

复杂气象条件下交通标志可视性提升方法分析

孙琳琳

中国葛洲坝集团机械船舶有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：复杂气象常导致交通标志可视性下降，增加交通事故风险，制约交通运行效率，成为交通领域亟待解决的问题。本文针对复杂气象下交通标志可视性不足的问题，系统分析了雨天、雪天、雾霾天对标志可视性的影响及核心因素。研究提出多技术融合提升路径，涵盖材料创新（新型反光、自发光材料等）、设计优化（版面、颜色、结构设计）、先进照明（定向照明、智能感应照明）、人工智能（图像增强、目标检测）及车路协同联动调控。进一步探讨综合应用策略与推广措施，包括技术协同、场景适配、分层推广、政策支持与标准建设。研究为提升复杂气象下交通标志可视性提供技术支撑，对保障交通安全、提高交通效率具有重要实践意义。

关键词：复杂气象条件；交通标志；可视性提升方法

引言：当前交通标志国内外虽在材料、照明等方面有研究，但多聚焦单一技术，缺乏多技术协同与场景化应用方案，且推广中面临成本、标准等瓶颈。基于此，本文系统分析复杂气象对标志可视性的影响，构建多技术融合提升路径，研究综合应用与推广策略，旨在为解决复杂气象下交通标志可视性问题提供切实可行的方案，助力交通行业安全发展。

1 复杂气象条件对交通标志可视性的影响

1.1 不同气象条件分析

复杂气象条件通过改变大气环境介质，直接对交通标志的视觉感知产生干扰。（1）雨天时，大气中密集的雨滴会形成光的散射与反射界面，一方面导致光线在传播过程中出现多次折射，削弱交通标志反射或发射的有效光强；另一方面，道路表面积水会产生镜面反射，与交通标志的视觉信号形成干扰，降低标志在驾驶员视野中的辨识度。（2）雪天的影响主要体现在两方面，一是降雪过程中雪花对光线的遮挡与散射，缩短驾驶员对交通标志的有效视距；二是积雪可能附着在交通标志表面，覆盖标志的图形、文字与颜色信息，破坏标志的完整性。（3）雾霾天则因大气中悬浮的颗粒物浓度升高，形成光的漫反射环境，光线在传播中能量衰减加快，使得交通标志的颜色对比度降低，标志边缘变得模糊，难以被快速识别。

1.2 影响因素

复杂气象下交通标志可视性的核心影响因素可分为以下环境与标志自身两类。（1）从环境因素来看，一是大气能见度，不同气象条件下能见度差异显著，能见度越低，光线传播受阻越严重，标志的可视距离与清晰度随之下降；二是光照条件，阴天、夜间等弱光环境下，

交通标志自身的反光或发光性能若无法弥补光照不足，会进一步加剧可视性问题。（2）从标志自身因素来看，标志材料的光学性能是关键，如反光材料的逆反射系数、自发光材料的发光强度，直接决定了在复杂气象下的光信号输出能力；（3）标志的颜色搭配与对比度设计也会产生影响，若颜色饱和度低、对比度不足，在雨雪、雾霾等气象的干扰下，标志与背景环境的视觉区分度会大幅降低^[1]。

2 复杂气象条件下交通标志可视性提升的多技术融合路径

2.1 基于材料创新的可视性提升方法

材料创新是从交通标志本体出发，通过优化材料光学特性与环境适应性，增强其在复杂气象下的信号输出能力，具体技术方向包括：（1）新型反光材料研发，重点突破高逆反射效率与抗环境干扰性能，采用微棱镜阵列结构替代传统玻璃珠反光层，通过精准控制棱镜角度与间距，实现光线的定向反射，减少雨天、雾霾中光线散射导致的反射损耗；同时在反光膜表面复合超疏水涂层，利用纳米级表面纹理降低雨水附着率，避免水膜对光线反射的阻碍，保持标志表面干燥状态下的反光效果。（2）自发光材料技术升级，分为蓄光型与主动发光型两类技术路线，蓄光型材料通过改良稀土激活剂成分，提升对自然光、路灯等环境光的吸收效率，延长夜间发光时长，同时优化材料稳定性，减少长期使用后的发光衰减；主动发光材料则结合柔性LED灯带与超薄基板，实现标志版面的均匀发光，通过调整LED灯珠间距与功率，确保在浓雾、大雪等低能见度环境下，标志图形与文字仍能清晰呈现。（3）复合基材应用，针对复杂气象下的材料损耗问题，采用铝合金与高分子复合材料

的复合结构,基材表层采用耐候性强的聚碳酸酯材料,抵抗紫外线照射导致的老化褪色,内层铝合金提供结构支撑,防止雨雪冰冻造成的版面变形;同时在基材与功能层(反光层、发光层)之间增加粘结强化层,避免潮湿环境导致的层间剥离。

