doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.04.010

地铁车站出入口数字协同设计研究与应用

郑广亮[1]，王竞超[1]，芦睿泉[2]，刘　扬[2]
（1. 北京城建设计发展集团股份有限公司，北京 100037；2. 青岛地铁集团有限公司，山东青岛 266035）

摘　要：针对地铁车站出入口数字设计过程中各专业的协同配合程度不高以及数字设计成果生成效率较低的问题，本文提出一种面向地铁车站出入口工程的数字协同设计方法，建立出入口建筑与结构专业数据协同方式，以通用 BIM 设计软件为基础研发地铁车站出入口数字化协同智能设计工具，并将其应用于青岛地铁新建车站出入口工程的设计实践。研究结果表明，研发的出入口协同智能设计工具可以实现建筑、结构专业设计人员进行出入口三维正向设计时所需的各构件 BIM 模型建立与修改、二维图纸生成等功能，且能够对出入口设计经验进行数字化封装，经工程实际应用与统计分析，其设计效率较传统设计方式提升 2.7 倍。

关键词：地铁车站；出入口；数字设计；数据协同；设计工具
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)04-0077-08

Digital Collaborative Design for Subway Station Entrances and Exits: Research and Application

ZHENG Guangliang[1], WANG Jingchao[1], LU Ruiquan[2], LIU Yang[2]
(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037;
2. Qingdao Metro Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266035)

Abstract: To address the insufficient interdisciplinary collaboration and low efficiency in generating digital design outputs during the design process of subway station entrances and exits, and based on this, establishes a collaborative way of professional data of entrances and exits architecture and structure, and then develops a digital collaborative intelligent design tool for subway station entrances and exits based on general BIM design software. Finally, it takes the entrance and exit of a new subway station in Qingdao as an example for engineering application. The research results show that the collaborative intelligent design tool for entrances and exits has realized the functions of BIM model establishment and modification, 2D drawing generation and so on, which are needed by architectural and structural designers for 3D forward design of entrances and exits. Intelligent design tools digitally encapsulate the design experience of entrances and exits. After practical engineering application and statistical analysis, the design efficiency is improved by 2.7 times.

Keywords: subway station; entrance and exit; digital design; data collaboration; design tools

随着计算机技术的发展，数字设计逐渐成为推动城市轨道交通工程建设变革的重要方向[1]。研究人员将其与建筑、结构等专业设计结合，从而将设计经验进行数字化封装，减少设计人员的重复工作，提高设

收稿日期：2024-09-11　修回日期：2025-03-11
第一作者：郑广亮，男，本科，高级工程师，主要从事 BIM 研发、岩土工程的相关科研、设计、咨询等工作，zhengguangliang@bjucd.com
基金项目：住房和城乡建设部科技示范项目(S20220413)
引用格式：郑广亮，王竞超，芦睿泉，等. 地铁车站出入口数字协同设计研究与应用[J]. 都市快轨交通，2025，38(4)：77–84.
ZHENG Guangliang, WANG Jingchao, LU Ruiquan, et al. Digital collaborative design for subway station entrances and exits: research and application[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 77–84.

计效率。在数字设计背景下，传统二维图纸不能满足其对设计成果的需求，以建筑信息模型(building information model，BIM)为基础的数字设计近年来得到快速发展，为数字化设计提供新思路，目前数字化设计研究主要集中在 BIM 协同设计理论与智能设计平台及工具两方面。

在 BIM 协同设计理论研究方面，董福文[2]结合 BIM 思想和流程再造方法，提出了基于 BIM 的地铁工程协同设计流程再造理论；袁明昕等[3]提出基于协同设计理念的设计流程体系及方法，并在某污水处理厂得到应用；张世基等[4]通过研究协同设计平台应用及基于信息模型的协同信息传递方式，构建了桥梁结构设计的协同平台及设计方法。在建筑智能设计工具方面，相关学者[5-7]利用生成对抗网络智能算法，研究了建筑布局智能生成方法。在结构智能设计工具方面，ZHAO 等[8-9]基于图神经网络(graph neural network，GNN)方法对剪力墙结构的梁、墙结构构件进行自动设计，拓展了智能设计在结构工程中的应用。其他学者也针对土木工程不同设计对象研发了相应的设计工具与方法[10-12]。

车站出入口作为地铁车站的主要组成部分，实现其协同智能设计非常重要。针对出入口设计，艾万民等[13]通过总结与出入口斜坡段相关的设计规则、修正法则和触发条件，建立斜坡段模型，并通过程序开发进行封装。张海佳等[14]基于 Revit 软件，提出了采用建立参数化族的设计方法，对地铁出入口爬升段正向设计方法进行了研究；张维锦等[15]针对整个出入口 BIM 模型的建立进行研究，提出地铁出入口快速建模方法，将 Revit API 与 C#编程结合对 Revit 进行二次开发；李亚杰[16]通过将不同出入口类型选项与地铁车站智能辅助设计功能模块的标准模型库中对应的出入口模型关联，调用标准模型库中的出入口 Revit 族文件，并根据不同的设计参数生成出入口模型。

