

文章编号: 2096-1618(2021)05-0532-05

# 山西太长高速公路交通事故与气象条件关系分析

田淙海<sup>1</sup>, 邓佩云<sup>2</sup>, 于万荣<sup>1</sup>, 高欣<sup>1</sup>, 姚闯<sup>1</sup>

(1. 山西省气象局, 山西 太原 030002; 2. 宁夏气象灾害防御技术中心, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**为了解气象因素对山西太长高速公路交通事故的影响程度,利用太长高速公路不良天气情况下2011年1月–2019年12月交通事故资料,与同期气象要素资料进行日变化特征对比分析,并采用逐步回归方法拟合四季交通事故与气象因子的相关关系,依据概率密度建立交通事故风险指标,确定事故增长的气象因素临界数值。结果表明:太长高速公路交通事故中,19.63%的交通事故由气象因素造成。交通事故10月最多,日迹变化具有双峰型特征,双峰对应时间分别为10:00与16:00。春、夏、秋、冬交通事故指数关系最为密切的因子分别为降水量、风速与路面湿滑、风速、降水量,二者相关关系拟合结果除秋季外,其余三季均通过0.05的信度检验,可为山西高速公路风险预警服务提供理论依据。

**关键词:**应用气象;高速公路交通事故;气象要素;日变化;事故风险等级指标

**中图分类号:**P49

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2021.05.010

## 0 引言

山西省高速公路建设起始于1993年,经历了1993–1999年的起步建设和2000年以后的快速发展两个阶段,2019年,山西省高速公路网规划布局由“三纵十二横十二环”调整为“四纵四横十二环”,形成纵贯南北、承东启西、覆盖全省、通达四邻的高速公路网络。调整后全省高速公路规划里程将达至7800 km,高速公路面积密度将由4.6公里/百平方公里增加到5公里/百平方公里。随着高速公路的不断发展,高速公路上的安全保障成为重中之重<sup>[1–3]</sup>。

众多研究表明,气象要素对高速公路的车辆行驶安全有重要影响<sup>[4–6]</sup>。因此,利用气象预报为高速公路的安全运行提供客观的决策依据,对降低高速公路的交通事故发生率意义重大<sup>[7–9]</sup>。许秀红等<sup>[10]</sup>分析了2003–2005年黑龙江省日、月、季的交通事故数据,指出最不利于行车安全的环境为雨和雪,在此基础上,划分了路况环境的安全等级,推导出环境指数的限值。罗慧等<sup>[11]</sup>通过分析西安地区2012–2014年的交通事故与气象要素之间的关系,建立气象预警模型,研究表明该模型在该研究区域有较高的准确性。初彦龙<sup>[12]</sup>基于风速、湿度以及温度等8种气象及路面要素,研发了具有实时查询、监测预警和数据展示等功能的系统。吉廷艳等<sup>[13]</sup>通过分析贵州省6条高速公路1997–2007年交通事故发生情况,发现贵州地形复杂,不同高速路段的气象要素差异较大,综合考虑了高温、降

水、冻结和能见度等与交通事故的关系,并探讨了该地区高速公路气象指数预报方法。

由于全国不同地区气候差异较大,不同地区同种气象要素对高速交通事故发生率的影响程度也有一定的差异。潘娅英等<sup>[14]</sup>通过分析丽水市1999–2003年的交通事故统计数据与气象条件,结果表明,夏季高温、雨、雪、能见度较低以及冬季低温等环境容易发生交通事故。贺芳芳等<sup>[15]</sup>将上海交通事故的严重程度进行分级,赋予不同的权重得到逐日交通事故指数,在此基础上研究了天气对交通事故的影响,结果表明春季暖湿环境下,交通事故指数较高。

基于2011年1月1日–2019年12月31日G55二广高速太长段交通事故统计数据,分析该路段交通事故的日变化特征,采用逐步回归方法拟合气象要素与事故指数的关系,确定事故突发增长的临界气象指标,为山西高速公路风险预警提供可靠的理论依据,对降低高速公路交通事故发生率有一定的指导意义。

