

# 山地城市热风险评估及气候适应性规划策略

——以重庆内环核心区为例

李 旭，祝鑫晖，施乾雨，陆海天

**【摘要】**针对高密度山地城市建筑密集、功能多样的复杂环境，结合用地功能构建局地气候亚型分类体系，同时构建“危险性—暴露度—敏感性—适应性”的复合指标评估热风险，并分析不同局地气候区亚型的热风险特征与热风险贡献程度。结果表明，重庆内环高热风险区主要分为紧凑中高层商业商务及居住街区、开敞型商业商务街区、大型低层商业商务街区、非常开敞的低层综合服务街区、大型低层工业与物流仓储街区。基于此，提出构建热风险识别、查询与管控的数字化管理系统，制定应对热风险的山地城市气候适应性空间规划策略，设置城市更新应对热风险的菜单式工具包。分析显示，叠加功能的局地气候区亚型能够更精准地识别热风险区域及背后的影响因素，据此可制定更具针对性的城市热风险缓解策略，可为类似城市应对热风险问题提供参考。

**【关键词】**局地气候区亚型；用地功能；热风险评估；气候适应性规划；重庆

**【文章编号】**1006-0022(2025)07-0035-10 **【中图分类号】**TU981、F301.24、F299.23 **【文献标志码】**B

**【引文格式】**李旭，祝鑫晖，施乾雨，等. 山地城市热风险评估及气候适应性规划策略：以重庆内环核心区为例 [J]. 规划师, 2025(7): 35-44.

Heat Risk Assessment and Climate-adaptive Planning Strategies for Mountainous Cities: The Example of Inner Ring Area of Chongqing/LI Xu, ZHU Xinhui, SHI Qianyu, LU Haitian

**【Abstract】** With respect to the dense buildings and complex functions of high-density mountainous cities, a localized sub-climate type classification system is established integrating land use functions, and a composite indicator assessment system for heat risk is constructed based on "risk-exposure-sensitivity-adaptability", analyzing the characters and contributions of heat risk by different sub-climate types. The results show that high heat risk areas within the inner ring of Chongqing are compact medium high commercial and residential blocks, open commercial blocks, large-scale low commercial blocks, wide-open low comprehensive service blocks, large-scale industrial and logistics blocks. Based on these, a digital management system for heat risk recognition and governance is put forward, and the strategies and toolkit menu for climate adaptive spatial planning are formulated. The research shows that sub-climate type overlapping functions may identify underlying reasons of heat risk areas more accurately, and correspondent measures can be carried out to mitigate urban heat risks.

**【Keywords】** localized sub-climate type; land use function; heat risk assessment; climate-adaptive planning; Chongqing

## 0 引言

城市极端高温事件的严重程度、频率和持续时间<sup>[1]</sup>。持续高温可能会对城市居民健康产生不利影响，特别是气候变化与城市化速度远超预期，可能会加剧未来是极端高温事件会显著提高心脑血管疾病、心理疾病

**【基金项目】** 国家自然科学基金面上项目 (51978092)

**【作者简介】** 李 旭，重庆大学建筑城规学院、山地城镇建设与新技术教育部重点实验室、自然资源部国土空间规划监测评估预警重点实验室教授、博士生导师，中国城市规划学会城市规划历史与理论分会委员。lixu\_92@163.com

祝鑫晖，重庆大学建筑城规学院硕士研究生。

施乾雨，重庆大学建筑城规学院硕士研究生。

陆海天，重庆大学建筑城规学院博士研究生。

和意外死亡的风险<sup>[2]</sup>。《国家适应气候变化战略 2035》强调“主动适应、预防为主；系统适应、突出重点”。进行城市热风险评估，精准确定易受高温影响的地点和人群，可为气候适应性规划与建设提供科学依据<sup>[3]</sup>。

国内外城市热风险评估研究通常采用灾害管理中经典的“危害—暴露度—脆弱性”风险三角框架<sup>[4]</sup>，或联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 评估报告提出的“暴露度—敏感性—适应能力”框架<sup>[5]</sup>来确定相关物理环境和社会经济指标，形成热风险地图。早期研究揭示了不同行政单元 (如城市、区县和社区等) 中热风险的主导因子。

为进一步捕捉城市内部空间的差异，促进热风险评估结果向具体规划干预策略转化，相关研究引入了能够有效表征城市建成区与自然地表的局地气候区 (Local Climate Zones, 简称“LCZ”) 框架<sup>[6]</sup>，能够揭示不同地表类型的热风险特征<sup>[7]</sup>。相关研究利用地表温度和手机信令数据分析北京不同 LCZ 的昼夜热暴露风险差异，发现紧凑中高层 (LCZ 1-2) 在高热暴露风险中的贡献最为显著<sup>[8]</sup>；利用脆弱性框架分析沈阳不同 LCZ 的热脆弱性差异，发现大型低层 (LCZ 8) 和紧凑高层 (LCZ 1) 的平均热脆弱性最高<sup>[9]</sup>；利用风险三角框架分析常州 LCZ 类别与热相关健康风险水平之间的关系，发现紧凑高层 (LCZ 1) 与低层 (LCZ 3) 具有最高的热风险<sup>[10]</sup>。这些差异与不同城市空间形态以及 LCZ 类型占比密切相关。

研究表明用地功能也与热环境、热暴露风险有密切关系。例如：重工业因生产过程中排放大量热量而被单独列为 LCZ 10<sup>[6]</sup>；热暴露风险与人口密度、行为活动密切相关，用地功能对此有重要影响<sup>[11]</sup>。高密度超大城市的用地功能更为复杂多样，导致热风险的原因各有差异，

应对策略也不一样，需要更精细化的分类研究。例如，紧凑高层街区 (LCZ 1) 既可以用于住宅也可用于商业办公，不同的用地功能对应的热风险可能存在较大差异。

由此，本文结合用地功能，构建涵盖城市空间形态与人类行为活动的 LCZ 亚型体系，以夏季极端高温频繁的高密度山地城市重庆内环为例，采用多源数据，以街区为单元分析 LCZ 亚型与热环境、热风险的复杂关联，更为精准地识别高热风险区域，在此基础上提出山地城市气候适应性规划策略，为高密度山地城市热风险治理提供参考。

## 1 热风险识别与应对的理论基础

城市热风险被定义为高温灾害可能会对人类或生态系统产生的负面影响，主要的评估框架有风险三角理论与脆弱性理论。其中：风险三角理论认为风险由危害、暴露和脆弱性 3 个评估要素构成，只有当这 3 个要素同时作用于同一地点时，风险才会发生<sup>[4]</sup>；脆弱性理论则认为系统容易受到影响或无法对抗伤害、破坏或危害的程度，与系统的暴露、敏感性和适应能力相关<sup>[5]</sup>。上述评估框架及指标遵循共同的基本逻辑为高温是致灾的根源，是危险性的表征；人类活动行为密度是暴露度的表征；老年人、儿童及特殊人群的数量反映了人对高温易感或脆弱的内在特征，是敏感性的表征；个人或城市系统应对高温的能力则是适应性的表征。这 4 项特征的叠加反映了城市的热风险。

