

基于 EDR 数据的汽车碰撞行人事故重建

邱健斌¹, 张诗波^{1,2,3*}, 刘 奇¹, 罗龙浩¹, 查治涌¹, 张 璐¹

(1. 西华大学汽车与交通学院, 四川 成都 610039; 2. 西华大学汽车测控与安全四川省重点实验室, 四川 成都 610039;
3. 四川西华交通司法鉴定中心, 四川 成都 610039)

摘 要: 为可靠地完成汽车碰撞行人事故的重建, 探索一种新的人车事故重建方法。在对汽车事件数据记录器(EDR)记录的事件类型、数据及其读取方法进行分析的基础上, 结合仿真软件, 提出利用 EDR 数据实现人车事故重建的方法路径, 并使用一起痕迹信息和视频信息较为充分的案例对该方法进行演示验证。结果表明: 利用 EDR 数据及仿真软件能够快速准确地对人车事故进行重建模拟, 且可靠性和实用性较强。研究成果对人车事故的鉴定和分析具有参考价值。

关键词: 人车事故; 事故重建; EDR; PC-Crash

中图分类号: U491.31 文献标志码: A 文章编号: 1673-159X(2022)02-0078-06

doi:10.12198/j.issn.1673-159X.4006

Reconstruction of Vehicle-pedestrian Impact Accident Based on EDR Data

QIU Jianbin¹, ZHANG Shibo^{1,2,3*}, LIU Qi¹, LUO Longhao¹, ZHA Zhiyong¹, ZHANG Lu¹

(1. School of Automobile and Transportation, Xihua University, Chengdu 610039 China;
2. Vehicle Measurement Control and Safety Key Laboratory of Sichuan Province, Xihua University, Chengdu 610039 China;
3. Sichuan Xihua Jiaotong Forensic Center, Chengdu 610039 China)

Abstract: In order to reconstruct the human-vehicle accident reliably, a new reconstruction method of human-vehicle accident was explored. Based on the analysis of the event types, data and their reading methods recorded by the automotive event data recorder (EDR), a method path for human-vehicle accident reconstruction using EDR data is proposed in combination with simulation software, and a case with sufficient trace and video information is used to demonstrate and validate the method. The results show that the EDR data and simulation software can be used to reconstruct and simulate the accident quickly and accurately, and the reliability and practicability are strong. The research results are of reference value to the identification and analysis of human-vehicle accidents.

Keywords: human-vehicle accident; accident reconstruction; EDR; PC-Crash

收稿日期: 2021-04-08

基金项目: 西华大学重点项目(Z211005); 四川交通职业技术学院四川省现代道路行车安全保障工程技术研究中心项目(2021-ZD-03)。

* 通信作者: 张诗波(1981—), 男, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为交通安全、交通事故鉴定、智能网联交通。

ORCID: 0000-0003-3820-1601 E-mail: zhshbox@163.com

引用格式: 邱健斌, 张诗波, 刘奇, 等. 基于 EDR 数据的汽车碰撞行人事故重建[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2022, 41(2): 78-83.

QIU Jianbin, ZHANG Shibo, LIU Qi, et al. Reconstruction of Vehicle-pedestrian Impact Accident Based on EDR Data[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2022, 41(2): 78-83.

交通事故重建是指根据调查获取的各类证据材料,运用相关数学与物理原理对事故发生过程进行推演与印证。随着社会的发展和技术的进步,事故牵涉方、事故及汽车安全研究相关方等对事故重建的需求不断增加,对事故重建科学性、精密性和准确性的要求也不断增强。交通事故的形态多种多样,每起事故能够获得的重建信息也不尽相同,以致对不同的事故所能够采取的重建方法也不尽相同。汽车碰撞行人的交通事故(以下简称“人车事故”),由于车辆与行人质量差异巨大,加之事故后通过现场痕迹勘查获得信息的不确定性,以致对人车事故的重建方法也有不同要求。

