

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.11.058

适用于 BIM 正向设计的轻量化场地模型质量评价方法

陈 姣

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:为突破目前将场地模型便捷地应用到 BIM 正向设计的瓶颈,提出了轻量化场地模型生产及模型质量评价方法。该方法首先分析了场地模型数据架构,利用 LOD 原理实现场地模型轻量化处理;然后,基于现有场地模型质检规范,提出了改进质量评价因子及其权重和阈值区间,利用质量分数检验产品质量;最后通过实际工程进行了验证。

关键词: BIM 设计;轻量化;场地模型;质量评价

中图分类号: TU201

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)11-0218-06

0 引 言

随着无人驾驶、大数据、5G、无人机技术等技术的日益成熟,以及多技术的跨领域集成应用,加快了智慧城市的建设步伐,促进了 BIM 技术在市政工程设计阶段的广泛应用。倾斜摄影三维模型未出现前,在可行性研究阶段,设计人员通常参考 1:2 000 地形图或者各类影像资料。在初步设计阶段与施工图设计阶段使用 1:1 000 或 1:500 地形图资料。但是,传统 DLG、DOM 二维测绘成果无法直观展示三维空间位置与纹理信息,难以满足 BIM 设计人员对空间构造、纹理信息的需求。

在工程设计过程中加入场地模型,可以为设计人员提供目标区域的真实场景,更加方便 BIM 设计与构建。在道路设计中,倾斜摄影三维模型可用于沿线环境特征与地形分析,城市轨道交通、铁路选线^[1-6]。相思尧利用 Open Roads Designer 设计软件将道路 BIM 设计与无人机倾斜摄影测量技术结合在一起,通过将倾斜摄影三维模型加载到 Open Roads Designer 中,实现在真实地表环境中完成道路设计,更直观形象地展示设计方案,并为拆迁量统计、工程量计算提供了新的方法^[7]。在 BIM 设计、施工过程中,倾斜摄影三维模型可用于目标区域的查看、与 BIM 设计方案融合,整体展示工程建筑物与周围环境之间的关系,形象地展示施工现场的进展

情况^[8-9]。将水利 BIM 与外部的倾斜摄影三维模型有机融合,为水利建设工程的规划设计、施工建设、运行维护等全生命周期提供可靠的依据^[10-12]。在园林景观规划设计中,倾斜摄影三维模型的应用避免了危险区域的现场踏勘,排除未知因素,为线路规划、观景平台选点设计、方案效果展示提供依据^[13]。在不同的设计领域,工程师们对基于倾斜摄影三维模型的 BIM 设计进行了相关探索应用。实践表明,倾斜摄影三维场地模型数据量庞大,在 BIM 设计平台内存在运行速度慢、大场景应用存在技术瓶颈。

为了提高 BIM 设计效率,促进倾斜摄影三维模型在 BIM 设计平台中的深入应用。首先,基于 LOD 技术完成场地模型轻量化处理^[14]。其次,针对轻量化场地模型几何结构与纹理特征的变化特点,提出轻量化场地模型综合质量评价方法。该方法借助 DLG 比例尺与模型精度的转换关系,将轻量化模型质量评价因子进行分级,细化扣分标准,实现质量因子和轻量化模型产品的质量评价。最后,将质量合格的轻量化场地模型产品应用到 BIM 设计平台 3D EXPERIENCE 中,为 BIM 设计人员提供全要素、全纹理的基础模型数据。

现以 BIM 正向设计为导向,在确保轻量化模型的综合属性满足设计需求的前提下最大限度地压缩数据量,解决了倾斜摄影三维场地模型因数据量庞大而无法高效应用到 BIM 正向设计平台的问题。

1 基于 LOD 技术的场地模型轻量化方法

倾斜摄影三维场地模型使用频率较高的为 OSGB 数据,以 OSGB 的自适应树结构特性为切入点,

收稿日期: 2022-02-24

基金项目: 上海市政总院启明星计划资助项目(K2021K120)

