

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.06.05

不同类型植被根系对边坡表层的加固效果研究

戴尚荣

(江西省上饶市水利科学研究所,江西 上饶 344000)

摘要: 植被根系固坡技术已经在边坡防护工程,尤其边坡表层防护得到广泛应用,但是目前关于植被固坡的理论研究却滞后于工程实践的应用. 为了对不同类型植被固坡效果有更加清晰的认识,本文在建立不同类型植被(草地、灌木、成长树木、成熟树木)根系附加力学权重表的基础上,采用数值模拟手段对不同植被的在不同边坡尺寸和坡度下根系固坡效果进行分析和探讨. 结果表明:成熟树木由于根系较深且表层附加力较大,在同等条件下,斜坡的安全系数最大、成长树木和灌木次之、草地的安全系数最小;此外,随着边坡角度和边坡基本尺寸的增大,4种植物的斜坡安全系数均呈现降低的趋势.

关键词: 植被根系;固坡;加固效果;边坡尺寸

中图分类号: TV861 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2018)06-0409-06

0 引言

随着我国基础建设的快速发展,在道路、水电、城镇等基础建设中产生了大量的裸露人工边坡。尤其在降雨频繁的地区,雨水入渗和冲刷不断降低斜坡的抗滑力(抗剪力),当斜坡的下滑力超过其抗滑力时,斜坡将发生失稳^[1-3]。因此,提高斜坡抗滑力是保持斜坡稳定的关键,目前提高抗滑力主要措施是修筑支挡结构,如抗滑桩等^[4];同时在斜坡表面进行防护来防止雨水入渗降低土体的抗剪力。对于斜坡表层的防护,虽然有干砌块石护坡和浆砌块石护坡等手段,但这些人工防护随着岩石风化和混凝土的老化,其防护效应会大大降低,并不能持久^[5,6]。为了对斜坡方面进行防护并兼顾生态环境,生态护坡(植被根系护坡)被提了出来^[7]。

植被根系固坡是近30年提出,并有越来越多的学者展开此方面的研究,如 Riestenberg, Waldron, 李绍才等^[7-9]对植被加固边坡的机理,如基质作用、植被功能等方面进行分析和探讨;Frydman 等通过室内试验明确植被根系对坡体具有明显的加固作用^[10];赵志明,刘川顺等通过数值模拟手段对植被固坡进行了分析研究^[11,12];蒋德松、杨玉田、Gaillard,等^[13-15]依托于工程实践对植被固坡进行实践分析,并得出植被对坡体的稳定性具有较为明显的影响等。但目前边坡植被的主要

应用是防风固沙、防止水土流失和美化自然环境等,而在植被根系加固边坡方面的认识仍然很少^[16-18],若要深入的洞悉植被固坡的内在机理和相关因素对其的影响,仍需要大量的相关研究。

本文为了可以对植被固坡的更多相关因素进行研究分析,首先分析植被的加固机理,根据国内外的相关研究成果,建立不同植被(草地、灌木、成长树木、成熟树木)根系附加粘聚力权重表,分析不同植被的加固效果,然后建立不同边坡尺寸下不同植被对边坡的加固模型,分析在不同边坡尺寸(边坡坡度、边坡大小,见图1)下不同植被的加固效果。希望可以为植被固坡方面的研究提供部分借鉴和参考。

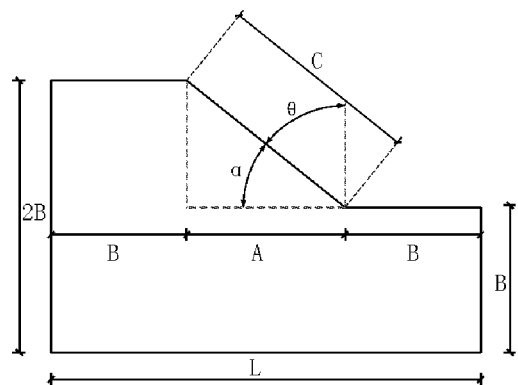


图1 边坡模型和边坡尺寸参数

收稿日期:2018-09-28

作者简介:戴尚荣(1976-),男,大学本科,助理工程师。

1 植被加固机理及计算模型

1.1 植被加固斜坡机理

根据 Wu 等^[19]人研究结论:植被根系深入坡体(见图2),可以明显提高土体的粘聚力,而增加坡体的抗剪能力,提出植被根系附加土体粘聚力 C_R 的力学公式:

$$C_R = t_R(\cos \theta \tan \varphi' + \sin \theta) \quad (1)$$

式中: t_R 为单位面积土体的根系平均抗拉强度; θ 为根须剪切转向角; φ' 为土体的内摩擦角。

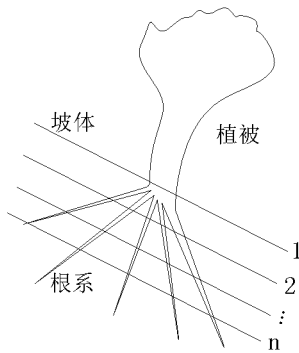
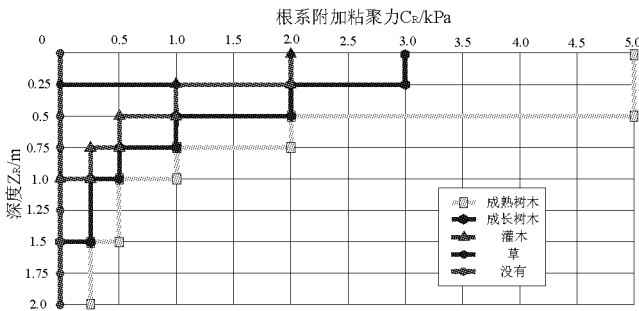


图2 植被根系对坡体的加固作用

表1 不同植被根系附加粘聚力权重表



但是随着植被根系深入土体的程度,其附加的粘聚力大小也产生不同差异,根据 Wu 等^[19,20]人对此进行较为系统的研究,分出不同植被根系附加力粘结公式, Kokutse 等^[21]人对此进行进一步的分布研究,同前期的试验得出根系在不同深度处(0 ~ 0.25 m, 0.25 ~ 0.50 m, 0.50 ~ 0.75 m, 0.75 ~ 1.00 m, 1.00 ~ 1.50 m, 1.50 ~ 2.00 m, > 2.00 m)附加粘聚力的变化规律;同时, Schmidt 等人^[22]通过现场的原位实验,得出:草根系的有效深度一般在 30 cm 以内,灌木的有效根系可达到 1.00 m,成长的树木在 1.50 ~ 2.00 m 之间,而成熟的树木一般均超过 2.00 m。根据以上的研究成果,建立不同植被根系附加粘聚力权重表(见表1)。

1.2 计算模型

边坡的基本模型见图1,其中 α 为边坡的坡度, A 为边坡的坡度水平长度, B 为边坡的基本长度。为了可以对边坡的尺寸效应及对土拱效应的影响进行分析,边坡的坡度 α 和边坡的基本尺寸 B 作为基本变量,其中边坡坡度 $\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$, 边坡基本尺寸 $B = 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}$ 。边坡的基本力学参数(没有植被加固)见表2。

表2 边坡的基本力学参数

密度 / (kg/m ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比	内摩擦角 / (°)	粘聚力 / kPa
1 600	20	0.25	20	2

根据建立的不同植被根系附加粘聚力权重表(见表1),不同植被根系固坡的影响就转化为不同层次坡体粘聚力的增加值。为了可以更好的分析植被附加粘聚力的影响和符合它在不同深度处的附加粘聚力值,我们建立如图3所示的边坡模型,整个边坡模型被分成7个分层(0 ~ 0.25 m, 0.25 ~ 0.50 m, 0.50 ~ 0.75 m, 0.75 ~ 1.00 m, 1.00 ~ 1.50 m, 1.50 ~ 2.00 m, 2.00 m ~ 无根须区域),然后每个分层根据不同附加粘聚力进行相关参数的赋值。草地和灌木由于其自重对边坡稳定影响较小,本文故忽略其重量,但成长树木和成熟树木自重较大不可忽略,根据 Nutalaya 和 Medicus 等^[23,24]人的研究结论:成长树木和成熟树木的附加应力取 600 Pa。

