

长江经济带矿产资源开发环境保护政策研究

——基于 SWOT-AHP 和模糊 TOPSIS 法

方传棣¹ 成金华¹ 赵鹏大²¹

(1. 中国地质大学经济与管理学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

【摘要】: 适宜的战略决策是促进矿产资源开发和生态环境保护协调发展的重要支撑。为评价长江经济带矿业绿色发展战略的政策优先性, 基于优势, 劣势, 机会, 威胁分析确定政策的影响因素并确定 10 种替代方案, 再通过 AHP 法得出权重, 最后通过模糊 TOPSIS 法得出替代方案的最优排序。结果表明: 10 种替代方案中, 保证生态保护红线内矿业权有序退出的优先度最高, 其次为严格落实矿山生态环境损害赔偿制度和优先开采清洁与新兴矿产资源, 而提高矿业产业集中度相较于其他方案的优先度最低, 同时通过敏感性分析验证了模糊 TOPSIS 法的可靠性。为短期内重塑矿产资源开发利用布局, 提高矿产资源开发的保障能力与现代化治理能力, 以及中长期构建矿产资源开发与生态环境协调发展, 建议将保证生态保护红线内矿业权有序退出作为目前长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的主导方向。

【关键词】: 矿产资源开发 环境保护政策 SWOT-AHP 模糊 TOPSIS

【中图分类号】: F426.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)09-2102-13

2016 年 1 月 5 日, 习近平总书记在重庆考察时提出的“长江经济带发展必须走生态优先、绿色发展之路, 要把修复长江生态环境摆在压倒性位置, 共抓大保护, 不搞大开发”, 标志着长江经济带从经济快速发展向经济高质量发展转变。随着党的十九大报告、《长江经济带发展规划纲要》《长江经济带生态环境保护规划》对长江经济带环境保护与生态文明建设提出了具体要求, 多部门越来越重视识别长江经济带矿产资源开发的环境影响, 取得了积极成果并部署了环境整治任务, 如长江经济带各省《生态环境保护实施方案》、湖北省《湖北省加快建设绿色矿山实施方案》以及四川省《四川省大熊猫国家公园暨自然保护区矿业权退出方案》, 在空间用途管制^[1]、统一确权管理^[2]等方面取得了良好的成效。

环境政策如何引导区域生态文明建设水平提高一直以来是一个热点问题^[3]。大量学者从能源系统^[4]、成本-效益^[5]、环境影响^[6]、生产效率^[7]、政策强度^[8]等角度, 通过计量模型、评价指标体系等方式研究环境政策, 并提出如加大环境污染监管力度^[9]、提高污染排放定额标准^[10]、强化公众参与的监督管理意识^[11]、加快建立生态空间管理体系^[12]等建议。然而, 不同区域之间不可能使用完全相同的环境政策来促进产业、经济、环境的协调发展; 同时不同时代背景下的环境问题和“环境库兹涅茨曲线”一样具有阶段性特征。这表明环境政策也具有时效性, 当环境污染和恢复治理的条件转变时, 部分甚至全部的环境政策会失效^[13]。因此, 评估当前矿产资源开发环境政策的时效性尤为重要, 在“共抓大保护, 不搞大开发”战略下, 优先采用何种政策推动矿

作者简介: 方传棣(1989~), 男, 博士后, 主要研究方向为矿产资源经济. E-mail:fangchuandi@163.com.

基金项目: 国家社会科学基金项目(18VJ037);生态环境部项目(21110107)

业绿色发展是一个重大科学命题。

近年来 SWOT 分析和 MCDM 相结合的创新方法在资源环境科学领域中受到广泛应用，通过该方法评估政策的优先级能够为国家或区域战略发展和决策提供重要依据。如 Muhammad 等^[14]分析了开发天然气市场是伊朗经济增长最优政策；Wang 等^[15]发现开发风能、太阳能、生物质能够保障巴基斯坦的能源供给安全。Zeynel 等^[16]认为不断更新实际土地信息是加强土地资源管理的最有效手段；Petra 等^[17]认为有效利用自然资源发展生态旅游是斯洛文尼亚山区可持续发展的首要目标；Enamul 等^[18]分析得出孟加拉国的跨境电力贸易关键战略是与其他国家共同开发并签署电力贸易协议；Sudabe 等^[19]认为采取加强污染源管控、分析尾矿库中的有害元素和废弃物循环利用是伊朗矿山环境治理优先级最高的政策。

综上所述，有关长江经济带矿产资源开发环境保护政策的研究与分析已屡见不鲜，然而，对其展开优先级分析的研究并不多见；同时，据我们所知，目前还没有通过 SWOT 分析与 MCDM 结合的方法对长江经济带矿产资源开发环境保护政策进行分析的研究。基于此，本文通过 SWOT 分析确定长江经济带矿产资源开发环境保护战略的内部和外部因素，应用 AHP 法获取每个 SWOT 分析中指标的权重，最后根据 MCDM 方法中的模糊 TOPSIS 法对其替代方案进行优先级排序，推进长江经济带矿产资源开发与生态环境保护协调发展。

1 长江经济带矿产资源开发环境保护政策概况

长江经济带是我国重要的矿产资源基地，该地区的矿产资源为国家和区域经济社会发展提供了重要的原材料，对我国资源保障起到积极作用。据自然资源部中国地质调查局资料显示，截止 2016 年，在全国已探明的 148 种矿产资源中，长江经济带沿线各省已找到 120 多种，其中已探明储量可供开采利用的有 99 种，在 38 种常规矿产中，储量占全国 20%~60%的共有 29 种。磷、萤石、铜、钨、锡、铋等战略性矿产的产量占全国的比重均超过 60%，其中磷矿产量占比更是高达 96.88%。

