

基于全球变暖对气候预测的研究

焦琳致

辽宁师范大学, 辽宁 大连
Email: lzhjiao0220@163.com

收稿日期: 2021年3月12日; 录用日期: 2021年4月1日; 发布日期: 2021年4月15日

摘要

当前全球气候现状形势严峻, 全球变暖问题是众多国家关注的焦点。要想治理全球变暖, 在补救目前危机的同时, 更重要的是从源头治理。从新闻中也可以发现很多全球变暖对气候的影响。本文从加拿大的数据着手, 说明近几十年来, 各地温度的时空变化, 极端天气的发生频率。考虑多种影响因素, 采用AHP和熵值法相结合, 建立了简单气候预测模型。另外对加拿大地区近十年的气候数据进行分析, 建立极端天气模型, 判断气候变化与极端天气是否有关。在全球变暖的大环境下, 说明为何极端天气频发, “极寒天气”与全球变暖是否矛盾。并通过已收集到的数据与构建的模型, 预测未来25年气候的变化, 使更多人了解全球气候的变化趋势, 从而警醒人们, 加入到全球气候治理的队伍中来。

关键词

全球变暖, 极端天气, 气候预测, AHP, MATLAB

Researching on Climate Prediction with Global Warming

Linzhi Jiao

Liaoning Normal University, Dalian Liaoning
Email: lzhjiao0220@163.com

Received: Mar. 12th, 2021; accepted: Apr. 1st, 2021; published: Apr. 15th, 2021

Abstract

The current situation of global climate is grim, and global warming is the focus of many countries. In order to control global warming, it is more important to control from the source while remedying the current crisis. We can also find a lot from the news because of the impact of global warming on the climate. Based on the data of Canada, this paper explains the temporal and spatial variation of temperature and the frequency of extreme weather in recent decades. Considering many factors,

a simple climate prediction model is established by combining AHP with entropy method. In addition, the climate data of Canada in recent ten years are analyzed, and the extreme weather model is established to judge whether the climate change is related to the extreme weather. In the context of global warming, this paper explains why extreme weather occurs frequently, and whether extreme cold weather contradicts global warming. And through the collected data and the constructed model, we can predict the climate change in the next 25 years, so that more people can understand the trend of global climate change, so as to alert people to join the team of global climate governance.

Keywords

Global Warming, Extreme Weather, Climate Prediction, AHP, MATLAB

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变暖是由于温室效应不断积累所致。事实上，人们焚烧化石燃料或砍伐森林并将其焚烧时会产生大量的温室气体[1]，这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度透过性，而对地球发射出来的长波辐射具有高度吸收性，能强烈吸收地面辐射中的红外线，产生温室效应。由于存在温室效应，影响地气系统吸收与发射的能量平衡，能量不断在地气系统累积，从而导致温度上升，造成全球气候变暖。许多科学家认为，全球变暖可能导致更多的极端气象的产生。不过，虽然温室气体的浓度在不断上升，但自从进入 21 世纪以来，10 年间全球全年平均气温上升率仅为 0.03°C ，这种现象叫作 Hiatus。正因为出现全球变暖停滞现象，使公众对全球变暖产生了怀疑[2]。

导致分歧的原因在于观察问题的角度和范围。天气是一定区域短时段内的大气状态及其变化的总称。而气候则是长时间内气象要素和天气现象的平均或统计状态，在短时间内变化不大。从气候角度研究全球温度变化需要全球范围长时间的观测积累，但过去这方面的时空数据并不完整，给统计计算带来极大困难。不仅如此，海洋吸收热量对全球气候变化的影响很大[3] [4]。观测发现海洋表面温度的变化具有某种震荡特征，如年代际太平洋震荡、厄尔尼诺现象、拉尼娜现象等。这些因素使得研究全球温度变化更加困难。本文以加拿大地区为例，预测气候变化与极端天气之间的联系。

Xu 等(2018)描述了全球变暖的速度比预计速度要快的三条证据，以及对于减缓全球变暖速度提出可行性意见[5]。David Spratt 和 IanDunlop (2019)，运用情景分析方法对从现在到 2050 年的气候变化的加速对人类造成的影响进行最有效的探索，并对于减少此类风险并维持人类文明提出一些建议[6]。Corinne Le Quéré 等(2017)通过描述数据集和方法来量化全球碳预算的五个主要组成部分及其不确定性，并表明提供年度碳预算有两个目的[1]。Iselin Medhaug 等(2017)，对“全球变暖停滞”这一争议进行探讨，并对造成这一现象的原因，以及这一现象产生的影响进行分析[2]。ZhengYu Liu (2012)，在一个统一的框架内，结合历史发展，讨论大西洋和太平洋年代际气候变化的动力学[3]。

2. 加拿大各地区温度的时空变化趋势

2.1. 加拿大各地天气变化的历史数据分析

将加拿大各地的历史温度数据用以下的三个折线图，见图 1~3。

图 1 指出了加拿大各省代表地区年平均温度，可以看出大部分地区温度变化幅度相似，各地总体温度趋势较平稳，在几个时间节点上会有大幅度上升或下降，说明该年受极端天气影响时间久。

