

doi: 10.7690/bgzd.2025.04.017

工业现场 3 维模型构建技术

李旭东, 孙俊义, 陈诗露

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为提高模型的构建效率和精度, 并加强数据安全与隐私保护等, 对工业现场 3 维模型构建技术进行研究。对现阶段工业现场模型构建技术参数化建模、逆向设计建模、无人机图像建模技术进行原理、技术实现步骤和技术优势进行描述, 并提出工业模型构建过程中存在的问题与挑战。结果表明: 3 维建模技术可为工业现场的数字化、智能化转型提供有力保障。

关键词: 参数化模型; 逆向设计; 图像建模

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

3D Modeling Technology for Industrial Site Construction

Li Xudong, Sun Junyi, Chen Shilu

(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd.
of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to improve the efficiency and accuracy of model construction, and strengthen data security and privacy protection, the 3D model construction technology of industrial site is studied. This paper describes the principle, implementation steps and technical advantages of parametric modeling, reverse design modeling and UAV image modeling technology in the current stage of industrial field model construction, and puts forward the problems and challenges in the process of industrial model construction. The results show that 3D modeling technology can provide a strong guarantee for the digital and intelligent transformation of industrial site.

Keywords: parameterized modeling; reverse design; image modeling

0 引言

随着工业数字化转型的发展, 3 维建模在工业领域的应用日益广泛。3 维模型构建技术按过程分为采集和处理按技术分为人工建模和激光扫描建模; 参数化建模和逆向设计建模仍为工业现场高精度设备模型构建主要方式。随着无人机技术发展, 无人机图像建模以其独特优势成为大面积场景建模主要方式。

陶飞等^[1]提出一套包括模型构建、模型组装、模型融合、模型验证、模型修正、模型管理在内的数字孪生模型构建理论体系。谭金石等^[2]针对当前倾斜摄影建模、激光点云建模等单一建模方法存在局限性, 融合建模方法存在工作量大、效率低、误差积累大等问题, 提出一种利用激光扫描与倾斜摄影空地协同的建筑物实景 3 维模型构建方法。马世博等^[3]提出一种基于正逆向混合建模软件 Geomajic Spark 的正逆向混合建模重构残缺部位数模的方法, 验证了逆向工程辅助下的正逆向混合设计在获取零件残缺部位数模可行性与准确性。尽管 3 维建模技术在工业领域的应用已经取得了显著的成果, 但仍

面临着精度与效率的矛盾、隐私保护等挑战。这些问题不仅影响了建模的效率和成本, 而且对用户的安全和使用体验构成了威胁。基于此, 笔者对工业现场 3 维模型构建技术进行研究。

1 技术方法

1.1 参数化模型构建技术

参数化模型构建技术基于参数化设计理念, 通过对设备零件形状尺寸和其他特征信息进行现场提取, 利用参数和约束条件来生成并控制模型的形状、尺寸和其他特征, 构建生产现场设备 3 维模型。这种技术使得设计者能够高效地创建和修改复杂的 3 维模型, 同时保持模型的准确性和一致性^[4]。

参数化模型构建技术的步骤原理主要包括参数定义、约束设置、模型生成和验证优化等环节。首先, 设计者需要明确模型的关键参数, 如尺寸、形状、位置等, 并在设计软件中定义这些参数。接着, 根据设计要求, 设置参数之间的约束关系, 如尺寸之间的比例关系、形状之间的几何关系等。这些约束条件确保了模型在修改参数时能够保持几何一致

性。然后,利用设计软件中的参数化建模工具,根据定义的参数和约束条件生成3维模型。最后,对生成的模型进行验证和优化,确保模型满足设计要求,并具备所需的性能和功能。

参数化模型构建技术具有设计灵活、设计过程自动化和可靠性等优势,如图1所示。约束和关联性使设计过程自动化,降低手动调整需求。参数约束关系确保模型几何一致性,提高了模型构建准确性和可靠性。

