

数字赋能城市赛事活动关键技术研究与实践

陆辉 吴军 刘恒孜 罗斌

【摘要】传统城市赛事活动的事前演练基本以人工为主，为实现数字技术赋能成都大运会，利用“基础支撑+数字基底+功能应用”的智慧化场景解决思路，搭建了成都大运会开闭幕式仿真演练平台，融合 VISSIM 交通仿真和数字孪生技术，实现事前演练的仿真可视化展示和评估。平台在成都大运会开闭幕式筹备和举行期间进行了大量的实践和应用，包括各类客群入离场、运动员走场仪式等仿真演练环节。应用结果表明，平台能够准确地仿真成都大运会开闭幕式的真实运行状态，仿真还原精度达到了 95%以上，可以有效提高城市赛事活动组织效率，辅助开闭幕式科学决策，同时节约了大量的时间和人力、物力成本。

【关键词】VISSIM 交通仿真；数字孪生技术；仿真演练平台

0 引言

在城市数字化转型的背景下，张天然等^[1]，甘勇华等^[2]，张福勇等^[3]，林涛等^[4]，罗典等^[5]利用大数据技术，搭建交通数据平台，为解决交通问题提供了高效的手段和方法。数字孪生是基于物理模型、传感器数据和历史数据等，实现物理空间到虚拟空间的映射^[6]，具有同步性和还原性。数字孪生技术广泛应用于演练、预防、评估、管理等场景，辛佐先等^[7]，张宇琳等^[8]，张艳丰等^[9]，韩亮亮等^[10]根据不同场景的应用需求，构建数字孪生技术框架，实现数字赋能。VISSIM 作为一种微观仿真软件，在交通仿真评估分析中发挥着重要的作用，王晓飞等^[11]，马庆禄等^[12]，袁洁等^[13]分别利用 VISSIM 对道路、交通运行状态、路网等进行仿真分析，为交通安全、交通管理、交通控制提供更为直观有效的支撑手段。

城市赛事活动的举办考验一个城市的组织管理、交通运输、安全运维等多方面能力。传统城市赛事活动中的开闭幕式客群入离场、运动员走场仪式演练等环节基本是以人工为主，为实现数字技术赋能成都大运会，打造“智慧蓉城”智慧大运的典型应用场景，提升成都大运会开闭幕式运行方案的科学性和合理性，提高实战演练的针对性和有序性，构建了成都大运会开闭幕式仿真演练平台。该平台具备“一屏统揽、仿真演练、评估验证”的功能，通过对东安湖体育公园和成都露天音乐公园重点区域内客群入离场、运动员走场仪式等重点环节进行不同维度的压力测试和评估验证，对开闭幕式科学决策、降低组织管理成本、高效实战演练等具有重要支撑作用。

1 成都大运会开闭幕式仿真演练平台总体设计

为保障成都大运会开闭幕式客群入离场环节安全、便捷、有序且组织效率高效，保障开闭幕式运动员走场仪式等关键环节评估验证，实现成都大运会开闭幕式仿真演练平台的一屏

统揽、仿真演练、评估验证，呈现真实的虚拟现实场景，在平台设计时须充分考虑技术的先进性、通用性以及落地性。

1.1 技术架构设计

成都大运会开闭幕式仿真演练平台技术架构由基础支撑层、数字基底层、功能应用层三大横向层，以及运行保障和标准规范两大纵向体系层构成。基础支撑层主要包括数据采集、BIM模型、模型汇聚、矢量汇聚、倾斜摄影、激光点云、手工精模、VISSIM 仿真等；数字基底层包括数字孪生、模型融合、数据融合、共性计算、时空引擎、API 接口等；功能应用层分为开幕式和闭幕式两个展示窗口，包括仿真演练、方案调整、演练报告以及显示效果、空量测量、时间信息、天气信息、窗口切换等功能应用。

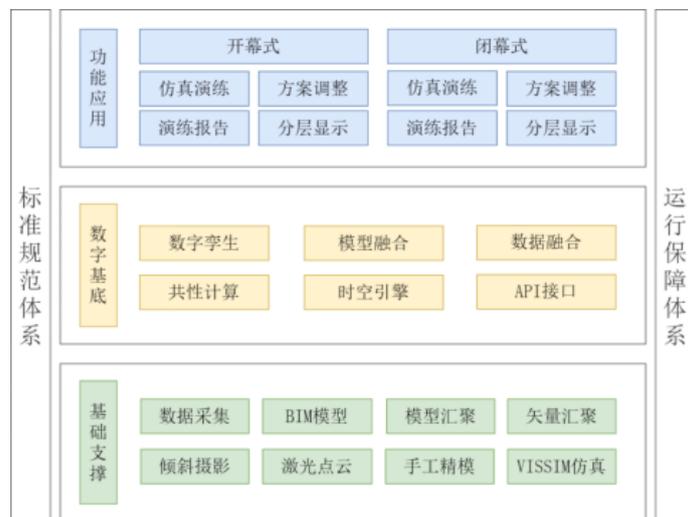


图 1 成都大运会开闭幕式仿真演练平台技术架构

1.2 基础支撑层

基础支撑层主要包括数据采集、BIM 模型、模型汇聚、矢量汇聚、倾斜摄影、激光点云、手工精模、VISSIM 仿真等。通过无人机布设 GIS 相控点，利用多种摄影技术从一个垂直、四个倾斜、五个不同的视角同步采集影像，完成对成都大运会两大场馆及周边 5km²城市范围的数据采集，高精度还原城市和场馆的地形、地貌特征数据。通过导入像控点坐标、匹配坐标系、像控刺点、空中三角测量、空三解算等技术，对采集的实景三维数据进行融合处理分析与二次加工，形成统一格式不同精度的数字实景三维模型。

