

张新梁,杨顺生,孟昊杰.高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理量化控制模型研究[J].地震工程学报,2019,41(4):1072-1078.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1072

ZHANG Xinliang, YANG Shunsheng, MENG Haojie. A Quantized Control Model for Safety Management of Repair of Collapsed Walls of High-Rise Buildings[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(4): 1072-1078. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1072

高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理 量化控制模型研究

张新梁¹, 杨顺生², 孟昊杰³

(1. 眉山职业技术学院, 四川 眉山 620010; 2. 西南交通大学, 四川 成都 610031;

(3. 四川城市职业学院, 四川 成都 610101)

摘要: 为了确保震后高层建筑坍塌墙体修复工程的安全性,提出一种高层建筑震后坍塌墙体修复施工安全管理方法。结合主成分分析法与信息熵法对震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理的控制特征量进行提取,确定模型评价指标权重;根据加权学习法对坍塌墙体修复的施工进行量化控制;通过灰阶量化评估进行约束参量分析,构建安全管理控制模型;采用管理因素模糊调度算法实现施工安全管理控制,并完成优化决策。通过仿真实验验证坍塌墙体修复施工管理控制的管理效益与累积评价百分率。分析结果表明,采用该方法进行震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制的管理效益最高可达83.32%,累积管理效果回报率较高,累积评价百分率平均约为75%,能够有效提高施工过程的安全管理效能,确保施工安全。

关键词: 地震; 高层建筑; 坍塌墙体修复; 量化控制; 加权学习法

中图分类号: U211.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)04-1072-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1072

A Quantized Control Model for Safety Management of Repair of Collapsed Walls of High-Rise Buildings

ZHANG Xinliang¹, YANG Shunsheng², MENG Haojie³

(1. Meishan Vocational & Technical College, Meishan 620010, Sichuan, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China;

3. Urban Vocational College of Sichuan, Chengdu 610101, Sichuan, China)

Abstract: To ensure safety during the process of repairing of collapsed walls of the high-rise buildings after an earthquake, some safety management guidance measures are given. In addition, a safety management method for repair of collapsed walls of high-rise buildings after an earthquake was proposed. Combined with principal component analysis and information entropy method, the controlled characteristic variables for the repair of collapsed wall of high-rise buildings

收稿日期: 2018-11-26

基金项目: 国家自然科学基金(60702075); 四川省教育厅批准项目(18ZB0345)

第一作者简介: 张新梁(1982-), 女, 四川遂宁人, 硕士, 讲师, 研究方向: 建筑与土木工程、建筑施工管理、市政工程。

E-mail: yueyaer_512@163.com。

post earthquake were extracted to determine the weight of the model evaluation index. The quantized control for the management of collapsed wall restoration based on weighted learning method was conducted. A security management control model was constructed by constrained parametric analysis through grayscale quantitative evaluation. The construction safety management control was realized by adopting the fuzzy scheduling algorithm and the optimization decision was completed. The management benefit and cumulative evaluation percentage for the restoration construction management control for the collapsed wall were verified via simulation experiments. The case analysis results showed that the management benefit of this method can reach 95.34%, and the cumulative evaluation percentage was about 98.65%. The method can considerably improve the safety management efficiency of the construction process and ensure construction safety.

Keywords: earthquake; high-rise building; collapse wall repair; quantized control; weighted learning

0 引言

高层建筑施工存在较大的安全风险,对施工过程的管理要求较高。我国有较大的区域处于板块断裂带,受地震的影响较大,平均每年发生 5 级以上地震次数多达十余次。地震对建筑物的影响十分严重,特别是高层建筑,造成的损坏程度较为明显。其中,出现问题较多的就是墙体损坏,表现为出现裂缝甚至坍塌。而出现坍塌的多为隔断墙,隔断墙一般为砖混结构,遇到地震破坏后稳定性较差^[1]。高层建筑施工本身具有较大的危险性,在震后进行高层建筑坍塌墙体的修复危险性更大,需要在施工过程中加强安全管理。通过归纳高层建筑施工安全管理的基本原则,分析震后高层建筑坍塌墙体修复的难点,提出震后高层建筑坍塌墙体修复施工中的安全管理方法,以达到促进安全施工的目的。

