

基于OECMs的环空铁枢纽生态空间鸟类多样性提升规划设计方法

Planning and Design Method for Enhancing Avian Diversity Around Air-rail Hub Ecological Space Based on OECMs

卫丽亚 赵彦* 蔡翔青
WEI Liya ZHAO Yan* CAI Xuqing

(上海市园林设计研究总院有限公司, 上海 200331)
(Shanghai Landscape Architecture Design & Research Institute Co., LTD., Shanghai, China, 200331)

文章编号: 1000-0283(2023)12-0065-08
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 12. 0065. 008
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-09-11
修回日期: 2023-11-05

摘要
衔接COP15“3030”目标, 借鉴其他有效的区域保护措施(OECMs)融合发展理念, 以生物多样性保护结果为导向, 立足浦东中部地区880 km²范围, 结合对东方枢纽及周边地区的区域认知及未来建设发展过程中可能带来的人为干扰和冲击, 运用MSPA形态学分析、电路理论等手段, 识别生态关键区域, 构建潜在/重要生态源地、潜在/重要生态廊道、候鸟觅食关键地点三类生态关键区域, 提出分级指引、提质生态源地, 提升耦合、完善生态廊道, 食源补充、建设觅食关键地点等规划设计策略, 探索作为城市基础性和战略性资源的环空铁枢纽区域生态空间鸟类多样性提升规划设计路径与方法, 为环空铁枢纽各专项规划建设提供支撑。
关键词
其他有效区域保护措施; 环空铁枢纽; 鸟类多样性; 规划设计方法; 联合国《生物多样性公约》缔约方大会第十五次会议

Abstract
According to the COP15 “3030” target, drawing on other effective conservation measures (OECMs) integrating development concepts and result-oriented biodiversity conservation, the focus is on the central area of Pudong, covering 880 square kilometers. Considering the regional understanding of the Oriental Hub and its surrounding areas and potential human disturbances and impacts during future construction and development processes, methods such as MSPA and Circuit Theory are used to identify ecologically critical areas. It is proposed potential/important ecological sources, potential / important ecological corridors, and temporary wetland habitats. Corresponding to these areas, the strategies are suggested: hierarchical guidance and improvement of ecological sources, coupling and enhancement of ecological corridors, food supplementation, and the establishment of temporary wetland habitat. It is to explore planning and design pathways and methods for enhancing avian diversity in the ecological space of the air-rail hubs, which serve as the fundamental and strategic resources for the city.
Keywords
Other Effective area-based Conservation Measures, OECMs; around air-rail hub; avian diversity; planning and design methods; COP15

卫丽亚
1975年生/女/安徽泾县人/博士/教授级高工/上海市园林设计研究总院有限公司党委副书记、院长/研究方向为生态空间规划、景观规划设计

赵彦
1982年生/男/山西闻喜人/博士/上海市园林设计研究总院有限公司副院长/研究方向为生态空间规划、风景园林历史与理论、遗产地保护与活化

蔡翔青
1995年生/女/浙江宁波人/硕士/规划师/研究方向为生态空间规划

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 79716403@qq.com

《昆明—蒙特利尔全球生物多样性框架》提出拟于2030年达到“采取紧急行动停止和扭转生物多样性的丧失”的总目标, 并提出关于保护地的“3030目标”, 即通过具有生态代表性、自然保护地系统 (Protected Areas, PA) 和其他有效的基于区域的保护措施 (Other Effective area-based Conservation Measures, OECMs), 保护至少30%的陆地和30%的海洋^[1]。OECMs是在自然保护地以外的地理空间, 为了实现生物多样性就地保护的积极、持续的长期成果, 并取得相关的生态系统功能和服务, 以及在适用情况下实现文化、精神、社会经济



图1 研究范围
Fig. 1 Research area

价值和其他与当地相关的价值^[2]。其与PA的最大区别在于：以生物多样性保护结果为导向，首要目的可能并非保护，且其保护主体形式更趋向多样化^[3]，被认为是能够大幅度增加受保护面积，达到“3030目标”的重要途径之一^[4]。中国自2015年来实行“以国家公园为主体的自然保护地体系”的建设，这是保护地的主要来源，共计占陆地及海洋面积的21%，但尚未设立明确的OECMs区域^[5]。因此，为衔接COP15“3030”目标，借鉴保护地及其他有效的区域保护措施融合发展理念，在PA区域以外的国土范围，以生物多样性保护结果为导向，兼顾生态、经济和社会发展，为实现人与自然和谐共生的中国式现代化，具有较为广阔的研究及应用价值。

