

# 应对高温天气的城市冷却网络构建策略及经验启示\* ——以美国波士顿为例

## Strategies and Lessons Learned for Building Urban Cooling Networks in Response to High-temperature Weather: A Case Study of Boston, USA

石宇航 施益军 汤俊卿 徐丽华 吴亚琪 冯 矛 SHI Yuhang, SHI Yijun, TANG Junqing, XU Lihua, WU Yaqi, FENG Mao

**摘 要** 随着近年来高温事件的频发,高温天气成为影响城市居民生命财产安全的重要因素之一,城市冷却空间作为抵御城市发生极端高温事件的重要措施,构建城市冷却空间网络能够有效缓解城市极端高温天气对城市居民所带来的负面影响。以美国波士顿为例,回顾其应对高温天气的规划历程,总结其构建城市冷却空间网络的要点和具体方法,借鉴其高温风险评估、冷却斑块评估识别、绿色廊道连接、城市冷却网络构建和冷却网络运行维护等方面的经验,并针对我国高温城市提出相应的经验启示和规划建议。

**Abstract** With the frequent occurrence of high-temperature events in recent years, high-temperature weather has become one of the important factors affecting the life and property safety of urban residents. Urban cooling space is an important measure to resist extreme high-temperature events in the city. Building an urban cooling space network can effectively alleviate the negative impacts of extreme heat on urban residents. This article takes Boston, USA, as an example to review its planning process for dealing with high-temperature weather, summarizes the key points and specific methods for constructing an urban cooling space network, and draws lessons from its high-temperature risk assessment, cooling patch assessment and identification, green corridor connection, urban cooling network construction, and cooling network operation and maintenance. This paper presents corresponding enlightenment experiences and planning suggestions for China's high-temperature cities.

**关键词** 高温天气;城市冷却空间网络;经验启示;波士顿

**Key words** high-temperature weather; urban cooling space network; planning inspiration; Boston

文章编号 1673-8985 (2024) 04-0165-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20240422

### 作者简介

#### 石宇航

浙江农林大学风景园林与建筑学院

硕士研究生

#### 施益军 (通信作者)

浙江农林大学风景园林与建筑学院

副教授,硕士生导师,博士

yijun\_shi@zafu.edu.cn

#### 汤俊卿

北京大学城市规划与设计学院

助理教授,博士生导师,博士

#### 徐丽华

浙江农林大学风景园林与建筑学院

党委书记,教授,博士生导师,博士

#### 吴亚琪

浙江农林大学风景园林与建筑学院

讲师,硕士

#### 冯 矛

浙江农林大学风景园林与建筑学院

讲师,博士

## 0 引言

在全球气候变暖和极端气候频发的背景下,极端高温天气成为影响人们生命财产安全的主要因素之一,联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布的《气候变化2021:自然科学基础》指出,近20年来全球表面温度升温速率不断增快<sup>[1]</sup>。同时,随着气候变暖,高温天气给人们生命财产安全带来极大的威胁。欧洲国家情报局公布的信息显示,极端高温导致了不同气候地区人员的死亡和疾病。截至2022

\*基金项目:浙江省社科规划课题重点项目“统筹发展和安全理念下的城乡高质量发展与大安全格局构建研究”(编号23NDJC026Z);北京大学深圳研究生院委托课题“中国城市韧性发展水平及未来趋势研究”(编号H20230586)资助。

年, 35个欧洲国家遭受高温天气的影响, 高温天气造成的死亡人数超过6万例<sup>[2-3]</sup>。相关研究表明, 城市犯罪率与城市高温成正相关, 高温天气会给城市社会安全带来较大的负面影响<sup>[4-5]</sup>。因此, 城市高温问题已经成为全世界各个国家城市安全发展的巨大挑战。

随着全球城市高温事件发生频率的增加和影响范围的扩大, 部分国家已经发布了符合国情的高温应对策略。2008年世界卫生组织欧洲办公室出台《高温热健康行动计划》, 这为各国提供了高温应对计划理论框架和高温设计蓝图<sup>[6]</sup>。2010—2022年部分国家相继出台了高温策略和计划, 例如澳大利亚维多利亚州2011年出台《高温热浪计划》、昆士兰州2015年出台《高温热浪响应计划》, 新西兰2018年发布《高温健康行动计划》, 以及2022年印度发布《高温耐热行动计划》<sup>[7-9]</sup>。这些国家都提出以预防为主的降温策略, 主要做法是通过建立高温预警系统和提高公众参与度来预防高温天气<sup>[10]</sup>, 但这些国家并没有系统地整理城市冷却空间, 导致城市蓝绿空间、城市降温设施分布不均衡且破碎化, 因此城市仍然存在冷却空间供需不匹配的问题。

波士顿是美国马萨诸塞州的首府, 具有城镇化率高和人口密集的特点。根据波士顿在2022年发布的《耐热解决方案》, 波士顿平均每年夏天高温导致的死亡人数在100人左右, 高温天气不仅会对人的生命健康造成影响, 还会对电力系统等市政设施造成破坏, 年均经济损失达50亿美元。不仅如此, 波士顿的部分地区夜间气温也能达到31℃, 严重影响当地居民的生活。在人口密度较高的地区, 还会出现电力负担过重, 降温能力不足的现象。高温天气已经成为夏季影响波士顿人生活的慢性压力源, 并且高温持续时间还呈现逐年递增的趋势<sup>[11]</sup>。鉴于此, 波士顿政府从公众参与的角度考虑高温天气对人的影响, 创新地提出构建城市冷却空间网络的高温应对策略, 帮助城市人群适应高温天气, 并满足其对于冷却服务的需求, 通过制定一套冷却网络的运营管理模式, 提高城市应对高温天气的适应能力。

波士顿降温措施和降温模式具有前瞻性和典型性, 因此本文以波士顿为例, 通过剖析其应对高温天气的发展历程和策略措施, 整理其为缓解城市高温而提出的构建城市冷却空间网络的策略, 以及冷却空间网络运营维护模式, 为我国城市制定抵御高温的策略提供参考和借鉴。

