

· 综 合 ·



# 生态植草混凝土制备 及其在生态城护岸中的应用

梁远博, 王成启

(中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对我国基础工程建设过程中因对地理地貌和植被造成破坏而引起的地域生态环境失调等问题, 进行兼具生态保护和护坡功能的生态植草混凝土及其施工技术研究。采用低碱度特种材料、大粒径骨料和优化配合比设计等方法, 制备强度 $\geq 7.0$  MPa、孔隙率 $\geq 30\%$ 、pH值 $\leq 9.0$ 的生态植草混凝土, 满足植物生长的基本要求。在室内试验和模型试验的基础上, 依托株洲市清水塘老工业区产业新城整体开发PPP工程, 确定了生态植草混凝土关键施工技术, 并成功应用于边坡工程, 边坡治理后的90 d植被覆盖率为95.3%, 有效解决了滑坡隐患和绿化问题。

**关键词:** 生态植草混凝土; 施工工艺; 生态护岸

中图分类号: TU 528; U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0001-05

## Ecological grass-planting concrete preparation and application in eco-city revetment

LIANG Yuan-bo, WANG Cheng-qi

(CCCC Shanghai Third Harbor Engineering Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** In response to the imbalance of the regional ecological environment due to the destruction of the original geographical features and vegetation in the process of basic engineering construction in China in recent years, we research the ecological grass-planting concrete and its construction technology with both ecological protection and slope protection functions. Using low-alkalinity special materials, large-size aggregates, and optimized mix design methods, we make the ecological grass-planting concrete with strength $\geq 7.0$  MPa, porosity $\geq 30\%$ , and alkalinity pH $\leq 9.0$  to meet the basic requirements of the plant growth. Based on the indoor test and model test, and relying on the overall development of the PPP project in the industrial new city of Qingshuitang Old Industrial Zone in Zhuzhou City, we determined the key construction technology of ecological grass-planting concrete and successfully applied it to the slope engineering. The 90-day vegetation coverage rate after slope treatment was 95.3%, which effectively solved the hidden dangers of landslides and greening problems.

**Keywords:** ecological grass-planting concrete; construction process; ecological revetment

生态植草混凝土由水泥、粗骨料和添加剂组成, 采用特定的施工工艺制作, 兼具生态系统功能和结构防护功能。其内部孔径分布和碱度值需要满足生物生存的要求。长期以来, 为保持水土和堤岸安全, 通常采取一般钢筋混凝土护坡, 但普通的钢筋混凝土切断了生物与土壤的联系, 破坏了植物生长所需要的生态环境, 不符合国家提

出的“绿水青山”及可持续发展战略。黄小鹏等<sup>[1]</sup>对比了河道整治中传统护岸和新型生态护岸的功能, 发现生态护岸除了具有防洪、排涝、引水等基本功能外, 还具有生态、环保、休闲等作用; 吴元梅等<sup>[2]</sup>讨论了生态混凝土在海绵城市建设中的应用价值, 研究了水灰比、骨胶比等因素对生态混凝土抗压强度、透水系数和抗冻性的影

收稿日期: 2020-08-14

作者简介: 梁远博(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事高性能工程材料研究。

响,为工程应用提供了理论指导;李凌<sup>[3]</sup>、丁永和等<sup>[4]</sup>分别提出“生态型护底+异形网箱堤身”“生态植物防护+永久工程”等护坡的设计理念;牛欣川<sup>[5]</sup>则提出新型的磷石膏植被混凝土材料体系,为生态混凝土的推广应用提供了理论支持。生态植生混凝土的研究多集中在结构形式和配合比优化等方面,但实际应用中仍存在孔隙碱度高、植物难以生长等问题,因此,本文研究低碱度、大孔隙率的生态植生混凝土的制备方法及其施工工艺,以期满足植被的生长环境要求,扩大生态混凝土的应用范围。

1 生态植草混凝土设计要求

依托株洲清水塘生态城工程,针对改善生态环境、堤岸护坡等功能,开展生态植草混凝土护坡材料的研发以及施工技术研究,制备出内部碱度低、孔隙率高的生态植草混凝土,确定生态植草混凝土浇筑、养护、土壤填充和植草工艺等关键施工技术,解决目前普遍存在的植物不能存活的问题,满足植物生长和护坡功能的要求,有效解决现场的滑坡隐患和绿化问题<sup>[6-8]</sup>。为满足四季常青的护坡效果,选择四季青草种进行护坡,秋季施工温度约 25℃、相对湿度约 60%。根据标准《生态混凝土应用技术规程》的规定,制备的生态混凝土抗压强度应大于 5 MPa,孔隙率宜大于 25%,以符合植被根系生长需要的基本环境<sup>[9]</sup>。