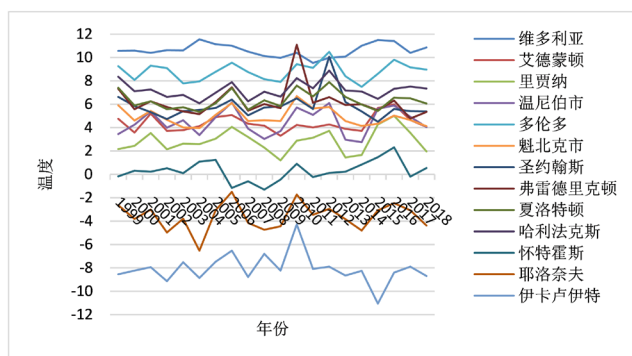


Figure 1. Annual average temperature of Canadian provinces from 1999 to 2019

图 1. 1999~2019 年加拿大各省府年平均气温

图 2 指出了加拿大各省代表地区年最高温度，可以看出除了伊卡卢伊特外，多地最高温度在 27 度以上，总体温度趋势呈上升趋势，在 2017 年后更是势头很足。

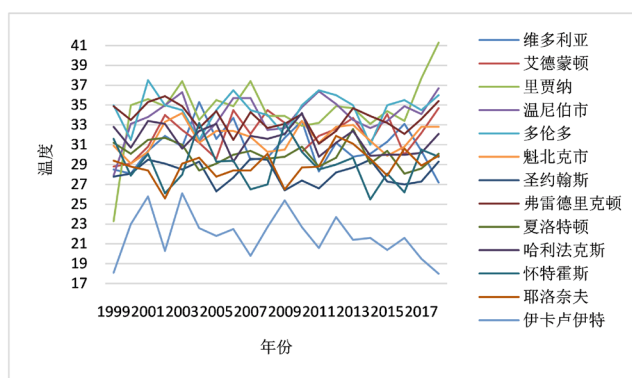


Figure 2. Annual maximum temperature of Canadian provinces from 1999 to 2019

图 2. 1999~2019 年加拿大各省府年最高气温

图 3 指出了加拿大各省代表地区的年最低温度，其中维多利亚的温度比其他城市较高。其他城市的最低温度变化趋势复杂，在温度过低的几年之后会有很高的回转，其中 2012 年整体温度较高。

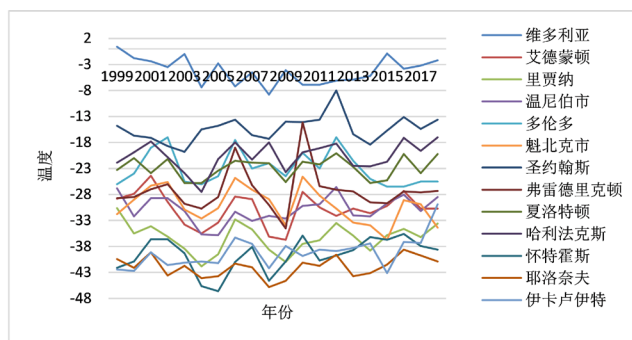


Figure 3. Annual minimum temperature of Canadian provinces from 1999 to 2019

图 3. 1999~2019 年加拿大各省府年最低气温

2.2. 海洋表面温度历史数据分析

海洋环流受到海水特性影响, 及大气环流驱动影响。综合起来, 这些影响决定现有地球气候条件下海洋的现代状况。海洋表面温度部分控制了大气温度和气候, 因此海洋表面温度研究是全球气候研究的重要组成部分。近年来全球异常气候现象频发, 影响了全球 60% 以上的地区。海洋各层海水温度相互影响, 海洋能够将储存的热量通过海气热量交换方式输送到大气中, 通过热力变化驱动大气运动, 影响大气环流, 进而影响到气候变化[7]。

当赤道太平洋中东部海区的海水表面温度持续 3 个月以上比常年同期偏高 0.5°C , 就进入了“厄尔尼诺状态”。当海水表面温度持续 6 个月以上比常年同期偏高 0.5°C , 则确认为一次“厄尔尼诺事件”。自有观测以来, 全球共发生过 14 次厄尔尼诺现象见图 4。拉尼娜事件是赤道太平洋东部和中部海面温度持续异常偏冷的现象。表现为东太平洋明显变冷, 同时也伴随着全球性气候混乱。

经数据分析海洋表层温度的结构特征表现为: 在东海大陆架, 月平均温度顺着大陆架向东南递增, 等温线密集。在东海黑潮区域, 由于流经, 温度持续升高, 在西北太平洋区域, 月平均温度从低纬向高纬递减, 等温线走向大致与纬度平行, 等温线稀疏。东海平均温度要低于西北太平洋, 而东海温度梯度要大于西北太平洋。1~12 月的表层温度月际变化特征表现为: 季节变化明显; 1~3 月的低温区主要在东海大陆架, 高温区主要在东海黑潮以及西北太平洋南部; 3~6 月, 苏北沿岸水的影响进一步减弱; 7~9 月, 整个海区温度普遍较高, 10~12 月温度开始降低, 苏北沿岸水开始出现[8]。

3. 未来 25 年气候变化预测

3.1. 影响因素

1) 温室气体

在地球大气中有三个过程影响到辐射: 吸收、散射和发射。大气中的“温室气体”是主要辐射吸收体, 吸收的辐射在电磁波谱中跨越很宽的带宽。这个带宽包括了进入地球大气的短波太阳辐射, 以及从地表发射的长波辐射。一个吸收体可以是任何的气体分子或颗粒, 它能够截获某一特定波长的辐射, 然后以较长的波长重新将能量发射出去。在吸收的过程中, 气体本身也受到加热[9]。

