

张斌.地震灾害后区域生态环境修复三维建模与仿真[J].地震工程学报,2019,41(5):1374-1379.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1374

ZHANG Bin.Three-dimensional Modeling and Simulation of Regional Eco-environmental Restoration after Earthquake Disasters [J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(5):1374-1379.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1374

地震灾害后区域生态环境修复三维建模与仿真

张 斌

(平顶山学院,河南 平顶山 467000)

摘要:地震灾区生态环境复杂,区域修复效果容易受到关联信息的影响,导致修复过程复杂,形成修复碎片化,修复效果不理想。为此设计基于激光扫描的地震灾害后区域生态环境修复的三维模型,通过三维激光扫描原理,获取自然景观和设施的详细位置原始数据;引入平面特征图像分割方法,对原始数据几何纠正,并完成整体数据纠正匹配,根据修正后的生态环境数据,采用法向量实行最小化,获取拼接匹配信息;根据匹配信息进行重采样,完成三维网格模型的构建,获取区域地震灾害后生态环境整体信息;并依据模型构建地形刷物理区域,修复区域地震灾害后的破损地形环境。将该方法应用于某灾区震后生态环境修复工作中,验证得出其可控性较强,且修复后的生态环境破碎化与缩小率都低于其他修复方法,具有一定使用价值。

关键词:区域地震;灾害后;生态环境修复;三维建模;地形刷

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)05-1374-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1374

Three-dimensional Modeling and Simulation of Regional Eco-environmental Restoration after Earthquake Disasters

ZHANG Bin

(Pingdingshan University, Pingdingshan 467000, Henan, China)

Abstract: The ecological environment in an earthquake disaster area is complicated, and area restoration is easily affected by related information. Therefore, the ecological environmental restoration process is complex, and the repair effect is not ideal. In this paper, a three-dimensional model for post-earthquake regional ecological environmental restoration based on laser scanning was designed. Raw data of the tailed position of the natural landscape and facility were acquired through three-dimensional laser scanning. The plane characteristic image segmentation method was used to geometrically correct the original data. Whole data correction and matching was then completed. The normal vector was then used to minimize the modified ecological environment data, and splicing and matching information was obtained. According to the matching information, the re-sampling was carried out to construct the three-dimensional grid model and obtain the overall data

收稿日期: 2018-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(11605099)

作者简介: 张 斌(1983-),男,河南平顶山人,硕士,讲师,教研室主任,研究方向:图形建模,环境艺术设计研究。

E-mail: 799779252@qq.com。

from the ecological environment after a regional earthquake disaster. Based on the model, the physical area of the terrain brush was constructed to repair the damaged terrain environment after the earthquake disaster. The method was then applied to the restoration of the ecological environment after the earthquake in a certain disaster area. Results proved that the method has use value.

Keywords: regional earthquake; post-disaster; ecological environment restoration; three-dimensional modeling; terrain brush

0 引言

地震属于具有高强度破坏力的突发性自然性灾害,不仅会导致大面积建筑物坍塌、道路毁坏、桥梁断裂,而且会引起滑坡、崩塌、泥石流等灾害,对人民生命财产与国家经济建设都产生了极大损害。地震灾害之后,地震区域生态环境的修复工作是当务之急。关于区域地震灾害后的生态环境修复问题,有很多学者已提出相关理论研究,如文献[1]提出了基于 GIS 环境点云融合的建筑物表面损伤三维重建算法,对建筑外表面的损伤进行提取与重建,但由于该方法仅能应用于建筑表面,使用具有一定局限性;文献[2]提出以模型为主的建筑物半自动三维重建方法,该方法与文献[1]方法都主要针对建筑物的重建,其建模过程较为复杂,使用效率低下;文献[3]提出构建区域三维地质体模型,该模型可以完整体现区域地质特征,但缺乏对灾后生态区域修复过程的研究。基于此,本文深入研究区域地震灾害后生态环境修复问题,将三维建模技术与生态环境修复问题相结合,拟在实际区域地震灾后生态环境修复工作的应用中做出有效探索。

