

分类号 _____

密级 _____

U D C _____

编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

(专业学位)

论文题目 “双碳”战略目标下中国神华碳审计评价

指标体系的构建

研究生姓名: 窦月英

指导教师姓名、职称: 杨荣美 教授 刘志文 注册会计师

学科、专业名称: 审计硕士

研究方向: 政府审计

提交日期: 2023年6月19日

独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 窦同英 签字日期： 2023.6.15

导师签名： 杨荣美 签字日期： 2023.6.15

导师(校外)签名： 刘斌 签字日期： 2023.6.15

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意 (选择“同意”/“不同意”) 以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；
2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊(光盘版)电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分內容。

学位论文作者签名： 窦同英 签字日期： 2023.6.15

导师签名： 杨荣美 签字日期： 2023.6.15

导师(校外)签名： 刘斌 签字日期： 2023.6.15

Construction of China Shenhua carbon audit evaluation index system under the strategic goal of "double carbon"

Candidate: Dou Yueying

Supervisor: Yang Rongmei Liu Zhiwen

摘 要

当前随着工业化进程的不断加快,全球能源相关的二氧化碳排放量达到历史新高,发展低碳经济已成为全球发展的必然趋势,同时助力和监督减碳经济发展的碳审计也应运而生。我国煤炭的产销量居世界首位,这使得我国煤炭及其下游产业在我国碳排放量中所占比例超过 50%。而我国在碳审计的评价指标体系的研究方面,多从内部审计角度出发关注于碳审计的理论研究,侧重于电力、钢铁等其他能源行业的评价指标体系的构建,从政府审计角度出发对于煤炭行业的碳审计推进研究较少,对评价指标体系的应用与实证分析较少。

故本文主要从政府审计角度出发,基于在我国的“双碳”战略目标,采用 DSR 模型构建具体的碳审计评价体系。选取煤炭行业龙头企业之一的中国神华能源股份有限公司为研究对象,运用层次分析法和熵权法结合得出主客观综合指标权重,并结合 TOPSIS 评价对案例企业的减碳经济发展状况进行综合评价,根据综合评价结果来探究企业的低碳经济运行状况并总结推出相应的发展方向。如加快实现能源智能化管理,发挥低碳科技创新引领作用,积极推动产业结构优化升级,提高对清洁和可持续的能源的开发和运用,以及推动煤炭和新能源优化组合等。最后根据案例企业的审计结论,为助力拟构建的碳审计评价指标体系实现更好的落实应用,加快实现我国“双碳”战略目标的实现,提出完善碳审计评价制度和标准、政府增加煤炭行业低碳发展和碳审计运行的资金投入、引导减碳相关措施与技术发展的相关后续保障措施。

本文通过构建适应于中国神华公司的碳审计评价指标体系,为政府对煤炭行业企业减碳经济的发展状况进行监督提供相关可参考的标准和依据,更好的引导煤炭企业产业的经济结构转型,助力于煤炭行业其他企业进行减碳产业升级,加快实现“双碳中国”的战略目标的现实要求以及煤炭行业减碳转型发展的快速实现。

关键词: 碳审计 评价指标 DSR 模型 层次分析法 熵权法

Abstract

At present, with the acceleration of industrialization, CO₂ emissions from energy sources are at an all-time high. Developing low carbon economy is a necessary tendency in the world. At the same time, the carbon audit to help and supervise the development of carbon reduction economy also arises at the historic moment. Chinese coal output and sales are number one in the world, which makes the carbon emissions of China's coal and downstream industries account for more than 50% of China's overall carbon emissions. Meanwhile, in China's carbon audit assessment indicator system, more attention is paid to the study of the carbon audit theory, focusing on electric power, building an assessment index system for steel and other energy industry, viewed from the angle of government audit for the coal industry carbon audit propulsion research less on the use of the assessment index system and empirical analysis is less.

Therefore, this paper will mainly start from the perspective of government audit, and use DSR model to build a specific carbon audit evaluation system under the strategic goal of "double carbon" in China. Selection of coal industry leading enterprises China shenhua energy co., LTD., as the research object, applying hierarchy analysis and entropy-power combination index weight, and combined with TOPSIS evaluation of case enterprise carbon reduction economic development

comprehensive evaluation, according to the comprehensive evaluation to explore low carbon economy operation status and summarizes the corresponding development direction, such as speed up the implementation of intelligent energy management leading, play a role of low carbon science and technology innovation, positively promote the industry structural optimization , improve the development and use of clean and sustainable energy and, promote coal and new energy optimization combination, etc. Finally according to the case of enterprise audit conclusion, to help carbon audit evaluation index system to achieve better application, speed up the realization of "double carbon" strategic goal, put forward perfect carbon audit evaluation system and standards, the government increase the coal industry low carbon development and carbon audit operation investment, the government improve carbon auditors professional quality and guide carbon reduction measures and technology development related subsequent safeguard measures.

Through the Chinese Petroleum Corporation's carbon audit assessment index system, it can offer the related reference criteria and foundation for the development of the Chinese coal industry, help in the other enterprises in the coal industry to reduce carbon industry upgrade, better guide the economic structure transformation of the coal industry, accelerate the realization of the strategic goal of "double carbon China" realistic requirements and the transformation of the coal industry.

Key words: Carbon audit;Evaluation index;DSR model ;AHP ;Entropy weight method

目录

1. 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究目的及意义	2
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	5
1.2.3 研究述评	8
1.3 研究内容、研究方法和技术路线	8
1.3.1 研究内容	8
1.3.2 研究方法	9
1.3.3 技术路线	10
1.4 论文创新点	11
2. 碳审计相关概念与理论基础	13
2.1 概念界定	13
2.1.1 “双碳”战略目标	13
2.1.2 碳审计内涵及特性	13
2.1.3 碳审计评价	14
2.1.4 DSR 模型	14
2.2 理论基础	15
2.2.1 可持续发展理论	15
2.2.2 低碳经济理论	15
2.2.3 受托环境责任理论	15
3. 中国神华公司碳减排及其碳审计现状	17
3.1 煤炭行业碳排放及碳审计现状	17
3.2 中国神华公司企业案例分析	17
3.2.1 中国神华公司简介	17
3.2.2 中国神华碳减排及碳审计现状	18
3.3 案例公司构建碳审计评价指标体系的必要性分析	19
3.4 煤炭企业二氧化碳排放源分析	20
4. 基于 DSR 模型的煤炭企业碳审计评价指标体系构建	22
4.1 煤炭企业碳审计评价指标体系的构建基础	22
4.2 碳审计评价指标体系构建原则	22
4.3 煤炭企业碳审计评价指标的选取	23
4.4 指标赋权法	26
4.4.1 层次分析法	26
4.4.2 熵权法	29

4.4.3 层次分析法与熵权法的组合赋权法	30
4.5 煤炭企业碳审计评价方法——TOPSIS 评价模型	31
4.5.1 模型介绍	31
4.5.2 模型具体评价流程	31
5. 碳审计评价指标体系在中国神华公司的应用	34
5.1 中国神华评价指标数据来源	34
5.2 中国神华评价指标权重的计算	35
5.2.1 层次分析法赋权	35
5.2.2 熵权法赋权	43
5.2.3 层次分析法和熵权法组合赋权	48
5.3 中国神华碳审计综合评价	49
5.3.1 TOPSIS 评价模型的应用	49
5.3.2 评价结果分析	55
5.3.3 审计建议	57
6. 落实碳审计评价指标体系的后续保障措施	60
6.1 完善碳审计评价制度和标准	60
6.2 引导减碳相关措施与技术发展	60
7. 研究结论与展望	63
7.1 研究结论	63
7.2 研究展望	64
参考文献	65
附录 1 碳审计评价指标体系构建调查问卷	71
致 谢	75

1. 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

根据国际能源机构的当前资料显示,由于全球经济从 COVID-19 危机中复苏,以及对煤炭的巨大需求,使和能源有关的二氧化碳的排放量在 2021 年升至新高,总量上升 6%至 363 亿吨。荷兰环境评估局得出数据,我国的二氧化碳排放量高达 119 亿吨,而人均排放量则高达 8.2 吨,占全球 CO_2 排放量的 33%。所以,节能减碳是当前经济发展的必然趋势。

习近平总书记在 2021 年 3 月 15 日的第九届全国人大常委会上强调,“双碳”发展的战略目标是一个深刻且全面的改革,要把它融入到生态文明的整体规划之中。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提到社会发展六大新目标中关于生态文明建设方面要实现经济建设与生态文明的融合,这是传统工业文明向现代生态文明转型、应对传统工业化生产结构的可持续发展的必然选择,因此,为了实现“双碳”战略目标以及“十四五”时期经济社会发展六大新目标,加强低碳经济建设成为必然趋势。

同时中央审计委员会办公室、审计署在 2021 年 6 月 22 日印发了《“十四五”国家审计工作发展规划》的通知,重点推进“五位一体”总体布局和“四个统筹”战略设计的协调,依法充分履行审计监督职责,可以深化审计体制改革,强化国家审计工作的整体观念。同时,完善且有效的审计监督制度可以充分发挥审计在推动国家治理结构和方式的更新、加强国家管理能力方面的作用。实施生态文明建设体系“五位一体”总体布局,主要是为了保护 and 创造更好的生态环境,实现“美丽中国”。因此,为实现“碳达峰”与“碳中和”,碳审计的进一步推进可以有效助力国家对减碳发展的监督与指导,加速实现我国“双碳中国”的战略目标。

中国作为世界最大的经济体之一,煤炭资源丰富的自然资源条件使得煤炭资源的消费长时间在我国能源消费中占主体地位。虽然在“双碳”战略目标的大环境下,煤炭产业面临着巨大的挑战,但在今后的发展过程中,我们还有时间和机会去推动相关的技术革新和有效的利用碳汇,从而为煤炭产业的转型创造更多的机遇。但碳审计运行中存在监督不到位,审计政策和依据不完善等问题。因此,

从政府监督角度出发,完善煤炭行业碳审计评价指标体系的构建是实现企业低碳转型实现我国“双碳”战略目标的必经之路。

神华集团长期在我国煤炭行业中占据前列地位,是一家集煤炭开采、生产和销售、煤制油及煤化工、电力生产和供应,港口、航运等业务于一体的企业。神华公司不仅在煤炭行业内属于代表性龙头公司,而且在低碳经济发展转型中著有成效。因此,选用该公司作为代表来探究煤炭行业碳审计评价体系,不仅可以使构建结构更符合煤炭行业的特性,是结果更具可靠性。同时,也对煤炭行业其他企业实现绿色低碳经济起到借鉴性、引导性作用。这不仅可以使政府更好的对煤炭行业的减碳发展实施监督和指引作用,提供了更加合乎实际的监督依据和引导方向,更快助力实现我国的“双碳”战略目标。

1.1.2 研究目的及意义

(1) 理论意义

研究碳审计及其相关问题在完善环境审计的相关方面和碳审计的框架细化等角度而言具有一定的理论意义,和煤炭行业的行业特性相结合也使碳审计的理论层面更有针对性和实用性。国内外相关专业人员在碳审计框架结构中的具体方面已经有所研究。然而,因为碳交易市场还处在起步阶段,对于碳审计的研究仍然存在着缺少实践经验支撑的问题,碳审计主体界定不清,缺乏较为统一的认识,国际上缺乏统一的碳审计标准和评价体系等问题。因此,以政府审计为主体,结合我国煤炭行业实际发展状况来探究碳审计评价指标体系,不仅从一定程度上完善我国碳审计评价指标体系,完善碳审计在环境审计中开展的模式,本研究将为我国煤炭企业实施绿色、低碳和循环经济战略提供重要的理论基础。与此同时,碳审计的内容,不仅包括了对碳排放状态和碳排放量的监管,同时还涉及到相关碳排放主体本身的经济运行状态,和减碳技术的创新以及环境治理结构的完善等不同领域。所以,也一定程度促进了多领域学科理论体系的在碳审计方面的融合发展与完善,是环境审计的进一步探究和细化,和具体行业的发展特性和排放特征相结合也使本文的研究在理论上更具体和更具有延伸空间,这样也在一定程度上可以加快我国“双碳”战略目标的实现。

(2) 实践意义

本文结合当前碳达峰时期的政策要求基于政府审计角度以煤炭行业龙头企

业——中国神华公司为例来研究该行业碳审计评价指标体系构建，为政府审计对煤炭行业减碳发展、以及碳审计提供参考依据。通过碳审计监督可以清楚地了解煤炭行业经济运行的真实情况，同时更有依据和针对性的监测各煤炭企业的碳排放状况，及其是否有效履行国家和各级政府下达的环境保护义务及是否完成自己的碳排放管理义务，实现低碳经济、低碳环保和节能减排目标。以煤炭行业的“龙头”企业中国神华为例，进行煤炭行业评价指标体系的研究，可以更有代表性的构建出符合煤炭行业特性的指标体系，利于政府对该行业的碳审计的进行监督，同时中国神华能源股份有限公司在减碳发展中有很多开创性举措，以其为例也可以为政府对煤炭行业企业进行减碳发展的进程中提供更多的具有借鉴意义的发展性举措方针，有利于实现“双碳”战略目标。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

(1) 对碳审计内涵的研究

在对于碳审计内容的研究方面。国外学者很早便进行了相关方面的总结，如 Susie Moloney (2009) 指出碳审计即根据国家政策、法规、制度和制度规范和制度规范，单独且客观的审计被审计方的碳排放状况，对其进行监督与评价^[10]。也有审计机构形成了专门性审计，如美国“世界审计机构”是在 1953 年设立，于 2010 年度进行了低碳审计的专门审计，并总结认为碳审计应当包括传统的财务审计、经济效益审计和风险控制审计^[10]。随着时间推移，碳审计内涵的解读也变得更加具体，如 Puneet Dwivedi, Madhu Khanna 和 Ajay Sharma 等 (2016) 则认为碳审计是按照相关的规范和法规，采用针对性的步骤和方式，审计被审企业的碳排放情况，从而提高公司的数据的可信度和可信度^[8]。

(2) 关于碳审计实施方面的研究

根据国内外学者们的研究可以得出，各行业实施碳审计已成为必然发展趋势。在碳审计的多方面应用中都大有裨益，如 Bruce Felmingham 和 Sunday Tasmanian (2008) 结合实例说明了开展碳审计在应对大气环境变迁中的重要作用^[1]。Susie Moloney 等人 (2009) 通过研究得出公司股东和利益相关者通过碳审计的运行及结果不仅可以明确企业日后的发展方向，还能提升企业的竞争优势^[10]。以及 Theodoros Zachariadis (2020) 基于最近环境与税务法律的发展认为对企业实

施低碳审计,可以更快达到全球气候稳定的目的^[12]。同时,Haley Brendan 和 Gaede James (2020)就公司的能耗问题提出了一系列的碳审计方案,以推动经济转型中的低碳国家的可持续能源需求^[4]。

在碳审计的实施方面,还需要很多工具软件和技术的支持。日本环境厅在1999年颁布了《关于环境保护成本的把握及公开的原则》,同时为了协助审计机构进行审计,环境厅推出了环境审计软件,而社会层面来讲,环保和碳审计的智能技术软件也得到了迅速的开发,这对日本的碳审计发展是一个崭新的、具有划时代意义的事件。Bhagat G V;Savoikar P P (2021)通过对绿色混凝土的碳足迹减排能力的研究,验证了绿色混凝土在降低碳排放方面的作用^[2]。

(3) 关于碳审计评价指标体系的研究。

碳审计的评价标准在国外也起步较晚,但深刻认识到其重要的研究的意义。Olson (2010)和其他一些学者认为,由于缺乏统一的标准,使得公司的碳审计可靠性声誉不能保持稳定状态^[6]。Lai, Joseph H. K 等 (2012)则通过对酒店运营管理的案例分析,也提出了建立和遵守碳审计准则的必要性。因此,建立碳审计评估指标体系已经成为实现碳审计工作的一个重要环节^[5]。

国外的一些组织和机构也碳审计的评估指标和具体的评估标准进行相关探讨:1947年成立的“国际标准化组织”认定节能减排审计评估指标体系是由企业经济型指标、环境污染程度和与企业相应的管理状态相关的指标三部分组成。此外,就其所涵盖的具体领域而言,英国 EAC 在其 2009 年度《英国皇室工作报告》中,也就碳足迹的识别、降低温室气体排放、碳排放交易、碳会计核算等问题进行了相关方面的审计研究。

在碳审计评价体系的构建上,首先是模型研究,DSR 模型是国内外公认的经济社会可持续发展评价模型。这一模式是以可持续发展为中心、清晰的因果关系的模式,它的基本思想是:引起资源与生态“状态”的改变的是经济与社会这一“驱动力”,人们在面对环境变迁时,会“响应”一系列的行动,以改进和调节内部和外部系统的可持续性。其次,在指标选择上,国外的学者更多的是关注温室气体排放的影响,Petri Tapio (2005)以交通运输中的温室气体排放为实例,对 GDP 与运输碳排放的关系进行了分析^[7]。萨尔瓦多尔·恩里克·普里亚菲托等 (2007)则提出一组描述人口、GDP、能源消费和二氧化碳排放量的耦合微分方

程，并用洛特卡-伏尔特拉模型来描述^[11]。

由此可见，“碳审计”已经成为研究的热门领域之一，但同国内一样于实施路径中，碳审计评价指标体系的构建很少。

1.2.2 国内研究现状

我国现在关于碳审计的研究还处于起步阶段，相较于国外有些许的落后，关于碳审计的相关理论和学术论文也不是很多，具体严格的相关研究体系还未形成。目前，我国学术界对碳审计问题的探讨，有如下几方面内容：

(1) 关于碳审计内涵的研究。

在碳审计的内容上，大部分学者同郑石桥的看法类似，将碳审计视为从信息、行为和制度三个方面对碳排放的治理职责的执行进行评价，并将其评价结果与各利益相关方进行沟通，根据碳审计的结果对其碳排放行为进行评价并实现监管。具体到其内涵的细论，各学者则各有些许不同。金密（2017）认为，碳排放审计是一项环境审计工作，通过第三方审计机构明确并监督核查公司和政府在碳排放控制上的责任^[26]。俞惠园（2016）则认为“碳审计”是对其它审计制度的扩展；它的基本特征是以传统的审计方式为基础通过扩展后的新途径，即以普通审计的角度对二氧化碳等排放进行监控，并得出科学严谨的审计报告^[58]。而杨博文（2017）^[60]和杨明晖（2019）^[61]对碳排放现状展开了评价和监管，并对特定的碳排放信息进行碳审计鉴证。而对该方面煤炭行业在相关研究中^[26]。钱美莲和樊鹏燕（2010）认为煤炭企业碳审计的内容和方法即利用低碳审计来挖掘煤炭企业的节能减排潜力，指出碳审计是加强公司节能减排工作的有效方法^[43]。

其次，在碳审计理论研究中还存在不足之处。碳审计在开展过程中，李晓清（2017）结合我国目前的低碳经济发展状况，指出目前我国在开展碳审计工作中尚缺乏理论和实践上的支持^[29]。王翀（2017）总结认为，目前碳审计中的问题主要表现为：公司的碳审计主体不够主动，而且没有具体一致的实施规范，碳审计的相关专业人员少，总体运行起来困难较多^[50]。而向倩（2019）则指出当前我国的碳审计体系和模型尚有一定的缺陷，我国在执行碳审计的过程中并没有建立起一套有效的监督和管理制度^[57]。庄尚文、蒋屠鉴、王丽（2020）同样指出目前国内关于“碳审计”的在于碳审计的标准与法律、法规尚不完善、各个审计机构之间的合作不够充分、不协调^[72]。因此，可以得出要健全碳审计的理论框架及其运

行途径和指标体系，必须强化以政府审计为主的碳审计监管，并将其纳入《审计法》，出台《碳审计实施办法》等，从碳审计监管的角度来推进其制度建设。同时政府应尽快推动有关部门尽快研究和制订一套更加完备的、可持续发展的碳审计系统，制定与碳审计有关的操作规范，这样不仅使社会和企业形成减排意识，也丰富了碳审计的理论体系。

