**报告正文**

参照以下提纲撰写，要求内容翔实、清晰，层次分明，标题突出。**请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。**

**（一）立项依据与研究内容**（建议8000字以内）：

1. **项目的立项依据**（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）；

## 1.1. 研究意义

随着气候变化和城市化的推进，我国正面临着极端天气气候事件增加的风险。受其影响，居民的热舒适度下降，老年人等脆弱群体的健康风险增加，城市人居环境面临严峻挑战（黄晓军等，2020；Tuholske et al., 2021；García et al., 2023）。为应对相关风险，生态环境部等 17 部门联合印发的《国家适应气候变化战略 2035》提出了建设气候适应型城市的迫切需求。在此背景下，深化对城市气候特征的认识，通过城市规划与管理手段来对城市气候进行调节具有重大意义。

城市公园的降温效应已得到广泛的研究，其不仅局限于公园自身的覆盖区域，更显示出溢出效应。具体而言，公园能够降低相邻区域的温度，对周边环境产生积极影响。然而，尽管公园广泛分布于各大城市，城市过热问题仍未得到有效解决。在部分植被覆盖比例较高的城市区域，仍可观察到与高温相关的较高死亡风险（Pascal et al., 2021）。此外，部分城市区域（如滨水地带）在绿地公园影响下的降温强度相较于其他建成区而言偏低（Liu et al., 2023）。因此，在不同城市之间乃至同一城市内部的不同区域之间，公园在提供热缓解方面的能力存在显著差异。

此外，随着城市空间布局的多样化，城市内不同区域的人口密度以及居民的社会经济状况，如年龄结构和收入水平等，呈现出显著的差异性。一项在我国柳州的研究指出，城市公园作为重要的降温服务提供者，其影响范围内的房价水平显著偏高（Shi et al., 2023）。这一现象表明，享受公园降温服务的机会并不均等，低收入居民在获取城市降温资源方面的可达性较差，凸显了城市气候资源分配的不平等问题。可见，城市热缓解的实际需求存在较大的空间分异。因此，有必要将人口密度及其结构特征纳入考量范畴，构建新的指标体系，以便对公园热缓解溢出供给与城市热缓解需求之间的关系展开量化分析。这将不仅有助于准确识别热缓解的优先区域，更为城市公园的未来规划与管理提供科学参考，进而对推动城市热环境优化、提升居民生活质量具有重要的社会价值。

## 1.2. 国内外研究现状

公园通过蒸散作用、提供遮阴条件以及影响空气流动等多重机制，能够有效地调节地表能量交换过程，降低温度，起到缓解城市过热的作用（Bouketta , 2023）。公园的热缓解效应不仅局限于公园本身，还能通过与相邻区域的气流交换，使周边区域的温度比远离公园的城市建成区更低。这种现象被称为公园热缓解溢出效应（Yin et al., 2022）。基于这一概念，我们将从需求、供给以及两者关系的角度出发，对公园热缓解溢出效应进行系统的梳理与归纳。

### 1.2.1. **城市公园热缓解溢出供给**

城市公园的降温效应已得到了广泛的关注，其影响范围不仅局限于公园自身，更展现出显著的溢出效应，对周边区域的城市热缓解起到重要作用（Zhou et al., 2022）。研究显示，公园所具备的降温能力能够延伸至其边界以外上千米的范围（Ca et al., 1998）。其降温强度主要受到两类变量的共同影响：公园周边的环境特征和公园自身特征。前者涵盖了公园相邻区域的土地覆盖类型、建筑高度、道路朝向等诸多因素，而后者则主要涉及公园大小、形状、连通性以及植被的结构特征（Fan et al., 2019；Yuan et al., 2021；Du et al., 2022）。具体而言，随着公园面积的增加，其降温能力呈现增强的趋势。然而，关于公园景观配置相对影响的研究则尚未形成一致的结论，相关研究结果存在的分歧可通过案例城市的背景气候、所使用数据的分辨率等因素来解释（Das et al., 2020；Li et al., 2021；Li et al., 2023）。

