

## 浪费更少，世界更美好

### 摘要

当全世界的塑料正在以惊人的速度生产的时候，我们贫穷的自然无法适应繁荣的塑料社会。享受塑料袋带来的便利的代价是对现有环境的破坏。过量塑料的严重影响正在浮出水面：陆地被破坏，海洋生物摄入有毒物质，人类生活水平下降。因此，高效回收塑料的问题受到了我们的关注。

首先，为了更好地分析，建立了两个基本模型。一个是最大限度模型，建立在塑料回收的不同方式的基础上：工业回收，焚烧和丢弃到环境中。另一个是策略驱动的塑料影响指数 (PII) 模型中所有基本因素是拆分成三个方面：生态系统学位 (ED1)，经济程度 (ED2) 和社会 (SD) 程度。

其次，我们在 Task 1 中应用第一个模型。考虑到土壤、海洋和工业过程的恢复能力，预计塑料生产的最高水平为 9677 万吨/年，不再对环境造成破坏。

第三，在 Task 2 中应用了第二个模型 (PII)。利用全球、东亚和欧洲的数据，得出当前 PII 分别为 58、32、78。此外，通过刺激，发现其最理想的塑料产量为每年人均 32.45、37.09 和 78.91 公斤。最后，我们在上述两个大陆上测试了这两个策略，并得到了不同的结果。

第四，对于 Task 3，我们通过考虑时间来修改初始模型，并相应地生成一个新的索引 CICI。通过反复试验，计算得出最优解为 28.1 kg / capital 年，回收率为 40%，其中 CICI 最小值为 45。进一步讨论了潜在的影响。

第五，对于 Task 4，结合 GE 矩阵和 CICI，分别测量了 6 个大陆的废物情况。在此基础上，提出了提高全球整体水平和最小化方差的干预措施。

第六，我们给 ICM 写一份备忘录，说明可达到的最低水平、达到最低水平的时间表以及在实现目标的过程中出现的加速或阻碍情况。

最后进行了灵敏度分析。我们的模型对 AP (第一种) 和包装行业的情况 (第二种) 更加敏感。  
**关键词:** PII, 综合评价, GE 矩阵,



## 目录

1 介绍.....	3
1.1 问题的背景.....	3
1.2 文献综述.....	3
2 假设和符号.....	3
2.1 假设.....	3
2.2 符号.....	4
3 塑胶废物的型号.....	4
3.1 最大水平模型.....	4
3.2 政策驱动的塑性冲击指数模型(PII).....	6
4 分析.....	9
4.1 最高水平的测量.....	9
4.2 废物水平的讨论.....	9
4.3 目标设置.....	13
4.4 目标设置.....	15
4.5 备忘录.....	17
5 模型评价.....	17
5.1 灵敏度分析.....	17
5.2 优势和劣势.....	17
6 结论.....	18
参考文献.....	21



## 1 介绍

### 1.1 问题的背景

塑料是一种社会效益大、应用广泛的材料。我们可以以低成本制造塑料，其重量轻、适应性强的特性和在日常生活的各个方面的无数应用，包括食品包装、消费品、医疗设备和建筑。

然而，由于塑料已经超过了大多数其他人造材料，它的发展一直受到关注。根据<sup>[1]</sup>的数据，如果目前的生产和垃圾管理趋势继续下去，到 2050 年，预计地球将增加 330 亿吨塑料，其中约 1.2 万吨塑料垃圾将被填埋或自然环境。鉴于目前使用的塑料聚合物具有很高的生物降解性，复杂材料的不断涌入对人类和环境健康构成了重大风险。

### 1.2 文献综述

在确定塑料垃圾对环境的影响时，我们建立了一个综合考虑多种因素的评价模型。在我们的模型中，塑料生产和回收被认为是影响环境的重要因素。针对第一个问题，根据环境对塑料垃圾的承载能力，建立了塑料产品最大生产量的估计模型。解释了人类和大自然回收塑料废物的能力。在第二个问题中，我们定义了一个指标来评价现有的塑料垃圾<sup>[6][7]</sup>的严重程度。通过建立和改进模型，讨论影响因素与结果之间的关系，并通过程序预测了一个可达到的水平。当达到最小值时，所有时变因素都保持不变，最重要的因素是产量和采收率。而它们的价值正是我们最想要的。

然后利用建立的两个模型对东亚和欧洲的情况进行分析，找出塑料生产的最低水平。塑料垃圾污染是一个全球性的问题。要解决这个问题，我们必须面对一些公平问题。因此，我们对公平进行了分析，提出了解决不公平现象的方法并进行了仿真。然后分析了模型的灵敏度，并对其稳定性进行了评价。最后，我们结合模型和结论写了一个 memo。

## 2 假设和符号

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

### 2.1 假设

塑料废弃物处理是一个复杂的、跨学科的、具有国际意义的问题。相关问题涉及政治、经济、文化、人类生物学、生态学、地质学等学科。不可能模拟每一种可能的情况。我们做了一些假设和简化，每一个都是合理的。

- 从在线数据库我们收集的数据是准确的,可靠的和相互一致。因为我们的数据来源都是国际组织的网站，所以我们有理由认为他们的数据质量是高的。
- 在模型验证,指标数据的国家,我们忽视几乎没有影响权重的计算和结果。
- 塑料生产的数量-塑料垃圾回收的量
- 我们假设这个国家作为一个整体单元不考虑区域内国家的差异。这个假设是我们进



行深入研究的前提。

- 才大洲之间的差异被认为是相关的政策。

## 2.2 符号

下表显示了我们在模型中使用的符号。

符号	定义
$\alpha_i$	不同治疗的百分比
M	最高水平
R	工业复苏率
AP	年产塑料制品
Ci	现有塑料总量
$\gamma_i$	降解率
PII	政策驱动的塑料影响指数模型
ED	生态系统度
SD	社会学位
WIE	环境废物
CICI	综合影响系数指标
SDC	可持续发展系数

## 3 塑胶废物的型号

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

### 3.1 最大水平模型

在评估一次性或一次性塑料产品废物的最大安全程度时,我们需要考虑有多少塑料废物可以在环境中得到工业处理或降解。具体的塑料废弃物处理量决定了相应塑料产品的产量,即塑料产品的最大产量。据统计,除了各行各业产生的大量垃圾外,目前的自然环境中存在着更多的塑料。最后,处理这些塑料主要有三种方法:工业回收、焚烧和丢弃到大自然中。在我们的模型中, $\alpha_1$  塑料垃圾的处理在工业过程中, $\alpha_2$  塑料垃圾焚烧, $\alpha_3$  最终进入海洋或垃圾填埋场。自然环境的恢复率对这三种方法有不同的反应。具体的分类和比例如下,如图 1 所示。( $\alpha_1, \alpha_2$  和  $\alpha_3$  在我们的模型中都是百分比)

根据 Geyer 等人<sup>[8]</sup>的数据显示,塑料生产总量为 4.07 亿吨,其中包装、建筑等行业占塑料生产总量的比重最大。如果我们不能处理这些塑料垃圾在一个特定的方式,说人类可以使这些消失,环境必然遭受进一步的破坏。

