

植树防护在黄土路堑高边坡坡面防护的应用

梁伟¹, 高德彬¹, 倪万魁¹, 赵之胜², 杨泓全¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054; 2. 陕西省公路交通设计研究院, 西安 710068)

摘要:针对黄土路堑高边坡坡面特点,提出了采用植树防护对公路黄土路堑高边坡进行植被防护。并简要分析了植树防护的作用机理,并通过现场人工模拟降雨,分析了植树防护对黄土路堑坡面的护坡效果。试验表明:植树防护效果良好,且造价低廉,成活率高,易于后期养护等优点,为该项技术在黄土路堑边坡坡面植物防护提供有益的参考。

关键词:公路;黄土;路堑边坡;冲刷试验

中图分类号: S157.43; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0200-03

Application of Planting Trees to Protection Engineering for Highway Loess Cutting-Slopes

LIANG Wei¹, GAO De-bin¹, NI Wan-kui¹, ZHAO Zhi-sheng², YANG Hong-quan¹

(1. *Geology Engineering and Surveying Department Chang'an University, Xi'an 710054, China*; 2. *College of Highway Investigation and Design of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China*)

Abstract: In view of the slope face characteristics of the loess cutting slopes, it was proposed that planting trees to protection engineering for the loess cutting slope. Its protection mechanism is analyzed briefly, and through the in-situ washing-out testing of man-made rainfall, the slope protection effect and the corroded mechanism of the exposed loess cutting slope, the experiment indicated that the protection effect is good. And it provides the beneficial reference on the plant protection for the loess cutting slope.

Key words: highway; loess; cutting slope; washing-out test

黄土地区快速发展的公路建设,形成大量黄土路堑高边坡^[1]。如何保证坡面稳定性,以避免坡面渐进变形而引起坡体大范围失稳,以及减小坡面水土流失等具有十分重要的意义。伴随着国家可持续发展战略的提出,修建经济效益与生态环境保护相协调的“生态型”高等级公路已是大势所趋。植被作为公路路域生态环境恢复与重建的主体,具有工程措施所不可替代的作用^[2]。水土保持界和公路界专家学者在黄土地区公路路堑高边坡植被防护方面做了大量的试验研究,取得了一些有益的成果^[1-4]。已有的植被防护措施,如人工植草技术(穴种)、液压喷播植草护坡、框架植物护坡、铺网植草技术、厚层基材喷播植草护坡以及绿化防护板植草技术等在各试验路段均得到成功的应用,但时效性较差,效费比过低,且护坡植被在遭受养分的缺失、土壤干层、植被群落的演化等造成不同程度的退化。因此,有必要调整植物防护的思路。在植物防护时,是否可以改变坡面植被的生长环境和利用天然植被的自我恢复能力,即通过增大坡度,减小坡高而增大平台宽度,在坡面平台处采用植被防护的措施,而在坡面斜坡处依靠天然植被的自我修复能力对边坡进行防护。而人工营造植被在很大程度上有助于坡面植被的更快恢复。

基于此,陕西省在前期黄土路堑坡面植被防护的成败经验基础上,提出了在阎良—禹门口高速公路黄土路堑高边坡K35+650—K36+850段采用植树防护技术进行坡面防护和绿化试验。该技术要求在边坡坡型设计时,采用宽台陡坡的设计思路,即在稳定总坡比一定时,增大坡面平台宽度和单级坡度,减小坡高,以利用在坡面平台进行植树防护,而斜坡处利用天然植被的自我恢复功能进行防护。依此试验为基础,分析了黄土路堑高边坡坡面特点,并通过现场人工模拟降雨试验,研究了植树防护技术在黄土路堑高边坡坡面防护效果。

