

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2017.10.016

危化品道路运输事故影响因素分析和安全对策

王旭磊

(青岛农业大学 经济与管理学院, 山东 青岛 266019)

摘要: 识别危险化学品道路运输事故影响因素并分析不同影响因素对事故的影响程度有利于发现目前危险化学品事故的主要致因。根据事故致因理论, 结合危险化学品道路运输事故分析, 提出了12个危险化学品道路运输事故影响因素。利用贝叶斯真理血清理论, 结合专家知识, 构建了危险化学品道路运输事故影响因素因果贝叶斯网络结构模型。根据危险化学品道路运输事故数据库构建了学习样本数据, 采用期望最大化算法获得了不同影响因素的后验概率。结果表明: 直接影响因素对事故影响程度由高到低分别是人的失误、运输车辆和设备设施、危险化学品包装与装卸; 事故间接影响因素对事故影响程度由高到低分别是道路状况、运输企业管理、主管部门管理、天气状况。并据此提出了改进危险化学品道路安全运输的措施。

关键词: 交通工程; 因素分析; 贝叶斯网络; 危险化学品; 期望最大化算法

中图分类号: U492.3⁺36.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2017) 10-0115-07

Analysis on Influencing Factors of Hazardous Chemical Materials Road Transport Accidents and Safety Measures

WANG Xu-lei

(School of Economics and Management, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266019, China)

Abstract: Identifying the influencing factors of hazardous chemical materials (hazmats) road transport accidents and further analyzing the influence degree of different influencing factors on accidents are helpful to discover the main causes of current hazardous chemical materials road transport accidents. According to the theory of accident cause and the analysis of road transportation accidents of hazmats, 12 influencing factors of hazardous chemical materials road transport accidents are proposed. Using Bayesian truth serum theory and expert knowledge, the causal Bayesian network model of hazmats road transport accident influencing factors is built. Based on hazmats road transport accidents database, the learning sample data are constructed. The posterior probability of different influencing factors is obtained by using EM learning algorithm. The result shows that (1) the order of the influence degree of direct factors on hazmats road transport accidents is human errors, the transport vehicle and facilities, and packing and loading/unloading of the hazmats; (2) the order of influence degree of indirect factors is road condition, transport enterprise management, government department management, and weather. And then, the measures to improve the safe transport of hazmats are proposed accordingly.

Key words: traffic engineering; factor analysis, Bayesian network, hazardous chemical material; Expectation Maximization (EM) algorithm

收稿日期: 2016-12-26

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目 (16YJC630127); 青岛农业大学高层次人才科研基金项目 (1112337)

作者简介: 王旭磊 (1979-), 男, 山东莱西人, 博士. (stonewangxu@126.com)

0 引言

运输过程是危险化学品事故发生数量最多的环节,因此针对危险化学品道路运输过程进行分析,识别并量化危险化学品道路运输事故影响因素对危险化学品道路运输安全管理具有重要意义。由于危险化学品道路运输事故的影响因素繁多,对其中不同的因素对事故的影响程度进行量化分析,对影响程度大的因素优先加强管理将会极大提高危险化学品道路运输安全管理水平。已知的对危险化学品道路运输事故影响因素的分析主要依据统计方法,通过对事故数据的收集、分析和综合来发现不同影响因素在事故中所占的比例,进而发现其对事故的影响程度。H. Ohtani 等^[1]收集和归纳了日本的危险化学品事故数据,分析了日本危险化学品道路运输事故发生的主要原因。王旭磊等^[2]对危险化学品道路运输过程的安全要素进行了较系统的研究,从管理原因、人员失误、设备设施的缺陷、路况与环境影响等几个方面剖析了事故原因。J. Yang、卜全民、辛春林、佟淑娇等^[3-6]对收集到的我国危险化学品道路运输事故数据进行了统计分析,发现了危险化学品道路运输事故的不同特征。吴金中、赵永臣等^[7-8]从不同角度分析了危险货物道路运输风险的主要影响因素,在此基础上建立了危险货物道路运输风险评价指标体系并进行评价分析,发现了目前企业安全运输存在的薄弱环节。这种方法可以发现事故和影响因素之间的关系,但忽视了不同影响因素之间的相互作用,更为重要的是根据事故致因理论,事故往往是多个因素共同导致的结果,孤立地分析某个因素对事故的影响程度是不全面的,也难以解释事故的真正原因^[9]。因果贝叶斯网络(Causal Bayesian Networks)是一种应用有向无环图表示变量间概率依赖关系的图模型^[10],它作为不确定性问题模拟和推理的一种有效工具,可表示一组随机变量的联合概率分布,能准确地描述随机变量间的概率关系,识别变量之间潜在的联系及关联强度。如果应用该网络来分析危险化学品道路运输事故,在学习样本中将事故发生的概率设置为1(样本数据来自于现实中发生的危险化学品道路运输事故),那么利用样本数据对危险化学品道路运输事故影响因素贝叶斯网络进行学习后,不同影响因素的后验概率就可以反映其对事故的影响程度。这在贝叶斯推理中被称作原因关联推理(Intercausal Inference)^[11]。因此,本研究提出利用因果贝叶斯网络分析危险化学品道路运输事故不

