

绿色 GDP:揭示可持续未来的各种挑战和机遇

摘要：近年来，关于 GDP 作为一个国家经济健康状况的可靠指标的有效性的猜测越来越多，促使人们提出使用绿色 GDP 作为更合适的替代方案。与 GDP 不同，GGDP 在计算中考虑了自然资源，因此对可持续发展具有深远的影响。本文旨在研究从 GDP 向 GGDP 转变的全球影响，评估这种转变的成本效益，并在中国的背景下预测其对中国的特定影响。

首先，我们仔细选择了一种计算 GGDP 的方法，该方法涉及将自然资源破坏(NRDC)和生态破坏(EDC)的成本货币化，并从 GDP 中减去它们。使用这种方法，我们计算了世界上 90%以上国家的 GGDP 和国内生产总值与国内生产总值的比率(GI)。并对所得 GGDP 和 GI 的趋势和全球分布进行了可视化分析。

随后，我们选择了五个与气候变化相关的指标:森林覆盖率、可再生能源利用份额、海平面、平均地表温度和温室气体排放，形成了一个气候指数 CI，可以评估全球对气候减缓的影响。我们拟合线性回归模型来比较 GDP、GGDP 和 CI 之间的关系。GGDP 的量化是假设其取代 GDP 后的年增长率与 GDP 历史增长率相同。我们的研究表明，采用 GGDP 将使环境退化率降低 31.57%，这表明它有可能成为气候保护的有力工具。

此外，还进行了成本效益分析，以评估从 GDP 到 GGDP 的转换。这一分析不仅考虑了气候保护的潜在效益和与 GDP 波动相关的潜在成本，还考虑了多边变革过程中遇到的阻力。为了估计多边阻力，创造性地利用聚类方法，根据各国国情对全球 90%以上的国家进行分类，并预测它们对这种转变的态度。设计了一种独特的算法，将反对这种转变的国家的抵制成本货币化。分析结果表明，这种转变是值得的，并且反映了世界不断发展的总趋势。

此外，我们选择了中国进行深入分析。基于部门视角，我们计算了每个部门的环境成本，发现制造业、农业、住宅和交通运输占总环境成本的 89.2%。对于中国不同的行业，我们给出了从 2020 年到 2050 年每十年的政策执行时间表。然后，我们利用 EPS(能源政策模拟)模型来评估政策对减排、成本和社会效益的潜在影响。避免过早死亡的货币化效益和气候效益可分别达到 RMB 和 RMB。

最后，我们对上述模型的优点和缺点进行了客观分析，并为中国领导人起草了一份非技术报告，利用我们的评估结果，同时考虑到现行的国家情况

目录

绿色 GDP:揭示可持续未来的各种挑战和机遇 1

1 介绍 4

 1.1 背景 4

 1.2 问题重述 4

 1.3 我们的工作 4

2 假设和论证 5

3 符号记号 5

4 数据说明 5

5 GGDP 测量方法 6

 5.1 GGDP 的主流测量方法 6

 5.2 我们模型的建立 6

 5.2.1 总体框架 6

 5.2.2 方程的具体计算 7

 5.3 全球 GGDP 和 GI 结果 8

6 气候减缓评估模型 9

 6.1 基于 IEW-TOPSIS 模型的气候指数 9

 6.1.1 指标的选择 10

 6.1.2 熵权法 10

 6.1.3 Topsis 法 11

 6.2 CI 变化预测模型 11

 6.3 评估模型结果 12

7 成本效益分析模型 13

 7.1 潜在的好处 13

 7.2 潜在的负面影响 13

 7.2.1 GDP 损失 13

 7.2.2 多边阻力分析 14

 7.3 比较 15

8 能源政策仿真模型 15

 8.1 不同部门的环境成本 15

 8.2 期望与政策实施时间表 16

 8.3 基于 EPS 模型的策略效果 17

9 优点和缺点 18

 9.1 优势 18

 9.2 缺点 19

10 结论 19

通往更可持续未来之路20

References 20

1 介绍

1.1 背景

国内生产总值(Gross Domestic Product，简称 GDP)通常用来衡量一个国家或地区的经济实力和程度，它是指在特定时间框架内所有常驻单位生产活动的最终结果。然而，追求经济增长可能会对环境产生不利影响，导致负外部性。自 20 世纪 60 年代以来，生态退化和全球环境污染已成为社会和经济可持续性的主要制约因素。为了解决这一问题，结合环境和可持续性观点和因素的绿色会计作为一种解释生态系统的方式出现了。在考虑这些因素的同时，引入了绿色 GDP 的概念来衡量 GDP。

1.2 问题重述

理解了问题之后，我们做了以下工作：

- 任务 1:选择一个 GGDP 计算模型，如果 GGDP 取代 GDP 作为经济的主要衡量标准，该模型可以对减缓气候变化产生可衡量的影响。
- 任务 2:建立一个简单的模型，以估计转向 GGDP 对减缓气候变化健康的预期全球影响。
- 任务 3:通过对气候减缓的上行潜力和谈判努力的下行潜力进行成本效益分析，确定全球是否值得转换为 ggdp。
- 任务 4:选择一个国家，并通过考虑当前的经济状况和支持后代的能力，分析这种转变将如何影响他们

1.3 我们的工作

为了方便起见，我们画一个流程图来表示我们的工作。

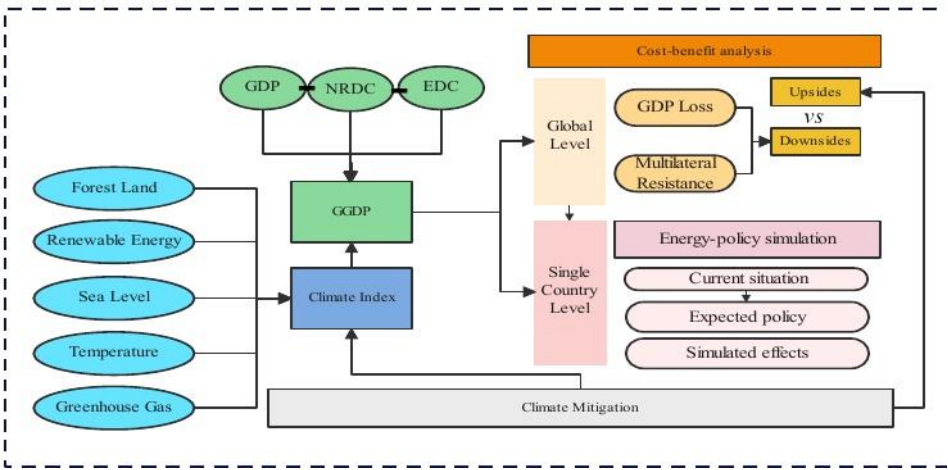


图 1:流程图

- 我们首先建立对减缓气候变化具有可衡量影响的货币化模型。GGDP 的计算方法是在传统 GDP 中减去生态破坏成本(处理成本和保护成本)和自然资源枯竭成本(土壤、水和能源成本)。
- 我们开发了一个气候减缓评估模型。首先，我们通过 IEW-TOPSIS 方法引入中介变量——气候指数(CI)。我们建立了 GGDP 与 CI 之间的当前相关性。接下来，假设发生了转换，我们重新评估 GGDP 和 CI。两组 ΔCI 之间的差异表明了对气候减缓的影响。

