

“绿色”GDP，绿色地球

**摘要：**“绿色”GDP 的概念是应对气候变化日益严重影响的众多解决方案中的一个创新方案。GGDP 成功地将国家可持续发展与全球减缓气候变化和环境治理紧密结合起来。

Task1:根据 SEEA 和相关文献，GGDP 定义为 GDP 减去空气污染成本、废物利用成本和资源消耗成本。将 46 个国家的数据代入计算，得到 2020 年各国 GGDP 占 GDP 的比例(RGG)。数值越大，说明经济越绿色。研究发现，发达国家的 RGG 普遍较高，其次是大多数发展中国家，资源出口国的 RGG 最低。

Task2:参照历年国际重大事件对二氧化碳排放的影响，估算 GGDP 对污染指标的影响并计算结果。结果表明，2040 年全球平均 RGG 由 0.9784 增加到 0.9881。本文考虑了三个气候指标，即温度、污染和生态系统平衡。然后，通过三级模糊综合评价，计算出三个指标上的世界得分。结果表明，采用 GGDP 后，2040 年的得分由正常情况下的 (0.2534,0.7591,0.03802) 上升至 0.7139,1.2795,0.3846，表明对气候减缓有积极影响。

Task3:从空间和时间两个维度分析 GGDP 的可行性。在空间维度上，运用博弈论模拟不同国家的利润分配过程。结果表明，所有最初反对 GGDP 的国家最终都在 15 年内接受了该标准。在时间维度上对不同发展模式进行了定量分析。采用 GGDP 的第 20 年创造的收入超过了传统 gdp，在随后的 40 年里，全球新增收入 51.6 万亿美元。

Task4:我们认为澳大利亚是 GGDP 的采用者。首先，运用 PVAR 对澳大利亚的产业结构进行分析。得出的结论是，第三产业对经济的贡献率约为 47.27%，高于第二产业的 21.07%，表明澳大利亚的产业转型将对其产生相对积极的带动作用。然后，将澳大利亚与德国进行比较，我们发现澳大利亚的垃圾利用率低，垃圾填埋率高。最后，我们为澳大利亚量身定制政策，帮助该国经济健康度快速提升。

Task5:从上面的分析，很明显，采用 GGDP 在澳大利亚是必要的。从经济发展、环境治理和废物利用三个角度向领导人提出建议。

最后，对模型进行敏感性分析，验证模型的稳定性，并对模型的优缺点进行分析。

**关键词:**模糊综合评价，时空分析，博弈论，PVAR

目录

“绿色”GDP，绿色地球..... 1

1 介绍.....4

    1.1 背景.....4

    1.2 问题的重述.....4

    1.3 我们的工作.....4

2 模型准备.....5

    2.1 假设和证明.....5

    2.2 术语表.....5

3 任务 1:GGDP——一个观察经济的环境棱镜..... 5

    3.1 污染指标的选取.....6

    3.2 GGDP 的计算.....6

    3.3 GGDP 计算结果.....7

4 任务 2:采用 GGDP 的全球气候减缓..... 7

    4.1 预测 GGDP 变化.....7

        4.1.1  $C_p, C_w$ ，采用  $r$  GGDP 后的变化。..... 7

        4.1.2 RGG 的变化..... 8

    4.2 气候改善模糊综合评价模型.....8

        4.2.1 确定气候的主要指标.....8

        4.2.2 求解国家对  $i$  保护等级的隶属关系.....9

        4.2.3 确定世界对  $B$  的防护水平..... 10

        4.2.4 结果分析..... 10

5 任务 3:是时候做出正确的选择了..... 11

    5.1 博弈的空间维度.....11

        5.1.1 博弈参与者.....11

        5.1.2 游戏规则.....11

        5.1.3 游戏开始.....12

    5.2 时间维度上的权衡..... 13

        5.2.1 效益计算.....13

        5.2.2 变化因素.....14

        5.2.3 结果的列报.....14

6 任务 4:根据 GGDP 标准对澳大利亚的经济健康状况进行诊断.....15

    6.1 产业转型，减少资源过度开采.....15

        6.1.1 利用 PVAR 分析产业对经济的贡献.....15

        6.1.2 结果分析.....18

6.2 废物再利用 ..... 18

6.3 政策建议 ..... 19

7 模式评价与进一步探讨 ..... 19

7.1 敏感性分析 ..... 19

7.2 模型强度 ..... 20

7.3 模型的弱点 ..... 20

给澳大利亚政府的文件 ..... 21

References .....21

# 1 介绍

## 1.1 背景

想象一下，一幅世界地图摆在我们眼前，我们脑海中浮现的不是犹他州精巧的拱门，也不是坦桑尼亚的乞力马扎罗山，更不是澳大利亚绚烂的大堡礁;而是肆虐美国的飓风，粮食减产导致的非洲饥荒，以及太平洋上即将被海水淹没的图瓦卢。如果我们不采取行动，气候危机带来的灾难正在一步步摧毁人类创造的文明。在此背景下，提出了一个新的国民经济指标，一个超越 GDP 的新指标——“绿色”GDP，可能成为一个更符合当前背景的宏观经济指标。新指标隐含着国家人类发展的新方向，包括可持续发展和环境保护的理念。然而，这种变化也可能给多边关系带来复杂性，GGDP 是否是最合适的选择，这是一个值得思考的问题。

## 1.2 问题的重述

考虑到问题陈述中确定的背景信息和约束条件，我们需要解决以下任务：

- 1.选取并分析了已开发的一种 GGDP 计算方法。
- 2.采用模型预测了 GGDP 对全球气候减缓的影响。
- 3.比较采用 GGDP 的利弊，讨论是否值得转换。
- 4.对选定国家采用 GGDP 的影响进行深入分析。
- 5.就是否采用 GGDP 向选定国家的领导人提出建议。

## 1.3 我们的工作

对于 Task 1，我们回顾了关于 GGDP 计算方法的文献，选择了 Mijo Mirković 博士提出的关于环境污染产生的社会成本影响的计算方法。这种方法既考虑了损害成本，也考虑了治疗成本，可以更全面地核算一个国家的经济健康状况。

在 Task 2 中，我们对政治事件对政策产生影响的情况下的 GGDP 进行了综合预测。并将预测结果应用于模糊综合评价模型，在全球尺度上衡量采用 GGDP 对世界气候的影响。

在 Task 3 中，我们运用博弈论和预测分析，分别从空间和时间两个维度比较了采用 GGDP 和不采用 GGDP 的利弊，得出了采用 GGDP 的必要性。

在 Task 4 中，我们选择澳大利亚作为 GGDP 的试点国家。我们首先从 GGDP 的计算视角出发，运用 PVAR 对澳大利亚产业结构面板数据进行分析，对澳大利亚产业结构的变化进行预测。然后，我们从废弃物利用的角度，指出了澳大利亚存在的问题。最后，我们给出了全面的政策建议。

