

# 在用电梯系统的风险评价方法

魏化中<sup>1</sup>,陶芳泽<sup>1</sup>,丁克勤<sup>1,2</sup>

1. 武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205;2. 中国特种设备检测研究院,北京 100013

**摘要:**为实现在用电梯的动态分级监管,提出了在用电梯系统风险评价方法。首先,通过分析现行标准和研究现状,确立了在用电梯系统风险评价的基本程序,包括准备工作、风险评价、降低风险和生成文件等四个方面。其次,通过对电梯设备、相关人员、运行管理以及使用环境进行风险分析和风险评定,确定评价单元,找出危险状态;综合运用专家打分法和层次分析法,建立了在用电梯系统风险评价模型。对电梯部件的风险评价,采用模糊评价方法确定单因素危险状态的风险等级,并对单因素风险的概率等级和严重程度进行量化处理,得到电梯部件多因素综合风险评价价值。通过该方法,可以实现对一定区域内的在用电梯进行动态分级监管,以优化监管资源配置,提高监管工作效率。

**关键词:**电梯系统;风险评价;模糊评价;层次分析法;动态分级监管

**中图分类号:**TU857

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2014.06.010

## 0 引言

电梯历经160多年的持续发展,现已成为人们日常生活中不可缺少的交通工具之一。全国在用电梯总数在2012年底已达到245.33万台,并以每年20%左右的速度急剧增长。随着电梯数量的激增、设备的逐渐老化,在给人们生活带来方便的同时也带来了安全问题,各种电梯困人、伤人事故频发。2012年,全国发生电梯事故42起;2013年截止5月底,全国共发生电梯事故17起,死亡12人,受伤4人(其中,仅5月14—16日,在宜昌、西安、深圳、玉溪等地就发生了4起电梯致死事件)。从技术层面来看,电梯事故发生的主要原因是管理不善、维保不力和安全附件或保护装置失效<sup>[1-2]</sup>。为加强电梯安全监管,降低电梯事故率,维护人民的生命财产安全,开展在用电梯风险评价以实现动态分级监管显得非常迫切。

## 1 标准解读及研究现状

电梯风险评价起始于欧盟,目前包括欧盟、美国在内的发达国家和地区已将电梯风险评价贯彻到电梯标准的制定和修订过程中,如欧洲标准化委员会(CEN)颁布的EN 115-1-2008、美国机械工程师协会(ASME)和加拿大标准协会(CSA)颁

布的ASME A17.7-2007 CSA B44.7-07等。但是,国际标准中尚未形成统一的风险评价方法。针对电梯安全问题的日益凸显,我国也相继推出了多部标准规范<sup>[3-5]</sup>。GB 7588-2003《电梯制造与安全规范》是我国现行的电梯法定检验的最高依据。GB/T 20900-2007/ISO/TS 14798:2006《电梯、自动扶梯和自动人行道——风险评价和降低的方法》为电梯的风险评价方法制定统一和系统的原则和程序,以识别各种危险、危险状态可能引起的伤害后果,来评价设计、制造、安装、维护、使用、维修至报废等全生命周期各阶段的电梯风险<sup>[6]</sup>。但是,由于主观判断的不确定性,导致风险评价的随意度较高,同台设备不同评价组的评价结果很难做到统一<sup>[7]</sup>。GB 24804-2009《提高在用电梯安全性的规范》将各种危险和危险状态归类,采用风险评价方法已对每种危险进行了分析;给出了逐步提高在用电梯安全性的正确方法,使其达到现今的安全水平;按照每种风险出现的频次和危害的严重程度,识别在用电梯安全状况并确定应采取的安全措施;列出了各种高、中、低风险,提出了可分部采用的降低风险的正确方法<sup>[8]</sup>。

国外对电梯系统风险的分析和评价主要集中在风险检查技术(这在GB 24804-2009中亦有体

收稿日期:2014-03-14

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目06课题(2011BAK06B06)

