

DOI: 10.5846/stxb201801300251

董菁, 左进, 李晨, 范大林, 吴元君. 城市再生视野下高密度城区生态空间规划方法研究——以厦门本岛立体绿化专项规划为例. 生态学报, 2018, 38(12): - .

Dong J, Zuo J, Li C, Fan D L, Wu Y J. Research on ecological spatial planning method in high-density area under the urban regeneration vision: a case study of a three-dimensional greening plan on Xiamen Island. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

城市再生视野下高密度城区生态空间规划方法研究 ——以厦门本岛立体绿化专项规划为例

董 菁¹, 左 进^{1,*}, 李 晨², 范大林³, 吴元君³

¹ 天津大学建筑学院, 天津 300072

² 天津市城市规划设计研究院, 天津 300201

³ 厦门市城市规划设计研究院, 厦门 361012

摘要: 面对快速城市化进程中城市高密度地区生态空间缺乏、布局支离破碎的问题, 从规划层面分析了其问题的症结所在; 提出屋顶绿化与城市绿地系统联动互补, 是针对城市高密度地区生态环境受损严重以及土地资源紧缺的约束条件下, 建构生态空间网络的有效途径; 并以厦门本岛为研究区, 基于 GIS、遥感技术, 利用高清遥感数据结合实地调研、问卷调查、部门资料、规划文本建立现状及规划空间数据库; 从既有研究梳理、综合效益影响、城市发展诉求分析 3 个层面总结屋顶绿化实施潜力影响因子, 结合规划分区与建筑分类建立实施潜力评估方法; 对研究区进行屋顶绿化实施潜力评估, 结合城市绿地系统, 以“全域空间、重点片区、多维网络”为方法进行研究区生态空间网络规划。结果表明: 1) 生态结构完善、城市功能优化、公共服务需求、环境改善需求、建筑属性特征、建筑产权归属是屋顶绿化实施潜力评估要素, 其包含的城市生态框架、城市功能结构、景观提升需求、建筑改造需求、内涝程度、热岛强度、微气候环境、建筑高度、建筑年代、建筑类型、建筑产权属性是关键性评估因子; 2) 厦门本岛 2016 年屋顶绿化率仅有 2%, 且附属于居住建筑和城中村中的屋顶绿化量超过总量的一半, 商业、公共、产业建筑作为空间载体进行屋顶绿化有较大发展空间, 未绿化的屋顶资源中有 81.3% 适宜进行屋顶绿化; 3) 探索高密度城区生态空间网络布局的规划方法是本研究的第一步, 下一步通过借助 AI、GIS 等技术, 尝试防控高强度开发与高危集聚引发的城市生态和灾害问题, 构建满足复合功能的生态空间网络优化的研究方法。

关键词: 城市再生; 高密度城区; 生态空间; 屋顶绿化; 潜力评估

Research on ecological spatial planning method in high-density area under the urban regeneration vision: a case study of a three-dimensional greening plan on Xiamen Island

DONG Jing¹, ZUO Jin^{1,*}, LI Chen², FAN Dalin³, WU Yuanjun³

¹ School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

² Tianjin Urban Planning & Design Institute, Tianjin 300201, China

³ Xiamen Urban Planning & Design Institute, Xiamen 361012, China

Abstract: High-density areas are facing the problems of a lack of eco-space and fragmented layouts due to rapid urbanization. This study, in analyzing the main issues in the planning domain, proposes that roof greening as a complementation can be integrated into urban green systems, and aims to construct an eco-space network in a high-density city area with a deteriorated ecological environment and shortage of land resources. The present study uses Xiamen Island as

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题(2016YFC0502903)

收稿日期: 2018-01-30; 修订日期: 2018-05-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 8782606@qq.com

the research area, and utilizes geographic information system (GIS) and remote sensing technology to establish the status of the area and plan the space database by using remote sensing data, field surveys, questionnaires, departmental data, and planning texts. From the three aspects of existing research combing, comprehensive benefits, and urban development appeal analysis, this study summarized the impact factors of roof greening implementation potential, integrated planning divisions, and building classifications to establish a method of assessing implementation potential; we assessed the potential of roof greening implementation in the study area, and achieved eco-space network planning combined with urban green-space systems by taking “global space, key areas, and multidimensional networks” into consideration. The results indicated that 1) ecological structure, urban function optimization, public service demand, environmental improvement demand, architectural characteristics, and architectural property ownership as the evaluation elements of potential for roof greening implementation, including the urban ecological framework, urban functional structure, landscape upgrade demand, building renovation demand, urban internality degree, heat island intensity, microclimate environment, building height, building age, building type, and architectural property attributes as key evaluation factors. 2) In 2016, the roof greening rate of buildings on Xiamen Island was only 2%, with more than half attached to residential buildings and urban villages. Commercial, public, and industrial buildings have a lot of potential space for roof greening, and among the remaining buildings, 81.3% are suitable for roof greening. 3) The first step of the study was to explore the method of planning the eco-space network in the high-density urban area. Next, with the help of artificial intelligence (AI) and GIS, we aimed to build a research method for optimizing an eco-space network with multiple functions, in order to prevent the urban environmental damage and ecological disaster caused by high-intensity development and high-risk agglomeration.

Key Words: urban regeneration; urban high-density area; ecological space; roof greening; potential assessment

据国家统计局最新报告,中国城镇化率从 1978 年的 17.92% 增加到 2016 年的 57.35%, 用不到 40 年时间完成超过 50% 的城市化率, 这是一个高度“压缩型”的城市化进程^[1]。快速城市化进程引发的空间结构失衡对城市生态系统具有显著影响, 使其建设远滞后于城市发展, 生态空间匮乏、布局支离破碎(本文生态空间主要指公园绿地、水体、绿化空间等具有生态效益、公共服务、防灾避难功能的生态资源), 生态环境受损严重, 灾害脆弱。尤其是作为高密度城区生态空间中不可或缺的绿地系统, 因无视或回避现实矛盾(土地匮乏、成本高昂等)往往实施较为困难。以天津河东区为例, 区域面积约 42 km², 人口密度 2.3 万人/km², 人均公共绿地仅 2.4 m², 远落后于天津总体规划中设定的 12 m²。因此, 基于高密度城区高密度、高强度、高复杂度的特殊性, 进行生态空间网络化建构对改善城市生态空间破碎化、促进生态功能发挥、增强城市空间与生态空间耦合关系具有重要作用。

