

分类号 _____
U D C _____

密级 _____
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 钢铁行业碳排放审计风险研究—
—以 T 钢企为例

研究生姓名: 马千越

指导教师姓名、职称: 芦海燕 副教授 于曙光 注册会计师

学科、专业名称: 审计硕士

研究方向: 政府审计

提交日期: 2023 年 6 月 19 日

独创性声明

本人声明所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科研成果。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： 马千越 签字日期： 2023.6.7

导师签名： 芦海如 签字日期： 2023.6.12

导师(校外)签名： 孙明如 签字日期： 2023.6.13

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： 马千越 签字日期： 2023.6.7

导师签名： 芦海如 签字日期： 2023.6.12

导师(校外)签名： 孙明如 签字日期： 2023.6.13

Research on Audit Risk of carbon emission in steel Industry -- A case study of T Steel

Candidate : Ma Qianyue

Supervisor: Lu Haiyan Yu Shuguang

摘 要

近年来世界各国广为重视的问题之一就是全球气候变化,面对气候变化带来的影响人类生存发展这一重大挑战,世界上已有 136 个国家提出了碳中和承诺(数据统计截止到 2021 年 12 月)。低碳经济已然成为当今世界经济发展的主要趋势,中国政府也利用这次节能减排的机会,对绿色低碳的社会发展方式进行全力推广。钢铁行业作为高碳排行业,成为各国政府纷纷注意的重点行业,在钢铁行业推进低碳生产和低碳发展在各国范围内都达成了共识。

作为中国制造业中碳排放量最高的行业,钢铁行业必然是我国实现“碳达峰”、“碳中和”目标的关键行业。同时欧盟重拾碳边境调节机制(CBAM),钢铁行业首当其冲,成为了被纳入的首批行业之一。据研究,钢铁行业受此影响,贸易额将达到 160.86 亿人民币,钢铁行业每年为此支付的碳关税将在 26-28 亿人民币左右,约占价格比重的 11%-12%。根据已有资料显示,在度过 2023 年—2025 年的过渡期后,欧盟将会把免费配额完全取消,这一举措会导致钢铁行业成本增加 21%,CBAM 将会对中国出口欧盟的钢铁产品产生成本增加约 25%的影响。CBAM 导致的我国钢铁行业产品增加出口成本以及碳关税壁垒的强化。结合目前我国碳排放交易市场频发的碳排放数据造假案件,这些都在说明碳排放核算标准需要统一,以政府为指导的碳排放审计亟待加强。目前全球的碳排放核算标准、碳排放评价标准等制度迅速发展,这些制度在中国尚未得到广泛普及,而且钢铁行业工序环节多,核算边界划定比较复杂,利用国内外出台的钢铁行业碳排放核算方法计算时,计算结果出现较大差异。因此,钢铁行业碳排放审计发展面临着更多挑战。

基于以上,本文以 T 钢铁企业为例,整理分析其粗钢生产过程中碳排放的各类原始数据,利用 ISO 系列标准、《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分:钢铁生产企业》和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》四种国内外不同的碳排放核算方法计算得出碳排放量,对比四种碳排放核算方法下,吨粗钢碳排放量计算结果的差异,分析差异产生的原因,同时探究碳排放审计过程中由于碳排放核算标准不一致、碳排放信息披露程度不足、碳排放审计机制不够完善、碳排放人才缺乏以及碳排放审计监管

体系欠缺等引发的审计风险点。在政府监管视角下提出需建立科学统一的钢铁行业碳排放审计标准、需提高碳排放信息披露质量、深化碳排放审计工作管理以及强化碳排放审计人才队伍建设等审计风险的应对方案。

希望通过对 T 钢铁企业的实践研究，为我国钢铁行业制定统一的碳排放标准，提升钢铁行业碳排放数据质量，促进钢铁行业碳排放审计风险管控，最大程度上规避审计风险提供思路和建议。

关键词：钢铁行业 碳排放审计 审计风险 审计风险防控

Abstract

In recent years, one of the issues that countries all over the world attach great importance to is global climate change. Facing the major challenge of climate change, which affects the survival and development of human beings, 136 countries in the world have put forward the commitment of carbon neutrality (the data is up to December 2021). Low-carbon economy has become the main trend of world economic development. At present, the Chinese government also takes the opportunity of energy conservation and emission reduction to promote the green and low-carbon social development mode. As a high-carbon industry, iron and steel industry has already attracted the attention of governments around the world. Therefore, in the field of iron and steel industry to promote low-carbon production and development mode has reached a consensus in various countries.

As the industry with the highest carbon emission in China's manufacturing industry, the iron and steel industry is definitely a key industry to achieve the goal of "carbon peak" and "carbon neutrality". And steel is one of the first industries to be included, thanks to the EU's revived Carbon Border Regulation Mechanism (CBAM). According to the research, the affected trade volume of the steel industry will reach 16.086 billion yuan, and the steel industry will pay about 2.6-2.8 billion yuan of carbon tariff every year, accounting for about 11%-12% of the

price. According to existing data, after the transition period from 2023 to 2025, the EU will completely cancel the free quota, which will lead to a 21% increase in the cost of the steel industry. CBAM will have an impact on the cost of Chinese steel products exported to the EU by about 25%. The increased export costs of Chinese iron and steel industry products caused by CBAM and the strengthening of carbon tariff barriers, combined with the frequent carbon emission data falsification cases in China's carbon emission trading market, all show that the carbon emission accounting standards need to be unified, and the government-guided carbon emission audit needs to be strengthened urgently. At present, global carbon emission accounting standards, carbon emission evaluation standards and other systems are developing rapidly, but these systems have not been widely popularized in China. Moreover, the steel industry has many working processes, and the boundary of accounting is complicated. When using different carbon emission accounting methods introduced in China, the calculation results are quite different. The development of carbon emission auditing in iron and steel industry is facing more challenges.

Based on the above, this paper takes T Iron and steel enterprise as an example to sort out and analyze all kinds of original data of carbon emissions in the process of crude steel production, and uses ISO series standards, Guidelines for the Preparation of Provincial Greenhouse Gas

Inventories, and the fifth part of Greenhouse Gas Emission Accounting and Reporting Requirements: Four different carbon emission accounting methods at home and abroad are used in "Iron and Steel Production Enterprises" and "Greenhouse Gas Emission Accounting Methods and Reporting Guidelines for Chinese Iron and Steel Production Enterprises". The differences in carbon emission calculation results of tons of crude steel are compared under various carbon emission accounting methods, and the reasons for the differences are analyzed. At the same time, it explores audit risk points caused by inconsistent carbon emission accounting standards, insufficient carbon emission information disclosure, imperfect carbon emission audit mechanism, lack of carbon emission talents and lack of carbon emission audit supervision system in the process of carbon emission audit. From the perspective of government supervision, solutions to audit risks such as establishing scientific and unified carbon emission auditing standards for the steel industry, improving the quality of carbon emission information disclosure, deepening the management of carbon emission auditing and strengthening the construction of carbon emission auditing personnel are proposed.

It is hoped that through the practical study of T Iron and steel enterprise, thoughts and suggestions will be provided for our iron and steel industry to formulate a unified carbon emission standard, improve

the quality of carbon emission data of iron and steel enterprises, promote carbon emission audit risk management and control in the iron and steel industry, and avoid audit risk to the maximum extent.

Keywords: Steel industry; Carbon emission audit; Audit risk; Audit risk prevention and control

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景、目的及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究目的及意义	2
1.2 国内外文献综述	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	6
1.2.3 文献述评	10
1.3 研究内容、框架及方法	10
1.3.1 研究内容	10
1.3.2 研究框架	11
1.3.3 研究方法	12
2 相关概念及理论基础	13
2.1 相关概念	13
2.1.1 碳排放审计	13
2.1.2 碳排放审计风险	15
2.2 理论基础	16
2.2.1 可持续发展理论	16
2.2.2 受托经济责任理论	16
2.2.3 外部性理论	17
3 T 钢企碳排放核算及审计风险分析	19
3.1 案例背景	19
3.1.1 企业介绍	19
3.1.2 所处行业及发展情况	19
3.1.3 运营边界和系统边界	22
3.1.4 排放边界和排放源识别	23

3.2 钢铁行业碳排放核算方法概述.....	23
3.3 T 钢企碳排放情况核算	25
3.3.1 ISO 系列标准核算碳排放量	25
3.3.2 《省级温室气体清单编制指南方法》核算碳排放量.....	28
3.3.3 《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》核算碳排放量.....	30
3.3.4 《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》核算碳排放量.....	32
3.4 T 钢企碳排放数据分析	34
3.4.1 比较四种核算方法下碳排放量的差异.....	34
3.4.2 四种核算方法下碳排放量产生差异的原因.....	35
3.5 T 钢企碳排放审计风险	36
3.5.1 碳排放核算标准引起的审计风险.....	36
3.5.2 碳排放数据验证引起的审计风险.....	37
3.5.3 碳排放信息披露引起的审计风险.....	37
3.5.4 碳排放审计程序引起的审计风险.....	38
3.5.5 碳排放审计工作人员引起的审计风险.....	38
4 T 钢企碳排放审计风险产生的原因分析	40
4.1 碳排放审计标准不一致.....	40
4.2 碳排放信息披露程度不足.....	41
4.3 碳排放审计机制不够完善.....	41
4.4 碳排放审计人才缺乏.....	42
4.5 碳排放审计监管体系欠缺.....	43
5 钢铁行业碳排放审计风险的防控策略	44
5.1 建立科学统一的钢铁行业碳排放审计标准.....	44
5.2 提高碳排放信息披露质量.....	45
5.3 深化碳排放审计工作管理.....	45
5.4 加强对碳排放数据的交叉验证.....	46
5.5 强化碳排放审计人才队伍建设.....	47

5.6 完善碳排放审计监管体系.....	48
6 研究结论与展望	49
6.1 研究结论.....	49
6.2 研究展望.....	50
参考文献	52
致 谢	57
附 录	58

1 绪论

1.1 研究背景、目的及意义

1.1.1 研究背景

随着全球气候变暖的环境变化，低碳经济已然成为当今世界经济发展的主要趋势。

我国也在巴黎气候大会上对节能减排做出了明确承诺，即我国将在 2030 年前后让 CO₂ 排放量达到峰值，2030 年 GDP 相应的 CO₂ 排放量相较于 2005 年要下降 60%-65%，到 2060 年，绿色低碳可持续发展的能源利用率达到国际水平的前列，将非化石能源消费比重增加到 80%，在 2060 年前努力争取达到碳中和。为实现我国在国际社会对节能减排做出的承诺，对能源密集型产业进行减排调整是必须的。钢铁行业作为高碳排放行业，已成为各国政府纷纷注意的重点行业，在钢铁行业领域推进低碳生产和低碳发展在各国范围内都达成了共识。作为对我国的国民经济持续健康发展起重要性作用的行业，钢铁行业同时也是我国所有制造行业中碳排放量最高的行业，该行业在 2020 年的碳排放量占据了世界钢铁行业总碳排放量的半壁江山，在全国总碳排放量中的比例也达到了 15% 左右。由此可见，深化钢铁行业供给侧结构性改革，优化生产力布局，促进原料结构优化，压缩钢铁产能，深挖钢铁领域节能减碳的潜力是我国必须要经历的阶段，对实现碳达峰、碳中和目标具有非常重要的意义。

近期欧盟重拾碳边境调节机制（CBAM），并积极推动相关立法，2021 年 7 月 14 日，欧盟委员会公布了 CBAM 草案细则，钢铁行业首当其冲，成为被纳入的首批行业之一。草案细则中提到，将 2023 年—2025 年设置为机制适应的过渡期，也就是在 2023 年 10 月至 2025 年底这个时间段内，进口商虽不用缴纳相应的费用，但仍然需要提交产品出口相关的碳信息，比如进口量和进口国、产品含有的碳排放量和间接产生的碳排放量的等。我国作为欧盟进口产品的主要生产国，碳边境调节机制的实施将影响对欧贸易。据研究，受影响贸易额最大的行业是钢铁行业，受影响贸易额将达到 160.86 亿人民币，且钢铁行业每年为此支付的碳关税将在 26-28 亿人民币左右，约占价格比重的 11%-12%。碳关税会导致贸易壁垒强化，从而易对中国钢铁产品的出口贸易造成负面影响。根据已有资料显示，在度过 2023 年—2025 年的过渡期后，欧盟将会把免费配额完全取消，这一举措会导致钢铁行业成本增加 21%，CBAM 将会对中国出口欧盟的钢铁产品产生成本

增加约 25% 的影响。面对国际贸易的重要挑战，碳排放核算和碳排放审计工作将成为工业制造业中非常重要的内容，这也是一项应对碳关税政策挑战的必要工作。因此，在全国范围内达成碳排放审计标准的一致刻不容缓。

此外，碳排放审计标准和数据核算方法的一致性将对减排政策的实施与管理具有直接且深刻的关联，也会对碳达峰、碳中和这两个目标的实现产生影响。2021 年 7 月初，“内蒙古鄂尔多斯高新材料有限公司虚报碳排放报告案”被内蒙生态环境厅在其官方的网站上做出了通报，这一案件成为了全国第一例碳排放造假案件。2022 年 3 月 14 日，生态环境部公布了中碳能投科技（北京）有限公司造假案件，该公司对煤质检测报告和一些关键信息进行了恶意修改和伪造，数据造假致使碳排放报告质量失控；接受地方生态环保部门委托的北京中创碳投科技有限公司和青岛希诺新能源有限公司对控制排放的企业进行核算盘查，在碳排放审查过程中的工作流程不符合规定，相应的核查职责没有履行到位，使得最终的碳排放核算检查结论显然不够真实；辽宁省东煤测试分析研究院有限责任公司在对控制排放的企业进行集中补充监测元素的碳含量时，帮助企业规避使用缺省值的碳排放报告数据弄虚作假，出具虚假的报告。碳排放数据不准确直接影响科学决策，数据造假影响市场公平，不利于“双碳”目标达成。不约而同的是企业会有多套数据来应对不同的要求，也称多个统计口径，和碳排放数据紧密关联的能源数据不但在此之列，还处于数据造假的“重灾区”。环境管理的关键就在于环境检测数据的质量好坏，而环境检测数据的质量问题关系到对环境管理进行科学有效的决策，我国的生态环境部也将对环境数据监测质量保持高度关注。我国钢铁企业有近千家，其中大多数均为国企，中国钢铁协会有案可查的企业就有 347 家之多，而且钢铁产品的制造流程繁多，对碳排放数据核算边界的确定也并不容易，因此，钢铁行业的碳排放数据质量管理将面对更多的挑战。

综上，由于我国碳达峰、碳中和的需要，欧盟碳边境调节机制引发的钢铁行业出口成本增加以及碳关税壁垒强化，结合目前我国碳排放交易市场频发的碳排放数据造假案件，无一不在说明碳排放核算标准需要统一，以政府为指导的碳排放审计亟待加强。

1.1.2 研究目的及意义

1.1.2.1 研究目的

近年来世界各国广为重视的问题就包括全球气候的变化和低碳环保问题，面对气候变化带来的影响人类生存发展这一重大挑战，各国政府纷纷出台了具有先导性的减排政

策。作为中国制造业中碳排放量最高的行业，钢铁行业必然是我国实现“碳达峰”、“碳中和”目标的关键行业。目前全球的碳排放核算标准、碳排放评价标准等制度迅速发展，这些制度在中国尚未得到广泛普及，而且钢铁行业工序环节多，核算边界划定比较复杂，利用国外内出台的钢铁行业碳排放核算方法计算时，计算结果出现较大差异，钢铁行业碳排放审计发展面临着更多挑战。

因此，本文以 T 钢企为例，对其钢铁生产过程的各种原始数据进行整理，通过国内外不同的碳排放核算方法进行测算，对比四种碳排放核算方法计算结果的差异，并分析其原因，探究碳排放数据易出现的审计风险点，为我国钢铁行业制定碳排放核算标准，统一核算方法提供参考，提升钢铁企业碳排放数据质量，促进钢铁行业碳排放审计风险管控。

1.1.2.2 研究意义

（1）理论意义

对 T 钢企的钢铁生产原始排放数据通过利用国内外不同碳排放核算方法计算，可以对比分析出不同碳排放核算方法的异同，有利于构建钢铁行业统一的碳排放核算方法。同时，可以探究其碳排放审计过程中容易造假的环节，把控审计风险，对完善钢铁行业碳排放审计的相关标准具有一定的意义。

（2）现实意义

首先，有助于保证钢铁企业碳排放数据质量，最大程度上避免数据造假；也有助于进行企业碳核查时有统一的碳排放核算标准。其次，统一碳排放核算标准可以合理评估钢铁出口企业碳排放量，减轻企业出口贸易的合规性负担，避免产生贸易纠纷冲突点。最后，通过对钢铁企业的碳排放核算可以得出碳排放总量，进而对结果进行灵敏度/贡献率分析，提出针对优化钢铁产品生产流程的重点改进建议，为企业减排路径的选择给予一定的决策支持，减少碳排放。

1.2 国内外文献综述

1.2.1 国外研究现状

第一，企业进行碳排放审计的需求程度层面。Haley Brendan 和 Gaede James (2020) 立足于企业所想要达到的效益目标和当今企业迫切需要低碳转型的发展现状，制定了一

套开展碳排放审计的计划,旨在提高企业的资源应用效率并减少企业碳排放,以及满足目前低碳发展的监督管理需求。Theodoros Zachariadis (2020)通过对环境发展和税收法制的研究发现,以批判性的思维对低碳发展战略进行评估,发现碳排放审计作为促进未来低碳环保的经济发展的的重要手段,需要对碳排企业进行碳排放审计。Puneet Dwivedi, Madhu Khanna 和 Ajay Sharma 等(2016)对碳排放审计的内涵和外延进行了解释,认为碳排放审计是审计主体按照审计准则并运用相应的审计程序,对被审计单位进行生产经营活动时所产生的碳排放量情况进行鉴证与评价,有利于促使企业对自身碳排放状况做真实披露,也有利于低碳经济发展,所以需要碳排企业进行碳排放审计。

第二,钢铁行业碳排放现状。据世界钢铁协会《气候变化与钢铁生产》报告统计,在2020年每生产一吨粗钢平均排放1.85吨CO₂,2020年世界钢铁领域直接排放总量约为26亿吨,占全球人为二氧化碳排放的7%至9%。Paul W.Griffin 和 Geoffrey P.Hammond (2021)提出钢铁行业就能源需求和GHG排放而言,是英国最大的工业部门,其具有规模大和高集成化的特点,经过数据查找得出该行业约占英国工业GHG排放的26%。Xinyu 和 Kexin 等人在研究美国钢铁项目时发现,美国1/3的二氧化碳排放来自发电行业,钢铁行业仅占1%。因此,美国目前的碳排放审计方案和减排政策大多是针对发电行业的。Junichiro Oda 和 Keigo Akimotob (2019)根据日本经济产业省的数据整理得出,在2019财年,日本钢铁行业排放了1.767亿吨CO₂,包括焦炭生产和发电产生的间接CO₂排放,占日本能源相关二氧化碳排放量的16.5%。文中提出日本经济团体联合会于1997年推出自愿行动计划,为参与行业设定了减少二氧化碳排放的数字目标。根据自愿行动计划,第三方委员会每年举行会议,评估各个工业部门的碳强度。Marlene (2017)在文中提出,钢铁行业在德国也是主要的二氧化碳排放行业,该行业GHG排放量占德国GHG排放总量的4%。德国于2010年采纳了《能源计划》,目标是到2030年将CO₂排放量与1990年相比减少55%。Zhang (2020)等人认为MRV(可监测性、可报告性和可核实性)原则为许多国家建立碳排放交易体系奠定了基础。MRV系统通过获取准确、可比、可靠的数据,对二氧化碳排放进行量化,为碳信用额度的分配和交易提供了数据库,确保碳市场高效运行。MRV体系的局限性包括法律和制度支持薄弱、技术指南和标准不完善、第三方核查机构能力参差不齐。基于此,他们提出建立应包括各维度动态指标设置的审计评价指标体系,即驱动力-国家-响应(DSR)模型。

