

基于模糊交叉熵与TOPSIS的碳审计 风险评估*

刘国城 陈意正 陈婕妤

(南京审计大学会计学院, 江苏 南京 211815)

[摘要] 审计在促进“双碳”目标实现的过程中发挥着重要的监督与评价作用,有效规范了企业的碳排放行为,推动了企业生产方式的绿色转型。当前,我国的碳审计发展尚处起步阶段,存在着诸如制度不健全、碳数据核算困难、碳审计人才缺乏等一系列问题,多种因素的叠加使得碳审计工作面临着极大的风险与挑战。在文献梳理的基础上,本文依托传统风险导向审计理论,首先从环境风险、固有风险、控制风险、检查风险四个层面建立碳审计风险评估指标体系;其次,借助模糊交叉熵和TOPSIS算法构架新型的碳审计风险评估模型,探索碳审计风险评估模型的运行步骤,明晰风险评估模型中的决策方案排序策略;再次,通过对特定案例的深入分析,阐释模糊交叉熵和TOPSIS风险评估模型在碳审计风险评估中的具体应用流程,全方位探究风险评估模型中各类运算结果的分析方法;最后,针对碳审计所面临的各种风险,相应地从碳审计模式设计、双碳大数据中心构建、人才队伍建设三个方面提出管理碳审计检查风险的措施与建议。有关研究思路和结论能够为审计组织如何发现碳审计存在的关键风险因素、衡量碳审计风险水平、评价和控制碳审计风险提供理论支持。

[关键词] 模糊交叉熵 TOPSIS 碳审计 风险评估 风险控制

[中图分类号] F239.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2024)03-0083-13

2020年9月22日,中国政府在第七十五届联合国大会上向全球宣布了中国的二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。2022年10月16日,习近平总书记在党的二十大报告中提出了要积极稳妥推进碳达峰碳中和。为实现“双碳”目标,审计需要发挥其应有的职能与作用,以保障国家发布的各项

“双碳”政策得以高效实施。2021年6月22日,中央审计委员会办公室、审计署发布《“十四五”国家审计工作发展规划》,指出:“重点关注碳排放碳达峰行动推进、绿色发展政策体系构建、‘绿色生态’约束性指标完成、生态保护补偿机制建设、生态安全和环境风险防控等情况,促进经济社会发展全面绿色转型。”

收稿日期: 2023-11-09; **修回日期:** 2023-12-28

***基金项目:** 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“基于模糊交叉熵和TOPSIS的碳审计风险评估研究”(SJCX23_1018); 江苏高校哲学社会科学研究项目“数字经济时代智能会计应用平台的模式设计与策略优化研究”(2022SJJZD057); 江苏高校“青蓝工程”中青年学术带头人资助项目

作者简介: 刘国城,博士,教授,硕士研究生导师,主要从事国家审计理论研究;陈意正,硕士研究生,主要从事碳审计理论研究;陈婕妤,硕士研究生,主要从事人工智能审计理论研究。

在“双碳”背景下,审计组织对政府和企业履行碳排放责任方面进行检查与鉴证,对碳排放管理活动及其成果进行监督与评价,能够有力保障“双碳”目标的落实、绿色经济的发展以及社会的可持续发展。然而,目前我国的碳审计发展尚处起步阶段,面临着碳审计制度不规范、碳审计准则不成熟、碳审计专业人才不足等一系列问题,这将导致审计人员在获取碳活动信息、评估碳政策完成情况、收集碳审计证据、管控碳审计风险等工作中遇到很多挑战。近年来,有关碳审计理论的研究刚刚起步,多数文献还在探究碳审计的丰富内涵,探析碳审计的实施框架,但对碳审计风险的研究相对匮乏。由上述提及的一系列问题发现,碳审计主体面临着诸多风险,学术界有必要强化碳审计风险方向的理论研究,以更好地指导审计人员的碳审计实践。基于此,本文借助传统风险导向审计模型,建立碳审计风险评估指标体系,基于模糊交叉熵和TOPSIS法构建碳审计风险评估模型,并通过具体案例分析模糊交叉熵和TOPSIS法在碳审计风险评估中的应用策略,以期对审计组织如何管理碳审计风险以及保障“双碳”政策有效落实提供建设性思路。

一、文献回顾

(一) 碳审计及其风险研究

作为经济发展中监督和制约的力量,审计对促进低碳经济、实现节能减排目标发挥着重要的作用。作为环境审计的一个分支,碳审计所具有的受托环境责任属性丰富了传统审计的内涵和外延^[1]。JANEK将碳审计定义为是对企业的碳账户以及碳信息在碳排放权交易市场进行交易前进行的第三方独立性鉴证^[2],碳审计本质是根据碳排放信息、碳排放行为以及碳排放制度对企业在生产经营过程中所消耗的含碳元素的自然资源进行鉴证^[3]。碳审计作为治理碳排放的一种重要机制,是我国推进生态文明建设、实现经济高质量发展的重要抓手^[4]。

尽管我国碳交易市场广阔,碳审计需求庞大,但我国的碳审计工作并未广泛融入至碳交易活动之中,且碳审计机制的缺失造成了碳交易市场运行进展缓慢^[5]。近年来,学术界缺乏有关碳审计方面的理论研究和实践总结,且缺少碳审计风险方面的理论探索。审计风险是风险导向审计理论中的核心概念,碳审计风险直接影响着碳审计质量,能否对碳审计风险进行有效识别已成为推动碳审计进一步发展的关键环节。姚丽琼探索资源型企业面临的由于碳排放政策导致的经营不确定性,并强调在碳审计实施中应引进风险导向机制^[6]。在风险导向机制基础上,施平等对现代风险导向理论模式下的碳交易审计程序进行了初步构建^[7]。文献梳理发现,部分学者从不同层面分析碳审计风险的影响因素。何丽梅等发现我国开展的各碳试点的审计范围、程序、审计内容等尚未统一,导致了审计结果的不可比^[8]。杨博文认为企业缺乏碳信息披露的具体规则、碳审计人员缺乏对碳信息的控制能力等因素会加大碳审计风险^[9]。张鹏提出“双碳”背景下我国碳审计面临着审计主体联动薄弱与碳审计专业人才匮乏等问题^[10]。

(二) 模糊交叉熵在审计领域中的应用

模糊交叉熵是模糊属性和交叉熵的融合。将模糊属性与交叉熵相结合直接运用于审计领域的理论研究较为鲜见。曲国华等创新性地将模糊属性与对偶熵结合运用于绿色审计,建立了对偶犹豫模糊熵值、混合平均算子以及混合几何算子的综合模型^[11]。Li等基于直觉模糊集、交叉熵等方法进行指标权重和加权评级的结合,对企业的会计信息化进行综合评价^[12]。此外,模糊属性与交叉熵相结合,能够促使决策者将风险的偏好属性考虑在决策过程之中^[13]。通过上述分析可知,模糊交叉熵可被应用于审计风险识别领域,且该方法能够将审计主体的风险偏好引入至审计风险评估之中。