2) 太阳辐射

理论上计算由于太阳热量而导致的地球表面温度是有可能的。可以利用斯蒂芬-玻尔兹曼定律, 根据任何一个黑体辐射器的温度都可以计算出它的能量输出。但不是所有的能量都用来使大气增温, 地球及其大气像一个偏光镜, 把达到地球的太阳辐射的 31% 反射回太空, 这就是行星反射率, 地球和大气总共收到太阳能, 驱动所有的大气和海洋环流。

3) 海洋作用

海洋表面温度部分地控制了大气温度和气候。海洋和大气锁定为正负反馈状态, 使得地球气候系统趋于稳定, 并阻止突然的扰动和气候变化。另外, 海洋温度的变化会影响大气结构和降水分布[10]。一般情况下, 在北半球以降水和洋流的淡水补给为主, 而南半球则以蒸发作用为主。这种格局导致海水从北半球流向南半球。另外, 降水会引起海洋中的下沉, 因为它给原有的平均海面增加了重量, 而蒸发作用则使海平面下降并产生了表面海水的流入[11]。盐度的下沉会导致海水的涌入, 形成海水传输带, 从而影响全球气温。

4) 物体反射

反射影响大气中辐射的传递, 是未被地球-大气系统吸收或散射的短波辐射, 在撞击分子、颗粒或物体后, 无阻挡地直接返回太空。反射在大气中和地球表面均能发生。反射取决于云的厚度、植被的类型、土壤的湿度、固态水的新鲜程度和太阳的角度。

5) 核污染

在 20 世纪 80 年代，有人认为核战争可能使全球大幅度降温。大气中的一次核爆炸可能影响到离地面 30~45 km 高的大气流。估计每 106 吨的核物质制造 3000 吨的氧化氮，它们在参与化学反应消失之前，可能在平流层停留 4 年多，吸收短波辐射，破坏臭氧并使地面降温。核爆炸会向空气中排放大量的尘埃，在一次核战争中，来自燃烧的森林和城市的烟雾会被对流抬升到大气上层中，理论上认为这会使地表大幅度降温。

3.2. 评价指标体系的构建

由影响因素得到的评价指标体系见表 1。

Table 1. Evaluation index system

表 1. 评价指标体系

一级指标	二级指标	指标特性
温室气体	二氧化碳	定量
	甲烷	定量
	氧化亚氮	定量
太阳辐射	太阳黑子	定性
	太阳光耀	定性
海洋作用	蒸发作用	定性(反面)
	盐度下沉	定性(反面)
物体反射	植被	定量(反面)
	云层	定量(反面)
	土壤	定量(反面)
	冰雪	定量(反面)
核污染	核战争	定量(反面)
	核泄漏	定量(反面)

3.3. 综合集成赋值法确定权重分配向量

因为 AHP 容易受到主观因素的影响，无法避免评价人员的主观片面性，不能进行较高精度的过程评价。本文将 AHP 与熵权法相结合，降低主观因素。首先分别用 AHP 与熵权法求出权重，并且按照公式 (1) 合成，这样既保留了各种指标传递的信息，又可通过知识经验对客观权重加以修正。评价方法见图 4。

$$\omega_j = \frac{(w_j)^\alpha (v_j)^\beta}{\sum_{j=1}^m (w_j)^\alpha (v_j)^\beta} \quad (0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \alpha + \beta = 1) \quad (1)$$

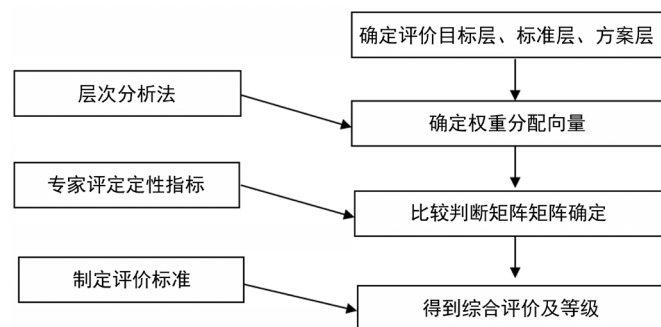


Figure 4. Evaluation method model diagram

图 4. 评价方法模型图

3.3.1. AHP

根据本文建立的指标体系，各层次元素两两比较，构造比较判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层次因素，本层次各因素之间相对重要性的比较，设比较的 n 个元素 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 对目标 Z 的影响，确定它们在 Z 中的比重。每次取两个因素 U_i 和 U_j ，用 a_{ij} 表示 U_i 与 U_j 对 Z 的影响之比：

$$a_{ij} > 0, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n).$$

$A = (a_{ij})$ 为比较判断矩阵。其赋值本文通过专家技术咨询的方法获得见表 2。

采取方根法计算出某层次因素相对于上一层次中某一因素的相对重要性，计算判断矩阵每一行元素的乘积：

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

计算 M_i 的 n 次方根：

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i},$$

对向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$ 归一化处理：

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j},$$

则 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]$ 即为所求的特征向量。

Table 2. The scale of judgment matrix and its implication

表 2. 判断矩阵标度及其含义影响

序号	重要性等级	赋值
1	i, j 两元素同样重要	1
2	i 元素比 j 元素稍重要	3
3	i 元素比 j 元素明显重要	5
4	i 元素比 j 元素强烈重要	7
5	i 元素比 j 元素极端重要	9
6	i 元素比 j 元素稍不重要	1/3
7	i 元素比 j 元素明显不重要	1/5
8	i 元素比 j 元素强烈不重要	1/7
9	i 元素比 j 元素极端不重要	1/9