在人车事故重建中,最核心的是确定碰撞速度。传统的人车事故车速估算方法有基于制动拖印、基于行人抛距、基于散落物以及基于视频图像(监控视频或行车视频)等几种方法。这些方法在具备相应条件下,可以实现一定精确程度的车速重建^[1]。尽管如此,由于配备 ABS 的车辆很难遗留完整清晰的制动拖印痕迹、缺乏有效视频记录、行人抛距无法确定、现场没有有效痕迹等原因,仍然有为数不少的人车事故无法通过传统的方法实现重建。近年来,随着事件数据记录器 EDR(event data recorder)越来越多地安装到汽车上,并且越来越多的车型开放 EDR 读取接口,使得事故重建的技术路径又有了一种新的可能。

美国国家公路安全管理局(NHTSA)2006 年发布的“49 CFR Part 563”联邦法规中将 EDR 定义为:“用于提取车辆碰撞后记录车辆碰撞前(速度与时间)和碰撞时(速度变化与时间)对应时间序列的车辆动力学数据的装置或功能”,并要求从 2012 年 9 月 1 日及之后制造生产或销售于美国的车辆需要遵守该项标准^[2]。中国关于 EDR 的强制性国家标准 GB 39732-2020《汽车事件数据记录系统》也已经发布,将于 2022 年 1 月 1 日实施^[3]。

当前,针对 EDR 数据的研究主要包括汽车与汽车事故有效碰撞速度重建^[4],汽车与两轮车事故车速重建^[5],通过 EDR 记录的侧翻角重建侧翻及跌落事故^[6],通过车速、油门加速、制动踏板及转向输入数据重建事故车辆运动轨迹^[7]以及气囊模块算

法改进^[8]等。基于以上研究现状,EDR 的实际应用已经具备相应条件。本文基于笔者所在机构长期以来在交通事故鉴定活动中采集的包含 EDR 数据的人车事故案例,探索 EDR 数据用于支撑实现人车事故重建的方法路径,并使用痕迹信息和视频信息相对充分的案例演示验证。

1 EDR 记录的事件、数据及其读取

1.1 EDR 记录的事件类型

EDR 技术最早于 1974 年起源于美国通用汽车公司,并在 20 世纪 90 年代基本形成了现代 EDR 技术^[9]。长期以来,EDR 的安装与使用均定位于汽车厂商的企业级行为,并没有一个行业性或更高级别的标准进行要求和规范,以致 EDR 及其记录的数据也很少被汽车厂商之外的其他主体所认识和解读,并且 EDR 所记录的事件类型和数据形式也不尽相同。近年来,随着许多国家对于 EDR 的强制性要求越来越明确,EDR 所记录的事件类型也越来越清晰。EDR 触发记录信号一般来自安全气囊点爆算法的信号源,所记录的事件类型一般分为非点爆事件和点爆事件。

非点爆事件是指减速度达到安全气囊“算法实现”的触发阈值,但安全气囊未触发或者预紧器未工作的事件。这类事件的数据会被之后满足触发条件的事件数据滚动覆盖。点爆事件是指减速度达到安全气囊点爆的触发阈值,且安全气囊点爆或者预紧器工作的事件。这类事件的数据不能被擦除或改写,一旦安全气囊被点爆,该 EDR 将不可再用,并且在更换安全气囊的同时也应更换新的 EDR^[10]。如果气囊电子控制单元(ECU)电源在事件中损坏,部分或全部事件数据将无法记录。

1.2 EDR 记录的数据

美国联邦法规“49 CFR Part 563”中规定安装 EDR 的车辆必须记录指定的 15 个数据元素及可选择记录额外的 30 种数据^[2],并且为了确保不同品牌车辆 EDR 数据的一致性,该法规在数据精度、频率、范围等方面都有明确规定,当前汽车上安装有 EDR 的美系车基本都是遵从这项规定。中国的强制性国家标准《汽车事件数据记录系统》规定安

装汽车事件数据记录系统的 M1 类车辆应记录 17 种 A 级元素, 配备 EDR 系统的车辆且配备了相关装置或具有相关功能时应记录 43 种 B 级元素^[3]。整理相关法规及标准发现 EDR 数据主要包含系统基本信息、事件基本信息、预碰撞数据及碰撞后数据。系统基本信息主要包括车辆识别代码(VIN)、EDR 报告保存时间、EDR 报告文件是否完整、检索时系统状态、点火循环次数及冻结信号等。事件基本信息包括事件触发计数(TRG)、碰撞类型、故障诊断代码(DTC)及事件触发时间序列等。预碰撞阶段主要记录按时间节点排列的车速、加速踏板、制动踏板、发动机转速、转向输入、档位、巡航控制状态等数据。碰撞后主要记录按时间节点排列的纵向加速度、横向加速度、翻滚角度及最大加速度等数据, 同时根据被动安全装置配备情况记录相关信息。EDR 记录的数据有助于事故发生后推演再现事故过程, 追溯事故成因, 对事故分析与重建能起到关键作用。

