

BIM 技术在沥青路面施工模拟中的应用研究

刘可欣, 徐旻, 李旭, 刘凤阳, 常瑞淇

(东南大学 交通学院, 江苏 南京 211189)

摘要:针对目前常用沥青路面施工方法可追溯性差、准确性不高等问题,提出一种基于 BIM 的沥青路面施工模拟技术研究方法。基于 Revit 平台开发沥青路面施工阶段的基础模型,包括施工车辆模型、三维地质模型等,使得施工过程具有可视化、可交互性;基于 Navisworks 软件进行施工动画三维模拟,结合特性的创建和应用,可提前有效规避冲突。该文拓展与深化了 BIM 技术在道路工程沥青路面施工中的应用,有力推动了沥青路面信息化施工发展。

关键词:道路工程; BIM; 沥青路面施工; 施工模拟; 施工信息集成

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

高速公路沥青路面的施工环节主要包括施工技术与施工管理两大模块,合格的技术,严密的组织,科学的监管,精心的施工是高速公路施工质量的重要保障。然而传统的施工及管理面临着施工技术复杂,建设周期长,过程不可逆,信息管理滞后,专业协调困难,智能化程度低,不确定因素多,施工安全管理难度大等多种问题。

BIM(Building Information Modeling)通过数字信息仿真模拟建筑物所有的真实信息,及其相关的工

程数据,为设计师、建筑师、工程师、管理者乃至最终用户等各环节人员提供“模拟和分析”。BIM 可以解决由于设计冲突、施工方案临时变更、施工危险不可预见性等诸多问题,并进行多方沟通、分析,在施工前期即可实现最优效益方案的制定,并有效地规避各种风险与不利条件。通过“设计—检测—设计”的循环过程,消除设计错误和设计缺陷,减少施工的返工成本^[1]。近年来,BIM 技术在建筑工程、土木桥梁工程领域的研究得到了飞速发展。汤易之^[2]在 BIM 技术应用于

- *****
- [8] 许巍,岑国平,戴经梁. 简易机场道面结构的疲劳特性试验[J]. 交通运输工程学报,2008,8(6):40—43.
- [9] HARDY M S A,CEBON D. Importance of Speed and Frequency in Flexible Pavement Response[J]. Journal of Engineering Mechanics,1994,120(3):463—482.
- [10] 蔡靖,李岳,常欢. 转弯移动荷载下机场复合道面轮辙研究[J]. 土木工程学报,2018,51(8):118—128.
- [11] 黄勇,袁捷,谭悦,等. 机场水泥混凝土道面脱空判定及影响[J]. 同济大学学报(自然科学版),2012,40(6):861—866.
- [12] 卢艳楠,肖昭然. 探地雷达在机场道面脱空检测的应用研究[J]. 河南科技,2015(13):99—101.
- [13] 游庆龙,李京洲,罗志刚,等. 飞机轮载作用下机场复合式道面结构力学分析[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2020,41(1):111—117.
- [14] 肖春发,罗卫,栗宋来,等. 水泥路面板加铺沥青面层后板底脱空检测及评价方法[J]. 中外公路,2020,40(1):52—55.
- [15] 杨荣. 车辆荷载与水耦合作用下水泥混凝土路面板底脱空机理研究[J]. 中外公路,2018,38(3):83—87.
- [16] JOHNSON D, SUKUMARAN B, MEHTA Y, et al. Three Dimensional Finite Element Analysis of Flexible Pavements to Assess the Effects of Wander and Wheel Configuration[C]. The 2007 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference. Atlantic City, New Jersey,2007:1—17.
- [17] 刘丹. 水泥混凝土路面接缝及结构优化研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2003.
- [18] 中国民航机场建设集团公司. 民用机场水泥混凝土道面设计规范:MH/T 5004—2010[S]. 北京:中国民航出版社,2010.
- [20] 中国民航机场建设集团公司. 民用机场沥青混凝土道面设计规范:MH 5010—2017[S]. 北京:中国民航出版社,2017.

