

基于层次分析法的城市危险房屋安全综合评价方法

叶子祺¹, 王冠军², 周海怡³, 叶茂⁴, 林颖典³, 朱圣文⁴

¹余杭区住房和城乡建设局, 浙江 杭州

²中共杭州市余杭区委全面深化改革委员会办公室, 浙江 杭州

³浙江大学海洋学院, 浙江 杭州

⁴浙江省测绘科学技术研究院, 浙江 杭州

收稿日期: 2022年6月6日; 录用日期: 2022年6月16日; 发布日期: 2022年6月28日

摘要

城市危险房屋安全综合评价是国家脱贫攻坚住房安全有保障的一项重要工作。城市房屋由于建造年代久远, 加上受到自然灾害等影响, 在质量上出现了各种程度的损害。然而, 使用各种检测设备进行大量的房屋鉴定工作, 时间、设备和人力成本都较高。本文提出使用层次分析法, 结合国家相关标准, 用科学的方法对城市危险房屋进行综合评价, 对既有房屋安全状况进行合理的判断, 为房屋安全管理和决策提供依据。

关键词

城市危险房屋, 安全评价, 层次分析法, 指标体系

Comprehensive Evaluation Method of Urban Dangerous Building Safety Based on Analytic Hierarchy Process

Ziqi Ye¹, Guanjun Wang², Haiyi Zhou³, Mao Ye⁴, Yingdian Lin³, Shengwen Zhu⁴

¹Department of Housing and Urban Rural Development of Yuhang District, Hangzhou Zhejiang

²Office of the Comprehensive Deepening Reform Commission of the CPC Hangzhou Yuhang District Committee, Hangzhou Zhejiang

³Ocean College, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang

⁴Zhejiang Academy of Surveying and Mapping, Hangzhou Zhejiang

Received: Jun. 6th, 2022; accepted: Jun. 16th, 2022; published: Jun. 28th, 2022

文章引用: 叶子祺, 王冠军, 周海怡, 叶茂, 林颖典, 朱圣文. 基于层次分析法的城市危险房屋安全综合评价方法[J]. 土木工程, 2022, 11(6): 797-804. DOI: 10.12677/hjce.2022.116086

Abstract

The comprehensive safety evaluation of urban dangerous buildings is an important work to ensure the safety of housing for the national poverty alleviation campaign. The conditions of urban buildings have deteriorated to various degrees due to the long construction year and the influence of natural disasters. However, the time, equipment and labor costs to conduct extensive building safety evaluation with a variety of testing equipment are expensive. This paper proposes the use of the analytic hierarchy process, combined with the relevant national standards, to evaluate the safety conditions of urban dangerous buildings, which can be the basis for building safety management and decision-making.

Keywords

Urban Dangerous Building, Safety Evaluation, Analytic Hierarchy Process, Index System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城镇建筑的更新换代,大量老旧房屋均存在不同程度的危险隐患,由于年代久远和设施落后,其建筑材料经过长期的风化和腐蚀,还受到自然灾害等影响,在质量上出现了各种程度的损害,例如混凝土老化、结构裂缝、房屋倾斜等等结构问题。因此,对城市危险房屋进行合理的安全综合评价,并进行相应的保护修缮工作成为了城市防灾减灾的重点。老旧房屋的安全综合评价是对老旧房屋的整体情况按照国家规范和相应标准进行综合评估。我国现行危险房屋的安全综合评价是以《危险房屋鉴定标准》(JGJ 125-2016)、《浙江省地质灾害危险性评估规范》(DB33T881-2012) [1]为依据,对地基危险性鉴定、构件危险性鉴定、房屋危险性鉴定等若干个相关专题分别进行研究,其结果分为A、B、C、D四级;依照《标准》,A级为非危险房;B级为危险点房;C级为局部危险房;D级为整幢危险房[2]。此类评价大都以房屋的安全为核心,以评价出房屋所属等级为目的,分级较为笼统,对病险程度的量化却鲜有关注。因此,选择合理的综合评价方法,对城市危险房屋安全等级评价极为重要。

