

# 基于事故树法的危险货物运输安全监管体系

王云鹏<sup>1</sup>, 杨斯淇<sup>1</sup>, 李世武<sup>1</sup>, 李新春<sup>2</sup>, 魏海林<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 交通学院,长春 130022;2. 吉林省交通规费征收管理局,长春 130061)

**摘要:**为改善危险货物运输安全,减少危险货物运输事故,对2008年我国发生的道路危险货物运输事故进行了统计分析。结果表明,管理问题是导致事故发生的根本原因,进而明确加强安全监管体系建设的重要性。进一步从监管体系的结构出发,应用事故树法建立了危险货物运输安全监管体系树。通过对最小割集及结构重要度的计算,得出各监管要素对监管体系建设的影响程度,进而找出主要影响因素,即监控平台的技术应用、法律法规的制定及运输人员的素质。本文为建设以科技为支撑的危险货物运输安全监管体系提供了建议。

**关键词:**交通运输系统工程;安全监管体系;事故树;危险货物运输

**中图分类号:**U491.31    **文献标志码:**A    **文章编号:**1671-5497(2010)04-0976-05

## Safety supervision system of hazardous material transportation based on fault tree analysis

WANG Yun-peng<sup>1</sup>, YANG Si-qi<sup>1</sup>, LI Shi-wu<sup>1</sup>, LI Xin-chun<sup>2</sup>, KUI Hai-lin<sup>1</sup>

(1. College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Transportation and Fee Collecting Administration Bureau of Jilin Province, Changchun 130061, China)

**Abstract:** The domestic hazardous goods transportation accidents in 2008, China, were analyzed statistically to improve the safety and decrease the accidents of road hazardous goods transportation. The results showed that the management defect is the basic cause leading to accident, so it is urgent to strengthen the safety supervision system. A safety supervision system tree was established for the hazardous goods transportation from the analysis of structure of supervision system. The impact degrees of supervision factors on the construction of supervision system were derived from the calculation of the minimum cut sets and the structure importance level, so the major affecting factors were found, that is the technical application of supervision platform, the formulation of laws and regulations as well as the personnel quality. Obtained results provide suggestions for establishing a science-technology supported safety supervision system for the hazardous goods transportation.

**Key words:** engineering of communications and transportation system; safety supervision system; fault tree; hazardous goods transportation

---

收稿日期:2009-10-17.

基金项目:国家自然科学基金项目(50878094);吉林省科技发展计划项目(20090603);吉发改高技[2009]633号.

作者简介:王云鹏(1966-),男,教授,博士生导师.研究方向:交通环境与安全技术.

E-mail:wangyunpeng@jlu.edu.cn

通信作者:魏海林(1969-),男,副教授.研究方向:交通环境与安全技术. E-mail:khl69@163.com

目前,国内加强了对危险货物运输安全管理的研究,针对道路危险货物运输管理中存在的具体问题,给出了相应的对策建议<sup>[1-4]</sup>。国外对道路危险货物运输的研究比较早,强调应用先进的技术和管理方式<sup>[5-6]</sup>,极大地减少了运输事故的发生。但是现有的研究多为定性的探讨,大都局限在调研的基础上分析危险货物运输管理中存在的突出问题,没有从整体出发,将危险货物运输安全监管体系作为一个完整的系统进行研究,并有效地应用科学方法明确监管体系建设的重点,缺乏系统的、定量的研究。

作者从监管体系的结构出发,应用事故树法对危险货物运输安全监管体系中的各监管要素进行深入分析,进而找出监管体系建设的主要影响因素并为政府部门提供相应的对策建议。

表1 2008年危险货物运输事故原因统计

Table 1 Cause of hazardous materials transportation accidents statistics in 2008

事故原因	非法运输	超速驾驶	疲劳驾驶	超载驾驶	驾驶员操作失误	罐体质量差(破裂、阀门损坏)	车辆老化、技术状况差	突发故障(爆胎、制动失灵)	环境(天气、路况)	追尾、撞车等事故(其他车辆责任)
事故数	3	21	31	4	17	31	7	21	14	37
管理问题				114						