同影响因素间的联系,获得不同影响因素对运输事故发生的影响程度。危险化学品运输企业可以据此对不同影响因素采取必要措施,加强对事故影响程度大的因素管理,从而减少运输事故的发生。

1 基于专家知识的危险化学品道路运输事故贝叶斯网络模型的建立

应用因果贝叶斯网络的前提在于针对问题建立正确的模型,对于基于专家知识的危险化学品道路运输事故贝叶斯网络模型的建立,需要定义事故影响因素变量及其构成(此处的变量即贝叶斯网络中的节点,以下两者表示同一概念),判断节点间的依赖或独立关系,构建反映贝叶斯网络结构的 DAG 图^[10],进一步根据贝叶斯网络结构学习结果采用合适的参数学习算法,获得不同事故影响因素的后验概率。

1.1 模型节点的选择

根据事故致因理论,事故的直接原因是人的不安全行为和物的不安全状态,间接原因往往是环境因素的变动。在危险化学品道路运输中,人、危险化学品、运输车辆是与事故直接相关的,是导致事故发生的直接原因。环境因素中的路况与天气间接通过影响人、运输车辆、危险化学品等方面导致事故发生的可能性增大。同时人、物都受管理因素影响,管理失误是产生事故的根本原因。路况、天气、企业管理因素可以认为是事故发生的间接原因。在具体因素方面,本研究根据相关研究成果结合对运输企业的实际调查^[12-15],提出危险化学品道路运输事故影响因素(如表1所示),将其作为危险化学品道路运输事故贝叶斯网络中的节点。

确定影响因素值域如下。

道路状况:{高速公路,国道,省道},分别用{0,1,2}表示;天气状况:{晴,雨雪,雾},分别用{0,1,2}表示。其余的变量取值均取{0,1},0表示正常(符合、装备),1表示有问题(不符合、无装备)。

1.2 利用专家知识确定贝叶斯网络结构

依靠领域专家确定贝叶斯网络结构比较快捷,但存在以下问题,首先专家需要确定的影响因素间的关系较多,工作量大。对于 n 个节点的贝叶斯网络,若确定任意两个节点间的因果关系,则共有 $\frac{n(n+1)}{2}$ 对节点之间的因果关系需要判定。为了节省计算量,根据危险化学品道路运输事故中影响因素的特性及其关系,给出如下假定。

表 1 危险化学品道路运输事故影响因素
Tab. 1 Influencing factors on hazmats road transport accidents