因此,目前已对高层建筑坍塌墙体修复施工安全进行了大量研究,并取得了一定进展。柴乃杰等^[3]提出一种基于事故树模型的坍塌墙体修复分析方法,采用故障树法对建筑坍塌原因进行分析,准确性有效提升,但管理效应不高。丁文胜等^[4]提出了一种基于 BIM 技术的大型钢结构施工危险源管理模型,通过 BIM 技术的综合控制手段,获得较高的管理效应,但实际花费过高,不适合推广使用。郑霞忠等^[5]提出一种基于 ISM 和 D-S 证据理论的建筑坍塌修复施工安全分析模型,此模型能够对建筑坍塌修复施工进行安全管控,分析影响施工的因素,获得较为准确的分析结果,但是管理效应不佳。

针对上述方法存在的问题,本文对高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理进行量化控制模型研究,提出基于灰阶量化评估和管理因素模糊调度的

施工安全管理模型。首先采用主成分分析方法分析震后高层建筑坍塌墙体修复的施工管理控制特征量,然后结合自适应加权学习方法实现对震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的量化控制^[2],最后进行实证分析和测试,得出有效性结论,展示了该模型在提高施工安全管理能力方面的优越性能。

1 震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理措施

1.1 细化完善安全管控处置预案

为了提升震后建筑坍塌墙体的修复施工安全,需要对施工管理方案进行细化完善。因为修复的好坏直接关系到房屋的质量和人民的人身和财产安全。因此在进行施工前,需要对震后建筑坍塌墙体进行详尽勘察,具体分析建筑的概况、结构、工艺以及材料等,分析施工的重点和难点,制定出一套完善的可行的有针对性的安全施工方案,不可盲目开工。对施工人员进行安全知识培训,增强心理素质。制定一个全面的安全的评估等级,对设计图纸、选材、施工等每一个细节都要做到完美,不可疏忽大意。必须按照安全生产规格严格执行每一个环节,达到安全生产的目的。在施工中,落实质量责任制。只有对坍塌墙体进行全面系统的评估,才能制定出完善的修复施工方案。针对高层建筑坍塌墙体的不同特点,制定专项施工方案和专项技术方案,重点进行安全管控处置预案的制定^[6]。

1.2 加强人员安全素质技能培训

除了对施工管理方案进行细化完善外,还需要加强施工人员安全素质技能。因此,需要进行人员安全素质培训,提高综合素质^[7]。具体分为下列两

个方面,一是在安全意识方面。针对施工人员存在的安全素质不高的问题,需要针对性、分层次、分技术地对他们进行专业指导,达到因人施教的目的。施工单位要着眼未来,从长远的利益出发,不断地完善培训机制。二是在安全防护技能方面。对施工人员进行安全教育和培训,开展安全施工管理办法、安全规章制度以及安全工作流程等的学习,通过考试检验合格才能上岗。要建立岗前培训制度、考核制度、奖惩制度,对职工要有一个全面的考核,通过激励奖惩制度不断提高职工的积极性与安全防护技能^[7]。

