

面临复杂工艺流程表述不清的问题。各专业之间经常存在交叉的内容,对从业者提出了较高的要求^[4]。

Unity 作为一款通用的三维渲染引擎,不仅可以解决模型融合的问题,也可以对数据进行汇总,并通过定制化的渲染方式将整个三维场景呈现出来。通过这种方式,不仅可以对不同格式的模型进行集成,还可以将属性信息与模型进行叠加共同构建数字孪生模型。除此之外,通过引擎电影级别的渲染效果还可以对复杂的工艺流程进行剖切显示、动画展示,进一步优化模型的表现形式。同时,Unity 也支持跨平台开发,支持 PC 端、移动端、大屏、混合现实设备应用发布,进一步拓展了应用领域。

2 Unity 引擎的优势

Unity 是由美国 Unity Technologies 公司开发的三维互动内容创作和运营平台,目前已经被广泛运用在游戏开发、美术、工业设计、影视制作等领域。Unity 支持多种格式的二维、三维资源导入,如可将 3DMax 构建的工业模型直接导入 Unity 中。同时,平台提供了可视化的编辑页面,不仅可以对模型资源进行交互编辑,也提供实时渲染窗口展示模型当前状态,还可以通过脚本等方式承载模型属性信息。Unity 引擎通过集成三维模型的基础功能,免去了大量“造轮子”的开发内容,极大提升了三维可视化的开发效率。

2.1 可视化开发页面,优化三维开发方式

Unity 的开发界面主要由 Scene (场景编辑窗口)、Game (渲染展示窗口)、Hierarchy (场景物体结构)、Project (项目资源列表) 和 Inspector (属性配置窗口) 组成。通过上述几个界面可以实时在 Scene 窗口中摆放模型,并在 Inspector 窗口中配置属性,并在 Game 窗口中看到实际渲染效果。同时,引擎内置了物理系统、寻路系统、粒子系统、动画系统等。可以有效适应矿山项目中仿真模拟、工艺模拟等可视化需求。

2.2 开放的插件市场,可提供各种工具提高开发效率

Unity 允许植入个人二次开发的插件,可将重复的功能进行整合,同时可以自定义菜单界面进一步提高使用效率。Unity 官方也提供官方商城 (Asset store),开发者不仅可以分享自己的插件,还可以通过售卖插件进行盈利。这样一方面为 Unity 生态提

供的大量的资源,另一方面也为插件的稳定性和先进性提供了保证。插件库中有大量匹配矿山行业应用场景的插件,可极大的优化开发效率。如 Curvy spline (简称 Curvy) 是一款控制物体移动的插件,它匹配了井下无人电机车运输的场景。通过 Curvy 可以在三维场景中绘制完整的巷道和轨道场景,不仅可以模拟井下电机车的移动,也可以对车头和拖车分别进行控制,井下无人电机车运输模拟如图 1 所示。此外,各个道岔均可配置节点事件,结合现场实时采集的道岔数据即可精准模拟井下有轨运输的整个过程。同时,定位过程也可以通过里程、速度等方式进行模拟计算,不仅可以为实际生产提供参考,还有效节约了数据采集成本。

