

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.02.007

滇南地区公路雨天事故特征与安全影响因素分析^{*}

罗忠祥^{1,2}, 李薇^{3,4}, 肖天祥^{1,2}, 梅立善^{1,2}

(1.云南腾陇高速公路有限责任公司, 云南 德宏 678600; 2.云南德孟高速公路投资开发有限公司, 云南 保山 678000; 3.云南省交通规划设计研究院有限公司 交通灾害防治技术研究分院, 云南 昆明 650040; 4.云南省数字交通重点实验室, 云南 昆明 650040)

摘要: 根据云南南部典型降雨多发地区降雨与事故分布情况, 对比分析降雨条件下山区公路交通事故率风险比、事故形态及事故原因。结果表明, 降雨时及降雨后 1~3 h 的事故发生率风险比分别为 33.4、164.0, 降雨条件下发生事故的频率是正常情况下的 33.4 倍, 降雨及其有影响的时段发生事故的频率是正常情况下的 164.0 倍; 降雨时事故以追尾碰撞、侧翻和对向碰撞为主, 事故原因主要是未保持安全距离; 降雨会对视线、路面条件、车辆稳定性和驾驶人反应时间等带来不利影响, 车距及车速控制是降低雨天事故发生可能性的重要措施。

关键词: 交通安全; 山区公路; 交通特征; 安全影响因素; 雨天

中图分类号: U491.31

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)02-0033-05

恶劣天气对行车环境与驾驶员生理和心理都会造成很大影响。云南地处中国西南山区, 属于亚热带高原季风气候, 由于地形条件复杂, 很容易形成微气候环境。滇南地区有明显的雨季, 单点偶发性的强降雨天气较多, 对道路交通安全的影响大。多项研究表明, 降雨从道路条件、驾驶环境、驾驶员等方面影响行车安全。降雨条件下路面抗滑性能降低^[1], 轮胎与路面附着界面存在水流造成水滑, 进而降低车辆制动稳定性^[2]; 路面附着系数下降, 机动车的制动稳定性、转向操作稳定性变差, 导致车辆打滑, 造成侧滑或侧翻等事故^[3]。相较于无雨天气, 降雨条件下行车速度和流量折减量随降雨强度的增加而增加^[4], 道路线形平曲线半径的减小和纵坡的增大会加剧降雨对运行速度的影响^[5]。此外, 降雨会导致驾驶员视线模糊, 强降雨天气会造成能见度降低, 造成驾驶员视程障碍^[6]; 跟车情况下前车轮胎碾压水膜会产生水雾影响能见度^[7]。降雨强度影响能见度、行车速度和路面抗滑性能, 车辆制动距离随降雨强度的增加而增大^[8]。驾驶员生理和心理等也会受降雨影响^[9], 雨天驾驶员心率增长率高于晴天^[10]。朱宝林等统计分析云南省高速公路交通气

象灾害风险特征, 认为强降雨会导致路面摩擦因数降低, 可能诱发滑坡等地质灾害^[11], 影响行车安全。从事故率来看, 降雨条件下事故率高于平均状态下事故率, 雨量为中雨和大雨的情况下公路交通事故率达到高峰^[12]。

本文分析云南南部典型降雨多发地区的气象特征及交通安全特征, 对比分析降雨条件下山区公路交通事故特征, 结合滇南地区某公路在降雨条件下的事故发生率风险比、交通事故形态与事故原因等, 研究降雨对道路行车安全的影响并提出安全保障措施, 为降雨多发地区公路安全优化措施制定提供依据。

1 数据获取与处理

收集滇南地区某公路 2014—2017 年逐小时地面气象数据及公路沿线交通数据, 通过时间匹配筛选出降雨期间交通事故信息及总体交通事故信息进行事故特征分析。主要数据及其来源见表 1。

