

引用格式: 冯扬, 洪国平, 秦鹏程, 等. 1961—2024 年中国南方区域性高温过程识别及特征分析 [J]. 南方能源建设, xxxx, x(): 1-12. FENG Yang, HONG Guoping, QIN Pengcheng, et al. Characterization and feature analysis of the regional heat processes in southern china from 1961 to 2024 [J]. Southern energy construction, xxxx, x(): 1-12. DOI: 10.16516/j.ceec.2024-400.

1961—2024 年中国南方区域性高温过程识别及特征分析

冯扬^{1,2,✉}, 洪国平^{1,2}, 秦鹏程^{1,2}, 王苗^{1,2}, 郭广芬^{1,2}

(1. 武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430072; 2. 长江流域气象中心, 湖北 武汉 400072)

摘要: [目的] 高温天气是影响夏季电力需求波动的重要气象因素之一。[方法] 文章基于区域性高温过程气象行业标准和综合强度评估模型, 对 1961—2024 年中国南方及华中、华东、华南和西南 4 个分区的区域性高温过程进行识别, 系统分析了研究区域高温事件发生频次、发生时间、持续时间、极端性、范围、综合强度等特征, 并初步探索了不同分区的发、用电与高温事件之间的联系。[结果] 结果表明: (1) 60 余年来, 中国南方、华中、华东、华南、西南共发生 70 次、197 次、139 次、225 次、48 次区域性高温过程, 年平均高温日数分别为 16.2 d、22.9 d、17.7 d、18.2 d、8.1 d, 高温期分别持续 26.1 d、51.3 d、37.3 d、53.1 d、16.4 d。综合考虑发生频次、高温期长度、极端高温和高温过程强度, 华南和华中是受高温影响最大的地区; (2) 60 余年来, 南方各地区高温过程年内末次结束日期显著推迟、高温期显著延长; 高温过程发生频次、持续日数和影响范围均呈显著增加趋势; 高温过程年内首次开始日期仅华中和华南地区显著提前; (3) 经 SMK 突变诊断, 末次日期的突变推迟、高温期的突变延长和累计日数的突变增加多发生于 20 世纪七八十年代, 一旦经历突变, 突变期之后相应的线性拟合年际增加趋势都会更加剧烈; (4) 区域高温影响南方地区的电力供需平衡, 区域高温出现时, 依赖外部供电的地区将产生更大的缺口, 而有电力盈余的地区则会出现内需增加的现象。[结论] 总体上, 中国南方高温灾害呈加剧的趋势, 主要表现为高温期延长、频次增加、影响范围扩大、综合强度加重等特点, 给电网调度和发供电带来更大挑战; 四大分区整体严重程度从大到小依次为: 华中、华东、华南、西南。

关键词: 区域性高温过程; 中国南方; 识别; 特征分析; 社会用电量

DOI: 10.16516/j.ceec.2024-400

文章编号: 2095-8676(2025)

CSTR: 32391.14.j.ceec.2024-400

中图分类号: P467



论文二维码

Characterization and feature analysis of the regional heat processes in Southern China from 1961 to 2024

FENG Yang^{1,2,✉}, HONG Guoping^{1,2}, QIN Pengcheng^{1,2}, WANG Miao^{1,2}, GUO Guangfen^{1,2}

(1. Wuhan Regional Climate Center, Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430072, Hubei, China;

2. Yangtze River Basin Meteorology Center, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: [Objective] High temperature weather is one of the most important meteorological factors that closely bound with the electricity supplies and loads. [Method] Applying the regional heat process (RHP) characterization standard and the comprehensive intensity assessment model, the RHPs were identified and characterized in Southern China and its four units, i.e., Central unit (CU), Eastern unit (EU), Southern unit (SU) and Western unit (WU). The heat period length, frequency and duration, average temperature and maximum temperature, extent and comprehensive intensity were objectively analyzed and compared. [Result] It is found that: (1) In recent six decades, Southern China and its four units (i.e., CU, EU, SU, WU) have taken place a total of 70, 197, 139, 225, and 48 times

收稿日期: 2024-11-26 修回日期: 2025-01-05

基金项目: 中国气象局创新发展专项“气候变化情景下长江流域复合型极端事件变化及其对水资源和水电供需影响研究”(CXFZ2023J051)

of RHPs respectively; the yearly average of heat days are 16.2, 22.9, 17.7, 18.2, and 8.1 days; the heat period last 26.1, 51.3, 37.3, 53.1 and 16.4 days on annual average. Based on frequency, duration, heat period length, extreme temperature, and comprehensive intensity, CU and SU tend to be more easily influenced by RHPs than other two units. (2) The trend analysis suggests that most parts of Southern China share a significant delaying feature of the ending and a significant lengthening of the heat period; meanwhile, the frequency, cumulative duration and maximum extent also show an increasing trend; Only CU and SU show a significant earlier beginning of RHPs. (3) Following the Sequential Mann-Kendall tests, an abrupt speeding is often detected in 1970s and 1980s for the delaying of the ending, the prolonging of the heat period and the increasing of the cumulative duration. Once the abrupt change happened, the corresponding linear trend after the change point will get more violent. (4) RHPs influence the electricity supply and demand balance, when RHPs happen, units depending on outside electricity supplies would have bigger demands while units capable of transferring electricity outside would face an augmentation in its electrical consumption. [Conclusion] Overall, the heat wave disaster in Southern China tends to be heavier in a way of prolonging heat period, uprisng frequency, amplifying extent, and aggravating comprehensive intensity, which bring stronger challenges to the electricity dispatch and power generation. The overall severity of four units can be listed as CU, EU, SU and WU following a decreasing order.

Key words: regional heat process (RHP); Southern China; characterization; feature analysis; social electrical consumption data

2095-8676 © 2025 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

中国南方的绝大部分省市人口稠密,城市面积大,对强降水、台风、雨雪冰冻和高温热浪等极端天气气候事件敏感^[1,2],其中高温热浪频繁发生^[3],对人体健康、粮食安全、能源供需、水资源和生态环境等影响深远,一直是科学研究的焦点^[4-6]。受夏季季风气候影响,南方地区很容易发生高温热浪,导致用电需求快速上升,电力负荷急剧增长^[7-9]。2021年全国多地发生拉闸限电,其中广东省2021年夏季省内普遍高温,工业生产和高温天气带来用电需求旺盛,叠加部分区域水电供应不及预期等因素,导致电力供应紧张^[10]。若高温天气与干旱灾害叠加,对水电依赖的省份影响将更加显著。如2022年夏季全国大部分地区也出现破纪录的持续高温天气,用电需求激增^[11-12],水力发电大省四川2022年7—8月发电来水偏枯,而高温导致8月最高用电负荷同比增长25%^[13],直接引起电网保供失衡,尽管国家电网协调电网输送、企业主动错峰让电与民,仍然无法有效弥补缺口,导致四川首次出现大规模“有序用电”现象^[14]。

全球气候变化背景下,高温过程发生频次呈上升趋势^[15-16]。许多研究表明,中国的高温发生率也在增加,如第四次气候变化国家评估报告指出,1960—2019年中国区域平均气温上升速率为 $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,该趋势高于同期全球平均水平,全国年平均日最高

