

面向复杂交通环境的气象敏感性分析：以吐和高速新和段为例

丁辉¹, 徐珮瑶², 苏巴提³, 陈丹⁴, 樊月富¹, 杨占瑾¹

¹新和县气象局, 新疆 阿克苏

²内蒙古自治区包头市气象局, 内蒙古 包头

³伊吾县气象局, 新疆 哈密

⁴阿克苏地区气象台, 新疆 阿克苏

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月13日; 发布日期: 2026年5月25日

摘要

本文聚焦于地形地貌复杂的G3012吐和高速新和段(K643~K753), 旨在定量解析复杂交通环境下交通事故对气象要素的敏感性特征及其致灾机理。研究利用2020年至2024年的交通事故记录与高时空分辨率的同步气象观测资料, 综合运用Pearson相关性分析、PCA-K-Means聚类及特殊天气归因统计等方法, 深度解构了气象环境对交通安全的驱动机制。研究发现, 该区域交通事故呈现显著的“夏冬双峰”季节性波动及“午后疲劳、晚间通勤”的日内双峰潮汐特征, 且不同路段对气象因子的敏感性存在显著的空间异质性。其中, 吐和上行K707公里处表现为典型的夏季干热大风敏感型, 事故频数与高温及极大风速呈显著正相关, 主要受强侧风与高温疲劳耦合驱动; 相比之下, K675公里处呈现典型的冬季冰雪凝冻敏感型特征, 与低温及低能见度高度相关, 反映了黑冰与霜雾环境下的极高致灾性。通过聚类分析, 研究进一步精准识别出“冬季低温高湿”、“夏季高温大风”及“常态气候背景”三种关键致灾模式, 清晰展示了风险在特征空间中的两极化分离态。基于上述气象敏感性分异规律, 本文提出了“一路一策”的分级分类管控建议, 通过实施差异化的监测预警与养护策略, 为提升复杂地貌下高速公路交通气象防灾减灾能力提供了科学依据与决策参考。

关键词

交通事故, 时空演化, 气象归因, 相关性分析, 聚类分析, 高速公路

Meteorological Sensitivity Analysis for Complex Traffic Environments: A Case Study of the Xinhe Section of the Tu-He Expressway

Hui Ding¹, Peiyao Xu², Bati Su³, Dan Chen⁴, Yuefu Fan¹, Zhanjin Yang¹

文章引用: 丁辉, 徐珮瑶, 苏巴提, 陈丹, 樊月富, 杨占瑾. 面向复杂交通环境的气象敏感性分析: 以吐和高速新和段为例[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(3): 562-571. DOI: 10.12677/ccr.2026.153062

¹Xinhe County Meteorological Bureau, Aksu Xinjiang

²Baotou Meteorological Bureau, Inner Mongolia Autonomous Region, Baotou Inner Mongolia

³Yiwu County Meteorological Bureau, Hami Xinjiang

⁴Aksu Prefecture Meteorological Observatory, Aksu Xinjiang

Received: April 15, 2026; accepted: May 13, 2026; published: May 25, 2026

Abstract

This study focuses on the Xinhe section (K643~K753) of the G3012 Tuhe Expressway, characterized by its complex terrain, aiming to quantitatively analyze the sensitivity of traffic accidents to meteorological factors and their underlying hazard mechanisms. Utilizing traffic accident records from 2020 to 2024 alongside high-spatiotemporal-resolution concurrent meteorological observations, the study employs Pearson correlation analysis, PCA-K-Means clustering, and specialized weather attribution statistics to deeply deconstruct the driving mechanisms of the meteorological environment on traffic safety. The results indicate that traffic accidents in this region exhibit a pronounced seasonal pattern with “double peaks in summer and winter” and daily variations characterized by “afternoon fatigue and evening commuting”. Furthermore, significant spatial heterogeneity exists regarding the sensitivity of different road sections to meteorological factors. Specifically, the K707 km mark on the Tuhe uphill section is identified as a typical summer dry-hot and strong-wind sensitive type, where accident frequency is significantly positively correlated with high temperatures and maximum wind speeds, primarily driven by the coupling of strong crosswinds and high-temperature-induced fatigue. In contrast, the K675 km mark exhibits a typical winter ice-snow freezing sensitive type, showing a high correlation with low temperatures and reduced visibility, reflecting the extreme hazard potential of black ice and frost-fog conditions. Through clustering analysis, the study precisely identifies three key hazard patterns: “winter low-temperature high-humidity,” “summer high-temperature strong-wind,” and a “normal climatic background,” clearly demonstrating a bipolar separation of risks within the feature space. Based on these divergent meteorological sensitivity patterns, this paper proposes “road-specific and situation-specific” hierarchical management strategies. By implementing differentiated monitoring, early warning, and maintenance protocols, this research provides a scientific basis and decision-making reference for enhancing traffic meteorological disaster prevention and mitigation capabilities in complex terrains.

