

# 植生混凝土护坡技术研究现状及趋势

钱波,蔡光泽,陈开陆

(西昌学院,四川 西昌 615013)

**摘要:**结合植生混凝土在护坡工程中的优势,从预制裁植结构和现浇喷播结构,总结了植生混凝土的工程结构;从植生基材、植生草种选择、草种筛选、草种组合和植生植物的多样性等方面,研究了植生混凝土的植生结构。根据不同洪水水位变动消落区,对岸坡消落区植生混凝土防护布置进行了设计。最后就植生混凝土多孔的微观结构、降碱技术和植生植物长期适应性,提出了进一步研究方向。

**关键词:**植生混凝土;边坡防护;工程结构;植生结构;喷播

**中图分类号:**TU528.59 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)02-0038-04

## Current Situation and Trends of Research on Slope Protection Technology of Vegetation-growing Concrete

QIAN Bo, CAI Guangze, CHEN Kailu

(Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** With regard to the advantage of vegetation-growing concrete in the slope protection engineering, in this paper we summarized traits of the engineering structure of vegetation-growing concrete from characteristics of the precast planting structure and the on-site cast spray-seeding structure. We analyzed the structure of vegetation-growing concrete in detail with respect to vegetative substrate, grass seed choice, grass seed screening, grass seed combination and grass varieties, and designed the arrangement of vegetation-growing concrete protection based on different hydro fluctuation zones. Finally we pointed out the direction of further research on the porous microstructure, de-alkalization technique and long-term adaptability of vegetative plants for vegetation-growing concrete.

**Keywords:** vegetation-growing concrete; slope protection; engineering structure; vegetation-growing structure; spray-seeding

混凝土是社会发展中不可缺少同时也是使用量最大的人造建筑材料。面对城市绿化面积的逐渐减少、温室效应和热岛效应的逐渐加重,人们开始不仅停留在看重混凝土的结构性能上,更要注重降低环境负荷、生物保护和景观保护等生态问题,逐渐关注环境友好型、智能节约型、绿色生态型混凝土的发展。20世纪90年代,日本率先提出植生生态混凝土的基本架构,并在工程中得到初步应用,随后我国和其他国家也进行了深入的研究和应用。

随着我国铁路、公路、水电和矿山等工程建设和开发,形成了大量的裸露岩质边坡和脆弱岸坡。由于抛石、浆砌石、混凝土框格梁、混凝土面板、挡土墙、锚喷等传统土木工程刚性加固边坡坡岸的方

法,施工简单、抗冲性和稳定性好,只注重稳定性和功能性要求,却忽视工程生态环境及景观效果。由于植生混凝土能稳定坡岸,具有良好美化环境、绿色环保的人文、环境、生态亲和性能及特征,能促进人类与自然的和谐可持续发展,现广泛应用于公路路堑及边坡、河湖岸坡、小区、墙体、路面、停车场、建筑屋顶。

### 1 植生混凝土护坡功能优势

植生混凝土护坡技术,是综合利用工程力学、水利学、环境学、生物学、植物学、生态学、美学、材料学、化学、土壤学等知识,优选植生草种,通过多孔透水混凝土为加固基体形成植物根系生长空间,

依靠多种生物土壤基质提供生长养分,形成植物根系生长条件,对边坡进行综合性防护,形成有工程结构和生态植物联合防护系统的护坡技术。可见植生混凝土护坡结构分为工程结构和植生结构。

对岩质边坡,植生混凝土植被孔深遍布坡体的根系,形成水平和垂直方向三维交错立体防护,在水土保持上,能减缓雨水对坡面的冲刷、抑制地表径流、降低坡体孔隙水压力、防水土流失;在工程结构上,混凝土基体和植生植物根系能加固坡面;从生态效果上,可以吸噪吸尘、吸热释氧、调节气温、增加绿色空间、恢复生态、改善景观、美化环境<sup>[1]</sup>。

对河湖岸坡,植生混凝土植被根系,在水质上具有过滤坡体进入河道污染源、净化水质、增加溶氧量、改善水资源需求;在水环境上能提供动植物生长基质、促进生物多样性;在水利上能吸收波浪冲刷压力、防水固坡、防止地面水体缩减、提高地下水位、增强河床坡岸的稳定性<sup>[2]</sup>。

可见,植生混凝土护坡技术体现了亲近自然、回归自然、环境友好的思想,契合了“绿水青山就是金山银山”的美丽乡村建设、生态文明建设理念,在保证工程安全的同时改善景观和完善生态系统,最大限度地达到工程与自然环境和谐共生,促进人与自然的和谐发展。

## 2 植生混凝土的工程结构

按照材料组成及性能,可以将植生混凝土的工程结构分为预制栽植结构和现浇喷播结构;现浇结构主要有框格梁基层上层喷播结构、框格梁基层上层栽植结构和锚喷基层上层喷播结构。

