

植物加固路堤边坡浅层土体分析及工程应用

夏琼¹ 杨有海¹ 孙彦英²

(1. 兰州交通大学土木工程学院, 甘肃兰州 730070; 2. 银川铁路分局, 宁夏银川 750000)

【摘要】 在总结植物加固黄土路堤边坡浅层土体的机理之后, 结合宝中铁路实际工程, 对紫穗槐和柠条两种植物的加固效果进行了详细的分析。

【关键词】 植物加固; 黄土路堤边坡; 紫穗槐; 柠条

【中图分类号】 U416.1; U213.1

Analysis for Shallow Fill in Slope of Embankment Reinforced by Plants and Engineering Practice

Xia Qiong¹ Yang Youhai¹ Sun Yanying²

(1. Civil Engineering college, Lanzhou JiaoTong University, Lanzhou Gansu 730070;

2. Yinchuan Railway Bureau, Yinchuan Ningxia 750000 China)

【Abstract】 The principle of loess slope reinforced by plants is introduced, the detailed analysis for the reinforcement effects of both *Amorpha fruticosa* Linn and *Caragana* is made, combining with the BaoZhong railway project

【Key Words】 reinforced by plants; slope of loess embankment; *Amorpha fruticosa* Linn; *Caragana*

0 引言

在西北黄土高原地区, 经常要用黄土来填筑铁路、公路等路堤边坡。黄土是一种疏松多孔的土质, 最易遭受侵蚀冲刷, 在雨滴溅蚀、降雨径流冲蚀等外营力的作用下, 能很快形成大的冲沟, 形成严重的水土流失; 另外, 黄土的湿陷性决定了它的水稳性很差。诸多这些工程特性决定了在采用黄土作为路堤边坡填料时, 必须采取有效措施来加固黄土路堤边坡, 同时起到防冲刷、防溅蚀等作用。宝中铁路于 1996 年 7 月交付正式运营。正式运营不久, 即 1996 年 7 月至 8 月连续遭受了三次大到暴雨袭击, 尤其是 1996 年 7 月 26 日一次降雨 189 mm, 是 60 年来最大一次降雨, 对线、桥设备造成了严重破坏。由于在施工时, 除了在高陡边坡处采取混凝土、浆砌片石、干砌片石等硬覆盖护坡外, 其余均为裸露土质坡面。硬覆盖护坡成本很高, 要实现所有路堤边坡的护坡是根本无法做到的。实施植物护坡, 除可以防止坡面水土流失、提高边坡稳定性外, 还可以起到美化环境、吸收噪音、保持生态平衡的作用。

1 植物加固黄土路堤边坡浅层土体的机理

植被护坡主要依靠坡面植物的地下根系及地上

茎叶的作用护坡, 其作用可概括为根系的力学效应和植被的水文效应两方面。

1.1 根系的力学效应

根系的力学效应分草本类植物根系和木本类植物根系两种。

1.1.1 草本植物

草本植物的根系一般均为直径小于 1mm 的须根, 根系密度随土壤剖面深度的增加表现出 3 个显著特点, 即在 0~30 cm 土层急剧减少, 在 30~70 cm 土层逐渐减少及在 70~150 cm 土层保持最低水平, 总根数的 90% 集中分布在 0~30 cm 的土层内, 30~70 cm 土层内根数约占总根数的 8%, 70 cm 以下土层仅占总根数的 2% 左右。

根量随土层深度增加的变化与根密度随土层深度的变化极其相似。

由草本植物根系的分布特征可知, 根系在土中分布的密度自地表向下逐渐减小, 逐渐细弱。在根系盘结范围内, 边坡土体可看作由土和根系组成的根-土复合材料, 草本植物的根系如同纤维的作用, 因此可按加筋土原理分析边坡土体的应力状态, 即把土中草根的分布视为加筋纤维的分布, 且为三维

加筋。这种加筋为土层提供了附加“粘聚力” Δc ,它一方面使原土体的抗剪强度向上推移了距离 Δc ,另一方面又因限制了土体的侧向膨胀而使 σ_3 增大到 σ_3' ,在 σ_1 不变的情况下使最大剪应力减小,这两种作用使边坡土体的承载能力提高。

