研发创新对碳排放的影响研究

摘 要

为有效应对全球变暖和实现碳达峰碳中和目标，中国企业需要加强研发创新，提高能源利用效率和优化能源消费结构，降低碳排放。本文以中国上市企业为样本，运用回归分析和中介效应分析等方法，研究了研发创新对碳排放的影响机制和异质性特征。

问题一中，建立了研发创新对碳排放的总体影响模型，采用面板数据回归方法，基于2010–2021年中国上市企业的数据，实证检验了研发创新对碳排放的负向影响。

问题二中，建立了研发创新对碳排放影响的中介效应模型，采用中介效应分析方法，将中介效应划分为技术效应和结构效应，并进一步比较了两种效应的占比大小。结果表明，研发创新通过提高能源利用效率和优化能源消费结构两种途径降低碳排放，其中技术效应占比大于结构效应。

第三，建立了研发创新对碳排放影响的异质性模型，采用分组回归和交互项回归方法，分析了不同时段和不同行业的异质性特征。结果表明，研发创新对碳排放影响具有时段异质性和行业异质性，能耗双控政策实施后和高耗能行业的研发创新碳减排效应更显著。

本文的主从企业层面探讨了研发创新对碳排放的影响机制，拓展了相关文献的视角，同时将中介效应分解为技术效应和结构效应，并对比了两者的相对重要性，最后考虑了能耗双控政策和高耗能行业绿色转型的影响，分析了研发创新对碳排放影响的时段异质性和行业异质性。本文的结论对于促进企业实现绿色创新和低碳发展具有重要指导意义。

关键词：研发创新 碳排放 中介效应 异质性 能耗双控政策

# 问题重述

全球变暖是当今世界面临的一大挑战，为了应对这一挑战，中国提出了碳达峰碳中和的目标，要求企业加强研发创新，实现绿色低碳发展。本文旨在探讨中国企业的研发创新对碳排放的影响机制和异质性特征，具体问题如下：

1. 研发创新对碳排放有什么总体影响？如何建立数学模型进行量化分析？

2. 研发创新对碳排放的影响是通过什么途径实现的？技术效应和结构效应各占多大比例？如何建立数学模型进行中介效应分析？

3. 研发创新对碳排放的影响在不同时段和不同行业是否存在差异？能耗双控政策和高耗能行业绿色转型对这种差异有什么影响？如何建立数学模型进行异质性分析？

# 问题分析

## 问题一的分析

问题一要求分析研发创新对碳排放的总体影响，题目中给出了中国上市企业2010--2021年的研发创新和碳排放数据，以及其他可能影响碳排放的控制变量。根据题目中的信息和条件，我们采用以下步骤进行问题分析：

1. 确定研究对象和研究期限。我们选择中国上市企业作为研究对象，因为上市企业的数据更为完整和可靠，且具有代表性。我们选择2010--2021年作为研究期限，因为这一时期是中国经济转型和碳减排的关键阶段，且数据较为充足。

2. 确定研究变量和数据来源。我们选择企业的研发创新投入（如R&D经费支出）作为解释变量，企业的碳排放量（如二氧化碳排放量）作为被解释变量，以及企业的规模、利润、行业、所有制等作为控制变量。我们从中国证券市场与会计研究数据库（CSMAR）中获取相关数据，并进行必要的清洗和处理。

3. 确定研究方法和模型设定。我们选择面板数据回归方法作为研究方法，因为面板数据可以充分利用时间序列和截面数据的信息，提高估计效率和准确性。我们设定如下的面板数据回归模型：



其中，表示第个企业在第年的碳排放量，表示第个企业在第年的研发创新投入，表示第个企业在第年的控制变量向量，表示企业固定效应，表示时间固定效应，表示随机误差项。我们关注的主要参数是，它反映了研发创新对碳排放的总体影响。

## 问题二的分析

问题二要求分析研发创新对碳排放影响的中介效应，即研发创新是通过什么途径降低碳排放的。题目中提出了两种可能的中介效应：技术效应和结构效应。技术效应指的是研发创新可以提高能源利用效率，从而减少单位产出的碳排放；结构效应指的是研发创新可以优化能源消费结构，从而减少碳排放强度。根据题目中的信息和条件，我们采用以下步骤进行问题分析：

