

# 城市污水地下回灌的试验研究

靳君<sup>1</sup> 张聪璐<sup>2</sup>

(1. 辽宁省环境科学研究院, 沈阳 110031; 2. 沈阳药科大学制药工程学院, 沈阳 110016)

**摘要:**研究了应用 SBR 中试系统处理后的城市污水的深度处理工艺,并以地下回灌为目的,通过 2 个模拟土壤柱对比,分析了渗滤速度对地下回灌的影响,并讨论了土壤对氨氮的处理效果和在土壤中氮的迁移与转化。

**关键词:**城市污水;地下回灌;渗滤速度;氮的迁移与转化

## 1 引言

污水的回用具有巨大的挖掘潜力,因为污水回用既经济又有效,符合我国的国情。地下回灌是污水资源化的有效途径之一。尤其在当今社会,工农业发展迅速,由于水资源不足而对地下水的开采和利用,已造成了地面沉降、地下水盐化、地下管道被破坏等一系列严重问题<sup>[1]</sup>。城市生活污水地下回灌有恢复地下水位、减少地面沉陷、阻止海水入侵等作用。因此,对污水地下回灌的研究已成为环境保护工作的重要内容之一。城市生活污水一般受污染程度较轻,水质变化不大,经过一系列深度处理后,可使水质达到地下回灌的基本要求,增加了地下回灌的可行性。

## 2 试验部分

### 2.1 试验方法与装置

为使试验水质达到地下回灌的要求,需对生活污水先进行一系列的深度处理。在综合考虑了城市污水的水质、水量、处理方法以及经济条件等因素后,本文采用 SBR 生化处理出水并进行化学絮凝、砂柱过滤、活性炭吸附和消毒等深度处理。污水处理工艺流程见图 1。

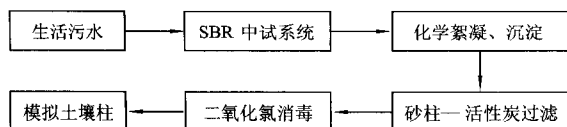


图 1 污水处理工艺流程

试验采用 SBR 中试系统,经 SBR 生化处理后的生活污水以改性聚合氯化铝为絮凝剂进行化学絮凝,并投加少量高分子助凝剂 PAM 以改善絮凝效果。絮凝出水通过砂柱过滤出悬浮物,通过活性炭

去除色、嗅及一些有机物,再用二氧化氯消毒,使水中细菌总数达到地下回灌的要求,最后回灌到模拟土壤柱中。

### 2.2 试验仪器、试剂与分析方法

仪器。上分 7230G 型分光光度计。

试剂。改性聚合氯化铝(PAC),工业用;聚丙烯酰胺(PAM),分子量为 500 万,美国产;工业用 101-净水炭;自制液态二氧化氯,浓度为 2.3%。

分析方法。COD:重铬酸钾法、酸性高锰酸钾法;NH<sub>3</sub>-N:纳氏试剂比色法;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N:酚二磺酸比色法。

### 2.3 试验水质

试验所用生活污水取自沈阳罗士圈城市污水排放口,水质指标见表 1。

表 1 冬季试验用水主要水质指标 mg·L<sup>-1</sup>

污染物	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
浓度	220.00—300.00	17.10—35.50	1.50—4.23

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 SBR 生化处理

试验采用装置的设计日处理量为 80 L,贮水池的容积为 100 L, SBR 反应池的有效容积为 60 L。贮水池上端设有调节阀,控制进入反应池的水量;反应池的底部设有曝气管,进行布气;空压机进行曝气,曝气量由空气流量计控制。试验装置的运行周期为 6 h,每周期的进水量为 20 L。由于试验所用的污水中污染物浓度不高,毒性不大,设计充水量小,而且在进水期前有沉淀、排水和闲置过程,污水中的溶解氧已近于零,因而,采用先厌氧搅拌再曝气的方式来处理污水。根据反应器中的水量,拟定静置沉淀时间为 1 h,闲置期为 30 min。生活污水经 SBR

中试系统处理,出水水质见表2。

污染物	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{NH}_3-\text{N}$	$\text{NO}_3^--\text{N}$
浓度	4.80—7.50	0.21—0.87	11.30—17.20