1 基于激光扫描的地震灾害后区域生态环境修复三维模型

1.1 震后生态环境数据采集

(1) 数据采集

三维激光扫描主要根据激光信号在发射后碰到目标物反射至接收器的时间,运算出目标点 R 至扫描仪的距离值 w ,即为所要采集的数据。图 1 中,点 R 处于扫描仪判定的坐标系中, XOY 面表示横向扫描中, Z 轴与 XOY 面为垂直关系。

仪器快速旋转测量时,扫描仪中精密时钟控制编码器将同步观测扫描角度值 β 与竖直扫描角度值 γ 。假定坐标系里随机地形点 R 和圆心 o 的距离是 w ,各个目标点云 R 的坐标为:

$$\begin{cases} X_R = w \times \cos\gamma \times \cos\beta \\ Y_R = w \times \cos\gamma \times \sin\beta \\ Z_R = w \times \sin\gamma \end{cases} \quad (1)$$

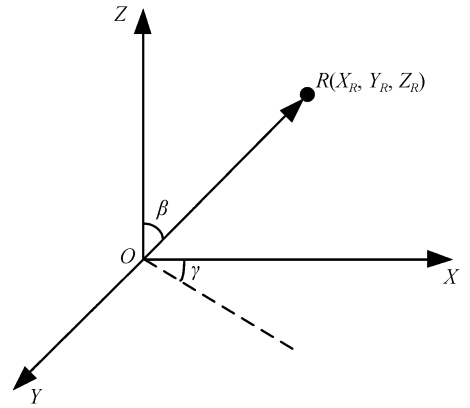


图 1 三维激光扫描原理

Fig.1 Principle of 3D laser scanning

由式(1)可知,点云 R 的坐标中包含距离值与角度值,则根据 R 的坐标值,可准确采集震后生态环境原始数据:

$$x = \frac{X_R \sin\beta \cos\gamma}{Z_R \sin(\beta + \gamma) - Y_R \cos(\gamma + \beta)} \quad (2)$$

式中: x 代表采集自然景观和设施详细位置的原始数据。三维激光扫描不仅可以获取准确的点云数据,还可获取准确的生态区域影像原始数据,由此可判定区域生态环境中各种自然景观和设施的详细位置^[4]。

(2) 几何纠正

数据采集完毕后需要对得到的点云数据与影像数据进行预处理。由于三维激光采集的数据中存在人员、车辆等遮挡物,经过激光扫描会出现散乱点,使用平面特征图像分割方法,进行几何纠正,去除无关的散乱点,获取生态环境的平面特征^[5]。对深度图像里的各点 R 建立 $k \times k$ 领域里全部点的协方差矩阵:

$$E = \sum_{i=1}^n x(g_i - n) \quad (3)$$

式中:邻域里的点设成 g_i ;邻域点集的重心设定为 n 。

由于 $k \times k$ 领域里存在离散点和不连续边缘像素点,将不连续边缘像素点相连接,在离散点里提取线性数据,获取边界曲线。通过测航软件,用 pho-

toscan 对密集点云分类,点云的间隔和密度很关键,直接影响参数的设置。建议选一片小区域,反复调整参数以达到最佳的分类准确度,再对整个场景进行提取,以保存生态环境中大量被测物体的数据,删除其中无关的散乱点。考虑到生态环境整体特征,经过处理的点、线能够准确描述生态环境平面特征,因此对激光扫描测量的每个立面实行整体匹配纠正,获取区域地震灾害后生态环境的总体纠正信息,保证采集数据的精确性,促进后期修复进度^[6]。

1.2 生态环境修复三维建模

一个完整的区域采用一个扫描影像不能体现该区域地震灾害后生态环境整体信息^[7],必须在不同方位实行多幅扫描,将此类基于不同位置扫描的深度图像配准至同一坐标系中。

拼接匹配的方法是:分割平面获取多个点集,各个点集具有一个平面,将这些平面实行拟合,获取法向量。在两组深度点云数据中提取 j 对平面,采用相应的法向量实行最小化,以此完成拼接匹配:

$$W = \sum_{i=1}^j v_j \| x_j - E x_j \|^2 \quad (4)$$

式中: W 表示最小化结果; v_j 为点云数据聚集向量; x_j 表示法向量; E 为平面拟合系数。

根据上述获取的区域地震灾害后生态环境总体纠正拼接匹配信息,对原始采集数据实行重采样,获取体现生态环境几何特征的三维扫描坐标,准确提取区域地震灾害后区域生态环境的立面集合信息。重采样方法是将各个扫描线设成分段光滑曲线,自上而下实行局部二次拟合,获取逼近的距离图像;测试深度与拟合点的法向连续性,形成边缘映射图,获取三维轮廓边缘;通过二维网格链码跟踪得到边缘链,顺着边缘链检索并判定边缘拐点,删掉长度不合理的边缘链;将距离图像等效划分成多幅子距离图像,每个子图像之间只有一个重叠边,在子距离图像里实行自适应采样。经过数据重采样,降低后期修复时间代价。

根据全排序处理并分析全部约束条件,将区域地震灾害后生态环境中的树木、墙体等表面邻近部分的临界关系与特殊关系保存下来,以此判定区域生态环境表面的整体拓扑结构。之后按照优胜劣汰的规则提取上述邻接关系,形成对应的三维网格,最后将重采样获取的点云变换成一个对应的三维模型(图2)。

如图2所示,因为生态环境属于室外场景,室外场景一般情况下具有遮挡与自遮挡,导致生态环境

被测表面的某些区域不能完全采集,存在大量空洞^[8]。因此设定网格在生成时可自主识别空洞。该三维模型可为后续生态环境修复施工提供基础资料,减少因采集数据缺失而贻误工程的情况。构建四边形网格后实行三维网格剖分,可有效解决此类问题。

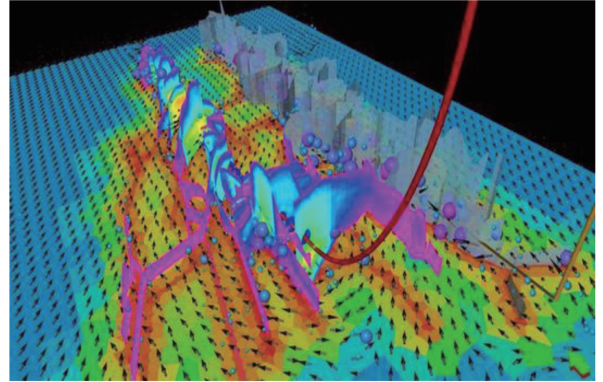


图2 三维模型

Fig.2 Three-dimensional model

四边形网格能根据水平与垂直采样顺序把采样点相连,将空洞部分设成背景点^[9]。假定四边形是 $\{S_{i,j}, S_{i,j+1}, S_{i+1,j+1}, S_{1,j}\}$,且存在3个或大于3个的顶点属于深度非连续点,那么便舍弃这个四边形,反之保存^[10-11];若有一个或大于一个的顶点属于背景点,那么便舍弃这个四边形,反之保存。以此便可自主识别四边形网格剖分时的空洞。将一个四边形 $\{S_{i,j}, S_{i,j+1}, S_{i+1,j+1}, S_{1,j}\}$ 顺其对角线划分成两个三维网格形,将对角线以短剖分为准则实行边缘细节突变操作,让剖分结果不仅和整体形状相同,而且符合形状细节变动规律,至此完成区域地震灾害后生态环境的三维模型构建。构建的三维模型可准确体现区域地震灾害后生态环境整体损坏情况。

1.3 震后生态环境修复方法

地震灾害后生态环境中各类生态景观都与地形息息相关,因此基于三维模型所体现的区域地震灾害后生态环境整体信息,可以了解生态环境损坏的情况^[12]。地形刷物理三维模型来自测绘领域,是地形图绘制工具。基于扫描的精细点云可直接生成三维地形模型,并可以自动提取等高线。实现一次测量,同时可获取三维及二维数据资料^[13]。与传统测绘手段相比,地形刷物理三维模型具有效率高、细节丰富、成果形式多样、智能化、兼容性强等优点。构建改进的地形刷物理三维模型,以地形修复的形式修复区域地震灾害后的地形环境^[14]。

