

选题： A

论文题目：碳排放预测及减排建议

姓名： 熊梓豪 专业班级： 电信1703班

—

姓名： 李玉洁 专业班级： 电信1703班

—

姓名： 胡旭梅 专业班级： 电信1703班

摘要

随着中国经济的发展，碳排放对全球气候变化的影响受到广泛关注。在此背景下，本文以 2000 年至 2016 年国家统计局数据为参考，综合分析了人口、国民生产总值等五项影响指标，运用熵权法构建了一个碳排放量预测估计模型，以了解中国碳排放的真实情况，并对 2017 年至 2020 年碳排放数据进行预测。最后，将模型结果与实际结合，为中国节能减排提供政策建议。

对问题一，本文根据中国能源统计年鉴数据，给出了 2000 年至 2016 年四种主要能源在中国能源消费结构随时间的占比变化，并对四种能源的贡献和地位进行了分析。其次，计算出 2000 年至 2016 年四种能源在能源消费中的比例增长变化及其散点图，然后，对四种主要能源的变化趋势和运行规律进行精准地分析和总结。最后，我们从经济总值和碳排放总量的角度，对能源消费结构进行研究并给出建议。

对问题二，本文选取总人口、城镇化率、国民生产总值、能源消费结构、产业结构五项因素作为分析碳排放量的评价指标，并整理了从 2000 年至 2016 年五项指标的统计数据。然后，根据熵权法的原理公式，建立了五项指标的赋权模型，和碳排放量的综合评价系数模型。同时，我们将评价系数曲线与实际碳排放曲线进行对比，发现拟合度良好，趋势一致，所以综合评价系数模型能够很好地综合五项指标，并拟合实际碳排放。

其次，本文利用回归分析法对五项指标随时间变化的函数关系进行拟合。然后运用该函数预测五项指标在 2017 年至 2020 年的估计数据，并将结果输入上述综合评价系数模型，得到碳排放预测评价系数，通过评价—碳排放转换比，得出 2000 年至 2020 年中国碳排放量的预测估计数据。最后与实际测量值进行对比，发现曲线基本重合，趋势一致，预测程度良好。

对问题三，本文首先确定五项指标对碳排放量影响的灵敏度，依次将五项指标在 2017 年至 2020 年的预测值，在原始拟合函数的基础上叠加一个较小的减少率，来模拟当政策对指标参数进行干预时碳排放量的影响程度。然后，分别将五项指标的更新预测数据，重新输入问题二的碳排放预测模型，得到各自影响下碳排放的偏离值及五项指标的灵敏度。最后，本文基于上述分析并结合实际，完成一份为中国节能减排提供政策建议的研究报告。

最后，我们通过测试基准年份与评价—碳排放转换比的指标波动，对本文模型的灵敏度进行了分析，并讨论了模型的优缺点评价。

关键词：碳排放 熵权法 回归曲线

一、问题重述

1.1 问题背景

二氧化碳等温室气体排放量的急剧增加被认为是引起全球气候恶化，威胁自然生态环境以及人类生活环境的主要原因。当前，中国成为全球最大的碳排放国家，面临着巨大的减排压力。我国高度重视全球气候变化的问题，并为应对气候变化做了大量减排工作。习近平总书记指出：我们既要绿水青山，也要金山银山。宁要绿水青山，不要金山银山，而且绿水青山就是金山银山。中国要引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者，努力走出一条“低碳发展、低碳经济、低碳消费”，具有中国特色社会主义的绿色生态文明建设新道路。

从可持续发展的角度来看，探索碳排放增长的内在因素，开展碳减排策略的研究，对我国实施碳排放减排政策和低碳经济发展战略具有重要的理论和实际意义。

1.2 问题提出

碳排放核算方法采用联合国提供的 IPCC 方法：

$$C = \sum E_i \times F_i$$

其中， C 为碳排放量， E_i 为各类能源消耗量（煤炭、石油、天然气）， F_i 为能源 i 的碳排放系数，各系数取值如表 1 所示。

能源	煤炭	石油	天然气
碳排放系数	0.7476	0.5825	0.4435

表 1.1 碳能源排放系数

而根据有关文献，碳排放影响因素一般包括：1 人口因素；2 城镇化率；3 经济发展水平；4 人均碳排放量；5 能源消费强度；6 能源消费结构；7 产业结构；8 国际贸易这八种，选取上述影响因素中的一种或多种进行分析，同时结合中国近些年来的一些经济数据（附件一；数据来源：中国统计年鉴及中国能源统计年鉴），解决下列问题：

问题 1. 根据附件 1 数据，以及我国经济发展状况，对我国能源消费结构进行分析。

问题 2. 根据附件 1 中数据确定碳排放量的影响因素，并建立碳排放量预测模型。

问题 3. 根据建立的模型，为中国节能减排提供政策建议。

二、模型假设

（1）对碳排放量的影响因素仅局限于总人口数量、城镇化率、国民生产总值、能源消费结构、产业结构五项指标。

（2）碳排放量不受其他国家或地域的影响，将中国作为一个封闭的体系进行研究。

（3）假设中国的发展情况是稳定的，不存在战争、外交协议等重大事件的发生。

三、符号说明

符号	意义	单位
K_{dem}	总人数	万人
K_{urb}	城镇化率	—
K_{eco}	国民生产总值	亿元
K_{est}	能源消费结构	—
K_{ist}	产业结构	—
C	碳排放总量	万吨
t	时间	年

表 3.1 主要变量符号及其意义

四、模型建立与求解

4.1 问题一的分析与求解

4.1.1 模型的分析

问题一要求根据中国能源统计年鉴数据，对我国 2000 年至 2016 年十七年间的能源消费结构进行分析。为此，我们可以先给出煤炭、石油、天然气和一次电力这四种主要能源在中国能源消费结构随时间变化的占比面积统计图，并依此进行分析。其次，我们可以计算出 2000 年至 2016 年四种能源在总能源消费中比例增长变化及其散点统计图，于是我们可以较为精准地对中国能源消费结构的总体变化趋势和运行规律，进行分析和总结。最后，我们从经济总值和碳排放总量的角度，对能源消费结构进行研究并给出建议。

