

分类号 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 10741



# 硕士学位论文

(专业学位)

论文题目 基于CDM机制的企业温室气体价值核算研究——以祁连山为例

研究生姓名: \_\_\_\_\_ 赵牧之

指导教师姓名、职称: \_\_\_\_\_ 周一虹 教授 石培爱 注册会计师

学科、专业名称: \_\_\_\_\_ 会计硕士

研究方向: \_\_\_\_\_ 注册会计师

提交日期: \_\_\_\_\_ 2022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： 赵教文 签字日期： 2022.6.1

导师签名： 周一虹 签字日期： 2022.6.1

导师(校外)签名： 石晓霞 签字日期： 2022.6.1

## 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內容。

学位论文作者签名： 赵教文 签字日期： 2022.6.1

导师签名： 周一虹 签字日期： 2022.6.1

导师(校外)签名： 石晓霞 签字日期： 2022.6.1

## 摘要

随着经济的发展,以及工业化进程的推进,温室气体的排放量也在不断增加,这导致气候的变化,对人类生存环境造成了严重影响。温室效应也就成为人类目前面临的十大环境问题之一。几十年来,无数学者对温室气体排放量的计算,不同温室气体对环境的影响程度等问题都做出研究,使得我们对温室气体对环境的影响问题有了深入研究。而随着 CDM 机制的出现,使得企业排放温室气体的权利可以进入交易市场,这也意味着企业排放的温室气体有了价值。党的十九大以来,我国对于环境保护的问题越来越重视,碳排放权交易的相关研究实践也越来越深入,但是二氧化碳仅仅是温室气体中的一个部分,如何对整个企业排放的温室气体的价值量进行核算还缺少价值计量方法。因此,急需探索建立温室气体资产的核算标准,解决企业温室气体资产的价值量核算问题。与此同时,水泥行业作为基础性材料行业对全世界的发展影响深远,而水泥行业在生产过程中又排放了大量温室气体,因此如何控制水泥行业的温室气体排放量在面对温室效应这个问题时显得非常重要。

本文从会计角度出发,通过 CDM 机制计算企业温室气体排放量并以碳交易,碳资产为基础进行温室气体价值量计量,验证 CDM 机制在对温室气体使用价值计量检定中的可行性分析,以求为企业温室气体价值量计算提供一定的理论意义和技术性支撑点,在通过环境重置成本法核算出目前节能减排所需要的成本,以此为企业在相关方面是否加入排污权市场做出参考,试着为生态环境保护难题更切实解决提供新的方式。本文选取水泥行业为对象进行温室气体价值量核算,以祁连山水泥集团股份有限公司为案例公司,计算出该公司 2017 年-2021 年排放的温室气体价值量及其节能减排成本。本文重点解决祁连山水泥集团股份有限公司温室气体价值量核算问题,其次验证 CDM 机制在企业温室气体价值量核算中的可行性,以期为企业参与排污权及交易市场的可行性提供参考。

**关键词:** 温室气体价值量核算 CDM 机制 环境重置成本法

## Abstract

With the development of economy and the advancement of industrialization, greenhouse gas emissions are also increasing, which leads to climate change and sea level rise, which has a serious impact on human living environment. Greenhouse effect has become one of the top ten environmental problems facing human beings. With the continuous development of economic globalization, greenhouse gas value accounting has been given more important significance. At the same time, the cement industry as a basic material industry has a far-reaching impact on the development of the world, and the cement industry has emitted a lot of greenhouse gases in the production process, so how to control the greenhouse gas emissions of the cement industry is very important in the face of the greenhouse effect. Since the 19th National Congress of the Communist Party of China, China has paid more and more attention to the issue of environmental protection, and the related research and practice of carbon emission trading has become more and more in-depth. However, carbon dioxide is only a part of greenhouse gases, and how to calculate the value of greenhouse gases emitted by the whole enterprise is still lack of value measurement method. Therefore, it is urgent to explore the establishment of accounting standards for greenhouse gas assets and solve the value accounting problem of enterprise greenhouse gas assets.

This paper calculates the greenhouse gas emissions of enterprises through CDM mechanism, and measures the greenhouse gas value based on carbon trading and carbon assets, so as to verify the feasibility of CDM mechanism in the measurement of greenhouse gas emissions, so as to provide certain theoretical basis and technical support for the accounting of greenhouse gas value of enterprises, and try to solve the ecological environment problems better Provide new methods. This paper selects the cement industry which has significant ecological problems and is representative in China and even in the world as the object to calculate the value of greenhouse gases. Taking Qilian Mountain Cement Group Co., Ltd. as a case company, the value of greenhouse gases emitted by the company from 2015 to 2019 is calculated. This paper focuses on solving the problem of greenhouse gas value accounting of Qilianshan Cement Group Co., Ltd., and then verifies the feasibility of CDM mechanism in enterprise greenhouse gas value accounting, in order to provide reference for enterprise greenhouse gas value accounting method.

**Key words:** Greenhouse : Gas value accounting : CDM  
mechanism : Carbon trading

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景、目的和意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究目的和意义 .....	2
1.2 文献综述 .....	3
1.2.1 温室气体排放量的研究 .....	4
1.2.2 碳资产、碳盘查、碳交易的研究 .....	8
1.2.3 环境重置成本法的研究 .....	9
1.2.4 文献述评 .....	10
1.3 研究思路与研究内容 .....	11
1.4 研究方法 .....	12
<b>2 相关概念与理论基础</b> .....	14
2.1 温室效应的概念及特征 .....	14
2.1.1 温室效应的概念 .....	14
2.1.2 温室效应的特征 .....	14
2.1.3 温室效应的解决手段 .....	15
2.2 CDM 机制的理论内涵 .....	17
2.3 企业温室气体排放量核算 .....	18
2.3.1 企业温室气体排放量核算背景 .....	18
2.3.2 企业温室气体排放量的核算方法 .....	18

2.3.3 核算边界 .....	22
2.3.4 碳资产、碳交易的研究内涵 .....	22
2.4 温室气体价值量核算 .....	23
2.4.1 环境重置成本法 .....	23
2.4.2 环境重置成本法的三层计量模型 .....	24
<b>3 水泥企业温室气体价值计量模型构建 .....</b>	<b>28</b>
3.1 水泥行业概况 .....	28
3.2 水泥行业温室气体排放量的核算 .....	29
3.2.1 二氧化碳排放量核算 .....	29
3.2.2 二氧化硫排放量核算 .....	28
3.2.3 氮氧化物排放量核算 .....	30
3.3 基于 CDM 机制的企业温室气体价值量核算 .....	30
<b>4 祁连山水泥集团股份有限公司的温室气体价值量核算 .....</b>	<b>32</b>
4.1 祁连山水泥集团概况 .....	32
4.2 祁连山水泥集团在排污权交易中的前景 .....	33
4.3 祁连山水泥集团工艺流程 .....	34
4.4 祁连山水泥集团股份有限公司温室气体价值量核算 .....	35
4.4.1 二氧化碳的排放量核算 .....	35
4.4.2 二氧化硫的排放量核算 .....	39
4.4.3 二氧化氮的排放量核算 .....	39
4.4.4 基于 CDM 机制下的祁连山水泥集团股份有限公司温室气体排放量 .....	39

4.4.5 祁连山水泥集团股份有限公司的温室气体价值量核算 .....	40
<b>5 研究结论及对策建议</b> .....	46
5.1 研究结论 .....	46
5.2 对策建议 .....	47
5.2.1 推动企业进行节能减排的研究 .....	46
5.2.2 完善相关政策机制 .....	48
5.2.3 建立健全政府监管体系，加大对水泥企业碳排放的监测力度 .....	50
<b>参考文献</b> .....	52
<b>致谢</b> .....	56



# 1 绪论

## 1.1 研究背景、目的和意义

### 1.1.1 研究背景

随着时代的变迁,我们的科技化、城市化的逐步推进使得人类活动规模的不断扩大,对环境的影响也越来越大,一些环境问题也随之显现,我们经历了各种各样的生态灾难,对我们的生态环境进行了污染和破坏,打破了以往的生态平衡以至于威胁到了我们的生存与发展。其中,温室效应导致的全球气候变暖是一个影响极为深远的问题,造成了非常严重的后果,也变成了人们主要面临的十大环境污染问题之一。由于伴随着人们的相关生产、科研活动的深入,空气中温室气体慢慢积累,超出了地球上自身能转换的程度,使得温室效应逐渐增强,经过时间的推移对全球的生态环境造成了毁灭性的破坏,很多生物因为被破坏了生存环境而灭绝。

为了促进各国减少温室气体的排放,更加有效地保护生态环境,各国在《京都议定书》中对减少温室气体的排放计划进行了协商,最后认为各国都要进行温室气体减排措施以减轻对温室效应的影响。而协议使得协约国必须控制各国的温室气体排放总量,因此,温室气体排放权便成为了一种拥有稀缺性的权利,相关企业可以通过交易这种权利以获得利益。温室气体排放权也就有了交易价值。同时,世界各国也开始尝试建立温室气体交易市场。为了确保温室气体减排的顺利进行,联合国气候大会上提出三种机制以应对气温上升的危机,分别是国际排放贸易机制、联合履行机制和清洁发展机制。其中,清洁发展机制是我国唯一的选择。此机制主要是使各个国家之间紧密联合起来在节能减排领域共同努力以延缓环境的恶化,它指的是承诺过在限定时间内减排的国家可以通过在落后国家内提供建设清洁、低耗的可持续产业来获得自身在本地的排放份额。此举可以有效降低自身在相关领域内的成本。同时,落后国家以排放份额为代价获得了先进的产业链及充足的发展资金,这些可以帮助自身更快的走出贫困,这将使本国经济受

到良好的支持，可以说，清洁发展机制能够使先进国家和落后国家都获得更多的利益。近年来我国一直在推进建立碳交易市场并取得了巨大的突破，上海，深圳，兰州等地的碳交易所陆续建成并投入使用，使得碳排放权交易走上了正轨。2019年12月23日，财政部正式发布了《关于印发〈碳排放权交易有关会计处理暂行规定〉的通知》（财会〔2019〕22号），就碳排放权交易相关的会计处理进行了规范。但是二氧化碳仅仅是温室气体中的一个部分，如何对整个企业排放的温室气体的价值量进行核算还缺少价值计量方法。因此，温室气体资产的核算标准需要我们研究和制定，以此解决企业温室气体资产的价值量核算问题。

### 1.1.2 研究目的和意义

随着碳交易市场的正式建立，企业如何平衡自身的正常生产工作和节能减排之间的比重也就提上了日程。因此，我们目前面临两个问题，一是目前还没有一套完整的温室气体价值量核算体系，目前世界各国还处在摸索，尝试的阶段。现有的计量方法还没有涉及到温室气体价值量的核算方面，因此，建立一系列适应实际需求的温室气体价值量核算方法对企业排放的温室气体的价值进行计量需要研究。这种方法应该包括通过对企业生产过程中排放的所有温室气体进行计算并通过 CDM 机制对企业生产活动中排放的温室气体进行核算。得出的温室气体价值具有科学性和合理性。第二，企业可以通过核算出温室气体的价值，在未来可以遇见的排放权交易市场上对比交易获利及其成本，从而决定企业的生产规模，以及技术研发方向，如果温室气体排放权的价值量高于正常生产流程产生的产品利润，那么企业可以适当减少自身的生产规模以降低温室气体的排放量，从而将政府分配的排放权额度交易出去以获得更大的利润。

由此，本文尝试通过 CDM 机制中的将其他温室气体排放量与二氧化碳之间的转化方法为基础，结合环境重置成本法构建一套具有可行性与一般性的计量模型以祁连山水泥集团股份有限责任公司为例开展应用研究，测算该企业排放的温室气体的经济价值并与企业生产产品所产生的利益进行对比使企业在制定政策时能够更多的考虑温室气体排放权交易所得利润与使用排放权进行正常生产流程所出售的产品获得的利润，以求为在我国未来的企业温室气体使用价值

计量检定提供参照建议，处理温室气体排放权的价值量的具体难题。因而文中具备理论和实际的多重实际意义。

第一，理论意义，本文从会计角度出发，通过碳足迹的方法计算企业温室气体排放量并以 CDM 机制为基础进行温室气体价值量计量，验证 CDM 机制在对排放温室气体价值计量中的可行性，以期为企业温室气体价值量核算提供一定的理论依据和技术支撑。

第二，实践意义，水泥行业是我国传统的重污染企业，在整个制造过程中会产生大量废气到生态环境中，本文通过研究甘肃祁连山水泥集团股份有限公司温室气体排放的价值量核算方法，为企业在决策时对环境保护、节能减排的决策倾向以及适应政府在未来下达的相关政策时做出恰当反应提供理论基础，使企业在生产活动时兼顾节能减排的方法和措施更为精准和有效，也使得相关对应手段更为流畅且具有更大的容错空间。使企业在探索建立自身的生产发展活动与环境保护的动态平衡。在持续发展的同时，还可以有效降低自身的污染排放，实现人与自然的和谐共生，在可预见的排污权交易市场上获得新的利益点，达到更好的发展。

## 1.2 文献综述

随着碳交易市场的逐渐成熟，在可见的未来中，温室气体排放权交易市场也会逐渐建立，以碳交易市场为例，政府每个周期都会给各企业分配相应的碳排放额度，企业在生产过程中不可避免地排放二氧化碳来实现自身的正常运营，一方面企业可以通过相应的节能减排手段降低自己的二氧化碳排放量，而这多余的排放额可以参与碳交易市场来获得额外的利益。另一方面企业可以比较自己的产品利润和碳排放权交易所获得的利润，如果产品所带来的利润超过了碳排放额度的价值，那么企业可以灵活调整，从市场上购买更多的碳排放权来满足自身的生产需求，以此获得更大的利益。

因此本文对企业温室气体价值核算的研究进行梳理、归纳，重点研究 CDM 机制、碳盘查、碳交易、温室气体排放量的核算方式以及环境重置成本法等多个层面。文中在对上述科学研究层面开展简略具体描述的根基上，关键，详尽地对 CDM 机制的科研参考文献实现了评述。根据对资料开展整理，确立要探索建立符合

我国国情,同时具有可行性与科学性的企业温室气体价值核算计量方法的目的及依据。

在早期人类的生活中,因为原始的生活水平,我们所释放的温室气体并没有超出自然界本身的自我修复以及净化的极限,所以我们对气候环境的影响是极其有限的,这就意味着早期的生态环境是没有价值的。而随着工业革命的发起,经过了百年的沉淀,我们的生产生活水平发展的速度越来越快,人类的生活水平有了飞跃,也带来了许多新的问题,温室效应就是其中的代表现象。为应对气候改变的现状,找到符合世界各国的有效措施,相关研究领域的目光逐渐转移到节能减排,低耗发展的领域当中。

上世纪 60 年代就有专家开始研究生态价值的存在与否,A. Myrick Freeman(1979) 就认为生态是有价值的,而且其价值并不固定,生态产品的价值主要受到其自身对人类社会的服务水平以及其自身的稀缺性影响而成,为人类社会服务的重要性越高其价值越高,大自然对其恢复能力越弱或者其获取的难易程度越高则价值越高,也就是说其对生态系统的服务功能是有价值的。

我国在相关方面的研究起步较晚,但是发展速度很快,而且国家也一直在大力支持相关的研究。上世纪八十年代我国专家学者就开始研究生态价值的问题,研究初期主要围绕在生态环境是否有价值的问题展开讨论,翟中齐(1985)认为自然界中存在的资源是没有价值的,只有使用价值,因此在交易时其价格也仅仅包含其开发和利用时所需要的成本。另一方面刘业琢(1981)认为以目前我们的生产生活水平来讲,我们消耗的自然资源已经超过了自然界自身的修复水平,那么其稀缺性有了表现,所以是有价值的。随着《京都议定书》的签订,自然资源的价值化得到了肯定,这并不仅仅是对生态价值概念的一种肯定,而且着手构建了初步的交易市场,世界各国以此为基础开始探索生态价值进一步研究。