地形刷是可以直接修复地形数据的工具,每次

修复都会让毁坏的地形表面出现一个微小的变形,地形刷修复能够让生态坏境中缺损的问题得以修复。将地形刷的单个修复称为一个地形刷实例,则地形的完全修复是多个地形刷实例结合的结果^[15-16]。以填挖修复为例,其计算方法是:

$$D = D_0(b) + euv \quad (5)$$

式中: $D_0(b)$ 为地形点 b 的原始高度值; D 为地形点 b 修复后的高度值; e 、 u 、 v 表示修复参数,其中修复模式设成 e ,强度参数设成 u , v 表示地形点 b 的权重参数, $0 \leq v \leq 1$,其计算方法是:

$$v = \frac{b}{\sum_1^n r_i^b}, r_i = (r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (6)$$

式中: r_i 是区域修复半径。

根据填挖修复后的计算,采用改进的地形刷物理三维模型对区域地震灾害后生态环境的地形进行修复,构建模型改进前后的整体结构图(图 3)。图中上层是俯视图,中层是剖视图,下层是修复效果图。图 3(a)描述的是改进前地形刷物理三维模型的俯视图+剖视图+效果图。为了有利于计算,将圆形的最小矩形包围框设成计算单元,权值系数 v 的值随着地形点 b 与圆心距离的变化而变化,距离越远 v 的值越小,若地形点 b 处于圆形外,则此部分不受干扰。图 3(b)描述改进后地形刷物理三维模型的俯视图+剖视图+效果图。在外圆里嵌入一个内圆,模型可用外圆半径 r_{outer} 与内圆半径 r_{inner} 自主调整。 r_{outer} 在限定修复区域的领域中,变换 r_{inner} 的值能够调整地形刷的内部结构^[17]。

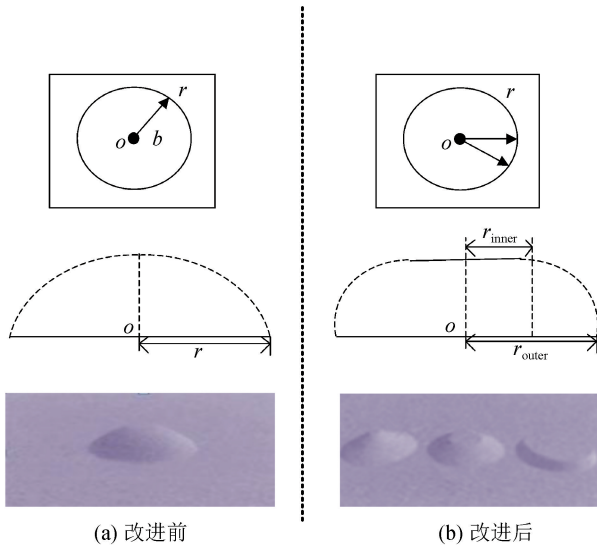


图 3 地形刷物理三维模型改进前后的整体结构图
Fig.3 Overall structure map before and after the improvement of physical three-dimensional model of terrain brush

根据改进的地形刷物理三维模型,此时的 v 为:

$$v = \begin{cases} 1, & \omega \leq r_{inner} \\ 1 - (\omega - r_{inner})^2 / r_{outer}^2, & r_{inner} < \omega < r_{outer} \\ 0, & r_{outer} \leq \omega \end{cases} \quad (7)$$

若 ω 没有超过内圆半径 r_{inner} ,则权重值 $v = 1$;若 ω 在内圆半径 r_{inner} 与外圆半径 r_{outer} 中间, v 的值由 1 变为 0;若 v 超过了外圆半径 r_{outer} ,则 $v = 0$ 。

改进的地形刷物理三维模型能够通过调整内圆外径大小获取不同类型生态景观与地形的修复效果,只需控制内圆外径大小,便可对生态景观和地形修复效果进行控制,所以该方法的灵活性与可控性较高。

2 实验分析

采用本文方法、点云融合方法以及半自动三维重建方法,对区域地震灾害后生态环境的修复效果进行对比实验。

灾后生态环境的变化主要通过生态景观破碎化来形容。生态景观破碎化评价指标中包含破碎化程度、缩小率、可控制性三类景观变动的空间过程。采用其作为对比指标对本文方法、点云融合方法以及半自动三维重建方法的修复效果进行实验。实验设定修复次数为 7 次,详细对比结果如下。