目前,城市安全防灾减灾常用的综合评估方法主要有层次分析法、故障树分析法、模糊综合评价法等[3] [4],其中层次分析法作为结合定性和定量的分析决策方法,近年来在各个领域得到了广泛应用[5] [6]。本文将使用层次分析法,结合《危险房屋鉴定标准》,建立城市危险房屋完整的安全综合评价体系。

2. 基于层次分析法的城市危险房屋安全综合评价基本原理

2.1. 层次分析法

层次分析法是指将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法。层次分析法的核心是在目标结构较为复杂且缺乏统计数据的情况下,针对目标结构做出定性定量分析,并以简洁的形式将结果展现出来。单层次化的层次分析法包括以下4个步骤:

2.1.1. 构建评价指标体系,建立层次结构模型

评价指标体系一般分为目标层、准则层、方案层等层次。目标层中只有一个元素,一般它是分析问

题的预定目标或理想结果。准则层中包含了为实现目标所涉及的中间环节，它由若干个层次组成，包括所需考虑的准则、子准则。方案层包括了为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等。评价指标体系所选择的指标应满足全面性和客观性的特点，以便全面、客观地建立结构模型。

2.1.2. 同一准则层间各元素两两比较，依据其相对重要性构建判断矩阵

层次分析法中构造判断矩阵的方法是一致矩阵法，即：不把所有因素放在一起比较，而是两两因素相互比较；此时采用相对尺度，以尽可能减少性质不同因素相互比较的困难，以提高准确度。若以 A 为目标层，其下各准则层为 B1, B2, …, Bn，则要按照它们对于 A 的相对重要性赋予一定的权重。该权重赋予常采用 1~9 标度法。表 1 列出 1~9 标度法各值的具体含义。

Table 1. 1~9 Scale method meaning table

表 1. 1~9 标度法含义表

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值

2.1.3. 层次单排序及一致性检验

对应于判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 的特征向量，经归一化(使向量中各元素之和为 1)后记为 w_i 。 w_i 的元素为同一层次元素对于上一层因素某因素相对重要性的排序权值，这一过程称为层次单排序。

求解评估指标权重的过程实质上是求解判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} 对应的特征向量 w_i ，以特征向量作为元素重要性代表。计算公式如下式 1 所示。其中 M_i 是第 i 行元素的乘积的 n 次方根。

$$w_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (1)$$

判断矩阵是否满足一致性的标准是 $CR \leq 0.1$ 。当 $CR > 0.1$ 时，矩阵达不到一致性要求，需要重新构建。 CR 的值按照下式 2 进行计算：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

上式中， $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ ， n 代表矩阵的阶数。 $n = 1, 2$ 时，判断矩阵完全一致，不需要检验。 λ_{\max} 是矩阵的最大特征根，其值按照下式 3 进行计算。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij} w_i}{n w_i} \quad (3)$$

RI 是判断矩阵的平均随机一致性指标。对于 1~10 阶判断矩阵， RI 的取值参照下表 2 所示。

2.1.4. 层次总排序及一致性检验

计算某一层次所有因素对于目标层相对重要性的权值，称为层次总排序。这一过程是从最高层次到

最低层次依次进行的,在计算时,也要判断一致性比率 $CR \leq 0.1$ 。当 $CR > 0.1$ 时,矩阵达不到一致性要求,需要重新构建。

Table 2. Mean random consistency index
表 2. 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

2.1.5. 综合评价

综评是指将底层各指标所得的分值与其对应的总排序权重进行相乘后求和,即可得到城市危险房屋安全评价的具体分值,作为综合评价指标。

综合评价指标:

$$A_{\text{危房}} = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot t_i) \quad (4)$$

