

公路总体路线设计优化与技术要点研究

杜福乐

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051

[摘要]公路总体路线设计作为公路建设项目中最重要的部分, 决定了公路工程的安全性、投资费用、运行效率、环境保护等情况。通过研究地形地质条件、生态环境等控制因素, 提出总体路线方案选择、设计优化、平纵线形配合的设计思路, 总结出线形和谐、设计安全性、智能化利用等关键技术点并预测未来智能化、绿色低碳和高质量发展的趋势。研究表明, 精细化设计理念始终贯穿于整个总体路线设计过程中, 可以提高公路工程的质量水平。

[关键词]总体路线; 设计优化; 设计安全性

DOI: 10.33142/sca.v9i5.19738

中图分类号: U412.3

文献标识码: A

Research on Optimization and Technical Points of Highway Overall Route Design

DU Fule

Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430051, China

Abstract: As the most important part of highway construction projects, the overall route design of highways determines the safety, investment costs, operational efficiency, environmental protection, and other aspects of highway engineering. By studying the controlling factors such as terrain and geological conditions, ecological environment, etc., a design concept for overall route scheme selection, design optimization, and coordination of horizontal and vertical lines is proposed. Key technical points such as line harmony, design safety, and intelligent utilization are summarized, and the future trends of intelligent, green, low-carbon, and high-quality development are predicted. The research results indicate that the concept of refined design is always integrated into the entire overall route design process, which can improve the quality level of highway engineering.

Keywords: overall route; design optimization; design safety

引言

公路工程是交通运输的重要载体, 在很大程度上影响着整个项目的安全性能、经济效益以及使用年限, 在公路建设规模越来越大的同时, 复杂的建设环境也使传统的路线设计方式应对复杂地形等问题显得捉襟见肘。精细化设计理念强调从设计、施工到最后运营这一系列过程中都要兼顾考虑, 尽量使实际的构造物从最小化的程度上避免出现设计与施工分离的问题, 尽量发挥出材料的最大效能, 在征地拆迁的基础上做到降本增效。所以系统地分析研究公路总体路线的设计方法和技术要点对于提高我国公路工程的设计水平有着重要的意义。

1 公路总体路线设计概述

公路总体路线设计是在公路工程建设项目的可行性分析、两阶段设计过程中, 充分结合技术指标、地势地貌、交通流量、环境保护以及工程造价等多种因素来选择公路的空间位置走向及其几何形状的设计过程。主要目的是做

到行车安全与工程经济效益、环境保护相适应, 在此基础上进行合理的规划以及设计。公路总体设计由平面线形、纵断面线形及横断面三部分组成, 其中平面线形包括直线、圆曲线和缓和曲线来确定公路的平面走向; 纵断面线形有直坡段和竖曲线来表示公路的高程变化情况; 而横断面包含了行车道、路基路面、边坡等部分。平面与纵断面、横断面三者相互配合就形成了整体公路的空间形式。总体路线规划要符合安全第一, 节约高效的原则, 符合生态和谐, 适应变化的原则。安全第一是指选择设计方案的参考指标以保证公路行车安全作为最低标准; 节约高效是在保证符合技术标准基础上减少工程建设投资; 生态和谐是使路基与周边环境相协调, 相互呼应, 融为一体; 适应变化是强调设计方案的动态调整优化过程。

2 公路总体路线设计影响因素分析

2.1 地形地貌因素

地形地貌是影响总体路线方案的第一大自然因素。山

区地形复杂，高差大、坡度陡，路线常需展线才能达到相关设计要求，桥梁隧道的规模大量增多，山区选线要根据地形合理布设，少做深挖高填，尽量避开大面积的破坏山体。而平原地区地形平坦，约束条件较少，但是要注意与农田水利设施、城镇规划保持一定距离，避免路线过度分割农田。另外还有特殊的地质条件如软土、滑坡以及岩溶地段等地质条件，都会不同程度地影响到路线的稳定性，所以在选线的时候要尽量避开这些地段，在不能避开的情况下要有相应的防护措施。