1 黄土路堑高边坡坡面特点

路堑边坡在挖方卸荷等作用下,破坏了坡体原有的良好结构状态,造成黄土中原有的各种节理发生不同程度的张开、松弛,尤其是倾向坡外的斜节理,加剧了坡体坡面的破坏,同时,老黄土内部存在多层古土壤,更易造成坡面发生风化、剥落,而雨滴的浸泡和风蚀作用等又增加了坡面的负担,这些都加剧坡面发生冲刷、剥落的发展。另外,新开挖路堑边坡土质新鲜生硬,土壤中植物根系和有机质含量少,仅为0.12%左右,含水率不到20%,很少发现土壤微生物活

收稿日期:2007-12-13

基金项目:交通部西部交通建设科技项目(200131800020)

作者简介:梁伟(1969—),男,陕西西安人,工程师,主要从事岩土工程研究。E-mail:lw688114@163.com

动^[3],加之坡面土壤团粒结构差,干燥疏松,抵抗雨滴溅蚀能力弱,易造成土壤侵蚀。同时,由于单级坡比设计较大,土壤渗透性差等原因,边坡土壤对降水截流较小,这一方面容易造成水土流失和光、水的再分配,另一方面由于坡面斜坡不利于蓄水,降雨很快以径流形式流到坡面平台处,水土流失导致坡面斜坡土壤更贫瘠,立地条件更差,等等。这些都为顺利实施边坡坡面植被防护增加了难度。

2 植树护坡机理分析

在边坡坡型设计上采用宽台陡坡型方案,在坡面上形成较宽的平台,以利用在坡面平台进行植树防护。而坡面斜坡处利用天然植被,主要以苔藓植物为主的自我恢复进行防护。植树护坡主要依靠坡面树木的地下根系及地上茎叶的作用保护坡面不受冲刷侵蚀,其作用可概括为根系的力学效应和茎叶的水文效应两个方面。树木茎叶的水文效应主要表现为:茎叶对雨水的截留、叶面分流、茎叶的篱笆作用和落叶的水文效应。而坡面斜坡处自然生长的苔藓植物具有强大的蓄水保土能力,其饱和吸水后的质量是其干质量的几倍甚至几十倍,而这在高等植物中是很少见的。由于苔藓植物的这种特殊结构,阻断了降雨对地面土壤的直接冲击,特别是暴雨的影响,有效地减少了冲蚀、溅蚀。曾信波等^[5]研究表明,苔藓层对提高土壤抗冲性具有极其显著的效果。

2.1 树木根系的力学效应

对于树木根系的力学效应,前人做过大量的研究工作^[6-9],如王文生^[6]通过实验得出,沙棘、沙柳须根的加筋作用使沙土的黏聚力提高了2.5~4倍,使黏土的黏聚力及内摩擦角均增加25%~4%。张飞^[7]对含根系土做直剪试验得出:含根系土的内黏聚力值比无根系土增加近74%,而内摩擦角值变化不是很明显。杨永红^[8]等对乔、灌、草等不同植被实验表明,植被具有提高非饱和土抗剪强度的作用,黏聚力增加较大,内摩擦角增加相对较小;土层越深,土壤抗剪强度提高的程度越小;从植被类型来看,灌木提高土壤抗剪强度的程度最大,草地提高土壤的抗剪强度的程度最小。宋维峰^[9]等通过室内剪切摩擦试验得出刺槐根系与黄土间的摩擦阻力大于油松;根系越深,根土之间的剪应力越大,根系固土的效果越好。总之,植物防护的边坡土体可以看作由土和根系组成的根-土复合体,根系的存在改变了土的力学性能,提高了土体的抗剪强度,从而增强边坡土体的抗剪强度,减小水土流失和边坡病害的发生。

2.2 树木茎叶的水文效应

树木茎叶的水文效应主要表现为:茎叶对雨水的截留、叶面分流、茎叶的篱笆作用和落叶水文效应^[6]。植物茎叶对雨水的截留作用表现为,在降雨初始阶段,雨滴到达地面之前,先接触植物的茎叶,而茎叶能最大限度的吸收降雨直至饱和,且大部分以蒸发方式消失,减少了到达坡面的有效雨量,对坡面保护有利。叶面的分流作用,减少了直接冲刷坡面土体的水流量。降雨强度越大,植被覆盖度越高,雨水被叶面分流的水量就越大。叶的篱笆作用一方面直接阻截径流,使径流减速;另一方面,改变径流形态,使径流由直流变为绕流,增加了径流程,减小了水力坡降,从而降低冲刷动