上述研究在协同设计理论、地铁车站出入口快速建模工具以及正向 BIM 设计工具上进行了相关探索，但针对地铁出入口的各专业间数字协同设计的研究较少，缺乏相应理论方法研究与智能协同设计工具研发。基于此，本文针对车站出入口各专业数字协同设计中存在设计流程不明确，缺乏融合专业设计知识的设计工具问题，提出城市轨道交通数字协同设计方法，并在此基础上研发了车站出入口智能协同设计工具，通过在青岛地铁车站出入口的工程应用，验证了该方法及工具的可实施性与优越性。

1 地铁出入口数字协同设计方法

本文提出的数字协同设计方法包含时间与人员维度，系统阐述了时间维度与人员维度包含的要素并通过各个要素之间的融合形成出入口协同设计流程，从而为出入口开发工具的研发提供新思路和框架。

1.1 时间与人员维度

针对城市轨道交通出入口设计过程涉及人员较多特点，建立数字协同设计方法，将城市轨道交通出入口设计在宏观上分为两个维度，即时间维度与人员维度。

时间维度表示整个设计过程的时间域，该维度的层级符合城市轨道交通行业设计过程的划分，设时间维度 $T_n=\{T_s, T_p, T_c\}$，其中 T_s 表示方案设计阶段、T_p 表示初步设计阶段、T_c 表示施工图设计阶段。数字设计时间维度如图 1 所示，以 BIM 技术为基础对时间维度各阶段进行详细阐述。在方案设计阶段时，根据地理信息系统(geographical information system，GIS)、规

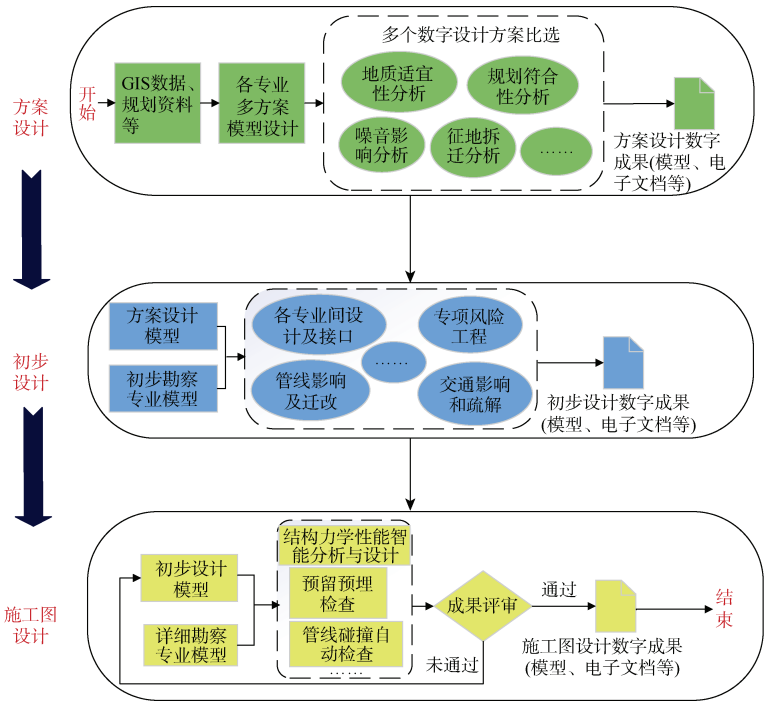


图 1 数字协同设计时间维度

Figure 1 Time dimension of digital collaborative design

划资料等进行出入口方案模型设计，根据征地拆迁、景观效果、噪声影响、地质适宜性、规划符合性等，进行多个数字设计方案比选，形成方案阶段的数字设计成果。初步设计过程中，各相关专业人员根据方案设计阶段成果及初步勘察专业模型，并结合专项风险工程、管线影响范围、迁改方案、交通影响范围和疏解方案，进而形成初步设计数字成果。施工图设计阶段，根据初步设计成果及详细勘察专业模型，深化设计各专业模型，包括结构力学性能智能分析与设计、预留预埋检查、管线碰撞自动检查、工程量统计等，通过成果评审之后，进行数字成果归档，完成数字设计。