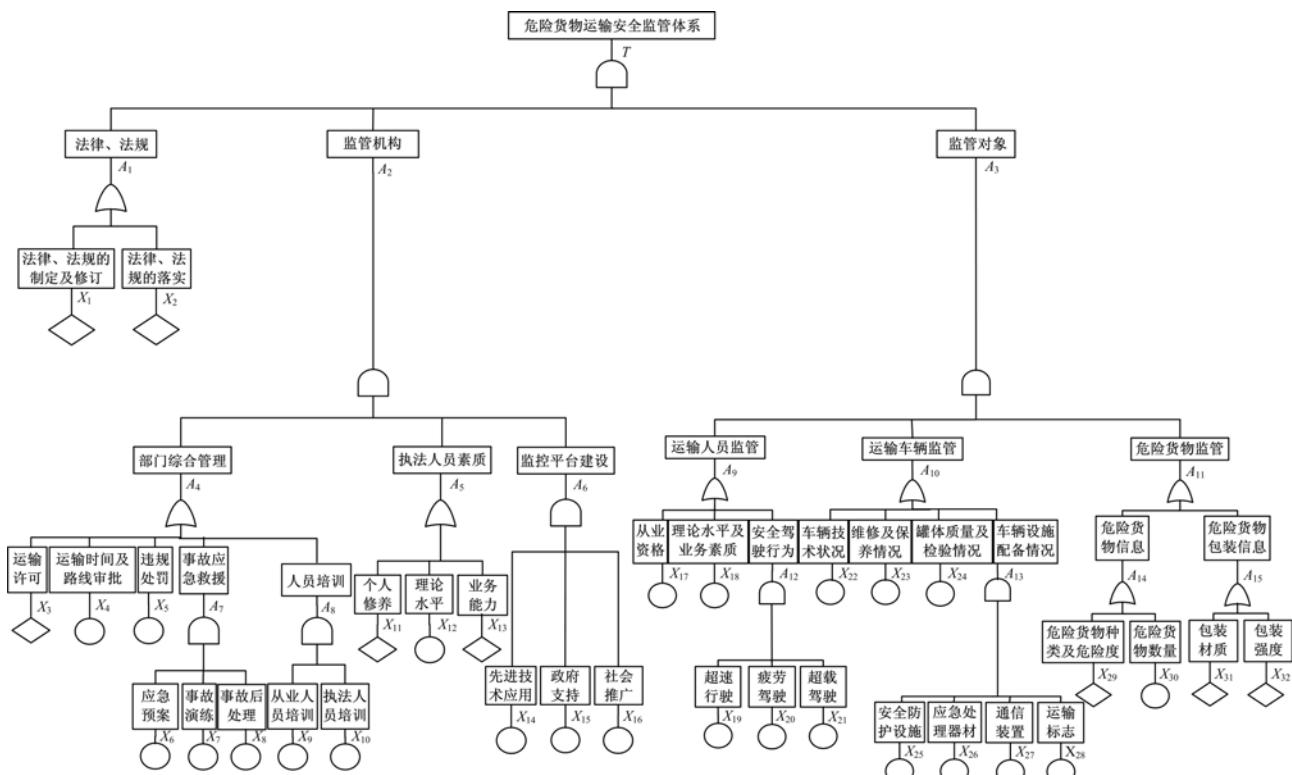


图1 危险货物运输安全监管体系树

Fig. 1 Safety supervision system tree of hazardous materials transportation

## 1 危险货物运输事故产生原因分析

表1所示为2008年我国发生的186起道路危险货物运输事故发生原因统计<sup>[7]</sup>。

结果表明,道路危险货物运输事故中,由于管理上的问题导致事故发生的比例最大,占总数的61%。因此,我国应进一步加强对危险货物的道路运输管理,完善道路危险货物运输安全监管体系,从而有效地减少危险货物运输事故的发生。

