

走向绿色气候——基于 4M 系统的分析

摘要：随着世界经济的不断发展，人类对资源的开发利用，以及环境破坏的逐渐加剧，全球气候形势日益严峻。因此，在经济发展和环境资源保护之间取得平衡已经刻不容缓。为了评估以GGDP代替GDP作为衡量经济健康的指标所带来的转机和全球影响，我们建立了一个**4M系统**：一个方法，一个模型，一个模型和一个运动。

对于该方法，我们阅读了大量关于不同计算方法的文献，从中选择了一种考虑资源消耗和排放等多种因素的GGDP计算方法，并在此基础上对世界160个国家40年的数据进行了初步分析。结果表明，在过去50年中，世界各国的不健康GDP份额(定义为%DIF)下降了5%。与此同时，即使是一些造成大量排放和污染的国家，也可以在保持经济增长的同时做得更好。

对于该模型，我们开发了气候减缓影响模型，该模型包括3个级别的指标来描述大气、海洋和陆地条件。其中，采用熵权法(EWM)确定指标权重。在此之后，我们对过去的年份进行了评分，发现从20世纪70年代到现在，这一指标一直在下降。然后，根据相关分析和回归分析的结果，我们发现%DIF对世界气候的影响高达气候变化的1/3，其减少可以改善环境恶化。

对于模型，我们首先进行了替换的成本效益分析，并使用普通最小二乘(OLS)回归，分析了GDP和GGDP对民生的不同影响。结果表明，替代对性别平等和人类发展是友好的，尽管对收入不平等略有增加。然后我们考虑了未来。在经济方面，我们结合ARIMA、GM(1,1)和SVG对未来进行了预测，结果显示世界GDP和GGDP将分别在2052年和2055年全面复苏，之后将快速增长。在气候方面，经Logistic Function归一化的得分显示，2075年之后，气候得分将再次上升。

对于运动，我们选择文莱进行具体分析，并预测其是否应该接受GGPT。我们的结论是，如果文莱不进行改革，它将面临资源枯竭和经济崩溃;而改革后，到2077年经济将完全复苏。此外，我们还针对文莱的产业结构、经济结构、贸易结构等方面的改革提出了几项有针对性的政策建议。

最后，我们将上述分析整理成一份一页的非技术报告，提交给文莱领导人，支持文莱用GGDP取代GDP作为国民经济健康的主要指标。

论文最后的敏感性分析表明，无论各国为推进改革而做出的短期牺牲有多大或多小，最终都将获得与成本相称的实质性收益。最后，我们对这一体系进行了进一步的讨论，希望它能够发挥更大的作用，引领我们走向更加绿色的未来。

关键词:气候减缓;绿色GDP;回归分析;ARIMA

目录

走向绿色气候——基于 4M 系统的分析 1

1 介绍 4

 1.1 问题背景 4

 1.2 问题的重述 4

 1.3 我们的工作 4

2 假设和理由 5

3 记号 6

4 方法:GGDP 计算方法 6

 4.1 GGDP 计算方法综述 6

 4.2 我们的选择 6

 4.3 计算方法的初步应用 7

5 模型:气候减缓影响模型 8

 5.1 全球气候评估与指标选择 8

 5.1.1 全球气候趋势 8

 5.1.2 CMI 模型的指标选择 9

 5.2 EWM 法确定权重 9

 5.2.1 数据归一化 9

 5.2.2 权值计算-熵权值法(EWM) 10

 5.3 评分系统的验证性评估 11

 5.3.1 1952 年至 2021 年的评分 11

 5.3.3 回归分析 12

6 霉菌:经济-生态成本-效益分析霉菌 12

 6.1 讨论成本与效益 12

 6.1.1 成本讨论 12

 6.1.2 利益讨论 13

 6.2 OLS 对转变的影响分析 13

 6.2.1 数据选择 13

 6.2.2 结果解释 14

 6.3 寻找交集 14

 6.3.1 未来对经济的影响 14

 6.3.2 未来对气候的影响 16

7 运动:GGDP 作为文莱的政策冲击 17

 7.1 文莱当前经济结构分析 17

 7.2 政策制定及其困难 17

7.3 不进行转型的生态系统预测 18

7.4 文莱未来的理想愿景 18

8 灵敏度分析 19

9 模型评估与进一步讨论 20

9.1 优势 20

9.2 缺点 20

9.3 进一步讨论 20

10 非技术报告 21

References 21

1 介绍

1.1 问题背景

国内生产总值(Gross Domestic Product, 简称 GDP)经常被用来衡量一个国家的健康状况和经济增长率。更高的 GDP 意味着更高的生活水平、更高的购买力和更多的贷款机会。为了国家经济的健康发展, 各国政府都在不断追求更高的 GDP。然而, GDP 只考虑商品和服务的产出, 而不考虑用于这些产出的资源。换句话说, 它只考虑经济进步, 而不考虑环境破坏和资源滥用。

如今, 世界上许多国家越来越重视可持续发展, 经济与环境的协调发展已经提上了日程。绿色 GDP 或 GGDP 成功地将资源和环境纳入国家经济健康的衡量标准。如果各国政府都同意将 GGDP 作为自己国家的新目标, 全球气候危机将得到显著缓解, 我们将在未来享受更好的生态环境。我们关注的不仅是速度, 更要关注经济的色彩。



图 1(a):纽约美丽的夜景



图 1(b):地球严重的气候危机

1.2 问题的重述

将 GGDP 作为衡量国民经济健康状况的主要指标, 可能对国民经济和环境产生多重影响。为了讨论这些可能的变化, 我们需要在问题的背景下完成以下任务:

任务 1:选择迄今为止已经开发的 GGDP 计算方法之一, 并确保如果它替代 GDP, 它对气候变化具有可测量的影响。

任务 2:建立一个模型, 以 GGDP 作为国家经济健康状况的主要指标, 估计对减缓气候变化的全球影响。

任务 3:基于任务 2 中对全球影响的分析, 通过比较减缓气候变化的优点和试图改变现状可能存在的缺点, 讨论模型是否证明使用 GGDP 代替 GDP 是值得的。

Task 4:根据 Task 1 中提出的 GGDP 的计算方法, 以及它与 GDP 计算方法的区别, 深入分析 GGDP 投入使用后对一国状况和行为的影响。

任务 5:根据任务 4 的分析, 写一份非技术性的报告给国家领导人, 关于 GGDP 是否应该取代 GDP 作为国家经济健康的新衡量标准。

1.3 我们的工作

我们的工作主要包括以下几个方面:

在 Task 1 中, 我们对大量关于 GGDP 计算方法的文献进行了研究, 并选择了将环境健康纳入经济评价的文献。根据该方法进行了初步计算, 发现总体上世界正在变得更加绿色。

在 Task 2 中，为了建立一个气候减缓影响模型，我们选择了部分指标并使用 EWM 确定权重，然后进行 SVM 预测。另一方面，我们对选取的四个指标与 GDP/GGDP 进行了相关分析和回归分析。综合结果估计了这一变化的全球影响。

在 Task 3 中，我们首先对改革进行了成本效益分析，然后通过对具体指标的比较分析，找到了未来经济与环境的交集。结果表明，用 GGDP 代替 GDP 是值得的。

在 Task 4 中，我们结合上述模型分析文莱的经济和环境状况。如果文莱不改变，它最终将面临资源枯竭和经济崩溃。如果文莱积极推行改革，政策分析和时间表估计表明，其经济将迅速复苏并实现可持续增长，同时环境和资源将得到保护。相比之下，我们最终认为文莱应该采取行动。