作者简介:魏化中(1955-),男,湖南永州人,教授。研究方向:压力容器压力管道、流体机械和搅拌设备的开发、新型高效过程装备及仿真技术,特种设备安全技术。

现)、故障失效分析及可靠性性能研究等方面。国内的研究工作起步较晚,研究内容集中在电梯故障检测和故障风险分析、电梯风险影响因素及原因分析等,多采用数理统计、数据库及专家经验判断等方法计算<sup>[7]</sup>。针对传统电梯安全评价方法的弊端,上海交通大学提出以多因素风险评价的综合方法和系统安全评判为准则,采用安全检查表和数据库相结合的方法对电梯进行风险评价<sup>[8]</sup>。南京工业大学建议将模糊层次分析法(F-AHP)和人工神经网络(ANN)技术相结合,在不降低 ANN 评估准确性的前提下提高电梯风险评估的速度<sup>[9]</sup>。广州市特种设备机电检测研究院基于风险评估的基本理论和流程,考虑电梯规格、制造、安装、维保、使用、检验、使用环境等全方面危险因素,搭建了在用电梯的风险评价专家系统权重模型,模糊定量地给出了评价整个电梯安全隐患严重程度的风险计算方法<sup>[7]</sup>。上海市特种设备监督检验技术研究院从实际检验案例出发,认为风险评价能给予法定检验有力的补充,查漏补缺,找出一些在法定检验无法涉及的安全隐患<sup>[10]</sup>。

通过对在用电梯设备、相关人员、运行管理以及使用环境(即通常所说的人、机、环、管“4M”要素)进行风险分析和风险评定,确定评价单元,找出危险状态,预测给使用人员(包括维修人员)所带来的危险/危害程度,并提出合理可行的降低和消除风险的对策措施,试建立电梯系统整体风险评价方案。

## 2 电梯系统风险评价基本程序

总的流程包括四个方面:准备工作、风险评价、降低风险、生成文件,如图 1 所示<sup>[4]</sup>。

1)准备工作:确定进行风险评价的目的,成立风险评价组,收集相关资料。

2)风险评价:包括风险分析和风险评定。前者为后者提供所需信息,允许依次对电梯、电梯部件和任何相关过程的状态作出定性或定量的判断。风险评价依赖于经过判断后而做出的决定。

3)降低风险:判定风险等级,确定是否需要采取风险降低措施并给出指导意见及动作建议(列出主要危险和有害因素,指出应重点防范的重大危险因素,明确应采取的安全措施和风险应对方法)。

4)生成文件:根据风险评价结果,编制相应的报告。

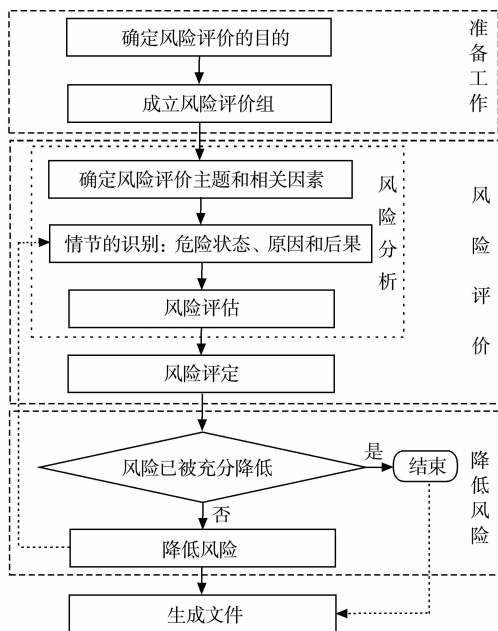


图 1 总体流程图

Fig. 1 Overview flow chart

## 3 电梯系统风险评价方案确定

### 3.1 电梯系统风险评价方法

从宏观考虑,可以粗略地将电梯系统分为两个部分:主观部分和客观部分。主观部分包含了电梯的设计、制造、安装、使用、管理、维保、检验等方面;客观部分所考虑的是电梯硬件本身,根据对 GB 24804-2009 的解读,将其划分为 10 个部分(井道、机房/滑轮间、层门/轿门、轿厢/对重、悬挂/补偿和超速保护、导轨/缓冲器和极限开关、驱动主机、电气安装与电气设备、电气故障的防护/控制装置和优先顺序、注意/标记/操作说明及其他),共找出 82 个危险状态。通过综合考虑各方面因素,提出两种方案。

方案一(风险干涉评价方法):将主观、客观两部分分离,对主观部分进行单元划分,赋予权重,逐项打分,最后根据打分情况进行等级划分;而客观部分则是根据 82 个危险状态制定安全检查表,再依据检查结果对其进行独立的风险评价。最后,利用客观部分的风险评价结果对主观部分的等级判定结果进行干涉(降级处理或是直接判为 III 级)。

方案二(综合风险评价方法):将主观、客观两部分综合,综合后进行单元划分,赋予权重,逐项打分,最后根据打分情况进行等级划分。其中,客观部分的打分则是由其独立的风险评价价值确定,如图 2 所示。

