

2000~2023年全球气温变化特征与环流机制分析

王 恒

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年3月6日; 录用日期: 2024年4月17日; 发布日期: 2024年4月26日

摘 要

全球变暖已经成为学者们的共识, 但关于近年来全球升温趋势, 目前已有研究结果存在分歧, 众多学者认为全球变暖速度不断加剧, 但部分学者认为全球升温趋势近年来逐渐变缓。因此有必要明确近年来全球气温变化的具体情况。同时全球变暖也会对大气环流产生不可忽视的影响, 对于其影响程度有必要进行探究。本文将致力解决这两个科学问题。本文使用NCEP/NCAR数据与中国科学院大气物理所发布的大气环流指数数据, 使用趋势分析法、MK检验法、相关分析等方法, 探究2000~2023年全球近地表与500 hPa气温变化的具体情况并对其环流机制进行分析, 结果发现近10a来全球近地表与500 hPa气温比2000~2023年平均气温分别高出0.210°C、0.160°C, 变化速率分别高出0.025°C/10a, 0.015°C/10a。全球近表与500 hPa气温变化也对副高面积和极涡强度产生了重大影响, 最大相关系数分别为0.884、0.914。由此可见近年来全球近地表和500 hPa变暖趋势不断加剧, 为大气环流指数带来了不可忽视的影响。

关键词

全球变暖, 全球气温, 大气环流, 变化特征

Characteristics of Global Air Temperature Change and Analysis on Circulation Mechanism from 2000 to 2023

Heng Wang

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Mar. 6th, 2024; accepted: Apr. 17th, 2024; published: Apr. 26th, 2024

Abstract

Global warming has become the consensus of scholars, but there are differences in the results of existing studies on the trend of global warming in recent years, many scholars believe that the rate of global warming is increasing, but some scholars believe that the global warming trend has gradually slowed down in recent years. Therefore, it is necessary to clarify the specific situation of global temperature changes in recent years. At the same time, global warming will also have a non-negligible impact on atmospheric circulation, and it is necessary to explore the extent of its impact. This paper will address both of these scientific questions. In this paper, using NCEP/NCAR data and atmospheric circulation index data released by the Institute of Atmospheric Physics of the Chinese Academy of Sciences, we used Trend analysis, MK test, Correlation analysis and other methods to explore the specific situation of global near-surface and 500 hPa temperature changes from 2000 to 2023 and analyze their circulation mechanisms, and the results show that the global near-surface and 500 hPa temperatures in the past 10 years are 0.210°C and 0.160°C higher than the average temperature from 2000 to 2023, respectively, and the change rates are 0.025°C/10a and 0.015°C/10a years higher, respectively. The global near-surface and 500 hPa temperature changes also had a significant impact on the area of the subtropical high and the intensity of the polar vortex, with the maximum correlation coefficients of 0.884 and 0.914, respectively. It can be seen that the global near-surface and 500 hPa warming trends have been intensifying in recent years, which has brought a non-negligible impact on the atmospheric circulation index.

Keywords

Global Warming, Global Temperature, Atmospheric Circulation, Variation Characteristics

Copyright © 2024 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

全球变暖始终是受到世界关注的重要议题。近年来温室气体排放加剧,引起全球气温上升趋势不断增强,这一问题已经成为国际环境关注的焦点。2015年,全球众多国家齐聚法国巴黎,通过了划时代的《巴黎协定》。该协定旨在到本世纪末将地球升温控制在比工业化前水平高出不超过 2°C,并争取进一步把增温限制在 1.5°C 以内,2°C 和 1.5°C 温控目标迅速成为应对气候变化领域的热点话题,国际社会从各个领域和方向迅速开展行动[1]。自上个世纪以来,全球升温迅速。王绍武等学者探究发现 1880~1991 年间全球气候变暖的速度为 0.5°C/100a [2]。龚道溢和其他研究人员观察到,在过去的一百年间,世界范围内的平均气温呈上升状态,且自 1980 年代起温度上升速度明显加快[3]。唐国利等学者发现 1910~2009 年的变暖趋势为 0.70°C~0.75°C/100a,截止 2009 年,已经变暖了 0.8°C[4]。全球变暖是毋庸置疑的事实,但 VV Klimenko、苏京志等学者认为海洋作为热量的主要吸收载体,使得全球变暖趋缓[5]。因此有必要厘清近年来全球气温变化的具体情况,明确全球升温趋势趋于变缓还是不断加速这一科学问题。