在我们的模型中,我们定义  $M$  最大级别的一次性或一次性塑料产品浪费。 $M$  的定义公式如



下,

$$M = R_1 + R_2 + R_3$$

在 $R_1, R_2, R_3$  分别为工业回收率、焚烧效率和降解率。



Figure 1 Schematic of model 1

### 3.1.1 工业回收

工业回收主要包括机械回收、化学回收和堆肥三种方式。机械回收指的是分类、洗涤、干燥和造粒。相对而言，化学回收更复杂，但在大多数情况下比机械回收更有效。然而，请注意，通常化学回收是高成本的。此外，如果处理废料的资源(如某些催化剂和相容剂)不可用，该过程必须停止。

$R$  的价值<sub>1</sub> 由下式确定；

$$R_1 = \alpha_1 \times AP$$

在 $AP$ 指全世界每年生产的塑料产品。

### 3.1.2 焚烧

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

燃烧塑料垃圾绝不是明智的选择。虽然焚烧减少了进入垃圾填埋场的塑料垃圾的数量，但更多的有害物质不可避免地释放到环境中。塑料垃圾回收的净成本高于焚烧,但排放 $CO_2$ 从垃圾焚烧远远超过那些从回收。

$R$  的价值<sub>2</sub> 由下式确定。

$$R_2 = \alpha_2 \times AP$$

$R$  的公式<sub>2</sub> 类似于 $R$ 。事实上，工业回收和焚烧有很多相似之处。也可以说，焚烧是一种特殊的工业化。只不过焚化塑料会产生二恶英，一种剧毒的致癌物，所以焚化比工业回收对环境的破坏更大。

### 3.1.3 丢弃到环境中

无法有效回收的塑料垃圾最终会被填埋或海洋。对许多国家来说，这是一种方便但环境代价高昂的选择。土壤和海洋降解塑料废物的能力极其有限。即便如此，大多数国家仍继续以这种直接对环境造成进一步破坏的方式处理塑料垃圾。据统计，在一些发展中国家，塑料



垃圾的回收率几乎为零。这意味着大量的塑料垃圾没有经过清洁过程就进入了自然环境。

令人欣慰的是，一些公共服务组织，如世界自然基金会和海洋保护协会，正在努力改善目前的情况，他们支付了大量的人力和财力资源来收集沿海的塑料，如吸管和塑料瓶。然而，收集活动对海洋的可怕状况几乎没有影响。

$R_3$  是自然界中塑料垃圾的降解率。其值由以下公式确定。

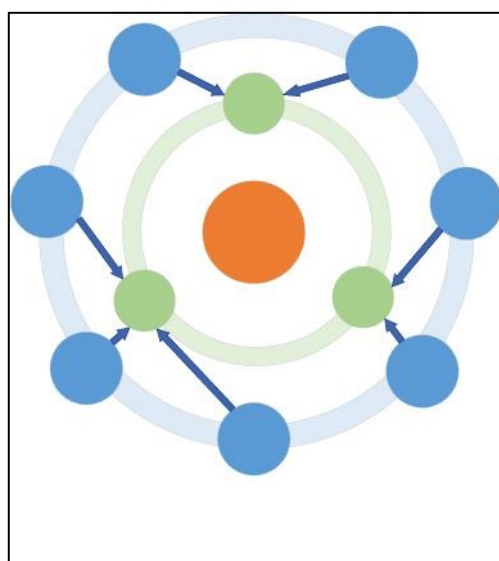
$$R_3 = \gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2$$

在  $C_1$  总额是指现有的塑料在土壤中,  $C_2$  总额是指现有的塑料在海洋中,  $\gamma_1-1$  是指塑料在土壤中降解所需的时间,  $\gamma_2-1$  是指海洋中的塑料降解所需的时间。

考虑需要不同的时间以不同的方式对各种塑料降解,  $C_1$  和  $C_2$  表示平均降解时间。同时, 我们将退化总时间的倒数作为年退化率。

### 3.2 政策驱动的塑性冲击指数模型(PII)

为了更好地估计塑料及其潜在替代品可能对多个方面产生的复杂影响, 例如公民生活 and 环境质量, 在本节中, 我们将几个相关指标结合起来, 得出一个综合指数: PII 指数。



如图 2 所示。

PII 揭示了塑料相关事件对环境的破坏程度, 因此, 一个地区的 PII 得分越高, 其目前所经历的过程就越糟糕。

介绍了三个二等指标得分 100 在这个模型中生态系统的学位(ED1), 经济程度(ED2)和社会(SD)程度。PII 为上述三个指标的平均值, 表示为

$$PPI = (ED1 + ED2 + SD) / 3$$

而不包括政策性度在二类指标中, 由于不同的政策在不同地区的效果不同, 因此将政策的影响分别应用于模型中。它可以显示在以下部分: 任务 2。

这个模型中提到的基本参数如下所示, 如表 1 所示。Pa, Te 等分别代表包装, 纺织品, 消费和公共产品, 运输, 建筑和建筑, 电气/电子。





行业	帕	特	C&I	Tr公司	公元前	E/E	其他
1	1.2	1.17	1.09	0.93	1.05	0.8	0.89
2	0.3	0.24	0.27	0.87	0.69	1.03	0.49
1	0.7	0.63	0.94	1.08	0.87	1.53	0.82
2	0.4	0.32	0.56	0.77	0.61	0.99	0.52
1	0.21	0.19	0.28	0.32	0.26	0.46	0.25
2	0.6	0.45	0.84	1.16	0.92	1.49	0.78
1	30%	27%	35%	7%	5%	2%	15%
2	1.18	0.92	0.84	0.3	0.43	0.17	0.54

### 3.2.2 生态、经济、社会程度

#### 1.生态系统

处理塑料垃圾的方式不同，对生态系统的影响也不同。而水、空气和土壤组成我们生活的基本元素,在这里我们定义ED1 为空气、水和土壤条件的平均得分，表示为

$$ED_1 = (Air + Water + Soil) / 3$$

从对全球变暖的贡献和有害气体的排放两个方面对空调进行评价。在各种气体是导致全球变暖,CO2 最重要，因此空调可以表示为

$$Air = \sum_{i=1}^7 (w_{1ia} + w_{2ia}) plastic_i$$

在塑料*i*指的塑料生产年度分类根据其用法, $w_{1ia}$  和 $w_{2ia}$  分别的系数描述塑料的能力发射CO2 和基于组件的有害气体和主流处理方法(焚烧、回收和垃圾)。

