

处理污染河水的渗流式生物床填料性能研究

林岩清, 何 苗, 胡洪营, 管运涛, 张 建

(清华大学 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘 要: 渗流式生物床是受严重污染小型河流强化治理的优选技术,而填料是河水处理的核心介质,高效、经济填料的选取对渗流式生物床的开发和应用具有重要意义。为此,选取试验基地附近 4 种价廉易得的天然及废弃材料作为填料,进行了填料物理性能、化学性能和生物附着性能的研究。结果表明:废陶瓷和废砖块具有较高的孔隙率和外部比表面积,物理性能较好,而沸石则具有较好的氨氮吸附性能;就渗出物质而言,4 种填料用于河水处理都是安全可行的,其中废砖块渗出了较多的有益物质,并有较好的生物附着性能,是综合性能最好的填料,其余依次是沸石、废陶瓷和卵石。

关键词: 渗流式生物床; 污染河水; 天然及废弃材料; 填料性能

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2006)07-0013-04

Study on Packing Media Characteristic of Seepage Biological Bed for Polluted River Water Treatment

L N Yan-qing, HE Miao, HU Hong-ying, GUAN Yun-tao, ZHANG Jian

(State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The seepage biological bed (SBB) is the advisable technique for the treatment of heavily polluted water in small-river. Packing media is the key carrier in the biological treatment of polluted river water, so that the selection of the effective and economical packing media is very important for the development and application of the SBB. Four local waste and crude materials, which are no/low-cost and readily available, were selected as the packing media in SBB. The study on packing media characteristics shows that, the waste brick and waste porcelain have the high external specific surface area and porosity, with better physical characteristic. The zeolite has the better $\text{NH}_3\text{-N}$ adsorption capability. The study of the leachate quality shows that all four packing media are safe in application, and the leachate of the waste brick have much more beneficial substance. The waste brick has the better microorganism adhesion capability. In general, the waste brick has the best packing media characteristic, followed by zeolite, waste porcelain and pebble.

Key words: seepage biological bed; polluted river water; waste and crude materials; packing media characteristic

河流严重污染是我国面临的严峻问题之一,污染河流的治理与修复是我国急需解决的环境问题。

基金项目: 国家“十五”重大科技专项 (2003AA601080)

渗流式生物床技术是生物过滤技术在受污染河水净化应用上的新发展,该技术结合了生物膜的降解功能和填料的过滤作用,处理效率高,适用性较强,可采用水平渗流等水流方式,能够充分利用河流两边的护岸和河道滩地因地制宜进行构筑,适用于中小型受严重污染河流的强化治理^[1~3]。

填料是渗流式生物床的核心处理介质,其性能直接影响渗流式生物床过滤、吸附、生物降解等功能的发挥,同时它也是生物床基建投资的主要组成。因此,结合河水处理的特点选取高效、经济的填料并进行性能研究,对渗流式生物床的开发及应用具有重要意义。

1 填料的筛选原则

用于河流水质净化的渗流式生物床填料不同于传统污水生物过滤工艺所使用的填料,其筛选应结合河流治理的特点,综合考虑功能性、经济性、生态相容性等因素。具体体现在以下几个方面^[4]:

① 用于河流治理的生物过滤工艺通常规模较大,因此填料要便宜易得,并要充分考虑利用各种废弃材料;

② 应具有良好的物理性能,如一定的强度及适宜的密度、孔隙率和比表面积等;

③ 化学稳定性强,不得有影响生物处理功能的有害物质溶出,但能溶出一些有益于微生物生长的元素;

④ 应具有良好的生物附着性能。

笔者立足于山东省淄博市的孝妇河,对适用于污染河水处理的渗流式生物床的填料进行了比较研究,通过对当地各类废弃材料的调研,选定了废陶瓷、废砖块、沸石和卵石作为渗流式生物床的填料,并在现场试验的基础上,对填料的物理、氨氮吸附、生物附着等性能进行了研究,以便为渗流式生物床的填料选配提供技术支持。

