

18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据集 (1981–2020)

赵国松^{1*}, 周欣萌¹, 李元征², 孙朝阳³

1. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430074;

2. 河南财经政法大学资源与环境学院, 郑州 450046

3. 国家气候中心, 北京 100081

摘要: 气候变暖可缩短全球采暖期, 延长制冷期。制冷与采暖度日数可反映气候因素对建筑制冷与采暖能耗的影响, 是温度和能源定量关系的测度指标, 被认为是最简单可靠的衡量能源需求的指标, 已被广泛应用在气候变化、建筑能源需求与热舒适度评定等领域。制冷与采暖度日数用日平均温度与设定的基准温度相比较的方式来表征, 制冷度日数(cooling degree days, CDDs)是一定时间范围内日平均气温高于某一基准温度的累计度数, 采暖度日数(heating degree days, HDDs)为一定时间范围内日平均气温低于某一基准温度的累计度数。根据行业标准《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ 134—2001》, 本研究设定制冷的基准温度为 26 °C, 采暖的基准温度为 18 °C。在此基础上, 采用 ERA5-Land 再分析气象数据集的 2 m 气温 (0.1°×0.1° 空间分辨率), 在 Google Earth Engine 平台上使用制冷及采暖度日数计算方法制作 1981–2020 年逐年尺度的 18°N 以北中国制冷及采暖度日数数据集。本数据集为我国首套近 40 年时空连续的制冷及采暖度日数数据集, 数据集包括 1981–2020 年的以下数据: (1) 制冷度日数数据; (2) 采暖度日数数据。数据集的时间分辨率为年, 空间分辨率为 0.1°, 数据集存储为.tif 格式, 由 80 个数据文件组成, 数据量为 75 MB (压缩为 1 个文件 17.7 MB)。

关键词: 能源消耗; 气候变化; 热环境; 制冷度日数; 采暖度日数; 数据集; 中国

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.17>

CSTR: <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2022.03.17>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2022.03.08.V1> 或 <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2022.03.08.V1>.

收稿日期: 2022-04-06; 修订日期: 2022-08-22; 出版日期: 2022-09-25

基金项目: 国家自然科学基金(41701501); 中央高校基本科研业务费专项(CUG2106311)

*通讯作者: 赵国松 N-3141-2019, 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, zhaogs86@126.com

数据引用方式: [1] 赵国松, 周欣萌, 李元征等. 18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据集(1981–2020)[J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(3): 459–466. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.17>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2022.03.17>.

[2] 赵国松, 周欣萌, 李元征等. 18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据集(1981–2020)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.03.08.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2022.03.08.V1>.

1 前言

IPCC 第六次评估报告显示,自 1850–1900 年以来,全球地表平均温度已上升约 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,报告预估,在未来几十年里,所有地区的气候变化都将加剧,全球温升 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,热浪将增加,暖季将延长,而冷季将缩短^[1]。然而对亚热带气候的研究显示,在过去的几十年里,温度和夏季不适呈上升趋势,并发现预期的温度上升可能会由于人们对更好的热舒适需求不断增加而导致更多的降温需求^[2,3]。更多的空调用电将导致更大的排放,进而加剧气候变化和全球变暖。采暖能源需求的减少也可能超过制冷能源的增加。因此,气候变化对总体能源需求和环境的影响仍然不确定^[4]。

全球气候变化对自然生态系统和人类社会经济系统有重大影响^[5]。我国幅原辽阔,气候类型复杂多样,不同区域对全球气候变化的响应很不一样。同时,作为一个能源消费大国,在全球变暖的大背景下,近年来,我国的气候变化更趋于复杂,气候的变化对建筑能源需求有巨大的影响^[6],能源需求也将持续增长。其中供暖和空调是建筑能耗的重要组成部分^[7],与温度密切相关的供热和制冷需求占总能耗的近 20%^[8]。度日数可简单地评估建筑能源消耗与温度之间的关系,它是指日平均温度与设定的基准温度的实际离差,其中,Thom 于 20 世纪 50 年代初首次用度日法探讨了美国能源消费和温度的关系^[9,10],后来被广泛应用^[11–13]。因此,制作一套中国近 40 年制冷及采暖度日数数据集对未来建筑物能耗将如何应对气候变化、评估能源使用的可能变化及制定能源政策等问题上有重要的现实意义。目前,我国已有一些研究基于气象站点平均气温数据对我国局部地区夏季制冷度日数以及冬季采暖度日数进行了相关时空分析,如对我国山东、重庆、新疆等地区都有相关研究^[14–16],但基于多年全国尺度的连续性空间数据研发还较少。据此,本研究旨在研发一套近 40 年中国尺度制冷与采暖度日数数据集,为研究气候变化对供暖及空调能耗的影响提供重要的基础性数据^[17]。