在评估公园热缓解溢出效应时，研究者采用了多种量化指标。这些指标包括降温距离、降温面积、降温梯度、降温强度和累积降温等（Tan et al., 2021；Shi et al., 2023；Yu et al., 2020；文慧等，2023）。其中，累积降温考虑了公园降温强度随与公园距离变化的非线性过程。相较于单一的降温距离和降温强度，该指标更能准确反映公园热缓解溢出效应的整体特征。需要注意的是，上述指标主要聚焦于公园对温度的影响，却忽略了湿度等其他因素的作用。事实上，植被通过蒸散作用能够显著增加环境湿度，尤其在白天（Zhang et al., 2022）。以我国北京的一项实证研究为例，小型公园的存在可使周边环境的相对湿度提升约 10% （Yan et al., 2023）。湿度的增加会阻碍人体的散热过程，从而对热舒适产生不利影响。因此，植被增加对热舒适度的综合影响更为复杂。在未来评估公园热缓解溢出效应时，应综合考虑公园对温度、湿度等多个气象因素的调节作用，以更准确地评估公园在改善城市热环境方面的实际效果。

此外，相较于气象因素，城市社会经济属性的空间格局对于实现公园热缓解溢出效应的供给最大化同样具有不可忽视的作用。比如，在人口分布稀疏的城市区域，受益于公园热缓解的人群数量有限，这在一定程度上限制了公园热缓解对城市居民的实际贡献。城市中的不同人群应对热应激的脆弱性存在差异。相较于健康成年人，老年人等脆弱群体由于生理机能衰退和适应能力下降，对高温环境的耐受性较弱，因此公园热缓解溢出效应对他们而言更为重要（Macintyre et al., 2018）。以往评估公园热缓解溢出效应的研究多从自然属性的角度出发，侧重于分析公园对温度、湿度等气象因素的影响，而忽视了其在社会经济层面的复合性影响，难以全面揭示公园热缓解溢出效应的社会价值（Dronova et al., 2018；Liu et al., 2021）。因此，在全面评估公园热缓解溢出供给时，应不仅考虑气象因素的影响，还应考虑社会经济因素，包括其覆盖范围内的人口密度及其特征（年龄、收入等）。

### 1.2.2. 城市热缓解需求

城市的高温环境对居民的生活、工作及健康等多个方面造成不利影响，由此催生出热缓解需求（Ellena et al., 2023；Huang et al., 2023）。此需求可被定义为在高温条件下通过合理的热缓解措施改善城市热环境的需求。因其对城市居民福祉的潜在影响，城市热缓解需求的估算近年来受到了广泛关注。在评估城市热缓解需求的过程中，热危害的物理特性是不可或缺的因素之一。在给定时间范围内的特定区域，当温度超出人体可接受的阈值时，会引发对公共健康的潜在威胁。此时，实际温度与个体可接受的最高温度之间的差值可被视为量化热缓解需求的重要指标 (Estoque et al., 2020)。此外，最近记录的极端气候对人类的影响表明，某些人口/社会经济因素加剧了相关健康问题的脆弱性（Benmarhnia et al., 2017；Trigo et al., 2005）。受高温不利影响的人口规模及其结构特征亦对城市热缓解需求有显著影响。以我国绵阳为例的一项研究显示，65 岁及以上人群在高温环境下的非意外死亡率是 65 岁以下人群的两倍以上（任宇等，2020）。此外，随着居民收入水平的提升，与高温相关的死亡率呈显著下降的趋势（Coates et al.,2022）。

鉴于城市内部各要素布局的非均质性，气象变量和社会经济状况呈现显著的空间分异。深入分析热缓解需求的空间动态将有助于精准制定热缓解策略。在以往的城市热缓解需求研究中，气象指标主要以温度为核心，涉及高温强度、高温频率等多个方面。然而，这些研究对于与城市居民实际感知更为接近的热舒适度的理解尚显不足，未能充分考虑湿度等其他气象变量的影响（Liao et al., 2021；Yu et al., 2018；Geng et al., 2022）。同时，尽管人口因素在热缓解需求的估算中受到了关注，但对于人口年龄、收入等特征的考虑仍然不足（Chen et al., 2022; Lan et al., 2022）。大量研究采用人口普查数据来估算城市的热暴露状况，然而，人口普查数据主要反映的是居住人口，即夜间的人口分布情况。在大城市地区，由于工作地与居住地的分离，人口分布的昼夜变化显著。因此，单纯依赖人口普查数据难以满足对白天热缓解需求的准确估计。此外，当前的人口普查数据所采用的统计尺度为区县级别，这一尺度在描述人口空间分布时存在局限性，无法精确刻画人口的高精度分布特征。随着手机大数据的应用，我们能够相对便捷地获取到高精度的人口密度及其特征属性的空间分布数据。鉴于此，构建一个综合考虑热舒适度、人口密度及其特征属性的分析框架尤为重要。