2 生态植草混凝土制备

2.1 原材料和试验方法

原材料:42.5 硫铝酸盐水泥、硬石膏、20~31.5 mm 单级配碎石、高性能聚羧酸系减水剂、四季青草籽、营养土和自来水。

试验方法:抗压采取 100 mm×100 mm×100 mm 的正方体试块,由于生态混凝土具有较大孔隙,为了能够反映试块的真实强度,在测试前 1 d 用 M5.0 的砂浆对试块受压面进行抹面处理。孔隙率按照《透水性混凝土河川护堤施工手则》规定方式测试。混凝土碱度值按照浸泡释放原理进行测试。

2.2 配合比试验

室内开展大量的配合比试验、性能测试试验和模型试验(图 1),确定了生态植草混凝土的基准配合比密度 1.65 t/m<sup>3</sup>,总孔隙率≥30%,初凝时间 1 h 左右,混凝土 28 d 碱度 pH≤9.0,28 d 抗压强度≥5 MPa。



a) 碱度测试



b) 孔隙率测试



c) 植草模型试验

图 1 生态植草混凝土制备和模型试验

由于采用生态混凝土现场拌合, 为满足现场缓凝时间。性能指标见表 1。

实际施工的需要, 在基准配合比的基础上调整了

表 1 生态植草混凝土性能

编号	初凝时间/ min	孔隙率/ %	透水系数/ (mm·s <sup>-1</sup> )	pH 值		抗压强度/MPa	
				7 d	28 d	7 d	28 d
L1	30	32.2	23	8.87	8.62	6.5	7.3
L2	45	31.5	22	8.90	8.65	6.8	7.5

由表 1 可以看出: L2 比 L1 凝结时间长、强度略高, 二者强度均满足设计要求。其中 L1 在碱度、孔隙率、透水系数方面较优, 更利于植物生长。综合考虑, 确定采用 L1 进行清水塘项目现场的边坡施工。

3 生态植草混凝土施工工艺

3.1 搅拌方式

由于生态植草混凝土水泥用量很少, 而且全部采用粗骨料, 所以其流动性比普通混凝土在很大程度上有所减小, 且大粒径的单级配骨料之间存在较大的摩擦力, 拌合难度较大。因此, 有必要采用新的搅拌工序。常见的拌合方式一般是单次投料搅拌, 由于生态混凝土在材料的组成上与一般混凝土有明显区别, 单次投料拌合会使搅拌机内的浆体不能完全均匀地覆盖碎石, 有些胶结材料会成为球团状和块状并停留在骨料的缝隙里, 导致生态植草混凝土整体上无法形成良好的连通孔隙, 影响其抗压强度及相互贯通的有效孔隙率。因此, 根据生态植草混凝土组成的特点和孔隙分布特性, 采取裹浆法的拌合工艺。

首先, 把粗集料和一半的水放入强制式搅拌机中搅拌 30 s, 使粗骨料表面上石粉等杂质作为外掺料与水泥浆体混为一体, 以改善水泥与集料的界面连接, 提高混凝土的整体强度; 其次, 加入 50% 的水泥, 搅拌 60 s, 使水泥和水混合成流动性良好的水泥浆体, 均匀包裹在碎石周围, 减小拌合过程中的阻力, 避免碎石过度挤压形成很多小碎片, 填充在大碎石缝隙中而降低孔隙率, 同时便于混凝土拌合; 最后, 将剩下的水泥、水及外加剂投进搅拌机里, 拌合 2 min, 使生态混凝土各组分之间混合均匀。新拌的水泥浆体在搅拌

机搅拌的作用下, 会均匀地覆盖在碎石上, 覆盖了流动度良好浆体的碎石, 互相之间多以点、线连接, 使得生态植草混凝土在保证较高连通孔隙率的同时, 又能最大限度地提高强度。