作者简介: 陈姣(1986—),女,博士后,高级工程师,主要从事无人机倾斜摄影测量、多源模型融合技术与应用等方面的研究。

对大场景倾斜摄影三维场地模型进行轻量化处理。

某道路改扩建工程线路总长约 18 km,场地模型面积约为 11.5 km²,共有瓦片 940 块,单瓦片边长 120 m × 120 m,数据量为 100GB,场地模型见图 1 所示。



图 1 改扩建道路倾斜摄影三维场地模型

基于 LOD 技术完成上述场地模型数据的快速轻量化处理,具体步骤如下:

- (1)根据前期小范围测试结果和设计需求,确定该项目 LOD 层级系数为 20;
- (2)剔除冗余数据,缩短后续 FME 平台处理时间;
- (3)基于 FME 平台的 LOD20 层级数据分离与固化;
- (4)指定 LOD20 层级数据输出,完成模型轻量化处理;
- (5)按行列数相同原则合并瓦片数据;
- (6)合并瓦片数据格式转换并输出。

经过轻量化处理,场景模型的数据量由 100GB 压缩至 27.3GB,输出合并瓦片 30 块。

根据纹理和网格的映射关系进行联合压缩时,场地模型的几何特征,以及纹理特征都发生了改变^[15,16]。图 2 中不同层级的轻量化模型其几何结构与纹理结构的变化程度不同,当 LOD 层级为 24-20,视觉效果变化不明显;当 LOD 层级为 19-15,模型三角网面片数量逐渐减少,单个面片面积增加,面片之间结构锐化,无法平滑连接,模型细部内容逐渐粗糙,会出现不同规模的漏洞。因此,在设计人员使用前,需要对轻量化场地模型进行质量评价^[17]。



图 2 不同层级道路纹理变化对比图示

2 轻量化场地模型质量评价方法

目前,国内尚未出台正式的倾斜摄影三维模型

成果质量评价标准和规范^[18-21]。轻量化场地模型成果同样没有统一的质量评价标准和规范。倾斜摄影三维模型的生产工艺、成果表现、应用层次等方面均与传统三维人工建模不同,按照现行的三维地理信息模型相关规范^[22,23]对倾斜摄影三维模型进行质量评价有失偏颇。

为此,作者以服务 BIM 设计为导向,按照市政工程不同设计阶段的具体需求,在改进现有三维模型质检标准的基础上,提出适用于轻量化场地模型质量评价的方法^[14]。第一,在可行性研究阶段,为设计人员提供地物、地貌参考,用于 BIM 设计方案的展示、对比和修改。该阶段将场景效果和表达精细度作为质量评价因子,对轻量化场地模型进行视觉效果评定。第二,在初步设计、施工设计阶段,要详细设计各类建筑物的细部,需要为设计人员提供坐标、距离、面积、体积等空间信息。因此,该阶段增加位置精度评定因子,对轻量化场地模型进行综合评定。上述两个阶段的评定因子、权重及检查方法见表 1 所列,具体评定流程如图 3 所示。

表 1 质量评价因子与方法一览表

评定阶段	评定因子	权重	检查方法
视觉效果评定	场景效果	0.2	重点区域、地物定权、检查、评定
	表达精细度	0.1	
位置精度评定	平面精度	0.6	检核点
	高度精度	0.1	位置误差计算

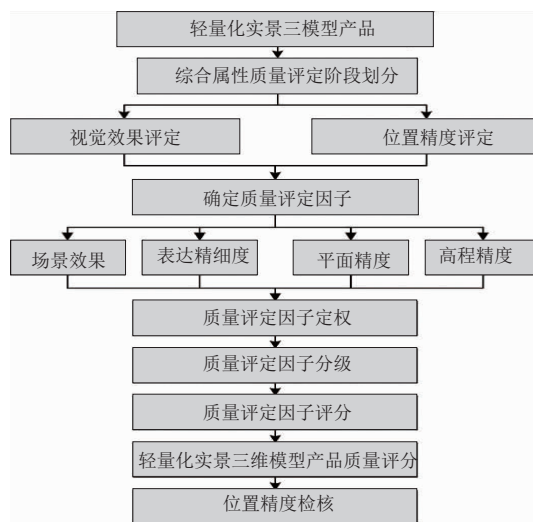


图 3 综合属性质量评价方法流程图

轻量化处理过程中各类地物要素的场景效果和精细度基本一致,与地物要素重要性等级无关。在质量评价过程中,要区别对待不同地物要素,有选择、有重点地进行检查。下面介绍具体步骤。