本数据集是基于 ERA5-Land 再分析数据,使用地表 2 m 气温变量数据,借助 Google Earth Engine 平台基于度日数计算方法计算 18°N 以北中国范围内 1981–2020 年近 40 年内制冷与采暖度日数,得到《 18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据集 (1981–2020)》。

2 数据集元数据简介

《 18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据集 (1981–2020)》^[18]的名称、短名、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

3.1 算法原理

(1) 制冷度日数:

制冷度日数 (cooling degree days, CDDs) 是一定时间范围内日平均气温高于某一基

表1 《18°N以北中国制冷与采暖度日数数据集（1981–2020）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	18°N以北中国制冷与采暖度日数数据集（1981–2020）
数据集短名	China_CDD_HDD_1981-2020
作者信息	赵国松 N-3141-2019, 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, zhaogs86@126.com 周欣萌 GNH-5833-2022, 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 1094339549@qq.com 李元征 GNH-4325-2022, 河南财经政法大学资源与环境学院, yz_li@huel.edu.cn 孙朝阳 GNH-6478-2022, 国家气候中心, sunchaoy@cma.gov.cn
地理区域	18°N以北中国范围
数据年代	1981–2020年
空间分辨率	0.1°×0.1°
数据格式	.tif
数据量	75 MB（压缩后 17.7 MB）
数据集组成	数据集包含两个文件夹： 文件夹 China_CDD_1981_2020 中包含 40 个.tif 文件，分别为中国 1981–2020 逐年制冷度日数数据集 文件夹 China_HDD_1981_2020 中包含 40 个.tif 文件，分别为中国 1981–2020 逐年采暖度日数数据集
基金项目	国家自然科学基金（41701501）；中央高校基本科研业务费专项（CUG2106311）
数据计算环境	Google Earth Engine（GEE）平台
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[19]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

准温度的累计度数^[20]，其计算公式为：

$$CDD_s = \sum_{i=1}^n (T_i - T_{base}) \times D \quad (1)$$

式中， CDD_s 为制冷度日数（ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ）， n 为某年的天数（平年与闰年分别为 365 与 366）， T_i 为某年中第 i 天的日平均温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）， T_{base} 为基准温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）， $D=1\text{d}$ 。

根据《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ134—2001》，将使用空调制冷的基准温度设为 26°C ，使用 CDD_{26} 来反映气候的炎热程度。计算时，当 $(T_i - 26)$ 为负值时，取 $(T_i - 26) = 0$ 。

（2）采暖度日数：

采暖度日数（heating degree days, HDDs）为一定时间范围内日平均气温低于某一基准

温度的累计度数, 计算公式如下:

$$HDD_s = \sum_{i=1}^n (T_{base} - T_i) \times D \quad (2)$$

式中, HDD_s 为采暖度日数 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$), n 为某年的天数 (平年与闰年分别为 365 与 366), T_i 为某年中第 i 天的日平均气温 ($^{\circ}\text{C}$), T_{base} 为基准温度 ($^{\circ}\text{C}$), $D=1\text{d}$ 。

根据国家颁布的《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ 134—2001》, 将进行采暖的基础温度设定为 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[21], 使用 HDD_{18} 来反映气候的寒冷程度。计算时, 当 $(18-T_i)$ 为负值时, 取 $(18-T_i) = 0$ 。

