

AHP-ATA 在电梯风险评估中的应用

于源, 王克俭

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 电梯系统是城市建设中不可或缺的特种设备, 其安全问题受工作系统中诸多因素的影响。为更好地量化分析电梯系统的安全性, 对电梯系统进行风险评估, 采用层次分析法(AHP)对电梯系统进行风险要素的权重分析, 并引入事故树分析(ATA)技术系统地分析电梯运行中可能导致危险发生的事件, 作为层次分析法指标权重的赋值依据。在其基础上, 建立电梯系统风险评估模型, 设定安全评定等级, 通过加权求和的方法对电梯系统进行量化评估。该电梯系统风险评估体系避免了专家打分确定指标权重的主观性和片面性, 结合故障树分析法以及层次分析法系统建立了电梯系统风险评估体系, 为客观评价电梯系统安全等级提供了切实可行的方法和依据。

关键词: 电梯; 层次分析法; 事故树分析; 风险评估

中图分类号: X928

文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2012)S1-0103-04

Application of AHP-ATA in Elevator Risk Assessment

YU Yuan, WANG Kejian

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: To analyze the safety of elevator system quantitatively, the risk factor weights aiming at the risk evaluation for elevator system are analyzed based on Analytic Hierarchy Process (AHP) in this paper. The Accident Tree Analysis (ATA) is also introduced to analyze accidents leading to the dangers during elevator running as the basis of weight assignment. The risk evaluation model of elevator system is built and its safety grade is set. The quantitative assessment for elevator system through linear weighted sum law is implemented. This method combining AHP and ATA in this paper avoids subjectivity and one-sidedness of weights indexes caused by expert-scoring method. This elevator system risk evaluation system provides feasible method of assessing safety grade subjectively.

Key words: ELEVATORS; ANALYTIC HIERARCHY PROCESS; ACCIDENT TREE ANALYSIS; RISK ASSESSMENT

电梯作为城市高层建筑不可缺少的垂直方向交通运输工具, 主要分布于城市的密集楼群。我国现已成为世界上电梯拥有量最大的国家, 人们对电梯的依赖程度越来越高。电梯故障导致的直接或间接人员伤亡使得电梯安全运行问题引起政府及民间的高度关注。同时也警示人们, 电梯安全要防患于未然, 电梯系统的风险评估对做好电梯的检修和日常维护具有重大意义。随着安全工程的发展及学科间的交叉融合, 电梯系统的风险评价理论水平得到了很大提升, 各种定性评价方法和定量评价方法得到了广泛应用和发展^[1-4]。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是对非定量事件作定量分析的一种有效方法, 很多文献介绍了层次分析法在电梯安全状态风险评估, 电梯安全管理以及电梯选型配置中的应用和操作方法^[5-7]。其主要思想就是首先建立能反映评价体系特征的层次结构, 给出评价准则; 再对每一层的各要素进行两两比较, 建立成对比较矩阵; 最后根据比较矩阵计算各要素对上一层要素的权重, 进而计算出最终的组合权向量。然而, 在确立比较矩阵时, 往往是专家根据经验直接打分得出, 得到的各层因素权重受主观影响较大, 同时缺少数量分析作为依据, 与实际情况可能有较大偏差, 直接

会影响评判结果的准确度^[8]。为了寻求较理想的指标权重求取方法, 笔者结合事故树分析技术 (Accident Tree Analysis, ATA), 对各个指标的重要程度进行分析, 以此确定指标权重; 在其基础上利用层次分析法建立电梯系统风险评估模型, 客观、精确地分配风险预警指标权重, 实现对电梯系统风险的有效评估。