2.2 交通标志设计优化策略

设计优化通过调整标志的视觉呈现与结构布局,降低复杂气象对视觉识别的干扰,提升标志的易读性,具体优化方向包括:(1)版面尺寸与比例设计,根据道路设计车速与车道数量确定标志基准尺寸,在高速公路等高速通行路段,适当扩大标志版面宽度与高度,确保驾驶员在远距离即可捕捉标志信息;同时优化文字与图形的比例关系,文字笔画宽度按版面尺寸比例放大,避免因雾霾导致的笔画模糊,图形符号采用简洁化设计,减少冗余细节,增强整体识别度。(2)颜色搭配与对比度优化,遵循交通标志颜色标准的基础上,提升主色与底色的对比度,警示标志采用高饱和度的红色与明黄色,与道路背景形成强烈视觉反差;指示标志则在文字与底色之间增加白色边框,拓宽颜色过渡区域,减少雨天光线折射导致的颜色混叠;同时采用抗褪色颜料,确保长期使用后颜色饱和度不下降,维持稳定的视觉效果。

(3)结构与安装布局设计,标志结构采用流线型边框,减少雨水、积雪在版面的堆积,边框底部设置排水孔,加速雨水导流,避免版面形成水膜;安装高度根据道路净空与驾驶员视野高度确定,确保标志中心与驾驶员视线平齐,减少仰视或俯视导致的识别偏差;同时避开道路两侧的树木、广告牌等遮挡物,若无法避开则增加标志安装数量,形成连续视觉引导^[2]。

2.3 先进照明技术助力可视性提升

先进照明技术通过精准的光线控制与智能调节,弥补复杂气象下的光照不足,增强标志的视觉信号强度,具体技术应用包括:(1)定向照明技术,采用窄光束角的LED灯具,将光线精准聚焦于标志版面,减少光线向周围环境的散射,提升标志表面的光照强度;灯具安装角度根据标志位置与道路走向调整,确保光线垂直照射标志版面,避免因光线斜射导致的版面亮度不均;同时在灯具外壳采用防眩光设计,减少雨天路面反光对驾驶员视线的干扰。(2)智能感应照明系统,结合光敏传感器与车流量检测器,实现照明亮度的动态调节,光敏传感器实时监测环境光照强度,在阴天、黄昏等弱光环境下自动提升照明功率,在浓雾、暴雨等极端气象下启动强光模式;车流量检测器则根据车辆接近情况,临时增强照明亮度,车辆通过后恢复常规亮度,兼顾可视性与

能源节约;系统还具备故障自诊断功能,当灯具出现故障时自动报警,确保照明连续性。(3)太阳能照明与储能技术,适用于无电网覆盖的偏远路段,采用高效单晶硅太阳能电池板,提升光能转换效率,即使在阴天也能收集足够电能;储能装置采用磷酸铁锂电池,具备低温放电性能,在冬季低温环境下仍能稳定供电;同时配备充放电管理系统,防止电池过充过放,延长使用寿命,确保连续阴雨天气下照明系统仍能正常运行。

2.4 基于人工智能的可视性增强技术

人工智能技术通过数据处理与智能分析,从信息采集、处理到输出全流程提升标志可视性,具体技术路径包括:(1)图像增强算法应用,针对雾霾、雨天导致的图像模糊问题,采用基于大气散射模型的去雾算法,通过估算大气光强度与透射率,还原标志图像的细节与颜色;去雨算法则通过分离图像中的雨线背景信息,消除雨线对标志识别的干扰;同时结合自适应对比度增强算法,提升标志与背景的灰度差异,使文字、图形边缘更清晰。(2)智能目标检测与识别技术,基于深度学习构建交通标志检测模型,通过大量复杂气象下的标志图像数据训练,提升模型对模糊、遮挡标志的识别准确率;模型具备实时处理能力,能快速定位图像中的标志位置,并输出标志类型与信息;同时结合车辆定位技术,当车辆接近标志时,提前通过车载屏幕提示标志信息,辅助驾驶员识别。(3)多源信息融合与反馈系统,整合道路气象监测数据、交通流量数据与标志状态数据,通过AI算法分析不同气象条件下标志可视性的影响因素,动态调整标志的发光强度、照明亮度等参数;系统还具备数据反馈功能,将标志可视性数据传输至管理平台,为后续材料改进、设计优化提供数据支撑,形成“监测-分析-优化”的闭环。