第三,碳排放核算成果方面。为计算炼钢产生的CO₂排放量,Li等(2012)通过对各企业的生产数据和材料抽样,采用物质流分析法对两家钢铁企业的碳流进行了调查。结果表明,高炉-基氧炉(BF-BOF)炼钢CO₂排放的主要碳源为化石燃料,电炉(EAF)炼

钢中化石燃料占总碳源的 33%,高炉-转炉炼钢和电炉炼钢每吨粗钢 CO₂ 排放量分别为 1149.7 kg 和 46.6 kg,高炉-转炉炼钢每吨粗钢 CO₂ 排放量为 1.15t CO₂/t,电炉炼钢法为 0.05t CO₂/t。Zhang (2018) 等通过对产品年产量 800 万吨的钢铁企业 A 和产品年产量 300 万吨的 B 进行调查研究,在对碳物质流动图绘制之后对其进行分析,采用 WSA 的碳排放因子推荐值,用 IPCC 方法通过碳物流分析 (C-MFA) 模型,将购买原、燃料和电力生产产生的间接碳排放包括其中,计算了 A 和 B 这两个以高炉-转炉流程生产工艺为主的钢铁企业的碳排放情况,A 和 B 这两个钢铁企业的排放强度分别为 2.04t CO₂/t 和 2.50t CO₂/t。Hasanbeigi (2016) 通过以物理学为基础的、自上而下的比较方法,将中国、德国和墨西哥这三个国家钢铁生产中与能源相关的二氧化碳 (CO₂) 排放强度。分析结果表明,在整个钢铁生产过程中,基本情况 (2010 年) 的二氧化碳排放强度在中国为 2.148t CO₂/t 粗钢,在德国为 1.708t CO₂/t 粗钢,在墨西哥为 1.08t CO₂/t 粗钢,墨西哥二氧化碳排放强度最低的主要原因之一是,墨西哥大部分钢铁生产使用的是电弧炉 (EAFs) (69.4%)。电弧炉炼钢生产的二氧化碳排放强度比使用高炉/基本氧气炉低。相比之下,中国在这四个国家中拥有最小的电弧炉生产份额——2010 年基准年为 9.8%。在一种情况下,我们将中国在电弧炉生产中的份额应用到其他三个案例研究国家的结果是,与这些国家的基本情况分析相比,德国钢铁生产的二氧化碳排放强度增加了 19%(2036kg CO₂/t 粗钢),墨西哥增加了 92%(2074kg CO₂/t 粗钢),美国增加了 56%(270kg CO₂/t 粗钢)。

第四,碳排放审计的方法。

Zhang (2020) 提出建立应包括各维度动态指标设置的审计评价指标体系,即驱动力-国家-响应 (DSR) 模型。他们认为钢铁企业碳排放审计过程分为碳排放企业收集审计证据、起草工作报告和编译工作报告三个阶段,审计机构可以联合审计项目人员、环保部门、法律部门等部门对钢铁企业进行现场核查,同时实施控制试验和实质性程序,收集可靠、充分的审计证据。这些证据包括对钢铁企业碳减排记录的审查,对碳收支真实性分析,对各类低碳项目资金投入的合理性分析,对企业财务数据中反映的低碳经济的合法性分析。

Andrew C. (2003) 提出,在英国、美国、丹麦和澳大利亚等碳排放审计实践发展的西方国家,近年来许多研究者致力于碳排放审计,以实现碳减排目标的推动,碳减排通过国家政策杠杆战略“自上而下”向地方政府和地方部门“自下而上”的方式进行,这种转型方式的关键驱动因素是发展环境审计技术,以风险导向审计为依据构建一个完整的碳排放审计架构,将一个完整清晰的工作方向提供出来,为碳排放审计工作开展增

加助益。Shilpa Verma (2012) 认为碳排放审计的一般流程是：向员工收集信息；组织建设调查；碳排放计算；现场参观；在审计框架下生成审计报告，这一系列流程的提出对碳排放审计的发展起到了积极的促进作用。Jan Bebbington 和 Carlos Larrinaga (2008) 在文章中指出，要想对因为碳排放量核查引起的不确定性和风险等问题进行处理，可利用设置“碳账户”的方法，从而实现全球范围内的碳存量和碳流量的核算和核查。碳排放核查是合理实施限额与交易制度的关键因素之一，Pan 等 (2019) 认为为获得更多收益，排放发电公司可能会与第三方核查机构串通，隐瞒真实的碳排放数据，他们根据深圳市物产企业的实际情况，设计了一个三博弈模型，分析了企业、三博弈主体和政府之间的行为。根据政府当前的分段线性再验证政策进行研究，发现如果实际碳强度小于历史碳强度，排放发电公司倾向于报告实际碳强度；当实际碳强度大于历史碳强度时，排放发电公司可能会报告更少的碳强度，掩盖实际碳排放。针对这一问题，他们提出了一种新的指数再验证策略。基于深圳物产系统真实数据的实验结果表明，政府在选择重新验证的排放发电公司时，应更多关注工业品产出增加值下降的排放发电公司，而不是高碳排放的公司。实验还表明，当初始再验证概率设定在一定范围内时，新政策在碳隐藏总量和再验证总成本上都优于现行政策。Fiocco 和 Gilli (2016) 在政府、监管机构（作为审计师）和公司之间建立了一个三层监管层级，监管机构被要求监控公司的成本并向政府披露其信息。他们描述了机构对共谋的最优反应，即通过向监管机构支付激励性报酬。对双重审计系统进行建模，并证明在长期内可以减少事务所和审计师之间的勾结。

1.2.2 国内研究现状

第一，对碳排放审计的内涵和外延阐释方面。杨明晖 (2019) 通过对我国碳排放权和碳排放交易市场的研究，将碳排放审计概念定义为对造成气候变化的因素的碳排放情况和碳排放信息进行的一项鉴证业务，这项业务是由政府机关、社会机构或者内部组织为审计主体来进行的。金密 (2017) 在其文章中提到，碳排放审计作为环境审计的组成部分，是第三方碳排放业务机构在接受委托后，对企业或者政府的碳排放责任落实情况进行审查评估。所以他认为碳排放审计的关键作用就在于企业或者政府在是否认真落实碳减排政策和履行碳排放责任与义务等方面进行评价、监督与鉴证。

第二，钢铁行业碳排放现状。冶金工业规划研究院在《中国钢铁工业节能低碳发展报告 (2020)》指出，2020 年碳排放总量中，钢铁行业的碳排放量约为 20.87 亿吨，2020 年的碳排放量占据了世界钢铁行业总碳排放量的半壁江山，在全国总碳排放量中的比例

也达到了 15%左右。薛雨石（2021）指出我国目前主要利用制造每单位产品时统计的排放温室气体数量的平均值作为因子，对钢铁企业生产产品产生的碳排放量进行计算。按照我国发展与改革委员会颁布的《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》中规定的碳排放量核算方法，利用碳排放因子法加计核算得出钢铁企业的碳排放总量。

钢铁行业中，在进行钢铁产品生产制造时的流程主要包括两类，即长流程炼钢和短流程炼钢。包含铁矿和焦煤等原、燃料开采、炼焦、烧结及炼铁轧钢等一系列环节的是长流程炼钢；短流程钢包含废钢回收及处理、电炉炼钢等环节。邢奕等（2022）通过研究碳减排、碳零排和碳负排框架，分类整理了当下钢铁企业的低碳炼钢技术，研究发现我国钢铁企业的生产制造主要以长流程为主，以长流程炼钢产生的吨钢排放量约在 1.7—2.2 吨 CO₂，以电弧炼钢为代表的短流程炼钢的吨钢碳排放量虽然只有 0.6 吨 CO₂，但是因为我国用电费用较高，废钢质量天差地别，导致可用于电弧炼钢的废钢较少，所以我国长流程炼钢和短流程炼钢生产的粗钢比例为 9: 1。由此得出结论，长流程钢因产量占行业比重大、流程长耗能大，所以碳排放量高，而由于去除了洗选矿、炼焦和烧结等生产环节的短流程炼钢碳排放量就大大减少了。

那洪明（2019）通过对高炉-转炉长流程炼钢碳排放情况和短流程炼钢碳排放情况经计算发现，用长流程每生产一吨钢 CO₂ 排放量为 3.102 吨，采用短流程炼钢的吨钢 CO₂ 排放量为 2.994 吨，这样看来长流程和短流程炼钢的吨钢排放量差异并不大，其实是由于短流程生产过程中投入使用了占比约 53.7%的铁水，铁水生产需要考虑炼铁产生的碳排放量导致的。当短流程电炉炼钢利用纯废钢作为原料冶炼时，其吨钢碳排放量为 1.613 吨，这个数据与长流程炼钢相比，吨钢碳排放量约减少 47.4%。

第三，碳排放核算成果方面。杨楠（2020）等提出可以从单个钢铁企业和整体钢铁领域这两个层面对钢铁企业制造产品的碳排放核算进行探究，他们认为对于单个钢铁企业的研究更多的是对它们生产产生的碳排放量进行分析。他们依据《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》对钢铁企业碳排放量的核算方法做出的规定，对唐山市 2017 年钢铁行业碳排放量进行测算，得出在此期间的碳排放量为 14042.52 万吨，吨粗钢碳排放量为 1.616 吨 CO₂。张春霞等（2012）结合 IPCC 和 WSA 提出的碳排放核算方法，通过搜集我国 1991—2008 年统计年鉴中的能耗信息，对我国钢铁行业在 1991—2008 年产生的直接碳排放量进行核算，计算结果显示生产出 1 吨粗钢产生的直接碳排放量由 1991 年的 3.29 吨下降到 2008 年的约 1.92 吨。那洪明等（2019）运用投入—产出法和碳排放因子核算法，对年度钢铁产量约为 1 亿吨的酒钢（集团）公司在 2014

年采用电炉炼钢流程生产产生的碳排放量进行测算，把钢铁制造的直接碳排放量和间接碳排放量包含在内，并将发电发热产生提供的电能和热能的碳排放量进行了抵扣。计算结果得出，每吨粗钢的碳排放量为 3.07 吨 CO₂，而这其中 1.419 吨的碳排放量由铁水产生。王韵铭等（2017）对所属京津冀地区内 8 家钢铁企业进行了实地调研，根据调研得到的钢铁生产碳排放量数据并利用定量分析法，对钢铁企业进行微观研究，对钢铁制造的每个工序的碳排放量、能源资源消耗量和产能做了详尽的对比和分析，也对比了不同的碳排放量核算方法的可行之处。不仅如此，他还在《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》提供的碳排放量核算方法的基础上，对主要生产产品为板、棒、线、型四类的河北一家重点钢铁生产企业在 2013—2015 年的碳排放量进行了核算，计算出这个重点企业在 2013—2015 年中，生产每吨粗钢产生的碳排放量分别为 2.08 吨 CO₂、2.16 吨 CO₂ 和 2.15 吨 CO₂。

第四，碳排放审计风险识别。魏东等（2012）在文章中提出在碳排放交易风险识别过程中，必须要把碳排放名单的确定、碳排放预算的方法和技巧、管理信息系统和碳排放的注册登记四个方面的问题把握住，并提出应对碳排放权交易事项导致的重大错报风险的实质性和综合性方案，即第一步要先对管理层和负责人评估、应对碳排放风险的关键管理人进行询问；其次要观察被审计单位减排设备运行情，检查与碳减排事项相关的文件或记录、涉及碳排放事项的信息系统执行结果和受碳排放权交易事项影响的财务报表项目；如果当询问、观察和检查等程序组合使用时仍然没有办法获取到充分恰当的证据时，就可以实行重新执行程序。姚丽琼（2016）认为引起企业生产经营风险的碳排放就是碳排放审计风险，碳排放审计风险同时存在于外部环境和企业自身日常生产经营活动中。风险源即碳排放引发的企业运营风险来源，不仅存在于外部环境中，也与企业自身运营活动有关，资源型企业的内部碳排放审计风险也是如此，可以通过引进并采用低碳生产设备和提高企业自身治理污染能力来有效降低此风险。由此，她认为运营模型分析法、风险调查法和碳足迹追踪法等方法可以有效识别源型企业碳排放审计风险，并通过加强政府层面的监督与引导、建立企业内部低碳控制体系和制定企业低碳风险管理方案来对资源型企业碳排放审计风险进行管理。

第五，碳排放审计的方法。郑石桥（2022）在对经典审计理论进行研究的基础上，提出审计技术方法应该被分为两类，即通常审计技术方法和专用技术方法。但碳排放审计具有区别于传统财务审计的特殊性，所以对于碳排放审计来说存在着很多专门的审计技术方法。这些方法主要分为碳数据分析方法、碳数据验证方法和碳绩效评价方法三类，由于碳排放审计业务本身有多种类型，在不同类型的碳排放审计业务中，具体的审计技

术方法也存在差异。李飞（2010）指出企业碳排放审计包括边界范围和基准年的确定，温室气体的识别、排放数据及排放系数收集和温室气体量化计算等步骤。由于与传统审计相比，碳排放审计在审计的方法与技术方面都具有一定程度上的特殊性，张晓毅和倪国爱（2012）认为在收集碳排放证据时与传统审计类似，都会采用审阅、访谈、观察、穿行测试和分析性复核等方法；通过技术来对企业的绩效水平进行分析时，通常会运用比较分析法、因素分析法、线性规划法和网络计划法等方法。管亚梅（2016）创造性地指出，在进行碳排放审计时，可以利用“云计算”这个平台，将碳排放审计和云计算充分结合，通过云端实现对海量碳排放数据的收集、储存、传输和专业化处理，可以大大提高审计效率和审计质量。邱礼慧和伍中信（2013）提出了有关碳排放量估测方面的特殊审计方法。钱英莲、樊鹏燕（2010）则在文中将煤炭企业作为研究案例，在对企业进行碳排放行为评估时，采用生命周期法来评估低碳产品。杨渝蓉，齐砚勇（2011）在对《水泥企业二氧化碳减排议定书》进行研究的基础上，选取一家水泥厂作为示例进行计算说明，建立温室气体排放清单，提供了对水泥生产企业进行碳排放审计时选用何种方法进行审计的相应参考。此外，郝玉贵等（2015）结合增量式软件开发方法设计出一套审计软件，研究了信息技术在碳排放审计中的使用。刘学之（2018）等重点研究和分析了欧盟碳交易市场的碳核查（MRV）机制。研究发现，在 2012 年-2020 年，也就是欧盟碳交易发展的第三个阶段，MRV 已经实现了规范化的工作流程；企业对碳排放监测计划的制定和上传的内部碳核查结果，都要接受第三方核查机构的分析和评价；三方机构会详细核查企业所上报的年度碳排放报告，并在核查后按照实际情况编写一份企业碳排放核查报告上传至主管单位，主管单位会按照碳核查的实际情况对企业制定的碳排放监测计划给予修改意见。彭峰（2015）将我国 7 个采取碳排放权交易的试点城市的碳核查制度上进行了详细比较，他由此认为整个碳排放交易机制的关键就在于碳排放核查制度，所以他提出的建议表明，碳核查制度的相关权限应全权交由中央管控，同时将第三方碳核查机构和工作人员的执业资质做成一套标准以供执行参考。按照吴璇（2015）的观点，具有特定的碳核查法律法规、科学合理的碳核查工作流程框架、有质量保障的碳排放数据和数据风险控制方案，是使碳核查体系进行完整性、科学性和高效性建设的三个必备前提。而且对于加强企业碳核查培训、强化企业自身碳排放监测能力，提升对碳排放报告的质量管理能力等方面也不能松懈。郝海青等（2016）指出了《巴黎协议》下，我国应该从国家层面立法、碳排放数据库建设、信息透明度建设和人才培养及机构建设等四方面构建 MRV 技术管理体系，为全国碳排放权交易市场的运行提供技术保障。

1.2.3 文献述评

综上所述，通过研读国内外文献，可以发现前辈们在碳排放审计研究方面取得了一定成就。随着国际社会对资源利用和环境保护的日益重视，对于企业碳排放状况开展审计的需求不断增加，国内外学者对碳排放审计的具体内涵也做出了深刻阐释，各国也纷纷出台了钢铁行业有关的碳排放核算方法和评价标准，并有学者提出建立碳排放审计评价指标体系和碳排放审计框架来指导钢铁行业碳排放审计工作。我国学者对于碳排放审计风险的识别相对于工艺流程复杂的钢铁行业来说针对性不足。

目前我国只有发电行业纳入了碳交易市场，钢铁这一高能耗行业却仍未纳入。虽然我国也出台了钢铁行业相关碳排放核算方法，但依据上述文献可知，我国钢铁行业碳排放量核算采用出台的方法核算出的结果仍无法达到一致，可见统一碳排放核算是钢铁行业当下急需解决的问题。在当下已有的文献中，也未对钢铁行业碳排放审计过程中可能出现的审计风险进行探究，我国对于碳排放审计风险成因的研究也是寥寥无几。本文在国内外碳排放核算方法的基础上，通过对比不同核算方法产生差异的原因，分析钢铁行业碳排放审计过程中可能出现的审计风险点，并提出相应的应对措施。

1.3 研究内容、框架及方法

1.3.1 研究内容

本文通过介绍 T 钢企概况，结合企业情况，整理分析 T 钢企生产流程碳排放的原始数据，并利用国内外不同碳排放核算方法进行测算，对不同碳排放核算方法进行差异分析，并得出造成差异的原因。同时，探究碳排放数据审计风险点，在政府监管视角下提出审计风险的应对方案。希望通过对 T 钢企的实践研究，为我国统一碳排放标准，把控审计风险提供思路和建议。本篇论文各章节的具体内容如下介绍：

第一章：绪论。在这一章将主要对选题背景、研究的目的和意义以及国内外的研究现状进行介绍，并引出本文的研究内容，同时对研究思路、方法进行说明。

第二章：相关概念及理论基础。这一章会对碳排放审计、审计风险等相关的概念以及理论基础进行简述，为论文的后续写作打下坚实的理论基础。

第三章：T 钢企案例分析。本章首先对 T 钢企的基本企业情况和行业发展情况进行简单介绍，然后利用国内外不同的碳排放因子和碳排放核算方法进行测算，并对不同结果进行差异分析，探究 T 钢企的碳排放审计风险。

第四章：碳排放审计过程中审计风险出现的原因分析。对于上述 T 钢企碳排审计过程中，对 T 钢企碳排放审计风险的探究，对可能出现的审计风险进行原因分析。

第五章：钢铁行业审计风险的防控策略。本章根据前文对碳排放审计过程中可能出现的审计风险及原因分析，归纳总结并提出新形势下，以政府为指导的钢铁企业碳排放审计风险防控方案。