气温(T_{max})增温率为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而日最低气温(T_{min})增温率达 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其增暖趋势更明显;近几十年中国区域极端气温时空演变的研究结果表明,极端热记录普遍呈增多趋势^[17];中国区域平均的极端高温(TXx)记录的升高趋势达 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,极端暖夜($TN90p$)及暖日($TX90p$)显著增多,增加率分别为 $2.80\%/10\text{ a}$ 和 $1.68\%/10\text{ a}$ ^[18]。我国夏季高温热浪频发,大范围的高温事件常常发生^[16]。相比于单站高温过程,“大范围”、“持续性”、“高强度”的区域性高温过程更能反映高温的空间特征和致灾范围、程度。而目前,中国研究区域性高温过程时常立足于全国^[19-20],或者某省市、某流域等^[21-23],专门面向中国南方及其各分区的区域性高温过程和发、用电量研究存在不足。其次,区域性高温的年际变化趋势和年代际突变也是研究重点之一。林爱兰等^[22]指出区域性高温存在地区差异,华北、长江和华南地区的区域性高温指数呈线性增长趋势,而黄淮地区则趋势不显著。王荣等^[20]则进一步指出我国区域性高温的强度有先减弱、再增强的特点,尤其是20世纪80年代末以后显著增强,并在2002年突变增强。本文从电力行业出发,结合区域性高温识别方法与评估模型,分别以中国南方、四大分区(华中、华东、华南、西南)为研究对象,利用气象资料对其1961—2024年的历史区域性高温过程进行了统计和趋势分析,有助于提高对中国南方地区高影响气候事件的认识,

同时为电力行业夏季供电和调度提供气候背景信息。

1 数据和方法

1.1 数据

高温监测基于中国南方地区河南省、湖北省、湖南省、江西省、江苏省、安徽省、上海市、浙江省、福建省、广东省、广西壮族自治区、云南省、贵州省、四川省、重庆市等 15 个省(市、自治区)1290 个国家级地面气象观测站(简称: 国家站)1961—2024 年逐日气象观测数据, 气象要素主要针对日最高气温、日平均气温。资料由湖北省气象信息与技术保障中心从国家气象科学数据中心(<https://data.cma.cn>)下载整编, 并对资料进行了气候界限值和允许值检查、极值检查、内部一致性检查、时间和空间一致性检查等严格的质量控制^[24]。由于各台站观测资料存在不同程度的缺测, 我们统计了每个站点的日最高气温缺测率, 若该台站缺测日数达到或超过 1961—2023 年总日数的 30%, 则将该台站资料剔除。由此最终确定了 1229 个国家站进行高温分析, 其中华中地区(包括河南省、湖北省、湖南省、江西省)、华东地区(包括江苏省、安徽省、上海市、浙江省、福建省)、华南地区(包括广东省、广西壮族自治区)、西南地区(包括云南省、贵州省、四川省、重庆市)分别涵盖 372、289、174 和 394 个国家站。台站分布如图 1 所示。分析时段侧重于暖半年(5—10 月)。

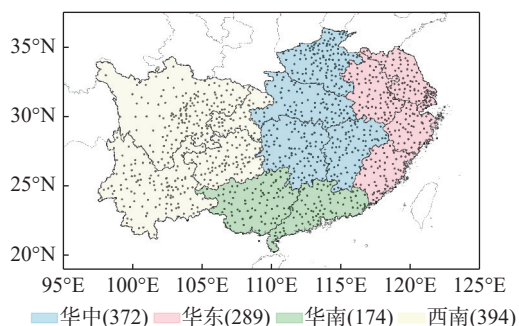


图 1 中国南方十五省市气象台站分布(颜色代表分区)

Fig. 1 Meteorological stations over the 15 provinces of Southern China (different colors represent different sub-regions)

各省份 2008—2020 年月度发电量和全社会用电量数据来自国家能源局(<https://www.nea.gov.cn/>)、国家统计局(<https://data.stats.gov.cn/>)和各省市发展与改革委员会官方网页。

1.2 区域性高温过程客观识别和综合强度评估方法

1.2.1 区域性高温过程定义与识别方法

根据气象行业标准《极端高温监测指标》(QX/T 280—2015)^[25]和《气候指数高温》(QX/T 595—2021)^[26]对高温的定义, 我国一般把日最高气温达到或超过 35 °C 时称为高温日。气象行业标准《区域性高温天气过程等级划分》(QX/T 228—2014)将日最高气温达到或超过 35 °C 的天气称为高温天气, 同时还规定出现连续两天或以上的高温天气称为高温天气过程^[27]。一些地方标准, 如重庆市地方标准《区域性气象灾害过程评估规范 第 1 部分: 高温》(DB50/T 1125.1—2021)等, 也规定出现连续两天或以上高温天气的过程为高温天气过程^[28]。相关研究证明, 无论是基于正态分布的传统阈值计算法, 还是基于实际样本频数分布的阈值计算方法, 35 °C 作为夏季高温阈值都是合理的^[22, 29]。

本文根据气象行业标准《区域性高温天气过程等级划分》(QX/T 228—2014), 区域高温日定义为设定区域内某天有 20% 或以上的站次比范围出现高温(≥ 35 °C)天气; 区域性高温天气过程的判识条件为: 根据国家气象观测站资料, 从满足一个区域高温日开始, 到不满足区域高温日标准的前一天结束, 且须持续两天或以上, 期间至少一天高温天气站次比范围达到设定区域的 50% 或以上的, 可判定该设定区域出现区域性高温天气过程^[27]。对各分区最近 3 个连续整年代(1991—2020 年)气候态暖半年每天的高温影响范围进行了概率密度分布函数统计, 得出: 华东、华中、华南大部为亚热带季风气候, 适合按照气象行业标准识别区域高温过程, 而西南地区气候复杂, 同时分布高原高山气候与亚热带季风气候, 影响西南地区 50% 以上站点的高温过程并不多见, 因此将识别条件的峰值影响阈值 50% 下调至 35%, 以更好地分析气候变化背景下西南地区的区域性高温演变特征。

如图 2 所示, 根据 2022 年 5—10 月对华东地区的高温站次监测结果, 可以识别出该地区 2022 年共发生 4 次区域性高温过程(分别是 2022 年 6 月 22—29 日、7 月 3—17 日、7 月 19 日—8 月 27 日和 9 月 30 日—10 月 4 日)。

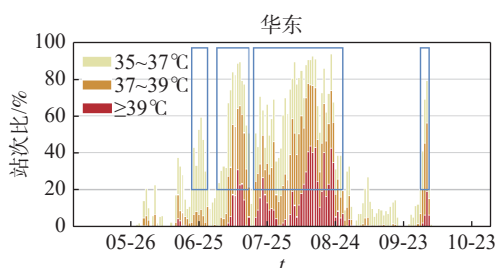


图2 2022年5—10月华东地区高温站数占区域总站数的比例逐日演变(蓝色框代表区域性高温过程时段)

Fig. 2 Daily proportion of high-temperature stations to the total number of the East China during May to October 2022 (blue rectangles represent the high-temperature process periods)

1.2.2 区域性高温过程评估指标

除了起止日期、持续时间、发生频次外,参考国家气候中心现行业务使用的区域性高温过程强度评估模型,可对南方地区不同空间等级的区域性高温过程综合强度进行量化^[20]。

1) 高温过程的平均影响范围

平均影响范围是评估区域某次高温过程的日平均影响面积比。根据过程起止日期,统计过程内每天最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 站点数,则范围指数可以表征为:

$$A_a = \frac{\sum_{t=1}^T x_t}{T \times N}$$

式中:

T ——区域性高温过程持续天数(天);

x_t ——该过程第 t 日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的区域性组群站点数(个);

N ——评估区域站点总数(个)。

2) 高温过程的平均强度

平均强度定义为某次区域性高温过程中,构成该过程的高温站的日最高气温的平均值,计算式为:

$$I_a = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^{M_t} s_{m,t}}{\sum_{t=1}^T M_t}$$

式中:

M_t ——该过程第 t 日高温站数(个);