下图直观地反映了我们的工作：

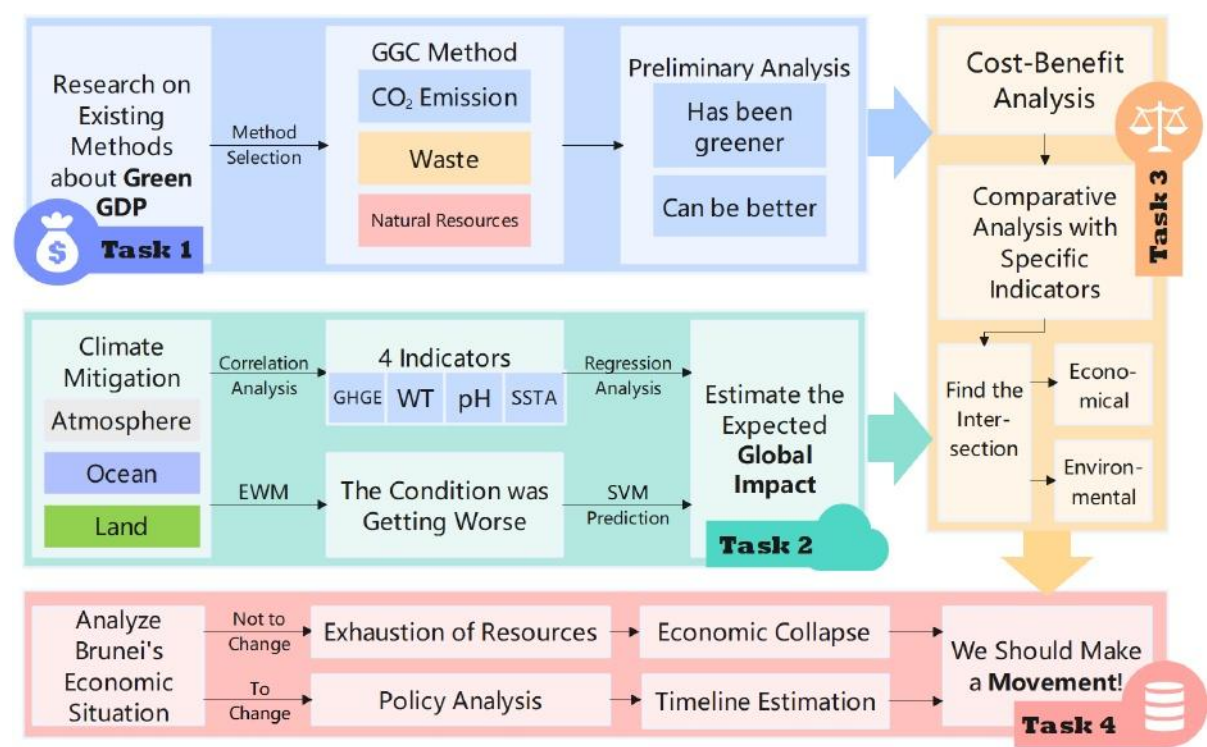


图 2:我们的工作流程图

2 假设和理由

经济的真实状况远比我们下面要讨论的要复杂得多，所以让我们先做一些基本的假设，这将使我们能够尽可能地简化我们的分析，从而得出事实性和启发性的结果。

假设 1:未来，经济将正常运行，这意味着不会对世界产生大的冲击。

理由:战争或流行病等不确定性会使经济难以根据既定模型进行预测。同时，假设世界未来不会经历这些事件，这些负面冲击将导致经济波动性急剧增加。

假设 2:未来不会出现对气候产生剧烈影响的环境事件。

理由：混乱、自然世界的不可预测性和技术进步的不确定性对世界气候产生了极其严重的影响。但这些事情发生的可能性很小，所以我们选择忽略它们。

假设 3:换届之后，世界领导人可以改变自己的经济和政治目标，并为之奋斗。

理由：只有在这个假设下，我们才能确定改革后世界上各国的行为，并对未来的经济和环境条件作出相应的预测。虽然世界上有许多目光短浅或老练的领导人，但我们在讨论问题时并不考虑他们。

假设 4:技术将继续朝着我们定性研究的方向发展。

理由:这是我们最不担心的，但也值得一提。事实上，自 20 世纪以来，世界一直在经历一场技术的飞跃，从蒸汽到电器再到信息时代，技术发展的速度远远超出了有关学者的预期。

3 记号

本文使用的关键数学符号(主要在 GGC 方法中)列于表 1。

表 1:本文使用的记号

Symbol	Description	Unit
<i>GDP</i>	Gross Domestic Product	current US\$
<i>GGDP</i>	Green GDP (Gross Domestic Product)	current US\$
<i>KtCO₂</i>	The amount of CO2 emitted by an economy in a year	kt
<i>PCDM</i>	The average volume-weighted price for carbon (in PPP)	US\$/kt
<i>Twaste</i>	Total (commercial and industrial) waste	ton
<i>Pelect</i>	Price for 1 kWh of electrical energy	current US\$
<i>GNI</i>	Gross National Income	current US\$
<i>%NRD</i>	natural resources depletion % of GNI	%

4 方法:GGDP 计算方法

4.1 GGDP 计算方法综述

纵观有关绿色经济的文献，我们观察到目前的 GGDP 计算方法大致可以分为三类。第一类是对原有的 GDP 计算方法进行修正，如全球绿色经济指数(GGEI)、生态系统生产总值(GEP)、可持续经济福利指数等，其特点是在 GDP 的基础上减去部分环境资源因素的损失。第二种是直接引入一个全新的指标来代替 GDP 来描述经济。典型的指标包括幸福指数和人类发展指数(HDI)，它们通常使用一些社会方法来评估经济。第三类不改变计算 GDP 本身的方法，但通过引入其他指标，如国民核算体系(SNA)、环境和经济核算体系(SEEA)和包括环境核算在内的国民核算矩阵(NAMEA)，对其进行补充。

4.2 我们的选择

在上面提到的第一类计算方法中，我们最终选择了 stjepanoviki 等人提出的一种方法。该方法的特点是既考虑了绿色经济的定量成分，又将机会成本作为定性成分考虑，充分区分了两种计算方法。[1] 该方法考虑了一些传统计算方法中没有反映的关键经济因素，其表达式如下：

$$GGDP = GDP - (KtCO_2 * PCDM) - (Twaste * 74kWh^* * Pelect) - (\frac{GNI}{100} * \%NRD)$$

* 74kWh: Combustion (or recycling) of 1 ton of garbage can obtain 74kWh of electric energy on average.

碳排放量乘以碳的市场价格;第二种则代表机会成本，指的是每吨垃圾本可以产生的电力价值;而最后一个代表的是国家节约的自然资源价值占全国的百分比收入。与其他计算方法相比，该方

程可以最大程度地衡量一个国家的资源消耗速度和废物排放速度，同时也最大程度地保留了原有的 GDP 测量方法，降低了我们的计算难度。[2]

可以预见，如果一个国家选择上述方法计算的 GGDP 作为衡量其经济健康状况的主要指标，那么为了实现更高的 GGDP，政府将在追求经济增长的同时努力减少碳排放和浪费，同时尽可能地保护自然资源。实现这些目标的政策将直接或间接地改善环境健康状况，并对减缓气候变化产生积极影响。这一点将在下面的讨论中得到进一步的证实。