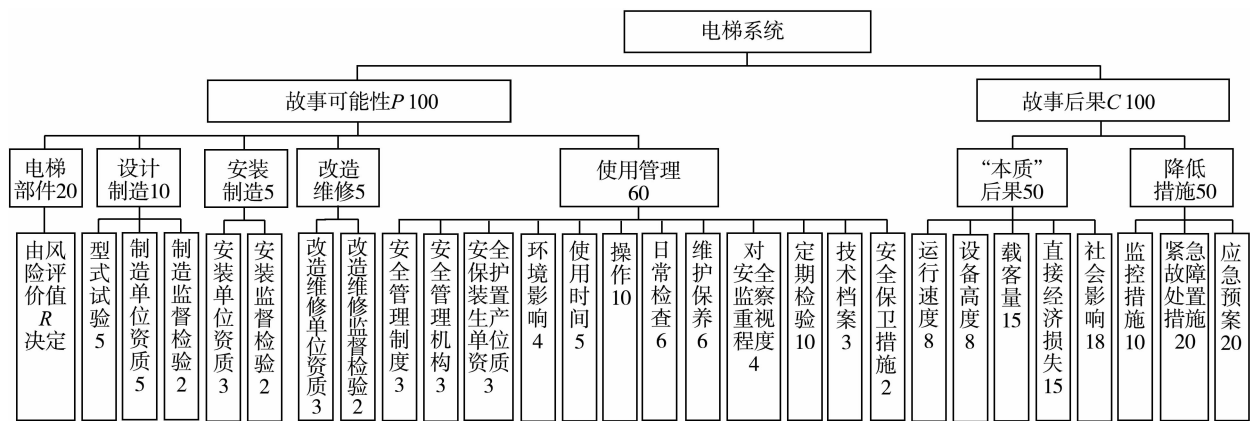


图2 电梯系统风险评价模型

Fig. 2 Model of risk assessment on elevator system

以上两种方案的本质是一样的,只是对结果的处理方式不一样.方案一的优点在于突出了对客观部分进行风险评价的作用,利用其结果直接对主观部分的评价结果进行干涉.缺点就是对电梯系统的风险等级判定的程序比较繁琐,软件实现较为困难;方案二的优点在于综合考虑各方面因素,使得整体的判定程序简单明了,且能得到单一的风险评价价值,有利于等级划分的具体操作.

经过比较,考虑选择方案二对电梯系统进行综合风险评价.具体的工作流程:

- (1)确定评价单元.
- (2)确定失效可能性得分  $P$ .
- (3)确定失效后果得分  $C$ .
- (4)按下式计算电梯系统风险评价价值  $R_s$ :

$$R_s = \lg P \cdot \lg C$$

- (5)按照表1中的规定确定风险等级及采取对应措施.

表1 电梯风险等级划分

Table 1 Hierarchy of the elevator's risk

类别	等级	值域	监督措施
A	低风险等级	$[0, 0.64)$	自检为主,监督抽检为辅
B	中等风险等级	$[0.64, 2.08)$	指导帮助自检为主,监督检验为辅
C	高风险等级	$[2.08, \text{inf}]$	监督指导为主,执法查处为辅

### 3.2 电梯部件风险评价方法

在进行电梯系统综合风险评价过程中,其中一个较为关键的步骤是对客观部分所进行的风险评价.在前文已经提到,是依据 GB24804-2009 将电梯系统分成10个部分:井道、机房/滑轮间、层门/轿门、轿厢/对重、悬挂/补偿和超速保护、导轨/缓冲器和极限开关、驱动主机、电气安装与电

气设备、电气故障的防护/控制装置和优先顺序、注意/标记/操作说明及其他.如图3所示.进一步细化,找出各部分总共82个危险/危险状态(篇幅有限,不展开说明).

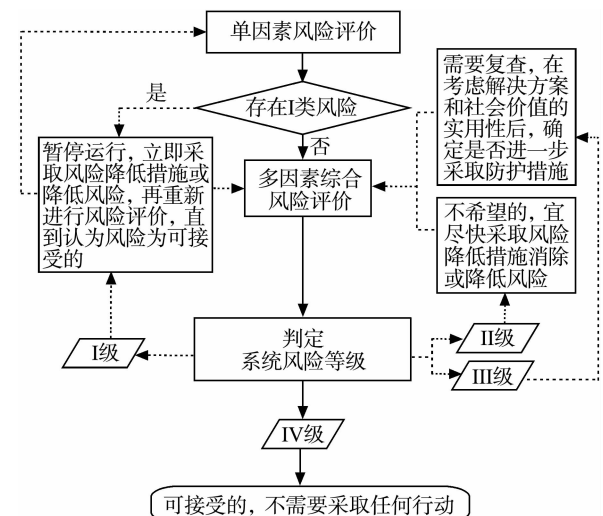


图3 电梯部件风险评价流程图

Fig. 3 The flow chart of risk assessment on the elevator's part

3.2.1 单因素风险评价 依次对82个危险及危险状态进行单因素风险评价,得到每一个风险因素的风险等级,如表2所示.