（2）关于我国碳审计实施方面的研究。

在碳审计的实施路径研究方面，首先是关于实施步骤的研究中王爱华(2016)认为低碳审计过程包括以下七个步骤：敲定审计项目、判断温室气体排放源、选择低碳审计产品、规定碳审计范围和时间，整理数据并得出具体排放值，对数据的准确性把控、出具审计报告^[53]。郝玉贵等（2015）则将碳审核的总体流程分成五个阶段：询问员工、实地考察、碳足迹核查、到场研究、编制碳审计报告^[24]。何丽梅（2017）认为碳审计是由签协议、准备工作、审查文件、实地审计、出审计报告、内部技术审查、审计报告交付、审计报告交接和保存相关资料^[22]。

其次，在执行碳审计程序时，必须采用合适的方式，并要求有明确的审核标准。张薇（2016）提出，企业的碳审计应以碳足迹评估为依据，从生命周期角度出发，根据国际碳足迹评估准则 ISO14064 和 GHG Protocol 等标准，对制造业碳审计运行的相关状况进行研究^[70]。王爱国（2012）建议，应借鉴国际上关于碳审计的有关规范，对现有的审计标准进行改进，建立适应于我国的我国的碳审计准则^[55]。

再次，我国在碳审计的技术与方法的探讨研究中也逐渐数字智能化发展。郝玉贵（2015）等运用增量式软件的开发方法研制了一套碳审计软件^[24]；管亚梅（2016）提出了以云计算为基础的碳审计协作机制^[20]。彭尚庠（2021）利用排放因素法，对重庆市碳排放状况及行业调整趋势进行了研究，提出了主要涉及政策导向、资源供需平衡，正反因素分析等通过审计促进碳达峰碳中和的监管途径^[41]。

最后，针对煤炭行业碳审计实施路径的研究方面。钱英莲，樊鹏燕（2010）利用生命周期法，对我国的煤炭行业进行了碳排放评估，以此整体判断出企业的低碳发展状况^[43]。陈浮等（2021）建议要对煤矿行业和下游行业的排放进行清晰的界定，建立“能源命运共同体”的观念，促进低碳、防污和协同治理。“双碳”战略目标降低了煤炭消费的比例，这对煤炭工业发展的空间造成了巨大的限制，

但也为煤炭工业提供了结构转型，提高生产水平的机会^[15]。王国法等（2021）从煤炭消费革命、供给革命、技术革命、煤炭制度改革等角度出发，探讨了煤炭在“双碳”战略下的能源结构和煤炭的保障功能，并结合煤炭产业的特点和发展现状，提出了在“双碳”战略的指导下，推进煤炭资源的灵活供给保障、降低煤炭开发和综合能耗、推动煤炭绿色生产及开发 CCS/CCUS 技术等发展方向^[50]。

（3）关于碳审计评价指标体系的研究。

首先，在碳审计评价指标体系的建立上，主要侧重于建立地域性以及各个行业的指标体系。在碳审计的地域性运行研究中，2012 年李晓琴等人利用 DSR 模式对低碳旅游景区进行了实证研究，建立了一个低碳旅游景区的概念模型^[34]。而宁晓刚（2013）是将 PSR 模式与主成分分析、专家打分法相结合，将其应用于太原市高新技术开发区的低碳评估^[40]。李涛（2015）则是立足于城市区域，建立了一套基于层次分析的城市碳审计指标体系^[30]。杨斌（2015）和李涛等人则不同，他们从乡村出发，构建了一套针对乡村生态环境的评估指标体系^[58]。在建立各个行业的碳审计评估指标体系时，张静（2013）是以临海工业企业为例，以 PSR 模型为依据，以“压力”、“状态”和“响应”为依据，选择了相应的指标，并建立了一套适合于此类企业的指标体系^[61]。伍肆、周宁（2013）^[48]和张寒松（2014）^[76]均利用层次分析方法对所选择的各项指标进行赋权，并通过构建评估模型对其进行了实证研究。李海燕（2017）从低碳生态的角度出发，运用层次分析法设计了一套适合我国国情的电力企业碳审计评估指标体系^[28]。而张亚连等（2017）从碳足迹理论入手，动态和静态的指标相结合构建出具体的针对钢铁行业的碳足迹评估指标体系，并将其应用于实际钢铁行业，结果表明，该方法可以为该指标的选择提供一定的理论基础^[69]。施然、李长楚（2020）则是立足于 PSR 模型对电力公司的碳审计状况进行了深入的研究，对 19 项具体的指标进行了设计^[45]。

其次，目前我国煤炭产业发展评价指标体系的建设主要侧重于对煤炭产业的评价、绩效评价、资源配置等方面的研究。李喜云和李红（2011）认为煤炭产业运行过程中对各种资源的高效利用是最优配置的根本，从而构建了煤炭综合利用的最优配置指数^[32]。吴玉萍（2012）等从煤炭、电力、建筑材料产业链的角度出发，从其生产过程，综合利用，环境治理，以及减碳意识四个角度出发，构建出了一套产业全过程的碳评价指标体系，之后从政府、企业、员工等产业链中的有

关主体的角度，给出了产业链发展的相关建议^[54]。颀茂华、胡伟娟（2012）运用 3R 原理，建立了一套基于“二八定律”的评估指标，并运用 AHP 方法对其进行评估^[27]。陆浩杰（2014）通过对焦作煤业公司在整个生产过程中的低碳经济发展情况进行了分析，建立了一套适合于焦作煤业的低碳经济评价指标体系，采用层次分析和熵权法对其权重进行了综合赋权，然后利用 GM（1, 1）模型对企业的低碳发展前景进行了灰度分析，结合相关结果为企业低碳发展提出建议^[35]。张树武（2015）在建立煤炭行业的碳审计评价指标体系的基础上，选择了以样本公司为对象，建立了相应的评价指标体系，为我国煤炭企业的碳审计和生态文明建设提供了一定的参考^[77]。

1.2.3 研究述评

综观国内外现有的研究，国外有关碳审计的研究多以定量为主，已有相当成熟的实践和积累。然而，在国内，碳审计的研究却刚刚起步，至今尚未建立起一套较为完善的制度与架构。目前，我国学者对电力钢铁行业的碳审计评价指标体系已有不少的相关研究成果，但关于碳审计的研究大多集中在碳审计的各个环节上，而对其指标的建立却缺乏深入的探讨，缺乏对其运用和实证分析的深入。然而，从政府审计的视角来看，对煤炭企业的碳审计推进的研究很少，而关于煤炭行业的发展状况的碳审计的实施路径和有针对性的基于政府监管角度的对碳审计评价指标设计和指标权重的实证研究很少，多为能源审计、环境绩效审计等的评价指标体系的构建。在此基础上，建立了以投入产出为视角的评价指标，而以产品生命周期为视角的研究很少，而对煤矿、煤化工等行业的研究则相对较少。本文的研究，将有助于进一步深化和完善碳审计工作，并为行业推进碳审计工作的开展提供有益的参考，有助于加快碳达峰碳中和的发展。

1.3 研究内容、研究方法和技术路线

1.3.1 研究内容

本文主要内容可以分为六个章节：

第一部分：绪论。通过研究当前全球及我国对于尽快实行减碳发展得总体趋势，以及我国提出的“双碳目标”和相应的政策背景，以及现在的发展现状和发展存在的局限和阻碍。

第二部分：文献综述和相关理论基础。通过对国内外碳审计相关文献的阅读和整理，通过明确碳审计相关概念和特征，根据受托环境责任理论、可持续发展理论和低碳经济理论，为本文的研究打下坚实的基础。

第三部分：介绍中国神华公司碳减排及其碳审计现状。本文选取煤炭行业的龙头企业之一的中国神华能源股份有限公司来研究。故本部分从案例公司所处行业即煤炭行业碳排放及碳审计现状介绍入手，然后介绍案例公司即中国神华公司碳排放及碳审计相关状况，分为公司简介和公司碳减排及碳审计现状两部分，并借此进行案例公司构建碳审计评价指标体系的必要性分析。

第四部分：从碳审计评价指标体系构建原则出发，根据煤炭行业的行业特性及现状，基于 DSR 模型进行煤炭行业碳审计评价指标的选取，对层次分析法和熵权法组合赋权进行方法介绍，构建煤炭行业碳审计评价指标体系。最后对进行综合评价的 TOPSIS 评价模型进行介绍，形成更有助于政府监督煤炭行业企业碳审计的评价体系。

第五部分：碳审计评价指标体系的应用研究。根据该公司近年来财务报告、社会责任报告提供的财务数据以及碳减排数据，对相关数据进行标准化处理，基于 DSR 评价模型采用层次分析法（AHP）确定各指标权重，最后利用 TOPSIS 评价模型进行综合评价，根据结果提出相应的完善建议。

第六部分：本部分根据案例企业的碳审计评价指标体系综合评价得出的结果以及相关碳审计发展现状，从政府监督角度出发提出关于煤炭行业企业碳审计评价指标体系在行业企业落实运行的后续保障措施。

第七部分：总结和展望。梳理本文得到的结论，提出相关对策与建议，为政府对煤炭行业企业减碳经济的发展状况进行监督提供相关的标准和依据，更好的引导煤炭产业的经济结构转型。最后，基于以上研究，发现本文的不足之处以及今后努力的方向。

1.3.2 研究方法

(1) 文献研究法。通过从国内外的相关研究出发，进行了归纳和推理，为设计出适应“双碳”战略目标下国有煤炭行业企业的碳审计评价指标体系提供理论基础。

(2) 案例分析法。本文选取煤炭行业的龙头企业之一“中国神华能源股份

有限公司”。主营业务煤炭产业处于行业发展前列，同时在减碳发展中有很多具有带头性的举措。通过对其煤炭开采冶炼、工业生产等过程中碳排放状况进行分析，探究其运行碳审计的可行性；判断前文构建的煤炭行业企业碳审计评价指标体系是否适用于具体企业以及得出的相关评价结果是否科学可靠，有助于政府加强对其履行低碳环保、节能减排的职责和义务的监管。

(3) 定性与定量结合。在对煤矿行业进行碳审计评价指标选取的过程中，本论文以 DSR 模型为基础，利用层次分析法，采取以量化指标为主，将定性与定量相结合的方式，结合当前政策要求以及煤炭行业特征，运用生命周期法，从驱动力因子、状态因子和响应因子三个层面筛选指标，并对指标进行权重分析，量化定性分析的结果，最后结合 TOPSIS 评价模型得到企业碳审计综合评价结果，据此可以得出企业的低碳发展状态及优化方向，构建适合煤炭行业企业的碳审计评价体系。

1.3.3 技术路线

本文将主要从政府审计角度出发，针对在我国“双碳”战略目标下，以煤炭行业龙头企业为研究对象，进一步研究碳审计的实施路径，采用 DSR 模型、运用层次分析法和熵权法结合得到各指标权重，并结合 TOPSIS 评价模型对企业减碳经济发展情况进行综合评价，构建适应于煤炭行业企业的碳审计评价体系，助力于煤炭行业的减碳产业升级，为政府更好地监督煤炭行业企业的低碳经济发展状况，加快实现“双碳中国”的战略目标的现实要求以及煤炭行业企业减碳转型发展的快速实现。

研究技术路线图如图 1-1 所示。

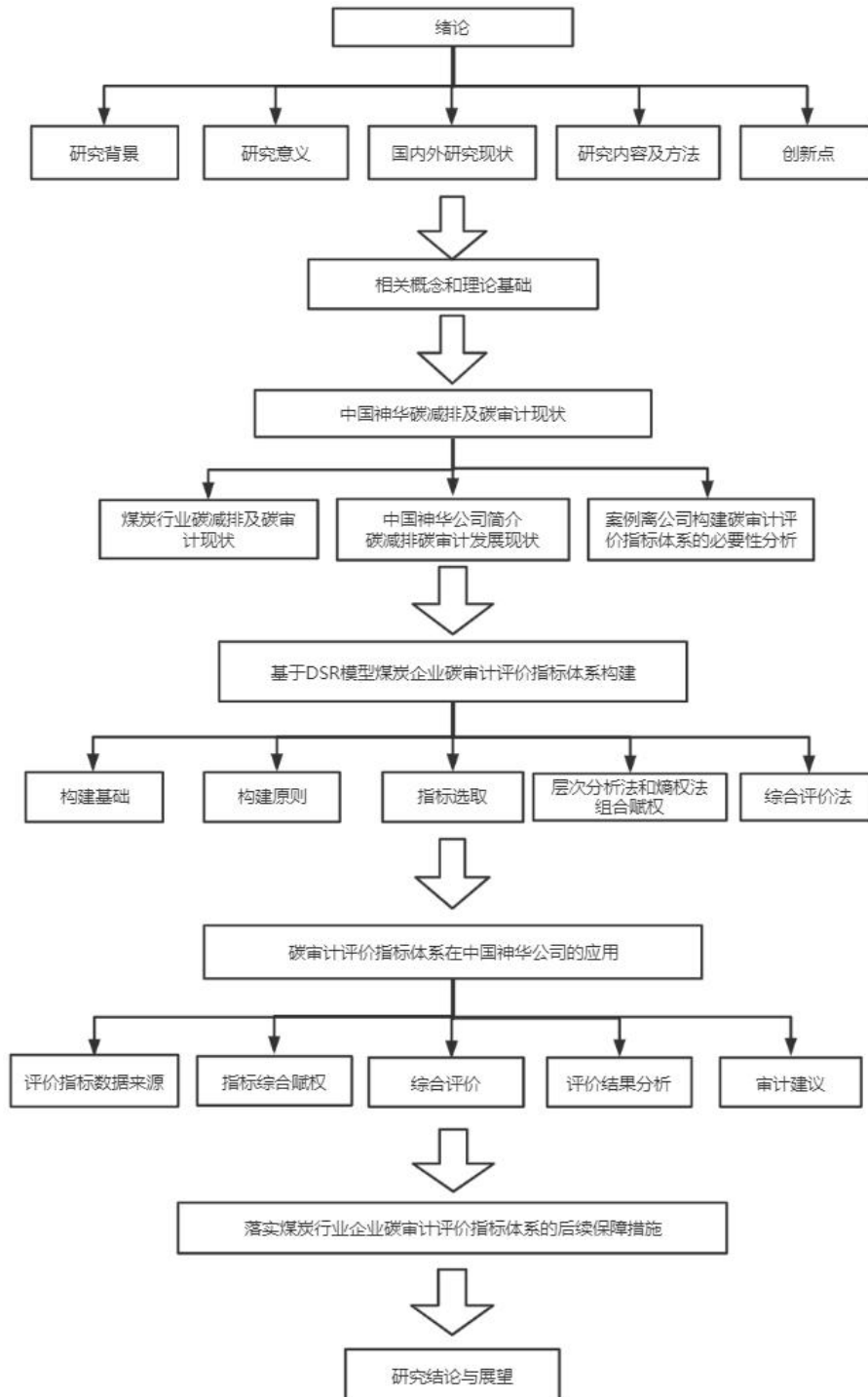


图 1-1 技术路线图

1.4 论文创新点

本论文在选题上基于我国“双碳”战略目标，以政府审计为主体，对煤炭行业企业碳审计的评价指标体系构建这方面，选取具有代表性的煤炭行业企业碳排放的相关状况与碳审计的具体应用和运行进行案例分析，从政府审计的角度出发

对的碳审计进行研究。因此，本文创新点有以下两个方面。

首先，在我国的碳审计试点工作中，以社会审计为主。在政府审计工作中，对煤炭行业企业的碳排放情况监管力度不够。因此，本文从“政府审计”这一角度出发，从对煤炭工业的碳审计实现强制性监管和政策性引导，从而促进整个煤炭行业的碳审计的进一步发展。我国煤炭产业在整体的二氧化碳排放总量中占有很大比重。同时在我国政府环境审计领域，很少有针对煤炭企业进行审计的情况。因此，对我国煤炭行业而言，通过建立碳审计评价指标体系，可以完善我国的政府审计的监管模式，并对其在碳排放领域的监督提供相关执行的标准和依据。这是本论文的一个创新之处。

另一方面，在国内外学者的研究中，基于政府审计视角对于煤炭行业企业碳审计评价指标体系的研究较少，多为能源审计、环境绩效审计等的评价指标体系的构建。同时，在评价指标体系的构建方面的研究中，对该评价指标体系的运用与指标的加权的问题方面还研究较少。因此，所提供政府监督煤炭行业企业进行碳审计的依据较少。同时，目前针对“双碳”战略目标下对于煤炭行业减碳发展的政策要求有所改变，同时煤炭种类更新、煤炭产业的多样化发展和绿色技术不断地创新升级，煤炭产业进行碳审计所面临难在不断更新，相对应的政府监督碳审计的方式，也要随之进一步改进，因此，结合当前“双碳”战略目标的政策背景下煤炭行业企业碳审计具体的评价指标体系构建也属于创新点之一。

2. 碳审计相关概念与理论基础

2.1 概念界定

2.1.1 “双碳”战略目标

习近平主席在第 75 届联合国大会上发表的演讲中表示,《巴黎协定》是世界范围内为应对气候变化而进行的绿色、低碳转变的主要目标,因此,各国都要采取坚决的行动。中国将通过加强自身的努力,制定更多的政策和措施,以使二氧化碳排放量在 2030 年达到碳排放高峰,2060 年达到碳中和。今年元月二十四日,主席在十九届中央党校第三十六次集体学习时说,要通过节能减排、提高能源利用效率、调整产业结构等战略措施,加速推进“双碳”战略进展。加快“双碳”建设是解决我国资源、环境制约等关键问题,是实现可持续发展的必然要求。科技进步必然会促进经济结构的转型与优化,更好地适应人民对美丽的生态环境、建设和谐社会的要求。中国工程院副院长、国家能源专家顾问团副主席杜祥琬说,要达到“双碳”的目的,就是要从能源结构的高度优化,从能源的供应到能源的合理需求,从长远来看,要保证能源的稳定。要以“富煤、少油、少气”为基础,根据“双碳”战略的总体目标和目标,积极推进碳中和工作,强化体制观念,坚持循序渐进,统筹推进污染减排、绿色扩张和发展,以降低碳排放发展来保证能源、产业链供应链的安全,保障人民的正常生活。

2.1.2 碳审计内涵及特性

作为环境审计的重要内容,碳审计是目前的研究热点,而环境审计又是环境监督管理的重要工具。正如郑石桥教授在其“碳审计”系列论文中提出的:碳审计的实质意义在于,它是一个由碳信息、碳行为、碳排放体系三个维度系统且独立的验证客体的碳排放管理义务的执行情况,并将结果传达给利益相关者。也就是说开展碳审计是指对被审计单位的碳排放状况进行计量与评估,并根据其测量与评估的结果,来判定碳排放的具体状态。即是从审计内容、审计对象、审计主体、担保水平和经营理念等几个角度来划分碳审计体系。从与能源审计相关的概念上看,碳审计是环境审计的一个分支部分,它与能源审计相互交错又相互独立。

因为不同的审计对象,在审查碳减排责任的过程中,有必要以碳审计主题为基础,制定具体的碳审计业务,并通过碳审计机构运行。从审计主体的角度来看,

审计主体可以分为财务审计、绩效审计、合规审计和制度审计四大类型。针对碳审计的特点，采用更加精确、有效的碳审计技术，并结合业务的特点，制定相应的审计标准、选择审计取证方式以及碳审计的技术手段，通过流程得到相应的审计结果。进行资源碳排放这一委托任务中，其代理关系为委托与代理人为重要双方，而碳审计组织则是促进碳审计成果的推广，而其它利益相关方也同时密切的进行研究。碳排放审计的主体是中央、地方政府和公众，而中介则是中央和地方政府和重点行业。作为碳审计委托者及结果使用者之一，政府不仅可以对碳审计结果中发现的问题进行监督整改，还可以根据审计结果对问题负责人进行问责，改善行业的碳排放。碳审计机构提出的建议，改善管理体系或工业企业的碳排放绩效；同时，碳审计的结果可运用于减排政策的相关决策。