## 1 资料与方法

资料采用2011年1月–2019年12月G55二广高速公路太长路段(下称太长高速)的交通事故资料和沿线气象观测资料。太长高速经太谷县范村、榆社、武乡、襄垣、屯留、长治,在长治市下秦村互通接线于长晋高速公路,全长210 km(图1)。交通事故资料为该路段逐时出现的交通事故次数。气象观测资料为沿线各地市气象台观测资料,包括逐时气温、相对湿度、露点温度、大气压、风速、降水量和能见度数据,以及高速公路管理局提

供的事故现场路面湿滑、路面积雪数据(事故现场路面湿滑记为1,否则为0;事故现场路面积雪记为1,否则为0)。为剔除非天气因素的影响,对交通事故数据进行筛选,保留交通事故发生时,有不良天气、路面湿滑、路面积雪或结冰等因素的数据,并据此选取同期气象要素数据。所使用的数据均为筛选后的气象数据。山西省高速公路交通事故突发增长的临界气象指标参考国标、行标,结合相关专家打分及交通部门事故经验<sup>[10, 16]</sup>。

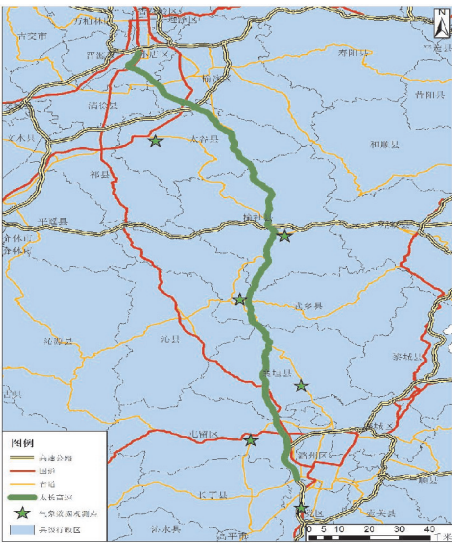


图1 太长高速示意图

采用统计学方法研究分析交通事故与气象条件的关系,分别统计该路段9年的逐时交通事故和气象要素的平均值,由式(1)和式(2)得出。

$$Y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} \tag{1}$$

式中: $Y_i$ 为交通事故的逐时事故总数; $y_{ij}$ 为某日某时的交通事故数值; $i=1,2,\cdots,24$ ( $i$ 为每日的时间序列数); $j=1,2,\cdots,n$ ( $n$ 分别为9个年度中年度、春季、夏季、秋季、冬季的交通事故日数)。

$$\bar{X}_{ip} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ipjk} \tag{2}$$

式中: $\bar{X}_{ip}$ 为各气象要素的逐时平均数值; $i,j$ 与式(1)相同; $p=1,2,3,4,5,6$ ( $p$ 为选择的气象要素序号); $k=1,2,3,4,5,6$ ( $m=6$ ,为太长高速沿线观测站的数量)。由式(1)统计出山西省太长高速公路年度及四季的逐时交通事故数,由式(2)统计出太长高速沿线四季的气象要素逐时平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 交通事故时间特征分析

#### 2.1.1 交通事故的年变化特征

图2为太长高速2011–2019年发生的交通事故的变化特征,由图2可知,该路段因不良天气发生的交通事故数有两次高峰,2013年开始,交通事故数不断增长,2016年到达峰值,为191起,2012年为次峰值,达140起。据统计,2011–2019年,山西省太长高速交通事故共计4941起,共持续21458.6时,因不良天气因素发生的交通事故共计970起,占事故总数的19.63%,持续时长为3099.4时,占事故总时长14.44%。上述分析表明,不良天气是造成太长高速交通事故的重要因素之一,通过气象手段,进一步提高该路段交通事故风险预警能力,减少交通事故的发生概率迫在眉睫。