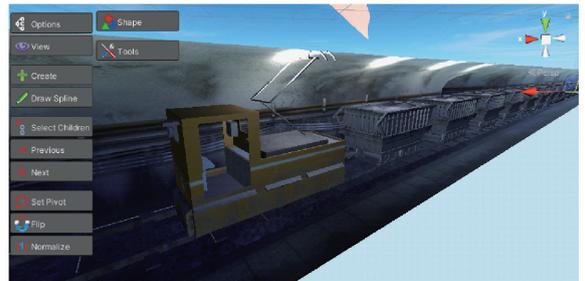


图 1 井下无人电机车运输模拟

2.3 跨平台开发,提高代码与模型利用率

目前各大矿山均开始应用智能设备并开发智慧管控系统,矿山提高自身数字化、智能化管理水平,并构建一个智能化的管控中心已经是大势所趋。Unity 提供快速的开发平台转换功能,可以达到一次编码多次复用的效果,为各大矿山的管控平台建设提供了更优质的解决方案。Unity 支持发布管控大厅大屏客户端、PC 管控系统客户端、手机移动客户端 APP 和混合显示应用,满足矿山项目各类应用需求。开发者仅需切换发布环境,并做出少量的适配修改即可完成客户端发布,极大提高了代码的复用率,节约了开发成本。同时,模型也可以依据客户端做出相应优化和适配。如 CS 端通常具有较好的硬件配置,可提供更为优质的渲染效果;而手机端则需要优化模型的面数与材质精度,可选用烘焙好的贴图进行优化,同一模型在不同终端的表现效果如图 2 所示。

3 Unity 在数字孪生矿山项目的应用

3.1 模型数据融合与多专业协同

有色金属矿山项目设计通常由多专业协同完

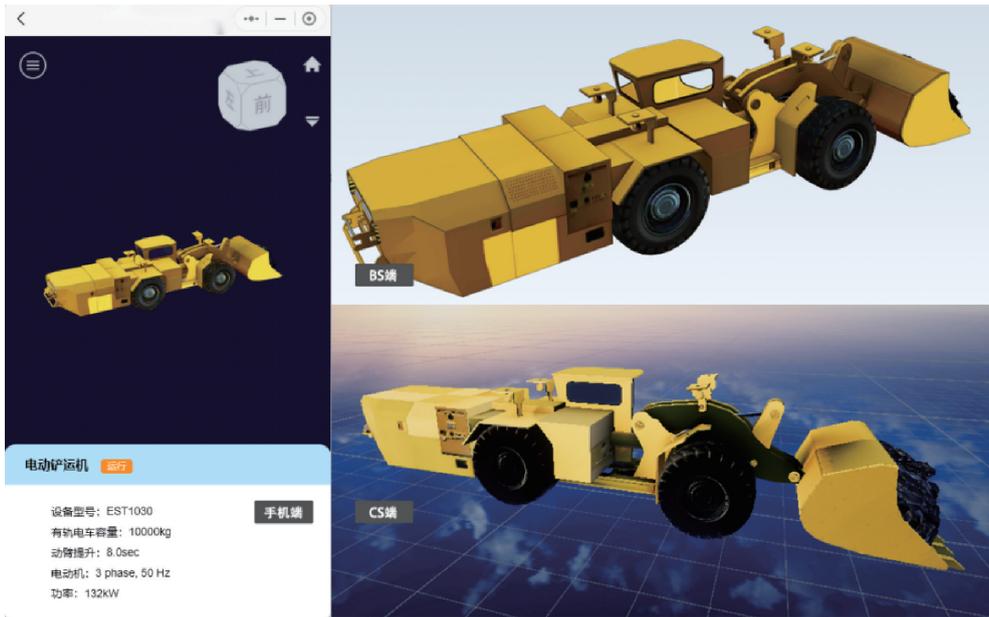


图2 同一模型在不同终端的表现效果

成,各专业设计、模拟仿真或施工过程中均可能产生不同格式的模型,如何将种类繁多的模型结构进行汇总,并保留相关的属性信息是行业内一个常见的问题^[5]。如常用于建筑行业的 Revit 建模软件生成的模型为 rvt 格式,而常用于工业领域的 Bentley 建模软件生成的 dgn 格式。两种模型虽然都是 BIM 数据与模型数据的结合,但是两者并不能直接在一个兼容平台中进行合并。Unity 依靠其强大的模型功能支持和二次开发功能可以有效解决上述问题。各类模型不论是用什么平台进行建模,都是由网格 Mesh 数据和属性信息两部分组成的。因此,模型数据融合的解决方案其实就是由两部分构成,分别是 BIM 属性信息融合和模型 Mesh 结构融合。

