

文章编号: 1003-1421(2026)09-0076-11

引用格式: 汪一村, 薛可宠, 叶亮亮, 等. 市域铁路站点地区低空起降设施布局与站城一体化规划策略[J]. 铁道运输与经济, 2026, 48(9): 76-86.

WANG Yicun, XUE Kechong, YE Liangliang, et al. Layout of Low-Altitude Take-Off and Landing Facilities and Integrated Station-City Planning Strategies for Suburban Railway Station Areas[J]. Railway Transport and Economy, 2026, 48(9): 76-86.

市域铁路站点地区低空起降设施布局与 站城一体化规划策略

汪一村^{1, 2}, 薛可宠³, 叶亮亮³, 陈殿干^{1, 2}

(1. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101; 2. 温州幸福轨道数智科技有限公司, 浙江 温州 325035; 3. 温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司, 浙江 温州 325035)

摘 要: 为探讨市域铁路站点地区低空起降设施在空间紧约束与多管控条件下的合理落位与控规表达, 以某市域铁路为例, 选取瓯江口站、虹桥站、机场站3类站点, 构建交通衔接、用地工程、空域安全、环境社会四维指标体系, 采用AHP赋权并在GIS中完成约束筛选与适宜性分级, 同时对权重扰动和时间阈值变化进行敏感性校核。设置S0至S3情景, 构建综合交通网络测算出行时间与覆盖效益。结果表明, 新城型高适宜地块更易成片, 乡镇型更分散且依赖接驳, 枢纽门户型数量较少但区位关键, 集中式与综合型方案整体优于基准情景。进一步提出可写入控规的指标包, 涵盖起降区边界与规模、限高净空、噪声缓冲与避让、安全距离、动态评估与审查清单, 并给出分类布局与走廊管控及协同实施路径, 为低空设施落图与管理提供参考。

关键词: 市域铁路; 低空起降设施; 站城一体化; 适宜性评价; 空间管控

中图分类号: U239.5; V279 文献标识码: A DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20260128003

Layout of Low-Altitude Take-Off and Landing Facilities and Integrated Station-City Planning Strategies for Suburban Railway Station Areas

WANG Yicun^{1, 2}, XUE Kechong³, YE Liangliang³, CHEN Diangan^{1, 2}

(1. Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute Co., Ltd., Beijing 100101, China; 2. Wenzhou Happiness Rail Digital Technology Co., Ltd., Wenzhou 325035, Zhejiang, China; 3. Wenzhou Railway & Rail Transit Investment Group Co., Ltd., Wenzhou 325035, Zhejiang, China)

Abstract: To explore the rational siting of low-altitude take-off and landing facilities in suburban railway station areas and their representation in regulatory planning under tight spatial constraints and multiple regulatory controls, this paper took a suburban railway as a case study and selected three types of stations: Oujiangkou Station, Hongqiao Station, and Airport Station. A four-dimensional indicator system encompassing transportation connectivity, land use and engineering conditions, airspace safety, and environmental and social aspects was constructed. AHP weighting was applied, constraint screening and suitability classification were performed in GIS, and sensitivity checks were conducted for weight perturbations and changes in time thresholds.

收稿日期: 2026-01-28

通信作者: 陈殿干(1981—), 男, 江苏盐城人, 北京城建勘测设计研究院有限责任公司高级工程师。

Scenarios S0 to S3 were set up, and a comprehensive transportation network was constructed to calculate travel time and coverage effects. The results show that highly suitable plots in new town-type station areas are more likely to form contiguous clusters, whereas those in township-type station areas are more dispersed and rely more heavily on feeder connections to stations. Highly suitable plots in hub-gateway-type station areas are fewer in number but occupy key locations. The centralized and integrated scenarios are generally superior to the baseline scenario. Furthermore, a set of indicators that can be included in regulatory planning is proposed, covering the boundaries and scale of take-off and landing zones, height restrictions and obstacle clearance, noise buffering and avoidance, safety distances, dynamic assessment, and review checklists. Category-specific layouts, corridor control, and collaborative implementation pathways are also proposed, providing a reference for the mapping and management of low-altitude take-off and landing facilities.

Keywords: Suburban Railway; Low-Altitude Take-Off and Landing Facilities; Station-City Integration; Suitability Evaluation; Spatial Control

低空经济加速落地，巡检、物流、应急与短途接驳等需求对城市综合枢纽提出“空地一体”的新要求。市域铁路作为都市圈通勤骨架，站点地区同时承担集散换乘与站城一体化开发功能，但现有站区规划与控规多聚焦地面交通与用地组织，缺少面向低空起降设施的布局方法与可核查的控制指标，导致选址难、净空与噪声约束难落图、管控条款难执行。研究以某市域铁路为案例，围绕瓯江口站、虹桥站、机场站3类典型站点，构建涵盖交通衔接、用地工程、空域安全与环境社会的适宜性评价指标体系，采用GIS约束筛选与多准则加权叠加识别候选地块，并设置S0至S3情景评估低空设施嵌入后的可达性与综合效益差异。在此基础上，将选址与运行约束转译为控规可执行的起降区边界、限高分区、噪声缓冲带与安全距离等指标包，提出分类布局模式、走廊划示与协同实施路径，为市域铁路站点地区低空起降设施布局与站城一体化规划提供可落地的方法与参考。

1 文献综述与理论基础

1.1 市域铁路与站城一体化研究述评

市域铁路在都市圈中承担通勤骨架与节点集散功能，研究重点也从交通供给转向站点地区的空间组织与综合效益。实践经验显示，站城一体化的关键在于站内外换乘组织、集散体系与周边开发的协同。重庆沙坪坝高铁枢纽TOD交通规划总结了枢纽集散与换乘组织的系统性^[1]，大型铁路枢纽交通设计研究进一步强调多方式接驳与客流组织的一体化^[2]。

在更新与治理层面，相关研究提出站城融合需要目标、空间结构与实施路径形成闭环，以避免规

划与行动脱节^[3]；东京二子玉川站再开发案例表明，TOD推动更新往往依赖制度工具与多主体协同^[4]。控规与管理机制是站城一体化落地的关键环节，武汉轨道交通用地控制规划管理实践强调通过控制线与指标体系提高实施一致性^[5]，杭州TOD实践也从开发组织与统筹层面给出经验^[6]。