计算判断矩阵的最大特征根：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW_i)}{nW_i},$$

其中 (AW_i) 表示 AW 的第 i 个元素。并进行一致性检验，一致性指标如下：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

随机一致性比率：

$$CR = \frac{CI}{RI},$$

其中， RI 为平均随机一致性指标，可查统计表 3 得到。

Table 3. The numerical table of RI for random consistency index
表 3. 随机一致性指标 RI 的数值表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

当 $CR < 0.10$ 时, 通过一致性检验即确定权重分配向量为 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$ 。

设要比较的五种因素温室气体、太阳辐射、海洋作用、物体反射和核污染为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_5\}$, 通过专家技术咨询数据得到比较判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1 & 5 & 3 & 2 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 3 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

经计算 $\lambda_m = 5.1513$, A 不一致, $\omega = (0.4757, 0.2374, 0.0522, 0.0964, 0.1384)^T$ 。

$$\text{一致性指标 } CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{5.1513 - 5}{5 - 1} = 0.038,$$

随机一致性指标 $RI = 1.12$ (查表),

一致性比率 $CR = 0.038/1.12 = 0.034 < 0.1$, 通过一致性检验。

3.3.2. 熵值法确定权重

定量指标可以直接给出初始值; 定性指标则根据专家的经验打分, 将指标分为“很好、较好、一般、较差、很差”进行模糊评价, 权重分别为“9、7、5、3、1”。计算第 i 项指标下, 第 j 个评价对象标值 x_{ij} 的比重 p_{ij} , 公式如下:

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

计算第 n 项指标的熵值 e_j , 公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

令 $k = 1/\ln m$,

$$e_j = \frac{-\left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}\right)}{\ln m}, \quad (0 \leq e_j \leq 1),$$

计算第 n 项指标的差异系数 g_j , 越大则指标越重要。

$$g_j = 1 - e_j \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

确定指标权重:

$$V_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_i \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

根据公式(*)可得最终的权重向量为:

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T.$$

3.4. 全球气候现状分析

气候变化是指一个时期气候平均状态或离差两者中的一个或两者一起出现了统计意义上的显著变化,

从长期看，气候变化是不可逆的，世界上和宇宙中万物都有始有终不存在完全相同的生命过程[12]。在一定时间尺度内气候变化可以认为是相似的或可逆的。气候变化包括长期趋势、多时间尺度上平均态的变化、各种极端事件以及短期震荡。本次建模只预测未来 25 年的气候变化，不考虑过长时间的气候变化。由此进行了以下猜想(见图 5)。

