

植物在高速公路边坡防护中的应用

王 云^{1,2}, 龙春林¹, 刘怡涛¹, 杨 德², 庾 强³, 张世俊⁴
(1. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204; 2. 云南农业大学园林园艺学院, 昆明 650201;
3. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 4. 云南省公路科学技术研究所, 昆明 650051)

摘 要: 高速公路的建设带来了一系列的生态问题。植物应用于边坡的防护和绿化是防止水土流失、改善公路生态环境、减少生境片段化、保护生物多样性的有效方法。简述了边坡防护的三种方法(工程防护、生物防护、工程结合生物防护), 重点介绍了植物在高速公路边坡防护中的作用。讨论了三种方法的适用范围, 并阐述了施工中应注意的问题以及后期管理。同时, 还提出了植物配置、景观设计中应遵守的一些原则, 以及今后的研究方向。
关键词: 植物防护; 高速公路; 边坡防护; 水土保持; 景观设计; 植物配置
中图分类号: S 157; U 412 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2005)06-0199-04

Application of Plants in Slope Protection of Expressways

WANG Yun^{1,2}, LONG Chun-lin¹, LIU Yi-tao¹, YANG De², YU Qiang³, ZHANG Shi-jun⁴
(1. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China;
2. College of Horticulture and Landscape, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
3. College of Prataculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Chian;
4. Yunnan Research Institute of Highway, Kunming 650051, China)

Abstract: The construction of expressway results in a series of ecological problems. Fencing and greening the slope of expressways with plants is believed an effective approach of erosion control and improvement of ecological environments. Three methods of slope protection (engineering protection, biological protection, and engineering together with biological protection) are briefly presented. The application of plants are emphasized in the slope protection of expressways. These three methods are discussed in terms of different physical situations on roadsides. The problems occurring in the construction are raised for attention and off-construction managements are elucidated in details. Some principles are proposed for plant participation in the road construction and landscape design. Further studies are suggested in this field.
Key words: plant fencing; expressway; slope protection; soil and water conservation; landscape design; plant association

1 引 言

公路交通是关系到人民生活需要的头等大事之一, 是经济、政治、文化等各方面发展的推动力。随着我国经济的迅速发展, 公路建设也随之上了个新台阶。截止到 2004 年年底, 我国高速公路总里程已达 3.42 万 km, 仅十几年就取得了辉煌的成绩。然而, 高速公路建设也带来了诸多问题: 占用大量土地, 造成水土流失、小气候改变、环境污染、原生生态系统遭到破坏、动植物的生存环境受到严重干扰、原有的物质信息交流被阻隔等一系列生态环境问题^[1]。总之, 公路建设很大程度上破坏了生态环境, 打破了生态平衡^[2]。
如何缓解公路建设与生态环境之间的矛盾, 减少公路对生态环境的影响, 已成为近年来高速公路建设中很重要的一

个方面。边坡是公路最脆弱的部分, 因此它的防护和绿化是公路生态建设的重点, 对公路的安全与景观都起着举足轻重的作用。
高速公路跨越的地区大多地形复杂, 土壤贫瘠, 再加上公路施工的影响, 边坡生态环境十分脆弱, 建立植被技术难度很高。由于高速公路边坡长度长、面积大, 大部分路段处在野外, 很难进行人工养护。这就要求对边坡防护方法和管理进行艰苦细致的研究, 提出边坡防护的理论方法, 利用尽量少的人力物力, 达到最佳的防护效果。另外, 公路边坡的绿化起到减轻视觉疲劳、美化环境的作用。因此, 高速公路的边坡绿化是土木工程学、植物学、生态学、园林设计等多学科交叉应用的高技术难题, 需要多学科、多部门的人员联合攻关。

* 收稿日期: 2005-03-04
基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(2002 318 767 17); 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2- SW- 117)资助
作者简介: 王云(1979-), 女, 硕士, 主要从事高速公路边坡防护与造景方面的研究。