由于 LCZ 分类能够有效表征城市建成区与自然地表的局地气候，城市功能能够反映人类活动的密度，LCZ 叠加城市功能形成的亚型可以更好地识别高热风险区域，也有利于城市规划提出更为精准的热风险缓解策略与措施，有助于

形成“热风险识别—空间规划策略—风险缓解措施”的气候适应性规划体系。

由此，本文构建基于 LCZ 的山地城市热风险评估方法，即以街区为单元，结合用地功能进行 LCZ 亚型划分，形成 LCZ 亚型空间分布图；从危险性、暴露度、敏感性与适应性 4 个维度评估城市热风险，形成城市热风险地图；结合贡献指数与可解释机器学习模型，分析不同 LCZ 亚型的热风险特征及叠加效应，并探讨其热风险贡献程度与主要影响因素。

据此构建热风险识别、查询与管控的数字化系统，以街区为单元精准识别热风险，了解其热风险源于哪些分项特征、影响程度如何。同时，结合街区 LCZ 亚型分类了解城市空间形态与功能特征，提出多尺度空间的气候适应性规划策略；基于热风险分项特征提出菜单式工具包。城市更新可结合 LCZ 亚型，根据热风险分项特征选择适配的缓解策略。见图 1。

## 2 基于 LCZ 的山地城市热风险评估方法

### 2.1 LCZ 亚型分类

一是 LCZ 分类。采用 GIS 流的 LCZ 分类方法，通过计算各街区单元的建筑覆盖率、平均建筑高度、天空开阔度、不透水率、绿地覆盖率与水体覆盖率 6 个指标，结合 Stewart 等<sup>[6]</sup>和 Ming 等<sup>[12]</sup>研究的 LCZ 分类阈值，识别 LCZ 类型 (图 2)，并对分类结果进行手动检查和修正。

二是用地功能分类。采用 POI 权重比的用地功能划分方法<sup>[13]</sup>：根据用地功能分类，确定一级 POI 及其所包含的二级 POI 类型权重 (如居住类作为一级 POI，包含住宅区、别墅和社区中心等二级 POI)；计算各一级 POI 在街区单元中的频率密度，当某一级 POI 在单元内的

频率密度  $\geq 50\%$  时, 将该街区归类为相应的用地功能, 并对分类结果进行手动检查和修正。

三是 LCZ 亚型分类。用地功能中的河流水体 (U)、绿地休闲 (G) 分别等同自然类 LCZ G、LCZ P, 不再参与组合细分。建筑类 LCZ 与用地功能类别组合后形成建筑类 LCZ 亚型。例如, 紧凑高层 (LCZ 1) 和商业商务 (B) 功能组合成为紧凑高层商业商务街区 (LCZ 1-B)。

## 2.2 热风险评估框架

参考既有研究的热风险指标体系, 构建热风险评估指标体系 (表 1)。

在危险性方面, 以基于 GEE 平台的 Landsat 8 OLI/TIRS 遥感影像数据反演得到的地表温度<sup>[14]</sup> 作为指标, 反映城市不同区域热环境的差异。

在暴露度方面, 将人口密度作为主要指标。因为街区人口密度越高, 人均可获得的降温设施或空间就越少, 所以暴露于高温中的风险也越高。同时, 为补充描述街区的人群活动强度, 引入步行指数<sup>[15]</sup> 指标, 计算方法主要包括以下 3 个步骤: 一是确定服务设施分类及其权重表; 二是基于距离衰减效应计算基础步行指数; 三是基于步行环境的衰减效应计算归一化后的单点步行指数。

在敏感性方面, 幼儿和老年人对与高温相关的健康风险更为敏感, 对高温的耐受性较低, 外卖员和快递员的工作性质使其更易受高温影响。研究通过提取 WorldPop 数据中 4 岁以下幼儿和 65 岁及以上老年人的人口密度, 以及计算餐饮店铺和快递站点的核密度<sup>[16]</sup> 来获得外卖员密度指数与快递员密度指数, 作为敏感性主要指标。