伴随着矿产资源的大规模持续开发利用，生态环境保护政策越来越受到重视^[20]。表 1 列明了自 1973 年以来我国主要的矿产资源开发生态环境保护政策及其内容。面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，自 2012 年党的“十八大”召开以来，党和国家予以长江流域环境问题高度重视，2016 年 1 月，习近平总书记在重庆召开推动长江经济带发展座谈会时强调“当前和今后相当长一个时期，要把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护，不搞大开发”。同年 3 月，《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》指出要，坚持生态优先、绿色发展的战略定位，把修复长江生态环境放在首要位置，推动长江上中下游协同发展、东中西部互动合作，建设成为我国生态文明建设的先行示范带、创新驱动带、协调发展带。至此，长江经济带包括矿产资源开发在内的一切经济活动，均要以“生态优先”为首要的原则，共抓大保护，不搞大开发。2018 年 4 月，习近平总书记在武汉召开深入推动长江经济带发展座谈会上强调“要正确把握生态环境保护和经济发展的关系，探索协同推进生态优先和绿色发展新路子”、“坚持新发展理念，”、“坚持共抓大保护、不搞大开发，加强改革创新、战略统筹、规划引导，以长江经济带发展推动经济高质量发展”。相关政策与规划方案均对长江经济带矿产资源开发生态环境保护与修复提出了明确要求，“共抓大保护，不搞大开发”已成为新时期推动长江经济带矿业发展的新要求 and 总战略。

表 1 矿产资源开发与环境保护政策及其主要内容

时间	政策及其主要内容
1973 年	第一次全国环境保护会议讨论通过的《关于保护和改善环境的若干规定》提出“自然资源开发应考虑其对气象、水土资源、水土保持等自然环境的影响”，随后出台了《关于保护和改善环境的若干规定》、《环境保护法》等相关政策
1989 年	《环境保护法》第十九条指出，“开发利用自然资源，必须采取措施保护生态环境”
1998 年	国家环境保护局被升格为国家环境保护总局，并提出《全国生态环境建设规划》、《全国生态环境保护纲要》、《关于加

	强资源开发生态环境保护与监管工作的意见》等
2000年	首次提出了“绿色矿业”概念，即在矿山环境扰动量小于区域环境容量的前提下，实现矿产资源开发最优化和生态环境影响最小化
2001年	《全国矿产资源规划》中提出要“坚持在保护中开发，在开发中保护的方针，开源与节流并举，开发与保护并重，把节约放在首位”
2005~2009年	《国务院关于全面整顿和规范矿产资源开发秩序的通知》、《关于逐步建立矿山环境治理和生态恢复责任机制的指导意见》、《关于开展生态补偿试点工作的指导意见》、《矿山地质环境保护规定》《全国矿产资源规划(2008-2015)》等，解决矿山布局不合理、经营粗放、浪费资源、破坏环境、安全生产事故频发等问题
2010~2015年	《生态文明体制改革总体方案》、《环境保护法(修订)》、《“十一五”生态环境保护规划》、《关于加快绿色矿山建设的实施意见》、《土地复垦条例》等，着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构
2016年至今	《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《长江经济带生态环境保护规划》、《长江经济带发展规划纲要》、《关于健全生态保护补偿机制的意见》、《生态环境损害赔偿制度改革方案》、《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》《自然保护区内矿业权清理工作方案》、《关于取消矿山地质环境治理恢复保证金建立矿山地质环境治理恢复基金的指导意见》等，探索推进生态优先和绿色发展新路子，推动经济高质量发展

2 研究方法

2.1 SWOT 分析方法

SWOT 分析是一种较常见的战略分析方法，通过对被分析对象的优势、劣势、机会和威胁综合评估并建立矩阵得出结论。SWOT 矩阵由一个二维坐标表组成，该矩阵是决策人员比较内部和外部信息并提供可能替代方案的重要工具之一^[21]。但是，SWOT 分析方法无法对要素进行定量评估^[22]，同时也无法客观地比较因素之间的优先性。而将 SWOT 分析与 MCDM 相结合能有效解决 SWOT 分析无法有效量化的问题，同时有利于提高政策分析和战略决策的准确性^[23]。因此，通过 AHP 法获得每个 SWOT 因素的权重。

一般 SWOT 分析有两个关键阶段：(1) 建立 SWOT 矩阵；(2) 利用 SWOT 矩阵形成方案。SWOT 矩阵的建立分为两个方面：(1) 列出内部因素，即优势和劣势；(2) 列出外部因素，即列出机会和威胁。具体分析见 3.1 节。

2.2 层次分析法(AHP)

多准则决策方法(Multi-criteria Decision-making, MCDM)是分析决策理论的重要内容之一。常见的 MCDM 方法包括网络分析法(Alytic Network Process, ANP)、层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)、ELECTREE 法(Elimination and Choice Expressing the Reality)、PROMETHEE 法(Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations)、WASPAS 法(Weighted Aggregated Sum-Product Assessment)、ARAS 法(Additive Ratio Assessment)、VIKOR 法和 TOPSIS 法^[24]，这些方法用于评估水电规划、能源管理与环境评估等复杂系统决策问题十分贴切^[25]，如 Tolga K 等通过集成的 VIKOR-AHP 方法确定了优先开发风能是伊斯坦布尔可再生能源开发的最佳选择^[26]。

层次分析法是多准则决策方法的一种，在自然资源规划、环境评价等研究中最合适的方法之一^[27]。这种方法所需定量数据信息较少，同时简洁实用，是一种较常见的确定权重的方法。AHP 法一般分为两个部分，首先构建决策模型的层次结构矩阵，其

中，决策目标和问题以层次顺序相互关联，本文通过专家打分法构造矩阵；其次建立成对比较矩阵模型，采用 Saaty 提出的所列 1~9 标度方法^[28]，如表 2 表示。

表 2 1~9 标度含义及取值

因素 i 对比因素 j	取值	倒数
同等重要	1	1
稍微重要	3	1/3
明显重要	5	1/5
强烈重要	7	1/7
极度重要	9	1/9
两个因素的判断中间值	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

由于专家打分的主观性容易导致构造的判断矩阵误差过大，故需要对判断矩阵进行一致性检验，首先根据判断矩阵的最大特征值计算一致性指标 CI。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中：n 是矩阵的维数； λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值。再计算一致性比例 CR。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中：RI 为随机一致性指标，取值见表 3，通常 $CR < 0.1$ 时，判断矩阵的一致性检验通过。本文使用 YAAHP 软件 (版本 10.5) 来确定 AHP 法的权重。

通过 AHP 法可确定矿产资源开发环境保护战略问题中存在的多准则结构权重，因为它可以更充分地考虑 SWOT 矩阵因素之间的相互关系。随后，基于模糊 TOPSIS 方法确定矿产资源开发环境政策的优先级并进行排名，模糊 TOPSIS 方法属于 MCDM 的一种，相较于经典的 TOPSIS 方法，首先要确定模糊集再进行排序，模糊 TOPSIS 方法可以更有效地应对相关决策过程中存在的不确定性^[29]。

