



两段生物膜法处理城市污水厂出水

白少元, 解庆林, 李艳红, 潘春玲

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘要: 采用两段生物膜法对城市污水处理厂出水进行深度处理实验研究, 主要研究系统对氨氮和 COD 的处理效果及水力停留时间、回流比和温度的影响. 实验结果表明, 最佳水力停留时间为 1 h, 最佳回流比为 100%; 在此条件下系统运行 12 个月, 运行期间氨氮和 COD 的进水浓度范围分别为 1.37 ~ 19.95 mg/L 和 14.40 ~ 37.50 mg/L 时, 出水浓度范围分别为 0.01 ~ 3.15 mg/L 和 7.36 ~ 19.02 mg/L, 平均去除率分别为 97.05% 和 39.96%. 氨氮和 COD 的去除率在 2 月份最低, 分别为 82.50% 和 14.40%; 5 月份最高, 分别为 98.50% 和 48.50%. 出水中两项水质指标达到设计标准.

关键词: 城市污水处理厂出水; 生物膜法; 两段生物接触氧化法; 回用

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

城市污水处理厂出水水量较大、水质稳定, 是理想的第二水源, 但因其氨氮浓度较高, 难以达到回用标准. 早期污水深度处理技术多为物理化学方法, 包括砂滤、活性炭吸附、高级氧化、含水层灌注^[1]和沉淀法等, 近 20 年来膜分离技术得到了广泛的研究和长足的发展^[2-4]. 微生物膜法工艺多被用于处理原污水^[5-6], 其用于处理 COD 较低的城市污水处理厂出水方面的研究还较少, 本文将生物处理方法用于城市污水处理厂出水的深度处理, 主要研究两段生物膜法处理污水处理厂出水中的氨氮和 COD 的影响因素和运行效果.

1 实验方法与材料

1.1 工艺流程

实验工艺采用厌氧好氧两段接触氧化生物膜法 (图 1). 其中厌氧接触氧化反应器有效容积为 15 L, 陶瓷环填料, 空隙率为 70%, 好氧接触氧化反应器有效容积为 30 L, 内置盾形纤维填料, 空隙率为 98%. 曝气机功率 35 W, 排气量 60 L/min.

进水、回流水泵为蠕动泵, 泵体型号 BT00 - 300 M, 泵头型号 YZ1515X.

城市污水厂出水先进入厌氧反应器, 再由底部自流入好氧反应器, 由好氧段顶部溢流进入集水箱, 集水箱中的出水一部分经回流泵回流至厌氧段进水口, 回流的目的在于使厌氧段获得好氧段硝化产生的硝酸盐, 从而完成反硝化. 硝态氮通过反硝化作用转化为氮气的过程主要在厌氧

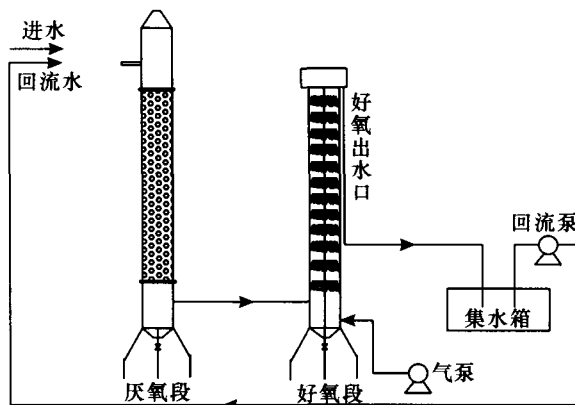


图 1 实验系统简图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system



段完成,含碳有机物的去除、含氮有机物的氨化、硝化在好氧段完成.系统中集水箱兼起到沉淀的作用,以便去除沉淀在集水箱底部的脱落生物膜.在硝化过程中需要消耗一定的碱度,但由于桂林属于岩溶地貌,水中的碳酸根离子较多,经测定水中的碱度充足,为 $1\,405.3\text{ mg/L}$ (以 CaCO_3 计),可以满足好氧硝化段的需要,此外,厌氧段反硝化过程也会产生一定的碱度.