在空间策略与评价工具方面，伦敦国王十字车站地区的轨道微中心再开发强调功能混合与步行友好对持续活力的重要性^[7]，郑州东站站区研究提示站区功能需与产业演进相适配^[8]，边缘区TOD三维融合韧性方法强化站点与周边区域协同^[9]。节点-场所模型综述指出站点兼具交通节点与城市场所属性，评价需兼顾交通与场所品质^[10]；专项体检指标体系提供了量化诊断思路^[11]；步行等时线视角下轨道房研究为可达性效应提供证据^[12]；铁路低空经济应用场景综述与铁路巡查经济效益研究，为站点地区纳入低空起降设施提供了需求侧与效益侧的依据^[13-14]。总之，站城融合研究较成熟，但低空要素如何纳入站点地区规划与控规表达仍缺乏系统框架。

1.2 低空起降设施选址与标准

低空起降设施选址通常受交通衔接、运行安全与环境影响3类约束^[15]。Schweiger等^[16]指出选址需统筹运行流程、容量组织与地面接驳；相关综述强调安全边界、程序与设施尺度之间的平衡。关于选址与容量的系统综述显示，研究正从可达性导向转向多约束耦合，更多关注噪声、风险、空域与城市形态的综合影响^[17]。

此外，不确定性与动态性逐渐成为重要议题。需求波动会影响机场接驳的最优布局，因此规划中需引入多情景分析与鲁棒性设计，以确保方案在不

同需求情境下依然有效^[18]。相关综述认为空中出租车与无人机配送的扩张将推动设施网络化与标准体系完善^[19]。空域组织方面,动态最优空域配置框架强调空域需随需求变化调整以兼顾安全与效率^[20]。噪声评估研究展示了在建成环境中开展更精细噪声预测的可能性,可为缓冲带与敏感点避让提供支撑^[21]。总体看,低空选址原则较清晰,但与站点地区控规可执行指标的衔接仍不足。

1.3 理论基础与研究框架

本研究以站城融合与TOD为总体逻辑,引入节点-场所模型与综合评价方法开展站点分类与指标构建,并将低空起降设施的安全、空域与噪声等约束纳入站点地区规划,形成地空一体的分析框架。研究路径为选取典型站点,构建交通衔接、用地工程、空域安全、环境社会指标体系并确定权重,在GIS环境下进行约束筛选与多准则适宜性评价,形成候选地块分级;进一步设置情景方案评估可达性与综合效益,最后将关键要求转译为控规可执行的低空控制指标与空间管控表达,并结合更新机制与用地管控经验提出实施协同路径。

2 研究区域与对象

2.1 研究区域与线路概况

本研究选取某市域铁路作为案例。某市位于浙南沿海,中心城区与乐清、瑞安等组团呈带状延展,跨江跨海的通勤与产业联系需求突出,市域铁路承担起把都市区主要组团串联成一张快速通勤网络的角色。《某市城市轨道交通线网规划(2021—2035年)》提出构建多层次轨道交通体系,目标指向四网融合与3个“1小时交通圈”,其中市域铁路主要服务都市区东西沿瓯江、南北沿海以及主副中心之间的中长距离快速出行,同时兼顾主副中心内部通勤需求。

某市城市轨道交通线网远期规划一览表如表1所示。从线网规模看,该规划远期线网约498 km,其中市域铁路规模约202 km,规划包含S1至S3等线路,并预留与青田、台州方向的联系通道。在既有建成线路中,S1线是市域铁路骨干之一,贯通桐岭至双瓯大道方向,一期工程线路长度约53.507 km。S2线作为沿海走廊的南北向快速联系通道,一期工

表1 某市城市轨道交通线网远期规划一览表
Tab.1 Overview of long-term urban rail transit network planning in selected city

线路	起点	终点	网络层次
S1线	桐岭	双瓯大道	市域铁路
S2线	东山	虹桥	
S3线	火车站	灵溪	
1号线	上塘	鲍田	城轨普线
2号线	仰义	滨海	城轨普线
3号线	动车南站	乐成	城轨快线
4号线	瑞安	瑞安东站片区	城轨普线
5号线	藤桥轻工业园区	金海湖片区	城轨快线
6号线	环线		城轨普线

程线路长度约62.945 km,设置车站20座,并与S1线在机场站、灵昆站形成换乘与共建节点,有利于构建市域层面的复合交通枢纽体系。

基于上述都市圈格局与线路特征,某市域铁路既具备站城一体化的典型问题场景,也具备低空起降设施与综合换乘叠加的现实基础,适合作为本研究方法框架与控规化指标体系的验证对象。

2.2 典型站点选取与分类

为兼顾代表性与数据可获得性,本研究采用分层抽样与典型性校核的方法,从某市域铁路沿线选择3个典型站点开展实证。选取时重点考虑3点:站点在通勤网络中的节点作用是否突出,站点周边开发阶段与空间条件是否差异明显,规划管理与基础数据是否相对完备,便于后续约束筛选、适宜性评价与情景对比。

站点分类采用节点-场所模型的双属性思路,同时考虑交通节点能力与城市场所承载水平,并将样本站点划分为新城型、乡镇型、枢纽门户型3类。本研究最终选取的3个典型站点如下。

(1) 瓯江口站(S1线),新城型。站点位于新城成长片区,周边以新增建设用地与成片开发为主,地块整备条件相对较好、空间可塑性较强,适合验证低空起降设施与综合开发协同布局的策略,以及控规层面指标如何预留与传导。

(2) 虹桥站(S2线),乡镇型。站点服务对象以城镇居民与产业、文旅出行为主,站点辐射范围更广,周边土地与环境约束类型更丰富,适合验证分散式与综合式低空服务在选址约束、可达性提升与综合效益上的差异。

(3) 机场站(S2线,换乘枢纽节点),枢纽门户

型。站点承担高强度综合换乘与集散功能,对外联系需求强,周边建设条件与安全敏感约束更突出,适合验证空间紧约束条件下低空设施与站区交通系统的耦合方式。

上述3站在功能定位、开发阶段与空间约束条件上形成对照关系,既覆盖市域铁路站点地区的典型类型,也有利于比较不同类型站点下候选地块适宜性分布特征与规划管控策略差别。需要说明的是,3类站点侧重典型场景验证,结论不作全线统计推断;推广至中心城、老旧城区及其他城市时,应增加高密度建成区、历史保护区、更新型站点等样本,并结合本地空域条件、既有建筑密度与运营需求重新校核指标阈值和权重。

