人工湿地污水处理技术是20 世纪70 年代兴起的一种污水处理生态工程技术,由于具有投资少、能耗低、管理方便等优点，正逐渐应用于广大中小城镇和乡村地区的生活污水处理中，人工湿地对氨氮、总磷和痕量有机物的去除是通过微生物的积累、植物的吸收和基质的物理化学作用等协同完成的,而其中起主要作用的是基质对氨氮、总磷和痕量有机物的吸附作用,因此基质是人工湿地的最重要组成部分。选择合适的人工湿地基质材料,是构建人工湿地,提高人工湿地净化能力的关键措施。本实验通过比较不同基质材料的静态吸附性能，为人工湿地选择合适的填料提供理论基础。

**第一章小试实验**

**1材料与试剂**

选用4 种基质材料，分别为：煤渣，沸石，碎石，陶粒，粒径8~12 目，8目等于2.36mm，12目等于1.70mm。以上材料过12 目筛，不均匀系数k80为5。蒸馏水冲洗，浸泡24 h 后，自然风干备用。

**表1-1 主要的实验试剂**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **试剂名称** | **分子式** | **纯度** | **厂家** |
| 三氯生 | C12H7Cl3O2 | 分析纯 | 东京化成工业株式会社 |
| 氢氧化钠 | NaOH | 分析纯 | 南京化学试剂有限公司 |
| 盐酸 | HCl | 分析纯 | 天津宏达化学试剂厂 |

**2污水配制方法**

实验用污水模拟城市污水厂二级出水，用自来水，硫酸铵、磷酸二氢钾、葡萄糖、三氯生和磺胺类抗生素配制而成，具体浓度见表2。

**表2-1实验用水水质 （mg/L）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **水质指标** | ρ(CODCr） | ρ(TP） | ρ(NH4+-N） | ρ(三氯卡班） | ρ(三氯生） | ρ(磺胺嘧啶） |
| **数值** | 80～120 | 2～4 | 20～40 | 0.1～0.5 | 0.1～0.5 | 0.1～0.5 |

**3水质分析项目及方法**

**表3-1水质分析指标及分析方法**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **水质指标** | **分析方法** | **仪器名称** | **型号** |
| 1 | NH3-N | 纳氏试剂分光光度法 |  | WFJ2100型 |
| 2 | TP | 钼锑抗分光光度法 |  | WFJ2100型 |
| 3 | CODCr | 快速密闭消解法 |  |  |
| 4 | 三氯卡班 |  | 液相 |  |
| 5 | 三氯生 |  | 液相 |  |
| 6 | 磺胺嘧啶 |  | 液相 |  |

**4水样配制**

4.1三氯生溶液配制方法

准确称取0.100g三氯生，以0.01mol/L的氢氧化钠溶液溶解，定容于1000ml棕色容量瓶中，摇匀，此时溶液中的三氯生的浓度为100mg/L，作为贮备液，转移至棕色广口瓶中置于4℃的冰箱中密封保存。吸附实验所用的三氯生溶液用双蒸水稀释三氯生贮备液制得。三氯生初始浓度实验中配制不同浓度的三氯生储备液均以0.01mo/L的氢氧化钠溶液溶解定容，以减少pH对实验结果的影响。

4.2磺胺嘧啶储备液的配制

用分析天平称取0.050g的磺胺类抗生素至100ml烧杯中，加入50ml 0.01mol/L的NaOH溶液，用玻璃棒充分搅拌至其溶解。溶解完全后转移至1000mL容量瓶，用双蒸水定容并摇匀，配制成质量浓度为50mg/L的磺胺类抗生素溶液，将溶解好的储备液储存在棕色细口瓶中，放置在4℃冰箱内保存。

**5试验方法及水质分析方法**

5.1 初步静态吸附实验及结果（重复2次）

初步静态吸附实验的目的是考察各种基质对污水各个指标的效果。取过12 目筛的煤渣，沸石，碎石，陶粒各20 g，分别投入到250 mL 的锥形瓶中，加入100mL 原水样。将锥形瓶置入气浴恒温振荡器中振荡，温度控制在25℃，转速为150 r /min，使氨氮在液相和固相间的分配达到平衡，振荡吸附300min 后取出锥形瓶，再经过转速为3000r /min，离心5min，同时设空白作为对照，静置15 min，测定上清液6个指标的平衡浓度。