1.3 EDR 数据读取

目前, 广泛使用的 EDR 读取装置是碰撞数据检索工具 CDR(Crash Data Retrieval)。该工具由 CDR 接口模块、模块连接线、适配器、CDR 软件等组成。不同的车型需有不同的适配器和数据线, 软件可在 Windows 系统上运行。利用 CDR 读取 EDR 数据有两种途径^[11], 一种是将数据线直接连接到车辆的故障诊断接口(OBD 接口), 另一种是将安全气囊控制模块(ACM)取下后利用 CDR 读取工具获得事故车辆的碰撞数据报告, 适用于事故受损严重导致车辆无法通电等情况。

2 EDR 数据在人车事故重建中的应用

2.1 人车事故重建对 EDR 数据的应用需求

EDR 数据在人车事故重建中的应用需求有车速重建、驾驶人应急操作重建、车辆运动轨迹重建、车辆被动安全系统效用评价等方面。

1) 车速重建。

EDR 数据中包含车辆在碰撞前 5 s 或 2.5 s 的速度, 利用这些数据还原碰撞前车辆行驶速度的变化, 从而确定车辆在事故前的行驶速度以及碰撞瞬

间速度。EDR 记录的车速还受轮胎尺寸影响, 若事故时车辆轮胎尺寸与厂家指定的轮胎尺寸不一致, 则需要对车速进行修正, 修正公式^[12]为

$$v = v_1 \times r_1 / r_0 \quad (1)$$

式中: v 为修正后车速; v_1 为修正前车速; r_1 为事故车辆的车轮轮胎半径; r_0 为厂家指定的车轮轮胎半径。

2) 驾驶人应急操作重建。

碰撞是一个瞬间过程, 驾驶人由于惊吓或紧张等原因容易出现误操作或无应急操作, 使用传统方法重建驾驶人应急操作非常困难。利用 EDR 记录的事故车辆预碰撞阶段数据能够还原驾驶人的具体操作步骤及时间, 对事故成因分析有着直接帮助。

3) 车辆运动轨迹重建。

利用 EDR 记录的车速变化、转向输入等数据结合数学方法完成车辆预碰撞阶段的运动轨迹重建, 可以提高重建准确度, 同时减少对现场痕迹勘查的依赖性, 保障事故重建分析人员的安全。

4) 车辆被动安全系统效用评价。

分析 EDR 记录的碰撞后数据, 根据加速度计算碰撞严重程度是否满足气囊或预紧器工作触发条件; 通过被动安全装置相关数据可以判断气囊、预紧器等是否及时展开工作及有效保护车内乘员安全, 以便对车辆被动安全系统效用做出评价。

2.2 EDR 数据在人车事故重建系统中的体现

目前, 人车事故重建的主流方法是基于事故相关的采集信息, 利用计算机软件(比如 PC-Crash)仿真模拟^[13-14]。人车事故仿真建模主要有道路建模、车辆建模及行人建模三个方面, 其中道路建模和行人建模所需参数可以通过现场或目的物勘查获取相关信息, 建模难度相对较低且准确性较高, 车辆建模所需参数较多且采集难度较大。基于现有条件, 利用 EDR 数据结合 PC-Crash 对人车事故进行重建, 能够有效保证重建效率和准确率, 如图 1 所示。