随着全球变暖加剧,极端气温事件越来越频繁。从 1980 年代末期起,东亚地区频遭暖冬侵袭,这一气候模式维持至 2003 年的冬天。此后东亚经历的寒冬事件逐渐增多,且寒冷程度逐渐加剧[6]。北半球中高纬度在 21 世纪初以来冷冬频繁[7],对全球经济社会发展和民生造成严重影响。很多学者们认为由于全

球气温上升,对大气环流发生正/负反馈作用,通过遥相关进一步影响其它地区的气候状况。如赵宗慈等学者发现若全球继续变暖,使得各个地区季风位置、范围和强度发生改变,从而导致极端降水时间频发[8]。单楷越等学者也发现人类温室气体排放是近年来台风频发的首要驱动因子[9]。因此本文想在此基础上,了解全球变暖对大气环流究竟产生何种程度的影响。综上,本文将使 NCEP/NCAR 再分析数据与部分中国科学院大气物理所发布的大气环流指数数据对近 24a 来全球气温的变化情况进行探究,并判断近年来全球变暖趋势是否趋于平缓,在此基础上分析全球气温变化与大气环流的相关程度,以期为学者们研究气候变化理论提供数据支撑。

2. 数据来源

2.1. NCEP/NCAR 再分析资料

本文使用 NCEP/NCAR 再分析数据是发展最早且时序长的全球再分析资料。本文从 Ncep 网站注册下载了 2000~2023 年全球近地面 2 m 与 500 hPa 逐月平均气温数据,空间分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 。

2.2. 逐月大气环流指数

气候系统监测指数集由中国科学院大气物理所公布。此数据集共包含 130 项气候系统指数。本文筛选主要大气环流指数 20 项,时间分辨率为月平均,起止时间为 2000 年 1 月~2023 年 12 月。

3. 研究方法

3.1. 线性趋势法

采用线性趋势法对[10]分析 2000~2023 年全球气温的长期变化趋势,建立以时间(x)为自变量,气温(y)为因变量的一元线性回归方程:

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中: a 为回归系数,正负代表气温随时间呈上升或下降趋势,用 t 检验检验方程是否具有显著性。

3.2. Mann-Kendall 突变检验法

Mann-Kendall 检验法是一种非参数检验方法,能够客观地表样本序列的整体变化趋势[11]。

对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造秩序列:

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

S_k 是第 i 时刻气温数值大于第 j 时刻数值的累计数。在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

给定显著性水平 α ,根据正态分布表显示,若 $UF_k > U_\alpha$,则表明该序列存在明显的趋势变化特征。若 $UF_k < -U_\alpha$,则表明该序列的趋势变化特征并不明显。按时间序列 x 逆序,再重复上述过程,同时满足 $UB_k = -UF_k$, $UB_1 = 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$)。

3.3. 相关分析

相关分析是一种研究现象间是否存在某种依存关系,并对具有依存关系的现象的相关方向及相关程度进行研究的理论和方法[12]。本文主要利用 Pearson 相关分析方法,对近 24a 来全球气温与主要大气环

流进行相关分析。将 r 作为相关系数，用来表示最终的相关结果。计算公式如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

r 作为相关系数，其范围介于-1~1 间。当全球气温与此大气环流的相关系数 $r > 0$ 时，表明这二者呈正相关关系，在 0~1 范围内的 r 越大，代表研究区气温与主要大气环流的正相关关系越显著；当全球气温与此大气环流的相关系数 $r < 0$ 时，表明这二者呈负相关关系，在-1~0 范围内的 r 越小，代表研究区气温与主要大气环流的负相关关系越显著；当 $r = 0$ 时，表明这全球气温与此大气环流呈无相关性的相互独立的关系。

