# 博后基金全文

## 选题依据（国内外研究现状及选题价值，限1000 字）

1.1 研究意义

受气候变化和城市化的影响，我国极端天气事件持续增加，城市生态系统面临一系列的风险。这些问题的出现导致居民的热舒适度下降，脆弱群体的健康风险增加，城市人居环境面临日益严峻的挑战 (Tuholske et al., 2021；黄晓军等，2020)。为应对相关气候风险，生态环境部等17部门联合印发了《国家适应气候变化战略2035》，指出要强化城市气候风险评估、调整优化城市功能布局，并提升城市气候风险的应对能力。可见，深入认识城市热环境特征及其对环境因素的响应，以通过城市规划设计来优化土地利用和建筑空间的布局，对于服务国家战略需求、提升城市居民福祉至关重要。【up230331 18:22+】

过去的研究表明，土地覆盖是影响城市热环境的重要因素。其中，包括河流、湖泊在内的水体被发现在白天对周边地区有降温作用。相对于不透水表面，水体具有更大的比热容和更低的热传导率，因此在白天升温较慢。水体与周边地区的气温差进一步导致气压梯度，因此周边地区的气温由于受到来自水体上方较冷气流的影响而下降 (Oke et al., 2002；Peng et al., 2020) 。在我国主要城市，尤其是南方城市，多数河流穿城或绕城而过，其对滨江地区的热环境特征有潜在的影响。因此，本项目拟以重庆为例，分析城市滨江地区的热环境特征及其对环境因素的响应，并重点关注河流的影响。相关结果将有助于为城市滨江地区的规划设计提供科学参考。【up230331 18:23+】

1.2 国内外研究进展

在城市内，过去关于包括滨江地区在内的滨水地区热环境的研究主要基于遥感反演的地表温度，其优势在于能够提供空间连续的温度分布信息。然而，相对于地表温度，行人高度处的气温与城市居民的实际感受更直接相关。研究表明，地表温度与气温的空间格局之间存在显著差异 (Estoque et al., 2017)。由此可见，简单地使用地表温度来反映城市滨水地区的热环境状况是不准确的。其次，受卫星重访周期的限制，遥感图像的时间分辨率相对较低，目前多数基于地表温度的城市滨水地区热环境研究仅探讨午后或深夜特定时间点的气候特征。然而，相关研究对于城市滨水地区热环境特征在居民主要活动时段内随时间的变化及其整体效应还缺乏理解 (Xue et al., 2019；Wu et al., 2020)。综上，遥感数据在反映城市滨水地区行人高度处的热环境及其时间变化方面存在不足，需要通过实地测量的方法进行进一步深入探究。【up230401 14:45+】

在城市内，空间结构、土地覆盖类型等因素存在聚类性，Stewart和Oke（2012）据此提出了局地气候区以表示具有均匀表面覆盖物、空间结构、人类活动和材料的区域。研究发现，气温的空间格局在不同局地气候区类型之间有较大的差异，对应差值受时间和背景气候的影响。根据重庆的典型城市特征，本项目将选择紧凑型中低层建筑街区、开放型高层建筑街区和大型低层建筑街区开展研究，以深入理解城市滨江地区在行人高度处的热环境状况及其在不同局地气候区类型之间的差异性。【up230401 14:51+】

建筑物是城市的重要组成部分，对城市的热环境状况起着关键作用，因为它们可能会改变太阳辐射的反射和吸收，对区域通风过程也有显著影响（Alavipanah et al., 2018）。以往的研究已经探讨了天空视野因子 (Sky View Factor, SVF)、建筑高度和建筑体积等三维形态指标对城市热环境的影响。一项基于实测气象数据的研究表明，相对于二维形态特征（如植被覆盖率、不透水表面覆盖率），三维形态特征在预测气温方面表现更好（Tian et al., 2019）。目前，相对于绿地周边等区域类型，三维形态特征与热环境关系的相关研究在城市滨江地区较为缺乏，这不利于深入理解城市河流对周边地区热环境的影响（Ampatzidis et al., 2020；Cheval et al., 2020; Wang et al., 2021；Wu et al., 2018；Yang et al., 2023）。【up230401 15:23+】