危险化学品道路运输事故影响因素			说明	值域
直接因素	人为因素（ H ）	素质（ $H1$ ）	具备的专业技能、经验	正常、有问题
		健康（ $H2$ ）	疾病、疲劳	正常、有问题
		安全意识（ $H3$ ）	安全意识	正常、有问题
	危险化学品包装及装卸（ C ）	危化品包装（ $C1$ ）	危化品的包装完整	正常、有问题
		危化品装卸（ $C2$ ）	危化品的装卸合理	正常、有问题
	运输车辆和设备设施（ T ）	运输车辆类型（ $T1$ ）	车辆类型符合危化品运输需要	符合、不符
		防护设备（ $T2$ ）	危化品运输所需防护设备	装备、无装备
维护检修（ $T3$ ）		按照规定对车辆定期维护	正常、有问题	
间接因素	路况（ R ）	道路状况	运输车辆行驶道路等级	高速、国道、省道
	天气（ W ）	天气情况	运输时天气状况	晴、雨雪、雾
	管理因素（ M ）	运输企业管理（ $M1$ ）	运输企业日常管理	正常、有问题
		主管部门管理（ $M2$ ）	政府主管部门及相关管理部门方面的管理	正常、有问题

假定 1：父直接影响因素 (H, C 和 T) 之间是相互独立的，间接影响因素 (R, W 和 M) 之间同样如此。

假定 2：同一父直接影响因素的子直接影响因素间相互独立。如属于同一父直接影响因素 H 的 H1, H2, H3 之间是相互独立的，C1 和 C2 之间，T1, T2 和 T3 之间同样如此。

假定 3：事故只有父直接影响因素导致。

假定 4：间接影响因素只能通过父直接影响因素的子影响因素影响父直接影响因素。因此，R, W, M 与 H, C, T 间均不存在直接依赖关系。

根据上述假定，可以获得影响因素间存在的部分因果关系，构建如图 1 所示的贝叶斯网络结构模型。

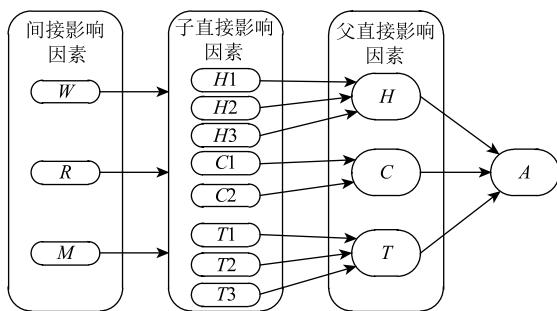


图 1 根据假定获得的危险化学品道路运输事故影响因素间关系

Fig. 1 Relationship among influencing factors on hazmats road transport accidents based on assumption

对于根据上述假定互相之间因果关系尚不明确的节点，需要利用专家知识来判断节点间存在的因果关系。对于需要判定关系的任意两个节点 V_i 和 V_j ,

给定其关系值域为 $\{V_i \rightarrow V_j, V_i \leftarrow V_j, V_i \uparrow V_j\}$ ，其中 $V_i \rightarrow V_j$ 表示节点 V_i 是 V_j 的直接原因， $V_i \leftarrow V_j$ 则相反， $V_i \uparrow V_j$ 表示节点 V_i 和 V_j 间无直接关系。依靠领域专家确定贝叶斯网络结构存在的另一个问题就是专家的知识主观性较强，且存在一定的局限性，导致模型可靠性较差。本研究提出利用贝叶斯真理血清 (Bayesian Truth Serum, BTS) 方法来解决这一问题^[16]。贝叶斯真理血清提供了一种在不知道客观事实的情况下通过抽取主观数据来打分的方法，同时具有去偏差的作用，是一种专家判断获取的较好方法。其思路是：首先按照 BTS 方法计算每位专家的 BTS 得分，然后再计算每个选项的 BTS 得分，最后把 BTS 得分最高的选项作为专家群体的判断。步骤如下：

假设问题具有 m 个选项，专家数量为 n ，给定 $x_k^r \in \{0, 1\}$ 表示专家 r 是否选择选项 k ， $y = (y_1^r, y_2^r, \dots, y_m^r)$ 表示专家对专家群体在每个答案上的平均值的预测，且满足 $y_k^r \geq 0$ ， $\sum_{k=1}^m y_k^r = 1$ 。

