

公路工程路基防护工程施工技术

李雷

中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司 湖北 宜昌 071052

摘要：路基作为公路工程的承载核心，其稳定性直接决定公路使用寿命与通行安全，路基防护工程则是保障路基稳定的关键支撑。本文系统研究公路工程路基防护施工技术，先阐述防护工程的功能、设计依据及效果影响因素；详细分析坡面、坡体、冲刷防护及特殊地质条件下的核心施工技术与应用场景；从前期准备、过程质量控制、安全管理三个维度构建施工管控体系；探讨了绿色环保、智能化等技术发展趋势。研究成果可规范路基防护施工流程，提升防护工程质量与稳定性，为公路工程建设提供实践指导，对推动公路交通基础设施高质量发展具有重要意义。

关键词：公路工程；路基防护；施工技术；质量控制；绿色防护

引言：随着我国公路建设向山区、丘陵等复杂地形延伸，路基面临的地质与环境挑战愈发严峻，雨水冲刷、边坡滑塌、地质灾害等问题频发，不仅影响公路通行安全，还会增加养护成本。路基防护工程通过针对性的技术措施，抵御自然因素与外力荷载对路基的侵蚀破坏，是公路工程不可或缺的重要组成部分。当前部分路基防护施工存在技术选型不当、质量管控薄弱等问题，导致防护效果不佳。本文基于公路施工实践，系统梳理路基防护施工技术体系，明确管控要点与发展方向，旨在为施工企业提供技术支撑，提升路基防护工程质量，保障公路工程长期稳定运行。

1 公路路基防护工程概述

1.1 路基防护工程的功能

路基防护工程的核心功能是通过主动防御与被动加固相结合的方式，保障路基结构稳定与性能安全，具体体现为四大维度。其一，抗侵蚀功能，通过构建防护层抵御雨水冲刷、地表径流对路基坡面的侵蚀，减少水土流失，避免坡面出现冲沟、坍塌等病害；其二，结构加固功能，针对坡体松散、承载力不足等问题，通过锚固、支挡等技术提升路基整体强度，防止坡体滑塌与路基沉降；其三，环境适应功能，在严寒、高湿等特殊环境下，通过保温、排水等防护措施，降低冻融循环、地下水浸泡对路基的破坏；其四，协同防护功能，与路基排水系统、边坡绿化工程协同作用，形成“防护-排水-生态”一体化体系，既保障工程安全，又提升公路生态效益。这些功能相互衔接，共同延长公路使用寿命。

1.2 路基防护工程的设计依据

路基防护工程设计需以科学性与针对性为原则，核心设计依据涵盖四大方面。首先是工程地质勘察资料，包括路基沿线的地形地貌、地层岩性、土壤类型、地下

水位等数据，这是确定防护类型的基础，如软土地基需重点考虑沉降防护，岩质边坡需强化锚固设计；其次是气象水文条件，需结合区域降雨量、暴雨强度、洪水频率等参数，设计相应的冲刷防护与排水措施，多雨地区需提升坡面排水与抗冲刷能力；再者是公路等级与荷载要求，高速公路、重载公路的路基防护标准高于普通公路，需采用强度更高的防护结构；最后是规范与政策要求，严格遵循《公路路基设计规范》等行业标准，同时兼顾环保政策，优先选用绿色防护技术。设计过程中需综合多方面因素，确保防护工程既安全可靠又经济合理^[1]。

1.3 影响路基防护效果的关键因素

影响路基防护效果的因素呈现多维度、关联性特征，主要包括四大类：一是地质与环境因素，地质构造不稳定区域易发生滑坡、崩塌，直接破坏防护结构；强降雨、冻融循环等气候因素会加速防护材料老化，降低防护性能。二是技术选型因素，防护技术与实际需求不匹配会导致防护失效，如在松散碎石边坡采用喷浆防护，易因坡体变形引发开裂；三是材料质量因素，防护材料的强度、耐久性直接决定防护效果，如锚杆钢材强度不足易出现拉断，防护网防腐处理不到位会加速锈蚀；四是施工质量因素，施工工艺不规范，如锚杆钻孔深度不足、喷混凝土厚度不均等，会导致防护结构与路基结合不紧密，无法有效发挥防护作用。此外，后期养护不到位也会缩短防护工程使用寿命，影响防护效果的持续性。

2 公路路基防护工程主要施工技术及应用

2.1 坡面防护施工技术

坡面防护施工技术主要针对路基边坡表面的侵蚀与风化问题，核心技术包括喷锚防护、植生防护、骨架防

护等。喷锚防护适用于岩质边坡，施工时先清理坡面浮石，采用风动凿岩机钻孔，植入锚杆并注浆固定，再铺设钢筋网，最后喷射C20混凝土形成防护层，混凝土厚度控制在8-12cm，确保与岩面紧密贴合；植生防护适用于土质边坡，采用植生土喷播、液压喷草等技术，将草种、营养土、保水剂等混合材料喷播至坡面，喷播厚度5-10cm，后期需加强洒水养护，确保植被成活率，该技术兼具防护与生态功能；骨架防护适用于坡度较缓的边坡，采用浆砌片石或混凝土浇筑菱形、拱形骨架，骨架内铺设植草砖或种植植被，既提升坡面稳定性，又增强排水能力，施工时需确保骨架基础嵌入坡面一定深度，避免整体滑动。