第六章：研究结论与展望。本章将对论文的研究结论进行归纳，分析论文存在的不足和缺点，并对未来改进提出方向。

1.3.2 研究框架

研究内容框图如图 1.1 所示。

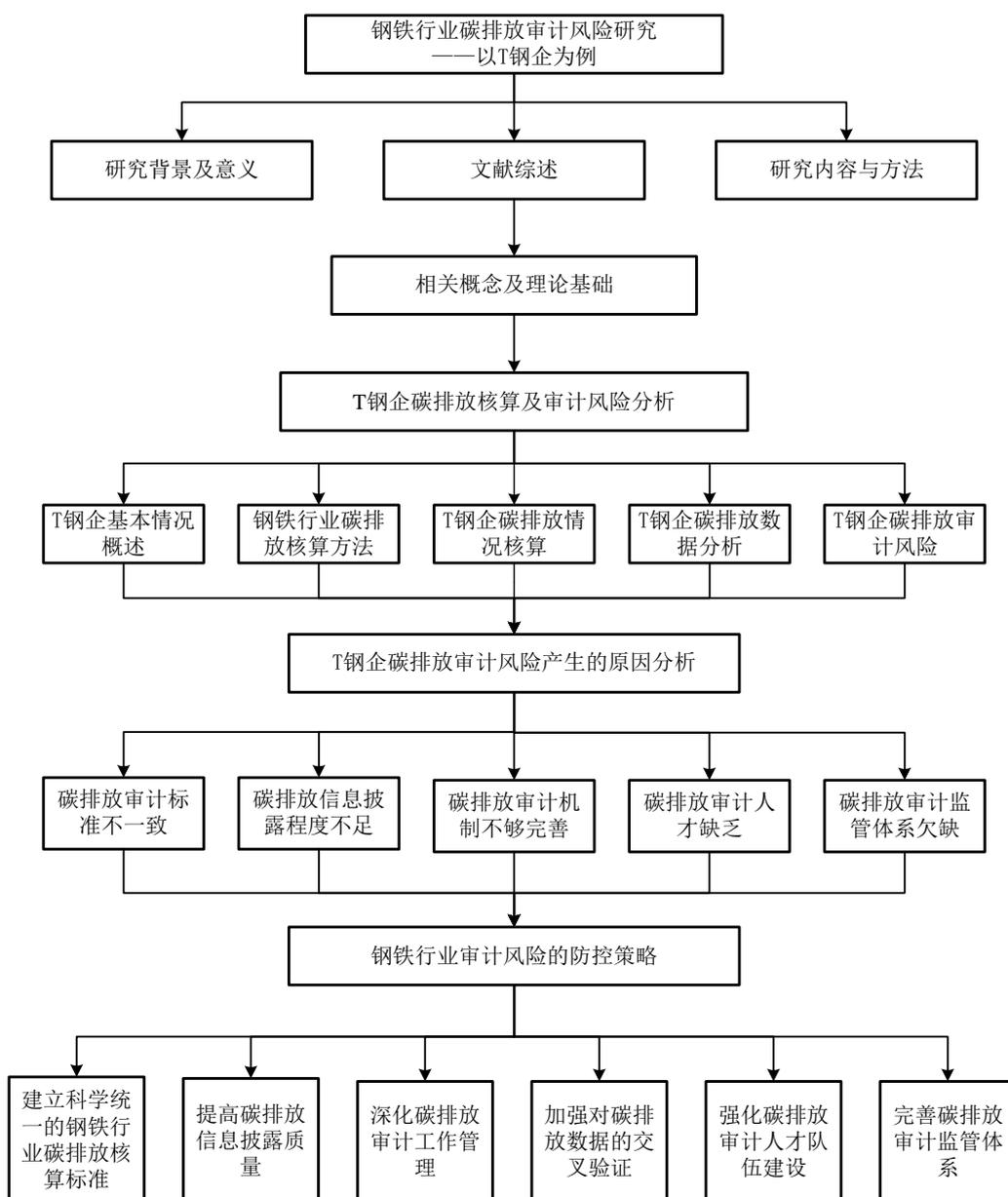


图 1.1 论文研究框架

1.3.3 研究方法

1.3.3.1 文献研究法

文献研究法是指通过对文献的检索分析和研究梳理，能够对事物或者问题得到完整准确地了解，而且能够在这个基础上探究事物或者问题的本质，发现主体问题的研究方法。本论文将在钢铁行业碳排放相关文献进行深刻研究的基础上，思考借鉴学者前辈在钢铁企业进行碳排放核算和分析方法，更好地把握近期的研究方向和动态并展开进一步研究。

1.3.3.2 案例分析法

在案例研究部分，本文选取 T 钢企作为研究对象，通过对其数据和资料进行进一步整理和分析，从全过程把握 T 钢企通过不同碳排放核算方法得出的碳排放结果，并对各项结果进行差异分析，探究其引起差异的原因和审计风险点，并由此引申到整个钢铁行业层面，其他钢铁企业碳排放核算提供借鉴，把控审计风险。

1.3.3.3 定量分析法

本文对 T 钢企生产制造过程的排放原始数据进行整理，并通过不同碳排放核算方法测算出吨钢排放量，为文章开展碳排放核算方法比较和审计风险点研究，提供了基础，也为本文增强了丰富性与真实性。

2 相关概念及理论基础

2.1 相关概念

2.1.1 碳排放审计

碳排放指的是以二氧化碳（CO₂）为主要组成部分的温室气体排放活动的简称，所以也被称为温室气体排放。几乎每一个主要的社会功能都产生温室气体排放，包括交通运输、农业、空间供暖和许多其他活动。全球绝大多数温室气体排放都是由相对少数的国家产生的。全球温室气体排放量排名中，前 25 个国家的碳排放量合计约占全球碳排放总量的 83%。美国作为最大的碳排放国家，其碳排放量约占全球碳排放量的 21%，其次是中国（15%）。如果欧盟被视为一个单一实体，它和其他四个最大的排放国——美国、中国、俄罗斯和印度——贡献了大约 61% 的全球排放量。世界资源研究所（WRI）统计了广泛的数据得出，在全球产生的碳排放中与能源相关的排放约占世界总量的 60%^①。

“碳审计”的概念最早是由英国提出，是环境审计的一个分支，是指审计主体根据考虑低碳项目收入、能源使用和节能减排责任履行的一般审计准则和适用的特定碳审计标准进行的审计工作。简单来讲，碳排放审计主要是针对企业或政府的碳排放情况或者碳排放量进行的鉴证与核查，并以此为基础依据来进行鉴证、监督与评价。

碳排放审计，指的是评价审计客体碳排放情况、鉴证审计客体，减少碳排放的社会责任履行情况，以及监督审计客体的相关经济活动，还包括对碳排放量的核算与复核，待审计结束后将最终审计结果提供给相关使用者。碳排放审计是结合财务审计、法律合规审计、绩效审计和社会责任审计的综合审计。碳排放审计是低碳治理的重要组成部分，是审计服务状态治理的重要表现，所以，碳排放审计的本质就是碳审计。

碳排放审计脱胎于一般传统审计，其与传统审计相比具有明显的差别，传统审计是对国民经济的各个部门进行的，相反，碳排放审计的重点是碳排放的来源，包括矿采、工业制造、电力系统、天然气、建筑和交通运输等行业。碳排放审计是衡量温室效应的工具。从这个意义上说，碳排放审计对国家战略具有重要意义，碳排放审计是通过审计监督促进资源节约和环境保护的一种手段。

^① 资料来源：《数字导航—温室气体数据与国际气候政策》报告，世界资源研究所（WRI）。
<https://www.wri.org/research/navigating-numbers>

首先，对于审计主体而言，虽然同其他审计一样，在碳排放审计中，政府、社会和企业内部均可开展审计活动，但我国碳排放审计发展仍处于初级阶段，加上被审计单位或组织提供的碳排放相关信息的特殊性，将政府审计作为具有主导性的审计主体，利用政府监督的系统性和专业性提供较为完善、有力的保障，来推进我国的碳排放审计效果可能会更好。

其次，在碳排放审计制度和标准方面，我国对碳排放审计的研究仍处于初级阶段。虽然出台了很多碳审计相关的法律法规，但法律法规制定相较于其他国家地区而言较为笼统，对相关审计责任的界定不够明确，而且关于碳排放审计的理论体系仍有待完善，切实合理的审计标准和审计实施规范办法的内容也相对匮乏，无法对碳排放审计工作进行详细指导。所以，我国急需一套完整，科学合理且有针对性的碳审计制度作为碳审计工作的理论支撑。

最后，在审计内容上，碳排放审计不同于其他审计偏向书面财务资料，而是更加注重于实务数据，对碳排放情况，包括碳排放量、碳排放相关信息和财务信息等内容进行鉴证、监督与评价。而且碳排放审计作为一种特殊的审计形式，碳排放状况的相关信息获取不易，其重点就恰恰在于碳排放量的计算和如何恰当评价碳排放行为上。碳排放审计专业涉及面较广泛，对各方面要求都很高，这从侧面也说明了参与碳排放审计的从业人员具有较强的专业素养和较高的综合素质。

作为中国制造业中碳排放量最高的行业，钢铁行业必然是我国实现“碳达峰”、“碳中和”目标的关键行业，其生产过程是一个开放复杂的过程系统。同时这个生产过程也是一个将自然资源经过化学反应和物理变化变为钢铁产品或废料的铁煤转化制造系统。钢铁制造工序环节多，核算边界划定比较复杂，对钢铁行业碳排放审计工作的开展产生了阻碍。对钢铁行业实施碳排放审计工作可以监督和评价企钢铁业是否将国家颁布的减排政策落实到位，减排责任是否得到了有力的承担，了解企业各生产环节真实的碳排放情况，顺利推进钢铁行业的碳排放审计工作，把控相关审计风险。

在进行碳排放审计时，要经历准备阶段、实施阶段和终结阶段三个审计流程。在碳排放审计准备阶段，需要充分获取企业概况和碳信息，并据此编制审计计划；在碳排放审计实施阶段，应根据企业生产经营环节确定审计范围和碳排放源来获取充分恰当的审计证据；在碳排放审计终结阶段，就是要根据获取到的审计证据发表恰当的审计意见并出具审计报告。在整个碳排放审计流程中，无论是哪个阶段，碳排放信息和碳排放量数据都是尤为重要的关键内容。

2.1.2 碳排放审计风险

审计风险是指审计师对含有重要错误的财务报表发表不恰当审计意见的风险。审计风险取决于重大错报风险和检查风险，审计人员应当评估认定层次的重大错报风险，而认定层次的重大错报风险又分为固有风险和控制风险两部分，固有风险，控制风险和检查风险共同组成了审计风险。

固有风险指的是，以不考虑被审计单位内部控制结构和相关政策程序实施有效性的前提下，由于客观因素影响导致被审计单位财务报表发生重大错误的可能性，该风险仅与被审计单位有关，而与注册会计师无关。

碳排放审计在审计内容上与一般传统审计不同，不仅需要获取被审计单位的书面财务数据，而且更加注重实务等非财务数据，尤其是碳会计信息，包括碳排放量、碳排放相关信息、能源及其他成本消耗数据等。我国的碳排放审计刚刚起步，在能耗和排放监测和计量原始数据方面，会由于相关监测仪器和计量技术存在不足而导致原始数据形成系统性误差，无法为碳排放核算与分析提供更加准确的一手资料。我国碳排放审计无论是在理论层面还是在实务层面都还在探索阶段，尚未形成一套统一的碳排放数据处理标准，各类碳排放指标的核算五花八门，不同行业、不同地区运用的方法、核算的内容也不尽相同，这些都使得碳排放审计的固有风险增加。

控制风险，指被审计单位未能被内部控制及时防止或发现并纠正的财务报表发生重大错报、漏报的可能性。

审计工作人员进行碳排放审计业务的基础就是碳排放相关数据信息，但当前许多被审计单位仍然处在熟悉碳审计业务阶段，无法对自身的碳排放信息进行完整、准确、及时的记录，审计人员只能从被审计单位披露的有限资料中获取信息，且这些资料中的数据大多为定性信息，定量信息较少，还需要审计人员进一步加以核算和分析。由于审计证据不足，碳排放审计工作的难度被进一步加大。

检查风险，是指审计工作人员为将审计风险降至可接受的低水平而实施程序后没有发现被审计单位财务报表上存在的某项重大错报或漏报的可能性。

一方面，我国对碳排放审计的研究仍处于初级阶段，碳排放审计还未形成系统、完整的体系，尚无法为碳排放审计工作提供统一的标准和依据。加之各地区、各行业出台的规章制度存在差异，所以不同的审计工作人员在进行碳排放审计业务时所采取的方式方法也各不相同，在面对同一审计业务会出现不同的观点见解，这都可能导致最终出具的审计报告存在一定偏差。另一方面，碳排放审计涉及行业领域众多，比如化工、环境

学、制造业等领域，而我国培养选拔出来的审计人员大都毕业于财经类院校，利用财务知识从传统财务审计视角进行审计，在处理工艺流程不尽相同的碳排放审计业务时显得力不从心。上述这些都会成为使碳排放审计风险增加、影响碳排放审计报告质量的重要因素。

2.2 理论基础

2.2.1 可持续发展理论

可持续发展理论，指的是不仅能够满足当前人们的需求，又不会对后代人在满足其需求时形成阻碍和危害的一种发展模式，该理论最早出现在 1972 年斯德哥尔摩召开的第 21 届联合国人类环境研讨会上提出的《人类环境宣言》中，反映了社会发展从向自然无节制地索取到代际公平价值原则的转变，得到了全世界的广泛认同。在可持续发展理论的内涵中，包含了环境、社会以及经济三个领域的和谐统一，强调了保护生态和经济、社会发展之间需要平衡，体现了人与自然和谐共生的正确价值观。可持续发展战略包括三个原则，即公平性、整体性和发展性。公平性原则，公平包含两个层面，第一层是代内公平，即本代人与人之间为满足发展所享受和能够获得的资源机会是公平的；第二层是代际公平，即本代人与后代发展均能获得所需的资源和条件，本代人的发展不能不顾虑后代人的需求。整体性原则，即可可持续发展的实现不是个体独立行动的结果，对于跨界环境问题需要全球各个国家均参与进来，建立合作关系，采取联合行动，与此同时制定国际政策维护每个国家利益。发展性原则，是指可持续发展的最终目标是提高人民生活质量，促进社会和谐有序发展。因此，“低碳经济”应运而生。

要强调并有效落实低碳经济，碳排放审计便是保障低碳经济发展的关键。可持续发展理论是进行碳排放审计的重要理论基础，也是碳排放审计要达成的最本质目标，而碳排放审计可以对被审计单位的碳排放行为进行指导、监督和约束，是推进落实可持续发展战略的关键一步。利用审计的方式和程序，高效监管企业的碳排放工作，进一步提升资源利用率，减少能耗，避免资源浪费，促进人与自然和谐共生。

2.2.2 受托经济责任理论

受托经济责任，意思是按照事先约定的要求或规则，对委托人的经济资源进行运营管理，并向委托人报告相关经营管理情况的义务，受托经济责任一般包含行为责任和报

告责任这两个部分内容。随着社会的不断发展进步，受托经济责任由于所有权和经营权的两权分离，信息不对称的弊端也逐渐显现，委托人因此产生了对受托人在进行经济资源管理时有关责任的履行情况进行监督检查的需求，“审计”也就是这样产生和发展的。所以，受托责任是审计的客观基础和前提。

伴随碳排放审计的出现，受托经济责任理论的基础地位就变得更加明显。随着社会的不断发展进步，企业为了获取更多的经济利益，不惜大力发展生产、开发能源、消耗资源，生态环境在利益的驱使下被忽略，自然生态环境因此遭到了严重的破坏与污染。人民大众都处在自然环境生存，生态问题与自身生活发展息息相关，在被污染的环境中深受其害。在环境需要保护，经济需要发展的阶段，依据受托经济责任理论，政府部门作为人民大众的公共委托人，为了保障社会公众的利益，委托审计部门发挥其有效的监管审查机制，监督、评估被审计单位碳排放和能源消耗情况，促使其提高环保意识，优化生产发展结构，节能减排，以减少对环境的污染，督促被审计单位落实减排政策，担负起社会责任，推动人与自然和谐、平衡发展。

2.2.3 外部性理论

外部性一词，通常也被叫做外部经济、外部效应等，在我国国内也有一些学者将“外部性”一词译作外在经济。它指的是在产品生产制造和消费的过程中，某些个体或组织的行动，对其他个体或组织产生了影响，却没有为此承担应付的成本或者没有因此获得相应酬劳的现象，这些经济主体对另一经济主体产生了一种不可通过市场进行交易的影响，是发生于市场运行之外的，这种影响并非经济主体自愿接受，而是被对方强加上去的。对于外部性来说，还可进一步划分为“正外部性”和“负外部性”。正外部性就是经济主体对其他经济主体和市场，形成良好影响或起到了推动性作用；负外部性则是经济主体对对其他经济主体和市场，造成了不良影响，使得他们面临糟糕的情况，蒙受损失。外部性的最大特点是私人成本和社会成本、私人收益和社会收益的不一致。

外部性理论是指，生态环境资源作为一种公共资源，如果因经济主体的生产经营活动而遭到了破坏，那么就相当于占用了公共资源，影响了人民大众的生存条件而没有为此付出相应的代价。长久如此，经济主体没有因污染环境而付出相应的代价，会致使其为了自身经济利润的获得而不惜抢占公共资源，置生态环境于不顾，增加社会生态成本，进而损害整个社会的总体利益。所以，环保经济措施的理论基础就是外部性理论。

因此，在低碳社会的发展中，碳排放审计离不开外部性理论的支撑。如果经济主体

的生产经营活动消耗了大量能源资源，且二氧化碳排放量过多，不仅会导致其他生产经营主体增加生产成本，还会使大众的生存环境被污染，增加生存成本，进而增加整个社会的负担，这就是外部性影响。综上，外部性理论是一个内涵丰富的理论，涉及我国低碳经济社会发展的方方面面，对碳排放审计的研究必然需要外部性理论的支持。

3 T 钢企碳排放核算及审计风险分析

3.1 案例背景

3.1.1 企业介绍

成立于二十世纪八十年代的 T 钢铁企业（以下简称“T”钢企），是在原 T 市某铁厂原有的规模基础上，通过一系列改制、合资而形成，现已成为拥有多家高新技术企业及境内外控股公司，年实现销售收入近千亿元，集钢铁制造、金融租赁和非钢铁业务为一体的大型企业。

二十一世纪初 T 钢企完成股份制改造，成功转型。随即与多家有限公司联合投资，投建多条生产线并顺利达产，产能及产品规格实现了巨大飞跃，使企业生产规模迅速扩大，规模效益日益呈现。进一步推进了企业发展进程，为开拓国内外钢铁市场，引进当今世界钢铁企业新的管理和技术创造了条件。

T 钢企所属行业为黑色金属冶炼和压延加工业，钢铁主导产品已形成 H 型钢、钢板桩、角钢、槽钢等型钢产品的多个规格和系列，现已成为全国专业化、系列化型钢生产企业。企业主要产品的市场占有率稳居全国前列，且已经成功被应用到杭州湾跨海大桥、深中通道、北京大兴国际机场、电气化铁路等国家重点工程，远销日韩美非等多个国家和地区。一些主打产品先后荣获多项国家荣誉，“T”文字商标被认定为“中国驰名商标”。

随着 T 钢企的不断发展与壮大，据统计 2020 年共产生铁 801.8 万吨、粗钢 801.3 万吨、热轧带钢 118 万吨、型钢 327 万吨、钢板桩 77 万吨、棒材 96 万吨。西厂区占地面积约 3000 余亩，拥有员工总人数近七千人。

近年来，T 钢企在各级政府的大力支持下，深入贯彻落实国家及省、市环保政策，以建设“生产洁净化、厂区园林化、建筑艺术化”的生产工厂，创建旅游典范企业为目标，全力以“技术创新、绿色制造”推动转型发展，生产经营环境发生了巨大的转变，并且于 2022 年 1 月，T 钢企已被省环保厅认证为环保绩效评级为 A 级的企业。

3.1.2 所处行业及发展情况

T 钢铁企业属于国家高能耗行业之一的工业制造业企业，其具体行业分类属于钢铁

工业中的“黑色金属冶炼和压延加工业”。黑色金属冶炼通常指将铁矿石熔炼成生铁，或将生铁熔炼成钢坯；压延加工是将钢坯轧制成钢板或各种型钢对金属施加压力使其延伸成一定形状的加工。人们常说的“黑色冶金工业”，主要是指钢铁工业。2017-2020 年的世界月度粗钢产量见图 3.1。