4.1.2 模型的建立与求解

首先，我们给出四种主要能源从 2000 年至 2016 年，在总能源消费结构所占的百分比，如图 4.1 所示^[1]。

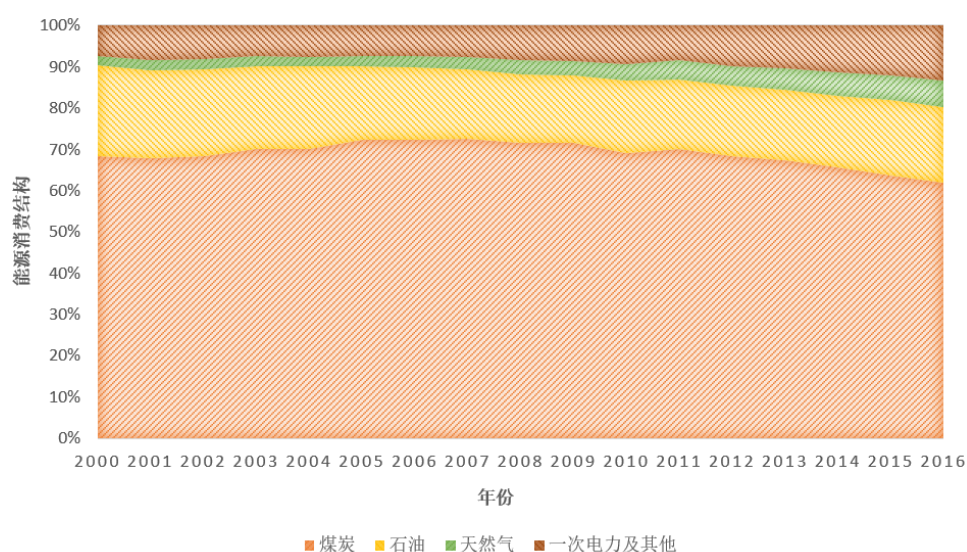


图 4.1 能源消费结构

由统计分析可知，传统的煤炭资源在我国能源消费结构中占据主导地位，稳定在 60%至 70%之间。其次石油资源对能源消费也占有一定的贡献，约为 20%左右。同时，天然气、一次电力能源虽然在总能源消费的所占比例较小，但其比重在逐年稳步上升。

其次，我们统计出各能源 17 年中在能源消费结构比例增长变化，如表 4.1 所示。

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
煤炭	-0.5	0.5	1.7	0	2.2	0	0.1	-1	0.1	-2.4	1	-1.7	-1.1	-1.8	-1.9	-1.7
石油	-0.8	-0.2	-0.9	-0.2	-2.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	1	-0.6	0.2	0.1	0.3	0.9	0
天然气	0.2	-0.1	0	0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.1	0.5	0.6	0.2	0.5	0.4	0.2	0.5
其他	1.1	-0.2	-0.8	0.2	-0.2	0	0.1	0.9	0.1	0.9	-1	1.3	0.5	1.1	0.8	1.2

表 4.1 四种能源历年在总能源消费中比例增长变化

与其对应的散点图如图 4.2 所示。

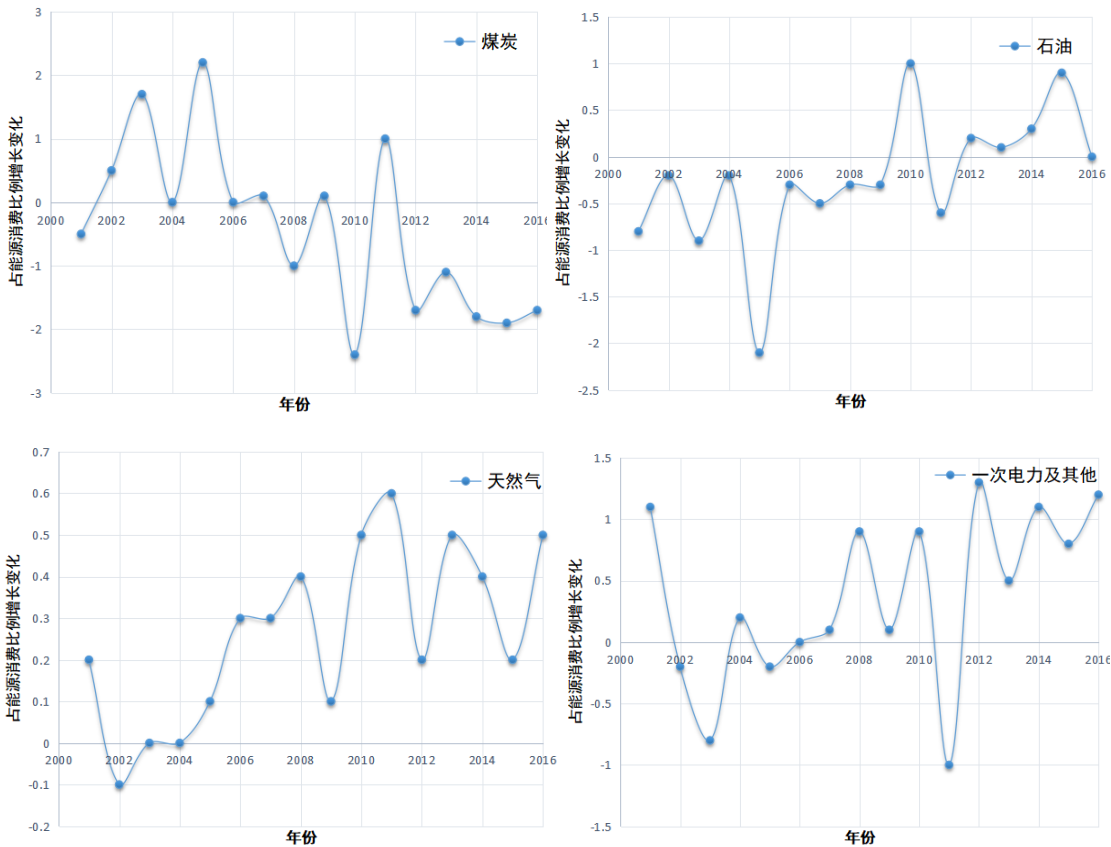


图 4.2 四种能源历年在总能源消费中比例增长变化

从图 4.2 我们可以分析，虽然四种能源的比例增长曲线波动较大，但其总体变化趋势已经鲜明地体现出来。对于煤炭资源，在 2002 年至 2007 年，其比例增长曲线均位于上半轴，即煤炭在能源消费结构中的占比逐年上升，而在 2008 年至 2016 年，其比例增长曲线均位于下半轴，即煤炭在能源消费结构中的占比逐年减少。且在 2013 至 2016 年，减少比例稳定在 2%左右。

