

郑西客运专线黄土路堑高边坡植被防护技术

武小菲,王 强

(西南交通大学土木工程学院,四川 成都 610031)

摘要:以郑西客运专线 DK297+183 至 DK298+420 的黄土路堑高边坡为试验段,探讨了采用工程防护与植被防护相结合的方法对黄土路堑高边坡进行防护的可行性,从边坡稳定和坡面植被根系特性两个方面分析了黄土路堑高边坡的适宜坡型,在此基础上进行了植被防护试验。试验结果表明,采用合理坡型,在坡面形成适宜植物生长的土壤环境,并进行植物的合理配置,该植被防护技术可应用于黄土路堑高边坡的防护且有利于植被恢复。

关键词:黄土;路堑高边坡;植被防护;植物配置模式;郑西客运专线

中图分类号:U213.1⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)04-0057-04

Protection technology of loess cutting high slope in Zhengxi passenger dedicated line//WU Xiaofei, WANG Qiang
(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: By selecting the loess cutting high slope in Zhengxi passenger dedicated line DK297+183 to DK298+420 as a test section, the feasibility of using comprehensive measures combining engineering protection with vegetation protection in protection of loess cutting high slope was discussed. The slope types were analyzed according to slope stability and root characteristics of slope vegetation, and then the vegetation protection field tests were carried out. Tests results show that, the soil environment suitable to vegetation planting can be formed on the slope surface with adoption of suitable slope type, and the vegetation protection technology can be used in protection and revegetation of loess cutting high slopes on the basis of appropriate plant arrangement.

Key words: loess; cutting high slope; vegetation protection; plant arrangement mode; Zhengxi passenger dedicated line

郑州至西安的客运专线(郑西客运专线)大部分都穿越黄土地区,在黄土丘陵沟壑地区修建铁路不可避免会产生大量路堑高边坡,合理设计黄土路堑高边坡的坡型及防护形式,对路基的稳定具有重要意义。

一直以来,我国铁路、公路等部门主要根据现行规范结合工程类比法进行黄土地区的边坡设计^[1-2],设计的黄土路堑高边坡多为窄平台、陡边坡的阶梯式,其工程投资省,但稳定性较差,使用寿命较短,坡面因容易剥落而出现小型坍塌,影响边坡稳定,坡面凹凸不平也影响路容美观。客运专线最突出的特点是高速度、高安全和高舒适,这对边坡的稳定和景观提出了更高要求。但是传统的窄平台、陡边坡的坡型很可能在运营期内出现剥落、坍塌等病害^[3],因此以往的黄土路堑高边坡设计形式不能很好地适应郑西客运专线对边坡安全和景观的要求。

植被通过根系的作用可以提高土体的强度和边坡稳定性^[4-6],植被护坡作为一项新型的边坡防护技

术已在国内多个地区获得广泛运用,虽然在黄土地区应用还不够成熟,但这无疑是一项很有发展前景的边坡防护技术。基于此,本文以郑西客运专线 DK297+183 至 DK298+420 的黄土路堑高边坡为试验段,在综合考虑边坡稳定及坡面植被根系特征的基础上探讨黄土路堑高边坡的适宜坡型和植被防护技术。

1 试验段概况

郑西客运专线 DK297+183 至 DK298+420 试验段属黄河二级阶地,地势西高东低,高程 370 ~ 430 m。本段客运线路多位于第四系砂质黄土层中,对边坡开挖有影响的主要地层包括:

2-1 层:松软土,灰黄色,松散,稍湿 ~ 潮湿,含少量蜗牛壳化石,具自重湿陷性,湿陷等级 II 级。层厚 4 ~ 6m,属 II 级普通土。

2-2 层:灰黄、黄褐色,稍密,稍湿 ~ 潮湿,局部为黏质黄土,含少量钙质结核及蜗牛壳化石,具自重

湿陷性,湿陷等级Ⅱ~Ⅳ级。层厚20~30m,属Ⅱ级普通土。

2-3层:灰黄、黄褐色,局部为黏质黄土,稍密~密实,含少量钙质结核及蜗牛壳化石,无湿陷性。层厚大于20m,属Ⅱ级普通土。

黄土成分以粉粒为主,质地均匀,结构疏松,孔隙比大,肉眼可见的大孔隙具有高压缩性,遇水易崩解或产生湿陷。地表以下25~35m范围的黄土多具中等~很严重自重湿陷性,自重湿陷系数 $\delta_{zs}=0.015\sim0.11$,试验压力为200kPa时,湿陷系数 $\delta_s=0.015\sim0.12$,试验压力为300kPa时,湿陷系数 $\delta_s=0.015\sim0.14$,自重湿陷量 $\Delta_{zs}=70\sim631$ mm,湿陷量 $\Delta_s=300\sim1\,098$ mm。