通过对单因素风险的概率等级和严重程度进行量化处理,即可计算出单因素的风险值,如表3所示.

3.2.2 多因素综合风险评价 根据单因素风险评价的结果,判断是否存在I类风险(即不可接受的风险):若存在,则给出提示:暂停运行,立即采取风险降低措施或降低风险,再重新进行风险评价,直到认为风险为可接受的;若不存在,则累加所有单因素的风险值,计算得到多因素综合风险评价价值,即

$$R_z = \sum_{i=1}^n R_i$$

式中,  $R_z$  为电梯总体的风险数值;  $n$  为因素数量;  $R_i$  为单因素风险值.

根据多因素综合风险评价值, 对电梯部件进行综合风险等级划分, 见表 4. 此外, 通过多因素综合风险评价值, 可以对某区域内多台电梯进行风险分级排序, 以指导检验工作科学安排、提高效率.

表 2 电梯部件单因素风险等级分布

Table 2 Single factor risk grade distribution of the elevator's part

概率 等级	严重程度			
	1	2	3	4
	危险状态序号			
A				
B			22 36 39	
C		1 20 21 27 40 63	25 34 45 49 52 62 64 67	
C-D	74	4 10 12 14 17 18 24 43 54 61 75 81	26 48	
D	2 3 7 8 9 11 28 29 30 31 35 37 42 46 53 57 58 65 69 70 79	13 16 19 41 44 47 50 51 56 66 68	23 60	
D-E	32 33 55 72 76 78	15 38 71 73		
E	5 6 59 77			
F				

注: 根据实际应用, 将概率等级  $D$  分为  $C-D$ 、 $D$ 、 $D-E$  3 个子等级.

表 3 风险等级量化表

Table 3 Quantification of risk grade

概率 等级	严重程度			
	"1"=20	"2"=40	"3"=75	"4"=100
	风险值			
A=10	87.64	68.77	34.34	9.50
B=20	81.72	65.29	32.38	8.02
C=35	69.69	56.85	27.24	
C-D=55	51.48	41.99	16.99	
D=75	32.38	25.00	3.93	
D-E=95	12.92	6.92		
E=100	8.02	2.30		
I 类[66,∞) II 类[30,66) III 类[10,30) IV 类[0,10)				

表 4 电梯部件综合风险等级划分及对应分值

Table 4 Hierarchy of elevator parts' comprehensive risk and the corresponding score

等级	值域	得分
I	$[60, \infty)$	100
II	$[30, 60)$	
III	$[10, 30)$	$0.67R_z$
IV	$(0, 10)$	

## 4 结 语

a. 综合运用多种方法, 建立了在用电梯系统风险评价模型. 对电梯部件进行单因素风险评价时, 应用了模糊评价方法, 得到了各个单因素危险状态的风险等级; 再应用层次分析法对电梯部件进行多因素综合风险评价. 对电梯系统进行整体风险评价时, 采用了基于专家系统打分的方法, 最终得到了电梯系统风险评价值.

b. 依据电梯系统风险评价值, 进一步可以实现对一定区域内的在用电梯进行动态分级监管, 为监督检验工作提供参考, 优化资源, 合理安排, 提高效率. 但是, 风险评价并不是一门精确的科学, 在评价过程中多少存在不同程度的客观性, 其结果只对在用电梯的监督检验、设计制造、安装维护等提供参考, 而非决策性的指导.

## 致 谢

感谢中国特种设备检测研究院对本研究工作的大力支持.

