

山区高速公路路线设计关键技术研究

周 辉 戴威帆

浙江数智交院科技股份有限公司 浙江 杭州 310013

摘 要：山区高速公路路线设计对于保障行车安全、降低建设成本及保护生态环境意义重大。本文首先阐述了路线选线需综合多因素遵循四大原则，开展勘察、比选方案、引入数字化技术并把控关键控制点。接着分别介绍了平面、纵断面、横断面及线形组合设计关键技术，强调各线形设计要点与协调性。最后针对不良地质路段，如滑坡、崩塌、岩溶路段，分别从路线选址、线形优化、防护措施设计等方面说明路线设计关键技术，为山区高速公路建设提供全面指导。

关键词：山区高速公路；路线设计；关键技术；线形优化

引言：山区高速公路建设对区域交通改善与经济发展意义重大，路线设计是关键环节。山区地形地质复杂，存在诸多不良地质状况，给路线设计带来挑战。科学合理的路线设计需综合考虑多方面因素，涵盖选线、线形设计及不良地质路段设计等。本文围绕山区高速公路路线设计展开研究，分析各环节关键技术，为山区高速公路建设提供科学合理的设计方案，保障工程安全、经济与环保。

1 山区高速公路路线选线关键技术

山区高速公路路线选线是设计核心环节决定走向、规模、成本及安全，目标是在适配地形地质、保护生态前提下实现科学合理经济性，需综合考虑因素、遵循原则、采用方法优化方案，选线遵循地形顺应、地质适配、生态保护、经济合理四大原则，地形顺应要顺应地貌减少高填深挖降低难度和灾害风险。地质适配优先选择稳定区域避开不良地质区，无法避让提前防控。生态保护控制对环境破坏避开敏感区减少干扰；经济合理保障安全生态下优化走向缩短长度减少投资兼顾成本与效益，选线受自然、工程、生态因素影响，自然因素中地形地势起伏等影响走向和线形指标需展线、隧道、桥梁适配，地质地层岩性等增加设计难度处理不当威胁安全^[1]。工程因素中路线衔接考虑与周边公路城镇连接，工程规模受走向和线形指标影响需优化方案控制规模，施工条件受地形地质交通影响需考虑便利性。生态因素中植被覆盖高选线避开减少破坏，保护水体避免穿越水源区减少污染，考虑野生动物迁徙路径设置生态廊道，选线优化开展全面前期勘察建立数据库，采用多方案比选从多维度对比筛选最优方案，引入数字化技术三维建模模拟分析优化走向和线形指标，注重动态调整根据新情况调整方案，选线明确不良地质、地形、生态、路线衔接关键控

制点，不良地质优先绕避无法绕避确定走向预留空间制定措施，地形复杂区用构造物跨越或展线适配，生态敏感区控制穿越范围，路线衔接合理确定方式和位置，把控关键环节规避风险优化方案为后续设计施工奠基。

2 山区高速公路路线线形设计关键技术

2.1 平面线形设计关键技术

(1) 直线设计，要结合地形控制长度，过长使驾驶员疲劳增加事故风险，过短影响平顺性，避开不良地质和生态敏感区，顺应山体沟谷，复杂地形适当缩短长度用圆曲线和缓和曲线衔接。(2) 圆曲线设计，用于衔接不同方向直线和适配地形变化，要合理确定半径，过大增加工程规模，过小影响安全舒适，结合地形和设计速度选择半径，满足规范且适配地形地质，减少高填深挖，地形受限可用较小半径但要配套缓和曲线并加强安全设施。(3) 缓和曲线设计，用于连接直线和圆曲线实现平顺过渡，减少行车离心力，结合圆曲线半径和设计速度确定长度，满足规范且适配地形，避免过长增加工程规模，线形用回旋线确保连续平顺且与周边适配。平面线形设计注重连贯性，避免急弯、连续小半径曲线等不合理线形，让驾驶员清晰地判断路线走向或事故风险，还要与纵断面线形、横断面设计协调，形成整体优化线形体系，整个设计过程要综合考虑多方面因素，在满足功能需求前提下，实现工程经济性与环境友好性平衡，为山区高速公路建设提供科学合理线形方案。

2.2 纵断面线形设计关键技术

纵坡作为纵断面线形的核心指标，对行车安全、舒适性及经济性有着直接影响。在山区地势起伏较大的情况下，纵坡设计需紧密结合地形，合理把控坡度与坡长，防止出现过陡纵坡和过长坡长的情况，上坡段若纵坡过大，会增加车辆行驶阻力，降低车速，同时增加油耗，

