

基于相关性分析的海冰面积变化研究

摘要

北极海冰面积的波动能够体现气候特征的变动状况。本文针对海冰面积变化的问题，通过建立统计学分析模型，实现了对于其变化规律的求解。

针对问题一，分析北极不同区域海冰面积的变化规律。对于波动性的分析，采用 **ADF 回归**方法，对不同区域进行分析，得到不同区域的波动性情况。对于周期性的分析，通过对原始数据进行**傅里叶变化**，得到其周期性波动规律，得到大部分区域的海冰变化周期为 **43 个月**。对于其面积的变化趋势，采用最小二乘的方法，得到其下降系数为**-359.46**，总体呈下降趋势。此外，我们还进行了多年冰和季节冰的分析，发现季节冰占比在逐年上升，而多年冰占比在逐年下降。

针对问题二，研究海冰面积和气候变化的关系。由于气候变化较为复杂，因此采用气温值进行代替。采用 **Mann Kendall 检验方法**，对其进变化趋势分析，得到海冰面积在 3 月达到最大，为 **1458.17×104 km²**，到 9 月，海冰面积达到最小，为 **567.21×104 km²**。9 月之后，海冰面积随着温度的降低，北半球的海冰进入积累期。

针对问题三，研究海冰面积变化趋势与二氧化碳温室效应的关系。通过自行寻找北极圈附件二氧化碳的逐月信息，与海冰面积变化进行**相关性分析**，得到显著性 **P 值<0.01**，呈现高度显著性，两者的相关系数为**-0.35**，说明两者相关性不高。当二氧化碳浓度增加时，大气中温室气体增加，导致全球气候变暖，进而导致海冰面积减小。两者呈负相关性。

针对问题四，北极海冰变化对地球的区域面积的影响，使用海平面高度信息，代替陆地面积信息，将海平面高度与海冰变化进行相关性分析，得出，两者的相关系数为 **0.22**，说明两者存在相关性，但相关性不高。同时查阅资料发现，海冰融化并不会造成陆地面积显著减少。因此得出结论，海冰变化对陆地面积变化影响很小。

针对问题五，使人类要改变现有的政策使有关气候变暖的危害性最小。通过建立**模糊数学模型**，将人类政策转化为不同指标，采用**层次分析法**对其进行分析，得到温室气体中，水汽影响比重为 55%，二氧化碳影响比重为 30.9%。对方案层进行分析，得到工业生产对全球气候变暖的影响最大，占到 57.1%，次是森林面积锐减和汽车尾气排放。

本文的特色在于将统计学机理分析与评价模型相结合，并灵活采用相关性分析进行求解。为碳排放的限制和规划提供了参考依据。

关键词：最小二乘法；ADF 检验；MK 检验；相关性分析；层次分析法

一、问题重述

1.1 问题背景

北极位于地球的最北端。几个世纪以来，“北极”都意味着冒险和未知之谜，探险家们尝试着抵达北极，试图找到一条通往世界最北端的道路。北极地区终年严寒，海洋冻结形成大面积海冰，有的海冰厚度达几十米，甚至船只都难以击碎。在风和洋流的作用下，大量堆积的海冰看似固定，但是却在以每天数十米的速度运动。对于早期的探险者来说，海冰是极其神秘的，但是随着历史的进程，科学技术不断发展，对北极的探索、考察和科学研究正在逐步深入。

根据历史记录可知，北极地区的气候状况出现巨大变化，表现为大气、海洋和陆地温度的空前上升。这些改变随之带来了极地陆地和海洋生态系统、水圈以及冰冻圈等环境的进一步变化。海冰是北极海洋系统的重要组成部分，同时在全球气候系统中也扮演着极其重要的角色，它能够影响太阳辐射、热量和动能在海洋和大气之间的交换，从而在不同的时间和空间尺度上对海洋和大气产生相互作用。

1.2 要解决的问题

北极海冰面积的波动能够体现气候特征的变动状况，由于地球上的各种活动导致二氧化碳大量增加，从而引起气温有上升的趋势。那么对北极海冰的面积波动数据进行研究能够发现气候因素中的变化动因同时也可以窥视温室效应，从而对气候变化的不利因素的危害进行定量的研究。依据北极各个区域的海滨面积的有关数据回答以下问题：

1、通过建立数学模型研究北极各区域的海冰面积变化的波动性、周期性和变化趋势。以此来分析北极不同区域海冰面积的变化规律。

2、查阅有关气候数据研究海冰面积变化和气候变化的相互关系。气候变化与海冰面积变化有着密切的关系，通过建立合适的数学模型，研究两者之间的关系，来判断二者之间的关系。

3、依据问题 1 的结论查阅有关二氧化碳的温室效应的数据，研究海冰面积变化趋势与二氧化碳温室效应的关系。根据问题 1 的海冰面积变化，在数据网站中查阅二氧化碳气体排放的相关数据，进行相关分析。

4、分析北极海冰变化对地球的区域面积的影响。即海冰变化是否会影响地球陆地面积

5、设置合适的指标建立数学模型说明人类要改变现有的政策使有关气候变暖的危害性最小。

二、问题分析

问题 1 的分析：

通过建立数学模型研究北极各区域的海冰面积变化的波动性、周期性和变化趋势。需要使用统计方法，来研究不同区域海冰面积的变化规律，比如周期分析，ADF 平稳性分析，也可以考虑使用傅里叶变化，对时域图进行频域变换和分析，以此获取周期特性，此外，对于变化趋势，可以进行最小二乘拟合，来判断变化趋势。

问题 2 的分析：

气候变化其中最主要的内容就是温度变化，因此主要考虑温度的影响。因此可以对于海冰面积变化和气候变化的相互关系，需要研究其相互影响，即海冰变化对气候变化的影响，气候变化对海冰面积的影响。通过建立合适的数学模型，运用统计学分析关系，研究两者之间的关系，来判断二者之间的关系。

问题 3 的分析：

依据问题 1 研究海冰面积变化趋势与二氧化碳温室效应的关系。根据日常经验可以得知，二氧化碳温室效应与海冰面积变化趋势为负相关，因此需要来论证这一结论，通过两者之间的数据，使用相关性分析等方法来判断两者之间的关系，进行论证。

问题 4 的分析：

分析北极海冰变化对地球的区域面积的影响。考虑数据的可得性，使用海平面上升程度代替地球区域面积的变化。通过斯皮尔曼相关性分析来分析海冰变化是否会影响地球陆地面积，此外，还需要考虑海冰变化时候会影响地球区域面积，还是两个之间有关系，但无影响。