空铁枢纽以其大型设施规模和高能级区域辐射力，成为全球化背景下城市提升核心竞争力的基础性和战略性资源^[6]。在沿海城市通过填海等措施建设空铁枢纽带来的城市产业功能布局的影响范围可至10 km左右^[7]，却对沿海生态系统的稳定性以及更大范围内的陆地、海洋及海岸带的生态系统带来持续性影响^[8-9]，从而破坏生物特别是迁徙候鸟的栖息地、觅食地^[10]及食物资源^[11]，造成生物量集聚下降，同时因鸟类撞机事件带来的空铁枢纽临空范围与周边滨海鸟类生物多样性保护的矛盾日渐增长，连接空铁枢纽的线性基础设施亦会对生态系统的流通形成干扰，导致自然栖息地丧失、碎片化及边缘效应，引发屏障效应、增加生物迁徙难度、影响其繁衍能力^[12]，由此对空铁枢纽及其周边地区的生物多样性造成不可逆的影响。

在机场等大型枢纽建设前开展对生态环境的影响及保护对策、

减缓措施越来越受到重视^[13-14]，但其中有关鸟类研究多围绕保证飞行安全目的而展开，即便采用生态综合防治措施也仅仅是借助调查鸟类生物多样性为手段^[15-16]，减少机场环境中吸引鸟类的生态因子^[17]，形成以鸟击防范为主、保证鸟类安全为辅的机场环境生态管理方法。这种削弱局部鸟类多样性的方式虽然缓解一定的人鸟矛盾，但对外部代偿、提升整体区域的鸟类生物多样性方面仍体现出相当的局限性，未统筹考虑提升机场相邻地区影响鸟类分布主要因素的食源、水源、栖息地和繁殖场所等环境因子，以达到鸟类生物多样性就地保护的结果。

东方枢纽作为上海浦东国际机场与上海东站实现“空铁一体化”的世界级综合交通枢纽，其核心区是近阶段重点开发区域^[18]。自1997年始为缓解浦东机场受国内东部候鸟迁徙路线的鸟击风险影响，通过“九段沙种青”工程分流了建机场前在该区域栖息的70%以上的迁徙鸟类^[19]，将九段沙打造为长江河口重要的鸟类栖息地、国家级湿地自然保护区并纳入上海生态保护红线范围，取得了瞩目的生物多样性目标导向成就。而近30年后再次面对空铁枢纽建设这一挑战，枢纽地区周边显然已无法提供更多的生态保护范围以应对生物多样性恶化的风险，而借鉴OECMs生物多样性结果导向理念，在有效增强环空铁枢纽地区生态系统功能和服务、生态完整性和连通性的同时，兼顾经济社会因素，促进鸟类生物多样性的理念为研究打开了思路。因此探索在兼顾空铁枢纽飞行安全的同时，提升周边地区鸟类多样性可能性的规划设计方法不仅是必要的，更是必需的。

1 研究区概况

将围绕沪奉公路以东、龙东大道以南、大治河以北的陆域地区和向东涵盖九段沙、江亚南沙部分海域作为研究范围，面积总计约880 km²，范围涵盖上海浦东国际机场及规划建设上海东站、九段沙湿地的核心主体（图1）。研究区域陆地范围内农业农地占比约36%，以永久基本农田为主；林业用地占比约17%，主要分布于南汇东滩及交通廊道沿线；水体占比约12%，呈现“横塘纵浦”的特征。农林水湿生态基底明显，共计占比约65%。

对浦东中部滨海环空铁枢纽区域形成三大基本认知。一是沧海桑田演替变迁的千年过程，海岸带是陆地与海洋相互影响、作用的交界地带^[20]，形成丰富的地理单元和独特的生物群落。研究范围所处的海岸带区域是伴随海岸线千年变迁的生态演进过程，所呈现出的海陆生态交错带（ecotone）的生态系统具有脆弱、高敏感和强烈

的边缘效应特质^[21]。二是生生不息万里迁徙的候鸟机场，东部沿海地区既是中国东部候鸟迁徙路线的中点，也是东亚—澳大利西亚迁徙路线的中点。位于研究区域东北部的九段沙湿地国家级自然保护区具有非常重要的生态保护价值^[22]。据相关资料统计，截至2022年6月，仅九段沙记录到鸟类约230种，包括国家一级保护鸟类10种，国家二级保护鸟类40种。三是趋于减弱的生态系统服务格局，40年以来，生态系统服务格局及生态环境安全格局逐渐式微^[23]。基于城市尺度，现状浦东中部地区缺少面积较大的生态源地及东西向生态廊道。研究区域内生态系统服务格局及生态环境安全格局较一般，低值区域主要位于浦东机场附近。