表 3 随机一致性指标 (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56
----	---	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

2.3 模糊 TOPSIS 方法

2.3.1 模糊集理论

模糊集理论是由 Zadeh 于 1965 年提出^[30], 这种方法通过设定一个模糊集合, 建立适当的隶属函数, 并运算解释研究对象的模糊现象。由于环境政策之间的关系存在亦此亦彼的模糊现象, 因此模糊集方法十分实用。模糊集的基本定义如下:

设 X 为一个集合, 其元素为 x , 表示为 $X=\{x\}$, 那么模糊集合可以表示为:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \quad (3)$$

其中, $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ 是模糊集 A 的隶属函数, $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 是隶属度。

由于三角模糊数的概念与计算简单, 在实际中被广泛应用, 因此本文选择用三角模糊数进行模糊定义。一般的三角模糊数可以表示为 $\tilde{X}=(x_1, x_2, x_3)$, 其中, $x_1, x_2, x_3 \in \Phi (x_1 \leq x_2 \leq x_3)$, 那么其隶属函数可以表示为:

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} \frac{x-x_1}{x_2-x_1}, & (x_1 \leq x \leq x_2) \\ \frac{x_3-x}{x_3-x_2}, & (x_2 \leq x \leq x_3) \end{cases} \quad (4)$$

三角模糊数还能用来定义语言变量, 这对于评价政策方案非常有效^[31]。表 4 显示了语言变量和三角模糊数的评级表。

表 4 语言变量和三角模糊数评级

语言变量	三角模糊数评级
很差	(1, 1, 3)
差	(1, 3, 5)
中等	(3, 5, 7)
好	(5, 7, 9)
很好	(7, 9, 9)

2.3.2 模糊 TOPSIS 计算方法

TOPSIS 法是系统工程多属性多目标决策的一种常用方法,相较于其他方法,在多系统评价和直接体现数据源间的差异性方面具有普适性、客观性强的优点,可用于效益评价、决策、管理多个领域,基本思路是对评价指标的最优理想解和最劣理想解进行排序^[32]。鉴于此,模糊 TOPSIS 法为处理模糊环境下的不确定性,不可测量和不完整信息等问题提供了一种重要途径。其计算方法如下:

设 $\tilde{X} = (x_1, x_2, x_3)$ 和 $\tilde{Y} = (y_1, y_2, y_3)$ 为两个模糊数,则他们之间的数学关系为:

$$\begin{aligned} \tilde{X} + \tilde{Y} &= (x_1, x_2, x_3) + (y_1, y_2, y_3) \\ &= (x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tilde{X} \times \tilde{Y} &= (x_1, x_2, x_3) \times (y_1, y_2, y_3) \\ &= (x_1 y_1, x_2 y_2, x_3 y_3) \end{aligned} \quad (6)$$

再设 $\tilde{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3})$ 为三角模糊数,标准化后的决策矩阵可以表示为:

$$\tilde{R} = [r_{ij}]_{m \times n} \quad (7)$$

其中, $i=1, 2, 3 \dots m; j=1, 2, 3 \dots n$; 正向指标和逆向指标分别为:

$$\text{正向: } r_{ij} = \left(\frac{x_{1ij}^+}{x_{3j}^+}, \frac{x_{2ij}^+}{x_{3j}^+}, \frac{x_{3ij}^+}{x_{3j}^+} \right) \quad (8)$$

$$\text{逆向: } r_{ij} = \left(\frac{x_{1j}^-}{x_{3ij}^-}, \frac{x_{2j}^-}{x_{2ij}^-}, \frac{x_{1j}^-}{x_{1ij}^-} \right) \quad (9)$$

再获得每个子要素的模糊加权决策矩阵: $\tilde{V} = [v_{ij}^-]_{m \times n} \quad (10)$

其中, $i=1, 2, 3 \dots m; j=1, 2, 3 \dots n; v_{ij} = r_{ij} \times w_j$;

再计算模糊最优理想解距离 d_i^+ 和最劣理想解距离 d_i^- : $d_i^+ = (v_1^+, v_2^+, v_3^+, \dots, v_n^+) \quad (11)$

其中, $V_j^+ = (1, 1, 1), j=1, 2, 3 \dots n$;

$$d_i^- = (v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_n^-) \quad (12)$$

其中, $V_j^- = (0, 0, 0), j=1, 2, 3 \dots n$;

两个三角模糊数 $\tilde{X} = (m_1, m_2, m_3)$ 和 $\tilde{Y} = (n_1, n_2, n_3)$ 之间的距离可以表示为:

$$d(\tilde{X}, \tilde{Y}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (13)$$

再计算各个方案与理想解距离的接近程度:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (14)$$

最后根据各个方案与理想解距离的接近程度进行排序。

3 长江经济带矿产资源开发环境保护政策分析

本文的研究框架如图 1 所示, 主要分为 3 个主要阶段来评估长江经济带矿产资源开发 2025 年的预期目标。通过纳入当前矿产资源开发政策、环境问题及区域经济发展特征设计了框架, 再通过 SWOT 分析关键因素及替代方案, 并将 AHP 得到的权重与模糊 TOPSIS 方法结合得到最终排序, 探索政策的优先性。

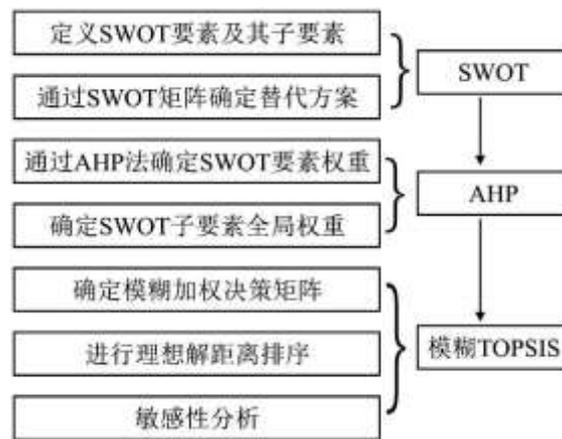


图 1 综合 SWOT-AHP 和模糊 TOPSIS 方法的研究框架

3.1 SWOT 矩阵结果分析

在进行对长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的优势、劣势、机会、威胁分析前, 首先对长江经济带矿产资源开发和生态环境的情况进行梳理。据中国统计年鉴显示, 2016 年, 长江经济带区域面积约 277 万 km^2 , 人口和生产总值分别约占全国的 43.0% 和 45.5%; 森林面积 6187 万 hm^2 , 林木蓄积量占全国 1/4, 森林覆盖率达 41.3%, 湿地面积 2500 多万 hm^2 , 水资源总量 9958 亿 m^3 , 约为全国平均值的两倍。长江经济带平均单位 GDP 能耗排放量为 0.52 万 t 标准煤/亿元, 江苏省单位 GDP 能耗排放量最小, 为 0.43 万 t 标准煤/亿元, 贵州省单位 GDP 能耗排放量最大, 为 0.95 万 t 标准煤/亿元; 长江经济带平均单位 COD 排放生产总量为 376.24 亿元/万 t, 平均单位工业产值工业氨氮排放量为 0.67t/亿元, 平均单位工业产值工业二氧化硫排放量为 47.18t/