## 1.2.1 温室气体排放量的研究

自工业革命以来,人类的生活水平和技术飞速发展,但是带来了许多新的问题,生态环境的改变导致的环境问题逐渐严重,整个生态圈也受到了广泛的影响,因此,环境问题由于受到了越来越多的研究者的注意,而气候问题作为其中影响最为广泛且难以改变的问题也成为了重中之重。为应对气候改变的现状,找到符

合世界各国的有效措施,相关研究领域的目光逐渐转移到节能减排,低耗发展的领域当中。并对相关问题进行了研究之后提出了一些行之有效的建议和对策以帮助政府制定相关的政策和法规。

### 1. 温室气体排放量的研究

目前在温室气体排放量的核算研究之中,各界研究者主要分为两个方向,分别为统计核算方法和影响因素。

(1) 国内外对于温室气体统计核算方法的研究还主要停留在如何确定其排放量上面。经过研究和整理资料发现大部分学者的目光都停留在用清单核算法、投入产出方法、生命周期评价方法和实地调查法对温室气体排放进行测算。政府间气候变化专门委员会(IPCC)于1995年由基于《联合国气候变化框架公约》制定了首个温室气体明细定编方法。伴随着时间的变化,大家对该相关问题的分析也逐步推进,国际上早已开始从各个角度去科学研究温室气体排放量的核算方法了。首先,有的学者从实地调研入手,直接对某地的温室气体排放情况进行了深入且细致的调查并进行分析,例如陈其颢(2012)和林成淼(2021)分别在江苏省和浙江省进行了研究;而且不同学者使用的方法不同,比如采用IPCC和省级指南方法等方法分别对某个地区进行研究。

其次还有不同维度的研究,学者从宏观到微观,从细节到整体都进行了相关的研究。宏观到整个地区的研究比如陈其颢(2012)在江苏省的研究,而林成淼(2021)基于生活垃圾处理过程温室气体排放核算方法,设定到2022年浙江省未全面推进生活垃圾分类和全面推进生活垃圾分类两个情景,预测和比较两种情景下生活垃圾产生量、分类回收量及处理过程产生的温室气体排放量。中间还有张冰鑫(2021)等、王小龙(2021)等、唐云鹭(2021)等、杨谨(2012)等从中观角度对温室气体进行研究,即对小范围地区的温室气体排放量进行研究。张冰鑫等以某炼化一体化企业为例,重点对温室气体核算方法进行讨论,详细介绍了炼化一体化企业温室气体排放的核算边界、碳流源、核算方法等内容,并根据核算经验,提出炼化一体化企业温室气体核算工作中注意事项及改进建议;王小龙等系统地梳理了韩国发电企业的碳排放量的核算方法及不确定度评定方法,通过分析,提出加快安装完善火电企业碳排放连续监测系统、建立严格的碳排放核算结果评价体系、将碳排放量的核算结果与碳交易市场的碳配额分配及总量控制相

结合的合理建议；唐云鹭基于深圳市温室气体排放量化和报告标准 SZDB/Z69 的修订背景,从标准结构、主要内容等方面分析了深圳市温室气体(Greenhouse Gas, GHG)排放量；邓娜则是以天津市为例,分析城市主要碳源和碳强度。

微观方面周珂(2021)等、陈鑫洁(2021)等、张孟蓉(2021)、吕晨(2021)、李阳(2021)等、庄明浩(2021)等都从微观角度上对温室气体核算进行了研究。周珂(2020)和陈鑫洁(2021)李瑜(2021)等都对某种产品和产业进行了研究,周珂研究了玉米秸秆自然腐解温室气体排放基准线；陈鑫洁核算了大庆市在整个畜禽饲养流程中排放的温室气体总量；吕晨(2021)等对20年内北京市中行驶的机动车排放的温室气体排放量进行了研究,并预测了未来10年的变化情况,以寻找节能减排的最优方法。张孟蓉基于生命周期理论,构建了餐厅食物消费模型；然后通过对北京某风味餐厅的现场调研,量化评估了餐厅每人产生的平均温室气体排放量,并对餐厅剩余食物产生的原因以及通过减少餐厅食物剩余量所带来的温室气体减排潜力进行了系统分析；李阳(2021)利用清单方法核算了1980年以来长江经济带农业源非二氧化碳(CO<sub>2</sub>)温室气体的排放总量和排放强度,分析了不同经济发展情景和农业-环境脱钩状态下长江经济带2030年和2050年的排放情景；庄明浩(2021)认为草原畜牧业是全球温室气体排放的主要贡献者。李瑜采用混合生命周期评价法,全面考虑页岩气开发钻井、固井、水力压裂、放喷测试求产和生产阶段的温室气体(Greenhouse Gas, GHG)排放量。

(2)国内外对于温室气体影响因素方面主要是研究不同地域的温室气体排放特征及影响因素。翁艺斌(2021)对比和分析中国与欧盟企业层面温室气体排放情况可以为中国企业层面温室气体排放核算提供参考和借鉴。对中国和欧盟企业温室气体排放核算方法分析,吴梦琴(2020)基于DNDC模型评估湖北省不同稻作系统不同管理措施温室气体排放的周年变化。

最后,我们研究温室气体价值量核算不仅仅是为了保护环境,节能减排的实施和研究不仅仅局限于环境,还与海域世界各地的人文环境、政治环境,基本生存条件有关。特别是对经济的影响尤为重要。所有环境保护策略都与经济发展息息相关,不同的经济政策对环境的影响相差巨大。因此,找到一个有效的减少温室气体排放量,并且又能最大限度地减少对各国宏观经济的不利影响的措施至关重要。

## 2. CDM 机制的研究现状

CDM 机制是指 1995 年我国参与的联合国气候峰会上提出的机制，目的在于帮助全世界进行节能减排工作，在此基础上，为了更好的对世界各国的温室气体排放量进行统计，CDM 机制中提出了通过各种温室气体对气候影响的大小幅度进行评定，并以此进行转化，最后以二氧化碳为基础对所有温室气体进行统计。

### (1) 国外研究现状

CDM 项目中有一个重要的原则是成本最小化原则，原则来自于《京都议定书》附件一，在此附件中，首先提出 CDM 项目是参与《京都议定书》协定的承诺减少温室气体排放的发达国家与发展中国家联合开展的减排项目 (Michaelowa&Jotzo, 2005)。该机制的实施是通过 CDM 项目的实施而体现的。因为 CDM 项目排放的温室气体排放量低于正常的行业温室气体排放标准，这使得相应的减排量可以转化为碳排放权，而这种权力在 CDM 执行委员会批准之后可以在国际市场上进行交易，最终将被参与《京都议定书》协议中需要减排的发达国家购买 (Hultmanetal, 2012)。该机制的产生主要是使发展中国家以更低的成本获得温室气体减排项目，随后将减排量与西方国家进行交易以协助后者进行在《京都议定书》中约定的温室气体减排量，在这个过程中发达国家能够根据资本主义国家对 CDM 新项目的投入得到资产和工艺的使用以完成可持续发展。(Ellisetal, 2007)。同时，世界各国都对政府在 CDM 项目上实施的政策进行了探讨，总结出了 CDM 项目的效果。对于国内来说，CDM 极大地推动了我国清洁能源生产项目的建设，同时有效的减少了温室气体的排放，特别是中国电力系统在低碳转型方面有着突出的表现 (Stua, 2013)。然而，CDM 减排的政策效果因为其他因素的影响受到了质疑 (Wara &Victor, 2008; Hagem&Holtsmark, 2009;Schneider, 2011)，因为减排效果是否完全来源于 CDM 项目无法得到确实可靠的证据，再加上各国政府也在尝试各种政策以促进减排，使得结果无法明确。

### (2) 国内研究现状

国内关于 CDM 的研究相对较少，且主要还处于对 CDM 的理论探讨和定性分析上，例如，荣芳 (2010) 对我国目前已经实施的 CDM 项目的现状进行研究；李媛

媛，（2015）对 CDM 的法律法规的研究；以及安崇义和唐跃军（2012）在 CDM 与排污权交易问题方面的探讨。

我国政府对 CDM 项目的建设也进行了积极参与，2005 年我国发布《清洁发展机制项目运行管理暂行办法》，对清洁发展机制项目的条件、管理方法、监管机构以及申请和审批程序进行了明确规定。随后进行了一系列修订，完善了法律责任等方面的要求。近几年国家愈发重视环境的保护与和谐发展，为了加快推进生态文明顶层设计和制度体系建设。又出台了《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》对主要的六种温室气体的自愿减排量的交易活动进行管理，同时规范了交易流程、登记制度、自愿减排项目管理以及交易机构等方面做出了全面的规定。2016 年 4 月在联合国总部签署了《巴黎协定》。同年 9 月 3 日，中国正式加入《巴黎协定》，至此中国开始积极参与全球环境治理工作并积极与世界各国环境保护组织开展合作。2017 年 10 月，习近平同志在党的十九大报告中强调，“坚持人与自然和谐共生”。他指出，“必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，坚持节约资源和保护环境的基本国策”。面对日益严峻的环境问题，为了保护我们的生存环境，控制温室气体的排放。另外，在签署协定之后，我国政府和企业积极参与 CDM 项目，一方面为保护世界环境贡献一份力量，另一方面为国家谋得巨大的利益和相关的先进技术和基础产业设施，在此基础上为我国节能减排，建设和谐的生态环境打下了坚实的基础。

### 1.2.2 碳资产、碳盘查、碳交易的研究

2019 年我国碳交易市场正式的建立标志着我国在温室气体价值量核算迈出了重要一步，因为二氧化碳占温室气体的百分之九十五以上，而且理论和试点也已经处于一个相对成熟的阶段，那么二氧化碳的资产化和其排放权的交易市场的建立也成为温室气体价值量核算的重要基础。

所谓碳资产，是对碳排放权的进一步研究，然而两者的概念并不相同，其中碳资产以碳排放权为基础，在市场中进行交易和流通，有这金融属性，并且建立了新的资产模式。他不仅仅是温室气体减排的策略，还能够带来可观的经济利益。李平（2021）认为研究表明碳市场对于实现碳排放减排目标，平抑企业碳风险具有重要作用，政府应大力推动统一碳市场的建立，并促进其健康发展。因为碳排放



权的交易特征使得其表现出一定的货币特征,碳交易市场的试点和尝试逐步成熟。谭柏平(2020)认为,信息披露制度作为碳市场建设重要的支撑基础,不仅有利于碳交易市场的平稳、健康发展,还是保障环境治理公众参与权的前提条件。碳货币这一概念很可能被实现(乔海曙,2013)。同时,从会计方面来看,基于相关产权理论,碳排放权被广泛的认为是可以被确立为相应的资产的,因为它可以为企业带来相应的利润。因此,世界各国开始将相关碳资产排放权利确认为资产属性。

碳盘查,是在一定的时间和空间范围内对企业,政府的生产、经济活动过程中所产生的碳足迹进行测量、计算的过程。可以反映出企业的温室气体排放量,节能减排措施的实施和影响,以及企业的温室气体排放情况。目前国内外还主要研究碳盘查在某个区域中的实施情况及其影响,希望通过这种方法促进某个区域的减排以至于达到碳中和的目标。2006年由国际标准化组织发布了世界第一套碳减排的标准《ISO14064》,基于此标准,各政府单位,企业可以测量自身的碳排放量减排措施和政策的影响结果。基于此可以计量出企业自身的碳减排数据。同时政府可以通过这些数据设置企业的碳排放权并建立碳排放权交易市场。

### 1.2.3 环境重置成本法的研究

2011年中国会计学会环境会计专业委员会年会上,兰州财经大学教授周一虹首次提出环境重置成本法。环境重置成本法(周一虹,2015)是指当生态环境遭到破坏后,通过计算恢复生态环境到其原本状况所要支付的费用,即恢复到原自然环境状态与生态系统服务功能所要发生的成本,借以估算资源环境变化所影响的经济价值或者治理环境问题需要付出的成本。其中,环境重置成本是指在现行市场公允价值条件下,重新构建该自然资源和环境资产生态服务功能所要花费的所有货币价值总额。该方法的创新思路是将重置成本法在资产评估和环境治理评价的应用中进行同构,将生态环境视为一种资产,当人类的社会生产、经营等活动对生态环境造成破坏时,该环境资产的价值就会被降低和破坏,这部分被破坏的价值,可以通过重新构建的一项环境资产进行重置。

环境重置成本法作为一种价值计量方法,目的在于解决我们日渐严重的环境治理和环境保护的危机。凭借“谁开发谁保护,谁受益谁补偿”的原则为基

础，将生态环境恢复到与之前等同的水平所需的费用及恢复期间所需的建设成本等费用列为生态环境的重置成本。使得生态环境的服务功能得以价值化，可以有有效的计量。环境重置成本法在此基础上对相关的生态环境资产的功能价值进行评估，并非评估环境的本身而往往是评价相关生态环境的服务功能，比如净化、温度和湿度等方面的保持调节作用。因为环境被破坏之后本身是很难被重置的，重置主要是只重置其功能，使得其能恢复到之前所提供的服务所需的成本。

基于此理论，我们将生态环境的维护作用作为资产，根据开发者保护论，在某一地区的生态环境遭到破坏时，为了使当地环境提供的维护作用恢复到之前的水平需要一定资金。这笔资金可以被估算出来，作为估算出恢复开发建设而对环境构成影响所需要的成本就是该区域内的环境重置成本，也就是在即将到来的温室气体排放权交易下的排放权价值。

#### 1.2.4 文献述评

通过对以上国内外文献综述的梳理可以看出，总体上来说世界范围内都处于摸索的状态，我国也在积极参与相关政策的研究与尝试，近年来我国政府结合我国实际情况，邀请专家积极对相关领域展开研究。

首先，关于 CDM 机制的研究，清洁发展机制（CDM）实际价值并不仅限于减少温室气体排放，它在帮助业主企业创造环境绩效、获得减排额（CERs）交易收入的同时，还带来了巨大的附加价值，另外可以帮助企业确定进行减排活动时所需要的成本，借此衡量是否参与相关减排的研究。联合国也发布了清洁生产机制方法手册，世界各国都积极参与到 CDM 项目的投资与建设当中。

其次，国内外学者对温室气体核算的研究均达到了比较系统而成熟的地步。国外温室气体排放的披露更加全面而且完善。我国温室气体价值量核算的研究较晚，目前仅仅出台了碳排放的会计核算，确认与计量，其他温室气体的价值量核算才刚刚起步。生态环境有价，那么解决生态环境问题的本质就是要协调人与自然的的关系，需要调整生态保护与经济发展之间的平衡，明确企业与消费者的权利与义务，是将外部性内部化。生态环境有价，则不能无偿使用，因此有必要进行温室气体价值计量。

### 1.3 研究思路与研究内容

本文首先阐述了 CDM 机制的相关概念理论以及国内外对于温室气体排放价值计量的理论和方法；其次阐述了水泥行业的现状，从建设生态文明的大背景出发，对甘肃祁连山水泥集团的温室气体排放价值进行计量。对水泥行业在温室气体价值量核算方面提出发展建议和展望。主要分为以下五个部分：

第一部分 绪论，介绍本文的研究背景和研究意义，然后分别从三个方面对国内外就这个论题的研究成果进行归纳和总结，然后提出本文的研究内容、研究方法以及创新点。

第二部分 文献综述及相关概念。通过对 CDM 机制、碳足迹和温室气体核算等方面的相关研究文献进行梳理，论证运用 CDM 机制对企业排放的温室气体数量核算的合理性，分析评价已有温室气体计量方法的局限性，提出运用环境会计的方法对企业排放的温室气体的价值量进行计量。

第三部分 首先，通过碳足迹的原理构建温室气体排放量的计算模型。其次，基于 CDM 机制和环境重置成本法进行温室气体价值计量的模型构建。说明我国水泥行业的基本情况，目前温室气体核算的应用情况及价值计量方法，阐述水泥行业所具有的特点及存在的问题。对使用 CDM 机制的概念、理论依据进行阐述，说明 CDM 机制设计思路，构建温室气体数量计量模型；