2.2 环境与生态因素

为了降低公路建设对生态环境的负面影响，使得路线的设计更加科学合理，选线原则应该将环境保护融入路线设计的全过程。如自然保护区、水源地、基本农田等都属于生态环境最敏感的区域，这些敏感区会对总体路线布置形成限制，在设计中要尽量避开或者以桥梁代替路基、设置动物通道等降低对环境的影响。对于水土保持的要求就是要合理选择合适的填挖高度，使土石方得到均衡配置，从而尽量减小对植物的破坏；对于噪声污染等问题就要考虑路线与噪声敏感点的距离，必要时安装隔音墙或使用低噪音材料。环境选线的本质就是在工程可行性和环境保护两者间取得最合理的结合方式。

3 公路总体路线设计优化方法研究

3.1 路线方案比选优化

路线方案选择是路线设计的第一步，它是多层次、多目标的比选研究，影响其的因素很多。优化方式有三个：多方案比选、路线选择优化及综合评价系统建立。多方案比选是在走廊带上制定至少两个可以比较的方案，从技术参数、工程量、环境影响、造价等方面进行同深度对比；路线选择优化运用 GIS 的空间分析手段，结合地理、地质、土地类型等要素，确定最佳线路走廊区段；建立综合评价系统是通过层次分析法和模糊综合评判相结合的方式，把定性的判断和定量的数据相融合。

表 1 路线方案比选优化指标体系

评价维度	具体指标	优选原则
技术指标	平纵指标、桥隧比、路线长度	指标均衡、安全可靠
经济指标	建安费、征迁费、运营维护费	全寿命成本最低
环境影响	生态敏感区穿越长度、土方量	生态影响最小化
社会效益	沿线受益人口、路网连通性	综合效益最大化

3.2 平面线形优化设计

平曲线布置的重点就是曲线半径选择和平面线形的连续性处理。圆曲线半径要尽量选择比最小半径大的数值，以保证有足够的缓冲空间和良好的驾驶体验。而缓和

曲线使得它的曲率逐渐变化，并且满足超高的渐变速率以及乘客舒适性的需求。对平曲线布置而言最重要的是要合理地选择曲线半径与行车速度的关系。研究发现当圆曲线半径小于 1000m 的时候，司机往往会选择降低车辆的速度，因此在这种情况下圆曲线半径的选择需要综合考虑减速之后的实际需求情况。而对于极限最小值与一般最小值之间的半径弯曲路段应该用加宽过渡段和增设视距诱导标志来处理。缓和曲线长度的选择应考虑到离心力增长速率的问题，通常保持在 0.5~0.7m/s 以内，使乘客不会有强烈的不舒适感，在连续弯道的情况下相邻两个圆曲线的半径不宜相差过大，尽量减小半径突然变化造成的驾驶员操纵难度增加的发生概率。直线加曲线的结合尽量不要出现长直段加小半径圆曲线突变式，较长的直线路段可以通过布置一些小的风景或者是适当减速的方法使其驾驶过程不会过于疲劳。一般情况下直线段的长度不应超出三分之一的行车距离，过长的直线会导致驾驶员在高速行驶过程中分神的现象发生概率增大。如若出现了直线超长的情况，可以利用中间分隔带绿化种类的变化、加装护栏桩或者是稍微改变一下路线走向的办法来进行一定的视觉变换。线形连续性利用运行速度一致性评价法，相邻路段运行速度变化不宜大于 20km/h，设计速度和运行速度之差应在一定限度之内。设计速度为 100km/h 以上高速公路运行速度差应控制在 10~20km/h 左右，差值过小说明设计过于保守，差值过大则存在很大危险。

3.3 纵断面优化设计

纵断面优化以纵坡设计、竖曲线路线设计和填挖平衡这三个方面为主，其中纵坡优化要在最大纵坡、最小坡长的要求下尽量做到平缓的纵坡，尽量均匀坡长，不能出现忽上忽下的情况，在越岭线段可以选择平均纵坡的方法来优化展线方案，平均纵坡一般不超过 4.5%，相对高差大于 500m 的越岭路段，平均纵坡不得超过 4%。展线设计时首先选择天然展线方案，尽量少用回头曲线，如必须要有回头曲线则要加设足够的过渡段，竖曲线的设计要符合视线的要求，凸形竖曲线的半径要达到停车视距的要求，凹形竖曲线要考虑夜间行驶的灯光以及桥下视距的要求。凸形竖曲线最小半径一般根据 3 倍停车视距所对应的半径来确定，针对设计车速为 80km/h 的道路来说，凸形竖曲线的半径不能小于 6000m。凹形竖曲线不仅要保证行车视距的要求还要对桥梁、涵洞及其它构造物净空加以检查防止过大车辆不能通过。相邻竖曲线之间要有足够的直线段，不得形成“小驼峰”“弯刀”式的线型，相邻两个竖曲线间直线段的长度，对设计车速大于等于 80km/h 的道

