

The Fire Vulnerability Assessment of the Man-Machine-Environment System

Xiuwen Zhao

The Chinese People's Armed Police Forces Academy, Langfang, China,

Emai: zwx2008happy@163.com

Abstract: Man, machine, and environment are the three basic elements of the system. Proceeding from the three elements, we can build the fire vulnerability assessment index system according to the vulnerability Assessment principles, and then we can get the fire vulnerability Assessment model. We can get Index's Weight Depending of the APH, then to compare the weight of index and find the main influential factors and index.

Keywords: fire; vulnerability assessment; disaster-causing factor; index systems

人-机-环境系统的消防脆弱性评估

赵秀雯

中国人民武装警察部队学院，廊坊，中国，065000

Emai: zwx2008happy@163.com

摘 要: 人、机、环是构成系统的三个基本要素，从这三个方面出发，依据脆弱性评估的原理，建立系统消防脆弱性评估指标体系，进而确定系统消防脆弱性评估模型。借助层次分析法进行指标权重赋值，比较各指标对系统脆弱性的影响程度。最后对评估结果进行分析，找出系统消防脆弱性的主要影响因素和指标。

关键词: 消防；脆弱性评估；致灾因子；指标体系

科学技术是双刃剑，它不仅带动了社会发展，经济繁荣和人们生活水准的大幅提升，同时还不可避免地“丰富”了系统的事故隐患，增加了系统的危险性。据统计数据显示，在众多的灾害事故中，火灾与爆炸事故占 72.3%以上，成为风险分析与安全防范的重点目标。但是，传统的风险分析与评价方法多从专业角度去研究风险的具体表现与出现时伴随的信号，应对时也总是从一类事件的特征和造成该事件的直接原因出发去探索风险识别和管理的方法与技术。也就是说，目前采取的研究主要是专业性的角度，而非从如何完善系统的脆弱性视角来进行的。

本文笔者将从安全学的角度出发，对系统按照人、机（物）、环境 3 个方面进行脆弱性分析，找出系统的脆弱部位和脆弱因素，提出改进意见，为优化安全管理决策提供依据。

1 脆弱性概述

随着经济发展和生活水平提高，脆弱性已成为当

今世界国家和地区发展的诸多问题之一。联合国国际减灾十年框架认为，脆弱性评估是未来确定极端灾害事件所造成损失的重要工具，其评估结果将成为管理部门制定应急预案和决策的主要依据。关于脆弱性的起源，有文献显示，1974 年由美国学者 G.F.White 在其著作《Natural Hazards》中首次提出^[1]。

1.1 脆弱性的概念

什么是脆弱性？研究的领域不同，定义方式也各不相同。在过去的三十多年，脆弱性研究多集中在地学领域，1981 年，地学领域专家 Timmerman 首先提出了脆弱性的概念，他认为脆弱性是一种度，即系统遭受灾害事件时产生不利影响的程度。系统不利影响的质和量受控于系统的弹性，这一弹性标志着系统承受灾害事件并从中回复的能力^[2]。灾害学领域通过多年研究，进一步完善了脆弱性的定义，将其概括为三种：一是强调承灾体易受损害的性质，认为脆弱性是指承灾体对破坏和伤害的敏感性；二是强调人类自身抵御

灾害的状态,认为脆弱性是指人类易受或敏感于自然灾害变化破坏与伤害的状态;三是综合定义,强调脆弱性是指人类、人类活动及其场地的一种性质或状态,认为脆弱性可以看成是安全的另一方面,脆弱性增加,安全性就降低,脆弱性越强,抗御灾害和从灾害影响中恢复的能力就越差^[3]。根据脆弱性的这一定义方式,脆弱性分析作为系统安全评价的另一重要方法得到广泛应用。

1.2 脆弱性评估的方法和模型

目前,对脆弱性评估的研究在自然环境、社会、人文等很多领域都在进行,如生态系统脆弱性评估,灾害系统脆弱性评估,区域经济发展脆弱性评估等等,因此评估时最重要的评估方法和模型也相应很多。