EDR 能够在仿真过程中提供数据支撑, 主要体现在以下 4 个方面。

1) 车辆静态建模。

EDR 数据包含车辆 VIN 码, 通过查询 VIN 确定车辆型号、外形尺寸、底盘数据及动力系统参数

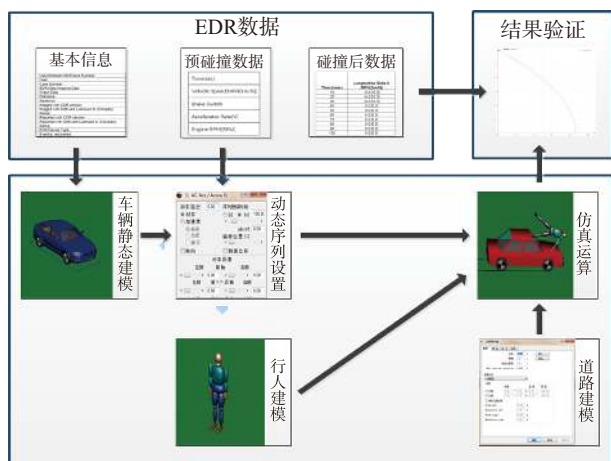


图1 PC-Crash 仿真示意图

等。根据相关信息在 PC-Crash 模型库中选择对应车型,并可按照实际情况调整相关参数,完成车辆静态建模。

2) 仿真车速输入。

PC-Crash 仿真需要直接输入车辆开始速度,即碰撞速度。EDR 记录的预碰撞阶段车速能够直接准确地反应碰撞前车辆行驶速度变化及碰撞瞬间车速,可直接输入软件。

3) 动态序列设置。

PC-Crash 中车辆动态序列设置包含加速、制动及转向操作,需要还原碰撞瞬间的驾驶人操作。EDR 记录的加速踏板、制动踏板及转向输入数据可直接输入 PC-Crash 软件中完成车辆动态序列重建。

4) 仿真结果验证。

EDR 记录了碰撞后一定时间内的车辆速度及加速度变化,可与 PC-Crash 仿真运行的输出结果进行对比及误差分析,验证重建结果的可靠性。

3 应用案例

笔者所在机构现有包含 EDR 数据的人车碰撞事故 14 例,碰撞类型全为正碰。选取其中一例车身碰撞痕迹明显且有监控视频的人车事故,读取 EDR 数据和勘查信息,利用 PC-Crash 软件进行事故重建,并利用监控视频信息验证事故重建结果。

3.1 案例事故概况

案例为 2017 年 4 月发生在成都市新津县的一起丰田轿车碰撞行人事故,碰撞瞬间截图如图 2 所示。事故导致行人受伤住院,车辆左前部位受损及



图2 案例事故碰撞前瞬间截图

挡风玻璃破碎。事故采集资料有车检照片、监控视频、行人伤情报告及 EDR 数据。通过监控视频判断第一接触位置为行人左侧身躯与车辆左前大灯附近。行人头部与车辆碰撞位置为前挡风玻璃左侧边框附近,碰撞后车辆运动时间为 2.89 s。在事故视频中车辆左前灯具前端取一固定参考线 A,能够辨别出事故车辆的左前照灯和左后尾灯通过该固定参考线 A 的视频帧数差为 9 帧,经测量两灯之间的距离 L 约为 4.75 m,视频帧率为 29 fps。参考线截图如图 3 所示。



图3 参考线 A 截图

利用速度-时间-位移关系,计算得出鉴定车辆通过视频画面虚拟参考线 A 的速度为 55.1 km/h,据此得出事故车辆碰撞瞬间行驶速度约 55.1 km/h。

3.2 事故车辆 EDR 数据检读

读取事故车辆 EDR 数据,对事件基本信息及预碰撞阶段数据进行分析,可以获取事故发生前的车辆状态,确定驾驶员是否正确使用安全带、车辆本身是否存在故障等,对驾驶员损伤分析及事故致因分析有一定作用。根据表 1 可以确定该车 EDR 系统共记录 8 次触发事件,第 8 次即为本次碰撞事件,数据记录完整,无故障诊断代码存在。碰撞类型为 正碰,碰撞前驾驶座安全带正常使用,驾驶座处于靠后的位置,变速器挡位处于前进挡。

表 1 事件基本信息表

记录状态	完整
碰撞类型	前/后碰撞
触发计数	8
故障诊断代码	无
驾驶座安全带	正常使用
驾驶座位置	靠后
变速器挡位	驱动挡

表 2 为 EDR 记录的触发(碰撞)前 5 s 内的车速、制动踏板开关、油门开度、发动机转速数据。相对于传统的人车事故碰撞速度求解方法,利用 EDR 数据能够极大地简化这一过程,且预碰撞阶段的数据能够对事故致因分析起着支撑作用。

