

# 基于 Fuzzy AHP 的危险货物运输风险 评估与预警

尚鸿雁<sup>1,2</sup>, 董千里<sup>1</sup>, 王旭坪<sup>3</sup>, 刘小东<sup>4</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 中国科学院 科技政策与  
管理科学研究所, 北京 100190; 3. 大连理工大学 系统工程研究所,  
辽宁 大连 116023; 4. 香港经贸管理学院 商学院, 中国 香港)

**摘要:**为降低危险货物运输风险和事故概率,选取人的不安全行为、危险货物及其装载设备的不安全状态、环境的脆弱性和不安全状态3个方面的因素作为研究对象,分析它们之间风险构成关系及其相互作用,并把作为主要事故原因的人在管理环节上造成的疏漏列为主要评价因素,基于Fuzzy AHP法,构建了“人—物—环”危险货物运输风险预警评价指标体系和模糊综合评价模型以及空间三维框架模型,对不同程度的风险状态进行分级预警。实例研究表明,综合评价模型是针对“人—物—环”风险预警评价指标因素的非定量性进行模糊综合评判的有效工具。

**关键词:**Fuzzy AHP; 危险货物运输; 风险评估; 预警

**中图分类号:**U169.49

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-6248(2009)01-0021-07

近年来,随着危险货物运输量的急剧增加,由危险货物运输造成的突发事件频繁发生<sup>[1]</sup>。于占波在《物流技术与应用》杂志的《危险品运输车辆及应用》一文中提到,中国每年仅通过公路运输的危险货物就达 $2 \times 10^{11}$ 千克、3 000多个品种,占各种运输事故的比例也最高,2006年达40.7%。欧洲一项研究表明:在近70年发生的3 222起危险货物事故中,41%是在运输过程中发生的<sup>[2]</sup>。鉴于危险货物运输事故后果的严重性,危险货物运输的风险评价已引起了广泛关注。20世纪90年代,Bubbico等研究并提出了危险货物运输的个人风险和社会风险模型<sup>[3,4]</sup>,其中Bonvicini采用模糊数学法评估了不确定性风险影响因素;2002年,Fabiano将危险货物运

输过程中的风险影响因素划分为道路固有特征、天气条件和交通状况3类,提出了面向事故现场的风险评价与决策体系,并给出了事故概率与总死亡人数的风险评价模型<sup>[5]</sup>。中国学者在这方面的研究虽然起步较晚,但在指标体系建立和风险评价方面已经取得了一定的成果。刘浩学等应用多层次模糊综合评价法优化危险货物运输路线,在保障危险货物运输安全、减少运输事故的前提下,确定了生态环境、人口密集区、交通状况为影响道路危险货物运输路线选择的3个主要因素,建立了模糊综合评价模型<sup>[6]</sup>;陈志军在分析危险货物道路运输系统风险影响因素的基础上,建立了风险评价指标体系,并采用专家咨询法确定了各指标的权重,提出了使用模糊

收稿日期:2008-06-30

基金项目:国家自然科学基金(70671014);教育部科学技术研究重点项目(03052)

作者简介:尚鸿雁(1968-),女,陕西榆林人,高级工程师,长安大学工学博士研究生,中国科学院访问学者。

综合评判法对危险货物道路运输系统进行风险评价<sup>[7]</sup>;陈开朝利用近似算法,综合 TR 和 CR 两个模型形成了危险品运输风险综合评价模型<sup>[8]</sup>。

危险货物运输风险评价的基础是建立全面而系统的评价指标体系并确立与之相适应的评价方法和模型。危险货物运输安全性研究的结论显示,在各种事故因素中,人的因素始终是主体,占各种因素比例的一半以上<sup>[9-10]</sup>,因此,人应该成为被评价对象的主体。但是,由于人为因素属于主观因素,相对于路径等客观因素来说,主观因素之间包涵着不同的属性,以往的方法使其难以在一个指标体系下,应用统一的评价方法,获得相一致的评价结果。随着 GPS 等新技术的不断应用,人对危险货物运输的监管作用更加突出,为了更客观、准确地反映运输风险的实际状况,评价指标体系应该增添新的对象和内容,不仅考虑客观存在的风险因素,更应重视可能诱发事故的人为因素和人对事故的控制能力等主观因素的评价。