1.3 严格施工过程安全监管

因为高层建筑施工的风险较大,在施工过程中吊运机械的运转、人员的分配以及施工流程都需要在监管之下进行。缺乏监管,不仅会造成施工秩序混乱,施工效率变低,还将造成安全风险失控,引发安全事故^[8],存在较多的安全隐患。因此,除上述施工的前期准备外,还需要对施工过程进行严格的安全监管。具体分为以下四个方面,一是要加强对监管人员的配备和培训,提高安全监管队伍能力素质;二是要强化安全宣传教育,对施工人员要先进行安全教育再上岗,施工现场要将安全文化建设抓好,做好标语提示、案例警示等;三是要严格材料质量审查,堵塞偷工减料引发事故的漏洞;四是要做到安全监管全覆盖,在修复方案设计、安全预案制定以及施工过程各个环节都将安全监管贯穿其中。安全监管抓的好,才能从根本上保障好施工不发生交通事故。为了促进安全生产,保障施工人员的人身安全,提高工程进度,对施工人员的防护用品、机械设备、安全通道等进行定期定时检查或者突击检查。对于发现的安全漏洞,必须严格按照安全生产标准进行及时整改。

2 施工安全管理量化控制模型相关指标确定

2.1 基于层次分析法和信息熵法的评价指标权重确定方法

为了对坍塌墙体修复施工安全量化控制,确定合理指标权重十分重要。因此,本文结合层次分析法与信息熵法确定评价指标权重。通过层次分析法(AHP)获得震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理的控制特征量,进行合理的指标权重排序,然后采用信息熵法全面的挖掘原始数据本身蕴涵的信息,将二者结合在一起确定评价指标的权重,从而获得

合理指标权重。

用 $\omega_i (i=1,2,\dots,m)$ 描述通过 AHP 法得到的评价指标权重,用 $\omega_j (j=1,2,\dots,m)$ 描述通过信息熵法获取的评价指标权重,为了得到合理的综合权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$,需令其和原权向量最大程度的贴近,则有

$$\left. \begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^2 \lambda_k (\omega_i, \omega_j) \\ & \text{s.t.} \sum_{i=1}^m \omega_i = 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $\lambda_k (\omega_i, \omega_j) = 1 - d_k (\omega)$, 用于描述 ω_i 和 ω_j 的贴近度; $d_k (\omega) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\omega_i - \omega_j)^2}$ 用于描述 ω_i 和 ω_j 之间的欧式距离。通过该优化模型实现组合赋权,即可获取指标的综合权重向量 ω 。

2.2 定量化控制模型评价指标值的确定

震后高层建筑坍塌修复施工中定量化控制模型评价指标体系中主要包括定量指标和定性指标(针对定量指标,如成本、工期等),可通过预先的规定依据详细数据获取其评价指标值;针对定性指标,可通过集值统计法来获取其评价价值,该情况下多个专业人员给出的评价价值为一个大致范围,从而能够解决专家在评价过程中不易给出绝对的单一分值的问题。如果 n 个专家对第 j 个方案的第 i 个定性指标 y_{ij} 的评价区间是 $[y_{1ij}^k, y_{2ij}^k] (k=1,2,\dots,n)$, 则第 j 方案的第 i 个定性指标 y_{ij} 的集值统计量化评价价值可描述如下:

$$-y_{ij} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^n [(y_{2ij}^{(k)})^2 - (y_{1ij}^{(k)})^2]}{\sum_{k=1}^n [y_{2ij}^{(k)} - y_{1ij}^{(k)}]} \quad (2)$$

式中: $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 。

因此,先确定定量化控制模型评价指标值,然后进行安全管理控制模型构建。

3 安全管理控制模型构建

3.1 安全管理控制的约束参量分析

在震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理控制估计研究中需考虑交叉因子的影响作用,通过高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的统计特征分析和质量水平分析进行模糊约束控制^[8],构建安全管理的效益指标参量集为 $f_k^w = \hat{f}_k^w + \tilde{f}_k^w + \dot{f}_k^w$, 根据安全管理的人员管理信息 $\hat{f}_k^w$ 、材料管理信息 $\tilde{f}_k^w$ 以及

施工过程管理信息 $\hat{f}_k^w$, 进行建筑施工现场管理分配^[9], 构建震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的控制目标函数, 取得最大值时, 形成最佳博弈:

$$Z = B \sum_{w \in W} f_k^w - \sum_{a \in A} \vartheta_a \quad \forall v_\varphi \leq v_a \leq v_\varphi \quad (3)$$

