

以高效缓解热岛效应为目标的湿地生态网络构建

——以杭州市为例

李俞锦, 郑志, 刘 焱

【摘要】基于卫星遥感获取的真实地表温度数据, 识别分析热岛网络的关键要素, 并以高效缓解热岛效应为目标, 构建湿地生态网络。以杭州市主城区为研究对象, 首先基于形态学空间格局分析和电路理论, 识别关键热岛廊道与夹点, 展现热岛网络形态; 其次, 基于 ArcGIS 水文分析与功能湿地理论, 构建湿地生态网络, 并结合实际建设情况, 针对性地布置小微湿地, 抑制热岛网络的关键廊道与夹点; 最后, 探讨湿地生态网络对热岛网络的消解作用。结果表明: 湿地生态网络越健全, 热岛网络越趋于破碎化; 完善的湿地生态网络在缓解热岛效应方面发挥着关键作用。

【关键词】热岛效应; 电路理论; 功能湿地; 热岛网络; 湿地生态网络

【文章编号】1006-0022(2025)04-0049-08 **【中图分类号】**TU984、P914.78、S181.3 **【文献标志码】**B

【引文格式】李俞锦, 郑志, 刘焱. 以高效缓解热岛效应为目标的湿地生态网络构建: 以杭州市为例 [J]. 规划师, 2025(4): 49-56.

Building a Wetland Ecological Network Towards Efficient Mitigation of the Heat Island Effect: Taking Hangzhou as a Case Study/LI Yujin, ZHENG Zhi, LIU Gong

【Abstract】 Based on the real land surface temperature data obtained from satellite remote sensing, key elements of the heat island network are identified and analyzed. With the objective of efficiently mitigating the heat island effect, a wetland ecological network is constructed. Taking the main urban area of Hangzhou as the research subject, key heat island corridors and critical points are first identified through spatial morphology analysis and electrical circuit theory, revealing the morphological pattern of the heat island network. Second, the wetland ecological network is established using ArcGIS hydraulic analysis and functional wetland theory to suppress the identified key corridors and critical points. Finally, the role of the wetland ecological network in mitigating the heat island effect is investigated. The results indicate that a comprehensive wetland ecological network can effectively fragment the heat island network, playing a pivotal role in alleviating the heat island effect.

【Keywords】 heat island effect; electric circuit theory; functional wetland; heat island network; wetland ecological network

0 引言

城镇化进程显著改变了区域地表的覆盖类型, 由此引发了城市热岛效应, 并带来了一系列负面影响, 甚至带来了灾害。近几十年来, 随着人口不断向城市聚集, 城市的扩张加速。2020年第七次全国人口普查数据显示, 我国城镇人口已占全国总人口的63.89%。城市规模的扩张和地表硬化程度的加剧, 使得城市热岛效应

愈发严重。2022年5月生态环境部等17个部门联合印发了《国家适应气候变化战略2035》, 明确指出湿地对缓解城市热岛效应具有重要作用, 并提出了一系列湿地保护和修复的战略目标。目前, 如何利用湿地高效缓解热岛效应已成为业界广泛研究的课题。基于此, 本文根据湿地生态网络对热岛效应的作用, 以高效缓解热岛效应为目标构建湿地生态网络, 并以杭州市主城区为研究对象展开实践探讨。

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(51578250)、福建省自然科学基金面上项目(2022J01301)

【作者简介】李俞锦, 华侨大学建筑学院硕士研究生。67751053@qq.com

郑志, 华侨大学建筑学院教授、硕士生导师。

刘焱, 一级注册建筑师, 注册城乡规划师, 华侨大学建筑学院教授、博士生导师。

1 湿地生态网络对热岛效应的作用

城市区域中的湿地可以分为自然湿地与人工湿地两大类,包括静止或流动的淡水、咸水,以及退潮时深度不超过6m的海水区域。湿地系统不仅包含水体,还包括水陆交接地带的基质,如土壤和植被。

湿地水体具有较大的比热容和较强的蒸发、散发作用。它能够通过吸收和储存热量、消耗热量以及增加空气湿度等方式,起到降温作用。同时,水蒸气的蒸发能够带动湿地与周边区域的空气湍流运动和局地对流运动,从而避免热量在城市聚集。湿地植被则通过蒸腾、遮阳、反射阳光、提高湿度、滞留尘埃等多种作用改善城市微气候,并与湿地水体共同作用,缓解热岛效应。

湿地生态网络是由湿地斑块、湿地廊道与湿地基质共同构成的生态系统。其中,湿地斑块和湿地廊道作为降温源地,不仅能够产生冷空气并通过城市廊道流通扩散,还具有较强的生态属性。然而,随着城市高强度开发的推进,大量小微湿地被填埋,城市湿地的生态功能被大幅削弱。这导致城市热岛效应加剧,进而可能引发城市灾害。

通过重构湿地生态网络,增强湿地要素间的连通性,可以促进湿地系统的能量流动与物质循环。这种连通性不仅有助于生物的迁徙和繁衍,还能增强湿地的整体气候调节能力与系统性生态功能,从而有效应对城镇化带来的热岛效应^[1]。

已有研究表明,相比单一的绿地或林地,湿地系统在缓解城市热岛效应与改善城市微气候环境方面更为高效^[2]。在湿地局地降温方面,现有研究主要集中在湿地本体的降温机制与效能上,如探讨湿地的形态^[3]、尺度^[4]及组成要素^[5]