3.2 振捣时间

振捣时间对生态植草混凝土的内部孔隙分布情况影响较大, 分别采用不同的振捣时间, 测试试件的抗压强度和孔隙率, 结果见图 2、3。

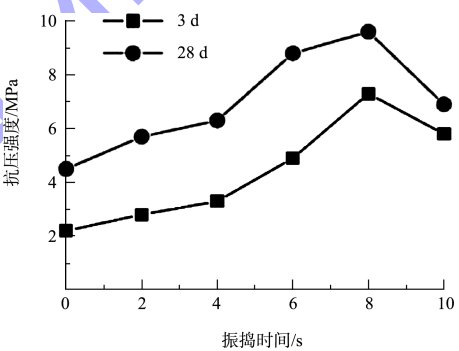


图 2 振捣时间对生态植草混凝土强度的影响

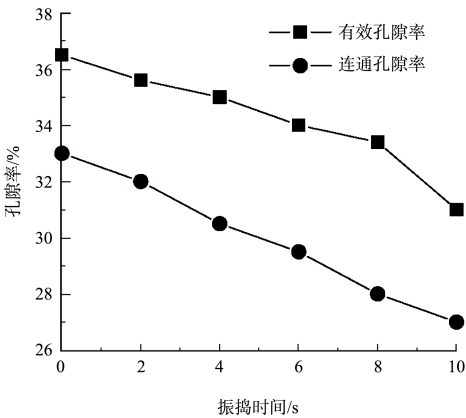


图 3 振捣时间对生态植草混凝土孔隙率的影响

由图 2、3 可知, 随着振捣时间的增加, 生态植草混凝土的强度先增大后减小, 孔隙率和连通孔隙率依次减小。这可能是由于振捣时间增加, 混凝土各组分趋于堆积, 从而造成强度增大、孔隙率降



低。当振捣时间为 8 s 时，混凝土的抗压强度达最大值。当振捣时间大于 8 s 时，由于混凝土已经达到了较高的密实度，且水泥浆体在振捣作用下逐渐下沉到底部(图 4)，造成集料间的浆体减少，集料间的黏结强度减小，进而导致整体强度下降。综合考虑，振捣时间宜控制在 6 s 左右，以确保生态植草混凝土具有相对较高的孔隙率及抗压强度。



图 4 浆体沉降现象

3.3 成型厚度

在孔隙率基本不变时，成型厚度是决定生态植草混凝土抗压强度的关键因素之一，直接关系到其护坡性能。分别制备不同厚度的生态植草混凝土试件，研究成型厚度对其 28 d 抗压强度的影响，试验结果见图 5。

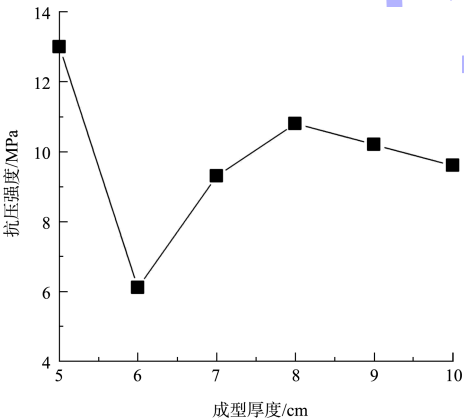


图 5 成型厚度与生态植草混凝土 28 d 抗压强度的关系

由图 5 可知，随着生态植草混凝土成型厚度的增加，其强度呈现出先减小后增加然后再减小的趋势。生态植草混凝土内部含有大量孔隙，当混凝土试件受压时，其内部不是均匀受压的，而是受到弯拉、剪切等应力的共同作用，多种合力的不确定性导致生态植草混凝土的强度和成型厚度之间不是简单的线性关联。

当成型厚度从 5 cm 增至 6 cm 时，混凝土抗压

强度明显减小，可能是由于厚度较小时骨料间连接紧密，试块受压的过程中其弯拉应力很小，抗压强度相对高一些；当成型厚度从 6 cm 增至 8 cm 时，混凝土抗压强度逐渐增大，这可能是由于成型厚度增大，使混凝土试件截面面积和抵抗矩变大，进而增强其对弯曲、剪切等应力的抵抗力，导致混凝土整体的抗压能力增加；当成型厚度超过 8 cm 时，混凝土抗压强度又呈现减小趋势，这是由于成型厚度的继续增大，致使弯拉应力急剧增加，导致抗压强度减小。可见，生态植草混凝土铺设厚度宜为 5 cm 或 8 cm，此次护坡工程采用 8 cm 铺设厚度。

