

基于 BIM 技术的矿山管理三维可视化模型视觉优化设计研究

刘园园

中煤科工集团北京华宇工程有限公司, 北京, 100011;

摘要: 随着矿山行业数字化转型的加速, BIM (Building Information Modeling) 技术在矿山管理中的应用日益广泛。本文深入探讨了基于 BIM 技术的矿山管理三维可视化模型的视觉优化设计, 重点分析了矿井工业场地总布置动画漫游、材质添加、光影处理以及施工模拟动画等关键技术在提升矿山模型视觉效果中的作用, 并结合实际案例, 展示了视觉优化设计在矿山管理中的应用效果。研究结果表明, 通过视觉优化设计, BIM 模型能够更直观地展示矿井工业场地总布置和设备动态运行过程, 为矿山的设计、施工和运维管理提供有力支持, 显著提升矿山管理的效率和精准性。

关键词: 矿山管理; BIM 技术; 三维可视化; 视觉优化设计; 动画漫游; 材质添加; 光影处理; 施工模拟动画

DOI: 10.69979/3029-2727.25.09.036

引言

矿山管理是一个复杂的系统工程, 涉及矿山的设计、建设、生产运营等多个阶段。传统的矿山管理模式主要依赖二维图纸和现场经验, 难以满足现代化矿山管理对信息集成、动态监控和高效决策的需求。随着数字化技术的快速发展, BIM 技术逐渐成为矿山管理的重要工具。BIM 技术通过创建高精度的三维模型, 整合矿山的地质、设计、施工和运维信息, 为矿山管理提供了全新的解决方案。然而, BIM 模型的视觉效果直接影响其在矿山管理中的应用效果。因此, 视觉优化设计成为提升 BIM 模型应用价值的关键环节。本文将从动画漫游、材质添加、光影处理以及施工模拟动画等关键技术入手, 探讨如何通过视觉优化设计提升矿山管理的效率和精准性。

1 BIM 技术在矿山管理中应用的作用

1.1 提升矿山全生命周期管理的协同性

BIM 技术通过构建统一的三维可视化模型, 使矿山设计、施工、运维各阶段的信息壁垒被打破。可将设计阶段地质数据、设备参数直接导入施工模型, 将施工过程期间的进度信息、质量记录能实时反馈至模型数据库, 运维阶段的设备运行数据可反哺设计优化, 形成全流程信息闭环。各参与方基于同一模型开展工作, 减少传统图纸传递中的信息失真, 使设计变更响应速度、施工方案调整效率、运维决策精准度得到显著提升, 推动矿山管理从分散式向协同化转变。

1.2 增强矿山复杂场景的可预见性

矿山地质条件复杂、作业空间封闭、设备系统繁多, 传统二维图纸难以将其空间关系与动态变化完整呈现出来。BIM 技术通过三维建模将井下巷道、地面工业场地、设备布局等具象化, 结合地质力学参数模拟矿体赋存状态、岩层移动趋势, 提前识别开采过程中可能出现的巷道变形、设备干涉等风险。通过可视化模型预演开采流程、运输路径, 并优化作业工序, 避免因空间规划不合理造成生产停滞, 为矿山安全高效生产提供前瞻性支持。

1.3 优化矿山资源配置与成本控制

运用 BIM 模型的参数化特性对矿山设备选型、材料用量、人力调配等进行量化分析。在设计阶段通过模型对不同开采方案的设备能耗与材料消耗进行模拟, 并根据模拟结果选择性价比最优的方案; 施工阶段结合 4D 进度模拟, 合理安排设备进场时间与人员排班, 降低资源闲置率; 运维阶段基于模型的设备台账与运行数据, 制定精准的维护计划, 降低过度维修或突发故障带来的成本损耗。通过全周期的资源动态管控, 实现对矿山成本的精细化管理, 使整体经济效益得到提升。

2 BIM 技术在矿山管理中的应用现状

2.1 矿山设计阶段

在矿山设计阶段, BIM 技术通过创建高精度的三维模型, 能够直观地展示矿山的整体布局、开采工艺和设备布置。设计人员可以通过 BIM 模型进行多方案比选, 优化设计方案, 减少设计变更。然而, 传统的 BIM 模型