收稿日期:2020—07—09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51922030,51878164)

作者简介:刘可欣,女,硕士研究生. E-mail:1196689430@qq.com

“智慧工地”的研究中提出,BIM 模型可以为建筑模型提供一种客观、动态的虚拟视角,而且可以赋予模型所有的物理属性、参数,包括材料、几何关系等;张文胜^[3]等开发了基于 BIM 与 3D GIS 集成的铁路桥梁施工管理信息系统,实现了大批量桥梁 BIM 三维微观模型与 3D GIS 宏观场景的集成;包胜^[4]等结合 Navisworks 软件与云平台创建了施工安全问题信息整合平台,可以整理建筑工程中的施工安全问题;翟博文^[5]等基于 BIM 实现了施工成本管理的优化和施工成本业务流程优化等。

由上可以看出:BIM 技术在土木及建筑行业已得到了蓬勃发展,并成为其向智能化领域转型的重要媒介^[6-7]。然而作为国民经济动脉的道路工程,BIM 技术的发展应用依然处于起步阶段,特别是将 BIM 技术应用于沥青路面智能化施工方向的成熟研究依然较为匮乏。基于此,该文面向高速公路施工阶段重点开展基于 BIM 的沥青路面施工技术模拟研究。

1 三维基础模型开发

在 BIM 软件 Revit 的应用过程中,族是核心元素,族库积累是 BIM 设计水平的重要体现^[8]。Márcia Godinho^[9]等基于 Revit 实现了拥有多种异构模块的葡萄牙辛特拉国家宫殿的模型开发。该文在 Autodesk Revit 2018 软件中进行基础模型和地形的开发创建,分别保存为族文件,在 Revit 项目文件中进行合理放置后,后续将导入 Navisworks 中进行施工进度、施工动画模拟以及参数集成等研究工作。模型开发技术路线如图 1 所示。

1.1 Revit 基础模型开发

沥青路面施工模拟中涉及到的基础模型有施工路段、施工车辆、施工设备、施工人员等。对于较常规的基础模型如厂房等,可以从商业族库中直接下载,省去建模时间,提高工作效率。但是,BIM 技术目前多应用于建筑领域,故软件自带族库主要为建筑构件,可直接用于道路施工的族不多,对于部分族需自行开发创建。因此,该文基于 Revit 平台,利用其创建和形状等核心功能,进行了沥青路面施工模拟中所涉及的基础模型的开发与创建。在自定义族时,首先在项目浏览器中选择合适的视图,然后根据需要建立若干参考平面,最后利用“创建”选项卡,“形状”功能中的“拉伸”、“放样”等命令进行基础形状单元的创建和拼接,进而完成一个基础模型的创建。使用 Revit 创建的模型是