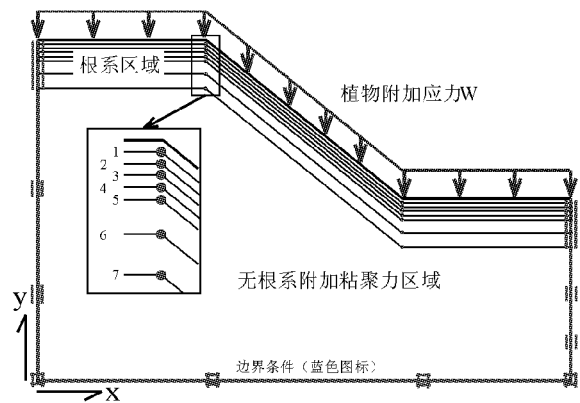


图3 边坡分层模型

本文采用 FLAC 软件对其进行分析研究,采用 mohr - coulomb 强度准则,为了可以对不同植被对边坡的加固效果进行较为明显的分析,本文采用强度折减法求取每种情况下的安全系数,通过对安全系数的分析来评判

不同植被在不同边坡尺寸条件下的加固效果。

2 结果分析

2.1 不同植被对边坡安全性的影响

为了可以对植被对边坡的加固效果有非常直观的认识,如图4所示为不同植被在不同边坡尺寸 B 和坡度 α 下的平均安全系数增长率。

从图4可知,不同类型的植被的边坡安全系数的增长率有明显的差异,其中成熟树木的对边坡的安全系数的增长率最大达到19.2%,成长树木次之达到11.3%,

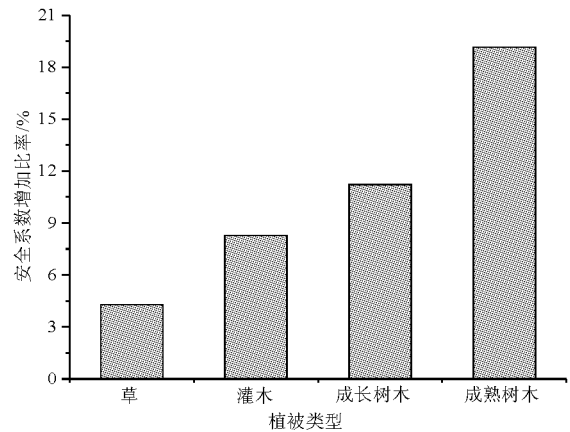


图4 不同植被的边坡安全系数增长率

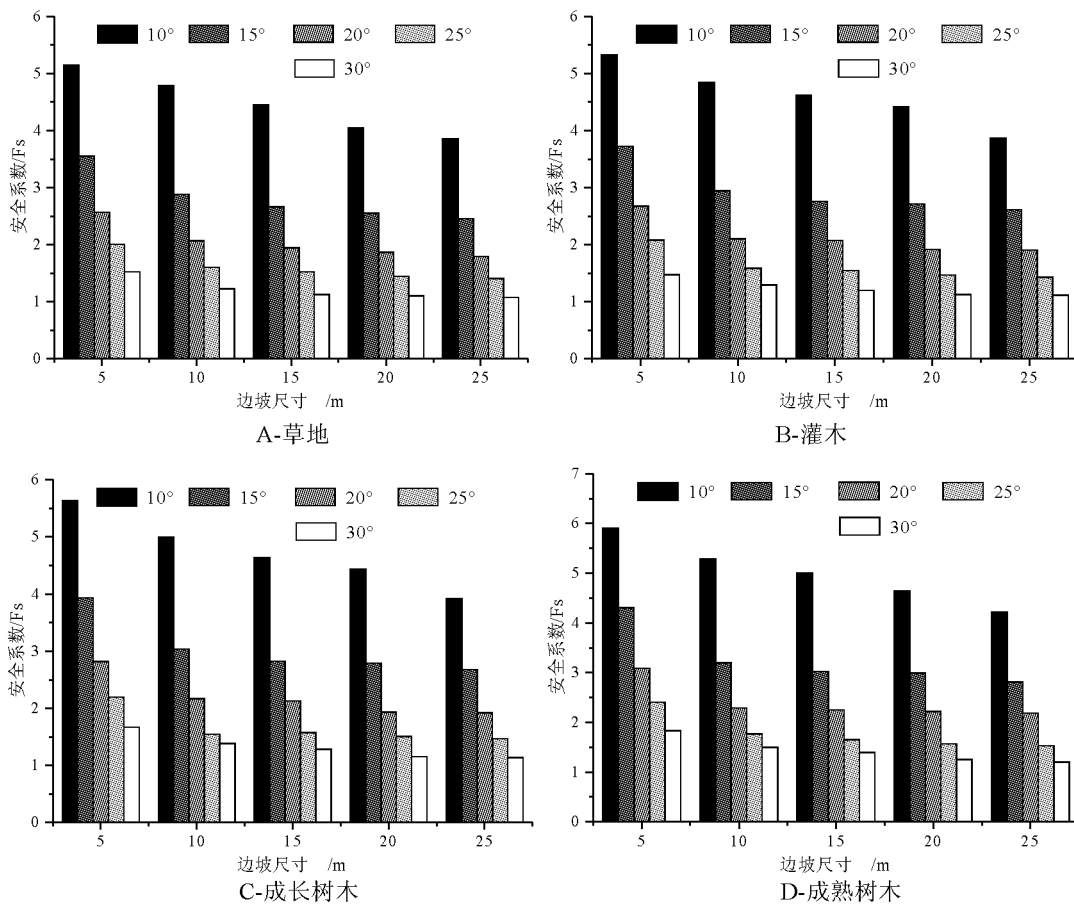


图5 不同边坡尺寸下边坡安全系数分布图

