

公路工程排水系统优化设计与生态环境保护

李宁 訾彬

泰安市公路事业发展中心泰山服务中心 山东 泰安 271000

【摘要】：公路排水系统对道路稳定性和寿命至关重要，同时需兼顾生态保护。本文针对某山区高速公路，通过勘查发现存在排水布局不合理、设施老化、水土流失及污水直排等问题。原因主要包括设计时生态考虑不足、维护不及时及传统设施生态兼容性差。据此提出功能与生态并重、因地制宜、长效维护等优化原则，从路基、路面、边坡和生态辅助排水四个方面制定改进方案，并结合案例验证可行性，配套生态保护措施。研究成果可为平衡排水效能与生态保护的公路工程提供参考。

【关键词】：公路工程；排水系统；优化设计；生态环境保护；水土流失防治；工程案例

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.024

引言

公路排水系统对道路的稳定运行至关重要。排水不畅会导致路基沉陷、路面翻浆等工程病害，威胁行车安全并缩短公路寿命。同时，不当的排水设计会引发水土流失，污水直排也会污染周边环境，破坏生态平衡。在当前生态文明建设背景下，传统仅注重排水功能的设计已难以满足要求。山区公路因地形复杂、生态敏感，这一问题尤为突出。因此，如何在保障排水效能的同时减少生态影响，实现功能与环保的协同，成为重要课题。本文以典型山区高速公路为例，分析其排水系统问题与成因，结合工程案例制定并验证优化方案，以期同类工程提供参考。

1 工程概况与现存问题

1.1 工程概况

研究区高速公路全长 62.3km，穿越山地、河谷、丘陵等多种地形，属亚热带湿润季风气候，年均降雨量 1300—1500mm，雨季集中在 5-8 月，暴雨频发。区域内植被覆盖率较高，沿线分布多条溪流及小型水库，部分路段穿越生态保护区边缘，生态环境敏感。公路沿线主要为粉质黏土、砂质壤土及风化岩，地质条件复杂，水土流失潜在风险较高^[1]。

1.2 现存主要问题

排水系统功能不足，路基边沟多为传统矩形土质沟，淤积严重且纵坡不足，雨季排水不畅，部分路段出现路面积水、路基浸泡现象；路面排水横坡设置不合理，雨水汇流速度快，对边坡冲刷强烈。生态环境破坏隐患，边坡缺乏有效的排水防护措施，雨水冲刷导致边坡水土流失严重，部分区域植被退化；排水口未设置净化或缓冲设施，路面径流携带的泥沙、污染物直接排入周边溪流，造成水体浑浊，影响水生生态环境。设施生态兼容性差，传统混凝土排水渠、截水沟硬化程度高，割裂了地表径流与地下水的连通，破坏了土壤的渗透性，不利于周

边植物生长；部分排水设施占用了野生动物迁徙通道，影响区域生物多样性。运维管理不到位，部分排水设施因长期缺乏维护，出现裂缝、破损、堵塞等问题，排水效能下降，同时破损设施易引发雨水渗漏，加剧生态破坏^[2]。

2 问题成因分析

2.1 设计层面

设计阶段过度侧重排水效率，未充分结合区域生态环境特征进行统筹规划。例如，边坡排水设计未与植被防护相结合，排水设施选型未考虑生态兼容性；对路面径流的污染控制缺乏针对性设计，未设置初期雨水净化设施；排水系统布局未充分利用自然地形与天然水系，增加了工程建设对生态环境的扰动^[3]。

2.2 施工与运维层面

施工过程中存在不规范操作，如随意更改排水设施位置、施工弃土堵塞天然沟渠，破坏了原有水文循环；排水设施建成后，缺乏常态化的维护检修机制，导致设施老化破损后未能及时修复，不仅影响排水功能，还加剧了生态破坏；未建立排水系统与生态环境的联动监测机制，无法及时发现排水引发的生态问题。

2.3 自然与外部因素

研究区降雨集中且强度大，雨水对排水设施的冲击力强，长期作用下易导致设施破损、边坡冲刷；沿线地质条件复杂，部分路段土壤抗蚀性差，在雨水冲刷与排水不当的双重作用下，极易引发水土流失；周边人类活动如农业灌溉、居民生活用水等，也对公路排水系统的运行产生干扰，间接影响生态环境^[4]。