1) BIM 数据解析

BIM 模型的属性信息均需要一个存储的载体,一般可通过数据库或本地文件进行存储,而属性信息均可通过兼容的数据存储交换格式进行传递。数据存储交换格式是一种以统一格式描述或表示数据的方法,通常用于不同系统之间的数据交换,数据交换格式文档示例如图 3 所示。目前应用较为广泛的数据交换格式有 XML、JSON、CSV 等。Unity 引擎支持 C#语言并可进行编码,应用 C#的输入输出基础类库即可解析数据存储交换格式文件,如调用 Unity 的 JsonUtility 类库或外置的 Newtonsoft.Json 即可解析 JSON 文件。通过这种方式,可以将模型的属性信息如设备的规格、尺寸、厂家信息等附加到数据存

储交换格式文件中,即可完成 BIM 数据解析。同理,仿真模拟类的数据也可以通过这种方式传输,如巷道的风量、风压等。此外,模型的位置(position)和角度(rotation)信息也需要在文件中进行记录,这样才可以将相对位置进行记录并将对应模型显示在正确问题。同时,多次引用的相同模型可以通过预制体(Prefab)的形式进行存储和展示,可以进一步优化超大模型显示场景的性能。

2) 模型 Mesh 结构采集

模型数据的采集相对来说更为便捷。因为 Unity 兼容常见的如 3DMax、MAYA、Blender 等建模软件,所以通过将 BIM 软件的模型转换为通用格式(如 FBX)后即可在 Unity 中正常读取并显示模型层级结构^[6]。FBX 模型不但保留了模型层级结构,同时也可以对整体绑定骨骼动画或者对每个子物体进行动画编辑,满足流程演示需求;对于通用性不强的专业建模软件,也可以转换诸如 OBJ 或者 STL 的格式,虽然会牺牲部分模型的层级结构,但是也可以通过多次导出或者二次建模的方式进行优化。

通过上述方式优化,最终 BIM 模型将分解为具有层级结构的 Mesh 和 BIM 数据两部分,在 Unity 中重新组装并渲染在可视化窗口中。其他不是由网格和属性构成的模型也可通过类似的方式进行处理。如矿体模型本质上由 CSV 的块体模型数据构成,并不含网格数据。此类模型可通过三维块段估值计算对单位体积内矿石的含量分布单独生成网格模

