

分类号 F239/298
U D C

密级 公开
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 电力行业碳审计评价指标体系构建及应
用研究——以华润电力为例

研究生姓名: 闫静

指导教师姓名、职称: 杨荣美 教授 张雪琴 正高级会计师

学科、专业名称: 审计硕士

研究方向: 政府审计

提交日期: 2024 年 6 月 1 日

独创性声明

本人声明所呈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：闫静 签字日期：2024.5.30

导师签名：杨荣美 签字日期：2024.5.30

导师(校外)签名：张海宁 签字日期：2024.5.30

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内容。

学位论文作者签名：闫静 签字日期：2024.5.30

导师签名：杨荣美 签字日期：2024.5.30

导师(校外)签名：张海宁 签字日期：2024.5.30

**Construction and application of carbon
audit evaluation index system in electric power
industry--Take China Resources Power as an
example**

Candidate : Yan Jing

Supervisor: Yang Rongmei Zhang Xueqin

摘 要

随着全球气候变化问题的日益突出，低碳经济已成为全球能源发展的重要方向。中国“双碳”目标的提出，是应对气候变化、顺应全球绿色低碳转型所采取的行动，各行业低碳转型迫在眉睫。能源作为全球碳减排关键领域，亟需向低碳化转型。电力行业作为我国碳排放占比最大的行业，其碳排放情况对于全球温室气体减排目标的实现至关重要。因此，为了提高电力企业节能减排的工作效率，助力电力企业的低碳化转型，本文提出构建一种针对电力行业碳审计的评价体系。

首先，本文回顾了碳审计的国内外研究现状，对碳审计研究情况进行评价和总结。在此基础上以低碳经济等理论为前提，通过对电力行业的生产流程进行梳理，分析电力行业排放源，基于 DSR 模型构建框架，选取 21 个具体指标，最终构建了一套适用于电力行业的碳审计评价体系。然后，选取华润电力作为案例分析对象，运用层次分析法和熵权法结合得出综合权重，并运用 Topsis 模型评估其碳排放水平，对华润电力的碳减排潜力进行了分析。

研究表明，华润电力的评价结果与其自身的发展情况及碳减排状况相符，证明建立的碳审计评价指标体系是合理的。最后，根据案例企业碳审计评价分析结果，对其他电力企业的碳排放工作给出了 4 点案例启示。为了使得电力企业的碳审计评价指标体系更好的落实，本研究提出了 5 点保障措施，以进一步完善电力行业碳审计评价体系的建立和应用。

关键词：碳审计 评价指标体系 层次分析法 熵权法

Abstract

With the increasingly prominent global climate change, the low-carbon economy has become an important direction for global energy development. The proposal of China's "dual carbon" goal is the actions taken to respond to climate change and conform to the global green low-carbon transformation. Low-carbon transformation in various industries is imminent. As a key area of global carbon reduction, energy needs to be transformed into low carbonization. As the industry with the largest proportion of carbon emissions in my country, its carbon emissions is essential for the achievement of global greenhouse gas emission reductions. Therefore, in order to improve the efficiency of energy conservation and emission reduction of power companies and help the low-carbon transformation of power companies, this article proposes to build an evaluation system for the carbon audit of the power industry.

First of all, the current status of domestic and foreign research on carbon audit was reviewed, and the research of carbon audit research was evaluated and summarized. On this basis, based on the premise of the theory of low-carbon economy, through combing the production process of the power industry, analyze the source of the power industry emission, build a framework based on the DSR model, select 21 specific indicators, and finally build a set for the power industry. Carbon audit evaluation system. Then, select China Resources Electric as a case analysis object, combine the hierarchical analysis method and entropy right method to obtain the comprehensive weight, and use the TOPSIS

model to evaluate its carbon emission level and analyze the carbon reduction potential.

The results of the study show that the evaluation results of China Resources Electricity are consistent with its own development and carbon emission reduction status, and the carbon audit evaluation index system that has been established is reasonable. Finally, according to the results of the carbon audit evaluation and analysis of the case enterprises, four case Revelations are given to the carbon emission work of other power companies. In order to make the carbon audit evaluation index system better implemented by power companies, this study has proposed 5 guarantees to further improve the establishment and application of the carbon audit evaluation system of the power industry.

Keywords:Carbon audit; Evaluation Indicator System; AHP; Entropy weight method

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的及意义	2
1.2.1 研究目的	2
1.2.2 研究意义	2
1.3 国内外研究综述	3
1.3.1 国外研究现状	3
1.3.2 国内研究现状	4
1.3.3 文献述评	7
1.4 研究内容和研究方法	8
1.4.1 研究内容	8
1.4.2 研究方法	10
2 概念界定及理论基础	12
2.1 概念界定	12
2.1.1 碳审计	12
2.1.2 碳审计指标评价体系	12
2.2 理论基础	12
2.2.1 低碳经济理论	12
2.2.2 环境审计理论	13
2.2.3 可持续发展理论	13
3 基于 DSR 模型的电力企业碳审计评价指标体系构建	15
3.1 电力企业构建碳审计评价指标体系的必要性分析	15
3.2 电力企业二氧化碳排放源分析	15
3.3 电力企业碳审计评价指标体系构建基础及框架设计	17
3.3.1 DSR 模型	17
3.3.2 碳审计评价指标体系框架构建	18
3.4 电力企业碳审计评价指标的选取	19

3.5 确定碳审计评价指标权重	20
3.5.1 层次分析法	21
3.5.2 熵权法	23
3.5.3 层次分析法和熵权法确定综合权重	24
3.6 基于 TOPSIS 法的评价模型构建	25
3.6.1 模型介绍	25
3.6.2 TOPSIS 模型评价的具体步骤	25
4 电力行业碳审计评价指标体系的应用-以华润电力为例	26
4.1 华润电力企业案例分析	27
4.1.1 华润电力公司简介	27
4.1.2 碳减排及碳披露情况介绍	27
4.2 华润电力企业碳审计评价指标数据来源	28
4.3 华润电力企业碳审计评价指标权重确定	29
4.3.1 层次分析法确定主观权重	29
4.3.2 熵权法确定客观权重	34
4.3.3 层次分析法和熵权法组合确定综合权重	36
4.4 华润电力碳审计综合评价	36
4.4.1 TOPSIS 评价模型应用	37
4.4.2 评价结果分析	40
4.5 案例启示	40
5 落实电力行业碳审计评价指标体系的保障措施	44
5.1 统一碳审计评价标准	44
5.2 加强碳排放信息披露	44
5.3 增强碳审计能力	45
5.4 采用先进的技术和工具	45
5.5 构建多方参与的合作机制	45
6 研究总结和未来展望	48
6.1 研究结论	48
6.2 研究不足	48

6.2 研究展望	49
参考文献	51
致谢	56
附录 1 电力行业碳审计评价体系构建调查问卷	57

1 绪论

1.1 研究背景

中国的碳审计在过去几年得到了越来越多的重视和发展。近些年，中国政府出台了一系列支持和鼓励碳审计的政策措施。例如，2012年中国国务院发布了《节能减排工作方案》，提出加强碳排放核算、碳汇核算和碳交易的工作；2017年中国发布了《中长期低碳发展战略规划》，明确提出要建立全国碳排放核算与报告体系。而中国的碳审计标准和规范也日益完善。例如，国家发展改革委员会制定了《企业碳足迹评价技术规范》和《企业碳排放核算技术导则》，对企业碳审计的标准和方法进行了规范和指导；中国环境报告协会发布了《企业碳排放核算实施导则》，进一步细化了碳审计的流程和方法。中国的碳审计市场在快速发展，目前已经建立了多个碳交易市场和碳金融服务机构，为企业和政府提供碳交易、碳金融和碳管理等方面的服务。同时，越来越多的企业开始重视碳足迹和碳排放管理，积极开展碳审计工作。但目前碳审计未能充分发挥对碳排放的监督、控制等作用，仍被看做一项新型服务，其方法和流程都有待优化。

随着全球气候变化问题日益加剧，减少碳排放已成为各国政府和企业必须面对的重要任务。为了支持大气污染防治，中国先后出台了《中华人民共和国环境保护法》，《中华人民共和国大气污染防治法》。为应对发展新形势，2020年9月中国在第75届联合会上提出“双碳”目标，指明了低碳发展的方向。欧盟等发达经济体二氧化碳排放已经达峰，从“碳达峰”到“碳中和”有50~70年过渡期。而我国二氧化碳排放体量大，从碳达峰到碳中和仅有30年时间，这无疑是一个巨大的挑战。在我国，能源燃烧约占总二氧化碳排放的88%，因此减少能源消耗产生的碳排放尤为重要。电力行业作为能源供给的重要部门，为实现碳达峰碳中和目标，既迎来转型发展的重大机遇，也面临艰巨挑战。根据巨潮资讯网资料，截至2023年5月，中国A股上市的电力、热力生产和供应业公司共有86家。根据北大能源研究院发布的报告，2020年全国能源相关的二氧化碳排放总量为102亿吨，其中电力行业（含供热）碳排放约为44亿吨。电力行业的碳排放量约占我国所有行业碳排放总量的43.1%。伴随着我国经济的发展，我国电力需求还处在较长时间的增长期。由此可见，电力行业在实现碳中和的目标中占据了重要地位。

因此，对电力行业的碳审计指标评价体系进行研究是十分有必要的。碳指标评价体系是衡量企业、组织、产品或服务碳排放量的重要工具，也是推进碳减排的关键。随着全球能源需求的增加，如何在保障能源供应的前提下减少碳排放，成为电力行业面临的

挑战。研究电力行业碳审计指标评价体系，有助于探索如何在提高能源供给的同时，实现碳减排和可持续发展。

1.2 研究目的及意义

1.2.1 研究目的

本研究旨在帮助电力行业构建适合自身的碳指标评价体系，以更好地了解电力企业的碳排放状况和推动电力企业的碳减排工作。具体而言，本研究将从理论与案例分析两个角度出发，选取行业内的典型企业作为案例，深入探讨电力行业碳指标评价体系的构建思路、评价指标和实践方法，探究如何在实际操作中将理论指导落实到企业实际的碳减排工作中。同时，本研究为企业的碳减排工作提供更加科学、可行、有效的指导和支持，推动电力行业的碳减排和可持续发展。

1.2.2 研究意义

(1) 理论意义

我国碳审计的研究处于初步阶段，目前已有的研究文献对碳审计的理论研究主要集中在碳审计的概念、含义以及作用等方面，针对碳审计评价指标体系构建及应用研究的文献较少。从理论角度看，本文通过对已有碳审计的梳理，针对电力企业构建碳审计评价指标体系，选取华润电力作为案例企业并进行运用，可以为构建全面、科学、可操作性强的碳排放评价指标体系，在提供理论支撑和方法论基础同时，也可以为其他电力企业碳审计评价的实践提供参考，通过研究还可以为发现企业在碳排放方面的不足，为企业探究碳减排相关政策的设计、实施和监测提供依据和参考，从而推进全球碳减排目标的实现。

(2) 现实意义

从现实角度看，华润电力碳指标评价体系研究对于推进电力行业的碳减排和可持续发展具有重要意义。首先，该研究可以帮助华润电力了解自身的碳排放情况，为制定碳减排目标提供依据和参考，有助于企业加强企业管理水平。其次，研究华润电力碳指标评价体系有助于发现电力行业碳减排的瓶颈和难点，提出相关的解决方案和措施。最后，研究华润电力碳指标评价体系也可以为其他电力企业的可持续发展提供支持，促进企业经济效益和社会效益的协同发展。

因此，研究华润电力碳指标评价体系具有重要的理论和实践意义，对于推进电力行业的碳减排和可持续发展具有积极作用。

1.3 国内外研究综述

1.3.1 国外研究现状

(1) 碳审计内涵

国外最早提出“碳审计”这一概念的是 Jessie Francois, 他于 2003 年提出碳审计是环境审计的一个分支, 碳审计将成为环境审计中致力于降低二氧化碳排放的关键一步^[50]。Braam GJM 等(2016)指出碳审计对保证碳信息披露质量非常重要, 建议出台强制性碳审计等措施^[4]。Olson E G(2010)指出在企业开始考虑如何最好地支持日益重要的可持续性报告时, 必须考虑财务审计和碳审计之间的一些关键差异^[12]。

(2) 碳审计方法

Man C (2010) 对香港一家酒店同时进行碳审计和能源审计的案例研究, 并建立了香港建筑物(商业、住宅或机构用途)的温室气体排放量计算器^[11]。Joseph H. K. Lai(2013)对澳大利亚、英国和香港的碳审计立法和指南进行了比较, 收集香港一家典型酒店的记录数据, 查明了酒店碳排放的来源和数量^[10]。Iyer E K, Rao B. A (2014)对 ICT 行业进行了 360 度碳审计, 审计时运用了一种风险评估工具并且使用了文献调查的方法^[9]。Baxter M H. (2014)在澳大利亚维多利亚州莫宁顿半岛郡议会 (MPSC) 的案例研究基础上, 提出了根据相关立法, 用当地议会提供的原始数据来测量议会的年度温室气体排放的方法^[3]。Csutora M, Harangozo G (2017)提出不同的碳核算方法使工业组织能够量化其排放量, 需要将碳核算问题纳入不同的职能领域, 以实现企业和气候政策目标^[5]。Fresner J, Morea F, Krenn C (2020)开发了一种针对中小企业的低碳审计方法。通过构建能源消耗模型, 从而了解能源消耗的来源、损失、优先级和减少的潜力以及使用可再生能源来展示脱碳的潜在发展路径^[6]。

(3) 碳审计评价指标体系的相关研究

William Rees、Mathis Wackernagel 等 (1996) 最早提出通过建立“生态足迹模型”指标体系, 来评价一个国家或地区可持续发展程度^[2]。Koster E. (2009)提出排放源是通过碳审计来确定的, 并运用 (PCP) 模型和 (WRI) 模型两个模型所产生的碳排放分析进行了比较和对比, 并概述了如何设计碳模型以达到可持续发展的要求, 准确识别温室气体排放源并核实温室气体排放^[13]。Tang Q, Luo L. (2014)提出了碳管理系统(CMS), 通过使用碳信息披露项目报告来实证检验大型澳大利亚公司对系统的实施情况, 发现拥有更高质量 CMS 的公司可以实现更好的碳减排^[14]。Hassan M A(2016)在加强巴基斯坦气

候变化审计的战略中指出,需要通过引入碳排放评估指标体系,将气候变化审计技术转变为实测方法。预计即将出台的气候变化审计政策将更多地指向绩效评估、解决问题的建议制定体系、审计的高端综合方法,以及建立减少碳排放的宏观管理体系^[8]。Adiaha M S等(2020)通过进行田间试验,采用分层随机抽样的方法,在实验前后检查潮湿土壤的有机质和有机碳含量,实验室分析后使用美国农业部结构模型对该地区的结构分类,最后实验室分级估算分析表明,该地区的有机质和有机碳含量处于低至中低水平^[1]。

1.3.2 国内研究现状

(1) 碳审计内涵

关于碳审计的定义,国内学者有着不同的说法。钱英莲等学者(2010)将碳审计定义为相关的审计组织按照国家政策、法律法规以及相关制度和标准的要求,并且严格遵守审计准则,对被审计单位或部门进行特殊管理,这种特殊管理的包括低碳职责履行、生产经营、资源利用等活动^[47]。有些学者从温室气体排放的计量方面对碳审计的定义进行了界定。王爱国(2012)提出碳审计是借用审计定义的一般逻辑,从审计学视域管理碳排放问题的一种新思路、新方法和新举措^[53]。赵放(2014)提出碳审计实际上是在“低碳经济”背景下衍生出的新概念,属于环境审计的范畴,是环境审计与低碳经济相结合的概念,也是一种全新的环境规制工具^[70]。熊欢欢、杨赛得斯等学者(2016)认为碳审计是审计主体根据国家法律法规,对有关地区、组织或个人在生产、经营、消费或生活过程中的碳排放所产生的环境影响进行检查和鉴证,并出具审计报告的一种管理活动^[59]。董华涛(2018)从两方面对碳审计进行了定义,认为从性质来看碳审计是一种鉴证和评价行为,综合来看碳审计是独立的审计机构为达到一定的目的,采用专门的审计手段,遵循政策法规的相关规定,通过审查企业或个人日常活动中对环境产生影响的碳排放行为,得出客观、公正审计结论的方式^[19]。郑石桥(2022)指出碳审计是以系统方法,从碳排放信息、碳排放行为和碳排放制度三个维度独立鉴证碳排放经管责任履行情况,并将结果传达给利益相关者的碳排放治理制度安排^[66]。