### 2.1 预制栽植结构

植生混凝土预制主要有<sup>[3]</sup>单球组合(单球直径250 mm,用钢筋连接并形成100 mm见方的孔,多层铺设时层间用钢筋连接)、16球联体砌块(高度250

mm的砌块上下分别由16个半球体和圆台组成,中间形成9个直径80 mm的圆柱形孔洞)、圆孔型砌块以及矩形砌块4种护砌方式(图1)。其中球体构型砌块、圆孔型砌块植生护坡效果较好。

预制植生混凝土构件具有较大预留孔洞,适于栽种植物,预制方案能实现批量生产,灵活性高、生产能力强,但整体防护加固能力不高。

### 2.2 现浇喷播结构

喷播植生混凝土,是将草种子、保水剂、粘合剂、营养液以及纤维覆盖物等与水泥和水按比例混合,按照工程喷浆技术要求喷播在植生基质层上,形成植被播种的一种技术。

#### 2.2.1 框格梁基层上层喷播结构

##### 1) 结构工艺

框格梁基层上层喷播结构<sup>[4-5]</sup>实际上是“混凝土框格梁为整体加固基础,营养基础层加表层喷播结构”,也称为细骨料植生型混凝土护坡技术。工程中分两层实施:(1)客土基质覆盖层。清理平整坡面后,铺设营养基础层料5~8 cm,营养基础层主要由熟土、保水剂、活性添加剂、草炭等组成,其主要作用是诱导和促进喷播层植物根系向深层纵向和坡面生长;随后架设边长1.5 m左右混凝土框格梁(方型、菱形、人字型、弧型等),根据坡面岩土情况,通过3.5~4.0 m锚杆将混凝土框格梁锚固于边坡,形成边坡整体加固结构。最后再回填3~5 cm营养基础层料,营养基础层总厚度10 cm;(2)植生混凝土层。将熟土、植物种子、水、水泥、有机菌肥、石子、保水剂、营养液、活性调节剂等材料,按照配合比要求搅拌成型后,通过湿式绿化混凝土专用喷射机喷播在基质覆盖层上,厚度5 cm。最后覆盖无纺布或薄膜保温、洒水保湿、养护防裂。

框格梁基层上层喷播结构能适应坡面变形的柔性能力好,利于植物生长,但抗冲刷差。

##### 2) 框格梁尺寸确定

为了保证护坡面的稳定,坡面框格梁混凝土应满足<sup>[6]</sup>

$$W = \frac{W_r H^3}{k_b \left( \frac{W_r}{W_0} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (1)$$

式中: $W$ 为淹水区坡面框架上所需混凝土的最小质量; $t$ ;  $W_r$ 为混凝土密度,  $t/m^3$ ;  $W_0$ 为水的密度,  $t/m^3$ ;  $\alpha$ 为坡面与水平面的角度;  $H$ 为波浪在坡面上行进的高度,  $m$ ;  $k_b$ 为由被覆盖的材料所决定的系数。

由此根据框格梁最小质量,根据实际情况即可

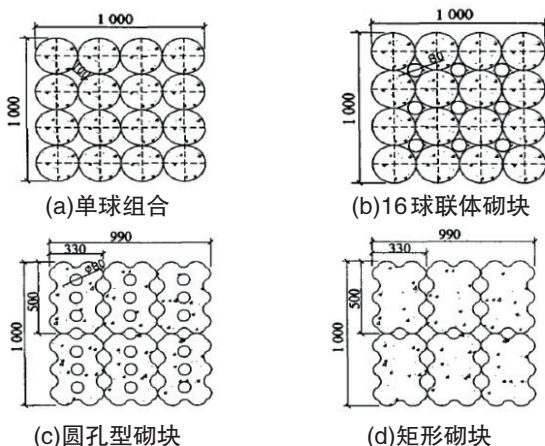


图1 预制栽植结构植生混凝土形式





$$R=S, \quad (2)$$

$$H' = -\sum_{i=1}^s n_i \ln n_i, \quad (3)$$

$$E = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i, \quad (4)$$

$$SN = \sum_{i=1}^s (n_i / N)^2, \quad (5)$$

式中: $R$ 为物种丰度; $S$ 为每个样方内的物种数; $H'$ 为物种多样性指数; $E$ 为群落均匀度; $SN$ 为生态优势度; $n_i$ 为第*i*个种的重要值; $N$ 为群落里所有种重要值之和, $p_i=n_i/N$ 。

#### 4 岸坡消落区植生混凝土设计

由于河湖坡岸水位受季节性影响,存在不受洪水影响区、洪水水位变动消落区、正常水位以下区。受水体冲刷和淹没,不同区域的植生植物对抗冲刷和厌氧能力,直接决定了植生混凝土护坡的效果。