•我们进行了成本效益分析，并引入了一个多边阻力校正项，该项通过基于聚类的分析方法进行估计。我们的分析表明，转向 GGDP 是值得的，符合世界发展轨迹。

•我们选择中国作为我们的目标国家进行案例研究，并将我们的模型应用到这些国家。基于部门视角，我们计算了每个部门的环境成本，并给出了从 2020 年到 2050 年每十年的政策实施时间表。然后讨论了我们模型的可扩展性和适应性，进行了敏感性分析，并描述了未来的工作。

2 假设和论证

假设 1:GDP 增长率与 GGDP 增长率一致。

解释:当一个国家用 GGDP 取代 GDP 时，政府为 GGDP 建立了一个增长率目标，这个目标与 GDP 的增长率目标本质上是相同的。因此，我们假设 GDP 和 GGDP 的增长率是一致的。

假设 2:自然因素对全球气候变化的影响是一致的。

解释:虽然自然因素可以促进气候变化，但人类活动的规模和速度正在压倒自然过程，并以前所未有的速度引起气候变化。

假设 3:转换的同时性和瞬变性。

解释:在分析全球格局后，可以推断出，从绿色国内生产总值(GGDP)到国内生产总值(GDP)的过渡过程是在相对较短的时间内迅速而均匀地完成的，所有国家通常跨越一年。

假设 4:世界相对和平。

解释:即使面对多边变革可能带来的障碍，任何广泛的军事冲突或任何国家彻底毁灭的风险都是可以忽略不计的。这种假设承认了国际形势的复杂性和可变性，但也强调了国际社会在应对这些挑战和维持表面稳定方面的韧性。

3 符号记号

表 1:本文使用的记号

Symbol	Description
GDP	Gross domestic production
GGDP	Green GDP
NRDC	Natural resource depletion cost
$NRDC_e$	Energy depletion cost
$NRDC_w$	Water depletion cost
$NRDC_s$	Soil depletion cost
EDC	Ecological damage cost
EDC_t	Industrial "three wastes" treatment costs
EDC_p	Environmental protection inputs value
GI	GGDP index
CI	Climate index

*有一些变量没有在这里列出，将在每一节中详细讨论。

4 数据说明

表 2:数据和数据库网站

Database Names	Database Websites
GDP	https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators
NRDC,EDC	https://www.oecd.org/greengrowth/green-growth-indicators/
CI	https://www.epa.gov
Maps	© 2023 Mapbox © OpenStreetMap
Output value of 26 sectors	China Statistical Yearbook for the years of 2021; China Industry

5 GGDP 测量方法

5.1 GGDP 的主流测量方法

全球有许多组织致力于绿色 GDP 核算。1993 年，联合国统计局(UNBS)与世界银行合作开发了“系统综合环境与经济核算账户”(SEEA)，首次引入了绿色 GDP 的概念。国际上建立的绿色 GDP 核算体系包括菲律宾环境与自然资源核算体系(EN-RAP)。衡量绿色 GDP 有两种观点:货币化和废钞化。货币化涉及在原始 GDP 中增加或减少数据，而非货币化涉及建立一个全面的评估体系。

•在货币化核算层面，绿色 GDP 有两种主流定义。第一种方法是将生态系统服务的价值增加到传统的 GDP 中，

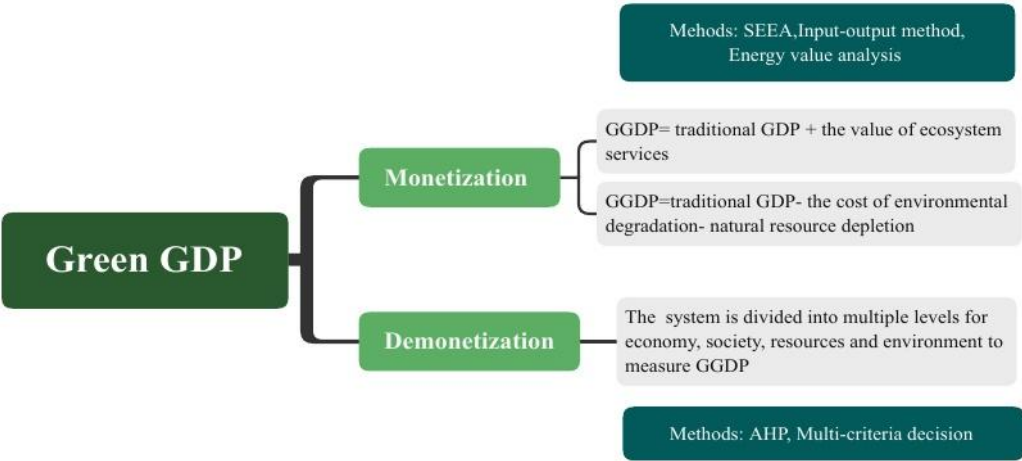


图 2:绿色 GDP 的测量

第二种方法是从传统的 GDP 中减去环境退化和自然资源枯竭的成本。第二种定义更为成熟，因为生态系统服务的核算仍处于概念化的过程中。

•在非货币化的会计层面上，有学者提出将经济、社会、资源、环境等方面划分为多个层面，建立会计体系，以非货币化的价值衡量绿色 GDP 水平状况。分层分析和多准则决策模型是主要的应用方法。

5.2 我们模型的建立

5.2.1 总体框架

由于自然环境具有不确定性和区域特殊性，各国和各地区的社会发展也各不相同，因此对具体调整条件的约定存在差异。因此，绿色 GDP 核算体系没有一个完善的、没有争议的标准。为了给经济可持续发展提供数据指标支持，现阶段绿色 GDP 的计算方法应采用更简单、更可行的模型。绿色 GDP 的计量方法也应对减缓气候变化产生可衡量的影响。考虑到这些因素，本文提出了一个绿色 GDP 核算模型框架:

$$GGDP = GDP - NRDC - EDC \tag{1}$$

式中，GGDP 为绿色 GDP, NRDC 为自然资源枯竭成本，EDC 为生态破坏成本。图 3 给出了对等式 1 的进一步描述。NRDC 和 EDC 的测量将在稍后详细讨论。

5.2.2 方程的具体计算

•NRDC 的计算

(1)能源消耗成本

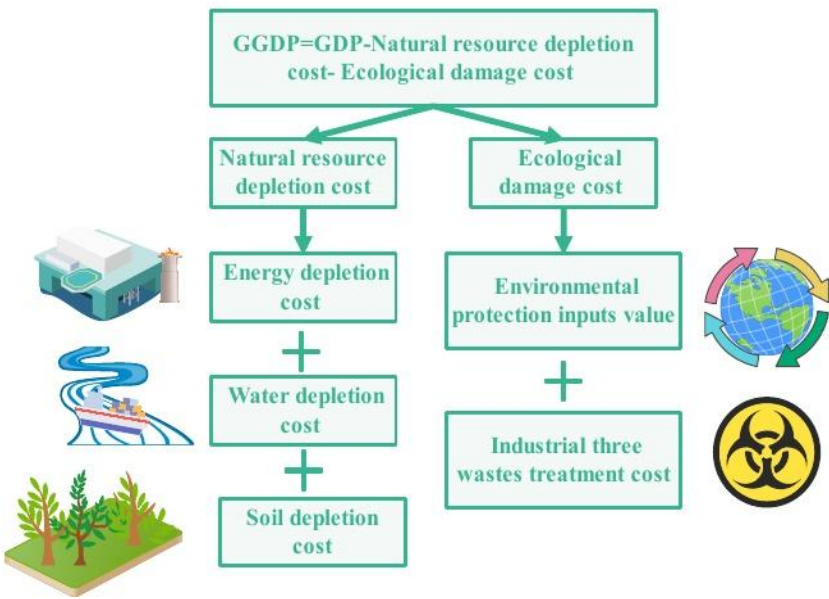


图 3:方程式描述

我们借鉴相关研究成果，选取每年的能源 e_i 价格 p ，然后借助能源价格指数 C_{ei} 对价格 p 进行修正。我们将每年的能源消耗 q_{ei} 乘上每个国家每年的能源价格，得到能源消耗成本。