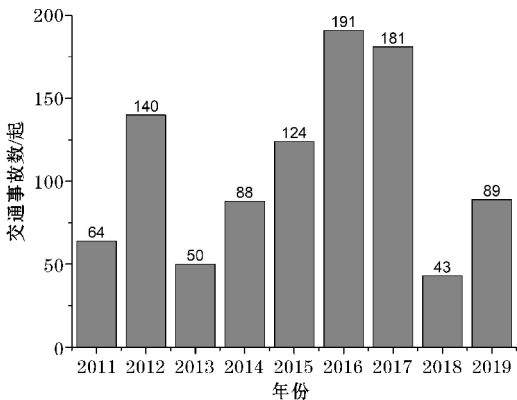


图2 太长高速2011–2019年发生的交通事故

#### 2.1.2 交通事故的月变化特征

图3给出了太长高速2011–2019年交通事故数月变化特征,由图3可知,10月份该路段发生的交通事故数最多,为141起;3月最少,为37起。秋季发生的交通事故最多,为358起,占事故总数的36.91%。国庆假期期间,驾车出行游玩的人群较多,导致10月份交通事故数明显高于其他月份。该路段平均每月发生交通事故80.83起。

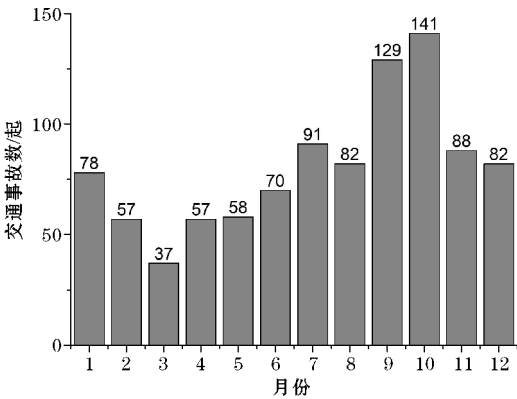


图3 太长高速2011–2019年交通事故数月变化特征

#### 2.1.3 交通事故的日迹变化特征

从图4可知,年度以及四季的交通事故数日变化

呈双峰型特征。年度通事故的主峰出现在 10:00,达 80 起,次高峰出现在 16:00,为 73 起;春季交通事故的峰值在 10:00 达到最高,达 13 起,次高峰出现在 18:00,为 12 起;夏季交通事故的峰值在 16:00 达到最高,最大高达 22 起,次高峰出现在 08:00 与 10:00,为 17 起;秋季交通事故的峰值最大,出现在 16:00,高达 30 起,次高峰出现在 10:00,为 28 起;冬季交通事故的峰值在 10:00,均达 22 起,次高峰出现在 19:00,为 20 起。

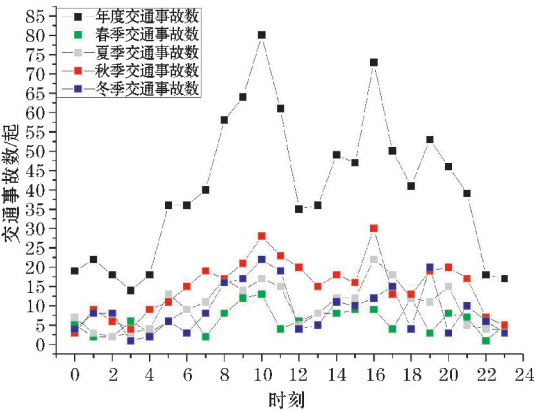


图4 年度、春、夏、秋、冬交通事故的日变化特征

3:00–10:00,年度及夏秋冬三季的交通事故数为上升趋势,10:00–12:00,年度及四季的交通事故数均呈减少趋势。交通事故日变化的谷值出现在0:00–3:00与22:00,春季最低值出现在22:00(1起);夏季最低值出现在2:00(2起);秋季最低值出现在0:00(3起);冬季最低值出现在03:00(1起)。