2.1 评定因子分级

轻量化场景模型的场景效果、表达精细度、位置精度取决于 LOD 层级,采用主观赋值法设定权重,设定场景效果权重为 0.2,表达精细度权重为 0.1。平面精度和高程精度按重要性分别设置为 0.5 与 0.2。

在视觉效果评定中,借助 DLG 比例尺的概念,以正常图像一英寸包含 72 像素计算,分别计算 1:500、1:1 000、1:2 000 比例尺对应的模型精度,并以此来衡量轻量化模型漏洞的大小,以及分辨率。将 DLG 比例尺、地面分辨率和模型精度的换算关系做以下简单梳理:

(1) 1:500 的比例尺,对应的地面分辨率是指地图上 1 m 对应地表 500 m。

(2) 1 m=39.370 079 英寸。

(3) 按照正常的图像 72dpi 来算,一英寸包含 72 像素,那么 1 m 包含 39.370 079 × 72=2 834.645 688 像素。

(4) 对应关系如下:2 834.645 688 像素对应地图上 500 m,分辨率为:500/2 834.645 688=0.1 763 888 877 247 222

(5) 1:500 的比例尺对应的地面分辨率接近 0.18 m;1:1 000 的比例尺对应的地面分辨率接近 0.35 m;1:2 000 的比例尺对应的地面分辨率接近 0.70 m。

平面位置精度值和高程精度值按相应的技术规范或者设计要求划分。质量评价因子分级及扣分细则见表 3 所列。

表 3 中各参数意义如下:

(1) 场景效果通过模型漏洞的程度和数量确定, d 为单个漏洞最大直径。

(2) 表达精细度以模型最小分辨率为依据, M_a 为模型精度,单像素对应的地面距离,数值越小,模型分辨率越高。

(3) $M_{0(x,y)}$ 、 $M_{0(h)}$ 分别为规范或相应技术文件要求的模型产品的平面中误差、高程中误差的绝对值。

(4) $M_{(x,y)}$ 、 $M_{0(h)}$ 为模型上检核点的平面中误差、高程中误差的绝对值,计算公式如下:

$$M = \left| \pm \sqrt{\frac{|\Delta\Delta|}{n}} \right| \quad (1)$$

式中: Δ 为真误差,即各检查点在不同 LOD 层级下的坐标值与实地测量坐标值之差。 n 为检核点个数。

漏洞直径、漏洞数量、模型精度、检核点空间坐标采用人工方式进行采集,一般情况下 $t=1$,根据地形起伏,道路、水系、建筑、工业区面积,土壤植被复杂程度,参考 1:2 000—1:500 摄影测量内业划分的困难类别进行调整。

2.2 人工检查

轻量化场地模型采用内业人机交互的方式进行检查,在浏览软件中参照无人机航拍角度固定浏览视角,同时拉伸到分辨率相符的高度去检查场景的完整性和地物的精细度。重点检查 BIM 设计方案所在区域的场景效果和精细度表达,如主干道沿街两侧、高层建筑及设计人员指定的重点区域是否存在残缺、破洞、变形等因轻量化处理产生的质量问题。

2.3 质量评价

质量因子评分方法:首先将质量因子得分预置为 100 分,根据要求对相应质量因子中出现的错漏逐个扣分。

$$S_1 = 100 -$$

$$\left[a_1 \times \frac{42}{t} + a_2 \times \frac{40}{t} + a_3 \times \frac{12}{t} + a_4 \times \frac{4}{t} + a_5 \times \frac{1}{t} \right] \quad (2)$$

式中: S_1 为质量因子得分值; a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 分别代表因子中相应的 A、B、C、D、E 的数量。