(2) 碳审计方法相关研究

钱英莲、樊鹏燕(2010)以煤炭企业为例,通过运用生命周期法对低碳产品和技术评估,评价企业碳减排行为^[47]。杨渝蓉,齐砚勇(2011)通过解读《水泥企业二氧化碳减排议定书》,引入具体案例企业进行演示操作,在水泥企业实施碳审计工作时,为如何选取审计方法提供参考^[61]。赵放(2014)从宏观与微观相结合的视角,建立符合我国现

实国情的分类分层碳审计体制^[70]。郝玉贵等学者（2015）从政府、市场和企业层面，进行了低碳治理要素与碳审计关系理论分析，对碳审计监督机制进行研究^[30]。张薇（2015）认为企业在实施碳审计时，应以碳足迹的评价为基础，评价标准可以参考 ISO14064 和 GHG Protocol, 并采用生命周期法，对企业碳排放情况进行评估^[72]。郑石桥（2022）认为碳审计技术方法有两类：一是通用于各类审计业务的技术方法；二是自己的专门技术方法，包括碳数据分析方法、碳数据的验证方法、碳绩效评价方法^[65]。

（3）碳审计评价指标体系相关研究

国内关于碳审计的研究大多采用理论研究方法，而应用性研究较少。但近年来在碳审计评价指标体系构建方面，已经取得了不少研究进展。碳审计评价指标体系的研究对象大致分为两类，分别是以行业为研究对象和以地域为研究对象。我国学者对于地域的碳审计评价体系研究很少。有的学者以省份作为研究对象，如张焕敬（2018）根据层次分析法，从低碳环境、低碳经济、低碳政策等五个方面构建了河南省低碳审计评价指标体系^[69]。余欢欢（2013）通过对浙江省低碳审计评价的现实考量，设计了一个针对浙江省整体低碳经济发展状况做出综合评价的低碳审计评价指标体系^[63]。而有的学者以某一具体地区范围为研究对象，如李琼（2015）构建了基于旅游环境、旅游设施、旅游产品等方面指标的低碳旅游评价指标体系，并运用这一评价指标体系对嵩山低碳旅游水平进行测定^[42]。我国大部分学者对于碳审计评价体系的研究主要集中在电力行业、化工行业、水泥行业这几类高排放行业。如李海燕（2017）基于低碳生态视角的低碳审计基本理论框架，构建了电力企业低碳审计评价指标体系，为电力企业低碳审计工作深入开展提供借鉴^[43]。杨娴雅（2020）以中国华电集团有限公司作为案例企业，构建了电力行业碳审计评价指标体系，促进电力行业低碳经济发展和加快节能减排工作^[60]。金密、张亚连（2018）通过构建化工企业碳审计指标体系和审计标准，对中石化企业的碳排放情况进行审计评价^[33]。黄松琦（2021）通过对已有碳审计评价指标的总结，再结合水泥企业碳排放特点，构建了泥企业碳审计评价指标体系^[32]。近两年，有些学者也开始对其他行业进行探索。如罗岭、张田（2023）构建了制糖业碳审计评价指标体系。赖亚菲（2023）构建了建筑行业碳审计评价指标体系。此外，还有学者从其他视角出发对碳审计评价指标体系进行一定的探索。如李孟哲（2016）以环境价值链为视角，从企业的基础活动与辅助活动两方面构建碳审计评价指标^[36]。管亚梅（2016）基于雾霾治理的视角建立碳审计评价指标体系，促进雾霾治理^[24]。赵玉珍（2017）构建了促进低碳发展的有关激励约束方面、评价企业低碳发展行为和反映企业低碳行为的 16 个指标的碳绩效评价体系，可以较

为全面的评价企业的碳绩效水平^[68]。

在评价指标体系的构建模型的选择方面,我国有些学者借鉴了专用于研究经济与环境问题的指标体系模型 PSR 模型。PSR 模型由压力 (Pressure)、状态 (States)、响应 (Response) 三个逻辑要素构成。如宁晓刚 (2015) 将 PSR 模型作为整体评价框架,构建了工业园区的低碳评价指标体系^[45]。施然、李长楚 (2020) 基于 PSR 模型在碳交易审计中的应用分析,结合对电力企业碳交易审计内容,构建了碳交易审计指标评价体系^[48]。DSR 模型是基于 PSR (压力—状态—响应) 模型发展起来的。有些学者认为由于 PSR 模型只能描述一个静态的环境问题,并且不具备整体评价可持续发展问题的功能,因此在 PSR 模型的基础上,为了突出温室效应等环境问题对经济社会的影响,将 P 压力替换成 D 驱动力,从而构成改进的 DSR 模型。由于 DSR 模型更能全面反映出人类活动对环境的影响,还可以容纳更多方面的问题,因此大多数学者在构建碳审计评价指标时一般运用此模型。如李海燕 (2017)、金密 (2018)、赖亚菲 (2023) 等分别在电力、化工、建筑等不同行业以 DSR 模型为基础,分别对电力、化工、水泥等行业分别构建了碳审计评价指标体系。王爱华 (2016) 基于 DSR 模型,设计了 D-R-S 低碳审计模型,区别在于 DSR 模型中的 S(状态)代表资源环境已有的不良状态,而 DRS 模型中的 S(状态)则代表新状态^[54]。除此之外,部分学者借鉴了其他模型作为构建碳审计评价指标的基础。如罗喜英等学者 (2018) “3E”理论引入到碳绩效评价指标体系的构建中,用以对企业披露的碳信息是否真实加以检验^[39]。杨娴雅 (2020) 借鉴绩效审计的“3E”原则,以中国华电集团有限公司作为案例企业,构建了电力行业碳审计评价指标体系^[61]。王世进 (2013) 通过借鉴平衡计分卡思想,为工业企业设计出基于低碳视角的战略绩效评价体系。李鸿儒 (2019) 通过企业环境价值链分析构建出能源企业低碳审计评价指标体系。郑国芳 (2023) 等学者从人员、机器、原料、方法、环境、经济 (4M2E) 6 个角度构建了化工企业的碳审计评价指标体系^[75]。

在评价指标体系构建的方法与指标权重确定方面:构建碳审计评价指标体系的核心就是要选取恰当的指标和合适的方法确定权重。通过对已有碳审计评价指标体系构建研究的整理发现,目前学者们一般都选用层次分析法 (AHP) 来构建碳审计评价指标体系。如陈洋洋,王宗军 (2016) 采用层次分析法从经济效益、低碳消费、低碳技术等五个方面构建了低碳审计评价指标体系^[17]。在确定碳审计评价指标权重的问题上,大部分学者运用专家打分法和层次分析法相结合进行了赋值。如李海燕 (2017) 通过专家打分等三个阶段的筛选形成了 3 个层次 21 个指标的评价指标体系,再通过构造判断矩阵、计算各指标

权重、一致性检验 3 个步骤对指标层权重进行确定^[43]。李鸿儒（2019）通过企业环境价值链分析构建出能源企业低碳审计评价指标体系，结合层次分析法与专家打分法，运用所构建的评价指标体系对 A 企业进行分析^[41]。黄松琦（2021）通过以邮件和问卷星的形式向专家发放调查问卷，将获取的专家打分原始数据进行整理，最终构造出判断矩阵并运用层次分析法分别求解指标层和影响因素层的权重向量分配^[32]。金密（2018）提出对企业最终评价时，可以将有关指标指数，按层次分析法的分析原理，将其建立多维层次结构，并为其关键因素赋值分析，并且通过模糊综合评价法来对碳审计中遇到的主观定性指标进行量化分析^[33]。除此之外，国内一些学者采用其他方法来构建碳审计评价指标体系。如傅双双（2013）参照 DSR 模型并结合 PCA 模型，从电力企业社会责任报告中选取并筛选 15 个碳审计定量指标，并利用人工神经网络模型对指标进行权重赋值，由此得出碳审计的评价结果^[20]。

在碳审计评价指标体系评价方法选择方面：大部分学者采用环境优值模型对指标进行评价。环境优值模型是一种针对环境多指标体系的环境绩效审计评价方法。如黄松琦（2021）、杨娴雅（2020）、王涵，李谦（2019）都采用环境优值模型的计算出的数值来进行评价，并且采用等间距法划分等级。还有学者采用其他方法进行碳审计评价。有的学者运用模糊综合评价法对碳审计评价结果进行分析。如金密，张亚连（2018）运用模糊数学中的运算方法，求得了综合评价数值，然后根据计划标准、条例标准等，最终以经过计算和修正后的结果作为评分标准进行分析^[67]。如李鸿儒（2019）通过加权评分法，计算各指标数值，根据相关政策、法规等，设立评价标准，最后进行评价^[41]。宁晓刚（2015）运用多目标加权线性函数对专家打分的结果进行了计算，得出了关于低碳园区评价等级的划分^[45]。可以看出，无论使用哪种评价方法，最终得到的综合评价得分，都没有明确的评价依据。

1.3.3 文献述评

通过对国内外的研究文献进行梳理，可以看出碳审计研究已经取得了一些成就。随着各国越来越重视环境的保护和资源的利用，碳审计在各国经济发展中已变得至关重要。并且随着碳审计在国内外研究的不断深化，与之相关的理论体系也将逐渐成熟。

首先，通过对国外碳审计文献的梳理可以得知，国外学者对碳审计的研究较早，有些国家在 19 世纪初就对碳审计展开了探索。随着研究的不断深入，碳审计的研究不仅包含不同行业还注重碳审计技术的使用，还设计了不同的碳审计方法以适应不同企业，

对中国学者将来对碳审计的研究有一定的借鉴意义。国内学者在碳审计方面的研究上已取得了一定的成果，通过已有文献发现过往学者研究更注重碳审计理论框架体系的构建研究，近几年才慢慢探索碳审计评价体系的构建。

其次，通过对国内碳审计文献的梳理，国内关于碳审计的定义，不同学者存在不同的说法。主要表现在是否将碳审计独立于审计部门，以及从什么角度测量碳排放这两方面。关于碳审计方法的研究大多采用理论研究方法，而应用性研究较少。所以，目前我国在碳审计方面的研究仍主要以规范研究方法为主、案例为辅。在碳审计评价指标体系的构建方面，虽然研究成果不少，但仍需要进一步深入研究。从评价指标的构建对象来看，我国的碳审计评价指标体系大多是根据企业的不同性质分行业、地区对某些企业碳审计实务进行研究。从碳审计评价指标构建的模型和方法来看，我国碳审计评价指标体系的研究大多以三层指标体系构建为主，基于 DSR、PSR 等模型，运用 AHP 法对企业的碳审计效率、效果等方面进行评价分析。由于各行各业生产流程的差异化，其碳排放行为也各有特点，在具体的碳审计中的重点也有所不同。因此，针对不同行业的碳排放特点，评价指标的选取也应当有所区别。总之，随着我国碳交易市场的不断发展，碳审计指标体系的研究也应逐渐细化和具体化。

鉴于此，本文从电力行业角度出发构建碳审计评价指标体系，并应用到具体案例企业中，对企业碳审计进行评价，根据评价分析结果，提出改进意见。不仅能有效指导案例企业碳排放行为，推进企业进一步加强碳审计工作，还可以为整个电力行业的碳审计工作提供参考。

1.4 研究内容与研究方法

1.4.1 研究内容

本研究主要分为以下几个部分：

第一部分：绪论。首先介绍了我国碳审计现状，结合国内相关政策以及电力行业碳排放的现状，得出研究目的和研究意义，然后梳理国内外在碳审计内涵、碳审计方法和碳审计评价体系这三方面的文献，从而确定了本文的研究内容和研究方法。

第二部分：相关概念及理论基础。首先对碳审计和碳审计评价指标体系的概念进行界定。确立了低碳经济理论、环境审计理论和可持续发展理论为本文的理论依据，便于进行下一步研究。

第三部分：构建电力行业碳审计评价指标体系。分析电力行业构建碳审计评价指

标的必要性，基于 DSR 模型对电力行业碳审计评价指标进行框架设计，根据前人的研究成果和国内有关电力行业的碳减排政策，选取适合电力行业的碳审计评价指标并进行解释，然后对采层次分析法和熵权法组合赋权的方法进行介绍，最后对综合评价的 TOPSIS 评价模型进行介绍。

第四部分：电力行业碳审计评价指标的应用。案例选取了华润电力作为研究对象，对该企业基本情况以及碳减排情况进行介绍，通过该公司近年来的财务报告和可持续发展报告提供的财务数据以及碳减排数据，对整理的数据进行标准化处理，基于 DSR 模型采用层次分析法和熵权法对第三部分设计的指标确定各指标权重，通过 TOPSIS 法对该企业进行评价，并根据评价结果得到几点启示，对其他电力企业碳减排工作提供参考。

第五部分：对策与建议。根据案例企业的碳审计评价结果以及碳审计发展现状，对电力行业碳审计评价指标体系的实践提出几点建议。

第六部分：总结与展望。基于以上研究，得出本文的研究结论，发现本文的不足之处以及未来可以改进的方向。

本文的研究逻辑框架图如下图 1.1 所示：

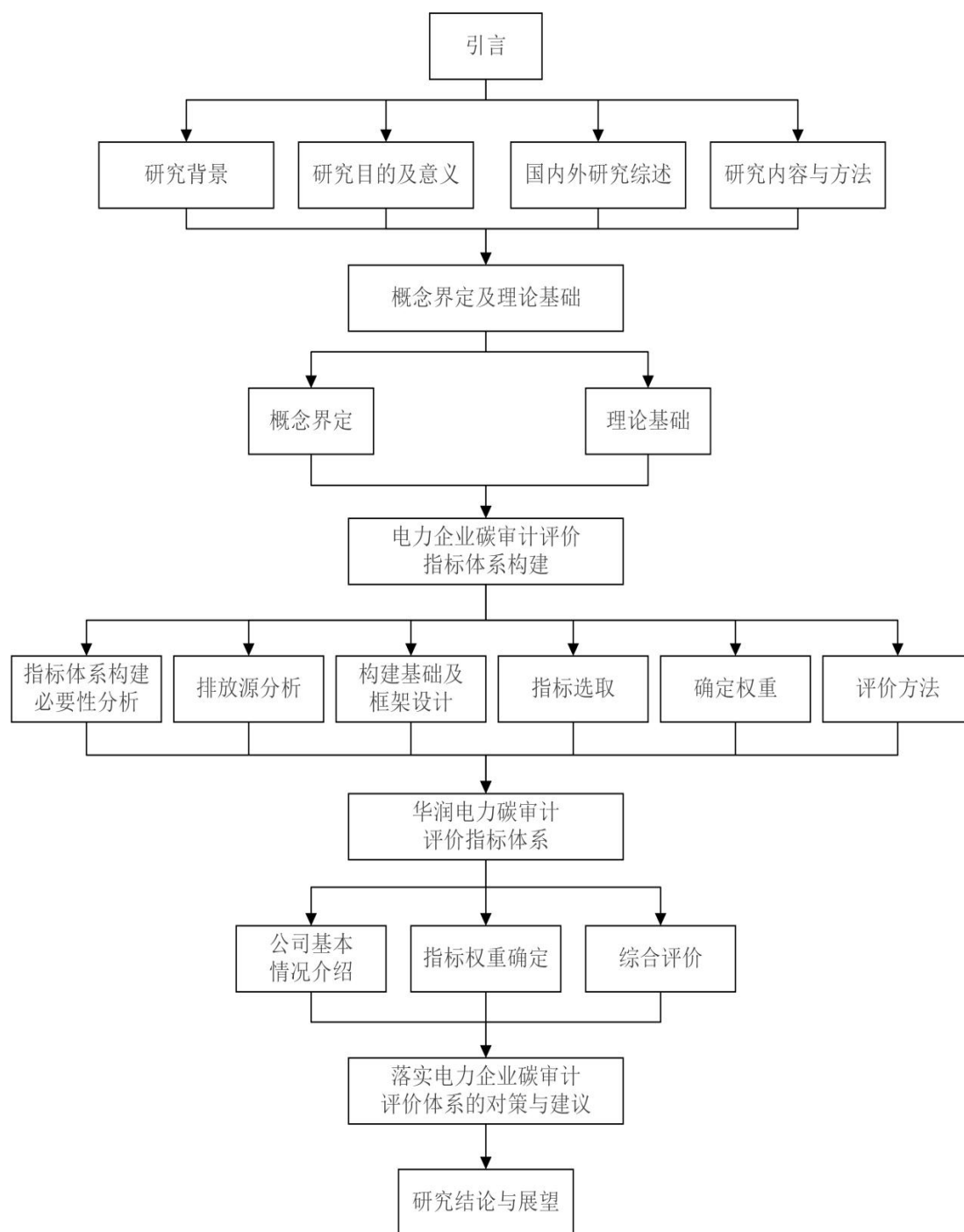


图 1.1 技术路线图

1.4.2 研究方法

本文采用案例分析法进行相应研究。在本研究中使用华润电力作为案例进行分析，评估其碳排放水平，并且判断前文构建的电力行业的碳审计评价指标体系是否可以应用于具体企业以及最终得出的评价结果是否与企业实际运营情况相符。通过使用案例研究方法，可以深入了解华润电力公司的实践经验，从而更好地理解碳审计评级体系的实际

