# 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。为应对相关气候挑战，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，深入认识城市气候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。【up230320 10:09】

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的作用。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。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，其对滨江地区的气候特征有潜在的影响。因此，本项目拟关注城市河流对滨江地区的热环境效应及其形成机制，相关结果将有助于理解滨江地区的气候特征及其对区域环境因素的响应，从而为城市滨江地区的规划设计提供科学参考。【up230320 10:09】

1.2 国内外研究进展

对于包括河流在内的城市水体的热环境效应，过去的研究主要基于遥感反演的地表温度数据。相对于通过实地测量获取的气温，遥感地表温度能够提供覆盖更广泛的温度分布信息。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存在差异。由此可见，简单地使用地表温度来反映城市区域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水体热环境效应研究仅探讨午后特定时间点的气候特征。然而，对于城市水体热环境效应在居民主要活动时段内随时间的变化及其整体影响还缺乏理解。综上，遥感数据在反映城市水体在行人高度处的热环境效应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深入探究。【up230320 10:29】

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，表面温度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这3个局地气候区类型开展研究，以深入理解行人高度处城市河流的热环境效应在不同局地气候区类型之间的差异性。【up230220 10:58】

在城市水体热环境效应的影响因素方面，以往的研究主要关注水体自身的形态特征和周边的土地覆盖特征，而对建筑高度等三维形态特征的相关影响理解有限。事实上，三维形态特征对城市气候起着至关重要的作用（Alavipanah et al., 2018）。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、建筑覆盖率），三维形态特征在预测气温方面表现更好（Tian et al., 2019）。目前，相对于绿地周边等其它区域类型，城市滨江地区的三维形态特征与气候关系的相关研究缺乏，这不利于对该区域气候的全面理解（Ampatzidis et al., 2020；Cheval et al., 2020; Wang et al., 2021；Wu et al., 2018；Yang et al., 2023）。【up230220 11:43】

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水体的热环境效应来对区域气候进行调节。【up230220 13:58】

## 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）城市滨江地区气候及其驱动机制分析

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）各选择一个街区尺度样地，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。同时，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。【up230220 14:30】

（2）城市滨江地区热舒适度及其对环境因素的响应分析

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，提取显著影响热舒适度的环境因素，并量化包括各三维形态指标在内的各因素对热舒适度的贡献。【up230220 15:38】

（3）城市滨江地区热环境与热舒适度的情景模拟分析

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气候特征。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，并分析各情景下的逐小时气象变量和热舒适度指数的时空分异特征。最后，根据各情景下的模拟结果，对3类局地气候区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。【up230220 16:12】

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与热舒适状况开展分析。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时空分异的贡献，同时阐明城市滨江地区气候特征的驱动机制；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。【up230220 17:45】

2.3. 拟解决的关键科学问题

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，对其时空分异特征及其形成机制缺乏认识。基于以上研究现状，本项目关注河流这一水体类型，拟解决以下关键科学问题：

（1）如何准确量化行人高度处河流对周边热环境的影响及其时空分异？

（2）如何阐明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）

3.2 研究方案

本项目拟以重庆的城市滨江地区为例，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，为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，为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，为大型低层建筑街区。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。【up230220 19:36】

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2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，涵盖居民户外活动的主要时段。在此期间，2个人同时沿2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2小时，在每个研究日可完成8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。【up230221 08:12】

城市气候特征的主要影响因素包括三维形态、土地覆盖和地理位置等。根据研究区域的特征和数据可用性，在后续分析中，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。 【up230221 09:06】

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。【up230221 10:22】

对于属于不同局地气候区类型的样地，首先分析各测量点的气象数据，探究气温、相对湿度、风速、风向和太阳辐射的时空分异特征。同时，利用相关分析，在不同时间点探究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，综合以上分析，阐明城市滨江地区气候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。【up230221 13:43】

（2）城市滨江地区热舒适度分析

本项目选择 Universal Thermal Climate Index (UTCI)作为估算热舒适度的标准。UTCI使用人体热平衡多节点模型计算环境的热舒适状况。该指标可通过 BioKlima 2.6模型计算，对应输入参数包括气温、相对湿度、 平均辐射温度（Mean radiant temperature，MRT）和10米处风速。10米高度风速可由式（1）计算：



其中，Vx表示x米高度处的风速。Tmrt的计算如式（2）所示：



其中，Tg表示黑球温度，Ta表示气温。

在该部分的分析中，首先，在不同时间点探究环境因素与热舒适度之间的相关性，建立逐步多元回归模型，筛选对热舒适度影响显著的因素，量化各因素影响在居民主要活动时段内随时间的变化。

（3）城市滨江地区热环境和热舒适的情景模拟分析

目前，实地测量分析仅关注研究区域现有的建筑形态特征，未能深入探究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和热舒适特征。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。【up230227 16:26】

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，分析并比较逐小时气象变量的空间分布。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气候格局，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。【up230227 16:30】

## 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和热舒适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：【up230321 16:01】

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气候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。【up230321 16:01】

城市滨江地区的气候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气候特征随时间变化方面的局限性。【up230321 17:41】

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。【up230321 17:41】

## 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。【up230321 19:41】
2. 2024/07-2024/12：继续开展街区样地气象数据的实地测量，完成对样地气象数据时空变化的分析，阐明城市滨江地区气候特征的驱动机制；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。【up230321 19:39】
3. 2025/01-2025/06：开展ENVI-met初始模拟与验证工作，完成城市滨江地区气候的情景模拟分析，提出城市滨江地区室外空间热环境优化方案。【up230321 19:39】
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。【up230321 19:39】

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与热舒适的时空分异特征，量化其对环境因素的响应；解释城市滨江地区气候特征的驱动机制；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。

（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）； 【up230321 20:01】

## 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

项目申请人在攻读博士学位期间专注于城市气候研究，具体研究对象为海风在白天对城市的降温效应。在该研究中，申请人提出了“海风降温能力”这一指标，基于海风日与平均非海风日海风发生期间气温的累积差值来量化海风对城市热环境的累积降温作用。利用在阿德莱德大都市区布置的固定测量点收集的数据，申请人量化了海风降温能力在阿德莱德中央商务区和大都市区的时空特征，并探究了其影响因素，阐明了海风对城市气候影响的机制。该研究在沿海城市海风降温效应的量化分析以及估算海风降温效应的渗透距离等方面取得了突破。基于该研究的内容，申请人以第一作者的身份在《Building and Environment》和《Atmospheric Research》各发表了一篇论文，同时另有一篇论文已投稿至《Sustainable Cities and Society》，正在审稿中。经过多年的科研训练，申请人已熟练掌握实地数据测量、遥感分析和模型模拟等方法，具备生态学、气候学等相关学科基础和丰富的野外工作经验。【up230321 22:57】

6.2 工作条件

申请人依托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，例如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气候、高温缓解技术策略、局地通风等相关领域的研究。团队配备有一台鱼眼镜头相机和一套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，为本项目提供了基础数据。团队成员不仅具备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，还拥有扎实的城市气候学理论基础。【up230321 23:39】

备用资料：

然而，目前城市水体对周边热环境影响的相关研究还存在以下方面的不足：（1）过去的研究主要基于通过遥感反演的地表温度来分析区域热环境，对于行人高度处城市水体的热环境影响缺乏理解；（2）相关研究主要基于一天特定时间点的数据进行分析，尚未关注在居民主要活动时段内城市水体的热环境效应随时间的变化及其整体影响；（3）除对气温的影响外，目前还缺乏城市水体对居民热舒适度影响的相关研究。可见，对于城市滨江地区的规划设计而言，相关研究结果的参考意义有限。