## 一、危险货物运输的指标体系

基于系统工程的思想,风险因素主要来自于人的因素、危险货物及设备因素、环境因素(简称人、物、环)3个因素。本文从这3个方面多层次、比较全面地分析了产生危险货物运输风险的机理及其各种因素,尝试建立相对完整的危险货物运输评价指标体系;寻求与之相适应的风险评价方法和模型,运用层次分析法和模糊综合评价法获得各个评价指标的属性值,结合三维向量模型计算综合评价值;在突发事件预警分级的基础上,刻画危险货物运输的风险程度,按风险程度进行分级预警,以期起到预先警示和提前纠正的作用。

### (一) 风险因素

孙猛等曾对 117 起典型危险化学品公路运输事故原因进行分析,共得出各种原因 263 条,结果汇总如下:管理方面原因有 77 条,此类事故起数占事故总数的比例为 29.28%;人的失误方面原因有 69 条,此类事故起数占总数的比例为 26.24%;车辆、包装和设备设施的缺陷方面原因有 66 条,此类事故起数占总数的比例为 25.10%;路况与环境方面的原因有 51 条,此类事故起数占总数的比例为 19.39%<sup>[9]</sup>。其中,和人相关的失误造成的事故合计有 146 条,占全部事故的 55.51%。可见,人的因素是指标体系中的重要内容。基于系统工程的角度,

危险货物的运输是一个处于一定环境中人一机结合的系统,因而其风险来源于运输过程中人的不安全行为(人)、危险货物及其装载设备的不安全状态(物)和运输环境(环)的不安全状态 3 个方面的因素。

#### 1. 人的因素

根据危险货物运输相关人员的操作规程以及危险货物运输应急管理机制<sup>[8,11]</sup>的运行过程所包含的预防监控、应急救援和恢复防范 3 个管理阶段,人一物一环因素中,所谓“人”的评价因素主要涉及危险货物运输相关人员素质和管理人员的管控能力。

危险货物运输相关人员主要指装卸人员、押运人员、驾驶员、维修人员以及各个环节和层次的管理人员等。装卸人员的失误主要有:装卸、配载不当以及其他违反操作规程、易于诱发事故的行为;押运人员的失误主要是由于缺乏必要的危险货物专业知识和安全知识、监督不严格、遇到危险情况不能正确处理等;驾驶员的失误主要表现为:疲劳驾驶,违章超车、停车等;维修人员的失误主要是车辆维修保养不善、检查不仔细、致使有缺陷的车辆上路、在易燃易爆环境或状态下修理车辆等。危险货物运输相关人员的影响因素归结起来主要有以下几个方面:年龄、健康状况、情绪、心理负荷、专业培训程度。

管理人员的失误主要表现为缺乏相应的管理知识和能力,在预防监管、应急救援和恢复防范等重要环节的管理懈怠或贻误。预防监控管理主要是建立预警系统,实时监控危险货物运输全过程;分析和检测各类危险货物运输的警源和警兆信号,针对各种可能发生的情况和应急救援的设施、设备、条件和环境,制定相应的应急预案;进行应急预案演练,培养和训练危险货物运输人员的应急能力;应急救援管理,即在危险货物运输突发事件发生的第一时间及时快速响应,有效实施应急指挥决策和各部门的组织协调管理,整合属地救援力量,保障信息、物资等支持,包括后勤保障、资金保障、技术支持、装备支持、通信支持以及法律援助等,协调各方面全面实施应急预案;恢复防范管理,即在突发事件得到控制之后及时清理危险货物的残留物,以免再次诱发事故或造成对环境的危害,并在尽可能短的时间内使所受到的干扰恢复常态。对危险货物运输突发事件以及救援过程进行事后评估、奖惩和纠错,进一步修正和完善应急管理体系。