图 3.1 2017-2020 年世界月度粗钢产量

钢铁行业作为我国工业制造业中的关键行业，大约占我国国内生产总值的 5%。钢铁行业涉及众多行业部门，与其他行业例如采矿业等关联度很高，尤其是建筑业与制造业，这二者是钢铁行业下游需求的两大支柱，涉及房地产、基建、工程机械、汽车、家用电器、造船等多个领域，因此钢铁行业在我国社会进步、经济发展等方面起着不可替代的作用。当前我国钢铁行业在全球的地位也不容小觑，我国钢铁总产量约占全球钢铁总产量的一半左右。据世界钢铁协会统计，2017 年—2020 年世界粗钢产量和我国粗钢产量成整体上升趋势（见图 3.2），在 2020 年，中国粗钢产量达到了 10.65 亿吨，占全球粗钢产量（18.64 亿吨）的 56.76%^①（见图 3.3）。

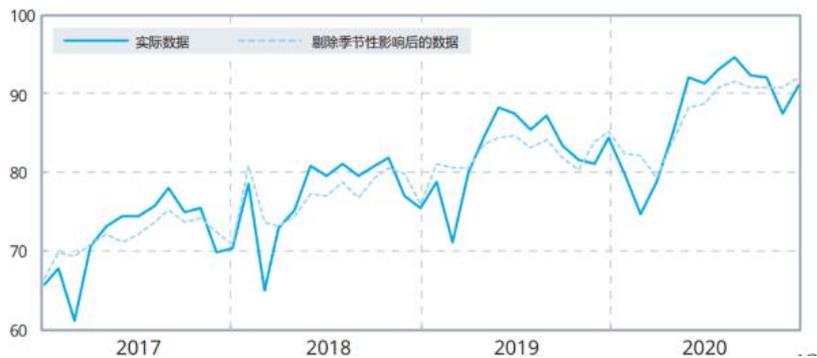


图 3.2 2017-2020 年中国月度粗钢产量

^① 资料来源：《2021 年世界钢铁统计数据》报告，世界钢铁协会 (Worldsteel).wp-content/uploads/2021%E5%B9%B4%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%92%A2%E9%93%81%E7%BB%9F%E8%AE%A1%E6%95%B0%E6%8D%AE.pdf

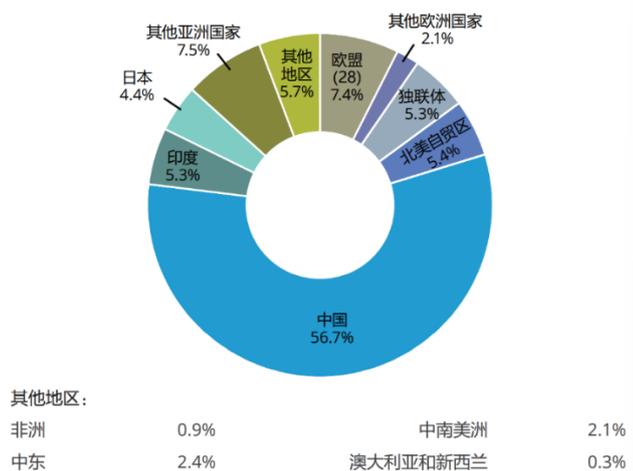


图 3.3 2020 年世界各地钢材产量

目前，我国整个钢铁工业正在飞速进步，很多钢铁产品都能够实现自给自足，且钢铁产品的质量水平也走在世界前列。特别是国内有些大规模的钢铁企业，他们的科研创新发展能力，生产设施设备和产品生产技术都发展神速，通过产学研结合，使科研成果得到迅速转化，已经能够生产航天、航空及军工工业所需的高精尖钢材品种。

同时，钢铁工业是世界上耗能最大的工业部门。二氧化碳会在炼钢过程中的各个环节排放，包括燃料现场燃烧和生产过程中消耗的电能和热量的间接排放。考虑到所有的排放，钢铁行业估计占世界二氧化碳排放总量的 4.1%，占全球温室气体排放总量的 3.2%。钢铁排放约占所有制造业排放的 15%，其中约 70% 的排放来自直接使用燃料，其余则间接来自电力和热能^①。据统计，在 2020 年每生产一吨粗钢平均排放 1.85 吨的 CO₂，2020 年世界钢铁领域直接排放总量约为 26 亿吨，占全球人为二氧化碳排放的 7% 至 9%。

钢铁行业作为我国国民经济的重要支柱产业，也是我国所有制造行业中碳排放量最高的行业，该行业在 2020 年的碳排放量占据了世界钢铁行业总碳排放量的半壁江山，在全国总碳排放量中的比例也达到了 15% 左右^②。而且 2020 年我国每生产一吨粗钢平均排放 1.95 吨的 CO₂，高于世界吨钢 CO₂ 排放量 1.85 吨的平均水平。但随着我国钢铁行业在新技术变革和新技术被广泛应用的持续推进，钢铁企业不断涌现出对新材料和新工艺的应用，使在钢铁产品生产过程中所消耗的能源资源得到大幅度节约，生产效能也得到进一步提高。

^① 资料来源：《数字导航—温室气体数据与国际气候政策》报告，世界资源研究所 (WRI). <https://www.wri.org/research/navigating-numbers>

^② 资料来源：《中国钢铁工业节能低碳发展报告 (2020)》。冶金工业规划研究院. http://www.mpi1972.com/xwzx/yndt/202012/t20201224_94730.html

3.1.3 运营边界和系统边界

组织边界为 T 钢铁企业。T 钢企位于河北省某市，企业厂区组织结构如图 3.4 示意：

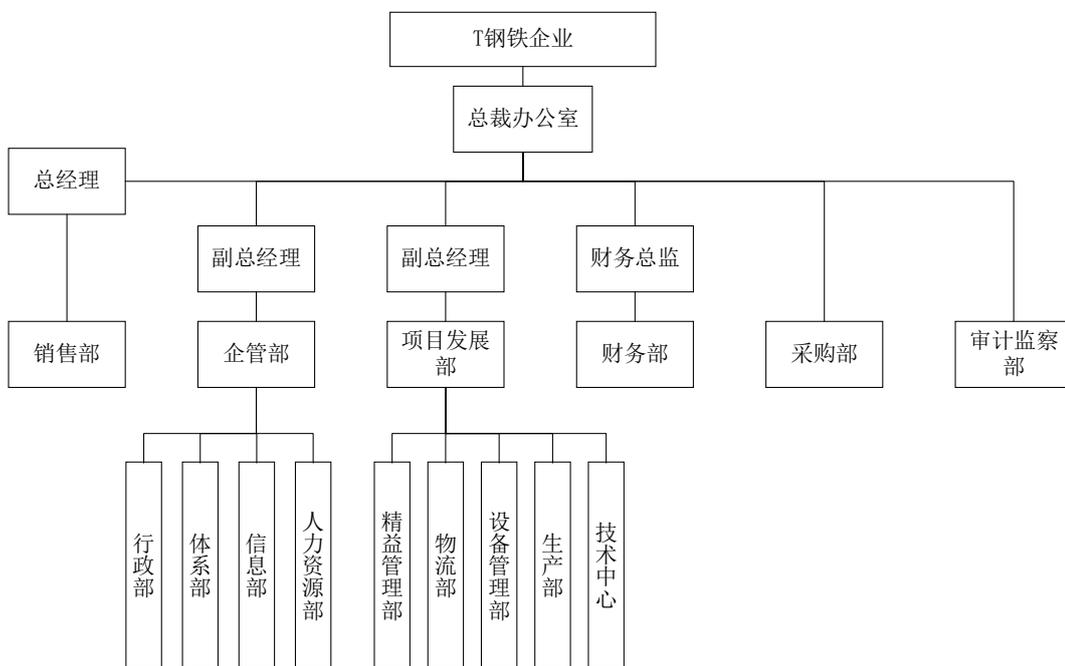


图 3.4 T 钢铁企业厂区组织结构示意图

全生命周期系统边界如图 3.5 所示，意为从粗钢生产开始，要逐渐追溯到生产上游的资源能源的开采部分，初步构建一套将煤炭和石灰石等一次性能源的获取、燃油和电力等二次能源的产生、铁矿的开采洗选、陆路 and 海运等交通运输过程以及炼铁、炼钢、压延加工等产品生产过程。但因下游客户多而分散，追踪起来较困难，所以分销运输过程、产品最终零售以及消费者对产品的使用和处置并不包含在内。

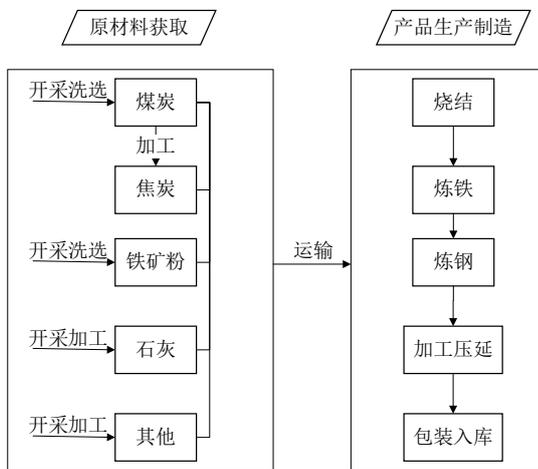


图 3.5 T 钢铁企业全生命周期系统边界示意图

3.1.4 排放边界和排放源识别

本文核算 T 钢铁企业 2020 年度钢铁生产的碳排放量。排放边界为本企业西厂区内的生产设备和相关业务产生的碳排放总量。生产设备和相关业务系统包括：265m² 烧结机 2 台，210m² 烧结机、195m² 烧结机各 1 台；10m² 竖炉 4 台；150T 转炉 2 座、100T 转炉 2 座；1280m³ 高炉 3 座、2000 m³ 高炉 2 座；850mm 带钢生产线 1 条、650mm 生产线 1 条、大 H 型钢生产线 1 条、中小 H 型钢生产线 2 条、钢板桩及超大 H 型钢生产线 1 条；白灰竖窑生产线 2 条；50MW 发电机组 2 套、80MW 发电机组 1 套，另外包括 28000Nm³/h 制氧机两台、12000Nm³/h 制氧机一台等公共辅助设施，T 钢企主要排放源见表 3.1。

表 3.1 T 钢铁企业主要排放源识别

编号	排放设施	排放源描述
1	烧结机	消耗无烟煤、焦炭、石灰石、白云石、电力等
2	高炉	消耗焦炭、烟煤、无烟煤、电力等
3	连铸机	消耗柴油、电力等
4	轧机	消耗电力
5	竖炉	消耗混合煤气等
6	转炉	消耗外购铁、合金、电力等
7	竖窑	消耗石灰石、白云石、电力等
8	锅炉	消耗烟煤、混合煤气等
9	生产工序耗电设备	消耗电力
10	工程车辆	消耗柴油
11	原料运输车辆	消耗柴油

3.2 钢铁行业碳排放核算方法概述

目前世界上由不同组织或国家相关机构提出的有关钢铁行业碳排放核算方法并未达成统一，现有的核算方法按照方法论可分为自下而上的生命周期评价（LCA）和投入与产出（I-O）两种方法。国际社会碳排放核算方法的发展已然十分成熟，主要有国际钢铁协会（WSA）提出的二氧化碳排放量计算方法、世界资源研究所（WRI）与世界可持续发展工商理事会（WBCSD）共同开发的 GHG Protocol《温室气体核算体系》、国际标准化组织（ISO）基于生命周期评价通过的 ISO 系列标准，政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出的国家温室气体清单关于二氧化碳排放量计算方法等，不同碳排放核算方法比较见表 3.2。

GHG Protocol 《温室气体核算体系》对温室气体核算提供了不同方面的计算标准和工具, 不仅将企业组织层面和产品层面包括在内, 项目层面和供应链层面也被纳入其中。其应用包括 12 个步骤, 概念简洁, 方法灵活, 标准核算边界范围更广, 这可能使其结果相对更为准确。

ISO 14067 《产品碳足迹》在 2013 年的版本中纳入了产品碳足迹的量化与沟通, 并包含 PCR (产品类别规则) 与产品碳足迹沟通方案等要求, 2018 年版本将沟通与产品类别规则, 即关键性审查以架构性方式与其他国际标准链接, 导入了全球温度变化趋势 (GTP) 的量化方式, 更可以呈现产品碳足迹对于全球温度变化趋势的贡献程度, 了解其碳足迹的改善热点。在这其中把 PAS 2050 里面规定的五项原则也添加进来, 还规定了生命周期观点、相关方法和功能单位、迭代计算方法、科学方法选择顺序、避免重复计算、参与性、公平性等内容。该准则提供了最基本的碳排放核算相关指导, 被认为是最具普遍性的标准。

目前我国对于钢铁领域的 GHG 排放的探索仍停留在初级阶段, 尚未形成权威的碳足迹核算标准。在全球节能减排的趋势下, 我国陆续出台了《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分: 钢铁生产企业》(GB/T 3—2151.5—2015) 和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南 (试行)》等基于投入与产出 (I-O) 方法的, 专门针对钢铁生产碳排放核算的指导标准。

表 3.2 不同碳排放核算方法比较

项目	ISO 系列标准	GB/T 32151.5-2015	《省级温室气体清单编制指南》	《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》
方法论	生命周期评价	投入与产出	投入与产出	投入与产出
核算边界	含碳原料开采和运输、洗选等流程、上游生产流程; 钢厂内的产品生产过程、副产品在钢厂外部回收再利用等所有工序流程的温室气体排放总量, 并将工序排放分为直接排放、间接排放和碳排放抵扣	所有化石燃料燃烧排放量、生产过程排放量及企业购入的电力和热力对应的二氧化碳排放量之和, 扣除固碳产品隐含的二氧化碳排放量以及输出的电力和热力对应的二氧化碳排放量	所有化石燃料燃烧排放量、工业生产过程排放量和净购入使用的电力、热力的排放量	化石燃料燃烧、工业生产过程排放、净购入使用的电力、热力产生的排放量、固碳产品隐含的排放

续表 3.2

项目	ISO 系列标准	GB/T 32151.5-2015	《省级温室气体清单编制指南》	《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》
排放因子	使用特征数据或通用数据,特征数据指通过测量或质量平衡获得、供应商提供;通用数据包括数据库、行业平均数据、地区公开发布的数据、软件自带数据库;均无法获取可参考文献	国内外现有计算方法推荐的排放因子和国内实际情况制定的各物料和能源的排放因子缺省值	根据实际情况测试;无法获取则采用推荐排放因子或利用 IPCC 国家温室气体清单指南推荐的缺省排放因子	采用《国际钢铁协会二氧化碳排放数据收集指南(第六版)》中的相关缺省值
适用范围	钢铁产品碳足迹	企业或行业	企业或行业	企业

3.3 T 钢企碳排放情况核算

3.3.1 ISO 系列标准核算碳排放量

国际标准化组织于 2011 年通过的 ISO 系列标准全面兼容 PAS 2050 标准,成为国际通用标准。参考 ISO 系列标准核算的系统边界属“从摇篮到大门”的类型,从粗钢生产开始,要逐渐追溯到生产上游资源能源的开采部分,初步构建一套将煤炭和石灰石等一次性能源的获取、燃油和电力等二次能源的产生、铁矿的开采洗选、陆路和海运等交通运输过程以及炼铁、炼钢、压延加工等产品生产过程。碳排放的公式是整个产品生命周期中所有活动的材料、能源和废物乘以其排放因子后再相加。

本次测算以各类原料的投入量占产品产出量或生产过程中的总投入量比作为取舍规则的依据。由于钢铁生产涉及原材料种类繁多,根据 2020 年生产报表中各类物料与产品重量的占比,将占比<1%的普通物料进行舍弃。其他包含的原、燃料等消耗都与上游生产数据进行关联,选取近似替代值来进行计算。但因下游客户多而分散,追踪起来较困难,所以分销运输过程、产品最终零售以及消费者对产品的使用和处置并不包含在内。T 钢铁企业 2020 年企业实际生产数据清单(数据来源于实景数据)整理见表 3.3:

表 3.3 生产过程数据清单（生产 1 吨粗钢的消耗）

类型	清单	数量	单位
产品	粗钢	1	吨
	焦炭	0.01	吨
消耗	无烟煤	0.01	吨
	烟煤	0.09	吨
	洗精煤	0.09	吨
	柴油	0.005	千克
	国内铁矿（粉）	0.62	吨
	进口矿粉	0.78	吨
	白云石粉	0.07	吨
	轻烧白云石	0.03	吨
	石灰石	0.1	吨
	新鲜水	2.06	吨
	电力	0.28	兆瓦时

（1）原料、燃料获取

采用生产数据清单中每生产 1 吨粗钢消耗的原料和燃料，分别与各自原料、燃料制造排放因子相乘，得到获取相应原、燃料产生的碳排放量。结果如表 3.4 所示，生产 1 吨粗钢获取的主要原、燃料产生的碳排放量为 502.26kgCO₂/t，其中获取燃料碳排放量是 279.66kgCO₂/t，获取原料碳排放量是 222.6kgCO₂/t。

表 3.4 T 钢企 2020 年原料、燃料获取产生的排放量

类型	清单	数量	单位	制造排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (kgCO ₂ /t)
燃料	焦炭	0.44	吨	0.5370	236.280
	无烟煤	0.01	吨	0.1078	1.078
	烟煤	0.09	吨	0.1078	9.702
	洗精煤	0.09	吨	0.3250	29.250
	柴油	0.005	千克	0.6700	3.350
原料	国内铁矿	0.62	吨	0.0940	58.280
	进口矿粉	0.78	吨	0.0940	73.320
	白云石粉	0.07	吨	0.4700	32.900
	轻烧白云石	0.03	吨	0.4700	14.100
	石灰石	0.1	吨	0.4400	44.000
合计	—	—	—	—	502.26

（2）原料、燃料运输

原、燃料主要采取公路运输的运输方式，功能单位选取为载重 10t 的柴油货车在郊

区公路上完成 100km 的运输量，假定柴油货车满载率为 80%。柴油消耗数据来自《营运货车燃料消耗量限值及测量方法》第四阶段。铁路运输和水上运输，采用文献资料，内燃机货运列车柴油消耗量 16 公斤/万吨公里，10 万吨级海上货船每天燃油消耗 50 吨。

根据主要原料运输活动数据和运输排放因子计算得到原料运输过程中产生的二氧化碳量，结果如表 3.5 所示，每生产 1 吨粗钢主要原燃料运输过程排放 129.1kg CO₂/t。

表 3.5 T 钢企 2020 年原料、燃料运输产生的排放量

所运原料	原产地	运输方式	运输距离 (Km)	排放量 (kgCO ₂)
烟煤	内蒙古	汽运 95%+火运 5%	880	15773.33
	山西	火运转汽运	930	
无烟煤	俄罗斯	海运转汽运	1100 海里+150 公里	1224.89
	俄罗斯	海运转汽运	1100 海里+150 公里	
洗精煤	山西	汽运 60%+火运 40%	900	17161.77
	河北	汽运 47%+火运 53%	400	
焦炭	内蒙古	汽运	1200	12124.41
	山西	汽运 7%+火运 93%	900	
国内铁矿	河北	汽运	173	51497.29
进口矿粉	澳大利亚	海运转汽运	3600 海里+150 公里	928349.37
	巴西	海运转汽运	11000 海里+150 公里	
石灰石	河北	汽运	200	18451.00
	辽宁	汽运	200	
白云石	河北	汽运	36	1703.72
合计				1046285.78

(3) 产品生产过程

产品生产过程产生的 CO₂ 排放量计算结果如表 3.6 至表 3.8 所示，共产生 16569015.24 kgCO₂，每生产 1 吨粗钢生产过程排放 2067.77kgCO₂/t。

表 3.6 T 钢企 2020 年产品生产过程中化石燃料燃烧产生的排放量

排放源	燃料种类	单位	消耗量	平均低位发 热值 (GJ/t, GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳 量 (tC/TJ)	碳氧 化率	排放量 (kgCO ₂)
化石燃料	烟煤	吨	704369.99	21.360	26.180	93%	1343154.93
	无烟煤	吨	64981.55	27.313	27.490	94%	168164.18
	洗精煤	吨	734545.10	28.549	25.400	90%	1757749.67
	焦炭	吨	3499288.23	28.447	29.500	93%	10013654.05
	柴油	吨	40.64	42.652	20.20	98%	125.82
	高炉煤气	万立方米	-14785.81	33.000	70.80	99%	-125400.44
合计							14236783.86