表 2 案例 EDR 数据

时间/s	-4.8	-3.8	-2.8	-1.8	-0.8	0
速度/(km/h)	62	62	60	60	58	54
制动踏板	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
节气门开度/%	94	94	78	78	78	78
发动机转速/(r/min)	1600	1200	800	800	1200	1200

碰撞发生前 4.8~1.8 s, 驾驶员松开加速踏板, 制动踏板无操作, 发动机转速由 1600 r/min 降低至怠速, 事故车辆行驶速度由 62 km/h 降至 60 km/h。碰撞前 1.8~0 s, 驾驶员踩下制动踏板采取紧急制动, 发动机转速逐步升高至 1200 r/min, 车速由 60 km/h 降低至 54 km/h。该车实际使用轮胎型号与厂家标准一致, 可以确定 EDR 记录的碰撞瞬间车速为 54 km/h。对 EDR 记录的碰撞后数据进行分析, 数据记录完整, 共记录碰撞后 200 ms 内事故车辆纵向加速度, 最大纵向加速度为 0.3 km/h, 如图 4 所示。碰撞后 200 ms 内由于人车质量差异巨大, 事故车辆运动状态未受较大影响。

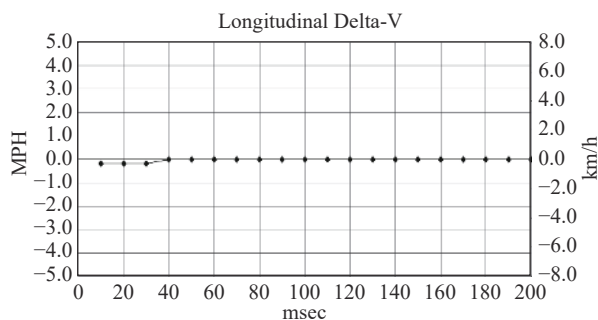


图 4 事故车辆纵向 Delta-V 曲线图

3.3 案例事故重建实现

人车事故仿真建模主要分为道路建模、车辆建模、行人建模 3 个模块。基于事故车辆 EDR 数据及车检照片, 在 PC-Crash 软件中进行建模, 运行仿真再现事故发生过程。PC-Crash 自带道路模型, 选择需要的道路类型并设置长度、宽度等基本参数, 调整路面摩擦系数, 完成事故道路建模。车辆建模可根据车辆型号调用软件数据库内自带的车辆模型, 同时也可对车身几何及车辆动力学相关参数进行调整。PC-Crash 同时提供有多刚体模型库, 可以选择不同百分位行人模型并调整基本参数和行人姿态。

根据实际信息 1:1 重建道路、车辆及行人模型, 事故道路为潮湿沥青路面, 路面摩擦系数取 0.6。碰撞前 1.8 s 汽车采取紧急制动, 碰撞瞬间车速输入为 54 km/h。第一接触位置为行人左侧身躯与汽车左前大灯附近。碰撞后行人头部与汽车左侧边框附近前挡风玻璃发生碰撞。

运行仿真, 汽车左前部与行人左侧身躯接触, 碰撞后 135 ms 时行人头部与车辆左侧边框附近前挡风玻璃发生碰撞, 车辆运动时间为 2.70 s, 汽车最终位置距离第一碰撞点 15.06 m, 行人抛距为 19.47 m, 如图 5 所示, 碰撞对应位置关系如图 6、图 7 所示, 汽车及行人运动状态如图 8 所示。导出行人头部加速度, 利用 HIC(head injury criterion)公式计算行人头部损伤, 最大值为 709.519, 与 AIS 伤害等级的对应关系为 AIS2 级至 AIS3 级之间^[15], 属于中等或严重事故损伤, 与行人伤情基本符合。

