

# 考虑降雨因素的地铁车站出入口三维布局与 优化方法仿真研究<sup>\*</sup>

罗 澜<sup>1,2</sup> 陈进杰<sup>1,3</sup> 吕希奎<sup>1,3</sup>

(1. 石家庄铁道大学交通运输学院, 050043, 石家庄; 2. 河北高速公路集团有限公司养护分公司, 050036, 石家庄;  
3. 河北省交通安全与控制重点实验室, 050043, 石家庄)

**摘 要** [目的] 地铁车站出入口的合理布局对提高城市轨道交通效率具有重要作用。针对目前地铁车站出入口布局二维环境下的评价方法直观性和真实性较差的弊端, 融合三维地铁车站出入口模型与城市三维场景进行降雨仿真。[方法] 将 BIM(建筑信息模型) 技术与 UC win/Road 三维软件相结合, 通过 UC win/Road 软件快速搭建城市三维场景, 在建立城市三维场景和降雨仿真模拟的基础上, 采用 BIM API(应用程序接口) 二次开发技术, 研究三维可视化的地铁车站出入口布局模拟仿真和优化方法, 实现地铁车站 BIM 模型与城市三维场景的无损集成。从三维可视角度检测和评价车站出入口的位置、高程等方面的合理性, 解决目前二维环境下地铁车站出入口布局评价和仿真存在的不足和弊端。[结果及结论] 仿真模拟验证表明, 该方法能够更直接地展示城市轨道交通与城市规划的契合程度以及地铁车站的高程设置, 通过结合规划区域的地域性气象数据及差异性雨水管网数据, 为地铁站出入口的合理规划布局提供了可以借鉴的新方法, 具有一定的参考价值。

**关键词** 地铁车站; 出入口; 建筑信息模型; 布局优化; 降雨仿真

**中图分类号** U231.4; TP391.9

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2025.03.045

## Simulation Study on the 3D Layout and Optimization Method of Metro Station Entrances/Exits Considering Rainfall Factors

LUO Lan<sup>1,2</sup>, CHEN Jinjie<sup>1,3</sup>, LYU Xikui<sup>1,3</sup>

(1. School of Transportation, Shijiazhuang Railway University, 050043, Shijiazhuang, China; 2. Maintenance Branch, Hebei Expressway Group Co., Ltd., 050036, Shijiazhuang, China; 3. Key Laboratory of Transportation Safety and Control of Hebei Province, 050043, Shijiazhuang, China)

**Abstract** [Objective] The rational layout of metro station entrances and exits plays a crucial role in enhancing the efficiency of urban rail transit systems. To address the limitations

of conventional 2D evaluation methods, due to the lack of intuitiveness and authenticity in assessments, a 3D metro station entrance model is integrated with a city's 3D environment to simulate rainfall scenarios. [Method] By combining BIM (building information modeling) technology with the UC win/Road 3D software, urban 3D scenes are rapidly constructed. On the foundation of urban 3D scene construction and rainfall simulation, BIM API secondary development technology is utilized to explore 3D visualization methods for simulating and optimizing metro station entrance/exit layouts. This approach achieves seamless integration of metro station BIM models with urban 3D environments. The reasonableness of entrance positions, elevations, and other parameters is evaluated from a 3D visual perspective, addressing the shortcomings of current 2D evaluation and simulation methods for metro station entrance exit layouts. [Result & Conclusion] Simulation results show that this method effectively showcases the alignment between urban rail transit and city planning, as well as the elevation configurations of metro stations. By incorporating regional meteorological data and differentiated rainwater drainage network data of the planned area, the study provides a novel approach for the rational planning and layout of metro station entrances and exits is provided, offering valuable reference insights for practical applications.

**Key words** metro station; entrances and exits; BIM; layout optimization; rainfall simulation

地铁车站出入口布局合理性是影响城市结构功能的重要因素。文献[1]认为与地铁站的步行距离是定义地铁站影响区的最有力影响因素; 文献[2]通过 VISSIM 软件仿真地铁站出入口设置, 模拟了客流对交叉路口的影响; 文献[3]认为地铁站出入口空间特征及街道可达性和区域功能混合程度对客流分布的影响较大; 文献[4]采用 EM 算法与

<sup>\*</sup> 河北省中央引导地方科技专项项目(236Z0804G); 河北省自然科学基金项目(E2021210142, E2021210027)

