

Analysis on Induced factors of Rear-end Risk Scenario Based on DREAM Method

Yufan ZENG, Xichan ZHU, Zhixiong Ma, Xiaoyu SUN

Tongji University, Shanghai, China, 201804

Email: zengyufan1993@163.com

Abstract: Research on risk driving scenarios has always been the focus of road traffic safety at home and abroad. The DREAM (Driving Reliability and Error Analysis Method) Method comprehensively gives the relevant factors that may lead to the occurrence of danger during the evolution of the accident, and the relationship between the various factors, which can be used for analysis of induced factors in risk driving scenarios. Based on the analysis and statistics of China-FOT database, 42 cases of high-risk and 43 low-risk rear-end risk scenarios were extracted and detected, and the applicability correction of DREAM method was carried out to analyze the induced factors in above-mentioned risk driving scenarios. The results show that the driver's poor driving behavior is the main part in all scenarios; Different avoidance methods should be adopted for different risk driving scenarios; Road congestion may be a deep induced factor. This conclusion may have certain value for the improvement of road traffic safety in China.

Keywords: Critical driving scenarios; China-FOT; DREAM Method; Induced factor; Poor driving behaviors

基于 DREAM 方法的追尾危险场景诱导因素分析

曾宇凡, 朱西产, 马志雄, 孙晓宇

同济大学, 上海, 中国, 201804

Email: zengyufan1993@163.com

摘要:危险驾驶场景的研究一直是国内外道路交通安全关注的重点。DREAM (Driving Reliability and Error Analysis Method) 方法 (驾驶可靠性及差错分析方法) 全面的给出了关于事故的演变过程中, 可能导致危险发生的相关因素, 以及各个因素之间的相互关系, 可用于危险驾驶场景诱导因素的分析。本文基于对 China-FOT 数据库的分析统计, 提取筛选了 42 例危险程度高和 43 例危险程度低的追尾危险场景, 并对 DREAM 方法进行适用性修正, 对上述类型的危险驾驶场景进行诱导因素的分析。结果显示: 无论在哪种场景中, 驾驶员的不良驾驶行为占主要部分; 并且针对不同的危险驾驶场景, 应该采用不同的规避方式; 道路拥堵可能是深层次的诱导因素。该结论为我国道路交通安全的改善可能具有一定的参考价值。

关键词: 危险驾驶场景; China-FOT; DREAM 方法; 诱导因素; 不良驾驶;

1 引言

国内外关于交通事故的致因研究有很多, 常常用系统离散行为模型去描述事故的演变过程。其中故障树分析方法 (FTA) [1] 多次被应用于事件之间的因果关系分析之中。

国内外关于事故发生原因的相关研究有很多, 交通事故的研究是其中重要的一部分, 各类事故的研究均有通性, 即研究事故特征以及事故原因之间的因果关系。针对交通事故的研究, 绝大多数的研究从“人, 车, 路”这三个关键的因素入手。例如哈顿矩阵[2], 李方媛等使用的 FTA 模型对重特大道路交通事故进行的致因分析研究[3], 查尔姆斯大学 H. Wallén Warner[4]等人提出的驾驶可靠性以及差错分析方法 (Driving Reliability and Error Analysis Method, DREAM) 等。相比于其他方法, DREAM 方法更全面的给出了关于事故的演变过程中, 可能

导致危险发生的相关因素，以及各个因素之间的相互关系等。该方法是基于 1998 年 Hollnagel^[5]提出的认知可靠性与差错分析方法（Cognitive Reliability and Error Analysis Method, CREAM）的理论基础，将其进行适用性修正以便进行交通事故诱导因素的研究。该方法经过数次改进，并多次应用于欧洲，日本等多个国家与地区交通事故的分析，均能够完整的描述事故中各个相关因素之间的逻辑关系。DREAM 方法中关键的三个部分是：事故模型、类别组合、研究方法；其中类别组合中详细描述了事故中的紧急事件（phenotypes）和原因（genotypes）。并对如何建立起紧急事件与原因之间的逻辑关系做出了详细的指导。

此外，DREAM 方法采用多个事故分析员分析同一案例，观测得到某一原因的百分比对该理论编码信度进行评判。结果显示编码信度在“原因（genotypes）”方面的体现是 74%-94%，平均值为 83%，在“紧急事件（phenotypes）”方面的体现是 57%-100%，平均值为 78%^[6]，具有较好的可信度。值得注意的是，该方法大量的应用于交通事故的相关研究，而本次所获得数据均来自 China-FOT，所要研究的对象均是危险场景，故需要在原来的 DREAM 方法的基础上进行一些调整，AzraHabibovic^[7]等人该方法的基础上进行了微调，用于分析了来自日本的 90 例车与行人的危险场景，其中一些调整，可以运用到本次研究中。

本文危险驾驶场景的数据均来自 China-FOT 项目数据库。China-FOT 是由中瑞交通安全研究中心 CTS（The China-Sweden Research Center for Traffic Safety）组织，由沃尔沃汽车集团、奥托立夫、交通运输部公路科学研究院、查尔姆斯大学、同济大学主要负责的在中国进行的较大的 FOT 测试。该项目在前期进行了 China-FOT-pilot 测试，以进行实验设备以及采集方式的调整。本次研究所用数据为 China-FOT 测试，试验时间为 2014 年 7 月到 2015 年 12 月，测试地为上海，实验车辆为沃尔沃汽车集团提供的 S60L。该测试按照时间分为四个阶段，除第一阶段外，每个阶段约为 3 个月，每个阶段有 8-10 位驾驶员，共有固定的驾驶员 32 位，为便于车辆管理以及驾驶员回访，试验中的驾驶员均来自沃尔沃汽车集团职员。超过 3TB 的数据被收集用于数据分析，覆盖了 13 万公里，3594 小时和 7402 段行程。