4. 结果分析

4.1. 2000~2023 年全球气温变化特征

4.1.1. 2000~2023 年全球近地表气温变化特征

采用 NCEP/NCAR 再分析数据分析全球近地表年平均气温的变化特征(图 1)。结果表明 2000~2023 年全球近地表年平均气温为 7.589℃，呈显著升温趋势($P < 0.05$)，变化速率为 0.318℃/10a，2016 年气温最高，为 8.140℃，2000 年气温最低，为 6.997℃。R² 为 0.705，MK 分析结果表明，全球近地表年均温近 24a 来未发生突变，表明总体升温趋势较为平缓。

4.1.2. 2000~2023 年全球 500 hPa 气温变化特征

采用 NCEP/NCAR 再分析数据分析全球 500 hPa 年平均气温的变化特征(图 1)。结果表明 2000~2023 年全球 500 hPa 年平均气温为-20.302℃，呈显著升温趋势($P < 0.05$)，变化速率为 0.265℃/10a，2016 年气温最高，为-19.878℃，2000 年气温最低，为-20.834℃。R² 为 0.634，MK 分析结果表明，全球 500 hPa 年均温近 24a 来未发生突变，表明总体升温趋势较为平缓。

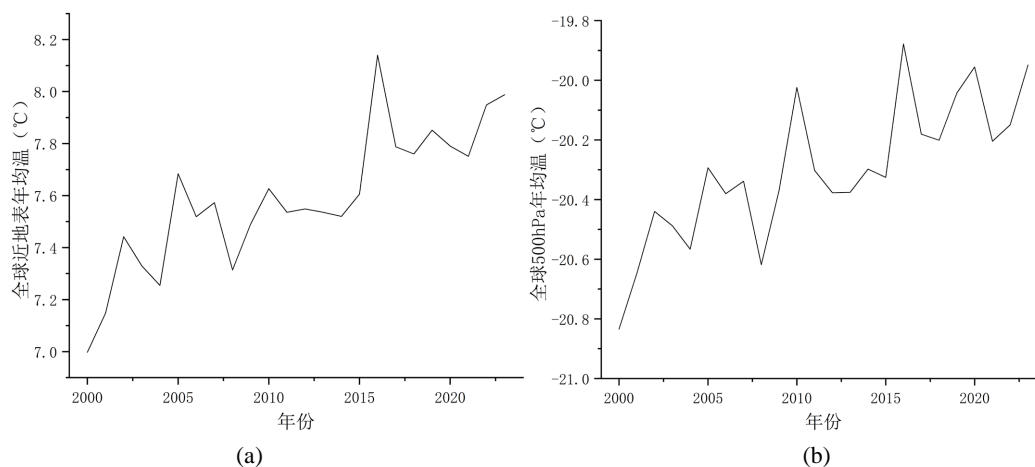


Figure 1. Characteristics of global annual average air temperature changes from 2000 to 2023

图 1. 2000~2023 年全球年平均气温变化特征

4.2. 2013~2023 年全球气温变化特征

4.2.1. 2013~2023 年全球近地表气温变化特征

采用 NCEP/NCAR 再分析数据分析全球近地表年平均气温的变化特征。结果表明 2013~2023 年全球

近地表年平均气温为 7.799℃，呈显著升温趋势($P < 0.05$)，变化速率为 0.343℃/10a，2016 年气温最高，为 8.140℃，2021 年气温最低，为 7.751℃。 R^2 为 0.343，MK 分析结果表明，全球近地表年均温近 10a 来未发生突变，表明总体升温趋势较为平缓。相比于 2000~2023 年，近十年北极近地表平均气温高出 0.210℃，变化速率超出 0.025℃/10a，证明全球变暖趋势仍不断增强。

