

应对气候变化的全球各国“国家自主贡献”的评判

摘要

在气候问题日益严峻的背景下，如何促进各国在气候治理上承担公平的责任，如何基于国家实力评价减排目标的合理性，在考虑成本以及可行性的前提下采取什么样的具体行动减少预期的二氧化碳排放，是促进解决气候变化问题的关键几个方面。当前全球各国都“共同”遭受着气候变化的影响，但是各国又存在相互“区别”的国情。

在“自主贡献”要求下，不同类型的国家应承担的责任也不尽相同，也即共同但有区别的责任（CBDR）。因此本文首先将刻画世界主要国家的不同维度的数据按照灰色关联分析法进行归一化处理，而后以此归一化数据为基础，采用均值漂移聚类法对各个国家进行分类。将所得国家类别的各个维度与整体表现进行对比，其突出特征即为该类别国家应当承担责任的内容。第二问中，根据中国、印度、美国和欧盟四个国家/组织所提供的自主贡献目标，基于上述灰度关联分析法获得的权重因子，计算获得了四个国家/地区的承诺减排目标与责任减排目标，依据两者的比值即可评价四个国家的承诺减排目标的合理性。第三问基于当前研究成果，分析了影响温室气体排放量的四个主要因素（化石能源、畜牧业、森林和新能源），并以此简化了相应的模型。同时，选取出可以量化成本的减排措施，分析了使中国达到“自主贡献”措施的合理性，从多目标规划的角度分析了问题求解过程，并从宏观层面给出了方法指导。

关键词：气候变化、CBDR、均值漂移聚类、灰色关联分析

一、问题重述

1.1 问题背景

气候变化问题已经成为了当今全球共同关注的焦点问题。《巴黎协定》是继1992年《联合国气候变化框架公约》、1997年《京都议定书》之后，人类历史上应对气候变化的第三个里程碑式的国际法律文本，将形成2020年后的全球气候治理格局。

《巴黎协定》改变了过去气候变化协议的“任务分配”的模式，由各方以“自主贡献”的方式参与全球应对气候变化行动。发达国家将继续带头减排，并加强对发展中国家的资金、技术和能力建设支持，帮助后者减缓和适应气候变化。

1.2 需要解决的问题

1.2.1 问题一

针对《巴黎协定》所确定的“国家自主贡献”，中国提倡“共同但有区别的责任”，要求依据相关文献以及数据研究不同类型国家的“共同但有区别的责任”所包含的内容，评价中国所提出的“共同但有区别的责任”的合理性与公平性。

分析：第一问可以归结为分类与评价问题。首先要获得足够刻画全球各主要碳排放国家的数据指标。而后依据这些数据，利用分类算法对于全球主要国家的类型进行分类，则分类过程中各个类别所表现出的主要特征即可视为该类别国家的责任内容。

1.2.2 问题二

依据第一问所得出的“共同但有区别的责任”所包含的内容分析美国、欧盟、中国和印度的“自主贡献”服从“共同但有区别的责任”原则的程度。

分析：第二问可视为第一问所构建的评价框架的应用。首先获得中国、美国、印度与欧盟的“自主贡献”数据，之后运用第一问的框架对问题进行求解。

1.2.3 问题三

要求建模分析在考虑到行动的可行性、有效性和代价的条件下，中国若要达到承诺的“自主贡献”，应该采取的行动。

分析：第三问为一个多变量多目标优化问题。求解本问题需要构建一个环境模型，即构建“自主贡献”与各个具体行动之间的映射关系，在满足行动的可行性、有效性和代价的条件下获得应该采取的行动内容。

1.2.4 问题四

要求针对上述问题的总体解决办法，准备一份执行摘要，向《联合国气候变化框架公约》秘书处阐述观点。

分析：本问可以看作是以报告的形式完成对于“国家自主贡献”我们所提倡的“共同但有区别的责任”相对于其他贡献策略的各个方面优势的综合分析。

二、符号说明

x_i	比较数列
x_0	参考数列
w	权重
ξ_i	灰色关联系数
r_i	灰色加权关联度
E_b	基础年份排放量
E_m	2030 年全球最低减排量
ρ	“自主贡献”满足率
EN	全年化石燃料消费产生的碳排放总值
Con_{ij}	i 部门消费 j 种化石燃料的年总量
E_j	j 种化石燃料的碳排放系数
HU	畜牧业年温室气体等效二氧化碳排放量
CF	全国森林碳汇引起的温室气体排放量减少
CE	中国全年总碳排放
$COST$	花费成本
RCE	减少的碳排放量

三、模型构建与问题求解

3.1 问题一：定量研究不同类型的国家“共同但有区别的责任”的内容，评价“共同但有区别的责任”的合理性和公平性

“共同但有区别的责任”中，“共同”的概念，强调各国都是“温室效应”的始作俑者，同时也均是气候变化的受害者，因而都有义务和需要在气候治理行动中做出贡献。另一方面，通过“区别”的概念，充分考虑各个国家在人口、历史责任以及未来发展需要上的差异，提出了基于人口数量、累积排放量、转移排放量以及人类发展指数等多元化指标的分配方案。

对于“共同”的概念，世界各国基本都已经意识到了气候变化带给本国的危害性，目前的核心焦点即在于如何承担“区别的责任”。因此需要通过定量研究各国的责任内容可以对于当前的责任承担具有指导价值。

3.1.1 模型的建立

从问题的描述中我们可以知道不同类型的国家“共同但有区别的责任”内容不尽相同。因此问题求解的第一步首先需要对于世界上主要相关国家进行类型的分类。通过 11 个不同维度的数据刻画了每个国家特征，选取了聚类法实现将主要国家进行分类，再提取每一类型的国家明显的责任特征，即可表达出其应当承担的责任内容。

3.1.2 “灰色关联分析法”^[1]与“层次分析法”归一化数据指标

(1) 灰色关联分析法

对于两个系统之间的因素，其随时间或不同对象而变化的关联性大小的量度，称为关联度。在系统发展过程中，若两个因素变化的趋势具有一致性，即同步变化程度较高，即可谓二者关联程度较高；反之，则较低。因此，灰色关联分析方法，是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度，亦即“灰色关联度”，作为衡量因素间关联程度的一种方法。