4.3 计算方法的初步应用

我们初步将选定的计算方法应用于 160 个国家的数据，并绘制了图 3(a)和(b)。[3]数字中的变量是某一特定时刻一国 GDP 与 GGDP 之差占 GDP 的比例。这个变量是指一个国家在经济发展过程中所牺牲的环境和资源的相对价值，表示为:

$$\%DIF = \frac{|GDP - GGDP|}{GDP} \times 100\%$$

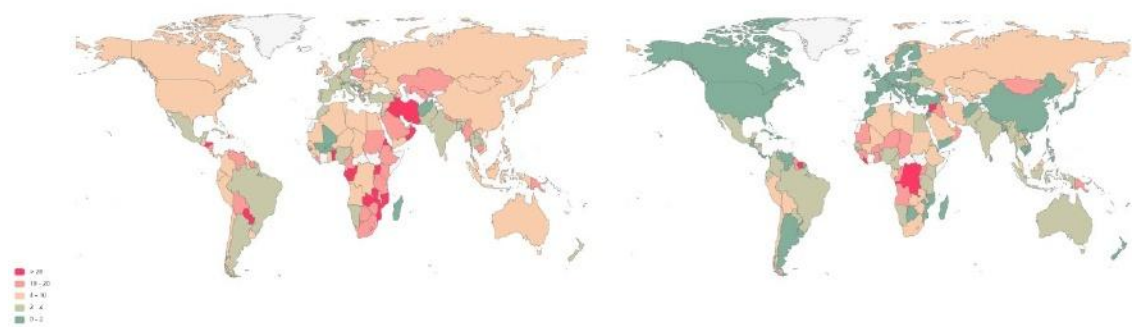


Fig. 3(a) the percentage in 1979

Fig. 3(b) the percentage in 2019

图 3:绿色 GDP 与 GDP 之差(%DIF)

从这些数字中，我们可以观察到世界正在变得更加“绿色”，这意味着我们选择的计算方法告诉我们，从整体上看，世界各国在发展过程中对环境的危害越来越小，牺牲的资源也越来越少，换句话说，不健康的 GDP 在下降。

图 4 是 2019 年全球 GDP 不健康的另一个表现。它是由每个国家的 DIF 百分比和当年的 GDP 的聚类分析得出的。由此得出的散点图显示了发达国家的优异表现。这似乎表明，更大的政治权力和国际影响力可以对环境污染和资源滥用问题产生影响，从而在环境保护问题上拥有更大的发言权。同时，它也让我们意识到，即使对环境的负面影响较小，也可以实现更高的 GDP，也就是说，经济发展不一定要牺牲环境和资源。

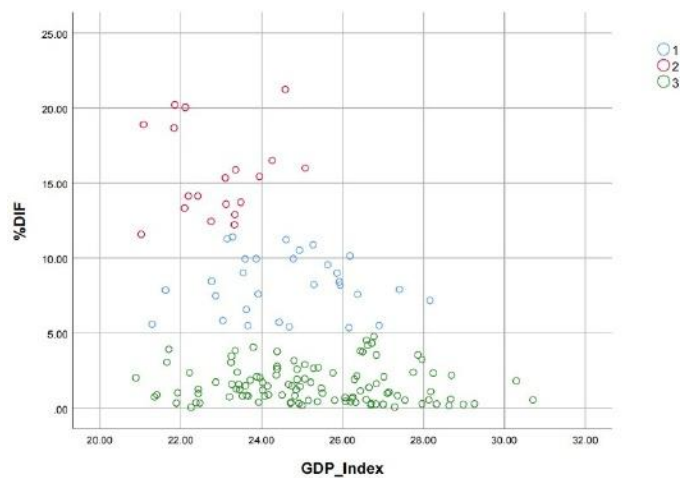


图 4:各国 GDP 指数和%DIF 统计图表

5 模型:气候减缓影响模型

5.1 全球气候评估与指标选择

5.1.1 全球气候趋势

气候变化是指气候的平均状态和分散性在统计上显著的变化和偏差，大致包括酸雨、臭氧消耗和全球变暖三个方面。它是目前全人类面临的最紧迫的问题，关系到人类的未来。

正常范围内的气候变化是大自然自身的进化过程。然而，一些人为因素可能会使气候加速向不利方向演化。自工业革命以来，随着人类活动，特别是化石燃料(煤、石油等)消耗的增加和森林植被的大规模破坏，人为排放的二氧化碳和其他温室气体呈上升趋势，研究表明，这些温室气体是气候变暖的罪魁祸首。1750 年之前，大气中的二氧化碳含量约为 280ppm，但自世纪之交以来的科学观测表明，它们一直以每年约 1.8 ppm 的速度增加，现在接近 360ppm。预测表明，到下个世纪中叶，二氧化碳水平将达到 560ppm，导致全球平均气温上升 1.5℃至 4℃。



图 5:气候减缓影响模型的指标

没有人知道气候变化还能安全多久，但我们都知道气候变化对人类和全球生态系统造成了多大的破坏:

随着海平面上升，土地退化，港口遭到破坏，沿海低地被海水入侵。

全球海水的 pH 值都在下降，难以保持应有的弱碱性，影响了整个海洋生态系统的功能。

喜马拉雅山、青藏高原和其他北极和南极冰川的冰川迅速融化，使数亿人面临水资源短缺和洪涝干旱的威胁。

植物生长周期被二氧化碳改变，造成大规模农业灾害和生态系统破坏，从而导致粮食减产，干旱地区饥饿。

高温给人体循环系统带来负担，增加了疟疾等传染病的风险和死亡率。

.....

如何减缓气候变化，一直是世界各国共同面临的问题。为了更好地衡量气候形势，我们选取了 3 个一级指标和 11 个二级指标，如图 5 所示。

5.1.2 CMI 模型的指标选择

为了建立我们的 CMI 模型，我们需要选择代表气候条件的指标。通过上面的讨论，我们最终得出结论，可以通过测量三个主要因素来进行分析:大气、海洋和陆地的状况。在每一个优越指标之下，都有许多劣等指标。我们的模型一共考虑了 21 个劣指标，如表 2 所示。

表 2:CMI 模型指标表

level 1	level 2		level 3		Type
Atmosphere	GHGE	GHG Emissions	CO2	yearly CO2 concentrations	-
			CH4	yearly CH4 concentrations	-
			N2O	yearly N2O concentrations	-
	WT	World Temperature	WTA	world temperature anomaly	*
Land	LI	Land Ice	ALIM	Antarctica land ice mass	**
			GLIM	Greenland land ice mass	**
	BD	Biological Diversity	LPJA	living planet index average	**
	ND	Natural Disasters	NRND	Number of reported natural disasters	*
	SC	Snow Cover	SCNA	snow cover north America	*
Ocean	pH	Ocean pH	OPYA	ocean pH yearly average	*
	OHC	Ocean Heat Content	2000m OHC	2000m ocean heat content	*
			700m OHC	700m ocean heat content	*
	SSTA	Sea Surface Temperature Anomaly	ASSTA	annual sea surface temperature anomaly	*
	SI	Sea Ice	SIF_Ar	Arctic sea ice February	*
			SIS_Ar	Arctic sea ice September	*
				SIF_An	Antarctic sea ice February
SIS_An				Antarctic sea ice September	*
IB		Iceberg	LCGMB	Lemon Creek Glacier mass balance	+
			GIMC	Greenland ice mass change	+
			AIMC	Antarctica ice mass change	+
			GGMB	Gulkana Glacier mass balance	+
Note: +: Benefit Attributes -: Cost Attributes **: Interval Attributes *: Optimal Attributes					

在确定变量和建立指标框架之后，我们通过授权数据收集数据，包括美国国家航空航天局 (NASA)和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)。

5.2 EWM 法确定权重

5.2.1 数据归一化

我们对收集到的数据进行归一化处理，得到 21 个次优指标，将其分为三类:效益属性、成本属性和区间属性:

- 效益属性越大越好。

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min \{x_i\}}{\max \{x_i\} - \min \{x_i\}}$$