城市气候研究的一个重要目的在于通过探究城市区域内气象变量对三维形态、土地覆盖特征等因素的响应来为政策制定者和规划人员提供参考依据。可用于调节城市气候的方法包括：使用具有不同热属性的建筑表面材料、改变土地覆盖类型和调整空间形态布局等（Mohajerani et al., 2017; Pan et al., 2019; Shareef et al., 2020；任超等，2014）。目前，由于对城市滨江地区气候特征的理解不足，还缺乏足够的城市规划手段以通过充分利用河流的热环境效应来对区域气候进行调节。【up230401 15:37+】

参考文献：

Alavipanah, S., Schreyer, J., Haase, D., Lakes, T., & Qureshi, S. (2018). The effect of multi-dimensional indicators on urban thermal conditions. Journal of cleaner production, 177, 115-123.

Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. Science of the Total Environment, 577, 349-359.

Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.

Peng, J., Liu, Q., Xu, Z., Lyu, D., Du, Y., Qiao, R., & Wu, J. (2020). How to effectively mitigate urban heat island effect? A perspective of waterbody patch size threshold. Landscape and Urban Planning, 202, 103873.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879-1900

Tian, Y., Zhou, W., Qian, Y., Zheng, Z., & Yan, J. (2019). The effect of urban 2D and 3D morphology on air temperature in residential neighborhoods. Landscape Ecology, 34, 1161-1178.

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.

Wu, J., Li, C., Zhang, X., Zhao, Y., Liang, J., & Wang, Z. (2020). Seasonal variations and main influencing factors of the water cooling islands effect in Shenzhen. *Ecological Indicators*, *117*, 106699.

Xue, Z., Hou, G., Zhang, Z., Lyu, X., Jiang, M., Zou, Y., ... & Liu, X. (2019). Quantifying the cooling-effects of urban and peri-urban wetlands using remote sensing data: Case study of cities of Northeast China. *Landscape and Urban Planning*, *182*, 92-100.

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).

## 研究内容（研究对象，拟解决的关键科学问题，研究目标，限2000 字）

2.1. 研究内容

（1）城市滨江地区气温的时空分异特征及其形成机制分析

在重庆市，针对3个典型的局地气候区类型（紧凑型中低层建筑街区、开放型高层建筑街区和大型低层建筑街区）各选择一个样地，在一年4个季节分别选择一个低风速无云晴天，在居民主要活动时段开展气象数据的收集活动。基于收集的数据分析气温、相对湿度、风向和风速在样地内的空间格局及其随时间的变化。选择UTCI作为评价研究区域热舒适度的标准，在各测量点基于气象变量计算热舒适度指标，分析其空间格局及其随时间的变化。

1. 城市滨江地区热舒适度及其对环境因素的响应分析

分析气温与环境因素（三维形态、土地覆盖和地理位置）的相关性，提取对气温影响显著的因素，并量化包括各三维形态指标在内的各因素的贡献。最后，综合以上分析，阐明城市滨江地区不同局地气候区类型的气候驱动机制。

（3）城市滨江地区热环境的情景模拟分析

对于不同的局地气候区类型，分别选择模拟区域，通过情景模拟的手段分析不同空间形态布局下的城市滨江地区热环境状况。首先，输入相关环境变量和边界气象条件以进行初始模拟，并基于实测数据对其进行验证。其次，在验证结果符合要求的前提下，通过对建筑高度和建筑覆盖率进行调整来设置不同的情景，并分析各情景下的气象变量和热舒适度指数的时空分异特征。最后，基于各情景的模拟结果，对3个局地气候区类型分别提出对应的城市滨江地区热环境优化方案，为城市滨江地区的规划设计提供科学参考。【up230401 22:50+】

2.2 研究目标

本项目以重庆为例，围绕城市滨江地区的热环境开展分析。具体的研究目标如下：首先，基于气温、相对湿度、风速和风向的测量值分析不同局地气候区类型街区的气候特征，提取对气温影响显著的环境因素，量化包括各三维形态指标在内的各因素对气温空间分异的贡献及其随时间的变化，同时阐明城市滨江地区热环境特征的驱动机制；其次，计算并分析城市滨江地区热舒适度的时空格局，阐明其对环境因素的响应；最后，通过对情景模拟结果的分析为不同局地气候区类型分别提出各自的城市滨江地区热环境优化方案，从而为该区域的规划设计提供参考依据。【up230403 21:58+】

