in the past three years. (2) Among the four pillars, the Ecology Pillar was maintaining relatively excellent performance, while the obstacle factor changed from environmental pollution to ecological status. The Natural Resource Pillar made the greatest progress, with an increase of 71.3%, indicating that Chenzhou gradually increased its emphasis on resource utilization efficiency, while realizing the importance of tapping alternative resources, and both resource security and utilization capacity enhanced. The Development Dynamics Pillar scored at a weak or medium level, which became the main factor limiting the sustainable development and green transformation of Chenzhou, and the technology innovation level was the key obstacle factor for this pillar. The score of Well-Being Guarantee Pillar steadily increased, but its further improvement requires support from the Development Dynamics Pillar. (3) In the past 15 years, the Human Development system and Natural Environment system in Chenzhou have developed in a good coupling trend, with the coupling coordination degree increasing from 0.631 to 0.780. However, compared with similar cities, the growth of the Human Development system in Chenzhou had a certain lag and inadequacy. How to use Chenzhou’s natural environment advantages to improve human development level is what Chenzhou needs to explore further. As a result, some effective ways to realize the sustainable development of Chenzhou were put forward. In particular, positive actions should be taken to improve innovation capacity, cultivate replacement industries, explore the transformation path of natural resources, and strike a balance between conservation and development.

Key Words: resource-dependent cities; sustainable development goals; demonstration zone; sustainability evaluation; index system

以自然资源开采、加工为主导产业的资源型城市作为维护我国资源安全的重要保障基地,为经济社会快速发展做出突出贡献^[1]。2013年12月,国务院印发《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》,首次在全国范围内界定了262个资源型城市,并给出资源型城市的明确定位。由于缺乏统筹规划和资源衰减等原因,这些城市在发展过程中积累了众多矛盾和问题,对矿业高度依赖导致的经济、社会、生态环境脆弱性特征逐渐凸显^[2],发展的不可持续问题日益突出,尤其面临着传统矿产资源枯竭、生态环境恶化、经济产业结构不合理、接续产业乏力等一系列难题,资源型城市的生存与发展受到了极大威胁与挑战。如何形成资源可持续利用和更替发展的有效路径,构建经济增长动力转换的特色模式,建立有利于资源型城市可持续发展的体制机制,已经成为资源型城市在新发展阶段贯彻落实新发展理念、构建城市绿色发展新格局的核心任务。无法测量则无法管理,开展资源型城市可持续发展的定量评价,从而科学准确识别资源型城市的不可持续问题,成为推动资源型城市可持续发展的必由之路。目前对资源型城市可持续发展的研究也多是通过对评价的方式,通过构建评价指标体系,并结合模型方法评价资源型城市可持续发展水平,分析其瓶颈问题。如郭存芝等^[3]和李江苏等^[4]利用DEA模型计算评价资源型城市发展效率,针对评价结果提出改善效率的建议。还有学者通过对资源型城市可持续发展理论分析揭示问题,并提出相应的发展建议。如江崇莲等^[5]从内在的角度分

析了包括投入不足、对资源开发依赖度等方面在内的资源型城市可持续发展的影响因素,揭示其瓶颈问题,并提出促进内生增长的途径、战略。赵永超^[6]将资源型城市可持续发展能力内涵从产业提升、技术创新、制度建设、资本累积、生态改善和资源利用等方面界定,在内涵理解的基础上提出提升路径和建议。已有研究已经对资源型城市可持续发展进行诸多探索,从理论分析、评价方法到模型应用都较为成熟,但是普遍存在评价实践与理论研究关联度较弱的问题,在评价时体系框架构建、指标选择原则不明确^[7],导致用于评价的指标体系指向性较差、未针对资源型城市特征调整评价指标,无法完全反映资源型城市可持续发展障碍。

2015年9月,联合国193个会员国在“联合国可持续发展峰会”上一致通过了《变革我们的世界——2030年可持续发展议程》(《2030年可持续发展议程》),确定了由17项目标、169项子目标组成的可持续发展目标体系(Sustainable Development Goals,SDGs),成为继千年发展目标(Millennium Development Goals,MDGs)之后联合国期望彻底解决社会、经济和环境3个维度发展问题而制定的又一具有一定约束性的目标体系,推动人类迈向可持续发展道路^[8]。随后,联合国SDGs指标机构间专家组(Inter-agency Expert Group on SDG Indicators,IAEG-SDGs)制定的全球指标框架,为世界监测评估SDGs进展提供工具^[9],尽管这一框架是针对全球国家层面构建的,但各国际组织、研究机构以及各级政府等已经积极开展全球指标框架的本地化工作^[10-14],使其能够应用于国家以下层面的评价。资源型城市作为一类具有特殊意义且在可持续发展中面临巨大问题的重要城市,亟需以SDGs为基本准则建立可持续发展问题的诊断体系^[15]。

本文引入联合国SDGs为资源型城市可持续发展指明方向,明确资源型城市发展目标的同时,也能更好地识别资源型城市的瓶颈问题^[16]。同时围绕资源型城市可持续发展的现实需求,侧重于对资源型城市资源环境禀赋的考察,在充分借鉴已有研究成果的基础上,通过构建包含共性指标和特性指标的可持续发展评价指标体系,有针对性地诊断资源型城市可持续发展特征及瓶颈问题。指标体系的构建思路也为其他类型城市构建面向SDGs的可持续发展评价体系提供了路径参考。以典型资源型城市郴州市为实证对象,对郴州市2005—2019年可持续发展水平进行评价,识别其可持续发展中存在的问题,并提出对策建议,验证评价技术可行性的同时也为其他资源型城市提供参考。

1 理论分析

1.1 面向SDGs的资源型城市可持续发展目标

借助SDGs确定资源型城市可持续发展的目标,能够深度对接国际语言,更好地指导资源型城市可持续发展评估,识别资源型城市发展的优势和不足,对于资源型城市政策制定具有重要意义。然而,SDGs是面向全球各国和国家间的发展目标,当直接应用于中国城市、特别是资源型城市时,尚存在诸多问题:①部分目标仅适用于国家及以上层面进展的考核,并不适合城市层面的评价;②部分目标在中国城市层面不具备考察的意义^[17];③由于其自身发展特点,不同城市距离达成17项目标的绝对绩效差距不同,而SDGs本身未对此进行区分^[18]。为破解这些问题,需要对SDGs开展中国本地化,将SDGs目标指标转化成本国可以监测、考核的指标,在此基础上开展城市、乃至资源型城市的二次本地化,用于满足实际评价需求。

受制于SDGs的实际应用问题,借鉴欧洲、美国、巴西、意大利等区域和国家的城市评估实践^[10-13]以及中国浙江省德清县本地化评价经验^[14],在评价过程中根据资源型城市特点,确定重点发展目标和优先发展目标,为精准施策提供依据。其中,重点发展目标为与资源型城市的资源属性契合度高,并且对资源型城市可持续发展具有重大意义的目标,这些目标涉及的所有内涵都需要在资源型城市发展中被重点关注;优先发展目标为与资源型城市具有一定相关度,但资源属性不明显的目标,还需要根据资源型城市的发展特点确定目标内的重要方面,如公平、收入、健康福祉等因素^[19]。资源型城市与SDGs的匹配分析见表1,最终确定SDG6(清洁饮水和卫生设施)、SDG7(经济适用的清洁能源)、SDG8(体面工作和经济增长)、SDG9(产业、创新和基础设施)、SDG11(可持续城市和社区)、SDG12(负责任的消费和生产)、SDG13(气候行动)为资源型城市重点发展目标;SDG1(无贫穷)、SDG3(良好健康与福祉)、SDG4(优质教育)、SDG10(减少不平等)、SDG15(陆地生