2 概述

发达国家如日本、美国、加拿大、瑞典等国,对于公路边坡的建设与研究起步比较早,且在实践中积累了不少的经验,逐渐地改进了边坡的防护方法,停止使用一些造价高、应用范围小且不利于景观的防护方式^[3],取而代之的是多学科相结合的护坡方式,并逐渐向生态建设的方向发展,而植物防护已成为近年来公路边坡防护的主要趋势^[4,5]。多数发达国家要求在建设公路之前做大量的调查研究工作,并做出详细而完整的可行性报告,尽可能减小对当地环境的破坏作用,并且提出好的边坡防护方法^[6]。

我国在边坡防护与绿化方面的设计研究起步较晚。总体来说,在公路边坡防护与绿化设计方面还处于探索阶段。自20世纪80年代起,随着高速公路的兴起与发展,边坡的防护设计被提到议事日程上来^[7]。起初主要靠铺植草皮来防护绿化边坡,但随着时间的延续,证明效果并不理想^[8]。近几年来,我国在公路的建设上掀起了热潮,在防护与绿化设计方面的研究也层出不穷。例如,喷播技术的引进、研究与推广。在气候较湿润的南方,喷播技术显示出了优势,取得了一定的生态效应;但在气候相对干燥寒冷的北方,效果不甚理想。其它的防护技术,像三维网格植草正在实践与探索中^[9]。结合我国实情,加强对公路边坡植物防护方面的研究,其应用前景将十分广阔。

3 公路边坡的防护方法

最初的边坡防护仅仅是为了防止水土流失,防止山体滑坡,保护路基,多采用工程防护。后来人们认识到高速公路巨大的生态破坏作用,逐步采用生物防护(植物防护)。由于高速公路边坡的复杂性,在坡度过大的地方很难采用生物防护,又出现了工程结合生物防护的方法。

3.1 工程防护

工程防护主要利用堆砌混凝土、砖块或其它材料对边坡进行防护,是公路边坡防护的传统方法之一^[10]。当公路地质条件极其恶劣,不宜进行生物防护或生物防护达不到保护边坡的目的时,可采用工程防护。目前常用的方法包括:浆砌片石、干砌片石、水泥砼预制块防护等^[11,12]。其优点是能有效防止水土流失,封闭性好,坚固耐用。除了传统的防护方式,1995年由瑞士引进的SNS柔性防护系统已被逐渐推广,应用在公路、铁路等山体容易滑坡的地段,并证明有显著的效果^[13]。工程防护应因地制宜,不同的土壤性质设计不同的防护方式,石岩边坡宜采用挂网喷混凝土的方法,而土质边坡则采用浆砌片石护坡^[3]。但这些方法也有不少的缺点,如成本高、影响公路的景观与生态环境等。

一般,当坡度大于70°时,有必要采用工程防护措施对路边土壤进行辅助性加固,防止滑坡造成不必要的损失和危险。从改善景观的角度出发,可在坡头或坡底种植攀援植物,如爬山虎 *Parthenocissus tricuspidata*、扶芳藤 *Euonymus fortunei* 等进行绿化与装饰,可以改善小气候,延长工程寿命,起到边坡防护和美化景观的双重效果。

3.2 生物防护

生物防护即植物防护,是目前公路生态环境建设的主要方向和趋势,它是指利用植物群落来稳定边坡,防止其坍塌滑落,同时创造良好景观效果的一项措施。植物的植株能有

效地防止雨水直接滴溅到土壤上产生径流破坏边坡,其庞大的根系能够构成巨大的网状结构,起到很好的加固作用^[14]。

3.2.1 生物防护的优点

(1)装饰美化路域。鉴于植物的高矮、颜色和大小各不相同的特点,将不同的花草、灌木及地被植物按照一定的原则配置起来,使整个道路沿线装饰一新,既美化又保护了生态环境。植物的种类繁多,变化极为丰富,不管是颜色、姿态还是配置方式的不同,都会给道路带来不同的景观效果。另外,植物的绿色使驾车人的眼睛不易疲劳,增加了行驶的安全性。

(2)不同植物根系的配置可使边坡稳定。按照植物根系的特征设计不同的人工植物群落,利用根系的深浅及网状结构达到边坡的稳定和防护的可持续性,是生物防护的最主要优势之一。