2 方法

2.1 方法的两个重要因素

在 DREAM3.0 手册中，有两个重要因素：紧急事件（phenotypes）和原因（genotype）。紧急事件（phenotypes）是先于事故或危险场景发生的一些典型的驾驶表现形式，主要从事事件的时间、空间以及能量的物理维度体现。在 DREAM3.0 指导手册中对其给出了相关定义以及例子，见表 2.1。

Table.2.1 The definition of Phenotypes
表 2.1 紧急事件（phenotypes）相关定义

一般紧急事件	特殊紧急事件	解释
时间（A1）	过早动作（A1.1）	驾驶员先于信号标志或特定的场景采取过早的行动
	过晚动作（A1.2）	动作采取的太晚，比如过晚的采取避让措施
	无动作（A1.3）	不采取动作，比如经过路口或特定场景时，不减速
速度（A2）	速度过高（A2.1）	驾驶速度过高，特别是在路口处，变道拐弯时等
	速度过低（A2.2）	驾驶速度过低，导致其他驾驶员无法预估
距离（A3）	距离过短（A3.1）	车间距过短
方向（A4）	错误的方向（A4.1）	驾驶方向违反交通法规，或是驾驶员误操作方向盘
力度（A5）	力度过大（A5.1）	转向过大导致偏离车道，或制动力过大导致其他驾驶员无法预测
	力度不足（A5.2）	操作力不足，例如制动力不足导致无法及时停车
其他物体（A6）	毗邻物体（A6.1）	错误的选择了或操作紧挨正确选择的物体，如本想制动却加速

另外在 DREAM3.0 中一个关键的部分就是关于原因（genotypes）的解释。主要从驾驶员，车辆，交通环境，组织机构四方面进行介绍。并且手册中指出了各个因素之间，包括与紧急事件（phenotypes）之间可能存在的逻辑关系，以便于建立起各个因素之间的关系链。具体相关因素见表 2.2（表 2.2 仅列出 B-F 的原因列表，实际还有更多）。

Table.2.2 The definition of genotypes for human-driver (B-F)

表 2.2 原因 (genotypes) 列表-人 (B-F) -驾驶员

基本因素	特殊因素	具体分类或解释
B: 观察	错过观察 (B1)	视野狭窄 (B1.1)
	晚观察 (B2)	视野狭窄 (B2.1)
	错误的观察 (B3)	-
C: 理解	错误判断时间间隔 (C1)	源于错误的速度估计 (C1.1)
	错误判断情况 (C2)	-
D:计划	优先过失 (D1)	如为赴约超速行驶
	害怕 (E1)	先前的经验 (E1.1) (以往相似的驾驶经验或场景对驾驶员有消极影响)
E:暂时性个人因素	注意力不集中 (E2)	车内与驾驶相关的干扰项 (E2.1)
		车外与驾驶相关的干扰项 (E2.2)
		车内与驾驶无关的干扰项 (E2.3)
		车外与驾驶无关的干扰项 (E2.4)
		思想放空/发呆 (E2.5)
	疲劳 (E3)	失眠 (E3.1)
	受物质影响 (E4)	酒精 (E4.1)
		非处方药 (E4.2)
		处方药 (E4.3)
		寻求刺激 (E5)
突发性功能障碍 (E6)		癫痫 (E6.1) 糖尿病 (E6.2) 中风 (E6.3)
心理压力 (E7)	来自车内成员压力 (E7.1)	
	来自于生活事件压力 (E7.2)	
	视力弱化 (F1.1)	
	听力弱化 (F1.2)	
F:长期性个人因素	长期性功能障碍 (F1)	运动机能弱化 (F1.3) 认知能力弱化 (F1.4)
	期待特定驾驶行为 (F2)	认为其他交通参与者按照自己预期方式行驶
	期待稳定的道路环境 (F3)	认为在熟知的道路上不存在道路环境上的变化
	习惯性挑战交通法规 (F4)	习惯性超速等
F:长期性个人因素	过高估计自我驾驶技术 (F5)	-
	不足的驾驶技术及知识 (F6)	当地地理常识/交通规则知识不足(F6.1)

DREAM3.0 涉及到的相关参量主要运用在交通事故分析上，其相关数据主要为事故现场照片，事故中人员访问，事故调查报告等，并且在相关的分析中仍然显示出一些因素的评判仍然存在偏差，例如如何区分错过观察 (B1) 与晚观察 (B2)，如何区分驾驶员是对时间间隔错误判断 (C1)，还是错误判断情况 (C2) 等等。各种不同的事故致因分析理论，在事故的回顾以及调查过程中可能和事故的事实存在一定的偏差，而本次所研究的数据基于真实路况视频以及相关参数数据，并且可以通过数据分析界面 (如图 2.3) 进行深入研究，可以较大程度上降低上述偏差。但同时也存在一些问题需要解决，故而需要在原 DREAM3.0 的基础上进行一些调整，以适应本次危险场景诱导因素研究。

2.1 方法的适用性修正

AzraHabibovic^[7]等人在应用 DREAM 方法对 90 例视频记录的车-行人危险工况进行了诱导因素分析时, 在原有方法基础上做出了适当的调整, 其中一些调整可以借鉴。例如先进行视频数据的多次观看, 以熟知视频数据中相关信息的组成; 为减免人为误差, 采取多人分析同一数据并分别评判, 再共同确定事件的诱导因素, 并建立各因素之间的关系; 关于 DREAM 方法中提到的关于驾驶员注意力, 错误判断驾驶情况, 错过观察等因素, 可通过看视频中驾驶员的注视方向, 方向盘操作, 驾驶员对制动踏板以及油门踏板的操作进行判断。

此外根据本次所含数据以及参与驾驶员和车辆的特点, 对 DREAM 中的相关参量进行调整。

首先, 在做相关分析时, 由于本次所选驾驶员身体状况良好, 无不良嗜好, 且车辆处于定期维护中, 故对以下因素应尽量少考虑——非处方药 (E4.2), 突发性功能障碍 (E6), 长期性功能障碍 (F1), 长期性 HMI 问题 (H), 车辆设备失效 (I1) (主要考虑他车), 驾驶前的剧烈运动 (N3), 不完善的车辆维护(O1)。如表 4.2 至 4.5 中加粗部分所示。

