

季节性气象要素变化对道路交通运行的影响分析

张慧森

商丘市气象局 河南 商丘 476000

摘要: 道路交通系统对气象条件具有高度敏感性,而季节性气象要素的周期性变化更在年际时间尺度上构成对道路通行能力、行车安全及养护管理的重要约束。本文基于气象观测与交通运行的基础理论,系统分析了温度、降水、风、雾等主要气象要素的季节性演变规律,从路面物理特性、驾驶员视觉与行为响应、交通流动力学三个维度揭示了影响机理,提出了季节性影响等级划分与风险时空分布特征,进而从气象监测预警、信息发布联动及养护决策支持等方面探讨了气象部门与交通管理部门的协同对策。研究认为,将季节性气象变化纳入道路交通运行的全周期管理框架,是提升路网韧性、降低事故风险的有效路径,也为精细化气象服务提供了明确的业务导向。

关键词: 季节性气象要素; 道路交通; 运行安全; 通行能力; 气象服务

引言

道路交通运行状态始终处于气象环境的直接作用之下。不同于突发的极端天气事件,季节性气象要素变化具有可预期性、周期性和累积性特征,其对道路基础设施和交通流的影响往往以渐进方式呈现,却能在数月尺度上显著改变区域路网的运行效率与安全水平。在我国大部分地区,冬季低温冰冻、春季融雪翻浆、夏季暴雨内涝、秋季浓雾频发,每一季节均有其主导性的气象风险,而这些风险又因地理纬度和地形地貌的差异而表现出鲜明的区域性。作为气象局工作人员,笔者在日常业务中深切体会到,现有交通气象服务多聚焦于短时临近预警,而对季节性尺度的变化规律及其对交通运行的长期塑造作用关注不足,导致养护规划、信号配时调整和应急资源配置缺乏前瞻性的气象依据。本文试图从季节性气象要素变化的本征特征出发,系统梳理其对道路交通运行的影响链条,并提出面向业务应用的分析框架,以期提升交通气象服务的时空针对性和决策支撑能力提供参考。

1 季节性气象要素变化特征

1.1 温度的季节性变化

温度是表征季节更替最基础的气象要素。在北半球中纬度地区,冬季月均气温可较夏季低 20°C 以上,这种悬殊的温差直接改变路表材料的热力学行为。冬季负积温的持续累积导致路面冻胀,春季正积温的回升又引发融沉,两者交替作用使沥青路面的裂缝率和坑槽数量呈季节性波动。此外,日较差在春秋两季往往达到年内峰值,频繁的冻融循环会加速路面结构层的疲劳损伤,这

种损伤虽不立即显现,但会在后续季节的荷载作用下迅速扩展。温度的季节性变化还通过改变轮胎橡胶的粘弹性和路面摩擦系数间接影响行车安全——低温使轮胎变硬,抓地力下降;高温则使沥青软化,重载车辆易形成车辙。

1.2 降水的季节性变化

我国大部分地区受季风气候控制,降水集中于夏季数月,冬季则普遍干燥。这种季节性分配格局使夏季路面长时间处于湿滑状态,水膜厚度和积水深度随时间呈脉冲式变化,直接降低轮胎与路面的附着系数。同时,春季积雪融化和秋季连阴雨同样构成区域性降水异常,前者易引发路基含水量饱和,后者则延长了路面低摩擦状态的持续天数。从年际变率来看,极端降水事件在夏季的发生频率呈增加趋势,短时强降水可在半小时内形成深度超过 5cm 的路表径流,对行车视距和车辆操控稳定性构成瞬时冲击。降水的季节性还体现在相态变化上——冬季以降雪为主,春季雨雪交替,不同相态下路面的物理响应机制截然不同。

1.3 风与雾的季节性变化

风场要素的季节性转换在沿海地区和山谷地带尤为显著。冬季寒潮大风和夏季台风或雷暴大风分别对应不同的风向和风速概率分布,侧风对车辆气动稳定性的干扰在风速超过 10m/s 时开始凸显,而季节性平均风速的差异则影响路面扬尘和积雪的空间再分布。雾的发生频率则呈现明显的秋冬高、春夏低的季节特征,辐射雾多出现在秋末至初春的清晨,平流雾则常在冬春之交的海陆风转换期频发。能见度低于 200m 的浓雾在秋季的发生天

数约占全年的 60% 以上, 这种季节性集聚效应对高速公路的运营决策影响深远。值得注意的是, 风和雾常与温度逆温层相伴出现, 形成复合型气象条件, 其影响并非各要素独立作用的线性叠加。

