

新型环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的应用研究

王永强

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/EAE.2026020022

摘 要 : 交通工程建设中, 隧道洞口岩质边坡的防护是核心环节, 工程安全、生态环境及周围景观协调性紧密相连, 在岩石边坡防护领域, 刚性防护手段占据主导地位, 面临生态质量欠佳、后期维护工作繁杂、与周边环境融合度不高的问题, 生态防护植被毯是环保与防护的完美结合, 依托其环保降解、施工简易、成本公道、防护效果显著等特性, 岩质边坡防护技术在隧道洞口应用逐步拓展。本文紧密围绕实际工程应用背景进行探讨, 系统探讨新型环保植被毯的材质属性及其适用环境, 深入剖析隧道洞口岩质边坡防护的施工流程与关键节点, 解析应用执行中普遍存在的故障及解决途径, 力求为新型环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的应用提供合理的实践方案, 同步推进隧道工程安全防护与生态环保的深度融合。

关 键 词 : 新型环保植被毯; 隧道洞口; 岩质边坡; 防护应用; 生态修复

Research on the Application of New-Type Environmental Protection Vegetation Blanket in the Protection of Rock Slopes at Tunnel Entrance

Wang Yongqiang

Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : In transportation engineering construction, the protection of the rock slope at the tunnel entrance is a core aspect. The safety of the project, the ecological environment, and the coordination of the surrounding landscape are closely linked. In the field of rock slope protection, rigid protection methods dominate, but they face issues such as poor ecological quality, complex post-construction maintenance work, and low integration with the surrounding environment. The ecological protection vegetation blanket is a perfect combination of environmental protection and protection. Relying on its characteristics such as environmental degradation reduction, simple construction, reasonable cost, and significant protection effect, the rock slope protection technology in tunnel entrance applications is gradually expanding. This paper closely focuses on the actual engineering application background for discussion, systematically explores the material properties and applicable environments of the new type of environmentally friendly vegetation blanket, deeply analyzes the construction process and key nodes of the protection of the rock slope at the tunnel entrance, and explains the common faults and solutions in application execution, striving to provide a reasonable practical solution for the application of the new type of environmentally friendly vegetation blanket in the protection of the rock slope at the tunnel entrance, and simultaneously promoting the deep integration of tunnel engineering safety protection and ecological environmental protection.

Keywords : new type environmentally friendly vegetation blanket; tunnel entrance; rock slope; protection application; erestoration

引言

在公路铁路等交通线路建设阶段, 形成隧道洞口, 往往需要先对山体进行岩石边坡的开采, 该边坡受地质条件、气候要素及工程扰动的复合作用, 面临风化、剥蚀、坍塌等潜在威胁, 对隧道施工及运营存在威胁, 会将周边自然环境破坏殆尽, 区域景观整体性受到干扰^[1]。采用天然环保素材制成的新型植被毯, 与环境兼容并可分解, 能有效阻挡雨水冲刷及坡面风化侵蚀, 防止边坡坍塌, 又能促进植被繁衍, 开展边坡生态恢复项目, 隧道入口处与周边自然环境无缝对接, 本文汲取实际施工经验, 全面探讨新型环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的技术前景, 处理实际应用中的技术症结, 为同类工程提供可借鉴的实施经验。

一、新型环保植被毯的材料特性与适用条件

（一）新型环保植被毯的核心材料特性

采用天然植物纤维作为主要原料的新型植被毯，采用独特工艺生产的环保毯材，一般性成分如椰丝、稻草、麦秸秆等，某些产品采用可分解的 PP 网和无纺布等材料作为辅助，提高整体的坚实与稳定度，与旧式防护材料对比，该特性的核心要素与隧道洞口岩质边坡防护的实际要求紧密对接，贴近实际且实用性强。

环保性降解效果优异，该款环保植被毯的核心成分均为天然植物纤维，绝无任何有害成分添加，在自然环境中将逐步实现自然分解，最终变作有机质肥，周边环境土壤、水体与植被未受污染影响及破坏，与生态工程建设的实施规范相吻合，成功绕开了传统硬质防护材料废弃处理难题及环境污染的困扰。具有全面防护效果，植被层本身具有抗拉及抗冲刷的固有属性，在岩质坡面上摊铺植被层，实现坡面覆盖无死角，减少雨水对坡面的直接冲刷，减缓岩石风化速度，防止坡面碎石脱落，该植被层形态松散，可拦截雨滴，减轻水土流失，兼顾防水与保湿功能^[2]。

