

分类号
U D C

密级
编号

公开

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 基于 DSR 模型的西部矿业碳审计评价
指标体系构建与应用

研究生姓名: 杨瑞锦

指导教师姓名、职称: 芦海燕 副教授

学科、专业名称: 审计专硕

研究方向: 内部审计

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： 杨瑞锦 签字日期： 2024.6.1

导师签名： 芦海燕 签字日期： 2024.6.1

导师(校外)签名： 李积庆 签字日期： 2024.6.1

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： 杨瑞锦 签字日期： 2024.6.1

导师签名： 芦海燕 签字日期： 2024.6.1

导师(校外)签名： 李积庆 签字日期： 2024.6.1

Construction and Application of Carbon Audit Evaluation Index System for Western Mining Based on DSR Model

Candidate : Yang ruijin

Supervisor : Lu Haiyan Li Jiqing

摘要

近年来,随着工业化的迅猛推进,高污染、高能耗的工业发展模式对全球气候造成了严重影响,废气排放、水资源污染以及生物多样性减少等问题逐渐显现。在这样的背景下,发展低碳经济,推行碳审计,成为了全球关注的议题。碳审计作为一种环境管理工具,能够督促企业披露碳排放信息,使其更清晰地认识到自身的社会责任,从而积极开展碳减排工作。在 2023 年 11 月举行的第 28 届联合国气候变化大会上,阿联酋与联合国环境规划署共同发起的“全球降温承诺”强调了应对气候变化的紧迫性。有色金属企业作为能源高消耗企业,在我国经济发展中扮演者举足轻重的角色。因此,积极开展碳审计实践,对于其加快节能减排进程、达成碳减排目标具有重要意义。目前有色金属企业碳审计评价指标体系的研究成果还比较匮乏,这成为了制约碳审计实践工作进一步发展的瓶颈。因此,构建碳审计评价指标体系显得尤为迫切。

本文旨在构建一套适用于有色金属企业的碳审计评价指标体系,并经过在西部矿业中的应用,得出相应的保障措施。首先,经过对比国内外碳审计研究现状发现,相较于发达国家,我国的碳审计起步较晚,主要还停留在理论建设层面,尤其在有色金属行业,缺乏一套有针对性的碳审计评价指标体系。其次,借助层次分析法,针对西部矿业的碳排放特性,构建出一套适用于该企业的碳审计评价指标体系。最后,汇总相关原始数据,与审计标准值进行对比,运用模糊综合评价法,评价西部矿业的碳审计工作,并根据评价结果提出保障措施,旨在促进碳审计评价指标体系的有效实施,从而希望对提高西部矿业的碳经济效益、监测碳排放情况以及强化碳政策执行力度提供有益的启示和借鉴。

关键词: 碳审计 层次分析法 DSR 模型 评价指标体系

Abstract

In recent years, with the rapid advancement of industrialization, the high pollution and high energy consumption industrial development model has had a serious impact on the global climate, and problems such as exhaust emissions, water resource pollution, and reduced biodiversity have gradually emerged. In this context, developing a low-carbon economy and promoting carbon auditing has become a global concern. Carbon auditing, as an environmental management tool, can urge enterprises to disclose carbon emission information, making them more aware of their social responsibilities and actively carrying out carbon reduction work. At the 28th United Nations Climate Change Conference held in November 2023, the United Arab Emirates and the United Nations Environment Programme jointly launched the Global Cooling Commitment, emphasizing the urgency of addressing climate change. Non ferrous metal enterprises, as high energy consuming enterprises, play a crucial role in China's economic development. Therefore, actively carrying out carbon audit practices is of great significance for accelerating the process of energy conservation and emission reduction, and achieving carbon reduction goals. At present, there is still a lack of research results on the carbon audit evaluation index system for non-ferrous metal enterprises, which has become a bottleneck that restricts the further development of carbon audit practice. Therefore, it is particularly urgent to construct a carbon audit evaluation index system.

This article aims to construct a carbon audit evaluation index system suitable for non-ferrous metal enterprises, and after application in western mining, corresponding safeguard measures are proposed. Firstly, after comparing the current research status of carbon auditing at home and abroad, it was found that compared to developed countries, China's carbon auditing started relatively late and mainly remained at the theoretical construction level, especially in the non-ferrous metal industry, lacking a targeted carbon auditing evaluation index system. Secondly, using the Analytic Hierarchy Process, a carbon audit evaluation index system suitable for the western mining industry is constructed based on its carbon emission characteristics. Finally, by summarizing relevant raw data and comparing it with audit standard values, the fuzzy comprehensive evaluation method is used to evaluate the carbon audit work of western mining, and security measures are proposed based on the evaluation results, aiming to promote the effective implementation of the carbon audit evaluation index system. It is hoped that this will provide useful inspiration and reference for improving the carbon economic benefits of western mining, monitoring carbon emissions, and strengthening the implementation of carbon policies.

Key words: Carbon Audit; AHP; DSR model; Evaluation index system

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 温室气体减排的发展形势	1
1.1.2 全国碳市场核查报告存在的问题	1
1.1.3 有色金属行业碳减排的必要性	2
1.2 研究目的与意义	3
1.2.1 研究目的	3
1.2.2 研究意义	3
1.3 国内外文献综述	4
1.3.1 国外研究现状	4
1.3.2 国内研究现状	6
1.3.3 文献评述	6
1.4 研究内容与方法	10
1.4.1 研究内容	10
1.4.2 研究方法	12
1.5 创新点	12
2 相关概念及理论基础	13
2.1 相关概念	13
2.1.1 环境审计	13
2.1.2 碳审计	13
2.2 理论基础	14
2.2.1 可持续发展理论	14
2.2.2 企业社会责任理论	15
2.2.3 受托环境责任理论	15
3 西部矿业碳审计现状分析	17
3.1 案例企业背景	17

3.1.1 公司简介.....	17
3.1.2 社会责任履行情况.....	18
3.2 企业碳排放状况分析	19
3.2.1 污染物产出分析.....	19
3.2.2 碳排放足迹分析.....	21
3.3 企业碳排放量核算	21
3.3.1 核算方法.....	21
3.3.2 核算边界的识别.....	23
3.3.3 排放因子的识别.....	24
3.3.4 碳排放量核算.....	26
3.3.5 计算碳配额.....	28
3.4 碳减排成本收益分析	28
3.4.1 碳减排成本分析.....	28
3.4.2 碳减排收益分析.....	29
3.4.3 碳减排成本收益对比分析.....	30
3.5 西部矿业碳审计评价现状分析	30
4 基于 DSR 模型的西部矿业碳审计评价指标体系构建	32
4.1 碳审计评价指标体系构建基础	32
4.1.1 碳审计评价指标体系构建原则.....	32
4.1.2 DSR 模型.....	34
4.2 碳审计评价指标的选取	35
4.2.1 碳审计评价指标层次结构模型建立.....	35
4.2.2 碳审计评价指标初始设置.....	35
4.2.3 碳审计评价指标筛选.....	38
4.3 基于层次分析法的指标权重确定	40
4.3.1 层次分析法.....	40
4.3.2 层次分析法实施步骤.....	41
4.3.3 碳审计评价指标权重的获取.....	44

5 碳审计评价指标体系在西部矿业中的应用	51
5.1 碳审计评价方法	51
5.1.1 评价指标数据来源.....	51
5.1.2 评分标准.....	52
5.1.3 评价方法.....	55
5.2 西部矿业碳审计评价应用	56
5.2.1 指标打分.....	56
5.2.2 应用结果分析.....	59
5.2.3 案例启示.....	61
5.3 碳审计评价指标体系的应用保障	62
5.3.1 健全内部碳审计机制.....	62
5.3.2 提升碳排放信息披露质量.....	62
5.3.3 加强碳审计人员培养.....	63
5.3.4 合理利用外部资源.....	63
6 研究结论与展望	65
6.1 研究结论	65
6.2 研究不足	66
6.3 研究展望	66
参考文献	68
后记	72
附录 A 西部矿业碳审计评价指标重要性筛选问卷	73
附录 B 西部矿业碳审计评价指标重要性调查问卷	75
附录 C 西部矿业碳审计评价指标打分问卷	77

1 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 温室气体减排的发展形势

全球气候变化问题长期以来都是一个备受瞩目的全球性议题。工业革命以来，环境污染问题日益加剧，导致生态系统的自净能力逐渐逼近极限。这一系统性病变，源于人类不合理的资源消耗，对地球环境造成了严重破坏，削弱了生态系统对人类社会的支撑能力。特别是以二氧化碳为代表的含碳气体排放，更是推动全球气候变化的主要因素。因此，推动低碳经济的发展，已成为实现全球经济可持续发展的必由之路。

在全球经济发展的过程中，减少碳排放量已成为一个亟待解决的问题。习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上承诺，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，力争 2030 年前碳排放达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”。在同年的气候雄心大会上，习总书记进一步宣布，“到 2030 年时，中国每单位国内生产总值的碳排放，将比 2005 年时下降 65%及以上”。为实现上述减排承诺，企业应积极顺应时代潮流，响应国家号召，履行社会责任，提高资源利用效率，减少环境污染，为节能减排做出贡献，而这一切都离不开碳审计的支撑与保障。

1.1.2 全国碳市场核查报告存在的问题

为确保碳市场的健康发展，碳排放数据的真实性与准确性显得尤为重要。而核查碳排放报告则是保障数据准确无误的关键举措。截至 2023 年 5 月 19 日，上海青悦环保，作为长期关注上市公司环境信息披露状况并致力于推动环境信息公开的机构，已在全国排污许可证管理信息平台（公开端）中收录了 2019 年至 2021 年间，覆盖 31 个省（自治区、直辖市）的共计 6884 家次的碳排放报告核查评估结果。这些结果涉及 170 家核查服务机构和 2742 家重点排放单位（被核查单位）。

其中，5886 家次为首次核查结果，而 998 家次则为复查结果。经过深入统计发现，在 170 家核查服务机构中，有 135 家机构合格率达到 100%，未发现问题；有 12 家机构的合格率低于 90%，评估结果相对较差。

为了确定核查结论是否合格，根据要求设定了八个评估项目，包括核查的时效性、主要排放单位的基本状况、核算边界、核算方法、核算数据的准确性、质量控制与文件存档、数据质量控制计划及执行。除了核查的时效性外，若任一项目存在问题，核查评估结果均被判定为不合格。在这八个评估项目中，核算数据方面存在的问题尤为突出，共涉及 136 家单位。

基于我国目前碳市场核查中存在的问题，有必要对企业的碳排放工作进行监督，通过建立碳审计评价指标体系对企业碳减排义务的履行情况进行评价。

1.1.3 有色金属行业碳减排的必要性

有色金属工业作为国民经济的重要上游产业，不仅为房地产、汽车、航天、电力等行业提供原材料，更在支撑经济发展和国防军工事业中发挥着不可替代的作用。同时，有色金属冶炼又是我国工业部门二氧化碳的重要来源之一，据统计，2020 年我国有色金属产量首次突破 6000 万吨，生产和消费均跃居世界首位，碳排放量约为 6.6 亿吨，占全国总排放量的 4.7%，现有主流冶炼工艺能耗水平下，每冶炼一吨有色金属的碳排放量介于 1 至 15 吨之间。为应对这一挑战，早在 2015 年，发改委便印发了包含有色金属在内的多个行业温室气体核算方法与报告指南，旨在落实国家减排目标，推动碳交易市场的建立。到 2017 年底，我国全面启动碳排放权交易市场，激励企业向低碳发展转型，碳审计成为不可或缺的监督工具。因此，有色金属行业开展节能减排对推进“双碳”目标及早实现意义重大。

综上所述，在低碳经济迅猛发展的时代背景下，碳审计应运而生，并为低碳经济的稳定发展提供了坚实的保障。因此，为引导企业走节能减排、可持续发展之路，有必要探索性地构建一套针对有色金属企业的碳审计评价指标体系，将碳足迹转化为可量化的数据，进而在技术上支持提升碳审计质量。通过对被审计单位碳减排义务履行情况的综合评价，不仅可以提升有色金属企业碳审计工作的质量和效率，更能有效防止企业在减碳过程中偏离正确方向。

1.2 研究目的与意义

1.2.1 研究目的

本文希望通过探索性地构建一套适用于西部矿业的碳审计评价指标体系,提高企业的碳审计效率,通过发现问题并提出相应的保障措施。让西部矿业提高经济效益和环境效益的同时,更好地履行企业的社会责任,从而促进企业走可持续发展道路。

1.2.2 研究意义

有色金属企业作为工业部门二氧化碳排放的重要源头,是碳审计的重点监管对象。通过构建一套针对有色金属企业的碳审计评价指标体系,有助于全面评估企业的碳减排效果,并为其他行业提供参考,具有一定的理论和现实意义。

(1) 理论意义

由于我国碳审计起步较晚,大部分围绕碳审计所做的研究限于理论层面,碳审计评价指标体系的研究尚显不足,针对电力、钢铁、煤炭等行业的研究相对丰富,有色金属行业的相关研究较少。鉴于此,本文通过梳理相关文献,探索性地构建一套适用于有色金属企业的碳审计评价指标体系,有助于拓展碳审计在应用领域研究,也为构建碳审计评价指标体系数据库提供了重要的基础支撑。

(2) 现实意义

第一,为其他不同企业提供了参考。在强化企业内部碳排放行为的监管之际,解决了碳审计实践中存在的问题。即可以采用科学的评价标准,避免碳审计过程中存在的主观性,从而减少审计风险,形成令人信服的审计结论,也为其他企业开展碳审计提供了参考。

第二,监督企业碳排放行为,挖掘碳减排潜力。通过将碳足迹数据化,使碳审计结果更为直观可视,从促进监管机构更有效地监督企业的碳排放行为,进而加强企业实施碳减排的自觉意识。此外,使用该评价体系可以准确识别出温室气体排放较高的环节,从而有针对性地挖掘企业的碳减排潜力,帮助其实现节能减排的战略目标。

1.3 国内外文献综述

1.3.1 国外研究现状

对于碳审计的相关研究，国外学者已经取得了诸多成果，这些成果主要可以从以下几个维度进行概括。

(1) 碳审计的内涵

在低碳经济的背景下，碳审计应运而生。低碳经济这一概念源于 2003 年英国发布的《能源白皮书》，主张将减碳减排与经济发展紧密相连，以此构建一种以低碳为核心，低消耗、少污染的绿色经济模式。全球可持续发展产业委员会（GCSID）于 2004 年发布了《温室气体协定书：企业核算与报告准则》，不仅为企业提供了标准的测算方法，也为碳审计的发展趋势指明了方向。

Abdeen Mustafa Omer（2008）首次将碳交易视作一种独特的商品形式，认为其交易过程应由独立的第三方机构进行专业的鉴证。Ralph Gomory（2009）提出碳审计归属于资源审计范畴，不同之处在于其审计对象专注于碳排放，而非传统的财务或业务活动。Susie Moloney（2010）对碳审计的定义进行了深化，认为碳审计是根据相关法规对碳消耗与排放情况进行独立审核或监督的过程，其实质是一种对经济活动的监督和控制机制。Aldona Kluczek（2017）从能源审计的角度强调了审计在碳交易中的作用，她指出能源审计作为一种分析工具，不仅能分析能源流动，评估节能机会，还通过实际案例分析证明了在多种能源效率措施下取得的显著效益。

(2) 碳审计的目的

第一，基于企业需求研究碳审计的目的。对于碳审计的目的，Jenny Dawkins（2003）和 Michael Watson（2004）持有不同的观点，前者认为碳审计的目的是加强企业所披露碳信息的真实性和可信度，确保信息的准确性，后者认为碳审计的主要目的是帮助企业实现节能减排，更好地承担社会责任。Susie Moloney（2010）认为碳审计促进了低碳经济发展的同时，也提升了企业的品牌价值。

第二，基于其他角度研究碳审计的目的。Qingliang Tang（2019）通过对碳排放信息和数据进行分析，发现碳审计的兴起主要归因于碳认证机构的设立和绿色基金的大幅增长。他进一步指出，碳审计不仅是推动管理转型的关键工具，还

是实现技术创新与组织转型的重要手段。Haley Brendan 等（2020）从实现企业效用出发，强调低碳转型议程为实施全面能源效率战略创造了机会，并呼吁制定一项新计划，以推动可持续能源的需求增长。Theodoros Zachariadis 等（2020）从环境和税收立法视角，评估了低碳战略的最新发展态势，分析了实现气候稳定的市场工具的应用情况。这些研究一致表明，碳审计在推动低碳经济发展和全球气候稳定方面发挥着重要作用。

（3）碳审计的研究方法

Anonymous（2010）率先提出了碳税的概念，主张可以通过税收手段对碳排放行为进行约束。Joseph H.K.（2012）比较了香港地区、澳大利亚和英国的碳审计立法和指南，并进行了香港酒店的碳排放数据搜集工作，确认了酒店购买的电力是其碳排放的主要来源。Clément Mouchet 等（2014）提出应当构建一套基于信息技术的碳足迹梳理工具，以满足碳审计数据获取的需求。JJ. de Greijter（2016）提出了基于数据分析的农田碳审计方法，该方法通过系统分层抽样确定了不同地区碳储量的差异，优化了分层随机采样的各个环节，平衡了由于碳估计量的不确定而导致的农民和买方的风险。Brendan P. Malone（2017）探讨了一种空间降尺度方法，用于生成数字土壤地图。这种方法的优势在于，在无法获得详细土壤测绘数据的情况下，这将是农场土壤监测的理想选择。

（4）碳审计评价指标体系

第一，借助模型的碳审计评价指标体系研究。Salvador Enrique Puliafito 等（2007）为预测能源需求与大气碳排放的动态趋势，以及描述人口、国内生产总值、一次性能源消耗和碳排放的动态演变，提出了一套微分方程，即 Lotka-Volterra 模型，用以阐释导致转变的主要驱动力之间的相互作用与反馈机制。

第二，选取指标的碳审计评价指标体系研究。Clément Mouchet 等（2014）在深入调研绿色信息技术现状的基础上，开发了一款审计工具，旨在有效呈现所需的碳足迹数据，便于碳审计过程中的数据获取。Foster（2017）探讨了温室气体的排量算法，并分为直接和间接计算法两大类，前者针对应用低碳技术后收益的改进，后者针对无法测量成本和价格的情况。Don Fullerton 等（2018）在研究可持续发展战略的过程中，提出了一种以配额为基础的碳排放评价机制，为碳审计提供了新的思路和方法。

1.3.2 国内研究现状

相较于国外,我国在碳审计研究领域的起步相对较晚,因此在研究数量和内容上与西方国家相比都显得有限和滞后。本文将相关研究成果进行梳理与概括,主要涵盖以下几个方面。

(1) 碳审计的内涵

第一,基于碳审计起源的碳审计内涵研究。杨树滋,王德升(2002)认为,碳审计产生于对碳排放监督的迫切需求,是环保组织不可或缺的管理工具,同时还深入探讨了低碳审计与传统审计之间的异同。李雪,杨智慧(2004)将碳审计定义为一种鉴证活动,由国家审计机关、内部审计机构和社会审计组织,依据环境审计准则,对被审计单位在环境责任方面的履行情况进行评价与监督。彭香兰(2010)基于审计的本质,将碳审计定义为独立审计机构对政府及企业在碳排放责任履行情况方面的审查与核实,旨在独立地对碳排放管理活动及其成果进行监督和评价。钱纯,苏宁(2011)等学者认为碳审计是对碳排放责任履行情况的检查和鉴证,旨在对管理活动和成果进行监督与评价。

第二,基于其他角度的碳审计内涵研究。管亚梅(2013)通过对碳审计产生的根源进行梳理,强调了在低碳经济背景下碳审计的必要性,并从免疫系统论的角度出发,指出碳审计是一种经济监督活动,旨在评估碳活动对环境的影响并出具相关报告。郝玉贵,陈小敏等(2015)利用 SWOT 框架,从政府、市场、企业三个层面分析了低碳治理要素与碳审计的关系,认为碳审计是一种融合了财务、合规、绩效和社会责任审计的综合型审计。郑石桥(2022)提出碳审计是以碳排放权为基础形成的碳排放委托代理,通过系统的方法对碳排放经济管理责任履行进行鉴证和评价,包含了碳排放相关信息、行为和制度三大审计主题。

(2) 碳审计的目的

钱英莲,樊鹏燕(2010)认为碳审计的目标是降低能耗和成本,提高利用率。梅林(2012)认为碳审计的目的是确保低碳经济的稳健发展,同时有效缓解气候变化带来的不利影响。管亚梅,李园园(2016)基于“一带一路”的战略背景探讨碳审计实施策略时,认为碳审计不仅有助于推动企业走低碳发展道路,也是促进“一带一路”战略早日实现的有力工具。董华涛(2018)从碳审计的性质和生态文明建设的视角出发,将碳审计目标理解为实现节能减排。周旭东,郑石桥

(2022)在探讨碳审计需求时,指出碳审计存在于资源类碳排放的委托代理关系中,其主要目的是应对代理人因自利倾向在激励不相容、信息不对称、合约不完备、环境不确定等情况下产生的代理问题和次优问题。

(3) 碳审计的研究方法

第一,基于碳排放视角的碳审计方法研究。陆婧婧,苏宁(2010)认为直接检测受限过多,建议运用适当的计算方法,即利用“排放量=活动强度×排放系数”公式,结合燃料中的含碳量和使用量,以及参照 IPCC 的指导准则来进行碳排放量的估算。陈小林,梅林(2012)建议采用产品生命周期法对碳足迹进行评估,该方法覆盖从原材料采购、生产、销售直至废物处理与回收的整个流程。