亿元^[33]。

据自然资源部中国地质调查局资料显示，长江经济带页岩气可采资源量为 15.5 万亿 m³，占全国 62%，集中分布在长江经济带的重庆涪陵、四川长宁-威远、云南昭通、湖北宜昌及恩施等地。2016 年，长江经济带的能源矿产中页岩气储量占到了全国的 100%，天然气也达到了 31.91%；金属矿产资源中，锂矿储量达到了 92.1%，其次是钨矿 74.4%，锡矿 52.82%，锑矿 43.13%，铜矿 36.33%；非金属矿产资源中磷矿储量占比达到了 88.5%，普通萤石达到了 84.36%。长江经济带矿山地质灾害共引发 6311 处，造成经济损失 45.62 亿元。

根据如以上资料显示和部分文献分析^[34,35]，再根据有关专家和学者建议以及讨论后得出可能会产生的影响因素及其子因素，将四个要素相结合，得到包括“优势-机会”(SO)，“优势-挑战”(ST)，“劣势-机会”(WO)和“劣势-挑战”(WT)四种不同替代政策，最终得出长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的 SWOT 分析矩阵。替代政策主要根据长江经济带各省市的《矿产资源规划》、《矿产资源规划环境影响评价》和《长江经济带发展报告》以及相关文献资料得出。表 5 列明了 SWOT 矩阵以及从 SWOT 分析中获得的 10 种不同替代方案。替代方案进一步详细说明如下：

3.1.1 S01 战略

加强自然资源资产管理的目的是明确自然资源资产产权，实现国家对自然资源资产的控制，减少开发利用过程中的负面影响，实现市场化配置，提高资源利用效率，保障公平竞争和实现利益的合理分配。矿产资源隶属自然资源的一种，其所有权属于国家，并在我国《宪法》中明确规定。企业只能获得矿产资源的采矿权与探矿权，而矿产资源开发造成的环境污染与生态破坏属于外部经济行为，国家与企业必须对这种环境外部性给予相应支付或补偿。

3.1.2 S02 战略

长江经济带战略性或新兴矿产资源优势明显。页岩气、地热等新型清洁能源开发利用前景好，锂、稀土、钒、钛、钨、锡等战略性矿产资源储量丰富，为打造清洁低碳能源产业带，助推战略性新兴产业发展奠定了良好基础，是支撑长江经济带高质量发展的有利条件。

表 5 长江经济带矿产资源开发环境保护战略 SWOT 矩阵

影响因素	内部因素	优势(S)	劣势(W)
外部因素		S1:长江经济带生态系统良好,生态修复能力强 S2:清洁能源,战略性矿产资源储量丰富 S3:区位优势强,便于开展跨区域合作与联动	W1:矿业结构不合理,大中型矿山数量比例较低 W2:地质灾害、地质环境问题导致治理难度加大 W3:部分限制开采区在自然保护区内,挤占生态空间 W4:优势矿种超采量大,资源环境承载力超载
机会(O)	O1:加快推动绿色矿山建设 O2:促进矿产资源开发利用与环保技术水平提高 O3:有助于保障矿业园区和矿业城市人居安全	S0 战略: S01:加强自然资源资产管理 S02:优先开采清洁与新兴矿产	WO 战略: W01:保证生态红线内矿业权有序退出 W02:分矿种实行差异化的生态环境保护与修复 W03:加强重点矿区的风险管控
威胁(T)	T1:本地经济发展对矿产资源开发依赖度较高 T2:环境治理成本	ST 战略: ST1:提高矿业产业集中度 ST2:加强对高污染矿产总量管理	WT 战略: WT1:严格落实生态环境损害赔偿制度 WT2:建立市场化、多元化的矿产资源开发生态补偿

	提高 T3:废水、固废等污染排放量大	ST3:增加矿山环境恢复治理资金投入	制度
--	--------------------	--------------------	----

3.1.3 W01 战略

自然保护区内探矿权、采矿权退出有着重要的时代背景，在生态文明理念日益增强的新时代，严格限制自然保护区内的矿产资源开发，采取必要的经济手段推进矿业权退出，是确保生态功能不降低、面积不减少、性质不改变的客观要求。

3.1.4 W02 战略

针对不同类型的矿产资源开采活动采取差异化的管控措施是处理“三废”的主要路径之一。能源矿产要妥善处置能源矿产尾矿及废石、废渣堆放问题；金属矿产要加强矿区内重金属污染源头防控；非金属矿产要加强对开采过程中影响和破坏的土地进行全面恢复治理。

3.1.5 W03 战略

加强重点矿区管控是构建集约、高效、协调的矿山开发新格局，实现科学发展、安全发展的需要。对于新建矿山严格控制最低开采规模；通过产业调整、转型升级、资源整合等方式解决已有矿山存在规模小、数量多、布局不合理、资源浪费严重、生态保护和安全生产压力大等突出问题。

3.1.6 ST1 战略

提高产业集中度是加快打造世界级矿山企业，合理完成矿山总体布局的有效方式之一。通过新建扩建、兼并重组等途径鼓励和引导矿山企业规模化开采，提高大中型矿山企业比重，压缩矿山数量，并加大对小矿山改造整合力度。

3.1.7 ST2 战略

加强对高污染矿产总量管理是有效实施主体功能区规划和生态保护要求的基础。根据国家产业政策、经济社会发展及资源环境保护的要求或国家特殊需要等，受经济、技术、安全、环境等多种因素的制约，对高污染矿产资源开发利用活动实行一定的限制。