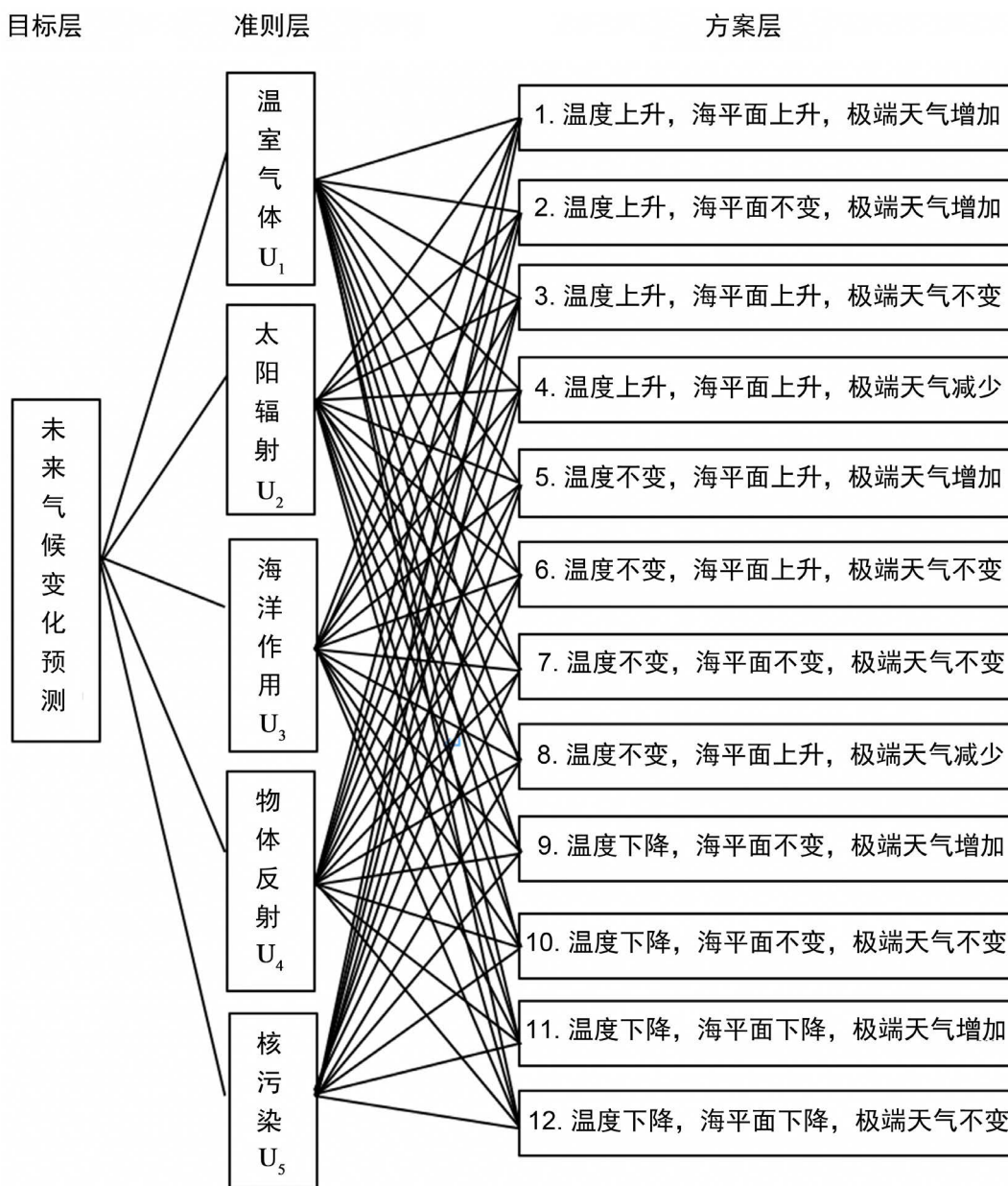


Figure 5. Evaluation of primary index of climate prediction
 图 5. 气候预测一级指标评价

3.5. 模型的计算

由前文知准则层对目标层的比较判断矩阵通过一致性检验，接下来我们继续方案层对准则层的分析。

记准则层对目标层的权向量为

$$\omega = (0.4757, 0.2374, 0.0522, 0.0964, 0.1384)^T,$$

根据前文建立的模型，来求方案层对准则层的权向量。

方案层对 U_1 成对比较矩阵：

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 7 & 5 & 3 & 5 & 7 & 7 & 5 & 9 & 9 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 3 & 5 & 5 & 7 & 9 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 & 5 & 5 & 3 & 5 & 5 & 7 & 7 & 9 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 5 & 7 & 5 & 7 & 9 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 & 5 & 7 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 9 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 5 \\ 1/9 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix},$$

最大特征根为： $\lambda_{1m} = 13.9396$ ，

权向量为：

$$\omega_1 = (0.2628, 0.1210, 0.1853, 0.1075, 0.0836, 0.0707, 0.0537, 0.0393, 0.0288, 0.0178, 0.0196, 0.0098)^T.$$

方案层对 U_2 成对比较矩阵：

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 & 5 & 7 & 5 & 5 & 7 & 9 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/3 & 5 & 1 & 3 & 5 & 7 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 5 & 7 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1 & 5 & 5 & 3 & 7 & 5 \\ 1/5 & 3 & 1/3 & 1 & 1 & 5 & 7 & 5 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1 & 5 & 7 & 7 & 5 & 9 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1 & 1/7 & 1 & 1 & 3 & 5 & 5 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/9 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/3 & 3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 5 \\ 1/9 & 9 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix},$$

最大特征根为： $\lambda_{2m} = 19.6583$ ，

权向量为：

$$\omega_2 = (0.2172, 0.1159, 0.1269, 0.0810, 0.1240, 0.0799, 0.0696, 0.0345, 0.0375, 0.0189, 0.0321, 0.0625)^T.$$

方案层对 U_3 成对比较矩阵:

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/9 \\ 3 & 1 & 1 & 3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/7 \\ 3 & 1 & 1 & 3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 \\ 3 & 3 & 3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 3 & 5 & 3 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 5 & 1 & 3 & 5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 3 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 5 & 1 & 7 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 3 & 5 & 3 & 5 & 1 & 1 & 3 & 1/3 & 1 & 5 & 3 & 3 \\ 5 & 3 & 5 & 7 & 3 & 3 & 1/3 & 3 & 1/5 & 1 & 3 & 5 \\ 7 & 1 & 1 & 5 & 5 & 5 & 3 & 5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 9 & 7 & 7 & 7 & 3 & 7 & 3 & 7 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

最大特征根为: $\lambda_{3m} = 16.0285$,

权向量为:

$$\omega_3 = (0.0165, 0.0343, 0.0344, 0.0174, 0.0678, 0.0726, 0.0699, 0.0723, 0.1633, 0.1573, 0.1406, 0.1538)^T.$$

方案层对 U_4 成对比较矩阵:

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 3 & 1 & 3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/9 \\ 5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/7 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 \\ 7 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 3 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/7 \\ 3 & 5 & 3 & 5 & 5 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 5 & 5 & 5 & 3 & 3 & 5 & 3 & 1 & 3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 3 & 7 & 3 & 5 & 3 & 3 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 5 & 5 & 7 & 7 & 5 & 1 & 3 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 7 & 3 & 7 & 5 & 5 & 5 & 3 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 5 \\ 3 & 5 & 9 & 3 & 7 & 7 & 5 & 3 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix},$$

最大特征根为: $\lambda_{4m} = 15.1627$,

权向量为:

$$\omega_4 = (0.0172, 0.0275, 0.0269, 0.0255, 0.0283, 0.0567, 0.0644, 0.1235, 0.1672, 0.1826, 0.1450, 0.1353)^T.$$

方案层对 U_5 成对比较矩阵:

$$B_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 1/3 & 3 & 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1/5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 5 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/9 & 1/7 \\ 1/3 & 3 & 1 & 5 & 1 & 5 & 3 & 3 & 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1/5 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 3 & 1/5 & 1 & 3 & 5 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 1/3 & 5 & 3 & 3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1/3 \\ 1/5 & 3 & 1 & 5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 7 & 5 & 7 & 5 & 3 & 5 & 3 & 1 & 5 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 1 & 3 & 3 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1 \\ 5 & 7 & 5 & 9 & 7 & 5 & 7 & 5 & 5 & 3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 3 & 7 & 5 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 5 & 1 \end{bmatrix},$$