不同层级下,取同一区域的分辨率值来代替模型整体的分辨率, M_a 的取值唯一,其数量取值为 1。不同层级下,模型检查点的 $M_{(x,y)}$ 、 $M_{(h)}$ 、 M 的值唯一,

表 3 评定因子分级与扣分标准一览表

质量评价步骤	质量评价因子	评定因子分级				
		A	B	C	D	E
视觉效果	场景效果		$d_{(h)} > 0.7 \text{ m}$	$0.7 \text{ m} \geq d_{0(h)} > 0.35 \text{ m}$	$0.35 \text{ m} \geq d_{0(h)} > 0.18 \text{ m}$	$d \leq 0.18 \text{ m}$
	表达精细度		$M_a \geq 0.7 \text{ m}$	$0.7 \text{ m} \geq M_a \geq 0.35 \text{ m}$	$0.35 \text{ m} \geq M_a \geq 0.18 \text{ m}$	$M_a \leq 0.18 \text{ m}$
位置精度	平面精度	$\frac{M_{(x,y)}}{M_{0(x,y)}} > \frac{3}{4} \times M_{0(x,y)} < M_{(x,y)} \leq M_{0(x,y)}$	$\frac{1}{2} \times M_{0(x,y)} < M_{(x,y)} \leq \frac{3}{4} \times M_{0(x,y)}$	$\frac{1}{3} \times M_{0(x,y)} < M_{(x,y)} \leq \frac{1}{2} \times M_{0(x,y)}$	$0 \leq M_{(x,y)} \leq \frac{1}{3} \times M_{0(x,y)}$	
	高度精度	$\frac{M_{(h)}}{M_{0(h)}} > \frac{3}{4} \times M_{0(h)} < M_{(h)} \leq M_{0(h)}$	$\frac{1}{2} \times M_{0(h)} < M_{(h)} \leq \frac{3}{4} \times M_{0(h)}$	$\frac{1}{3} \times M_{0(h)} < M_{(h)} \leq \frac{1}{2} \times M_{0(h)}$	$0 \leq M_{(h)} \leq \frac{1}{3} \times M_{0(h)}$	
扣分值		42	40	12/t	4/t	1/t

其数量取值均为1。

单位产品质量评分:采用加权平均法计算产品质量分。 S 的计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^n (S_{li} \times P_i) \quad (3)$$

式中: S 、 S_{li} 为产品质量、质量因子得分; P_i 为相应质量因子的权重; n 为产品中包含的质量因子个数。

产品质量评价:以实施范围为单位产品进行轻量化模型数据质量评价。质量评价因子得分小于60分即为不合格产品。A类错漏出现为不合格产品。

2.4 位置精度检核

产品质量评价过程中,平面精度与高程精度的质量因子得分采用分别计算的方式,无法准确衡量位置精度。通过 $M_{(x,y)}$ 、 $M_{(h)}$ 计算模型位置精度 M ,并计算 M 的得分值,判断位置精度 M 是否合格。

$$M = \pm \sqrt{M_{(x,y)}^2 + M_{(h)}^2} \quad (4)$$

3 应用案例

图1改扩建道路工程共飞行24个架次,航向重叠率80%,旁向重叠率70%,相对航高120m,垂直镜头影像分辨率1.5cm,均匀分布98个检核点,针对LOD20轻量化场地模型进行质量评价。根据模型精度为垂直影像分辨率的3倍关系,将平面中误差 $M_{(x,y)0}$ 、高程中误差 $M_{(h)0}$ 均为0.05m,采用人工检查方式检查,并计算质量评价因子、产品质量得分。

3.1 视觉效果评定

视觉效果评定以人工检查的方式进行,在浏览软件中对各类地物模型的完整程度,漏洞大小、地物模型精细度的正确程度,以及地物分辨率进行检查,并对视觉效果中场景效果、表达精细度两个质量评价因子进行分级,并计算扣分值。