2.2 交通事故日迹变化与气象要素的关系

有研究表明<sup>[17–18]</sup>,气象要素的日变化特征与交通事故日变化特征有一定相关性,可利用统计学的方法进行量化。因全国各地气候条件差异较大,量化分析结果仅适用于该研究区域。本研究区位于华北,四季分明,因此,分别探讨了春季、夏季、秋季和冬季交通事故与气象要素的关系。

2.2.1 交通事故日迹变化与气象要素对比分析

对交通事故与气温、相对湿度、露点温度、气压、风速、降水量、能见度、路面积雪或结冰和路面湿滑共 9 个因子日变化特征进行对比分析。由表 1 可知,春夏秋冬四季影响交通事故的主要气象因子不同。春季交通事故数与降水量关系显著,说明降水是造成春季事故多发的主要原因;夏季交通事故数与风速关系为极显著正相关,与气温呈显著负相关,与路面湿滑呈显著正相关,由此可知,夏季交通事故的主要诱因是风速、气温和路面湿滑;秋季未有气象因子与交通事故呈显

著相关关系;冬季交通事故数与降水量呈显著正相关,说明冬季影响太长高速交通安全的主要因素为降水。

表1 交通事故与气象要素相关关系

气象要素	春季	夏季	秋季	冬季
气温	-0.071	0.421 *	0.075	0.068
相对湿度	0.240	-0.275	-0.376	-0.069
露点温度	0.088	0.065	-0.084	0.007
气压	-0.024	-0.164	0.185	0.041
风速	0.143	0.549 **	0.398	0.031
降水量	0.507 *	0.085	0.164	0.432 *
能见度	-0.133	0.030	0.051	0.281
路面积雪或结冰	-0.015	—	-0.115	-0.038
路面湿滑	0.155	0.489 *	-0.113	0.043

(注: \*表示显著性检验达到0.05显著水平, \*\*表示显著性检验达到0.01极显著水平)

2.2.2 气象要素反演交通事故数

逐步回归方法,可得到多个因子间最优回归方程。表 2 为逐步回归方法拟合结果,由表 2 可知,逐步回归方法剔除了大多数气象因子,四季的拟合方程均保留 1~2 个因子。春季的拟合方程保留了降水量,夏季拟合方程保留了风速与路面湿滑,秋季保留了风速,冬季保留了降水量。春季拟合方程均方根误差(RMSE)最小,秋季最大,且秋季未通过0.05的信度检验,仅通过了0.1的信度检验,拟合效果为四季最差。夏季拟合方程通过了0.01的信度检验,拟合效果较好。冬季拟合方程通过了0.05的信度检验。综上所述,四季拟合效果从优到差分别为夏季、春季、冬季、秋季。

表2 气象因子拟合交通事故数

季节	逐步回归方程	RMSE	R
春	$y = 5.021 + 5.553 * V_{\text{降水量}}$	2.935	0.475 *
夏	$y = -3.353 + 4.923 * V_{\text{风速}} + 17.164 * V_{\text{路面湿滑}}$	4.177	0.705 **
秋	$y = 3.329 + 6.401 * V_{\text{风速}}$	6.774	0.398
冬	$y = 6.271 + 116.492 * V_{\text{降水量}}$	5.727	0.432 *

(注意: \*表示显著性检验达到0.05显著水平, \*\*表示显著性检验达到0.01极显著水平)

2.2.3 交通事故的风险等级指标

经上述分析,交通事故与气象要素日变化关系较为密切,可利用天气预报提供的气象要素指导太长高速的驾驶员驾车行驶安全。有研究表明,将交通事故风险划分为不同等级来为公众提供事故风险预警服务具有一定可行性<sup>[11, 19]</sup>。依据概率密度对交通事故风



险进行分级<sup>[17]</sup>。一级:交通事故风险偏高,发生事故概率为 15 %;二级:交通事故数值较大,发生概率为 30 %;三级:交通事故数值较小,发生概率为 55 %。表 3 为太长高速交通事故概率密度分布,给出了春、夏、秋、冬四季不同级别交通事故风险对应的具体数值,将其带入表 2 的方程即可算出对应的气象要素数值,表 4 即为计算结果。