应用，并为其他电力公司提供参考。

2 概念界定及理论基础

2.1 概念界定

2.1.1 碳审计

碳审计是一种评估和核算组织或个人碳排放的过程。它旨在测量和跟踪特定实体（如公司、组织、个人）产生的温室气体排放量，特别是二氧化碳（CO₂）的排放量。它的目的是为了评估和监测碳足迹，即特定实体在其活动过程中对气候变化的贡献。碳审计实际上是在“低碳经济”背景下衍生出的新概念，属于环境审计的范畴，是环境审计与低碳经济相结合的概念，也是一种全新的环境规制工具。从特征角度讲，碳审计不是简单的财务审计、合规审计，而是一种应对碳减排工作的多元且复杂的审计，是环境审计的子项，也是环境审计工作新的指向^[70]。

碳审计有助于组织和个人了解其温室气体排放情况，识别和量化减排机会，并制定相应的减排策略。它对于实现低碳经济发展、应对气候变化和履行社会责任具有重要意义。碳审计在许多领域得到应用，包括企业、政府部门、城市社区以及个人层面。

2.1.2 碳审计指标评价体系

碳审计指标评价体系是用于评估和衡量碳排放情况的一套指标和评价方法体系。它旨在提供一个系统化的框架，以量化和比较不同实体（如企业、组织、城市等）的碳足迹，评估其碳排放水平和性能，并为减排行动提供指导和参考。

通过使用碳审计指标评价体系，组织和实体可以更好地了解其碳排放状况，并基于数据进行决策和行动，以实现更低碳的经营和发展。这有助于推动低碳经济转型和应对气候变化的目标。

2.2 理论基础

2.2.1 低碳经济理论

低碳经济理论是指在降低温室气体排放和应对气候变化的背景下，推动经济发展和可持续增长的一种经济理论和实践。它强调通过减少对化石燃料的依赖，提高资源利用效率，促进清洁能源的采用以及采取其他减排措施来实现经济发展与减排目标的协同。低碳经济理论认为，经济增长和温室气体排放并不必然关联。利用技术创新、优化产业结构和提高能源效率等手段，我们可以在追求经济增长的同时，有效地减少温室气体的排放，实现碳排放与经济增长的分离，即实现经济发展的同时减少温室气体排

放。并且该理论强调清洁能源的推广和应用。这包括发展可再生能源（如太阳能、风能、水力能等）和核能，并逐步减少对传统化石燃料的依赖。通过清洁能源的使用，可以降低温室气体排放量，并推动能源结构的转型。

同时，低碳经济理论倡导提高能源效率和节能措施。通过采用更高效的技术、改善能源系统的管理和运营，以及鼓励节能行为，可以减少能源消耗，从而减少温室气体的排放。并且该理论认为通过推动环保技术的研发和应用，培育绿色产业，可以促进经济结构的转型，创造就业机会，并推动经济的可持续增长。它目标是实现经济的繁荣和社会的福祉，同时减少对环境的负面影响。它强调在经济发展和气候变化应对之间找到平衡，以实现可持续发展的目标。通过实施低碳经济政策和措施，国际社会可以共同应对气候变化挑战，并推动全球向更可持续的发展模式转变。

总之，低碳经济理论是一个重要的领域，它涉及到如何降低碳排放、促进经济发展、实现可持续发展等方面的问题。在低碳经济的发展过程中，必须考虑到碳排放的影响，同时，只有通过降低碳排放，才能实现低碳经济的发展目标，促进可持续发展。

2.2.2 环境审计理论

环境审计理论是一种评估和监测组织环境绩效的理论框架和方法。它旨在帮助组织识别、评估和管理其环境风险、影响和机会，并促进可持续发展。环境审计理论强调对组织环境绩效的评估和监测。这包括定量和定性地测量和分析组织的环境表现，如资源利用、废物管理、能源消耗、污染排放等。通过环境绩效评估，组织可以了解其环境状况，发现潜在的环境问题，并制定改进措施。并且它关注组织是否符合环境法规和要求，强调检查组织的环境管理体系是否合规，并评估其环境政策、程序和实践是否与法律、法规和标准相符。

环境审计理论着重于识别和评估组织面临的环境风险和机会。这包括评估环境污染、资源短缺、法律合规风险等，并制定相应的风险管理策略和应对措施。它鼓励组织通过持续改进来实现可持续发展。它强调组织应采取措施减少对环境的负面影响，促进资源的可持续利用，推动环境保护和社会责任。

环境审计理论可以为有效地评估和监督企业的碳排放量，促使其采取有效的碳减排措施，减缓气候变化的影响提供理论依据，也可以为政府制定环保政策和法规提供科学依据和参考，推动可持续发展。

2.2.3 可持续发展理论

可持续发展理论是一种综合性的理论，它强调了社会、经济和环境之间的相互关系，以确保经济增长和发展不会导致资源枯竭、环境破坏或社会不公平。可持续发展理论的目标是通过合理管理资源、减少环境影响和促进社会公平来实现经济和社会的可持续性。

开展碳审计是监督企业在追求经济效益的同时，关注其经济行为带来的社会效益、环境效益，最终目标是为了实现经济、社会、环境的协调与可持续发展^[54]。因此，碳审计评价体系与可持续发展理论之间存在紧密关系。可持续发展理论强调减少碳排放以应对气候变化是可持续发展的一个关键要素。碳审计评价体系的目标之一是测量和减少碳排放，以符合气候目标，这有助于可持续发展的实现。另外，可持续发展理论倡导有效管理自然资源，以确保它们不会被过度消耗。碳审计评价体系涉及资源使用的量化评估，帮助组织更好地管理碳资源，避免浪费，并促进可持续的资源管理。并且可持续发展理论要求减少环境污染和生态系统破坏。碳审计评价体系有助于组织识别并减少其碳排放，从而降低对环境的不利影响。

3 基于 DSR 模型的电力企业碳审计评价指标体系构建

3.1 电力企业构建碳审计评价指标体系的必要性分析

2020年9月22日，习近平在联合国大会发言时宣布了中国的“双碳”目标，即争取在2030年前实现碳排放达峰、2060年前实现碳中和。因此，为了早日实现碳达峰、碳中和这一目标，我国对能源结构等提出了新的要求。在2021年10月，国务院发布了《2030年前碳达峰行动方案》，方案中提出将能源绿色低碳转型行动作为重点任务。目前，电力生产行业是我国二氧化碳排放量最高的行业，随着各行业的深度电气化，电力消费将成为我国未来最主要的消费形式。因此，电力生产行业是能源绿色低碳转型行动的重点领域。2022年1月国家能源局发布了《“十四五”现代能源体系规划》，该规划提出了强化储能、氢能、碳捕集利用与封存、天然气水合物等前沿科技攻关，持续加大风电、太阳能发电、先进核能等研发力度，进一步提高煤炭、油气的绿色开采和清洁高效利用技术水平，推动构建新型电力系统等要求。由此可见，电力行业在碳减排方面扮演着十分重要的角色，评估电力企业碳减排情况对于能源企业减少产业碳足迹，促进能源绿色低碳转型甚至达到脱碳是十分必要的，也是迈向碳中和至关重要的一步。

此外，2023年4月国家标准委等部门联合发布了《碳达峰碳中和标准体系建设》指南，要求各行业各领域要按照碳达峰碳中和的标准体系建设内容，加快推进相关国家标准、行业标准的修订，特别提到了有关电力行业低碳管理评价标准的修订。这说明国家开始加强顶层设计，统一各行业节能降碳标准，电力行业碳审计评价标准在未来可以确定。

鉴于此，根据电力企业相关的碳减排政策，以及电力行业碳排放特点，有针对性的构建电力行业碳审计评价指标体系，有助于电力企业更加精准地制定减排措施，提高碳资源利用效率，降低碳排放，从而推动低碳经济的发展，更快的促进我国“双碳”目标的实现。

3.2 电力企业二氧化碳排放源分析

目前，我国的电力企业大多以火电为主，火电行业占据了50%以上的装机容量并且承担了70%的电力供应任务。因此，本文主要从火电发电的生产过程出发研究电力企业的碳排放来源。火电发电主要包括燃料的获取、运输、燃料加工处理和生产使用四大环节，具体环节包括煤炭、天然气、石油等燃料的采购、运输、煤炭的洗选加工、锅炉燃煤、脱硫除尘、废弃物处理，如图3.1所示。

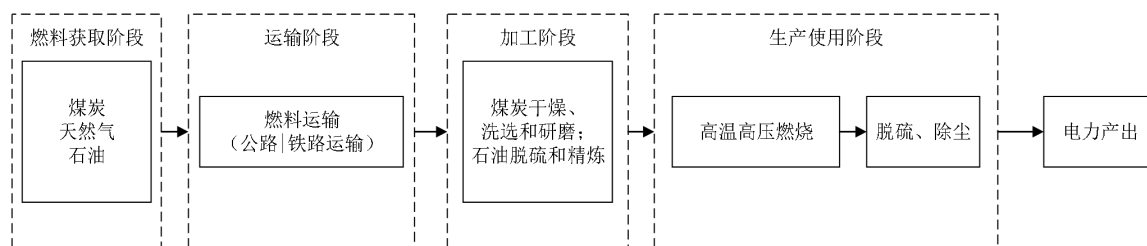


图 3.1 火电发电生产过程

在电力生产的过程中，随着大量能源资源被消耗，上述流程都有可能直接或者间接产生一定的碳排放。直接排放主要有两类，一是锅炉、柴油发电机等使用化石燃料作为能量来源生产电力的机械设备直接燃烧产生的温室气体。二是电厂尾气净化处理的脱硫过程产生的温室气体排放。间接排放主要有三类，一是各种化学品或者原料的生产和加工过程中产生的，是电力生产过程中正常操作造成的排放。比如为了提升煤炭的利用程度，采用煤炭的粉碎装置等辅助设施，这些设施在加工过程中产生的排放。二是原料、燃料采购运输过程中产生的。原料、燃料的运输方式主要为铁路运输。电力企业用于经营意图的运输工具，产生的温室气体排放都应计入间接碳排放之中，包括外购电力产生的温室气体。这部分产生的温室气体属于移动源排放。三是对电力生产过程中产生的灰渣、废水等废弃物处理过程中产生的温室气体排放。将电力生产过程中产生的废弃物送到相应部门进行处理，这部分的运输、处理过程都将产生二氧化碳。除此之外，在电力生产过程中，还有一部分其他间接排放。这部分包括电力企业的办公室、食堂宿舍用电、员工通勤、差旅等产生的非生产性排放。这部分排放涉及的范围很广，但排放量几乎无法确切计算。图 3.2 为电力企业碳排放源。

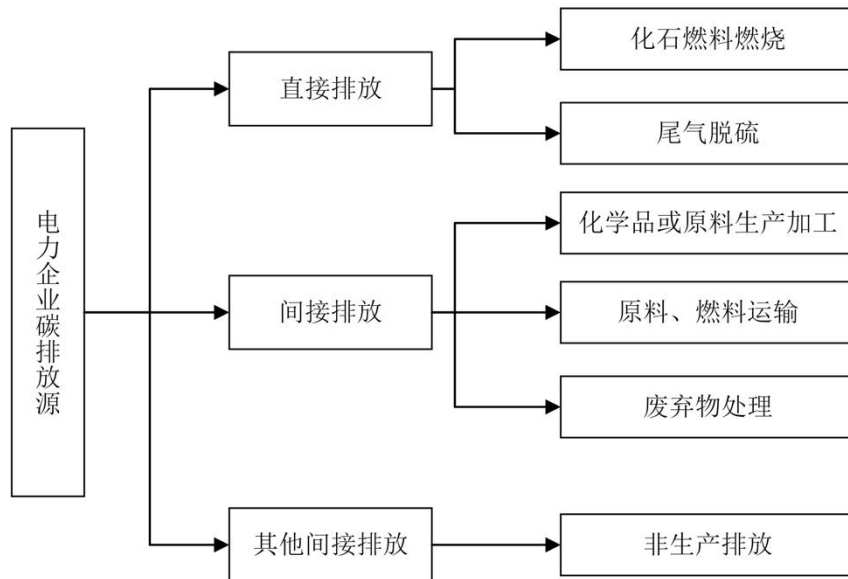


图 3.2 电力企业碳排放源

3.3 电力企业碳审计评价指标体系构建基础及框架构建

3.3.1 碳审计评价指标构建基础

(1) DSR 模型概述

DSR(驱动力-状态-响应)框架是1996年联合国可持续发展委员会为可持续发展指标的建构首次引进的框架。DSR框架源于PSR(压力-状态-响应)框架,因为该框架偏向于环境问题,不包含人类社会活动、经济制度等问题且不能反应人类发展的动态性,于是将压力替换为驱动力。DSR框架相对于PSR框架可以容纳社会、体制等方面的问题。更重要的是,驱动力的引入表明,人类的行为对发展的影响既有正面的又有负面的。

在DSR模型中,驱动力是指由于人类的一系列活动导致环境可持续发展或者不可可持续发展的因素。状态是指在一段时间内人类活动导致的环境变化情况以及造成的影响。响应是指人类针对目前已经对环境造成的破坏以及防止环境继续恶化,采用一系列措施来改善环境状况。DSR模型作用机制如图3.3所示。

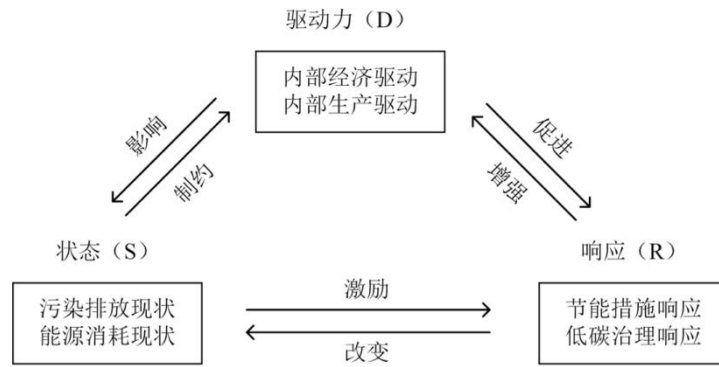


图 3.3 DSR 模型作用机制

(2) DSR 模型的适用性分析

在电力行业碳审计评价指标体系构建中，涉及到驱动力、状态、响应这三方面的指标。这些指标代表了对于碳排放和碳管理的不同方面的关注。

驱动力指标 (Driving Force, D)：驱动力指标涉及影响碳排放和碳管理的外部因素和内部动力。这些因素可以包括政策法规、市场需求、能源价格、能源供应量等。而电力企业的发展受到多种驱动力的影响，包括政策法规和技术进步等。DSR模型可以帮助电力企业识别这些驱动力，并评估其对环境的影响。

