

山区连续长陡坡路段排水结构优化设计研究

顾 滕¹ 胡心龙²

1. 湖北汉宜高速公路有限公司 湖北 武汉 430000

2. 湖北交投荆楚建设管理有限公司 湖北 武汉 430000

摘要: 山区连续长陡坡路段地形起伏大、气候复杂,排水系统设计面临诸多挑战。本文分析其排水特性,包括路面、边坡排水过程与机理,以及排水结构和排水特性的关系。指出现有排水结构存在排水不畅、稳定性差、耐久性不足及与周边环境协调性差等问题。提出优化设计方法,遵循安全、经济、生态协调和适应性原则,从类型选择、尺寸设计、布置优化及特殊部位设计等方面进行改进,以提升排水系统性能。

关键词: 山区道路; 连续长陡坡; 排水结构; 优化设计

引言

山区连续长陡坡地形、气候复杂,汇水迅猛,现有排水结构存在排水不畅、稳定性差、耐久性不足及生态协调性弱等问题,易引发道路病害。因此,优化其排水结构设计,对保障道路安全耐久、降低生态影响具有重要现实意义。

1 山区连续长陡坡路段排水特性分析

1.1 山区连续长陡坡路段地形与气候特点

山区连续长陡坡路段地形起伏剧烈,坡度多在7%以上,部分路段连续纵坡长度超过3公里,坡面平整度差且多存在沟谷切割现象,地表径流汇集速度快且汇水面积易突变。地形走势多沿山体等高线延伸,存在较多弯道与坡体转折部位,导致径流流向频繁变化。气候方面,此类路段多位于季风气候区或地形雨集中区域,年降水量在800-1600毫米之间,汛期6-9月降水量占全年60%以上,短时强降雨频发,1小时最大降雨量可达50-80毫米。山区昼夜温差大,四季分明,冬季气温低于0℃时易出现雨雪冰冻天气,冻融循环频繁。地形与气候的叠加使得路段汇水具有“来得猛、流得快、汇量大”的特点,且冻融作用会加剧排水结构损伤,为排水系统设计带来复杂挑战。

1.2 路面排水过程与机理

山区连续长陡坡路段路面排水以“分层疏导、快速排出”为核心机理,过程分为表面排水、内部排水和边缘排水三个阶段。表面排水阶段,降雨落在路面后,在重力和纵坡作用下沿路面横坡向两侧流动,横坡设置通常为2%-3%,确保水流快速汇集至路缘石或排水沟槽。路面横坡与纵坡的组合使水流速度较平缓路段提升30%-50%,但也易在弯道处形成涡流^[1]。内部排水阶段,部分雨水通过路面裂缝、接缝渗入面层内部,经基层顶面排

水层汇集至路肩排水盲沟,排水层采用透水性沥青碎石材料,渗透系数不低于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。边缘排水阶段,路缘石设置泄水孔,间距5-8米,将表面汇水引入边沟,边沟沿纵坡设置,坡度不小于0.5%,确保水流快速排出路段范围,避免积水渗入路基。

1.3 边坡排水过程与机理

山区连续长陡坡路段边坡排水包括地表排水和地下排水两个系统,协同作用控制边坡稳定。地表排水机理为“分散汇流、分级截排”,在边坡坡顶设置截水沟,拦截坡顶以上汇水,截水沟断面采用梯形,底宽0.6米,深度0.8米,沟底纵坡不小于1%。边坡坡面设置急流槽,间距30-50米,将坡面汇水导入坡脚边沟,急流槽采用C25混凝土浇筑,底部设置防滑齿,防止水流冲刷导致结构滑动。地下排水机理为“疏排结合、降低水位”,边坡内部设置排水盲管,呈梅花形布置,间距5-8米,管径100-150毫米,盲管外包土工布,渗透系数不低于 $5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。盲管将边坡土体中的孔隙水引入坡脚排水涵洞,涵洞沿路线走向布置,与边沟连通,将地下水排出路段范围。

1.4 排水结构与排水特性的关系

山区连续长陡坡路段排水结构的类型、尺寸及布置方式直接决定排水特性,二者呈显著关联。结构类型方面,刚性排水结构如混凝土边沟、急流槽,抗冲刷能力强,适用于汇水量大、流速高的路段,其排水能力较柔性结构提升40%-60%,但对地形适应性较差;柔性排水结构如植草沟、碎石盲沟,对地形适应性好,能减少对周边环境破坏,但排水能力较低,仅适用于汇水量较小的边坡平台区域。尺寸设计方面,边沟断面尺寸与汇水量正相关,汇水面积每增加1000平方米,边沟底宽需增加0.2-0.3米,深度同步增加0.1-0.2米,尺寸不足会导致漫溢,过大则增加工程造价。布置方式方面,排水结构

沿等高线与纵坡结合布置时,排水效率较单一纵坡布置提升30%,弯道处增设导流结构可减少涡流导致的排水不畅。合理匹配结构参数与排水特性,能使排水系统效率最大化,避免积水引发的工程病害。