1.1.2 木本植物

木本植物的根系按主根扎入土壤的深浅划分为垂直根系及水平根系两大类,一般地,主根扎入土壤深度大于50 cm为垂直根系,小于50 cm为水平根系(侧根系)。

1.1.2.1 垂直根系的力学效应

垂直根系木本植物的主根可扎入土体的深层,通过主根和侧根与周边土体的摩擦作用把根系与周边土体联系起来,结合垂直根系分布特点,

可以把根系简化为以主根为轴向侧根为分支的全长粘接型锚杆来分析其对周边土体的力学作用,其锚固力的大小可通过计算各侧根与周边土体的摩擦力以及主根与周边土体的摩擦力的累加而获得。

1.1.2.2 水平根系的力学效应

水平根系木本植物主根扎入边坡土体不是足够深。水平根系木本植物的根系是否对边坡土体的稳定发挥作用,还依赖于边坡的类型。水平根系木本植物适合的边坡类型见图1。类型(a)是覆土层较薄,基岩有裂隙,根系可伸入基岩,根系对边坡的稳定起很大作用;类型(b)覆土层较厚,接近基岩处有一过渡层,其密度与抗剪强度随深度增加,根系可伸进过渡层加固边坡^[1]。

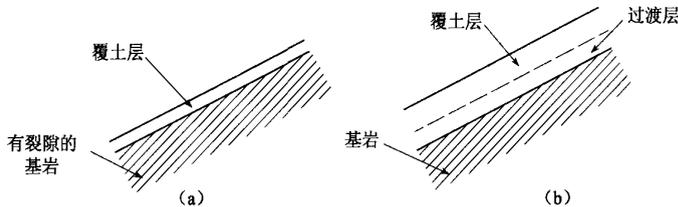


图1 水平根系适合的边坡类型

边坡浅层滑动见图2。AA'为滑动面,abcd为滑体,下滑土体把剩余推力T作用于主根及树干,主根及树干再把所受的力传递给各水平侧根,通过侧根与土体的摩擦阻力来平衡下滑土体的剩余推力。

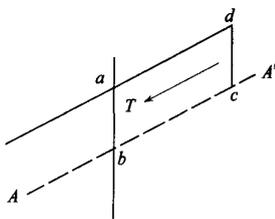


图2 边坡浅层滑动示意图

蚀的一种形式。降雨时雨滴从高空落下,因雨滴具有一定的重量和加速度,落地时产生一定的打击力量,裸露的表土在这种力量打击下,土壤结构即遭破坏,发生分离、破裂、位移并溅起,土粒能被溅至60 cm高及1.6 m之远。溅起的土粒落在坡面时,土粒总是向坡下方移动的多,一场暴雨能将裸露地的土壤飞溅达240 t/公顷之多,其中很多土粒随径流流失。

植被能够拦截高速落下的雨滴,通过地上茎叶的缓冲作用,消耗掉雨滴大量的动能,并且能使大雨滴分散为小雨滴,从而把雨滴的动能大大降低,当植被相当旺盛时,可以明显削弱甚至消除雨滴的溅蚀^[2]。

1.2 植被的水文效应

植被的水文效应包括降雨截留、削弱溅蚀和抑制地表径流。

1.2.1 植被的降雨截留

一部分降雨在到达坡面之前就被植被茎叶截留并暂时贮存在其中,以后再重新蒸发到大气中或落到坡面。植被通过截留作用降低了到达坡面的有效雨量,从而减弱了雨水对坡面土体的侵蚀。

1.2.2 植被的削弱溅蚀功能

雨滴的溅蚀是雨滴对地面的击溅作用,它是水

1.2.3 植被的抑制地表径流功能

地表径流集中是造成土体冲蚀的主要动力,土体冲蚀的强弱取决于径流流速的大小、径流所具有的能量。草本植物分蘖多,丛状生长,能够有效地分散、减弱径流,而且还阻截径流,改变径流形态,径流在草丛间迂回流动,使径流由直流变为绕流。

由于径流在草丛间迂回流动,从而增大了流程,流程增大,水力坡降减小,加上径流被分散和阻截,又减慢了流速。

因此,依靠覆盖的草本植物延长了地表径流,增

加了雨水入渗。径流减小,流速减缓,冲刷能量降低,从而土体冲蚀减弱。

2 植物加固黄土路堤边坡措施的选择

草本植物的主要作用是提高边坡的抗冲蚀、抗溅蚀能力及充分吸收水分。对于宝中线黄土这一特殊土路基来说,如采用草本植物进行护坡,虽然解决了边坡的冲蚀、溅蚀问题,但同时边坡土体含水量大大的增加,必将使黄土的土体抗剪强度指标大幅度下降,这又势必引起边坡土体浅层的不稳定,有可能会发生浅层溜坍、崩塌等现象。另外黄土中大量易溶盐在水流的作用下会被溶解而带走,又会导致陷穴等不利现象。所以在此只能选择木本植物。另外,针对宝中铁路沿线地区干旱,土壤质地差,冬季寒冷等特点,同时结合铁路建设要求,从根系发达、抗旱、耐盐碱、抗寒、耐瘠薄,具有水土保持作用的植物作为选择铁路坡地保护性植被为基本原则。所以在这里选择了木本植物紫穗槐和柠条^[3]。