2.3 数据来源与处理

研究数据按约束类、评价类、验证类组织。约束类用于候选地块硬筛选,包括站区红线与出入口、用地性质与控制线、建构筑物、铁路安全控制范围及不可建设区等。评价类用于计算适宜性得分,包括土地利用、地形、建筑高度与密度、路网与慢行、接驳设施、人口与公共服务、噪声敏感点等。验证类用于情景与效益测算,包括居住就业分布、重点产业与文旅节点、应急医疗等需求点及通行时间参数。研究范围以站点800 m步行影响圈为主要空间筛选范围,情景评估结合市域服务目标扩展OD范围;基础底图、控规用地、道路与POI数据统一至2 000国家大地坐标系,距离类指标按米级计算,人口与需求数据按网格或街镇尺度汇总。

数据处理以站点为中心统一研究范围与分析单元,完成拓扑检查与坐标统一,将距离等指标量化,并将各评价要素标准化后加权叠加分级。依据低空选址对安全与环境的基本要求,设置最小面积、距出入口阈值、敏感点避让等硬约束;同时建立元数据表记录来源与精度,保证结果可追溯。

3 低空起降点适宜性评价指标体系构建

3.1 指标体系构建原则

本研究面向市域铁路站点地区低空起降设施布局,指标体系需同时满足“能筛地块、能进控规、可复现”3类要求。指标构建遵循5点:围绕交通衔接、建设条件、空域安全、环境影响4类核心问

题设置指标;优先采用GIS可量化变量与可获取数据,减少主观判断;对净空、安全距离、用地属性、噪声敏感点等刚性条件先约束筛除,刚性约束不通过权重抵消,避免不可实施地块进入排序;在统一框架下允许按中心型、新城型、乡镇型站点微调权重,以体现节点能力与场所承载差异;评价结果最终可转译为控规指标与管控分区表达。

3.2 指标体系结构与说明

目标层为“低空起降点综合适宜性”。准则层设4个一级维度:交通衔接 $T1$ 、用地与工程 $T2$ 、空域与安全 $T3$ 、环境与社会 $T4$ 。各维度选取若干二级指标,形成可计算、可对比的评价体系。

(1) 交通衔接条件 $T1$ 。重点评价低空设施与站点集散体系的耦合程度,主要指标包括距出站口步行距离、与公交和社会车辆接驳区的可达性、站前慢行连通性。步行可达性与站点综合效益的关联可为该维度提供依据。

(2) 用地与工程条件 $T2$ 。用于判断地块能否放得下、建得起,主要指标包括地块面积与形状完整性、用地性质兼容性、坡度与高程差、可改造空间条件等。与铁路线路、接触网等冲突风险可作为约束项提前剔除。

(3) 空域与安全条件 $T3$ 。用于判断能否安全飞,主要指标包括净空与障碍物影响、进离场方向可用性、与敏感设施安全距离、与建议飞行走廊衔接条件等。

(4) 环境与社会条件 $T4$ 。用于控制扰民与风险感知,主要指标包括噪声敏感点影响程度、人口与活动密度、生态敏感区避让等。噪声影响可结合建成环境进行更精细评估。

指标计算采用统一标准化方法,将距离类与强度类指标归一化到0到1区间,再按权重进行加权叠加,形成地块适宜性得分与分级结果。

3.3 权重确定方法

权重采用层次分析法确定。专家组由7名专家组成,其中规划管理2名、轨道交通2名、低空运行安全2名、环境影响1名,均具有相关研究或工程经验。首先构建目标层、准则层与指标层的层次结构,采用1—9标度两两比较并以几何平均法合成判断矩阵。准则层聚合判断矩阵($T1$, $T2$, $T3$,

T4)为: [1, 1.2, 1.4, 2.2; 0.83, 1, 1.2, 1.9; 0.71, 0.83, 1, 1.6; 0.45, 0.53, 0.63, 1], 最大特征根 $\lambda_{\max}=4.000\ 2$, $CI=0.000\ 05$, $CR=0.000\ 06<0.10$; 各指标层判断矩阵 CR 均小于 0.10。由此得到交通衔接、用地与工程、空域与安全、环境与社会一级权重分别约为 0.33, 0.28, 0.24, 0.15。净空、安全距离和噪声敏感点已作为硬约束先行筛选, 权重仅用于可实施地块的相对排序。该权重体系用于某市样本时具有解释性, 推广到其他城市或站点时应结合空域等级、建设密度、运行功能和公众敏感度重新组织专家校核, 安全与净空约束仍应优先刚性控制。最终权重用于支撑 GIS 多准则评价, 输出高、中、低适宜地块, 为后续情景对比与控规指标设计提供依据。低空起降点适宜性评价指标体系及权重如表 2 所示。

4 GIS 多准则适宜性评价与候选地块筛选

4.1 GIS 数据库构建与约束条件设定

以 3 处典型站点为中心建立站点地区 GIS 数据库, 统一坐标系与数据精度, 形成基础底图、约束图层、评价图层 3 类数据。约束图层用于剔除不可实施空间, 主要包括规划用地性质与控制线、河道山体等不可建设区、铁路安全控制范围、站区红线及既有建构筑物占地。评价图层对应第 3 章指标体系, 包含出入口与接驳设施、慢行网络、地形坡度、建筑高度与密度、噪声敏感点等要素。

约束条件按先筛选后评价的思路设定, 重点排

除用地不兼容、地块面积不足、与铁路设施冲突、净空明显不满足等区域。本研究设置的硬筛选条件包括: 用地性质应与交通设施、市政公用或可兼容商业服务等功能匹配; 综合起降场候选地块面积不小于 8 000 m², 小型点位不小于 3 000 m²; 与站点出入口距离分别控制在 500 m 和 800 m 以内; 学校、医院等敏感点避让不小于 150 m, 居住集中区噪声缓冲不小于 100 m; 铁路安全控制线、高压线、油气管线等按法定或专项管控边界执行。对净空、铁路运营安全和敏感点避让不达标空间直接剔除, 确保进入评价的候选空间具备基本可实施性。