灌木为8.1%,而草对边坡安全系数的增长率最小为4.3%。这些数据表明成熟的树木由于其根系较为发达,可以很大程度提高坡体的稳定性,具有较优的固坡性能,而成长树木的根系发育程度不如成熟树木,故其固坡性能不如成熟树木,灌木和草地更是如此。

2.2 边坡尺寸对植被固坡的影响

根据前面对边坡尺寸的论述,如图5所示为在不同边坡尺寸条件下不同植被加固边坡后的安全系数分布图。

从图5可知,4种类型植被(草、灌木、成长树木、成

熟树木)随着边坡尺寸与其安全系数成负相关,即随着边坡尺寸的增大4种植被加固下的边坡的安全系数均呈现降低的趋势。坡度为10°时,随着边坡尺寸的增大,4种植被加固下的边坡安全系数大致线性降低;坡度为15°、20°、25°、30°时,随着边坡尺寸的增大,四种植被加固下的安全系数则呈现先快速降低(5.00~10.00 m),后缓慢降低(10.00~25.00 m)。在同一边坡尺寸

下,随着坡度的增大安全系数逐渐降低,其中小坡度比大坡度对安全系数的影响更为明显。

2.3 边坡角度对植被固坡的影响

选取边坡坡度为 $\alpha = 10^\circ、15^\circ、20^\circ、25^\circ、30^\circ$ 几种情况下不同植被加固边坡效果进行分析,如图6所示为不同边坡坡度条件下4种不同植被加固边坡安全系数分布图。