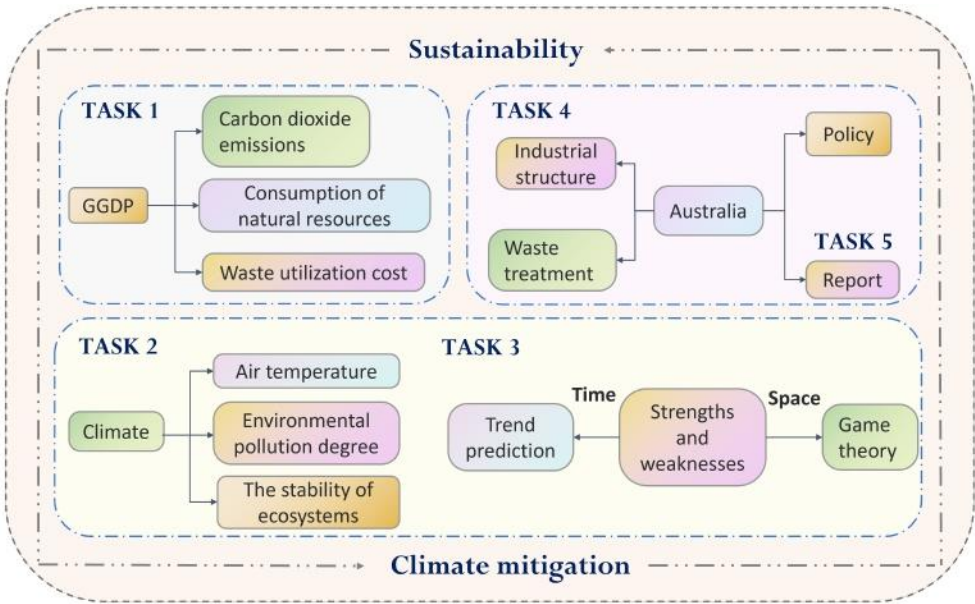


图 1:我们的工作

2 模型准备

2.1 假设和证明

假设:各国采用 GGDP 评价标准后制定的国家发展方向将严格按照新的标准进行规划。

△理由:衡量一个国家经济健康与否的标准是一个国家发展计划的核心，如果标准发生变化，将影响到国家的发展方向。

假设:在愿景所维持的时间范围内，世界不会再发生大规模地区冲突、战争或经济危机等突发性全球事件。

△正当性:战争和经济危机的存在会扰乱我们的预测结果，偏离我们的研究目标和方向。

假设:在现行政策下，人类的能源结构和资源利用效率在短时间内不会发生显著变化。

△理由:在不存在严重资源偏向的情况下，人类的发展和进步

因为技术是分散的，而不是集中的，在单一领域一般不会出现突然的技术进步。

2.2 术语表

表 1:术语表

Glossary	Meaning	Unit
$E_{CO_2}$	Annual Carbon Dioxide Emissions	kt
Waste	Annual Total Amount of Municipal Waste	kt
NRR	Total natural resource rents as a percentage of GDP	%
RGG	Ratio of GGDP to GDP	%
$B_1$	Global Temperature	/
$B_2$	Environmental Pollution Degree	/
$B_3$	The Balance of the Ecosystem	/

注:有一些变量没有列在表 1 中，将在各节中详细讨论。

3 任务 1:GGDP——一个观察经济的环境棱镜

传统的 GDP 是国民经济核算的核心指标，但它没有考虑到自然资源枯竭或污染增加对一国未来生产能力的影 响，因此需要一个更全面、符合可持续发展的宏观经济指标。“绿色”GDP 是指将生物多样性的损失货币化，并在 GDP 的基础上计算气候变化的成本，后者可以说是衡量社会福祉的更准确的指标或衡量标准。同时，将环境统计纳入国民核算，从而产生绿色 GDP 数据，将提高各国管理其经济和资源的能力。(绿色 GDP 可以说是衡量社会福祉的更准确的指标或衡量标准。)同时，将环境统计数据纳入国民核算，进而产生绿色 GDP 数字，将提高各国管理其经济和资源的能力[1]。

学者们提出了许多不同的 GGDP 计算方法，本文参考了 Mijo Mirković 博士 2017 年发表的报告[2]，并在此基础上进行了一些改进。

该方法的亮点在于，它通过区分环境破坏的实际成本和废物处理的机会成本，引入了废物转化为能源的原理，更全面地考虑了可能的周转损失和社会成本。

3.1 污染指标的选取

计算绿色 GDP，需要从传统 GDP 中减去自然资本的净消耗，包括环境污染、可利用资源浪费和资源枯竭，并从这三个方面衡量自然资本的净消耗。

△空气处理成本 C

经济发展对环境污染的影响主要体现在空气污染上，其中二氧化碳是最重要的因素。我们将一个国家的 CO2 年总排放量(ECO2)(千吨)乘以该国的碳市场价格 MPC (kt)，将污染量转化为经济总量。

2006 年，清洁发展机制的平均体积加权价格约为每吨 CO11.07 美元 2-[3]。然后将 2006 年的价格根据累积通货膨胀率进行调整，转化为其他年份的价格。

△浪费机会成本 C

2021 年全球产生的垃圾量在 100 亿吨左右，这个数量是巨大的，但是垃圾就在那里。考虑到废物和能源转换的原则，重新利用的机会，每年的城市垃圾总量被引入并记录为废物(kt)。

根据欧盟废物统计条例，垃圾处理可分为回收利用、能量回收焚烧、其他焚烧、土地处置和土地处理五种类型。本文主要考虑焚烧发电，已知千吨垃圾每千吨电转化为 74000 千瓦时，单位换算记为 Elect(千瓦时/-吨)，然后将 2020 年电价经累计通货膨胀率调整为年度电价 Plect(千瓦时)。最后，我们用垃圾量乘以单位换算，再乘以电价，得到每年垃圾的能源换算经济性。

△自然资源消耗成本 C

自然资源租金的估计值是一种商品的价格与生产该商品的平均成本之间的差额，而自然资源总租金是石油、天然气、煤炭、矿产和森林租金的总和。总自然资源租金是用 GDP 乘以总自然资源租金占 GDP 的百分比(记为 NRR)来衡量自然资源的消耗。(自然资源总租金是石油租金、天然气租金、煤炭租金(硬和软)、矿产租金和森林租金的总和。)

3.2 GGDP 的计算

以上数据来自世界银行、经合组织数据库等认可度较高的网站。我们选择了 46 个国家，从 1995 年到 2020 年， $E_{CO_2}$  有七个指标，浪费，选举，选中，NRR 和 GDP。 $E_{CO_2}$  和 wasteCO2 中有一些缺失的指标，本文采用线性函数进行填充。

然后，根据 GDP 指标，计算 GGDP 如下：

$$GGDP = GDP - Em_{CO_2} \times MPC - Waste \times Elect \times Pelect - GDP \times \frac{NRR}{100} \tag{1}$$

将 RGG 定

$$RGG = \frac{GGDP}{GDP} \times 100\% \tag{2}$$

其中，GGDP 和 GDP 分别为一国的 GGDP 和 GDP, RGG 越大，说明该国的经济越绿色，取值范围为[0,1]。

3.3 GGDP 计算结果

46 个国家的 RGG 如下所示。

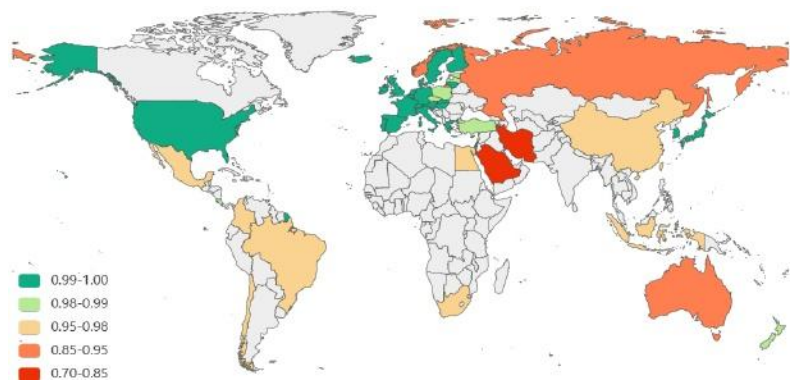


图 2:46 个国家的 RGG。

结果表明:不同国家间 RGG 值存在显著差异:西欧、美国等发达国家环境保护体系发达，RGG 值较高;大多数发展中国家的 RGG 值较低，因为它们仍处于工业转型期;少数资源丰富的国家，如俄罗斯和中东国家，由于严重依赖自然资源，RGG 值较低。