ClassName	Catalog	Property Name	EC Property DisplayName	类型	示例	备注
DRIVE	断面参数 SectionParameter	DRIVE_NAME	断面名称	string	A.A	
		IDENTIFY_NAME	标识	string	1	
		SECTIONTYPE	断面类型	string	三心拱	
		SECTION	断面	int	1	
		WIDTH	净宽(m)	double	6.00	
		HIGHT	净高(m)	double	3.700	
		DITCH_ENABLE	设置水沟	bool	TRUE	
		DITCH_STYLE	沟槽类型	string	直沟排水	
		DITCH_SECTION_BOTTOM_WIDTH	水沟净宽度上宽(m)	double	1.00	
		DITCH_SECTION_TOP_WIDTH	水沟净宽度上宽(m)	double	3.00	
	DP_SUPPORT	支护高度(m)	double	80		
	DP_LOCATION	水沟位置	double	1.00		
	ditch_section_height	沟槽高度	double	3.00		
	ARCULATION_HEIGHT	拱高 (mm)	double	1800		
	ARCULATION_STRAIT_HEIGHT	直拱高 (mm)	double	1800		
	SECTION_DRY_AREA	净断面 (m²)	double	17.02		
	SECTION_PERIMETER	净周长 (mm)	double	1.260E+01		
	SECTION_AREA	净面积 (m²)	double	21.82		
	EDGE_ARCULATION_HEIGHT	净高 (mm)	double	0		
	计算参数 CalculateParameter	RP_ISSET	设置拱脚	bool	TRUE	
		RP_BESINGLE	拱脚	bool	TRUE	
		RP_BEDDOUBLE	双拱	bool	FALSE	
		RP_WEIGHT_1	拱重—拱重(kg/m)	double	35	
		RP_RAILDISTANCE_1	拱重—拱距(m)	double	300	
		RP_HEIGHT_1	拱重—拱面高h1(mm)	double	350	
		RP_ZHENDISTANCE_1	拱重—拱拱间距(mm)	double	0	
		RP_STRITCHHEIGHT_1	拱重—拱拱高h2(mm)	double	2200	
		RP_EQUIPWEIGHT_1	拱重—设备重量L1(mm)	double	1800	
		RP_EQUIPHEIGHT_1	拱重—设备高度h2(mm)	double	1800	
	RP_SAFE GAP_1	安全间距h3(mm)	double	1200		
	RP_SAFE GAP_2	安全间距h3(mm)	double	1200		
	RP_WEIGHT_2	拱重—拱重(kg/m)	double	112		
	RP_ZHENDISTANCE_2	拱重—拱拱间距(mm)	double	0		
	RP_EQUIPWEIGHT_2	拱重—设备重量L2(mm)	double	1800		
	RP_SAFE GAP_3	安全间距h3(mm)	double	1200		
	RP_SAFE GAP_4	安全间距h3(mm)	double	1200		
	拱脚参数 Rail parameters	BAP_ISSET	设置拱脚	bool	TRUE	
		BAP_F	拱脚(m)	double	500	
		BAP_R	半径(m)	double	12000	
		设置间距(m)	double			
		设置	bool	TRUE		
		拱脚	bool	TRUE		
		拱脚	bool	TRUE		
		拱脚	bool	TRUE		
		拱脚	bool	TRUE		
		拱脚	bool	TRUE		
	支撑参数 Bottom arch parameters	SUPPORT_TYPE	支撑类型	string	不支、顺坡、锚杆等	通过此处勾选支撑类型，决定下方显示哪些支撑EC CLASS及其参数
		支撑厚度(mm)	double	300		
		支撑厚度 (mm)	double	100		
		宽度 (mm)	double	18		
		长度 (mm)	double	1800		
		间距 (mm)	double	1000		
		埋深 (mm)	double	1000		
		高度 (mm)	double	100		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
	拱脚、背棚 ArchShell	拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
	联结钢板与脚底板 连接拉杆	拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
	锚杆 锚索	拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
	锚杆混凝土 ConcreteData	拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		
		拱脚 (mm)	double	10		

图3 数据交换格式文档示例

型^[7]，之后再和属性信息进行匹配并进一步进行数据分析与数据挖掘，CSV文件建模与数据挖掘如图4所示；OSGB是一种常用于GIS应用的模型格式，他主要由纹理数据和结构数据构成。这类模型经过