近年来,将模糊属性或熵权属性分别应用于审计风险研究的文献较多。由于在审计风险评估的过程中存在大量的模糊现象和概念,王

会金借助风险导向审计思路,并引入模糊综合评价法,建立审计风险定量模糊综合动态评估模型^[14]。在风险评估过程中,陈和平提出模糊数学在固有风险评估环节中的应用策略,强调模糊熵作为一种较为客观的决策方法,对于风险因素的分析更加具体,对于固有风险的评价更加准确^[15]。熵是用来表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度,它所具有的物理意义及本质特性决定了其在多属性决策中可作为一个理想的尺度,熵权法对于主观权重的客观修正被广泛运用在审计领域,如刘国城等基于层次分析法与熵权法,探索信息系统审计风险评估流程,并开展预期风险估值的多属性决策^[16]。

(三) TOPSIS在审计领域中的应用

TOPSIS综合法是一种常用的多属性决策方法,通过综合各属性的权重和指标值,对不同方案进行评估和排序。将TOPSIS与熵权法、层次分析法、因子分析法等方法有机融合,可广泛应用于工程、医学、农业等领域的风险评估模型构建之中。TOPSIS在审计领域中的应用研究主要集中于绩效评价和风险评估。在绩效评价方面,杨展华等引入熵权法与TOPSIS法,建立了经济责任审计评价体系,将熵权法与TOPSIS法融合于一体,对国有企业领导人员的经济责任进行评价^[17]。张慧等基于TOPSIS熵权法,构建区块链产业生态系统绩效评价体系并开展实证分析^[18]。在风险评估方面,张玉兰等基于风险管理框架,运用TOPSIS改进因子分析法对“互联网+”上市公司的内部控制有效性水平进行评价,并在此基础上提出“互联网+”企业内部控制风险的应对策略^[19]。洪源运用TOPSIS-AHP法测算地方政府债务综合风险输出评估样本值,构建地方政府债务风险非线性先导预警系统^[20]。

(四) 文献述评

有关碳审计的研究尚处起步阶段,既有文献主要集中于碳审计内涵特征、碳审计实施框架的研究。郑石桥基于经典审计理论,构建了碳审计本质、主体、客体等方面的理论框架^[3, 21-22]。目前,有关碳审计风险的研究极为稀缺,文献

相对零散,难成体系。在风险导向模式下,审计人员可以以碳审计风险评估为基础确定审计重点,以此更精准地分配审计资源,进而有针对性地开展审计取证。然而,由于碳审计风险方面的理论研究和实践归纳较为匮乏,尽管有学者提出了碳审计风险的相关影响因素,但现有文献并未提及如何建立相对成熟的碳审计风险评估指标体系,且并未有学者探索如何通过定量方法构建碳审计风险评估流程。

近年来,有关审计风险评估的研究较为丰富,所运用的方法也层出不穷,如模糊综合评级、层次分析法、熵权法等,其中不乏有结合上述多种方法进行审计风险评估的探索。熵权法作为客观赋值方法,TOPSIS作为综合排序模型,在审计风险评估的应用中较为成熟。考虑到审计风险评估中的模糊属性以及交叉熵在多属性决策中的应用优势,加之当前情形下,碳审计处于发展阶段,政府审计占据主导地位,社会审计和内部审计参与度较低。故本文立足于对“双碳”背景下的碳审计风险评估流程开展深度研究。

二、碳审计风险评估指标体系的构建

碳审计作为可持续发展与环境审计的进一步衍生,具有对碳排放相关行为进行核查的经济监督性质。现阶段,碳审计缺少统领性的工作指南和相应标准,碳信息披露的监管机制不健全,碳审计人才匮乏,这些都将加大碳审计主体的风险。为准确评估碳审计风险,合理配置资源,碳审计主体首先应明确碳审计包含哪些具体风险,其次应明晰各个风险对导致审计失败的贡献度。为此,本部分结合我国碳审计工作的环境风险,并运用传统风险导向审计模型,即“审计风险=固有风险×控制风险×检查风险”,将“环境风险”“固有风险”“控制风险”“检查风险”作为碳审计风险评估“准则层”的构成,全方位构建碳审计风险评估体系,

如表1所示。

环境风险(B_1)是指由于对碳审计产生影响的外在条件或因素的作用,而使审计主体在开展碳审计活动中所面临的外部风险,具体包括碳排放法律法规的健全性(C_1)、碳排放管理机制的成熟性(C_2)、碳排放计量体系的完善性(C_3)。

固有风险(B_2)是指在不考虑内部控制的前提下,审计客体在“双碳”行动实施中所固有的风险,具体包括审计客体中绿色低碳发展理念的认知程度(C_4)、各部门碳排放目标责任制的履行情况(C_5)、碳计量方法的科学程度(C_6)、碳排放制度与方案的科学程度(C_7)、碳减排工作的动态推进情况(C_8)、低碳领域高质量人才的引进与培养(C_9)、清洁能源的使用程度(C_{10})、低碳经营与生产技术研发投入程度(C_{11})。

控制风险(B_3)是指审计客体在“双碳”行动实施中存在缺陷或错误,但没有被内部控制及时防止或发现并纠正的可能性,具体包括内控部门设置的合理性(C_{12})、内控制度设计的全面性(C_{13})、内控制度设计的科学性(C_{14})、内控制度执行的有效性(C_{15})、内控制度执行的时效性(C_{16})。

检查风险(B_4)是指审计客体在“双碳”行动实施中存在固有缺陷与内控缺陷,但审计主体为将审计风险降至可接受的低水平而实施程序后没有发现上述缺陷的风险,具体包括审计目标选择的适当性(C_{17})、审计程序选择的适当性(C_{18})、审计技术方法选择的适当性(C_{19})、审计依据选择的适当性(C_{20})、审计证据选择的适当性(C_{21})、审计资源配置的适当性(C_{22})。

三、碳审计风险评估模型的构建

由表1可知,碳审计风险的影响因素众多,各个因素对于碳审计风险的贡献度也不尽相同。因而,需要对各个风险因素的重要性程度分别进行评估,并确定各因素之间影响较大的因素。本部分引入模糊交叉熵与TOPSIS逼近理想解排序相结合的方法,构建碳审计风险评估模型,阐述风险评估模型的运行步骤(见图1),