- 成本属性越小越好。

$$\hat{x}_{ij} = \frac{\max \{x_i\} - x_{ij}}{\max \{x_i\} - \min \{x_i\}}$$

- 区间属性，其最佳值位于某个区间【a,b】内。

$$M = \max \{a - \min \{x_i\}, \max \{x_i\} - b\}$$

$$\hat{x}_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{a - x_{ij}}{M}, & x_{ij} < a \\ 1, & a \leq x_{ij} \leq b \\ 1 - \frac{x_{ij} - b}{M}, & x_{ij} > b \end{cases}$$

- 最优值为某个值 a 的最优属性。

$$M = \max \{a - \min \{x_i\}, \max \{x_i\} - a\}$$

$$\hat{x}_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{a - x_{ij}}{M}, & x_{ij} < a \\ 1, & x_{ij} = a \\ 1 - \frac{x_{ij} - a}{M}, & x_{ij} > a \end{cases}$$

指标的分类如上图 4 所示。

5.2.2 权值计算-熵权值法(EWM)

为了进一步对数据进行处理，我们尝试用熵权值法(Entropy Weight Method, EWM)的数学模型对这些指标进行评价。根据信息熵的定义，可以用熵值来判断一个指标的分散程度。信息熵值越小，说明该指标的分散程度越大，该指标对综合评价的影响或权重越大。

因此，可以利用信息熵的工具计算出各个指标的权重，为综合评价提供依据。

考虑到总共有 m 个国家，我们采取以下步骤来计算指标的熵，然后是权重。

第一步:标准化值。

$$p_{ij} = \frac{\hat{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \hat{x}_{ij}}$$

第二步:获取信息熵。

$$e_j = - \frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m}$$

第三步:获取 itn 指标的权重。

$$w_i = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}$$

在对现有数据进行分析后，我们得到 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 权重。由于篇幅限制，我们将不再展示 21 个三级指标的具体数据。我们将其绘制在日出图上(图 6)，日出图中包含的角度大小是每个指标的权重。

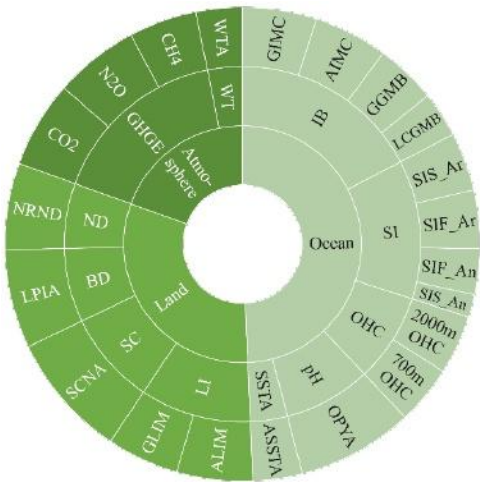


图 6:权重表



图 7:历年气候得分和趋势线

根据上面计算的指标的熵和权重，我们得到对样本进行评分的评价值：

$$S = 100 \sum_j p_{ij} w_j$$

5.3 评分系统的验证性评估

5.3.1 1952 年至 2021 年的评分

我们使用上面计算的评价值对 1952 年至 2021 年的全球气候条件进行评分。结果如上图 7 所示。[4] 从图中我们观察到，随年份变化的分数在 90 年代之前总体呈上升趋势，90 年代之后呈下降趋势。也就是说，全球气候条件在 90 年代之前是在变好，但从那以后直到现在一直在变坏。更重要的是，现在的气候条件更糟了比上世纪 60 年代。

5.3.2 次要指标的相关分析

对所有指标进行分析似乎有点多余，因此在这里我们分析了我们选择的 11 个二级指标的相关性，图 8 显示了作为结果的相关矩阵。

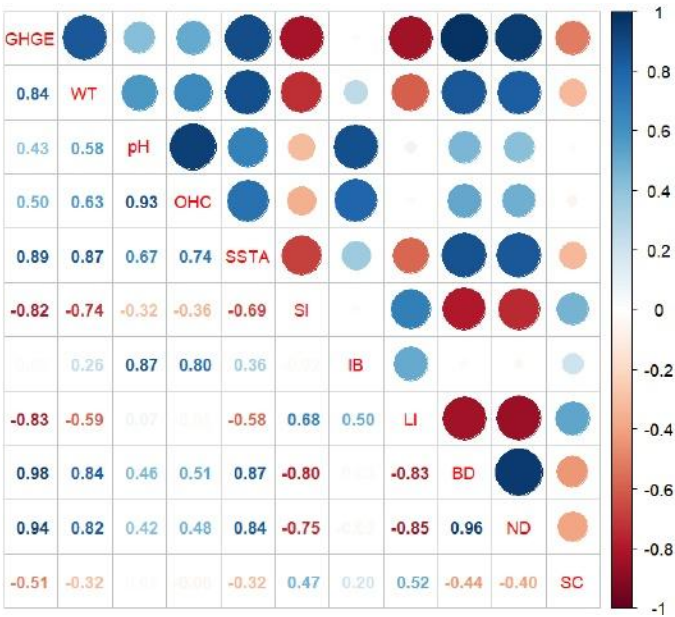


图 8:变量相关矩阵

5.3.3 回归分析

在我们的评价体系中，一个指标的变化可能导致与之相关的其他指标的变化。因此，为了保证我们评价体系的科学性和合理性，我们参考图 8 来获得指标之间的相关性，选择相关性较强的指标进行多元线性回归，从而建立这些指标之间的线性关系，从而量化其在现实世界中的影响。

基于此方法，我们最终决定选取 GHGE、WT、pH 和 SSTA 进行多元线性回归分析。同时，我们在回归分析中加入了海平面。它们与 GDP 和%DIF 之间的线性关系可以用下式来描述：

$$\begin{aligned} GHGE &= \beta_{1_{GHGE}}GDP + \beta_{2_{GHGE}}\%DIF + \epsilon_{GHGE} \\ WT &= \beta_{1_{WT}}GDP + \beta_{2_{WT}}\%DIF + \epsilon_{WT} \\ pH &= \beta_{1_{pH}}GDP + \beta_{2_{pH}}\%DIF + \epsilon_{pH} \\ SSTA &= \beta_{1_{SSTA}}GDP + \beta_{2_{SSTA}}\%DIF + \epsilon_{SSTA} \end{aligned}$$

我们对上述 5 个数据进行了多元回归分析，结果如表 3 所示。

表 3:各变量的多元回归分析结果

variable	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	ϵ	R-Squared	Prob>F
GHGE	-5.87E-15	-0.0543549	0.4693056	0.9843	0.0000
WT	6.95E-15	0.00685598	0.4004318	0.9690	0.0000
pH	-1.18E-14	0.0504541	1.343313	0.9336	0.0000
SSTA	7.84E-15	0.0788071	0.25443	0.8911	0.0000
Sea Level	1.34E-12	1.037901	59.87316	0.9822	0.0000

我们将这些数据与现实世界的数据进行了比较。据联合国环境规划署相关数据显示，全球气温每年上升 0.2° C 左右，和海平面每年上升约 31mm，而%DIF 系数，即不健康的 GDP 占 GDP 的比重，约为原始数据的 1/3，这也意味着%DIF 对世界气候的影响高达气候变化的 1/3。

从这些方程中，我们可以得出这样的结论:当%DIF 下降时，也就是说，当世界各国为了追求经济建设而牺牲较少的环境和资源时，温室气体的增加、陆地和海洋温度的上升、海水 pH 值的下降、海平面的上升都会大大减缓。