第二,结合具体案例的碳审计方法研究。张薇(2015)认为碳足迹评价是开展碳审计工作的前提,通过借鉴 ISO14064 和 GHG Protocol 标准,运用生命周期法,对电脑机箱制造企业的碳审计实践进行了深入分析。李虹,田马飞等(2015)运用灰色建模理论对试点省市碳排放趋势进行预测,并建立博弈模型对碳审计合谋滋生环境进行分析,从环境信息共享平台、市场化运作和环境报告标准化方面提出了解决碳审计合谋的对策。王爱华等(2016),张亚连等(2017)以企业低碳发展的内在动力为出发点,结合了动态指标与静态指标,借助 DSR 模型构建了碳审计评价指标体系,并将其成功应用于钢铁企业的实践中。冯舒祺(2019)在同煤集团和阳煤集团的碳审计评价工作中,创新性地引入了 PSR-ANP 模型,为煤炭企业的可持续发展奠定了坚实的研究基础。

第三,基于其他视角的碳审计方法研究。赵放(2014)进行了碳审计工作的系统性规划,建立了“三位一体”的分类分层碳审计体制和碳审计专门人才培养体系,构建出符合我国现实国情的碳审计体制。朱朝晖,梁胜浩(2015)与董华涛(2018)从供应链的角度出发,分析了企业碳审计的边界和碳足迹流,构建了供应链视角的碳审计流程。熊欢欢,杨赛得斯等(2016)在借鉴国外碳审计经验时,发现碳审计方法朝着全要素、全过程、全周期的方向发展,因此提出要提高创新技术,开发碳审计软件,实现碳审计信息化。李蝶等(2016)、徐洪波(2017)、郑宝华等(2017)分别采用交叉评价机制 DEA 模型、数据包络分析法以及超效率 DEA 模型等方法,对省域低碳经济效率进行了测算与评价,并分析了其时空演变特点与影响因素,为低碳技术进步提供了合理化建议。陈洋洋,王宗军(2017)

运用层次分析法构建了碳审计评价指标体系,包含经济效益、低碳消费模式、低碳技术创新、环境资源保护和低碳政策制定五个维度,为后续碳审计评价工作提供了重要依据。李海燕(2018)、杜子平等(2018)采用共词聚类分析了碳审计文献,以期揭示我国碳审计理论的演进特征,为后续碳会计研究、碳市场建设及碳审计发展提供参考依据。郑石桥(2022)将碳审计方法分为通用技术方法和专门技术方法,其中后者包括碳数据分析和碳绩效评价。袁广达等(2023)建构了碳补偿“三因素”审计模型,并通过对黄河流域九省区 2011-2018 年的碳补偿情况模拟实施审计全过程,重点核查了碳排放量、碳吸收量和碳补偿额度。

(4) 碳审计评价指标体系

第一,基于 DSR 模型的碳审计评价指标体系研究。李海燕(2017)基于低碳生态视角,利用 DSR 模型和 AHP 方法,设计了 36 个指标,构建出一套适用于电力企业的碳审计评价指标体系。金密,张亚连(2018)以中石化为例,设计了 35 项指标,并借助 DSR 模型,构建了一套适用于化工企业的碳审计评价指标体系。邢玉冠,杨道玲(2022)基于 DSR 模型构建产业创新能力评价指标体系,对京津冀产业创新能力进行了评估。王永祥等(2023)运用 DSR 模型和 AHP 方法,提出了“双碳”审计风险评价指标,构建了包含 23 个评价指标的三层结构,用于综合评价电网企业的“双碳”工作情况。

第二,基于其他方法和视角下的碳审计评价指标体系研究。张静(2013)针对临海工业企业,基于 PSR 概念构建出专门应用于该类企业的评价指标体系。李涛(2015)构建了针对城市碳审计的评价指标体,并运用 AHP 方法确定各指标权重,以便对城市碳审计进行综合评价。相反地,杨斌等(2015)围绕农村生态文明,为其量身定制了一套碳审计评价指标体系。管亚梅,张桐(2016)围绕雾霾治理,设定了环境、经济、管理和社会四类指标,并成功应用于万科集团。杨博文(2017)以绿色可持续发展理论为指导原则,提出在设计碳审计评价指标时,应全面考虑减排驱动力、反馈与效果三个方面。赵玉珍(2017)基于低碳审计的需求,依据法律、政策规定和技术标准构建了一套指标体系,用以全面评估企业法律政策遵守情况、低碳行为及效果。罗喜英,张媛等(2018)借助“3E”模型建立了碳绩效评价指标体系,用于检验企业碳信息的真实性,并判断其是否存在“刷绿”嫌疑。周瑞芳等(2020)借助 DPSIR 模型,构建了针对西北水环境的审

计评价指标体系,对西北地区的河流状况进行了综合评价。胡耘通,廖佳榆(2022)从资源安全的角度出发,运用层次分析法,为矿产资源设计了专门的评价指标体系。郑国芳等(2023)从人员、机器、原料、方法、环境、经济(4M2E)6个角度构建碳审计评价指标体系,利用熵权法赋权重,并运用案例进行实证分析。

1.3.3 文献评述

鉴于发达国家较早认识到气候危机的严重性,通过立法促进温室气体减排,并辅以碳审计工作的实施以监督减排效果,因此国外研究不仅涉及理论层面的探讨,还包含丰富的实证分析。相较之下,国内碳审计研究起步相对较晚,因此国内学者主要聚焦于碳审计的定义、目标等理论层面,并对碳审计的现状进行分析,多数研究都是基于现存问题提出相应对策,理论性强但实践性和操作性略显不足。此外,由于碳审计的复杂性和特殊性,所需专业知识呈现多元化趋势,然而由于企业对碳排放的重视程度不足以及碳排放收集设备的相对落后,碳审计的实际操作可行性受到一定限制。

在对碳审计的内涵进行研究时,国内外学者普遍持有相似的观点,即碳审计本质上是对碳相关活动的鉴定、监督与评价。关于碳审计的目的,学者们均强调了其对于企业需求的重要性,以及对于推动低碳经济发展与稳定全球气候的积极作用。除此之外,我国学者还引入了“一带一路”战略目标的实现。关于碳审计的研究方法,国外学者大多采用实证方法,并结合具体案例进行研究,而我国学者不仅采用具体案例进行分析,还引进了信息技术方法和碳审计软件,从而增强了研究的科学性与实效性。关于碳审计评价指标体系的构建,国内外学者均借助模型和指标的选择,但国外研究更多侧重于实证分析,而国内研究主要聚焦于低碳经济领域,并将 PSR、DPRIS 等模型作为分析工具,通过综合分析法与模糊综合评价等方法,构建以三层指标为核心的碳审计评价体系。

当前,国内关于碳审计的研究框架已大致成型,但在评价及其应用方面仍存在不足:一方面,碳排放不仅存在于企业,为达成国家设定的双碳目标,个人、城市乃至国家层面的碳排放也需深入研究。另一方面,不同行业的碳审计评价指标存在共性,部分指标可以相互借鉴,但由于各行业生产流程及碳排放源的差异,碳排放形式也有所不同,因此,对碳审计的研究不应仅聚焦于碳排放占比较高的

少数行业。此外，现有评价体系在行业针对性上不足，特别是针对有色金属这类高污染、高能耗、高排放的企业，其碳审计评价指标体系的完整性有待加强。

鉴于 PSR 框架倾向于片面看待人类对环境的负面效应，未能充分考虑到其对环境的积极贡献，联合国可持续发展委员会（CSD）于 1996 年首次采纳了 DSR 框架，用动力代替压力。与 PSR 框架相比，DSR 框架具有更广泛的包容性，能够涵盖社会、经济等多个维度的议题。驱动力的引入不仅揭示了人类活动对发展可能产生的正面效应，同时也承认了潜在的负面影响。因此，本文借助 DSR 模型构建针对西部矿业的碳审计评价指标体系。

1.4 研究内容与方法

1.4.1 研究内容

本文围绕以下六个部分展开研究：

第一部分：绪论。详细探讨了文章的研究背景、目的和意义，介绍了温室气体减排的发展形势、发展低碳经济的必要性和国内外为减少碳排放量所作出的努力，通过分析全国碳市场核查报告存在的问题和有色金属行业碳减排的必要性，引出本文的研究内容，为文章的深入研究奠定基础。

第二部分：相关概念及理论基础。首先首先明确环境审计与碳审计的具体定义，进而基于可持续发展理论、企业社会责任理论以及受托环境责任理论等基石，进行深入的研究探讨。

第三部分：对西部矿业的碳审计现状进行分析。首先对企业的基本情况介绍，通过公司的原始数据对企业生产过程污染物产出和碳排放足迹进行分析，并对生产过程的碳排放数据进行核算，计算出碳配额和碳信用额度并对比碳减排的成本收益，从而全面评估西部矿业的碳审计现状。

第四部分：基于 DSR 模型构建碳审计评价指标体系。依据科学性、可行性和前瞻性原则设计碳审计评价指标体系，按照层次分析法选取指标，根据每个指标的特点，将其划分到三因素层中。通过问卷调查对指标进行评分，计算每项指标的平均值和标准差，对指标进行必要删减。构建层次结构模型，比较准则层和方案层中元素的重要性并构建判断矩阵，确定各指标的单独权重和综合权重。

第五部分：将构建的碳审计评价指标体系运用到西部矿业。首先对评价体系的具体指标进行了细致的评分，然后依据评分结果对碳审计进行了等级评价。最后对碳审计实施提出相关建议，从而保障评价指标体系实施的有效性。

第六部分：研究结论、不足与展望。基于上述分析，得出了相关结论，同时识别出本文的局限性和改进方向。

本文的研究逻辑如图 1.1 所示：

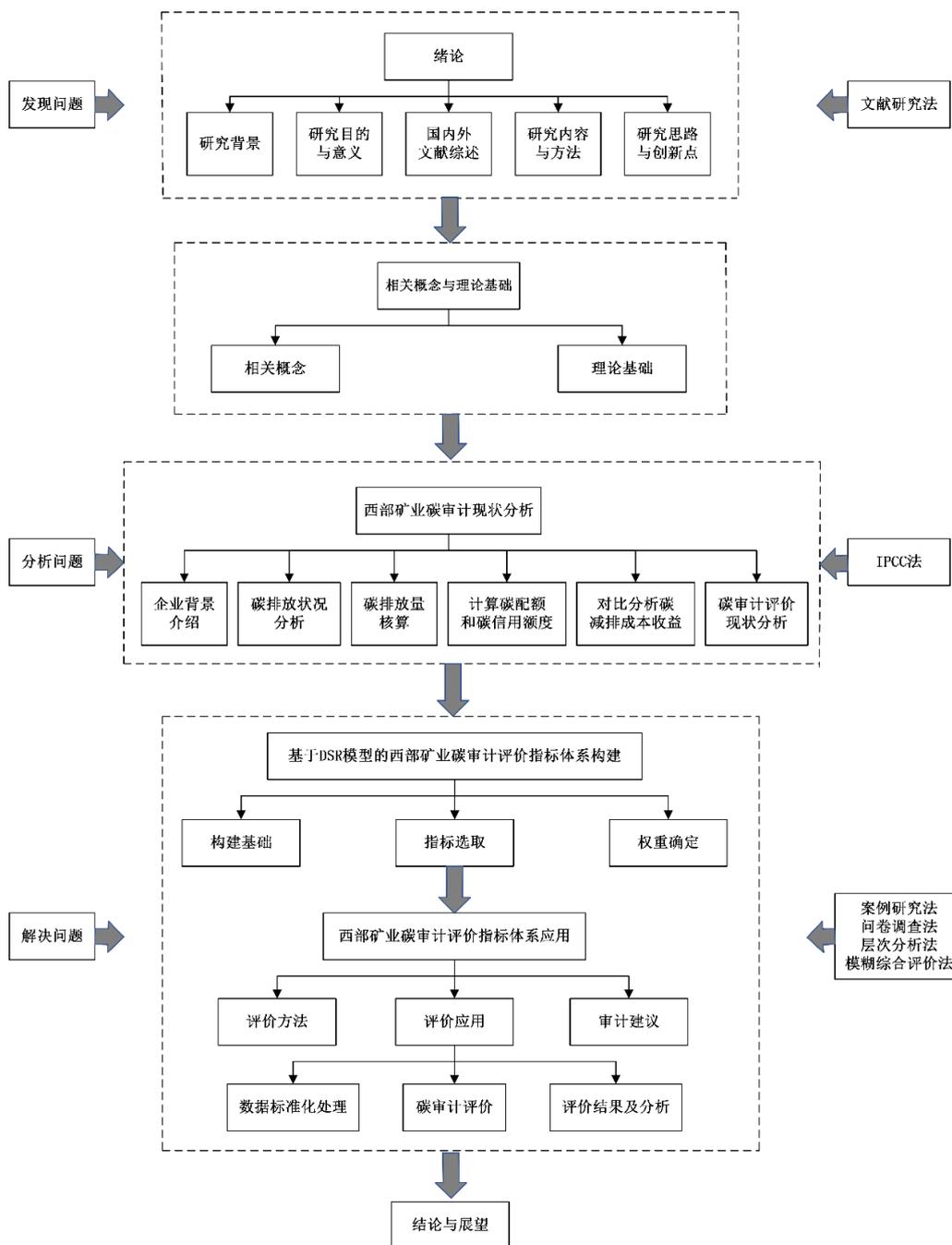


图 1.1 技术路线图

1.4.2 研究方法

(1) 案例分析法

该方法主要体现在第四章至第六章案例介绍、应用与分析方面。在对碳审计理论分析的基础上,结合西部矿业自身特点构建碳审计评价指标体系,进行实际应用,并对案例企业进行评价分析,得出案例企业碳减排工作实况和效果,并根据案例应用情况,得出相应的应用保障措施。

(2) 问卷调查法

该方法主要体现在第四章指标体系构建和第五章案例应用部分。这一方法的核心在于定性与定量指标的筛选及其重要性排序。首先,阅读相关文献与资料,并结合企业特点,选取定性与定量指标,并设计成问卷调查的形式。其次,针对问卷调查的结果对指标进行筛选。最后,针对筛选后的指标设计问卷调查表,借助九级标度法对指标进行重要性排序,进而确定了各指标的权重。此外,本文还借助了流程图等方法,使问卷调查的结果更清晰明了的展现出来。

1.5 创新点

研究视角的创新。现有碳审计研究多聚焦于政府审计角度,并围绕钢铁、煤炭、化工及电力等几大关键行业展开探讨,对于有色金属制造企业的探讨相对匮乏。而有色金属制造企业作为碳排放的主要来源,有必要构建一套专门的碳审计评价指标体系,以优化审计工作的效率与效能。本文从内部审计的视角出发,以西部矿业为例,构建了一套碳审计评价指标体系,不仅实现了研究视角的创新,也满足了实际工作的迫切需求。

2 相关概念及理论基础

2.1 相关概念

2.1.1 环境审计

环境审计，作为审计学科的分支，起源于上世纪九十年代，是环境管理系统中的重要组成部分，主要职能是监督并评价企业在环保责任方面的履行情况，旨在确保受托环境责任的切实履行，其中涉及国家审计机关、内部审计机构以及社会审计组织等多方力量的参与和协作^[44]。相较于传统审计方式，其关注点不仅局限于经济活动，还包含了环境管理，是契合可持续发展理念的现代审计实践。

对于企业而言，内部环境审计是由内部审计机构依照相关环境法规和标准及企业的环境管理政策，结合会计核算准则，监督企业受托环境责任的履行情况，全面评价其的公允性、合法性和效益性，最终目标是推动企业实现可持续发展^[40]。

碳审计是环境审计体系的重要组成部分，侧重于监督企业温室气体的排放。环境审计则更为宽泛，主要关注企业的资源环境状况和环境经济责任的履行情况。碳审计是对环境审计在温室气体排放方面的深化和细化。因此，环境审计为碳审计提供了坚实的理论基础。

2.1.2 碳审计

现代审计作为一种监督和控制经济的重要工具，致力于推动人类社会向低碳与生态文明的转型。这一过程中，最为紧迫的任务就是利用审计手段对清洁能源的利用、碳足迹的核算及碳会计信息披露等多个方面进行审查、鉴证或评价。因此，发展碳审计刻不容缓。

碳审计旨在评估生产经营活动中因能源消耗所产生的二氧化碳等温室气体排放对环境造成的潜在影响，其专注于追踪碳元素，并将任何与碳元素相关的物质都纳入其审计范畴。碳审计不仅包括温室气体排放量的审计，还涵盖了企业碳管理实践、碳减排潜力、相关低碳政策的实施以及低碳资金的筹措与运用等多个方面的审计，对于企业在实践方面具有更强的指导意义^[58]。

碳审计与环境审计在内容上存在相似之处，都涉及降低污染、减少能源消耗和保护环境等内容。二者的目标也高度一致，均致力于通过减少污染来推动人类的可持续发展。区别在于侧重点不同：碳审计侧重于对政府及企业碳排放责任相关工作的检查和鉴证，包括二氧化碳、二氧化硫及烟尘等温室气体排放问题的审查；环境审计侧重于检查并评价企业是否满足环境管理的要求。

2.2 理论基础

2.2.1 可持续发展理论

1980 年国际自然保护同盟（IUCNR）及世界自然基金会（WWFN）共同发表了一篇关于全球自然资源保护的大纲，首次提出了可持续发展的概念，其核心是将经济发展与生态保护相结合，实现人与自然的和谐共生。该理论在 1992 年的联合国环境与发展大会上被深化为了具体的行动方案，同年，我国开始积极推行可持续发展战略。

可持续发展理论的核心理念涵盖以下三个方面：

（1）社会可持续发展。经济、环境与社会三者紧密相连，经济可持续发展为社会提供了物质基础，环境可持续发展为社会的长远发展创造了必要条件，而社会可持续发展则是我们追求的最终目标。

（2）经济可持续发展。可持续发展强调经济发展应兼顾扩大规模和提升质量，而不是仅限于追求短期利益。因此，需要转变传统生产模式，转向实施清洁生产策略，以降低能源消耗和减少碳排放。

（3）环境可持续发展。强调摒弃以往将环境保护与经济发展视为对立的观念，而是寻求人类生产生活方式的变革，从根本上解决环境问题。该理念指出社会与经济的进步应与环境保持协调，确保发展社会经济不会超出环境的承载能力，从而在满足当代人类需求的同时，避免对后代发展构成潜在威胁。

低碳经济作为可持续发展理论的具体实践路径，其健康发展得益于碳审计的有效实施。第一，碳审计的出发点和最终归宿都是推动社会经济的可持续进步。第二，碳审计根植于可持续发展的经济增长模型，可以高效助推经济的长久发展。因此，可持续发展理论是碳审计坚实的理论支撑与基础。

2.2.2 企业社会责任理论

企业社会责任由英国学者欧利文·谢尔顿于 1924 年首次提出，强调企业经营应满足产业内外不同角色的需求。时任联合国秘书长安南在 1999 年的世界经济论坛上提出了“全球契约”，该计划致力于提升企业在履行社会责任时的公民意识，并首次提出在企业运营的宏观与微观层面实现社会责任的有效融合。该理论主张，企业不应片面追求利润最大化，更应注重人的价值，并将其融入生产过程中，同时积极履行对顾客、环境和社会的责任。因此，企业履行社会责任不仅是一种社会行为，也是一种经济行为，是推动企业持续发展的内在动力。企业只有在社会责任、经济责任和环境责任之间找到平衡，才能赢得社会的认可和尊重、塑造出良好的利益相关者形象，进而为企业发展创造有利的社会环境。

与经济责任不同，企业社会责任强调企业对社会和公众所应承担的责任与义务，并对所有利益相关者负责。在追求经济效益的同时，企业不可避免地会对环境造成一定的负面影响，并产生了大量的碳污染。因此，企业应当对其碳排放行为承担相应的社会责任，采取切实有效的措施来优化碳排放行为，降低碳排放量。本文基于对西部矿业相关数据的深入分析，构建了一套有针对性的碳审计评价指标体系，并通过实施一系列保障措施，推动西部矿业更好地履行其社会责任。

2.2.3 受托环境责任理论

受托环境责任理论是由受托经济责任理论演变而来，二者都根植于委托和受托的关系之中。随着环境问题日益加剧，受托经济责任的范围越来越广，其在环境领域的应用不断深化，最终形成了受托环境责任。在这一理论中，社会公众是最终的委托人，而政府及相关审计机构则扮演着受托人的角色。由于环境具有负外部性，企业在利用空气、水等自然资源时往往无所顾忌，这导致环境问题愈发严重，大气污染不断加剧，而最终承受这一负面影响的主体是社会公众。当社会公众意识到环境问题的严重性时，为维护自身环境权益，便会通过委托代理的方式参与环境管理，从而在一定程度上推动了环境的优化管理。

碳审计是受托环境责任理论的产物，其需求随着该理论的发展而日趋增大。在受托环境责任理论的指导下，碳审计清晰地界定了委托人与受托人的角色。社

会公众作为委托人，将审查与监督政府及企事业单位碳排放情况的任务，委托给政府及相关审计机构。这些受托机构需严格履行职责，提出有效的整改建议，以满足社会公众对环境质量的期望与需求。

尽管我国的《环境保护法》明确了公共部门在环境保护方面的职责，但环保责任并不仅由政府承担，企业作为环境资源的利用者和潜在破坏者，特别是一些高污染或对环境破坏力强的企业，同样应肩负起保护环境的重任。有色金属行业历来与环境污染紧密相连，其高污染特性尤为显著。因此，基于受托环境责任理论，构建有色金属企业的碳审计评价指标体系显得十分必要。为确保受托人的环境利益得到有效保护，在设计有色金属企业碳审计评价指标体系的保障措施时，还提出了相关建议来维护受托人的环境权益。