2.1 破碎化对比分析

破碎化是指原来连续成片的生态环境,由于人类建设活动的破坏和干扰,被分割、破碎,形成分散、孤立的岛状生态环境或生态环境碎片的现象。碎片化程度越低,三维建模修复效果越完整。

分析图 4 可知,多次修复实验中,随着修复次数的增多,本文方法修复后的生态环境破碎化在逐渐

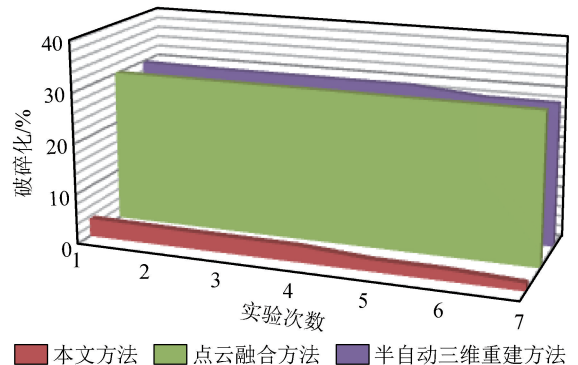


图 4 震后区域生态环境修复后破碎化程度对比结果
Fig.4 Comparison of fragmentation degrees of environment in post-earthquake region after restoration with different methods

降低,第七次修复后破碎化的值为1.45%,而点云融合方法与半自动三维重建方法在第七次修复后破碎化的值分别是30.02%、28.34%,远远大于本文方法,由此表明本文方法的修复效果较好。

2.2 缩小率对比分析

缩小率是指在保证清晰度的基础上,生态环境修复三维模型可缩小的比率。缩小率越小,修复后的清晰度越大。

分析图5可知,三种方法对该区域共修复了7次,使用本文方法进行第一次修复后,生态环境中自然景观或设施的缩小率降低为10%,其中可能存在地震对生态环境的迫害导致某类自然景观或设施消失的状况;而点云融合方法与半自动三维重建方法修复后的区域生态环境缩小率都大于10%。由此可见本文方法的修复效果最好。

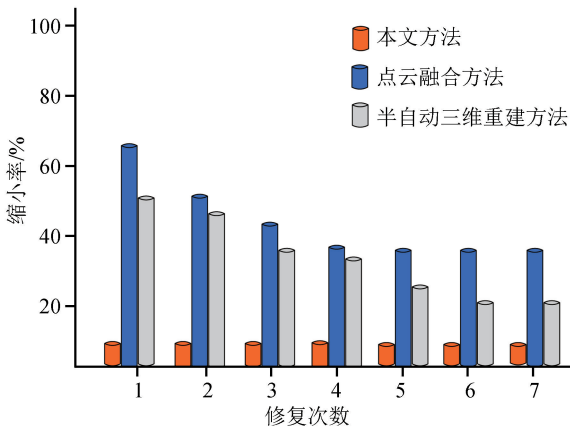


图5 震后区域生态环境修复后缩小率对比结果
Fig.5 Contrast results of shrinkage rates after restoration of regional ecological environment after earthquake

2.3 可控性对比分析

可控性指对生态环境修复效果的可控程度。可控性达不到使用要求,容易导致修复过程中出现精度较低、修复速度低下的情况。对地震灾害后区域生态环境修复模型的可控性越高,修复精度就越高,越能为灾后生态环境修复的可操作性奠定基础。

可控性计算公式为:

$$P = \frac{D}{(\sqrt{1+x^2m^2})E} \times 100\% \quad (8)$$

式中: m 为地震灾害后生态环境修复次数。在区域地震灾害后生态环境修复工作中,修复方法可控性是较为关键的评价指标,一个方法可控性的优劣情况直接影响修复工作的效率与精度。因此采用可控性这一评价指标对三种方法进行性能对比。

分析图6可知,本文方法可控制性始终大于

95%,接近于100%。点云融合方法的可控性维持在75%左右,半自动三维重建方法的可控性维持在55%左右,这两种方法的可控性效果远远不及本文方法,修复效果还有待加强。经对比说明本文方法能够根据生态环境破损的实际情况以及通过工作人员的控制,准确完成修复工作。