$s_{m,t}$ ——该过程第 t 日高温站第 m 站的日最高气温($^\circ\text{C}$)。

3) 高温过程的综合强度

由区域性高温过程综合强度评估模型^[20],根据一次区域性高温过程的过程时长、平均影响范围和

平均强度计算综合强度 Z ,计算式为:

$$Z = I_a \times A_a^{0.5} \times T^{0.5}$$

式中:

I_a ——该过程的平均强度;

A_a ——该过程的平均影响范围。

1.2.3 线性拟合和突变诊断

由最小二乘法得到各个指标与年份之间的线性拟合模型后,通过 F 检验计算相应自由度和 F 分布下的 p 值^[30]。若 p 值小于显著性水平0.1,则认为回归方程的线性关系显著,即相应指标具有明显的趋势变化;反之,则认为回归方程线性关系不显著。

同时,利用非参数统计检验方法——序列式曼-肯德尔法(Sequential Mann-Kendall test, SMK检验)——检验各个指标的气候突变性^[31]。SMK检验衍生于传统的单调趋势显著性曼-肯德尔检验法(MK检验)^[32,33]。具体定义和计算方法详见魏凤英等^[34]和 Zarenistanak et al.^[35]。

若某指标的气候突变确实存在,则再次运用线性回归和 F 检验对突变年前(后)的演变趋势进行拟合与显著性判断。对存在的多个可能性突变点,首先观察期前(后)趋势没有超过90%置信度的临界值(1.96),并对突变年前(后)的演变趋势进行线性回归与 F 检验,通过显著性判断才视为突变点。

2 数据特征分析

2.1 高温日空间分布特征

图3统计了1961—2024年中国南方各台站年均高温日的空间分布情况。南方地区高温日大致呈东多西少的分布特点,高温中心位于两湖流域,次中心位于重庆市,全区年均高温日数为16.2 d。四大分

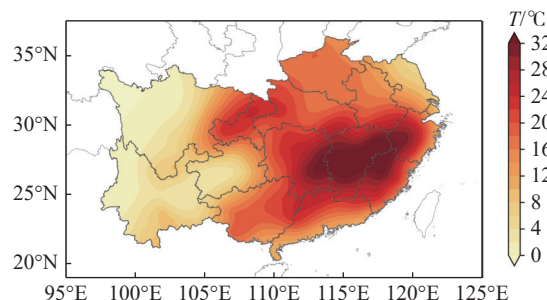


图3 1961—2024年中国南方各台站年均高温日空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of yearly-averaged high-temperature days in stations in Southern China from 1961 to 2024

区年均高温日数由高到低分别为: 华中(22.9 d), 华南(18.2 d), 华东(17.7 d), 西南(8.1 d)。

1961—2024 年, 南方共发生区域性高温事件 70 次, 除了四川省中部和西部、贵州省中部、云南省大部及沿海地区外, 其他大部地区台站在南方级别的区域性高温过程中都会受到影响。华中地区 1961—2024 年共发生区域性高温事件 197 次, 最容易受到影响的主要是湖北省南部、湖南省和江西省。华东地区共发生区域性高温事件 139 次, 最容易受到影响的主要是安徽省南部、浙江省西部和福建省西北部的近陆地区。华南地区共发生区域性高温事件 225 次, 空间分布北高南低, 远海台站更易受到区域性高温过程影响。西南地区共发生 48 次区域性高温事件, 主要影响四川省东部和重庆市。

2.2 区域性高温过程发生时间特征

区域性高温过程在年内的首次出现时间和末次结束时间对启动和结束区域性防暑降温、指导电网供电调度等工作具有重要的指示意义^[20]。

南方整体及四大分区的首次开始日期、末次结束日期和高温期长度统计结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 1961—2024 年中国南方区域性高温过程首次开始日期和末次结束日期的平均态与最早最晚值

Tab. 1 Mean state and earliest/latest values of the first starting date and the last ending date of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024

区域 级别	首次开始日期			末次结束日期		
	平均	最早	最晚	平均	最早	最晚
南方	7/15	2013/6/16	2005/8/9	8/9	2001/7/12	2024/9/10
华中	7/3	2002/5/31	2020/7/31	8/22	1982/7/16	2021/10/5
华东	7/8	2018/5/15	1999/9/8	8/14	1972/7/9	2022/10/4
华南	7/3	2019/5/17	1993/8/25	8/24	2002/7/16	2021/10/2
西南	7/28	2022/7/5	1995/9/4	8/12	1978/7/12	1995/9/7

南方整体区域性高温过程在年内的首次开始时间平均为 7 月 15 日, 首次出现时间的年际变化大, 最早出现日期为 6 月 16 日(2013 年, 较平均值偏早 29 d), 最晚出现日期为 8 月 9 日(2005 年, 较平均值偏晚 25 d), 最早和最晚相差 54 d。末次区域性高温过程结束的平均日期为 8 月 9 日。末次过程结束时间的年际变率也很明显, 最晚结束日期为 9 月 10 日(2024 年, 较平均值偏晚 33 d), 最早结束日期为 7 月 12 日(2001 年, 较平均值偏早 28 d), 最早和最晚

表 2 1961—2024 年中国南方区域性高温过程高温期长度的气候平均态与最早、最晚值

Tab. 2 Climate mean state and earliest/latest values of high-temperature period length of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024

区域 级别	高温期长度/d		
	平均	最短	最长
南方	26.1	4(1972/7/18—7/21)	75(2013/6/16—8/29)
华中	51.3	6(1996/7/21—26)	125(2019/6/2—10/4)
华东	37.3	5(1972/7/5—7/9, 1999/9/8—9/12)	105(2022/6/22—10/4)
华南	53.1	2(1964/8/7—8/8)	121(2019/5/17—9/14)
西南	16.4	2(1990/8/21—8/22, 2020/8/9—8/10, 2023/7/22—7/23)	55(2022/7/5—8/28)

相差 61 d。将一年中区域性高温过程首次开始至末次结束的时段作为高温期, 则南方高温期的平均长度为 26.1 d; 其中, 1972 年最短, 仅 2 d; 而 2013 年最长, 达 75 d, 最短年与最长年相差 73 d。

四大分区相比, 平均开始日期最早的是华南和华中地区(7 月 3 日), 最晚的是西南地区(7 月 28 日); 平均结束日期最早的是西南地区(8 月 12 日), 最晚的是华南地区(8 月 24 日); 相应的, 平均高温期最长的是华南地区(高达 53.1 d), 最短的是西南地区(16.4 d)。

同时, 以旬为单元, 统计了 1961—2024 年历次高温过程在各旬的累计发生频次。只有一次区域性高温过程与某旬有重叠, 则当旬累计一次过程数。由图 4 可以看出, 1961—2024 年南方整体的区域性高温过程多发于 7 月中旬—8 月上旬, 华中地区和华东地区也是如此, 华南地区的区域性高温过程则多发于 7 月中旬—8 月下旬, 呈现了明显的单峰分布。四大分区中, 跨越季节最长的是华南地区, 其次是华中地区和华东地区, 西南地区跨越季节最短。

3 趋势变化特征

3.1 首次开始和末次结束时间

1961—2024 年, 南方的区域性高温过程表现出明显的年代际变化特征(图 5)。从变化趋势来看, 区域性高温过程每年的首次出现日期呈提前趋势, 南方整体、华东和西南地区的平均提前速率为 0.8 d/10 a、1.8 d/10 a 和 1.5 d/10 a, 没有通过 0.1 显著性检

