

# 多孔种植混凝土性能研究及其在崇明河道中的应用

徐德飞

**摘要：**多孔种植混凝土作为一种新型防护材料，一方面它拥有和水泥基材料一样的强度，能够实现边坡的安全防护，另一方面由于其自身的多孔结构，能够实现植物种植，与传统护坡材料相比具有不可比拟的优势。本文通过实验室制备多孔质混凝土，对其物理力学性能，孔隙率，PH值和植物适生性能进行研究。结果表明，多孔质混凝土强度能够达到6~15MPa，孔隙率能够达到25~30%，PH值8~10，能够为植物生长储存土壤，肥料和水，满足多种植物生长需求。同时将其用于崇明县河道生态环境治理，将护坡和生态修复完美的结合起来。  
关键词：多孔；孔隙率；护岸；植物适生性；

## Research on the performance of porous planting concrete and application in Chongming river

Xu Defei

(Tax Bureau of Chongming in Shanghai, Shanghai, 202150 )

**Abstract:** The porous planting concrete is a new type protection materials. It owns a special porous structure which plants can grow in. The same strength with common concrete can protect the slope safely. It has the incomparable advantage over traditional slope protection materials used for urban river landscape restoration. In this paper, we prepared the porous concrete in lab and studied the four aspects of the materials. They are the mechanical performance, the physical quality, the PH and the adaptability of plants. The result showed that the compressive strength can get 6~15MPa. The porosity can get 25~30% and the PH is between 8~10. It can store the soil, fertilizer and water. Then many kinds of plant can grow well in it. It has be used for ecological environment restoration of Chongming river. The widely use of this material can integrate the landscape restoration and safety protection successfully.

Keywords: porous; porosity; slope protection; Plant selection;

## 1.引言

多孔种植混凝土，是一种能够实现边坡安全防护又能实现生态种植的新型生态防护材料，目前较多的应用于城市河道驳岸的生态修复和再造工程。这种材料能将工程措施和生态措施很好的结合起来，形成一种新的护坡结构体系。

多孔种植混凝土是以特定粒径骨料，通过胶凝材料和添加剂包裹而成的具有一定孔隙结构和强度的多孔材料，具备三个特点，①**强度高**，材料本身具有与普通混凝土相当的强度；②**构造独特**，具备类似于“沙琪玛”一样的骨架，具有较多的连通孔隙，能够为植物的穿透生长提供条件；③**低碱环境**，种植混凝土碱度较低，适宜植物生长。将多孔质种植混凝土护砌至坡面，能够实现安全防护与生态绿化一体化，具有很好的防护效应和生态效应<sup>[1][2]</sup>。

与现有的城市驳岸建造材料相比，多孔种植混凝土是一种可将工程安全防护与生态种植

有效结合起来的新材料和新技术, 本文从实验室的角度出发, 对多孔种植混凝土的制备环节, 多孔种植混凝土的强度性能, PH 值, 孔隙率以及适生性能几方面进行研究, 并对工程应用进行了介绍。

## 2. 多孔种植混凝土的原材料及制备

### 2.1 原材料

- (1) 胶凝材料: 北京金隅 42.5 级普通硅酸盐水泥;
- (2) 骨料: 20-30mm 单粒级石子, 针片状含量低于 3%, 压碎指标低于 3.7%, 含泥量低于 1%;
- (3) 水: 自来水;
- (4) 外加剂: 北京东方建科科技有限责任公司提供的 GCF-2 型生态砼添加剂。

### 2.2 配合比

表 1 多孔种植混凝土试验配合比

序号	强度等级	W/C	C (Kg/m <sup>3</sup> )	W (Kg/m <sup>3</sup> )	P (%)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	GCF-2 (Kg/m <sup>3</sup> )
1	C15	0.25	424	106	15	1500	10
2	C15	0.25	337	84	20	1500	10
3	C15	0.25	249	62	25	1500	10
4	C10	0.30	382	95.5	15	1500	10
5	C10	0.30	302	75.5	20	1500	10
6	C10	0.30	221	44.2	25	1500	10
7	C5	0.35	346	86.5	15	1500	10
8	C5	0.35	272	68	20	1500	10
9	C5	0.35	198	49.5	25	1500	10