问题 5 的分析：

设置合适的指标建立数学模型说明人类要改变现有的政策使有关气候变暖的危害性最小。考虑使用模糊评价法和层次分析法来考虑人类现有的政策对于全球气候变暖的影响，以及改变这些政策对于人类气候变暖的影响。

三、模型假设

1. 将网站数据的空缺就行插值处理，将其中的异常值进行删除处理。
2. 使用北极某站点的气温气象数据，代替整个北极圈的数据。
3. 使用海平面上升代替陆地面积下降。
4. 不考虑由于厄尔尼诺现象等异常气候现象造成的数据偏差。
5. 进行两组数据之间的相关性分析时，不考虑将数据长度较长的组进行删减的造成的影响。

四、符号说明

符号	说明
CR	随机一致性比率
CI	一致性指标
RI	平均随机一致性指标
λ	最大特征根
p	斯皮尔曼相关系数
T_i	各区域的周期

五、模型的建立与求解

5.1 问题一模型的建立与求解

5.1.1 模型准备

海冰数据采用美国雪冰中心 1979-2022 年的逐月海冰密集度产品数据，分析和比较整个北半球地区及各分海区海冰的月平均、多年月平均、季节平均以及年平均变化情况，并对其进行预处理，剔除异常值。

目标研究区位于地球的最北端，北极圈以内的极地区域，除此之外，还包括极圈以外被海冰覆盖的边缘海、内海、海峡、海湾以及湖泊等。北极中心没有陆地，北冰洋表面大部分面积终年覆盖着厚厚的海冰，北极地区的多年冰也主要集中在该区域。北冰洋周围环绕着北美大陆以及欧亚大陆，还有众多群岛

和岛屿，面积较大的岛屿主要有格陵兰岛和冰岛。整个大洋呈现半封闭状态，对于海冰变化的分析，采用 Parkinson 和 Cavalieri 的划分方法，将整个北半球研究区细分成 9 个海区进行讨论：

北半球中心的北冰洋核心区;格陵兰岛与北美大陆之间的巴芬湾/拉布拉多海;北美和欧亚大陆间的白令海;加拿大北部的加拿大群岛海域;格陵兰岛东侧的格陵兰海;美国和加拿大东侧的圣劳伦斯湾;加拿大东部被大陆和岛屿包围的哈得孙湾;欧洲北部的喀拉海和巴伦支海;俄罗斯东侧以及日本群岛北面的鄂霍次克海和日本海。

5.1.2 区域波动性、周期性和趋势的分析：

为了更好的刻画一定区域内的海冰变化规律，需要使用统计学方法对其进行刻画。我们着重对区域内海冰的波动情况，是否具有年度周期性，以及整体的变化趋势进行描述和分析。

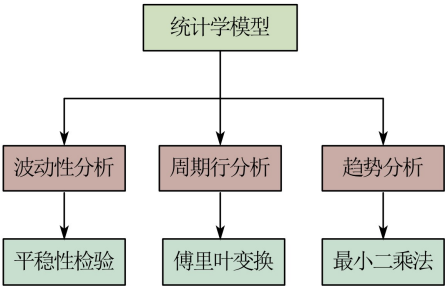


图 1：统计学模型分析

对于海冰的波动情况，我们采用平稳性分析的方法，如果该区域海冰变化的平稳性越好，则说明波动性越低；反之则说明波动性较高。

对于平稳性分析，我们采用单位根检验（ADF）单位根检验是指检验序列中是否存在单位根，存在单位根即为非平稳时间序列。单位根就是指单位根过程，可以证明，序列中存在单位根过程就不平稳，会使回归分析中存在伪回归。

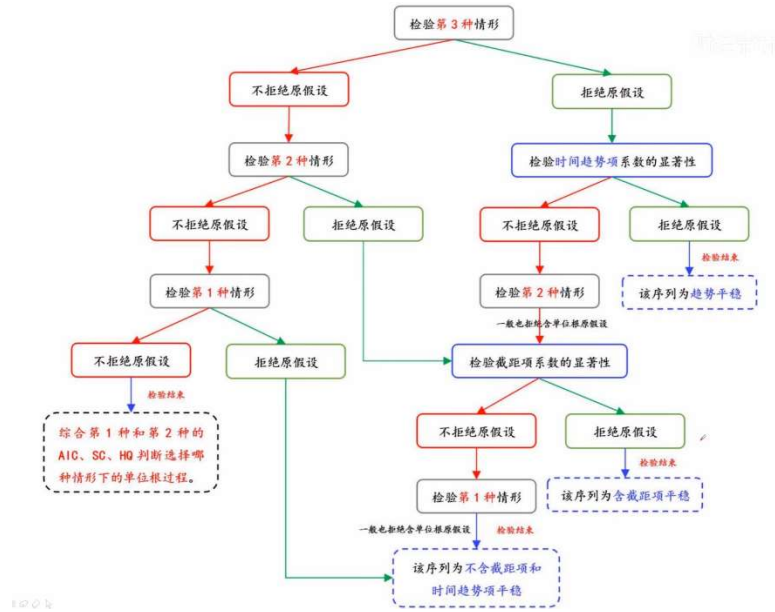


图 2：平稳性检验流程图

通过对各地区的平稳性检验，得到如下数据：

表 1：不同区域的平稳性分析

区域	平稳性	区域	平稳性
1	0.072	8	0.040
2	0.115	9	0.035
3	0.002	10	0.009
4	0.001	11	0.100
5	0.000	12	0.005
6	0.252	13	0.001
7	0.096	14	0.091

根据指标，设置平稳性大于 0.05 的区域为稳定，平稳性小于 0.05 的区域为不稳定。可以看出区域 1、2、6、7、9、10、11、14 的变化波动性不大，而区域 3、4、5、8、12、13 的变化波动性较小，较为平稳。