4 任务 2:采用 GGDP 的全球气候减缓

4.1 预测 GGDP 变化

对前一节所得值的 RGG 进行分析，可以看出 GDP 的核算结果仍然占有重要地位。同时，考虑到 GGDP 的初步实施，可持续发展模式和环境影响对传统经济增长的影响并不显著。我们可以认为采用 GGDP 标准对 GDP 的影响可以忽略不计，其影响主要体现在  $C_p$ ，主要影响有  $C_w$  和  $C_r$  这三个方面。

因此，我们需要采取不同的方法来预测这两个组成部分。由于部分指标缺少 2021 年和 2022 年的数据，为了保证结果的准确性，我们假设 2021 年初各国实施 GGDP 标准，并使用时间序列分析和线性拟合对上述各指标 2021 - 2040 年的自然增长数据进行预测。

4.1.1  $C_p, C_w, C_r$  采用 GGDP 后的变化。

采用 GGDP 标准后，各国开始更加注重降低污染成本、浪费的机会成本和自然资源消耗的成本，如 ECO2 所示，废物和 NRR 的增长率将下降。为了量化政策标准变化对指标的影响，我们参考 2007-2008 年全球金融危机(financial crisis of 2007-2008)和



2014 年中美气候变化联合声明发布这两个热点事件后二氧化碳 2 排放增速的变化，分析得出这些政策举措对指标的影响因子 $\theta$ 为 3%。

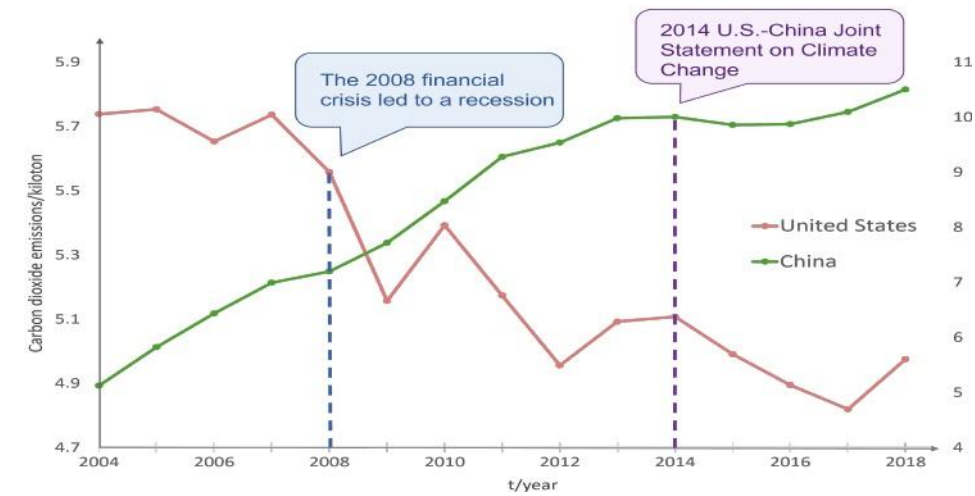


图 3:中美两国 CO2 changes 分布图

结合上图分析，采用 GGDP 标准后， $E_{\text{co}_2}$  浪费和 NRR 的增长都会有所放缓，即此时的增长率等于自然增长率加上政策影响因素，各成本的增长率都有所放缓。

4.1.2 RGG 的变化

GDP 不受 GGDP 的影响，之后可以认为是自然增长趋势，并采用线性函数分别预测这些国家 2021 - 2040 年的 GDP。

我们预测了以下国家在未来 20 年有无 GGDP 标准的结果变化，如图 4 所示。

可以发现，采用 GGDP 标准后，大多数国家的 RGG 都有不同程度的改善，其中资源生产国的改善最为显著，说明采用 GGDP 标准可以显著减缓气候变化。

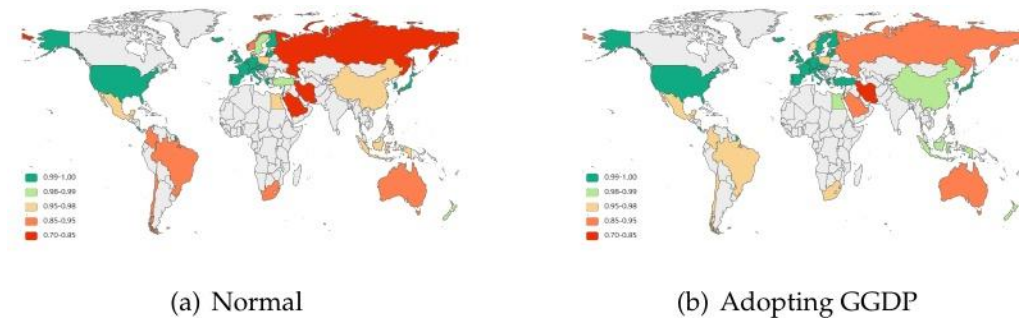


图 4:采用与不采用 GGDP 情况下 2040 年 RRG 差异

4.2 气候改善模糊综合评价模型

在本节中，我们开发了一个三级模糊综合评价模型，用于量化有和没有 gdp 的世界在 2021 年至 2040 年之间减缓气候变化结果的差距。

4.2.1 确定气候的主要指标

- 全球温度  $B_1$

全球气温上升是现代困扰人类的环境问题，是人类面临的头号气候问题。适宜的温度不仅是人类生存的先决条件，而且与海平面上升、洪水泛滥有着深刻的联系。

- 环境污染  $B_2$



近 200 年来，人类一味沉浸在工业化带来的发展效益中，忽视了工业化副产品对人类家园的破坏和对人类共同未来的过度消费。空气污染、水污染、土地污染，成为我们急需解决的问题。

•生态系统平衡  $B_3$

大自然具有自我调节的功能，但人类不加控制的破坏导致了生态失衡:外来物种入侵，动植物栖息地丧失，物种灭绝明显加速。维持生态平衡，是人与自然和谐相处中最重要的一点。

该模型的结构是:

4.2.2 求解国家对  $B_1$  保护等级的隶属关系

在模糊综合评价之前，我们定义了以下四个指标及其含义。

- 绿色:气候是绝对有价值的，变化是大幅减缓的。
- 亚绿色:气候受到一定程度的保护，变化得到一定程度的缓解。
- 正常:当前气候保护水平在 2020 年的平均值。
- 糟糕:气候不仅没有得到保护，反而在以更快的速度恶化。

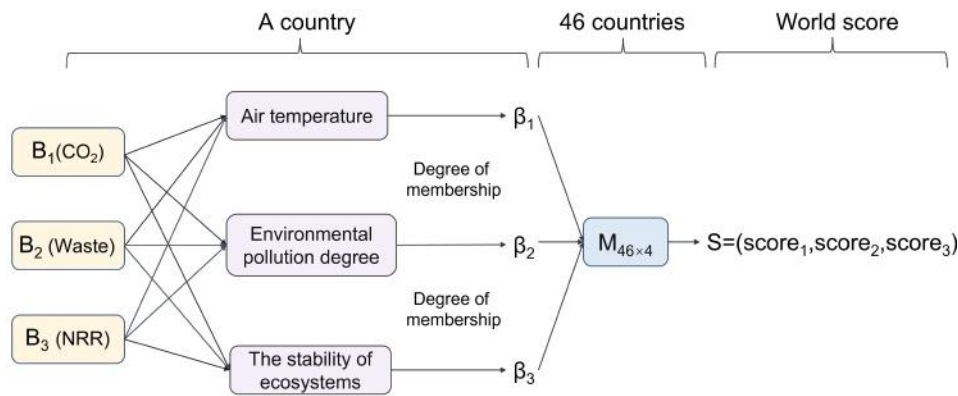


图 5:三级模糊综合评价框架图

世界在不断发展，但我们不能用变化的标准来评估未来的年度气候改善情况;我们使用 2020 年 46 个国家的数据作为给出一个标题的标准。

设 46 个国家 2020 年的数据为:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & \dots & d_{3n} \end{pmatrix}_{3 \times 46} \tag{3}$$

