

# 镇江海绵化改造中透水混凝土净化性能研究

胥民尧<sup>1</sup>, 程智龙<sup>2</sup>, 杜 垚<sup>2</sup>, 乔稳超<sup>2</sup>, 郑琳琳<sup>2</sup>, 曹为龙<sup>1</sup>

(1. 盐城工业职业技术学院 建筑工程学院, 江苏 盐城 224005; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

**摘 要:** 以镇江市海绵城市建设项目为依托, 首先根据实测数据对该市径流雨水污染物进行特征分析, 然后通过污染物渗透及净化实验研究了不同硅藻土含量下透水混凝土的净化能力和强度变化, 给出了透水混凝土中硅藻土的最佳含量和实际应用效果, 可为海绵城市建设中含硅藻土的透水混凝土选用提供参考。

**关键词:** 海绵城市; 透水混凝土; 污染物净化; 配合比; 渗透性

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)24-0095-05

## Research on Purification Performance of Pervious Concrete Based on Sponge City Reconstruction in Zhenjiang

XU Min-yao<sup>1</sup>, CHENG Zhi-long<sup>2</sup>, DU Yao<sup>2</sup>, QIAO Wen-chao<sup>2</sup>, ZHENG Lin-lin<sup>2</sup>, CAO Wei-long<sup>1</sup>

(1. School of Architecture Engineering, Yancheng Institute of Industry Technology, Yancheng 224005, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Co. Ltd., Beijing 100160, China)

**Abstract:** Based on the sponge city construction project of Zhenjiang, the purification performance of pervious concrete was researched. Firstly, the characteristics of urban runoff pollutants were analyzed according to the measured data, and then the purification capacity and strength of pervious concrete with different content of diatomite were studied through pollutant infiltration and purification experiments. The optimum content of diatomite and practical application effect of pervious concrete were proposed, which could provide a reliable reference for the selection of pervious concrete containing diatomite in sponge city construction.

**Key words:** sponge city; pervious concrete; purification of pollutants; mixture ratio; permeability

透水混凝土是一种具有生态功能的混凝土, 对于缓解城市内涝、降低噪声、加强水资源循环利用等具有显著作用<sup>[1]</sup>。透水混凝土因其结构孔隙特点, 对径流污染物有一定的过滤净化能力, 作为一种绿色透水铺装材料因海绵城市理念的推广而广泛应用<sup>[2-4]</sup>。

目前国内外学者为了优化透水混凝土的综合性能, 已进行了相关研究。Schluter、范士锦等<sup>[2-3]</sup>对透水路面进行了数值模拟, 分析了不同影响因素下

透水路面的渗流情况。龚平、Jayanta等<sup>[4-5]</sup>研究了配合比、压实方法以及粗骨料种类和粒径对透水混凝土力学性能及孔隙率的影响。何鑫、范超群等<sup>[1,6]</sup>研究了透水路面结构的设计及具体工程应用情况。郑雯等<sup>[7-11]</sup>对添加不同类型、不同含量矿粉和硅藻土的透水混凝土及其生态效应、水质净化能力进行了相关研究。

以镇江市海绵城市建设项目为依托, 首先根据实测数据对城市径流雨水污染物进行了特征分析,

然后通过介质污染物净化实验探究了不同硅藻土含量下,透水混凝土去除径流污染物的能力和渗透性,给出了透水混凝土最佳配合比和在实际工程中的应用情况,可为海绵城市建设中透水混凝土选用提供参考。

## 1 工程概况

镇江市海绵城市建设试点项目共 273 个,整个区域道路海绵化改造工程量较大。在进行海绵化改造前,镇江市内涝情况严重,雷暴频发天气下经常发生内涝。

## 2 城市径流雨水污染物特征分析

为了对镇江市海绵改造区域的城市径流雨水污染物特征进行分析,选取镇江市江二社区地表采样点进行采样和降雨量测量,混凝土路面平均径流系数为 0.9。样本为 2015 年 6 月 2 日 10:00—12:00 和 2016 年 10 月 27 日 10:00—12:00 的强降雨,每隔 6 min 取样一次至降雨结束。

水样用聚乙烯瓶采集后立即分析,主要分析 TSS、COD、TP 和氨氮四项指标,均采用标准分析方法:用称重法测定 TSS,用重铬酸盐法测定 COD,用纳氏试剂分光光度法测定氨氮,用钼锑抗分光光度法测定 TP。