步骤 1：利用式 (1) ~ (2) 计算专家真实选择的平均数 $\bar{x}_k$ 和预测的几何平均数 $\ln \bar{y}_k$ 。

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n x_k^r, \quad (1)$$

$$\ln \bar{y}_k = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n \ln y_k^r, \quad (2)$$

式中 $\bar{y}_k$ 为专家对专家群体在每个选项上的预测值的几何平均数。

步骤 2：对于每位专家，利用式 (3) 计算第 r 个专家的 BTS 得分 u^r ：

$$u^r = \sum_{k=1}^m x_k^r \ln \frac{\bar{x}_k}{y_k} + \sum_{k=1}^m \bar{x}_k \ln \frac{y_k^r}{x_k} \quad (3)$$

步骤3: 对于每个选项, 利用式(4)计算第 k 个选项的BTS得分 $\bar{u}_k$ 。

$$\bar{u}_k = \frac{1}{nx} \sum_{r=1}^n x_k^r u^r \quad (4)$$

步骤4: 选择使 $\bar{u}_k$ 最大的选项 k , 把它作为专家群体的选择。

例如, 对于 $M1$ 和 $C1$ 节点, 要求专家给出两个判断。一是专家认为 $M1$ 和 $C1$ 之间是否存在因果关系, 要求从 $A(M1 \rightarrow C1)$, $B(M1 \leftarrow C1)$, $C(M1 \uparrow C1)$ 中选择; 另一个判断是请专家预测专家群体选择 A , B , C 各选项的可能分布。为了提升专家判断的准确度, 邀请危险化学品运输企业的专业管理人员和高校的危险化学品道路运输安全管理研究人员, 并在调查进行前对其进行必要的解释和说明。针对 $M1$ 和 $C1$ 节点的关系, 调查10位专家意见结果, 如表2所示。

表2 $M1$ 和 $C1$ 节点关系专家意见表

Tab. 2 Expert opinion table of relationship between node $M1$ and node $C1$

专家	选择	预测结果	BTS 分值
$P1$	A	(0.80, 0.10, 0.10)	-0.146 50
$P2$	A	(0.90, 0.01, 0.09)	-0.095 66
$P3$	B	(0.20, 0.60, 0.20)	-2.104 06
$P4$	A	(0.80, 0.05, 0.15)	-0.024 86
$P5$	A	(0.85, 0.05, 0.10)	-0.104 06
$P6$	C	(0.20, 0.05, 0.75)	-1.359 73
$P7$	C	(0.10, 0.01, 0.84)	-1.810 94
$P8$	A	(0.80, 0.10, 0.10)	-0.146 51
$P9$	C	(0.25, 0.05, 0.70)	-1.224 54
$P10$	A	(0.85, 0.05, 0.10)	-0.104 07

由式(3)可得选项 A , B , C 的BTS得分分别为-0.103, -2.89, -1.46, 由此确认 $M1$ 和 $C1$ 间的关系为 $M1 \rightarrow C1$ 。以此类推, 可以获得影响因素间的相互关系, 构建基于专家知识的危险化学品道路运输事故贝叶斯网络模型(如图2所示), 从而完成危险化学品道路运输事故贝叶斯网络结构的学习。

2 危险化学品道路运输事故贝叶斯网络的参数学习

2.1 样本数据

利用收集的国内2006年至2015年124项危险化学品道路运输事故的数据, 对图2因果贝叶斯网络进行学习, 其中事故数据的结构如表3所示。如2014年沪昆高速湖南邵阳段“7.19”特别重大道路