1.3 数字基底层

数字基底层包括数字孪生、模型融合、数据融合、共性计算、时空引擎、API 接口等。数字孪生利用精细化建模与仿真技术，从几何、功能和性能等方面对物理实体进行实景采集，并通过跨领域多学科融合、连接不同时间、空间物理过程构建虚拟模型，从而精确地刻画出物理实体的特性，具备多图形渲染引擎的混合架构。

通过高精地理信息数据，以三维渲染引擎为基础，利用精细化建模、图形处理、三维可视化等技术，采用倾斜摄影/精建模的方式对成都大运会两大场馆及周边地形数据进行二次加工合成，还原其地形外貌物理特征，呈现全景仿真渲染效果，构建成都大运会开闭幕式虚拟现实展示和演练场景，实现数字实景三维可视化。同时基于激光点云数据的城市三维地形轻量化模型重建和基于 AI 的城市夜景泛光模拟技术，实现了昼夜光照效果在仿真演练平台上的高度仿真还原，以此保障仿真演练平台数字基底的精准性、完整性和多模态。

1.4 功能应用层

功能应用层分为开幕式和闭幕式两个展示窗口，包括仿真演练、方案调整、演练报告以及分层显示、比例尺、开闭幕式切换等功能应用。

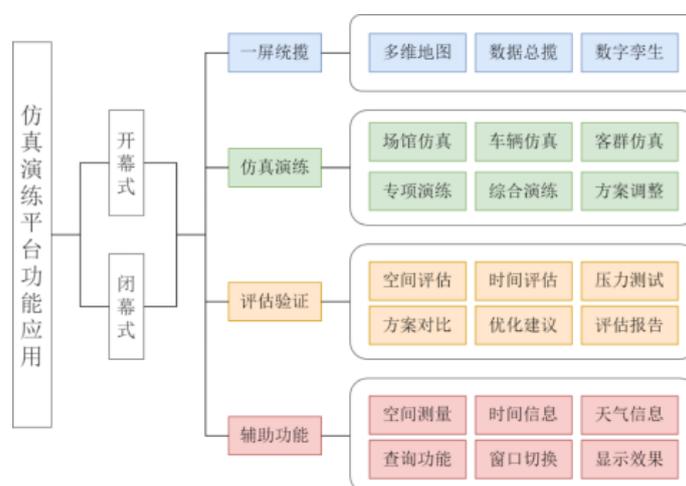


图 2 成都大运会开闭幕式仿真演练平台功能架构图

1.4.1 一屏统揽

成都大运会开闭幕式仿真演练平台一屏统揽功能展示了平台的主界面及主要功能，以构件级精度还原开闭幕式场馆模型、景观模型、城市路网模型等，动态还原模拟场馆夜景灯光秀和烟花特效，如图 3-5 所示。



图 3 成都大运会开幕式仿真演练平台主界面



图 4 成都大运会闭幕式仿真演练平台主界面



图 5 开幕式场馆夜景灯光和烟花仿真界面

1.4.2 仿真演练

成都大运会开闭幕式仿真演练平台具备动态仿真和静态仿真两种类型。动态仿真是以开闭幕式当日时间轴为基础，结合开闭幕式当日运行方案分别进行单要素、多要素和全要素综合仿真演练，包括车流仿真、人流仿真、运动员仪式走场仿真、焰火仿真、客群入离场落座仿真、日照夜景灯光仿真等。静态仿真主要以空间布局为基础，包括场馆及内部功能分区仿真、固定设施设备仿真、场馆周边环境及地形仿真、临建设施及特种车辆仿真、人员部署点位仿真等。