水的状况主要集中在淡水湖和海洋的水污染。此外，水质差会引起水生生物的疾病，最终威胁到公民的健康。因此，食品污染也被考虑在内。水条件确定如下

$$Water = \sum_{i=1}^7 w_{1iw} (1 + w_{2iw}) plastic_i$$

在 $w_{1iw}$  指的是系数描述塑料的水污染潜力基于其组件和主流处理方法和 $w_{2iw}$ 揭示的概率由于水污染对我们的健康造成伤害。

土壤状况与水状况类似，是通过两个因素来评估的:土壤污染及其通过受污染的农产品损害健康的可能性。土壤条件的函数可以表示为

$$Soil = \sum_{i=1}^7 w_{1is} (1 + w_{2is}) plastic_i$$

在 $w_{1is}$  指的是系数描述塑料的土壤污染潜力基于其组件和主流处理方法和 $w_{2is}$ 揭示的概率由于土壤污染对我们的健康造成伤害。

#### 2.经济学位

在这一部分中，我们关注的是在塑料工业中部分使用替代品可能带来的经济利益或损失。在这种情况下研究了两种明显的利益冲突。一方面，由于原材料和塑料产品销量的减少，塑料行业将遭受经济损失。另一方面，纸张和纤维等替代行业通过接管塑料行业的部分贸易而



赚得更多。经济程度可表示为:

$$ED_2 = 100(Plastic_{loss} - Substitute_{earn}) / Plastic_{total}$$

在 $Plastic_{loss}$ 和 $Substitute_{earn}$ 分别代表的参数由塑料行业年度财务损失和金融替代产业的利润。

在本文提到的七个主要行业中，有些行业塑料是可替代的，有些行业则是不可替代的。例如，包装行业可以使用可回收纸来代替塑料，而建筑行业通常不能使用其他材料，因为塑料的优点。因此，我们分别考虑了上述产业替代的可行性，得到了塑料产业损失的函数。

$$Plastic_{loss} = \sum_{i=1}^7 w_{li} Value_i$$

在 $w_{li}$ 指特定行业的金融损失的百分比。

替代品行业的额外利润与塑料行业的损失份额有很大关系，在一定的价值范围内波动。同样，由于上述原因，每个行业都有不同的盈利潜力。这里我们使用塑料 $loss$ 参考价值和代表额外的收入如下

$$Substitute_{earn} = \sum_{i=1}^7 w_{2i} w_{li} Value_i$$

在 $w_{li}w_{2i}$ 指替代产业将塑料产业的经济损失转化为利润的潜力。

### 3.社会的程度

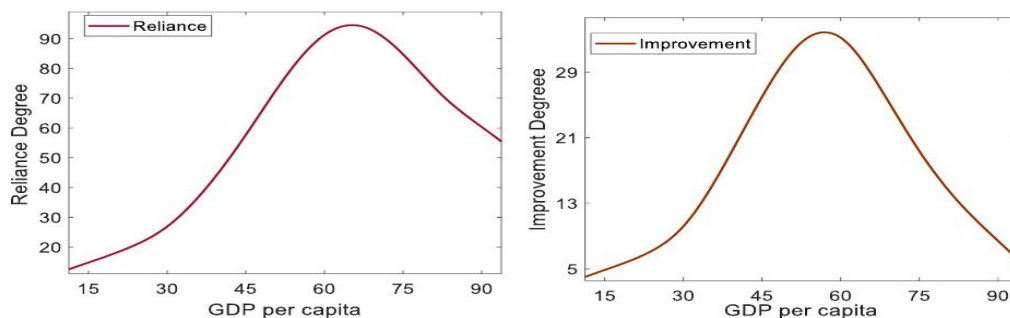
塑料和它的产品已经渗透到我们社会的各个方面，自从它被发明，给我们的社会带来好处和坏处的同时。例如，塑料袋因其价格低、效率高而受到制造商和市民的青睐。与此同时，塑料也是全球白色污染现象恶化的罪魁祸首。这导致了人们对塑料替代品的矛盾情绪，人们希望改善城市环境，但同时又严重依赖塑料产品。因此，社会程度可表示为

$$SD = \text{信赖} - \text{改进}$$

在 $Reliance$ 和 $Improvement$ 分别代表公民的负面情绪对取代塑料和整体社会改善由于塑料的变化。

根据研究者<sup>[8]</sup>进行的调查，我们可以得出以下结论。

- 高人均 GDP 超过票面价值的国家往往会产生更多的塑料比公民的国家每年人均收入相对较低。通常情况下，塑料产品越多，依赖程度越高，很难在短时间内大量替代塑料。因此，人均 GDP 较高的国家在依赖度方面得分更高。
- 虽然设施的净化和回收能力或多或少与 GDP、收入较低的国家生产塑料,使其不必要的处理塑料 middle-revenue 国家一样。与此同时，富裕国家有能力处理他们每年制造的大部分塑料。处理不当的塑料越多，一个城市改善环境的潜力就越大。因此，改善程度与人均 GDP 对应，呈向上的 U 型关系。最终，可以确定依赖程度和改进程度，如图 3 所示。





## 4 分析

### 4.1 最高水平的测量

我们建立了最大水平模型来衡量在不进一步破坏环境的情况下减少塑料垃圾的能力。随后，我们寻找全局数据并将其带入我们的模型中。

从盖尔等分析数据后,我们得出结论,4.07 亿吨塑料垃圾是由 8 种不同的工业领域,所以价值 $AP$ 是 407。此外,根据统计数据,  $1, \alpha_2$  和  $\alpha_3$  分别设为 9%、12%和 79%<sup>[11]</sup>。如前所述,塑料垃圾在土壤中的降解率与在海洋中的完全不同。电流的值 3 是 79%,其中 76%在土壤中, 3%在海洋中。同时,塑料在土壤和海洋中降解的时间是不同的。据统计, $Y1-1$  的值和 $Y2-1$  大约 800 和 400<sup>[12]</sup>。在这种情况下, $R$ 的价值 3 是由环境中的浪费( $WIE$ )通过我们获得最终 $R$ 公式吗 3。经过模拟退化的现有的塑料垃圾和过去的年产量,我们设置 $WIE$ 830 亿吨。

$$R_3 = (76\% \gamma_1 + 3\% \gamma_2) \times WIE$$

将所有数据导入模型, 绘制饼状图如图 4 所示, 工业回收、焚烧和丢弃的回收速度。

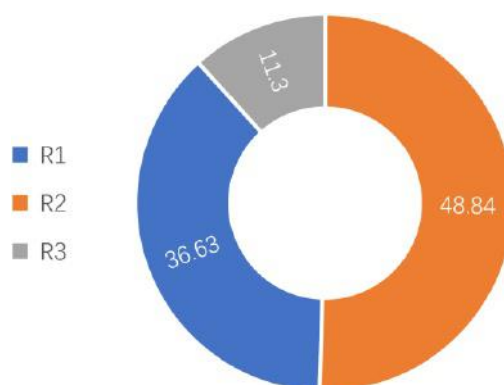


图 4 通过三种方式减少浪费

由于 $MR$ 的总和 1,  $R_2$  和  $R_3$ , 计算出一次性或一次性生产能力的最高水平为 9677 万吨。这是在不进一步破坏环境的情况下, 最大回收率和塑料产量的总和。