4.2 候选地块生成

候选地块生成采用空间叠置筛选与地块整理相结合的方法。首先叠置可建设用地与约束图层, 剔除硬约束区得到初始可选空间。随后合并过小与破碎斑块, 去除狭长条带与孤立小斑块, 形成相对完整的候选地块集合。为每个候选地块赋值面积、形状、距出入口距离、周边建筑高度统计、敏感点数量与距离等属性, 建立地块属性表, 为后续评分提供输入。

4.3 多准则适宜性评价与分级

采用加权叠加的多准则评价方法。将各指标按统一规则标准化到 0 到 1 区间, 结合第 3 章权重计算综合适宜性得分, 并划分为高适宜、中适宜、低适宜 3 类。高适宜地块作为优先推荐落位空间, 中适宜地块作为条件优化与情景备选空间, 低适宜地块原则上不建议布置。考虑需求与运行条件存在不

表 2 低空起降点适宜性评价指标体系及权重
Tab.2 Suitability evaluation index system and weights for low-altitude take-off and landing points

指标层	含义	数据来源	权重
距出站口步行距离 T1-1	换乘效率	出入口、步行路网、GIS 最短路径	0.13
接驳可达性 T1-2	公交、落客、停车衔接	公交站点、停车落客点、路网	0.11
慢行连通性 T1-3	站前慢行通达	慢行网络、过街设施、路网	0.09
地块面积与完整性 T2-1	场地可布设性	地块边界、用地现状与规划	0.11
地形坡度与高程 T2-2	工程可建性	DEM、坡度栅格	0.09
用地兼容与可改 T2-3	规划匹配、改造难度	控规用地、现状用地、硬化场地	0.08
净空条件 T3-1	进离场安全	建筑高度、构筑物、三维数据	0.11
敏感目标安全距离 T3-2	安全避让	学校医院等 POI、用地数据	0.08
走廊衔接条件 T3-3	走廊连接成本	走廊方案、禁限飞信息	0.05
噪声敏感点影响 T4-1	扰民风险	敏感点 POI、用地数据	0.07
人口活动密度 T4-2	风险暴露	人口栅格或统计、居住用地	0.05
生态敏感区避让 T4-3	生态影响	水系绿地、生态控制线	0.03

确定性，中适宜地块保留进入情景对比以提高方案鲁棒性。乡镇型站点(虹桥站)候选地块与适宜性等级分布如图1所示。

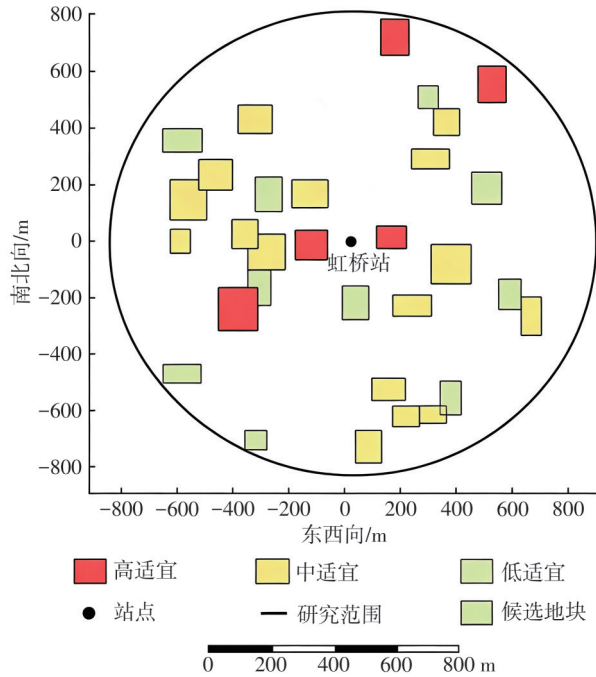


图1 乡镇型站点(虹桥站)候选地块与适宜性等级分布
Fig.1 Distribution of candidate plots and suitability levels at township-type station (Hongqiao Station)

4.4 不同类型站点的适宜性分布特征

新城型站点可整備空间相对充足，高适宜地块更易成片分布，优势主要来自用地与工程条件较好，便于与综合开发协同组织。乡镇型站点受用地与环境约束影响更强，高适宜地块往往分散分布，更依赖站前组织与慢行接驳改善。枢纽门户型站点空间紧约束与安全敏感约束叠加，高适宜地块数量

较少但位置关键，需在限高控制与噪声缓冲前提下强化与综合换乘体系的紧耦合^[21]。不同类型站点适宜性等级对比统计如图2所示。典型站点高适宜地块基本属性如表3所示。

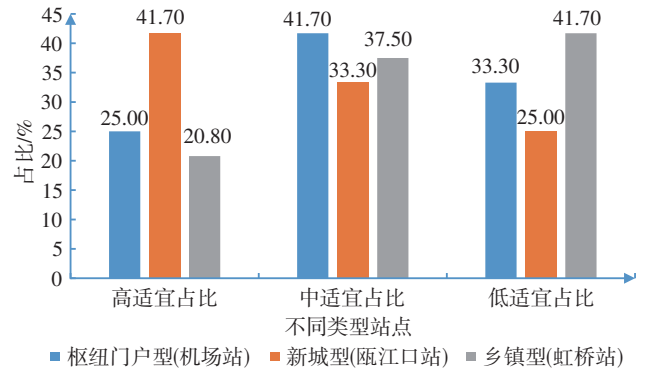


图2 不同类型站点适宜性等级对比统计
Fig.2 Comparison of suitability levels among different station types

为检验评价结果对权重的敏感性，在一级指标权重 $\pm 10\%$ 扰动且总权重归一化的条件下进行复算。结果显示，高适宜地块的前3位排序在3类站点中保持基本稳定；当空域与安全权重提高10%时，机场站近障碍物斑块得分下降更明显，虹桥站受影响较小；当交通衔接权重提高10%时，距出入口较近的中适宜地块可能上移为备选地块。说明权重波动主要影响中适宜地块的排序，对高适宜空间格局影响有限，但枢纽门户型站点需优先校核净空与安全约束。

5 情景设计与可达性及效益评估

5.1 情景方案设计

为评估低空起降设施嵌入站点地区后对综合出行效率与服务覆盖的影响，研究设置4类情景进行

表3 典型站点高适宜地块基本属性
Tab.3 Basic attributes of highly suitable plots at typical stations