2 山区连续长陡坡路段现有排水结构存在的问题

2.1 排水不畅问题

山区连续长陡坡路段现有排水结构普遍存在排水不畅问题,主要表现为暴雨时路面积水、边坡汇水漫流及地下水位过高。路面排水方面,部分路段横坡设置不合理,仅为1%-1.5%,低于规范要求的2%-3%,导致雨水在路面中部汇集,形成深度5-10厘米的积水带,积水在纵坡作用下快速流动,加剧路面冲刷。边沟设计存在瓶颈路段,弯道处边沟断面未扩大,汇水通过时流速骤增引发壅水,漫过路肩渗入路基。边坡排水方面,截水沟间距过大,超过80米,无法有效拦截坡顶汇水,坡面急流槽堵塞现象严重,杂物堆积导致过流断面缩小60%以上,雨水沿坡面漫流形成冲沟。地下排水方面,盲管布置密度不足,间距超过10米,且部分盲管被泥沙堵塞,渗透系数降至 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 以下,无法及时排出土体孔隙水,导致边坡土体饱和度持续升高^[2]。

2.2 结构稳定性问题

现有排水结构稳定性问题突出,在水流冲刷和地形荷载作用下频繁出现损坏。边沟结构方面,部分路段边沟采用浆砌片石砌筑,基础未嵌入稳定岩层,仅设置0.3米浅基础,暴雨时水流流速达2-3m/s,对沟底冲刷深度超过0.5米,导致边沟整体下沉、开裂,裂缝宽度可达5-10厘米。急流槽稳定性问题尤为明显,部分急流槽未设置防滑齿或防滑齿长度不足0.3米,与边坡土体结合不紧密,在高速水流冲击下出现滑动,滑动距离可达1-2米,导致坡面汇水失去疏导。排水涵洞存在基础不均匀沉降问题,涵洞进出口与路基衔接处出现错台,错台高度达3-5厘米,导致涵洞开裂漏水,进而加剧路基沉降。

2.3 耐久性问题

山区连续长陡坡路段现有排水结构耐久性不足,服役寿命普遍低于设计年限的60%。材料方面,早期建设的排水结构多采用普通混凝土,强度等级仅为C15-C20,抗冻性和抗渗性较差,山区昼夜温差大,冻融循环每年可达50-80次,混凝土表面出现剥蚀,剥蚀深度达2-3厘米,内部钢筋锈蚀严重,锈蚀率超过15%。浆砌片石边沟的砂浆强度不足,采用M5水泥砂浆砌筑,在雨水浸泡和干湿循环作用下砂浆软化、剥落,片石之间出现松动,缝隙宽度达3-5厘米。施工质量方面,部分排水结构存在施工缺陷,混凝土浇筑时振捣不密实,内部存在蜂窝、空洞,

空洞面积占比可达5%-8%,导致结构抗渗性能下降。养护方面,缺乏定期清理和维修机制,排水结构内杂物堆积、裂缝未及时修补,加剧结构损伤,形成“损坏-积水-更严重损坏”的恶性循环。

2.4 与周边环境协调性问题

现有排水结构与周边环境协调性差,既破坏自然景观又影响生态功能。结构形式方面,大量采用混凝土刚性排水结构,表面光滑且颜色单调,与山区植被覆盖的自然景观形成强烈反差,视觉协调性差。边坡排水结构施工时开挖量过大,破坏原有植被,开挖面植被覆盖率从施工前的80%以上降至不足30%,导致边坡水土流失加剧,每年土壤侵蚀量达500-800t/hm²。排水出口设计不合理,部分边沟和涵洞出口直接排入自然溪流,未设置消能和净化设施,水流携带的泥沙、杂物进入溪流,导致溪床淤积,淤积厚度达0.3-0.5米,影响溪流生态系统。

3 山区连续长陡坡路段排水结构优化设计方法

3.1 优化设计原则

山区连续长陡坡路段排水结构优化设计需遵循四大核心原则,确保设计科学性与实用性。安全性原则为首要原则,设计需满足暴雨工况下排水能力要求,路面无积水、边坡无汇水漫流,排水结构自身抗冲刷、抗滑稳定性达标,通过水文计算确定汇水量,采用极限状态法验算结构强度,确保结构在百年一遇暴雨时不损坏^[3]。经济性原则要求统筹设计与运维成本,在满足功能前提下选用性价比高的材料和结构形式,如边坡平台采用植草沟替代混凝土边沟,降低造价30%以上,同时减少后期养护费用。生态协调性原则强调保护自然环境,设计时减少开挖量,采用生态材料如生态袋、植生混凝土,施工后及时恢复植被,确保边坡植被覆盖率不低于70%,排水出口设置消能池和植被过滤带,减少对溪流生态影响。适应性原则要求设计适配地形气候特点,针对长陡坡调整结构尺寸,针对冻融环境选用抗冻材料,确保结构在复杂条件下稳定运行。

