

# 法、澳、美三国现代有轨电车运营事故统计与分析<sup>\*</sup>

宋震<sup>1</sup> 蒲琪<sup>1</sup> 陈伽申<sup>2</sup>

(1. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海;

2. 上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//第一作者, 硕士研究生)

**摘要** 分析了法国、澳大利亚和美国的现代有轨电车运营事故统计报告与道路交通事故报告, 从现代有轨电车运营事故类型、人员伤亡分布规律、事故发生地点分布规律、不同路权下事故分布规律, 以及事故参与者行为等方面, 总结了现代有轨电车运营事故的发生机理与影响因素, 得出了对于道路交叉口处安全状态的研究是现代有轨电车运营安全管理核心, 路权的封闭与隔离能提高现代有轨电车的运营安全等结论, 对我国现代有轨电车运营管理与安全评价具有指导意义。

**关键词** 现代有轨电车; 运营事故; 统计分析; 道路交叉口  
**中图分类号** X928.01; U482.1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.03.015

## Statistics and Analysis of Modern Tramcar Operational Incidents in France, Austrilia and America

SONG Zhen, PU Qi, CHEN Jiashen

**Abstract** The statistics or official reports on the operational incidents and road traffic accidents of the tramcar in France, Australia and the United States are collected and analyzed. Based on types of operational incidents of tramcars, regularities of casualties, regularities of incident location, behaviors of traffic participants and regularities of incidents based on different rights of way, the occurrence mechanism and the influence factors of the operational incidents of tramcars are summarized, a conclusion is drawn that the research on the secure state of the line intersection is the kernel of the security operation management of tramcars, the closure and separation of road rights for tramcar can improve the operation safety. This conclusion can be a reference for tramcar operation management and safety evaluation in China.

**Key words** modern tramcar; operational incidents; statistical analysis; line intersection

**First-author's address** Institute of Rail Transit, Tongji University, 201804, Shanghai, China

现代有轨电车运营事故, 是指现代有轨电车在运营过程中, 因各类过错或意外而造成人身安全伤害、设备设施损坏、经济财产损失, 或直接、间接导致线网运营暂时中断或永久失效的事件。现代有轨电车占用城市道路资源, 与社会车辆混行, 因而容易发生运营事故。本文主要基于国外若干城市的现代有轨电车运营事故统计报告, 总结分析现代有轨电车运营事故的特征及影响运营安全的因素。

## 1 现代有轨电车运营事故类型与人员伤亡情况统计

### 1.1 运营事故类型及伤亡情况

表1—表3分别为法国2013年、澳大利亚墨尔本2006—2015年、美国2009—2014年各类现代有轨电车运营事故情况统计表。

### 1.2 法国现代有轨电车乘客伤亡事故分类与致因分析

表4为法国现代有轨电车运营方对2103年乘客伤亡事故分类及伤亡情况统计表。由表4可见, 乘客在车厢内跌倒占乘客伤亡事故的比例最大, 其主要原因是列车在运行过程中发生了紧急制动(约占70%)事件。引起紧急制动的原因如下:

(1) 司机主动实施紧急制动: 一般是为避免与社会车辆或其他交通参与者发生碰撞。该原因为主要原因, 占比约为80%。

(2) 超速自动紧急制动: 当列车运行速度超过规定限速时, 列车自动制动系统启动紧急制动。

(3) 乘客触发车厢内的紧急制动装置: 列车刚刚驶离车站时, 没来得及下车的乘客触发车厢内的紧急制动装置。

(4) 车门启闭受阻导致紧急制动: 列车启动时车门未关闭, 或乘客在列车启动后强行上下车。

<sup>\*</sup> 国家科技支撑计划项目(2015BAG19B01); 上海市科学技术委员会科研计划项目(15DZ1204304)

表 1 法国 2013 年现代有轨电车运营事故情况统计<sup>[1]</sup>

事故类型	事故数量/件	第三方人员伤亡/人			乘客或司机伤亡/人		
		轻伤	重伤	死亡	轻伤	重伤	死亡
火灾、爆炸	3	1	0	0	0	0	0
列车脱轨	10	0	0	0	0	0	0
乘客伤亡	660	0	0	0	608	6	1
列车碰撞	5	0	0	0	0	0	0
列车与线路上障碍物碰撞	29	0	0	0	0	0	0
列车与第三方交通参与者碰撞	1 323	246	26	5	105	0	0
其他事故	25	6	1	0	5	0	0
总计	2 055	253	27	5	718	6	1