国内外关于生态空间布局的研究主要集中在 3 个方面: 1) 从生态空间用地比例、布局、功能和管理 4 个层面建立生态网络评价体系, 提出宏观优化对策^[2]; 2) 基于生态效益等单一视角的定量景观格局评价优化^[3-6]; 3) 对城市生态空间社会服务能力、影响要素及综合效益的定性评价^[7]。然而, 由于缺乏对现状空间的坐标定位以及对行政空间、行动主体的具体落实等实施路径的研究, 使这些方法大多停留于学术研究层面, 较少运用于实践。关于多维生态空间(屋顶绿化)的研究主要从屋顶绿化应用、技术、效益、设计、政策等层面展开^[8-12], 其中关于屋顶绿化实施潜力评估方法的基础研究, 多从单体建筑属性层面进行分析。如 WILKINSON、REED^[13]选取屋顶方向、高度、坡度、承载力等 8 个指标, 邵天然、李超骥、曾辉^[14]选取建筑年代、结构、构造、功能等 8 个因子, 王新军等^[15]提取屋顶归属、建筑坐落位置等 9 个指标作为屋顶绿化潜力评估指标; 董靓、黄瑞^[16]以适应气候为评价标准对成都市区屋顶绿化进行研究。鲜有从城市规划层面进行自上而下宏观分区引导的规划方法研究^[17], 难以解决当前屋顶绿化缺乏整体性和系统性, 与城市功能片区及绿地系统规划等相关规划衔接不足, 规划统筹缺失、实施困难的问题^[18]。因此, 本文积极探索适用于高密度城区生态空间构建的规划方法, 以利实现以相对较低成本达到生态空间建设和管理的科学性、规范性、可实施性, 将有利于进一步

指导高密度城区复合功能生态空间网络布局优化的实践。

本文以厦门本岛为研究区,弥补当前生态空间研究多基于现状空间数据、未与规划空间结合,对规划数据缺乏获取途径;多侧重于自下而上的单体建筑研究,缺乏宏观规划,即“重单体研究、轻整体分析”;与其他空间规划在编制与实施上的协同性较弱等方面的不足之处。针对高密度城区土地紧缺、生态空间匮乏、空间布局不均衡等现状问题,从规划角度剖析其症结;并结合厦门本岛立体绿化(屋顶绿化专题)专项规划,基于城市再生理念,运用 GIS、遥感技术,建立高密度城区实施屋顶绿化潜力评估方法,以城市绿地系统为基础,建立适用于高密度城区生态空间网络化建构的规划方法;研究结果将为后续进一步结合生态效益、防灾减灾、公共服务等综合服务功能的生态空间网络布局优化实践提供基础与依据。

1 研究区概况

厦门本岛位于中国东南海域厦门湾内,占地面积 142 km²,常住人口 238.18 万人(2017 年厦门金砖会议期间公安部门入户调查数据)。厦门本岛行政区以仙岳路划分为思明区、湖里区南北 2 个区,下辖 14 个街道(不包含鼓浪屿)。在厦门本岛将屋顶绿化作为生态基础设施展开系列研究具有良好的基础。一方面,厦门本岛现状绿化系统网络化缺失,热岛效应显著、内涝问题严峻;另一方面,厦门作为第四批国家园林城市、第一批海绵城市建设试点、第二批生态修复城市修补试点对生态环境具有较高要求,亟待提升的生态环境、政府及相关部门的推动等成为厦门生态空间进一步发展的良好契机。

1.1 生态空间匮乏,空间分布破碎

2016 年厦门本岛绿地面积约 4589.8hm²(不含鼓浪屿),其中公园绿地面积约 2158.4 hm²。根据各街道人均公园绿地面积统计,思明区、湖里区分别为 13.11、4.92 m²,除滨海街道(45.69 m²,部分万石山风景区被划入公园绿地)、筓筓街道(15.48 m²)外,其余街道距离《福建省“十三五”城乡基础设施建设专项规划》确定的 13 m²以上标准相差较多(图 1)。从规划角度分析其原因,目前传统绿地系统规划致力于理想化空间形态布局,缺乏具体的坐标定位,在通过控制性详细规划编制过程中,受到现实利益冲突和总规对划定绿地空间的模糊性等方面影响,难以实现从“目标”到“指标”的转化^[19]。此外,对于具体生态空间的落实缺乏行动指导,导致规划的生态空间在变通实施中节节后退。除了空间匮乏,厦门本岛现状生态空间还呈现出布局高度破碎的特征,人类活动干扰强度是其生态空间破碎化的关键因素^[20]。一方面,人口集中的地区对交通设施需求增加,交通干道的廊道效应直接影响周边土地利用,使其向城市高价值用地转化,自然廊道受到挤压甚至消失;另一方面,人类活动对城市造成的高强度干扰导致土地利用呈现出高度复合趋势,加剧生态空间破碎化程度^[21]。

1.2 用地征收困难,交易成本巨大

厦门本岛用地紧缺、土地交易成本高造成生态网络化布局实现的困难。从城市经营角度看,绿地等生态空间不能为利益主体产生直接收益,而是间接提升周边经营性用地的“溢价”。换言之,生态空间的建设费用与用地“机会成本”要以经营性用地的增值进行覆盖,孤立考虑生态空间实施会面临“只投入、无产出”的财务悖论^[22]。财务上的困境削弱实施主体对生态系统的关注,从根本上限制了生态空间的供给。传统城市规划基于工程学的增量规划进行生态空间格局制定,其中暗含一个假设:城市产权是单一的,通过技术合理性构造理想化生态空间布局。当前城市化 2.0 时期,在高密度老城区,面对已经建成的现状,通过简单的征地实施生态建设,往往因大量真实存在的复杂矛盾导致交易成本巨大、困难重重^[23]。因此,在高密度城区,生态空间的规划与实施需要充分了解并尊重城市已建成区现状,以较低成本的方式重新挖掘低效的存量空间资源。而屋顶绿化避免了高昂的拆迁费用,可以经济快速地增加多维生态空间,对绿地系统形成有益补充,是在生态空间稀缺、土地资源紧缺约束条件下,建构生态空间网络的有效途径。