表 3.7 T 钢企 2020 年产品生产过程中原料生产产生的排放量

排放源	消耗品类	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (kgCO ₂)
原料生产	石灰石	吨	766972.04	0.430	329797.98
	白云石	吨	787367.38	0.474	373212.14
	生铁	吨	11205844.64	4.100%	459439.63
小计					1162449.75

表 3.8 T 钢企 2020 年产品生产过程中动力消耗产生的排放量

排放源	名称	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (kgCO ₂)
动力消耗	电力	万千瓦时	2229699.42	0.6101	1360339.62
	热力	吉焦	-1732345.34	0.1100	-190557.99
合计					1169781.63

(4) T 钢企产品生产生命周期二氧化碳排放量汇总情况。

根据上述计算结果, 可知生产 1 吨粗钢生命周期内二氧化碳排放量为 2.699tCO₂/t, 详见表 3.9。

表 3.9 T 钢企 2020 年碳排放量汇总 (ISO 系列标准)

序号	清单	吨钢 CO ₂ 排放量	单位
1	燃料获取	0.279	tCO ₂ /t
2	原料获取	0.223	tCO ₂ /t
3	原料、燃料运输	0.129	tCO ₂ /t
4	产品生产	2.068	tCO ₂ /t
合计		2.699	tCO ₂ /t

3.3.2 《省级温室气体清单编制指南方法》核算碳排放量

在 2004 年, 我国将《中国气候变化初始国家信息通报》提交给了《联合国气候变化框架公约》的缔约方大会, 对我国 1994 年的温室气体清单进行报告, 并于 2008 年对我国 2005 年的温室气体清单的编制工作进行正式启动。在 2010 年 9 月份, 我国发改委下发了要求各地制定温室气体清单编制工作计划并出具具体方案的《关于启动省级温室气体清单编制工作有关事项的通知》(发改办气候〔2010〕2350 号), 要求各地区把温室气体清单编制工作组织到位。在国家相关课题的支持下, 国家发改委应对气候变化司在联合了由能源研究所、中国农科院环发所、中国环科院气候中心以及清华大学等单位的专家组成的专业团队, 对《省级温室气体清单编制指南(试行)》进行了编写。T 钢铁企业 2020 年碳排放结果如下:

(1) 化石燃料燃烧产生的排放量

各燃料类型的平均单位低位发热值和单位热值含碳量，消耗各类燃料的主要燃烧设施的碳氧化率，以及移动源主要燃烧设施的甲烷和氧化亚氮的排放因子原则上需要通过实际测试获得，这样才能将企业燃烧设施的排放特征正确地进行反映。

化石燃料产生的碳排放量按照附录中提供的公式（2.1）-（2.3）计算，得到的碳排放量的计算结果如表 3.10 所示。

表 3.10 T 钢企 2020 年化石燃料燃烧产生的碳排放量（省级温室气体清单编制指南）

燃料种类	单位	消耗量	平均低位发热值 (GJ/t, GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳 量 (tC/TJ)	碳氧化率	排放量 (kgCO ₂ /t)
烟煤	吨	704369.99	21.360	26.100	93%	1343154.93
无烟煤	吨	64981.55	27.313	27.400	94%	168164.18
洗精煤	吨	734545.10	28.549	25.410	90%	1757749.67
焦炭	吨	3499288.23	28.447	29.500	93%	10013654.05
柴油	吨	40.64	42.652	20.20	98%	125.82
运输柴油	吨	348632.80	42.652	20.20	98%	1079335.66
合计						14362184.30

（2）工业生产过程产生的排放量

钢铁工业生产过程产生的碳排放量按照附录中提供的公式（2.4）计算，排放因子见表 3.11，得到的碳排放量的计算结果如表 3.12 所示。

表 3.11 关于钢铁生产过程推荐的排放因子

类别	单位	数值	类别	单位	数值
石灰石消耗	吨二氧化碳/吨石灰石	0.430	生铁平均含碳量	%	4.1
白云石消耗	吨二氧化碳/吨白云石	0.474	钢材平均含碳量	%	0.248

表 3.12 T 钢企 2020 年工业生产过程排放量（省级温室气体清单编制指南）

消耗品类	单位	消耗量	排放量 (kgCO ₂ /t)
石灰石	吨	766972.04	329797.98
白云石	吨	787367.38	373212.14
生铁	吨	11205844.64	459439.63
钢材	吨	8013000.00	19872.24
合计			2314757.21

（3）净购入电力产生的排放量

2017 年 12 月，国家发展改革委办公厅印发《关于做好 2016、2017 年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知》（发改办气候〔2017〕1989 号），在附件“重点

企业 2016（2017）年温室气体排放报告补充数据表”中，明确 2015 年全国电网排放因子为 0.6101t CO₂/MWh。此后，我国八大行业的碳排放数据的计算与核查从 2016 年至 2020 年一直沿用该因子，该表格计算的是 T 钢企在 2020 年碳排放数据，因此选取 0.6101t CO₂/MWh 作为碳排放因子。

T 钢企净购入的生产用电力和产生的碳排放量按照附录中提供的公式（2.5）计算，得到的碳排放量的计算结果如表 3.13 所示。

表 3.13 T 钢企 2020 年净购入电力产生的排放量（省级温室气体清单编制指南）

品类	单位	消耗量（kg）	CO ₂ 排放因子	排放量（kgCO ₂ /t）
电力	万千瓦时	2229699.42	0.6101	1360339.62

（4）T 钢企二氧化碳排放量汇总情况。

T 钢企吨钢二氧化碳排放量计算结果见表 3.14。

表 3.14 T 钢企 2020 年碳排放量汇总（省级温室气体清单编制指南）

化石燃料燃烧（吨）	工业生产过程（吨）	净购入电力、热力（吨）	碳排放总量（吨）	吨钢二氧化碳排放量（吨）
14362.18	2314.76	1360.34	18037.28	2.251

3.3.3 《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》核算碳排放量

在我国钢铁行业的低碳发展过程中，冶金工业规划研究院是最早对低碳工作进行研究的专业机构，该院进行了钢铁行业碳排放核算、碳排放系数和深度碳减排路径等方面的研究，对钢铁行业制定了碳交易技术指南和全国统一的碳配额基准线。作为主要编制单位之一的冶金工业规划研究院对《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》（GB/T 3—2151.5—2015）标准的制定工作进行了全面地参与。《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》参照 ISO14404—1《钢铁生产二氧化碳排放强度计算方法（转炉炼钢）》、ISO14404—2《钢铁生产二氧化碳排放强度计算方法（电炉炼钢）》以及 GB/T 32150—2015《工业企业温室气体排放核算和报告通则》等国际和国内准则，对钢铁生产产生的温室气体在报告范围、核算步骤和方法、数据质量监管做出详细规定。

对于划定在核算边界内的所有化石燃料燃烧产生的碳排放量、产品生产过程的碳排放量及企业购入的电力和热力所对应的碳排放量总和，再把固碳产品中隐含的碳排放量以及输出的电力和热力所对应的碳排放量进行扣除，就是钢铁企业生产过程中产生的碳排放量总和。T 钢铁企业 2020 年碳排放结果如下：

表中所有的碳排放因子均来源于《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》，平均供电排放因子仍采用 2017 年国家发改委公布的全国电网排放因子——0.6101tCO₂/MWh。为简化模型，方便计算，只将对碳排放量的影响较大的因素纳入到 T 钢企的能源消耗数据清单中。

（1）化石燃料燃烧产生的排放量

化石燃料产生的碳排放量按照附录中提供的公式（3.2）-（3.4）计算，得到的碳排放量的计算结果如表 3.15 所示。

表 3.15 T 钢企 2020 年化石燃料燃烧排放量（GB/T 32151.5-2015）

燃料种类	单位	消耗量	平均低位发热值 (GJ/t, GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳 量 (tC/TJ)	碳氧化率	排放量 (kgCO ₂ /t)
烟煤	吨	704369.99	19.570	26.100	93%	1226836.12
无烟煤	吨	64981.55	26.700	27.400	94%	163851.78
洗精煤	吨	734545.10	26.344	25.410	90%	1622627.34
焦炭	吨	3499288.23	28.435	29.500	93%	10009429.92
柴油	吨	40.64	42.652	20.20	98%	125.82
运输柴油	吨	348632.80	42.652	20.20	98%	1079335.66

（2）工业生产过程产生的排放量

工业生产过程产生的碳排放量按照附录中提供的公式（3.5）-（3.8）计算，得到的碳排放量的计算结果如表 3.16 所示。

表 3.16 T 钢企 2020 年工业生产过程排放量（GB/T 32151.5-2015）

消耗品类	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (kgCO ₂ /t)
石灰石	吨	766972.04	0.440	337467.70
白云石	吨	787367.38	0.471	370850.04
铁矿	吨	11205844.64	0.172	1927405.28

（3）净购入电力、热力产生的排放量

T 钢企净购入的生产用电力和热力产生的碳排放量按照附录中提供的公式（3.9）-（3.12）计算，得到的碳排放量的计算结果如表 3.17 所示。

表 3.17 T 钢企 2020 年净购入电力、热力产生的排放量 (GB/T 32151.5-2015)

名称	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子	排放量 (kgCO ₂ /t)
电力	万千瓦时	2229699.42	0.6101	1360339.62
热力	吉焦	-1732345.34	0.1100	-190557.99

(4) 固碳产品隐含的排放量

固碳产品隐含的碳排放量按照附录中提供的公式 (3.13) 计算, 得到的碳排放量的计算结果如表 3.18 所示。

表 3.18 T 钢企 2020 年固碳产品隐含的排放量 (GB/T 32151.5-2015)

种类	单位	产量 (kg)	CO ₂ 排放因子	排放量 (kgCO ₂ /t)
粗钢	吨	8013000.00	0.0154	123400.20

(5) T 钢企二氧化碳排放量汇总情况。

T 钢企吨钢二氧化碳排放量计算结果见表 3.19。

表 3.19 T 钢企 2020 年碳排放量汇总 (GB/T 32151.5-2015)

化石燃料燃烧 (吨)	工业生产过程 (吨)	净购入电力、热 力(吨)	固碳产品(吨)	碳排放总量 (吨)	吨钢二氧化碳排放量 (吨)
14102.20	2635.72	1169.78	-123.40	17784.3	2.220

3.3.4 《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》核算碳排放量

我国钢铁企业对于碳排放总量的核算和报告,《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》可以参照计算并编制。划定在企业核算边界内的所有化石燃料燃烧产生的碳排放量、产品生产过程的碳排放量及企业购入的电力和热力所对应的碳排放量总和,再扣除固碳产品中隐含的碳排放量以及输出的电力和热力所对应的碳排放量,就是钢铁企业生产过程中产生的碳排放量总和。T 钢铁企业 2020 年碳排放结果如下:

表中所有的碳排放因子均源于《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》。平均供电排放因子仍采用 2017 年国家发改委公布的全国电网排放因子——0.6101tCO₂/MWh。为简化模型,方便计算,只将对碳排放量的影响较大的因素纳入到 T 钢企的能源消耗数据清单中。

(1) 化石燃料燃烧产生的排放量

化石燃料产生的碳排放量按照附录中提供的公式 (4.2) - (4.4) 计算, 得到的碳排放量的计算结果如表 3.20 所示。

表 3.20 T 钢企 2020 年化石燃料燃烧排放量 (钢铁碳排放指南)

燃料种类	单位	净消耗量	平均低位发热量 (GJ/t, GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳量 (tC/TJ)	碳氧化率	排放量 (kgCO ₂ /t)
烟煤	吨	704369.99	19.570	26.180	93%	1230596.54
无烟煤	吨	64981.55	20.304	27.490	94%	125010.27
洗精煤	吨	734545.10	26.344	25.400	90%	1621988.76
焦炭	吨	3499288.23	28.447	29.500	93%	10013654.05
柴油	吨	40.64	42.652	20.20	98%	125.82
运输柴油	吨	348632.80	42.652	20.20	98%	1062222.66
高炉煤气	万立方米	-14785.81	33.000	70.80	99%	-125400.44

(2) 工业生产过程产生的排放量

工业生产过程产生的碳排放量按照附录中提供的公式 (4.5) - (4.8) 计算, 得到的碳排放量的计算结果如表 3.21 所示。

表 3.21 T 钢企 2020 年工业生产过程排放量 (钢铁碳排放指南)

消耗品类	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子 (t CO ₂ /t)	排放量 (kgCO ₂ /t)
石灰石	吨	766972.04	0.440	337467.70
白云石	吨	787367.38	0.471	370850.04
铁矿	吨	11205844.64	0.172	1927405.28

(3) 净购入电力、热力产生的排放量

T 钢企净购入的生产用电力和热力产生的碳排放量按照附录中提供的公式 (4.9) 计算, 得到的碳排放量的计算结果如表 3.22 所示。

表 3.22 T 钢企 2020 年净购入电力、热力产生的排放量 (钢铁碳排放指南)

名称	单位	消耗量	CO ₂ 排放因子	排放量 (kgCO ₂ /t)
电力	万千瓦时	2229699.42	0.6101	1360339.62
热力	吉焦	-1732345.34	0.1100	-190557.99

(4) 固碳产品隐含的排放量

固碳产品隐含的碳排放量按照附录中提供的公式 (4.10) 计算, 得到的碳排放量的

计算结果如表 3.23 所示。

表 3.23 T 钢企 2020 年固碳产品隐含的排放量（钢铁碳排放指南）

种类	单位	产量 (kg)	CO ₂ 排放因子	排放量 (kgCO ₂ /t)
粗钢	吨	8013000.00	0.0154	123400.20

(5) T 钢企二氧化碳排放量汇总情况。

T 钢企吨钢二氧化碳排放量计算结果见表 3.24。

表 3.24 T 钢企 2020 年碳排放量汇总（钢铁碳排放指南）

化石燃料燃烧 (吨)	工业生产过程 (吨)	净购入电力、热 力(吨)	固碳产品(吨)	碳排放总量 (吨)	吨钢二氧化碳排放量 (吨)
13945310.66	2635723.01	1169781.63	123400.20	17874215.50	2.231

3.4 T 钢企碳排放数据分析

3.4.1 比较四种核算方法下碳排放量的差异

利用 ISO 系列标准、《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》四种方法，分别计算了 T 钢铁企业 2020 年的吨钢碳排放量，计算结果分别为 2.699 t CO₂、2.251t CO₂、2.250t CO₂ 和 2.231t CO₂，数据对比如图 3.6 所示。

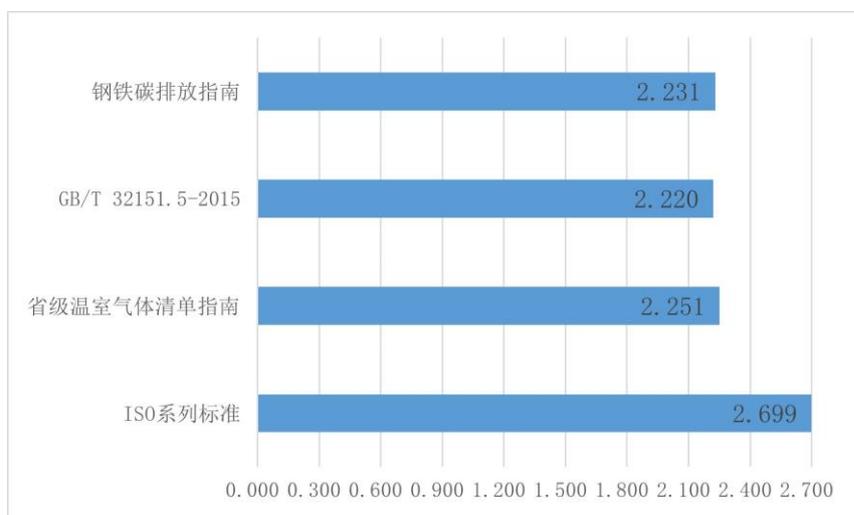


图 3.6 T 钢企 2020 年吨钢二氧化碳排放量对比（单位：吨）

3.4.2 四种核算方法下碳排放量产生差异的原因

首先，在核算的排放边界方面，ISO 系列标准基于产品生命周期理论编制钢铁生产产品数据清单，其中不仅包括产品生产过程中的碳排放，还将含碳燃料和原料的开采、洗选和运输等上游生产制造流程的碳排放也纳入其中，其对核算边界的确定更为完整，所统计的数据也更加全面丰富，所以在四种核算方法里，利用 ISO 系列标准核算出的吨钢 CO₂ 排放量数值最大。

《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》都是把投入—产出法作为计算基础来对碳排放量进行核算。其中，用《省级温室气体清单编制指南》对钢铁生产的碳排放量进行计算时，只有化石燃料燃烧过程、钢铁生产环节和净购入使用的电力和热力三个方面产生的碳排放量被包含在内，而国标《钢铁生产企业》和《钢铁碳排放指南》在核算时不仅包括上述三个部分，还包含了固碳产品抵扣，核算过程中需要扣除固碳产品的碳排放量，所以计算结果与《省级温室气体清单编制指南》核算方法的结果相比较小。

其次，在核算方式方面上，生命周期方法论从产品碳足迹角度出发，对粗钢产品本身采取生命周期分析，将其生产过程视为“白箱”，通过构建一个将应纳入碳排放核算的范围都包括在内的碳排放核算边界，将相关碳排放数据进行收集，同时编制一份碳排放清单，再利用碳排放因子对碳排放量进行核算。《省级温室气体清单编制指南》、国标《钢铁生产企业》和《钢铁碳排放指南》则是从企业层面出发，把企业视为“黑箱”，根据投入产出方法统筹计算其消耗的能源与物料，最终得出碳排放计算结果。

最后，就碳排放因子选取而言，在实际核算过程中，四种核算方法都需要利用对应的碳排放因子才能进行核算，但这些方法在碳排放因子的取值上则不完全相同。基于生命周期方法论的 ISO 系列标准包括直接排放因子、间接排放因子和原、燃料的上游制造排放因子，这些排放因子可分为特征数据或通用数据，不过此类排放因子的数据仍然不够全面，需要借鉴国际钢铁协会或者 Gabi 等数据库，甚至通过参考文献来获取。《省级温室气体清单编制指南》、国标《钢铁生产企业》和《钢铁碳排放指南》这三种核算方法的排放因子主要是直接排放因子和间接排放因子，其中《省级温室气体清单编制指南》采用的排放因子需要根据实际情况测试，若无法获取则采用推荐排放因子或利用 IPCC 国家温室气体清单指南推荐的缺省排放因子；国标《钢铁生产企业》采用的碳排放因子则是国内外现在应用的核算方式所推荐的因子以及按照我国实际情况规定的各类原料

和燃料的排放因子缺省值；《钢铁碳排放指南》采用的是《国际钢铁协会二氧化碳排放数据收集指南（第六版）》中的缺省值。排放因子选取得差异，也就导致了吨钢碳排放量计算结果的差异。

以上四个核算方法的理论基础、核算范围、计算方式和碳排放因子数值等均不相同，然而正是因为这些不同，就必然会造成碳排放量核算结果的不一致。

3.5 T 钢企碳排放审计风险

3.5.1 碳排放核算标准引起的审计风险

由于当前世界上由不同组织或国家相关机构提出的有关钢铁行业碳排放核算方法并未达成统一，在国际社会出现了各异的碳排放核算标准，那么在不同碳排放标准指导下的碳排放核算方法也就无法达到一致，核算结果自然就会不同。

碳排放核算系统边界的准确界定是数据核算完整性审计的一部分，不仅应该注意包含该企业用于生产经营的场所设备，还应当包含所有应纳入核算范围的碳排放数据，也就是说碳排放主体达到“控制”状态所有排放量都应该纳入核算系统边界。

