

基于Bow-Tie模型的交通事故分析

梁景盛, 麻博文, 孙刚禹, 索晨霞*

北京石油化工学院, 北京

收稿日期: 2022年6月14日; 录用日期: 2022年7月14日; 发布日期: 2022年7月20日

摘要

交通事故的发生是由某一“致命”因素引起, 而引起事故的发生又可划分为多种原因, 为了更加系统全面地分析交通事故, 我们采用了Bow-Tie模型进行研究。在交通事故原因辨识方面, 我们采用了数据统计、reason理论以及辩证分析等方法进行了具体的阐述, 从而得到了交通事故的形成机理, 最终将交通事故的发生因素一方面分为人员违反交通管理法规造成的, 如酒后驾驶、闯红灯、超速和疲劳驾驶等, 另一方面分为地震、台风和山洪等不可抗力因素导致。对交通事故的起因和后果以及相应的预防和控制措施进行了阐述, 并基于上述分析绘制成完整的交通事故Bow-Tie图。

关键词

事故, 起因, 措施, 后果, Bow-Tie模型

Traffic Accident Analysis Based on Bow-Tie Model

Jingsheng Liang, Bowen Ma, Gangyu Sun, Chenxia Suo*

Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing

Received: Jun. 14th, 2022; accepted: Jul. 14th, 2022; published: Jul. 20th, 2022

Abstract

The occurrence of traffic accidents is caused by a “fatal” factor, and the occurrence of accidents can be divided into many reasons. In order to analyze traffic accidents more systematically and comprehensively, we use Bow-Tie model for research. In the aspect of traffic accident cause identification, we use data statistics, reason theory and dialectical analysis to elaborate in detail, so as to obtain the formation mechanism of traffic accidents. Finally, the occurrence factors of traffic accidents are divided into drunk driving, running red lights, speeding and fatigued driving, etc., and

*通讯作者。

the causes and consequences of traffic accidents and corresponding prevention and control measures are described. Based on the above analysis, a complete Bow-Tie diagram of traffic accidents is drawn.

Keywords

Accident, Cause, Measures, Consequence, Bow-Tie Model

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

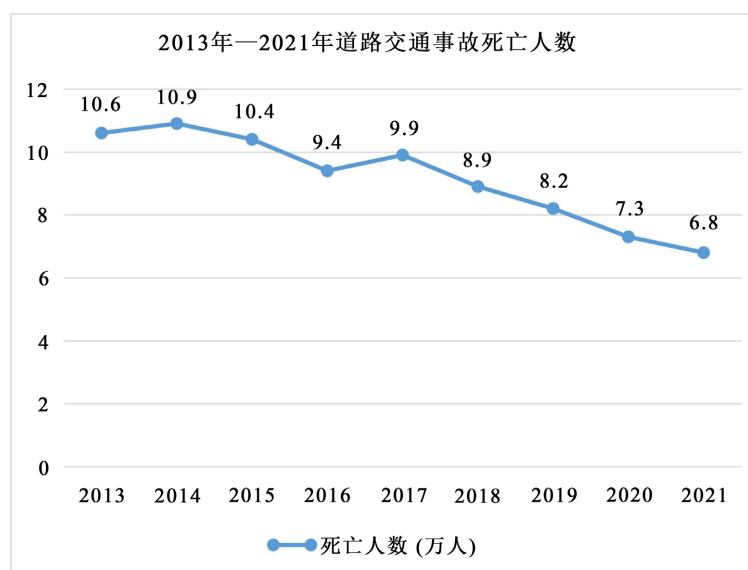


Figure 1. 2013~2021 death toll of traffic accident

图 1. 2013 年~2021 年道路交通事故死亡人数

Table 1. 2013~2021 death toll of traffic accident and property loss

表 1. 2013 年~2021 年道路交通事故死亡人数和财产损失

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
死亡人数(万人)	10.6	10.9	10.4	9.4	9.99	8.9	8.2	7.3	6.8
财产损失(亿元)	30.9	33.2	33.7	\	\	14.9	12.0	10.0	9.1