$$NRDC_e = P_{Cei} \times Q_{ei} \tag{2}$$

(2)耗水成本

水资源消耗的值 $NRDC_w$ 也以类似的方法得到 ($P_{wi} \times Q_{wi}$)。在估算水资源价格 P_{wi} 时，经验证方法是一种国际公认的、易于使用的方法，其估计如下：

$$P_{wi} = F_{wi} / Q_{wi} \times \alpha_i \tag{3}$$

在等式中， α 表示消费者支付意愿的系数；下标 i 表示第 i 个区域。对于 α ，学者 Kim Yuze 等人（2014）结合了世界银行的建议，并提出了一个估计：

$$\alpha_i = \begin{cases} 3\% & R_i \in [0, 500] \\ 3\% - \frac{1}{1250} (R_i - 500) \% & R_i \in (500, 3000) \\ 1\% & R_i \in [3000, +\infty) \end{cases} \tag{4}$$

(3)土壤耗竭成本

土壤枯竭成本是一个复杂的概念，可以通过多种方式进行测量。以下是一些可能的方法:产量损失、养分损耗和耕地价值。我们使用收益乘数法对耕地进行估值，定量衡量土壤损耗。

先求出前 3 年耕地 APCT1 T2、APCT3、APC 的平均产值，再乘以最高乘数 β 。表示土地补偿费和安置补助费的组合最大倍数。 β 在不同国家 ave 有所不同，我们通过调查选取 16 作为 β_{ave} 。

获取耕地总价值 TVs。再除以耕地 si 面积 LA，得到单位耕地价格 pi。用获得 si 的单位耕地价格 pi 乘以每年耕地变化面积 ΔLA ，得到耕地资源的萎缩值。

$$NRDC_s = \max(APC_{T_1}, APC_{T_2}, APC_{T_3}) \times \beta_{ave} / LA \times \Delta LA \tag{5}$$

•EDC 的计算

(1)工业“三废”处理成本

生产和日常生活中产生的废水、废气、固体废物对环境有直接的负面影响。减少污染和无危险排放等法规可以减轻污染，但不能完全消除污染。因此，污染物的处理成本是需要考虑的重要因素。

$$EDC_t = C_w + C_{eg} + C_s \tag{6}$$

废水处理成本 Cw 是由各国直接排放的废水量乘以废水处理的单位成本计算得出的。同样，废气处理的成本 Ceg 是通过将最常排放的污染物的排放量乘以其每单位减少成本来确定 eg 的。固体废物处理成本 Cs 由固体废物排放量乘以单位价格确定。

(2)环境保护投入价值

要计算一个地区的污染成本，不能只关注处理“三废”的成本。我们还需要考虑其他费用，比如在保护环境的工程上花费的钱，为灾害做准备的钱，以及投资于有助于环境的事情的钱。

•Calculation of GGDP Index

一旦计算出 GGDP，就可以计算绿色 GDP 指数(GI)(式 7)，该指数可用于将负面环境影响纳入 GDP 计算，从而更全面地评估一国的经济状况。GI 还可以反映国家实施绿色发展的程度。

$$GI = GGDP / GDP \times 100\% \tag{7}$$

5.3 全球 GGDP 和 GI 结果

图 4 显示了 2000 年至 2021 年 GI 的变化。左图反映了世界的变化，右图比较了世界和中国的 GI 趋势。从图 4 可以得出三个结论。

(1)世界 GI 指数呈上升趋势，表明各国越来越重视环境保护，而不是为了经济发展而牺牲环境。

(2)在 2008 年金融危机和 2020 年大流行爆发期间，人类活动减少导致全球 GI 显著上升。

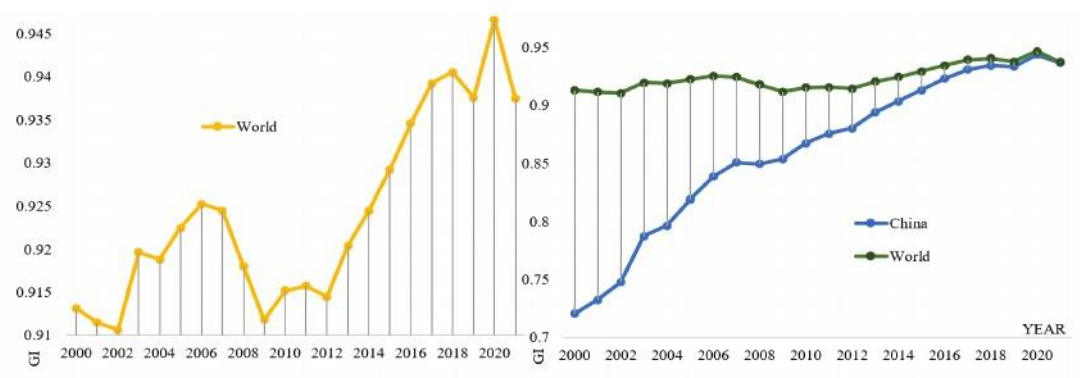


图 4:2000 年至 2021 年 GI 变化

多年来，有明显的下降，表明生产反弹，危害环境。

(3)近 20 年来，中国 GI 显著上升，与世界 GI 的差距不断缩小。这说明中国政府重视绿色发展，在环境保护方面投入巨大。其他国家可以借鉴中国的经验。

图 5 显示了 2021 年基于我们的框架的当前全球 GGDP 结果。左图反映了世界 GGDP 的结果，右图显示了中国的结果。如图所示，国家和地区之间的差异显现出来。从图 5 可以得出两个结论。

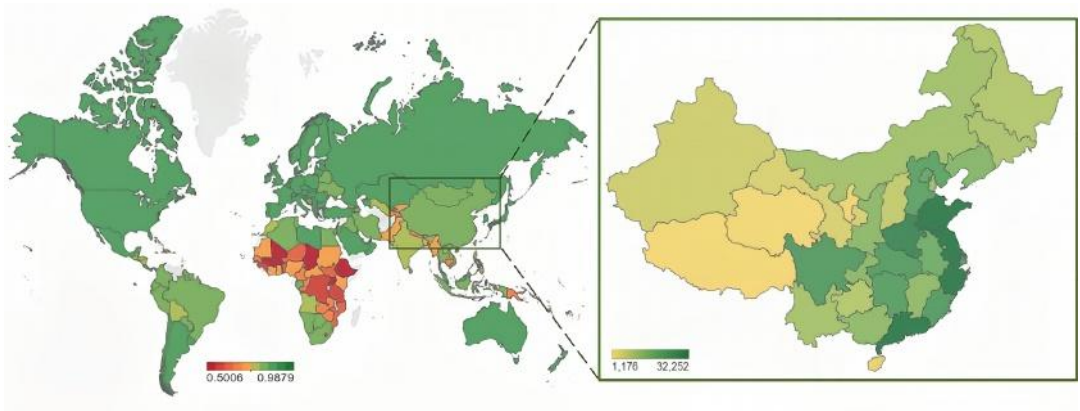


图 5:全球 GI 与中国各省 GGDP(2021 年)