2 材料和方法

2.1 填料的物理性能研究

填料的真密度和堆积密度可分别由填料的质量与其实际体积及堆积体积相除而得,孔隙率由填料的真密度和堆积密度计算得到,外部比表面积可由球的比表面积和填料的球形度经推算得到。在进行物理性能指标测定时,选择废陶瓷和废砖块的粒径为 3~10 cm,沸石为 2~5 cm,卵石为 8~15 cm (这些粒径的填料在当地相对较多)。

2.2 对氨氮的吸附性能研究

填料在一定温度下对氨氮的吸附容量可用下式计算:

$$q = (C_0 - C_e) \times V / M \quad (1)$$

式中 q ——对氨氮的吸附容量

C_0 ——氨氮初始浓度

C_e ——氨氮吸附平衡浓度

V ——溶液体积

M ——填料质量

对氨氮的吸附等温线可由如下步骤得到:将 4 种待测填料加工至粒径为 1 cm 左右,用水洗净后晾干;分别配制不同氨氮初始浓度的溶液,加入一定量的填料样品后在恒温条件下 (20 °C) 进行吸附反应直至达到平衡;由式 (1) 求得吸附容量;由吸附容量和吸附平衡浓度得到填料的吸附等温线。

2.3 填料浸出物质分析

将 4 种待测填料加工至粒径为 1 cm 左右,用水洗净后晾干;用蒸馏水浸泡填料,分别于 3、15 和 48 d 时取样,使用 ICP - OES (RIS Intrepid II, 美国热电 / Thermo 公司) 对浸泡液进行浸出物质全分析。

2.4 填料生物附着性能研究

采用动态连续进水试验,试验装置见图 1。

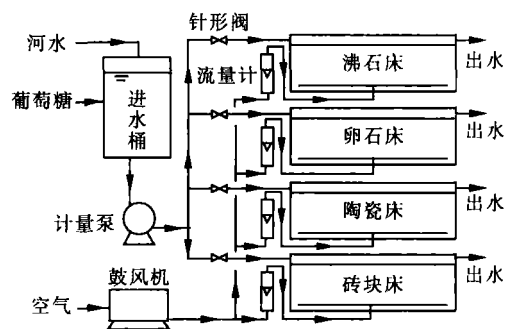


图 1 填料生物附着性能试验装置及工艺流程

Fig 1 Schematic diagram of packing media microorganism adhesion experimental system

4 种填料的粒径统一为 2~5 cm,待运行稳定后从填料床前、中、后段各取一定量有代表性的填料,用刷子将上面附着的生物膜刷下,并用水冲洗干净。将生物膜连同冲刷的水用定量滤纸过滤,然后测定生物膜的 SS 和 VSS 以考察填料的生物附着性能。

进水桶:材质为塑料,200 L;机械隔膜计量泵: $Q = 10.72 \text{ L/h}$, $p = 0.42 \text{ MPa}$;三叶螺旋罗茨鼓风机 TSS - 20: $Q = 0.19 \text{ m}^3/\text{min}$, $p = 49 \text{ kPa}$ 。

3 结果与讨论

3.1 填料的物理性能

4种填料的物理性能测试结果见表 1。

表 1 填料的物理性能测定结果

Tab 1 Physical characteristic of packing media for SBB

填料	真密度 / (kg · m ⁻³)	堆积密度 / (kg · m ⁻³)	孔隙率 / %	外部比表面积 / (m ² · kg ⁻¹)
废陶瓷	2 350	1 100	53	0.159
废砖块	2 180	1 050	52	0.127
沸石	1 970	990	50	0.123
卵石	2 720	1 660	39	0.028 8

从表 1 可以看出,卵石的真密度和堆积密度较大,其余三者则相差较小;废陶瓷、废砖块和沸石具有较高的孔隙率,且外部比表面积均远大于卵石,考虑到测试所用废陶瓷和废砖块的粒径大于沸石,故相对而言,废陶瓷和废砖块有较好的外部比表面积性能。较大的孔隙率和外部比表面积有利于生物膜的生长,提高生物处理效果,因而废陶瓷和废砖块的物理性能较好。

3.2 对氨氮的吸附性能

根据各填料在 20 °C下的平衡浓度和吸附容量,按照 Langmuir和 Freundlich 公式作图并进行拟合,发现与 Langmuir吸附等温线比较接近(见图 2)。