3 西部矿业碳审计现状分析

3.1 案例企业背景

3.1.1 公司简介

西部矿业是一家位于我国西部的大型矿业上市公司，其核心业务聚焦于矿产资源的综合开发。公司由西部矿业集团有限公司作为主要发起人，于 2000 年 12 月正式成立，总部位于青海西宁，科研技术开发中心坐落于北京，投融资与贸易中心设在上海，注册资本为 23.83 亿元，于 2007 年 7 月 12 日在上海证券交易所挂牌上市。2013 年，西部矿业以其 200.35 亿元的销售收入，荣登中国企业 500 强榜单的第 331 位，成为青海唯一一家连续五年跻身于中国 500 强的企业。

公司范围横跨 11 个省市，拥有超过 30 家的分子公司，主要从事基本金属的采选、冶炼和贸易业务，涵盖铜、铅、锌、镍及铁等多种金属资源。随着规模的逐步扩大，西部矿业构建了一个以矿产资源开发为核心，金融贸易板块迭加的多元化经营布局。其中，矿山与冶炼板块作为传统业务领域，稳固了企业的根基。此外，西部矿业与西矿集团合资成立了控股子公司西矿财务，旨在打造金融板块，以支持企业的金融活动。但由于子公司成立时间尚短，其金融板块的发展仍处于初级阶段，需要进一步完善与提升。

截至 2022 年末，公司共持有探矿权 7 项，涉及总面积 70.71 平方公里；采矿权共计 13 项，覆盖面积 62.82 平方公里。在有色金属资源方面，公司保有铜金属资源储量达 624.77 万吨，铅金属 161.57 万吨，锌金属 284.37 万吨。在贵金属资源领域，银资源储量高达 2119.86 吨。此外，黑色金属资源中，铁矿石储量达到 2.61 亿吨。公司资产规模达到 528.17 亿元，实现营业收入 397.62 亿元。

公司坚持贯彻“生态优先、绿色发展、节能减排、造福社会”的理念，通过升级技术装备，全面优化了环保节能的生产流程。同时，公司通过构建循环生产管理框架，推动了矿产资源的科学开发，促进了能源的高效节约利用，实现了水资源的循环利用和固体废弃物的资源化再利用，旨在打造一带一路上的有色金属行业领军企业，积极推行和实施循环经济发展模式。

西部矿业内设有健全的内部机构体系，包括股东大会下设的监事会、董事会和六大委员会，共同负责企业重大事项的监督和表决。此外，公司还设立了财务管理部等 12 个部门，这些部门职责清晰、协同工作且相互制衡，为公司的高效运转和任务落实提供了坚实的组织保障。公司内部机构设置图如图 3.1 所示。

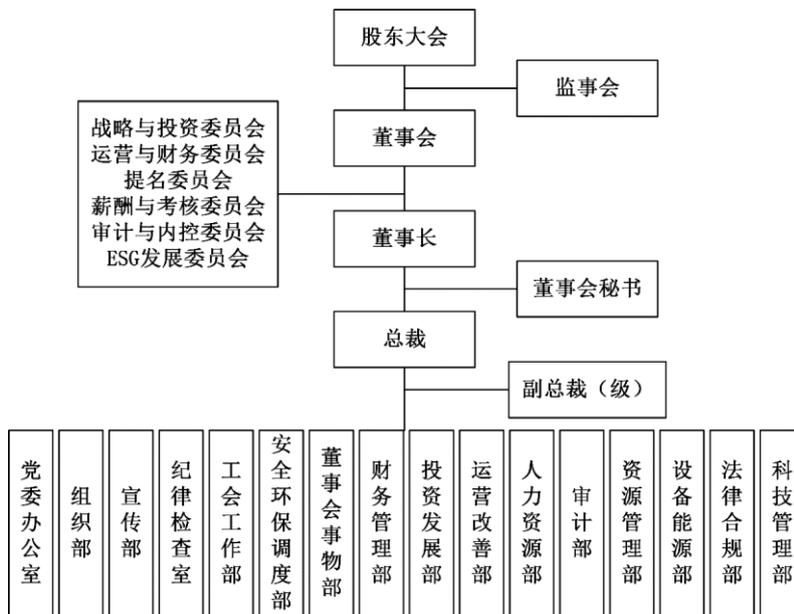


图 3.1 西部矿业内部机构设置图

3.1.2 社会责任履行情况

在社会责任的履行方面，西部矿业始终坚持“生态优先、绿色发展、节能减排、造福社会”的环境管理思想，积极推行可持续发展模式。公司坚定执行低碳经济战略，并持续加大节能减排力度，力求打造成为“绿色环保型”企业的典范。

作为青海省最大的国有有色金属企业，西部矿业在履行社会责任方面作出了积极努力。公司致力于推动工业生产与环境保护的和谐共生，并为此积极研发新技术，最终在清洁生产领域取得了重大突破，如其下子公司青海镁业的盐湖提锂专利，不仅实现了盐湖资源的有效分离，还获得了高附加值的材料，为企业的可持续发展与环境保护贡献了重要力量。

公司持续加强绿色矿山和绿色工厂的建设，对边坡治理投入了大量精力，积极推进矿区环境的综合治理，稳步增加绿化覆盖面，共实现绿化面积 90.8 万 m²，边坡治理 11.06 万 m³，环境综合整治 57.76 万 m³。同时，公司完善了环境污染

防治设施，确保矿山选矿废水全部实现循环利用，冶炼单位的污染物排放也得到了有效控制。这些举措标志着公司在绿色矿山和工厂建设方面取得了成效。此外，公司还新增了西部铜业这一国家级绿色工厂，青海湘和也成功完成了青海省“无废城市”试点单位的创建工作，进一步推动了公司绿色发展的步伐。

通过不断优化绿色矿山和绿色工厂建设指标，在平衡管控废石的基础上拓展废石及尾矿的利用途径，持续提升固体废物综合利用率，哈密博伦矿业首次利用选矿尾砂进行矿山环境的恢复治理工作。此外，肃北博伦矿业在废石处理方面取得了显著成效，实现了废石不出坑，为矿山环境的可持续发展做出了积极贡献。

综上所述，西部矿业作为国有高耗能企业，积极投身于各项环保工作和碳减排技术的更新，致力于推动国家低碳经济发展，并切实履行节能减排的社会责任。为我国构建绿色、低碳、可持续发展的工业经济体系提供了有力支撑，也为同行业的其他企业提供了宝贵的借鉴经验。

3.2 企业碳排放状况分析

有色金属企业属于流程化的生产企业，其内部各环节紧密相连、相互支撑。通常而言，化工工艺操作通过设定和调整一系列参数来执行，而整个生产流程则依赖于对信息的精准调控，以确保生产过程的及时性、连续性与可靠性。特别是在投入多个原料的情况下，每一道工序都有可能产出多样化的联产品和中间产品，有时一道工序会同时产出多个副产品，或某些产品需要进一步经过冷却、压缩等后续处理。这些复杂的生产过程无形中加大了有色金属行业的能源消耗。

因此，审计人员可以借助碳足迹追踪技术，对企业碳排放风险进行监控与识别。有色金属企业的结构复杂性和生产过程中碳排放源的多样性，导致碳足迹追踪过程显得尤为复杂。为了准确分析碳排放轨迹，需要深入了解企业的污染物产出情况和碳排放来源。

3.2.1 污染物产出分析

原材料的生产过程涉及化石燃料及其他碳氢化化合物的使用。经过多道工序的投入与产出，部分生产原料得以转化为可循环利用的材料，而另一部分则作为外销产品流通至市场。同时，还有部分原料转化为相关副产品或被排放至环境中，

释放出二氧化碳、甲烷等温室气体。在整个生产过程中，每个环节都会产生温室气体，并以污染物的形式向外排放^[67]。

有色金属企业的能源消耗结构中，煤炭作为传统能源形式一直占据主导地位。但其燃烧过程会产生大量二氧化碳，导致温室气体的大量排放，对环境造成污染。另外，由于有色金属企业产品种类繁多，针对新产品的技术开发尚显不足，资源优化配置能力有限，这进一步加剧了废弃物排放量的增加，对环境产生了不可忽视的污染。一般而言，有色金属企业的污染物包括废气、废水以及各类固体废物（包含对环境不友好的废弃物）。具体的污染产物分析如图 3.2 所示。

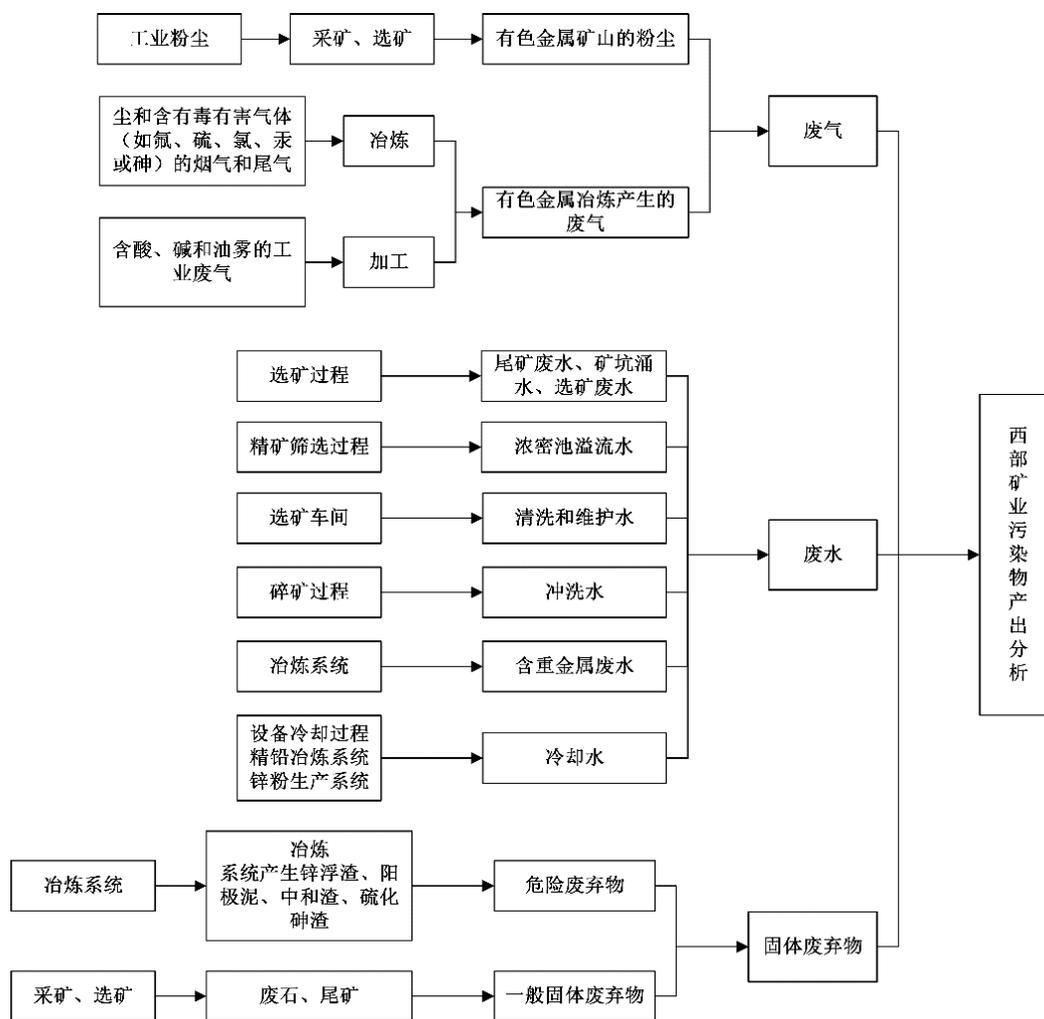


图 3.2 西部矿业污染物产出分析

3.2.2 碳排放足迹分析

为了进一步了解西部矿业的碳排放现状,生产过程的直接原料消耗和部分辅助反应物制备,都是碳足迹的关键^[69]。

企业的碳排放总量,是指在生产过程中,各类温室气体排放折算为二氧化碳当量后的总和。主要包括以下几个方面:(1)生产过程中,使用焦炭、蓝炭、无烟煤、天然气等能源产品作为还原剂时,会不可避免地导致二氧化碳的排放。

(2)煤炭、燃气、柴油等燃料在各类固定或移动燃烧装置(如锅炉、窑炉、内燃机等)中充分燃烧时,会产生二氧化碳。(3)使用石灰石(主要成分为碳酸钙)或白云石(主要成分为碳酸镁和碳酸钙)作为生产原料或脱硫剂,这些碳酸盐在分解反应过程中会产生二氧化碳。(4)企业购入的电力和热力,其对应的生产环节也会产生二氧化碳排放。具体分类如图 3.3 所示:

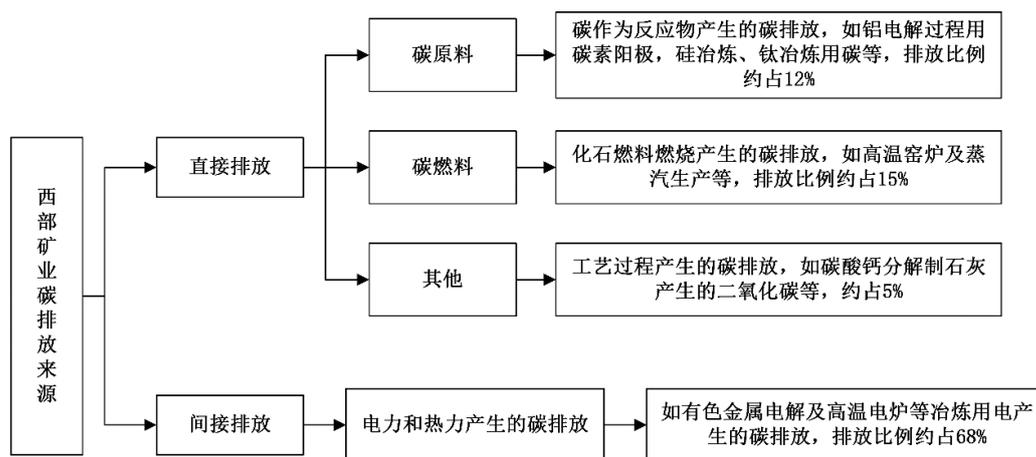


图 3.3 西部矿业碳排放来源

3.3 企业碳排放量核算

3.3.1 核算方法

当前,对于碳排放量的核算,尚未形成统一的标准化方法。在国际层面,存在三种被广泛接受和应用的方法:

(1) 生命周期评价法(LCA法)

为了准确衡量企业在生产或服务流程中的投入与产出所引发的总碳排放量,

需要从四个维度进行核算：即目标与范围的界定、清单分析、影响评价及结果分析。这需要深入分析产品从生产到使用、废弃、回收直至再利用的每一个阶段，以揭示其可能引发的能源浪费、资源消耗及污染物排放等问题。运用“自上而下”的计算模型，通过汇总产品或服务在其全生命周期内的所有数据，得出总的碳排放量，从而实现对产品整个生命周期碳足迹的准确分析。

鉴于全生命周期分析过程的复杂性，其所需的数据与资料相对丰富。因此，这种方法更适合于生产或服务单一型企业，以确保计算结果的完整性和针对性。

（2）投入产出法（I-O 法）

投入产出法由美国经济学家 Wassily • Leontief 于 1936 年首次提出，该方法的显著优势在于能够利用不同行业或部门的温室气体排放数据，计算整个生产过程中各行业或部门在为用户生产产品或提供服务时产生的温室气体排放总量。

投入产出法以整个经济系统为核算范围测算碳排放量，利用投入产出表中的数据，能够全面评估经济波动对环境造成的直接及间接影响，并进一步揭示产品与投入之间的物理转化关系。该方法也存在一定的局限：一、投入产出的时间节点难以精确把握，可能导致计算过程中出现误差；二、需要收集大量的流入与流出截点数据，操作起来具有一定的困难。

（3）IPCC 法

1988 年，世界气象组织（WMO）和联合国环境规划署（UNEP）共同设立了联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC），该委员会致力于研究气候变化的科学知识，分析其对经济的影响，并探讨适应气候变化不利影响的策略。

目前，IPCC 法已成为应用最为广泛的分析手段，它全面涵盖了几乎所有的温室气体排放源，并详细阐述了排放原理和计算方法。但其缺陷在于，该方法对于消费过程中的隐性碳排放则无法进行测算。

综上所述，生命周期评价法的执行过程需要投入大量的人力和物力资源，成本相对较高。投入产出法的计算容易出现误差，且操作起来困难。而 IPCC 法则全面考虑了各种可能的排放情况，提供了明确的核算方法，更适合从生产视角深入探究某一特定领域的直接碳足迹。因此，本文采用 IPCC 法所提供的能源碳排放因子核算碳排放量。

3.3.2 核算边界的识别

西部矿业温室气体排放的核算边界为：燃料燃烧产生的二氧化碳排放、能源作为原材料用途的排放（冶金还原剂消耗所导致的二氧化碳排放）、过程排放（企业消耗的各种碳酸盐以及草酸发生分解反应导致的排放量）、企业购入电力、热力产生的二氧化碳排放。具体核算边界如图 3.4 所示。

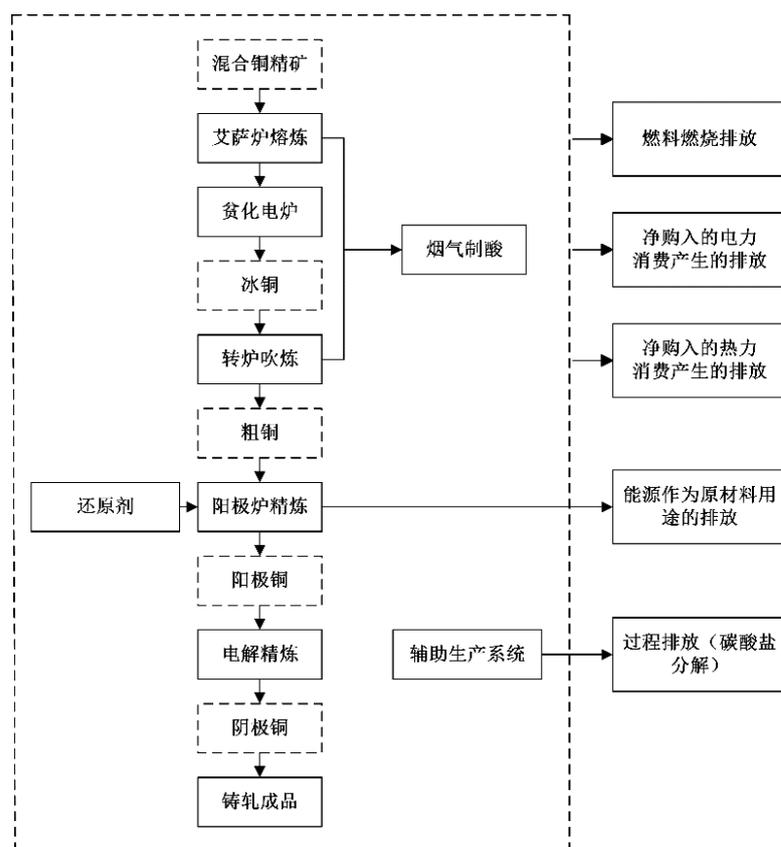


图 3.4 西部矿业碳排放核算边界

(1) 燃料燃烧排放：主要涉及煤炭、燃气、柴油等能源物质。这些燃料在固定或移动燃烧设备（诸如锅炉、窑炉以及内燃机等）中，通过与氧气的充分反应，产生了二氧化碳排放。

(2) 能源作为原材料用途的排放：主要源于冶金过程中还原剂的消耗，进而引发二氧化碳的排放。在冶金工业中，常用的还原剂包括焦炭、蓝炭、无烟煤以及天然气等。

(3) 过程排放：主要源于企业在生产过程中消耗的各种碳酸盐以及草酸，这些物质在特定的条件下发生分解反应，从而产生二氧化碳排放。

(4) 净购入电力产生的排放：主要源自电力的生产过程中所使用的能源及其产生的温室气体。

(5) 净购入热力产生的排放：主要源于热力生产过程中所使用的能源及其所伴随的温室气体。

3.3.3 排放因子的识别

西部矿业的生产过程复杂且流程长，在计算其碳排放时，所使用的碳排放因子会随生产方式的不同而发生变化。因此，在选取碳排放因子时，应特别关注其适配性和可靠性。国际权威机构针对有色金属的碳排放因子给出了不同的参考值，本文基于收集的相关数据，将碳排放的产生进行了分类，包括燃料燃烧排放、能源作为原材料用途的排放、过程排放以及净购入使用的电力和热力产生的排放。有助于准确地评估西部矿业的碳排放情况，为后续的减排工作提供有力支撑。

计算公式如下：

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{原材料}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电}} + E_{\text{热}}$$