#### 2. 危险货物及设备因素

危险货物及设备,即所谓的“物”,是指危险货

物运输过程中涉及的可管理、控制对象,主要包括设施、设备,危险货物的性质、数量,车辆和设备以及监控管理系统。危险货物的性质和数量直接影响到事故的后果及救援的难易程度。其性质包括毒性,腐蚀性,爆炸品的爆炸性(包括敏感度、安定性等),压缩气体或液化气体的压力、易燃性和助燃性,易燃液体的闪点,易燃固体的燃点和可能散发的有毒气体和烟雾,氧化剂和过氧化剂的氧化性,放射性物质的辐射强度等。危险货物的运输量要符合运输承载的法律规范,杜绝超载行为。车辆和设备主要包括:一类是车上的危险货物容器或包装、固定等因素;另一类是车辆本身的因素,即车型和性能要符合相应的危险货物的运输要求,要保证车辆的制动、转向系统,行驶系统(轮胎、拖挂连接处等),发动机等处于良好的工作状态;除此之外,还有车上常备应急处置设施、设备的有效性因素等。监控管理系统主要包括车辆 GPS 卫星定位系统的装载以及危险货物运输管理信息平台的设立和有效运行等。

3. 环境因素

环境的脆弱性和不安全状态是人—物—环风险因素中影响系统安全的又一个重要因素,也是滋生人的不安全行为和物的不安全状态的“土壤”。在交通运输系统中,环境的脆弱性表现为一些特殊的、价值高的环境容易遭到破坏,且不易恢复,它主要包括道路沿途及周边人员财产密度、生态和人文环境、社会重要性;影响道路交通安全的因素有通行阻力、路面状况、道路线形复杂性、交叉路口的监管设施、线路事故率。不利的路况和交通设施使危险货物及其包装容易出现破损、泄漏,甚至诱发事故;恶劣的气候或不适宜的温度、湿度等也容易诱发事故。

(二) 风险预警评价指标体系

危险货物运输风险预警评价指标体系的建立是风险评估和分级预警的基础。在广泛调查研究和反复考察、对比、筛选的基础上,结合有关文献资料<sup>[7,9,12-16]</sup>以及大量危险货物道路运输事故的统计资料,笔者构建了包含人—物—环 3 个方面 10 个一级指标和 43 个二级指标的危险货物运输风险评价预警指标体系(表 1)。

危险货物储运风险预警是在搜集分析与危险货物运输风险相关的各类评价指标信息的基础上,及时评估风险程度及其发展趋势。其目的在于尽早发现潜在风险,及时采取有效措施,最大限度地减少潜在风险向现实风险转化的可能性,最大程度地减少

损失。

风险状态是预警分级的依据。笔者以集合的概念用 3 个椭圆分别描述人、物、环风险因素的构成状态(图 1),可以预先估计风险状态。图 1 中,只存在单方面因素的集合为可能发生事故的行为状态,每两个因素的交集部分为高风险状态,而 3 个因素的交集部分,即人在环境和货物存在不安全状态的情况下,一旦有不安全行为,极有可能造成不良后果,为极高风险状态。

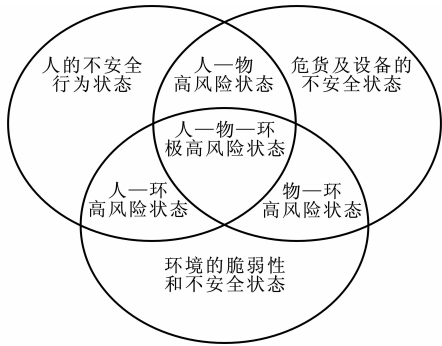


图 1 人—物—环风险因素构成

二、风险评估和分级预警

由于评价因素来自人、物、环 3 个方面,笔者将建立相应的危险货物运输风险的模糊综合模糊评判模型,进而用三维空间向量模型分析运输系统的风险状态,并以此作为分级预警标准。