1 电梯系统风险评估体系层次模型的建立

层次分析法的体系结构分为目标层、准则层和指标层。本文的研究对象为民用垂直曳引升降客梯的安全性, 即目标层, 记为 A; 其风险因素主要在于安全装置的有效性、操作人员在运行中的行为以及对电梯系统的维护检修, 即准则层, 记为 C₁, C₂ 和 C₃; 对这三项进行深入剖析, 确定其较为重要的下属指标, 作为指标层要素。安全保护装置 C₁ 对应的指标记为 C₁-I₁, C₁-I₂, C₁-I₃, C₁-I₄, C₁-I₅; 运行管理 C₂ 对应的指标记为 C₂-I₆, C₂-I₇, C₂-I₈; 维护维修 C₃ 对应的指标记为 C₃-I₉, C₃-I₁₀, C₃-I₁₁。以此建立电梯系统风险评估层次模型, 如图 1 所示。

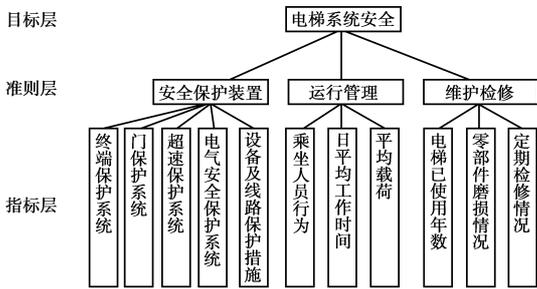


图 1 电梯系统风险评估层次模型

2 基于事故树分析的电梯系统风险评估模型权重的确定

在利用层次分析法对上述电梯系统风险评估模型进行评定并进行指标层各要素对目标影响的比较时,由于指标是不同质的要素,它们之间的比较十分困难。如在确定终端保护系统 C_1-I_1 与门保护系统 C_1-I_2 的影响力之比时,选择 2:1 还是 1:3 呢? 常规的方法是根据专家经验直接确定成对矩阵,但由于缺少数量分析作为依据,在很大程度上存在主观性,各指标所给权重将直接影响最终的评定结果,可能与实际结果存在较大偏差。笔者采用事故树分析的方法确定指标层各项的重要程度,以此确定各指标权重。

2.1 电梯系统事故树分析

电梯系统中危害主要有剪切、挤压、坠落、撞击、被困、火灾、电击等,笔者逐个对每种危害进行事故树分析,分析其发生原因与指标层各项的关系。剪切事故树分析如图 2 所示;