其中每一行代表 ECO2、Waste 和 NRR 值，每个污染指标的最小值和四分位数间矩阵记为:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{pmatrix} \tag{4}$$

$q_{1i}$  表示( $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}$ )的最小值， $q_{ij}, 2 \leq j \leq 4$  表示其 $(j-1)^{th}$  分位数。

以 2020 年标准评价保护程度时，参照气候试验中空气质量评价分级标准，在某一国家脱欧的某一年内，“次绿色”等级的隶属度为:

$$a_{i2}(x_{it}) = \begin{cases} 0 & x_{it} \leq q_{i1} \\ \frac{x_{it}-q_{i1}}{q_{i2}-q_{i1}} & q_{i1} < x_{it} \leq q_{i2} \\ \frac{q_{i3}-x_{it}}{q_{i3}-q_{i2}} & q_{i2} < x_{it} \leq q_{i3} \\ 0 & x_{it} > q_{i3} \end{cases} \quad (5)$$

其余 3 个隶属度的查找方式类似，因篇幅原因未示出，见附录。三个污染指标与  $B_i$  的所有隶属关系 构成矩阵  $A_{34}$ 。

在获得给定国家的三个污染指标与  $B_i$  的隶属关系后，我们有：

$$\beta = Weight \cdot A \quad (6)$$

式中 $\beta=(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$ 某国对  $B_i$  保护的隶属关系， $Weight$  为用层次分析法求解的权重向量，不同环境指标受污染不同，三个权重向量分别是：

$$\begin{cases} W_{B1} = (0.7402, 0.0757, 0.1840) \\ W_{B2} = (0.0955, 0.6542, 0.2502) \\ W_{B3} = (0.1428, 0.1428, 0.7142) \end{cases} \quad (7)$$

#### 4.2.3 确定世界对 $B_i$ 的防护水平

各国对  $B_i$  的保护水平不同，但由于国家数量的差异，简单的平均待遇并不是常识。我们使用 46 个国家的 GDP 比率作为权重来确定每个指标的最终隶属关系：

$$world = GDP_{ratio} \cdot M_{46 \times 4} \quad (8)$$

其中  $M$  为 46 个国家对  $B_i$  的隶属矩阵， $GDP_{ratio}$  是 46 个国家的 GDP 份额， $world = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)$  为  $B_i$  保护的全球隶属载体

为了量化环境保护程度随时间的变化，我们定义：

$$Score_i = 2 \times w_1 + 1 \times w_2 - 1 \times w_4 \quad (9)$$

数值越高表示环境保护程度越高，取值范围为 $[-1,2]$ 。将三个环境指标得分形成一个向量  $S = (Score_1, Score_2, Score_3)$ ，在三维坐标中，该点越接近 $(2,2,2)$ ，表示世界经济越健康。

#### 4.2.4 结果分析

分别使用上述方法计算 46 个国家在 2040 年有无 GGDP 的三个气候维度得分变化结果如图 6 所示。

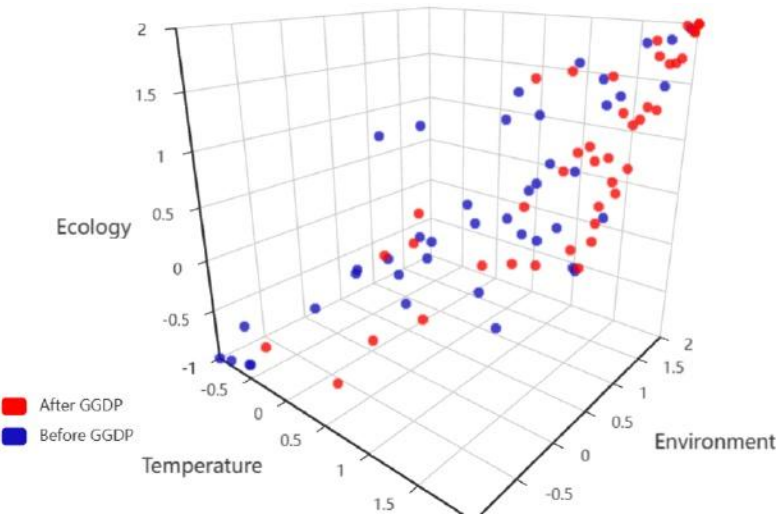


图 6:46 个国家在 GGDP 前后的三个气候指标得分

可以看出，采用 GGDP 后，各国的得分趋于(2,2,2)，GGDP 促进了各国经济的健康发展。

5 任务 3:是时候做出正确的选择了

从全球影响模型来看，当各国采用 GGDP 作为国民健康的评估标准时，全球范围内的气候危机显然将得到显著缓解。然而，各国地理分布的不同以及对个别国家短期和长期利益的比较所产生的公平问题，将影响各国政府对决议通过的决定。

为了深入比较减缓气候变化所带来的潜在优势和取代现状所需努力的潜在劣势，我们将从空间和时间两个维度进行全面分析，试图为各国政府指明正确的方向。

5.1 博弈的空间维度

一旦我们选择 GGDP 作为衡量全球国家经济的体系，规则变化的影响将在每个国家都能感受到。然而，每个国家受到这一变化的影响程度不同。在经济发展中更加依赖资源的国家无疑将比其他国家遭受更大的损失，损失的不平衡将使它们成为这项决议的反对者。

环境减缓的影响能否弥补这种损失，受影响较小的国家是否会出于自身利益向对立国家提供补偿，这些都是我们将通过博弈论建模和解决的重要变量。

5.1.1 博弈参与者

我们将总自然资源租金指定为 GDP(NRR)的百分比，以衡量国家发展对资源的依赖程度。在这个标准下，从第一个问题中选择的 46 个国家中识别出支持和反对的国家，其余的国家是中立的，它们不会在物质形式上帮助游戏中的任何一方。

- 反对国家为:伊朗、沙特阿拉伯、俄罗斯、澳大利亚、巴西。
- 支持国为冰岛、卢森堡、瑞士、比利时、法国、西班牙、希腊。

在不考虑 GGDP 的情况下，支持国和反对国的利益函数分别为 F1 and F2;对于 GGDP，支持状态和非支持状态的收益函数为 F3 和F4。收益函数是与游戏次数相关的函数，我们将一年视为一个游戏周期。

5.1.2 游戏规则

•任何国家都会面临环境灾害的影响(如海平面上升导致的 EDPS，干旱导致的饥荒，极端天气造成的破坏)，这些灾害造成的破坏曲线为 L。我们假设所有国家的损失曲线是相同的，但是否采用 GGDP 会影响曲线趋势。

我们使用调整后的曲线 Ln 表示不使用 GGDP 时的损失曲线，其中选择 a 表示 1990-2017 年全球自然灾害损失占全球 GDP 的百分比[4]。带 1 的损失曲线 y 表示带 GGDP 的损失曲线。

$$\begin{cases} L_n = a^t \\ L_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp(-\frac{(t-10)^2}{8}) + \epsilon \end{cases} \tag{10}$$

•资源高度依赖的国家在利用资源发展经济时，往往遭受过度砍伐树木或过度开发能源的痛苦。他们对国际环境恶化负有不可推卸的责任，我们将引入国际压力(P)来具体化这一责任。国际压力为国际社会施加的压力，其中 $\alpha$ 为全球 GDP 的时间序列值。

$$P = \ln^\alpha t \tag{11}$$

随着比赛数量的增加，国际压力的增加值会减少，这是符合现实的，因为谴责和舆论对国家的影响有限。

•拥有最大资源拥有量( $R_s$ )的对立国将获得财政补贴( $s$ )，补贴将由支持国考虑自身利益给予。考虑到拥有大量森林资源的国家在过去几十年里以牺牲其发展空间为代价对全球气候做出了更大的贡献;矿产丰富的国家除了消耗更多资源用于国内发展之外，还有责任配给全球资源。当规则不再朝着有利于他们的方向改变时，我们必须考虑到他们曾经做出的贡献。