6 霉菌:经济-生态成本-效益分析霉菌

6.1 讨论成本与效益

在前面的任务中讨论了适当的 GGDP 计算和建立的模型来衡量全球影响之后，现在有必要进一步探讨使用 GGDP 代替 GDP 作为经济健康状况的主要指标的可行性。

事实上，不仅从 GDP 向 GGDP 的转变，任何大的改革的进程都会面临许多障碍，这是不可避免的。1944 年，布雷顿森林体系正式承认 GDP 是一个国家经济总量的统计工具。此后，世界各国和地区在政治目标、政策制定和宏观产业布局等方面都把增加 GDP 作为关注的焦点。可以说，每个国家的发展都深深烙印在 GDP 上。因此，要完成这一转型，就必须面对阻力，付出代价。改革必然意味着一些放弃，但我们也要看到它给我们带来的好处。

6.1.1 成本讨论

代际公平:一方面，气候变化和温室气体减排的影响将跨越几个世纪甚至上千年，因此涉及到当代人和后代人福利的权衡，即代际公平。有些人从伦理角度出发，主张积极的气候政策和深

度、立即的减排。另一些人则强调市场效率，主张渐进式行动，在短期内缓慢减少排放。两派的观点截然相反，很难达成共识。如果我们用 GGDP 作为衡量经济表现的标准，那么各国将不得不使用更少的资源来提高 GGDP。对于一些目光短浅、不愿牺牲短期成就的政策制定者来说，这将是困难的，即使从长远来看，它能为子孙后代带来更多的社会福利。

区域公平:另一方面，应对气候变化具有很强的外部性，需要世界各国的合作，这就涉及到各国在应对气候变化方面分担责任，即区域公平。如果我们以全球社会福利最大化为目标，那么就需要认真考虑不同国家的权重。比如，对于一些欠发达地区，我们应该优先支持他们的经济发展，放宽一些限制。同时，在确定减排目标时，可能会有一些转移机制，比如区域间技术转移、资金转移、排放配额购买等。

6.1.2 利益讨论

·可持续发展:由于 GGDP 的计算需要从 GDP 中减去环境和资源的损失，因此为了追求高 GGDP，各国政府必然会致力于减少高能耗、高污染、高排放的行业，同时在发展过程中注重节约自然资源，这恰恰符合可持续发展的基本理念。

经济增长:与其他指标完全从环境条件来描述区域发展不同，GGDP 本身仍然以 GDP 为主体，这保证了 GDP 的增长。换句话说，在促进环境保护的背景下诞生的 GGDP 本身与衡量经济发展和增长的 GDP 高度一致。

适度变化:GGDP 本身仍然以经济发展为中心，因此只需要一些国家的调整就可以实现可持续发展。因此，改革中的国家只需要调整一小部分产业，同时保留大部分老产业。这样适度的调整，既能防止经济出现剧烈波动，又能确保社会稳定。

6.2 OLS 对转变的影响分析

6.2.1 数据选择

为了进一步证明以 GGDP 取代 GDP 是值得的，我们选择了以下四个指标，从多个角度综合衡量社会福利和人类幸福:

性别不平等指数(GII):该指标反映了男女在生殖健康、赋权和劳动力市场三个维度上的不平等。指数越大，说明男性和女性在社会中的地位差异越大。这不仅会在一定程度上阻碍社会进步，还可能引发严重的性别冲突。

收入不平等(二):这降低了社会总消费，扼杀了经济增长。同时，不平等导致寻租行为，从而降低资源配置效率，最终导致机会不平等。事实上，历史数据表明，高收入不平等往往伴随着金融危机的潜在风险。

人类发展指数(HDI):该指数基于预期寿命、教育水平和生活质量，提供了对国家和社会的相对全面的评估社会福利，可适用于不同群体。HDI 越高，意味着人性和社会进步水平越高。

总疾病负担(Total Disease Burden, TDB):该指标衡量人类健康损失，包括世界不同国家不同人群因不同疾病造成的负担。TDB 越高，意味着因过早死亡、疾病和残疾而受损的寿命越长，相应的人类潜力损失也就越大。

实际上，我们首先从不同的角度选取了一系列能够衡量社会福利的指标，并对其进行了相关系数和显著性分析。最后，我们发现上述四个指标的相关系数均大于 0.8，显著性水平极低，这意味着这些指标不仅具有较高的信度，而且与 GDP 和 GGDP 具有较强的相关性。因此，我们最终决定分别使用这些指标和 GDP、GGDP 进行普通最小二乘(OLS)回归分析。

6.2.2 结果解释

OLS 回归分析的结果如下表所示:

$$\begin{pmatrix} GII \\ II \\ HDI \\ TDB \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0019 & 0.6229 \\ -0.1861 & 34.9749 \\ 0.0020 & 0.5704 \\ 5.9006E5 & 2.9466E8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} GDP \\ const \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0019 & 0.6209 \\ -0.1901 & 34.9880 \\ 0.0020 & 0.5703 \\ 5.7313E5 & 2.9529E8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} GGDP \\ const \end{pmatrix}$$

其中，更好的社会福利和人类幸福的指标已被标记。研究发现，当 GGDP 取代 GDP 时，GI 和 TDB 下降，HDI 增加，这反映了由于 GGDP 的实施而提高了社会福利和人类幸福感，这些都归因于环境的改善、资源的节约和气候问题的缓解。值得注意的是，收入不平等程度略有上升。这是因为各国政府为了追求 GGDP 而调整了产业结构，这导致了社会现有就业岗位的变化。例如，一些依靠开采自然资源或排放污染的企业已经停止运营，导致部分工人出现短期失业。这是变革过程的合理成本，一般来说，进行转型是值得的。

6.3 寻找交集

对于这次改革，我们一直在讲过去和现在。现在我们来谈谈未来。

6.3.1 未来对经济的影响

为了便于对未来经济发展进行分析，我们将 GGDP 的计算方法改写为:

$$GGDP = \frac{EC}{ECPGDP} - \%DIF \times GDP$$

在公式中，EC 表示能量国内生产总值(均以石油为单位)所消耗的能量国内生产总值(国内生产总值)乘以 GDP 代表了 GDP 中不健康的部分。

对于公式中的 EC 和 ECPGDP，我们查阅了历史数据并进行了回归分析，以显示其趋势。根据以上 GGDP 的计算方法，我们分析改革的实施会给未来经济带来哪些变化:

1. EC。政府将要求企业在减少生产中排放的同时，甚至关闭一些最大的污染企业，同时促进回收，从而减少能源消耗。从宏观角度来看，我们假设用 GGDP 替代 GDP 后，年能耗即 EC 比以前小于 δ 。
2. ECPGDP。为了提高能源消费效率，将投入更多的研究资金，开发新的能源利用方式，如促进发展开发和应用清洁能源，改变传统的能源消耗工艺。值得注意的是，研究往往滞后。参考 He 等人的研究，我们认为此时开始的革命要到 3 年后才能看到能源消费效率的显著提高，此时的 ECPGDP 会比没有改革的估计值有所增加。

3. 前文计算方法中提到的其他指标。比如减少二氧化碳和废弃物的排放，保护更多的自然资源。事实上，这些都是为降低%DIF 而制定的各种政策的贡献，因此后续关于未来经济变化的讨论将不会重复这些项目。

我们对 DIF 负数的对数和时间进行 OLS 回归分析，显著性水平(Prob > F) 为 0.0146。很明显，我们可以接受ln(-%DIF) 与年份线性相关的假设。我们有：

$$\%DIF = e^a e^{bt}$$

这里 t=1 是 1980 年，回归的结果是 a=1.0577，b=-0.0127。

最后，为了预测未来 EC 和 ECPGDP 在没有变化的情况下，我们对两者进行了 OLS 具体结果如下：

	\hat{a}	\hat{b}	R-Squared	Prob>F
ln(EC)	5.4832	-0.0192	0.9563	0.0000
ln(ECPGDP)	34.5717	0.0509	0.9365	0.0000

$$\ln(\widehat{EC}) = 5.4832 - 0.0192t$$
$$\ln(\widehat{ECPGDP}) = 34.5717 + 0.0509t$$