能,减弱土体冲蚀。同时,边坡平台上树木的落叶能截持降水外,更有吸收和阻延地表径流,抑制土壤蒸发,改善土壤性质,增加降水入渗,防止土壤溅蚀,增强土壤抗冲能力等功能。吴钦孝等在甘肃天峻高速的观测资料表明^[10],1 kg 枯枝落叶的吸水量可达3 kg,并可以减少坡面上方来水来沙量,减缓了坡面的冲刷量。

3 植树防护在黄土路堑高边坡的应用及模拟降雨试验

3.1 植树防护的应用

试验路段选用阎良一禹门口高速公路 K36+850 路堑边坡。该段边坡高 25 m,坡体地质结构自上而下为全新统黄土(Q₄^{col}),主要分布在 7 级坡面,厚约 4.0 m;马兰黄土(Q₅^{col}),主要在 5,6 级坡面,厚约 8.0 m,离石黄土(Q₆^{col})分布在 4 级坡面以下,出露高度约 13.0 m。坡型设计采用宽台陡坡的阶梯型,分为 7 级。单级坡比为 1:0.4,单级坡高约 3.5 m。坡面防护技术除在坡脚处采用 1.5 m 高的浆砌块石坡脚外,其余坡面采用平台植树防护。树种为刺槐和火炬树,种植方式为混栽,平台第 1 排为刺槐和火炬树混栽,第 2 排均为火炬树。其中,第 5、第 6 级平台的林木长势很好,刺槐树干直径 3.5~6.0 cm,数高 4.0~5.2 m,树冠直径 1.4~2.6 m;火炬树高 2.4~3.3 m,树干直径 4.2~5.1 cm,树冠直径 1.1~2.2 m。两排成活率大于 98%。各级坡面斜坡不同程度生长有苔藓植物,覆盖率达到 80%(图 1)。

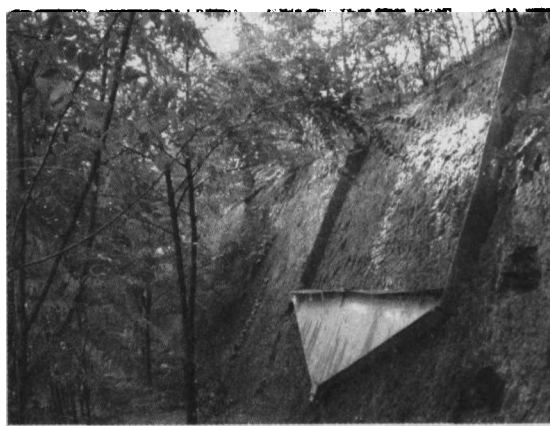


图1 K36+850 树木和苔藓植物防护边坡

降雨装置采用中科院水土保持研究所的仰喷式模拟降雨机。降雨喷头的高度可根据实际情况自由调节,喷头的最大有效距离为 3 m,在这范围内水滴在无风条件下可均匀覆盖试验区,与天然降雨的相似性能达到 85%。雨强采用简易雨量器测定。试验区范围在 5 级和 6 级边坡上各选定一处 3.8 m 长,3 m 宽的坡面,用 1.5 mm 厚的塑料板作为边界作为模拟降雨冲刷试验区(图 2),下方连接一个由铝皮制成的 3 m 宽的集流槽。用小塑料桶和量筒采测水样。降雨强度采用当地百年一遇的高强度暴雨,即 65 mm/h。