2.1.3 碳审计评价

碳审计评价方法是综合分析碳审计评价指标的实测值与标准值之间的差异，然后采用合适的评价模型得出评价结果，最终形成一套科学可靠的碳审计评价指标体系，助力政府和企业及其他第三方开展碳审计评价工作，对被审计单位的碳减排情况进行综合分析。不仅可以使企业了解自身碳排放水平，从而更有利于探讨节能减排问题，揭示当前存在的问题，根据被审计单位的具体情况提出相应的改进建议也为政府监督企业低碳发展提供依据。碳审计评价的工作重点是建立和使用评价指标体系，构建一个科学、可行的碳审计评价系统，能使碳审计工作更加简单且高效。

2.1.4 DSR 模型

DSR 模式是由联合国可持续发展委员会（UNCSD）所公布的驱动层、状态层和响应层多层次因素分析模型，其应用领域并不限于自然资源和环境，它还将社会经济环境等各个方面都囊括了进去。DSR 模式包括 Drive force 即驱动力、State 即状态和 Response 即响应三个部分，并按权重分布三个区域。张亚连认为驱动力层主要是由人类活动驱动力、经济发展驱动力和竞争优势驱动力构成，状态则是从环境和经济状态入手，然后从政府政策响应、管理战略响应和污染治理响应着手构成响应的因素层。即驱动因子是人类行为、生产方式、消费方式、技术取向等各种影响环境的非可持续性因素；状态指数是指在一定时期内，由于人为的作用而引起的自然、生态状况、大气污染、水污染、能源短缺等状况的变

化；响应指数是用来反映人们在环境变迁时，对环境的变化做出的积极回应，例如各种环境政策、措施和有意识的管理。

2.2 理论基础

2.2.1 可持续发展理论

“可持续发展”最初是在一九八零年三月五日由国际自然保护组织和国际自然基金会共同制定的。可持续发展是社会主义核心价值观中的重要组成部分，其核心理念是：坚持走可持续发展之路。是指在满足当代社会需求的同时，也不会影响后续发展。可持续发展是为了最终实现包容、协调、公平、高效、多维的发展。发展减碳经济既是实现可持续发展的必然途径，也是实现可持续发展的必要动力。可持续发展与减少温室气体在能源消耗中的作用密不可分。所以，研究碳减排与审计工作，首先要确定可持续发展的原理和目标。

2.2.2 低碳经济理论

传统的经济增长方式是以不受限制的能源消耗和温室气体排放为代价，是全球面临着越来越多的温室效应和环境污染问题，为了解决这一问题，必须转变传统的经济增长方式。低碳经济是一种以降低能源消耗、降低二氧化碳排放量为主要目标的可持续经济发展方式。坚持以实现低碳、节约能源、减少排放为目标，实现可持续发展。在《英国能源白皮书》中《我们的能源未来：创造低碳经济》一文中第一次提出“低碳经济”。其主要是从市场出发，根据市场的具体运行机制为来实现减碳发展。不仅要加强低碳思想的普及、还要完善相关的政策和制度，并通过高效且大量的使用清洁能源，替代生产中传统高排放的能源消耗，从根本上减少温室气体的排放。同时，应大力发展洁净煤、二氧化碳捕集技术等节能减排技术，加大利用清洁能源进行产业发展，从根本上实现减排。因此，通过经济结构转型和发展低碳经济，是实现环境与经济共同发展，加快实现我国的“双碳”战略目标的必然途径。

2.2.3 受托环境责任理论

由于环境问题频繁发生，委托经济责任的范围越来越广，受托人的环境责任也逐渐形成。环境责任的主体是社会公众，而政府和有关的审计机关则是其保护者。由于缺乏节制地利用大气、水源等天然资源的举措，造成环境的恶化，大气

污染的日益严重，最后造成了公共利益的严重损害。因此，人们纷纷选择委托环境治理。在委托环境责任关系中，公众是最终的委托人，而政府进行环境治理的主体则是受托人。碳审计是基于受托环境责任的扩展。在我国的发展过程中，对随着社会需求的提高碳审计的水平也需要实现进一步提升。碳审计是对环境责任理论的进一步完善，它的主体是社会大众通过政府和有关的审计机构监督政府、企事业单位的碳排放量等，以对其提出相应的修正建议。

3. 中国神华公司碳减排及其碳审计现状

3.1 煤炭行业碳排放及碳审计现状

我国对煤炭的依赖很大,以保证主要工业的稳定运转,因此煤炭及下游电力、钢铁行业产生的碳排放量明显高于其他行业,加之我国燃煤机组占比较高,因此根据深度研究“双碳报告”中的能源口径的碳排放数据来看,中国煤炭消费导致我国煤炭及下游行业的碳排放占我国整体碳排放的50%以上。由于我国煤炭技术的不断发展,煤炭资源的开采逐渐走向了大范围统筹的机械化发展,同时由于煤炭生产不会根据气候、季节等因素产生变动,可以带来经济的稳定发展。并且新能源在短期内难以达到煤炭在我国的基本能源地位,所以煤炭的基本能源地位和资源优势仍然十分突出。尽管中国为降低煤炭在能源结构中的占比做出了巨大努力,但预计中国的煤矿产量和消耗仍占据世界首位。

但是,煤炭行业企业在低碳发展的转型过程中由于技术和减碳意识层面的欠缺,造成了碳排放量大、环境污染、资源浪费等问题,严重影响了经济秩序的正常运行和长远发展,很大程度上影响了我国碳排放的总量,同时碳审计运行中存在监督不到位,审计政策和依据不完善,信息不对称、环境不确定等问题;因此,走低碳化道路,优化碳审计模式、提升监督力度、完善监督依据和标准、加快科技投入和人才培养已经箭在弦上。

3.2 中国神华公司企业案例分析

3.2.1 中国神华公司简介

神华集团有限公司,简称神华集团,是我国煤炭行业的龙头企业之一。该集团是一家国有独资企业,由国务院批准组建,是一家集煤炭开采、生产和销售、煤制油及煤化工、电力生产和供应,港口、航运等业务于一体的企业。2017年,神华集团公司合并中国国电集团公司,即现在的国能投资集团公司。神华公司是国内和世界上最大的煤炭供应企业。

在《2021福布斯全球2000强》中,神华集团为第172名。神华集团公司的国资增值和资产增值均名列全行业的前茅,公司的国民经济贡献已连年名列行业的首位,公司的年度盈利也名列国企首位。企业拥有82座煤矿和54座矿井,采矿机械化率100%,1000万吨以上煤矿有22座,年生产能力68485万吨。2021

全年总共销售 4.823 亿吨;总共生产动力煤 3.07 亿吨, 2021 年净利润约 503 亿元, 2020 年中国神华净利润为 391.70 亿元。国家级新建矿山 18 座, 省级绿色矿山 11 座, 包括世界首座 2 亿吨的神东矿区和年产最大的单井煤矿补连塔煤矿。公司在煤矿工业方面创下了中国的许多新记录, 先后荣获全国五一节劳动奖, 中华环境保护奖, 全国质量奖, 国家科技进步奖。《神东现代矿山场地建设与生产技术》获得国家科技进步一等奖。从 2006 年到 2021 年, 在过去的 16 年时间里, 中国神华总共生产了 41.38 亿吨, 总共销售了 60.453 亿吨。这是当之无愧的国资煤炭开采龙头企业, 占全国生产总量, 接近 8%, 比排在第 2 名的陕煤集团高了一半之多。

神华公司不仅在煤炭行业内属于代表性龙头公司, 而且在低碳经济发展转型中著有成效。2021 年神华公司被选入首批 10 家“中国 ESG 示范企业”, 9 月又在国资委《中央企业上市公司 ESG 蓝皮书(2021)》课题组中被评为“央企 ESG 先锋 50 指数”。

3.2.2 中国神华碳减排及碳审计现状

在我国的“双碳”战略目标下, 能源产业的发展有了更高的目标。积极推动企业绿色科技创新和产业结构优化改善。加强清洁技术的改进和可再生能源开发建设, 促进煤炭与新能源优化结合, 实现清洁化采集使用化石能源、智慧能源产业、清洁能源利用能源规模化发展, 采取积极措施, 应对挑战, 引领能源革命的先锋队展示了自己的作用, 并为解决全球气候变化做出了必要的贡献。为推动低碳经济的能源结构转型, 中国神华强化战略引领, 确定“十四五”期间新能源集约发展任务和目标。中国神华投资 40 亿人民币建立北京国能新能源产业, 并投入 20 亿人民币建立北京国能新能源发展的绿色、低碳发展投资基金, 目前正在山西和江苏等地投入到有关行业的建设, 还设立了鑫源壹号子基金。

在煤炭产业发展中注重技术创新与节能减排实施。加强创新引领、智能化引领, 积极推进清洁化生产结构, 在和华为公司的进一步合作中, 推出“煤矿鸿蒙操作系统”, 首次将自主开发的操作系统应用于工业生产, 对促进我国煤矿企业设备及系统的自动化和管理起到了积极的作用。推进火力发电厂的改造和改造, 推进火力发电厂的废物处理和利用, 推进火力发电厂的综合供能。充分发挥现有土地, 资源, 资金等发展的有利条件, 加速新能源工业的发展, 建设零碳工业区,

发展新能源经济。而在相关降碳排放技术的发展中，碳捕集技术的研发和利用是其中的一个关键技术。神华公司锦界发电公司已成功投入运营，并于 2021 年实现了 CO₂ 捕集与埋藏的全过程技术改造，实现了 CO₂ 捕集与封存的高效、安全、高效、低成本的综合利用。本课题被选为《低排放煤炭技术助力零碳亚洲未来》2021 年的研究成果。

近年来，神华公司全面实施环境管理。公司开创煤矿与环保协同新模式，全面推进绿色企业和生态林建设。通过对矿区的复垦，沉陷区的综合治理，采用种树种草、水土保持等措施来扩大造林范围和覆盖范围，发挥减碳固碳作用，以增加碳汇。2021 年，公司新增绿化面积 9256 万平方米，14 座煤矿列入国家绿色矿山名录，6 座煤矿列入省级绿色矿山名录。公司也积极融入碳市场建设。公司对火电、煤化工等主要企业展开了对其的碳排放的管理和检查，并将其与政府的每年碳排放审计数据相比较，从而保证了其结果的正确性。中国神华公司从 2014 年开始便在年报、社会责任报告中进行了碳会计信息披露，开始建立了碳管理体系，披露了相关碳减排的量化指标。但由于整体煤炭行业的碳审计运行现状，该公司的碳审计运行还尚未形成成熟且完整的体系和流程，还存在进一步探索和形成的空间。

3.3 案例公司构建碳审计评价指标体系的必要性分析

我国在煤炭行业的运行过程中仍存在评价体系不健全、信息披露不完善、碳排放数据获取与核算困难、相关制度不完善、审计监督不全面，若不加以限制，就会造成生态破坏，经济落后，产能过剩，同时行业中各企业碳审计的运行也会遇到更多问题。中国神华公司近年来随着经营规模的不断扩张，生产力的不断提升，公司的盈利能力和产业能力不断提升，同时企业的环保机制和 ESG 可持续评价发展体系也在不断完善。然而，企业减碳技术和能力的提升速度还与企业生产经营提升速度存在一定的落差，同时企业碳审计模式和具体运行同煤炭行业企业都未形成具体的体系也未落实到具体的生产过程中。对煤炭行业及案例企业进行相关碳审计的依据和标准也亟待完善和构建。

因此，结合“双碳”政策要求以及煤炭种类更新、煤炭产业的多样化发展和绿色技术不断地创新升级，进一步研究碳审计的实施路径，运用 DSR 模型和使用层次分析法和熵权法综合赋权重来构建适应于煤炭行业龙头企业之一的中国

神华公司的碳审计评价体系，更有助于案例企业的减碳产业升级。同时，可以为政府对煤炭行业企业减碳经济的发展状况进行监督提供相关的标准和依据，更好的引导煤炭产业企业的经济结构转型，也是加快煤炭行业企业减碳转型发展以及快速实现“双碳中国”的战略目标的现实要求。

3.4 煤炭企业二氧化碳排放源分析

煤炭行业近年来碳排放量占我国总排放量的高占比及行业的高耗能特性，故要从煤炭生产经营的碳足迹出发研究碳排放的来源。煤炭行业企业的生产经营流程是指根据煤炭企业从原煤开采到经过洗选加工最终形成商品煤，如图 3-1 所示。

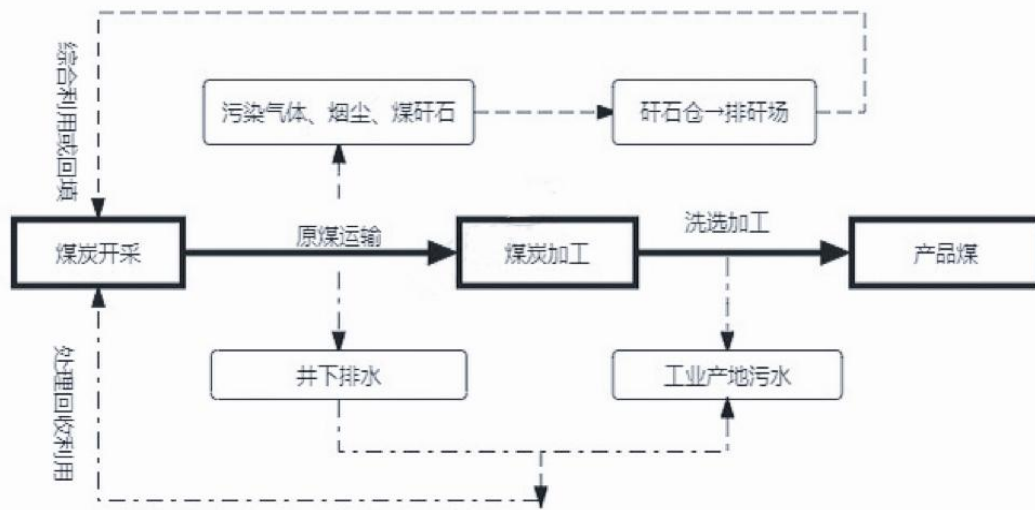


图 3-1 煤炭企业主要生产流程

煤炭企业每个生产经营阶段都会产生相应的污染物排放。根据图 3-2 可以看出，在煤炭开采的过程中，由于露天采矿以及开采进程中所用机器设备产生的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及烟尘的排放、以及采矿成煤过程中所筛掉的运往排矸场的煤矸石（在对煤矸石处理的过程中会产生大量的二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物及粉尘及一些有毒有机物）。而在煤炭加工过程中和工厂运行过程中燃煤会剩余相应的固体废物，即粉煤灰会产生烟尘排放，影响企业的碳排放总量。在煤炭洗选的过程中会产生大量的工业废水，这些工业废水的碳排放源来自于污水处理过程中的能源消耗与碳排放以及无法被直接自然循环的化石碳产生的二氧化碳，提高污水的利用率不仅可以回收利用降低总体耗水量，而且可以减少处理过程中用电燃煤所产生的温室气体。而整个生产过程中运输煤炭，生产所需的发电用煤和回收率低产生的也会导致相应的间接碳排放。

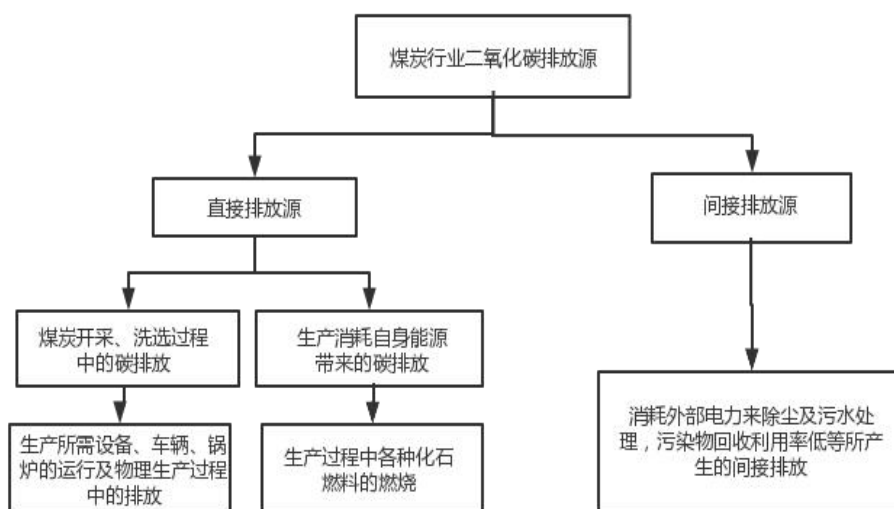


图 3-2 煤炭企业碳排放源分析

4. 基于 DSR 模型的煤炭企业碳审计评价指标体系构建

4.1 煤炭企业碳审计评价指标体系的构建基础

煤炭行业企业的碳审计评价指标体系构建,本文立足于 DSR 模型和煤炭行业的相关特点进行评价指标的选取和体系的构建。首先在选取指标方面本文从煤炭生命周期这一维度开始着手,从煤炭行业生产运营的开采原煤到后续的运输和加工流程来全面的选取指标。筛选指标可以使用频次筛选,通过研究在相关国内外煤炭行业以及能源消耗产业研究的成果中,具有煤炭行业特征并对其碳审计的研究结果有更具体的影响力的指标。然后根据 DSR 模型,即从驱动力、状态和响应三个因素层来评价目标层,将选取的指标对应划分入相应的因素层来进行分层次的研究分析(如图 4-1 所示)。构建好目标层、因素层和指标层后,构建适应于煤炭行业的碳审计评价体系。然后运用层次分析法和熵权法对定性和定量指标进行组合赋权,最后结合 TOPSIS 评价模型对企业减碳经济发展情况进行综合评价。

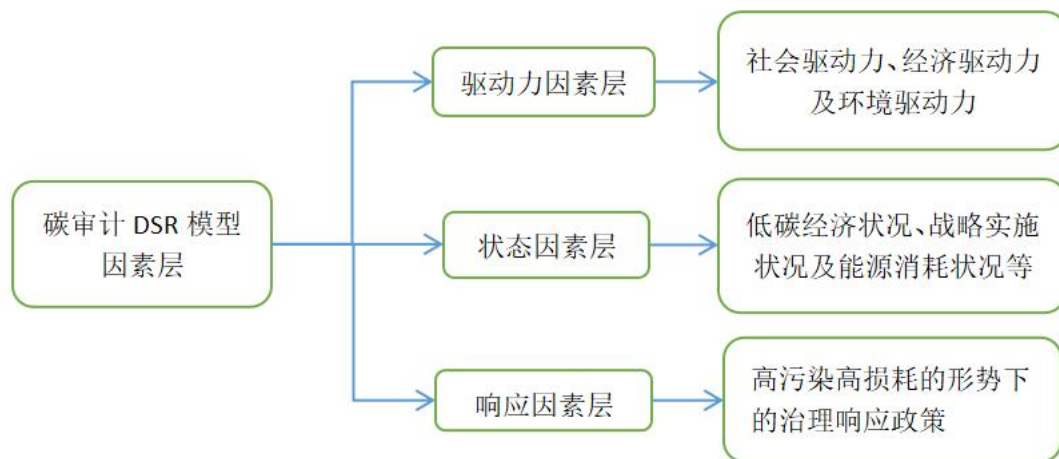


图 4-1 碳审计 DSR 模型图

4.2 碳审计评价指标体系构建原则

(1) 层次性原则

层次即标体系本身的多样性和不同的划分阶层,建立一个逻辑合理、有条理的指标体系,既能简洁明了地表达复杂的问题,又能建立指标之间的连接。煤炭

企业低碳经济发展水平是多种不同方面元素综合影响的结果，因此评价体系也应该是层次分明的，各要素之间要相互联系，形成一个完整且相互融合的体系。

（2）科学性原则

煤炭企业碳审计评价指标体系要科学的选取指标，遵循一定的方法和原则，定量性和定性并重，不仅包括定量指标，还要包括定性指标，即同时包括物理定量指标和价值定量指标。按照科学性原理建立评价指标体系，可以全面、根本地评价我国煤炭工业企业的能源使用、节能环保情况，实现碳审计在运行过程中的准确性及可信性。

