

TOD(公交导向发展)模式下轨道交通 车站区域用地结构优化*

贺俊¹ 王浚沅² 张东驰³

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 华南理工大学建筑学院, 510641, 广州;

3. 中城(广州)城乡规划设计有限公司, 510640, 广州)

摘要 [目的] TOD(公交导向发展)模式被视为缓解城市无序蔓延、促进城市可持续发展与理性增长的规划理念。良好的轨道交通车站区域用地结构有利于实现土地的集约利用。为助力轨道交通与城市用地的高效互动,有必要研究 TOD 模式下的轨道交通车站区域用地结构优化。[方法] 从 TOD 规划原则切入,以轨道交通车站区域常见用地问题为出发点,提出用地强度控制、功能混合及适宜用地配比三种优化导向,对应设置目标函数与约束条件,构建基于 TOD 的站区用地结构多目标优化模型。通过简化数据处理与模型架构,提高模型的可操作性。基于 NSGA-II(二代非支配排序遗传算法),以厦漳泉(厦门—漳州—泉州)城际铁路 R1 线泉州段城南南路站区域用地结构优化为实例,对用地结构优化效果进行验证。[结果及结论] 优化后研究区域内,居住类、经济类和公用设施类用地占比均得到有效提升,实现了更均衡的用地功能组合,符合 TOD 理念下站区对职住平衡与公共服务功能的诉求。优化后的轨道交通车站区域用地合理性得到改善,各用地类型间占比调整稳定,验证该模型具有良好的适用性,能够有效优化轨道交通车站区域的用地结构。

关键词 轨道交通; 车站区域; 用地结构; 公交导向发展模式; 多目标优化; 二代非支配排序遗传算法

中图分类号 TU984.11⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.04.010

Land Use Structure Optimization in Rail Transit Station Area under TOD (Transit Oriented Development) Mode

HE Jun¹, WANG Junfeng², ZHANG Dongchi³

(1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China; 2. School of Architecture, South China University of Technology, 510641, Guangzhou, China; 3. Zhongcheng (Guangzhou) Urban and Rural Planning and Design Co., Ltd., 510640, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] TOD (Transit Oriented Development)

mode is considered as a planning concept to alleviate the disorderly urban sprawl and promote sustainable urban development and rational growth. A good land use structure in the rail transit station area is conducive to achieving intensive land use. In order to help the efficient interaction between rail transit and urban land use, it is necessary to study the optimization of land use structure in the rail transit station area under the TOD mode. [Method] Starting from the TOD planning principles and taking the common land use issues in rail transit station areas as the starting point, three optimization orientations: land intensity control, functional mixing, and appropriate land use ratio are proposed. Objective functions and constraint conditions are set accordingly, and a TOD-based multi-objective optimization model of station area land use structure is constructed. The operability of the model is improved by simplifying data processing and model architecture. Based on NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II), the land use structure optimization of Chenghua South Road Station area in Quanzhou section of the Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou Intercity Railway R1 Line is taken as a case study to verify the effect of land use structure optimization. [Result & Conclusion] After optimization, the proportions of residential, commercial, and public facility land uses within the study area have been effectively increased, achieving a more balanced land use function combination, in line with the station area's demand for balance between residential and employment spaces and public service functions under TOD concept. The rationality of optimized land use structure in rail transit station area has been improved, and the proportion of each land type has been adjusted steadily, verifying the good applicability of the model and its effectiveness for land use structure optimization in rail transit station area.

Key words rail transit; station area; land use structure; TOD model; multi-objective optimization; NSGA II

* 广州地铁设计研究院股份有限公司研究课题(KY-2019-072)

为缓解城市交通与服务功能之间的冲突,多积极借鉴 TOD(公交导向发展)模式开展轨道交通站区区域(以下简称“站区”)建设。在 TOD 开发前期,用地优化是极为关键的一环,有学者将目光聚焦于站区用地优化事宜,探讨内容涉及用地附加价值、客运量、开发模式及开发强度等方面^[1-2]。然而,当前缺少针对 TOD 模式下站区用地结构这一专项问题的深入探讨,而合理规划站区用地结构,对促进土地集约利用大有裨益。