对应的工具转换也可转换为通用的网格模型，之后再根据通用的地理坐标即可进行模型与定位数据的匹配^[8]。

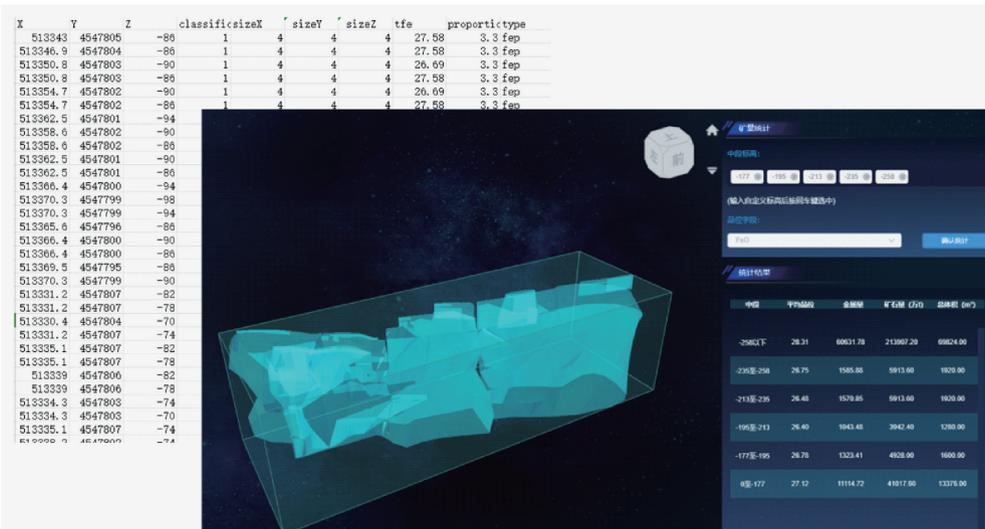


图4 CSV文件建模与数据挖掘

3.2 驾驶舱大屏应用

可视化驾驶舱是 Unity 在矿山项目上应用最广泛的一种形式。区别与传统网页的大屏,CS 端的 Unity 客户端可以提供更稳定的硬件支持;同时,也可以提高模型整体的渲染效果;此外,还可以在保证显示效果的同时,针对不同的项目现场配置不同分辨率的客户端,满足矿山个性化需求。驾驶舱大屏开发的主要内容分为后端数据接入与前端客户端开发两部分。

1) 后端数据接入

后端数据接入主要包括各类数据的接入方案设计、融合网络的架设等。矿山通常需要接入的数据包括三类,分别是结构化数据、时序数据和流媒体数据。结构化数据是最常见的数据类型,它通常存储在数据库中是相对稳定的数据。Unity 通过 Webrequest 类库可以方便地调用各类 API 接口,实现结构化数据的稳定调用;时序数据对数据的时效要求较高,通常可建立数据传输通道,通过各类协议进行数据接收。常见的方式有消息队列或者 Web socket 等方式;流媒体数据类似时序数据,区别只是应用的数据协议不同,目前市场上主流的协议为 Rtsp 协议,通过 Rtsp 协议可以完成监控视频类数据的接入。通过上述几种方式,Unity 可以完成矿山项目的各类数据采集,并提供给前端客户端进行数据应用。

2) 前端客户端开发

前端客户端开发包括的内容主要由模型处理、UI 设计、平台开发、渲染效果优化和数据接入几部分构成。模型处理主要指从 BIM 模型导出的模型后期处理,导出的模型通常是简单的“白模”,即只有简单的颜色区分的 Mesh 网格。模型处理需要根据实际项目需求,对模型进行 UV、材质、贴图处理,以满足项目可视化需求。如通过对模型 UV 进行配置后,即可对风流的方向、速度、强度等进行渲染模拟;单体设备模型存在很多动画模拟的应用。如箕斗模型可通过帧动画设置箕斗开合的动画,同时还可以通过粒子效果演示出矿的动态效果;UI 设计需要对静态和动态的界面进行设计,提供最前端与用户交互的界面开发素材。通过调用 Unity 提供的 UGUI 组件可以快速搭建直观可视的 UI 界面。同时,基于锚点的功能开发还可以自动进行不同分辨率下的 UI 适配,满足矿山项目对于不同终端适配的

需求;平台开发需要通过脚本对系统的主要功能进行开发,通过调用 Unity 引擎中的物理系统、动画系统、材质系统、粒子系统等方法,即可快速实现个性化的开发^[9];渲染方面 Unity 提供多种渲染管线如 URP、HDRP 等。渲染管线可通过拖拉拽的方式实现材质和场景的渲染效果配置,同时 Post-Processing 更提供了后处理渲染效果,这不仅为可视化系统的显示效果提供支持,同时也为方案设计效果图渲染提供了技术支撑。

3.3 混合现实应用

Unity 对诸多混合现实设备均提供了较好的开发支持,如 AR foundation、Steam VR、AR-core 等开发组件。实际上大多数混合现实厂家也都提供了匹配 Unity 进行开发的 Tool kit 开发包,可以兼容市场上流通的各类混合现实设备。混合现实主要通过 VR (Virtual Reality)、AR (Augmented Reality)、MR (Mixed Reality) 三种方式在矿山项目上进行应用。