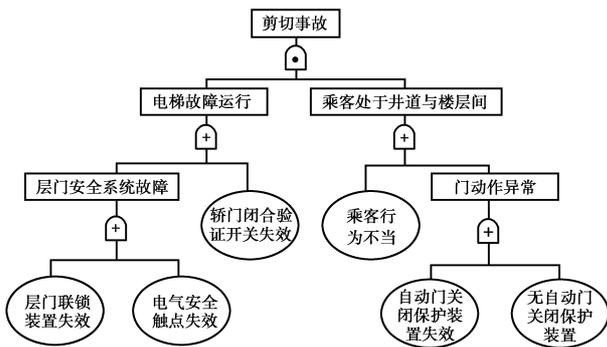


图 2 剪切事故树分析图

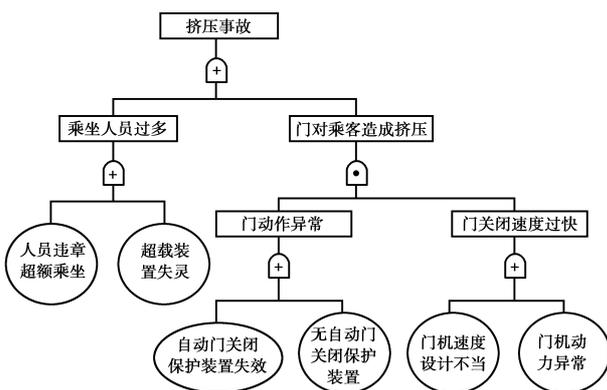


图 3 挤压事故树分析图

挤压事故树分析如图 3 所示;坠落事故树分析如图 4 所示;撞击事故树分析如图 5 所示;被困事故树分析如图 6 所示;其他事故树分析如图 7 所示。

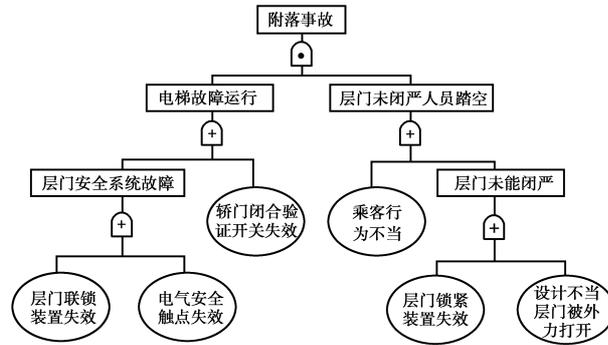


图 4 坠落事故树分析图

2.2 电梯系统风险评估模型权重的计算

在事故树的基本事件中寻找指标层各要素,对于指标在事故树基本事件中重复出现的因素,可以认为该指标相较于其他指标更为重要。据此,统计指标层各要素在事故树基本事件中出现的次数,见表 1。本文权重赋值采用 1—9 标度法^[9],结合表 1 可得指标层各要素对准则层各要素的权重,准则层中 C_1 的判断矩阵见表 2, C_2 的判断矩阵见表 3, C_3 的判断矩阵见表 4;准则层 C 对目标层 A 的判断矩阵见表 5。

表 1 指标层要素在事故树中出现的次数

指标层要素	终端保护系统	门保护系统	超速保护系统	电气安全保护系统	设备及线路保护措施	乘坐人员行为	日平均工作时间	平均载荷	电梯已使用年限	零部件磨损情况	定期检修情况
次数	5	14	3	4	5	5	0	1	0	1	3

表 2 C_1 的判断矩阵

C_1	C_1-I_1	C_1-I_2	C_1-I_3	C_1-I_4	C_1-I_5
C_1-I_1	1	1/2	2	1	1
C_1-I_2	2	1	4	3	3
C_1-I_3	1/2	1/4	1	1	1/2
C_1-I_4	1	1/3	1	1	1
C_1-I_5	1	1/3	2	1	1