Gauss 混合模型得到了不同站点类型和出入口布局对城市功能区域的时空差异表现;文献[5]针对地铁车站出入口外部空间的物业进行分析,认为站点外地面空间发展滞后于城市建设。目前,针对地铁车站出入口布局合理性研究多是二维环境下的仿真和评价,其表述不直观。因此,寻求一种更直观的地铁车站出入口布局优化和评价方法,为地铁车站出入口的布局优化提供有效参考尤为重要。

## 1 地理信息数据与地铁车站出入口模型预处理

### 1.1 地理信息数据

UC win/Road 三维软件支持导入的地形文件有所限制,其支持 .tiff 格式、.xml 格式以及二进制文本格式的地形数据,但由于 .tiff 格式的数据无法确定原点 and 比例尺,原始二进制的地理数据要创建复杂的文件描述,因此选取 .xml 格式的地形数据。

### 1.2 地铁车站出入口模型

BIM(建筑信息模型)的材质带有色彩、纹理信息,但其母软件 Revit 导出的 FBX 格式模型文件导入到 UC win/Road 软件会导致模型属性等信息丢失(如图1)。

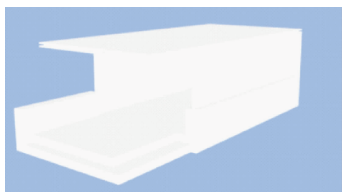


图1 UC win/Road 软件导入 FBX 模型文件效果

Fig.1 Effect of imported FBX model file in UC win/Road software

仿真模拟过程中,关键材质信息的缺失可能导致地铁出入口降雨仿真模拟结果偏差。Revit 软件导出的 BIM 通常包括几百万个面,在导出过程或存在材质混杂情况,需提取关键元素再进行导入。针对以上问题,通过 Revit API 二次开发编程接口,开发了 BIM 信息自动提取模块。实现了 .rvt 格式文件按不同过滤器类别快速、准确提取为多个带有材质的 FBX 文件(如图2),解决了软件之间数据集成模型属性丢失等关键问题,使两者集成更顺畅(如图3)。

通过 Revit 软件二次开发进行地铁站出入口模型的带材质分类导出,能够快速创建出不同形式的 Revit 地铁站出入口模型,很大程度上提高了建模的

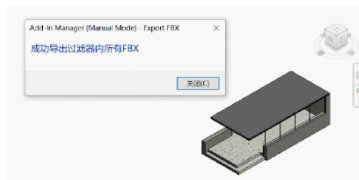


图2 Revit 软件提取为带有材质的 FBX 模型

Fig.2 Extracted as FBX model with materials in Revit software

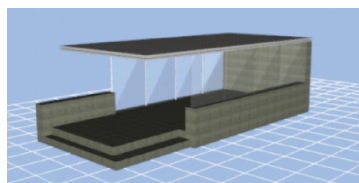


图3 Revit 软件与 UC win/Road 软件的集成效果

Fig.3 Integration effect of Revit and UC win/Road software

效率与准确率,再将 Revit BIM 集成至 UC win/Road 平台,能够创建大范围的城市三维场景环境,实现地铁车站出入口的三维可视化布局与规划。

## 2 基于 UC win/Road 软件的三维场景建模

兼顾地铁站出入口高程设置以及城市路网结构布局三维场景的搭建能够为设计人员开发提供更为直观流畅的视觉效果,为城市轨道交通建设带来更为高效、人性化的正向作用。

### 2.1 总体框架

使用 UC win/Road 软件模拟出立体城市场景下地铁车站出入口的位置分布,模拟流程如图4所示。

### 2.2 城市场景道路建模算法流程

从 GPS(全球定位系统)中获取的点列可自动计算道路地理信息位置的曲线参数,对应地形的上升、下降;处理道路生成的填方挖方,对应地形匹配处理。

通过以上一系列操作,可实现批量自动生成道路三维模型,其算法流程如图5所示。

### 2.3 结合地铁车站出入口 BIM 的三维场景建立

以某地铁站为例,建立了地铁出入口布局三维模型。该地铁站为双线换乘车站,布局 10 个出入口,主编号分别为 A、B、C、D,分别对应 4 个方向的次编号为数字,用以区分每个方向不同出入口的位置。

