

# 植生型生态混凝土于河堤护坡工程中的应用研究

金汉林<sup>1</sup> 舒胜<sup>2</sup>

1. 四川省都江堰水利发展中心 四川 611830; 2. 四川省玉溪河灌区运管中心 四川 611500

DOI:10.12238/ems.v7i12.16380

**[摘要]** 本文详细介绍了植生型生态混凝土护堤的概念、性质特点，并以“都江堰灌区渠首枢纽灾后重建第二批项目黄家河心堤防工程”中的生态混凝土护坡部分为实例，深入阐述了植生型生态混凝土护坡的施工方法。依据该生态混凝土在物理、力学以及耐久性等方面指标，重点探讨了其在河堤施工中的具体应用，旨在为河堤护坡工程提供科学有效的技术参考，推动生态友好型水利工程建设。

**[关键词]** 生态混凝土；护堤；概念；性质；施工；应用

## 一、植生型生态混凝土护堤的概念和性质

### 1. 植生型生态混凝土护堤的特点和配方

植生型生态混凝土护堤属于一类具有高孔隙率与强结构强度的透水性混凝土材料。它的突出特性体现在，除了具备

有效的过滤功能外，还同时拥有植被生长载体功能以及生态环境改良等多元化作用。植生型生态混凝土的配方如下表 1 所示：

表 1 植生型生态混凝土的配方 (每立方米)

材料	碎石	沙	水泥	添加材	水	水灰比
	/ KG	/ KG	/ KG	SR-3 / L	/ KG	(SR-3+W) / C
含量	400	300	250	37.5	67.5—77.5	0.42—0.46

表 1 中的 SR-3 是一种专门用于生态混凝土的添加材料，其密度测定值为 1.044g/ml。该材料的核心组成成分为碳酸钙与硅石粉，外观呈现为橘黄色的无机质悬浮液体状态。在实际应用中，其标准掺量需控制为水泥质量的 15%，主要作用是帮助生态混凝土满足使用所需的各项物理性能指标（包括孔隙率、透水性、PH 值等参数）以及力学性能要求（如抗压强度、耐久性等关键指标）。

### 2. 植生型生态混凝土护堤与土体级配的关系

植生型生态混凝土的核心功能在于河堤防护。河堤坡面之所以会发生侵蚀，主要由两方面因素导致：一方面是外部环境因素的影响，例如水浪冲击、降雨冲刷、温度变化等作用引发的侵蚀现象；另一方面是内部结构因素的问题，也就是当水位降低时，河堤回填土容易出现流失现象（即管涌问题）。基于此，这类生态混凝土除了要满足一定的结构强度要求外，还必须具备良好的过滤性能，从而保证水分能够安全渗透的同时，有效阻止土壤中的细颗粒物质流失。植生型生态混凝土的过滤性恰好能满足上述条件。

### 3. 植生型生态混凝土护堤与普通混凝土砌卵石护堤比较

与普通混凝土砌卵石护堤相比，植生型生态混凝土护堤具有以下优势：

(1) 排水性、透水性。现场施工的混凝土砌卵石不具备透水性，其排水只能依靠排水孔实现；而生态混凝土因自身特性，排水性和透水性良好，能够实现自由排水。

(2) 对于波浪、地震的稳定性。普通混凝土砌卵石护坡表面消波效果欠佳，波浪上扬明显；且护坡与河堤的刚度差异较大，地震时由于两者动态特性不同，易导致变形过大，进而出现断裂、塌陷现象。生态混凝土的表面形态类似米花糖结构，具备优异的消波减能作用。同时，由于其自身兼具刚性基础上的柔性特质以及多孔构造等特性，在地震发生时对结构变形的适应能力表现较强。

(3) 改善自然环境：传统混凝土砌筑的卵石护坡不具备环境改良的作用，而生态混凝土的突出优势正在于能够对自然环境起到改善效果。这类混凝土内部存在连续分布的孔隙结构，可实现水分与空气的自由渗透；同时，孔隙表面附着的微生物、藻类等生物群体，还能有效推动水体的自然净化过程。

(4) 糙率大: 由于生态混凝土表面呈米花糖状, 糙率大, 可使水流速度减缓, 从而对水流掏空基础起到减缓作用。相比之下, 混凝土砌卵石护坡的糙率明显小于生态混凝土。