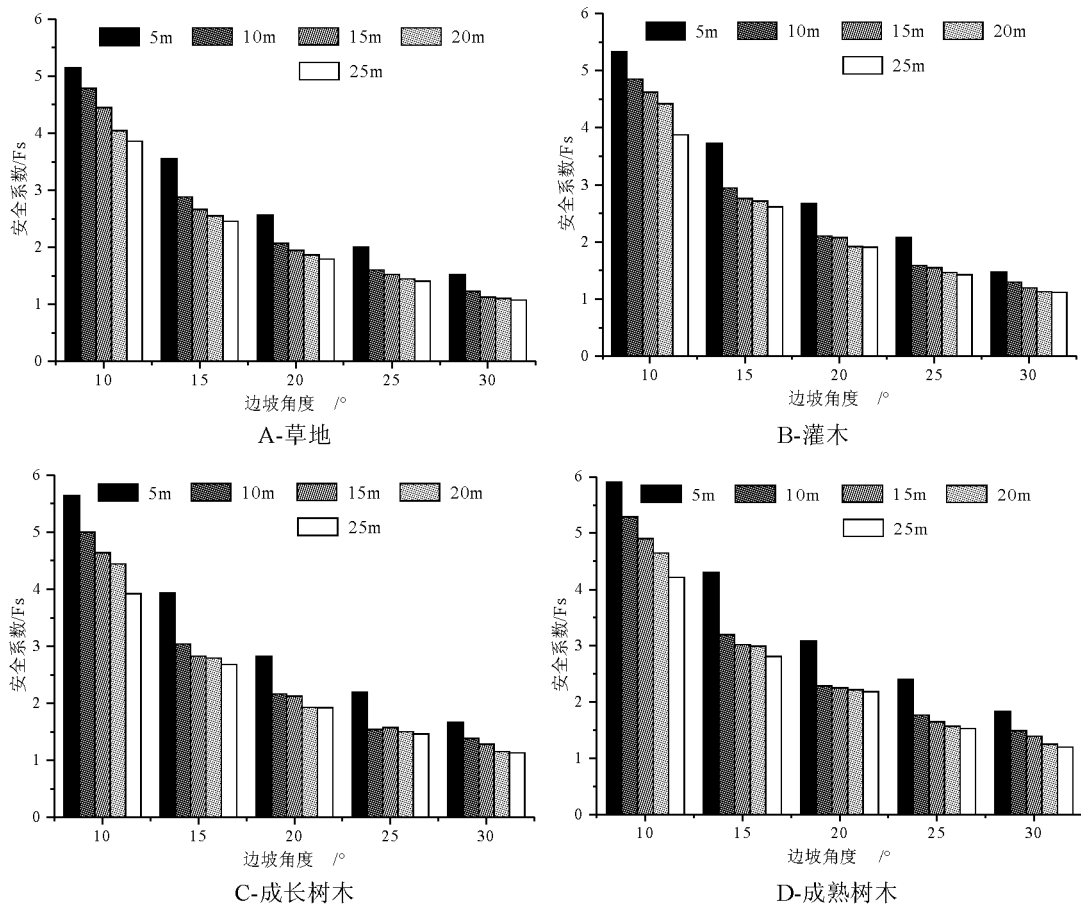


图6 不同坡度下边坡安全系数分布图

从图6可知,随着边坡坡度的增大,4种不同类型的植被(草,灌木,成长树木,成熟树木)加固边坡的安全系数均呈现负相关。在同一坡脚条件下,随着边坡角度的增大,其安全系数也呈现降低的趋势。

结合图5和图6可知,随着坡度和尺寸的增大植被固坡的效果均在降低,但是坡度对安全系数的边坡降低的斜率比尺寸的影响斜率要大,这说明边坡的坡度对植被的加固效应影响更为明显,为此建议在进行植被固坡时,尽可能的减小边坡的坡度。

2.4 植被固坡量化权重表

根据在不同边坡尺寸和不同边坡坡度条件下,4种

类型植被(草,灌木,成长树木,成熟树木)加固边坡与不进行植被防护时边坡稳定性增幅,建立不同类型植被在不同边坡尺寸和边坡坡度条件下加固增幅效果权重表,见表3。

从表3可以看出,随着坡度的增大和边坡尺寸的增大,四种植被类型的安全系数增长率逐渐增大,这是由于当坡度和尺寸较小时,不进行植被防护时的安全系数已经很大,进行植被防护的增长量相对初始安全系数较小。同时,在同一坡度和尺寸条件下,草地、灌木、成长树木、成熟的安全系数增长率也呈现增大的趋势,原因见前述分析。