对此,本文基于 TOD 理念结合站区开发常见用地问题,建立面向站区开发的用地结构优化模型,利用 NSGA-II(二代非支配排序遗传算法),尝试简化技术流程中的数据处理与方法步骤,寻求用地结构优化方案,并以厦漳泉(厦门—漳州—泉州)城际铁路 R1 线泉州段城华南路站(以下简称“城华南路站”)的站区用地为实例展开验证,进而实现工程前期控制指引,以期服务于城市设计工作的初期判断。

1 构建站区用地结构优化模型

1.1 构建逻辑框架

近年来,站区用地开发由于缺乏布局管控、规划衔接不充分等原因,诱发了功能缺失、规模失控、结构紊乱等用地问题^[3-4]。在诸多问题导向下,TOD 已被视为缓解城市无序蔓延、促进可持续发展的规划理念,能有效地联系城市用地与轨道交通。TOD 的密度控制、多样化与宜人设计等规划原则为解决站区用地结构问题提供了思考角度^[5]。为此,本文基于 TOD 规划原则,提出用地强度控制、功能混合及适宜用地配比等 3 种优化导向,开展对用地结构的多目标优化。基于 TOD 的站区用地结构多目标优化逻辑框架如图 1 所示。

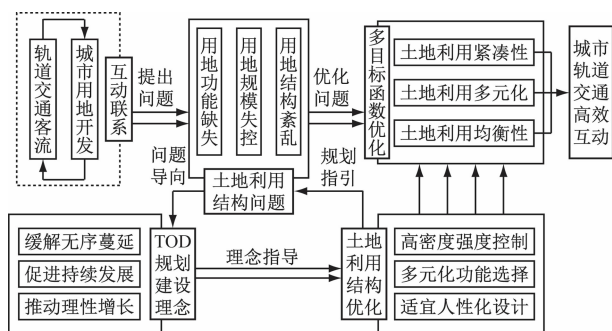


图1 基于TOD的站区用地结构多目标优化逻辑框架

Fig.1 TOD-based multi-objective optimization logical framework of station area land use structure

1.2 选取目标函数

1.2.1 高密度控制

我国的 TOD 开发不宜过分强调提高站区的开发强度^[6]。TOD 站区用地强度控制应更关注对土地的集约利用。紧凑性是重要的集约化形式。土地紧凑性利用可提高用地率,便于开发项目推行。据此。用地最大紧凑性目标函数 $\max f_1$:

$$\max f_1 = \max \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (S_{i,k} X_{i,k}) \quad (1)$$

式中:

X ——单元地块用地类型的决策变量集合;

$X_{i,k}$ ——单元 i 用地类型 k 的二进制决策变量, $i \in I, k \in K$; 当单元 i 开发的用地类型为 k 时, $X_{i,k} = 1$, 否则 $X_{i,k} = 0$; I 为可开发土地单元集合; K 为用地类型集合, 包括 6 种用地类型; $k=0$ 表示弹性用地, $k=1$ 表示公用设施类用地, $k=2$ 表示经济类用地, $k=3$ 表示居住类用地, $k=4$ 表示生态保留类用地, $k=5$ 表示交通类用地, 即 $K = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$;

$S_{i,k}$ ——与单元 i 相邻, 且与单元 i 用地类型均为 k 的单元地块数; 其中 $i \in I, k \in K$ 。

1.2.2 功能多元化

用地功能混合是 TOD 的主要原则之一^[5], 本文以信息熵来代表用地混合程度, 提出用地最大混合度目标函数 $\max f_2$:

$$\max f_2 = \max \left[\frac{- \sum_{k \in K} \frac{\sum_{i \in I} X_{i,k}}{U} \ln \left(\frac{\sum_{i \in I} X_{i,k}}{U} \right)}{\ln n} \right] \quad (2)$$

式中:

U ——可开发土地单元数量;

n ——用地类型总数。

1.2.3 人性化设计

对经济效益的过分追求易导致良好城市环境与优质公共空间的缺失。为营造站区良好的人居环境。采用站区内公用设施类用地面积同经济类用地和居住类用地面积总和的比值来衡量, 该比值越大, 认为环境品质越好。本文假设各单元的面积一样, 则用地品质目标函数 $\max f_3$ 为:

$$\max f_3 = \sum_i X_{i,1} / \left(\sum_i X_{i,2} + \sum_i X_{i,3} \right) \quad (3)$$