对湿地降温效果的影响。在针对热岛效应的研究中,有研究表明热岛网络会加强热岛强度^[6];也有研究通过识别热岛网络中的关键廊道与夹点,构建热岛网络^[7]。然而,目前关于如何消除关键热岛廊道与夹点,破坏现有热岛网络,从而实现城区范围内有效降温的应用性研究仍较为缺乏。

功能湿地理论是从多个规划建设实践中提炼出来的,旨在将生态保护与城市建设的关系从对立转变为相互依存,强调规划结构与湿地生态结构耦合的设计方法论^[8-10]。该理论以湿地主导的生态结构为基础,通过人居与湿地共生的生态设计,实现城市的可持续发展。然而,当前以功能湿地理论来缓解热岛效应的研究仍处于定性阶段。本文从量化识别和破坏现有热岛网络的视角出发,构建湿地生态网络,以高效缓解城市热岛效应。

2 以高效缓解热岛效应为目标的湿地生态网络构建方法

2.1 湿地生态网络构建的总体技术路径

以高效缓解热岛效应为目标的湿地生态网络构建包括3个环节:热岛网络识别、湿地生态网络构建与结果评价分析(图1)。

在热岛网络识别环节,首先基于卫星影像数据获取地表温度数据,从中提取热岛源地;其次,结合综合阻力面构建结果,运用电路理论识别关键热岛廊道与夹点,进而得到热岛网络。

在湿地生态网络构建环节,首先运用ArcGIS进行水文分析,获得潜在湿地格局;其次,结合热岛网络识别得到的关键廊道与夹点位置,在潜在湿地格局中确定相应的新增湿地斑块和廊道;最后,将新增湿地斑块、廊道与现有的湿地格局

进行整合,构建出全新的湿地生态网络。

在结果评价分析环节,对湿地生态网络构建后的热岛网络进行量化对比评价和网络结构评价。

2.2 热岛网络识别方法

2.2.1 热岛源地识别方法

地表温度是城市热环境评估的关键指标。热遥感技术通过探测器接收到的辐射量来评估地表温度,进而绘制热分布图并识别城市尺度的热环境特征^[11]。采用均值—标准差法^[12],将所获得的地表温度数据划分为5个等级。提取高温区作为研究区热岛斑块。

将提取出的热岛斑块作为前景,其余温度分区作为背景,利用Guidos Toolbox分析软件对热岛斑块进行分类。根据分析结果,将热岛斑块分为核心、孤岛、环线、桥接、孔隙、边缘与支线7种类型。其中,核心是前景像元中面积较大的斑块,也是城市热量的聚集地。在此基础上,筛选出面积大于1.5hm²的核心热岛斑块,并将其作为备选热岛斑块。

景观连通性分析能够定量评价不同景观类型在资源流动与交换过程中的促进或阻碍作用^[13]。本文选取连通性概率指数和斑块重要性指数作为衡量备选热岛斑块的指标。将备选热岛斑块导入Conefor2.6软件进行连通性分析。根据分析结果,将备选热岛斑块分为5个等级,并选取极重要等级斑块作为最终的热岛源地。

2.2.2 阻力面构建方法

阻力面能够反映不同景观空间格局对热岛扩散的阻碍程度。本文选择土地覆被类型、归一化植被指数、MSPA景观类型、高程和坡度5个因子作为综合阻力面的构建依据,并对阻力面类型进行阻力值分配^[14-16]。其中:不同土地覆被类型对热岛扩散的阻碍程度存在差异,

相比硬质铺地, 湿地借助蒸腾和散发作用不断消耗热量, 从而阻碍热量向其他区域扩散; 归一化植被指数能够反映植被覆盖情况, 植被覆盖情况越好, 其遮蔽和蒸腾作用越强, 热量扩散越困难; MSPA 景观类型反映了热岛斑块的格局特征, 其中核心热岛斑块的完整性和稳定性越强, 热量在其内部越容易扩散; 高程越高, 温度越低, 空气越稀薄, 热岛扩散越困难; 较大的坡度, 则会阻碍水平气流, 限制冷热源间的热量交换。

在此基础上, 运用层次分析法计算每个阻力面类型的权重, 对其进行加权叠加, 最终获得综合阻力值分布图。

2.2.3 热岛廊道与夹点的识别方法

本文运用逆向思维, 由传统的生态网络正向优化策略转变为以破坏热岛网络为目的的针对性策略, Linkage Mapper 是一种基于电路理论的 ArcGIS 扩展工具, 主要用于识别源地间的潜在生态廊道与关键夹点。近年来, 该工具在网络构建中得到了广泛的应用^[17]。本文将热量视为电子, 将热传输视为电流, 将阻力面视为电导平面, 利用 Linkage Mapper 工具模拟热量在阻力面上的多种可能传输路径, 并提取热岛夹点。

具体步骤如下: 首先, 利用工具箱中的 Build Network and Map Linkages 工具识别热岛源地间的最小成本路径。其次, 根据路径的成本加权距离与最小成本路径长度之比 (CWD/LCPL), 采用自然断点法将其划分为显性热岛廊道与隐性热岛廊道。其中, CWD/LCPL 反映了热量在每条廊道上传输的相对阻力, 比值越大, 热量传输越困难^[18]。由于隐性热岛廊道阻力较大, 热量通过其扩散的可能性较低, 其实际存在状态不确定, 故将其排除在外, 仅将显性热岛廊道作为最终的研究对象。最后, 采用自然断点法将热岛廊道分为三级, 并利用