物)、SDG16(和平、正义与强大机构)为资源型城市优先发展目标。

表 1 资源型城市与 SDGs 匹配分析

Table 1 Matching analysis of resource-dependent cities with SDGs

资源型城市可持续发展主要瓶颈 Major bottlenecks for sustainable development of resource-dependent cities		可持续发展目标(SDGs) Sustainable Development Goals
资源 Resource	传统矿产资源枯竭不可避免,资源保障不足,开采难度提升 资源综合利用率低,深加工程度不高	6,7,8,12 6,7,8
环境 Environment	污染较重且特征明显 土地破坏严重,地质灾害频发	6,11,12,13,15 15
经济 Economy	产业结构不合理,城市发展缺乏活力 投入产出不协调,经济效益低	4,8,9 8
社会 Society	资源利益配置不均 基础设施落后,社会保障较差 失业人口高,就业压力大 城市负担较重,财政负担高 安全事故发生率高、主导产业职业病严重	1,10 9,11 8 1,9,11,16 3,9

1.2 行星边界理论在资源型城市可持续发展评价中的应用探索

可持续发展涉及经济、社会、环境 3 个系统,然而随着对这三者之间关系理解的不断发展,人们更加倾向于认同经济与社会的发展受到地球约束^[20-21],可持续发展的目标应当是在自然环境的约束内实现经济社会繁荣发展。Steffen 等^[22-23]提出并发展了行星边界的概念框架,聚焦于地球的 9 项关键生物物理过程并设定了安全边界。2012 年 Steffen 在行星边界基础上提出了“甜甜圈”的模型^[24],她认为人类安全发展空间除了由行星边界的地球指标组成的“生态天花板”外,还应当有人类社会基本保障的“社会基础地板”,超出“天花板”发展不安全,而低于“地板”发展则不充分,如图 1 所示。行星边界理论的研究表明,可持续发展的理想状态是实现人造资本增加与自然资本消耗之间的绝对脱钩^[26]。

在行星边界基础上改进的“甜甜圈”模型确定了 3 个不同发展空间,与资源型城市的生命周期相契合。衰退型资源城市依赖资源的开发利用从而获得较高的经济社会发展水平,但是对资源环境造成极大破坏,处于甜甜圈外圈以外;而处于成长期的资源型城市,资源丰富、生态环境状况较为良好,但是经济社会发展欠佳,处于甜甜圈内圈以内。衰退型和成长型资源城市均需要通过合适的途径走向行星边界和人类社会发展边界之间的中间圈,实现可持续发展。因而对于资源型城市,人造资本与自然资本之间长期存在着难以协调的矛盾,城市发展的“稀缺性”要素随着资源的开发利用发生转变,即由自然资本丰富而人造资本稀缺、逐步转向为人造资本丰富而自然资本成为城市发展制约因素的状态,资源短缺、生态破坏,传统资源性产业难以为继,人员流失开始显现。要实现可持续发展,资源型城市需提高现有资源的利用效率、探索自然资源转化的路径,同时不断挖掘包括社会资源、文化资源在内的替代资源,最终实现人造资本的增加与自然资本消耗间的完全脱钩。

针对改进版行星边界理论确定的资源型城市可持续发展重要矛盾,研究构建了以自然资本为核心的自然环境系统和以人造资本为核心的人类发展系统。自然环境系统对人类发展系统既起到支撑作用,又有显著约

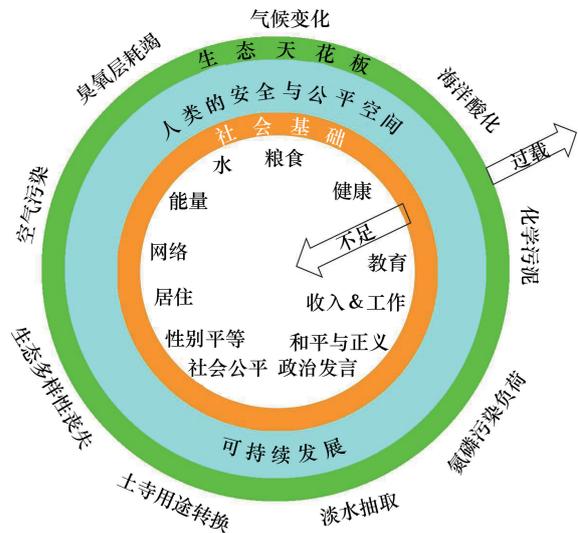


图 1 “甜甜圈”发展模型^[25]
Fig.1 The “Doughnut” model

束和限制作用,人类发展水平提高过程中所消耗的土地、能源、水和破坏的环境不能超过城市生态环境的承载能力^[27]。因此资源型城市的可持续发展在考虑整体水平的情况下还需要考虑两个系统的匹配问题。高度匹配的资源型城市人类发展系统和自然资源系统,其可持续发展的最佳状态应为:城市人类发展系统的发展动力充足,福祉水平高度发展,城市自然环境系统的生态资源消耗完全能够承担人类发展系统的需求,且处于城市生态环境承载范围内,二者耦合共同向优发展。

1.3 基于 SDGs 的资源型城市可持续发展评价框架

可持续发展目标继承了“行星边界”这一理论,强调应以环境为基底探讨经济发展和社会进步。自 1987 年布伦特莱报告《我们共同的未来》发布到现在,可持续发展已经总结出世界范围中的 3 大共识:如何坚持以科技创新克服增长的边际效益递减,提供经济发展动力;如何保持财富的增加不以牺牲生态环境为代价,维系经济发展质量;如何保障制度建设能增加社会管理的理性有序,寻求经济发展公平性。因此,根据经济可持续增长相关理论,影响经济增长动力稀缺性的要素主要包括由自然系统提供的自然资本,以及体现人类自然资本转化结果的人造资本^[28]。

人类发展和自然环境两个系统的建立旨在解决可持续发展背景下的保护与发展的权衡问题,契合资源型城市发展的特征和需求。遵循可持续发展的系统思想,在对资源型城市可持续发展目标分析的基础上,结合两个系统的评价思路,构建基于 SDGs 的资源型城市可持续发展评价体系。资源型城市人类发展系统应关注的目标为 SDG1(无贫穷)、SDG3(良好健康与福祉)、SDG4(优质教育)、SDG9(产业、创新和基础设施)、SDG10(减少不平等)、SDG16(和平、正义与强大机构)以及 SDG8(体面工作和经济增长)、SDG11(可持续城市和社区)的部分子目标。从“压力-结果”角度为人类发展系统设置“发展动力”和“福祉保障”两个支柱,发展动力的强弱能够决定城市人类发展的速度、水平和可持续性,一般包括经济结构、科技创新、劳动力等推动资源型城市发展的驱动因素^[29]。而福祉保障是对人类自身生活状态的感知,通常包括收入、健康、稳定安全的社会生活以及所生活城市的功能性等要素^[30],全面反映人类发展的效果。

资源型城市自然环境系统应关注的目标为 SDG6(清洁饮水和卫生设施)、SDG7(经济适用的清洁能源)、SDG12(负责任的消费和生产)、SDG13(气候行动)、SDG15(陆地生物)以及 SDG8(体面工作和经济增长)、SDG11(可持续城市和社区)的部分子目标。从要素的角度将自然环境系统划分为“自然资源”支柱和“生态环境”支柱,在自然环境系统中,首先要考虑的就是资源型城市发展的物质基础——自然资源,资源持续保障对资源型城市而言意义重大,现有资源的利用情况也影响着资源持续开发使用的能力。为更加全面的评价资源型城市的生态环境,本研究采用因果关系框架“压力-状态-响应”(Pressure-State-Response,简称 PSR)过程构建这一支柱的领域层,从而避免评价过程的片面性^[31]。在此支柱中,P 是指资源型城市资源开采等人类活动造成的污染物排放情况,是直接压力因子;S 是指城市当前的生态空间状况;R 是指资源型城市针对当下环境压力和状态做出的环境治理举措。基于此构建“环境污染”“环境治理”“生态状态”3 个领域。最终形成资源型城市可持续发展评价框架,如图 2 所示。