由表2可以看出,SBR中试系统在冬季室温10—15℃下运行良好,在厌氧和好氧交替的运行过程中,微生物降解了污水中的绝大部分有机物,出水的高锰酸盐指数基本稳定在 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之内。此外,本系统的脱氮效果也显而易见,其中对氨氮的去除尤为明显,这是由于氨氮在亚硝化菌的作用下,先转变为亚硝酸盐氮,亚硝酸盐氮又在硝化菌的作用下进而转变为硝酸盐氮。

### 3.2 絮凝试验

试验使用的絮凝剂为自制的改性聚合氯化铝粉剂;助凝剂为工业用聚丙烯酰胺粉剂,分子量为500万。取SBR中试系统出水,加入絮凝剂聚铝和助凝剂PAM,以120转/min的强度搅拌15 min,沉淀20 min,测其上清液的水质,以其中一组数据为例,结果见表3。

污染物	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{NH}_3-\text{N}$	$\text{NO}_3^--\text{N}$
浓度	3.56	0.19	13.33

对比表2和表3,可以看出,絮凝对高锰酸盐指数具有一定的去除效果,而对氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的去除能力较低,其原因可能是由于絮凝药剂分散在水中而形成的絮体能吸附较大的有机物分子,而对离子的吸附能力较弱。

### 3.3 回灌前的深度处理

絮凝出水通过砂柱、活性炭柱过滤及二氧化氯消毒。

试验所用砂柱由普通玻璃制成,长为150 cm,内直径为10 cm;由于试验中前面所用的化学混凝工艺的处理效果较好,在过滤这一环节,采用经济易得的普通工程砂作为滤料,其粒径为0.8—1.2 mm;砂柱的填充高度为85 cm,包括底部的粒径为8—16 mm、厚为10 cm的承托层;单层滤料,水流方向为降流式。

试验采用长为30 cm、有效内直径为2 cm的玻璃柱作为活性炭填充柱;玻璃柱内填充高度为20 cm的活性炭。根据活性炭与污水的接触时间一般为15—35 min<sup>[2,3]</sup>,控制炭柱的流速为 $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

试验中所用的消毒药剂是液态二氧化氯,浓度为2.3%及SM-103型工业用水杀生剂,浓度为1.5%。

测各部出水的水质,以其中一组数据为例,结果

见表4。

污染物	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3-\text{N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^--\text{N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	细菌总数/ ( $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
砂柱出水	3.49	0.00	9.63	20 000
炭柱出水	0.88	0.00	2.55	2 000
消毒出水	0.60	0.02	4.45	2

由表4可以看出,絮凝出水经砂柱过滤去除沉淀中未能沉降的悬浮物后,再经活性炭过滤,去除色、味和微生物未能分解的有机物,此时的高锰酸盐指数已显著降低;再用二氧化氯消毒,使水中的细菌总数符合我国饮用水的卫生标准。

参照国家技术监督局1993年颁布的地下水质量标准,见表5。

污染物	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3-\text{N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^--\text{N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	细菌总数/ ( $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
浓度	3.0	0.2	20.0	100

经深度处理后的生活污水中的主要指标已优于地下水的质量标准,加上土壤对细菌有吸附能力<sup>[4]</sup>,回灌时可以基本保证地下水源不受污染。

### 3.4 模拟土壤柱试验

试验采用2个模拟土壤柱,一个内径为10 cm,内装70 cm厚度的土壤,滤速 $6.6\text{ L/d}$ ;另一个内径为5.5 cm,内装60 cm厚度的土壤,滤速 $0.16\text{ L/d}$ 。试验中使用的土壤采自沈阳城南地区地下30—150 cm深度的耕作土,按取土的深度顺序填充,使用前先以自来水和蒸馏水洗7 d。