援助国作为资金池的补贴总额，要按照相对于对方资源持有的比例大小，按比例分配给对方。P 为价格系数。

$$S = R_s \times p \tag{12}$$

### 5.1.3 游戏开始

在不使用 GGDP 的情况下，受益国和受害国的收益函数只与损失曲线  $L_n$  相关， $L_n$  与:

$$\begin{cases} F_1 = -L_n(t) \\ F_2 = -L_n(t) \end{cases} \tag{13}$$

在 GGDP 中，受益国和对立国的利益函数如下:

$$\begin{cases} F_3 = -L_n(t) - R_s \times p \\ F_4 = -L_n(t) + P - \Delta C_r + R_s \times p \end{cases} \tag{14}$$

对于任何国家而言，在同一时间点采用 GGDP 的收益大于不采用 GGDP 的收益，即。

$$\begin{cases} F_1 < F_3 \\ F_2 < F_4 \end{cases} \tag{15}$$

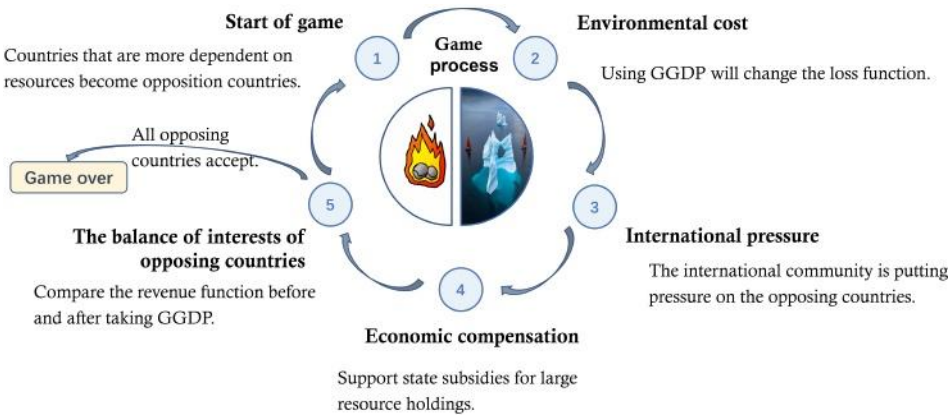


图 7:游戏过程

然后，该国将同意使用 GGDP 作为衡量其经济健康状况的标准。由于篇幅限制，我们以表格形式呈现游戏结果。

该国将同意使用 GGDP 作为衡量其经济健康状况的标准。由于篇幅限制，我们以表格形式呈现游戏结果。

表 2:游戏结果表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Iran	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A
Saudi Arabia	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	A	A
Russia	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A
Australia	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Australia	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Support the country	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	N

其中，R 为反对国对 GGDP 的拒绝，A 为接受。Y 表示支持国同意继续追加补贴，N 表示支持国不追加补贴。从比赛的结果来看，很明显，从比赛开始的 16th 年后，所有对立的国家都会同意采用 GGDP 的评估标准。

5.2 时间维度上的权衡

GGDP 的实施是可持续发展概念的延续。可持续发展是指“一种既能满足我们今天的需求，又不损害子孙后代的需求，又能满足他们需求的发展模式”[5]。为了进一步衡量这种发展模式对世界的总体经济效益，我们引入了环境承载能力的概念。

环境承载力是指一个地区的环境在一定时期和一定的环境状态下支持人类社会经济活动的能力的极限。我们认为，全球环境承载力总量是确定的，人类已经将一些不可再生的环境资源转化为经济效益，因此，是否采用 GGDP 将影响剩余资源的利用问题。

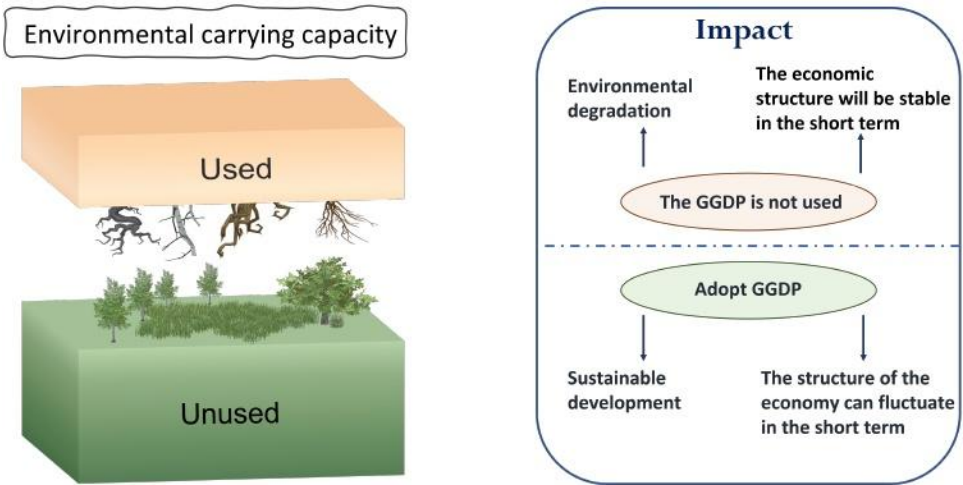


图 8:不同开发模式的对比

5.2.1 效益计算

我们将环境资源与经济效益的人类转化方程定义为

$$E_c = t \times v \times f - b \tag{16}$$

其中 t 为人类发展时间序列，以 1 年为节点;V 为人类对环境资源和经济效益的转化速度;F 为人类对环境资源和经济效益的转化效率;而 b 是政府政策对经济效益的影响。站在全球时间维度上，我们需要衡量这样的发展方式转变是否值得。



在不使用 GGDP 时，人类对环境资源的利用速率为  $v_n$ ，将数据拟合得到的表达式拟合为世界历史资源利用[6]:

$$V_n = 12.0705t + 1299.8920 \quad (17)$$

由于可获得的环境资源量是有上限的，所以  $t$  的取值范围会受到资源利用率  $v$  的影响，而当可获得的环境资源达到上限时，效益将不再增加。同样出于实际考虑，我们将  $f$  和  $b$  的值视为不随时间变化的常数。

当然，如果全球采用 GGDP 的决议，情况可能会发生变化。

### 5.2.2 变化因素

•化石能源的开采和利用受到限制，将导致人类扩大清洁能源的使用。水电、风电、太阳能、地热能、海潮等利用技术将在全球范围内迅速发展，产业转型将更快完成。这将大大提高转换效率，因为单位能源消耗的化石能源将减少。

$$\Delta f = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (18)$$

•GGDP 的实施将严重影响能源行业企业的收入，为了弥补收入的差异，企业将在利益的驱动下努力提高各自化石能源的生产效率。当社会上的每个企业都进行相关的尝试时，最终会提高社会的生产效率，这也会显著提高转换效率  $f$ 。

$$\Delta f = \sum_{i=1}^t (\sin i + 1) \quad (19)$$

•产业转型会威胁到传统产业工人的利益，也会放大不平等与经济发展的矛盾问题。政府对充分就业、区域政策和公共部门投资的相关承诺也将发生变化。为了解决将会存在的社会危机，国家财政将需要花费额外的福利补贴  $fs$ 。政府对充分就业的承诺、地区政策和公共部门投资也将发生变化。

$$fs = \frac{\sigma}{t} \quad (20)$$

•在过去的采矿加工过程中，制造商在计算供需曲线时没有考虑对气候的影响，这种负外部性使得企业  $Q_r$  生产的均衡量 小于最优值  $Q_p$ 。当采用 GGDP 核算方法时，高污染企业将纠正这一差异。这一举动将导致资源利用曲线  $v(t)$  发生变化。

$$v_i = - \sum_{i=1}^t \frac{\lambda^i}{i!} \quad (21)$$

•政府对于环境修复和生产所造成的污染成本将承担额外的治理费用。花费的成本  $m$  是 GGDP 和 GDP 之间的会计差额。

### 5.2.3 结果的列报

不使用 GGDP 时，剩余资源可产生的值函数为:

$$E_{c1} = t_1 \times v_n \times f \quad (22)$$

采用 GGDP 时，剩余资源可产生的值函数为:

$$E_{c2} = t_2 \times (v_n + v_i) \times (f + \frac{1}{1 + e^{-t}} + \sum_{i=1}^t (\sin i + 1)) - fs - m \quad (23)$$