最大特征根为: $\lambda_{5m} = 15.3141$,

权向量为:

$$\omega_5 = (0.0698, 0.0436, 0.0284, 0.0143, 0.0608, 0.0509, 0.0419, 0.0354, 0.1455, 0.0885, 0.2173, 0.2035)^T.$$

层次排序的结果如表 4 所示。

Table 4. Results of hierarchical sorting

表 4. 层次排序的结果

准则	温室气体	太阳辐射	海洋作用	物体反射	核污染	总排序权值
准则层权值	0.4757	0.2374	0.0522	0.0964	0.1384	
1	0.2628	0.2172	0.0165	0.0172	0.0698	0.1888
2	0.1210	0.1159	0.0343	0.0275	0.0436	0.0956
3	0.1853	0.1269	0.0344	0.0269	0.0284	0.1266
4	0.1075	0.0810	0.0174	0.0255	0.0143	0.0757
5	0.0836	0.1240	0.0678	0.0283	0.0608	0.0839
方案层单排序权值	0.0707	0.0799	0.0726	0.0567	0.0509	0.0689
7	0.0537	0.0696	0.0699	0.0644	0.0419	0.0577
8	0.0393	0.0345	0.0723	0.1235	0.0354	0.0509
9	0.0288	0.0375	0.1633	0.1672	0.1455	0.0674
10	0.0178	0.0189	0.1573	0.1826	0.0885	0.0510
11	0.0196	0.0321	0.1406	0.1450	0.2173	0.0683
12	0.0098	0.0625	0.1538	0.1353	0.2035	0.0687

通过以上计算结果分析,我们预测未来 25 年全球气候将呈现平均温度上升,冰川消融,海平面上升,水域面积增大,水分蒸发更多,雨季延长,水灾频发,极端天气增加,气候异常现象增多的趋势。如厄尔尼诺现象、拉尼娜现象、飓风台风、沙尘暴、寒潮等异常气候。因此人们应该增强气候变化意识,及时采取应对措施,面临未来的挑战,努力改善环境,保护环境,共同营造一个和谐美好的生存环境。

4. 全球变暖与极寒天气的关系

冬天气温低是正常自然现象,但每年冬天气温高低都存在不同差异。实际上,不同差异的存在也反映正常的自然变化规律,然而有些年份的冬天气温却出现较大的差异,某些时间气温明显比正常气温低,

明显偏离平均状态，这种极端气象我们称之为“极寒天气”。根据数据统计加拿大地区气温数据统计，一月份温度最低，其次是2月份，由此规定一月份的平均温度 $X_1 \leq \bar{X}_1 - 0.95\sigma_1 = -18.35$ (\bar{X}_1 是平均值， σ_1 为标准差)或接近这个温度时称为发生“极寒天气”。建立“极寒天气”预测模型如下。

4.1. 影响因子的选取

“极寒天气”的出现也离不开当年大气环流背景。年积温是反映大气环流特征的一个重要表现。所以选择因子首先从影响年积温高低的因子着手。经过因子的组合分析选取8个因子：

X_1 ：今年1月平均温度； X_2 ：上年11月到今年2月的积温(即11~2月的月平均温度之和)；

X_3 ：上年12月平均温度； X_4 ：上年3月到今年2月年积温； X_5 ：上年3~6月降水量；

X_6 ：上年7~10月降水量； X_7 ：上年11月~今年2月降雪量； X_8 ：上年3~9月积温；

前三个因子为主要因子，后五个因子为条件因子。这里需要说明，当年1月平均温度值超过其平均值偏差较大时，就使当年年积温升高；而其值低于平均值较大时，会使当年的年积温下降，因而这个因子既是主要因子又是其他主要因子的条件因子。下面分别说明，每个主要因子与其条件因子之间的关系。

1) 主要因子 X_1 与其条件因子的关系。当年1月平均温度 X_1 满足 $X_1 \leq -18.5$ ($\bar{X}_1 = -15.5$)且上年年积温 $X_4 \geq 52.9$ ($\bar{X}_4 = 35.6$)，上年3~6月降水量 $X_5 \leq 382.1$ ($\bar{X}_5 = 278.8$)和上年11月~今年2月降雪量 $X_7 \leq 3164.9$ ($\bar{X}_7 = 3164.9$)，则当年积温 T 要下降，它等于上年积温 X_4 减去负增量 ΔX_4 即 $T = X_4 - \Delta X_4$ ，因而在年积温的下降过程中要影响下一年出现“极寒天气”。

2) 主要因子 X_2 与其条件因子的关系。上年11月到今年2月的积温 X_2 满足 $X_2 \geq \bar{X}_2 + \sigma_2 = -33$ 且上年3~6月降水量 $X_5 \leq 382.1$ 和今年1月平均温度 $X_1 \leq -12.5$ ($\bar{X}_1 = -15.5$)，则上年11月到今年2月的积温为前年11月到上年2月的积温 X_2 减去负增量 ΔX_2 即为 $X_2 - \Delta X_2$ ，因而在它的下降中也要影响下一年出现“极寒现象”。