2.2 坡体防护施工技术

坡体防护施工技术聚焦于提升坡体整体稳定性，防止滑塌、坍塌等地质灾害，主要包括抗滑桩、挡土墙、锚索框架等技术。抗滑桩施工采用挖孔或钻孔方式成孔，桩径通常为1.2-2.0m，桩深嵌入稳定岩层3-5m，钢筋笼安装后浇筑C30混凝土，桩体间距根据坡体稳定性计算确定，施工时需控制桩身垂直度与混凝土密实度；挡土墙适用于坡体推力较大的路段，重力式挡土墙采用浆砌片石或混凝土砌筑，依靠自身重量抵御坡体压力，施工时需做好基础处理与排水孔设置，避免雨水积聚导致墙体开裂；锚索框架防护适用于高陡边坡，先在坡面浇筑混凝土框架，再钻孔植入锚索，锚索张拉锁定后与框架形成整体，将坡体拉力传递至稳定岩层，张拉应力需按设计要求精准控制，确保防护效果。

2.3 冲刷防护施工技术

冲刷防护施工技术主要应对雨水、洪水等水流对路基坡脚及堤岸的冲刷破坏，分为直接防护与间接防护两类。直接防护技术包括抛石防护、石笼防护、混凝土护脚等，抛石防护选用粒径30-50cm的块石，沿坡脚抛筑形成护脚层，厚度不小于1.5m，适用于水流速度较小的路段；石笼防护采用镀锌钢丝编织网笼，内填块石，铺设于坡脚或堤岸，网笼尺寸通常为 $2\times1\times1\text{m}$ ，施工时需错缝搭接，适用于水流湍急区域；混凝土护脚采用C25混凝土浇筑，截面呈梯形，嵌入地基深度不小于1m，表面设置防滑槽，增强抗冲刷能力^[2]。间接防护技术主要为导流构造物，如设置丁坝、顺坝改变水流方向，减少水流对路基的直接冲刷，丁坝长度与间距需根据水文条件计算确定。

2.4 特殊地质条件下路基防护施工技术

特殊地质条件下的路基防护需针对性制定施工技术方案，应对复杂地质带来的挑战。软土地基区域，采用换填法清除表层软土，换填碎石或灰土并分层压实，压

实度不低于96%，同时设置排水盲沟加速软土固结；岩溶地质区域，先采用地质雷达探测溶洞分布，小型溶洞采用混凝土回填，大型溶洞采用桩基跨越或拱涵支护，施工时需做好溶洞填充密实度检测；高海拔冻融区域，采用保温防护技术，在路基坡面铺设聚氨酯保温板，厚度5-8cm，同时设置排水系统避免雨水渗入引发冻胀，混凝土防护结构需添加引气剂提升抗冻性；沙漠地区，采用草方格沙障与植生防护结合的方式，草方格尺寸 $1\times1\text{m}$ ，固定流沙后喷播耐旱植被，坡脚设置浆砌片石护脚，防止风沙侵蚀路基。

3 路基防护工程施工核心环节管控

3.1 施工前期准备与资源配置

施工前期准备需实现“技术、资源、场地”三维协同，为施工开展奠定基础。技术准备方面，深入研读地质勘察报告与设计图纸，开展现场踏勘复核，针对复杂路段编制专项施工方案，组织技术交底培训，明确各工序技术参数与质量标准。资源配置方面，根据施工方案配备专业施工机械，如锚杆钻机、混凝土喷射机、挖掘机等，提前完成设备调试与标定；材料采购需选择资质合格的供应商，防护用钢材、混凝土、块石等材料进场前需检测强度、耐久性等指标，不合格材料严禁入场；人力资源配置专业施工班组，包括锚杆施工组、混凝土施工组等，确保施工人员具备相应操作技能。场地准备方面，清理施工区域杂物，平整施工便道，划分材料堆放区与加工区，做好排水设施，避免场地积水影响施工。

3.2 施工过程质量控制要点

施工过程质量控制采用“工序管控+重点监测”的模式，确保防护工程质量达标。坡面清理工序需清除浮石、杂草，使坡面平整，岩质边坡需采用高压水枪冲洗表面灰尘，增强防护层与坡面黏结力；锚杆施工需控制钻孔深度、孔径与垂直度，钻孔深度偏差不超过 $\pm5\text{cm}$ ，注浆时需确保浆液饱满，采用压力注浆法，注浆压力控制在0.3-0.5MPa；混凝土施工需严格控制配合比，搅拌时间不少于90s，喷射混凝土需分层进行，每层厚度3-5cm，避免出现空鼓、裂缝；植生防护需确保草种发芽率与营养土配比，喷播后覆盖无纺布保湿。重点监测项目包括锚杆抗拔力、混凝土强度、坡体位移等，锚杆抗拔力检测频率不低于3%，混凝土强度采用回弹法或钻芯法检测，坡体位移采用全站仪定期观测，发现偏差及时调整施工方案^[3]。