(3)防护具有可持续性。生物体具有生命,保持水土的功效益良好,不仅能起到工程防护的作用,且植物体不断进行新陈代谢作用,使其对边坡的防护作用具有可持续性。

(4)造价低廉。与传统的工程防护相比较,植物防护的成本低廉。混植草和客土喷播的单价在100元/m²左右,而工程防护,如浆砌片石护坡和片石混凝土挡土墙等造价在200~300元/m²^[3,11]。采用播种的方式成坪,仅需一定量的草种,采用扦插方式也只不过需要一定数量的扦插小苗。而工程防护则是大面积的铺设、堆砌岩土和水泥,造价相对较高。

3.2.2 生物防护的缺点

(1)坡度过大、环境极其恶劣时,无法实施生物防护。坡度过大时,植物的根系无法克服重力的影响,难于定居^[15]。即使建植成功,也很难抵御大雨的冲刷。土壤条件极差或气候条件及其恶劣,植物也无法生长。

(2)草本植物结籽后容易死亡。多数多年生草本植物结籽后会部分死亡,从而出现裸露斑块,降低植被的防护功能。这是由于草本植物完成了其生命史,开花结籽要耗费大量营养。(3)需要后期养护管理。植物建植后,特别是苗期,植物抵御不良环境的能力比较弱,需要进行一段时间的特殊养护,如浇水、覆盖。多年生草本植物结籽后会部分死亡,需要对其进行定期修剪,防止其开花结籽。灌木植株相对高大,如果树冠过大,植株会在大风作用下对坡面产生压力,严重时可能会破坏边坡,必要时也要进行修剪。

3.2.3 生物防护实施的若干建议和应遵守的原则

(1)建植前要对地形、土壤和气候条件进行调查,确定采用生物防护的可行性。调查项目包括:坡度、土壤质地、土壤pH值、降水量、蒸发量、积温、植物种类等。综合考虑以上因素,确定一个最佳方案,写出可行性报告,并组织有关专业的专家进行论证。在以往的工作中,往往考虑的仅仅是防护效果和景观效果,而忽略了生态作用^[16]。作者建议在高速公路边坡防护中,引入生态观念,强化生态安全意识,让生态学家、植物学家参与可行性报告的评审。

(2)一般坡度小于45°都可采用生物防护方法。但是地质、土壤条件不同,边坡的稳定性也不相同,当边坡稳定性很差时,大于40°就要采用一些工程的方法辅助加固。

(3)根据当地的综合情况,采用合适的植物或植物组合,尽量采用本地种,慎用外来种^[17,18]。公路边坡的绿化工程通常有公路建设部门或园林绿化部门完成,在植物的选择上主要考虑的是美化效果、适应性、价格等因素,因此多采用外来

种。但是, 研究发现, 外来种会带来一系列的生态恶果, 宏观上造成了生物多样性的丧失, 破坏了完整的生态体系和景观的自然性与完整性, 微观上改变了土壤中有效成分的含量, 如含 N 量、含盐量及含水量等^[19~22]。气候、土壤条件相似的区域, 可采用相同或相近的植物组合。例如, 很多研究证明香根草保持水土的效果较好, 已经在南方不少高速公路和城市建设中应用^[23~29]。

(4) 注意后期的养护, 特别是苗期的养护。目前对边坡的防护普遍存在注重建设而忽视养护管理的现象^[4], 虽然投入了大量的人力物力进行边坡防护工程的建设, 实际存活的植物较少, 防护效果较差。植物苗期抵抗不良环境的能力较弱, 为保证其成活, 更要注重养护管理。

养护管理措施包括: 浇水、修剪、施肥、病虫害防治等。植物苗期或特别干旱的气候下有必要动用喷水车辆灌溉边坡, 保证植物的成活率。多年生草本植物在结籽后会部分死亡, 严重影响边坡防护植被的寿命和防护效果, 而定时修剪可有效防止其抽穗开花。另外, 如果植物个体太大, 也会增大对边的压力, 容易滑坡。坡修剪下来的植物是较好的饲料, 可谓一举两得。在牧区, 也可以采取适当放牧的方法。