### 1.2.3. 城市公园热缓解溢出效应的供需关系量化

为了深入研究城市生态系统服务的供给与需求之间的关系，研究人员构建了生态系统服务框架（Feng et al, 2022；Wei et al., 2021；柯钦华等，2024）。此框架的核心目标在于建立生态系统功能与过程同人类实际需求之间的联系，以期更全面地理解自然环境对人类居住环境的积极贡献。生态系统服务作为人类直接或间接从生态系统功能中汲取的多元利益，涵盖城市降温、空气净化、固碳能力提升以及室外休闲空间的供给等（Costanza et al., 1997；Cumming et al., 2014；Huang et al., 2023）。然而，目前聚焦于城市热缓解服务供需关系的研究仍显不足。这些研究多采用评分法对供需水平进行定性评估（Shen et al., 2022；Shi et al., 2020）。尽管该方法简便易行，但由于其固有的主观性和粗略性，难以精确揭示供需之间的量化关联。因此，有必要引入更为精确和客观的评估方法来量化供给与需求之间的联系。

中国城市的公园呈现出多样化的类型划分（Chen et al., 2022）。以杭州的一项研究为例，公园被划分为五大类别：社区公园、综合公园、历史公园、主题公园和生态公园。通过对比分析各类公园的降温效果，他们发现综合公园和生态公园在降温强度上表现突出，而社区公园则在累积降温方面发挥着积极作用（Tian et al., 2023）。此外，不同类型城市公园周边的社会经济状况存在显著差异。例如，社区公园多布局于成熟的建成区内且规模较小，而生态公园则更倾向于分布在城郊地带。因此，各类公园所能提供的热缓解服务及其对居民需求的满足程度可能存在较大差异。目前尚缺乏针对不同类型公园热缓解服务的系统比较分析。

综上所述，以往研究在评估公园对周边热环境的影响时，气象变量的选取过于单一，仅以温度作为主要考量，却未将湿度等其他对热舒适有影响的因素纳入分析框架。此外，现有研究在构建量化指标时，未能充分考虑人口密度及其结构特征的影响，特别是在栅格尺度。至于公园热缓解的供需关系，当前尚缺乏一个能够进行有效量化比较的框架，相关的供需分析只能依赖于简单的 0-1 评分体系。本研究旨在基于灾害性、暴露度和脆弱性相互耦合的理论框架，对城市热缓解需求进行深入分析，并将其与公园热缓解溢出供给进行量化对比。通过探究供给与需求之间的关系，本研究期望能够精确评估现有公园所提供的热缓解溢出效应的不足。这一研究路径有助于为未来采取针对性的调控措施提供量化据，从而推动城市热环境的持续优化。

## 参考文献

黄晓军, 王博, 刘萌萌, 郭禹慧, & 李艳雨. (2020). 中国城市高温特征及社会脆弱性评价. 地理研究, 39(7).

柯钦华,周俏薇,庄宝怡, &孙传谆. (2024). 基于生态系统服务供需平衡的粤港澳大湾区生态安全格局构建研究. 生态学报, 05

任宇,冯曦兮,杨书,唐景霞,徐帆,孔翔瑜... 潘琰.(2020). 绵阳市日平均气温与居民非意外死亡的时间序列分析.中国卫生统计, 239-242(02).

文慧,彭立华,殷实,冯宁叶, &凌子尧. (2023).城市绿地热效应全年变化特征及其与背景气象因子的关系. 生态学报, 43(19).

Benmarhnia, T., Kihal-Talantikite, W., Ragettli, M. S., & Deguen, S. (2017). Small-area spatiotemporal analysis of heatwave impacts on elderly mortality in Paris: A cluster analysis approach. Science of the Total Environment, 592, 288-294.

Bouketta, S. (2023). Urban Cool Island as a sustainable passive cooling strategy of urban spaces under summer conditions in Mediterranean climate. Sustainable Cities and Society, 99, 104956.

Chen, M., Jia, W., Yan, L., Du, C., & Wang, K. (2022). Quantification and mapping cooling effect and its accessibility of urban parks in an extreme heat event in a megacity. Journal of Cleaner Production, 334, 130252.

Ca, V. T., Asaeda, T., & Abu, E. M. (1998). Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. Energy and Buildings, 29(1), 83-92.

Chen, B., Xie, M., Feng, Q., Wu, R., & Jiang, L. (2022). Diurnal heat exposure risk mapping and related governance zoning: A case study of Beijing, China. Sustainable Cities and Society, 81, 103831.

Coates, L., van Leeuwen, J., Browning, S., Gissing, A., Bratchell, J., & Avci, A. (2022). Heatwave fatalities in Australia, 2001–2018: an analysis of coronial records. International Journal of Disaster Risk Reduction, 67, 102671.