(一) 基于 Fuzzy AHP 的单指标体系模糊综合评判

评价集  $V$  是反映可能得出风险评价结果所组成的集合,可用  $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$  表示,其中  $v_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) 表示单方面因素各种可能的评价结果。确定评价指标隶属度的方法很多,如模糊统计法、专家打分法、例证法等。类似于风险评价这样的定性指标,通常采用专家打分法可获得很好的评价结果。首先,为了反映各单方面因素的模糊综合评价,需对评价对象赋予一定的权重,如人的因素(一层指标)权重为  $P$ ,则二层指标的权重为  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ),三级指标的权重为  $P_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, m$ ),用  $R_i$  表示关于人的单方面因素中的  $i$  个评价值,设  $u_{ij}$  为第  $i$  方面中第  $j$  个因素,评价对象属于评价集  $R_i$  第  $k$  个元素的隶属度为  $r_{ijk}$  ( $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, p$ ),则一级模糊综合评价的单因素评判矩阵为:

表 1 危险货物运输风险预警评价指标体系及其企业的评价数据

第一层评价因素		第二层评价因素		第三层评价因素		评价等级				
指标	得分	指标	权重	指标	权重	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
人或管理上的懈怠或贻误因素	74.732 8	危险货物运输相关人员素质	0.28	年龄和工龄	0.30	0	15	55	30	0
				身体健康状况	0.20	40	50	10	0	0
				情绪、心理负荷	0.20	0	0	10	40	50
				专业培训程度	0.30	10	55	35	0	0
		预防监控管理	0.28	车辆及安全状况管理	0.30	0	0	10	30	60
				预案编制管理	0.15	0	10	75	15	0
				预案演练管理	0.23	0	20	65	15	0
				人员培训、教育管理	0.32	0	30	65	5	0
		应急救援管理	0.24	应急指挥决策管理	0.20	0	20	60	20	0
				部门的组织协调管理	0.20	0	20	55	25	0
				有效应急响应管理	0.20	0	30	50	20	0
				属地救援力量的整合管理	0.20	0	20	65	15	0
				信息、物资和法律的保障支持	0.20	0	25	65	10	0
		恢复防范管理	0.20	环保清理管理	0.22	0	30	55	15	0
				重建恢复管理	0.20	20	55	25	0	0
				综合评价管理	0.24	15	25	35	25	0
				奖惩制度管理	0.18	0	25	65	10	0
				纠错、改进管理	0.16	5	25	60	10	0
危险货物及设备因素	80.286	危险货物的性质和数量	0.40	易燃、易爆性	0.20	30	50	20	0	0
				腐蚀性、灼伤性	0.18	0	0	30	50	20
				窒息	0.16	0	0	30	45	25
				毒害性、感染性	0.18	0	10	70	20	0
				放射性	0.16	0	0	0	30	70
				残留性或慢性、后期毒害性	0.12	0	0	0	45	55
		危险货物运输的车辆和设备	0.40	危险货物容器或危险货物包装	0.38	60	30	10	0	0
				数量	0.38	0	0	0	5	95
				车辆本身的因素	0.24	50	45	5	0	0
		监控管理系统	0.20	GPS 跟踪定位系统	0.38	0	0	0	5	95
				运输全程监控系统	0.62	0	0	0	20	80
环境的脆弱性和不安全状态	67.691 25	沿途生态环境	0.40	生态环境	0.26	0	30	55	15	0
				人文环境	0.24	20	55	25	0	0
				人居环境	0.28	5	25	60	10	0
				沿途人员及财产密度	0.22	10	60	30	0	0
		道路交通条件	0.35	通行阻力	0.19	0	0	0	90	10
				路面状况	0.20	80	20	0	0	0
				道路线形复杂性	0.20	0	0	10	50	40
				交叉路口的监管设施	0.18	0	30	55	15	0
				线路事故率	0.23	0	0	20	35	45
		气候环境	0.25	温度	0.30	0	20	50	30	0
				湿度	0.20	60	30	10	0	0
				风向、风力	0.25	35	60	5	0	0
				静电、雷电	0.25	90	10	0	0	0