在视觉效果上存在不足，难以直观地展示矿山的复杂地质条件和动态运行过程。因此，视觉优化设计在矿山设计阶段具有重要意义。

2.2 矿山施工阶段

在矿山施工阶段，BIM技术通过4D施工进度模拟和三维技术交底，能够帮助施工人员更好地理解施工流程和操作步骤，提高施工效率和质量。然而，施工阶段的BIM模型需要具备更高的视觉效果，以满足施工人员对复杂施工环境和动态施工过程的理解需求。视觉优化设计通过动画漫游和材质添加等技术，能够显著提升BIM模型的视觉效果，增强施工管理的直观性和精准性。

2.3 矿山运维阶段

在矿山运维阶段，BIM技术通过与物联网技术的结合，能够实时监控矿山设备的运行状态，实现设备的全生命周期管理。然而，运维阶段的BIM模型需要具备更高的动态性和真实感，以满足运维人员对矿山设备运行状态的实时监控和故障诊断需求。视觉优化设计通过实时数据集成和光影处理等技术，能够显著提升BIM模型的动态性和真实感，增强运维管理的效率和精准性。

3 矿山管理三维可视化模型的视觉优化设计实施步骤

3.1 模型创建与组装

模型创建与组装是视觉优化的首要工作，其重点在于将矿山的各类要素转化为三维空间中的具象形态，并通过合理的结构关系构建完整的场景框架。在此期间并非简单的将元素进行罗列，而以矿山实际布局为基础，兼顾空间逻辑与视觉表达平衡。

实现基础要素三维转化。矿山的地形地貌是构建模型的基础，以地质勘察资料为依据将山体的起伏轮廓、地表的植被覆盖、水域分布还原出来，以此使虚拟地形与真实矿山的空间尺度呼应。矿井井架、运输轨道、仓储设施等人工构筑物应当参照设计图纸，并在此基础上将其形态细节还原出来，例如井架的钢架构件应当展现出工业建筑的线条感，仓储区的料仓与传送带应当将功能衔接关系展现出来。地下巷道与开采面建模应当将空间层次作为重点，巷道的走向、分叉与交汇应当与矿山实际开采规划相符合，避免因结构混乱对后续视觉呈现效果造成负面影响。

各专业建模完成后进入组装阶段，在此期间建立要

素间的内在联系为重点工作。矿山生产系统是作为有机整体，井下的开采面通过巷道与提升系统相连，煤仓与主厂房通过栈桥相连等众多功能关联应当在空间布局中有所体现。组装期间应当最大限度上避免要素的重叠与错位，模型组装后可通过碰撞检测工具检查模型之间的冲突，并进行相应的调整。

模型组装的目的是构建一个逻辑自治的三维场景。当全部要素均被放置在虚拟空间指定位置，相应的矿山的生产流程能够通过空间布局自然呈现出来——从井下开采到地面运输，从原料存储到加工处理，各环节空间位置与形态特征均展现出其在生产链中的作用。这种基于现实逻辑的组装方式，不仅为后续的视觉优化奠定基础，还使模型具备传递矿山管理信息能力。

3.2 材质优化

材质优化是通过为BIM模型中的构件和设备添加逼真的材质贴图，增强模型的真实感和视觉效果。在矿山管理中，材质添加技术可以模拟矿山的实际环境，如岩石、土壤、金属设备等，使BIM模型更加接近实际场景，提高模型的可信度。材质优化的关键在于材质的选择和材质属性的调整。

3.2.1 材质选择

材质的选择应考虑矿山的实际环境和构件的物理属性。例如，岩石表面应选择具有粗糙纹理和自然色彩的材质贴图，以模拟真实的岩石外观；金属设备应选择具有金属光泽和反射特性的材质贴图，以增强设备的真实感。在选择材质时，还应考虑材质的分辨率和细节程度。高分辨率的材质贴图能够提供更清晰的视觉效果，但也会增加模型的渲染负担。因此，在选择材质时需要在视觉效果和性能之间进行平衡。

3.2.2 材质属性调整

材质属性的调整是提升材质真实感的重要环节。通过调整材质的反射、折射和透明度属性，可以使材质在不同光照条件下表现出逼真的效果。例如，金属材质的反射属性应设置为较高值，以模拟金属表面的反光效果；透明材质（如玻璃或水流）的透明度属性应根据实际需求进行调整，以模拟透明物体的视觉效果。此外，还可以通过调整材质的纹理坐标和UV映射，确保材质贴图在模型表面的正确显示，避免出现拉伸或扭曲现象。