#### 4. 生态混凝土力学性能指标

生态混凝土的力学性能指标主要聚焦于强度方面的要求, 具体包括抗压强度、抗折强度等关键参数。对于生态混凝土护堤技术而言, 要实现河堤防护这一核心功能, 必须以满足一定的强度标准作为基础保障。在添加 SR-3 材料的多孔生态混凝土中, 即便其孔隙率处于较高水平(通常可达 20% 以上), 其养护 28 天后的试块抗压强度仍能符合使用要求。在都江堰灌渠渠首枢纽灾后重建第二批项目黄家河心堤防工程中, 透水混凝土和植生型混凝土试块强度经检测均达到设计的 C25 和 C15 强度等级。由此可见, 生态混凝土的强度完全符合堤防设计要求。

### 二、植生型生态混凝土护坡的施工步骤

#### 1. 坡面框格梁施工

(1) 现场斜坡清理、整平: 去除松散杂物, 随后用高压水枪清洗坡面, 使坡面有利于混凝土与坡面的充分结合。

(2) 测量放线环节的操作规范为: 按照设计图纸的具体要求, 在河堤坡面精准测设并标记出框格梁的边界线位置。

(3) 模板施工流程如下: 进行模板架设后, 需在模板内侧均匀涂刷脱模剂。施工过程中, 模板应尽可能保证表面平整、结构牢固, 同时确保模板拼接处无贯通缝隙。

(4) 钢筋绑扎施工需按设计要求执行: 绑扎用钢筋不得存在锈迹、油渍、漆渍等影响外观质量的缺陷。各节点的绑扎与焊接作业必须严格依照图纸规范操作, 所有绑扎点、焊接接头以及钢筋保护层的设置均需符合设计标准及施工规范要求。钢筋绑扎完成后, 严禁随意踩踏, 同时需及时清理模板内部及钢筋表面附着的杂物。

(5) 混凝土浇灌、振捣与养护环节: 需严格依照规定要求完成混凝土的浇筑和振捣作业, 并妥善做好后续养护工作。与此同时, 要开展外观质量检查, 且按抽样标准制作混凝土试块。

(6) 混凝土浇筑注意事项: 在混凝土浇筑施工过程中, 需保证混凝土振捣充分密实、表面平整光洁, 严禁出现蜂窝、麻面等质量缺陷。施工时应尽可能减少施工缝的设置, 若因实际情况必须留置施工缝, 在再次进行混凝土浇灌前, 需先

将施工缝处凿毛并清洗干净, 待在界面处用高标号砂浆进行湿润处理后, 方可继续开展混凝土浇筑作业。

(7) 框格梁的强度规范要求为: 框格梁必须经过养护达到规定强度标准后, 才能在其内部开展生态混凝土的施工操作。

#### 2. 生态混凝土施工

##### (1) 按配合比搅拌生态混凝土

水泥和粉煤灰: 优先选用硫铝酸盐类的低碱水泥或 42.5 复合硅酸盐水泥。

碎石: 采用坚硬未风化的球粒状碎石, 粒径为 5~10mm。

添加剂: 采用特殊配方制作的 SR-3/SR-4。

##### (2) 添加剂 (SR-3/SR-4) 投料及搅拌

采用半干法浇筑施工, 按照控制的水灰比分两次加水。

第一次在搅拌机中施加, 先将石子浸湿, 加入约 1/2 掺量的水泥, 使石子表面能够被水泥包裹, 然后依次加入粉煤灰、剩余水泥、吸水树脂、稻壳, 用搅拌机搅拌均匀后, 用推车运至现场。鉴于生态混凝土属于半干性混凝土物料, 其初凝速度较快, 因此需依据实际气候状况合理控制混合物的运输时长。在运输环节中应避免中途停留, 且运输所用的手推车需始终保持行驶平稳。

##### (3) 浇筑生态混凝土

在常规施工条件下, 混凝土浇筑作业必须在添加剂 (SR-3/SR-4) 投入后的 1 小时内完成。当环境温度达到 25°C 以上时, 浇筑操作需在 30~40 分钟内结束; 若受运输条件限制, 可采用现场搅拌、人工转运的方式进行浇筑。具体流程为: 将生态混凝土装入工程手推车, 通过人工搬运至框架结构内部实施浇筑作业。而当现场温度超过 25°C 时, 浇筑工作则需在 25~30 分钟内完成。

在浇筑生态混凝土之前, 应在框格梁内铺上一层 3~5cm 厚的细砂, 这样可防止护坡内的土通过生态混凝土的孔隙析出, 增强水土保持效果。

##### (4) 摊铺、浇筑成型

在规定时间 (1 小时) 内, 将混合物均匀摊铺在工作面上, 浇筑作业需按照设计规定的厚度进行。首先使用铁锹、木制抹子等工具完成初步修整, 再用括尺校准平整度并控制相应的泛水坡度; 之后根据实际情况, 采用振动器 (当厚度较大时选用平板振动器) 振捣或人工夯实的方式进行密实处

