

# 无砂大孔绿化混凝土制备的初步研究

孙道胜<sup>1</sup>, 胡普华<sup>1</sup>, 段加超<sup>2</sup>, 何波发<sup>3</sup>

(1. 安徽建筑工业学院材料科学与工程系, 合肥 230022; 2. 马鞍山市建筑工程质量检测中心, 马鞍山 243000;  
3. 安庆长江公路有限责任公司, 安庆 246000)

**摘 要:**以水泥、单粒级的碎石、掺合料等为原料, 制备出满足一定孔隙率和强度要求的无砂大孔绿化混凝土; 用  $\text{FeSO}_4$  进行降 pH 值处理后, 将种子和营养土填入混凝土孔隙中, 植物能在混凝土孔隙内部发芽和生长。文章初步探索出无砂大孔绿化混凝土孔隙率、强度与水胶比的关系, 孔隙率、强度与胶凝材料用量的关系, 孔隙率与强度的关系, 粗骨料粒级与孔隙率及强度的关系, 降低 pH 值的方法。为进一步深入研究绿化混凝土组成、结构和性能关系及其制备技术奠定了基础。

**关键词:**绿化混凝土; 孔隙率; 强度; pH 值

**中图分类号:** TU528.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-4540(2004)01-035-05

以水泥为胶结材料的水泥混凝土是近代最大宗的人造建筑材料, 混凝土用于土木工程的各种结构, 对人类社会文明和进步做出了巨大贡献。然而, 混凝土所到之处则植物栖息地不存, 花草俱灭。于是, 城市大量广场、庭、院、路、径, 高速公路、江、河的护坡等, 不长一草一木, 尽露单调的混凝土灰色。一方面有碍景观, 更重要的是植物生长面积的大幅度减少对环境造成的破坏。

绿化混凝土, 即能生长花草的混凝土, 属生态混凝土的一种, 是新型环保建筑材料。绿化混凝土可用于城市休闲绿地、道路隔离带、住宅小区绿化、人行步道、停车场等, 大幅度增加城市绿化面积, 改善城市生态环境, 并且大大提高花草的耐践踏性; 可用于高速公路、江、河等的护坡或护堤, 既能固土, 又能改善环境; 进一步开发可用于沙漠固沙绿化, 为沙漠改造开辟新的途径。

## 1 绿化混凝土的结构性能设计

已有文献报道的绿化混凝土大部分由下列几部分组成: 作为主体的植被, 承载被面、被床、床絮和床基<sup>[1]</sup>。作为花草载体的被床, 为一种既具有一定的强度, 又有利于花草生长条件的特殊大孔蓄容混凝土, 厚约 100mm, 孔隙率达 25%~33%。所谓被面, 即为混凝土表面上的一薄层栽培介质(10~25mm), 由草炭土与普通土按比例拌和而成, 营养素与施播的种子, 置于此介质中, 成为利于植物种子萌芽生长的初始环境。所谓床絮, 即为大孔混凝土(被床)孔隙中的填充物, 充填率为孔隙率的 33%~66%。由草炭土构成, 蓄容水分和养料, 利于苗根须通过并扎根至基床。所谓基床, 即为混凝土底下适于植物生长的土壤, 需要深度约 300mm 以上, 可预置缓效性肥料, 利于植物根系的长期生长。

由于这种绿化混凝土是将种子放在表层客土内进行播种, 然后其根穿过混凝土伸入土壤中。这样, 植物的耐践踏性、耐冲刷性、抗冻性以及吸收营养都会在较长时期内受到限制。本项目拟研制一种将种子直接置于混凝土的孔隙中进行培育的绿化混凝土, 从而提高其耐践踏、耐冲刷、耐冻等性能。

收稿日期: 2003-11-03

基金项目: 合肥市自然科学重点项目资助。

作者简介: 孙道胜(1963—), 男, 安徽建筑工业学院材料科学与工程系副教授, 博士研究生, 主要研究方向为水泥基复合材料。

表 1 为一般结构混凝土与适于植物生长的土壤的结构性能对比。

表 1 混凝土和适于植物生长的土壤的成分对比				
类别	孔隙率	pH 值	有效水分	肥料
混凝土	4 %	约 13.0	1vol %	Ca
土 壤	40 % ~ 60 %	4.5 ~ 8.0	10vol %	Ca ,N ,P ,K 等