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1p} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{im1} & r_{im2} & \cdots & r_{imp} \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过专家打分法获得各个指标的权重后,则第  $i$  方面因素的综合评价集  $B_i$  为

$$B_i = P_i \circ R_i = (P_{i1}, P_{i2}, \cdots, P_{im}) \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \cdots, b_{ip}) \quad (2)$$

式中:  $b_{ij}$  为综合评价集  $B_i$  中各项评价结果,  $i = 1, 2, \cdots, m, j = 1, 2, \cdots, p$ 。

一级模糊综合评判只是对某一类中的各个因素综合考虑,为了判断各类因素的综合影响,还必须在各类之间综合评判,这便是二级综合评判。显然,二级综合评判的单因素评判应基于一级模糊综合评判,则二级模糊综合评判集  $B$  为

$$B = P \circ B_i = (P_1, P_2, \cdots, P_m) \circ B_i = (b_1, b_2, \cdots, b_p) \quad (3)$$

式中:  $b_j$  为综合评价集  $B$  的各项评价结果,  $j = 1, 2, \cdots, p$ 。

计算综合得分  $W_i (i = 1, 2, 3)$  为

$$W_i = B \circ V^T \quad (4)$$

利用综合评价模型(3),分别计算出人、物、环 3 个方面各个指标体系的综合评价值。

### (二) 空间三维向量综合评价模型

因为 3 个方面的因素是独立存在,我们用  $w_i$  表示二级模糊综合得分,利用空间三维向量模型进一步确定 3 套指标综合评价值  $L$ 。如图 2 所示,  $X$  轴代表人的因素,  $x$  表示人为因素的评价值,即  $x = aw_1$ ;  $Y$  轴代表物的因素,  $y$  表示其评价值的大小,即  $y = bw_2$ ;  $Z$  轴代表环境因素的影响,  $z$  表示其评价值的大小,即  $z = cw_3$ ,其中  $a, b, c$  分别为 3 个方面因素的权重值。

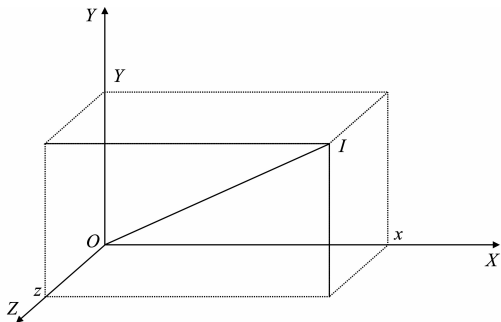


图 2 空间三维向量综合评价模型

$$L = \sqrt{(aw_1)^2 + (bw_2)^2 + (cw_3)^2} \quad (5)$$

为了更加清晰、有效地表明 3 个方面相互影响

的关系,  $L$  的评价值需满足下面的约束条件:

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1 \quad (6)$$

### (三) 多指标评价体系的评价集及其分级预警

假设  $V = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  表示评价值,其中  $V \in (0, 0.65]$  表示安全;  $V \in (0.65, 0.75]$  表示一般;  $V \in (0.75, 0.85]$  表示较重;  $V \in (0.85, 0.95]$  表示严重;  $V \in (0.95, 1]$  表示非常严重。根据  $V$  的大小,可以确定运输危险品现实风险等级,利用评价体系对模糊评价标准给出评价。  $V$  越小,表示危险品的现实风险越小,可以采取有效的安全预防和控制措施,以充分降低其运输过程风险;  $V$  越大,表示危险品的现实风险越大,在实际的运输过程中应加强预警,采取快速有效的控制措施,以降低其运输过程风险。同时需要注意的是,由于不同危险品的危险特性差别较大,路况与环境方面影响因素的复杂性以及人的因素等,应进一步科学化各因素的风险分级和相对权重系数的确定。若某一事件  $I$  在评价体系中 3 套指标体系中的影响如图 2 所示,向量  $OI$  的模即为对于事件  $I$  的评价值,记做  $V_i$ 。