站点	编号	面积/m ²	距出站口距离/m	主要适宜性优势
机场站	JC-01	12 500	180	距出站口近，接驳条件好，净空条件相对较优
机场站	JC-02	9 800	260	场地完整，可与站前交通组织协同，敏感点影响较弱
机场站	JC-03	15 600	320	可改造空间条件较好，避让敏感目标距离满足要求
瓯江口站	OJK-01	21 000	240	成片可整備用地，工程条件好，便于与综合开发一体化布局
瓯江口站	OJK-02	18 500	360	地块规整，周边限高压力较小，噪声缓冲带可布置
瓯江口站	OJK-03	23 800	420	与道路系统衔接顺畅，可预留走廊接口，扩展条件较好
虹桥站	HQ-01	9 200	210	距站点近，地块完整，便于形成分散式服务点
虹桥站	HQ-02	10 500	380	避开居住学校等敏感点，环境约束较轻
虹桥站	HQ-03	8 700	460	工程改造成本相对低，可作为情景备选落位

对比。S0为基准情景，站点地区不设置低空起降点，出行完全依赖市域铁路与地面交通系统。S1为分散式情景，在站点地区布置若干小型起降点，以短距接驳和末端覆盖为主，强调对乡镇与产业组团的弹性服务。S2为集中式客运情景，在站点周边优选1到2处高适宜地块建设综合起降场，强调规模化运营、枢纽换乘和稳定客运组织，不叠加物流和应急常态化功能。S3为综合型功能叠加情景，在S2综合场基础上增设应急保障点或物流作业接口，运行组织上提高安全缓冲和时段管理要求，主要用于测算客运、物流、应急协同带来的边际收益。4类情景均以相同OD需求和地面网络为基础，仅改变低空设施配置、功能边界与中转时间参数，避免情景比较口径不一致。情景方案特征比较表如表4所示。S0与S2情景下等时圈对比如图3所示。

5.2 交通网络构建与可达性测算

研究构建“市域铁路+地面公交+步行+低空中转”的综合交通网络，用统一的出行时间作为可达性评价指标。网络节点包括市域铁路车站、站点出入口、公交站点、主要居住点与就业点、低空起降点与目标服务点。网络边包括市域铁路区间、公交线路、步行连线，以及低空航段。

可达性测算以“起点为村镇社区或重点功能点，终点为市中心或主要枢纽”的OD对为基础，计算不同情景下的最短出行时间与平均出行时间。S0情景仅考虑市域铁路与地面交通的组合路径。S1到S3情景在路径中增加“步行到起降点、低空航段、落地接驳”的中转链路，其中步行速度、候机与换乘时间、起降组织时间采用统一参数。覆盖受益分别以30 min，45 min，60 min和90 min阈值统计可达居住人口与功能节点，并以60 min作为主报告阈值。各情景平均出行时间如图4所示。各情景时间压缩率如图5所示。

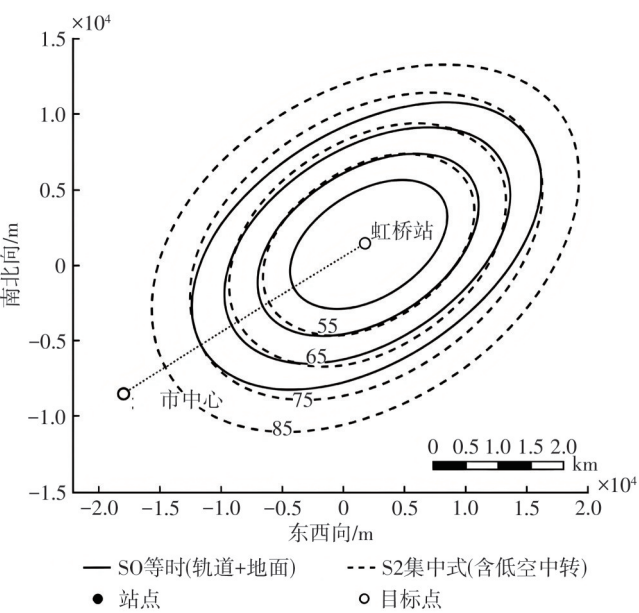


图3 S0与S2情景下等时圈对比
Fig.3 Isochrone comparison between Scenarios S0 and S2

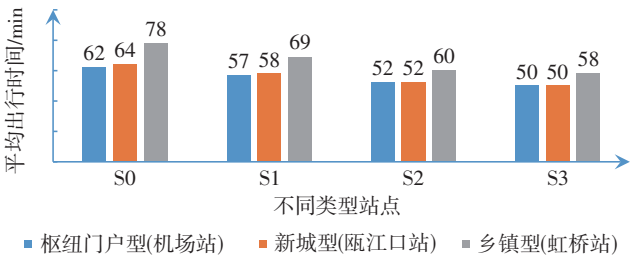


图4 各情景平均出行时间
Fig.4 Average travel time by scenario

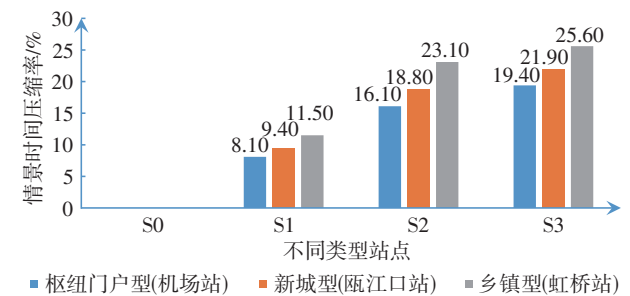


图5 各情景时间压缩率
Fig.5 Travel time reduction rate by scenario

表4 情景方案特征比较表
Tab.4 Comparison of scenario characteristics

情景	起降点配置	选址依据	主要服务功能	适用站点类型
S0 无低空起降点	不设置	基准对照	市域铁路+地面公交+步行	全部
S1 分散式小型起降点	2~4处小型点位	高适宜与中适宜地块组合	末端接驳、乡镇覆盖、产业园短驳	乡镇型为主
S2 集中式综合起降场	1~2处综合场	高适宜地块优先	枢纽换乘、干线接驳、稳定客运运营	新城型、枢纽门户型
S3 综合型客运物流应急	1处综合场+1处应急点	高适宜优先并强化安全与缓冲	客运+物流+应急联动，强化安全缓冲与时段管理	枢纽门户型为主