在交通事故表后增加当前降水量、1 h 前降水量、2 h 前降水量、3 h 前降水量, 最终形成的融合数据表中各要素见图 1。

^{*} 基金项目: 交通运输行业重点科技项目清单(2021-TG-005); 云南省交通运输厅科技创新与示范项目(云交科教便[2020]75号; 云交科教便[2022]122号); 云南省科技厅科技计划项目(202201AT070245; 202305AC160070); 云南省数字交通重点实验室研究项目(202205AG070008)

表 1 主要数据及其来源

数据来源	数据名称	数据描述
逐小时地面气象 观测数据	站点	区/县代码
	时间	世界时, +8 h 换算为北京时间
	降水量	单位为 mm, 更新频率为 1 h
	时间	事故发生时间
	事故地点	路线编码, 方向, 桩号
一般程序/简易程序 事故	车型	小型客车, 大型客车, 小型货车, 中型货车, 重型货车, 摩托车, 拖拉机, 非机动车, 畜力车, 行人
	事故形态	追尾事故, 车辆刮擦, 侧面相撞, 对向相撞, 与固定物碰撞, 与停止车辆碰撞, 倒车碰撞, 与行人碰撞, 其他碰撞
	违反条例 (事故原因)	操作不当, 未按规定让行, 未保持安全距离, 未靠右行驶, 违章超车, 违章倒车, 违章停车, 违章变道, 无证驾驶, 酒后驾驶, 车辆失控及其他
	伤亡人数	受伤人数, 死亡人数

注: 气象数据来源于国家气象科学数据中心-中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)逐小时地面气象观测数据。

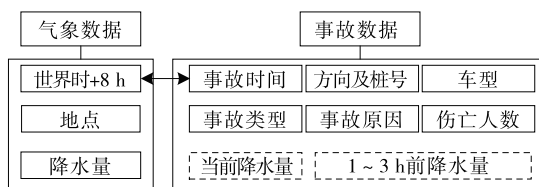


图 1 气象与事故数据处理

筛选出降雨时及降雨后 1~3 h 内发生的交通事故进行统计分析, 并将雨天事故分布特征与总体事故分布特征进行对比分析, 结合雨天事故特征、降雨对行车条件的影响, 分析雨天行车安全影响因素, 提出雨天行车条件提升建议。

2 降雨分布特征分析

2.1 滇南地区公路降雨分布特征

滇南地区某公路 2014—2016 年的月平均降雨天数见图 2。由图 2 可知: 每年 5—10 月降雨较为集中, 每月平均有 20 d 的时间有降雨, 其中 6—9 月为降雨高峰期, 且大雨、暴雨的发生频率比其他月份高。