结果显示,除原始模型固有漏洞外,LOD20模型因轻量化导致的漏洞最大直径 $d \leq 0.18$ m,视觉效果评定因子为E级,共有16处漏洞,即 $a_5=16$ 。场景效果质量评价因子得分如下:

$$S_1 = 100 - \left[a_1 \times \frac{42}{t} + a_2 \times \frac{40}{t} + a_3 \times \frac{12}{t} + a_4 \times \frac{4}{t} + a_5 \times \frac{1}{t} \right] \\ = 100 - 16 = 84$$

LOD20的模型精细度 $M_a = 0.0625 \text{ m} \leq 0.18 \text{ m}$,为E级,扣1分。

3.2 位置精度评定

对原始模型与LOD20轻量化场地模型上检核点位置精度进行评定。通过EPS测点精度检查功能,对

比同一检查点的RTK测量值与模型上的坐标值。

预设平面中误差 $M_{(x,y)0}$ 、高程中误差 $M_{(h)0}$ 均为0.05m,个别检查点被车辆覆盖或破坏无法进行坐标匹配。轻量化场地模型中个别检查点纹理模糊,无法准确识别。能够匹配的检查点中,少量检查点存在平面误差、高程误差超过5cm的情况。

根据公式(1)计算原始模型产品上检核点的平面中误差 $M_{(x,y)}$ 、高程中误差 $M_{(h)}$:

$$M_{(x,y)} = \left| \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \right| = \left| \pm \sqrt{\frac{432.2}{98}} \right| = 2.1(\text{cm})$$

$$M_{(h)} = \left| \pm \sqrt{\frac{[164.7]}{98}} \right| = 1.3(\text{cm})$$

计算LOD20模型上检核点的平面中误差 $M_{(x,y)}$ 、高程中误差 $M_{(h)}$:

$$M_{(x,y)} = \left| \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \right| = \left| \pm \sqrt{\frac{1001.5}{93}} \right| = 3.3(\text{cm})$$

$$M_{(h)} = \left| \pm \sqrt{\frac{[281.2]}{93}} \right| = 1.7(\text{cm})$$

对比原始模型,LOD20轻量化模型在点位限差、高程限差、规定中误差方面均受轻量化影响出现误差增大的情况,但平面中误差3.3cm、高程中误差1.7cm仍然在5cm的限差内,能够满足设计人员在方案选线或初步设计阶段对位置精度的要求。

针对LOD20轻量化模型,将平面中误差 $M_{(x,y)0}$ 、高程中误差 $M_{(h)0}$ 均为0.05m时,对照质量评价因子分级与扣分标准,平面精度3.3cm位于:

$$\frac{1}{2} \times M_{0(x,y)} < M_{(x,y)} \leq \frac{1}{2} \times M_{0(x,y)}$$

区间内,为C级,扣分为12/t。高度精度1.7cm位于:

$$\frac{1}{3} \times M_{0(h)} < M_{(h)} \leq \frac{1}{2} \times M_{0(h)}$$

区间内,为D级,扣分为4/t。

参照模型位置精度计算公式(4),计算模型位置精度 M 。

$$M = \pm \sqrt{M_{(x,y)}^2 + M_{(h)}^2} = \pm \sqrt{3.3^2 + 1.7^2} = \pm 3.7(\text{cm})$$

模型位置精度3.7cm位于:

$$\frac{1}{2} \times M_0 < 3.7 \text{ cm} \leq \frac{3}{4} \times M_0$$

区间内,为C级,扣分为12/t,即LOD20轻量化模型的位置精度检核分值为88。

进行人工检查时,t值通常取1,即平面精度、高程精度、模型位置精度的扣分值分别为12、4与12。

3.3 质量评价

根据各评定因子的扣分值和权重,LOD20轻量

化场地模型产品质量评分 S 的计算为:

$$S = \sum_{i=1}^n (S_{li} \times P_i) = 84 \times 0.2 + 99 \times 0.1 + 88 \times 0.6 + 96 \times 0.1 = 89.1$$