第四部分 介绍案例公司——甘肃祁连山水泥集团股份有限公司的基本情况，对甘肃祁连山水泥集团股份有限公司排放的温室气体价值量进行核算，总结该公司进行温室气体价值量核算的必要性。运用 CDM 机制对该区域进行温室气体价值量核算进行研究，同时运用环境重置成本法对祁连山水泥集团有限公司排放的温室气体价值量进行核算并进行分析，并计算出祁连山水泥集团单位温室气体排放量的价值，将其与全国碳排放权交易市场的价格进行对比，得出企业应主动运用较为环保的生产工艺流程及设备，节能降耗的结论及建议。

第五部分 研究结论与对策建议

以下是本文的思路框架图（如图 1-1）：

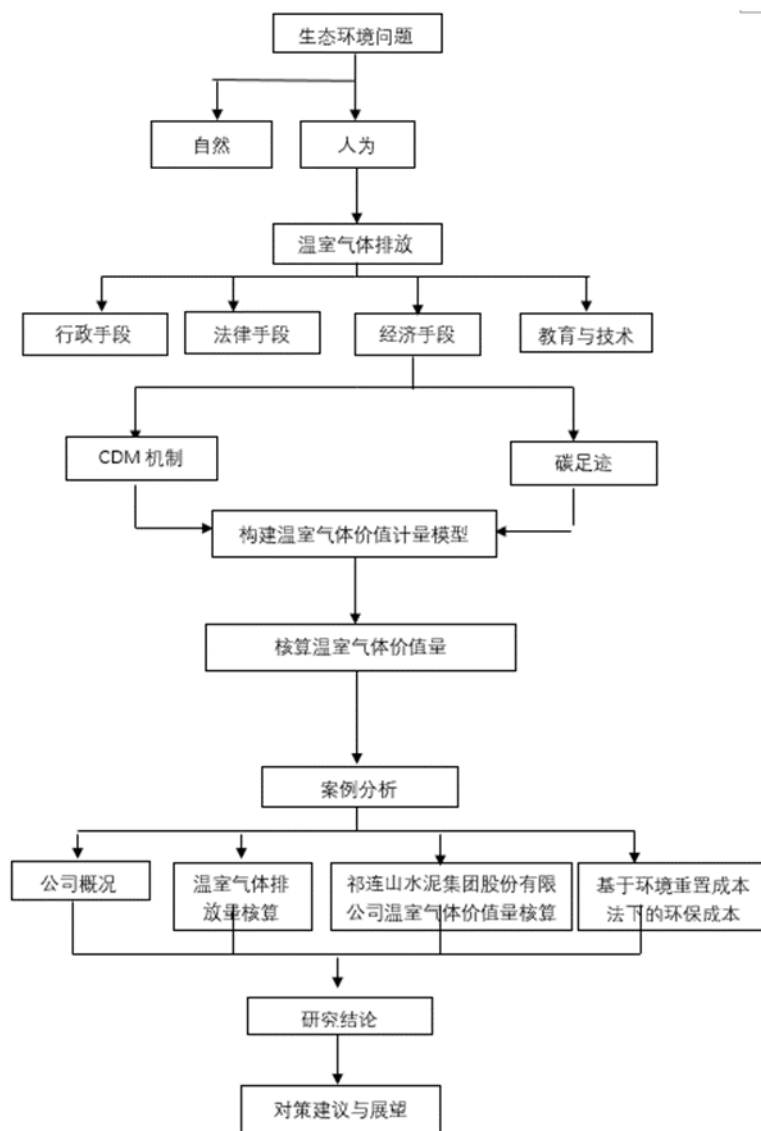


图 1-1 思路框架图

## 1.4 研究方法

### (1) 规范研究法

在文章写作过程中,以研究题目为方向,充分搜集、阅读和整理相关文献资料,利用知网、国泰安数据库、公司环境年报等资源,对温室气体价值量核算的相关理论和文献进行系统梳理与总结归纳,在前人研究动态和结果的基础上,进一步展开研究。

### (2) 案例研究法

本文在案例研究过程中,通过搜集企业的环境责任报告各项指标和年报数据,运用 CDM 机制的相关理论,较为全面地核算企业排放的温室气体价值量,为企业进行环境保护方面的决策做支撑。

## 2 基于 CDM 机制下的企业温室气体排放量及其价值量核算

### 2.1 温室效应的概念及特征

#### 2.1.1 温室效应的概念

温室效应，又称“花房效应”，是目前人类面临的重要环境问题之一。其主要原理是当太阳产生的短波辐射进入大气层之后使地球表面的温度显著提升之后，地面会反射出的长波辐射到大气层之中提高了空气的温度。而随着时间的推移，人类排放的各类温室气体改变了大气层内部温室气体的构成，人类的生活环境也受到了不小的影响，环境温度逐年上升，气候也受到了很大的影响。在研究初期的时候有一种观点认为这是一种环境自然演变的周期性变化，但随着工业的崛起，大量的植被被破坏，化石燃料也随之普及。温室效应人为化的证据也越来越多，目前世界公认我们生活环境温度上升的现象主要是来自于人为，也就是我们在工业化的生产生活中不断排放的温室气体改变了大气层中的各类气体的分布及其浓度而导致了地球生态圈之中的温度变化以及一系列由此引发的环境灾难使得环境恶化。温室气体的主要成分为其中  $\text{CO}_2$  占比 96.5% 是主要影响因素，剩下的 3.5% 则是二氧化硫，氮氧化物等其他气体。所以说超标的温室气体排放会加剧环境恶化，使得生存环境更加恶劣，温室效应已经成为人类社会可持续发展的阻碍之一。

#### 2.1.2 温室效应的特征

##### (1) 全球性

首先，生态环境问题不是局限在一城一地之中，是一个普遍的、隐秘的问题。这些问题产生是一个长期人类生产生活而导致的全面的，难以控制的问题；其次，世界各国和地区都面临着温室效应导致的气温升高从而破坏生态平衡的风险，这些生态环境问题会随时间的流逝程度不断加剧而影响到其他区域，对更多的地域、甚至于全世界造成不可逆的影响。因此，温室效应问题引发的危害影响甚大，是需要全人类共同努力解决的问题。

## (2) 社会性

温室效应问题也是社会性问题,随着经济发展与环境问题间的联系越来越密切,经济发展与保护环境出现了错综复杂的关系,不仅仅有正面影响,负面影响更多。温室效应的发生不仅引发关系到各企业的发展与全人类生存的矛盾,还涉及到不同行业,不同阶层的利益关系。例如医疗行业(不同环境下会衍生出新的病毒、细菌乃至疾病)、生活(生活方式,生活习惯,文化)、科技(出行,工业活动)等行业。当今社会,温室效应不仅仅是一个单一的问题,想要应对这个问题还要考虑世界各国的国情(政治制度,科技水平,基础设施建设程度,人文水平),想要应对这些问题需要兼顾的要素很多,各国之间的关系也错综复杂,这使得设计方案遇到的困难越来越严重。因此,“环境与发展”的协调成为当今社会的重要主题。

## (3) 不可逆性

温室效应的不可逆性首先表现在温度升高的现象很难逆转,这是一个经过数十年的不断影响而导致的全球气温上升的现象。这些现象导致生态平衡受到破坏,生物种群减少,物种灭绝,原生物种的生存环境受到影响。温室效应问题究其根本为环境破坏温室气体排放后无法收回,这是一个不可逆的过程。因此我们在温室效应这个问题上的政策和措施不在于如何恢复,而应该在于预防措施,从源头上控制温室气体排放量,使之能够低于地球生态圈自身的气体转化量之下,以保证生态环境不受影响,阻止生态环境的恶化。

## 2.1.3 温室效应的解决手段

### 1. 法律手段

各国政府都尝试过通过立法尝试解决温室效应问题,该手段主要依靠法律的强制性和执法部门强大的执法力度对能够影响温室效应的生产生活活动进行干预。根据相关法规中各项影响生态环境的活动制定相关指标对违反规定的企业或个人进行相应的经济制裁或法律制裁,依此限制个人及企业排放温室气体和破坏环境。

法律手段是其它手段的标准和前提,在法律的标准之下对相关生产生活活动进行规范与限制。但是法律手段也有自己的缺陷,因为法律手段运用一般在于事

后的惩罚阶段,也就是属于补救措施,在污染已经发生且很难恢复时才出现效果,有一定的滞后性。其次,该手段无法对企业、个人产生激励作用,对环境的保护与治理不利。

## 2. 行政手段

行政手段是各国、各地区管理者的常用手段,通过指定相应的政策,结合部门的综合管理及宏观调控来控制环境问题的发生和解决。与法律手段相比,行政手段有一定预见性,管理部门先制定管理内容和方向再进行管理,效果相对明显。但是该手段需要大量相关数据做支撑且需要长时间的监测、检查,对企业在这些方面的设备、基础建设要求较高,对数据影响较大。其次,一旦出现新的问题或目标时需要一段时间和精力对新的问题进行研究并制定相应的政策才能进行管理,这可能会导致环境的进一步恶化,造成不可避免地损失。最后,管理部门应因地制宜,考虑各个企业、单位的实际情况,制定符合企业、部门本身的经济实力、技术水平、行业特点的有效政策。

## 3. 教育与技术手段

教育与技术手段是指通过宣传的手段普及相关的环境保护知识。特别是在在校学生,使其积极主动的参与到相关活动当中,在人民心中塑造保护环境意识。这一方法虽然需要大量时间进行普及且短期内看不到明显效果,但是具有广泛的积极作用,减少政策实施的阻力。

## 4. 经济手段

经济手段,在广义的角度上来看是指政府利用政策对经济进行干预的手段。而从狭义角度来看,在政府发布了某种经济政策之后使得经济当事人在行动时选择了另外一种行动方向,由于政策的发布使得原来选择的方向产生了额外的费用成本从而导致的行为改变,这些政策手段便可以认为是经济手段。目前生态环境问题还是一个不受人重视的问题,人类自身对于相关问题的认识与研究还不够深入,随着时间的推移,人类对环境资源的利用力度和效率上越来越高,往往因为对消耗环境资源而产生的短期的、直接的经济效益盲目追求,忽略了生态环境在服务人类生活方面的隐形的价值,由此低估了生态环境的价值,(Constanza 等,1997)。因此为了解决生态环境问题,也让相关经济当事人主动的参与到环境保护之中,经济手段可以更好的控制和改变人类的生产活动,由此改善我们对环境



资源的利用与保护，达到保护、改善目前的环境水平的目的。经济手段因为其将经济当事人在生产活动中对环境的影响程度与其经济效益捆绑在一起，让其在做出企业决策时必须根据政策考虑相关决策对环境的影响因素，以此从源头阶段减少我们在经济活动中的环境污染，不仅可以有效降低污染水平而且使通过促进相关企业积极性，在即将到来的排污权交易之中甚至可以借此谋得更大的利益。1992年，我国提出了“运用经济手段保护环境”来应对生态环境问题，可以说我国一直在研究应用经济手段去解决生产活动与生态环境问题之间的矛盾。直到目前我国所处的市场经济的大背景下。经济手段是目前最简单、直接也是最有效的方法去调节人与自然之间的矛盾。各级政府也陆续出台符合各地情况的政策，通过经济手段去调节各地出现的环境问题，使得在经济高速发展之时还得以兼顾生态环境的稳定，维持乃至恢复生态环境对人类生活的服务功能。世界各国也一直在研究相关办法，例如“庇古手段”和“科斯手段”都是世界各国对以经济手段限制环境恶化的尝试。综上所述，目前来看在通过行政手段制定标准之后，以法律手段制定规则，教育手段帮助政府对政策的推广，最后采用经济手段来解决生态环境问题是一个行之有效的解决思路。

## 2. 2CDM 机制的理论内涵

CDM 机制最早提出于 1997 年世界各国召开了联合国气候变化公约国第三次会议，该会议上各国达成了协商并推出《京都议定书》作为各国共同应对日益加剧的地球生态圈正在面临的不断加剧的气候问题的协议，而清洁发展机制(CDM)便是其中一种以限制二氧化碳排放权为主的碳减排机制，该机制主要原理是通过联合履行机制(JI)与国际排放贸易机制(ET)的有机结合使得世界各国一方面在进行二氧化碳减排问题上共同努力，另一方面参与国家可以获得相应的利益，以此驱动世界各国加强对生态环境的保护。其主要过程为，发达国家与发展中国家共同合作降低碳排放量，即发达国家通过在发展中国家建设、投资相应的减排项目，如风力、水利发电站。以获得相应“核证减排量(CERs)”。这些减排量用以完成发达国家在会议中承诺的要承担相应的减排义务，使得本国企业可以正常进行生产生活。而相应的发展中国家通过该项目可以获得相关的设施、技术，有利于国家的发展。而且通过交易相应的排放权可以获得一笔不小的经济利益。

因此 CDM 机制是目前非常有代表性的方法,通过联合世界各国并让各国企业积极参与研究清洁生产、节能减排的方法以降低世界各国的二氧化碳排放,保护环境。事实上,清洁发展机制(CDM)实际价值并不仅局限于减少温室气体排放,一方面,这个机制制定来源于联合国大会,有严谨的制度和审核和世界各国的认可,有很大的流通范围,发达国家可以借此获得比在本国推动减排所需要的产业链改善更低的成本,以大幅降低发达国家完成节能减排承诺的成本。发展中国家可以通过将自己的减排权交易出去为自己的国家谋取相应的设施建筑及大量的经济利益,还有优于本国现有水平的低碳的技术以帮助本国更好的进行经济发展。另一方面,对于各国企业来说,该机制有效地推动了各国政府对于节能减排的技术设备的研究,一旦节能减排的技术研究成熟且完全配备之后,企业可以通过出售相应的减排额(CERs)以此为企业谋得环境效益和经济利益。不仅如此,通过减排额的交易可以有效地帮助企业打开国际市场,在严格的 CDM 机制下交易的企业不仅可以提升自己的国际形象而且可以提升自己的在国际市场上的地位,借此获得更大的市场,推动自身的出口业务,而且技术的更新换代也意味着新的产品以及新的工作效率,降低自身的成本,提高市场占有率。因此 CDM 机制是一个国与国,企业与企业的相互合作互惠共利的机制。

## 2.3 企业温室气体排放量核算

### 2.3.1 企业温室气体排放量核算背景

温室效应作为人类首要面对的十大环境问题之一,严重制约着人类的生存和发展,气候问题继续解决。全世界为此积极进行试验,希望能够有效控制全球温室气体的排放量以实现人与自然和谐共存,永续发展的理念。为了实现对温室气体排放量的良好控制,确保核算结构的准确性、一致性及可比性,需要在进行温室气体排放核算之前,明确测算的内容、边界和范围。

### 2.3.2 企业温室气体排放量的核算方法

企业温室气体(GHG)的排放量核算是一个跨专业领域,其中包含了众多学科知识的应用。在测量时我们需要对整个企业的生产流程进行研究分析才能得出

某种产品在生产过程中所排放的总的温室气体的排放量。因为其跨专业的特性，数据来源复杂多变，影响因素也很多，所以想要系统的测量某种产品温室气体排放量是一个复杂，繁琐的过程。在相关研究领域之中，欧美各国对温室气体排放量的研究起步较早，同时世界各国也早早成立了很多不同的机构，例如：联合国政府间气候变化专门委员会(IPC)、国际能源机构(IEA)、世界资源研究所(WRI)、世界可持续发展工商理事会(WBCSD)、国际标准化组织(ISO)和清洁发展机制执行理事会(CDMEB)等。其中以联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)为主要组织者对组织世界各国在减少环境破坏方面进行协商和指导。该组织也发布了大量指导性意见来促进温室气体减排的工作，尤其是发布了《国家温室气体排放清单指南》和《国家温室气体清单优良做法和不确定性管理指南》。几项指南在国家层面上估算了不同行业在温室气体排放量核算方法上提供了很高的参考价值，尤其是排放因子的提出使得国家在政策制定上有了一个参考标准去衡量不同行业的污染排放。该指南也为各个行业提供了一个比较简略的但有普适性的计算公式，使得各行各业可以对自身的污染排放标准做出考量。但是相对的，这个排放因子的普适性注定其在企业本身之中存在较大的误差，不同企业的决策倾向都有差异，所以对于企业本身来说利用排放因子进行核算有一定的局限性，在如今的时代很可能会限制企业自身的正常发展。2006年IPCC对《国家温室气体排放清单指南》进行了更新，与之前相比，新的指南增加了很多新的建议，主要体现在对某些行业进行温室气体排放计算时如何选择方法，如何评估方面都做了不同的推荐；而2000年发布的《国家温室气体清单优良做法和不确定性管理指南》之中，IPCC介绍了大量行业在生产过程中的温室气体排放情况以及其核算方法。同时世界范围内其他组织也都陆续出台了各种各样的报告与指南对某些特定行业的测量方法，测量标准，测量边界进行了研究与推广，并为相关企业自身测量温室气体排放量时起了很大的指导性意见和策略。