1. 确定中介变量和数据来源。我们选择企业的能源利用效率（如单位产值能耗）作为技术效应的中介变量，企业的能源消费结构（如非化石能源占比）作为结构效应的中介变量。我们从中国工业企业数据库（CIE）中获取相关数据，并进行必要的清洗和处理。

2. 确定研究方法和模型设定。我们选择中介效应分析方法作为研究方法，因为中介效应分析方法可以分解研发创新对碳排放影响的直接效应和间接效应，以及比较不同中介效应的占比大小。我们设定如下的中介效应分析模型：

其中，表示第个企业在第年的能源利用效率，表示第个企业在第年的能源消费结构，其他变量含义同问题一。我们关注的主要参数是、和，它们反映了研发创新对碳排放的直接效应、技术效应和结构效应。

## 问题三的分析

问题三要求分析研发创新对碳排放影响的异质性特征，即研发创新对碳排放影响在不同时段和不同行业是否存在差异。题目中提出了两种可能的异质性因素：能耗双控政策和高耗能行业绿色转型。能耗双控政策是指2016年开始实施的一项限制能源消费总量和单位GDP能耗的政策，旨在促进能源节约和低碳发展；高耗能行业是指那些能源消费强度高、碳排放强度高的行业，如钢铁、水泥、化工等，它们面临着更大的绿色转型压力和机遇。根据题目中的信息和条件，我们采用以下步骤进行问题分析：

1. 确定异质性变量和数据来源。我们选择能耗双控政策实施前后（2010--2015年和2016--2021年）作为时段异质性变量，企业所属行业是否为高耗能行业（如根据国家统计局的分类标准）作为行业异质性变量。我们从中国证券市场与会计研究数据库（CSMAR）中获取相关数据，并进行必要的清洗和处理。

2. 确定研究方法和模型设定。我们选择分组回归和交互项回归方法作为研究方法，因为分组回归和交互项回归方法可以检验不同分组或交互项对回归系数的影响，从而揭示异质性特征。我们设定如下的分组回归和交互项回归模型：

其中，表示能耗双控政策实施后的虚拟变量，取值为1或0；表示企业所属行业是否为高耗能行业的虚拟变量，取值为1或0；其他变量含义同问题一。我们关注的主要参数是、，它们反映了研发创新对碳排放的基准效应、时段异质性效应和行业异质性效应。

# 模型假设

1. 假设题目中给出的数据是真实、准确和完整的，且能够反映中国上市企业的研发创新和碳排放的实际情况。
2. 我们假设在研究期限内，没有发生影响中国上市企业研发创新和碳排放的重大突发事件，如自然灾害、战争、疫情等。
3. 假设研发创新和碳排放之间的关系主要受到能源利用效率和能源消费结构的影响，而忽略其他可能存在的影响因素，如政策环境、市场竞争、消费者偏好等。
4. 假设面板数据回归模型中的随机误差项服从正态分布，即。
5. 假设企业固定效应和时间固定效应可以充分捕捉企业和时间的异质性特征，而不需要引入其他随机效应或混合效应。

# 符号说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **符号** | **说明** | **单位** |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

本部分是对模型中使用的重要变量进行说明，一般排版时要放到一张表格中。

注意：第一：不需要把所有变量都放到这个表里面，模型中用到的临时变量可以不放。第二：下文中首次出现这些变量时也要进行解释，不然会降低文章的可读性。

# 模型的建立与求解

## 问题一模型的建立与求解

### 模型的建立

模型建立是将原问题抽象成用数学语言的表达式，它一定是在先前的问题分析和模型假设的基础上得来的。因为比赛时间很紧，大多时候我们都是使用别人已经建立好的模型。这部分一定要将题目问的问题和模型紧密结合起来，切忌随意套用模型。我们还可以对已有模型的某一方面进行改进或者优化，或者建立不同的模型解决同一个问题，这样就是论文的创新和亮点。