3.3 光影模拟

光影处理是通过合理设置灯光效果，增强模型的真实感和立体感。在矿山管理中，光影处理技术可以模拟矿山的实际光照环境，如自然光和人工光的结合，使 BIM 模型更加逼真。光影处理技术的关键在于灯光的设置和阴影的调整。

3.3.1 灯光设置

灯光的设置需要结合矿山的实际光照条件，确保模型在不同环境下的视觉效果。在矿井工业场地区域，自然光是主要的光照来源，因此应设置模拟太阳光的平行光，以模拟自然光照效果。在设备操作区域和室内空间，人工光（如灯光）是主要的光照来源，因此应设置点光源或聚光灯，以模拟人工照明效果。灯光的强度和颜色应根据实际需求进行调整，以确保模型在不同光照条件下的视觉效果。

3.3.2 阴影调整

阴影的调整是增强模型立体感的重要手段。通过调整阴影的深度和范围，可以使模型的立体感更加突出。在矿山管理中，阴影的调整需要考虑光照方向和模型的几何形状。例如，在自然光照条件下，阴影的方向应与太阳光的方向一致；在人工光照条件下，阴影的方向应与灯光的方向一致。此外，还可以通过调整阴影的软硬程度和模糊范围，模拟不同光照条件下的阴影效果，使模型更加逼真。

3.4 三维动画漫游

动画漫游是通过在 BIM 模型中设置摄像机路径，生成动态的三维漫游动画，帮助用户直观地了解矿井工业场地的布局、设备运行状态和工艺流程。在矿山管理中，动画漫游技术可以模拟矿山的开采过程、设备的运行状态以及人员的操作流程，使管理人员能够提前发现潜在问题并优化设计方案。动画漫游技术的关键在于摄像机路径的设置和动画帧率的优化。

3.4.1 摄像机路径设置

使用 BIM 软件或动画渲染软件（如 3ds Max、Lumion）设置摄像机路径，摄像机路径的设置需要结合矿山的实际运行流程，确保动画能够全面展示矿山的关键区域和重要设备。路径应涵盖矿山的开采入口、主要运输通道、设备操作区域以及人员活动频繁的场所。例如，在模拟矿山的开采过程时，摄像机路径可以从开采入口开始，沿着运输通道逐步深入，展示开采设备的运行状态和矿石的运输过程。

3.4.2 动画帧率优化

动画帧率的优化是确保动画流畅性的关键。过低的帧率会导致动画卡顿，影响用户体验；而过高的帧率则会增加硬件负担，降低系统性能。在矿山管理中，动画帧率应根据矿山的实际运行速度和用户的需求进行调整。一般来说，矿山开采过程的动画帧率可以设置在 30-60 帧/秒之间，以保证动画的流畅性。对于设备操作流程的展示，帧率可以适当提高到 60-120 帧/秒，以更清晰地展示设备的快速动作和细节变化。

3.5 施工进度模拟动画

施工进度模拟动画是实现矿山管理三维可视化模型在时间维度上的延伸，通过动态呈现矿山建设或改造过程中不同阶段的场景变化，使管理者直观把握施工节奏、预判潜在冲突，这种时间维度的视觉表达，使静态的设计方案具备推演未来的能力。

划分进度模拟的时间应当结合矿山施工的实际周期。按照施工阶段分为前期准备、主体建设、设备安装、调试运行四个主要阶段，将每个阶段进一步细分为若干关键节点，例如前期准备阶段包括场地平整、临时设施搭建与材料进场，主体建设阶段包括井巷开挖、地基处理与厂房砌筑等。动画中需明确区分不同阶段的视觉特征，准备阶段场景以开阔的场地与少量工程机械为主，地面可标注施工范围线；主体建设阶段通过逐步增高的结构框架与延伸的巷道轮廓，展现空间形态的变化；设备安装阶段重点呈现大型机械的就位过程，通过部件的逐步组装传递施工进展；调试运行阶段则加入物料运输、设备运转的动态效果，将施工过渡到生产的过程展现出来。

场景变化的表现方式应清晰易懂。同一区域在不同阶段的状态差异，可通过“渐显”“替换”或“分解”的动画效果呈现——地基浇筑过程中，可让土方逐渐隐去，混凝土结构从透明到实体的渐变中显露出钢筋骨架；通过部件的逐层叠加表现井架安装，每一根钢柱的就位都伴随轻微的对位动画，传递施工精度。不同阶段场景切换应当自然流畅，例如从场地平整到厂房建设的过渡，可通过推土机离场与起重机进场实现连续动作。