## 2 危险货物运输安全监管体系树

图1所示的危险货物运输安全监管体系树<sup>[8]</sup>,是从监管体系的结构出发,考虑危险货物运输安全监管体系的3个主要因素:法律法规、监管机构、监管对象,同时按照这几个因素之间的相互

关系及与监管体系的逻辑联系,进一步细化分析,寻找每一中间事件发生的所有影响因素而建立的。

### 3 安全监管体系系统分析

#### 3.1 求解最小割集

系统分析是从危险货物运输安全监管体系树的结构出发,分析各基本事件(监管要素)对顶事件(危险货物运输安全监管体系)的影响程度。应用安全系统工程理论,列出逻辑关系式,求出最小割集,找出影响危险货物运输安全监管的可能路径<sup>[9]</sup>。用布尔代数化简法求得事故树的最小割集为

$$\begin{aligned} T = & A_1 A_2 A_3 = \\ & (X_1 + X_2)(A_4 A_5 A_6)(A_9 A_{10} A_{11}) = \\ & (X_1 + X_2)(X_3 + X_4 + X_5 + X_6 X_7 X_8 + X_9 X_{10}) \\ & (X_{11} + X_{12} + X_{13}) X_{14} X_{15} X_{16} (X_{17} + X_{18} + \\ & X_{19} X_{20} X_{21})(X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} X_{26} X_{27} X_{28}) \\ & (X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32}) \end{aligned}$$

因此,该事故树的最小割集  $G_r$  为: $\{X_1 X_3 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\}; \{X_2 X_3 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\}; \{X_1 X_4 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\}; \{X_2 X_4 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\}; \{X_1 X_5 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\}; \{X_2 X_5 X_{11} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{22} X_{29}\} \dots \{X_2 X_9 X_{10} X_{13} X_{14} X_{15} X_{16} X_{19} X_{20} X_{21} X_{25} X_{26} X_{27} X_{28} X_{32}\}$ ,共计 1440 组。

在事故树分析方法中,最小割集用来表征系统的危险程度,每个最小割集都是顶事件发生的一种可能途径,当这些最小割集中的任何一个发生时,顶事件就必然发生<sup>[10]</sup>,最小割集的数目越多,危险性越大。每个最小割集代表了一种事故模式,根据最小割集集合发现事故树系统中的最薄弱环节,判断出最危险的情况。

在危险品运输安全监管体系树中,计算得出危险品运输安全监管体系的最小割集数为 1440 个,也就是说影响危险货物运输安全监管的可能路径有一千多条,其中任何一条路径发生时,危险货物运输安全监管工作就会出现问题,可见危险货物运输风险很高,安全监管任务艰巨。因此,找出监管工作的主要突破口,加强对监管体系的建设已迫在眉睫。

#### 3.2 求解结构重要度

结构重要度反映基本事件在事故树中的重要性,即影响程度。结构重要度的计算公式为<sup>[11]</sup>

$$I_\varphi(i) = \sum_{x_i \in G_r} \frac{1}{2^{n_i-1}}$$

式中:  $I_\varphi(i)$  为基本事件  $x_i$  的结构重要度;  $x_i \in G_r$  表示基本事件  $x_i$  属于最小割集  $G_r$ ;  $n_i$  为基本事件  $x_i$  所在的最小割集中包含的基本事件个数。