式中: w 表示坍塌墙体修复施工安全生产管理因素; W 表示生产管理因素数量; B 表示施工安全生产管理因素重要程度指数; ϑ_a 表示施工安全生产管理因素重要程度指数 B 与施工现场环境因素、墙体修复施工安全技术因素等指标重要程度之间的差异性; $a \in A$ 表示施工安全生产管理因素重要程度指数 B 与施工因素等指标重要程度差异性的对应标号; v_a 为坍塌墙体修复施工安全管理标准化要素权重系数; v_φ 为施工单位收益期望函数; v_φ 为监理单位收益期望函数。

考虑到坍塌墙体修复施工安全管理影响因素之间的相互作用关系, 给出震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理的效益量标准化函数:

$$M = \vartheta_a \sum_{i=1}^n K_i M_i \quad (4)$$

式中: K_i 表示墙体修复施工安全标准化评分项中各要素的权重; M_i 表示各评分项得分; n 表示安全标准化评分项中要素的数量。

结合统计平均分析方法进行震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的模糊性迭代^[10], 构建震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的模糊控制标准化函数为:

$$\beta = \frac{1}{n} \sum_i \left(\frac{V}{K_i} y_0 \right) \quad (5)$$

式中: y_0 表示施工安全管理的控制顶点; V 表示坍塌墙体修复施工因素的隶属度。震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的控制顶点间必须满足一定的连续性条件, 考虑劣化规律的不确定性, 采用非线性统计分析方法^[11], 构建施工安全管理控制的 2 阶 λ 函数, 可以写成:

$$\begin{aligned} \min(C) = & \sum_{a \in A} \int_0^A \left[f_k^w \frac{V}{K_i} \right] dx + \frac{1}{\theta} \sum_{w \in W} \hat{f}_k^w \ln \hat{f}_k^w + \\ & \frac{1}{\theta} \sum_{w \in W} \sum_{k \in K^w} \tilde{f}_k^w \ln \tilde{f}_k^w - \beta \sum_{w \in W} \int_0^{q^w} D^{-1}(w) dw \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $\hat{\theta} = \cos^{-1} \lambda$ 。

记:

$$\sum_{k \in K^w} \tilde{f}_k^w = (1 - \eta^w) q^w, w \in W \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K^w} \hat{f}_k^w = \eta^w q^w, w \in W \quad (8)$$

$$C = (1 - \lambda + \lambda t) t^3 \quad (9)$$

式中: η^w 表示墙体修复施工现场环境因素约束参量; t 表示墙体修复施工安全管理段时间; q^w 表示墙体修复施工安全技术因素约束参量; $D(w)$ 表示生产管理因素统计函数; $\hat{\theta}$ 表示施工现场环境因素与施工安全技术因素的比例系数; λ 为非线性统计分析的基准系数。

上述各式表示在 3 种量化控制策略下震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制的约束参量集, 根据约束参量进行控制函数的最优化求解, 构建施工安全管理的优化控制可靠指标, 实现对施工安全管理的量化评估和过程控制^[12]。

3.2 施工安全管理控制模型

本文提出基于灰阶量化评估和管理因素模糊调度的施工安全管理模型, 采用统计回归分析方法, 构建施工安全管理控制的模糊约束参数模型:

$$\hat{p}_k^w = \frac{\hat{f}_k^w}{\hat{q}^w} = \eta^w \frac{\exp(-\hat{\theta} c_k^w)}{\sum_{k \in K^w} \exp(-\hat{\theta} c_k^w)} \quad (10)$$

$$\tilde{p}_k^w = \frac{\tilde{f}_k^w}{\tilde{q}^w} = \frac{\exp(-\tilde{\theta} c_k^w)}{\sum_{k \in K^w} \exp(-\tilde{\theta} c_k^w)} \quad (11)$$

$$q^w \{ [\lambda \eta^w + \mu_w (1 - \eta^w)] S - D^{-1}(q^w) \} \geq 0 \quad (12)$$