在适应性方面, 建筑年代是反映街区相关设施降温效率的重要指标, 而建筑价格则可以表征住户的收入水平, 并

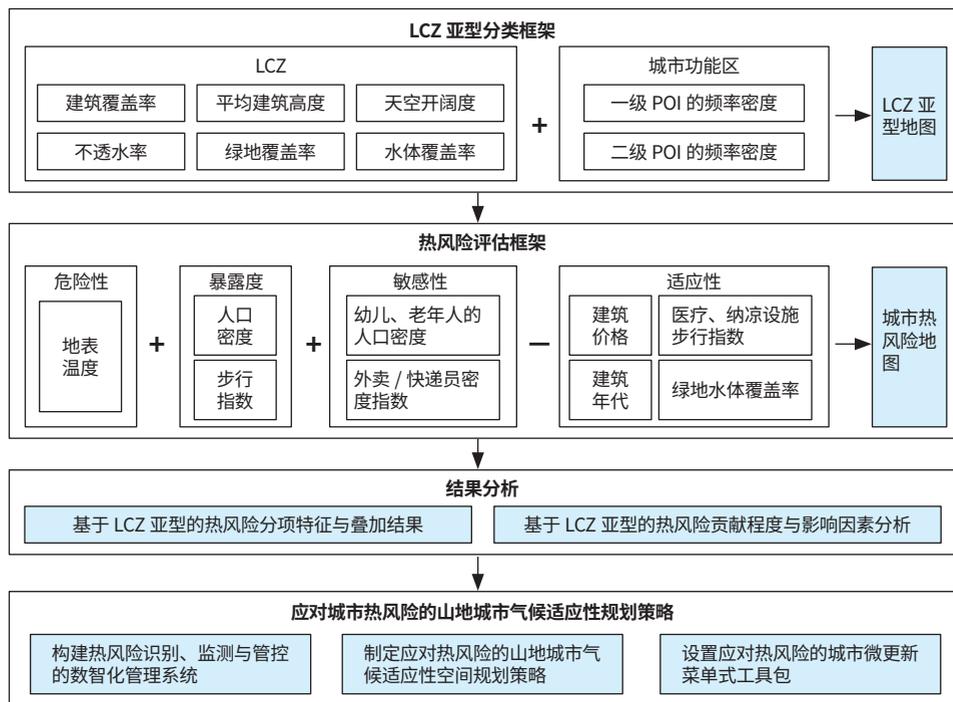


图 1 研究框架

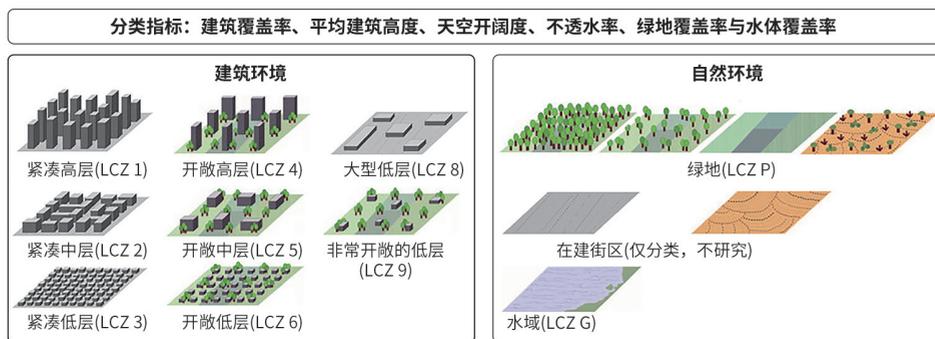


图 2 LCZ 分类框架

资料来源: 根据参考文献 [6] 的标准图改绘。

表 1 热风险评估指标体系

准则层	指标层	描述
危险性	地表温度 / $^{\circ}\text{C}$	夏季高温区域空间分布
暴露度	人口密度 / (人 / $\text{hm}^2$ )	人群聚集程度
	步行指数	人群活动强度
敏感性	0 ~ 4 岁幼儿的人口密度 / (人 / $\text{hm}^2$ )	幼儿对高温敏感
	65 岁及以上老年人的人口密度 / (人 / $\text{hm}^2$ )	老年人对高温敏感
	外卖员密度指数	室外工作导致的高温敏感群体
	快递员密度指数	
适应性	建筑年代 / 年	建筑降温设施的效率与可用性
	建筑价格 / (元 / $\text{m}^2$ )	表征社区服务和降温设施
	医疗设施步行指数	医疗服务的可获得性
	纳凉设施步行指数	公共纳凉场所的可获得性
	绿地覆盖率 / %	辅助城市降温的自然要素
	水体覆盖率 / %	

且能够反映街区降温设施的效率与使用频次<sup>[17]</sup>。这两个指标主要通过提取二手房价格和建筑年份获得。公共医疗和纳凉设施的密度或可达性能帮助居民抵御高温影响,可用于衡量适应能力。因此,研究采用兼具密度和可达性的医疗设施步行指数与纳凉设施步行指数作为适应性指标,其计算方法与暴露度指标中的步行指数类似。街区内部的蓝绿空间是缓解城市热环境的重要因素,故将绿地覆盖率和水体覆盖率纳入适应性指标体系。

研究采用等权重法计算各评估要素指数(所有指标都标准化至0~1)。该方法为每个指标分配相同的重要性,能够较为客观且均衡地衡量每个指标对评估要素的影响<sup>[18]</sup>。危险性、暴露度和敏感性会增加热风险,而适应性则有助于降低热风险,通过加减法计算得出热风险指数。最终,利用自然断点法将其划分为5个等级(低、较低、中等、较高、高)。

### 2.3 贡献指数分析

贡献指数(Contribution Index,简称“CI”)是用于衡量LCZ亚型的热风险贡献程度,CI的值越大,代表贡献程度越高<sup>[19]</sup>。贡献指数的计算公式如下:

$$CI = \frac{S_{hi} \div S_i}{S_h \div S} \quad (1)$$

式中: $i$ 是指第 $i$ 种LCZ亚型; $S_{hi}$ 是指较高和高温风险街区中第 $i$ 种LCZ亚型的面积; $S_i$ 是指第 $i$ 种LCZ亚型的面积; $S_h$ 是指研究区域内较高和高温风险街区的面积; $S$ 是指研究区域的总面积。

### 2.4 可解释机器学习模型分析

采用类别提升(CatBoost)机器学习方法与SHAP分析方法组成可解释机器学习模型<sup>[20]</sup>,评估13个热风险指标对不同LCZ亚型热风险的影响程度。CatBoost

基于梯度提升决策树,通过迭代训练、特征处理和模型预测,捕捉变量之间的复杂非线性关系;SHAP算法对机器学习结果进行解释,量化变量的重要性排序。

## 3 重庆内环核心区热风险评估案例

### 3.1 研究区域概况

重庆地处四川盆地东缘,属于中亚热带湿润季风气候,受副热带高压及地形影响,夏季炎热,是中国的“火炉”城市之一。2022年8月,重庆中心城区气温超过35°C的天数达28天,其中沙坪坝区有22天的气温超过40°C。研究区域为重庆内环核心区,指由内环快速路、渝南大道、学府大道和海峡路干道所围合的区域,面积为230.63 km<sup>2</sup>,海拔落差为298 m,常住人口约268万。该区域位于中梁山与铜锣山之间,是重庆中心城区最为核心的区域,包含两个市级商圈、4个区级商圈,功能复杂多样,人口密集,对其进行热风险评估具有迫切性与重要性。

### 3.2 数据来源

采用多源数据,包括开放街道路网、POI、土地覆盖、建筑物、遥感影像、人口密度和二手房信息等数据。其中:开放街道路网数据主要用于划分街区单元;POI、土地覆盖和建筑物数据主要用于划分LCZ亚型;其他数据则主要用于评估城市热风险。

### 3.3 LCZ亚型分类

根据实际情况,结合重庆LCZ分类的相关研究<sup>[12]</sup>,本研究涉及10种LCZ,其中建筑环境为LCZ1~6、LCZ8~9,共有8种(图3-a),自然环境为水域和绿地。按照国土空间总体规划中的用地功

能分类,重庆内环核心区可划分为居住(R)、综合服务(A)、商业商务(B)、工业(M)、物流仓储(W)、交通枢纽(S)、绿地休闲(G)与河流水体(U)共8种用地功能(图3-b)。8种建筑类LCZ与6种用地功能类别组合后形成21种建筑类LCZ亚型(图3-c)。

分析表明LCZ和用地功能的空间分布呈“全域分散、局部集中”的特征。部分建筑类LCZ与用地功能关联明显,如工业与物流仓储均为大型低层(LCZ8),交通枢纽均为非常开敞的低层(LCZ9)。

在建筑类中,面积占比由大到小依次为开敞中高层居住街区(LCZ4-R~5-R,位于北部、中部)、紧凑中层居住街区(LCZ2-R,商圈周边老旧小区)、开敞中层综合服务街区(LCZ5-A,教育类用地)、大型低层工业街区(LCZ8-M,南部工业园)。在自然类中,河流水域(LCZG-U)的面积占比最大,主要为嘉陵江、长江;公园绿地(LCZP-G)相对小一些,主要分布在江岸以及城中的山体与陡坡。

### 3.4 热风险评估结果分析

#### 3.4.1 热风险分项特征与叠加结果分析

危险性评估显示(图4-a),高温空间主要包括LCZ8~9的所有亚型,反映了空间形态与地表温度的密切联系。其中:西南部大型低层工业街区(LCZ8-M)的温度最高(45.73°C);大型低层商业商务与物流仓储街区次之;最后是非常开敞的低层交通枢纽与综合服务街区。用地功能对温度也有一定影响,在绝大多数LCZ亚型中,温度由高到低依次为商业商务类、综合服务类、居住类。相比之下,高层居住街区是建筑类中温度最低的(41.42°C)。河流水域的温度在所有类中最低(32.35°C),受其影响,两江沿