3.2 模拟降雨试验及结论

试验研究在模拟降雨条件下,植树护坡和天然恢复的苔藓植物共同防护作用下,坡面的破坏方式、特征以及降雨形成的径流特征和产沙量,以此来验证植树防护对黄土路堑高

边坡防护的可靠性。试验历时 16.6 h。本次实验总共采集水样 20 个,经过烘干计算,结果列于表 1 和表 2。

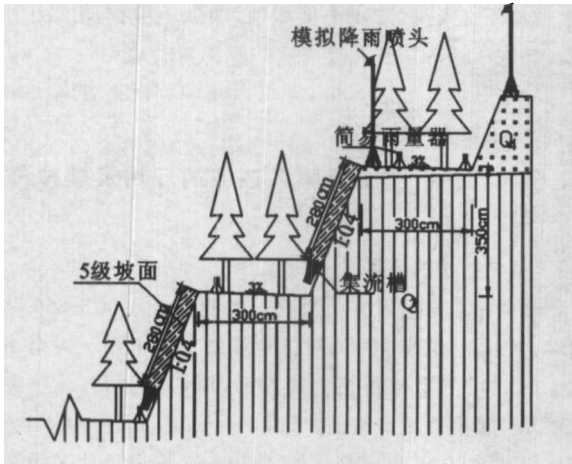


图 2 模拟降雨冲刷试验示意图

表 1 5 级坡面降雨冲刷结果

时间/h	2.9	4.4	6.4	8.2	9.2	10.7	11.7	12.7	14.6	15.5
含沙量/ ($g \cdot L^{-1}$)	12.3	19.8	9.3	11.1	11.4	7.7	15.4	26.2	18.8	19.1
径流量/ ($ml \cdot s^{-1}$)	3.2	3.2	2.9	3.2	3	1.6	3.2	9.5	9.8	9.8

表 2 6 级坡面冲刷结果试验

时间/h	3.1	4.6	6.6	9.1	10.0	11.2	12.2	13.2	15.7	16.6
含沙量/ ($g \cdot L^{-1}$)	6.35	3.51	1.71	5.23	2.06	2.6	3.13	4.3	4.6	6.6
径流量/ ($ml \cdot s^{-1}$)	9.27	2.98	2.98	3.07	3.33	2.5	3.2	8.9	9.8	10.0

通过试验数据分析,并结合现场观察,得到以下结果:

由于平台种植的刺槐和火炬树茎叶对降雨的拦截,只有少量的雨水降落到坡面上,而坡面斜坡处因有苔藓植物防护,因此,整个试验过程只发生溅蚀作用和面蚀作用。只在开始降雨 28 min 后出现微弱的超渗径流,坡面没有出现强烈的变形破坏,只在 6 级坡面上部黑土与 Q_2 黄土接触部位有少数的土颗粒在面蚀作用下剥落,而此处苔藓植物覆盖较少。同时,黄土坡面表土易于形成结皮,而土壤结皮具有减缓降雨入渗,增大地表径流和抑制产沙的作用^[11]。

根据现场观察发现,坡面超渗径流产生时间与土壤的前期含水量有关,第 2 天降雨的产流时间比第 1 天的产流时间要快 18 min。同时,由表 2 和表 3 可以看出,坡面冲刷沙量也与时间存在着波动的关系,且 5 级坡面无论含沙量和径流量都较 6 级大,表明 6 级平台来水来沙进入 5 级坡面,加剧了 5 级坡面的冲刷量。郑粉莉等^[12]研究也表明,坡面上方来水来沙使细沟侵蚀带的侵蚀产沙量增加 13.5%~37.3%。但总体来讲,坡面最大径流量仅为 9.8 ml/s,径流厚度不到 2 mm,最大含沙量也仅为 26.2 g/L,最大冲刷深度为 0.3 cm。结果表明:采用平台植树防护效果良好。

4 植树防护的经济性分析

据陕西省在黄土路堑高边坡防护采用各种植被防护类型造价可以看出(表 3),平台植树造价为 2~4 元/ m^2 ,液压

喷播植草造价为 10 元/ m^2 ,三维网垫喷播植草造价为 23 元/ m^2 ,厚层基材喷播植草造价为 70.0 元/ m^2 ,绿色防护板生态护坡 85.0 元/ m^2 。由此可以看出,对于经济落后的黄土地区,宜选择造价较低的植树方案。

