

川西高原公路边坡抗逆性生态修复材料及立体配置构造研发

李俊卓¹ 张敏敏¹ 席呈虎^{2*}

1. 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 中国·四川 成都 610041
2. 四川路桥建设集团股份有限公司, 中国·四川 成都 610041

摘要: 川西高原作为中国重要的生态屏障, 其公路建设在促进区域经济发展的同时, 也对边坡生态环境造成了严重破坏。由于该区域立地条件差、生态条件恶劣、气候条件严酷, 传统的生态修复材料和技术难以满足边坡生态恢复的需求。论文针对川西高原生态脆弱区公路边坡的生态防护与修复, 从立地条件差、生态条件差、气候条件差三个角度, 深入研发适宜该区域公路边坡的生态修复材料和立体配置构造。通过分析川西高原公路边坡的特点和生态修复面临的困境, 提出了抗逆性生态修复材料的研发思路和立体配置构造的设计方案, 并对其应用效果进行了展望, 旨在为川西高原公路边坡的生态修复提供科学依据和技术支持。

关键词: 川西高原; 公路边坡; 抗逆性; 生态修复材料; 立体配置构造

Research and Development of Stress Resistant Ecological Restoration Materials and Three-dimensional Configuration Structures for Highway Slopes in the Western Sichuan Plateau

Li Junzhuo¹ Zhang Minmin¹ Xi Chenghu^{2*}

1. Sichuan Provincial Highway Planning, Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China
2. Sichuan Road and Bridge Construction Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: As an important ecological barrier in China, the construction of highways in the western Sichuan Plateau has not only promoted regional economic development, but also caused serious damage to the ecological environment of slopes. Due to poor site conditions, harsh ecological conditions, and harsh climate conditions in the region, traditional ecological restoration materials and techniques are difficult to meet the needs of slope ecological restoration. The paper focuses on the ecological protection and restoration of highway slopes in the ecologically fragile area of the western Sichuan Plateau. From the perspectives of poor site conditions, poor ecological conditions, and poor climate conditions, suitable ecological restoration materials and three-dimensional configuration structures for highway slopes in this region are deeply developed. By analyzing the characteristics of highway slopes in the western Sichuan Plateau and the challenges faced in ecological restoration, this paper proposes a research and development approach for stress resistant ecological restoration materials and a design scheme for three-dimensional configuration structures. The application effects are also discussed, aiming to provide scientific basis and technical support for the ecological restoration of highway slopes in the western Sichuan Plateau.

Keywords: Western Sichuan Plateau; Highway slope; Resilience; Ecological restoration materials; Stereoscopic configuration construction

0 前言

川西高原位于青藏高原东南缘, 地形复杂、海拔高差大、气候多变且生态脆弱。区域交通建设中大量公路形成的边坡, 破坏了原有植被与土壤结构, 易引发水土流失、滑坡等地质灾害, 威胁生态与公路运营安全, 故对其进行有效生态修复意义重大。但该区域自然环境独特, 立地条件差, 土壤贫瘠、保水保肥能力弱; 生态系统脆弱, 植被恢复难、物种少; 气候恶劣, 昼夜温差大、紫外线强等, 使传统修复材料和构造难以适应, 研发适宜的抗逆性材料与立体配置构造成当务之急。

1 川西高原公路边坡生态修复的困境

1.1 立地条件差带来的困境

川西高原公路边坡多为岩质或土石混合边坡, 土壤资源匮乏, 土层厚度通常不足 30 厘米, 且土壤颗粒粗大, 黏粒含量低, 导致土壤的保水保肥能力极差。同时, 边坡坡度较大, 一般在 30° 以上, 部分甚至超过 60°, 雨水极易冲刷土壤, 造成水土流失, 进一步加剧了土壤的贫瘠化。此外, 边坡土壤的 pH 值也不稳定, 部分区域呈现强酸性或强碱性, 不利于植物的生长和发育。这些立地条件的限制, 使得植物在边坡上难以扎根生长, 给生态修复工作带来了极大的困难。