第二, 通过原 DREAM 中提到的相关因素的描述, 可知各个因素所涵盖的现象, 为更贴近视频数据分析所获信息, 在描述时将原描述方式进行适当改进, 如车内与驾驶相关的干扰项 (E2.1) 可描述为——视线集中在车内与驾驶相关的干扰项, 其他一些描述可见于诱导因素逻辑关系图中。

第三, 原 DREAM 中的相关因素多基于国外的事故调查获得, 而对于本次研究中较多的涉及城市道路中的拥堵情况, 虽然, 拥堵可能导致一些情况, 比如视线遮挡 (B1.1, B2.1, G3) 等在原方法中均有所体现, 但是为了更直观的表述该现象产生的影响, 在此次分析中加入“道路拥堵 (L6)”, 多个研究^[8,9]表明道路拥挤会对驾驶员的生理心理状态产生明显的影响, 从而影响驾驶员行为决策, 同时对不良换道行为影响显著, 故“道路拥堵 (L6)”可作为产生“心理压力 (E7)-来自交通环境的压力 (E7.3)”的原因; 此外交通密度对驾驶员的决策有一定的影响, 而交通密度的衡量与诸多因素相关, 本文为简便起见, 将交通密度分为稀疏, 即车辆可流畅行驶且道路中其他车辆较少, 交通密度为正常, 即车辆基本上可正流畅行驶, 但是道路环境中 10s 内从前摄像头视频中可看到约 10 辆车^[10], 交通拥堵, 即本车走走停停且道路环境中含有较多其他车辆; 同样加入“雨雪雾 (J3)”, 由于特殊的天气条件使驾驶员驾驶行为受到影响, 除原 DREAM 理论中提到的视野变差 (J1), 路面摩擦系数降低 (L2), 相关研究表明^[11, 12]特殊天气条件下, 驾驶员会更加注意道路标志以及路口处的信息, 但是会一定程度上对周边车辆的注意力降低 (E2.2), 同时由于注意力过于集中, 易产生心理压力 (E7.3) 等。

第四, 因各个因素之间有相关性, 原理论分析应用中仍出现易混的相关因素描述。为便于清晰地区分, 依据本次数据特点做出以下定义, 如所有紧急事件 (phenotypes) 均指向为直接导致本车处于危险场景中的因素 (如追尾场景中, 邻车道与本车道车辆均导致本车激进制动行为时, 且影响程度相同时, 以本车道车辆的影响为准); 过晚动作与过短的距离均可用 TTC 值描述, 但是两者具有不同倾向性, 过短的距离更倾向于车辆缓行, 车距较短时, 其他车辆出现突然的驾驶行为; 对于同一工况, 可能多个紧急事件 (phenotypes) 都能进行解释, 此时通过数据等信息, 选择紧急事件中特征最明显的一项。另外, 对于部分易混的原因 (genotypes) 可以利用数据和视频相结合分析大大降低混淆度。例如当前车发出减速信号时驾驶员由于第二行为或是其他原因导致没有及时看到, 则定义为“晚观察”, 如果前车制动灯亮起时间比较短, 而驾驶员并没有看到该信号, 则定义为“错过观察”。

第五, 驾驶员驾驶习惯分析, 依据驾驶员调查问卷以及部分回访, 辅助对与驾驶员行为诱导因素相关的量做出判断。具体如下:

通过第二章中所描述的驾驶员对行驶中的驾驶行为危害性的认知描述可知, 驾驶员对道路交通安全知识了解较全面, 故分析时对于危险场景产生的原因更多的倾向于驾驶员个人的驾驶行为习惯, 而不是缺少必要的交通规则常识。同时通过调查问卷“认为驾驶时持续快速加速的危害严重性”, “认为超速 20%或更多的危害严重性” 5 个分值中, 5 号驾驶员认为其危害性均为 3 (级数越高危害程度越高), 可初步判断 5 号驾驶员具有高速行驶的倾向性, 当然仍然需要依据其具体的操作行为进行判断。

同时通过视频观看以及驾驶员回访基本上对于驾驶员走神行为的面部表情可以确定, 如图 2.1 中所示, 如

驾驶员没有明显的转动头部的行为时，基本上可依据驾驶员是否在完成紧急避让行为时，有惊讶的表情或是看向车内摄像头的视频进行判断。



Figure.2.1 Driver's facial expression
图 2.1 驾驶员面部表情图

通过驾驶员问询可知，在道路拥堵的环境下，驾驶员为避免一些不良驾驶行为的驾驶员变道进入本车道待车，故往往会选择较为近距离的跟车行驶，同时驾驶员易出现心情过于急躁以及精神过于放松的状态。而在道路交通环境比较稀疏时，驾驶员精神会比较放松，且驾驶轨迹会相对的自由以及驾驶速度会比较高，甚至在监管不完善的地段会出现超速的现象，同时认为自己在该种路况下会比较“自信”能够足够安全的行驶。

以上通过驾驶员调查关于驾驶行为的相关描述可以为具体危险案例的研究提供一定的研究基础。

2.3 方法在本研究中的补充说明

为更好的描述一些较难进行评定的因素，如“方向”，“过短距离”，“过大力度”等，可通过数据分析界面（如图 2.3 所示）进行视频与数据（加速度，制动压力等）同步分析，同时将一些因素进行量化描述，以减少人为分析的偏差。相关可量化值如下：