2 对道路交通运行的影响机制

2.1 对路面物理状态的影响

季节性温度变化引起路面材料的胀缩循环, 其应变幅度随温差增大而呈非线性增长。冬季低温使沥青面层收缩开裂, 裂缝宽度在极端低温下可达数毫米, 春季融雪水渗入裂缝后经反复冻胀, 逐步演变为网状裂缝和剥落。夏季高温则降低沥青混合料的劲度模量, 在持续重载作用下产生永久变形, 车辙深度随高温日数的累积而线性增加。降水对路面物理状态的影响以润滑和侵蚀为主——水膜降低了界面摩擦系数, 而孔隙水压力的周期性变化则加剧了集料的剥离^[1]。冬季降雪经碾压后形成冰板, 其表面粗糙度较干燥路面下降约 40% ~ 60%, 制动距离相应延长^[2]。此外, 季节性干湿交替还会影响路基层的含水量, 进而改变土基回弹模量, 这种隐性的结构性能衰减往往在春融期达到峰值, 成为路面承载力最薄弱的时段。

2.2 对驾驶员行为与能见度的影响

驾驶员的感知-决策-操作链路受气象要素的季节性调节。冬季低照度和眩光(因太阳高度角偏低)共同降低视觉对比度, 使驾驶员对前方障碍物的识别距离缩短; 夏季强日照则通过路面反光产生眩目效应, 增加视觉疲劳。雾和降水直接削减大气透明度, 能见度下降使驾驶员的认知负荷显著上升, 反应时间延长约 0.3~0.8s, 这在高速行驶工况下意味着额外的数十米制动空驶距离。更重要的是, 季节性气象条件会改变驾驶员的心理预期——长期处于恶劣季节的驾驶员可能产生适应性风险补偿行为, 即在高风险气象条件下反而降低安全裕度, 这种心理偏差已得到行为学实验的间接证实。不同年龄段的驾驶员对季节性光环境变化的耐受性存在差异, 老年驾驶员在晨昏时段(秋冬季多发)的事故率明显上升, 这与晶状体混浊度和瞳孔调节能力的季节累积效应有关。

2.3 对交通流与通行效率的影响

从交通流理论的角度, 季节性气象要素变化通过改变自由流速度、饱和流率和车道占用率等参数影响道路通行能力。冬季冰雪路面使自由流速度降低约 15% ~ 25%, 且速度分布的标准差增大, 导致交通流稳定性下降; 夏季暴雨期间, 湿滑路面和降低的视距共同使饱和流率折减, 交叉口通行能力可下降 30% 以上。在连续流

路段, 降水强度与车头时距呈正相关, 当小时降水量超过 5mm 时, 平均车头时距增加约 0.5s, 对应通行能力减少约 150veh/h/lane。季节性长期作用还体现在出行行为选择上——冬季恶劣天气下公共交通分担率上升, 而夏季高温时段私人小汽车出行需求向清晨和傍晚转移, 形成时段性交通峰值的重分布。此外, 季节转换期(如冬末春初)昼夜温差大, 路面晨间结冰与午间融化的交替变化使通行能力在日内出现剧烈波动, 给交通管控策略的制定带来额外复杂性。

3 季节性影响的综合评估与风险分区

3.1 影响等级划分

为便于将季节性气象影响转化为可操作的管理指标, 可构建基于多要素的综合影响指数。该指数包括温度极端性(冬季最低温低于-10℃的天数、夏季最高温高于 35℃的天数)、降水强度与持续性(最大连续降水日数、月累计降水量距平)、雾日频率(能见度≤200m 的日数)以及风灾概率(阵风≥17m/s 的出现频率)四个一级指标, 采用等权重加权或熵权法确定各区域的差异化权重。据此将影响等级划分为轻度(指数<0.25)、中度(0.25~0.50)、重度(0.50~0.75)和极重度(>0.75)四档。其中, 重度及以上等级对应的季节和区域应纳入交通管制的优先考虑范畴^[3]。需要指出的是, 该分级体系并非静态, 而应随气候背景的变化每 5 年进行一次参数校正, 以反映季节性气象要素的长期演变趋势。

3.2 季节性风险时空分布

基于全国多年平均气象资料, 可绘制季节性交通气象风险的空间分布图谱。冬季高风险区主要分布于秦岭-淮河以北及西部高海拔地区, 风险源以低温和冰雪为主; 夏季高风险区则覆盖长江中下游及华南沿海, 主导风险因子为暴雨和内涝; 春秋两季的雾区风险呈带状分布于四川盆地、黄淮平原和沿海高速公路沿线。从时间维度看, 冬季风险持续时间最长, 可达 3~4 个月, 而夏季风险虽集中但强度更大, 秋季风险则具有显著的日变化特征(多发生于凌晨至上午 9 时)。这种时空分布差异要求各地制定季节性的差异化应急预案——例如, 北方应侧重冬季除雪保畅, 南方则应强化夏季排水和边坡监测, 而东西走向廊地带则需兼顾冬夏双重风险。风险分区的结果还可用于指导季节性交通管制措施的起止日期设定, 如冬季限速调整的开始时间可参照本地稳定通过 0℃等温线的日期。