### 1 波士顿应对高温天气的发展历程

为了应对高温天气, 波士顿政府从2007年开始发布高温计划, 在2007年、2015年和2022年依次发布《2007气候准备计划》《2016气候准备计划》和《耐热解决方案》, 并依次提出改善绿色基础设施、构建绿色廊道和构建冷却空间网络的措施策略。根据计划方案的发布时间和内容, 可将波士顿应对高温天气的做法归为3个阶段: 第一阶段(2007—2014年), 强调绿色工程措施进行城市降温; 第二阶段(2015—2021年), 强调构建绿色廊道扩大降温效益; 第三阶段(2022年至今), 强调构建城市冷却空间网络进行降温。

3个阶段的发展模式也从最初单一的工程降温模式, 演化为具有系统性和稳定性的城市冷却空间网络降温模式, 提出的降温策略逐渐强调公众参与。其构建城市冷却空间网络的降温措施, 可以有效地缓解城市高温, 并切实注重居民的降温感受。

#### 1.1 第一阶段(2007—2014年): 以绿色工程降温措施为主

早期波士顿为了满足公众身心健康的需求, 初步形成了一套公园绿地系统<sup>[12]</sup>。但《2007气候准备计划》指出, 随着城市热岛效应的增强, 原有绿色基础设施不能满足城市降温需求。因此, 波士顿开启了绿色降温工程模式(见图1), 开始逐渐注重修复和营建城市绿色基础设施来缓解城市热岛效应<sup>[13]</sup>。为了改善城市绿地系统, 这一阶段的降温措施主要分为修复绿色基础设施和增添绿色基础设施两方面。

一方面, 对现有绿色基础设施进行修复, 修复对象主要包含公园、街道绿地以及其他开

放绿地空间, 修复方式包含增加喷淋设置、更换耐热材料和增加绿化等, 能够有效修复现有城市绿地系统<sup>[14]</sup>。另一方面, 通过综合考虑土地利用、人口需求和高温风险等因素, 选取合适的开放空间增添绿色基础设施和降温设施。这一阶段的措施较好地提升了城市高温适应力, 成为当时波士顿预防高温天气的重要范式<sup>[15]</sup>。

早期波士顿运用绿色降温工程措施, 在应对高温天气上取得了较好的效果, 但随着城市规模不断扩大, 这种降温方式在解决高温问题时过于单一化, 缺乏系统性的规划方法和对公众需求的考虑, 无法满足现代城市缓解城市高温的需求。

#### 1.2 第二阶段(2015—2021年): 以绿色廊道降温措施为主

早在1980年波士顿就开始绿廊规划, 早期的绿廊规划只是为了满足户外人群的运动需求, 简单地扩建了城市绿色廊道<sup>[16]</sup>。但随着波士顿城市发展以及高温事件的频繁出现, 为了进一步缓解城市居民对于户外热舒适度的需求, 波士顿又开始重新探讨城市绿色廊道的降温作用<sup>[17]</sup>, 并形成了绿色廊道降温模式(见图2)。绿色廊道降温措施分为营建改造线性公园和改善步行街道绿化两方面<sup>[18]</sup>。

具体来看, 波士顿首先依据现状用地属性对绿色基础设施进行评估, 综合考虑城市未来的降温需求, 以服务半径、用地面积等作为评价指标, 选取合适的开放空间和线路, 营建线性公园。然后, 波士顿基于道路用地情况, 筛选城市街道, 通过种植绿化、改善绿化设施和

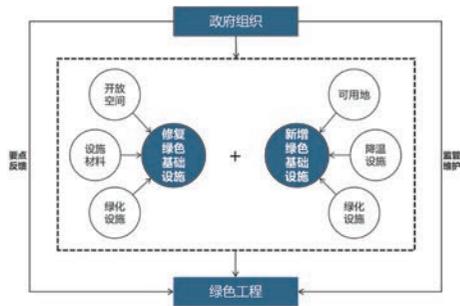


图1 绿色工程降温模式  
Fig.1 Green engineering cooling mode

资料来源: 笔者自绘。

升级路面材料等方式,改善城市街道绿化。通过营建线性公园和改善街道绿化,波士顿相继修建了多条绿色廊道,满足了局部地区的降温需求。

绿色廊道降温措施在一定程度上考虑公众需求,改善了局部地区人群的热舒适性,但仍具有局限性。自上而下的特点导致其无法充分满足城市居民对于降温资源的需求。除此之外,这种模式还对规划缺乏系统性的考虑,导致城市部分区域出现降温供需不匹配的问题。

### 1.3 第三阶段 (2022年至今):以城市冷却空间网络降温措施为主

传统的冷却空间是指蓝绿空间,《耐热解决方案》提到冷却空间是由城市蓝绿空间和户外降温设施构成的降温空间。城市冷却空间网络是由蓝绿空间、社区冷却中心和户外降温设施构成的一体的网络体系,在调节城市气候和协助城市应对未来高温气候变化中扮演着重要的角色,是城市应对极端高温天气的有力保障。从2022年开始,波士顿为满足城市对于降温效益和绿色发展的需求,在可持续发展理念的指导下构建城市冷却空间网络<sup>[19]</sup>。这一阶段降温工作主要围绕系统性和稳定性两方面展开。

在系统性方面,波士顿注重提升全市冷却空间的降温能力,根据高温风险评估,在全市范围内绘制高温风险地图,制定斑块廊道服务标准,识别可用冷却斑块和绿色廊道,最终在全市范围内构建冷却空间网络。在稳定性方面,波士顿参考了一些国外的降温策略,强调政府、社区组织和社区居民共同参与制定降温计划,并提出以公平正义为基础的公众参与机制<sup>[20]</sup>,针对城市不同人群提出不同的降温参与策略<sup>[21-22]</sup>,满足多方利益者需求,实现多方参与资源信息共享和冷却设施维护,提升城市冷却空间网络的稳定性。

最终,波士顿形成了一套冷却空间网络降温模式(见图3)。该模式分为高温风险评估、构建城市冷却空间网络和运行维护冷却空间网络3个方面,共同提升城市冷却空间降温

的系统性、稳定性和科学性。其中,高温风险评估为构建和运行维护冷却空间网络提供数据基础,维护冷却空间网络为冷却空间网络的正常运行提供保障,构建冷却空间网络为城市冷却空间降温的关键要点。