二、新型环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的施工工艺

考察边坡坡势，适宜于斜率较小的岩石边坡，一般倾斜角度不超过 75 度，此类边坡的坡面稳定性尚佳，铺开植被层后，其与坡面紧密贴合，实现有效防护；分析坡度偏大的岩石斜坡结构，仅凭植被层难以达到防护标准，需结合构架、锚固等辅助性防护手段来稳固边坡。分析岩石的风化阶段，该植被毯适用于强风化及中等风化程度的岩石斜坡，此类边坡岩石结构相对松散，风化剥蚀现象明显，植被层对坡面进行全面遮蔽，减缓风化作用速率，同时促进植被繁衍，加固边坡；考察微风化与未风化之坚硬岩质斜坡，岩石结构紧密，稳定性良好，无需采取植被覆盖防护手段，可采用基础的防护手段^[3]。

周边气候及水文条件需全面审视，温和气候与适中降水区，新型环保植被毯应用效果显著，此类区域对植物种子的发芽及成长环境适宜，更卓越地发挥生态恢复潜力；面对降水集中、暴雨频繁的区域，应设置排水设施，防止雨水冲刷造成植被覆盖层脱落；对严寒与干旱地区的地理情况进行研究、考察、探讨及分析，需挑选既耐寒又耐旱的草种进行推广，采取保湿及防冻的防护措施，保障植被层对生态的防护与修复功能，若隧道入口周边系生态脆弱地带，优先实施环保植被覆盖项目，这完全符合防护要求，能极力保护生态系统的完整性。

三、新型环保植被毯应用中的常见问题及解决措施

（一）坡面预处理

坡面前期处理是植被毯铺设质量保障的根基，植被毯与坡面的贴合度及其防护效果受直接作用力影响，施工阶段应着重进行清扫、平整、优化等关键步骤，人工处理坡面上的石砾、杂草、

枯枝落叶等杂物，尤其是锋利的石屑，避免刺破植被层；坡面上的松散石质块，需及时剔除，防止植被毯后期脱落引发破坏，确保坡面无松脱情况。若坡面露出明显缝隙，须采用水泥砂浆进行修补，防止雨水渗透裂缝导致坡体风化趋势恶化^[4]。

探讨不平整的斜坡结构，人工操作辅以小型机械进行平整，实现坡面坡度均一、表面平整，力求消除明显的隆起与凹陷，保证植被层与坡面完美贴合，无空中悬浮现象；应对坡度不一的斜坡区段，调整坡度以契合设计要求，构建植被覆盖的优良基础。坡面土层整治，隧道洞口一带，岩质边坡的土壤成分以风化岩石为主，土壤贫瘠、保水效果差，不利于植物繁衍，故需对坡地土壤实施优化，于坡道之上平均铺展一层熟化有机肥料，混入表层土若干，增进土壤的肥沃性与保水效果；土壤酸碱度极端区域，可掺入改良成分，调整土壤酸碱水平，打造适宜土壤生态，促进植被种子发芽繁衍。

（二）植被毯铺设

实施植被层铺设时，必须依照自顶向下、严密连接、表面平坦无折痕的原则，考虑隧道洞口边坡的现实地形限制，灵活调整铺设途径，保障施工品质，植被覆盖面裁剪工艺，以坡面的长宽为基准，预先裁剪植被层，尺寸裁剪宜略大于实际坡面尺寸界限，为连接与固定预留充足空间，杜绝切割过小引发铺设不全，植被覆盖的边缘需整齐划一，无撕裂之迹，阻隔雨水经裂缝侵入铺设层。