（1）反应时间

反应时间通常指从潜在危险出现的时刻到驾驶员开始采取某种避让措施^[13]，对于同一车道中，前车制动导致追尾危险产生的工况，危险开始的时刻就是前车制动灯亮的时刻，相应研究表明该类场景中驾驶员在事件有完全预期的情况下反应时间为 0.70-0.75s，对于突发事件的反应时间是 1.25s^[14]；同样是直行车道，当其他车辆有相关变道行为或意图时，反应时间是从邻车转向灯开启或进入本车道时刻起至本车采取相应避让措施的这段时间，该类事件的反应时间通常是 1.5s；如果驾驶员快要到达有信号灯的路口，反应时间定义为从信号灯变为“黄灯”到驾驶员采取制动行为的时间段，平均反应时间 0.742s；同样是路口处，如果遇到其他车辆时，危险时刻为该车辆出现的时刻或出现在本车预定路线的时刻，该类事件的平均反应时间是 1.5s，甚至更多；同时诸多研究表明，制动反应时间基本都小于 2s，同时一些场景的反应时间定义较难清晰确定时，可综合经验丰富的驾驶员进行综合评定。本次研究中，可利用反应时间的大小以及对应的 TTC 值来评判驾驶员是否是“过晚动作（A1.2）”。研究表明，危险程度越高，反应时间越短。故分析危险场景的诱导因素时，如果驾驶员的反应时间大于该场景下应有的平均反应时间，则可能“过晚动作（A1.2）”，如果反应时间过大，则应考虑驾驶员的注意力是否集中或驾驶员习惯性采取紧急避让行为等相关因素。

（2）不同道路类型下车辆行驶速度与安全行车距离规定

我国对道路的类型有较为详细的划分，但依据本次研究目的，将不同道路中具有相似的行驶规定的道路划分为一类。本次实验数据中涉及到的道路类型主要包括普通城区道路，高速公路，高架桥，城郊道路，乡村道

路，场院道路等。

我国《公路工程技术标准》指出，道路的限速应依据设计速度、运行速度、路侧干扰和周围环境等因素来确定^[15]。我国道路交通安全法实施条例中指出，在 2 条及以上的机动车道，左侧为快车道，右侧为慢速车道；机动车所行驶的道路上有明显的限速标志时应按照相应的限速标志执行。如没有，应按照在没有道路中心线的道路行驶中，城市道路的限速为 30km/h，公路的限速 40km/h；同方向只有一条机动车道路时，城市道路的限速为 50km/h，公路的限速为 70km/h；当驾驶员遇到下列情况之一时，最高行驶速度不得超过 30km/h：1，进出非机动车道，通过铁路道口、急弯路、窄路、窄桥时；2，掉头、转弯、下陡坡时；3，遇雾、雨、雪、沙尘、冰雹，能见度在 50 米以内时；4，在冰雪、泥泞的道路上行驶时；5，牵引发生故障的机动车时。

高速公路上行驶时，车辆的最高限速不得超过 120km/h，最低不应低于 60km/h；同方向有 2 条车道的，左侧车道的最低车速为 10km/h；同方向有 3 条以上车道的，最左侧车道的最低车速为 110km/h，中间车道的最低车速为 90km/h。

同时该条例中指出，机动车在高速公路上行驶，车速超过 100km/h 时，应当与同车道前车保持 100 米以上的距离，车速低于 100km/h 时，与同车道前车距离可以适当缩短，但最小距离不得少于 50 米，在一些特殊天气下安全距离应该适当增加。

此外由于车辆的行驶状态多变，车辆限速，安全距离也与多个因素相关，故进行判断时应该结合实际情况以及驾驶经验。该项可辅助判断危险场景中“紧急事件”类型是否是“速度过高”或“距离过短”。如在前方拥堵路段中，本车与前车有相对安全的距离，但是由于驾驶员个人原因，在前车发出减速信号或是驾驶员可明确观察前方拥堵状态时，虽然车速处于限速标准之内，但是此时驾驶员仍然加速行驶，则认为该种状况为驾驶员行驶速度较高。

(3) 力度判断

由本次数据分析软件以及驾驶员的视频踏板中可以清晰看到踏板压力的大小以及变化情况，若驾驶员慢踩刹车后又重踩刹车，则可表明刹车“力度不足”。(如图 2.2 所示)相反如果有足够的安全距离，驾驶员确急剧踩刹车则证明“力度过大”。

A1203 案例中的制动压力是典型的初始制动力不足，导致之后的紧急制动，在进行制动力是否充足的判断时，主要考虑的是紧急制动之前是否有轻微制动。另外对于 A307 这类场景，由于在较小制动力之后，间隔几秒又进行紧急制动，要综合视频数据进行分析，是否是“距离过短”或是“速度过高”，但一般这种情况，根据分析经验，“制动力不足”的特征可能更加明显。对于 A213 这类场景，驾驶员先采取紧急制动，之后可能由于距离过短等又再次制动，该类场景中，距离过短以及制动力不足的特征均很明显。从导致追尾危险的原因分析，对于场景 A213，驾驶员对前车运动状态的错误的判断（前车刹车至急停，且停车时间约 3 秒），同时制动之前两车间距较为安全，故判断为“力度不足”。

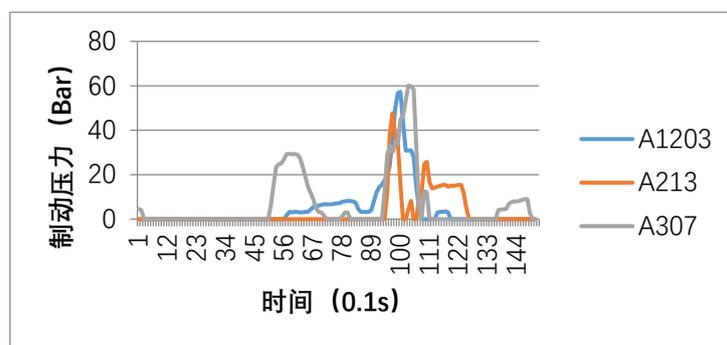


Figure 2.2 The case about Brake pressure change

图 2.2 制动压力变化案例

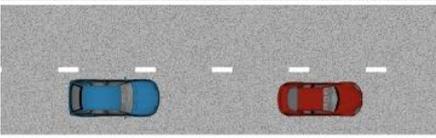
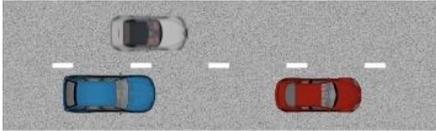
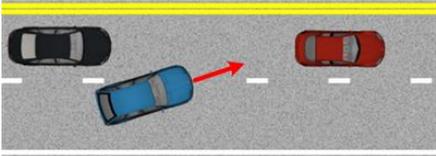
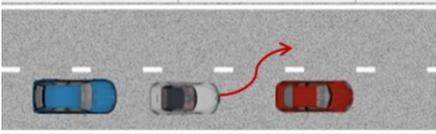
当诱导因素分析不断深入时,一些诱导因素对上一阶层的诱导因素的影响相对较模糊时,则终止该分析链,且多依据分析人员的经验。对于倾向于客观事实导致潜在危险的危险场景,其对应的分析链长度较长。