人员维度包含城市轨道交通工程地铁出入口各设计参与人员，设人员维度 $S_i=\{S_u, S_a, S_s, S_o\}$，其中，$S_u$ 为勘察专业人员、S_a 为建筑设计专业人员、S_s 为结构设计人员、S_o 为其他专业设计人员。在出入口整个设计过程中，勘察专业工作内容为项目前期开展的工作，工作内容相对独立，勘察结果为后续建筑、结构设计提供基础资料，并且勘察结果的变化会引起建筑、结构设计方案的改变。考虑到勘察专业的独立性与重要性，本文把勘察专业单独列出。城市轨道交通地铁车站出入口设计参与人众多，为此以通用 BIM 设计软件 Revit 为基础实现多专业、跨时空协同设计。数字协同设计人员维度如图 2 所示，在进行城市轨道交通工程项目协同设计时，各个专业设计人员根据接口条件模型进行本专业设计，同时也需要提供本专业的设计模型，做到设计信息流通顺畅。在人员维度中，城市轨道交通出入口设计中相同专业内的协同设计工作采用工作集模式，在此模式下，可以将城市轨道交通本专业内的设计数据集成到同一个中心文件中，进行实时数据交互并及时发现设计工作中的问题。专业间的协同采用链接模式，链接模式是指在一个 BIM 模型的基础上，将一个或多个 BIM 模型的映射关系链接起来的工作模式。当链接其他专业模型后，选择本专业关注的模型构件元素，通过 Revit 中的复制监视功能，使得本专业项目模型中的元素与其他专业模型中的元素保持同步，当其他专业人员对其项目模型构件元素进行修改时，本项目模型构件元素也会进行实时更新，从而实现同一 BIM 模型各构件具有不同的设计修改权限。

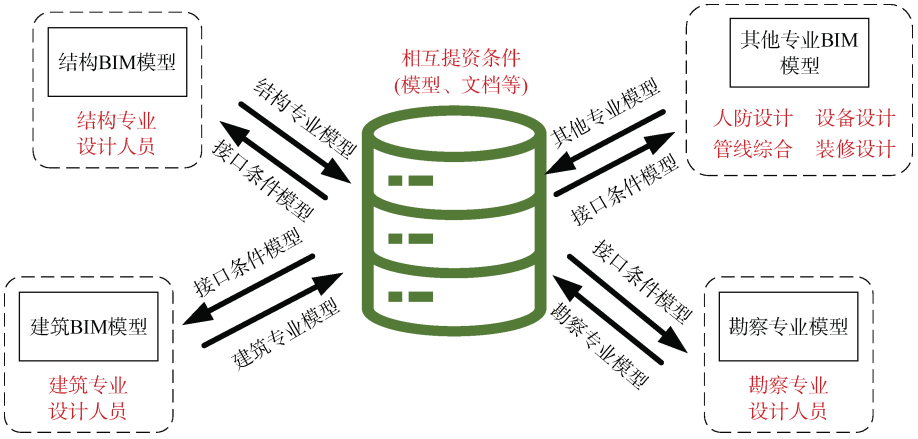


图 2　数字协同设计人员维度

Figure 2　Dimension of digital collaborative designers

1.2　时间与人员维度融合下出入口协同设计流程

将时间与人员维度进行融合从而建立地铁出入口数字协同设计流程，其中建筑与结构专业为车站出入口的主要设计专业，本文中地铁出入口数字协同设计流程主要考虑这两种专业人员的设计需求。

数字协同设计下出入口设计流程如图 3 所示，其中在方案设计阶段，建筑设计专业人员根据车站主体接口信息、周边初步信息进行建筑初步方案模型设计，同时与结构专业人员协调修改从而完成初步方案模型；随后建筑专业人员根据建筑初步方案模型、车站主体接口信息、详细周边信息(勘察/管线调查)进行建筑稳定方案模型深化设计；结构专业人员根据车站主体接口信息、详细周边信息(勘察/管线调查)、结构初步方案模型进行结构稳定方案模型深化设计，在此期间建筑与结构专业设计人员相互提资与修改方案，从而完成稳定方案模型。在初步设计阶段，建筑、结构专业人员根据稳定方案模型进行深化并相互协调修改。在施工图设计阶段，当发生设计变更时，建筑与结构专业设计人员通过协调修改可形成变更模型并继续深化形成施工图模型，当不发生设计变更时，建筑与结构专业设计人员通过协调修改与深化直接形成施工图模型。