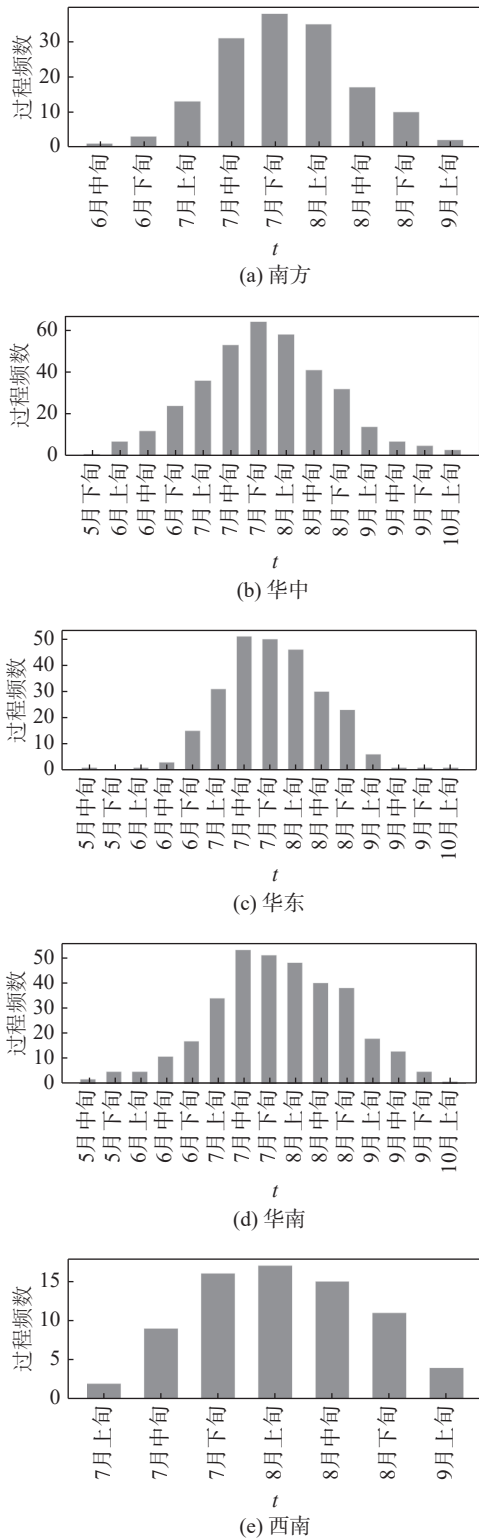


图4 中国南方不同地区5—10月各旬区域性高温过程的发生频次

Fig. 4 Frequency of high-temperature processes in every 10 days from May to October in different regions of Southern China

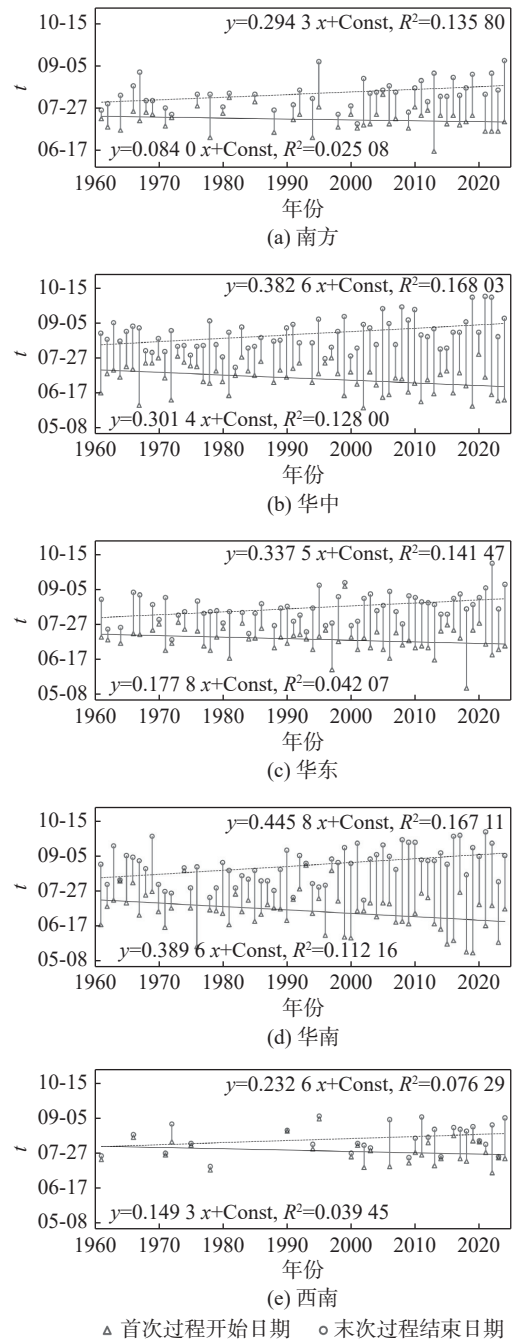


图5 1961—2024年中国南方不同区域性高温过程首次出现日期和末次结束日期的变化(左下角和右上角分别对应首次开始日期、末次结束日期的线性拟合结果)

Fig. 5 Variations of the first starting date and the last ending date of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024 (their corresponding linear regression results are shown respectively in the lower left and the upper right)

验。而华中地区和华南地区的平均提前速率分别为3 d/10 a、3.9 d/10 a, 通过显著性检验(表3)。

同时, 除西南地区外, 南方区域性高温过程每年

表 3 1961—2024 年中国南方不同区域性高温过程首次开始、末次结束时间和高温期长度的变化速率

Tab. 3 Changing rate of the first starting date, the last ending date and the high-temperature period length of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024
单位: d/10 a

区域 级别	首次日期 提前速率(<i>p</i> 值)	末次日期 推迟速率(<i>p</i> 值)	高温期 延长速率(<i>p</i> 值)
南方	0.8(0.3)	2.5(0.02)	3.3(0.01)
华中	3.0(0.004)	3.8(0.001)	6.8(0.000)
华东	1.8(0.12)	3.4(0.004)	5.1(0.001)
华南	3.9(0.01)	4.5(0.001)	8.4(0.000)
西南	1.5(0.3)	2.3(0.15)	3.8(0.03)

注: 表括号内为相应回归模型F检验后的*p*值, 小于0.1为显著变化, 由黑粗体显示。

的末次结束时间总体显著推迟。随着区域性高温过程首次出现时间不断提前, 而末次结束时间逐年推后, 1961—2024 年南方高温期显著变长, 南方整体、华中、华东、华南和西南地区的高温期平均每 10 a 增加 3.3 d、6.8 d、5.1 d、8.4 d 和 3.8 d, 均超过了 0.1 显著性水平(表 3)。

SMK 检验显示, 中国南方的区域性高温过程每年的首次开始时间没有发生突变, 与王荣等^[20]研究中国区域性高温过程的结果一致。而中国南方、华中地区、华东地区、华南地区每年的末次结束日期(高温期长度)在 19 世纪 80 年代气候出现了突变推迟(突变延长), 突变年后推迟速率显著加快(高温期加速延长), 西南地区则在进入 21 世纪后高温过程突变性增多和延长。

3.2 累计日数和发生频次

如图 6 和表 4 所示, 1961—2024 年, 南方的区域性高温过程的年累计日数和出现频次都出现了明显的变化趋势, 中国南方、华中、华东、华南和西南地区的高温过程(频次)平均每 10 a 增加 2.5 d (0.2 次)、4.0 d(0.3 次)、2.8 d(0.3 次)、2.3 d(0.2 次), 均超过了 0.1 显著性水平。华南地区的增加趋势最大。年过程平均日数(即每年的累计日数除以频次)的变化均不明显。

经进一步诊断研究西南地区所辖省市的区域性高温事件发现, 以省级为单元可以识别到更多的区域性高温过程(图 7)。1961—2024 年, 重庆、四川、贵州和云南分别出现 336 次、61 次、10 次、0 次省级