不同核算方法所界定的系统边界也不尽相同，以投入与产出理论为依据的核算方法仅包括用于钢铁产品生产的化石燃料燃烧、加工生产和电力与热力碳排放情况，基于生命周期方法论核算方法的系统边界属“从摇篮到大门”的类型，不仅包括上述内容，还需要逐步追溯其上游生产过程直至资源获取阶段的排放情况。很多钢铁生产企业也会出现将生产线和生产设备出租给别的企业或者外包给负责运营维护的企业进行管理的情况，也可能承租、承包其他企业的生产设施来生产和运营维护。

上述情况应该运用运营控制方法进行分析，确定生产线等生产设备的实际控制归属权，否则就会发生该生产设备产生的碳排放计入本不该计入的生产企业，或者本该将这些碳排放纳入核算范围的企业没有计入，这些都可能导致碳排放核算边界不明，碳排放结果出现偏差。如果企业生产过程中与碳排放相关的活动发生变更，或者相关内部控制失效导致排放源识别不清，则会出现相关碳排放数据少计、漏记乃至重复核算的情况造成碳排放核算的审计风险。甚至出现重大错报审计风险。

不仅如此，碳排放核算的时间范围也需要引起重视，因为这是对碳排放数据准确性的审计，也便于对碳排放情况和相关数据处理进行综合考量。另外，国际社会上现有的碳排放核算方法大都需要利用对应的碳排放因子才能进行核算，但这些方法在碳排放因

子的取值上则不完全相同。

碳排放标准的几大要素的不同，就必然会造成碳排放量核算结果的不一致。那么在审计人员进行碳排放审计工作时，就会因为这些不同而引发争议，引起审计风险。

3.5.2 碳排放数据验证引起的审计风险

碳审计工作的重要一环就是确定碳排放数据的合理性和真实性，在碳排放审计过程中工作人员对数据的统计核查也较为困难。在碳排放审计工作初期，工作人员需要通过询问和调查等方式对数据进行验证，在收集和验证数据之后，还需要按照统一的衡量标准进行转换以方便计算和比较，由于目前当前出台的政策标准尚未完全统一，在对企业的碳排放数据进行确认时，使用的核算计量方法不同必将使计算结果产生差异。钢铁企业的生产制造与众多其他行业企业关联密切，从原、燃料的采购运输到钢铁产品生产制造，碳排放数据来源复杂广泛，不仅如此，钢铁企业的碳排放量还和产品的残次品率、原料燃料损耗以及交通运输消耗等非生产经营活动相关。

当前世界上出台的 GHG Protocol《温室气体核算体系》、ISO 系列标准，政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出的国家温室气体清单关于二氧化碳排放量计算方法，以及我国现有的《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》（GB/T 3—2151.5—2015）和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》这些标准方法，在一定程度上对于碳排放核算具有指导意义，但是复杂的碳排放审计环境和庞大的碳排放数据体系，严重影响碳排放审计数据的准确获取，使得审计人员的工作量将剧增，难度也会增加不小，而且对于钢铁企业的碳排放特点并不熟悉的审计人员来说，取哪些标准作为审计依据也需要谨慎考量。庞杂的碳排放数据整理和复杂的数据验证会使得碳排放的审计风险的变大。

3.5.3 碳排放信息披露引起的审计风险

碳排放审计工作能够顺利有效地进行依赖于被审计单位的碳排放数据，这些信息的记录稍有不对，就会导致碳排放审计的基期数据产生错误，所以碳排放信息和数据的准确、完整是审计人员得出正确审计结论的必要基础，其重要性不言而喻。

在碳排放审计过程中，尽管企业管理模式相对先进，各类信息数据保存较为完整，测量仪器也按时校对检测，但也存在对于碳排放信息管理粗糙的问题。例如，碳排放信息和数据电子化程度不足，甚至完全纸质化；碳排放信息和数据的管理相对完整但较为

杂乱，不加以整理，没有形成完整的报告等。以上情况都会导致碳排放数据和信息不清晰、不准确，进而会对最终的审计结果造成不良影响，增加碳排放审计风险。

而且在进行碳排放审计业务时不仅要审计碳会计信息，还要对碳排放信息、非财务信息以及非能耗信息等进行审查，对企业碳排放数据管理要求较高。尤其是钢铁企业这种生产环节复杂的工业企业，对碳排放信息的管理要求会更加严格，所以如果碳排放信息和数据不完整、不准确、不清晰，那么就会对最终审计结果造成不良影响，增加碳排放审计风险，影响审计结果的真实性。

3.5.4 碳排放审计程序引起的审计风险

同传统财务审计的流程大致相似，碳排放审计的流程也主要分为碳排放审计准备阶段、碳排放审计实施阶段和出具碳排放审计报告三个阶段，在进行碳排放审计业务时，工作人员不仅要制定好详细的审计计划，还应当保证实施的审计程序对审计业务的适应程度，这样才能保证碳排放审计业务顺利有效进行，所以审计实施阶段是碳排放审计过程中最为关键的一环。

我国在进行碳排放审计时选用的审计程序和方法主要依据国家发改委在 2018 年发布的《关于做好 2018 年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知》，尽管这些文件已经对碳排放的审计程序依照审计内容作了较为详细的划分，但碳排放审计的程序过于依赖传统财务审计业务采用的程序，依然偏向传统和单一，无法采取更具专业性、针对性和创新性的程序与方法。

钢铁企业的生产工艺流程复杂繁琐，涉及的生产环节众多，碳排放源多样，仅仅依靠传统单一的审计程序进行碳排放审计，对当下钢铁企业来说不够恰当也不够贴合，对钢铁企业进行碳排放审计的需求不能够完全满足。所以在钢铁企业的碳排放审计过程中，由于碳排放审计程序单一，不能针对钢铁行业碳排放的特点实施具有针对性的审计程序，那么获取到的审计证据的质量就可能较低，充分性和恰当性也可能有所欠缺，使得碳排放审计风险增加。

3.5.5 碳排放审计工作人员引起的审计风险

碳排放审计作为新型审计活动和传统审计业务差别较大，尤其是高能耗、高污染的钢铁行业，不仅其本身生产工艺复杂多样，还与生态环境问题产生着千丝万缕的联系且涉及的其他行业众多。但就我国目前而言，碳排放审计从业人员大多数为传统审计模式

下的财务审计人员，虽然普遍具有扎实的财务知识，丰富的财务审计工作经验，但既掌握审计知识，又熟悉钢铁生产流程工艺的全能型碳审计从业人员却少之又少。尽管国家已经积极宣传环境污染的控制措施，大力倡导绿色生产经营，但是在碳排放数据实际的收集和识别过程中，仍勉励不小的挑战。

我国目前的碳排放审计制度不够完善，尽管国家发改委在 2018 年发布的《全国碳排放权交易第三方核查机构及人员参考条件》，对从事碳排放审计和核查的人员的从业基本条件、工作经验和知识技能等方面做出了相应要求，但是从业条件仍然较为宽松，碳排放审计人员的相关技能不过硬，势必会导致其在碳排放审计工作中不能准确界定核算边界并识别排放源，不能对钢铁企业碳排放信息的准确性、完整性等情况进行全面审计。而且出台的相关法律法规中虽然已经按照需要审计的内容进行了分类，但并没有对碳排放审计职责进行详细具体的规定，使碳排放审计人员，尤其是第三方核查机构的审计人员在对企业展开碳排放审计业务时，企业对审计工作人员的工作开展不够配合，由此审计人员得到的审计证据本就不够充分恰当。另外，没有明确具体的碳排放审计准则来规范指导审计工作人员开展碳排放审计业务，在一定程度上导致了碳排放审计人员对审计报告的编制过于重视，甚至超过了审计实施阶段，使碳排放审计工作流于形式，致使碳排放审计结论的得出偏向主观随意。

这一系列因素都会导致碳排放审计风险增加，查看出具的碳排放审计报告时会发现报告无法反应被审计企业真实的碳排放情况，从而降低报告的可信度。

4 T 钢企碳排放审计风险产生的原因分析

4.1 碳排放审计标准不一致

降低碳排放审计风险、顺利推进碳排放审计工作必须遵守的行为准则就是碳排放审计标准。碳排放审计标准的重要组成部分包括碳排放核算边界确定以及核算方法统一，这两者也是影响碳排放审计风险的重要因素。而且为了保证碳排放审计证据的恰当性和充分性来出具恰当的审计报告，碳排放审计工作的开展也必须经过审计计划阶段、审计实施阶段和审计完成阶段等三个步骤，这都需要高度统一的碳排放审计标准。

传统财务审计通用的审计准则已经不能满足当前碳排放审计业务开展的需要，例如碳排放核算边界和排放源的确定，碳排放审计工作计划和程序的制定，以及审计报告的编制和出具等，都需要一套具有针对性的，为钢铁行业企业碳排放审计量身定制的一套定性定量评价标准和指标。否则，会使碳排放审计工作执行不顺畅，成为碳排放审计发展的拦路虎。

国家在 2011 年发改委颁布了《关于开展碳排放权试点工作的通知》，试点区域内的宝武、重钢等重点钢铁企业已经在碳排放核算方式和碳排放量配额确定等方面配合当地相关部门完成了任务。但不同试点内采用的碳排放核算方法和审计标准也不完全相同，不同核算方法的理论基础、核算范围、计算方式和碳排放因子数值等均不相同，正是因为这些不同，必然会造成碳排放量核算结果的不一致。碳排放数据核算结果的差异会使碳排放数据模糊，没有办法将得出的结果进行横向对比，对碳排放审计工作开展和碳排放审计质量评价也不能实现统一。国内出台的碳排放核算办法较国际而言更为简便，其核算边界也较为明确，但其由于核算边界范围小，导致了其计算结果偏小，而且其在计算企业燃料燃烧碳排放量和各工序燃料燃烧碳排放量之间存在差异，说明核算结果的准确性仍存在不足。而国际上采用的以生命周期方法论为基础的计算方法，虽然能够较为直观地体现出各个生产环节的能源和物料消耗情况，计算出的碳排放量也比较可靠，能够在一定程度上对钢铁产品生产过程中的碳排放真实情况进行客观反映，但对碳排放数据的收集与管理的要求也更为严格，需要有完整准确的数据链来支撑，而且以获得符合中国钢铁生产较契合的数据，这也是我国利用生命周期理论进行碳排放核算和分析的难点之一，使我国对于国际社会上成熟的碳排放核算方法和碳排放审计评价标准也不能完全借鉴。

碳排放审计标准不同，在开展碳排放审计工作时所采取的审计依据也不同，不仅审

计工作进行的时间线将被拉长，碳排放审计工作的质量和效率会被大大降低，而且给碳排放审计工作带来很大阻力，这就使最后形成的审计结论无法横向可比。碳排放审计标准不一致是带来碳排放审计风险的一大成因，也成为了碳排放审计高质量发展的阻碍。

4.2 碳排放信息披露程度不足

随着低碳经济进程的不断推进，国家对节能减排的重视程度增加，但是碳排放信息披露的有关制度尚不能实现全面统一，披露形式不规范且披露程度不足，甚至企业所披露的碳排放信息不正确。由于我国碳排放审计仍处于初级阶段，碳排放审计的概念和正确性还没有被广泛认可和接受，许多企业没有对此提起重视。

首先，由于生态环境信息披露无法在较短的时间内为企业带来肉眼可见的经济利益，而且不少钢铁企业认为碳排放相关信息和数据的传输和碳排放信息的披露会导致企业内部生产经营的商业机密泄露，所以有的企业会用多个统计口径，也就是多套数据来应对不同的要求来防止企业商业机密泄露；甚至还有企业为了使自身利益最大化，在进行碳排放数据检查监测过程中，以不正当手段降低碳排放数据，或者对碳排放数据造假，伪造检测报告数据和关键碳排放信息。另外，由于企业对于碳排放审计的认识不够客观和正确，没有对碳排放审计的重视提升到应有的高度，以及企业相关人员对于碳排放相关信息和数据的理解程度不足，所以我国钢铁企业内部在对于碳排放信息和管理过程中，有的企业信息缺失，数据缺乏，不仅无法提供相关交易凭证进而无法交叉核对，还出现了生产设施检测仪器不加以校对乃至损坏，无法准确获取原始排放数据的情况，也就无法对信息进行正确的管理和披露。最后，企业的社会责任感和环保意识较差，碳排放信息披露的积极性不高，也不愿承担碳排放信息披露的相关责任，为避免不必要的麻烦，致使碳排放信息披露不全，导致一系列对碳排放审计的不利后果。

上述原因使得碳排放信息披露程度不足，披露的碳排放信息不够全面，甚至所披露的信息可靠性较差，使得核算存疑且相关数据核算结果不具有可比性，最终导致碳排放审计证据匮乏，碳排放审计风险增加。

4.3 碳排放审计机制不够完善

通过了解国际上的碳排放审计机制，政府在促进碳排放审计发展的进程中起到了主导作用，如果不能进行协调合作，建立起联合审计机制，就会导致碳排放审计在实施过程中审计证据不全面不充分、数据核算困难等一系列可能会增加审计风险的问题，使碳

排放审计工作质量和效率都大打折扣。

一方面,在进行碳排放审计工作时,不能建立起有效的联合审计机制会导致碳排放审计风险增加,另一方面碳排放审计工作的独立性也不能忽视,在进行审计工作时,如果独立性欠缺,那么必然会导致审计风险增加。审计的本质就是一项独立的经济监督工作,审计的独立性一直都是被反复强调的。和传统财务审计对比而言,碳排放审计由于其特殊性则变得更为复杂,尤其是钢铁行业企业不仅关联行业众多,还涉及一些政府监管部门,例如各级审计机关、环保管理部门甚至财政部门等,所以碳排放审计的独立性就显得尤为重要。通过以上描述可以看出,不仅企业内部员工在处理日常碳排放信息时,而且碳排放审计人员进行碳排放审计工作时,都难以避免要接触许多相关机构和部门,所以如果碳排放审计机制和 workflow 不完善的情况下,也就很难保证审计工作的完全独立性。

因此,碳排放审计工作机制不够完善,相关控制措施也不到位的情况下,会影响碳排放审计工作的独立性,就会出现碳排放审计 workflow 不合规,审计工作走走过场的情况,那么就会导致碳排放审计风险增加。

4.4 碳排放审计人才缺乏

从 2013 年 6 月至 2018 年 4 月,我国七大主要碳交易点的交易总量已经达到 1.4 亿吨左右,交易总额约为 28.5 亿元;2021 年 7 月 16 日全国碳排放市场正式启动上线交易,截止到 2022 年 9 月 27 日,全国碳交易市场的碳排放配额(CEA)的累计成交量超过了 1.95 亿吨,累计的成交金额高达 85.59 亿元^①,由此可见碳排放审计前景广阔,但对于碳排放审计从业人员来说,对他们的要求要比传统财务审计从业人员的要求更为严格。

碳排放审计区别于传统的财务报表审计,面对错综复杂的碳排放审计环境,要把控碳排放审计风险,提高碳排放审计质量,碳排放审计人员必须具备专业的素养和深厚的知识储备。尤其是生产流程和环节复杂多样的钢铁企业,要精准识别碳排放源并准确地对生产过程中的能源消耗和碳排放进行计量,还需要对所审计的钢铁企业的生产环节和工艺有较为熟悉的认识。在碳排放审计过程中需要对排放数据进行收集、整理和分析,以及一些环境指标的计算,这些对环境和行业知识的要求都较高,只有极少数审计人员能够满足碳排放审计的需要。

就目前碳排放审计的发展阶段而言,我国的碳排放审计工作仍以政府作为主导,企

^① 资料来源:贝果财经.碳市场破局:累计成交量超 1.95 亿吨.<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1746675499959962143&wfr=spider&for=pc>

业内部碳排放审计和社会碳排放审计的发展较为缓慢。一方面，我国现有的审计从业人员大都毕业于财经类院校，仅对相关财务知识有较深的理解，知识面较窄，缺乏对碳排放审计的深刻认识，另一方面，我国由政府主导的碳排放审计工作其人员组成都是从各个环境保护部门等单位的工作人员中抽调的，这些工作人员拥有专业的能源、技术等方面的知识储备，然而却并不具备审计类的相关素养。所以，审计专业知识和钢铁企业生产相关知识都具备的复合型人才是少之又少。

审计人员对于钢铁企业生产知识的缺失，不能使其准确地对碳排放源进行识别，也无法对排放数据进行收集、整理和指标分析；环保部门人员对于审计思维的缺乏，使他们对一些数据的敏感性不足，无法发现碳排放数据背后的勾连关系。如此一来，复合型人才缺失，使得碳排放审计难以顺利进行，碳排放审计质量得不到保障，碳排放审计效率低下，碳排放审计风险增加。

4.5 碳排放审计监管体系欠缺

目前，我国碳排放审计工作起步较晚，仍处于碳排放审计发展的探索阶段，在碳排放审计的发展初期，碳排放审计工作的开展是在政府起主导作用的情况下开展的，监管模式也是以政府监管为主，行业自律模式和第三方独立监管模式尚未形成。也就是说，由于尚未建立起各行业碳排放审计协会等组织，通过协会内部进行自主审计和评价的监管模式无法开展，而且社会碳排放审计机构的独立性由于没有一致的碳排放审计标准进行约束而得不到保证，社会碳排放审计机构从业人员的执业能力有待提升，所以通过第三方机构对企业碳排放审计的监管模式也无法顺利推进，当下主要施行的是由政府对企业碳排放情况进行审计抽查，对碳排放不合规的企业进行相应处罚的监管模式。

根据我国在京津沪等 7 个地区推行碳排放权交易试点的工作情况研究发现，在以政府监管为主要监管模式的情况下，各地的碳排放审计监管工作由各地的发改委来兼任，对于碳排放审计工作的监管还没有形成统一性的体系，各地区颁布的具有区域特色的监管文件中规定的要求没有达成一致，所以监管力度方面存在很大差别，具有地区性偏向。对于碳排放审计工作的独立性、碳排放审计工作流程是否规范等内容无法明确下定论，这无疑是在增加碳排放审计风险的重要原因。

5 钢铁行业碳排放审计风险的防控策略

由于钢铁行业能耗高、污染高、投入资本高的“三高”特点，使之和其他行业的联系也比较紧密，所以对钢铁行业碳排放审计的探究在一定程度上也对其他行业有参考价值，有利于对其他行业的碳排放审计工作提供相应指导。

5.1 建立科学统一的钢铁行业碳排放审计标准

碳排放审计工作必然需要碳排放审计标准支撑，一套成熟的碳排放审计标准体系不仅可以对碳排放审计行为进行规范，保证碳排放审计人员的独立性，还可以把控碳排放审计风险，增强碳排放审计报告的可行性。只有遵守科学、统一的碳排放审计标准才能使碳排放审计工作平稳有序地推进。

碳排放审计作为传统财务审计向环境审计方向的延伸，虽然这项新兴的审计业务和传统审计业务同属审计，存在一定共通性，但也在审计对象和审计标准等方面存在些许差异。所以当前碳排放审计的发展就需要碳排放审计标准这把审计业务的“标尺”来进行衡量。虽然国家发改委发布的《关于做好 2018 年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知》给予了碳排放审计人员一些工作指导，但内容空泛，局限性较大，现实意义有限。

社会中的每个行业都各具特色，不具有针对性的审计标准无法真正发挥作用，因此我国目前亟待解决钢铁行业碳排放审计标准不统一的问题，政府部门应积极联合钢铁和审计的业内专家、学者等在传统审计标准体系的基础上，根据钢铁企业生产特点和工艺流程，探究研发出一套真正适用于钢铁行业的成熟的碳排放审计标准，使得工作人员在对钢铁企业开展碳排放审计工作时拥有一把的“尺子”，让碳排放审计真正发挥作用。依照我国钢铁行业生产的工艺流程的碳排放特点，建立起一套科学、合理且完整的碳排放标准体系，是推动中国钢铁行业碳排放审计工作有序、广泛展开的前提。