3 具体措施介绍

3.1 紫穗槐

3.1.1 种植方法

紫穗槐适于春秋季节栽植。以秋季封冻前栽植为好。通常采用穴栽法。在确定栽植的部位上,按 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的穴距,挖铁锹见方的穴坑,将2~3株紫穗槐苗分不同的方向放入穴内,然后回填湿土。按“三埋两踩一提苗”的要求,认真栽植,使根系舒展,并与土体紧密结合,确保成活。埋土深度以不超过原土印 2 cm 为宜。栽好后随即平茬,然后埋一层防寒土,覆土厚 $3\sim 5\text{ cm}$ 。第二年不用扒土,天暖后自然发芽生长。紫穗槐成活后适时松土,促其生长。遇到干旱,有灌溉条件的及时浇水,秋季栽植的紫穗槐,第二年就可平茬利用^[4]。

紫穗槐属喜光树种,光照不足则影响其生长发育,所以需注意栽培密度。一般情况下肥水条件好的土地可适当密植,肥水条件差的土地要适当稀植。栽培后要加强对封育保护,防止人畜破坏。并做好灌溉、松土、除草、追肥等工作,以利其生长^[5,6]。

3.1.2 生长情况

2002年7月,我们对宝中线上部分紫穗槐进行了详细的调查,并分别对5年生、4年生和3年生的紫穗槐的根系进行了定性的分析研究。

1997年春栽的紫穗槐,经五年的生长后,枝叶的茂密程度达到5个侧枝,树高在 $1.50\text{ m}\sim 2.50\text{ m}$ 之间,冠幅 $1.51\text{ m}\times 1.45\text{ m}\sim 2.4\text{ m}\times 1.8\text{ m}$,根系的分布范围直径在 $1.5\text{ m}\sim 3.0\text{ m}$ 之间。

四年生的紫穗槐,枝叶的茂密程度是有2~5个侧枝,树高在 1.5 m 左右。从我们挖的两棵树来看,一棵的冠幅是 $1.15\text{ m}\times 1.3\text{ m}$,另一棵的冠幅为 $1.5\text{ m}\times 1.7\text{ m}$,根系的分布范围直径在 2.0 m 左右。

三年生的紫穗槐,树高有 1.15 m ,冠幅为 $1.5\text{ m}\times 1.2\text{ m}$,单根最长为 $1.2\sim 1.3\text{ m}$,根系分布最多的范围直径约是 1 m 左右,实际分布直径为 1.4 m 。

从上面的调查中可以看出:紫穗槐经过三至四年的生长以后,它基本上处于一种稳定状态,枝叶茂密,根系发达,侧根大多呈辐射状。

3.2 柠条

3.2.1 种植方法

柠条播种,春季播种4月下旬至5月中旬为宜;秋季以7月下旬至8月初为最适宜。种植密度随地形和利用方式而异,地势平坦的密度可略高于陡坡,用于薪柴林的密度应大于放牧林。柠条林地水分亏损现象比较严重,栽植密度过大、水分供应不足会致使植株生长不良,甚至衰老死亡,所以应对它的种植密度进行限制^[7]。在宝中线上,我们还是采用了 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的株距。

3.2.2 生长情况

在干旱的黄土丘陵地区,柠条播种后,其成苗状况与种子发芽和扎根速度有直接的关系。观测表明,柠条幼苗在生长过程中,根生长比地上部分生长快,播种出苗 90 d ,根长与株高比为 $(4\sim 5):1$;出苗 120 d ,根长与株高比为 $(5\sim 6):1$ 。2~4年生植株根长与株高比也在此范围内。柠条的根深和根幅随年龄增加。根深一般由2年生时的 1.5 m ,增加到4年生时的 $3.5\sim 4\text{ m}$;根幅由 1.5 m 增加到 $2.5\sim 3\text{ m}$ 。根系主要分布在 $0\sim 50\text{ cm}$ 的土层内。