（3）全面性原则

煤炭企业碳审计评价指标体系的构建，应立足我国煤炭企业的行业特点、产业结构、运营状况、环保减碳等方面，并以国家实际政策要求为重点。明确审计工作的最终审计目标，完成评价指标获取和资源整合提升，形成全面完整的评价指标体系，全面高效的完成我国煤炭企业的审计工作。确保指标体系各项指标相互衔接、相互制约，各层次指标的选取要根据我国煤炭企业碳审计的每个步骤来完整选取，确保碳审计可以准确高效反映出我国煤炭企业存在相应的各项问题。

（4）可行性原则

煤炭企业碳审计评价指标体系的构建必须可以在生产运行的体系里可以正常运行监督和鉴证作用，而不只是提出一些片面的理论。选定的相关指标应充分响应审计的应用目的，不仅应反映煤炭企业现有的生产技术和方式，还应考虑下一阶段指标体系的扩展和发展潜力。

（5）定性与定量结合原则

在煤炭行业碳审计评价指标的选取中，不仅包括定性指标还应包括一定的定量指标来避免仅选取定性指标所带来的主观性，从而影响指标选取和后续结果的科学性和可信性，同时也会造成指标选取的不全面。在选取指标时定性定量并重以及主客观相结合赋权，可以更准确的反应煤炭行业在运行过程中存在的碳减排问题，发现产业结构的不足，利于政府更好的监督相关企业的减排活动并提出更精准的政策发展方向。

4.3 煤炭企业碳审计评价指标的选取

在选取煤炭行业碳审计评价指标时，不仅要研究各阶段减碳经济结构的发展

状况，还要对煤炭行业不同企业的低碳经济发展状况进行研究与经验总结，同时根据煤炭企业的生命周期来选取指标可以让评价结果更趋于量化，更具有客观性。然后在进行划分归入 DSR 的三个因素层中，构建具体的煤炭行业碳审计评价指标体系。

首先在煤炭行业生命周期的最初阶段是原煤开采阶段，在这个环节中包含的指标基本可以划分为四方面：能源消耗指标、三废排放量化指标、开采技术与效率指标和二氧化碳排放量的相关指标。然后是在煤炭运输的阶段中包括运输消耗的能源量的相关指标以及排放的二氧化碳、二氧化硫及氮氧化物等的排放量指标。而在煤炭加工利用阶段要看煤矸石利用率、三废利用率和原煤洗选率等能源的使用状况指标来反映企业这一环节的低碳经济结构发展状况。最后在低碳发展和环境保护的方面，从清洁能源投入使用状况、企业低碳知识教育程度以及政府低碳资金是否良好的运用等指标角度来进行评价。结合以上关于煤炭行业生产经营的生命周期中得出的适应于构成评价体系的指标方面，根据 DSR 模型的结构和原理从驱动力层面、状态层面和响应层面进行指标分层，最后通过具体的指标构成煤炭行业碳审计的评价指标体系。

(1) 驱动力因素层的指标选取。煤制品生产的各个生产环节都会排放出大量的二氧化碳和污染物。与此同时，由于煤矿企业排放出的污染物存在着污染范围广、污染速度快以及污染难以处理等问题，这些问题不但会对空气和水体造成了很大的影响，还会极大程度的降低环境质量。驱动力指标主要反映煤炭行业生产活动由于过度追求经济效益，反而不重视环境大气的保护，不重视社会效益，不仅对环境造成不可逆的污染和破坏，还对公众生活和健康造成严重影响，影响我国的可持续发展而从经济、社会和环境这三方面带来的驱动影响。因此在进行驱动力指标的选取中，主要涉及的指标有资产总额（D1）、主营业务收入（D2）、商品煤产量（D3）、煤炭销售量（D4）、净利润（D5）、ISO14001 认证程度（D6）。

(2) 状态因素层指标的选取。状态指标是指在煤炭企业在持续的生产经营过程中企业的低碳经济状况、能源消耗状况以及对相关减碳发展政策的落实情况。因此在进行驱状态指标的选取中，具体指标主要涉及二氧化碳排放量（S1）、二氧化硫排放量（S2）、氮氧化物排放量（S3）、烟尘排放量（S4）、生产废水排放量（S5）、粉煤灰产生量（S6）、煤矸石产生量（S7）、万元产值综合能耗（S8）、

是否遵守法律法规（S9）、是否应用清洁生产（S10）、碳捕集与封存技术的使用（R11）。

（3）响应指标选取。响应指标反映了煤炭企业在平衡经济效益与社会效益的同时，为了保护环境，尽量减少造成环境破坏的不可逆影响，实现可持续发展而在污染治理、低碳政策的执行、企业低碳意识、绿色技术的发展和清洁能源的使用等方面进行的相关改进。因此在响应指标的选取方面，主要包括二氧化碳减排率（R1）、二氧化硫减排率（R2）、氮氧化物减排率（R3）、烟尘减排率（R4）、生产废水利用率（R5）、粉煤灰利用率（S6）、煤矸石利用率（R7）、新增绿化面积（R8）、是否实施低碳宣传和教育（R9）、低碳政策及 ESG 目标的响应程度（R10）。通过工业生产废水的排放量和利用量可以判断出企业污水处理过程中的碳排放程度。煤炭行业碳审计评价指标设置如表 4-1 所示。

表 4-1 煤炭行业碳审计评价指标体系

目标层	因素层	指标	指标性质	正负性
中国神华源股份有限公司碳审计评价指标体系	驱动力因子(D)	资产总额	定量指标	正
		主营业务收入	定量指标	正
		商品煤产量	定量指标	正
		煤炭销售量	定量指标	正
		净利润	定量指标	正
		公司纳税总额	定量指标	正
	状态因子(S)	ISO140001 认证程度	定性指标	正
		二氧化碳排放量	定量指标	负
		二氧化硫排放量	定量指标	负
		氮氧化物排放量	定量指标	负
		烟尘排放量	定量指标	负
		生产废水排放量	定量指标	负
		粉煤灰产生量	定量指标	负
		煤矸石产生量	定量指标	负
		万元产值综合能耗	定量指标	负
		是否遵守法律法规	定性指标	正
是否应用清洁生产	定性指标	正		

续表 4-1 煤炭行业碳审计评价指标体系

目标层	因素层	指标	指标性质	正负性
		碳捕集与封存技术的使用	定性指标	正
		二氧化碳减排量	定量指标	正
		二氧化硫减排量	定量指标	正
		氮氧化物减排量	定量指标	正
		烟尘减排率	定量指标	正
	响应因子(R)	生产废水利用率	定量指标	正
		粉煤灰利用率	定量指标	正
		煤矸石利用率	定量指标	正
		新增绿化面积	定量指标	正
		是否实施低碳宣传和教育	定性指标	正
		ESG 目标及国家政策响应	定性指标	正

4.4 指标赋权法

主观赋权在相关专家的经验 and 知识的基础上,对指标的含义的解读和对相关指标对比程度的评价,很大程度上可以反映相关专家和企业决策者的观点;但这种赋权法具有主观性和随意性,对构建的评价指标体系所赋的权重缺乏稳定性和准确性。客观加权法是根据指标之间的相关性或各指标值的变化程度确定权重,基于很强的数学逻辑,虽然减小了人为主观性造成的偏差,但忽视了该指标因素对决策者的影响。它对指标在碳审计实际运行过程中的使用状况,可能会造成赋予的权重与属性的实际重要性不一致的问题。基于主客观方法在使用过程中都各有优势与劣势,因此本文运用主客观加权结果相结合的加权方法,可以综合衡量主观评价和客观反映重要性,增加评价指标体系结果的科学性和实用性。对于主观赋权法,本文将利用专家评分问卷的方式进行指标的主观赋权。而客观赋权法,本文则使用熵权法进行客观赋权,最后将层次分析法和熵权法进行组合确定权重。

4.4.1 层次分析法

(1) 构建层次结构

层次分析法是将构建煤炭行业碳审计评价指标体系的目标层,划分为驱动力、状态和响应三个因素层,然后相对应的形成后续的指标层,来分层次进行分析。

具体层级构建见图表 3-2.

(2) 构造比较矩阵

在构建好层次结构后,对同层次各要素权重的确定是根据构建的矩阵,运用专家问卷打分对其重要性进项排序和打分,这样还可以解决对于定性指标与定量指标的可比性问题,也可以采用专家评分法来评估原始数据信息的缺失,对定性指标进行定性量化。判断矩阵如图表 4-2 所示。

表 4-2 判断比较矩阵

B	A1	A2	...	Am
A1	A11	A12	...	A1m
A2	A21	A22	...	A2m
...
Am	Am1	Am2	...	Amm

在以上构造的判断比较矩阵中,其中满足 $A_{ij} > 0$,同时满足公式 $A_{ij} = 1/A_{ji}$ ($i \neq j$),并且 $A_{ii} = 1$ ($i, j = 1, 2, \dots, m$)。然后将同一层级的各素指标重要程度进行两两对比,形成一到九层级的对比程度对比矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 a_{ij} 表示的是元素 A_i 与 A_j 的重要程度,阶判断矩阵如下图表 4-3。

表 4-3 九级判断矩阵

序号	重要等级	A_{ij} 赋值
1	元素 i 和元素 j 同等重要	1
2	元素 i 比元素 j 稍微重要	3
3	元素 i 比元素 j 明显重要	5
4	元素 i 比元素 j 强烈重要	7
5	元素 i 比元素 j 极端重要	9

续表 4-3 九级判断矩阵

序号	重要等级	A _{ij} 赋值
6	元素 i 比元素 j 稍不重要	1/3
7	元素 i 比元素 j 明显不重要	1/5
8	元素 i 比元素 j 强烈不重要	1/7
9	元素 i 比元素 j 极端不重要	1/9
	两相邻判断中间值	2 (1/2), 4 (1/4), 6 (1/6), 8 (1/8)

(3) 层次分析法权重赋值

在进行运用层次分析法计算权重时要运用方根来计算出相应结果，利用的公式推导步骤如下：

第一步是要得出判断矩阵中各元素的乘积：

$$w_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 1}$$

第二步是得出 m_i 的 n 次方根：

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{m_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 2}$$

第三步是将该向量 $W = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n)^T$ 归一化：

$$\bar{w}_i = \bar{w}_i / \sum_{k=1}^n \bar{w}_k, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 3}$$

第四步是计算该向量最大特征根：

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad \text{公式 4}$$

其中， $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个向量。

(4) 一致性检验

判断矩阵的验证是准确确定指标权重和进行碳审计评估的基础。其根本目的是为了测试所构建的判断比较矩阵是否具有逻辑性和科学性，来验证使用已经构造好的判断矩阵所评价出的结果是否具有可信性。而矩阵是否通过一致性检验取决于机会 CR 的一致性系数，其计算的相应公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{公式 5}$$

在计算出一致性检验指标的 CI 值后，在表 3-4 中对应得出平均随机一致性检验指标 RI 值，然后根据一下公式最终计算出 CR 值。

$$CR = CI/RI \quad \text{公式 6}$$

表 4-4 一致性检验 RI 值

n 阶	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RI 值	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	1.594 3
n 阶	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RI 值	1.60 64	1.613 3	1.620 7	1.629 2	1.635 8	1.640 3	1.646 2	1.649 7	1.655 6	1.658 7	1.663 1	1.667 0	1.669 3	1.672 4

得出具体的 CR 值是为了更好的检验判断矩阵的一致性，根据具体数值推断出一致性的程度。首先在 CR 值大于 0.1 时，可以判断出所构建矩阵无一致性，需要进行改动；而如果 CR 值小于 0.1 大于 0 时，可以判断出构建的矩阵通过了一致性检验。

4.4.2 熵权法

熵权法是一种客观的赋值方法，可以减小评价过程中的主观性。由于指标层的各指标无可比性，所以需要通过消除数据的量纲影响才能计算评价结果，即数据的无量纲化利用熵值赋权重就是量化不确定的指标的重要性程度和重要性范围，以及在计算过程中发生各因素变动的可能性。这样进行进一步的赋权不仅使各指标具有了可比性，同时还保留了指标间本身既有的差别。而在运用熵权法进行指标赋权重的步骤如下：

(1) 首先先选取 n 个年份， m 个指标，则 x_{ij} 为第 i 个年份的第 j 个指标的数值。（ $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, m$ ）

(2) 对指标进行标准化处理

在构建评价指标体系的过程中，其所选取的指标的计算方法和对应的数值大小的意义不同、代表的正负性质不同，若直接进行结合计算，可能导致结果的失误和不合理，影响评价体系的确认。因此，需要将所有的指标进行统一计量方法，进行标准化处理为可一起计算的水平相同的数值，才能保证计算结果的准确性和科学性。标准化处理数据的公式如下，根据公式得出数据标的准化处理结果。

$$\text{正向指标: } x'_{ij} = \left[\frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})} \right] \times 100 \quad \text{公式 7}$$

$$\text{负向指标: } x'_{ij} = \left[\frac{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - x_{ij}}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})} \right] \times 100 \quad \text{公式 8}$$

x'_{ij} 为第 i 个年份的第 j 个指标的数值。 ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

即 $x'_{ij} = x_{ij}$ 。

(3) 计算各个指标在每年的权重, 通过列出数据比重表显示处理结果, 计算权重公式如下:

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}, (i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m) \quad \text{公式 9}$$

(4) 计算第 j 项指标的熵值 e_j 和差异系数 d_j , 然后计算权重 w_j , 计算的公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \text{ 其中, } k > 0, k = 1/\ln(n), e_j \geq 0 \quad \text{公式 10}$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{m - E_e}, \text{ 式中 } w_j = \frac{1 - e_j}{m - E_e} \quad \text{公式 11}$$

$$d_j = 1 - e_j \quad \text{公式 12}$$

4.4.3 层次分析法与熵权法的组合赋权法

运用层次分析法和熵权法取得组合权重, 可以使所赋权重更具科学性和可靠性。郭亚军发表文章《组合评价方法的相对有效性分析及应用》中指出, 组合权重的赋值更偏向于客观赋值, 故需要判定层次分析法和熵权法组合权重时, 要取组合权重与熵权法权重偏差的平方和最小时的值。其计算方式如下:

设层次分析法和熵权法组合下确认的第 i 个指标的权重为 w_i 。其表示一种由 $w_i^{(a)}$ 和 $w_i^{(e)}$ 构成的线性组合, 公式中用 α 表示主观偏好系数, 代表层次分析法所赋权重所占比重, 同时 $\alpha \in [0, 1]$; $1 - \alpha$ 则代表的是熵权法所赋权重所占比重的一种客观偏好系数。其推定公式为:

$$W_i = \alpha w_i^{(a)} + (1 - \alpha) w_i^{(e)} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \text{公式 13}$$

然后根据组合权重与熵权法权重偏差平方和最小化的目标构建函数公式:

$$\text{Min}O = \sum_{i=1}^m [(w_i - w_i^{(a)})^2 + (w_i - w_i^{(e)})^2] \quad \text{公式 14}$$

接下来求一阶导数为 0 的情况下 α 的值为 0.5，因此具体函数公式为：

$$w_i = 0.5w_i^{(a)} + 0.5w_i^{(e)} \quad \text{公式 15}$$

最终组合权重即是指层次分析法和熵权法所赋权重各占一半比例，则最后可以出的组合权重 $w=[w_1, w_2, \dots, w_m]^T$ 。

4.5 煤炭企业碳审计评价方法——TOPSIS 评价模型

4.5.1 模型介绍

C. L. Hwang 和 K. Yoon 在 1981 年开创性的提出 TOPSIS 法，是一种对已有的目标与理想解对比做出比较优劣的评估方法。在 TOPSIS 法中，理想的目标有两种，一种是积极的理想目标，一种是消极的理想目标，最好的评价是离最佳目标最近，离最差的目标距离最远的。距离常采用考斯基距离来计算。

TOPSIS 法是一种对理想对象相似度进行排序的方法，是一种很好的多目标决策分析方法。该方法是利用标准化后的数据矩阵，求出多个目标中的最佳和最差情况，分别求出各个目标与正理想解和反理想解之间的间距，从而得到每个目标与其接近程度，并将其按接近程度排序，从而确定其优劣。当贴近度为 0~1 时，其近似值越接近 1，则对应的评估对象就越接近最佳；反之，这个数值愈趋近于 0，则说明评估指标愈趋近于最差。这种方法在项目投资、土地规划等诸多方面的成功运用，使其的科学性、准确性和可操作性得到了一定程度的和显著的改善。在构建煤炭企业碳审计评价指标体系的过程中，使用 TOPSIS 综合评价模型，不仅可以体现本文所构建的评价指标体系在企业实际使用过程中的状态，反映企业当前低碳发展的真实情况，还可以归一化处理不同标准的数据，使得碳审计的工作难度降低，提高完成效率。

通过以上步骤，即可以通过 TOPSIS 法对所构建的煤炭企业的碳审计评价指标体系及运用层次分析法和熵权法综合所赋权重进行综合评价，判断企业在每年在评价指标体系各指标所研究的各方面与理想解的贴近度，即判断在评价指标体系的哪些方面还需要改进。

4.5.2 模型具体评价流程

TOPSIS 法是运用该数学模型判断最优解的方式之一，其运算推导步骤如下：

(1) 在进行最优解判断时，通常有 m 个评价目标 X_1, X_2, \dots, X_m ，每个目标对应 n 评价指标 A_1, A_2, \dots, A_n 。首先根据指标具体数值和权重，通过对向量进行规范化处理得出规范决策矩阵，设该矩阵为 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ，规范化决策矩阵 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ ，其中：

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad \text{公式 16}$$

(2) 构成加权规范阵 $C = (c_{ij})_{m \times n}$ 。设由决策人给定各属性的权重向量为 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ，则：

$$c_{ij} = w_j \cdot b_{ij}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad \text{公式 17}$$

(3) 确定正理想解 C^* 和负理想解 C^0 。设正理想解 C^* 的第 j 个属性值为 c_j^* ，负理想解 C^0 的第 j 个属性值为 c_j^0 ，则：

$$\text{正理想解 } c_j^* = \begin{cases} \max_i c_{ij}, j \text{ 为效益型属性,} \\ \min_i c_{ij}, j \text{ 为成本型属性,} \end{cases} j=1, 2, \dots, n, \quad \text{公式 18}$$

$$\text{负理想解 } c_j^0 = \begin{cases} \min_i c_{ij}, j \text{ 为效益型属性,} \\ \max_i c_{ij}, j \text{ 为成本型属性,} \end{cases} j=1, 2, \dots, n, \quad \text{公式 19}$$

(4) 求各种方案到正理想解和负理想解的距离。备选方案 d_i 到正理想解的距离为：

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^*)^2}, i=1, 2, \dots, m \quad \text{公式 20}$$

以及备选方案 d_i 到负理想解的距离为：

$$s_i^0 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^0)^2}, i=1, 2, \dots, m \quad \text{公式 21}$$

(5) 各方案的排队指标值（即综合评价指数），即：

$$f_i^* = \frac{s_i^0}{s_i^0 + s_i^*}, i = 1, 2, \dots, m \quad \text{公式 22}$$

(6) 最后则是按 f_i^* 由大到小排列方案的优劣次序，排序结果贴近度 f_i^* 值越大该目标越优， f_i^* 值最大的为最优评标目标。

因此本文即根据前文中通过层次分析法和熵权法得出的综合权重并结合中国神华公司近三年的各指标具体数值，代入 Topsis 模型进行分析。首先，以公司最近几年的各项指数及加权为基础，利用标准化的矩阵，求取各个指数的正负性，然后计算各个年度的加权矢量与正、逆两种指数的关系，得到年度指数与理想指数的接近程度，然后，依据理论指数的接近程度，将这些指数按其接近程度进行排名，以此判断碳审计的客体企业每年低碳经济各方面的发展情况。以此来进一步为政府监督和引导煤炭企业低碳经济发展方向提供依据和指导方向，进一步加快实现我国的“双碳”战略目标。