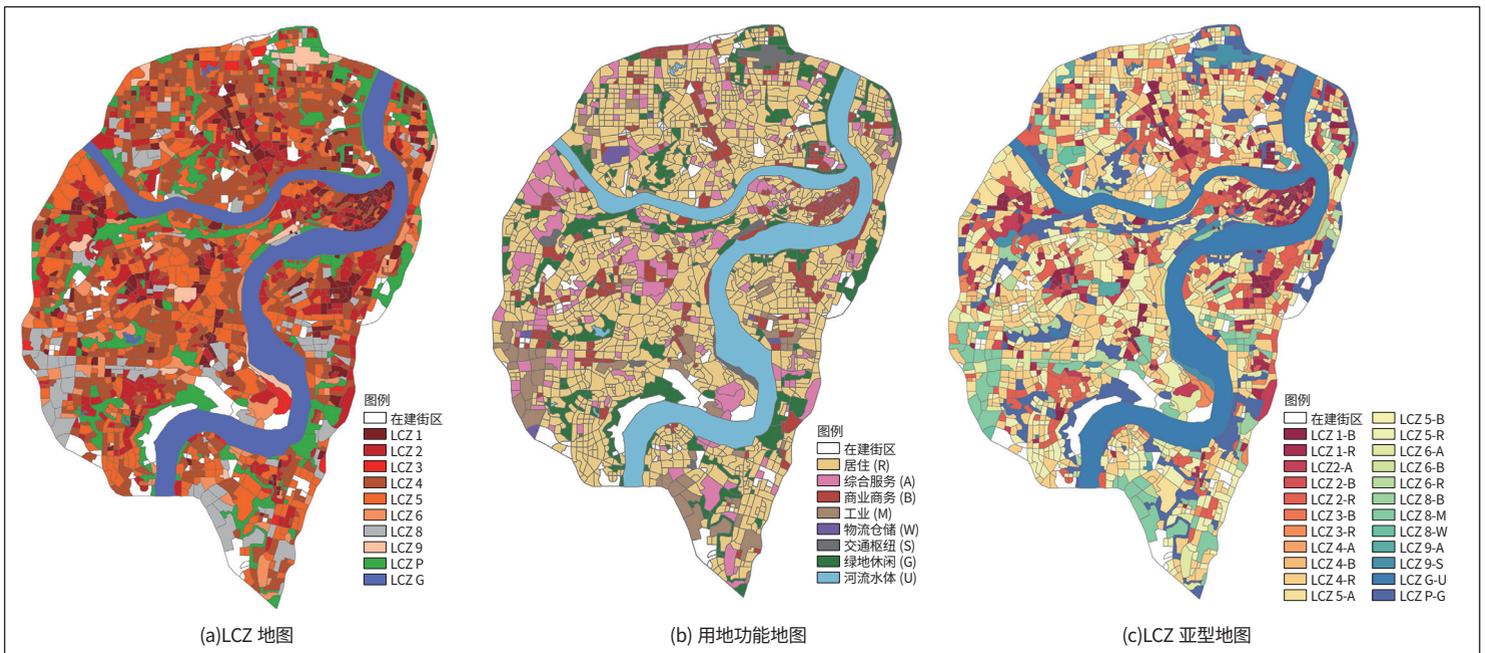


图3 LCZ 叠加用地功能形成 LCZ 亚型分类

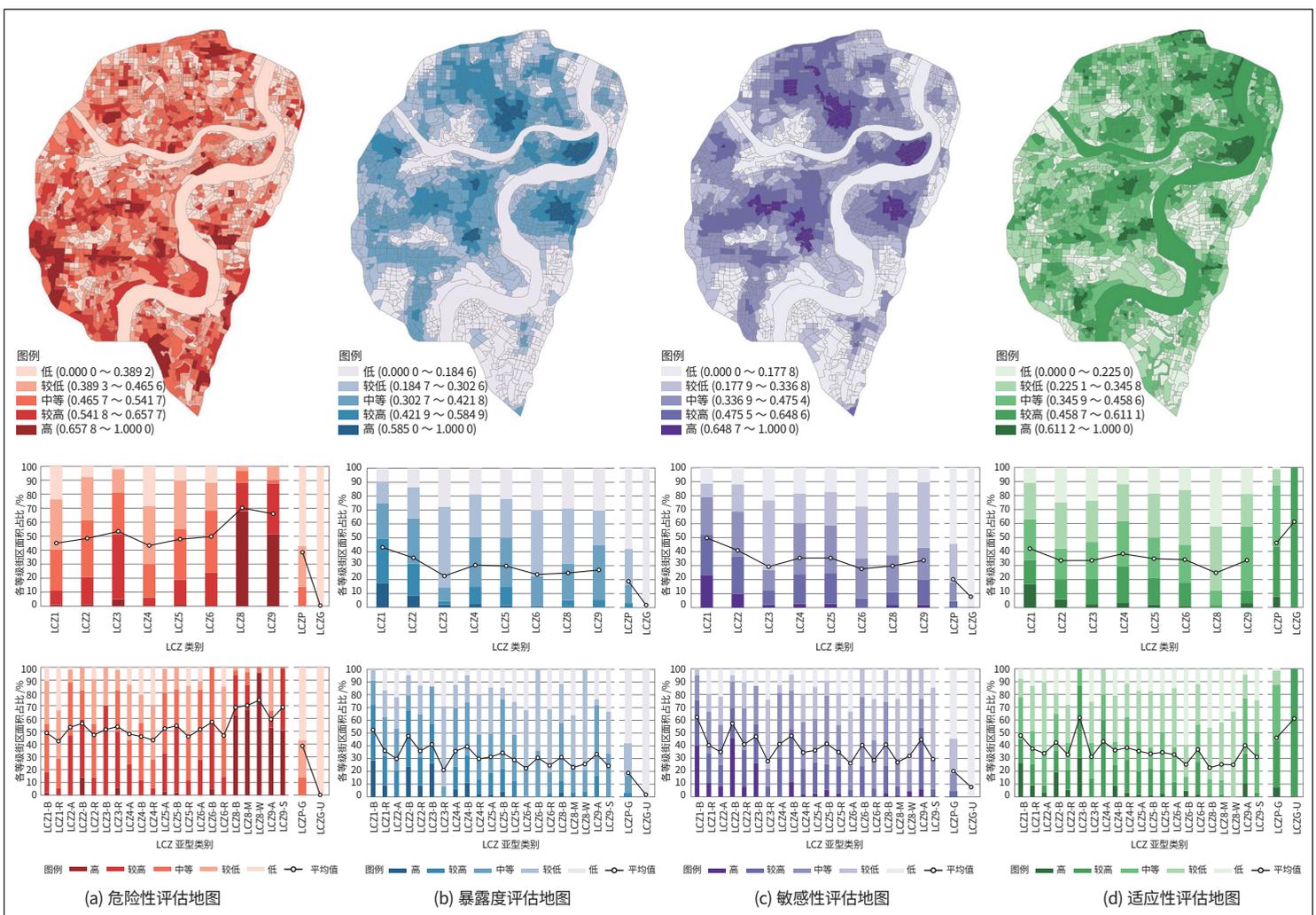


图4 热风险分项特征评估地图

岸街区的温度较低。

暴露度与人口密度及用地功能密切相关(图4-b),暴露度高的空间呈同心圆状从多个城市商圈由内向外等级依次递减。其中:解放碑、观音桥和南坪3大商圈暴露度最高,主要为紧凑型商业商务街区;其次是商圈边缘的开敞中高层商业商务街区和紧凑中高层居住街区;自然类LCZ亚型人口密度最低,暴露度的平均值也最低。