3.2 技术路线

数据制作主要过程包括: (1) ERA5-Land 每小时再分析气温数据预处理。基于 Google Earth Engine (GEE) 平台将 1981–2020 年 ERA5-Land 每小时再分析气温数据处理为日平均气温, 为计算度日数做准备。(2) 计算制冷度日数及采暖度日数。根据制冷及采暖度日数计算公式, 在 GEE 平台上计算度日数, 并将数据输出保存为.tif 格式。(3) 结果精度验证。主要使用绝对系数 (coefficient of determination, R^2) 和均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSEs) 指标, 通过《中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集 (V3.0)》^[22] 站点度日数值和 ERA5-Land^[23] 度日数值比较, 进行结果精度验证。(4) 形成《 18°N 以北中国制冷及采暖度日数数据集 (1981–2020)》。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

China_CDD_HDD_1981-2020 文件包含 1981–2020 年 18°N 以北中国逐年制冷与采暖度日数栅格数据。本数据集时间分辨率为年, 空间分辨率为 0.1° , 存储格式为.tif 格式。数据分为 2 个文件夹, China_CDD_1981_2020 文件夹是中国 1981–2020 年制冷度日数数据集, 数据量 37.5 MB, China_HDD_1981_2020 文件夹是中国 1981–2020 年采暖度日数数据集, 数据量 37.5 MB。每个文件夹包括 40 个.tif 文件, 数据量共 75 MB (压缩为 1 个文件 17.7 MB)。 18°N 以北中国制冷与采暖度日数数据文件的文件名包含其时相信息, 如“China_CDD_1981.tif”为 1981 年 18°N 以北中国制冷度日数栅格数据。

4.2 制冷度日数时空分布

以 1981、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015、2020 年为例, 图 1 展示了 18°N 以北中国制冷度日数时空分布特征。鉴于篇幅, 其他年份的制冷度日数空间分布图未做展示。在空间分布上, 制冷度日数与海拔和纬度有密切的关系, 制冷度日数呈现南高北低的特征, 不同地区制冷度日数差异明显。制冷度日数高值区主要分布在塔里木盆地、准噶尔盆地地区以及东南地区, 最大值达到 $700\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 这是由于塔里木盆地、准噶尔盆地地区是典型的大陆型荒漠气候, 夏季温度偏高, 因此制冷度日数高; 东南地区全年制冷度日数也较高, 主要是由于处于中低纬度区域, 夏季炎热高温多雨, 制冷需求大。制冷度日数低值区主要分布在青藏高原地区和东北地区。青藏高原地区属于高原山地气候, 海拔

高，气温低，制冷需求低；东北地区纬度高，气温低，制冷需求也较低。中国不同年份的制冷度日数空间分布特征大致相同，局部区域制冷度日数在40年内呈增大趋势，变化地区主要分布在内蒙古西部地区以及东北地区。与1981年相比，内蒙古西部地区在2005年、2010年以及2020年制冷度日数明显增大，其值超过200 °C·d；东北地区的制冷年度日数在2010–2020年近10年里明显增大，其值范围从0–5 °C·d增加到5–80 °C·d；同时，华北平原以南地区制冷度日数大于200 °C·d的高值区范围也呈增大趋势。