式中: $A_{\text{危房}}$ 表示危房安全风险指数, i 表示三级指标个数, a_i 表示第 i 个三级评估指标依据表的风险评分, t_i 表示第 i 个三级评估指标的权重(其中 $\sum_{i=1}^n (t_i) = 1$), n 为危房评估指标个数。

危房安全评估风险指数如下表 3 所示。

Table 3. Unsafe building safety assessment risk index
表 3. 危房安全评估风险指数

	评价等级	评分区间
安全风险指数	一级	(90, 100)
	二级	(80, 90)
	三级	(70, 80]
	四级	(60, 70]
	五级	(0, 60]

3. 计算实例

危房安全监测拟以 InSAR、危房安全与使用情况日常巡查等多种技术相结合,获取监测时段内区域危房实际情况。结合其他社会经济、重大工程建设等资料,依据《危险房屋鉴定标准》(JGJ125-2016) [2]、《浙江省地质灾害危险性评估规范》(DB33T881-2012) [1] 评估标准,结合现有危房数据,将评估指标分成三个等级,其中包括一个一级指标,四个二级指标,十个三级指标,并建立区域危房安全风险评估模型。城市危险房屋场景指标及定义如下表 4 所示:

根据表 4 所示的城市危险房屋定义及评估指标,本文将危险房屋安全评价指标体系分为三个层次,第一层为目标层,即待解决问题的目的;第二层为准则层,由《危险房屋鉴定标准》(JGJ125-2016)所涉及的 4 个指标组成,第三层为因素层,结合《浙江省地质灾害危险性评估规范》(DB33T881-2012)相关要求以及表 4 所示的任务项定义确定。本文所评价的对象为城市危险房屋,并针对此类建筑的类型、工程等级,以及主要建筑物的工程实例 [7] [8],本着系统性、综合性、层次性和科学的可操作性等原则,建立区域管线安全风险评估指标体系,如图 1 所示。

依据所建立的危房安全风险评估指标评价体系,本文构建由 15 人组成的专家评分小组,参与调查的

专家包括一线运维人员、设计人员和管理人员，综合评分结果的主观性和差异性，结合城市危险房屋科学管理实证资料，设定评价指标评判依据和对应分值如下表 5 所示。

Table 4. Urban dangerous building scene index and definitions

表 4. 城市危险房屋场景指标及定义

子任务	任务项	指标	指标定义
危房监测风险防控	城乡危房数据摸底排查	危险房屋等级、建筑结构、居住人口	根据专项排查及日常排查发现并更新危房基础
	InSAR 地面沉降监测	年均沉降速率、近半年沉降速率	基于 InSAR 数据获取年均沉降速率和近半年沉
	人工巡查	C 类危房巡查频率、D 类危房巡查频率、危房裂缝变	人工定期巡检监测危房变化趋势
	房屋处置	危房房屋处置情况	危房房屋按照不同等级进行分类处置