(2) 层次分析法

层次分析法（AHP 法）是匹茨堡大学教授萨蒂基于应用网络系统理论和多目标综合评价方法所提出的一种层次权重决策分析方法。

其特点为在应对复杂决策问题，利用少量的定量信息使得决策的思维过程数学化，为多目标、多准则、无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。

层次分析法的核心原理是根据问题的性质以及目标，将问题拆解为不同的因素，按照各个因素的相互关系将其按照不同的层次进行聚合形成一个多层次的分析结构模型，最终将问题转化为底层（方案）相对于最高层（目标）的相对重要权值的确定或者相对优劣次序的排定。

(3) 灰色关联分析法归一化数据指标

由于各个国家类型差异较大，因此首先采用该方法将数据进行归一化，其具体步骤为：

- 确定比较对象（评价对象）和参考数列（评价标准）。设定评价对象有 m 个，评价指标有 n 个。则比较数列为：

$$x_i = \{x_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}, i = 1, 2, \dots, m$$

参考数列为：

$$x_0 = \{x_0(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$$

- 确定各指标值对应的权重。可采用层次分析法确定各指标对应的权重

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

其中 $w_k (k = 1, 2, \dots, n)$ 为第 k 个评价指标所对应的权重；

- 计算灰色关联系数

$$\xi_i = \frac{\min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)| + \rho \min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)|}$$

为比较数列 x_i 对参考数列 x_0 在第 k 个指标上的关键系数，其中 $\rho \in [0, 1]$

为分辨系数，分辨系数越大分辨率越高。其中，称 $\min_s \min_t |x_0(t) -$

$x_s(t)|$ 、 $\rho \min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)|$ 分别为两级最小差以及两级最大差；

- 计算灰色加权关联度

$$r_i = \sum_{k=1}^n w_k \xi_i(k)$$

- 评价分析：根据灰色加权关联度大小，对各评价对象进行排序，可建立评价对象的关联序列，关联度越大，其评价结果越好。

3.1.3 “均值漂移聚类法”^[2] 确定世界主要国家类型及其突出指标

(1) 均值漂移聚类法

均值漂移聚类是一种利用滑动窗口的来找到数据点的密集区域的聚类算法。通过不断将中心点的候选点更新为滑动窗口内点的均值来完成，来定位每个组/类的中心点。然后对这些候选窗口进行相似窗口去除，最终找到中心点集和分组。

均值漂移聚类算法在聚类应用中的优势在于事先不用确定需要分类的类别数量，适合本问题的求解。

具体步骤为：

- 利用“灰色关联分析法”与“层次分析法”归一化后获得的数据指标作为漂移聚类算法的输入数据；
- 确定滑动窗口半径 r ，以随机选取的中心点 C 半径为 r 的圆形滑动窗口开始滑动。在每一次迭代中窗口向密度更高的区域移动，直到收敛；
- 每一次滑动到新的区域，计算滑动窗口内的均值作为中心点，滑动窗口内的点的数量为窗口内的密度。在每一次移动中，窗口会向密度更高的区域移动；
- 移动窗口，计算窗口内的中心点以及窗口内的密度，直到移动到圆内密度不再增加为止；
- 步骤一到三会产生很多个滑动窗口，当多个滑动窗口重叠时，保留包含最多点的窗口，然后根据数据点所在的滑动窗口进行聚类。

(2) 应用均值漂移聚类法确定主要国家类型及其突出指标

当前我们获得的具有的详细数据^[3]为世界银行所提供的包括全球 50 个主要

国家（见下图）的自 1850 年到 1990 年的累积碳排放量、2014 年人均温室气体排放量、2014 年单位 GDP 温室气体排放量变化、人口、国土面积、森林面积、化石能源在总能源消费中的占比、人均 GDP、失业率、高技术出口和专利申请量这 11 个维度的用以衡量国家类型的数据。

这 11 个维度的数据可以分为效益型以及成本型数据。对于效益型数据，其数值越高，对应的责任也就越大，对于成本型数据则相反。因此在均值漂移聚类算法的使用中，需要首先分别对于成本型数据和效益型数据进行规范化处理。

表 3-1 获得的 11 个维度数据的数据类型

数据类型	数据
效益型	自 1850 年至 1990 年以来的累积排放量
	人均温室气体排放量
	单位 GDP 温室气体排放量变化
	国土面积
	化石能源在能源消费中的占比
	人均 GDP
	专利申请
	高技术出口
	人口
成本型	森林面积
	失业率