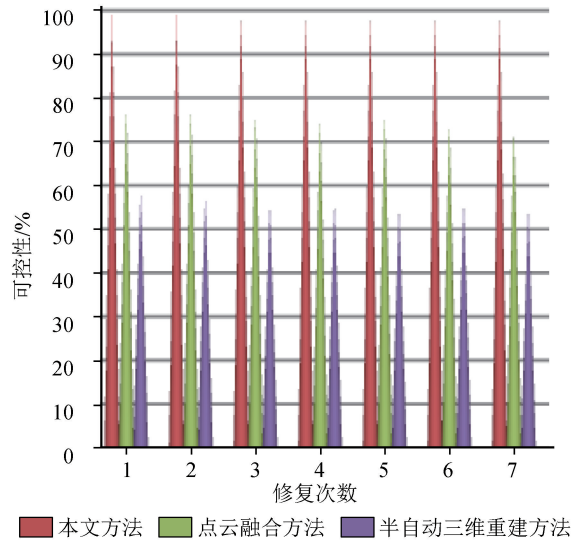


图6 三种方法可控性对比结果

Fig.6 Comparison results of controllability of three methods

3 结论

本文围绕区域地震灾害后生态环境修复问题进行研究,分析了震后生态环境三维建模修复的一整套方法。与以往灾后生态环境修复技术不同的是,本文方法采用三维激光扫描技术采集地震灾害后生态环境数据,其可在地震灾后生态环境恶劣的前提下,以非接触式的优势准确、安全地获取有关区域地震灾害后生态环境的全部信息,并基于这些信息快速、准确地构建灾害生态环境三维模型。该模型可全面描述区域地震灾害后生态环境状态,再根据实际损伤情况,采用改进地形刷物理三维模型修复区域地震灾害地形生态环境。将该方法应用于某灾区震后生态环境修复工作中,降低了生态环境破碎化程度,验证得出该模型的可控性较强,能确保生态环境修复的完整性,实现灾害生态环境的高效修复,且修复后的生态环境破碎化与缩小率都低于同类模型,具有一定使用价值。

参考文献(References)