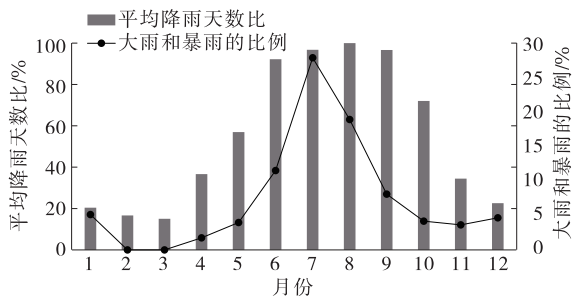


图 2 滇南地区某公路 2014—2016 年月平均降雨分布

2.2 交通事故与降雨时间分布特征

交通事故的月份分布见图 3(a)。收集该公路所在地区的历史气象数据记录, 2014—2016 年各月降雨天数分布见图 3(b)。

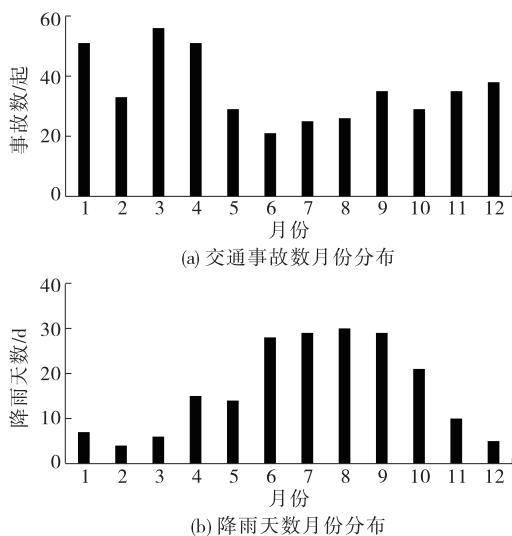


图 3 月事故数与降雨天数分布

由图 3 可知: 6—9 月是降雨天数较多的月份, 交通事故较少。分析其原因, 一方面, 雨天出行相对较少, 且 7—8 月为该公路所在地区气温较高的月份, 总体出行量较少, 总事故数减少; 另一方面, 该地区交通出行中摩托车、非机动车方式占比较高, 这些出行方式受天气影响较大, 雨天总体出行量减少, 总事故数减少。

进一步统计交通事故数和降雨的小时分布, 结

果见图 4。从交通事故发生时间来看,累计事故数超过 20 起的时段为 9:00(20 起)、12:00(23 起)、14:00(21 起)、15:00(30 起)、16:00(21 起)和 17:00(22 起),该公路连接县城,其事故分布与通勤

出行交通分布较为一致。从降雨次数来看,降雨次数超过 40 次的时段有 1:00—2:00、8:00—9:00、19:00—22:00,与事故发生较多的时段不完全一致。事故小时分布与当地通勤交通时间关联更大。

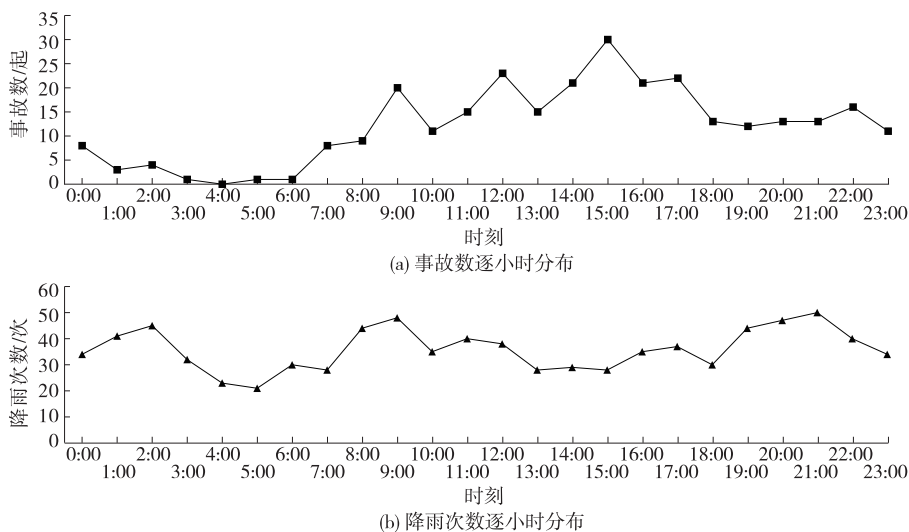


图 4 逐小时事故数与降雨次数

3 雨天事故特征分析

对雨雾频发地区的公路交通事故与区域交通气象进行对比分析。根据 2016 年 1 月—2017 年 4 月的交通事故及交通气象数据,在雨雾天气下事故发生次数占总事故数的比例较小。对降雨条件下 3 h 内发生事故的情况进行统计,并与总体事故发生率及事故形态、事故原因等进行对比分析。

3.1 降雨条件下事故发生率

降雨后路面有积水,对行车有影响。对降雨时及降雨后 1~3 h 内的事故情况进行统计,结果见表 2。由表 2 可知:降雨情况下发生事故的概率为 6.24%,低于 10%,占比不高。雨天出行量减少,相对于正常天气的总时间,降雨时间少,因而从绝对总数来看,降雨天气下事故占比并不高。根据 2016 年 1 月—2017 年 5 月的气象数据对该公路所在地区的逐小时降雨情况进行统计,降雨时间占总时间的比例为 0.104%。