样本水质变化如图 1、2 所示。

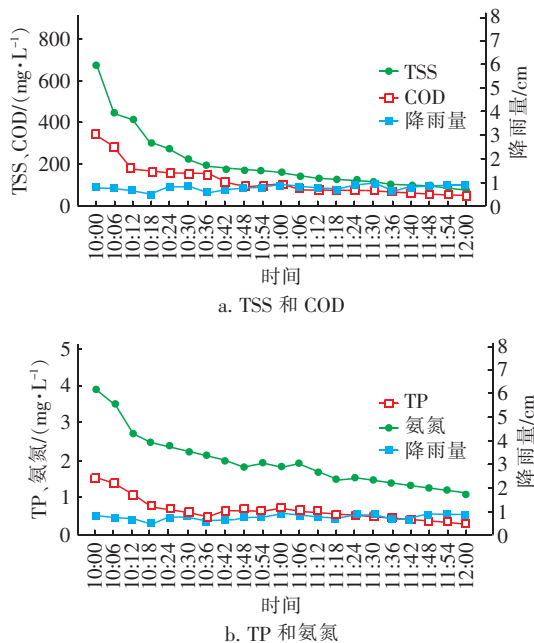


图 1 2015 年 6 月 2 日降雨地表径流水质变化

Fig. 1 Changes of surface water quality in the process of rainfall on Jun. 2nd, 2015

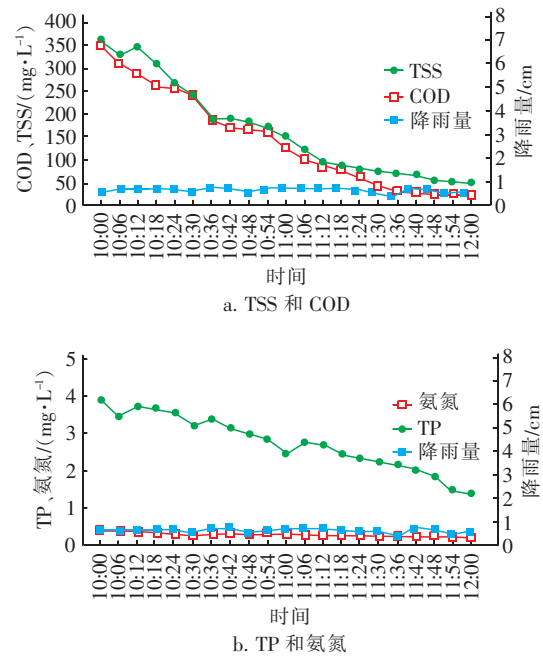
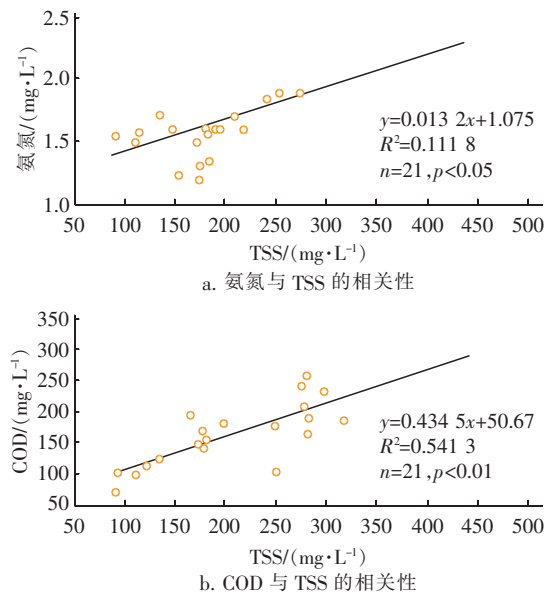


图 2 2016 年 10 月 27 日降雨地表径流水质变化

Fig. 2 Changes of surface water quality in the process of rainfall on Oct. 27th, 2016

根据图 1、2 可知,在降雨初期径流污染物浓度相对较高,中后期快速下降,并趋于稳定。推测原因是降雨初期溶解冲刷占主导地位,随着时间变化,地表径流污染物减少,稀释作用占主导地位,污染物浓度逐渐降低。径流污染物的浓度和达到稳定的时间主要取决于不透水地表污染物的累积程度和降雨特征。为了得到地表径流水质指标的相关性,对各污染物之间的皮尔逊相关性进行了分析(见图 3)。