一种信息模型,在完成形状创建的同时可以赋予模型材质、尺寸信息等属性,方便后续管理与查看。部分自行创建及导入的族如图 2 所示。

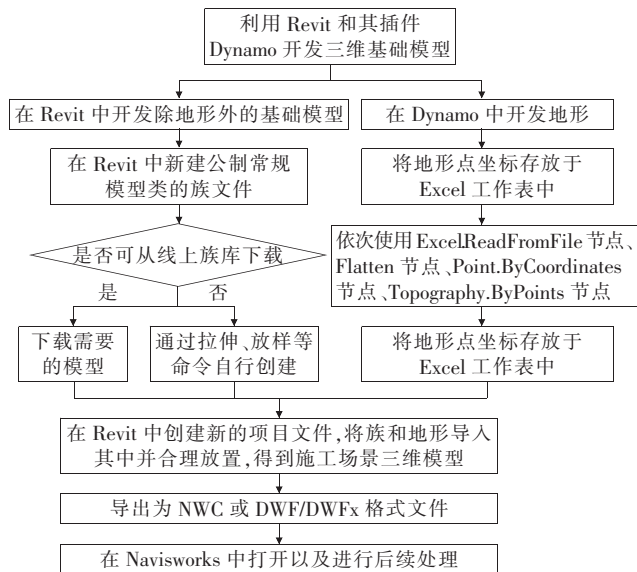


图 1 BIM 模型设计的技术路线

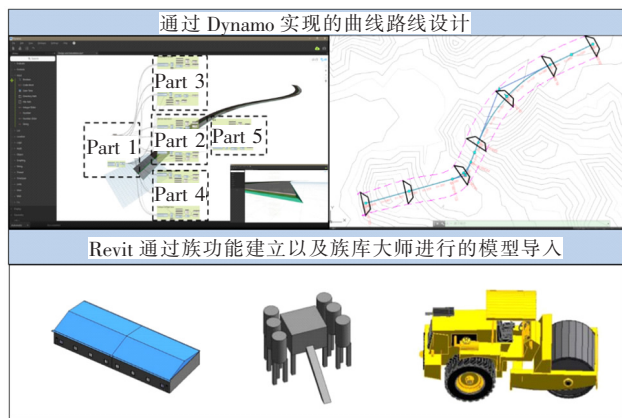


图 2 部分自行创建及导入的族

1.2 Dynamo 创建三维地形模型

相较传统的二维 CAD 地形图,三维地模能更加直观地显示出整个地形地貌的空间形状,提高设计效率^[10]。在实际工程中应收集施工场地周边地理信息及相关建(构)筑物信息,建立基于模型的高程坐标体系,后续将在其中进行施工场地的布置。因地形具有不规则的特点,无法用上述创建基础模型的方式直接创建。

该文采用 Revit 中的可视化编程插件 Dynamo 实现地形的参数化开发创建。首先,将地形点的 3 个坐标值 X、Y、Z 进行拆分和数据存档;其次,通过 Dyna-

mo 进行坐标值数据获取,并创建代表地形点的坐标数列,进而将 3 个坐标形成一个点来创建三维点阵,并将三维点阵与 Revit 中生成地形的节点进行连接以完成地形模型的初步创建;在此基础上,在 Revit 中,通过放置或更改地形点修改地形,以达到最佳的效果。开发创建的地形模型示例如图 3 所示。

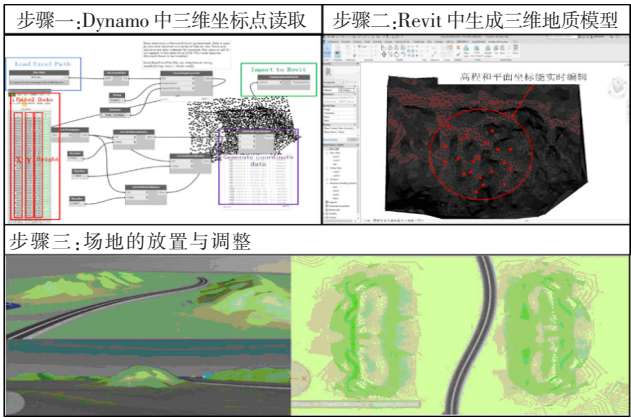


图 3 地形模型

1.3 Revit 模型导入 Navisworks

Navisworks 是一款工具软件,在 BIM 工作流中处于核心地位,它可以将 Revit 模型进行轻量化展示,以便进行模型的深化应用。该文在 Revit 平台创建模型的基础上,下一步需借助 Navisworks 平台进一步开发施工模拟等功能。首先,将创建的模型根据工程实际在 Revit 中集成布置;其次,导出为与 Navisworks 平台相容的格式文件;在此基础上,在同一 Navisworks 项目文件中打开一个或多个模型文件完成模型的导入与集成。Revit 模型导入 Navisworks 并进行集成的示例如图 4 所示。