* 1. 2.拟解决的关键科学问题

1. 城市滨江地区在行人高度处的热环境的时空分异。

以往对包括河流在内的城市水体对周边热环境影响的研究以地表温度分析为主，缺乏对行人高度处相关效应的关注，对其在居民主要活动时段内的变化缺乏定量分析。因此，本项目以重庆为例，提出基于实地测量的方法对不同局地气候区类型的城市滨江地区的热环境特征进行分析。

1. 行人高度处的河流热环境效应对包括三维形态特征在内的各环境因素的响应机制。
2. 在城市热环境的影响因素方面，以往的研究已经探讨了天空视野因子 (Sky View Factor, SVF)、建筑高度和建筑体积等三维形态指标。然而，相关研究对于城市滨江地区的讨论不足。在该地区，水体的降温作用会对三维形态指标与气象变量之间的关系造成影响。因此，本项目拟分析行人高度处的河流热环境效应对包括三维形态特征在内的各环境因素的响应机制。

## 研究方案（限2000 字）

* 1. 总体研究思路
  2. 研究区概况

重庆位于长江流域上游，气候类型属于亚热带季风气候，夏热冬暖，日照偏少。研究区位于重庆的城市滨江地区，海拔在210米左右。建筑和道路沿长江沿岸布局，涵盖了不同的局部气候区类型，在我国城市中具有很好的代表性。本项目拟选择3个位于长江沿岸的平坦街区作为样地，开展气象数据的测量活动。样地1位于江津区几江街道，代表紧凑型中低层建筑街区。在该样地内，中低层建筑密集分布，绿色植被分布较少，道路狭窄。样地2位于江津区鼎山街道，代表开放型高层建筑街区。该样地内建筑以高层住宅为主，不同建筑之间间距较大，植被覆盖率大于30%，以草本为主。样地3位于巴南区大江工业园，代表大型低层建筑街区。样地内建筑以一层工业用房为主，植被以乔木为主，道路宽度大于20米。【up230403 14:45+】

3.2 气象数据测量

对于每个样地，根据空间形态布局，在其内部相对均匀地设置30-40个移动测量点。将所有移动测量点分为3组，并对每组分别规划移动路线。在一年4个季节，各选择一个低风速无云晴天进行气象数据的测量。测量在7:00 - 23:00期间进行，涵盖居民主要开展户外活动的时段。在此期间，3个人同时沿3条预先规划的路线在各移动测量点进行测量。每条路线预计耗时约1小时，在每个研究日可完成16轮测量。所采用的测量设备为HOBO便携式气象站，测量的气象变量包括气温、相对湿度、风速、风向和太阳辐射。由于不同移动测量点的数据有时间差异性，需要在各样地内分别额外设置一个固定测量点。在后续数据分析时，移动测量点的气象变量值需要根据测量时刻与参考时刻（每一轮测量的起始时刻）之间对应的差值来调整。【up230403 15:05+】

3.3 环境变量的计算

城市气候特征的主要影响因素包括土地覆盖、三维形态和地理位置等。在后续分析中，根据研究区域的特征和数据可用性，本项目选择以下指标作为城市滨江地区气候特征的潜在影响因素：

（**1**）土地覆盖：绿地覆盖率、不透水面覆盖率、建筑面积比、建筑斑块形状指数和绿地斑块形状指数；

（**2**）三维形态：平均建筑高度、建筑高度标准差、容积率、天空视域因子、正面面积指数（Frontal area index，FAI）和街道峡谷高宽比；

（**3**）地理位置：与河岸的距离、经度和纬度。 【up230403 15:21+】

申请人所在团队已收集研究区域的土地覆盖数据和地形数据。利用上述数据，可计算土地覆盖和地理位置指标。另外，为计算三维形态指标，申请人拟通过在线地图服务平台高德地图API开放平台获取研究区域的三维建筑数据。本项目中三维形态和土地覆盖特征指标的计算依赖于测量点周围特定大小的缓冲区。为了确定缓冲区的大小，需进行回归分析，比较不同尺寸的预设缓冲区内对应的环境因素对气温的解释率，并选择解释率最高的尺寸。【up230403 15:45+】