1) VR 虚拟现实

虚拟现实是矿山上最常见也最容易实现的混合现实应用,如将矿区的数字孪生模型通过虚拟现实头盔提供沉浸式的体验,通过虚拟现实手柄可以实现与虚拟模型的交互。使用这种方式可以完成现场安全演练、虚拟设备实操等模拟场景。此外还可以接入实时的数据,实现无人设备的远程操控。由于所有场景都是虚拟的,体验者可以在一个绝对安全的环境尝试相对危险的作业体验。

2) AR 增强现实

增强现实区别于虚拟现实的特点是虚实结合,是对真实物体补充和叠加,在矿山运营过程中常应用于相关资料的检索功能。如应用于手机上的智慧图纸 APP,通过扫描图纸的二维码,即可在图纸上叠加实际的模型,并关联显示相关的属性信息,智慧图纸 AR 界面如图 5 所示。

3) MR 混合现实

混合现实需要更为精准的场景定位与平面识别功能,通常通过 Hololens 实现功能开发。如在矿山领域存在很多的隐蔽工程,通过调用相关的设计模型数据即可在现实场景的影像中叠加显示虚拟的内部模型结构;同时,通过接口关联实时数据后,还可以进一步查询当前设备的运行状态和历史数据,并对设备设施的关键位置进行虚拟标注,协助巡检人员更精准地完成巡检作业。



图5 智慧图纸 AR 界面



图7 充填流程可视化

3.4 可视化方案展示

基于 Unity 对各类模型的支持与敏捷开发过程,Unity 可以提供比视频更好的可视化方案展示。在矿山领域也存在多种应用方式。

1) 设计方案可视化

矿山设计中各专业均有自己的设计软件,模型可在专业软件中进行操控,但业主往往因缺乏专业软件使用授权而无法打开模型并浏览。通过将模型导入 Unity 之后,经过简单的摄像头配置,即可进行全场景的漫游。这种通用的控制方式兼容所有的专业软件,同时也为总图设计方案展示、施工过程进度展示等提供了便捷的展示形式,选矿厂设计方案可视化如图 6 所示。



图6 选矿厂设计方案可视化

2) 复杂流程可视化

矿山设计的各类工艺流程相对复杂,如通过视频进行复杂工艺流程展示则需要相当长的制作周期。Unity 结合模型动画效果和时间轴编辑器可以快速构建复杂工艺流程的动画,不仅提高了可视化流程制作效率,提高了模型利用率,也降低了可视化视频的制作成本,充填流程可视化如图 7 所示。

3) 工艺流程仿真模拟

三维可视化也存在大量的模拟仿真的使用需求,如透明化勘探、智能设计、提升模拟、运输模拟、

通风模拟、充填模拟等。应用 Unity 的各类插件可以快速构建三维场景,接入模拟数据,并进行工艺仿真和模拟^[10-11]。如 RayFire 提供了爆破模拟效果,通过设置不同爆破点的位置和强度,可以模拟装药爆破的过程,爆破效果仿真如图 8 所示。此外,Unity 也提供寻路系统,可以用于模拟井下安全避险的场景,自动在三维场景中匹配逃生路线等。

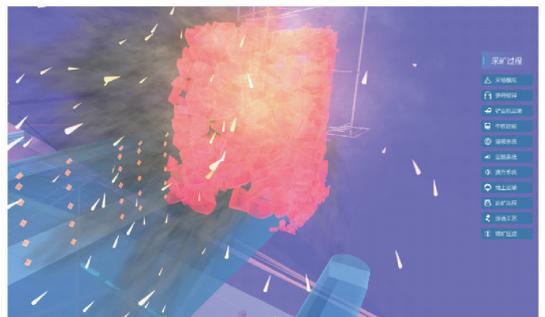


图8 爆破效果仿真

4 Unity 引擎的劣势

4.1 网页端兼容性较差

Unity 虽然支持网页端开发,但是因为网页端需要依靠 WebGL 渲染,在当前硬件技术的制约下,已经限制了显示效果的提升。同时,因为渲染方式的不同,还存在系统适配的问题。如网页端在开启时需要一段较长的配置环境时间,这与轻量的 HTML5 页面相比已经降低了用户体验度;第二,很多插件不支持网页端功能,无法像 CS 端一样调用类库中的方法。这导致进行网页端开发时需要大量更换之前的代码内容,降低了开发效率;其次,WebGL 渲染依赖 GPU 的处理能力,对显卡硬件提出了更高的要求,直接导致矿山建设的成本增加。