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i)$$

$$\text{其中：} AD_i = NCV_i \times FC_i$$

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12}$$

$$E_{\text{原材料}} = AD_{\text{还原剂}} \times EF_{\text{还原剂}}$$

$$E_{\text{过程}} = E_{\text{草酸}} + \sum E_{\text{碳酸盐}} = AD_{\text{草酸}} \times EF_{\text{草酸}} + \sum (AD_{\text{碳酸盐}} \times EF_{\text{碳酸盐}})$$

$$E_{\text{电}} = AD_{\text{电}} \times EF_{\text{电}}$$

$$E_{\text{热}} = AD_{\text{热}} \times EF_{\text{热}}$$

其计算公式中各要素的定义、缺省值部分截取和排放因子部分截取如表

3.1、3.2 和 3.3 所示：

表 3.1 公式中各要素定义

要素	定义	单位
E	温室气体排放总量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 燃烧	燃料燃烧排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 原材料	能源作为原材料用途的排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 过程	过程排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 电	购入的电力消费的排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 热	购入的热力消费的排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
AD _i	核算年度内第 i 种化石燃料的活动数据	百万千焦 (GJ)
EF _i	第 i 种化石燃料的二氧化碳排放因子	吨二氧化碳/百万千焦 (tCO ₂ /GJ)
NCV _i	核算年度内第 i 种燃料的平均低位发热量	固体或液体燃料: 百万千焦/吨 (GJ/t) 气体燃料: 百万千焦/万立方米 (GJ/万 Nm ³)
FC _i	核算年度内第 i 种燃料的净消耗量	固体或液体燃料: 吨 (t) 气体燃料: 万立方米 (万 Nm ³)
CC _i	第 i 种燃料的单位热值含碳量	吨碳/百万千焦 (tC/GJ)
OF _i	第 i 种化石燃料的碳氧化率	/
44/12	二氧化碳与碳的分子量之比	/
AD 还原剂	核算年度内能源产品作为还原剂的消耗量	固体或液体能源: 吨 (t) 气体能源: 万立方米 (万 Nm ³)
EF 还原剂	能源产品作为还原剂用途的二氧化碳排放因子	吨二氧化碳 / 吨还原剂 (tCO ₂ / t 还原剂)
E 草酸	草酸分解所导致的过程排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
E 碳酸盐	碳酸盐分解所导致的过程排放量	吨二氧化碳 (tCO ₂)
AD 草酸	核算年度内的草酸消耗量	吨 (t)
AD 碳酸盐	核算年度内某种碳酸盐的消耗量	吨 (t)
EF 草酸	草酸分解的二氧化碳排放因子	吨二氧化碳 / 吨草酸 (tCO ₂ / t 草酸)
EF 碳酸盐	碳酸盐分解的二氧化碳排放因子	吨二氧化碳 / 吨碳酸盐 (tCO ₂ / t 碳酸盐)
AD 电	核算年度内的净外购电量	兆瓦时 (MWh)
EF 电	区域电网年平均供电排放因子	为吨二氧化碳/兆瓦时 (tCO ₂ /MWh)
AD 热	核算年度内的净外购热力	百万千焦 (GJ)
EF 热	年平均供热排放因子	为吨二氧化碳/百万千焦 (tCO ₂ /GJ)

表 3.2 缺省值部分截取

资源类型	低位发热量 (单位: 固液体 吉焦/吨、气体吉 焦/万 m ³)	单位热值含碳量 (单位: 吨碳/吉焦)	碳氧化率
原煤	19.57	0.0261	93%
烟煤	19.57	0.0261	93%
无烟煤	26.7	0.0274	94%
汽油	43.07	0.0189	98%
柴油	42.652	0.0202	98%
焦炭	28.435	0.0295	93%
天然气	389.31	0.0153	99%

资料来源:《其他有色金属冶炼和压延加工业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》

表 3.3 排放因子部分截取

资源类型	排放因子	单位
纯碱	0.41	吨 CO ₂ /吨碳酸盐
碳酸锶	0.30	吨 CO ₂ /吨碳酸盐
焦炭	2.862	吨 CO ₂ /吨还原剂
无烟煤	1.924	吨 CO ₂ /吨还原剂
净购电力	0.5703	吨 CO ₂ /MWh
净购蒸汽	0.11	吨 CO ₂ /吨吉焦

资料来源:二氧化碳排放因子取自《其他有色金属冶炼和压延加工业企业温室气体排放核算方法与报告指南》、电网排放因子取自《关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》中的公布值、蒸汽排放因子取自年平均供热二氧化碳排放因子。

3.3.4 碳排放量核算

表 3.4 西部矿业主要资源消耗量

生产环节	资源类型	2020 年	2021 年	2022 年	单位
燃料燃烧	原煤	59668.00	63775.00	63584.00	吨 (t)
	烟煤	/	31751.92	42558.00	吨 (t)
	无烟煤	/	86021.00	70890.00	吨 (t)
	汽油	314.63	296.37	256.00	吨 (t)
	柴油	3356.85	19200.38	26167.00	吨 (t)
	焦炭	13485.00	37.00	19.00	吨 (t)
	天然气	4201.00	3970.59	3195.49	万立方米 (Wm ³)

续表 3.4 西部矿业主要资源消耗量

生产环节	资源类型	2020 年	2021 年	2022 年	单位
碳酸盐分解	纯碱	/	510.36	566.93	吨 (t)
	碳酸锶	/	255.00	184.76	吨 (t)
	石灰石	/	14216.00	/	吨 (t)
能源作为还原剂	焦炭	/	7923.00	7525.00	吨 (t)
	无烟煤	/	17660.00	20109.00	吨 (t)
	净购电力	161319.28	2116819.40	208114.08	兆瓦时 (MWh)
	净购蒸汽	/	87538.00	73384.44	吉焦 (GJ)

资料来源：西部矿业环境报告

将数值代入公式后可得 2022 年的碳排放量：

$$E_{\text{原煤}} = 63584 \times 19.57 \times 0.0261 \times 93\% \times \frac{44}{12} = 110747.40$$

$$E_{\text{烟煤}} = 42558 \times 19.57 \times 0.0261 \times 93\% \times \frac{44}{12} = 74125.38$$

$$E_{\text{无烟煤}} = 70890 \times 26.7 \times 0.0274 \times 94\% \times \frac{44}{12} = 178750.01$$

$$E_{\text{汽油}} = 256 \times 43.07 \times 0.0189 \times 98\% \times \frac{44}{12} = 748.82$$

$$E_{\text{柴油}} = 26167 \times 42.652 \times 0.0202 \times 98\% \times \frac{44}{12} = 81011.5$$

$$E_{\text{焦炭}} = 19 \times 28.435 \times 0.0295 \times 93\% \times \frac{44}{12} = 54.35$$

$$E_{\text{天然气}} = 3195.49 \times 389.31 \times 0.0153 \times 99\% \times \frac{44}{12} = 69092.52$$

$$E_{\text{纯碱}} = 566.93 \times 0.41 = 232.44$$

$$E_{\text{碳酸锶}} = 184.76 \times 0.30 = 55.43$$

$$E_{\text{原材料}} = 7525 \times 2.862 + 20109 \times 1.924 = 60226.27$$

$$E_{\text{电}} = 2081140.8 \times 0.5703 = 1186874.6$$

$$E_{\text{热}} = 73384.44 \times 0.11 = 8072.29$$

$$\text{相加可得：} E_{\text{总}} = 1769991.01$$

同理计算可得 2021 年和 2020 年的碳排放量为 1831823.52 吨和 866700 吨。

3.3.5 计算碳配额

碳配额是指，经过政府权威机构的认定，赋予企业在特定时间段内可向大气中释放的温室气体（折算为二氧化碳当量）的最大额度。此举旨在缓解达成 2030 年“碳达峰”目标所面临的压力，国家特别针对重点排放单位发放了允许排放的额度，以激励企业积极投身于节能减排，并推动产业结构实现绿色低碳的转型。

在核算碳配额时，我国主要运用基准线法、历史排放法及历史强度法。鉴于有色金属企业多采用历史强度法作为主要分配方式，本文亦选取历史强度法，将西部矿业的产品产量及其历史排放量数据作为依据，计算其碳配额。计算公式为：

$$\text{企业年度碳配额} = \sum (\text{历史强度基数} \times \text{年度产量})$$

其中，历史强度基数为三年中碳排放强度的加权平均值。

表 3.5 西部矿业碳排放情况和产品产量

		2022 年	2021 年	2020 年
碳排放总量	吨	1769991.01	1831823.52	866700
主要产品年产量	吨	2795028.98	2923648.265	2854478.04
每吨产品碳排放总量	吨	0.63	0.627	0.304

数据来源：西部矿业 2020、2021、2022 年报

代入公式可得：

西部矿业 2022 年碳配额为 1454346.746 吨。

根据计算得出的西部矿业二氧化碳排放量与碳配额，可以计算出，西部矿业 2022 年碳配额的结余为 315644.264 吨。

3.4 碳减排成本收益分析

3.4.1 碳减排成本分析

(1) 环境管理费用

环境管理费用涵盖多个方面，其中环境保护业务费与环境监测费用占据重要地位。环境保护业务费主要用于支持企业的环保活动和项目，确保其符合环境法

规的要求；而环境监测费用则用于支持对环境质量的持续监测和评估，以确保环境状况的稳定和可持续发展。

2022 年西部矿业的环境管理费用主要用于环境监测、环保培训、土壤调查、环境责任保险、伴生矿物核辐射监测、环境质量体系认证、环评报告编制、污染物处置和突发环境事件应急预案编制等项目，共计投入 4162 万元。

（2）污染治理费用

污染治理费用涵盖防治与消除污染所投入的多项治理成本，其中包括建设用以处理废气、废水和固体废弃物等“三废”设施的费用。这些费用的投入旨在实现环境质量的改善与污染的有效控制，是环保工作中不可或缺的一环。

2022 年西部矿业的污染治理费用主要用于防腐维修、矿区环境治理、渣场治理、破碎除尘、尾矿库扬尘治理、地表塌陷区治理、矿区绿化及排土场治理、尾矿库事故池建设、土壤详查管控措施落实、绿色矿山建设、厂区道路硬化、采空区治理、废石堆场治理、老选厂拆除及尾矿转移、废机油库房改造、余热锅炉改造和厂区环境综合治理项目及环保除尘袋等项目，共计投入 13292.5 万元。

（3）环保设施运行费用

环保设施运行费用涵盖了设施购置、运转以及维护保养等多个环节的开销。这些费用确保了环保设施的正常运作与效能发挥，进而实现环境保护的目标。

2022 年西部矿业的环保设施运行费用主要用于大气处理环保设施运行、水处理环保设施运行等项目，共计投入 12052.24 万元。

综上，2022 年西部矿业用于对环境保护基础设施的建设、环境治理费用共计约 29506.7 万元。

3.4.2 碳减排收益分析

在决定是否进行碳减排时，企业首要考虑的是碳减排的潜在收益性。目前，我国企业的碳减排收益主要源自出售剩余的碳排放权配额。通过这一途径，企业能够将剩余的配额转化为实际的经济效益，从而进一步激励其积极参与碳减排活动。这种机制不仅有助于推动企业的环保行动，还能够促进碳市场的健康发展。

根据上文计算可知，2022 年西部矿业共产生 61832.51 吨的碳减排量，按照 2022 年我国碳市场成交均价 55.3 元/吨，可以得到碳减排收益为 343.19 万元。

3.4.3 碳减排成本收益对比分析

在推进碳减排的过程中，企业应依据成本效益原则，权衡碳减排的成本与预期收益，选取对企业最有利的方案。当企业实施减排措施产生的成本超过其从减排中获得的收益时，可以选择购买碳资产。否则，企业应积极探索并实施高效的内部减排策略。通过对比分析这两种方式，企业应做出符合自身利益的明智决策。

通过上文分析发现，西部矿业 2022 年碳减排成本是高于碳减排收益的。导致碳减排成本过高的根本原因在于污染治理和环保设施运行成本高昂。污染治理是一个长期过程，难以在短期内实现显著盈利；而环保设施的运行也需要时间的积累来逐渐扩大其经济效益。鉴于企业在未来一段时间内将持续产生碳减排，此举措对企业而言具有长远且可持续的潜力。因此，尽管当前成本较高，但从长远来看，碳减排对企业仍具有积极意义。

从可持续发展的角度看，西部矿业若不加强碳减排措施的实施力度，将面临超出碳排放配额的风险。届时，企业需通过额外购买碳排放权的方式弥补缺口，这无疑会加剧未来碳减排的挑战。此外，随着碳配额交易价格的上涨及政府对碳减排要求的日益严格，碳排放权缺口将进一步扩大，从而导致更高的成本支出。

3.5 西部矿业碳审计评价现状分析

由于企业以利润最大化为核心追求，短期内碳审计不仅无法直接为企业带来利润增长，反而可能增加环境管理成本。因此，当前企业的内部审计部门更倾向于将审计工作的重心聚焦于财务审计，对内部碳审计的积极性相对不足。

通过上述分析发现，西部矿业碳审计存在的问题下：

（1）忽视碳减排潜在收益

西部矿业对碳减排的认识还不够成熟，未能有效地将碳减排与企业收益相结合，导致企业仅被动地履行减排义务，并承担由此产生的成本，缺乏主动减排的动力。以 2022 年为例，西部矿业在完成配额清缴后，还存在碳配额结余，若西部矿业结合自身碳排放状况以及碳配额分配的实际情况，及时深入了解碳交易市场的动态，并据此制定妥善的计划、采取针对性的措施，将能更有效地发挥企业优势，为企业带来更为可观的经济效益。

(2) 控排能力欠缺

对于企业而言，能源的选择和运用对其排放控制能力具有关键性影响。表 3.6 列出了不同能源的热值及二氧化碳排放系数。根据表格数据，可以观察到煤炭和焦炭的热值相对较低，而二氧化碳排放系数却偏高。这就意味着，在同等产量的情况下，热值更低的能源将会导致更高的碳排放量。因此，在提升企业控排能力的过程中，应充分考虑不同能源的特性和影响。

表 3.6 能源热值和二氧化碳排放系数

能源种类	煤炭	焦炭	汽油	煤油	柴油	原油	天然气
热值 (kcal/kg)	5000	6800	10300	10300	10200	10000	9310 (kcal/m ³)
CO ₂ 排放系数	94.6	107.1	69.3	71.9	74.1	73.3	56.1

资料来源：碳排放权交易网

当前，西部矿业的能源构成显得不尽合理，主要依赖原煤、焦炭和柴油等高热值能源。这些能源的共同特点是具有较高的二氧化碳排放系数，与汽油、天然气等热值较低且更环保的可替代能源相比，其清洁度不足。因此，西部矿业当前能源使用模式导致了更高的二氧化碳排放量，进而提升了实现碳减排目标的成本。

(3) 碳减排成本过高

企业作为追求利润的主体，其盈利性对于持续稳健的发展至关重要。因此，成本和收益始终是企业在运营过程中必须权衡的关键因素。特别是在全球倡导环境友好型发展的当下，企业在实施碳减排策略时，必须审慎考虑其可能带来的经济影响。自我国碳市场建立以来，尽管节能减排的呼声持续高涨，但相关技术的发展仍显滞后，难以满足企业碳减排的迫切需求，导致企业在减排过程中面临较高的成本挑战。为了维持正常产量且响应节能减排的号召，企业亟需对技术设备进行改造升级。然而，当前我国的节能减排设备与技术价格昂贵，这无疑增加了企业的经济负担，使得企业在推进技术升级的过程中需承担更大的成本，甚至可能短期内影响企业的利润表现。

4 基于 DSR 模型的西部矿业碳审计评价指标体系构建

4.1 碳审计评价指标体系构建基础

4.1.1 碳审计评价指标体系构建原则

一个科学且合理的指标体系对于评价研究对象至关重要。本文致力于构建一套全面反映研究对象整体状况的综合评价指标体系,该体系不仅能够深入揭示各层面的代表性意义,还能有效解释这些层面间的相互关联与制约关系。在设计这一评价指标体系时,既要确保其既具备普遍适用性,又要紧密围绕低碳的本质特征,充分凸显评价对象的独特属性。通过多维度衡量特定特征的大小,能够更加准确地把握研究对象的特点,进而为决策提供科学依据。在设定具体评价指标时,本文遵循了以下原则:

(1) 定量定性相结合原则

定量分析,旨在深入剖析研究对象内部成分间的数量关系,以及性质间的量化联系。此外,它还能对多个对象间的性质、特征及其相互关系进行比较分析,最终的研究结果以“数量”的形式呈现和描述,从而为研究提供更为精确和客观的研究视角。而定性分析则依赖于审计人员的实践经验、主观判断及分析能力,以推测和判断审计标的的性质及变化趋势。

若完全依赖定量方法进行评估时,会存在某些指标难以用数值准确量化;反之,若仅使用定性方法,则难以确保审计评价的客观性和科学性,同时也会受到其他主观因素的干扰。为此,应遵循定量与定性相结合的原则,以定性评价为起点,借助定量评价加以深化,以期最大限度地提升评价的客观性与科学性。针对本文所研究的西部矿业碳审计,其内容不仅涵盖能源消费量和碳排放量等具体数据,还涉及一系列无法以数值直接体现的低碳管理指标。为确保研究的准确性和全面性,在构建碳审计评价指标体系时,遵循了定量与定性分析相结合的原则。

(2) 动态分析与静态分析相结合原则

在进行碳审计时,所面临的决策问题复杂且多变。因此,在构建碳审计评价指标体系时,需要考虑其动态性特征,即所构建的指标体系既要能够反映企业当

前的碳排放状况,又要能够揭示其变化趋势。只有着眼于未来可持续发展趋势与公司价值增值,才能对碳审计进行有效评价^[29]。

西部矿业碳审计是一个长期过程,需要贯彻动态化原则,既要审视特定时点的碳审计状况,又要追踪其发展历程与变化。因此,在构建评价指标体系时,既要包含反映企业碳排放状况的静态指标,还需包含展现其变化趋势的动态指标。具体而言,西部矿业碳审计评价指标应涵盖总量指标、相对指标等静态数据,以及增长率等动态数据。这样的评价指标体系才算完整,才能对企业进行全面评价。

(3) 系统性和层次性相结合的原则

系统性和层次性之间是辩证统一的关系,二者相互作用、相互影响。在 DSR 模型的三类指标体系中,社会、经济和环境子系统紧密相连,彼此间的互动构成了一个复杂的整体。为了全面评估和反映各个子系统的多个层面,特别是社会、经济、环境在低碳审计过程中的相互影响及其与企业的联系,设计了各类指标。这些指标经过有机整合,共同构成了一个系统性的指标体系,从而能够更全面地展现各个子系统在低碳审计中的整体表现。同时,为确保指标体系的层次性,各类指标要有代表性的指标来表示。本文中西部矿业碳审计评价指标体系作为一个完整的系统,其构建需从多个部分进行,涵盖能源消费量、碳排放量、低碳管理等多个层面,通过逐层的数据收集与分析,体现指标体系的系统性和层次性。

(4) 科学性与可行性相结合原则

科学性,是指决策活动要在科学理论的指导下进行。一方面是所选的指标必须概念科学、含义明确,计算范围要准确无误,同时保持口径的一致性;另一方面是评价结果的精确度和信息的完整性,以及评价结果的准确性和可靠性。可行性是构建评价指标体系时的重要考虑因素,它要求选取的数据易于获取,计算简便,同时避免指标过多、交叉和重复,以便于利用实际数据结果对企业碳减排情况进行有效评价。因此,将可行性与科学性相结合,不仅能使评价体系更易于实际操作,还能确保其兼具科学合理的原则,从而提供更准确、更全面的决策支持。

4.1.2 DSR 模型

DSR 模型，即“驱动力—状态—响应”模型（Driving—State—Response Model），是一种用于研究“环境—社会—经济”三大系统协调发展环境管理体系，是 PSR 模型^①的进一步发展。与 PSR 模型相比，DSR 模型将压力因素优化为驱动力因素，不仅更准确地涵盖社会和经济两项指标，也更有效地揭示了环境问题对社会与经济的影响，以及社会和经济在可持续发展中的积极与消极作用。因此，在研究可持续发展指标体系构建时，DSR 模型备受各领域的青睐。该模型由驱动力、状态和响应指标构成，其中：驱动力指标主要关注人类生活中造成环境无法可持续发展的因素，如生产方式、经济制度、消费模式等，反映的是社会与经济系统推动环境系统正向发展的内在动力。状态指标侧重于描述人类生活对环境造成的实际影响，如气候变迁、大气污染、土地贫瘠等，揭示的是社会和经济系统对环境系统造成影响时，环境系统所呈现的状态。响应指标则关注人类为了保护生态环境、实现可持续发展所采取的应对措施和转变，如清洁能源的推广、绿色环保的宣传、资源的回收再利用等，反映的是社会和经济系统应对自身对环境系统造成影响后所采取的积极措施。在构建西部矿业碳审计评价指标体系时，引入 DSR 模型能够更全面地分析碳审计工作的各个方面，为决策提供更为深入和准确的依据。DSR 模型具体如图 4.1 所示：

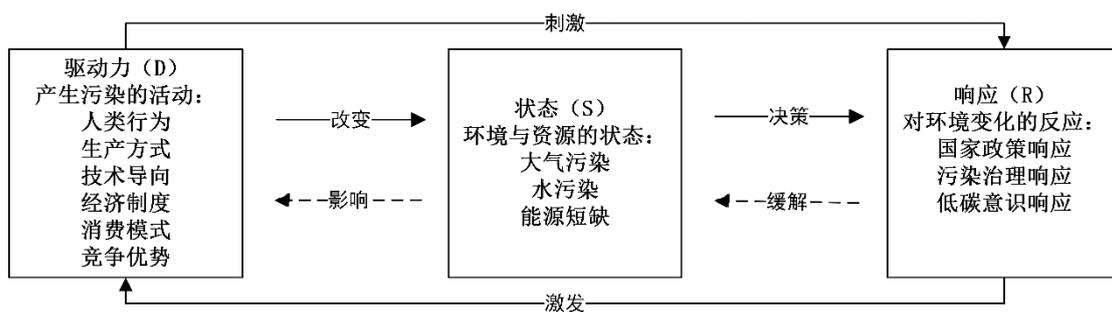


图 4.1 DSR 模型

^① PSR 模型 (Press-State-Response Model) 即“压力—状态—响应”模型。

4.2 碳审计评价指标的选取

4.2.1 碳审计评价指标层次结构模型建立

本文结合西部矿业的碳排放特点,运用 DSR 模型,并参照层次分析法,从目标层、准则层和指标层对碳审计评价指标进行针对性的设计和选取。现对各指标层进行分析:第一层是目标层,位于结构最顶端,仅包含一个核心元素,体现碳审计工作的总体目标,即全面评估西部矿业的碳审计工作,衡量其在实际操作中的效果。第二层是准则层,它是对目标层的具体化,反映了目标层实现的具体过程与标准。基于 DSR 模型,这一层包含了驱动力、状态和响应三个因素,它们共同构成了西部矿业碳审计评价指标体系的基本框架。第三层是指标层,它是对准则层的进一步细化,构成了西部矿业碳审计评价指标体系的具体组成部分。本文通过驱动力、状态、响应这三个方面来细分,确定出若干个具体的评价指标,以便更精确地反映西部矿业在碳审计方面的实际情况。具体如图 4.2 所示:

