公路路线设计中平曲线与竖曲线组合的视觉效果评价

苟 珊

重庆市交通规划勘察设计院有限公司 重庆 401121

【摘 要】：公路线形由平曲线与竖曲线共同构成三维空间形态，驾驶人依靠动态视觉持续感知道路走向。工程实践中常分别校核平面、纵断面指标，满足规范限值即认定方案可行，却忽略弯坡组合产生的视觉断层与视线误导问题，无形中提升行车负荷。本文将以行车视觉感知特性为基础，探究不同平竖曲线搭配方案的视觉表现差异，建立对应的评价思路，用于路线方案比选与线形细节优化，构建视觉连贯、行车稳定的公路立体线形。

【关键词】：公路路线设计；平曲线；竖曲线；组合；视觉效果评价

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.087

引言

公路平纵线路的综合设计具备较高的复杂性，其包含的内容也比较多，较为系统。线形组合优劣会直接影响驾驶人的视觉感知与心理状态，关乎行车安全和乘坐体验。因此，针对公路路线设计中平曲线与竖曲线组合的视觉效果评价进行深入探究极为重要。

1 公路路线设计中平曲线与竖曲线组合概述

平曲线负责控制公路平面走向与转向形态，竖曲线体现路线纵向高程起伏，两类线形在空间叠加形成完整的公路立体线形。线形组合的相对位置、曲率大小会直接影响车辆行驶过程中的视觉感受。组合得当的弯坡搭配可以维持视线延续性，引导驾驶人预判道路变化。倘若二者曲率、起讫段落匹配失衡，容易产生视觉扭曲、线形割裂等现象，干扰驾驶员对前方路况的判断。梳理各类弯坡组合的形态特点，是开展线形视觉效果评估、优化路线设计方案的必要基础。

2 公路路线设计中平曲线与竖曲线组合的视觉效果评价困境

2.1 现行设计缺少视觉量化标准

当前公路设计规范着重把控线形几何硬性指标，常规路段合成坡度严格控制在 10%以下，冰雪特殊路段限值降至 8%，但并未制定适配弯坡组合的视觉评价量化依据。设计工作中仅需核验平竖曲线半径、坡率等参数达标即可通过审核，对平纵组合要求限于平包竖，但未区分不同曲线参数相互之间的影响，无法精准判定行车视觉体验。实际工程中，半径小于 400m 的平面弯道搭配凸形竖曲线时，所有几何参数均符合规范要求，但车辆通行时会出现线形断裂观感，这类隐蔽视觉缺陷无法依靠现有规范体系排查。

2.2 驾乘人员感知差异大

公路线形视觉评价需依托人眼动态感知数据，主要参考瞳孔变化幅度、注视停留时长等核心眼动指标。实地行车试验数据表明，同一弯坡组合路况下，不同驾乘人员的瞳孔面积变化差值可达 18%。驾驶人的年龄、驾驶年限、行车习惯均会影响视觉判断，导致人体感知阈值波动较大。同时现场试验受天气、昼夜光线制约，样本覆盖范围有限，难以搭建起主观观感与客观监测数据的精准换算体系。

2.3 线形三维耦合性极强

公路平、竖曲线属于三维空间耦合结构，横向转向与纵向起伏相互叠加，曲率变化、视距损耗、透视变形多重干扰，难以单独拆解单一影响因子。在 80km/h 设计时速的公路中，标准识别视距需维持在 230～300m，若竖曲线凸点与平曲线中心重合，会导致有效视距缩减超 20%。各类线形参数相互制约，常规单一变量试验无法剥离耦合干扰，简化后的评价模型会丢失关键空间特征，降低评价精准度。

2.4 校核方式偏静态化

现阶段线形评价多采用静态透视图核验、逐桩视距校核等传统方式，仅能完成固定视角的线形检测，无法模拟车辆行驶过程中视野随里程、车速持续变化的动态效果。驾驶模拟设备虽可复刻行车场景，但路面纹理、边坡景观等细节简化处理，与真实路况存在偏差。诸多静态核验合格的线形组合，在实际动态行车中易产生视觉错觉，导致评价结果与实际行车体验存在明显偏差。

3 公路路线设计中平曲线与竖曲线组合的视觉效果评价策略

3.1 完善规范评价体系，增设视觉量化评价指标

现阶段公路线形设计评判多聚焦硬性几何参数核验，忽视行车视觉体验的核心价值，评价体系存在明显短板。对此，需迭代升级现有设计评判机制，搭建几何合规校验与行车视觉适配双向并行的全新评价逻辑。在严格恪守公路线形基础设计参数标准的前提下，