### (1) 排放因子法

该方法是目前国内使用相对熟练且完善的方法，也是本文在核算温室气体排放量时使用的方法，该方法出现于《2006年国家温室气体排放清单指南》和《IPCC优良作法指南》。其主要原理是政府通过大量测算之后，得到了相关企业在进行生产活动之中排放的温室气体量的平均值设为相关活动的活动数据(AD)，然后

测量出各种燃料燃烧时所释放出的温室气体量也就是排放因子（EF），在其他组织和测量单位是可以简单的将排放量与活排放因子相乘，从而估算出相关企业在生产活动中排放的温室气体总量，公式如下所示：

$$\text{排放} = \text{AD} \times \text{EF}$$

式中，AD 是指使用的相关燃料的总用量，而排放因子 EF 其实就是对应燃料燃烧时，每单位燃料所释放的温室气体的量。这些数据随着实际情况的改变而改变，例如原料的质量，等级对结构都有很大的影响。尤其是在流程复杂的项目当中排放因子的选取会造成极大的差异。此种方法适合于那些工艺流程相对简单固定的产业，另外政府在为了制定相应政策时为了方便起见，制定了清单指南《IPCC》对一些简单固定的产业估算了一个相应的排放因子，比如电力。总体来说我国对排放因子的研究还有待完善，很多行业只能对其数据进行参考。同时在世界范围内，因为各国的基础建设、科学水平有较大差异，这使得不同国家的排放因子也不能共通。因而很难以某一个固定的排放因子来适用于整个行业的温室气体核算。

### （2）物料平衡法

物料平衡法就是利用整个生产过程中的质量守恒定律的应用而发现的方法，因为质量守恒，所以根据原料和产成品之间的差额可以被用来计算污染物的量。物料平衡法主要的适用范围是测量某个完整的产品生产流程中排放的温室气体数量，根据整个生产环节中使用的原料以及产成品的量来计算得出这个环节或整个企业在相关产品生产时所派出的温室气体的质量。此方法不仅可以对单一产品的生产流程所排放的温室气体进行测量，甚至可以对某个企业、某个地区所排放的温室气体进行测量。但是该方法对企业的设备条件，检测水平等有较高的要求，一般企业难以接受。

### （3）实际测量法

主要是在整个生产环节之中的每个排放温室气体的设备上安装计量仪表，对设备实时通过流体的浓度、流量、流速等参数进行测量，然后根据设备使用时间，生产流程所需时间等要素计算得到生产流程中总排放量。测量方式主要分为间断性和连续性测量两种方案。此类方法常用于检测排污废水中的 COD 的实施浓度、排污量以估算二氧化碳的排放，适用于浓度和流速比较稳定的液体排放源。但是此方法的前提是对测量设备的要求比较高，废水作为连续排放源，其指标在波动

之中,这就对其测量结果的准确性起到了很大的影响,也无法代表整个行业水平。因此,实地测量这种方法的实际运用方式局限性很大,且没办法作为一个普适性的方法推广下去,不具有代表性。同时,该方法所耗费的人力成本和物资巨大,一般企业很难接受。

#### (4) 基于 ISO14064 标准的核算方法

ISO14064 国际标准化组织 (ISO) 的出台便于企业对碳的碳排放水平进行盘查而指定的量化标准。其立足于单个企业或组织之上,企业参考该标准,依据自身的行业特点选择排放因子法、模型法、物料平衡法、实地监测法或其中两三种方法进行组合来测量本企业在一定时间范畴内的碳排放量。

#### (5) 基于英国标准化协会 (BSI) 的 PAS2050 标准的核算方法

英国标准化组织公布的 PAS2050 规范也是对于企业方面的一个核算方式,可是它主要是根据企业的某一个商品在它的生命期内,即从原料一直到商品损毁进入废料处理的所有全过程内所造成的污染物排出。

#### (6) 温室气体核算体系中的计算方法

温室气体核算管理体系 (GHG Protocol) 是当今世界范畴内绝大多数政府部门和公司使用数最多的一种专用工具,用于量化分析和管理方法温室气体排放。它是由世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会经过十多年联合开发而成,通过与全世界的商业服务部门、政府部门和环保组织的商议协作,一同创建起来的一系列合理的解决气候问题的新项目。在它的调查报告中对一些关键领域开展分类整理的解析后,明确提出了企业种类的核算专用工具。在其中 WRI 也在 2013 年公布了《中国水泥及其电力企业温室气体排放核算的方式和手册》。这种办法的优点在于针对不一样的温室气体排放源,可用的方式也不一样。

在本文中,选择排放因子法计算。是因为水泥行业排放源的多元性,排放因素无法精确明确。因此,要对排放的温室气体归类,对各种温室气体各自计算。根据 IPCC 手册中介绍的温室气体排放核算方法学,在中国水泥行业中,有关数据信息根据基础理论计算,公司调查分析,学术讨论等。温室气体排放计算方式需要当场精确测量,加工工艺生产过程的物料平衡计算和参考别的完善领域的排放因素开展研究。

### 2.3.3 核算边界

首先，在正式进行核算之前，我们需要明确相关企业的测量边界、内容及范围。这是为了减少相关的影响因素，确保核算的准确性、一致性及可比性。

温室气体排放范围方面，这里指的是企业所在行业在清单上列出的生产环节。主要分为三个部分，分别是在清单中列出的生产过程中直接排放的温室气体排放量；直接购买的电力资源以及其他所有的非直接生产环节的温室气体排放活动，例如运输所消耗的化石燃料、基础设施建设等环节所排放的温室气体等。总的来说，温室气体排放的核算范围包括了生产环节和消费环节，也就是相关成本都算在内。结合中国的实际状况，也就是生产过程中的温室气体排放量与购买的电力以及热力的总额。

从实际所需全面检测的项目细节上看，结合《联合国气候公约》之中附件一的报告内容，根据《2006 年国家温室气体清单指南》要求和祁连山水泥集团股份有限公司的实际状况，对其温室气体排放源进行识别并分别统计，最后，通过全球增温潜势 (GWP)，统一转化为排放当量 (CO<sub>2</sub>)。

### 2.3.4 碳资产、碳交易的研究内涵

因为目前我国在温室气体交易权的研究与尝试中，二氧化碳交易权是最先被注意到的，因为二氧化碳占温室气体的 96.5%，所以碳资产，碳交易是绕不开的话题。首先，关于碳资产的研究方面，如何定义碳资产是最先被关注的，经过世界范围内的广泛研究，各国学者在碳资产的研究主要围绕在其排放权的价值上。其中，世界银行对碳资产的定义认可度较高，该定义是指碳资产是指企业、各国实施温室的室气体减排计划之中实际温室气体排放量与原来生产水平下的温室气体排放量的差额。而这差额可以作为一种权利进行交易，也就使得碳排放权有了资产的属性。因此碳资产也定义为企业通过自身的设备更新，技术研发等手段使得自身实施的节能减排项目使自身向外界排放的二氧化碳地域政府给与的温室气体排放标准，借此将多余的二氧化碳排放量通过碳交易市场出售从而获得经济利益的资源。通过碳资产和碳交易的方法，一方面政府强制限定了碳排放的标准，另一方面企业通过自身的节能减排可以主动的、积极的参与相关经济活动来获得

相应的“减排碳资产”，而且从长远来看，企业也可以得到相应的口碑来提升自己的市场地位，可以帮助企业打开更大的市场。

相比于狭义角度的碳资产，广义碳资产可以从能源、生态、会计等多个角度理解。例如，将为了减少碳排放而进行的生产生活活动的生产也纳入碳资产，那么相关企业在通过革新技术，更新生产设备等其他当时获得的可以由企业自主掌控的可以交易的排放权，可以预期为企业带来直接或间接收益的资源也可以称为碳资产。以为就是说碳资产可以继续划分，凭借碳资产的形态、环节进行划分，例如相关减排设备可以划分为固定资产，相关的新技术可以划分为无形资产，而首次影响的生物、制备可以划分为生物资产，而可交易的排放权更可以划分为可交易性金融资产。

而在上述理论碳资产定义中所包括的节能减排设备和有关技术性所具有的知识产权使用价值在财务上主要表现为产品研发，选购成本费，这样碳资产对企业的贡献就不局限于提高收益，甚至可以提高产量和利用效率，其增强减排效果的表现是通过碳排放量或者能耗的减少间接反映的。目前，随着时间的推移，保护环境，节能减排的思想已经深入人心，相关的技术，设备也已经进入大众的日常生活当中。到而本文中主要是通过 CDM 机制将其他温室气体的排放量转化为 CO<sub>2</sub> 的排放量，再利用环境重置成本法的原理，计算出企业排放的温室气体价值量，并于市场上碳排放权交易价格对比，得出本文结论。

## 2.4 温室气体价值量核算

### 2.4.1 环境重置成本法

随着国家大力推进环保生产与发展，会计行业也开始尝试对企业排放的污染物的价值开始计量，而环境重置成本法也因此应运而生。首先，一般意义上的重置成本是指企业按照当前市场条件，一项与所拥有的资产具有相同或相当的资产功能的资产而需要支付的现金或现金等价物，而环境重置成本法正是将重置成本法与自然资源、环境污染等的概念及特征结合形成的。环境重置成本法（周一虹，2015）是指当生态环境遭到破坏后，通过计算恢复生态环境到其原本状况所要支付的费用，即恢复到原自然环境状态与生态系统服务功能所要

发生的成本，借以估算资源环境变化所影响的经济价值或者治理环境问题需要付出的成本。其中，环境重置成本是指在现行市场公允价值条件下，重新构建该自然资源和环境资产生态服务功能所要花费的所有货币价值总额。该方法的创新思路是将重置成本法在资产评估和环境治理评价的应用中进行同构，将生态环境视为一种资产，当人类的社会生产、经营等活动对生态环境造成破坏时，该环境资产的价值就会被降低和破坏，这部分被破坏的价值，可以通过重新构建的一项环境资产进行重置。

环境重置成本法在此基础上对相关的生态环境资产作为产的功能价值进行评估，并非评估环境的本身而往往是评价相关生态环境的服务功能，比如净化，温度、湿度等方面的保持调节作用。因为环境被破坏之后本身是很难被重置的，重置主要是只重置其功能，使得其能恢复到之前提供的服务所需的成本。

基于此理论，我们将生态环境的维护作用作为资产，根据开发者保护论，在某一地区的生态环境遭到破坏时，为了使当地环境提供的维护作用恢复到之前的水平需要一定资金。这笔资金可以被估算出来，作为估算出恢复开发建设而对环境构成影响所需要的成本就是该区域内的环境重置成本，也就是在即将到来的温室气体排放权交易下的排放权价值。

#### 2.4.2 环境重置成本法的三层计量模型

因为排放出的温室气体对一定区域内生态环境的影响是一个动态、复杂且易与其他因素相互影响的过程，较难一一列举并相互区分清楚，因此，本文以控制并减少温室气体排放量及水泥行业整体工艺创新的角度为重点，结合不同阶段、不同内容、不同方法所需的成本，使得环境治理的成本合理、严谨由此引出水泥生产企业环境重置成本法三层计量模型(如图 2-1)：



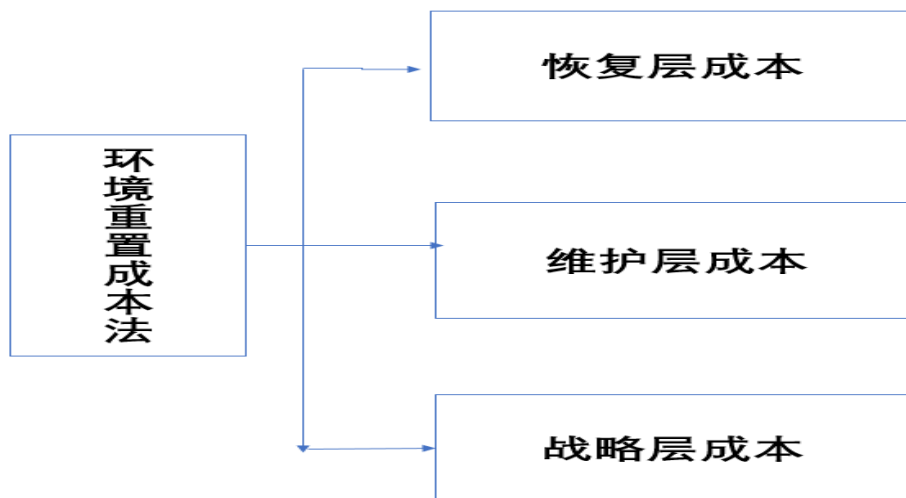


图 2-1 环境重置成本法三层成本计量模型

第一层是环境重置成本为生态环境恢复层成本（Govern Cost），顾名思义是将被影响的生态环境的服务功能恢复到之前未受影响的水平的时的一系列方法。由于水泥生产过程中的主要污染为粉尘及温室气体的排放，因此购置并安装相应的降尘设备，对设备进行更新改造如高效脱氮脱硫除尘一体化技术等的应用，加快低效产能退出并严禁增加新产能等所付出的成本就是计量被影响的地区的生态环境所需的所有成本的总和。

$$MC_i = \sum C_{\text{投资 } i}$$

第二层是环境重置成本为生态环境维护层成本，也就是维持现有的生态环境功能所需要付出的基础设施建设，监测设备，人员，机构等所需要的成本。在这里主要为水泥生产企业探索天然气、太阳能、风能、氢能等清洁能源技术应用；采用先进生产工艺及流程如使用新型干法窑系统、分解炉、预热器、粉磨设备、辊压机、篦冷机等减少温室气体排放，加大水泥窑烟气碳捕集纯化等建材行窑炉碳捕集技术、二氧化碳资源化利用和封存技术的研发和推广应用，加快降低生产运行成本；加强固废综合利用，如加快非碳酸盐原料替代以全面降低二氧化碳过程排放量，支持垃圾衍生燃料、塑料、橡胶、生物质燃料等可燃废弃物高比例替代燃煤，推动替代燃料高热值、低成本、标准化预处理，鼓励水泥窑协同处置磷石膏、赤泥、电解锰渣等固体废物和垃圾焚烧飞灰等危险

废弃物等；强化水泥企业全生命周期绿色管理，大力推行绿色设计，加快实施超低排放改造，全面实现清洁生产；设置温室气体排放源检测点，安排相应的设备及人员，严格按照国家标准控制粉尘、温室气体排放量，及时发现排放异常并安排补救措施决策所需要的成本。宣传教育相关费用也在其中。

$$GC_i = \sum C_{\text{措施 } i}$$

第三层是环境重置成本为生态保护战略层成本，也就是从为了降低温室气体排放量、保护环境而放弃的经济发展权部分的角度进行考虑，及如果不顾及环境影响，尽量采取非环保的低成本生产技术及策略所能创造和产生总效益，即机会成本。

$$SC_i = \sum C_{\text{事项 } i}$$

上述 3 层成本之和即为环境重置成本法的总成本，也就是恢复生态环境苏旭的总成本。

$$RC = GC + MC + SC$$

由此，根据对水泥行业数据的获取及分析，结合对祁连山水泥公司进行实地调研得出的数据，以及祁连山水泥公司为节能减排，降低碳排放量而采取的相应措施，按其目的及特点对水泥生产企业温室气体价值量的三层成本进行归集，构建水泥生产企业温室气体价值量三层成本计量模型，（如表 2-1）：