3.4 城市滨江地区热环境特征的时空分异

本项目拟基于气温和热舒适度指数来分析城市滨江地区热环境特征的时空分异。其中，热舒适度指数的计算采用通用热气候指数 (Universal Thermal Climate Index, UTCI) 和等效生理温度 (Physiological Equivalent Temperature, PET)。UTCI 由国际生物气象学协会（International Society of Biometeorology, ISB）提出。该指标基于等效温度的概念，通过将人体热调节模型和服装模型相结合来对人体生理反应进行模拟。PET基于MEMI 模型（Munich Energy-balance Model for Individuals）开发。该指标单位为 °C，相对于其它热舒适度指数更为直观。在本项目中，上述两个指标均通过RayMan模型计算，对应输入参数均为气温、相对湿度、风速和平均辐射温度 (Mean radiant temperature, Tmrt)。其中，PET的计算要求输入风速值为1.1米高度处测量值，而UTCI的计算则要求风速值为10米高度处测量值。不同高度处风速可由式（1）计算：【up230403 22:45+】

(1)

其中，*vx*表示x米高度处的风速，*vm*为m米高度处的风速。在城市环境中，*z0*设为0.01 米。【up230403 22:45+】

Tmrt的计算如式（2）所示：

(2)

其中，*Tg*表示黑球温度，*Ta*表示气温，*va*表示风速，*ε* 表示黑球温度计的发射率; *D* 为黑球温度计直径 (mm)。

在本项目中，将基于收集的气象数据对气温和热舒适度指数的时空分异特征进行分析。

（2）城市滨江地区热环境特征的驱动机制分析

对于各样地，基于气象数据计算热舒适度指数的时空格局，通过建立逐步多元回归模型来描述环境因素与热舒适度指数的相关性，探究气温的空间格局及其随时间的变化。同时，在不同时间点分析包括各三维形态指标在内的环境因素与气温之间的相关性，建立逐步多元回归模型。在模型构建过程中，筛选对气温影响显著的因素，量化其相对贡献，并分析各因素影响在居民主要活动时段内随时间的变化。最后，结合其它气象变量的时空格局，阐明城市滨江地区气温时空分异的驱动机制及其在不同局地气候区类型之间的差异性。统计分析使用Python编程实现。【up230403 16:29+】

（3）城市滨江地区热环境的情景模拟分析

目前，实地测量分析仅关注研究区域现有的建筑形态特征，未能深入探讨不同建筑形态对城市气候的影响。因此，本项目计划进一步进行情景模拟分析，以研究不同建筑形态下城市滨江地区的热环境特征。为此，我们将采用ENVI-met气候模型进行分析。首先，我们将在夏季选择一个低风速无云晴天，输入气象边界条件（逐小时气温、相对湿度、风速和风向）以及模拟区域内的相关环境参数（例如建筑、植被和地表），对3个局地气候区类型的街区样地进行初始模拟，并使用内部固定测量点收集的气象数据来验证初始模拟结果。【up230403 23:10+】

接下来，我们将根据本项目第二部分的研究结果，调整建筑覆盖率和建筑高度分布，分别针对3个模拟区域设置不同的情景。通过分析不同情景下的城市气候模拟结果，比较逐小时气象变量和热舒适度指数的空间分布。基于此，我们拟提出针对各局地气候区类型的城市滨江地区室外空间热环境优化方案，并评估各方案下的城市热环境状况，以进一步验证其科学性。最终，本项目将为城市滨江地区的规划设计提供科学参考。【up230404 08:38+】

## 特色与创新之处（限1000 字）

包括河流在内的城市水体能显著影响周边地区的气候特征。加深对城市滨江地区热环境状况及其对环境因素响应的理解对于针对性地采取措施以提升城市适应未来气候变化的能力具有重要意义。本项目的创新之处体现在以下方面：【up230401 23:12+】

首先，以往的相关研究主要基于地表温度进行分析，在城市滨江地区行人高度处的热环境特征及其驱动机制方面缺乏系统性的理解。由于行人高度处的热环境状况与居民的实际热舒适感受直接相关，因此本项目拟采用移动测量与固定点测量相结合的方式探究城市滨江地区在行人高度处的热环境状况，提取对其影响显著的环境因素，并阐释相应的驱动机制。【up230401 23:22+】