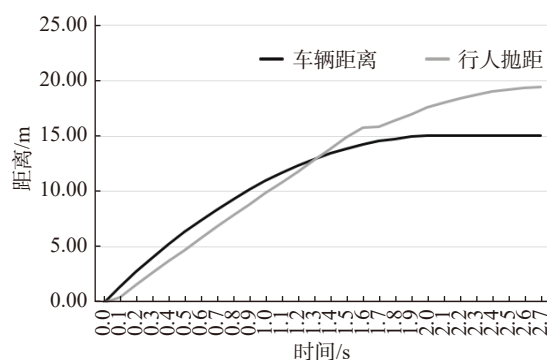


图 5 汽车距离及行人抛距图

对比仿真结果与视频监控采集信息, EDR 记录的碰撞瞬间车速与视频监控计算车速误差为



图6 第一接触位置对应关系图



图7 头部碰撞位置对应关系图

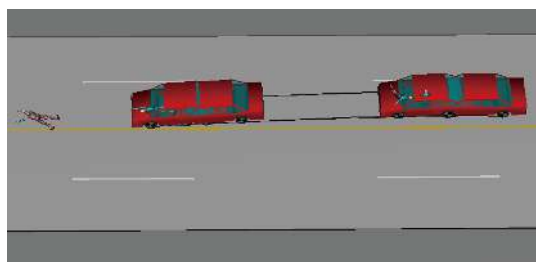


图8 仿真事故过程示意图

2.0 %。事故车辆仿真模拟运动时间与通过视频监控计算的运动时间误差为 6.5 %。事故车辆与行人的第一接触点及头部碰撞位置对应关系、碰撞过程、最终位置及伤情信息等具有明显的对应关系,证明该仿真结果是可信的。

4 结束语

利用 EDR 数据结合车辆及行人勘查信息在 PC-Crash 软件中进行仿真模拟,能够有效解决传统人车事故重建方法中的碰撞速度及预碰撞阶段数据获取难点,且可依据 EDR 数据验证仿真结果。但由于 EDR 数据的局限性,应用 EDR 数据进行人车事故重建要综合考虑事故整体资料,确保重建结果的可靠性。

参 考 文 献

[1] 车兴平, 谢静茹, 黄云, 等. 车辆行人事故碰撞速

度重建技术研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 33(1): 40-44.

[2] National Highway Traffic Safety Administration. Final rule—event data recorders, 49 CFR Part 563, Docket No[R]. Washington D C: NHTSA-2006-25666, 2006.

[3] GB 39732-2020, 汽车事件数据记录系统[S].

[4] 冯浩, 吴建平, 张志勇, 等. 车辆 EDR 数据在速度重建中的应用[J]. 中国司法鉴定, 2016(3): 26-31.

[5] 李威. 基于 EDR 的轿车-电动两轮车事故车速重建研究[D]. 上海: 上海工程技术大学, 2017.

[6] LIN S, OH W, CHOI J, et al. Analysis of vehicle rollover accident simulation using EDR and PC-crash[J]. Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, 2020, 28(4): 255-263.

[7] KUSANO K D, SHERONY R, GABLER H C. Methodology for using advanced event data recorders to reconstruct vehicle trajectories for use in safety impact methodologies (SIM)[J]. Traffic Injury Prevention, 2013, 14(sup1): 577-586.

[8] KOMARI O, JAVIDI M, MERRILL Z, et al. Side airbags deployment range from analysis of event data recorder database of real-world incidents[J]. SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems, 2020, 12(2): 163-171.

[9] 张诗波. 道路交通人车碰撞事故再现关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.

[10] 钱宇彬, 李威, 冯浩. 车辆 EDR 数据分析及应用[J]. 汽车技术, 2017(12): 48-53.

[11] 张宇宽. EDR 技术在道路交通事故鉴定中的应用[J]. 四川警察学院学报, 2019, 31(4): 98-105.

[12] 陈冬鑫. 面向交通事故重建的汽车行驶记录仪应用研究[D]. 北京: 中国人民公安大学, 2017.

[13] 杨建军, 李圣普, 孙仁云, 等. 基于 PC-Crash 的交通事故仿真实验设计[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12): 131-134.

[14] 段腾龙, 何永旺, 李桢, 等. 基于 PC-Crash 软件的人-车碰撞道路交通事故重建[J]. 法医学杂志, 2019, 35(4): 440-443.

[15] 李晓明, 郭亮, 白鹏, 等. 基于 CIDAS 调查的汽车与自行车碰撞事故中头部伤害情况分析[J]. 交通世界, 2017(11): 152-153.

(编校: 夏书林)