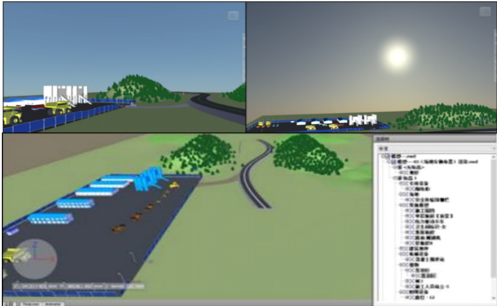


图 4 在 Revit 中建好的三维模型及在 Navisworks 中合并布设效果

2 施工模拟动画开发

施工模拟是目前 4D BIM 的主要应用,它利用事

件及其嵌套将施工任务分解为多个部分,时间维度通常适用于建筑物的特定组件^[11]。应用 BIM 技术可以进行 4D 模拟,通过立体的展示使工作人员更简明地了解施工的具体步骤及操作流程^[12]。Navisworks 中的 Animator 工具有移动、旋转和缩放图元动画的功能,也可以通过添加脚本的方式对选中的图元进行动画配置。导入预先设定好的场景文件,进行动画集的编辑,通过捕捉帧,设定好图元所需的时间,再配合漫游选项,设计虚拟人物,能够更加真实地反映实际施工场景各个图元的动画展现^[13]。创建施工模拟动画的技术路线如图 5 所示。

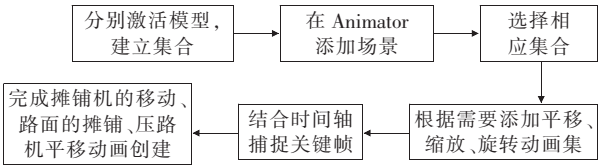


图 5 创建施工模拟动画流程图

2.1 施工现场三维场景构建

施工现场布置大多十分复杂,既有设施、材料布置和机动设备多种多样。施工场地模型可以帮助设计者识别潜在问题,最大限度地提高现场生产率和安全性^[13]。目前,4D BIM 主要用于对规划的施工过程进行可视化^[14]。在项目初始阶段,可借助 BIM 技术直接建立三维场地模型,管理人员审定时可以将修改意见直接在模型中进行修改;也可以借助 Navisworks 的场地漫游技术,使管理人员对建成后的效果有更为直观的感受;同时施工技术人员能够将场地模型与施工进度进行对接,实现施工现场的实时动态管控。

如图 6 所示,将前述创建的不同基础模型在同一 Revit 项目文件中进行集成布置,从而实现对施工场地布置效果的模拟。在此基础上,后续可通过对车辆调配等的模拟进行灵活调整,以得到适合于不同地形和工况的最佳布置方案。

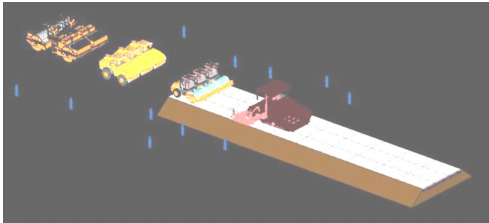


图 6 施工场地模拟布置效果图

2.2 施工模拟动画开发

Navisworks 功能允许在 3D BIM 模型和相应的

日程活动之间创建自动链接,从而促进 4D 模型的创建^[15]。该文以相关研究中的热压式沥青混凝土路面施工为例进行施工模拟动画开发研究,热压式沥青混凝土路面施工可以分解成两个阶段:第一阶段为嵌入层的摊铺与初碾压;第二阶段为沥青预拌碎石的撒布和复碾压及终碾压^[16]。复杂的施工方案通过三维模型的呈现,更加通俗易懂,技术管理者和施工人员可快速有效地掌握各项施工工序。该文通过对车辆调配和沥青路面施工的动画模拟,可以提前直观发现施工场地布置与工序安排中存在的问题,方便及时做出调整。

采用 Navisworks 中的关键帧法实现施工模拟动画开发。首先将模型根据动画展示需要进行分类和集合创建;其次,根据动画展示效果选择不同的动画类型,并分别设置起始帧和其他关键帧,进而实现如摊铺机的移动、路面层摊铺的动画;在此基础上,通过对关键帧的参数进行调整,以达到最佳动画效果。沥青路面摊铺和碾压动画创建的核心步骤如下:

(1) 摊铺机移动。在 Navisworks 中打开通过 Revit 建立的模型,针对各层路面以及各种车辆建立集合。通过集合选中“摊铺机”并添加平移动画集,将“摊铺机”移动至起始位置捕捉关键帧,完成动画的起始帧设置。然后将时间轴选中至结束时间,用“平移”功能将摊铺机移动至终点位置,并再次捕捉关键帧,完成摊铺机的移动动画创建。