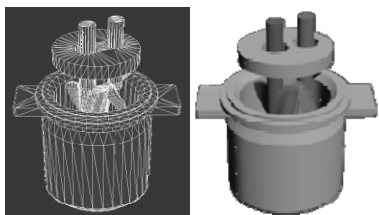


图1 参数化建模

1.2 逆向设计建模

针对高精度模型需求,通过3维扫描获取设备点云数据,对采集到的离散数据进行预处理、降噪、拼接等操作,通过逆向设计工具提取点云扫描数据中包含的信息,进行模型重构或面片生成工作^[5],导出需要的模型文件。图2为逆向设计流程。

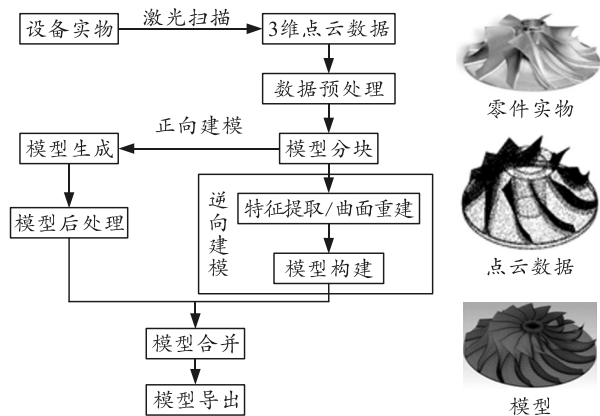


图2 逆向设计建模流程

数据获取针对工业现场设备外形数据获取,主要以非接触式测量为主,采用基于光学、声学、磁学等基本原理^[6],通过算法转化设备表面坐标点^[7]。数据预处理针对获取的点云原始数据。进行多视角拼接、坐标对齐、噪声处理和精简操作,删除冗余数据,便于后期曲面重建。逆向建模过程中,需将测量数据分割成属于不同曲面片的数据子集,分别进行曲面重建。最后通过对建立的零件模型进行组装,生成设备完整模型^[8]。

逆向设计建模通过快速获取实物表面的数据,并利用软件进行模型重构,缩短模型构建周期,利

用先进的3维扫描和数据处理技术,能够精确捕捉实物的每一个细节,实现高精度复制。

1.3 无人机图像建模

无人机图像建模技术,通过无人机作为飞行平台,搭载一台或多台倾斜摄影相机,能够高效、准确地采集地面物体的影像数据^[9]。相较于传统的测绘方法,无人机倾斜摄影建模技术具有更高的灵活性和效率,能够快速生成高质量的3维模型。这一技术的核心在于通过多角度拍摄,获取丰富的建筑物顶面及侧视的高分辨率纹理,为后续的3维重建提供精准的数据基础^[10]。

无人机倾斜图像建模技术的步骤原理主要包括数据采集、数据预处理、影像匹配与配准、空中三角测量与点云生成、3维模型生成与优化等环节^[11],如图3所示。



图3 无人机图像建模

图3中的建模步骤:1) 无人机搭载倾斜摄影相机进行多角度拍摄,采集丰富的影像数据;2) 对采集到的影像进行预处理,包括去除噪点、畸变校正和图像分块等,以提高后续处理的效率和准确性;3) 通过特征提取与匹配算法,建立不同影像之间的对应关系,并进行影像配准,在此基础上,利用空中三角测量方法计算影像的外方位元素和地面点的3维坐标,生成密集的点云数据;4) 采用3维重建算法生成3维模型,并通过纹理映射和优化处理,使模型更加真实和美观。

无人机倾斜图像建模技术具有高效率、高精度、低成本和灵活性等特点。针对复杂工业现场,无人机图像建模技术可以快速获取工厂信息,为工厂生产的智能化管理和虚拟场景的构建提供有力支持。