2 研究路径

首先运用形态学空间格局分析方法（Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA）识别核心栖息地，选取陆地范围内生态红线、耕地、林地、水体、绿地生境作为研究区的前景，其余作为背景，经测试后设置边缘宽度为4。提取体现核心栖息地的核心区等斑块，通过景观连通性分析（conefor）筛选生态源地。其次构建阻力面，阻力面是指物种在不同景观单元之间迁徙时受到的阻碍，是计算物种在克服阻力情况下扩散路径的基础^[24]。参考以往文献及研究，并结合数据的获取性，计算各个土地覆盖类型、距离水体距离、距离道路距离、归一化植被指数（表1）来进行阻力面的构建^[25]。在电路理论的支撑下，通过阻力赋值，构建生态廊道，再获取生态夹点和生态障碍点（图2）。基于电路理论的连接度模型考虑物种随机游走的特性^[26]，能够更为准确地模拟物种迁徙的真实状况^[27]，特别是在缺少目标物种的迁徙数据时，采用多路径模拟可以预测非均质景观条件下物种迁徙的多种可能性，得到合理的物种扩散路径^[28]。最后基于规划发展需求、阻力面、重要生态源地分布等因素，构建基于“面—线—点”的“生态源地—生态廊道—候鸟觅食关键地点”东方枢纽及周边地区生态关键区域，提出相应的规划设计策略，应对空铁枢纽发展对生物多样性的消极影响（图3）。

3 结果分析

3.1 识别结果

研究识别东方枢纽及周边地区核心区851个，面积为166.89 km²，其中生态源地斑块40个，面积为147.42 km²，约占研究区总面积的16.75%，主要生态源地为九段沙湿地国家级自然保护区核心范围（已

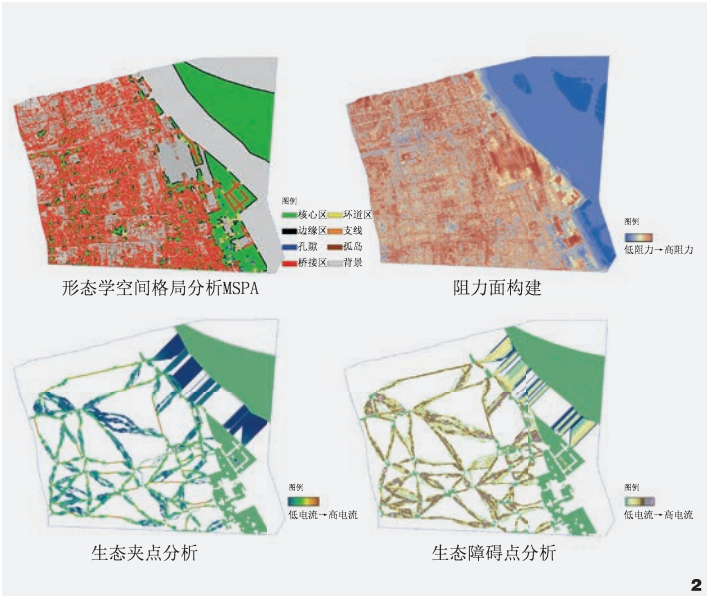
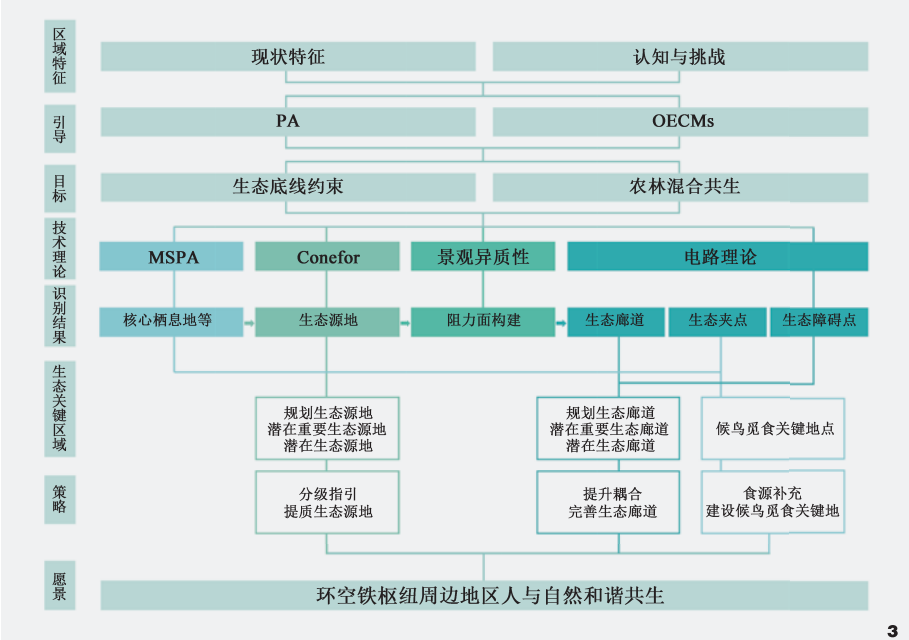