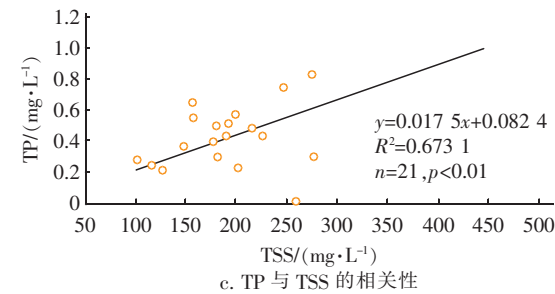


图 3 氨氮、COD、TP 与 TSS 的相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of COD, TN, TP and TSS

由图 3 可知,城市降雨径流中污染物之间存在着不同程度的相关性,COD 与 TSS、TP 与 TSS 的  $p$  均小于 0.01,氨氮与 TSS 的  $p$  均小于 0.05,TSS 是城市降雨径流污染过程的主要污染物,同时也是其他污染物的载体。四者之间相关性较好,说明大部分污染物质以颗粒吸附态存在,来源为地表。加强地表清扫管理,在改造地区的路面中增强其吸附和过滤性能,可以从根源上有效控制城市地表径流污染物总量。透水混凝土兼具优良的透水性和吸附能力,因此选择透水混凝土作为镇江海绵城市改造中的主要研究对象。

3 透水混凝土试验分析

水泥采用 P. O52.5 普通硅酸盐水泥,质量符合国家标准。石子采用粒径分别为 15 ~ 20 mm 的单一级配骨料,表观密度为 2 750 kg/m<sup>3</sup>,振实密度为 1 547 kg/m<sup>3</sup>,含水率为 1.7%,吸水率为 2.9%。硅藻土的细度为 100 目,试验拌和水为自来水。

具体工况设计如表 1 所示。

表 1 工况设置

Tab. 1 Working conditions

工况	硅藻土含量/%	配合比/(kg·m <sup>-3</sup> )					水胶比
		石子	水泥	硅藻土	水	添加剂	
Si0	0	1 516.44	438.64	0	109.66	1	0.25
Si10	10	1 516.44	332.52	36.95	118.23	1	0.32
Si20	20	1 516.44	252.73	63.18	126.37	1.5	0.40
Si30	30	1 516.44	184.00	78.86	141.95	2	0.54
Si40	40	1 516.44	153.22	86.75	149.80	2	0.58

制备试件时采用二次加料法,采用机械强制搅拌。混凝土经搅拌均匀后,分两次装填入模具,每次装填一半后都用一定粗细的钢管均匀插捣,使混凝土拌和物紧密堆积,最后用钢抹子压实抹平成型。浇筑完成后覆膜保水,24 h 后开始洒水养护,2 ~ 3 d 后脱模,送至标准养护室。透水率的测定方法参照

《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T 135—2009),抗压强度的测试采用 SYE - 2000 型压力试验机,孔隙率的测试方法参照《透水砖》(JC/T 945—2005)。抗压强度测试采用边长为 150 mm 的立方体试块,净化能力测试采用长为 200 mm、宽为 400 mm、高为 150 mm 的长方体试块,放进图 4 所示的观测箱内,观测期间箱面覆膜以防止水分蒸发。



图 4 净化能力测试箱

Fig. 4 Purification capacity test box

经 SYE - 2000 型压力试验机进行常规试块抗压强度测试,工况 Si0 ~ 工况 Si40 的透水混凝土抗压强度分别为 10.5、7.8、6.7、6.2、3.2 MPa。由监测结果可知,随着硅藻土含量的增加,透水混凝土的抗压强度有下降趋势,抗压强度随硅藻土含量的变化比较显著,当硅藻土含量超过 30% 时,其强度明显下降。

进行净化能力测试时,每个观测箱以相同的水压加水,待底部出水口开始出水时开始计时,每隔相同时间间隔更换集水量筒(间隔时间长短视渗透速度快慢而定),记录下渗出的水量。径流污染物浓度通过化学药品及自来水配制而成,污染物配制添加剂及浓度见表 2。