### 2.3 制备过程

多孔种植混凝土的表面及骨料之间的粘接要求较高, 要求①多孔质混凝土“不能过干”, 过干导致骨料粘接力不良, 易造成掉粒或松动, 影响后期工程质量; ②多孔质混凝土“不能过湿”, 过湿则造成骨料表面流浆或者滴浆, 在骨架下方结浆, 从而导致其上方孔隙顺畅, 而下方则成为一个密实体结构, 对植物的生长造成较大影响; ③制备过程中不能使用强制式搅拌机, 强制式搅拌机搅拌过于充分, 易将骨料搅碎, 影响孔隙率, 采用自落滚筒式搅拌机。

具体制备过程如下: 首先加入全部集料和 50% 的拌合用水, 搅拌一分钟, 然后加入相

应的水泥和称取的植生混凝土专用添加剂加入,继续搅拌一分钟,视搅拌状态加入剩余用水,持续搅拌 2-3min,多孔混凝土状态为“表面亮色、手握成团、无流水泌浆”<sup>[3]</sup>。待搅拌机出机后,在成型的过程中,分三层装模,每层采用压板压实而不能振捣成型。

### 3.多孔种植混凝土性能的研究

#### 3.1 强度性能

强度作为衡量材料安全性的最重要指标,多孔质混凝土的强度性能显的尤为重要,在 GB50286-2013《堤防设计规范》<sup>[4]</sup>中要求护岸工程的结构、材料应符合:坚固耐久,抗冲刷、抗磨损性能应强。且对于砌石的砂浆而言,强度一般不低于 M7.5。

对于多孔种植混凝土而言,其成型后表面均匀分布骨料,骨料高低不平。如果直接将其置于压力机上进行强度测试则很容易造成应力集中,局部破坏,不能如实反映其真实强度。多孔质混凝土强度测试方法参照《混凝土砌块和砖试验方法》GB/T4111-2013。具体步骤<sup>[5]</sup>:试件数量为 3 个。处理试件需处理坐浆面和铺浆面。在坐浆面砂浆层处理后,不经切边及静置立即试件上方的铺浆面上铺一层砂浆、压上涂油的玻璃平板,边压边观察砂浆层,将气泡全部排除,并用水平尺调至水平,直至砂浆层平而均匀,厚度达 3mm~5mm。再经切边和养护 3d 后方可进行试验。试验结果如下:

表 2 多孔种植混凝土抗压强度结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
未处理试件	12.2	10.4	9.6	10.1	9.4	8.5	7.8	6.4	5.5
铺浆面和坐浆面试件	15.1	13.3	12.1	11.9	11.5	10.5	8.7	7.6	6.8

由上表可得,试件的强度基本上与设计强度相当,强度基本上能够满足边坡防护要求,经过铺浆和坐浆的试件的强度明显高于未处理试件,整体上看经过处理后的试件强度基本上能够提高 20%。未处理试件强度低的原因在于其受压面的不平整和相对的应力集中造成的,在未处理试件的破坏形态上可以看到,部分试件也只是局部或边角破坏,对于此对于多孔质混凝土的抗压强度测试,其试件受压面需要进行铺浆和坐浆处理。

#### 3.2 孔隙率

孔隙率作为多孔质混凝土多孔性能的一个重要指标,对于多孔材料的孔隙率测试目前没有一个规范的测试方法,本次试验采用的是排水法对多孔质试件的孔隙率进行测试。参照公式(1)如下:

$$P = 1 - \frac{m_2 - m_1}{v} \quad (1)$$

$P$ -试件孔隙率,  $m_2$ -试件放入加满水的固定容器总质量,  $m_1$ -加满水容器总质量,  $v$ -试件体积。测试结果如下:

表 3 多孔种植混凝土孔隙率结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
试件	17.2	20.4	24.6	19.1	19.4	26.5	17.8	23.4	27.5