3 典型追尾危险驾驶场景的诱导因素分析

3.1 典型追尾场景中细分类型

在我国 2013 年高速公路交通事故中,追尾事故占比达 34.29%^[16],甚至更多,而在本次的研究当中,追尾危险场景仍然是十分重要的场景。众多的测试机构包括 NHTSA^[17], AEB Group^[18], interactIVe^[19]等等主要呈现出的可能产生追尾危险的场景细分类型如表 3.1 所示。

Table.3.1 Rear-end risk scenario detailed types
表 3.1 直行追尾场景细分类型

类型	具体类型	场景示例图
1 本车在直道(弯道)行驶接近前方车辆,包括前车相对本车偏置情况	前车静止 (1.1)	
	前车低速 (1.2)	
	前车制动 (1.3)	
	前车加速 (1.4)	
2 本车在直道(弯道)行驶接近前方车辆,包括前车偏置情况,同时本车左(右)车道有车或障碍物,不具备换道条件	前车静止 (2.1)	
	前车低速 (2.2)	
	前车制动 (2.3)	
	前车加速 (2.4)	
3 本车在直道(弯道)行驶,旁车道有车变道,意图切入本车道	-	
4 本车接近前车切出本车道,并遇本车道前方车辆	前车静止 (4.1)	
	前车低速 (4.2)	
	前车制动 (4.3)	
	前车加速 (4.4)	

在数据分析时发现,以上场景只是可能产生追尾危险的一般场景,可能还会有多个如上所述的简单场景复合在一起的复杂场景,例如拥堵路口处,本车接近前车,结果前车切出本车道且本车道前方有静止车辆,且本车旁车道有车或障碍物本车无法变道,且与前车距离有限必须急踩刹车。

经过对所获得全部危险程度较高的本车直线行驶遇到追尾危险的场景共 42 例(包括第三章所述危险场景 D 类及 C 类),以及随机抽选部分轻度危险的该类场景 43 例进行诱导因素分析。上述危险场景的类型分布如表 3.2 所示。

Table.3.2 The distribution of detailed risk scenario types

表 3.2 各细分场景类型分布

类型	全部场景	危险程度高	危险程度低
1.1	7	3	4
1.3	26	12	14
2.1	1	0	1
2.2	1	0	1
2.3	37	20	17
3	7	2	5
4.1	6	5	1

由表 3.2 可见，各个类别占比相似。并进行不同类别以及不同的危险程度之间对比。

3.2 典型追尾场景举例分析

工况 A675 中，所属的危险场景类别为 1.3，该驾驶员行驶在封闭道路（高速公路）直行路段，交通密度一般，时间为夜间，光照良好。驾驶员前方车辆为轿车，前方车辆欲换车道，但是换道失败，从前车制动灯亮起，到驾驶员开始制动，反应时间为 3.3s，超过正常反应时间，且与前车距离相对安全，故该场景的“紧急事件”为“过晚动作（A1.2）”，可从制动油压变化图（如图 3.1 所示）看出，驾驶员多次踩制动踏板，可见驾驶员对该情况作出判断，但是判断错误，且主要为对前车的运动方向判断不准，故为“错误判断情况（C2）”，同时视频中显示，驾驶员有明显的转头观察旁车行驶以及扶正眼镜的姿势，同时本车仍处于没有明显减速行驶中，故“驾驶员观察车外车辆行驶情况（E2.2）”——“晚观察（B2）”。最终得到相应的诱导因素逻辑关系为图 3.2。

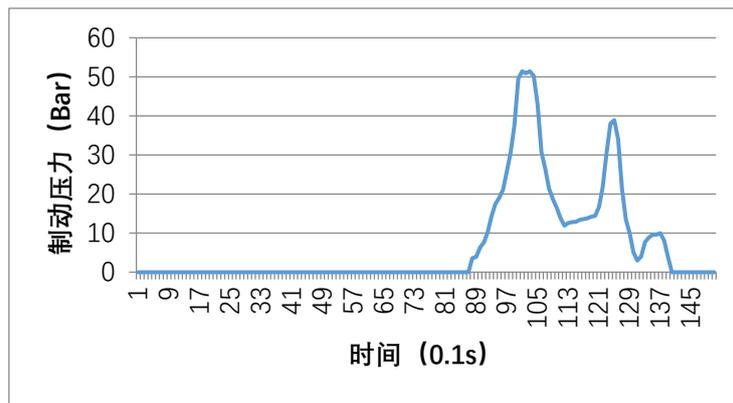


Figure.3.1 Brake Pressure change

图 3.1 制动压力变化

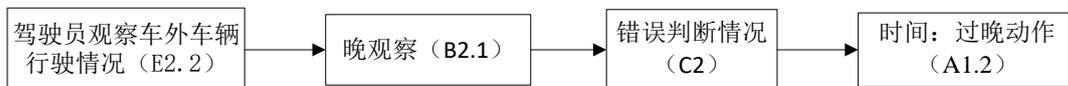


Figure.3.2 The relationship among all induction factors

图 3.2 诱导因素逻辑关系图

工况 A226 中，所属的危险场景类别为 1.3，该驾驶员行驶在城市普通道路中过弯道后路口处，交通密度稀

疏，时间为傍晚，光照良好。驾驶员过弯时仍然加速，速度近 50km/h，此时与前车处于安全距离，故“紧急事件”为“速度过高 (A2.1)”，同时驾驶员在前车制动后迅速采取行动，反应时间 0.2s，较快，但是行驶过程中由于对路口处信号灯的忽略，同时在与前车有较大距离的情况下，驾驶员认为前车能够顺利通过路口，故“错过观察 (B1)”——“错误判断情况 (C2)”，推断驾驶员“期待特定驾驶行为 (F2)”，在经过路口前没有明显的减速意识，推断驾驶员处于“习惯性挑战交通法规 (F4)”。得到相应的诱导因素逻辑关系如图 3.3 所示。