运用均值漂移聚类法，将上述 50 个主要国家和地区分为了 10 个国家和地区类型，每一个类型中所包含的国家如图 4-2 所示。

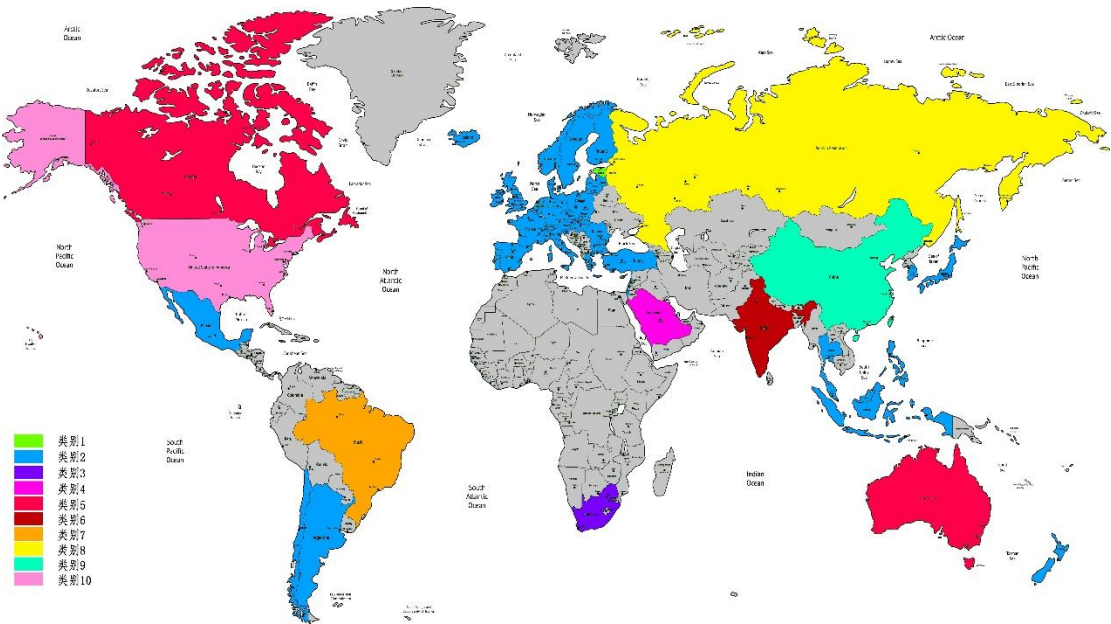


图 3-1 类别 1 到类别 10 各国家分布图

通过将划分的 10 个国家类型分别与所有数据的均值进行对比（图 4-2），即可获得这十个类型国家的突出责任内容（表 4-2）

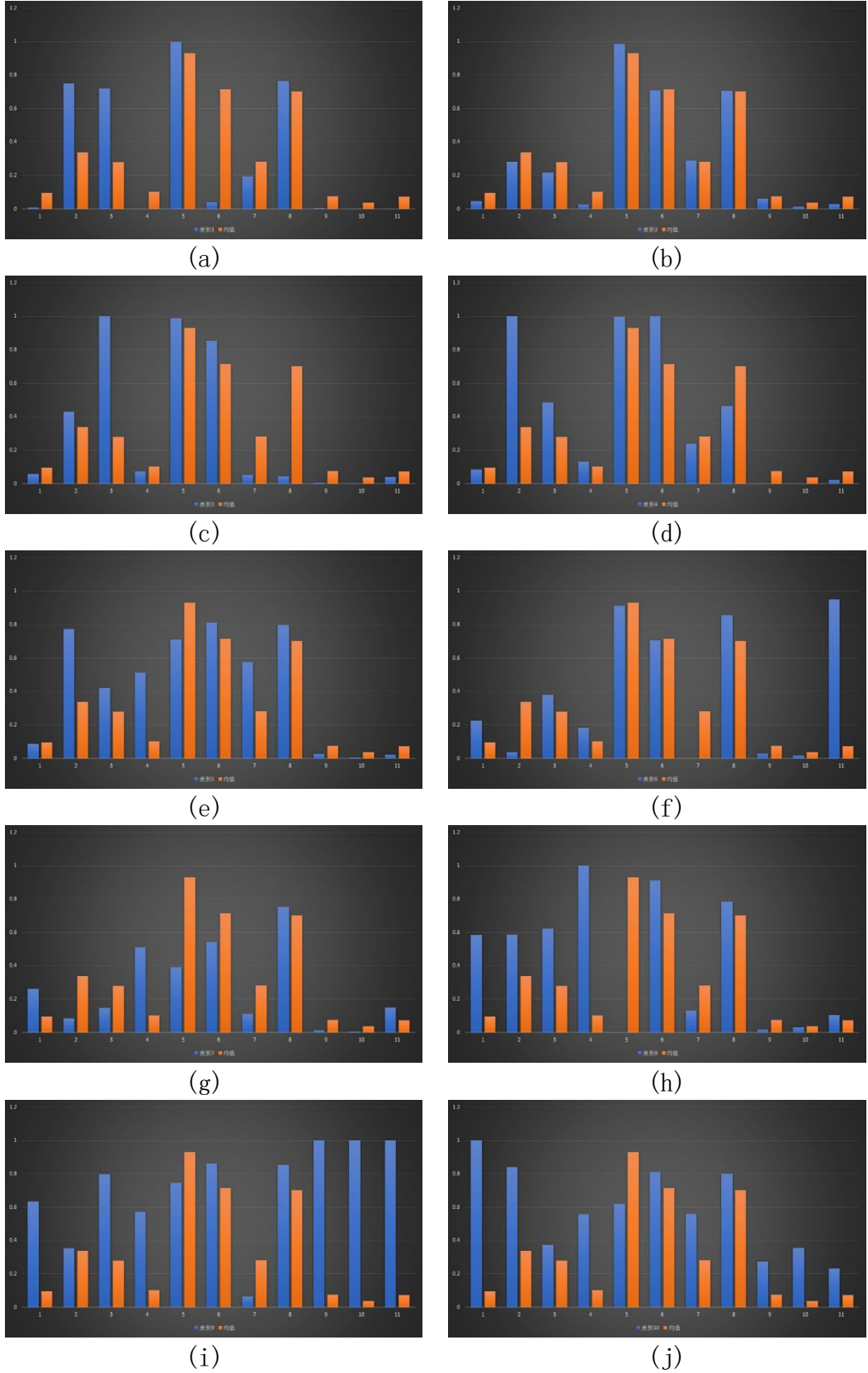


图 3-2：图(a)– (j)为类型 1 到 10 的国家类型与所有国家均值表现对比图（横轴上 1-11 即代表 11 个数据维度，纵轴代表灰色关联系数）

因此，总结上述对比图，可以得出这 10 个国家类型对于其应当承担的责任内容为：

- 欧盟国家中的爱沙尼亚属于类别 1 的范畴，其突出责任内容表现在应当降低人均温室气体排放、单位 GDP 温室气体排放和增加森林面积；
- 欧盟国家中除爱沙尼亚，其他欧盟国家均属于类别 2，其类型的突出责任内容为增加森林面积，降低化石能源在能源消费中的占比；
- 类别 3 国家（南非），应当降低化石能源在能源消费中的占比和单位 GDP 温室气体排放，增加森林面积；
- 类别 4 国家（沙特阿拉伯），应当控制人均温室气体排放、降低化石能源在能源消费中的占比并增加森林面积；
- 类别 5 国家（澳大利亚与加拿大），应当控制人均温室气体排放、降低化石能源在能源消费中的占比并增加森林面积；
- 类别 6 国家（印度），应当增加森林面积、减少化石能源在能源消费中的占比，同时降低人口数量；
- 类别 7 国家（巴西），由于其各项数据指标均与其理论应当承担数据指标吻合程度较高，因此在本模型下，其无责任内容；
- 类别 8 国家（俄罗斯），应当降低化石能源在能源消费中的占比，增加技术出口、专利申请与人口数量；
- 类别 9 国家（中国），应当承担的责任类型为应当降低化石能源在能源消费中的占比和单位 GDP 温室气体排放，增加森林面积；
- 类别 10 国家（美国），其责任内容为应当做出努力消除累积碳排放量，降低人均温室气体排放和化石能源在能源消费中的占比。