状态指标 (State, S)：状态指标用于衡量组织当前的碳排放水平、碳足迹和碳管理绩效。这些指标可以包括年度碳排放量、单位产出的碳排放、能源消耗的碳排放等。通过状态指标，可以了解组织当前的碳管理状况和碳足迹。电力企业的运营状态对环境质量有着直接影响，如电厂的运行过程中燃料燃烧产生大量二氧化碳、废水及废弃物处理过程中产生二氧化碳等，这些都会对空气质量产生影响。DSR模型可以帮助电力企业监测和评估这些环境状态的变化。

响应指标 (Response, R)：响应指标涉及组织对碳排放和碳管理挑战的应对和响应措施。这些指标可以包括碳减排目标、采取的节能减排措施、推行可再生能源的比例等。响应指标用于评估组织对碳管理的主动性和创新性。电力企业也需要制定和实施各种环境保护措施和政策来应对环境问题。DSR模型可以帮助电力企业评估不同响应措施的效果，同时可以评估电力企业对碳管理的主动性和创新性。

因此，DSR模型可以为电力企业提供一个全面的环境管理框架，帮助企业识别和解决环境问题，促进其可持续发展。

3.3.2 碳审计评价指标体系框架构建

本文在 DSR 模型基础上构建的电力企业碳审计评价指标体系包括三个层次：第一层是目标层，表示电力企业碳审计评价指标体系的总目标；第二层是影响因素层，包含驱动力、状态和响应三个因素；第三层是指标层，是描述电力行业低碳发展的具体指标。如图 3.4 所示。

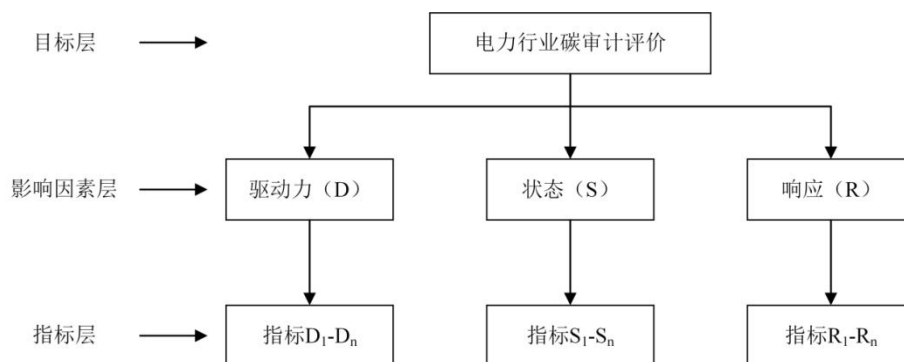


图 3.4 电力行业碳审计评价指标框架

3.4 电力企业碳审计评价指标的选取

电力企业进行碳审计的目的是全面、客观地评价企业能源使用状况以及碳减排工作的情况，从而对企业减少碳排放改善大气环境提供改进建议。因此，本文选取的评价指标的应当体现电力企业生产活动导致的大气污染问题。本文在选取指标时借鉴前人在构建碳审计评价指标时选取的部分指标，并且为了选取的指标具有科学性且能体现电力企业碳排放特点，参考了有关电力行业的法规政策，如《电力行业（燃煤发电企业）清洁生产评价体系》（2015）、《中国电力行业年度发展报告》（2020）、《中国 2030 年能源电力发展规划研究及 2060 年展望》（2020）等，选取了可再生能源权益装机占比、发电运营权益装机容量等指标。最终立足于 DSR 模型，将选取的指标细分到各因素层。

(1) 驱动力指标的选取

由于目前电力企业还是以火力发电发主，在生产电力过程中要用到大量煤炭，因此在电力生产过程中会排放出大量的空气污染物，对环境造成严重影响。驱动力指标主要的反映的是电力企业持续生产经营的能力和利用自然资源追求经济利益，从而忽视对环境的保护，导致环境出现不可持续发展等负面影响的一系列因素，也可以反映出企业碳减排的一系列动力因素。因此，选取的驱动力指标主要有：总资产（D1）、营业额（D2）、纳税总额（D3）、营业利润（D4）、灰渣综合利用总量（D5）、投入资本收益率（D6）、

经营性净现金流（D7）。

(2) 状态指标的选取

状态指标主要反映电力企业的污染状况即：在生产经营过程中产生的一系列温室气体和废弃物对环境的影响程度以及在绿色能源发展下环境下的能源消耗状态。因此，选取的状态指标主要有：温室气体排放总量（S1）、废水排放量（S2）、二氧化硫排放量（S3）、烟尘排放量（S4）、所产生有害废弃物总量（S5）、所产生无害废弃物总量（S6）、综合能源消耗量（S7）、氮氧化物排放量（S8）、氮氧化物排放率（S9）。

(3) 响应指标的选取

响应指标反映的是电力企业在驱动力和状态的影响下，为了改善环境状态做出的反映。电力企业一般会根据国家发布的有关碳减排政策，制定自己的降碳目标，加大减排技术的研发，使得温室气体排放量和废弃物排放量逐渐下降，从而改善环境状态。因此，选取的响应指标主要有：环保总投入（R1）、发电运营权益装机容量（R2）、可再生能源权益装机占比（R3）、节能减排技术改造投入（R4）、新增专利授权（R5）。

电力企业碳审计评价指标设置如下表 3.1 所示。

表 3.1 电力企业碳审计评价指标

目标层	因素层	指标层	指标性质
电力企业碳审计评价	驱动力因素 (D)	总资产	定量指标
		营业额	定量指标
		纳税总额	定量指标
		营业利润	定量指标
		灰渣综合利用总量	定量指标
		投入资本收益率	定量指标
		经营性净现金流	定量指标
		温室气体排放总量	定量指标
		废水排放量	定量指标
		二氧化硫排放量	定量指标
	状态因素 (S)	烟尘排放	定量指标
		所产生有害废弃物总量	定量指标
		所产生无害废弃物总量	定量指标
		综合能源消耗量	定量指标
		氮氧化物排放量	定量指标
		氮氧化物排放率	定量指标
		环保总投入	定量指标
	响应因素 (R)	发电运营权益装机容量	定量指标
		可再生能源权益装机占比	定量指标

续表 3.1 电力企业碳审计评价指标

目标层	因素层	指标层	指标性质
		节能减排技术改造投入	定量指标
		新增专利授权	定量指标

3.5 确定碳审计评价指标权重

我国大多数学者在对碳审计评价指标赋权的时候只采用主观赋权的方法。主观赋权是指根据专家经验、知识以及对各项指标的重视的程度等因素，对各项指分配相应的权重。然而，主观赋权的方法容易受到人为因素的干扰，可能会导致权重分配不够客观和准确。客观赋权则是通过对数据进行数理统计分析来确定各指标的权重。它可以避免主观赋权中的人为因素干扰，提高权重分配的客观性和准确性。但它忽略了评价指标的主观定性分析。因此，本文采用主观赋权法和客观赋权法相结合的组合赋权方法，以弥补单一赋权带来的不足。因此，本文首先运用专家打分法对各指标进行主观赋权，再运用熵权法对各指标进行客观赋权，最后将层次分析法和熵权法进行组合确定各指标最终权重。

3.5.1 层次分析法

层次分析法 (The analytic hierarchy process) 简称 AHP，是 20 世纪 70 年代初期由美国匹兹堡大学运筹学家托马斯·塞蒂 (T.L. Saaty) 在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”的课题时提出的一种层次权重决策分析方法。该方法将定量分析与定性分析结合起来，借助决策者的实践经验来判断各个目标是否可实现的标准的相对重要性，并为每个方案给出相应标准的权重，利用权数求出各方案的优劣次序，经常应用于那些难以用定量方法解决的课题。层次分析法计算的基本步骤如下：

(1) 构建层次结构模型

运用层次分析法是将构建电力行业碳审计评价指标体系划分为三个层次。第一个层次就是目标层，是对电力企业碳审计总体目标的；第二个层次是准则层，准则层又划分为驱动力、状态和响应三个因素层；第三个层次是指标层，是评价碳审计实施过程中的具体指标。具体层次构建模型见图 3.4。

(2) 构造判断矩阵

采用专家打分法对同层次各要素的重要性进行两两比较,对其重要性进行排序打分。根据 T. L. Saaty 教授给出的 1-9 级标度表(如表 3.3 所示)对各指标的重要性程度进行赋值,通过每一层指标两两相互比较的结果,形成一个完整的判断矩阵。判断矩阵如表 3.2 所示。其中 a_{ij} 为要素 i 与要素 j 重要性比较结果。

表 3.2 判断矩阵

BK	A1	A2	A3	.....	An
A1	A11	A12	A13	.....	A1n
A2	A12	A22	A23	.....	A2n
A3	A13	A32	A33	.....	A3n
.....
An	An1	An2	An3	.....	Ann

表 3.3 九级标度表

标度	重要等级
1	元素 i 和元素 j 同等重要
3	元素 i 比元素 j 稍微重要
5	元素 i 比元素 j 比较重要
7	元素 i 比元素 j 强烈重要
9	元素 i 比元素 j 极端重要
1/3	元素 i 比元素 j 稍不重要
1/5	元素 i 比元素 j 比较不重要
1/7	元素 i 比元素 j 强烈不重要
1/9	元素 i 比元素 j 极端不重要
2、4、6、8	两相邻判断的中间值

(3) 计算各指标权重

运用乘积方根法计算指标权重,具体步骤如下:

①计算判断矩阵 A 各个元素 m_i 的乘积;

$$m_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3-1)$$

②计算 m_i 的 n 次方根:

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{m_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3-2)$$

③对向量 $W = (\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n)^T$ 进行归一化处理:

$$\overline{W}_i = \overline{W}_i / \sum_{k=1}^n \overline{W}_k, i = 1, 2, \dots, n \quad (3-3)$$

④计算判断矩阵的最大特征根。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (3-4)$$

其中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个元素。

(4) 一致性检验

检验判断矩阵的一致性是为了验证专家在对指标重要性判断时是否存在矛盾关系, 即对于不同要素重要程度的评分判断是否具有-致性, 从而保证结果以及所获得的权重数值的可靠性。一致性检验需要计算一致性指标 CI 和一致性比率 CR 。

$$\text{一致性指标: } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (3-5)$$

当判断矩阵中 n 越小时, CI 也越小, 说明这一判断矩阵接近于完全一致。

$$\text{随机一致性比率: } CR = CI / RI \quad (3-6)$$

在以上公式中, RI 为平均随机一致性指标。当 $CR < 0.1$ 时, 表明判断矩阵的一致性可以接受; 当 $CR \geq 0.1$ 时表明判断矩阵的一致性不可接受, 或需要进一步修正, 或剔除弃用。其中 RI 可以通过查询多阶判断矩阵表得知, 常见的 RI 数值如表 3.4 所示。

表 3.4 多阶判断矩阵表

n 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

3.5.2 熵权法

熵权法是一种多指标权重分配方法, 其核心思想是基于信息熵的原理, 将不同指标的信息用于确定他们的权重, 是一种客观赋权法。它避免了人为因素带来的偏差, 所以相对于层次分析法等主观赋权法, 精确度较高、客观性更强, 具体计算过程如下:

(1) 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。由此建立的矩阵表如下:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

(2) 对原始数据标准化处理

根据指标含义, 可将指标分为正向指标和负向指标, 分别通过以下方法进行标准化, 保证标准化后的数据都为正数。

$$\text{正向指标: } x'_{ij} = \left[\frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})} \right] \quad (3-7)$$

$$\text{负向指标: } x'_{ij} = \left[\frac{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - x_{nj}}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})} \right] \quad (3-8)$$

x'_{ij} 为 x_{ij} 标准化处理后的值, 此时的标准化矩阵为:

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} x'_{11} & \cdots & x'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_{m1} & \cdots & x'_{mn} \end{bmatrix}$$

(3) 计算第 j 个指标在第 i 个评价对象出现的概率 p , 计算公式如下:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m \quad (3-9)$$

(4) 计算各指标 j 的信息熵 e_j , 计算公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad \text{其中, } k = 1/\ln n, e_j \geq 0 \quad (3-10)$$

(5) 确定各指标的权重 w_j , 计算公式如下:

$$w_j = \frac{1-e_j}{m-\sum_{i=1}^m e_j}, \quad j=1, 2, \dots, m, \quad \text{其中 } 1-e_j \text{ 为变异系数 } \theta_j \quad (3-11)$$

3.5.3 层次分析法和熵权法确定综合权重

为了避免主观赋权和客观赋权各自的弊端, 本文采用层次分析法和熵权法这两种方法组合计算各项指标的综合权重, 以弥补单一赋权的不足, 使所赋权重更加科学合理。

通过查阅相关文献, 大多数学者采用线性加权法建立组合模型。其公式如下:

$$W_i = \beta v_i + \mu_i (1 - \beta), \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (3-12)$$

以上公式中, i 为评价指标, v_i 为指标 i 的客观权重, μ_i 为指标 i 的主观权重, W_i 为指标的综合权重。

当 $\beta=0.5$ 时, 主观权重与客观权重各占一半比例。在实际运用层次分析法和熵权法综合赋权时, 为了兼顾主客观的统一, 一般采取这种取值方式。因此, 最终组合权重的公式为:

$$W_i = 0.5 v_i + 0.5 \mu_i \quad (3-13)$$

3.6 基于 TOPSIS 法的评价模型构建

3.6.1 模型介绍

Topsis 模型，全称为“技术优劣排序法”，是一种多属性决策分析方法，用于评估各个备选方案的优劣和排序。该模型通过比较每个备选方案与理想解的相似性，以确定最佳的选择。

Topsis 模型的基本原理：首先，将备选方案的性能评价指标纳入分析，然后将这些指标归一化，以确保它们在相同量上的对比。接下来，Topsis 模型确定了两个理想解：正理想解和负理想解。正理想解是在每个评价指标上都取得最佳值的备选方案，而负理想解则是在每个指标上都取得最差值的备选方案。最后根据计算出的各个备选方案与正理想解和负理想解之间的距离进行排序、择优。如果评价对象与正理想解最接近，同时又与负理想解距离最远，那么此被选方案为最好方案；相反，就是最差方案^[15]。Topsis 模型的优点在于能够处理多属性决策问题，考虑了各属性之间的权重和相对重要性，使决策更加科学合理。这个模型在实际应用中常用于项目选择、供应商评估、产品质量控制等决策问题的解决上。

在构建电力企业碳审计评价指标过程中，运用 Topsis 评价模型，可以根据计算出的各指标与理想解的距离，看出指标随时间的变化状况，以及判断出企业需要改进的地方。

3.6.2 TOPSIS模型评价的具体步骤

TOPSIS 评价的基本过程如下：

(1) 遇到多属性决策问题时，一般有 m 个评价目标 D_1, D_2, \dots, D_m ，每个目标有 n 个评价指标 X_1, X_2, \dots, X_n 。用向量规划化的方法求得规范决策矩阵，设该矩阵为 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ ，规范化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3-14)$$

(2) 构造加权数据矩阵。

通过计算权重规范化值 r_{ij} ，建立关于权重规范化值 r_{ij} 的权重规范化矩。

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3-15)$$

其中， w_j 是第 j 个指标的权重。

(3) 确定正负理想解。

根据权重规范化值 v_{ij} 来确定正理想解和负理想解。

$$\text{正理想解 } V^* = \begin{cases} \max_i v_{ij}, j \in J_1 \\ \min_i v_{ij}, j \in J_2 \end{cases}, i=1, 2, \dots, m \quad (3-16)$$

$$\text{负理想解 } V^- = \begin{cases} \min_i v_{ij}, j \in J_1 \\ \max_i v_{ij}, j \in J_2 \end{cases}, i=1, 2, \dots, m \quad (3-17)$$