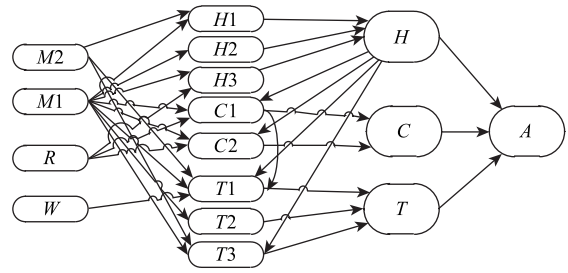


图2 基于专家知识的危险化学品道路运输事故贝叶斯网络模型

Fig. 2 Bayesian network model of hazmats road transport accidents based on expert knowledge

交通危化品爆燃事故中, 相关事故数据可以用表3中的样本1表示为: 司机素质有问题($H1$ 为1), 健康情况正常($H2$ 为0), 安全意识有问题($H3$ 为1), 危险化学品包装及装卸正常($C1$, $C2$ 均为0), 事故在高速公路发生(R 为0), 运输车辆类型不符合标准($T1$ 为1), 车辆的防护设备和维护检修存在问题($T2$, $T3$ 均为1), 天气正常(W 为0), 主管部门和运输企业管理均存在问题($M1$, $M2$ 均为1)^[17]。

表3 危险化学品道路运输事故样本数据

Tab. 3 Sample data of hazmats road transport accidents

样本	R	W	$M1$	$M2$	$H1$	$H2$	$H3$	$C1$	$C2$	$T1$	$T2$	$T3$
1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1

2.2 利用EM算法求解节点后验概率

图2中所构建的贝叶斯网络3个隐变量(隐变量指学习样本中所不包含的变量)为: 人的失误、危险化学品包装及装卸、运输车辆和防护设备。但在上述贝叶斯网络中, 以上3个隐变量的值域及其结构都已给出, 所以可以利用EM(Expectation Maximization)算法来处理上述隐结构模型学习问题^[10]。EM算法是一种不完备数据条件下的参数学习算法, 可对不完备实例中没有观测值的变量利用贝叶斯网络的推理算法进行估计, 从而形成一个完整的实例数据集, 进而求网络节点参数。利用Bayes Net Toolbox for Matlab编写上述算法Matlab程序^[18], 并利用样本数据进行学习, 结果如表4、表5所示。

表4 危险化学品道路运输事故直接影响因素后验概率

Tab. 4 Posterior probability of direct factor on hazardous materials road transportation accident

直接影响因素	H			C		T		
	$H1$	$H2$	$H3$	$C1$	$C2$	$T1$	$T2$	$T3$
后验概率	0.568	0.161	0.401	0.359	0.051	0.316	0.112	0.258
	0.678			0.437		0.512		

表 5 危险化学品道路运输事故间接影响因素后验概率

Tab. 5 Posterior probability of indirect influencing factors on hazmats road transport accidents

间接影响因素	R	W	M1	M2
后验概率	0.768	0.178	0.376	0.232

2.3 计算结果分析

从直接因素来分析,由表 4 可知,人的失误的后验概率(0.678)要明显大于运输车辆出现问题的后验概率(0.512)和危险化学品包装与装卸(0.437)出现问题的后验概率,这说明即使技术上、硬件上已能够提供必要的安全保障措施,但违章营运和人为失误造成的事故仍然是较高的。而具体在人的失误环节上,从业人员的素质出现问题的后验概率较高(0.568),其次是安全意识(0.401),这与我国危险化学品道路运输企业从业人员的现状是吻合的。从后验概率分析,运输车辆和防护设施的缺陷在导致危险化学品道路运输事故影响因素中居第 2 位,而其中又以运输车辆类型选择及维护问题出现问题较高(0.316, 0.258)。从表 4 中可以发现,危化品包装和装卸在运输事故中的后验概率也是较高的,特别是危化品的包装(0.359)。因为化学品特殊的不稳定性对包装有很高的要求,许多运输企业往往由于成本的考虑忽视危化品的包装,同时装卸中货物固定不牢,驾驶中由于颠簸导致在运输过程中发生包装破裂也是事故发生的常见原因。在导致事故发生的间接因素中,由表 5 可知,道路状况对事故发生的影响非常大(后验概率为 0.768),因为其可以通过影响人、车、危险化学品及其包装几个方面来使事故发生可能性增大。而天气状况也有一定的影响(后验概率为 0.178)。企业管理的后验概率为 0.372,这表明绝大多数的危险化学品运输企业日常管理较完善,但后验概率值仍较大,需要加强企业的相关管理。政府相关部门管理因素后验概率为 0.232,说明相对而言,目前企业层在危险化学品道路运输安全管理中存在较多问题,政府有关部门除了制订相关规章外,更要加强企业对相关规章制度的落实和执行。

