

公路路基防护工程施工技术要点分析

崔云鹏

(麦岛建设发展集团有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要 在复杂地形、水文、气候条件下, 路基易出现冲刷、滑塌、沉降、冻胀等病害, 科学合理的防护施工可有效降低病害发生率、延长道路使用寿命。本文结合公路工程现场施工实际, 围绕路基防护工程常用技术类型, 系统阐述边坡坡面防护、支挡结构防护、排水防护、植物防护的施工流程与控制要点, 明确关键技术参数与质量验收标准, 提出全过程质量管控措施, 以期为公路路基防护施工提供技术参考, 助力提升工程建设质量、保障道路运行安全。

关键词 公路工程; 路基防护; 支挡结构; 排水系统; 边坡稳定

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.011

0 引言

公路路基长期暴露于自然环境中, 受降雨冲刷、地下水侵蚀、冻融循环、车辆荷载等多重因素影响, 易产生结构失稳与外观破损。路基防护工程以加固土体、防止侵蚀、提升稳定性为目标, 是公路建设不可或缺的组成部分。随着公路建设向山区、丘陵区延伸, 路基边坡高度更大、地质条件更复杂, 对防护技术提出更高要求。明确施工技术要点、严控关键参数、强化过程管理, 对保证防护效果、减少后期养护成本、保障公路安全畅通具有重要的现实意义。

1 公路路基防护工程类型与适用条件

路基防护是公路工程维持整体稳定的关键分部工程, 按功能与构造可分为坡面防护、支挡结构防护、排水防护、植物防护四大类。各类技术适用场景、施工要求差异明显, 只有明确适用条件与核心工艺, 才能做到因地制宜、防护有效, 为后续施工与质量管控奠定基础。

1.1 边坡坡面防护施工技术要点

坡面防护主要用于抵御雨水冲刷、防止风化剥落, 常用方式包括浆砌片石防护、喷射混凝土防护、骨架护坡等, 施工需严格控制厚度、强度与密实度^[1]。浆砌片石护坡采用强度 ≥ 30 MPa 的硬质岩石, 砂浆强度等级不低于 M7.5, 砌筑厚度控制在 250 mm ~ 350 mm, 基础埋深不小于 800 mm, 每 10 m ~ 15 m 设置一道伸缩缝, 缝宽 20 mm ~ 30 mm, 填塞沥青麻絮。喷射混凝土防护强度等级不低于 C20, 厚度宜为 80 mm ~ 150 mm, 分两

次喷射, 底层厚 60%, 面层厚 40%, 喷头与坡面距离保持 0.8 m ~ 1.5 m, 风压控制在 0.1 MPa ~ 0.2 MPa。骨架护坡采用混凝土或浆砌片石, 骨架间距 2.5 m ~ 3.0 m, 嵌入坡面深度不小于 150 mm, 骨架内可回填种植土进行绿化。施工前必须清理坡面浮石、松土, 保证基底坚实, 避免后期出现空鼓、脱落、开裂等问题。

1.2 支挡结构防护施工技术要点

支挡结构适用于坡度较陡、土体稳定性差、易发生滑塌的路段, 常见形式有重力式挡土墙、锚杆挡土墙、加筋土挡土墙等。重力式挡土墙采用 C15 ~ C20 混凝土或浆砌片石, 墙身高度超过 5 m 时应分级设置, 基底地基承载力不低于 180 kPa, 墙背反滤层采用 200 mm ~ 300 mm 厚级配碎石, 泄水孔间距 2 m ~ 3 m, 孔径不小于 50 mm, 向外倾斜坡度 5%。锚杆挡土墙锚杆孔径不小于 110 mm, 锚杆采用 HRB400 级钢筋, 长度根据边坡高度确定, 一般为 3 m ~ 8 m, 锚固段注浆强度不低于 M20, 注浆压力 0.3 MPa ~ 0.5 MPa。加筋土挡土墙填料最大粒径不大于 150 mm, 分层压实厚度 200 mm ~ 250 mm, 压实度不低于 93%, 筋带采用聚乙烯或钢塑材料, 抗拉强度不低于 80 MPa。施工中严格控制墙体垂直度、平整度与沉降观测, 确保结构受力稳定、变形可控。