## 参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 关于 2012 年全国特种设备安全状况的情况通报[EB/OL]. [http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk\\_13386/tjxx/tjfx/201306/t20130609\\_361071.htm](http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/tjxx/tjfx/201306/t20130609_361071.htm). [2013-06-09].  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Briefings on 2012 China Special Equipment Safety Situation[EB/OL]. [http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk\\_13386/tjxx/tjfx/201306/t20130609\\_361071.htm](http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/tjxx/tjfx/201306/t20130609_361071.htm). [2013-06-09]. (in Chinese)
- [2] 易风华, 徐义. 电梯事故原因分析与预防措施研究[J]. 科技创新导报, 2011(6): 116-117.  
YI Feng-hua, XU Yi. Focus on the position of elevator risk assessment from two inspection cases[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011(6): 116-117. (in Chinese)

- [3] 全国电梯标准化技术委员会. GB7588-2003 电梯制造与安全规范[S]. 北京:中国标准出版社,2003.  
National Technical Committee 196 on Elevators of Standardization Administration of China. GB 7588-2003 Safety rules for the construction and installation of electric lifts[S]. Peking:Standards Press of China, 2003. (in Chinese)
- [4] 全国电梯标准化技术委员会. GB/T20900-2007/ISO/TS 14798:2006 电梯、自动扶梯和自动人行道——风险评价和降低的方法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.  
National Technical Committee 196 on Elevators of Standardization Administration of China. GB/T 20900-20 07/ISO/TS14798:2006 Lifts (elevators), escalators and moving walks-Risk assessment and reduction methodology[S]. Peking:Standards Press of China,2006. (in Chinese)
- [5] 全国电梯标准化技术委员会. GB24804-2009 提高在用电梯安全性的规范[S]. 北京:中国标准出版社,2009.  
National Technical Committee 196 on Elevators of Standardization Administration of China. GB 24804-2009 Rules for the improvement of safety of existing lifts[S]. Peking:Standards Press of China,2009. (in Chinese)
- [6] 曹领军. 电梯检验过程中风险评价目的确定及需要考虑的附加因素分析[J]. 科技信息,2013(5):487-488.  
CAO Ling-jun. Analysis of the purposes of risk assessment and additional factors in elevator inspection [J]. Science & Technology Information, 2013(5): 487-488. (in Chinese)
- [7] 刘英杰,武星军,王新华,等. 基于专家系统的在用电梯风险评估方法研究[J]. 机械工程师,2013(5):53-56.  
LIU Ying-jie, WU Xing-jun, WANG Xin-hua, et al. An expert risk assessment system for elevator[J]. Mechanical Engineer,2013(5):53-56. (in Chinese)
- [8] 顾徐毅,朱昌明,张鹏,等. 电梯系统综合安全评价方法的研究[J]. 中国安全科学学报,2008,18(6):146-151.  
GU Xu-yi, ZHU Chang-ming, ZHANG Peng, et al. Research of comprehensive safety assessment method for elevator system[J]. China Safety Science Journal, 2008,18(6):146-151. (in Chinese)
- [9] 张广明,邱春玲,钱夏夷,等. 模糊层次分析法和人工神经网络模型在电梯风险评估中的应用[J]. 控制理论与应用,2009,26(8):931-933.  
ZHANG Guang-ming, QIU Chun-ling, QIAN Xia-yi, et al. The application of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network in elevator risk assessment [J]. Control Theory & Applications, 2009,26(8):931-933. (in Chinese)
- [10] 王齐刚,张志豪. 从两起检验案例看电梯风险评价的定位[J]. 科技信息,2010(21):117-118.  
WANG Qi-gang, ZHANG Zhi-hao. Focus on the position of elevator risk assessment from two inspection cases[J]. Science & Technology Information, 2010(21):117-118. (in Chinese)

## Risk assessment of existing elevator system

WEI Hua-zhong<sup>1</sup>, TAO Fang-ze<sup>1</sup>, DING Ke-qin<sup>1,2</sup>

1. School of Mechanical and Electric Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

2. China Special Equipment Inspection & Research Institute, Beijing 100013, China

**Abstract:** To carry out dynamic classification regulation of in-service elevator, the elevator system risk assessment method was proposed. Firstly, a basic procedure of the elevator system risk assessment, including four aspects of preparation, risk evaluation, risk reduction and generated document, was established by analyzing current standards and research status. Then, evaluation units were confirmed and hazardous situations were found by analyzing and assessing the risk of elevator equipment, the associated personnel, operations management and service environment. A risk assessment model of existing elevator system was established by the expert scoring method and the analytic hierarchy process. As for the risk assessment on elevator parts, the risk grade of single factor hazardous situation was confirmed by fuzzy assessment method. The comprehensive value of multi-factor risk assessment of elevator parts was obtained by quantizing the probability and severity of single factor risk. Through the above method, dynamic classification regulation of existing elevators in certain area can be realized to optimize regulatory resources allocation and improve the efficiency of supervision.

**Key words:** elevator system; risk assessment; fuzzy evaluation; analytic hierarchy process; dynamic classification supervision

本文编辑:陈小平