2 数据与研究方法

2.1 数据提取

本研究的基础数据获取途径分为两个层面。其一,采用高清电子地图的遥感影像为底图,结合现状地形

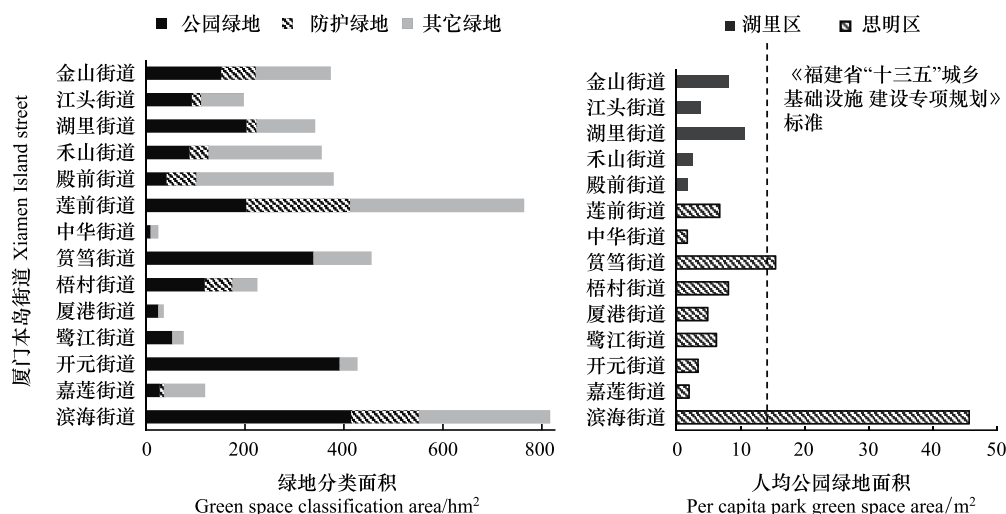


图1 2016年厦门本岛街道现状绿地统计

Fig.1 Green space statistics of Xiamen Island street in 2016

图,运用地理信息技术对研究区的屋顶存量及屋顶绿化数据进行统计,并通过实地调研、问卷调查(以街道为单位)、部门资料对接等方法更正完善数据,基于GIS平台建立现状空间数据库,包括现状屋顶绿化空间数据、现状存量屋顶资源数据。其二,通过《厦门市城市总体规划(2011—2020年)》、《思明区、湖里区空间发展战略规划及全域空间规划一张蓝图》、《厦门市绿地系统规划修编及绿线划定》、《厦门市市政、园林、林业“十三五”规划》、《厦门绿道优化提升规划》等规划文本对接规划空间数据。

2.2 研究方法

针对建设用地趋于饱和、地面标高生态空间难以拓展的现状,高密度城区生态空间规划研究方法,即基于城市再生理念,以统计年鉴、遥感数据、地形图等为数据基础,运用遥感、GIS技术构建现状空间数据库;以城市总体规划、绿地系统规划等相关规划为基础,汇整规划空间数据;在以往研究成果、综合效益影响及城市发展诉求分析基础上,选取屋顶绿化实施影响因子,综合规划分区和建筑分类两个层面建立屋顶绿化实施潜力评估方法,对研究区进行实施潜力评估;并以此评估结果为依据,结合规划空间数据,以“全域空间、重点片区、多维网络”为方法实现屋顶绿化规划,与绿地系统共同构成高密度城区生态空间网络基础,为后续进行复合功能的生态空间网络布局优化提供基础空间支撑。

2.2.1 空间资源梳理

(1) 现状屋顶绿化空间提取:鉴于半自动、全自动识别提取仍是计算机视觉和图像理解领域的难题^[24],本研究采用人机交互、目视解译的方法获取屋顶绿化的矢量化数据。以最新高清电子地图的遥感影像为底图作为基础数据来源,借助地理信息技术,对高清影像的屋顶绿化数据进行数字化分析,作为现状屋顶绿化空间提取的初步成果;结合街道问卷调查、部门对接、实地调研等更正完善数据成果。

(2) 现状屋顶存量资源梳理:以土地利用、现状地形图等为数据基础,运用GIS技术梳理屋顶存量空间;通过人工判别去除具有玻璃、太阳能板等特殊材质及坡屋顶、异形屋顶等不适宜做屋顶绿化的屋顶空间;在此基础上,删除已有屋顶绿化的空间,分类、分层构建屋顶存量资源数据库。

(3) 规划空间资源系统对接:梳理研究区城市总体规划、城市绿地系统规划等相关规划,结合城市更新项目、近远期新建项目等未来新增建设及城市重点发展区域,明确屋顶绿化规划的纲领性内容,与绿地系统、重点发展空间等要素构建互补联动关系,完善规划空间结构。

2.2.2 屋顶绿化实施潜力评估方法

(1) 影响要素分析

影响城市发展的功能、生态结构及屋顶资源的建筑属性等要素都会直接导致屋顶绿化建设成本的高低,

进而影响到实施。因此,建立一套科学、合理、适用于高密度城区的屋顶绿化实施影响因子体系的重要性是毋庸置疑的。本研究从既有研究梳理、综合效益影响、城市发展诉求分析 3 个层面进行影响要素分析:在既有研究梳理层面,随着屋顶绿化技术的进步,现在的屋顶绿化产品打破了传统屋顶绿化的模式,可以一次性解决传统屋顶绿化在承重、防排水、保温隔热等多方面的难题^[25],因此既有研究成果中建筑结构、质量情况等因素已经不作为影响实施的必要因素加以考虑。在综合效益影响层面,有屋顶绿化处的空气中会减少 37% 的二氧化硫和 21% 的亚硝酸物质^[26];不同屋顶绿化类型可减少 60%—100% 屋面雨水径流^[27];曼彻斯特大学 ASCCUE 项目研究表明,在商业区绿化覆盖率达到 23% 时,夏季峰值温度为 32℃,增加 10% 绿化覆盖率,峰值减少为 29℃^[28]。在城市发展诉求层面,屋顶绿化在优化城市功能、满足公共服务需求等方面发挥积极作用。综合 3 个层面的分析、参考已颁布的城市立体绿化技术规范,结合规划分区与建筑分类建立屋顶绿化实施潜力综合评估体系(表 1)。

表 1 屋顶绿化实施潜力评估体系

Table 1 Roof stock resources greening potential assessment system				
影响因子 Impact factor	评估因子 Assessment factor	评估标准 Evaluation criteria	参考依据 Reference	
规划分区层面 Planning division	生态结构完善	城市生态框架	生态廊道、生态节点等优先	董靓等 ^[16]
	城市功能优化	城市功能结构	重要节点、重点片区等优先	WILKINSON 等 ^[13]
	公共服务需求	景观提升需求	航空下降通道、重要道路等优先	
		建筑改造需求	老旧小区、工业建筑等优先	
	环境改善需求	城市内涝程度	内涝严重区优先	
		城市热岛强度	热岛严重区优先	董靓等 ^[16]
		微气候环境	高密度、高层密集区优先	
建筑分类层面 Building classification	建筑属性特征	建筑高度	12 层或 40m 以下优先	依据地理位置、气候特征、城市发展等因素选择相关规范参考。如:《上海市屋顶绿化技术规范(试行)》、《成都市屋顶绿化及垂直绿化技术导则》、北京市《关于推进城市空间立体绿化建设工作的意见》等
		建筑年代	20 年以内房龄建筑优先	邵天然等 ^[14]
		建筑类型	公共、商业、产业建筑优先	陈柳新等 ^[18]
		建筑产权归属	建筑产权属性	公有、集体所有建筑优先 王新军等 ^[15]