同样的，石油资源在总能源消费结构中所占的比例，于 2000 年至 2009 年逐年下降，而在 2010 年至 2016 年则逐年上升。天然气资源于能源消费结构中的占比，在 2000 年至 2016 年的十七年间均呈现上升的趋势，且其增长比例位置在 2%至 6%之间。一次电力资源同天然气一样，在 2000 年至 2016 年逐年上升，且增长比例稳定在 1%左右。

最后，我们统计并给出了 2000 年至 2016 年间国民生产总值 GDP 及碳排放总量的变化曲线，如图 4.3 所示。

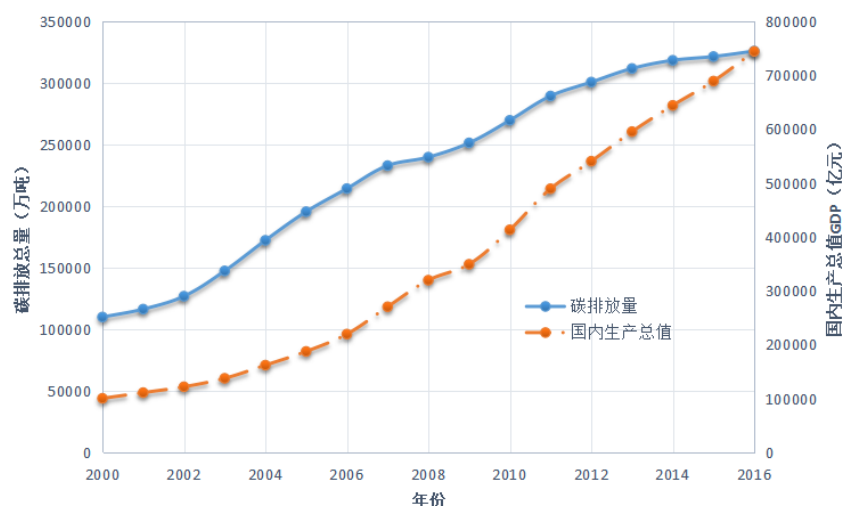


图 4.3 2000 年至 2016 年间国民生产总值及碳排放量变化曲线

由图可知，中国有着令人印象深刻的持续而高速的经济增长，在 2000 年至 2016 年之间，增长率平均每年超过 10%，甚至在 2006-2007 年达到 23%，十七年间中国国民生产总值翻了 7.5 倍。与此同时，这种高速的增长也发生在中国对能源消费的需求上，碳排放总量同经济增长曲线一道，大幅上升，从 2000 年的 109870.2864 万吨增长到了 325818.2844 万吨。

中国对能源消费的极大需求，势必分摊在对四种主要能源的消费上，而煤炭资源消费所占比重过高将给环境和碳排放总量带来诸多不利的影响。因此，正如上述我们得到的模型结果，中国在能源消费结构分配上，尽可能减少煤炭等化石资源的大量使用与消费，而尽力增加诸如天然气、一次电力等清洁能源的利用，以减缓经济增长对环境生态与大气碳排放所造成的伤害。

4.2 问题二的分析与求解

4.2.1 模型的分析

为了建立碳排放量预测模型。我们选取了总人口数量、城镇化率、国民生产总值、能源消费结构、产业结构共五项影响碳排放量的评价指标，整理、计算并给出从 2000 年至 2016 年五项指标的统计数据。然后，我们根据熵权法的原理公式，得出了五项指标的权值计算模型，同时得到了对碳排放量的综合评价系数模型。我们将评价系数曲线与实际碳排放曲线，相互比较，发现其拟合度良好，趋势一致，故熵权法模型能够很好的综合五项指标，准确地拟合它们与碳排放之间的联系，并对碳排放的变化趋势进行预测模拟。

其次，我们通过回归曲线对五项指标随时间变化的关系进行拟合，在决定系数趋近于 1 的情况下，非常准确的得到了它们与的时间的函数关系。然后对 2017 年至 2020 年五项指标的数据值进行了预测，并将其输入了上述的熵权法模型，得到碳排放综合评价系数，通过评价—碳排放转换比，得出了 2000 年至 2020 年，中国碳排放量的预测估计数据。最后我们与实际测量值进行对比，曲线基本重合，趋势一致，预测程度良好。于是我们达到并完成了问题二的建模目标。

4.2.2 模型一——碳排放量影响模型

碳排放量的影响评价模型是一个涉及经济、社会、政治多方面的复杂问题，为了抽象、简化模型，本文将基于①总人口数量、②城镇化率、③国民生产总值、④能源消费结构、⑤产业结构，这五个主要影响因素作为分析指标，对其进行研究。

我们整理、计算并给出了，从 2000 年至 2016 年这五项碳排放影响指标的统计数据，如表 4.2 所示。

年份	总人口	城镇化率	生产总值	能源结构	产业结构
2000	126743	0.3622	100280	68.5	0.4554
2001	127627	0.3766	110864	68.0	0.4479
2002	128453	0.3909	121718	68.5	0.4445
2003	129227	0.4053	137421	70.2	0.4562
2004	129988	0.4176	161840	70.2	0.459
2005	130756	0.4299	187319	72.4	0.4702
2006	131448	0.4434	219439	72.4	0.4756
2007	132129	0.4589	270233	72.5	0.4686
2008	132802	0.4699	319516	71.5	0.4693
2009	133450	0.4834	349082	71.6	0.4588
2010	134091	0.4995	413031	69.2	0.464
2011	134735	0.5127	489301	70.2	0.464
2012	135404	0.5257	540367	68.5	0.4527
2013	136072	0.5373	595244	67.4	0.4401
2014	136782	0.5477	643975	65.6	0.431
2015	137462	0.561	689052	63.7	0.4093
2016	138271	0.5735	744128	62.0	0.3981

表 4.2 2000 年至 2016 年八项碳排放影响指标的统计数据

4.2.3 模型二——基于熵权法的权重模型 (EWM)

由于目前指标的量纲并不统一，我们首先需要对指标进行归一化处理，并确定各指标的权值系数。本文采用基于相关系数的熵权法模型来解决这一问题。具体算法如图 4.4 所示：

