

文章编号: 1005-8451 (2009) 09-0001-04

# 铁路重要干线突发事件风险评估体系研究

王 普, 林井萍

(华东交通大学 经济管理学院, 南昌 330013)

**摘 要:** 随着铁路建设和列车运行速度的大幅提高, 铁路运输系统的技术构成更加复杂, 运营管理难度相对增大, 因此有必要对铁路重要干线开展风险评估, 做到防患未然。深入分析可能导致铁路各类突发事件的风险源, 通过历史资料分析及专家调查法, 建立铁路突发事件风险评估指标体系, 并以层次分析法确定各指标的权重。最后以京津城际铁路为例进行初步的风险评估。

**关键词:** 铁路重要干线; 风险评估; 层次分析法; 研究

**中图分类号:** F530.6      **文献标识码:** A

## Research on Risk Evaluation Index System for railway main lines

WANG Pu, LIN Jing-ping

(School of Economics and Management Department, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** With the development of railway construction and improvement of railway operation speed, the technical structure of Railway Transport System was more complex, the operate and the management were more difficult, so, it was necessary to evaluate the risk for railway main lines. It was analysed the main emergency risk source that might lead to various types of railway emergency, built the Risk Evaluation Index System for railway main lines by analyzing history material and expert investigating, and used Analytic Hierarchy Process to determine the specific weight of each index. At the end of this paper, the Beijing-Tianjin Inter-city Railway construction was evaluated by Evaluation Index System.

**Key words:** railway main trunk lines; risk evaluation; analytic hierarchy process (AHP); research

我国铁路具有点多线长、跨越不同地质条件区域的特点, 路网规模不断扩大, 行车组织日益复杂, 铁路安全运营面临的风险相对增大, 铁路应急管理工作面临着新的考验<sup>[1]</sup>。

铁路系统内部易发生突发事件且影响较大的地点, 主要集中在铁路客运专线、重要干线及沿线、铁路大中型客运站等。由于重要干线上行车较多, 一旦发生突发事件, 不仅对铁路系统造成极大的危害, 同时也对群众的生命财产安全构成严重威胁。因此, 对铁路重要干线可能发生的突发事件进行风险评估, 具有重大理论及现实意义。

风险评估是指通过识别、分析风险发生的概率和可能产生的后果, 确定风险级别并决定哪些风险需要控制, 以及如何控制的过程。

风险评估的过程如图 1。

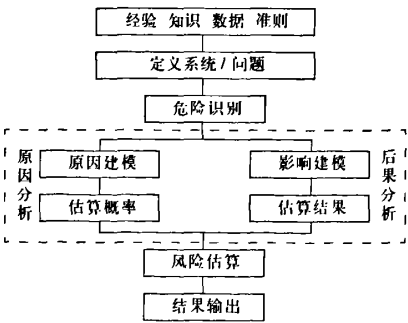


图1 概率风险评估的一般过程

## 1 风险评估流程及方法

### 1.1 风险的定义

风险是指在一定的时间内, 由于系统行为的不确定性 (主要指发生了意料之外的事故) 给人类带来危害的可能性, 从某种程度上讲是不可避免的。

### 1.2 风险评估

### 1.3 风险评估方法

#### 1.3.1 风险定性评估

风险评估分为定性评估与定量评估两种。常用的风险定性评估方法有问卷调查法和专家调查法等。问卷调查法是研究者通过事先设计好的问题来获取有关信息和资料的一种方法; 专家调查

收稿日期: 2009-02-12

作者简介: 王 普, 在读硕士研究生; 林井萍, 副教授。

法就是根据调查的情况,凭借专家的知识 and 经验,直接或经过简单的推算,对研究对象进行综合分析研究,寻求其特性和发展规律,并进行预测的一种方法。定性评估方法使用起来简便易用,但是由于被调查者及专家在回答问卷时,难免带有自己的观点,同时,对问卷的结果也很难进行精确的计算,因此定性评估方法往往具有主观性及数值相对模糊的缺点。

