

复杂地质条件下山区公路地质勘察方法探究

张长银

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300051

摘要: 山区公路建设受复杂地质条件制约,地质勘察至关重要。本文分析山区地形地貌、地质构造、岩土体性质及地下水特征,构建地质勘察方法体系,涵盖常规与专项勘察方法及多方法综合运用。同时识别勘察作业安全风险,制定安全防范与应急救援措施,为复杂地质条件下山区公路地质勘察提供全面指导,保障工程安全推进。

关键词: 复杂地质条件;山区公路;地质勘察方法;安全保障

引言:山区地形地貌复杂、地质构造多变,给公路建设带来诸多挑战。复杂地质条件下的地质勘察是公路建设基础,其准确性与全面性直接影响工程安全与质量。然而,山区地质勘察面临诸多难题,如地质灾害频发、勘察难度大等。因此,构建科学合理的地质勘察方法体系,并做好安全保障工作,成为山区公路建设亟待解决的关键问题。

1 复杂地质条件山区公路地质特征分析

1.1 山区地形地貌特征

山区地形地貌类型丰富多样,高山海拔通常在1000米以上,巍峨耸立,地势起伏剧烈,坡度往往大于30度。峡谷则深邃狭长,两侧山体高耸,相对高差可达500米甚至更高。丘陵地势起伏相对和缓,坡度多小于15度,但连绵不断,延伸范围可达数公里^[1]。这些不同地形地貌给公路建设带来诸多挑战。在公路选线方面,高山地区需绕避陡峭山坡,寻找相对平缓地带通过,以降低施工难度与成本,一般绕行距离在500米-2000米不等;峡谷地段则要充分利用谷地地形,但需应对两侧山体可能发生的落石、崩塌等灾害,落石可能覆盖范围在100米-500米。对于路基稳定,高山与丘陵地区的不均匀沉降问题较为突出,不均匀沉降量可能达到10厘米-30厘米,需采取有效措施确保路基整体稳定性。边坡防护方面,高山陡坡边坡高度大,可达50米-100米,坡体自重作用明显,易发生滑坡等失稳现象,需设置强度高、稳定性好的防护结构;峡谷边坡受水流冲刷作用强,水流速度可达3米/秒-5米/秒,防护结构需具备良好的抗冲刷能力。

1.2 地质构造特征

山区地质构造错综复杂,褶皱、断层、节理等构造形式广泛发育。褶皱构造使岩层发生弯曲变形,改变了岩体原始应力状态,降低了岩体完整性,在褶皱转折端部位,岩体破碎程度加剧,破碎带宽度可达5米-10米,稳定性变差。断层构造破坏了岩体连续性,断层带内岩

石破碎,裂隙发育,裂隙间距可能小于1米,成为地下水富集与运移通道,同时断层活动可能引发地震等地质灾害,对公路工程安全构成严重威胁。节理裂隙则进一步切割岩体,减小岩块间连接力,降低岩体强度,节理密度可达每立方米10条-20条。这些地质构造不仅影响岩体自身稳定性,还改变地下水分布格局,使地下水在构造破碎带聚集,增加岩土体含水量,削弱物理力学性能,给公路路基、边坡及隧道等工程结构带来不利影响。

1.3 岩土体工程地质性质

山区岩土体工程地质性质差异显著。岩石强度受矿物成分、结构构造等因素影响,坚硬岩石强度可达100兆帕-200兆帕,抗风化能力强,但不同风化程度下岩石性质变化明显,强风化岩石强度大幅降低,可降至10兆帕-30兆帕,易破碎。土体颗粒组成决定物理性质,颗粒粗细不均、级配不良的土体压缩性高,压缩模量可能小于5兆帕,承载力低,承载力特征值可能小于150千帕。不同岩土体性质对公路工程结构影响各异。路基填筑需选用强度高、稳定性好的岩土材料,一般要求承载力特征值大于200千帕,以确保路基承载能力;边坡稳定性与岩土体抗剪强度密切相关,软弱岩土体边坡抗剪强度低,内摩擦角可能小于20度,易发生滑动破坏;隧道开挖过程中,围岩性质决定支护方式与施工难度,软弱破碎围岩需加强支护措施,支护强度需达到5兆帕-10兆帕,保障施工安全与隧道长期稳定。

1.4 地下水特征

山区地下水类型多样,受地形、地质构造等因素控制,分布规律复杂。常见的地下水类型包括孔隙水、裂隙水和岩溶水等。孔隙水主要赋存于第四系松散堆积物中,其分布受地形坡度和堆积物厚度影响较大;裂隙水则分布于各类岩石的裂隙中,其水量大小与裂隙发育程度密切相关;岩溶水主要存在于碳酸盐岩地区,受岩溶发育程度和构造控制显著。地下水补给主要来源于大气