4 工程应用

4.1 工程概况

边坡坡面长度 70 m，高度 0~6 m，坡度 1:1~1:1.5，土质为湖南地区典型的地带性红壤。采用的生态植草混凝土现浇工艺，基本流程见图 6。

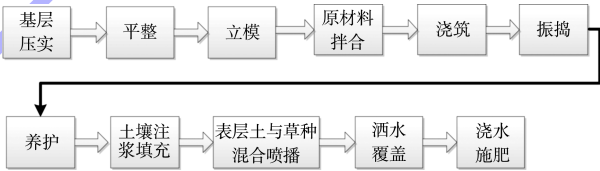


图 6 生态植草混凝土现浇工艺流程

4.2 应用效果

对生态植草混凝土进行现场留样(图 7)，开展试验测试，结果显示混凝土的总孔隙率达 30.5%，28 d 碱度 pH 值为 8.60，强度为 9.3 MPa，与室内试验结果基本一致，满足设计要求。



图 7 生态植草混凝土留样

在生态植草混凝土护坡工程完成后，进入运行维护期，主要技术如下：1) 根据天气和绿化植

被情况, 监测填充土壤的含水率, 并适时浇水;  
2) 根据绿化植被类型和生长情况, 以及实际环境情况、绿化协调性要求等, 对植被进行适时修剪;  
3) 根据植被的生长情况, 做好季节性病虫害的防治工作; 4) 对植被护坡进行巡检, 频次不低于每 2 周 1 次, 检查内容包括植物生长情况、病虫害、植草混凝土稳定情况等; 5) 做好记录, 为维护正常运行提供可靠的依据。

分别在 30、60、90 d 对生态护坡的绿化率进行观测, 绿化效果见图 8。



a) 30 d



b) 60 d



c) 90 d

图 8 不同龄期时生态植草混凝土护坡绿化情况

对绿化护坡工程的覆盖率开展目测法测试, 试验数据见表 2。从表 2 可以看出, 在 90 d 龄期时, 边坡植被覆盖率已达 95.3%, 植物生长良好。

表 2 生态植草混凝土护坡植被覆盖率 %			
测算员	覆盖率		
	30 d	60 d	90 d
a	31.0	45.0	96.0
b	35.0	42.0	95.0
c	30.0	41.0	95.0
平均值	32.0	42.7	95.3

5 结语

1) 开展大量生态植草混凝土试验研究以及系列的模型试验, 制备出内部碱度低、孔隙率高和强度高的生态植草混凝土。

2) 通过现场试验确定混凝土搅拌、振捣时间和浇筑厚度等施工工艺和技术参数, 为工程应用提供支撑。

3) 生态植草混凝土在护坡工程中成功应用, 效果良好。现场试验测试混凝土孔隙率达 30.5%, 28 d 碱度 pH 值为 8.60、强度达 9.3 MPa, 满足植物正常生长和护坡要求。工程施工完成后的 90 d 植被覆盖率为 95.3%, 有效解决了现场的滑坡隐患和绿化问题。

参考文献:

[1] 黄小鹏, 谢军.河道整治中常用生态护岸类型[J].水运工程, 2017(11): 109-113.

[2] 吴元梅, 郭凯先, 贾海峰.生态混凝土在海绵城市中的应用及其特性试验设计[J].混凝土, 2018(7): 122-125.

[3] 李凌.新型生态护滩技术在航道整治工程中的应用[J].水运工程, 2017(8): 97-100.

[4] 丁永和, 罗业辉, 刘晓飞, 等.生态设计理念在盐河航道中的应用和研究[J].水运工程, 2011(S1): 151-156.

[5] 牛欣川.植生混凝土在海绵型城市道路中的应用[D].重庆: 重庆大学, 2017.

[6] 彭溅清.高边坡滑坡机理及处治措施研究[J].中国勘察设计, 2019(6): 94-96.

[7] 巢路, 何伟, 关许为, 等.保滩护岸工程及生态措施应用[J].水运工程, 2018(9): 145-150.

[8] 应俊辉.低碱度植生混凝土与植物的相容性研究[J].混凝土, 2018(12): 67-71, 80.

[9] 上海嘉洁生态科技有限公司.生态混凝土应用技术规范: CECS 361: 2013[S].北京: 中国计划出版社, 2013.

(本文编辑 郭雪珍)