表 3-2 各个类型所包含的国家及其应当承担的责任内容

国家		聚类类别	突出责任内容				
欧盟	爱沙尼亚	类别1	人均温室气体排放量	单位GDP温室气体排放量	森林面积		
	奥地利 比利时 保加利亚 捷克共和国 丹麦 芬兰 法国 德国 希腊 匈牙利 爱尔兰 以色列 意大利 马耳他 荷兰 波兰 葡萄牙 罗马尼亚 斯洛伐克 斯洛文尼亚 西班牙 瑞典 英国	类别2	森林面积	化石能源在能源消费中的占比			
阿根廷 智利 冰岛 印度尼西亚 日本 韩国 拉脱维亚 立陶宛 马来西亚 墨西哥 新西兰 挪威 菲律宾 新加坡 瑞士 泰国 土耳其							
南非		类别3	单位GDP温室气体排放量	森林面积	化石能源在能源消费中的占比		
沙特阿拉伯		类别4	人均温室气体排放量	森林面积	化石能源在能源消费中的占比		
澳大利亚 加拿大		类别5	人均温室气体排放量	森林面积	化石能源在能源消费中的占比		
印度		类别6	森林面积	化石能源在能源消费中的占比	人口		
巴西		类别7					
俄罗斯		类别8	国土面积	化石能源在能源消费中的占比	人均高技术出口	人均专利申请	人口
中国		类别9	单位GDP温室气体排放量	森林面积	化石能源在能源消费中的占比		
美国		类别10	自1850年至1990年以来的累积排放量	人均温室气体排放量	化石能源在能源消费中的占比		

3.2 问题二：基于上述分析对美国、欧盟、中国和印度的“自主贡献”评价

3.2.1 美国、欧盟、中国和印度的“自主贡献”承诺目标

(1) 美国

美国计划在 2025 年实现温室气体排放在 2005 年基础上减少 26%-28%^[4]。

(2) 欧盟

欧盟计划到 2030 年相对于 1990 年降低 40%的碳排放量,根据 IPCC 的要求,

发达国家作为一个整体,到 2050 年将其排放量在 1990 年的基础上减少 80-95%。此外,这与到 2050 年将全球排放量至少减少一半的需要相一致^[5]。

(3) 印度

到 2030 年,印度将国内生产总值的排放强度在 2005 年的基础上降低 33%至 35%。在技术转让和包括绿色气候基金在内的低成本国际融资的帮助下,到 2030 年利用非化石燃料能源实现约 40%的累计电力装机容量。到 2030 年,通过增加森林和树木覆盖,增加碳汇 25-30 亿吨二氧化碳当量^[6]。

(4) 中国

以 2005 年为基础,中国确定了到 2030 年的自主行动目标:二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰;单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%-65%,非化石能源占一次能源消费比重达到 20%左右,森林蓄积量比 2005 年增加 45 亿立方米左右^[7]。

3.2.2 对美国、欧盟、中国和印度“自主贡献”的评价

(1) 首先依据各个国家“自主贡献”承诺的减排百分比范围 $[P_1, P_2]$ 以及其基础年份排放量 E_b , 获得其减排目标区间 $[E_b P_1, E_b P_2]$, 取该区间的中位数

$$E_a = E_b P = \frac{E_b P_1 + E_b P_2}{2} \text{ 为该国的承诺减排量。}$$

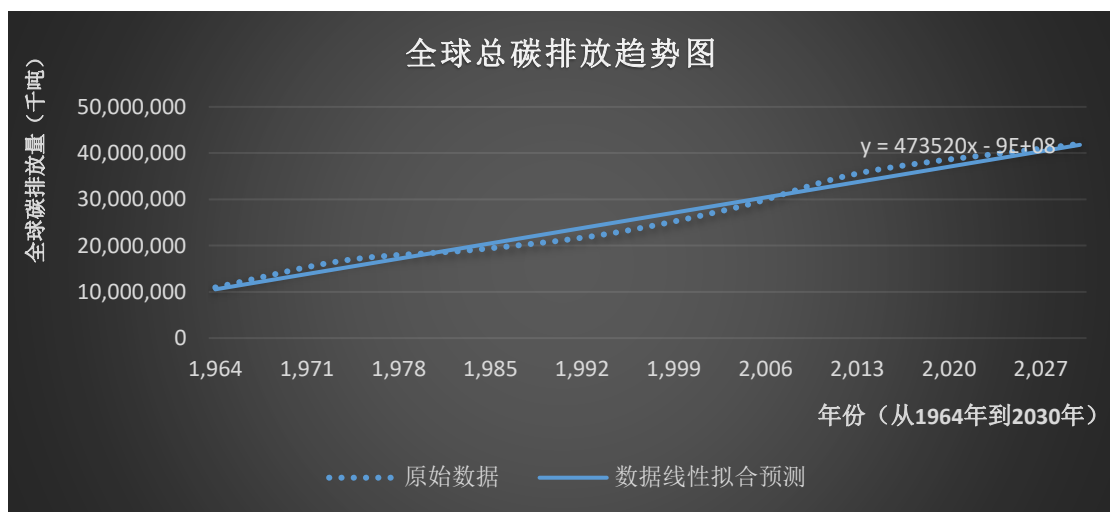
(2) 将全球气温升温 1.5 摄氏度对应的全球碳排放量作为全球碳排放量的极限值^[22], 将该碳排放量极限值作为到 2030 年全球极限排放量 E_l ;

再依据全球近五十年的碳排放趋势进行估计, 获得在不采取行动保持现有排放趋势条件下到 2030 年预期的碳排放量 E_e , 将到 2030 年全球极限排放值 E_l 与 2030 年不采取相关行动时预期的碳排放量 E_e 作差 $E_m = E_e - E_l$ 即可获得 2030 年全球最低减排量 E_m 。