另外，建立健全统一的钢铁行业碳排放核算标准也十分有必要。目前虽然我国出台了一系列关于温室气体管理的国家层面的标准，对企业碳排放量的核算方法提出了要求，但每一套碳排放核算体系在碳排放核算边界的界定、碳排放因子的选取等方面都不尽相同，由于每家钢铁企业选取的核算方法不同，碳排放审计工作在核算验证数据方面的工作难以进行。我国钢铁领域碳排放核算标准的科学构建，是推动相关工作发展的前提，中国钢铁工业协会已经了发布关于征求《钢铁行业碳排放核算方法》团体标准征求

意见稿意见的函,建议相关部门加快完善钢铁行业碳排放核算、报告与核查标准的编制,为钢铁行业建立起有力的监控管理制度。为进一步推动中国钢铁行业碳排放的审计工作,我国政府相关部门需借鉴国际现有碳排核算方法并结合中国钢铁行业生产特点,提出符合中国钢铁行业企业发展情况的统一的核算方法。

5.2 提高碳排放信息披露质量

我国作为世界上钢铁产品的生产和出口大国,钢铁产品作为我国的工业粮食,碳排放相关信息和数据的披露质量高低,不仅是碳排放审计风险引发和碳排放审计报告质量高低的关键因素,也受到了下游买方和社会公众的重视,影响到中国钢铁产品在国际市场竞争力优劣态势。碳排放数据和相关信息的完整、准确,是碳排放审计工作顺利开展的基础,也是在政府监管模式下对企业碳排放行为进行评价和监督的基础。

首先,在制度层面完善碳排放信息披露制度。我国可以财务部门出台规章文件的形式,将碳排放信息的披露制度化和规范化,构建起适合钢铁企业发展情况的碳排放信息披露体系,对需要披露的碳排放信息的内容方向、披露程度和披露方式做出具体要求,包括能源消耗情况、碳排放量以及碳排放核算报告等内容,让企业信息披露有据可依,有规可循。这样不仅可以避免规范性文件立法等级低、执行效率低下的问题,还能和我国当前的立法形式相适应,有利于钢铁企业提升碳排放信息质量。

其次,政府可以对企业的信息披露采取鼓励政策,为使企业履行这项社会责任,对于全面、认真履行碳排放信息披露的企业给予一定程度的税收优惠或者碳排放交易补贴,让钢铁企业主动参与到碳排放信息披露中来。

最后,增强公众的社会责任和低碳意识,促进企业优化自身管理,充分发挥企业的主观能动性,积极披露碳排放信息并保障其真实、完整、可靠;同时发挥社会公众和投资者的监督作用,鼓励公众对碳排放信息披露进行监督,评估企业信息披露质量,通过社会舆论监督,利用外力督促企业提高碳排放信息披露的质量,避免披露虚假信息。

如此一来,钢铁企业的碳排放相关信息披露的质量就能得到高度提升,对各个企业来讲更加公平公正,有利于利益相关者和信息使用者对碳排放信息进行横向和纵向对比,有效降低碳排放审计风险,促进碳排放审计业务的高质量发展。

5.3 深化碳排放审计工作管理

从发改委颁布的《关于开展碳排放权试点工作的通知》以及碳排放相关工作的规定

来看,我国对碳排放审计工作的管理主要以政府监管模式为主,从政府角度对钢铁企业进行碳排放审计工作进行监督和管理,一方面可以监督钢铁企业是否履行了其应履行的环保减排的责任和义务,另一方面也可以促进企业披露完整、准确的碳排放数据和信息,减少碳排放审计的风险。因此,深化以政府为主导的碳排放审计工作管理尤为重要。

首先,碳排放审计工作中,审前调查阶段是碳排放审计业务进行的第一步,必须做好碳排放审计前的准备工作。对被审计企业做好审前调查,需要到相应部门收集信息,明确碳排放系统边界、具体方式和审计重点,并在调查结束后给被审计企业下发正式的“碳排放审计通知书”。其次,编制碳排放审计计划是进行碳排放审计工作的关键组成部分,是不可或缺的一部分,也是为达到碳排放审计目标必须采取的重要一步。碳排放审计人员可以参考传统财务审计流程,将碳排放审计计划分为总体计划和具体计划,以对被审计企业碳排放情况进行评价。与此同时,借鉴英国当前以政府为主导的碳排放审计工作管理模式,增强事前监督,事中指导和事后审查。也就是在执行碳排放审计工作前对碳排放审计人员进行资质审查,评价碳排放审计人员的职业能力;在推进碳排放审计工作时对遇到的问题给予相应的咨询和指导并规范碳排放审计行为;在碳排放审计工作结束之后,已经编制完成的碳排放审计报告的质量进行监督检查。

另外,独立性是进行碳排放审计工作不可缺少的基础,因此还需要增强碳排放审计的独立性。从政府监管的角度出发,可以借鉴美国会计程序委员会将碳排放审计独立性划分成高、中、低三个层级的方式,来对审计独立性进行评估,防控由于独立性不足带来的审计风险。其次,应规定不得出现碳排放审计机构或人员与被审计企业出现利益冲突的情况使碳排放审计风险增加。还可以采取轮换制度,强制被审计企业定期更换碳排放审计机构或人员,避免双方长期合作导致互相串通舞弊的现象发生。

5.4 加强对碳排放数据的交叉验证

大数据的时代已经到来,社会中各行各业也越来越多地将信息技术融入进来,当然大数据也能够在碳排放审计中大放异彩,发挥突出作用。创造性的将大数据应用在碳排放审计领域,可以有效解决被审计企业内部管理基础差、碳排放审计数据难以核算等问题,还可以促进碳排放信息的披露,使相关信息可以公开透明,能够大幅度提高所披露信息的质量,进而使碳排放审计工作顺利进行,降低审计风险,提高审计工作效率,增强碳排放审计报告的可信度。

将大数据科技应用到碳排放审计中来,首先可以组成一支由碳排放审计人员、信息

技术专家、钢铁行业精英等拥有丰富行业经验的专业人员组成的审计科技研发小队，根据钢铁行业生产环节和工艺特点，打造一套具有针对性的，可以满足钢铁企业碳排放审计要求的审计软件。其次，在“互联网+”的浪潮下，还可以开发碳排放数据实时共享云平台，打通各部门之间无形的数据壁垒，提高碳排放数据收集与管理的工作效率。这样不仅能在项目组内实现数据共享，将碳排放数据核算化难为易，还能将碳排放数据进行“云验证”来更轻松地识别审计风险，提高审计效率；也利于钢铁企业碳排放数据纵向对比和钢铁行业横向对比，政府可以由此从宏观层面对碳排放审计做出相应指导，有助于钢铁行业进行碳排放审计工作时，降低碳排放审计风险。

碳排放审计的大数据化能够加强信息的沟通与交流，及时发现并解决问题，从而大量减少碳排放审计工作人员重复性的工作，提升审计工作效率，降低审计风险，使碳排放审计结论更具透明度，增强碳排放审计报告的可信度。与此同时，对碳排放联网审计的经验总结也不能忽视，通过不断总结经验来对联网审计制度进一步完善，持续加强碳排放审计数字化基础设施建设，保证碳排放数据信息的安全性，以此推进碳排放审计工作的顺利开展，降低碳排放审计风险。

5.5 强化碳排放审计人才队伍建设

我国的碳排放审计工作仍然处于探索发展阶段，碳排放审计对于大部分审计从业人员来说都了解得不够深刻，而且由于碳排放审计多学科知识交叉的特性，尤其是钢铁行业的碳排放涉及行业部门众多，碳排放审计人员不仅要有过硬的审计知识，还需要掌握钢铁生产环节和工业以及工业学科等多方面的知识。所以必须加强碳排放审计复合型人才的培养，打造一批高水准的碳审计精英是碳排放审计工作顺利推广的重中之重。

在美国进行碳审计业务的审计从业人员需要获得国际注册碳审计师的资格之后，才能够进入碳审计业务团队开展工作，这样能够最大程度确保其具备应有的胜任能力。作为英国的碳审计人员，同样也需要获得相应的资格认证之后才可以负责专门的碳审计工作。我们也可以充分借鉴英美国家从业准入方面的经验，对职业资格进行认证，实行不定期审查和再教育制度，以保证其提高自身综合能力和专业素养。

首先，可以倡导各大高等院校在审计学专业下开设碳排放审计专业或相关的研究方向，并鼓励学生积极到相关项目中进行实习，积累行业经验，从源头培养碳排放审计人才。其次，可以参照其他专业的从业资格证书通过考试获取的模式，制定学习大纲，组织专业化的资格考试，规范碳排放审计人员的从业资质认证。最后，还可以建立一套专

门的碳排放审计课程体系或者定期聘请专家学者讲座，通过学习进修的方式加强对碳排放审计人员业务培训，同时根据行业变化情况推出与时俱进的参考资料供从业人员学习。

同时，在政府指导下，也应设立内部约束和外部监督机制，增强碳排放审计人员的独立性，加强碳排放审计人员的职业道德修养。

5.6 完善碳排放审计监管体系

由于我国碳排放审计工作起步较晚，碳排放审计工作的发展仍处于初级阶段，但随着碳排放审计工作在全国的逐渐开展，以政府为主导的碳排放审计监督管理必须发挥出应有的作用。完善碳排放审计的监管体系，有利于降低碳排放审计风险，提升碳排放审计质量，保证碳排放审计工作在全国范围内顺利展开。我国碳排放审计出现时间较其他国家来说要晚一些，因此我国的碳排放审计工作的监督管理体系仍然有较大的建设提升空间。

首先，应该建立健全碳排放审计工作监管的配套法律法规，解决好“谁来管”、“怎么管”的问题，消除监管盲区和重复监管的情况，做到在进行碳排放审计工作监管时有规可循，有法可依。同时使碳排放审计监管体系的严密性得到强化，政府部门的权威性得到提升。其次，应该整合组建一支由政府牵头的、融合钢铁行业生产制造领域和审计领域专家的监管执法队伍，成立专门的碳排放审计工作监管机构，加大对钢铁企业碳排放情况和碳排放审计工作的监督管理力度，强化责任追究，做到执法必严，提升监管效率，以外部监管手段来降低碳排放审计工作的风险。最后，由于政府在执行监管工作时需要多方协调，进而工作量大使政府部门无法全面覆盖到钢铁企业的碳排放审计工作监管，因此需要丰富监管模式，形成以政府监管为主，行业协会监管为辅的监管架构。通过成立钢铁行业自律协会等社会组织，在政府抽查的基础上辅以行业内部企业互相监督，保证碳排放审计工作高效进行，以降低碳排放审计风险。

6 研究结论与展望

6.1 研究结论

2022 年 1 月 20 日, 工信部、发改委、生态环境部联合对外发布《促进钢铁工业高质量发展的指导意见》中指出要在钢铁领域将绿色低碳深入推进, 确保 2030 年前实现碳达峰。碳排放审计作为当前低碳治理活动中的重要部分, 不仅可以正确评估企业的碳排放量以达到节能减排、绿色发展的目的, 而且通过对碳排放审计的研究, 也可以完善碳排放审计理论, 扩充环境审计体系, 通过政府视角对企业碳排放进行监督并推动绿色钢铁的发展。

本文以 T 钢铁企业为例, 对其在粗钢生产过程中产生碳排放的原始数据进行收集整理, 通过 ISO 系列标准、《省级温室气体清单编制指南》、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分: 钢铁生产企业》和《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》四种国内外不同的碳排放核算方法, 对吨粗钢的碳排放量实行测算, 通过对不同核算结果产生不一致的原因进行探究, 通过原因分析进一步研究在碳排放审计过程中的审计风险点, 在政府监管视角下提出审计风险的应对方案。本文得出的结论如下:

(1) 目前世界上由不同组织或国家相关机构提出的有关钢铁行业碳排放核算方法并未达成统一, 以上四个核算方法的理论基础、核算范围、计算方式和碳排放因子数值等均不相同, 正是因为这些不同, 必然会造成碳排放量核算结果的不一致, 致使碳排放审计人员在开展审计工作时得出的审计结论无法横向可比。

(2) 碳排放审计作为传统财务审计向环境审计方向的延伸, 这项新兴的审计活动发展仍停留在初步发展阶段, 尚未被广泛地接受, 企业对于碳排放相关信息的披露不够完整准确, 所以在钢铁企业碳排放审计业务开展过程中的监测、核查和报告各个环节极易造成碳排放审计风险的增加, 降低碳排放审计报告质量。

(3) 钢铁行业的碳排放审计存在如缺乏高度统一的碳排放核算方法、碳排放审计机制和评价标准不够完善和碳排放审计人员人才欠缺等诸多不足之处需要完善。所以在以后的发展中, 要尽快建立科学统一的钢铁行业碳排放审计标准, 提高碳排放信息披露质量, 加强对碳排放审计工作的管理, 并且重视碳排放审计

人才队伍建设，以此降低钢铁行业碳排放审计风险，促进碳排放审计事业的进一步发展。

综上所述，中国钢铁行业碳排放审计有待进一步的发展和完善，其涉及行业部门之多，核算程序之复杂，易出现的审计风险点之多，都需要一套科学可行的碳排放审计准则加以指导，也需要碳排放审计人员自身过硬的综合素质。同时也应深化宣传力度，树立公众节能减排的意识，呼吁更多的公民支持碳排放审计的发展。总之，钢铁行业碳审计在当下仍有很长的路要走，对其的深入研究能够有效帮助国家钢铁行业的绿色发展，为其他行业的碳排放审计提供经验借鉴，同时促进完善环境审计理论体系。

6.2 研究展望

本文通过对 T 钢铁企业粗钢生产过程中产生的碳排放的原始数据利用国内外四种不同的核算方法，对吨粗钢碳排放量的结果进行核算，可以发现钢铁行业碳排放关联部门众多，涉及学科广泛，同时存在的审计风险也颇多。如果对于钢铁行业碳排放审计的研究足够深入，对于碳排放审计风险控制能够达到预期效果，那么就能够为我国钢铁行业制定碳排放评价标准和统一核算方法提供参考，同时提升钢铁企业碳排放数据披露质量，促进钢铁行业碳排放审计风险管控，最大程度上避免审计风险。这样一来将对其他行业的碳排放审计具有重要的参考价值，大力促进环境审计理论体系的完善。

本篇文章以 T 钢铁企业为例来探究钢铁行业的碳排放审计风险研究由于客观条件的限制，在一些方面的思考还不够完善，仍存在有以下不足之处，需要在以后的研究中进行深入的分析。

(1) 应增强理论方面的深入探究。本文对钢铁行业碳排放核算的四种方法虽然做了一定解读，但是仍停留在表面，还能够更进一步对每一个生产环节或者工序的碳排放活动水平数据做详细地搜集和整理，对实测碳排放因子做更加准确细致的测定和研究。

(2) 应提高实践应用方面的广度。可以调研更多的钢铁企业信息和数据加以测算和分析，这样就能对于钢铁碳排放审计风险做出更为细致的分析，提出更有针对性的审计风险规避建议来完善研究。

(3) 应将碳排放信息鉴证纳入其中。由于和传统财务审计相比，碳排放信息数据的鉴证比报表中经济信息的鉴证的难度要高，因此存在不足。在以后的研究中应深入研究理论知识并对实际案例进行探究，挑战困难，弥补这一不足。

随着国家对碳排放审计的日益重视，钢铁行业的碳排放审计也将不断被完善，各位学者也正纷纷加入对于这类案例的研究，为未来钢铁行业碳排放审计事业的发展添砖加瓦，提供大量、更具指导性和实践性的建议。

参考文献

- [1] Ali Hasanbeigi, Marlene Arens, Jose Carlos Rojas Cardenas, Lynn Price, Ryan Triolo. Comparison of carbon dioxide emissions intensity of steel production in China, Germany, Mexico, and the United States[J].Resources, Conservation and Recycling,2016(113): 127-139.
- [2] Andrew C. Lovell. Developing A Carbon Audit Framework To Support Corporate Level Carbon Reduction Strategies[D].England: University of East Anglia:2003.
- [3] Haley Brendan, Gaede James, Winfield Mark, Love Peter. 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.
- [4] Jan Bebbington, Carlos Larrinaga.2008 Carbon Trading: Accounting and Reporting Issues[J].European Accounting Review,2008(17):697-717.
- [5] Jialin Shen, Qi Zhang, Lisong Xu, Shuoshuo Tian, Peng Wang.Future CO₂ emission trends and radical decarbonization path of iron and steel industry in China[J].Cleaner Production,2021(326).
- [6] Junichiro Oda, Keigo Akimotob. Carbon intensity of the Japanese Iron and steel Industry: Analysis of factors from 2000 to 2019[J].Cleaner Production,2022(345).
- [7] Marlene Arens, Ernst Worrell, Wolfgang Eichhammer,Ali Hasanbeigi, Qi Zhangd. Pathways to a low-carbon iron and steel industry in the medium-term – the case of Germany[J].Cleaner Production,2017(163): 84-98.
- [8] Puneet Dwivedi, Madhu Khanna, Ajay Sharma, Andres Susaeta. Efficacy of carbon and bioenergy markets in mitigating carbon emissions on reforested lands: A case study from Southern United States[J]. Forest Policy and Economics,2016,67.
- [9] Paul W.Griffin, Geoffrey P.Hammond. The prospects for “green steel”making in a net-zero economy: A UK perspective[J]. Global Transitions,2021(3):72-86.

- [10] Raffaele Fiocco, Mario Gilli. Bargaining and collusion in a regulatory relationship [J]. *Journal of Economics*, 2016(117): 93-116.
- [11] Shilpa Verma. Green Audit—A Boom to Human Civilization [J]. *International Journal of Trends in Economics Management & Technology*, 2012, 1(6): 345-356.
- [12] Theodoros Zachariadis, Janet E. Milne, Mikael Skou Andersen, Hope Ashiabor. *Economic Instruments for a Low-carbon Future* [M]. Edward Elgar Publishing: 2020-07-31.
- [13] Xinyu Zhang, Kexin Jiao, Jianliang Zhang, Ziyu Guo. A review on low carbon emissions projects of steel industry in the World [J]. *Cleaner Production*, 2021(306).
- [14] Yalian Zhang, Liyun Gu, Xin Guo. Carbon audit evaluation system and its application in the iron and steel enterprises in China, 2020(248).
- [15] Yanchun Pan, Wen Yang, Nan Ma, Zhimin Chen, Ming Zhou, Yi Xiong. Game analysis of carbon emission verification: A case study from Shenzhen's cap-and-trade system in China [J]. *Energy Policy*, 2019(130): 418-428.
- [16] Yin Jiao Li, Wen Qing Xu, Ting Yu Zhu, Feng Qi, Tie Bing Xu, Zhen Wang. CO₂ Emissions from BF-BOF and EAF Steelmaking Based on Material Flow Analysis [J]. *Advanced materials research*, 2012: 1793.
- [17] ZHANG QI, LI YU, XU JIN, et al. Carbon element flow analysis and CO₂ emission reduction in iron and steel works [J]. *Journal of cleaner production*, 2018: 172.
- [18] 陈程, 马东旭, 肖邦国. 推动我国钢铁绿色设计产品高质量发展的建议 [J]. *中国钢铁业*, 2020(04): 37-40+42.
- [19] 陈东升, 赵珍华. “三高四新” 战略下碳审计制度构建研究 [J]. *上海商业*, 2022(09): 96-98.
- [20] 崔向兵, 李薇. 碳中和背景下的碳社会审计现状及对策研究 [J]. *现代审计与会计*, 2022(01): 7-9.
- [21] 邓玮. “双碳” 视域下的企业碳信息披露制度研究 [J]. *环境保护*, 2022, 50(13): 65-67.