由表 1 可知,要想让植物能在混凝土中生长,绿化混凝土应解决以下 4 个方面的基本问题:(1)要创造植物生长和发芽所需的空间;(2)使混凝土具有植物生长所需的保水孔隙、保水功能和排水机构;(3)引入植物生长所需的肥料;(4)降低混凝土的 pH 值,使之达到适宜植物生长的水平<sup>[2]</sup>。

研究表明<sup>[3]</sup>,能确保连通孔隙率达到 25 % 以上,就可以满足植物良好生长的孔隙方面的要求;绿化用无砂大孔混凝土的孔径主要受石子粒径和胶凝材料用量及水胶比的影响。根据有关研究资料<sup>[3]</sup>,粒径为 13 ~ 20mm 的碎石制成的混凝土,平均孔径约为 3.5mm;5 ~ 13mm 的碎石,平均孔径约为 1.8mm;2.5 ~ 5mm 的碎石,平均孔径约为 0.7mm。因此,可根据所栽的植物的种类,相应选择适当的级配。

混凝土的碱性主要是由  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  引起的,单方混凝土水泥用量达到 20kg,就能使  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  在混凝土中达到饱和,从而具有较高的 pH 值(通常大于 12.5)<sup>[4]</sup>。大掺量粉煤灰混凝土,需要大约 200d 的时间<sup>[5]</sup>,pH 值最低可降至 11.5,这仍不能满足植物的生长要求。本文采用  $\text{FeSO}_4$  中和处理,使其 pH 值降到 10 以下<sup>[6]</sup>。

## 2 试验与分析

试验用原材料为:(1)水泥:巢湖产 P.O42.5 水泥;(2)粉煤灰: 级粉煤灰,主要技术参数见表 2;(3)石子:16 ~ 20mm 或 10 ~ 20mm 的单粒级碎石;(4)减水剂:萘系 JM-2 型高效减水剂(减水率 15 % ~ 20 %,掺量 B \* 0.6 % )。

设计两组混凝土配合比共 8 种,分别如表 3 和表 4 所示。试件采用人工振捣成型,标准条件下养护,根据 GB181 - 85 分别测定混凝土 7d 和 28d 抗压强度,使用排水法分别测定混凝土 7d 和 28d 的孔隙率<sup>[7,8]</sup>,pH 值采用 pH 试纸测定。其孔隙率和抗压强度试验结果分别列于表 5 和表 6。孔隙率测定的结果,7d 和 28d 基本相同,故仅给出 28d 结果。

表 2 粉煤灰主要化学成分与物理性能

$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{SO}_3$ (%)	CaO (%)	烧失量 (%)	细度	需水量比 (%)
50.3	23.3	10.6	1.9	2.7	8.4	29.4	94

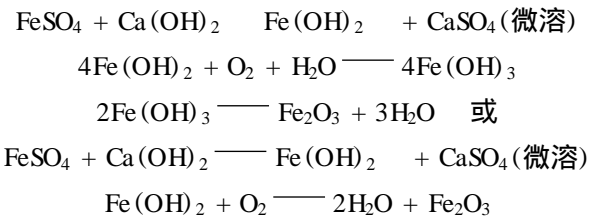
表 3 混凝土配合比(石子粒径为 16 ~ 20mm)

试验编号	水胶比 (W/B)	水 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	碎石 (kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 (kg/m <sup>3</sup> )
A	0.40	92.0	46.0	184.0	1600.0	1.38
B	0.38	87.4	46.0	184.0	1600.0	1.38
C	0.36	82.8	46.0	184.0	1600.0	1.38
D	0.34	78.2	46.0	184.0	1600.0	1.38

将配制好的满足要求的混凝土试块,用  $\text{FeSO}_4$  溶液进行降低 pH 值处理,然后填入土壤和草种,进行种草试验。

混凝土孔溶液的碱性环境主要是由  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  形成的(还有少量的 NaOH 和 KOH)。根据有关研究结果<sup>[9]</sup>,在 28 °C 气温下 28d 时,硅酸盐中的碱有 86 % ~ 97 % 释放出来,其中有 45 % ~ 85 % 是在前几个小时内释放出来的。经过较长时间曝露后,硅酸盐水泥硬化浆体中仅保留 15 % 的碱。因此,通过浸入  $\text{FeSO}_4$  溶