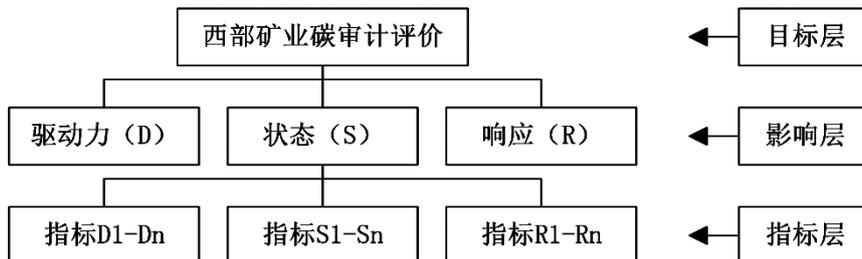


图 4.2 西部矿业碳审计评价指标体系框架结构图

4.2.2 碳审计评价指标初始设置

为了客观评价西部矿业碳审计实施情况,本文在遵循构建原则的前提下,选取了一系列具有代表性的评价指标。首先,鉴于当前关于有色金属企业碳审计评价指标构建的研究尚显不足,本文在指标选取过程中主要借鉴了前人在碳审计评价指标构建时所采用的指标,经过系统整理,筛选出了一系列常用的指标。其次,为了增强指标选取的科学性,本文还参考了相关政策文件,如《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》和《大气污染物综合排放标准》等,基于这些政策文件设计了一部分评价指标。最后,为了体现西部矿业的碳排放特性,本文还查阅了

有色金属企业碳排放的相关数据,并据此制定了一些专属于有色金属企业的特色指标。通过上述步骤,本文旨在构建一个既全面又具针对性的评价指标体系,以准确反映西部矿业碳审计的实施状况。

第一,驱动力指标的选取。西部矿业属于典型的传统重工业企业,其生产过程中直接或间接地产生温室气体和其他污染物的情况较为普遍。驱动力指标旨在揭示西部矿业在追求经济效益的过程中对环境所带来的负面影响。指标主要包括资产总额(D1)、营业总收入(D2)、企业纳税总额(D3)、股东权益合计(D4)、投资收益率(D5)、有色金属资源产量(D6)。

第二,状态指标的选取。状态指标是西部矿业在日常生产活动中对环境影响的具体体现,主要包括温室气体的排放量、能源消耗状况以及降碳减排政策执行情况。这些指标能够全面反映企业在生产过程中对环境的潜在威胁,为评估企业的环保绩效提供重要依据。指标主要包括温室气体排放总量(S1)、原煤消耗量(S2)、电力消耗量(S3)、汽油消耗量(S4)、柴油消耗量(S5)、水资源消耗量(S6)、氮氧化物排放量(S7)、二氧化硫排放量(S8)、颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量(S9)、硫酸雾排放量(S10)、生活垃圾排放量(S11)、单位产值能耗(S12)、废石储量(S13)、是否采用清洁生产(S14)、是否遵守法律法规(S15)。

第三,响应指标的选取。响应指标反映了西部矿业面对因追求经济利益造成自然资源和生态环境变化时所采取的应对措施,具体表现为技术的创新升级、污染物排放的有效控制、环保资金的专项投入以及环保理念的宣传推广等方面。指标主要包括温室气体减排量(R1)、原煤消耗量同比减少率(R2)、电力消耗量同比减少率(R3)、汽油消耗量同比减少率(R4)、柴油消耗量同比减少率(R5)、水资源消耗量同比减少率(R6)、氮氧化物排放量同比减少率(R7)、二氧化硫排放量同比减少率(R8)、颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量同比减少率(R9)、硫酸雾排放量同比减少率(R10)、生活垃圾排放量同比减少率(R11)、尾矿综合利用率(R12)、废石综合利用率(R13)、绿电交易占比(R14)、环境污染事故发生数量(R15)、环保总投入(R16)、新增绿化面积(R17)、符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比(R18)、防治污染设施的建设和运行情况(R19)、是否开展低碳教育和宣传(R20)。

具体如表 4.1 所示,其中:“+”表示正向指标,“-”表示负向指标。

表 4.1 西部矿业碳审计评价指标初始设置

目标层	准则层	指标层	指标性质
西部矿业碳审计评价指标	驱动力指标 (D)	D1 资产总额	定量指标 (+)
		D2 营业总收入	定量指标 (+)
		D3 企业纳税总额	定量指标 (+)
		D4 股东权益合计	定量指标 (+)
		D5 投资收益率	定量指标 (+)
		D6 有色金属资源产量	定量指标 (+)
	状态指标 (S)	S1 温室气体排放总量	定量指标 (-)
		S2 原煤消耗量	定量指标 (-)
		S3 电力消耗量	定量指标 (-)
		S4 汽油消耗量	定量指标 (-)
		S5 柴油消耗量	定量指标 (-)
		S6 水资源消耗量	定量指标 (-)
		S7 氮氧化物排放量	定量指标 (-)
		S8 二氧化硫排放量	定量指标 (-)
		S9 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	定量指标 (-)
		S10 硫酸雾排放量	定量指标 (-)
		S11 生活垃圾排放量	定量指标 (-)
		S12 单位产值能耗	定量指标 (+)
		S13 废石储量	定量指标 (+)
		S14 是否采用清洁生产	定性指标 (+)
S15 是否遵守法律法规	定性指标 (+)		
响应指标 (R)	R1 温室气体减排量	定量指标 (+)	
	R2 原煤消耗量同比减少率	定量指标 (+)	
	R3 电力消耗量同比减少率	定量指标 (+)	
	R4 汽油消耗量同比减少率	定量指标 (+)	
	R5 柴油消耗量同比减少率	定量指标 (+)	
	R6 水资源消耗量同比减少率	定量指标 (+)	
	R7 氮氧化物排放量同比减少率	定量指标 (+)	
	R8 二氧化硫排放量同比减少率	定量指标 (+)	
	R9 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量同比减少率	定量指标 (+)	
	R10 硫酸雾排放量同比减少率	定量指标 (+)	
R11 工业固体废弃物排放量同比减少率	定量指标 (+)		
R12 尾矿综合利用率	定量指标 (+)		
R13 废石综合利用率	定量指标 (+)		
R14 “三同时”执行率	定量指标 (+)		
R15 环境污染事故发生数量	定量指标 (+)		
R16 环保总投入	定量指标 (+)		
R17 新增绿化面积	定量指标 (+)		
R18 符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	定量指标 (+)		
R19 防治污染设施的建设和运行情况	定性指标 (+)		
R20 是否开展低碳教育和宣传	定性指标 (+)		

4.2.3 碳审计评价指标筛选

在评价指标的初始设置中,共设计了6个驱动力指标、15个状态指标、20个响应指标,共计41个指标。一方面指标设置偏多,另一方面为了更具针对性和代表性,本文将上述41个指标设计成问卷调查的形式,向相关专家征询意见,将问卷调查和专家调查相结合对41个指标进行重要性判断,从而剔除与西部矿业碳审计评价关联度不高的指标。利用Likert五级评分法^①,问卷调查对各个指标按照其重要性进行了五个层级的划分,即:很重要、重要、一般、不重要和很不重要,分别用数字1、2、3、4和5表示。通过这种量化方式,我们得以更精确地评估各项指标的重要性,从而确保研究结果的客观性和准确性。通过纸质样本、电子问卷等形式发放给11位有色金属专业人员、3位碳审计专家和4位环保专业人员,此外,为了更综合的对西部矿业碳审计评价指标进行选取,选取了2位对有色金属、碳审计和及环保均有了解的研究生对指标进行评分。根据10位专家和2位研究生的打分结果,对于通过“SPSSAU”软件计算每项指标在分别去掉最低分、最高分后的平均值和标准差,其中:平均值是为了观测指标的集中度;标准差是为了观测指标的离散程度。对平均值小于3或标准差大于1的进行删减,最终剔除16个指标,余下3个驱动力指标、10个状态指标、12个响应指标,共计25个指标。下表4.2为中标有“*”的指标即为删除的指标。问卷调查情况见文章最后附录A。

表 4.2 指标筛选

名称	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差
D1 资产总额	20	1	5	3.9	0.988
D2 营业总收入	20	3	5	4.25	0.716
D3 企业纳税总额*	20	2	5	3.85	1.119
D4 股东权益合计*	20	1	5	4.35	1.04
D5 投资收益率*	20	2	5	4.05	1.05
D6 有色金属资源产量	20	2	5	4.05	0.999
S1 温室气体排放总量	20	3	5	4.15	0.813
S2 原煤消耗量*	20	1	5	3.85	1.04

^① Likert 五级评分法又称为李克特量表法,1967年由心理学家莱克特(Rensis Likert)首先提出,并被广泛应用于社会科学领域的量化研究中。该方法通过构建一系列描述某一观点或行为情况的陈述句,要求被调查者在五个等级中选择一个最符合自己看法的答案,从而获取他们对该观点或行为的态度和评价。

续表 4.2 指标筛选

名称	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差
S3 电力消耗量	20	1	5	3.95	0.999
S4 汽油消耗量	20	2	5	3.8	0.834
S5 柴油消耗量	20	2	5	4.25	0.786
S6 水资源消耗量	20	1	5	3.95	0.999
S7 氮氧化物排放量*	20	1	5	3.9	1.294
S8 二氧化硫排放量	20	2	5	3.85	0.933
S9 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	20	1	5	3.9	0.852
S10 硫酸雾排放量	20	1	5	3.4	0.995
S11 生活垃圾排放量*	20	1	5	3.85	1.182
S12 单位产值能耗	20	3	5	3.95	0.887
S13 废石储量*	20	1	5	4.2	1.056
S14 是否采用清洁生产	20	2	5	4	0.918
S15 是否遵守法律法规*	20	1	5	3.85	1.226
R1 温室气体减排量	20	2	5	4.15	0.933
R2 原煤消耗量同比减少率	20	2	5	4.15	0.988
R3 电力消耗量同比减少率	20	3	5	4	0.562
R4 汽油消耗量同比减少率	20	1	5	3.9	0.968
R5 柴油消耗量同比减少率	20	2	5	4	0.918
R6 水资源消耗量同比减少率*	20	1	5	3.95	1.099
R7 氮氧化物排放量同比减少率	20	2	5	4.2	0.894
R8 二氧化硫排放量同比减少率*	20	1	5	4.05	1.099
R9 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量同比减少率*	20	1	5	4.1	1.119
R10 硫酸雾排放量同比减少率*	20	1	5	4.1	1.165
R11 工业固体废弃物排放量同比减少率	20	2	5	4.05	0.945
R12 尾矿综合利用率	20	2	5	3.8	0.894
R13 废石综合利用率*	20	1	5	4.05	1.099
R14 “三同时”执行率	20	2	5	4.05	0.999
R15 环境污染事故发生数量*	20	1	5	4.15	1.137
R16 环保总投入	20	1	5	3.8	1.005
R17 新增绿化面积*	20	2	5	3.8	0.894
R18 符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	20	3	5	3.8	0.696
R19 是否开展低碳教育和宣传	20	2	5	4.05	0.826
R20 防治污染设施的建设和运行情况*	20	1	5	4	1.124

数据来源：SPSSAU 软件运算

通过上述对西部矿业碳审计评价指标的设计筛选，最终确定的西部矿业碳审计评价指标体系如下表 4.3 所示：

表 4.3 筛选后的指标

目标层	准则层	指标层	指标性质	
西部矿业碳审计评价指标	驱动力指标 (D)	D1 资产总额	定量指标 (+)	
		D2 营业总收入	定量指标 (+)	
		D3 有色金属资源产量	定量指标 (+)	
		S1 温室气体排放总量	定量指标 (-)	
		S2 电力消耗量	定量指标 (-)	
	状态指标 (S)	S3 汽油消耗量	定量指标 (-)	
		S4 柴油消耗量	定量指标 (-)	
		S5 水资源消耗量	定量指标 (-)	
		S6 二氧化硫排放量	定量指标 (-)	
		S7 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	定量指标 (-)	
		S8 硫酸雾排放量	定量指标 (-)	
		S9 单位产值能耗	定量指标 (+)	
		S10 是否采用清洁生产	定性指标 (+)	
		响应指标 (R)	R1 温室气体减排量	定量指标 (+)
			R2 原煤消耗量同比减少率	定量指标 (+)
	R3 电力消耗量同比减少率		定量指标 (+)	
	R4 汽油消耗量同比减少率		定量指标 (+)	
	R5 柴油消耗量同比减少率		定量指标 (+)	
	R6 氮氧化物排放量同比减少率		定量指标 (+)	
	R7 工业固体废弃物排放量同比减少率		定量指标 (+)	
	R8 尾矿综合利用率	定量指标 (+)		
	R9 “三同时”执行率	定量指标 (+)		
	R10 环保总投入	定量指标 (+)		
	R11 符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	定量指标 (+)		
	R12 是否开展低碳教育和宣传	定性指标 (+)		

4.3 基于层次分析法的指标权重确定

4.3.1 层次分析法

层次分析法，简称 AHP (Analytic Hierarchy Process)，是运筹学中的一种决策方法，旨在应对多目标决策难题。该方法的最大特点是结合了定性与定量分析方法，包含目标、准则、方案三个层次，能够将复杂的目标问题分解为若干个子目标。通过运用专家调查法，对子目标进行两两比较，进而确定各层次中指标的个别权重与总体权重，本质上属于主观赋权的范畴。

本文选择采用层次分析法的原因主要有以下几点：第一，层次分析法通过对比不同指标的重要性，可以降低计算过程中的误差，从而提高分析的准确性；第二，层次分析法简单直观，通过将复杂的指标进行划分，增强了各指标间的逻辑连贯性；第三，层次分析法结合了定性与定量方法，通过量化处理定性指标，使其与定量指标具有可比性，从而确保了评价结果的客观性和具体性。综上所述，层次分析法在本文中的应用具有显著的优势和合理性。

4.3.2 层次分析法实施步骤

二十世纪七十年代，美国国防部启动了“应急计划”研究，旨在优化工业部门的电力分配。在这一背景下，美国著名运筹学家、匹兹堡大学的萨蒂教授首次提出了层次分析法。鉴于碳审计评价涉及的目标因素和准则较多，层次分析法为其提供了有效手段，有助于将问题结构化和层次化^[56]。通过对企业碳排放系统进行深入分析，建立碳审计分析的层次结构，对于解决实际问题具有重要意义^[22]。实施步骤包括：第一，将碳审计系统按顺序划分成不同的等级层次；第二，通过计算判断矩阵的特征向量，确定各层次因素对上一层次某元素的相对优先权重；第三，通过加权计算求出最底层因素对系统总目标的重要性程度，得出最终权重，实现对决策问题的量化判断^[45]。

(1) 建立层次结构模型

层次分析法包含目标、准则和方案三个层次结构。其中，目标层位于最高层次，是层次分析法所追求的核心目标，通常仅包含一个元素，用 A 表示目标层；准则层处于中间位置，起到衔接上下层的作用，是对目标层元素的分解和概括，用 B 表示准则层，用 (B1, B2...Bm) 表示准则层具体元素；方案层是最低层次，是准则层的进一步细化，用 C 表示方案层，用 (C1, C2...Cn) 表示方案层的具体元素。层次分析法的基本结构如表 3.4 所示。在构建西部矿业碳审计评价指标体系时，参考了 DSR 模型。其中，目标层是构建西部矿业碳审计评价指标体系；准则层包括驱动力、状态及响应三方面；方案层为驱动力、状态和响应因素下的具体指标 D1—Dn、S1—Sn 和 R1—Rn。具体如图 4.4 所示。

表 4.4 层次分析法的基本结构

层次结构	元素标识	说明
目标层	A	最高层，一个元素，决策目标。
准则层	B1, B2, B3……Bm	中间层，多个元素，决策目标的分解与概括。
方案层	C1, C2, C3……Cn	最低层，多个基本元素，准则层元素的再分解。

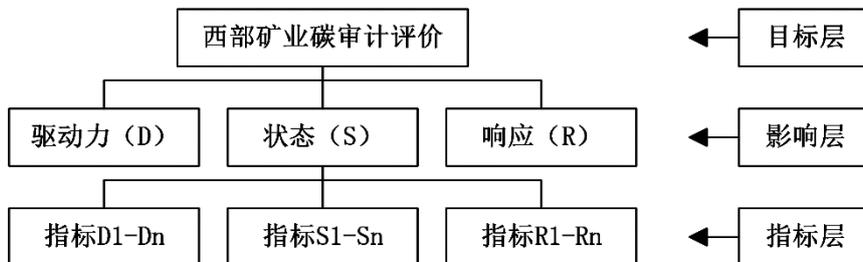


图 4.3 层次结构模型

(2) 构造判断矩阵

根据建立好的层次结构，采用专家调查法，向专家发放问卷，将准则层和方案层中的各个元素的重要性进行两两比较，构造出如表 4.5 所示的 C=(C_{ij}) 判断矩阵。

表 4.5 判断矩阵

B _k	C ₁	C ₂	C ₃	……	C _n
C ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	……	C _{1n}
C ₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	……	C _{2n}
C ₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	……	C _{3n}
……	……	……	……	……	……
C _n	C _{n1}	C _{n2}	C _{n3}	……	C _{nn}

判断矩阵 C=(C_{ij}) 有如下几个特征：

- ①C_{ij}>0
- ②C_{ij}=1/C_{ji} (i=j)
- ③C_{ii}=1 (i, j=1, 2, …n)

采用九级标度法将同一层次的两个不同元素的重要性做比较，目的在于将层次中的元素进行量化，将元素 i 到 j 分为 9 个等级。具体见表 4.6。

表 4.6 九级标度法

序号	重要等级	Cij 赋值
1	元素 i 和元素 j 同等重要	1
2	元素 i 和元素 j 稍微重要	3
3	元素 i 和元素 j 明显重要	5
4	元素 i 和元素 j 强烈重要	7
5	元素 i 和元素 j 极端重要	9
6	元素 i 和元素 j 稍不重要	1/3
7	元素 i 和元素 j 明显不重要	1/5
8	元素 i 和元素 j 强烈不重要	1/7
9	元素 i 和元素 j 极端不重要	1/9
10	两相邻判断中间值	2 (1/2), 4 (1/4), 6 (1/6), 8 (1/8)

(3) 运用和法计算指标权重

①将判断矩阵的每一列正规化:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

正规化后, 每一列元素之和都是 1。

②将各列正规化后的判断矩阵按行相加:

$$V_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

③对向量 $V=[V_1, V_2, \dots, V_n]^T$ 进行正规化:

$$V_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

得到的向量 $[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 即为权重向量。

④计算最大特征根:

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

其中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量。

(4) 一致性检验

鉴于专家对因素进行两两比较时可能产生逻辑不一致, 因此进行层次单排序时, 为确保结果准确, 需要进行一致性检验。通过对一致性指标 CI 进行计算来检验判断矩阵是否具有有一致性。

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (n \text{ 为判断矩阵的阶数})$$

一致性检验，旨在验证构造的矩阵是否具有逻辑性。只有构造的矩阵逻辑严密，依照其计算得出的结果才具备实际价值。判断矩阵一致性检验通过与否，关键在于 CR 值的计算与判定，具体计算公式如下：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

其中：CR 代表随机一致性比率，是衡量判断矩阵权重数据合理性的关键指标。CI 代表一致性指标，R 代表平均随机一致性指标。CR 的数值与判断矩阵的一致性成反比，即 CR 值越小，矩阵的一致性表现越佳。当 CR=0 时，意味着矩阵达到完全一致性，从而顺利通过一致性检验。当 $0 < CR < 0.1$ 时，表明矩阵为满意一致性矩阵，同样通过检验，此时利用层次分析法确定指标权重是可靠的。当 $CR > 0.1$ 时，意味着矩阵一致性不足，所确定的指标权重存在较大误差，与实际状况不符。在此情况下，需重新构造矩阵，直至满足一致性指标检验的要求。

随机一致性指标均值 RI 是指：对于 $n=3-10$ 阶的矩阵，通过计算可以分别求得它们对应的 RI 值。对于 1-2 阶的正互反矩阵，由于其总是表现为一致阵的特性，因此它们的 RI 值自然被设定为 0。1-10 阶判断矩阵的 RI 值如表 4.7 所示：

表 4.7 矩阵阶数为 1-12 的 RI 取值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

(5) 层次单排序和总排序

层次单排序旨在根据获得的判断矩阵，确定对于上一层某特定因素，本层次相关因素的重要性排序权值。通过计算相对重要性矩阵来确定最大特征向量，并据此求得碳审计指标的权重 W_i ，接着利用层次单排序对这些权重进行有序排列，进而深入分析碳审计各层次指标的重要性程度，最后进行整体的综合排序^[25]。

4.3.3 碳审计评价指标权重的获取

(1) 构造判断矩阵

根据上文构建的西部矿业碳审计评价指标体系，将各个指标设计为九级标度法调查表（具体见本文附录 B），通过专家调查法向 4 位环保专家、3 位有色金属

业专家和 3 位碳审计专家，共计 10 位专家发送纸质或电子调查表，由于文章篇幅限制，无法将各位专家意见一一计算说明。最后通过汇总分析各位专家意见，计算几何平均值，构建判断矩阵。西部矿业碳审计评价指标各层级判断矩阵如下列各表所示（数据来源：由 SPSSAU 软件计算所得）：