地铁车站出入口三维布局如图 6 a) 所示,地铁站各出入口位置俯视图,如图 6 b) 所示。地铁站

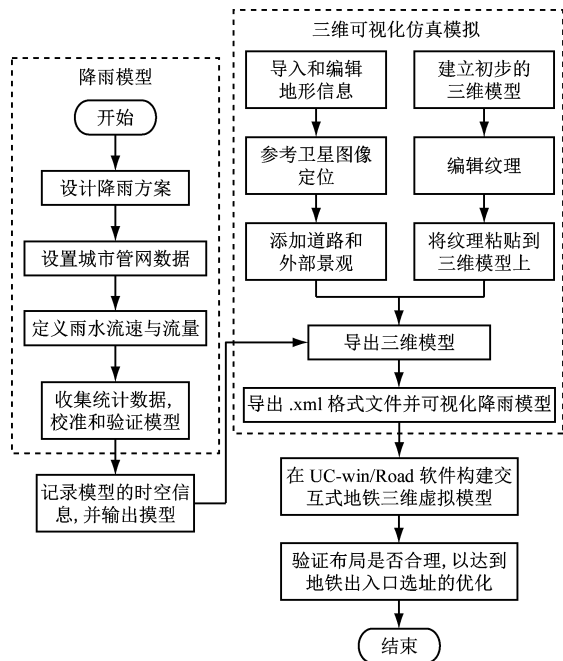


图4 UC win/Road 软件环境下地铁车站布局模拟流程

Fig. 4 Flow chart of metro station layout simulation in UC win/Road software environment

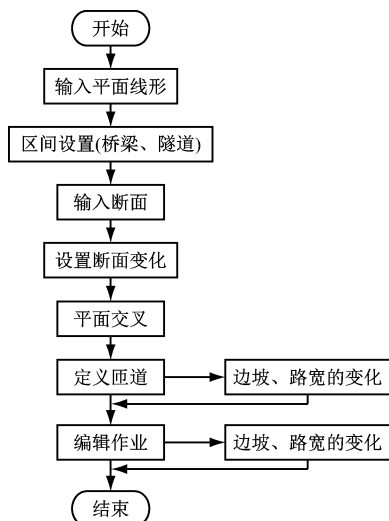


图5 UC win/Road 软件道路三维建模算法流程

Fig. 5 Flow chart of UC win/Road software road 3D modeling algorithm



图6 某地铁站出入口布局三维模拟图

Fig. 6 3D simulation diagram of the entrance/exit layout of a metro station

出入口是三维立体结构,将地铁车站出入口 BIM 导入到 UC win/Road 软件建立的城市三维场景后,录入地上高程信息与建筑物的尺寸设计,其地下空间部分可以通过三维漫游展示。

### 3 降雨淹没仿真分析

#### 3.1 雨水流出模型建立

基于 Xpswmm 软件进行降雨-径流-淹没模拟的模型建造,首先建立降雨模型,本文选取建模当地降雨模型 100 年重现期的降雨过程作为仿真模拟数据。

设计暴雨强度公式为:

$$q = 1\,660.481(1 + 0.789\lg P)/(t + 9.39)^{0.671} \quad (1)$$

式中:

$q$ ——设计暴雨强度,单位为  $L/(s \cdot hm^2)$ ;

$P$ ——设计降雨重现期,单位为年;

$t$ ——降雨历时,单位为 min。

城市地铁车站出入口区域的降雨径流过程十分复杂,可通过简化条件建立概念模型:① 仅选取地铁站周围区域,不考虑大范围的径流;② 假设道路横截面为均匀坡度;③ 选取国际通用、精度较高的雨水管理模型<sup>[6]</sup>。本文模型仅适用于降雨强度超过设计排水强度而形成积水时。

$$Q_s = q\psi F \quad (2)$$

式中:

$Q_s$ ——雨水设计流量,单位为  $L/s$ ;

$\psi$ ——径流系数(取值范围参考表 1);

$F$ ——汇水面积,单位为  $hm^2$ 。

表 1 径流系数参考表

Tab. 1 Reference of runoff coefficients

地面种类	$\psi$
各种屋面、混凝土或沥青路面	0.85 ~ 0.95
大块石铺砌路面或沥青表面处理的碎石路面	0.55 ~ 0.65
级配碎石路面	0.40 ~ 0.50
干砌砖石或碎石路面	0.35 ~ 0.40
非铺砌土路面	0.25 ~ 0.35
公园或绿地	0.10 ~ 0.20

雨水管网中的水流运动是十分复杂的三维状态,根据城市排水管网空间拓扑关系,提取研究区域的管网数据关键参数包括:管网长度,管网管径,管网水流方向,地面高程信息,最大水深以及检查



井的内径。根据以上参数基于 Xpswmm 软件对管网结构进行模型概化,进行管网排水模拟。

### 3.2 雨水流出模型与三维场景融合分析

将建立好的 Xpswmm 降雨-径流-淹没分析模型通过接口导入到 UC win/Road 软件的城市三维场景中,颜色变化体现具体的城市淹没程度,体现了两者嵌套分析的直观性,如图 7 所示。图 8 是对地铁车站出入口区域内涝状态的三维展示,体现降雨积水深度带来的影响。