4.2.2. 2013~2023 年全球 500 hPa 气温变化特征

采用 NCEP/NCAR 再分析数据分析全球 500 hPa 年平均气温的变化特征。结果表明 2013~2023 年全球 500 hPa 年平均气温为 -20.142℃，呈显著升温趋势($P < 0.05$)，变化速率为 0.280℃/10a，2016 年气温最高，为 -19.878℃，2013 年气温最低，为 -20.375℃。 R^2 为 0.315，MK 分析结果表明，全球 500 hPa 年均温近 10a 来未发生突变，表明总体升温趋势较为平缓。相比于 2000~2023 年，近十年北极 500 hPa 平均气温高出 0.160℃，变化速率超出 0.015℃/10a，证明全球 500 hPa 气温上升趋势仍不断加强，但相比于近地表，全球 500 hPa 升温趋势相对较缓。

4.3. 2000~2023 年全球气温变化与大气环流的相关性

4.3.1. 全球近地表气温变化与大气环流的相关性

计算 2000~2023 年全球近地表年均温与 20 项主要大气环流指数相关系数，统计结果如表 1 所示。全球近地表年均温与编号为 1~6 的大气环流指数呈极显著正相关关系，与编号为 8 与 18 的大气环流指数呈显著正相关关系，相关系数介于 0.442~0.884 间；全球近地表年均温与编号为 12、13 与 15 的大气环流指数呈极显著负相关关系，与编号为 11 与 14 的大气环流指数呈显著负相关关系，相关系数介于 -0.704~-0.457 间。

Table 1. The correlation between the global annual surface air temperature and atmospheric circulation index
表 1. 全球近地表年平均气温与大气环流指数的相关关系

	环流指数	相关系数		环流指数	相关系数
1	北半球副高面积指数	0.884**	11	亚洲区极涡面积指数	-0.460*
2	西太平洋副高面积指数	0.816**	12	北半球极涡面积指数	-0.674**
3	北太平洋副高面积指数	0.868**	13	亚洲区极涡强度指数	-0.704**
4	北半球副高强度指数	0.881**	14	太平洋区极涡强度指数	-0.457*
5	西太平洋副高强度指数	0.820**	15	北半球极涡强度指数	-0.699**
6	太平洋副高强度指数	0.845**	16	北半球极涡中心强度指数	0.223
7	北半球副高北界位置指数	0.367	17	欧亚纬向环流指数	-0.129
8	西太平洋副高北界位置指数	0.442*	18	欧亚经向环流指数	0.451*
9	北太平洋副高北界位置指数	0.417	19	亚洲纬向环流指数	-0.180
10	西太平洋副高西伸脊点指数	-0.326	20	亚洲经向环流指数	0.340

注：*、**表示在 0.05、0.01 概率水平下检验。

4.3.2. 全球 500 hPa 气温变化与大气环流的相关性

计算 2000~2023 年全球 500 hPa 年均温与 20 项主要大气环流指数相关系数，统计结果如表 2 所示。全球 500 hPa 年均温与编号为 1~6 的大气环流指数呈极显著正相关关系，与编号为 8、9 与 18 的大气环流指数呈显著正相关关系，相关系数介于 0.438~0.921 间；全球 500 hPa 年均温与编号为 12、13 与 15 的大气环流指数呈极显著负相关关系，与编号为 11 的大气环流指数呈显著负相关关系，相关系数介于

-0.667~-0.459 间。

Table 2. The correlation between the global annual air temperature at 500 hPa and atmospheric circulation index
表 2. 全球 500 hPa 年平均气温与大气环流指数的相关关系

	环流指数	相关系数		环流指数	相关系数
1	北半球副高面积指数	0.884**	11	亚洲区极涡面积指数	-0.460*
2	西太平洋副高面积指数	0.816**	12	北半球极涡面积指数	-0.674**
3	北太平洋副高面积指数	0.868**	13	亚洲区极涡强度指数	-0.704**
4	北半球副高强度指数	0.881**	14	太平洋区极涡强度指数	-0.457*
5	西太平洋副高强度指数	0.820**	15	北半球极涡强度指数	-0.699**
6	太平洋副高强度指数	0.845**	16	北半球极涡中心强度指数	0.223
7	北半球副高北界位置指数	0.367	17	欧亚纬向环流指数	-0.129
8	西太平洋副高北界位置指数	0.442*	18	欧亚经向环流指数	0.451*
9	北太平洋副高北界位置指数	0.417	19	亚洲纬向环流指数	-0.180
10	西太平洋副高西伸脊点指数	-0.326	20	亚洲经向环流指数	0.340