1.2.1 脆弱性评估思路

脆弱性评估是一种定性定量相结合的系统安全评价方法,其主要思路是:首先,从人、机、环境各方面分析影响系统脆弱性的主要因素;其次,选取主要因素建立评估指标体系,并计算指标权重;然后,根据评估目的建立评估模型;最后,将评估模型在实际领域进行应用。

1.2.2 脆弱性评估方法

脆弱性评估方法很多,如专家打分法,模糊综合评判,主成份分析法以及层次分析法。根据各种方法的优劣比较,本文选取专家打分法与层次分析法相补充的方式进行指标权重赋值。

层次分析法的原理和步骤:

(1) 层次分析法的原理

根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解为不同的组成因素,并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合,形成一个多层次的分析结构模型,从而最终使问题归结为最底层指标相对于最高层目标的相对重要权值。

(2) 层次分析法的步骤

运用层次分析法解决问题,大体可以分为四个步骤:

①建立层次结构模型

层次结构模型即根据脆弱性评估目标建立的评估指标体系。

②构造脆弱性指标评估体系的判断矩阵

以建成的系统脆弱性评估指标体系(层次分析模型)为基础,通过比较各因素之间的重要性,构造出

比较判断矩阵。根据表1标度含义对矩阵中各项赋值。

表 1. 标度含义

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非常重要
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	以上两相邻判断的中值

因标度是与上层目标有关的所有因素两两比较重要性而得出的,因此,由重要性标度构成的判断矩阵应具备以下特征:

$$b_{ii} = 1$$

$$b_{ij} = 1/b_{ji} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

③计算判断矩阵的最大特征值和特征向量

本文对矩阵特征值和特征向量采取求和的方法计算,计算步骤如下:

将判断矩阵的每一列向量归一化

$$\tilde{w}_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

对 $\tilde{w}_{ij}$ 按行求和

$$\tilde{w}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \quad (2)$$

计算特征向量

$$w_i = \tilde{w}_i / \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i \quad (3)$$

计算最大特征值的近似值

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (4)$$

④判断矩阵的一致性检验

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

当 $CI = 0$ 时,判断矩阵具有完全一致性; CI 越大,判断矩阵的一致性就越差。一般而言 1 或 2 阶判断矩阵总是具有完全一致性。对于 2 阶以上的判断矩阵,需借助公式 6 计算。

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{6}$$

其中： RI 为平均一致性指标，可查表 2 得
 CR 称为判断矩阵的随机一致性比例。一般 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则就需要调整判断矩阵，直到满意为止。通过一致性检验的矩阵，其特征向量可记作系统指标权重。

表 2. 平均一致性指标 RI

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

1.2.3 脆弱性评估模型

根据评估的目的不同，脆弱性评估的模型也大不相同，较为典型的有 3 类：^[4]

(1) 风险与灾害(Risk and Hazard, RH)模型

RH 模型中的脆弱性是从人的角度出发，研究系统中的人们是否易受灾害事故影响以及其受影响的程度。

(2) 压力与释放(Pressure and Release, PAR)模型

PAR 模型从灾害形成的根源上，进一步探讨了脆弱性的概念。它认为脆弱性取决于系统中的人能够通过哪种途径、在何种程度上发挥机和环境的作用，使其准确预料、应对、抵抗灾害，并从灾害影响中恢复。

PAR 模型为分析灾害脆弱性提供了基本思路，为减灾综合管理提供了理论基础。

(3)可持续发展的脆弱性模型

该模型从可持续性发展的角度，提出了可持续理论的脆弱性模型，将 PAR 模型进行了扩展，认为脆弱性是由“人—机—环境”总系统决定的。系统的脆弱性包括人的脆弱性、机的脆弱性、环境脆弱性三个方面。

本文采用的是第三种脆弱性评估模型，即从人、机、环境三个方面分析影响系统消防脆弱性的主要指标。

2 系统消防脆弱性评估指标体系构建

指标,英文“indicator”来自拉丁文“indicare”,具有揭示、指明、宣布或者使公众了解等涵义。它是帮助人们理解事物如何随时间发生变化的定量化信息，是反