## 2 高温风险评估

高温风险评估是确定最优抗热措施的必要前提,也是支撑高温区土地开发建设的重要基础,能够为波士顿构建冷却空间网络提供支撑<sup>[23]</sup>。高温风险评估流程包含数据采集处理、高温情景模拟、构建高温预警平台3个步骤(见图4)。

首先,在数据采集阶段,通过高温传感器获取实时高温数据,结合冷却空间位置信息和社会人口等指标数据,绘制单元网格高温风险分布图。其次,在高温情景模拟阶段,结合区域脆弱性人群的分布特征和蓝绿空间可达性等相关指标,分析得出高温情景下高温覆盖范围和脆弱性强度。最后,根据高温数据和高温情景模拟分析结果,通过高温预警平台发布高温行动指南,帮助居民快速实现社区冷却资源调动,帮助居民进行高温教育和获取冷却资源信息,可以快速实现高温风险信息互动互通、信息循环和信息协同反馈。

## 3 识别冷却空间斑块和构建冷却廊道

为了提升城市降温效率,波士顿通过构建冷却斑块以及冷却廊道初步缓解城市高温问题,但部分地区仍然存在降温供需不匹配现象。因此,波士顿政府根据《开放空间保护计划》制定了“识别冷却斑块—连接绿色廊道”

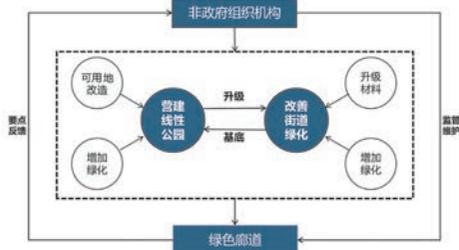


图2 绿色廊道降温模式  
Fig.2 Green corridor cooling mode

资料来源:笔者自绘。

道—增加社区冷却中心和户外降温设施—构建城市冷却空间网络”的策略<sup>[24]</sup>,以此提升城市降温效率和解决部分地区降温供需不匹配问题。

## 3.1 识别冷却空间斑块

冷却斑块是指能够提供降温服务的用地斑块,主要包含蓝绿斑块,是解决城市高温问题和制定降温规划的重要影响因素,同时也能为城市居民提供生命财产安全保障。近年来,波士顿逐步注重蓝绿一体化带来的降温作用,

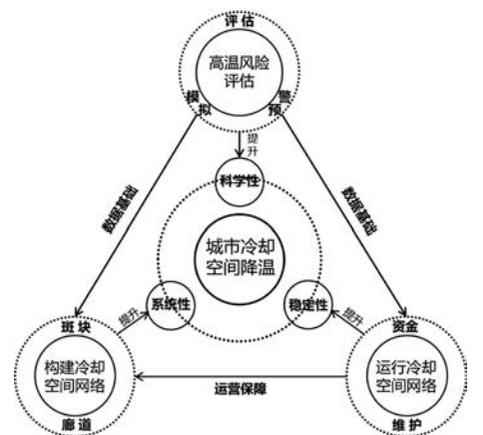


图3 城市冷却空间网络模式  
Fig.3 Urban cooling space network mode

资料来源:笔者自绘。



图4 高温风险评估流程  
Fig.4 High temperature risk assessment process

资料来源:笔者根据参考文献[11]绘制。

不仅重视绿色基础设施的降温作用,还在《湿地保护条例》中强调河流对于城市降温的作用<sup>[25]</sup>。因此,波士顿将城市冷却斑块分为城市绿色冷却斑块和城市河流冷却斑块。

由于两种斑块类别不同,因此在识别标准上对其进行了规定(见表1),针对两种斑块的不同属性,采取不同的识别方法标准。首先,在识别城市绿色冷却斑块方面,《城市森林计划》<sup>[26]</sup>提出,根据高温风险评估、波士顿公园绿地系统评价、用地性质和城市公共开放空间面积标准,识别城市绿色冷却空间斑块,并初步绘制了城市绿色冷却空间分布图(见图5)。其次,在识别城市河流冷却斑块方面,《湿地保护条例》和《查尔斯河保护计划》指出,要综合考虑河流生态敏感性评价、降温效益评价、面积标准和服务半径等约束条件,识别现有河流绿色斑块。

根据《城市开放空间收购计划》,除了识别现有冷却斑块外,波士顿未来还将根据波士顿未来发展规划、高温风险评价结果、土地用途和公众合作等方面因素,开发建设潜在冷却空间斑块,进一步增强冷却斑块的服务能力和扩大斑块降温范围<sup>[27]</sup>。

由于冷却斑块具有空间异质性,不同地区的人们对冷却斑块产生不同的降温需求,所以存在供需不匹配问题。为了弥补冷却斑块降温能力不足的问题,波士顿计划在已有冷却斑块的基础上,增加社区冷却中心、喷雾系统、露水广场和渗水表面等户外降温设施,增强斑块的降温能力,提升高温下城市居民的户外体验感<sup>[28]</sup>。

### 3.2 构建生态冷却廊道

生态冷却廊道是指能连接冷却空间斑块的绿色廊道,包括城市绿色廊道和城市河流绿色廊道。波士顿具有天然良好的地理优势,且曾经多次实施城市绿色廊道项目和城市河流改造项目,但各个廊道项目都未形成系统网络,导致供冷效率不足。为了进一步扩大城市冷却斑块的冷却效益,波士顿通过识别得出冷却斑块,在全市范围内构建城市绿色廊道和城市河流绿色廊道。

#### 3.2.1 构建城市绿色廊道

城市绿色廊道主要由城市绿地、公园等绿色基础设施组成,通常出现在城市街区。波士顿依据马萨诸塞州联邦地理和环境信息办公室提供的人口和土地利用数据,进行人口脆弱性评估和可达性评价,筛选可利用和可改造的开放空间,结合改造需求,构建城市绿廊,完成了罗斯肯尼迪绿色廊道项目(见图6)。

