

# 基于能力和脆弱性分析的火灾风险综合评价体系研究

刘松涛, 刘文利, 孙 旋, 张向阳, 张靖岩, 彭 华

中国建筑科学研究院建筑防火研究所, 北京 100013

**摘要** 在分析火灾风险评估对建筑消防安全重要意义的基础上, 针对目前火灾风险评估研究中存在的问题, 提出基于抵御和破坏能力分析的火灾风险综合评价方法。首先建立火灾风险评价指标体系, 采取专家打分系统评价基本单元, 应用层次分析法确定各级指标的权重值, 并根据对抵御和破坏力量的计算分析, 确定评价目标的风险水平。论文以国家体育馆为实例, 验证火灾风险评价体系在工程应用的可行性。研究方法可用于进行大型公共建筑的火灾风险评估, 对提高消防水平, 完善火灾风险评价方法体系具有一定的意义。

**关键词** 火灾风险; 指标体系; 抵御能力; 破坏能力; 专家系统

**中图分类号** X932

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2009)22-0076-05

## Fire Risk Evaluation System Based on Analysis of Ability and Frangibility

LIU Songtao, LIU Wenli, SUN Xuan,  
ZHANG Xiangyang, ZHANG Jingyan, PENG Hua

*Institute of Building Fire Research, China Academe of Building Research, Beijing 100013, China*

**Abstract** Fire risk evaluation is an important issue for a society. This paper proposes a method of fire risk evaluation, based on analysis of ability and frangibility. In a fire risk evaluation index system, the basic cells are evaluated through an expert grading system, the weighted values of all levels of indexes are determined through the Analytic Hierarchy Process, and based on the calculation and analysis of protection ability and damage potential, the risk level of the evaluation object is determined. As an example, the fire risk evaluation of the National Stadium as an example is carried out, which shows that this evaluation method can be applied to large building engineering. Some issues related to the applications of this method are discussed. The method can be used for the fire risk evaluation for large public buildings, and plays a part in improving fire protection level and perfecting building fire

risk evaluation method system.

**Keywords** fire risk; index system; protection ability; damage potential; expert system

## 0 引言

安全评价最早起源于 20 世纪 30 年代的保险业。20 世纪 60 年代, 系统安全工程的发展大大推动了安全评价技术的发展<sup>[1]</sup>。至今, 国内外已研究开发出数十种安全评价方法, 每种评价方法都有一定的适用范围和限度。随着数学学科的发展, 某些数学理论与系统安全相结合起来, 例如灰色理论和安全系统; 采用数学模型的方法也开始应用于安全评价中, 如层次分析方法、模糊评价方法等<sup>[2-3]</sup>。

在消防安全评价方法研究领域, 国内的相关研究机构已经开展了一些卓有成效的工作, 如公安部上海消防研究所、清华大学公共安全研究中心、中国建筑科学研究院建筑防火研究所在消防安全应急预案、消防安全评价方法、建筑火灾风险评估和在保险行业的应用等方面开展了工作; 公安部交通管理局、国家统计局和中国社会科学院在评价体系的方法研究方面, 江苏省无锡市和山东省青岛市在消防安全评价体系试点方面做了大量工作。这些研究成果、调查资料、试点试验为进一步开展研究工作提供了基础资料。

安全评价首先在对安全要求较高的生产领域或场所强制性进行, 从而积累了大量的现场数据和工程经验, 逐渐形成了较为成熟的安全评价方法和流程。而在建筑消防安全领

收稿日期: 2009-07-30

基金项目: 中国高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA11Z125); 中国建筑科学研究院自筹资金课题“建筑火灾风险评估关键技术研究”(20080111330730002)

作者简介: 刘松涛, 工程师, 研究方向为安全工程、矿井通风、火灾和消防工程, 电子信箱: liust78@163.com

域,尤其在对火灾更为敏感的大型公共建筑中,消防安全评价还没有得到广泛开展,相关的研究工作进行得较少<sup>[4]</sup>。针对这些问题,本文对建筑消防安全评价方法体系开展研究,综合运用专家打分、层次分析等方法,建立基于抵御和破坏能力分析的火灾风险评价方法。