表1 碳审计风险评估指标体系

目标层	准则层	指标层
环境风险(B_1)		碳排放法律法规的健全性(C_1)
		碳排放管理机制的成熟性(C_2)
		碳排放计量体系的完善性(C_3)
固有风险(B_2)		绿色低碳发展理念的认知程度(C_4)
		各部门碳排放目标责任制的履行情况(C_5)
		碳计量方法的科学程度(C_6)
		碳排放制度与方案的科学程度(C_7)
		碳减排工作的动态推进情况(C_8)
		低碳领域高质量人才的引进与培养(C_9)
碳审计风险		清洁能源的使用程度(C_{10})
		低碳经营与生产技术研发投入程度(C_{11})
控制风险(B_3)		内控部门设置的合理性(C_{12})
		内控制度设计的全面性(C_{13})
		内控制度设计的科学性(C_{14})
		内控制度执行的有效性(C_{15})
		内控制度执行的时效性(C_{16})
检查风险(B_4)		审计目标选择的适当性(C_{17})
		审计程序选择的适当性(C_{18})
		审计技术方法选择的适当性(C_{19})
		审计依据选择的适当性(C_{20})
		审计证据选择的适当性(C_{21})
		审计资源配置的适当性(C_{22})

旨在推进审计人员更为全面地评估碳审计活动的整体风险情况,并快速发现影响碳审计风险的关键因素。

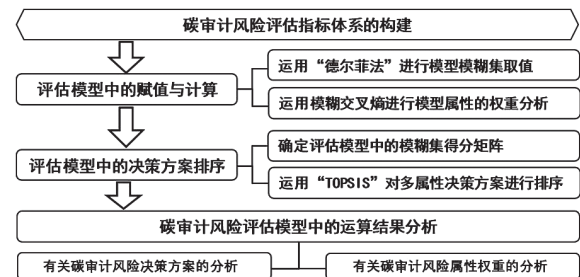


图1 基于模糊交叉熵和TOPSIS的碳审计风险评估模型运行步骤

(一) 模型中的赋值与计算

1. 运用“德尔菲法”进行模型模糊集取值

为了能够综合考虑多种评估指标和因素之间的关系,可采用德尔菲法进行审计风险评价,以便于运用模糊交叉熵进行权重计算。德尔菲法是一种定性、主观的评价方法,模糊交叉熵属于定量评估方法,上述两种方法的结合,避免了主观因素对风险评估结果的影响。

本部分运用德尔菲法对两类情形进行赋值,其一是对不同类预期碳审计风险水平方案

A_i 进行专家赋值,进而得到相应的数值 o_i 。 α_i 表示专家对第*i*类预期碳审计风险水平下备选方案的支持程度, β_i 表示专家对第*i*类预期碳审计风险水平下备选方案的反对程度。基于模糊交叉熵的属性,专家对备选方案 $A_i(i = 1, 2, \dots, m)$ 的主观偏好进行评估,且偏好值采用直觉模糊数表示,具体表示为 $o_i = (\alpha_i, \beta_i)(i = 1, 2, \dots, m)$ 。其二是由于碳审计风险评估具有模糊属性,这则要求采用德尔菲法,将不同的评估属性 $C_j(j = 1, 2, \dots, n)$,根据具体的预期碳审计风险

水平 $A_i(i = 1, 2, \dots, m)$,以直觉模糊数 (μ_{ij}, ν_{ij}) 的形式进行专家赋值。其中, μ_{ij} 表示专家对方案 A_i 的属性 C_j 的支持程度, ν_{ij} 表示专家对方案 A_i 的属性 C_j 的反对程度, π_{ij} 用来描述方案 A_i 对指标 C_j 的犹豫程度, $\pi_{ij} = 1 - \mu_{ij} - \nu_{ij}$,且满足 $0 \leq \mu_{ij} \leq 1, 0 \leq \nu_{ij} \leq 1, 0 \leq \pi_{ij} \leq 1$ 。属性权重设为 $\omega_j(j = 1, 2, \dots, n)$,且满足 $0 \leq \omega_j \leq 1, \sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。基于不同类预期碳审计风险水平下的碳审计风险直觉模糊决策专家赋值矩阵 R_{mn} 表示如下。

$$R_{mn} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, \nu_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}) & (\mu_{m2}, \nu_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2. 运用模糊交叉熵进行模型属性的权重分析

在运用德尔菲法对不同预期审计风险水平下的碳审计风险直觉模糊决策矩阵进行赋值后,则可计算模糊交叉熵模型中各评估属性

$C_j(j = 1, 2, \dots, n)$ 的熵值与权重。

第一步:计算直觉模糊交叉熵, CE_{ij}^* 为模糊交叉熵距离。

具体计算公式为:

$$CE_{ij}^* = \frac{1+\mu_{ij}-\nu_{ij}}{2} * \log_2 \frac{1+\mu_{ij}-\nu_{ij}}{\frac{1}{2}[(1+\mu_{ij}-\nu_{ij})+(1+\alpha_i-\beta_i)]} + \frac{1-\mu_{ij}+\nu_{ij}}{2} * \log_2 \frac{1-\mu_{ij}+\nu_{ij}}{\frac{1}{2}[(1-\mu_{ij}+\nu_{ij})+(1-\alpha_i+\beta_i)]} + \frac{1+\alpha_i-\beta_i}{2} * \log_2 \frac{1+\alpha_i-\beta_i}{\frac{1}{2}[(1+\alpha_i-\beta_i)+(1+\mu_{ij}-\nu_{ij})]} + \frac{1-\alpha_i+\beta_i}{2} * \log_2 \frac{1-\alpha_i+\beta_i}{\frac{1}{2}[(1-\alpha_i+\beta_i)+(1-\mu_{ij}+\nu_{ij})]} \quad (1)$$

第二步:计算各属性 C_j 的平均信息熵,计算公式为:

$$E_j = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{CE_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m CE_{ij}^*} \ln \left(\frac{CE_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m CE_{ij}^*} \right) \right] \quad (2)$$

第三步:计算第 C_j 项指标的熵权值,计算公式为:

$$\omega_j = \frac{1-E_j}{\sum_{k=1}^n (1-E_k)} \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

(二) 模型中的决策方案排序

TOPSIS方法是基于矩阵运算和距离度量的原理,将不同预期风险水平下的各个备选方案映射到一个全局最优解和一个全局最差解之间的相对距离,并根据这些距离确定每个备选方案的排名。TOPSIS的核心思想是通过将备选方案与“理想解”和“负理想解”进行比较来确定每个备选方案的综合得分,以便确定最佳备选方案。“理想解”和“负理想解”是根据决

策者的需求和决策目标所定义的,通常是由各种属性的最大值和最小值组成的向量。对于每个备选方案,通过将其加权决策矩阵 r_{ij} 与“理想解”和“负理想解”进行比较,可以计算出具体备选方案与这两个向量之间的距离,从而确定备选方案的相对优劣。然而,针对有关预期碳审计风险水平的实际决策问题,不同属性的权重通常不同,而且不同属性之间的相对重要性也不尽相同。由此,在构建碳审计风险评估模型中,综合使用模糊交叉熵和TOPSIS,即首先使用熵权法计算不同属性的权重,然后运用TOPSIS方法对备选方案进行排序,这样可以确保不同属性的重要程度被正确地考虑,从而更好地解决碳审计风险评估中的实际决策问题。