(2) 实施潜力评估

依据影响因子权重建立评估方法,对研究区进行权衡分析。首先划分规划分区:结合规划与现状空间数据,划分构筑城市基本生态框架的区域为重点区,优化城市功能、满足公共服务、具有环境改善需求的区域为重要区,其他为一般区;其次明确建筑分类:根据建筑物属性特征、产权归属情况将 1—6 层公共、商业、产业建筑划分为高适类,将 1—6 层居住、交通、其他建筑和 7—12 层公共、商业、产业、居住建筑划分为中适类,其他可绿化建筑划分为低适类;最后确定分级权衡值:考虑到原则全面实施屋顶绿化策略,建筑类型权重略大于规划分区权重,将分区从一般、重要到重点分别取 1、3、5 的权重,将分类从低适、中适到高适分别取 2、4、6 的权重,将两类权重进行叠加分析,由于权衡分总体呈梯度等级,将相近值归为一类,最后确定分为一级(30)、二级(18、20)、三级(10、12)和四级(2、4、6)(表 2)。

2.1.3 高密度城区屋顶绿化规划布局

在综合潜力评估的基础上,将研究区划分为不同等级区域,提出差异性分区、分类的发展目标,并制定对应的指引策略;以上位规划确定的控制目标以及发挥良好生态效益的指标为数据依据,结合人均绿化面积达标、节能环保达标、绿化现状平衡等原则,分解落实到街道(行政实施主体)^[29];从建设技术、植物选取层面对

不同类型建筑制定差异化屋顶绿化导则。

表 2 屋顶绿化实施潜力分级权衡值

Table 2 Roof stock resources greening potential grading trade-off value

潜力分级 Potential grading	重点区 Key area(5)	重要区 Important area(3)	一般区 General area(1)
高适类 High fitness(6)	一级(30)	二级(18)	四级(6)
中适类 Middle fitness(4)	二级(20)	三级(12)	四级(4)
低适类 Low fitness(2)	三级(10)	四级(6)	四级(2)

2.3 技术路线(图 2)

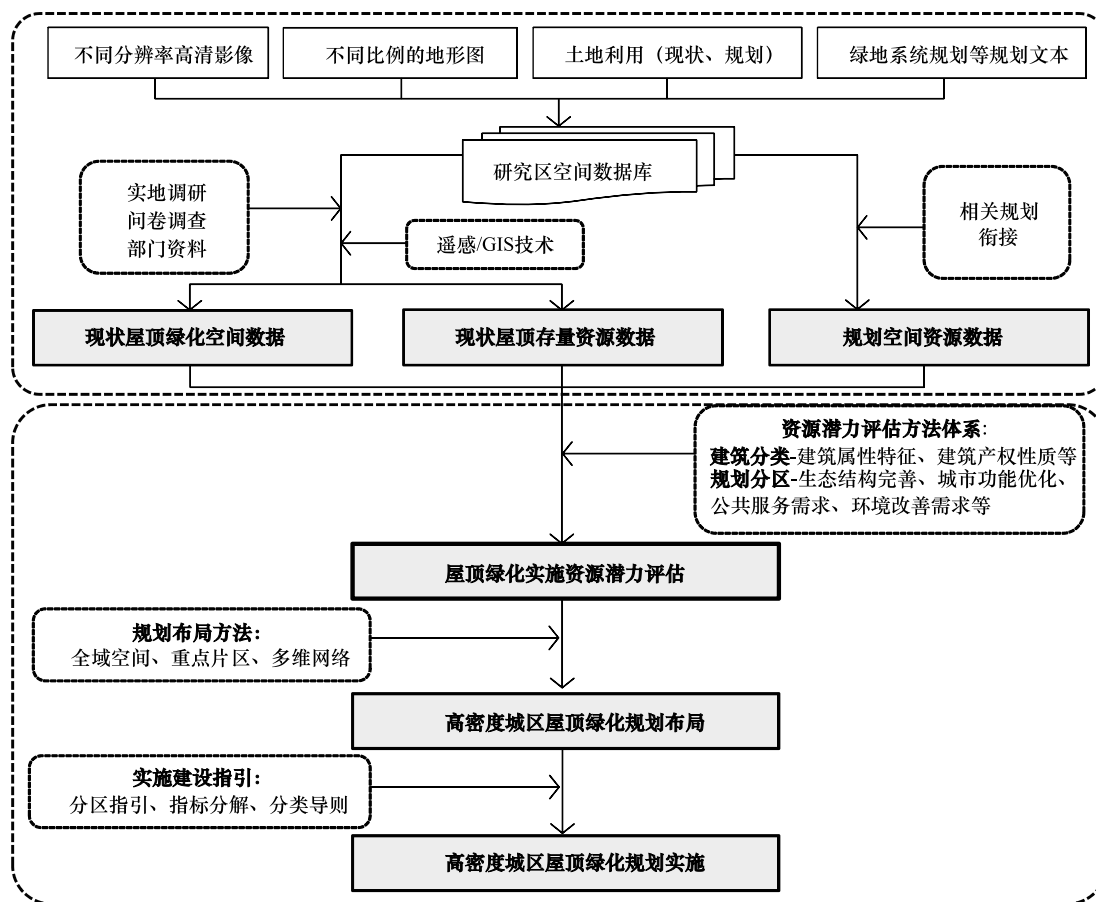


图 2 技术路线图

Fig.2 Technology roadmap

3 结果分析

3.1 研究区空间资源分析

3.1.1 屋顶存量资源现状梳理

借助 GIS 技术对屋顶存量进行统计,结果表明厦门本岛屋顶存量资源总量为 2546.95 万 m^2 (思明区 1208.51 万 m^2 、湖里区 1338.44 万 m^2),约占本岛面积的 17.9%。从建筑功能来看,居住建筑总量最高,约为 1204.73 万 m^2 ,其次是产业、商业、公共建筑,三类总量为 1100.15 万 m^2 ,占屋顶存量总量的 43.2%;从建筑高度来看,1—6 层建筑总量最高,约为 1754.21 万 m^2 ,占屋顶存量总量的 68.9%(图 3),由此说明本岛屋顶绿化具有较大空间潜力。在进行数字化之前,通过人工辨别去除不适宜进行屋顶绿化的屋顶存量资源,经过处理后统计出

适宜屋顶绿化的存量资源总量有 2070.94 万 m^2 (思明区 1031.30 万 m^2 、湖里区 1039.64 万 m^2), 约占总屋顶面积的 81.3%, 约占本岛总面积的 14.6%。