结果如图 9 所示。

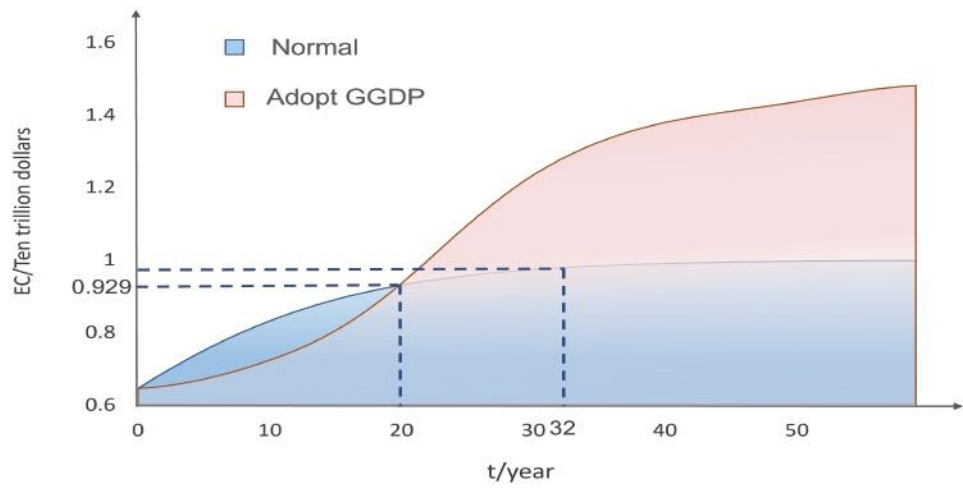


图 9:采用 GGDP 前后的全球自然资源总收入

6 任务 4:根据 GGDP 标准对澳大利亚的经济健康状况进行诊断

在 Task 1 中我们得到澳大利亚 2020 年的 RGG 为 93.74%，而同期世界平均得分为 98.44%。结果表明，澳大利亚在经济发展过程中污染水平较高，未达到世界平均水平，废弃物利用率低，严重依赖资源过度开发。

澳大利亚对资源的过度开发对气候和环境造成了不可逆转的破坏，而在地球资源储量有限的情况下，这种过度开发的发展模式是不可持续的。此外，与同为资本主义发达国家的德国相比，澳大利亚的垃圾水平高，垃圾利用率低。实施 GGDP 将对澳大利亚走向经济健康和可持续发展产生积极影响。

6.1 产业转型，减少资源过度开采

澳大利亚的人口、降水、森林和矿产资源都位于沿海地区，内陆因干旱而欠发达。作为第二产业主要贡献者的矿产产业的存在，严重破坏了宝贵的土地资源，而这种开发又受到储量的限制，不可持续。第二产业对资源的占用，也限制了第三产业的发展。

虽然第二产业，特别是采矿业为澳大利亚创造了可观的收入，但其结构是高度不可持续的，当第二产业达到瓶颈时，第二和第三产业都会受到制约[7]。因此，澳大利亚需要对其产业进行转型，以保持其经济增长的健康稳定状态。

在政府主导的产业转型下，澳大利亚的矿山规模将会缩小，而在世界上大多数国家，废弃矿山通常被用来发展娱乐、旅游等第三产业。然而，这种转型对澳大利亚的影响是未知的，为了衡量这种变化，

利用 PVAR 分别分析了第三产业和第二产业对经济的贡献。当第三产业的贡献大于第二产业的贡献时，说明转型是有效可行的。

6.1.1 利用 PVAR 分析产业对经济的贡献

△第一步:模型构建

面板向量自回归(panel vector auto regression, PVAR)模型不受变量间关系的先验约束，可以探索变量间的相互关系及其动态效应，适用于研究经济与第二、第三产业之间的相互关系。



$$Y_{i,t} = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_j Y_{i,t-j} + \eta_i + \phi_i + \epsilon_{i,t}$$

(24)

其中  $i$  表示澳大利亚的 8 个地区(6 个州和 2 个领地); $T$  表示年份。 $Y_{it}$  是个体  $i$ 在 $t$ 时刻的  $m$  个可观察内生性变量的  $m \times 1$  向量。 $\alpha_0$  是截距项的向量。 $\alpha_j$  是滞后变量的  $m \times m$  系数矩阵。 $Y_{i,t-j}$  为内源变量的第  $j$  阶滞后项。 $\eta_i$  为单个固定效应项。 $\phi_i$  为时间效应项。 $\epsilon_{i,t}$  是随机扰动项。

△步骤 2:指标选择

本文选取澳大利亚 8 个地区 1990 - 2020 年的所有产业全要素收入、第二产业全要素收入和第三产业全要素收入[8]作为可观察内生变量，分别记为  $ATI$ 、 $MTI$  和  $TTI$ ，并对所有数据进行记录，以减少或消除异方差对模型的影响。

△Step3:平滑性检验

为了避免伪回归对后续分析有效性的影响，需要对面板数据进行平稳性检验。使用三种方法进行单位根检验，结果如下。

表 3:面板单位根检验结果

Variables	IPS test	ADF-Fisher test	PP-Fisher test	Conclusion
$D(\ln ATI)$	-6.6603***	47.7940***	89.5700***	Smooth and stable
$D(\ln MTI)$	-7.5706***	38.4719***	142.3830***	Smooth and stable
$D(\ln TTI)$	-4.2729***	56.3684***	36.0638***	Smooth and stable

1 注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1%置信水平下显著。表中数字分别代表 IPS 检验、LLC 检验、ADF-Fisher 检验、PP-Fisher 检验中的相应统计数据，所有数字保留小数点后 4 位。

从上表可以看出， $D(\ln ATI)$ 、 $D(\ln MTI)$ 和  $D(\ln TTI)$ 在 1%显著性水平上拒绝了单位根存在的原始假设，说明变量是平滑的，可以进行下一步的分析。

△Step4:最优滞后顺序

在每个阶次计算模型的  $AIC$ 、 $BIC$  和  $HQIC$  信息准则，并根据最小值确定最优滞后阶次  $AIC$ 、 $BIC$  和  $HQIC$  来保证估计结果的信度和效度，如下所示。

表 4:PVAR 模型的最优滞后阶数

lag	CD	J	P	MBIC	MAIC	MQIC
1	0.8576	36.0981	0.1132	-103.1964*	-17.9019*	-52.5026*
2	0.7666	22.5267	0.2094	-70.3363	-13.4733	-36.5404
3	0.9083	15.5045	0.078	-30.9270	-2.4955	-14.0290

1 注:\*表示根据 MBIC、MAIC 和 MQIC 标准选择的最优滞后顺序。

由表 4 可以看出，模型滞后一阶的 MBIC、MAIC 和 MQIC 判定指标最小，则可以判定该滞后一阶为模型的最优滞后阶。

△第 5 步:单位循环检查稳定性

通过计算模型的单位根特征值来验证模型的稳定性，看它们是否都落在单位圆内。从图 1 中可以看出，9 个估计点都落在单位圆内，说明所建立的 PVAR 模型是稳定的，变量之间存在长期稳定的关系。