2　地铁出入口协同智能设计工具研发

2.1　业务逻辑架构

根据数字协同设计方法建立出入口协同智能设计工具业务逻辑架构，该业务逻辑架构

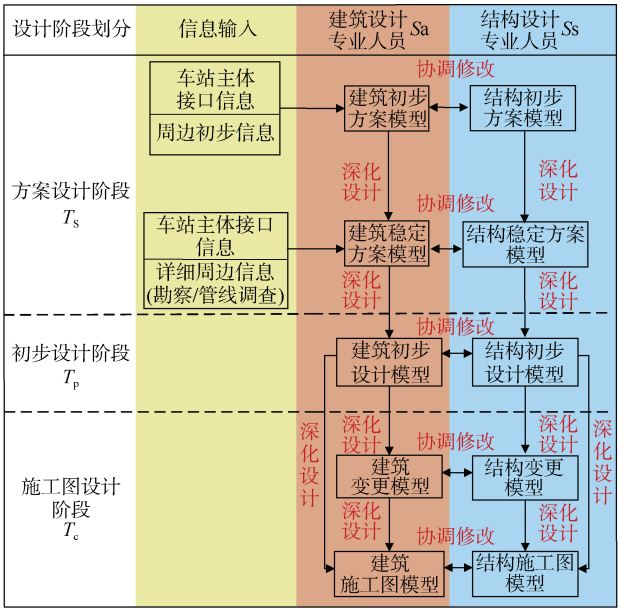


图 3　数字协同设计下出入口设计流程

Figure 3　Design process of entrance and exit under digital collaborative design

分为出入口各段体量划分、BIM 模型中构件要素、设计成果生成三方面。设计工具业务逻辑如图 4 所示，建筑专业将出入口各段以体量的形式划分为直线段、转折段、人防段、提升段、垂直电梯，从而建立出入口设计方案并为建筑、结构专业 BIM 模型设计提供基准，同时建筑专业可根据上述体量进行快速的方案调整并建立建筑 BIM 模型，其设计构件要素包括面层、吊顶、离壁墙、建筑砌筑墙及各设计元素对应的材质信息。建筑专业将体量、建筑 BIM 模型传递给结构专业，结构专业在此基础上建立结构 BIM 模型，其设计构件要素分为底板、顶板、腋角、侧墙、离壁沟等并包含各设计元素对应的材质信息。对于楼梯、台阶、出入口屋顶等其他构件，可根据标准化后参数化的构件库来实现。在出入口协同智能设计工具业务逻辑架构中，建筑、结构专业可相互传递并修改模型实现协同交互，完成最终设计 BIM 模型，根据模型生成相关图纸并添加相关文档，形成设计成果。

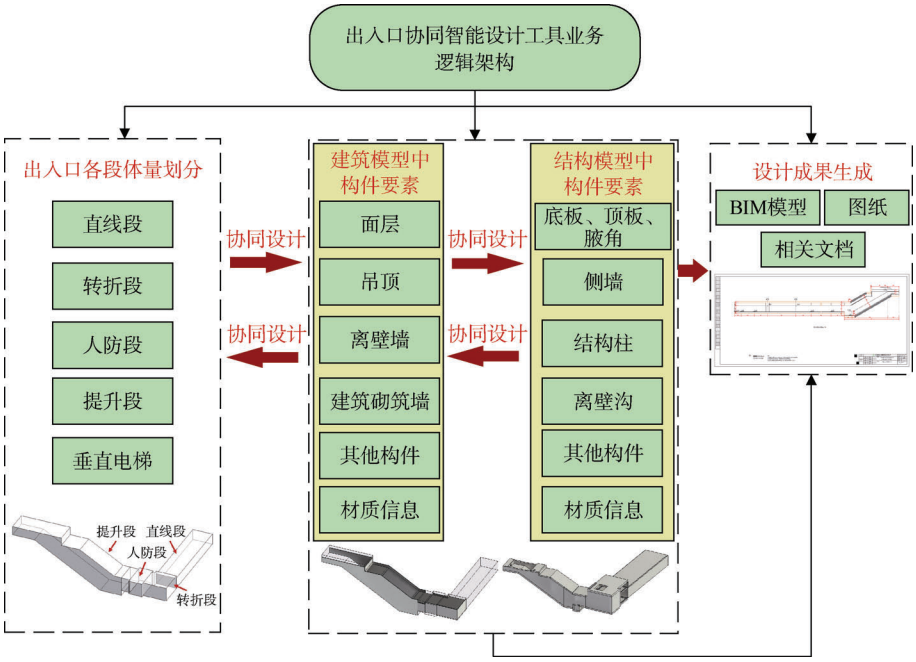


图 4　出入口协同智能设计工具业务逻辑架构

Figure 4　Business logic architecture of gateway collaborative intelligent design tool

2.2　设计工具开发

根据上述的业务逻辑制定出入口设计工具的功能模块并进行开发，出入口协同智能设计工具主要功能包括方案设计、创建模型、模型修改刷新、结构开槽、设计出图模块。协同智能设计工具开发时通过对通用设计软件 Revit 进行二次开发实现相关功能，程序编译工具选用 Visual Studio，开发语言采用 C#。开发流程如图 5 所示，在具体开发实现中，首先通过创建类库工程并引用 Revit API 命令空间与接口定义文件 Revit API.dll 和 RevitAPIUI.DLL，其次新建 IExternalCommand 派生类，重载 Execute()方法，并添加相关代码，同时新建派生类，重载 OnStartup()方法与 OnShutdown 方法，并添加 OnStartup 与 OnShutdown 相关代码。将代码编写完成后，进行注册与测试，在设计工具测试中，相关专业设计人员对设计工具进行应用测试，测试内容主要包括业务架构以及建筑、结构协同设计过程应用，若不满足设计功能可进行开发修改，最终完成出入口设计工具开发。