### 4.2 废物水平的讨论

在本节中, 我们使用政策驱动的塑料影响指数模型(PII)来分析如何在环境安全的水平下尽可能的减少塑料垃圾。首先, 我们使用全局数据作为基本样本, 以达到一般水平。然后, 我们选择东亚和欧洲作为两个不同的国家进行案例研究。最后, 通过对东亚和欧洲实施不同地区的政策, 可以看出政策有效性的区域差异。

某些要点如下所示

- 在分析全球, 东亚和欧洲情况的第 4.2.1-3 节中, 未考虑政策因素。
- 策略通过更改基本组件来影响 PII 模型。例如, 不同塑料行业之间的生产比例或年度塑料产量等。



#### 4.2.1 全球准备条件

根据从权威论文<sup>[13][14][15]</sup>中收集的现有数据，表 2 列出了全球塑料状况相关的原始数据。

表 2 整体塑性条件

行业	帕	特	C&I	Tr公司	公元前	E/E	其他
体积/ bt	167.7	30.9	44.2	20.1	29.4	15.4	51.3
百分比	46.7%	8.6%	12.3%	5.6%	8.2%	4.3%	14.3%
价值/十亿	297	110	396	77	88	77	55
百分比	27%	10%	36%	7%	8%	7%	5%

将全局数据与我们的模型相结合，可以在图 5 中显示出塑料在不同领域的影响。

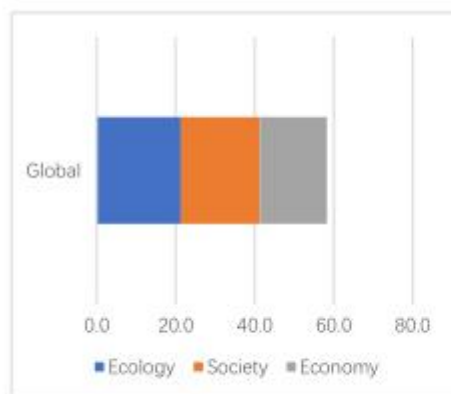


图 5 塑料在不同领域的影响

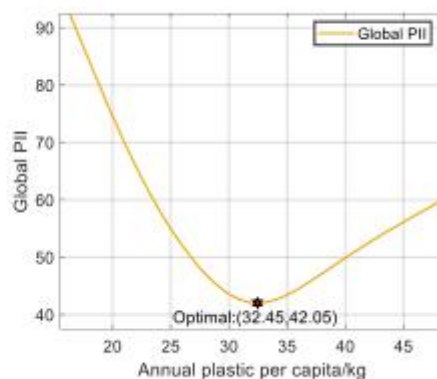


图 6 全局 PII 得分

正如上面所示，在我们目前的世界，PII 大约是 58 分，100 分，这表明了一个负面的环境，其中大多数生物正在过度受到塑料工业的影响。具体而言，

1.空气和水的得分远远超过平均水平，与全球变暖和水污染加剧的大气状况相对应。

2.在经济和社会方面，可以得出，积极的分数很难与消极的分数相比，因为制造商很难找到比塑料更好的材料，考虑到价格和有效性，而公民实际上不能放弃塑料，因为它的方便和轻。

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

通过改变人均塑料产量，全球 PII 得分反应为最佳如上所列。

全球塑料生产的最优解可以表示为人均每年 32.45 kg，其中全球 PII 最小值为 42.05。这表明，随着现代回收技术的发展和材料市场的多元化，塑料迟早会被更环保的替代品所取代。

#### 4.2.2 案例研究:东亚和欧洲

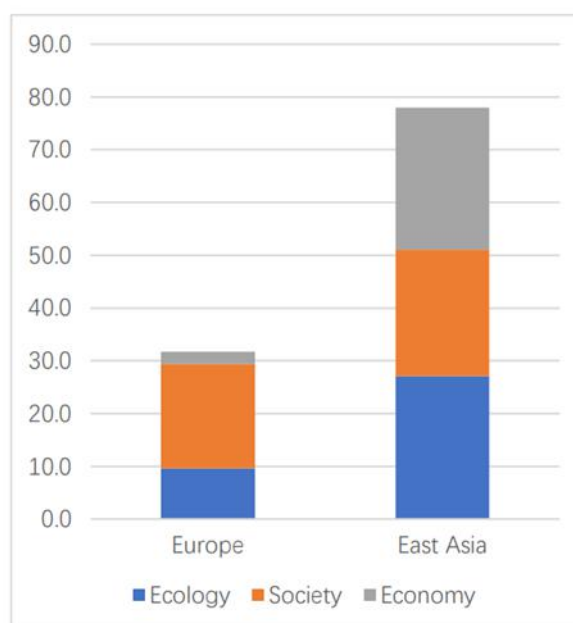
在本节中，PII 模型被应用于两个不同的区域。东亚在塑料进口中占主导地位，对塑料垃圾处理不当，而欧洲在全球范围内生产了很大一部分塑料，几乎没有忽视塑料的危害。表 3 列出了所使用的原始数据。

表 3 原始数据



行业		帕	特	C&I	Tr公司	公元前	E/E	其他
东亚	体积/ bt	38.1	3.5	6.7	7.7	8	3.8	7.4
	百分比	50.7%	4.63%	8.85%	10.3%	10.7%	5.03%	9.8%
	价值/十亿	65	39	29	34	72	26	62
	百分比	20%	12%	8.9%	10.3%	22%	7.9%	18.9%
欧洲	体积/ bt	24.5	2.5	5.6	6.2	8.5	3.8	10.6
	百分比	39.7%	4.1%	9%	10.1%	13.8%	6.2%	17.1%
	价值/十亿	30.1	17.7	12.5	36.8	22.1	33.1	30.9
	百分比	16.8%	9.6%	6.8%	20%	12%	18%	16.8%

利用 PII 模型，塑料对欧洲和东亚的影响如图 7 所示。



数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

图 7 塑料对欧洲和东亚的影响

从图表上看，欧洲和东亚分别得到 32 分和 78 分。有趣的是，虽然欧洲人比东亚人生产更多的塑料，但欧洲的塑料状况实际上更好。这可能是由于欧洲大部分的塑料产品出口，只有少数是留在国内，更不用说其强大的回收能力。东亚地区进口额较高，处理能力相对较弱，环境保护意识较弱。