为了验证本结果,本文采用 Gabet 等人的研究结果进行论证^[25], Gabet 等人对 1997 ~ 1998 年间美国加利福尼亚州 Santa 海岸的植被与滑坡数量进行统计研究,结果表明:草地覆盖的岸坡每 km² 平均有 22.9 个失稳

的斜坡,而灌木覆盖的岸坡每 km² 平均有 13.2 个失稳斜坡。Hubble 等人^[26]对澳大利亚河流边坡进行研究得出,有树木的边坡比灌木和草地处发生失稳更少。这些结果与本文的研究结论基本吻合。

表3 植被固坡增幅效果权重表

%

尺寸/m	坡度/°									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
5	2.0	5.3	2.7	7.6	3.9	9.9	3.8	7.7	4.4	8.3
	11.5	16.7	13.5	24.3	13.5	24.3	13.4	24.2	13.1	21.2
10	1.7	3.1	1.3	3.3	1.5	3.2	5.1	6.6	6.7	9.4
	6.2	12.1	6.5	14.1	6.1	16.1	7.8	17.6	14.3	23.4
15	5.1	14.3	4.1	7.9	3.1	9.6	5.5	7.2	2.3	8.9
	14.8	19.8	10.3	17.9	12.2	18.8	8.6	13.9	16.2	19.7
20	5.4	12.2	3.7	10.4	6.3	9.2	6.1	7.6	5.3	10.5
	12.9	17.8	13.3	21.4	9.6	26.1	9.8	16.7	14.5	18.7
25	3.4	3.8	4.1	8.9	5.7	11.4	6.4	8.6	7.9	12.2
	4.9	12.8	12.1	18.3	12.1	27.3	10.2	15.3	13.2	20.2

注:

草地边坡安全系数增长率	灌木边坡安全系数增长率
成长树木边坡安全系数增长率	成熟树木边坡安全系数增长率

3 结 论

对于传统表层边坡的人工防护并不能兼顾生态环境,生态防护作为一种有效技术手段被广泛应用,但是对于不同类型植被的具体加固效果却认识不足。为此,本文在此方面展开研究,结论如下:

本文主要采用 4 种不同类型的植被(草地,灌木,成长树木,成熟树木),通过现有的研究成果对其根系的附加粘聚力进行量化,建立 4 种植被根系附加粘聚力权重表。并以此为基础,通过数值模拟技术研究不同尺寸、坡度下,不同植被的加固效果(斜坡安全系数)研究。数值模拟结果表明:在其他条件相同的条件下,成熟树木的加固效果最优,成长树木次之,灌木和草地相对较弱;保持其他条件不变,增大边坡尺寸和坡度,四种植被固坡的效果均在下降,并且边坡的坡度效应对固坡效应的影响比边坡的尺寸效应要明显。最后,与裸露的斜坡相比,随着斜坡尺寸和坡度的增大,植被固坡效果越明显。

参考文献:

[1] 王恭先. 滑坡防治工程措施的国内外现状[J]. 中国地质灾害与防治

学报. 1998,9(1):1~9.
 [2] 陈仲颐,周景星,王洪瑾. 土力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.
 [3] 张天宝. 土坡稳定分析和土工建筑物的边坡设计[M]. 成都:成都科技大学出版社,1987.
 [4] 中华人民共和国国土资源部. DZ0240-2004 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
 [5] 齐甦,彭少民. 国内外滑坡防治与研究现状综述[J]. 地质勘探与安全,2003(3):16~19.
 [6] 刘世奇. 植被护坡技术及综合防护体系研究[D]. 中国科学院武汉岩土力学研究所,2004.
 [7] Riestenberg M M, Sovonickdunford S. The Role of Woody Vegetation on Stabilizing Slopes in the Cincinnati Area[J]. Geological Society of America Bulletin, 1983,94(4):506~518.
 [8] Waldron L J, Dakessian S. Soil Reinforcement by Roots; Calculation of Increased Soil Shear Resistance From Root Properties[J]. Soil Science, 1981,132(6):427~435.
 [9] 李绍才,孙海龙. 中国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势[J]. 资源科学,2004,26(z1):61~66.
 [10] Frydman S, Operstein V. The Influence Of Vegetation On Soil Strength [J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Ground Improvement, 2000,4(2):81~89.
 [11] 赵志明,吴光,王喜华. 工程边坡绿色防护机制研究[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(2):299~305.
 [12] 刘川顺,郑勇,关洪林,等. 灌木对黄土边坡的加固效应[J]. 武汉大学学报(工学版),2010,43(1):55~58.
 [13] 蒋德松,陈昌富,赵明华,等. 岩质边坡植被抗冲刷现场试验研究