3 安全对策建议

根据上述分析,从对危险化学品道路运输事故影响的程度,提出加强危险化学品道路运输安全的以下措施:

(1) 加强危险化学品道路运输选线和道路安全管理工作。危险化学品运输企业必须根据道路的状况

选择合适的路线。危险化学品经常行驶区域要完善危险化学品禁止通行标志,在事故多发地带,要设立明显的警示标志,增加防撞护栏等保护装置。同时在特殊天气情况下要加强运输管理措施,及时调整危险化学品运输计划,避免在雪地、冰冻、雾霾区域运输,严格控制车辆行驶速度,降低事故发生概率。严重雨雪冰冻天气后,视情况停止危险化学品运输车辆出行。

(2) 加强对危险化学品道路运输从业人员的安全教育和技能培训工作,提升从业人员的遵章守法意识和安全防范意识。对从业人员进行严格系统的操作技能、防护知识的培训,提高安全操作技能。确保驾驶员、装卸管理人员、押运人员熟知所运输危险化学品的危险特性、包装物和容器的使用要求、出现危险情况时的应急处置方法,并有针对性地开展不同条件下的专业训练。

(3) 加强危险化学品道路运输车辆的管理。危险化学品运输时要根据化学品的特性选择特定车辆,对车辆车况进行定期检查和维修,行车过程中对车辆行驶状况进行及时检查。同时要大力发展各种危险化学品道路运输专用车辆和专用装备。目前承运危险货物的车辆和设备不少是不符合要求的,存在车种不全、设备老化、缺乏配套设备等问题,对这种车辆要及时更换。

(4) 加强危险化学品包装和装卸作业管理。严格按照《危险货物包装标志》和《危险化学品安全管理条例》中对运输危险化学品的要求进行包装。根据危险货物的特性及定量值,按照有关标准和法规,落实包装类别。危险化学品包装容器的选取要充分考虑到所包装的危险化学品的特性,例如腐蚀性、反应活性、毒性、氧化性和包装物要求的包装条件(例如压力、温湿度、光线等)。包装时所使用的包装材质及容器要有足够的强度,避免由于在搬运、堆叠、震动、碰撞中出现破坏而造成包装物的外泄。同时要求装卸人员按规章作业,避免装卸中的混存、混装。

(5) 加强政府相关管理部门和危险化学品运输企业对危险化学品道路运输安全的落实和监管。危险化学品道路运输安全监管涉及安监、交通、公安、质检等多个部门,因此要加强相关政府监管部门之间的协调,整合监管力量,对危险化学品道路运输进行无缝隙化监管。道路运输监管部门要严格驾驶员从业资格管理,及时掌握驾驶员的违章、事故记录及诚信考核、继续教育等情况。对危险货物运输车

辆和设备实行强制性检测,避免车况差、自行改装甚至即将报废的车辆或经检测不合格的车辆、设备进入危险化学品道路运输市场。危险化学品道路运输企业更要加强自身监管,降低安全隐患,可以考虑为危险化学品运输车辆安装远程监控设备,对车辆行驶状态实时监控,及时通知并提醒驾驶员注意修正行驶过程中出现的问题。由监控中心实现对长途运输车辆进行定时更换驾驶员的设定,提醒驾驶员及时换班,避免疲劳驾驶;限定车辆的最高车速、最高载重量,避免超载、超速及疲劳驾驶情况。