表 3 黄土路堑高边坡坡面植被防护造价

公路名称	边坡植物防护段桩号	防护方案	造价/ (元· m^{-2})
锦法二级公路	K1+150—K2+300	平台种植刺槐	2.2
铜黄高速公路	K96+900—K97+300	液压喷播植草	10.0
绕城高速公路	K65+450—K66+600	三维网垫喷播植草	25.8
黄延高速公路	道南隧道出口处	绿色防护板生态护坡	85.0
禹阎高速公路	K30+130—K30+580	平台种植全缘栎、火炬树	2.34~3.85
	K30+710—K31+060	平台种植刺槐、全缘栎	1.62~2.76
	K172+450—K173+100	厚层基材喷播植草	70.0

由植树防护效果、造价分析等可看出,平台植树(树种应选用适应性更强的乡土树种)是黄土地区公路高边坡植物防护的理想技术之一。该技术具有易于种植,成活率高,生长状况良好,适宜公路粗放型养护,造价低廉且具有较理想的防治水土流失的优点。而在坡面斜坡处利用天然植被,尤其是分布广、适应性强的苔藓植物,进行自我恢复防护。

5 结论与建议

(1)针对黄土路堑高边坡坡面特点,提出了采用植树防护对公路黄土路堑高边坡进行植被防护。该技术要求在边坡坡型设计时,采用宽台陡坡的设计思路,即在稳定总坡比一定时,增大坡面平台宽度和单级坡度,减小坡高,以利用在坡面平台进行植树防护。该技术具有易于种植,成活率高,生长状况良好,适宜公路粗放型养护,造价低廉且具有较理想的防治水土流失的优点。而在坡面斜坡处利用天然植被,尤其是分布广、适应性强的苔藓植物,进行自我恢复防护。

(2)降雨冲刷试验表明,由于平台种植的刺槐和火炬树茎叶对降雨的拦截,只有少量的雨水降落到坡面上,而坡面斜坡处因有苔藓植物防护,因此,整个试验过程只发生溅蚀作用和面蚀作用。坡面超渗径流产生时间与土壤的前期含水量有关。坡面冲刷沙量也与时间存在波动的关系,且坡面上方来水来沙加剧了下方坡面的冲刷侵蚀,因此边坡坡面平台宜设计为向坡内倾斜的倒坡,同时应完善坡面的截排水措施等,以减少坡面上方的来水来沙量。

参考文献:

- [1] 赵之胜,倪万魁,谢永利,等.黄土地区公路高边坡防护技术研究[R].陕西省公路勘察设计院,长安大学,2005.
- [2] 王思成,兰剑,王宁.高速公路边坡生物防护技术研究进展[J].宁夏农学院学报,2003,24(1):76-81.
- [3] 王代军,胡贵馨,高洁.公路边坡侵蚀及坡面生态工程的应用现状[J].草原与草坪,2000(3):22-24.

(下转第 205 页)

不同地质条件、不同服务功能、不同流速、不同坡度的河道边坡稳定性进行研究,以保证生态防护的顺利开展。如河道冲刷深度,植被下限,旱雨季交替规律及洪水的季节性等。

(2)河道生态防护的一个关键是保持生物多样性,即保持有效数量的动植物组群,保护各种类型及多种演替阶段的生态系统。营造一个健康的林草复合系统,其种间关系复杂,有利于边坡生态正向演替,既能通过先锋植物种及时发挥水土保持的生态护坡功能,还能使绿化边坡长期保持生态系统的平衡,是人们模拟自然所要达到的较高目标。