敏感性也与人口密度及用地功能密切相关(图4-c),敏感性高的空间分布与暴露度相似,位于解放碑、观音桥和南坪3大商圈,但分布范围更广。其中:紧凑型商业商务街区因有大量老年人和

户外工作者(外卖员与快递员),敏感性最高;商圈附近的紧凑中高层居住街区、开敞型商业商务街区、大型低层商业商务街区以及非常开敞的低层综合服务街区的敏感性也相对较高;自然类LCZ亚型因人口密度低,敏感性最低。

适应性高的空间与危险性高的空间分布呈反向态势(图4-d)。其中,城市中部街区的适应性等级普遍较高,主要由紧凑型商业商务街区构成。这些街区自身降温设施较为齐全,且紧邻公共医疗与纳凉设施场所,蓝绿空间和公园绿地也较多。反之,城市商圈外围及南部边缘街区的公共医疗、纳凉场所、蓝绿空间较少,适应性最低。

上述分项特征的叠加形成热风险评估地图(图5),显示观音桥和南坪商圈及其外围是高热风险聚集区,研究区域西南部也形成了环状的高热风险聚集区。

### 3.4.2 LCZ亚型热风险贡献程度分析

结合不同LCZ亚型热风险贡献指数分析(图6),高热风险区域主要由紧凑中高层商业商务及居住街区、开敞型商业商务街区、大型低层商业商务街区以及非常开敞的低层综合服务街区组成,这些街区大多具有较高的暴露度和敏感性,部分街区(如LCZ6-B、LCZ8-B)还表现出高危险性和低适应性。此外,大型低层工业与物流仓储街区由于高危险性和低适应性,也是研究区较高热风险

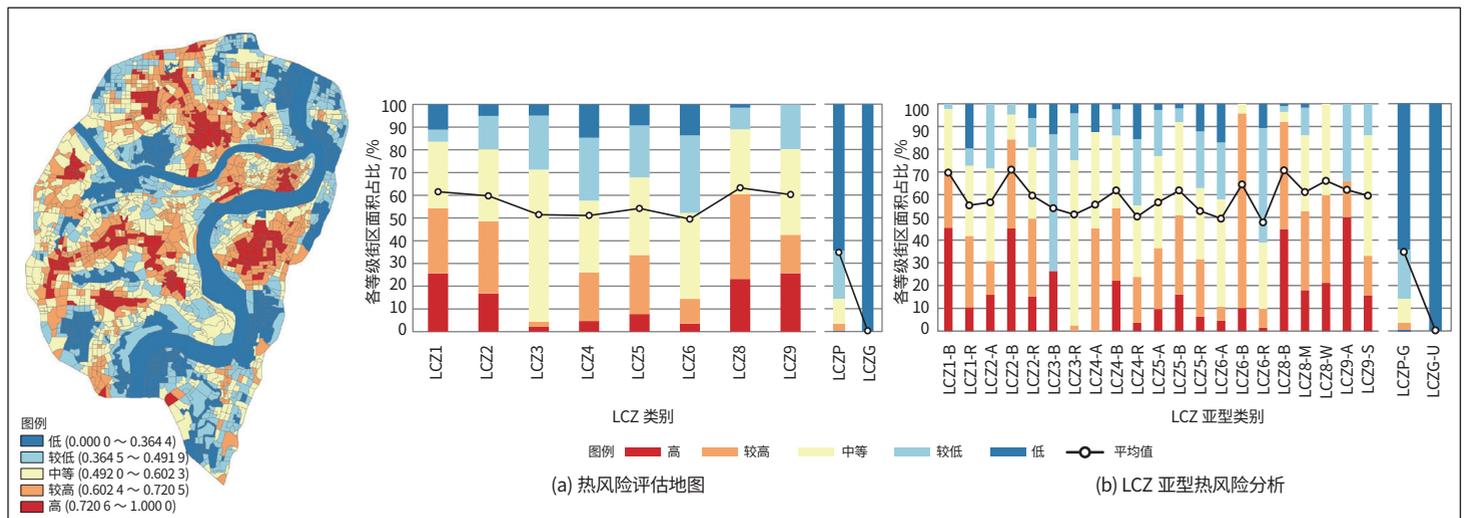


图5 热风险评估地图及LCZ亚型热风险分析

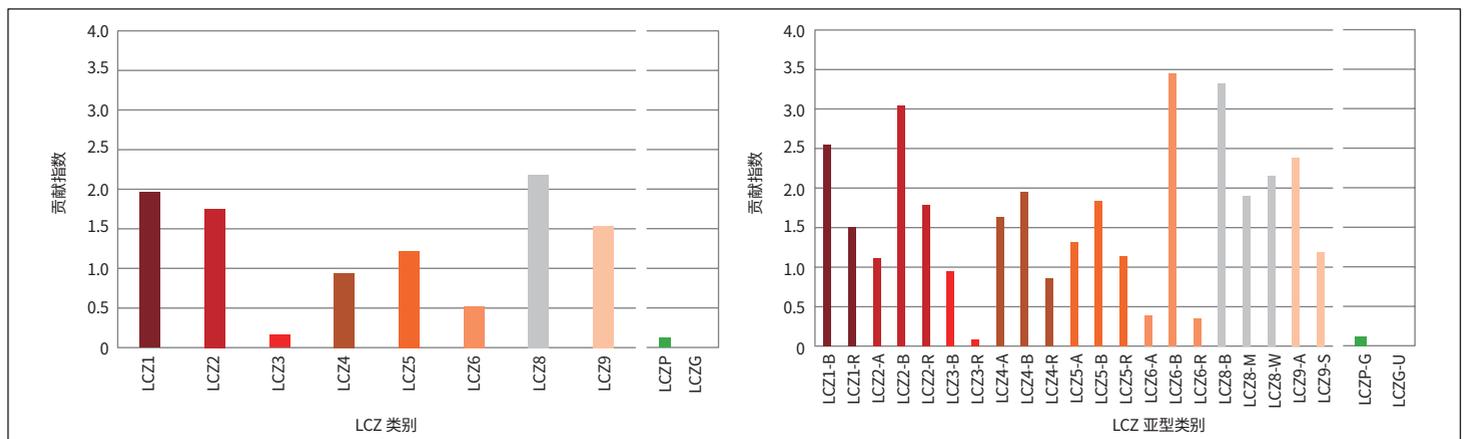


图6 不同LCZ、LCZ亚型的热风险贡献指数

的主要贡献街区。

大部分低热风险街区则分布在两江沿岸以及城市西南部，由开敞中高层居住街区、紧凑低层居住街区和开敞低层综合服务街区组成，河流水域和公园绿地的热风险最低。

### 3.4.3 LCZ 亚型热风险影响因素分析

采用可解释机器学习模型可以量化影响因素的重要性排序，分析表明：13种影响因素对10种LCZ亚型（其他LCZ亚型受限于样本数量，未达到可有效解释

变量关系的阈值）热风险的作用程度差异明显（图7），且与LCZ类型及用地功能属性密切相关。其中，人口密度（E01）是最重要的影响因素，在8种LCZ亚型中排第一。0~4岁幼儿的人口密度（S01）与65岁及以上老年人的人口密度（S02）也是相对重要的影响因素，在综合服务功能的LCZ亚型中位列前三，在紧凑高层商业、居住街区的影响因素中排第二。绿地覆盖率（A05）在居住街区的影响因素中排前三，表明居住街区较高的绿地覆盖率