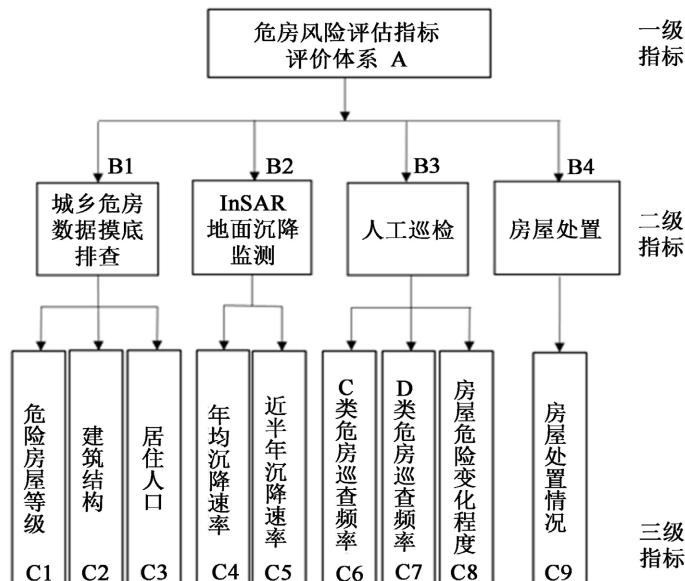


Figure 1. Evaluation system of unsafe house safety risk assessment index

图 1. 危房安全风险评估指标评价体系

构建区域危房安全风险研判技术标准如下式 5 所示：

$$\begin{cases} A_{\text{危房}} = 100 & c_1 \text{ or } c_3 = 100 \\ A_{\text{危房}} = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot t_i) & c_1 \text{ and } c_3 \neq 100 \end{cases} \quad (5)$$

式中： $A_{\text{危房}}$ 表示危房安全风险指数， i 表示指标个数， a_i 表示第 i 个评估指标依据表的风险评分， t_i 表示第 i 个评估指标的权重(其中 $\sum_{i=1}^n (t_i) = 1$)， n 为危房评估指标个数。本式中包含一票否决选项，当 C1 或 C3 指标分值为 100 时，城市危险房屋得分为 100 分，安全风险指数为一级。

根据图 1 所示的体系层次结构，查阅相关资料，进行同一准则层间各元素两两比较，依据其相对重要性采用 1~9 标度法赋值，构建判断矩阵；计算单准则下的权重向量，并作一致性检验。具体计算结果见表 6~9。

Table 5. Evaluation system of unsafe house safety risk assessment index
表 5. 危房安全风险评估指标评价体系

指标类型	评判依据	分值	指标类型	评判依据	分值
危险房屋等级	D 级	100	年均沉降速率 (mm/年)	<-40	100
	C 级	75		-40~-20	75
	B 级	50		-20~-5	50
	A 级	25		>-5	25
建筑结构	夯土结构	100	近半年沉降速率 (mm/年)	<-40	100
	砖木结构	75		-40~-20	75
	钢结构	50		-20~-5	50
	钢筋混凝土结构	25		>-5	25
C 级危房人工 巡检频率	四个月一次	100	D 级危房人工巡 检频率	两个月一次	100
	三个月一次	75		一个半月一次	75
	两个月一次	50		一个月一次	50
	一月一次	25		半个月一次	25
人工巡检危房 裂缝变化	多条缝深达墙厚、 缝长超过层高的 2/3	100	人工巡检危房倾 斜变化	倾斜率增速连续两个月 > 0.05%/月	100
	单条缝深达墙厚、 缝长超过层高的 2/3	75		倾斜率增速连续两个月位于 0.035%~0.05%/月	75
	多条缝深低于墙厚、 缝长低于层高的 1/3	50		倾斜率增速连续两个月位于 0.020%~0.035%/月	50
	单条缝深低于墙厚、 缝长低于层高的 1/3	25		倾斜率增速连续两个月 < 0.020%/月	25
房屋处置情况	妥善处置	100	居住人口	有	100
	未妥善处置	0		无	0

Table 6. A-B weight vector calculation and consistency test
表 6. A-B 权重向量计算与一致性检验

A	B1	B2	B3	B4	w	指标
B1	1	1	4/5	3	0.279	$\lambda_{\max} = 4$ $CI = 0$ $RI = 0.89$ $CR = 0$
B2	1	1	4/5	3	0.279	
B3	5/4	5/4	1	15/4	0.348	
B4	1/3	1/3	4/15	1	0.093	

Table 7. B1-C weight vector calculation and consistency test
表 7. B1-C 权重向量计算与一致性检验

B1	C1	C2	C3	w	指标
C1	1	1/2	1/3	0.545	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0$
C2	3	1	3/2	0.272	
C3	2	2/3	1	0.182	

Table 8. B2-C weight vector calculation and consistency test
表 8. B2-C 权重向量计算与一致性检验

B2	C4	C5	w	指标
C4	1	1/2	0.333	矩阵完全一致
C5	2	1	0.667	不需要检验

Table 9. B3-C weight vector calculation and consistency test
表 9. B3-C 权重向量计算与一致性检验