依据问题一, 按照灰色关联度分析法获得的全球主要国家减排责任权重, 将上述全球最低减排量按照各个国家责任权重比例进行分配, 即为各个国家的责任减排量 E_r 。

(3) 取承诺减排量与责任减排量作商 $\rho = \frac{E_a}{E_r}$, 所得结果即为各个国家“自主贡献”符合率。

图 3-3 由全球近五十年碳排放量估计到 2030 年碳排放量 E_e



对拟合并估计后 2005 年到 2030 年数据进行积分即可获得不采取行动条件下从 2005 年到 2030 年全球碳排放的总量，结果及数据如表 4-3 所示。

表 3-3

从 2005 年到 2030 年全球碳排放量 极限值/千吨	不采取行动条件下从 2005 年到 2030 年全球碳排放/千吨	从 2005 年到 2030 年全球最低 减排量/千吨	单位责任权重对 应的减排量/千吨
467000000	865957125	398957125	28655324.16

表 3-4 美国、中国、印度与欧盟自主贡献满足率

国家	承诺减排比例	基础年份 排放量/ 千吨	承诺减排 量/千吨	责任权重 值/千吨	责任减排量 /千吨	自主贡献满足率
美国	26%-28%	5789727	78161.31	0.6302130	225736.970	34.62%
中国	60%-65%	5896958	147424	0.5682895	154845.209	95.20%
印度	33%-35%	1222563	16626.86	0.4953949	19827.030	83.86%
欧盟	80%-95%	4100787	89704.72	0.4875725	87322.184	102.73%

3. 2. 3 结论

由最终获得的四个国家/组织的自主贡献满足率，可以看到，欧盟的自主贡献满足率大于 1，说明欧盟的承诺减排量大于其责任减排量；中国与印度的承诺减排量都略小于责任减排量；而美国的承诺减排量远远小于其自身责任所对应的责任减排量。

3. 3 问题三：完成所提出的“自主贡献”，中国应该采取的行动

中国在 2015 年 6 月就已向联合国气候变化框架协议提交“国家自主贡献”承诺，其内容为：“根据自身国情、发展阶段、可持续发展战略和国际责任担当，中国确定了到 2030 年的自主行动目标：二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰；单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%—65%，非化石能源占一次能源消费比重达到 20%左右，森林蓄积量比 2005 年增加 45 亿立方米左右。中国还将继续主动适应气候变化，在农业、林业、水资源等重点领域和城市、沿海、生态脆弱地区形成有效抵御气候变化风险的机制和能力，逐步完善预测预警和防灾减灾体系^[7]。”

3. 3. 1 模型的建立

为了定量分析中国承诺的“自主贡献”所能完成的温室气体减排目标，首先对中国全年的温室气体排放量进行建模。

假设温室气体的排放只考虑化石燃料的使用、畜牧业的气体排放和森林碳汇作用的影响。

关于化石燃料的使用，参考了 Zhu Liu^[10]等人在 2015 年的研究，考虑表 3-5 中全国 10 个生产部门对于表 3-6 中 20 种常见化石燃料的消费总量，通过每种常见化石燃料的碳排放系数可计算出全年与化石燃料相关的碳排放量，其中碳排放系数参考了 2005 年《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》^[10]。建立模型如下：

$$EN = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{20} Con_{ij} \times E_j$$

其中 EN 为全年化石燃料消费产生的碳排放总值， $i=1, 2, \dots, 10$ ，为 10 个生产部门的标号， $j=1, 2, \dots, 20$ 为 20 种常见化石燃料的标号。 Con_{ij} 为 i 部门消费 j 种化石燃料的年总量， E_j 为 j 种化石燃料的碳排放系数。

表 3-5 模型所考虑的生产部门

序号	1	2	3	4	5
部门	农业	工业	火力发电	供热	施工
序号	6	7	8	9	10
部门	运输	服务	其他	城市家庭	农村家庭

表 3-6 模型所考虑的化石燃料种类

序号	1	2	3	4	5
种类	原煤	精煤	其他洗煤	煤球	煤炭
序号	6	7	8	9	10
种类	焦炉煤气	其他气体	其他焦化产品	原油	汽油
序号	11	12	13	14	15
种类	煤油	柴油	燃油	液化石油气	炼厂气
序号	16	7	18	19	20
种类	其他石油产品	天然气	无烟煤	沥青	褐煤

关于畜牧业温室气体排放，主要参考了 2011 年国家发展组织改革委员会组织编制的《省级温室气体清单编制指南》^[19]，其界定了畜牧业中温室气体排放的来源，主要包括动物肠道发酵产生的甲烷，动物排泄的氮化合物，以及动物粪便管理产生的甲烷和氧化亚氮。根据 IPCC 第二次评估报告^[19]，甲烷和氧化亚氮的温室气体全球变暖潜势值分别为二氧化碳的 21 和 310 倍。畜牧业的年总排放量可由不同种类动物存栏量和排放系数求得。由于家禽和小型动物产生的温室气体远远少于大牲畜的温室气体排放量，因此此处忽略不计只考虑表 3-7 中的畜类，建立模型如下：

$$HU = \sum_{i=1}^8 n_i \times ((C_i^1 + C_i^2) \times 21 + (N_i^1 + N_i^2) \times 310)$$

其中 HU 为畜牧业年温室气体等效二氧化碳排放量， $i=1, 2, \dots, 8$ 为八种畜类的标号。 n_i 为第 i 种动物的存栏量， C_i^1 和 C_i^2 分别表示动物肠道产生甲烷和粪便管理产生甲烷的排放系数， N_i^1 ， N_i^2 分别代表动物排泄氮化合物和粪便管理产生的氧化二氮的排放系数。

表 3-7 模型所考虑的动物种类

序号	1	2	3	4
种类	牛	绵羊	山羊	猪
序号	5	6	7	8
种类	马	骡	驴	骆驼

森林碳汇对温室气体排放的影响作用参考了 Hu HF^[11]和刘博杰^[17]的研究,将森林的碳汇分为新造林植被碳汇和森林保护的碳汇,并且忽略了在造林过程中排放的温室气体,因为 EN 中包含了林业生产所产生的温室气体。模型建立如下:

$$CF = A_O \times V_O + A_N \times V_N$$

其中 CF 为全国的森林碳汇引起的温室气体排放量减少, A_O 和 A_N 分别为年初全国森林总面积和全国年新增森林面积, V_O 和 V_N 分别表示新造林植被和土壤的总固碳速率和森林保护的固碳率。