下坡段纵坡过大则易使车辆制动失灵,进而引发事故。因此要根据设计速度明确纵坡坡度的上限,并严格控制坡长,避免连续长陡坡的出现,在地形受限时,可进行适当调整,但必须满足相关规范要求,同时设置避险车道等安全设施^[2]。竖曲线主要用于连接不同坡度的纵坡,实现平顺过渡,减少行车颠簸,提升舒适性,其分为凸形和凹形两种,在设计时要合理确定半径和长度,凸形竖曲线半径过小会影响驾驶员视距,增加事故发生的风险,凹形竖曲线半径过小则会产生过大离心力,影响行车舒适性,所以要结合纵坡坡度和设计速度来选择合适的半径和长度,既要满足规范要求,又要适配地形,减少高填深挖的情况。纵断面与平面线形的协调也至关重要,要避免平面直线与陡坡、平面急弯与陡坡组合等不合理情况,确保整体线形平顺连续,同时结合横断面设计,合理确定路基填挖高度,以此降低地质灾害风险和建设成本。

2.3 横断面设计关键技术

(1)横断面组成设计,要根据交通量和设计速度确定行车道数量和宽度,满足通行需求;硬路肩和土路肩宽度结合行车安全与养护需求定,硬路肩有应急停车功能,土路肩保护路基、排水,同时考虑边坡、边沟等设施保障路基稳定和排水畅通,地形复杂区域可用分离式横断面适配山体地形,降低地质灾害风险。(2)路基填挖高度设计,影响工程规模、路基稳定性和地质灾害风险,山区地形起伏大,设计要结合地形减少填挖高度,填方路基控制填方高度防沉降、边坡失稳,挖方路基控制挖方深度防山体滑坡、坍塌,地形受限区域用半填半挖路基适配地形,减少工程量并加强边坡防护。(3)边坡设计,影响路基稳定性和生态环境,山区边坡设计结合地形地质确定坡度和高度,填方边坡根据填料性质和高度确定坡度并加强防护,挖方边坡结合地层岩性定坡度和防护形式防滑坡、坍塌,注重生态保护用生态护坡技术促植被恢复、减水土流失。(4)排水设计,要保排水畅通,山区降雨量大,结合地形设边沟、排水沟等设施,边沟尺寸和坡度根据降雨量和地形确定,确保排水能力,合理设排水出口防雨水汇集引发地质灾害。

2.4 线形组合设计关键技术

平面与纵断面线形组合要避免不合理形式,确保平顺连续,平面急弯与纵坡陡坡组合使驾驶员视线受阻、行车离心力大增事故风险,应避免;平面直线与纵坡缓坡组合提升行车舒适性,适合地形平缓区域;平面曲线与竖曲线组合要确保半径和长度协调,避免凸形竖曲线与平面急弯、凹形竖曲线与平面小半径曲线等不合理组合^[3]。线形与地形地质组合要充分适配,避免冲突,减少

建设难度和地质灾害风险,地形陡峭区域可采用“隧道+桥梁”组合,避免大规模高填深挖,不良地质区域线形组合避开风险点,合理设置曲线和纵坡,预留防护空间。线形与生态环境组合要注重生态保护,避免大规模植被破坏和水土流失,生态敏感区采用曲线线形绕避,沟谷区域采用桥梁跨越,避免填埋沟谷,同时结合边坡生态防护,实现线形与生态环境协调发展。线形组合设计要考虑行车安全和舒适性,让驾驶员清晰地判断路线走向,减少疲劳,降低事故风险,通过优化组合实现平面、纵断面、横断面线形有机统一,提升山区高速公路整体设计水平。

3 山区高速公路不良地质路段路线设计关键技术

3.1 滑坡路段路线设计关键技术

(1)路线选址,应优先绕避滑坡区域,选择地质条件稳定处布线,无法绕避时要详细勘察滑坡规模、滑动面位置和方向等特征,合理确定路线走向,尽量避开滑坡体核心区域,减少对滑坡体扰动,路线走向与滑坡滑动方向垂直或斜交,避免平行,降低影响。(2)线形优化,无法绕避时需优化路线线形,控制路基填挖高度,避免大规模挖方或填方,挖方路段尽量减少挖方深度,避免切割滑坡体,必须挖方时采用分级挖方,设置抗滑桩、挡土墙等防护设施确保稳定,填方路段控制填方高度,避免填方荷载过大致滑坡体滑动,选择稳定性好的岩土体作填方材料,加强填方路基压实确保稳定。(3)防护措施设计,滑坡路段要配套完善防护措施,常用抗滑桩、挡土墙、预应力锚索、植被防护等,抗滑桩用于阻挡滑坡体滑动,根据滑坡规模和地质条件确定数量、尺寸和深度,挡土墙用于支撑滑坡体、减少对路基压力,结合滑坡体性质和路基形式选择类型和尺寸,预应力锚索用于加固滑坡体、提高抗滑能力,根据受力情况确定数量和张拉力度,植被防护用于防止水土流失、稳定滑坡体表面、提升稳定性。