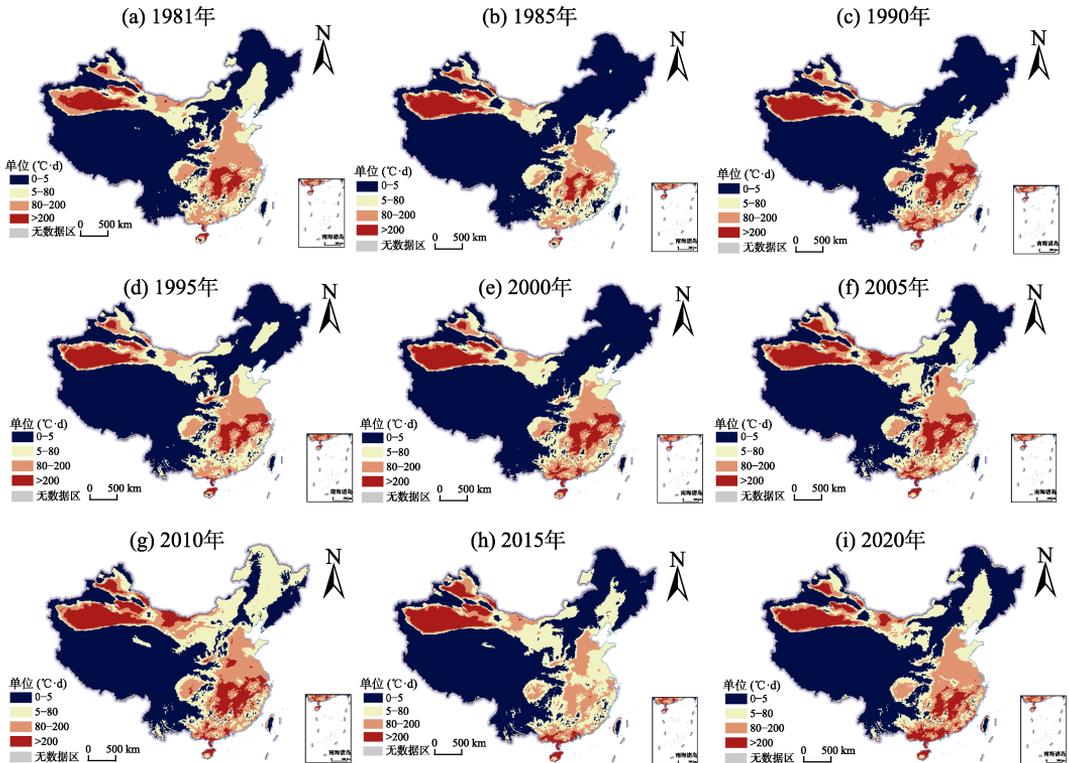


图1 18°N以北中国1981–2020年制冷度日数时空分布图

（该图基于审图号为GS（2019）1827号标准地图制作，底图无修改）

4.3 采暖度日数时空分布

以1981、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015、2020年为例，图2展示了18°N以北中国采暖度日数时空分布特征。鉴于篇幅，其他年份的采暖度日数空间分布图未做展示。纬度的影响是采暖度日数空间分布格局形成的主要原因，海拔对采暖度日数的影响主要表现在青藏高原地区。高值区分布在青藏高原地区和东北地区，主要原因青藏高原海拔高，气候寒冷，采暖需求高；东北地区是我国的高纬度地区，气温相对较低，采暖需求高；其他地区随纬度升高，采暖度日数增加。从不同年份中国采暖度日数空间分布图看（图2），我国采暖度日数的空间分布特征类似，不同年之间采暖度日数分布变化较大的地区主要在青藏高原，特别是2010、2015、2020年，青藏高原地区采暖度日数高于8,500 °C·d的范围较前几幅图明显缩小；东北地区采暖度日数大于6,500 °C·d的范围在2015年和2020年也有明显的缩小。在全球气候变暖的大背景下，采暖需求下降，从而表现出采暖度日数