Pinchpoint Mapper 工具对研究区进行电路分析, 得到电流密度分布图, 最终提取热岛廊道上电流密度较大的区域作为热岛夹点。

2.3 湿地生态网络构建方法

2.3.1 现有湿地格局的分析方法

根据景观生态学的“斑块—廊道—基质”理论, 结合研究区的具体情况, 将湿地生态网络划分为湿地斑块、湿地廊道与湿地基质 3 种要素 (表 1)。

现有湿地格局分析主要包括 3 个步骤: 首先, 基于研究区的湿地影像数据、OSM 数据与 CAD 数据, 提取研究区现有水域的空间分布情况; 其次, 根据湿地要素分级的具体定义, 划分出一级、二

级、三级湿地斑块与廊道; 最后, 通过梳理湿地斑块、廊道与基质之间的联系, 可得到现有湿地格局。

2.3.2 新增湿地斑块与廊道的确定方法

基于功能湿地理论^[10], 利用 ArcGIS 水文分析获得潜在的湿地斑块与廊道。相关研究显示, 在热岛夹点半径 500 m 范围内的湿地斑块具有显著的降温效应, 而超出此范围阈值后, 湿地斑块对热岛夹点的降温效应会骤减^[19]。为了消除热岛夹点、缓解城市热岛效应, 本文在构建湿地生态网络的同时, 将热岛夹点、现有湿地廊道与潜在径流路径进行叠加分析, 筛选热岛夹点。

首先, 排除半径 500 m 范围内不存在现有湿地廊道或潜在径流路径的热岛

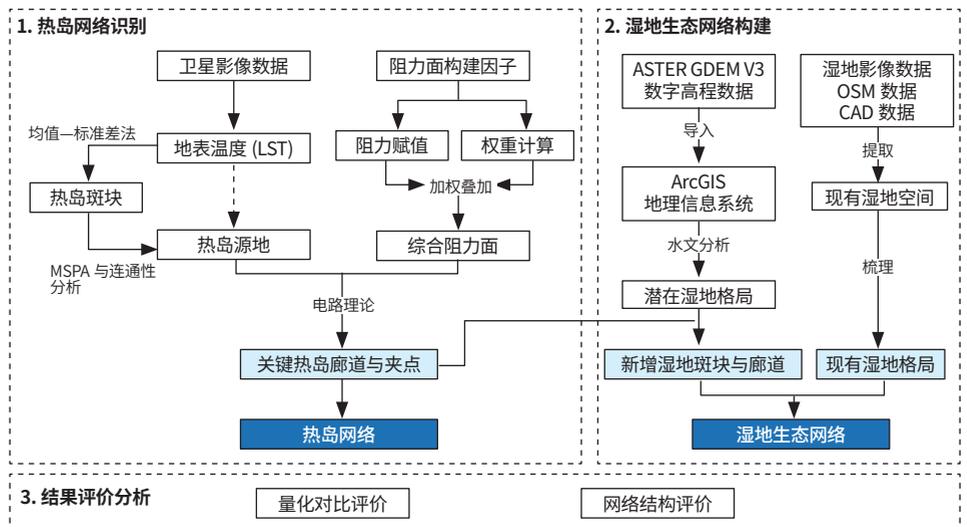


图 1 湿地生态网络构建技术路径

表 1 湿地要素与分级

要素	概念	级别	具体定义
湿地斑块	湿地系统的关键节点, 是生态功能的策源地	一级	大型、生态功能完整的斑块
		二级	中型、生态功能较完整的斑块
		三级	小型、生态功能较弱的斑块
湿地廊道	连接各级湿地斑块的重要途径	一级	连接一、二级斑块的廊道
		二级	主要连接二级斑块的廊道
		三级	连接地表潜在径流路径的廊道
湿地基质	景观格局中连续性的背景要素, 与水体直接进行物质能量交换		

夹点，因为这些夹点范围内缺乏建设湿地的基本自然条件，需探索其他降温策略；其次，结合热岛夹点及其周边的实际建成环境，进一步排除不满足新增湿地斑块建设条件的热岛夹点；最后，在符合条件的热岛夹点范围内增加湿地斑块，并结合水文分析结果，将潜在径流路径转化为新增湿地廊道，串联新增湿地斑块与现有湿地格局，从而完善湿地生态网络(图2)。

3 杭州市湿地生态网络构建实践

3.1 研究区域与数据来源

3.1.1 研究区域

杭州市位于我国东部，属亚热带季风气候。由于受到充沛的雨水和副热带高压的共同影响，夏季经常出现高温高湿的闷热天气。以杭州市主城区为例，在1990—2020年30年间，随着城镇化的快速推进，城市不透水地面面积不断扩大，湿地逐渐萎缩。与此同时，城市热岛效应不断加剧，原有的中性区域和冷岛区域逐渐收缩、破碎，最终形成被热岛包围的孤立斑块。

本文选取热岛效应严重的主城区，结合流域单元划分，划定研究区范围，明确研究区总面积为1515.40 km²。1990—2020年，研究区湿地面积萎缩了15 km²，冷岛面积骤减了434 km²；城市不透水地面面积扩大了575 km²，热岛面积增加了850 km²。