接下来，为了找出这两个地区塑料生产的潜在最小水平，我们观察 PII 的变化如图 8 所示。



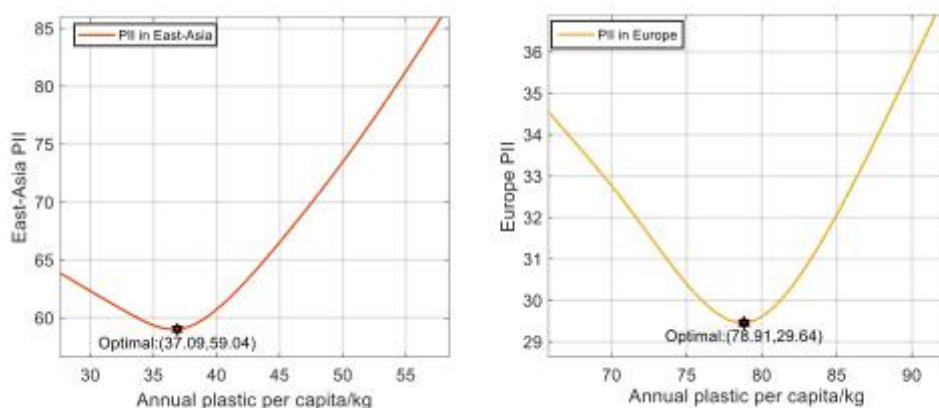


图 8 欧洲和东亚 PII 的变化

东亚和欧洲塑料生产的最优解分别为每人每年 38.07 和 78.91 kg，其中欧洲地区 PII 的最小值为 29.46，东亚地区 PII 的最小值为 59.04。我们可以得出以下结论。

- 1.对欧洲来说，塑料出口对整个社会贡献很大，大多数国家可以照顾他们产生的塑料垃圾。因此，只需稍微降低即可达到最优解。
- 2.对东亚而言，尽管严重依赖塑料，但目前环境中塑料垃圾过多，对公民的健康造成了负面影响。因此，大幅度减少塑料生产对生态系统和社会的好处远远大于对经济的不利影响。

#### 4.2.3 策略驱动的条件

在所有影响塑料生产的因素中，政策可以发挥关键作用，限制，促进某些种类的塑料，甚至完全禁止公民使用它。然而，由于地区条件的多样性，没有一种政策是完美的，对所有人都有利。因此，我们参照现有的<sup>[16][17][18]</sup>提出了两种政策，并检验其在欧洲和东亚的可行性

- 1.永久性禁止进口非工业塑料
- 2.对塑料产品征收额外的税

利用欧洲和东亚 4.2.2 的数据，上述政策实施范围所决定的两个地区的 PII 如图 9 所示。

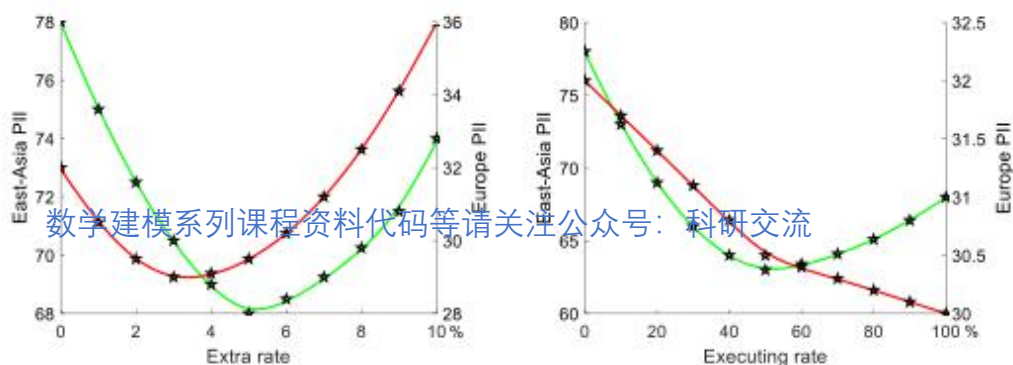


图 9 东亚和欧洲的 PII

1.政策 1 在大约 55%执行前，欧洲和东亚的总体趋势保持不变，但在欧洲 PII 继续平缓下降的 55%点之后，就出现了明显的差异，而东亚 PII 则呈现出逐渐上升的趋势。这主要是由于东亚的塑料工业结构，该结构依赖进口塑料进行加工，并将加工后的产品销售给市场。相比之下，欧洲的塑料工业更注重出口，因此对进口的限制实际上不会对欧洲产生太大的负面影响。

2.就政策 2 而言，欧洲和东亚的经济增长趋势似乎是相似的。尽管如此，还是有一些细



微的差别值得一提。首先，欧洲 PII 的转折点略早于东亚。其次，在我们的分析中，通过对 10% 的税率加税，最终欧洲的得分会高于初始值，而东亚的 PII 会低于初始值。这里的原因与前者相似，因为欧洲塑料工业具有很高的出口价值，表明了巨大的国内塑料生产。因此，加征生产税严重损害了欧洲制造商的利益。

### 4.3 目标设置

#### 4.3.1 模型与讨论相结合

在此之前，我们通过建立最大水平模型来探讨塑料垃圾的回收利用能力，然后再考虑社会、环境和政治因素来讨论塑料垃圾的减少程度。在我们的模型和讨论的基础上，我们寻求一次性或一次性塑料产品的全球可达到的最小浪费水平。注意，

水平影响的因素可以分为两种类型：时变和时不变。生产和回收率是定常的，其他因素包括居民的塑性依赖和环境质量等都是不变的。

我们模式的另一个特点是，年产量将对未来几年的产量水平产生间接影响。具体来说，如果第一年由于塑料垃圾的高水平而严重破坏了环境，这种影响在第二年和第三年仍然会出现。将当前水平的影响限制在三年以内，迭代公式可表示为：

$$CICI(t) = F(t, production, recovery) + \sum_{i=1}^3 (1 - \frac{i}{3}) CICI(t-i)$$

与生产和恢复固定常数，公式  $Index(t)$  可以简化如下。

$$CICI(t) = F(t) + \sum_{i=1}^3 (1 - \frac{i}{3}) CICI(t-i)$$

$F(t)$  揭示了影响指数(或水平)的所有相关因素，除了生产和恢复。 $F$  的定义( $t$ )指的是在我们的讨论中定义。考虑到时间，我们得到如下表达式。

$$F(t) = ED_1(t) + SD(t)$$

#### 4.3.2 最小水平预测

设定塑料的最低标准不仅会对目前的世界产生很大的影响，而且会对未来的许多年产生很大的影响。因此，

- 最低水平估计的时候，该指数在 4.3.1 变得稳定。
- 最低水平的结合全球人均塑料年产量和回收。在我们的讨论中，当指数在估计时间最小时，level 对应于上述参数。
- 最低水平与三个参数：人均塑料年产量、回收率和时间。
- 确切的估计可能影响的最低水平。在我们的讨论中，估计是 15 年以后。
- 利用控制变量法，讨论之间的关系层面上，生产时间是在一个固定的回收率。每次计算最低限额时，费率均应改变。
- 考虑到上述原则，指数和潜在的最低水平如图 10 所示。