下降的趋势。

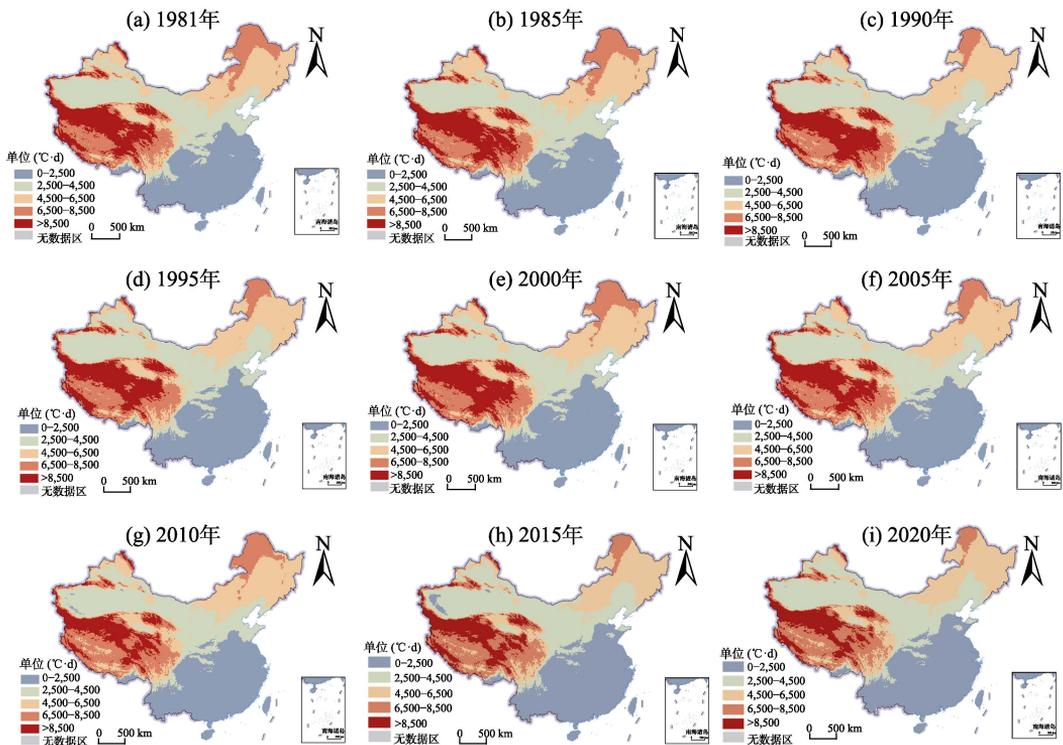


图2 18°N以北中国1981–2020年采暖度日数时空分布图

(该图基于审图号为GS(2019)1827号标准地图制作,底图无修改)

4.4 数据精度验证

为了验证本数据集的准确性,本文首先从中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)中选取1981–2010年近30年无数据缺失的1,511个站点;其次采用这些站点日平均气温计算站点制冷和采暖度日数;最后将1981–2010年ERA5-Land度日数数值和站点度日数数值做散点图进行验证。结果表明:除少数站点对比误差较大外,绝大多数站点均在1:1线附近,说明本文基于ERA5-Land再分析数据生产的度日数与基于站点计算得到的度日数高度吻合,数据可靠性高(图3)。

5 讨论和总结

本数据集在以前学者使用站点计算度日数研究的基础上进行了创新,以ERA5-Land再分析气温数据为基础数据,利用GEE平台使用度日数计算方法计算制冷与采暖度日数,通过精度验证,数据可靠性高。数据集提供了我国18°N以北近40年制冷与采暖度日数时空分布数据,为我国首套近40年时空连续的度日数数据集,时间跨度范围大,空间分辨率高,能反映18°N以北中国范围内制冷及采暖度日数的连续变化情况,也能反映多年气候变化对能源消耗需求影响,可为政府更好的制定能源政策提供可靠的数据支撑。