1.2 实验方法

实验用水为桂林市第四污水处理厂出水,实验期间测得污水处理厂出水中氨氮浓度范围为 $1.37 \sim 19.95\text{ mg/L}$, COD 浓度范围为 $14.40 \sim 37.50\text{ mg/L}$. 出水中氨氮和 COD 指标设计标准为:氨氮 $\leq 5\text{ mg/L}$ (《城市污水再生利用 景观环境用水水质》, GB/T 18921 - 2002); COD $\leq 20\text{ mg/L}$ (《地表水环境质量标准》Ⅲ类, GB 3838 - 2002).

COD 测定方法为重铬酸钾国标蒸馏法,氨氮测定方法采用纳氏试剂-紫外分光光度法^[7].

2 结果与讨论

2.1 反应器挂膜启动阶段

实验采用快速排泥挂膜法对厌氧、好氧反应器分别挂膜.好氧挂膜过程如下:将接种的活性污泥(接种污泥取自桂林市第四污水厂氧化沟回流污泥)加入反应器中,加污水灌满,静置 24 h 后排放;然后再加入接种的活性污泥,在曝气状态下(气量为 60 L/min)连续进 COD 约 500 mg/L ($\rho(\text{COD}):\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 为 5:1)的人工配水.挂膜初期,填料上基本无膜, COD 去除效果较低为 42.6%;一周后,在填料的内表面长出了一层薄薄的黄色透明状生物膜,出水中 COD 去除率达到 77.1%,且比较稳定,这表明好氧挂膜成功.

厌氧污泥的培养采用间歇方式,每天弃去上清液,并投加人工配水(COD 约 $1\,000\text{ mg/L}$, $\rho(\text{COD}):\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 为 3:1)进行静态培养,将经过约 2 周静态培养的厌氧污泥倒入反应器中,体积约占反应器总体积的 1/10 左右,用人工配水充满反应器,静置一天后排出上清液,再连续泵入人工配水. 24 h 后,厌氧反应器内的污泥臭味减弱.为了增加与厌氧反应器中填料接触的污泥量,把沉积在厌氧反应器底部的污泥由放空管排出后加

入静态培养的等量厌氧污泥.实验开始时,厌氧反应器的出水比较浑浊,悬浮物比较多,运行稳定后,出水清澈.厌氧接种后,填料表面形成大量黑色斑点,但是还有部分呈褐黄色,经过一段时间后,在填料内外表面和反应器的内壁以及填料之间均形成了厚而密实的生物膜.厌氧反应器挂膜初期 COD 去除率较低,仅为 16.17%,驯化到第 5 d COD 去除率升高至 29.36%,到第 7 d 以后去除率达 70.88%,且较为稳定,挂膜成功.

厌氧反应器与好氧反应器分别挂膜成功后,将二者串联起来,由蠕动泵泵入人工配水($\text{C}:\text{N}:\text{P}=5:1:0.4$),串联实验从第 1 d 至第 11 d, COD 去除率由 46.3% 升高到 93.8%,氨氮去除率由 89.4% 升高到 98.6%.待挂膜基本稳定之后,将进水逐步换成城市污水处理厂出水,进水完全为污水处理厂出水时,系统从第 3 d 运行至第 13 d COD 去除率由 10.43% 升高到 40.90%,而氨氮去除率始终保持在 95% 以上.