城市滨江地区的热环境特征及其对环境因素的响应受到太阳辐射、气流等多个过程变化的影响，因此在一天的不同时间有所差异。然而，由于遥感卫星过境时间的限制，目前城市滨江地区热环境特征及其驱动因素的分析主要关注午后或深夜的特定时间点。针对上述研究现状，本项目中开展的实地测量研究涵盖居民进行户外活动的主要时段，将突破以往研究在城市滨江地区热环境特征随时间变化方面的局限性。【up230402 22:57+】

城市水体不仅被发现在白天对周边地区有降温效应，同时还对周边的湿度、风速等气象变量有潜在的影响。然而，目前城市滨江地区的相关研究缺乏对气象变量综合影响的考虑，尤其不清楚不同气象变量综合作用下的热舒适度的时空分异特征及其对水体、三维形态等因素的响应。据此，本项目拟提出使用相关指数来分析城市滨江地区的热舒适状况，以评估城市河流对周边气候的综合作用。【up230402 23:21+】

## 研究计划及预期成果（限500 字）

5.1 研究计划

1. 2024/01-2024/06：收集相关文献，完善研究方案，购买相关测量设备，收集并整理研究区域的土地覆盖和三维形态等数据，计算研究区域的相关环境变量；开展街区样地气象数据的实地测量。【up230403 08:37+】
2. 2024/07-2024/12：继续开展街区样地气象数据的实地测量，完成对样地热环境特征时空变化的分析，阐明城市滨江地区热环境的形成机制；计算并分析热舒适度指数的时空变化，量化城市滨江地区热舒适度对环境因素的响应。【up230403 08:37+】
3. 2025/01-2025/06：开展ENVI-met初始模拟与验证工作，完成城市滨江地区热环境的情景模拟分析，提出城市滨江地区室外空间热环境优化方案。【up230403 08:38+】
4. 2025/07-2025/12：进一步查阅相关文献资料，整理分析相关数据，总结实验结果，完成学术论文1-2 篇，撰写结题报告。【up230403 08:41+】

5.2 预期成果：

（1）明确不同局地气候区类型下城市滨江地区热环境的时空分异特征，量化其对环境因素的响应；解释城市滨江地区热环境特征的形成机制；并基于情景模拟分析的结果提出城市滨江地区的室外空间热环境优化方案。【up230403 08:51+】

（2）在国内外核心刊物上发表2-3篇学术论文（其中SCI论文1-2篇）； 【up230403 08:52+】

## 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；已具备的科研条件，尚缺少的科研条件和拟解决的途径；正在承担的与本项目相关的科研项目情况，限1000 字。）

6.1 研究基础

在攻读博士学位期间，申请人主要从事城市气候相关领域的研究，博士论文研究对象为海风在白天对城市的降温效应。该研究提出了“海风降温能力”，通过比较海风日和平均非海风日相应时段内气温的累积差值来量化海风对城市区域的累积降温作用。申请人利用布置在阿德莱德大都市区的测量点收集的数据量化了不同空间尺度下海风降温能力的空间格局及其随时间的变化，并探究了其影响因素和相应的驱动机制。该研究在沿海城市海风降温效应的量化分析和渗透距离估算方面取得了突破。目前，申请人已在《Building and Environment》和《Atmospheric Research》发表了两篇论文。另有一篇论文已投稿至《Sustainable Cities and Society》，正在审稿中。申请人通过多年的科研训练，熟练掌握了实地数据测量、遥感分析和模型模拟等研究手段，具备丰富的野外工作经验以及生态学、气候学等相关学科的理论基础。【up230403 10:23+】

6.2 工作条件

申请人所在单位拥有教育部重点实验室。该实验室配备了用于城市气候研究的测量设备，包括AM 200便携式叶面积仪、数字摄影测量系统、三维激光扫描仪、数字地图扫描仪等。这些设备可以协助本项目获取土地覆盖、地表特征、三维形态等方面的相关数据。申请人所在团队已从事多年城市热环境、局地通风、高温缓解技术策略等相关领域的研究。团队配备有一台鱼眼镜头相机和两套HOBO气象站。在之前的研究工作中，团队已经积累了重庆市的土地覆盖、气象环境、人口密度等数据集，为本项目提供了部分基础数据。团队成员不仅具备扎实的城市气候学理论基础，还拥有丰富的城市气候实地测量经验，对重庆的城市建筑形态、地形状况和气候特征非常熟悉。【up230403 10:53+】