

多孔混凝土水质净化性能

许国东^{1,3} 高建明¹ 吕锡武²

(¹ 东南大学材料科学与工程学院, 南京 211189)

(² 东南大学能源与环境学院, 南京 210096)

(³ 江苏省建筑工程质量检测中心, 南京 210008)

摘要: 设计制作了多孔混凝土水质净化试验装置, 对 5 种不同粗骨料粒径和空隙率的多孔混凝土进行了水质净化性能试验. 附着在多孔混凝土表面的生物体的数量可间接地通过溶解氧 (DO) 的消耗量来检测. 多孔混凝土的水质净化性能可通过总磷 (TP) 和总氮 (TN) 的去除量进行评价. 试验结果表明: 多孔混凝土在水中具有富集营养物质, 使生物膜附着生长其上的效应; 采用 10 ~ 20 mm 粒径的集料所制备的空隙率为 25% 的多孔混凝土其水质净化效果最佳.

关键词: 多孔混凝土; 生物膜; 水质净化; 空隙率; TP; TN

中图分类号: TU 528; X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 0505 (2007) 03-0504-04

Water-purification properties of porous concrete

Xu Guodong^{1,3} Gao Jianming¹ Lü Xiwu²

(¹ School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

(² School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(³ Jiangsu Testing Center for Quality of Construction Engineering, Nanjing 210008, China)

Abstract: The results of experiment on water purification properties of porous concrete are reported. Five sizes of coarse aggregate and void ratios were adopted. An equipment for water purification experiment was designed. In the water purification experiment, the amount of organisms attached on the porous concrete surface is indirectly examined by the consumption of the dissolved oxygen (DO). Water purification of the porous concrete is evaluated by the removal amount of the total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN). A porous concrete with aggregate size of 10 to 20 mm and void ratio of 25% provides superior ability of water purification. Results from this study show that porous concrete is able to purify water efficiently.

Key words: porous concrete; bio-film; water-purification; void ratio; total phosphorus; total nitrogen

环保生态型多孔混凝土是近年来迅速发展起来的一种环境友好材料, 可以减轻环境负荷同时也与有机物相适应, 受到各国环境与材料学者的普遍关注^[1-4]. 多孔混凝土 (porous concrete, POC) 内部有着连续的孔隙结构, 水与空气能够很容易通过或存在于其连续通道内, 多孔混凝土的多孔结构提供了适于微生物生长的生存环境, 在其表面和内部有大量的细菌栖息繁衍, 包括硝化菌、甲烷菌、脱氮菌等好氧性和厌氧性细菌. 多孔混凝土内外表面上形成的生物膜中生物种群较多, 可以充分发挥生物膜

的作用, 降解水中的污染物质, 使水质得到净化^[5-7]. 因此, 采用多孔混凝土建造水边构筑物既可保持水土、加固堤岸, 又可维持甚至增加生物多样性并净化水质.

本文结合国家“十五”重大科技专项“镇江市水环境质量改善与生态修复技术研究与示范”项目的研究工作, 依据国内外相关研究成果, 自行设计了多孔混凝土表面挂膜及水质净化效果的实验方法并进行了试验研究, 研究结果表明多孔混凝土具有良好的水质净化性能.

1 水质净化试验

水质净化试验在室内流水装置 (见图 1) 中进行, 装置有 6 个水槽, 将标准养护 14 d 的 5 种多孔

收稿日期: 2006-11-30

基金项目: 国家“十五”重大科技专项资助项目 (2003AA601100-3).

作者简介: 许国东 (1981—), 男, 硕士生; 高建明 (联系人), 男, 博士, 教授, 博士生导师, jngao@seu.edu.cn

混凝土试块 (100 mm ×100 mm ×100 mm) (见表 1)放入水槽,其中一个水槽为空白对比.水流以 200 mL /m in 的速度在槽内循环流动以利于微生物的附着.每天模拟日光照射 12 h,照射强度 5 000 lx.水温维持在 (25 ±2) 以减少温度的影响^[8].试验用水是配制的标准废水(见表 2),水质指标依据《水和废水检测分析方法》进行检测.

