引文格式：孙柏, 刘旭, 陶为翔, 等. 基于三维地理信息的数字孪生化工园区研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8): 41-44. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.08.010

基于三维地理信息的数字孪生化工园区研究

孙　柏[1]，刘　旭[1]，陶为翔[1]，张　涛[1]，马　伟[1]
（1. 正元地理信息集团股份有限公司，北京 101300）

摘　要：基于三维地理信息技术在空间数据管理、地上地下一体化分析方面的优势，研究设计了化工园区数字孪生底座，并成功应用到智能监管系统的建设中。针对化工园区内物体特征，按需采用倾斜摄影、手工建模、激光点云等技术，建立精细的园区三维模型；基于成熟的三维地理信息基础平台上，重点对三维平台海量数据可视化呈现技术进行了优化，确保了化工园区实景三维模型的呈现效果和分析能力。为适应化工园区内产业高度集聚和系统化发展要求，在高效数字孪生底座基础上，建设化工园区综合监管系统，通过对接化工园区的各项业务数据、物联网数据等多源数据，实现化工园区一体化、可视化的智能监管方案，初步探索了数字孪生化工园区的建设路径。

关键词：化工园区；地理信息技术；数字孪生；三维模型；智能监管
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）08-0041-04

Research on Digital Twin Chemical Industry Park Based on 3D Geographical Information

SUN Bai[1], LIU Xu[1], TAO Weixiang[1], ZHANG Tao[1], MA Wei[1]
(1. Zhengyuan Geomatics Group Co., Ltd., Beijing 101300, China)

Abstract: Based on the advantages of 3D geographical information technology in spatial data management, aboveground and underground integration analysis, we studied and designed the digital twin base of chemical industry park, and then applied it successfully toconstruct the intelligent supervision system of park. According to the characteristics of objects in the chemical industry park, we adopted oblique photography, manual modeling, laser point cloud and other technologiesas needed to establish a fine 3D model of the chemical industry park. Based on the mature 3D geographical information platform, weoptimizedthe visualization technology of massive data on the 3D platformto ensure the presentation effect and analysis ability of the real 3D model of the chemical park. In order to meet the requirements of industrial cluster and systematic development in the chemical park, based on an efficient digital twin base, webuilta comprehensive supervision system of chemical park. By docking multi-source data such asvarious business data and Internet of things data, we realized an integrated, visible and intelligent supervision scheme for chemical parks, which could be beneficial to explore the construction path of digital twin chemical parks.

Key words: chemical industry park, geographical information technology, digital twin, 3D model, intelligent supervision

近年来，我国持续推进化工产业集聚化发展，加快化工企业退城入园建设，更凸显了化工园区作为石油和化学工业发展载体的重要性[1]。为适应技术发展、行业变革提出的需求，建设化工园区一体化、协同化、智能化管理模式，探索应用三维地理信息技术建设化工园区数字孪生平台，充分发挥基于服务的三维地理信息技术在地上地下空间一体化、业务协同化等方面优势[2-3]，提供园区地理空间要素的地图展示、空间分析、可视化呈现等服务。支持物联感知设备在线监测信息通过标准协议接入平台，并在此基础上设计化工园区智能监管系统，帮助管理部门实现信息资源整合、全景可视化监管、业务协同管理的目标，有效提高园区可视化、精细化、智能化管理水平。

1　数字孪生化工园区研究基础

1.1　数字孪生理论发展

数字孪生技术的应用不断拓展，数字孪生车间和数字孪生工厂得到充分探索与实践[4-7]。2017 年，雄安新区首次提出“数字孪生城市”思路，将其作为“建设数字城市，打造智能新区”的创新之举。周瑜[8]等认为雄安新区通过构建实体城市与数字城市相互映射的数字孪生城市、实现将城市系统的“隐秩序”显性化

收稿日期：2022-03-22；修回日期：2022-07-25。
项目来源：住房和城乡建设部 2021 年科学技术项目（2021-k-135）。
第一作者简介：孙柏（1986—），硕士研究生，工程师，主要从事智慧城市、智慧化工园区领域研究工作，E-mail：1132332562@qq.com。

的管理。李德仁院士[9]提出“数字孪生城市是构建物理城市、网络虚拟城市一一对应、相互映射、系统交互的复杂巨型系统”。地理信息技术尤其是三维地理信息技术，在城市级、园区级和工厂级的数字孪生系统建设中，为物理城市向虚拟城市映射提供了高效的技术方法，遥感技术和倾斜摄影技术的发展，可以快速采集更大空间范围内的城市三维模型数据，让数字孪生系统建设成为可能。数字孪生技术理论研究的不断深入，让探索数字孪生园区建设成为可能。