1.3 排水系统防护施工技术要点

排水防护是路基稳定的前提, 通过拦截、排除地表水与地下水, 降低土体含水率, 提高抗滑能力。地表排水设施包括边沟、截水沟、排水沟, 边沟采用梯形断面时底宽 ≥ 400 mm, 深度 ≥ 400 mm, 坡度不小于 2%;

作者简介: 崔云鹏 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 公路工程。

矩形边沟壁厚不小于 150 mm，混凝土强度 $\geq$ C25。截水沟设置在边坡坡顶 5 m 以外，底宽 $\geq$ 500 mm，深度 $\geq$ 600 mm，纵坡不小于 1%。地下排水以盲沟、渗沟为主，盲沟宽度 300 mm $\sim$ 500 mm，深度 1 m $\sim$ 2 m，内部填充 5 mm $\sim$ 20 mm 级配碎石，反滤层采用土工布包裹，渗透系数不小于 1×10^{-3} cm/s。施工时保证排水线路顺畅，无积水、无倒坡，沟底与沟壁密实不渗漏，出水口远离坡脚与路基，避免水流回渗。雨季施工应加快排水结构施工速度，及时完成防护，防止雨水冲刷造成边坡失稳。

1.4 植物防护施工技术要点

植物防护兼具固土、护坡、生态恢复功能，适用于坡度缓于 1:1.5、土质较好的边坡。常用方式有种草、铺草皮、三维网植草等^[2]。草种选择耐旱、耐寒、根系发达的狗牙根、高羊茅、紫穗槐等，播种量控制在 20 g/m² $\sim$ 30 g/m²，播种前松土厚度不小于 100 mm，撒播后覆土 5 mm $\sim$ 10 mm 并压实。铺草皮采用方块草皮，尺寸 200 mm $\times$ 200 mm，厚度 50 mm $\sim$ 80 mm，自下而上错缝铺设，搭接宽度 30 mm $\sim$ 50 mm，铺设后浇水养护不少于 15 天。三维网植草网垫厚度不小于 10 mm，抗拉强度 $\geq$ 1.5 kN/m，采用 U 型钉固定，钉长 300 mm $\sim$ 500 mm，间距 1.0 m $\sim$ 1.5 m。植物防护施工宜在春季或秋季进行，避开高温与严寒天气，养护期保证土壤湿润，提高成活率。植被覆盖成型后可有效降低雨水冲刷，减少水土流失，提升边坡长期稳定性。

2 常用路基防护技术对比与参数控制

在明确防护类型与适用条件后，需通过技术对比、参数控制、材料管控、过程检测实现精细化施工。结合常用防护方式开展对比分析，严格控制材料、开挖、检测等关键环节，依托参数与标准保障施工质量(见表 1)。

2.1 路基防护方案技术经济对比

不同防护方式在适用条件、造价、耐久性、施工难度上存在明显差异，合理选型可提升经济性与可靠性。坡面防护施工简单、造价较低，适合浅层稳定边坡；支挡防护加固能力强，但造价高、施工周期长；排水

防护属于基础防护，必须与其他方式配合使用；植物防护生态性好，但对坡度与气候要求较高。通过综合对比，能够为不同地质、地形、环境条件下的路基防护选型提供科学依据。施工单位应结合边坡高度、土质、水文、项目投资等因素，选择技术可行、经济合理、耐久性强的防护组合方案，避免过度防护或防护不足。