5. 碳审计评价指标体系在中国神华公司的应用

5.1 中国神华评价指标数据来源

本文的主观数据的来源是通过问卷星制作调查问卷,对不同指标层的指标进行两两重要性程度对比,然后通过邮件形式请专家进行评分而得出的具体主观性数据。在此次调查中共邀请 9 位专家对所构建的评价指标体系从不同角度进行专业性评价,包括 2 位煤炭企业洗煤和环保主管,4 位煤炭企业的技术研发人员,2 位参与过煤炭行业审计业务的事务所审计人员打分和 1 位审计学教授。

而本文指标具体客观数据大多来源于中国神华能源股份有限公司近年来披露的年报和环境、社会责任和公司治理报告及正式文件、统计报告与财务报告。污水利用率、综合能耗等指标是按国家规定或行业标准计算,如:《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020)、《企业用水统计通则》(GB/T26719-2011)、《能源统计报表制度(2019)》等。并将所选取的碳审计定性定量评价指标统一层次标准,统一正负性指标的数据表达,消除不同指标间的不可比性,对定性指标则采取 1 和 0 表示是和否的含义,最终综合整理本文所构建的指标体系所需的数据见表 5-1。

表 5-1 神华公司评价指标数据

指标层	2019 年	2020 年	2021 年	单位
资产总额	5584	5585	5872	亿
主营业务收入	2333	2419	2641	亿
商品煤产量	2.827	2.916	3.07	亿吨
煤炭销售量	4.471	4.464	4.823	亿吨
净利润	472.7	515.4	540.4	亿
公司纳税总额	154	151.8	160.3	亿
ISO14001 认证程度	1	1	1	0 或 1
二氧化碳排放量	15741	13,490	17665	万吨
二氧化硫排放量	1.04	0.89	0.92	万吨
氮氧化物排放量	2.02	1.87	1.94	万吨
烟尘排放量	0.179	0.147	0.126	万吨
生产废水排放量	154.48	168.74	159.99	百万吨

续表 5-1 神华公司评价指标数据

指标层	2019 年	2020 年	2021 年	单位
一般固废排放量	2176.16	2806.66	1537.77	万吨
粉煤灰产生量	562.59	703.93	780.63	万吨
煤矸石产生量	2021.53	3683.49	3891.87	万吨
万元产值综合能耗	2.96	3.05	2.92	吨标准煤/万元
是否遵守法律法规	1	1	1	0 或 1
是否应用清洁生产	1	1	1	0 或 1
碳捕集与封存技术的使用	1	1	1	0 或 1
二氧化碳减排量	9325	2251	-4175	万吨
二氧化硫减排量	0.81	0.15	0.03	万吨
氮氧化物减排量	1.8	0.15	-0.03	万吨
烟尘减排量	0.11	0.032	0.021	万吨
废水利用率	83.20	74.84	76.03	%
粉煤灰利用率	86.82	71.16	85.2	%
煤矸石利用率	43.62	34.05	68.1	%
新增绿化面积	1,472	1,083	9,256	万平方米
是否实施低碳宣传和教育	1	1	1	0 或 1
环保资金投入	14.24	20.99	23.45	亿元
ESG 目标及国家政策响应	1	1	1	0 或 1

资料来源：2019-2021 年中国神华能源股份有限公司年报、环境责任报告

5.2 中国神华评价指标权重的计算

5.2.1 层次分析法赋权

在进行层次分析法时，通过整理收回的有效问卷进行数据汇总处理，根据最终赋值结果形成判断矩阵，最终计算得到各因素的权重。

(1) 因素层赋权

首先根据收回的专家问卷中针对驱动力、状态和响应各因素层重要性程度的打分结果进行整理，构成因素层的比较判断矩阵 A。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

再根据问卷打分结果的平均值得出矩阵 A 后,对矩阵进行归一化处理,本文运用 SPSSAU 软件进行权重处理,根据前文中所列举的层次分析法的赋权公式得出驱动力层各指标的特征向量值及权重值,如因素层层层次分析法数据表 5-2 所示。

表 5-2 因素层层层次分析法数据

	驱动力因素层	状态因素层	响应因素层
驱动力因素层	1.000	2.000	2.000
状态因素层	0.500	1.000	1.000
响应因素层	0.500	1.000	1.000

最后对所构建矩阵进行一致性检验,依据公式得出矩阵 A 的特征向量 $W_A = (1.500, 0.750, 0.750)$; 得出最大特征值为 $\lambda_{\max} = 3.000$, 一致性指标 $CI = 0.000$ 。在指标层中, $n = 3$, 故平均随机一致性指标 $RI = 0.520$, 根据公式 6 推出一致性比率 $CR = 0.000$, 此时 $CR < 0.1$, 表明该矩阵通过一致性检验, 所赋权重验证适合。因素层层相对权重具体层次分析结果为因素层层矩阵权重分析表 5-3。

表 5-3 因素层层矩阵权重分析

	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
驱动力因素层	1.500	0.500		
状态因素层	0.750	0.250	3.000	0.000
响应因素层	0.750	0.250		

(2) 驱动力层指标赋权

首先将驱动层的指标根据九级判断矩阵由专家进行打分,然后构建判断矩阵 D。

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 2 & 4 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 3 & 3 \\ \frac{1}{2} & 4 & 1 & 2 & 2 & 3 & 2 \\ \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 4 & 2 \\ \frac{1}{2} & 2 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & 4 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

再根据问卷打分结果的平均值得出矩阵 D 后，对矩阵进行归一化处理，本文运用 SPSSAU 软件进行权重处理，根据前文中所列举的层次分析法的赋权公式得出驱动力层各指标的特征向量值及权重值，如驱动力指标层层次分析法数据表 5-4 所示。

表 5-4 驱动力指标层层次分析法数据表

驱动层指标	资产总额	主营业务收入	商品煤产量	煤炭销售量	净利润	公司纳税总额	ISO140001 认证程度
资产总额	1.000	2.000	2.000	3.000	2.000	4.000	2.000
主营业务收入	0.500	1.000	0.250	0.333	0.500	3.000	3.000
商品煤产量	0.500	4.000	1.000	2.000	4.000	3.000	2.000
煤炭销售量	0.333	3.000	0.500	1.000	3.000	4.000	2.000
净利润	0.500	2.000	0.250	0.333	1.000	4.000	2.000
公司纳税总额	0.250	0.333	0.333	0.250	0.250	1.000	1.000
ISO140001 认证程度	0.500	0.333	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000

最后对所构建矩阵进行一致性检验，依据公式得出矩阵 D 的特征向量 $W_D = (1.787, 0.740, 1.591, 1.189, 0.837, 0.348, 0.508)$ ；和其最大特征值 $\lambda_{max} = 7.754$ ，一致性指标 $CI = 0.126$ 。在驱动力指标层中， $n = 7$ ，即平均随机一致性指标 $RI = 1.360$ ，根据公式 6 推出一致性比率 $CR = 0.092$ ，此时 $CR < 0.1$ ，表明该矩阵通过一致性检验，所赋权重验证适合。驱动力指标层相对权重具体层次分析结果为驱动力层矩阵权重分析表 5-5。

表 5-5 驱动力层矩阵权重分析

驱动层指标	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
资产总额	1.787	0.255		
主营业务收入	0.740	0.106		
商品煤产量	1.591	0.227		
煤炭销售量	1.189	0.170	7.754	0.126
净利润	0.837	0.120		
公司纳税总额	0.348	0.050		
ISO14001 认证程度	0.508	0.073		

(3) 状态层指标赋权

首先将状态的指标根据九级判断矩阵由专家进行打分，然后构建判断矩阵 S。

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 1 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 1 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 2 & \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 2 & \frac{1}{3} & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

再根据问卷打分结果的平均值得出矩阵 S 后，对矩阵进行归一化处理，本文运用 SPSSAU 软件进行权重处理，根据前文中所列举的层次分析法的赋权公式得出状态层各指标的特征向量值及权重值，如状态指标层层次分析法数据表 5-6 所示。

表 5-6 状态层次分析法数据表

	二氧化碳排放量	二氧化硫排放量	氮氧化物排放量	烟尘排放量	生产废水排放量	粉煤灰产生量	煤矸石产生量	万元产值综合能耗	是否遵守法律法规	是否应用清洁生产	碳捕集与封存技术的使用
二氧化碳排放量	1.000	2.000	2.000	3.000	3.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
二氧化硫排放量	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	3.000	3.000	1.000	2.000	0.500	0.500
氮氧化物排放量	0.500	0.500	1.000	2.000	3.000	3.000	3.000	1.000	2.000	0.500	0.500
烟尘排放量	0.333	0.333	0.500	1.000	2.000	1.000	1.000	0.500	1.000	0.333	0.333
生产废水排放量	0.333	0.250	0.333	0.500	1.000	0.500	0.500	0.333	1.000	0.333	0.333
粉煤灰产生量	0.500	0.333	0.333	1.000	2.000	1.000	1.000	0.500	1.000	0.333	0.333
煤矸石产生量	0.500	0.333	0.333	1.000	2.000	1.000	1.000	0.500	1.000	0.333	0.333
万元产值综合能耗	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	2.000	2.000	1.000	1.000	0.500	0.500
是否遵守法律法规	1.000	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
是否应用清洁生产	1.000	2.000	2.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	0.500	1.000	1.000
碳捕集与封存技术的使用	1.000	2.000	2.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	0.333	1.000	1.000

最后对所构建矩阵进行一致性检验，依据公式得出矩阵 S 的特征向量 $W_5 = (1.362, 1.298, 1.080, 0.549, 0.401, 0.557, 0.557, 1.012, 1.176, 1.510, 1.496)$ ；和其最大特征值 $\lambda_{max} = 11.970$ ，一致性指标 $CI = 0.097$ 。在状态指标层中， $n = 1$ ，即平均随机一致性指标 $RI = 1.520$ ，根据公式 6 推出一致性比率 $CR = 0.064$ ，此时 $CR < 0.1$ ，表明该矩阵通过一致性检验，所赋权重验证适合。状态指标层相对权重具体层次分析结果为状态层矩阵权重分析表 5-7。

表 5-7 状态层矩阵权重分析

状态层指标	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
二氧化碳排放量	1.362	0.124		
二氧化硫排放量	1.298	0.118		
氮氧化物排放量	1.080	0.098		
烟尘排放量	0.549	0.050		
生产废水排放量	0.401	0.036		
粉煤灰产生量	0.557	0.051	11.970	0.097
煤矸石产生量	0.557	0.051		
万元产值综合能耗	1.012	0.092		
是否遵守法律法规	1.176	0.107		
是否应用清洁生产	1.510	0.137		
碳捕集与封存技术的使用	1.496	0.136		

(4) 响应层指标赋权。

首先将响应层的指标根据九级判断矩阵由专家进行打分，然后构建判断矩阵

R。

$$R = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 4 & 2 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 4 & 2 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 1 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 1 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 1 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix}$$

再根据问卷打分结果的平均值得出矩阵 R 后，对矩阵进行归一化处理，本文

运用 SPSSAU 软件进行权重处理，根据前文中所列举的层次分析法的赋权公式得出响应层各指标的特征向量值及权重值，如响应指标层层次分析法数据表 5-8 所示。

表 5-8 响应层层次分析法数据表

	二氧化 碳减排 量	二氧化 硫减排 量	氮氧化 物减排 量	烟尘减 排量	废水利 用率	粉煤灰 利用率	煤矸石 利用率	新增绿 化面积	是否实施 低碳宣传 和教育	国家政 策响应 程度
二氧化 碳减排 量	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	3.000	3.000	3.000	4.000	2.000
二氧化 硫减排 量	1.000	1.000	1.000	3.000	4.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.500
氮氧化 物减排 量	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	2.000	2.000	0.500
烟尘减 排量	0.333	0.333	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	2.000	3.000	0.500
废水利 用率	0.250	0.250	0.333	0.333	1.000	0.500	0.500	3.000	2.000	0.333
粉煤灰 利用率	0.333	0.333	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	3.000	3.000	0.500
煤矸石 利用率	0.333	0.333	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.500
新增绿 化面积	0.333	0.333	0.500	0.500	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000
是否实 施低碳 宣传和 教育	0.250	0.333	0.500	0.333	0.500	0.333	0.333	1.000	1.000	0.500
国家政 策响应 程度	0.500	2.000	2.000	2.000	3.000	2.000	2.000	1.000	2.000	1.000

最后对所构建矩阵进行一致性检验，依据公式得出矩阵 R 的特征向量 $W_R = (1.876, 1.630, 1.046, 0.867, 0.541, 0.873, 0.773, 0.542, 0.405, 1.447)$ ；和其最大特征值 $\lambda_{\max} = 10.776$ ，一致性指标 $CI = 0.086$ 。在状态指标层中， $n = 10$ ，由表 3-5 所示，平均随机一致性指标 $RI = 1.490$ ，根据公式推出一致性比率 $CR = 0.058$ ，

此时 $CR < 0.1$ ，表明该矩阵通过一致性检验，权重分配合理。响应指标层相对权重具体层次分析结果为响应层矩阵权重分析表 5-9。

表 5-9 响应层矩阵权重分析

响应层指标	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
二氧化碳减排量	1.876	0.188		
二氧化硫减排量	1.630	0.163		
氮氧化物减排量	1.046	0.105		
烟尘减排量	0.867	0.087		
废水利用率	0.541	0.054	10.776	0.086
粉煤灰利用率	0.873	0.087		
煤矸石利用率	0.773	0.077		
新增绿化面积	0.542	0.054		
是否实施低碳宣传和教育	0.405	0.041		
国家政策响应程度	1.447	0.145		

根据以上的运算和推断可以分别确定各因素层和每层的指标分别的重要性程度和所赋权重，可以通过用各因素层的权重乘每层各个指标的权重，最终得出层次分析法下碳审计评价指标体系各评价指标的权重结果，如图表 5-10 所示。

表 5-10 层次分析法下碳审计评价指标体系综合权重

因素层	权重	指标	指标权重	综合权重
驱动力 因子 (D)	0.500	资产总额	0.255	0.1275
		主营业务收入	0.106	0.0530
		商品煤产量	0.227	0.1135
		煤炭销售量	0.170	0.0850
		净利润	0.120	0.0600
		公司纳税总额	0.050	0.0250
		ISO140001 认证程度	0.073	0.0365

续表 5-10 层次分析法下碳审计评价指标体系综合权重

因素层	权重	指标	指标权重	综合权重
状态 因子 (S)	0.250	二氧化碳排放量	0.124	0.0310
		二氧化硫排放量	0.118	0.0295
		氮氧化物排放量	0.098	0.0245
		烟尘排放量	0.050	0.0125
		生产废水排放量	0.036	0.0090
		粉煤灰产生量	0.051	0.0128
		煤矸石产生量	0.051	0.0128
		万元产值综合能耗	0.092	0.0230
		是否遵守法律法规	0.107	0.0268
		是否应用清洁生产 碳捕集与封存技术的使用	0.137 0.136	0.0343 0.0340
响应 因子 (R)	0.250	二氧化碳减排量	0.188	0.0470
		二氧化硫减排量	0.163	0.0408
		氮氧化物减排量	0.105	0.0263
		烟尘减排率	0.087	0.0218
		废水利用率	0.054	0.0135
		粉煤灰利用率	0.087	0.0218
		煤矸石利用率	0.077	0.0193
		新增绿化面积	0.054	0.0135
		是否实施低碳宣传和教 育 ESG 目标及国家政策响应	0.041 0.145	0.0103 0.0363

5.2.2 熵权法赋权

(1) 运用熵权法进行赋权进行赋权重时, 首先, 根据神华公司 2019 到 2021 年各定量指标的具体数值进行标准化处理, 转为无量纲化数据, 根据公式 7 和公式 8, 得出神华公司标准化数据表 5-11。

表 5-11 神华公司数据标准化处理

	指标层	性质	2019	2020	2021
驱动力 指标 (D)	资产总额	正向	0.0000	0.0035	1.0000
	主营业务收入	正向	0.0000	0.2792	1.0000
	商品煤产量	正向	0.0000	0.3663	1.0000
	煤炭销售量	正向	0.0195	0.0000	1.0000
	净利润	正向	0.0000	0.6307	1.0000
	公司纳税总额	正向	0.2588	0.0000	1.0000
	ISO140001 认证程度	正向	1.0000	1.0000	1.0000
状态指标 (S)	二氧化碳排放量	负向	0.4608	1.0000	0.0000
	二氧化硫排放量	负向	0.0000	1.0000	0.8000
	氮氧化物排放量	负向	0.0000	1.0000	0.5333
	烟尘排放量	负向	0.0000	0.6038	1.0000
	生产废水排放量	负向	1.0000	0.0000	0.6136
	粉煤灰产生量	负向	1.0000	0.3518	0.0000
	煤矸石产生量	负向	1.0000	0.1114	0.0000
	万元产值综合能耗	负向	0.6923	0.0000	1.0000
	是否遵守法律法规	正向	1.0000	1.0000	1.0000
	是否应用清洁生产	正向	1.0000	1.0000	1.0000
	碳捕集与封存技术的使用	正向	1.0000	1.0000	1.0000
响应指标 (R)	二氧化碳减排量	正向	1.0000	0.4760	0.0000
	二氧化硫减排量	正向	1.0000	0.1538	0.0000
	氮氧化物减排量	正向	1.0000	0.0984	0.0000
	烟尘减排率	正向	1.0000	0.1236	0.0000
	废水利用率	正向	1.0000	0.0000	0.1423
	粉煤灰利用率	正向	1.0000	0.0000	0.8966
	煤矸石利用率	正向	0.2811	0.0000	1.0000
	新增绿化面积	正向	1.0000	0.7341	0.0000
	是否实施低碳宣传和教育	正向	1.0000	1.0000	1.0000
	ESG 目标及国家政策响应	正向	1.0000	1.0000	1.0000

(2) 然后根据归一化处理后的结果, 根据公式 9 计算各指标于每个年份占该指标的比重, 计算结果如下数据比重处理结果表 5-12 所示。

表 5-12 数据比重处理结果

	指标层	2019	2020	2021
驱动力 指标 (D)	D1 资产总额	0.0001	0.0036	0.9963
	D2 主营业务收入	0.0001	0.2183	0.7816
	D3 商品煤产量	0.0001	0.2681	0.7318
	D4 煤炭销售量	0.0192	0.0001	0.9807
	D5 净利润	0.0001	0.3868	0.6132
	D6 公司纳税总额	0.2056	0.0001	0.7943
	D7 ISO140001 认证程度	0.3333	0.3333	0.3333
状态 指标 (S)	S1 二氧化碳排放量	0.3155	0.6845	0.0001
	S2 二氧化硫排放量	0.0001	0.5555	0.4444
	S3 氮氧化物排放量	0.0001	0.6521	0.3478
	S4 烟尘排放量	0.0001	0.3765	0.6235
	S5 生产废水排放量	0.6197	0.0001	0.3803
	S6 粉煤灰产生量	0.7397	0.2602	0.0001
	S7 煤矸石产生量	0.8996	0.1003	0.0001
	S8 万元产值综合能耗	0.4091	0.0001	0.5909
	S9 是否遵守法律法规	0.3333	0.3333	0.3333
	S10 是否应用清洁生产	0.3333	0.3333	0.3333
	S11 碳捕集与封存技术的使用	0.3333	0.3333	0.3333
响应 状态 (R)	R1 二氧化碳减排量	0.6774	0.3225	0.0001
	R2 二氧化硫减排量	0.8665	0.1334	0.0001
	R3 氮氧化物减排量	0.9103	0.0896	0.0001
	R4 烟尘减排率	0.8899	0.1101	0.0001
	R5 废水利用率	0.8753	0.0001	0.1247
	R6 粉煤灰利用率	0.5272	0.0001	0.4727
	R7 煤矸石利用率	0.2194	0.0001	0.7805
	R8 新增绿化面积	0.5766	0.4233	0.0001
	R9 是否实施低碳宣传和教育	0.3333	0.3333	0.3333
	R10 ESG 目标及国家政策响应	0.3333	0.3333	0.3333