3.2 崩塌路段路线设计关键技术

其一是路线选址,在山区高速公路规划中,面对存在崩塌隐患的区域,应将绕避崩塌区域作为首要原则,优先在崩塌影响范围之外且地质条件稳定的区域进行路线布设。若因地形、线路走向等客观因素无法实现绕避,需对崩塌的类型、规模、崩塌体性质等关键特征展开详细勘察,依据勘察结果合理确定路线走向,尽可能避开崩塌体下方及其影响范围,最大程度减少崩塌体冲击带来的危害。路线走向应尽量与崩塌体坠落方向保持垂直,避免与之平行,以此有效降低崩塌风险^[4]。其二是线形优化,当无法绕避崩塌区域时,要对路线线形进行优

化,可采用隧道、桥梁等构造物跨越崩塌区域,避免路基直接穿越崩塌体下方。若选择桥梁跨越,桥梁基础必须设置在稳定岩土体上,严格避开崩塌体影响范围,以此确保基础稳固;若采用隧道穿越,隧道进出口应避开崩塌体,隧道轴线尽量与崩塌体坠落方向垂直,降低冲击力。要合理控制路线纵坡和平面曲线,保障车辆行驶安全。其三是防护措施设计,对于崩塌路段,需配套设计完善的防护措施,防止崩塌体坠落破坏路线。常用的防护措施有主动防护网、被动防护网、截水沟、清理危石等。主动防护网覆盖在崩塌体表面,可有效防止危石坠落;被动防护网能阻挡崩塌体坠落,保护路基和路面;截水沟可排除雨水,减少雨水对崩塌体的侵蚀,防止其失稳;清理危石可清除崩塌体表面不稳定的岩土体,降低崩塌发生的风险。

3.3 岩溶路段路线设计关键技术

(1)前期勘察阶段,在山区高速公路涉及岩溶区域的设计工作开展前,必须进行全面且详细的地质勘察,综合运用遥感、物探、钻探等多种技术手段,精准查明岩溶的分布范围,明确溶洞的具体大小,掌握溶蚀裂隙的发育状况以及地下水的分布特征等关键信息,在此基础上建立完善的岩溶地质数据库^[5]。该数据库能为后续的路线设计提供不可或缺的基础数据支撑,通过分析数据库内容明确岩溶风险区域,为后续的路线选址和方案优化提供科学合理的依据。(2)路线选址时,应优先选择绕避岩溶发育强烈、溶洞规模大且稳定性差的区域,尽可能在岩溶发育较弱、地质条件稳定的区域进行路线布设,若因实际条件限制无法绕避,则要合理确定路线走向,尽量避开大型溶洞和溶蚀裂隙,最大程度减少对岩溶地质的扰动。同时路线走向尽量与岩溶发育方向保持垂直,避免平行于溶蚀裂隙,以此降低路基塌陷的风险。

(3)线形优化与防护措施方面,当无法绕避岩溶区域时,需对路线线形进行优化,严格控制路基填挖高度,避免出现大规模的挖方或填方作业,减少对岩溶地质的破坏,若路基需穿越岩溶区域,采用注浆加固、换填等措施填充溶洞和溶蚀裂隙,提高路基的稳定性;当桥梁穿越岩溶区域时,桥梁基础要避开溶洞和溶蚀裂隙,若无法避开则采用桩基穿越溶洞以确保基础稳定;当隧道穿越岩溶区域时,加强隧道超前地质预报工作,及时发现溶洞和溶蚀裂隙,采用注浆加固、衬砌支护等措施,防止隧道出现坍塌和突水突泥等事故。

结束语

综上所述,山区高速公路路线设计关键技术涵盖选线、线形、不良地质路段处理等多方面。选线需综合多因素遵循四大原则并优化方案;线形设计包含平面、纵断面、横断面及组合设计,各有关键要点与协调要求;不良地质路段如滑坡、崩塌、岩溶路段,需从选址、线形优化、防护措施设计等方面着手。掌握这些关键技术,能保障山区高速公路科学合理建设,实现安全、经济、环保目标,推动山区交通发展。

参考文献:

- [1]夏荣辉.山区高速公路路线设计问题及应对措施[J].工程技术研究,2025,10(03):186-188.
- [2]刘容,刘瑞.山区高速公路桥梁设计关键问题分析[J].交通世界,2022,(19):71-73.
- [3]薛伟蔚.山区高速公路路线设计问题及应对措施[J].中国储运,2022,(02):142-143.
- [4]黄晓明,周建涛,吴超凡.山区公路长下坡路段主动安全设计方法[J].交通运输工程学报,2021,21(3):1-12.
- [5]赵之忠,孙永明,李松.数字化技术在山区高速公路路线设计中的应用[J].公路,2023,68(2):35-42.