而对于周期性的检验，从时域特征中难以准确看出海冰的周期变化，因此考虑使用傅里叶变化，转化到频域进行分析。

$$F(\omega) = \mathcal{F}[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

通过对不同地区海冰变化的傅里叶变化，可以得到其周期性变化规律，结果如图所示。

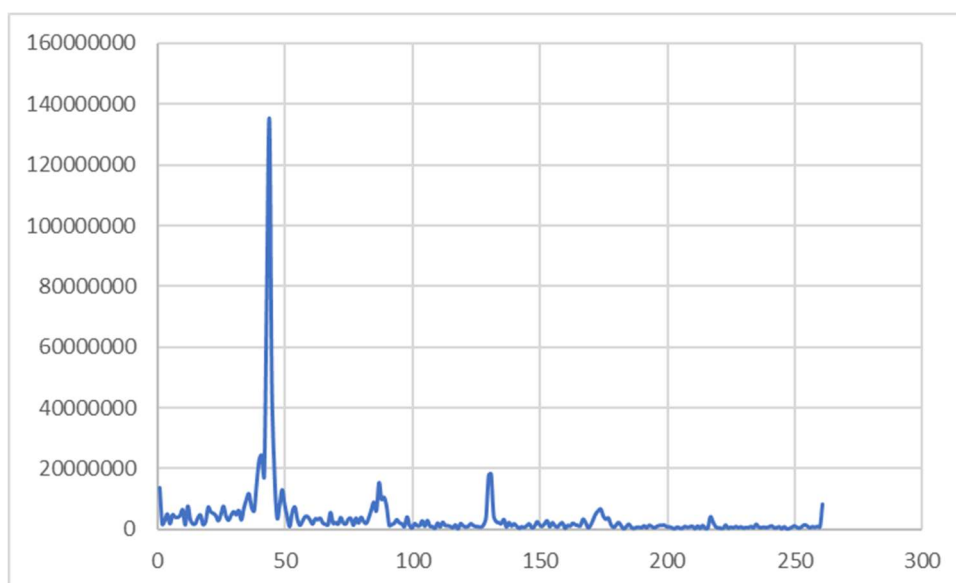


图 3：区域的傅里叶变换分析

对于变化趋势，需要使用最小二方法，拟合变化曲线，之后对其拟合直线进行分析。

$$Q = \min \sum_i^n (y_{ie} - y_i)^2 \quad (2)$$

对北极整体海冰和分区海冰进行最小二乘拟合，结果如图。

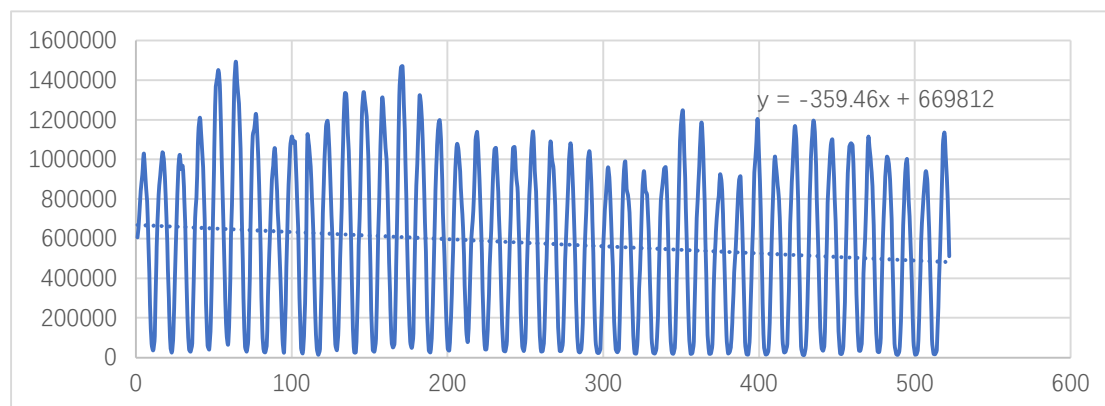


图 4：区域的最小二乘拟合

5.1.3 多年冰和季节冰的分析：

近十年来，夏季北极海冰外缘线面积显著减少。在整个海冰外缘线内，北极海冰主要由两种类型组成，按其冰龄的长短分为多年冰和季节冰。两类海冰各自都有不同的物理特性，表现在海冰盐度、厚度、粗糙度、卤水含量以及海冰反照率等方面)。两种类型海冰之间有相互变换的现象，这会影响海冰物质平衡和海冰反照率的反馈机制。

就整体而言，冰龄长并且较厚的多年冰在北极夏季占主导地位，绝大多数

多年冰都能经历夏季消融期继续保留下来，而冰龄短且厚度薄的季节冰基本消融。

根据不同区域的多年冰分析，在格陵兰海和加拿大群岛海域也有少量分布，纬度较低的海湾、内海等海区多年冰的分布极少。喀拉海和巴伦支海的夏季海冰几乎都消融殆尽。多年冰分布的区域靠近加拿大群岛和格陵兰岛，而欧亚大陆和白令海峡一侧几乎没有多年冰，北半球多年冰的这种空间分布特点，可能是由极地风带和洋流模式影响海冰的运动和消融而形成的。

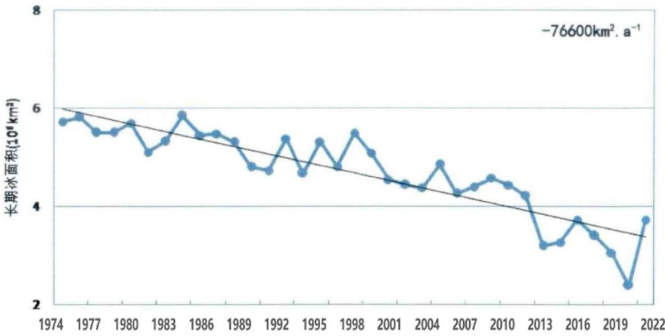


图 5：季节冰的趋势分析

在总的时间序列上，多年冰覆盖面积整体呈下降趋势，同时海冰密集度在时间和空间上也有较大变化。多年冰覆盖区域中心的海冰密集度高，而边缘部分的海冰密集度逐渐降低。但中央区域也存在局部海冰密集度偏低的情况。

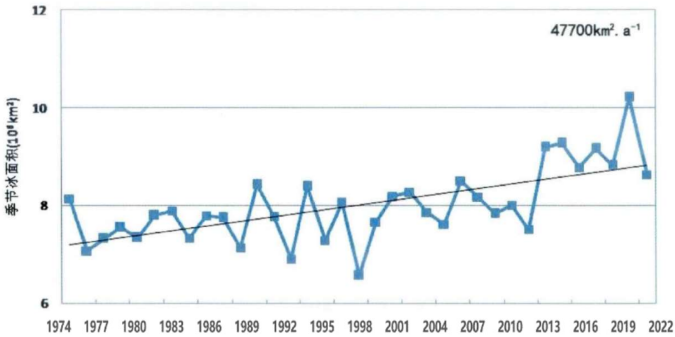


图 6：多年冰的趋势分析

北半球季节性海冰覆盖范围的计算方法是将每年海冰外缘线面积最大日的海冰范围减去每年海冰外缘线面积最小日也就是多年冰的范围，海冰外缘线面积最大范围主要集中在 3 月，只有少数几年出现在 2 月份。

