

# 我国生态混凝土技术及其应用实践研究现状

周文虎, 阮世轩, 张晨鹤, 何 琪, 纪 萌, 张李琪

南开大学滨海学院, 天津

Email: brownmankind@outlook.com

收稿日期: 2021年4月12日; 录用日期: 2021年5月12日; 发布日期: 2021年5月19日

## 摘 要

随着社会的进步和科技的发展, 新型生态材料已然成为了国内外学者着重研究的一大方向, 而生态混凝土因其特殊的结构、低廉的造价成本以及适用范围广泛等性质成为了近几年以来的热门研究对象。本论文采用综述的方式, 展开总结了国内外生态混凝土技术的发展历程, 阐明了生态混凝土技术对社会及自然环境所造成的积极意义和生态价值。此外, 通过对目前生态混凝土的制造工艺及性能的探讨, 并结合生态混凝土在生态护坡、人工鱼礁工程及海绵城市建设工程实践中的应用进行阐述, 总结了生态混凝土技术的优势与不足, 展望今后生态混凝土技术的应用及发展。

## 关键词

生态混凝土, 抗压强度, 孔隙率, 边坡防护, 人工鱼礁, 海绵城市

# Research Status of Ecological Concrete Technology and Its Application Practice in China

Wenhu Zhou, Shixuan Ruan, Chenhe Zhang, Qi He, Meng Ji, Liqi Zhang

Binhai College of Nankai University, Tianjin

Email: brownmankind@outlook.com

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2021; accepted: May 12<sup>th</sup>, 2021; published: May 19<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

With the progress of society and the development of science and technology, new ecological materials have become a major direction of scholars at home and abroad, and ecological concrete has become a hot research object in recent years because of its special structure, low cost and a wide range of applications. This paper adopts the way of review, summarizes the development of the eco-

logical concrete technology at home and abroad, illustrates the positive significance and ecological value of ecological concrete technology on society and the natural environment. In addition, it discusses the manufacturing process and the performance of the current ecological concrete, and combines with ecological concrete in ecological slope protection. This paper expounds the application of artificial reef engineering and sponge city construction engineering, summarizes the advantages and disadvantages of ecological concrete technology, and looks forward to the application and development of ecological concrete technology in the future.

## Keywords

Ecological Concrete, Compressive Strength, Porosity, Slope Protection, Artificial Reef, Sponge City

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在建筑技术高速发展的今天，如何保护环境，实现绿色生态发展已成为了社会各界所关心的重要问题。如何一边享受科技高速发展所带来的便利生活，一边解决制造业发展产生污染所带来的环境恶化问题，在社会发展与绿色生态建设的矛盾冲突之中，生态混凝土技术应运而生。

## 2. 生态混凝土技术的概念与特点

### 2.1. 生态混凝土技术的概念

生态混凝土又称植被混凝土，就是通过材料筛选、添加功能性添加剂、采用特殊工艺制造出来的具有特殊结构与功能，具有生物相容性和良好生态效应的混凝土[1]。生态混凝土具有独特的“沙琪玛”多孔结构和良好的吸附作用，可以达到固着植物，净化水质，固土护坡以及生态修护的目的。目前，生态混凝土在国内应用较少，在固土护坡，海洋生态建设，海绵城市建设方面具有广阔的应用前景。

### 2.2. 生态混凝土的特点

生态混凝土具备以下特点[2]：① 抗压强度高，生态混凝土自身具有比普通混凝土更高的抗压强度和抗剪强度以及耐久度，其用途和传统混凝土相当，具有和传统混凝土相似的结构和物理学性能，能满足使用功能以及使用耐久度的要求；② 生态混凝土“沙琪玛”一样的独特构造，具有许多大小不一的连通孔隙，具有良好的吸附性能和过滤性能，可以为植物根系的穿透生长提供有利条件；③ 生态混凝土碱度较低，适合植物生长，在作为护坡固土材质使用时，在合适的条件下能够实现安全防护与生态绿化一体化，具备护坡固土，美化环境以及修复生态的功效；④ 与自然环境具有协调性，能更好的适应微生物和植物生长，减少二氧化碳的排放，促进水质循环，对调节生态平衡，美化自然景观，能够减轻建筑工程过程中对生态环境造成的负荷；⑤ 生态混凝土通常添加一些废弃贝壳、炉渣等固体废弃物，起到清洁生产，绿色低碳的作用，符合循环经济的理念。