3 优化设计原则与方案

3.1 优化设计原则

功能优先，生态协同，以保障排水畅通、防范路基路面水

毁为核心，同时将生态保护理念贯穿设计全过程，确保排水系统与周边生态环境相协调。因地制宜，资源利用，充分结合区域地形地貌、水文地质、植被分布等自然条件，合理布局排水设施，优先利用天然水系、地形坡度实现自然排水，减少工程干预。生态友好，低碳环保，优先选用生态兼容性强的材料与结构形式，减少硬化路面与设施对生态环境的割裂；强化雨水的收集与利用，实现水资源循环。长效运维，持续管控，设计方案需便于后期维护检修，建立排水系统与生态环境联动监测机制，确保排水功能与生态保护效果长期稳定。

3.2 具体优化设计方案

3.2.1 路基排水优化

路基排水采用边沟、盲沟、渗沟组合系统。将原有土质边沟改造为生态型梯形边沟，沟壁采用植草混凝土预制块砌筑，沟底铺设砾石层，增强透水性，同时为植物生长提供条件；在路基两侧设置纵向盲沟，在盲沟内填充级配碎石与土工布，收集并排出路基内部渗水，避免路基软化；在地下水丰富路段增设横向渗沟，与纵向盲沟连通，形成立体排水网络。盲沟与渗沟出口设置沉沙池与植被缓冲带，过滤泥沙后再排入天然水系^[5]。

3.2.2 路面排水优化

调整路面横坡至 2.5%—3%，在路面边缘设置浅碟形生态排水槽，槽内回填种植土并种植耐冲刷草本植物，替代传统路缘石排水，减缓雨水汇流速度，减少路面径流对边坡的冲刷；在路面径流集中区域设置初期雨水收集井，收集的雨水经沉淀、过滤处理后，用于公路绿化灌溉；对于长下坡路段，设置消力池与减速坎，降低雨水流速，避免冲刷破坏。

3.2.3 边坡排水与生态防护一体化设计

边坡采用截水沟、急流槽、植被防护组合方案。在边坡顶部设置生态截水沟，沟体采用浆砌片石砌筑，内壁喷播植草，拦截坡面上方雨水；边坡坡面设置阶梯式急流槽，急流槽内壁采用生态混凝土浇筑，槽底设置缓冲垫，减少水流冲刷；边坡坡面采用客土喷播、液压喷植等技术，种植乡土灌木与草本植物，形成植被覆盖层，增强边坡稳定性，减少水土流失。

3.2.4 生态辅助排水系统建设

在公路沿线适宜区域修建生态滞留池、人工湿地等设施，收集路面径流与边坡排水。生态滞留池内种植水生植物，利用植物根系与土壤的净化作用，去除径流中的污染物；人工湿地由防渗层、填料层、水生植物层组成，进一步净化水质后，将处理后的水排入天然水系或回补地下水。同时，利用公路绿化带构建海绵型排水体系，增强雨水下渗与蓄存能力。

3.3 生态保护配套措施

植被恢复与重建，对排水设施建设过程中破坏的植被区

域，及时进行植被恢复，选用乡土树种与草本植物，提高植被存活率与生态适应性；在排水口周边、边坡等区域构建乔灌草复合型植被群落，增强生态系统稳定性。野生动物保护，在穿越生态敏感区的路段，将排水渠、涵洞等设施与野生动物迁徙通道相结合，设置动物通行涵洞或预留通道，避免排水设施割裂野生动物栖息地。监测与管控，在排水口、生态滞留池、周边水体等关键位置设置监测点，定期监测水质、水土流失量等指标；建立排水设施维护管理制度，定期对排水系统进行清理、检修，确保设施正常运行；制定生态应急预案，针对暴雨等极端天气引发的排水故障与生态风险，及时采取应对措施。

4 工程案例

4.1 案例概况

选取某省级山区高速公路 K32+100-K38+500 段作为案例路段，该路段全长 6.4km，穿越中低山区，沿线穿越生态公益林边缘，涉及 2 条溪流汇流区域，属暴雨集中区域，年均暴雨日数达 8—10 天。该路段建成运营 8 年后，出现明显排水问题：边坡水土流失面积达 3.2 万 m²，部分边坡出现小型滑坡；路面径流直排溪流导致水体悬浮物含量超标 3 倍以上，周边植被因雨水冲刷与污水影响出现枯萎退化；传统混凝土边沟破损率达 40%，排水不畅导致雨季 3 处路段出现路面积水，影响行车安全。