式中: $\hat{p}_k^w$ 表示坍塌墙体修复施工安全管理影响因素中变量与变量之间的约束系数; c_k^w 表示施工安全管理控制的模糊约束参数模型的适配指数; $k \in K^w$ 表示表示模型中各变量的贡献值; μ_w 为坍塌墙体修复施工安全管理控制因子的特征值; S 表示坍塌墙体修复施工安全管理模糊控制矩阵。

求解建施工安全管理模糊控制矩阵 S 的特征值 μ_w , 求得施工安全管理的博弈相关性统计分析模型为:

$$Q(x)_2 = dx/dt = (\hat{p}_k^w (S(\Delta U_{J_{s2}} - \Delta U_{J_{x2}}))) \quad (13)$$

式中: $\Delta U_{J_{s2}}$ 表示高层建筑建设企业修复施工安全管理期望收益, $\Delta U_{J_{x2}}$ 表示监理单位期望收益。

从测量值中计算得到震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理效益量^[13], 根据最优性条件, 安全管理控制决策目标函数须满足:

$$R = \sum_{i=1}^n \{ \lambda_w \eta^w + \mu_w (1 - \eta^w) \} \cdot \left[\frac{\partial f}{\partial \beta} \sum_{i=1}^n K_i M_i \right] \quad (14)$$

式中: $\lambda_w \eta^w + \mu_w (1 - \eta^w)$ 可理解为施工安全管理的

灰度系数,结合自适应加权学习方法实现对震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理的量化控制^[14],得到最优控制模型为:

$$\begin{cases} v_s = \| X_s - \sum_{i=1}^n p_k^w D^{-1}(q^w) \|^2_2, s=1, \dots, n \\ \omega_s = \frac{q^w}{\sum_{j=1}^n \mu_w (1 - \eta^w) + \lambda}, s=1, \dots, n \end{cases} \quad (15)$$

式中: v_s 表示施工安全管理控制模型预测协方差; ω_s 表示施工安全管理控制模型相关性参数; X_s 表示模型增值适配度指数。

采用灰阶量化评估方法和模糊调度进行量化控制评估,综上分析,实现施工安全管理模型优化设计^[15]。

4 实证分析与检验

为了测试本文模型在实现震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理控制中的性能,采用 Matlab 软件搭建坍塌墙体修复施工安全管理控制性能模拟平台,进行数值仿真和实证分析。实验以一栋 24 层高层坍塌墙体为测试对象,令本文设计的模型参数分别为构件受力 $\beta=50\text{ MPa}$,弯矩 $\gamma=5.0\text{ kN}\cdot\text{m}$,剪力 $\rho=30\text{ MPa}$,应变为 $\mu=58\%$,施工安全管理的灰度系数 $\bar{\theta}=0.01$,协方差最小值 $v_{\min}=0$,协方差最大值 $v_{\max}=20$ 。

本次实验的评价指标为:

- (1) 震后建筑坍塌施工修复效果。即坍塌之前外形与修复后外形重合度。
- (2) 震后建筑坍塌修复时间。即从修复开始施工到结束施工的时间,八小时计为施工一天。
- (3) 震后建筑坍塌修复施工安全性。即建筑坍塌修复施工结束后,建筑物再次坍塌的风险性。用 FLUENT 分析软件直接获得结果。