由图 2可知,4种填料对氨氮都有一定的吸附能力,以沸石的吸附效果最佳。根据 Langmuir吸附

等温线求得各填料的 最大吸附容量如表 2所示,可知沸石的最大吸附容量要远高于其余三种填料,说明沸石对氨氮有特异的吸附能力。

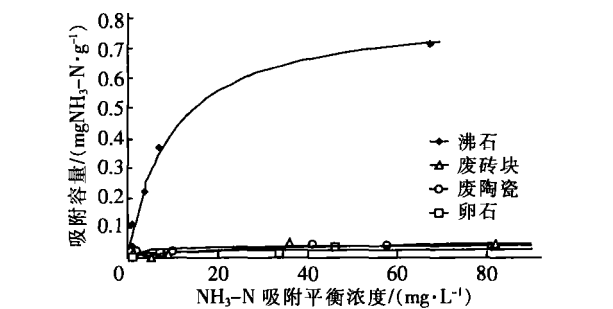


图 2 对氨氮的吸附等温线

Fig 2 Adsorption isotherm for NH₃ - N

表 2 对氨氮的 Langmuir吸附等温式和最大吸附容量

Tab 2 Langmuir adsorption formula and maximum adsorption capacity for NH₃ - N

填料	Langmuir吸附等温式	最大吸附容量 / (mg · g ⁻¹)
废陶瓷	$q_{陶} = \frac{0.01491C_e}{1 + 0.3603C_e}$	0.041
废砖块	$q_{砖} = \frac{0.002016C_e}{1 + 0.03452C_e}$	0.058
沸石	$q_{沸} = \frac{0.08689C_e}{1 + 0.1065C_e}$	0.815
卵石	$q_{卵} = \frac{0.003292C_e}{1 + 0.1099C_e}$	0.030

3.3 填料的浸出物质分析

对 4种填料进行浸出物质全分析,结果见表 3。

表 3 填料渗出成分分析

Tab 3 Analysis on lixivium components of SBB packing media

mg · L ⁻¹											
浸泡时间 / d	填料	B	Ba	Bi	Ca	K	Mg	Na	S	Si	Sr
3	废陶	0.042	0.037	0.303	78.830	3.494	50.86	32.39	43.41		0.335
	废砖	0.238	0.031	0.252	376.33	7.356	28.65	13.09	275.1	1.299	2.652
	沸石	0.093	0.006	0.041	39.280	0.412	1.837	198.7	98.47	39.44	0.031
	卵石	0.036	0.016	0.031	18.460	0.816	3.217	3.026	5.481	0.575	0.059
15	废陶	0.084	0.033	0.269	87.130	3.910	80.29	36.52	85.46		0.420
	废砖	0.319	0.095	0.526	590.03	13.390	65.10	24.99	476.9	2.615	4.159
	沸石	0.130		0.050	14.250	0.338	0.541	195.9	104.9	46.04	0.008
	卵石	0.064	0.017	0.069	37.160	1.552	4.031	3.439	11.140		0.069
48	废陶	0.094	0.030	0.377	61.160	3.440	68.80	34.18	66.58		0.293
	废砖	0.472	0.030	0.460	591.43	11.590	56.00	23.00	492.8	2.692	4.162
	沸石	0.130			3.760	0.310	0.172	166.3	85.22	24.70	0.004
	卵石	0.072	0.012	0.034	16.050	1.322	0.515	2.916	9.723		0.045

由表 3可知,浸出液中主要含有 10种元素;几种填料均浸出了大量的钙 (Ca)、钾 (K)、镁 (Mg)、钠 (Na)、硫 (S)和硅 (Si),这是微生物生长所需的“大

量元素”,可促进微生物的生长;同时还浸出了硼 (B)、钡 (Ba)、铋 (Bi)和锶 (Sr)等微量元素,其对微生物的生长代谢具有一定的调节作用,并能促进微

生物生长环境的多样化,从而有益于微生物代谢功能的健康发挥。

从长期运行来看,填料浸出有益物质的量和种类越多则越有利于微生物的生长。在 4 种填料中以废砖块的浸出物质种类和数量最多,废陶瓷居次,沸石和卵石则相对较少。可见就浸出物质促进微生物生长而言,废砖块作为填料有着较好的性能,然后依次是废陶瓷、沸石和卵石。