在实施方面,由政府和社区组织共同参与绿廊的建设和维护。一方面,根据可达性和

脆弱性评价,针对性地搭配一定数量的景观灌木、乔木和景观绿地,以此最大限度地降低地面温度和营造社区绿色廊道。另一方面,由于绿道建成久远,为多样化满足地区的降温需求,在绿道中还针对性地安插广场和喷泉等设施,以及改装步道材料,增强人群步行的热舒适度<sup>[29-30]</sup>。罗斯肯尼迪绿道的升级改造方式不仅提升了城市绿色廊道的质量,还为波士顿未来构建其他绿色廊道提供了经典范式。

表1 冷却斑块标准  
Tab.1 Cooling plaque standard

| 斑块类型   | 面积/m <sup>2</sup> | 用地性质          | 当前使用                  | 潜在用途           | 权属       | 服务人数/人 | 服务半径/m |
|--------|-------------------|---------------|-----------------------|----------------|----------|--------|--------|
| 现有蓝绿斑块 | ≥400              | 公园、运动场        | 球场、游乐场<br>公园、社区绿地     | 绿地、公园、<br>喷泉广场 | 国有       | ≥500   | ≥200   |
|        |                   | 未利用地          | 空地                    |                | 国有       |        |        |
|        |                   | 水域用地          | 河流                    | 公园、广场          | 国有       |        |        |
|        |                   | 建设用地<br>非建设用地 | 空地                    | 绿地、公园          | 国有<br>国有 |        |        |
| 未来新增斑块 | ≥400              | 公园、运动场        | 球场、游乐场<br>公园、社区绿地     | 绿地、公园、<br>喷泉广场 | 个人       | ≥500   | ≥200   |
|        |                   | 沼泽、湿地         | 自然保护区                 |                | 国有       |        |        |
|        |                   | 宗地            | 海滩                    | 国有             |          |        |        |
|        |                   | 建设用地          | 机关单位<br>开放空间<br>非政府机构 | 个人/国有<br>国有    |          |        |        |
|        |                   | 非建设用地         | 空地、河湖、广场              | 个人/国有<br>个人/国有 |          |        |        |

资料来源:笔者根据参考文献[23]绘制。



图5 现有冷却斑块空间分布图  
Fig.5 Spatial distribution of existing cooling patches

资料来源:笔者根据参考文献[27]绘制。

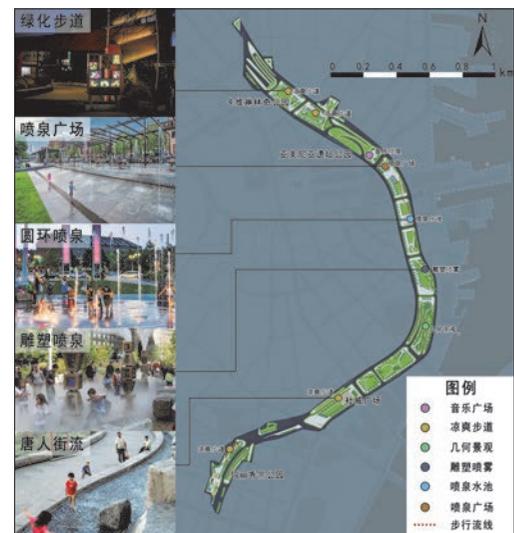


图6 罗斯肯尼迪绿色廊道  
Fig.6 Rose Kennedy Green Corridor

资料来源:笔者根据<http://www.rosekennedygreenway.org/map/?location=mary-soo-hoo-park>绘制。

### 3.2.2 构建城市河流绿色廊道

城市河流绿色廊道是城市绿廊的一种，波士顿通过不同的用地类型、脆弱性评估和可达性评价，将城市河流及河流周边开放空间进行景观改造，形成城市河流绿色廊道。

查尔斯河位于波士顿核心地区，具有多个自然保护区，因此，目前波士顿已率先完成了查尔斯河流域廊道的改造计划，并形成了查尔斯河带状公园体系<sup>[31-32]</sup>（见图7）。在具体实施上，一方面，根据查尔斯河流域生态保护区规划、冷却服务范围、脆弱性评估和可达性评价，升级修复现有河流周边冷却斑块，并且改造和新增冷却斑块，精准提高降温能力和降温效率。另一方面，波士顿基于查尔斯河蓝绿斑块分布现状，根据需求和连通性分析，形成东西向的绿地河流廊道和河流绿地体系，增强该地区冷却效益的整体性和连通性。除此之外，波士顿考虑未来查尔斯河满足城市人群多样化的降温需求，不仅制定相关建设标准，还考虑更换硬质耐热材料和增设帐篷喷泉等户外设施，增强整体降温能力。未来波士顿还计划将此类做法作为典范，改造全城市河流绿色廊道，进而提升城市整体的热适应能力。

### 4 冷却空间网络的运行和维护

已有研究表明，构建一体化冷却网络有助于实现城市整体降温<sup>[33-34]</sup>，因此，波士顿也从系统层面应对城市高温天气，在识别冷却斑块和构建绿色廊道的基础上，通过波士顿政府、绿道团体和社区相关机构共同规划了城市

冷却空间网络（见图8）。

为了确保冷却空间网络的系统性和稳定性，波士顿积极对城市冷却空间网络进行运行维护，并制定出一套冷却网络运行维护模式（见图9），主要分为冷却空间网络维护和公众参与运行两方面，以期能够有效地协调不同群体的降温需求。

在城市冷却空间网络维护方面，其目的是提升城市冷却空间网络结构的安全性及稳定性。维护流程包含数据采集处理、高温情景模拟、城市冷却网络调节3个步骤。首先，在数据采集处理阶段，其通过热监控反馈系统得出温度数据，结合交通路网热力数据和冷却斑块容量数据，为高温情景模拟提供支撑。其次，在高温情景模拟阶段，其经过数据分析，得出高温冷却供需不匹配区域，为调节城市冷却空间网络提供目标靶区。最后，在城市冷却网络调节阶段，针对已确定冷却供需失衡的靶区节点，通过预警平台发布预警信息，精准增加蓝绿空间等冷却空间设施和维护资金，从而较好地提升网络结构的稳定性。