(2) 路面摊铺。此处仅以最底层为例,其他路面层以此类推。用上述方法建立路面层的动画集,基于缩放动画集功能将路面层缩小至零并捕捉关键帧,然后把时间选中至摊铺机的终点时间,并将路面拉伸至原长,再次捕捉关键帧。为了创建与摊铺机同步运行的动画,需对起始关键帧进行编辑和修改。

(3) 压路机移动。借鉴路面摊铺的开发步骤同样可以完成压路机移动模拟动画的创作。

该文创建的沥青路面摊铺和碾压的施工动画示例如图 7 所示。

2.3 施工关键参数提取和应用

热压式沥青混凝土路面施工工艺特殊,以压实度、摊铺温度等作为施工关键控制参数。这些参数对施工的监督和后续管理都十分重要。通过设计图纸和现场实测数据可以在施工时将重要信息及时提取并通过模型“特性”赋予到关联的模型上,体现了 BIM 模型作为信息模型的信息集成优势。

添加施工参数在 Navisworks 项目环境下运行,以给面层模型添加“终压参数—压实度”为例,主要步骤

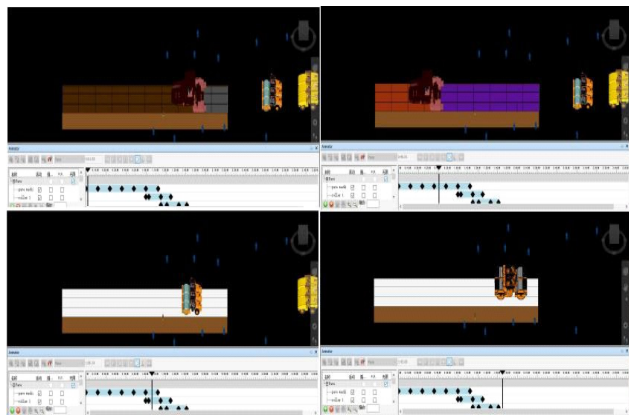


图 7 关键帧法制作施工动画

包括:激活一小块面层模型;在“特性”中创建“终压参数”;通过添加浮点类型的新特性“压实度”并编辑其特征值,完成压实度参数的创建与编辑。该研究创建的面层模型的关键参数示例如图 8 所示。

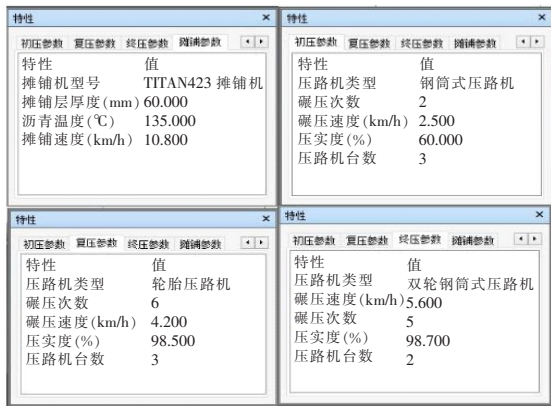


图 8 在模型特性中添加关键参数

在创建参数特性的基础上,针对压实度不足的关键质量缺陷可以进一步基于 Navisworks 开发创建自动筛选与搜索方法,并实现其可视化。方便管养阶段对压实度偏低的路段提前做好防护准备,可有效降低路面因压实度偏低而发生局部破坏的情况。图 9 为该文开发的压实度小于 99% 的路段的可视化搜索集示例,其核心步骤包括:建立“压实度 $\leq 99\%$ ”的搜索条件;在“场景视图”和“选择树”中自动筛选并高亮显示满足条件的所有路段;在集合中将搜索结果自动保存为搜索集“压实度偏低路段”。