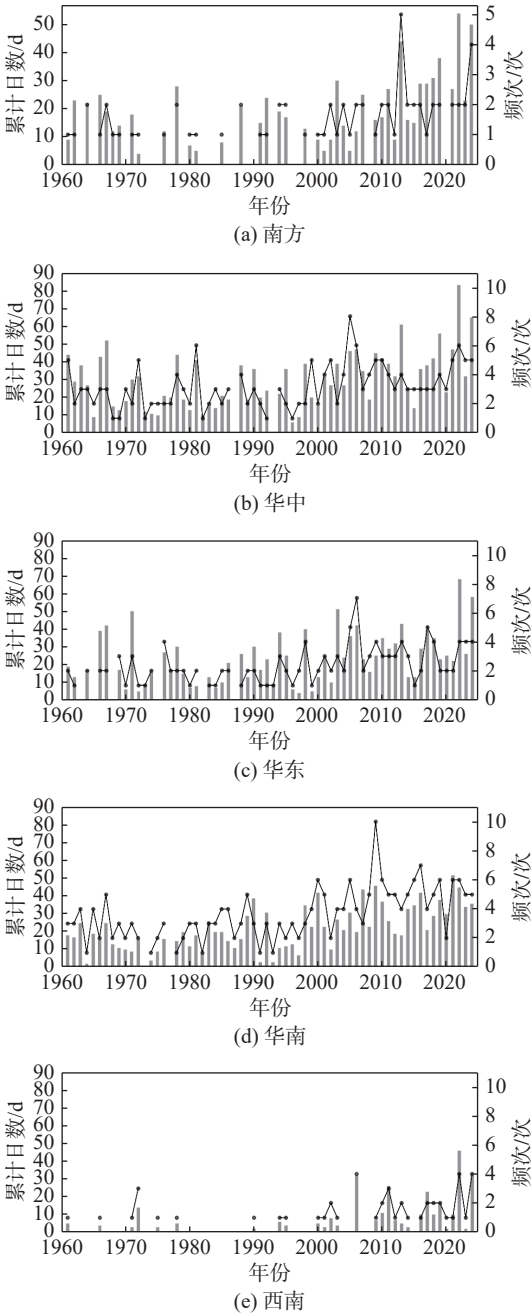


图 6 1961—2024 年中国南方不同区域性高温过程的累计日数和频次的变化
Fig. 6 Variations of total days and frequency of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024

区域性高温过程。由此可见, 西南地区的高温主要贡献在于川渝两省, 而大面积影响西南地区的高温在历史上相对其他分区较少。

经 SMK 检验, 中国南方、华中、华东和华南地区的累计日数增加趋势均出现了突变。其中, 中国南方于 70 年代发生突变, 华中和华东地区的高温过

表 4 1961—2024 年中国南方不同区域性高温过程累计日数和频次的变化速率 (单位: d/10 a, 次/10 a)

Tab. 4 Changing rate of total days and frequency of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024 (units: days/10a, number/10a)

区域	累计日数(<i>p</i> 值)/[d·(10 a) ⁻¹]	频次(<i>p</i> 值)
南方	2.6(0.003)	0.2(0.002)
华中	3.4(0.001)	0.3(0.000)
华东	2.8(0.006)	0.3(0.000)
华南	4.0(0.000)	0.6(0.000)
西南	2.3(0.04)	0.2(0.1)

注: 通过*p*=0.1的F检验后显著变化, 由黑粗体显示。

表 5 1961—2024 年中国南方区域性高温过程各项指标的变化速率

Tab. 5 Changing rate of various indicators of high-temperature processes in Southern China from 1961 to 2024

区域 级别	平均 温度/ [°C·10 a) ⁻¹]	平均最高 温度/ [°C·10 a) ⁻¹]	极端最 高温度/ [°C·10 a) ⁻¹]	最大综 合强度/ 10 a	日平均影 响范围/ [%·10 a) ⁻¹]	日最大影 响范围/ [%·10 a) ⁻¹]
南方	0.01	0.02	0.11	2.8	0.7	1.7
华中	-0.01	0.02	0.08	2.9	-0.1	2.0
华东	0.05	0.01	0.09	4.6	1.2	3.0
华南	0.005	-0.004	0.13	5.4	1.0	2.5
西南	-0.06	0.02	0.04	5.3	0.7	1.3

注: 通过*p*=0.1的F检验后显著变化, 由黑粗体显示。

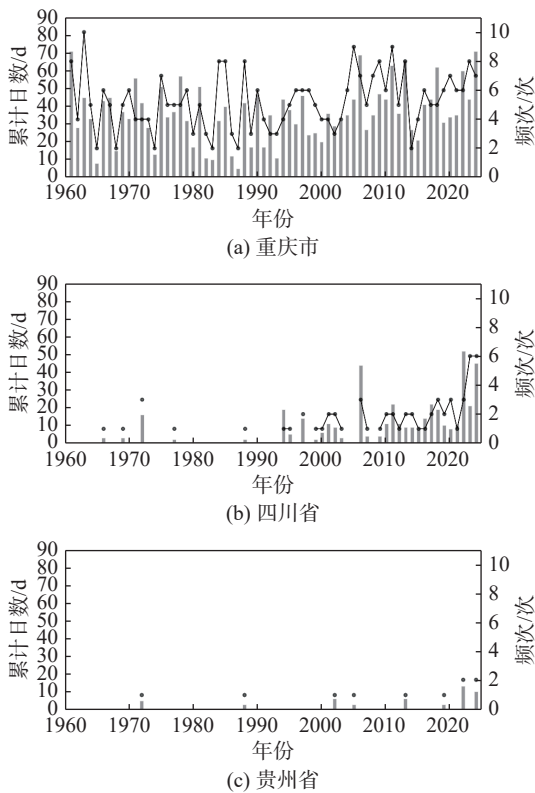


图 7 1961—2024 年重庆市、四川省、贵州省三省市区域性高温过程的累计日数和频次的变化

Fig. 7 Variations of total days and frequency of high-temperature processes in Chongqing, Sichuan and Guizhou from 1961 to 2024

程累计日数分别在 70 年代和 90 年代初期出现了 2 次“提速”。各区的高温过程频次变化趋势突变不大。

3.3 平均温度和最高温度

表 5 展示了 1961—2024 年中国南方不同区域性高温过程的平均温度、平均最高温度、极端最高温度、日平均影响范围和最大影响范围的变化、变

化速率及显著性诊断结果。平均温度和平均最高温度的变化趋势并不明显, SMK 检验后也没有发现突变年份。极端最高温度方面, 仅华南地区每 10 a 增加 0.13 °C, 通过 0.1 显著性检验, 其他地区趋势不明显。

3.4 影响范围

影响范围是中国南方的区域性高温过程各项评估内容里变化最显著的指标。尤其是日最大影响范围指标, 中国南方、华中、华东、华南和西南地区呈显著的增大趋势, 平均扩展速率分别为每 10 a 增加 1.7%、2%、3%、2.5% 和 1.3%。结果显示, 气候变暖背景下, 我国南方地区高温影响范围越来越广。

1961—2024 年, 中国南方的所有过程最大影响范围达 75%。华中、华东、华南和西南地区的过程最大影响范围分别达 97%、96%、94% 和 51%, 这也是西南地区适当调低区域性高温过程识别阈值的原因。

而经过 SMK 检验, 华东地区在 70 年代以前, 日平均影响范围呈现下降的趋势, 下降速率为 7.9%/10 a, 通过 0.1 显著性检验; 70 年代以后则突变为显著扩张趋势, 增加速率为 1.2%/10 a。华南地区则是在 80 年代由不明显的缩减趋势突变为显著扩张趋势, 增加速率为 1.7%/10 a, 并于 1991—1995 年之后再次突变性增加, 扩张速率达到 2%/10 a。