在城市冷却空间网络运行方面，其目的是倡导公众参与和提升冷却资源的分配效率。根据2017年的“绿色革新波士顿社区领袖计划”，政府通过社区信息网络倡导该市社区居民参与社区高温教育活动、社区绿色基础设施维护及社区项目计划的制定，以提升社区居民的应急能力<sup>[35-37]</sup>。波士顿在其社区计划基础上，参考纽约清凉社区计划<sup>[37]</sup>，提出城市冷却空间网络运行内容，主要分为行动实践、制定

计划和设施维护3个方面。

行动实践方面，通过社区组织居民参与冷却物资的调度和整合，并通过社区信息网络分享资源信息，提升社区获取冷却资源的能力。计划制定方面，由政府机构和社区居民共同参与定期会议，结合居民需求协商制定高温计划。维护冷却设施方面，未来将寻求社区居民、政府共同参与冷却网络设施的投资运营，鼓励居民参与维护冷却设施岗位就业、加强居民高温防范意识和增强冷却空间网络结构韧性。

### 5 对我国城市应对高温天气的经验启示和规划建议

我国的城市规划很少涉及应对城市高温的相关策略，波士顿构建城市冷却空间网络的降温策略能为我国提供启示。其策略分别在土地利用、人口、政策几个方面得到了实践，提升了城市蓝绿空间系统性，并在一定程度上精准解决城市冷却资源供需匹配问题。但我国的城市与波士顿存在差异性，需要结合城市的地理位置、行政区划、经济建设能力、人口密度、国土空间规划综合考虑。

我国大部分城市具有人口密度较高、管理能力强和高温影响范围广的特点，且没有形

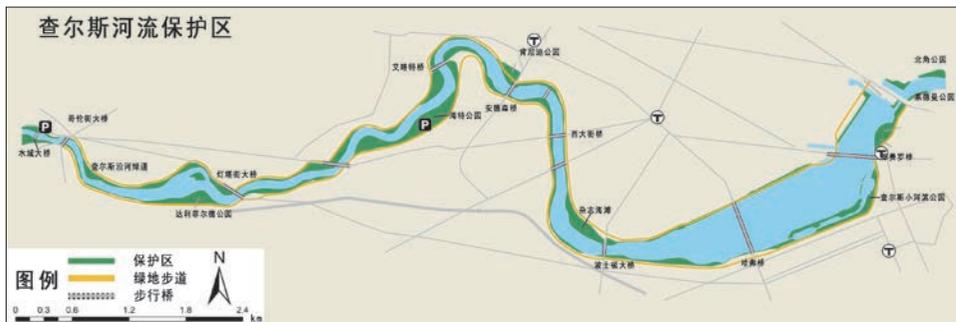


图7 查尔斯河流域公园体系  
Fig.7 Charles River Valley park system

资料来源：笔者根据<https://www.mass.gov/doc/charles-river-basin-map>绘制。

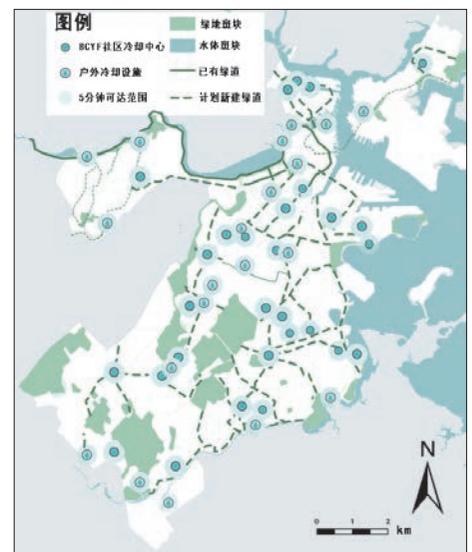


图8 波士顿城市冷却空间网络  
Fig.8 Boston City urban cooling space network  
资料来源：笔者根据<https://www.kittelson.com/work/boston-green-links-plan>绘制。

成系统的高温应对策略和规划体系。结合城市的具体情况,参考波士顿应对极端高温天气的做法,可为我国大部分地区城市提供新的应对思路和策略。主要分为以下4个方面。

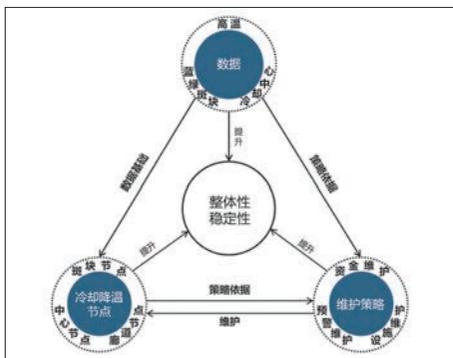
### 5.1 建立高精度、动态化的预警监测平台和高温评估体系

目前我国高温地区搭建的高温预警平台存在精度不足的问题。忽视高精度预警平台在高温期间减少经济损失和人员伤亡,以及维护社会稳定等方面的功能<sup>[39][107]</sup>,导致我国应对高温天气时没有形成实时有效的应对措施,因此可以借鉴波士顿案例,建立高精度预警监测平台和高温评估体系(见图10)。

首先,在预警监测平台方面,建立实时、动态的温度监测平台。这是应对气候变化的一个重要措施,一方面可以为高温风险评估提供准确的数据支持,另一方面可以及时反馈实施效果,增添居民适应高温天气的途径。

其次,在高温评估方面,鉴于我国现阶段正在建设国土空间规划数据信息平台,应当注重将国土空间数据融入高温情景模拟模型,绘制基于多重脆弱性指标的高温灾害分布地图。

最后,根据高温监测数据和评估结果,提出气候适应规划和健康风险的设计导则,用于指导城市蓝绿空间网络的建设和提升冷却降温设施的维护。结合国土空间规划划分不同高温风险等级,并依据风险等级进行规划管理。



a 冷却空间维护模式  
图9 城市冷却空间网络维护和运行模式  
Fig.9 Maintenance and operation mode of urban cooling space network