1.2 化工园区数字孪生需求

我国化工园区发展不是简单的企业集聚，需要探索行业系统化、一体化、集约化和循环化的高质量发展途径，从而最大程度发挥化工园区产业集聚、企业集中的优势，助力化工行业转型升级。化工园区在规划建设初期就涉及企业、项目、原料、工艺、产品等工业内容，包括对安全、环保、应急、消防、交通、能源、封闭、服务、公用设施及辅助配套工程的管理。因此，园区管理工作任务重、各项业务间相关性强。

通过数字孪生化工园区建设，将园区物理实体的空间和属性信息直接映射到虚拟空间中，全面汇聚物理实体的空间、属性和运行状态信息，提高园区运行管理的透明度。数字孪生化工园区建设将三维地理信息技术、三维建模技术和可视化表达技术相融合，大大提高了园区的可视化程度。结合物联网技术、大数据分析技术等，实时采集和分析园区当前状态并进行诊断，为园区管理提供决策支撑。采用仿真模拟方法来改善管理流程、优化土地利用、精细管控能耗和排污，为科学解决园区用地紧张、资源制约、排污管控等问题提供科学方法。

2 整体技术架构

三维地理信息平台支撑虚拟园区的可视化表达、具体业务系统实现业务应用，数字孪生平台向下实现多源数据汇聚，向上融合算法模型支撑业务应用，具体技术架构如图1所示。

针对化工园区物理实体特点，综合应用倾斜摄影、工程测量、激光扫描、地下测量、手工建模等技术，快速建立园区建构筑物三维模型，结合三维地理信息系统和三维可视化技术，搭建化工园区数字孪生底座。通过接入化工园区物联感知设备信息，获取园区实时运行状态数据，建设物联网管理系统实现物联感知设备信息和监测数据的统一管理，与园区数字孪生底座融合，实现物联感知设备在数字孪生底座上的

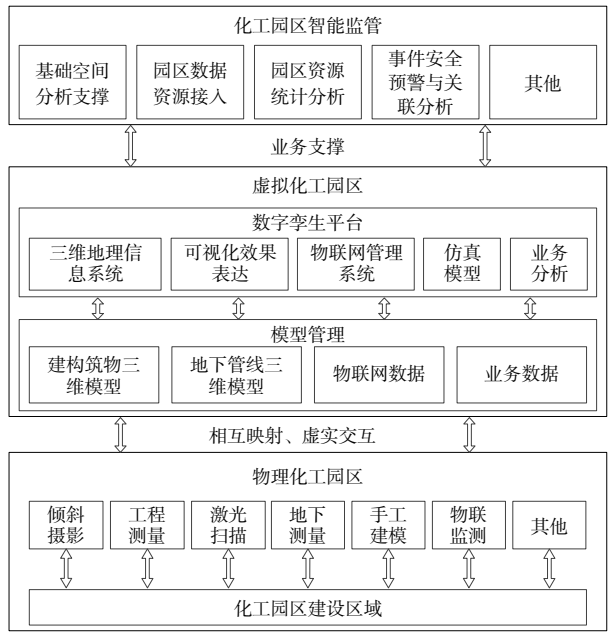


图1 技术架构设计

精准呈现。园区数字孪生平台具备安全生产管理、生态环境监管等专项业务的集成能力，并结合仿真模型分析计算，开展园区时间模拟分析，包括火灾预警处置影响分析、污染物扩散影响分析等。

3 关键技术优化

3.1 三维场景建模

化工园区整体大场景三维建模建议采用倾斜摄影的方式，快速搭建园区规划范围规则形状厂房等建构筑物的三维实景模型。倾斜摄影测量技术通过飞机搭载倾斜摄影测量相机的方式，快速获取地物三维模型，可以形成分辨率高且逼真的三维模型[10]。通过像素工厂等数据加工处理，可以自动对建构筑物进行单体化建模，并与模型与属性信息相关联，建模速度快效率高，但是倾斜摄影技术需采用可见光进行测量，对天气要求高，对近地面遮挡位置无能为力，对化工设备等异形构筑物细节和细小物体建模能力不足，因此化工园区大场景三维建模可以采用该技术。

化工园区精细的化工设备和细小构件等设施主要采用人工精细建模。人工建模方法主要是基于单体建筑物的三维矢量数据，并利用外业采集的建筑物顶面和立体纹理照片，最后整合成建筑物三维模型和地形三维模型。该方法的主要优点是纹理真实，不易拉伸，精度高，适合面积小和局部精度要求高的作业区域。但人工建模的缺点是效率低，工作量大，生产费用高，不合适大规模三维模型制作。对于园区内的异型化工生产设备，包括圆形储罐、生产装置等单体建