映总体现象的特定概念和具体数值^[5]。

评价指标体系通常根据研究者对脆弱性的认识、评估目的、研究对象的特征来构建，一般说来，影响系统脆弱性的因素十分复杂，很难用一个指标来进行评价，这时就需要构建一个评估指标体系。评估指标体系可以是若干既相对独立、又相互联系的指标所组成的指标群。

2.1 系统消防脆弱性影响因素分析

系统脆弱性由构成系统的人，机，环境脆弱性共同决定。首先，人的方面，影响系统消防脆弱性的因素主要有：人的身体状况、消防安全意识水平、灭火及逃生技能掌握情况、区域人口密度 4 个指标；机（物）的消防脆弱性：主要包括火灾自动报警系统的安装及有效情况、自动灭火设施情况、个人防护、救护设施的配备情况；环境脆弱性的影响因素包括：研究对象所处的地理位置，建筑物的结构布局（地上还是地下），建筑物的使用性质，建筑耐火等级，安全出口数量及消防通道的畅通情况，安全指示标志，应急救援能力 7 项指标。

2.2 人—机—环境系统消防脆弱性评估指标体系

根据系统消防脆弱性影响因素分析，建立评估指标体系，如图 1 所示。

3 系统消防脆弱性评估

通过专家打分确定判断矩阵的标度，借助公式 1~6 计算得人的消防脆弱性权重为 0.68，机的消防脆弱性权重为 0.2，环境的消防脆弱性权重为 0.12。底层各指标相对于整个系统的消防脆弱性权重如表 3 所示。

表 3. 系统消防脆弱性指标权重

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
权重	0.06	0.22	0.05	0.35	0.11	0.06	0.03
指标	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
权重	0.004	0.006	0.008	0.025	0.012	0.019	0.046