3.1.8 ST3 战略

矿山环境治理由于其复杂的生态和地质环境导致恢复治理资金长期紧缺。通过适当增加治理矿山地质环境的资金、建立矿山地质环境恢复治理基金、合理安排地方存量矿山地质环境治理恢复保证金，引导矿山企业增加矿山环境保护和治理投入，国有矿山在计划经济时期形成的或责任人已经灭失的、因矿山开采活动造成矿山地质环境破坏的恢复和治理。

3.1.9 WT1 战略

生态环境损害赔偿制度是生态文明制度体系的重要组成部分。明确生态环境损害赔偿范围、责任主体、索赔主体、损害赔偿解决途径，按照流域统一管理要求，协商推进流域保护与治理，联合查处跨界违法行为，建立重大工程项目环评共商、环境污染应急联防机制，加快推进生态环境损害赔偿制度改革试点，继续完善长江经济带各省市矿产资源开发生态环境损害赔偿。

3.1.10 WT2 战略

建立市场化、多元化的矿产资源开发生态补偿制度是促进矿产资源开发与生态环境保护相协调的一项重要工作。以生态环境质量改善为核心，将纵向补偿机制与横向补偿机制相结合，推动建立流域矿产资源生态补偿机制，充分调动流域上下游地区的积极性，加快形成“成本共担、效益共享、合作共治”的流域保护和治理长效机制。

3.2 AHP 法的结果分析

根据 AHP 方法，采取 1~9 标度的方式获得关于决策目标的 SWOT 因子和子因子的成对比较矩阵，并通过 YAAHP (版本 10.5) 得出各因素的权重值。相关研究表明，对于群体决策中各个优先级比较无论采取几何均值和算术均值都是合适的。

但是，就判断优先事项的意义而言，几何均值方法相较而言更可靠。因此，本文采用几何均值的方式汇总最终的优先级矩阵，从而提供 SWOT 因素和子因素的权重，所有成对比较均在专家的意见和指导下完成。

表 6~表 10 显示了 SWOT 因素及其子因素的判断矩阵及权重值，每个矩阵都通过了 $CR < 0.1$ 的一致性检验。结果表明，劣势因素相比其他 3 个因素应该获得更高的关注度。其中，劣势因素的权重为 0.3943，优势因素的权重为 0.2234，机会因素的权重为 0.2867，威胁因素的权重为 0.0956。比较各个因素的子因素，优势因素中，良好的生态系统与丰富的清洁与新兴矿产资源成为了长江经济带矿产资源开发环境保护的主要优势，权重值均为 0.4286；劣势因素中，资源环境承载力超载是当前需要面临的主要难题，权重值为 0.4439；机会因素中，推动长江经济带矿业绿色发展与保证矿业园区人居安全的机会要大于其他因素，权重值均为 0.4286；威胁因素中，污染排放量大相较而言是对长江经济带矿产资源开发环境保护急需攻克的主要威胁之一，权重值为 0.6586。

表 6 SWOT 因素矩阵和权重

SWOT 因素	S	W	O	T	权重
S	1	1/3	1	3	0.2234
W		1	1	3	0.3943
O			1	3	0.2867
T				1	0.0956

表 7 优势因素矩阵和权重

优势(S)	S1	S2	S3	权重
S1	1	1	3	0.4286
S2		1	3	0.4286
S3			1	0.1429

表 8 劣势因素矩阵和权重

劣势(W)	W1	W2	W3	W4	权重
W1	1	3	1/3	1/5	0.1368
W2		1	1/3	1/5	0.0779
W3			1	1	0.3414
W4				1	0.4439

表 9 机会因素矩阵和权重

机会(O)	O1	O2	O3	权重
O1	1	3	1	0.4286
O2		1	1/3	0.1429
O3			1	0.4286

表 10 威胁因素矩阵和权重

威胁(T)	T1	T2	T3	权重
T1	1	1	1/3	0.1852
T2		1	1/5	0.1562
T3			1	0.6586

再不论分组对所有 13 个 SWOT 子因素进行全面分析，表 11 显示了 SWOT 所有子因素的全局权重。结果表明，缓解长江经济带资源环境承载力尤为重要，在全部子因素的权重最高，为 0.1750；其次影响长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的是矿产资源开发挤占生态空间，其权重为 0.1346；全局权重最低的为环境治理成本提高，为 0.0149。

表 11 SWOT 因素及其子因素的权重值

因素	权重	子因素	局部权重	全局权重
S	0.2234	S1	0.4286	0.0958
		S2	0.4286	0.0958
		S3	0.1429	0.0319
W	0.3943	W1	0.1368	0.0540

		W2	0.0779	0.0307
		W3	0.3414	0.1346
		W4	0.4439	0.1750
O	0.2867	O1	0.4286	0.1229
		O2	0.1429	0.0410
		O3	0.4286	0.1229
T	0.0956	T1	0.1852	0.0177
		T2	0.1562	0.0149
		T3	0.6586	0.0629

3.3 模糊 TOPSIS 法的结果分析

3.3.1 模糊 TOPSIS 的结果

通过 SWOT 分析后我们得到了长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的替代方案，并通过 AHP 法获得了权重，再通过专家建议与讨论的形式确定替代方案的决策矩阵。替代方案的决策矩阵根据专家匿名打分后加权平均得出，主要通过个体访问和集体座谈两种形式完成，对象主要为长江经济带各省市自然资源部门和生态环境部门专家以及相关学者，共获得 10 份专家打分表。再根据专家组用语言变量表示替代方案来建立决策矩阵，根据公式 (7)~公式(10)构造标准化后的模糊加权决策矩阵，表 12 和表 13 列出了两个矩阵的结果。最后通过公式(11)~公式(14)计算出 SWOT 因素替代方案与理想解的距离并进行优先排序。

表 12 替代方案的评估矩阵

	S01	S02	W01	W02	W03	ST1	ST2	ST3	WT1	WT2
S1	好	中	很好	中	好	差	中	差	好	好
S2	好	好	很差	中	差	中	好	很差	中	差
S3	差	很好	好	差	好	差	中	差	差	中
W1	中	很好	很好	差	好	很好	差	差	差	很差
W2	差	中	好	中	中	差	好	好	很好	好
W3	中	中	很好	差	中	好	好	好	很好	好
W4	好	好	很好	好	好	差	好	差	好	好
O1	好	中	很好	中	好	中	好	好	好	中
O2	很差	好	中	中	差	差	中	差	差	中