降水与地表水入渗，径流方向受地形与地质构造制约，往往沿着地势低洼处或构造破碎带流动，排泄方式包括泉流、河流补给等。地下水对岩土体物理力学性质影响显著，浸泡岩土体使含水量增加，重量增大，抗剪强度降低，易引发边坡失稳、地基沉降等问题。在公路工程中，地下水与工程结构相互作用关系紧密。边坡部位地下水活动可能改变坡体应力状态，诱发滑坡；隧道施工时，地下水涌入会软化围岩，增加施工难度，甚至引发突水突泥等灾害，严重影响工程安全与进度。

2 复杂地质条件下山区公路地质勘察方法体系构建

2.1 勘察阶段划分与任务

山区公路建设受复杂地质条件制约，地质勘察需分阶段有序推进。依据建设特点与要求，将地质勘察细分为可行性研究阶段、初步勘察阶段与详细勘察阶段。可行性研究阶段重点在于收集区域地质资料，分析区域稳定性，评估建设场地适宜性，一般收集资料范围覆盖50平方公里-200平方公里，为路线方案比选提供基础地质依据^[2]。初步勘察阶段需进一步查明沿线工程地质条件，对不良地质现象进行初步调查，调查范围沿路线两侧各延伸500米-1000米，为初步设计提供详细地质资料，确定路线走向与主要工程结构位置。详细勘察阶段则针对具体工程部位开展深入细致勘察，精确测定岩土体物理力学参数，测定点数不少于20个-50个，查明地下地质结构，为施工图设计提供可靠地质数据，确保工程结构安全与施工可行性。

2.2 常规地质勘察方法

工程地质测绘是山区公路地质勘察基础工作。测绘内容涵盖地形地貌、地质构造、岩土体分布等。比例尺选择依勘察阶段与工程规模而定，精度要求确保能准确反映地质现象特征。通过测绘可直观呈现地质条件，为后续勘察工作指明方向。地球物理勘探方法多样，电阻率法通过测量地下介质电阻率差异探测地质结构，测量点距一般设置为5米-10米；地震勘探法利用地震波传播特性分析地下岩层性质，激发点距可达20米-50米；地质雷达法以高频电磁波反射信号探测地下隐伏目标，探测深度可达30米-50米。这些方法在探测地下地质结构、隐伏断层、溶洞等方面优势明显，但受地质条件与干扰因素影响，存在一定局限性。钻探与坑探是获取地下地质信息直接手段。钻探设备与工艺多样，能获取岩土体样品，供室内试验分析，钻探深度可达50米-200米。坑探可直接观察地下地质情况，获取直观资料，坑探深度一般在3米-10米。布置原则遵循重点突出、兼顾全面的要求，深度要求依工程需求与地质条件确定。原位测试方法常

见有标准贯入试验、静力触探试验、旁压试验等。这些方法在测定岩土体物理力学性质参数方面应用广泛，但测试结果受多种因素影响，使用时需注意测试条件与操作规范。

2.3 特殊地质条件下的专项勘察方法

滑坡地质勘察需先分析形成条件与发育特征，明确勘察重点为滑坡范围、滑动面位置、稳定性等。滑坡范围可能涉及面积达2000平方米-10000平方米，滑动面深度可达10米-30米。采用滑坡监测手段掌握滑坡动态变化，监测点布置间距一般为20米-50米，运用稳定性分析方法评估滑坡危险性。泥石流地质勘察要描述形成机制与危害特征，任务是确定泥石流类型、规模、活动规律等。通过调查流域地质地貌、气象水文等条件，流域面积可达10平方公里-50平方公里，分析泥石流形成条件与发展趋势。岩溶地质勘察先分析发育规律与分布特征，重点勘察区域为岩溶发育强烈地段，岩溶发育强烈地段面积可达5000平方米-20000平方米。查明岩溶洞穴规模、形态、充填情况等，洞穴高度可达5米-15米，宽度可达3米-10米，为工程处理提供依据。