危险货物运输风险预警是在搜集分析与危险货物运输风险相关的各类评价指标信息的基础上,及时评估风险程度及其发展趋势,按紧急情况及时给予不同级别的警示,其目的在于尽早发现潜在风险,及时采取有效措施,最大限度地减少潜在风险向现实风险转化的可能性,最终解除和控制风险。

在中国《国家突发公共事件总体应急预案》中,依据突发公共事件可能造成的危害程度、紧急程度和发展态势,把预警度分为 4 级,并分别用 4 种不同的颜色表示:特别严重的是红色,表示 I 级,应在 4 小时内报告国务院;严重的是橙色,表示 II 级;较重的是黄色表示 III 级;一般的是蓝色,表示 IV 级。为了方便后边的预警评价,我们将危险货物储运风险预警度分为 5 级,即在国家突发公共事件预警分级的基础上,将安全、非预警状态用绿色表示为 V 级。

## 三、实例分析

这是一个承运资质为货运一级的企业,曾在运输危险货物二硫化碳时,由于严重超载(车辆核定吨位为 8 t,实际载货 14 t)和车辆轮胎存在重大安全隐患,致使车辆行至高速公路某路段时,后轮胎爆裂而导致泄漏和燃爆事故。火情持续 8 小时左右,

高速公路中断了近 14 个小时,因救援及时恰当,未造成人员伤亡。表 2 是我们对该企业事故前后进行评判后获得的结果。

在确定每个指标因素对应不同等级的隶属度时,本文采用专家调查法,即制作专家打分调查表,专家对每一具体评价对象的各项指标的对应等级打分,将全部专家调查表汇总,得到各指标因素对应的频数,再经过归一处理后得到各指标因素对应等级的隶属度,从而构建单因素评判矩阵。最后计算得到人、物、环境 3 个方面因素综合评价价值分别为 0.747 328、0.802 86 和 0.676 912 5,若 3 个方面均以 0.70 作为阈值分析,则 3 个方面因素综合评定为上述的(1,1,0)状态,属高风险状态,如在运输前进行评估,会给予Ⅱ级橙色预警提示。

危险货物运输的“人—物—环”风险预警评价指标体系综合了众多文献的研究成果,在考虑危险货物自身及其设备、相关环境的基础之上,把作为主要事故原因的人在管理环节上造成的疏漏列为主要评价因素,比较全面地体现了危险货物运输过程中涉及的多方面的指标因素,更客观、实际和全面地反映了企业危险货物运输的实际状况。实际应用研究表明,基于 Fuzzy AHP 构建的单指标体系综合评价模型,是针对“人—物—环”风险预警评价指标因素的非定量性,进行模糊综合评判的有效工具。对比分析利用该模型计算获得的评价值,可以确定重点监控对象和需改进方面。同时,“人—物—环”单指标体系的综合评价值,也是最终多指标体系评价的基本要素。空间三维预警分级模型进一步分析和判断了 3 个方面指标的综合评价结果,依照不同的风险度,把危险货物运输划分为 4 种风险状态,对应 4 个预警级,并以此进行分级预警,实现早期预警管理,最大限度地减少事故发生的可能性,降低事故概率。

## 四、结 语

危险货物运输的风险预警评估是一个涉及众多定性指标的多属性模糊综合评价,其评价的关键和基础是构造完整的指标体系和与之相适应的、有效的评价方法,并基于评价结果进行分级预警。危险货物运输风险预警评价指标体系和模型,无论对于企业还是政府监管部门,都有较强的可操作性。利用这一评价方法,一方面有助于尽早发现和减除潜在危险,另一方面能够客观实际地评价中国危险货