模，通过人工建模能够获得准确的三维模型，并细致刻画阀门、仪表、配套管线等设备细节。重点设备模型效果如图2所示。

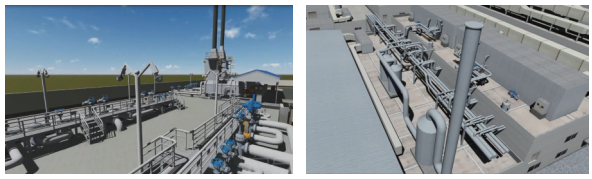


图2　重点设施手工建模效果

化工园区地下管线模型，主要通过工程探测调查园区地下管线的空间位置、管线属性、间距及权属单位信息，建立管线基础数据库。按照管线段和管线点的数据信息，进行空间参考设置、字段对应设置、管线纹理、检查井纹理、管线埋设方式、设备样式以及DEM数据设置，自动生成管线三维模型[11]。空间参考和DEM数据作为三维地下管网模型生成的位置依据，管线纹理、字段对应设置、管线埋设方式、检查井纹理作为生成三维地形管网模型样式的依据，利用Open Scene Graph（或者direct X）实时绘制相应的管线段和管线点三维模型，管线三维模型效果如图3所示。

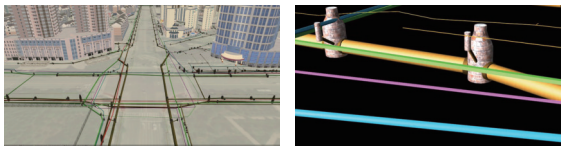


图3　地下管线三维模型

3.2　三维可视化技术

针对大型化工园区三维模型数据量大的特点，传统三维渲染技术很难将如此大的三维场景快速渲染起来。在三维地理信息平台的基础上，通过对三维模型轻量化处理技术和数据快速加载渲染技术的优化应用，可以有效提升园区三维模型可视化呈现效果、提高系统应用的流畅性。

1）三维模型轻量化处理。本研究选择的化工园区建模范围约16 km^2，模型精度在2 cm，倾斜摄影数据量较大，在轻量化处理过程中，考虑不同建构筑物对园区管理的重要性，进行区别轻量化处理，对重点化工生产区域和生产装置注意确保模型精度，在园区配套设施、待建区等，为取得更好的轻量化效果，适当放宽精度要求。基于空间索引的OBJ格式，通过输出带有LOD的OSGB格式倾斜模型金字塔数据，自适应构建空间索引，提升模型浏览渲染效率[12]。并合理使用数据金字塔级别优化、数据根节点合并、纹理压缩、纹理拆分、三角网简化等多种倾斜摄影数据轻量化处理方法[13]，有效提升模型浏览效率。

2）三维模型快速加载渲染。在海量三维模型浏览加载过程中，除了依靠高性能的硬件设备外，仍需对平台模型加载渲染方法进行优化。对相同几何模型只绘制一次，通过坐标偏移、转转、缩放等变换，完成模型复用[14]。通过构建三维模型瓦片数据分级、分块处理，采用网格模块化算法，根据当时浏览情况依靠四叉树加载方法能够有效避免三维模型数据加载过大的问题[15]，通过分页LOD机制动态调度选择加载区域瓦片数据以及三维模型，提高了系统三维模型渲染能力。根据相匹配的图形绘制质量，采用多细节层次模型渐进绘制的方式对当前场景下的三维模型进行刷新绘制，进而控制场景内容的不断更新。

3.3　多源数据融合

园区数字孪生平台综合管理GIS数据、三维模型数据、物联网数据、业务数据等海量异构多元数据，设计园区数据资源目录，形成园区时空大数据库，全面管理园区各类数据资产，实现数据统一定义、高效存储、精准索引的服务机制。数字孪生园区建设包含全要素场景多种衍生数据，通过多源数据融合，解决园区数据碎片化、多样化、孤岛化的管理难题，为建立高效的数据共建共享模式提供技术保障。

4　数字孪生化工园区智能监管应用

在某智慧化工园区建设中，通过园区三维地理信息平台提供二三维地图服务发布与维护，在数字孪生底座的基础上，成功设计了化工园区智能监管系统。系统结合物联网、云计算、大数据分析等技术，采用SOA服务模式、B/S结构进行系统设计，形成“园区运行全景图”。系统利用数据接口按需集成园区安全生产、环境保护、应急指挥、封闭管理、交通运输、能源管理等业务数据，同时按照物联网集成标准接入物联网实时监测数据，进行重点信息提取和综合分析，实现化工园区建设运行情况整体可视化呈现[16-17]（具体系统设计情况如图4所示）。支持园区运行状态趋势分析，问题事件定位和及时预警，为园区管理人员提供综合信息支撑。