可以缓解热风险。地表温度（H01）仅在工业街区（LCZ 8-M）的影响因素中排第一，表明工业街区因生产活动与形态特征导致的高地表温度，显著加剧了热风险。

## 4 应对城市热风险的山地城市气候适应性规划策略

### 4.1 构建热风险识别、查询与管控的数字化管理系统

鉴于不同LCZ亚型与热环境、热风

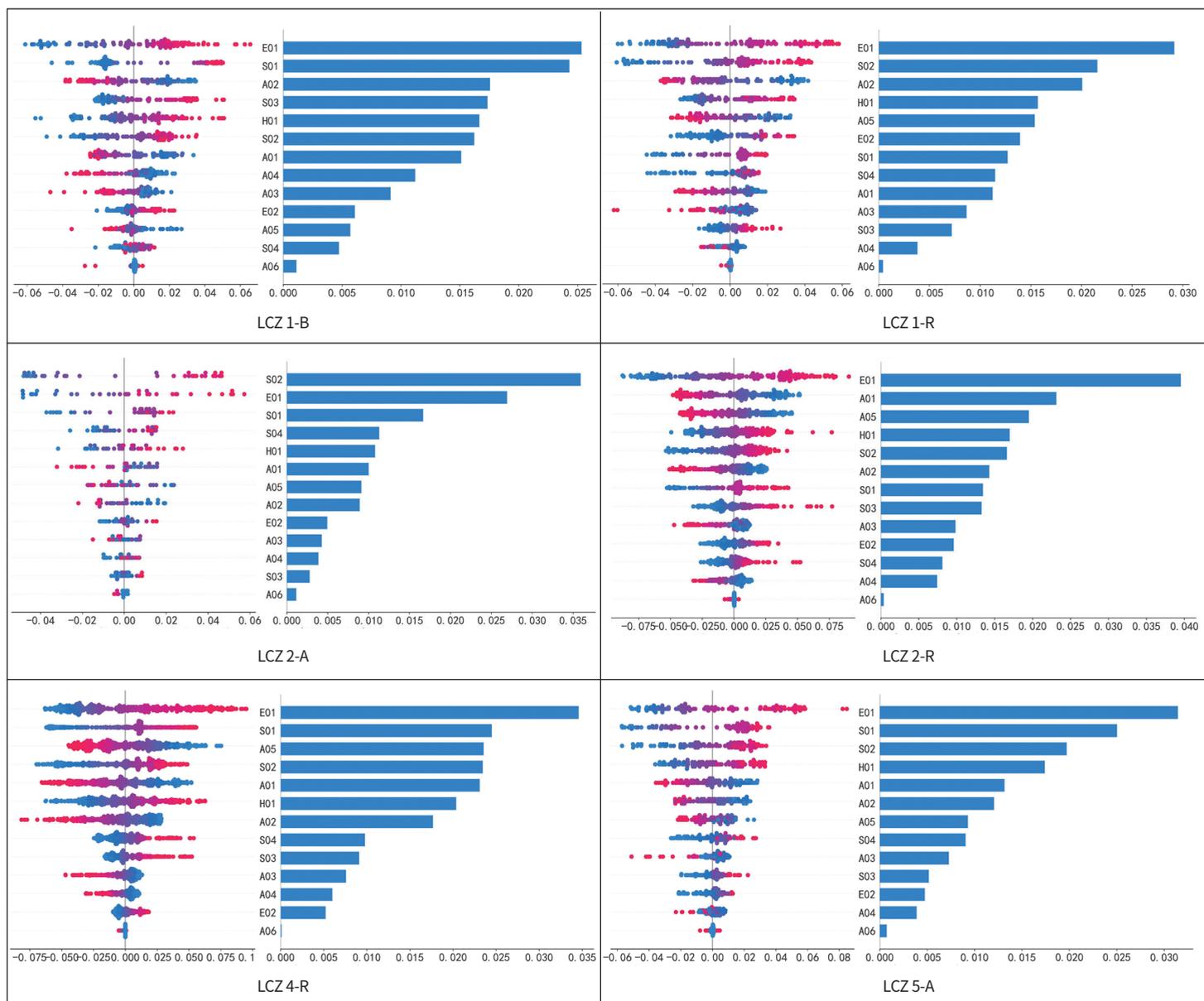


图7 部分LCZ亚型的SHAP值

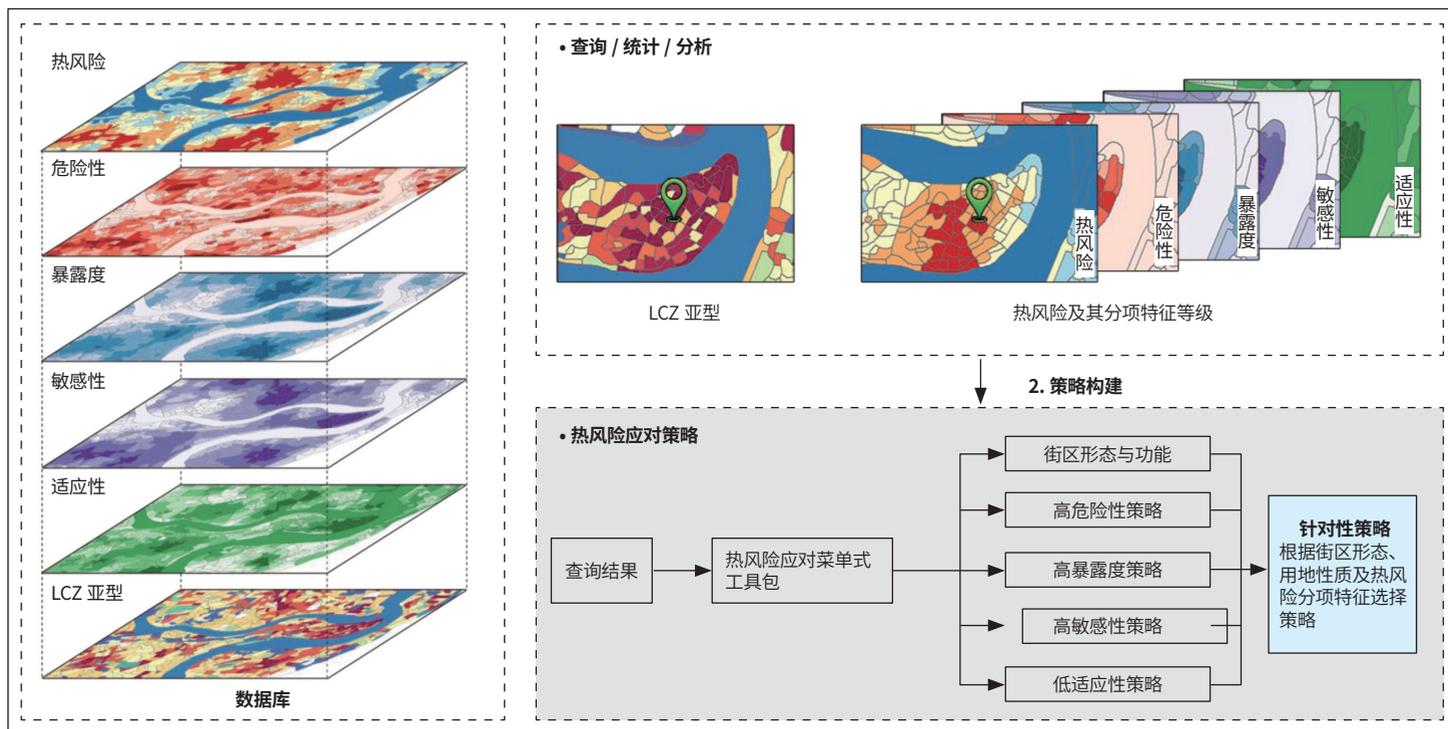


图8 热风险数字化管理系统

险之间的密切联系，可建立数字化管理系统（图8），针对LCZ亚型及其热风险评估结果进行快速查询、统计、分析。这不仅能够了解其热风险等级，还可分类查询其危险性、暴露度、敏感性与适应性，精准掌握热风险的空间分布及背后的影响因素；提供分类的热风险应对策略与措施，可根据热风险的不同程度、原因，采取针对性缓解策略。如条件允许，还可融合气象站点数据，实现实时监测与预警。

#### 4.2 制定应对热风险的山地城市气候适应性空间规划策略

应对热风险的空间规划可从宏观层面的空间格局、中观层面的街宅布局、微观层面的建筑与绿地形式等多个尺度进行（图9）。

宏观层面根据热环境及LCZ的空间分布特征，结合城市背景风条件，识别潜在风廊；合理组合紧凑高层LCZ与开敞型、低层LCZ以及绿地，利用热岛与冷源的热压差加强水陆风、山谷风等局

地环流；疏通或构建分级风廊，顺应夏季主导风向，联动江风、热压通风，引入谷地嘉陵江与长江的夏季凉风，缓解内部商圈高温及高热风险。