2 研究方法

2.1 基于 SDGs 的资源型城市可持续发展指标体系构建思路

本文在对“SDGs 评估指标”“中国官方可持续发展相关指标”和“城市可持续发展研究指标”汇总分析基础上,删除不能适用于中国城市可持续发展评估或无可靠数据来源的指标,剔除重复指标,并依据指标来源的权威性、指标应用的通用性和数据来源的可靠性优选具有相同内涵的相似指标,建立中国城市可持续发展评价基础指标库,作为城市层面可持续发展评估的备选指标库。资源型城市可持续发展评价指标在评估研究、实践的基础上,充分考虑资源型城市发展阶段,侧重对资源型城市特征、问题和持续发展需求进行反映^[32](基本思路如图 3 所示)。

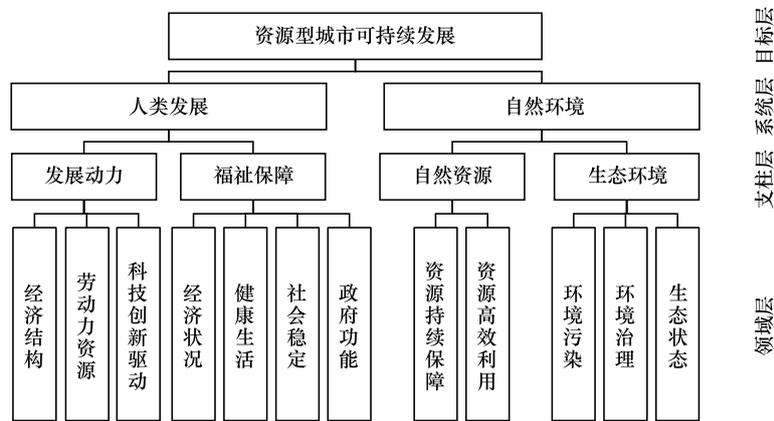


图 2 资源型城市可持续发展评价框架

Fig.2 Evaluation framework for sustainable development of resource-dependent cities

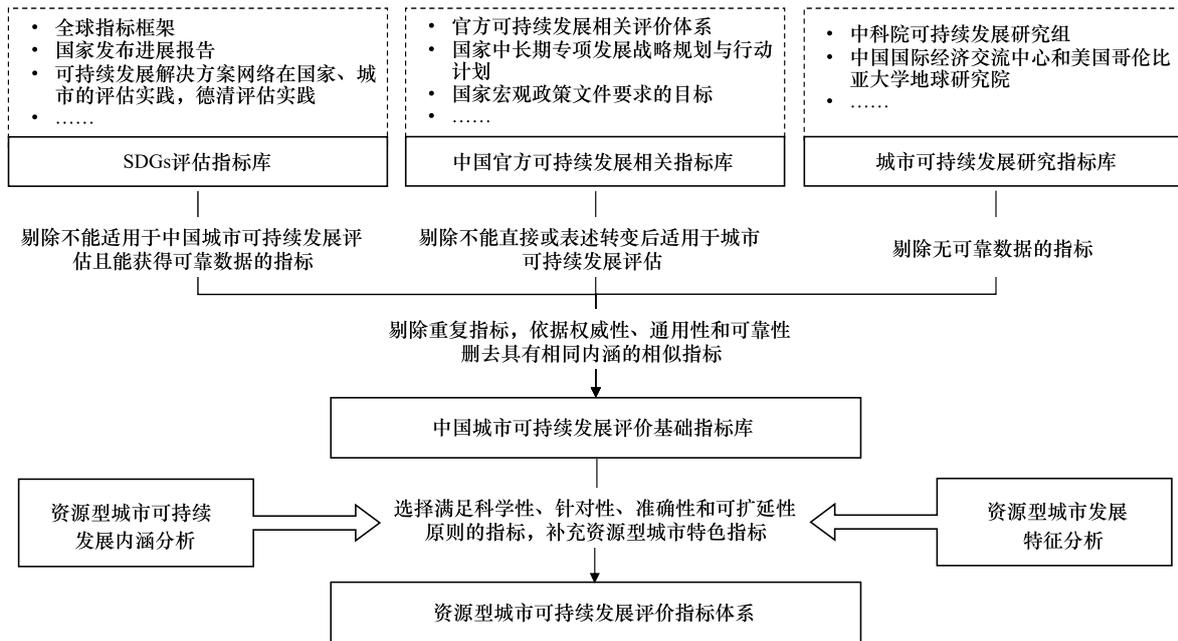


图 3 资源型城市可持续发展评价指标体系构建思路

Fig.3 Construction idea of sustainable development evaluation index system for resource-dependent cities

(1) 人类发展系统

考虑到资源型城市长期依赖资源性产业发展而发展、但资源性产业受资源挖掘的周期影响而具有其自身生命周期的特点,资源型城市“发展动力”支柱需要重点考虑降低对目前资源开发的依赖程度,提高转化率,同时发掘其他接替资源^[33]。在福祉方面,资源型城市因为资源的开发和利用往往存在着代际、代内资源配置不公平问题,应进行补偿协调^[34],尽管目前中国在此方面实践较少,但仍应作为资源型城市可持续发展评价的重要考察方面纳入评价体系。最终构建人类发展系统指标体系如表 2 所示。

(2) 自然环境系统

在选择指标时,除了考虑对资源环境方面的一般评价指标外,还需要结合资源型城市资源利用、环境破坏方面的特征,有针对性、灵活地确定指标。最终构建自然环境系统指标体系如表 3 所示。

表 2 资源型城市人类发展系统评价指标体系

Table 2 Evaluation index system for human development system of resource-dependent cities

支柱 Pillar	领域 Field	指标 Indicator	指标类别 Indicator category	指标属性 Indicator property	可持续发展目标 Sustainable development goals
发展动力 Development dynamics	经济结构	GDP 年增长率	共性指标	正向	8
		资源性产业依存度	共性指标	负向	8
	劳动力资源	第三产业占比	共性指标	正向	8
		接替产业发展潜力指数	特性指标	正向	8
		资源性产业劳动生产率	共性指标	正向	8
		劳动年龄人口平均受教育年限	共性指标	正向	4
	科技创新驱动	研究与发展投入强度	共性指标	正向	9
		每万人口发明专利拥有量	共性指标	正向	9
		高新技术产业产值比重	共性指标	正向	9
		人均 GDP	共性指标	正向	8
福祉保障 Well-being guarantee	经济状况	城乡居民人均可支配收入	共性指标	正向	8
		人均预期寿命	共性指标	正向	3
	健康生活	每万人口执业(助理)医师数	共性指标	正向	3
		工矿商贸十万从业人员生产安全事故死亡人数	共性指标	负向	9
	社会稳定	城镇登记失业率	共性指标	负向	8
		贫困发生率	共性指标	负向	1
		城乡居民最低生活保障人数占城乡人口比例	共性指标	负向	1
		基尼系数	共性指标	负向	10
		资源补偿指数	共性指标	正向	10
		政府功能	基本公共服务保障能力	共性指标	正向
公路密度	共性指标	正向	11		
城市园林化建设指数	共性指标	正向	11		
财政自给率	共性指标	正向	16		

表 3 资源型城市自然环境系统评价指标体系

Table 3 Evaluation index system for natural environment system of resource-dependent cities