O3	差	好	好	差	很好	很差	好	中	好	中
T1	差	差	中	很差	差	好	差	差	很差	差
T2	差	好	中	差	中	差	好	好	好	好
T3	差	好	好	好	中	差	中	很好	很好	中

表 13 标准化后的模糊加权决策矩阵

	S01	S02	W01	W02	W03
S1	0.05, 0.07, 0.09	0.03, 0.05, 0.07	0.07, 0.09, 0.09	0.03, 0.05, 0.07	0.05, 0.07, 0.09
S2	0.05, 0.07, 0.09	0.05, 0.07, 0.09	0.01, 0.01, 0.03	0.03, 0.05, 0.07	0.01, 0.03, 0.05
S3	0, 0.01, 0.02	0.02, 0.03, 0.03	0.02, 0.02, 0.03	0, 0.01, 0.02	0.02, 0.02, 0.03
W1	0.01, 0.02, 0.03	0.03, 0.04, 0.04	0.03, 0.04, 0.04	0, 0.01, 0.02	0.02, 0.03, 0.04
W2	0, 0.01, 0.01	0.01, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.02	0.01, 0.01, 0.02	0.01, 0.01, 0.02
W3	0.03, 0.06, 0.8	0.03, 0.06, 0.08	0.08, 0.1, 0.1	0.01, 0.03, 0.06	0.03, 0.06, 0.08
W4	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.1, 0.13, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13
O1	0.07, 0.1, 0.13	0.04, 0.07, 0.1	0.1, 0.13, 0.13	0.04, 0.07, 0.1	0.07, 0.1, 0.13
O2	0, 0, 0.01	0.02, 0.03, 0.04	0.01, 0.02, 0.03	0.01, 0.02, 0.03	0, 0.01, 0.02
O3	0.01, 0.04, 0.07	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.01, 0.04, 0.07	0.1, 0.13, 0.13
T1	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.03	0, 0, 0.01	0, 0.01, 0.02
T2	0, 0.01, 0.02	0.02, 0.02, 0.03	0.01, 0.02, 0.02	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.02
T3	0.01, 0.04, 0.07	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.04, 0.07, 0.1
	ST1	ST2	ST3	WT1	WT2
S1	0.01, 0.03, 0.05	0.03, 0.05, 0.07	0.01, 0.03, 0.05	0.05, 0.07, 0.09	0.05, 0.07, 0.09
S2	0.03, 0.05, 0.07	0.05, 0.07, 0.09	0.01, 0.01, 0.03	0.03, 0.05, 0.07	0.01, 0.03, 0.05
S3	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.02	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.02
W1	0.03, 0.04, 0.04	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0, 0, 0.01
W2	0, 0.01, 0.01	0.01, 0.02, 0.02	0.01, 0.02, 0.02	0.02, 0.02, 0.02	0.01, 0.02, 0.02
W3	0.06, 0.08, 0.1	0.06, 0.08, 0.1	0.06, 0.08, 0.1	0.08, 0.1, 0.1	0.06, 0.08, 0.1

W4	0.01, 0.04, 0.07	0.07, 0.1, 0.13	0.01, 0.04, 0.07	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13
O1	0.04, 0.07, 0.1	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.07, 0.1, 0.13	0.04, 0.07, 0.1
O2	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.03	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0.01, 0.02, 0.03
O3	0.01, 0.01, 0.04	0.07, 0.1, 0.13	0.04, 0.07, 0.1	0.07, 0.1, 0.13	0.04, 0.07, 0.1
T1	0.02, 0.03, 0.04	0, 0.01, 0.02	0, 0.01, 0.02	0, 0, 0.01	0, 0.01, 0.02
T2	0, 0.01, 0.02	0.02, 0.02, 0.03	0.02, 0.02, 0.03	0.02, 0.02, 0.03	0.02, 0.02, 0.03
T3	0.01, 0.04, 0.07	0.04, 0.07, 0.1	0.1, 0.13, 0.13	0.1, 0.13, 0.13	0.04, 0.07, 0.1

表 14 获得了通过模糊 TOPSIS 法对 SWOT 因素的 10 种替代方案的优先顺序。结果表明，保证生态红线内矿业权有序退出是 SWOT 分析得出的最佳战略方案，其得分 W01 为 0.0618；其次为严格落实生态环境损害赔偿制度，得分 WT1 为 0.572；优先开采清洁与新兴矿产资源位列第三，得分 S02 为 0.0553；加强对高污染矿产资源开采的总量管理位列第四，得分 ST2 为 0.0552；第五为加强重点矿区的风险管控，得分 W03 为 0.536；第六为建立市场化、多元化的矿产资源开发生态补偿制度，得分 WT2 为 0.0490；加强自然资源资产管理、分矿种实行差异化的生态环境保护与修复、增加矿山环境恢复治理资金投入、提高矿业产业集中度排在第七、第八、第九和第十，得分 S01、W02、ST3、ST1 分别为 0.0473、0.0426、0.0422、0.0382。所获得的替代方案及其结果均支持未来的长江经济带矿产资源开发生态环境保护发展战略，旨在当前和今后相当长一个时期，要把修复长江生态环境摆在压倒性位置，“共抓大保护，不搞大开发”，符合以持续的强劲动力来推动长江经济带的高质量发展。

表 14 模糊 TOPSIS 得出的最终排名

方案	d^+_i	d^-_i	接近程度 C_i	排名
S01	12.42	0.62	0.0473	7
S02	12.30	0.72	0.0553	3
W01	12.21	0.80	0.0618	1
W02	12.48	0.56	0.0426	8
W03	12.33	0.70	0.0536	5
ST1	12.54	0.50	0.0382	10
ST2	12.31	0.72	0.0552	4
ST3	12.48	0.55	0.0422	9
WT1	12.28	0.75	0.0572	2
WT2	12.39	0.64	0.0490	6