根据公式计算各基本事件的结构重要度,然后按照数值大小排序,如表 2 所示。

表 2 基本事件的结构重要度

Table 2 Structure importance of basic event

排序	基本事件的结构重要度
1	$X_{14} X_{15} X_{16}$ $I(14)=I(15)=I(16)=2.471\ 923\ 828\ 125$
2	$X_1 X_2$ $I(1)=I(2)=1.235\ 961\ 914\ 062\ 5$
3	$X_{17} X_{18}$ $I(17)=I(18)=1.098\ 632\ 812\ 5$
4	$X_{11} X_{12} X_{13}$ $I(11)=I(12)=I(13)=0.823\ 974\ 609$
5	$X_{22} X_{23} X_{24}$ $I(22)=I(23)=I(24)=0.791\ 015\ 625$
6	$X_3 X_4 X_5$ $I(3)=I(4)=I(5)=0.659\ 179\ 687\ 5$
7	$X_{29} X_{30} X_{31} X_{32}$ $I(29)=I(30)=I(31)=I(32)=0.617\ 980\ 957\ 031$
8	$X_9 X_{10}$ $I(9)=I(10)=0.329\ 589\ 843\ 75$
9	$X_{19} X_{20} X_{21}$ $I(19)=I(20)=I(21)=0.274\ 658\ 203\ 125$
10	$X_6 X_7 X_8$ $I(6)=I(7)=I(8)=0.164\ 794\ 921\ 875$
11	$X_{25} X_{26} X_{27} X_{28}$ $I(25)=I(26)=I(27)=I(28)=0.098\ 876\ 953\ 125$

由结构重要度的计算结果得出在危险货物运输安全监管体系中,各基本事件对顶事件的影响程度为:监控平台先进技术应用=政府支持=社会推广>法律、法规的制定及修订=法律、法规的落实>运输人员从业资格=理论水平及业务素质>执法人员个人修养=理论水平=业务能力>运输车辆技术状况=维修及保养情况=罐体质量检验情况>运输许可=运输时间及路线审批=违规处罚>危险货物种类及危险程度=危险货物数量=危险货物包装材质=危险货物包装强度>从业人员培训=执法人员培训>超速行驶=疲劳驾驶=超载驾驶>应急预案=事故演练=事故后处理>安全防护设施=应急处理器材=通信装置=运输标志。

## 4 危险货物运输安全监管对策

(1) 结构重要度越大,对顶事件的影响越大。

由表2结构重要度的顺序可以看出,  $X_{16}$ 、 $X_{17}$ 、 $X_{18}$  在系统中占首要地位,说明不论其他事件发生与否,只要基本事件  $X_{16}$ 、 $X_{17}$ 、 $X_{18}$  发生,就会对危险货物运输安全监管体系的建设产生直接影响。因此,政府部门要加强对危险货物运输安

全监控平台的建设,充分利用RFID、GIS、GPS、GPRS、视频监控、语音监听、无线通信、数据库等现代先进技术构建以科技为支撑的危险货物运输安全监管体系,并在各相关部门及企业推广使用,实现各相关部门及各企业之间的联网,进而提供切实有效的跨部门、跨区域的监控模式,实现对危险货物运输全过程的实时动态监控预警,从而加强信息沟通,有效提高运输安全性。图2示出了