支柱 Pillar	领域 Field	指标 Indicator	指标类别 Indicator category	指标属性 Indicator property	可持续发展目标 Sustainable development goals
自然资源 Natural resource	资源持续保障	地下水资源总量	共性指标	正向	6
		主要资源可持续利用指数 ^[35]	特性指标	正向	12
		资源回收利用指数	特性指标	正向	12
	资源高效利用	万元国内生产总值用水量	共性指标	正向	6
		万元 GDP 能耗下降率	共性指标	正向	7
		能源产出率	共性指标	正向	7
生态环境 Ecology	环境污染	资源产出率	特性指标	正向	8
		单位 GDP 废气排放量	共性指标	负向	12
		单位 GDP 废水排放量	共性指标	负向	12
		单位 GDP 固体废物产生量	共性指标	负向	12
		废水重点污染物排放强度	特性指标	负向	6
		废气重点污染物排放强度	特性指标	负向	11
	CO ₂ 排放强度	共性指标	负向	13	
环境治理	污水处理率	共性指标	正向	6	

续表

支柱 Pillar	领域 Field	指标 Indicator	指标类别 Indicator category	指标属性 Indicator property	可持续发展目标 Sustainable development goals
	生态状态	工业固体废弃物综合利用率	共性指标	正向	12
		绿色矿山建设比例	共性指标	正向	12
		重点大气污染物去除率	特性指标	正向	11
		污染地块安全利用率	共性指标	正向	15
		水土流失治理率	共性指标	正向	15
		重点生态区域生态修复率	共性指标	正向	15
		地表水质量达到或好于Ⅲ类水体比例	共性指标	正向	6
		城市空气质量优良天数比例	共性指标	正向	11
		自然保护地面积占陆域国土面积比例	共性指标	正向	15
		森林覆盖率	共性指标	正向	15
		生态环境状况指数	共性指标	正向	15

2.2 资源型城市可持续发展评价方法

(1) 指标数据来源

研究数据主要来源于统计年鉴与统计公报、可靠宏观统计数据库及相关学术文献。在数据获取过程中,对于数据缺失的指标,根据指标历年数据规律采用近3年数据平均或趋势外推等方法进行模拟补充。

(2) 指标阈值的确定原则

在进行可持续发展评价时,指标阈值的确定非常关键。如果不考虑极值和异常值,可能会为评价结果带来意想不到的影响。在确定指标阈值上限时,将《2030年可持续发展议程》中“不落下任何一个人”的原则作为基本准则,参考目前国内外关于SDGs进展评估的实践探索和典型经验,采用情景法确定指标最优值,具体规则见表4。在确定指标下限时,考虑到最差值对异常值比较敏感,采用全国城市剔除表现最差中2.5%观测值后的最差值作为指标下限^[36]。

表4 最优值确定规则

Table 4 Rules for determining the optimal value

指标情景 Indicator status	最优值设定 Optimum value setting
SDGs中有明确标准导向的指标	使用其绝对数值
可持续发展目标中无明确要求,但具有公认理想值的指标或行星边界研究已有研究值	选取公认理想值或研究值
若指标符合国际语境,且国内表现最好的城市也远落后于国际水平	使用国际表现最好的地区指标值
对于其他所有基础指标库的指标	使用全国表现最好的5个城市数据平均值
根据资源型城市特征或城市自身评估需求补充的指标	参照同类城市发展现状确定

(3) 指标权重计算

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)能将分散信息浓缩到某几个综合成分上,对数据集进行了降维处理^[37]。利用这一特点可将PCA应用于指标权重确定。主成分分析法计算权重的方法已十分成熟,公式及计算流程在其他文献中已描述的十分详尽,故本文不再对此赘述。

(4) 得分计算

① 单因子评价

采用改进的离差标准化法进行数据处理,在遵循指标阈值的确定方法得到所有指标的上下限后,运用式(1)对指标变量完成计算。

$$x_i' = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \tag{1}$$

式中, x_i 为第 i 项指标原始数据; $\max(x_i)$ 、 $\min(x_i)$ 分别表示第 i 项指标的上限(最优值)和下限(最差值), 而 x_i' 是第 i 项指标计算后的得分。经过这一计算过程, 所有指标都能够进行比较, 更高分则意味着距离 SDGs 的实现更近。例如某城市在一个指标上得分为 0.50, 意味着该城市该项指标的实施效果已达到当前目标设定下最优值的 50%。

②综合评价

采用线性加权函数法计算资源型城市领域、支柱层可持续发展水平, 计算公式如式(2)(3)所示:

$$f_{\text{领域}}(x) = \sum w_i x_i' \tag{2}$$

式中, i 为各个领域包含的指标数量, w_i 为指标在各领域内的权重。 x_i' 为指标得分, 指标得分计算公式见式(1)。

$$f_{\text{支柱}}(x) = \sum w_j f_{\text{领域}}(x) \tag{3}$$

式中, j 为各支柱层的领域数量, w_j 为不同领域在各支柱层的权重, 考虑到各领域对支柱层重要程度相当, 因此各领域等权重, 即 $w_j = \frac{1}{j}$ 。

借鉴联合国开发计划署创立的人类发展指数计算方法, 计算资源型城市各系统层和可持续发展综合水平^[38]。系统层可持续发展得分计算见式(4), 可持续发展水平综合分数计算见式(5):

$$f_{\text{系统}}(x) = \sqrt[m]{\prod f_{\text{支柱}}(x)} \tag{4}$$

式中, m 为各系统层支柱的数量。

$$f(x) = \sqrt[n]{\prod f_{\text{系统}}(x)} \tag{5}$$

式中, n 为评价系统的数量。

通过查阅文献并考虑到中国资源型城市可持续发展的现状, 根据计算分数将资源型城市可持续发展水平划分为 5 个等级分级, 如表 5 所示。

表 5 可持续发展水平分级标准

Table 5 Grading criteria for sustainability level

分数 Score	<0.2	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	>0.8
分级 Grading	弱	较弱	中	较强	强

(5)障碍度评价

可持续发展水平评价帮助评价对象了解当前发展水平, 但更重要的是要找到影响评价对象可持续发展的障碍因子, 确认发展痛点并给予重视。因此引入障碍度评价辅助分析, 障碍因素的计算方式如下^[39]:

首先, 根据式(6)计算因子贡献度矩阵。

$$F_j = \frac{1}{n} \times w_j \tag{6}$$

式中, w_j 为各指标对相应领域权重, n 为各支柱层领域数, $\frac{1}{n}$ 即为各领域在支柱层的权重。

其次, 根据式(7)计算指标偏离度矩阵:

$$I_j = 1 - x_j \tag{7}$$

式中, x_j 为指标得分, 计算公式见式(1)。

根据式(8)计算第 j 项指标对其支柱层的发展水平的障碍度:

$$O_i = \frac{I_j \times F_j}{\sum (I_j \times F_j)} \quad (8)$$

最后,根据式(9)计算第 i 个领域对支柱层发展水平的障碍度:

$$S_i = \sum O_j \quad (9)$$

(6) 协调发展评价

耦合是指多个系统间通过各种相互作用而影响彼此的现象。根据前文分析,人类发展系统和自然环境系统存在相互关联作用,因此还需要考察二者的协调发展属性^[40],计算资源型城市人类发展系统与自然环境系统耦合度模型如式(10)所示。

$$C = \left[\frac{f_x g_y}{\left[\frac{1}{2}(f_x + g_y) \right]^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中, C ($0 \leq C \leq 1$) 为耦合度, C 越大,耦合度越高;反之, C 越小,耦合度越低; f_x 为人类发展系统综合得分, g_y 为自然环境系统综合得分。但耦合度不能完全反映出二者之间的协调性,因此引入耦合协调度模型,如式(11)和式(12)所示^[41]。

$$D = \sqrt{C \times S} \quad (11)$$

$$S = a f_x + b g_y \quad (12)$$

式中, D ($0 \leq D \leq 1$) 为耦合协调度; C 为耦合度; S 为人类发展系统与自然环境系统的综合协调指数, a 、 b 分别为两个系统在可持续发展中的权重。根据行星边界理论,可持续发展的实现需要人类发展系统与自然环境系统共同作用,二者具有相等的重要性,因此 $a = b = 0.5$ 。

