# 论文标题

## 问题重述

### 问题背景

### 1.2 问题提出

#### 1.2.1 问题一

依据原题可知，问题一需要对区域碳排放量以及经济、人口、能源消费量进行现状分析，分析内容需包含三个部分：

1. 建立描述该区域和各部门碳排放状况的指标和指标体系；
2. 分析碳排放量的状况、碳排放的影响因素以及实现双碳目标的挑战；
3. 建立各指标之间的关联模型。

#### 1.2.2 问题二

依据原题可知，问题二需要建立区域碳排放量以及经济、人口、能源消费量的预测模型，由此可以进一步细化成两个小问：

1）基于人口与经济变化，建立一个能源消费量的预测模型；

2）建立一个与人口、GDP、能源消费量、能源消费以及供应部分相关联的区域碳排放量预测模型。

## 问题分析

### 2.1 问题一分析

### 2.2 问题二分析

问题二分为两个部分，第一个部分是进行区域能源消费量的预测，第二部分是进行区域碳排放量的预测的，其中其一部分是第二部分预测的前提与基础：

#### 2.2.1 区域能源消费量预测

由题意可知需要基于区域的人口与经济变化进而对区域能源消费量进行预测，因此首先对区域人口建立Logistic人口增长模型以及对区域经济（地区生产总值）建立时间序列预测模型（ARIMA）模型，分别预测出区域的人口与经济变化。基于人口与经济变化预测结果进行岭回归（相关分析存在多重共线性问题）预测出区域的能源消耗量。

#### 2.2.2 区域碳排放量预测

该小问基本思路同第一问相似，但需要进行细化，即针对不同部门及其对应的能源消耗品种分别进行碳排放量预测。首先需要利用表格提供的区域各部门的增加值变化量进行预测2021~2060年的各部门的增加值(短期灰色预测+长期ARIMA预测)，进而结合第一问预测出的人口进行回归预测出各部门的能源消耗量，其中能源部门需要进一步细化预测出能源消耗中发电、供热、其他转换以及损失这四部分的分量。第二步是预测各部门能源消费品种的结构，根据2010~2020年间的各部门能源消费品种比例进行短期灰色预测+长期ARIMA预测得到2021~2060年间的各部门能源消费品种结构，进而结合各部门能源消费量预测出各部门多对应各种能源的消费量。第三步是对各部门的各种能源碳排放因子预测。利用第二步中预测的各部门的能源消费品种结构预测比例分别对各部门每种碳排放因子进行岭回归预测，以体现消费品种结构变化对区域碳排放因子影响。最后将第二部得到的各部门各种能源消耗量与第三步各部门各种能源的碳排放因子相乘，计算得到区域的碳排放量预测结果。这个结果与2010~2021年实际结果进行对比，并进行适当的比例调整，以提高预测精度，得到最终的2021~2060年区域的碳排放量预测。

## 模型假设

### 3.1 相关性假设

对于回归模型，可以假设能源消耗量与人口、区域生产总值间存在关联关系，可以通过历史数据进行分析得出。

### 3.2 持续性假设

对于当前的数据所呈现的趋势，如人口、经济增加、能源消耗量与消费品种结构等，假设仍然可以在预测时间段内保持相同的发展趋势。

## 符号说明

## 问题一模型的建立和求解

## 问题二模型的建立和求解

### 6.1 基于人口和经济变化的能源消费量预测模型

#### 6.1.1 模型建立步骤

根据题目要求能源消费量的预测需要建立起能源消费量与人口与经济变化之间的关系，因此能源消费量预测主要分为三个步骤：

1）建立区域人口预测模型，预测2021~2060年间区域的人口变化；

2）建立区域的经济预测模型，即对地区2021~2060年间的生产总值进行预测；

3）根据区域的人口与经济变化预测，对地区2021~2060的能源消费量进行预测。

#### 6.1.2 人口预测模型建立

人口预测模型采用Logistic人口增长模型。记*x*(*t*)为*t*年的人口数量，设人口年增长率*r*(*x*)为*x*的线性函数，即。自然资源与环境条件所能容纳的最大人口数为，当时增长率，此时可以建立Logistic人口模型[10]:

 (6.1)

其解为:

 (6.2)

式中。上式模型中需要求解出未知参数与，因此需要利用提供的2010~2020年的人口数据对模型参数进行非线性最小二乘拟合，拟合效果如图6-1所示，得到模型如式6.3。



图6-1 Logistic人口模型拟合效果

 (6.3)