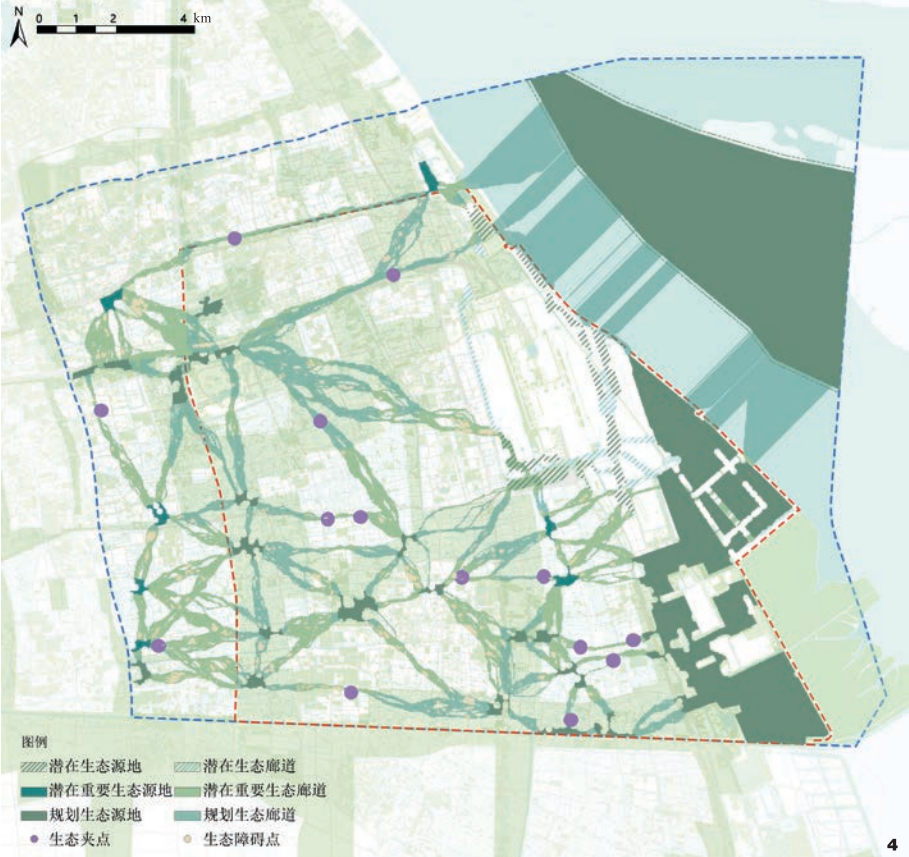
图2 识别过程
Fig. 2 Identification process

表1 生态用地阻力因子与阻力值
Tab. 1 Resistance factors and resistance values of ecological land

阻力因子 Resistance factor	阻力值 Resistance value	权重 Weight
土地覆被类型	林地	1
	水体	2
	绿地	3
	耕地	4
	人造地表	5
距离水体距离/m	< 300	1
	[300, 600)	2
	[600, 900)	3
	[900, 1 500)	4
	≥ 1 500	5
距离道路距离/m	< 300	5
	[300, 600)	4
	[600, 900)	3
	[900, 1 500)	2
	≥ 1 500	1
归一化植被指数	[-0.497, 0.150)	5
	[0.150, 0.300)	4
	[0.300, 0.450)	3
	[0.450, 0.600)	2
	[0.600, 1.000)	1



3



4

图3 技术路径
Fig. 3 Technology roadmap

图4 识别过程及结果
Fig. 4 The process and results of ecological identification

纳入PA) 及南汇东滩沿海等区域。生态廊道101条, 总长度349.30 km。研究基于电路理论计算廊道上各点的电流密度, 获得生态夹点和生态障碍点, 生态夹点即出入生态源地的关键廊道区域, 总面积为0.13 km², 主要为水体及农林用地, 生态障碍点多位于生态源地和生态廊道连接处或多条廊道交叉重叠处, 总面积为8.23 km², 以受到人为干扰的用地为主(图4)。

3.2 三类生态关键区域构建

通过计算模拟得到的生态源地可以分为:
(1) 规划生态源地, 包括以生物多样性保护为目标的九段沙湿地国家级自然保护区核心范围以及《上海市生态空间专项规划》划定的生态空间;(2) 潜在重要生态源地, 即不是上海市生态空间, 但是可能存在且生态价值较高的生态源地, 需进一步保护提升;(3) 潜在生态源地, 即其他生态源地, 主要位于浦东机场及东方枢纽周围, 但需要降低其生物多样性。

计算模拟得到的生态廊道, 设置宽度不小于30 m, 可以分为:(1) 规划生态廊道, 即《上海市生态空间专项规划》划定的生态空间;(2) 潜在重要生态廊道, 即不是上海市生态空间, 但是可能存在且生态价值较高的生态廊道, 保证其生态功能连续性, 需进一步保护提升, 主要位于张江、宣桥等城区内;(3) 潜在生态廊道, 即其他生态廊道, 主要位于浦东机场及东方枢纽周围, 需要提高其阻力值(表2)。

计算模拟得到的候鸟觅食关键地点是生态系统物质、能量流动强烈且关键的区域, 生态价值高^[29]。生态夹点等关键节点构建食源, 有利于提高物种在迁徙过程中的成功率和存活率。划定PA或OECMs, 以生物多样性