表 2 降雨时及降雨后 1~3 h 内发生的事故数占总事故数的比例

时间	事故数占总事故数的比例/%	时间	事故数占总事故数的比例/%
降雨时	3.47	降雨后 2 h	0.69
降雨后 1 h	0.69	降雨后 3 h	1.39
总计	6.24		

参考文献[13],采用相对风险比(Relative Risk Ratio, RRR)进行事故分析,计算公式如下:

$$R_{RRR,w} = \frac{H_{v,w}^A / H_{v,w}^T}{\sum_v H_{v,w}^A / \sum_v H_{v,w}^T} \quad (1)$$

式中: $H_{v,w}^A$ 为特定天气状况 w 下有事故发生的小时数; $H_{v,w}^T$ 为特定天气状况 w 发生的小时数; $\sum_v H_{v,w}^A$ 为所有天气条件下有事故发生的小时数之和; $\sum_v H_{v,w}^T$ 为所有天气发生的小时数之和。

按式(1)计算降雨时事故发生率的相对风险比, $R_{RRR,w} = 3.47\% / 0.104\% = 33.4$,降雨条件下发生事故的相对风险比为 33.4,即降雨条件下发生事故的频率是不考虑天气时总体事故发生频率的 33.4 倍。

考虑降雨后路面湿滑等的影响,计算降雨时及雨停后 3 h 内事故率风险比。降雨时及雨停后 3 h 内的时间占总时间的比例约为 0.379%,按式(1)计算, $R_{RRR,w+3} = 6.24\% / 0.379\% = 164.0$,在降雨及其有影响的时段事故发生频率是不考虑天气时总体事故发生频率的 164.0 倍。

3.2 降雨条件下事故形态

对降雨时、降雨后 1~3 h 内所发生事故的形态与总体事故特征进行统计,结果见图 5。

由图 5 可知:降雨条件下追尾事故、对向相撞及车辆侧翻事故的占比比总体事故中同一类型事故的

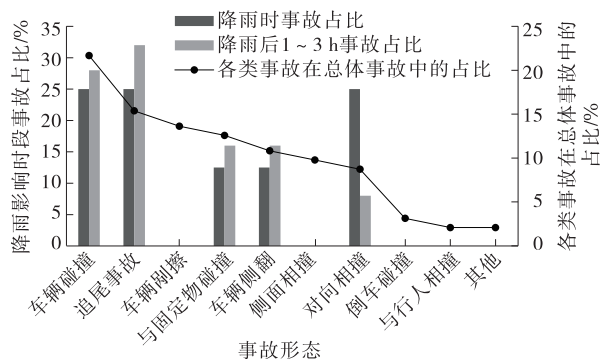


图5 降雨影响时段事故形态统计

占比高。究其原因,在降雨条件下,受地面湿滑、驾驶人视线受限等环境因素影响,车辆所需制动距离比正常天气时长,容易发生追尾事故、对向相撞及车辆侧翻事故。

3.3 降雨条件下事故原因

对降雨时、降雨后 1~3 h 内所发生事故的发生原因与总体事故特征进行统计,结果见图 6。

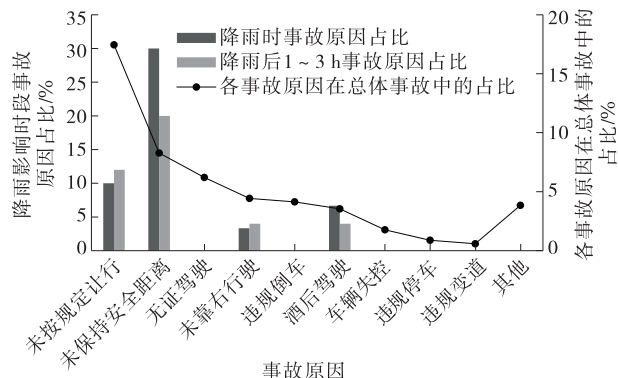


图6 降雨影响时段事故原因统计

由图 6 可知:降雨天气下未保持安全距离是导致交通事故的主要原因,而总体事故中未按规定让行是最主要的原因。降雨时地面湿滑,保持安全距离是行车安全影响中的重要控制因素。