表 3 太长高速公路交通事故概率密度分布			
季节	风险等级		
	三级(事故指数)	二级(事故指数)	一级(事故指数)
春	≤6.200	6.201 ~ 8.999	≥9.000
夏	≤11.200	11.201 ~ 15.799	≥15.800
秋	≤16.200	16.201 ~ 20.399	≥20.400
冬	≤8.000	8.001 ~ 16.399	≥16.400

表 4 太长高速公路气象风险等级划分

季节	预报要素	风险等级		
		三级	二级	一级
春	降水量/mm	≤0.212	0.213 ~ 0.716	≥0.717
夏	风速/(m/s) 路面湿滑 (是:1;否:0)	(-3.353+4.923 * V <sub>风速</sub> + 17.164 * V <sub>路面湿滑</sub> ) ≤11.200	11.200<(-3.353+4.923 * V <sub>风速</sub> + 17.164 * V <sub>路面湿滑</sub> ) <15.800	(-3.353+4.923 * V <sub>风速</sub> + 17.164 * V <sub>路面湿滑</sub> ) ≥15.800
秋	风速/(m/s)	≤2.011	2.011 ~ 2.667	≥2.667
冬	降水量/mm	≤0.015	0.015 ~ 0.087	≥0.087

由表 4 可知,在春季逐时降水量≥0.717 mm时,交通事故风险偏高,属于一级风险,逐时降水量≤0.212 mm时,交通事故风险较低,属于三级风险,逐时降水量介于0.212 ~ 0.717 mm时,属于二级风险。秋冬季和春季交通事故不同等级对应的气象要素范围均在表内给出,不再赘述。夏季因拟合方程中涉及两个因子,故无法取得具体数值,拟合方程计算结果≥15.800时,属于一级风险,≤11.200时,属于三级风险,在 11.200 ~ 15.800 时,属于二级风险。根据风险等级提醒太长高速车辆驾驶员的行车安全,对于减少交通事故发生概率,有重要的现实意义。

3 结束语

利用太长高速公路不良天气情况下 2011 年 1 月—2019 年 12 月交通事故资料,与同期气象要素资料分析春、夏、秋、冬四季二者的相关关系,给出不同交通事故风险等级间气象要素的临界数值。研究结果表明:

- (1)太长高速交通事故中,气象因素造成的事故数约占19.63%,占比较高。
- (2)交通事故 10 月最多,日迹变化具有双峰型特征,双峰对应时间分别为 10:00 与 16:00。
- (3)从逐步回归方法反演气象因子与交通事故的关系结果来看,春、夏、秋、冬交通事故指数关系最为密切的因子分别为降水量、风速与路面湿滑、风速、降水量,二者相关关系拟合结果除秋季外,其余三季均通过 0.05 的信度检验,可为山西高速公路风险预警服务提

供理论依据。  
本次研究量化了太长高速段交通事故与气象要素之间的关系,可对交通安全提供客观评价,为建立、健全交通安全规范,有效减少高速交通事故奠定基础。研究方法仅利用了逐步回归方法进行拟合,在今后可利用人工智能等方式深度挖掘交通事故与气象要素的关系,为交通出行提供更加精准的预警信息。

参考文献:

[1] 林毅,李倩,张凯,等. 气象条件对辽宁省高速公路交通安全的影响研究[J]. 气象与环境学报, 2018,34(3):106-111.

[2] Abegaz T,Berhane Y,Worku A,et al. Effectiveness of an improved road safety policy in Ethiopia: an interrupted time series study [J]. Bmc Public Health,2014,14(1):539.

[3] 王丹,高海峰. 智能交通之山西省高速公路交通安全防控体系建设[J]. 公路,2019,64(8):260-267.

[4] 张运福,林毅,李倩,等. 气象条件对高速公路交通影响研究进展[J]. 黑龙江交通科技,2016,39(5):168-169.

[5] Peter, T,Savolainen,et al. The statistical analysis of highway crash-injury severities:A review and assessment of methodological alternatives[J]. Accident Analysis & Prevention,2011.43(5):1665-1667.