3.3 施工安全管理措施

施工安全管理围绕“人员、设备、现场”构建全方位安全保障体系。人员安全方面，对施工人员开展安全

培训与应急演练，考核合格后方可上岗，高边坡施工人员需佩戴安全帽、安全绳、防滑鞋等防护用品，脚手架搭设需符合规范要求，设置安全防护网；设备安全方面，建立机械安全管理制度，定期对施工机械进行维护保养，重点检查制动系统、液压系统等关键部位，高空作业机械需设置稳定支撑，严禁在不稳定坡面作业；现场安全方面，在施工区域设置明显警示标志与隔离设施，夜间施工配备充足照明，高边坡施工设置监测预警装置，实时监测坡体稳定性；针对暴雨、滑坡等突发事件制定应急预案，储备应急物资，如应急发电机、沙袋、急救器材等，确保突发情况下人员安全与施工有序。

4 路基防护施工技术发展趋势与展望

4.1 绿色环保技术的应用与推广

绿色环保已成为路基防护技术的核心发展方向，重点体现在材料与工艺的生态化升级。材料方面，推广使用生态混凝土、可降解植生网等环保材料，生态混凝土通过添加孔隙剂形成连通孔隙，为植被生长提供空间，可降解植生网替代传统塑料网，减少环境污染；工艺方面，优先采用植生防护、生态袋防护等技术，结合本土植物品种构建近自然植被群落，提升生态效益，如在山区公路采用“乔灌草”混播模式，增强坡面防护与生态修复能力。同时，推广路基防护与生态修复一体化设计，将防护工程与周边自然环境融合，减少对原生地貌的破坏，实现“工程安全+生态保护”的双重目标，符合绿色交通发展理念。

4.2 智能化施工技术的发展

智能化技术为路基防护施工提供高效、精准的技术支撑，推动施工模式转型升级。施工设备智能化方面，采用无人锚杆钻机、智能混凝土喷射机器人等设备，通过自动化控制提升施工精度与效率，无人锚杆钻机可通过GPS定位实现钻孔位置与深度的精准控制，偏差不超过 $\pm 2\text{cm}$ ；监测智能化方面，利用物联网技术在坡体布设传感器，实时采集位移、应力、含水率等数据，通过云端平台实现数据实时传输与分析，当监测数据超标时自动触发预警；设计智能化方面，借助BIM技术构建路基防护三维模型，模拟施工过程与防护效果，优化施工方案，

结合大数据分析历史施工案例，为技术选型提供科学依据。智能化技术的应用大幅提升了路基防护施工的智能化水平与管控效率^[4]。

4.3 长效防护体系的构建方向

长效防护体系的构建聚焦于提升路基防护的耐久性与稳定性，实现长期安全保障。技术层面，发展“主动加固+被动防护+后期监测”的一体化体系，主动加固采用锚杆、锚索等技术提升坡体强度，被动防护设置防护网、挡土墙等阻挡坡体滑塌，后期监测通过智能化设备实现长期跟踪；材料层面，研发高耐久性防护材料，如耐候性钢材、抗老化混凝土等，延长材料使用寿命，同时推广再生材料应用，如利用废弃混凝土制备再生骨料用于防护结构，实现资源循环利用；管理层面，建立全生命周期养护体系，结合监测数据制定针对性养护方案，定期开展防护结构检查与维护，及时修复破损部位，如对锈蚀锚杆进行防腐处理，补种枯萎植被，确保防护体系长期有效，降低后期养护成本。

结束语

路基防护工程是公路工程的“安全屏障”，施工技术关乎公路稳定安全。本文全面论述了其基础理论、施工技术、管控环节与发展趋势，指出要科学选型、严格管控、应用先进技术来提升质量。随着公路建设向复杂区域拓展及绿色交通理念普及，施工技术需创新，重点融合绿色环保与智能化技术，构建长效体系。施工企业要强化创新，落实质量与安全管控，提升施工水平，为公路长期稳定运行提供保障，推动我国公路交通事业高质量发展。

参考文献

- [1]王建军.公路工程路基防护工程施工技术分析[J].建材与装饰,2020(05):205-247.
- [2]邓明刚.公路工程路基防护工程施工技术的研究[J].建材与装饰,2025,21(30):136-138.
- [3]王天舒.公路工程路基防护工程施工技术[J].建筑与装饰,2023(4):110-112.
- [4]赵华.公路工程路基防护工程施工技术研究[J].运输经理世界,2023(20):31-33.