2.2 路基防护材料质量控制要点

材料质量直接决定防护工程效果，进场必须严格检验。水泥选用 P $\cdot$ O 42.5 级普通硅酸盐水泥，安定性、凝结时间合格；砂石料含泥量 $\leq$ 3%，碎石压碎值 $\leq$ 30%；钢筋外观无锈蚀、弯折，力学性能符合标准；土工合成材料抗拉强度、撕破强度、耐腐蚀性达标；植物种子纯度 $\geq$ 90%，发芽率 $\geq$ 85%。砂浆、混凝土严格按配合比搅拌，计量误差控制在 $\pm$ 2% 以内。片石质地坚硬、无风化、无裂纹，厚度不小于 150 mm。防水材料、伸缩缝填料符合设计要求，严禁使用过期、受潮、变质材料。材料进场按批次抽检，合格后方可使用，从源头保障路基防护工程施工质量。

2.3 路基边坡开挖与修整技术要点

边坡开挖与修整是防护施工的基础，必须遵循“自上而下、分层开挖、分层防护”原则。机械开挖预留 100 mm $\sim$ 200 mm 厚度由人工修整，避免超挖或扰动原状土。边坡坡度严格按设计执行，土质边坡不陡于 1:1.5，岩石边坡不陡于 1:0.5。开挖过程中实时监测边坡位移，出现裂缝、滑塌迹象立即停工处理。坡面平整度误差控制在 $\pm$ 50 mm 以内，无松土、浮石、坑洼。基底压实度不低于 90%，软弱土必须换填，换填厚度不小于 500 mm。修整完成后及时进行防护施工，避免长期暴露导致坡面风化、冲刷。高边坡开挖应分级开挖、分级防护，每级高度不大于 8 m，确保施工安全与边坡稳定。

2.4 施工过程质量检测控制要点

路基防护施工全过程需开展高频次检测，确保符合规范要求。坡面防护检测厚度、强度、平整度、密实度，采用钻芯法或回弹法检测混凝土强度，允许偏

表 1 常用公路路基防护方式技术参数对比表

防护类型	适用边坡坡度	设计使用年限	主要材料强度要求	适用地质条件
浆砌片石护坡	$\leq$ 1:1.25	$\geq$ 20 年	砂浆 $\geq$ M7.5，石料 $\geq$ 30 MPa	土质、强风化岩
喷射混凝土	$\leq$ 1:0.75	$\geq$ 20 年	混凝土 $\geq$ C20	岩石边坡、浅层破碎岩
重力式挡土墙	任意坡度	$\geq$ 30 年	混凝土 $\geq$ C15	软土、松散土、高填方
锚杆挡土墙	$\leq$ 1:0.5	$\geq$ 25 年	锚杆 $\geq$ HRB400，注浆 $\geq$ M20	岩石、硬质土
植物防护	$\leq$ 1:1.5	$\geq$ 10 年	草种发芽率 $\geq$ 85%	土质较好、缓边坡

差 $\pm 10\%$ 。支挡结构检测垂直度、断面尺寸、泄水孔通畅性, 墙面垂直度偏差 $\leq 5 \text{ mm/m}$ 。排水工程检测断面尺寸、纵坡、密实度、渗水性, 沟底高程偏差 $\pm 20 \text{ mm}$ 。植物防护检测覆盖率、成活率, 养护期满覆盖率不低于 90% 。关键工序执行旁站监督, 隐蔽工程验收合格后方可隐蔽。建立检测台账, 对不合格项立即整改, 复检合格后方可进入下一道工序^[3]。严格的过程检测可有效消除质量隐患, 保证防护工程达到设计使用寿命。

3 路基防护工程质量保障与安全施工措施

路基防护工程施工技术要点最终要靠组织、工序、养护、安全四个方面保障落地。完善管理措施、强化过程控制、做好风险防控, 才能确保防护工程达标成型, 提升路基整体耐久性与运行安全性。

3.1 施工组织与技术交底控制要点

完善的施工组织是质量保障的前提。项目部应编制专项施工方案, 明确工艺流程、人员配置、设备型号、进度计划与安全措施。施工前开展技术交底, 将防护形式、参数、标准、注意事项向班组详细说明, 确保操作人员掌握要点。高边坡、特殊地质路段需组织专家论证方案, 优化施工顺序与风险控制措施^[4]。合理划分施工区段, 流水作业, 减少交叉干扰。配备足够的机械、工具与检测设备, 保证施工连续高效。建立现场指挥体系, 明确技术负责人、质量负责人、安全负责人职责, 出现问题快速响应、及时处置。规范有序的施工组织可有效提升效率、降低风险, 保障路基防护工程顺利实施。