- [1] 徐照,李苏豪,陈楠,等.基于点云的建筑物表面损伤三维重建与属性提取方法[J].土木工程与管理学报,2018,35(3):28-

- 33,51.
- XU Zhao, LI Suhao, CHEN Nan, et al. 3D Reconstruction and Attribute Extraction of Building Superficial Defects Based on Point-cloud[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 35(3): 28-33, 51.
- [2] 杨玲, 阮心玲. 模型导向的建筑物半自动三维重建[J]. 遥感信息, 2017, 32(3): 115-122.
- YANG Ling, RUAN Xinling. Semi-automatic Model-driven 3D Building Reconstruction [J]. Remote Sensing Information, 2017, 32(3): 115-122.
- [3] 周文辉, 郭甲腾, 栗云峰, 等. 基于 Coons 曲面与约束三角网的区域地质调查三维建模方法[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(6): 734-741.
- ZHOU Wenhui, GUO Jiateng, LI Yunfeng, et al. 3D Regional Geological Modeling Based on Coons Surfaces and CD-TIN[J]. Journal of Geo-Information Science, 2016, 18(6): 734-741.
- [4] 刘震, 王艳宾, 白丽丽, 等. 曲面细节特征保持的三维模型孔洞修复方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(12): 2052-2059.
- LIU Zhen, WANG Yanbin, BAI Lili, et al. Detail-preserving Hole-filling for Complex 3D Models[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(12): 2052-2059.
- [5] 刘忠群, 杜春江, 金东民. 黄土塬区三维地震采集炮检点优化设计技术研究及应用[J]. 石油物探, 2016, 55(2): 188-195.
- LIU Zhongqun, DU Chunjiang, JIN Dongmin. Optimization Design of Shot-receiver Points for 3D Seismic Acquisition in Loess Tableland [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2016, 55(2): 188-195.
- [6] 马成龙, 张新新, 李少龙. 页岩气有效储层三维地质建模——以威远地区威 202H2 平台区为例[J]. 断块油气田, 2017, 24(4): 495-499.
- MA Chenglong, ZHANG Xinxin, LI Shaolong. 3D Geological Modeling of Effective Shale-gas Reservoirs: Taking Wei 202H2 Platform of Weiyuan Area as an Example[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2017, 24(4): 495-499.
- [7] 毕冉, 唐晓, 刘保健. 盾构地铁隧道区间在地震作用下的三维动力时程响应分析[J]. 地质与勘探, 2016, 52(4): 712-717.
- BI Ran, TANG Xiao, LIU Baojian. Three-Dimensional Seismic Response Analysis of a Shield-shaped Subway Tunnel[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(4): 712-717.
- [8] 郑媛元. 城市道路两翼植物景观三维图像优化设计仿真[J]. 计算机仿真, 2016, 33(11): 250-253.
- ZHENG Yuanyuan. City Road Plant Landscape Wing 3D Image Simulation Optimization Design [J]. Computer Simulation, 2016, 33(11): 250-253.
- [9] 杨月巧, 郭继东, 袁志祥. 基于 ISM 的地震灾后恢复重建影响因素分析[J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(11): 26-34.
- YANG Yueqiao, GUO Jidong, YUAN Zhixiang. Influence-factors Analysis of Post-earthquake Recovery and Reconstruction Based on ISM[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2017, 47(11): 26-34.
- [10] 张婧, 周明全, 耿国华. 基于变分水平集的三维模型复杂孔洞修复[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(4): 1254-1257.
- ZHANG Jing, ZHOU Mingquan, GENG Guohua. Repair Methods for Complex Hole of Three-Dimensional Model Based on Variational Level Set Method[J]. Application Research of Computers, 2018, 35(4): 1254-1257.
- [11] LIU Q, MOU X. Interactions between Surface Water and Groundwater: Key Processes in Ecological Restoration of Degraded Coastal Wetlands Caused by Reclamation [J]. Wetlands, 2016, 36(S1): 95-102.
- [12] 赵正旭, 张廷廷. 基于 FreeForm 与 3ds Max 建模的三维打印 [J]. 计算机应用, 2016, 36(增刊 1): 180-183.
- ZHAO Zhengxu, ZHANG Tingting. Three-Dimensional Printing Based on FreeForm and 3ds Max Modeling[J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(Suppl 1): 180-183.
- [13] FIEDLER S, PERRING M P, TIETJEN B. Integrating Trait-based Empirical and Modeling Research to Improve Ecological Restoration[J]. Ecology and Evolution, 2018, 8(12): 6369-6380.
- [14] 蒯小虎, 姚顽强, 马润霞, 等. 基于海量点云数据的大雁塔三维重建[J]. 文物保护与考古科学, 2017, 29(3): 67-72.
- LIAN Xiaohu, YAO Wanqiang, MA Runxia, et al. Three Dimensional Reconstruction of the Great Wild Goose Pagoda Based on Massive Point Cloud Data[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2017, 29(3): 67-72.
- [15] 白云. 地震断层滑动对地质变形的测绘研究[J]. 华南地震, 2018, 38(1): 108-113.
- BAI Yun. Surveying and Mapping of Geological Deformation by Seismic Fault Slip[J]. South China Journal of Seismology, 2018, 38(1): 108-113.
- [16] 高玲, 李代智, 祁晶, 等. 超临界锅炉末级过热器管屏三维数值分析[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4): 15-19.
- GAO Ling, LI Daizhi, QI Jing, et al. Three-dimensional Numerical Simulation of Final-stage Superheater Panel of Supercritical Boilers [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4): 15-19.
- [17] 沈朝勇, 郑俊杰, 卢民鹤. 近场地震作用下大型储罐三维隔震地震响应分析[J]. 华南地震, 2017, 37(4): 66-71.
- SHEN Chaoyong, ZHENG Junjie, LU Minhe. Seismic Response Analysis of Large 3D Isolation Storage Tanks Subjected to Near Field Earthquake[J]. South China Journal of Seismology, 2017, 37(4): 66-71.