## 3. 国内外生态混凝土发展历程

生态混凝土最早诞生于 20 世纪 40 年代的一些欧洲国家，因为当时生产工艺和建造技术的原因，其应用范围受到了极大的限制。1970 年，英国曾在道路铺设的过程中加入生态混凝土虽取得了良好的效果，

但在十年后由于冻融而遭到破坏。美国也在 1979 年将生态混凝土应用于停车场的建造,所建造的停车场不仅强度和透水性达到使用标准,还取得了附近居民的一致好评。20 世纪 80 年代美国成立了专门生产生态混凝土的搅拌站对生态混凝土实行商业供应,1991 年在佛罗里达州成立了“透水性波特兰水泥协会”,对透水性生态混凝土的使用提供技术指导[3]。在法国,近乎一半以上的网球场都使用生态混凝土建造。日本是对生态混凝土的研究和应用较多的国家。1987 年有日本研究者开始申请生态混凝土材料的专利。2001 年 4 月,日本“先端科学技术研究中心”制定了植生型生态混凝土河川护岸工法[4]。

我国在 20 世纪 90 年代后期开始对生态混凝土进行研究,经过近 30 年的研究,在生态混凝土的强度以及生态混凝土的应用方面取得了一定的成果。20 世纪 90 年代,吴中伟[5]院士首次提出的绿色高性能混凝土具有良好的环境协调性能;1998 年,同济大学材料科学与工程学院在国外研究结果的基础上,为解决生态混凝土的堵塞问题而发明了侧滤技术和装置,并设计了推流式生态滤池[6]。2000 年四川省励自生态技术有限公司自主开发成功了适用于我国国情的厚层基材喷射护坡技术[7];2002 年许文年等[8]使用特定的混凝土和种子混合配方,对岩石边坡进行防护和绿化,并发布三峡大学专利技术——CBS 植被混凝土边坡绿化技术(Concretes Biotechnical Slope)。

## 4. 生态混凝土技术研究现状

生态混凝土的研究大多集中于生态混凝土的选材和配比、物理性能(如孔隙率、抗压强度、净水率等等)和生态效应等方面。

### 4.1. 生态混凝土选材研究现状

我国在制备生态混凝土时所采用的水灰比配方一般为 0.2~0.25,集料配比与集料粒径成反比,所选碎石粒径为 10~20 mm,堆积密度一般为 1600~1700 kg/m<sup>3</sup>,以煤灰和矿渣为主要掺合剂,选用具有高效减水和增黏增韧效果的聚合乳液为化学添加剂,抗压抗压强度可达 10~35 MPa,表观密度为 1800~2000 kg/m<sup>3</sup>,孔隙率可达 20%~30%,透水系数达到 1.5~3.0 cm/s,具有良好的透水性和透气性。植物生长基可以选择草炭土、蛭石、珍珠岩或木屑等基本材料和保水剂、肥料。生长基的配制因植物种类不同而不同,生长基的填充方式主要是用压力灌浆的形式或浸渍方式[9]。

### 4.2. 生态混凝土抗压强度和孔隙率研究现状

生态混凝土的抗压抗剪强度和孔隙率大小与制作生态混凝土试块时采用的灰骨比,水灰比等用料配比以及使用的粗骨料材质及粒径大小有着密切的关系。但是所制作的生态混凝土试块在物理强度方面往往要低于使用相同单位水泥用量的传统混凝土试块,该如何提高生态混凝土试块的物理强度成了近几年来生态混凝土研究的重中之重。影响生态混凝土试块的主要因素有试块的孔隙率大小以及作为其基本骨架的粗骨料的粒径大小。而生态混凝土试块孔隙率的大小是其作为一种新型环保建材在实际应用中能否达到环保标准的重要影响因素。一般来讲,普通土壤的孔隙率大约是在 40%~60%,传统混凝土试块的孔隙率仅有 4%左右,即生态混凝土试块要在使用中达到吸附、植生的功能并且需要具有一定物理强度则它的孔隙率至少要达到 25%以上[10]。根据国外一些文献案例调查发现,一些应用于河道固土护坡的生态混凝土试块,在其孔隙率达到 21%以上时,河岸植物的生长状况良好[11],虽然也有孔隙率低于 20%但因为试块表面覆盖有泥土而导致植物生长良好的情况[12],但有专家认为[9],虽然植物长势良好但在生态混凝土试块孔隙率小于 20%时其根部难以透过生态混凝土试块生长到土壤中,从而影响生态混凝土试块固土护坡的功效。