表 4.8 西部矿业准则层指标判断矩阵

西部矿业碳审计评价指标	D	S	R
D	1	1/8	7
S	8	1	1/6
R	1/7	6	1

（其中：D：驱动力；R：状态；S：响应。）

表 4.9 西部矿业驱动力指标判断矩阵

驱动力指标	D1	D2	D3
D1	1	4	1/7
D2	1/4	1	6
D3	7	1/6	1

（其中：D1：资产总额；D2：营业总收入；D3：有色金属资源产量。）

表 4.10 西部矿业状态指标判断矩阵

状态指标	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	1	1/6	6	1/8	1/7	7	8	1/7	1/6	7
S2	6	1	1/6	7	1/6	7	1/6	7	6	1/6
S3	1/6	6	1	8	1/7	1/7	1/8	7	6	7
S4	8	1/7	1/8	1	1/7	7	1/6	8	7	1/7
S5	7	6	7	7	1	1/6	6	7	1/6	1/7
S6	1/7	1/7	7	1/7	6	1	6	1/7	1/7	7
S7	1/8	6	8	6	1/6	1/6	1	1/6	7	1/6
S8	7	1/7	1/7	1/8	1/7	7	6	1	6	1/6
S9	6	1/6	1/6	1/7	6	7	1/7	1/6	1	1/6
S10	1/7	6	1/7	7	7	1/7	6	6	6	1

（其中：S1：温室气体排放总量；S2：电力消耗量；S3：汽油消耗量；S4：柴油消耗量；S5：水资源消耗量；S6：二氧化硫排放量；S7：颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量；S8：硫酸雾排放量；S9：单位产值能耗；S10：是否采用清洁生产。）

表 4.11 西部矿业响应指标判断矩阵

响应指标	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1	1	7	8	1/8	6	6	7	1/6	1/7	1/7	1/6	1/7
R2	1/7	1	1/5	7	7	1/7	1/7	6	6	7	1/7	1/6
R3	1/8	5	1	1/7	1/7	1/7	1/8	7	7	6	8	6
R4	8	1/7	7	1	1/7	7	5	1/5	1/5	6	1/7	1/7
R5	1/6	1/7	7	7	1	6	7	1/7	7	1/5	8	1/7
R6	1/6	7	7	1/7	1/6	1	1/7	7	1/6	1/8	8	6
R7	1/7	7	8	1/5	1/7	7	1	1/7	8	1/7	1/6	8
R8	6	1/6	1/7	5	7	1/7	7	1	1/8	7	1/7	1/6
R9	7	1/6	1/7	5	1/7	6	1/8	8	1	1/8	1/6	7
R10	7	1/7	1/6	1/6	5	8	7	1/7	8	1	7	7
R11	6	7	1/8	7	1/8	1/8	6	7	6	1/7	1	7
R12	7	6	1/6	7	7	1/6	1/8	6	1/7	1/7	1/7	1

(其中：R1：温室气体减排量；R2：原煤消耗量同比减少率；R3：电力消耗量同比减少率；R4：汽油消耗量同比减少率；R5：柴油消耗量同比减少率；R6：氮氧化物排放量同比减少率；R7：工业固体废弃物排放量同比减少率；R8：尾矿综合利用率；R9：“三同时”执行率；R10：环保总投入；R11：符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比；R12：是否开展低碳教育和宣传。)

(2) 各指标权重的确定

表 4.12 集结后的西部矿业准则层指标判断矩阵

西部矿业碳审计评价指标	D	S	R	Wi
D	1	1/6	1/7	0.0694
S	6	1	1/3	0.2981
R	7	3	1	0.6325

数据来源：SPSSAU 软件运算

最大特征值 $\lambda_{max}=3.1013$

对判断矩阵进行列归一化处理

特征向量 $W_i=(0.0694, 0.2981, 0.6325)^T$

$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(3.1013-3)/2=0.0507$

查表得 $RI=0.52$

$CR=CI/RI=0.0507/0.52=0.0974<0.1$

故判断矩阵通过一致性检测，矩阵向量所得权重有效。

表 4.13 集结后的西部矿业驱动力指标判断矩阵

驱动力指标	D1	D2	D3	Wi
D1	1	1/4	1/7	0.0778
D2	4	1	1/4	0.2344
D3	7	4	1	0.6877

数据来源：SPSSAU 软件运算

最大特征值 $\lambda_{\max}=3.0775$

对判断矩阵进行列归一化处理

特征向量 $W_2=(0.0778, 0.2344, 0.6877)^T$

$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0775-3)/2=0.0388$

查表得 $RI=0.52$

$CR=CI/RI=0.0388/0.52=0.0745<0.1$

故判断矩阵通过一致性检测，矩阵向量所得权重有效。

表 4.14 集结后的西部矿业状态指标判断矩阵

状态指标	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Wi
S1	1	1/4	1/4	1/2	1/7	3	2	1/7	2	1/3	0.0407
S2	4	1	1/5	4	1/6	7	2	1/3	6	1/5	0.0834
S3	4	5	1	8	1/3	7	3	3	6	2	0.1901
S4	2	1/4	1/8	1	1/7	4	1/2	1/3	2	1/7	0.0385
S5	7	6	3	7	1	6	6	4	6	1	0.2524
S6	1/3	1/7	1/7	1/4	1/6	1	1	1/7	1/2	1/6	0.021
S7	1/2	1/2	1/3	2	1/6	1	1	1/6	3	1/6	0.0383
S8	7	3	1/3	3	1/4	7	6	1	6	1/3	0.1268
S9	1/2	1/6	1/6	1/2	1/6	2	1/3	1/6	1	1/6	0.0242
S10	3	5	1/2	7	1	6	6	3	6	1	0.1846

数据来源：SPSSAU 软件运算

最大特征值 $\lambda_{\max}=11.3345$

对判断矩阵进行列归一化处理

特征向量 $W_3=(0.0407, 0.0834, 0.1901, 0.0385, 0.2524, 0.021, 0.0383, 0.1268,$

$0.0242, 0.1846)^T$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = (11.3345 - 10) / 9 = 0.1483$$

查表得 $RI = 1.49$

$$CR = CI / RI = 0.0372 / 1.49 = 0.0995 < 0.1$$

故判断矩阵通过一致性检测，矩阵向量所得权重有效。

表 4.15 集结后的西部矿业响应指标判断矩阵

响应指标	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	Wi
R1	1	5	1	1/2	1/2	2	2	2	1/3	1/7	1/6	1/2	0.049
R2	1/5	1	1/5	1/2	1/7	1/5	1/5	1/2	1/3	1/7	1/7	1/5	0.0158
R3	1	5	1	1	1/5	2	3	6	2	1/2	1	3	0.0879
R4	2	2	1	1	1/7	2	2	3	1/3	1/3	1/7	1/2	0.0501
R5	2	7	5	7	1	6	7	4	5	1/2	2	2	0.1865
R6	1/2	5	1/2	1/2	1/6	1	1/2	3	1/3	1/8	1/2	2	0.0423
R7	1/2	5	1/3	1/2	1/7	2	1	1	1	1/7	1/6	1	0.0376
R8	1/2	2	1/6	1/3	1/4	1/3	1	1	1/5	1/5	1/7	1/3	0.0238
R9	3	3	1/2	3	1/5	3	1	5	1	1/6	1/4	2	0.0681
R10	7	7	2	3	2	8	7	5	6	1	3	7	0.2342
R11	6	7	1	7	1/2	2	6	7	4	1/3	1	6	0.1545
R12	2	5	1/3	2	1/2	1/2	1	3	0.5	1/7	1/6	1	0.0502

数据来源：SPSSAU 软件运算

最大特征值 $\lambda_{\max} = 13.6577$

对判断矩阵进行列归一化处理

特征向量 $W_4 = (0.049, 0.0158, 0.0879, 0.0501, 0.1865, 0.0423, 0.0376, 0.0238, 0.0681, 0.2342, 0.1545, 0.0502)^T$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = (13.6577 - 12) / 11 = 0.1507$$

查表得 $RI = 1.54$

$$CR = CI / RI = 0.1507 / 1.54 = 0.0979 < 0.1$$

故判断矩阵通过一致性检测，矩阵向量所得权重有效。

(3) 综合权重的确定

依据各层级指标所赋予的权重，进一步计算出综合权重。这一计算过程具体涉及将指标层中各项指标的权重与其对应的上一层准则层中相应指标的权重相乘，从而得出综合权重。具体权重见表 4.16。

表 4.16 西部矿业碳审计指标权重

准则层及权重	权重	指标层	权重
驱动力指标 (D)	0.0694	D1 资产总额	0.0054
		D2 营业总收入	0.0163
		D3 有色金属资源产量	0.0477
		S1 温室气体排放总量	0.0121
		S2 电力消耗量	0.0249
		S3 汽油消耗量	0.0567
		S4 柴油消耗量	0.0115
		S5 水资源消耗量	0.0753
		S6 二氧化硫排放量	0.0063
		S7 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	0.0114
状态指标 (S)	0.2981	S8 硫酸雾排放量	0.0378
		S9 单位产值能耗	0.0072
		S10 是否采用清洁生产	0.055
		R1 温室气体减排量	0.031
		R2 原煤消耗量同比减少率	0.01
		R3 电力消耗量同比减少率	0.0556
		R4 汽油消耗量同比减少率	0.0317
		R5 柴油消耗量同比减少率	0.1179
		R6 氮氧化物排放量同比减少率	0.0268
		响应指标 (R)	0.6325
R8 尾矿综合利用率	0.0151		
R9 “三同时”执行率	0.0431		
R10 环保总投入	0.1481		
R11 符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	0.0977		
R12 是否开展低碳教育和宣传	0.0317		

数据来源: SPSSAU 软件运算

表 4.17 总排序权重

备选方案	权重
R10 环保总投入	0.1481
R5 柴油消耗量同比减少率	0.1179
R11 经认证符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	0.0977
S5 水资源消耗量	0.0753
S3 汽油消耗量	0.0567
R3 电力消耗量同比减少率	0.0556
S10 是否采用清洁生产	0.055
D3 有色金属资源产量	0.0477
R9 “三同时”执行率	0.0431

续表 4.17 总排序权重

备选方案	权重
S8 硫酸雾排放量	0.0378
R12 是否开展低碳教育和宣传	0.0317
R4 汽油消耗量同比减少率	0.0317
R1 温室气体减排量	0.031
R6 氮氧化物排放量同比减少率	0.0268
S2 电力消耗量	0.0249
R7 工业固体废弃物排放量同比减少率	0.0238
D2 营业总收入	0.0163
R8 尾矿综合利用率	0.0151
S1 温室气体排放总量	0.0121
S4 柴油消耗量	0.0115
S7 颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	0.0114
R2 原煤消耗量同比减少率	0.01
S9 单位产值能耗	0.0072
S6 二氧化硫排放量	0.0063
D1 资产总额	0.0054

数据来源：SPSSAU 软件运算

5 碳审计评价指标体系在西部矿业中的应用

本章基于模糊综合评价模型，对西部矿业进行了实证分析。依据相关标准对指标进行了评分，进而计算出模糊综合评价值（分数）。这一分析不仅为西部矿业指明了碳审计持续改进和优化的方向，同时也为其政策制定提供了有价值的参考依据。最后，综合分析了西部矿业的碳审计评价结果，旨在更深入地了解有色金属企业的碳审计现状，并验证了碳审计评价指标体系的实用性和可靠性。

5.1 碳审计评价方法

5.1.1 评价指标数据来源

通过西部矿业的财务年报、环境报告和 ESG 报告，其 2020—2022 年相关原始数据汇总归纳如表 5.1 所示。

表 5.1 西部矿业碳审计指标相关数据

指标	单位	2022 年	2021 年	2020 年
资产总额	人民币亿元	528.17	499.48	489.77
营业总收入	人民币亿元	397.62	384.99	286.74
有色金属资源产量	万吨	279.50	292.36	285.45
温室气体排放总量	万吨	177	183.18	86.67
电力消耗量	万千瓦时	208114	211681	161319
汽油消耗量	吨	256	296	315
柴油消耗量	吨	26167	19200	3357
水资源消耗量	万立方米	2251.51	2807.08	1829.85
二氧化硫排放量	吨	289.69	429.2	437.86
颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	吨	426.54	584.84	174.19
硫酸雾排放量	吨	44.45	12.38	30.74
单位产值能耗（千克标煤/吨）	吨	274.10	243.37	240.12
是否采用清洁生产		是	是	是
温室气体减排量	%	0.03	1.11	15.50
原煤消耗量同比减少率	%	0.01	2.52	1.39
电力消耗量同比减少率	%	0.07	0.38	0.23
汽油消耗量同比减少率	%	0.67	0.06	0.02
柴油消耗量同比减少率	%	0.36	4.72	0.03
氮氧化物排放量同比减少率	%	0.0625	0.34	0.0076
工业固体废弃物排放量同比减少率	%	0.77	0.99	34.66

续表 5.1 西部矿业碳审计指标相关数据

指标	单位	2022 年	2021 年	2020 年
尾矿综合利用率	%	6.63	5.95	N/A
“三同时”执行率	%	100	100	100
环保总投入	万元	29506.70	88970.37	65081.35
经认证符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	%	72.96	79.06	58.30
是否开展低碳教育和宣传		是	是	是

数据来源：西部矿业 2020—2022 年报、环境报告及 ESG 报告。

5.1.2 评分标准

在评价西部矿业的碳排放水平时，需要首先明确各项指标的理想值，以此作为审计标准值。本文构建的指标体系中各指标的审计标准值，主要来源于条例标准、行业标准及目标标准。

(1) 条例标准。为了提升评价工作的科学性与严谨性，在设置各指标的审计标准值时，力求严格遵循相关条例文件的规定。在国内层面，参考了《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国节约能源法》（2018 年修正）、《中华人民共和国清洁生产促进法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《大气污染物综合排放标准》、《“十四五”节能减排综合工作方案》以及《有色金属工业污染物排放系列标准》等条例文件。在国际层面，采纳了国际标准化组织（ISO）发布的《GHG 认证标准》（ISO14064），以及世界可持续发展工商理事会和世界资源研究所（WBCSD/WRI）共同发布的《GHG 协议书：企业核算与报告准则》等国际权威标准。通过参照这些条例文件，旨在确保审计标准值的设置既符合国内外法律法规的要求，又能够真实反映企业的碳排放水平，从而为科学评价提供有力支撑。

(2) 行业标准。鉴于部分指标未被政策文件所涵盖或现有条例标准较为宽松，所以选取了一些行业内的优秀企业作为标杆，以其指标表现作为审计标准值。由于不同指标之间存在较大的差异，很难要求同一企业在所有指标上都达到优秀标准。因此，针对不同指标选取了不同的企业作为行业标杆。一是选择中国铝业，理由是在碳排放强度方面表现突出，2021-2022 年中国铝业连续两年在《中国碳排放强度企业排行》上位列有色金属企业碳排放强度最低。此外，中铝集团连续 3 年荣登有色金属企业营业收入 50 强和海外资产 20 强双榜首，被国资委评为

2022 年度中央企业负责人经营业绩考核 A 级企业，在 49 家 A 级央企中排名第 31 位；连续 16 年入选《财富》世界 500 强，连续 3 年进入前 200 位，连续 5 年获得全球有色金属行业最高信用评级，是我国有色金属行业的龙头企业。综上，中国铝业无论是在企业实力上还是碳减排响应上都处于行业领先水平。二是选择金徽股份，理由是公司在绿色发展方面取得了显著成绩，获得了工信部颁发的“全国首批绿色工厂”、绿色矿山科学技术奖励办公室颁发的“绿色矿山突出贡献单位”、“绿色矿山重大工程一等奖”，并且是有色金属行业绿色发展十大领军企业、自然资源部树立的全国绿色矿山典范企业。

综上所述，通过选取中国铝业和金徽股份作为行业标杆企业，可以更加准确地设定审计标准值，从而更好地评估西部矿业的碳排放水平和绿色发展状况。

(3) 目标标准。鉴于部分指标既缺乏条例的明确规定，也未找到合适的企业作为标杆，或尽管存在条例标杆和行业标杆，但这些标准并不符合案例企业实际的碳排放状况，因此选取了企业在碳排放方面的具体目标作为审计标准值。这一选择旨在更贴近企业实际，确保审计标准的适用性和准确性。具体评分标准如表 5.2 所示：

表 5.2 西部矿业碳审计指标评分标准

评价指标	评价等级				审计标准值来源
	80-100 优秀	60-80 良好	20-60 一般	0-20 较差	
资产总额	50 亿元以上	5 亿元-50 亿元	5000 万元-5 亿元	5000 万元以下	条例标准《大、中、小型工业企业划分标准》
营业总收入	50 亿元以上	5 亿元-50 亿元	5000 万元-5 亿元	5000 万元以下	条例标准《大、中、小型工业企业划分标准》
有色金属资源产量	>300 万吨	200-300 万吨	100-200 万吨	<100 万吨	目标标准
温室气体排放总量	<100 万吨	100-300 万吨	300-500 万吨	>500 万吨	条例标准《中华人民共和国大气污染防治法》
电力消耗量	<10 亿千瓦时	10-20 亿千瓦时	20-30 亿千瓦时	>30 亿千瓦时	行业标杆
汽油消耗量	<100 吨	100-200 吨	200-300 吨	>300 吨	行业标杆
柴油消耗量	<5 万吨	5-10 万吨	10-15 万吨	>15 万吨	行业标杆

续表 5.2 西部矿业碳审计指标评分标准

评价指标	评价等级				审计标准值来源
	80-100 优秀	60-80 良好	20-60 一般	0-20 较差	
水资源消耗量	<1000 万立方米	1000- 2000 万 立方米	2000-300 万立方米	>300 万 立方米	行业标杆
二氧化硫排放量	<100 吨	100-200 吨	200-300 吨	>300 吨	行业标杆
颗粒物含烟尘 及工业粉尘排 放量	<100 吨	100-300 吨	300-500 吨	>500 吨	行业标杆
硫酸雾排放量	<10 吨	10-20 吨	20-30 吨	>30 吨	行业标杆
单位产值能耗 (千克标煤/ 吨)	<100 吨	100-500 吨	500-1000 吨	>1000 吨	条例标准《中华人民共 和国大气节约能源法》
是否采用清洁 生产	已启用清 洁生产机 制,且已 筛选出可 靠的清洁 生产技术	已启用清 洁生产机 制,清洁 生产技术 基本健全	已启用清 洁生产机 制,清洁 生产技术 尚未健全	未开发清 洁生产项 目	条例标准《中华人民共 和国清洁生产促进法》
温室气体减排 量	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
原煤消耗量同 比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
电力消耗量同 比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
汽油消耗量同 比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
柴油消耗量同 比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
氮氧化物排放 量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
工业固体废弃 物排放量同比 减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
尾矿综合利用 率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	行业标准
“三同时”执 行率	100%	50%-100%	30%-50%	<30%	行业标准
环保总投入	5 亿元及 以上	2 亿元-5 亿元	5000 万 元-2 亿 元	5000 万 元以下	行业标准

续表 5.2 西部矿业碳审计指标评分标准

评价指标	评价等级				审计标准值来源
	80-100 优秀	60-80 良好	20-60 一般	0-20 较差	
经认证符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	>50%	30%-50%	0-30%	<0	目标标杆
是否开展低碳教育和宣传	每季度定期培训碳审计人员, 并积极推广碳减排技术	每年定期培训碳审计人员, 并积极推广碳减排技术	每年定期培训碳审计人员, 并尝试开展碳减排项目	每 2-3 年对碳审计人员进行培训	行业标准

5.1.3 评价方法

(1) 碳审计模糊综合评价法的基本原理

构建碳审计评价综合模型及确认企业碳足迹是一项繁琐的工作, 仅凭单一的碳排放指标或碳减排因素, 难以做到全面客观的评价^[46]。因此, 在最终评价阶段, 可以根据层次分析法核心理念, 构建一个多维度的层次结构体系, 并科学地为各关键因素分配相应的权重。此外, 对于碳审计中涉及到的主观性和定性指标, 可以采用模糊综合评价法进行量化分析, 从而提高评价的准确性和科学性。综上所述, 通过结合层次分析法和模糊综合评价法, 所构建的综合审计评价模型在理论上能够对碳审计进行全面客观的评价。

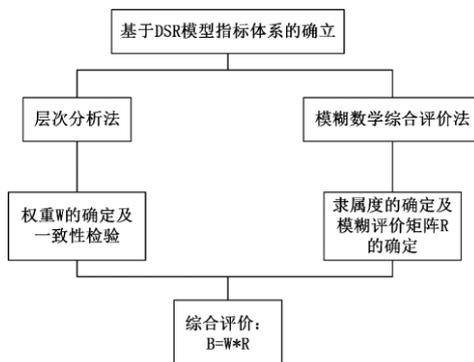


图 5.1 碳审计综合评价模型图

(2) 碳审计模糊综合评价的有效性分析

第一，本文基于 DSR 模型原理构建的碳审计评价体系，不仅全面考虑了企业的内控状况，更从经营质量、碳减排社会责任的履行以及节能降耗的执行力度等维度进行了深入探讨。鉴于这些维度在评价过程中存在不确定性，可以采用模糊评价模型来进行综合评估，以全面反映企业的碳审计状况。

第二，在有色金属企业碳审计评价的流程中，可以依据具体状况灵活调整各项指标的权重分配，以确保评价结果的准确性，更好地适应不同的评估需求。此外，所有指标均经过量化处理，以确保评价的客观性和准确性。

第三，通过将层次分析法和模糊综合评价原理进行结合，使定性评价结果有了理论依据^[55]，对构建的指标体系进行深入分析，得以在一定程度上减少主观评价的随意性和笼统性，进而使审计评价结果更加客观和科学。这一改进不仅增强了评价结果的准确性，还提升了整个评价过程的严谨性和可信度。

5.2 西部矿业碳审计评价应用

5.2.1 指标打分

根据上文的碳审计指标相关数据和评分标准，设计专家打分表（具体见本文附录 C），通过专家调查法向 4 位环保专家、3 位有色金属业专家和 3 位碳审计专家，共计 10 位专家发送纸质或电子调查表。通过计算各位专家打分的几何平均值，汇总为综合得分。西部矿业碳审计评价指标打分结果如表 5.3 所示：