输入上述相关参数,通过 Midas/Gen 软件直接获得震后高层建筑坍塌修复施工安全管理的相关性系数,具体结果见表 1。

表 1 施工安全管理的相关性系数结果

Table 1 Correlation coefficients of construction safety management

相关系数	值
x_1	0.356
x_2	0.343
x_3	0.445
x_4	0.434
x_5	0.453
x_6	0.344

以表 1 的数据为输入,进行震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理过程,分别以坍塌修复时间、修复施工安全性以及坍塌修复效果为变量进行模拟分析,并对震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理的定量化控制模拟,根据下述公式获得震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制效果如图 1 所示。

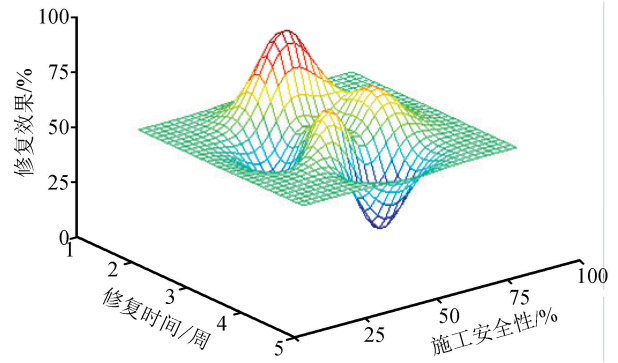


图 1 震后高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制效果

Fig.1 Repair construction management control effect of collapsed walls of high-rise buildings

修复效果计算公式为:

$$p_r = x_i \frac{(1-R)}{t} \times 100\%$$

(16)

式中: R 为施工前建筑坍塌残值; t 为修复时间; x_i 坍塌建筑的相关性系数。

施工安全性计算公式为:

$$S_e = x_i \cdot \frac{N_e}{V} \times 100\%$$

(17)

式中: x_i 坍塌建筑的相关性系数; V 为评价结果; N_e 为评价符合施工安全标准结果。

分析图 1 可知,本文将震后高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理效果转化为坍塌修复效果,而坍塌修复效果与修复时间与施工安全性具有相关性,并不是修复时间越长修复效果越佳,在修复时间为 2 周时,施工安全性在 75% 以上,达到最佳修复效果的 95%。可以根据此结果对震后坍塌建筑施工进行有效调控。

为了进一步验证所设计模型的效果,可以根据本文定量化分析模型结果对对坍塌建筑修复施工安全管理效果进行管理效益评估,得到施工安全管理的评估输出如图 2 所示。

图 2 是通过 PM-CSC 软件直接获得建筑施工安全管理的评估结果,图中颜色仅用表示风险高低,从蓝到红代表风险性加剧。分析上图可知,从横轴来分析修复时间与施工管理评估效果之间的关系,时间增加施工安全管理效果越佳;从纵轴来分析修

复效果与施工管理评估效果之间的关系,修复效果越好,建筑坍塌的风险性越低,施工安全的安全性也就越强,从而施工安全管理效果也就越佳。但为了提升管理效果,需要减少修复时间,因此上图中蓝色部分为符合管理要求,当施工风险超过 800,即上图中为黄色时,已经不适合继续施工,可以通过上图结果获得施工的最佳修复时间,因此修复时间必须超过两周,实现安全管理的量化控制。