2.3　数据驱动的建筑与结构设计方案协同设计

本文提出的设计工具核心能力为建立建筑与结构设计模型间的动态数据交互机制，通过标准化数据关联与增量式模型更新实现跨专业的数据协同。建筑、结构设计数据关联与模型更新如图 6 所示。

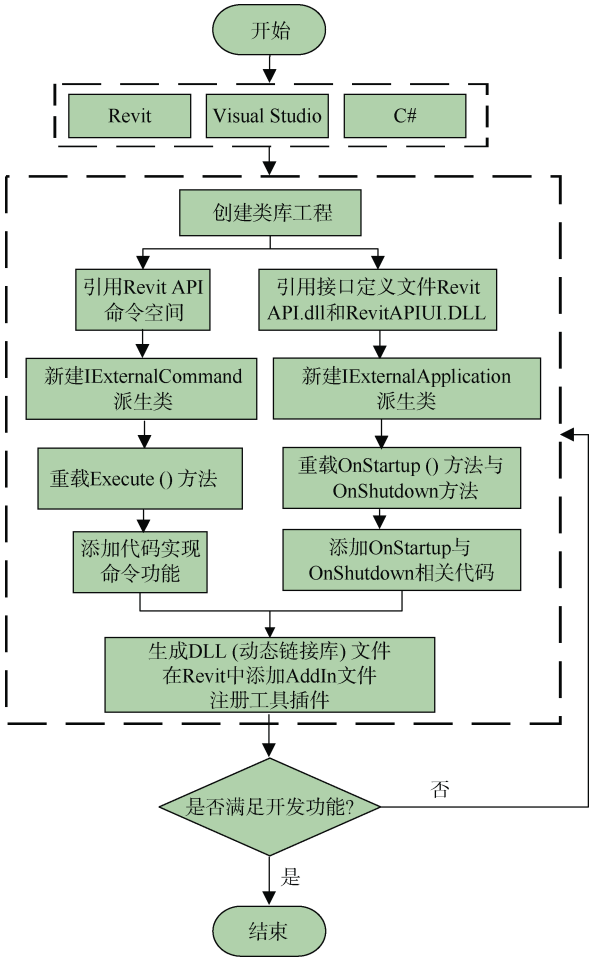


图 5　出入口协同智能设计工具开发流程图

Figure 5　Flow chart of collaborative intelligent design tool for entrances and exits

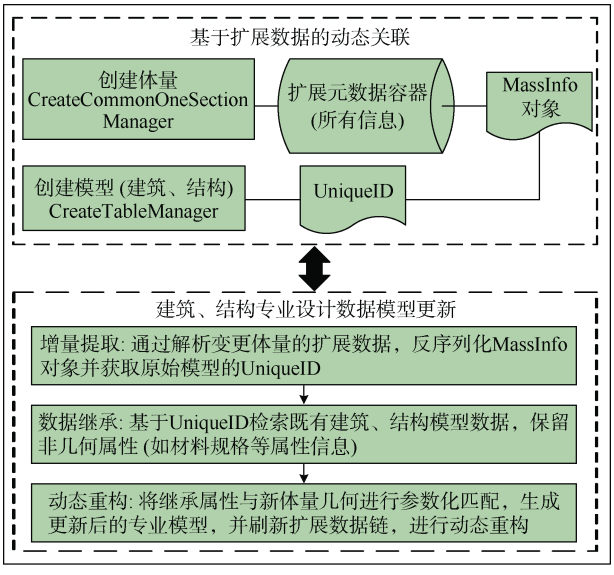


图 6　建筑、结构设计数据关联与模型更新

Figure 6　Data association and model update of architectural and structural design

2.3.1　基于扩展数据的动态关联

在体量方案建模阶段，每个建筑方案体量被赋予结构化的扩展元数据容器—MassInfo 对象，该对象包含体量几何参数、材料属性及关联模型标识。通过 MassInfo 对象序列化为 JSON 格式并以扩展数据(Extended Data)形式嵌入 BIM 数据库，实现建筑方案体量与模型的拓扑关联。当基于体量生成建筑或结构专业模型时，系统自动分配全局唯一的 UniqueID，并将其双向写入扩展数据，通过 UniqueID 建立跨层级数据索引，支持逆向追溯体量源头及横向关联建筑、结构模型。

2.3.2　基于增量继承的模型更新策略

当体量方案发生变更时，设计工具通过数据重建联动机理实现模型无损迭代，实现方式为增量提取、数据继承、动态重构 3 种。对于增量提取，通过解析变更体量的扩展数据，反序列化 MassInfo 对象并获取原始模型的 UniqueID；基于 UniqueID 检索既有建筑、结构模型数据，保留非几何属性(如材料规格属性信息)，实现数据继承；将继承属性与新体量几何属性进行参数化匹配，生成更新后的专业模型，并刷新扩展数据链，进行动态重构。此模型更新方法遵循“数据连续性”原则，在几何拓扑变化时最大化复用非几何数据，减少人工干预频率，同时满足建筑、结构模型版本一致性要求。