基于以上分析，我们可以写出未来数年的 GGDP 的预测值，

$$GGDP_{est} = \begin{cases} ECPGDP_{est} \times EC_{est} \times (1 - \delta) \times (1 - \%DIF_{changed}), & \text{in 3 years} \\ ECPGDP_{est} \times (1 + \delta) \times EC_{est} \times (1 - \delta) \times (1 - \%DIF_{changed}), & \text{after 3 years} \end{cases}$$

当然，GDP 是上面等式减去最后一项的一部分。与此同时，我们必须在没有改革的前提下，预测未来 GDP 和 GGDP 的变化。在这种情况下，GGDP 的预测值为：

$$GGDP_{est} = ECPGDP_{est} \times EC_{est} \times (1 - \%DIF_{Unchanged})$$

我们假设 $\delta = 5\%$ 来预测未来 80 年的数据，计算结果如图 9 所示。

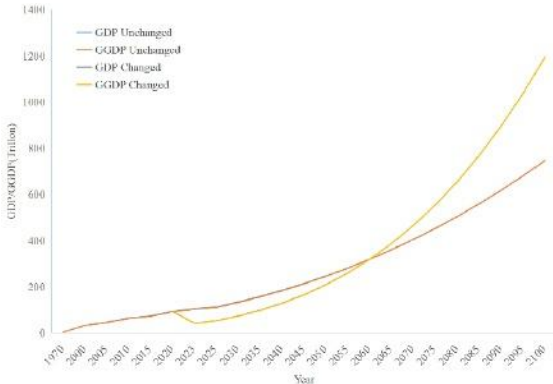


图 9:两种情况下的未来 GDP 预测

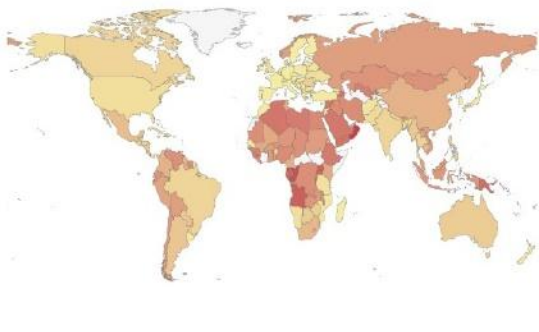


图 10:世界各国的恢复时间

就全球而言，由于 DIF 百分比较低(近几十年来一直低于 2%)，GDP 和 GGDP 的曲线几乎一致。然而，实施以 GGDP 取代 GDP 政策后的曲线与原来的曲线有很大的不同。短期内，ECPGDP 并没有因为产能的急剧下降而下降，GGDP 和 GDP 甚至出现了下降(6 年左右恢复到原来的水平)。此后，由于 ECPGDP 的下降和%DIF 的加速下降，GDP 分别在 2052 年和 2055 年加速并超过预测值。

当然，世界各国的经济状况差别很大，发达国家和发展中国家的过渡时间不能一概而论。我们也根据各国的资源依存率来预测各国在世界上“交集”的位置。预测结果如上图 10 所示。显然，对资源依赖程度较低、金融条件较好的欧美一些发达国家，能够在这个世界变革中迅速实现转型。而非洲和东南亚的一些国家，生产力水平相对落后，不可能较快地发展非工业经济，这就需要较长的转型时间。无论如何，幸运的是，未来所有国家的交叉点已经出现，这意味着它们已经复苏，将迎来更好的发展。

6.3.2 未来对气候的影响

的确，我们可以看到，改革的实施对未来的经济发展产生了深远的影响，但同时，我们也应该更加关注未来的环境和气候变化。在 5.3 中，我们具体讨论了 GGDP 与各种环境因素的相关性。现在，我们将使用对未来 GGDP 的预测来对未来的气候进行评分。

首先，我们预测未来气候的得分，这比经济更难预测。因此，我们使用自回归综合移动平均 (ARIMA) 时间序列预测模型、灰色预测模型 GM(1,1) 和支持向量机(SVM)来预测未来。预测结果如图 11(a)所示。不足为奇的是，由于近年来气候得分迅速下降，ARIMA 和 GM 给出了负面结果。

分别是 2038 年和 2080 年，不符合我们对气候得分的定义。Logistic 函数主要用于对没有上下限的指标进行归一化。对于我们计算气候评分的具体背景，当原始数据为无穷大时，归一化指标应为 100，当原始指标为负无穷大时，归一化指标应为 0。对于接近极限的数据，其增长速度应该放缓。而这就是我们正在处理的问题。基于这些原因，我们选择 Logistic 函数作为归一化函数：

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-b(x - x_0))}$$

其中 y 是归一化结果，x 是原始数据， x_0 是我们得到的指数的中值，b 是一个用于确定接近 0 点的值的速度的变量。

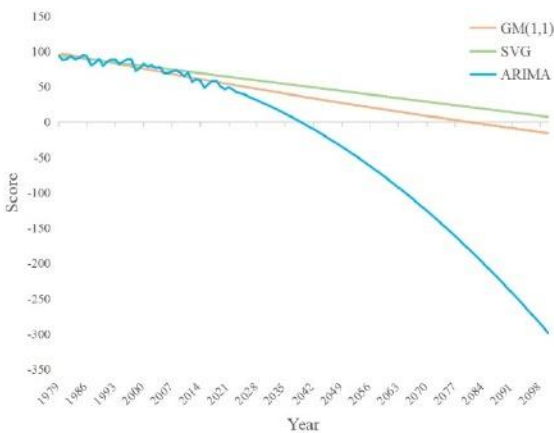


图 11(a):归一化前

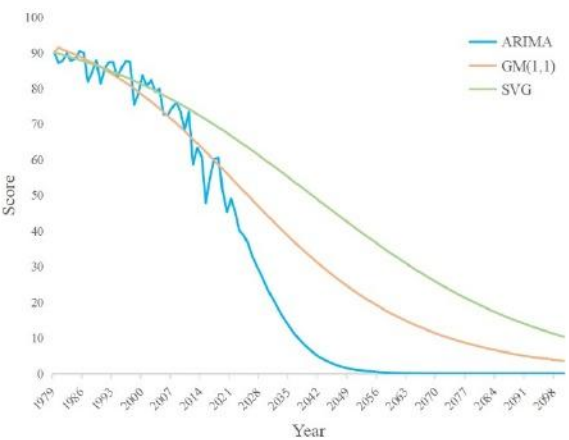


图 11(a):归一化后

图 11:三种预测方法的结果示意图

三种方法对未来的预测如图 11(b)所示。从图中可以看出，ARIMA 对未来的预测过于悲观，而 SVM 往往具有几乎恒定的气候条件，两者都与真实情况不一致，因此我们选择接受灰色预测模型的结果。

随后，根据上述预测得分，并对预测结果进行 5.3 得到的%DIF 与 GGDP 的回归分析，重新预测改革后的未来气候条件，结果如图 12 所示。显然，转型带来的节能减排立即减缓了气候恶化的速度，到 2075 年，气候得分开始恢复。从生态学的角度来看，这意味着每年二氧化碳和废物消化和可再生能源的数量已经超过了人类每年的排放量和对自然资源的消耗。考虑到气候形势，我们的改变已经物超所值，而且已经产生了惊人的效果。