2013~2021 年交通事故统计数据如图 1、表 1 所示。从数据上可以看出，交通事故发生次数和死亡人数均呈现下降趋势，特别是从 2016 年到 2021 年，我国道路交通事故从 46.5 万起减少到 23.8 万起，死亡人数从 9.4 万人减少到 6.8 万人，分别减少近 50% 和 30% [1]。

我们认为，交通事故的发生一方面是因为当事人是对其重视程度不够，另一方面是抱有侥幸心理，所以我们运用 Bow-Tie 模型以及相关的数理统计方法进行分析，将交通事故作为 Bow-Tie 的顶事件入手，

从始到终分析事故发生的原因、影响交通事故的干扰因素、预防和控制交通事故产生的措施以及交通事故发生的严重后果，使得交通事故从未发生到发生过程最后到发生后果变得简洁明朗，从而让更多的人能够规避交通事故的发生。

2. 分析模型

2.1. Bow-Tie 模型介绍

Bow-Tie 模型是一种风险分析和管理的方法。完整的 Bow-Tie 模型如图 2 所示。它是可以说明顶级事件、顶级事件的原因及潜在后果，以及为尽量降低风险而建立的风险预防及控制措施。

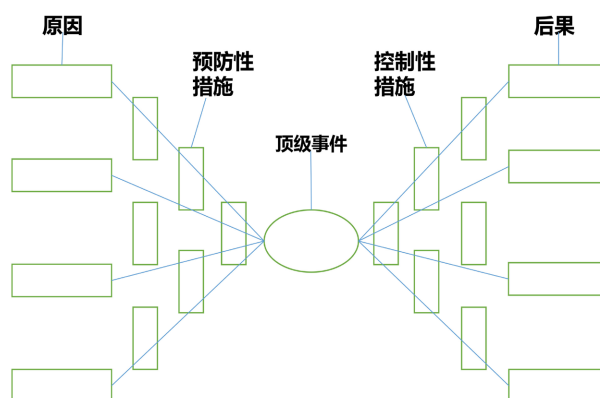


Figure 2. Bow-Tie model structure diagram

图 2. Bow-Tie 模型结构图

Bow-Tie 分析实施步骤：① 识别需要分析的具体危险事件，并讲其作为 Bow-Tie 图的顶级事件；② 分析造成顶级事件发生的影响因素并在 Bow-Tie 图左侧的每个原因与顶级事件之间划线；③ 识别原因导致顶级事件发生的传导机制，提出相应的预防性措施；④ 识别可能造成控制性措施失效的风险升级因素及控制这些风险升级因素的措施，并纳入图中；⑤ 在 Bow-Tie 图的右侧，识别顶级事件的不同潜在后果，并以顶级事件为中心，向各潜在后果处划线，将后果的控制性措施及升级因素和与升级因素相应的控制性措施写在连接顶级事件和潜在后果的线条上。

2.2. 协方差分析模型介绍

协方差分析是建立在回归分析和方差分析基础之上的一种分析方法。用于在检验两组或多组修正均值之间有无差异时，消除混杂因素(协变量)对于分析指标影响的一种分析方法，协方差在概率论和统计学中用于衡量两个变量的总体误差。协方差计算公式为：

$$\text{cov} = \text{cov}(x, y) = E(XY) - E(X)E(Y)$$

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{D(x)}\sqrt{D(y)}}$$

$$E(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$D(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - E(x))^2$$

$$Cov(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - E(x))(y_i - E(y))$$

3. 基于 Bow-Tie 模型的交通事故分析

3.1. 顶事件分析

顶事件即 Bow-Tie 模型的分析对象。从顶事件起始，向左右两侧拓展分析，找到事故的原因、后果、预防性措施、控制性措施、干扰因素等，从而构成完整的 Bow-Tie 模型。在本文中，我们选用车辆发生碰撞作为顶事件进行分析研究，如图 3 所示。