### 1.3.2 风险定量评估

常用的风险定量评估方法有蒙特卡罗法和影响图法等。蒙特卡罗法的基本原理是随机地从每个不确定因素中抽取样本,通过统计和处理这些结果数据,找出项目变化的规律。影响图法是由决策树法发展而来,用图中节点和弧的特性及信息内涵,表征偏好、概率估计、备选方案和信息状态,更有效地规范化决策问题。定量评估方法可将计算结果用形象的数值表示出来,充分提高结果的精确度,但由于定量评估需要计算的数据较多,在计算的过程中所需的时间及费用较大。

### 1.3.3 层次分析法

本文采用层次分析法,将定性评估与定量评估相结合。层次分析法,是确定风险评估指标权重的一种有效方法,也是风险评估工作中将定性问题定量化的基础。层次分析法的基本思想是把一个复杂系统对象表示为一个有序的层次结构模型,然后模仿人的判断思维过程,对问题的特征和相对重要性做出比较和判断,并且采用数学方法对判断过程进行建模,从而达到模拟人的思维特征的目的。

## 1.4 风险评估流程

铁路重要干线的风险评估,以概率统计和模糊系统等研究不确定现象的理论为基础,以风险分析和风险管理为主要研究内容,对在铁路运输过程中发生风险事故的可能性和严重性进行度量,从而达到降低风险、间接创造效益为研究目标的综合性研究。铁路重要干线风险分析与评估过程主要包括:风险分析、风险评价和风险控制,如图2。

铁路干线是一个在时间和空间上分布很广的开

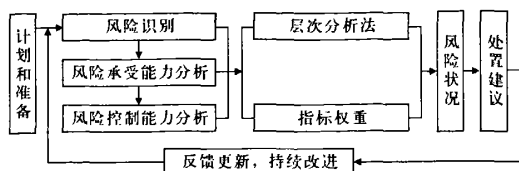


图2 风险分析与评估流程图

放的、动态的系统,安全影响因素错综复杂,涉及面很广。同时,铁路突发事件的种类繁多,如果分别进行风险分析很难面面俱到,而且复杂度增大,不具备可操作性。因此本文从系统理论的观点出发,将与运输安全有关的因素分为4类:设备、人、环境以及管理。根据突发事件的发生过程、特性和机理,铁路突发事件大致可以分为自然灾害类、事故灾难类、公共卫生事件和群体性事件4大类。

## 2 风险评估指标体系的建立

结合当前国内外对风险评估体系的研究现状及理论成果,按照科学性、专业性、系统性及综合性、实用性及目的性的原则,总结铁路6大干线过去多年发生的各类事故的历史资料及数据,通过现场实际调研及专家问卷调查的方法,分析了影响铁路6大干线的风险指标因素,提出了风险源安全性、综合风险承受能力及综合风险控制能力3个基本指标要素。围绕这些因素逐层展开细化,建立了包括1个一级指标、3个二级指标、19个三级指标的铁路6大干线突发事件风险评估指标体系,体系结构如图3。

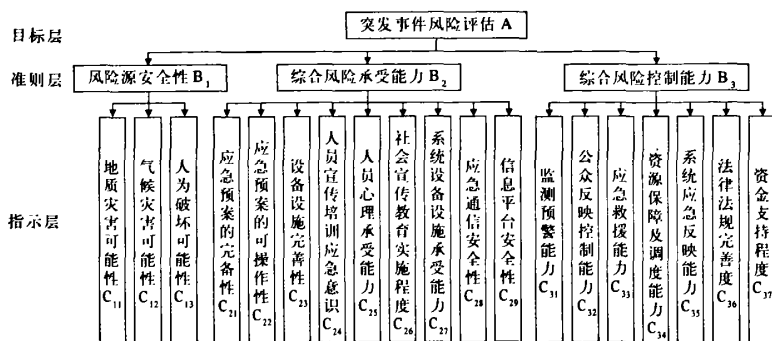


图3 铁路6大干线突发事件风险评估指标体系

在深入研究了国内外风险评估现状及方法的基础上,采用层次分析法(AHP)对风险评估的各

项指标进行定量分析。本文以建立起来的层次结构评估模型为基础,采用专家调查法,由各个专家根据其多年的工作和实践经验对评估体系的各个指标重要程度进行了两两对比,形成判断矩阵,通过对矩阵的求解及一致性判断,确定各指标的权重值,从而确定各项指标的重要程度。