综上所述,中国全年总碳排放 CE 可以表示为:

$$CE = EN + HU - CF$$

为了实现中国提出的“自主贡献”,在实现减排目标的过程中需要考虑相应的成本。由于很多减排措施所付出的成本量化起来比较复杂,并且对碳排放量的减少量化也具有难度,因此本文主要采用两种减少温室气体排放的手段,把相关的成本主要简化为两个方面:人工造林实现森林碳汇所需要的成本;通过发展新能源以减少化石能源排放所需要的成本。其花费成本和减少的碳排放量建模如下:

$$COST = C^A \times A_N + \sum_{i=1}^8 G_i \times C_i^G$$

$$RCE = CF + \sum_{i=1}^8 G_i \times R_i$$

其中 C^A 为造林单位面积所消耗的成本, $i=1, 2, \dots, 8$ 为表四所示 8 种主要新能源发电技术, G_i 为第 i 种技术年发电量, C_i^G 为第 i 种技术发单位数量电所需要的成本, R_i 为第 i 种发电技术发单位数量电所减少的碳排放量。根据刘博杰^[17]的研究可以得到固定单位数量的二氧化碳所消耗的造林成本 $C^{A'}$, 而廖夏伟^[21]的

研究给出了相应发电技术的减排单位数量温室气体的成本 $C_i^{G'}$, 以及相应技术减排技术的减排潜力, 从而模型可以调整为:

$$COST = C^{A'} \times A_N \times V_N + \sum_{i=1}^8 G_i \times C_i^G$$

$$RCE = CF + \sum_{i=1}^8 \frac{G_i \times C_i^G}{C_i^{G'}}$$

表 3-8 新能源发电相关信息^[21]

发电技术	减排潜力 /MtCO ₂ e	减排成本/ 亿元	单位减排成本/ (元·tCO ₂ e ⁻¹)
核电	569.3~564.0	75.2	13.2~13.3
水电	751.0~747.4	-783.0	-104.3~-104.8
风电	345.9	990.7	286.4
光伏发电	59.9	57.3	95.6
生物质发电	158.3~150.8	1687.5	1066.4~1119.4
天然气发电	30.9~18.6	296.7	958.8~1598.0
超临界	159.4	848.0	531.9
IGCC	24.2	135.2	558.1

3.3.2 模型的求解

通过对已有数据进行插值拟合，对 2030 年温室气体排放的主要影响因素进行预测，可以得到结果如下：

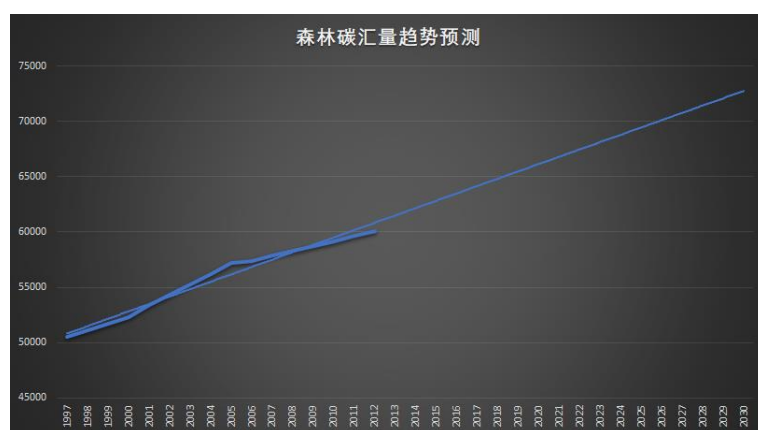


图 3-4 对 2030 年森林碳汇量的预测



图 3-5 对 2030 年畜牧业温室气体排放预测

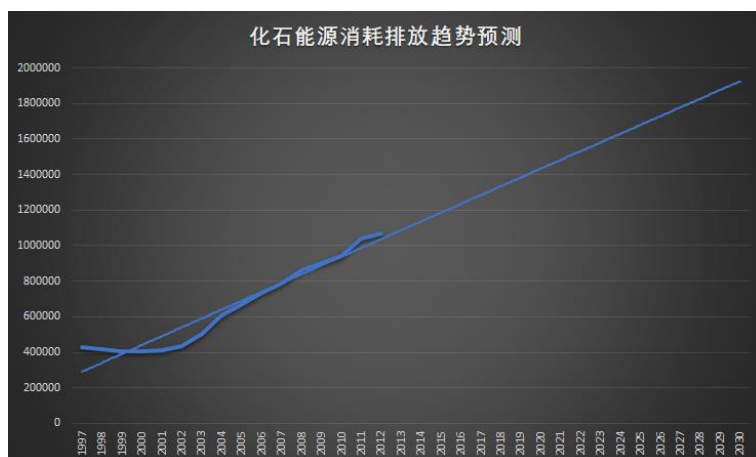


图 3-6 对 2030 年化石能源消耗排放趋势预测

为了得到需要在减排方面实施的具体措施，使用目标规划的方法求解，要达到中国承诺的自主贡献（ Tar_1 为目标温室气体排放量， Tar_2 为目标森林面积）则要满足以下约束条件：

$$\begin{cases} CE - RCE + CF < Tar_1 \\ A_N + A_O < Tar_2 \\ COST = C^A \times A_N + \sum_{i=1}^8 G_i \times C_i^G \\ G_i < \max G_i \end{cases}$$

目标函数为：

$$\min COST$$

可以看出目标规划函数有无穷多解，由于建立水电站花费为负值，所以可以尽可能多的建立水电站，所以这与中国“十三五”规划中的目标相符合，同时应考虑建立水电站的减排潜力有限，因此需要在新能源的使用方向上符合各种技术减排潜力的占比；同时可以得出森林碳汇也是减少温室气体排放的重要组成部分，但必须考虑中国可用以人工造林的土地面积上限。综上所述，为了实现中国所提出的“自主贡献”，需要大力发展以水力发电为主的新能源技术，同时合理增大森林面积和森林蓄积量。