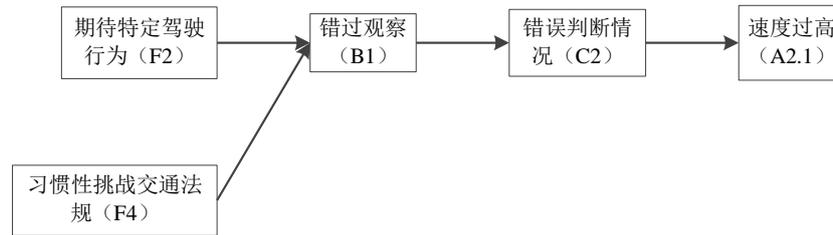


Figure.3.3 The relationship among all induction factors
图 3.3 诱导因素逻辑关系图

如此在分析完所有场景后将所有诱导因素，按照诱导过程叠加在一起，得到图 3.4，其中因素框中数字为该因素在整个分析过程中本层次分析中的数量，箭头中数字为前一因素导致后一因素的数量走向。该流程图由左向右依次阅读，箭头左侧的因素为导致箭头右侧因素的原因，由左至右各因素表象越来越明显，由右至左原因越来越深入。

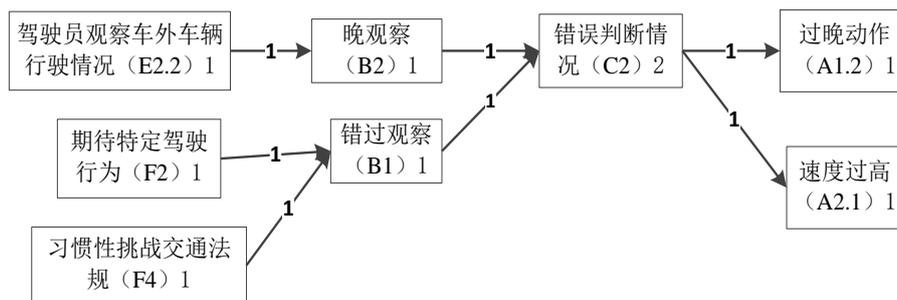


Figure.3.4 The relationship among all induction factors
图 3.4 诱导因素逻辑关系图

3.3 典型追尾危险驾驶场景分析

按照上述分析过程针对不同危险等级的追尾场景进行讨论。其中相应的 DREAM 诱导因素逻辑关系图如图 4.7, 4.8 所示，其中各图中蓝色框线内的所含因素为该层次中较为主要的诱导因素。

首先对于危险程度比较高的追尾场景而言（如图 4.1），紧急事件的表现型主要为“A5.2 力度不足”、“A3.1 距离过短”，原因为“错误判断时间间隔 (C1=25)”、“错误判断情况 (C2=17)”。导致错误判断车辆运动状态的原因为驾驶员的不良驾驶习惯 (F2、F4、F5)，主要为驾驶员习惯性按照自身预期他车的运动状态行驶 (F2=29)，导致该类原因的事件有“交通拥堵 (L6=4)”使得驾驶员情绪受到波动，表现为不耐烦、抢占行车空间以及驾驶员精神过于放松等 (E7.3=4)；以及驾驶员对自身驾驶技术过分自信 (F5=4)，遇到前方距离较近的车辆时不及时采取行动，以及习惯性过路口不减速等行为 (F4=8)。另外一类导致驾驶员错误判断车辆行驶状态的原因为由于驾驶员的第二行为 (E2.2=4、E2.3=4、E2.4=2) 导致驾驶员不能够及时观察 (B2.1=9) 或错过观察 (B1=3) 到前车发出的减速或是制动的信号。