3.1.2 数据来源

本文数据主要来源如下：①从美国地质勘查局(https://earthexplorer.usgs.gov/)的Collection2 Level2数据集中获取2022年8月5日云量<5%的Landsat-9 OLI/TRIS影像数据(条带号119/行编号39)，并利用ENVI 5.6.2软件对遥感影像进行预处理，获得地表温度数据；②从

地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)中获取ASTER GDEM V3数字高程数据；③从国家冰川冻土沙漠科学数据中心(http://www.ncdc.ac.cn)获取2022年土地覆被数据；④从国家生态科学数据中心(http://www.nesdc.org.cn)获取2022年归一化植被指数数据。为了便于进行数据处理，所有数据均采用30 m×30 m分辨率。

3.2 热岛网络识别

3.2.1 热岛源地识别

通过对地表温度的评估发现，研究区的地表温度为32.60℃~76.53℃，平均温度为50.22℃，整体温度较高(图3)。其

中，高温区占研究区总面积的13.77%，主要集中在研究区的中部、西部与东部，并且呈现出相互连接的趋势。这些高温区的分布与城市高强度开发建设区重叠，且人口密度大，热岛效应显著。特别是未来科技城、武林广场、经济技术开发区等片区的高温区已连成一片。此外，次高温区与高温区共占据研究区总面积的33.46%，覆盖了城市的主要发展区域。低温区作为平衡城市热岛效应的主要区域，占研究区总面积的16.71%，主要包括钱塘江、西湖、西溪湿地等湿地，土地覆被以湿地、林地为主。次低温区占研究区总面积的12.91%，受周边温度较高区域的影响，呈现出次低温区包裹低

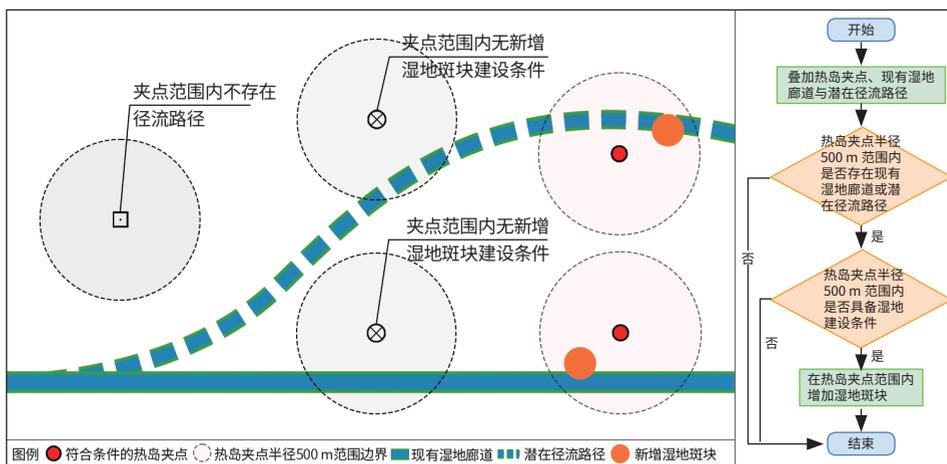


图2 新增湿地斑块与廊道的确定方法

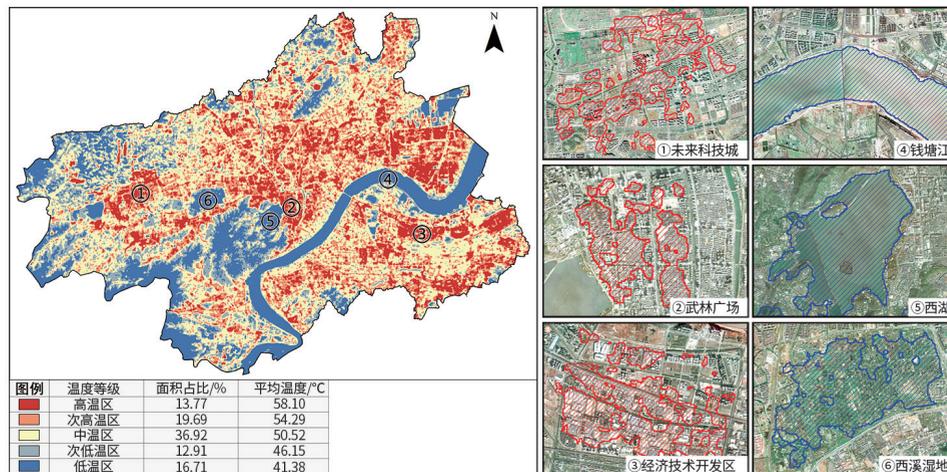


图3 地表温度分级

温区的布局特征。

采用形态学空间格局分析法，将热岛斑块分为7种类型，其中核心区面积为13355.64 hm²，占热岛斑块总面积的62.63% (图4)。连通性分析结果显示，极重要的热岛斑块共有56个，斑块面积为5.76~536.85 hm²。这些斑块在维持热岛网络方面发挥着重要作用，故将其作为最终的热岛源地(图5)。

3.2.2 阻力面构建

通过构建阻力面发现，低阻力值主要分布在研究区中部、西部与中部，与高温区分布高度吻合，呈现出“一主多点”的分布特征。低阻力值区域的人口密集、开发强度高、阻力值小，便于热岛扩散。高阻力值区域主要分布在研究区外围，这些区域的植被覆盖度较高，生态系统较完备，是城市的重要“冷源”(图6)。