2.2 停留时间对去除效果的影响

停留时间是影响生物膜法去除效果的一个重要影响因素,如果停留时间过长,营养物质的耗尽容易导致系统去除效果的恶化,而停留时间过短,污染物质还未来得及被微生物吸收即随水带出,同样会导致处理效果变差.实验目的在于寻找能够实现出水氨氮和 COD 达标排放的最佳停留时间.实验分别取停留时间为 6、5、4、3、2 和 1 h,相应的水力负荷为 160、200、250、330、500 和 $1\,000\text{ L}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$,曝气量为 60 L/min ,回流比为 100%,实验期间每天对系统进出水进行取样测试, COD 和氨氮的去除效果见图 2 和图 3.

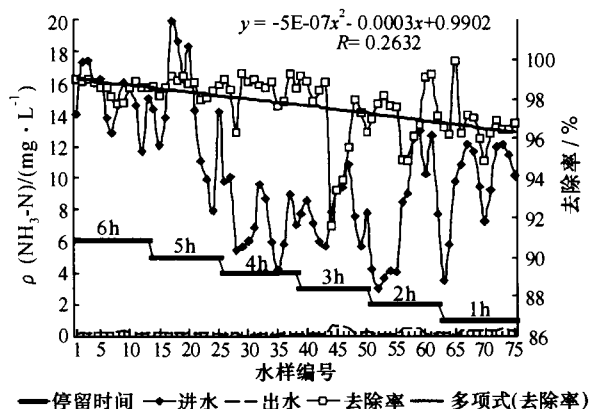


图2 停留时间对氨氮去除效果的影响

Fig. 2 Effect of HRT on the $\text{NH}_3\text{-N}$ removal

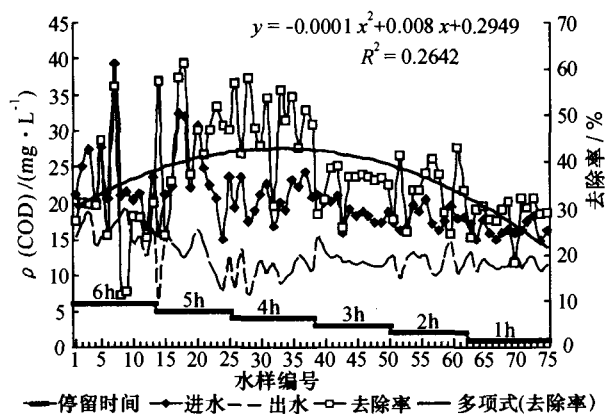


图3 停留时间对 COD 去除效果的影响
Fig. 3 Effect of HRT on the COD removal

由图2可以看出,当停留时间由6 h减少到1 h时,氨氮的去除率变化不大,这主要是因为硝化菌和反硝化菌附着生长在生物接触氧化反应器的填料上,在适宜的碳源和碱度的条件下得以大量的生长繁殖,从而有效地去除水中的氨氮.实验期间进水中氨氮的浓度范围为2.94~19.95 mg/L,出水中氨氮平均浓度范围为0.01~0.66 mg/L,平均去除率范围是96.35%~98.69%.可见厌氧好氧两段生物膜法在高水力负荷条件下仍可以有效地去除氨氮.

由图3可以看出,当停留时间由6 h减少到4 h时,COD去除率由31.33%升高到48.19%.其原因主要是因为污水处理厂出水中有机物浓度较低,当停留时间过长,污水中的营养成分不足以满足微生物的生长需要,导致微生物活性不强,处理效果较差;当停留时间降低到4 h,一方面补充了微生物生长所需的营养物质,另一方面当水力负荷升高后,有利于对老化的生物膜的水力冲刷,从而有利于微生物的新陈代谢,因此去除率有所升高;当停留时间从4 h降低到1 h,COD去除率由48.19%降低到29.02%,主要原因在于停留时间过短,使部分有机物质来不及被微生物分解就被排出系统,并且水力负荷的增加使得生物膜的冲刷作用加大,部分生物膜流失,导致处理效果变差.

考虑到出水中氨氮和COD达到排放标准及节省成本的要求,取最佳停留时间为1 h,此时氨氮和COD去除率分别为96.35%和29.02%,出水中浓度范围分别为0.01~0.43 mg/L和10.56~13.17 mg/L.