(3) 根据数据比重的结果，依据公式 10 到公式 12 计算第 j 项指标的熵

值 e_j ，然后计算权重 w_j ，形成结果如下表 5-13 的熵值和权重结果所示。

表 5-13 熵值和权重结果

	指标层	熵值	差异系数	权重
驱动力 指标 (D)	D1 资产总额	0.0224	0.9776	0.0829
	D2 主营业务收入	0.4784	0.5216	0.0443
	D3 商品煤产量	0.5298	0.4702	0.0399
	D4 煤炭销售量	0.0874	0.9126	0.0774
	D5 净利润	0.6080	0.3920	0.0333
	D6 公司纳税总额	0.4632	0.5368	0.0455
	D7 ISO140001 认证程度	1.0000	0.0000	0.0000
状态 指标 (S)	S1 二氧化碳排放量	0.5681	0.4319	0.0366
	S2 二氧化硫排放量	0.6258	0.3742	0.0317
	S3 氮氧化物排放量	0.5887	0.4113	0.0349
	S4 烟尘排放量	0.6034	0.3966	0.0336
	S5 生产废水排放量	0.6051	0.3949	0.0335
	S6 粉煤灰产生量	0.5225	0.4775	0.0405
	S7 煤矸石产生量	0.2974	0.7026	0.0596
	S8 万元产值综合能耗	0.6163	0.3837	0.0325
	S9 是否遵守法律法规	1.0000	0.0000	0.0000
	S10 是否应用清洁生产	1.0000	0.0000	0.0000
	S11 碳捕集与封存技术的使用	1.0000	0.0000	0.0000
响应 状态 (R)	R1 二氧化碳减排量	0.5729	0.4271	0.0362
	R2 二氧化硫减排量	0.3583	0.6417	0.0544
	R3 氮氧化物减排量	0.2754	0.7246	0.0615
	R4 烟尘减排率	0.3164	0.6836	0.0580
	R5 废水利用率	0.3432	0.6568	0.0557
	R6 粉煤灰利用率	0.6301	0.3699	0.0314
	R7 煤矸石利用率	0.4797	0.5203	0.0441
	R8 新增绿化面积	0.6207	0.3793	0.0322
	R9 是否实施低碳宣传和教育	1.0000	0.0000	0.0000
	R10 ESG 目标及国家政策响应	1.0000	0.0000	0.0000

(4) 最后根据熵值 e_j 和权重 w_j 的计算结果, 通过进一步计算得到各级指标权重, 形成表 5-14 的各级指标权重的最终结果表。

表 5-14 熵权法各级指标权重综合结果表

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	综合权重
驱动力 指标 (D)	0.3233	D1 资产总额	0.2565	0.0829
		D2 主营业务收入	0.1369	0.0443
		D3 商品煤产量	0.1234	0.0399
		D4 煤炭销售量	0.2395	0.0774
		D5 净利润	0.1029	0.0333
		D6 公司纳税总额	0.1409	0.0455
		D7 ISO140001 认证程度	0.0000	0.0000
状态 指标 (S)	0.3031	S1 二氧化碳排放量	0.1209	0.0366
		S2 二氧化硫排放量	0.1047	0.0317
		S3 氮氧化物排放量	0.1151	0.0349
		S4 烟尘排放量	0.1110	0.0336
		S5 生产废水排放量	0.1105	0.0335
		S6 粉煤灰产生量	0.1336	0.0405
		S7 煤矸石产生量	0.1967	0.0596
		S8 万元产值综合能耗	0.1074	0.0325
		S9 是否遵守法律法规	0.0000	0.0000
		S10 是否应用清洁生产	0.0000	0.0000
		S11 碳捕集与封存技术的使用	0.0000	0.0000
响应 状态 (R)	0.3736	R1 二氧化碳减排量	0.0970	0.0362
		R2 二氧化硫减排量	0.1457	0.0544
		R3 氮氧化物减排量	0.1646	0.0615
		R4 烟尘减排率	0.1553	0.0580
		R5 废水利用率	0.1492	0.0557
		R6 粉煤灰利用率	0.0840	0.0314
		R7 煤矸石利用率	0.1182	0.0441
		R8 新增绿化面积	0.0861	0.0322
		R9 是否实施低碳宣传和教育	0.0000	0.0000
		R10 ESG 目标及国家政策响应	0.0000	0.0000

5.2.3 层次分析法和熵权法组合赋权

在对煤炭企业碳审计评价指标体系中各指标进行赋权重的阶段,对于指标体系中的指标采用层次分析法和熵权法组合赋权更具有科学性和可靠性。因此,对于以上根据层次分析法和熵权法赋权重的具体状况,来根据公式 15,对定性指标进行组合赋权,最后的分析计算结果如表 5-15 所示。

表 5-15 层次分析法和熵权法组合赋权表

目标层	因素层	指标	AHP 权重	熵权权重	组合权重	
层次分析法下碳审计评价指标体系综合权重	驱动力因子(D)	资产总额	0.1275	0.0829	0.1052	
		主营业务收入	0.0530	0.0443	0.0487	
		商品煤产量	0.1135	0.0399	0.0767	
		煤炭销售量	0.0850	0.0774	0.0812	
		净利润	0.0600	0.0333	0.0467	
		公司纳税总额	0.0250	0.0455	0.0353	
		ISO140001 认证程度	0.0365	0.0000	0.0183	
		状态因子(S)	二氧化碳排放量	0.0310	0.0366	0.0338
			二氧化硫排放量	0.0295	0.0317	0.0306
			氮氧化物排放量	0.0245	0.0349	0.0297
	烟尘排放量		0.0125	0.0336	0.0231	
	生产废水排放量		0.0090	0.0335	0.0213	
	粉煤灰产生量		0.0128	0.0405	0.0267	
	煤矸石产生量		0.0128	0.0596	0.0362	
	万元产值综合能耗		0.0230	0.0325	0.0288	
	响应因子(R)	是否遵守法律法规	0.0268	0.0000	0.0134	
		是否应用清洁生产	0.0343	0.0000	0.0172	
		碳捕集与封存技术的使用	0.0340	0.0000	0.0170	
		二氧化碳减排量	0.0470	0.0362	0.0416	
			二氧化硫减排量	0.0408	0.0544	0.0476
		氮氧化物减排量	0.0263	0.0615	0.0404	
		烟尘减排率	0.0218	0.0580	0.0399	
		废水利用率	0.0135	0.0557	0.0346	

续表 5-15 层次分析法和熵权法组合赋权表

目标层	因素层	指标	AHP 权重	熵权权重	组合权重
		粉煤灰利用率	0.0218	0.0314	0.0266
		煤矸石利用率	0.0193	0.0441	0.0317
		新增绿化面积	0.0135	0.0322	0.0228
		是否实施低碳宣传和教育	0.0103	0.0000	0.0052
		ESG 目标及国家政策响应	0.0363	0.0000	0.0182

5.3 中国神华碳审计综合评价

5.3.1 TOPSIS 评价模型的应用

根据前文中通过层次分析法和熵权法得出的综合权重并结合中国神华公司近三年的各指标具体数值，代入 Topsis 模型进行分析，获得每年与理想解的贴近度，按理想解贴近度的对比大小，以此判断中国神华公司每年低碳经济发展情况，确定相应的发展和改进的方向。其具体运行结果如下。

首先根据向量规范化的方法运用公式 16 得出规范矩阵，如表 5-16 的中国神华 2019-2021 年规范决策矩阵表。

表 5-16 中国神华 2019-2021 年规范决策矩阵表

指标层		2019	2020	2021
驱动力 指标 (D)	资产总额	0.5674	0.5675	0.5967
	主营业务收入	0.5458	0.5659	0.6179
	商品煤产量	0.5553	0.5728	0.6030
	煤炭销售量	0.5625	0.5616	0.6068
	净利润	0.5348	0.5832	0.6114
	公司纳税总额	0.5721	0.5639	0.5955
	ISO140001 认证程度	0.5774	0.5774	0.5774
状态 指标 (S)	二氧化碳排放量	0.5779	0.4953	0.6486
	氮氧化物排放量	0.5998	0.5553	0.5761
	烟尘排放量	0.6789	0.5575	0.4779
	生产废水排放量	0.5534	0.6044	0.5731

续表 5-16 中国神华 2019-2021 年规范决策矩阵表

	指标层	2019	2020	2021
响应 状态 (R)	粉煤灰产生量	0.4719	0.5904	0.6548
	煤矸石产生量	0.3530	0.6432	0.6795
	万元产值综合能耗	0.5740	0.5915	0.5663
	是否遵守法律法规	0.5774	0.5774	0.5774
	是否应用清洁生产	0.5774	0.5774	0.5774
	碳捕集与封存技术的使用	0.5774	0.5774	0.5774
	二氧化碳减排量	0.8913	0.2152	-0.3991
	二氧化硫减排量	0.9826	0.1820	0.0364
	氮氧化物减排量	0.9964	0.0830	-0.0166
	烟尘减排率	0.9445	0.2748	0.1803
	废水利用率	0.6150	0.5532	0.5620
	粉煤灰利用率	0.6161	0.5049	0.6046
	煤矸石利用率	0.4971	0.3880	0.7761
	新增绿化面积	0.1560	0.1148	0.9811
	是否实施低碳宣传和教育	0.5774	0.5774	0.5774
ESG 目标及国家政策响应	0.5774	0.5774	0.5774	

然后，根据设定的由决策人给定各属性的权重向量结合公式 17 进一步得出加权规范矩阵，结果为表 5-17 所示的加权规范矩阵表。

表 5-17 中国神华 2019-2021 年加权规范决策矩阵表

	指标层	2019	2020	2021
驱动力 指标 (D)	资产总额	0.0597	0.0597	0.0628
	主营业务收入	0.0266	0.0276	0.0301
	商品煤产量	0.0426	0.0439	0.0463
	煤炭销售量	0.0457	0.0456	0.0493
	净利润	0.0250	0.0272	0.0286
	公司纳税总额	0.0202	0.0199	0.0210
	ISO14001 认证程度	0.0106	0.0106	0.0106

续表 5-17 中国神华 2019-2021 年加权规范决策矩阵表

指标层		2019	2020	2021
状态 指标 (S)	二氧化碳排放量	0.0195	0.0167	0.0219
	二氧化硫排放量	0.0193	0.0165	0.0171
	氮氧化物排放量	0.0178	0.0165	0.0171
	烟尘排放量	0.0157	0.0129	0.0110
	生产废水排放量	0.0118	0.0129	0.0122
	粉煤灰产生量	0.0126	0.0158	0.0175
	煤矸石产生量	0.0128	0.0233	0.0246
	万元产值综合能耗	0.0165	0.0170	0.0163
	是否遵守法律法规	0.0077	0.0077	0.0077
	是否应用清洁生产	0.0099	0.0099	0.0099
	碳捕集与封存技术的使用	0.0098	0.0098	0.0098
	响应 状态 (R)	二氧化碳减排量	0.0371	0.0090
二氧化硫减排量		0.0468	0.0087	0.0017
氮氧化物减排量		0.0403	0.0034	-0.0007
烟尘减排率		0.0377	0.0110	0.0072
废水利用率		0.0213	0.0191	0.0194
粉煤灰利用率		0.0164	0.0134	0.0161
煤矸石利用率		0.0158	0.0123	0.0246
新增绿化面积		0.0036	0.0026	0.0224
是否实施低碳宣传和教育		0.0030	0.0030	0.0030
ESG 目标及国家政策响应		0.0105	0.0105	0.0105

第三步是根据公式 18 和公式 19 确定出各指标的正理想解和负理想解, 来为之后第四步的计算奠定基础, 神华公司各个指标的正负理想解计算结果为 5-18 所示。

表 5-18 DSR 模型各指标正负理想值

指标层		正理想解	负理想解
驱动力 (D)	资产总额	0.0628	0.0597

续表 5-18 DSR 模型各指标正负理想值

指标层	正理想解	负理想解
主营业务收入	0.0301	0.0266
商品煤产量	0.0463	0.0426
煤炭销售量	0.0493	0.0456
净利润	0.0286	0.0250
公司纳税总额	0.0210	0.0199
ISO140001 认证程度	0.0106	0.0106
二氧化碳排放量	0.0167	0.0219
二氧化硫排放量	0.0165	0.0193
氮氧化物排放量	0.0165	0.0178
烟尘排放量	0.0110	0.0157
生产废水排放量	0.0118	0.0129
状态(S) 粉煤灰产生量	0.0126	0.0175
煤矸石产生量	0.0128	0.0246
万元产值综合能耗	0.0170	0.0163
是否遵守法律法规	0.0077	0.0077
是否应用清洁生产	0.0099	0.0099
碳捕集与封存技术的使用	0.0098	0.0098
二氧化碳减排量	0.0371	-0.0166
二氧化硫减排量	0.0468	0.0017
氮氧化物减排量	0.0403	-0.0007
烟尘减排率	0.0377	0.0072
响应(R) 废水利用率	0.0213	0.0191
粉煤灰利用率	0.0164	0.0134
煤矸石利用率	0.0246	0.0123
新增绿化面积	0.0224	0.0026
是否实施低碳宣传和教育	0.0030	0.0030
ESG 目标及国家政策响应	0.0105	0.0105

最后根据各年各指标规范化向量可以根据公式 21 和公式 20 得出中国神华 2019 到 2021 年的权重向量到正理想解和负理想解的距离，据此计算出每年权重

向量的相对贴近度，以及驱动力层、状态层和响应层三个因素层综合及各指标相对贴近度得分，推出的结果各年如表 5-19 所示。

表 5-19 中国神华 DSR 模型各因素层相对贴近度

年份	驱动力层相对贴近度	状态层相对贴近度	响应层相对贴近度
2019 年	0.0193	0.6288	0.8666
2020 年	0.2465	0.4885	0.1943
2021 年	1.0000	0.2540	0.1689

其中，各因素层中各指标各年具体的贴近度得出结果得分。根据数据表将各指标层各指标的变动趋势整理为折线图，可以明确的看出其各指标的贴近度对比和各指标每年的贴近度状态对比，具体如下图 5-1 到图 5-3 所示。

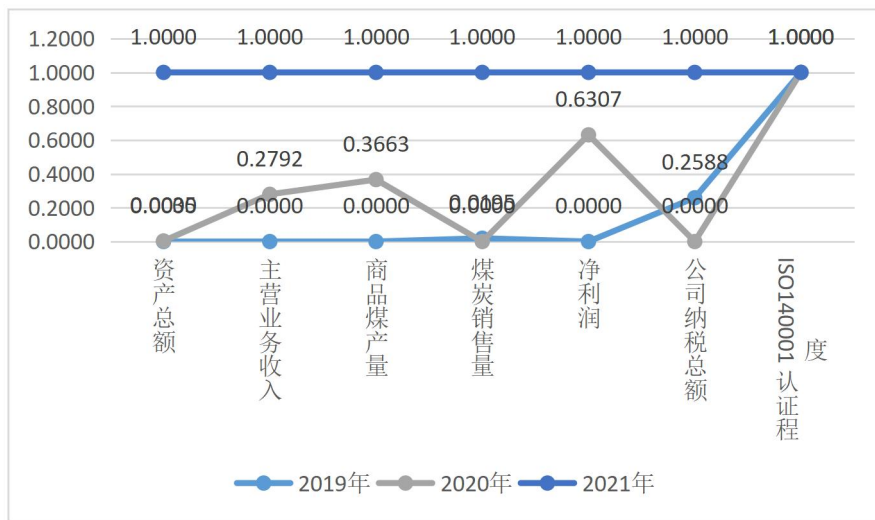


图 5-1 中国神华 2019-2021 年驱动力层各指标贴近度

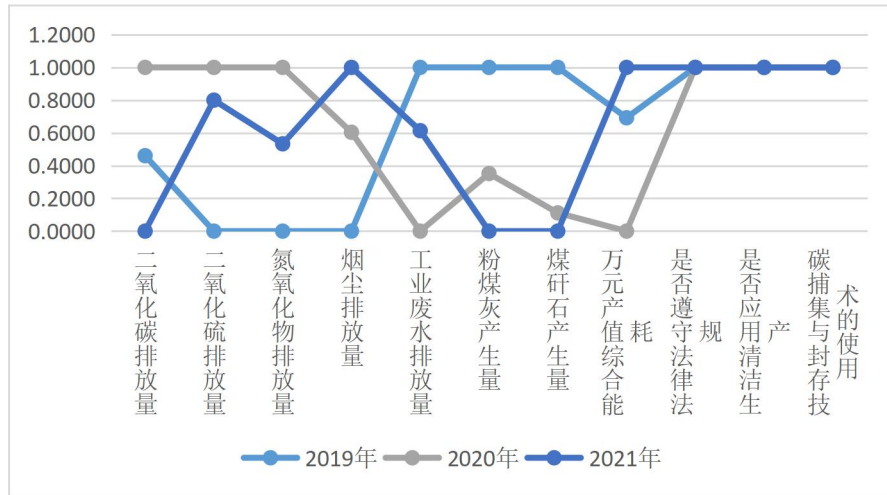


图 5-2 中国神华 2019-2021 年状态层各指标贴进度

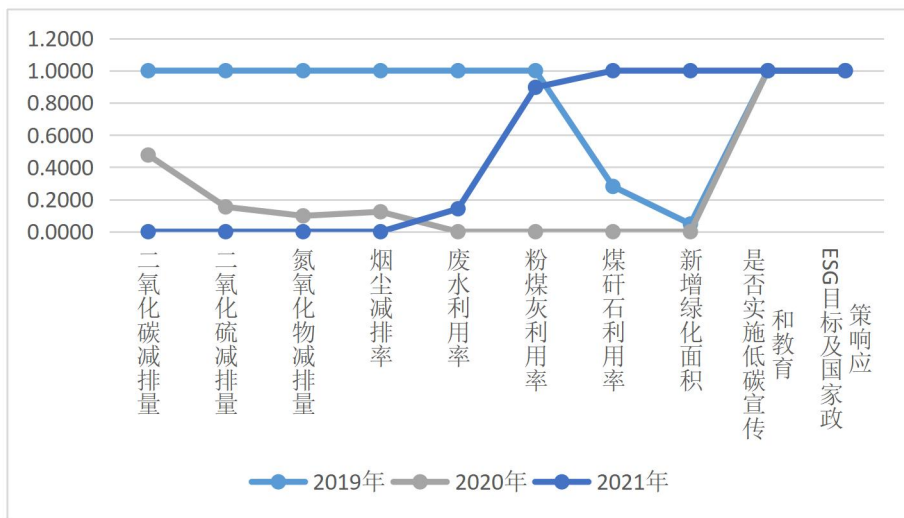


图 5-3 中国神华 2019-2021 年响应层各指标贴进度

最终，依据各年各指标的与理想值的贴进度得分，可以最终形成 2019-2021 年中国神华各年综合贴进度得分状况。由表 5-20 可以展示其计算结果。

表 5-20 中国神华 2019 到 2021 年各年综合评价指数

年份	距离正理想解距离	距离负理想解距离	相对贴进度
2019 年	0.0231	0.0878	0.7919
2020 年	0.0710	0.0281	0.2835
2021 年	0.0878	0.0253	0.2235

中国神华在近年来都居于煤炭行业综合排名的前列，同时在减碳政策响应和

落实以及技术研发等方面都有很多的突破性成效。因此，针对中国神华的研究在煤炭企业的运用上，其他同行业企业可以结合自身具体状态，依据中国神华近年来数据得出的正负理想值来计算指标体系中各指标数据的贴近度得分，进而可以判定指标体系各方面的表现状态。

5.3.2 评价结果分析

根据中国神华各年各指标具体数据以及运用层次分析法和熵权法所进行的综合所赋权重，运用 TOPSIS 法最终可以得出的综合评价结果可以从表 4-21 得出。整理成具体的折线趋势图，由图 5-4 所示。