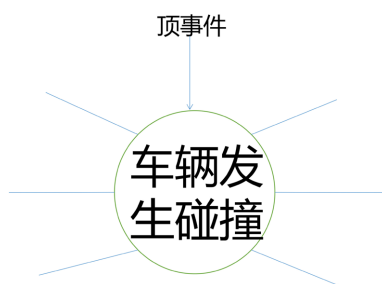


Figure 3. Top event structure diagram
图 3. 顶事件结构图

3.2. 事故原因分析

随着经济的发展，中国汽车的保有量逐年增加，也正因为基数的庞大，使得车祸事故的发生率居高不下。在城市道路中，常见的事故原因有：酒驾、超车、闯红灯等；在高速公路上，常见的事故原因有天气因素、车辆因素、疲劳驾驶等；在乡村道路中，常见的事故原因有天气因素、道路因素、视野盲区较大等。针对发生在三种不同的交通环境下的交通事故，我们搜集整理出 40 个案例作为样本集，以此来对交通事故的普适性原因进行分析研究。

任何交通事故的发生都有其必然的原因。按发生交通事故的原因分类，可以把交通事故分为两大类，即主观原因和客观原因，如表 2 所示。

Table 2. Cause of accident

表 2. 事故起因

事故起因					
主观因素			客观因素		
操作不当	违反交规	疏忽大意	车辆因素	道路因素	环境因素

1) 主观原因

主观原因是指造成道路交通事故的当事人本身内在的因素，即主观故意或过失。主要包括：违反规定、疏忽大意、操作不当等方面的错误行为。在很多交通事故中，绝大多数都是当事人的主观原因造成的。① 违反规定，指当事人由于思想方面的原因，不遵守交通法规和其他交通安全规定，导致交通秩序紊乱，发生事故。如酒后开车、超速行驶、客货混装、违章超载等原因造成的交通事故。② 疏忽大意，指当事人由于心理或生理方面的原因，没有正确地观察和判断外界事物而造成的失误。如情绪急躁、疲劳驾驶等原因都有可能引起注意力不集中、反应迟钝。③ 操作不当，指驾驶车辆的人员技术生疏，经验

不足,对车辆、道路情况不熟悉,遇到突发情况惊慌失措,致使操作错误。

2) 客观原因

客观原因是指由于道路条件、天气原因等不利因素导致的交通事故。这类事故虽然没有因驾驶人员主观原因所发生的事故占比高,但与主观因素同理,都是导致交通事故的诱因。

4. 交通事故的干扰因素

近几年,我国对道路交通事故的关注度逐步提高,使得驾驶员的安全意识也得到了进一步的提升,大大减少了交通事故的发生。但是即使在相关政策制度比较完善、惩罚力度比较大、驾驶员的安全意识得到提升的前提下,交通事故的发生数量依然较多,发生的概率依然较大[2]。