(5) 在降水量大, 暴雨较多的地区, 设置良好的排水系统, 有效减小雨水对边坡的冲刷。尤其是在坡度较大, 防护难度大的地方, 大部分雨水沿排水系统流下会大大降低雨水冲刷造成水土流失和山体滑坡的可能性。

3.2.4 生物防护的方式

(1) 铺草皮护坡。当建植时间不适宜采用播种和栽植的方式进行, 或环境条件比较恶劣, 采用种子和栽植方式建植很难成活, 或工期紧张时, 一般采用铺草皮的方法进行护坡。它具有成坪时间短、护坡功能见效快、施工季节限制少等的优点。但是, 如果大量使用草皮, 会带走耕地里大量的土壤, 使大量农田变成不毛之地。不过, 如果采用无土栽培技术进行草皮繁殖, 可有效解决这一问题。其缺点是代价太高。孙吉雄等人发明了网草皮, 是介于二者之间的较实用的方法。采用草皮进行建植, 要特别注意建植后的压实, 务必使草皮与土壤结合良好。

(2) 植生带护坡。植生带是把草种、肥料、保水剂等按一定的密度定植在可自然降解的无纺布或其它材料上, 经过机器的按压和针刺的复合定位工序制作而成的带状的复合体。它是介于直播、喷播和草皮繁殖之间的一种植物繁殖方式。采用植生带建植, 种子分布均匀, 水分和营养条件优于直播, 体积小, 重量轻, 比草皮易于运输。施工时要特别注意植生带的固定和覆土, 最好建植后进行灌溉或根据天气情况选择降雨前施工。

(3) 直接播种、栽植和喷播建植。当坡度较小, 土壤和气候条件较好时, 可采用直接播种、栽植或喷播的方式建植。由于公路边坡地形复杂, 面积大, 如果有条件可用喷播完全替代直播。对于较长较陡的边坡, 可将开采面设计为阶梯状^[7], 将长坡化为短坡, 减小护坡压力。在较干旱的地区, 阶梯面可以设计成外高内低的形式, 以利于保存雨水, 或采用打穴的方式, 人为地为植物创造一个良好的微环境。

(4) 三维植被网护坡。采用三维植被网护坡使植物的根系与网格紧密的结合在一起, 具有施工简易, 经济实惠, 坡面植被覆盖率高, 固土作用强等优点^[30~34]。实验证明, 三维植被网在坡度大于 60° 时比其他防护措施的效果更好, 而且可

以经受住暴雨的袭击^[30,31]。当然, 施工前后要进行细致的工作才能使三维植被网护坡发挥最大的优势, 如: 前期平整坡面, 选择适当的填充物, 干旱季节及时浇水, 根据植物生长情况撤去覆盖物等^[31]。

3.3 工程防护与生物防护相结合

从防护与景观两个方面考虑, 一般当坡度大于 45° 小于 70° 要采用工程防护与生物防护相结合的方法。首先, 边坡的坡度决定了防护具有相当的难度, 单纯靠植物防护往往不易成功。结合工程防护则使公路边坡的土壤牢固地附着在工程材料上, 而不会轻易地脱落滑坡。目前, 用工程分割边坡的形状越来越多, 有拱形、菱形等, 形状与大小及使用材料应根据当地的实际情况来决定, 坡度大、土壤疏松的地区应缩小分隔的空间, 并采用坚固耐用的材料。若当地的土壤条件极差, 则应用土壤改良剂对其进行改良, 把影响植物生长的因素降到最低。还可以在边坡上打孔植草, 也能起到一定的防护作用。

就边坡防护方法的研究来看, 不应停留在单纯的工程防护或生物学防护方法上, 应将两者有机的结合起来, 发挥其各自的长处, 避免其缺点, 达到优势互补。这样既节省了经费, 又美化了环境, 还可维护生态平衡。就边坡植物的配置方式来看, 应根据公路的地段、坡向及周围的自然环境, 将各种配置方式有机的结合起来, 以使公路边坡的绿化设计达到艺术性、实用性、有效性的完美结合。

