

# 公路交通工程安全设施设计技术探究

马凤瑶

山西晋城公路规划勘察设计院有限公司 山西 晋城 048000

**摘要：**公路交通工程安全设施设计对保障行车安全意义重大。本文围绕相关设计技术展开探究，阐述人机工程学、风险感知、系统安全等基础理论，剖析道路几何、防护、标识、视距保障等关键设计技术体系，探讨多目标协同优化、全生命周期设计、数字化设计等集成方法，展望材料科学、结构创新、多学科交叉等设计技术创新方向，为提升安全设施设计水平提供理论参考。

**关键词：**人机工程学；风险感知理论；安全设施设计；多目标协同优化；数字化设计

引言：公路交通运行中，安全设施是保障通行安全的重要支撑，其设计合理性直接影响交通系统运行效率与出行安全。当前，复杂道路线形、特殊气候环境及多样交通流组成，对安全设施设计提出更高要求。传统设计模式存在单一要素考量局限，难以满足多场景下的安全需求。深入探究安全设施设计技术，梳理基础理论，完善技术体系，优化集成方法，对提升设施功能适配性、强化交通安全保障具有重要意义。

## 1 公路交通工程安全设施设计基础理论

### 1.1 人机工程学原理

驾驶员视觉认知特性与设施布局存在紧密关联。驾驶员在行驶过程中，对道路周边设施的观察依赖于视觉获取的信息，设施布局需契合视觉认知的规律，避免因布局混乱导致信息接收受阻，在急弯、坡道等视线受限路段，设施需适当加密并突出关键信息<sup>[1]</sup>。合理的设施布局能够让驾驶员快速捕捉关键信息，减少视觉疲劳，提升对道路环境的感知效率。操作反应时间与设施响应阈值的匹配同样关键。驾驶员从接收到设施传递的信息到做出相应操作存在一定的反应时间，设施响应阈值需与这一反应时间相适配，确保在驾驶员做出操作时，设施能够及时发挥作用，既不会因响应过快导致操作滞后，也不会因响应过慢错过最佳作用时机，从而实现人机之间的高效协同。

### 1.2 风险感知理论

道路环境危险源识别模型为安全设施设计提供了重要依据。该模型通过对道路环境中可能存在的各类危险源进行梳理、分析和归类，明确不同危险源的特征、出现场景及潜在危害程度，针对临时施工路段等动态危险源，模型可灵活更新识别维度。依据这一模型，安全设施设计能够更具针对性，针对不同类型的危险源制定相应的防护和警示方案。安全设施对风险感知具有强化

机制，通过合理的设施设置，能够将原本不易被察觉的危险源以更直观的方式呈现给驾驶员，突出危险源的存在，增强驾驶员对风险的敏感度，促使驾驶员提前做好应对准备，降低因对风险感知不足引发事故的可能性。

### 1.3 系统安全理论

设施-车辆-道路协同设计理念打破了单一要素设计的局限。安全设施并非独立存在，其功能的发挥需要与车辆性能、道路条件相互配合，针对新能源车辆较重的车身特性，需优化防护设施的承载强度。在设计过程中，需综合考量车辆的行驶特性、制动性能等，结合道路的线形、路面状况等因素，使设施设计与车辆、道路形成有机整体，实现各要素之间的互补与协调，提升整个交通系统的安全性。多层次安全防护体系构建逻辑强调通过层层递进的防护措施应对不同程度的风险。从外围的警示提示到中间的引导规范，再到核心的防护拦截，每个层级的安全设施都承担着特定的功能，各层级之间相互衔接、相互支撑，形成全方位、立体化的防护网络，确保在风险发生的不同阶段都能发挥有效的管控作用。

## 2 关键安全设施设计技术体系

### 2.1 道路几何设计技术

平纵线形组合与视距保障原则紧密相连。线形组合需兼顾行驶舒适性与视觉通透性，通过合理搭配直线、曲线及坡道，避免因线形突变遮挡驾驶员视线，长直线段末端衔接曲线时需设置渐变的曲率过渡段，防止车速骤变影响安全，直线段长度需结合设计车速控制，避免过长导致驾驶员注意力分散。视距保障需贯穿线形设计全程，确保驾驶员在行驶过程中能清晰观察到前方一定距离内的道路状况，为操作预留充足空间，在平面交叉路口还需拓展视距范围，保障车辆交汇时的观察需求<sup>[2]</sup>。横断面要素对行车稳定性的影响机制体现在多个方面。车道宽度、路肩宽度、边坡坡度等要素相互作用，过窄

的车道易导致车辆行驶轨迹受限,不足的路肩宽度会降低车辆应急避让的安全性,过陡的边坡则可能在车辆偏离车道时增加失控风险,合理的横断面设计可平衡各要素,提升行车稳定性,其中路肩边缘的排水设计还能减少路面积水对车轮抓地力的影响,积雪地区的路肩可增设防滑垫层增强车辆停靠安全性。