4.1. 城市道路事故

进行抽样:根据主观与客观的逻辑把城市中的交通事故分为打电话、酒驾、闯红灯、超车(车速过快)四类定义,如图4所示。

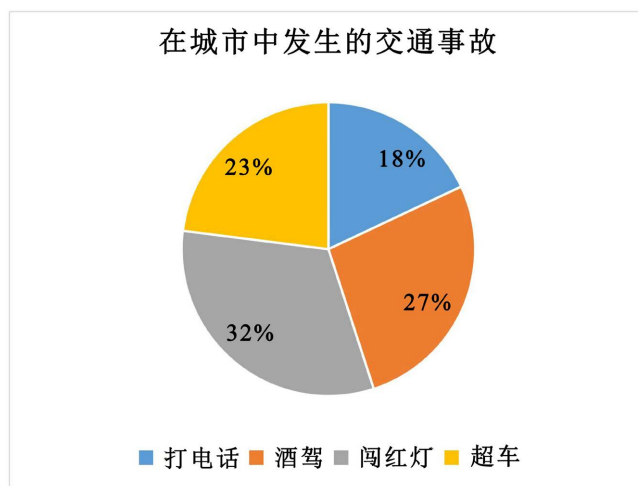


Figure 4. Traffic accidents in cities

图4. 城市中的交通事故

经过综合分析整理搜集到的案例并按照扇形图分类进行比例计算得出:超车事故占总体的23%,打电话占18%,闯红灯占32%和酒驾占27%。由此得出闯红灯造成事故的比例较高,所以,我们认为驾驶员应当遵守交通法规,尽可能避免人员伤亡和财产损失。

以城市道路为例,在城市道路中发生的交通事故的原因两两之间可以用协方差来进行相关性分析,若其计算结果相关系数 r 为正值,则表示两个事故原因具有正向相关性[3]。此外,它们之间还存在干扰因素,当干扰因素发生时,会使得此二类事故原因同时触发。

由于计算过程的重复性,在此只展示最具有代表性的一组,即事故原因相关性 r 值最大的一组计算过程:超车与闯红灯之间的相关性分析。

在案例中进行三次抽样,每次抽取十个案例。其中事故原因是闯红灯的个数样本集为 X 同理,经过相同抽样得到事故原因是超车的案例样本集为 Y 。

闯红灯(X_i)抽样结果如下:2, 1, 3

超车(Y_i)抽样结果如下:6, 5, 8

$$E(X) = (2+1+3)/3 = 2$$

$$E(Y) = (6+5+8)/3 = 6.33$$

$$E(XY) = (2*6+5*1+3*8)/3 = 13.67$$

$$\text{Cov}(X,Y) = E(XY) - E(X)E(Y) = 1$$

$$D(X) = (4+1+9)/3 - 4 = 0.67 = \sigma X$$

$$D(Y) = (36+25+64)/3 - 6.33^2 = 1.56 = \sigma Y$$

$$r(X,Y) = \text{Cov}(X,Y)/(\sigma X, \sigma Y) = 0.9643$$

计算结果如上所示, 可见其相关系数 $r = 0.9643 > 0$, 即因超车与闯红灯两个主观因素而造成的事故发生率成正比。而从主观上来讲, 超车与闯红灯两个因素发生的根本原因很大程度上都是因为驾驶员本身情绪的把控出现问题。分析相关案例后发现“路怒症”是诱发交通事故的主要原因。

路怒症容易引发交通事故, 损害生命财产安全。驾驶车辆时, 需要驾驶员冷静平和的判断复杂的交通情况, 做出恰当的反馈。若因交通情况的复杂多样而不冷静、无法合理控制自己的情绪, 不但危害自身驾驶安全, 甚至可能会对公共交通造成恶劣影响, 所以驾驶员应当学会控制自己的情绪, 更好地保障自己和公共财产的安全。

4.2. 高速公路事故

高速公路, 即专供汽车高速行驶的公路。截至 2021 年底, 我国高速公路总里程达到了 17 万公里(数据来源: 中国统计年鉴)。据国务院公开数据显示, 高速公路货车日通过量在五百万辆以上。由于基数的庞大, 使得货车在高速公路上的事故发生量也较为庞大。