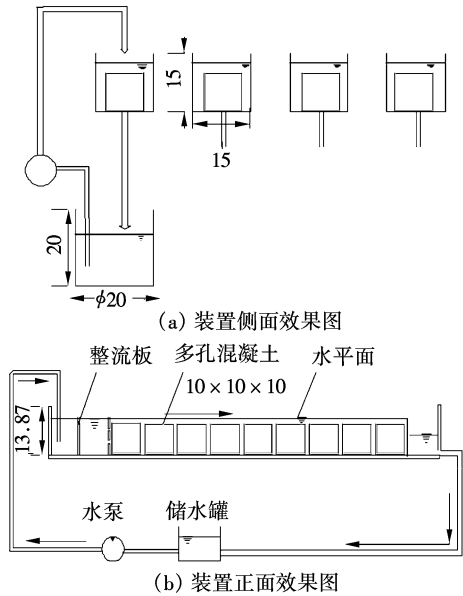


图 1 POC水质净化试验装置(循环水流)(单位:cm)

表 1 多孔混凝土的配合比

试件编号	骨材粒径 /mm	设计孔隙率 /%	水灰比 /%
A 20	5 ~ 10	20	28
A 25	5 ~ 10	25	
B 20	10 ~ 20	20	
B 25	10 ~ 20	25	
B 30	10 ~ 20	30	

表 2 标准废水的水质指标

(TP)		(TN)	高锰酸盐指数
0.4		2	26.7

2 试验结果与分析

2.1 试验水体 pH 值的变化

多孔混凝土是由胶凝材料填充包裹在粗骨料周围而形成的多孔结构的混凝土.因此多孔混凝土内外表面主要是胶凝材料,其对周围水环境的影响主要是由胶凝材料引起的.多孔混凝土的胶凝材料主要是由硅酸盐水泥、矿粉和粉煤灰等组成.胶凝材料水化后,浸泡在水中,会有 Ca^{2+} 、 OH^- 等离子溶出,从而影响水体中微生物的生长.放入多孔混凝土的各水道中 pH 值随时间的变化如图 2 所示.在水体浸没混凝土的初期,水体 pH 值达到 11 左

右,但随后 pH 值不断降低,20 d 以后降到 9 以下,可满足微生物的栖息与生长.由此可知,虽然多孔混凝土的水中溶出物在初期会对水体造成不利的影响,但随着水体不断循环通过混凝土和多孔混凝土溶出 Ca^{2+} 、 OH^- 等离子量的减少,这种影响会不断减弱.由于多孔混凝土具有较大的比表面积,浸泡多孔混凝土的水体的 pH 值要比普通混凝土下降得快.

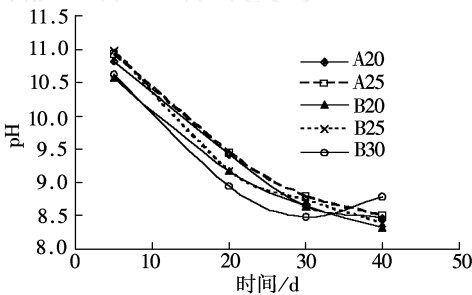


图 2 水体 pH 值随时间的变化

2.2 微生物的生长状况与 DO 的消耗量

图 3 给出了各水道溶解氧的消耗量随时间的变化规律.溶解氧的消耗量是间接评价多孔混凝土上附着的微生物生长状况的指标.本文溶解氧的消耗量是指浸没多孔混凝土水道的溶解氧值与标准空白水道的溶解氧值的差值^[1].结果表明,对于相同的集料粒径,多孔混凝土空隙率越大,溶解氧的消耗量越多.对于 DO 的消耗量在 20 d 前上升,30 d 左右下降的原因可能是:由于水中丰富的 C、N、P 等营养物质,微生物早期生长迅速,从而消耗了水体中的溶解氧,后期微生物生长数量达到一定限量,活性降低,溶解氧消耗量不再增加甚至减少.