2 边坡适宜坡型

在确定边坡防护形式之前,需要先确定黄土路堑高边坡的适宜坡型。选择边坡适宜坡型需要考虑两方面的因素:一是应保证边坡在施工期和运营期的稳定,边坡坡体不会对路基产生不利影响;二是在坡面易于建植植被。

2.1 考虑路基边坡稳定的适宜坡型

选取试验段的DK298+386断面作为典型计算断面,首先采用二维有限元分析软件Phase2分析该断面在不同设计坡型时的边坡开挖变形规律以及在雨水作用下产生的坡体湿陷变形对路基的影响,初步筛选出几种较适宜的边坡坡型;在此基础上再比较所选坡型的整体稳定性和局部稳定性,进而确定最优坡型。边坡计算断面如图1所示,地层土体计算参数如表1所示。

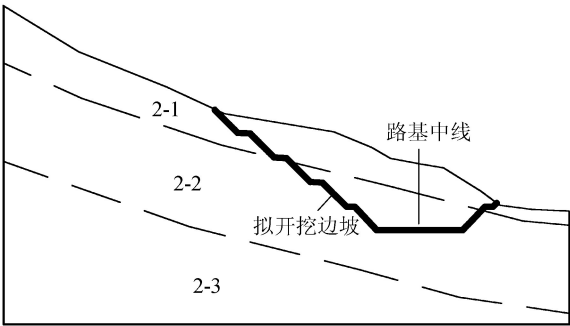


图1 边坡计算断面

表1 地层土体计算参数

地层	密度/ (g·cm ⁻³)	弹性模量/ MPa	黏聚力/kPa	内摩擦角/ (°)
2-1	1.50	30	11.7	26.8
2-2	1.50	36	12.7	27.0
2-3	1.74	50	15.5	27.8

考虑不同的设计坡型,分别建立计算模型。在建立计算模型时,原始坡面线、地层界线和开挖路基

面的位置始终固定,只改变坡型(即开挖线)。计算中设计坡型的主要参数如下:单级坡高为5m、6m、8m;平台宽度为2m、3m、4m;坡比为1:1.25、1:1、1:0.75、1:0.5,共计算36种坡型。

计算工况包括开挖工况、强夯工况和湿陷工况3种。开挖工况主要分析在边坡开挖施工过程中产生的坡体变形;强夯工况主要分析黄土地基强夯处理施工对坡体变形的影响;湿陷工况则是用来分析坡体饱水后的湿陷变形及对路基的影响。强夯通过在路基面施加一定量的线荷载来近似模拟,黄土湿陷采用弹性模量折减法来计算。

根据计算结果,为控制边坡开挖施工引起的坡体变形,边坡的单级坡高宜为6~8m,平台宽度宜为2~3m;为控制地基强夯施工产生的坡体变形,边坡的单级坡高宜为5~6m,坡比1:1.25~1:1;为减小黄土湿陷造成的坡体变形,单级坡高宜为5m或8m,坡比1:1.25~1:1。

综合考虑施工因素和地形条件,初选的边坡适宜坡型为单级坡高6~8m,平台宽度2~3m,坡比1:1.25~1:1。在此基础上,重点分析了8种坡型的边坡安全系数,计算结果如表2所示。由此可确定方案8的边坡整体安全系数和2-1层的安全系数均较高,为试验段路堑高边坡的最优坡型。

表2 不同坡型的边坡安全系数

方案	坡型			边坡整体 安全系数	2-1层的 安全系数
	单级 坡高/m	平台 宽度/m	坡比		
1	6	2	1:1	1.081	1.409
2	6	3	1:1	1.107	1.300
3	8	3	1:1	1.088	1.335
4	8	2	1:1	1.053	1.346
5	8	2	1:1.25	1.120	1.322
6	8	3	1:1.25	1.153	1.308
7	6	2	1:1	1.105	1.296
8	6	3	1:1	1.155	1.348
	6	3	1:1.25		

2.2 考虑坡面建植植被的适宜坡型

山寺喜成等^[7]对边坡坡度与植物根系的延伸做了较深入的研究,他认为生长在坡面上的草本植物的根系往往向坡面下方延伸,几乎不向坡面土层深处延伸,当坡面变陡、坡度增大时,根系分布层变薄,即使在坡面土壤疏松、有利于根系侵入的良好条件下,仍会发生根系向坡面下方延伸的现象。因此,当边坡坡度过陡时,草本植物难以长期稳定地定居于坡面。与草本植物的根系特征不同,木本植物的根系虽然也随坡度而变化,但当坡面变陡时,根系向山坡内侧延伸;而且一旦根系先端部位形成风化土