Keywords

Traffic Accidents, Spatiotemporal Evolution, Meteorological Attribution, Correlation Analysis, Cluster Analysis, Expressway

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着交通运输业的快速发展，高速公路已成为现代国民经济的重要动脉，支撑着区域经济联系和社会生活的高效运转[1]。然而，气象条件作为影响道路交通安全的关键敏感因子，其引发的交通事故在总体交通事故中占比逐年上升，逐渐成为社会各界高度关注的焦点问题[2]。恶劣天气不仅会直接降低路面附着系数和驾驶能见度，增加车辆操控难度，还可能诱发连续性或连锁性的交通事故，对公路畅通、安

全运行及人民生命财产安全构成严重威胁[3]。因此，系统研究高速公路交通事故对不同气象要素的敏感性特征，对于提升交通气象服务保障能力、完善交通安全管理措施以及科学制定防灾减灾政策具有重要的现实意义和应用价值[4]。

本研究聚焦于 G3012 吐和高速公路新和段(K643~K753)，该路段地理环境复杂多变，北临天山支脉却勒塔格山，南接塔里木盆地戈壁沙漠过渡带，地形起伏大、地貌多样[5]。新和县隶属暖温带干旱或半干旱气候区，热量充足但降水稀少，同时位于典型的风口地带，是大风、沙尘暴、短时强降雨及冰雹等气象灾害的高发区，也是阿克苏地区气象灾害影响最为严重的县市之一[6]。近年来，受复杂地形与极端气候叠加形成的“环境效应”影响，该路段因恶劣天气引发的重大交通事故时有发生，不仅直接威胁道路运输安全，也给沿线经济发展和社会稳定带来潜在风险[7]。

从国际研究现状来看，发达国家在公路交通气象服务领域起步较早且发展成熟。自 1985 年国际交通气象委员会(SIRWEC)成立以来，美国、德国、日本等国相继建立了较为完善的交通气象服务体系[8]。例如，道路天气信息系统(RWIS)能够实现路况与气象的实时监测，德国的 SWIS 系统提供精细化的路面气象预报，美国国家大气研究中心(NCAR)开发的交通气象决策支持系统(MDSS)则可为道路管理部门提供优化的防御与调度建议[9]。在国内，中国气象局已初步建设了智慧交通气象服务平台，在多源数据融合、空间分析及精细化预报等方面取得显著进展。国内学者在团雾、路面温度及能见度等单一气象要素对交通事故的敏感性研究中，也取得了大量成果，并在沪宁、京石等重点高速公路得到应用[10]。同时，结合 GIS 技术进行区域风险评价的研究在天山公路等地也显示出良好的应用前景。然而，针对新和段这一特定复杂地形区域的精细化气象敏感性分析仍存在研究空白，缺乏系统的量化评估与致灾模式识别[11]。

基于上述背景，本文选取 2020~2024 年新和县境内吐和高速公路的交通事故数据与同步气象观测资料，旨在深入分析交通事故对不同气象要素的敏感性响应特征。通过明确事故易发的关键气象指标及其阈值，结合聚类分析方法识别典型致灾模式，进一步揭示复杂气象环境对交通安全的影响规律。本文的研究不仅有助于量化气象因素对交通事故的作用机制，还可为交通管理部门制定“一路一策”的防灾减灾决策提供科学依据，从而有效提升区域交通气象服务水平，减少恶劣天气下的交通事故发生风险，保障人民生命财产安全与道路运输畅通。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

本研究选取了 2020 年 1 月至 2024 年 12 月期间吐和高速公路的新和段交通事故记录及同期气象观测数据作为分析基础。交通事故数据来源于高速公路事故记录表，涵盖了事故发生的具体时间、事故类型以及所在路段标识。为了实现事故数据与气象环境的精确匹配，依据路段的空间分布特征，将每一事故路段标识映射至临近气象观测站。如图 1 所示，研究选取了三个代表性气象站(Y8652, Y8653, Y8654)，分别对应吐和上行 K675 公里、K707 公里及 K745 公里处。如表 1 所示，所采集的逐小时地面气象观测数据主要包括气温、相对湿度、极大风速和能见度，时间分辨率为 1 小时，可充分反映全天候的气象变化特征，为后续交通事故与气象因素敏感性分析提供了可靠的数据支撑。