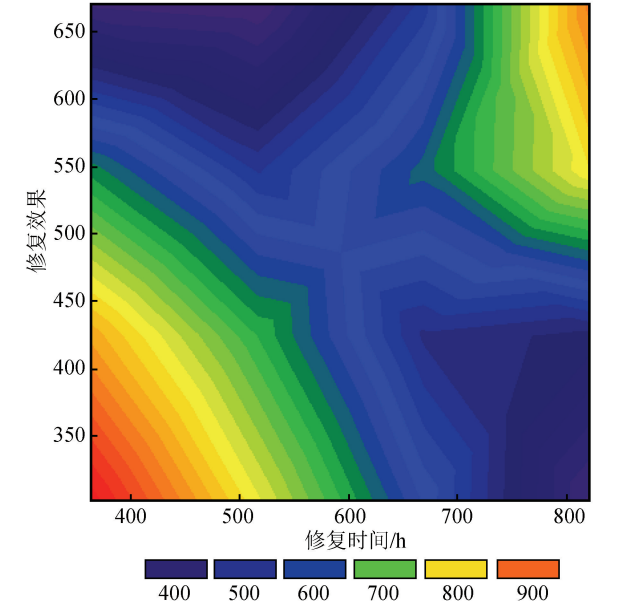


图 2 施工安全管理的评估输出

Fig.2 Evaluation output of construction safety management

以图 2 的测试数据通过以下公式计算管理效益与累积评价百分率,计算所得施工安全管理效益的累积评价结果见表 2 所列。

管理效益计算公式为:

$$C_r = \frac{p_r}{t} \times 100\% \tag{18}$$

累积评价计算公式为:

$$A_s = \frac{\sum N_e}{V} \times 100\% \tag{19}$$

表 2 管理效益的累积评价结果

Table 2 Cumulative evaluation results of management benefits		
序号	管理效益/%	累积评价百分率/%
1	43.345	73.65
2	43.75	76.25
3	64.53	77
4	83.32	73.32
5	83.67	75.5
6	78.9.	74.5

由表 2 可知,根据上述不同仿真数据模拟坍塌建筑修复施工的管理效益,本文所用模型对进行震

后高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制的效益较高,管理效益可达 83.32%,每组的管理效益的累积评价结果都在 73% 以上,累积管理效果回报率较高,累积评价百分率平均约为 75%,提高了安全管理控制能力。

5 结语

为了对高层建筑坍塌墙体修复施工安全管理进行量化控制,通过完善安全风险处置预案,加强施工人员和管理人员培训,以及强化施工过程中的安全监管,能够较好的确保震后高层建筑坍塌墙体修复施工的顺利完成并有效避免安全事故的发生;通过层次分析法与信息熵法确定施工管理安全性指标权重,通过灰阶量化评估进行约束参量分析,构建安全管理控制模型。通过相关仿真实验对数据模拟坍塌建筑修复施工的管理效益进行分析可知,采用本文模型对进行高层建筑坍塌墙体修复施工管理控制的效益较高,管理效益最高可达 83.32%,平均累积评价结果为 75% 以上,提高了安全管理控制能力。

参考文献(References)

[1] 崔铁军,李莎莎,王来贵.地震荷载下镂空高层建筑坍塌形式及时间分析[J].安全与环境学报,2018(1).
CUI Tiejun, LI Shasha, WANG Laigui. Analysis of the Collapse Form and Process of the Hollow-out High-rise Buildings under the Earthquake Shaking Load[J]. Journal of Safety and Environment, 2018(1).

[2] 符志华.淤泥质土大断面浅埋暗挖施工局部塌陷修复技术[J].施工技术,2017,46(7):102-106.
FU Zhihua. Repair of Local Collapse in Large-section Excavation with Shallow Buried Method in Mucky Soil[J]. Construction Technology, 2017, 46(7): 102-106.

[3] 柴乃杰,张梦,鲍学英,等.基于事故树模型的地铁施工地表坍塌事故分析[J].铁道标准设计,2018, v. 62; No. 678(06): 118-123.
CHAINaijie, ZHANG Meng, BAO Xueying, et al. Analysis of Surface Collapse Accident in Subway Construction Based on Fault-tree Model[J]. Railway Standard Design, 2018, v. 62; No. 678(06): 118-123.

[4] 丁文胜,张彬彬.BIM 技术在大型钢结构施工危险源管理中的应用[J].土木工程与管理学报,2017,34(3):13-19.
DING Wensheng, ZHANG Binbin. Hazard Management of Large-scale Steel Structure Construction Based on BIM Technology[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2017, 34(3): 13-19.