3 结论

研究了 BIM 技术在沥青路面施工中的应用,发挥

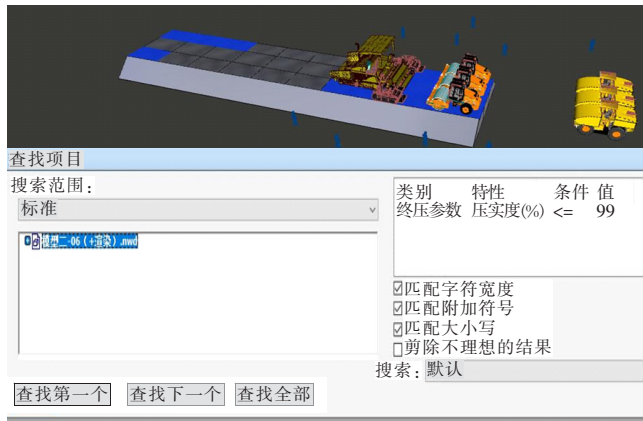


图 9 搜索压实度小于 99% 的路段

其智能化与信息化作用,显示了 BIM 技术在道路工程中应用的优越性和巨大潜力,主要结论如下:

(1) 基于 Revit 开发建立了三维地质模型,施工场景基本设施模型,为施工阶段动画的模拟提供必要的基础模型。

(2) 基于 Navisworks 实现了沥青路面施工动画开发,充分展示施工动态过程和施工细节;对模型添加了压实度等质量参数特性,实现了关键施工数据集成,便于后期质量管理;开发建立了质量缺陷自动化搜索与可视化展示方法,辅助病害防治。

(3) 基于 BIM 技术进行了沥青路面的可视化施工模拟,增强了施工过程的可视化,可交互性,同步性。各参与方可以在同一个平台、同一个构思里面讨论问题,方便以最快速度获取最优的施工预选方案,以达到节约时间,控制成本的目的。

参考文献:

[1] 宋爱苹,徐杰伟. 基于 BIM 技术的道路信息模型参数化构建研究[J]. 公路工程,2017,42(4):337-341.

[2] 汤易之. 基于 BIM 的智慧工地管理研究[J]. 价值工程,2020,39(1):102-104.

[3] 张文胜,吴强,祁平利,等. BIM 与 3D GIS 的集成技术及在铁路桥梁施工中的应用[J]. 中国铁道科学,2019,40(6):45-51.

[4] 包胜,沈勇,李鹏世,等. 基于 BIM 技术的施工安全管理应用体系[J]. 施工技术,2019,48(18):38-40,110.

[5] 翟博文,张树理,白杰. 基于 BIM 的施工项目部成本控制流程优化[J]. 施工技术,2019,48(18):47-51,63.

[6] TANG F L, MA T, ZHANG J H, et al. Integrating Three-Dimensional Road Design and Pavement Structure Analysis Based on BIM[J]. Automation in Construction, 2020, 113:103 152.

[7] MOSTAFA K, MOSLEM S, SAEED B. BIM Applications Toward Key Performance Indicators of Construction Projects in Iran [J]. International Journal of Construction Management, 2020, 20(4):305-320.

[8] 周恒宇. 基于 Revit 的水电工程族库框架体系研究[J]. 水电站设计,2019,35(4):55-57.

[9] MARCIA G, RITA M, MADALENA P, et al. BIM as a Resource in Heritage Management: An Application for the National Palace of Sintra, Portugal[J]. Journal of Cultural Heritage, 2019, 43:153-162.

[10] 周游,陈建丰. 基于 BIM 技术的道路工程模型建立及应用[J]. 公路交通技术,2018,34(3):29-32,38.

[11] ALEXANDER K. Dimensionality in BIM: Why BIM Cannot Have More than Four Dimensions[J]. Automation in Construction, 2020, 114:103 153.

[12] 杜文辉. 建筑施工项目管理中 BIM 技术的应用研究[J]. 价值工程,2019,38(34):280-281.

[13] SONG S Y, ERIC Marks. Construction Site Path Planning Optimization through BIM[C]. Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation, 2019.

[14] VERONIKA B, ANNIE G, GILLES H. Identifying Stakeholders' Roles and Relevant Project Documents for 4D-Based Collaborative Decision Making[J]. Frontiers of Engineering Management, 2020, 7(1):1-15.

[15] THIBAUT M, ADEL F. Chronographical Spatiotemporal Dynamic 4D Planning[J]. Automation in Construction, 2020, 112:103 706.

[16] 黄晚清,游宏,陆阳. 热压式沥青混凝土路面施工关键控制参数的试验模拟[J]. 公路,2015,60(11):10-15.