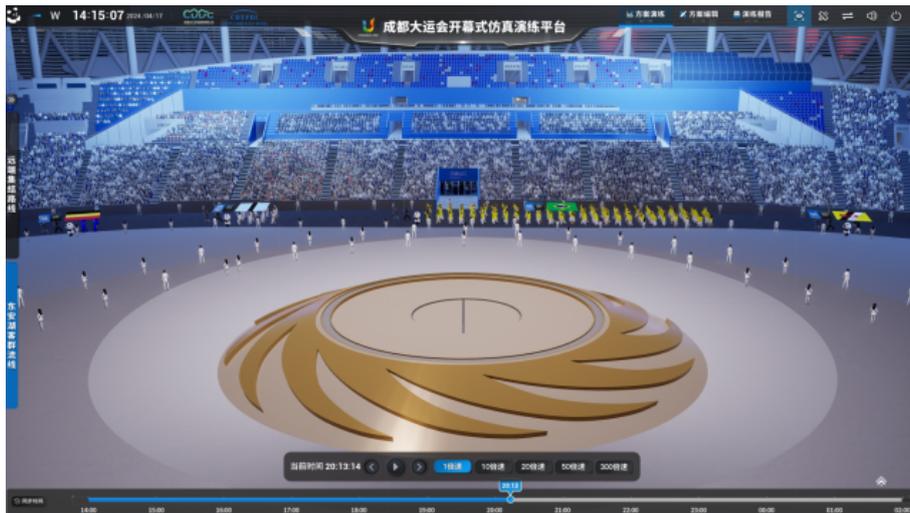


图 6 开幕式运动员仪式走场动态仿真

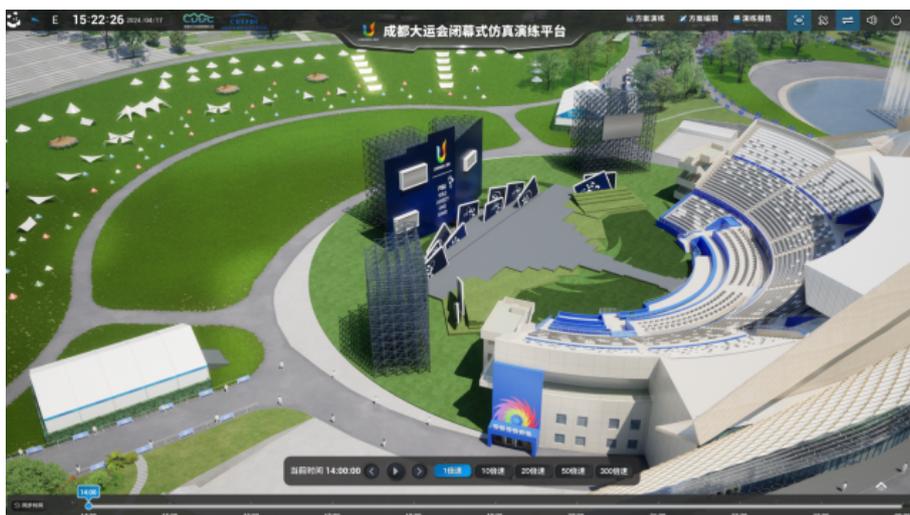


图 7 闭幕式场馆周边环境及地形静态仿真

1.4.3 评估验证

成都大运会开闭幕式仿真演练平台通过时间轴控制车辆路径流线以及人物模型动画，分时段动态模拟展示演练流程，实现不同过程、时空、要素状态下的客群方案组合，输出各类

场景下的演练方案和详细参数。



图 8 闭幕式远端集结路线和时间仿真验证



图 9 开幕式客群入场流线和时间仿真验证

1.4.4 辅助功能

成都大运会开闭幕式仿真演练平台的辅助功能包括空间测量、时间信息、天气信息、查询功能、窗口切换、显示效果等。空间测量功能可以实现距离、面积、路径和高度的实时测量；显示效果功能可以通过参数设置展示不同天气下的状态；同时通过调节时间轴，可以实现场景 0-24 小时光照仿真模拟切换。



图 10 平台测量工具和显示效果设置工具

2 关键技术

成都大运会开闭幕式仿真演练平台是面向新型智慧城市的一套复杂技术和应用体系，多门类技术的集成、多源数据的整合和各类平台功能的打通是成都大运会开闭幕式仿真演练平台成功研发和应用的关键。

仿真演练平台关键核心是通过数字孪生技术融合 VISSIM 仿真结果进行可视化数字实景三维展示，同时结合矢量数据、二/三维模型构建成都大运会场馆的基础要素，高度还原开闭幕式场馆基础设施、临建设施、保障点位、人员车辆动线等动静态可视化信息。通过平台的二维地图、三维渲染引擎实现二/三维数据渲染，基于仿真模拟时空引擎实现模型的计算、分析并通过调用二/三维服务接口进行可视化展示，使用者可以从多维度多视角多层次一屏统揽开闭幕式两大场馆所有的仿真演练场景。

2.1 多源数据融合

平台数据来源多，数据融合应用是平台的关键基础支撑，根据数据类型，通过不同加工方式和 API 接口对数据进行处理衔接，并融合到数字基底层，实现多源数据的应用和展示。数据类型主要包括基础类数据、仿真演练类数据和实时感知类数据。基础类数据包括 CAD 数据、BIM 数据、SketchUp 数据、测绘数据、GIS 数据、VISSIM 数据、倾斜摄影数据和激光点云数据等；仿真演练类数据包括车辆基本数据、临建设施设备数据、客群数据、人员点位数据以及演练计划和运行方案数据等；实时感知类数据包括道路运行数据、信控数据、场馆视频数据、气象环境数据和车载设备卫星定位数据等。

2.2 模型融合及仿真结果交互

平台包含 VISSIM 仿真模型和数字孪生模型两个不同类型的模型，VISSIM 仿真模型可以满足场馆内部精度要求，数字孪生模型可以满足场馆外部精度要求，通过模型融合达到仿

真演练结果交互效果。利用 SketchUp 构建精度较高的数字孪生模型场馆并融合至 VISSIM 仿真模型，实现数字孪生模型和 VISSIM 仿真模型精度高度一致，为 VISSIM 输出仿真验证结果数据，提供良好的环境基础，同时反向校核数字孪生模型精度，提高平台在仿真演练环节的场景适应性。

2.2.1 VISSIM 仿真

VISSIM 可以使用 bmp/jpg/png 等格式图片及 dwg、dxf 等矢量图文件，选用 AutoCAD 的 dwg 或 dxf 格式文件作为背景文件，搭建基础路网和场馆模型，通过 SketchUp 将数字孪生三维模型进一步加工后导入到 VISSIM 模型中，融合形成一个完整高精度的模型环境。