3.3.2 敏感性分析

为了确定 AHP 所得出的评价指标权重是否会直接对替代方案的决策矩阵产生偏好影响，导致结果产生人为因素的偏差，本文通过敏感性分析进行调查。本文选择在 SWOT 子因素不变的情况下，通过侧重优势、劣势、机会、威胁的不同倾向偏好改变 SWOT 因素的权重再进行优先级排序，最终得到敏感性分析结果。需特别说明的是，除表 15 中的 10 种不同权重方案外，我们还计算出了多种权重方案的结果(不考虑 SWOT 矩阵其中一项权重为 0 的方案)，结果表明排在第四名到第八名的方案发生少许变化外，其余结果并未发生太大的变化。因此，借鉴相关研究案例的成果，本文仅列明已有研究^[18]中有关学者设置的 10 种较为常见的权重方案进行敏感性分析，而不考虑特殊情况下的权重。表 15 显示了 10 种不同实验方案下的权重。

通过前文的计算方法，求出不同权重下的方案到理想解的距离并排序，表 16 列明了 10 种实验方案下的敏感性分析结果。结果表明，个别方案的实验结果与实际排名有所不同：与 ST2 实际排名相同的实验结果占有所有实验的 20%，与 S01 实际排名相同结果的占比为 30%，与 W02 和 WT2 实际排名相同结果的占比均为 70%，与 ST1 实际排名相同结果的占比为 90%，其余方案的全部实验结果与实际排名相同。可以发现，排名前 5 位的方案均与所有实验结果相同，方案的优先顺序保持不变，因此，敏感性分析的结果表明模糊 TOPSIS 法得出的优先级排序具有可靠性。

表 15 不同实验方案下的权重

因素	实际	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	实验 5	实验 6	实验 7	实验 8	实验 9	实验 10
S	0.22	0.25	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.1	0.35	0.15
W	0.39	0.25	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	0.35	0.15
O	0.29	0.25	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	0.15	0.35
T	0.10	0.25	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.4	0.15	0.35

表 16 敏感性分析结果

方案	实际	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	实验 5	实验 6	实验 7	实验 8	实验 9	实验 10
S01	7	8	9	7	9	7	8	6	9	7	9
S02	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
W01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W02	8	9	8	8	8	9	9	8	8	8	8
W03	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ST1	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
ST2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ST3	9	7	7	9	7	8	7	10	6	9	6
WT1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
WT2	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6	7

4 讨论与结论

近年来,生态环境保护战略已成为热点研究方向。随着中国特色社会主义进入新时代,经济高质量发展、生态环境保护与人们高质量的生活需求等,对矿产资源开发利用提出了更高要求。因此,应对矿产资源开发的生态环境保护战略对政府至关重要,因为它们对推进国家治理体系和治理能力现代化有诸多影响。为了正确把握环境保护与经济发展的关系,探索促进生态优先和绿色发展的新途径,以及正确把握自身发展与协调发展的关系,努力建设成为一个高效的经济体,长江经济带已经执行了许多生态环境保护政策。2017年,生态环境部、国家发展和改革委员会、水利部会同有关部门编制了《长江经济带生态环境保护规划》。据《长江经济带生态环境保护规划》显示,到2020年,生态环境明显改善,生态系统稳定性全面提升,河湖、湿地生态功能基本恢复,生态环境保护体制机制进一步完善。到2030年,干支流生态水量充足,水环境质量、空气质量和水生态质量全面改善,生态系统服务功能显著增强,生态环境更加美好。

生态环境保护战略需要优先开展何种政策是需要解决的重要科学问题,特别是针对矿产资源开发这种需要“点上开发、面上保护”的保护政策。本文的目标是确定长江经济带矿产资源开发环境保护政策的优先级,因此,从一直努力制定和已有效实施的政策出发,通过SWOT分析探索实施长江经济带矿产资源开发生态环境保护政策优势、劣势、机会和威胁因素,并拟定了10种替代方案,再根据AHP法确定权重,最后应用模糊TOPSIS法进行政策优先级的排序,为短期内重塑矿产资源开发利用布局,提高矿产资源的保障能力与现代化治理能力,以及中长期构建矿产资源开发与生态环境协调发展,并达到建成区域高质量发展的黄金经济带的目标奠定基础。

研究表明,10种替代方案中,保证生态保护红线内矿业权有序退出的优先度最高。主要原因是长江经济带作为我国重要的生态宝库之一,年供水量超过2000亿立方米,保障了长江沿岸4亿人口的生活和生产需要,同时是我国南水北调工程取水水源。因此,它不仅在生态系统上,还在地理位置上非常重要,其生态功能区不仅需要保障区域内,还需要保障全国居民的生活和健康安全,矿业权退出已不可避免。考虑到我国需要承担在全球生态治理的大国责任,切实完成长江经济带生态环境保护规划2030年的预期目标,同时考虑到目前国际上对于战略性关键矿产资源竞争态势的不确定性,长江经济带需要严格落实矿山生态环境损害赔偿制度、优先开采清洁与新兴矿产资源、加强对高污染矿产资源开采的总量管理以及加强重点矿区的风险管控,因此它们的优先度排在第二、第三、第四和第五位,一方面满足高要求的环境准入条件,另一方面保障新兴矿产和清洁矿产的供给安全。生态补偿制度是一项十分有效的环境政策工具,在其他领域成效突出,然而针对矿产资源开发这种用地包含多个生态系统类型,以及整体生产供应链较为复杂的产业,国内外的实证研究仍然较少,补偿标准仍难以确定,因此排在第六位。而加强自然资源资产管理、分矿种实行差异化的生态环境保护与修复、增加矿山环境恢复治理资金投入、提高矿业产业集中度由于其普适性和周期性,针对长江经济带的实际情况不如以上6种,排在后四位,实际上,这4种政策方案在其他地区效果良好。

本文的研究结果主要是分析不同政策方案并进行排序,而不是建议仅采用排名最优的单一政策方案。单一政策方案在长江经济带这种大流域尺度下仍不及多种组合政策更为有效。实际上,区域宏观战略决策与规划方案通常是采取多种不同政策结合的方式进行。因此,根据本文的研究结果,建议将保证生态保护红线内矿业权有序退出作为长江经济带矿产资源开发生态环境保护战略的主导方向,同时,仍需采用多种政策手段并存的方式完成。如对探矿权、采矿权期限分类按照成本补偿法、价值评估法强制要求自然保护区较多的地区矿业权退出、研究矿业权退出的企业意愿金额、中央财政对跨省流域上下游横向生态保护补偿给予矿业权退出支持等。

本文已基本实现研究目标,即确定长江经济带矿产资源开发生态环境保护政策的优先性。未来可以将其他MCDM方法,如ANP, ELECET, VIKOR和PROMETHEE的研究结果做进一步的比较研究,或针对其他区域进行比较分析,为保护长江经济带生态系统以及矿业绿色发展提供更有价值的参考。