中观层面结合山地地形特点，通过对建筑组合、建筑高度、建筑朝向、街巷走向的合理布局促进通风降温。包括在临江一带布局低层建筑，在山坡等地势较高处布局开敞高层建筑，形成前低后高的退台格局；建筑背山面水，与水陆风局地环流方向垂直或偏转30°以内，以便通风；街巷迎山接水与江岸垂直以便引风；形成街巷串联开敞空间、建筑前低后高的协同通风系统，保障风廊的通风效能，缓解热风险。

微观层面可通过建筑形式与绿地的合理设计实现遮阳、通风以降低热风险，包括采用底层架空、伸缩式遮阳棚、绿植棚架、墙面绿植等加强遮阳，通过天井、天窗、内庭等促进通风。根据需要进行绿色空间设计，实现导风、遮阳与降温的多重功效。由此形成多尺度协同的气

候适应性空间规划系统，促进夏季通风降温，缓解热风险。

#### 4.3 设置城市更新应对热风险的菜单式工具包

街区热风险有危险性、暴露度、敏感性、适应性4个分项特征，其组合非常丰富，若针对具体街区很难覆盖所有情况，且策略会有重复。本文根据热风险分项特征及主要影响因素提出热风险应对的菜单式工具包（表2），可根据查询情况选择合适的策略进行组合，得出适配的热风险缓解策略，从而实现热风险的精准治理。

流程如下：首先，查询街区各项属性，如渝中半岛某街区属于高层商业商务区（LCZ1-B），热风险等级为高，分项特征为较高危险性、高暴露度、中敏感性、中适应性；其次，确定该区域的热风险特征为“高危险性”+“高暴露度”，查找表中相应的主导因素与建议措施为“提高绿化覆盖率”“设置临时遮阴与