从边坡顶部着手铺设作业，自顶向下逐步展开铺设，阻隔植被层滑落，保证植被层与斜坡表面无缝连接，无褶皱显现，分析坡面塌陷区域，植被层可拉成平整面，用土壤填充坑洼，务必坚守统一性，植被毯相邻接缝宽度必须达到既定要求，普遍长度超过 10 毫米，接合处需紧密相扣，防止缝隙形成，阻隔雨水从接缝侵入斜坡，结合点可采取缝合或压实土层进行稳固处理，加强接合点的牢固度，维持整体防护效能稳定^[5]。

（三）固定压实

植被覆盖层铺设作业完成阶段，须即刻实施加固压实作业，阻隔风力及雨水侵蚀造成的位移，维持植被层防护作用的长期稳定性，采用 U 型钉进行固定作业，融合边坡实际情形，合理安排 U 型钉的间隔与数量，分析坡度较缓的坡体，U 型钉的分布间距可适当拉大，每平方米至少应有 3 个；考察坡度较急的斜坡，需加密 U 型钉，每平方米至少需有 4 个实体，山顶、山脚及接合处需额外加装 U 型钉，务必使固定牢固如磐。

U 型钉采用镀锌层工艺，抵御氧化侵蚀，延长产品使用寿命，深度必须达标，必须固定在岩质斜坡上牢不可破，运用人工或小型压实机械对植被层实施压紧作业，实现植被层与斜坡、土壤的紧密结合，大幅强化防御能力；实施压实阶段，力度不宜过猛，避免对植被层造成破坏，减少影响植被种子发芽的外部干扰，坡顶植被层需卷起至坡顶 10 厘米以上高度，截断坡顶雨水下渗，坡脚植被带应伸展至坡脚外侧区域，与地表紧密相贴，构建封闭性防护罩，减轻水土流失后果。

（四）后期养护

后期养护是新型环保植被毯实现生态修复与长期防护的关键，维护作业应兼顾植物生长周期及地域气候特征，集中力量开

展灌溉、除草、补种等核心工作，植被覆盖层铺设完成后，必须及时补充水分，维持土壤的湿润程度，供给植物种子发芽所需的水分；灌溉作业宜采用喷雾灌溉方式，防止洪水泛滥，保护坡面植被不被土壤冲刷；灌溉频次根据气候状况调整，需增加灌溉频次，浇灌活动减少或暂停时，保证土壤水分适宜。

植物种子发芽与成长阶段探讨，坡面之上杂草滋生，杂草与目标植被在水分及养分上展开生存资源争夺，影响目标植被的生长周期，应及时清除杂草，采用人工除草法，勿施用除草剂，避免环境破坏和对目标植被的损害，若某些区域植物种子发芽率偏低、生长状况欠理想，植被覆盖面出现空缺，应迅速进行补种作业，补植作业应挑选与原生植被种类一致、生长态势良好的幼株，迅速灌溉并压实植土，保障幼苗栽植成活，分阶段实现斜坡植被的全面覆盖，巩固边坡的稳定性及生态效应，须定期对植被层完整性进行核实，若观测到植被层破损，迅速实施修补与加固，维持防护效果的稳定与持久维持。

四、新型环保植被毯应用中的常见问题及解决措施

（一）常见问题

植被层与斜坡贴合度不高，出现空隙、褶皱，坡面前期处理存在缺陷，坡地起伏不平，可能在植被毯铺设阶段，拉伸作业不充分，植被层与坡面未能紧密贴合，后期易受风摇、雨冲刷，防护效能受影响；植被覆盖层因切割失误及铺设时遭锐利石块损伤，可能稳固性欠佳，历经雨蚀风蚀，出现裂缝、位移，坡面防护结构暴露漏洞。主要原因是坡面土壤改良未能彻底进行，土壤贫瘠、保水效果差，或许草种挑选有偏差，与当地气候条件不匹配，后期维护工作存在缺陷，灌溉与除草未按时间顺序落实，种子发芽受阻，植被覆盖效果欠佳，生态修复与边坡加固效果受干扰，接合带发生渗漏、冲刷现象，源于连接宽度不足、连接不够紧密，可能未实施有效的固定操作，坡面接缝处雨水渗透至坡体内部构造层，坡面面临水土流失困扰，甚至使边坡松动脱落。