(1)根据 GGDP 结果，美洲和欧洲在经济发展方面处于领先地位，其次是亚洲和大洋洲，非洲(特别是中非)落后。

(2)尽管中国在绿色发展方面取得了显著进展，但区域发展不平衡问题依然突出。虽然中国东部和南部地区的 GGDP 得分很高，但西部和北部地区仍有很大的提升空间。

6 气候减缓评估模型

气候减缓是应对气候变化的关键举措，旨在减少温室气体对大气的影​​响。为了研究全球政策(以 GGDP 取代 GDP)对气候减缓的影响，我们建立了一个模型来量化这一政策对气候减缓的影响。

为了解决这个问题，我们开发了一个气候减缓评估模型。首先，我们引入了气候指数(CI)的概念，它作为一个中介变量，代表了对全球气候条件的综合评估。使用线性回归，我们建立了 GDP、GGDP 和 CI 评分之间的相关性。接下来，我们假设用特定年份的 GGDP 代替 GDP，并相应地重新评估 GGDP 和 CI 分数。CI 变化之间的差异衡量了气候减缓的程度。

6.1 基于 IEW-TOPSIS 模型的气候指数

6.1.1 指标的选择

CI 模型包括可用于衡量气候减缓的五个最重要的定量指标:

(1)林地面积

林地面积(x1)是指树木和森林覆盖的土地总量，是衡量生态系统健康程度和固碳潜力的重要指标。

(2)可再生能源的采用率

可再生能源的采用率(x2)是气候减缓进展的关键指标。这可以通过可再生能源在总能源结构中的份额或可再生能源装置的数量来衡量。该指标可在国家、区域或部门层面进行跟踪。

(3)海平面高度

海平面高度(x3)是海洋表面的平均水平，相对于陆地上某一特定点测量，并可能受到洋流、潮汐和气候变化等因素的影响。

(4)平均地表温度

平均地表温度(x4)是指地球表面的平均温度，通常以多年为周期测量，是地球整体气候的关键指标。

(5)温室气体排放

温室气体(GHG)排放量(x5)是减缓气候变化努力的主要指标。它衡量一段时间内 GHG 排放量的减少，通常以基准年减少的百分比表示。

6.1.2 熵权法

熵权法是一种客观加权法，其原理是指标的变异程度越小，反映的信息越少，因此指标的权重值应该越低。因此，我们用它来确定指标的权重。计算过程如下:

Step1:数据归一化:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$
 (8)

Step2:计算第 j 个指标的第 i 个样本占比:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln (p_{ij}) \quad (j = 1, 2, \cdots m)$$
 (9)

Step3:根据下式求得各指标的熵权:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j}$$
 (10)

计算得到的权重指标结果如下:

表 3:权重指数结果

Index	Weight
x_1 -Forest land area	0.207
x_2 -Adoption of renewable energy sources	0.172
x_3 -Sea level height	0.172
x_4 -Average surface temperature	0.197
x_5 -Total greenhouse gas emissions	0.152

6.1.3 Topsis 法

第一步:对决策矩阵进行归一化

为了确保所有标准的权重相等，第一步是对每个标准的决策矩阵进行归一化。第 i 个标准和第 j 个备选方案的归一化值为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \tag{11}$$

式中 x_{ij} 为第 i 个标准和第 j 个备选方案的原始数据，n 为备选方案的总数。TOPSIS 评价方法要求所有指标

拥有相同的属性。所以我们先取逆，将低性能指标 (x₃, x₄, x₅) 转换为高性能。

步骤 2:确定加权归一化决策矩阵

我们分配了熵权来创建加权归一化值。

第三步:确定理想溶液和反理想溶液

对于每一个判据 i，理想解 A^{*}和反理想解 A⁻可以确定如下:

$$A_i^* = \max_{1 \leq j \leq n} x''_{ij}; A_i^- = \min_{1 \leq j \leq n} x''_{ij} \tag{12}$$

步骤 4:计算分离测度

每个备选 j 的分离测度可以计算如下。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (\max Z_{ij} - Z_{ij})^2}; D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (\min Z_{ij} - Z_{ij})^2} \tag{13}$$

步骤 5:计算与理想溶液的相对接近度

可以计算出每个备选方案 j 与理想解的相对接近度 C_j。C 表的值在 0 到 1 之间变化，并且 CI ‘j (j=1,2, …, 22) 是基于相等的间隔构造的。

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \tag{14}$$

在 IEW-TOPSIS 方法的帮助下，我们计算了 CI_j(j=1,2, …)。， 22)从 2000 年到 2021 年。我们发现全球气候一年比一年糟。

6.2 CI 变化预测模型

我们构建了一个以 CI 为自变量，以 GGDP 为因变量的回归模型。我们假设 2000 年的 GDP 被 GGDP 取代。然后，我们利用 GDP 和 GGDP 具有相同的增长率的假设来预测新的 GGDP 结果。接下来，我们在之前的回归模型中使用新的 GGDP 结果来计算策略实现后新的 CI 数据 CI ‘j (j=1,2, …, m)。从那里，我们计算了预测的 CI 变化ΔCI ‘j (j=1,2, …, m) 和实际的 CI 变化ΔCI_j (j=1,2, …, m)。

我们将ΔCI ‘j 和ΔCI_j 之间的差异表示为 ϕ (预测的ΔCI 变化)。该参数直接反映了气候缓解的程度，假设 2 假设自然因素对全球气候变化的影响多年来是一致的。ϕ 为正值表

示全球政策对气候缓解有积极影响，而 ϕ 为负值表示有消极影响。图 6 给出了理论模型的可视化描述。

(1)左图中，x 轴表示时间，y 轴表示 GDP 或 GGDP 的金额。曲线表示 GDP 和 GGDP 随时间的变化。表示 1 以。代替 GDP 政策的实施点

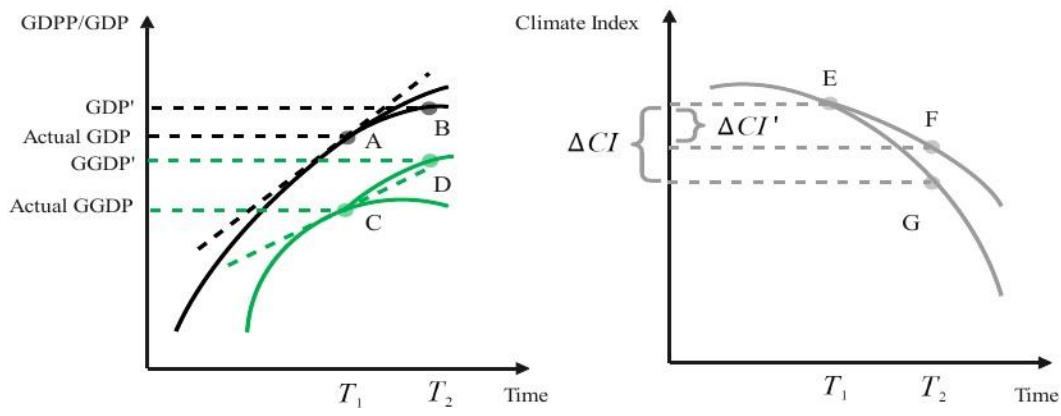


图 6:评估模型描述

GGDP。在 T_1 之前，GGDP 的增长率小于 GDP 的增长率，并且我们假设政府对主要宏观经济指标的增长率目标保持一致，使得 GGDP 的增长率发生变化。这意味着在 T_1 之后，GGDP 的增长趋势不再如曲线 AB 所示，而是与曲线 CD 一致。