(3)在生态防护工程的材料使用上,应尽可能使用自然材料,走可持续发展之路,以避免二次环境污染。

(4)在植物选择方面,应选取对土质要求不高、生长能力强、生根性强、能迅速覆盖地表且管理粗放的植物,以便在工程初期能迅速起到保水固土作用。在此原则上,尽可能使用乡土植物中,做到物种乡土化,并根据植物的季节性,进行不同物种间的搭配,以保证植物根系能长期有效的涵养水源,防止水土流失。因此,要对不同物种间的搭配及其数量配比作进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王文野,王德成.城市河道生态护坡技术的探讨[J].吉林水利,2002(11):24-26.
- [2] 季永兴,张勇.城市河道整治中生态护坡结构探讨[J].上海水务,2001(2):13-16,35.
- [3] 范红社.城市河道整治中生态型护坡结构探讨[J].山西水利,2005(4):50-51.
- [4] Coppin N J, Richards I G, et al. Use of vegetation in civil engineering[M]. CIRIA; Butterworths, 1990.
- [5] Nordin A R. Bioengineering to eco-engineering. Part one: the many name/Ties. International Group of Bioengineers Newsletter, 1993, 3: 125-128.
- [6] Morgan R R C, Rickson R J. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach[M]. London: E. & E. N. Spon., 1995.
- [7] 居江.河道生态护坡模式与示范应用[J].北京水利, 2003(6): 28-29.
- [8] 汪洋,周明耀,赵瑞龙,等.城镇河道生态护坡技术的研究现状与展望[J].中国水土保持科学,2005,3(1):88-92.
- [9] 杨芸.论多自然型河流治理法对河流生态环境的影响[J].四川环境,1999,18(1):19-24.
- [10] 戴尔·米勒.美国的生物护岸工程[J].水利水电快报,2000(12):8-10.
- [11] 查得·劳伦斯.美生态学家提出保护河岸地带方法[J].水利技术监督,1998(3):44-45.
- [12] 保洛·迪·皮特罗.土壤生物工程与生态系统[J].水利水电快报,2002,23(4):32-33.
- [13] 周跃.植被与侵蚀控制:坡面生态工程基本原理探索[J].应用生态学报,2000,11(2):297-30.
- [14] 周跃, Watts D. 欧美坡面生态工程原理及应用的发展现状[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):79-85.
- [15] Gray D H, Sotir B R. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control[M]. Toronto: John Wiley & Sons, 1996: 180-182.
- [16] Brow F, Clark J. The west coast road in St Lucia, an approach to slope stabilization[C]. Barker D H. Vegetation and Slopes Stabilization, Protection and Ecology [M]. London: Thomas Telford, 1995.
- [17] 鄢俊.植草护坡技术的研究和应用[J].水运工程, 2000(5):29-31.
- [18] 季永兴,刘水芹,张勇.城市河道整治中生态型护坡结构探讨[J].水土保持研究,2001,8(4):25-28.
- [19] 陈海波.网格反滤生物组合护坡技术在引滦入唐工程中的应用[J].中国农村水利水电,2001(8):47-48.
- [20] 胡海泓.生态型护岸及应用前景[J].广西水利水电, 1999(4):57-59.
- [21] 周德培,张俊云.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003.

(上接第202页)

- [4] 陈兵,任久长.铜黄公路边坡植被建植研究[J].公路, 2004(10):127-130.
- [5] 曾信波.苔藓层的蓄水保土功能研究[J].水土保持学报,1995,9(4):118-121.
- [6] 王文生,杨晓华.谢永利公路边坡植物的护坡机理[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(4):26-30.
- [7] 张飞,陈静曦,陈向波.边坡生态防护中表层含根系土抗剪试验研究[J].土工基础,2005,19(3):25-27.
- [8] 杨永红,刘淑珍,王成华,等.浅层滑坡生物治理中的乔木根系抗拉实验研究[J].水土保持研究,2007,14(1): 138-139.
- [9] 宋维峰,陈丽华,刘秀萍.根系与土体接触面相互作用特性试验[J].中国水土保持科学,2006,4(2):62-65.
- [10] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [11] 吴发启,范文波.土壤结皮对降雨入渗和产流产沙的影响[J].中国水土保持科学,2003,1(3):97-101.
- [12] 肖培青,郑粉莉,史学建.黄土坡面侵蚀垂直分带性及其侵蚀产沙研究进展[J].水土保持研究,2002,19(1):46-49,56.