Table 1. Meanings and units of meteorological elements

表 1. 气象要素的含义和单位

要素	单位	要素	单位
平均气温	℃	相对湿度	%
最高气温	℃	极大风速	m/s
最低气温	℃	最小水平能见度	m

新和县 G3012 高速沿线交通气象观测站分布图

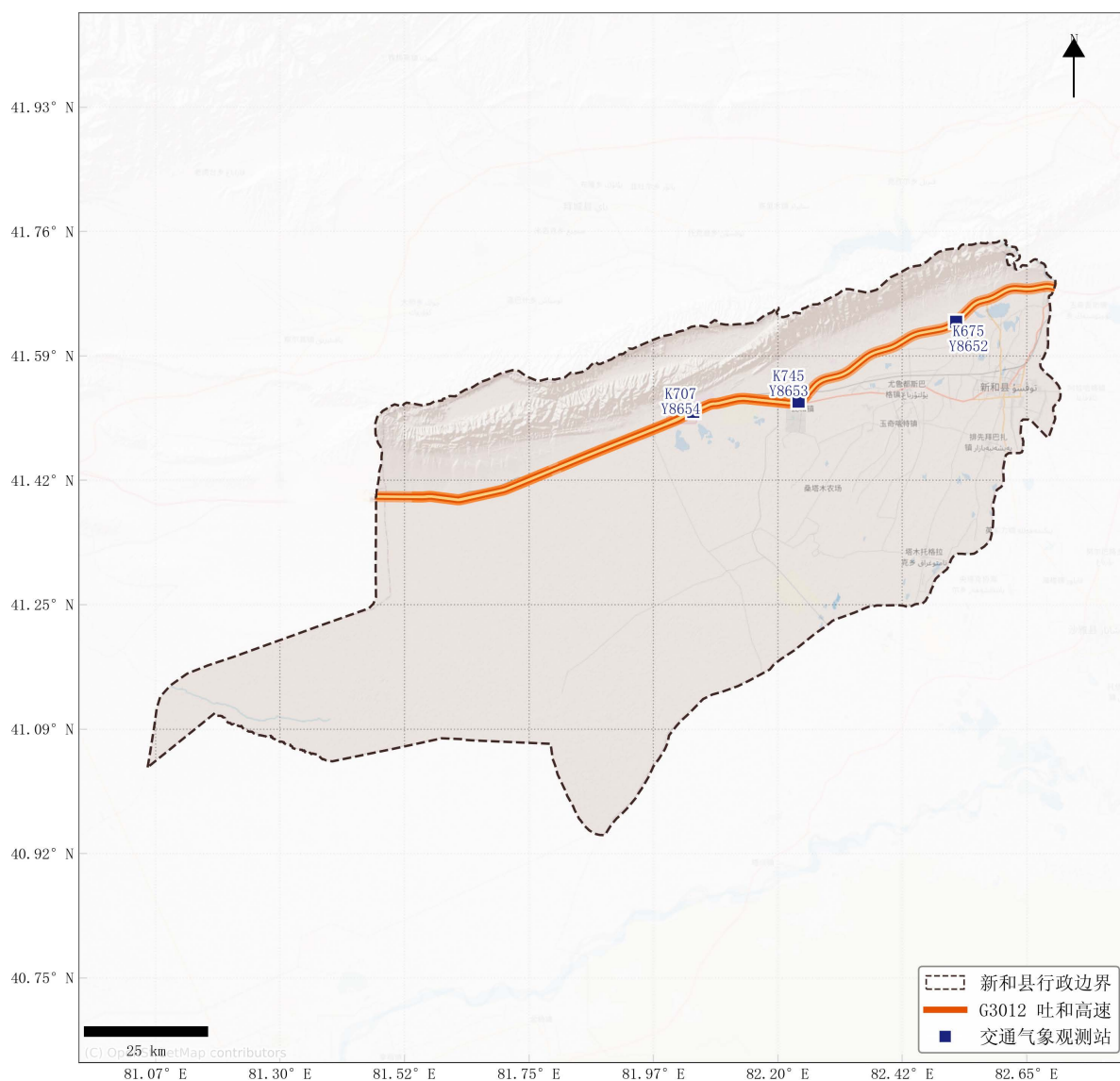


Figure 1. Accident data statistics by section on tuhe expressway

图 1. 吐和高速公路事故数据统计路段

2.2. 数据预处理

鉴于交通事故记录与气象观测数据在时间粒度上的显著差异以及原始数据中可能存在的噪声干扰,本研究设计并实施了系统化的数据预处理流程[12]。首先,为解决多源数据的时序对齐问题,采用时间向下取整策略,将分钟级事故发生时刻映射至最近的小时级气象观测值,从而构建出事故与气象严格耦合的时序数据集。在数据清洗阶段,对因传感器故障或记录异常产生的异常值进行了剔除,并通过线性插值法对缺失的观测时段进行补充,以保证数据的连续性和完整性。在此基础上,进一步构建了二分类分析框架:将包含事故记录的时段标记为“事故样本”,其余未发生事故的时段标记为“正常样本”,为后续的分析及模型构建提供了可靠的数据基础[13]。