1.3 确定约束条件

为得到更合理的站区用地结构优化方案, 提出如下约束条件进行限制:

1) 土地总面积约束。在明确研究区域后, 设置

优化前后的区域内用地单元总量相同。约束函数为:

$$\sum_{i,k} X_{i,k} = U \quad (4)$$

2) 用地类型转换约束。由于研究区域较小,难以改变交通体系及自然脉络,所以将区域内当前主要道路交通用地(包括公路、轨道交通站线、立体交通等)、生态保留地(自然绿地及河涌水道等)设为固定区域。若研究区域内存在上述用地,则设定其用地单元不可与其他类型用地单元间进行转换。

3) 用地功能规模约束。为平衡优化过程中各类用地配比,对各类用地开发面积比例进行约束。综合考虑 GB 50137—2011《城市用地分类与规划建设用地标准》及国内外典型轨道交通站区案例用地配比,设置研究区域内各类用地在城市建设用地中的占比范围如表 1 所示。

表 1 研究区域内各类用地在城市建设用地中的占比范围
Tab. 1 Proportion of each land use type in urban construction land within the study area

类别名称	占比/%
居住类用地	25 ~ 35
公用设施类用地	8 ~ 15
经济类用地	20 ~ 35

构建约束函数:

$$L_{k,l}U \leq \sum_{k \in K} X_{i,k} \leq L_{k,h}U \quad (5)$$

式中:

$L_{k,l}$ —— k 类用地面积占比下限;

$L_{k,h}$ —— k 类用地面积占比上限。

2 站区用地结构优化模型的实现

2.1 前提设定

考虑到研究方法与实际情况的局限性,提出研究的前提设定。

1) 模型考量:①简化用地类型。重点考虑研究区域内的居住类、经济类与公用设施类等三大类用地。其中居住类用地包括居住用地、城中村与商住混合用地等;经济类用地包括商业及商务用地,以及工业用地等;公用设施类用地包括学校、医院、公园绿地等城市功能用地。②道路交通简化。设定区域内只考虑主干道等交通性道路,生活性道路不予考虑。

2) 实际情况考量:研究区域内除受约束条件限制的用地外,其他用地均视为可开发单元。实际情

况中,部分用地属近期开发或功能明确,因此研究过程中对此类用地进行识别并尊重其实际情况。

2.2 数据处理

以控制性详细规划为基础数据,辅以卫星图,对研究区域栅格化处理。以站点为圆心,半径为 800 m 的圆线为参考线,划定与圆线相切的方形区域^[7],切分 1 024 个面积为 50 m × 50 m 的用地单元,对用地单元赋值编码。土地开发规模可通过可开发用地单元数表示。

2.3 参数设定

在 NSGA-II 源代码基础上,利用 R 语言进行再开发。在相关公式参数设定的基础上,为提高规划弹性,增加用地结构优化方案选择余地,设定初始种群大小为 80,最大迭代次数为 100 次。经前期模型调试,设定交叉概率为 0.800,变异概率为 0.005。

3 站区用地结构优化效果的验证

3.1 研究区概况

城华南路站规划于泉州市丰泽区中部,其定位为综合中心型站点。目前,城华南路站区已完成初期城市设计工作,对其站区用地结构的优化研究具有较强实践意义。根据《泉州市城东片区基本单元规划图则》,研究区域用地类型以经济类用地为主,站点核心建设区预留一定规模弹性用地,进行单元化与用地编码处理,如图 2 所示。

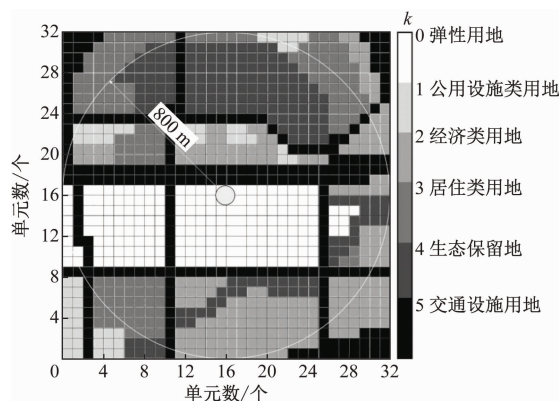


图 2 城华南路站研究区域单元化与编码处理

Fig. 2 Unitization and coding of Chenghua South Road Station study area

3.2 试验与结果分析

利用模型测算,求解适应度函数收敛曲线如图 3 所示。由图 3 可见,在 100 次迭代前实现收敛。NSGA-II 自身具有随机性,其单次试验与多次试验规律存在一致性。故本文结合实际情况,选择某单