1.2 生态条件差带来的困境

川西高原生态系统本身具有脆弱性和敏感性,公路建设过程中对原生植被的破坏,导致区域生态平衡失调。边坡区域的植被覆盖率低,物种单一,生态系统的自我修复能力较弱。而且,由于该区域气候条件恶劣,许多乡土植物的生长速度缓慢,繁殖能力有限,难以在短时间内形成稳定的植被群落。同时,外来物种的入侵也对本地生态系统构成威胁,可能导致生态失衡,加大生态修复的难度。

1.3 气候条件差带来的困境

川西高原属于高原季风气候,气候条件非常严酷。昼夜温差大,白天太阳辐射强,气温高,夜晚气温骤降,有时昼夜温差可达 20℃以上,这种剧烈的温度变化会严重影响植物的生理机能,导致植物生长受阻甚至死亡。此外,该区域紫外线辐射强烈,会破坏植物细胞的结构和功能,抑制植物的光合作用。降水分布不均,雨季降水集中且多暴雨,容易发生边坡滑坡、泥石流等灾害,旱季降水少,土壤水分不足,植物干旱胁迫严重。同时,该区多为强风天气,强风会加速土壤水分蒸发,对植物的生长有不利的影响,甚至会吹倒幼苗,破坏植被覆盖。

2 基于立地条件差的抗逆性生态修复材料研发

2.1 改良土壤材料的研发

边坡土壤质量改善的焦点是研发性能卓越的土壤改良材料。川西高原公路边坡所面临的土壤状况显示其贫瘠,土壤对水分及养分的固定与维持能力不强。这类材料要具有良好的保水保肥性能,能改善土壤结构与理化性质,可加入秸秆成分。有机改良剂中的泥炭及其他有机质,富含有机质及营养成分,能增加土壤腐殖质的含量,调整土壤颗粒的团聚结构,进而有效提高土壤的水分与养分子锁存力,也可以调节土壤 pH 值以适应植物生长。泥炭的保水及缓冲性能非凡,能增强边坡土壤的水分吸附力,减少蒸发,缓解酸碱胁迫。高分子保水材料赋予新型土壤改良剂开发的新动力,其吸水保水性能堪称一绝,能够吸收自重数百至上千倍的水分,在干涸季节中缓慢补给,维持植物水分的持续补给,与土壤混合可使保水性能明显提高,干旱状况明显好转,某些土壤改良剂具有吸附养分的本领,增强肥料利用水平。

2.2 抗侵蚀材料的研发

针对川西高原公路边坡坡度大、雨水冲刷严重造成的水土流失问题,需要具有良好的抗冲刷性能的抗侵蚀材料保护边坡土壤,研发纤维类抗土壤侵蚀的新型材料,如聚丙烯纤维、秸秆纤维等,它们强度、韧性较高,掺入土壤能增强团聚体稳定性,提高抗剪强度及抗冲刷性。此类纤维来自高分子化合物家族,酸性、碱性及老化抵抗力兼备,均匀分散于边坡土壤可形成三维网状结构,有效阻控土壤颗粒流失现象;秸秆纤维是一种天然有机材料,来源广泛、经济成本低,粉碎后掺入土壤不仅能提高抗侵蚀能力,还能有效提升土壤

有机质的含量,调整土壤的结构组合。乳化沥青、高分子聚合物等新型喷播材料也值得研发,粘合力极高,土壤及草种混合喷播实施中,于边坡表层铺设防护圈,阻隔雨水直接冲刷土壤表层,构筑良好的生态空间以促进草种的萌芽与成长,乳化沥青的防水与粘合力均属上乘,喷播后快速成膜保护土壤和草种,高分子聚合物则能提高喷播层的抗冲击与抗老化性能。

