

高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型*

BIM Perspective Augmented Reality Reconstruction Model of Edge Space of High-rise Buildings

莫民静

(广西工业职业技术学院 建筑工程学院, 广西 南宁 530001)

摘要: 针对易受噪声数据、建筑物复杂程度干扰, 高层建筑边缘空间规划模型的重建完整率、正确率低的问题, 提出高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型。采用 MVS 点云算法, 采集高层建筑边缘空间的点云集合, 剔除集合中的噪声, 采取 BIM 技术, 提取高层建筑边缘空间的轮廓特征, 将轮廓特征分割成长方体与三角体, 采用投影映射, 匹配轮廓的三维角点坐标, 引入纹理映射法, 优化高层建筑边缘空间 BIM 透视式纹理, 完成高层建筑边缘空间重建。实验结果表明, 所提方法的重建效果好, 重建完整率高、正确率高, 重建几何精度较高。

关键词: 点云集合; 统计滤波; 位置判断函数; 轮廓透视投影; 相对深度; 纹理映射

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2023) 05-0133-07

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.05.021

MO Minjing

(School of Architectural Engineering, Guangxi Vocational & Technical Institute of Industry, Nanning 530001, China)

Abstract: Aiming at the problems of being easily disturbed by noise data and building complexity, and the low reconstruction integrity and accuracy of high-rise building edge space planning model, a BIM perspective augmented reality reconstruction model of high-rise building edge space is proposed. MVS point cloud algorithm is adopted to collect the point cloud set of high-rise building edge space, eliminate the noise in the set, and BIM Technology is adopted to extract the contour features of high-rise building edge space. The contour features are divided into cuboids and triangles. Projection mapping is adopted to match the three-dimensional corner coordinates of the contour, and texture mapping method is introduced to optimize the BIM perspective texture of high-rise building edge space to complete the reconstruction of high-rise building edge space. Experimental results show that the proposed method has good reconstruction effect, high reconstruction integrity rate, high accuracy and high geometric accuracy.

Keywords: BP neural network model; statistical filtering; location judgment function; contour perspective projection; relative depth; texture mapping

* 基金项目: 广西工业职业技术学院科学研究重点课题“EPC+BIM+装配式”新型建造模式的应用研究(桂工业院科研 Y2021KY001); 2022 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“EPC+BIM+装配式”新型建造模式的应用研究(2022KY1289)。

作者简介: 莫民静(1987—), 女, 壮族, 本科, 讲师, 主要研究方向: 土木工程, BIM 技术。

收稿日期: 2022-07-28

研究与应用

0 引言

建筑测绘和设计中常规使用的二维 CAD 图纸直观性不强,对三维立面视图的呈现效果较差,降低了测绘设计效率。随着科学技术的不断提高,高层建筑边缘空间模型重建技术逐渐成为目前机器视觉和建筑领域的热点话题,被广泛应用于建筑工程管理、测绘、设计^[1]中。高层建筑边缘空间的模型重建技术能够将建筑工程运行维护、施工和设计各个阶段中的资源和工程信息融合到一个三维可视化实体模型中,模拟重建建筑物各部件的精确尺寸以及现实施工情况,为建筑测绘和设计提供基础数据,从而对建筑施工进行多维度的控制。随着该技术的实际应用越来越多,使用者对模型重建的技术也提出了更高的要求,不仅要求模型重建的完整率高,还要求其具有完善的几何精度,其中的关键就是对模型重建技术做出改进^[2]和优化。因此研究高层建筑边缘空间的重建模型技术具有重要意义。

杨书广^[3]提出一种基于反向映射的超强分辨率重建模型,利用双尺度自适应加权算法提取高层建筑边缘空间的特征,然后通过对特征反向深度映射计算后得到增强后的高层建筑边缘空间特征,最后将残差算法、稠密链接算法与增强特征相融合,完成高层建筑边缘空间的重建模型。该算法没有对提取的高层建筑边缘空间图像做出降噪处理,导致重建效果差、重建后的完整率低。宋燕飞等^[4]提出网络架构节点重建模型,首先采用双目视觉技术得到节点在高层建筑中的位置,然后将节点位置输入到深度神经网络模型得到节点之间的连接关系,最后利用基于旋转角的三维坐标转换器多次测量节点坐标,完成高层建筑边缘空间的重建模型。该方法没有提取高层建筑边缘空间的细节特征,导致重建几何精度较低。武镇邦等^[5]挖掘高层建筑边缘空间的有效信息,通过有效信息得到高层建筑边缘空间的特征,然后从特征中抽取出整体-局部构件,以此构建真实规则重建模型,最后将整体-局部构件输入到模型中,通过对模型的调用与拼接完成高层建筑边缘