表2 生态源地及生态廊道策略引导
Tab. 2 Strategies of ecological source and key areas development

名称 Name	与《上海市生态空间专项规划》关系 Relationship with <i>Shanghai Ecological Space Special Plan</i>	位置 Location	策略引导 Strategy
生态源地	规划生态源地	已划入	叠加人类活动密度分级指引 (PA或OECMs)
	潜在重要生态源地	未被划入	
	潜在生态源地	未被划入	降低生物多样性
生态廊道	规划生态廊道	已划入	结合生态障碍点的土地利用情 况保护修复 (OECMs)
	潜在重要生态廊道	未被划入	
	潜在生态廊道	未被划入	提高阻力值

保护为目的/结果提出相应的规划设计策略,即分级指引、提质生态源地,提升耦合、完善生态廊道,食源补充、建设候鸟觅食关键地点。

3.3 分级指引、提质生态源地

从人与自然和谐共生的理念出发,提取规划生态源地及潜在重要生态源地,对其进行人类活动密度叠加评价(图5),形成生态分级的基础支撑,对建设发展的干扰进行动态管理。划定生态留野区(PA)、生态优先区、生态共生区和游憩潜力区(OECMs)(图6),并对生态源地进行指标指引(表3)。生态留野区为生态重要且人类活动密度低的区域,总体目标是以生态措施解决生态问题。面积占有所有生态源地的53.84%,斑块包括九段沙湿地国家级自然保护区核心范围及部分觅食关键地点。生态优先区为生态重要且人类活动密度较高的区域,总体目标是生态保护优先。面积占有所有生态源地的11.32%,斑块包括规划生态走廊之外的候鸟觅食关键地点及农林混合的生态源地。生态共生区为具有一定生态本底条件且人类活动密度不高的区域,总体目标是开展适度建设。面积占有所有生态源地20.15%,斑块包括机场净空范围、永久基本农田保护范围和部分城区范围。游憩潜力区为人类活动密度高且适宜开展游

表3 生态源地及生态廊道指标引导
Tab. 3 Index guidance of ecological source and key areas development

名称 Name	指标 Indicator	指标要求 Target requirement	备注 Notes
生态源地	生态留野区 (PA) 面积占比	≥ 53%	为“3030”贡献0.16‰的面积
	生态优先区 (OECMs) 面积占比	≥ 12%	预估为“3030”贡献0.14‰的面积
	生态共生区 (OECMs) 面积占比	≥ 20%	
	游憩潜力区 (OECMs) 面积占比	≥ 15%	
生态廊道	生态廊道控制宽度	≥ 30 m	—
	生态廊道留白区	≥ 3 m	—

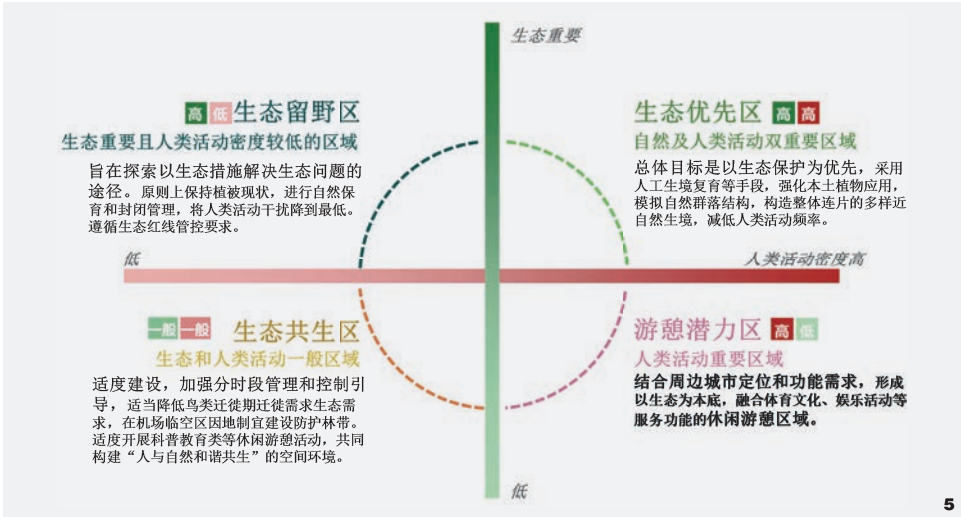
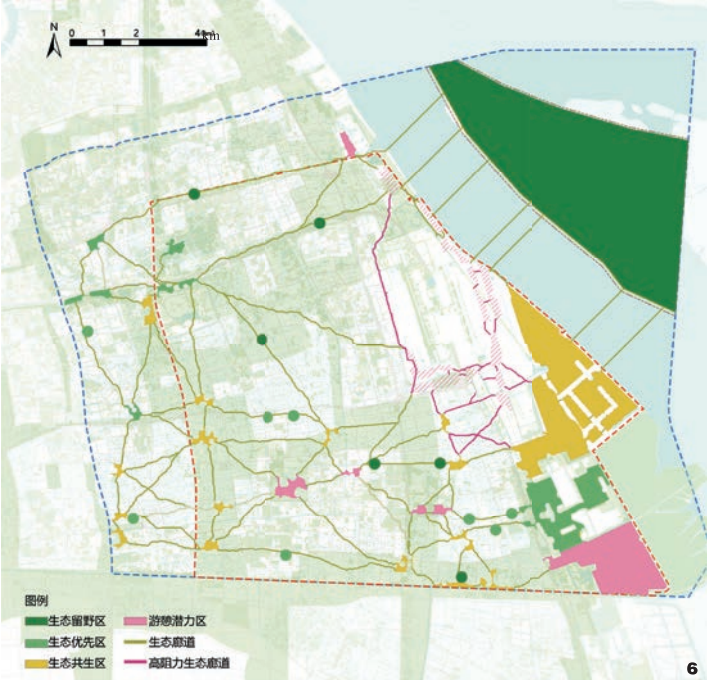