表 2 澳大利亚墨尔本市 2006—2015 年现代有轨电车运营事故情况统计<sup>[2]</sup>

事故类型	事故数量/件	第三方人员伤亡/人			乘客或司机伤亡/人		
		轻伤	重伤	死亡	轻伤	重伤	死亡
列车与行人碰撞	223	106	112	5	6	2	0
列车与社会车辆碰撞	368	112	30	1	213	145	1
乘客在车厢内摔倒或跌出车辆	38	8	12	0	12	7	0
其他事故	8	3	2	0	4	0	0
总计	637	229	156	6	235	154	1

表 3 美国 2009—2014 年现代有轨电车运营事故情况统计<sup>[3]</sup>

事故类型	事故数量/件	第三方人员伤亡/人			乘客或司机伤亡/人		
		轻伤	重伤	死亡	轻伤	重伤	死亡
列车与行人碰撞	36	26	9	2	0	0	0
列车与社会车辆碰撞	98	124	13	2	10	0	0
总计	134	150	22	4	10	0	0

表 4 法国 2013 年现代有轨电车乘客伤亡事故  
分类及伤亡情况统计<sup>[1]</sup>

乘客伤亡事故分类	数量/件	伤亡/人
车厢内跌倒	521	488
列车行驶过程中跌出车厢	1	1
列车停站过程中车厢内跌倒	35	31
跌落站台	26	24
被困车厢内	43	37
被列车拖行	12	10

(5) 设备故障导致紧急制动:在列车调试、测试期间或者在线路开通初期,因车辆设备故障或设备可靠度不足而引起紧急制动。

(6) 司机长时间无反馈导致紧急制动:在法国,现代有轨电车上安装有司机操作装置,按照规定,列车每行驶一定里程或一定时间,司机就必须触发

该装置;如果在规定时间内司机未触发该装置,列车将自动采取紧急制动。

1.3 现代有轨电车与第三方交通参与者碰撞事故分析

据统计,法国现代有轨电车与第三方交通参与者的碰撞事故占到了法国 2013 年全年有轨电车运营事故的 64.3%,而由此类事故引起的人员伤亡数量占比达到 37%。在碰撞事故中,与小汽车碰撞事故的占比最大,约为 70%。在碰撞事故造成人员伤亡数量中,与小汽车碰撞造成小汽车司乘人员伤亡数量和与行人碰撞造成行人伤亡数量占比分别约为 40%,所占比例最大;其他如与摩托车、自行车、厢式货车等碰撞造成的人员伤亡数量占比较小。

澳大利亚墨尔本市的数据统计结果也呈现出了类似的规律。在 2006—2015 年的现代有轨电车

与第三方交通参与者的碰撞事故中,与社会车辆和行人的碰撞事故占比最大。在 296 名死亡与重伤人员中,第三方交通参与者的伤亡数量占比为 50%。其中,社会车辆司乘人员死亡或重伤 31 人,沿线行人死亡或重伤达 117 人。