## 2.2 防护设施设计技术

刚性护栏与柔性护栏的力学传递模型存在显著差异。刚性护栏依靠自身坚硬材质抵抗车辆撞击力,将冲击力直接传递至基础结构,通过基础的稳固性分散能量,适用于填方较高路段,在桥梁与路基衔接处需强化护栏与桥梁结构的连接强度,防止衔接处出现防护断层;柔性护栏则借助自身变形缓冲撞击力,利用护栏材料的拉伸、弯曲等形变过程逐步消解能量,减少对车辆及人员的冲击,更适合地形起伏较小区域,在长下坡路段可加密护栏立柱间距提升防护效果,在护栏底部增设防钻装置,避免小型车辆撞击后钻入护栏下方。防撞桶/端头结构能量吸收机理侧重于通过特殊结构设计实现缓冲效果。桶体内部填充的弹性材料与端头的渐变式结构相互配合,车辆撞击时,材料压缩变形与结构逐步溃缩共同作用,延缓撞击力的传递速度,将动能转化为形变能,降低撞击带来的危害,高速公路出入口的防撞桶可采用多组串联设计,进一步延长能量吸收过程。

## 2.3 标识系统设计技术

动态视觉引导标识的布局优化方法需结合道路线形与交通流特性。标识设置需遵循驾驶员的视觉习惯,在道路变化节点提前布局,通过合理的间距与角度排列,引导车辆平稳转换行驶状态,避免因标识布局混乱导致驾驶员判断失误,在长直线段还需通过间隔设置标识保持驾驶员注意力,在互通立交入口前需分层设置预告标识与指引标识,预告标识需提前1-2公里设置,逐步细化指引信息。反光材料光效衰减补偿策略针对材料长期使用后的性能变化。通过在材料生产环节优化配方,增强抗老化能力,在设计中预留光效调节空间,定期对标识进行维护处理,弥补光效衰减带来的视认性下降问题,对高海拔强紫外线区域的标识,可采用双层反光膜叠加设计强化光效持久性,隧道内的标识则选用抗潮湿、抗油污的反光材料,避免尾气污染影响视认效果,确保标识在全生命周期内发挥稳定作用。

## 2.4 视距保障技术

弯道内侧障碍物清除标准需依据弯道半径与设计车速确定。清除高度与范围需满足驾驶员在弯道行驶时的视线需求,移除可能遮挡视线的树木、岩石等障碍物,

避免因视线受阻引发事故,对于无法完全清除的障碍物可设置反光警示装置辅助提示,在连续弯道路段需分段明确障碍物清除标准,相邻弯道的清除范围需衔接连贯,形成完整的视线通廊。隧道进出口光过渡区设计方法聚焦于缓解光线突变对驾驶员的影响。进出口区域通过设置渐变式照明设施,逐步调节光线强度,入口处从洞口向外依次增强照明亮度,出口处从洞内向外逐步降低亮度,使驾驶员的视觉系统平稳适应从室外强光到隧道内弱光,或从隧道内弱光到室外强光的转变,长隧道的进出口还可设置遮光棚,通过物理遮挡减缓光线变化速率,减少视觉盲区出现的概率。

# 3 安全设施设计技术集成方法

## 3.1 多目标协同优化模型

安全性、经济性、环境适应性的权重分配需结合道路使用场景与需求动态调整。安全性作为核心目标需占据基础权重,针对交通流量大、事故风险高的路段可适当提高占比;经济性权重需考量设施全周期成本,包括材料采购、施工搭建及后期维护费用,避免过度设计造成资源浪费;环境适应性权重则需贴合路段所在区域的自然条件,在生态敏感区侧重提升设施与环境的兼容度,减少对周边植被与地貌的影响,在干旱地区还需兼顾设施抗风沙侵蚀的需求,在冻土区需重点考虑设施基础抗冻胀能力以调整权重<sup>[3]</sup>。基于冲突分析的设施组合优化逻辑聚焦不同目标间的潜在矛盾。当安全性要求的高规格设施与经济性目标产生冲突时,通过分析冲突根源,调整设施类型与布局,在保障基础安全的前提下选择性价比更优的方案;若环境适应性与其他目标冲突,可通过优化材料选用与结构设计实现多目标平衡。

## 3.2 全生命周期设计理念

施工阶段可维护性设计要点贯穿设施建设全程。在结构设计上预留检修通道与操作空间,方便后期检查与维修;选用模块化组件,减少维修时的拆解难度,缩短施工对交通的影响时间,组件接口设计需统一标准,提升更换效率。运营期设施性能衰减预测模型通过分析设施使用环境与材料特性构建。结合路段的气候条件、交通荷载等因素,预判防护设施的抗冲击性能、标识的视认性能等衰减规律,提前制定维护与更换计划,对易受雨水浸泡的设施还需强化防腐设计,对高温地区的塑料类设施需增加抗老化涂层,避免因性能衰减引发安全隐患。设计时还需考虑设施废弃后的回收利用,选用可降解或易拆解回收的材料,降低对环境的二次影响。