表 2-1 水泥生产企业温室气体价值量三层成本归集表

计量项目		环境成本
环境重置成本 (RC)	恢复层成本 (GC)	高效脱氮脱硫除尘一体化技术
		高效气象脉冲袋式收尘器
		高压静电收尘
		“低氮燃烧器+分级燃烧+SNCR”混合脱硝系统
		碱液吸收二氧化硫技术
		污水处理代理公司费用
		MBR 中空膜微生物处置
		间歇式添加脱硫剂

		使用全硫含量低的原燃料
	维护层成本 (MC)	监测工程及设备购置
		清洁能源技术应用
		水泥窑筒体辐射热回收利用技术
		新型干法水泥生产工艺
		固废综合利用项目
	战略层成本(SC)	露天堆放整治
		矿山生态恢复治理

数据来源：资料分析整理及企业实地调研

这三层成本完全基于水泥生产企业的环境保护成本，以恢复、维护以及因恢复与维护损失的机会成本共同作为其温室气体价值比较容易理解，操作相对简单，与基于 CDM 机制下的企业温室气体价值相比更易理解和操作，投入价值也相对较为合理，大大提高了水泥生产企业对环保设备及技术投资的积极性。

### 3 水泥企业温室气体价值计量模型构建

#### 3.1 水泥行业概况

水泥行业作为高污染、高碳的能源密集型产业，同时也是碳排放重点行业，世界水泥行业 CO<sub>2</sub>排放量约占全球排放总量的 7%。根据 2021 年中国水泥行业发展报告，我国水泥行业是二氧化碳排放重点行业，CO<sub>2</sub>排放量达 13 亿吨，约占全国 CO<sub>2</sub>排放总量的 13%，仅次于电力、钢铁行业。因此，加速推动水泥行业控碳减排对于实现碳中和、碳达峰的目标是至关重要的。

水泥是建筑材料中最重要基础原材料，对国民经济和社会发展有着重要的战略保障作用。水泥广泛应用于工业民用建筑、公路铁路、机场港口、水库大坝、石油、电力、海洋工程等领域。专用水泥在抗震救灾、防洪防汛、工程抢险、边防军事工程等方面发挥了作用。在未来相当长的时期内，水泥仍将是人类社会不可替代的主要建筑材料。与此同时，基础设施建设对于我国经济社会发展具有重要的支撑和先导作用，为经济发展和社会进步提供基础性条件。节点布局合理、网络密度适宜、通道运行高效、传输能力符合社会需要的基础设施犹如经济社会发展的筋骨，强健有力的筋骨对经济社会发展支撑的稳固和有效具有基础性作用。随着我国国民经济持续稳定发展，我国对完善基础设施建设的需求持续增加，这也带动了我国水泥行业飞速发展，自 2000 年至今，我国一直是世界上生产、消费水泥量最大的国家。党的十八大以来，我国水泥行业深入贯彻落实中央各项部署策略，将最新发展理念居于第一位，坚持遵守稳中求进的总基调，将供给侧结构性改革作为发展主线，将提质增效、提高经济效益作为中心位，加大优化调整行业结构力度，推进发展创新绿色战略模式，在行业趋势和技术方面发生了巨大的变化。作为我国建筑行业的重要中坚力量之一，水泥行业不仅在国防、交通、石油、机械、水电、建筑、化工、冶金等行业发挥了极大的作用，与此同时，我国在水泥方面的理论研究、品种应用等研究、文献也已跻身世界先进水平行列。

## 3.2 水泥行业温室气体排放量的核算

目前水泥行业主要使用现代新型干法水泥生产技术制造水泥,该技术显著的降低了燃料需求也就降低了温室气体排放,在此过程中主要温室气体排放阶段在于由水泥生料烧制成熟料的过程中产生的。而水泥生产过程中所排放的温室气体排放量也仅与生产过程中的化学反应和生产过程相关。即通常情况下,水泥过程中是将原材料进行混合、磨制及烧制进行生产的。烧制过程中会消耗大量煤炭与电力。为生产出质量合格的水泥和保证生产线正常运行,《水泥工厂设计规范》(GB50295-2008)对生产水泥的原料和燃料的成分提出了品质要求,与本文研究的气态污染物有关的原料和燃料品质参数宜符合:石灰质原料  $SO_3 < 0.5\%$ ; 硅铝质原料  $SO_3 < 1.00\%$ ; 煤中硫含量  $\leq 2.00\%$ ; 煤的低位发热量  $\geq 23\ 000\text{kJ/kg}$ 。

### 3.2.1 二氧化碳的排放

1. 水泥企业在生产过程中的主要排放环节有 5 个,分别是:化石燃料的燃烧、替代燃料、原材料分解煅烧以及消耗电力。

水泥生产企业的  $CO_2$  排放总量既是企业界限内全部的化石燃料点燃排放量,商品生产过程排放量及企业购买电力工程和供热相匹配的  $CO_2$  排放量之和,按公式计算:

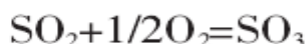
$$E_{CO_2} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电和热}} = E_{\text{燃烧}1} + E_{\text{燃烧}2} + E_{\text{过程}1} + E_{\text{过程}2} + E_{\text{电和热}}$$

式中可知,企业的二氧化碳排放量  $E_{CO_2}$  是由企业生产过程中燃烧的化石燃料所释放的二氧化碳  $E_{\text{燃烧}1}$ 、替代燃料  $E_{\text{燃烧}2}$ 、企业生产过程中的二氧化碳排放量  $E_{\text{过程}}$  原料分解为  $E_{\text{过程}1}$ 、企业生产过程中煅烧原材料所释放的二氧化碳  $E_{\text{过程}2}$  以及生产过程中所需的电力。

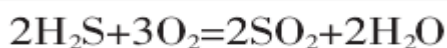
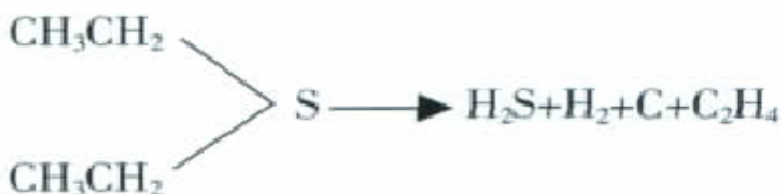
### 3.2.2 二氧化硫排放量的测算

在水泥生产活动之中,因为水泥生料和燃料煤中都含有硫,所以排放的温室气体有硫,按照《水泥工业大气污染物排放标准》每生产 1t 水泥熟料燃料带入 3.28kg 硫,折合成  $SO_3$  为 8.2kg。其中,生料中所含的硫石主要的硫化物来源,不过由于其他原料中含有碱性成分可以有效中和硫化物,使得水泥行业生产过程

中排放的硫化物更低。因此在生产过程中，硫在燃烧时主要生成  $\text{SO}_2$ ，其中氧化成  $\text{SO}_3$  的只有不到 5%，其主要化学反应：



硫醚等有机硫的燃烧：



而目前国内通用的新型干法水泥生产技术之中，生产所需的煤粉，在燃烧之后产生的  $\text{SO}_2$  均需要通过分解炉流出，而在分解炉之中有大量生产水泥石生成的碳酸钙可以有效地吸收硫化物生成硫酸钙，进一步生成水泥，这使得二氧化硫的成产排放量大幅降低，因此认为新型干法生产工艺  $\text{SO}_2$  的排放量主要取决于生料的  $\text{SO}_3$  含量，因此目前水泥产品的  $\text{SO}_2$  的排放量可用下面公式计算：

$$G_{\text{SO}_2} = 64/80 \times t \text{ 熟料耗生料量} \times \text{SO}_3 \text{ 含量} \times (1 - \text{吸收率}) \times 10^3 \text{ kg/t 熟料}$$

在水泥产品进行生产时，原料中所含的硫化物含量很低，只有燃料中所含的硫化物才是主要的硫化物来源，同时在水泥制造过程中会吸收 88%~100% 的硫化物，所以二氧化硫的排放量可通过公式得出。在

$$G_{\text{SO}_2} = 64/80 \times 1.52 \times 1\% \times (1 - 88\%) \times 10^3 = 1.46 \text{ kg/t 熟料}$$

由此可见，水泥行业产生的  $\text{SO}_2$  排放量约为 1.46 kg/t 熟料。而在实际生产过程中产生的  $\text{SO}_3$  吸收率很高，可以忽略不计，再加上目前水泥生产过程当中吸收大部分硫，所以一般没有额外的脱硫设备，所以  $\text{SO}_2$  的产生量即为硫化物的总体产生量。

### 3.2.3 氮氧化物的排放

所谓氮氧化物是指 NO 与 NO<sub>2</sub> 等的混合气体。主要由燃料中携带。在生产环节中，氮氧化物势在水泥窑中形成，而一氧化氮和二氧化氮在自然界中可以互相转换，因此在统计时统一将 N<sub>x</sub>O 折算为 N<sub>2</sub>O，即将 NO 质量含量乘以 1.53，并以 10% O<sub>2</sub> 含量为基准。

根据新型干法水泥生产的流程和指南而言，氮氧化物的总产生量约为 16kg/t 原煤，即每吨原煤产生 16 千克氮氧化物；

### 3.3 基于 CDM 机制对企业排放的温室气体进行量化

CDM 机制，与碳交易理论本质上都是通过经济手段与法律手段相结合，使得温室气体排放权在市场层面是成为一种稀缺性的权力，排放权作为在减排项目中无差别的人类劳动的表现形式，稀缺性也代表了它被需求，也就有了相应的价值，可以进入市场。各国也开始了顺理成章的交易市场建设。作为一种可以用来经营、交易并获利的权利，这使得企业所排放的温室气体有了价值，一方面可以促进节能减排，改善我们的生存环境，另一方面可以使一些企业通过出售温室气体排放权获得更多的利益。所以本文将以二氧化碳为计量单位。结合联合国发布的全球增温潜势数值，把企业排放的其他种类的温室气体量通过二氧化碳排放量的形式表现出来，在此之后，结合环境重置成本法计算出企业排放的单位温室气体价值，并与相应年度碳交易市场成交价格相较，得出本文结论。

## 4 祁连山水泥集团股份有限公司的温室气体价值量核算

### 4.1 祁连山水泥集团概况

甘肃祁连山水泥集团股份有限公司建立于 1995 年 11 月 2 日, 原为永登水泥厂, 再次基础上进行了股份制改革, 并成功上市。

公司下设 22 个分公司, 主要分布于甘肃省全境。主要营业范围是以生产水泥系列产品为主, 同时进行对相关水泥设备进行生产改良、研发并生产更进一步的建筑材料等生产活动。经过多年坚持不懈的经营, 公司成功营造出的“祁连山”和“鸳鸯”两个地区性著名品牌, 也是甘肃省著名商标, 获得多项荣誉奖励。公司成为了甘肃省重点企业。

自公司成立之日起, 公司逐渐形成了以甘肃省为中心覆盖西北多省的水泥生产销售平台, 资产稳步增长, 从公司成立之时的 3 亿总资产成长为如今的行业巨头, 公司产品相对单一, 属于重污染行业(如图 4-1)。

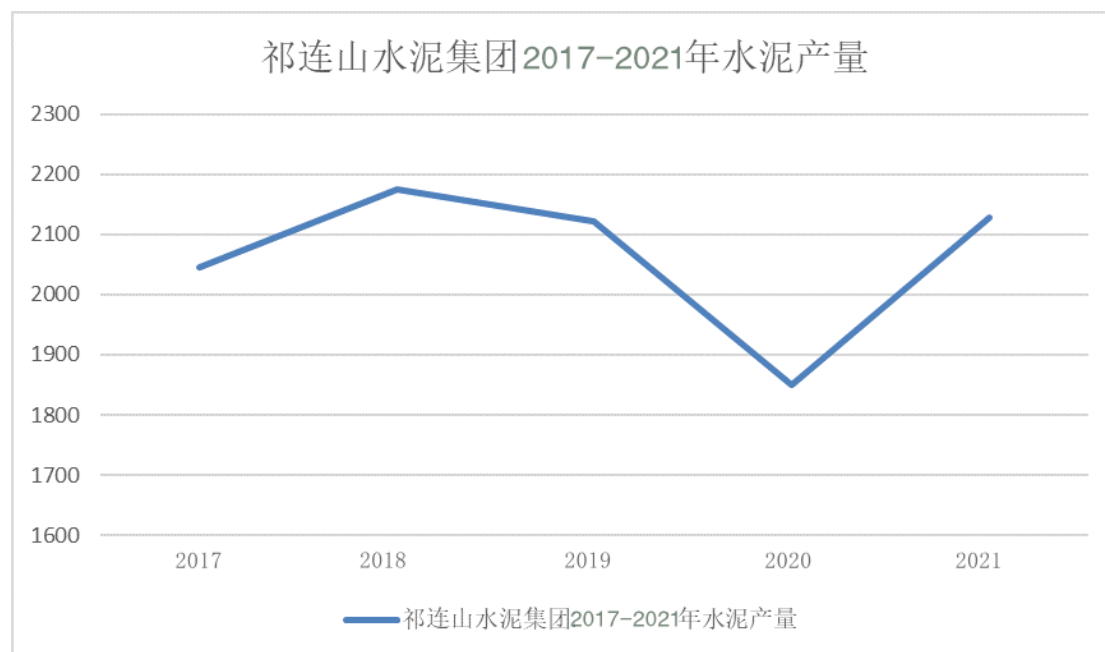


图 4-1 祁连山水泥集团 2017-2021 年水泥产量图



目前，祁连山水泥集团股份有限公司的主要产品是水泥相关的建筑材料。公司拥有干事水泥生产线 18 条，分布于 22 个分公司之中，生产基地主要分布于甘肃省境内，年水泥总产量 2000 万吨左右如下表所示：

表 4-1 祁连山水泥集团生产设备表

18 台，其中 4500t/d 窑 6 台， 2000-2500t/d 窑 12 台	34 台，其中 $\phi 4.2 \times 13.5\text{m}$ 水泥磨 19 台， $\phi 3.8 \times 13.5\text{m}$ 水泥磨 11 台， $\phi 3.2 \times 13.5\text{m}$ 水泥磨台，矿渣磨 3 台	18 台，其中立式 磨 9 台，辊压机 2 台，球磨机 7 台	18 台，其中立 式磨 14 台， 球磨机 4 台
---	--	--	---------------------------------

数据来源：实地调查

祁连山水泥集团是典型的重污染企业，其主要排放的温室气体类别有水泥生产排放的气态污染物有二氧化硫、氮氧化物（以  $\text{NO}_2$  计）、氟等。

与大部分参与 CDM 项目的企业不同，我国参与 CDM 项目的企业主要是通过风力、水力等自然资源生产清洁能源一次获利，而祁连山水泥集团是通过技术手段，优化自己的生产路线，在生产过程中，利用生产产品时产生的多余热量，使其得到充分的利用，以获得额外的电量。祁连山水泥集团股份有限公司以此减少了自身对能源的消耗量，降低了自身的碳排放量并过的了额外的利润。但是作为典型的重污染、高耗能的行业，祁连山水泥集团股份有限公司在节能减排方面也面临巨大的困难，例如化石能源和电力的巨大消耗，以及排放的温室气体对环境产生了巨大的影响。目前企业所有节能减排技术手段都依托于水泥产品生产过程中的废弃回收处理方面，如何进一步提升技术手段还需更进一步的研究与投入。另外，祁连山水泥集团股份有限公司也在积极的进行产业结构的优化和调整以应对未来的影响。

## 4.2 祁连山水泥集团在排污权交易中的前景

随着 2019 年 7 月《碳排放权交易有关会计处理暂行规定》的实行，各地的碳交易市场也在如火如荼地建立当中，那么温室气体排放权交易也在可见的未来中登场。而祁连山水泥集团股份有限公司作为重污染企业有着充分的减排潜力。

首先,集团本身作为西北水泥生产企业中的佼佼者,拥有巨大的市场份额和资金流。计量企业内部温室气体价值量的意义在于保护生态环境的稳定发展,当企业可以在排放权交易市场上获取额外收入时能够提高企业决策者的主观能动性,使得决策者在制定决策时可以考虑节能减排方面的成本、费用以及投入,借此降低企业自身的污染排放量达到维护环境的目标。