由浸出试验可知,4 种填料的浸出物质对微生物和人体无毒无害,而且部分填料渗出了有益于微生物生长的“大量元素”和“微量元素”,是良好的生物填料,这 4 种填料应用于河水处理是安全可行的。

3.4 填料的生物附着性能

单位质量填料上所附着的生物量分别见图 3 和图 4。

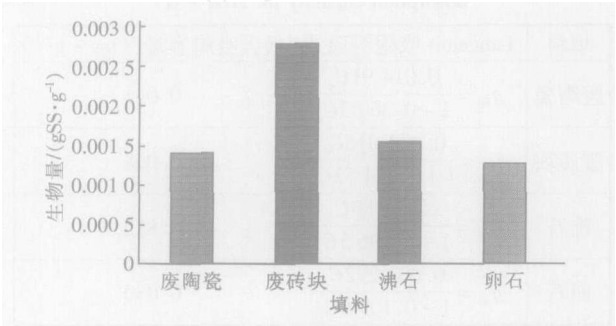


图 3 单位质量填料上所附生物膜的 SS 含量比较
Fig 3 SS concentration of biofilm in per unit mass packing media

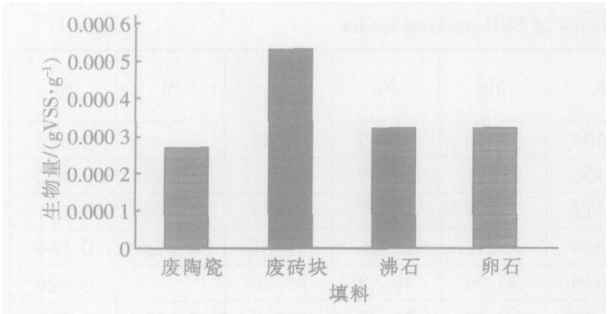


图 4 单位质量填料上所附生物膜的 VSS 含量比较
Fig 4 VSS concentration of biofilm in per unit mass packing media

由图 3 可知,单位质量废砖块上所附着生物膜的 SS 含量最高,其余三种填料的 SS 含量相差不大,由多到少依次是沸石、废陶瓷和卵石。单位质量填

料上所附着生物膜的 VSS 情况和 SS 类似,以废砖块最高,其余依次是沸石、卵石和废陶瓷。因此,填料的生物附着性能以废砖块最好,其余三种填料则基本相同。

4 填料性能的综合评价

废陶瓷和废砖块物理性能良好,其孔隙率分别为 52% 和 53%,外部比表面积分别为 0.127 和 0.159 m²/kg;沸石具有较好的氨氮吸附性能,对氨氮的吸附容量达到了 0.815 mg/g,而其余三种填料对氨氮的吸附能力则较差;4 种填料的浸出物质对微生物及人体无毒无害,而且部分填料渗出了有益于微生物生长的“大量元素”和“微量元素”,是良好的生物填料,这 4 种填料应用于河水处理是安全可行的,其中废砖块渗出了较多的有益物质,对于系统的长期运行比较有利;废砖块有较好的生物附着性能。综合分析,废砖块是综合性能最好的填料,然后依次是沸石、废陶瓷和卵石。

参考文献:

[1] Shegeo Fujii, Chiaki Niwa, Mitsuo Mouri, et al Pilot-plant experiments for improvement of polluted canal/klong water by rock-bed filtration[J]. Wat Sci Tech, 1997, 35 (8): 83 - 90

[2] Gunther Geller Horizontal subsurface flow systems in the german speaking countries: summary of long-term scientific and practical experiences recommendations[J]. Wat Sci Tech, 1997, 35 (5): 157 - 166

[3] Lazaroa V, Perera J, Bowen M, et al Application of aerated biofilters for production of high quality water for industrial reuse in West Basin[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41 (4 - 5): 417 - 424

[4] Savage A J, Tyrrel S E Compost liquor bioremediation using waste materials as biofiltration media [J]. Biore-source Technology, 2005, 96: 557 - 564

作者简介:林岩清 (1978 -), 男, 福建福清人, 硕士, 研究方向为污染河流的水质净化技术。

电话: (010) 62796952
E - mail: hemiao@tsinghua.edu.cn
收稿日期: 2005 - 11 - 18