我们通过抽样分析把高速公路上发生的交通事故的原因归纳为天气因素、疲劳驾驶和车辆因素三类 [4]。

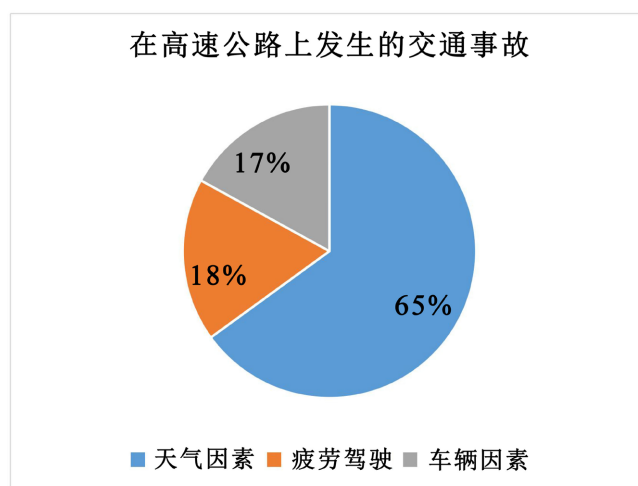


Figure 5. Traffic accidents on the freeway

图 5. 在高速公路上发生的交通事故

如图 5 所示, 天气原因导致的事故占 65%, 疲劳驾驶占 18%, 车辆自身因素占 17%。根据天气原因造成事故这一现象, 需要提醒驾驶员在下雨天或者天气恶劣的情况下慢速行车。

在查阅相关文献及高速公路过车事故报告分析后，我们认为刹车失灵是造成事故的根本原因，此类事故集中发生在长下坡路段。货车、牵引车在长下坡路段需要通过挡位来进行发动机制动，但是同时也需要通过刹车踏板来控制车速与发动机转速。刹车失灵就是由于刹车路程过长，刹车片散热不及时而发生热量堆积致使其形变甚至碎裂，从而使得车辆彻底失去刹车功能。若驾驶员没有及时发现并做出相应处理，就很有可能发生追尾、冲出道路甚至车辆倾覆等重大交通事故。此外，由于货车、牵引车满载时货物具有很大的惯性，在发生车辆事故后，其搭载的货物很有可能失控而对驾驶员、公共交通造成二次伤害。因此，货车驾驶员在长下坡路段应当格外注意刹车片等车辆元件的情况，若发现存在安全隐患，应当及时进行干预处理，以免出现财产损失甚至人员伤亡。

4.3. 乡村道路事故

通过抽样分析，我们将乡村中发生事故分为道路因素、视野盲区和天气因素三大类。

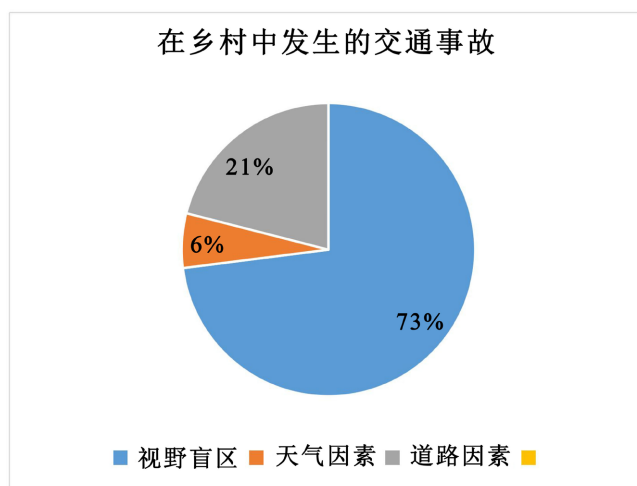


Figure 6. Traffic accidents in the countryside

图 6. 在乡村中发生的交通事故

如图 6 所示，在乡村中因为视野盲区造成的事故高达 73%，另外有 6% 是天气因素和 21% 的道路因素而造成的交通事故。对此，需要提醒司机：在乡村遇到路口时减速行驶，防止出现死角视野。

近年来，大量的农业机械进入了农民家庭，给道路交通带来了很大的压力；而且村民交通意识淡薄，乡村驾驶员违法违规操作，超速、超载、违法载人等现象时有发生，乡村道路交通安全存在很大的隐患，严重威胁着村民的生命财产安全。此外，驾驶员在行经乡村道路时，应格外注意道路两侧的岔口及行走在道路两旁的村民，在没有交通信号灯的乡村道路上也要坚守防御性驾驶原则，同时也要加强交通安全意识。