1. 确定模型中的模糊集得分矩阵

第一步,将直觉模糊数转化为得分函数。

在确定不同类预期碳审计风险水平和碳审计风险的直觉模糊决策矩阵 R_{mn} 后,应将直觉模糊数转化为得分函数。由于上述对碳审计风险的评估是以直觉模糊数 (μ_{ij}, ν_{ij}) 的形式进行表示的,为了进行交叉熵权重的计算,需要对该直觉模糊数进行得分函数转化。将预期碳审计风险水平下碳审计风险直觉模糊决策矩阵 R_{mn} 中的直觉模糊数 $A = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$ 进行转化,得到如下得分函数,具体为:

$$S_{ij}(A) = (\mu_{ij} + \mu_{ij} \cdot \pi_{ij}) - (\nu_{ij} + \nu_{ij} \cdot \pi_{ij}) \quad (4)$$

且得分函数满足 $S_{ij}(A) \in [-1,1]$ 。

第二步,对得分函数进行无量纲化处理。

在计算不同预期碳审计风险水平下的碳审计风险因素的得分函数后,由于得分函数的值域存在负数情况,故需要对得分函数进行无量纲化处理,使其取值范围 $\in [0,1]$ 。本部分运用线性归一化方法对不同预期碳审计风险水平的得分函数进行处理:

$$a_{ij}(A) = \frac{S_{ij}(A) - \min S_{ij}(A)}{\max S_{ij}(A) - \min S_{ij}(A)} \quad (5)$$

并形成矩阵 a_{ij} 。

第三步,建立加权决策矩阵。

将归一化后的得分矩阵 a_{ij} ,与各属性的熵权值进行结合,得到加权决策矩阵 r_{ij} :

$$r_{ij} = \omega_j a_{ij} \quad (6)$$

2. 运用“TOPSIS”对多属性决策方案进行排序

第一步,计算正负理想解。

$$S_j^+ = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq n} \{r_{ij}\}, & j = 1, \dots, m; \text{ 越大越优型指标} \\ \min_{1 \leq i \leq n} \{r_{ij}\}, & j = 1, \dots, m; \text{ 越小越优型指标} \end{cases} \quad (7-1)$$

$$S_j^- = \begin{cases} \min_{1 \leq i \leq n} \{r_{ij}\}, & j = 1, \dots, m; \text{ 越大越优型指标} \\ \max_{1 \leq i \leq n} \{r_{ij}\}, & j = 1, \dots, m; \text{ 越小越优型指标} \end{cases} \quad (7-2)$$

第二步,计算各方案与正负理想解之间的距离。

$$Sd_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (S_j^+ - r_{ij})^2}, \quad i = 1, \dots, n \quad (8-1)$$

$$Sd_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (S_j^- - r_{ij})^2}, \quad i = 1, \dots, n \quad (8-2)$$

第三步,计算各方案与正理想解的相对贴近度。

$$\eta_i = \frac{Sd_i^-}{Sd_i^+ + Sd_i^-} \quad (9)$$

η_i 越大,决策方案越接近正理想解,方案越优。

(三) 模型中的运算结果分析

在进行不同类预期碳审计风险水平的多属性决策时,需要考虑多个属性的贡献度并根据不同属性的重要性来确定最终决策。本部分采用模糊交叉熵与TOPSIS理想解排序方法建立模型,计算各个评估属性对每个可能决策的预测值,并根据理想解距离确定最终决策。对于不同属性 C_j 而言,其权重 ω_j 占比越高,该属性对于碳审计最终失败的贡献度也越大。对于权重占比较大的属性,在进行碳审计时,审计主体应加大审计取证力度,合理管控审计检查风险。针对不同的预期碳审计风险水平决策方案 A_i 而言,其排序也反映了各决策的预期值。如果预期风险水平较高,则在开展碳审计活动的过程中,应该设定相应的较低的重要性水平,并投入更多的审计资源,有效控制审计风险。

四、案例阐释

(一) 模型中的赋值与计算

基于上述碳审计风险评估指标体系、碳审计风险评估模型以及表1中的22项碳审计风险诱发因素 $\{C_1, C_2, \dots, C_{22}\}$,本部分设定不同的预期碳审计风险水平等级,以对碳审计活动进行深度评价。表2将碳审计风险水平的预估值评语集划分为极低、较低、中等、较高、极高5个等级,即评语集 $P = \{\text{极低、较低、中等、较高、极高}\}$ 。同时,通过表2构建预期碳审计风险水平估值因素集 $\{A_1, A_2, \dots, A_5\}$,并对预期碳审计风险水平等级进行区间划分。

表2 预期碳审计风险水平等级的区间划分

因素集	评语等级	量化范围	关键描述
A_1	极低	$0\% \leq \eta_1 < 20\%$	风险因素对碳审计工作的影响程度极小, 产生碳审计失败的可能性极低, 审计结论具有极高的准确性和可靠性
A_2	较低	$20\% \leq \eta_2 < 35\%$	风险因素对碳审计工作的影响程度较小, 产生碳审计失败的可能性较低
A_3	中等	$35\% \leq \eta_3 < 50\%$	风险因素对碳审计工作的影响程度中等, 审计主体发表不恰当审计意见的可能性适中
A_4	较高	$50\% \leq \eta_4 < 70\%$	风险因素对碳审计工作的影响程度较大, 产生碳审计失败的可能性较高
A_5	极高	$70\% \leq \eta_5 \leq 100\%$	风险因素对碳审计工作的影响程度极大, 产生碳审计失败的可能性极大, 审计人员有极大概率遭受法律诉讼

将表1中的碳审计风险因素集 C_j 与表2中的预期碳审计风险估值因素集 A_i 相融合, 得到预期碳审计风险水平下的碳审计风险评估矩阵 R , 即 $R_{ij} (i=1, \dots, 5; j=1, \dots, 22)$ 。

1. 预期审计风险的倾向评分

2023年3月, 笔者针对江苏W石油化工公司的碳排放责任履行情况, 集合业内专家团队开展调研。本部分以上述案例公司为依托, 结合该公司碳排放实施情况, 通过德尔菲法, 选取碳排放计量专家、该公司站点负责人、审计实务专家等7位团队成员, 对不同的“预期碳审计风险水平方案(A_i)”进行倾向评估, 并以直觉模糊数 $O_i(\alpha_i, \beta_i)$ 的形式表示。 α_i 、 β_i 分别为不同预期碳审计风险水平下7位调查对象的支持程度和反对程度的赋分均值。整理后的预期碳审计风险水平的倾向评分见表3。