### 5.2 重视高温风险区蓝绿设施维护

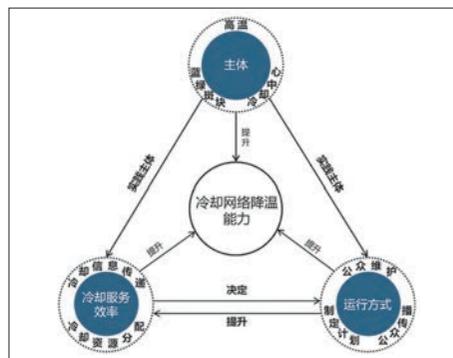
合理利用与维护蓝绿空间是抵御高温气候的基础保障<sup>[40]</sup>,我国高温城市大多仍然未能有效地对蓝绿空间进行维护,导致已有的蓝绿空间无法精准满足现有人群的降温需求<sup>[41-43]</sup>。因此应当结合国土空间规划对土地资源进行合理利用,精准增添蓝绿设施满足户外需求,从系统性维护和公众参与两方面展开蓝绿基础设施的建设维护。

系统性维护方面,应当在高温风险评估的基础上,从降温需求的角度对已有蓝绿设施进行针对性维护,通过改善绿化、增加喷雾、更换降温材料等方式提升户外降温效果。同时对城市、社区和街区开放空间进行适用性评估,精准增添蓝绿空间等降温设施,用于满足附近户外人群对于冷却资源的需求。

公众参与维护方面,在高温风险区,政府应当结合公众参与理念,制定激励政策和开展绿色岗位,适当宣传蓝绿设施降温科普知识,增强社区居民维护蓝绿设施的参与力度。

### 5.3 构建城市冷却空间网络

我国城市应对和缓解高温天气的方式仍然较为传统,蓝绿设施在连通性和可达性上存在不足,导致城市整体降温能力不足<sup>[44-47]</sup>。因此可借鉴波士顿构建城市冷却空间网络的策略和引进其整体性规划理念,根据具体情况做出调整,通过高温风险评估、识别城市冷却斑块和构建绿色廊道,形成城市冷却空间网络。



b 冷却空间运行模式  
图10 动态预警平台与高温风险评估  
Fig.10 Dynamic early warning platform and high temperature risk assessment

首先,通过高温风险评估为构建冷却空间网络提供数据基础,根据现状高温灾害风险监测评估结果,改造现状蓝绿斑块和绿色廊道,结合我国城市土地利用情况,确定新增斑块和廊道的位置和用地规模,并安置相关降温设施。其次,通过民意走访、土地利用调查和社区街道空间调查,开设多用途室内降温应急场所。以国土空间规划、城市自然生态保护地规划、城市绿地规划等其他各项相关规划为指导依据,连接城市冷却斑块、绿色廊道、降温设施和冷却中心,构建城市冷却空间网络。最后,通过信息平台分享冷却资源信息,告知社区居民高温风险分布点的位置。

### 5.4 设置公众参与管理体系

我国大多数高温城市对城市蓝绿空间的治理还是以政府为主导,容易造成多方利益冲突、地方出现行政不一、缺乏系统性和公众参与的问题<sup>[48-50]</sup>。构建公众参与管理体系是长期实施城市降温策略的有力保障,具体可以从规划、响应、管控3个层面构建公众参与管理体系(见图11)。

首先,在规划层面,由政府制定高温计划、制定激励制度、扩大绿色就业岗位和推动

资料来源:笔者根据参考文献[11]绘制。

资料来源:笔者自绘。



图11 公众参与管理体系  
Fig.11 Public participation management system

资料来源:笔者根据参考文献[11], [39]98-100绘制。

多方参与制定冷却空间网络计划,增加公众参与度。其次,在管控层面,由政府、社区和居民团体共同对城市冷却空间网络进行监管,统筹协调各项冷却网络治理事项。最后,在响应层面,通过信息平台共享高温信息和进行高温知识培训,倡导进行责任监督、责任分配和意见反馈,完善公众参与管理机制,提升城市韧性。

## 6 结语

本文基于美国波士顿应对高温天气的规划历程,总结了波士顿构建城市冷却空间网络的规划策略,为我国城市应对高温天气提供经验启示和规划建议。

我国的国情与美国有较大的差异,自然环境也存在不同。需要在借鉴波士顿经验的基础上,结合我国城市的实际情况进行应用,逐步开展实践工作,探索公众参与在高温规划中的作用,从而构建从规划到落地的城市冷却空间网络。这些策略和措施有待进一步研究与探讨。

## 参考文献 References

[1] 陶希东. 应对极端天气的韧性城市建设策略研究——以极端高温天气为例[J]. 中国国情国力, 2022, 358 (11): 68-70.

TAO Xidong. Research on resilient urban construction strategies to deal with extreme weather: take extreme hot weather as an example[J]. China National Conditions and Strength, 2022, 358(11): 68-70.

[2] BALLESTER J, QUIJAL-ZAMORANO M, MÉNDEZ TURRUBIATES R F, et al. Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022[J]. Nature Medicine, 2023, 29: 1857-1866.

[3] HOU K, ZHANG L, XU X, et al. High ambient temperatures are associated with urban crime risk in Chicago[J]. Science of the Total Environment, 2023, 856: 158846.

[4] BLAKESLEE D, CHAUREY R, FISHMAN R, et al. In the heat of the moment: economic and non-economic drivers of the weather-crime relationship[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2021, 192: 832-856.

[5] KOTHARKAR R, GHOSH A. Progress in extreme heat management and warning systems: a systematic review of heat-health action plans (1995-2020)[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 76: 103487.

[6] FRANZISKA M, GRAHAM B, SIMON H, et al. Heat-health action plans: guidance[M/OL]. World Health Organization Regional Office for Europe, 2008[2023-09-08]. <https://iris.who.int/handle/10665/107888>.

[7] BETTIO L, NAIRN J R, MCGIBBONY S C, et al. Australian heat wave forecasting service[J]. Proceedings of the Royal Society of Victoria, 2019, 131(1): 53-59.

[8] HARRINGTON L J. Rethinking extreme heat in cool climates: a New Zealand case study[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(3): 034030.

[9] Natural Resources Defense Council. Expanding heat resilience in India: heat travel plans highlight 2022[EB/OL]. (2022-04-12) [2023-09-08]. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/india-heat-resilience-20220406.pdf>.