Costa, G. (2023). Micro-scale UHI risk assessment on the heat-health nexus within cities by looking at socio-economic factors and built environment characteristics: The Turin case study (Italy). Urban Climate, 49, 101514.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387(6630), 253-260.

Cumming, G. S., Buerkert, A., Hoffmann, E. M., Schlecht, E., von Cramon-Taubadel, S., & Tscharntke, T. (2014). Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. Nature, 515(7525), 50-57.

Das, D. N., Chakraborti, S., Saha, G., Banerjee, A., & Singh, D. (2020). Analysing the dynamic relationship of land surface temperature and landuse pattern: A city level analysis of two climatic regions in India. City and Environment Interactions, 8, 100046.

Dronova, I., Friedman, M., McRae, I., Kong, F., & Yin, H. (2018). Spatio-temporal non-uniformity of urban park greenness and thermal characteristics in a semi-arid region. Urban Forestry & Urban Greening, 34, 44-54.

Du, C., Jia, W., Chen, M., Yan, L., & Wang, K. (2022). How can urban parks be planned to maximize cooling effect in hot extremes? Linking maximum and accumulative perspectives. Journal of Environmental Management, 317, 115346.

Ellena, M., Melis, G., Zengarini, N., Di Gangi, E., Ricciardi, G., Mercogliano, P., & Costa, G. (2023). Micro-scale UHI risk assessment on the heat-health nexus within cities by looking at socio-economic factors and built environment characteristics: The Turin case study (Italy). Urban Climate, 49, 101514.

Estoque, R. C., Ooba, M., Seposo, X. T., Togawa, T., Hijioka, Y., Takahashi, K., & Nakamura, S. (2020). Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators. Nature Communications, 11(1), 1581.

Fan, H., Yu, Z., Yang, G., Liu, T. Y., Liu, T. Y., Hung, C. H., & Vejre, H. (2019). How to cool hot-humid (Asian) cities with urban trees? An optimal landscape size perspective. Agricultural and Forest Meteorology, 265, 338-348.

Feng, L., Liu, Y., Zhou, Y., & Yang, S. (2022). A UAV-derived thermal infrared remote sensing three-temperature model and estimation of various vegetation evapotranspiration in urban micro-environments. Urban Forestry & Urban Greening, 69, 127495.

García, D. H., & Rezapouraghdam, H. (2023). Climate change, heat stress and the analysis of its space-time variability in European metropolises. Journal of Cleaner Production, 425, 138892.

Geng, X., Yu, Z., Zhang, D., Li, C., Yuan, Y., & Wang, X. (2022). The influence of local background climate on the dominant factors and threshold-size of the cooling effect of urban parks. Science of the Total Environment, 823, 153806.

Huang, W. T. K., Masselot, P., Bou-Zeid, E., Fatichi, S., Paschalis, A., Sun, T., ... & Manoli, G. (2023). Economic valuation of temperature-related mortality attributed to urban heat islands in European cities. Nature Communications, 14(1), 7438.

Huang, Y., Ma, R., Zhou, W., Yuan, Y., Ren, J., & Cao, Y. (2023). Risk assessment and regulation between the supply and demand of ecological products: A comprehensive framework and case study. Ecological Indicators, 154, 110617.

Lan, T., Liu, Y., Huang, G., Corcoran, J., & Peng, J. (2022). Urban green space and cooling services: Opposing changes of integrated accessibility and social equity along with urbanization. Sustainable Cities and Society, 84, 104005.

Li, Y., Fan, S., Li, K., Zhang, Y., Kong, L., Xie, Y., & Dong, L. (2021). Large urban parks summertime cool and wet island intensity and its influencing factors in Beijing, China. Urban Forestry & Urban Greening, 65, 127375.

Li, Y., Ren, C., Ho, J. Y. E., & Shi, Y. (2023). Landscape metrics in assessing how the configuration of urban green spaces affects their cooling effect: A systematic review of empirical studies. Landscape and Urban Planning, 239, 104842.

Liao, W., Cai, Z., Feng, Y., Gan, D., & Li, X. (2021). A simple and easy method to quantify the cool island intensity of urban greenspace. Urban Forestry & Urban Greening, 62, 127173.

Liu L., He H., Cai Y., Hang J., Liu J., Liu L., Jiang P., & He H. (2023). Cooling effects of wetland parks in hot and humid areas based on remote sensing images and local climate zone scheme. Building and Environment, 243, 110660

Liu, S., Zhao, J., Xu, M., & Ahmadian, E. (2021). Effects of landscape patterns on the summer microclimate and human comfort in urban squares in China. Sustainable Cities and Society, 73, 103099.