华中、华东和华南区域性高温过程的日最大影响范围出现了多个突变期, 大部分的转折点发生在 20 世纪 70—80 年代早期, 以及 20 世纪 90 年代中期。华南甚至于 2007—2010 年出现了第 3 次突变, 其后扩张速率高达 7%/10 a。

3.5 综合强度

平均综合强度方面, 各研究区域没有明显年际变化趋势。最大综合强度上, 华东和华南地区增加趋势显著, 其他地区变化不明显。而经过 SMK 突变检验, 各分区常于 20 世纪七八十年代发生突变性转折, 转折点后增速明显加强, 表现出最大综合强度越来越强、增加的越来越快的特点, 未来需要进一步研究转折细节。

4 发电、用电与区域性高温过程

为了进一步研究各地区电力平衡与区域性高温过程之间的关系, 图 8 标记了 2008—2020 年期间所有发生区域性高温过程的月份。四大分区的暖半年(5—10 月)的发电量和社会用电量均呈现年内单峰分布、年际逐年攀升的特点。在发、用电差值方面, 华东和华南是依赖外部供电的地区; 华中地区在 2015 年前发电量有部分盈余, 2015—2019 年在供需平衡附近摆动, 2019 年以后发电量无法保证本单位社会用电量需求; 西南地区一直是电力盈余大区。在发生区域性高温过程的月份, 华东、华南、华中地区常出现发、用电差值曲线低谷, 意味着电力缺口增加, 对外电力需求进一步增大, 而西南地区的用电量对应出现年内峰值, 反映本区电力内需增加。由此可见, 区域性高温过程对各地区的电力平衡有良好的指征作用。

5 结论

本文基于区域性高温识别气象行业标准和区域性高温综合强度评估模型, 识别、比较了 1961—2024 年中国南方四大分区(华中、华东、华南和西南)的高温事件, 并初步探索了其与电力之间联系, 主要结论有:

1) 中国南方共计发生区域性高温事件 70 次, 年最短累计日数 4 d, 最长达 54 d。华中地区共发生区域性高温事件 198 次, 年最短累计日数 6 d, 最长达 83 d。华东地区共计发生区域性高温事件 139 次, 年最短累计日数 4 d, 最长达 68 d。华南地区共计发生区域性高温事件 227 次, 年最短累计日数 2 d, 最长达 52 d。西南地区共计发生区域性高温事件 48 次, 年最短累计日数 2 d, 最长达 55 d, 主要影响四川东部和重庆。

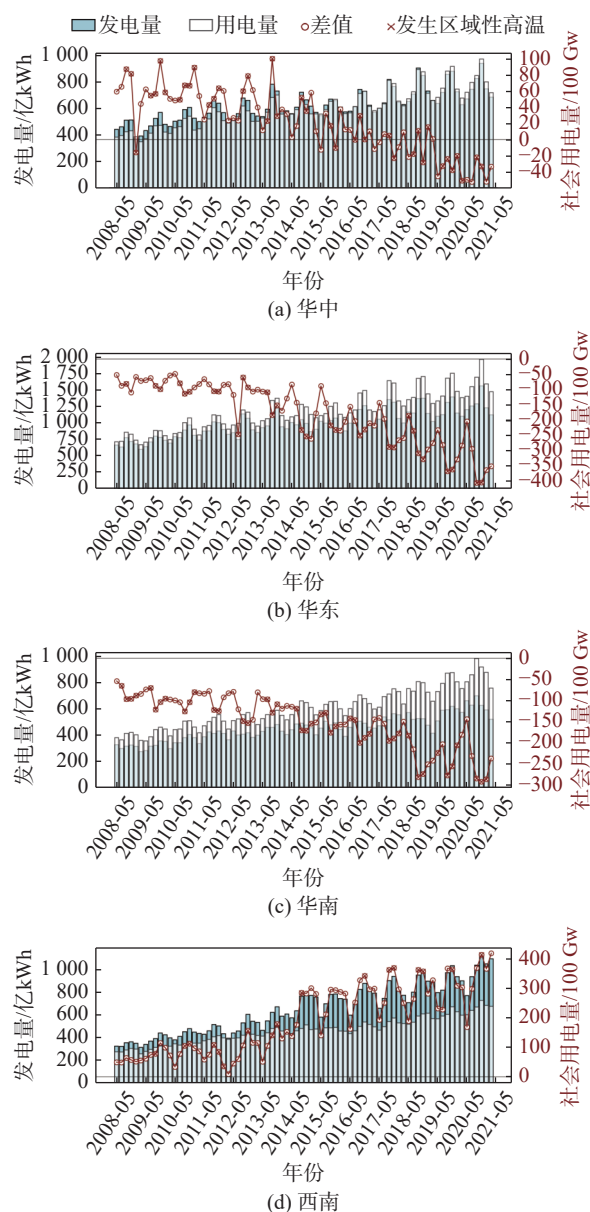


图 8 2008—2020 年暖半年(5 至 10 月)华中、华东、华南和西南地区的发电量(浅蓝色)、社会用电量(灰白色)和二者差值(红色)

Fig. 8 Electricity generation (light blue), social electrical consumption (white) and their difference (red) in Central China, East China, South China and Southwest China of Southern China during May to October from 2008 to 2020

2) 随着区域性高温过程首次出现时间不断提前, 而末次结束时间逐年推后, 1961—2024 年南方高温期显著变长, 中国南方、华中、华东、华南和西南地区的高温期平均每 10 a 增加 3.3 d、6.8 d、5.1 d、8.4 和 3.8 d, 均超过了 0.1 显著性水平。四大分区中, 华南地区的高温过程跨季节最长, 其次是华中和华东

地区,西南地区最短。中国南方的区域性高温过程多发于7月中旬—8月上旬。

3)评估区域性高温过程的各项指标中,过程平均温度、过程平均最高温度以及过程平均综合强度等指标没有显著的增加趋势,而累计频次、累计持续日数、日最大影响范围等指标均出现了显著的线性增长趋势。其中,影响范围是中国南方的区域性高温过程各项评估内容里变化最显著的指标。中国南方、华中、华东、华南和西南地区的日最大影响范围经线性拟合后,扩展速率分别为每10 a增加1.7%、2%、3%、2.5%和1.3%,证明高温灾害在南方呈现逐年加重的趋势。

4)高温灾害的首次日期、累计次数、平均温度、平均最高温度、平均综合强度等指标的年代际演变大体不明显,而末次日期、高温期长度、极端高温、最大综合强度、平均影响范围和最大影响范围等指标存在着显著的年代际突变。SMK检验结果显示,中国南方、华中、华东、华南每年的末次结束日期常在20世纪七八十年代出现突变性推迟。华中和华东的高温过程累计日数分别在70年代和90年代初期出现了2次“提速”。未来需要进一步深入研究成因。

5)高温天气影响南方的电力供需平衡,区域性高温过程出现时,依赖外部供电的单位(华东、华南)将产生更大的缺口,而有电力盈余的单位(西南)则会出现内需增加的现象。

本文研究表明:在气候变化背景下,我国南方各分区高温灾害的平均气温和最高气温的平均态变化不大,而其极端性、持续性、影响范围、综合强度存在逐渐严重的趋势。四大整体严重程度从大到小依次为:华南,华中,华东,西南。尤其是90年代初期以后,受工业化和经济发展的影响,高温灾害进一步加剧,给我国夏季用电供电带来了巨大考验。而持续的区域性高温过程演变过程成因复杂,受大气环流、海温耦合、城市化和温室效应、气溶胶等多种自然因素和人为因素影响,其背后的变化机理仍然需要深入研究^[36-40]。

本文在客观识别各地区的区域性高温过程时,统一采用了20%的站次比作为触发判定的先决条件,会导致不同地区因监测总台站数不同而产生不同的站数阈值,例如中国南方的区域性高温需超过245