图4　园区三维智能监管系统

4.1 三维空间分析支撑

园区数字孪生平台以三维地理信息平台为依托，提供空间数据管理与分析能力，为园区规划、建设、运营监管提供辅助工具。

4.2 多源数据融合管理

在三维数字孪生化工园区平台的基础上，实现园区内数据资源共享和综合分析。按照GB/T 39218–2020《智慧化工园区建设指南》要求，将智慧化工园区建设涉及的基础数据资源划分为安全生产、环境管理、应急管理、封闭管理、运输管理、能源管理、办公管理、公共服务等部分。通过物联网管理系统，按照统一数据协议和接口，接入园区安装的物联网监测设备数据，及时掌握园区重点设备设施运行状态，形成多项业务动态监管的数字孪生平台。

4.3 数字仿真模拟分析

在化工园区数字孪生底座基础上，结合不同业务的仿真分析模型进行模拟分析，实现事件模拟预测和场景可视化呈现的整体实现。

4.4 事件安全预警与关联分析

根据物联网报警信息和人工上报案件情况，快速在园区孪生平台上标记事故发生地点，以案件位置为中心，查找事故周边应急物资和设备设施情况，支持对事故周边的危险化学品、化工设施进行重点隔离保护。查询相关联的物联网监测和视频数据，查看案件的详细情况，进行事故状态模拟分析，确定事故影响程度，完成事故空间影响范围分析，帮助救援人员确定事故隔离、疏散、交通管制范围。利用数字孪生底座的路网数据，可以快速确定事故救援路线、群众疏散路线。通过近距离查找事故周边的视频监控设备，及时查看事故现场实时信息，远程共享事故现场。

4.5 运行状态精准呈现

融合化工园区内各类监测及管理数据，通过大数据分析、挖掘、调取重要运行数据及关键指标，基于数字孪生平台直观展示园区运行状态，形成园区运行全景图，实现园区各模块要素数字化、实时化和可视化呈现。针对园区业务管理、企业评估、园区运行状态评估等重点问题，为分析结果提供数据支撑，辅助管理者全面掌控园区运行态势。

5 结 论

三维地理信息技术在智慧化工园区建设中优势日益凸显，其逼真的场景模拟能力、强大的空间分析能力与可视化呈现能力，为园区推进精细化、智慧化管理提供技术支撑。通过建设园区三维智能监管系统，实现对园区信息资源全面收集管理，提高园区管理的科学性和及时性。同时以三维地理信息平台为基础的多元数据融合监管系统建设，也是对数字孪生园区建设的初步探索。

参考文献

[1] 杨挺,任旭东. 中国化工产业园区化的驱动机制:基于社会生态系统框架下的博弈论分析[J]. 中国环境管理,2019,11(1):38-46

[2] 吴掠桅,孙玉婷. 基于服务的三维地理信息共享思考与平台设计[J]. 地理空间信息,2015,13(3):68-71

[3] 吴掠桅,王芙蓉. 三维地理信息公共服务平台建设[J]. 测绘通报,2016(5):101-103

[4] Grieves M, Vickers J. Digital Twin:Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems[M]. Cham:Springer International Publishing, 2017:85-113

[5] 陶飞,张萌. 数字孪生车间:一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(1):1-9

[6] 刘娟,庄存波. 基于数字孪生的生产车间运行状态在线预测[J]. 计算机集成制造系统,2021,27(2):467-477

[7] 卢阳光. 面向智能制造的数字孪生工厂构建方法与应用[D]. 大连:大连理工大学,2020

[8] 周瑜,刘春成. 雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J]. 城市发展研究,2018,25(10):60-67

[9] 李德仁. 新基建时代地理信息产业的机遇与挑战[J]. 中国工业和信息化,2020(12):52-57

[10] 朱宏悦,陈彬. 化工园区三维场景建模研究与实现[J]. 系统仿真学报,2018,30(12):4 610-4 617

[11] 王子启. 城市地下管线三维成图组件设计与实现[J]. 地理空间信息,2021,19(7):101-105

[12] 汪洋,徐震. 基于空间索引的倾斜模型轻量化技术研究与实现[J]. 人民长江,2021,52(增刊):298-301

[13] 王文凯,黄昆学. 倾斜摄影测量数据轻量化处理技术研究[J]. 测绘通报,2020(9):123-126

[14] 周文,郭燕燕. 轻量化城市信息模型(CIM)构建技术研究[J]. 地理信息世界,2021,28(4):119-123

[15] 彭祥. 基于Cesium的智慧园区三维可视化监管系统的设计与开发[D]. 武汉:武汉邮电科学研究院,2021

[16] 吕德奎,沈雨. 基于物理联网的三维数字园区管理信息系统的设计与实现[J]. 现代测绘,2015,38(3):44-46

[17] 史胜春. 安全智慧化工园区管理平台的设计与应用[J]. 华北科技学院学报,2019,16(5):91-99