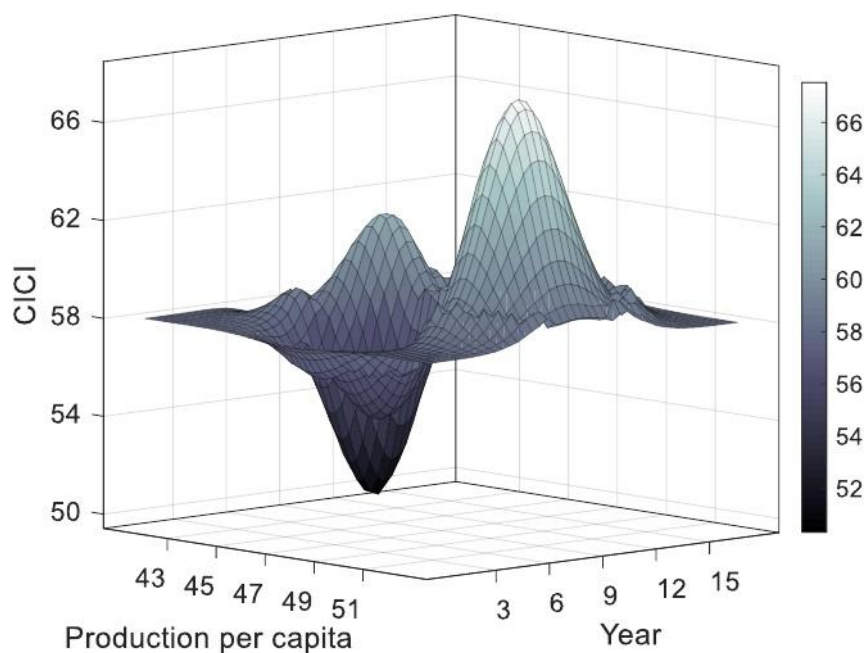


表 4 最小 CICI 的数据

Recycling rate	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Minimum CICI	49	48.3	47.4	46.6	45.9	45.3	46	48.1	50.3	52.7	51.4
Production per capita	35.1	33.4	31.8	30.3	28.9	28.1	28	29.3	29.7	30.4	31.1

由表 4 可知，塑料的最优最低水平为每年人均 28.1 kg，回收率为 40%，指标约为 45。

注意,塑料生产水平适合人类几乎三分之二的当前,回收率比现在更好,它可以推断,随着科学技术的发展,尽管新兴人口,更成熟的替代品将逐渐代替塑料和唯一的一个小塑料相比,如今由于区域差异没有得到合理的处理。这种情况甚至可能在 30 年后变得更好,这在我们的论文中没有讨论。

#### 4.3.3 影响

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流

本节将从社会、生态系统和塑料工业三个方面讨论 4.3.2 中塑料最低水平的影响。

- 社会和生态系统的影响是衡量  $SD(t)$  和  $ED1(t)$ 。
- 影响塑料行业是衡量其价值的估计收缩。

综合以上三种函数，各函数的增长趋势如下图所示





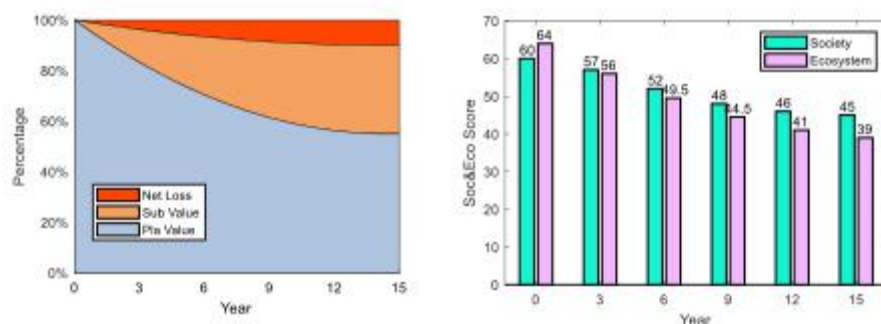


图 11 三种功能的增长趋势

分析:

1.塑料工业:从图表中可以看出,塑料工业缩减到最初规模的 55%左右。由于市场竞争对手的替代产业受到政治和经济环境的青睐,在最初几年塑料产业以每年近 6%的速度下降。然而,当子行业发展到顶峰时,这两个行业的市场份额呈现出稳定的趋势。最终,塑料行业损失了大约 45%的初始价值,而子行业不能像塑料行业那样创造那么多的利润,每年约有 10%的利润被浪费掉。

2.社会:社会分数总体呈下降趋势,但我们注意到,前三年下降的幅度实际上比第二、第三年要小。市民需要时间来适应新的无塑料环境,因此在最初的几年里,他们可能会觉得奇怪生活在一个纸袋和重复使用的塑料主导他们的日常生活。然而,当他们意识到它给他们带来的好处时,社会做出更积极的反应。

3.生态系统:随着塑料生产的减少和更多的回收利用,环境一定会变得更加清洁,因为垃圾总量正在减少。随着垃圾量的减少在几年后趋于稳定,环境也会做出相应的反应,空气状况、水质和全球温度都将恢复到正常水平。

#### 4.4 目标设置

虽然塑料垃圾污染是一个全球性的问题,但造成这个问题的原因,因国而异,其影响或危害也不尽相同。

由于这是一个公平的问题,我们修改了之前构建的模型,引入了可持续发展系数(sustainable development coefficient)的概念。将世界各国按大洲进行分类,分别计算出各大洲各国的平均可持续发展系数。最后,计算了不同可持续发展系数的方差。方差值越小,世界就越公平。

在计算可持续性系数时,我们使用 GE(麦肯锡矩阵)矩阵。这里,我们考虑使用 GE 矩阵来描述区域的可持续性。尽管国家和公司在经营、管理和收入方面存在差异,但我们可以进行合理的类比。一方面,一个公司的吸引力表明一个公司的经营利润的实力。相应地,一个国家的可持续发展指数描述了这个国家的发展实力。另一方面,企业的竞争力和国家的协调发展系数反映了可持续发展的能力。因此,在这里引入 GE 矩阵,如图 12 所示,并根据实际情况定义两个相关指标:GDP 和 CICI(综合影响系数指数),将指标分为三个等级。



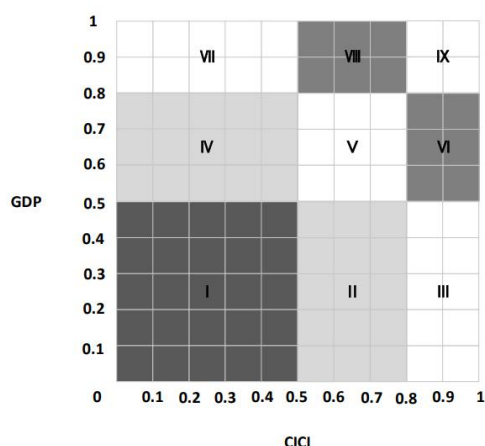


图 12 GE 矩阵图，表 5 指标分类

国内生产总值	发展水平	CICI的价值	效果水平
0~0.5	低	0~0.5	低
0.5~0.8	中	0.5~0.8	中
0.8~1	高	0.8~1	高

用人均 GDP 来表示各地区的经济发展水平，用 CICI 来表示塑料垃圾的综合影响。GDP 和 CICI 的细目见表 5。因此，我们可以确定其在 GE 矩阵中的坐标位置。坐标位置与最显著位置(1,1)之间的距离可以考虑为区域可持续发展系数 SDC (sustainable development coefficient)。该值越低，表示国家可持续发展实力越强。