表3 预期碳审计风险水平的倾向评分

方案 i (预期风险水平)	倾向评分 $O_i(\alpha_i, \beta_i)$
A_1	0.56,0.42
A_2	0.61,0.38
A_3	0.69,0.27
A_4	0.81,0.13
A_5	0.72,0.11

2. 碳审计风险诱发因素评分

将表1中的22个碳审计风险诱发因素(C_j)对不同风险水平下备选方案(A_i)的贡献度, 以上述7位专家为中心, 采用德尔菲法, 并以直觉模糊数 (μ_{ij}, ν_{ij}) 的形式进行专家赋值, 以此得出各项诱发因素针对不同预期审计风险水平下的碳审计风险直觉模糊决策专家赋值矩阵 R_{mn} 。有关不同风险水平下的碳审计风险诱发因素的贡献度评分如表4所示。

表4 不同预期碳审计风险水平下的碳审计风险诱发因素的贡献度评分

R_{ij}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_1	0.56,0.35	0.52,0.34	0.64,0.29	0.74,0.18	0.60,0.27
C_2	0.26,0.70	0.36,0.58	0.62,0.30	0.83,0.02	0.88,0.04
C_3	0.51,0.38	0.51,0.34	0.71,0.14	0.60,0.21	0.67,0.28
C_4	0.57,0.37	0.68,0.27	0.70,0.14	0.88,0.07	0.80,0.04
C_5	0.55,0.30	0.61,0.30	0.79,0.16	0.89,0.08	0.84,0.05
C_6	0.53,0.34	0.54,0.36	0.64,0.22	0.73,0.18	0.63,0.28
C_7	0.66,0.23	0.66,0.25	0.85,0.08	0.84,0.07	0.88,0.11
C_8	0.61,0.29	0.69,0.22	0.65,0.23	0.60,0.24	0.61,0.28
C_9	0.55,0.30	0.61,0.30	0.79,0.16	0.89,0.08	0.84,0.05
C_{10}	0.52,0.32	0.68,0.23	0.74,0.11	0.83,0.04	0.82,0.07
C_{11}	0.69,0.23	0.68,0.29	0.72,0.11	0.72,0.15	0.72,0.20
C_{12}	0.66,0.22	0.64,0.29	0.74,0.17	0.75,0.18	0.62,0.25
C_{13}	0.62,0.29	0.67,0.20	0.76,0.17	0.75,0.15	0.66,0.30
C_{14}	0.61,0.22	0.70,0.21	0.80,0.17	0.73,0.13	0.67,0.22
C_{15}	0.63,0.26	0.70,0.20	0.76,0.10	0.73,0.14	0.78,0.20
C_{16}	0.58,0.30	0.67,0.23	0.61,0.29	0.72,0.20	0.65,0.21
C_{17}	0.64,0.30	0.64,0.24	0.79,0.11	0.78,0.13	0.73,0.11

(续表)

R_{ji}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_{18}	0.54,0.30	0.54,0.33	0.78,0.19	0.74,0.16	0.80,0.12
C_{19}	0.58,0.37	0.56,0.31	0.56,0.34	0.66,0.30	0.66,0.21
C_{20}	0.56,0.38	0.56,0.34	0.71,0.13	0.72,0.19	0.73,0.12
C_{21}	0.52,0.41	0.57,0.33	0.71,0.14	0.77,0.19	0.79,0.11
C_{22}	0.44,0.41	0.54,0.35	0.66,0.24	0.67,0.22	0.78,0.19

3. 熵权值的计算

以表3和表4为基础,首先根据前文所述的公式(1),计算各个诱发因素在不同预期碳审计风险水平下的模糊交叉熵距离(CE_{ij}^*),见表5。

其次,根据公式(2),计算各个诱发因素(C_1-C_{22})的熵权值,熵权值结果(E_j)见表5。再次,根据公式(3),将每一项诱发因素的熵权值转化为权重,熵权值权重结果(ω_j)见表5。

表5 碳审计风险诱发因素在不同预期碳审计风险水平下的熵权数值及权重

R_j	$CE_{1j}^*(A_1)$	$CE_{2j}^*(A_2)$	$CE_{3j}^*(A_3)$	$CE_{4j}^*(A_4)$	$CE_{5j}^*(A_5)$	E_j	ω_j
C_1	0.0018	0.0009	0.0021	0.0085	0.0366	0.5319	0.0803
C_2	0.1262	0.0737	0.0042	0.0138	0.0413	0.7604	0.0411
C_3	0.0000	0.0014	0.0108	0.0431	0.0234	0.6439	0.0611
C_4	0.0013	0.0130	0.0093	0.0138	0.0154	0.9033	0.0166
C_5	0.0045	0.0025	0.0221	0.0138	0.0232	0.8501	0.0257
C_6	0.0009	0.0009	0.0000	0.0098	0.0319	0.4529	0.0939
C_7	0.0332	0.0130	0.0703	0.0062	0.0178	0.8123	0.0322
C_8	0.0124	0.0238	0.0000	0.0514	0.0366	0.7900	0.0360
C_9	0.0045	0.0025	0.0221	0.0138	0.0232	0.8501	0.0256
C_{10}	0.0013	0.0198	0.0221	0.0096	0.0132	0.8750	0.0214
C_{11}	0.0409	0.0102	0.0178	0.0072	0.0043	0.8156	0.0317
C_{12}	0.0356	0.0057	0.0108	0.0072	0.0275	0.8532	0.0252
C_{13}	0.0138	0.0238	0.0140	0.0039	0.0297	0.9052	0.0163
C_{14}	0.0243	0.0282	0.0221	0.0039	0.0129	0.9131	0.0149
C_{15}	0.0205	0.0305	0.0296	0.0049	0.0005	0.7890	0.0362
C_{16}	0.0074	0.0180	0.0042	0.0145	0.0145	0.9344	0.0113
C_{17}	0.0153	0.0116	0.0354	0.0006	0.0001	0.6396	0.0619
C_{18}	0.0037	0.0002	0.0140	0.0060	0.0030	0.7598	0.0412
C_{19}	0.0018	0.0002	0.0161	0.0514	0.0129	0.6212	0.0650
C_{20}	0.0006	0.0000	0.0124	0.0129	0.0000	0.4947	0.0867
C_{21}	0.0003	0.0000	0.0108	0.0060	0.0030	0.6582	0.0587
C_{22}	0.0044	0.0006	0.0000	0.0283	0.0002	0.3203	0.1167

(二) 模型中的决策方案排序

以表5为基础,针对各属性在不同预期碳审计风险水平下的模糊评分,首先运用公式(4)转化为得分函数 $S_{ij}(A)$ 。其次,运用公式(5)对得分函数进行无量纲化处理,得到得分矩阵 a_{ij} 。再次,将各属性的权重进行结合,运用公式(6)建立加权决策矩阵,得出加权后的模糊交