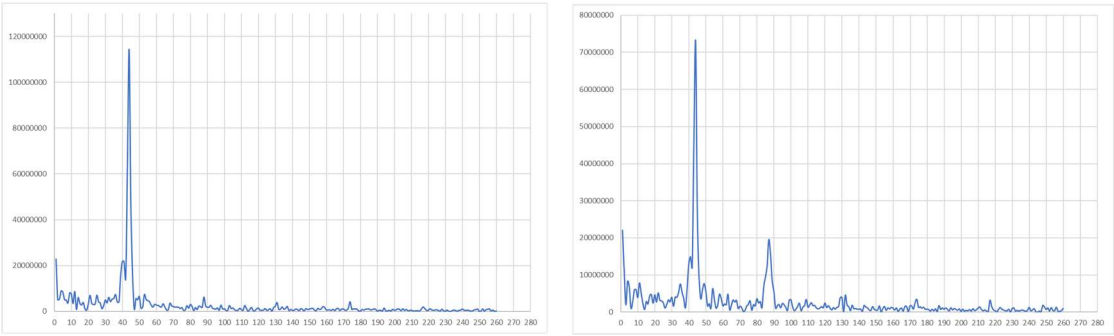


图 7：统计图或绘图

5.2 问题二模型的建立与求解

5.2.1 模型的建立

为了获取海冰面积变化和气候变化的相互关系。我们需要研究其相关性以及差异性分析。因此，需要建立两者之间的相关性分析模型。

首先，需要进行气候变化数据的获取，气候是一个广义的定义，其包含气温、气压等诸多内容，为了简化模型，我们统一采用温度变化指标代替气候变化指标。

数据分析时，将月气温数据的华氏度温度转化成摄氏温度。为使温度数据与雪冰数据在时间上匹配，对月温数据进行了周平均处理，并在需要时进行了年平均处理。

积雪数据的时间范围是 1967-2022 年，海冰数据的时间是 1979-2022 年，为了时间序列的一致性，将研究时段统一取在 1979-2022 年。积雪分布在北半球的中高纬陆地区域，而海冰主要在 66°N 以上即北极圈的范围内。由于积雪面积直接与积雪区的温度有关，因此在分析温度与积雪面积的关系时，用的是北半球积雪区的温度。分析海冰面积与温度的关系时，采用北极圈的温度。

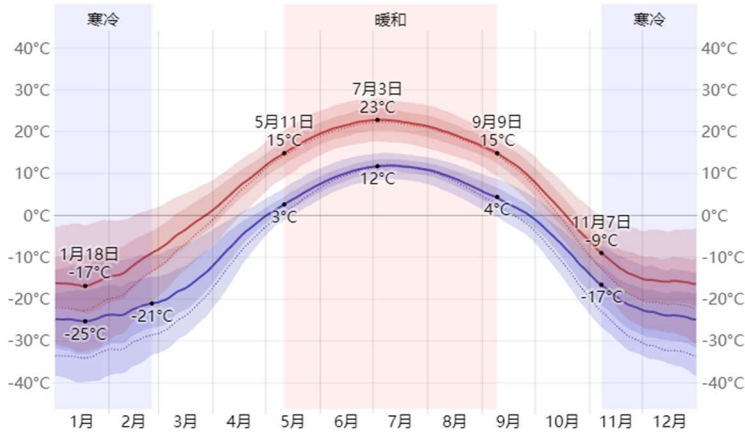


图 8：北极多年平均气温

根据数据网站获取历年海冰面积，获得历年气温面积后，进行相关性分析。

为分析温度、积雪面积、海冰面积在时间上的变化趋势、不同阶段的变化特征、长时间尺度上其变化是否存在突变，以及这些变化的显著性，本文采用 Mann Kendall 检验方法。

对设定的 x_1, x_2, \dots, x_n 时间序列变量， n 为时间序列的长度，建立一秩序列 S_k ：

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (4)$$

当时间序列独立并且随机的情况下, 设定统计量:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

式中: $UF_1 = 0$; $E(S_k)$ 、 $\text{Var}(S_k)$ 分别为秩序列 S_k 的方差和均值, 可以通过如下公式得到:

$$\begin{cases} E(S_k) = \frac{k(k+1)}{4} \\ \text{Var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \end{cases} \quad (6)$$

UF_k 为标准正态分布, 设显著性水平为 α , 若 $|UF_k| > U_{\alpha/2}$, 则说明该序列的变化趋势具有显著性。对 x 这一时间序列进行逆向排序, 然后再根据式 3 计算逆序列的 UF_k , 则逆向排序序列的 UB_k 可以表示为:

$$UB_{n-i+1} = -UF_i \quad (i = 1 - n) \quad (7)$$

对 UF_k 和 UB_k 序列进行再统计分析能够得到序列 x 的变化趋势和突变发生的时刻。如果计算得到的 UF_k 或 UB_k 的值大于 0, 则表明该序列具有增加的趋势; 否则表示具有下降的趋势。如果两条曲线 UF_k 和 UB_k 在某时间点上具有交点, 且该交点在某置信区间的上下临界线之间, 则说明该交点代表的时刻在某一置信区间内是显著的突变发生的时间点。2.2.2 相关分析 对不同的要素之间进行相关分析, 可以表明其内在相互联系的程度大小, 一般通过对相关系数的计算与检验来实现。若有两个要素分别为 x , y 其各自的样本值为 x_i 与 y_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 那么下式可以表示它们之间的相互关系:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

式中: 要素 x , y 之间的相关系数用 r_{xy} 表示, 它的值介于 $[-1, 1]$ 区间。 r_{xy} 大于 0 时, 说明 x 与 y 呈正相关关系; 反之, 如果 r_{xy} 小于 0, 则说明 x 与 y 呈负相关关系。 r_{xy} 向下越靠近 -1 或向上越靠近 1, 那么说明 x 与 y 之间的关系越紧密; 如果 r_{xy} 的值趋向于 0, 则说明 x 与 y 之间的关系越小。

因为本文使用的温度、海冰面积等参数的季节特征显著, 为了去除季节波动造成的影响, 对温度、积雪面积、海冰面积的时间序列进行去季节处理。去季节的方法由 Kottegoda 于 1980 年首次提出, 目的是为了去除水文数据中周期性以及变量的方差。最初的去季节方法只是用简单的方法去掉序列数据中的周期

及方差,但是 Montanari 在原来方法的基础上,通过累积分布函数对数据进行去季节分析。由于本研究的数据序列只需要去除其周期性,因此仍用传统去季节方法。

对时间系列 X_{ij} , i 表示年, j 表示月, 每月的多年平均为:

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}, (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 12) \quad (9)$$