4.2 案例优化实施措施

将混凝土边沟改为生态梯形边沟，内设植草沟壁与砾石底层，并配合盲沟、渗沟构建立体排水。边坡增设截水沟与带缓冲垫的生态急流槽，坡面通过客土喷播恢复乡土植被。在汇流区及下游修建生态滞留池与人工湿地，用于净化径流；在收费站区域设置雨水收集池，实现雨水回用于绿化灌溉。对水土流失区补植乡土草木，改造涵洞为生态型动物通道，并种植植被增强隐蔽性。设立水质与水土流失监测点，每月开展监测，每季度进行设施检查，形成长期监控机制。

4.3 案例实施成效

该路段优化改造工程完工后，经过 2 个雨季的运行监测，成效显著：排水效能方面，路面积水清除时间缩短 70% 以上，路基含水率稳定在 18%—22% 的合理范围，无路基沉降、边坡滑坡等病害发生；生态保护方面，边坡水土流失量较改造前减少 85%，溪流水体悬浮物含量恢复至标准范围，水生生物多样性明显提升，补植植被存活率达 90% 以上，野生动物通道利用率达 60%；在经济与社会效益方面，改造后年均运维成本较改造前降低 22%，公路行车安全性与舒适性显著提升，周边生态环境得到有效修复，实现了排水功能与生态保护的协同发展。

5 不同排水设施生态效益与排水效能对比表

排水设施类型	排水效能	生态效益	适用场景	后期运维成本
传统矩形土质边沟	较差,易淤积、排水不畅	差,易引发水土流失,破坏植被	低等级公路、非生态敏感区	较高,需频繁清淤、修复
生态型梯形边沟	良好,排水流畅,不易淤积	好,沟壁植草可固土,增强透水性	路基两侧、一般生态区域	中等,定期修剪植被、清理少量淤积
浅碟形生态排水槽	较好,减缓汇流速度,收集路面径流	好,植被覆盖可净化雨水,美化环境	路面边缘、绿化带周边	较低,仅需日常植被养护
生态滞留池+人工湿地	中等,对暴雨径流有调蓄作用	优,深度净化水质,涵养水源,提供生物栖息地	公路沿线低洼区域、生态敏感区	中等,需定期清理填料、维护水生植物

传统混凝土急流槽	好,排水速度快	差,硬化表面割裂生态,易冲刷边坡	陡坡路段、短期排水需求高区域	较高,易破损,需定期修补
生态混凝土阶梯式急流槽	好,排水顺畅,缓冲效果佳	好,内壁植草固土,减少冲刷,与环境协调	边坡坡面、长下坡路段	中等,定期检查槽体结构与植被生长情况

6 结论

综上,本文针对山区高速公路,研究排水系统优化与生态保护的协调发展。通过分析现有问题,提出功能优先、生态协同的设计原则,建立了结合路基、路面、边坡与生态措施的综合排水系统。工程实践表明,该方案提升了排水效率,减少了水毁和水土流失,降低了水体污染,实现了经济、社会与生态效益的统一。未来应进一步融合生态理念,利用大数据、物联网等技术建立智能排水与监测体系,实现动态调控与风险防控,并加强不同区域条件下的技术推广,助力公路工程绿色可持续发展。

参考文献:

- [1] 唐建国.城市雨水排水系统提标改造与建设途径[J].给水排水,2021,57(5):1-6.
- [2] 王国建,李捷,蒲广宁,等.高寒高海拔沙漠公路排水系统综合设计研究[J].公路,2020,65(7):50-61.
- [3] 刘军,陈明.山区公路生态排水系统工程实践——以某省级高速公路为例[J].公路工程,2023,48(2):135-140.
- [4] 刘晔.海绵城市理念下市政道路与排水系统协同优化设计研究[J].市政技术,2023,41(02):89-92.
- [5] 赵佳.低影响开发技术在海绵城市道路排水系统中的应用[J].中国给水排水,2023,39(04):67-71.