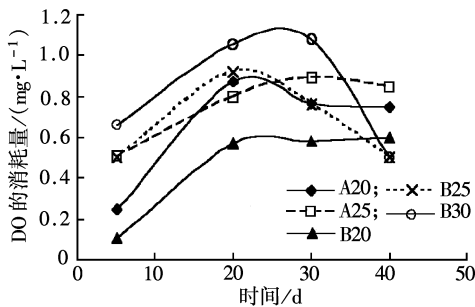


图 3 DO 的消耗量随时间的变化

2 3 TP 的去除与多孔混凝土的空隙率、集料粒径的关系

图 4 为不同集料粒径和空隙率的多孔混凝土水质净化试验的 TP 质量浓度随时间的变化曲线.各水道 TP 质量浓度在前 20 d 持续下降,30 d 时开始上升. POC (A20) 20 d 时 TP 质量浓度降到 0.082 mg/L (去除率为 79.5%); POC (A25) 20 d

时 TP 质量浓度降到 0.026 mg/L (去除率为 93.5%)。POC (B20) 20 d 时 TP 质量浓度达 0.056 mg/L (去除率为 86%)；POC (B25) 20 d 时 TP 质量浓度降到 0.017 mg/L (去除率为 95.8%)，效果最好；而 POC (B30) 20 d 时 TP 质量浓度降到 0.02 mg/L (去除率 95%)。30 d 时 TP 质量浓度上升的原因可能是：流水循环装置中的水量和多孔混凝土的数量是固定的，多孔混凝土内部附着的微生物的量在某一时刻会达到极限，其净化水质的能力亦达到极限^[5]。或者由于水中丰富的 C、N、P 等营养物质，微生物早期生长迅速，从而消耗了水体中的溶解氧，溶解氧的缺少又导致微生物后期活性降低，生物膜甚至开始脱落使 TP 质量浓度上升。TP 的去除率与多孔混凝土空隙率、集料粒径的关系如图 5 所示。

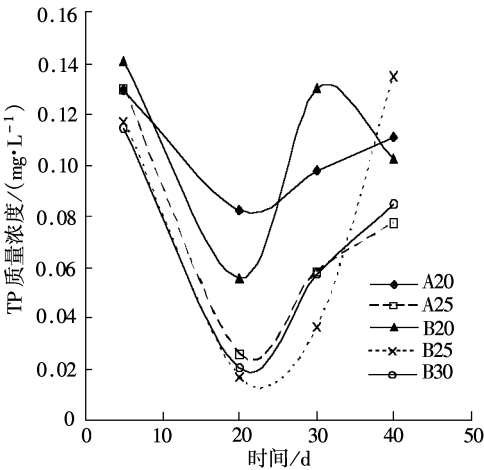


图 4 TP 随时间的变化

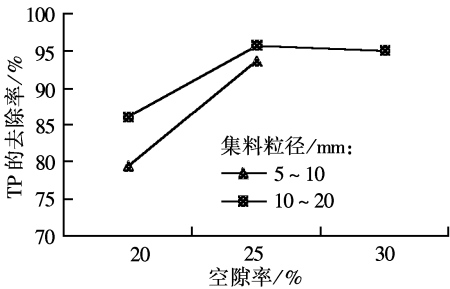


图 5 20 d 时 TP 的去除率与多孔混凝土空隙率、骨料粒径的关系

从图 5 可以看出，多孔混凝土的空隙率越大，TP 的去除效果越好，但当空隙率大于 25% 时 TP 的去除效果变化不大。原因可能是：一方面试验水体中营养物质和溶解氧的量决定了生物膜生长的最大量^[9]；另一方面当空隙率为 25% 时，为本试验所需的生物膜提供了足够的附着生长空间，生物膜的数量已达到极限值，当空隙率再增大时空间富余，TP 的去除效果变化不明显。对于集料粒径，集

料粒径为 10~20 mm 的多孔混凝土，TP 的去除效果比集料粒径 5~10 mm 的多孔混凝土好，但随着空隙率的增加这种差别逐渐减小。空隙率决定了多孔混凝土空隙的量，骨料粒径决定了多孔混凝土空隙的尺寸。空隙率对多孔混凝土水质净化试验 TP 的去除效果影响更大些。

2.4 TN 的去除率与多孔混凝土的空隙率、集料粒径的关系

图 6 为不同集料粒径和空隙率的多孔混凝土水质净化试验的 TN 质量浓度随时间的变化情况。各水道 TN 质量浓度在前 20 d 持续下降，30 d 时开始上升。POC (A20) 20 d 时 TN 质量浓度达 1.45 mg/L (去除率为 32.5%)；POC (A25) 20 d 时 TN 质量浓度达 1.19 mg/L (去除率为 40.5%)。POC (B30) 20 d 时 TN 质量浓度达 1.05 mg/L (去除率为 47.5%)；POC (B25) 20 d 时 TN 质量浓度达 0.88 mg/L (去除率为 56%)，效果最好；而 POC (B20) 30 d 时 TN 质量浓度达到最低点 (0.98 mg/L，去除率 51%)。30 d 时 TN 质量浓度开始上升，可能是由于：一方面多孔混凝土上附着生长的微生物量达到极限量；另一方面微生物的活性降低^[5]。总体上，空隙率大的多孔混凝土要比空隙率小的去除效果好，但并不是越大越好。处理效果最好的是多孔混凝土 B25 (集料粒径 10~20 mm、空隙率 25%)。