由上表可得，所做试样的孔隙率基本上在 17.2~27.5%之间，最大孔隙率 27.5%，能够满足植物生长所需空间。

### 3.2 PH 值性能

PH 值作为评价多孔混凝土植物适生性能的重要参数，是多孔质混凝土参数控制的重要指标之一，而对于混凝土的 PH 值测试目前尚无定法，且植物在多孔质中的生长是要穿过多孔质混凝土，本文通过对多孔质混凝土孔隙水的 PH 值测定对植物的适生性能进行界定。测试方法为在试件成型 3d, 7d, 28d 后，将试模注水封闭。采用 PH 计测试封闭后 1d、3d、7d、14d、28d 龄期多孔质混凝土孔隙水的 PH 值。测试结果如下：

表 4 多孔种植混凝土 PH 值

序号	1d	3d	7d	14d	28d
3d-3	12	12.5	12.5	13.1	13.1
7d-3	11	11.2	11.3	11.8	11.9
28d-3	9	9.8	9.7	9.8	9.8
3d-6	12	12.4	12.5	12.8	12.9
7d-6	10	11	11.2	11.6	12.0
28-6	8.7	9.2	9.4	9.5	9.5
3d-9	11	11.3	11.7	12.1	12.2
7d-9	10	10.2	10.3	10.4	10.5
28d-9	8	8.4	8.3	8.3	8.4

由上表可得，随着浸泡龄期的增加，其孔隙水 PH 值有增大趋势，但是对于 28d 后浸泡的试件，孔隙水 PH 值增长幅度较小，且 PH 值基本上低于 10。满足植物生长对于酸碱性的需求，基于此，本文选择植物的适生性能选择的为第九组配比。

### 3.3 多孔质混凝土植物适生性研究

对于植物的适应性研究，基于护坡绿化效应和景观效应，实验室选择植物为四种植物狗牙根、百喜草、干野菊和紫花苜蓿，草种配比如下。

表 5 多孔种植混凝土草种配比表

草种	干野菊	紫花苜蓿	狗牙根	百喜草
----	-----	------	-----	-----

播种用量	10-15	4-8	10-12	10-15
------	-------	-----	-------	-------

试验效果如下：



图 1 多孔种植混凝土植物生长情况

经过一个月试验，植物根系能够完全贯穿多孔质混凝土，具备较好的植物适生性。

## 4.多孔质混凝土的工程应用

### 4.1 工程概述

崇明县 2013 年耀全粮食专业合作社高水平粮田水利项目位于崇明岛东滩团结沙外小圩上海耀全粮食专业合作社有限公司本部生产基地。项目区域总面积 6759 亩，东侧和南侧临近东滩湿地，西侧和北侧临近上实公司生产用地，生态多孔种植混凝土排水沟共长 18576m。

本工程工程等别为IV等，主要建筑物级别为 4 级，次要及临时建筑物为 5 级。

### 4.2 设计图纸及工程原貌

近年来由于崇明世界级生态岛建设在上海整个区域战略地位的提升，农业现代化建设也提升到了一个新的高度，崇明县 2013 年耀全粮食专业合作社高水平粮田水利项目的设计理念要求工程在保证安全的基础上，同时对生态和景观也提出了较高要求。

本工程排水系统主要是对现有排水泖沟进行疏浚、保塌设计，因此定位时应以现状排水泖沟位置为准，排水泖沟均采用 C10 生态多孔种植混凝土结构，根据田块位置及现状排水沟口宽与底宽不同，排水沟规模基本可分为两大类。

1、田间排水泖沟主要分布于田间，总长 12820m，口宽在 3.239~5.039m，设计疏浚底高程为 2.0m，沟深 1.3m，排水沟坡比均为 1: 1.2。

2、主路两侧排水沟总长 5756m，口宽为 4.239m~7.958m，设计疏浚底高程为 1.5m，沟深 1.8m，排水沟坡比均为 1: 1.2。

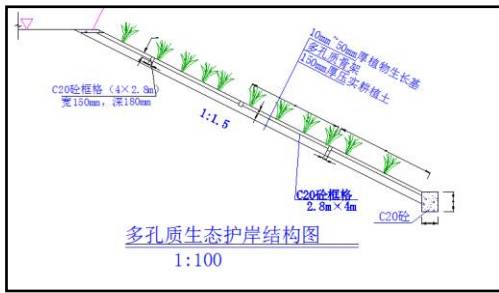


图 2 施工图



图 3 施工原貌

### 4.3 实施效果

工程实施采用配合比为：水泥 200kg/m<sup>3</sup>，25~30mm 骨料 1500kg/m<sup>3</sup>，添加剂 10kg/m<sup>3</sup>。多孔质混凝土应用于崇明河道生态护岸，在工程完工后，植物覆盖率达到 95% 以上，且堤防防护效果良好，历经几次大暴雨后仍安稳如故，并且景观和生态效果明显。