为更好地研究人类发展与自然环境的协调性,依据人类发展系统综合指数 f_x 和自然环境系统综合指数 g_x 以及耦合协调度 D 的大小,将耦合协调类型进行如表 6 所示的划分。

表 6 两系统耦合协调类型划分标准

Table 6 Criteria for classifying the type of system coupling coordination

类型 Type	划分依据 Classification basis	亚类型 Subtype	划分依据 Classification basis	滞后类型 Lag type
不协调发展 Uncoordinated development	$0 \leq D < 0.3$	严重不协调	$f_x - g_y > 0.1$ $g_y - f_x > 0.1$ $0 \leq f_x - g_y \leq 0.1$	严重不协调发展-自然环境滞后 严重不协调发展-人类发展滞后 严重不协调发展-同步滞后
	$0.3 \leq D < 0.5$	不协调	$f_x - g_y > 0.1$ $g_y - f_x > 0.1$ $0 \leq f_x - g_y \leq 0.1$	不协调发展-自然环境滞后 不协调发展-人类发展滞后 不协调发展-同步滞后
转型发展 Transformation and development	$0.5 \leq D < 0.7$	基本协调	$f_x - g_y > 0.1$ $g_y - f_x > 0.1$ $0 \leq f_x - g_y \leq 0.1$	转型发展-自然环境滞后 转型发展-人类发展滞后 转型发展-同步滞后
协调发展 Coordinated development	$0.7 \leq D < 0.9$	优化协调	$f_x - g_y > 0.1$ $g_y - f_x > 0.1$ $0 \leq f_x - g_y \leq 0.1$	优化协调-自然环境滞后 优化协调-人类发展滞后 优化协调-同步滞后
	$0.9 \leq D < 1$	高级协调	$f_x - g_y > 0.1$ $g_y - f_x > 0.1$ $0 \leq f_x - g_y \leq 0.1$	高级协调-自然环境滞后 高级协调-人类发展滞后 高级协调-同步滞后

D 为耦合协调度; f_x 为人类发展系统综合得分; g_y 为自然环境系统综合得分

3 实证研究

郴州市是典型的资源型城市,现已发现矿产 140 多种,其中钨、铋、钼、石墨、锡、铅、锌、铜等多个矿种保有

储量居世界或全国前列,是名副其实的“世界有色金属博物馆”“中国有色金属之乡”“中国银都”和“宝石王国”,具有良好的资源禀赋条件。郴州市也是长江流域湘江、赣江和珠江流域北江三大水系的重要源头,年均贡献超过 160 亿立方米的水量,拥有湖南省最大的饮用水水源地和长株潭城市群战略水源地;是国家重点生态功能区,属于《全国生态功能区划(修编版)》确定的“南岭山地水源涵养与生物多样性保护重要区”“罗霄山脉水源涵养与生物多样性保护重要区”,具有重要生态价值。然而长期的无序开发和落后的生产生活方式使得郴州市部分地区存在严重的环境污染、生态破坏问题,可持续发展面临极大挑战。2019 年郴州市获批建设国家可持续发展议程创新示范区^[42],探究破解资源型城市不可持续问题的途径,目前正处于发展转型期,兼具资源型城市共性特征和可持续发展探索的代表性,利用其进行评估技术的实证分析,既能评价可持续发展探索的成果,也可以对其他资源型城市可持续发展起到借鉴作用。

3.1 郴州市可持续发展水平综合评价

根据可持续发展综合评估方法计算出郴州市 2005—2019 年可持续发展综合得分和各支柱得分如图 4 所示。折线代表郴州市可持续发展综合得分,郴州市可持续发展可以划分为 3 个阶段:2005 年郴州市处于较弱可持续发展阶段,2006—2015 年处于中等可持续阶段,而 2016—2019 年提升至较强可持续发展阶段,整体水平呈现稳步上升趋势,但是近 3 年有下降倾向。结合柱状图(各支柱发展得分)进一步探究发现,福祉保障和生态环境发展始终处于较好水平,由中等发展水平提升至较强发展水平;自然资源最初处于较弱发展水平,经过 10 余年的发展,整体有较大提升,进步幅度最大,高达 71.3%,但在近 4 年出现明显下滑,仅在 2016 年达到较强发展水平;而发展动力支柱表现最差,始终处于较弱和中等发展水平,进步幅度极其缓慢,低于整体进步水平。与其他支柱相比,发展动力支柱得分已成为制约郴州市可持续发展分数提升的主要障碍,发展动力成为郴州市可持续发展和绿色转型的潜在制约因素,应该着重关注该支柱内障碍因子。

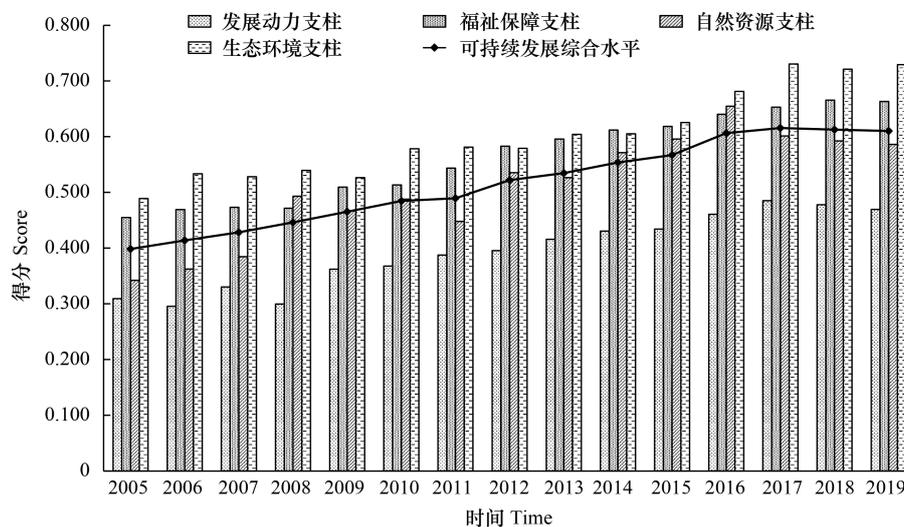


图 4 郴州市 2005—2019 年可持续发展综合得分和各支柱发展得分

Fig.4 Composite sustainability score and development score by pillar in Chenzhou from 2005 to 2019

3.2 郴州市可持续发展水平各支柱发展评价

(1) 发展动力支柱发展水平分析

发展动力支柱及各领域得分情况如图 5 所示,各领域障碍度如图 6 所示。2005—2019 年间,郴州市发展动力可以划分为两个阶段:2005—2012 年,发展动力较弱;2013—2019 年,发展动力中等水平。整体呈现波动上升趋势。在此期间,经济结构调整变化不大,在中等发展区间波动;劳动力资源在 2011 年有较大的提升,这一阶段也是郴州市资源产业的兴盛期,采矿业劳动生产率较高,然而随着资源的逐渐枯竭,矿产资源产量下降,单纯的初加工产品价格低,而深加工技术落后,劳动生产率也随之下降,目前即将下滑至较弱水平;科技创

新驱动的得分始终远远低于另外两个领域,仅从弱发展水平提升至较弱水平,科技创新的研发投入及产出表现均远低于全国平均水平。2019 年郴州市研究与发展经费支出仅占地区生产总值比重的 1.83%;科技成果较少且转化率不高,以科技创新为引领的新产业新业态尚未成型,科技创新支撑生态产业转型升级的能力处于较低水平。结合郴州市作为资源型城市正面临的资源利用效率提升、深加工提高产品价值等技术瓶颈问题的发展现状,科技创新已经成为制约郴州市发展动力提升、乃至整体社会经济发展的重要因素。