5. 交通事故的预防性措施和控制性措施

5.1. 预防性措施

通过综合分析系统抽样所选取出的 80 个案例，将事故发生的根本原因分为主观因素与客观因素两大类。经过数据整合分析，因主观因素而发生的交通事故约占六成，而因客观因素发生的交通事故约占四成。综上，可将事故发生的客观因素归纳为：违反法律规定、疏忽大意、操作不当；将客观因素归纳为：车辆因素、道路因素、环境因素。

至此，我们可得到 Bow-Tie 模型的预防性措施。关于主观方面的预防性措施：喝酒不开车、开车不懂怒、精神专注、道口减速慢行、防御性驾驶原则。关于客观方面的预防性措施：出车前检查车辆元件、避免极端天气出车、能见度低时要尽快靠边停车并打开警示灯光。经整理后如表 3 所示。

Table 3. Preventive measures factor chart
表 3. 预防性措施因素图

预防性措施	主观因素	喝酒不开车
		开车不动怒
		精神专注
		道口减速慢行
		防御性驾驶原则
	客观因素	出车前检查车辆元件
		避免极端天气出车
		能见度低要及时采取措施

5.2. 控制性措施

由于模型经过顶级事件后，至此我们认为事故已经发生，所以关于控制性措施，我们不将其以主客观进行归纳分类，而是从事故当事人的自身角度与事故对于公共的影响角度进行分类。因对交通事故案例的整理与分析，发现其中一部分的交通事故属于二次事故，即因对事故车辆的躲避不及时，而发生了除主事故外的其他衍生事故。而这类事故的发生地点主要集中在高速公路与早晚高峰的城市道路上。因此，将控制性措施归纳为自身角度与公共角度两类是有必要的。即事故发生后，除了从当事人的角度来对整次事件进行遏制处理外，也应从公共角度对事件进行梳理，避免发生衍生事故。

对于自身角度：尽快通知交警、保存事故现场、如有需要尽快通知救护车、多角度拍照摄像、上报保险公司等。

对于公共角度：事故不严重即当事车辆仍有移动能力时就应在拍照保留凭证后将事故车辆挪至不影响道路交通的路边、树立醒目标志以提醒过往车辆、避免围观群众拍照以造成不良影响。经整理后如表 4 所示。

Table 4. Control measure chart
表 4. 控制性措施图

控制性措施	个人角度	通知交警
		保存事故现场
		通知救护车
		多角度摄像
		上报保险公司
	公共角度	树立醒目标志
		将车挪至路边
		避免围观群众拍照

6. 交通事故后果分析

根据前文，将 Bow-Tie 模型的控制性措施归纳为自身角度与公共角度两类。因此，Bow-Tie 模型的后果部分也需要分为自身与公共两个大方向。

关于自身角度，可从生命安全与财产安全两个维度进行分析。事故发生后，一方面是事故车辆的损伤、毁坏，另一方面是人员的健康与生命安全受到威胁。

关于公共角度，可以从对交通的影响以及对社会舆论的影响两方面进行阐述。事故发生后，不仅会阻碍交通，形成拥堵，而且若是在早晚高峰时间，也极易发生二次事故。从社会舆论方面来看，如果交通事故较为惨烈，若是被围观群众拍摄下来并上传到网络上，那么一定会产生许多负面的影响[5]。经整理后如表 5 所示。