2.3 回流比对去除效果的影响

厌氧段反硝化的有效进行需要好氧段产生的硝态氮的回流,因此回流比的大小对处理效果影响较大,回流比过大会造成反应器内部碳源不足,影响脱氮效果,并且较大的回流比会增加建造和运行成本;而回流比过小,则会导致系统内部硝态氮不足,影响脱氮效果.实验取停留时间为1 h,曝气量为60 L/min,回流比分别为200%、100%和50%.实验期间每天对系统进行取样测试,COD和氨氮的去除效果见图4和图5.

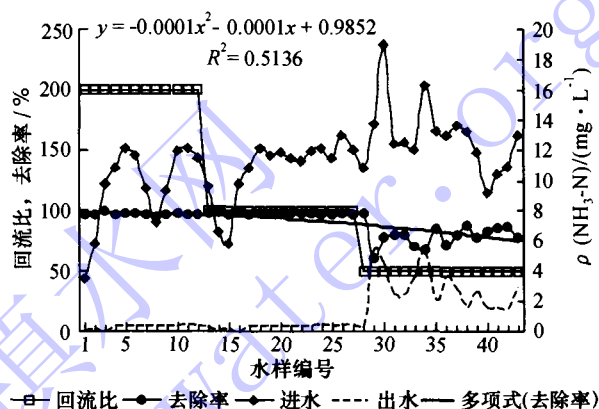


图4 回流比对氨氮处理效果的影响
Fig. 4 Effect of reflux ratio on the NH₃-N removal

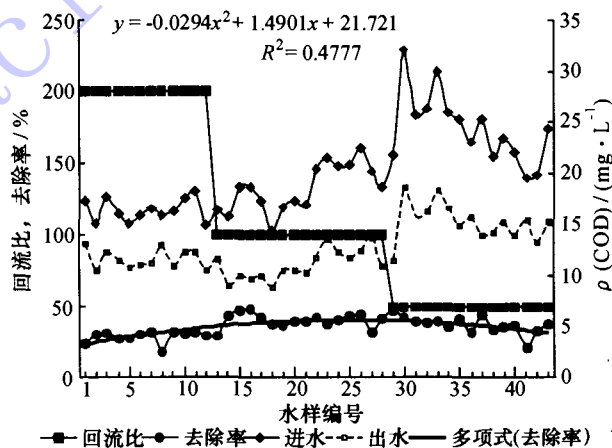


图5 回流比对 COD 处理效果的影响
Fig. 5 Effect of reflux ratio on the COD removal

由图4可知,实验期间,进水中氨氮的浓度范围是3.47~18.99 mg/L,当回流比为200%、100%和50%时,平均去除率分别为96.75%、96.97%和77.19%,可见当回流比为100%时,氨氮的去除率相对较高;当回流比为50%时,去除率较低,原因主要是因为当回流比较小时,使硝

态氮供给不足,造成出水中氨氮浓度偏高;当回流比为200%时,氨氮的去除率略有下降,考虑原因在于回流比过大导致系统中碳源不足,造成处理效果下降.

由图5可知,实验期间,进水中COD浓度范围是14.40~32.16 mg/L,当回流比为200%、100%和50%时,平均去除率分别为28.56%、40.83%和37.43%,可见当回流比为100%时COD去除率最高,原因在于当回流比过高(200%)时导致微生物所需营养物质过低,使得微生物活性不强、去除效果下降.另外,过大的回流比给系统带来较多的溶解氧,从而影响厌氧菌的活性,影响COD的处理效果.

考虑到出水中氨氮和COD达到排放标准及节省成本的要求,取最佳回流比为100%,此时氨氮和COD平均去除率分别为96.97%和40.83%,出水中浓度范围分别为0.01~0.43 mg/L和8.96~13.76 mg/L.

