

山区地形条件下互通立交选型与设计探讨

欧阳文广 罗国才

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 安徽 合肥 230088

【摘要】：互通立交设计是山区高速公路设计的核心节点之一，受山区复杂地形、复杂地质、三区三线、生态保护区等多重因素制约，其选型与设计难度远高于平原地区。为解决山区互通立交适配性差、占地规模大、线形指标不合理、造价偏高等常见问题，本文结合安徽皖南某互通工程实例，分析山区地形对互通设计的限制性因素，总结不同类型互通立交的适用场景，提出针对性的选型原则与精细化设计策略。通过多方案综合比选，确定适配项目复杂地形的异形互通方案，从平面线形、纵断面参数、匝道布局、生态适配等维度完成优化设计。研究成果可为同类山区高速公路互通立交设计工作提供参考，兼顾交通通行效率、工程经济性与生态保护性。

【关键词】：山区地形；高速公路；互通立交；立交选型；线形设计

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.039

1 引言

互通式立交是高速公路之间、高速公路与其他公路交叉时采用的主要交叉方式，是高速公路的重要组成部分，也是1996年公布的公路交通科学技术名词。它通过设置匝道实现不同方向车流的互通转向，按功能可分为枢纽互通和落地互通，按形状可分为喇叭形、苜蓿叶形、菱形、环形、涡轮形等。其发展历程历经早期简单的跨线架构，逐渐演变为全互通、多层枢纽结构，并持续朝着智能化、绿色化的方向升级迭代。山区普遍存在沟壑纵横、地势高差悬殊、地质条件不稳定、可用建设用地稀缺等特征，常规标准化互通方案难以直接套用。山区生态环境脆弱，大规模土石方开挖与填筑会打破区域生态平衡，后期治理成本极高。因此，开展山区地形条件下互通立交选型与专项设计研究，平衡通行功能、地形适配、工程成本与生态保护四大要素，具备极强的工程应用价值与现实意义。

2 山区互通立交设计制约因素

（1）地形地貌约束：山岭重丘区地形起伏剧烈，局部区域存在陡坡、深谷、台地等特殊地貌，互通布设可用平面空间狭小，主线多以高填方、深挖方或桥梁隧道形式穿越片区。此类地形条件下，互通匝道无法大范围展开，常规大半径环形匝道、完整苜蓿叶互通布局难以落地。同时地形高差会增大匝道纵断面设计难度，易出现陡坡、急弯组合路段，降低车辆行驶舒适性与安全性。（2）地质水文约束：山区地质构造复杂，断层、风化岩层、软弱夹层等不良地质分布广泛，部分区域易发生滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。互通立交匝道分散、建设范围覆盖面广，相较于主线工程，受不良地质影响更为显著。设计阶段需规避高风险地质区域，若无法完全避让，则需优化匝道线形与基础布局，降低地质灾害对立交结构的影响。此外山区溪谷水系发达，互通布设需避让核心水系保护区，减少对

地表径流的干扰。（3）交通功能约束：互通立交核心功能为实现交通高效转换，设计过程中需结合项目远期交通流量、车流转向特征确定立交类型。服务型互通侧重服务地方短途车辆，转向车流分散，直行车流占比偏低；枢纽型互通承担高速公路网之间的车流转换，直行及转向车流规模大，对匝道通行能力、线形平顺性要求更高。山区立交选型不能单纯迁就地形而弱化交通功能，需实现地形条件与交通需求的双向适配。（4）生态与用地约束：山区多分布林地、耕地及生态保护红线区域，土地开发管控严格。高填深挖作业会破坏原生植被，加剧水土流失，大面积征地还会占用优质林地与农田。因此互通设计需遵循小开挖、小填筑原则，压缩占地规模，优化匝道布局，最大限度贴合原始地形地貌，减少对区域生态环境与土地资源的占用。