LOD20 轻量化场地模型质量评价结果与位置精度检核结果,见表 4 所列。

表 4 综合质量评价及检核表

参数层级	视觉效果				位置精度				产品质量分数		位置精度检核	
	d	a_i	S_l	M_a	S_l	$M_{(x,y)}$	S_l	$M_{(h)}$	S_l	S	M	S_l
LOD20	$d \leq 0.18 \text{ m}$	$a_s = 16$	84	0.062 5 m	99	0.033 m	88	0.017 m	96	89.1	$\pm 0.037 \text{ m}$	88

将 LOD20 轻量化场地模型按结构树的方式分块加载到网络版 3D Experience, 在无线网络环境较好的情况下, 采用普通配置笔记本电脑进行加载测试。1.11GB 的分块模型文件加载到结构树中需要 45 min, 因此, 多节点平行加载可以有效提升数据加载效率。LOD20 轻量化模型整体效果和局部细节见图 4 与图 5 所示。

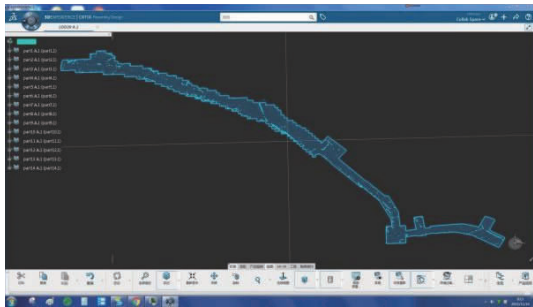


图 4 大场景轻量化模型融入 3D EXPERIENCE 平台之图示

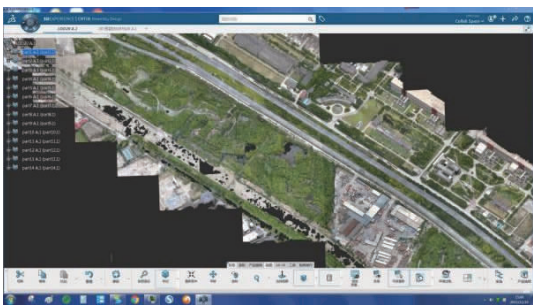


图 5 大场景轻量化模型细部展示图

轻量化场地模型的应用, 打破了设计过程中场地模型无法高效深入应用到 BIM 设计平台的瓶颈, 加快地形信息获取, 避免多平台切换, 直接在设计平台内完成 BIM 方案的设计、对比、修改与展示, 提高设计人员网络协同工作的质量和效率。在市政、轨道交通、水利水电、智慧城市等各工程设计领域都有巨大的应用价值。

4 结论

随着 BIM 技术在设计、施工、运营等阶段应用得

3.4 应用

在质量评价因子合格的情况下, LOD20 轻量化模型产品质量分数大于 60, 产品质量合格, 能够满足 1 : 500DLG 精度要求, 可在初步设计阶段与施工图设计阶段使用。

