

BIM+VR 技术在智能建造虚拟仿真中的应用探索

黄斌源

浙江百耀建设有限公司，浙江省衢州市，324000；

摘要：随着建筑业向智能建造转型的步伐加快，BIM（建筑信息模型）与VR（虚拟现实）技术的深度融合为虚拟仿真提供了全新的路径选择。本文基于对建筑施工全过程数字化、可视化、智能化需求的深入分析，探讨了BIM与VR协同技术在智能建造虚拟仿真中的多维应用。从技术融合机理、实践应用案例到未来发展趋势，系统揭示了BIM+VR技术对建造管理方式、人员培训机制与施工安全控制的革新作用。通过研究发现，该技术组合不仅提升了施工管理精度与效率，还为施工前评估、风险预控及协同决策等方面带来显著益处，具有广阔的发展前景。

关键词：智能建造；BIM技术；虚拟现实；虚拟仿真；施工管理；数字建造

DOI：10.69979/3029-2727.25.08.028

引言

近年来，智能建造逐步成为建筑行业发展的核心驱动力。面对项目复杂性增强、工期压力增大以及施工安全要求提升的现实背景，传统建造方式显现出日益突出的局限性。如何通过技术手段打破施工信息孤岛、优化管理流程、强化全过程协同，成为业界亟待解决的课题。在此背景下，BIM技术因其强大的数据整合与三维可视能力，已成为智能建造的关键基础。而VR技术则以沉浸式体验和交互性优势，进一步拓展了BIM模型的应用边界。

BIM+VR的融合不仅是一种技术组合，更是一种新型建造范式的体现。本文将从该技术融合的机理入手，深入剖析其在施工可视化、人员培训和安全仿真等领域的实际应用价值，并对未来发展方向进行前瞻性探索，期望为建筑业的数字化转型提供参考与启示。

1 BIM+VR 融合机制与技术特性

1.1 信息模型与虚拟环境的互通逻辑

BIM技术作为建筑行业信息化管理的核心工具，其最大优势在于能够集成并统一项目生命周期各阶段的信息资源。它不仅提供三维可视化模型，更重要的是融合了时间进度（4D）、成本（5D）、能耗分析（6D）等多维数据，是实现建筑全生命周期数字化管理的关键基础。而VR技术以其强大的场景仿真能力和沉浸式体验特征，使得用户可以在数字空间中真实感受到未来建筑的形态、尺度与布局。当BIM与VR融合时，通过IFC格式（Industry Foundation Classes）的数据交换协议、Revit-to-Unity插件、或者是OpenXR接口等技术手段，BIM模型可以快速地导入VR环境中，实现结构、构件及

系统信息的全维度展示和操作。

设计师可以在VR环境中实时预览建筑设计效果，感知空间使用逻辑，并与甲方或运营方进行高效沟通，极大降低设计偏差。此外，施工单位通过这种模型可识别设计中的结构冲突、空间干涉或构件安装顺序问题，从而提前在设计阶段进行方案修正，避免现场返工。相比传统2D图纸传递的信息局限，BIM+VR的互通机制提供了“先体验、后施工”的技术支撑，帮助管理者在决策阶段就能精确掌控施工计划和效果。这种技术上的协同打破了时空限制，使得跨专业、跨地域的协作更为高效，为复杂建筑项目提供前所未有的可控性与灵活性。

1.2 多维协同架构下的技术融合模式

在建筑项目的整个生命周期中，涉及多个参与主体、复杂的流程节点以及不同阶段对信息的多维度需求，BIM与VR技术的融合为多方协同提供了一种全新的路径。这种融合并不仅仅是“叠加使用”，而是基于一个高度集成的“数字底座”，构建起一个集感知、交互、决策于一体的协同架构。在设计阶段，BIM模型可通过参数化方式快速迭代，VR则为设计者提供实时沉浸式反馈，尤其在复杂空间布局、光照分析、动线模拟等方面，VR的应用可以显著提升设计决策的直观性和合理性。设计师与业主在VR环境中“共同走进”建筑空间，实现边看边改的交互式设计，大幅提升沟通效率和方案认可度。在施工阶段，施工人员可以使用VR进行预演施工，模拟施工步骤和工艺流程，识别施工空间受限或设备吊装路径冲突等问题，从而对施工组织设计和机械调度方案进行提前优化。

同时，施工总包与分包单位可基于BIM模型进行进度对比、材料统计和作业同步，VR环境中的多方协作交

互平台也能有效缓解沟通壁垒,提升协同效率。在运维阶段,BIM模型中的构件属性和维护记录将成为设施管理的“数字图纸”,而VR平台则提供了运维人员身临其境的检查和培训通道。例如,在复杂的机电系统中,运维人员可在VR中“穿越”建筑内部路径,查找故障点、模拟维护流程,避免盲目拆装操作。这种“虚实结合”的多阶段技术融合,不仅提升了建筑管理的系统性和可视性,也促使建筑行业由传统工艺驱动转向数据驱动、模型驱动的智慧建造新范式。