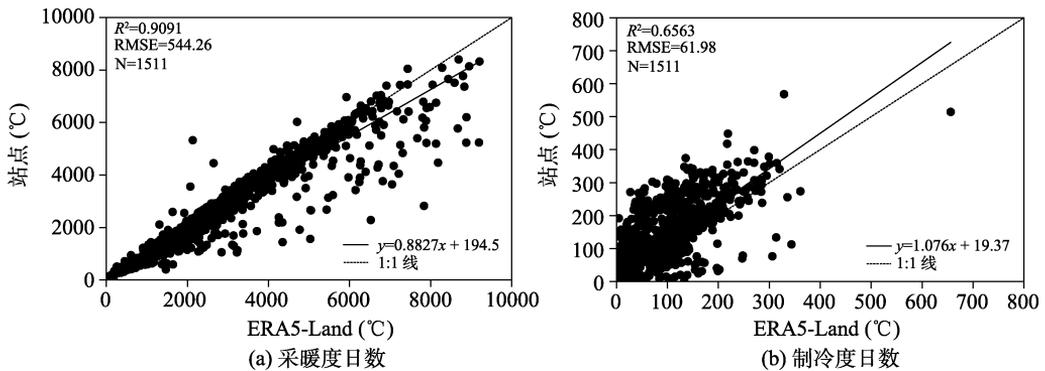


图3 结果精度验证散点图

作者分工: 赵国松对数据集的研发做了总体设计; 周欣萌采集并处理了基础数据; 周欣萌和赵国松撰写了数据论文; 李元征、孙朝阳修改了数据论文。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [2] Lam, J. C., Tang, H. L., Li, D. H. Seasonal variations in residential and commercial sector electricity consumption in Hong Kong [J]. *Energy*, 2008, 33(3): 513–523.
- [3] Lam, J. C., Wan, K. K., Lam, T. N., *et al.* An analysis of future building energy use in subtropical Hong Kong [J]. *Energy*, 2010, 35(3): 1482–1490.
- [4] Li, D. H., Yang, L., Lam, J. C. Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones—a review [J]. *Energy*, 2012, 42(1): 103–112.
- [5] Spinoni, J., Vogt, J. V., Barbosa, P., *et al.* Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100 [J]. *International Journal of Climatology*, 2018, 38: e191–e208.
- [6] D'amico, A., Ciulla, G., Panno, D., *et al.* Building energy demand assessment through heating degree days: the importance of a climatic dataset [J]. *Applied Energy*, 2019, 242: 1285–306.
- [7] 万蓉, 孔德泉, 刘加平. 气候变化对我国典型城市空调能耗的影响[J]. *暖通空调*, 2017, 47(3): 43–47.
- [8] Shi, Y., Zhang, D. F., Xu, Y., *et al.* Changes of heating and cooling degree days over China in response to global warming of 1.5°C, 2°C, 3°C and 4°C [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2018, 9(3): 192–200.
- [9] Thom, H. C. The rational relationship between heating degree days and temperature [J]. *Monthly Weather Review*, 1954, 82(1): 1–6.
- [10] Thom, H. C. Seasonal degree-day statistics for the United States [J]. *Monthly Weather Review*, 1952, 80(9): 143–147.
- [11] Shen, X., Liu, B. Changes in the timing, length and heating degree days of the heating season in central heating zone of China [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 1–10.
- [12] Christenson, M., Manz, H., Gyalistras, D. Climate warming impact on degree-days and building energy

- demand in Switzerland [J]. *Energy Conversion and Management*, 2006, 47(6): 671–686.
- [13] Quayle, R. G., Diaz, H. F. Heating degree day data applied to residential heating energy consumption [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1980, 19(3): 241–246.
- [14] 曹洁, 邱黎, 刘焕彬等. 山东省采暖与降温度日数时空分布规律研究[J]. *气象*, 2013, 39(1): 94–100.
- [15] 姜逢清, 胡汝骥, 李珍. 新疆主要城市的采暖与制冷度日数(II)——近45年来的变化趋势[J]. *干旱区地理*, 2007(5): 629–636.
- [16] 吉莉, 李家启, 苟思等. 重庆地区人体舒适度日数时空变化特征[J]. *气象与环境学报*, 2014, 30(1): 88–94.
- [17] Bai, L., Song, B. The effect of climate change on building heating and cooling energy demand in China [C]//E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021, 228: 02005.
- [18] 赵国松, 周欣萌, 李元征等. 18°N以北中国制冷与采暖度日数数据集(1981–2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.03.08.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.03.08.V1>.
- [19] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).
- [20] 杨续超, 顾骏强, 陈葆德. 近49年中国夏季制冷度日数的变化[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(1): 53–60.
- [21] 程海峰, 吴军, 占霞飞等. 合肥地区采暖与空调度日数分布特征研究 [J]. *安徽建筑大学学报*, 2016, 24(01): 49–52.
- [22] 国家气象信息中心. 中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0) (1951–2010) [DB]. 国家青藏高原科学数据中心, 2019.
- [23] Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., *et al.* ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present (2018) [DB]. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI:10.24381/cds.adbb2d47.