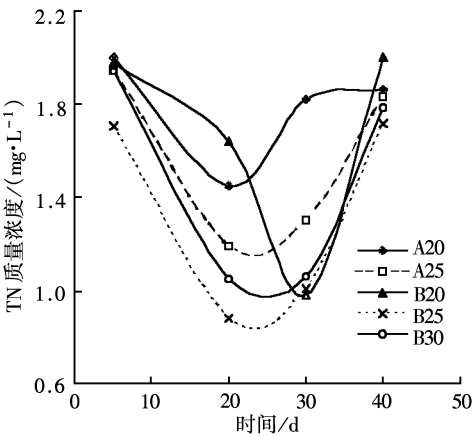


图 6 TN 随时间的变化

3 结论

- 1) 多孔混凝土的水中溶出物会对水体造成不利的影响，但随着水体不断循环通过混凝土和混凝土溶出 Ca^{2+} 、 OH^- 等离子量的减少，这种影响会逐步减弱。
- 2) 多孔混凝土在水中具有富集营养物质，使生物膜附着生长其上的效应。生物膜的溶解氧消耗

量随空隙率的增大而增加。

3) 多孔混凝土具有水质净化的性能。在一定时间内,多孔混凝土表面附着的生物膜使水体的 TP 和 TN 得到有效的降低。

参考文献 (References)

- [1] 水口裕之,宫岛崇.连续孔隙を持つポラスコンクリートの水质净化机能に及ぼす空隙寸法および空隙率の影響[J]. コンクリート工学年次論文報告集, 1997, 19(1): 1045 - 1050.
- [2] 蒋彬,吕锡武,吴今明,等.生态混凝土护坡在水源保护区生态修复工程中的应用[J]. 净水技术, 2005, 24(4): 47 - 49.
- Jiang Bin, Lü Xiwu, Wu Jinming, et al. Application of eco-concrete dyke protection to bio-remediation engineering in water source conservation[J]. Water Purification Technology, 2005, 24(4): 47 - 49. (in Chinese)
- [3] 新西城男,张日红.ポラスコンクリートの水质汚染物質除去特性[J]. コンクリート工学年次論文報告集, 2000, 22(2): 1219 - 1224.
- [4] Park Sung Bum, Tia Mang. An experimental study on the water purification properties of porous concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34: 177 - 184.
- [5] 陈志山,刘选举.生态混凝土净水机理及其应用[J]. 科学技术与工程, 2003, 3(4): 371 - 373.
- Chen Zhishan, Liu Xuanju. Mechanism and application of eco-concrete using for purification[J]. Science Technology and Engineering, 2003, 3(4): 371 - 373. (in Chinese)
- [6] 伊良波繁雄,富山润,松原仁,等.海洋小动物の栖息を考慮した海岸構築物材料としてのポラスコンクリートに関する研究[J]. コンクリート工学年次論文報告集, 2001, 22(2): 187 - 192.
- [7] 玉井元治.まぶしコンクリートの海中における性質と水质净化の可能性[J]. •メントコンクリート論文集, 1992(46): 880 - 885.
- [8] 许国东,高建明,吕锡武,等.多孔混凝土净水功能及试验方法的研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2006(增刊): 68 - 70.
- Xu Guodong, Gao Jianming, Lü Xiwu, et al. An experimental method study on the water purification properties of porous concrete[J]. China Concrete and Cement Products, 2006(sup): 68 - 70. (in Chinese)
- [9] 李夜光,李中奎,耿亚红,等.富营养化水体中 N、P 浓度对浮游植物生长繁殖速率和生物量的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 317 - 325.
- Li Yeguang, Li Zhongkui, Geng Yahong, et al. Effect of N, P concentration on growth rate and biomass of phytoplankton in eutrophical water[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(2): 317 - 325. (in Chinese)