5.3 效益评估

效益评估从出行效率、覆盖受益与空间价值3个方面展开。出行效率以平均出行时间与时间压缩率为核心指标。覆盖受益以受益人口与重点乡镇覆盖数量衡量,统计在60 min主阈值内可达的居住人口与关键节点数量。空间价值不作为独立财务测算,而是采用时间压缩率与站点可达性改善对地价或开发强度的弹性区间表达,按低、中、高3档弹性参数进行敏感性估算,形成3%~10%的区间值,用于比较不同情景的边际收益,不直接替代土地评估或收益测算。各情景效益对比如表5所示。

参数敏感性方面,将主报告时间阈值由60 min分别调整为45 min和90 min后,S2,S3相对S0仍保持较高覆盖改善,但受益人口增幅会随阈值扩大而收敛;低空航段速度下降10%或换乘等待时间增加5 min时,S1的时间压缩率下降最明显,S2和S3因起降点集中、接驳链条较短仍保持优势。土地价值弹性参数在±20%区间内变化时,各情景收益排序不变,说明情景效益对参数有一定敏感性,但不改变集中式和综合型优先的总体判断。

6 低空控制指标与站城一体化规划策略

6.1 分类站点的低空起降设施布局模式

结合站点类型差异与适宜性评价结果,低空起降设施宜采用分类布局,避免“一种模式套全线”。

城市中心型、老旧城区与枢纽门户型站点空间

紧约束、换乘需求强,宜采用上盖集成型或侧翼嵌套型。上盖集成型以站房上盖、站前综合体屋顶为主要载体,强调与出入口、换乘大厅的最短步行联系,适合以客运接驳为主并兼顾应急功能。侧翼嵌套型优先在站场边界、站前交通区侧翼或既有硬化场地内嵌入,降低对站内运营的干扰,适合客运与应急并重的复合配置;老旧城区应同步校核既有建筑承载、消防疏散和历史风貌控制。

新城型站点可整备空间相对充足,宜采用分离协同型或综合开发一体化型。分离协同型将起降区落位在站前区外围的高适宜地块,通过慢行和短驳与站点衔接,便于预留扩建与运行组织空间。综合开发一体化型将低空设施作为站城一体开发的功能模块,与站前商务、产业服务、停车换乘同步布局,更适合物流客货协同与常态化运营。

乡镇型站点服务范围大、点位分散,宜采用分散补点型或小型综合服务型。分散补点型以多个小型起降点形成网络补充,提高末端覆盖与弹性服务能力,适合文旅、巡检、应急等场景。小型综合服务型在一个高适宜地块形成“客运接驳+应急保障”的复合点位,并预留与未来低空走廊对接的接口,兼顾效率与可扩展性。分类站点低空起降设施布局与管控指标一览表如表6所示。

6.2 控规层面的低空控制指标设计

为实现可落地、可审查、可管控,控规层面的低空控制指标应做到“可画线、可量化、可核查”。

表5 各情景效益对比
Tab.5 Benefit comparison by scenario

情景	平均出行时间/min	时间压缩率(相对S0)/%	受益人口/万人	重点乡镇覆盖/个	土地价值变化估计
S0	68	0	0	0	基准
S1	60	11.8	8.5	4	时间压缩8 min,对应地价提升约3%~5%
S2	54	20.6	12.0	6	时间压缩14 min,对应地价提升约5%~8%
S3	52	23.5	13.5	7	时间压缩16 min,对应地价提升约6%~10%

表6 分类站点低空起降设施布局与管控指标一览表
Tab.6 Layout and control indicators for low-altitude take-off and landing facilities by station type

站点类型	推荐布局模式	功能配置建议	起降区规模建议	限高控制要点	噪声缓冲带建议
城市中心型/ 老旧城区/ 枢纽门户型	上盖集成型、 侧翼嵌套型	客运主导,兼顾 应急	中小型为主,单点约3 000~ 8 000 m ² ,优先屋顶与既有 硬化空间	起降区外100 m内严控新增障碍 物,关键方向预留净空通道	居住区≥100 m缓冲,学校 医院等高敏感点≥150 m避让
新城型	分离协同型、 综合型、 开发一体化型	综合型,兼顾 物流	中大型可预留扩展,综合场 不小于8 000 m ²	预控走廊与周边开发高度,走廊 带不小于100 m	连续缓冲带不小于100 m,与 站前综合开发同步落实
乡镇型	分散补点型、 小型综合服务型	应急与文旅优先, 可叠加物流	小型为主,单点不小于 3 000 m ² ,点位可多处布设	以安全距离与简化限高规则为 主,敏感点避让不小于150 m	以分散避让为主,必要处设置 不小于100 m小尺度缓冲带

建议形成“一图一表一清单”的核心指标包，直接写入控规图则、地块指标表或管理规定。

(1) 低空起降区范围与用地指标。明确起降区边界，提出最小用地面积与服务半径建议：综合起降场用地规模原则上不小于8 000 m²，小型点位不小于3 000 m²；综合场距主要出入口宜控制在500 m以内，小型点位可结合慢行和短驳放宽至800 m。对可改造载体进行类型指引，例如站房上盖、综合体屋顶、站前硬化场地等，并在用地性质中预留交通设施、市政公用、商业服务等兼容性表达。

(2) 高度与净空控制指标。围绕起降区设置建筑高度控制分区，形成禁建区、限高区、一般控制区三档表达。禁建区原则上为起降区及周边安全缓冲范围，限高区以进离场主方向和障碍物控制面为依据确定，控制区内新增建筑、塔杆、广告设施须开展净空复核。对高层开发较多的中心城与枢纽门户型站点，限高分区应与城市设计高度控制同步校核。

(3) 噪声与敏感点管控指标。噪声缓冲带宜不小于100 m，学校、医院、养老等高敏感目标避让宜不小于150 m；缓冲带内建议以绿地、停车场、交通设施用地等作为过渡，并对居住、学校、医院等敏感点设置绕避、限时运行和低噪声运行要求。

(4) 安全距离与设施避让指标。与铁路线路、接触网、高压线、油气管线等的最小安全距离应以法定管控线、行业规范和专项安全评估取严值，站前人流密集区、危化品源等纳入禁限用清单；项目审批时形成“地块条件—净空复核—噪声评估—运行安全—应急预案”审查清单。低空控制指标在控规图则中的示意表达如图6所示。