液进行处理,可以使之达到植物正常生长所需 pH 值水平。其反应如下:



从反应的过程可以看出,碱性物质被消耗,最终生成了中性的物质,因此,pH 值可被降低。

表 4 混凝土配合比(石子粒径为 10~20mm)

试验编号	水胶比 (W/B)	水 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	碎石 (kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 (kg/m <sup>3</sup> )
E	0.36	72.0	40.0	160.0	1600.0	1.20
F	0.36	82.8	46.0	184.0	1600.0	1.38
G	0.36	93.6	52.0	208.0	1600.0	1.56
H	0.36	104.4	58.0	232.0	1600.0	1.74

表 5 混凝土孔隙率和强度试验结果  
(石子粒径为 16~20mm)

试验 编号	孔隙率 (%)	抗压强度(7d) (MPa)	抗压强度(28d) (MPa)
A	33.0	7.3	12.7
B	33.1	7.6	12.8
C	33.7	7.0	11.3
D	34.2	6.5	10.3

表 6 混凝土孔隙率和强度试验结果  
(石子粒径为 10~20mm)

试验 编号	孔隙率 (%)	抗压强度(7d) (MPa)	抗压强度(28d) (MPa)
E	34.3	4.6	8.1
F	33.2	5.9	10.0
G	32.3	6.8	11.3
H	31.0	8.6	13.2

根据表 3 和表 5,作出 W/B 与孔隙率及强度变化关系如图 1 和图 2。图 1 和 2 显示,在胶凝材料用量相同的情况下,W/B 在 0.34~0.38 之间,随着 W/B 的增大,其孔隙率趋于降低,强度提高,与普通混凝土的变化规律相反。这是因为在无砂大孔混凝土中,水胶比增大即用水量增加所产生的孔隙,相对于总孔隙来说很小;水胶比较低时,随着水胶比的增大,流动性增加,水泥浆体更多地填充到石子间的空隙中;所以孔隙率降低。孔隙率降低,有效受力面积增大,使强度得到提高。

W/B 分别为 0.38 和 0.40 时,孔隙率及强度变化很小,较之 W/B 在 0.34~0.38 之间变化对孔隙率和强度的影响明显减小。这是因为,较低胶凝材料用量的无砂大孔混凝土,水胶比较高浆体流动性较大时,填充石子孔隙和包裹石子表面的水泥浆数量,主要取决于石子与水泥浆的粘附力,而与水泥浆的流动性关系不大。所以,此时水胶比的变化对混凝土孔隙率和强度影响均很小。

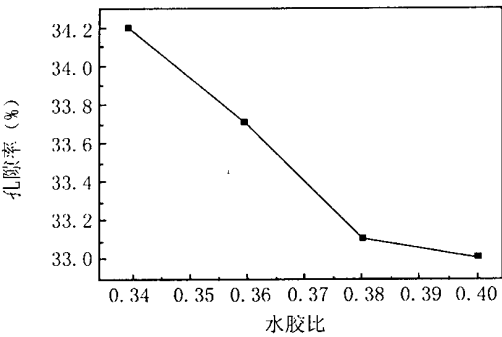


图 1 孔隙率与水胶比的关系

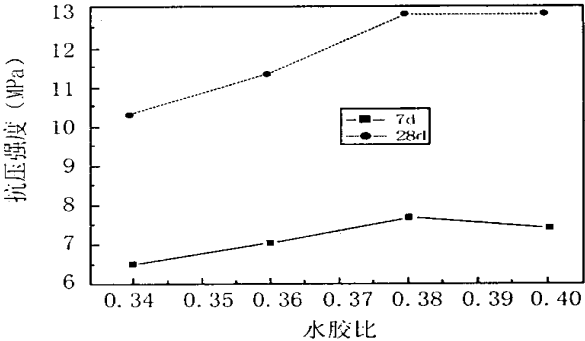


图 2 强度与水胶比的关系

根据表 4 和表 6 作出胶凝材料用量与孔隙率和强度变化关系如图 3 和图 4。图 3 和图 4 显示,在水

胶比不变的情况下,随着胶凝材料用量的增加,孔隙率降低,强度提高。胶凝材料用量与孔隙率和强度变化的关系均呈近似线性关系。比较 H 组和 E 组,胶凝材料用量增加 45%,孔隙率减小 9.6%,28d 强度提高 63%。显然,胶凝材料用量增加对强度的提高效应远大于对孔隙率的降低效应。