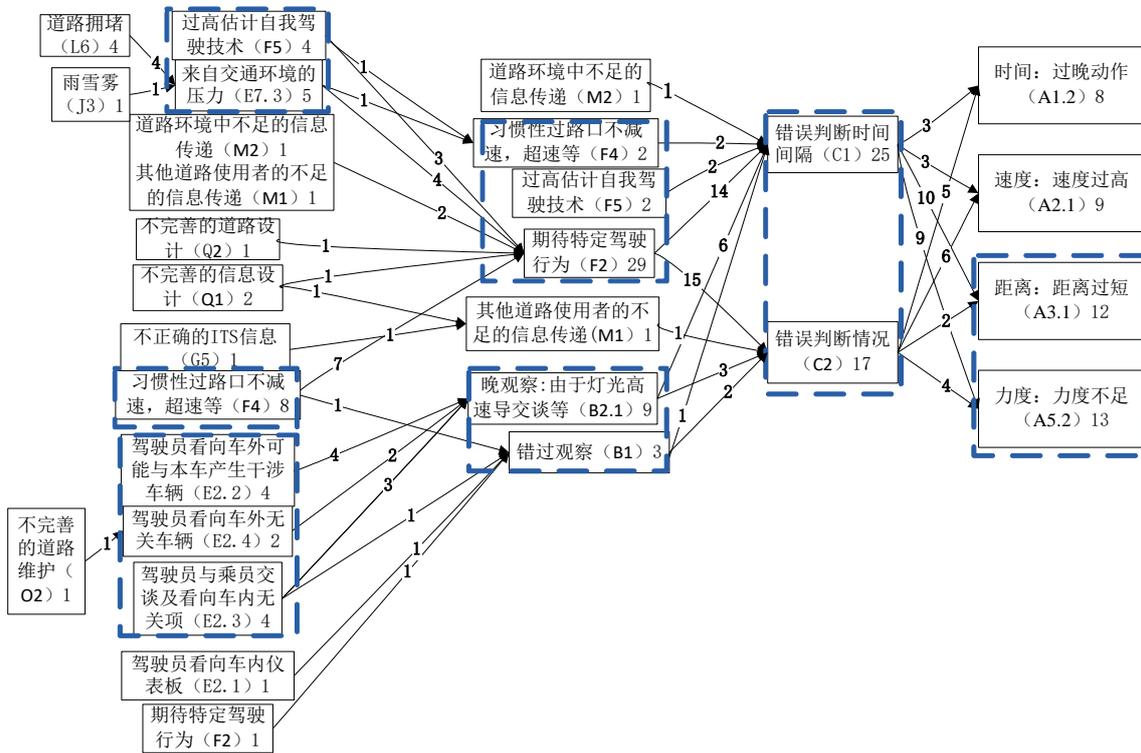


Figure.4.1 The DREAM relationship among induction factors in Rear-end risk scenarios of high risk level
 图 4.1 危险等级较高的追尾场景 DREAM 诱导因素逻辑关系

在危险程度比较低的追尾危险场景中(如图 4.2),主要的紧急事件为“A1.2 过晚的动作”、“A5.2 力度不足”、“A3.1 距离过短”。而主要导致这些表现型的原因均为错误判断两车间隔 (C1=31), 可见相对于危险程度较高的追尾场景而言, 驾驶员对场景中车辆的运动轨迹判断准确度较高, 同时也是场景本身危险程度低的特征之一。导致该类错误判断的主要原因为期其他车辆特定的驾驶行为 (F2=23), 过高的估计本身驾驶技术能够在当前场景中避免危险 (F5=7), 以及驾驶员的第二行为 (E2.2=6、E2.3=3), 看向车外驾驶相关车辆以及同车内乘员交谈等。更为深层次的原因除驾驶员个人不良的驾驶习惯以外 (F5、F4), 由于道路拥堵以及天气不佳导致的驾驶员情绪不佳 (E7.3=12) 占相当大比例。

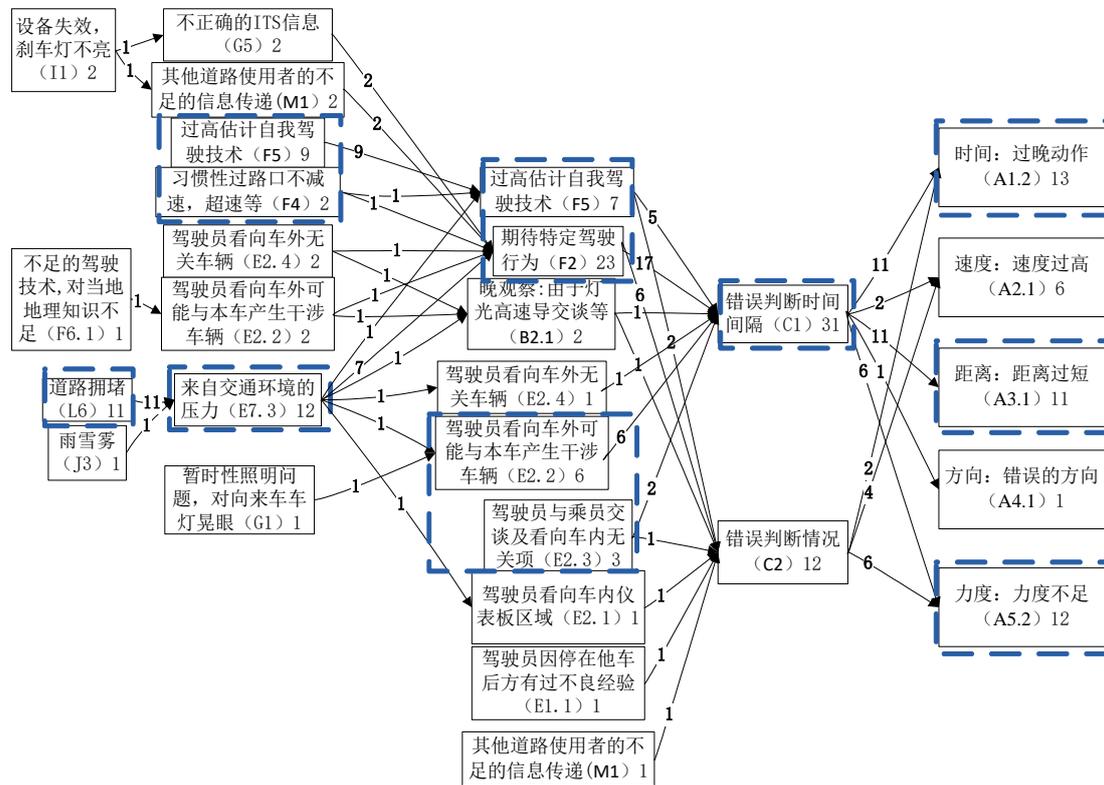


Figure.4.2 The DREAM relationship among induction factors in Rear-end risk scenarios of low risk level

图 4.2 危险等级较低的追尾场景 DREAM 诱导因素逻辑关系

对比直行追尾危险场景中的诱导因素，有以下结论：

(1) 不论危险程度的高低，其诱导因素的类型较为相似，比例有所不同。在紧急事件中可以看出危险程度比较低的场景中，驾驶员“A1.2 过晚动作”的比例明显比危险程度高的场景中高，该种状况下，驾驶员往往是看到前方车辆，但是由于种种原因并不及时以较为温和的减速避免危险。