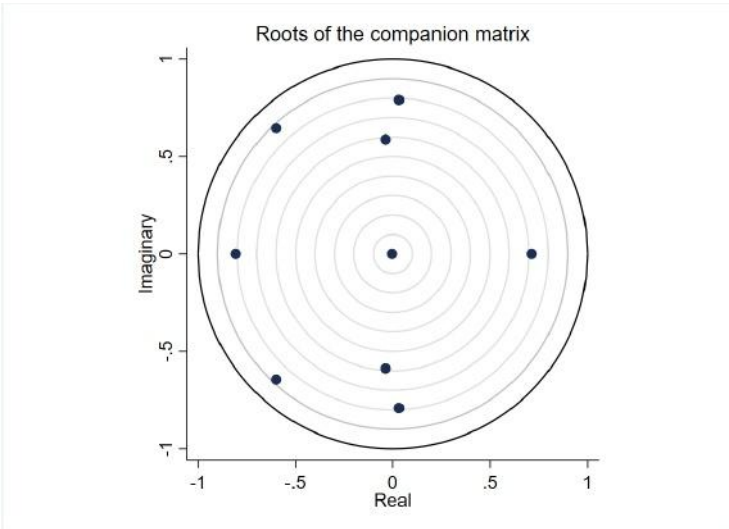


图 10:单位圆检验图

△Step6: GMM 回归

将 D(lnATI)、D(lnMTI)和 D(lnTTI)作为内生变量，构建广义矩估计的 PVAR 模型，结果见下表。

由上表可知，滞后一个周期的 MTI 对 ATI 的正向冲击明显更强，说明第二产业的发展对经济具有提振作用，滞后一个周期的 TTI 对 ATI 的正向冲击明显更强，说明第三产业对经济具有较强的拉动作用。

△第 7 步:方差分解

方差分解结果可以衡量不同扰动项对内生变量波动的贡献，如表 6 所示。

表 5:GMM 估计结果

Variables	D(lnATI)	D(lnMTI)	D(lnTTI)
L.D(lnATI)	-1.67*(-1.5822)	-0.05*(-1.3479)	-2.34*(-0.0223)
L.D(lnMTI)	0.37**(2.0659)	0.11*(1.4232)	0.91(0.0996)
L.D(lnTTI)	2.46*** (3.8617)	0.73*** (2.1075)	2.41*** (1.3248)

1 注: \*、 \*\*、 \*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%置信水平下显著，系数在括号内。

表 6:预测方差分解

Prediction period	Variance decomposition of ATI			Variance decomposition of MTI			Variance decomposition of TTI		
	ATI	MTI	TTI	ATI	MTI	TTI	ATI	MTI	TTI
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.7555	0.2445	0.0000	0.2368	0.2573	0.5059
2	0.5208	0.0000	0.4591	0.4687	0.1643	0.3670	0.2906	0.2109	0.4985
3	0.4214	0.0309	0.4607	0.3778	0.1518	0.4704	0.2974	0.1985	0.5041
4	0.3800	0.0588	0.4632	0.3704	0.1407	0.5189	0.2917	0.2134	0.4948
5	0.3817	0.1277	0.4606	0.3608	0.2105	0.5387	0.3014	0.2125	0.4861
6	0.3619	0.1788	0.4658	0.3677	0.3009	0.4714	0.3068	0.2064	0.4868
7	0.3205	0.2240	0.4673	0.3500	0.3115	0.4384	0.3091	0.2044	0.4865
8	0.3142	0.2141	0.4689	0.3560	0.3002	0.4239	0.3109	0.2023	0.4869
9	0.3147	0.2132	0.4700	0.3459	0.2572	0.4169	0.3107	0.2009	0.4884
10	0.3166	0.2107	0.4727	0.3424	0.2141	0.4435	0.3103	0.2005	0.4891

由表 6 可以看出，ATI 受三方面影响均显著，TTI 是最重要的长期影响因素，且影响较为稳定，第一期为 0，第二期迅速增长至 47.91%，之后基本保持稳定，最终达到

47.27%;自身是第二个影响因素，其自身影响力在第一期占主导地位，随后逐渐下降，最终仅占 31.66%;MTI 是第三个影响因素，从第一期的 0%逐渐上升到第 10 期的 21.07%，最终趋于稳定。

6.1.2 结果分析

综合以上分析可以得出，第二产业和第三产业对整个产业经济都有一定的影响，但是第三产业的影响因子大于第二产业的影响因子，这说明第三产业对澳大利亚经济的发展贡献更大，抑制部分第二产业不会对其经济造成显著的负面影响。如果将这些第二产业所占用的土地资源 and 人力资源重新导向第三产业的发展，对国家经济的积极贡献就会更大。

因此，为了澳大利亚经济的可持续和更快的发展，应该关闭一些第二产业(如采矿业)，转而发展第三产业，因为第三产业比第二产业污染更少。

6.2 废物再利用

澳大利亚的垃圾产生量在世界上排名第十四位，每年回收的垃圾不到一半，考虑到澳大利亚的总人口，这是一个巨大的废物机会成本。另一方面，德国 2013 年的垃圾回收率为 83%，其中 65%被回收利用，18%被焚烧用于能源回收。因此，澳大利亚可以参考德国在垃圾回收方面的举措，建设更多的垃圾焚烧发电厂，而不是垃圾填埋场，以改善该国的垃圾机会垃圾问题。

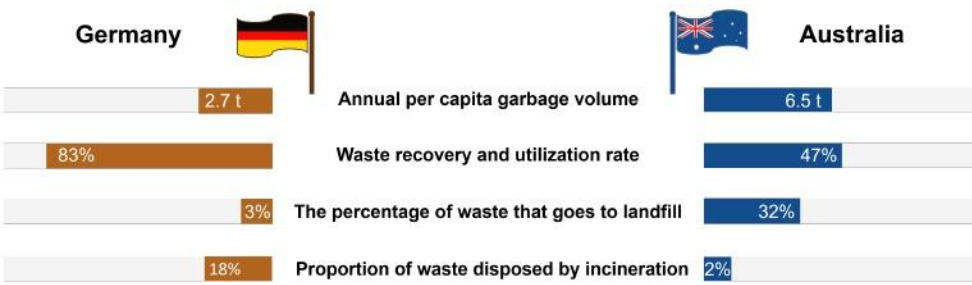


图 11:德国和澳大利亚的垃圾处理情况对比

从图 11 中我们可以看到，澳大利亚大多是填埋不能直接回收的垃圾，而德国则是焚烧发电。

△占用土地资源的价值

一个焚烧发电厂的平均占地面积约为 90 万平方米，而一个中等规模的垃圾填埋场占地面积为 6.7 万平方米，由此可见，垃圾填埋场占用的土地资源远远超过垃圾焚烧。

△产生的温室气体

目前的垃圾焚烧技术可以通过净化大大减少温室气体和有害气体的产生，并且只产生一部分用于植物和作物光合作用的二氧化碳，而澳大利亚每年从垃圾填埋场产生 588 万吨甲烷和 352.8 万吨二氧化碳，这些温室气体加速了全球变暖，并可能造成一系列自然灾害。

△转化后的经济效益

与不产生经济效益的垃圾填埋相比，焚烧发电实现了能源循环利用，德国的垃圾发电占总发电量的 12%，降低了发电能耗。

总的来说，澳大利亚应该以德国为榜样，提高垃圾的回收率，这样既可以减少对环境和气候的破坏，又可以提高经济效益。

### 6.3 政策建议

CO2 emissions 政策:

- 政府将收集公众和企业的反馈，然后在反馈的基础上调整碳税的税额，然后在全国范围内实施碳税。
- 如果各州和地区征收不同的碳税，防止碳泄漏，减少碳密集型产品从碳税较低的地区的流动。
- 我们正在实施以澳大利亚强大的农业、林业和畜牧业为基础的以自然为基础的碳封存计划，并制定年度二氧化碳封存目标。