3 常见山区互通类型及适用条件

（1）单喇叭互通：该类型是山区低等级服务互通的主流形式，整体结构简洁，由一条环形匝道与多条直连匝道组成，仅设置一处跨线结构，建设成本较低。此类立交更适合地形狭长、起伏幅度小的丘陵缓坡区域，普遍应用于乡镇级出入口互通。但环形匝道转弯半径较小，面对较大地形高差时，需配套高填深挖工程，适配复杂深山地形的能力有限。（2）变形苜蓿叶互通：在常规苜蓿叶立交基础上优化改造而成，取消部分冗余环形匝道，调整匝道布局适配山区地形，可有效规避直行车流交织问题。该立交转向功能完善，能够满足全方向车流转换需求，适合地形相对开阔的山间台地。缺点是内环匝道线形指标偏低，车辆行驶速度受限，且整体占地规模较大，不适用于生态敏感、建设用地稀缺的峡谷地段。（3）定向匝道互通：全部采用大半径直连匝道完成车流转向，摒弃小半径环形匝道，线形指标最优，车辆通行效率与安全性远超其他类型

立交。定向匝道可依托桥梁、隧道适配陡坡与深谷地形，是大型山区枢纽互通的首选形式。但该方案匝道桥梁占比高，结构设计复杂，工程投资远高于普通互通，仅适合交通流量大、地形条件极端复杂的核心交通节点。（4）异形组合形互通：属于定制化立交形式，结合项目地形、地质、用地条件，融合喇叭形、定向匝道、回头匝道等多种结构特征，针对性设计布局方案。该形式灵活性极强，可最大限度贴合原始地形，大幅减少土石方开挖与土地征用，对生态脆弱的深山峡谷区域适配性最佳。因无固定设计模板，方案需反复推演比选，设计周期更长，多用于常规立交形式均无法落地的受限区域。

4 山区互通立交选型基本原则

（1）地形优先原则：将地形地貌作为选型核心依据，优先利用现有平缓台地、缓坡地带布设匝道，顺着等高线完成线形规划，严控高填深挖作业范围，最大限度保护原有自然地形地貌，减少土方工程施工量与对周边生态、地质环境的扰动。优先选择适配既有地形的立交形式，摒弃过度追求高标准线形指标的设计思维，以地形适配为基础平衡各项设计参数，兼顾工程经济性、施工安全性与整体景观协调性。（2）功能适配原则：根据互通定位与车流特征匹配立交类型，服务型互通以简化结构、控制造价为主，优先选用单喇叭形及简易异形互通；枢纽型互通以提升通行效率、减少车流交织为主，优先选用定向匝道形或变形苜蓿叶形互通。同时结合远期交通流量，优化匝道车道数与转弯半径，满足长期通行需求。（3）经济可控原则：综合对比不同方案的土石方工程量、桥梁隧道规模、征占地面积及后期运维成本，在满足通行功能与设计规范的前提下，优先选择填挖量小、结构简单、造价低廉的方案。杜绝盲目增加跨线结构、提升匝道线形指标，合理控制项目整体投资。（4）生态协调原则：严格避让生态保护红线、基本农田、原生林地等敏感区域，匝道布线尽量避开植被密集区域与野生动物活动通道、迁徙廊道，最大程度维系区域生态系统完整性。通过优化立交布局降低填挖边坡高度，从源头减少水土流失与植被破坏，合理规划施工临时用地，完工后及时开展植被复绿、边坡生态修复工作，规避工程建设对生态环境的不可逆影响，实现公路工程与山区自然生态环境和谐共生。

5 工程实例应用分析

5.1 项目概况

本次研究依托安徽皖南互通工程，片区内地形起伏极大，整体呈现南北高、中间低的峡谷地貌，区域内沟壑交错，林地覆盖率超过百分之八十五，生态敏感度较高。本互通为服务型互通，主要服务彭溪镇及周边乡镇短途车辆，衔接主线与地方乡道，远期预测日均通行车流量为8500辆，以东向、西向直行及转向车流为主，北向车流占比不足百分之十。互通选址区