## 3.3 数字化设计技术应用

建筑信息模型技术在设施空间冲突检测中的应用改

变传统设计模式。将道路、车辆、安全设施等要素的信息整合到模型中,直观呈现各设施在空间上的位置关系,及时发现标识与护栏的安装位置重叠、防护设施与地下管线的空间冲突等问题,在设计阶段完成调整,减少后期施工返工。虚拟仿真对设计方案的验证机制通过模拟实际交通场景实现。构建包含不同行驶状态车辆、复杂天气条件的仿真环境,测试安全设施在各类场景下的功能发挥情况,如验证视距保障设施在弯道行驶中的有效性、防护设施在车辆撞击时的缓冲效果,还可模拟极端暴雨天气下排水系统与安全设施的适配性,模拟冬季积雪对护栏支撑结构的压力影响,据此优化设计方案中的不合理之处。

#### 4 设计技术创新方向

##### 4.1 材料科学突破

自修复材料在防护设施中的应用前景广阔。这类材料具备自主修复微小损伤的能力,当护栏、防撞桶等设施因车辆轻微刮蹭或自然侵蚀出现裂痕时,材料可通过自身化学反应或物理作用填补损伤,减少人工维修频次,延长设施使用寿命<sup>[4]</sup>。在高海拔路段,自修复材料还能抵御紫外线强辐射带来的老化问题,维持设施长期防护性能。智能变色材料对环境适应性的提升作用显著。材料能根据外界光线强度、温度变化自动调节颜色深浅与反光率,在强光环境下加深颜色降低反光刺眼程度,在弱光环境下变浅颜色增强反光识别度,可随环境湿度变化呈现不同状态,提示路面湿滑等潜在风险,在隧道出入口处,其颜色渐变特性还能辅助缓解光线突变带来的视觉不适,让设施更贴合复杂环境需求。

##### 4.2 结构创新设计

模块化护栏快速更换系统优化传统护栏维修模式。将护栏拆解为标准化模块单元,每个单元通过便捷连接件组装,连接件采用防腐蚀合金材质,适应多雨、沿海等潮湿环境,当护栏局部受损时,无需整体拆除更换,仅需拆下损坏模块安装新模块,大幅缩短维修时间,降低对交通通行的影响,模块可根据不同路段防护需求灵活组合,适配多种道路场景。仿生学在防眩设施中的应用探索为设计提供新思路。借鉴自然界中植物叶片的排列结构、动物眼部调节光线的原理,设计出更贴合视觉规律的防眩板,通过模仿叶片交错排布减少眩光直射,

参照动物眼部遮光机制优化防眩板角度与高度,部分防眩板还可模仿叶脉结构增强抗风性能,在保障防眩效果的同时提升设施与周边自然环境的融合度。

##### 4.3 多学科交叉融合

认知心理学对标识信息编码的指导让标识更易被理解。依据人体对信息的接收、处理与记忆规律,优化标识上文字、图形的组合方式,采用高辨识度的图形符号替代复杂文字描述,简化复杂信息呈现,突出核心内容,采用符合认知习惯的信息排列顺序,在长距离直线路段,还会通过调整标识间距强化记忆点,减少驾驶员读取信息的时间与精力消耗,提升信息传递效率。气象学在恶劣天气设施设计中的渗透增强设施实用性。结合不同地区暴雨、暴雪、强风等极端天气的发生规律与影响特点,在设施设计中融入针对性防护措施,如根据暴雨强度设计排水性能更强的护栏底座,底座预留多组排水孔避免积水浸泡;参照暴雪堆积高度优化标识安装高度,在北方多雪地区适当抬高标识底部;依据强风风向调整防眩设施结构稳定性,在台风高发区采用可微调角度的防眩板固定结构,让设施在恶劣天气下仍能稳定发挥作用。

#### 结束语

公路交通工程安全设施设计技术涵盖多方面内容,从基础理论奠基,到关键技术体系构建,再到集成方法优化与创新方向探索,形成完整的研究脉络。随着材料科学、信息技术等多学科发展,安全设施设计将不断创新。未来需持续深入研究,推动设计技术进步,以适应日益复杂的交通环境,为公路交通安全与高效运行提供更有力的支持。

#### 参考文献

- [1]陈之泰.简述公路交通安全设施的施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(02):142-144.
- [2]王福岭.公路交通施工技术及安全设施设计探究[J].汽车周刊,2024,(10):64-66.
- [3]刘丹,刘玉.公路交通安全设施的优化设计要点探究[J].时代汽车,2024,(07):166-168.
- [4]赵大同.公路交通安全设施标准化现状研究分析[J].质量与市场,2023,(16):184-186.