3.2.3 热岛廊道与夹点识别

(1) 热岛廊道识别

根据上述识别方法，共识别出74条热岛廊道(图7)，总长251.14 km，单条热岛廊道最长为15.13 km，最短为0.04 km。在实际建成环境中，热岛廊道主要由连续的建设用地与道路组成。这些区域的开发强度大，自然生态要素较少，是城市热量传输的重要途径。受城市多中心发展格局的影响，不同发展中心间的热岛源地需通过较长的热岛廊道来连接。然而，有近70%的热岛廊道长度不足3 km。这些较短的热岛廊道是联系相近热岛源地的重要纽带，对维持局部热岛网络的稳定具有重要作用。

热岛廊道分级结果显示：一级热岛廊道的平均长度最短，主要位于城市新开发的片区。这些片区的湿地生态建设

相对滞后，因此热量在通过该廊道时所受阻力较小。二级热岛廊道数量最多，平均长度最长，主要集中在城市建成区内，是在热岛源地间传递热量的主要途径。其路径附近的湿地与林地对增大热岛廊道的阻力具有一定作用。三级热岛廊道周边有着较完备的湿地生态网络，整体阻力值较大。

(2) 热岛夹点识别

通过热岛夹点识别分析，共识别出83个热岛夹点，总面积为132.21 hm²，单个热岛夹点最大面积为9.09 hm²，最小面积为0.09 hm²。热岛夹点主要集中在城市建成区内，这表明建成区的热量集中，热岛效应显著，热岛网络稳定(图8)。

根据热岛夹点面积的大小，利用自然断点法将其分为3级。一级热岛夹点大多由道路及其两侧的建设用地组成，

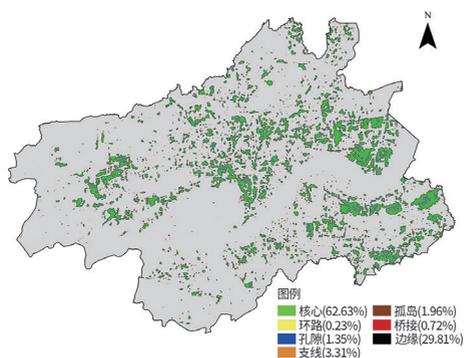


图4 热岛斑块类型划分

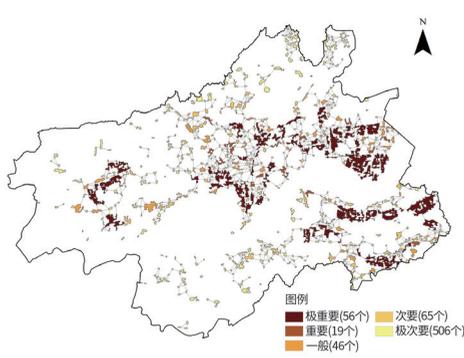


图5 热岛斑块等级划分

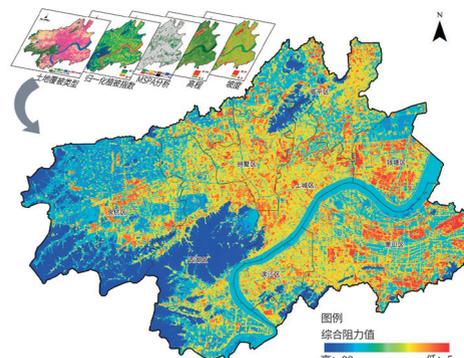


图6 综合阻力面识别结果

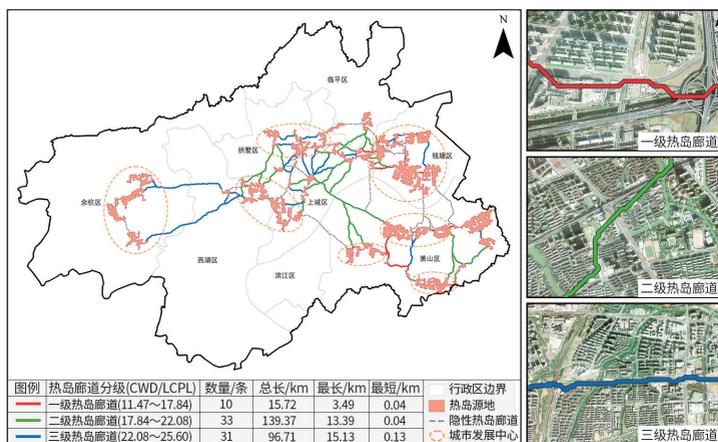


图7 热岛廊道识别结果

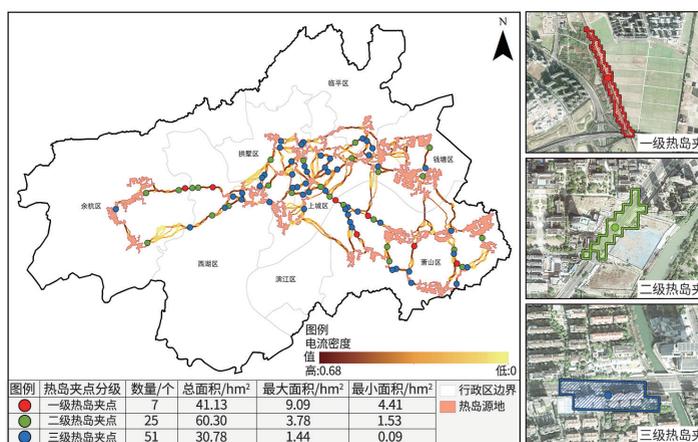


图8 热岛夹点识别结果

周边湿地要素匮乏。热量在通过一级热岛夹点时所受阻力较小,传输流量较大。二级热岛夹点多位于城市建设区,但由于受到周边湿地、林地等自然景观要素的影响,热量在通过该夹点时会受到一定程度的阻碍。在三级热岛夹点周边往往存在一定规模的湿地要素,受湿地降温作用的影响,热岛夹点面积较小,热传输流量较低。因此,三级热岛夹点的稳定性较差,容易受环境变化的影响而遭到破坏。