2.3. 分析方法

2.3.1. 相关性分析

为量化单一气象因子(如气温、湿度)与事故发生频率之间的线性关联强度,本研究采用 Pearson 相关系数进行计算[14]。设事故频数序列为 X , 某气象要素序列为 Y , 则相关系数 r 计算如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, \bar{x} 和 \bar{y} 分别表示样本均值。 r 值介于-1 到 1 之间,正值表示正相关(该要素越高事故越多),负值表示负相关。

2.3.2. 聚类分析

为验证不同路段气象环境的差异性,并对站点进行分类管理,本研究采用 K-Means 聚类与主成分分析结合的算法[15]。该算法基于各站点的气候特征向量(如年均温、年均湿度、平均风速),将站点划分为 k 个簇,目标是使簇内平方误差和最小化:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} \|x_i - \mu_j\|^2$$

其中, x_i 为站点的特征向量, μ_j 为第 j 个簇的质心。通过聚类分析结合主成分分析技术,以事故发生时的微观气象要素(气温、湿度、风速)为特征向量,识别具有显著物理意义的气象致灾模式。

2.3.3. 特殊天气归因统计

为精准识别各路段的主导致灾气象因子,本研究依据交通安全气象相关标准,界定了低温结冰(气温 $\leq 0^\circ\text{C}$)、大风(极大风速 $\geq 8 \text{ m/s}$)以及湿滑低能见度(相对湿度 $\geq 80\%$)三类关键风险阈值[16]。

在此基础上,通过统计分析各观测站点在单一或复合不利气象情境下(如低温与高湿两种情况耦合)的事故频次及其在总量中的占比,量化评估了不同路段对特定恶劣气象条件的敏感性特征,进而为制定差异化的交通管控策略提供科学依据。

3. 结果与分析

3.1. 高速交通事故的时间分布特征

3.1.1. 年际间变化特征

2020 年至 2024 年期间,研究区域内交通事故频次呈现出明显的“低位平稳 - 突发激增 - 高位回落”的非线性演化特征(如图 2(a)所示)。受宏观交通流波动与偶发性因素叠加影响,2023 年成为关键突变节点,事故数量较前期出现断崖式增长。从路段差异来看, Y8654 站点表现出典型的单年脉冲型特征,其年际波动在很大程度上主导了区域整体趋势,尤其在 2023 年出现极端峰值。Y8652 站点呈现波动上升态势,受冬季气候背景的调制效应影响明显,同时存在一定的年际累积效应。相比之下, Y8653 站点事故频次保持相对平稳,显示出较强的环境抗扰动能力。上述阶段性与路段差异化的年际演变规律揭示了不同路段风险诱因的异质性,为构建分级分类、针对性强的动态交通管控策略提供了重要参考。

3.1.2. 月际变化特征

在月际时间尺度上,研究区域交通事故呈现出明显的“夏冬双峰、春秋平缓”的季节性规律,不同

路段在微观气象条件与交通流耦合作用下,表现出显著的风险时空错位特征(如图 2(b)所示)。具体来看, Y8654 站点呈现极端的夏季突变型特征,事故高发集中于 7 月,主要受高温热浪及团雾、沙尘扰动的共同影响。Y8652 站点则表现为典型的冬季敏感型,事故高发期集中在 1 月,其发生高度依赖低温结冰等不利路面环境。相比之下, Y8653 站点维持相对稳态,事故频次受湿滑路面与多种气象因素混合调控,风险表现相对平缓。

3.1.3. 周际变化特征分析

在周际时间尺度上,研究区域交通事故呈现显著的通勤与物流周期律,总体表现为非均匀的脉冲式分布特征。不同路段受路网功能定位差异影响,展现出明显的周变异质性(如图 2(c)所示)。具体来看, Y8654 站点呈现复杂的“M 型双峰”结构,事故高发集中于周四(物流流量峰值)以及周一和周六(周末交通缓冲效应),反映其作为客货混行通道的复合交通流特征。Y8652 站点则表现为极端的周初脉冲模式,事故风险高度集中于周一和周二,揭示了工业物流复苏周期的强驱动作用。相比之下, Y8653 站点呈现“周末前夕”效应,高发期集中在周五,主要受返程及出游潮汐流影响。

3.1.4. 日变化特征

在日际微观时间尺度上,研究区域交通事故呈现出显著的“双峰潮汐”与“节点脉冲”特征,且受生理节律与通勤物流周期的双重调制,如图 2(d)所示。在小时尺度上,事故高发期精准锁定于 13:00~14:00 与 17:00~20:00,其中 Y8654 站点受高温与驾驶疲劳耦合影响,午后峰值尤为突出。