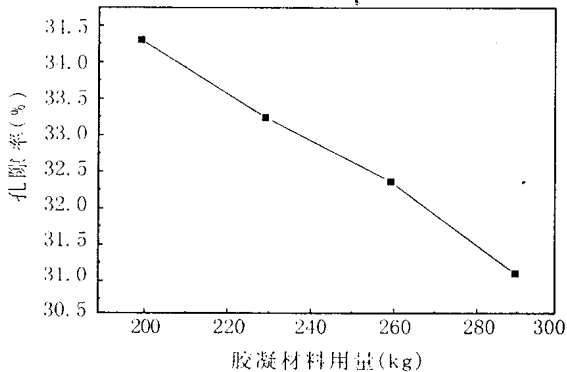


图 3 孔隙率与胶凝材料用量的关系

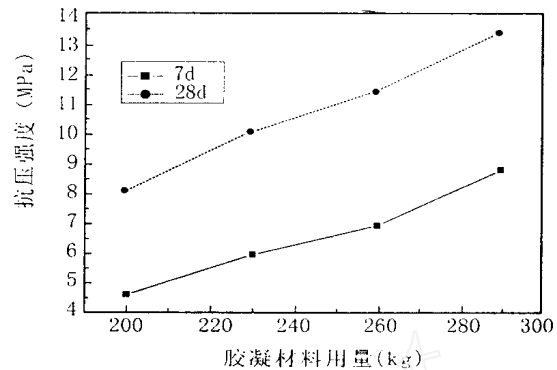


图 4 强度与胶凝材料用量的关系

抗压强度试验显示,无砂大孔混凝土和普通混凝土的破坏形态有所不同,其破坏多发生在粗骨料之间的接触点上。所以,粗骨料之间接触点的粘结强度是决定无砂大孔混凝土强度的关键。正因为如此,胶凝材料用量对其强度影响较之水胶比和孔隙率等因素更为显著。

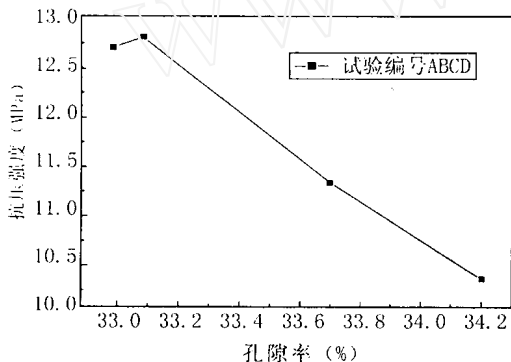


图 5 抗压强度与孔隙率的关系(胶凝材用量不变)

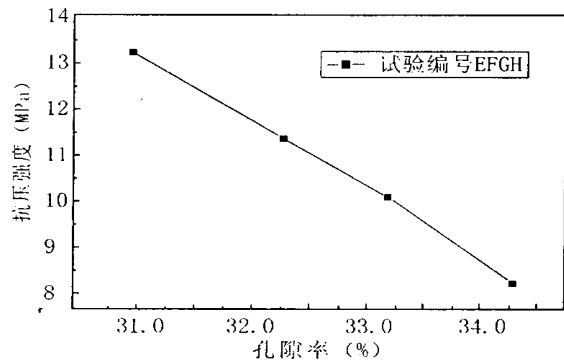


图 6 抗压强度与孔隙率的关系(水胶比不变)

图 5 为第一组试验胶凝材料用量不变,水胶比变化引起的孔隙率与强度变化的关系;图 6 为第二组试验水胶比不变,胶凝材料用量变化引起的孔隙率与强度变化的关系。图 5 显示,胶凝材料用量不变,水胶比在较高水平(大于 0.38)变化与水胶比在较低水平(小于 0.38)变化,孔隙率与抗压强度的关系存在明显差异。比较图 6 和图 5 可以看出,胶凝材料用量对孔隙率的影响比水胶比对孔隙率的影响更为显著,水胶比不变的情况下,抗压强度与胶凝材料用量变化导致的孔隙率变化呈近似线性反比关系。