4 结论

(1) 危险化学品道路运输事故是多种因素系统作用的结果,并且影响因素间存在影响和被影响的层次性关系。利用贝叶斯网络可定性描述各因素间的相互作用关系及其影响作用机理,基于事故数据的贝叶斯网络推理可以发现不同影响因素对危险化学品道路运输事故的影响程度,较以往单纯的事故数据统计分析方法得出的结果更科学。

(2) 根据计算结果分析,人为因素对危险化学品道路运输事故影响程度最大,因此目前减少危险化学品道路运输事故发生对策重点应放在人为因素方面的管理,其次是运输车辆和设备设施及危险化学品包装和装卸的管理上。同时天气与道路可通过影响运输路线和应急救援而影响事故发生率和事故损失,因此运输过程中要时刻关注天气与道路的影响。

危险化学品道路运输事故影响因素众多,在本研究中只是考虑了目前事故中影响程度较大的主要影响因素,在本研究的基础上对上述主要影响因素进行了细化分析。构建更能反映危险化学品道路运输事故真实情景的事故影响因素贝叶斯网络是下一步继续研究的方向。

参考文献:

References:

- [1] OHTANI H, KOBAYASHI M. Statistical Analysis of Dangerous Goods Accidents in Japan [J]. Safety Science, 2005, 43 (5/6): 287-297.
- [2] 王旭磊, 赵来军. 如何真正提升我国危化品安全管理: 基于危化事故大数据分析 [J]. 探索与争鸣, 2016, 2 (13): 73-77.
- WANG Xu-lei, ZHAO Lai-jun. How to Improve Safety Management of Hazardous Material in China: An Analysis

- Based on the Hazardous Materials Accident Big Data [J]. Exploration and Free Views, 2016, 2 (13): 73-77.
- [3] YANG J, LI F Y LI, ZHOU J, et al. A Survey on Hazardous Materials Accidents during Road Transport in China from 2000 to 2008 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 184 (1/2/3): 647-653.
- [4] 卜全民, 童星. 我国危险化学品道路运输的现状与对策研究 [J]. 工业安全与环保, 2012, 38 (4): 90-93.
- BU Quan-min, TONG Xing. Study on Safety in Road Transportation of Dangerous Chemicals [J]. Industrial Safety and Environmental Protection [J], 2012, 38 (4): 90-93.
- [5] 辛春林, 王金连. 危险化学品运输事故历史数据研究综述 [J]. 中国安全科学学报, 2012, 22 (7): 89-94.
- XIN Chun-lin, WANG Jin-lian. Review on Historical Analysis of Accidents in the Transportation of Hazardous Materials [J]. China Safety Science Journal, 2012, 22 (7): 89-94.
- [6] 佟淑娇, 吴宗之, 王如君, 等. 2001-2013年危险化学品企业较大以上事故统计分析及对策建议 [J]. 中国安全生产科学技术, 2015 (3): 129-133.
- TONG Shu-jiao, WU Zong-zhi, WANG Ru-jun, et al. Statistical Analysis and Countermeasures on Larger and above Grades Accidents of Dangerous Chemical Enterprises from 2001 to 2013 [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015 (3): 129-133.
- [7] 吴金中, 范文姬. 危险货物道路运输风险评价体系研究 [J]. 公路交通科技, 2015, 32 (12): 6-11.
- WU Jin-zhong, FAN Wen-ji. Risk Evaluation System of Dangerous Goods Transport [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32 (12): 6-11.
- [8] 赵永臣. 危险货物道路运输安全评价指标体系构建研究 [J]. 物流科技, 2016, 39 (5): 83-86.
- ZHAO Yong-chen. Study on the Construction of Evaluation Index System of Road Transportation of Dangerous Goods [J]. Logistics Science Technology, 2016, 39 (5): 83-86.
- [9] PEARL J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference [M]. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1988: 20-21.
- [10] 张连文, 郭海鹏. 贝叶斯网引论 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 176-178.
- ZHANG Lian-wen, GUO Hai-peng. Introduction to Bayesian Networks [M]. Beijing: Science Press, 2006: 176-178.