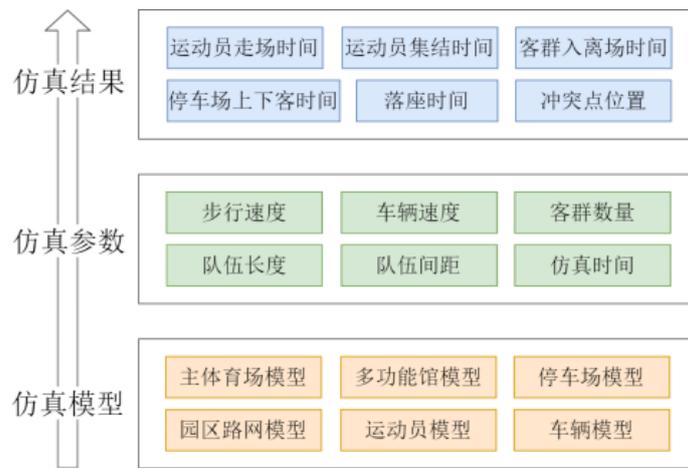


图 11 VISSIM 仿真流程

由于现有的 VISSIM 功能不能满足“车等人”的实际要求，通过 VISSIM 提供的 COM 接口调用自行设计的算法参数，实现了“车等人”的关键技术研究应用，同时对仿真演练平台实现“车等人”的关键仿真环节提供了研发思路。

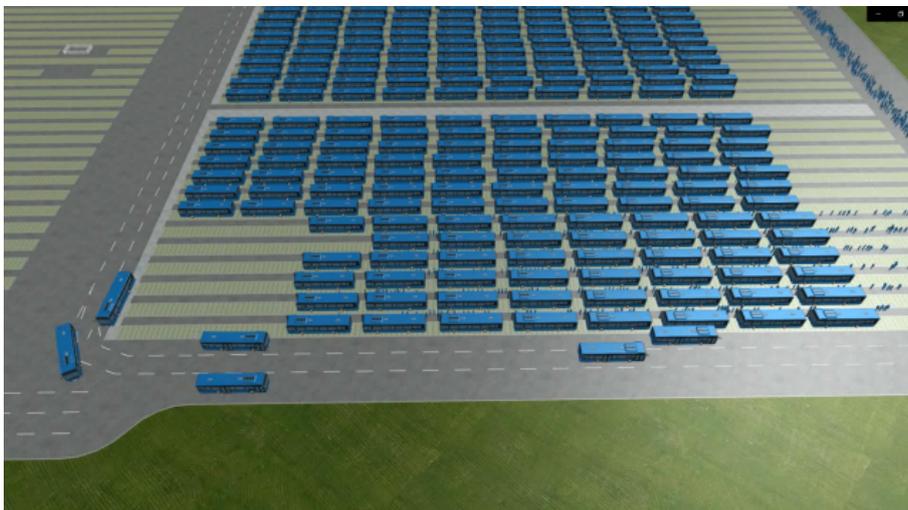


图 12 开幕式客群离场“车等人”仿真

2.2.2 数字孪生模型

数字孪生模型是成都大运会开闭幕式仿真演练平台建设的核心，是展现城市细节、呈现成都大运会场馆状态、实现仿真演练功能的综合信息载体。数字孪生模型是指具有城市语义信息的三维模型，是语义建模的数据成果，其核心功能主要由模型数据采集、模型构建、数据呈现与渲染三大部分组成。

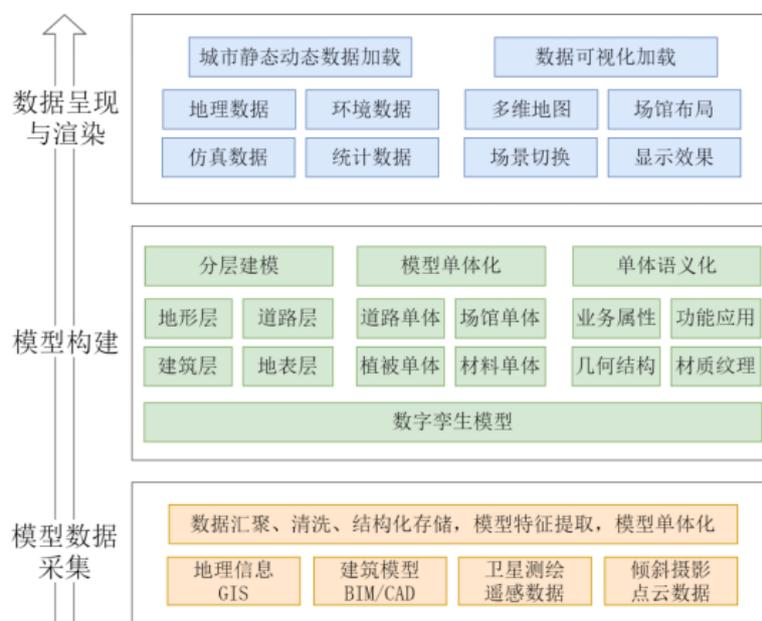


图 13 数字孪生模型技术架构

3 平台应用场景

3.1 一屏统揽应用场景

成都大运会开闭幕式仿真演练平台“一屏统揽”应用思路是以成都东安湖体育公园（开幕式举办地）、成都露天音乐公园（闭幕式举办地）为中心，将开闭幕式当日涉及的人（工作人员、志愿者等）、机（安检机、发电机等设备）、物（各类功能用房、临建设施）、车（大巴、特种车等）、案（工作方案、工作预案、工作手册、运行计划）等 5 大运行保障要素信息统一汇集在平台，包含医疗、停车、电力、通讯、志愿者、交通、网络、安检、焰火、消防、转播、媒体、客群、气象、后勤等成都大运会开闭幕式运行要素信息，实现平台一屏观全局。