物企业的运输安全状况,具有普遍的应用意义。

## 参考文献:

- [1] WANG Xu-ping, SHANG Hong-yan, LIU Xiao-dong, BAI Yong-jiang. Research into assessment for emergency capability of hazardous materials transportation based on fuzzy mathematics[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), 2008, 4(10): 2689-2696.
- [2] Fabiano B, Currò F, Palazzi E, Pastorino R. A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous [J]. Journal of Hazardous Materials, 2002(93): 1-15.
- [3] Bonvicini S, Leonelli P, Spadoni G. Risk analysis of hazardous materials transportation: Evaluating uncertainty by means of fuzzy logic [J]. HazMat, 1998, 62(1): 59-74.
- [4] Leonelli P, Bonvicini S, Spadoni G. New detailed numerical procedures for calculating risk measures in hazardous materials transportation[J]. Loss Pre Process Ind, 1999, 12(6): 507-515.
- [5] Fabiano B, Curre F, Palazzi E. A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation[J]. HazMat, 2002, 93(1): 1-15.
- [6] 刘浩学, 周 珣, 杨俊儒. 危险货物运输路线模糊综合评判模型[J]. 交通运输工学, 2006, 6(2): 80-82.
- [7] 陈志军, 陈志国, 田 宏. 危险货物道路运输系统的风险评价[J]. 工业安全与环保, 2007, 33(6): 51-53.
- [8] 陈开朝. 危险品运输风险综合评价模型[J]. 物流技术, 2007, 26(6): 68-70, 76.
- [9] 孙 猛, 吴宗之, 张宏元. 危险化学品公路运输事故原因分析与对策[J]. 中国安全科学学报, 2003, 13(8): 22-24.
- [10] 杨莉娜, 浑宝炬, 张 超. 基于人-机-环境系统工程在危险货物运输中的应用[J]. 河北理工学院学报, 2007, 29(1): 133-136.
- [11] 尚鸿雁. 基于 AHP-F 的危货运输应急能力评价模型及应用[J]. 上海海事大学学报, 2008, 29(4): 21-24.
- [12] 刘锦军, 徐晓虎, 许开立. 危险货物道路运输探析[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1(12): 74-77.
- [13] 任常兴, 吴宗之. 危险品道路安全运输路径优化方法探讨[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(6): 129-134.
- [14] 吴宗之, 孙 猛. 200 起危险化学品公路运输事故的统计分析及对策研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2006, 2(2): 3-8.
- [15] 曾 意. 国内危险品物流现状调查[J]. 中外物流, 2007, 6(7): 33-35.

## Risk evaluation and early warning for hazardous material transportation based on Fuzzy AHP

SHANG Hong-yan<sup>1,2</sup>, DONG Qian-li<sup>1</sup>, WANG Xu-ping<sup>3</sup>, LIU Xiao-dong<sup>4</sup>

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning, China; 4. School of Commerce, Hongkong Economy & Trading Management Academy, Hongkong, China)

**Abstract:** Risk evaluation and early warning for hazardous material transportation are important means in decreasing risk and accident probability. In this paper, three factors such as the unsafe behaviors of people, the unsafe statuses of hazardous materials and their loading equipment, the frangibility and the unsafe conditions of environment are discussed. The index system and fuzzy comprehensive assessment model of the risk assessment and early warning are established based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation method. In order to fulfill early warning according to different risk ranks, each risk state has been analyzed through a 3-dimension frame model. The sample study shows that various factors, which is related to hazardous materials transportation, have been contained and described in this index system, and security state of the transporting enterprise has been evaluated objectively and truly by this assessment model.

**Key words:** Fuzzy AHP; hazardous material transportation; risk assessment; early warning

(上接第 20 页)

## Supply mechanism for rural public products after agricultural tax exemption

SUI Dang-chen, TAO Jun

(School of International Business, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi, China)

**Abstract:** China's rural public product supplies are insufficient, which has been standing for a long time. From the beginning of rural public products exemption, the contradiction between demand and supply of them became worse. As a big agricultural province, Shaanxi is taken an example in this article. Shaanxi is a province with strong agriculture. This paper, with the help of empirical analysis, studies the historical data of Shaanxi and finds that the agricultural tax exemption is very important to the supply mechanism of rural public product supply. The authors in the paper suggest that the present mechanism should be perfected, the functions of government organizations should be properly designed, there should be better supervision for public resources and the channels for raising money should be widened.

**Key words:** agricultural tax; public product; government function; supply structure