(2)在右图中，x 轴表示时间，y 轴表示 GI 的数量。这些曲线代表了策略之前（曲线 EG)和之后（曲线 EF)的 GI 随时间的变化。曲线 EG 和 EF 之间的线性距离分别表示从 t_1 到 t_2 的 ΔCI_j 和 $\Delta CI' _j$ 。如右图所示， ϕ 保持为阳性。

6.3 评估模型结果

GGDP(美元)与 CI 的回归方程为:

$$CI = -1.469 \times 10^{-14}GGDP + 1.835 \tag{15}$$

模型= 0.987 的拟合优度 r^2 ，可以准确地反映这两个量之间的关系。

根据气候减缓评估模型，假设世界各国在 2000 年采用 GDP 作为衡量国家经济健康状况的主要指标，计算了 ΔCI ，并与实际的 ΔCI 进行了比较。在此分析和计算的基础上，绘制了图 7。得出以下结论:

(1)在全球范围内，无论是 GDP 还是 GGDP 作为经济指标， Δci 值始终为负，表明环境持续恶化。然而，当使用 GGDP 作为国家经济健康状况的主要指标时， ΔCI 曲线通常高于使用 GDP 时的 ΔCI 曲线。这表明，与 GDP 相比，使用 GGDP 作为主要衡量指标确实减缓了环境恶化的速度， ΔCI 下降程度平均降低了 31.57%，表明政策对减缓气候变化产生了积极影响。

(2)在某些特定时期，如次贷危机和新冠疫情，以 GGDP 作为衡量标准并没有显著减缓环境恶化的速度， ΔCI 下降程度的平均下降幅度仅为 5.23%。这表明，使用 GGDP 作为衡量经济健康状况的主要指标需要根据实际情况进行调整，特别是在经济衰退和意外的全球危机期间。

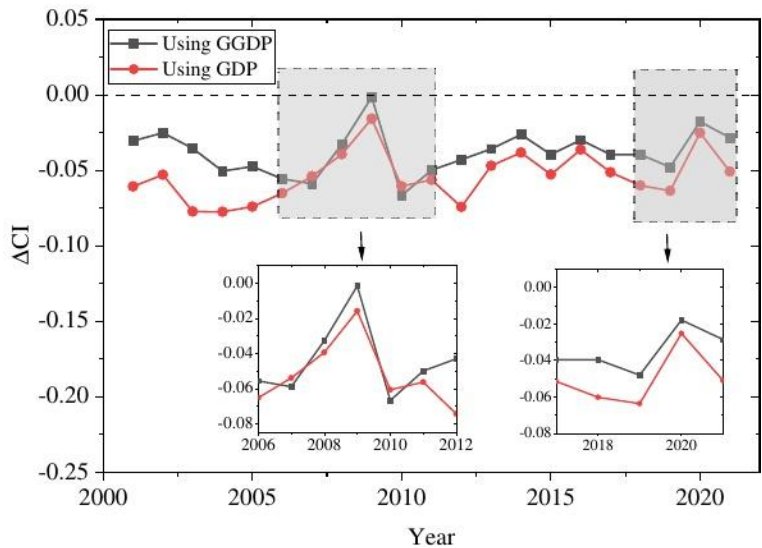


图 7:预计替换对减缓气候变化的全球影响

7 成本效益分析模型

如前所述，使用 GGDP 有利于减缓气候变化。然而，在全球范围内，用 GGDP 取代 GDP 必然会对许多国家的 GDP 的发展和国际地位产生影响，并可能导致动荡的国际气候。因此，这样的转变是否值得就产生了问题。本章将分析比较气候减缓影响的潜在优点和缺点，以及为取代当前现状所做的必要努力。

7.1 潜在的好处

参考公式 1，很明显，为了提高 GGDP，各国必须采取措施削减 NRDC 和 EDC。这些措施的实施将改善全球气候状况，表现在植被覆盖下降的逐渐减速、海平面上升的速度减慢以及其他积极成果。前一节还表明，气候指数(CI)的恶化速度已明显放缓。基于 GDP 和 GGDP 之间的线性关系，以及 CI 和 GGDP 之间的线性关系，气候恶化的程度可以用货币来量化，从而可以计算如下的环境效益。

$$PU = k \frac{(\Delta CI - \Delta CI') - 1.835}{-1.469 \times 10^{-14}} + b \quad (16)$$

7.2 潜在的负面影响

相反，在全球范围内用 GGDP 代替 GDP 可能会削弱某些国家的国际地位，因此在执行过程中会遇到多边性质的反对和障碍。来考虑到这一因素，我们引入了一个多边阻力修正项， P_t , t 指的是年份，来解决这个问题。具体而言，PD 表示如式 17 所示。

$$PD = \Delta GDP - \Delta GDP' + P_t \quad (17)$$

7.2.1 GDP 损失

“GDP 损失”是指采用 GGDP 作为衡量经济健康程度的指标后 GDP 的发展轨迹与原始 GDP 的发展轨迹之间的偏差。为了说明这一点，请考虑一下卡塔尔的例子，该国的大量 GDP 增长取决于大量的碳排放。在使用 GGDP 指标后，卡塔尔的国际地位将因 NRDC 和 EDC 的影响加剧而受到影响，因此需要减少碳排放。在经济发展转型达到高潮之前，其 GDP 增长的速度将放缓，GDP 的这一部分减少被认为是在全球范围内促进 GGDP 的成本之一。

7.2.2 多边阻力分析

对多边变化的阻力是多边贸易中的普遍现象，但衡量多边阻力具有挑战性，并且没有全球范围内计算多边阻力的权威方法(Wang, 2018)。为了估计多边阻力，学者们采用了各种方法，如国家和时间固定效应、偏远性(Yotov et al., 2016)、贸易成本的简单加权、价格指数法、泰勒近似法或随机前沿引力模型(Fang, Ying, and Ma, Rui, 2018)。

在本研究中，我们采用了多边贸易中的多边阻力变量的概念，并引入了多边阻力修正项 P_t ，以解释使用 GGDP 代替 GDP 的潜在缺点。我们主要考虑国际关系和资源配置中产生的多边阻力。为了进行估计，我们分析了各个国家对促进 GGDP 作为全球范围内衡量国家经济健康状况的态度。我们根据全球 178 个国家的人均 GGDP 和气候恶化程度对它们进行了聚类，我们发现将它们分为四类会得到更好、更现实的结果，如图 7 所示。

•该图显示了右下角用绿色标记的一组国家，这些国家的人均 GGDP 高，气候恶化速度慢。这些国家展示了可持续的绿色生产和发展模式，处于可持续发展的前沿，因此在国际上享有很高的地位。随着 GGDP 取代 GDP 指标，这些国家可能会支持甚至积极促进这一转变。

•另一方面，橙色方框内的国家拥有环境退化率较低的可持续生产发展模式，但其目前的综合国力水平有待提高。虽然这些国家会接受以 GGDP 取代 GDP，但它们的国际地位可能不会显著提高，也不一定会主动转型。