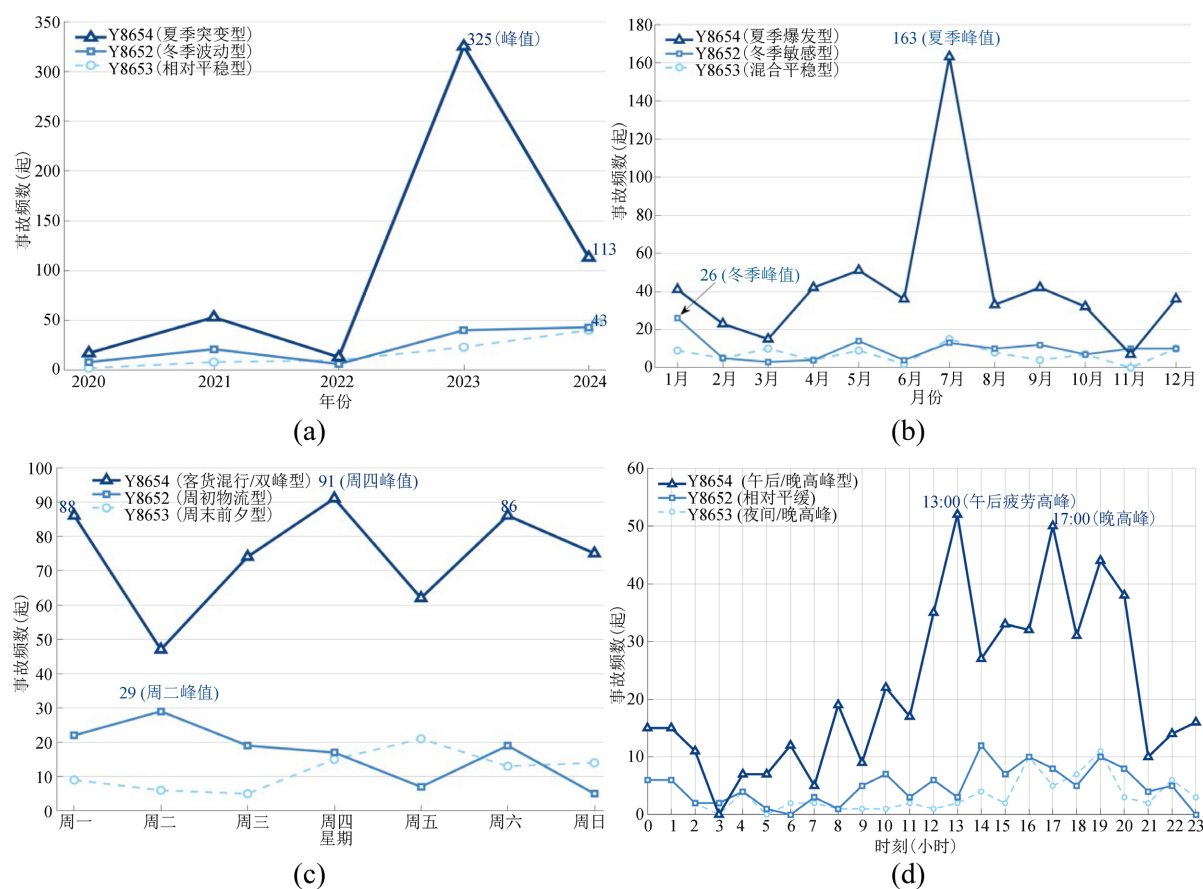


Figure 2. Temporal distribution characteristics of expressway traffic accidents

图 2. 高速交通事故的时间分布特征

3.2. 交通事故的空间分布特征及区划

在空间分布上, 研究区域交通事故呈现出显著的非均衡性与地域分异特征。如表 2 所示, Y8654 站点为事故的绝对高发核心区, 共发生事故 465 起, 且对大风敏感性明显(大风相关事故占比 21.3%), 同时受到团雾和沙尘扰动的显著影响[17]。相比之下, Y8652 站点虽然事故总量相对较少, 但其事故类型高度集中于低温与结冰环境, 低温相关事故占比高达 45.5%, 典型地反映了冬季易结冰路段的风险特征。Y8653 站点则呈现出风险因素较为均衡的混合型过渡特征。总体来看, 该路段的空间事故风险呈现出由低温结冰主导向大风及高频多发因素主导的演变规律, 反映出不同地理位置的路段在气象敏感性上的显著异质性。

Table 2. Characteristics of different stations and traffic accident sample statistics
表 2. 不同站点特征及事故样本统计

站点	站点特征	总事故样本	低温事故 (≤0°C)	雨湿事故 (湿度 ≥ 80%)	大风事故 (≥8 m/s)	结冰高危组合 (低温 + 高湿)
Y8652	冬季易结冰型	99 起	45 起	27 起	5 起	27 起
Y8653	混合型	80 起	23 起	19 起	13 起	19 起
Y8654	夏季/大风型	465 起	79 起	57 起	99 起	52 起