2 问题与挑战

2.1 数据采集

1) 数据完整性与准确性。

工业现场,由于设备布局复杂、遮挡物多,数

据采集往往难以覆盖所有区域,导致模型构建时出现数据缺失。

2) 数据采集效率。

工业现场面积大、设备多,数据采集需要耗费大量时间和人力。数据采集过程中可能需要多次设站扫描,并进行数据拼接,增加了数据采集的复杂性和时间成本。

2.2 模型构建

1) 模型精度与真实感。

工业现场 3 维模型需要准确反映设备的形状、尺寸和位置关系,但高精度模型的构建往往伴随着巨大的数据量和计算复杂度。在保证模型精度的同时,还需要考虑模型后期应用时渲染效果和真实感,以满足虚拟仿真、虚拟培训等应用需求。

2) 模型更新与管理。

工业现场设备布局 and 状态频繁变化,需要定期对模型进行更新维护。工业现场大量模型需要统一编号,标识每台设备模型并构成模型树^[12],便于后期管理应用。

3) 模型构建算法。

模型构建算法需要能够处理复杂的 3 维数据,并生成高质量的 3 维模型。算法的优化和改进需不断研究和探索,以适应不同工业现场的需求和变化。

2.3 隐私安全

工业现场 3 维模型可能包含敏感的设备信息和生产数据,需要采取有效的安全措施进行保护。在数据传输、存储和使用过程中,需要遵守相关法律法规和隐私政策,确保数据的安全性和隐私性。

3 结论

工业现场 3 维模型构建技术已经取得了显著的进展,并在多个领域得到了广泛应用。通过高精度扫描仪和其他数据采集设备,能够获取物体的 3 维数据,并将其转化为数字模型。这些模型不仅具有高度的准确性和真实性,而且能够为工业设计、生产规划、安全评估等环节提供有力支持。同时,3 维建模技术还能够实现虚拟仿真、虚拟培训等高级

功能,为工业现场的数字化、智能化转型提供了有力保障。

在工业现场 3 维模型构建过程中,需要充分考虑数据采集的完整性、准确性和效率问题,以及模型构建的精度、真实感和交互性要求。通过不断优化数据处理算法和模型构建算法,可以提高模型的构建效率和精度,同时降低构建成本和时间成本。此外,还需要加强数据安全与隐私保护以及跨平台兼容性等方面的研究,以确保模型在不同平台和场景下的可用性和安全性。

参考文献:

- [1] 陶飞,张贺,戚庆林,等.数字孪生模型构建理论及应用[J].计算机集成制造系统,2021(1):1-15.
- [2] 谭金石,祖为国,刘丽.激光扫描与倾斜摄影空地协同的建筑物三维模型构建方法[J].应用激光,2023(7):107-115.
- [3] 马世博,梁帅,张双杰,等.基于正逆向混合建模的残缺涡轮修复方法的探究[J].现代制造工程,2020(8):114-119.
- [4] 张颖,钱伟,孙良辰,等.BIM 参数化建模技术在港口工程设计中的应用[J].中国水运,2021(11):126-128.
- [5] 魏言标,郑磊,薛少兵,等.基于三坐标测量和 3D 扫描的凸轮逆向建模设计[J].机械设计,2021(9):71-74.
- [6] 李智临,李磊,王春,等.三维激光扫描技术在数字化工厂建模中的应用[J].广东化工,2013(22):73-74.
- [7] 高兴元,杨秋英.角变位斜齿轮的逆向设计[J].制造业自动化,2021(11):9-11.
- [8] 马原放,李海鹏,贾光军.三维激光点云自动化建模思路探索[J].测绘通报,2022(9):119-122.
- [9] 周云,刘鹏,郝官旺,等.基于无人机倾斜摄影技术的桥梁有限元逆向建模方法研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2023(9):13-23.
- [10] 孙桢.基于无人机的建筑物精细化三维建模[D].西安:西安工业大学,2023.
- [11] 周保兴,王兵,张航钊,等.融合多源空间数据的复杂场景真三维模型构建方法[J].测绘通报,2024(4):13-17.
- [12] 于滢,李准,邱燕超,等.智能工厂设备建模问题研究[J].无线互联科技,2020(19):134-138.