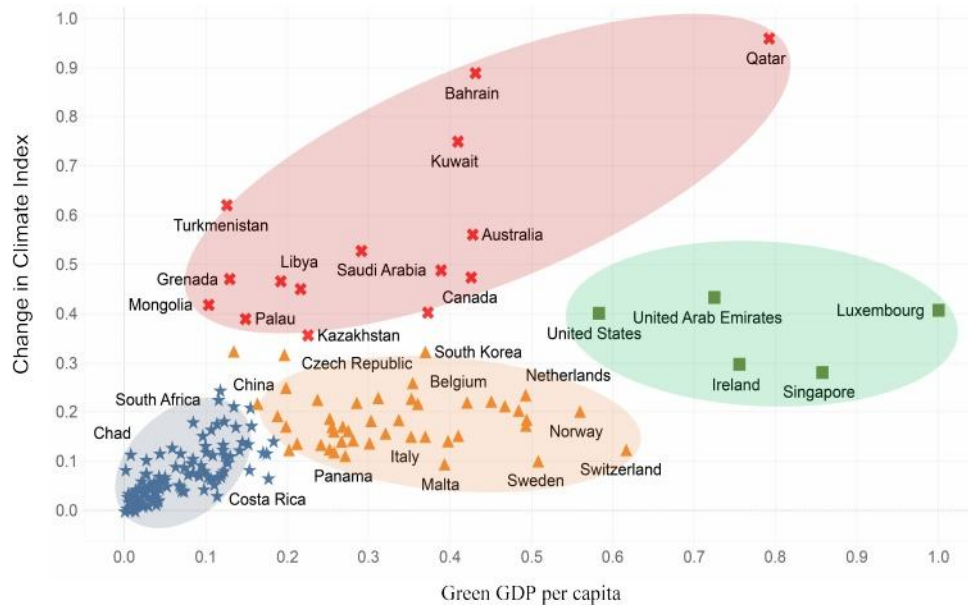


图 8:Kmeans-results

•红框内的国家人均 GGDP 分布不均，但环境退化程度普遍较高。尽管这一类的个别国家依靠较高的人均 GDP 获得了较高的人均 GGDP 排名，但它们的国家发展模式的可持续性较差。因此，如果不适当调整其生产发展模式，其人均 GGDP 将迅速下降。因此，采用 GGDP 需要这些国家转变其国家生产发展模式，以保持其国际地位，这种转变将面临来自各方面的阻力。多边阻力修正项 P_t 与这些国家沿 y 轴移出红色区域的总距离有关，可以根据 CI 与 GDP 之间的关系进行货币化。

$$P_t = k \sum Distance(x_i) + b$$

(18)

在上式中， x_i 表示红色区域中的每个国家，距离（ x_i ）表示 x_i 国家需要沿 y 轴移出红色区域的距离。为了说服红框中的国家接受 GGDP，可以引入激励政策来降低环境退化的速度，这将使这些国家受益。由于这些政策对每个国家都是平等的，环境退化率较高的国家将有更大的机会减少政策，这为它们提供了激励。这一努力的费用由多边阻力修正期限承担。

该图还显示了左下角密集的蓝色区域，覆盖了大量人均 GGDP 和环境污染率均较低的国家。这些国家受 GGDP 向 GDP 转换的影响较小，我们相信它们会顺应世界发展趋势。

7.3 比较

在这里，我们计算了 GGDP 推出期间每年遇到的潜在阻力和潜在收益。总体而言，自 2000 年以来，PU 几乎每年都小于 PD，这表明在全球范围内转向 GGDP 是值得的。

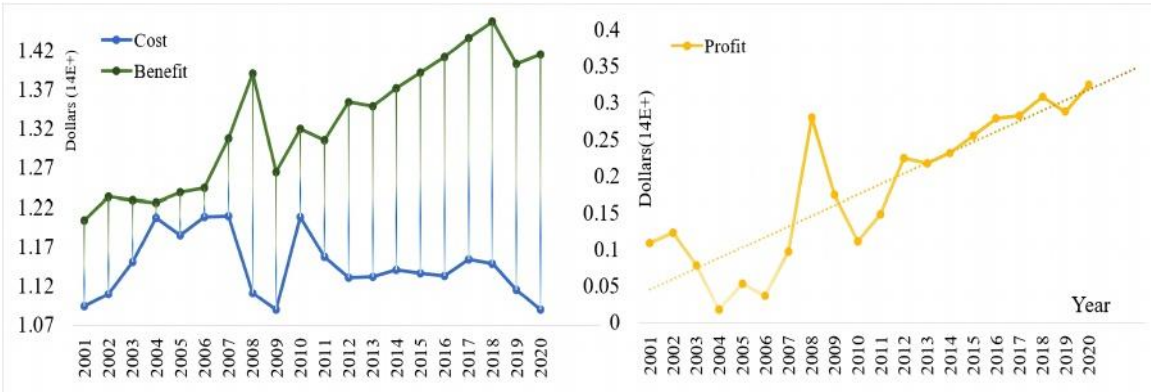


图 9:成本效益分析

图 9 显示，2008 年左右的潜在阻力相对较低，这可能是由于 GGDP 能够减缓 GDP 的变化率，从而有助于减轻危机期间的经济损失。此外，PU-PD 的趋势呈波动上升趋势，表明对使用 GGDP 代替 GDP 的阻力正在减少，GGDP 的推广越来越受欢迎。

8 能源政策仿真模型

8.1 不同部门的环境成本

我们选择中国作为深入分析的国家。根据之前对中国和世界 GI 的比较，可以明显看出，中国在过去 20 年里经济发展取得了显著进步。然而，中国的经济繁荣在很大程度上是由能源密集型和高排放行业推动的。要使中国的经济发展更具可持续性，改变这些产业的传统生产方式势在必行。

在之前的 GGDP 测算公式中，我们简化了计算，没有考虑一个国家不同部门之间的差异。不同部门之间特征的多样性会导致污染物排放和环境成本的变化。因此，我们基于不同行业的视角，计算了中国 26 个行业造成的气候变化差异，以衡量不同行业的环境成本。随后，我们提出了不同行业对自然资源利用或保护的预期。

$$ECR_i = \frac{TOV_i - GOV_i}{GDP - GGDP} = \frac{EC_i}{NRDC + EDC} \tag{19}$$

其中 $tovi$ 代表每个部门的总产值，而 $govi$ 代表每个部门扣除环境成本后的绿色产值。

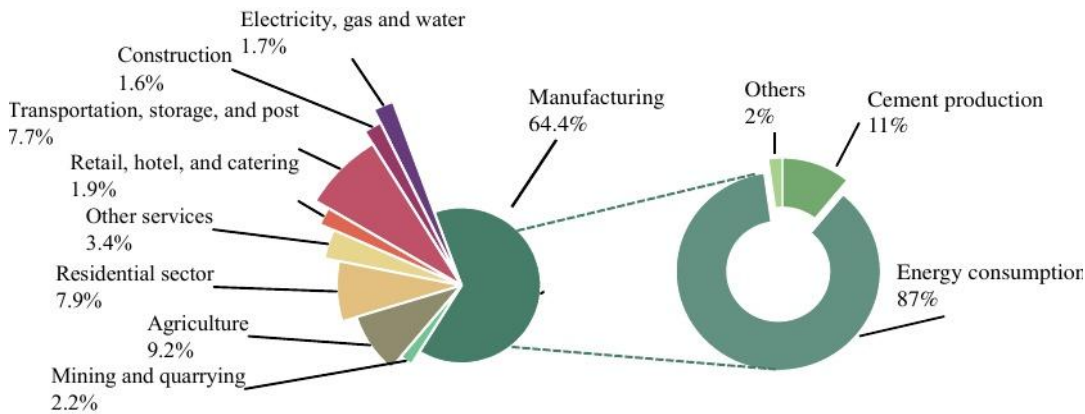


图 10:中国不同行业的 eci rf

通过计算中国各部门环境成本占总环境成本的比例，我们发现制造业、农业、交通运输和住宅部门的环境成本最高， 占总环境成本的 89.2%， 其中制造业的环境成本主要来自能源消耗。这一发现与中国作为制造业大国、农业大国和人口密度高的国家特征是一致的。如果采用 GGDP， 这四个部门利用自然资源的方式将发生重大变化， 因此政策实施和目标设定需要首先考虑这四个部门。