2.4　出入口协同智能设计工具功能模块

出入口设计工具功能模块包括方案设计、模型创建、模型修改刷新、结构开槽、出图设计模块。功能模块用户界面面板采用 Windows Presentation Foundation (WPF)用户界面框架，选择添加 Windows 窗体，并在其中添加所需控件。本文中出入口设计工具功能模块汇总栏如图 7 所示。



图 7　功能模块汇总栏

Figure 7　Summary column of functional modules

创建体量功能界面如图 8 所示，体量模型包括直线段、转折段、人防段、提升段、垂直电梯，该划分及设计逻辑符合地铁车站设计人员设计习惯，便于进行车站出入口方案设计与修改。

建筑与结构专业 BIM 模型生成功能页面如图 9 所示，建筑 BIM 模型生成以体量模型为基准，创建面层、

吊顶、离壁墙、建筑砌筑墙体模型数据，创建完成之后保留体量模型。结构 BIM 模型创建时，链接建筑 BIM 模型，链接后通过 Revit 软件中的复制监视功能识别建筑模型和体量模型，并选择体量模型进行结构模型数据生成。结构模型按直线段、转折段、人防段、提升段、垂直电梯体量模型依次选择生成，模型数据包括底板、顶板、腋角、侧墙、离壁沟以及其相应材质信息。

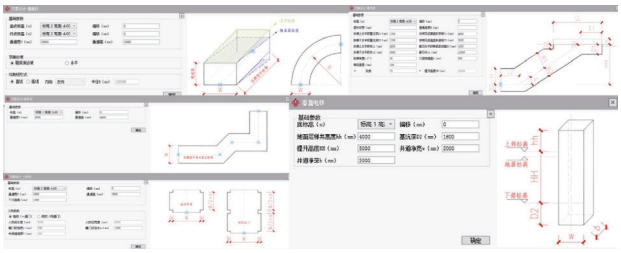
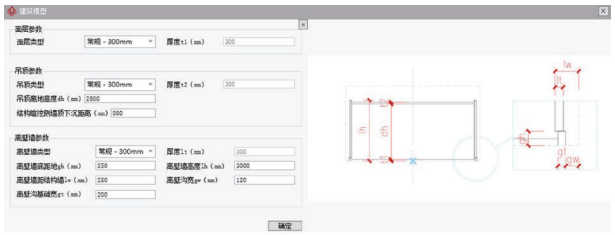
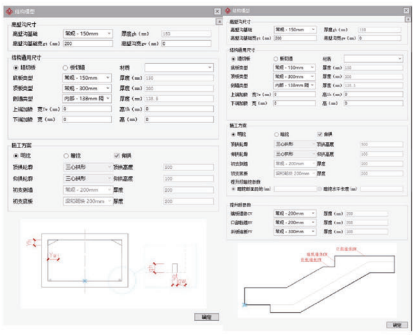


图 8　创建体量功能界面

Figure 8　Create mass function page



(a) 建筑BIM模型生成界面



(b) 结构BIM模型生成界面

图 9　BIM 模型生成界面

Figure 9　BIM model generation page

端墙生成界面如图 10 所示，该功能具有按段生成和全部生成两种方式，其中按段生成是根据对应体量连接处进行选择实现单个端墙生成，全部生成是将所有体量交接位置一键统一生成端墙，端墙厚度及材质按设计要求添加。

结构开槽界面如图 11 所示，结构开槽为在结构模型墙体上进行开槽，开槽信息包括高度、宽度、深度、距面层底高度、平面距离起始面、出站方向。针对模型改动更新模块，当设计方案发生改变时通过更改体量模型进而联动更改建筑、结构 BIM 模型，模型改动更新功能模块中的更新对象为体量模型、建筑 BIM 模型与结构 BIM 模型。



图 10　端墙生成界面

Figure 10　End wall generation page

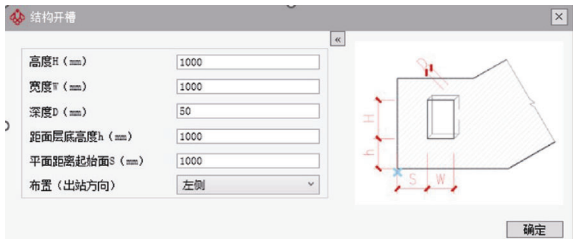


图 11　结构开槽界面

Figure 11　Structure slotting page

当模型设计完成后进行设计出图模块，设计出图模块包括建筑、结构专业的平面和剖切视角图纸生成同时自动标注尺寸，图纸还包括图名、图框、图纸编号、图幅信息，具体界面如图 12 所示。