本文在总结分析相关的调查数据后,得到评估指标的权重值,如表1。

表1 风险评估指标体系指标权重表

| 判断矩阵       | 指标权重 $W_i$   |
|------------|--|
| A-B        | (0.2970, 0.1634, 0.5396)   |
| $B_1-C$    | (0.7009, 0.0562, 0.2430)   |
| $B_2-C$    | (0.3081, 0.0743, 0.2235, 0.0352, 0.0179, 0.0247, 0.1570, 0.1084, 0.0509)   |
| $B_3-C$    | (0.1469, 0.0232, 0.4074, 0.0972, 0.2175, 0.0643, 0.0435)   |
| 组合权重 $P_i$ | (0.2108, 0.0167, 0.0722, 0.0503, 0.0121, 0.0365, 0.0058, 0.0029, 0.0040, 0.0257, 0.0177, 0.0083, 0.0793, 0.0125, 0.2198, 0.0524, 0.1174, 0.0347, 0.0235) |

通过组合权重的结果可以看出,地质灾害可能性  $C_{11}$  (0.2108) 和应急救援能力  $C_{33}$  (0.2198) 所占的权重较大,在评估干线风险的过程中占主要地位。

3 风险评估的实例分析

本文以京津城际铁路为例,应用上述风险评估方法进行了实例分析。京津城际铁路是连接北京与天津的全国第1条城际间高速铁路,全长120 km,列车运行最高速度为350 km/h,沿途设北京南、亦庄、永乐、武清和天津5座车站。

在京津城际铁路的验收交付使用阶段,相关专家就分别通过查阅资料、现场检查及听取报告的方式,对铁路的应急预案及组织体系、预警监测、应急设施设备、应急物资储备、应急演练、应急管理制度以及应急培训宣传等内容作出评价,获得模糊关系构造矩阵  $R$  :

$$R = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.19 & 0.23 & 0.33 & 0.14 & 0.35 & 0.16 & 0.14 & 0.10 & 0.34 & 0.34 & 0.30 & 0.30 & 0.18 & 0.33 & 0.24 & 0.34 & 0.18 & 0.30 \\ 0.32 & 0.32 & 0.33 & 0.35 & 0.30 & 0.35 & 0.33 & 0.30 & 0.38 & 0.35 & 0.34 & 0.31 & 0.30 & 0.23 & 0.33 & 0.32 & 0.35 & 0.28 & 0.33 \\ 0.32 & 0.35 & 0.32 & 0.32 & 0.39 & 0.30 & 0.35 & 0.31 & 0.32 & 0.31 & 0.32 & 0.39 & 0.37 & 0.41 & 0.34 & 0.39 & 0.29 & 0.34 & 0.33 \\ 0.13 & 0.13 & 0.12 & 0 & 0.16 & 0 & 0.16 & 0.25 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.03 & 0.18 & 0 & 0.05 & 0.02 & 0.20 & 0.04 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

通过表1得出的风险评估指标体系各指标的组合同权重为:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}) = (0.2108, 0.0167, 0.0722, 0.0503, 0.0121, 0.0365, 0.0058, 0.0029, 0.0040, 0.0257, 0.0177, 0.0083, 0.0793, 0.0125, 0.2198, 0.0524, 0.1174, 0.0347, 0.0235)$$

将获取的模糊关系矩阵  $R$  与各项评估指标组合同权重  $A$  按公式(1)进行模糊求和,得结果:

$$B = (0.2826, 0.3271, 0.3317, 0.0612, 0).$$

$$B = A \cdot R = [a_1, a_2, \dots, a_n] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, \dots, b_n] \quad (1)$$

京津城际铁路风险评估的结果可以考虑使用加权平均值的方法求隶属等级,加权平均值求法如公式(2):

$$M = \frac{\sum_{j=1}^m j b_j^t}{\sum_{j=1}^m b_j^t} \quad (2)$$

其中,  $k$  为待定系数,在此设  $k=2$ ,则京津城际铁路风险评估结果为:

$$M = \frac{1 \times 0.2826^2 + 2 \times 0.3271^2 + 3 \times 0.3317^2 + 4 \times 0.0612^2 + 5 \times 0^2}{0.2826^2 + 0.3271^2 + 0.3317^2 + 0.0612^2 + 0^2} = 2.1252 \quad (3)$$