#### 3.4.1 高锰酸盐指数的变化

经过消毒的水样分别回灌到2个模拟土壤柱中,测定2个土柱出水的高锰酸盐指数,见表6。

项目	回灌前	回灌后
滤速快的土柱	0.58—1.05	2.86—4.18
滤速慢的土柱	0.58—1.05	2.13—2.72

由表6可以看出,2个土柱出水的高锰酸盐指数均不同程度地增大了,这是由于耕作土中含有大量的有机成分,在回灌过程中又溶解于水中。滤速快时,有机物随水流向下层土壤渗透并被水带出;滤速慢的土柱中,水与土壤的接触时间较长,由于土壤对多种有机物具有较强的吸附作用<sup>[5]</sup>,溶解于水中的有机物又被土壤所吸附。

#### 3.4.2 氨氮的变化

2个土柱出水的 $\text{NH}_3-\text{N}$ 值,见表7。由表7可

以看出,2个土柱出水氨氮的变化趋势有所不同。由于耕作土中含有多种有机物和微生物,因而形成了

表7 回灌前后的  $\text{NH}_3\text{-N}$  值  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	回灌前	回灌后
滤速快的土柱	0.00—0.18	0.13—0.24
滤速慢的土柱	0.00—0.18	0.00

一个复杂的系统。在水样通过土壤的过程中,土壤中的有机氮化物在这个复杂的反应系统中可转化为氨氮并溶解在水中;滤速快时,也会随水流向下层土壤渗透并被水带出;滤速慢时,水样中的氨氮一部分可以在土壤中硝化菌的作用下被氧化,另一部分因土壤颗粒表面的吸附作用而被土壤吸收<sup>[5]</sup>,从而使氨氮值大大降低。

### 3.4.3 氮的迁移和转化

为阐明氮的转化,增加了亚硝酸盐氮指标。比较回灌土柱前后水样中的亚硝酸盐氮和硝酸盐氮,见表8。

表8 回灌前后的  $\text{NO}_2\text{-N}$  和  $\text{NO}_3\text{-N}$  值  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	回灌前	回灌后
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.002—0.006	0.002—0.008
$\text{NO}_3\text{-N}$	1.350—4.450	5.050—7.330

由表8可以看出,水样与土壤在较长时间的接触过程中,亚硝酸盐氮略有增大,可能是由于氨氮在土壤的硝化作用下未被氧化完全而转化为亚硝酸盐氮;硝酸盐氮值增大较多,除了由氨氮转化过来的一部分之外,还有一部分是土壤中原有的硝酸盐被溶

解而随水流迁移出来的<sup>[6]</sup>。

## 4 结论

本试验采用的SBR中试系统对生活污水中的有机污染物和氨氮的处理效果较好。试验所用的聚铝对SBR出水有进一步的净化效果。回灌前的深度处理工艺对城市生活污水的处理效果较理想,使出水水质满足了地下回灌的要求。

在速度较慢的渗滤过程中,由于土壤具有硝化、吸附与生物分解等作用,这种综合处理对氨氮的去除效果较好。经过耕作土而回灌于地下的主要水质指标均优于地下水的水质指标,不会污染地下水资源。因此,这种污水回用方式将是解决水资源短缺的有效途径之一。

## 参考文献

- [1] 马耀光,马柏林. 废水的农业资源化利用[M]. 北京:化学工业出版社,2002:54—56.
- [2] 肖锦. 城市污水处理及回用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002:60—62.
- [3] 兰淑澄. 活性炭水处理技术[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:72—74.
- [4] E. J. 米德尔布鲁克斯[美]//周全,朱学林,志平译. 水的回用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988:52—56.
- [5] 蒋展鹏. 环境工程学[M]. 北京:高等教育出版社,1992:33—36.
- [6] 皮运正,云桂春. 城市污水地下回灌中氮的迁移与预测[J]. 环境科学研究,2002,15(1):9—12.

## Experimental study on groundwater recharge of municipal wastewater

JIN Jun<sup>1</sup> ZHANG Conglu<sup>2</sup>

(1. Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110031;

2. Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016)

**Abstract:** The advanced municipal wastewater treatment process carried out by SBR pilot-scale system was implemented. Aiming at the groundwater recharge, the influence of filter speed on the groundwater recharge was analyzed based on the contrast of two simulated soil column installations. Moreover, the removal of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and the translocation and transformation of nitrogen were also discussed.

**Key words:** Municipal wastewater; Groundwater recharge; Filter speed; Translocation and transformation of nitrogen