3 基于生态条件差的抗逆性生态修复材料研发

3.1 乡土植物种子筛选与改良

乡土植物是指在当地自然环境中长期生长进化而来的植物物种,它们对本地的气候、土壤等生态条件具有较强的适应性和抗逆性,筛选适宜的乡土植物种子并进行改良,乃提升川西高原公路边坡生态修复效果的核心措施,全面剖析川西高原不同生态区的原生物种群,筛选出具有耐旱、耐寒、耐贫瘠、抗紫外线等特性的植物物种,诸如沙棘、狼毒、高山柳等植物资源。沙棘对干旱及贫瘠环境表现出极高的适应力,水土固守之能,土壤质量提升也是其一绝;狼毒在逆境中展现出的生存韧性令人赞叹,在恶劣的环境条件下也能生长;高山柳耐寒性强,能够在低温环境中正常生长,对已甄别的本土植物种子集合,可以采用物理、化学或生物等方法进行改良,加强其发芽效能及抗逆力。物理方法如低温层积处理,成功唤醒沉睡的种子活力,增进种子萌芽动力;化学方法如赤霉素溶液浸泡种子,激发种子的发芽与成长动力;生物方法如接种根瘤菌等有益微生物,提升植物对土壤养分的汲取与转化效果,提高植物面对逆境的防御力。

3.2 微生物接种剂的研发

微生物在土壤生态系统中的作用是促进土壤有机质分解转化,扩大土壤肥力基础,与植物共生共谱新篇,加强植物在逆境条件下的生长活力,研制恰当的微生物接种制剂,对促进川西高原公路边坡生态平衡具有积极意义,川西高原公路边坡的土壤质量属贫瘠型,土壤微生物的生化活性欠佳,开发固氮、解磷、解钾微生物接种的悬浮配方溶液。固氮菌将氮气从空气中转换成植物能利用的氮素,提高土壤氮含量积聚;解磷菌和解钾菌可以分解土壤中的难溶性的磷和钾,提高土壤中磷钾的活性成分,保证植物得以吸收充足的养分进行生长,也可培育出耐逆境的微生物接种制剂,适应低温、耐旱、耐盐碱的微生物菌株能力,这类微生物能够在川西高原恶劣的环境条件下生存繁殖,实施其有益正面作用,若将抗低温能力强的放线菌植入边坡土壤,促进土壤有机质的分解动力,调整土壤的温度梯度,构建植物繁衍所需的理想生态环境。

4 基于气候条件差的抗逆性生态修复材料研发

4.1 保温保湿材料的研发

川西高原昼夜温差大,降水分布不均,研制保温保湿材料,是维持边坡土壤温度和湿度稳定,保护植物生长、存

活的关键。可开发如珍珠岩、蛭石等轻质保温材料与高分子保温材料配合而成的复合型保温保湿材料。珍珠岩、蛭石能够起到保温作用,减少土壤热量散失,保持土壤温度;高分子保温材料,能吸收、保存水分,给植物以不断的水分供应。将这些材料按一定的比例掺和后,铺于边坡表面或掺入土壤中,能提高土壤的保温保湿性,缓解昼夜温差大对植物的影响,以及抗旱。另外,还可以设计新型保温被或覆盖膜。保温被采用棉絮、羊毛等保温性能好的材料制成,具有良好的保温效果,在冬季可覆盖在边坡植被上,防止植物受冻;覆盖膜采用聚乙烯薄膜等透光性好、保温保湿性能强的材料制成,能减少土壤水分的蒸发,提高土壤温度,促进植物的生长。

4.2 抗紫外线材料的研发

川西高原紫外线辐射强烈,对植物的生长和存活造成严重威胁。因此,抗紫外线材料的研制对保护边坡植物具有重要意义。可在喷播材料中添加紫外线吸收剂或屏蔽剂,如纳米氧化锌、纳米二氧化钛等。这些纳米材料对紫外线有较好的吸收和屏蔽作用,可减少紫外线对植物细胞的损伤。喷播材料中的纳米氧化锌或纳米二氧化钛混合喷播后,在边坡表面形成一层保护膜,阻挡紫外线的穿透,同时还能提高喷播层的抗老化性能。此外,还可研制抗紫外线的植物保护剂如叶面喷施剂。叶面喷施剂中含有紫外线吸收剂和抗氧化剂等,在植物叶片表面形成一层保护膜,减轻紫外线对叶片的伤害,增强植物的抗氧化能力,提高植物抗逆性。