其中, J_1 具有效益型属性, 表示在第 i 个指标上的最优; J_2 具有成本型属性, 表示在第 i 个指标上的最劣值。

(4) 计算各个评价方案至正负理想解的距离。目标到正理想解 A^* 的距离为 S^* , 到负理想解 A^- 的距离为 S^- :

$$S^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i=1, 2, \dots, m \quad (3-18)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i=1, 2, \dots, m \quad (3-19)$$

(5) 计算各个评价方案与正负理想解的相对贴进度 C^* :

$$D_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}, i=1, 2, \dots, m, D^* \in (0 - 1) \quad (3-20)$$

(6) 根据理想解的贴进度 D^* 大小进行排序。

将 D^* 的值按由小到大的顺序排列, 得到各个评价目标的排名。排序结果 D^* 值越大, 目标越优秀, 数值最高者即是最优评选目标。

4 电力行业碳审计评价指标体系的应用-以华润电力为例

4.1 华润电力企业案例分析

4.1.1 华润电力公司简介

华润电力控股有限公司（简称“华润电力”）成立于2001年8月，2003年11月在香港联交所上市，是国务院国资委直接监管的重点骨干企业华润集团的下属企业，已入选国务院国资委国有重点企业管理标杆创建行动之标杆企业。2009年6月8日纳入香港恒生综指数成份股，成为唯一入选恒指成份股的中资电力公司。华润电力作为中国效率最高、效益最好的综合性能源企业之一，业务涉及风电、光伏发电、火电、水电、分布式能源、售电、综合能源服务、煤炭等领域。华润电力的主营业务为发电和供热，其中电力销售为主要部分，而火力发电业务为华润电力的主要收入来源。截止到2023年，华润电力业务覆盖中国31个省、自治区、直辖市和特别行政区，并且连续第16年入选“普氏能源资讯全球能源企业250强”和《福布斯》全球上市公司2000强。

华润电力不仅在电力行业属于发展较好的企业，而且在低碳转型中具有显著的成效。2023年华润电力可持续发展报告获得“央企ESG. 先锋100指数”第二名，已经连续四年获得五星级、连续第五年获得五星佳级评价。华润电力出具的可持续发展报告内容详实，且碳减排工作做得相对较好，可以作为电力行业的典型案例进行研究。

4.1.2 碳减排及碳披露情况介绍

随着《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030年前碳达峰行动方案》相继发布，碳达峰碳中和“1+N”政策体系已然构建。电力行业作为实现“双碳”目标的重要领域，其低碳发展、节能减排对我国实现目标起着至关重要的作用。此外，《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022年版）》的发布，对企业绿色转型提出了更高的要求。作为一家重视可持续发展的企业，华润电力高度重视国家“双碳”政策，按照国家统一部署和相关要求制订符合自身特点的“双碳”目标，高度重视碳排放管理和减排工作。公司致力于降低碳排放强度，通过优化能源结构、提高能源利用效率、推动清洁能源发展等措施，减少对气候变化的负面影响。

在推动能源结构转型方面：大力发展清洁能源，持续布局规划风电、光伏等清洁能源建设，着力提升清洁发电装机规模，减少对传统高碳能源的依赖；在提升能源效率方

面：通过技术改造和管理优化，例如对水资源进行风险评估、综合利用，对各燃煤发电机组因地制宜选择超低排放改造技术等，提高发电效率和供能效率，减少单位产出的碳排放；科技创新方面：加强科技研发，推动低碳技术和创新的应用，通过大力发展碳捕集、利用和封存技术以及燃煤机组脱硝提效等技术，提升碳管理水平和能源利用效率；在碳市场参与方面：建章立制，提升碳资产管理规范化水平。启动碳资产管理系统建设项目，逐步实现碳资产信息化管理。积极参与碳市场，以碳交易和绿电交易为契机，助力公司绿色低碳转型；在信息透明度和报告方面：华润电力注重信息披露和透明度，主要通过股东大会、公司网站，微信公众号等定期披露的公司经济责任、环境责任、社会责任等信息，向股东、投资者和社会公众展示公司的碳排放管理和减排成果。

4.2 华润电力碳审计评价指标数据来源

本文的主观数据来源于专家打分。通过向专家学者发放调查问卷，对各指标的重要性进行打分，将获取的专家打分数据进行整理，最后运用到层次分析法中。

此次共发放 15 份调查问卷，其中 3 位电力企业技术研发人员、3 位电力企业内部管理人员、4 名参加过电力行业碳核查的工作人员、3 位审计学者、2 位环境审计专家。

本文的客观数据来源是通过查阅华润电力控股有限公司 2019~2022 年度披露的年度财务报告和企业社会责任报告，根据选取的碳审计评价指标，整理出表 4.1 所示的原始数据。

表 4.1 华润电力碳审计指标原始数据

	指标	2019	2020	2021	2022
驱动力因素	总资产（亿港元）	2157.36	2596.32	2873.55	2833.88
	营业额（亿港元）	677.6	695.5	898	1033.1
	纳税总额	63.34	61.37	45.7	44.2
	营业利润（亿港元）	128.9	140.9	54.8	108.2
	灰渣综合利用总量（万吨）	1480.28	1420.17	1796.23	1565.56
	投入资本收益率（ROIC）	6.9	6.8	1.6	3.5
	经营性净现金流（亿港元）	205.1	207	74	100
	温室气体排放总量（万吨）	13402	14071	15308	14260
	废水排放量（万吨）	477.06	319.5	165.2	168.46
	二氧化硫排放量（万吨）	1.12	1.06	1.23	1.22
状态因素	烟尘排放量（万吨）	0.14	0.13	0.14	0.14
	所产生有害废弃物总量（万吨）	0.45	0.4	0.59	0.49
	所产生无害废弃物总量（万吨）	1922.76	1955.25	2350.23	2076.08
	综合能源消耗量（万吨标煤）	0.45	0.4	0.59	1.44
	氮氧化物排放量	1.96	1.97	2.2	2.2

续表 4.1 华润电力碳审计指标原始数据

指标		2019	2020	2021	2022
响 应 因 素	氮氧化物排放率（克/千瓦时）	0.12	0.12	0.1248	0.13
	环保总投入（亿人民币）	13.13	10.96	14.77	13.52
	发电运营权益装机容量（兆瓦）	40392	43365	47997	52581
	可再生能源权益装机占比	0.233	0.259	0.322	0.323
	节能减排技术改造投入（亿人民币）	15.11	12.7	10.96	10.41
	新增专利授权	225	132	346	234

资料来源：2019-2022 年华润电力控股有限公司年报、可持续发展报告

4.3 华润电力碳审计评价指标权重确定

4.3.1 层次分析法确定主观权重

本文采用APH法对评价指标进行主观赋权，通过获取的专家打分原始数据进行整理，构造出判断矩阵，最终计算出各因素的权重。

(1) 驱动力层指标权重确定

首先整理各专家对驱动力层指标打分的结果，根据问卷打分结果的平均值得出驱动力层指标判断矩阵如表 4.2 所示。

表 4.2 驱动力指标判断矩阵

驱动力指标	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
D1	1	4	1	1/3	1/3	4	4
D2	1/4	1	1/4	1/7	1/7	1	1
D3	1	4	1	1/3	1/3	4	4
D4	3	6	3	1	1	6	6
D5	3	6	3	1	1	6	6
D6	1/4	1	1/4	1/6	1/6	1	1
D7	1/4	1	1/4	1/6	1/6	1	1

然后对判断矩阵进行归一化处理。根据公式(3-2)得出矩阵D的特征向量为：

$W_D = (0.961, 0.293, 0.961, 2.1, 2.1, 0.293, 0.293)$ ，根据公式(3-3)对特征向量 W_D 进行归一化处理，得出驱动力层各指标权重： $W_D = (0.13, 0.04, 0.14, 0.3, 0.3, 0.04, 0.04)$ 。

最后，对判断矩阵 D 进行一致性检验，根据公式(3-4)计算出判断矩阵最大特征值 $\lambda_{\max} = 7.119$ ，根据公式(3-5)计算出一致性指标 $CI = 0.02$ 。在驱动力指标层中 $n = 7$ ，查询多阶判断矩阵表可知：平均随机一致性检验指标 $RI = 1.36$ ，最后根据公式(3-6)得出一致性

比率 $CR=0.015 < 0.1$, 所以得出此判断矩阵具有一致性, 所赋权重合理。驱动力指标层权重具体分析见表 4.3、4.4。

表 4.3 驱动层矩阵权重分析

驱动力指标 (D)	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
D1	0.961	13.726%		
D2	0.293	4.183%		
D3	0.961	13.726%		
D4	2.100	29.999%	7.119	0.020
D5	2.100	29.999%		
D6	0.293	4.183%		
D7	0.293	4.183%		

表 4.4 驱动层一致性检验结果

最大特征根	CI 值	RI 值	CR 值	一致性检验结果
7.119	0.020	1.360	0.015	通过

(1) 状态指标层权重确定

状态层指标权重确定的步骤与上述驱动力层指标权重确定的步骤相同。构建 9 个具体指标相对重要性判断矩阵如表 4.5 所示。

表 4.5 驱动力指标判断矩阵

状态指标 (s)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S1	1	2	4	5	6	7	8	9	9
S2	1/2	1	2	3	5	6	7	8	8
S3	1/4	1/2	1	3	4	5	6	7	7
S4	1/5	1/3	1/3	1	2	3	4	6	7
S5	1/6	1/5	1/4	1/2	1	2	3	4	5
S6	1/7	1/7	1/5	1/3	1/2	1	3	4	6
S7	1/8	1/7	1/7	1/4	1/3	1/3	1	2	3
S8	1/9	1/8	1/7	1/6	1/4	1/4	1/2	1	2

续表 4.5 驱动力指标判断矩阵

状态指标 (s)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S9	1/9	1/8	1/7	1/7	1/5	1/6	1/3	1/2	1

判断矩阵的特征向量 $W_s = (2.92, 1.951, 1.457, 0.902, 0.6, 0.519, 0.290, 0.204, 0.158)$ ，最大特征值 $\lambda_{\max} = 9.701$ ，一致性指标 $CI = 0.088$ 。在状态指标层中 $n=9$ ，因此，查询多阶判断矩阵表可知： $RI = 1.46$ ，根据公式(3-6)得出一致性比率 $CR = 0.06$ ， $CR < 0.1$ ，表明矩阵 S 通过一致性检验。状态指标层相对权重具体分析见表 4.6、4.7。

表 4.6 状态层矩阵权重分析

状态指标 (S)	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
S1	2.920	32.446%		
S2	1.951	21.675%		
S3	1.457	16.188%		
S4	0.902	10.018%		
S5	0.600	6.664%	9.701	0.088
S6	0.519	5.771%		
S7	0.290	3.221%		
S8	0.204	2.263%		
S9	0.158	1.755%		

表 4.7 状态层一致性检验结果

最大特征根	CI 值	RI 值	CR 值	一致性检验结果
9.701	0.088	1.460	0.060	通过

(4) 响应指标层权重确定

根据专家打分结果，构建 5 个具体指标的判断矩阵。表 4.8 为响应指标判断矩阵。

表 4.8 响应指标判断矩阵

响应指标	R1	R2	R3	R4	R5
R1	1	7	9	3	7
R2	1/7	1	2	1/3	1

续表 4.8 响应指标判断矩阵

响应指标	R1	R2	R3	R4	R5
R3	1/9	1/2	1	1/5	1/2
R4	1/3	3	5	1	3
R5	1/7	1	2	1/3	1

判断矩阵 R 特征向量 $W_r = (2.789, 0.416, 0.238, 1.141, 0.416)$, 最大特征值 $\lambda_{\max} = 9.701$, 一致性指标 $CI = 0.008$ 。在状态指标层中 $n=5$, 因此, 查询多阶判断矩阵表可知: $RI = 1.12$, 根据公式得出一致性比率 $CR = 0.007$, $CR < 0.1$, 表明矩阵 R 通过一致性检验。分析结果见表 4.9、4.10。

表 4.9 响应层矩阵权重分析

响应指标 (R)	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
R1	2.789	55.771%		
R2	0.416	8.327%		
R3	0.238	4.760%	5.032	0.008
R4	1.141	22.829%		
R5	0.416	8.314%		

表 4.10 响应层一致性检验结果

最大特征根	CI 值	RI 值	CR 值	一致性检验结果
5.032	0.008	1.120	0.007	通过

(4) 因素层权重确定

根据专家对影响因素层的三个具体指标驱动力、状态、响应的评分情况, 构建因素层判断矩阵 A。针对指标 D、S、R 对目标层的相对重要性判断矩阵如表 4.11 所示。

表 4.11 影响因素层判断矩阵

因素层	D	S	R
D	1	2	4
S	1/2	1	2
R	1/4	1/2	1

影响因素层判断矩阵的特征向量 $W_A = (1.174, 0.857, 0.429)$ ，最大特征值 $\lambda_{\max} = 3$ ，一致性指标 $CI=0$ 。在因素层中 $n=3$ ，因此，查询多阶判断矩阵表可知： $RI=0.52$ ，根据公式(3-6)计算出一致性比率 $CR=0$ ， $CR < 0.1$ ，表明表 4.11 的矩阵通过一致性检验。

表 4.12 因素层矩阵权重分析

碳审计综合评价指标	特征向量	权重值	最大特征值	CI值
D	1.714	57.143%		
S	0.857	28.571%	3.000	0.000
R	0.429	14.286%		

表 4.13 因素层一致性检验结果

最大特征根	CI值	RI值	CR值	一致性检验结果
3.000	0.000	0.520	0.000	通过

根据以上的运算分别确定了影响因素层以及指标层的权重，在此基础上，通过各要素指标权重与上一层各指标权重的乘积，计算出各评价指标的最终权重，最终得出的碳审计评价指标的权重见表 4.14。

表 4.14 华润电力碳审计评价指标体系综合权重

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	综合权重
驱动力因素 (D)	0.5710	总资产	0.1373	0.0784
		营业额	0.0418	0.0239
		纳税总额	0.1373	0.0784
		营业利润	0.3000	0.1713
		灰渣综合利用总量	0.3000	0.1713
		投入资本收益率	0.0418	0.0239
		经营性净现金流	0.0418	0.0239
		温室气体排放总量	0.3245	0.0928
		废水排放量	0.2168	0.0620
		二氧化硫排放量	0.1619	0.0463
状态因素 (S)	0.2860	烟尘排放量	0.1002	0.0287
		所产生有害废弃物总量	0.0666	0.0191
		所产生无害废弃物总量	0.0577	0.0165
		综合能源消耗量	0.0322	0.0092

续表 4.14 华润电力碳审计评价指标体系综合权重

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	综合权重
响应因素 (R)	0.1429	氮氧化物排放量	0.0226	0.0065
		氮氧化物排放率	0.0176	0.0050
		环保总投入	0.5577	0.0798
		发电运营权益装机容量	0.0833	0.0119
		可再生能源权益装机占比	0.0476	0.0068
		节能减排技术改造投入	0.2283	0.0326
		新增专利授权	0.0831	0.0119

4.3.2 熵权法确定客观权重

运用熵权法赋权时,首先要将华润电力 2019-2022 年的各定量指标的具体数值进行标准化处理,根据公式(3-7)、(3-8),得出华润电力标准化数据如表 4.15 所示。

表 4.15 华润电力数据标准化处理结果

指标名称	性质	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
D1 总资产	正向	0.0001	0.61291	1	0.94461
D2 营业额	正向	0.0001	0.050352	0.619972	1
D3 纳税总额	正向	1	0.897074	0.07837	0.0001
D4 营业利润	正向	0.860627	1	0.0001	0.620209
D5 灰渣综合利用总量	正向	0.159841	0.0001	1	0.386614
D6 投入资本收益率	正向	1	0.981132	0.0001	0.358491
D7 经营性净现金流	正向	0.985714	1	0.0001	0.195489
S1 温室气体排放总量	负向	0.569554	0.0001	1	0.523185
S2 废水排放量	负向	0.0001	0.243908	0.623923	1
S3 二氧化硫排放量	负向	0.0001	0.288889	0.988889	1
S4 烟尘排放量	负向	1	0.487234	0.117021	0.0001
S5 所产生有害废弃物总量	负向	0.434579	0.0001	1	0.478193
S6 所产生无害废弃物总量	负向	1	0.649003	0.0001	0.549667
S7 综合能源消耗量	负向	0.0001	0.505227	1	0.989547
S8 氮氧化物排放量	负向	0.647059	1	0.0001	0.058824
S9 氮氧化物排放率	负向	0.0001	1	0.0001	0.0001
R1 环保总投入	正向	0.951923	1	0.817308	0.0001
R2 发电运营权益装机容量	正向	1	0.923995	0.0001	0.641332
R3 可再生能源权益装机占比	正向	0.951923	1	0.817308	0.0001
R4 节能减排技术改造投入	正向	1	0.958333	0.0001	0.0001
R5 新增专利授权	正向	1	1	0.52	0.0001