图 12　设计出图界面

Figure 12　Design the diagram page

3　工程实例应用

出入口协同智能设计工具在青岛地铁车站出入口设计中得到广泛应用，本文以青岛地铁 5 号线重庆路站 A1 出入口为例对智能设计工具的应用流程进行阐述。重庆路站 A1 出入口总长近 52.8 m，净宽 10.9 m，位于车站西侧，采用明挖施工，覆土 3.2～4.9 m，结构形式为单拱直墙。

在对本出入口进行设计时，建筑专业设计人员可根据车站主体接口情况、地质条件等信息，利用协同设计工具建立不同功能段体量从而快速得到设计方案，并根据不同设计需求对直线段、转折段、人防段、提升段的尺寸及功能空间布局进行快速调整，从而输出不同的方案设计模型以供选择；当设计方案稳定后，可利用研发的设计工具选择不同体量段模型，并输入建筑专业的设计数据如建筑面层、吊顶、离壁墙、建筑砌筑墙等构件尺寸信息，从而自动输出生成建筑模型，并为构件赋予材质信息；建筑设计人员将方案稳定后的建筑模型开放给结构设计人员，结构设计人员可在此基础上利用研发的设计工具选择建筑体量模型并输入结构专业的设计数据如底板、顶板、结构柱、腋角、离壁沟等结构构件设计尺寸及位置参数，从而自动生成结构模型并赋予其材质信息。

方案设计阶段完成后，在初步设计及施工图设计阶段，建筑和结构设计人员仍然可将设计模型相互转递并利用出入口协同智能设计工具进行协同修改深化，最终完成设计模型，专业间协同交互过程如下图 13 所示。在进行出图时，可利用智能设计工具的设计出图功能模块进行自动出图，并在此基础上进行修改完善，部分图纸成果如图 14 所示。

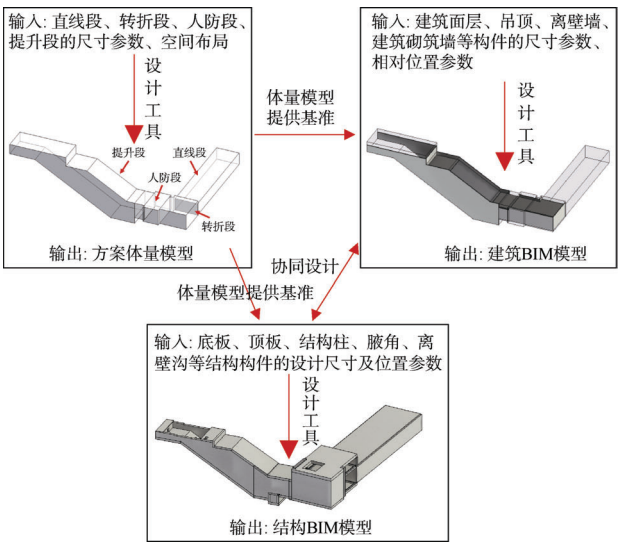


图 13　设计模型协同建立

Figure 13　Collaborative establishment of design model

本出入口协同智能设计工具的运用，对数字化 BIM 设计产生了显著的优化效果，特别是在建筑与结构专业的协同正向设计模式及流程方面，有效解决了建筑专业人员在快速产出多样化设计方案时所面临的难题，并极大地便利了建筑与结构专业设计人员在协同深化设计以及设计成果生成方面的操作。

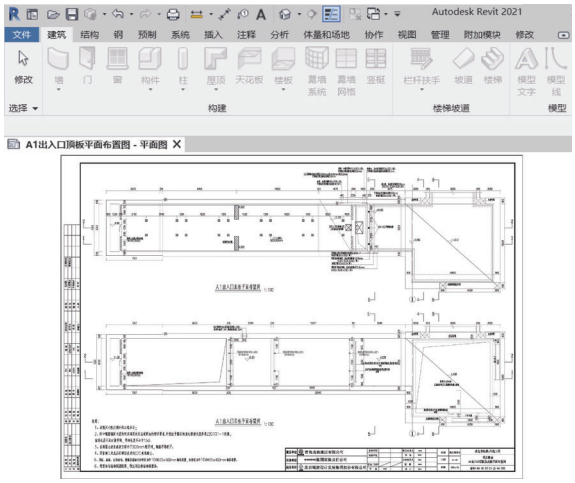


图 14　图纸生成界面

Figure 14　Drawing generation Page

目前，该智能设计工具已在青岛地铁三期工程的近 30 个新建地铁出入口项目中得到应用。经详细统计与对比分析，对于单个出入口项目，若采用传统设计方式，即“二维设计图纸配合单独建模”，每人所需时间约为 33 h 以上；而若采用普通的 BIM 正向设计方式，所需时间则更为漫长。然而，借助本智能设计工具，每人实现“设计建模与出图”的全过程仅需约 12 h，设计效率提升超过 2.7 倍。