6.3 飞行走廊划示与空间管控建议

飞行走廊宜在站点地区层面预先划示，避免设施建成后与空域管理脱节。建议采用“走廊带+高度层+管制条件”表达，明确水平宽度、高度分层、运行时段、禁限飞触发条件，形成可与控规叠合的空间管控要素。

在平面上，以站点起降区为起点，沿主要服务方向划设走廊带，优先依托河道、快速路、铁路走廊等线性空间，减少与密集建成区的交叉。走廊带控制宽度可按不小于100 m的预控走廊表达，重要枢纽或多航线交汇处可扩展至150~200 m；走廊带两侧设置控制边界，对新增高层建筑、通信塔等障

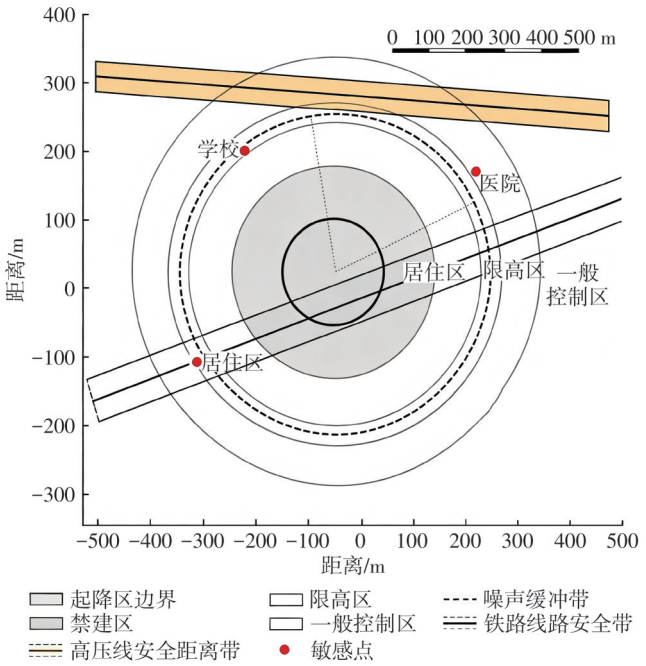


图6 低空控制指标在控规图则中的示意表达
Fig.6 Representation of low-altitude control indicators in regulatory planning drawings

碍物提出预控要求。

在空间上，可采用分层管理表达，区分低高度运行层、缓冲安全层与动态调整层，提出起降区周边的高度递增控制思路，使净空条件在控规阶段即可被锁定。对噪声敏感区与人口密集区，建议采取绕避、抬升或限制时段的管理建议，为后续运行规则留出空间。走廊划示应与低空空域管理、无人机或载人低空运行审批和应急联动系统衔接，未通过空域协同审查的点位不进入实施清单。

6.4 实施路径与部门协同机制

低空设施进入站点地区规划，关键在于形成从规划到项目的传导链条，并建立跨部门协同机制。建议实施路径按“总体层面明确方向、控规层面锁定空间、城市设计细化组织、项目层面落地建设”推进，并采用“一图一表一清单”形成法定规划表达。总体规划与专项规划明确市域铁路沿线低空节点体系与走廊方向，控规落实起降区范围、限高分区、缓冲带与安全距离等指标，同时预留用地性质兼容、设施规模弹性和限高分区动态评估要求；城市设计进一步细化站前区人车组织、慢行联系、场地界面与运行保障空间，项目立项阶段完成运行组织、安全评估与工程方案，进入建设实施阶段。

协同机制方面,建议建立以规划和自然资源部门牵头,交通运输、铁路运营、民航或空管、公安应急、生态环境、住建等部门参与的联审机制。控规编制与调整阶段同步开展低空设施审查清单校核,项目审批阶段实行“一次告知、联合审查、分项验收、运营监测”的流程,确保空间管控、运营安全与环境影响在同一套规则下闭环管理。为应对需求波动与动态空域变化,可建立年度复核机制,对走廊利用率、噪声投诉、安全事件、空域开放条件和站区开发强度进行滚动评估,必要时启动控规局部维护或运行规则调整。

7 结论

市域铁路站点地区叠加低空起降设施,难点在于空间紧约束与多部门管控并存,易出现选址可行但控规难落图、工程可建但运行受限等脱节问题。本研究提出“约束筛选、多准则评价、情景检验、控规转译”一体化方法,并以某市域铁路瓯江口站、虹桥站、机场站验证。结果表明,站点类型决定适宜性空间的主导约束与分布形态:新城型更易形成成片可整備空间,乡镇型受环境与用地约束更强且点位分散,枢纽门户型净空与安全敏感约束叠加,高适宜地块数量少但区位关键,需与综合换乘紧耦合。情景对比显示,配置低空设施可降低平均出行时间并提升覆盖受益,集中式与综合型方案优势更明显。敏感性检验显示,权重 $\pm 10\%$ 、时间阈值45/60/90 min和低空中转参数波动会影响中适宜地块排序与受益人口规模,但不改变高适宜地块相对稳定、集中式与综合型方案总体更优的判断。进一步将要求转译为控规指标包,包括起降区边界与规模、限高分区与净空通道、噪声缓冲带、安全距离与避让清单,形成可画线、可量化、可审查的落地路径。研究仍受样本数量、数据精度和参数设定限制,3处站点侧重典型场景验证,尚未覆盖中心城老旧城区等更新型样本;需求波动、动态空域、噪声仿真和运营安全数据仍需通过试点补充。后续可结合三维数据与噪声仿真、鲁棒性情景和试点运营完善分类型阈值。

参考文献:

- [1] 李雪,周涛,喻永辉,等.重庆沙坪坝高铁枢纽TOD交通规划实践与总结[J].城乡规划,2021(6):114-124.
- [2] LI Xue, ZHOU Tao, YU Yonghui, et al. Transportation Planning Practice and Conclusion of Chongqing Shapingba High Speed Rail Hub Based on Transit-Oriented Development[J]. Urban and Rural Planning, 2021(6): 114-124.
- [3] 李金山,郝志丹,陈兴斌.“站城融合”背景下大型铁路枢纽交通设计要点[J].城市轨道交通研究,2023,26(8):1-6,11.
- [4] LI Jinshan, HAO Zhidan, CHEN Xingbin. Key Points of Large Railway Hub Traffic Design in the Context of “Station-City Integration” [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 1-6, 11.
- [5] 刘雨菡,陈锦棠.站城融合背景下重点地区发展规划的逻辑与路径[J].城乡规划,2022(1):111-119.
- [6] LIU Yuhan, CHEN Jintang. The Planning Logic and Approach for Urban Priority Development Area under the Background of TID[J]. Urban and Rural Planning, 2022(1): 111-119.
- [7] 朱丹,刘李红,荣朝和,等.轨道交通TOD推进城市更新的机制保障与实现路径:以东京二子玉川站再开发为例[J].都市快轨交通,2023(6):129-136.
- [8] ZHU Dan, LIU Lihong, RONG Chaohe, et al. Mechanism Guarantee and Realization Path of Urban Regeneration Promoted by Rail Transit TOD: A Case Study of Futako-Tamagawa Station in Tokyo[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023(6): 129-136.
- [9] 姚霏,吴俊获,何寰.武汉城市轨道交用地控制规划管理与实践[J].城市轨道交通研究,2022,25(4):17-21,36.
- [10] YAO Fei, WU Jundi, HE Huan. Management and Practice of Wuhan Urban Rail Transit Land Use Control and Planning[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 17-21, 36.
- [11] 李崇旦.杭州市轨道交通TOD(交通引导发展)模式的探索与实践[J].城市轨道交通研究,2021,24(9):1-4,13.
- [12] LI Chongdan. Exploration and Practice of Rail Transit TOD Mode in Hangzhou[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 1-4, 13.
- [13] 邓艳,常嘉欣,赵蕊.基于可持续更新视角下的“轨道微中心”再开发:以伦敦国王十字车站地区为例[J].城乡规划,2021(3):101-110.
- [14] 曹阳,孙嘉乐,李松涛,等.基于企业时空演变特征的高铁站区空间规划思考:以郑州东站为例[J].铁道运输与

- 经济, 2025, 47(12): 1-12.
- CAO Yang, SUN Jiale, LI Songtao, et al. Reflections on Spatial Planning for High Speed Railway Station Areas Based on Enterprise Spatiotemporal Evolution Characteristics: A Case Study of Zhengzhoudong Railway Station[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(12): 1-12.
- [9] 山琳. 都市快轨车站设计研究: 以京雄快线典型车站设计为例[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(2): 17-22.
- SHAN Lin. Optimizing Station Design for Urban Rapid Transit: A Case Study of the Jingxiong Express Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2024, 37(2): 17-22.
- [10] 贺鹏, 陈珍, 黄靖茹, 等. 面向轨道交通与土地利用一体化的节点-场所模型研究综述[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(6): 1-6, 123.
- HE Peng, CHEN Zhen, HUANG Jingru, et al. A Review of Node-Place Model for Integration of Urban Rail and Land Use[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(6): 1-6, 123.
- [11] 莫飞, 刘尚昂, 仲莹莹, 等. 城市轨道交通专项体检指标体系研究[J]. 城乡规划, 2021(3): 95-100, 110.
- MO Fei, LIU Shang'ang, ZHONG Yingying, et al. Research on Special Physical Examination Index System of Urban Rail Transit[J]. Urban and Rural Planning, 2021(3): 95-100, 110.
- [12] 李继珍, 黄芸璟, 易峥. 基于步行等时线的城市“轨道房”价格时空特征分析: 以重庆中心城区为例[J]. 城乡规划, 2022(4): 104-113.
- LI Jizhen, HUANG Yunjing, YI Zheng. Analysis of Spatiotemporal Characteristics of Housing Price nearby Urban Rail Transit Based on Walking Isochron: A Case Study of Chongqing's Downtown Area[J]. Urban and Rural Planning, 2022(4): 104-113.
- [13] 刘佳雯, 王缪莹, 沈通, 等. 国内外低空经济发展及其在铁路领域的应用场景研究[J]. 铁道运输与经济, 2025, 47(10): 30-43.
- LIU Jiawen, WANG Liuying, SHEN Tong, et al. Low-Altitude Economy Development in China and Abroad and Its Application Scenarios in Railways[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(10): 30-43.
- [14] 刘磊, 游玉石, 王志军, 等. 低空技术在铁路巡查中的经济效益分析[J]. 铁道运输与经济, 2025, 47(10): 50-59.
- LIU Lei, YOU Yushi, WANG Zhijun, et al. Economic Benefit Analysis of Low-Altitude Technology in Railway Inspection[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(10): 50-59.
- [15] MENDONCA N, MURPHY J R, PATTERSON M D, et al. Advanced Air Mobility Vertiport Considerations: A List and Overview[C]//AIAA. Proceedings of AIAA Aviation 2022 Forum. Reston, Virginia: AIAA, 2022: 1-18.
- [16] SCHWEIGER K, PREIS L. Urban Air Mobility: Systematic Review of Scientific Publications and Regulations for Vertiport Design and Operations[J]. Drones, 2022, 6(7): 179.
- [17] BRUNELLI M, DITTA C C, POSTORINO M N. New Infrastructures for Urban Air Mobility Systems: A Systematic Review on Vertiport Location and Capacity[J]. Journal of Air Transport Management, 2023, 112: 102460.
- [18] GOTTSCHALG G, STRAUSS A K, IVANOV N, et al. Vertiport Location Planning for Urban Air Mobility Airport Shuttle Services under Demand Uncertainty[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2026, 207(C): 104957.
- [19] TP K K, SURIKALA R, KULARAJASINGAM J, et al. Urban Air Mobility: A Comprehensive Literature Review on the Growth of Air Taxis and Drone Delivery Systems[J]. International Journal of Economic Practices and Theories, 2025, 10: 147-159.
- [20] HEARN T A, KOTWICZ HERNICZEK M T, GERMAN B J. Conceptual Framework for Dynamic Optimal Airspace Configuration for Urban Air Mobility[J]. Journal of Air Transportation, 2023, 31(2): 68-82.
- [21] KIM Y, LEE S. Deep Learning Based Prediction of Urban Air Mobility Noise Propagation in Urban Environment[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 155(1): 171-187.

(责任编辑 吴文娟)