4 视觉优化设计的应用效果

4.1 提升设计沟通效率

通过动画漫游和材质添加技术，将矿井工业场地布

置及井下设计方案能够以更加直观和逼真的形式呈现出来,帮助设计人员和业主更好地理解设计意图,减少设计变更。此外,通过材质添加技术,设计人员可以为模型中的构件和设备添加逼真的材质贴图,使模型更加接近实际场景,进一步提高了设计沟通的效率。

4.2 增强施工管理能力

在施工阶段,动画漫游和实时数据集成技术可以为施工人员提供详细的三维技术交底,帮助他们更好地理解施工流程和操作步骤。同时,通过实时监控施工进度和设备运行状态,施工管理人员可以及时调整施工计划,提高施工效率。此外,通过施工模拟动画,施工管理人员可以直观地了解施工进度,提前发现潜在的进度延误问题,并采取措施进行调整。

4.3 优化运维管理

在运维阶段,BIM模型结合实时数据集成和动画漫游技术,可以实现对矿山设备的全生命周期管理。运维人员可以通过模型实时了解设备的运行状态,提前进行维护和故障诊断,减少设备停机时间。例如,在某矿山的运维阶段,通过实时数据集成技术,运维人员能够实时监控设备的运行状态,提前发现并处理了多起设备故障,设备停机时间减少了约20%。此外,通过动画漫游技术,运维人员可以直观地了解设备的操作流程和维护要点,进一步提高了运维管理的效率。

4.4 推动矿山安全管理升级

视觉优化后的BIM模型可高度还原矿山作业环境,为安全管理提供了直观的可视化载体。在安全培训中,利用动画漫游技术模拟井下爆破作业、设备操作等高危场景,使员工无需进入实际危险区域即可掌握安全操作规程,在此期间安全意识、应急处置能力得到增强。通过模型的光影处理与材质区分重点标注巷道支护薄弱点、设备运行盲区等矿山潜在的安全隐患,帮助管理人员快速定位风险区域并制定防控措施。结合实时监测数据,模型可将瓦斯浓度、顶板压力等关键安全指标的空间分布动态显示出来,当指标超出阈值的情况下,通过颜色预警与动画提示触发应急响应,缩短险情处置时间。

在“可视化+数据化”的安全管理模式支持下,使矿山安全检查的覆盖率、隐患整改效率得到提升,为矿山安全生产奠定坚实基础。

5 总结

BIM技术在矿山管理中的应用,通过三维可视化模型的视觉优化设计,显著提升了矿山全生命周期管理的效率和精准性。动画漫游、材质添加、光影处理以及施工模拟动画等关键技术的应用,不仅增强了矿山模型的视觉效果,还为矿山的设计、施工和运维管理提供了有力支持。视觉优化设计通过提升模型的真实感、动态性和交互性,帮助矿山管理人员更直观地理解和监控矿山的运行状态,从而优化管理决策,提高矿山的整体运营效率。

未来,随着BIM技术的不断发展和与其他新兴技术(如物联网、大数据、人工智能)的深度融合,矿山管理的数字化转型将更加深入。例如,通过物联网技术,矿山管理人员可以实时获取矿山的生产数据和设备运行状态,实现智能化管理;通过大数据技术,管理人员可以对海量的矿山数据进行分析和挖掘,为决策提供科学依据;通过人工智能技术,管理人员可以实现矿山设备的故障预测和自动诊断,提高运维效率。这些技术的融合将为矿山行业的可持续发展提供更强大的技术支持,推动矿山管理向智能化、高效化和绿色化方向发展。

参考文献

- [1]李宏维,臧冀川,魏凯欣,等. BIM技术在地下矿山建设中的应用探讨[J]. 现代矿业, 2024, 40(10): 167-170.
- [2]毛龙栋,王超,秦荷. 矿山工程勘察设计BIM技术在滑坡治理工程中的应用[J]. 中国金属通报, 2024, (05): 128-130.
- [3]施戈亮. BIM技术在矿山岩土工程中的应用[J]. 世界有色金属, 2024, (04): 223-225.
- [4]杨恒,张文清. 实景三维重建与BIM技术在露天矿山生态修复中的应用实践[J]. 能源与环保, 2023, 45(08): 51-55.