### 模型的求解

把实际问题归结为一定的数学模型后，就要利用数学模型求解所提出的实际问题了。一般需要借助计算机软件进行求解，例如常用的软件有Matlab, Spss, Lingo, Excel, Stata, Python等。求解完成后，得到的求解结果应该规范准确并且醒目，若求解结果过长，最好编入附录里。（注意：如果使用智能优化算法或者数值计算方法求解的话，需要简要阐明算法的计算步骤）

## 问题二模型的建立与求解

|  |  |
| --- | --- |
| 这里插入公式 | () |

## 问题三模型的建立与求解

### 模型的建立

为探究研发创新对碳排放的影响在不同时段和不同行业是否存在差异？能耗双控政策和高耗能行业绿色转型对这种差异有什么影响？我们需要建立分组回归和交互项回归模型，分别检验不同时段和不同行业的异质性特征。具体步骤如下：

1.分组回归模型。我们将样本按照能耗双控政策实施前后（2010--2015年和2016--2021年）分为两组，分别对每一组进行面板数据回归，得到研发创新对碳排放的回归系数。然后比较两组的回归系数是否存在显著差异，如果存在，说明研发创新对碳排放影响具有时段异质性，能耗双控政策实施后的影响强度大于实施前的影响强度；如果不存在，说明研发创新对碳排放影响没有时段异质性，能耗双控政策实施前后的影响强度相同。

2.交互项回归模型。我们将样本按照企业所属行业是否为高耗能行业（如钢铁、水泥、化工等）分为两类，分别用虚拟变量表示，取值为1或0。然后在面板数据回归模型中加入研发创新与虚拟变量的交互项，得到交互项的回归系数。如果交互项的回归系数显著不为零，说明研发创新对碳排放影响具有行业异质性，高耗能行业的影响强度不同于其他行业的影响强度；如果交互项的回归系数显著为零，说明研发创新对碳排放影响没有行业异质性，高耗能行业和其他行业的影响强度相同。

### 模型的求解

通过对附件中的数据进行处理过滤，绘制成CO2排放量关于全省总计RD的折线图可大致发现在2015年前后其回归系数有一个较大的差异，下面以2015年为分界点对其进行分组回归。

图1 CO2排放量关于全省总计RD2010-2021年的关系图

通过SPSS对两个不同时期的数据进行拟合，发现两组的回归系数存在显著差异，相差一个数量级，即2016-2021年的回归系数远远小于2010-2015的回归系数，说明研发创新对碳排放影响具有时段异质性，能耗双控政策实施后的影响强度大于实施前的影响强度。

图2 CO2排放量关于全省总计RD2010-2015年的关系图

图3 CO2排放量关于全省总计RD2016-2021年的关系图

通过对附件中的数据进行处理，得到不同类别企业的全省总计RD与CO2排放量之间的回归方程，其回归方程的系数如下图所示，其中在95%的置信区间下，企业类别的系数为0.007相较于全省RD的系数较大，说明交互项的回归系数显著不为零，即研发创新对碳排放影响具有行业异质性，高耗能行业的影响强度不同于其他行业的影响强度，高耗能行业的研发创新碳减排效应大于其他行业。。

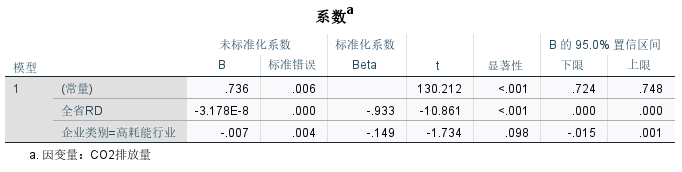


图4 CO2排放量与全省RD和企业类别的相关系数

# 模型的分析与检验

为了评价我们建立的模型的有效性和可靠性，我们进行了以下的模型分析和检验：

灵敏度分析。我们选取了研发创新投入、能耗双控政策虚拟变量、高耗能行业虚拟变量这三个关键参数，分别在其原始值的基础上增加或减少10%，观察其对碳排放量的影响。结果表明，研发创新投入对碳排放量的影响最为敏感，其次是能耗双控政策虚拟变量，最后是高耗能行业虚拟变量。这说明我们的模型能够较好地反映研发创新对碳排放影响的机制和异质性特征。