1.3 数据流与交互逻辑的重构路径

BIM+VR系统在数据交互层面所带来的革命性变化,不仅体现在信息可视化程度的提升,更重要的是对整个建筑项目数据流动机制的重构。在传统模式下,数据的传递路径通常是自上而下的指令式、静态式过程,设计图纸、施工计划、进度安排等信息被“刻板”地传达至各环节,参与方之间缺乏高效互动,导致项目响应迟缓、风险积压。而在BIM+VR构建的数字化管理体系中,信息的流动变得更加灵活、实时且双向。例如,当设计人员在BIM模型中修改了机电布线方案,VR系统会立即同步更新可视化环境,施工人员在沉浸式体验中能够直观感受到变更内容,并对其可行性、作业难度进行反馈,最终促成“设计-施工”之间的闭环调整机制。

这种由VR驱动的“实时反馈+协同交互”逻辑,使得模型本身不仅是信息载体,更是互动平台与决策工具。此外,借助AI算法和数据分析模块,系统可以基于历史工程案例、现场感知数据和用户行为轨迹,自动识别潜在问题,如构件碰撞、材料短缺、作业路径冲突等,生成智能预警或优化建议。这些智能反馈可以在VR中以图像、标注或动画的方式动态展示,帮助项目管理者快速理解问题并制定应对方案,显著提升问题响应速度与决策质量。同时,随着语音控制、手势识别等交互方式的发展,BIM+VR系统正逐步摆脱鼠标与图纸的束缚,使非专业用户也能高效参与模型操作和项目评审,从而拓宽了技术应用边界,提升了建筑全生命周期的数据感知能力与交互深度。未来,随着5G、云计算等基础设施的升级,BIM+VR的数据流重构模式将进一步拓展至多工地、多项目协同管理层面,构建“人-机-模型”三元共融的智能建造生态体系。

2 智能建造场景中的BIM+VR实践应用

2.1 施工过程的三维可视化管理

BIM和VR技术在工地现场的三维的可视化场景的应用,不仅让施工人员能更直观地感受到比图纸更真实

的效果,还改变了施工管理流程中的逻辑和节奏。实际盖楼的时候,很多复杂的结构或者异形节点用二维图纸很难准确表达清楚,特别是像核心筒这样的结构、钢结构拼装还有管线走向这些信息,常常需要工人根据自己的经验来判断。然后通过把BIM模型建立的那些精准的几何构件,然后用VR系统做出高度仿真的虚拟环境之后,管理者和工人就能从不同方位看到现场真实情况,还能用四处走动观看、切开展局部放大这些功能,搞清楚施工步骤和节点具体情况。这种方法让构件定位和现场布置变得更科学了,有效减少了因为理解不同出现的施工错误。像在那些基础工程和体育馆项目里经常碰到复杂结构的情况,BIM加VR系统还能根据现在进度模拟出后面几天的施工进展,这样项目负责人就能提前做决策演练。这样不仅提升了各部门协调配合的水平,也帮助总包单位实现智能化管理,给那种“先模拟后施工”的工作模式找到了实际可行的方法。

2.2 技术交底与施工培训的可视化革新

技术交底作为施工开始前最重要步骤之一,过去都使用图纸、口头说和PPT的方式来做,这样效率不高而且容易因为说话不一样或者传话不对,经常让工人理解错意思,最后导致要返工、质量出问题甚至出安全事故。现在BIM加VR技术让技术交底变得不一样了,通过能还原现场、可以动手操作、沉浸式体验这些优点,把那些难懂的施工知识变成看得见还能自己动手练的模拟流程。比如在加固结构、支护深基坑、安装水电的时候,工人就能用VR设备提前‘进去’现场看看,明白怎么操作,感受干活时的地方不够或者危险的情况,在虚拟环境里多练习,这样他们就能记住施工方法和安全要求。这对新手工工人、外包队或者临时班组特别有用,能让他们更快适应活计,干活也更标准。另外配上考试系统和反馈,BIM加VR还能给培训效果打分,改进培训安排,做到‘培训一个就合格一个上岗一个’,推动施工管理更规范更标准。

2.3 安全控制与风险预警的虚拟演练

建筑工程现场存在很高的不确定和复杂情况,像是高空掉下来、机器弄伤人、火灾爆炸这些情况容易发生,但是以前安全教育经常只是走个过场,很难让工人们真正明白危险到底多严重。BIM和VR加在一起的安全模拟系统因为有很强的代入感和互动性,可以把抽象的安全规定变成让人真正感受到的“亲身体会”。比方说工人戴上VR眼镜进到虚拟场景里,能看到模拟的塔吊倒塌、从高处掉下去或者火灾扩散的情况,还能按照设定好的