图 14 开幕式仿真演练平台“一屏统揽”应用场景



图 15 闭幕式仿真演练平台“一屏统揽”应用场景

3.2 专项保障方案评估验证应用场景

3.2.1 开闭幕式当日客群入离场方案评估

仿真演练平台为开闭幕式运动员代表团、技术官员、媒体人员、境外嘉宾、境内嘉宾、普通观众等 7 大类坐席客群至少 20 余个组织方案进行了全过程不同流线、不同时间、不同人数的仿真演练，对客群组织方案的制定和完善起到了关键作用。

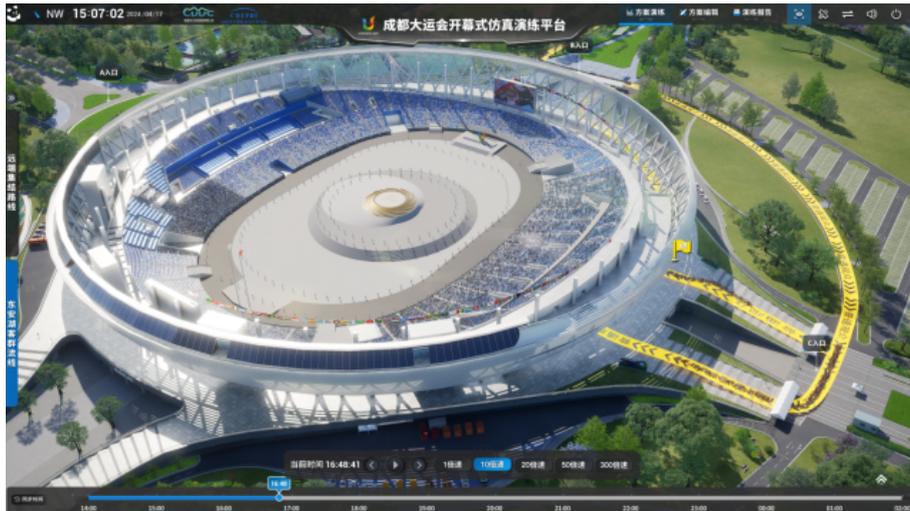


图 16 开幕式观众客群入场仿真

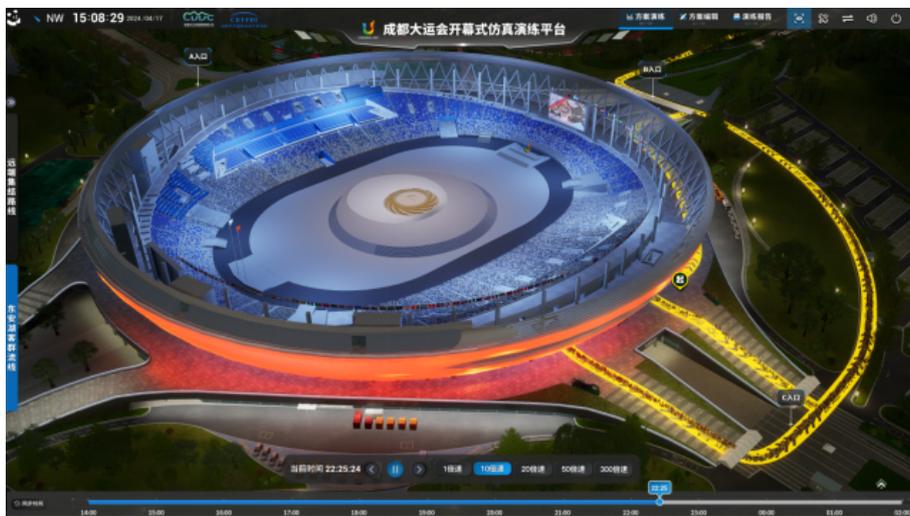


图 17 开幕式观众客群离场仿真

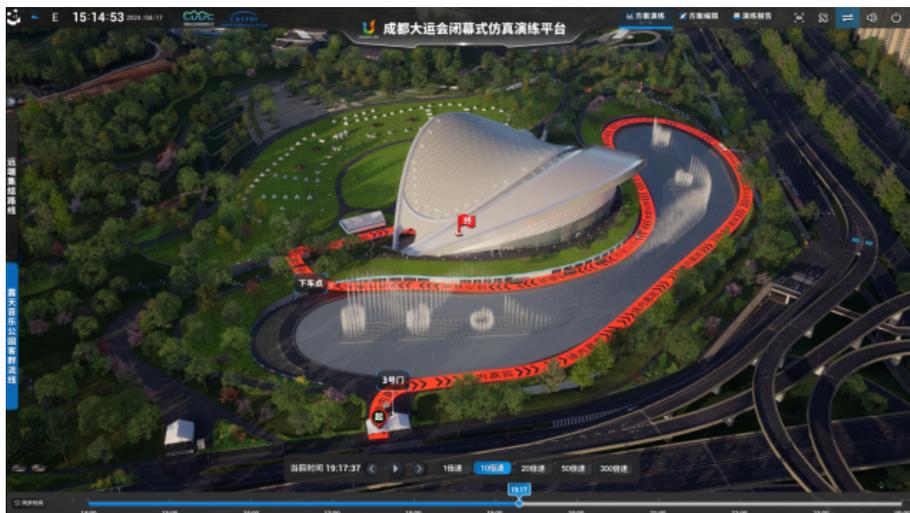


图 18 闭幕式国内嘉宾客群入场仿真

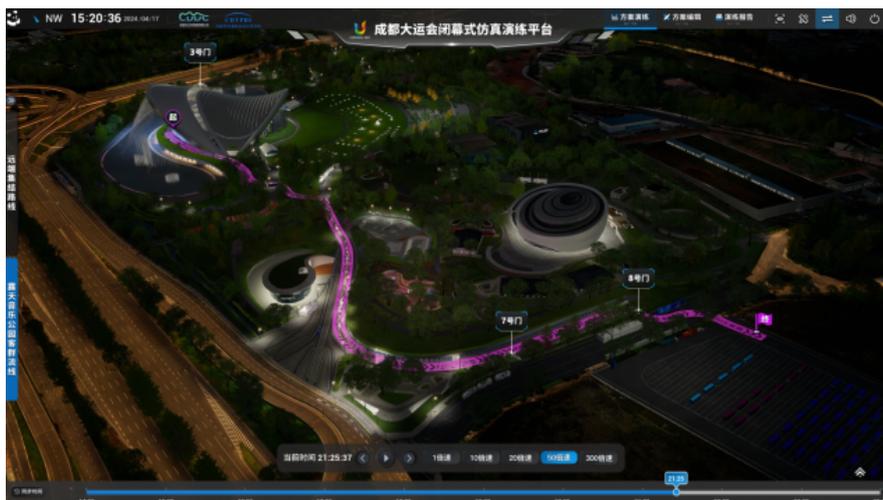


图 19 闭幕式 FISU 客群离场仿真

在开闭幕式当日，开闭幕式指挥中心同时启用了视频监控平台和仿真演练平台，一仿一真、实时比对。通过对比分析成都大运会开闭幕式仿真演练平台的演练结果和实际演练的情况，应用结果表明，平台能够准确地仿真成都大运会开闭幕式的真实运行状态，仿真还原精度达到了 95% 以上。

3.2.2 开幕式当日运动员仪式走场方案评估