3) 主要因子 X_3 与其条件因子的关系。上年12月平均温度 X_3 满足 $X_3 \leq -16$ ($\bar{X}_3 = -11.9$)，上年3~9月积温 X_8 满足 $X_8 \leq 82$ ($\bar{X}_8 = 74.1$)且上年11月~今年2月降雪量 $X_7 \leq 3164.9$ (上年3~6月降水量 $X_5 \leq 382.1$ 或上年7~10月降水量 $X_6 \leq 358.7$)则要影响下一年出现“极寒天气”。

4.2. 影响因子的判别式

由上面的这些关系可知，影响因子之间，影响因子与“极寒天气”之间的关系是十分复杂的非线性关系。建立一个单纯的回归模型不可能预报出任意一个“极寒天气”的出现。为了描述上述的研究对象与影响因子的关系，首先确定影响因子的阈值[13]，然后根据确定的阈值对影响因子进行变换，由变换后的新因子分别构成上述三种关系的子判别式，然后由子判别式组成综合判别式。

下面对影响因子进行变换：

$$X'_1 = \begin{cases} 1, & X_1 \leq -18.5 \\ 0, & X_1 > -18.5 \end{cases}, X'_2 = \begin{cases} 1, & X_2 \geq -33 \\ 0, & X_2 < -33 \end{cases}, X'_3 = \begin{cases} 1, & X_3 \leq -16 \\ 0, & X_3 > -16 \end{cases},$$

$$X'_4 = \begin{cases} 0, & X_4 \leq 18.3 \\ \left[1 + \frac{(X_4 - 18.3)^{-1}}{5} \right]^{-1}, & X_4 > 18.3 \end{cases}, X'_5 = \begin{cases} 0, & X_5 \geq 382.1 \\ \left[1 + \frac{(382.1 - X_5)^{-1}}{2} \right]^{-1}, & X_5 < 382.1 \end{cases},$$

$$X'_6 = \begin{cases} 0, & X_6 \geq 358.7 \\ \left[1 + \frac{(358.7 - X_6)^{-1}}{2} \right]^{-1}, & X_6 < 358.7 \end{cases}, X'_7 = \begin{cases} 0, & X_7 \geq 3164.9 \\ \left[1 + \frac{(3164.9 - X_7)^{-1}}{2} \right]^{-1}, & X_7 < 3164.9 \end{cases},$$

$$X'_8 = \begin{cases} 0, & X_8 \geq 82 \\ \left[1 + \frac{(82 - X_8)^{-1}}{10}\right]^{-1}, & X_8 < 82 \end{cases}, \quad X''_1 = \begin{cases} 0, & X_1 \geq -12.5 \\ \left[1 + \frac{(-12.5 - X_1)^{-1}}{20}\right]^{-1}, & X_1 < -12.5 \end{cases}.$$

由上述变换的新因子，分别作出上述(1)~(3)三种关系的子判别式：

$$P_a = X'_1 \wedge X'_4 \wedge X'_5 \wedge X'_7 = \begin{cases} \geq 0.9 \text{ 时} & \text{出现寒冬} \\ < 0.9 \text{ 时} & \text{无寒冬出现} \end{cases}$$

$$P_b = X'_2 \wedge X'_5 \wedge X''_1 = \begin{cases} \geq 0.9 \text{ 时} & \text{出现寒冬} \\ < 0.9 \text{ 时} & \text{无寒冬出现} \end{cases}$$

$$P_c = X'_3 \wedge X'_8 \wedge X'_7 \wedge (X'_5 \vee X'_6) = \begin{cases} \geq 0.9 \text{ 时} & \text{出现寒冬} \\ < 0.9 \text{ 时} & \text{无寒冬出现} \end{cases}$$

最终由 P_a, P_b, P_c 子判断式组成综合判别式 P

$$P = P_a \vee P_b \vee P_c = \begin{cases} \geq 0.9 \text{ 时} & \text{出现寒冬} \\ < 0.9 \text{ 时} & \text{无寒冬出现} \end{cases}$$

其中， \wedge, \vee 被定义为： $P \wedge Q = \min(P, Q); P \vee Q = \max(P, Q)$ 。

4.3. 极端天气模型的检验

根据加拿大安大略省的弗朗西斯堡 2009 年 3 月到 2019 年 2 月的气温数据统计，通过我们建立的“极寒天气”判别模型，我们分析了“极寒天气”的出现与气候的关系见表 5~8。

Table 5. The numerical values of forecast objects and influence factors over the years and their discrimination results
表 5. 预报对象和影响因子的历年数值及判别结果

年份	项目 X_1	今年 1 月平均温度(°C) X_1	上年 11 月到今年 2 月的 积温(°C) X_2	上年 12 月平均温度(°C) X_3	上年 3 月到今年 2 月年 积温(°C) X_4
2010		-14.3	-39.3	-13.51	31.68
2011		-18.53	-47.29	-13.43	46.99
2012		-10.24	-26.82	-7.43	56.51
2013		-15.23	-45.14	-12.1	45.72
2014		-20.4	-63.73	-20.84	7.16
2015		-15.26	-50.71	-8.42	18.79
2016		-12.79	-29.06	-5.73	55.42
2017		-12.48	-31.2	-12.08	53.67
2018		-16.85	-55.84	-15.46	18.29
2019		-18.88	-52.75	-14.08	21.71

Table 6. The numerical values of forecast objects and influence factors over the years and their discrimination results
表 6. 预报对象和影响因子的历年数值及判别结果