3.2 机械设备与工序衔接控制要点

机械设备状态直接影响施工质量与进度。搅拌机、喷射机、压实设备、切割设备进场前检修保养, 确保运行稳定。计量设备定期校验, 保证配比准确。工序衔接遵循“基底处理→结构施工→养护→验收”流程, 上道工序不合格不得进入下道工序。混凝土、砂浆搅拌、运输、浇筑时间控制在初凝前完成, 一般不超过 90 分钟。喷射混凝土、注浆施工连续进行, 避免中断造成缺陷。挡土墙、护坡施工分段进行, 相邻段间隔时间不少于 7 天, 减少沉降影响。各工序之间做好成品保护, 避免踩踏、碰撞、扰动。高效顺畅的工序衔接可减少质量缺陷, 提高防护工程整体性与稳定性。

3.3 养护管理与成品保护技术要点

养护是保证强度、防止开裂的关键环节。混凝土、浆砌结构养护期不少于 7 天, 高温、干燥天气延长至 14 天, 采用洒水、覆盖土工布保湿, 禁止暴晒、冲刷、碰撞。植物防护养护期不少于 15 天, 定期浇水、补栽、

除草, 确保正常生长。泄水孔、盲沟等排水设施完工后及时清理, 保持通畅, 避免堵塞失效。防护工程完工后设置警示标志, 禁止机械碾压、堆放材料、开挖取土。冬季施工做好保温措施, 防止冻害。交工前加强巡查, 发现空鼓、裂缝、脱落、植被枯死等问题立即维修。科学养护与严格保护可显著提升防护工程耐久性, 降低后期维修成本, 保障长期使用效果。

3.4 安全风险防控与应急处置要点

路基防护施工多在边坡作业, 安全风险较高, 必须落实全方位防控措施。作业人员佩戴安全帽、安全带、防滑鞋, 高边坡作业搭设脚手架、安全网。机械作业保持安全距离, 严禁在边坡下方停留、穿行。雨季、汛期加强巡查, 关注天气预警, 遇暴雨、大风立即停工。建立边坡监测体系, 设置观测点, 每日记录位移变化, 超过允许值立即撤离人员设备。制定滑坡、坍塌、泥石流应急预案, 储备沙袋、钢管、注浆设备等应急物资。对施工人员进行安全培训与应急演练, 提高风险识别与自救能力。严格执行安全操作规程, 杜绝违章作业, 实现零事故、零伤亡目标, 为路基防护施工提供可靠安全保障^[5]。

4 结束语

路基防护工程是公路工程安全稳定运行的重要保障, 其施工质量直接关系到道路使用寿命与通行安全。本文结合工程实践, 系统分析坡面防护、支挡防护、排水防护、植物防护的技术要点, 明确材料、工艺、检测、安全等关键控制环节, 并通过参数对比为方案选型提供依据。公路路基防护施工应坚持因地制宜、科学选型、严控参数、精细作业的原则, 强化全过程质量与安全管理。在未来工程建设中, 需持续优化施工工艺、加强技术创新、提升管控水平, 进一步增强路基稳定性, 减少病害发生, 推动公路工程建设高质量发展。

参考文献:

- [1] 苏信辉. 公路工程路基防护工程施工技术要点分析[J]. 汽车周刊, 2025(07):149-151.
- [2] 郭瑞祺. 论公路路基防护工程施工的技术要点[J]. 交通科技与管理, 2025, 06(11):74-76.
- [3] 郭强. 公路工程路基防护施工技术要点分析[J]. 建筑机械, 2025(05):92-94, 100.
- [4] 邵光涛. 公路工程路基施工中关键部位施工技术[J]. 运输经理世界, 2025(13):31-33.
- [5] 赵杰. 公路工程路基防护工程施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2022(26):13-15.