空间的重建。该方法没有对建筑表面的纹理实行映射处理,导致重建正确率较低。

为了解决上述方法中存在的问题,提出高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型,以提高重建完整率、正确率以及几何精度,作为建筑测绘设计和施工控制的基础。

1 点云采集与轮廓提取

1.1 采集高层建筑边缘空间的点云集合

高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型,采用基于 MVS 点云算法采集高层建筑边缘空间图像的数据点,并通过统计滤波算法剔除其中的噪声数据^[6]。具体步骤如下:

(1) 首先利用无人机获取高层建筑边缘空间的图像,然后采用 MVS 技术生成密集三维点云,提取出目标建筑边缘空间的点云集合。

(2) 针对提取的高层建筑边缘空间点云集合,采用统计滤波算法剔除其中的噪声数据,首先搜索出点云集合中的任意数据点与其近邻点,计算当前点与其近邻点之间的平均距离,公式如下所示:

$$D(q_i) = \frac{\sum_j \|p_i - p_j\|}{l} \quad (1)$$

式中: D 描述的是平均距离; q 代表的是点云集合中的任意点; i 、 j 均代表点云数据的顺序; l 表示的是近邻集合。

(3) 高层建筑边缘空间点云集合中,所有点之间的平均距离均呈高斯正态分布^[7],此时定义一个标准范围 $[\nu \pm \beta \cdot \sigma]$,则对于任意点,若平均距离不在此标准范围内,则判断该点为点云集合中的噪声点,选择将其剔除。公式如下所示:

$$\begin{cases} D(q_i) \notin [\nu \pm \beta \cdot \sigma] \\ D(q_i) \in l \\ \nu \neq \beta \neq \sigma \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ν 表示全局期望值; β 为固定阈值; σ 代表的是标准差。

(4) 剔除所有噪声点后的高层建筑边缘空间点云集合,不仅可以有效的恢复建筑表面信息,

还保持了图像的细节特征^[8]，为后续提取建筑物的轮廓特征打下基础。

1.2 提取高层建筑边缘空间的轮廓特征

高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型，针对采集的点云集合，采用 BIM 技术提取建筑边缘空间的轮廓特征^[9]，具体步骤如下：

(1) 点云集合中的点可以构成无数平面，任意平面内的两点都可以构成一条有向线段，这条有向线段可以将其所在的点云平面分割成两半。引入物理坐标系，计算坐标系纵轴与有向线段的叉积可以得到左半平面的矢量，可以准确的判断点与直线的关系。

(2) 高层建筑边缘空间点云集合中的任意两点以及两点构成的有向线段均可用物理坐标点表示，公式如下所示：

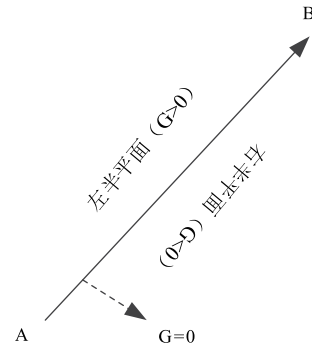
$$\begin{cases} A = (X_A, Y_A, 1) \\ B = (X_B, Y_B, 1) \\ \vec{AB} = (Y_A - Y_B, X_B - X_A, X_A \cdot Y_B - X_B \cdot Y_A) \end{cases} \quad (3)$$

式中： A 、 B 分别表示的是点云集合中的任意点； X 、 Y 代表的是物理坐标系的横、纵轴； \vec{AB} 为两点之间的有向线段。

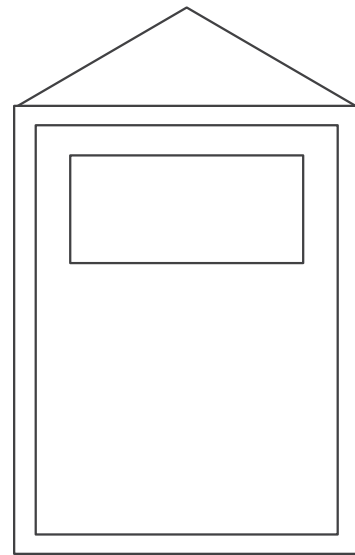
(3) 在物理坐标系中任意取一点 V ，设其坐标为 $(x, y, 1)$ ，计算该点与有向线段之间的点积密度^[10]，可以得到点与直线的位置判断函数 $G(V, \vec{AB})$ ，公式如下所示：

$$\begin{cases} G(V, \vec{AB}) = (x, y, 1) \cdot \vec{AB} \\ G(V, \vec{AB}) = x(Y_A - Y_B) + y(X_B - X_A) \end{cases} \quad (4)$$