域无大面积平整建设用地，仅峡谷两侧零散分布小型缓坡台地，且地下分布风化破碎岩层，存在小型滑坡隐患，常规完整单喇叭、苜蓿叶互通均无法直接布设，需定制化设计异形互通方案。

5.2 备选方案拟定

结合项目地形、交通及用地条件，拟定两套备选设计方案，从交通功能、工程规模、地形适配、生态影响四个维度开展综合比选。（1）方案一：双喇叭互通。依托主线缓坡台地，布设双向双喇叭结构，跨线桥设置于主线左侧，所有转向匝道集中布置在峡谷西侧。该方案整体结构对称，交通组织简单，匝道最小圆曲线半径设置为60m，最大纵坡控制在3.5%以内。方案优势为跨线结构单一，交通疏导难度低；劣势为西侧边坡需大规模开挖，土石方总量较大，会破坏成片原生林地，生态修复成本偏高。（2）方案二：单侧菱形加回头匝道异形互通。结合峡谷零散台地特征，采用非对称异形布局，主线东侧布设菱形直连匝道，适配主交通流方向；次要交通流方向通过在主线上设置设回头匝道，取消环形匝道。匝道顺着等高线展布，最小圆曲线半径60m，最大纵坡4%。该方案无需大规模开挖高边坡，填挖总量显著降低，且无需占用优质林地，仅次要交通流匝道行驶路径较长。两套方案详细指标对比见下表。

表1 两套方案详细指标对比

评价指标	双喇叭方案	菱形加回头匝道异形方案
总占地面积（m ² ）	46800	32500
土石方总量（m ³ ）	286000	153000
桥梁总长（m）	400	350
主交通流方向通行效率	优秀	优秀
次要交通流通行效率	良好	合格
生态影响程度	较大	较小
工程概算（亿元）	2.3	2.1

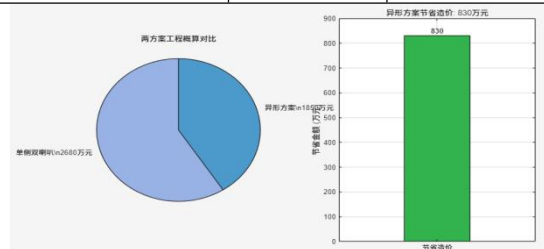


图1 方案经济占比对比

5.3 方案比选与确定

综合分析两项备选方案，从交通功能层面来看，两套方案

均可实现全方向车流转换,主流车流通行指标基本持平,仅北向次要交通流方案一优势小幅领先。从工程经济与生态保护层面来看,方案二占地面积缩减百分之三十点六,土石方总量减少百分之四十六点五,工程概算降低八百三十万元,同时规避林地开挖与高边坡施工,生态风险更低。结合项目以主流车流为主、北向车流占比极低的特征,综合判定单侧菱形加回头匝道异形互通为最优推荐方案。

5.4 精细化设计要点

基于推荐方案,结合山区行车特征与规范要求,从线形、匝道、超高渐变三个维度开展精细化优化设计,全程弱化施工相关设计,聚焦设计参数优化。

(1) 平面线形设计:所有匝道严格顺着等高线布设,避免强行拉直线形引发大规模填挖。主交通流匝道最小圆曲线半径不低于120m,回头匝道受地形限制,回头匝道60m,同步增设缓和曲线,实现曲率平稳过渡,缓解车辆转弯负荷。主线与匝道相交区域采用大半径平曲线,杜绝急弯组合线形,保障行车稳定性。