Table 5. Accident consequence structure diagram

表 5. 事故后果结构图

事故后果				
自身角度		公共角度		
危及生命	财产损失	社会舆论	交通堵塞	二次事故

7. 结语

经过前文分析，完整的基于 Bow-Tie 模型的交通事故分析如图 7 所示。

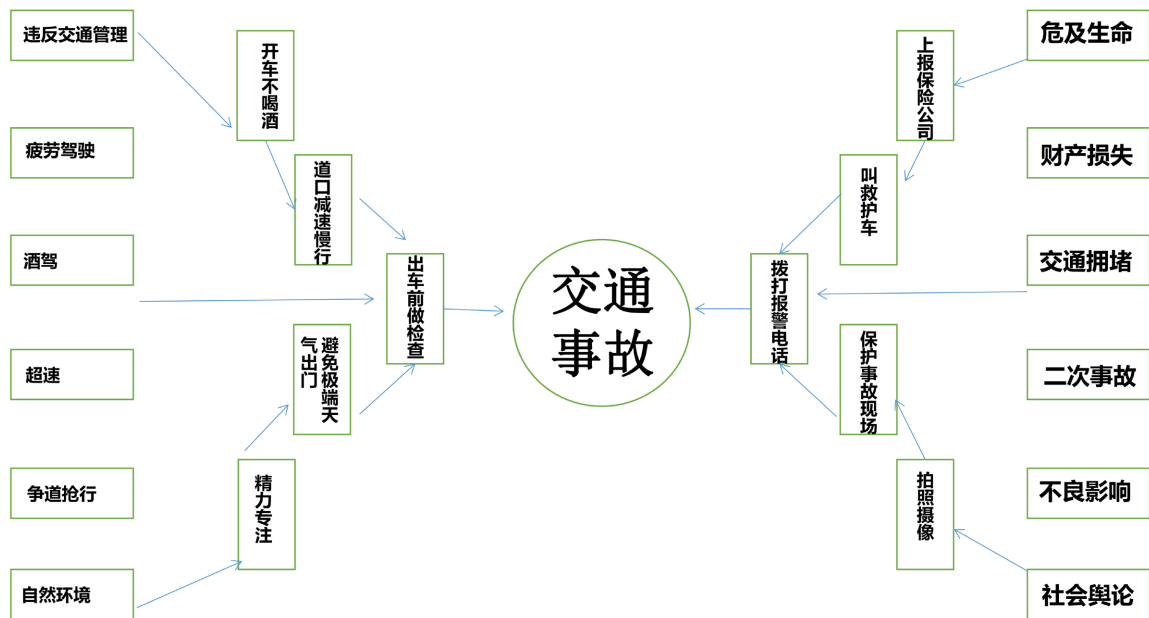


Figure 7. Structure diagram of Bow-Tie model of traffic accident

图 7. 交通事故 Bow-Tie 模型结构图

通过运用 Bow-Tie 模型对近几年发生的交通事故的案例进行分析，充分展示了 Bow-Tie 模型的简便快捷、有效迅速、直观准确的特点，清晰地揭示了交通事故发生的原因和严重事故后果并阐明了可避免的措施。

交通事故风险事件具有突发性、不可预知性等特点, 本文运用 **Bow-Tie** 模型并结合了协方差的分析方法, 对交通事故进行分析, 得出了致使交通事故发生的主观原因和客观原因以及预防和控制交通事故产生的措施。

对近几年发生的交通事故案例进行总结归纳, 明确了交通事故的高发地段如城市交通道路、高速公路和乡村道路等, 致使驾驶员在行车时因处理不当而发生事故的原因有心态过于急躁、道路狭窄、高速行驶等。

在降低交通事故的发生率层面, 需要引起驾驶员对交通事故的重视, 对行车不要抱有侥幸心理。

基金项目

北京石油化工院校级 URT 项目 2022J00222。

参考文献

- [1] 李志成, 王珂. 基于时间序列的交通事故死亡人数集成预测探究[J]. 菏泽学院学报, 2022, 44(2): 57-64.
- [2] 苏芳, 袁勤. 城市公路交通事故关联规则分析[J]. 武汉理工大学学报, 2020, 42(4): 313-318, 331.
- [3] 霍相博, 于世强. 未按规定让行成城市交通事故头号“杀手” [J]. 社会科学 I 辑, 2021, 11(1): 30-37.
- [4] 熊睿, 邓院昌. 疲劳驾驶交通事故的严重程度影响因素分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(4): 20-26.
- [5] 利汉威. 交通事故责任与民事责任承担[J]. 法制博览, 2022(11): 85-87.