### 4.3. 生态混凝土抗冻融性和拔出力研究现状

生态混凝土试块表面具有大量的孔隙,这就导致水分子很容易进入并且长期存在,当气温低于零下

摄氏度时，积存于孔隙中的水分子凝固变为冰块，体积膨胀导致生态混凝土试块碎裂，由此生态混凝土试块相较普通混凝土试块冻融性就要差一些，强度方面的损伤也就更大从而耐久性受到影响。在制作原料中掺入些许引气型减水剂可以提高生态混凝土试块的抗冻融性。

其特殊的多孔结构也有利于植物根系的生长，曾有文献指出当生态混凝土试块的孔隙率达到 20% 以上时，植物的根系可以顺利的穿过混凝土层深入土壤，生态混凝土与土壤之间的锚固作用也因此强于普通混凝土试块。有文献显示：质量为 30 kg 的对边距为 45 cm 的六角形生态混凝土构件在使用一段时间后植物长势良好，再将其拔出所需拔出力为 160 kg [12]。

#### 4.4. 生态混凝土在水质净化方面的生态效益

生态混凝土能应用于水质净化方面是因为其独特的多孔结构，生态混凝土试块表面大小不一孔隙不仅能增大其与水流的接触面积并且还能为河岸附近的小型水生动物提供栖息环境，通过水生动物相互之间形成的生物层对河流间接产生净化的作用，根据这一特性将生态混凝土应用于人工浮岛或人工鱼礁，并将其放置在水体富营养化或水体严重污染的水域中，对当地水域环境起到了一定的净化作用。

### 5. 生态混凝土的应用研究

#### 5.1. 生态混凝土在边坡防护方面的应用研究

生态混凝土具有多孔的结构特点，从而在作为护坡使用时衍生出了多生物生长带，多生物栖息环境，多流速变化带的特点。其多互通的孔隙结构为水生动物及两栖动物提供了许多栖息，繁育和避难的环境，丰富了附近流域的生物多样性。并且对河道的自净作用及河道水质的改善可以起到积极的作用。一方面是因为覆盖在其表面的植物不仅可以吸收水中的营养物质其伸入水中的根系与水中微生物相互作用形成的生物膜也有利于水体的自净作用，另一方面是因为其表面大小不一的孔隙对河流的流速造成影响，使其在一个流域形成不同的流速带，增加河流与空气的接触面积，增加水中的溶解氧含量，有利于河流中水生动物的生长，进一步促进水体自净能力，改善河流水质。甚至在抗洪方面的表现也优于传统护坡。因其表面孔隙较多且种植大量植被，在抵抗洪水时，洪水的冲击力被植被和孔隙吸收化解，起到了削弱洪峰的作用。当遇到旱涝季节时，储存于大堤中的水反渗流入河道，起到了调节水量的作用。

#### 5.2. 生态混凝土应用于人工鱼礁方面的研究

生态混凝土用于制作生态鱼礁不仅不会污染环境，还可以降低环境负荷，并且能与生态环境相协调，其特殊的多孔结构与物理性能，具有较高的抗腐蚀能力，使用玄武岩纤维复合筋替代钢筋制作人工鱼礁，解决了钢筋锈蚀问题，其使用寿命更长，并且可以对周围的海洋环境和生态环境能够产生多种正面效应，改善生态环境，有利于海洋生物附着、避敌、繁衍等，提高生物多样性指数，从而修复海洋生态系统[13]。