2 现代有轨电车运营事故发生地点分析

经统计,现代有轨电车各类碰撞事故的一般都集中于道路交叉口。

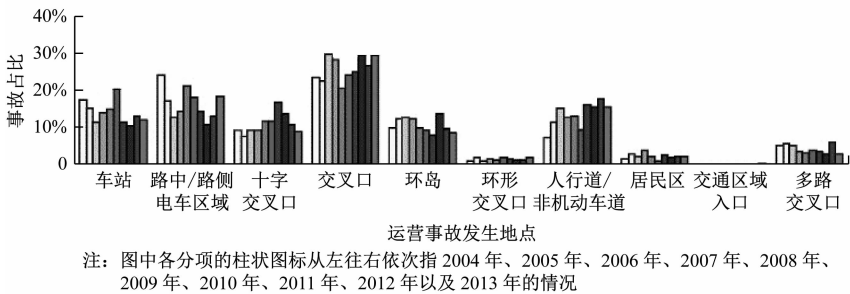


图1 法国2004—2013年现代有轨电车运营事故发生地点分布情况<sup>[1]</sup>

2.2 澳大利亚现代有轨电车运营事故发生地点分析

澳大利亚墨尔本市 2006—2015 年发生的 591 件现代有轨电车碰撞事故中,有 339 件发生在各类交叉口,占比达 57.4%。此外,在澳大利亚现代有轨电车线网中,比较常见的交叉口类型为十字交叉口、T 字交叉口和多路交叉口。其中,十字交叉口与 T 字交叉口的使用最为广泛,故在这一类交叉路口发生碰撞事故的次数最多,占比超过 95%(见表 5)。

表 5 澳大利亚墨尔本市现代有轨电车碰撞事故发生地点分布<sup>[2]</sup>

事故类型	各类道路线形事故数量/件				
	十字交叉口	T 字交叉口	多路交叉口	路段	其他
与行人碰撞	78	47	2	95	1
与车辆碰撞	94	106	12	154	2

2.3 美国现代有轨电车事故发生地点分析

美国 2009—2014 年发生的 134 件现代有轨电车碰撞事故中,有 85 件发生在各类交叉口,占比达到 63.4%(如图 2 所示)。

3 不同路权下现代有轨电车运营事故分布特征

现代有轨电车路权一般分为完全独立路权、半独立路权和混行路权 3 种。美国交通运输研究协会

2.1 法国现代有轨电车事故发生地点分析

根据法国 2004—2013 年现代有轨电车运营事故报告统计(见图 1),道路交叉口和环岛是碰撞事故发生最多的地点,其中,占比最大的是在现代有轨电车左转或右转的道路交叉路口,其次是在路中或路侧的现代有轨电车区段和车站。从 2004—2013 年,共发生了 3 406 件与第三方交通参与者的碰撞事故,其中的 1 624 件是现代有轨电车在道路交叉路口转向时发生的,约占 50%。

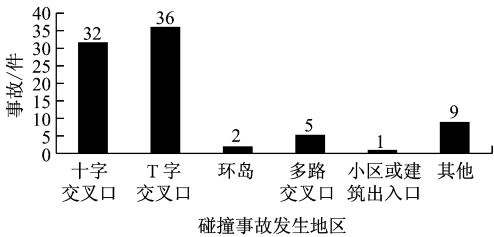


图2 美国现代有轨电车碰撞事故发生地点分布<sup>[3]</sup>

又对以上 3 种路权形式进行了细分。根据美国国家交通数据库(NTD),对 2002—2007 年美国 22 个城市或地区不同路权管理模式下的现代有轨电车碰撞事故进行了统计,如表 6 所示。由表 6 可见,路权封闭或隔离是提高现代有轨电车运行安全的有效举措。

表 6 2002—2007 美国不同路权管理模式下现代有轨电车碰撞事故统计<sup>[3]</sup>

路权管理模式	事故数量/件
与城市道路平交,路段、交叉口全封闭	85
交叉口与城市道路立交,路段封闭	0
交叉口采用下穿隧道通过,路段封闭	6
行人路口	86
与其他各类车辆共用路权	312
与公交车共用路权	63
路段隔离,交叉口平交且不做隔离	155
与国家铁路共用路权	10
其他	56

### 4 有轨电车运营事故交通参与者行为分析

法国对现代有轨电车运营事故进行了统计分析时,并总结了如下 4 种导致事故发生与碰撞事故后果恶化的原因。

(1) 现代有轨电车速度因素:现代有轨电车在行驶过程中超过规定限速而导致碰撞事故发生。

(2) 第三方交通参与者速度因素:第三方交通参与者由于抢行、超速等不合理交通行为导致碰撞事故发生。

(3) 沿线障碍物干扰:道路中存在固定设施或其他障碍物,现代有轨电车与第三方交通参与者共用道路交通资源,因两者间横向或纵向间距不够而导致碰撞事故发生。

(4) 制动设备因素:实施制动后现代有轨电车无法在一定距离或时间内停车,导致碰撞事故发生。

经统计发现,第三方交通参与者行为不规范是导致碰撞事故发生和事故后果恶化的最主要因素。

#### 4.1 行人的行为分析

澳大利亚维多利亚州路政局根据长时间的运营管理经验,将交通事故中各类交通参与者的行为进行分类(Definition for classifying accidents, DCA),将行人交通行为分为 10 类,将车辆交通行为分为 68 类<sup>[4]</sup>。