将以上标准化的数据作为原始数据,根据公式(3-9)分别计算出各指标在每个年份

占该指标的比重，计算结果见表 4.16。

表 4.16 数据比重结果

指标名称	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
D1 总资产	0.0000	0.2396	0.3910	0.3693
D2 营业额	0.0001	0.0301	0.3711	0.5987
D3 纳税总额	0.5062	0.4541	0.0397	0.0001
D4 营业利润	0.3469	0.4031	0.0000	0.2500
D5 灰渣综合利用总量	0.1034	0.0001	0.6466	0.2500
D6 投入资本收益率	0.4274	0.4193	0.0000	0.1532
D7 经营性净现金流	0.4519	0.4584	0.0000	0.0896
S1 温室气体排放总量	0.2721	0.0000	0.4778	0.2500
S2 废水排放量	0.0001	0.1306	0.3340	0.5354
S3 二氧化硫排放量	0.0000	0.1268	0.4341	0.4390
S4 烟尘排放量	0.6233	0.3037	0.0729	0.0001
S5 所产生有害废弃物总量	0.2272	0.0001	0.5228	0.2500
S6 所产生无害废弃物总量	0.4548	0.2952	0.0000	0.2500
S7 综合能源消耗量	0.0000	0.2025	0.4008	0.3966
S8 氮氧化物排放量	0.3793	0.5862	0.0001	0.0345
S9 氮氧化物排放率	0.0001	0.9997	0.0001	0.0001
R1 环保总投入	0.3437	0.3611	0.2951	0.0000
R2 发电运营权益装机容量	0.3898	0.3602	0.0000	0.2500
R3 可再生能源权益装机占比	0.3437	0.3611	0.2951	0.0000
R4 节能减排技术改造投入	0.5106	0.4893	0.0001	0.0001
R5 新增专利授权	0.3968	0.3968	0.2063	0.0000

根据数据比重的结果，根据公式(3-10)、(3-11)分别计算出计算出各指标的熵值、差异系数与熵权，结果见表 4.17。

表 4.17 指标熵权计算结果

指标名称	熵值	差异系数	综合权重
D1 总资产	0.7775	0.2225	0.0318
D2 营业额	0.5635	0.4365	0.0624
D3 纳税总额	0.5999	0.4001	0.0572
D4 营业利润	0.7794	0.2206	0.0315
D5 灰渣综合利用总量	0.6230	0.3770	0.0539
D6 投入资本收益率	0.7326	0.2674	0.0382
D7 经营性净现金流	0.6731	0.3269	0.0467
S1 温室气体排放总量	0.7604	0.2396	0.0342
S2 废水排放量	0.6976	0.3024	0.0432
S3 二氧化硫排放量	0.7112	0.2888	0.0413

续表 4.17 指标熵权计算结果

指标名称	熵值	差异系数	综合权重
S4 烟尘排放量	0.6118	0.3882	0.0555
S5 所产生有害废弃物总量	0.7378	0.2622	0.0375
S6 所产生无害废弃物总量	0.7686	0.2314	0.0331
S7 综合能源消耗量	0.7625	0.2375	0.0339
S8 氮氧化物排放量	0.5753	0.4247	0.0607
S9 氮氧化物排放率	0.0022	0.9978	0.1426
R1 环保总投入	0.7902	0.2098	0.0300
R2 发电运营权益装机容量	0.7805	0.2195	0.0314
R3 可再生能源权益装机占比	0.7902	0.2098	0.0300
R4 节能减排技术改造投入	0.5006	0.4994	0.0714
R5 新增专利授权	0.7643	0.2357	0.0337

4.3.3 层次分析法和熵权法组合确定综合权重

综合求得的主观权重和客观权重,根据公式,计算出综合权重 w_i , 计算结果见表 4.18。

表 4.18 层次分析法和熵权法组合赋权表

指标名称	AHP 权重	熵权权重	综合权重
D1 总资产	0.0784	0.0318	0.0551
D2 营业额	0.0239	0.0624	0.0431
D3 纳税总额	0.0784	0.0572	0.0678
D4 营业利润	0.1713	0.0315	0.1014
D5 灰渣综合利用总量	0.1713	0.0539	0.1126
D6 投入资本收益率	0.0239	0.0382	0.0310
D7 经营性净现金流	0.0239	0.0467	0.0353
S1 温室气体排放总量	0.0928	0.0342	0.0635
S2 废水排放量	0.0620	0.0432	0.0526
S3 二氧化硫排放量	0.0463	0.0413	0.0438
S4 烟尘排放量	0.0287	0.0555	0.0421
S5 所产生有害废弃物总量	0.0191	0.0375	0.0283
S6 所产生无害废弃物总量	0.0165	0.0331	0.0248
S7 综合能源消耗量	0.0092	0.0339	0.0216
S8 氮氧化物排放量	0.0065	0.0607	0.0336
S9 氮氧化物排放率	0.0050	0.1426	0.0738
R1 环保总投入	0.0798	0.0300	0.0549
R2 发电运营权益装机容量	0.0119	0.0314	0.0216
R3 可再生能源权益装机占比	0.0068	0.0300	0.0184
R4 节能减排技术改造投入	0.0326	0.0714	0.0520
R5 新增专利授权	0.0119	0.0337	0.0228

4.4 华润电力碳审计综合评价

4.4.1 TOPSIS评价模型应用

将前文通过层次分析法和熵权法得到的综合权重与华润电力近四年的各指标具体数值，带入Topsis模型进行分析，最后得到华润电力 2019 年-2022 年各指标与理想解的贴近度，从理想解贴近度大小进行对比，以此判断华润电力近几年的低碳经济发展状况。具体运行结果如下。

首先运用公式(3-15)得到加权决策矩阵，如表 4.19 所示。

表 4.19 华润电力 2019-2022 年加权决策矩阵表

指标名称	2019	2020	2021	2022
D1 总资产	0.000097	0.595935	0.972305	0.918449
D2 营业额	0.000081	0.040784	0.502169	0.809986
D3 纳税总额	0.039235	0.035197	0.003075	0.000004
D4 营业利润	0.266927	0.310154	0.000031	0.192361
D5 灰渣综合利用总量	0.110819	0.000069	0.693307	0.268042
D6 投入资本收益率	0.179295	0.175913	0.000018	0.064276
D7 经营性净现金流	0.096397	0.097795	0.000010	0.019118
S1 温室气体排放总量	0.433768	0.000076	0.761593	0.398454
S2 废水排放量	0.000081	0.198044	0.506601	0.811961
S3 二氧化硫排放量	0.000099	0.287284	0.983395	0.994444
S4 烟尘排放量	0.058561	0.028533	0.006853	0.000006
S5 所产生有害废弃物总量	0.321196	0.000074	0.739097	0.353431
S6 所产生无害废弃物总量	0.274884	0.178400	0.000027	0.151094
S7 综合能源消耗量	0.000099	0.502586	0.994774	0.984375
S8 氮氧化物排放量	0.019064	0.029462	0.000003	0.001733
S9 氮氧化物排放率	0.000000	0.000100	0.000000	0.000000
R1 环保总投入	0.389055	0.408704	0.334037	0.000041
R2 发电运营权益装机容量	0.320716	0.296340	0.000032	0.205685
R3 可再生能源权益装机占比	0.389055	0.408704	0.334037	0.000041
R4 节能减排技术改造投入	0.000100	0.000096	0.000000	0.000000
R5 新增专利授权	0.260050	0.260050	0.135226	0.000026

然后根据公式(3-16)、(3-17)计算出各指标的正理想解和负理想解，华润电力各个指标的正负理想解计算结果如下表 4.20 所示。

表 4.20 各指标正负理想值

指标名称	正理想解	负理想解
D1 总资产	0.972305	0.000097

续表 4.20 各指标正负理想值

指标名称	正理想解	负理想解
D2 营业额	0.809986	0.000081
D3 纳税总额	0.039235	0.000004
D4 营业利润	0.310155	0.000031
D5 灰渣综合利用总量	0.693307	0.000069
D6 投入资本收益率	0.179296	0.000018
D7 经营性净现金流	0.097795	0.000010
S1 温室气体排放总量	0.761593	0.000076
S3 二氧化硫排放量	0.994445	0.000099
S4 烟尘排放量	0.058561	0.000006
S5 所产生有害废弃物总量	0.739097	0.000074
S6 所产生无害废弃物总量	0.274884	0.000028
S7 综合能源消耗量	0.994774	0.000100
S8 氮氧化物排放量	0.029462	0.000003
S9 氮氧化物排放率	0.000100	0.000000
R1 环保总投入	0.408704	0.000041
R2 发电运营权益装机容量	0.320716	0.000032
R3 可再生能源权益装机占比	0.408704	0.000041
R4 节能减排技术改造投入	0.000100	0.000000
R5 新增专利授权	0.260050	0.000026

最后根据公式(3-18)、(3-19)以及华润电力2019年-2022年各指标规范化向量值得出华润电力2019年-2022年的权重向量到正理想解和负理想解的距离,再根据公式(3-20)计算出2019年-2022年华润电力驱动力层、状态层和响应层三个因素层各指标贴度,得出的结果如表4.21、4.22、4.23所示。

表 4.21 华润电力 2019-2022 年驱动力层各指标贴度

年份	正理想距离	负理想距离	驱动力层贴度
2019	1.3936	0.3556	0.2032
2020	1.1017	0.7032	0.3896
2021	0.4836	1.2953	0.7281
2022	0.4675	1.2698	0.7309

表 4.22 华润电力 2019-2022 年状态层各指标贴度

年份	正理想距离	负理想距离	S 贴度
2019	1.7086	0.6087	0.2626
2020	1.5018	0.6384	0.2983
2021	0.4152	1.8272	0.8148
2022	0.5479	1.7096	0.7572

表 4.23 华润电力 2019-2022 年响应层各指标贴近度

年份	正理想距离	负理想距离	R 贴近度
2019	0.0277	0.6878	0.9611
2020	0.0243	0.6995	0.9663
2021	0.3599	0.4913	0.5771
2022	0.6440	0.2056	0.2420

最终，根据 2019 年-2022 年各指标与理想值的贴近度得分，形成 2019 年-2022 年华润电力各年综合贴近度得分以及驱动力层、状态层和响应层各年相对贴近度。计算结果如表 4.24、4.25 所示。

表 4.24 华润电力 2019-2022 年各年综合评价指数

年份	正理想距离	负理想距离	相对贴进度	排名
2019	2.205	0.985	0.309	4
2020	1.863	1.179	0.388	3
2021	0.732	2.293	0.758	1
2022	0.966	2.139	0.689	2

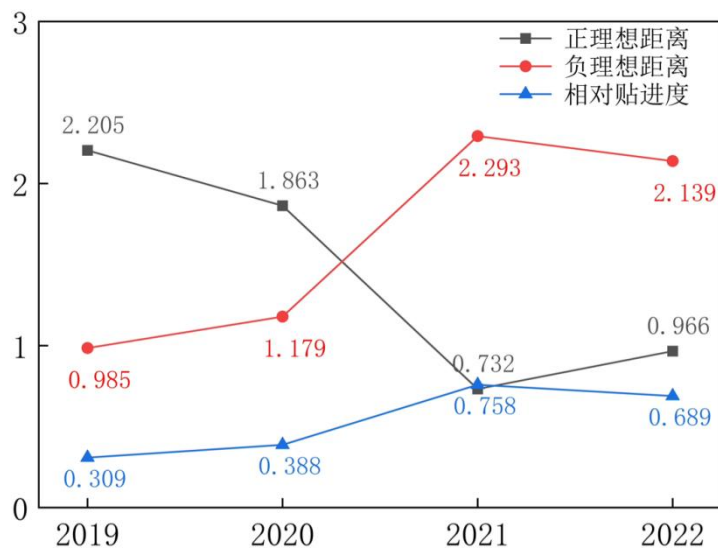


图 4.1 华润电力 2019-2022 年各年综合评价指数

表 4.25 华润电力 2019-2022 年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	最优表现
2019	0.2032	0.2626	0.9611	R
2020	0.3896	0.2983	0.9663	R
2021	0.7281	0.8148	0.5771	S
2022	0.7309	0.7573	0.2420	S

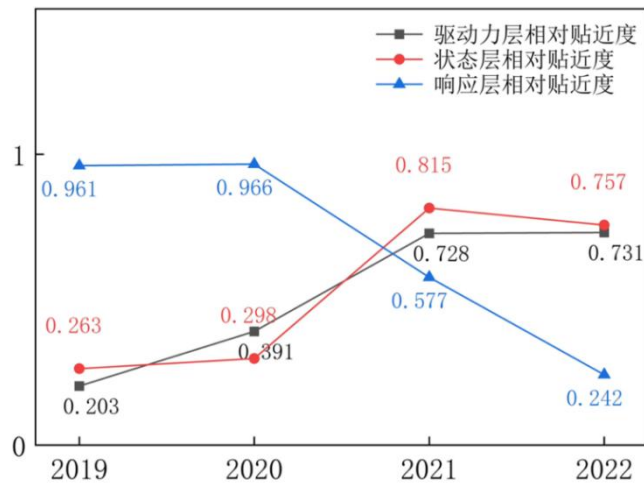


图 4.2 华润电力 2019-2022 年各因素层相对贴近度

4.4.2 评价结果分析

通过华润电力各指标数值以及层次分析法和熵权法组合得到的权重结合起来，运用 TOPSIS 法最终得到华润电力 2019 年-2022 年综合评价结果，进而对华润电力碳减排的综合水平进行评价。表 4.24、4.25 为整理的 2019 年-2022 年的华润电力综合评价结果。

从表 4.24 可以得到华润电力 2019 年-2021 碳审计价结果排名：

2021>2022>2020>2019。从图 4.1 中可以直观地看到，华润电力 2019 年-2022 年综合评价数值中正理想距离基本呈逐年下降的趋势，负理想距离基本呈逐年上升的趋势，相对贴近度数值也基本呈上升趋势，根据前文所述，贴近度数值越高，该目标越优，说明该企业近年来一直积极落实低碳减排工作，并且取得了一定的成效。通过研究该企业的社会责任报告我们可以发现该企业的环境信息披露相较于其他电力企业更加详细，并且专门设立板块披露企业为碳中和做出的积极响应，反映出的结果也符合评价结果。

其中，2020 年-2021 年期间贴近度数值涨幅最大，分析其主要原因可能是 2021 年国家大力推行碳达峰碳中和工作，党中央、国务院出台《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，要求加快构建清洁低碳安全高效的能源体系。华润电力抓住碳中和目标推进下的发展机遇，大力推动光伏、风电等清洁能源发展，推进综合能源服务，积极研发 CCUS、微藻固碳等绿色技术，加强环境管理和污染管控，研究应用资源节约技术，减少自身运营对环境的不利着力提升清洁全面推进绿色转型。2022 年贴近度数值较 2021 年有所下降，但下降幅度不大。通过华

润电力近些年的年报以及可持续发展报告中的一些财务数据和信息可以看到，华润电力企业经营状况一直保持良好的发展态势，所以 2022 年其贴近度排名降低的原因可能是 2022 年煤炭价格持续高涨，全国大面积供应紧张，华润电力火电发电较 2020 年上涨 5.25%，供热量较 2020 年增加 10.23%。在圆满完成保供政治任务的同时，因电量多发，煤价高位运行，煤质下降，入炉煤硫份、灰份同比上升等原因，华润电力的二氧化硫排放量、氮氧化物排放量、烟尘排放量、供电标准煤耗等指标较 2021 年有所上涨，未达成企业设定的环境管理目标，这表明企业响应的降碳减排措施已经不能很好的控制企业在扩大生产和供应所排放的有害气体和污染物。