表 5.3 西部矿业碳审计指标打分结果

目标层	准则层	指标层		环保专家 (40%)				有色金属业 专家 (30%)			碳审计专家 (30%)			综合 得分
				打分	95	98	96	98	94	91	95	95	95	
	驱动力指 标 (D)	资产总 额	打分	95	98	96	98	94	91	95	95	95	97	95.4
			综合打 分均值	96.75				93.33			95.67			
		营业总 收入	打分	94	97	96	98	94	95	98	98	94	98	96.2
			综合打 分均值	96.25				95.67			96.67			

续表 5.3 西部矿业碳审计指标打分结果

目标层	准则层	指标层		环保专家 (40%)				有色金属业 专家 (30%)			碳审计专家 (30%)			综合 得分
				76	80	78	78	77	76	80	80	78	76	
西部矿业碳审计指标打分结果	驱动力指标 (D)	有色金属资源 产量	打分	76	80	78	78	77	76	80	80	78	76	77.9
			综合打 分均值	78				77.67			78			
	状态 指标 (S)	温室气 体排放 总量	打分	77	72	74	74	78	73	73	76	74	75	74.6
			综合打 分均值	74.25				74.67			75			
		电力消 耗量	打分	56	55	52	58	58	58	55	57	55	58	56.2
			综合打 分均值	55.25				57			56.67			
		汽油消 耗量	打分	58	56	53	55	55	55	58	52	52	56	55
			综合打 分均值	55.5				56			53.33			
		柴油消 耗量	打分	94	95	95	92	95	90	95	94	95	95	94
			综合打 分均值	94				93.33			94.67			
		水资源 消耗量	打分	55	60	58	57	58	55	57	58	58	55	57.1
			综合打 分均值	57.5				56.67			57			
		二氧化 硫排放 量	打分	55	55	57	54	56	58	58	57	57	56	56.3
			综合打 分均值	55.25				57.33			56.67			
		颗粒 物含烟 尘及工 业粉尘 排放量	打分	56	58	58	55	57	55	55	58	57	57	56.6
			综合打 分均值	56.75				55.67			57.33			
		硫酸 雾排放 量	打分	55	60	55	58	55	55	58	60	55	58	56.9
			综合打 分均值	57				56			57.67			
		单位产 值能耗	打分	78	77	75	78	78	75	75	77	80	78	77.1
			综合打 分均值	77				76			78.33			
是否采 用清洁 生产	打分	94	92	95	96	98	95	95	95	96	95	95.1		
	综合打 分均值	94.25				96			95.33					
响应 指标 (R)	温室 气体减 排量	打分	58	52	55	56	53	53	58	56	57	54	55.2	
		综合打 分均值	55.25				54.67			55.67				

续表 5.3 西部矿业碳审计指标打分结果

目标层	准则层	指标层		环保专家 (40%)				有色金属业 专家 (30%)			碳审计专家 (30%)			综合 得分
西部矿业碳审计指标打分结果	响应指标 (R)	原煤消耗量同比减少率	打分	52	56	55	55	55	57	55	56	55	58	55.4
			综合打分均值	54.5				55.67			56.33			
		电力消耗量同比减少率	打分	54	55	56	58	55	52	58	55	58	52	55.3
			综合打分均值	55.75				55			55			
		汽油消耗量同比减少率	打分	57	53	53	58	54	59	52	58	56	54	55.4
			综合打分均值	55.25				55			56			
		柴油消耗量同比减少率	打分	56	55	58	52	58	53	52	55	55	52	54.6
			综合打分均值	55.25				54.33			54			
		氮氧化物排放量同比减少率	打分	52	55	58	50	53	55	50	55	58	52	53.8
			综合打分均值	53.75				52.67			55			
		工业固体废弃物排放量同比减少率	打分	58	55	55	53	55	57	57	58	57	52	55.7
			综合打分均值	55.25				56.33			55.67			
		尾矿综合利用率	打分	52	55	52	55	58	55	53	55	55	57	54.7
			综合打分均值	53.5				55.33			55.67			
		“三同时”执行率	打分	85	92	90	83	94	87	85	86	84	84	87
			综合打分均值	87.5				88.67			84.67			
		环保总投入	打分	95	92	88	90	95	90	90	92	86	95	91.3
			综合打分均值	91.25				91.67			91			
经认证符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	打分	92	90	95	95	95	95	94	93	94	98	93.8		
	综合打分均值	93				93.67			95					
是否开展低碳教育和宣传	打分	88	92	95	90	95	90	95	95	96	98	93.4		
	综合打分均值	91.25				93.33			96.33					
综合评分		70.16												

5.2.2 应用结果分析

本文利经过计算指标的标准化分数及其权重,得出西部矿业碳审计评价指标体系的综合得分。在西部矿业碳审计评价指标体系中,驱动力相关的指标得分都较高,资产总额 95.4 分,营业总收入 96.2 分,有色金属资源产量 77.9 分。状态指标和响应指标的分数较驱动力指标表现较差,其中状态指标中的电力消耗量、汽油消耗量、水资源消耗量、二氧化硫排放量、颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量和硫酸雾排放量,以及响应指标中的温室气体减排量、原煤消耗量同比减少率、电力消耗量同比减少率、汽油消耗量同比减少率、柴油消耗量同比减少率、氮氧化物排放量同比减少率、工业固体废弃物排放量同比减少率和尾矿综合利用率的得分都较差。剩余其他指标得分都在 70 分以上,单位产值能耗、“三同时”执行率、环保总投入、经认证符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比等指标都是针对西部矿业的能源特点和发展现状而专门设计的,说明西部矿业在推进碳审计工作时,充分理解了低碳经济发展的要点,并紧密结合了自身的能源和经济特性,确保审计工作的针对性和时效性。

状态指标和响应指标中,分数较高的有环保总投入和是否采用清洁生产,这说明西部矿业在碳减排资金投入方面所做的工作取得了良好成效。近年来西部矿业积极建设智慧矿山,不断完善科技创新管理体系搭建,于 2022 年成立了科技管理部;重视科研人才培养,制定并执行《科技成果转化管理办法》等一系列制度;拥有 10000 平方米的实验室和中试与产业化验基地,已完成国家级和省级科研项目 156 项,并荣获了 43 项科技成果,2022 年科技研发投入总额 44391.22 万元。此外还持续推进镁基超稳矿化土壤修复材料项目,并在 2022 年首次应用于工业污水处理,经该材料处理的工业污水中镍含量降低,全部达到城镇污水处理厂污染物排放标准。公司持续完善专项技术研发工作,实现矿山冶炼模块生产过程中环保工艺技术、探采选技术、药剂设备提升和生产过程技术优化,为推动公司上中下游产业的协同发展及实现可持续目标,提供了坚实的技术支撑。

同时为了推动绿色循环发展,公司制定并执行《生产安全环保保卫奖惩办法》,针对生产中的环保问题制定奖惩措施,还建立了四级环境保护管理责任制(如图 5.2 所示)。决策层面,ESG 发展委员会肩负重任,负责审视公司环保工作的执行情况,深入研究环保治理方案,并指导重大环保事故的应急处理。管理

层面，特别设置环境保护管理委员会，致力于环保工作的研究、决策与协调。职能部门层面，安全环保调度部负责规划、监督和管理各生产单位的环保工作实施。执行层面，各分子公司均设立环境保护管理委员会和安全环保管理部门，负责单位环保工作的全面开展，并接受各单位负责人的监督管理。此外，公司高度重视绿色矿山和工厂的建设，积极降低从矿山勘探到下游冶炼全过程的环境影响，旗下绿色矿山和工厂数量均位于西北地区行业前列。巴彦淖尔西部铜业在 2022 年和 2023 年分别被评为省级绿色工厂和国家级绿色工厂。截至 2023 年 3 月，公司已拥有 6 座绿色矿山和 12 座绿色工厂。这充分彰显了西部矿业在环保行动和减排方面所做出的不懈努力和取得的显著成果。

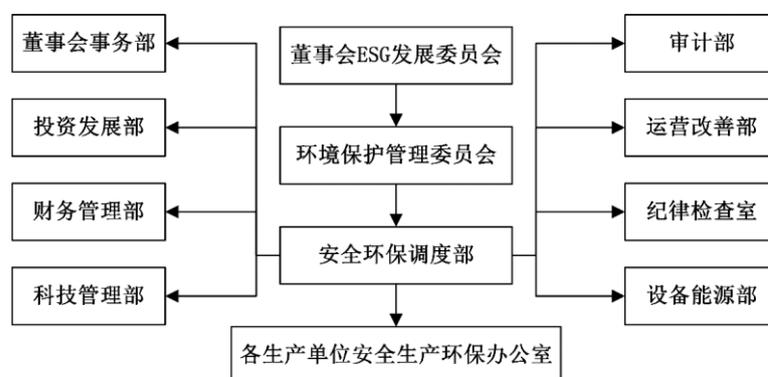


图 5.2 四级环境保护管理责任制

此外，“三同时”执行率和是否开展低碳宣传教育的分数也较高，说明西部矿业重视企业环境管控能力的提升，一方面严格遵守《环境保护法》和《环境影响评价法》的要求，制定并实施了《西部矿业生产安全环保专项考核管理办法》等一系列规章制度，明确了管理人员薪酬考核中的环境绩效标准，涵盖环境污染事件处理、排污管理、环境信用评价等多个方面。另一方面注重开展环保意识的提升工作，通过组织培训来深入解读环境保护的相关政策与法律法规，同时加大碳审计的宣传教育力度，旨在进一步增强员工的环保意识，提高环保管理人员和岗位操作人员的管理水平和操作能力，提升碳审计工作管理水平。

得分较差的指标有电力消耗量、汽油消耗量、水资源消耗量、二氧化硫排放量、颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量、硫酸雾排放量、温室气体减排量、原煤消耗量同比减少率、电力消耗量同比减少率、汽油消耗量同比减少率、柴油消耗量

同比减少率、氮氧化物排放量同比减少率、工业固体废弃物排放量同比减少率和尾矿综合利用率。说明西部矿业在碳减排研究和组织管理方面的工作做的不全面，虽然公司通过严格控制生产工艺、优化燃烧条件，积极推进高耗能电机设备更换等工作，使得温室气体排放有了一定的控制效果，但空气污染物还存在很大的减排空间。而且能源消耗量和排放量大，利用效率低，因此公司需要持续推进高耗能设备淘汰，加强余热余能回收利用。

通过计算得到西部矿业碳审计评价综合分数达到了 70.16，评定为良好级别。这个结果也与西部矿业在碳审计质量方面的整体表现相吻合。但从部分得分较低的指标来看，碳审计工作的开展还存在提升空间。

5.2.3 案例启示

在对西部矿业进行碳审计评价指标体系应用的过程中得出以下启示：第一，碳信息披露的完善性至关重要。目前，企业在碳排放相关信息披露方面尚显不足，不仅内容不够全面，而且缺乏统一的披露规范。例如，原材料计量单位在不同年份间存在不一致的情况，某些年份的数据披露甚至不完整，这无疑给核算工作带来了显著困难。第二，知识体系的综合性是确保碳审计评价准确性的关键。对于西部矿业的碳审计评价而言，审计人员不仅需要掌握基础的会计审计知识，还需深入了解碳审计的专门知识。此外，由于要分析企业的碳排放足迹，对有色金属制造行业的相关知识也有所要求。只有具备综合性知识体系，才能对企业碳审计进行全面、科学的评价。因此，对审计人员的知识水平层次提出了较高的要求。第三，必须正视碳审计评价中的主观性问题。在构建和应用企业碳审计评价体系的过程中，不可避免地会涉及一些主观判断。例如，定性指标与审计标准值的对比，往往在很大程度上依赖于审计人员的主观判断。因此，加强对审计人员的监督，确保评价结果的客观公正，以及受托环境责任的切实履行，显得尤为重要。

5.3 碳审计评价指标体系的应用保障

构建西部矿业碳审计指标的主要目的是确保其实施的有效性,进而促进企业更好地承担社会责任和环境受托责任。因此,可以从四个维度进行深入探讨。第一,企业内部要有健全的碳审计机制,这是确保碳审计评价指标体系得以顺利实施的基石。第二,提升碳排放信息披露质量只有确保企业节能减排数据的真实性与可靠性,才能为评价提供有力支撑。第三,加强碳审计人员培养,这是保障碳审计评价指标体系实施专业性的关键所在。第四,合理利用外部资源,能够进一步确保碳审计评价指标体系实施的科学性。下面将对上述四个方面做具体分析:

5.3.1 健全内部碳审计机制

有色金属制造企业作为重工业的重要组成部分,往往将主要精力聚焦于核心技术升级、品牌塑造以及产品研发等关键环节,而相对忽视了碳排放管理的重要性,导致进行碳审计的有色金属企业为数不多。在双碳目标成为全社会共识的背景下,鉴于有色金属企业的高排放特性,碳审计的实施显得尤为迫切。因此,有色金属企业亟需完善内部碳审计机制,不仅要强化内在的碳审计意识,还需在碳足迹统计与碳信息披露等外部环节给予足够的重视,以确保企业在实现经济效益的同时,也能有效履行环境责任。

5.3.2 提升碳排放信息披露质量

碳审计通常包括调查和报告两个环节。调查环节主要聚焦于信息的搜集与整理,包括评估企业社会责任报告及可持续发展报告的真实性,分析企业碳排放状况与行业标准的一致性,为后续的碳审计报告奠定基础。在报告环节,依据获取的碳审计信息,深入分析企业碳减排的实际状况,撰写出客观公正的审计报告。因此,为了保障碳审计工作的顺利推进,企业需完善碳审计项目的会计核算资料,确保碳排放投入与产出数据的真实完整,同时加强对节能减排相关信息的披露。

第一,企业可遵循《企业环境信息依法披露管理办法》和《企业环境信息依法披露格式准则》的相关规定,详细公开污染物的生成、排放以及治理等关键信息。第二,为确保碳信息披露的规范性与系统性,企业应设立专门的碳排放信息

披露岗位，结合企业特点制定内部碳信息披露标准，并明确界定碳披露的范畴与界限，使碳披露工作能够依据明确的规范与准则进行。第三，企业应努力拓展并筛选与有色金属制造企业特点相契合的碳排放指标，以促进不同企业间的横向对比，并加强对定量指标的披露，进而提升碳排放信息披露的可比性与科学性。第四，针对不同类型的碳排放指标，企业应运用相应的核算与统计方法，以增强数据的准确性与可靠性。

5.3.3 加强碳审计人员培养

有色金属企业的碳审计评价工作具有显著的多学科交叉特性，要求相关人员必须掌握有色金属制造、碳审计及环境保护等多方面的专业知识，否则将难以持续推进该项工作。鉴于目前尚缺乏专门针对有色金属制造企业的碳审计专业，因此，培养和引进相关专业人才成为有色金属制造企业的当务之急。第一，应重视审计人员队伍的建设，特别是要发挥青年人才的主力军作用，加强对碳审计、有色金属制造及环保知识的学习。可集中培养个别或少数核心人才，并通过实施审计实务导师制、交流轮岗等机制，逐步壮大专业队伍。第二，可通过举办碳审计评价优秀人员评选、碳审计评价知识竞赛等活动，激发审计人员的学习热情，从而加速专业人才的培养进程。第三，加强对审计实施过程的全流程管理至关重要。通过明确各个环节的责任落实，确保碳审计评价人员保持高度的专业状态和能力，进而推动碳审计评价工作整体质量和效率的双提升。

5.3.4 合理利用外部资源

有色金属企业开展碳审计评价工作，仅凭企业自身的力量是远远不够的。在知识技术层面和审计的客观性方面，均需要借助外部审计的力量来加以完善。因此，引入外部审计机构参与有色金属企业的碳审计评价工作，对于提升评价工作的准确性和客观性具有重要意义。通过外部审计的参与，可以弥补企业在碳审计评价方面的不足，提高评价工作的专业性和权威性。同时，外部审计机构还能够为企业提供更加全面和深入的碳审计服务，帮助企业更好地了解 and 掌握自身的碳排放情况，为企业制定科学的碳减排策略提供有力支持。

目前，碳审计主要由政府主导，在理论构建与实战经验方面，政府相较于企业均展现出显著优势。因此，企业可依靠政府力量，确保碳审计评价指标体系的顺利实施。第一，企业可参照政府设定的有色金属制造污染排放物限值，并结合自身实际情况，制定合适的审计标准值。在此过程中，可向政府寻求专业指导，以确保标准值的科学性与准确性。第二，在排放物的测量方面，企业可遵循政府制定的标准，不仅能有效降低企业的审计成本，还能提升审计工作的科学性。第三，在碳审计评价工作的推进过程中，企业对于遇到的难题或挑战，可积极寻求政府的协助。政府可成立专家委员会，吸纳相关领域的专家参与碳审计评价标准的制定与指标体系的构建，从而解决跨领域或不擅长的问题，为企业的碳审计工作提供有力支持。

企业还可以寻求第三方审计的协助，以确保审计结果的客观公正。第一，从审计工作的本质来看，第三方审计具备“独立性”的，即与被审计单位无任何利益关联，能够独立于被审计单位之外，因此其工作往往展现出更高的客观性和独立性。第二，从第职能来看，第三方审计能够推动企业从传统的查错防弊模式向价值增值模式的转变，为企业的碳审计评价工作提供新颖的思路与方法，从而有效降低碳审计评价过程中的审计风险。第三，第三方审计一直是企业优化管理、提升效率、控制风险的重要帮手，能够协助企业完成自身难以胜任的工作，解答企业在碳审计评价中遇到的困惑。因此，借助第三方审计力量可有效帮助有色金属制造企业进行碳审计评价工作的优化和风险防控。

6 研究结论与展望

6.1 研究结论

本文通过梳理碳审计相关文献，采取案例研究的方法，聚焦于西部矿业碳足迹及其碳审计现状，深入剖析了在低碳经济这一宏观背景下，企业实施碳审计的必要性。接着针对西部矿业的具体情况，构建了一套碳审计评价指标体系，并对所构建的各项指标进行了量化评分，进而对碳审计进行了层次化的等级评价。最后提出了关于碳审计实施的一系列建议，旨在确保所构建的评价指标体系能够得到有效实施。综合以上分析，本文得出的结论如下：

第一，本文通过对现有研究文献的梳理，发现相较于国外成熟的碳审计体系，碳审计在我国的研究尚处于不断探索之中。当前，关于企业碳审计评价指标体系的研究尚显薄弱，尚未构建出全面且系统的评价体系，以充分揭示和评估有色金属企业的碳排放状况。鉴于有色金属工业在国民经济中的支柱地位，以及其二氧化碳排放量在工业企业中的显著占比，其对大气环境的潜在影响不容忽视。因此，本文构建了一套专门针对有色金属企业的碳审计评价指标体系，旨在有效监控企业的碳排放行为，不仅具备必要性，而且具有实际操作的可行性。

第二，目前仅有少数有色金属企业公开披露其碳排放信息。具体来说，能够报告温室气体及其他污染物排放情况的企业主要局限于上市公司范畴，且这些信息大多被包含在社会责任报告或 ESG 报告中，缺乏专门的碳排放披露报告。

第三，深入探究西部矿业的碳减排情况发现，由于污染治理和环保设施运行所需成本居高不下，西部矿业的碳减排成本高于碳减排收益，企业在碳减排方面的投入往往难以得到相应的回报，从而在一定程度上制约了企业实施碳减排的积极性。鉴于此，碳审计存在较大的发货空间。通过碳审计，可以对企业的碳减排情况进行全面客观地评估，帮助企业找出在碳减排过程中的不足之处，进而提出有效的改进措施。

第四，本文将 DSR 模型应用于西部矿业的碳审计评价指标体系构建，通过实际验证，证明该模型具有科学性和有效性。在构建过程中，结合西部矿业的特性，设计了目标层、因素层和指标层三个层级的评价体系。通过将指标归类至驱动力、

状态和响应三个因素层，实现了对研究对象整体状况的全面多维反映。随后，以西部矿业为案例，运用层次分析法对碳审计评价指标进行了权重赋值，将定性指标转化为量化数据，使得不同性质的指标之间可比。最终，得出了所有指标的综合权重，这一结果为西部矿业的碳审计工作提供了坚实的支撑。

第五，本文选取模糊综合评价法作为评价工具，旨在为企业碳排放情况提供科学、合理的评价，具有较高的实际应用价值。通过运用此方法对西部矿业的碳排放进行评估，结果显示其碳排放水平达到了良好的标准，与实际情况一致，从而证实了这一评价方法的实用性和可靠性。尽管如此，西部矿业在碳排放方面仍有较大的减排潜力。一方面，由于产量不断增加，导致碳排放量持续保持高位；另一方面，空气污染物的排放量较大，成为导致高碳排放的主要根源。

6.2 研究不足

尽管本文成功构建了西部矿业碳审计评价指标体系，并进行了实际应用，展示了其积极意义，然而，由于相关文献的稀缺以及数据资料的有限性，本研究仍存在一定的不足之处：第一，由于个人英语水平的限制，对国外的研究并不像国内研究那样穷尽，可能存在对国外学者相关观点的理解和总结不准确的情况，这在一定程度上影响了本研究的深度和广度。第二，在构建指标体系时，本文虽已梳理了国内外文献并借鉴了前人成果，结合有色金属行业特点进行了探索性设计，但这些指标的有效性和准确性仍需在实际应用中进一步验证。另外，虽然本文采用了 DSR 模型来构建指标体系，但未与其他模型进行对比，也未在行业内的其他企业间进行检验，因此模型的适用性仍有待验证。第三，评价指标权重的确定方法存在显著的主观性。在本文中，主要运用层次分析法为评价指标赋予权重，但该方法依赖于专家主观判断，这可能在一定程度上削弱评价结果的客观性。