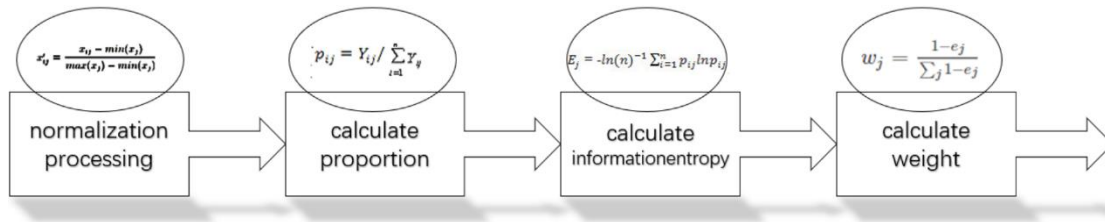


图 4.4 熵权法流程图

选取影响碳排放量的五个指标数据，我们首先得到矩阵如下：

$$x_{ij} = \begin{matrix} index I_1 \\ index I_2 \\ \vdots \\ index I_m \end{matrix} \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

步骤一：对于各个不同的指标，我们对其进行归一化处理，有：
正向指标：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (2)$$

负向指标：

$$x'_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (3)$$

并得到五项指标的归一化矩阵，如下表 4.3 所示

年份	总人口	城镇化率	生产总值	能源结构	产业结构
2000	0	0	0	0.0549	0.0639
2001	0.0088	0.0078	0.0024	0.0507	0.0555
2002	0.017	0.0156	0.0049	0.0549	0.0517
2003	0.0246	0.0234	0.0085	0.0693	0.0648
2004	0.0322	0.0301	0.014	0.0693	0.0679
2005	0.0398	0.0368	0.0198	0.0878	0.0804
2006	0.0467	0.0442	0.0272	0.0878	0.0864
2007	0.0534	0.0526	0.0387	0.0887	0.0786
2008	0.0601	0.0586	0.05	0.0802	0.0794
2009	0.0665	0.0659	0.0567	0.0811	0.0677
2010	0.0729	0.0747	0.0713	0.0608	0.0735
2011	0.0793	0.0819	0.0887	0.0693	0.0735
2012	0.0859	0.089	0.1003	0.0549	0.0609
2013	0.0925	0.0953	0.1128	0.0456	0.0468
2014	0.0996	0.1009	0.1239	0.0304	0.0367
2015	0.1063	0.1082	0.1342	0.0144	0.0125
2016	0.1144	0.115	0.1467	0	0

表 4.3 归一化矩阵

步骤二：计算第 j 项指标下第 i 年占该指标的比重 p_{ij} ，以及第 j 项指标的信息熵值 e_{ij} ；

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}} \tag{4}$$

$$e = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \tag{5}$$

步骤三：计算信息熵冗余度：

$$d_j = 1 - e_j$$

步骤四：计算各项指标的权值，与碳排放总量的综合得分：

$$w_j = d_j \sum_{j=1}^m d_{ij} \tag{6}$$

$$F = \sum_{j=1}^m w_j \cdot p_{ij} \tag{7}$$

根据上述熵权法模型，可以得到最终五项指标的权值系数 w_j 和碳排放总量的综合价值评分，如表表 4. 4、表 4. 5 所示。由于相关熵与权重成正比，所以最终确定的权重与修正模型中的熵有很好的正相关关系。

碳排放影响因素	权重值
人口因素	0.1106
城镇化率	0.1181
经济发展水平	0.2073
人均碳排放量	0.1260
能源消费强度	0.1560
能源消费结构	0.0665
产业结构	0.0612
国际贸易	0.1543

表 4. 4 不同碳排放影响因素权值

年份	综合评价系数	年份	综合评价系数
2000	0.1524	2009	0.5683
2001	0.1716	2010	0.6123
2002	0.2068	2011	0.6914
2003	0.2785	2012	0.7102
2004	0.3215	2013	0.7348
2005	0.4015	2014	0.7524
2006	0.4526	2015	0.7515
2007	0.5001	2016	0.7747
2008	0.5405		

表 4. 5 法解得的碳排放综合评价系数

同时，我们绘制出碳排放综合评价系数与实际测量值的组合散点统计图，如图 4.5 所示。

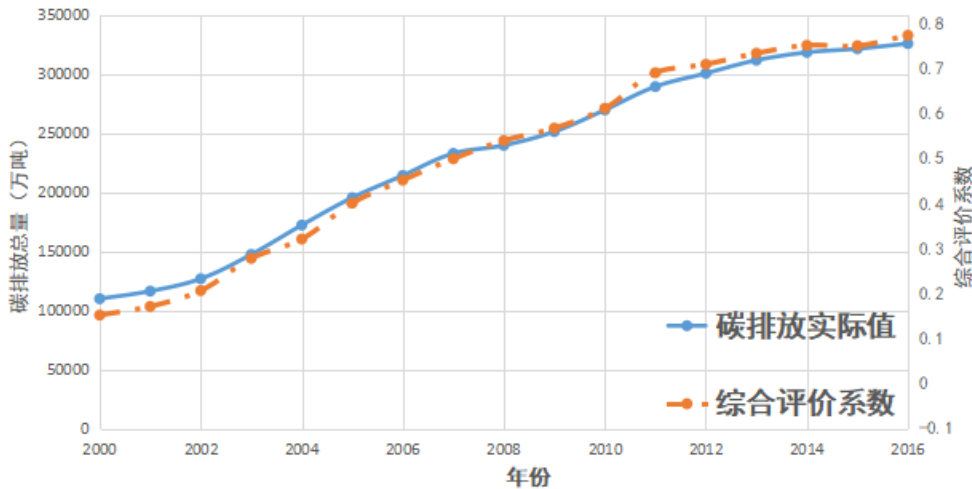


图 4.5 碳排放综合评价系数与实际测量值曲线

从上述散点图我们可以看出，熵权法求得的综合评价系数曲线与实际碳排放量测量值曲线之间，趋势基本一致，曲线基本重合，拟合度良好，可见基于熵权法的权重模型能够很好的整合各项影响指标，准确地反映及预测出碳排放量的变化趋势。

4.2.4 模型三——碳排放量预测模型

① 2000 年至 2016 年总人口与时间的关系

首先，我们根据表 4.2 中数据绘制出了 2000 年至 2016 年总人口数量随时间变化的散点图，如图 4.6 所示。

同时，我们对数据进行拟合，得出线性拟合方程 $K_{dem} = 699.7t - 1272316$ ，与其决定系数 $R^2 = 0.9985 > 0.99$ ，趋近于 1，故拟合度较好。