[5] 郑霞忠,吴凯,陈述,等.基于 ISM 和 D-S 证据理论的手脚手架坍

- 塌致因诊断[J].人民长江,2017,48(7):70-73.
- ZHENG Xiaozhong, WU Kai, CHEN Shu, et al. Diagnosis of Causes of Scaffold Collapse Based on ISM and D-S Evidence Theory[J]. Yangtze River, 2017, 48(7): 70-73.
- [6] 崔凤. 地铁区间浅埋暗挖施工对周边建筑安全的影响研究[J]. 建筑技术, 2017, 48(3): 236-238.
- CUI Feng. Study of Influence of Subway Tunnel Shallow-covered Excavation Construction on Peripheral Building Safety[J]. Architecture Technology, 2017, 48(3): 236-238.
- [7] 崔铁军, 李莎莎, 马云东, 等. 飞机撞击引起爆炸-火灾后建筑坍塌过程模拟[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(5): 1766-1771.
- CUI Tiejun, LI Shasha, MA Yundong, et al. Simulated Study on the Collapse Process of the High-rise Buildings under the Aircraft Impact After the Busting Fire-flame[J]. Journal of Safety and Environment, 2017, 17(5): 1766-1771.
- [8] 赵陆岳. 大直径泥水盾构典型施工故障处治关键技术研究[J]. 建筑技术, 2017, 48(9): 931-934.
- ZHAO Lubing. Study on Critical Technique for Typical Construction Accident Treatment in Large-diameter Cement Shield Project[J]. Architecture Technology, 2017, 48(9): 931-934.
- [9] 张蕾, 牛天勇, 段晓红, 等. 基于物联网感知的煤炭建筑企业施工安全管控问题研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(8): 169-172.
- ZHANG Lei, NIUTianyong, DUAN Xiaohong, et al. Research on Safety Management for Coal Construction Enterprises Based on IOT[J]. Coal Engineering, 2017, 49(8): 169-172.
- [10] 付勇攀, 王竞超, 赵雪峰, 等. BIM 在叶盛黄河大桥施工安全管理中的应用[J]. 建筑技术, 2017, 48(11): 1142-1144.
- FUYongpan, WANG Jingchao, ZHAO Xuefeng, et al. Application of BIM Technology in Safety Management Yellow River Bridge Project[J]. Architecture Technology, 2017, 48(11): 1142-1144.
- [11] 张卫, 李洁. 基于 DEA 的建筑施工高处坠落事故安全投入效率[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(1): 72-78.
- ZHANG Wei, LI Jie. Safety Investment Efficiency of Falling Accidents in Building Construction Based on DEA[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2017, 34(1): 72-78.
- [12] 张钦礼, 王雅. 基于建筑信息模型的铁路工程安全管理体系研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(12): 174-178.
- ZHANGQinli, WANG Ya. Research on Safety Management System of Railway Engineering Based on Building Information Modeling[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(12): 174-178.
- [13] 李书全, 冯雅清, 胡松鹤, 等. 基于社会网络的建筑施工不安全行为关系研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(6): 7-12.
- LI Shuquan, FENG Yaqing, HU Songhe, et al. Research on Relationship Among Various Kinds of Unsafe Construction Behavior Based on Social Network Analysis[J]. China Safety Science Journal, 2017, 27(6): 7-12.
- [14] 赵挺生, 徐树铭, 刘文, 等. 建筑施工临时结构安全力学研究[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(8): 35-38.
- ZHAOTingsheng, XU Shuming, LIU Wen, et al. Study on Safety Mechanics of Temporary Structure in Building Construction[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2017, 43(8): 35-38.
- [15] 钟炜辉, 孟宝, 郝际平. 不同跨度比下腹板双角钢连接抗倒塌性能研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(4): 86-96.
- ZHONG Weihui, MENG Bao, HAO Jiping. Study on Anti-collapse Performance of Double Web Angles Connection Under Different Span Ratios[J]. Engineering Science Edition, 2017, 49(4): 86-96.