在路段和交叉口发生的现代有轨电车与行人碰撞事故中,行人交通行为类型主要有 7 种:现代有轨电车与其左侧的行人发生碰撞(DCA100);现代有轨电车司机视线受前方静止社会车辆或其他物体影响,导致与行人发生相撞(DCA101);现代有轨电车与其右侧的行人发生碰撞(DCA102);行人因打闹嬉戏或因现场工作原因在现代有轨电车轨道上停留导致碰撞事故发生(DCA103);行人行走方向与现代有轨电车运行方向相同(DCA104);现代有轨电车侵入交通安全岛、人行步道导致与行人发生碰撞(DCA106);社会车辆上下车乘客与后方现代有轨电车发生相撞(DCA108)。

经统计发现,在路段发生的 95 件与行人碰撞事故中,编号为 DCA100 和 DCA102 两类行人交通行为导致的碰撞事故最多,分别为 40 件和 25 件,占比达 68%。在信号交叉口处发生的 49 件与行人碰撞事故中,编号为 DCA100 和 DCA108 两类行人交通行为导致的碰撞事故最多,分别为 17 件和 19 件,占比达 73%。

#### 4.2 社会车辆的行为分析

澳大利亚 2006—2015 年在各类路段和信号交叉口现代有轨电车与社会车辆发生碰撞事故 238 件,事故中的社会车辆行为分析见表 7。

表 7 澳大利亚 2006—2015 年现代有轨电车与社会车辆碰撞事故中社会车辆行为分析<sup>[2]</sup>

事故地点	社会车辆行为	事故数量/件
路段	追尾	45
	逆行	82
	超车	3
	停车或起步	11
	碰撞障碍物	8
	其他	9
	两股车流侧向碰撞	29
信号交叉口	追尾	36
	两股车流合流碰撞	10
	撞击障碍物	2
	其他	4

由表 7 可知,在路段,现代有轨电车与社会车辆发生碰撞往往是由于社会车辆采取危险交通行为,例如不遵守信号灯、车辆逆行、违章变道等;而在信号交叉口,不同流向车辆间互相干扰与冲突是导致现代有轨电车行车事故的主要原因,例如车辆追尾、两向车流交叉干扰、两向交通流分合流等。

### 5 结语

本文主要通过法国、澳大利亚、美国的现代有轨电车运营事故统计报告与道路交通事故报告,对现代有轨电车运营事故的特征与致因进行了分析。主要结论如下:

(1) 现代有轨电车与第三方交通参与者共享道路资源,与第三方交通参与者发生碰撞是现代有轨电车运营事故中最主要的事故类型,因此对于现代有轨电车运营安全的研究工作不能脱离道路交通安全范畴。

(2) 在道路交叉口,现代有轨电车与第三方交通参与者直接产生互相干扰与影响,事故发生频率较高,且造成的人员伤亡与财产损失比较严重。

(3) 路权的封闭与隔离能提高现代有轨电车的运营安全,可减少在路段因车辆追尾或随意变道而导致的碰撞事故。

(下转第 152 页)