(2) 对于不同危险程度的追尾场景中，以下行为均占主要地位，即驾驶员认为当前场景不足够危险，同时驾驶员期待对方车辆以特定的较为缓和的驾驶状态行驶（F2），从而错误判断对方车辆的驾驶状态。

(3) 全部 85 例危险场景的诱导因素中，共有 26 例案例含有第二行为（E2 类）导致的注意力不集中的表现，但是所处层次不同，如危险程度比较高的类型中该类因素（E2 类）主要导致驾驶员对车辆信号发现较晚，而轻微危险程度的追尾场景中，主要是驾驶员的第二行为并没有影响到驾驶员及时观察到他车，而是使驾驶员不能及时做出正确的判断，最终不得不采取紧急制动避让危险。可见危险程度较高的追尾场景中，由于驾驶员的第二行为（E2 类）造成的危险影响较大。

4 结论与展望

本文通过对 China-FOT 数据库中涉及到危险驾驶的场景进行统计筛选，提取了 42 例危险程度高的和 43 例危险程度低的有关直行追尾的相关案例并进行统计分析，利用 DREAM 分析方法对该类场景进行了诱导因素的分析研究，得出结论：

1) 各个场景中最主要的紧急事件不相同，针对不同结果应该采用不同的措施规避危险；

2) 无论在何种场景中，驾驶员的不良驾驶行为占主要部分，与 Knippling 等人认为的 64% 的追尾事故原因是驾驶员的注意力不集中不同^[20]，本次研究中，有明显的第二行为的案例只有 26 例，占比为 30.58%，主要是因为驾驶员自身认为他车会按照预期的行驶方式行驶（F2），或对自己驾驶技术有足够的信心（F5）导致对车辆状态的误判，最终不得不采取紧急制动行为进行避让；

3) 对于更为深层次的原因有道路拥堵 (L6) (共有 15 例) 对驾驶员驾驶行为产生的不良影响 (E7.3);

利用 DREAM 方法进行分析的过程中, 如果获得更多的参数, 对诱导因素的判别会更加准确, 例如前车发出信号时对应的两车距离, 前车车速, 两车 TTC 等。针对由本次研究所得的反应时间的特殊性, 或能对 ADAS 产品以及自动驾驶系统的策略制定提供参考, 例如对人机交互界面中警示装置的开发以及测评时, 有第二行为下的驾驶员响应特征试验所占权重应适当降低。由于紧急事件类型中较多的出现“力度不足”, 鉴于该类行为, 应协调智能驾驶系统的人机交互策略, 例如以驾驶员做出动作 (如踩制动踏板) 作为系统开启或关闭的触发阈值是远远不够的。

致 谢

本文的工作得到了朱西产教授, 马志雄老师以及孙晓宇师姐的倾力指导和支持。在这里向各位老师和前辈尽心尽力的付出表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Ericson C A, Li C. Fault tree analysis[C]//System Safety Conference, Orlando, Florida. 1999: 1-9.
- [2] 郭忠印, 方守恩. 道路安全工程. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 李方媛. 重特大道路交通事故成因机理及其风险行为研究[D]: [博士学位论文].西安: 长安大学, 2014.
- [4] Wallin Warner H, Ljung Aust M, Sandin J, et al. Manual for dream 3.0, driving reliability and error analysis method. Deliverable D5. 6 of the EU FP6 project SafetyNet[J]. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology. TREN-04-FP6TRSI2, 2008, 395465: 506723.
- [5] Hollnagel E. Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)[M]. Elsevier, 1998.
- [6] Warner H W, Sandin J. The intercoder agreement when using the Driving Reliability and Error Analysis Method in road traffic accident investigations[J]. Safety science, 2010, 48(5): 527-536.
- [7] 中华人民共和国公安部. 中华人民共和国公共安全行业 GA/T1082 标准[Z]. 2013-07-31.
- [8] Habibovic A, Tivesten E, Uchida N, et al. Driver behavior in car-to-pedestrian incidents: An application of the Driving Reliability and Error Analysis Method (DREAM)[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013, 50: 554-565.
- [9] 漆巍巍, 裴玉龙. 城市道路拥堵状态下驾驶人换道特性研究[J]. 城市交通, 2014, 12(4): 72-76.
- [10] 漆巍巍, 裴玉龙, 温惠英. 拥堵状态下驾驶人心理与不良换道的关系模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2015 (S1): 91-94.
- [11] 孟琳, 朱西产, 孙晓宇, 等. 真实交通危险工况下驾驶员转向避撞相关因素分析[J]. 汽车技术, 2016 (6): 59-62.
- [12] 张亚欧, 刘曾, 李勃. 特殊气象条件对安全驾驶行为的影响研究[J]. 赤子 (上中旬), 2015, 20: 098.
- [13] 何莎, 闫学东, 庞洪涛, 等. 雾天对驾驶行为的影响研究——避撞驾驶行为[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(5): 126-129.
- [14] Fu C, Zhang Y, Bie Y, et al. Comparative analysis of driver's brake perception-reaction time at signalized intersections with and without countdown timer using parametric duration models[J]. Accident Analysis & Prevention, 2016, 95: 448-460.
- [15] Green M. " How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times[J]. Transportation human factors, 2000, 2(3): 195-216.
- [16] 单位交通部公路司中国工程建设标准化协会公路工程委员会. 公路工程技术标准[M].北京: 人民交通出版社, 2004.
- [17] 公安部交通管理局. 2013 年中华人民共和国道路交通事故统计年报[R]. 2014.
- [18] Najm W G, Smith J D, Yanagisawa M. Pre-Crash Scenario Typology for Crash Avoidance Research[J]. Dot Hs, 2007:767.
- [19] AEB Group. AEB test procedures[J]. 2011.
- [20] interactive (accident avoidance by active intervention for Intelligent Vehicles)[J].
- [21] Knipling R R, Mironer M, Hendricks D L, et al. Assessment of IVHS countermeasures for collision avoidance: Rear-end crashes. Final Report[R]. 1993.