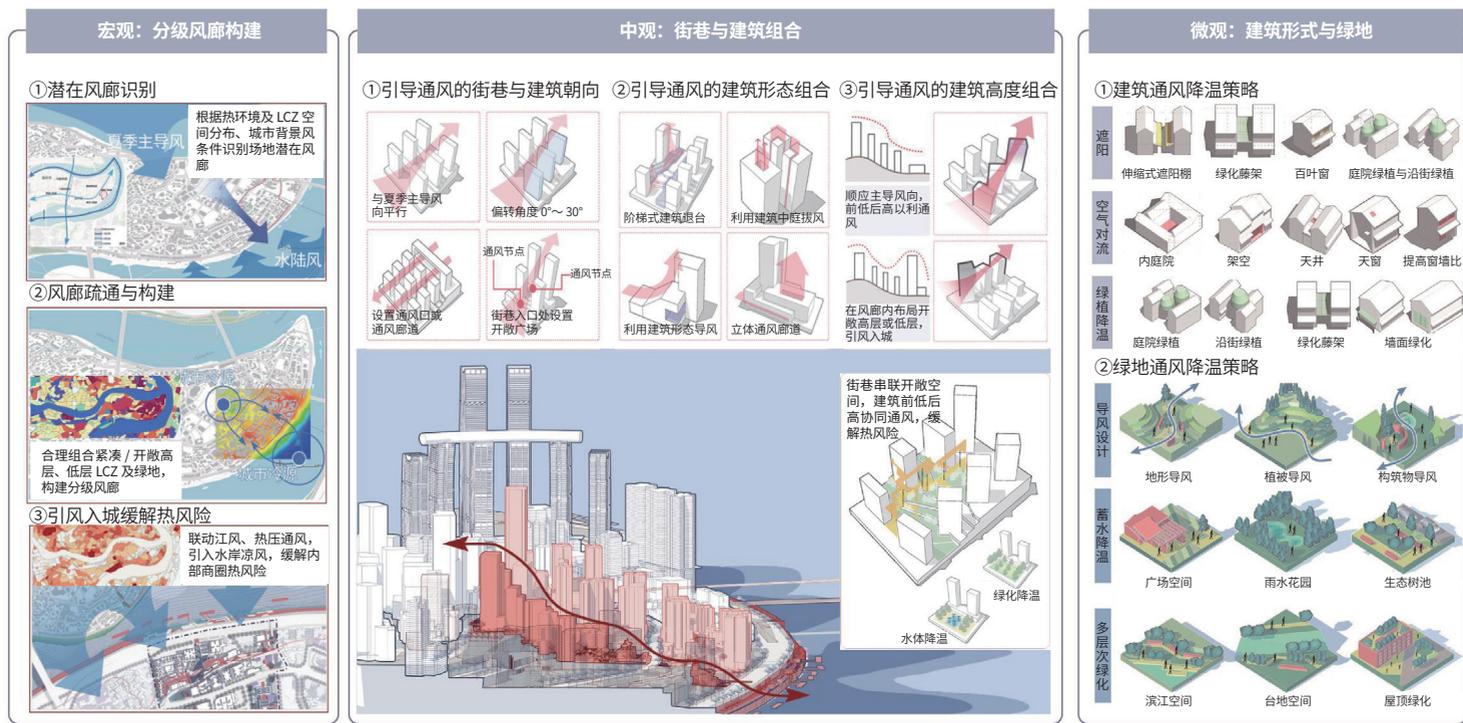


图9 山地城市气候适应性空间规划策略

表2 热风险应对菜单式工具包

热风险分项特征	主要影响因素	缓解策略
高危险性	地表温度	采用屋顶隔热涂层、雾化降温系统，采用透水率高的地表材质，提高绿化覆盖率
高暴露度	人口密度、步行指数	设置临时医疗设施、临时遮阴与降温设施，如伸缩遮阳棚、喷雾洒水装置、移动制冷车和大型风扇等
高敏感性	幼儿、老年人的人口密度	在社区活动中心、地铁站、图书馆等公共区域设置老年人和幼儿优先的避暑空间
	外卖员、快递员密度指数	设置临时防暑驿站，提供阴凉路线选择
低适应性	建筑房价与年代、纳凉设施步行指数	梳理并改造公共建筑与公共空间，提供更多的纳凉场所
	医疗设施步行指数	培训社区志愿者，组织基层高温应急医疗队伍
	绿地、水体覆盖率	通过沿街绿化、屋顶绿化及立面绿化，增加绿色花园等构建多层次绿化降温体系

降温设施”等；最后，根据该街区的形态、性质及具体条件，结合交通站点增设临时医疗点，在主要路径补植行道树，在公交站及商场出入口设置可伸缩遮阳棚，在人流聚集处配置移动制冷设备，形成多条清凉路径，提高环境舒适性，应对热风险。

## 5 结束语

本文以街区为单元，结合用地功能

构建LCZ亚型分类体系，按照“危险性—暴露度—敏感性—适应性”热风险评估框架，揭示了不同LCZ亚型的热风险特征及热风险贡献程度。结果表明，以街区为单元的热风险分析尺度更为精细，更能反映城市空间形态结构，LCZ不同亚型的热风险及其影响因素存在较为明显的差异。重庆内环核心区的高热风险区域主要集中在观音桥和南坪商圈以及西南部工业仓储区，主要为具有高暴露度与高敏感性的紧凑中高层居住街区(LCZ 1-R~2-R)和

高层商业商务区(LCZ 1-B、LCZ 4-B)，具有高危险性、高暴露度与高敏感性的大型低层商业商务区(LCZ 8-B)和中低层商业商务区(LCZ 2-B、LCZ 5-B~6-B)，以及具有高危险性与低适应性的大型低层工业和物流仓储街区(LCZ 8-M、LCZ 8-W)。

分析表明，热风险的本质是地表温度叠加人的活动密度、活动类型及基础设施的综合结果。同一种LCZ不同亚型的危险性、暴露度、敏感性、适应性及

热风险存在明显差异。因此,以街区为单元,叠加功能的 LCZ 亚型能够更好地反映城市热风险,能更精准地识别热风险区域及背后的影响因素。基于此,本文提出构建热风险识别、查询与管控的数字化管理系统;从宏观、中观、微观层面制定应对热风险的山地城市气候适应性空间规划策略;设置城市更新应对热风险的菜单式工具包,可为类似城市应对热风险问题提供参考。■

#### [参考文献]

- [1]MORA C, DOUSSET B, CALDWELL I R, et al. Global risk of deadly heat[J]. Nature climate change, 2017(7): 501-506.
- [2]HE B J, WANG J, ZHU J, et al. Beating the urban heat: situation, background, impacts and the way forward in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 161: 112350.
- [3] 郑颖生, 李文婕, 曾秋韵, 等. 岭南高密度城市高温适应规划设计策略: 局地气候分区框架的应用 [J]. 规划师, 2023(6): 93-98.
- [4]CRICHTON D. The risk triangle[J]. Natural disaster management, 1999(3): 102-103.
- [5]IPCC. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Working group II contribution to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. 2001.
- [6]STEWART I D, OKE T R. Local climate zones for urban temperature studies[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012(12): 1879-1900.
- [7] 郑颖生, 缪淑如, 李建军, 等. 香港应对高温的气候适应型街区规划策略 [J]. 规划师, 2024(12): 99-107.
- [8]CHEN B, XIE M, FENG Q, et al. Diurnal heat exposure risk mapping and related governance zoning: a case study of Beijing, China[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 81: 103831.
- [9]ZOU Q, YANG J, ZHANG Y, et al. Variation in community heat vulnerability for Shenyang City under local climate zone perspective[J]. Building and Environment, 2025, 267: 112242.
- [10]MA L, HUANG G, JOHNSON B A, et al. Investigating urban heat-related health risks based on local climate zones: a case study of Changzhou in China[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 91: 104402.
- [11]HUANG X, LI L, YAN X, et al. Assessment of heat exposure risk for urban populations and spatio-temporal patterns: a perspective of urban functional zones in Xi'an, China[J]. Urban Climate, 2024, 55: 101992.
- [12]MING Y, LIU Y, LIU X, et al. Demographic disparity in diurnal surface urban Heat Island exposure across local climate zones: a case study of Chongqing, China[J]. Science of The Total Environment, 2024, 923: 171203.
- [13]WANG Z, MA D, SUN D, et al. Identification and analysis of urban functional area in Hangzhou based on OSM and POI data[J]. PLoS one, 2021(5): e0251988.
- [14]GUO F, FAN G, ZHAO J, et al. Urban heat health risk inequality and its drivers based on local climate zones: a case study of Qingdao, China[J]. Building and Environment, 2025, 275: 112827.
- [15]DUNCAN D T, ALDSTADT J, WHALEN J, et al. Validation of Walk Score® for estimating neighborhood walkability: an analysis of four US metropolitan areas[J]. International journal of environmental research and public health, 2011(11): 4160-4179.
- [16] 郑颖生, 王墨, 李建军, 等. 城市高温风险评估与气候适应性规划策略: 以亚热带高密度城市深圳为例 [J]. 规划师, 2021(14): 13-19.
- [17] 杨林川, 杨皓森, 范强雪, 等. 大城市高温热浪脆弱性评价及规划应对研究: 以成都市为例 [J]. 规划师, 2023(2): 38-45.
- [18]EL-ZEIN A, TONMOY F N. Assessment of vulnerability to climate change using a multi-criteria outranking approach with application to heat stress in Sydney[J]. Ecological Indicators, 2015, 48: 207-217.
- [19]CHEN X L, ZHAO H M, LI P X, et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes[J]. Remote sensing of environment, 2006(2): 133-146.
- [20]LIU Q, HANG T, WU Y. Unveiling differential impacts of multidimensional urban morphology on heat island effect across local climate zones: Interpretable CatBoost-SHAP machine learning model[J]. Building and Environment, 2025, 270: 112574.

[收稿日期] 2025-05-12