6.3 研究展望

随着绿色发展的深入人心，有色金属企业碳审计评价的重要性日益凸显。本文旨在为有色金属企业碳审计评价提供新的思路和借鉴。在后续的研究中，本文将从以下几个维度进行深化和拓展：

第一，一方面为了验证本研究构建的碳审计评价指标体系的适用性和有效性，可以尝试采用其他模型来构建有色金属行业的碳审计评价指标体系，并对比分析不同模型间的异同。另一方面，可以将本文构建的碳审计评价指标体系应用于同行业的其他企业中，通过对比分析评价结果与企业实际情况的契合度，有助于以检验其普适性和实用性。

第二，在指标权重赋值的过程中，为增强研究的科学性和说服力，将运用多种不同方法进行分析。具体来说，将主观的层次分析法和客观的熵值法相结合，可以达到优势互补的效果。此外，为保障权重赋值的客观性，将特别注重选取具备丰富行业经验的专家参与此过程，从而确保研究结果的准确性与可靠性。

通过上述两个方面的深化研究，期望能够进一步完善有色金属企业碳审计评价体系，为企业的绿色发展提供更为有效的指导和支持。

参考文献

- [1] Abdeen Mustafa Omer. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,2008,12(6): 1562-1587.
- [2] Aldona Kluczek,Paweł Olszewski. Energy audits in industrial processes[J]. *Journal of Cleaner Production*,2017,142: 3437-3453.
- [3] Anonymous. Retailers urged to back carbon audits[J]. *Farmers Weekly*,2010,153(17): 13.
- [4] Brendan Haley,James Gaede,Mark Winfield,Peter Love. From utility demand side management to low-carbon transitions: Opportunities and challenges for energy efficiency governance in a new era[J]. *Energy Research & Social Science*,2020,59(C): 101312-101312.
- [5] Brendan P. Malone,Quentin Styc,Budiman Minasny,Alex B. McBratney. Digital soil mapping of soil carbon at the farm scale: A spatial downscaling approach in consideration of measured and uncertain data[J]. *Geoderma*,2017,290: 91-99.
- [6] Bryan C. Foster,Deane Wang,Graeme Auld,Rosa Maria Roman Cuesta. Assessing audit impact and thoroughness of VCS forest carbon offset projects[J]. *Environmental Science and Policy*,2017,78: 121-141.
- [7] Clément Mouchet,Neil Urquhart,Rob Kemmer. Techniques for Auditing the ICT Carbon Footprint of an Organisation[J]. *International Journal of Green Computing (IJGC)*,2014,5(1): 44-61.
- [8] Fullerton Don,Karney Daniel H.. POTENTIAL STATE-LEVEL CARBON REVENUE UNDER THE CLEAN POWER PLAN:POTENTIAL CARBON REVENUE[J]. *Contemporary Economic Policy*,2018,36(1): 149-166.
- [9] Jenny Dawkins,Stewart Lewis. CSR in Stakeholder Expectations: And Their Implication for Company Strategy[J]. *Journal of Business Ethics*,2003,44(2-3): 185-193.
- [10] J.J. de Gruijter,A.B. McBratney,B. Minasny,I. Wheeler,B.P. Malone,U. Stockmann. Farm-scale soil carbon auditing[J]. *Geoderma*,2016,265: 120-130.
- [11] Lai, Joseph H K,Yik, Francis 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.
- [12] Mendoza-Villafuerte P ,Suarez-Bertoa R ,Giechaskiel B , et al. NO_x , NH₃ , N₂O and PN real driving emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle. Impact of regulatory on-road test conditions on emissions [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 609: 546-555.
- [13] Michael Watson. Environmental auditing in the new Europe[J]. *Managerial Auditing Journal*,2004,19(9): 1131-1139.
- [14] Qingliang Tang. Institutional Influence, Transition Management and the Demand for Carbon Auditing: The Chinese Experience[J]. *Australian Accounting Review*,2019,29(2): 376-394.
- [15] Ralph Gomory,William J. Baumol. Globalization: Country and company interests in conflict[J]. *Journal of Policy Modeling*,2009,31(4) : 540-555.

- [16] Revell E L ,Tummon F ,Salawitch J R , et al. The changing ozone depletion potential of N₂O in a future climate [J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42 (22): 10,047-10,055.
- [17] 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]. Ecological Economics, 2007, 65(3): 602-615.
- [18] Susie Moloney, Ralph E. Home, John Fieri. Transitioning to low carbon communities—from behaviour change to systemic change: Lessons from Australia[J]. Energy policy, 2010, 38(12): 7514-7623.
- [19] Theodoros Zachariadis, Janet E. Milne, Mikael Skou Andersen, Hope Ashiabor. Economic Instruments for a Low-carbon Future[M]. Edward Elgar Publishing: 2020.
- [20] 陈小林, 梅林. 碳审计的基本原理与实施对策[J]. 会计之友, 2012(10): 9-13.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 杜子平, 刘永宁, 孟琛. 基于共词聚类分析法的碳会计研究[J]. 财会通讯, 2018(16): 24-29.
- [25] 高建慧. 低碳审计评价指标体系的构建——基于层次分析法(AHP)的设计理念 [J]. 商业会计, 2016, (11): 38-40.
- [26] 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.
- [27] 管亚梅, 李园园. 低碳经济下企业生态责任审计评价体系构建与实施——以宝钢股份为例[J]. 财会月刊, 2016(31): 79-82.
- [28] 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.
- [29] 何丽梅. 碳审计研究综述 [J]. 会计之友, 2017, (06): 107-110.
- [30] 何晏. 浅析碳审计的理论结构 [J]. 企业导报, 2015, (15): 16-17.
- [31] 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.
- [32] 胡耘通, 廖佳榆. 基于资源安全视角的矿产资源审计评价指标体系构建[J]. 财会月刊, 2023, 44(02): 103-109.
- [33] 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.
- [34] 李蝶, 余谦, 梁艳. 基于交叉评价 DEA 模型的中国省域低碳经济效率研究[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2016, 29(05): 891-896.
- [35] 李虹, 田马飞, 许宁宁, 娄雯. 低碳经济下碳审计合谋解除研究[J]. 会计之友, 2015(19): 108-113.
- [36] 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.

- [37]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.
- [38]陆婧婧, 苏宁. 碳审计的国际比较及启示[J]. 商业会计, 2010(16):29-30.
- [39]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.
- [40]李雪, 杨智慧. 对环境审计定义的再认识[J]. 审计研究, 2004(02):26-30.
- [41]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.
- [42]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.
- [43]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.
- [44]孙岩, 杨肃昌. 企业内部环境审计定义研究 [J]. 审计与经济研究, 2005, (06): 28-31.
- [45]苏孜, 何延平. 基于 AHP 的审计机关绩效评价指标体系构建与应用 [J]. 经济与管理, 2017, 31 (02): 56-62.
- [46]王爱国, 王一川. 碳鉴证业务是审计的一个自然领域 [J]. 审计研究, 2014, (04): 49-53.
- [47]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.
- [48]王永祥, 许磊, 王伟, 唐家盛, 张波, 郑杰, 刘强. 基于 DSR-AHP 法的电网企业“双碳”审计风险评价指标体系及应用研究[J]. 中国内部审计, 2023(03):11-23.
- [49]徐洪波. 我国区域低碳经济发展效率测度及评价[J]. 技术经济与管理研究, 2017(06):116-119.
- [50]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.
- [51]邢玉冠, 杨道玲. 基于“动力—状态—响应”模型的京津冀产业创新能力评价[J]. 科技管理研究, 2022, 42(14):33-42.
- [52]杨斌, 石龙宇, 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, 38(S2):419-423.
- [53]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.
- [54]袁广达, 叶树旺, 吴佳敏. 碳中和目标下黄河流域碳补偿审计方法研究[J]. 财会通讯, 2023(09):13-23.
- [55]杨树滋, 王德升. 环境审计探讨[J]. 审计研究, 2002(06):6-10.
- [56]俞雅乖, 刘玲燕. 基于层次分析法的水环境绩效审计评价指标体系研究[J]. 科技与管理, 2015, 17(01):45-51.
- [57]郑宝华, 刘东皇. 我国区域间低碳经济效率影响因素分析[J]. 统计与决策, 2017(20):144-146.
- [58]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.
- [59]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.

- [60]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]. 青岛:中国海洋大学, 2013.
- [61]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.
- [62]周瑞芳, 李啟旭. 基于 DPSIR 概念西北水环境审计评价指标体系构建[J]. 水利技术监督, 2020(01):68-70+113.
- [63]郑石桥. 论碳审计本质[J]. 财会月刊, 2022(04):93-97.
- [64]郑石桥. 论碳审计方法[J]. 财会月刊, 2022(15):84-88.
- [65]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.
- [66]周旭东, 郑石桥. 论碳审计需求[J]. 财会月刊, 2022(05):64-68.
- [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):82-88.
- [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):110-113.
- [69]朱朝晖, 梁胜浩. 供应链碳足迹与企业碳审计[J]. 中国注册会计师, 2015(12):92-96.

后记

文末搁笔，拙论将成。三载悠悠，研途漫漫。总以为来日方长，却不知时节如流。到了论文的最后章节，意味着我的研究生生涯即将结束。此时此刻我怀着不舍和感恩为即将落幕的校园时光写下最后的致谢篇章。在这段时光里，无论是喜悦还是酸楚，所有经历于我都是礼物，所有相遇于我都是宝藏。我深知以上种种带给我的成长，也在这里向所有帮助过我的人表达诚挚的感谢。

博修商道，博学求真。感谢兰州财经大学，感谢会计学院，感谢每一位老师的悉心指导，让我认识到了自己的无知，也看到了未来的无限可能。希望母校越来越好，各位老师工作顺利。

学贵得师，没齿难忘。感谢我的导师芦海燕老师，三年间，老师从未嫌弃过我的愚钝和笨拙。在学术上，芦老师严谨细致、一丝不苟，工作繁忙也从不疏于对我论文的指点，从小论文的发表到毕业论文的完成，芦老师都倾注了大量心血。在生活中，芦老师和蔼可亲、温暖阳光，给我的人生许多宝贵的意见，鼓励我坚定前行。希望芦老师身体健康，桃李满园，未来我一定以芦老师为榜样，志存高远，脚踏实地。

舐犊情深，恩同山岳。感谢我的父母，让我在漫漫求学路上没有后顾之忧。是他们无条件地爱我、支持我，让我衣食无忧，不求回报的给我最好的一切，让我对人生总是充满希望。父母的养育之恩我无以回报，希望他们身长健、心长安、生长乐。

风雨同舟，情深意重。感谢我的各位朋友，很幸运在成长的每个阶段都有知心的好友相伴左右，都有默契的同伴携手拾级。希望我们游入大海成蛟龙，撒向天空皆是星。

路险而远，走则能达。感谢走得很慢但一直向前的自己，无数的瞬间都是成长的印记。心若有之向往，何惧道阻且长。

最后，感谢所有我阅读或引用的文献中的前辈，带给我无数启发，未曾谋面，受益匪浅。

学生时代落下帷幕，我的故事还在继续。山水有来路，早晚复相逢。感恩所有相遇，我会去追寻更灿烂的人生！

附录 A 西部矿业碳审计评价指标重要性筛选问卷

尊敬的专家/老师：

您好！我是兰州财经大学 2021 级审计硕士，我的毕业论文是西部矿业碳审计评价指标体系的构建，由于涉及众多评价指标，现需要对指标进行筛选。请您根据理解，对各个指标的重要程度进行排序、删除或补充。本调查问卷采用匿名方式，且仅做学术研究之用，不会泄漏任何个人隐私，敬请放心。万分感谢您的积极配合，也为占用您宝贵的时间表示抱歉！

一、评价事项

（一）评价方法

经初步选择形成“西部矿业碳审计评价指标体系”，将准则层分为驱动力、状态和响应三个维度，并在各个维度下给出具体的指标层，分别见表 1-表 3。

1. 数字 1、2、3、4、5 分别对应很重要、重要、一般、不重要和很不重要。
2. 认为没必要的因素直接打×。
3. 其他您认为重要的因素请在空白处填写，并标注数字等级。

（二）指标层解读

1. 驱动力指标涵盖了导致环境可持续发展的多种因素，包括人类行为、生产方式、消费模式以及技术导向等。
2. 状态指标反映了特定时期内人类活动对环境造成的影响，进而引发的自然资源和生态环境的变化，诸如大气污染、水污染以及能源短缺等现象。
3. 响应指标体现人类在面临环境变化时，针对生态资源或质量改变所采取的积极应对策略，如实施环保政策、制定具体措施以及进行有意识的管理行为等。

二、重要程度判别

表 1 驱动力维度指标

准则层	指标层	序号	选择
驱动力指标 (D)	资产总额	D1	
	营业总收入	D2	
	企业纳税总额	D3	
	股东权益合计	D4	
	投资收益率	D5	
	有色金属资源产量	D6	
您认为需要补充的指标			

表 2 状态维度指标

准则层	指标层	序号	选择
状态指标 (S)	温室气体排放总量	S1	
	原煤消耗量	S2	
	电力消耗量	S3	
	汽油消耗量	S4	
	柴油消耗量	S5	
	水资源消耗量	S6	
	氮氧化物排放量	S7	
	二氧化硫排放量	S8	
	颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	S9	
	硫酸雾排放量	S10	
	生活垃圾排放量	S11	
	单位产值能耗	S12	
	废石储存量	S13	
	是否采用清洁生产	S14	
	是否遵守法律法规	S15	
您认为需要补充的指标			

表 3 响应维度指标

准则层	指标层	序号	选择
响应指标 (R)	温室气体减排量	R1	
	原煤消耗量同比减少率	R2	
	电力消耗量同比减少率	R3	
	汽油消耗量同比减少率	R4	
	柴油消耗量同比减少率	R5	
	水资源消耗量同比减少率	R6	
	氮氧化物排放量同比减少率	R7	
	二氧化硫排放量同比减少率	R8	
	颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量同比减少率	R9	
	硫酸雾排放量同比减少率	R10	
	工业固体废弃物排放量同比减少率	R11	
	尾矿综合利用率	R12	
	废石综合利用率	R13	
	“三同时”执行率	R14	
	环境污染事故发生数量	R15	
	环保总投入	R16	
	新增绿化面积	R17	
	符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	R18	
	防治污染设施的建设和运行情况	R19	
	是否开展低碳教育和宣传	R20	
您认为需要补充的指标			

附录 B 西部矿业碳审计评价指标重要性调查问卷

尊敬的专家/老师:

您好!我是兰州财经大学 2021 级审计硕士,我的毕业论文是西部矿业碳审计评价指标体系的构建,由于涉及到众多评价指标,且每个指标的重要程度有所不同,需要对具体指标的重要性进行判定。现请您根据理解,选择各个指标的重要程度比较。本调查问卷采用匿名方式,且仅做学术研究之用,不会泄漏任何个人隐私,敬请放心。万分感谢您的积极配合,也为占用您宝贵的时间表示抱歉!

本调查问卷采用 9 级标度法来确定指标的重要性。

9 级标度表

赋值	含义	说明
1	同等重要	两个元素具有同等重要性
3	稍微重要	一个因素比另一个因素稍微重要
5	明显重要	一个因素比另一个因素明显重要
7	强烈重要	一个因素比另一个因素强烈重要
9	极端重要	一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	相邻判断中值	上述两相邻判断的中值
倒数	相反比较	因素 i 与 j 相比如果赋值为 2, 则 j 与 i 相比为 1/2

一、目标层指标重要程度判别

D(驱动力指标):指导致环境不可可持续发展的因素,包括人类行为和生产方式等。

S(状态指标):指在特定时期内,人类活动对环境的影响引发的自然资源和生态环境的变化,表现为大气污染、水污染以及能源短缺等现象。

R(响应指标):指人类在应对生态资源或质量变化时,针对状态变动所采取的积极回应措施,包括环保政策、各项举措及有意识的管理行动等。

目标层	D	S	R
D		/	/
S			/
R			

(其中:D:驱动力;R:状态:响应。)

二、驱动力指标重要程度判别

驱动力指标	D1	D2	D3
D1		/	/
D2			/
D3			

（其中：D1：资产总额；D2：营业总收入；D3：有色金属资源产量。）

三、状态指标重要程度判别

状态指标	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1		/	/	/	/	/	/	/	/	/
S2			/	/	/	/	/	/	/	/
S3				/	/	/	/	/	/	/
S4					/	/	/	/	/	/
S5						/	/	/	/	/
S6							/	/	/	/
S7								/	/	/
S8									/	/
S9										/
S10										

（其中：S1：温室气体排放总量；S2：电力消耗量；S3：汽油消耗量；S4：柴油消耗量；S5：水资源消耗量；S6：二氧化硫排放量；S7：颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量；S8：硫酸雾排放量；S9：单位产值能耗；S10：是否采用清洁生产。）

四、响应指标重要程度判别

响应指标	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
R2			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
R3				/	/	/	/	/	/	/	/	/
R4					/	/	/	/	/	/	/	/
R5						/	/	/	/	/	/	/
R6							/	/	/	/	/	/
R7								/	/	/	/	/
R8									/	/	/	/
R9										/	/	/
R10											/	/
R11												/
R12												

（其中：R1：温室气体减排量；R2：原煤消耗量同比减少率；R3：电力消耗量同比减少率；R4：汽油消耗量同比减少率；R5：柴油消耗量同比减少率；R6：氮氧化物排放量同比减少率；R7：工业固体废弃物排放量同比减少率；R8：尾矿综合利用率；R9：“三同时”执行率；R10：环保总投入；R11：符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比；R12：是否开展低碳教育和宣传。）

附录 C 西部矿业碳审计评价指标打分问卷

尊敬的专家/老师:

您好!我是兰州财经大学 2021 级审计硕士,我的毕业论文是西部矿业碳审计评价指标体系的构建,碳审计涉及到众多评价指标,现需要确定各个指标的分值。请您根据理解,按照下表的评分标准,对各个指标进行打分。本调查问卷采用匿名方式,且仅做学术研究之用,不会泄漏任何个人隐私,敬请放心。万分感谢您的积极配合,也为占用您宝贵的时间表示抱歉!

表 1 西部矿业碳审计指标评分标准

评价指标	评价等级				审计标准值来源
	80-100 优秀	60-80 良好	20-60 一般	0-20 较差	
资产总额	50 亿元及以上	5 亿元-50 亿元	5000 万元-5 亿元	5000 万元以下	条例标准《大、中、小型工业企业划分标准》
营业总收入	50 亿元及以上	5 亿元-50 亿元	5000 万元-5 亿元	5000 万元以下	条例标准《大、中、小型工业企业划分标准》
有色金属资源产量	>300 万吨	200-300 万吨	100-200 万吨	<100 万吨	目标标准
温室气体排放总量	<100 万吨	100-300 万吨	300-500 万吨	>500 万吨	条例标准《中华人民共和国大气污染防治法》
电力消耗量	<10 亿千瓦时	10-20 亿千瓦时	20-30 亿千瓦时	>30 亿千瓦时	行业标杆
汽油消耗量	<100 吨	100-200 吨	200-300 吨	>300 吨	行业标杆
柴油消耗量	<5 万吨	5-10 万吨	10-15 万吨	>15 万吨	行业标杆
水资源消耗量	<1000 万立方米	1000-2000 万立方米	2000-3000 万立方米	>3000 万立方米	行业标杆
二氧化硫排放量	<100 吨	100-200 吨	200-300 吨	>300 吨	行业标杆
颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	<100 吨	100-300 吨	300-500 吨	>500 吨	行业标杆
硫酸雾排放量	<10 吨	10-20 吨	20-30 吨	>30 吨	行业标杆

单位产值能耗 (千克标煤/ 吨)	<100 吨	100-500 吨	500-1000 吨	>1000 吨	条例标准《中华人民共和国大气节约能源法》
是否采用清洁生产	企业已启用清洁生产机制项目, 且已筛选出成熟可靠的清洁生产技术	企业已启用清洁生产机制项目, 清洁生产技术基本健全	企业已启用清洁生产机制项目, 但清洁生产技术尚未健全	企业未开发清洁生产机制	条例标准《中华人民共和国清洁生产促进法》
温室气体减排量	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
原煤消耗量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
电力消耗量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
汽油消耗量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
柴油消耗量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
氮氧化物排放量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
工业固体废弃物排放量同比减少率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	目标标准
尾矿综合利用率	>5%	3%-5%	0-3%	<0	行业标准
“三同时”执行率	100%	50%-100%	30%-50%	<30%	行业标准
环保总投入	5 亿元及以上	2 亿元-5 亿元	5000 万元-2 亿元	5000 万元以下	行业标准
符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比	>50%	30%-50%	0-30%	<0	目标标杆
是否开展低碳教育和宣传	企业每季度定期培训碳审计人员, 并积极推广碳减排技术	企业每年定期培训碳审计人员, 并积极推广碳减排技术	企业每年定期培训碳审计人员, 并尝试开展碳减排项目	企业每 2-3 年对碳审计人员进行培训	行业标准

表 2 西部矿业碳审计指标打分表

目标层	准则层	指标层	分值
西部矿业碳 审计指标打 分表	驱动力指标 (D)	资产总额	
		营业总收入	
		有色金属资源产量	
	状态指标 (S)	温室气体排放总量	
		电力消耗量	
		汽油消耗量	
		柴油消耗量	
		水资源消耗量	
		二氧化硫排放量	
		颗粒物含烟尘及工业粉尘排放量	
		硫酸雾排放量	
		单位产值能耗	
		是否采用清洁生产	
		响应指标 (R)	温室气体减排量
	原煤消耗量同比减少率		
	电力消耗量同比减少率		
	汽油消耗量同比减少率		
	柴油消耗量同比减少率		
	氮氧化物排放量同比减少率		
	工业固体废弃物排放量同比减少率		
尾矿综合利用率			
“三同时”执行率			
环保总投入			
符合 ISO14001 标准的运营点占营业收入百分比			
是否开展低碳教育和宣传			