4 气象服务与交通管理协同对策

4.1 监测预警体系优化

面向季节性影响的需求,气象监测网络应在传统温压湿风观测基础上,增设路面温度、路表面积水/积雪厚度、能见度梯度等交通专用要素的自动观测站点,尤其在风险分区中的重度区应加密至每 10~15km 一处。数据采集频率宜提升至分钟级,以适应季节性过渡期内气象条件的快速波动。预警层面,除发布短临预警外,应建立季节性趋势预警产品——提前 1~3 个月预报该季节温度距平、降水总量和极端天气频次的概率,供交通部门制定季度养护和排班计划^[4]。此外,需开发基于季节内振荡(如 MJO)的延伸期预报技术,对季节转换期(如入冬首场强降雪、入梅首场暴雨)的临界时间窗口给出概率预报,这类信息对于高速公路提前布设融雪剂和排水设备具有极高价值。

4.2 信息发布与应急联动

季节性气象信息的发布应纳入交通管理部门的决策链条。气象局可编制季节性交通气象月报和周报,以图表形式呈现未来季节内各风险因子的演变趋势,并通过专线共享至路网监控中心和交警指挥平台。在信息发布终端上,可变情报板不应仅显示“雨天路滑”等通用警示,而应基于实时路面温度和降水强度计算并显示动态建议限速值。应急联动方面,应建立季节性的联席会议制度,在每季开始前由气象局通报该季节气候预测重点,交通部门据此调整应急物资储备种类和数量——如冬季侧重融雪剂和防滑沙,夏季侧重排水泵和应急抢险车辆^[5]。同时,应制定季节性的分级响应预案,将影响等级与交通管制措施(限行车型、封闭路段、绕行方案)形成对应矩阵,确保在季节性极端事件发生时能快速切换至相应响应级别。

4.3 季节性养护决策支持

道路养护是受季节性气象影响最直接的管理环节。气象局应提供面向养护窗口期的气象适宜度预报,包括沥青摊铺适宜温度区间(一般 10℃~30℃)的出现日期、封层施工期间降水概率小于 30% 的连续天窗期、以及冬季除雪作业期间气温回升导致的融雪剂有效性时段等。基于季节性气温和降水预测,可提前优化年度养护日历:将裂缝修补和微表处集中安排在春末秋初的温和

季节,将排水系统清淤提前至雨季来临前一个月,将抗凝冰涂层喷涂作业控制在冬季初雪前两周内。此外,针对季节性冻融循环严重的路段,气象局应提供逐日冻融次数统计和预测,帮助养护部门合理确定灌缝材料的更换周期和撒布时机。这种将气象信息深度嵌入养护决策的模式,已在部分试点路段显现出延长路面使用寿命约 15% 的效果。

5 结语

季节性气象要素变化并非简单的背景噪音,而是以可预测、可量化的方式持续影响道路交通运行的各环节。本文从温度、降水、风、雾的季节性规律出发,构建了“要素-状态-行为-效率”的完整影响链条,并提出了影响分级、风险分区和服务协同的框架性对策。作为气象局工作人员,笔者认为,当前交通气象服务应从“事件驱动型”向“季节适应型”转变,充分发挥气象部门在长中短期预报衔接上的技术优势,将季节性气候预测转化为交通管理的前置行动依据。未来,随着智能网格预报和人工智能融合技术的成熟,有望实现季节性影响的高分辨率动态评估,推动道路交通管理从被动应急走向主动韧性规划。这一方向的深化,不仅需要气象与交通学科的交叉融合,更亟需建立数据互通、标准统一、责任明晰的业务协同机制。

参考文献

- [1] 王静,张强,李栋梁.中国季节性降水变化对高速公路通行能力的影响评估[J].应用气象学报,2023,34(2):156-167.
- [2] 刘洋,陈宝君,周伟.冬季路面温度预报方法及其在除雪决策中的应用[J].气象科技,2022,50(4):532-540.
- [3] 赵凯,孙丽娟,高晓东.雾天能见度变化对城市快速路交通流特性的影响[J].交通运输系统工程与信息,2024,24(1):89-98.
- [4] 陈敏,郑永光,吴英.季节性冻融循环对沥青路面抗滑性能的长期影响分析[J].公路交通科技,2023,40(6):112-120.
- [5] 杨晓霞,马明,胡德勇.交通气象灾害风险区划方法研究及季节适应性改进[J].灾害学,2025,40(1):45-53.