层,就有根系向其内部延伸,因此,木本植物群落具有较强的固定坡面、风化土层的功能,能有效防止崩塌等灾害的发生。

对于黄土路堑高边坡,坡面植被也同样符合上述规律。根据对自然黄土斜坡和人工开挖的黄土边坡坡面植被生长状况的调研,边坡坡比大于1:0.5时,坡面草本植物生长不良,边坡开挖数十年后,在自然环境下坡面植被仍难以恢复,即使采用人工方法快速恢复植被,草本植物也会很快退化、死亡,如西安—铜川、铜川—黄陵、运城—三门峡等高速公路的黄土路堑陡边坡的植被恢复结果即是如此。边坡较缓时,随着时间的增长,草本植物会逐渐侵入黄土坡面并定居繁衍,形成稳定的植物群落,图2为陇海铁路黄土路堑高边坡自然恢复的植被,坡比1:1,目前坡面已形成较好的草灌植物群落。



图2 黄土路堑高边坡自然恢复的植被

同草本植物相比,木本植物的适应性更强。随着时间的增长,在自然环境下木本植物可以定居于较陡坡面。相对于黄土陡边坡,黄土边坡较缓则木本植物的生长更良好,更容易快速地完全覆盖坡面,起到边坡防护的作用。图3所示的是坡比为1:1.25的黄土路堑高边坡,坡面栽植的紫穗槐长势良好,边坡防护效果非常明显。因此,从有利于坡面植被生长、快速起到边坡防护作用的角度考虑,黄土边坡的坡比不宜大于1:1。



图3 黄土路堑高边坡人工栽植的紫穗槐

3 边坡防护原则

郑西客运专线黄土路堑高边坡的防护设计应坚持人与自然相和谐、尊重自然、安全至上、保护环境

的理念。根据对黄土路堑高边坡适宜坡型的分析并考虑恢复坡面植被、美化路域景观的要求,郑西客运专线黄土路堑高边坡的防护应遵循以下原则:

a. 宽平台、缓边坡的坡型设计原则。虽然黄土具有较强的自稳性,窄平台、陡边坡的坡型可以满足稳定的要求,但是对于边坡的长期稳定性不利,尤其是对安全性要求极高的客运专线更具有潜在的风险,另外,陡边坡也不利于坡面植被的快速恢复。

b. 工程防护与植被防护相结合的原则。在自然环境中,浆砌片石或喷射混凝土等防护工程与周边自然环境很不协调,应尽量避免采用。在保证边坡稳定、满足安全要求的前提下,应从环境保护、视觉效果等方面选择防护措施,条件允许时可优先考虑植被防护。

c. 协调、自然的原则。尽量避免采用连续的大面积护面墙,应充分考虑铁路、沿线景观与防护措施之间的协调、自然以及防护措施自身的协调、自然。

d. 边坡应具有完善的排水系统原则。边坡所在地区降雨集中,边坡必须设置浆砌片石截水骨架,以分散和截排坡面水流,避免坡面集中水流冲蚀边坡。

e. 灌草结合、因地制宜的植被防护原则。灌草植物群落是恢复植被的最佳植物配置模式,根据气候条件及黄土特性,植被护坡以灌木为主,结合喷播植草、喷射种植基材植草并适当引入乡土植物种等使草、灌得到有机结合,形成稳定的植物群落。

f. 草本喷播、灌木幼苗移植的植物建植原则。草本和木本植物种子进行混合喷播虽然施工简单,但草种一般发芽时间短,初期生长迅速;而木本植物发芽时间长,初期生长缓慢,在水分、养分、生长空间等方面无法同草本植物竞争,很难在坡面存下来。因此坡面植物的建植宜遵循草本喷播、适宜季节移植灌木幼苗的原则。