3.3.3 模型的检验

计算 1997-2014 年温室气体年排放量得到数据与实际温室气体年排放量作对比如下图所示：

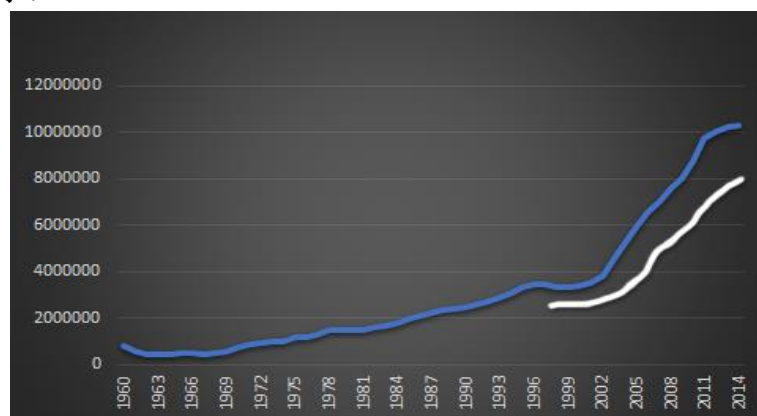


图 3-7 模型计算数据和实际数据对比

从图中可以看出通过模型计算所得温室气体年排放量与实际温室气体年排放量趋势基本保持一致，但总体数值偏小，分析其主要原因是在温室气体排放总量只考虑了化石能源的使用和畜牧业两个方面，而忽略了造成温室气体排放的其他原因。并且，可以从图中得到信息，化石能源的使用与温室气体的排放具有很强的关联性，因此可以把开发新能源作为改善温室气体排放的重要措施。

3.4 问题四：应对气候变化的全球各国“国家自主贡献”执行摘要

3.4.1 摘要概述

在全球气候变化的大背景下，如何依靠全球各个国家的努力解决气候变化问题成为了一个重要的课题。当前全球各国都“共同”遭受着气候变化的影响，但是各国又存在相互“区别”的国情。因此如何使各个国家在气候治理上达成共识就成为通过实际行动解决气候问题之前最关键的一步，而各国承担责任的公平性合理性则是达成共识的重要保证。

针对以“自主贡献”方式参与全球气候治理中的责任分配，我们小组的观念与中国在联合国气候框架协议下所倡议的“共同但有区别的责任”相一致。实现“共同但有区别的责任”，主要在于内容含义与实现方式两个方面。

在“共同但有区别的责任”内容上，基于刻画国家各个维度的数据，通过构建均值漂移聚类模型，按照各个类别的突出特征，即可获得责任的内容方向。将全球各主要国家进行了分类，并针对各类国家对应的特点提出了公平的“自足贡献”。

在研究减少温室气体排放具体实施方案的过程中，考虑了影响温室气体排放量的主要因素，查阅相关资料在前人研究的基础上对主要因素进行了量化分析，并且简化了复杂的难以量化的成本数量，最后试图目标优化来得到宏观上的减排方案。

3.4.2 当前各国应对全球气候变化所面临的问题

在气候问题愈发严峻，而控排行动却遭遇困阻的大背景下，如何促进各国在气候治理上的共识与合作，如何在成本有效的前提下控制二氧化碳排放，是摆在决策者和研究者面前的重大课题。

历史经验证明：任何一个国家在经济增长，人民福利提高的过程中都会经历一个高投入、高消耗和高排放的发展过程，这是广泛存在的发展模式，也是不可避免的发展规律。

因此在当今的全球发展环境下，二氧化碳排放与一个国家的发展权息息相关。近年来保护主义，极端民族主义盛行，一些国家大有逆全球化的趋势，逃避本应该履行的国际责任，消极应对当前形势下的气候问题。但是，国际社会并没有一种被广泛认可的相关研究或法律法规来约束各国履行应尽的责任，因此，需要有一种被国际社会广泛认同的责任确定方法。

3.4.3 我们的解决方案

我们小组以“人人生而平等，具有平等的生存和发展权利”的思想为指导，以中国提出的“共同但有区别的责任”为基础提出了一种基于多维指标评分的责任评判体系，并以此对现阶段各国提出的自主贡献进行评价；另外，考虑到减少温室气体排放是一个复杂的系统工程，需要建立具有一定规模的模型，因此考虑对模型进行简化，只考虑对温室气体排放起决定性作用的主要因素，并且，对于减少温室气体排放的成本也考虑容易量化方面。对于，减排措施给定约束函数，但由于存在无穷多解，并且模型本身是简化模型，得出的具体减排措施可能不具

备现实应用意义，因此不给出具体减排措施，只给出宏观减排方向。

4.4.4 当前其他方案分析

以美国为首的老牌资本主义国家提出的责任分配主要基于当前时间的碳排放量，这是对发展中国家发展权的剥夺，也是逃避自身责任的行为。一个国家的发展离不开工业化，而这势必会增大温室气体的排放量，但随着科技水平的进步，温室气体排放会逐渐下降。老牌资本主义国家早在上世纪完成了工业化进程，并已经排放了大量温室气体，对自然环境产生了不可逆的影响，因此，老牌资本主义国家必须承担相应的责任。

4.4.5 可行性分析

由于我们的刻画维度共有十一个方面，涵盖了：自 1850 年到 1990 年的累积碳排放量、2014 年人均温室气体排放量、2014 年单位 GDP 温室气体排放量变化、人口、国土面积、森林面积、化石能源在总能源消费中的占比、人均 GDP、失业率、高技术出口和专利申请量等基本与一个国家减排能力、减排动力、减排责任相关的所有社会方面，基于各个方面的数据综合汇总出一个国家涵盖能力在内的减排责任。因此，所刻画的数据具有较好的公平性。