表 3 C_2 的判断矩阵

C_2	C_2-I_6	C_2-I_7	C_2-I_8
C_2-I_6	1	6	3
C_2-I_7	1/6	1	2
C_2-I_8	1/3	1/2	1

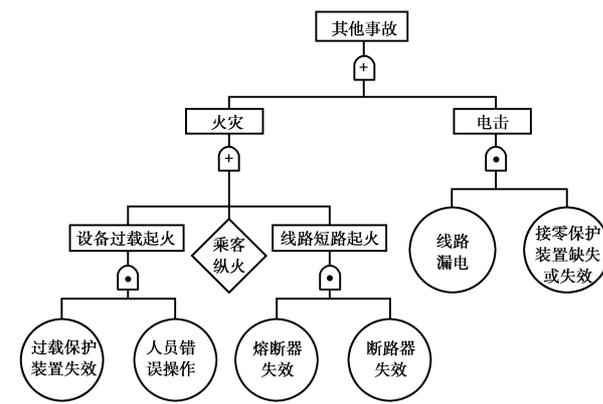
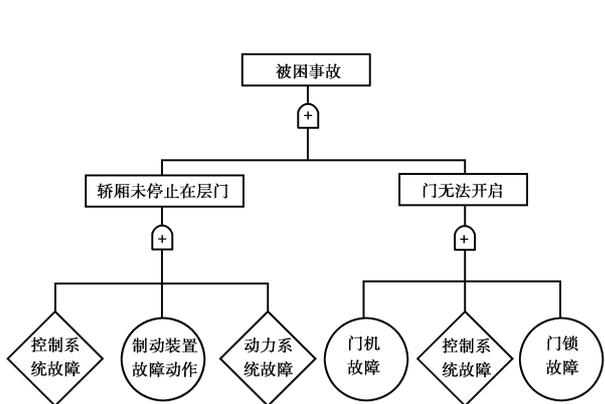
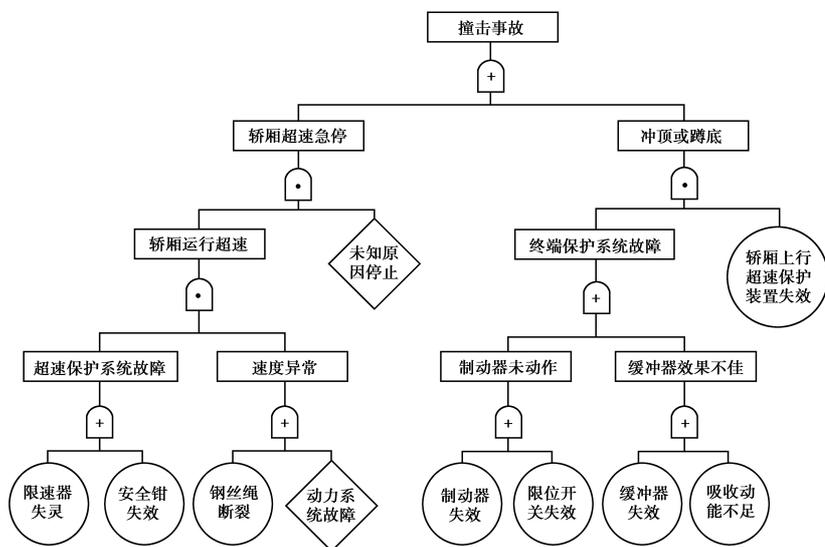


表 4 C₃ 的判断矩阵

A	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	4	5
C ₂	1/4	1	1
C ₃	1/5	1	1

表 5 A 的判断矩阵

C ₃	C ₃ -I ₉	C ₃ -I ₁₀	C ₃ -I ₁₁
C ₃ -I ₉	1	1/2	1/4
C ₃ -I ₁₀	2	1	1/2
C ₃ -I ₁₁	4	2	1

按照层次分析法权重计算方法^[10],根据 A 的判断矩阵计算其权重系数向量,并进行一致性检验。得到准则层各项 C₁,C₂ 和 C₃ 相对于目标层 A 的权重系数向量(0.691,0.160,0.149)。同理,根据 C₁ 的判断矩阵计算其指标层各项 C₁-I₁,C₁-I₂,C₁-I₃,C₁-I₄,C₁-I₅ 的权重系数向量(0.177,0.416,0.102,0.142,0.163);根据 C₂ 的判断矩阵计算其指标层各项 C₂-I₆,C₂-I₇,C₂-I₈ 的权重系数向量(0.678,0.179,0.142);根据 C₃ 的判断矩阵计算其指标层各项 C₃-I₉,C₃-I₁₀,C₃-I₁₁ 的权重系数向量(0.143,0.286,0.571),并通过一致性检验,计算过程略。

以准则层对目标层的权重系数及指标层对准则层的方案系数为基础,计算指标层对目标层的权重系数,以确定具体风险要素对电梯系统安全的影响程度。具体系数见表 6。

表 6 总权重系数表

	C ₁	C ₂	C ₃	A
A	0.69	0.16	0.15	1
C ₁ -I ₁	0.18			0.12
C ₁ -I ₂	0.42			0.29
C ₁ -I ₃	0.10			0.07
C ₁ -I ₄	0.14			0.10
C ₁ -I ₅	0.16			0.11
C ₂ -I ₆		0.68		0.11
C ₂ -I ₇		0.18		0.03
C ₂ -I ₈		0.14		0.02
C ₃ -I ₉			0.14	0.02
C ₃ -I ₁₀			0.29	0.04
C ₃ -I ₁₁			0.57	0.09