表 2 污染物指标、添加剂源及浓度

Tab. 2 Indicator, addition agent and concentration of

pollutants		mg·L <sup>-1</sup>
指标	添加剂	浓度
COD	CH <sub>3</sub> COONa	250
TP	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.5
Zn	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5
NH <sub>3</sub> - N	KNO <sub>3</sub>	10
Pb	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2

不同硅藻土含量对径流污染物去除效果的影响见表 3。



表3 不同硅藻土含量对径流污染物去除的影响

Tab.3 Effect on removal of contaminants in runoff %

污染物	Si0	Si10	Si20	Si30	Si40
SS	58.7	51.2	65.3	62.1	61.3
COD	32.1	35.3	41.2	43.5	41.5
TP	34.8	36.9	44.7	56.9	51.3
Zn	35.2	41.5	62.3	65.8	62.9
NH <sub>3</sub> -N	8.7	22.5	28.9	29.1	27.5
Pb	30.2	50.8	70.9	82.5	88.3

由表3可知,添加了硅藻土的透水混凝土对污染物去除效果普遍好于不添加硅藻土的透水混凝土。添加硅藻土后,对NH<sub>3</sub>-N、Zn和Pb三种污染物的去除率显著增加。随着硅藻土掺量的增加,透水混凝土对各项污染物的净化效果均有不同程度的提高。推测其原因是硅藻土增大了透水混凝土的表面微孔,因此对污染物的吸附和过滤能力增强。当硅藻土含量为10%时,与不含硅藻土的透水混凝土相比,对SS去除能力下降了7.5%,对COD、TP、Zn、NH<sub>3</sub>-N和Pb的净化能力分别提高了1.1、1.06、1.16、2.8、1.68倍,对NH<sub>3</sub>-N的净化能力有明显提升。当硅藻土含量为20%时,与不含硅藻土的透水混凝土相比,对SS、COD、TP、Zn、NH<sub>3</sub>-N和Pb的净化能力分别提高了1.11、1.28、1.28、1.77、3.32、2.34倍,对Pb污染物的净化能力提升最显著。当硅藻土含量为30%时,与不含硅藻土的透水混凝土相比,对SS、COD、TP、Zn、NH<sub>3</sub>-N和Pb的净化能力分别提高了1.05、1.35、1.63、1.86、3.34、2.73倍,对各污染物的净化能力提升能力并不明显。当硅藻土含量为40%时,与不含硅藻土的透水混凝土相比,对SS、COD、TP、Zn、NH<sub>3</sub>-N和Pb的净化能力分别提高了1.04、1.29、1.47、1.78、3.16、2.92倍,对各污染物的净化能力有所下降。因此,从综合效果来看,当硅藻土含量为20%和30%时净化能力较好,但当硅藻土含量为30%时,相对于20%含量的净化能力并没有显著提高,但整体造价明显增加,因此建议硅藻土的合理含量为20%。

#### 4 工程应用

对镇江市的道路进行海绵化改造,金山湖路的人行道采用混凝土透水路面,面层采用彩色透水混凝土,基层采用硅藻土含量为20%的透水混凝土,底基层为大粒径碎石材料,一方面能够迅速将水排到路基,另一方面能够防止渗入路基的水因毛细现象上升,可以有效防止含水土基冻胀对路面结构整

体性的影响。地下水在路基中得以保存,可以防止地基沉降,同时能够补给周围植物。图5给出了金山湖路人行道在雨中的情况,发现路面基本没有积水,排水效果较好。



图5 金山湖路人行道

Fig.5 Jinshan Lake road sidewalk

#### 5 结论

以镇江市海绵城市建设项目为依托,首先根据实测数据对城市径流雨水污染物进行了特征分析,然后通过介质污染物净化实验探究了不同硅藻土含量下透水混凝土去除径流污染物能力和渗透性,主要得到以下结论:

① 镇江市海绵改造区大部分的污染物质以颗粒吸附态存在,来源主要为地表。在改造地区的道路工程中增强对污染物的吸附和过滤性能,可以从根源上有效控制城市地表径流污染物总量,也可以有效减轻城市地表径流对水环境的负面影响。

② 添加了硅藻土的透水混凝土对污染物去除效果普遍好于不添加硅藻土的透水混凝土。添加硅藻土后对NH<sub>3</sub>-N、Zn和Pb三种污染物的去除率显著提高。