路,不应小于3倍的设计车速数值(单位:m),如设计车速100km/h,其直线段不应小于300m。填挖平衡优化的目标是土石方工程量最省,通过对纵断面的设计高程的改变,尽量做到挖方量等于填方量,以减少借方和弃方,山区公路应尽量选用填挖平衡的方式施工,防止因高填深挖引起的地质灾害问题的发生。在填挖平衡的同时也要考虑地质情况,在软土区、滑坡等地质不良地段即使填挖不平衡也应尽量采取低填浅挖的方式。土石方调配过程中要坚持移挖作填的原则,只有当运输距离大于经济运距的情况下才去借方。对高填方路段应该同时进行沉降计算和稳定性验算,如果需要的话可以使用轻质填料或者对地基进行处理。

3.4 横断面优化设计

横断面优化包括路基宽度选择、边坡设计以及排水设施的优化。路基宽度的选择需依据交通量预测来确定,在满足通行能力的同时也不能造成资源浪费,车道宽度、路基两边宽度、中央分隔带宽度等均可以在标准范围内选择使用,在交通量接近饱和的高速公路上应适当加大右侧路肩宽度由原来的2.5m增加到3.0m,二、三类公路可以按不同的交通流进行选取,大型货车比较多的选择3.75m的车道宽度,小型车为主的则为3.5m。在选择边坡设计的时候要考虑到稳定性和经济性的关系,只要能满足一定安全的要求就可用较小的坡度,在此基础上再适当加大一些。对于高边坡可以分段设置平台。对于填筑的土质边坡,其边坡坡度不应大于1:1.5;而对填筑的岩质边坡可根据岩层的完整性情况选取1:0.5~1:0.75。边坡高度每隔8~10m设置一道宽不小于2m的平台,在平台上设置排水沟,坡脚处设排水沟。护坡以植物防护、工程防护相结合作为主要方式。排水系统的设计要使边沟、截水沟等组成一个完整的排水体系。挖方路段的边沟过水断面面积不宜小于 $0.3m^2$ 。截水沟应在挖方边坡坡顶外5m处布置,沟底纵坡不应小于0.5%,填方段边沟出口处要有消能减冲措施以防冲刷下游农田。

4 公路总体路线设计关键技术要点

4.1 公路线形协调设计技术

线形协调是保障行车安全舒适的重要技术措施。平纵组合协调就是将平面曲线与竖曲线一一匹配起来,而且平曲线必须包着竖曲线,禁止出现平包竖、竖包平的情况;平面曲线起点和竖曲线起点也要适当错开距离,防止曲线转角位置和纵坡变坡位置重复;视觉诱导是指利用路边设备、标线、绿化等给驾驶员传递连续的线性预见性信息,在夜间或者恶劣气候情况下,视觉诱导装置能有效解决行驶者的安全问题;行车舒适性的控制以加速度变化率作为

指标,纵向加速度和横向加速度以及其变化率都应在人体舒适极限内。

4.2 公路安全设计技术

安全设计技术包含隐患排查、防护装置安装和事故预防三部分:隐患排查以查找小半径曲线、长大坡道、隧道进出口以及互通分岔区等危险路段为主;采用运行速度模型、事故预报模型进行数量分析^[1];安全防护装置有护栏、防眩护板、减速标线等;安全防护装置的位置及防护强度需与危险路段的风险等级一致。危险较大的路段比如高填方、临水临崖等路段需要设置高防护等级的护栏,事故预防技术措施体现了预防为主的原则,包括在下坡路段设立避险车道,在弯道处设立提醒标志,在恶劣天气多发地设立可变限速牌等等。近年来利用智能化感知、预警技术极大地提高了道路交通事故的预控水平,比如雷达测速告警提示、曲线弯道车辆相遇预警装置的应用在各级公路都得到普及。