## 1 火灾风险评估流程

消防安全评价流程可分为如下步骤。

1) 明确进行消防安全风险评估的对象和范围, 现场调查, 资料收集

针对不同的评价对象需要采用不同的分析和评价方法。消防安全评价首先应确定评估的目标,对目标的消防现状和存在的问题进行现场调查,收集和整理评估过程中需要的相关资料。

## 2) 火灾风险的危险因素识别分析

在现场调查和资料收集的基础上,分析评价对象的消防危险因素,识别火灾发生的危险源。对火灾危险源的辨识是火灾风险评估过程中非常重要的一环,对危险因素分析的合

理性在很大程度上影响风险评价结果。

### 3) 建筑火灾风险评价指标体系建立

分析建筑消防系统的特性,建立火灾风险评价指标体系。评价指标体系的划分采取不同的原则和方法,目前拟采用的划分方法包括基于目标的指标体系划分、基于功能的指标体系划分,以及基于破坏和抵御能力分析的指标体系划分。

#### 4) 建筑火灾风险评价

在建立的火灾风险评价指标体系的基础上,根据不同的评价目标,划分基本评价单元。综合运用专家打分系统、层次分析法、能力和脆弱性计算确定评价目标的火灾风险水平。

### 5) 结果反馈和过程控制

根据评价和分级结果,高于标准值的危险采取技术或管理措施,降低或控制危险;低于标准值的危险属于可接受或允许的危险应建立监测措施,防止条件变更导致危险值增加。

根据建筑火灾风险评价的内容和步骤,论文设计了风险评价控制流程,如图1所示。

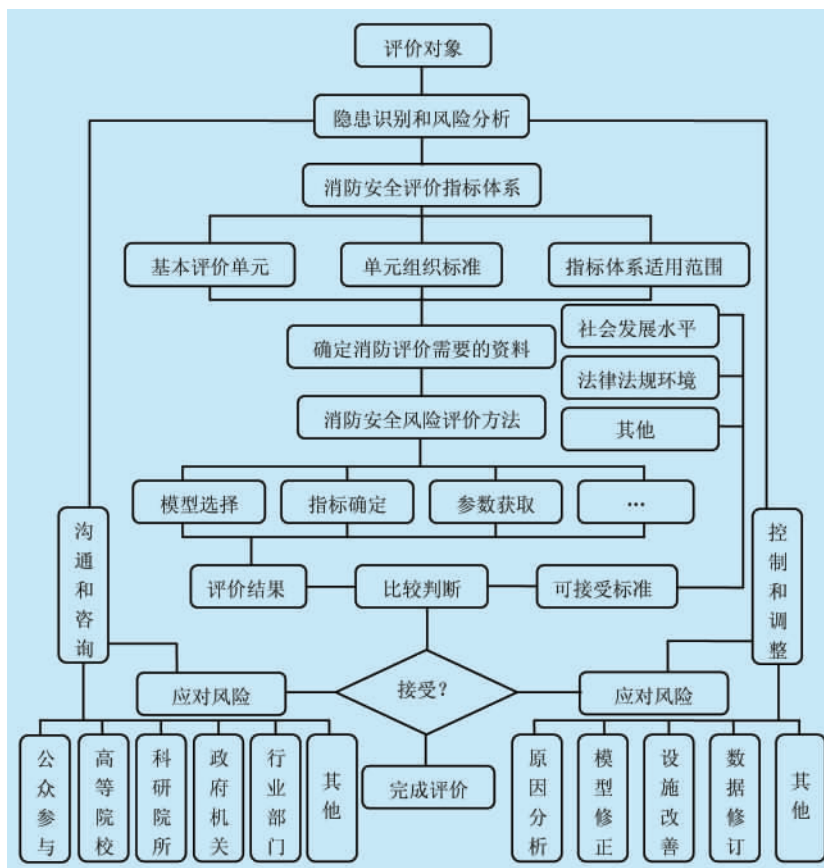


图 1 建筑火灾风险评价控制流程

Fig. 1 Flow chart of building fire risk evaluation