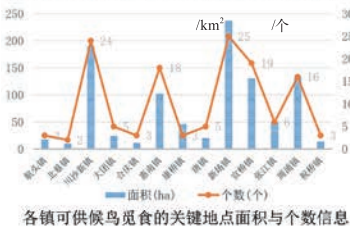
图5 生态源地及人类活动密度叠加评价
Fig. 5 Overlapping evaluation of ecological source and human activity density

憩活动的区域,总体目标是结合周边城市定位和功能需求,形成以生态为本底,融合体育文化、娱乐活动等服务功能的休闲游憩区

域。面积占有所有生态源地14.69%,斑块包括现状和规划郊野公园及人类活动密集区域。对于潜在生态源地,应引导降低其生物多样性



识别各镇可供候鸟觅食的关键地点



“共享稻田”实施

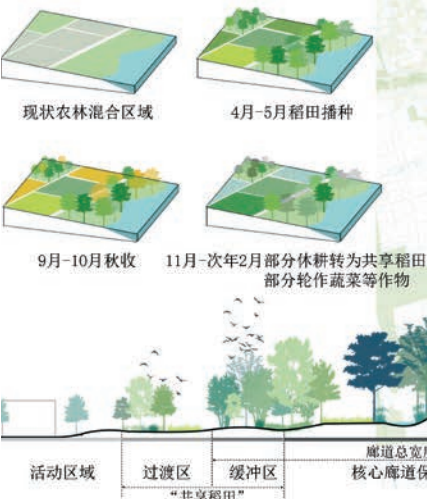


图6 生态源地及生态廊道策略布局
Fig. 6 Strategy layout of ecological source and ecological corridors

图7 农林混合共生系统构建
Fig. 7 Symbiosis between cropland and forest

性，或规划为游憩潜力区。

3.4 提升耦合、完善生态廊道

提取规划生态廊道及潜在重要生态廊道，结合生态障碍点的土地利用情况，采取保护修复并重的措施：提升耕地用地廊道的生态服务能力，若条件允许，可按照绿色生态的原则退耕还林还草；提高林地用地廊道的植被覆盖率，以达到提高该片区区域整体的景观连通性的目的；针对湿地用地廊道，采取“控源截污—清水廊道构建—湖滨拦截净化—湖体生态修复”的逻辑措施，以增强水域调节径流；交通运输用地由于基础设施无法移除，优先考虑在道路附近添加小型生境斑块来弱化阻力，也可根据实际情况修建生物通道^[30]。建议在生态廊道外围预留宽度≥3m留白用地，以应对生态廊道的边缘效应（表3）。

对于潜在生态廊道，提出高阻力生态廊道策略引导：提高生态廊道阻力，进行鸟类食源、水源等治理，形成减少留鸟停留、不吸引候

表4 候鸟觅食关键地点指标引导
Tab. 4 Index guidance of temporary wetland habitat

序号 Num.	镇名 Town name	关键地点实施面积占比/% Proportion of implementation area in key locations	关键地点实施个数/个 Number of key locations implemented	识别出的各镇关键地点总面积/hm ² Identified total area of key locations in each town	识别出的各镇关键地点总个数/个 The total number of identified key locations in each town
1	航头镇	≥ 50	≥ 3	17.64	3
2	北蔡镇	≥ 50	≥ 2	10.08	2
3	川沙新镇	≥ 30	≥ 12	189.92	24
4	大团镇	≥ 50	≥ 5	23.89	5
5	合庆镇	≥ 50	≥ 3	11.43	3
6	惠南镇	≥ 30	≥ 9	102.36	18
7	康桥镇	≥ 50	≥ 3	45.86	3
8	唐镇	≥ 50	≥ 5	20.37	5
9	新场镇	≥ 30	≥ 12	237.03	25
10	宣桥镇	≥ 30	≥ 9	130.94	19
11	张江镇	≥ 50	≥ 6	50.31	6
12	周浦镇	≥ 30	≥ 8	133.71	16
13	祝桥镇	≥ 50	≥ 3	13.92	3