综上所述，可知总人口数量 K_{dem} 与时间 t 的函数关系式为：

$$K_{dem} = 699.7t - 1272316 \tag{8}$$

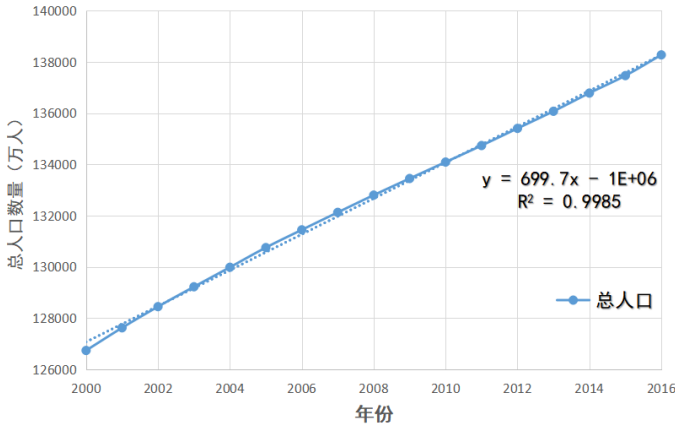


图 4.6 总人口回归曲线

② 2000 年至 2016 年城镇化率与时间的关系

同样的，我们可以利用上述方法，得到城镇化率随时间变化的线性回归曲线拟合统计图，如图 4.7 所示。

城镇化率的拟合曲线模型为：

$$K_{urb} = 0.0132t - 26.104 \quad (9)$$

其决定系数 $R^2 = 0.9993 > 0.99$ ，接近于 1，可见拟合度较好。

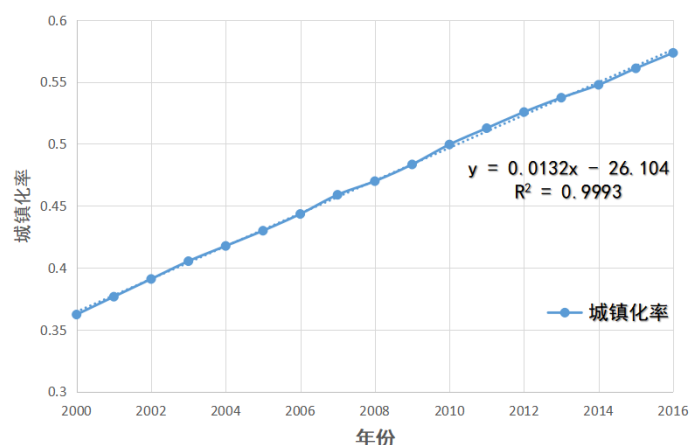


图 4.7 城镇化率回归曲线

③ 2000 年至 2016 年国民生产总值与时间的关系

国民生产总值的二次回归曲线拟合图，如图 4.8 所示。可以看出散点分布在曲线两侧，一元二次曲线能很好地拟合散点图，并反映出国民生产总值递增的趋势。

国民生产总值与时间的二次拟合曲线模型为：

$$K_{eco} = 1724.2t^2 - 88159t + 6866353814 \quad (10)$$

其决定系数 $R^2 = 0.9947 > 0.99$ ，趋近于 1，故拟合度较好。

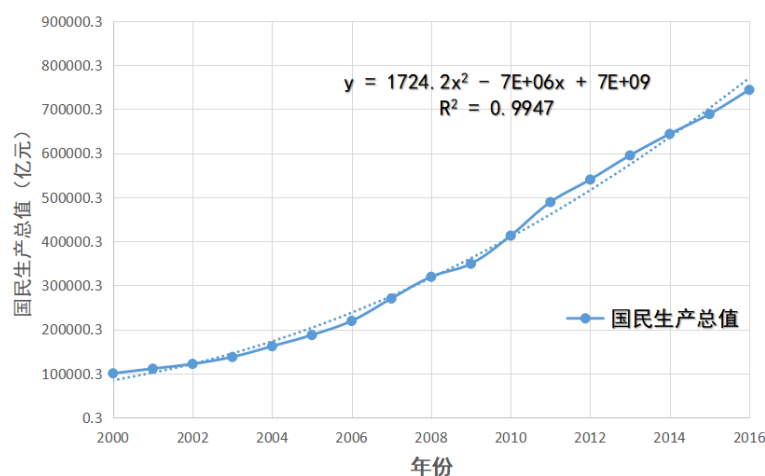


图 4.8 国民生产总值回归曲线

④ 2000 年至 2016 年能源消费结构与时间的关系

能源消费结构的二次拟合曲线模型为：

$$K_{est} = -0.1099t^2 + 440.85t - 442212 \quad (11)$$

其决定系数 $R^2 = 0.9452 > 0.9$ ，趋近于 1，故拟合度较好。

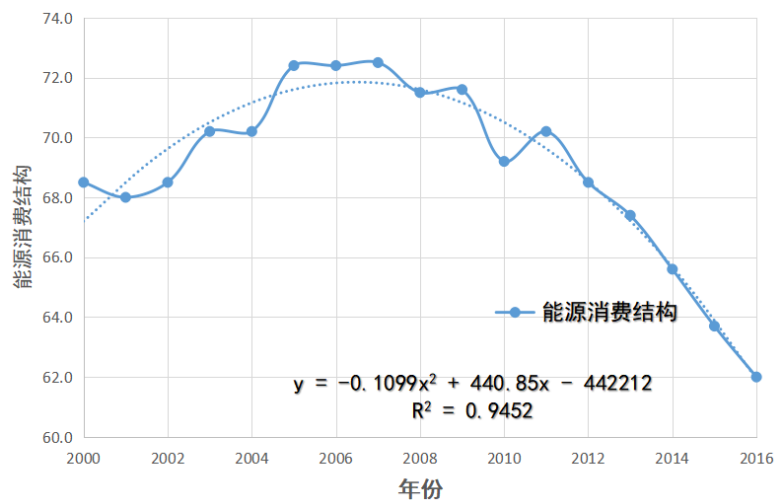


图 4.9 能源消费结构回归曲线

⑤ 2000 年至 2016 年能产业结构与时间的关系

产业结构的二次拟合曲线为：

$$K_{ist} = -4.732 \times 10^{-5}t^3 + 0.284t^2 - 569.391t + 380121.325 \quad (12)$$