去掉季节波动的时间序列为:

$$Y_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_j, (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 12) \quad (10)$$

5.2.2 模型的求解

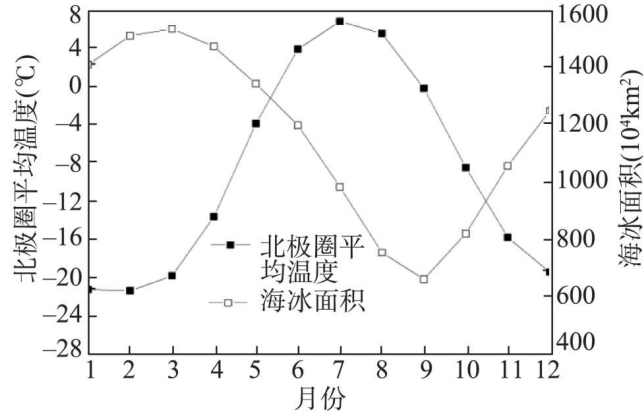


图 9: 温度与海冰面积变化关系

对北半球温度和海冰面积的年内变化分析如图所示。北半球的月均温度变化呈倒“V”字型, 7 月的温度最大为 19.32 °C, 1 月温度最小为-12.96 °C。

对海冰面积进行分析, 从图可以看出海冰的变化是呈现增长然后减少再增长的变化。海冰面积在 3 月达到最大, 为 1458.17×10⁴ km², 随后随着温度的上升, 海冰面积不断减少, 到 9 月, 海冰面积达到最小, 为 567.21×10⁴ km²。9 月之后, 开始进入低温期, 海冰面积随着温度的降低, 开始积累, 北半球的海冰进入积累期。

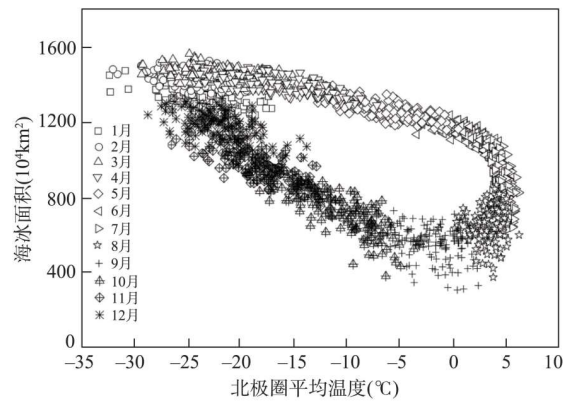


图 10：北极圈平均温度与海冰面积散点图

对北半球周海冰面积与对应的北半球平均温度进行分析，平均温度与对应的海冰面积在变化上呈现明显的负相关。结合海冰面积的年内变化规律，将其分成两个部分，分别是 3-8 月的海冰消融期和 9 月到来年 2 月的海冰积累期，消融期为 6 个月，积累期为 6 个月。

从图中可以看出，海冰面积与温度的关系在不同的时期存在两种不同的关系，积累期的斜率大于消融期的斜率，说明当海冰处于积累期时，对温度的上升导致的海冰面积的减少要比消融期的大。海冰面积与温度的关系是典型的绳套曲线。

因此可以得出结论，海冰以两种方式改变着大气的热量平衡,即能改变海面的反射率以及阻碍大气和海洋之间的热交换,海冰的存在既影响着天气气候的变化，同时又受气候变化的制约。因此, 海冰的面积变化一方面是气候变化的结果, 另一方面又是引起气候异常的一个外强迫因子。

5.3 问题三模型的建立与求解

5.3.1 数据的查找

我们查找了美国国家海洋和大气管理局中的数据，选取其中北纬 82 度的某气象站点其记录的二氧化碳浓度数据，与北半球海冰面积数据进行比较，来研究海冰面积变化趋势与二氧化碳温室效应的关系。

二氧化碳浓度随时间增长的变化图：

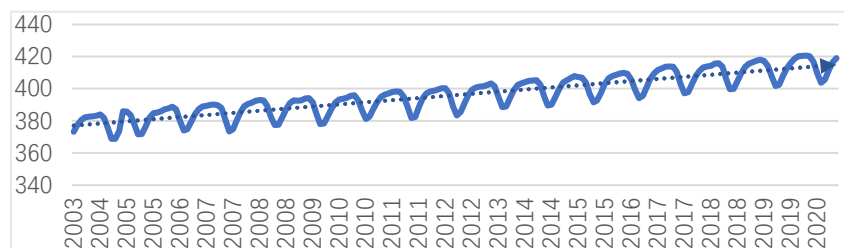


图 11：二氧化碳浓度图

通过图像可以看出二氧化碳浓度是逐年上升的，最小二乘法分析得到每年二氧化碳浓度大约上涨 2.2ppm。

海冰面积随时间增长的变化图：

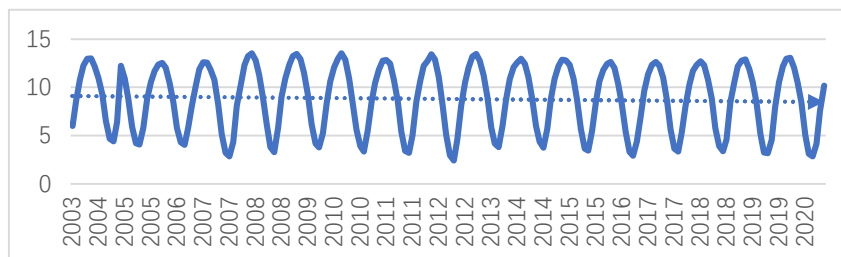


图 12：海冰面积图

通过图像可以看出北半球海冰面积是逐年下降的，最小二乘法分析得到每年北半球海冰面积大约减小 3.6 万平方公里。

5.3.2 相关性分析

首先对数据进行正态分布检验，二氧化碳和海冰面积都不满足正态分布，所以可以采用斯皮尔曼进行相关性分析

斯皮尔曼相关系数公式为：

$$p = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 + \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

实际应用中，变量间的连结是无关紧要的，于是可以通过简单的步骤计算 ρ 。被观测的两个变量的等级的差值，则 P 为

$$P = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (12)$$

得到相关系数表如下：

表 2：相关系数表		
	二氧化碳	海冰面积
二氧化碳	1.000(0.000***)	-0.351(0.000***)
海冰面积	-0.351(0.000***)	1.000(0.000***)