2.4 多方法综合勘察与信息融合

复杂地质条件下，单一勘察方法难以全面准确获取地质信息，存在一定局限性。例如，工程地质测绘虽能直观呈现地质现象，但对于地下隐伏地质结构的探测能力有限；地球物理勘探方法虽能探测地下地质结构，但受地质条件与干扰因素影响，结果可能存在多解性；钻探与坑探获取信息直接，但成本较高且效率相对较低；原位测试方法在测定岩土体物理力学性质参数方面有优势，但测试结果受多种因素影响^[3]。多种勘察方法综合运用可发挥各自优势，实现互补。比如，先通过工程地质测绘初步了解区域地质概况，再利用地球物理勘探方法圈定异常区域，接着采用钻探与坑探对异常区域进行验证，最后通过原位测试获取详细参数。将不同方法获取的信息融合处理，通过数据整合、分析对比，能提高地质勘察准确性与可靠性，为山区公路建设提供坚实地质保障。

3 复杂地质条件下山区公路地质勘察安全保障

3.1 勘察作业安全风险识别

在复杂地质山区公路地质勘察作业，安全风险多样。地质灾害是主要风险之一，滑坡会因山体土体或岩体在重力作用下沿一定滑动面整体下滑，威胁勘察人员和设备；泥石流在暴雨等激发因素作用下，携带大量泥沙石块快速流动，破坏力强；岩崩则是岩石突然脱离山体崩落，危及下方作业人员。高处坠落风险不容忽视，

山区地形起伏大,勘察常需高处作业,防护不到位或人员疏忽,易坠落。机械伤害常见,勘察用钻探设备、运输车辆等,操作不当或故障,可能挤压、碰撞人员。触电风险源于现场用电设备,线路老化、违规操作易引发事故。深入分析成因,地形地貌复杂是重要因素。山区地势陡峭、沟谷纵横,增加作业难度与危险性,坡度大于30度地段占比大。地质条件不稳定,岩土体性质多变,或存软弱夹层、断层等,软弱夹层厚度或小于1米,埋下地质灾害隐患。勘察设备故障方面,设备长期恶劣运行,缺维护保养,部件易磨损、老化,磨损量或达1毫米-5毫米,影响运行。人员操作不当,部分勘察人员安全意识淡薄,未严格按规程作业,或缺乏技能培训,致事故发生。

3.2 安全防范措施制定

建立完善的安全管理制度是基础。明确各级人员安全责任,将安全任务分解到每个岗位,确保责任落实。加强安全教育培训,定期组织勘察人员学习安全知识、操作技能与应急处理方法,每年培训次数不少于4次-8次,提高安全意识与自我保护能力。为勘察人员配备必要安全防护设备是关键。安全帽能有效保护头部免受坠落物伤害;安全带可在高处作业时防止人员坠落;防护手套能减少手部与尖锐物体、高温物体的接触伤害。现场安全监测与预警不可或缺。在勘察现场合理布置位移监测仪、水位监测仪等设备,位移监测仪精度可达0.1毫米-0.5毫米,水位监测仪精度可达1厘米-5厘米,实时监测地质灾害隐患点位移、水位变化等情况。一旦数据异常,及时发出预警信息,为人员撤离与应急处置争取时间,预警响应时间控制在1分钟-5分钟。

3.3 应急救援预案制定与演练

编制完善的应急救援预案至关重要。明确应急救援组织机构,划分职责分工,确定应急响应程序与救援措施。针对不同类型安全事故,制定针对性救援方案,确保救援工作有序开展。应急救援队伍人数不少于10人-30人,配备救援设备数量不少于5台-10台。定期组织应急演练是检验与提升应急能力的有效途径^[4]。通过模拟安全事故场景,让勘察人员熟悉应急流程,掌握救援技能,提高应急处置能力与协同作战能力。每年组织演练次数不少于2次-4次。演练结束后,及时总结经验教训,对应急预案进行修订完善,确保在真实事故发生时能够迅速、有效救援,救援到达时间控制在30分钟-60分钟。

结束语

复杂地质条件下山区公路地质勘察是一项系统工程,涉及多方面工作。通过构建完善的地质勘察方法体系,综合运用多种勘察方法,可全面准确获取地质信息。同时做好勘察作业安全保障,制定有效防范措施与应急救援预案,能降低安全风险。只有如此,才能为山区公路建设提供可靠地质依据,确保工程顺利实施与长期稳定运行。

参考文献

- [1]张建卫.复杂地质条件下山区公路地质勘察方法探究[J].工程建设与设计,2021(3):105-107.
- [2]谢立全.复杂地质条件下山区桥梁基础施工技术研究[J].运输经理世界,2025(21):49-51.
- [3]李凯,侯秋平,邹杰,等.综合物探方法在复杂地质条件下公路隧道勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2024,21(5):820-828.
- [4]邱东宇.山区复杂地形条件下的公路路线设计研究[J].交通世界,2025(16):101-103.