从图 4.2 可以看到，在目标层因素中，华润电力 2019 年-2022 年驱动力层相对贴近度逐年递增，状态层相对贴近度基本呈上升趋势，但 2022 年有所下降，响应层相对贴近度呈逐年下降趋势。2020 年到 2021 年驱动力层相对贴近度和状态层相对贴近度涨幅最大，响应层贴近度下降幅度最大。从表可以得到华润电力 2019 年-2020 年在响应层表现最优，2021 年-2022 年在状态层表现最优。

由评价结果和原始数据以及华润电力近几年发展状况分析可知，华润电力生产经营能力一直保持很好的发展的趋势，并且随着电力需求的增长，华润电力也积极履行能源供保的任务，电力销售量和供热量也不断增加。但相应的企业也会排放大量温室气体如二氧化碳、二氧化硫、氮氧化合物等，也会产生大量有害废弃物。随着国家大力推行碳达峰碳中和工作，党中央、国务院出台《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，要求加快构建清洁低碳安全高效的能源体系。华润电力积极采取措施应对能源发展的新要求。例如：加大新能源的开发力度，增加可再生能源装机容量占比；积极研发 CCUS（碳捕捉、利用与封存）、微藻固碳等绿色技术，控制华润电力二氧化碳的排放总量；设立环境管理目标，将绿色发展理念融入到各个环节，对企业源头到终端各个环节进行把控；开展资源综合利用，加强废水的梯级利用和废弃物的综合利用。华润电力这些举措一定程度上减少了企业的温室气体排放量和废弃物排放量，促进了企业的可持续发展，但还是不能满足企业绿色经济发展的需求和国家政策的要求，这与前面的分析结果是一致的，也说明了该评价指标体系具有一定的合理性。此外，华润电力的可持续发展不能仅依靠于政府政策引导，倒逼其进行产能改良升级，而是要抓住能源发展的新形势，利用自身优势，形成自己的绿色产业发展路径，推动“双碳”目标的尽早实现。

4.5 案例启示

在本研究中，通过深入分析华润电力的碳审计评价，我们可以获得一系列有益的启示，这些启示对其他公司或组织在实施碳审计和管理方面提供了宝贵的借鉴。

（1）加大节能减排技术投入以减少碳排放

电力企业可以投资于高效燃煤发电技术、碳捕捉与封存技术、清洁能源技术等，以降低碳排放。同时建立和实施完善的能源管理系统，通过监测、评估和改进能源利用效率，降低能源消耗和碳排放。通过持续进行技术改进和创新，引入先进的节能减排技术，提高发电效率，降低碳排放。通过加大节能减排技术投入，电力公司不仅可以减少碳排放带来的负面影响，还实现了可持续性和环保方面的成果。同时，将生态环境改善与清洁能源产业发展相结合，不仅促进了自身的可持续发展，也获得了当地政府和民众的高度评价。

（2）提高灰渣综合利用率，降低资源消耗

电力企业可以加大灰渣资源化利用率。通过开展灰渣资源化利用项目，如生产水泥、混凝土、砖块等建筑材料，以减少对原材料的需求。这不仅符合循环经济理念，还实现资源的最大化利用和再生利用，减少对自然资源的消耗。同时可以加大先进的灰渣处理技术的投入和研发，提高灰渣的综合利用率，减少对环境的影响。

（3）提升可再生能源使用比例

提升可再生能源使用比例，这是很多碳审计评价体系中重要的衡量因素之一。华润电力通过能效改进措施减少能源浪费并提升资源利用效率。例如，提升清洁发电装机规模，优化水资源和固体废弃物的利用等。这些改进可通过更新设备、优化生产流程或实施更有效的能源管理策略实现。电力企业可以积极发展风能、太阳能、水能等可再生能源，实现能源结构的多元化，降低对化石能源的依赖。同时加大可再生能源技术研发投入，提高可再生能源利用效率和发电成本竞争力。

（4）持续监测和报告

华润电力采取定期监测和报告机制以跟踪其碳排放管理工作。公司将生态保护工作纳入 EHS 目标和年度业绩合同，设定中短期管理目标，并定期评估部门完成情况。此外，公司还定期向董事会提交《华润电力每月舆情与社会责任报告》，以持续监督企业的可持续发展事项，这也为碳审计过程提供了必要的的数据支持。因此，电力企业可以建立完善的环境监测系统，对碳排放、资源利用情况进行监测，及时发现问题和改进。同时

定期发布环境监测报告和碳排放数据，向社会公众和相关部门公开企业的环保情况，增强企业的环保责任感。

根据以上对华润电力碳审计评价的关键点分析，从中我们可以得出一系列对电力企业具有启示意义的结论。对于其他电力企业而言，可以借鉴华润电力的经验，重视可持续性发展，设定明确的碳管理目标，提升能效和资源利用效率，建立持续监测和报告机制，从而推动企业朝着更环保、更可持续的方向发展。

5 落实电力行业碳审计评价指标体系的保障措施

5.1 统一碳审计评价标准

我国近年来出台了一系列碳减排的政策法规，包括已经出台的碳排放核查规范，虽然对碳排放的核查和计量做出了规定，但由于没有具体的碳审计法规，从而导致各地区、各部门的碳审计往往采用不同的审计操作标准、评价指标以及评价体系，最终得出的碳审计结果也各不相同，这样的审计结果对实际工作没有指导意义。因此，首先应该完善碳审计体系的相关法律法规，出台的政策法规应更多指向绩效评估、碳审计的综合方法、减少碳排放的管理体系等方面。

其次，为了提高碳审计评价体系的一致性和可比性，需要加强各方之间的合作，推动制定统一的碳审计评价标准。这可以通过行业组织、政府机构和国际标准化组织的合作来实现。由于不同行业的碳排放行为、碳排放环节不同，其选择的碳核算方法也有所不同，因此，应针对不同行业统一其碳审计评价标准。对于统一电力行业碳审计评价标准来说，国家审计署应该起带头作用，与能源监管部门、生态环境管理部门、电力协会等机构共同制定碳审计评价标准。统一的评价标准将为企业提供清晰的指导，确保评价的公正性和准确性，促进不同企业和行业之间的比较和学习，也有利于企业碳审计工作的顺利进行。

5.2 加强碳排放信息披露

气候变化问题迫使企业在经营时要更加负责，碳排放的管理是各国在应对气候变化时必须面对的。透明度和信息披露对于碳排放管理至关重要。目前我国企业的碳信息披露都是自愿披露，碳信息披露的主动性不足，披露的信息并没有的统一的规范标准，碳排放数据的披露程度层次不齐。因此，在推进碳审计发展的过程中，应在相关准则中明确企业披露碳排放信息的义务和披露内容，促进碳排放信息的披露。企业应当公开其碳排放数据、减排目标和实际成果，以及采取的减排措施和策略。加强碳排放信息的披露可以将更多碳排放相关信息传递给有关机构和组织，促使公众、政府以及其他利益相关者对企业碳减排进行监督，以便规范碳减排策略。还可以采取一些方法激励企业披露碳排放信息，提高企业的责任感和透明度。比如，对企业的碳披露情况适当进行排名，环境绩效较好的企业会披露更多的碳排放信息，排名较低的企业会注重自身碳排放的管理，增加企业价值。

此外，还需探索建立统一的碳排放信息披露框架。近年来我国的碳排放信息披露工

作取得了一定的进展，企业对碳信息的披露也愈发重视，但缺乏制度化的指引，对于高排放企业的碳排放披露工作带来了障碍。对于不同行业来说，对碳信息披露的重点也有所不同，对于电力这种高碳排放企业，企业自身碳排放情况和碳减排潜力更受到外界关注。因此，根据所属行业特点制定清晰、统一的碳信息披露框架具有重要意义。不同行业的碳排放来源和核算范围都有所差异，因此相关部门可以参考国际主流披露框架结合我国现有的各行业温室气体核算方法和评价指南，根据各行业特点分行业统一碳排放信息披露，确保企业碳排放信息披露的质量以及确保信息的一致性和可比性，不仅可以从排放源头对电力等高排放企业的排放行为进行约束，促进企业低碳生产发展，进一步推动社会低碳转型。

5.3 增强碳审计能力

在实施电力企业碳审计评价体系标准的过程中，增强碳审计能力是至关重要的一环。这一要求不仅涉及对电力企业内部专业碳审计人员的培训和发展，还包括引入外部审计团队以增强审计的独立性和专业性。

首先，专业的碳审计人员培训和发展是确保碳审计评价体系有效实施的基础。这一过程包括对企业内部员工进行系统的培训，涉及碳排放监测、数据管理、报告编制以及相关法规和标准的理解。通过这样的培训，员工将获得必要的知识和技能，以便准确地测量和报告企业的碳排放，进而有效地管理和控制排放量。专业知识的提升也有助于员工识别和实施降低碳排放的策略和措施，从而推动企业的可持续发展。

其次，引入外部审计团队对于提高碳审计的独立性和专业性至关重要。外部审计团队通常拥有跨行业的经验和专业的技术背景，能够提供客观、中立的审计意见。他们能够独立于企业内部管理体系之外，对企业的碳排放数据和管理措施进行全面、客观的评估。这不仅增强了审计结果的可信度，也有助于识别企业碳管理中的潜在问题和风险，为企业改进和优化提供有力的支持。

最后，通过提高内部和外部的碳审计能力，电力企业能够更有效地遵守和实施碳审计评价体系标准。这不仅有助于满足政策和监管要求，也提升了企业在环境保护和可持续发展方面的公众形象和市场竞争力。因此，加强碳审计能力是实现电力企业碳排放减少和环境责任的关键步骤，对促进整个行业的绿色转型和可持续发展具有重要意义。

5.4 采用先进的技术和工具

在落实电力企业碳审计评价体系标准的过程中，采用先进的技术和工具是关键的一环。首先，它可以提高数据收集和处理的准确性和效率。利用先进技术如自动化监测系统和碳足迹计算软件，电力企业可以实现对碳排放数据的实时和连续监测。与传统的手动监测和记录方法相比，这些技术可以大幅减少人为错误，提高数据的准确性。自动化系统能够连续监测排放水平，而碳足迹软件则可以快速准确地计算和分析这些数据，从而提高整个碳审计过程的效率和可靠性。使得更加便捷的获取碳审计所需要的数据。

其次，它可以促进数据透明性和可追溯性。通过采用先进的技术，企业能够更容易地存储、管理和共享碳排放数据。这种透明度对于内部管理、外部审计以及利益相关者的信任都是至关重要的。同时，这也有助于满足越来越严格的监管要求和公众对环境信息透明度的期望。这也使得碳审计过程中的数据更加的可靠，并且它可以支持决策制定和策略实施。先进的技术工具不仅仅是用于收集和处理数据，它们还能支持更复杂的分析，如排放预测、减排策略的模拟以及效益分析。通过这些分析，电力企业可以更好地制定和调整其碳减排策略，确保这些策略的有效性和效率，还可以促进技术创新和持续改进。对先进技术的投资和应用可激励企业不断探索更高效的碳监测和管理方法。这种持续的技术创新和改进是实现长期可持续发展的关键，这也使得碳审计评价体系更加完善和标准提高。

因此，采用先进的技术和工具是电力企业实现碳审计评价体系标准的关键。这不仅提高了碳排放数据的准确性和效率，也有助于企业适应日益严格的环境监管要求，同时促进了企业的可持续发展和环境责任。因此，这种做法对于电力行业的碳排放管理和减排努力至关重要。

5.5 建立多方参与的合作机制

在实施电力企业碳审计评价体系标准的过程中，建立一个多方参与的合作机制是至关重要的。这种机制涉及政府、电力企业、科研机构以及非政府组织的共同参与和协作，其理论和实践层面的意义可以从以下几个方面进行详细阐述：

首先，可以整合多方资源和专业知识。在碳排放管理和减少领域，不同组织拥有不同的资源和专业知识。政府能提供政策支持和法规指导，电力企业具有实际运营的经验 and 数据，科研机构能贡献最新的研究和技术，而非政府组织则在提高公众意识和倡导变革方面发挥作用。通过建立合作机制，这些不同的资源和知识能够被有效整合，共同推动行业的碳审计评价标准的建立。并且可以促进最佳实践的分享和学习。通过跨组织的

合作，可以实现最佳实践和成功经验的共享。这不仅有助于提高电力企业在碳排放管理方面的效率，还可以促进整个行业的碳审计评价标准提升。其次，可以加速技术创新和转移。科研机构 and 电力企业之间的紧密合作有助于将科研成果转化为实际应用。政府的政策支持和资金投入可以进一步加速这一过程。这种技术创新和转移对于提升电力企业碳排放监测和管理的能力至关重要。

因此，构建多方参与的合作机制不仅能够提高电力行业实施碳审计评价体系标准的效率和效果，还能促进整个社会对于碳减排和可持续发展目标的认识和参与。因此，这种合作机制在实现电力行业碳排放减少和环境保护方面发挥着关键作用。

6 研究总结和未来展望

6.1 研究结论

本研究通过对电力行业碳审计评价体系的研究，得出以下结论：

(1) 碳审计评价标准缺乏统一性：从文献研究中可以发现，目前我国碳审计方面法律法规的缺失导致碳审计并没有统一的评价标准，更没有针对具体行业的评价标准。不同地区、不同国家甚至不同研究机构对于碳审计的评价指标和方法存在差异，缺乏统一的标准体系。这给企业在实施碳排放管理和减排工作时带来一定的困扰，也影响了不同企业之间的比较和学习。因此，有必要出台相关法律法规来完善碳审计制度，推动各行业碳审计规范化，使得各行业的碳审计结果具有参考价值。其次，加强各方的合作，在借鉴国际先进的经验的同时，考虑我国经济发展的实际情况和各行业的差异化，要推进碳排放核算方法与国际接轨，推动碳审计评价标准的统一化和标准化，建立具有中国特色的低碳标准体系，确保评价体系的一致性和可比性。

(2) 华润电力的碳减排工作取得了一定的成效：通过对华润电力的碳排放管理情况进行评估，发现该公司在碳排放方面表现出色。据研究结果显示，华润电力在近几年国家政策的引导下，企业在碳排放量的控制和减排方面采取了有效的措施，并取得了显著的成绩。该公司在推动清洁能源的开发和利用方面取得了积极进展，同时通过提升能源效率和技术创新，有效减少了单位产出的碳排放量。这表明华润电力在碳排放管理方面具有较高的责任意识 and 领导力，并为行业内其他企业树立了良好的榜样。

综上所述，本研究的结论表明电力行业的碳审计评价标准需要进一步统一和标准化，以提高评价体系的一致性和可比性。同时，华润电力作为一个典型的电力企业，在碳排放管理方面取得了一定的成就，为行业内其他企业提供了良好的借鉴和参考。然而，华润电力的碳排放措施与生产发展不协调的问题，亟需解决。华润电力应进一步提升碳管理水平，为实现可持续发展和低碳经济转型作出更大的贡献。

6.2 研究不足

虽然这是一项有价值的研究，但仍存在以下几点不足：

(1) 样本选择的限制：本研究仅针对一家电力公司进行，这可能限制了结果的普遍性和推广性。因为不同电力公司之间存在着差异，如规模、技术水平、能源结构等，这些差异可能影响碳审计评价体系的构建和适用性。考虑到样本的多样性可以增加研究的可靠性和有效性。

(2) 数据可靠性和可获得性：在构建碳审计评价体系时，数据的质量和可靠性是至关重要的。研究中需要确保所使用的数据来源准确、全面，并具备足够的时间跨度。本文在指标选取时，由于有些重要指标缺乏连续性数据被筛除，可能会影响综合评价结果。此外，数据的可靠性可能会面临一些挑战，如专家打分法存在一定的主观因素，虽然结合客观赋权的方法，但两种方法的占比是否合理还有待验证。这些因素可能都会对研究的结果产生一定的影响。