显著性 P 值 <0.01 ，可以认为呈现高度显著性，则说明两变量之间存在相关性。

计算得到相关系数热力图为：

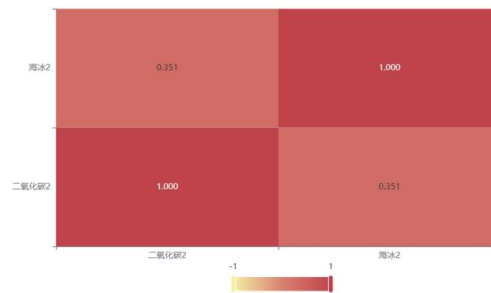


图 13: 相关系数热力图

通过相关系数热力图可以看出，两者的相关系数为-0.35，说明两者相关性不高。当二氧化碳浓度增加时，大气中温室气体增加，导致全球气候变暖，进而导致海冰面积减小。两者呈负相关性。

5.4 问题四模型的建立与求解

5.4.1 数据的查找

由于陆地面积的数据不容易统计，而全球平均海平面上升的数据统计较为容易，海平面上升一定是与陆地面积呈反比，所以可以将问题转化为北极海冰面积变化对海平面上升的影响。

我们仍从美国国家海洋和大气管理局获取全球平均海平面上升数据，并与北半球海冰面积数据进行比较，北极海冰面积变化对海平面上升的影响。

海平面高度随时间增长的变化图：

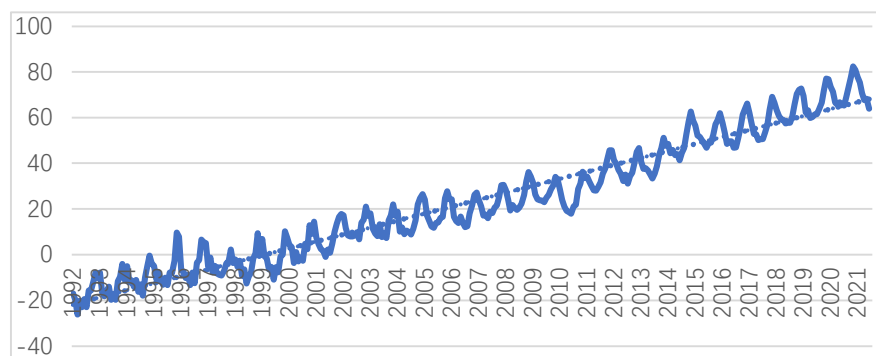


图 14: 海平面高度图

通过图像可以看出二氧化碳浓度是逐年上升的，最小二乘法分析得到每年海平面高度大约上升 3mm。

海冰面积随时间增长的变化图：

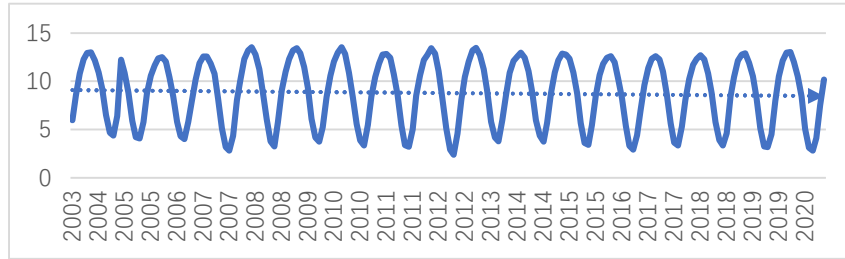


图 15：海冰面积图

通过图像可以看出北半球海冰面积是逐年下降的，最小二乘法分析得到每年北半球海冰面积大约减小 3.6 万平方公里。

5.4.2 相关性分析

首先对数据进行正态分布检验，二氧化碳和海冰面积都不满足正态分布，所以可以采用斯皮尔曼进行相关性分析，得到相关系数表如下

表 3：相关系数表

	海平面高度	海冰面积
海平面高度	1.000(0.000***)	-0.223(0.000***)
海冰面积	-0.223(0.000***)	1.000(0.000***)

显著性 P 值<0.01，可以认为呈现高度显著性，则说明两变量之间存在相关性
计算得到相关系数热力图为：

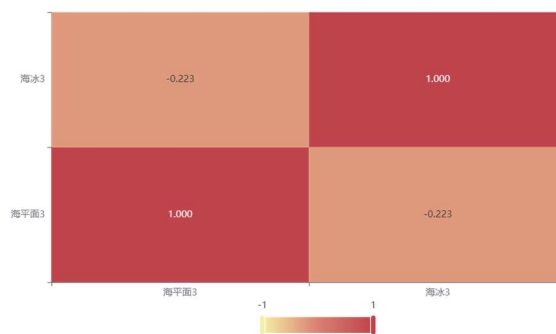


图 16：相关系数热力图

通过相关系数热力图可以看出，两者的相关系数为-0.22，说明两者相关性不高。当海冰面积减小时，全球海平面升高，陆地面积减小。

5.5 模型五的建立与求解

5.5.1 模型的建立

(1) 确定目标

要设置合适的指标建立数学模型说明人类要改变现有的政策使有关气候变暖的危害性最小，就需要分析气候变暖的影响因素。

(2) 确定影响气候变暖的指标

气候变暖主要是由于温室气体，其中主要为水汽、甲烷、二氧化碳、氧化亚纳，我们选取这四种温室气体为指标

(3) 政策方案的确定

由于人类活动能很大程度上改变温室气体的含量，所以通过改变相关政策就可以降低大气中温室气体的含量。例如人口增长会影响二氧化碳的排放；汽车尾气会影响烷、二氧化碳、氧化亚纳的排放；森林面积锐减则会影响二氧化碳的吸收；工业生产会使甲烷、二氧化碳、氧化亚纳的含量升高。故我们选取人口增长、汽车尾气、森林面积锐减、工业生产为政策方案。

(4) 构建关系图

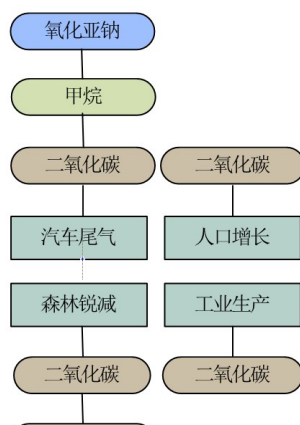


图 17 指标关系图

5.5.2 基于层次分析法的模型求解：

(1) 确定评价对象集

P=全球气候变暖。

(2) 构造评价因子集

$$u = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

$$U = \{\text{甲烷、二氧化碳、水汽、氧化亚纳}\}$$

(3) 指标权重的计算

我们采用层次分析的方法求出指标权重。构造判断矩阵 S，横纵坐标依次为水汽、氧化亚氮、甲烷、二氧化碳

$$S = \begin{bmatrix} 1.00 & 7.00 & 5.00 & 4.00 \\ 0.14 & 1.00 & 0.17 & 0.13 \\ 0.20 & 6.00 & 1.00 & 0.14 \\ 0.25 & 8.00 & 7.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