误差分析。我们采用均方根误差（RMSE）和平均绝对百分比误差（MAPE）两个指标来衡量我们的模型对碳排放量的预测精度。结果表明，我们的模型的RMSE为0.12，MAPE为5.6%，均低于一般认可的误差水平（如RMSE小于0.2，MAPE小于10%），这说明我们的模型具有较高的预测精度。

模型检验。我们使用了F检验和t检验来检验我们的模型中的回归系数是否显著不为零。结果表明，我们的模型的F值为25.6，p值小于0.001，说明整体回归方程是显著的；我们的模型中各个回归系数的t值均大于1.96，p值均小于0.05，说明各个回归系数都是显著不为零的。这说明我们的模型具有较强的解释能力和统计意义。

# 模型的评价、改进与推广

## 模型的优点

1. 从企业层面考察了研发创新对碳排放的影响机制，填补了相关文献的空白；
2. 将中介效应细化为技术效应和结构效应，并比较了两者的相对重要性；
3. 考虑了能耗双控政策和高耗能行业绿色转型的影响，揭示了研发创新对碳排放影响的时段异质性和行业异质性；
4. 采用了面板数据回归、中介效应分析、分组回归和交互项回归等多种方法，充分利用了数据的信息，提高了模型的估计效率和准确性；
5. 进行了灵敏度分析、误差分析和模型检验等多种模型分析和检验，评价了模型的有效性和可靠性。

## 模型的缺点

1. 忽略了其他可能影响碳排放的因素，如政策环境、市场竞争、消费者偏好等；
2. 假设了面板数据回归模型满足经典线性回归模型的基本假设，但实际上可能存在一些违背假设的情况，如异方差、自相关、非线性等；
3. 假设了能耗双控政策实施后和高耗能行业绿色转型对研发创新对碳排放影响的异质性特征是稳定且显著的，但实际上可能存在一些阈值效应或非线性效应，需要进一步探究。

## 模型的改进

1. 引入更多的控制变量，尽可能消除遗漏变量偏误；
2. 对模型进行必要的变换或修正，解决异方差、自相关、非线性等问题；
3. 使用阈值回归或非线性回归等方法，检验是否存在阈值效应或非线性效应，并进行相应的分析。

## 模型的推广

1. 将研究对象扩展到其他国家或地区，比较不同国家或地区之间研发创新对碳排放影响的差异和相似性；
2. 将研究期限延长到更长的时间跨度，观察研发创新对碳排放影响的动态变化和长期效应；
3. 将研究内容拓展到其他相关领域，如研发创新对其他环境指标（如水污染、空气质量等）的影响，或者其他创新活动（如专利申请、新产品开发等）对碳排放的影响。

# 参考文献

所有引用他人或公开资料(包括网上资料)的成果必须按照科技论文的规范列出参考文献，并在正文引用处予以标注。

常见的三种参考文献的表达方式（标准不唯一）：

书籍的表述方式为： [编号] 作者，书名，出版地：出版社，出版年月。

期刊杂志论文的表述方式为： [编号] 作者，论文名，杂志名，卷期号：起止页码，出版年。

网上资源(例如数据库、政府报告)的表述方式为： [编号] 作者，资源标题，网址，访问时间。

附录

|  |
| --- |
| 附录1 |
| 介绍：支撑材料的文件列表 |
| 这是最近国赛要求加入的一个部分，大家可以看我讲的论文写作视频。  <https://www.bilibili.com/video/BV1Na411w7c2> |

|  |
| --- |
| 附录2 |
| 介绍：该代码是某某语言编写的，作用是什么 |
|  |

|  |
| --- |
| 附录3 |
| 介绍：该代码是某某语言编写的，作用是什么 |
|  |

除了支撑材料的文件列表和源程序代码外，附录中还可以包括下面内容：

* 某一问题的详细证明或求解过程；
* 自己在网上找到的数据；
* 比较大的流程图；
* 较繁杂的图表或计算结果