废物处理政策:

- 对于传统的就地处置垃圾，制定了“三步走”的战略方针:减少垃圾填埋场扩建数量->减少垃圾填埋场建设数量->完全禁止垃圾填埋场。对于每一个发展步骤，都规划了最后期限，并由政府定期监测进展情况。
- 与欧洲国家在垃圾处理场建设相关领域开展合作，引进欧洲先进的垃圾处理技术，如垃圾焚烧场建设合作、焚烧排放气体处理技术等。

自然能源开采和利用政策:

- 减少和控制矿产资源开采、加工、冶金等生产过程对资源环境造成的破坏和污染，实现矿产资源开发与生态环境保护的良性循环;缩小矿产产业规模，对失业职工进行社会安置和社会补贴;对废弃矿场进行二次开发，如果不能完全恢复生态，则将该地区发展为旅游等第三产业。
- 推动创新产业发展，大力推进产业政策与创新政策的协同;提高资源利用效率，发展可再生能源和核电，扩大清洁煤和煤层气使用，降低煤炭直接燃烧比例。

## 7 模式评价与进一步探讨

### 7.1 敏感性分析

考虑到采用 GGDP 评价经济健康度后，政府和国家组织的执行力度不同，在政策影响因子 $\theta$ 取值不同时，分析模型结果在参数变化下的变化的敏感性分析结果如下:取不同值时，结果所反映的相对关系保持不变，验证了模型的稳定性。报告还表明，各国的积极参与是减缓气候变化的先决条件，如果提出了 GGDP，但个别国家不积极实施，全球气候将继续恶化。

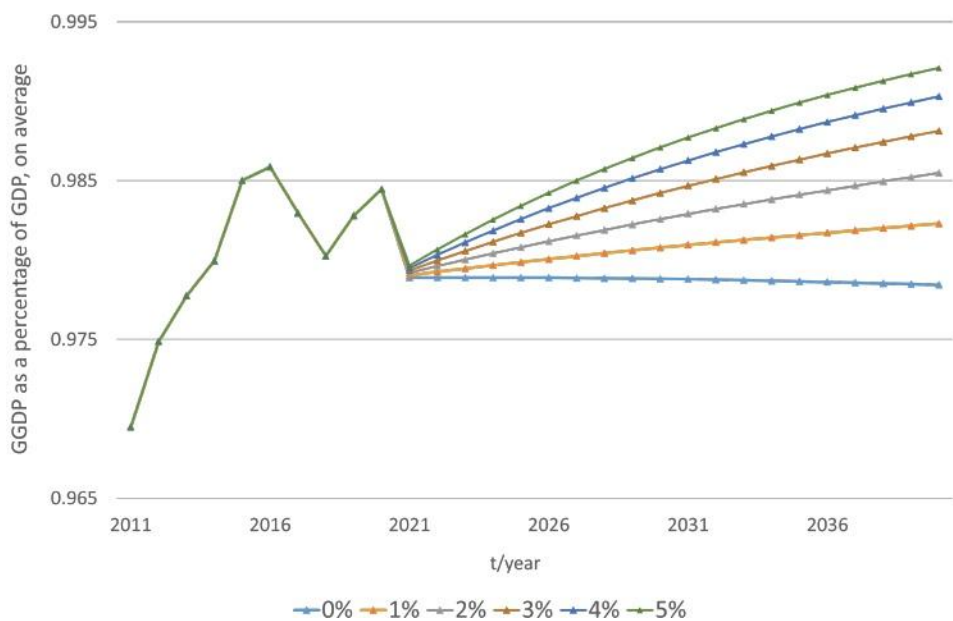


图 12:0的稳定性测试

7.2 模型强度

- 模型选取指标科学、全面。在确定指标时，我们比较了几个网站的数据完备性，并编制了 46 个国家较为完整的原始数据。这些指标代表了国家环境治理的主要因素，使我们的研究更加可靠。
  - 我们的模型在考虑国家政策变化时的影响因素方面更加全面，并充分参考了真实历史事件和国际规则的影响，使得我们的分析结果更加准确。
- 7.3 模型的弱点
- 我们的模型对于全球环境变化的分析不够全面，没有考虑水资源、土地资源、生物多样性等。
  - 在对未来政策影响的预测中，我们的曲线趋势存在一定的主观因素。

## 给澳大利亚政府的文件

可能涉及到的人，

我们是 ICM 聘请的一个政策指导团队，旨在分析贵国是否应该用一种整合了经济、环境和可持续发展的新型“绿色”GDP——GGDP——来取代当前衡量国民经济的 GDP。新的 GGDP 指标将在 GDP 核算体系中增加三个新的维度：二氧化碳排放、未回收的废物和对自然资源的依赖，这似乎是一个挑战，但它将是非常值得的。我们将从经济发展、环境影响和废物处理三个角度为您提供我们的分析。

我们用回归模型分析了澳大利亚经济的结构，发现第三产业对经济的价值贡献是最高的，这是一个很好的趋势。第二产业中的采矿业在经济增加值中仍占较大比重。采矿业本身可以对国民经济做出重大贡献，但矿产储量是有限的。如果保持目前的开采速度，澳大利亚的大部分矿产资源将在 50 到 100 年内枯竭。除了采矿业本身的不可持续性外，矿物的开采和化石能源的使用也会给环境带来沉重的压力。对环境的破坏将导致巨大的污染成本，无论是环境破坏的实际成本还是废物管理的机会成本，这在传统的 GDP 核算体系中都没有考虑到。

气候灾难的负面影响与人类息息相关，任何国家都不能满足于现状。2019 年澳大利亚山火烧毁了 1120 公顷的森林植被，造成 12 亿生物死亡，太平洋上的几个岛国将在 2050 年左右面临被吞没的风险，澳大利亚成为气候难民的最佳选择之一。好消息是，GGDP 的实施将显著减轻气候变化对人类的影响。

此外，GGDP 对垃圾处理有严格的标准，我们注意到澳大利亚地理位置优越，但这在一定程度上推迟了澳大利亚对垃圾处理的支持。对比澳大利亚和德国，澳大利亚在垃圾填埋率、垃圾回收率和垃圾转化率方面都是落后的。垃圾的妥善处理，不仅影响到澳大利亚人民的福祉和国家的环境治理，也影响到国家的经济韧性。

考虑到上述因素，我们真诚地建议贵国将 GGDP 作为衡量贵国经济健康状况的新标准，这不仅有助于经济的可持续发展，也将为缓解世界气候危机作出巨大贡献。

您诚挚的，#2311258 团队

## References

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Green\\_gross\\_domestic\\_product](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_gross_domestic_product)
- [2] Stjepanović, S.; Tomić, D.; Škare, M. 2017. A new approach to measuring green GDP: a cross-country analysis, *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 4(4): 574-590. [https://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.4\(13\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.4(13))
- [3] Capoor, K.; Ambrosi, P. 2007. *State and Trends of the Carbon Market 2007*. World Bank Institute, World Bank.
- [4] <https://ourworldindata.org/grapher/weather-losses-share-gdp>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development)
- [6] <https://data.worldbank.org.cn/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE?view=chart>

- [7] Fogarty, K, Kragt, ME & White, B 2019, 'Pre- and post-mine land-use trends across the New South Wales and Queensland coal industry', in AB Fourie & M Tibbett (eds), Mine Closure 2019: Proceedings of the 13th International Conference on Mine Closure, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 937-950, [https://doi.org/10.36487/ACG\\_rep/1915\\_74\\_Fogarty](https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1915_74_Fogarty)
- [8] Australian Bureau of Statistics. (2020-21). Australian National Accounts: State Accounts. ABS. <https://www.abs.gov.au/statistics/economy/national-accounts/australian-national-accounts-state-accounts/2020-21>.