用matlab软件计算判断矩阵 S 的最大特征根得 $\lambda_{max} = 4.0782$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4.0782 - 4}{4 - 1} = 0.026$$

平均随机一致性指标 $RI = 0.89$ 。随机一致性比率：

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.026}{0.89} = 0.0292 < 0.10$$

因此认为层次分析排序的结果有满意的一致性，即权系数的分配是非常合理的。

其对应的特征向量为：

$$A_0 = (3.4398, 0.2336, 0.6435, 0.19343)$$

再作归一化处理得：

$$A = (0.550, 0.037, 0.103, 0.309)$$

故各影响因素权重为：

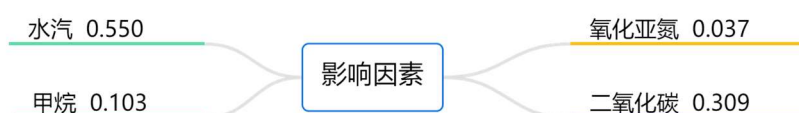


图 18：各项指标的权重

可以发现温室气体中，主要影响因素使水汽含量和二氧化碳含量，其中水汽所占比重为 55%，二氧化碳所占比重为 30.9%。

(4) 方案层计算：

记方案层判断矩阵 X ，横坐标依次为汽车尾气、人口数量增长森林面积锐减、工业生产，纵坐标依次为水汽、氧化亚氮、甲烷、二氧化碳：

$$X = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.01 & 0.70 & 0.10 \\ 0.29 & 0.05 & 0.09 & 0.57 \\ 0.29 & 0.05 & 0.09 & 0.57 \\ 0.25 & 0.04 & 0.10 & 0.60 \end{bmatrix}$$

其对应的特征向量为：

$$B_0 = (1.026, 0.520, 0.233, 0.017)$$

再作归一化处理得：

$$B_0 = (0.571, 0.2895, 0.1297, 0.009)$$

即

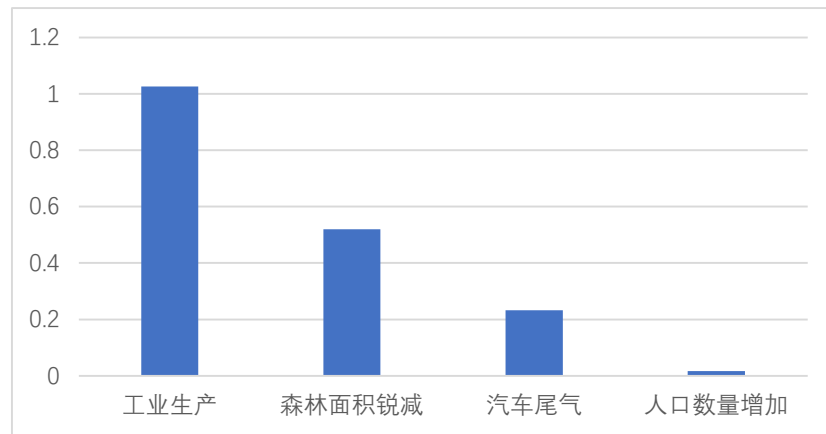


图 19：各项政策的重要性

(5) 结果分析

同时，工业生产对全球气候变暖的影响最大，占到 57.1%，其次是森林面积锐减和汽车尾气排放，所以要使有关气候变暖的危害性最小，就要重点管控工业生产造成的温室气体排放，然后是多植树造林，减少乱砍滥伐，最后鼓励使用新能源汽车，减少汽车尾气的排放。

六、模型的评价与改进

7.1 模型优点

本文运用统计学方法对海冰的融化问题做了深入探讨研究，方法严谨，具有较高的准确性和拟合度。在进行波动性分析时，通过 ADF 平稳性检验来进行分析。

7.2 模型缺点

在数据处理时，面对异常值没有进行进一步分析和处理，可能会造成数据分析存在一定的误差。

7.3 模型改进

对评价方法进行一定的改进后，其可以有助于对温室气体排放建议的分析，此外对于海冰的研究也间接反应出了全球变暖的危害性，可以进行进一步分许和预测。

七、参考文献

- [1] 任艳群, 刘苏峡. 北半球积雪/海冰面积与温度相关性的差异分析[J]. 地理研究, 2018, 37(5):13.
- [2] 张雷, 徐宾, 师春香,等. 基于卫星气候资料的 1989-2015 年南北极海冰面积变化分析[J]. 冰川冻土, 2017, 39(6):9.
- [3] 王绍武. 温室气体增长对气候和社会的影响[J]. 气象科技, 1989(1):6.
- [4] 张志强, 曲建升, 曾静静. 温室气体排放评价指标及其定量分析[J]. 地理学报, 2008, 63(7):10.
- [5] 黄长江, 董巧香, 林俊达. 全球温暖化与海平面上升[J]. 自然杂志, 2000, 22(4):225-232.
- [6] 阎坤. 60 年来大气中二氧化碳浓度数据的趋势方程研究[J]. 地球物理学进展, 2009.

附录

```
1. import pandas as pd
2. import math
```

```

3. from arch.unitroot import ADF
4. from matplotlib import pyplot as plt
5.
6. data = []
7.
8. def readdata():
9.     global data
10.    df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regional_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='Central-Arctic-Area-km^2')
11.    data = df.values.tolist()[2:]
12.    data = [i[1::2] for i in data]
13.    data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i) == False]
14.
15.
16. if __name__ == "__main__":
17.     readdata()
18.     print(data)
19.     adf = ADF(data)
20.     print(adf.summary().as_text())
21.     plt.plot(data)
22.     plt.show()
23.     # print( (data[108] ) )
24. import pandas as pd
25. import math
26. from arch.unitroot import DFGLS
27. from matplotlib import pyplot as plt
28.
29. data = []
30.
31. def readdata():
32.     global data
33.    df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regional_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='St-Lawrence-Area-km^2')
34.    data = df.values.tolist()[2:]
35.    data = [i[1::2] for i in data]
36.    data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i) == False]
37.
38.
39. if __name__ == "__main__":
40.     readdata()