(4) 根据位置判断函数的正负符号来判断点与有向线段的相对位置关系，如图 1 (a) 所示。当位置判断函数符号大于 0 时，表示点在有向线段的左半平面中；位置判断函数符号小于 0 时，表明点在有向线段的右半平面中；当位置判断函数符号等于 0 时，表明点在有向线段中。然后将高层建筑边缘空间点云集合中的点按照坐标递增的顺序连接起来，得到高层建筑边缘空间的轮廓特征。如图 1 (b) 所示。



(a) 点与线段的位置判断



(b) 提取的高层建筑边缘空间轮廓

图 1 高层建筑边缘空间的轮廓特征

Fig. 1 Outline characteristics of the edge space of high-rise buildings

2 BIM 透视式增强现实重建模型

高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型，针对提取的建筑轮廓特征，首先将轮廓分割^[11]成长方体与三角体，再分别采用投影映射法重建，最后通过纹理映射完成高层建筑边缘空间的重建，流程如图 2 所示，具体步骤如下：

(一) 长方体重建

(1) 针对高层建筑边缘空间中的长方体轮廓，根据相邻平面的夹角与其它角点的坐标，可以计算出基于坐标点的内参数矩阵，然后根据矩阵计算出高层建筑边缘空间的长方体轮廓透视投影^[12]关系式，公式如下所示：

研究与应用

$$\begin{cases} r_o t_o = L \\ r_a t_a = L(S t_a + u) \\ a = 1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (5)$$

式中： r_a 代表长方体的第 a 个角点； t 为相对深度； L 表示的是内参数矩阵； S 为旋转矩阵； u 表示的是平移向量； o 为投影中心点。

(2) 确定透视投影关系式后，高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型，假设投影中心点的相对深度为 1，则投影点的坐标集合 W 是固定的，公式如下所示：

$$\begin{cases} W_o = r_a t_a - L = r_a t_a - r_o t_o \\ W \cdot L^{-1} = \begin{bmatrix} r_1^t r_1 & r_1^t r_2 & r_1^t r_3 \\ r_2^t r_1 & r_2^t r_2 & r_2^t r_3 \\ r_3^t r_1 & r_3^t r_2 & r_3^t r_3 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (6)$$

(3) 根据投影点的坐标集合计算出高层建筑边缘空间长方体轮廓的边长和内参数，再结合参数矩阵的控制^[13]条件，计算出具体的长方体角点三维坐标，公式如下所示：

$$\begin{cases} r_1^t r_1 = d^2, r_1^t r_2 = r_2^t r_1 = de \cdot \cos(\vartheta_{de}) \\ r_2^t r_2 = e^2, r_2^t r_3 = r_3^t r_2 = ef \cdot \cos(\vartheta_{ef}) \\ r_3^t r_3 = f^2, r_1^t r_3 = r_3^t r_1 = df \cdot \cos(\vartheta_{df}) \end{cases} \quad (7)$$

式中： d 、 e 、 f 代表的是一个角点上的边长； ϑ 代表边长之间的夹角。

(二) 三角体重建

(1) 在高层建筑边缘空间的三角体轮廓中，假设投影定点的相对深度数值为 1，则它的投影点坐标集合 W' 公式如下所示：

$$\begin{cases} W' = s_a t_a - s_{o'} t_{o'} = L S s_a \\ L S s_a = L S \begin{bmatrix} s_a t_a - \eta_{o'} \\ s_a t_a - \lambda_{o'} \\ s_a - 1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (8)$$

式中： s_a 为第 a 个角点； o' 表示三角体的投影中心点； η 、 λ 分别表示内参数。

(2) 根据公式 (8) 得到的投影点坐标合集，可以进一步计算出高层建筑边缘空间三角体轮廓的角点三维坐标值，完成重建三角体轮廓的重建。

(三) 纹理映射

(1) 高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型，采用双向纹理映射算法^[14]处理重建后的长方体与三角体，进而确定建筑轮廓的纹理空间与三维图像空间之间的对应关系。