3.3 湿地生态网络构建

3.3.1 现有湿地格局分析

通过对现有湿地格局的分析发现,研究区现有湿地要素以廊道为主,这些廊道广泛分布于平原地区,具有重要的调蓄功能(图9)。整体来看,现有湿地格局呈现出分布不均衡的特点。在研究区西部,湿地生态网络的完整性较高,密集的湿地廊道串联起不同等级的湿地斑块。其中,一级湿地斑块数量较多,如西溪湿地、南湖公园、闲林水库等。这些湿地斑块是湿地生态网络的重要源地,承担着重要的生态功能,主要分布于研究区西部的山地与平原之间,发挥着消解山洪的关键作用。二、三级湿地

斑块主要由中小型湿地公园和建筑组团内的小微湿地组成,其在调节局部微气候环境方面发挥着一定作用。与此相反,研究区东部的湿地生态网络破碎化,湿地斑块与廊道数量较少,湿地生态网络不完整。

湿地斑块与廊道周边的湿地基质能够与湿地水体共同发挥作用,增强湿地的降温功效。在研究区东部,河道渠化现象严重,河道两侧的湿地基质占比较低,不仅削弱了湿地的降温作用,也削弱了其生态属性,导致水质恶化,区域空气质量变差。

3.3.2 新增湿地斑块与廊道的确定

本文通过以下5个步骤获得潜在湿地格局:①利用ArcGIS软件加载ASTER GDEM V3数字高程数据,并对其进行填洼处理;②运用流向工具和D8算法计算流向数据;③结合集水区分析结果,识别流域单元范围;④利用流量工具获取河网流量,并提取流量值大于1500的路径作为地表潜在径流路径;⑤利用河网分级工具将河网划分为6个等级。

经过筛选,确定了研究范围内存在径流路径且满足湿地建设条件的热岛夹点共有77个,占热岛夹点总数的92.77%(图10)。在这些符合条件的热

岛夹点范围内增加湿地斑块,并对个别相近斑块进行合并,最终得到73个新增湿地斑块。根据热岛夹点的等级,配置相应等级的新增湿地斑块。同时,结合河网分级结果,新增二级湿地廊道14条、三级湿地廊道27条,以加强新增湿地斑块与现有湿地格局的联系。在此基础上,将新增的湿地斑块、廊道与现有湿地格局进行叠加,即获得湿地生态网络构建结果(图11)。

新增湿地斑块主要集中在研究区东部,有效修复了该区域破碎化的湿地生态网络。其中,新增一级湿地斑块6个,主要分布于研究区外围的钱塘江南岸,该区域原有一级湿地斑块较少,新增湿地斑块对调节区域微气候、丰富生物多样性有重要作用。新增二级湿地斑块19个,主要分布在城市新开发的片区与主要的交通干线附近,这些区域的热岛效应显著,湿地生态网络亟待加强。新增三级湿地斑块48个,且均匀地分布在热岛效应较严重的区域,起到局部缓解热岛效应的作用。