次试验结果进行分析。

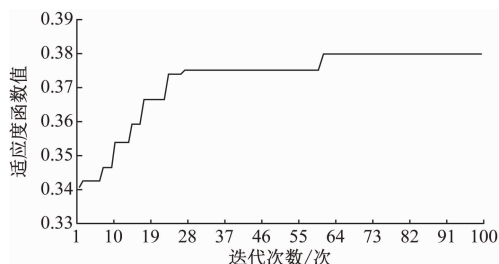


图3 适应度函数收敛曲线

Fig. 3 Fitness function convergence curve

3.2.1 用地结构优化效果评价

根据试验结果,优化后站区有284个居住类单元、234个经济类单元及83个公用设施类单元,分别占用地单元总数的27.7%、22.9%及8.1%,未超过约束条件限制。

研究区域优化前后用地结构变化如图4所示。对比优化前后各类用地的单元数量可知,居住类用地单元数量提升12.9%、经济类用地单元数量提升3.2%,公用设施类用地单元数量提升2.7%。各类用地单元数量占比提升的主要原因在于区域内弹性用地得到开发。但值得注意的是,与优化前相比,优化后居住类与公用设施类用地单元数量分别增长了46.6%和32.1%,远高于经济类用地的增幅(13.5%)。

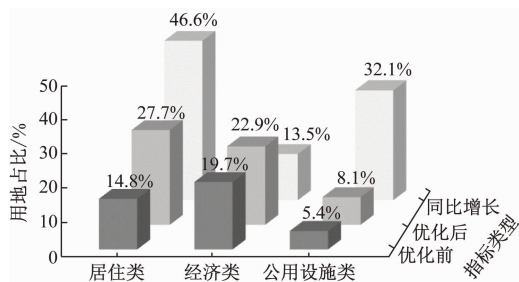


图4 研究区域优化前后用地结构变化对比

Fig. 4 Comparison of study area land use structure changes before and after optimization

上述优化结果说明:站区用地结构优化在保证经济产业发展空间前提下,进一步均衡了各城市功能;居住类用地与公用设施类用地增多,能更好地服务城市居民生活;居住类用地与经济类用地规模相当,有助于职住平衡。

3.2.2 用地结构合理性评价

采用基于熵权的TOPSIS(逼近理想解排序)法计算优化前后方案评价向量到正负理想解的欧氏距离,得出用地结构合理性参数 C_j :

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-}, \quad 0 \leq C_j \leq 1 \quad (6)$$

式中:

D_j^- ——第 j 版方案评价向量到负理想解的距离;

D_j^+ ——第 j 版方案评价向量到正理想解的距离。

其中 C_j 越大,方案越接近最优水平,表明用地结构合理性越好。经计算,优化前后 C_j 分别为0.095及0.406。由此可知,经优化后的用地结构合理性得到较大提升,更适用于站区的规划定位建设。

4 结语

从TOD规划原则切入,以站区常见用地问题为出发点,构建站区用地结构多目标优化模型,提出用地紧凑性、多元化与均衡性原则,对应设置目标函数与约束条件。并从实践可操作性角度出发,简化数据处理与模型架构。选取开发前期阶段的城华南路站为案例进行验证。验证结果表明,优化后,研究区域居住类、经济类与公用设施类用地单元数量占比均得到提升,且在研究区域存在规模弹性用地情况下,未出现单一用地类型增幅过大、违背模型构建原则的情况。优化后各用地类型调整幅度相对稳定,说明模型具有较好适用性。

参考文献

- [1] 何尹杰,吴大放,刘艳艳,等.城市轨道交通对土地利用变化的影响:以广州市3、7号线为例[J].经济地理,2021,41(6):171.
HE Yinjie, WU Dafang, LIU Yanyan, et al. The influence of urban public rail transport on the land use change: a case study of the metro line 3 and line 7 in Guangzhou[J]. Economic Geography, 2021, 41(6): 171.
- [2] 侯京安.基于TOD模式的市域(郊)铁路站区城市设计:以北京通州西站枢纽地区城市设计为例[J].城市轨道交通研究,2022,25(增刊2):32.
HOU Jing'an. Urban design of TOD city (suburban) railway station area—taking Beijing Tongzhouxi Railway Station hub urban design as example[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(S2): 32.
- [3] 彭艳丽.武汉市轨道交通土地利用存在的问题及对策研究[J].城市轨道交通研究,2016,19(11):11.
PENG Yanli. Problems and countermeasures of land use in Wuhan urban rail transit construction[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(11): 11.