[10] Intergovernmental Panel on Climate Change. From the G7 health communiqué to action: health and climate - heat preparedness through early warning systems[EB/OL]. (2022-11-29) [2023-09-08]. <https://ghin.org/wp-content/uploads/G7-report-heat-EWS.pdf>.

[11] Mayor of Boston. Heat resilience solutions for Boston[EB/OL]. (2022-04-03) [2023-09-08]. [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2022/04/04212022\\_Boston%20Heat%20Resilience%20Plan\\_highres-with%20Appendix%20%281%29.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2022/04/04212022_Boston%20Heat%20Resilience%20Plan_highres-with%20Appendix%20%281%29.pdf).

[12] HARDY S. "Parks for the People": reforming the Boston park system[J]. Journal of Sports History, 1980, 7(3): 5-24.

[13] Boston Mayor's Office. The City of Boston's

climate action plan[EB/OL]. (2007-04-13) [2023-09-08]. <https://www.cityofboston.gov/climate/pdfs/capjan08.pdf>.

[14] TOM A, CHRIS L, JOSEF H, et al. Cities alive: rethink green infrastructure[EB/OL]. (2014-04-01) [2023-09-08]. <https://www.arup.com/globalassets/downloads/insights/cities-alive-rethinking-green-infrastructure.pdf>.

[15] United States Environmental Protection Agency. Coastal stormwater management through green infrastructure a handbook for municipalities[EB/OL]. (2014-09-11) [2023-09-08]. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/massbays\\_handbook\\_combined\\_508-opt\\_1.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/massbays_handbook_combined_508-opt_1.pdf).

[16] FABOS J G. Greenway planning in the United States: origins and recent case studies[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 68(2-3): 321-342.

[17] SWETT B, OSGOOD C, DAVIS Z, et al. The 2016 Boston climate preparedness plan[EB/OL]. (2016-11-20) [2023-09-08]. <https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/climate-ready-boston-final-report-2016.html>.

[18] The New York City Mayor's Office of Recovery & Resiliency. Cool neighborhoods NYC: a comprehensive approach to keep communities safe in extreme heat[EB/OL]. (2017-06-14) [2023-09-08]. [https://www1.nyc.gov/assets/orr/pdf/Cool\\_Neighborhoods\\_NYC\\_Report.pdf](https://www1.nyc.gov/assets/orr/pdf/Cool_Neighborhoods_NYC_Report.pdf).

[19] Boston Region Metropolitan Planning Organization. Boston region metropolitan planning organization[EB/OL]. (2020-10-05) [2023-09-08]. [https://www.ctps.org/data/calendar/pdfs/2020/MPO\\_1015\\_Work\\_Program\\_Green\\_Line\\_Corridor\\_Transformation.pdf](https://www.ctps.org/data/calendar/pdfs/2020/MPO_1015_Work_Program_Green_Line_Corridor_Transformation.pdf).

[20] GIBBS D, O'NEILL K. Green economy, sustainability transition, and transition regions: the case of Boston[J]. Geografiska Annaler: Series B, Human Geography, 2014, 96(3): 201-216.

[21] Metropolitan Area Planning Council. Community engagement guide 2016[EB/OL]. (2017-08-22) [2023-09-08]. <https://www.mapc.org/wp-content/uploads/2017/08/MAPC-Community-Engagement-Guide-2016.pdf>.

[22] Boston Public Health Community. Equitable community engagement plan 2020-2023[EB/OL]. (2021-03-01) [2023-09-08]. <https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2021/03/The%20BPHC%202020-23%20Equitable%20Community%20Engagement%20Plan.pdf>.

[23] ZHANG X R, LONG Q Y, KUN D, et al. Comprehensive risk assessment of typical high-temperature cities in various provinces in China[J]. Public Health, 2022, 19(7): 4292.

[24] City Hall Square Boston. Open space and recreation plan 2023-2029[EB/OL]. (2023-07-12) [2023-09-08]. <https://www.boston.gov/news/city-releases-2023-2029-open-space-and-recreation-plan>.