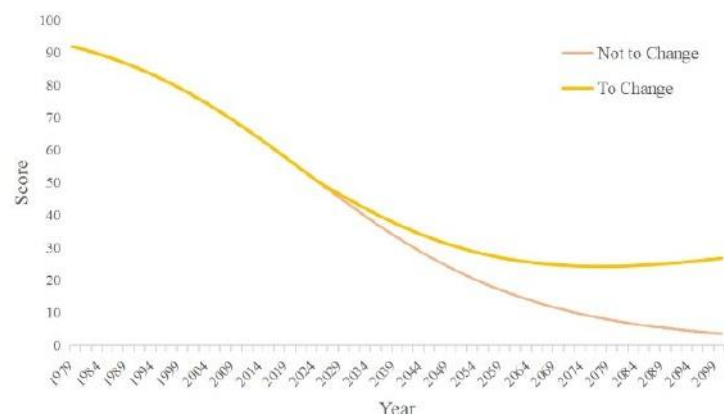


图 12:有无变化的气候得分对比

7 运动:GGDP 作为文莱的政策冲击

7.1 文莱当前经济结构分析

文莱位于东南亚，其发展严重依赖石油和天然气工业，其收入占 GDP 的 60%以上，出口占 90%以上。[6] 虽然文莱近年来一直在实现经济多元化，但其狭小的国内市场限制了其长期可持续发展。2021 年，文莱人均 GDP 达到 44809 美元，居世界第 23 位。然而，这种经济上的成功是由于其对石油和天然气等自然资源的开采和依赖。实际上，如果从绿色可持续发展的人均 GDP 中减去对自然资源的破坏，文莱的人均 GGDP 在世界前 100 名之外。文莱是一个典型的以环境资源为代价获得经济增长的国家，迫切需要一场革命。

7.2 政策制定及其困难

现在，让我们想象一下，世界将实施以经济和环境资源为导向的可持续绿色发展，并决定用 GGDP 而不是 GDP 来衡量一个国家的经济健康程度。虽然这样的变化需要全世界的努力，但无论是以服务业和高科技产业为主的发达国家，还是已经完成或正在进行经济转型的发展中国家，它们的发展对自然资源的依赖性并不大，因此不会受到这种变化的过于严重的影响。它们甚至可以阶段性地推出一系列适度的政策，逐步调整经济与绿色发展之间的权衡。

然而，文莱的情况并不好，因为它缺乏成熟的第一和第三产业，依赖自然资源。全球的变化要求文莱大幅减少其不健康的经济，这必然会产生许多矛盾，这也是我们选择文莱作为我们深入研究的对象的原因，因为转型的深刻影响是如此有价值，值得我们进一步深入研究。

我们在改革的细节方面也将面临许多艰难的选择。如在 6.1 中所讨论的，从道德的角度来看，文莱应立即大幅减少开采天然气和石油。然而，这无疑会引起剧烈的经济波动，甚至社会动荡，应该避免。因此，我们应该逐步减少布鲁内的石油和天然气产量，并尝试从市场的角度减少二氧化碳的排放，从长远来看会有更好的效果。

具体来说，我们可以在文莱实现以下更改，同时，我将在图 13 中展示这些结果：



图 13:文莱的政策制定

- 1.加快经济结构转型，促进经济多元化发展。在促进石油中下游产业发展的同时，要更加重视非石油部分，发展高新技术产业、农业产业和服务业。
- 2.为满足转型过程中的大量资金需求，文莱应发展特色金融，建立健全货币市场和资本市场，提高资源配置效率。
- 3.文莱应积极探索绿色清洁能源，调整出口结构，从多个层面减少对自然资源的开采和利用，转向更加环保的资源利用方式。
- 4.在政策实施初期的转型过程中，文莱政府一方面要为参与改革的核心企业提供政策资金支持，另一方面要为高新技术企业提供技术和人才引进，加快高新技术企业的科研创新进程。

7.3 不进行转型的生态系统预测

数据显示，文莱拥有 11 亿桶已探明石油储量，年产量约为 1,300 万桶。如果不能实现从 GDP 到 GGDP 的转变，文莱继续以目前的速度开采石油以追求未来的经济发展，那么该国的石油资源将在大约 85 年后耗尽。文莱的生态系统将遭受严重破坏，比如下沉。另一方面，文莱本身的经济状况是受石油和天然气价格影响较大。如果人类在未来找到更清洁、更高效的能源，减少对石油和天然气的需求，或者等到这些资源被完全开采完，那么文莱的经济将陷入巨大的危机，很难在短时间内恢复。因此，文莱的变化意义非凡。

7.4 文莱未来的理想愿景

在 4.3 的数据分析中，我们发现文莱的%DIF 显著高于世界上大多数国家的。在这里，我们分别对文莱实施以 GGDP 取代 GDP 改革后的未来进行预测，并与世界形势进行比较。其中，我们对能源价格进行线性回归，对%DIF 进行指数回归，并在 6.3 处重新计算模型。文莱的未来预测如图 14 所示：

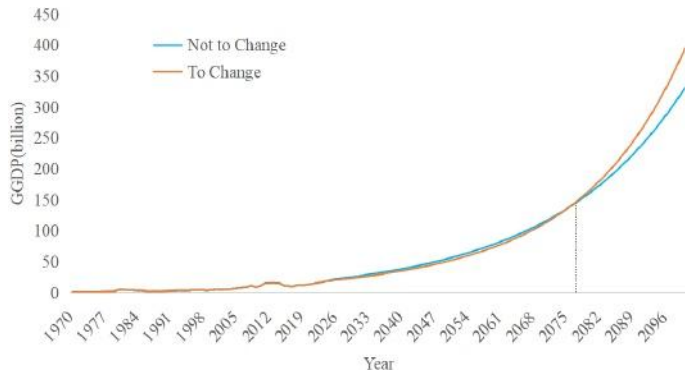


图 14:文莱的未来

根据预测结果，世界 GDP 和 GGDP 将分别在 2052 年和 2055 年恢复到未改革的预期水平，而文莱的经济和能源将在 2077 年完全恢复，这比我们的预测晚了 20 多年，这与我们的预测是一致的。

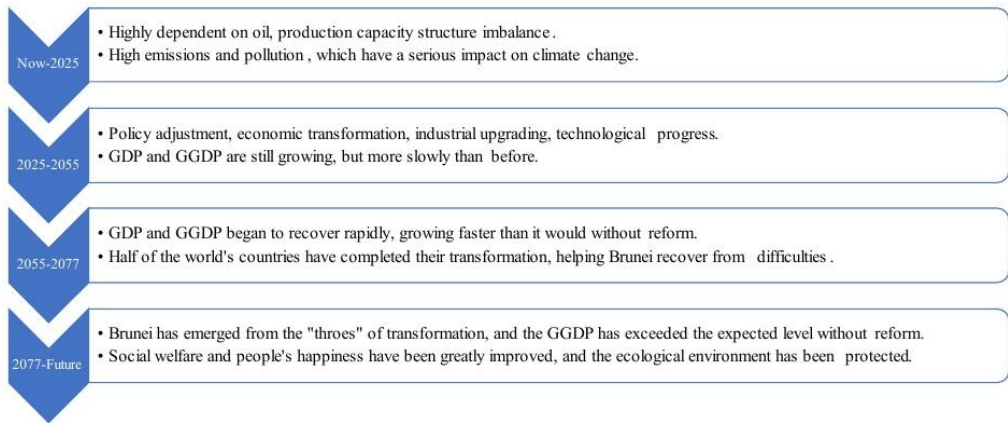


图 15:GGDP 替代后的文莱未来

文莱长期高度依赖自然资源，生产结构不平衡。未来要想改善这种状况，就必须走一条痛苦的道路。全球改革政策颁布后，文莱政府积极响应，努力追求高 GGDP，平衡经济和生态平衡，促进经济转型，调整产业结构。尽管这些措施在最近几十年减缓了文莱的增长，但 GDP 和 GGDP 将在 21 世纪下半叶迅速恢复，届时世界上有一半的国家将完成转型。国际援助将帮助文莱更快地摆脱困境。