站,而华中地区的区域性高温则只需要超过74站。但是这样的分级刚好保证了区域性高温过程的级别与覆盖区域大小、影响程度一致:例如当只发生华中地区的区域性高温过程而远达不到华南地区的区域性高温过程时,可以判定该次区域性高温事件等级仅为华中级别,不需要华南进行供电调度;而如果某段时期同时发生了华中地区和南方整体的区域性高温过程,则该时期可以被视作全网调度的关键时期,有助于国家能源局和各电力集团公司做出更好的决策。同时,进一步研究西南地区云贵川渝四省市的高温过程发现,重庆市是区域性高温发生频次最多、累计日数最长的省市,四川则在进入21世纪以后区域性高温发生频次明显增多,两者是西南地区电网调度的重点关注省份。

下一步,团队将继续深入开展区域性高温事件对南方各省市用电、供电影响细节研究,建立高温对用电需求和供电效益的综合影响评估模型,并利用CMIP6框架下全球气候模式(GCM)的多模式集合,探究未来气候变化情景下长江上游水库发电与中下游电力供需影响研究。

致谢

感谢专刊特约主编陈正洪老师和两名审稿老师的修改指导和建议。感谢湖北省气象信息与技术保障中心严靖高工对气象资料的整编。

参考文献:

- [1] ADGER N, AGGARWAL P, AGRAWALA S, et al. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability [R]. Geneva: WMO, 2007: 469-506.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 6 - Cities, settlements and key infrastructure [M]//Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2023: 907-1040. DOI: [10.1017/9781009325844.008](https://doi.org/10.1017/9781009325844.008).
- [3] ANIKEEVA O, HANSEN A, VARGHESE B, et al. The impact of increasing temperatures due to climate change on infectious diseases [J]. *BMJ*, 2024, 387: e079343. DOI: [10.1136/bmj-2024-079343](https://doi.org/10.1136/bmj-2024-079343).
- [4] KROEGER C. Heat is associated with short-term increases in household food insecurity in 150 countries and this is mediated by income [J]. *Nature human behaviour*, 2023, 7(10): 1777-1786. DOI: [10.1038/s41562-023-01684-9](https://doi.org/10.1038/s41562-023-01684-9).
- [5] LONG Y, YOSHIDA Y, KAJIKAWA Y. Extreme heat disproportionately exacerbates health issues by threatening fresh food supply [J]. *Nature climate change*, 2024, 14(11): 1109-1111. DOI: [10.1038/s41558-024-02172-2](https://doi.org/10.1038/s41558-024-02172-2).
- [6] FAN J L, HU J W, ZHANG X. Impacts of climate change on

- electricity demand in China: an empirical estimation based on panel data [J]. *Energy*, 2019, 170: 880-888. DOI: [10.1016/j.energy.2018.12.044](#).
- [7] 王丽娟, 任永建, 王俊超, 等. 基于气象因素的长江经济带湖北段夏季日最大电力负荷预测 [J]. *南方能源建设*, 2024, 11(1): 133-142. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.14](#).
WANG L J, REN Y J, WANG J C, et al. Prediction of summer daily maximum power load in the Hubei section of the Yangtze River economic belt based on meteorological factors [J]. *Southern energy construction*, 2024, 11(1): 133-142. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.14](#).
- [8] 许畅, 陈正洪, 刘军. 我国社会用电量对气温变化的响应及其时空差异 [J]. *南方能源建设*, 2025, 12(2): 36-47. DOI: [10.16516/j.ceec.2024-182](#).
XU C, CHEN Z H, LIU J. The response of social electricity consumption on temperature changes and its temporal and spatial variations in China [J]. *Southern energy construction*, 2025, 12(2): 36-47. DOI: [10.16516/j.ceec.2024-182](#).
- [9] VAN VLIET M T H, THORSLUND J, STOKAL M, et al. Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes [J]. *Nature reviews earth & environment*, 2023, 4(10): 687-702. DOI: [10.1038/s43017-023-00472-3](#).
- [10] 赵紫原, 姚金楠. 多重因素引发广东“拉闸限电” [N]. 中国能源报, 2021-05-31(12).
ZHAO Z Y, YAO J N. Multiples factors cause "Power rationing" in Guangdong province [N]. *China energy news*, 2021-05-31(12).
- [11] HAO Z C, CHEN Y, FENG S F, et al. The 2022 Sichuan-Chongqing spatio-temporally compound extremes: a bitter taste of novel hazards [J]. *Science bulletin*, 2023, 68(13): 1337-1339. DOI: [10.1016/j.scib.2023.05.034](#).
- [12] HUA W J, DAI A G, QIN M H, et al. How unexpected was the 2022 summertime heat extremes in the middle reaches of the Yangtze River? [J]. *Geophysical research letters*, 2023, 50(16): e2023GL104269. DOI: [10.1029/2023GL104269](#).
- [13] 四川省人民政府. 全社会节电行动后 实际电力负荷有下降 [EB/OL]. (2022-08-23) [2022-09-20]. <https://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/2022/8/23/faf4c7d666304d60b776015f5d6103f3.shtml>.
The People's Government of Sichuan Province. There was a drop in actual power load following the community-wide power saving initiative [EB/OL]. (2022-08-23) [2022-09-20]. <https://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/2022/8/23/faf4c7d666304d60b776015f5d6103f3.shtml>.
- [14] 刘喆, 王飞, 韩钦梅, 等. 2022 年长江上游流域严重干旱对三峡水电站水力发电的影响分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2024, 20(1): 37-47. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2023.157](#).
LIU Z, WANG F, HAN Q M, et al. Analysis of the impact of severe drought in the upper Yangtze River basin on the hydroelectricity production of the Three Gorges Hydropower Station in 2022 [J]. *Climate change research*, 2024, 20(1): 37-47. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2023.157](#).
- [15] WARTENBURGER R, HIRSCHI M, DONAT M G, et al. Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework [J]. *Geoscientific model development*, 2017, 10(9): 3609-3634. DOI: [10.5194/gmd-10-3609-2017](#).
- [16] SUN Y, HU T, ZHANG X B. Substantial increase in heat wave risks in China in a future warmer world [J]. *Earth's future*, 2018, 6(11): 1528-1538. DOI: [10.1029/2018EF000963](#).
- [17] 《第四次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第四次气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2022.
Committee of the 4th National Assessment Report of Climate Change. The 4th national assessment report of climate change [M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [18] 尹红, 孙颖. 基于 ETCCDI 指数 2017 年中国极端温度和降水特征分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2019, 15(4): 363-373. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2018.164](#).
YIN H, SUN Y. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices [J]. *Climate change research*, 2019, 15(4): 363-373. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2018.164](#).
- [19] 王国复, 叶殿秀, 张颖娴, 等. 2017 年我国区域性高温过程特征及异常大气环流成因分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2018, 14(4): 341-349. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2018.008](#).
WANG G F, YE D X, ZHANG Y X, et al. Characteristics and abnormal atmospheric circulation of regional high temperature process in 2017 over China [J]. *Climate change research*, 2018, 14(4): 341-349. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2018.008](#).
- [20] 王荣, 王遵娅, 高荣, 等. 1961—2020 年中国区域性高温过程的气候特征及变化趋势 [J]. *地球物理学报*, 2023, 66(2): 494-504. DOI: [10.6038/cjg2022P0756](#).
WANG R, WANG Z Y, GAO R, et al. Climatology and changing trend of the regional high temperature process in China during 1961-2020 [J]. *Chinese journal of geophysics*, 2023, 66(2): 494-504. DOI: [10.6038/cjg2022P0756](#).
- [21] CHEN R D, WEN Z P, LU R Y. Evolution of the circulation anomalies and the quasi-biweekly oscillations associated with extreme heat events in southern China [J]. *Journal of climate*, 2016, 29(19): 6909-6921. DOI: [10.1175/JCLI-D-16-0160.1](#).
- [22] 林爱兰, 谷德军, 彭冬冬, 等. 近 60 年我国东部区域性持续高温过程变化特征 [J]. *应用气象学报*, 2021, 32(3): 302-314. DOI: [10.11898/1001-7313.20210304](#).
LIN A L, GU D J, PENG D D, et al. Climatic characteristics of regional persistent heat event in the eastern China during recent 60 years [J]. *Journal of applied meteorological science*, 2021, 32(3): 302-314. DOI: [10.11898/1001-7313.20210304](#).
- [23] 彭京备, 孙淑清, 林大伟. 2022 年 8 月长江流域持续性极端高温事件成因 [J]. *应用气象学报*, 2023, 34(5): 527-539. DOI: [10.11898/1001-7313.20230502](#).
PENG J B, SUN S Q, LIN D W. The extreme hot event along the Yangtze Basins in August 2022 [J]. *Journal of applied meteorological science*, 2023, 34(5): 527-539. DOI: [10.11898/1001-7313.20230502](#).
- [24] 中国气象局. 气象观测资料质量控制地面: QX/T 118—2020 [S]. 北京: 气象出版社, 2020.
China Meteorological Administration. Quality control of meteorological observation data- surface: QX/T 118—2020 [S]. Beijing: China Meteorological Press, 2020.
- [25] 中国气象局. 极端高温监测指标: QX/T 280—2015 [S]. 北京: 中国气象出版社, 2015.
China Meteorological Administration. Monitoring indices of high