2.5 车路协同下的多技术联动调控方法

车路协同技术通过打通人、车、路、标志的信息链路,实现材料、设计、照明与AI技术的动态联动,提升复杂气象下可视性保障的精准度,具体实现路径包括:(1)多设备协同控制,依托物联网云控平台整合标志发光模块、照明系统与气象传感器数据,当监测到浓雾、暴雨等气象时,自动触发反光材料增强模式、LED照明强光档与AI图像增强算法的联动启动,形成“标志主动发光+定向补光+图像优化”的三重信号强化。(2)车端-路侧信息交互,通过路侧单元向车辆推送标志位置与状态信息,结合车辆定位数据预判驾驶员可视需求,在标志进入视野前提前激活标志自发光功能与精准照明,同时在车载终端同步显示经过算法优化的标志图像,弥

补恶劣气象下的视觉缺失。(3) 全链路状态管控, 搭建统一的设施联网平台, 对标志材料性能、设计适配性、照明工况进行实时监测, 通过边缘计算单元快速处理异常数据, 例如当检测到标志反光层衰减时, 自动调增周边照明亮度并向管理端发送维护预警, 形成技术协同与运维保障的闭环^[3]。

3 复杂气象条件下交通标志可视性提升方法的综合应用与推广

3.1 可视性提升方法的综合应用策略

实际应用中需打破单一技术局限, 通过多技术协同、场景化适配与全周期考量构建系统化方案, 具体路径包括: (1) 技术协同整合, 以“材料为基础、设计为框架、照明为补充、智能为核心”搭建技术体系, 如在高速公路浓雾高发路段, 采用微棱镜反光材料与高对比度版面设计的标志, 搭配定向LED照明、AI图像增强系统及车路协同平台, 实现“主动反光+精准补光+车端优化+信息推送”多维度联动, 规避单一技术在极端气象下的效能短板。(2) 场景化适配应用, 依据道路类型与气象特征调整技术组合: 城市快速路侧重智能感应照明与AI目标检测, 适配车流密集、光照多变环境; 山区公路优先选用太阳能照明与复合基材标志, 应对无电网覆盖、雨雪冰冻场景; 沿海路段强化材料抗盐雾腐蚀与防眩光设计, 适配高湿度、强紫外线环境。(3) 全周期效益平衡, 兼顾前期投入与长期运维: 技术选型时对比方案成本与使用寿命, 如自发光材料虽初期成本高, 但可减少后期电费支出; 建立技术效果评估机制, 定期监测材料反光率、照明故障率等指标, 依损耗调整参数或维护, 保障长期稳定可视性。

3.2 可视性提升方法的推广路径与保障措施

推广需直面技术、成本、标准问题, 通过分层推进、政策引导与标准建设推动落地, 具体措施包括: (1) 分层分类推广, 优先在事故高发、气象复杂的重点路段(山区高速、沿海公路、城市快速路)试点, 积累数据后形成可复制方案向普通路段延伸; 针对不同规模

建设主体提供差异化方案: 为中小企业推出“基础材料升级+简易照明”低成本套餐, 为大型项目提供“全技术整合+智能运维”高端方案。(2) 政策与资金支持, 推动主管部门出台专项政策, 将可视性提升技术纳入道路建设与养护标准, 明确新建道路技术要求; 设专项补贴或贷款优惠, 降低企业新技术应用成本; 鼓励产学研合作, 支持高校与企业联合研发, 降低核心技术成本。

(3) 标准体系建设, 制定统一技术标准与评估规范, 明确新型反光材料、智能照明、AI增强技术的性能指标(反光率、响应速度、识别准确率)及综合应用设计施工规范; 建立第三方评估机构, 客观检测推广项目可视性效果, 确保符合安全要求, 避免标准不统一导致的质量差异^[4]。

结束语: 本文围绕复杂气象下交通标志可视性提升展开研究, 明确了不同气象的影响及关键因素, 构建了涵盖材料、设计、照明、AI、车路协同的多技术融合路径, 提出了科学的综合应用与推广措施。研究成果可直接指导交通标志的设计、建设与养护, 有效提升复杂气象下标志可视性, 降低事故风险, 具有显著实践价值。但研究未深入探讨极端气象下技术的极限效能, 且未涉及长期运维成本的精细化测算。未来可进一步开展极端气象模拟实验, 优化技术参数; 结合实际项目数据, 建立运维成本测算模型, 推动研究成果更广泛、深入地应用于交通领域。

参考文献

- [1] 伍晓晖, 田启川. 交通标志识别方法综述[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(10): 20-26.
- [2] 冯移冬, 陈光, 刘宇飞, 宋明珠, 贾宁. 基于多模态传感系统的交通标志夜间视认距离测量方法[J]. 公路交通科技, 2023, 40(S02): 263-269.
- [3] 陈严. 车辆辅助驾驶中的交通标志识别方法研究[J]. 科教导刊(电子版), 2020(9): 295-295.
- [4] 陆维, 吴锡. 基于深度学习的复杂天气场景交通标志检测[J]. 软件导刊, 2025, 24(6): 175-184.