注：*、**表示在 0.05、0.01 概率水平下检验。

5. 结论

1) 2000~2023 年全球近地表年平均气温为 7.589℃, 介于 6.997℃~8.140℃间, 变化速率为 0.318℃/10a。MK 分析结果表明, 全球近地表年均温近 24a 来未发生突变。近 10a 全球近地表气温比 2000~2023 年全球近地表平均气温高出 0.210℃, 变化速率超出 0.025℃/10a, 证明近年来全球变暖趋势不断加强。

2) 2000~2023 年全球 500 hPa 年平均气温为-20.302℃, 介于-20.834℃~-19.878℃间, 变化速率为 0.265℃/10a。MK 分析结果表明, 全球 500 hPa 年均温近 24a 来未发生突变。近 10a 全球 500 hPa 气温比 2000~2023 年全球 500 hPa 平均气温高出 0.160℃, 变化速率超出 0.015℃/10a, 证明近年来全球 500 hPa 变暖程度逐渐加剧, 但相比于近地表, 升温幅度相对较小。

3) 近 24 年来, 全球近地表与 500 hPa 最高气温均出现在 2016 年, 最低气温均出现在 2000 年。年平均气温相差较大, 为 27.891℃; 升温速率相差 0.053℃/a, 近地表气温的升温速率是 500 hPa 的 1.2 倍。MK 分析结果表明, 近 24a 来全球近地表与 500 hPa 年均温均未发生突变。

4) 全球近地表年均温与北半球、西太平洋和北太平洋的副高面积指数, 北半球、西太平洋和太平洋的副高强度指数, 西太平洋副高北界位置指数, 欧亚经向环流指数呈正相关关系; 与北半球和亚洲区的极涡面积指数, 亚洲区、北半球和太平洋区极涡强度指数呈负相关关系。

5) 全球 500 hPa 年均温与北半球、西太平洋和北太平洋的副高面积指数, 北半球、西太平洋和太平洋的副高强度指数, 西太平洋和北太平洋的副高北界位置指数, 欧亚经向环流指数呈正相关关系; 与北半球和亚洲区的极涡强度指数、北半球和亚洲区的极涡面积指数呈负相关关系。

参考文献

- [1] 周天军, 陈晓龙, 张文霞, 等. 气候变化与碳中和[J]. 自然杂志, 2024, 46(1): 1-11.
- [2] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553.
- [3] 龚道溢, 王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J]. 地理学报, 1999, 54(2): 125-133.
- [4] 唐国利, 罗勇, 黄建斌, 等. 全球变暖在继续[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 235.

- [5] Klimenko, V.V. (2011) Why Is Global Warming Slowing Down? *Doklady Earth Sciences*, **440**, 1419-1422. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11100023>
- [6] Wu, B., Yang, K. and Francis, J.A. (2017) A Cold Event in Asia during January-February 2012 and Its Possible Association with Arctic Sea Ice Loss. *Journal of Climate*, **30**, 7971-7990. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0115.1>
- [7] Qiao, S.B., Shen, B.Z., Wang, X.J., *et al.* (2014) Feature Analysis and Preliminary Causes Study of the Frequent Cooling Winter in Northern Eurasia since 2004. *Acta Meteorologica Sinica*, **72**, 1143-1154.
- [8] 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 全球变暖与季风[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(1): 118-120.
- [9] 单楷越, 余锡平, 宋丰飞. 全球变暖导致超强台风季节提前[J]. 科学通报, 2023, 68(36): 4885-4886.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [11] McLeod, A.I. (2005) Kendall Rank Correlation and Mann-Kendall Trend Test. *R Package Kendall*, **602**, 1-10.
- [12] 贾俊平. 统计学[M]. 北京: 清华大学出版社有限公司, 2004.