## 2 基于抵御和破坏能力分析的火灾风险评估方法

## 2.1 抵御和破坏能力风险分析方法概述

抵御和破坏能力风险分析方法也被称作能力和脆弱性

风险评价方法,基于能力与脆弱性视角的国际公共安全评估框架存在能力和脆弱性评估两个构面,可归纳为3大类:

① 单纯评估脆弱性的框架, DRI 等; ② 单纯评估能力的框

架,如 COOP 等;③ 综合评估能力和脆弱性两方面的框架,如 DRMI 等。

本文将能力和脆弱性分析方法引入到建筑消防安全评价体系中。对于目前建筑消防状况而言,社会的快速发展决定了消防安全系统的脆弱性和消防能力的动态失衡。所以,应对抵御力量和破坏力量进行综合分析,设计可根据社会发展动态调整的公共消防评价体系。

## 2.2 建筑消防安全抵御力量指标体系

抵御力量包括被动防火措施、主动防火措施、内部消防管理、消防团队和支援力量,这些指标都是消防安全的抵御力量,这些因素的安全性和可靠性越高,得分也越高。

图 2 为火灾风险抵御力量的指标体系,根据打分标准和采集的信息,专家可以对基本指标进行打分,安全性和可靠性越高分值越高,从而得到抵御力量的总分值。

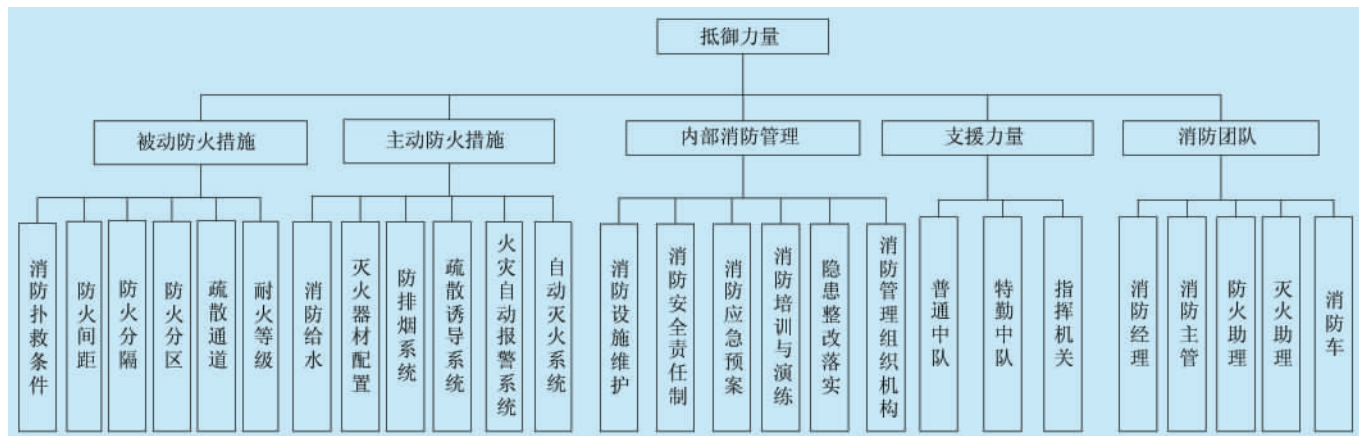


图 2 抵御力量指标体系

Fig. 2 Index system of protection ability

## 2.3 建筑消防安全破坏力量指标体系

破坏力量包括客观存在的危险因素、导致火灾的人为因素和建筑特性,这些指标都是造成火灾发生和增加火灾损失的破坏力量,这些因素的风险性越高,得分也越高。图 3 为火灾风险破坏力量的指标体系。