3.3. 建立高速交通事故与气象因子的相关性预报模型

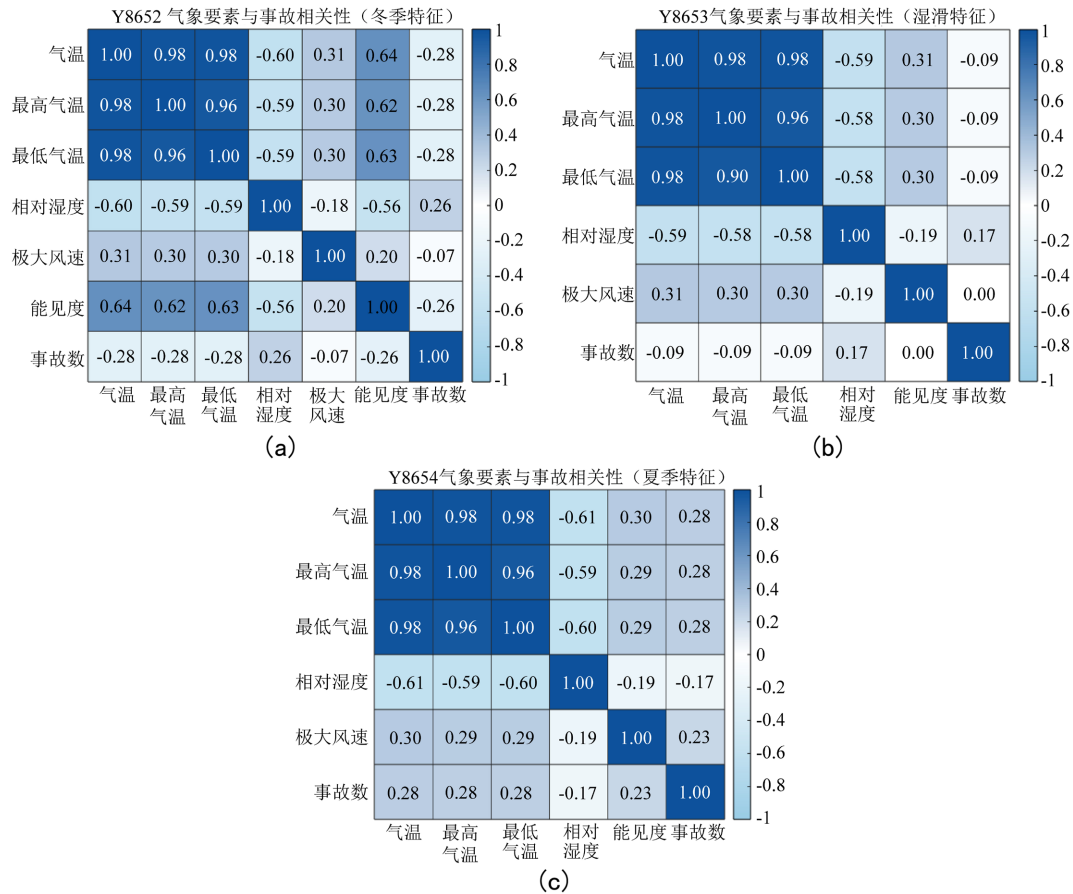


Figure 3. Correlation analysis between meteorological factors and traffic accidents at different stations
图 3. 不同站点气象要素与事故相关性分析

本研究为深入探析不同路段交通事故发生的主要诱因，并量化各气象要素对交通安全的潜在影响，采用 Pearson 相关系数方法对事故频数与同期气象观测数据开展相关性分析，选取气温、相对湿度、极大风速及能见度等关键气象因子作为解释变量，以单位时间内的事故发生频数作为目标变量，通过构建事故与气象特征矩阵，计算各因子与事故频数的线性相关程度。如图 3 所示，相关系数 r 的值为 $[-1, 1]$ ，其中 $r > 0$ 表示相应气象因子与事故频数呈正相关(该因子取值越高，事故越易发生)， $r < 0$ 表示呈负相关(因子取值越低，事故越易发生)，且 $|r|$ 的大小反映相关性的强弱。通过对比三个站点的相关性矩阵差异，本研究旨在识别不同路段的主导致灾因子(如低温、高湿或大风)并揭示其背后的风险驱动机制，为区域化交通安全风险预警提供科学依据。

本研究采用 Pearson 相关系数分析发现，虽然气象因子与事故频数的关联强度整体处于弱区间 ($|r| \approx 0.15 \sim 0.30$)，但各路段的致灾因子差异显著。其中，Y8652 站点与气温 ($|r| \approx 0.15 \sim 0.30$)、能见度 ($r = -0.26$) 呈负相关，与湿度 ($r = 0.26$) 呈正相关，呈现典型的低温低能见度风险特征。Y8654 站点与之相反，事故频数与气温 ($r = 0.28$) 及风速 ($r = 0.23$) 呈正相关，表现为高温大风敏感型。而 Y8653 站点仅与湿度呈弱正相关 ($r = 0.17$)，其余因子不显著。