#### 5.3. 生态混凝土应用于海绵城市方面的研究

目前常用于城市路面铺设的生态混凝土种类主要有透水性混凝土，绿化混凝土及吸音混凝土等。透水性混凝土是利用生态混凝土其多孔的特殊结构加快路面对积水的渗透作用，平衡城市温度和湿度，可以有效改善城市热岛效应；绿化混凝土不仅为城市隔离带，河堤护坡和停车场等设施的绿化植物提供了生长空间，美化城市居住环境，同时还能吸收因城市生活排出的废气及二氧化碳，阻碍噪音传播；吸音混凝土则是利用生态混凝土其内部连续孔隙的内表面积对噪音的声波进行吸收和部分的反射。

## 6. 生态混凝土的发展趋势及展望

生态混凝土具有调节生态平衡、美化自然景观、实现人类与自然共同发展的积极作用，在解决地球环境问题、转变人类发展观念、改善人居环境、净化水污染以及废物利用等方面，具有相当重大的发展价值，在环境污染和资源紧缺等问题日益严重的今天，生态混凝土能够从不同的角度提供多样性的解决方案，为保护环境，绿色生态发展指出新的方向。但是生态混凝土的生产技术尚未成熟，实际应用未能广泛普及，相关技术研发单位和国家相关部门应加大研究力度，引导该技术的应用普及，与国外相关学者增进学术交流，规范自主研究规章，早日完善生态混凝土技术。

生态混凝土技术未来必然会走上可持续发展的道路，在此前提下，生态混凝土也必将朝着以下几个方向发展：

- 1) 生态混凝土智能化：生态混凝土智能化集生态混凝土和智能混凝土的双重特性；
- 2) 生态混凝土规模化：生态混凝土规模化产生是促进生态混凝土推广的有效途径；
- 3) 生态混凝土理论化：目前尚无针对生态混凝土的理论体系，只有进一步完善其理论才能更好的指导生态混凝土的生产；
- 4) 生态混凝土体系化：生态混凝土是集岩石工程力学、生物学、土壤学、肥料学、硅酸盐化学、园艺学、环境生态和水土保持学等学科融为一体的一门综合性学科。体系化是生态混凝土发展的必然趋势；
- 5) 生态混凝土的集成化：生态混凝土研究的趋势应以集成化和多元化来达到复合多功能的效果。

## 基金项目

2020 年天津市市级大学生创新创业训练计划项目资助，项目编号：202013663035。

## 参考文献

- [1] 宓永宁, 梁雪珂, 孔德辉. 生态混凝土在生态护坡中的应用[J]. 农业科技与装备, 2009(2): 69-71.
- [2] 李化建, 孙恒虎, 肖雪军. 生态混凝土研究进展[J]. 材料导报, 2005(3): 17-20, 24.
- [3] Malhotra, V.M. (1976) No-Fines Concrete-Its Properties and Applications. *ACI Journal Proceedings*, **73**, 628-644. <https://doi.org/10.14359/11104>
- [4] 先端建设技术中心(日本). 植生型多孔混凝土河川护岸工法手册[M]. 平成: 山海堂, 2013, 3: 86-90.
- [5] 吴中伟. 绿色高性能混凝土与科技创新[J]. 建筑材料学报, 1998(1): 20-24.
- [6] 陈庆锋, 单保庆, 尹澄清, 胡承孝. 生态混凝土在改善城市水环境中的应用前景[J]. 中国给水排水, 2008, 24(2): 15-19.
- [7] 董建伟, 裴宇波, 王丽秋. 环保型绿化混凝土的研究与实践[J]. 吉林水利, 2002(2): 1-4.
- [8] 许文年, 王铁桥, 叶建军. 岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J]. 水利水电技术, 2002(7): 35-36, 40.
- [9] 周斌, 王发洲, 张运华. 植物相容性生态混凝土研究进展与应用展望[J]. 新型建筑材料, 2005(8): 37-39.
- [10] 卫明. 绿化混凝土的基本特性及其在河道工程中的应用[J]. 上海水务, 2005, 11(4): 19-24.
- [11] 周跃, Watt, D. 坡面生态工程原理及其发展现状[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 68-73.
- [12] 李萌, 陈宏书, 王结良. 生态混凝土的研究进展[J]. 材料开发与应用, 2010, 25(5): 89-94.
- [13] 詹镇峰, 李从波, 张梅. 浅谈植生混凝土的研究与应用[J]. 江淮水利科技, 2007(3): 23-25.