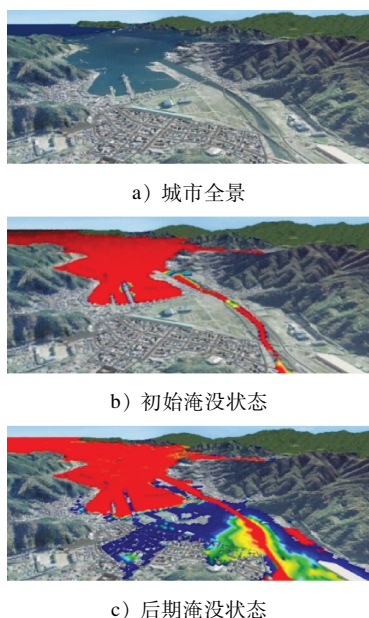


图 7 城市全景降雨积水随时间变化

Fig. 7 Diagram of urban panoramic rainfall ponding over time



图 8 地铁车站出入口周边区域内涝状态

Fig. 8 Flooding status of metro station entrance/exit surrounding area

## 4 结语

地铁站出入口是城市轨道交通系统与城市规划系统相契合的关键部分。地铁站出入口既要满足与城市路网结构及城市景观的和谐共生,也要确保恶劣天气下的正常通行能力及安全性。本文将 UC win/Road 三维软件和 BIM 技术相结合,在解决数据集成的关键问题基础上,实现了三维可视化的地铁车站出入口布局模拟仿真和优化。通过三维

场景的快速搭建,实现了对降雨仿真与地铁车站出入口布局相结合的模拟仿真,提供了研究地铁车站出入口布局的新思路。结果表明,三维布局模拟和优化方法相较于传统的二维方法能够全方位直观地感受地铁车站出入口的空间布局,为研究地铁车站出入口的合理布局提供了一种新方法。

## 参考文献

- [1] CHOI Y R, KIM T H, PARK J S. Development of selection model of subway station influence area (SIA) in Seoul City using chi-square automatic interaction detection (CHAID) [J]. Journal of the Korean Society for Railway, 2008, 11(5): 1489.
- [2] 罗伟, 方骥德, 郭子兴, 等. 城市地铁站出入口周边道路交叉口交通优化分析: 以长沙地铁 3 号线螺丝塘站为例[J]. 产业与科技论坛, 2021, 20(2): 55.  
LUO Wei, FANG Jide, GUO Zixing, et al. Traffic optimization analysis of road intersections around the entrance and exit of urban subway station—taking Luositang Station of Changsha Metro Line 3 as an example [J]. Industrial & Science Tribune, 2021, 20(2): 55.
- [3] 徐雅洁, 陈湘生, 白雪, 等. 地铁站出入口客流分布及其影响因素分析[J]. 地下空间与工程学报, 2022, 18(2): 351.  
XU Yajie, CHEN Xiangsheng, BAI Xue, et al. Analysis of passenger flow distribution of subway station entrances and its influencing factors [J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2022, 18(2): 351.
- [4] 韩荔, 李想, 曾险峰. 基于 EM 算法与 Gauss 混合模型的地铁站点类型分析[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 70.  
HAN Li, LI Xiang, ZENG Xianfeng. Type analysis of metro stations based on EM algorithm and Gauss hybrid mode [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 70.
- [5] 盛亮亮, 冯雅伦, 董贺轩. 地铁站点地面空间及其物业理论研究的实践与发展[J]. 华中建筑, 2022, 40(11): 35.  
SHENG Liangliang, FENG Yalun, DONG Hexuan. The development and practice on ground space and property theory research of metro station [J]. Huazhong Architecture, 2022, 40(11): 35.
- [6] 蔡剑波, 林宁, 谢振安, 等. 洪峰流量与雨水流量常用计算方法的对比选用[J]. 中国给水排水, 2011, 27(18): 25.  
CAI Jianbo, LIN Ning, XIE Zhen'an, et al. Comparative analysis of commonly used methods of flood peak flow and stormwater flow [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(18): 25.

· 收稿日期: 2023-03-20 修回日期: 2024-09-27 出版日期: 2025-03-10

Received: 2023-03-20 Revised: 2024-09-27 Published: 2025-03-10

· 第一作者: 罗澜, 硕士研究生, bestrollan979@163.com

通信作者: 吕希奎, 教授, 957588514@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