(下转第59页)

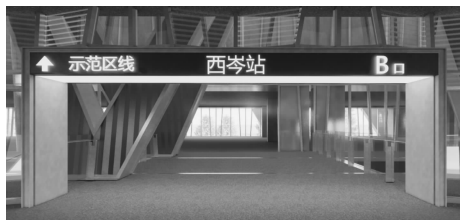


图17 西岑站换乘通道标志标识

Fig. 17 Transfer channel sign of Xicen Station

部分消防栓系统、路线图及站台门紧急按钮也同步集成在此立杆上。其余广播、显示屏及各类传感器等,则与站台门高度整合,使站台空间更为整洁有序(如图18所示)。



图18 西岑站的站台标志、标识实景图

Fig. 18 Real picture of Xicen Station platform signs and logos

3 结语

西岑站坐落于半自然半人工的环境之中,成功定义了市政基础设施的全新范式,推动了地铁站类基建的设计观念实现更新迭代。西岑站以一体化理念,将地铁高架站与新兴的市域铁路站融合,肩负着历史延续与创新突破的双重使命,已然具备成为城市新形象代表的实力,有望全面提升轨道交通

基础设施在景观设计层面的表现力。

参考文献

- [1] 梁白泉. 吴越文化: 中国的灵秀与江南水乡[M]. 上海: 上海远东出版社, 1998.
LIANG Baiquan. Wuyue culture: China's lingxiu and Jiangnan water town[M]. Shanghai: Shanghai Far East Publishers, 1998.
- [2] 赵书毅, 姬燕男, 杨林, 等. 市域(郊)铁路与其他轨道交通融合模式及选择决策方法研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 106.
ZHAO Shuyi, JI Yannan, YANG Lin, et al. Integration mode and selection decision-making method of suburban railway and other rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(4): 106.
- [3] 方迎利. 城市轨道交通融合型地下空间开发策略研究: 以武汉光谷中心城为例[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(7): 102.
FANG Yingli. Study on development strategy of urban rail transit integrated underground space: taking Wuhan Optics Valley Central City as an example[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(7): 102.
- [4] 赵俊毅. 上海市域铁路与轨道交通换乘车站一体化融合设计[J]. 世界建筑, 2022(增刊1): 101.
ZHAO Junqin. Integrated design of Shanghai railway and rail transit transfer station[J]. World Architecture, 2022(S1): 101.

· 收稿日期:2023-03-27 修回日期:2023-05-08 出版日期:2025-04-10
Received:2023-03-27 Revised:2023-05-08 Published:2025-04-10
· 通信作者:方迎利,正高级工程师, 87107310@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第51页)

- [4] 彭瑶玲. 土地利用视角下的交通拥堵问题与改善对策: 以重庆主城为例[J]. 城市规划, 2014, 38(9): 85.
PENG Yaoling. Traffic congestion and countermeasures from the perspective of land use: a case study of main urban area in Chongqing City[J]. City Planning Review, 2014, 38(9): 85.
- [5] CERVERO R, KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199.
- [6] 何冬华. 3D原则在TOD模式推广中的失效与进阶: 对广州市地铁1号线沿线开发的反思[J]. 城市交通, 2018, 16(1): 47.
HE Donghua. Failure and improvement of 3D principle in transit-

oriented development in China: retrospection on development along subway line 1 in Guangzhou[J]. Urban Transport of China, 2018, 16(1): 47.

- [7] CERVERO R, DAY J. Suburbanization and transit-oriented development in China[J]. Transport Policy, 2008, 15(5): 315.

· 收稿日期:2023-02-09 修回日期:2023-03-06 出版日期:2025-04-10
Received:2023-02-09 Revised:2023-03-06 Published:2025-04-10
· 通信作者:贺俊,工程师, hejun@dtsjy.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license