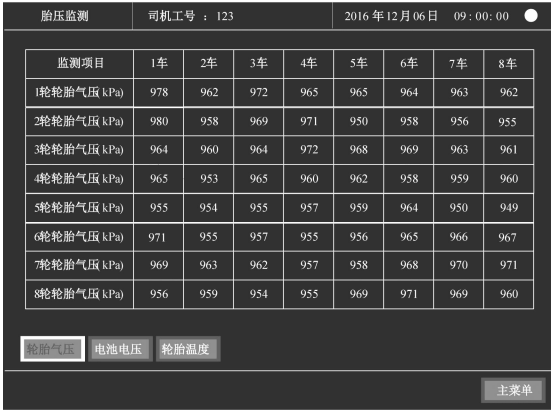


图2 轮胎气压实时监测及诊断界面

文件(F) 记录分析(A) 筛选统计(S) 管理选项(O) 窗口(W) 帮助						
    						
编号	位置	前走行轮	后走行轮	位置	前走行轮	后走行轮
1	MC1(1)	948.60	948.60	MC1(1)	948.60	948.60
2	MC1(3)	948.60	948.60	MC1(3)	948.60	948.60
3	M2(1)	948.60	948.60	M2(1)	948.60	948.60
4	M2(3)	948.60	948.60	M2(3)	948.60	948.60
5	M4(1)	948.60	948.60	M4(1)	948.60	948.60
6	M4(3)	948.60	948.60	M4(3)	948.60	948.60
7	M5(1)	948.60	948.60	M5(1)	948.60	948.60
8	M5(3)	948.60	948.60	M5(3)	948.60	948.60
9	M7(1)	948.60	948.60	M7(1)	948.60	948.60
10	M7(3)	948.60	948.60	M7(3)	948.60	948.60
11	M6(1)	948.60	948.60	M6(1)	948.60	948.60
12	M6(3)	948.60	948.60	M6(3)	948.60	948.60
13	M3(1)	948.60	948.60	M3(1)	948.60	948.60
14	M3(3)	948.60	948.60	M3(3)	948.60	948.60
15	MC2(1)	948.60	948.60	MC2(1)	948.60	948.60
16	MC2(3)	948.60	948.60	MC2(3)	948.60	948.60

图3 轮胎气压记录文件

4 监测诊断系统的优势

该系统可提高单轨车走行轮胎压检测的及时性,司机及维护人员可通过该系统实时掌控走行轮胎的运行情况,并对异常情况作出准确判断和及

(上接第 70 页)

(4) 通过对第三方交通参与者的行为进行分析发现,导致碰撞事故发生的主要原因是第三方交通参与者的行为不规范和交叉口多股交通流的相互影响。

参考文献

[1] Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy. Accidentology of tramways, analysis of reported events - year 2013 evolution 2004-2013 [R]. Paris: Technical Office for Mechanical Lifts and Guided Transport Systems ( STRMTG ), 2015;

时处置,极大地减少因轮胎异常造成的安全事故。

该系统可使轮胎气压控制在正常范围之内,这样能减少轮胎的磨损,从而可以提高轮胎使用寿命,减少运营维护成本,以及提高维护效率。

该系统可以自动记录胎压的参数信息及故障状态,为单轨车故障追溯和原因分析提供科学依据,有利于维保工作的改进和升级提升。

5 结语

传统的无线胎压检测系统只能通过专用的 PTU 软件读取轮胎气压和温度等信息,效率较低,实时性亦较差。通过与 TCMS 系统相结合,可预防轮胎气压异常可能引发的安全事故,为单轨车的运营提供了安全保障。单轨车走行轮实时监测诊断系统科学地指导了车辆由日检、周检等预防性检修为主的检修模式向均衡检修模式的过渡,提高了检修效率,并且在保证检修质量和运营品质的前提下,进一步从人力和物力等方面降低了运维成本。

参考文献

[1] 宋春莉,吴涛.重庆单轨 3 号线网络监控系统国产化技术方案与实现[J].内燃机车,2009(5):21.  
[2] 田鹏,张永明,刘斌普,等.某型动车组新型实时轴温检测系统的设计与应用[J].铁道车辆,2016,54(11):13.  
[3] 殷培强,崔凤钊,单正辉.基于 TCN 的列车网络控制系统在单轨列车上的应用[J].铁道车辆,2014,52(11):10.

(收稿日期:2017-05-03)

9-29.

[2] Victoria State Government. Road Crash Statistics; Victoria [R]. Melbourne: VicRoads, 2016.  
[3] DON C, ALLISON C, JONATHEN B, et al. Improving pedestrian and motorist safety along light rail alignments [R]. Washington D. C.: National Research Council, Transportation Research Board, 2009.  
[4] Chief Parliamentary Counsel. Road safety road rules 2009 [M]. Melbourne: Chief Parliamentary Counsel, 2014.

(收稿日期:2017-04-25)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com