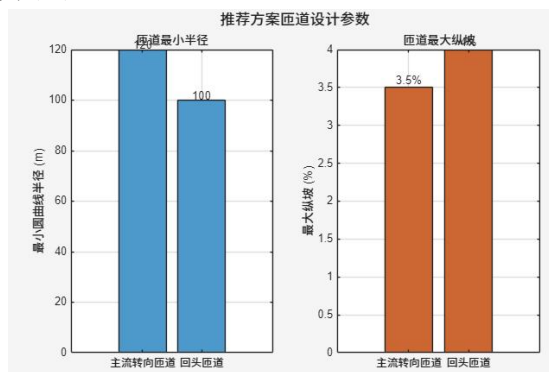


图2 匝道设计参数

(2) 纵断面设计:结合山区车辆爬坡、制动性能,严控匝道纵断面参数。主要交通流方向最大纵坡不大于3.5%,回头匝道及低速转向匝道最大纵坡不超过4%;下坡路段设置缓坡段,消除长下坡行车安全隐患。匝道竖曲线半径按照规范上限取值,提升竖向行车舒适度,规避颠簸、失重等不良行车体验。

(3) 超高与加宽设计:针对小半径回头匝道,统一设置单向超高,超高值根据曲线半径、设计车速综合计算,取值控

制在百分之二至百分之六区间内。圆曲线内侧同步进行车道加宽,加宽数值结合车型与转弯半径确定,从缓和曲线起点开始渐变,渐变长度不小于十五米,平衡内外侧行车受力,降低车辆侧翻风险。

6 山区互通设计优化建议

(1) 推行定制化选型模式:设计前期开展全域地形、地质精细化勘察,精准梳理互通选址的约束条件。摒弃标准化套用思维,枢纽互通优先采用大半径定向匝道布局,服务型互通优先依托零散台地设计异形组合结构,以最小填挖量为基础,匹配最优立交形式。(2) 优化线形组合参数:严控急弯陡坡组合路段,禁止在长下坡末端设置小半径曲线。结合设计车速划定平纵曲线阈值,低速匝道可适当放宽线形指标,高速转向匝道必须提升平竖曲线参数标准,兼顾地形适配性与行车安全性。(3) 统筹路网衔接关系:山区互通出入口需匹配地方道路通行能力,结合乡镇路网规划,合理规划出入口位置与衔接角度,避免出现瓶颈路段。同时预判远期路网升级需求,预留匝道拓展空间,提升互通整体适配周期。(4) 落实生态协同设计:将生态保护贯穿设计全过程,匝道布线优先避让原生林地与水系敏感区;高落差区域优先采用桥梁替代高填方路基;深挖路段优化边坡坡率,配套适配的排水与防护设计,从源头降低工程对山区生态环境的负面影响。

7 结语

山区互通立交设计是一项多约束、多目标的系统性工作,地形复杂、地质多变、生态敏感是区别于平原地区设计工作的核心特征。选型阶段需坚守地形优先、功能适配、经济可控、生态协调四项基本原则,结合互通定位与车流特征,科学匹配单喇叭、变形苜蓿叶、定向匝道、异形组合等立交形式。设计阶段摒弃重指标、轻适配的传统思维,依托精细化平面、纵断面、超高加宽设计,优化线形组合参数。彭溪互通工程实践表明,异形组合互通能够完美适配地形破碎、空间受限的深山峡谷区域,相较于传统立交方案,可有效降低占地规模与工程投资,减少生态破坏,适配现阶段山区高速公路绿色发展理念。后续山区互通设计工作中,设计人员需持续平衡交通功能、地形条件、工程成本与生态保护的关系,不断优化定制化设计方案,为山岭重丘区高速公路高质量建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 王亨庭,李树原,陈建军,等.基于BIM技术的山区互通立交方案设计研究[J].西部交通科技,2026,(3):52-55.
- [2] 唐亚周,刘峰,甘军.山区高速公路互通立交设计方案比选研究——以南滩岗互通为例[J].交通与港航,2026,13(1):40-44.
- [3] 熊丽.山区高速公路互通立交与服务区合并设置方案及控制指标[J].工程技术研究,2026,11(2):190-192.
- [4] 杨栋.山区复杂地形条件下互通立交的布设[J].黑龙江交通科技,2017,40(7):58-59.
- [5] 徐松,胡学亮.山区复杂地形条件下互通立交连接线的布设[J].公路与汽运,2015,(4):196-199.