- [J]. 公路工程, 2004, 29(1): 55 ~ 58.
- [14] 杨玉金, 田耀武, 郑根宝, 等. 濮鹤高速公路边坡植被生态防护效果分析[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1): 28 ~ 32.
- [15] Gaillard J C, Liamzon C C, Villanueva J D. 'Natural' disaster? A retrospect into the causes of the late - 2004 typhoon disaster in Eastern Luzon, Philippines[J]. Environmental Hazards, 2007, 7(4): 257 ~ 270.
- [16] 代宏文, 周连碧. 尾矿库边坡植被生态稳定技术研究[J]. 矿冶, 2002, 11(B07): 257 ~ 260.
- [17] 于桂芬, 吴祥云, 杨亚平, 等. 潞安矿区煤矸石山水土流失特征及植被恢复关键技术[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2011, 30(2): 244 ~ 246.
- [18] 宋法龙. 以基材-植被系统为基础的生态护坡技术研究[D]. 安徽农业大学, 2009.
- [19] Wu T. H, Mcomber R. M, Erb R. T. Study of Soil - Root Interaction[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1988, 114(12): 1351 ~ 1375.
- [20] Tien H. Wu, William P. McKinnell III, Douglas N. Swanston. Strength of Tree Roots on Prince of Wales Island, Alaska[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1979, 16(1): 19 ~ 33.
- [21] Kokutse K. N, André Guy Tranquille Temgoua TAG, Zanin Kavazovic. Slope stability and vegetation: Conceptual and numerical investigation of mechanical effects[J]. Ecological Engineering, 2016, 86: 146 ~ 153.
- [22] Schmidt KM, Roering JJ, Stock JD, Dietrich WE, Montgomery DR, Schaub T. The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2001, 38: 995 ~ 1024.
- [23] Nilaweera NS, Nutalaya P. Role of tree roots in slope stabilization[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1999, 57(4): 337 ~ 342.
- [24] Medicus G. Massenbewegungen und Vegetationsbedeckung[D]. University of Innsbruck, Innsbruck, 2009, pp. 110 (Diploma - Thesis, unpublished).
- [25] Gabet EJ, Dunne T. Landslides on coastal sage - scrub and grassland hillslopes in a severe El Nino winter: The effects of vegetation conversion on sediment delivery[J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114(8): 983 ~ 990.
- [26] Hubble TCT, Docker BB, Rutherford ID. The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: a review of Australian experience and practice[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(3): 292 ~ 304.

编辑: 张绍付

Numerical investigation of slope stability reinforced by vegetation

DAI Shangrong

(Shangrao Municipal Water Conservancy Science Institute of Jiangxi Province, Shangrao 344000, China)

Abstract: Vegetation revetment, as a useful technique, has been applied to slope engineering, especially in shallow slopes. However, the analysis of theory regarding vegetation revetment left behind the corresponding engineering practices. In order to alleviate it, this study first establishes weight table of root additional cohesion system based on current theories to analysis different types of vegetation (grass, shrubs, young forest, mature forest) 's additional cohesion with different depth of soil, and numerical method is adopted to analysis the reinforcement effect of different types of vegetation and different slope geometry parameters. The results show under same condition, the reinforcement effect of mature forest is best, second is young forest, third and fourth are shrubs and grass; with the increase of slope angle and slope length, the reinforcement effect of four types of vegetation are both showing a decrease trend.

Key words: Vegetation root; Reinforcement soil; Reinforcement effect; Slope geometry

翻译: 戴尚荣