4.3 智能化路线设计技术

智能化技术改变总体路线的设计方式系统,BIM技术使总体路线设计完全实现了数字化,能够实现平面纵断面横断面三位一体联动实时调整、修改和设计变更的自动处理功能,极大提高工作效率、设计质量的一致性,基于BIM的设计协同平台使得路线、路基以及桥梁隧道等专业的数据传递更为方便,避免各专业之间的设计冲突问题^[2]。GIS技术对路线方案的选择提供强有力的空间分析能力,将地形地质、生态环境、占地等不同来源的数据叠加,能够迅速产生不同线路比较结果的可视化图像。大数据支撑规划设计集成了交通流量、事故信息、行驶习惯信息等数据支撑,对道路安全性、行车满意度进行回溯式分析,使道路规划从依靠经验变为依靠数据。

5 公路总体路线设计发展趋势

5.1 智能化发展趋势

智能化是公路总体路线发展最为明显的一个趋势^[3]。人工智能参与总体路线设计的技术是基于深度学习方法,可以完成对地貌进行自动识别,自动生成路线备选方案等功能,极大减少前期的工作量,在基于数字孪生的设计理念下实现了物理模型同虚拟世界的同步,使得设计方案可以进行实时检测并做出相应的调整优化。在感知层面利用无人机倾斜摄影技术、激光雷达等技术手段提供高精度的数据保障。在决策层面多目标信息可以对安全、经济、环保等多个目标综合考虑,从而找出最佳方案。

5.2 绿色低碳发展趋势

绿色低碳发展的需要使得总体路线设计更应该强调节能降耗和环保。在节省土地资源方面,在尽可能减少耕

地损失的基础上设计最优线形,并倡导采用桥梁代替路基或者隧道代替开挖等方式减少占地;对于废旧材料回收再用,倡导采用建筑废弃物、工业固体废物等材料用于路基填筑、旧沥青路面循环再利用等技术;沿线服务设施、收费管理处等站点分布式光伏发电等可再生能源的应用也越来越多;生态选线的理念即要求把生态影响评估纳入方案比较的前提之中,对于涉及生态底线的地方则坚决否定。

5.3 高质量发展背景下的设计创新

高质量发展对道路路线设计提出全新的标准。全生命周期理念注重对规划设计建造、后期的维修保养等环节的整体考量,在进行总体路线设计时就考虑到后期的维护方便、改造的可能性。精品工程的理念下道路路线的设计需要更精细的要求,对平面曲线与纵断面曲线的平顺性评价参数也更为苛刻,对车辆行驶的舒适度量化标准也有了更高的要求。韧性设计的理念是针对公路在面临恶劣气候、自然灾害时的功能完整性考量,通过对路线方案进行完善增加防护设施来增强公路系统自身抵御灾害的能力。

6 结语

公路路线总体设计优化是一项复杂系统的工程,涉及

众多的影响因素,在此背景下,要通过影响因素分析来确定地形地质、生态环境对路线方案的影响,在此方法下,路线方案选择和平、纵、横断面的设计组成一条完整技术链,在关键技术方面,路线线性协调、安全性设计以及智能化的应用都是提高总体路线设计方案的关键所在。目前我国的路线设计已经朝着智能化、绿色环保及高效化方向发展。未来在人工智能、大数据等新信息技术的加持下,公路总体路线设计将会朝着更加智能化、节能环保及精细化的方向发展下去。

[参考文献]

- [1]张照胜.公路工程路线与路基精细化设计要点探析[J].科技与创新,2024(14):115-117.
- [2]胡标.公路项目环境选线原则下的路线设计要点分析[J].交通科技与管理,2023,4(12):57-59.
- [3]闫瑞峰.公路线路设计方案比选研究[J].交通世界,2024(27):65-67.

作者简介:杜福乐(1992—),男,汉族,河南洛阳人,毕业于长安大学建筑与土木工程专业,硕士,现在主要从事高速公路勘察设计工作。