浸入  $\text{FeSO}_4$  溶液进行降 pH 值处理的混凝土试块,第 2d 发现试块绿色,并带有少许黄色,置入空气中,试块最终变为红棕色。试块颜色的变化证明了前述中和反应的机理。

种草试验还显示,在粗骨料粒级为 16~20mm 的绿化混凝土中,草的发芽和早期生长状况优于粗骨料粒级为 10~20mm 的绿化混凝土。粗骨料粒级越大,混凝土平均孔径也大,营养成分的填充总量增加,并且较大的孔隙空间也会使植物生长更容易。但绿化混凝土的孔径过大,会导致其保水、蓄水能力降低,对植物的后期生长不利。所以,绿化混凝土的孔径应在一个适宜的范围内。

### 3 结束语

绿化混凝土成功地实现了经济效益、生态效益和社会效益的统一。本文的工作初步探索出无砂大孔绿化混凝土孔隙率与水胶比的关系,强度与水胶比的关系;孔隙率与胶凝材料用量的关系,强度与胶凝材

料用量的关系;孔隙率与强度的关系;粗骨料粒级与孔隙率及强度的关系;降低 pH 值的方法。为进一步深入研究绿化混凝土组成、结构和性能关系及其制备技术奠定了基础。

### 参考文献

- 1 胡德熙. 植被混凝土. 建筑知识, 1997, 18(5): 39 ~ 40.
- 2 卫明. 日本绿化混凝土的开发和应用简介. 上海水利, 2000, (2): 50 ~ 52.
- 3 朱航征. 多孔混凝土(POC)的特性和生态环保技术. 建筑技术开发, 2002, 29(2): 67 ~ 69.
- 4 林玮. 路新瀛. 基于混凝土孔隙溶液 pH 值的最小水泥用量探讨. 混凝土与水泥制品, 2002(3): 10 ~ 12.
- 5 孟志良, 吴仲兵. 大掺量粉煤灰的孔隙液相碱度. 重庆建筑大学学报, 1999, 21(1): 24 ~ 27.
- 6 张竹荪. 能长花草的混凝土: 多孔预制块的开发和应用. 建筑技术开发, 1996, 23(2): 54 ~ 55.
- 7 张洪清, 郭秀兰, 陈淑香. 大孔隙无砂混凝土透水性试验研究. 华北水利水电学报, 1994(4): 84 ~ 89.
- 8 叶铭勋. 混凝土孔隙率的测定. 水利水运科学研究, 1997(4): 379 ~ 385.
- 9 袁润章. 胶凝材料学. 武汉工业大学出版社, 1996(第二版).

## PRELIMINARY STUDY OF PREPARATION OF NON - SAND BIG - HOLE PLANTING CONCRETE

SUN Dao-sheng<sup>1</sup>, HU Pu-hua<sup>1</sup>

(1. Anhui Institute of Architecture & Industry, Hefei, 230022, China;

DUAN Jia-chao<sup>2</sup>

2. MaAnShan Construction Engineering Quantity Examination Center, MaAnShan, 243000, China;

HE Bo-fa<sup>3</sup>

3. Anqing Yangtze River Highway Company Ltd, Anqing, 246000, China)

**Abstract** :Non - sand big - hole planting concrete is made by the cement, single - grading crushed stone, admixture and so on, which is provided with certain porosity and strength. Seed and nourished clay are filled into the big holes of the concrete after its pH value is reduced. Thus, the plants can come up and grow in these holes. This kind of planting concrete is elementary explored in the relations including the relation of porosity, strength and the water - binder ratio; the relation of porosity, strength and the amount of cementing material; the relation of porosity and strength; the relation of crushed coarse aggregate grading, porosity and strength; and the methods of reducing pH value in this article. Moreover, basement is settled to research on the composition, structure, performance and preparation of this kind of planting concrete deeply.

**Key words** :planting concrete; porosity; strength; pH value