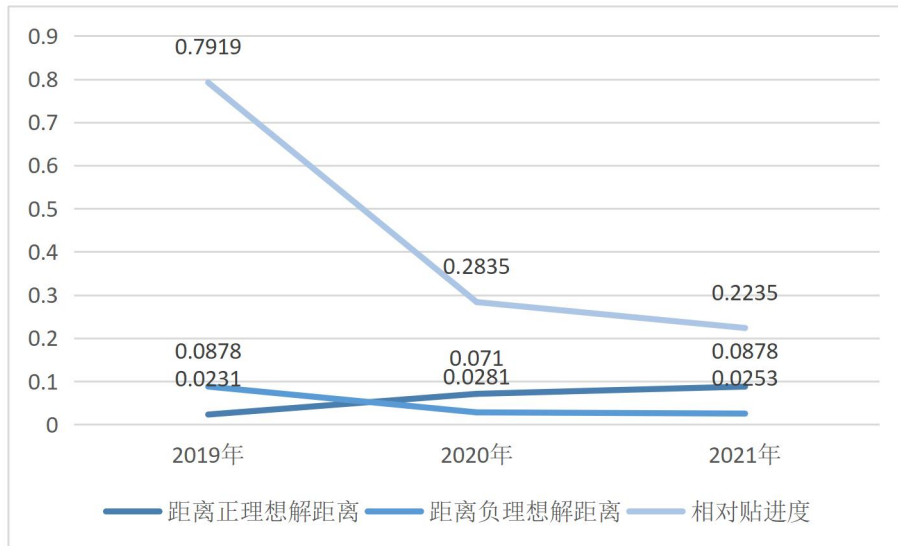


图 5-4 中国神华 2019 到 2021 年各年综合评价指数

由以上趋势图可以得出中国神华在 2019 年到 2020 年各年的权重向量到正理想解的距离逐年递增，到负理想值的距离逐年递减，而各年总体相对贴近度也成逐渐下降趋势，优劣排序 2019 年在后两年之前。可以得出，虽然近年来中国神华在煤炭行业的企业排名未有减退，但是在低碳经济的发展方面还需要有所改进。同时由中国神华近年来的年报和环境、社会责任和公司治理报告中的 ESG 发展报告中的数据以及近年来中国神华在减碳政策响应和低碳经济发展中的举措与成果可以得出，从 2019 到 2021 的关键财务指标看，公司煤炭产业发展和财务仍然保持持续向好态势，但公司响应的措施和减碳生产举措随着生产量和销量不断扩大和产业扩张的速度的提升，已经无法相应的控制企业煤炭生产运营过程中温室

气体以及污染物的排放。从神华公司其他指标的具体表现可分析得出，其在 2019 年时不论从碳捕集技术的发展绿色开采运输的措施都进展顺利，为近年来中国神华生产发展与低碳发展协调发展表现较好的年份。但从 2019 到 2021 年公司与综合正理想解的贴近度和相对贴近度均呈逐年降低趋势，即公司在碳审计评价的状态和响应方面仍存在改进空间。

同时，根据中国神华 2019 年到 2021 年在因素层方面的相对贴近度(图 4-5)，可以得出该公司驱动力层方面的指标发展趋势不错，其相对贴近度在逐年上升；而状态层和响应层这两个因素层的相对贴近度在逐年下降，趋于 0 值。

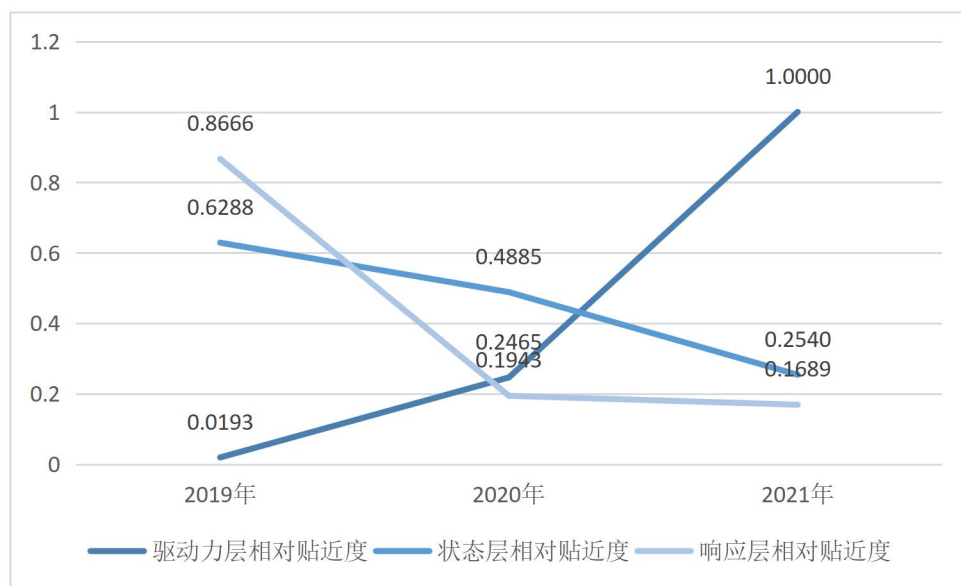


图 4-5 中国神华 DSR 模型各因素层相对贴近度

可以由以上趋势图以及各指标贴近度数据表综合分析得出，神华公司近年来在低碳经济发展方面的问题多存在于状态层和响应层方面的指标中。公司在 2019 年到 2020 年中资产总额、主营业务收入、商品煤产量、煤炭销售量、净利润、公司纳税总额都处于逐年上升的状态。这种状态可以充分体现出该公司在煤炭行业中的经营策略和公司治理都处于行业领先态势。

同时公司在环境治理、污染防治以及绿色生产的减碳经济发展中，至 2019 年及之后各种举措都有不错的成效。在《巴黎协定》的框架下，不仅对控排企业实施了碳排放交易，而且还积极开展了 CCS/CCUS 技术的研究，为我国自主贡献碳减排目标的实现提供技术支持。煤炭、运输和发电行业全面实施煤场封闭施工，

确保煤炭储存过程中的粉尘污染得到有效控制；运用干雾、固化、封尘、建设防风抑尘网等技术来控制和减少在煤炭开采和运输过程中粉煤灰和固体污染颗粒物的产生。针对煤矸石的减排和利用通过研发井下无岩巷的工艺，从根源降低煤矸石的产量，同时扩大范围实行煤矸石的井下充填工艺，争取做到废料不出井，并通过作为原料来生产砖块，用于发电或对外售出实现洗选煤矸石的高利用率。并按照覆土规范覆盖煤矸场顶部，对排矸场形成的坡面土地进行复垦治理，增加绿化面积。还可将排矸场的土层改造为耕地，用于农业生产，将矿井和生活产生的污水经过处理后用于灌溉农田，既能保护排矸场周边区域的生态环境与水土流失现象，又能提高污水和土地的利用率，实现生态效益与经济效益双丰收。中国神华还十分注重供应商的绿色发展和生产业绩，在整个生产过程中，优先选择符合环境保护要求、资源利用效率高、能耗低的产品，促进供应商的环境保护行为，促进社会的绿色消费。这些措施的落实，使得中国神华在 2019 年的碳排放状态和减排状态与理想值状态的贴近度的得分很高。

然而随着经营的良好状态和进一步积极的扩张发展，所带来的状态层和响应层的影响却并不可忽视。在 2020 年和 2021 年，中国神华虽然严格按照《中华人民共和国节约能源法》和其他相关法律法规，制定了《节能环保「十四五」发展规划》和《节约能源管理办法》，把节约能源的要求贯彻到煤炭开采、运输和转换的全过程，但与此同时，新能源行业正在加速发展，创造出一个新的洁净能源的新亮点，并培养出新的经济增长点。但结合神华公司 2019 年到 2021 年的各指标原始数值看出神华公司在状态层的二氧化碳排放量、生产废水排放量、粉煤灰产生量和煤矸石产生量这些负向指标方面都存在逐年增加状况。同时其响应层的二氧化碳减排量、二氧化硫减排量、氮氧化物减排量、烟尘减排量和粉煤灰利用率方面都未呈现递增趋势，可以看出在状态层和响应层该公司的减碳发展存在一定的问题，相应的减碳策略跟不上企业的扩张速度。因此，如果要从煤炭行业企业监督出发，通过政府监督标准和政策完善，进一步积极响应“十四五”规划政策，尽快助力实现我国的“双碳”战略目标，相应的减排和绿色生产研究力度随之需要大幅度提升，即提高响应层的指标表现状态。

5.3.3 审计建议

总结以上对中国神华公司的相关分析，本文认为中国神华在实现我国“双碳”

战略目标的进程中还需要进行多方面措施的提升和落实。首先，中国神华近年来由于生产的进一步扩大，但清洁生产的技术和效率未跟上低碳生产的要求，造成公司近年来二氧化碳、二氧化硫、生产废水、粉煤灰和煤矸石的排放量和利用率未呈现较好的发展趋势。同时伴随生产经营的进一步扩张，应从多方面加快和改进企业低碳发展战略，提升低碳发展的速度来跟上企业生产发展的脚步，更积极的从自身各个方面响应我国“双碳”战略的发展政策。

首先，中国神华集团根据《中华人民共和国节约能源法》及其关规定，制订了《节能环保“十四五”发展规划》及《节约能源管理办法》等一系列的管理规定，在煤炭开采、运输及转换环节上全面落实了节能减排的要求，增加一次性能源的利用率。在煤炭开采储运过程中实现全封闭防治煤尘，并提高和落实清洁能源和可再生能源的利用量，降低大气污染物排放量。在企业生产的后续阶段提高对碳排放污染物的利用率，从真正意义上的实现节能清洁生产。面对当前可再生能源的发展对于传统煤炭行业的挤出效应，要促进煤炭与新能源的优化组合，增加清洁产品与服务。

同时，加强技术改造，增加可持续低碳发展的资金投入比重，推动能源智能化发展。强化对各种大气污染物和固体污染排放在线监测设施运行维护，确保监测数据真实有效，对节能技术实行进一步改造，降低碳捕集成本和减碳技术研发成本，真正落实减碳技术在生产过程中的运用，对其更有效的加以控制。推动智能生产、智慧管理、智慧运营体系建设，走好数字经济与能源经济融合发展的新路径，以应对由于生产量和销量的快速提高带来得不断提升的碳排放量。

最后，企业自身的低碳经济发展必须是在遵守国家相关制定的排放标准和行业规定，如《煤炭行业能源管理体系实施指南》(GB/T32042-2015)、《煤炭加工企业碳排放计算标准》(能源 20210099)等的相关标准，严格执行污染物的限值，这方面中国神华公司的实施到位。同时社会责任报告的披露也很详尽，在行业内都表现卓越，2021年6月被中国煤炭工业协会评为“全国煤炭工业社会责任报告发布优秀企业”。但对于企业环境治理的信息披露标准还需进一步完善，例如甲烷的排放量和利用量等。

企业碳排放信息披露的越全面越有助于政府对其进行碳审计的评价，更有助于对其低碳发展的监督与引导。同时，要想进一步加强政府的监督作用，要制定

煤炭企业碳审计评价指标体系来进一步为政府更科学全面的监督提供依据，同时完善排放标准的细分要求，更贴合煤炭企业的生产经营过程。同时对于煤炭企业碳排放的另一主要来源，需要完善对于煤炭行业各生产环节的甲烷排放以及粉煤灰等排放的标准。并参照 GSSB 公布的《GRI 可持续发展报告标准》的主要框架，在应对气候变化时参照香港交易所《气候信息披露指引》及 TCFD 的推荐，制定更紧随我国“双碳”战略目标的低碳经济可持续发展方案。

综上，才能助力中国神华全面推进环保保障体系的高质量建设和现代化进程，实现公司环保水平的不断提高，并实现减碳经济的稳步发展。

6. 落实碳审计评价指标体系的后续保障措施

本文基于煤炭企业构建碳减排经济运行状况所构建的碳审计评价指标体系，并在行业龙头企业之一的神华企业的应用中可以看出，当前在煤炭行业实现“双碳”战略目标的进程中，要想加速目标的实现，更好的落实拟构建的碳审计评价指标体系，我国政府仍需采取相关后续保障措施来监督及助力。

6.1 完善碳审计评价制度和标准

我国对碳审计评价指标体系的研究起步较晚，暂未形成统一的标准。此外，现行的碳审计相关法规和碳审计评价指标体系还不完善，政府在监测发展低碳经济和碳审计过程中没有一致的依据和标准。因此，国家政府应完善相关温室气体监测的规章制度，鼓励各行业权威机构加强监测过程建设，确保监测指标和监测参数的选择，使得评价体系的建设合法，且有据可依。在煤炭企业的生产运营的排放标准还需进一步规定，如甲烷的排放标准方面，现在标准主要侧重在以甲烷浓度为指标限制瓦斯排放，但是对于甲烷排放总量没有要求。按照现行标准要求，煤矿井下瓦斯浓度、流速、压力和温度都需要实时监测。并根据《污染源自动监控管理办法》，将煤层气排放自动监控装置安装到环境保护部门的监控中心。但是并未提到对甲烷排放总量有限制。碳审计各指标评价的标准和权重的赋值是获得评价结果的主要依据，并且对碳审计评价指标体系的设计和实施具有重要作用。研究评价和评价体系的有效性。针对行业的评估标准的制定具有专业性和复杂性，因此在制定各指标的测评标准时要注意碳审计和煤炭行业的契合性。

随着企业信息化管理的不断发展，传统的审计已不能满足企业的要求。因此，必须将大数据、云计算等信息技术应用于碳审计，并通过政府的监管和指导，来提升碳审计的绩效。为煤炭行业企业打造一套符合行业特点的碳审计评价体系。其中包含行业的各种温室气体与固体颗粒物的排放量、测量方法、碳审计测量标准等信息。数据生成后，应该聘请环境审计专家及行业有关人员，定期评估并更新指标指标，以确保体系的可靠性和及时性，从而获得更精确的行业企业碳审计结果。以利于政府的精准监督与引导，加快实现“双碳”目标。

6.2 引导减碳相关措施与技术发展

在煤炭行业企业运行过程中由于生产的不断提升，其综合能耗也不断上升，

这也是导致碳排放量不断上升的根本原因。为此，必须按照《中华人民共和国节约能源法》和其他有关规定，制订相应的管理办法，把节能措施贯彻到煤炭开采、运输和转换的整个生产环节，强化技术更新，提升能源利用水平，减少整体消耗。同时制定主要污染物及监测方案。提升碳排放监测的数据质量，严格按排污许可证规定的浓度、总量控制。正如美国环保协会北京代表处高级主管冉泽表示，过去煤炭企业出于安全的考虑对作为甲烷气体的主要来源煤矿瓦斯浓度非常重视，有相关的监测设备并形成了一定的数据基础，但是对排放的重视程度相对欠缺。在加强应对气候变化的背景下，未来需要加强煤矿企业甲烷排放监测、报告与核查（MRV）机制的建设。在应急管理方面，制定重大活动、严重污染天气等特殊情况下环境应急预案，完善不同应急级别下的减排措施及生产组织方案。提高和落实清洁能源和可再生能源的利用量，降低大气污染物排放量，推动煤炭和新能源优化组合，提供清洁产品和服务。同时强化对各种大气污染物和固体污染排放在线监测设施运行维护。同时对节能技术实行进一步改造、降低碳捕集成本和减碳技术研发成本，真正落实减碳技术在生产过程中的运用。政府在不断完善监测标准的同时提供科研资金的支持，和碳捕集等低碳技术的研发政策支持，来加速技术的研发和运用速度与效率。

首先，煤炭行业企业要加大清洁可再生能源的使用，实现绿色生产。煤炭行业企业在生产过程中也可以结合电力产业实现煤电清洁生产结构转型，能够有效降低运营活动及污染物处理过程中的碳排放。同时打造绿色建筑，煤炭行业企业的生产经营面积均占地较广，实现生产工厂和办公大楼的减排是政府推进煤炭工业企业减少二氧化碳排放的重要措施之一。同时，公司也可以利用更高效的供热和制冷系统，从而进一步减少因建筑能耗而产生的二氧化碳排放量。其次，要提倡环保的工作方法，政府可以鼓励煤矿公司鼓励职工实行环保工作方式，并制定节约使用不可再生能源，减少不必要的工作出行等环保工作准则，梳理低碳减排的工作生活理念，从而推动公司整体的二氧化碳减排。

在煤炭行业企业的运行中除二氧化碳之外，第二大温室气体甲烷的减排潜力不容忽视。然而，作为我国当前最大的甲烷排放源，煤层气逸散的减排之路依然艰难。现有的煤层气（煤矿瓦斯）开发利用补贴政策未能对低浓度瓦斯利用形成有效的激励。北京大学能源研究院特聘研究员杨富强在《知识分子》中曾指出“目

前煤层气的政策补贴尚未形成针对不同浓度煤层气的差异化激励机制，针对不同浓度煤矿瓦斯的分层次激励措施会更加有效”，即资金的差异化支持将进一步推进煤炭行业企业实现低碳发展。厦门大学中国能源政策研究院教授张博也曾建议说，对低浓度瓦斯及乏风瓦斯回收利用项目、超低浓度和乏风瓦斯销毁项目，给予一定的差异化政策性补贴，引入相关的市场化交易机制，有望激发煤炭生产企业的积极性，出台符合国情的行业性甲烷控排行动方案，适当提高煤矿甲烷排放控制要求，开展标准修订工作。这些对减碳发展中甲烷排放补贴要求的完善也可进一步助力我国实现“双碳”战略目标。

在国家政策的指导下，煤矿企业要始终保持着完整的、协同的、安全的发展状态，把 ESG 的环境治理业绩评价与企业的发展策略结合起来，还要持续地对煤矿企业的 ESG 管理框架和运作模式进行改进，要坚决地推动煤矿企业的全产业链的绿色清洁、有效地使用，为其生产出高质量的产品。与此同时，要主动地对利益相关方的需求和期望做出积极的反应，这样才能更好地践行可持续发展理念，履行社会责任，建设智慧企业。我们将继续贯彻“绿色发展”的总基调，持续推进洁净煤的开发与利用，并在节能、环保方面作出了努力。在提升能量使用效能的基础上，强化绿色矿山建设，保护水资源、生物多样性，走“生态优先，绿色低碳，安全智能”之路，使高碳产业的低碳发展成为现实。此外，还需要对环保管理办法等有关的引导管理政策与制度进行完善，对煤矿行业企业在环保方面的整体要求进行详细的阐述，并将环保的主要职责发挥出来，让各级各部门都能确保环保的各项措施都能得到有效的执行。不断对环境保护管理体制进行改进，推行生态环境保护责任制，可以更好地将现实和可能出现的生态环境问题进行处理，对生产经营活动与生态环境之间的关系进行协调、衡量，强化对其进行监督、约束和激励，从而保证公司高质量发展。

7. 研究结论与展望

7.1 研究结论

由于我国“富煤、贫油、少气”的资源特征，再加上对煤炭的严重依赖，所以在一次能源消耗中，煤依然占绝对优势。这导致我国煤炭及下游行业的碳排放占我国整体碳排放的 50%以上。因此应对煤炭行业的碳排放问题是实现我国“双碳”战略目标的重要部分，在各行业的减碳经济发展过程中政府的监督与引导有至关重要的作用。

当前碳审计作为评价各企业减排经济发展状况较为可靠的方法，在政府监督和引导煤炭行业企业减碳发展的过程中提供了相应的标准和依据。然而，我国关于碳审计业务的研究刚刚起步，尚未形成一个系统和框架。同时在碳审计的评价指标体系方面，多从内部审计角度出发且多集中于电力、钢铁等行业有很多研究成果，对评价指标体系的应用与实证分析也较少。从政府审计角度出发对于煤炭行业的碳审计评价指标体系的推进研究较少。因此，针对当前的状况本文从政府审计角度出发，针对在我国“双碳”战略目标下，从政府审计监督角度出发，以煤炭行业龙头企业为研究对象，进一步研究碳审计的评价指标体系的构建与应用。