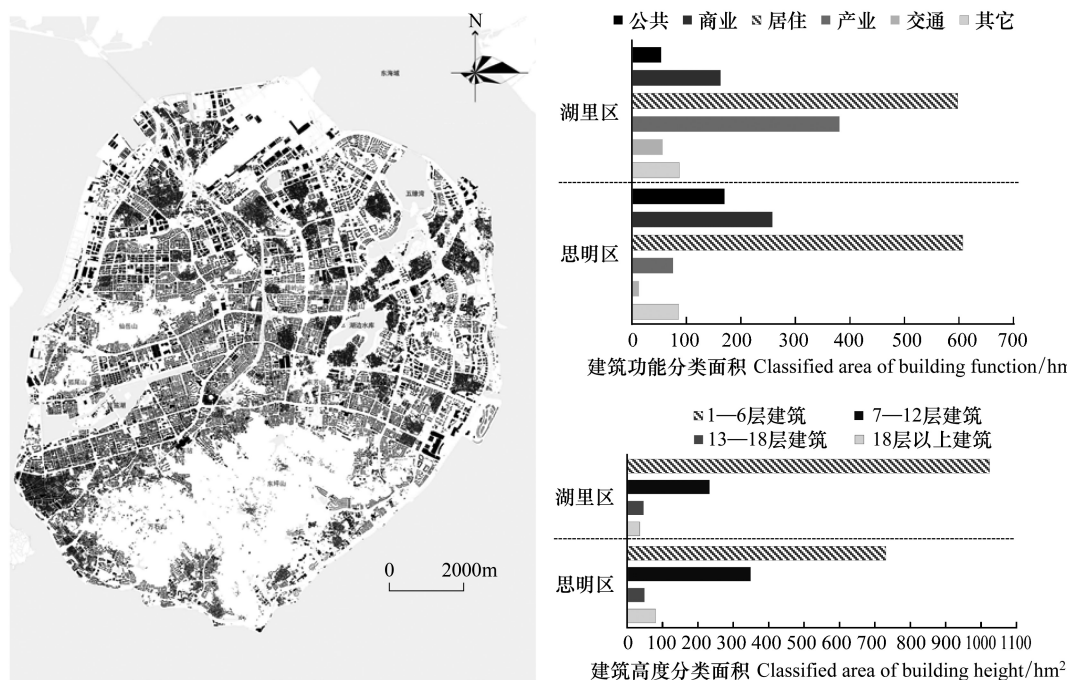


图3 2016年厦门本岛屋顶存量资源统计

Fig.3 Roof stock resource statistics of Xiamen Island in 2016

3.1.2 屋顶绿化空间现状梳理

利用遥感技术、问卷调查、部门数据、实地调研等方法获取研究区现状屋顶绿化数据,统计结果表明厦门本岛 2016 年屋顶绿化面积共 54 万 m^2 , 占总建筑屋顶面积的 2%, 未进行屋顶绿化的面积高达 2492.95 万 m^2 , 有较大的空间潜力可进行挖掘。从总体空间分布来看,屋顶绿化分布并不均匀,主要集中在本岛中部水系周边以及殿前街道城中村、钟宅城中村、会展商务区、东渡区等区域,南北两端屋顶绿化最少;从行政空间分布来看,思明区的屋顶绿化量高于湖里区,面积约 30 万 m^2 ,其中屋顶绿化量最高的是莲前街道,为 10.06 万 m^2 , 占本岛屋顶绿化总量的 18.6%。屋顶绿化量最低的是厦港街道,为 0.69 万 m^2 。湖里区的屋顶绿化面积约 24 万 m^2 ,其中殿前街道屋顶绿化量最高,为 6.57 万 m^2 ,金山街道屋顶绿化量相对较低,为 3.49 万 m^2 (图 4);从屋顶绿化类型来看,附属于一、二类居住建筑和城中村的屋顶绿化量最大,超过总屋顶绿化面积的一半,其余少量屋顶绿化项目附属于商业和产业建筑,而在用地紧缺的高密度城区,商业、公共、产业建筑具有单体屋顶面积大、建筑权属单一、节能节地作用明显、城市展示度高等特征,其作为空间载体进行屋顶绿化有较大发展空间以及可行性。

3.2 研究区生态空间规划

3.2.1 总体布局

(1) 潜力评估,划定重点实施片区

根据上一节基于规划分区与建筑分类两层面影响因子建立的综合评估体系,厦门本岛屋顶绿化规划分区将构筑本岛基本生态框架的区域划分为重点区,将具有环境改善需求(热岛现象严重区、内涝影响区、高密度高层密集区等)、景观提升需求(机场航线下通道、BRT 高架沿线等重要景观视廊)、以及城市功能优化(城市商业中心等重要功能片区及重要门户节点)的区域划分为重要区,其他城市区域为一般区(图 5);根据建筑物的属性特征等情况进行建筑分类,结果表明厦门本岛屋顶绿化高适类、中适类、低适类、不适类分别为 665.