8.2 期望与政策实施时间表

考虑到制造业、农业、运输和住宅四个部门在使用 GGDP 作为衡量经济健康状况的指标时变化最大， 它们使用和保护自然资源的方式也可能发生根本变化， 以适应更绿色和更可持续的经济。考虑到中国的国情和产业结构， 我们为中国制定了一个可行且合乎逻辑的愿景。具体来说， 我们在 30 年的时间里(从 2020 年开始)实施了三个十年计划， 预计中国自然资源的保护和利用方式将达到理想状态。

(1)2020-2030 年:实现制造业碳排放峰值

在将 GGDP 作为衡量经济健康的指标的头十年里， 该政策的约束效应将首先在制造业显现。为了适应新的经济发展方式， 碳排放强度将继续下降， 我们预计单位工业增加值的二氧化碳排放量将下降 18%。未来十年， 绿色制造体系将不断完善， 我们预计绿色制造产值将达到 11 万亿元。同时， 交通基础设施与生态环境协调发展水平进一步提升， 我们期待交通运输领域对生态保护的重视将取得显著成效。

(2)2030-2040 年:城乡各方面实现绿色发展

2030-2040 年， 我们期望利用 GGDP 促进区域和城市群的绿色发展。通过建立健全绿色协调机制

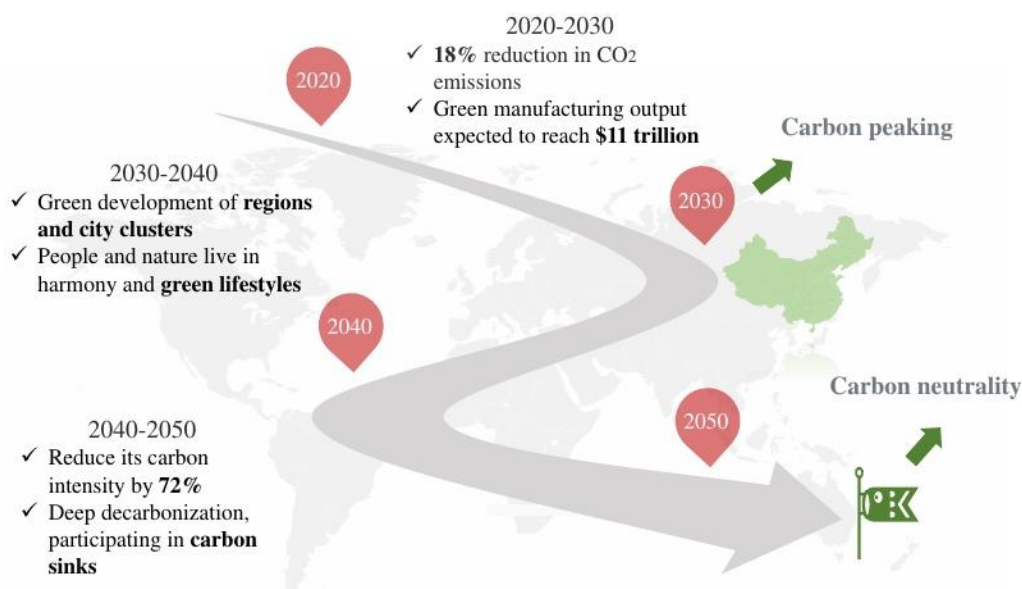


图 11:政策实施时间表

区域和城市群的发展，中国可以充分发挥各城市的比较优势，促进资源的有效配置。其次，我们期待中国建设人与自然和谐相处、绿色生活方式得到广泛推广的可持续发展城市。最后，我们期望在 2040 年建成高质量的绿色建筑，并在建筑领域实施碳调峰和碳中和行动。

(3)2040-2050 年:实现碳中和的过程

随着中国走上可持续发展的道路，使用 GGDP 作为衡量经济健康状况的指标的好处已经变得显而易见。我们预计中国的碳排放强度将降低 72%，清洁能源将在很大程度上取代煤炭。这一时期的主要目标是深度脱碳、参与碳汇和完成碳中和目标。在深度脱碳和完成“碳中和”目标之间的这段时间，工业、发电、交通和居民侧高效清洁利用的潜力得到了很大的开发，此时应该考虑碳汇技术。

8.3 基于 EPS 模型的策略效果

我们利用 EPS(能源政策模拟)模型来评估政策措施对减排、成本和社会效益的潜在影响。中国人民大学研究院对 EPS 模型进行了调整，以反映鲜明的中国特色。[2]其基本作用是评估各种能源政策对当地能源消费和 GHG 排放的影响，同时为政策制定提供数据驱动的支持。该模型采用情景分析，包括在基线情景的发展路径中添加不同的政策，创建各种情景路径，并观察由此产生的每个变量的变化，以评估政策的影响。

EPS 模型基于系统动力学的理论框架，将能源消耗和经济发展看作是一个开放的、波动的过程 非平衡系统。这种方法允许深入分析系统的内部结构及其要素之间的相互关系。系统动力学模型包含了几个长时间序列数据变量，这些变量不仅受到外部环境的影响，还受到自身流入和流出的影响。

为了确定不同政策的减排潜力、减排成本、环境影响和社会效益，我们将各种与能源、气候和环境相关的长期政策，包括来自不同部门和跨部门的政策，作为模型的输入。然后，我们评估了这些政策对能源消耗等各种指标的综合影响。EPS 模型的基准年为 2020 年，规划周期为 2050 年，模拟时间步长为 1 年。模型参数来源于国家气候战略中心、《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》的研究。模拟的 GHG 排放量如图 12 所示。

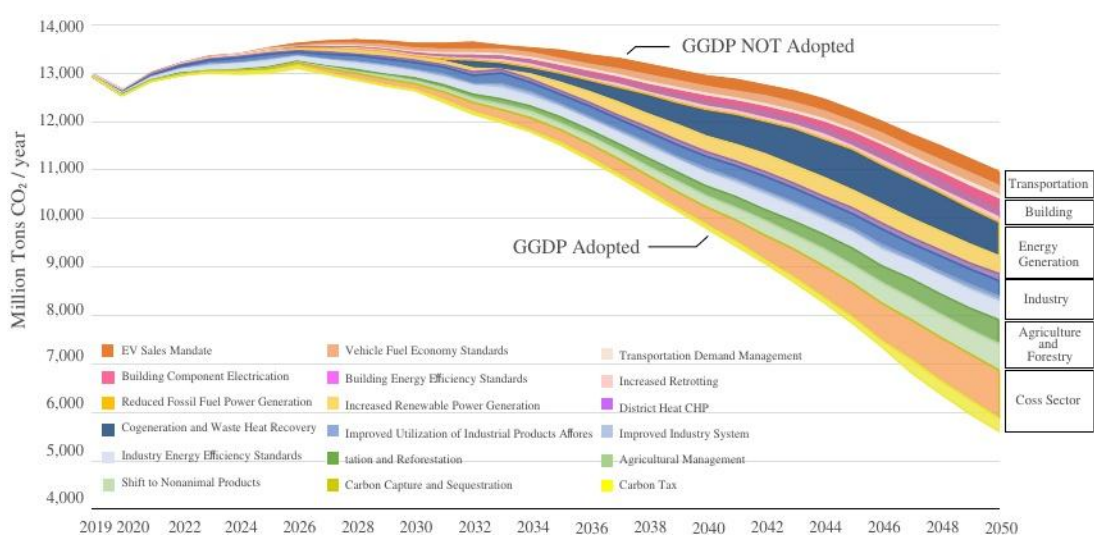


图 12:co2 排放 2 模拟

(1)短期成本

建设新的基础设施、升级现有设施和实施新技术可能需要大量的资本投资。例如，向可再生能源过渡可能需要对新的太阳能或风能系统进行初始投资。

此外，绿色政策往往需要持续的维护和保养成本，例如对可再生能源系统的定期维护和维修，或对绿色空间和保护区的维护。

(2)社会经济效应效益

如果政策实施，政府将更加重视控制碳排放。这一行动还可以通过减少 PM 等传统污染物的排放来改善空气质量，这反过来又对健康有很大的好处。一些研究表明，改善空气质量确实可以降低人类死亡率。不可否认，政策的改变将有利于中国抚养后代的能力。