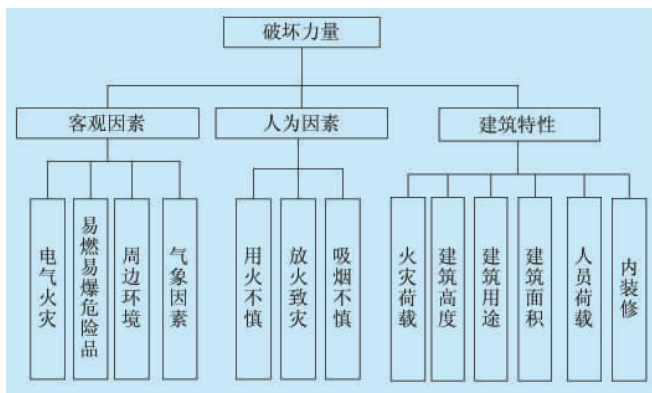


图 3 破坏力量指标体系

Fig. 3 Index system of damage potentials

## 2.4 专家系统评价基本单元

本文采取专家评价系统对基本指标单元赋分,专家系统评价活动是在熟悉评价指标体系的基础上进行的。根据建立的建筑消防安全破坏力量和抵御力量指标体系,把不同的评价目标划分为基本的评价单元。多专家评价通过对指标体系

进行评估(打分)完成。对于多人决策来说,权重分为两类<sup>[5-6]</sup>:第一类为指标体系中各指标权重,用以确定破坏力量和抵御力量的水平;第二类为各决策者(专家)权重,用以衡量各评审专家在本次评审过程中所占决策份额,即各评审专家的决策不是均权。

## 2.5 层次分析法确定指标权重

指标体系及其分值确定以后,还需要确定各指标的权重。本文采用一种改进的层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 计算各指标的权重。

层次分析法计算权重的实施步骤如下。

1) 建立层次结构模型。

2) 构造判断矩阵。层次分析结构模型建立后,将问题转化为层次中各因素相对于上层因素相对重要性的排序问题。在排序计算中,采取成对因素的比较判断,并根据一定的比率标度,形成判断矩阵。

3) 构造判断矩阵。设问题  $A$  中有  $B_1, B_2, \dots, B_n$  个指标,则构造的判断矩阵  $B$  为

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

$b_{ij}$  表示纵列  $B_i$  与横行  $B_j$  的比较结果。

4) 计算判断矩阵的最大特征根和特征向量。

5) 检验判断者判断思维的一致性。将  $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$  定义为一



致性指标。CI=0 时,  $B$  为完全一致矩阵; CI 越大表示  $B$  的不一致程度越严重。

2.6 建筑火灾风险判定

用线性加权模型分别计算破坏力量和抵御力量的分值:

$$F_{i-1} = \sum_{i=1}^n W_i F_i$$
$$V = F_1$$

式中,  $V$  为破坏力量或抵御力量的分值,  $W_i$  为各级指标权重,  $F_i$  为最低层指标的分值。

通过比较破坏力量和抵御力量的分值判断评价对象的火灾风险。设  $R$ =破坏力量/抵御力量,  $R$  的大小与火灾风险的关系如表 1 所示。

通过计算破坏力量与抵御力量的比值  $R$ , 可以得到评价对象的火灾风险水平。针对不同的火灾风险等级, 可以进行火灾风险特征描述, 采取不同的应对措施。

| 表 1 火灾风险分级标准<br>Table 1 Grading rules of fire risk |      |         |         |         |      |
|----------------------------------------------------|------|---------|---------|---------|------|
| $R$                                                | <0.4 | 0.4~0.8 | 0.8~1.2 | 1.2~1.6 | >1.6 |
| 风险                                                 | 低风险  | 较低风险    | 中等风险    | 较高风险    | 极高风险 |

3 应用实例

作为北京奥运会三大主场馆之一, 国家体育馆在奥运期间主要承担竞技体操、蹦床和手球比赛项目。国家体育馆在比赛期间人员众多, 火灾风险控制十分重要, 本文将国家体育馆作为评价对象进行火灾风险评估。