四、参考文献

- [1] 司守奎, 孙兆亮, 数学建模算法与应用, 国防工业出版社, 2016 年 1 月, p384-387, 14.4 灰色关联分析法。
- [2] 诗蕊, 常见的六大聚类算法, https://blog.csdn.net/Katherine_hsr/article/details/79382249, 2019 年 11 月 2 日。
- [3] 世界银行数据, 数据来源: <https://data.worldbank.org/>, 2019 年 11 月 2 日。
- [4] U.S.A., U.S.A. First NDC, <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>, 2019 年 10 月 30 日。
- [5] LATVIA AND THE EUROPEAN COMMISSION ON BEHALF OF THE EUROPEAN UNION AND ITS MEMBER STATE, European Union first NDC, <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>, 2019 年 10 月 30 日。
- [6] INDIA, INDIA INDC TO UNFCCC, <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>, 2019 年 10 月 30 日。
- [7] 中国国家发展和改革委员会应对气候变化司, China first NDC (强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献), <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>, 2019 年 10 月 30 日。
- [8] Hu H. The stage-classified matrix models project a significant increase in biomass carbon stocks in China's forests between 2005 and 2050. Sci.Rep.5,11203; doi:10.1038/srep11203(2015).
- [9] Lola Vallejo (OECD), Insights from national adaptation monitoring and evaluation systems, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT, 2017.3.
- [10] Zhu Liu, Dabo Guan, Wei Wei, Steven J. Davis, Philippe Ciais, Jin Bai, Shushi Peng, Qiang Zhang, Klaus Hubacek, Gregg Marland, Robert J. Andres, Douglas Crawford-Brown, Jintai Lin, Hongyan Zhao, Chaopeng Hong, Thomas A. Boden, Kuishuang Feng, Glen P. Peters, Fengming Xi, Junguo Liu, Yuan, Yu Zhao, Ning Zeng & Kebin He, Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China, nature, Vol 524: 335-347, 20, AUGUST, 2015.
- [11] Huifeng Hu, Shaopeng Wang, Zhaodi Guo, Bing Xu & Jingyun Fang, The stage-classified matrix models project a significant increase in biomass carbon stocks in China's forests between 2005 and 2050, Scientific Reports, Vol. 5: pp. 11203. 2015 Jun 25.
- [12] 陈怡, 刘强, 田川, 李晓梅, 部分国家长期温室气体低排放发展战略比较分析, 气候变化研究进展, 2019.10。
- [13] 王荧, 黄茂兴, 国际气候基金的资金筹集与资金分配的理论探索——兼顾全球帕累托最优与财政收支平衡下的分析, 重庆大学学报 (社会科学版), Doi:10.11835/j.issn.10085831.jg.2019.09.001。
- [14] 朱利, 秦翠红, 基于清洁能源替代的港口 SO₂ 和 CO₂ 协同减排研究, 中国水运, Vol.18(10): 136-137, 2018.05。
- [15] 王春春, 王远, 朱晓东, 应用生态学报, 基于长期能源替代规划模型的江苏省能源 CO₂ 排放达峰时间及峰值水平, Doi:10.13287/j.1001-9332.201910.017。
- [16] 于宏源, 论全球气候治理的共治治理转向, 国际观察, Vol.19(4): 142-157, 2019。

- [17] 刘博杰, 逯非, 王效科, 刘魏魏, 森林经营与管理下的温室气体排放、碳泄漏和净固碳量研究进展, 应用生态学报, Doi:10.13287/j.1001-9332.201702.004。
- [18] 李灿, 森林碳汇与配额减排的成本比较研究——以 7 个交易试点地区为例, 浙江农林大学硕士学位论文, 2018.12。
- [19] 省级温室气体清单编制指南 (试行), 2011.05。
- [20] 蒋惠琴, 碳排放权初始配额分配研究, 浙江工业大学博士学位论文, 2019.01。
- [21] 廖夏伟, 谭清良, 张雯, 马晓明, 计军平, 中国发电行业生命周期温室气体减排潜力及成本分析, 北京大学学报 (自然科学版), Vol.49: 885-892, 2013.09。
- [22] <https://www.guib.org/analysis-how-much-carbon-budget-is-left-to-limit-global-warming-to-1-5c>, 2019 年 10 月 30 日。

附录

灰色关联分析法:

```
shuju = shuju.';
shujul = shuju;
for i = [1:4 6 7 9:11]
    shujul(i,:) = (shuju(i,:) - min(shuju(i,:))) / (max(shuju(i,:)) -
min(shuju(i,:)));
end

for i = [5 8]
    shujul(i,:) = (max(shuju(i,:)) - shuju(i,:)) / (max(shuju(i,:)) -
min(shuju(i,:)));
end

[m, n] = size(shujul);
cankao = max(shujul.'');
t = repmat(cankao, [1,n]) - shujul;
mmin = min(min(t));
mmax = max(max(t));
rho = 0.5;
xishu = (mmin + rho * mmax) ./ (t + rho * mmax);
quanzhong = [0.171841242518044, 0.131343772211313,
0.0742377817476345, 0.0337936313000794, 0.130866234058955,
0.122363052997623, 0.0440806706369530, 0.0347174586821858,
0.109771963983078, 0.109771963983078, 0.0372122278810550];
guanliandu = quanzhong * xishu;
guanliandu = guanliandu.';
```

聚类:

```
for ii = 1:50
    for jj = 1:50
        for kk = 1:11
            length(ii,jj) = length(ii,jj) + (shu(kk, ii) - shujul(kk,
jj))^2;
        end
        length(ii,jj) = sqrt(length(ii,jj));
        %length(jj,ii) = length(ii,jj);
    end
end

xiangl = zeros(50, 11);
%50,öÆ¯ÒÆµã
for ii = 1:50
    %50,öÊý³4Ýµã
```

```

for jj = 1:50
    if length(ii, jj) < 0.055
        %11,öî-ŕÈ
        for kk = 1:11
            xiangl(ii, kk) = xiangl(ii, kk) + shuju1(kk, jj) -
shu(kk, ii);
        end
    end
end
%xiangl = xiangl.';
xiangl = xiangl./50;
shu(:, ii) = shu(:, ii) + xiangl(ii, :).';
end

for ii = 1:50
    for jj = 1:10
        for kk = 1:11
            lengthlei(ii, jj) = lengthlei(ii, jj) + (shu2(kk, jj) -
shuju1(kk, ii))^2;
        end
        lengthlei(ii, jj) = sqrt(lengthlei(ii, jj));
    end
end
end

```