增设立体线形连贯程度、行车视线流畅性、空间视觉形变程度等专属评判维度，结合不同道路等级与设计车速，划定适配的视觉控制区间，补齐弯坡组合视觉评估的制度短板。在路线方案审定环节，还要打破仅以参数达标判定设计合格的单一思维，将三维线形视觉适配性列为核心审核内容，双重把控工程合规性与行车体验感，从设计源头规避线形脱节、视线误导等隐患，推动公路线形评价从制式化合规审核，转向兼顾安全、平顺与舒适的综合性研判模式。

3.2 优化感知数据采集模式，构建标准化评价数据库

人体视觉感知的个体化差异，是导致线形视觉评价数据离散、结论稳定性不足的关键因素。为解决这一问题，需统一视觉试验的实施标准与数据筛选规则，搭建具备高适配性、高准确性的公路线形视觉资源数据库。试验调研过程中，广泛吸纳不同年龄段、不同驾驶资历的交通参与者，规避小范围样本带来的数据片面性，同时覆盖昼夜不同时段、各类天气光照及差异化行车速度等真实通行场景，全方位扩充数据样本体量。通过统一试验采集频率、感知判定阈值、数据换算逻辑，最大限度削弱人为操作与外界环境的干扰影响，建立客观监测数据与驾乘主观体验的精准对应关系。另外，还需依托海量规范化样本总结各类弯坡组合的视觉响应规律，形成可通用、可参考的评价数据体系，为线形视觉效果的量化研判提供坚实的数据支撑。

3.3 拆解多维耦合影响因子，建立精细化评价模型

公路平、竖曲线的空间叠加特性，使得各类线形参数相互关联影响，传统单一要素分析模式难以精准判定视觉缺陷成因。针对这一难题，需对线形组合的各类影响因子进行分层拆解、分类梳理，构建多维度、高精度的综合评价模型。摒弃粗放式的单一变量分析方式，逐一剥离平面曲率、纵向起伏坡度、曲线布设相对位置、行车视距损耗等要素的耦合干扰，明确各类参数对线形视觉效果的单独影响权重与协同作用机理。同时，结合道路使用功能、设计标准及通行场景特征，融合空间线形形态、动态视线变化、驾驶视觉负荷等多项研判指标，优化模型运算逻辑，规避简化建模造成的空间特征缺失问题，精准识别各类隐蔽的视觉形变、视距不足、线形失衡等问题，显著提升立体线形视觉评价的专业性与精准度。

3.4 融合动态仿真技术，搭建全场景动态评价体系

传统静态校核模式仅能完成固定视角的线形检测，无法还原真实行车过程中的动态视觉变化，评价结果存在明显局限性。为完善评价体系，需依托数字化仿真技术，打造覆盖全程、贴合实景的动态视觉研判模式。并在摒弃静态图纸核验、定点视距验算等传统老旧手段的基础上，借助仿真技术复刻车辆行驶过程中，驾驶人视线随行驶里程、行车速度动态更迭的完整过程，高度还原真实驾驶视觉体验。同时，细化仿真建模细节，精准还原路面状态、边坡结构、沿线附属景观等实景要素，缩小仿真场景与实际路况的偏差，杜绝建模简化带来的评价误差。将动态仿真结果作为线形优化的核心依据，针对静态合格但动态行车存在视觉偏差的线形方案进行优化调整，实现公路弯坡组合评价模式的迭代升级，切实保障道路线形的视觉平顺性与行车安全性。

总而言之，公路平纵线形搭配的视觉效果评价，需要在满足力学与通行要求的基础上，兼顾驾乘人员直观的空间感受。妥善协调平、竖曲线衔接关系，可以弱化道路空间突变带来的违和感，引导视线顺道路走向连续铺展，减轻长途行车过程中的视觉耗损。后续路线设计，应当持续统筹工程造价、行车安全与景观观感，结合现场视距实测细化线形过渡方案，让公路线形兼顾实用价值、安全底线与空间美感，构建流畅协调的行车环境。

参考文献：

[1] 牛宁.公路路线平纵线形组合设计分析[J].黑龙江交通科技,2020,43(7):36-37.

[2] 钟立力.山区公路路线平纵线形组合设计分析[J].黑龙江交通科技,2019,42(4):26-27.

[3] 刘烨.公路路线平纵线形组合设计内容论述[J].黑龙江交通科技,2019,42(3):61-62.