- [22]方宏圆. 低碳经济环境下的碳审计研究[D].安徽:安徽财经大学,2020.
- [23]冯振华. 企业碳排放审计与评价研究[D].天津:天津科技大学,2017.
- [24]高春艳,牛建广,王斐然. 钢材生产阶段碳排放核算方法和碳排放因子研究综述[J].当代经济管理,2021,43(08):33-38.
- [25]管志杰,马东旭,李文远,陈程. 生命周期评价在我国钢铁行业的发展与应用[J].冶金经济与管理,2020,(03):47-50.
- [26]管亚梅. 基于云审计平台的我国碳审计协同机制与障碍跨越[J]. 学海, 2016(4): 195-198.
- [27]郭建超. 国有高耗能企业碳审计框架设计与实施路径研究[D].甘肃:兰州财经大学,2021.
- [28]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.
- [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]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.
- [31]兰玲瑜. 企业碳审计问题研究[D].北京:北方工业大学,2016.
- [32]李飞. 企业开展碳审计的方法学[J].企业技术开发,2010,29(13):129-130.
- [33]李楠. 产品碳足迹标准对比及其供应链上的影响研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [34]李鸥洋. 我国企业碳审计问题研究[D].北京:北方工业大学,2013.
- [35]李硕晨,杨荣美. 我国企业碳排放审计风险影响因素研究[J].沈阳农业大学学报(社会科学版),2022,24(05):559-565.
- [36]李新创,李冰,霍咚梅,李晋岩. 推进中国钢铁行业低碳发展的碳排放标准思考[J].中国冶金,2021,31(06):1-6.
- [37]刘宏强,付建勋,刘思雨,谢欣悦,杨笑楹. 钢铁生产过程二氧化碳排放计算方法与实践[J].钢铁,2016,51(04):74-82.
- [38]刘璐. 高耗能企业低碳审计问题研究——以 L 钢铁企业为例[D].黑龙江:哈尔滨商业大学,2018.
- [39]刘学之,朱乾坤,孙鑫,毛婧奕,刘嘉, 尚玥佟. 欧盟碳市场 MRV 制度体系及其

- 对中国的启示[J]. 中国科技论坛,2018(08):164-173.
- [40]那洪明,高成康,郭玉华,等. “中国式”电炉炼钢流程碳排放特点及其源解析[J].东北大学学报(自然科学版),2019,40(2): 212—217.
- [41]那洪明,何剑飞,袁喻兴,孙竞超.钢铁企业不同生产流程碳排放解析[C].第十届全国能源与热工学术年会论文集.2019:402-408.
- [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]邱礼慧,伍中信.试论我国碳交易权政府配置审计的构建[J].人民论坛,2013(12):99-101.
- [44]孙峥,郭婷珍.加强碳市场监管机制建设 保障碳市场健康有效运行[J].中国经贸导刊(中),2018,(29):67-69.
- [45]王爱国.国外的碳审计及其对我国的启示[J].审计研究, 2012(5):36-41.
- [46]王亮,唐伶.国内外钢铁企业碳信息管理和披露的比较研究[J].钢管,2021,50(01):1-6.
- [47]王韵铭,马秀琴,张宁.河北省某钢铁企业能耗和 CO₂ 排放的核查分析[J].中国环境管理干部学院学报,2017,27(6):50-53.
- [48]王韵铭.京津冀地区钢铁企业碳排放现状及减排潜力研究[D].天津:河北工业大学,2017.
- [49]魏东,岳杰,王璟珉.碳排放权交易风险管理的识别、评估与应对[J].中国人口·资源与环境,2012,22(08):28-32.
- [50]魏宏博.基于外部性理论的城市环保经济手段研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2007.
- [51]邢奕,崔永康,田京雷,苏伟,王伟丽,张熙,刘义,赵秀娟.钢铁行业低碳技术应用现状与展望[J].工程科学学报,2022,44(04):801-811.
- [52]谢冬.钢铁上市公司碳会计信息披露质量的影响因素研究[D].天津:天津科技大学,2021.
- [53]解瑞丽.钢铁生产企业温室气体排放源识别与核算分析[J].山西冶金,2016,39(04):50-52.
- [54]薛雨石.我国钢铁工业碳排放核算现状与审计人员开展碳审计方案设计[J].绿

- 色财会,2021,(12):46-48+52.
- [55]杨明晖.我国碳审计的外部监管体系设计[J].纳税,2019,13(06):182.
- [56]杨楠,李艳霞,吕晨,等.唐山市钢铁行业碳排放核算及达峰预测[J].环境工程,2020,38(11):44-52.
- [57]杨楠楠.日本建立产品碳足迹体系的经验及启示[J].中国人口·资源与环境,2012,22(S2):161-165.
- [58]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,2011,17(03):14-19+74.
- [59]姚丽琼.资源型企业低碳审计风险识别、评估与管理研究[J].邵阳学院学报(社会科学版),2016,15(06):82-86.
- [60]姚林.SQ公司碳审计制度框架与流程设计研究[D].湖北:湖北经济学院,2019.
- [61]张春霞,上官方钦,张寿荣,等.关于钢铁工业温室气体减排的探讨[J].工程研究—跨学科视野中的工程,20124,(3):221-230.
- [62]张瑞萍.基于温室气体核算的碳交易审计体系构建[D].甘肃:兰州财经大学,2021.
- [63]张晓毅,倪国爱.绿色经济发展模式下低碳审计探析[J].铜陵学院学报,2012(6):47-49.
- [64]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.
- [65]赵艺伟,左海滨,余雪峰,王广,薛庆国,王静松.钢铁工业二氧化碳排放计算方法实例研究[J].有色金属科学与工程,2019,10(01):34-40.
- [66]郑石桥.资论审计方法[J].财会月刊,2022,(06):1-5.
- [67]庄尚文,蒋屠鉴,王丽.新时代推进碳审计全覆盖的问题与对策[J].财会月刊,2020(17):86-91.

致 谢

此刻是 2023 年 3 月 10 日，我正坐在财大书库门前的桌子上写下这篇致谢，一瞬间千头万绪涌上心头。好像 2020 年开学报到时候的一幕幕就发生在昨天，但我却即将为这三年在财大的生活和学习画上一个句号。

这三年，我经历了许多之前从未有过的经历，包括学习中，也包括生活里，有哭也有笑。但无论怎样都不影响我喜欢兰州，也不影响我喜欢财大。

我很爱我的导师，有她在，我无比心安。作为她的学生，我很荣幸。

我很爱我的家人，他们是我到达一座距离遥远的陌生城市学习生活的底气。

我很爱屈桐旭，我拥有的鲜花和浪漫都是她给的。我们每个阶段都有自己的朋友，但我们是最好的朋友。

我也很爱我的舍友们，回想我们在小小的宿舍，四个人从零开始打造比赛项目的场景仍然令我感动无比。

忽然想起来被遗忘了三年的，当初选择来兰州的原因，我很感谢自己的勇气。

附录

一、ISO 系列标准碳排放量计算公式

$$E_M = \sum_{i=1, j=1}^n P_i \times Q_{ij} \times GWP_j \quad (1.1)$$

式中，

E_M ——产品产生的全过程 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

P_i ——核算期和报告期内第 i 种燃料活动水平数据，吉焦 (GJ)；

Q_{ij} ——核算期和报告期内第 i 种燃料燃烧排放的第 j 种温室气体的排放因子，吨每吨 (t/t)；

GWP_j ——第 j 种温室气体的全球变暖潜势值，以二氧化碳的 GWP 值为 1，第 j 种温室气体与二氧化碳的比值。

P_i 按式 (1.2) 计算：

$$P_i = NCV_i \times FC_i \quad (1.2)$$

式中，

FC_i ——核算期内第 i 种化石燃料的消费量，吨 (t) 或万标立方米 (10⁴Nm³)；

NCV_i ——核算和报告期第 i 种化石燃料的平均低位发热量，吉焦/吨 (GJ/t) 或吉焦/万标立方米 (GJ/万 Nm³)。

表中提供了在 ISO 14064-2 的附录中标明的各种 GHG 在 100 年时间跨度内的全球变暖潜值。

GHG 全球变暖潜势值

气体名称	化学分子式	全球变暖潜势值 (GWP)
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	210
氧化亚氮	N ₂ O	310
三氟甲烷	HFC-23	11700

二、《省级温室气体清单编制指南方法》碳排放量计算公式

$$E_{CO_2} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{净购入电力}} \quad (2.1)$$

式中，

E_{CO_2} ——产品产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{燃烧}}$ ——化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{过程}}$ ——产品生产过程产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{电力}}$ ——净购入电力产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)。

$E_{\text{燃烧}}$ 计算公式为：

$$E_{\text{燃烧}} = \frac{44}{12} \sum_{i=1}^n (AD_i \times CC_i - D_i) \times OF_i \quad (2.2)$$

$$AD_i = NCV_i \times FC_i \quad (2.3)$$

式中，

AD_i ——核算期和报告期内第 i 种燃料的消费量，吉焦 (GJ)；

CC_i ——第 i 种燃料的单位热值含碳量，吨碳每吉焦 (tC/GJ)；

D_i ——第 i 种燃料用于非能源用途的固碳量，吨 (t)；

OF_i ——第 i 种燃料的碳氧化率，%；

FC_i ——核算期内第 i 种化石燃料的消费量，吨 (t) 或万标立方米 (10⁴Nm³)；

NCV_i ——核算和报告期第 i 种化石燃料的平均低位发热量，吉焦/吨 (GJ/t) 或吉焦/万标立方米 (GJ/万 Nm³)。

$E_{\text{过程}}$ 计算公式为：

$$E_{\text{过程}} = AD_l \times EF_l + AD_d \times EF_d + (AD_r \times EF_r - AD_s \times EF_s) \times \frac{44}{12} \quad (2.4)$$

式中，

AD_l ——石灰石被当作溶剂时被钢企消耗的数量，吨 (t)；

EF_l ——石灰石消耗的排放因子，吨每吨 (t/t)；

AD_d ——白云石被当作溶剂时被钢企消耗的数量，吨 (t)；

EF_d ——白云石消耗的排放因子，吨每吨 (t/t)；

AD_r ——炼钢用生铁的数量，吨 (t)；

EF_r ——炼钢用生铁的平均含碳率，吨每吨 (t/t)；

AD_s ——炼钢的钢材产量，%；

EF_s ——炼钢的钢材产品的平均含碳率，%。

$E_{\text{电力}}$ 计算公式为：

$$E_{\text{净购入电力}} = AD_{\text{净购入电力}} \times EF_{\text{净购入电力}} \quad (2.5)$$

式中，

$AD_{\text{净购入电力}}$ ——核算和报告期内净购入的电力消耗，兆瓦时 (MWh)；

$EF_{\text{净购入电力}}$ ——供电平均消耗的排放因子，千克二氧化碳每千瓦时 (KgCO₂/KWh)。

三、《温室气体排放核算与报告要求 第 5 部分：钢铁生产企业》碳排放量计算公式

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} - R_{\text{固碳}} - E_{\text{输出电}} - E_{\text{输出热}} \quad (3.1)$$

式中，

E ——产品产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{燃烧}}$ ——化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{过程}}$ ——产品生产过程产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{购入电}}$ ——净购入电力消费产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{购入热}}$ ——净购入热力消费产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{输出电}}$ ——输出的电力产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$E_{\text{输出热}}$ ——输出的热力产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)；

$R_{\text{固碳}}$ ——企业固碳产品隐含的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳 (tCO₂)。

$E_{\text{燃烧}}$ 计算公式为:

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n AD_i \times EF_i \quad (3.2)$$

$$AD_i = NCV_i \times FC_i \quad (3.3)$$

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \quad (3.4)$$

式中,

AD_i ——核算期和报告期内第 i 种燃料的消费量, 吉焦 (GJ);

EF_i ——第 i 种化石燃料的碳排放因子, 吨二氧化碳每吉焦 (CO₂/GJ);

i ——消耗的化石燃料类型;

NCV_i ——核算和报告期第 i 种化石燃料的平均低位发热量, 吉焦/吨 (GJ/t) 或吉焦/万标立方米 (GJ/万 Nm³);

FC_i ——核算期内第 i 种化石燃料的净消耗量, 吨 (t) 或万标立方米 (10⁴Nm³);

CC_i ——第 i 种燃料的单位热值含碳量, 吨碳每吉焦 (tC/GJ);

OF_i ——第 i 种燃料的碳氧化率, %。

$E_{\text{过程}}$ 计算公式为:

$$E_{\text{过程}} = E_{\text{溶剂}} + E_{\text{电极}} + E_{\text{原料}} \quad (3.5)$$

$$E_{\text{溶剂}} = \sum_{i=1}^n P_i \times DX_i \times EF_i \quad (3.6)$$

$$E_{\text{电极}} = P_{\text{电极}} \times EF_{\text{电极}} \quad (3.7)$$

$$E_{\text{原料}} = \sum_{i=1}^n M_i \times EF_i \quad (3.8)$$

式中,

$E_{\text{溶剂}}$ ——熔剂消耗产生的碳排放量, 吨二氧化碳 (tCO₂);

P_i ——核算期和报告期内第 i 种熔剂的消耗量, 吨 (t);

DX_i ——核算和报告年度内, 第 i 种熔剂的平均纯度, %;

EF_i ——第 i 种溶剂的碳排放因子, 吨 CO₂/吨溶剂;

i ——消耗的溶剂的种类；

$E_{\text{电极}}$ ——电极消耗产生的碳排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$P_{\text{电极}}$ ——核算和报告期内耗电炼钢等消耗的电极量，吨（t）；

$EF_{\text{电极}}$ ——耗电炼钢所消耗电极的 CO₂ 排放因子，吨 CO₂/吨电极；

$E_{\text{原料}}$ ——外购的含碳原料消耗而产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

M_i ——核算和报告期内第 i 种含碳原料的购入量，吨（t）；

EF_i ——第 i 种购入含碳原料的碳排放因子，吨 CO₂/吨原料；

i ——外购含碳原料类型。

$E_{\text{购入电}}$ 和 $E_{\text{输出电}}$ 计算公式为：

$$E_{\text{购入电}} = AD_{\text{购入电}} \times EF_{\text{购入电}} \quad (3.9)$$

$$E_{\text{输出电}} = AD_{\text{输出电}} \times EF_{\text{输出电}} \quad (3.10)$$

式中，

$AD_{\text{购入电}}$ ——核算和报告年度内的购入电量消耗，兆瓦时（MWh）；

$EF_{\text{购入电}}$ ——区域电网年平均供电排放因子，吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh）；

$AD_{\text{输出电}}$ ——核算和报告年度内产生的输出电量值，兆瓦时（MWh）；

$EF_{\text{输出电}}$ ——区域电网年平均供电排放因子，吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh）。

$E_{\text{购入热}}$ 和 $E_{\text{购入热}}$ 计算公式为：

$$E_{\text{购入热}} = AD_{\text{购入热}} \times EF_{\text{购入热}} \quad (3.11)$$

$$E_{\text{输出热}} = AD_{\text{输出热}} \times EF_{\text{输出热}} \quad (3.12)$$

式中，

$AD_{\text{购入热}}$ ——核算和报告年度内的外购热力消耗，吉焦（GJ）；

$EF_{\text{购入热}}$ ——年平均供热排放因子，吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ）；

$AD_{\text{输出热}}$ ——核算和报告年度内产生的输出热力值，吉焦（GJ）；

$EF_{\text{输出热}}$ ——一区年平均供热排放因子，吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ）。

$R_{\text{固碳}}$ 计算公式为：

$$R_{\text{固碳}} = \sum_{i=1}^n AD_{\text{固碳}} \times EF_{\text{固碳}} \quad (3.13)$$

式中，

$AD_{\text{固碳}}$ ——第 i 种固碳产品的产量，吨（t）；

$EF_{\text{固碳}}$ ——第 i 种固碳产品的碳排放因子，吨二氧化碳每吨（tCO₂/t）；

i ——固碳产品的种类。

四、《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》碳排放量计算公式

$$E_{\text{CO}_2} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电和热}} - R_{\text{固碳}} \quad (4.1)$$

式中，

E_{CO_2} ——企业生产产品产生的 CO₂ 排放总量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{燃烧}}$ ——企业所有净消耗化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{过程}}$ ——企业产品生产过程产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{电和热}}$ ——企业净购入电力和净购入热力产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$R_{\text{固碳}}$ ——企业固碳产品隐含的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）。

$E_{\text{燃烧}}$ 计算公式：

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n AD_i \times EF_i \quad (4.2)$$

$$AD_i = NCV_i \times FC_i \quad (4.3)$$

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \quad (4.4)$$

式中，

$E_{\text{燃烧}}$ ——核算期内净消耗化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

AD_i ——核算期内第 i 种化石燃料的活动水平，吉焦（GJ）；

EF_i ——第 i 种化石燃料的碳排放因子，吨二氧化碳每吉焦 (tCO_2/GJ)；

i ——消耗的化石燃料类型；

NCV_i ——核算和报告期第 i 种化石燃料的平均低位发热量，百万千焦/吨 (GJ/t)；
或百万千焦/万立方米 ($GJ/万 Nm^3$)；

FC_i ——核算期内第 i 种化石燃料的净消耗量，吨 (t) 或万立方米 ($10^4 Nm^3$)；

CC_i ——第 i 种化石燃料的单位热值含碳量，(吨碳每吉焦 tC/GJ)；

OF_i ——第 i 种化石燃料的碳氧化率，%。

$E_{过程}$ 计算公式：

$$E_{过程} = E_{溶剂} + E_{电极} + E_{原料} \quad (4.5)$$

$$E_{溶剂} = \sum_{i=1}^n P_i \times EF_i \quad (4.6)$$

$$E_{电极} = P_{电极} \times EF_{电极} \quad (4.7)$$

$$E_{原料} = \sum_{i=1}^n M_i \times EF_i \quad (4.8)$$

式中，

$E_{溶剂}$ ——熔剂消耗产生的碳排放量，吨二氧化碳 (tCO_2)；

P_i ——核算期内第 i 种熔剂的净消耗量，吨 (t)；

EF_i ——第 i 类溶剂的碳排放因子，吨 CO_2 /吨溶剂；

i ——消耗的溶剂的种类；

$E_{电极}$ ——电极消耗产生的碳排放量，吨二氧化碳 (tCO_2)；

$P_{电极}$ ——核算和报告期内耗电炼钢等消耗的电极量，吨 (t)；

$EF_{电极}$ ——耗电炼钢所消耗电极的 CO_2 排放因子，吨 CO_2 /吨电极；

$E_{原料}$ ——外购的含碳原料消耗而产生的 CO_2 排放量，吨二氧化碳 (tCO_2)；

M_i ——核算和报告期内第 i 种含碳原料的购入量，吨 (t)；

EF_i ——第 i 种购入含碳原料的碳排放因子，吨 CO_2 /吨原料；

i ——外购含碳原料类型。

$E_{电和热}$ 计算公式：

$$E_{电和热} = AD_{电力} \times EF_{电力} + AD_{热力} \times EF_{热力} \quad (4.9)$$

式中，

$AD_{电力}$ ——核算和报告期内净购入的电量消耗，兆瓦时（MWh）；

$AD_{热力}$ ——核算和报告期内净购入的热力量消耗，吉焦（GJ）；

$EF_{电力}$ ——供电平均消耗的碳排放因子，吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh）；

$EF_{热力}$ ——热力平均消耗的碳排放因子，吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ）。

$R_{固碳}$ 计算公式：

$$R_{固碳} = \sum_{i=1}^n AD_{固碳} \times EF_{固碳} \quad (4.10)$$

$R_{固碳}$ ——固碳产品所隐含的 CO₂ 排放量，吨二氧化碳（tCO₂）；

$AD_{固碳}$ ——第 i 种固碳产品的产量，吨（t）；

$EF_{固碳}$ ——第 i 种固碳产品的 CO₂ 排放因子，吨二氧化碳每吨（tCO₂/t）；

i ——固碳产品的种类。