洪水水位变动消落区以上以乡土植物为主,结合外来植物,合理搭配乔灌草藤植物。宜喷播狗牙根、黑麦草等多年生草本植被配搭生命力强、生长快、景观效果好的常青灌木。

洪水水位垂直消落变动区落差较小时,宜移栽植干粗壮、根系发达的水生植物,如美人蕉、香蒲、黄菖蒲、高芭、水葱等。变动区落差较大时,种植生长快、耐水淹能力强的多年生常绿草本植物,如卡开芦、甜根子草等,达到用网固草,以草防冲、网草交织共同起嵌锁和加筋护坡作用<sup>[14]</sup>。洪水水位变动消落区以下,由于水体冲刷严重,宜选用抛石、预制砌

块、混凝土面板等传统护坡形式。

#### 5 植生混凝土进一步研究方向

植生混凝土技术涉及多学科、多行业的交融,目前虽然已广泛开展了多方面的技术研究和推广应用,并取得了很大成效,但仍存在以下技术瓶颈:

1)加强植生混凝土多孔的微观结构研究,是植生混凝土植生生长环境的基础。孔隙率和强度是互相矛盾和联系的两个因素,通过优化混凝土制备加工工艺,可以实现植生混凝土的多孔植生生长环境。材料组成、结构和工艺决定性能,目前多孔植生混凝土的研究,更多集中在制备工艺和性能测定等宏观结构研究上,应进一步研究微观结构对多孔植生混凝土性能的影响<sup>[15]</sup>。

2)注重植生混凝土降碱技术的研究,是植生混凝土植生生长环境的关键。由于常规硅酸盐水泥混凝土pH值一般大于12,远超出植物耐碱性生长环境要求(pH值5~7)。高碱性是维持混凝土高强性能的基础,虽然通过掺入外加剂<sup>[16]</sup>、使用低碱水泥<sup>[17]</sup>、进行表面处理<sup>[18]</sup>等措施,可以降低植生混凝土的抗碱性,但均为试验阶段,因此研发低碱高强性能的植生混凝土是必然趋势。

3)深入植生植物长期适应性研究,是植生混凝土植生生长环境的保障。要结合植物生长地形、气候等自然条件,加强植生基材配制、植物品种筛选、喷播混凝土配合比及施工工艺等方面,进一步研究植生植物抗碱能力、成活率、环境长期适应性和抗退化性。

#### 参考文献:

- [1] 章海明.植生混凝土在公路边坡防护中的试验及应用研究[J].北方交通,2018(1):62-66.
- [2] 陈代果,姚勇,唐瑞,等.植生混凝土河道护坡性能试验研究[J].施工技术,2019,48(21):8-11.
- [3] 吴义锋,吕锡武,王新刚,等.4种生态混凝土护坡护砌方式的生态特性研究[J].安全与环境工程,2007,14(1):9-12,23.
- [4] 宋平原.BSC细骨料生态混凝土护砌施工技术及应用[J].人民黄河,2011,3(10):91-92,95.
- [5] 吕学梅.两种生态型混凝土护坡技术分析应用[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):100-102.
- [6] 刘荣桂,万炜,吴智仁.淹水区边坡的生态型护坡技法及其耐久性研究[J].混凝土,2005(8):23-28.
- [7] 高翔.北沙河综合治理工程生态混凝土护坡施工技术[J].水科学与工程技术,2019(5):68-69.
- [8] 吕学梅.两种生态型混凝土护坡技术分析应用[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):100-102.
- [9] 邹睿.高陡岩质边坡生态-安全一体化防护工程应用[J].中国水运,2019,19(9):239-240,242.
- [10] 关素敏,张跃平,刘登贤,等.生态植生透水混凝土植生性能研究[J].混凝土世界,2019(9):67-71.
- [11] 孟秀元.谈生态混凝土在高速公路岩质边坡防护中的应用[J].山西建筑,2017,43(28):131-133.
- [12] 黄文杰,焦楚杰,彭兰.植生混凝土的制备工艺与物种选择[J].新型建筑材料,2019(11):37-41.
- [13] 付为国.镇江滨江堤岸生态护坡工程设计及植被效应研究[J].中国农村水利水电,2008(12):96-98,102.
- [14] 王飞,史文明,王能贝,等.绿色生态型护坡在三峡水库消落区的工程应用[J].水电能源科学,2010,28(3):105-107.
- [15] 王玥,闫滨,李成林.透水混凝土制备及性能研究综述[J].硅酸盐通报,2017,36(3):864-869.
- [16] 于福,张健.磷酸镁水泥在生态透水混凝土中应用研究[J].新型建筑材料,2018(7):60-62.
- [17] 崔征,陈国新,祝烨然.外加剂对护坡型植生混凝土影响的研究进展[J].混凝土,2019(2):124-127.
- [18] 吕学梅.两种生态型混凝土护坡技术分析应用[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):100-102.

(责任编辑:曲继鹏)