其次作为省内唯一一家以非清洁能源生产企业的身份参与了 CDM 项目并借此牟利的企业,祁连山水泥集团股份有限公司拥有先进的减排技术研发水平和潜力。这些都为企业进入排放权交易市场打下了坚实的基础。

最后,我国对世界各国上承诺,力争 2030 年前二氧化碳排放达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和。2020 年以来碳中和、碳排放权交易一度成为网络热词,我国政府对节能减排的观点已经转为必须达成的目标,所以,企业本身需要主动需求节能减排的技术方法以应对未来的政策改变,进行超前部署以维护自身的可持续发展。

### 4.3 祁连山水泥集团工艺流程

祁连山水泥集团的工艺流程(如图 4-2)主要是由以下几个部分组成的。

分别是破碎及预均化,对原材料进行基础的处理。第二步进行生料的制备,这一步是对原材料进行进一步的处理是使的原材料更容易进行反应。第三步对生料进行均化以完成正式生产前最后的准备。揭晓来进入正式的水泥熟料烧制过程,生产出水泥产品。最后对水泥产品进行粉磨和分装,将产品制造成合适的状态以便于客户使用。水泥包装有两种方式,分别为袋装和散装。

其中主要温室气体排放环节为水泥生料烧制成熟料的过程。而其他环节主要是以电力消耗排放温室气体。

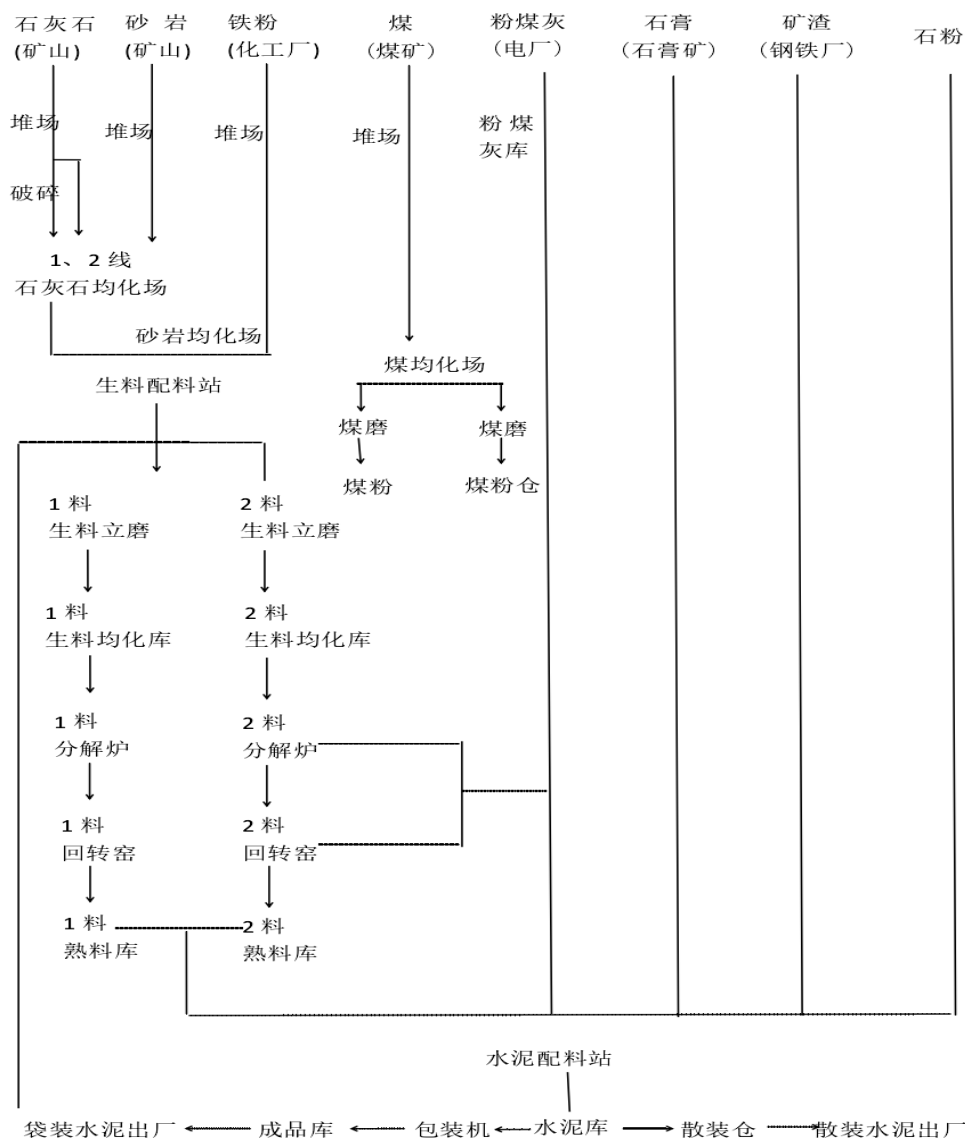


图 4-2 水泥生产流程示意图

### 4.4 祁连山水泥集团股份有限公司温室气体价值量核算

首先，各种温室气体排放量的计算是重点。

基于 CDM 机制下的祁连山水泥集团股份有限公司温室气体排放量

#### 4.4.1 CO<sub>2</sub>的排放量核算

##### 1. 化石燃料燃烧排放

### (1) . 计算公式

在水泥生产中，主要能量来源是化石燃料，如煤碳、石油等。相关燃料燃烧产生的二氧化碳排放，单位为吨（tCO<sub>2</sub>），按照以下公式计算。

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

式中：化石燃料锁排放的二氧化碳量  $E_{\text{燃烧}}$  为消耗的燃料的活动水平  $AD_i$  (单位为百万千焦, GJ) 与其相对应的二氧化碳排放因子  $EF_i$  (tCO<sub>2</sub>/GJ) 的积。

其中燃料的活动水平  $AD_i$  是化石燃料的平均低位发热量  $NCV_j$  与其净消耗量  $FC_i$  的积。 $NCV_j$  对固体或液体燃料，单位为百万千焦/吨（GJ/t）；对气体燃料，单位为百万千焦/万立方米（GJ/万 Nm<sup>3</sup>）；

$$AD_i = NCV_i \times FC_i$$

二氧化碳排放因子  $EF_i$  则是式相应化石燃料的碳氧化率  $OF_i$ （单位为%）与其单位热值含碳量  $CC_i$ （单位为吨碳/百万千焦）的积，44/12 为二氧化碳与碳的数量换算。

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

因此，根据公式以及水泥企业排放标准可得，每吨水泥制作过程中化石燃料燃烧排放的二氧化碳为 0.329t。

### (2) 活动水平数据获取

根据生产活动所使用的内各类燃料消耗的统计数据来确定各种化石燃料的净消耗量。本文选择采用指南提供的化石燃料平均低位发热量数据。

### (3) 排放因子数据获取

本文采用《中国水泥生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》提供的单位热值含碳量和碳氧化率数据。

## 2. 原料分解产生的排放

水泥制造过程中起的化学反应产生的 CO<sub>2</sub> 排放量，包括三部分：熟料对应的 CO<sub>2</sub> 排放量；窑炉排气筒（窑头）粉尘对应的 CO<sub>2</sub> 排放量；旁路放风粉尘对应的 CO<sub>2</sub> 排放量。原料分解产生的 CO<sub>2</sub> 排放量，计算公式如下：

$$E_{\text{工艺1}} = \left( \sum_i Q_i + Q_{\text{ckd}} + Q_{\text{bpd}} \right) \times \left[ (FR_1 - FR_{10}) \times \frac{44}{56} + (FR_2 - FR_{20}) \times \frac{44}{40} \right]$$

式中：

$E_{\text{工艺1}}$ ——核算和报告期内，原料碳酸盐分解产生的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量，单位为吨（tCO<sub>2</sub>）；

$Q_i$ ——生产的水泥熟料产量，单位为吨（t）；

$Q_{\text{ckd}}$ ——窑炉排气筒（窑头）粉尘的重量，单位为吨（t）；

$Q_{\text{bpd}}$ ——窑炉旁路放风粉尘的重量，单位为吨（t）；

$FR_1$ ——熟料中氧化钙（CaO）的含量，单位为%；

$FR_{10}$ ——熟料中不是来源于碳酸盐分解的氧化钙（CaO）的含量，单位为%；

$FR_{20}$ ——熟料中不是来源于碳酸盐分解的氧化镁（MgO）的含量，单位为%；

44/56——二氧化碳与氧化钙之间的分子量换算；

44/40——二氧化碳与氧化镁之间的分子量换算。

所以每吨水泥制作过程中原料分解产生的排放的二氧化碳为 0.517t。

### 3. 生料中非燃料碳煅烧的排放

水泥生产的生料中非燃料碳煅烧产生的二氧化碳排放量，可用如下公式计算：

$$E_{\text{工艺2}} = Q \times FR_0 \times \frac{44}{12}$$

式中：

$E_{\text{工艺2}}$ ——核算和报告期内生料中非燃料碳煅烧产生的 CO<sub>2</sub>排放量，单位为吨（tCO<sub>2</sub>）；

$Q$ ——生料的数量，单位为吨（t），可采用核算和报告期内企业的生产记录数据；

$FR_0$ ——生料中非燃料碳含量，单位为%；如缺少测量数据，可取 0.1%~0.3%（干基），生料采用煤矸石、高碳粉煤灰等配料时取高值，否则取低值；

44/12——二氧化碳与碳的数量换算。

所以每吨水泥制作过程中生料中非燃料碳煅烧的排放的二氧化碳为 0.005t

### 4. 净购入使用的电力和热力对应的排放

净购入使用的电力、热力（如蒸汽）所对应的生产活动的 CO<sub>2</sub> 排放量按如下公式计算。

$$E_{\text{电和热}} = AD_{\text{电力}} \times EF_{\text{电力}} + AD_{\text{热力}} \times EF_{\text{热力}}$$

式中：

$E_{\text{电和热}}$ ——净购入使用的电力、热力所对应的生产活动的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨（tCO<sub>2</sub>）；

$AD_{\text{电力}}$ 、 $AD_{\text{热力}}$  分别为核算和报告期内净购入的电量和热力量（如蒸汽量），单位分别为兆瓦时（MWh）和百万千焦（GJ）；

$EF_{\text{电力}}$ 、 $EF_{\text{热力}}$  分别为电力和热力（如蒸汽）的 CO<sub>2</sub> 排放因子，单位分别为吨 CO<sub>2</sub>/兆瓦时（tCO<sub>2</sub>/MWh）和吨 CO<sub>2</sub>/百万千焦（tCO<sub>2</sub>/GJ）。

## 2. 活动水平数据获取

根据核算和报告期内电力（或热力）供应商、水泥生产企业存档的购售结算凭证以及企业能源平衡表，采用以下公式计算。

净购入电量（热力量）= 购入量 - 水泥之外的其他产品生产的用电量（热力量） - 外销量

## 3. 排放因子数据获取

电力排放因子应根据企业生产所在地及目前的东北、华北、华东、华中、西北、南方电网划分，选用国家主管部门最近年份公布的相应区域电网排放因子。供热排放因子暂按 0.11tCO<sub>2</sub>/GJ 计算。

所以每吨水泥制作过程中生料中净购入使用的电力和热力对应的排放的二氧化碳为 0.053t。

由上可得 2017—2021 年祁连山水泥集团股份有限公司的二氧化碳排放量分别为 1925.64 万吨、1868.13 万吨、1742.93 万吨、1688.12 万吨、1723.78 万吨（如图 4-3）。

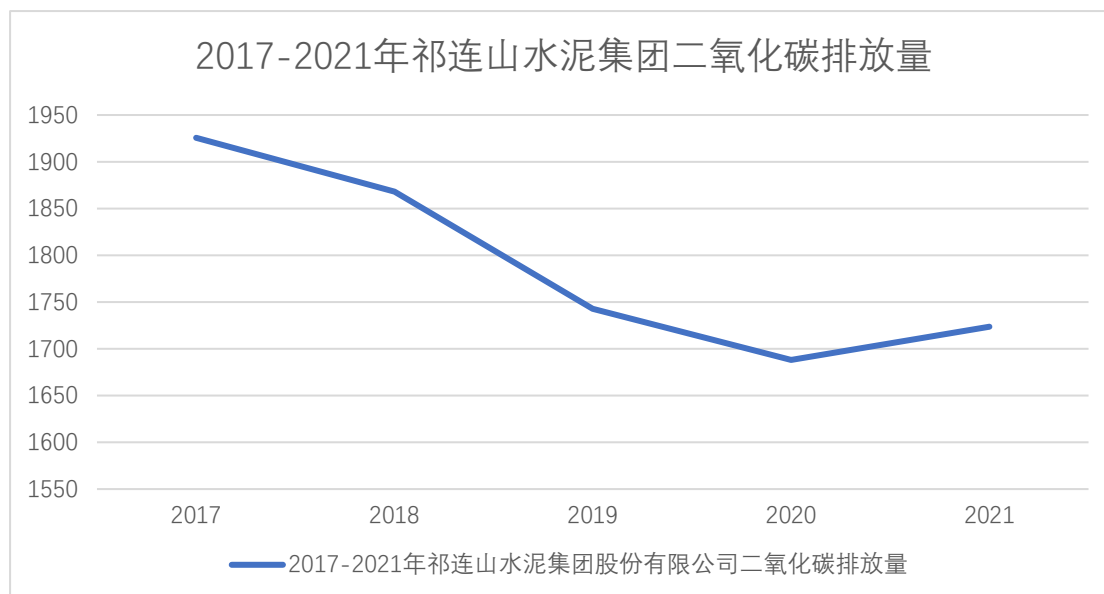


图 4-3 2017-2021 年祁连山水泥集团二氧化碳排放量示意图

#### 4.4.2 二氧化硫的排放量

由公式  $G_{SO_2} = 64/80 \times 1.52 \times 1\% \times (1-88\%) \times 10^3 = 1.46 \text{kg/t}$  熟料以及其 95% 吸收率可得祁连山水泥集团 2017—2021 年  $SO_2$  的排放量分别为 0.484 万吨、0.463 万吨、0.428 万吨、0.388 万吨、0.345 万吨。

#### 4.4.3 二氧化氮的排放量

由公式  $G_{NO_2} = (0.4 \times 16 + 0.6 \times 7) B_0 \times 10^3 \text{kg/t}$  熟料 m

可得祁连山水泥集团 2017—2021 年氮氧化物的排放量分别为 2.65 万吨、2.54 万吨、2.43 万吨、2.30 万吨以及 2.14 万吨

#### 4.4.4 基于 CDM 机制下的祁连山水泥集团股份有限公司温室气体排放量

根据温室气体全球变暖潜势值如图 4-5 将温室气体排放量统一转化为二氧化碳当量表示出来可得出 2017 年-2021 年祁连山水泥集团有限公司排放温室气

体量分别为：1928.51 万吨、1870.88 万吨、1745.54 万吨、1690.58 万吨以及 1726.05 万吨。

表 4-2 政府气候变化专门委员会评估报告给出的全球变暖潜势值

		IPCC 第二次评估报告值	IPCC 第四次评估报告值
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )		1	1
甲烷 (CH <sub>4</sub> )		21	25
氧化亚氮 (N <sub>2</sub> O)		310	298
氢氟碳化物 (HFC <sub>s</sub> )	HFC-23	11700	14800
	HFC-32	650	675
	HFC-125	2800	3500
	HFC-134a	1300	1430
	HFC-143a	3800	4470
	HFC-152a	140	124
	HFC-227ea	2900	3220
	HFC-236fa	6300	9810
	HFC-245fa		1030
全氟化碳 (PFC <sub>s</sub> )	CF <sub>4</sub>	6500	7390
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9200	9200
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )		23900	22800

注：建议采用第二次评估报告数值，考虑到第四次评估报告值尚没有被《联合国气候变化框架公约》附属机构所接受。

数据来源：《IPCC2006》

#### 4.4.5 祁连山水泥集团股份有限公司的温室气体价值量核算

2021 年是“十四五”开局之年，也是我国开启“双碳”行动的元年，水泥行业面对“需求减弱、环保能效加码、成本大幅上升、减碳创新投入”等诸多挑战，需求和供给均出现异常波动。在接下来的一段时期内，环保低碳预期依旧保持“持续加码”态势，“错峰生产常态化”、“碳达峰”、“限电”等因素对大部分区