3 电梯系统安全等级的设定及风险评估

对电梯系统采取 5 级制打分,不同分值代表不同含义(表 7)。根据实际情况对于上述 11 项指标层项目一一打分,将所得的分数与各项对应的权重值相乘,再将各项积相加得到最后的总分。由上述计算可知,最后的总分将在 0~5 的范围内。将评估等级定为 3 级,即:1. 安全性极差,需要停止使用(0~2 分);2. 安全性较差,需要整改后运行(2~4 分);3. 安全性好(4~5 分)。

表 7 5 级制评分表

分数	含义
1	表示极不安全,存在重大的问题
2	表示不安全,存在问题
3	表示存在问题,但不大影响安全行
4	表示指标本身不存在问题,但运行中可能引起故障
5	表示没有问题,不影响安全运行

例:现有一待评估电梯,经过 3 位专家对其 11 项实际指标项进行打分后,加权求和计算结果如表 8。

表 8 某电梯系统风险评估值

	分值 1	分值 2	分值 3	平均分	最后得分
C ₁ -I ₁	2	3	3	2.67	0.33
C ₁ -I ₂	3	4	3	3.33	0.96
C ₁ -I ₃	2	4	3	3	0.21
C ₁ -I ₄	2	2	3	2.33	0.23
C ₁ -I ₅	3	3	4	3.33	0.38
C ₂ -I ₆	2	2	2	2	0.22
C ₂ -I ₇	3	4	4	3.67	0.11
C ₂ -I ₈	4	3	4	3.67	0.08
C ₃ -I ₉	3	3	4	3.33	0.07
C ₃ -I ₁₀	4	2	3	3	0.13
C ₃ -I ₁₁	3	4	3	3.33	0.28
	合计				3

由表 8 可知该待评估电梯最终得分是 3 分,属于 2 级安全等级,即安全性较差,需要整改后运行。

4 结论

为更好地量化分析电梯系统安全性,对电梯系统进行风险评估,本文采用层次分析法(AHP)对电梯系统进行危险要素权重分析;为避免常规层次分析法中主观赋权对于评判结果准确度的影响,客观、精确地分配风险预警指标权重,本文引入事故树分析(ATA)技术系统分析电梯运行中可能导致危险发生的事件,作为层次分析法指标权重的赋值依据。在此基础上,建立电梯系统风险评估模型,设定安全评定等级,通过加权求和的方法对电梯系统进行量化评估。本文所提出的基于 AHP-ATA 的电梯系统风险评估方法,应用事故树分析技术确定指标层各项的重要程度,以此确定各指标权重,规避了专家打分确定指标权重的主观性和片面性,为客观评估电梯系统风险提供了较为系统的方法。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘白林,范俊燕,姜超. 机器学习在电梯安全管理评价中的应用研究[J]. 西安工业大学学报,2010,30(6):579-583.
- [3] 宗群,陈东航,牙淑红. 基于故障树分析法的电梯远程监控系统故障诊断[J]. 制造业自动化,2003,25(11):45-48.
- [4] 唐电波. 基于层次分析法和加权平均法的电梯绿色度分析[J]. 机电工程技术,2010,39(8):76-78.
- [5] 贺意. 基于层次分析法的电梯安全状态风险评估[J]. 中国电梯,2011(5):8-10.
- [6] 杨俊明,刘艳斌,林尧. 群组 AHP 模糊综合评价法在电梯控制柜综合评价中的应用[J]. 起重运输机械,2010(6):52-55.
- [7] 唐海燕,丁宝,齐维贵. 层次分析法在电梯选型配置参数权重选择中的应用[J]. 起重运输机械,2010(5).
- [8] 陆添超,康凯. 熵值法和层次分析法在权重确定中的应用[J]. 软件开发与设计,2009(9):19-20.
- [9] 姜启源. 数学模型[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [10] 雷文,于源,王丽英. 特征 AHP 在高校教师教学质量评定中的应用[J]. 北京化工大学学报:社会科学版,2007,52(1):65-67.

(编辑 彭建国)