新增湿地廊道主要集中在城市各类开发区内。在这些区域,湿地建设滞后于城市发展,湿地生态网络亟待加强,新增湿地廊道可有效缓解区域热岛效应。

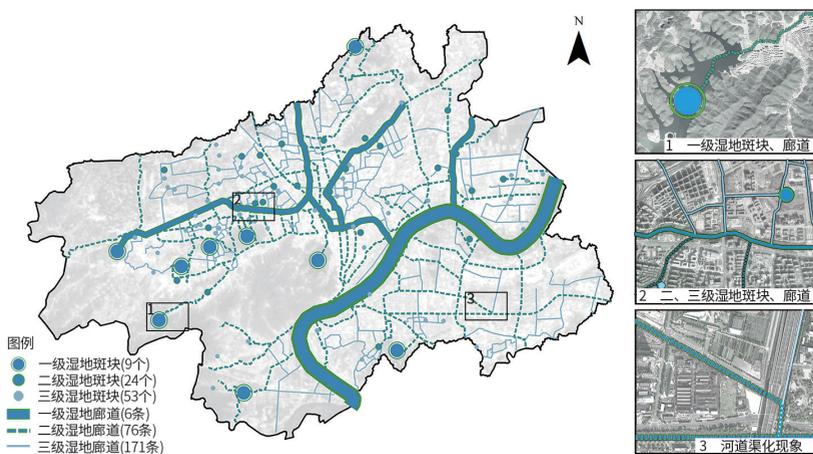


图9 现有湿地格局分析

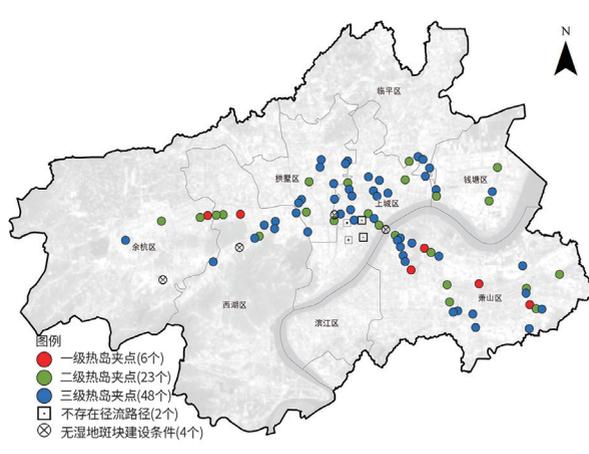


图10 热岛夹点筛选结果

4 湿地生态网络构建前后结果对比

4.1 湿地生态网络构建前后的热岛廊道与夹点数量对比评价结果

对湿地生态网络构建后的研究区进行电路分析发现,就热岛廊道整体而言,CWD/LCPL的平均值增大,表明热岛扩散的阻力增加,热传输效率降低,热岛源地之间的连接紧密性以及热岛网络的稳定性也随之下降(图12)。同时,CWD/LCPL的标准差也在增大,这说明热传输阻力增大,热岛网络的整体性能下降,热岛扩散面临着更大的阻力与挑战。

湿地生态网络构建前后的热岛廊道

与夹点对比结果显示,湿地生态网络构建后的热岛廊道总数减少了31条,总长度缩短了92.31 km。热岛廊道的阻力等级发生了变化,从以低阻力为主向以中阻力为主转变,即原来的一级、二级热岛廊道降级为三级,而三级热岛廊道的总长度和最长长度均有所增加。同时,热岛夹点总数减少了43个,总面积缩减了50.22 hm²,热岛网络的热传输流量减少,热岛效应得到显著缓解。

4.2 湿地生态网络构建前后的热岛网络结构评价结果

拓扑指数是衡量网络结构特征的重要指标,主要由闭合度 α 、线点率 β 、

连接度 γ 组成^[20],其具体计算公式如下:

$$\alpha = \frac{L - N + 1}{2N - 5} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{L}{N} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{L}{3(N - 2)} \quad (3)$$

式中: L 代表热岛廊道数量; N 代表热岛源地数量。

利用拓扑指数对网络结构进行量化分析,结果如表2所示。综合各项指标来看,完善的湿地生态网络能够有效抑制热岛网络的形成与发展。

5 结束语

本文根据湿地生态网络对热岛效应

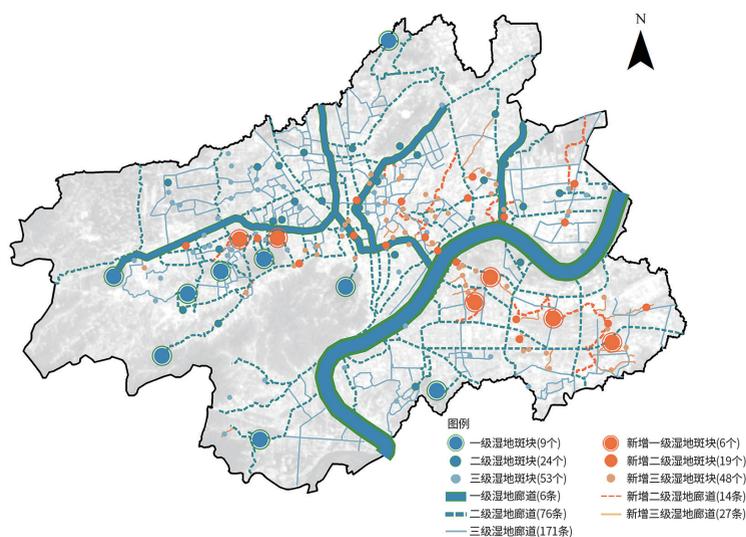


图 11 湿地生态网络构建结果

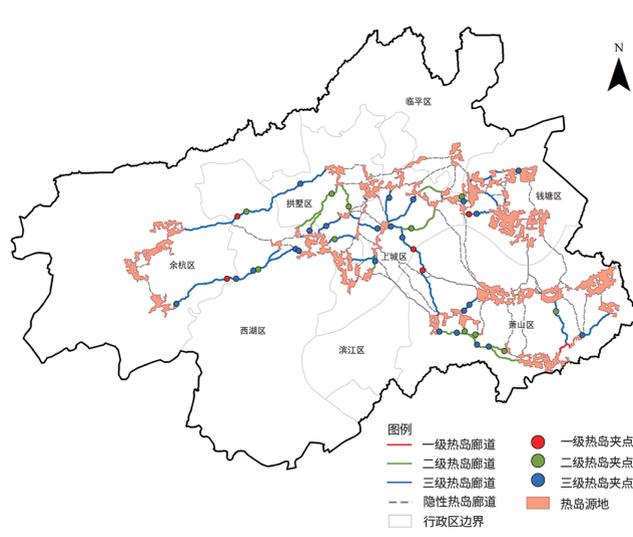


图 12 构建后的热岛廊道与夹点分布情况

表 2 网络结构评价

指数类型	指数含义	组别		下降率/%	意义
		优化前	优化后		
闭合度 α	用于衡量网络中的环路比例,值越大,供热量传输的路径越多,热岛网络的循环与流通性能越好	0.18	-0.11	161.11	网络由环形结构向线形结构转变,网络中的热量循环与分布被消解
线点率 β	用于衡量热岛源地间连接的难易程度,值越大,网络连接越复杂,网络完整度越高	1.32	0.77	41.67	热岛源地间的相互连接变困难,热岛网络的复杂性和完整性减弱
连接度 γ	用于衡量热岛源地的连接程度,值越大,网络连接性越好,越接近网状结构	0.46	0.27	41.30	热岛源地间的连接变松散,城市热岛网络的网状结构被破坏,开敞程度增加