4.2 收费模式存在变数

目前 Unity 仅需为企业版的开发客户端支付授权费用,收费标准相对较低。但最新的收费方式需

要根据发布客户端的安装数量进行收费。矿山项目区别于游戏平台,用户的数量较少,且不会经常变更用户,因此新的收费方式暂时不会提供系统开发的成本。但是不断变动的收费方式确实是一个潜在的隐患。

4.3 引擎代码不开源

区别于其他引擎,Unity 并不提供引擎的开源代码,如有定制化开发需求需要与官方进行合作。这种运营方式不仅限制了 Unity 的个性化需求开发,同时也增加了科技封锁的风险。

5 结论

综上所述,Unity 引擎从平台功能、开发效率、成本控制等多方面都适配矿山项目的智慧化需求,可以为矿山建设提供有效的助力。其应为领域除了平台开发与可视化之外,还可以解决行业内多专业协同的痛点,是一款功能全面的三维可视化引擎。同时,Unity 的功能也在不断升级,后续还可以在工业机理模型、仿真模拟等领域进行探索。Unity 虽然也存在一些使用风险,但是可以通过不同的方式进行规避。如仅使用 Unity 引擎进行前端进行各种应用功能开发,通过后端控制数据安全,这样可以一定程度上规避数据安全风险;此外,也可以同时关注其他的可视化引擎如 Unreal Engine(虚幻引擎)或 Cocos Creator 3D 等,避免单一引擎造成的技术壁垒;同时,由于 Unity 的升级频率较高,也需持续关注 Unity 的版本升级,不断测试新开发的功能,以满足矿山项目的更多样化的需求。

[参考文献]

- [1] 张立. 矿山数字化转型与智能化管理[J]. 世界有色金属,2023(12):232-234.
- [2] 张光辉,张爱民. 基于矿山信息模型的设计计算平台开发[J]. 中国矿山工程,2022,51(3):7-10.
- [3] 朱伟刚,崔小勇,冯开旺,等. 基于数字化智能矿山系统的露天矿山采矿技术[J]. 中国金属通报,2023(2):32-34.
- [4] 丁恩杰,俞啸,夏冰,等. 矿山信息化发展及以数字孪生为核心的智慧矿山关键技术[J]. 煤炭学报,2022,47(1):564-578.
- [5] 张绍周,苏之品,陈玉明. 智慧矿山三维可视化管理系统研发[J]. 有色金属(矿山部分),2022,74(2):1-5.
- [6] 廉旭刚,黄浚恒,蔡音飞,等. 基于 Unity 3D 的井下测量虚拟仿真程序设计[J]. 中国冶金教育,2023(2):39-42.
- [7] 焦文宇,廖文景. 地下矿山岩体质量分级三维可视化应用研究[J]. 矿业研究与开发,2023,43(5):197-202.
- [8] 黄智煌,邬娜,仇巍巍. 基于 3D GIS 和物联网的智慧矿山三维可视化系统设计与实现[J]. 自然资源信息化,2022(2):50-56.
- [9] 周丕基,廖传艺,杨帮礼,等. 基于 Unity 引擎的矿山三维空间辅助管理系统开发[J]. 测绘与空间地理信息,2023,46(4):155-157.
- [10] 李梅,姜展,姜龙飞,等. 三维可视化技术在智慧矿山领域的研究进展[J]. 煤炭科学技术,2021,49(2):153-162.
- [11] 张维国,葛启发,赵奕,等. 基于数据感知的数字孪生矿山建设研究[J]. 有色设备,2021,35(2):13-18.