- [25] City of Boston in City Council. Ordinance protecting local wetlands and promoting climate change adaptation in the city of Boston[EB/OL]. (2019-11-11) [2023-09-08]. [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2019/12/Boston%20Wetlands%20Ordinance\\_2.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2019/12/Boston%20Wetlands%20Ordinance_2.pdf).
- [26] HAMMOND R, WOODS R, MEYER L, et al. Urban forest plan neighborhood strategies[EB/OL]. (2016-10-16) [2023-09-08]. [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2022/09/SouthBoston\\_NeighStrats2022.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2022/09/SouthBoston_NeighStrats2022.pdf).
- [27] Boston Parks Recreation. Planning for future open space parcel priority plan[EB/OL]. (2020-09-30) [2023-09-08]. [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2021/04/20\\_11\\_30\\_PPP\\_compressed\\_1.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2021/04/20_11_30_PPP_compressed_1.pdf).
- [28] Metropolitan Area Planning Council. Keeping metro boston cool: a regional heat preparedness and adaptation plan[EB/OL]. (2016-06-01)[2023-09-08]. <https://www.mass.gov/doc/cambridgemetro-mayors-building-resilience-to-climate-driven-heat-in-metro-boston-fy21-preparedness-plan/download>.
- [29] University of Massachusetts Boston, Department of Urban Planning and Community Development. Cool Roxbury: Lower Roxbury's extreme heat challenges and solutions[EB/OL]. (2022-07-28)[2023-09-08]. [https://pauldavidoff.com/wp-content/uploads/2022/11/UPCD\\_2022\\_CoolRoxburyReport\\_Final.2.pdf](https://pauldavidoff.com/wp-content/uploads/2022/11/UPCD_2022_CoolRoxburyReport_Final.2.pdf).
- [30] 朱春奎, 刘梦远, 徐菁媛. 波士顿应对气候变化的韧性城市建设战略与启示[J]. 创新科技, 2021, 21 (2): 29-37.
- ZHU Chunkui, LIU Mengyuan, XU Jingyuan. The development strategy of Boston's climate resilient city and its implications[J]. Innovation Technology, 2021, 21(2): 29-37.
- [31] 俞孔坚. 新唐人街——波士顿的中国城公园[J]. 广西城镇建设, 2013 (4): 58-63.
- YU Kongjian. New Chinatown - Chinatown park in Boston[J]. Urban Construction in Guangxi, 2013(4): 58-63.
- [32] Boston Landmarks Commission Environment Department. Charles River esplanade study report[EB/OL]. (2009-09-23) [2023-09-08]. [https://www.cityofboston.gov/images\\_documents/Charles%20River%20Esplanade%20Study%20Report,%20as%20amended\\_tcm3-12653.pdf](https://www.cityofboston.gov/images_documents/Charles%20River%20Esplanade%20Study%20Report,%20as%20amended_tcm3-12653.pdf).
- [33] Environmental Protection Agency. Climate change and extreme heat: what you can do to prepare[EB/OL]. (2016-10-16) [2023-09-08]. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-10/documents/extreme-heat-guidebook.pdf>.
- [34] JIANG Y, SONG D, SHI, T, et al. Adaptive analysis of green space network planning for the cooling effect of residential blocks in summer: a case study in Shanghai[J]. Sustainability, 2018(10): 3189.
- [35] MARCUS M, CLARA A, CHANDRA R, et al. Blue-green network planning as a spatial development and climate-resilient strategy - the case of Belmopan, Belize[EB/OL]. (2017-03-15) [2023-09-08]. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Final%20Paper%20Belmopan.pdf>.
- [36] WU M. Planning for a Boston green new deal & just recovery[EB/OL]. (2020-08-19)[2023-09-08]. <https://assets.ctfassets.net/1hf11j69ure4/B6NLx1OVxTVMNbHEvFaQE/700f4762bae92990f91327a7e01e2f09/Boston-Green-New-Deal-August-2020-FINAL.pdf>.
- [37] Environmental Protection Agency. Reducing urban heat islands: compendium of strategies: heat island reduction activities[R]. 2008.
- [38] 肖华斌, 郭妍馨, 王玥, 等. 应对高温健康胁迫的社区尺度缓解与适应途径——纽约清凉社区计划的经验与启示[J]. 规划师, 2022 (6): 151-158.
- XIAO Huabin, GUO Yanxin, WANG Yue, et al. Mitigation and adaptation approach in neighborhood scale to cope with health risks under extreme heat stress: experience and implications of cool neighborhoods NYC[J]. Planners, 2022(6): 151-158.
- [39] 何宝杰, 尹名强. 应对城市高温的国际总体行动、策略与指南[J]. 国际城市规划, 2024 (3): 98-108.
- HE Baojie, YIN Mingqiang. Global actions, strategies and guidelines for beating urban heat[J]. Urban Planning International, 2024(3): 102-112.
- [40] KIRSHEN P, BALLESTERO T, DOUGLAS E, et al. Engaging vulnerable populations in multi-level stakeholder collaborative urban adaptation planning for extreme events and climate risks — a case study of East Boston USA[J]. Journal of Extreme Events, 2018, 5(2-3): 1850013.
- [41] 武夕琳, 刘庆生, 刘高焕, 等. 高温热浪风险评估研究综述[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21 (7): 1029-1039.
- WU Xilin, LIU Qingsheng, LIU Gaohuan, et al. Risk assessment of heat waves: a review[J]. Journal of Geo-Information Science, 2019, 21(7): 1029-1039.
- [42] DONG Y, REN Z, FU Y, et al. Decrease in the residents' accessibility of summer cooling services due to green space loss in Chinese cities[J]. Environment International, 2022, 158: 107002.
- [43] 陈群, 曹志立. 基于ArcGIS的城市公园绿地可达性及服务能力研究——以天津市中心城区为例[J]. 现代园艺, 2023, 46 (2): 149-152.
- CHEN Qun, CAO Zhili. Research on accessibility and service capability of urban parks and green spaces based on ArcGIS: a case study of the central urban area of Tianjin[J]. Xiandai Horticulture, 2023, 46(2): 149-152.
- [44] 陈天宇, 周玉科, 张晓芳, 等. 基于改进G2SFCA的城市公园绿地可达性评价及其选址优化研究——以苏州工业园区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46 (1): 25-29.
- CHEN Tianyu, ZHOU Yuke, ZHANG Xiaofang, et al. Study on accessibility evaluation and location optimization of city park green space based on improved G2SFCA: a case study of Suzhou Industrial Park[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2023, 46(1): 25-29.
- [45] 赵焯, 邹婷婷, 莫晓晴, 等. 面向蓝绿空间网络的青岛市南区绿地布局及绿道选线[J]. 中国城市林业, 2023, 21 (1): 109-118.
- ZHAO Ye, ZOU Tingting, MO Xiaoqing, et al. Green space layout and greenway route selection in Shinan District of Qingdao for green and blue space network[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2023, 21(1): 109-118.
- [46] ZHOU W, CAO W, WU T, et al. The win-win interaction between integrated blue and green space on urban cooling[J]. Science of the Total Environment, 2023, 863: 160712.
- [47] 幸丽君, 杜赛南, 仝照民, 等. 环境正义视阈下城市公园绿地时空可达性及其影响因素[J]. 生态学报, 2023 (13): 5370-5382.
- XING Lijun, DU Sainan, TONG Zhaomin, et al. Spatial and temporal accessibility of urban green space and its influencing factors in Wuhan from the perspective of environmental justice[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023(13): 5370-5382.
- [48] 任超, 袁超, 何正军, 等. 城市通风廊道研究及其规划应用[J]. 城市规划学刊, 2014 (3): 52-60.
- REN Chao, YUAN Chao, HE Zhengjun, et al. A study of air path and its application in urban planning[J]. Urban Planning Forum, 2014(3): 52-60.
- [49] 杨鑫, 黄智鹏, 马健, 等. 精细化尺度下的城市绿地建设公众参与途径——以柏林、伦敦“植树计划”为例[J]. 中国园林, 2022, 38 (7): 109-114.
- YANG Xin, HUANG Zhipeng, MA Jian, et al. Approaches to public participation in urban green space construction under the refined scale - a case study of "tree planting plan" in Berlin and London[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(7): 109-114.
- [50] JI H, NO W, YEO J. Community factors and local governments' hazard mitigation efforts: focusing on nonprofit organizations[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022, 83: 103394.