域水泥供给产生明显制约。此外，政府对包括水泥在内“两高”新增项目进行严格的管控，产能结构将进一步优化，节能挖潜增效将迈出新的步伐。面对这样的经济环境及政策要求，祁连山水泥集团主动加大环保投资，以期稳定长效发展。故以 2021 年为例，对祁连山水泥集团的环境重置成本计算如下：

### 1、恢复层成本

生态环境恢复层成本是运用环境重置成本法对祁连山水泥集团生产过程中安装的温室气体净化设备的购置成本，主要的温室气体净化设备有水泥窑头的电袋除尘器、窑尾的二氧化碳和二氧化硫以及氢氧化物的吸收器等。

表 4-3 环保设施表

类别	环保设施名称	环保设施数量（台/套）			执行排放标准
		2019年	2020年	2021年	
大气污染处理	高效气箱脉冲袋式收尘器（袋式收尘）	1155	1168	1172	《水泥工业大气污染物排放标准》GB4915-2013（水泥窑头、尾合煤磨颗粒物排放 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；其他工艺设施颗粒物排放 $\leq 20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ； $\text{NO}_x \leq 320\text{mg}/\text{Nm}^3$ ； $\text{SO}_2 \leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。）
	高压静电收尘	10	8	6	
	SNCR 脱硝设施	16	16	16	

数据来源：实地调查

表 4-4 2021 年祁连山水泥集团恢复层成本投入表

类别	环保投入	金额（万元）
大气污染处理	高效脱氮脱硫除尘一体化技术	312.40
	高效气象脉冲袋式收尘器	268.30
	高压静电收尘器	192.98
	“低氮燃烧器+分级燃烧+SNCR”混合脱硝系统	357.58
	碱液吸收二氧化硫技术	354.90
	MBR 中空膜微生物处置	237.70
	间歇式添加脱硫剂	164.23
	全硫含量低的原燃料	517.62
水污染处理	污水处理费用	489.67
总计		2895.38

数据来源：祁连山年度报告资料分析整理及企业实地调研

## 2. 维护层成本

祁连山水泥集团有限公司的维护层成本主要为检测设施,集团在全省主要有 22 个温室气体排放源监测点,竭尽全力控制温室气体排放浓度的标准,同时能够及时发现排放异常并及时补救,相关监测点主要是水泥窑窑尾温室气体排放检测,相关设备及人工成本为每年 6740.6 万元。如下表所示:

表 4-5 维护层成本投入表

类别	环境成本	金额(万元)
排放数据监测	监测工程及设备购置	692.43
清洁能源技术应用	光伏发电设备	3792.36
	水泥窑筒体辐射热回收利用技术	481.37
	固废综合利用项目	734.49
生产流程改进	新型干法水泥生产工艺	461.03
装备提升	空气悬浮风机、磁悬浮风机、永磁直驱电机、磁力耦合器等	578.94
总计		6740.6

数据来源:资料分析整理及企业实地调研

## 3. 战略层成本

祁连山水泥集团有限公司的战略层成本主要是为了保护环境而对矿山进行恢复性开采所需要的成本,各地矿山进行绿色矿山活动的成本为的战略层成本为 2952.7 万元。如下表所示:

表 4-6 战略层成本投入表

类别	环境成本	金额(万元)
环境整治	露天堆放整治	532.70
	矿山生态恢复治理	2460.00
总计		2952.70

数据来源:资料分析整理及企业实地调研

表 4-7 祁连山水泥集团环境成本投入表

计量项目		环境成本	金额（万元）
环境重置成本 RC=GC+MC+SC	恢复层成本 $GC_i = \sum C_{措施 i}$	高效脱氮脱硫除尘一体化技术	312.40
		高效气象脉冲袋式收尘器	268.30
		高压静电收尘器	192.98
		“低氮燃烧器+分级燃烧+SNCR”混合脱硝系统	357.58
		碱液吸收二氧化硫技术	354.90
		MBR 中空膜微生物处置	237.70
		间歇式添加脱硫剂	164.23
		全硫含量低的原燃料	517.62
		污水处理费用	489.67
		合计	<b>2895.38</b>
	维护层成本 $MC_i = \sum C_{投资 i}$	监测工程及设备购置	692.43
		光伏发电设备	3792.36
		水泥窑筒体辐射热回收利用技术	481.37
		固废综合利用项目	734.49
		新型干法水泥生产工艺	461.03
		空气悬浮风机、磁悬浮风机、永磁直驱电机、磁力耦合器等	578.94
		合计	<b>6740.60</b>
	战略层成本 $SC_i = \sum C_{事项 i}$	露天堆放整治	532.70
		矿山生态恢复治理	2460.00
		合计	2992.70
<b>总计</b>		<b>12628.70</b>	

数据来源：资料分析整理及企业实地调研

综上所述，祁连山水泥集团股份有限公司 2021 年度环境重置成本总额为  $RC=GC+MC+SC=2623.88+6435.82+2952.7=12012.4$  万元。按照该计算方法，对祁连山水泥集团 2017—2021 年上市公司年度报告及相关资料数据分析，结合实地调研数据，得到祁连山水泥集团股份有限公司 2017—2021 年环境重置成本总额如下表所示：

表 4-8 祁连山水泥集团 2017—2021 年环境重置成本表

单位：万元

年度	恢复层成本	维护层成本	战略层成本	总计
----	-------	-------	-------	----

2017	1674.04	3707.03	879.90	6260.97
2018	1818.35	3938.72	965.53	6722.60
2019	2028.26	4460.02	1106.12	7594.40
2020	2169.95	4904.09	1225.79	8299.83
2021	2623.88	6435.82	2952.70	12628.70

数据来源：资料分析整理及企业实地调研

因此，根据祁连山水泥集团有限公司 2017 年至 2021 年的环境成本来看，分别占企业排放的单位温室气体价值量如下表所示：

表 4-9 祁连山水泥集团 2017—2021 年单位温室气体价值量表

	2017	2018	2019	2020	2021
环境重置成本（万元）	6519.92	7023.58	7887.99	8636.95	12628.70
二氧化碳当量（万吨）	1928.51	1870.88	1745.54	1690.58	1726.05
单位价值（元/吨）	3.38	3.75	4.52	5.11	7.32

数据来源：祁连山水泥集团公司年报

根据 2021 年全国碳排放权交易市场数据，2021 年全国碳市场碳排放配额（CEA）累计成交量 1.79 亿吨，累计成交额 76.61 亿元。碳价方面，12 月 31 日，全国碳市场收盘价 54.22 元/吨。而如表 4.6 所示，2021 年由 CDM 机制及环境重置成本法计算得出的祁连山水泥集团碳排放单位价值量为 7.32 元/吨，远低于全国碳市场收盘价 54.22 元/吨，可见，企业积极主动适应环境政策及国家政策导向，采取节能减排等措施，无论是对我国生态环境保护，抑或是未来通过参与碳排放权交易获取收益，对企业而言都将具有极大获益潜力。

由此来看，当温室气体排放权正式实行之后，祁连山水泥股份有限公司想要谋取相应的经济利益需要考虑到进行相关节能减排活动之后，交易出去的节能减排权所带来的经济利益是否在自身正常进行生产活动所产生的利润，也就是说当排放权交易规则正式实行之后，祁连山水泥集团可以对比排放权交易价格和自身的生产利润，如果产品利润高于排放权交易价格那么企业可以考虑购买适合的额度来保障自身的利润，如果自身的生产利润没有排放权交易价值高，那么企业可以考虑改变自身的生产规模以降低排放水平，最后交易多余的排放额以获取最大

利润。如果排放权交易可以获得更多的利益企业就可以投资相关设备和技术的研发，为企业带来更大的利益。

## 5 研究结论及对策建议

### 5.1 研究结论

祁连山水泥集团有限公司自成立以来,建立了以甘肃省为中心的遍布西北各省的水泥制造、销售网络。而随着我国的高速发展,对水泥等建筑材料的需求也每日剧增,祁连山水泥集团股份有限公司作为甘肃省的行业标杆,在提升产量时严格控制温室气体排放,同时是我省唯一一家参加 CDM 项目的企业,自从 2020 年碳交易政策的正式实施,排污权交易使得排放的温室气体有了价值。而祁连山水泥集团股份有限公司在此基础上继续努力减少温室气体排放可以将多余的温室气体排放权进行交易,由此获得更多的利益。

本文分析了企业温室气体价值核算的背景,CDM 机制概念与相关理论,总结了各类温室气体排放量计量方法的适用范围及其局限性,建立了基于 CDM 机制下的企业温室气体数量核算模型,以甘肃祁连山水泥集团股份有限公司为研究对象进行了研究,主要取得以下结论:

以 CDM 体制搭建温室气体排放量的新计量检定办法的思路,结合《中国水泥生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》,根据水泥企业的工作流程过程,将温室气体价值量核算分为 3 步,首先对企业温室气体的排放量进行核算,接着通过基于 CDM 的机制将企业排放的温室气体统一折算为二氧化碳的排放量,并通过环境重置成本法的价值量核算方法,根据祁连山水泥披露出的相关数据,汇总计算得出祁连山水泥集团股份有限公司在环境成本法下减排温室气体的预期价值收益,将二者数据结合可计算出企业温室气体排放单位价值量,最后,将结论与我国全国碳排放权交易市场的单位碳排放权价值量对比,得出企业参与节能减排等环保活动具有巨大获益潜力。验证了用通过 CDM 机制和环境重置成本法将企业排放的温室气体价值量化具有可行性的同时,用具体的测算数据帮助企业做出节能减排、安排合理生产计划的决策。

由于祁连山水泥集团股份有限公司是甘肃省内唯一参与 CDM 项目的上市公司,具有的稀缺性、代表性、优先性等因素,本文选择祁连山水泥集团股份有限公司进行温室气体价值计量研究,通过分析祁连山水泥集团股份有限公司的各个

生产流程、各种温室气体排放源、各种温室气体排放量，通过 CDM 机制对其进行统一的计量，随后从会计角度出发，建立企业温室气体价值计量模型，取得相应测算数据，计算得出祁连山水泥集团股份有限公司 2017 年——2021 年排放的温室气体单位价值分别为 3.38 元/吨、3.75 元/吨、4.52 元/吨、5.11 元/吨及 7.32 元/吨。仅与 2021 年全国碳市场 12 月 31 日碳排放权交易价格相较，便可看出二者之间的巨大差异。综上，本文计算出了祁连山水泥集团股份有限公司 2017 年——2021 年排放的温室气体价值，证实了 CDM 机制及环境重置成本法在企业温室气体价值计量中的可行性，应用会计方法对温室气体开展量化分析，在货币计量检定时融合生态资源自身的当然规范，并试着从具体情况考虑，测算获得了相对应结果，以求能为祁连山水泥控股集团有限责任公司在节能降耗、主动积极参加温室气体排放权交易方面提供数据参考，希望后续能够推动 CDM 机制及环境重置成本法在企业温室气体价值量核算中的应用及推广。

在此基础上，当排放权交易规则正式实行之后，祁连山水泥集团股份有限公司可以结合自身现实条件，确认是否参与相关减排活动，另外也要考虑一旦排放限额过低时企业如何解决。从目前的情况来看，祁连山水泥集团股份有限公司应该将目光聚集在两个方面，以碳排放权交易为例，依托碳排放限额，结合自身情况与政府批准的排放额度，权衡自身在节能减排技术的投入产出，分析自身在排放权交易市场上的利益得失，总结出最符合自身利益需求的决策，为企业未来的良好的发展保驾护航。

## 5.2 对策建议

### 5.2.1 推动企业进行节能减排的研究

#### (1) 促进能源效率提升

从生产环节出发，研究、开发新的制造技术，提高生产效率，质量水平的同时降低对污染物的排放，节能减排。是寻找符合生态文明的材料，提高资源利用率，降低各种消耗水平，从源头上降低生态环境的影响程度。在生产过程中有效降低温室气体、粉尘以及污水的排放，达成水泥行业的无害化、资源化

和减量化。实现建设绿色产业链，实现节能减排的产业升级，为实现水泥行业的可持续性发展做出努力。

### (2) 增加替代燃料、原料的使用

积极推进原燃料替代，加强低碳技术研发、示范与推广。首先，以煤炭、石油的作为主要燃料使得水泥行业碳减排难度巨大，对于水泥行业减少碳排放、实现绿色生产具有较大压力。因此，研发使用清洁能源技术以代替重污染行业的传统燃料石油、煤炭，这样可以有效降低污染物的排放，以促进水泥企业的温室气体减排。例如探索天然气、太阳能、风能、氢能等清洁能源技术应用，在保证热效率达到制备水泥的同时能够大大降低碳排放量；加强固废综合利用，如支持垃圾衍生燃料、塑料、橡胶、生物质燃料等可燃废弃物高比例替代燃煤，推动替代燃料高热值、低成本、标准化预处理。

其次，积极寻找、研发绿色无污染的替代材料。一、加强固废综合利用，加快非碳酸盐原料替代以全面降低二氧化碳过程排放量，以减轻重污染产品的产量，以此减少能源消耗和污染的排放；二、合理降低单位水泥熟料用量，推动以高炉矿渣、粉煤灰等工业固体废物为主要原料的超细粉替代普通混合材，提高水泥粉磨过程中固废资源替代熟料比重，降低水泥产品中熟料系数，减少水泥熟料消耗量，提升固废利用水平，合理推动水泥、石灰石煅烧黏土低碳水泥等产品的应用。水泥工业碳排放超过 90%来自熟料烧成，其中 60%则来自石灰石分解所产生的  $\text{CO}_2$ ，因此开发推广低熟料用量的预拌混凝土（砂浆）、农村建房现场拌制专用混合水泥，以及“较高  $\text{C}_2\text{S}$ 、适中  $\text{C}_3\text{S}$ 、低  $\text{C}_3\text{A}$  矿物熟料”制备的通用水泥，尽可能满足低水胶比、长龄期强度高和低水化热等要求，有利于改善砼开裂与提高建筑物寿命，又有利于碳减排。

### (3) 工业流程改造及新技术研发推广

水泥行业节能潜力的提升可通过另一途径来实现——即行业工艺技术的挖掘和改造升级。首先，大力推广水泥行业节能技术的应用，一是节能立磨技术，如生料立磨及煤立磨粉磨技术，立磨不同于其他单体(组)粉磨设备，可集粉磨、烘干和分级于一体，单位电耗低，属于典型的节能环保型粉磨设备。立磨比球磨粉磨系统节电约 20%—35%，即每吨生料省电 8—10kWh。二是低温余热发电技术，例如新型干法水泥熟料生产企业中由窑头熟料冷却机和窑尾预热器排出的  $350^\circ\text{C}$



左右废气，其热能大约为水泥熟料烧成系统热耗量的 35%，低温余热发电技术的应用，可将排放到大气中占熟料烧成系统热耗 35%的废气余热进行回收，节能效果显著；三是运用新型大推力煤粉燃烧器，该技术可减少一次风量，降低热耗此外，节能辊压机粉磨技术、高效熟料烧成技术、水泥窑节能监控优化和能效管理技术等均能实现节能降耗。其次，优化生产工艺流程，使用分解炉、预热器、粉磨设备、辊压机、篦冷机等降低能耗，如第四代行进式稳流篦式冷却机，该技术可提高冷却效果，降低出冷却机熟料温度，降低热耗；而应用辊压机+球磨机联合粉磨技术时，联合粉磨系统吨水泥粉磨电耗可降低 8—12kWh，较传统球磨系统节电 15%—30%，可使原球磨机增产幅度超过 100%；鼓励水泥窑协同处置磷石膏、赤泥、电解锰渣等固体废物和垃圾焚烧飞灰等危险废弃物等。再次，探索二氧化碳捕集、封存及利用（CCUS）的技术，如加大水泥窑烟气碳捕集纯化等建材行窑炉碳捕集技术、二氧化碳资源化利用和封存技术的研发和推广应用，加快降低生产运行成本。最后，强化水泥企业全生命周期绿色管理，大力推行绿色设计，加快实施超低排放改造，全面实现清洁生产。如对供配电系统进行改造实现节电，换用节能变压器、多台变压器并联运行减少空载损耗以及配电线路改造。