3.2 排水结构类型选择

排水结构类型选择需结合路段汇水量、地形条件及生态要求,实现分类适配。路面排水优先选用“路缘石+透水性基层+边沟”组合类型,路缘石采用C30混凝土预制,设置 $\phi 50 \text{mm}$ 泄水孔,间距5米;透水性基层采用沥青稳定碎石,厚度15厘米,渗透系数不低于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,适配路面快速排水需求。汇水量大的陡坡路段,边沟选用C30混凝土矩形边沟,底宽0.8米,深度1米,沟壁设置防滑槽,增强抗冲刷能力;汇水量小的边坡平台,选用植草沟,沟宽0.6米,深度0.5米,内植狗牙根等耐冲刷植被,

兼顾排水与生态。边坡地下排水选用“盲管+涵洞”组合类型,盲管采用HDPE双壁波纹管,管径150毫米,外包土工布,间距6米;涵洞采用钢筋混凝土圆管,管径1米,间距50米,适配边坡地下水疏导需求。弯道处增设导流墩,引导水流顺畅通过,避免涡流形成。

3.3 排水结构尺寸设计

排水结构尺寸设计以水文计算为基础,结合地形坡度确定关键参数。路面排水横坡设计为2.5%,较原设计提升,确保雨水快速向两侧汇集,路缘石高度0.5米,泄水孔中心距路面0.2米,确保积水能顺利排入边沟。边沟尺寸根据汇水面积计算确定,汇水面积1000-2000平方米路段,采用梯形边沟,底宽0.6米,深度0.8米,边坡比1:1.5;汇水面积2000-3000平方米路段,采用矩形边沟,底宽0.9米,深度1.2米,沟底设置0.8%纵坡,增强排水能力。急流槽尺寸与坡面坡度匹配,坡度25°-35°路段,急流槽底宽0.5米,深度0.6米,采用C30混凝土浇筑,底部设置间距1米、长度0.5米的防滑齿;坡度超过35°路段,急流槽底宽扩大至0.7米,深度0.8米,增设消力坎,间距3米,降低水流流速。排水盲管管径根据地下水量确定,地下水丰富路段选用150毫米管径,一般路段选用100毫米管径,确保排水效率。

3.4 排水结构布置优化

排水结构布置优化采用“分层截排、顺势疏导”的思路,适配长陡坡地形特点。坡顶截水沟沿等高线布置,距坡顶边缘5米,避免开挖破坏坡体稳定,截水沟间距50米,较原设计缩短,确保全面拦截坡顶汇水,截水沟出口与急流槽衔接,将水导入坡脚边沟。路面排水系统中,边沟沿路线走向布置,在弯道处采用弧形过渡,扩大弯道处边沟断面,底宽增加0.2米,深度增加0.1米,消除排水瓶颈;路肩设置排水盲沟,与基层排水层连通,盲沟间距10米,将路面内部积水快速排出。边坡排水采用“平台盲沟+坡面急流槽”组合布置,边坡每10米高度设置一道平台盲沟,盲沟与坡面急流槽连通,急流槽垂直等高线布置,确保水流最短路径排出。排水涵洞进出口与边沟、溪流平顺衔接,进口设置格栅拦截杂物,出口设置消能池,避免水流冲刷溪床,形成“坡顶-坡面-路面-坡

脚”的完整排水网络。

3.5 特殊部位排水设计

特殊部位排水设计针对路段薄弱环节,采取针对性措施确保排水安全。弯道部位采用“加宽边沟+导流结构”设计,弯道内侧边沟底宽增加0.3米,深度增加0.2米,设置间距2米的导流墩,导流墩采用C30混凝土浇筑,高度0.6米,引导水流沿弯道顺畅流动,避免涡流淤积^[4]。纵坡转折部位设置跌水井,跌水井采用圆形结构,直径1.2米,井深根据落差确定,落差1-2米时井深1.5米,落差2-3米时井深2米,井内设置消力坎,降低水流能量,防止冲刷。路基与边坡衔接部位设置截水盲沟,盲沟宽0.5米,深0.6米,采用碎石填充,外包土工布,拦截边坡渗入路基的雨水,盲沟与路肩排水系统连通。隧道进出口路段设置“截水沟+边沟+涵洞”综合排水系统,进出口50米范围内加密截水沟,间距30米,边沟采用矩形结构,底宽1米,深度1.2米,确保隧道排水与路段排水顺畅衔接,避免积水影响行车安全。

结束语

山区连续长陡坡路段排水结构优化设计至关重要,关乎道路安全、耐久与生态。本文针对现有排水结构问题,提出系统优化设计方法,涵盖多方面内容。通过科学设计,可提升排水系统排水能力与稳定性,延长服役寿命,减少对周边环境的影响。未来需持续研究,结合新技术、新材料,进一步优化设计,为山区道路建设与养护提供更科学有效的技术支持,保障山区道路安全畅通与可持续发展。

参考文献

- [1]刘伟.山区高速公路半填半挖路基稳定性分析[J].价值工程,2025,44(12):11-13.
- [2]曹建平.高速公路连续长陡坡路段线形指标及安全保障设计要点探讨[J].运输经理世界,2020,(11):101-102.
- [3]任万里.山区高速公路急弯陡坡路段运营安全保障技术研究[J].山西交通科技,2021,(03):100-102.
- [4]郝倩妮.山区高速公路急弯陡坡路段交通安全影响分析[J].山西交通科技,2021,(02):93-95.