3.1 破坏力量

表 2 为火灾风险破坏力量的计算结果汇总。可知, 破坏力量的最终得分为 22.9, 即  $V_1=22.9$ 。

| 表 2 破坏力量计算结果<br>Table 2 Results of damage potentials |      |     |      |      |         |     |      |      |
|------------------------------------------------------|------|-----|------|------|---------|-----|------|------|
| 破坏力量                                                 | 二级指标 | 权重  | 分值   | 贡献   | 三级指标    | 权重  | 分值   | 贡献   |
| 22.9                                                 | 客观因素 | 0.3 | 14.3 | 4.3  | 电气火灾    | 0.4 | 16.9 | 6.8  |
|                                                      |      |     |      |      | 易燃易爆危险品 | 0.4 | 4.5  | 1.8  |
|                                                      |      |     |      |      | 周边环境    | 0.1 | 23.3 | 2.3  |
|                                                      |      |     |      |      | 气象因素    | 0.1 | 33.5 | 3.4  |
|                                                      | 人为因素 | 0.4 | 8.3  | 3.3  | 用火不慎    | 0.5 | 10.7 | 5.3  |
|                                                      |      |     |      |      | 放火致灾    | 0.2 | 12.5 | 2.5  |
|                                                      |      |     |      |      | 吸烟不慎    | 0.3 | 1.7  | 0.5  |
|                                                      | 建筑特性 | 0.3 | 51.0 | 15.3 | 火灾载荷    | 0.2 | 29.5 | 5.9  |
|                                                      |      |     |      |      | 赛事特点    | 0.2 | 73.3 | 14.7 |
|                                                      |      |     |      |      | 建筑高度    | 0.2 | 53.3 | 10.7 |
|                                                      |      |     |      |      | 建筑面积    | 0.1 | 33.3 | 3.3  |
|                                                      |      |     |      |      | 人员荷载    | 0.3 | 40.2 | 12.1 |
|                                                      |      |     |      |      | 内装修     | 0.2 | 21.8 | 4.4  |
|                                                      |      |     |      |      |         |     |      |      |

3.2 抵御力量

表 3 为火灾风险抵御力量的计算结果汇总。可知, 抵御力量的最终得分为 80.9, 即  $V_2=80.9$ 。

3.3 火灾风险等级判断

计算结果显示, 场馆的火灾风险破坏力量分值  $V_1=22.9$ , 抵御力量分值  $V_2=80.9$ , 其比值为:  $R=V_1/V_2=0.283$ 。因为  $0.283<0.4$ , 由判断表可以得到, 国家体育馆的火灾风险为低风险。

4 结论

本文分析了目前火灾风险评价方法存在的问题, 提出对大型公共建筑消防安全进行评价的必要性。介绍了建筑消防安全风险评价流程, 通过比较破坏力量和抵御力量的分值, 判断建筑的消防火灾风险水平。最后以国家体育馆为例进行火灾风险评估, 评价结果显示国家体育馆的火灾风险等级为

低风险。论文提出的基于能力和脆弱性分析的火灾风险综合评价体系, 对于正确评价建筑火灾风险水平, 提高建筑防火水平具有积极作用。

参考文献 (References)

[1] 翁韬, 廖光煌. 火灾风险等级评估的专家软件系统建设讨论 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(2): 27-41.  
Weng Tao, Liao Guangxuan. *China Safety Science Journal*, 2005, 15(2): 27-41.

[2] 刘峰, 叶叶成, 黄勇. 系统安全评价方法的研究现状及发展前景[J]. 中国水运, 2007, 7(1): 179-181.  
Liu Feng, Ye Yicheng, Huang Yong. *China Water Transport*, 2007, 7(1): 179-181.

[3] 张骏. 群体决策过程中系统评价的专家权重反馈算法[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(6): 145-146.  
Zhang Jun. *Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University*, 2002,