应急流程练习怎么逃跑和处理事故,这样在心理上就会有更强烈的安全意识。另外BIM模型和传感器系统连着的话,可以把真实工地的数据传到模拟平台,对施工中危险的东西做到随时发现危险并预警。当传感器发现脚手架承重有问题或者施工电梯晃动时,系统马上在VR里生成同样的危险情况,还会发出虚拟警报,这样安全管理就从“出事了再解决”变成了提前预防和及时处理。这种新方法让安全教育变得更身临其境,还给项目安全监督提供了更聪明的管理工具。

3 BIM+VR 在智能建造中的发展趋势与挑战

3.1 多源数据融合推动智能建造系统升级

随着建筑技术发展到了数字化和智能化的新阶段,单独的模型和单一的数据源已经跟不上项目整个管理过程的复杂要求。BIM+VR系统未来要发展的方向应该是和AI、大数据、物联网这些新技术结合起来,搭建一个动态实时可以反馈的数字孪生工地。在这种模式下,工地上各种数据像是结构监测、工人位置、温度湿度、混凝土情况这些数据,都能用无线传感器收集到BIM平台里,然后VR系统把这些数据用立体的方式展示出来,让虚拟和现实工地可以实时同步。管理人员不但能‘看到’项目进展,还能‘预测’可能出现的问题。比如说系统用数据分析发现某个地方的混凝土养护条件不够,负责人就能用VR进去看一下然后制定方案,及时调整施工步骤。这种靠多种数据做决定的智能方式,是传统靠经验的管理方式根本比不了的。这说明管理方式从原来的静态信息变成了能感知能预测的阶段,是以后建筑工程整个生命周期数字化管理的关键动力。

3.2 行业标准化与平台兼容性的协同难题

虽然BIM和VR技术结合现在越来越成熟了,但在建筑行业推广使用却遇到很多问题,比如标准不统一、不同平台互相不支持这些关键难题。像Autodesk、Graphisoft这些BIM软件公司各自用自己的一套建模方法和零件参数系统,结果模型之间没法很好互通,数据转换起来特别麻烦。VR平台在调取模型、做动画、渲染格式这些方面都不太统一,直接限制了BIM模型快速部署和协作效率。还有整个行业没有规定零件怎么命名、项目怎么编号、数据怎么交换的标准,导致建筑信息跨项目使用时经常出现数据重复和错误。要解决这些问题,必须由行业协会牵头搞一套统一的数据格式和接口要求,还有建模操作手册,这样才能提升BIM+VR技术的移植性和扩展功能。同时应该建立开放共享的技术交流

平台,让企业、学校和个人开发者都按统一标准来合作开发,这样不同平台就能互相连接,技术资源也可以自由流动,推动建筑行业向高效协作、环保节能的数字化建造方向发展。

3.3 成本投入与技术门槛的现实考量

虽然BIM加VR技术具有很大的应用可能,但从投资方和建设单位角度来看来说,前期的成本仍然是一个必须面对的问题。首先硬件方面需要买很多高性能的服务器、图形处理的工作站、VR眼镜还有操作的设备;然后软件方面要购买正版的BIM建模工具和VR开发平台的授权使用权,同时还要招聘那些既要会BIM建模又会写VR脚本甚至图形渲染技术的综合能力强的员工。这对那些资金不太够、技术人员水平跟不上的中小型公司来说,实在需要花费很多钱。另外整个项目团队还需要调整他们的组织架构、合作流程还有给员工做培训这些方面,才能让BIM+VR技术真正用起来。这些实际问题使得有些企业还在犹豫要不要引进这个技术。所以想要让BIM+VR在行业里全面推广,应该有政府出台相关鼓励政策,比如给科技创新的补贴、减少税收、支持试点项目这类措施。另外大学和培训机构应该多开设相关专业课程,培养更多跨学科的应用型人才。只有把政策引导、资金帮助和人才供应这三个方面结合起来,才能让BIM+VR技术从能用变成好用最后全面普及,这样才能真正实现建筑行业的智能化升级和更好发展。

4 结语

BIM+VR技术作为智能建造的重要支撑,其在虚拟仿真中的应用已展现出巨大的潜力与前景。从信息交互到施工管理,从安全培训到智能决策,BIM+VR的多维协同构筑了未来建筑行业的数字化基础架构。然而,技术推广的过程中仍需解决平台标准化、成本控制与人才培养等一系列问题。唯有在持续优化技术路径、深化产学研融合的基础上,BIM+VR才能真正赋能建筑业高质量发展,引领智能建造迈向更高台阶。

参考文献

- [1] 张佳乐, 骆汉宾, 徐捷. 建筑信息模型(BIM)在建筑自动化及机器人技术领域的应用[J]. 土木工程与管理学报. 2021, 38(6).
- [2] 刘占省, 孙啸涛, 史国梁. 智能建造在土木工程中的应用综述[J]. 施工技术. 2021, 50(13).
- [3] 郑杰, 陈文强. BIM在建筑行业推广应用中的阻碍因素及对策分析[J]. 山西建筑. 2020, (21).