利用式6.3的模型预测得到2021~2060年该地区的人口如表6.1，从中不难发现人口变化逐渐趋于地区所能容纳的最大人口。

表6.1 地区人口预测

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 人口(万人) | 年份 | 人口(万人) | 年份 | | 人口(万人) | 年份 | 人口(万人) | 年份 | 人口  (万人) |
| 2021 | 8497.43 | 2029 | 8542.05 | 2037 | 8548.62 | | 2045 | 8549.59 | 2053 | 8549.73 |
| 2022 | 8508.55 | 2030 | 8543.69 | 2038 | 8548.86 | | 2046 | 8549.62 | 2054 | 8549.73 |
| 2023 | 8517.31 | 2031 | 8544.99 | 2039 | 8549.05 | | 2047 | 8549.65 | 2055 | 8549.74 |
| 2024 | 8524.22 | 2032 | 8546.00 | 2040 | 8549.20 | | 2048 | 8549.67 | 2056 | 8549.74 |
| 2025 | 8529.66 | 2033 | 8546.80 | 2041 | 8549.32 | | 2049 | 8549.69 | 2057 | 8549.74 |
| 2026 | 8533.94 | 2034 | 8547.43 | 2042 | 8549.41 | | 2050 | 8549.70 | 2058 | 8549.74 |
| 2027 | 8537.31 | 2035 | 8547.93 | 2043 | 8549.48 | | 2051 | 8549.71 | 2059 | 8549.74 |
| 2028 | 8539.96 | 2036 | 8548.32 | 2044 | 8549.54 | | 2052 | 8549.72 | 2060 | 8549.75 |

#### 6.1.3 经济预测模型建立

地区的经济表现主要体现在区域的生产总值，因此对地区的经济预测可以通过对地区的生产总值预测实现。由于地区的生产总值是一个按年份变化的时间序列，因此自然想到利用时间序列分析对区域的生产总值进行预测，这里采用ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average Model, 自回归差分移动平均模型)模型进行预测。

记为*t*年地区生产总值，为*t*-*p*年地区生产总值，为*t*年与*t*-*q*年地区生产总值间的误差，根据ARIMA模型公式建立其地区经济预测模型如式6.4：



(6.4)

式中c为常数项，为AR（自回归）模型参数，用来描述当前GDP（生产总值）与过去*p*年GDP之间的关系，为MA（移动平均）模型参数，用来描述当前GDP与过去*q*年间GDP的误差关系，为*t*年的GDP误差项。由于利用该模型的前提是处理的时间序列是平稳的，因此当序列尚未处于平稳状态时需要进行差分处理，差分的阶数*d*由实际序列的平稳程度。

从上述模型公式来看，建立该地区GDP的ARIMA模型需要确定3个参数即自回归的长度*p*，移动平均的长度*q*以及差分阶数*d*。本文采用遍历参数法，并利用AIC (Akaike information criterion)与BIC (Bayesian Information Criterion)相结合的方法进行模型评估，综合选取最优的(*p*, *q*, *d*)参数，具体算法框图如图6-2所示。



图6-2 ARIMA最优参数确定算法

根据图6-2的模型参数确定算法对GDP预测模型的参数进行预测，得到的相关参数与结果如表6-2。

表6-2 ARIMA模型参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名称 | 参数值 |
| *p* | 5 |
| *q* | 0 |
| *q* | 2 |
| 最小AIC | -24.9099 |
| 最小BIC | -24.4333 |

利用表6-2中的模型参数对地区GDP进行预测，首先选取70%数据作为训练集，30%数据作为测试集进行预测效果检验，结果如图6-3所示，图中2010至2016年为训练集数据，2018至2020年为测试集数据，不难发现模型预测结果与测试集数据基本一致，因此可以继续利用该模型对2021至2060年的地区GDP进行预测，预测结果如表6-3所示。



图6-3 ARIMA模型GDP预测效果检验

表6-3 2021至2060年地区GDP预测

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | GDP  (亿元) | 年份 | GDP  (亿元) | 年份 | | GDP  (亿元) | 年份 | GDP  (亿元) |
| 2021 | 95582.25 | 2031 | 144308.97 | 2041 | 191931.56 | | 2051 | 238785.09 |
| 2022 | 100082.31 | 2032 | 148954.81 | 2042 | 196882.73 | | 2052 | 243862.57 |
| 2023 | 104848.56 | 2033 | 153679.04 | 2043 | 201658.28 | | 2053 | 248670.38 |
| 2024 | 109398.29 | 2034 | 158296.52 | 2044 | 206533.51 | | 2054 | 253699.60 |
| 2025 | 114140.89 | 2035 | 162701.59 | 2045 | 210977.74 | | 2055 | 258469.10 |
| 2026 | 119134.30 | 2036 | 167448.28 | 2046 | 215540.10 | | 2056 | 263028.32 |
| 2027 | 123977.39 | 2037 | 172042.42 | 2047 | 220071.93 | | 2057 | 267702.65 |
| 2028 | 129188.74 | 2038 | 176852.23 | 2048 | 224459.42 | | 2058 | 271993.27 |
| 2029 | 134259.90 | 2039 | 181911.28 | 2049 | 229248.74 | | 2059 | 276465.97 |
| 2030 | 139222.31 | 2040 | 186772.62 | 2050 | 233917.74 | | 2060 | 280989.19 |

#### 6.1.4 能源消费量预测模型

### 6.2 区域碳排放量预测模型

#### 6.2.1 数据准备

#### 6.2.3 人口预测

#### 6.2.4 各部门GDP预测

#### 6.2.5 各部门各品种能耗和碳排放因子预测

#### 6.2.7 区域碳排放量预测结果

## 模型的评价

## 参考文献

[10] 司守奎, 孙玺菁. Python数学实验与建模[M]. 北京: 科学出版社, 2020.

[11] 木羽Cheney. 时间序列模型(四)：ARIMA模型[EB/OL]. (2023-06-02)[2024-01-14]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/634120397>.

## 附录

### 9.1 问题1代码

### 9.2 问题2代码