为保障成都大运会开幕式运动员走场仪式环节按计划时间完成，平台对此环节进行了多达 12 类 30 余种仪式走场方案的仿真演练，对最终敲定仪式走场方案起到了关键性作用。平台通过融合 VISSIM 仿真评估结果，按照不同的演练方案将仪式运动员相关参数输入平台进行仿真模拟演练。下面以其中两种方案作为示例，两个方案的基本参数设置一致，运动员方阵从综合馆行进至主场馆时运动员速度为 4.5-5km/h，平均间距为 6m，运动员方阵在主场馆进行走场仪式时运动员速度为 2.16-2.88km/h，平均间距为 20-30m。



图 20 开幕式仿真演练平台方案参数设置

方案一：运动员方阵从主场馆 1 号入场口进 3 号入场口侧上看台。评估结果：3000 人走场，87 队，完成走场至落座共需 48-53 分钟；3400 人走场，90 队完成走场至落座共需 56-66 分钟；3500 人走场，112 队，完成走场至落座共需 61-71 分钟。

方案二：运动员方阵从主场馆 1 号入场口进 2、3 号入场口侧上看台。评估结果：6552 人走场，90 队，完成走场至落座共需 85-95 分钟；6604 人走场，112 队，完成走场至落座共需 91-101 分钟；9441 人走场，116 队完成走场至落座共需约 128 分钟；9458 人走场，117 队，完成走场至落座共需约 129 分钟。