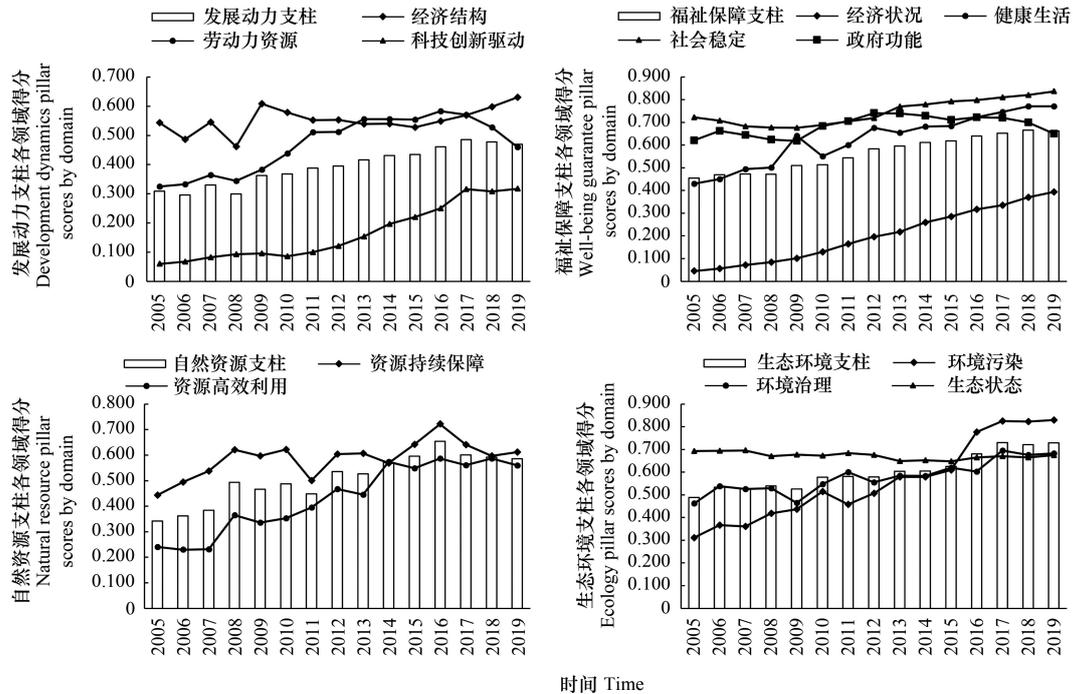


图 5 4 个支柱各领域发展水平
Fig.5 Development level of each domain in the four pillars

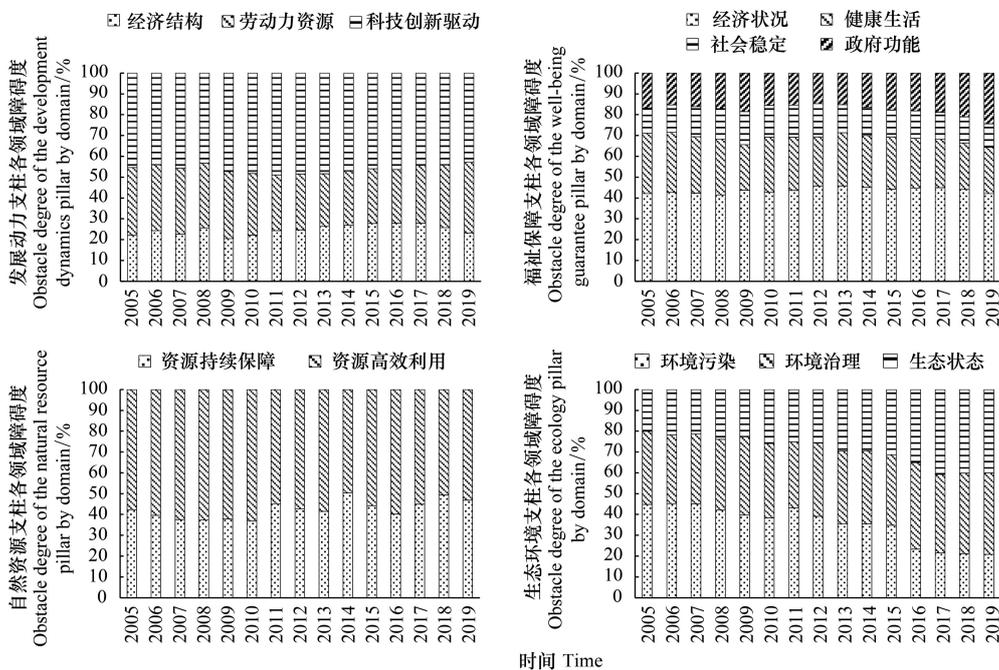


图 6 4 个支柱各领域障碍度
Fig.6 Obstacle degree of each domain in the four pillars

(2) 福祉保障支柱发展水平分析

福祉保障支柱及各领域得分情况如图 5 所示,各领域障碍度如图 6 所示。2005—2019 年间,郴州市福祉保障可以划分为两个阶段:2005—2012 年,福祉保障能力为中等水平;2013—2019 年,福祉保障能力较强。整体呈现稳步上升趋势。在此期间,健康生活和社会稳定度稳定提升,均进步一个阶段;政府功能始终在较强阶段上下波动,但近两年下降幅度较大,主要原因在于政府财政自给率低、压力大,导致园林绿化、道路等基础设施建设资金紧张,基础保障财政支出比例降低;居民经济状况得分远低于其他领域,人均可支配收入在省内地级市中排名第 6,人均 GDP 仅为全国平均水平的 71.60%,成为制约郴州市福祉保障的潜在因素,而要改善经济情况,郴州市还需从发展动力支柱寻求突破。

(3) 自然资源支柱发展水平分析

自然资源支柱及各领域得分情况如图 5 所示,各领域障碍度如图 6 所示。2005—2019 年间,郴州市自然资源可以划分为 4 个阶段:2005—2007 年,自然资源保障利用能力较弱;2008—2015 年,自然资源保障利用处于中等水平;2016—2017 年,自然资源支柱突破 0.600 分进入较强发展水平,但并未长时间保持;2018 年后重回中等水平。15 年间,资源持续保障水平始终高于资源利用效率,但二者得分逐渐在上升中接近,利用效率对自然资源支柱的障碍度逐渐降低,表明郴州市已逐步提高对资源利用效率的重视并有所成效。

同时,尽管随着资源的开发利用,资源储量逐渐降低,但是随着郴州市对现有资源的不断挖掘,逐步发现了郴州市除现有矿产资源外,还有丰富的碳酸钙类资源等不可再生资源^[43]、水资源等可再生资源和文化、旅游等社会资源可以利用。目前,郴州市正积极申报城市地质调查项目,已完成全市重质碳酸钙类矿产资源初步摸底,探明重质碳酸钙资源储量约 2.07 亿吨;同时开展宝玉石资源摸底,推进全市温泉地热资源的勘查开发,以满足产业持续发展需求。在水资源利用方面,积极探索“冷水”“热水”和“绿水”资源等多种水资源利用模式,利用潜力高。因此,资源持续保障水平并未出现大幅度的降低,而这也是郴州市日后发展的重要基础。