柠条根系的可塑性较大,在不同的土质条件下,其生长发育情况差异明显。据调查,同年播种的柠条,因所处坡位、坡向不同,根系的生长也表现出明显的变化。从坡上部到坡下部,柠条根系的入土深度和干物质积累依次增加,以坡下部为最大;同一坡位不同坡向柠条根系生长也有差异,阳坡入土深度比阴坡大 33 cm ,但干物质积累却低于阴坡 13.8 g ^[3]。不同坡位和坡向上的柠条根系在土层中的分布状况也不相同。根径 $0.1\text{ cm}\sim 0.5\text{ cm}$ 主要分布在 50 cm 以上的土层中。 50 cm 以下各层多为活性根,其分布比例由坡上至坡下递增,阴坡较阳坡为高。

宝中线上四年生的柠条,虽然树高有1.5 m左右,但根系稀少,主要分布在30 cm左右的深度内。这与该地所处的环境有很大的关系。而在生长环境比较好的情况下二年生柠条的根系分布比生长环境差的情况下四年生的根系分布还要好,地上部共有枝条9条,长度5~50 cm不等,最长枝条距地面62 cm。地下部主根长132 cm,根幅110 cm×110 cm,侧根长65 cm,密集根层10~60 cm,根长与高比为2:3^[8,9]。

4 应用效果

从1997年春陆续在宝中铁路的路堤边坡上种植了紫穗槐、柠条等其它一些植物。1997年、1998年宝中线地区降雨量相对较少。1999年7月13日~14日,平凉地区24 h降雨达到94.2 mm,形成了暴雨。由于经过了两年的生长,大多数的植物已经覆盖了整个坡面,所以在这次的暴雨中边坡没有发生破坏。而没有种植植物的其它边坡,在没有任何防护的情况下,大多数地方都或多或少发生了一些破坏,(见图3)。



图3 1999年7月13日宝中线路堤边坡破坏情形

5 结论

经过对宝中铁路线上的植物护坡进行初步的研究,可以得出下列结论:

1)黄土路堤边坡护坡的目的是利用植物根系固定路基边坡土壤,减轻滑坡以及风沙侵蚀和雨水冲

刷,确保路基稳固。试验表明,柠条和紫穗槐的寿命长,适应性好,根系发达,可作为沙区、黄土区铁路护坡的首选树种。

2)在西北黄土地区,采用植苗方式栽植为好。因为采用直播方式,在种子发芽期间需要浇大量的水,这样会对黄土的力学特性产生很不利的影响;而栽植方式不但见效快,且利于操作管理,能降低成本。

3)选用的柠条、紫穗槐等灌木树种萌发能力强。每隔2~3年可平茬1次,它们的枝叶不仅可以作饲料、燃料,而且能促进植物后期生长。

4)植物护坡虽然只是对边坡浅层表部起到防护作用,但它仍可以同其他深层加固措施有机地结合,这样既可满足工程安全的需要,又可使工程建设更人性化、景观化。

参 考 文 献

- 1 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术. 北京:人民交通出版社,2003
- 2 罗 恒,周铁士,等. 山岭重丘区公路路域植物护坡技术研究. 岩石力学与工程学报,2002,21(增):2181~2184
- 3 杨有海,夏 琼,等. 骨架护坡配合种植紫穗槐整治黄土路堤边坡浅层溜塌病害. 路基工程,2004(4):75~76
- 4 朱连印,王国军,等. 关于吉林省高速公路利用紫穗槐生物护坡的探讨. 吉林交通科技,2004(1):15~16
- 5 喻支平. 播种紫穗槐结合喷播植草在铁路护坡工程中的应用. 铁路标准设计,2004(2):48~49
- 6 刘向东. 秦沈客运专线路基边坡植被防护设计与施工技术. 岩土工程技术,2002(1):60~62
- 7 史志嵩,张 韬. 兰州地区无灌溉荒山柠条直播造林技术. 甘肃农业科技,2002(3):51~53
- 8 邹天福,陈 刚,等. 神延铁路风沙路基植物护坡试验初报. 甘肃林业科技,2002,27(4):45~47
- 9 吴钦孝,丁汉福,等. 黄土丘陵半干旱地区根条根系的研究. 水土保持通报,1989(3):45~49

收稿日期:2005-07-04