其决定系数 $R^2 = 0.9428 > 0.9$ ，趋近于 1，故拟合度良好。

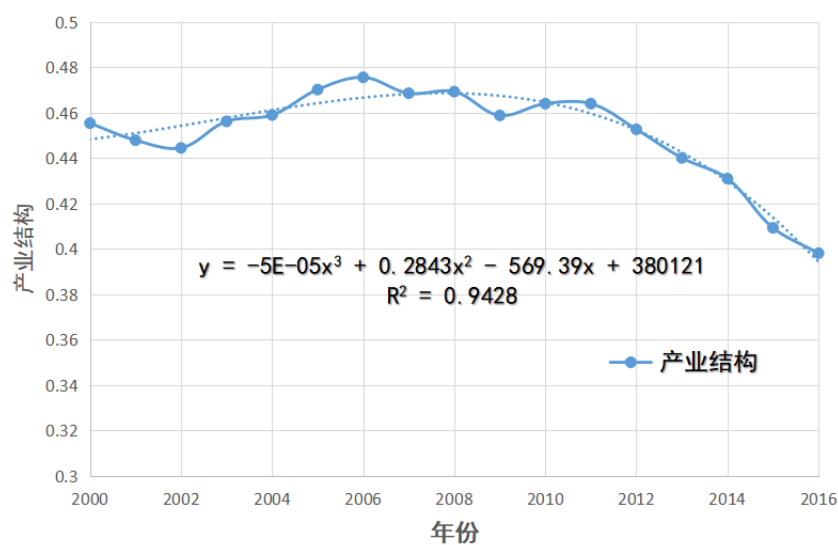


图 4.10 产业结构回归曲线

综上所述，得到影响碳排放总量的五项指标随时间变化的函数关系如下：

$$\begin{cases} K_{dem} = 699.7t - 1272316 \\ K_{urb} = 0.0132t - 26.104 \\ K_{eco} = 1724.2t^2 - 88159t + 6866353814 \\ K_{est} = -0.1099t^2 + 440.85t - 442212 \\ K_{ist} = -4.732 \times 10^{-5}t^3 + 0.284t^2 - 569.391t + 380121.325 \end{cases} \quad (13)$$

其中 $2000 \leq t \leq 2016$ 。

⑥ 对五项指标在 2017 年至 2020 年进行模型预测

我们基于上述求得五项指标关于时间的变化函数，对其在 2017 年至 2020 年的数据值进行预测，所得结果如表 4.6 所示。

年份	总人口	城镇化率	国民生产总值	能源消费结构	产业结构
2017	138978.9	0.5894	842861.97	59.8279	0.3713
2018	139678.6	0.6027	918531.24	57.4118	0.3441
2019	140378.3	0.6159	997648.96	54.7760	0.3126
2020	141078	0.6291	1080215.13	51.9205	0.2765

表 4.6 五项指标在 2017 年至 2020 年的预测数据

⑦ 对碳排放量在 2017 年至 2020 年进行模型预测

其次，我们将五项指标在 2000 年至 2016 年的实际测量值，与 2017 年至 2020 年的预测估计值加以结合，整合为一组数据，并输入上述模型二的基于熵权法的权重模型进行求解，得到碳排放量预测评价系数如表 4.7 所示。

然后，我们以 2010 年的实际碳排放量作为数据基准点，计算出由熵权法得到的综合评价系数与碳排放量之间的转换比 $\alpha = 520148.2112$ 。由此我们可以得出 2000 年至 2020 年碳排放量的预测数据，如表 4.7 所示。

年份	碳排放实际值	碳排放预测值	预测评价系数
2000	109870.2864	96588.0776	0.1877
2001	116286.9372	106119.5485	0.2062
2002	126775.7652	119747.456	0.2327
2003	147339.2508	143592.9502	0.2790
2004	172158.0756	159776.9082	0.3104
2005	195399.4644	185841.553	0.3611
2006	214162.7292	204597.5204	0.3975
2007	232834.0392	222875.1148	0.4330
2008	239688.7836	239109.9593	0.4646
2009	251287.7976	250766.9115	0.4872
2010	269620.4448	269620.4449	0.5239
2011	289353.3468	297102.234	0.5772
2012	300638.3688	307538.7129	0.5975
2013	311684.1588	319293.7952	0.6204
2014	318332.5656	329153.7623	0.6395
2015	321396.978	333760.9887	0.6485
2016	325818.2844	345805.7073	0.6719
2017	——	365890.0643	0.7109
2018	——	377332.2815	0.7331
2019	——	388223.2564	0.7543
2020	——	398562.9907	0.7744

表 4.7 碳排放在 2000 年至 2020 年的实际与预测数据

同时，我们可以绘制出碳排放量预测估计数据与实际测量值的散点统计图，如图 4.11 所示。

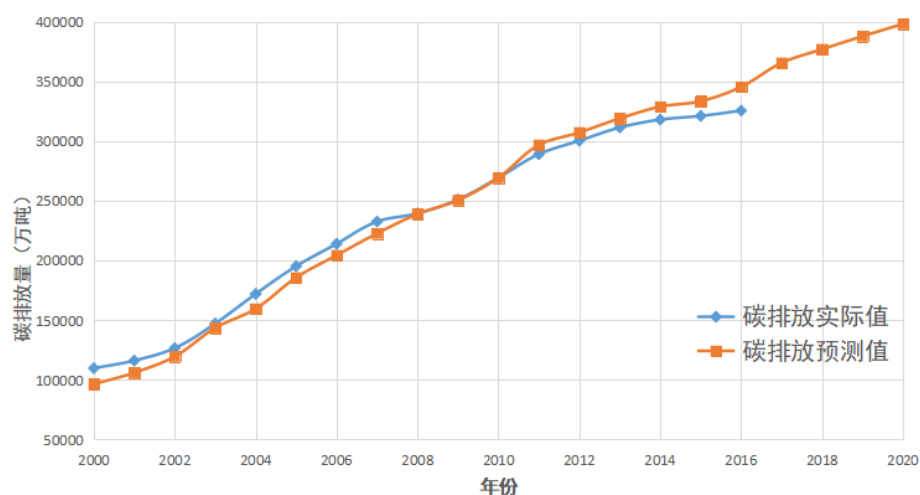


图 4.11 碳排放在 2000 年至 2020 年的实际与预测曲线

根据上述模型结果及统计图表，我们可以分析，在 2000 年至 2016 年的十七年间，碳排放量实际测量曲线与我们模型求解得出的预测估计曲线之间，拟合程度较好，基本能够准确的反映出实际碳排放曲线的波动变化趋势及总体运行规律。并且，从 2017 年至 2020 年，我们构建的预测估计模型也很好的给出了未来四年间碳排放量可能的预测数据值。达到并完成了问题二的建模目标。