Macintyre, H. L., Heaviside, C., Taylor, J., Picetti, R., Symonds, P., Cai, X. M., & Vardoulakis, S. (2018). Assessing urban population vulnerability and environmental risks across an urban area during heatwaves–Implications for health protection. Science of the Total Environment, 610, 678-690.

Pascal, M., Goria, S., Wagner, V., Sabastia, M., Guillet, A., Cordeau, E., ... & Host, S. (2021). Greening is a promising but likely insufficient adaptation strategy to limit the health impacts of extreme heat. Environment International, 151, 106441.

Shen, Z. J., Zhang, B. H., Xin, R. H., & Liu, J. Y. (2022). Examining supply and demand of cooling effect of blue and green spaces in mitigating urban heat island effects: A case study of the Fujian Delta urban agglomeration (FDUA), China. Ecological Indicators, 142, 109187.

Shi, M., Chen, M., Jia, W., Du, C., & Wang, Y. (2023). Cooling effect and cooling accessibility of urban parks during hot summers in China's largest sustainability experiment. Sustainable Cities and Society, 93, 104519.

Shi, M., Wang, Y., Lv, H., & Jia, W. (2023). Climate gentrification along with parks' cooling performance in one of China's tropical industrial cities. Science of The Total Environment, 164603.

Shi, Y., Shi, D., Zhou, L., & Fang, R. (2020). Identification of ecosystem services supply and demand areas and simulation of ecosystem service flows in Shanghai. Ecological Indicators, 115, 106418.

Tan, X., Sun, X., Huang, C., Yuan, Y., & Hou, D. (2021). Comparison of cooling effect between green space and water body. Sustainable Cities and Society, 67, 102711.

Tian, P., Li, J., Pu, R., Cao, L., Liu, Y., & Zhang, H. (2023). Assessing the cold island effect of urban parks in metropolitan cores: a case study of Hangzhou, China. Environmental Science and Pollution Research, 1-14.

Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C., Verdin, A., Sweeney, S., Grace, K., ... & Evans, T. (2021). Global urban population exposure to extreme heat. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(41), e2024792118.

Trigo, R. M., García‐Herrera, R., Díaz, J., Trigo, I. F., & Valente, M. A. (2005). How exceptional was the early August 2003 heatwave in France?. Geophysical Research Letters, 32(10).

Wei, J., & Zhu, W. (2021). An operational parameterization scheme of surface temperature-vegetation index contextual model for large-scale temporally continuous evapotranspiration estimation: The case study of contiguous United States. Journal of Hydrology, 602, 126805.

Yin, S., Peng, L. L., Feng, N., Wen, H., Ling, Z., Yang, X., & Dong, L. (2022). Spatial-temporal pattern in the cooling effect of a large urban forest and the factors driving it. Building and Environment, 209, 108676.

Yu, Z., Xu, S., Zhang, Y., Jørgensen, G., & Vejre, H. (2018). Strong contributions of local background climate to the cooling effect of urban green vegetation. Scientific Reports, 8(1), 6798.

Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., & Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective. Urban Forestry & Urban Greening, 49, 126630.

Yuan, B., Zhou, L., Dang, X., Sun, D., Hu, F., & Mu, H. (2021). Separate and combined effects of 3D building features and urban green space on land surface temperature. Journal of Environmental Management, 295, 113116.

Zhang, X., Lei, Y., Li, R., Ackerman, A., Guo, N., Li, Y., ... & Liu, Y. (2022). Research on thermal comfort of underside of street tree based on LiDAR point cloud model. Forests, 13(7), 1086.

Zhou, Y., Zhao, H., Mao, S., Zhang, G., Jin, Y., Luo, Y., ... & Lun, F. (2022). Studies on urban park cooling effects and their driving factors in China: Considering 276 cities under different climate zones. Building and Environment, 222, 109441.

2. **项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题**（此部分为重点阐述内容）**；**

3. **拟采取的研究方案及可行性分析**（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

4. **本项目的特色与创新之处；**

5. **年度研究计划及预期研究结果**（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

**（二）研究基础与工作条件**

1. **研究基础**（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

2. **工作条件**（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）；

3. **正在承担的与本项目相关的科研项目情况**（申请人正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的资助机构、项目类别、批准号、项目名称、获资助金额、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）；

4. **完成国家自然科学基金项目情况**（对申请人负责的前一个已资助期满的科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该项目的研究工作总结摘要（限500字）和相关成果详细目录）。

**（三）其他需要说明的情况**

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目之间的区别与联系）。

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

4. 其他。