从这个结果可见,京津城际铁路风险评估的总体评价为较好。为了详细比较各指标的评价,分别求各指标的加权平均值,并用柱状图的方式表示出来,如图4:

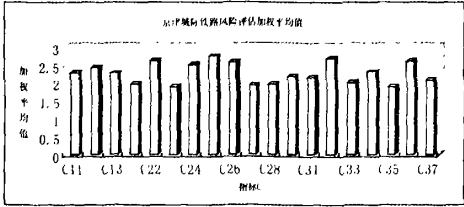


图4 京津城际铁路风险评估各指标加权平均值柱状图

从图4可以看出,京津城际铁路的风险评估各项指标均在1~2.5之间。整体评价结果为较好,即

文章编号: 1005-8451 (2009) 09-0004-04

## 故障树分析的二元决策图方法

陶勇剑, 董德存, 任 鹏

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

**摘 要:** 为了克服故障树方法分析复杂系统存在的不足, 引入二元决策图理论, 把故障树转化成二元决策图; 然后自上而下遍历二元决策图, 得到最小割集和顶事件发生的概率。二元决策图转化过程中, 基本事件的排序直接影响二元决策图的结构大小。在不改变故障树逻辑关系的前提下, 先对故障树进行简化, 除去一些冗余的部分; 然后从故障树结构重要度的角度, 对简化后故障树的基本事件进行排序。实例证明所采用的基本事件排序方法是有效的, 能够简化故障树定性和定量分析过程。

**关键词:** 二元决策图; 故障树; 基本事件排序; 结构重要度

**中图分类号:** TP301

**文献标识码:** A

### Fault tree analysis based on Binary Decision Diagrams

TAO Yong-jian, DONG De-cun, REN Peng

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** In order to overcome the deficiency of fault tree analysis (FTA), the Binary Decision Diagram (BDD) method was introduced to convert a fault tree to a BDD and obtain the minimal cut sets and the exact top event probability by traversing the resulting BDD from up to bottom. An ordering of the fault tree basic events had a crucial effect on the size of the resulting BDD. The basic events ordering method proposed in this paper first implemented a simplification technique for the fault tree to remove redundant terms without changing the underlying logic, and then the basic event of the simplified fault tree could be ordered from a structure importance point of view. An example illustrated that the basic events ordering method presented in this paper was efficient, and the resulting BDD could simplify both qualitative and quantitative analysis of the fault tree.

**Key words:** Binary Decision Diagram; fault tree; basic events ordering; structure importance

传统的故障树分析技术都是以最小割集为基

础, 先求出系统的最小割集, 再按容斥定理求出顶事件概率。然而, 故障树最小割集求解存在“组合爆炸”问题, 在系统规模较大、基本事件关联复杂的情况下几乎无法求解最小割集的不交和。因此,

收稿日期: 2009-02-23

基金项目: 863 重点项目资助 (2007AA11Z247)

作者简介: 陶勇剑, 在读博士研究生; 董德存, 教授。

在现有设备设施的条件下发生风险事件的可能性偏小。但风险事件的不可避免性也决定了不能完全控制突发事件的发生, 从图4可知, 京津城际铁路在路内及路外社会相关人员的培训方面水平略差, 相关法律法规的完善程度略低。因此结合本次风险评估的结果, 重点加强路内及路外社会相关人员的应急意识培训、加强铁路内外人员及机构的协调合作、加强应急平台的相关建设及加强应急法律法规体系的建设等方面的工作。

### 4 结束语

本文针对我国铁路重要干线的现有形势和铁路行业面临的风险问题进行了初步分析, 对铁路

重要干线的风险评估体系进行了探索研究, 并结合大量的国内外相关资料, 确定了评价指标体系各项评价指标, 并采用层次分析法将其定量化, 减小了评价过程中的人为因素。同时, 本文以京津城际铁路为例, 通过模糊综合评判的方法对京津城际铁路的现状进行评估。实践证明, 通过开展铁路重要干线风险评估, 可以充分掌握应急体系的建设情况, 进一步了解其中的不足, 使应急管理工作真正转移到以预防为主的轨道上来。

参考文献:

- [1] Emergency management information system in Chinese railway [C]. The 3rd Annual Meeting of Risk Analysis Council of Association for Disaster Prevention, 2008, 11.