[6] Crevier L P,Delage Y. METRo: A New Model for

- Road-Condition Forecasting in Canada[J]. Journal of Applied Meteorology, 2001, 40(11): 2026–2037.
- [7] 马力, 肖杨. 恶劣天气条件下的高速公路交通安全管理[J]. 交通世界, 2019(12): 152–153.
- [8] 钱莉, 安颖颖, 赵德强. 乌鞘岭高速公路路段多发交通事故的气象条件分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 286–291.
- [9] Prusa J M, Segal M, Temeyer B R, et al. Conceptual and Scaling Evaluation of Vehicle Traffic Thermal Effects on Snow/Ice-Covered Roads[J]. Journal of Applied Meteorology, 2002, 41(12): 1225–1240.
- [10] 许秀红, 闫敏慧, 于震宇, 等. 道路交通事故气象条件分析及安全等级标准——以黑龙江省为例[J]. 自然灾害学报, 2008, (4): 53–58.
- [11] 罗慧, 李良序, 胡胜, 等. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型[J]. 应用气象学报, 2007, (3): 350–357.
- [12] 初彦龙. 基于 GIS 的道路交通气象监测预警系统研究[J]. 辽宁警察学院学报, 2017(6).
- [13] 吉廷艳, 胡跃文, 唐延婧, 等. 贵州高等级公路气象特征及预报[J]. 气象科学, 2011, 31(2): 223–227.
- [14] 潘娅英, 陈武. 引发公路交通事故的气象条件分析[J]. 气象科技, 2006(6): 778–782.
- [15] 贺芳芳, 房国良, 吴建平, 等. 上海地区不良天气条件与交通事故之关系研究[J]. 应用气象学报, 2004(1): 126–128.
- [16] 丛黎强, 杜立群, 钮学新, 等. 城市交通事故与气象条件的关系[J]. 科技通报, 1992(3): 174–179.
- [17] 窦以文, 舒志强, 甘璐, 等. 华北高速公路交通事故的日迹变化与气象要素的关联分析[J]. 公路, 2012(4): 167–173.
- [18] 高峰, 谢勇. 吉林省冬季高速公路行车安全气象指标研究[J]. 气象灾害防御, 2017, 24(3): 15–18.
- [19] 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.

## Analysis of Relationship between High-speed Traffic Accidents and Meteorological Factors on Tai-chang Expressway in Shanxi Province

TIAN Conghai<sup>1</sup>, DENG Peiyun<sup>2</sup>, YU Wanrong<sup>1</sup>, GAO Xin<sup>1</sup>, YAO Chuang<sup>1</sup>

(1. Meteorological Service Center of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China; 2. Technical center for meteorological disaster prevention in Ninchuan, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** In order to understand the impact of meteorological factors on traffic accidents on Tai-chang expressway in Shanxi Province, use the traffic accident data from January 2011 to December 2019 under the condition of excessive expressway bad weather, the diurnal variation characteristics of the traffic accident data and meteorological elements data in the same period were analyzed. The stepwise regression method was used to fit the correlation between traffic accidents and meteorological factors in four seasons. According to the probability density, the traffic accident risk index is established, and the critical value of meteorological factors among different grades of traffic accident risk is given. The results show that 19.63% of the traffic accidents on the Tai-chang expressway are caused by meteorological factors. The number of traffic accidents is most in October, and the change of day trace has the characteristics of bimodal pattern, and the bimodal time is at 10:00 and 16:00 respectively. In spring, summer, autumn and winter, the factors most closely related to the traffic accident index were precipitation, wind speed and road surface slippery, wind speed and precipitation, respectively. The fitting results of the correlation relationship passed the reliability test of 0.05 in the other three seasons except autumn, which could provide a theoretical basis for the risk early warning service of Shanxi expressway.

**Keywords:** applied meteorology; expressway traffic accident; meteorological factors; daily change; traffic accident risk level indicator