- [11] 刘新全. 基于贝叶斯网络推理的道路网络级联失效仿真 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15 (2): 210 - 215.
LIU Xin-quan. Cascading Failures Simulation of Road Networks Based on Bayesian Network Inference [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15 (2): 210 - 215.
- [12] 王艳华, 佟淑娇, 陈宝智. 危险化学品道路运输系统危险性分析 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15 (2): 8 - 11.
WANG Yan-hua, TONG Shu-jiao, CHEN Bao-zhi. Risk Analysis on Road Transport System of Dangerous Chemicals [J]. China Safety Science Journal, 2005, 15 (2): 8 - 11.
- [13] 赵来军, 吴萍, 许科. 我国危险化学品事故统计分析及其对策研究 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 19 (7): 166 - 169.
ZHAO Lai-jun, WU Ping, XU Ke. Statistic Analysis and Countermeasures on Dangerous Chemical Accidents in China [J]. China Safety Science Journal, 2009, 19 (7): 166 - 169.
- [14] 吴金中. 危险货物道路运输安全监管体系问题分析及对策研究 [J]. 公路交通科技, 2015, 32 (12): 1 - 6.
WU Jin-zhong. Analysis of Safety Supervision System for Road Dangerous Goods Transport and Countermeasure Research [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32 (12): 1 - 6.
- [15] 孟祥海, 覃薇, 邓晓庆. 基于神经网络的山岭重丘区高速公路事故预测模型 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (3): 102 - 108.
MENG Xiang-hai, QIN Wei, DENG Xiao-qing. An Accident Prediction Model for Expressways in Mountainous and Rolling Areas Based on Neural Network [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 33 (3): 102 - 108.
- [16] PRELEC D. A Bayesian Truth Serum for Subjective Data [J]. Science, 2004, 306 (5695): 462 - 6.
- [17] 安全监管总局人事司. 沪昆高速湖南邵阳段 “7.19” 特别重大道路交通危化品爆燃事故调查报告 [EB/OL]. (2014 - 12 - 01) [2016 - 10 - 15]. <http://www.safehoo.com/Case/Case/Blow/201412/373405.shtml>.
Personnel Department of State Administration of Work Safety. Investigation Report on “7.19” Hazardous Materials Road Transport Accident in Hunan Shaoyang Section of Shanghai-Kunming Expressway [EB/OL]. (2014 - 12 - 01) [2016 - 10 - 15]. <http://www.safehoo.com/Case/Case/Blow/201412/373405.shtml>.
- [18] MURPHY K. Bayes Net Toolbox for Matlab [EB/OL]. (2010 - 07 - 01) [2016 - 10 - 01]. <http://code.google.com/p/bnt/>.

《公路交通科技》2017 年征订通知

《公路交通科技》杂志创刊于 1984 年, 为中华人民共和国交通运输部主管、交通运输部公路科学研究院主办的中央一级学术性期刊, 国内外公开发行, 大 16 开本, 为全国中文核心期刊。本刊主要刊登公路交通运输及其相关、相邻学科的学术论文, 主要栏目有: 道路工程、桥隧工程、智能运输系统与交通工程、汽车工程、环境工程以及运输经济等。本刊的读者对象为各大专院校的师生, 从事公路交通运输的科研人员、工程技术人员及管理人员。

国内邮发代号: 2 - 480, 每册定价 12 元, 全年 12 期, 共计 144 元。

读者也可通过邮局或银行汇款至杂志社直接订阅。

地 址: 北京市海淀区西土城路 8 号交通部公路科学研究院《公路交通科技》杂志社 邮编: 100088

收款单位: 《公路交通科技》杂志社

开户银行: 中国工商银行北京分行北太平庄支行

开户账号: 0200010009200429495

开户户名: 《公路交通科技》杂志社

电 话: 010 - 62079198

传 真: 010 - 62058207

联 系 人: 刘成莺

电子信箱: gljtkj@vip.sina.com