叉熵得分矩阵 r_{ij} 。

根据TOPSIS理论,运用公式(7)计算各方案的正负理想解,并采用公式(8)计算各方案与正负理想解之间的距离,再运用公式(9)计算各方案与正理想解的相对贴近度 η_i 。有关 η_i 的计算结果为: $\eta_1=0.0371$, $\eta_2=0.1028$, $\eta_3=0.2750$, $\eta_4=0.3158$, $\eta_5=0.2693$ 。

(三) 模型中的运算结果分析

1. 对不同预期碳审计风险水平决策方案的排序分析

对不同的预期碳审计风险水平进行分析, 且将不同风险水平下的备选方案 A_i 的相对贴近度 η_i 进行排序, 结果为 $\eta_4 > \eta_3 > \eta_5 > \eta_2 > \eta_1$, 即 $0.3158 > 0.2750 > 0.2693 > 0.1028 > 0.0371$ 。由排序结果可知, 预期碳审计风险水平方案 A_4 所属的 η_4 值最大。参照表2发现, A_4 代表着江苏

W石油化工公司的预期碳审计风险水平等级为“较高”级别, 这说明江苏W石油化工公司的22项风险因素对碳审计工作的影响程度较大, 审计主体面临着较大的审计风险, 且发生碳审计失败事件的可能性较高。

为此, 审计主体在进行碳审计的过程中应该保持较高的谨慎性, 设计更为完善的审计程序, 时刻保持职业怀疑态度, 不断提高职业判断水平, 从而达到有效控制审计风险的目的。

2. 对准则层和指标层风险因素权重的排序分析

表6 江苏W石油化工公司碳审计风险评估指标的熵权重及排序

准则层	准则层权重(Y_b)	指标层	指标层权重(ω_j)	排序
环境风险	0.1825	碳排放法律法规的健全性(C_1)	0.0803	4
		碳排放管理机制的成熟性(C_2)	0.0411	10
		碳排放计量体系的完善性(C_3)	0.0611	7
固有风险	0.2834	绿色低碳发展理念的认知程度(C_4)	0.0166	19
		各部门碳排放目标责任制的履行情况(C_5)	0.0257	15
		碳计量方法的科学程度(C_6)	0.0939	2
		碳排放制度与方案的科学程度(C_7)	0.0322	13
		碳减排工作的动态推进情况(C_8)	0.0360	12
		低碳领域高质量人才的引进与培养(C_9)	0.0256	16
		清洁能源的使用程度(C_{10})	0.0214	18
		低碳经营与生产技术研发投入程度(C_{11})	0.0317	14
控制风险	0.1039	内控部门设置的合理性(C_{12})	0.0252	17
		内控制度设计的全面性(C_{13})	0.0163	20
		内控制度设计的科学性(C_{14})	0.0149	21
		内控制度执行的有效性(C_{15})	0.0362	11
		内控制度执行的时效性(C_{16})	0.0113	22
检查风险	0.4302	审计目标选择的适当性(C_{17})	0.0619	6
		审计程序选择的适当性(C_{18})	0.0412	9
		审计技术方法选择的适当性(C_{19})	0.0650	5
		审计依据选择的适当性(C_{20})	0.0867	3
		审计证据选择的适当性(C_{21})	0.0587	8
		审计资源配置的适当性(C_{21})	0.1167	1

江苏W石油化工公司碳审计风险评估指标的熵权重及排序如表6所示。其中, ω_j 为指标层的权重, 数值来源于表5, 其是由交叉熵计算而来, ω_j 占比的大小代表着同一层次下

不同风险因素对于碳审计总风险的贡献度; Y_b ($j = 1, \dots, 4$) 为准则层权重, Y_1 的数值为 ω_1 (0.0803)、 ω_2 (0.0411)、 ω_3 (0.0611)的加总, Y_2 、 Y_3 、 Y_4 的取值以此类推。

(1) 基于准则层的碳审计风险因素的权重分析

对碳审计风险诱发因素进行分析发现,各准则层的权重依次为:检查风险因素($Y_4=0.4302$)、固有风险($Y_2=0.2834$)、环境风险($Y_1=0.1825$)和控制风险($Y_3=0.1039$),其中,审计主体的检查风险属性对碳审计风险的贡献度最大,其权重数值为0.4302,介于表2中的0.35~0.50之间,处于“中等”风险等级,这意味着检查风险因素对碳审计工作的影响程度中等,由此而引发审计主体发表不恰当审计意见的可能性相对适中。审计客体的固有风险的权重数值为0.2834,处于“较低”风险等级,即固有风险因素对碳审计工作的影响程度较小,产生碳审计失败的可能性较低。环境风险和控制风险的权重数值分别为0.1825和0.1039,处于“极低”风险等级,这说明审计客体的环境风险因素和控制风险因素对碳审计工作的影响程度极小,由此而引发的审计主体产生碳审计失败的可能性极低,审计结论具有极高的准确性和可靠性。

(2) 基于指标层的碳审计风险因素的权重分析

由表6可知, ω_j 较大的5个指标层碳审计风险因素分别为:碳审计资源配置的适当性(C_{22})、碳计量方法的科学程度(C_6)、审计依据选择的适当性(C_{20})、碳排放法律法规的健全性(C_1)、审计技术方法选择的适当性(C_{19})。

审计资源配置的适当性(C_{22})在 ω_j 中占比最大,这可能源于两方面原因。首先,碳审计客体涉及的行业和数据范围非常广泛,包括电力、制造、矿产、交通、建筑等诸多领域。而所处行业的差异意味着碳审计客体进行的碳活动存在着差别,且不同行业所涉及的碳排放计量方法不尽相同^[23]。碳审计人员需要在具备财务审计能力的同时,对不同行业下的碳活动知识有足够的了解和认识,如果他们缺乏上述知识和经验,则会增大审计检查风险。其次,有关碳排放责任履行的监督主体,如政府审计机关、社会审计

机构、生态环保部门、市场监管部门等,彼此之间缺乏有效的协同机制,部门之间壁垒丛生、信息传递阻塞,有关碳排放的监管信息不对称,这些问题导致审计客体的碳活动信息只被部分监管主体掌握,各个监管部门之间无法实现专业互补、信息共享、案例共研。缺乏有效地协同合作会增加信息获取的难度以及审计资源的高投入,由此引发的审计资源配置不当将会降低碳审计工作效率,并加大审计风险。