③ 当硅藻土含量为20%和30%时净化能力较好,但当硅藻土含量为30%时,相对于20%含量的净化能力并没有很大提高。考虑到透水混凝土强度随着硅藻土含量增大而显著下降,硅藻土造价本身较高的因素,建议硅藻土的合理含量为20%。

#### 参考文献:

- [1] 何鑫,曹霞,张欣红,等. 浅谈透水人行道结构的设计及工程应用[J]. 城市道桥与防洪,2008(6):19-21.  
He Xin, Cao Xia, Zhang Xinhong, et al. Elementary discussion of design and engineering application of pervious sidewalk structure[J]. Urban Roads Bridges &

- Flood Control, 2008(6):19-21 (in Chinese).
- [2] Schluter W, Chris J. Modelling the outflow from a porous pavement[J]. Urban Water, 2002, 4(3):245-253.
- [3] 范士锦, 刘筱玲, 陈代果, 等. 透水混凝土矿渣微粉改性试验研究及渗流模拟[J]. 混凝土与水泥制品, 2017(11):6-9, 15.  
Fan Shijin, Liu Xiaoling, Chen Daiguo, *et al.* Experimental study on modification of pervious concrete slag powder and seepage simulation[J]. China Concrete and Cement Products, 2017(11):6-9, 15 (in Chinese).
- [4] 龚平, 谢先当, 李俊涛. 成型工艺对再生骨料透水混凝土性能的影响研究[J]. 施工技术, 2015, 44(12):65-68.  
Gong Ping, Xie Xiandang, Li Juntao. Effects study of molding method on properties of porous pervious concrete with recycled aggregates[J]. Construction Technology, 2015, 44(12):65-68 (in Chinese).
- [5] Bandyopadhyay J, Chakraborty R, Deb S. Comparative study on various parameters of pervious concrete for different size of coarse aggregates[J]. Int J Res Anal Rev, 2015(2):123-129.
- [6] 范超群, 方金秋, 唐森. 海绵城市彩色透水混凝土设计及性能研究[J]. 混凝土世界, 2018(107):77-82.  
Fan Chaoqun, Fang Jinqiu, Tang Sen. Design and performance study of color permeable concrete in sponge city[J]. Building Decoration Materials World, 2018(107):77-82 (in Chinese).
- [7] 郑雯, 王仕威, 杨钱荣. 掺合料对钢渣透水混凝土性能的影响[J]. 粉煤灰综合利用, 2014(6):3-6.  
Zheng Wen, Wang Shiwei, Yang Qianrong. Influence of admixtures on the properties of steel slag pervious concrete[J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2014(6):3-6 (in Chinese).
- [8] 许国东, 高建明, 吕锡武. 多孔混凝土水质净化性能[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2007, 37(3):504-507.  
Xu Guodong, Gao Jianming, Lü Xiwu. Water-purification properties of porous concrete[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2007, 37(3):504-507 (in Chinese).
- [9] 张巨松, 张添华, 宋东升, 等. 影响透水混凝土强度的因素探讨[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2006, 22(5):759-763.  
Zhang Jusong, Zhang Tianhua, Song Dongsheng, *et al.* Several factors of effect on strength of porous concrete[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2006, 22(5):759-763 (in Chinese).
- [10] 高建明, 许国东, 吕锡武. 多孔混凝土综合生态效应的试验研究[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2008, 38(5):794-798.  
Gao Jianming, Xu Guodong, Lü Xiwu. Experimental study on eco-environmental effect of porous concrete[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008, 38(5):794-798 (in Chinese).
- [11] 吴正光, 王修焱, 卢佩霞, 等. 硅藻土透水混凝土水质净化效果研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(12):3586-3591, 3595.  
Wu Zhengguang, Wang Xiuyan, Lu Peixia, *et al.* Diatomite impact on water quality purification of porous concrete[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2015, 34(12):3586-3591, 3595 (in Chinese).



**作者简介:**胥民尧(1981-),男,江苏盐城人,硕士,高级工程师,2017年江苏省高校优秀科技创新团队骨干成员,江苏省高等职业教育产教深度融合实训平台——智慧建造开放实训平台成员,主要从事桥梁设计与计算理论研究。

**E-mail:**yciitxmy@163.com

**收稿日期:**2019-03-22