4 降雨天气行车安全影响因素与保障措施

根据中国 2017 年交通事故统计,雨天交通事故数占比达 10.03%。雨天交通安全风险致因包括驾驶人、车辆、道路和交通环境等^[14]。在降雨天气下,公路行驶条件恶化,驾驶员在驾驶中需要处理的信息增加,安全停车视距大于正常情况下停车视距,驾驶员反应时间增加,车辆滑行或侧滑的可能性增大,视野内物体及事件辨识性减弱,路面摩擦因数降低^[15],影响行车安全,是影响降雨条件下公路行车

安全的关键因素。

根据上文的分析,滇南地区公路降雨天气下事故原因以未保持安全距离为主,事故类型以车辆追尾碰撞、车辆侧翻和对向碰撞为主。从交通环境来看,降雨时驾驶员视野模糊,强降水还会影响能见度^[16],形成视程障碍,影响行车安全。在视线受限的条件下,降低车速及保持适当的跟车距离是减少追尾等交通事故的有效措施。从道路条件来看,降雨时路面形成水膜,影响路面抗滑性能,车速较快时易发生水滑现象。从车辆稳定性来看,在制动和转弯过程中路面湿滑可能导致侧滑或侧翻事故。从驾驶员行车条件来看,受地面湿滑、视线受限等环境因素的影响,驾驶员的工作负荷增大,且对环境的辨识、反应和采取行动的速度变缓,导致雨天追尾等事故占比比较高。

综上,在降雨情况下,应对车距及车速进行有效控制。在降雨影响较大的路段,可以通过设置雨天建议限速标志、距离确认标志,并配合设置纵向减速标线等控制车辆在弯道、连续下坡路段的速度,降低雨天事故发生概率。在有条件设置主动智能交通安全设施的高速公路,可通过设置交通气象监测预警系统、可变限速协同控制系统及公路行车安全智能诱导系统,动态控制车距及车速。

5 结论

(1) 从事故时间来看,滇南地区公路交通事故高峰出现在 1—3 月,与区域内雨天多发的 6—9 月不匹配,原因可能是雨季出行交通量较少。事故发生时间与通勤交通出行规律较为一致,与降雨时间分布关系不大。

(2) 依据雨天事故发生率和降雨时间占总时间的比例得到降雨天气事故率风险比,仅考虑降雨时事故发生率的相对风险比显示降雨条件下发生事故的频率是正常情况下的 33.4 倍;考虑降雨后路面湿滑等影响,降雨时及雨停后 3 h 内事故率风险比显示降雨及其有影响的时段事故发生频率是正常情况下的 164.0 倍。

(3) 从总体事故类型与事故原因分析,区域内事故以车辆碰撞、车辆追尾、刮擦及对向相撞为主,事故原因主要是操作不当、违章超车、未按规定让行及未靠右行驶。而在降雨天气下,受地面湿滑、视线受限等环境因素的影响,事故类型以车辆追尾碰撞、车辆侧翻和对向相撞为主,事故原因以未保持安全

距离为主。

(4) 从降雨天气下事故类型、事故原因及降雨对行车环境、道路条件、车辆稳定性和驾驶人反应时间的影响来看,对车距及车速进行有效控制是降低雨天事故发生可能性的重要措施。

参考文献:

- [1] 敖曼,翟润平.气象条件对道路交通的影响分析[J].公路与汽运,2011(2):58-62.
- [2] 马涛,汤钧尧,郑彬双,等.雨天条件下车辆轮胎与沥青路面间附着特性[J].北京工业大学学报,2022,48(6):635-643.
- [3] 季天剑,黄晓明,刘清泉,等.道路表面水膜厚度预测模型[J].交通运输工程学报,2004,4(3):1-3.
- [4] 何雅琴,刘凯慧.城市快速路速度-密度-降雨量三维模型研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2023,47(2):229-233.
- [5] 马筱桢,樊博.降雨对山区高速公路运行车速的影响研究[J].公路与汽运,2020(5):33-36.
- [6] 赵炜华,边浩毅,叶飞.降雨强度对驾驶人视认距离的影响研究[J].公路与汽运,2015(6):44-48.
- [7] 汪敏,何兆益,周文,等.雨天沥青路面能见度影响因素分析[J].西南交通大学学报,2023,58(6):1286-1293.
- [8] 盛旭高,于梦阁,霍炜.基于停车视距的强降雨环境下公路车辆制动安全可靠研究[J].公路交通科技,2023,40(1):227-235.

- [9] 阴春晔,田国红,韩忠浩,等.雨天环境下驾驶行为研究[J].汽车实用技术,2019(15):242-244.
- [10] 吴艳霞,刘剑,黄帅,等.雨天高速公路纵坡对驾驶员心率及行车速度影响[J].交通信息与安全,2021,39(4):35-42.
- [11] 朱宝林,彭艳秋,黎成超,等.云南省高速公路气象灾害风险特征分析与应对[J].公路,2021,66(3):231-236.
- [12] 白永清,何明琼,刘静,等.高速公路交通事故与气象条件的关系研究[J].气象与环境科学,2015,38(2):66-71.
- [13] ELDESSOUKI W M, IVAN J N, ANAGNOSTOU E N, et al. Using relative risk analysis to improve connecticut freeway traffic safety under adverse weather conditions[R]. The U.S. Department of Transportation, University Transportation Centers Program, 2004.
- [14] 林忠玲,王荣华,马森,等.交通灾害雨天气交通安全风险管理研究综述[J].公路,2022,67(1):272-279.
- [15] 罗京,王元庆.路面薄水膜状态对行车安全的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):168-175.
- [16] 盛旭,高于梦,阁霍炜.基于停车视距的强降雨环境下公路车辆制动安全可靠研究[J].公路交通科技,2023,40(1):227-235.

收稿日期:2023-06-06

(上接第 10 页)

盈量的增大而线性增大,为弹性变形;过盈量为 0.04~0.08 mm 时,由于壳体出现微量塑性变形,局部无法产生有效接触压力,拉拔力的增长进入稳态,增长平缓;过盈量超过 0.08 mm 时,壳体出现大面积塑性变形,拉拔力逐渐下降。

(2) 对于金属水管与铝合金壳体之间的压接,过盈量设计为 0.04~0.08 mm 最理想。

(3) 拉拔力随压接过盈配合量的变化规律,仿真结果与实测结果基本一致。

参考文献:

- [1] 徐志辉.电动汽车电驱动总成 NVH 性能分析与优化[D].南昌:华东交通大学,2022.
- [2] 刘祥环,潘晓东,皮旭明,等.纯电动汽车电驱动总成 NVH 分析与优化研究[J].汽车制造业,2020(5):10-13.

- [3] 高银桥.新能源汽车驱动电机冷却技术的发展现状研究[J].内燃机与配件,2020(12):249-250.
- [4] 段武兵,翁学新,侯云江,等.不同材质冷却水管在大体积砼温度监控中的应用[J].公路与汽运,2020(6):126-130.
- [5] 刘凌.过盈连接件装配研究[J].机床与液压,2011,39(4):47-48+72.
- [6] 孙海军.过盈配合时压装力的计算[J].机械,2016,43(增刊 1):42-44.
- [7] 机械科学研究院,大同电力机车有限责任公司.极限与配合 过盈配合的计算和选用:GB/T 5371—2004[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [8] 张敬佩,李初晔.过盈配合产生的接触压力和拔出力计算[J].机械工程与自动化,2011(1):195-197.
- [9] 薛克兴,周瑾.复合材料结构连接件设计与强度[M].北京:航空工业出版社,1988.

收稿日期:2023-08-17