在方案评估过程中，运动员在综合馆前集结时的方阵队形如图 21 所示，从综合馆至主场馆行进过程中的方阵队形如图 22 所示。

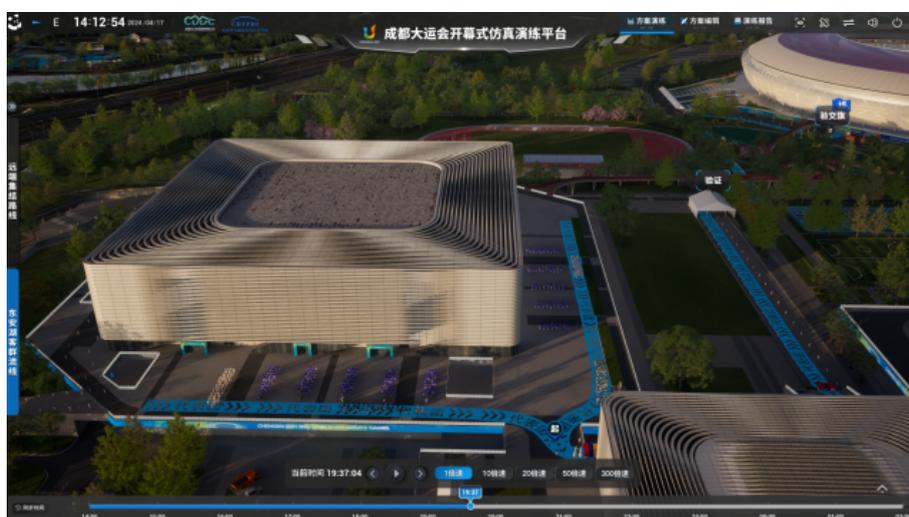


图 21 开幕式运动员在综合馆前集结组合方阵

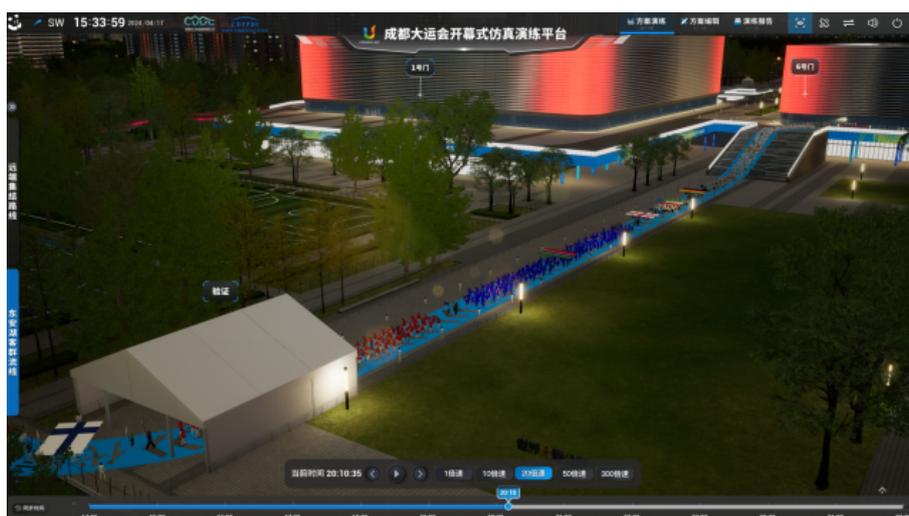


图 22 开幕式运动员方阵从综合馆到主场馆

3.2.3 开闭幕式全要素综合演练验证

按照成都大运会开闭幕式运行中心工作安排，将平台数字化仿真演练结果对比了开幕式 6.3、6.15、7.6、7.18，闭幕式 6.20、7.8 等实战化全要素综合演练结果，将对比结果、问题、反馈意见等形成了全要素演练工作评估报告，包括各类问题台账 200 余项，对成都大运会开闭幕式筹备冲刺阶段各项运行保障工作的完善起到了关键性作用。



图 23 开闭幕式综合演练评估报告

3.3 开闭幕式场馆工程改造方案验证

3.3.1 临时停车场工程设计数据支撑

在开幕式 P1 停车场、欢喜坡停车场等工程设计过程中，利用仿真演练平台开展了多类交通和客群组织方案的模拟运行，形成了不同客群规模下的车行间距、车队编组、行驶速度等关键数据，为停车场的工程设计提供了多个方案场景状态下的数据支撑。



图 24 开幕式欢喜坡停车场改造方案验证

3.3.2 东安湖主体育场增设步梯辅助论证

在东安湖主体育场新建 1、4 号步梯的设计过程中，利用仿真演练平台开展了多种运动员走场方案的模拟运行，形成了不同运动员规模下的队伍间距、队伍编组、队伍速度等关键数据，为步梯的工程设计提供了多个方案场景状态下的数据支撑。

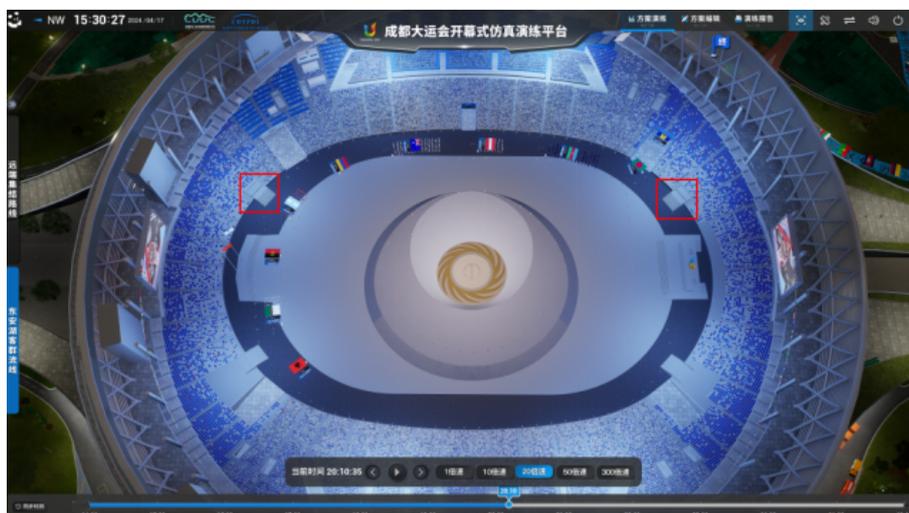


图 25 开幕式主场馆 1、4 号步梯方案验证

3.4 开闭幕式人员培训应用场景

仿真演练平台在成都大运会开闭幕式指挥中心、成都东安湖体育公园综合馆、主场馆等为成都大运会参与者包括大体联、政府各级领导、工作人员、志愿者、运动员、技术官员、演职人员、安保人员、观众等提供不同视角、不同运行方案等条件下的辅助培训和演示支撑。