2.4 最佳实验条件下实验结果

为保证出水各水质指标达标排放,同时考虑节省能耗,最佳实验条件取停留时间为1 h,其中厌氧段停留时间为20 min,好氧段停留时间为40 min,回流比为100%,曝气量为60 L/min,在最佳条件下系统运行12个月,实验期间每隔2 d对系统进行取样测试,COD和氨氮的去除效果见图6和图7.

如图6、7所示,两段生物膜法经过12个月的稳定运行,其出水一直很稳定,进水中氨氮浓度范围为1.37~19.95 mg/L,出水浓度范围为0.01~3.15 mg/L,平均去除率为97.05%. COD进水浓度范围为14.40~37.50 mg/L时,出水浓度范围为7.36~19.02 mg/L,平均去除率为39.96%. 出水中氨氮、COD均可达到设计标准要求.

由表1可以看出,实验期间气温对NH₃-N及

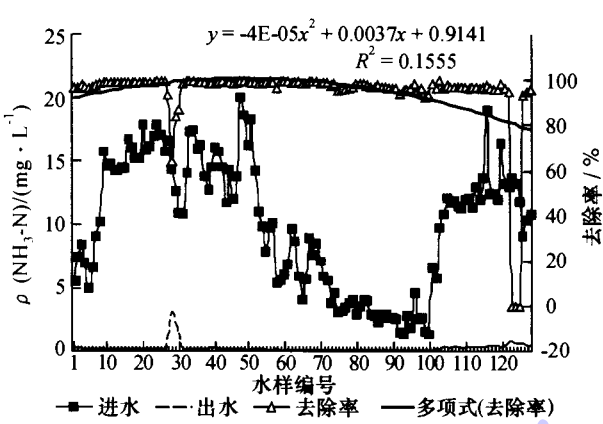


图6 两段生物膜法对氨氮的处理效果
Fig. 6 Removal effect of NH₃-N by two-stage biofilm contact oxidation process

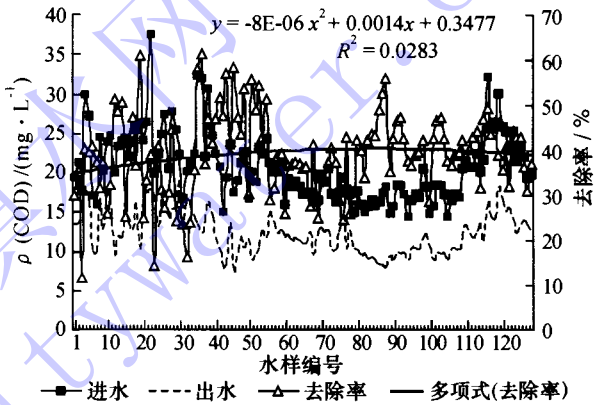


图7 两段生物膜法对COD的处理效果
Fig. 7 Removal effect of COD by two-stage biofilm contact oxidation process

COD去除率的影响: COD和氨氮的去除率最低为2月份,分别为14.40%和82.50%;最高为5月份,分别为48.80%和98.50%. 其原因主要是2月份的温度过低导致微生物的活性降低,去除率不高. 而7、8月份由于气温过高,影响到好氧反应器中的溶解氧水平,微生物的代谢能力受到抑制,因此氨氮的去除率有所降低.

表1 实验期间气温与NH₃-N及COD去除率的关系

Table 1 Relationship of the temperature, the removal rates of NH₃-N and COD in the experiment

月份	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
气温/℃	18	13.5	7.2	5.6	15.2	19.8	23.8	24.4	30.4	30.6	28.6	25.8
NH ₃ -N去除率/%	97.8	97.5	85.6	82.5	97.8	98.3	98.5	97.2	95.8	96.6	96.8	94.7
COD去除率/%	34.8	39.6	23.8	14.4	37.7	41.5	48.8	45.4	41.2	41.4	43.0	38.7