(4) 生态环境支柱发展水平分析

生态环境支柱及各领域得分情况如图 5 所示,各领域障碍度如图 6 所示。2005—2019 年间,郴州市生态环境水平可分为两个阶段:2005—2014 年,生态环境处于中等水平;2015—2019 年,生态环境处于较强状态。15 年间,污染排放强度逐渐降低,污染排放领域得分由 2005 年的 0.312 进步至 2019 年的 0.830,进步幅度最大,这与郴州市重视发展新型工业,积极采取构建科技含量高、资源消耗低、环境污染少的产业结构和生产方式等相关措施行动有很大关系。郴州市环境治理领域 15 年间波动提升,从中等水平进步到较强水平。生态状态领域则一直稳定在较强水平,侧面反映郴州市污染物减排治理的有效性。从各领域障碍度变化趋势来看,由于过度依赖粗放式的资源性产业,在 2005—2015 年间,环境污染的排放都是郴州市生态环境水平的障碍因子。近年来,随着政府逐渐提高对环境保护的重视程度,治理手段也由末端治理转变为源头控制,障碍因子也发生了变化。目前,生态状态成为郴州市生态环境的障碍因子,从指标得分障碍度来看,郴州在后续发展中需要更加重视自然保护地的建设,提高对自然保护地的保护力度,注重城市生态功能的提升,更好的维护城市生态安全的同时^[44],也为郴州市进一步开发生态资源、发展旅游产业、进而形成新的接替产业提供保障。

3.3 郴州市两个系统发展评价

郴州市两个系统耦合协调度随时间变化趋势如图 7 所示,2005—2019 年耦合协调度始终保持在 0.600 至 0.800 间。15 年间郴州市两个系统耦合协调度整体提升了 0.149,2005—2019 年协调向好,但是在近 3 年有轻微下降趋势。

人类发展系统和自然环境系统得分及差值(图 8)表明,郴州市两个系统发展水平不一致,发展差距也具有一定的波动性。整体来看,郴州市自然环境系统状况一直优于人类发展系统,特别是在 2008 年、2016 年,二者差距大于 0.100,属于人类发展滞后类,与同类型城市相比人类发展系统明显不足,仍存在一定的进步空间,自然环境系统未能对人类发展系统起到合适的供给作用,说明郴州市对于生态环境的合理开发较差,生态

产品价值转化路径仍需畅通。

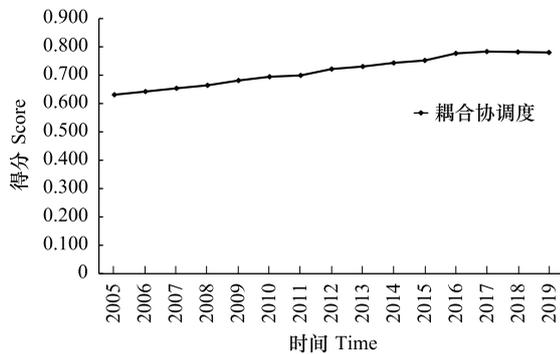


图7 郴州市 2005—2019 年两个系统耦合协调度

Fig.7 Coupling coordination of two systems in Chenzhou from 2005 to 2019

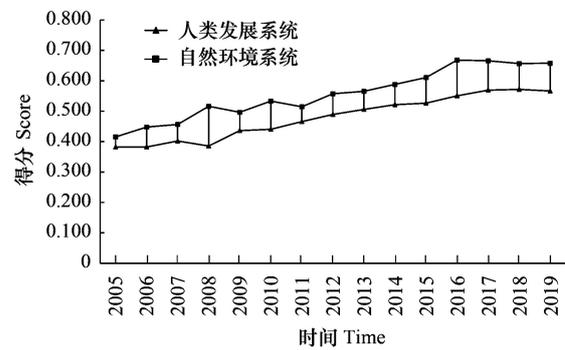


图8 郴州市 2005—2019 年两个系统得分及差距

Fig.8 Two system scores and gaps in Chenzhou from 2005 to 2019

4 结果与讨论

本文立足于对资源型城市可持续发展评估的需求,重点聚焦资源型城市发展要求和可持续发展内涵,构建了基于 SDGs 的资源型城市可持续发展评价技术体系,并以典型资源型城市、国务院批复同意的国家可持续发展议程创新示范区郴州市为对象进行实证研究,研究结果与讨论如下。

(1)本研究确定了资源型城市发展瓶颈和可持续发展目标下的动力与约束,结合资源型城市可持续发展理论的阶段成果,识别资源型城市发展过程中人类发展系统与自然环境系统的核心矛盾问题,对标 SDGs 确定了资源型城市优先发展目标和重点发展目标。在理论研究的基础上对资源型城市可持续发展评价进行探索,构建了基于 SDGs 的资源型城市可持续发展评价技术,明确评价框架建设和指标选择方法,为其他类型的城市构建面向 SDGs 的评价体系提供了方法路径。基于资源型城市的“资源”属性,针对不同资源型城市的资源禀赋,构建了 SDGs 语境下包含特性指标与共性指标的资源型城市可持续发展指标体系,使指标体系在应用于具体城市评价时,更加具备可行性、灵活性和针对性。采用情景法确认指标阈值,利用改进的离差标准化法计算指标得分,更加直观地展示参评城市与可持续发展目标实现间的距离,评价分数具有现实意义和可比性。

(2)以郴州市为实证对象,对郴州市 2005—2019 年可持续发展水平进行评价,结果显示:郴州市可持续发展整体水平呈现稳步上升趋势,由 2005 年的 0.398(较弱可持续发展)提升至 0.610(较强可持续发展),得分提高了 53.2%;从各支柱发展水平分析来看,自然资源支柱的得分进步幅度最大(71.3%),作为以矿产资源开发利用发展的资源型城市,郴州已经意识到资源可持续性的重要性,不断平衡保护与发展的关系,逐步找到其他不可再生资源、可再生资源和社会资源等接替资源来避免“矿竭城衰”的发展结果;而发展动力支柱得分始终偏低,目前已成为制约郴州市可持续发展的主要因素,其中科技创新驱动是该支柱发展关键障碍因子,科技创新支撑生态产业转型升级的能力处于较低水平;依据耦合协调分析结果,15 年间郴州市的人类发展系统和自然环境系统协调向好发展,但在整体上看郴州市自然环境系统表现一直优于人类发展系统,与同类型城市相比,郴州市人类发展系统的改善具有一定的滞后性及不充分性,如何高效利用郴州市自然环境优势、实现生态产品价值转化、提高人类发展水平是郴州市进一步需要探索的。

(3)根据郴州市实证评价结果,结合郴州市可持续发展实际行动,对郴州市提出以下发展建议。一是继续落实创新驱动发展战略,将科技自立自强作为发展战略支撑,加快传统矿产资源性产业转型升级。鼓励加大科研人员和科研经费研发投入,实现研究与发展经费支出占比和人员占比达到湖南省平均水平;提高高新

技术企业规模和产值,打造对主导产业发展具有支撑带动作用的科技型领军企业;创新矿产资源开发模式,发展绿色矿业,实现资源的规模开发和集约利用。通过提高创新能力进一步探索自然资源转化路径,找到高效、合理的资源利用技术,从而提高人类发展水平。二是持续贯彻“绿水青山就是金山银山”理念,走生态产业化与产业生态化协同发展之路,培育壮大接续替代产业和新增长点、增长极。继续推进已有探索的水资源可持续利用与绿色发展模式,以“冷水”“热水”“绿水”等产业链发展为重点,持续开发水资源利用潜力,释放水动能,提高水资源利用效率,着眼长远培育壮大水产业为支柱型接续替代产业;以优质的生态、产业和文化资源为依托,加快布局高端生态型产业,发展高效特色的生态农业、生态旅游业等,充分促进郴州生态资源优势价值转换实现,为郴州市持续发展提供新的发展增长点、增长极。基于资源型城市的共同特点,提高创新能力、挖掘并培育壮大接替产业两个建议同样可以适用于其他资源型城市的可持续发展推进。

(4)本文构建的资源型城市可持续发展评价指标体系是对SDGs的本地化,试图将用于监测全球可持续发展进展的全球指标框架应用于中国资源型城市的可持续发展评价实践中,但仍存在一些不足有待进一步研究。一是本文在构建评估体系的过程中主要考虑了国内评价实践的可行性,但在国际尺度上可对比性有待提升。二是在应用评估技术体系开展实证分析时,由于统计口径变化和统计条件约束,部分指标数据存在缺失现象,造成评价结果存在一定误差,对此类指标的处理方式还需探索。