3.4. 聚类分析不同路段气象环境的差异性

基于对 2020~2024 年全量事故样本的聚类分析，本研究深入剖析了研究区域交通事故的气象环境分布规律。采用 K-Means 聚类算法结合主成分分析技术，以事故发生时的微观气象要素(气温、湿度、风速)为特征向量，成功识别出三种具有显著物理意义的气象致灾模式，如图 4 所示。

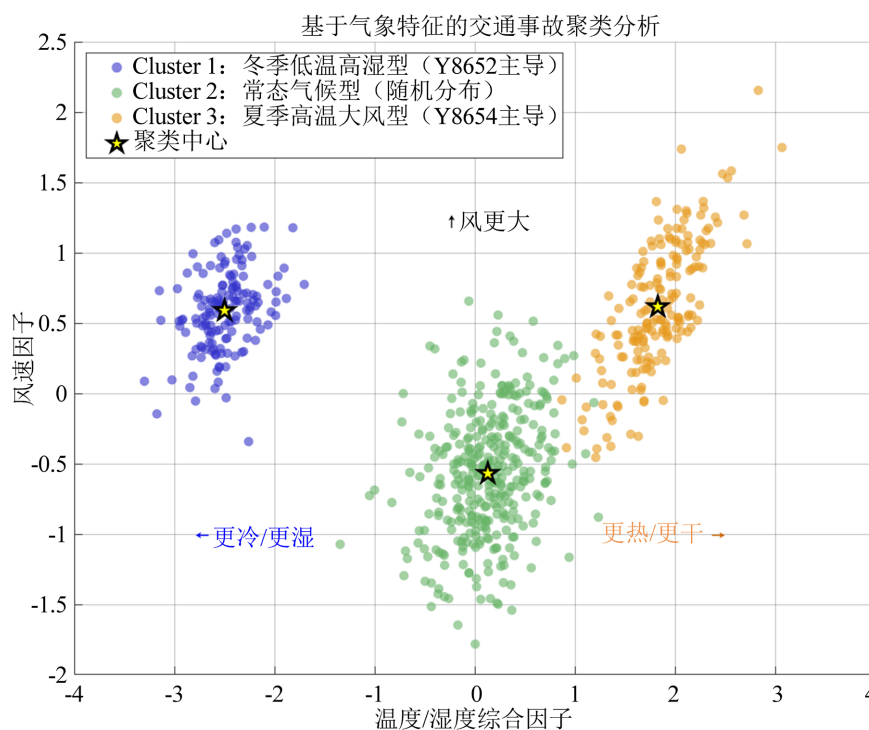


Figure 4. Cluster analysis of traffic accidents based on meteorological characteristics

图 4. 基于气象特征的交通事故聚类分析

第一类为冬季冰雪凝冻型(Cluster I)，事故样本高度聚集于极低气温(均值 -9.2°C)与极高湿度(均值 80.6%)的耦合区间，同时风速较低。该特征精准对应冬季湿冷气候条件，低温与高湿的叠加效应极易导

致黑冰、路面凝冻及霜雾形成，从而显著降低路面附着系数，引发侧滑与追尾事故。此类风险主要集中于 Y8652 站点，验证了该路段为典型的冬季冰雪敏感区。

第二类为夏季干热大风型(Cluster II)，质心特征表现为高温(均值 28.9℃)、低湿度(均值 23.6%)以及强风速(均值 10.1 m/s)。这是典型的夏季极端天气组合，高温热浪不仅增加车辆机械故障风险(如轮胎爆裂)，还加重驾驶员生理疲劳，而接近 6 级的强侧风则对高速行驶车辆的横向稳定性构成严重威胁。此类风险主要由 Y8654 站点的夏季事故主导。

第三类为常态气候背景型(Cluster III)，样本位于特征空间中心区域，气象条件处于中等温湿的适航区(均温 19.4℃，均湿 34.5%)。该聚类包含数量最多的事故样本，表明事故发生主要受人为违章、交通拥堵等非气象因素驱动，构成区域交通安全风险的基础底色。

PCA 二维投影清晰展示了三类风险在特征空间中的两极分离状态：湿冷与干热分别占据两个极端，而常态型则起到过渡衔接作用，为实施分级管控提供了科学依据。针对 Cluster I，应重点在冬季对 Y8652 路段启动除冰作业与团雾监测；针对 Cluster II，则需在夏季强化 Y8654 路段的驾驶员防疲劳提示及侧风预警；而 Cluster III 应侧重于常规勤务巡逻和交通违法查处。