4　结论

本研究提出了面向地铁车站出入口的数字协同设计方法，研发了地铁车站出入口协同智能设计工具并进行工程应用，得到的主要结论如下。

1) 研发的出入口协同智能设计工具实现了建筑或结构专业设计人员进行出入口三维正向设计时所需的各构件 BIM 模型协同建立与修改、二维图纸生成等功能。

2) 出入口协同智能设计工具对出入口设计经验进行了数字化封装，经工程实际应用与统计分析，设计效率较传统设计方式提升 2.7 倍。

在后期研究中，可在该协同智能设计工具功能中考虑出入口设计的其他专业如人防、设备、管线综合专业的协同与智能设计，使得该数字协同设计方法与工具能服务于地铁车站出入口全专业设计人员，同时完善相关设计成果信息，使生成的数字设计成果可以较好地传递到施工与运营阶段，实现全生命期应用。

参考文献

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知[EB/OL]. (2021-12-1)[2024-07-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/12/content_5667817.htm.

[2] 董福文. 基于BIM的地铁工程多专业协同设计流程再造应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
DONG Fuwen. Research on the application of BIM-based multi-disciplinary collaborative design process reengineering in subway engineering[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017.

[3] 袁明昕, 韦海瑞, 钟炜, 等. BIM辅助污水处理厂协同设计及信息集成平台研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(16): 66-70.
YUAN Mingxin, WEI Hairui, ZHONG Wei, et al. Research on BIM-aided collaborative design and information integration platform for sewage treatment plants[J]. China water supply and drainage, 2022, 38(16): 66-70.

[4] 张世基, 罗天靖, 王珅. 基于信息模型的铁路桥梁协同设计研究与实践[J]. 铁道标准设计, 2023, 67 (2): 66-71.
ZHANG Shiji, LUO Tianjing, WANG Shen. Research and practice of railway bridge collaborative design based on information model[J]. Railway standard design, 2023, 67(2): 66-71.

[5] JIANG F F, MA J, WEBSTER C J, et al. Building layout generation using site-embedded GAN model[J]. Automation in construction, 2023, 151: 104888.

[6] CHEN J M, SHAO Z C, HU B. Generating interior design from text: a new diffusion model-based method for efficient creative design[J]. Buildings, 2023, 13(7): 1861.

[7] AALAEI M, SAADI M, RAHBAR M, et al. Architectural layout generation using a graph-constrained conditional Generative Adversarial Network (GAN)[J]. Automation in construction, 2023, 155: 105053.

[8] ZHAO P J, LIAO W J, HUANG Y L, et al. Beam layout design of shear wall structures based on graph neural networks[J]. Automation in construction, 2024, 158: 105223.

[9] ZHAO P J, LIAO W J, HUANG Y L, et al. Intelligent design of shear wall layout based on graph neural networks[J]. Advanced engineering informatics, 2023, 55: 101886.

[10] 郭娟利, 申晓超, 曹祎杰, 等. 基于BIM的装配式整体卫生间数字化设计工具开发与应用[J]. 建筑科学, 2023, 39(12): 232-243.
GUO Juanli, SHEN Xiaochao, CAO Yijie, et al. Development and application of BIM based digital design tool for assembly-type bathroom unit[J]. Building science, 2023, 39(12): 232-243.

[11] 尹地仙, 邓雪原, 卢锟. 轨道交通BIM管件自动生成关键技术研究[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(4): 65-71.
YIN Dixian, DENG Xueyuan, LU Kun. Key technology study for automatic generation of rail transit BIM pipe fittings[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(4): 65-71.

[12] 汤宏伟, 耿昕钰, 陈宏拓, 等. 基于Bentley的路基支挡智能化设计方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2024, 64(09): 1627-1636.
TANG Hongwei, GENG Xinyu, CHEN Hongtuo, et al. Intelligent design method of subgrade retaining based on Bentley[J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition), 2024, 64(09): 1627-1636.

[13] 艾万民, 徐来, 蔡维龙, 等. 标准地铁出入口参数化设计研究[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(5): 1544-1548.
AI Wanmin, XU Lai, CAI Weilong, et al. Study on parametric design of standardized subway entrances and exits[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2021, 17(5): 1544-1548.

[14] 张海佳, 廖德华, 王丽丽. 基于Revit的地铁出入口爬升段参数化设计[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(增刊 2): 38-46.
ZHANG Haijia, LIAO Dehua, WANG Lili. Parametric design of subway entrance and exit climbing section based on Revit[J]. Modern tunnel technology, 2021, 58(S2): 38-46.

[15] 张维锦, 周瑾, 涂文斌. 基于Revit的地铁出入口快速建模方法[J]. 华东交通大学学报, 2022, 39(2): 62-68.
ZHANG Weijin, ZHOU Jin, TU Wenbin. Rapid modeling method of subway entrance and exit based on Revit[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2022, 39(2): 62-68.

[16] 李亚杰. BIM正向设计模式下地铁车站智能辅助设计方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
LI Yajie. Research on intelligent aided design method of subway station under BIM forward design mode[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.

（编辑：王艳菊）