本文采用 DSR 模型、运用层次分析法和熵权法结合得到各指标的综合权重，最后结合 TOPSIS 评价模型对中国神华碳审计情况及低碳减排情况进行综合评价，可以分析出该公司近年来在减碳经济发展过程中各指标内容的发展趋势，从多角度反映出中国神华公司具体的减碳发展现状。通过对运用结果的比较判断，可以得出中国神华在煤炭行业中经济状况保持稳定上升状态，同时公司在国家减碳政策响应、环境管理体系构建、减碳科技创新和绿色清洁生产等方面都积极响应了国家的“双碳”战略目标，故政府和同行业进行碳审计时可以借鉴其各指标的正负理想值进行对比判断企业的减碳发展状况。虽然整体而言于行业各方面都起到引领作用，但是仍存在减排措施与生产发展不协调的问题。其中包括在生产运输过程中的大气污染物和固体污染物排放量大且治理和利用效果不尽如人意，究其原因在于清洁能源使用不足、减碳科技落实不到位和政府监管减碳发展依据标准等问题，还亟待解决。

通过案例分析可以得出拟构建评价体系运行后评价结果符合企业当前的实际状况，故可以得出本文所构建的煤炭行业企业中国神华的碳审计评价指标体系

的可行性。据此，提出更贴合煤炭行业企业的政府监督和改进意见与企业的进一步发展方向与目标，构建适应于具体行业的碳审计评价体系，使低碳发展的速度与产业发展相协调。本文的研究不仅可以进一步丰富推进碳审计，也是对煤炭行业企业推进碳审计不足的进一步补充，有利于帮助我国尽快实现“双碳”战略目标。

7.2 研究展望

本文综合使用了层次分析法和熵权法构建煤炭行业企业的中国神华公司碳审计评价指标体系，在选取我国煤炭企业的碳审计评价指标时，是根据以往的研究结果并结合当前我国煤炭行业企业发展的实际情况，对我国煤炭企业的碳审计评价指标进行了探索。但本文由于相关可参考文献和掌握的行业标准有限，因此对于煤炭行业中国神华企业的碳审计评价指标的构建可能具有一定的局限和主观不足，因此还需要在未来煤炭行业企业生产和发展的过程中进行进一步验证，来不断改进提高所建立的碳审计评价指标体系在行业内不同企业的适用性政府监督引领的针对性。同时，本研究选取了 DSR 模式作为我国煤炭行业企业的一个重要的研究模式，该模型在行业中其他不同发展状况的个体企业的运用方面也需要进一步确认与加强。

基于以上分析和总结，在未来的研究中还需对现有研究进行进一步的深入和完善。不仅有必要扩大研究的范围，而且要获得更广泛的数据和行业更新信息。针对本文的数据来源有限和不同企业的低碳发展差异性，本文的具体方法和数据所得对同行业其他企业的发展和政府监管都偏于参考借鉴层面。因此，未来在本文方向的研究上应该花更多的精力去收集和拓展更多的信息，拓展研究范围，将评估指标体系应用到研究目标的低碳发展评价中，并提出有益建议。因此，下一步要做的工作就是扩大对企业碳排放与环境数据的研究。同时，通过对已有的指数进一步分析，对指数更新分类，从而更好地对其进行评估，根据指标选择稳定性和动态原则进一步跟随相关研究趋势及行业状态的更新而实现更适用和可靠的变更发展，总体上提高评价结果的科学性和准确性。

参考文献

- [1] Bruce Felmingham, Sunday Tasmanian. Carbon audits a good step[J]. Sunday Tasma-nian(Hobart) ,2008(11):234-235.
- [2] Bhagat G V, Savoikar P P. Auditing carbon reduction potential of green c-oncrete using life cycle assessment methodology[J].IOP Conference Series: Earth and Environ-mental Science,2021.
- [3] Charles Levy. A 2020 Low Carbon Economy[R]. A Knowledge Economy ProgrammeReport, 2010.
- [4] Haley Brendan,Gaede James,Winfield Mark, Love Peter. From utility dema-nd side management to low-carbon transitions: Opportunities and challeng-e s for energy efficiency governance in a new era[J]. Energy Research & S ocial Science,2020,59.
- [5] Lai,Joseph H K,Yik,Francis W H,Man, C S. Carbon audit: a literature revi-ew and an empirical study on a hotel[J]. Facilities,2012:309.
- [6] Olson Jeric G. Challenges and opportunities from greenhouse gas emission-es reporting and independent auditing[J].Managerial Auditing Joumai, 2010: 934-942.
- [7] Petri Tapio. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Elsevier Ltd, 2005, 12(2).
- [8] Puneet Dwivedi,Madhu Khanna,Ajay Sharma,Andres Susaeta. Efficacy of c-arbon and bioenergy markets in mitigating carbon emissions on reforested lands: A case study from Southern United States[J]. Forest Policy and Eco-nomics,2016,67.
- [9] Mouchet C, Urquhart N, Kemmer R. Techniques for Auditing the ICT Car-bon Foot-print of an Organisation[J]. International Journal of Green Comp-uting, 2014, 5(1):45-62.
- [10] Susie Moloney, Ralph E. Horne,John Fien. Transitioning to low carbon c-

- ommunities from behaviour change to systemic change: Lessons from Australia[J]. Elsevier Ltd, 2009,38(12).
- [11] Salvador Enrique Puliafito, José Luis Puliafito, Mariana Conte Grand. Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO₂ global emissions[J]. Elsevier B.V.,2007,65(3).
- [12] Theodoros Zachariadis, Janet E. Milne, Mikael Skou Andersen, Hope Ashia-bor. Economic Instruments for a Low-carbon Future[M]. Edward Elgar Publishing:2020-07-31.
- [13] 陈洋洋, 王宗军. 基于层次分析法下低碳审计评价指标体系初探[J]. 审计研究, 2016(06):64-71.
- [14] 陈涛, 王长通. 大气环境绩效审计评价指标体系构建研究——基于PSR模型[J]. 会计之友, 2019(15):128-134.
- [15] 陈浮, 于昊辰, 卞正富等. 碳中和愿景下煤炭行业发展的危机与应对[J]. 煤炭学报, 2021, 46(6):1808-1820.
- [16] 曹敏敏, 王雪峰, 王荀, 陈雪. 煤矿低浓度甲烷利用技术研究进展[J]. 煤炭技术, 2022, 41(1):101-105.
- [17] 董华涛. 基于供应链视角的企业碳审计流程设计[J]. 财会通讯, 2018(01):97-100.
- [18] 范钦. 碳中和背景下碳审计的制约因素及对策研究[J]. 审计观察, 2021(10):74-78.
- [19] 方宏圆. 低碳经济环境下的碳审计研究——以中石化为例[D]. 安徽财经大学, 2020.
- [20] 管亚梅, 李园园. “一带一路”战略下碳审计的实施策略[J]. 会计之友, 2016(14):116-118.
- [21] 胡耘通, 何佳楠. 基于PSR模型的大气环境绩效审计评价指标体系设计[J]. 统计与决策, 2019, 35(15):61-64.
- [22] 何丽梅. 碳审计研究综述[J]. 会计之友, 2017(06):107-110.
- [23] 贺秀英. 基于SWOT分析法的我国低碳审计研究[J]. 价值工程, 2018, 37(36):7-9.

- [24] 郝玉贵, 陈小敏, 付饶. 低碳治理导向的碳审计功能与机制设计[J]. 财会月刊, 2015(22):54-57.
- [25] 黄松琦. 水泥企业碳审计评价指标体系的构建及应用研究[D]. 四川师范大学, 2021.
- [26] 金密, 张亚连. 化工企业碳审计评价指标体系构建——以中石化为例[J]. 财会月刊, 2018(21):103-110.
- [27] 颀茂华, 胡伟娟. 低碳经济下的煤炭企业经营绩效评价指标体系构建[J]. 煤炭经济研究, 2012(1).
- [28] 李海燕. 电力企业低碳审计评价指标体系的构建——基于DSR-AHP[J]. 财会月刊, 2017(07):119-123.
- [29] 李晓清. 低碳经济模式下碳审计现状及对策探析[J]. 绿色财会, 2017(05):13-15.
- [30] 李涛. 城市低碳经济的模糊数学评价研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(S1):744-748.
- [31] 龙九尊. 气候变化与中国应对[J]. 中国科技奖励, 2009(12):62-63.
- [32] 李喜云, 李红. 煤炭资源优化配置评价指标体系探索[J]. 能源技术与管理, 2011(1).
- [33] 刘璐. 高耗能企业低碳审计问题研究——以L钢铁企业为例[D]. 哈尔滨商业大学, 2018.
- [34] 李晓琴, 银元. 低碳旅游景区概念模型及评价指标体系构建[J]. 旅游学刊, 2012(3):84-89.
- [35] 陆浩杰. 基于AHP-熵权法的煤炭企业低碳经济综合评价研究[D]. 西安科技大学, 2014.
- [36] 李海燕. 我国碳审计研究的热点及演进——基于2009-2016年CNKI文献的共词可视化分析[J]. 财会通讯, 2018(13):27-31.
- [37] 马婧. 应对气候变化参与全球治理[A]. 中国气象学会. 第34届中国气象学会年会S5 应对气候变化、低碳发展与生态文明建设论文集[C]. 中国气象学会:中国气象学会, 2017:7.
- [38] 苗蕾. 碳审计研究述评[J]. 财政监督, 2020(24):82-85.

- [39] 马翠梅, 高敏惠, 褚振华. 中国煤矿甲烷排放标准执行情况及政策建议[J]. 世界环境, 2021:47 - 49.
- [40] 宁晓刚. 太原市高新区低碳评价指标体系研究[J]. 山西大学, 2015.
- [41] 彭尚庠. 审计监督碳达峰碳中和实现路径研究——以重庆市为例[J]. 现代审计与经济, 2021(06):7-10.
- [42] 清华大学气候变化与可持续发展研究院. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究综合报告[M]. 中国环境出版集团. 2021.
- [43] 钱英莲, 樊鹏燕. 煤炭企业低碳审计内容与方法研究[J]. 会计之友(上旬刊), 2010(11):14-17.
- [44] 孙旭东, 张蕾欣, 张博. 碳中和背景下我国煤炭行业的发展与转型研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(02):1-6.
- [45] 施然, 李长楚. 基于PSR模型的碳交易审计评价指标体系研究[J]. 商业会计, 2020(09):27-30.
- [46] 孙旭东, 张博, 彭苏萍. 我国洁净煤技术 2035 发展趋势与战略对策研究[J]. 中国工程科学, 2020, 22(3):132-140.
- [47] 孙才志, 吴永杰, 刘文新. 基于熵权 TOPSIS 法的大连市水贫困评价及障碍因子分析 [J]. 水资源保护, 2017, 33.
- [48] 伍肆, 周宁, 王松林. 基于模糊评价集的工业园区低碳评价体系构建[J]. 中国人口. 资源与环境, 2013, 23(S2):276-279.
- [49] 王翀. 我国碳审计存在的问题及对策[J]. 经贸实践, 2017(3):208.
- [50] 王国法, 任世华, 庞义辉, 曲思建, 郑德志. 煤炭工业“十三五”发展成效与“双碳”目标实施路径[J]. 煤炭科学, 2021, 49(09):1-8.
- [51] 吴菲阳, 陆易, 张洪泽. 我国碳审计存在问题及对策研究[J]. 商业经济, 2021(12):157-158-171.
- [52] 王克, 刘芳名, 尹明健, 等. 1.5℃温升目标下中国碳排放路径研究[J/OL]. 气候变化研究进展, 2021(01):1-16.
- [53] 王爱华, 李双双. 企业碳审计DRS模型评价指标体系构建[J]. 审计与经济研究, 2016, 31(02):42-51.
- [54] 吴玉萍. 煤炭行业低碳经济评价指标体系构建研究[J]. 工业技术经济, 20

- 12(8).
- [55] 王爱国. 国外的碳审计及其对我国的启示[J]. 审计研究, 2012(05):36-41.
- [56] 熊欢欢, 杨赛得斯, 邓文涛, 阮涵淇. 国外碳审计经验及启示[J]. 财会通讯, 2016(25): 111-113.
- [57] 向倩. 我国碳审计的现状与思考[J]. 财务与金融, 2019(05):37-39.
- [58] 杨斌, 石巧宇, 李春明. 农村生态社区概念及评价指标体系[J]. 环境科学与技术, 2015, 82:419-423.
- [59] 俞惠园. 碳审计与传统财务审计的比较研究[J]. 绿色财会, 2016(07):25-28.
- [60] 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(06):75-84.
- [61] 杨明晖. 我国碳审计的外部监管体系设计[J]. 纳税, 2019, 13(06):182.
- [62] 张静. 基于PSR框架的临海工业类企业环境绩效审计评价指标体系构建研究[D]. 山东: 中国海洋大学, 2013(5).
- [63] 张薇. 我国环境审计制度变迁: 解读与展望[J]. 财会月刊, 2018(17):141-145.
- [64] 朱荣娜, 程译萱, 张鸿深. 关于我国碳审计的研究[J]. 现代商业, 2018(25):137-138.
- [65] 郑石桥. 论碳审计方法[J/OL]. 财会月刊, 2022(04):1-5.
- [66] 郑石桥. 论碳审计目标[J/OL]. 财会月刊, 2022(04):1-5.
- [67] 郑石桥. 论碳审计本质[J]. 财会月刊, 2022(04):1-5.
- [68] 郑石桥. 论碳审计结果及其运用[J/OL]. 财会月刊, 2022(04):1-5.
- [69] 张亚连, 金密, 樊行健. 基于DSR模型的碳审计评价指标体系构建[J]. 财会月刊, 2017(21):82-88.
- [70] 张薇. 企业碳审计技术标准及其应用的比较[J]. 会计之友, 2016(22):115-118.
- [71] 周旭东, 郑石桥. 论碳审计需求[J]. 财会月刊, 2022(05):64-68.
- [72] 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.
- [73] 张博, 孙旭东, 刘颖, 等. 能源新技术新兴产业发展动态与 2035 战略对策[J].

- 中国工程科学, 2020, 22(2) :38-46.
- [74] 中国工程科技发展战略研究院. 2021 中国战略性新兴产业发展报告[M]. 北京:科学出版社, 2020.
- [75] 赵放. 关于我国碳审计问题的对策性思考[J]. 审计研究, 2014(4) :54-57.
- [76] 张寒松. 基于AHP方法构建低碳经济评价指标体系[J]. 应用能源技术, 2014, 04:5-9.
- [77] 张树武. 煤炭企业生态文明建设评价指标体系研究[J]. 煤炭经济研究, 2015, 35(11) :33-35.
- [78] 郑鹏, 赵师嘉. 基于PSR模型的海洋资源审计评价指标体系研究[J]. 会计之友, 2019(22) :133-140.
- [79] 章四龙, 王晓艳, 刘磊. 基于AHP-熵权法的水环境承载力模糊综合评价[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(09) :206-212.

附录 1 碳审计评价指标体系构建调查问卷

尊敬的专家老师：

您好！

我是兰州财经大学 2020 级审计专硕窦月英，很荣幸邀请您参与本次问卷调查，本问卷目的是确定科学合理的煤炭行业碳审计评价指标体系权重，从而促进“双碳”目标背景下政府监督与助力煤炭行业企业中国神华进行低碳经济发展与产业的升级转型。为保证结果的有效性，请您针对问卷提到的每两个指标的相对重要性加以比较，感谢您的宝贵时间！

一、问卷介绍

本文针对拟构建的碳审计评价指标体系的过程中，基于DSR模型将划分 3 个指标层，共 28 个指标。比较各指数层间和指数层内各指数的重要程度。请根据您的专业知识，对每一项指标的重要性进行比较。重要程度判别（每个空格代表的是纵向指标相对于横向指标的重要性比较）时，以数字 1 到 9 为单位，级别越大，重要性越高。

二、问卷内容

1. 您所在的工作单位是 [填空题]*

2. 您的工作年限[单选题] *

- ≤5 年
- 6-10 年
- 11-15 年
- 16-20 年
- >20 年

3. 请对煤炭行业碳审计目标层指标的重要性划分（每个空格代表纵向指标与横向指标的重要性对比，数字为 1~9，越大越重要） [矩阵单选题] *

碳审计综合评价指标	驱动力指标层	状态指标层	响应指标层
驱动力指标层	1		
状态指标层		1	
响应指标层			1

4. 请您比较煤炭行业进行碳审计中驱动力指标 [矩阵单选题] *

驱动力指标	资产总额	主营业务收入	煤炭销售量	净利润	公司纳税总额	ISO14001 认证程度
资产总额	1					
主营业务收入		1				
商品煤产量			1			
煤炭销售量				1		
净利润					1	
公司纳税总额						
ISO14001 认证程度 (是否通过环境管理标准)						1

5. 请您比较煤炭行业进行碳审计中状态指标 [矩阵单选题] *

状态指标	二氧化碳排放量	二氧化硫排放量	氮氧化物排放量	烟尘排放量	生产废水排放量	粉煤灰产生量	煤矸石产生量	万元产值综合能耗	是否遵循法律法规	是否使用清洁生产	是否使用碳捕集与封存技术
二氧化碳排放量	1										
二氧化硫排放量		1									
氮氧化物排放量			1								
烟尘排放量				1							
生产废水排放量					1						
粉煤灰产生量						1					
煤矸石产生量							1				

状态指标	二氧化碳排放量	二氧化硫排放量	氮氧化物排放量	烟尘排放量	生产废水排放量	粉煤灰产生量	煤矸石产生量	万元产值综合能耗	是否遵循法律法规	是否使用清洁生产	是否使用碳捕集与封存技术
万元产值综合能耗								1			
是否遵循法律法规									1		
是否使用清洁生产										1	
是否使用碳捕集与封存技术											1

6. 请您比较煤炭行业进行碳审计中响应指标 [矩阵单选题] *

响应指标	二氧化碳减排量	二氧化硫减排量	氮氧化物减排量	烟尘减排量	废水利用率	粉煤灰利用率	煤矸石利用率	新增绿化面积	是否实施低碳宣传与教育	ESG目标及国家政策响应
二氧化碳减排量	1									
二氧化硫减排量		1								
氮氧化物减排量			1							
烟尘减排量				1						
废水利用率					1					

响应指标	二氧化碳减排量	二氧化硫减排量	氮氧化物减排量	烟尘减排量	废水利用率	粉煤灰利用率	煤矸石利用率	新增绿化面积	是否实施低碳宣传与教育	ESG目标及国家政策响应
粉煤灰利用率						1				
煤矸石利用率							1			
新增绿化面积								1		
是否实施低碳宣传与教育									1	
ESG目标及国家政策响应										1

问卷到此结束，十分感谢您的配合和协助！

致 谢

恍然间研究生三年便已悄然度过，在这三年的时光中，我收获颇丰。从第一天踏入校门的茫然无措，到现在可以坦然的面对人生的下一个阶段，我的导师和同师门的同学以及舍友的帮助都是不可或缺的。

研究生的学习期间，在导师的帮助下，通过一系列的专业相关文献的整理和审计课题的相关研究，以及导师在日常生活中的思想指导，都很大程度上的提升了我对专业课知识的了解和实践的运用。在本次论文的写作过程中，老师的指导也起了至关重要的作用，从开始的框架思路以及方法的使用，老师的悉心修改和指导，都对我有很大程度上的帮助。

在日常生活中我与师门同学和室友的相处都非常和睦，他们都给我的生活和学习方面给予了非常多行动和思想上的鼓励和帮助。在学习方面，李同学是我们的师门负责人，他认真负责，勤勉上进，在各方面的学习任务中都使我受益颇多。在生活方面，舍友达同学的乐观开朗、热心助人，遇见她们让我在研究生三年的生活非常的开心和充实。同时，我想衷心的感谢我的父母和亲人，是他们的开明和爱意，是我所有一切的坚实后盾，是我面对一切的勇气和底气。

研究生三年很快结束，真心希望我的导师和同学，以及父母亲人都可以在未来的时光里，身体康健，诸事顺遂！

最后，感谢各位在百忙中参与评审、答疑工作的专家教授们，由衷地感谢各位的指导！