日趋广泛, 对基础测绘数据的表现形式及需求日益增强。本文以 BIM 设计为导向, 针对市政工程设计各阶段的不同需求, 在保证视觉效果与位置精度的前提下最大限度地压缩模型数据量, 并完成轻量化场地模型的质量评价。合格的轻量化场地模型应用到 3D EXPERIENCE 平台, 提高了设计人员的工作效率, 为后续轻量化场地模型深入应用到建筑全生命周期运营平台打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 杨奇树. BIM 与倾斜摄影技术在城市道路设计中的综合应用[J]. 中国科技信息, 2020(22):57-58.
- [2] 刘海. 基于倾斜摄影的 BIM 技术在城市轨道交通选线中的应用[J]. 铁路技术创新, 2020(4):167-171.
- [3] 周键炜. BIM 与倾斜摄影技术在城市道路设计中的综合应用 [J]. 低碳世界, 2020, 10(7):175-177.
- [4] 方毅. 倾斜摄影测量在市政交通工程中的应用思考[J]. 城市道桥与防洪, 2019(8):263-266, 31-32.
- [5] 邓迅. BIM+ 倾斜摄影在市政交通工程中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(7):296-297, 33.
- [6] 相诗尧, 姚守峰, 陈婷婷, 张涛. 无人机航测技术在公路各设计阶段中的应用研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(5):106-108.
- [7] 相诗尧, 赵杰, 徐润, 陈婷婷. 无人机倾斜摄影与 BIM 技术结合在市政道路设计中的应用[J]. 公路, 2019, 64(7):192-195.
- [8] Qu Yongbo, Yang Zichen, Yao Qingshi. The application of UAV oblique photography technology in architectural design [C]. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, 2019.
- [9] 李立功, 王涛, 牛丽娟, 任英桥, 白芝勇. 一种无人机模型与 BIM 模型融合的方法研究[J]. 中国锰业, 2019, 37(4):104-107, 122.
- [10] 王启龙. 无人机倾斜摄影测量技术在水利工程中 BIM 建模的应用 [J]. 水利技术监督, 2020(4):61-63, 154.
- [11] 谢温祥. 倾斜摄影测量技术在水利水电 BIM 工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(5):158-160.
- [12] 刘培状, 杨秉澍. 基于无人机倾斜摄影测量和 BIM 技术的三维实景模型在水利工程设计中的应用研究[J]. 地下水, 2019, 41(6):206-207.
- [13] 王海关. 论倾斜摄影技术在园林景观规划设计中的应用前景[J]. 绿色环保建材, 2020(9):197-198.
- [14] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 一种融入 BIM 设计

- 平台的轻量化实景三维模型生产方法:CN202110251098.8[P]. 2021-09-17.
- [15] Choukroun Y , Pai G , Kimmel R . Sparse Approximation of 3D Meshes using the Spectral Geometry of the Hamiltonian Operator [J]. Journal of Mathematical Imaging & Vision, 2018, 60(6):941-952.
- [16] R. L. de Queiroz , P. A. Chou. Compression of 3D Point Clouds Using a Region-Adaptive Hierarchical Transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 8(25):3947-3956.
- [17] 陈姣. 轻量化实景三维模型质量评定方法[J]. 城市道桥与防洪, 2020(5):301-303, 320.
- [18] Duan Wenhua, Xu Qingling. Quality control analysis of the three-dimensional model of realistic oblique photography[J]. Geospatial Information, 2017, 15(11): 93-95, 11.
- [19] Dong, Shuai, Yan, et al. Quality inspection and analysis of three-dimensional geographic information model based on oblique photogrammetry [C]// 2018.
- [20] Zhao Lei, Yang Huimei, Yuan Xiangdong, Bao Yinli. Method for checking and accepting data quality of 3D model of urban real scene [J]. Surveying and Mapping of Geology and eral Resources, 2017, 33(04): 17-21.
- [21] Yue Guodong, Zheng Chunyu, Zhao , Cai Wei. Key techniques in quality inspection and acceptance of surveying and mapping geographic information results Part 4: realistic 3D Models[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2019, 42(11): 248-252.
- [22] CH/T 9024-2014, Quality inspection and acceptance of 3D geographic information model data products[S].
- [23] Lavou é G., Larabi M. C., Váša L. On the efficiency of image metrics for evaluating the visual quality of 3D models[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2016, 22(8):1987-1999.

(上接第 213 页)

- detail/61.1393.N.20211118.0847.012.html.
- [9] Boerjesson M .Joint RP-SP data in a mixed logit analysis of trip timing decisions [J]. Transportation Research. E, Logistics and Transportation Review, 2008, 44e(6):1025-1038.
- [10] Pattison P E, Wasserman S. Logit models and Logistic regressions for social networks: II. Multivariate relations[J]. Psychometrika, 2011, 52(2):169-193.
- [11] Tian Y, Chiu YC. Anisotropic Mesoscopic traffic Simulation approach to support large-scale traffic and Logistic modeling and analysis[J]. Proceedings Winter Simulation Conference, 2011:1495-1507.
- [12] Prati G , Pietrantonio L , Fraboni F . Using data mining techniques to predict the severity of bicycle crashes [J]. Accident Analysis and Prevention, 2017, 101(APR.):44-54.