利用 GE 矩阵计算除南极洲外各大洲的 SC。GDP 来源于互联网[19]，CICI 数据来源于第二个问题。我们对数据进行预处理并规范化数据，使其值介于(0,1)之间。然后我们把这些点画在图上，看看图中蓝色的点。表示最佳情况的点称为 OP(最佳点)，如图 13 所示。从数据中不难看出，各地区的可持续性差异很大，这是不公平的。

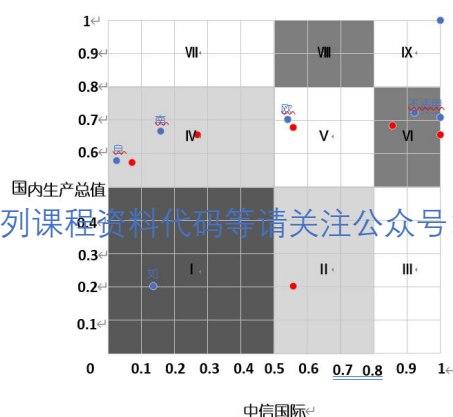


图 13 SDC 和变更图

为此，我们提出了一系列旨在改善地区不平等、促进全球可持续发展的建议和解决方案。

1. 发展中国家应适当减少塑料生产，提高塑料生产质量，改革塑料生产工业，一些国家应转向其他无害环境的塑料替代品。

2. 国际社会，特别是发达国家，应该建立基础，向发展中国家提供经济支持，改善塑料生产企业的结构和质量。

3. 提倡在全球减少塑料的使用，并建议使用对环境无害的非塑料产品。



结合前面的模型，通过程序模拟对这些措施的效果进行了预测。我们以 5 年为周期进行模拟，发现 5 年后这些地区的 SDC 发生了显著变化，如图中红点所示。五年后，SDC 值从 0.658 下降到 0.584，六大洲的 SDC 方差从 0.85 下降到 0.74，说明改善效果非常好，全球整体可持续性得到提高，各大洲之间的差距较小，符合要求。

## 4.5 备忘录

备忘录列在最后一页。

# 5 模型评价

模型验证已经在上述建模的每个部分实现。在这里，我们做敏感性分析，评估优势、劣势。

## 5.1 灵敏度分析

在本节中，我们通过改变参数，比较原始结果与改变结果的差异，来测试我们工作中相关的两个模型的灵敏度。

第一个模型分别变化三个参数:Y1、2 和美联社。

第二个模型分别增加价值的百分比和塑料生产

在某些行业，保持别人的份额与他们原来的观点相同。

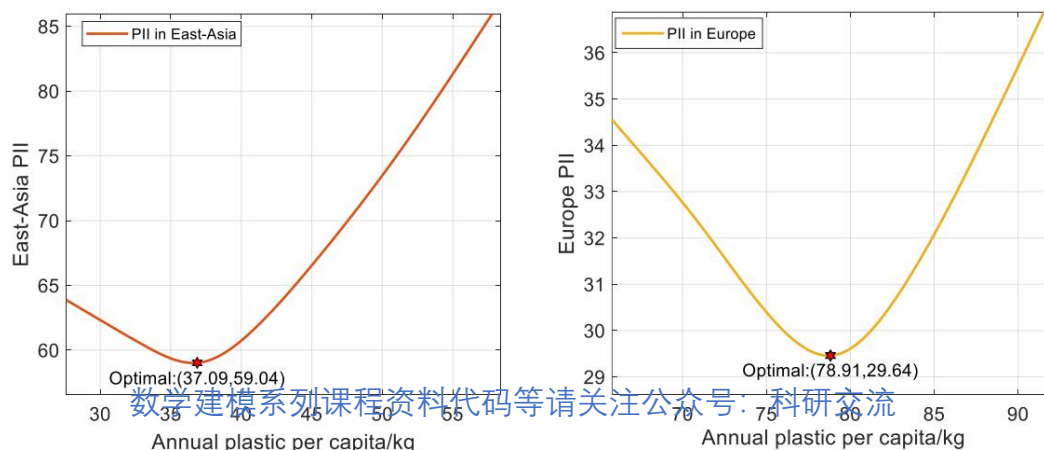


图 14 敏感性分析，左右图分别对应第一和第二模型

从左边图对应于第一个模型中, $M$ 与参数增加一个越来越明显的趋势。虽然三个参数影响 $M$ 不同程度,而 $Y1$  和 $Y2$  的变异 $APM$ 产生更大的影响。

从右图对应第二种模式，虽然所有行业的扩张都可能产生负面影响，或者 PII 得分较高，但包装行业在影响 PII 和对世界造成负面污染方面明显超过其他行业

## 5.2 优势和劣势

### ● 优势

模型采用了准确、最新的数据库，保证了结果的可靠性。研究结果具有较高的参考价值，



可立即应用于实际生活中。

我们的两个模型都量化了塑料垃圾的水平，使其直观地显示模型的结果。

模型对层次进行了综合评价，所选取的因素都是客观的。通过综合评价，我们的模型可以输出令人信服的结果。剔除主观因素后，模型在评价过程中更加稳定。

- 弱点

一些指标缺失。为了得到指标，它需要额外的指标权重，这意味着模型有时会很复杂。

我们假定所有国家或区域都将积极配合我们提出的干预措施。忽略那些被动的国家，实际结果可能与我们预测的结果有一些偏差。

## 6 结论

综上所述，全球塑料垃圾管理问题不是由任何单一因素造成的。相反，这是一个由一系列变量组成的跨学科问题。首先建立了塑料垃圾对环境影响的评价模型，并从多个角度分析了塑料生产的极限。

虽然算法模型侧重于原始数据和数据分析，但基于评价结果的评价和优化也考虑了社会和环境因素。虽然我们的模型不能解释所有这些因素，但它使用了现有数据的代表性横截面来显示全球塑料废物问题的现状，并清楚地定义了全球塑料废物管理的趋势。我们的模型表明，改善全球塑料废物污染是可能的，而最重要的干预因素是社会经济因素。最后，针对这些结果提出了一些建议。



## 谅解备忘录

: ICM

来自:团队 2008521

日期:2020 年 2 月 17 日

回复:塑胶废物最低水平的目标

今天,自然、环境和人类生活正日益受到大量的一次性或一次性塑料垃圾的影响,必须采取一些措施来应对这种情况。更好地衡量的程度损害的无数的塑料垃圾和预测多低的程度可以减少人工干预,我们建立两个基本模型,一个解释人与自然的能力将塑胶废料回收,另外定义一个索引来评估现有的塑料垃圾的严重程度。

通过对模型的建立和改进,以及对影响因素与结果的关系进行讨论,得出了一个可实现的水平。当达到最小值时,所有时变因素都保持不变,最重要的因素是产量和采收率。而它们的价值正是我们最想要的。

正如在我们的模型中模拟的那样,在人为干预下,揭示塑料垃圾水平的指数可能会下降到大约 45,这是它可能达到的最小值。在这个水平上,产量下降了三分之二,而复苏幅度从近 20%上升到 40%。更重要的是,如果政府干预力度足够大,这个水平可能在 15 年内达到。达到这一水平后的情况需要更长的时间考虑。