年份	项目	上年 3~6 月降水量 (mm) X_5	上年 7~10 月降水量 (mm) X_6	上年 11 月~今年 2 月降雪量(cm) X_7	上年 3~9 月积温 (°C) X_8	“极寒天气”判别 结果
2010		327.7	284.1	2093	67.43	0
2011		294.5	426.2	3746	86.38	0.994
2012		244.5	143.3	789	74.98	0

Continued

2013	338.8	351.3	2054	86.66	0
2014	312.3	370.5	2242	65.21	0.993
2015	501.4	249.8	1015	63.53	0
2016	249.6	181.4	881	78.37	0
2017	230.2	232.1	1554	78.21	0
2018	213.2	219.1	3555	68.48	0
2019	203.2	293.1	3076	71.46	0.945

Table 7. Average value of each influence factor

表 7. 各影响因子平均值

平均值	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5	\bar{X}_6	\bar{X}_7	\bar{X}_8
	-15.5	-44.7	-11.9	35.6	278.8	275.1	2120.5	74.1

Table 8. Standard deviation of each influence factor

表 8. 各影响因子标准差

标准差	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8
	3.0	11.7	4.1	17.3	103.3	83.6	1044.4	7.9

由表 7、表 8 可知，在加拿大弗朗西斯堡达到“极寒天气”标准的有 2010 年 3 月~2011 年 2 月 2013 年 3 月~2014 年 2 月和 2018 年 3 月~2019 年 2 月这三年。

表 7、表 8 给出了 2010 年至 2019 年十年中历年影响因子研究对象和它的预报判别式的回报和试报结果，“极寒天气”出现在当年 12 月或翌年 1 月，故影响因子值的当年应当是它的上年，而上年应为它的前年。从表中可知，用上述的判别式对 2010 年至 2019 年 10 年进行判断，有三年出现“极寒天气”，回报结果正确。由此我们可以得出极端天气的出现与气候变化是有关系的，全球变暖和局地极寒现象的出现之间不矛盾。

5. 总结

可以用“拔河效应”来替代“全球变暖”。“拔河”顾名思义是两个阵营之间通过各阵营参与者拉力的总和之间的较量，在得处结果之前，双方拉力相互制约。

在趋势上：当前气候变化是总体温度升高，部分地区温度不均匀，极端天气现象频繁发生。类似于拔河，一端由于排放过多的二氧化碳等导致温室效应的气体导致气温升高；另一端想使温度降低，维护生态平衡模式，则通过海洋吸收热量等方式减缓温度升高。若人类依然像目前一样对生态系统不保护、放肆获取、不管污染，势必会导致拔河的方向朝气温升高的一端移动，那么未来稳定全球气候需要我们人类义不容辞地承担这份责任。

在复杂性上：再类比拔河两端，一端是人类生活需求，对化石燃料使用，生活用品能源加工消耗及人口增长带来的负面作用，给地球的生态系统施压；另一端是地球自身的生态系统，当部分地区出现极端天气时，随后会有缓解影响的效应，其中放热源与吸热源的种类繁多，出现气温增长由是多方因素导致的，比如海洋的吸热与放热、热带雨林的破坏等就会影响气候。

参考文献

- [1] Quere, C., Andrew, R., et al. (2018) Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data*, **10**, 405-448.

-
- <https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>
- [2] Medhaug, I., Stolpe, M.B., Fischer, E.M. and Knutti, R. (2017) Reconciling Controversies about the ‘Global Warming Hiatus’. *Nature*, **545**, 41-47. <https://doi.org/10.1038/nature22315>
- [3] Meehl, G.A., Hu, A., Santer, B.D. and Xie, S. (2016) Contribution of the Interdecadal Pacific Oscillation to Twentieth-Century Global Surface Temperature Trends. *Nature Climate Change*, **6**, 1005-1008. <https://doi.org/10.1038/nclimate3107>
- [4] Chen, X. and Tung, K.K. (2018) Global Surface Warming Enhanced by Weak Atlantic Overturning Circulation. *Nature*, **559**, 387-391. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0320-y>
- [5] Xu, Y., Ramanathan, V. and Victor, D.G. (2018) Global Warming Will Happen Faster Than We Think. *Nature*, **564**, 30-32. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07586-5>
- [6] Spratt, D. and Dunlop, I. (2019) Existential Climate-Related Security Risk: A Scenario Approach. Policy Paper from Breakthrough-National Centre for Climate Restoration.
- [7] Smith, T.M. and Reynolds, R.W. (1998) A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology for the 1961-90 Base Period. *Journal of Climate*, **11**, 3320-3323. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<3320:AHRGSS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<3320:AHRGSS>2.0.CO;2)
- [8] 邱欢. 140 年来东海及毗邻的西北太平洋海水温度变化的特征分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海师范大学, 2017.
- [9] Quéré, C.L., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., *et al.* (2015) Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data Discussions*, **7**, 521-610.
- [10] Liu, Z. (2012) Dynamics of Interdecadal Climate Variability: A Historical Perspective. *Journal of Climate*, **25**, 1963-1995. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3980.1>
- [11] Drosowsky, W. and Chambers, L.E. (2001) NOTES AND CORRESPONDENCE: Near-Global Sea Surface Temperature Anomalies as Predictors of Australian Seasonal Rainfall. *Journal of Climate*, **14**, 1677-1687. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1677:NACNGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1677:NACNGS>2.0.CO;2)
- [12] Edward Bryant. 气候过程和气候变化[M]. 刘东生, 等, 编译. 北京: 科学出版社, 2004: 27-28.
- [13] 周洪祥. 灾害性天气的预测方法[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 155-160.