(2) 根据纹理空间与三维图像空间的角点坐标，计算出纹理空间角点的三维坐标，然后通过相邻平面的变换映射^[15]式对其它角点做映射处理，即得到高层建筑边缘空间对应的纹理，完成高层建筑边缘空间的重建。公式如下所示：

$$\begin{cases} C(r_a + s_a) + 1 = r_a' + s_a' \\ \begin{bmatrix} r_a' + s_a' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & 1 \\ 0^t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_a + s_a \\ 1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (9)$$

式中： C 代表的是 $4 * 4$ 矩阵； r_a' 、 s_a' 分别表示映射后的角点。

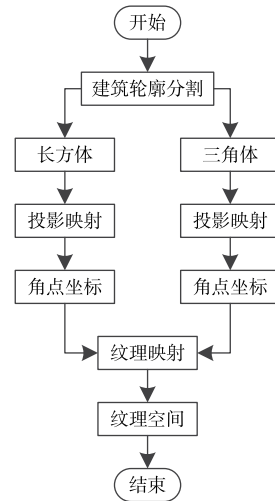


图 2 模型重建流程
Fig. 2 Flow of model reconstruction

3 实验与分析

为了验证高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型的整体有效性，需要对其做出如下测试。

将模型的采集建筑图像效果、重建完整率、正确率和重建几何精度作为指标，采用高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型、文献 [3] 方法、文献 [4] 方法和文献 [5] 方法做出对比测试。

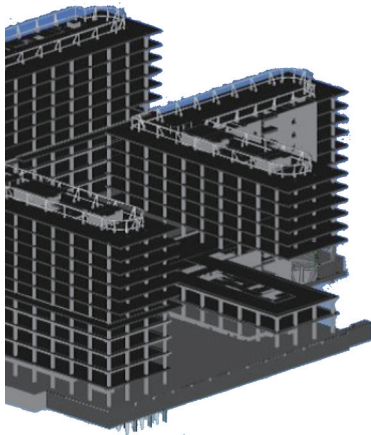


图 3 BIM 透视式增强现实重建模型
Fig. 3 BIM perspective augmented reality reconstruction model
(一) 重建效果图

利用所提方法、文献 [3] 方法、文献 [4] 方法重建高层建筑边缘空间，如图 4 (a) 所示，不同算法的重建效果分别如图 4 (b)、图 4 (c)、图 4 (d) 所示。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 4 不同方法的建筑图像采集结果
Fig. 4 Building image acquisition results for the different methods

分析图 4 可知，针对高层建筑边缘空间重建问题，所提方法重建的效果清晰、细节保留完好；而文献 [3] 方法和文献 [4] 方法重建后的建筑图像残缺、丢失细节信息。说明针对高层建筑边缘空间的重建，所提方法的重建效果好。所提方法在高层建筑边缘空间重建前，利用统计滤波算法消除了点云数据中的噪声，进而提取的高层建筑边缘空间的轮廓不受噪声影响，保留了原始的细节特征。

(二) 重构完整率

完整率是指以高层建筑边缘空间的面片为评估单位，计算各个方法重建后得到的建筑面片的完整程度。完整率越高，表明算法的精度越高；完整率越低，表明算法的精度越低。其计算公式如下所示：

$$c = \frac{TP}{FN + TP} \tag{10}$$

式中： c 代表完整率； TP 为重建后面片正确的区域； FN 指重建后丢失区域的面积。

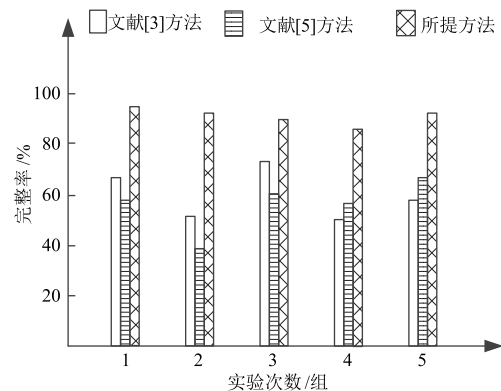


图 5 不同方法的完整率
Fig. 5 Full rates of the different methods

研究与应用

将所提方法、文献 [3] 方法、文献 [5] 方法的完整率测试结果绘制成图, 以便分析, 如图 5 所示。

分析图 4 可知, 针对高层建筑边缘空间的重建, 无论在哪组实验中, 所提算法的重建完整率均高于文献 [3] 方法、文献 [5] 方法的重建完整率。说明所提算法重建后的高层建筑边缘面片完整性高于文献 [3] 方法、文献 [5] 方法的完整性。