参考文献:

-
- [1]张玉韩, 吴尚昆, 董延涛. 长江经济带矿产资源开发空间格局优化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4):839-852.
- [2]成金华, 彭昕杰. 长江经济带矿产资源开发对生态环境的影响及对策[J]. 环境经济研究, 2019, 4(2):125-134.
- [3]王昭. 理想类型视角下的中国环境治理经验: 相关文献的综述与引申[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9):2177-2185.
- [4]PFENNINGER S, KEIRSTEAD J. Renewables, nuclear, or fossil fuels? Scenarios for Great Britain's power system considering costs, emissions and energy security[J]. Applied Energy. 2015, 152:83-93.
- [5]梁辉, 王春凯. 产业发展对城市蔓延影响的差异性分析——以长江经济带 104 个城市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(6):1253-1261.
- [6]李虹, 熊振兴. 生态占用、绿色发展与环境税改革[J]. 经济研究, 2017, 52(7):124-138.
- [7]龙小宁, 万威. 环境规制、企业利润率与合规成本规模异质性[J]. 中国工业经济, 2017(6):155-174.
- [8]董颖, 石磊. “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评[J]. 生态学报, 2013, 33(3):809-824.
- [9]ALVAREZ S, CARBALLO-PENELA A, MATEO-MANTECÓN I, et al. Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats analysis of carbon footprint indicator and derived recommendations[J]. Journal of Cleaner Production. 2016, 121:238-247.
- [10]涂正革, 谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波特效应?[J]. 经济研究, 2015, 50(7):160-173.
- [11]周冯琦, 程进. 公众参与环境保护的绩效评价[J]. 上海经济研究, 2016(11):56-64, 80.
- [12]沈明, 沈镛, 钟帅, 等. 基于生态敏感条件的中国资源型城市去产能空间格局优化[J]. 资源科学, 2016, 38(10):1962-1974.
- [13]林伯强, 邹楚沅. 发展阶段变迁与中国环境政策选择[J]. 中国社会科学, 2014(5):81-95, 205-206.
- [14]KHAN M I. Evaluating the strategies of compressed natural gas industry using an integrated SWOT and MCDM approach[J]. Journal of Cleaner Production. 2018, 172:1035-1052.
- [15]WANG Y, LI X, SOLANGI Y A. Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP approach[J]. Sustainable Cities and Society. 2020, 52:101861.
- [16]POLAT Z A, ALKAN M, SÜRMENELI H G. Determining strategies for the cadastre 2034 vision using an AHP-Based SWOT analysis: A case study for the Turkish cadastral and land administration system[J]. Land Use Policy, 2017, 67:151-166.
- [17]GROŠELJ P, ZADNIK S L. The environmental management problem of Pohorje, Slovenia: A new group approach within ANP-SWOT framework[J]. Journal of Environmental Management. 2015, 161:106-112.
- [18]HAQUE H, DHAKAL S, MOSTAFA S. An assessment of opportunities and challenges for cross-border electricity trade

for Bangladesh using SWOT-AHP approach[J]. *Energy Policy*. 2020, 137.

[19] SHAHBA S, ARJMANDI R, MONAVARI M, et al. Application of multi-attribute decision-making methods in SWOT analysis of mine waste management (case study: Sirjan' s Golgohar iron mine, Iran) [J]. *Resources Policy*. 2017, 51:67-76.

[20] 吴巧生. 重塑长江经济带矿产资源开发利用格局[N]. *中国社会科学报*, 2019-05-15(004).

[21] CHEN W M, KIM H, YAMAGUCHI H, Renewable energy in eastern Asia: Renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promoting renewable energy in Japan, South Korea, and Taiwan [J]. *Energy Policy*, 2014, 74:319-329.

[22] VASSINEY E, MOCHET A M, COMOGLIO C. Use of multicriteria analysis (MCA) for sustainable hydropower planning and management [J]. *Journal of Environmental and Management*. 2017, 196:48-55.

[23] SARA T M, CHIARA D, STEFANO P C, et al. Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: A review of available spatial approaches [J]. *Journal of Cleaner Production*. 2017, 165:811-827.

[24] SOLANGI Y A, TAN Q M, MIRJAT N H, et al. Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach [J]. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 236:117655.

[25] BAS E. The integrated framework for analysis of electricity supply chain using an integrated SWOT-fuzzy TOPSIS methodology combined with AHP: The case of Turkey [J]. *Electrical Power and Energy Systems*. 2013, 44:897-907.

[26] KAYA T, KAHRAMAN C. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul [J]. *Energy*. 2010, 35(6):2517-2527.

[27] REN J, LÜTZEN M. Selection of sustainable alternative energy source for shipping: Multi-criteria decision making under incomplete information [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2017, 74:1003-1019.

[28] ERVURAL B C, ZAIM S, DEMIREL F, et al. An ANP and fuzzy TOPSIS-based SWOT analysis for Turkey' s energy planning [J]. *Renewable & sustainable energy reviews*. 2018, 2:1538-1550.

[29] 张芳兰, 杨明朗, 刘卫东. 基于模糊 TOPSIS 方法的汽车形态设计方案评价 [J]. *计算机集成制造系统*, 2014, 20(2): 276-283.

[30] WU Y, XU C, ZHANG T. Evaluation of renewable power sources using a fuzzy MCDM based on cumulative prospect theory: A case in China [J]. *Energy*. 2018, 147:1227-1239.

[31] ZARE K, MEHRI-TEKMEH J, KARIMI S. A SWOT framework for analyzing the electricity supply chain using an integrated AHP methodology combined with fuzzy-TOPSIS [J]. *International strategic management review*, 2015, 3(1-2): 66-80.

[32] 方传棣, 成金华, 赵鹏大. 大保护战略下长江经济带矿产-经济-环境耦合协调度时空演化研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(6):65-73.

[33]王振.长江经济带蓝皮书:长江经济带发展报告(2011-2015)[M].北京:社会科学文献出版社,2016.

[34]段学军,王晓龙,徐昔保,等.长江岸线生态保护的重大问题及对策建议[J].长江流域资源与环境,2019,28(11):2641-2648.

[35]成金华,朱永光,徐德义,等.产业结构变化对矿产资源需求的影响研究[J].资源科学,2018,40(3):558-566.