5 川西高原公路边坡立体配置构造设计

5.1 不同立地条件下的立体配置构造设计

5.1.1 岩质边坡立体配置构造

岩质边坡表面坚硬,缺乏土壤,植物难以生根发芽。对于这种情况,可采取“锚杆+格构梁+客土喷播”立体配置构造。首先,对岩质边坡设锚杆,将格构梁固定在边坡上,形成稳定的框架结构,以增强边坡的稳定性。然后在格构梁内进行客土喷播,喷播材料为改良土壤、乡土植物种子、微生物接种剂、保温保湿材料等,为植物的生长提供充足的土壤和养分。同时在格构梁节点处设排水孔及时排水,防止雨水在边坡表面积聚而造成边坡失稳。

5.1.2 土石混合边坡立体配置构造

土石混合边坡土壤含量比较多,但土壤结构不稳定,容易发生水土流失。对这种边坡可采用“挡土墙+截水沟+植生袋”立体配置构造。在边坡底部设置挡土墙,防止边坡土体下滑;在边坡上设置截水沟,把雨水引至远离边坡的地方,减少雨水对边坡的冲刷;在边坡坡面铺设植生袋,植生袋装有改良土壤、草种等,易于迅速形成植被覆盖,防止水土流失。植生袋之间采用连接扣连接,增加了整体的稳定性。

5.1.3 土质边坡立体配置构造

土质边坡土壤相对较多,但坡度较大,雨水冲刷严重。

针对这种边坡,采用“梯田式+生态袋+喷播”的立体配置构造。把边坡修成梯田式,以减缓坡度,减少雨水的冲刷力度;在梯田的埂上铺设生态袋,生态袋内装有改良土壤和植物种子,形成植被带,进一步阻挡水土流失;在梯田内喷播,喷播材料有草种、灌木种子、微生物接种剂等,以提高植被覆盖率,改善生态环境。同时,在梯田内设置排水沟,将多余的雨水排出。

5.2 气候条件结合立体配置构造优化

在立体配置构造中,增加保温层,如喷播层下面敷设珍珠岩、蛭石等保温材料,或者在植被上方铺设保温被。对岩质边坡,在格构梁内填充保温材料,以减少土壤温度波动。同时选用耐寒、耐热能力强的植物种类,增加植被昼夜温差的适应能力。在立体配置构造的表面覆盖抗紫外线材料,如喷播层中加入纳米氧化锌等紫外线屏蔽剂,或在植被上方铺设抗紫外线网。选择抗紫外线能力强的植物物种,如叶片表面的蜡质层植物。加强排水系统的设计,立体配置构造中设好截水沟、排水沟、排水孔,保证雨水及时排走,无积水现象。对于强风区,可在边坡上设防风障,以降低强风对植被的吹袭。同时要选深根性灌木和草本等根系发达,固土能力强的植物物种,以提高边坡的稳定性。

6 结语

论文针对川西高原公路边坡立地条件差、生态条件差、气候条件差的特点,针对川西高原公路边坡的抗逆性生态修复材料和立体配置构造进行了深入的研究。在抗逆性生态修复材料方面,基于立地条件差研制出改良土壤材料,抗侵蚀材料;基于生态条件差研制出乡土植物种子和微生物接种剂;基于气候条件差研制出保温保湿材料,抗紫外线材料。立体配置构造方面,依据生态适应性,稳定性,功能性,经济性,美观性的原则,针对岩质,土石混合及土质等立地条件不同,边坡结构形状的不同,结合气候条件,设计了立体配置构造。这些科研成果能有效应对川西高原公路边坡生态修复的困境,为该区域公路边坡生态修复提供切实可行的解决对策。

参考文献:

- [1] 次仁拉姆.基于MIDAS GTS NX高原公路边坡稳定性分析及防治措施研究[D].拉萨:西藏大学,2023.
- [2] 杨鸣.石漠化地区公路边坡生态防护环境效益评价研究[D].重庆:重庆交通大学,2023.
- [3] 马龙,杨晓敏,杨茜,等.川西高原公路工程边坡恢复早期植物群落构建特征与关键驱动力[J].应用与环境生物学报,2023,29(3): 528-535.
- [4] 詹岳陈.基于斜坡单元与SBAS-InSAR的高原公路潜在风险边坡评估[D].长沙:中南大学,2022.
- [5] 张亚光.安阳西北绕城高速公路边坡景观生态修复性设计[D].郑州:河南农业大学,2018.