需要进一步说明的是,实际的最低水平的一次性或一次性塑料废物并不是完全不变的。仍然会有轻微的波动,但波动很小,不会影响整体。

然而,存在着一些影响达到上述最低水平的情况。其中一些可能加速进步,另一些可能阻碍成就。有三种可察觉的有利于进步的情况和两种阻碍进步的情况。

目前我们日常生活中常用的塑料品种有 PE、PP、PVC、PET、EPS、ABS、PA 等。其中 PE 包括温室塑料材料、工业包装膜、乳酸饮料瓶、洗涤剂瓶等。PP 包括编织袋、打包带、捆扎绳、部分汽车保险杠等。PVC 包括塑料门窗型材、管材等。PET 包括可乐、雪碧等茶饮料瓶;EPS 通常被称为泡沫塑料。这些材料大多是回收成本高。这就是塑料回收的困难,塑料的回收可能不是一次性完成的,污水和废气的处理也很难处理。在这种情况下,很难实现闭环回收。由于新塑料的出现,回收问题有所缓解。例如,美国能源部的劳伦斯伯克利国家实验室的研究人员设计了一种新型塑料聚合物,这种聚合物可以被分解并重新组装,就像分子乐高积木一样简单。

### 塑料垃圾回收

#### ● 国家共识。

由于不同国家的发展条件不同。我们可以看到的现象是,一些欧洲发达国家在处理塑料垃圾方面做得很好,而非洲和亚太地区的一些国家却没有。回收塑料废物需要所有国家的共同行动。人多力量大,在世界范围内的合作下,塑料垃圾的处理速度加快了。虽然各国关于废物回收的法律和政策差别很大,但其核心思想是相当一致的。

#### ● 政策支持。

对塑料回收的优惠政策逐渐诞生。这在很大程度上取决于国家干预。在塑料加工方面,政府给予企业和个人支持。例如,企业可以为塑料回收获得财政支持,个人更愿意参与塑料回收,因为容器存款法。这项立法的目的是鼓励回收,并对现有的路边回收项目进行补充,以减少塑料容器的能源和材料使用。

以下是两种阻碍因素。

#### ● 选择经济环境。

在发展的过程中,一些企业甚至国家只注重经济的快速发展,而忽视了环境的保护。这是一种不负责任的行为,这就是为什么这么多的塑料垃圾被扔进了海洋而不是回收工厂。正因为如此,塑料垃圾的水平很难以最快的速度下降。如果这种情况继续下去,总有一天人类



会发现他们一直在为自己的背部做一根钓竿。事实上，环境破坏是很难逆转的。

- 过去长期积累的垃圾。

如上所述，以及在我们的模型和讨论中所解释的。塑料垃圾造成的环境破坏可以持续几年。换句话说，一年对环境的破坏需要数年才能恢复。自从塑料被发明以来，人们对它的需求就越来越大，因此每年生产的塑料越来越多。如果人类继续以目前的方式处理塑料垃圾，这个水平将会缓慢下降甚至开始上升。

数学建模系列课程资料代码等请关注公众号：科研交流





## 参考文献

- [1] Galloway, T. S.(2015)。微纳米塑料与人类健康。在海洋人为凋落物中, 第 343-366 页。塑料污染
- [2] (2018, 9).检索自我们的世界数据:[https://ourworldindata.org/plastic-pollution#如何-do-plastic-impact-wildlife and-人民健康](https://ourworldindata.org/plastic-pollution#如何-do-plastic-impact-wildlife-and-人民健康)
- [3] Gourmelon, G.(2015)。全球塑料产量上升, 回收滞后。新的世界观察研究所分析探讨了全球塑料消费和回收的趋势。Recuperado de <http://www.观察.组织,208年>。
- [4]伯格曼, M., Gutow, L., 和 Klages, M.(编)(2015)。海洋人为垃圾。施普林格。
- [5]Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., saint - rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., ...& Noble, K.(2018)。有证据表明大太平洋垃圾带的塑料正在迅速积累。科学报告, 8(1), 1-15。
- [6]贾利勒,m·A。不过,m·N。&拉赫曼·m·k(2013)。使用塑料袋及其对环境和农业的破坏性影响:另一种建议。国际学习与发展杂志, 3(4), 1-14。
- [7]施,中州 Kasaon, s . j . E。曾,C . H。Wang H . C。陈,L . L。& Chang y . m .(2016)。因露天焚烧而接触 PCDD/Fs 的健康风险和经济成本:肯尼亚内罗毕的一个案例研究。空气质量, 大气与健康, 9(2), 201-211。
- [8]盖尔,R Jambeck, j . R。&法律,k . I。(2017)。所有塑料的生产、使用和命运。科学的进步,3(7)。
- [9] Scalenghe, R.(2018)。资源还是浪费?塑料在土壤中降解的观点, 并着重于使用寿命的选择。e00941 Heliyon 4(12)。
- [10] 燃烧塑料垃圾是个好主意吗?(2019年3月12)。检索自《国家地理》:<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/03/should-we-burn-plastic-浪费/>
- [11] 塑料垃圾:塑料污染的环境影响。(2019, 29)。检索自 Thrive global:<https://thriveglobal.com/stories/plastic-waste-environment-effects-of-plastic-pollution/>
- [12]里克勒布朗。(2019年10月22)。垃圾填埋场中废物的分解。摘自 The balance small business:<https://www.thebalancesmb.com/how-long-do-it-take-trash-to-decompose-2878033#plastic-waste>
- [13]詹贝克, J. R., 盖耶, R., 威尔科克斯, C., 西格勒, T. R., 佩里曼, M., 和雷迪, A...K. L.(2015)。塑料废物从陆地进入海洋。科学,347(6223),768 - 771。
- [14](2002)。PVC 产品及其添加剂在垃圾填埋场的长期命运。聚合物科学进展, 27(10), 2227-2277。
- [15]刘, E. K., He, w.q ., Yan, c.r.(2014)。从“白色革命”到“白色污染”——中国农业塑料薄膜覆盖。环境研究快报, 9(9), 091001。
- [16]布鲁克斯, A. L., Wang, S., & Jambeck, j.r.(2018)。中国禁止进口塑料及其对全球塑料废物贸易的影响。科学进步, 4(6), eaat0131。
- [17]刘玉玲, (2002)。马德拉岛(葡萄牙)超市消费塑料袋的自愿收费的影响。环境规划与管理杂志, 53(7), 883-889。
- [18]康维瑞, F., McDonnell, S., & Ferreira, S.(2007)。欧洲最受欢迎的税收是什么?爱尔兰塑料袋税的教训。环境与资源经济学, 38(1), 1- 11。
- [19] 按 GDP(名义上)划分的大陆名单。(2012,2)。摘自 维基百科:[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_continents\\_by\\_GDP\\_\(名义上\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_continents_by_GDP_(名义上))