基于 EPS 的模拟，我们可以粗略估计，加强面向 2050 年的行动路径，每年可避免多达 189 万人过早死亡。当乘以中国一个人生命的统计值(该值为 cal-根据 Wang 等人(2010)的中国统计寿命价值计算，避免过早死亡的货币化收益可能高达 RMB(以 2018 年的价格计算)。

此外，向绿色技术和实践的过渡还可以创造新的就业机会，特别是在可再生能源、能源效率和可持续农业等领域。

(3)气候指数效益

此外，加强行动路径还可以减轻气候变化引起的海平面上升和水资源短缺等自然灾害的影响，从而显著提高 CI 效益。

我们采用 CI 效益计算模型和 EPS 的模拟结果，发现到 2050 年货币化的气候效益可达 RMB(按 2018 年价格计算)。

9 优点和缺点

9.1 优势

•我们分析了足够多的国家

当考虑在全球范围内采用 GGDP 作为 GDP 的可行替代品时，我们的分析包括对 178 个国家的全面检查，占全球所有国家的 90%以上。这种有条不紊的方法产生了更有力、更令人信服的结果。

•我们的模型简单但通用

我们的模型结构相对简单，易于计算和修正。该模型与经验数据的高度一致性转化为绝大多数国家的出色表现。此外，该模型对全球每个国家的广泛适用性进一步强调了其普遍性。

•考虑到多边变化产生的阻力

多边变革是一项极其艰巨的挑战。说服各国采用 GGDP，而不是传统的 GDP 作为衡量经济福祉的主要指标，这项任务可能会被证明是艰巨的。为了解决这个问题，我们已经全面考虑了多边变革可能带来的阻力。我们通过聚类确定并分类了阻力的来源，使模型易于防御。

9.2 缺点

•GGDP 算法可能不适合某些国家

由于各国国情的显著差异、文献中 GGDP 计算方法的差异以及有限的数据可用性，GGDP 算法可能不适合某些国家。

•对多边阻力的估计是相对主观的

多边变化是一项极具挑战性的任务，估计相关的阻力同样要求很高。说服各国采用新的 GGDP 而不是传统的 GDP 作为主要经济健康指标的成本很难量化，这使得本文的估计很主观。

•EPS 模型假设的一致性略显不足。

模型输入变量指的是来自不同行业和部门的研究成果，可能基于不同的假设，因此模型的每个变量的数据可能不是基于统一的假设或前提，这将导致模型结果的准确性降低。在后期，如果有条件，我们应该尽量保证参考数据所隐含的假设的一致性。

10 结论

本文采用 GGDP 计算方法，综合了五个公认的自然指标，并利用可获得的数据建立了它们与 GDP 的相关性。随后，我们在理性假设的基础上量化了 GGDP 可能提供的潜在优势。此外，考虑到在向 GGDP 过渡的过程中可能出现多边反对，我们通过聚类分析对多边抵制进行了大胆的估计，并确定这种抵制在可以获得实质性利益的情况下逐渐减少。最后，我们将重点放在中国，研究了按行业划分的 GGDP 转换可能产生的影响，预测了必要的政策调整，并预测了可能产生的潜在效益。

总的来说，我们发现可持续发展的任务艰巨而深远。虽然由环境消费驱动的爆炸性 GDP 增长可能会暂时提高一个国家的国际地位，但最终会被时间所侵蚀。只有可持续的、环境友好的发展模式才能确保长期的成功。使用 GGDP 可以帮助被误导的国家认识到正确的发展道路，并促进在世界范围内采用健全的发展模式。我们的团队相信，从 GDP 到 GGDP 的转变是不可阻挡的，它最终将带领地球走向更光明的未来。

通往更可持续未来之路

致:中国领导人

题目:关于支持将 GGDP 作为衡量国民经济健康程度的首要指标的建议

近年来，中国发生了深刻的变化，经济快速增长，国内生产总值(GDP)大幅增加。然而，这种增长在很大程度上是由能源密集型和高排放行业推动的，导致资源和能源消耗迅速增加。因此，引入绿色 GDP 是必要的。

绿色 GDP 从 GDP 中减去自然资源破坏(NRDC)和生态破坏(EDC)的成本。与传统的 GDP 不同，它在计算中考虑了自然资源，对可持续发展具有深远的影响。

我们的分析发现，从环境和多边的角度来看，采用绿色 GDP 是值得的。我们的气候减缓评估模型表明，采用绿色 GDP 将导致环境退化率降低 31.57%。成本效益分析还表明，大多数国家将接受采用绿色 gdp。

在我们对中国的深入分析中，我们发现制造业、农业、交通运输和住宅部门的环境成本最高，占总环境成本的 89.2%，其中制造业的环境成本主要来自能源消耗。

在考虑到国家国情和产业结构后，我们提出了三十年(从 2020 年开始)的三个十年计划，以节约和利用自然资源。规划内容如下:2020-2030 年:实现制造业碳峰值，推进城乡各方面绿色发展。2030-2040 年:全面推进绿色发展城乡。2040-2050 年:努力实现碳中和。

真诚地，

2315018 团队撰写

References

[1] Fang Y, Ma R. Cultural trade potential and influencing factors between China and countries along the "Belt and Road": an empirical study based on stochastic frontier gravity model[J]. World Economic Research, 2018(1): 112-122.

[2] Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. 2015.

[3] KUNANUNTAKIJ, K., VARABUNTOONVIT, V., VORAYOS, N., PANJAPORNPNON, C. MUNGCHAROEN, T. 2017. Thailand Green GDP assessment based on environmentally extended input-output model. Journal of Cleaner Production, 167, 970-977.

[4] K. Ricke, L. Drouet, K. Caldeira, M.Tavoni. Country-level Social Cost of Carbon. Nature Climate Change.2018

[5] Liu Q, Tian Chuan, Zheng Xiaoqi, Chen Yi. Evaluation of carbon emission reduction related policies in China’ s power industry[J]. Resource Science,2017,39(12):2368-2376.

[6] NEUMANN, T. 2022. Impact of green entrepreneurship on sustainable development: An ex-post empirical analysis. Journal of Cleaner Production, 377, 134317.

[7] Winebrake, James J., Erin H. Green, and Edward Carr. Plug-In Electric Vehicles: Economic Impacts and Employment Growth. 2017.

- [8] WU, S. HAN, H. 2020. Sectoral changing patterns of Chinas green GDP considering climate change: An investigation based on the economic input-output life cycle assessment model. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119764.
- [9] YOTOV Y V, PIERMARTINI, ROBERTA, et al. An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model [M]. Geneva: United Nations and WTO Publications, 2016.
- [10] Yin, Jianhua, Mingzheng Zheng, and Jian Chen. The effects of environmental regulation and technical progress on CO2 Kuznets curve: An evidence from China. *Energy Policy* 77.2015: 97-108.