参考文献 (References):

- [1] 田玉川. 新时代背景下资源型城市转型中绿色发展分析. 中国矿业, 2019, 28(S1): 40-42.
- [2] 李汝资, 宋玉祥, 李雨婷, 于婷婷. 吉林省资源型城市转型阶段识别及其特征成因分析. 地理科学, 2016, 36(1): 90-98.
- [3] 郭存芝, 彭泽怡, 丁继强. 可持续发展综合评价的DEA指标构建. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3): 9-17.
- [4] 李江苏, 王晓蕊, 苗长虹. 基于两种DEA模型的资源型城市发展效率评价比较. 经济地理, 2017, 37(4): 99-106.
- [5] 江崇莲, 赵红梅. 资源型城市可持续发展内生增长路径研究. 煤炭经济研究, 2018, 38(1): 44-46.
- [6] 赵永超. 资源型城市可持续发展能力: 概念界定、提升路径与实施对策研究. 管理现代化, 2021, 41(2): 74-76.
- [7] 唐倩, 王金满, 荆肇睿. 煤炭资源型城市生态脆弱性研究进展. 生态与农村环境学报, 2020, 36(7): 825-832.
- [8] United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations, 2014.
- [9] Inter-agency Expert Group on SDG Indicators. Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development. (2020-04-02) [2020-08-12]. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>.
- [10] Guillaume L, Kees Z, Grayson F, Rens M, John D, Guido S. The 2019 SDG Index and Dashboards report for European Cities (prototype version). Sustainable Development Solutions Network (SDSN) and the Brabant Center for Sustainable Development (Telos), 2019.
- [11] Instituto Cidades Sustentáveis, Sustainable Development Solutions Network. O Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades-Brasil (IDSC-BR). São Paulo & Paris: ICS & SDSN, 2021.
- [12] Lynch A, Lopresti A, Fox C. The 2019 US cities Sustainable Development report. New York: Sustainable Development Solutions Network, 2019.
- [13] Laura C, Luca F, Sergio V, Giulia L, Ilenia R, Mia A. Conoscere il presente per un futuro sostenibile: l'SDGs Index per le Province e le Città Metropolitane d'Italia. SDSN Italia, 2020.
- [14] 陈军, 彭舒, 赵学胜, 葛岳静, 李志林. 顾及地理空间视角的区域SDGs综合评估方法与示范. 测绘学报, 2019, 48(4): 473-479.
- [15] 张盛, 吕永龙, 苑晶晶, 贺桂珍, 郑晓奇. 持续城镇化对中国推进实施联合国可持续发展目标的作用. 生态学报, 2019, 39(4): 1135-1143.
- [16] 宁瑶, 刘雅莉, 杜剑卿, 杨雅茜, 王艳芬. 黄河流域可持续发展评估及协同发展策略研究. 生态学报, 2022, 42(3): 1-13.
- [17] 邵超峰, 陈思含, 高俊丽, 贺瑜, 周海林. 基于SDGs的中国可持续发展评价指标体系设计. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 1-12.
- [18] 张军泽, 王帅, 赵文武, 刘焱序, 傅伯杰. 可持续发展目标关系研究进展. 生态学报, 2019, 39(22): 8327-8337.
- [19] Monteiro N B R, da Silva E A, Moita Neto J M. Sustainable development goals in mining. Journal of Cleaner Production, 2019, 228: 509-520.
- [20] Griggs D, Stafford Smith M, Rockström J, Öhman M C, Gaffney O, Glaser G, Kanie N, Noble I, Steffen W, Shyamsundar P. An integrated framework for sustainable development goals. Ecology and Society, 2014, 19(4): 49.
- [21] Kates R W, Parris T M. Long-term trends and a sustainability transition. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8062-8067.
- [22] Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell S E, Fetzer I, Bennett E M, Biggs R, Carpenter S R, de Vries W, de Wit C A, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace G M, Persson L M, Ramanathan V, Reyers B, Sörlin S. Planetary boundaries: guiding human development on a changing

- planet. Science, 2015, 347(6223): 1259855.
- [23] Steffen W, Stafford Smith M. Planetary boundaries, equity and global sustainability: why wealthy countries could benefit from more equity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(3/4): 403-408.
- [24] Raworth K. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. London: Random House Business Books, 2017.
- [25] 凯特·拉沃斯. 甜甜圈经济学. 闫佳, 译. 北京: 文化发展出版社, 2019: 32.
- [26] 陈先鹏, 方恺, 彭建, 刘爱原. 资源环境承载力评估新视角: 行星边界框架的源起、发展与展望. *自然资源学报*, 2020, 35(3): 513-531.
- [27] 吕永龙, 曹祥会, 王尘辰. 实现城市可持续发展的系统转型. *生态学报*, 2019, 39(4): 1125-1134.
- [28] 牛文元. 可持续发展理论内涵的三元素. *中国科学院院刊*, 2014, 29(4): 410-415.
- [29] 范毅. 我国城市发展的拐点和转型: 基于动力机制角度. *经济纵横*, 2019(08): 49-60+2.
- [30] 柳冬青, 张金茜, 巩杰, 钱彩云. 陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究——以安定区为例. *生态学报*, 2019, 39(2): 637-648.
- [31] 项志勇, 邹小玲, 陈江平. 结合地理国情监测的宁波市生态环境评价指标体系的构建. *测绘通报*, 2018(06): 98-103.
- [32] 吴文洁, 程雪松. 资源型城市可持续发展评价指标体系构建研究. *煤炭经济研究*, 2009, 29(2): 18-19, 21.
- [33] 张建华, 王高尚. 矿业依存度与中国矿业城市定量分类. *资源·产业*, 2003, 5(6): 85-89.
- [34] 邹建新. 生态文明战略下资源型城市转型过程中的困境与策略. *四川理工学院学报: 社会科学版*, 2017, 32(4): 81-100.
- [35] 卞兆宾. 资源成熟型城市绿色转型策略研究——以山东莱芜为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- [36] Sachs J, Schmidt-Traub G, Kroll C, Laforune G, Fuller G. *Sustainable Development Report 2020*. Cambridge: Cambridge University, 2021.
- [37] 王莺, 王静, 姚玉璧, 王劲松. 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价. *生态环境学报*, 2014, 23(12): 1897-1904.
- [38] Bravo G. The Human Sustainable Development Index: New calculations and a first critical analysis. *Ecological Indicators*, 2014, 37(PT.A): 145-150.
- [39] 黄天能, 李江凤, 许进龙, 廖晓莉. 资源枯竭城市转型发展绩效评价及障碍因子诊断——以湖北大冶为例. *自然资源学报*, 2019, 34(7): 1417-1428.
- [40] 王国霞, 刘婷. 中部地区资源型城市城市化与生态环境动态耦合关系. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(7): 80-88.
- [41] 李孟奇, 张建军, 宋荣, 付邦宁. 中国城市可持续发展水平与产业发展规模的时空演变. *统计与决策*, 2021, 37(22): 93-97.
- [42] 国务院. 国务院关于同意郴州市建设国家可持续发展议程创新示范区的批复. (2019-05-14) [2021-03-25]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-05/14/content_5391457.htm.
- [43] 文一卓, 田军委, 孟雨红, 许以明. 郴州市碳酸钙类矿产分布规律及找矿方向浅析. *资源环境与工程*, 2020, 34(1): 32-35.
- [44] 高吉喜, 刘晓曼, 周大庆, 马克平, 吴琼, 李广宇. 中国自然保护区整合优化关键问题. *生物多样性*, 2021, 29(3): 290-294.