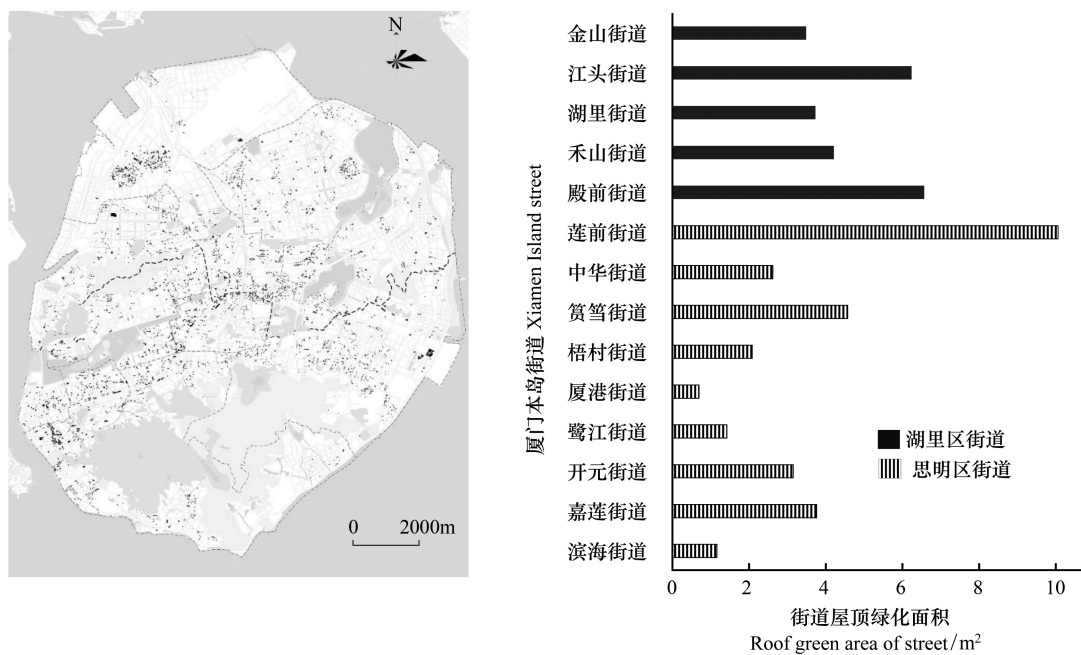


图 4 2016 年厦门本岛现状屋顶绿化
Fig.4 Roof greening status of Xiamen Island in 2016

55、1116.6、288.79、476.01 万 m^2 , 其中面积最高的中适类占比 43.8%(图 6); 基于建筑分类与规划分区的叠加分级, 本岛一、二、三、四级绿化屋顶面积分别为 105.91、367.84、387.08、1210.11 万 m^2 , 占比分别为 5.1%、17.8%、18.7%、58.4%。其中湖里区一级绿化屋顶面积明显多于思明区, 为 80.26 万 m^2 , 占一级绿化屋顶总面积的 75.8%。通过街道层面统计表明湖里区殿前街道一、二级绿化屋顶面积均最高, 其中一级屋顶绿化面积为 37.44 万 m^2 , 占一级绿化屋顶总面积的 35.4%, 二级屋顶绿化面积为 98.37 万 m^2 , 占二级绿化屋顶总面积的 26.7%(图 7)。

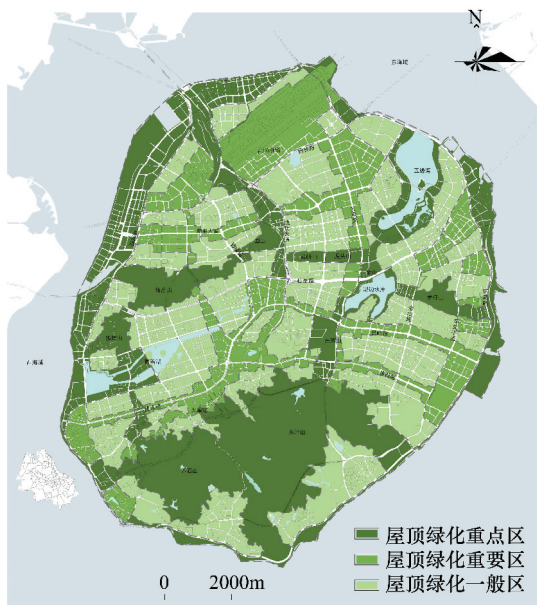


图 5 厦门本岛屋顶绿化规划分区
Fig.5 Planning division of roof greening in Xiamen Island

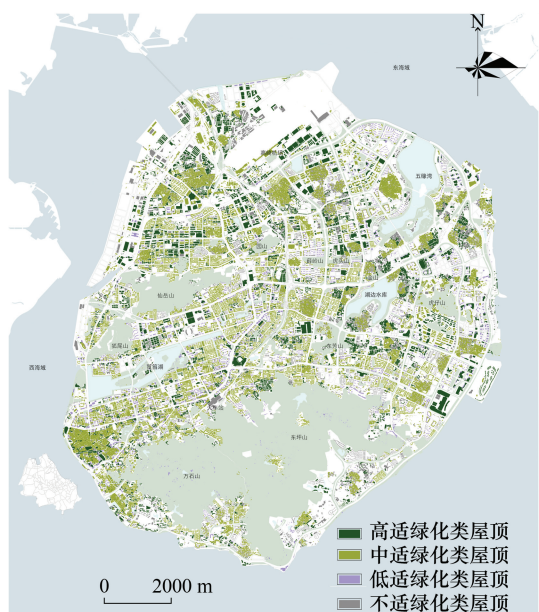


图 6 厦门本岛屋顶绿化建筑分类
Fig.6 Building classification of roof greening in Xiamen Island

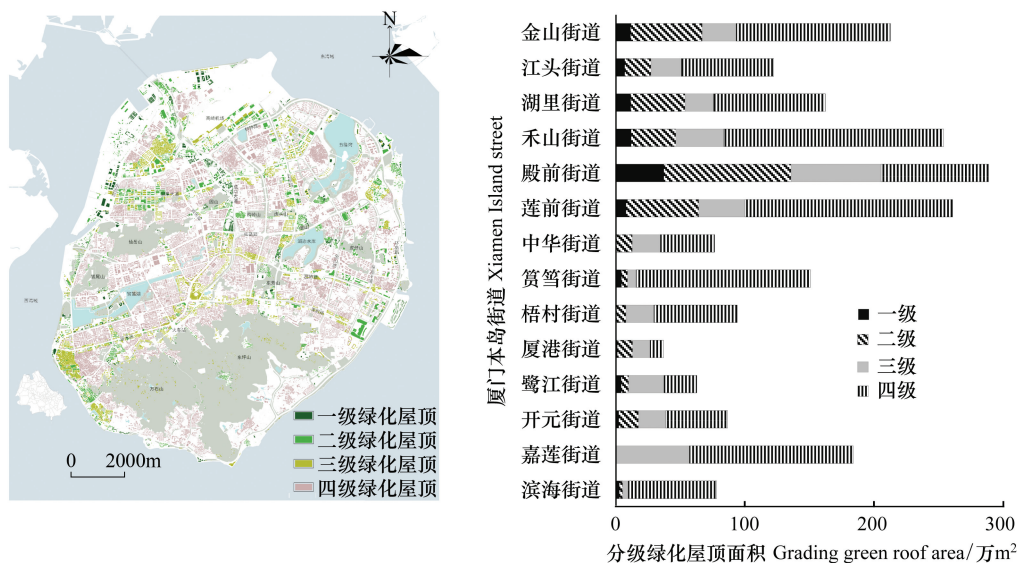


图7 厦门本岛屋顶绿化总体分级统计

Fig.7 General gradation statistics of roof greening in Xiamen Island

(2) 衔接绿地,构建多维生态网络

衔接本岛绿地系统,在规划的绿地系统格局下,依托屋顶绿化布局梳理形成格局性的立体生态廊道,主要强化和构建仙岳山—五缘湾、五缘湾—湖边水库—东坪山、狐尾山—筓筓湖—中山公园—万石山等三条主要生态廊道,从三维的空间角度串联地面二维绿地斑块,补充完善形成立体生态格局;同时结合本岛绿道系统,通过屋顶绿化从三维的角度强化绿道沿线的生态环境,形成线性立体生态通道,并与屋顶绿化重