g. 客土改良原则。开挖形成的黄土边坡,表层黄土贫瘠,保水性差,因此需要在黄土边坡表层覆一层改良的客土,以提供适宜边坡植物生长的土壤环境。

基于以上原则,提出试验段黄土路堑高边坡的防护方法,如图4所示。为保证黄土路堑高边坡的

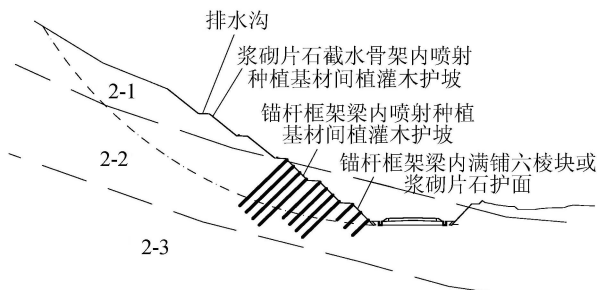


图4 黄土路堑高边坡植被防护设计

整体稳定,1级边坡采用锚杆框架内满铺六棱块或浆砌片石护面;2、3级边坡采用锚杆框架梁加固形式,在锚杆框架梁内喷射种植基材间植灌木护坡;4级以上边坡采用浆砌片石截水骨架内喷射种植基材间植灌木护坡。为防止降雨对坡面的冲刷,坡面锚杆框架及浆砌片石截水骨架应做成截水型,平台设置排水沟。

4 植被防护试验

边坡植被防护试验于2008年6月开始进行。喷射的种植基材配比为:砂质黄土80%(体积分数),泥炭土20%(体积分数),保水剂100 g/m²,团粒剂100 g/m²,复合肥50 g/m²。试验段左侧路堑边坡为阴向坡,右侧路堑边坡为阳向坡。阴向坡和阳向坡的植被防护试验均采用两种植物配置模式。

a. 阴向坡植被防护试验。①草本植物以紫花苜蓿和高羊茅为主,用量为5 g/m²,波斯菊适量,作为点缀,喷播施工;②草本植物以紫花苜蓿和狗尾草为主,紫花苜蓿用量4 g/m²,狗尾草用量6 g/m²,波斯菊适量,作为点缀,喷播施工。

b. 阳向坡植被防护试验。①草本植物以狗尾草为主,狗牙根、紫花苜蓿为辅,狗尾草用量8 g/m²,狗牙根用量1 g/m²,紫花苜蓿用量1 g/m²;②草本植物以狗牙根为主,紫花苜蓿为辅,狗牙根用量5 g/m²,紫花苜蓿用量2 g/m²,孔雀草适量,作为点缀,喷播施工。

灌木选用紫穗槐幼苗,苗高不低于25 cm,按1 m间距栽植于坡面。图5为施工1 a后阴向坡和阳向坡的坡面植被长势,照片拍摄于2009年7月。因阴向坡采用的植物主要为冷季型的紫花苜蓿和高羊茅,所以在炎热的夏天坡面植被覆盖略差。而阳面以暖季型的狗牙根为主,且应用了较多本地的狗尾



(a) 阴向坡



(b) 阳向坡

图5 施工1 a后坡面植被长势

草,因此,坡面植被效果良好。目前,本试验段黄土路堑高边坡的植物防护工程已历经4 a,在粗放管理的条件下坡面多样性的植物群落已形成,并逐渐与周边植被相融合。

5 结 语

本文以郑西客运专线DK297+183至DK298+420的黄土路堑高边坡为试验段,探讨了采用工程防护与植物防护相结合的方法对黄土路堑高边坡进行综合防护的可行性,从边坡稳定和坡面建植植被根系特性两个方面考虑,确定采用的宽平台、缓边坡的坡型是合理的。植被防护试验结果表明,采用适宜边坡坡型,在坡面形成适宜植物生长的土壤环境,并进行植物的合理配置,该植被防护技术可应用于黄土路堑高边坡的防护且有利于植被快速恢复。

参考文献:

[1] JTGD 30—2004 公路路基设计规范[S].
[2] TB 10035—2002 铁路特殊路基设计规范[S].
[3] 叶万军,折学森,方鹏. 黄土路堑边坡剥落病害发育规律研究[J]. 公路,2010(4):172-174. (YE Wanjun, SHE Xuesen, FANG Peng. A study on development laws of surface spalling hazard of loess cutting slope[J]. Highway, 2010(4):172-174. (in Chinese))
[4] WU T H, MCKINNEL W P, SWANSTON D N. Strength of tree roots and landslides on prince of wales island, Alaska [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1979, 16(1):19-33.
[5] SHEWBRIDGE S E, SITAR N. Deformation characteristics of reinforced sand in direct shear [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(8):1134-1147.
[6] ABE K, ZIEMER R R. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress [J]. Canadian Journal Forest Research, 1991, 21(7):1012-1019.
[7] 山寺喜成, 安保昭, 吉田宽. 恢复自然环境绿化工程概论:坡面绿化基础与模式设计[M]. 罗晶, 张学培, 曾大林, 等, 译. 北京: 中国科学技术出版社, 1997.

(收稿日期:2012-10-10 编辑:周红梅)