4.3 问题三的分析与求解

4.3.1 模型的分析

问题三要求基于对问题二预测模型的研究，为中国节能减排提供政策建议。我们通过确定五项指标对碳排放量影响的灵敏度来进行分析，依次对五项指标从 2017 年至 2020 年的预测值，在原始拟合函数的基础上叠加一个较小的减少率，分别为 1%、0.5%、0.1%，来模拟当政策对参数进行干预时，对碳排放量的影响程度。然后，我们分别将五项指标的更新预测数据，重新输入问题二的熵权法估计模型进行求解计算，得到各自影响下的碳排放预测值与指标灵敏度。最后我们基于上述分析并结合实际，做出一份为中国节能减排提供政策建议的研究报告。

4.3.2 模型的建立与求解

为了确定五项指标波动变化对碳排放量影响的灵敏度，达到为中国节能减排提供政策建议的建模目的。本文首先继承了由问题二碳排放预测模型得到的，五项指标从 2017 年至 2020 年的预测估计数据，并保持不变。

然后，我们依次对五项指标从 2017 年至 2020 年的预测值，在原始拟合函数估计的基础上叠加一个较小的减少率，分别为 1%、0.5%、0.1%，其中由于五项影响参数均为正向指标，所以我们假设它们依次逐年按百分比递减，来模拟当政策对参数进行干预时，对碳排放量的影响程度。

最后，我们将得到的最新对五项指标的预测估计数据，重新输入问题二的基于熵权法的权重模型进行求解计算，得到各自影响下的碳排放预测值，如表 4.8 所示。

年份		2016	2017	2018	2019	2020
总人口	1%	325818.28	335354.28	346253.28	356542.6	366317.62
	0.5%	325818.28	340113.64	350926.28	361198.22	370952.75
	0.1%	325818.28	343824.8	354607.82	364870.88	374614.9
	原始	325818.28	344741.77	355522.64	365784.12	375526.22
城镇化率	1%	325818.28	342581.78	353342.09	363572.87	373285.36
	0.5%	325818.28	343664.88	354429.96	364675.94	374403.03
	0.1%	325818.28	344526.88	355303.71	365562.06	375301.12
	原始	325818.28	344741.77	355522.64	365784.12	375526.22
生产总值	1%	325818.28	343423.03	354083.3	364258.62	373911.84
	0.5%	325818.28	344083.45	354800.72	365018.83	374716.26
	0.1%	325818.28	344610.28	355377.89	365630.65	375363.78
	原始	325818.28	344741.77	355522.64	365784.12	375526.22

能源结构	1%	325818.28	343162.67	354076.14	364469.92	374360.26
	0.5%	325818.28	343946.18	354790.91	365120.45	374938.68
	0.1%	325818.28	344581.64	355374.89	365650.3	375407.97
	原始	325818.28	344741.77	355522.64	365784.12	375526.22
产业结构	1%	325818.28	343222.87	354120.65	364515.26	374406.03
	0.5%	325818.28	343976.36	354813.35	365143.23	374961.64
	0.1%	325818.28	344587.69	355379.41	365654.87	375412.57
	原始	325818.28	344741.77	355522.64	365784.12	375526.22

表 4.8 2017 年至 2020 年五项指标按百分比递减下的碳排放量预测数据

年份 1% 0.50% 0.10%					年份 1% 0.50% 0.10%				
总人口	2017	9387.49	4628.14	916.97	能源结构	2017	1579.1	795.6	160.13
	2018	9269.35	4596.36	914.82		2018	1446.49	731.73	147.74
	2019	9241.52	4585.9	913.24		2019	1314.19	663.67	133.82
	2020	9208.6	4573.47	911.32		2020	1165.96	587.53	118.25
城镇化率	2017	2159.99	1076.9	214.9	产业结构	2017	1518.9	765.41	154.08
	2018	2180.55	1092.68	218.93		2018	1401.99	709.29	143.23
	2019	2211.25	1108.17	222.06		2019	1268.85	640.89	129.24
	2020	2240.86	1123.19	225.1		2020	1120.19	564.58	113.65
生产总值	2017	1318.75	658.33	131.5		2017			
	2018	1439.34	721.92	144.74		2018			
	2019	1525.49	765.29	153.47		2019			
	2020	1614.38	809.96	162.44		2020			

表 4.9 2017 年至 2020 年五项指碳排放与原始值差值数据

同时，我们分别绘制出从 2017 年至 2020 年，五项指标分别按 1%、0.5%、0.1%干预下的碳排放量预测数据的散点统计图，和与原始拟合函数预测数据相减后的差值曲线散点统计图，如图 4.12-4.17 所示。