4 结论

通过评估结果比较可以得出：人、机、环境三方面对系统消防脆弱性的影响程度排序为：

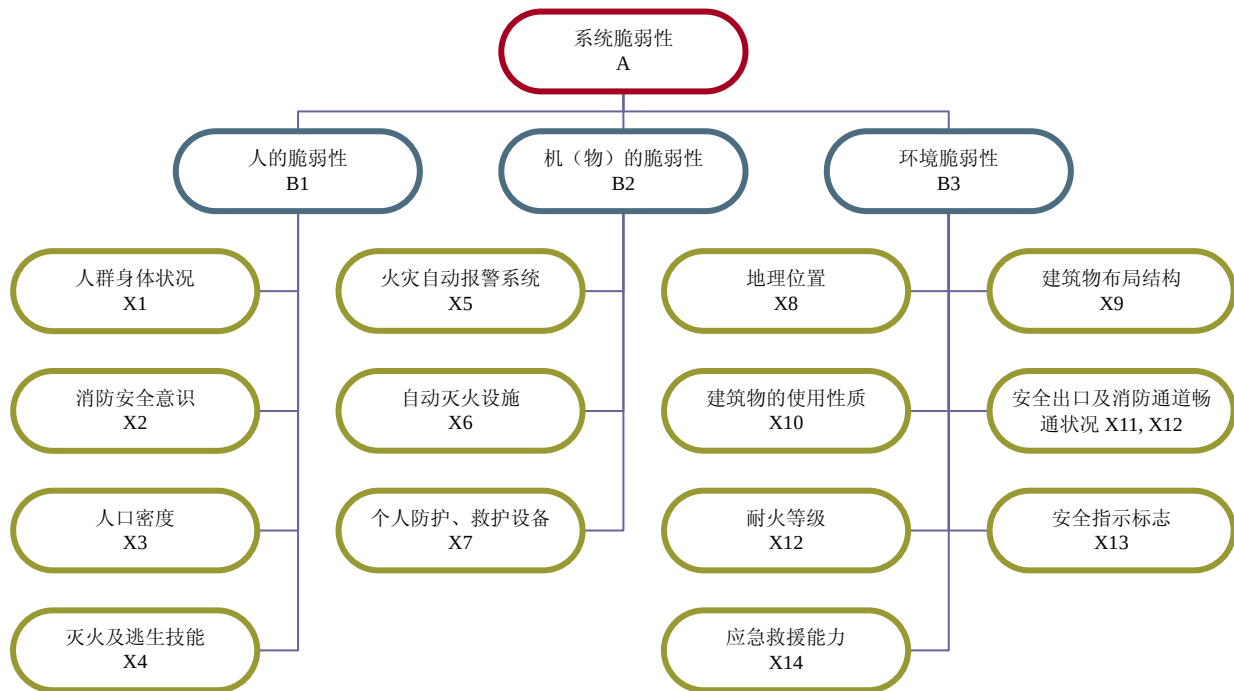


图 1. 系统消防脆弱性评估指标体系

人>机>环境

而底层指标对总系统的脆弱性影响程度，经上层因素的重要性加权处理后可以得出排名前四的指标分别为：①人们的灭火和逃生技能掌握情况、②消防安全意识水平、③火灾自动报警设施的安装及有效情况、④自动灭火设施状况。在排名前四的指标中没有环境方面的影响因素，其原因在于环境消防脆弱性本身对系统整体脆弱性的影响程度较小，加权处理后，导致其底层指标的权重数值较小。但就环境消防脆弱性本身的影响因素而言，排名前两位的是：场所应急救援能力和建筑物安全出口及消防通道的畅通情况。

以上分析结果对于消防部门制定消防监督检查方案，生产单位规划日常消防安全管理内容提出建议：

1) 加强消防安全的宣传教育，在提高公民消防安全意识的基础上，创造条件，重点进行初期火灾扑救及火场逃生技能的训练。

2) 单位要重视火灾自动报警系统和自动灭火设施的安装、检测和维护，确保其面积覆盖率以及效果发挥的可靠性。消防部门在日常监督检查中也应对此重点抽查，确保其灾害发生时的有效性。

3) 环境本身虽然对系统消防脆弱性的贡献较少，但是，同等程度上其安全投入也最少，因此，综合考虑经济因素，环境方面的消防脆弱性影响因素也是监

管的重点，其中主要应加强应急能力演练和安全出口、消防通道畅通的检查工作。

根据系统消防脆弱性分析，可以大致掌握人、机、环境在系统消防脆弱性中的影响比例，并进一步了解消防脆弱性的主要影响因素，为加强管理，完善措施，提高系统消防安全水平提供建议。

References (参考文献)

- [1] CHEN Zhuo, YU Lian. The Concept and Connotation of the Fragility of City Logistics System[J]. Railway Purchase and Logistics, 2007, 5(8), P5-8.
陈倬, 余廉. 城市物流系统脆弱性的概念与内涵[J]. 铁路采购与物流, 2007, 5(8), P5-8.
- [2] Timmerman P. Vulnerability Resilience and the Collapse of Society [A]. Environmental Monograph[C]. Toronto: Institute for Environmental Studies, 1981.
- [3] SHEN ZhenYao, YANG Zhifeng, CAO Yu. Review on environment vulnerability research [J]. Geological Science and Technology Information. 2003, 22(3), P91-94.
沈珍瑶, 杨志峰, 曹瑜. 环境脆弱性研究述评[J]. 地质科技情报, 2003, 22(3), P91-94.
- [4] WANG Ying. The Vulnerability Analysis of Earthquake Disaster In rural China and Mitigation Measures, (PhD thesis). Beijing: Beijing Normal University, 2004.
王瑛. 中国农村地震灾害系统脆弱性分析及减灾对策[D]. (博士学位论文). 北京: 北京师范大学, 2004.
- [5] YAO Yufang, HUO Juhuang. China's economic growth and sustainable development—Theory, Models and Applications [D]. Social Sciences Academic Press(China), 1999, P167.
姚愉芳, 贺菊煌等. 中国经济增长与可持续发展——理论、模型与应用[D]. 北京: 社会科学文献出版社, 1999, P167.