（二）解决措施

对上述普遍性问题展开分析，结合施工实战经验，阐述应对办法：一是严格坡面前期处理程序，施工前对坡面杂物进行彻底清除，稳固松动岩石，对起伏不平的斜坡进行彻底的整修，保持坡面整洁，剔除所有杂物；针对土壤贫瘠的斜坡区域，加大力度进行土壤优化，加大有机肥料铺设的规模，增加土壤的肥沃性与保水效果，打造植被覆盖与生长的优良环境基础。全面展开植被层，保证与斜坡表面紧密接触，无褶皱显现；执行植被层裁剪作业阶段，精确测量坡面走向，充分预留连接及固定空间余量，保证切割尺寸适

宜；防止植物覆盖层与锐利石块相碰，加密 U 型钉，特别聚焦山顶、山脚及搭接处，务必使固定牢固如磐，防止植被层漂移。

五、应用效果

环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的实施路径探讨，与旧式安全防护方式相对，工程防护与生态环境改善效果明显，就工程防护领域而言，植被层对坡面实施全面遮蔽，抵御雨水的冲刷与岩石的风化侵蚀，阻隔坡地石块脱落及水土流失现象，提升边坡的稳固性，缓解边坡滑塌的潜在风险压力，维护隧道施工与运营安全无风险区域；大幅减少施工周期，降低工程维护的消耗成本支出，优化工程整体经济效益水平。生态领域之境界周边区域，环保型植被覆盖物自然降解性佳，环境零污染，且激发植物生长潜力，分阶段实现斜坡植被的全面覆盖，修复生态破坏的痕迹，优化隧道洞口周边风貌，促进建筑事业与生态环境的同步进步，植被层既成体系，实现噪声降低与尘埃阻隔，增进周边环境质量，美化和优化隧道洞口区域的视觉美感，与现代工程建设的生态理念相吻合。

六、结论

探讨新型环保植被毯在隧道洞口岩质边坡防护中的维护管理，总结以下实践经验，恰当挑选植被覆盖类型及草种，需充分考虑隧道洞口岩质边坡的坡角、岩石老化状况、气候因素等实际条件，挑选适宜的植物覆盖层及草类种子，防止生吞活剥，维持防护性能与生态成效。严格把关施工质量关，严格进行坡面前期处理、植被覆盖层铺设及固定压实等施工步骤，实施施工技术操作细节，杜绝施工错误所引起的各种困扰，严格后期维护与监管实施，保障植被生长与防护成效，后期养护不可或缺，需契合当地气候环境，制定科学的养护路径，实施灌溉、除草、补种等作业，保障植物生长的顺畅，实现植被覆盖的成效。强化集体防御，分析坡度偏陡、稳定性欠佳的岩质坡面，依赖新型环保植被毯难以达到防护目的，需整合构架、锚固等辅助性防护手段，形成协同安全防护矩阵，增强边坡的稳定基础，生态防护植被毯，环保与防护的完美结合，岩质边坡防护技术在隧道洞口应用领域前景看好，在应用实施阶段，需紧密对接工程实际背景，不断升级施工技术手段，应对软件应用中的普遍难题，全力展现其环保、便捷、高效的综合特性，实施隧道洞口岩质边坡防护与生态恢复的共生模式，为交通工程建设的持续发展提供有力后盾。

参考文献

- [1]叶道华，张淑雯，袁帅. 顺向岩质边坡公路隧道进洞方案对比分析与开挖变形规律研究 [J]. 江西建材，2025，(01): 171-174.
- [2]张晋斌. 某隧道口边坡防护设计与施工技术 [J]. 江西建材，2022，(07): 206-208.
- [3]罗尧晟，巨能攀，张成强，解明礼，何朝阳，陆渊. 隧道开挖作用下反倾层状岩质边坡变形响应分析 [J]. 水利水电技术 (中英文)，2022，53 (07): 116-128.
- [4]李世琦，徐升，唐锐，向龙，周仁强. 顺层岩质边坡隧道洞口挤压变形处治技术研究 [J]. 地下空间与工程学报，2020，16 (S1): 480-485.
- [5]张孝伟. 顺层岩质边坡隧道破坏模式与防治对策 [J]. 西部探矿工程，2019，31 (10): 184-186.