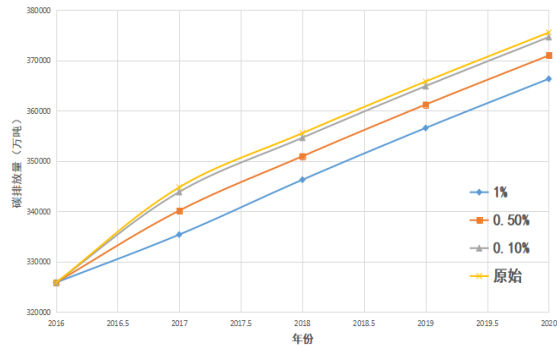


图 4.12 总人口波动下碳排放预测曲线

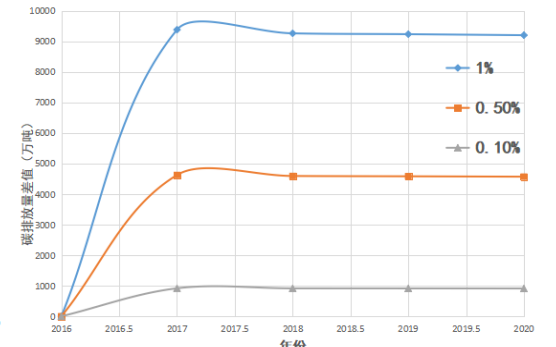


图 4.13 总人口碳排放差值曲线

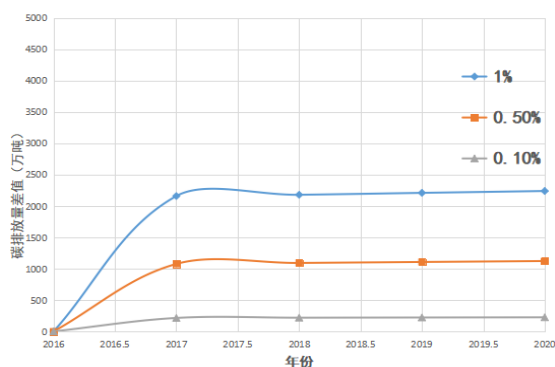


图 4.14 城镇化率碳排放差值曲线

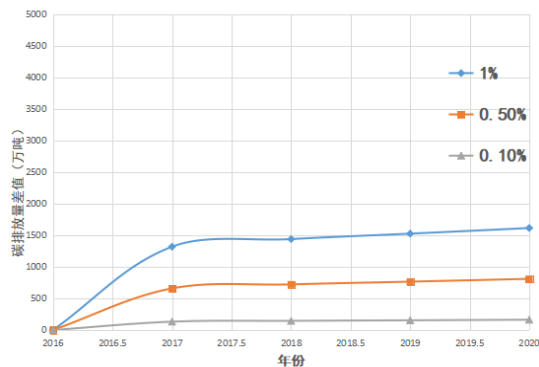


图 4.15 国民生产总值碳排放差值曲线

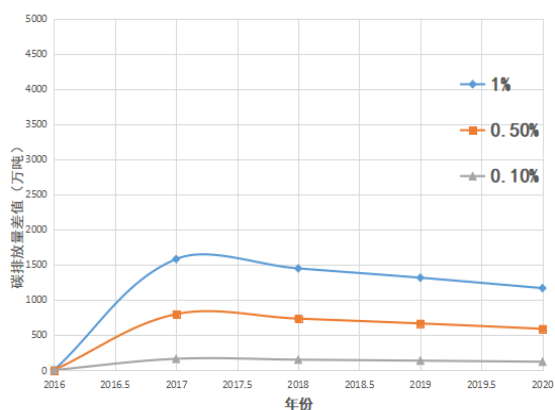


图 4.16 能源消费结构碳排放差值曲线

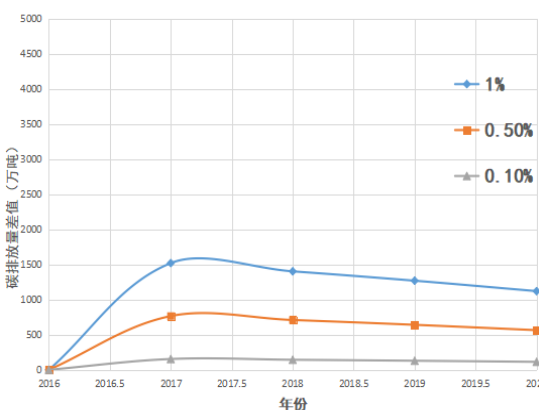


图 4.17 产业结构碳排放差值曲线

由上述统计图表我们可以进行分析，因为中国总人口的基数较大，所以当我们对总人口指标进行灵敏度估计时，其表现出来对碳排放量的影响也是最大的。因此中国对人口进行干预的计划生育政策，和提倡每个人低碳生活的宣传，能够很好的帮助中国进行节能减排。

其次，对国民生产总值在基数极大的情况下，进行灵敏度估计时，表现出来对碳排放量的影响却是最小的，同时国民生产总值是对于一个国家和人民的经济、生活、社会稳定关键根基，所以对一个国家经济发展的管控是不现实、不理智、也是没有意义的。

第三，我们对城镇化率进行灵敏度分析，可知其对碳排放量有一定的影响，且在长期内影响有增加的趋势，不过中国进行城镇化改革也是正在进行的国策之一，所以我们可以对城市就行碳排放就行的合理的整治，对其市民就行低碳、环保的宣传和教育，以达到对中国节能减排的目标。

最后，当我们对能源消费结构和产业结构就行政策干预时，碳排放量表现出缓解的趋势。因此，我们可以通过制定合理的政策，对中国的能源消费就行优化，正如《中国国民经济十二年纲要》中提出，2015 年中国要降低传统化石能源在能源消耗的比例至 11.4%，并承诺非化石类能源占一次能源消费比重将达到 15%左右。并且，对产业结构的优化，提升服务业等产业在经济结构上的占比，对第二产业在低碳、环保上的管制等，也是未来必行的趋势。

五、模型灵敏度检测

我们通过测试基准年份和评价一碳排放转换比的波动来检验模型的灵敏度。我们将基准年份从 2010 改为 2011，输入问题二碳排放预测模型进行分析，发现在对其进行调整后，碳排放预测估计值出现了一定的波动，但变化值较小，故不会影响我们的模型结果。具体数据，如下表所示。

原始评一碳转换比	调整后评一碳转换比	碳排放预测量波动比率
514686.61	501262.78	0.26%

表 5.1 灵敏度检测

六、模型的评价

6.1 模型的优点

(1) 我们的论文图表较多，数据明确，所有计算结果均用统计图展现，可视化程度较强，让读者清晰易懂。

(2) 运用多种数学软件（如 Matlab、Excel），取长补短，使计算结果更加准确。

(3) 本文建立的模型与实际紧密联系，充分考虑现实情况的不同阶段，从而使模型贴近实际，通用性强。

6.1 模型的缺点

(1) 对数据处理时具有一定的误差。

(2) 模型中为了使问题抽象、简化，忽略了一些次要的因素，只选取了五个影响碳排放的指标进行建模分析，可能不够全面。

参考文献

- [1] 管卫华, 顾朝林, 林振山. 中国能源消费结构的变动规律研究[A]. 自然资源学报, 2006(5): 1000-3037.
- [2] 杨桂元, 朱家明. 数学建模竞赛优秀论文评析[M]. 安徽: 中国科技大学出版社, 2018.
- [3] 牛晓耕, 王海兰. 黑龙江省能源消费结构与碳排放关系的实证分析[A]. 财经问题研究, 2011(8): 1000-176X.
- [4] 胡维西, 王鑫鑫, 李方磊, 高少辉. 碳排放约束下的江苏省煤炭消费量预测[A]. 能源与节能, 2012(10): 2095-0802.