鸟的生态环境，以减少鸟类活动的可能。

3.5 食源补充、建设候鸟觅食关键地点

中国是世界农用地面积最大的国家，但对发达地区的大多数生物多样性及农田栖息地保护不足。对国内1 111种鸟类的分布进行模拟后发现，其中有220种鸟类的适宜栖息地是农田，包括39种国家重点保护野生鸟类以及14种IUCN发布的《濒危物种红色名录》中的鸟类。在国家重点保护鸟类和国际受威胁鸟类物种多样性最丰富的需保护地域中，农田所占的面积比例均超过1/3。保护农田生物多样性很大程度上可以弥补自然保护地面积上的不足^[31]。而在生产性土地上开展生物多样性友好型的管理，例如混农林业、混牧林业、多样化种植、可持续森林管理，可以在保护生物多样性的同时提升栖息地连通性，使这些土地成为保护地体系的有益补充，并增强其气候适应能力，同时可以使经济生产更可持续^[32]。因此在农田整合及森林复育的基础上，提出候鸟“共享稻田”策略，

在补偿性营建食源的同时，尝试对生产性土地上开展生物多样性友好型管理，提升栖息地连通性。

九段沙的鸟类以冬候鸟和旅鸟为主，留鸟和夏候鸟的种类及数量都比较少。记录到的鸟类以水鸟为主，在各水鸟类群中，雁鸭类和鸕鹚类的数量多，鸥类和鹭类的数量较少，其他水鸟类群占比很低。大多数是杂食性鸟类。各年度记录到的优势物种不完全相同。因此依据种植农作物时间及记录候鸟数量较多的时段，即每年11月至次年2月作为“共享稻田”的窗口期。

在农林空间修复的基础上，叠加水系。基于MSPA形态学空间格局识别后的核心区（非生态源地），筛选面积大于2 hm²且不在浦东机场临空范围内的斑块及生态夹点形成候鸟觅食关键地点作为食源。各镇可供候鸟觅食的关键地点共987.46 hm²（表4），用地类型57.58%为农用地，其次为林地25.81%及水体16.49%。通过“共享稻田”实施，逐步构建农林水混合共生系统：在冬季耕地轮作休耕

的窗口期，以行政镇为单位均衡布局控制关键地点的数量面积，通过对稻田进行水位管理，帮助候鸟们与农民共享稻田作为临时湿地栖息地，确保成功迁徙（图7）。

4 结语

基于东方枢纽建设可能带来的生态环境风险，通过生物多样性保护结果导向思维的引入，运用MSPA形态学分析、电路理论等手段，识别生态关键区域，构建潜在/重要生态源地、潜在/重要生态廊道、候鸟觅食关键地点三类生态关键区域并提出相应策略，探索作为城市基础性和战略性资源的环空铁枢纽区域生态空间鸟类多样性提升规划设计方法。建议在编制专项规划时，结合上海市首次生物多样性本底调查数据，对相关区域进行更加全面、系统、协同性的评估，优化细化对于生态源地及关键区的识别、保护、分级利用及治理，更好地发挥生态效益。不断提升生物多样性本底调查、评估和检测预警能力，针对不同梯度的生态空间，提供可

持续的动态调整和维护依据, 结合旗舰物种、指示物种等, 明确重点保护对象及其受威胁程度, 为生态源地梯度构建和生境营造提供依据。以此为基础丰富完善环空铁枢纽浦东中部地区生态战略为导向的空间布局, 融入综合交通、产业规划, 构建不同生态空间和人为活动空间的建设指标体系、深化项目清单、细化设计方案, 为建设人与自然和谐共生的国际性大都市提供浦东样本。

注: 文中图表由上海市园林设计研究总院有限公司提供。

致谢:

感谢上海市规划和自然资源局、浦东新区生态环境局在课题研究过程中提供的土地利用数据和鸟类数据资料及帮助, 感谢王鑫、庄巧琦、余银财等课题组成员对本文的支持。

参考文献

[1] 马克平.《昆明—蒙特利尔全球生物多样性框架》是重要的全球生物多样性保护议程[J].生物多样性, 2023, 31(04): 5-6.

[2] IUCN. Recognising and Reporting Other Effective Area-based Conservation Measures[M]. Gland, Switzerland: IUCN, 2019.

[3] 靳彤, 卜君玉, 马建忠. 其他有效的区域保护措施的国际经验及对中国2020年后生物多样性保护的启示[J]. 西部林业科学, 2022, 51(01): 1-8.

[4] 王蕾, 卢晓强, 刘立, 等. 其他基于区域的有效保护措施(OECMs)的机遇、挑战及对策分析[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(09): 1122-1128.