(3) 研究的综合性和深度：本研究仅限于构建电力公司的碳审计评价体系，可能缺乏对于其他相关领域的综合性研究。没有考虑电力行业的整体环境、政策和市场因素对碳审计评价体系的影响，以及考虑利益相关者的需求和利益平衡在研究的深度和广度方面，可以进一步拓展研究的范围，以获得更全面的认识和理解。

6.3 研究展望

华润电力碳审计评价体系的构建是对该公司碳排放管理和减排工作的重要研究。然而，进一步的研究可以拓展以下几个方向，以提升评价体系的广度和适用性。

第一，探索其他评价方法。如何选择合适的评估方法，是企业开展相关碳工作过程中需要考虑的问题。除了已使用的熵权法、专家打分法等方法，可以考虑引入其他评估方法来完善碳审计评价体系。例如，可以采用生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）方法，从产品生命周期的角度全面评估碳排放情况，对电力系统从“摇篮到坟墓”的生命进行分析，但必须建立产品生命周期碳足迹标准。同时，结合数据挖掘和人工智能技术，可以开发出更加准确和高效的评价模型。

第二，扩大到其他行业。除了单一公司的研究，可以将碳审计评价体系扩大到其他电力公司或其他行业。国家审计机关可以与环保机关、税务等机关合作，并加强与内部信息技术部门的联动，构建资源共享平台，通过对不同公司或行业的碳排放管理和减排情况进行比较和分析，可以形成更全面的行业标杆用以指导企业的碳减排工作，促进整个行业的低碳转型。这将有助于形成更具可行性和可操作性的行业碳管理框架。

第三，考虑跨界合作与标准统一。在构建不同行业碳审计评价体系时，需要跨越不同的部门和利益相关者，促进合作和标准的统一。相关政府部门应发挥其带头作用，组织各行业组织、学术界共同努力，制定一致的碳审计评价指标和标准，以确保评价体系的一致性和可比性。此外，碳审计指标体系的构建只是作为全面评估企业的碳减排工作情况，并用于指导企业的碳减排工作的一种方法。因此，在各方共同构建碳审计评价指

标体系时，应充分考虑我国的政策法规，确保评价指标体系的构建科学合理并具有可操作性。

第四，强调数据质量与监测方法。在构建碳审计评价体系时，需关注数据质量和监测方法的可靠性。碳审计涵盖范围广，并且在评价指标体系的构建中要以大量数据为基础，对相关碳排放数据准确性要求更高。因此，要加强数据采集、监测和报告机制，确保数据的准确性和一致性。同时，可以探索使用先进的监测技术，如遥感技术、无人机监测等，提高碳排放数据的获取效率和精度。此外，还得考虑在进行相关碳审计评价时数据的可获取性。因此，要加强企业碳排放数字化平台建设，形成产业数据库，保证各项数据的完整性。

总之，未来的研究可以从不同角度和层面来完善华润电力碳审计评价体系。通过引入其他评价方法、拓展到其他行业以及构建行业级评价体系，将有助于推动低碳经济的发展，促进企业和整个行业的碳排放管理与减排工作。

参考文献

- [1]Adiaha M S, Chude V O, Nwaka G I C, et al. Carbon auditing in tree-soil nexus: a sustainable approach towards CO₂ sequestration and environmental transformation[J]. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 2022, 48: 1-9.
- [2]Burke, B.M. Book Review *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Mathis Wackernagel and William Rees. Philadelphia, PA and Gabriola Island, B.C., Canada: New Society Publishers, 1996. Hardback and paperback; 160 pages [J]. *Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers*, 1997, 19(2): 185-189.
- [3]Baxter M H. An energy and carbon audit of Mornington Peninsula Shire Council [D]. University of Southern Queensland, 2014.
- [4]BRAAM GJM, WEERD LUD, HAUCK M, et al. Determinants of corporate environmental reporting: the importance of environmental performance and assurance [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 129 (8) :724-734.
- [5]Csutora M, Harangozo G. Twenty years of carbon accounting and auditing - a review and outlook [J]. *Society and Economy*, 2017, 39(4): 459-480.
- [6]Fresner J, Morea F, Krenn C, et al. Implementing low-carbon strategies in small and medium-sized enterprises: Auditing strategies [M] // *The Routledge Handbook of Waste, Resources and the Circular Economy*. Routledge, 2020: 396-409.
- [7]Gauld J A. Energy & carbon audit of the Scenic Rim Regional Council [D]. UNIVERSITY OF SOUTHERN QUEENSLAND, 2016.
- [8]Hassan, M A. Audit of Public Debt Management - SAI Pakistan [J]. *Asian Journal of Government Audit*, 2020.
- [9]Iyer, Easwar Krishna and Bhavana Rao. A 360 degree carbon audit of the ICT industry [J]. *International Journal of Intercultural Information Management*, 2014, (2/3): 158-182.
- [10]Lai, J.H.K, Yik, F.W.H, Man, C.S. Carbon audit: a literature review and an empirical study on a hotel [J]. *Facilities*, 2012, 30(9/10): 417-431.
- [11]Man C. Carbon audit and energy audit in a hotel in Hong Kong [D]. Hong Kong

- Polytechnic University, 2010.
- [12]Olson E G. Challenges and opportunities from greenhouse gas emissions reporting and independent auditing[J]. Managerial Auditing Journal, 2010, 25(9): 934-942.
- [13]Koster E. Compare and Contrast Carbon Audit Models for the District of West Vancouver[D]. ROYAL ROADS UNIVERSITY, 2009.
- [14]Tang, Qingliang and Le Luo. Carbon Management Systems and Carbon Mitigation [J]. Australian Accounting Review, 2014, 24(1): 84-98.
- [15]艾欣, 秦珺晗, 胡寰宇等. 基于最优最劣法-熵权-逼近理想解排序法的电网安全与效益综合评价[J]. 现代电力, 2021, 38(01): 60-68.
- [16]陈燕燕, 彭兰香. 我国碳审计存在的问题及对策思考[J]. 财会月刊, 2010(27): 71-73.
- [17]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]. 2016(06): 64-71.
- [18]车萌, 王曙光. “免疫系统论”视角下的碳审计模式构建[J]. 财务与金融, 2014(05): 69-72.
- [19]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.
- [20]傅双双. 企业碳审计评价指标体系构建及其应用[D]. 江苏: 江南大学, 2014.
- [21]高强, 李秀莲, 张旭丽等. 碳审计相关问题探讨——基于政府审计报告的分析[J]. 财会通讯, 2014(16): 101-103.
- [22]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.
- [23]管亚梅. 免疫系统论下的碳审计模式构建[J]. 管理现代化, 2013(05): 26-28+40.
- [24]管亚梅, 张桐. 基于雾霾治理视角的碳审计指标构建与检验[J]. 经济与管理, 2016, 30(02): 48-54.
- [25]高建慧. 基于传统审计视角的低碳审计模式探讨[J]. 商业会计, 2015(11): 122-124.
- [26]黄强, 郭恂, 江建华等. “双碳”目标下中国清洁电力发展路径[J]. 上海交通大学学报, 2021, 55(12): 1499-1509.
- [27]何雪峰, 刘斌. 碳审计理论结构初探[J]. 会计之友, 2010(10): 25-26.
- [28]何丽梅. 碳审计研究综述[J]. 会计之友, 2017(06): 107-110.
- [29]和振妍. “双碳”目标下碳审计现状研究[J]. 财务管理研究, 2022(10): 90-94.
- [30]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(2

- 2) 54-57.
- [31]何丽梅. 碳审计研究综述[J]. 会计之友, 2017(06):107-110.
- [32]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]. 成都:四川师范大学, 2021.
- [33]金密. 碳审计评价指标体系构建及其在化工企业的应用研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2018.
- [34]金密. 生态经济视角下我国碳审计发展的必要性研究[J]. 财会研究, 2017(02):56-59.
- [35]李成, 王佳琳. 碳审计研究综述[J]. 财会月刊, 2024, 45(02):71-77.
- [36]李孟哲. 环境价值链的碳审计评价指标体系的构建[J]. 财政监督, 2016(13):97-99.
- [37]罗岭, 张田. “双碳”目标下制糖业碳审计评价指标体系构建[J]. 商业观察, 2023, 9(08):69-73.
- [38]赖亚菲. 基于DSR模型的建筑行业碳审计评价指标体系构建及应用[D]. 南昌:江西财经大学, 2023.
- [39]罗喜英, 张媛, 王雨秋. 基于“3E”三角模型的企业碳绩效评价指标体系构建[J]. 财会通讯, 2018(29):61-64+129.
- [40]刘永凤. 碳中和视角下电力企业碳减排绩效评价体系的构建与应用[J]. 煤炭经济研究, 2021, 41(10):26-33.
- [41]李鸿儒. 能源企业低碳审计评价指标体系构建应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学, 2019.
- [42]李琼. 嵩山低碳旅游发展评价与建议[J]. 河南科学, 2015, 33(11):2065-2070.
- [43]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.
- [44]毛森茂, 陈艺璇, 瞿凯平等. 电力企业碳排放研究现状及展望[J]. 新型工业化, 2016, 6(09):1-10.
- [45]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.
- [46]钱纯, 苏宁, 孟南. 关于我国碳审计主体的思考[J]. 会计之友, 2011(17):76-78.
- [47]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, 2010(11):14-17.
- [48]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.

- [49]施平,李长楚.基于ISO14064标准下的碳交易审计初探——以电力企业温室气体排放为例[J].商业会计,2016(19):17-20.
- [50]唐建荣,傅双双.企业碳审计评价指标体系构建[J].财会月刊,2013(22):82-85.
- [51]谭富生,王初步.组合赋权与TOPSIS在采矿方法优选中的应用[J].矿业研究与开发,2016,36(10):31-34.
- [52]王涵,李谦.火电行业低碳绩效审计评价指标体系构建及应用研究[J].河南财政税务高等专科学校学报,2019,33(06):27-33.
- [53]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.
- [54]王爱华,李双双.企业低碳审计DRS模型评价指标体系构建[J].审计与经济研究,2016,31(02):42-51.
- [55]温素彬,朱珊,张宇晴.企业碳排放绩效评价体系的构建及应用[J].会计之友,2017(20):127-130.
- [56]王世进.工业企业碳排放绩效评价体系研究[J].科技与经济,2013(03):101-105.
- [57]王健宇.基于AHP-熵权法的含硫气井钻井工程环境风险模糊综合评价研究[D].重庆:重庆大学,2022.
- [58]王鹏,刘添瑜.“双碳”目标对电力行业影响与创新转型的前景——以华润电力为例[J].现代企业,2023(03):163-165.
- [59]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.
- [60]杨娴雅.电力企业碳审计评价指标体系的构建研究[D].长沙:中南林业科技大学,2020.
- [61]杨渝蓉,齐砚勇.水泥企业碳审计方法及其应用[J].新世纪水泥导报,2011,(03):14-19+74.
- [62]聿木.为实现绿色能源转型,华润电力贡献央企智慧[J].中华环境,2022(03):77-80.
- [63]余欢欢.浙江省低碳审计评价指标体系构建[D].长沙.湖南大学,2013.
- [64]郑石桥.论碳审计本质[J].财会月刊,2022(04):93-97.
- [65]郑石桥.论碳审计方法[J].财会月刊,2022,(15):84-88.
- [66]郑石桥.论碳审计内容[J].财会月刊,2022,(11):100-103.
- [67]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):2-88.

- [68]赵玉珍. 基于低碳审计的碳绩效评价指标体系构建[J]. 中国注册会计师, 2017(09):10-113.
- [69]张焕敬. 基于AHP的河南省低碳审计评价指标体系构建[J]. 现代商业, 2018(28):128-129.
- [70]赵放. 关于我国碳审计问题的对策性思考[J]. 审计研究, 2014(04):54-57.
- [71]张指辉, 张毅, 李健宁. 基于改进层次分析法与熵权法的目标选择模型[J]. 探测与控制学报, 2022, 44(06):117-121.
- [72]张薇. 基于ISO14064和GHG Protocol的我国企业碳审计案例研究[J]. 财会月刊, 2015(15):85-87.
- [73]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.
- [74]张建平, 冯舒祺. 基于PSR-ANP的煤炭企业环境绩效审计指标体系构建[J]. 会计之友, 2019(03):131-135.
- [75]郑国芳, 徐荣华, 朱晓蓉. 基于“4M2E+熵权法”的化工企业碳审计评价指标体系构建[J]. 国际商务财会, 2023, (02):57-66+75.
- [76]确定达峰“时间表”绘制中和“路线图”——华润电力“双碳”目标下创新转型纪实[J]. 中国环境监察, 2021(07):80-83.
- [77]《〈“十四五”现代能源体系规划〉辅导读本》[J]. 宏观经济研究, 2022(12):2.

致谢

时光匆匆，三年的研究生生活伴随着这篇论文的完成也接近了尾声。首先我要感谢的是我的导师。指导老师不仅在上课时授予我宝贵的知识，并且在撰写论文的过程中给予我悉心指导。从论文的选题、开题、形成初稿、定稿，老师一直耐心的回答我各种问题，指导我顺利的完成论文。在此，我再次向指导老师表达深深的谢意。其次，我要感谢我的同学们。在论文的撰写过程中，我们相互支持，共同探讨，共同进步。平时在生活中也给予我很大的帮助和关心，你们的陪伴和帮助让我的学术之旅充满了乐趣和动力。此外，我还要特别感谢我的家人。你们的支持和鼓励是我前进的动力源泉。在我迷茫和困惑的时候，你们总是给予我最坚定的支持和最温暖的怀抱。再次向所有在我成长道路上给予过我关心和帮助的家人、老师和同学表达我由衷的谢意。谢谢你们！

附录 1 电力行业碳审计评价体系构建调查问卷

尊敬的各位专家、学者：

您好！

我是兰州财经大学的一名研究生，目前在做电力行业碳审计评价指标体系构建的相关研究。在构建碳审计评价指标体系中涉及到许多评价指标，不同的指标其重要程度也有所不同，本问卷的目的是通过判定具体指标的重要性，确定电力行业碳审计各评价指标的具体权重。本问卷采用九级标度法，用数字 1~9 来表示，数值越大，重要程度越高。各因素之间重要性程度的差异，请您根据您的理解，对问卷中每两个指标之间的重要程度进行打分。真诚地感谢您的协助！

问卷内容

1、您的性别

A 男 B 女

2、您目前的职业：

3、您的受教育程度

A 高中以下

B 高中

C 大学专科

D 大学本科

E 研究生及以上

4、请对电力行业碳审计目标层指标的重要性进行判别（每一空格表示纵向指标相对于横向指标的重要性比较，用数字 1~9 表示，数字越大，重要程度越高）

目标层	驱动力指标	状态指标	响应指标
驱动力指标			
状态指标			
响应指标			

5、请对电力行业驱动力层各指标重要程度进行判别

总资产	营业额	纳税利润	营业利润	灰渣综合 利用总量	投入资本 收益率	经营性净 现金流
营业额						
纳税总额						
营业利润						
灰渣综合利用总量						
投入资本收益率						
经营性净现金流						

6、请对电力行业状态层各指标重要程度进行判别

温室气体 排放总量	废水 排放 量	二氧化 硫排放 量	烟 尘 排 放 量	所产生所产生 有害废弃物总 量	所产生无 害废弃物 总量	综合能 源消耗 量	氮氧化 物排放 量	氮氧化 物排放 率
废水排放 量								
二氧化硫 排放量								
烟尘排放 量								
所产生有 害废弃物 总量								
所产生无 害废弃物 总量								
综合能源 消耗量								
氮氧化物 排放量								
氮氧化物 排放率								

7、请对电力行业响应层各指标重要程度进行判别

环保总投入	发电运营权益装机容量	可再生能源权益装机占比	节能减排技术改造投入	新增专利授权
发电运营权益装机容量				
可再生能源权益装机占比				
节能减排技术改造投入				
新增专利授权				

问卷到此结束，十分感谢您的配合和协助！