(三) 正确率

计算所提方法、文献 [4] 方法、文献 [5] 方法重建的正确率, 公式如下所示。将正确率结果绘制成图 5, 方便分析。

$$c' = \frac{TP}{FP + TP} \quad (11)$$

式中: c' 代表正确率; TP 表示的是重建后建筑面片正确的数量; FP 为重建后建筑面片错误的数量。

分析图 6 可知, 针对高层建筑边缘空间的重建, 所提算法的正确率均高于文献 [4] 方法、文献 [5] 方法的正确率, 并且随着实验次数的增加, 所提方法的正确率比较稳定, 没有发生明显波动, 而文献 [4] 方法、文献 [5] 方法的正确率波动较大, 不稳定。说明所提方法正确率的稳定性高于文献 [4] 方法、文献 [5] 方法正确率的稳定性。

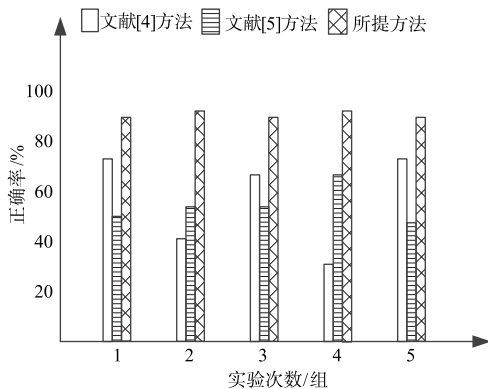


图 6 不同方法的正确率
Fig. 6 Accuracy of different methods

(四) 重建几何精度

重建几何精度是以原始高层建筑边缘空间为参考目标, 计算出重建模型与参考物之间的差距,

其中标准差是评价重建几何精度的重要指标。标准差数值越小, 说明算法的重建几何精度越高; 标准差数值越大, 说明算法的重建几何精度越低。

所提方法、文献 [3] 方法、文献 [4] 方法的标准差结果如表 1 所示。

表 1 不同方法的标准差结果
Table 1 Standard deviation results for the different methods

实验次数/组	标准差		
	所提方法	文献 [3] 方法	文献 [4] 方法
1	0.18	0.54	1.24
2	0.25	0.57	1.37
3	0.24	0.49	1.33
4	0.20	0.57	1.32
5	0.23	0.56	1.35
6	0.21	0.55	1.36
7	0.24	0.58	1.39
8	0.25	0.55	1.41
9	0.23	0.57	1.37
10	0.27	0.59	1.38
11	0.26	0.53	1.36
12	0.24	0.49	1.37
13	0.27	0.57	1.42
14	0.23	0.52	1.38
15	0.21	0.53	1.34

分析表 1 中的数据可知, 所提方法的标准差在 0.24 左右; 文献 [3] 方法、文献 [4] 方法的标准差分别在 0.58 与 1.37 附近。在不同实验序号下, 所提方法的标准差均小于文献 [3] 方法、文献 [4] 方法的标准差, 说明针对高层建筑边缘空间的重建, 所提方法的重建几何精度均高于文献 [3] 方法、文献 [4] 方法的重建几何精度。

4 结束语

高层建筑边缘空间的模型重建技术逐渐成为建筑工程管理、测绘、设计中的关键技术。为了提高边缘空间模型重建技术的重建完整率、正确率以及几何精度, 研究了一种高层建筑边缘空间 BIM 透视式增强现实重建模型。获取高层建筑边缘空间的图像点云集合, 采用 BIM 技术提取建筑的轮廓特征, 应用投影映射与纹理映射法处理轮廓特征, 完成高层建筑边缘空间的重建模型。该技术解决了高层建筑边缘空间重建技术存在重建效果差、重建完整率低、正确率低和重建几何精度低的问题, 可以为建筑测绘设计和施工控制提