B3	C6	C7	C8	C9	w	指标
C6	1	1	1/3	1/5	0.1	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0$
C7	1	1	1/3	1/5	0.1	
C8	3	3	1	3/5	0.3	
C9	5	5	5/3	1	0.5	

各项指标权重如下表 10 所示。

Table 10. Weight of each indicator
表 10. 各项指标权重

鉴定项目	指标	总权重排序
城乡危房数据摸底排查 B1	危险房屋等级(C1)	0.152
	建筑结构(C2)	0.076
	居住人口(C3)	0.050
InSAR 地面沉降监测 B2	年均沉降速率(C4)	0.093
	近半年沉降速率(C5)	0.186
	C 类危房巡查频率(C6)	0.0348
人工巡检 B3	D 类危房巡查频率(C7)	0.0348
	危房裂缝变化(C8)	0.104
	危房倾斜变化(C9)	0.174
房屋处置 B4	房屋处置情况(C10)	0.093

若某一实际案例中，因子指标减少，剩下的指标权重无需重新归一化计算，剩下的指标权重按照原有权重以总权重为 1 进行等比例缩放即可。

由于影响建筑结构安全的因素众多，且各因素之间又存在着复杂的联系，本文所提出的危险房屋安全风险指标评价体系，从房屋结构检测与环境因素影响的角度出发，可用于建筑房屋类安全综合评价，进一步的实例应用将在后续研究中以浙江省杭州市余杭区危房建筑为依托进行，将能对类似房屋结构的评估鉴定提供借鉴和指导。

4. 结论

本文通过住建部制定的行业标准结合浙江省杭州市主要地质灾害评估规范，建立城市危险房屋安全

综合评价体系,主要考量 InSAR 沉降监测、人工巡检与排查等因素,所提出的评价指标体系具有一定的创新意义和工程实用价值,对所划分的指标类型采用专家评分的方法,并对专家评判依据进行了划定,使得评分结果更具科学性、可靠性和客观性。基于构建的综合评价体系,采用层次分析法进行指标权重的确定,在城市危险房屋评价与监测中能客观地反映房屋完损等级的真实情况,使定性描述定量化,使得城市危险房屋进行安全综合评价的整个计算步骤明确、判断简便、便于计算。相比于单一的专家调查法和传统的由评估人根据现场房屋的新旧情况并结合人为判断的方法,本文运用层次分析中的元素比较可以综合考虑各因素,把人为误差降低。本文提出的城市危险房屋安全综合评价,既可以用于对旧有房屋的新旧程度评价,又可用于对房屋的可靠性的初步评价,对房屋安全性及可靠性评价都有重要意义。

参考文献

- [1] 浙江省建筑设计研究院有限公司. 浙江省地质灾害危险性评估规范(DB33T881-2012) [S]. 北京: 标准出版社, 2013.
- [2] 重庆市土地房屋管理局, 上海市房地产科学研究院. 危险房屋鉴定标准(JGJ 125-2016) [S]. 北京: 标准出版社, 1999.
- [3] 杨修歌. 模糊层次分析法在村镇房屋鉴定中的应用[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2019, 32(4): 59-62.
- [4] 李胜波, 王建国, 谢会川. 运用模糊数学结合层次分析法评价房屋完损等级[J]. 四川建筑科学研究, 2004(1): 66-68.
- [5] 杜运兴, 赵光超, 周芬. 区域住宅安全状况综合评价方法研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 185-191.
- [6] 杜运兴, 赵光超, 周芬. 区域住宅安全等级评价方法研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2012, 39(1): 21-26.
- [7] 范丽远. 层次分析法在城市街区防震减灾能力评价中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学经济系, 2015.
- [8] 张磊. 基于模糊层次分析法的印制板厂安全预评价研究[D]: [硕士学位论文]. 四川: 西南科技大学资源与环境系, 2018.