```

```

41.     dfpls = DFGLS(data)
42.     print(dfpls.summary().as_text())
43.     plt.plot(data)
44.     plt.show()
45.     # print( (data[108] ) )
46. import pandas as pd
47. import math
48. from matplotlib import pyplot as plt
49. from scipy.fftpack import fft,ifft
50. import numpy as np
51. import csv
52.
53. data = []
54.
55. def readdata():
56.     global data
57.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regional_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='St-Lawrence-Area-km^2')
58.     data = df.values.tolist()[2:]
59.     data = [i[1::2] for i in data]
60.     data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i) == False]
61.
62. def writescv(x):
63.     with open("D:\Desktop\St-Lawrence-Area-km^2.csv", "w") as csvfile:
64.         writer = csv.writer(csvfile)
65.         writer.writerow(x)
66.
67. if __name__ == "__main__":
68.     readdata()
69.     data_fft = fft(data)
70.     data_fft = np.abs(data_fft)
71.     writescv(data_fft)
72.     plt.plot(data_fft)
73.     plt.show()
74.     # print( (data[108] ) )
75. import pandas as pd
76. import math
77. from arch.unitroot import KPSS
78. from matplotlib import pyplot as plt
79.
80. data = []

```

```

81.
82. def readdata():
83.     global data
84.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regional_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='St-Lawrence-Area-km^2')
85.     data = df.values.tolist()[2:]
86.     data = [i[1::2] for i in data]
87.     data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i) == False]
88.
89.
90. if __name__ == "__main__":
91.     readdata()
92.     kpss = KPSS(data)
93.     print(kpss.summary().as_text())
94.     plt.plot(data)
95.     plt.show()
96.     # print( (data[108] ) )
97. import pandas as pd
98. import math
99. from matplotlib import pyplot as plt
100. from scipy.fftpack import fft,ifft
101. import numpy as np
102.
103. data = []
104.
105. def readdata():
106.     global data
107.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regional_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='Baffin-Area-km^2')
108.     data = df.values.tolist()[2:]
109.     data = [i[1::2] for i in data]
110.     data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i) == False]
111.
112.
113. if __name__ == "__main__":
114.     readdata()
115.     data_fft = fft(data)
116.     data_fft = np.abs(data_fft)
117.     print(data_fft)
118.

```

```

119.     ps = data_fft ** 2 / len(data_fft)
120.     ax = plt.subplot(513)
121.     ax.set_title('direct method')
122.     plt.plot(20 * np.log10(ps[:len(data_fft) // 2]))
123.
124.     plt.plot(data_fft)
125.     plt.show()
126.     # print( (data[108] ) )
127. import pandas as pd
128. import math
129. from arch.unitroot import PhillipsPerron
130. from matplotlib import pyplot as plt
131.
132. data = []
133.
134. def readdata():
135.     global data
136.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regio
        nal_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='St-Lawrence-
        Area-km^2')
137.     data = df.values.tolist()[2:]
138.     data = [i[1::2] for i in data]
139.     data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i)
        == False]
140.
141.
142. if __name__ == "__main__":
143.     readdata()
144.     pp = PhillipsPerron(data)
145.     print(pp.summary().as_text())
146.     plt.plot(data)
147.     plt.show()
148.     # print( (data[108] ) )
149. import pandas as pd
150. import math
151. import csv
152.
153. data = []
154. list = []
155. result = []
156.
157. def readdata():
158.     global data
159.     global list

```

```

160.     global result
161.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\slr_sla_gbl_keep_txj1
    j2_90 (1).xls', sheet_name='slr_sla_gbl_keep_txj1j2_90 (1)')
162.     data = df.values.tolist()[5:]
163.     list = [[[ for j in range(12)] for i in range(int(da
    ta[-1][0]) - int(data[0][0]) + 1)]
164.         for i in range(len(data)):
165.             year = int(data[i][0])
166.             month = int((data[i][0] - int(data[i][0])) * 12)
167.             for j in range(1,5):
168.                 if math.isnan(data[i][j]) == False:
169.                     list[year -
                        int(data[0][0])][month].append(data[i][j])
170.                     break
171.
172.     result = [[i + int(data[0][0]),j + 1,sum(list[i][j])/
        len(list[i][j])] for i in range(int(data[-1][0]) -
        int(data[0][0]) + 1) for j in range(12) if len(list[i][j])
        != 0]
173.
174. def writcsv(x):
175.     with open("D:\Desktop\Sealevel1.csv", "w" , newline="
        ") as csvfile:
176.         writer = csv.writer(csvfile)
177.         writer.writerow(x)
178.
179. if __name__ == "__main__":
180.     readdata()
181.     print(data)
182.     print(list)
183.     print(len(list))
184.     print(len(list[0]))
185.     print(result)
186.     writcsv(result)
187. import pandas as pd
188. import csv
189.
190. data = []
191. list = []
192. result = []
193.
194. def readdata():
195.     global data
196.     global list

```



```

197.     global result
198.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\温度数据.xls', sheet_name='Sheet1')
199.     data = df.values.tolist()
200.     list = [[[ for j in range(12)] for i in range(45)]
201.     key = type(data[0][0])
202.     for i in range(len(data)):
203.         for j in range(0,len(data[i])):
204.             if type(data[i][j]) == key :
205.                 list[data[i][j].year -
1978][data[i][j].month - 1].append(data[i][j+1])
206.     result = [[i + 1978,j + 1,sum(list[i][j])/len(list[i]
[j]))] for i in range(45) for j in range(12) if len(list[i][
j]) != 0]
207.
208. def writcsv(x):
209.     with open("D:\Desktop\\temperature.csv", "w" , newlin
e="") as csvfile:
210.         writer = csv.writer(csvfile)
211.         writer.writerow(x)
212.
213. if __name__ == "__main__":
214.     readdata()
215.     # writcsv(result)
216.     print(data)
217. import pandas as pd
218. import math
219. from matplotlib import pyplot as plt
220. from scipy.fftpack import fft,ifft
221. import numpy as np
222. import csv
223.
224. data = []
225.
226. def readdata():
227.     global data
228.     df = pd.read_excel(r'D:\Desktop\N_Sea_Ice_Index_Regio
nal_Monthly_Data_G02135_v3.0.xls', sheet_name='St-Lawrence-
Area-km^2')
229.     data = df.values.tolist()[2:]
230.     data = [i[1::2] for i in data]
231.     data = [i for j in data for i in j if math.isnan(i)
== False]
232.

```

```
233. def writescv(x):
234.     with open("D:\\Desktop\\St-Lawrence-Area-
        km^2.csv", "w") as csvfile:
235.         writer = csv.writer(csvfile)
236.         writer.writerow(x)
237.
238. if __name__ == "__main__":
239.     readdata()
240.     writescv(data)
241.     plt.plot(data)
242.     plt.show()
243.     # print( (data[108] ) )
```