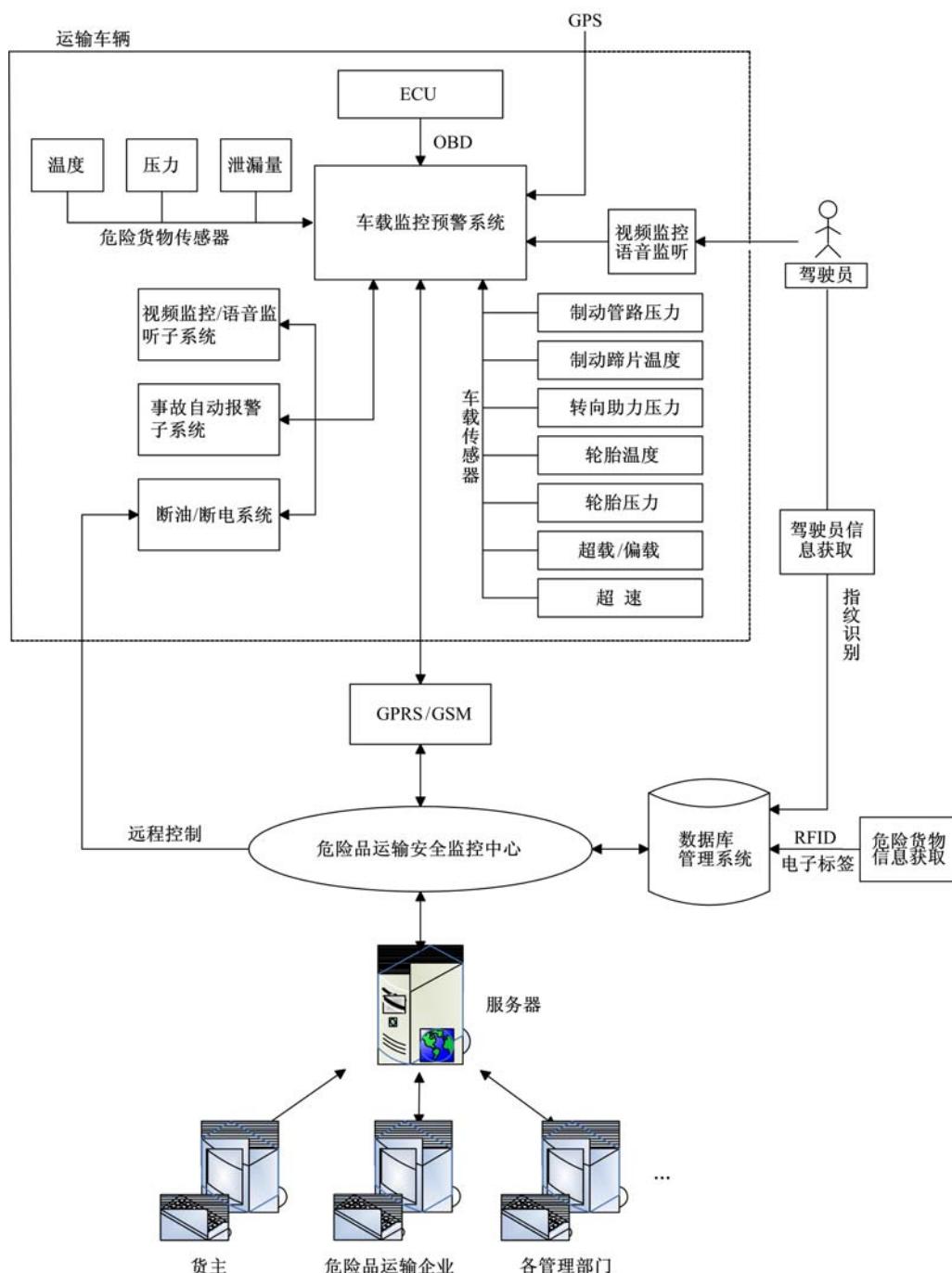


图2 危险货物运输安全监管平台框架设计

Fig. 2 Framework design of hazardous materials transportation safety monitoring platform

危险货物运输安全监管框架设计平台。

(2) 排在第二位的是法律、法规的修订及落实。说明加强对危险货物运输法律、法规的建设，完善法律制度以及严格依法管理，对我国危险货物运输安全监管体系的良好运行将起着非常重要的作用。各相关部门应该尽快出台条款细化、处罚明确、操作性强的法律法规，并加强执法效果，明确道路危险货物运输各环节的管理要求及管理部门职责，从而确保危险货物运输的各个环节均有法可依，实现对运输全过程的质量控制。