理。在进行密实处理时, 不宜选用高频振动器; 完成振捣或夯实后, 需使用金属抹子对表面进行拍平操作, 以实现表面的精细修整。

#### (4) 整理

浇筑作业完成后, 需清除附着在框架表面的生态混凝土残留, 随后使用布料、海绵等工具对框架进行全面的清洗与清扫处理。

### 3. 植被层施工

植被层施工这项工作一般在生物基层表面冲淋处理后 2~3 天内进行。实施方法主要有两种:

一是将草籽和泥土、肥料以及其他一些特殊添加材料混合搅拌均匀后, 进行喷射。

二是先喷射不含草籽的植被层, 然后将草籽加入到由纸浆、粘结剂等材料配制而成的糊状体中, 再单独喷洒一次。(该方法无需喷射机, 简单方便, 仅用水泵将泵液喷至生物基层表面即可)。

生态混凝土并非传统意义上的土壤, 植生坡面种植土层在保湿和为草坪提供养分方面存在一定困难。因此, 纯粹的黄土无法满足这一特殊地段的种植要求。在种植前, 需对土壤进行如下处理:

(1) 泥土选择与配比: 泥土的选取应遵循就地取材的原则, 建议优先在需要治理的边坡周边区域进行选取, 只要是适合旱田农作物种植的泥土均可满足使用要求。可将土壤基质与黄土按 1:1 的配比混合, 这样既能提高土壤保湿透气性, 又能增加土壤肥力。

(2) 添加缓释肥料: 由于种植土层薄, 即便添加了土壤基质, 改良了土壤, 增加了土壤肥力, 但要在较长时间内保持土壤肥力, 使草坪生长良好, 仍需添加缓释肥料。肥料可划分为有机肥与无机肥两个主要类别。有机肥包括椰丝、锯末、秸秆纤维、谷壳、生物肥等种类, 这类肥料在腐熟后能够转化为腐殖质; 无机肥则多采用尿素、三元复合肥等类型。

(3) 添加剂的使用说明: 所采用的添加剂涵盖吸水树脂、粘结剂等类型。

(4) 草种选择: 应根据当地气候、降雨条件和环保要求选择草种。所选植物根系的穿透能力要强, 能向深层发育, 生命力旺盛, 能耐高温、高湿, 同时具备一定的抵御干旱的

能力, 可选择与周边环境相一致的植物群落。

### 三、植生型生态混凝土护堤在河堤护坡方面的效果

通过上述论述可知, 植生型生态混凝土护堤为实现安全输水、排洪等提供了质量保障, 同时具备植生、净化水质、增加糙率等一系列功能, 有利于环境美化, 能保护护坡基础免受冲掏。按照上述施工方法, 在都江堰灌区渠首枢纽灾后重建第二批项目黄家河心堤防工程中进行实际施工, 经验收, 植生型生态混凝土质量检测合格, 河道安全过水能力达到设计流量要求, 经过试运行, 效果良好, 且改善了河堤绿化。由此可见, 植生型生态混凝土在实际施工中施工方便、质量安全, 同时具有美化环境的作用。

植生型生态混凝土作为一种新型的建筑材料, 在河堤护坡工程中展现出了独特的优势。然而, 目前其在应用过程中仍存在一些问题, 如成本相对较高、相关技术标准有待进一步完善等。未来, 随着技术的不断进步和研究的深入, 植生型生态混凝土有望在河堤护坡及更多水利工程领域得到更广泛的应用, 为生态水利建设做出更大的贡献。

### 【参考文献】

[1] 刘福胜, 张坤强, 等。生态工程防护一体化关键技术 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2023, 54 (5): 765~770.

[2] 瓦特科技。植生生态混凝土项目生产解析 [EB/OL]. [2022-05-19].

[3] 抖音百科。生态砼护坡 (由工程和植物组成的护坡技术) [EB/OL]. [无].

[4] 瓦特科技。生态修复技术成就植生混凝土大市场的强势增长 [EB/OL]. [2022-05-19].

[5] 文科园林。你知道植生混凝土吗 [EB/OL]. [2021-03-04].

作者简介: 金汉林, 1985 年出生, 男, 高级工程师, 研究方向为水利水电工程建设与管理, E-mail: 864779392@qq.com, 身份证号码: 42070219850222705X;

舒胜, 1972 年出生, 男, 高级工程师, 研究方向为灌区工程运行与管理, 工作单位: 四川省玉溪河灌区运管中心, E-mail: 517983692@qq.com, 身份证号码: 42070219850222705X。