高精准确的数据基础。

参 考 文 献

- [1] 苟欢欢. 基于激光散射测量的虚拟建筑空间重建设计[J]. 激光杂志, 2021, 42 (12): 160-164.
- [2] 刘翔宇, 王健, 常清法, 等. 改进贪婪投影三角化算法的激光点云快速三维重建[J]. 激光与红外, 2022, 52 (5): 763-770.
- [3] 杨书广. 基于深度反向投影的感知增强超分辨率重建模型[J]. 应用光学, 2021, 42 (4): 691-697+716.
- [4] 宋燕飞, 罗尧治, 沈雁彬, 等. 基于双目视觉与图像识别的网架结构三维重建[J]. 空间结构, 2020, 26 (4): 28-35+74.
- [5] 武镇邦, 李恒凯, 王玉青, 等. 融合多源数据的古城构件模型库三维重建方法[J]. 测绘科学, 2021, 46 (8): 205-212.
- [6] 李晓璐, 周亚同, 何静飞, 等. 全变分正则化非局部均值地震数据降噪[J]. 计算机工程与科学, 2020, 42 (6): 1106-1110.
- [7] 李宗民, 张鹏, 刘玉杰, 等. 结合注意力模型与双峰高斯分布的深度哈希检索算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32 (5): 759-768.
- [8] 张润, 冯云霞. 基于交叉熵的倾斜文本图像细节特征提取仿真[J]. 计算机仿真, 2020, 37 (7): 489-492.
- [9] 陈继明, 许辰航, 李鹏, 等. 基于时频分析与分形理论的GIS局部放电模式识别特征提取方法[J]. 高电压技术, 2021, 47 (1): 287-295.
- [10] 毛亚琼, 田立勤, 王艳, 等. 引入局部向量点积密度的数据流离群点快速检测算法[J]. 计算机工程, 2020, 46 (11): 132-138+147.
- [11] 刘骥, 曾文亮, 梁晓升. 深度图辅助的主动轮廓分割算法[J]. 计算机应用研究, 2020, 37 (1): 287-290.
- [12] 姚钦舟, 庄苏锋, 屠大维, 等. 水下透视投影图像非线性畸变校正方法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41 (2): 176-183.
- [13] 王永祥, 周小杨, 张周焕, 等. 基于变参数矩阵PMSM无传感器控制[J]. 控制工程, 2021, 28 (2): 345-353.
- [14] 刘颖, 刘倩, 李大湘, 等. 基于PTM模型文物纹理映射算法[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (12): 209-214.
- [15] 韩雪娟, 李国东. 动态猫变换和混沌映射的图像加密算法[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41 (8): 2381-2387.
- [5] 班逸轩, 蒋焱, 叶向阳, 等. 纳米二氧化硅对混凝土的性能改良[J]. 山东化工, 2022, 51 (4): 173-174+180.
- [6] TONG J J, CAI Y S, GUI D B, et al. Study on carbonation resistance and micromechanism of shotcrete in high geothermal tunnels[J]. Construction and Building Materials, 2022, 320.
- [7] WU B, CHAI M M, LI S J, et al. Effect of Fly Ash Content in Shotcrete on Mechanical Properties [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2168 (1).
- [8] 郑小魁. 基于离散元法湿喷混凝土回弹率研究[D]. 安徽理工大学, 2021.
- [9] 孙超. 喷射混凝土掺硅灰配合比设计与质量控制[J]. 四川水泥, 2020 (2): 11+20.
- [10] 李鹏程. 湿喷混凝土射流碰壁回弹实验及数值模拟研究[D]. 山东科技大学, 2019.
- [11] 林振涛. 硅灰掺量对喷射混凝土性能的影响试验研究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47 (3): 1-3+8.
- [12] LIU Z X, BIAN W H, PANG, et al, Michael Aizenshtein. Influences on shotcrete rebound from walls with random roughness[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2018, 2018.
- [13] 靳杰. 喷射混凝土用速凝剂的行业现状及发展趋势[J]. 中国标准化, 2018 (12): 89-90.
- [14] 王子明, 贾琳, 王庄, 等. 喷射混凝土及速凝剂研究发展现状与趋势[C]//. 中国混凝土外加剂研究与应用进展-2018年科隆杯论文汇编(下), 2018: 78-84.
- [15] 杨文超. 高强超微喷射混凝土外加剂的研究与应用[J]. 铁路采购与物流, 2018, 13 (2): 33-36.
- [16] 尹大祥, 王宏波, 刘瑛, 等. 高强超微外加剂在喷射混凝土中的运用[J]. 科技创新导报, 2017, 14 (3): 16-19.
- [17] IKUMI T, SALVADOR RENAN P, AGUADO A. Mix proportioning of sprayed concrete: A systematic literature review [J]. Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 2022.

(上接第 86 页)