[5] UNEP-WCMC. Protected Area Profile for Europe from the World Database on Protected Areas[EB/OL]. (2023-08-12). <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>

[6] 马士江, 张安锋. 国际枢纽机场与铁路车站空铁融合策略研究——以浦东国际机场与铁路上海东站为例[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 创新驱动与智慧发展——2018年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

[7] 张爱萍. 外部性视角下空铁枢纽促进城市产业发展

研究[J]. 技术经济, 2022, 41(12): 134-143.

[8] PFEIFFER B M, KOUCHER D J, DEVAULT L T. Civil Airports from a Landscape Perspective: A Multi-scale Approach with Implications for Reducing Bird Strikes[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 179: 38-45.

[9] YUAN S J, MIAO K E, QIAN R E, et al. The Role of Landscape in Shaping Bird Community and Implications for Landscape Management at Nanjing Lukou International Airport[J]. Ecology and Evolution, 2023, 13(1): e9646.

[10] 徐丹丹. 生态安全目标下的厦门翔安空港新区空间布局规划研究[D]. 天津: 天津大学, 2019.

[11] JIANG X L, ZHANG W G, WANG G. Effects of Different Components of Diversity on Productivity in Artificial Plant Communities[J]. Ecological Research, 2007, 22(4): 629-634.

[12] 岳梦迪, 周正韵. 推动“一带一路”交通类基础设施兼顾生物多样性保护[EB/OL]. (2021-10-30)[2023-10-11]. <https://iigf.cufe.edu.cn/info/1012/4217.htm>

[13] 彭剑. 稻城机场建设对生态环境影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2013.

[14] 王文良, 王晓谋. 机场建设对周边环境的影响研究——以安康机场工程为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2016, 46(05): 746-750.

[15] 苗可儿, 钱薇雅, 张俊, 等. 功能、谱系多样性在机场鸟类群落研究中的应用——以扬州泰州国际机场为例[J]. 动物学杂志, 2023, 58(02): 182-197.

[16] 陈婉, 袁思佳, 钱汝思, 等. 扬州泰州国际机场鸟类多样性及鸟击防控[J]. 生态科学, 2022, 41(06): 193-201.

[17] 王磊, 唐思贤, 褚福印, 等. 上海虹桥国际机场飞行区植被与鸟类的关系[J]. 四川动物, 2010, 29(04): 536-542.

[18] 上海市浦东新区人民政府. 浦东新区人民政府关于印发《浦东枢纽地区发展“十四五”规划》的通知[EB/OL]. (2021-11-30)[2023-08-12]. <https://www.pudong.gov.cn/006021010/20220108/459603.html>

[19] 陆健健. 机场鸟类的生态管理技术[J]. 上海建设科技, 2009(04): 51-52.

[20] YUAN W, CHANG Y C. Land and Sea Coordination: Revisiting Integrated Coastal Management in the Context of Community Interests[J]. Sustainability, 2021, 13(15): 8183.

[21] 陈宝红, 杨圣周, 周秋麟. 以生态系统管理为工具开展海岸带综合管理[J]. 台湾海峡, 2005(01): 122-130.

[22] 史宇晓, 李阳, 孟翊, 等. 1989-2020年长江口九段沙湿地格局演变及影响因素[J]. 应用生态学报, 2022, 33(08): 2229-2236.

[23] 屠越. 上海市生态源地识别体系构建与生态保护修复关键区识别[D]. 上海: 华东师范大学, 2021.

[24] 毛诚瑞, 代力民, 齐麟, 等. 基于生态系统服务的流域生态安全格局构建——以辽宁省辽河流域为例[J]. 生态学报, 2020, 40(18): 6486-6494.

[25] 曹莹, 汤臣栋, 马强, 等. 上海崇明县湿地生态系统服务功能价值评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(01): 28-34.

[26] 曹秀凤, 刘兆顺, 李淑杰, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以吉林省松原市为例[J/OL]. 中国环境科学. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20220211.004>

[27] 宁宇, 王义飞, 李肖夏, 等. 电路理论在植物景观遗传学研究中的应用潜力分析[J]. 植物科学学报, 2019, 37(1): 116-123.

[28] 杨超, 戴菲, 陈明, 等. 基于MSPA和电路理论的武汉市生态网络优化研究[C]//中国风景园林学会2020年会论文集(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 958-962.

[29] 苏冲, 董建权, 马志刚, 等. 基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护修复优先区识别——以四川省华蓥山区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8948-8956.

[30] 杜雨阳, 王征强, 于庆和, 等. 基于生境质量模型和电路理论的区域生态安全格局构建——以秦岭(陕西段)为例[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(05): 1069-1078.

[31] LI L, HU R, HUANG J, et al. A Farmland Biodiversity Strategy is Needed for China[J]. Nature Ecology & Evolution, 2020, 4(6): 772-774.

[32] KREMEN C, MERENLENDER A M. Landscapes that Work for Biodiversity and People[J]. Science, 2018, 362: 304.