护岸效果图如下：



图 4 施工过程 1



图 5 施工过程 2



图 6 后期效果 1



图 7 后期效果 2

### 4.4 多孔质混凝土应用分析

崇明属中亚热带季风性湿润气候区，年平均降水量 1452.1mm，为全国多年平均降水量的 2.22 倍，为世界大陆多年平均降水量的 1.3 倍。崇明岛空气温和湿润，四季分明，盛行偏北风，雨水丰沛，光热资源充裕。多年平均气温为 15.3℃，平均无霜期 220d，多年平均日

照小时数为 2129.5h, 日照率为 48%, 多年平均降水量为 1049.3mm (指面雨量), 但年际变化很大, 降雨量季节性变化较为明显, 全年降雨多集中于汛期 (5~9 月), 多年平均陆地蒸发量为 718.0mm。

以往崇明的河道多采用硬质边坡, 一方面不利于降雨期间雨水的迅速入渗, 容易产生径流, 雨季加大河流行洪压力, 如果单纯是土壤种植边坡, 则会对坡面造成冲刷, 影响堤防安全性。

采用多孔质种植混凝土进行边坡防护, 可实现安全防护, 径流下渗, 生态修复。具体包括以下三个方面:

(1) 由于现浇多孔质种植混凝土的多孔隙结构, 可以使护岸以下的土体透气、透水, 有利于土壤动物和微生物的生存, 同时, 丰水时, 水向岸堤土体中渗透储存, 减少径流; 枯水时, 储水反渗入河流或蒸发, 即: 水土相互涵养, 良性循环。

(2) 当现浇多孔质种植混凝土的植被根系穿透混凝土并充分生长至土体中时, 在垂直坡面方向拔出绿化混凝土植被护岸的块体, 约需要 5 倍于块体自重的力量。这说明根系具有锚固作用, 植物的根系增加绿化混凝土块体对土体的防护作用, 增加了岸坡的稳定性。

(3) 多孔质种植混凝土能够实现绿化种植, 植被的生长能够实现坡面生态修复, 减少夏季的热岛效应, 是边坡更加的生态。

## 5 结论

1. 多孔质种植混凝土的质量控制指标宜从强度、孔隙率、Ph 值几方面进行控制, 在本文中在水泥  $200\text{kg}/\text{m}^3$ , 25~30mm 骨料  $1500\text{kg}/\text{m}^3$ , 添加剂  $10\text{kg}/\text{m}^3$  该配合比条件下, 多孔质混凝土各方面性能最优, 强度能够达到 6.8MPa, PH 值 8 左右, 孔隙率 27.5%, 适生效果良好。

2. 多孔质种植混凝土的强度测试试件需要设置铺浆面和坐浆面, PH 值测试仅限于多孔质结构内部孔隙水 PH 值。

3. 多孔质种植混凝土应用于崇明河道护岸具备较好的防护和生态效应。

## 参考文献

- [1]. 卞立波.宋少民 生态混凝土制备与植草性研究[J].商品混凝土.2012.10.Bian Libo Bian . Song Shaomin . The research on the Ecological concrete preparation and grass planting [J] . Commercial Concrete . 2012.10.
- [2]. Bian LiBo. Research on mechanical properties of porous concrete. Key engineering materials.2011.8
- [3]. 卞立波 . 植生混凝土专用添加剂及制备方法和使用方法 : 中国 , 2012100682590[P]:2015.3Bian Libo. The preparation method of of the special additives of vegetation concrete and use : China 2012100682590[P]:2015.3
- [4]. 中华人民共和国国家标准《堤防工程设计规范》GB50286-2013. The national standard of the PRC. 《The specification of embankment engineering design》 GB50286-2013.

[5]. 中华人民共和国国家标准《混凝土砌块和砖试验方法》GB/T4111-2013。The national standard of the PRC. 《Test method of Concrete blocks and bricks》GB/T4111-2013