4 公路边坡的景观设计

边坡绿化设计是运用生物(主要是植物), 通过一定的配置方式使道路边坡的环境具有良好的景观效果。高速公路的景观设计要把安全因素放在首要位置, 美学效果也是其中的一个重要方面。设计前应选择一条合理的线路, 选线的好坏将直接关系高速公路设计的成败^[35]。选线的原则应首先考虑行驶的安全问题, 即公路的线形是直线与弯曲适当结合, 避免过于单调的一成不变的直线, 也不要设计角度过大的弯; 其次, 选线还应该把生态因素充分的考虑进去, 减少公路施工对自然资源的破坏程度; 再次, 应该把路线选择在地质条件相对良好的区域, 否则, 既造成了高填深挖, 加大工程量, 又增加了边坡防护的难度。

就植物的配置方式来说, 设计形式多种多样, 有块状配置、水平配置、竖直配置等, 不同的坡面, 不同的立地条件, 设计的方式也截然不同, 但总的原则是规则整齐, 且富于变化。车辆在运行中, 司机及过路人的视野是平行于地面的, 所以植物的配置方式应尽量与道路平行, 这样给行车人的感觉更为舒适。此外, 公路边坡植物的配置应尽量与周围景观融为一体, 与自然和谐, 避免造成大的反差, 给人眼花缭乱的视觉。高速公路景观设计的基本原则是: 与公路周边景观的协调性, 景观的变化与统一的相关性^[35]等。植物的配置还要充分考虑季节的变化。在四季分明的北方, 公路边坡植物的配置应满足四季常青的要求, 而不能春夏季节植物郁郁葱葱, 而秋冬季节显现出一派衰败的景象。在落叶树种落叶之时, 应有取代该树种的植物来装饰边坡。

5 讨 论

以上就公路的边坡防护与绿化设计从边坡防护方法、绿化设计过程中植物的选择、植物的配置、配置后的管理方法

等几方面进行了讨论。鉴于目前社会经济的迅速发展,高速公路的大规模扩建,加强公路边坡防护与绿化设计方面的应用与研究是与国家、社会的发展乃至人们的生活息息相关的一项重要事业。为此,就公路边坡防护与绿化设计来说,今后应在以下几方面开展更多的研究。

(1) 与植物学家、生态学家合作,按植被特征将全国分为若干个区域,研究各个区域适宜做边坡防护的植物种类,列出植物名录,为工程实施提供高水平的理论指导。

(2) 降低公路对生态系统的负面影响。目前,高速公路对生态环境的破坏还没有受到人们的高度重视,国内对公路生态的研究也甚少。积极向西方发达国家学习先进的技术,努

力将公路对生态环境的破坏降到最低是我们研究的主要方向。

(3) 为保证植物的存活率,应研究一套切实可行的后期管理模式。

(4) 研究干旱地区边坡的生态防护策略。干旱地区降水很少,可供选择的植物种类较少,而能直接用于边坡防护的种类就更少了。加强这一区域可供边坡防护的植物种类筛选或适宜种植种类的引种驯化工作的开展十分必要。

(5) 有必要在采用常规方法的基础上,将生物技术等先进手段引入到边坡防护植物的培育和育种之中,促进生物防护工程的集约化和规模化生产。

参考文献:

- [1] 王华,彭余华.公路建设生态工程设计研究[J].内蒙古公路与运输,2000,(4):27-28.
- [2] 陈红,梁立杰,杨彩霞.可持续发展的公路建设生态观[J].长安大学学报,2004,24(1):69-71.
- [3] 舒翔,杜娟,等.生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J].公路,2001,(7):86-89.
- [4] 陈江南,史学建,等.高速公路边坡水土保持植物设计方案探讨[J].水土保持学报,2002,16(3):94-97.
- [5] Narong ChomChalow. Vetiveria A Quarterly Newsletter of the Pacific Rim Vetiver [J]. Network, 1997,(1):2.
- [6] 汪益敏,汪良旗.路基边坡的植物防护方法[J].煤田地质与勘探,2001,29(5):37-39.
- [7] 方华,林建平.植被护坡现状与展望[J].水土保持研究,2004,11(3):283-285.
- [8] 马海天才,廖心北.边坡生物防护研究现状初探[J].四川草原,2003,(3):15-16.
- [9] 李连胜,黄玉忠.三维土工网垫喷播植草护坡技术应用分析[J].中国水土保持,2004,(8):39-40.
- [10] 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,2004,26:61-66.
- [11] 李静雅.高等级公路边坡防护方法及经济意义[J].广东交通职业技术学院学报,2003,(1):17-19.
- [12] 王明月,崔旭光,李瑜.高等级公路的边坡防护[J].交通科技与经济,2003,(1):32.
- [13] 闫宝杰,杨珠江,亓晓贵,等.公路岩质边坡地质灾害防治及SNS柔性防护系统的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2000,11(2):81-85.
- [14] 王金发,王晓明.高速公路边坡绿化防护[J].黑龙江交通科技,2003,(5):39-40.
- [15] 龙春林,王云.路域条件对公路植被恢复的影响(坡度与土壤硬度)[A].郑健龙,杨和平.膨胀土处治理论、技术与实践[M].北京:人民交通出版社,2004.425-431.
- [16] 朱海鹰,徐国钢,等.高速公路边坡生态防护施工技术[J].中外公路,2003,23(3):83-85.
- [17] 刘怡涛,龙春林,张世俊,等.筛选本土植物应用于云南膨胀土地区路域的生态恢复和生物防护[A].健龙,杨和平.膨胀土处治理论、技术与实践[M].北京:人民交通出版社,2004.407-417.
- [18] McKinney M L, Lockwood, J L. Biotic homogenisation: a few winner replacing many losers in the next mass extinction[J]. Trend Ecol Evol., 1999,14:451-453.
- [19] 陆庆光.生物入侵的危害[J].世界农业,1999,(4):38-39.
- [20] 汪松,谢彼得,解焱.保护中国的生物多样性(二)[M].北京:中国环境科学出版社,2001.91-106.
- [21] 黄红娟,叶万辉.外来种入侵与物种多样性[J].生态学杂志,2004,23(2):121-126.
- [22] R G 格雷姆肖.香根草技术及其在中国的应用[M].北京:农业科技出版社,1998.
- [23] 夏汉平,敖惠修,刘世忠,等.香根草-优良的水土保持植物[J].生态科学,1997,16(1):75-82.
- [24] 程洪.香根草在我国的应用及研究综述[J].水土保持通报,1998,18(3):77-81.
- [25] 丁光敏,林福兴,施悦忠,等.香根草草篱带促进侵蚀劣地生态自我修复初探[J].水土保持研究,2003,10(2):119-118.
- [26] 刘金祥,陈燕.我国大陆唯一的大面积成群落分布的优良水土保持植物[J].草业科学,2002,19(7):13-16.
- [27] 陈法扬,李凤,程洪.香根草引种试验研究[J].水土保持通报,1991,11(8):60-64.
- [28] 孙捷,毛国卫,李德超.高等级公路环境保护技术的研究现状和趋势[J].安徽建筑,2003,(4):74-76.
- [29] 何玉琼.高速公路边坡防护与景观生态建设[J].林业建设,2004,(2):24-26.
- [30] 邱国锋,王孟霞.三维植被网植草护坡在高速公路边坡中的试验及应用[J].广东公路交通,2001,71:40-41.
- [31] 朱剑云,吴江.三维植被网路基边坡防护[J].中外公路,2002,22(4):20-22.
- [32] 谢建明,白史旦,戚少国,等.三维植被网在公路边坡生物防护中的应用研究[J].草原与草坪,2002,(4):42-43.
- [33] 李连胜,黄玉忠.三维土工网垫喷播植草护坡技术应用分析[J].中国水土保持,2004,(8):39-40.
- [34] 张宝森,荆学礼,等.三维植被网技术的护坡机理及应用[J].中国水土保持,2001,(3):32-33.
- [35] 胡永深,江晚霞.景观设计理念在高速公路路线设计中的体现[J].公路与汽运,2004,(1):53-55.