从 20 世纪 80 年代开始，文莱的经济将完全恢复到改革前的水平，社会福利和人民幸福将大大提高，生态环境将得到保护，全球气候问题将得到明显改善。这一转型的整个过程如图 15 所示。

8 灵敏度分析

我们在预测不同国家未来发展的模型中使用了世界不同年份的能源消耗。但在实际的计算情况中，由于人为误差和不可预测因素的影响，不同来源的数据往往会出现波动，这可能会在一定程度上影响结果。因此，为了检验我们的模型在外界条件受到干扰时是否仍然具有稳定性，我们使用敏感性分析来评估我们的模型。

为了模拟不同幅度的数据波动，我们在 Energy Consumption(EC)的数据中加入了 3%、5%和 10%的扰动，这些扰动被带入预测模型进行计算，并与没有扰动的原始情况进行比较。所得结果如下：

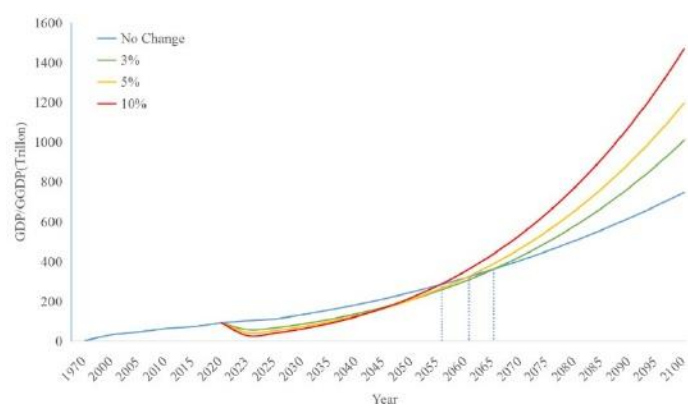


图 16:不同去产能程度与预期 GDP 的关系

可以看出，尽管数据有一定的波动，但我们的模型从定性的角度来看，仍然给出了类似的结果，即短期内由于追求 GGD_P 而做出了经济上的牺牲，但在未来的某个时刻，会恢复到没有改革的水平，之后会以更快的速度实现更好的增长。而且，我们发现，短期内的牺牲越大，复苏越快，未来的经济增长也就越快，这恰恰是政策的本质。

9 模型评估与进一步讨论

9.1 优势

- 1. 综合性:最大的优势在于模型内部的多样性，最大限度地结合经济、气候、环境、社会等因素，对宏观角度进行预测。
- 2. 理性:基于 OLS 分析的 GDP、GGD_P 预测和基于 ARIMA、灰色预测的气候条件预测合理，各项统计检验均能达到预期结果，能较好地描述未来各项指标的发展趋势。
- 3. 可信:我们的模型产生了相对满意的结果，通过这个结果我们知道保护环境不仅可以减缓气候变化，还可以促进未来的经济发展。
- 4. 鲁棒性:通过敏感性分析，可以证明模型在不同能耗扰动下的有效性。我们也在一定程度上考察了极端情况，比如技术进步速度的变化。
- 5. 直观:我们在可视化方面做得很好。从工作流程图到指标选择图再到政策建议，冗长的文字描述和复杂的数值结果都以大量图片的形式呈现出来。

9.2 缺点

- 1.当我们试图衡量社会福利和人类幸福时，我们选择了四个指标。虽然它们在一定程度上具有代表性，但它们并不能全面反映社会福利和人类幸福的方方面面，这会对评价的准确性产生一定影响。
- 2.在 EWM 模型中，为了确定不同指标的权重，我们对每个指标分析了世界上不同国家的数据。由于数据量大，难免会出现少量缺失值，这就给权重的确定带来了一定的不准确性。
- 3.在预测模型中，我们使用了回归分析和时间序列分析，这将使预测结果在短时间内具有较高的准确性，但对未来更远的预测结果可能会有更明显的偏差。

9.3 进一步讨论

在衡量社会福利和人类幸福时，我们尽量选择了一些有代表性的指标。其实，我们可以选择更多的指标，做出更全面的反思，给出更准确的评价。

•在分析世界经济和环境状况时，我们可以对每个国家进行聚类分析，根据其不同的特点，根据不同的情况给出预测，这样会让我们的结果更加具体。

在预测世界和文莱的未来发展时，我们可以考虑到未来对经济、环境和气候的可能影响，并将其纳入我们的预测模型，这将使我们的模型更接近现实世界。我们可以添加一个随机变量 ϵ 来显示这种影响。例如，

$$GGDP = \frac{EC}{ECPGDP} - \%DIF \times GDP + \epsilon$$

10 非技术报告

尊敬的汶莱国王：

我们是 COMAP 的一支 ICM 团队。我们非常荣幸地向您展示我们对经济发展的调查结果。我们对贵国的经济、民生、资源和环境状况做了广泛的调查。在此，我们就如何衡量经济健康状况提出几点建议。

我们看到贵国正在进行一场百年改革，我们仍然不知道汶莱何时才能摆脱这种困境，或者需要多长时间才能摆脱这种焦虑。我们进行了仔细的分析，并提出了方案。

我们选择了一个 GGDP 模型来衡量贵国的经济健康状况。显然，对工业的依赖使得 GGDP 低于 GDP。由于资源的逐渐开发和排放量的逐年增加，贵国的 GGDP 值增长不是很快。

在这种情况下，我们建议您将经济努力的方向转变为 GGDP。贵国可以选择在从 GDP 向 GGDP 过渡的过程中进行一些政策调整。例如，每年比预期多减少 5% 的石油产量可能会暂时减缓你的经济。但根据计算，到 2077 年，你们的经济水平，如 GDP 和 GGDP，将回到预期水平，没有变化。在未来的几年里，你们对化石资源的依赖会减少，你们的经济在结构上也会更加健康。换句话说，这是为了长期幸福而做出的暂时牺牲。

除此之外，我们也为你们的治理提出了一些政策建议：

一是转变产业结构。关停部分高污染、高排放企业，发展农业、服务业等产业。这可以缓冲产业转型的冲击，为未来更快、更健康的发展做准备。

其次，转变经济结构。支持和发展银行业、证券业，满足创新型企业对贷款的旺盛需求。

三是转变交易结构。新兴产业也可以改变你的进出口结构，降低你对国际油价和资源过度开采的敏感性。

正如大家所看到的，今天地球环境面临着巨大的威胁，减缓气候变化是一个紧迫的问题。我们坚信，文莱不仅将考虑到其人民的长期福祉，而且还将充分认识到其在国际社会中的作用，并为此目的履行其使命。我们希望文莱继续支持国内生产总值和可持续发展的转变，为国家的繁荣和人民的幸福而努力。

您诚挚的，2023 ICM 团队

References

[1] 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. doi: 10.9770/jesi.2017.4.4(13).

- [2] Stjepanović, S., Tomić, D., & Škare, M. (2019). Green GDP: an analysis for developing and developed countries. *E+M Ekonomie a Management*, 22(4), 4–17. doi: 10.15240/tul/001/2019-4-001.
- [3] World Development Indicators (2020), <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- [4] OECD database (2020). <https://data.oecd.org/>
- [5] UN database (2020), <https://data.un.org/>
- [6] Abul Hassan. Risk management practices of Islamic banks of Brunei Darussalam [J] . *The Journal of Risk Finance*, 2009, 10(01): 23-37.
- [7] Hassan, Abul, Abdelkader Chachi. Corporate governance of the Islamic financial services industry in Brunei Darussalam [J] .*Journal of Islamic Economics, Banking and Finance*, 2008: 39-59.
- [8] World Bank, <https://data.worldbank.org.cn/>
- [9] BP, <https://www.bp.com/>