图8 厦门本岛立体生态网络结构

Fig.8 Three-dimensional ecological network structure of Xiamen Island

点片区等三维生态斑块进行衔接,形成本岛“一心双环八廊、多线多片多点”的立体生态网络结构(图8)。

3.3.2 建设指引

借鉴国外研究数据,当城市屋顶绿化率达6%,可产生明显生态效益^[30]。以此为依据确定屋顶绿化规划的总指标,针对结合规划分区与建筑分类的潜力评估结果,将总指标差异化分解落实到具体实施的街道,从实施主体、屋顶绿化率赋值、政策制度等方面提出不同建设指引要求。重点片区、重要片区进行强制性实施建设指引,一般区域进行鼓励政策、补贴引导。在分区指引的基础上,制定屋顶绿化建设的分类导则,选取具有容器式、荷载轻、成本低、易养护等特点的新型装配式轻型屋顶绿化产品。根据产权属性、建筑功能、开放需求、植物类型等因素,在建筑层面进行分类建设引导,如对于商业裙房、公共建筑、对外开放居住建筑屋顶采用花园式、组合式屋顶绿化,不对外开放居住建筑、公共建筑屋顶采用草坪式屋顶绿化。

4 结论与讨论

4.1 结论

面对城市高密度地区生态环境受损严重、灾害极端脆弱的困境以及建设用地趋于饱和、地面标高生态空间难以拓展的现状,基于城市再生理念,充分挖掘存量空间资源,以绿地系统为基础进行生态空间规划;从规划分区(包括生态结构完善、城市功能优化、公共服务需求、环境改善需求)与建筑分类(包括建筑属性特征、建筑产权归属)两个层面总结高密度城区屋顶绿化实施潜力评估体系,其包含的城市生态框架、城市功能结构、景观提升需求、建筑改造需求、城市内涝程度、城市热岛强度、微气候环境、建筑高度、建筑年代、建筑类型、建筑产权属性是屋顶绿化实施的关键性评估因子,并依据评估标准与评估因子建立高密度城区屋顶绿化实施潜力评估方法。在厦门本岛的规划实践中,统计得出2016年厦门本岛屋顶绿化率仅有2%,且附属于居住建筑和城中村的屋顶绿化量超过总量的一半,商业、公共、产业建筑作为空间载体进行屋顶绿化有较大发展空间;并对剩余屋顶存量进行绿化实施潜力评估,有81.3%适宜进行屋顶绿化,其中一级、二级绿化屋顶分别占比5.1%、17.8%;结合城市总体规划、绿地系统规划等相关规划,以“全域空间、重点片区、多维网络”为布局方法,大量存量空间“变废为宝”,以低冲击、可持续的方式和较低的成本增加本岛生态空间数量,结合自上而下与自下而上的方法实现对生态空间的规划,与绿地系统共同构成本岛“一心双环八廊、多线多片多点”的立体生态网络结构,为后续展开高密度城区满足生态效益、防灾减灾、公共服务等综合服务功能的生态空间网络优化提供空间规划基础。

4.2 讨论

4.2.1 研究启示

(1)数据问题:本次研究区屋顶绿化提取前期进行过自动提取与人工提取实验对比,发现纯粹计算机自动识别影像提取绿地图斑精度完全不能达到数据生产要求。相对于机械化提取,最后决定采用人机交互、目视解译的方法对屋顶绿化进行提取,经过外业核实提取图斑范围精度可达到成果生产要求。但是目视解译涉及影像精度、时像以及作业人员的主观判断的影响,导致屋顶绿化提取不全、误提、漏提的情况,因此本次屋顶绿化仅作为宏观数据分析统计参考。

(2)研究启示:面对城市高密度高强度、生态环境问题严峻的发展趋势,将屋顶绿化规划整合到城市绿地系统规划以及城市总体规划,纳入城市生态和功能结构体系中,并通过实施强制性、鼓励性政策措施保障规划实施,强调源头控制(自上而下的宏观分区)和实施落地(自下而上的建筑分类)相结合,在总体发展目标基础上分解到实施的行政空间,是推进高密度城区生态空间发展的有效路径。而基于屋顶绿化产品的技术发展以及利益权衡下的城市发展需求,结合规划分区与建筑分类展开适用于高密度城区屋顶绿化实施潜力评估,是保障规划布局合理、易于实施落地的基本前提。

4.2.2 后续研究

为了实现高密度城区生态空间综合效益的充分发挥,以当前研究成果(高密度城区生态空间网络规划)

为空间基础,在总结国内外研究成果的基础上,基于服务半径、面积、类型等不同要求对满足防灾减灾、公共服务功能的生态空间进行分类,并筛选适宜的生态空间防灾减灾、公共服务功能的约束影响因子,运用 AI 技术,以筛选的影响因子为控制要素,对厦门本岛生态空间(地面维度)进行初步布局优化;结合现有规划的生态空间基础(屋顶维度),运用 GIS 技术对生态空间(立体维度)布局初步方案进行生态效益评估,选取最优布局方案。并在规划实践中对此研究方法进行论证,逐步更新适用于高密度城区生态空间网络布局优化的影响因子、评价指标。

(1) 高密度城区生态空间网络初步优化(地面维度)

参考《城市抗震防灾规划标准(GB50413—2007)》、《北京中心城地震应急避难场所(室外)规划纲要》、日本《防灾避险型城市绿地规划设计》等对公共空间避难场所面积、服务半径要求,以及生态空间的公共服务功能对其服务半径、类型等不同要求,并结合《城市绿地分类标准》(CJJ/T85—2002)对生态空间(地面维度)进行分类,按照服务能力的大小,对现有规范进行修正,建立生态空间分类体系^[31]。以高密度城区绿地系统规划、基于 GIS 实现的人口统计数据的空间分布为空间数据基础,运用 AI 技术,整合不同类型生态空间的防灾减灾(布局合理性、网络有效性、空间御灾性)、公共服务功能(可达性、公平性)的影响要素,对影响要素进行分析,生成生态空间网络(地面维度)布局优化初步方案。

(2) 高密度城区生态空间网络最优布局(立体维度)

结合目前的研究成果,选取生态空间网络(反映整体生态网络空间连接度)以及生态元素(生态空间的组成部分)作为高密度城区生态网络效益影响因子,建立生态效益评估方法体系。结合生态网络布局初步方案(地面维度)以及屋顶生态空间网络规划形成生态网络(立体维度)空间布局初步方案,基于景观生态学“斑块-廊道-基质”理论,运用 GIS 技术,以选取的影响因子为评估要素,分析高密度城区生态网络空间布局初步方案的生态网络连接度强弱情况,对高密度城区生态廊道-生态节点-生态斑块构成的生态网络的数量和空间格局进行评估,选取最优布局方案。