碳排放法律法规的健全性(C_1)是环境风险层面中最突出的风险因素,其 ω_j 值为0.0803。目前,碳披露标准缺失,碳计量体系不健全,有关碳排放方面的法律、法规和制度不够成熟,相关法律法规并未强制要求审计客体必须对自身碳活动进行披露,且也并未对碳排放计量体系做出详尽的规定,这些情况导致审计客体主动披露碳排放数据的意愿以及履行碳排放的责任意识并不强烈。在实际操作中,某些审计客体采用对自身有利的计量估算方式,从而选择性地披露片面的碳排放信息,进而导致碳排放信息的真实性、完整性和可比性受到影响。

五、结论及建议

审计风险的大小受固有风险、控制风险、检查风险的影响,其具有客观性、普遍性、偶然性、可控性等特征。现阶段,我国的碳审计处于起步阶段,碳审计实践在碳数据质量与透明度、政策法规与市场机制、人才与技术、多主体协同合作等方面面临着诸多风险与挑战。有鉴于此,碳审计主体应全面构建碳审计风险评价指标体系,科学遴选风险评估模型,正确评估碳审计所面临的各类风险,并基于如下方面推进碳审计风险的管理与控制。

1. 完善有关碳审计方面的模式设计

由于有关碳排放和碳审计等方面的法规尚不健全,审计人员在碳审计过程中面临着较大的困境和风险,为此,审计主体应构建完善的碳审计模式,基于全局视角做好特定项目下的碳

审计规划。审计主体可从如下方面做好碳审计的模式设计。1) 制定恰当的碳审计目标。碳审计的目标在于评估各类组织的碳排放水平和碳管理措施的有效性,以帮助组织实现减排目标并提供有关可持续发展的建议。审计主体应综合考量被审计单位的碳管理要求、特定行业标准、法律法规要求、利益相关方需求和期望以及碳审计资源等因素,针对具体的被审计单位,设定科学合理的碳审计目标。2) 确定适合的碳审计方法和指标。审计主体应根据碳审计特点和被审计单位的具体情况,选择合适的审计方法,如审查碳管理文件、与相关人员沟通访谈、实地调研碳排放,分析碳足迹信息等。此外,审计主体可以与被审计单位进行沟通,设置一套兼具科学性、一致性、完备性、可比性以及实用性的碳审计指标体系,以精准评估和动态监测被审计单位的碳管理情况。3) 科学选定碳审计程序。完善的审计程序是审计人员执行高质量碳审计的关键。科学的审计程序包括在确定审计目标的基础上,合理选取碳审计依据和标准,对被审计单位的碳排放和碳管理风险进行评估,根据风险评估结果,合理确定碳审计的具体范围和重点内容,运用恰当的审计方法收集充分适当的碳审计证据,最终形成恰当的审计意见。审计人员在执行碳审计程序的过程中必须做好碳审计的全过程管理和控制,力求基于组织模式层面全方位提升碳审计的质量与效果,从而有效控制碳审计的检查风险。

2. 推进数智双碳大数据中心的应用

智能科技时代,为提高碳审计效率,审计主体应推进“大智移云物区”等数智技术在双碳大数据中心的深度应用,以“业务+数字”“场景+技术”“取证+平台”赋能碳审计决策。审计主体应从如下方面推进双碳大数据中心的落实。1) 加快推进双碳大数据标准化建设。双碳大数据规模大且来源多样,尤其是针对大型组织或跨国公司的碳审计项目,普通的大数据处理平台由于数据清洗困难,多元异质数据处理不当等问题,无法得到大规模的推广与应用。针

对这一痛点,审计主体应科学制定双碳大数据标准化指南,对双碳大数据的收集、处理、分析和可视化呈现过程中的关键环节进行有效的规范和指导,包括明确双碳大数据采集的正确渠道、规范双碳大数据的数据标准和格式,构建标准化的数据处理模型与算法库,建立数据质量管理与监控系统等,力求在保障数据质量基础上,加快双碳大数据采集与处理的过程,提供高质量的双碳大数据分析结果,为审计主体执行碳审计工作提供可靠的决策支持。2) 数智化赋能双碳大数据中心。智能技术应用为双碳大数据中心建设提供了新思路。大数据为碳审计提供了丰富的数据资源,而人工智能技术的应用可以提高双碳大数据中心平台深度挖掘和分析碳审计数据的能力。审计主体应充分利用模糊交叉熵、TOPSIS等技术,并借助双碳大数据中心实现对碳审计风险的精准识别、评估、评价和应对,从而在降低审计成本的同时,提升审计质量。3) 多元主体协同合作。双碳大数据中心建设涉及到多方主体,为高效落实数智化双碳大数据中心的应用,审计主体有必要同企业主体、行业主体、监管主体以及其他利益相关者一道,遵循“统筹协调、企业参与、数字共享”原则,制定共同的标准和规范,推进数据开放与共享,加强技术沟通与合作,共同构建双碳大数据中心,以高效实现对被审计单位碳排放大数据的采集、预处理、挖掘、可视化、分析、取证、预警及管控。

3. 加强碳审计专业人才的培养

碳审计工作的创新和发展离不开人才的支撑和驱动。审计主体应高度重视碳审计专业人才的培养,制定切实可行的人才培养计划,设计正确的人才评价制度,力求将审计人员打造成集“审计技能+双碳知识+智能应用”于一体的复合型人才。加强碳审计专业人才培养应关注以下方面。1) 审计人员的专业技能。审计主体需要定期对审计人员开展专业技能培训,包括会计、审计、税务、金融以及财经法规等方面的专业知识与技能。培训重点包括让审计人员

扎实掌握审计专业的基本理论与方法,对财经领域的多学科专业知识进行整合,深入理解其中的逻辑和原理,把握跨学科知识之间的内在联系,从而使审计人员能够更好地应对复杂的审计场景。2) 审计人员应通晓双碳知识。审计主体有必要联合其他有关主体,共同培养通晓双碳知识的专业型审计人才。例如,审计主体与政府合作,开展分批、多轮次的专业技能讲座培训,包括量化统计、检测分析等基本技能。审计主体还可以与高校合作,完善审计专业的课程体系,讲授有关碳达峰、碳中和、碳足迹、碳汇、碳计量、碳交易、碳税、碳资产管理、碳战略等方面的知识。此外,审计主体可以联合有关权威性的行业协会,共同研发碳审计师资格考试制度,为开展碳审计业务的人员设置门槛,提高碳审计人力资源的质量。3) 审计人员的智能技术应用能力。审计人才的培养和孕育离不开智能时代对审计人才的现实需求。为此,审计主体应深度关注大数据分析、人工智能、审计知识图谱、审计画像、语音识别、RPA机器人、机器学习、数据挖掘、文本分析、区块链等关键技术,拓宽审计技术与方法,以在碳审计取证中更加有效地识别审计客体中的固有风险和控制风险,快速发现复杂程度和隐秘程度更高的深层次问题。

参考文献:

- [1]谭志东,李亦普,潘俊. 审计助力“碳达峰、碳中和”: 嵌入研究型思维的视角[J]. 中国审计评论, 2023(1): 31-41.
- [2]JANEK Ratnatunga, STEWART Jones. An inconvenient truth about accounting: The paradigm shift required in carbon emissions reporting and assurance[R]. Anaheim CA: American Accounting Association Annual Meeting, 2008.
- [3]郑石桥. 论碳审计本质[J]. 财会月刊, 2022(4): 93-97.
- [4]庄尚文,蒋屠鉴,王丽. 新时代推进碳审计全覆盖的问题与对策[J]. 财会月刊, 2020(17): 86-91.
- [5]刘惠萍,王爱国. 我国碳审计的推进研究[J]. 宏观经济研究, 2013(6): 77-82, 111.
- [6]姚丽琼. 资源型企业低碳审计风险识别、评估与管理研究[J]. 邵阳学院学报(社会科学版), 2016, 15(6): 82-86.
- [7]施平,李长楚. 我国企业碳交易审计程序设计——基于现代风险导向理论的分析[J]. 会计之友, 2016(19): 103-106.
- [8]何丽梅,兰玲瑜. 我国企业碳审计市场研究[J]. 中国注册会计师, 2016(10): 67-72.
- [9]杨博文. 环境责任下我国碳审计与鉴证制度框架的构建[J]. 南京审计大学学报, 2017, 14(6): 75-84.
- [10]张鹏,呼瑞雪. 基于区块链技术的政府碳审计平台构建与应用[J]. 财会通讯, 2023(19): 126-131, 137.
- [11]曲国华,张潇丹,曲卫华. 考虑可信度和优先级的对偶犹豫模糊多属性决策在绿色审计中的应用研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(10): 147-153.
- [12]LI Ming, WEI Wendan, WANG Jialin, QI Xiaoyu. Approach to evaluating accounting informatization based on entropy in intuitionistic fuzzy environment[J]. Entropy, 2018, 20(6): 476.
- [13]赵萌,秦松松,谢佳恒,等. 考虑决策者风险偏好的区间直觉模糊多属性群决策方法[J]. 运筹与管理, 2018, 27(1): 7-16.
- [14]王会金. 基于动态模糊评价的审计风险综合评价模型及其应用[J]. 会计研究, 2011(9): 89-95.
- [15]陈和平,刘亚男. 模糊数学在审计固有风险评估中的运用[J]. 会计之友, 2014(29): 77-80.
- [16]刘国城,王会金. 基于AHP和熵权的信息系统审计风险评估研究与实证分析[J]. 审计研究, 2016(1): 53-59.
- [17]杨展华,许成,胡继鹏,等. 基于熵值-TOPSIS法的国有企业内部经济责任审计评价体系研究[J]. 中国内部审计, 2021(2): 18-26.
- [18]张慧,熊欢欢,刘越群. 基于TOPSIS熵权法的我国区块链产业生态系统绩效评价研究[J]. 科技管理研究, 2023, 43(5): 38-45.
- [19]张玉兰,张路瑶,王圆圆. 风险管理框架下“互联网+”上市公司内部控制有效性评价[J]. 财会月刊, 2017(15): 62-69.
- [20]洪源,王群群,苏知立. 地方政府债务风险非线性先导预警系统的构建与应用研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(6): 95-113.
- [21]郑石桥. 论碳审计主体[J]. 财会月刊, 2022(9): 94-98.
- [22]郑石桥. 论碳审计客体[J]. 财会月刊, 2022(7): 100-103.
- [23]郭效军,孙艳兵,赵国涛. 碳逸会计系统的构建与方法研究[J]. 财会通讯, 2022(5): 92-96, 107.

【责任编辑 许鲁光】

Research on Carbon Audit Risk Assessment Based on Fuzzy Cross Entropy and TOPSIS

LIU Guocheng, CHEN Yizheng & CHEN Jieyu

Abstract: Audit plays an important supervisory and evaluation role in promoting the achievement of the “dual carbon” goals, effectively regulating the carbon emission behavior of enterprises and promoting the green transformation of production methods. At present, the development of carbon auditing in China is still in its early stages, and there are a series of problems such as incomplete systems, difficulties in carbon data accounting, and a lack of carbon auditing talents. The combination of multiple factors poses great risks and challenges to carbon auditing work. On the basis of literature review, this article relies on the traditional risk oriented audit theory to first establish a carbon audit risk assessment index system from four levels: environmental risk, inherent risk, control risk, and inspection risk; Secondly, uses fuzzy cross entropy and TOPSIS algorithm to construct a new carbon audit risk assessment model, exploring the operational steps of the carbon audit risk assessment model, and clarifying the decision-making scheme ranking strategy in the risk assessment model; Once again, through in-depth analysis of specific cases, explain the specific application process of fuzzy cross entropy and TOPSIS risk assessment model in carbon audit risk assessment, and comprehensively explore the analysis methods of various operational results in the risk assessment model; Finally, in response to the various risks faced by carbon auditing, corresponding measures and suggestions for managing carbon auditing inspection risks are proposed from three aspects: carbon auditing model design, dual carbon big data center construction, and talent team construction. The research ideas and conclusions can provide theoretical support for auditing organizations on how to identify key risk factors in carbon auditing, measure the level of carbon auditing risk, evaluate and control carbon auditing risk.

Keywords: fuzzy cross entropy; TOPSIS; carbon audit; risk assessment; risk control

(上接第64页)

commitment in response to global climate change. Megacities, as symbols of modern civilization, bear significant population and economic activities. Low-carbon transformation in these cities becomes crucial in achieving carbon neutrality due to their substantial energy consumption. Shenzhen, with a population exceeding 17 million, faces immense energy dependency and carbon emissions pressures. As one of the first low-carbon pilot cities in China, Shenzhen has made remarkable strides in exploring and implementing carbon neutrality, setting a national example in sustainable development strategies. By refining policies, fostering green industries, and promoting renewable energy utilization, Shenzhen has achieved carbon peak, demonstrating its proactive attitude and determination in combating climate change. However, Shenzhen’s carbon neutrality challenges also underscore the common hurdles faced by megacities. After achieving carbon peak, the next focus lies in carbon fixation. General approaches for carbon sequestration incrementally include forestry carbon sinks, ocean carbon sinks, carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technology, as well as agricultural soil carbon sinks. To determine the path for carbon fixation in megacities, factors like ecological conditions, technological feasibility, economic costs, social acceptance, and environmental impact need comprehensive consideration. To achieve the ultimate net-zero emissions goal, Shenzhen should persist in a dual strategy of simultaneous green transformation and ecological carbon sequestration. This involves meticulous control of carbon emissions, driving innovation in cutting-edge technologies, and applying effective solutions to adapt to the increasingly severe challenges posed by climate change.

Keywords: carbon peak; green industry; ecological carbon sink; carbon sequestration pathway; soil carbon sink