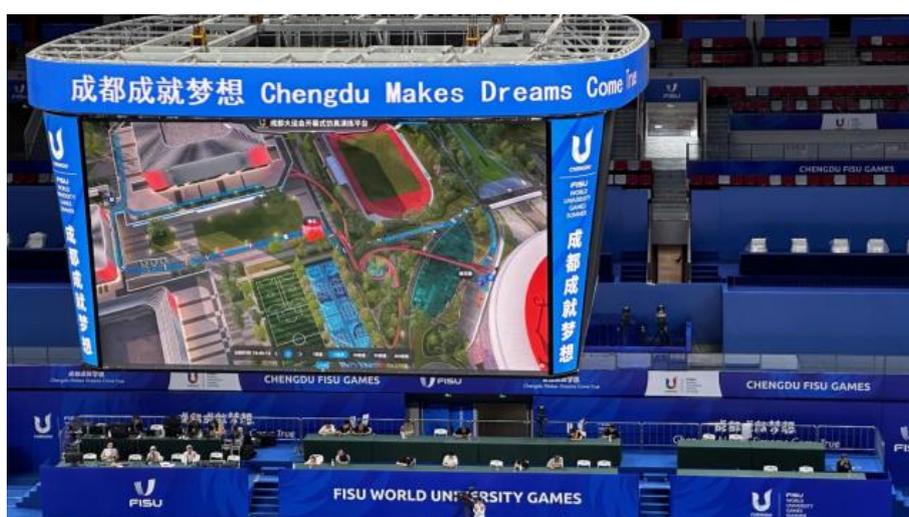


图 26 开幕式综合馆培训演示应用场景

3.5 成都大运会数字遗产应用场景

依托成都大运会开闭幕式仿真演练平台,在东安湖体育公园和成都露天音乐公园分别搭建了约 6 平方公里的城市数字实景三维模型。将仿真演练平台封装成完整程序包存放到相关场馆,可实现对开闭幕式盛况的永久展示,作为成都大运会的重要数字资产进行宣传和推广,不断丰富智慧蓉城的应用场景。



图 27 开幕式指挥中心应用场景

4 结语

随着大运会的成功举办,东安湖体育公园和成都露天音乐公园的知名度及影响力不断提升。可进一步完善核心功能和配套设施,为继续承办 2025 年世界运动会大型赛事和大型演出等做准备。成都大运会开闭幕式仿真演练平台的应用为解决日益复杂的城市赛事活动系统性保障问题提供了一套切实可行的方法。数字孪生模型与 VISSIM 交通仿真模型不断融合同步,实现了数字孪生与交通仿真之间的双向交互应用。仿真演练平台可直接提供数字城市模型和地理信息底座,为城市赛事活动运行保障方案的制定提供必要的技术支持。仿真演练平台研发所涉及的有限空间和时间条件下,大规模复杂人流和车流的疏散缓堵技术和方法,也可以进一步应用到交通枢纽、展会集会、应急疏散等城市运行场景。

参考文献

- [1] 张天然,朱春节,王波等.上海市交通规划大数据平台建设与应用[J].城市交通,2023,21(1):9-16.
- [2] 甘勇华,欧阳剑,景国胜.广州市交通规划决策支持平台构建实践[J].城市交通,2023,21(1):17-25.
- [3] 张福勇,樊嘉聪,俞斌.珠海市交通基础数据平台建设实践[J].城市交通,2023,21(1):26-32.
- [4] 林涛,丘建栋,屈新明等.基于 CIM 平台的数字化交通规划设计探索——以深研云(SuTPC)平台为例[J].城市交通,2023,21(1):33-40+47.

- [5] 罗典, 王琢玉, 黄福恒. 城市交通拥堵治理决策仿真平台构建及应用[J]. 城市交通, 2023, 21(1): 41-47.
- [6] 岳峰, 王立辉, 谭小松等. 数字孪生技术在防汛救灾中的应用[J]. 测绘通报, 2023(S1): 87-91.
- [7] 辛佐先, 裴芳琼, 王柳. 城市轨道交通数字孪生技术架构及其应用[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(08): 213-217.
- [8] 张宇琳, 尚可, 张飞舟. 基于数字孪生技术的异质交通流安全性研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2022, 58(05): 888-896.
- [9] 张艳丰, 欧志梅. 数字孪生技术驱动下智慧图书馆场景化服务模式研究[J]. 情报理论与实践, 2022, 45(08): 47-53.
- [10] 韩亮亮. 基于 BIM+GIS 技术的高铁动车运用所数字孪生关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(09): 160-165.
- [11] 王晓飞, 丁振中, 刘永等. 基于 Vissim 建模的高速公路作业区混合车辆上游过渡区空间安全性研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(12): 163-170.
- [12] 马庆禄, 张琳, 袁新新等. 城市道路交通多状态演化下的连续仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(04): 847-855.
- [13] 袁洁, 崔博宽. 基于 Vissim 的共享电动汽车交通流出行仿真[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(S1): 194-201.

作者简介

陆辉, 男, 博士, 成都设计咨询集团有限公司, 党委副书记、副董事长、总经理, 正高级工程师。电子邮箱: 407622881@qq.com

吴军, 男, 学士, 成都市市政工程设计研究院有限公司, 交通分院智慧交通所副所长, 高级工程师。电子邮箱: 2964401692@qq.com

刘恒孜, 女, 硕士, 成都市市政工程设计研究院有限公司, 助理工程师。电子邮箱: zizidyx@126.com

罗斌, 男, 硕士, 成都市市政工程设计研究院有限公司, 交通分院副总工程师, 正高级工程师。电子邮箱: 30923198@qq.com