- temperature extremes: QX/T 280—2015 [S]. Beijing: China Meteorological Press, 2015.
- [26] 中国气象局. 气候指数高温: QX/T 595—2021 [S]. 北京: 气象出版社出版, 2021.
- China Meteorological Administration. Climate index- high temperature: QX/T 595—2021 [S]. Beijing: China Meteorological Press, 2021.
- [27] 中国气象局. 区域性高温天气过程等级划分: QX/T 228—2014 [S]. 北京: 中国气象出版社出版, 2014.
- China Meteorological Administration. Classification of regional high temperature weather process: QX/T 228—2014 [S]. Beijing: China Meteorological Press, 2014.
- [28] 重庆市市场监督管理局. 区域性气象灾害过程评估规范 第 1 部分: 高温: DB50/T 1125.1—2021 [S]. 2021.
- Chongqing Administration for Market Regulation. Regional meteorological hazard process assessment standard Part I: high temperature: DB50/T 1125.1—2021 [S]. 2021.
- [29] 李庆祥, 黄嘉佑. 对我国极端高温事件阈值的探讨 [J]. *应用气象学报*, 2011, 22(2): 138-144 DOI: [10.3969/j.issn.1001-7313.2011.02.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7313.2011.02.002).
- LI Q X, HUANG J Y. Threshold values on extreme high temperature events in China [J]. *Journal of applied meteorological science*, 2011, 22(2): 138-144. DOI: [10.3969/j.issn.1001-7313.2011.02.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7313.2011.02.002).
- [30] MAKRIDAKIS S, WHEELWRIGHT S, HYNDMAN R J. Forecasting: methods and applications (3rd ed.) [M]. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [31] SNEYERS R. On the statistical analysis of series of observations [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 1990.
- [32] MANN H B. Nonparametric tests against trend [J]. *Econometrica*, 1945, 13(3): 245-259. DOI: [10.2307/1907187](https://doi.org/10.2307/1907187).
- [33] KENDALL M G. Rank correlation methods [M]. London: Charles Griffin, 1948.
- [34] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 北京气象出版社, 1999.
- WEI F Y. The current statistical climatic diagnosis and forecasting technology [M]. Beijing: Beijing Meteorological Press, 1999.
- [35] ZARENISTANAK M, DHORDE A G, KRIPALANI R H. Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran [J]. *Journal of earth system science*, 2014, 123(2): 281-295. DOI: [10.1007/s12040-013-0395-7](https://doi.org/10.1007/s12040-013-0395-7).
- [36] BROWN P T, MING Y, LI W H, et al. Change in the magnitude and mechanisms of global temperature variability with warming [J]. *Nature climate change*, 2017, 7(10): 743-748. DOI: [10.1038/nclimate3381](https://doi.org/10.1038/nclimate3381).
- [37] DENG K Q, YANG S, TING M, et al. An intensified mode of variability modulating the summer heat waves in eastern Europe and northern China [J]. *Geophysical research letters*, 2018, 45(20): 11361-11369. DOI: [10.1029/2018GL079836](https://doi.org/10.1029/2018GL079836).
- [38] FREYCHET N, TETT S, WANG J, et al. Summer heat waves over eastern China: dynamical processes and trend attribution [J]. *Environmental research letters*, 2017, 12(2): 024015. DOI: [10.1088/1748-9326/aa5ba3](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5ba3).
- [39] PERKINS S E. A review on the scientific understanding of heatwaves: their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale [J]. *Atmospheric research*, 2015, 164-165: 242-267. DOI: [10.1016/j.atmosres.2015.05.014](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014).
- [40] WANG P Y, YANG Y, XUE D K, et al. Aerosols overtake greenhouse gases causing a warmer climate and more weather extremes toward carbon neutrality [J]. *Nature communications*, 2023, 14(1): 7257. DOI: [10.1038/s41467-023-42891-2](https://doi.org/10.1038/s41467-023-42891-2).

作者简介:



冯扬

冯扬 (第一作者, 通信作者)

1993-, 女, 工程师, 主要研究方向为气候动力学、极端气候与区域影响 (e-mail) liseffy@foxmail.com。

洪国平

1965-, 男, 正研级高级工程师, 主要研究方向为气候影响评估, 气象灾害风险评估 (e-mail) 287204515@qq.com。

秦鹏程

1986-, 男, 高级工程师, 主要研究方向为气象灾害监测与评估 (e-mail) qinpengcheng027@163.com。

王苗

1985-, 女, 高级工程师, 主要研究方向为气候变化 (e-mail) maomao38278@163.com。

郭广芬

1980-, 女, 正研级高级工程师, 主要研究方向为短期气候预测及决策气象服务 (e-mail) 635499448@qq.com。

项目简介:

项目名称 中国气象局创新发展专项“气候变化情景下长江流域复合型极端事件变化及其对水资源和水电供需影响研究”(CXFZ2024J051)

承担单位 武汉区域气候中心

项目概述 项目旨在建立长江流域气候变化和极端气候事件数据集, 揭示长江流域已发生的和未来气候变化以及复合型洪涝和高温干旱等极端气候事件变化趋势; 同时建立量化气候变化对水资源和水利工程影响的评估模型, 揭示气候变化对长江上游水库防洪和水电供需、南水北调中线工程调水的影响, 提出流域水资源和水利工程管理适应气候变化的对策建议。

主要创新点 (1) 针对流域水资源的开发和利用可能受到的气候变化不利影响及风险, 聚焦长江上游与中下游洪水遭遇、南水北调受水区与供水区丰枯遭遇、流域大范围高温与干旱叠加等复合型高影响极端事件的演变趋势, 研究目标更有针对性, 对相关部门应对气候变化的决策支撑更有力; (2) 针对流域旱涝频发重大水利工程如何适应气候变化问题, 通过耦合气候模式、水文模型、水库调度规程、发电出力 and 受电区用电需求模型, 构建气候变化对流域大型水库防洪、供水和发电效益综合影响评估模型, 创新性拓展气候变化对水、水能、水电供需影响及防洪风险的系统、定量评估技术。

(责任编辑 孙舒)