的作用,引入功能湿地理论,首先基于形态学空间格局分析(MSPA)和电路理论,识别关键热岛廊道与夹点以及热岛网络形态;其次,基于ArcGIS水文分析与功能湿地理论,结合实际建设情况,构建湿地生态网络,以减少热岛网络中的关键廊道与夹点;最后,探讨湿地生态网络构建对杭州市主城区热岛效应的高效缓解作用。

但本文也存在一些局限性:①受研究工具适用尺度的限制,本文主要侧重于探讨宏观尺度的热岛网络整体削弱效果,尚未深入探讨小微尺度下热岛源地内部的热岛效应缓解策略。未来可选择合适的研究工具,缩小研究尺度,深入分析热岛源地内部的热环境特征,从而降低热岛源地自身的强度,缩小其范围并减少其数量。②城市中的热岛扩散受多种复杂因素的共同影响,如建筑高度、主导风向与人的行为活动等。在未来的研究中,可以进一步加强对这些影响因素的考虑,构建更加完善的热岛扩散阻力模型,以更全面地评估和应对热岛效应。③本文仅对新增湿地斑块的可能性进行了初步探讨,而实际中的湿地规划与建设会受到各种复杂现实因素的影响和制约。因此,在未来的城市规划设计与更新实践过程中,需根据实际情况,因地制宜地探索适用于不同建设背景下的湿地规划与再造策略,以确保湿地生态网络的有效构建并持续发挥作用。

[参考文献]

[1] 刘梦瑶,胡海艳,王丽娜,等.城市湿地生态系统保护规划技术路径构建与实践:以湖北省潜江市湿地保护规划项目为例[J].规划师,2022(3):103-109.
[2] KANG Z, LIU H, LU Y, et al. A novel approach to examining the optimal use of the cooling effect of water bodies in urban planning[J]. Building and

Environment, 2023, 243: 110673.

[3] XUE Z, HOU G, ZHANG Z, et al. Quantifying the cooling-effects of urban and peri-urban wetlands using remote sensing data: case study of cities of Northeast China[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 182: 92-100.
[4] GUO G, WU Z, CHEN Y. Complex mechanisms linking land surface temperature to greenspace spatial patterns: evidence from four southeastern Chinese cities[J]. Science of the total Environment, 2019, 674: 77-87.
[5] YANG F, YOUSEFPOUR R, ZHANG Y, et al. The assessment of cooling capacity of blue-green spaces in rapidly developing cities: a case study of Tianjin's central urban area[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 99: 104918.
[6] LUO J, FU H. Constructing an urban cooling network based on Plus model: implications for future urban planning[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110887.
[7] YU Z, ZHANG J, YANG G. How to build a heat network to alleviate surface heat island effect?[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 74: 103135.
[8] 郑志,刘琳.福建小城镇居住区生态规划探索[J].建筑学报,2007(11):26-28.
[9] 郑志,刘琳.湿地与南方高校校园功能一体化探索:华侨大学厦门校区生态规划[J].建筑学报,2010(10):80-84.
[10] 郑志,杜辰蛟,尹正,等.功能湿地建构下的海湾城市居住区规划研究:以厦门杏林湾流域居住区生态优化方案为例[J].建筑学报,2020(8):72-77.
[11] VOOGT J A, OKE T R. Thermal remote sensing of urban climates[J]. Remote sensing of environment, 2003(3): 370-384.
[12] 陈松林,王天星.等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究[J].地球信息科学学报,2009(2):145-150.
[13] 周燕,徐莉,刘梦瑶,等.多尺度嵌套的复合生态安全格局构建与管控路径:以湖北省通城县为例[J].规划师,

2024(10): 25-31.

[14] LIU F, LIU J, ZHANG Y, et al. Construction of a cold island network for the urban heat island effect mitigation[J]. Science of The Total Environment, 2024, 915: 169950.
[15] XIANG Y, CEN Q, PENG C, et al. Surface urban heat island mitigation network construction utilizing source-sink theory and local climate zones[J]. Building and Environment, 2023, 243: 110717.
[16] HU C, LI H. Reverse thinking: the logical system research method of urban thermal safety pattern construction, evaluation, and optimization[J]. Remote Sensing, 2022(23): 6036.
[17] 陶德凯,张子建,周文莉,等.基于生态系统服务供需协同的生态安全格局构建:以安徽省为例[J].规划师,2024(10):16-24.
[18] WU J, ZHANG S, WEN H, et al. Research on multi-scale ecological network connectivity—taking the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area as a case study[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022(22): 15268.
[19] CAI Z, HAN G, CHEN M. Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature?[J]. Sustainable cities and society, 2018, 39: 487-498.
[20] 殷炳超,何书言,李艺,等.基于陆海统筹的海岸带城市群生态网络构建方法及应用研究[J].生态学报,2018(12): 4373-4382.

[收稿日期]2024-11-28;

[修回日期]2025-02-19