(3) 技术路线(图 9)。

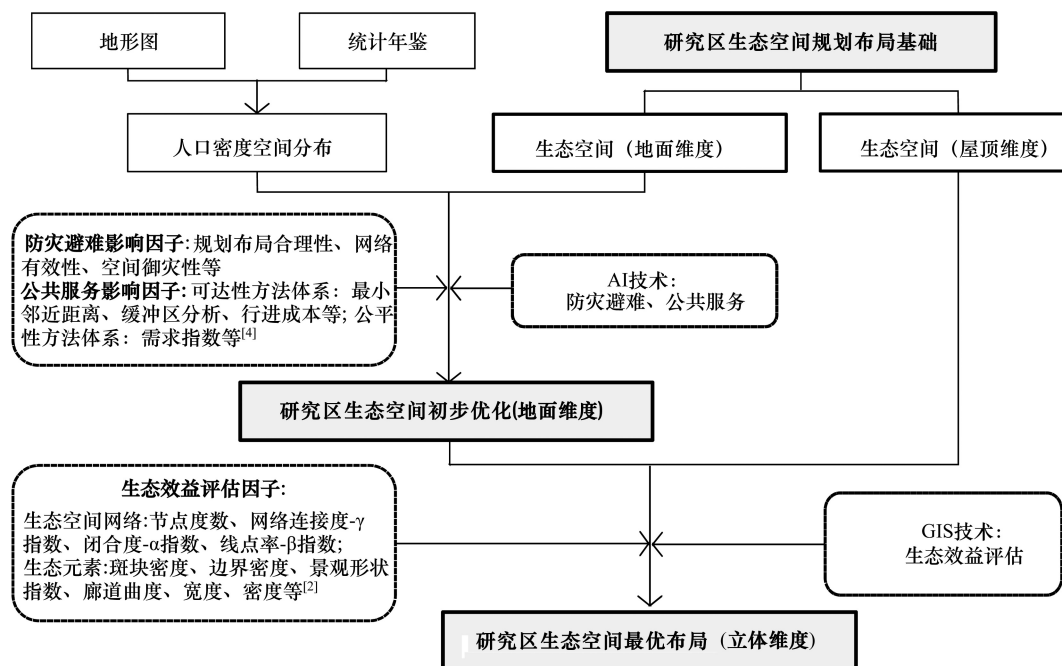


图 9 技术路线图

Fig.9 Technology roadmap

参考文献 (References):

- [1] 张京祥, 陈浩. 中国的“压缩”城市化环境与规划应对. 城市规划学刊, 2010, (6): 10-21.
- [2] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化. 生态学报, 2016, 36(21): 6969-6984.
- [3] 刘滨谊, 姜允芳. 论中国城市绿地系统规划的误区与对策. 城市规划, 2002, 26(2): 76-80.
- [4] 尹海伟, 孔繁花, 宗跃光. 城市绿地可达性与公平性评价. 生态学报, 2008, 28(7): 3375-3383.
- [5] 谢军飞, 李延明, 李树华. 北京城市公园绿地应急避险功能布局研究. 中国园林, 2007, (7): 23-29.
- [6] 王海珍, 张利权. 基于 GIS、景观格局和网络分析法的厦门本岛生态网络规划. 植物生态学报, 2005, 29(1): 144-152.
- [7] 肖希, 李敏. 绿斑密度: 高密度城市绿地规划布局适用指标研究——以澳门半岛为例. 中国园林, 2017, 33(7): 97-102.
- [8] Karteris M, Theodoridou I, Mallinis G, Tsiros E, Karteris A. Towards a green sustainable strategy for mediterranean cities: assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 58: 510-525.
- [9] Liu W, Chen W P, Peng C. Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: a community scale study. Ecological Modelling, 2014, 291: 6-14.
- [10] Rowe D B. Green roofs as a means of pollution abatement. Environmental Pollution, 2011, 159(8/9): 2100-2110.
- [11] Williams N S G, Rayner J P, Raynor K J. Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(3): 245-251.
- [12] Vijayaraghavan K. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 57: 740-752.
- [13] Wilkinson S J, Reed R. Green roof retrofit potential in the central business district. Property Management, 2009, 27(5): 284-301.
- [14] 邵天然, 李超骥, 曾辉. 城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田中心区为例. 生态学报, 2012, 32(15): 4852-4860.
- [15] 王新军, 席国安, 陈聃, 王燕, 王继开. 屋顶绿化适建性评估指标体系的构建. 北方园艺, 2016, (2): 85-88.
- [16] 董靓, 黄瑞. 基于气候适应性的城市屋顶绿化系统规划研究以成都为例. 风景园林, 2014, (5): 103-106.
- [17] 韩林飞, 柳振勇. 城市屋顶绿化规划研究——以北京市为例. 中国园林, 2015, 31(11): 22-26.
- [18] 陈柳新, 唐豪, 刘德荣. 对高密度特大城市绿地系统规划中立体绿化建设发展的思考——以深圳为例. 广东园林, 2017, 39(6): 86-90.
- [19] 廖远涛, 肖荣波. 城市绿地系统规划层级体系构建. 规划师, 2012, 28(3): 46-49, 54-54.
- [20] Tian Y H, Jim C Y, Wang H Q. Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in a compact city. Landscape and Urban Planning, 2014, 121: 97-108.
- [21] 仇江啸, 王效科, 逯非, 欧阳志云, 郑华. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例. 生态学报, 2012, 32(9): 2659-2669.
- [22] 苏平. 空间经营的困局——市场经济转型中的城市设计解读. 城市规划学刊, 2013, (3): 106-112.
- [23] 赵燕菁. 存量规划: 理论与实践. 北京规划建设, 2014, (4): 153-156.
- [24] 黄瑞, 董靓, 吴林梅. 基于地理信息技术的成都市屋顶绿化现状调查与分析. 中国园林, 2015, 31(1): 79-82.
- [25] 韩丽莉, 柯思征, 陈美铃. 容器式屋顶绿化在古建筑中的应用——以上海黄浦区政协人大屋顶绿化为例. 中国园林, 2015, 31(11): 9-12.
- [26] Tan P Y, Sia A. A pilot green roof research project in Singapore //Kiers H, Velazquez L, eds. Proceedings of Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference. Toronto: The Cardinal Group, 2005: 1-13.
- [27] Denardo J C, Jarrett A R, Manbeck H B, Beattie D J, Berghage R D. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. Transactions of the ASAE, 2005, 48(4): 1491-1496.
- [28] Kenton R, Anne J, Christopher N. Green benefits in Victoria business improvement district. <http://www.treeconomics.co.uk/wp-content/uploads/VBID-I-Tree2.pdf>.
- [29] 许恩珠, 李莉, 陈辉, 孙国强, 杨健, 王铁飞. 立体绿化助力高密度城市空间环境质量的提升——“上海立体绿化专项发展规划”编制研究与思考. 中国园林, 2018, 34(1): 67-72.
- [30] 王仙民. 屋顶绿化. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [31] 梁颢严, 肖荣波, 廖远涛. 基于服务能力的公园绿地空间分布合理性评价. 中国园林, 2010, 26(9): 15-19.