企业是市场经济活动的主要参与者，企业的生产状况和经济效益直接影响社会经济实力的增长，因此，积极响应国家碳达峰碳中和等环保政策的号召，主动承担企业社会责任，不仅有利于企业的长期发展，为自身谋取更多的利益，还是促进社会稳定和谐健康发展的重要因素。

### 5.2.2 完善相关政策机制

由于水泥行业碳减排技术选项少，且成熟技术（如替代燃料）和新兴技术（如 CCS）之间过渡难度大，因此该行业的碳减排路径亟需强有力的政策支持，具体可从以下几个方面出发研究制定：

首先，建议加强顶层设计，尽快出台生产者、消费者碳排放责任核算与控制方法。尽快制订与完善碳排放责任核算与控制方法等政策，并按行业及产品制定实施细则。以强化消费者对其消费行为负责，其减碳行动主要是调整消费结构，减少高碳产品的消费量、过度消费与浪费。此外，还需要通过优化、细化工程

管理，强化控制与责任，促使水泥熟料用量下降。通过法规强化工程应用主体责任，倒逼生产企业开发销售低碳或减碳产品。

其次，健全水泥行业低碳标准体系，强化节能约束机制。应加快修订工程设计、施工、应用技术标准规范等，提升低碳建筑标准及加大推广应用少熟料胶凝材料的力度，并制订配套政策措施。充分发挥科研院所和专业标准化委员会的作用，制订水泥行业节能减排的技术标准，建立较完善的排放限额标准体系、检测标准体系、审核和认证标准体系。推动制定水泥行业温室气体价值量核算统计标准、水泥窑等主要耗能设备效率测定与评价标准，不断完善水泥行业资源综合利用标准体系。加强对行业能效活动的指导，鼓励行业协会在现有的基础上，进一步加强对企业节能减排的技术指导，完善细化水泥行业技能减排技术标准，通过开展行业推广活动，提高水泥行业的能源利用效率。

再次，加大金融政策支持力度，推动实施行业碳排放控制及碳排放权交易。一是对积极研发新生产技术、设计运用节能降耗工艺流程的企业予以适当的税收优惠及金融政策支持，加强对于新兴技术的定向研发和财务激励。在减轻企业转型资金压力的同时，吸引更多资本的关注和支持，推动形成绿色水泥产业联盟，帮助水泥这一传统行业焕发新活力，支持中国碳中和稳定发展。二是进一步加强全国碳市场顶层设计，尽快制定并出台以全国碳排放权交易管理条例为核心的法律体系，明确和完善碳市场的法律制度及政策导向。首先是在国家发展战略与规划层面对碳排放权交易的明确，包括国家的应对气候变化战略、低碳发展战略、国民经济发展规划纲要及其具体的规划。其次是在标准制定层面，应当尽快制定有关企业碳排放总量的标准、配额分配的标准、碳排放监测标准、碳排放核查标准等以及各项技术指标。再次是在行政指导上，除了目前出台的相关行业的温室气体排放核算方法与报告指南之外，应当尽快完善其他行业、尤其是新型行业的排放核算方法与报告指南，从而增强行业的适应性。最后是相关的规则建设，应当尽快组建相关行业的碳排放权交易行业协会，通过企业与行业自身力量明确自律监管规则。

最后，应建立完整的信息披露制度，敦促企业及时披露与碳排放相关的信息。如企业碳排放相关的能源、物料及生产过程信息、企业排放源的分布与变化信息、碳排放监测设备的相关信息、企业历史碳排放量以及参与碳排放权交

易的信息等，以及企业在环保、安全领域的信息，通过信息披露机制的重要作用倒逼企业进行减碳行动。

### 5.2.3 建立健全政府监管体系，加大对水泥企业碳排放的监测力度

一方面，各级工业主管部门要进一步加强对企业重点用能设备、排放设备、计量器具配备、能源利用、目标责任考核等工作的监督管理，建立和完善水泥行业节能减排统计、监测和考核体系，定期组织相关分析，开展预测预警工作。认真贯彻落实国家水泥工业产业政策，严格执行水泥行业准入条件。加快研究制订水泥行业改扩建项目节能评估审查具体办法，从严控制水泥企业盲目扩张。定期公告落后产能企业名单，进一步完善落后产能退出的资金补贴政策机制，加大政策执行力度。

另一方面，随着全国碳排放权交易市场的开市及碳排放交易工作的开展，还应对参与或具备一定参与能力的水泥企业有针对性地开展对碳排放行为的监管和对碳交易行为的监管。其中环境监管部门的具体监管职能又可以细化为对碳排放权配额分配及其使用的监管、对碳排放的监测、对监测报告的核查的监管等。而金融监管部门则应承担起对碳交易规则的制定、对碳交易价格的干预以及对碳市场风险行为的处置等。在碳排放权交易的行政监管方式上，应当进一步发挥信息披露机制的重要作用，从而有利于行政监管部门及时获取行政相对人的相关信息，并始终保持持续动态的监管以及及时采取相应的监管措施。

## 参考文献

- [1] Kennedy C, Steinberger J, Gasson B, et al. Greenhouse gas emission from global cities[J]. *Environ sci Technol*. 2009, 43(19):7297-7302.
- [2] IPCC. IPCC Guidelines for Nation Greenhouse Gas Inventories[R]. 2006.
- [3] Sovacool B K, Brown M A. Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment[J]. *Energy Policy*. 2010, 38(9)
- [4] Fanxin Meng, Gengyuan Liu, Zhifeng Yang, Yan Hao, Yan Zhang, Meirong Su, Sergio Ulgiati. Structural analysis of embodied greenhouse gas emissions from key urban materials: A case study of Xiamen City, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- [5] Markandya, A. et al. Energy intensity in transition economies: is there convergence towards the eu average[J]. *Energy Economics*, 2006, 28(1):3426-3439.
- [6] Baldasano J M, Soriano C, Boada L. Emission inventory for greenhouse gases in the city of Barcelona, 1987-1996[J]. *Atmospheric Environment* 1999, 33(23)
- [7] Boqiang Lin, Rilong Fei. Regional differences of CO<sub>2</sub> emissions performance in China's agricultural sector: A Malmquist index approach[J]. *European Journal of Agronomy*, 2015, 70.
- [8] Gillingham K, Nordhaus W D, Anthoff D, et al. Modeling Uncertainty in Climate Change: A Multi-Model Comparison[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2015.
- [9] Makmor M, Ismail Z, Hashim R. Participation of Malaysia Under the Montreal Protocol and the Kyoto Protocol[M]. *Proceedings of the Colloquium on Administrative Science and Technology*. Springer Singapore, 2015:203-214.
- [10] A.R. Noorpoor, S. Nazari Kudahi. CO<sub>2</sub> emissions from Iran's power sector and analysis of the influencing factors using the stochastic impacts by regression on population, affluence and technology (STIRPAT) model[J]. *Carbon Management*, 2015, 6(3-4).
- [11] Liddle B, Lung S. Age-structure, urbanization and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts[J]. *Population and Environment*, 2010, 31(5):317-343.
- [12] 杨谨, 鞠丽萍, 陈彬. 重庆市温室气体排放清单研究与核算[J]. *中国人口·资源与环境* 2012, 22(3):63-69.
- [13] 邓娜, 陈广武, 崔文谦, 张于峰, 马洪亭. 城市温室气体清单编制与分析——以天津为例[J]. *天津大学学报*. 2013, 46(7):635-640.
- [14] 马彩虹, 赵晶, 谭晨晨. 基于 IPCC 方法的湖南省温室气体排放核算及动态分析[J]. *长江流域资源与环境*. 2015, 24(10):1786-1792.
- [15] 于胜民, 李湘. 源流概念及核算企业二氧化碳排放的黑箱法介绍[J]. *中国能源*. 2013, (3):26-29.
- [16] 佟庆, 鲁传一. 镁冶炼企业温室气体排放核算方法研究[J]. *中国经贸导刊*.

- [17] 刘强, 陈亮, 段茂盛, 郑晓奇. 中国制定企业温室气体核算指南的对策建议[J]. 气候变化研究进展. 2016, 12(3): 236-242.
- [18] 王思博. 水泥行业温室气体排放核算方法研究[D]. 北京: 中国社会科学出版社. 2012.
- [19] 李肖如. 天津市典型工业行业碳核算方法学研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2015.
- [20] 林大荣. 福建省能源活动温室气体排放测算及其碳强度趋势[J]. 能源与环境. 2015, (2): 8-11.
- [21] 国家发展和改革委员会办公厅. 关于印发省级温室气体清单编制指南(试行)的通知[Z]. 2011.
- [22] 黄祖辉, 米松华. 农业碳足迹研究——以浙江省为例[J]. 农业经济问题. 2011, 11: 40-47.
- [23] 童抗抗, 马克明. 基于投入产出法的北京能源消耗温室气体排放清单分析[J]. 环境科学学报, 2012, 32(09): 2228-2235.
- [24] 陈其颢, 朱林, 王圣. 江苏省温室气体排放清单基础研究[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(10)
- [25] 覃小玲, 卢清, 郑君瑜, 尹沙沙. 深圳市温室气体排放清单研究[J]. 环境科学研究. 2012, 25(12): 1378-1386.
- [26] 王海宁, 薛惠锋. 中国不同时期经济发展与碳排放的关联分析[J]. 环境科学与技术. 2011, 06: 191-194.
- [27] 曹斌, 林剑艺, 崔胜辉, 唐立娜. 基于 LEAP 的厦门市节能与温室气体减排潜力情景分析[J]. 生态学报. 2010, 30(12): 3358-3367.
- [28] 樊星. 中国碳排放测算分析与减排路径选择研究[D]. 辽宁大学. 2013.
- [29] 邓吉祥, 于洪洋, 石莹等. 区域能源与碳排放战略决策分析的模型探索[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 52-66.
- [30] 周一虹. 生态环境价值计量的环境重置成本法探索[J]. 学海, 2015(4): 109-117
- [31] 汪涛. 建筑生命周期温室气体减排政策分析方法及应用[D]. 清华大学, 2012.
- [32] 张友国. 中国区域间碳排放转移: EEBT 和 MRIO 方法比较[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2016(7): 17-27.
- [33] 马宏伟, 刘思峰, 赵月霞, 马开平, 袁潮清. 基于 STIRPAT 模型的我国人均二氧化碳排放影响因素分析[J]. 数理统计与管理, 2015, 34(02): 243-253.
- [34] 姜海华. 新时期清洁生产长效机制的建立方法分析[J]. 科技展望, 2016, 26(3) 71-74.
- [35] 袁晓华. 浅谈中国石化清洁生产的发展和清洁生产长效机制的建立[J]. 安全、健康和环境, 2010, 10(5): 29-31.
- [36] 袁俊斌, 王恩德, 叶永恒. 重工业城市(抚顺)实施清洁生产发展循环经济实例研究[J]. 生态学杂志, 2012(6).
- [37] 房启涛. 浅谈水泥工业绿色制造技术与生态设计的理念[J]. 四川水泥, 2020(1): 8.
- [38] 温艳丽. 浅析水泥企业环境经营成本管理[J]. 河南建材, 2020(1): 73-74.
- [39] 韩仲琦. 水泥大国的责任与目标[J]. 中国水泥, 2019(12): 58-61.
- [40] 高长明. 水泥工业低碳转型刻不容缓[J]. 新世纪水泥导报, 2019(6): 1-3+6.

- [41]徐万里. 水泥工业节能减排的现状与思考[J]. 绿色环保建材, 2018(11): 14-15
- [42]刘全有. 水泥生产企业 CO<sub>2</sub> 排放计算方法几个问题的探讨(下)[J]. 中国水泥, 2018(2): 80-82.
- [43]李晋梅, 尹靖宇, 武庆涛, 魏建勋, 王瑞蕴. 水泥行业碳排放计算依据对比及实例分析[J]. 中国水泥, 2017(8): 83-86.
- [44]翟旭东. 我国水泥工业碳减排途径之探索[J]. 四川水泥, 2016(8): 8-13.
- [45]陈鑫洁. 大庆市畜禽粪尿及温室气体排放量的估算研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 33(04): 29-32+76.
- [46]周珂. 基于秸秆自然腐解基准线的生物天然气工程生态价值量估算方法研究[D]. 中国农业科学院, 2020.
- [47]张孟蓉, 陈莎, 李素梅. 基于生命周期的北京风味餐厅食物消费温室气体排放与减排案例分析[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(02): 140-150.
- [48]林成淼, 陈丽君, 吴洁珍. 生活垃圾分类对固体废弃物和温室气体协同减排的影响研究——以浙江省为例[J]. 环境与可持续发展, 2021, 46(01): 90-94.
- [49]李瑛, 毛红敏, 王兵. 涪陵页岩气开发生命周期温室气体排放估算[J]. 油气田环境保护, 2021, 31(03): 1-7.
- [50]董萌. 政策试点视角下中国碳交易市场政策问题研究[D]. 华中师范大学, 2020.
- [51]闪涛. 论我国碳排放交易的行政监管制度[D]. 中南财经政法大学, 2012.
- [52]丁美荣. 水泥行业碳排放现状分析与减排关键路径探讨. [J]. 中国水泥, 2021, 07: 46-49.
- [53]张阳. 碳排放交易的监管赋能: 问题与方案. [J]. 中国流通经济, 2022(3): 115-126.
- [54]贺晋瑜, 何捷, 王郁涛, 范永斌, 石红卫, 蔡博峰, 严刚. 中国水泥行业二氧化碳排放达峰路径研究. [J]. 环境科学研究, 2022(2): 347-355.
- [55]陈为晶. 基于行业标准的水泥企业碳排放数据核算与分析. [J]. 质量技术监督研究, 2017(3): 53-56.
- [56]魏军晓, 耿元波, 沈镭, 等. 基于国内水泥生产现状的碳排放因子测算[J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2970-2975.
- [57]陈亮, 鲍威, 郭慧婷等. 水泥生产企业温室气体排放核算与报告要求国家标准解读. [J]. 中国能源, 2017, 39(2): 44-46.
- [58]刘立涛, 张艳, 沈镭等. 水泥生产的碳排放因子研究进展[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 110-119.

- [59]李琛. 2021 年水泥行业结构调整发展报告. [J]. 中国水泥, 2022 (1) : 10-17.
- [60]罗雷, 郭旻旻, 李寅明, 等. 碳中和下水泥行业低碳发展技术路径及预测研究 [J]. 环境科学研究, 2021: 1-17.
- [61]孙挺. 水泥行业碳排放核算及低碳发展路径研究. [J]. 中国水泥, 2022 (3) : 80-82.
- [62]李伟峰, 马素花, 沈晓冬. 我国水泥工业减碳技术现实路径刍议. [J]. 新世纪水泥导报, 2021 (6) : 1-6.

## 致谢

本论文的完成受到了老师细心且认真的指导。老师认真的态度，严格的要求，宽容的待人方式让我在论文完成过程中受益良多。本次论文从选题到完成，每一步都是在导师的悉心指导下完成的，倾注了导师大量的心血。在此，谨向导师表示崇高的敬意和衷心的感谢。在写论文的过程中，遇到了很多的问题，在老师的耐心指导下，问题都得以解决。所以在此，再次对老师道一声：老师，谢谢您。时光匆匆如流水，转眼便是三年。离校已有一年，毕业论文的完成也随之进入了尾声。从开始进入课题到论文的顺利完成，一直都离不开导师、同门师兄师姐给我热情的帮助，在这里请接受我诚挚的谢意。

几年的学习，我所成长的方面不仅仅是知识的增长，更重要的是看待事物的思维方式、表达能力和切入角度都有了不同改变。遇到的诸多良师益友在各方面对我的人生都有很大的影响。最后要感谢我的父母，他们培养了我的人生观、世界观，在我的成长过程中提供了巨大的支持。在未来的日子里，我会更加努力地学习和工作，不辜负父母对我的期望并担负起自己应有的责任。