3.5. 特殊天气归因统计

为精准识别各路段的主导致灾气象因子，本研究依据交通安全气象相关标准，设定低温结冰(气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$)、大风(极大风速 $\geq 13.9\text{ m/s}$)及湿滑低能见度(相对湿度 $\geq 80\%$)三类关键风险阈值。统计归因分析显示，不同路段的致灾因子呈现显著异质性。Y8652 站点表现为典型的冰雪凝冻高危路段，低温事故占比最高(45.5%)，且低温与高湿结合的易结冰组合占比达 27.3%，表明冬季路面结冰与团雾是其首要风险。Y8654 站点则为显著的大风主导型，其大风事故占比(21.3%)居所有站点之首，结合其夏季高发的特征，提示强侧风为主要致灾源。Y8653 站点呈现混合型湿冷风险，低温与高湿事故占比均衡，且复合风险组合占比(23.8%)仅次于 Y8652，表明其受多种气象因子共同调节。综上，各路段管控重点应各有侧重：Y8652 聚焦冬季防冻，Y8654 侧重防风与高温预警，Y8653 则需兼顾防滑与防冻。

4. 结论

本研究深入探讨了 G3012 吐和高速新和段交通事故对气象因子的敏感性特征，揭示了复杂地貌下交通安全风险的时空异质性规律。研究表明，该区域事故分布具有显著的“夏冬双峰”季节律与日内“双峰潮汐”特征，且路段间的致灾机理存在明显分异。敏感性分析证实，上行 K707 公里处对高温与强风极为敏感，表现为典型的夏季干热大风致灾模式，主要受极端热浪诱发的疲劳驾驶及强侧风对车辆稳定性的干扰所驱动；而上行 K675 公里处则对低温与能见度表现出高度敏感性，呈现冬季冰雪凝冻特征，系低温高湿环境下黑冰与霜雾频发导致路面附着系数骤降所致。通过聚类分析识别出的冬季凝冻、夏季干热及常态气候三类致灾模式，进一步论证了风险在特征空间中的两极化分布态势。综上所述，针对复杂交通环境实施“一路一策”的分级分类管控具有高度的科学性与必要性。建议相关部门在夏季重点强化 K707 路段的侧风预警与防疲劳干预，冬季则侧重于 K675 路段的路面温度监测与精准除冰作业，从而全方位提升复杂地貌下高速公路的交通气象防灾减灾能力。

参考文献

- [1] 康延臻, 王式功, 杨旭, 等. 高速公路交通气象监测预报服务研究进展[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 591-603.
- [2] 宋文山. 不良天气下高速公路变限速管理系统研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [3] 张胜平, 马香娟. 恶劣天气下公路急弯路段追尾预警系统设计[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2016, 12(9): 237-

239.

- [4] Kwon, T.J., Fu, L. and Jiang, C. (2013) Effect of Winter Weather and Road Surface Conditions on Macroscopic Traffic Parameters. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2329**, 54-62. <https://doi.org/10.3141/2329-07>
- [5] 宋萍, 车军辉, 国婷婷, 等. 环胶州湾高速路面低温气候特征和 SVM 预报模型[J]. 海洋气象学报, 2023, 43(3): 80-87.
- [6] 安英玉, 金凤岭, 张云峰, 等. 地面雨滴谱观测的图像自动识别方法[J]. 应用气象学报, 2008, 19(2): 188-193.
- [7] 付秋芳, 赵德实. 太阳能光伏发电的气象条件研究[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(11): 11-13.
- [8] 李博, 普亚洲, 王楠, 等. 基于短时强降雨探测的拉曼激光雷达测温数据 WRF 同化方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(7): 2110-2115.
- [9] 施丽娟, 陈冬冬, 花卫东. 公路交通气象自动观测系统设计[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 543-550.
- [10] 严明良. 沪宁高速公路低能见度浓雾特征及其数值模拟研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [11] Jaeger, A. and Huss, S.A. (2011) The Weather Hazard Warning in sim^{TD}: A Design for Road Weather Related Warnings in a Large-Scale Car-to-X Field Operational Test. 2011 11th International Conference on ITS Telecommunications, St. Petersburg, 23-25 August 2011, 375-380. <https://doi.org/10.1109/itst.2011.6060085>
- [12] Moldwin, M. (2008) An Introduction to Space Weather. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511801365>
- [13] Dey, K.C., Mishra, A. and Chowdhury, M. (2015) Potential of Intelligent Transportation Systems in Mitigating Adverse Weather Impacts on Road Mobility: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **16**, 1107-1119. <https://doi.org/10.1109/tits.2014.2371455>
- [14] 王志, 韩焱红, 李蔼恂. 我国公路交通气象研究与业务进展[J]. 气象科技进展, 2017, 7(1): 85-89.
- [15] 胡思涛, 朱艳茹. 团雾天气对高速公路交通安全的影响机理研究[J]. 中外公路, 2013, 33(2): 290-292.
- [16] 刘昌蓉, 何政伟, 黄爽兵. 多元回归分析在地质灾害危险性评价中的应用——以天山公路 G217 沿线为例[J]. 环保科技, 2008(1): 31-33.
- [17] 尹江涛, 何政伟, 杨斌. 天山公路地质灾害评价与决策支持信息系统设计[J]. 人民长江, 2009, 40(3): 3.