(3) 排在第三位的是运输从业人员理论水平及业务素质、从业资格。目前，危险货物运输从业人员普遍存在着危险货物知识缺乏、相关法律法规了解甚少以及业务素质较低的现状，超载、超速、疲劳驾驶等情况屡见不鲜，导致危险货物运输事故频发。为了提高危险货物运输从业人员的理论水平及应急处理能力，建议设置危险货物运输安全培训中心，定期有计划、有组织地对从业人员进行危险货物运输安全知识的教育培训，从而促进运输从业人员专业素质的整体提高。

## 5 结束语

针对道路危险货物运输事故频发的现状，对2008年我国发生的186起道路危险货物运输事故进行统计分析，结果表明，管理问题是导致事故发生的根本原因，进而明确加强危险货物运输安全监管体系建设的重要性。然后从监管体系的结构出发，按照各监管要素的相互关系及与监管体系的逻辑联系，应用事故树法建立了危险货物运输安全监管体系树。通过对最小割集及结构重要度的计算，得出各监管要素对危险货物运输安全监管体系建设的影响程度排序，进而找出主要影响因素并为政府部门提供相应的对策建议。本文研究为危险货物运输安全监管体系的构建及监管体系中主要影响因素的确定提供一种新思路，同时为政府部门制定相应的政策提供理论依据。

## 参考文献：

- [1] 沈小燕, 刘浩学, 李永芳. 道路危险货物运输事故原因分析与对策研究[J]. 风险管理, 2006, 3(1): 57-61.  
Shen Xiao-yan, Liu Hao-xue, Li Yong-fang. Cause analysis and countermeasures for accidents in road transportation of dangerous goods [J]. Risk Management, 2006, 3(1): 57-61.
- [2] 雷平, 胡健, 杜耀辉, 等. 道路危险货物运输过程中的几个问题[J]. 现代交通科技, 2007, 5(1): 77-80.  
Lei Ping, Hu Jian, Du Yao-hui, et al. Several problems in road hazardous materials transportation [J]. Modern Transportation Technology, 2007, 5(1): 77-80.
- [3] 王伟民. 道路危险货物运输管理中存在的问题及对策[C]//2008 危险品运输国际论坛论文集, 2008: 63-65.  
Wang Wei-min. Problems in road hazardous materials transportation management and countermeasures [C]//2008 International Forum on Hazardous Materials Transportation, 2008: 63-65.
- [4] 王立, 吴芳. 道路危险货物运输安全现状分析及对策[J]. 交通科技与经济, 2009(3): 13-15.  
Wang Li, Wu Fang. Hazardous goods transportation safety actualities analysis and countermeasures [J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2009(3): 13-15.
- [5] Miroslav S. Monitoring and control of dangerous goods transport [J]. Neural Network World, 2004, 14(3/4): 303-312.
- [6] Fabiano B, Currò F, Reverberi A P, et al. Dangerous good transportation by road: From risk analysis to emergency planning [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005(18): 403-413.
- [7] 化学危险品运输事故数据. <http://www.wxp168.com>[Z]. Dangerous Chemicals Transportation Network, <http://www.wxp168.com>.
- [8] 贺敏英, 刘敏韬, 王子介. 国内安全生产监管体系的数学模式分析[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(7): 68-71.  
He Min-ying, Liu Min-tao, Wang Zi-jie. Mathematical model analysis on domestic work safety supervision system [J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(7): 68-71.
- [9] 姚建, 田冬梅, 蒋仲安, 等. 交通撞车事故影响因素分析[J]. 城市交通, 2009, 7(2): 86-92.  
Yao Jian, Tian Dong-mei, Jiang Zhong-an, et al. Analysis of impact factors of vehicular crashes [J]. Urban Transport of China, 2009, 7(2): 86-92.
- [10] 杜珺, 陈媛嫔. 用事故树方法分析危险品航空运输事故原因[J]. 中国民航大学学报, 2008, 26(4): 62-64.  
Du Jun, Chen Yuan-pin. Fault tree analysis on reasons for accidents in air transport of dangerous goods [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2008, 26(4): 62-64.
- [11] 左东红, 贡凯青. 安全系统工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.