**表5-1静态吸附实验结果**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **样品** | **COD**  **（mg/L）** | **NH3-N（mg/L）** | **TP**  **（mg/L）** | **三氯卡班（ng/L）** | **三氯生（ng/L）** | **磺胺嘧啶（ng/L）** |
| 原水 | 87.98 | 26.08 | 2.68 |  |  |  |
| 原水振荡离心后 | 87.98 | 28.33 | 2.22 | 1054.84 | 2242.49 | 330.82 |
| 碎石 | 87.98 | 27.88 | 1.77 | 935.41 | 2098.87 | 340.32 |
| 陶粒 | 81.22 | 27.43 | 1.77 | 584.30 | 1799.93 | 306.29 |
| 煤渣 | 67.68 | 21.14 | 2.22 | 225.47 | 424.05 | 107.98 |
| 沸石 | 74.45 | -2.89 | 2.04 | 498.27 | 1977.53 | 349.27 |

**图5-1四种基质对COD的去除效果**

**图5-2四种基质对NH3-N的去除效果**

**图5-3四种基质对TP的去除效果**

**图5-4四种基质对三氯卡班的去除效果**

**图5-5四种基质对三氯生的去除效果**

**图5-6四种基质对磺胺嘧啶的去除效果**

结论：

1. COD：除了碎石外，陶粒、煤渣和沸石均有去除效果，其中煤渣的去除效果最明显，去除率为23%，煤渣＞沸石＞陶粒＞碎石；

2. 氨氮：煤渣去除率最高，碎石、陶粒和沸石的去除效果不明显，煤渣＞陶粒＞碎石，沸石数据有问题；

3. 总磷：碎石和陶粒对总磷的去除效果最好，其次是沸石，煤渣没有明显去除效果，碎石＞陶粒＞沸石＞煤渣；

4. 三氯卡班：煤渣去除率最高，达78.63%，其次是沸石和陶粒，碎石的去除效果不明显，煤渣＞沸石＞陶粒＞碎石；

5. 三氯生：煤渣去除率最高，达81.09%，其次是陶粒和沸石，碎石的去除效果不明显，煤渣＞陶粒＞沸石＞碎石；

6. 磺胺嘧啶：煤渣去除率最高，达67.36%，其次是陶粒，碎石和沸石可能释放，煤渣＞陶粒＞碎石＞沸石；

7. 除了总磷外，煤渣对各类污染物均具有较好的吸附效果，对特征痕量污染物的去除率均达到65%以上；陶粒和碎石对总磷、三氯卡班及三氯生的吸附效果较好；沸石对三氯卡班的吸附效果较好，达52.76%，但对其他污染物去除效果不明显。

实验结果显示，四种基质对原水中COD和三氯卡班的吸附效果由强到弱依次为：煤渣＞沸石＞陶粒＞碎石；对氨氮的吸附效果由强到弱依次为：煤渣＞陶粒＞碎石；对总磷的吸附效果由强到弱依次为：碎石＞陶粒＞沸石＞煤渣；对三氯生的吸附效果依次为：煤渣＞陶粒＞沸石＞碎石；对磺胺嘧啶的吸附效果依次为：煤渣＞陶粒＞碎石＞沸石。除了总磷外，煤渣对各类污染物均具有较好的吸附效果，对特征痕量污染物的去除率均达到65%以上；陶粒和碎石对总磷、三氯卡班及三氯生的吸附效果较好；沸石对三氯卡班的吸附效果较好，达52.76%，但对其他污染物去除效果不明显。

5.2 基质对污染因子的吸附性能实验

（1） 接触时间对污染物吸附效果随时间的变化趋势影响。取筛选出的基质（＞12 目）8 份，每份15 g，分别投入100 mL 原水样中，振荡吸附10、20、30、60、100、150、200和300min，过滤，测其上清液的污染物浓度。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **表5-2不同振荡时间TP吸收后的值** （单位：mg/l） | | | | | | | | | |
| 时间 | | 原水样 | 10min | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min | 300min |
| 沸石第一次实验 | | 2.24 | 2.07 | 2.24 | 2.15 | 2.07 | 1.98 | 1.98 | 1.98 | 2.15 |
| 沸石第二次实验 | | 2.46 | 2.36 | 2.46 | 2.36 | 2.46 | 2.26 | 2.16 | 1.97 | 2.07 |
| 煤渣 | | 2.62 | 2.34 | 2.24 | 2.34 | 2.24 | 2.43 | 2.06 | 1.96 | 1.87 |
| 陶粒第一次实验 | | 3.09 | 3.09 | 2.90 | 2.99 | 3.09 | 2.70 | 2.80 | 2.61 | 2.90 |
| 陶粒第二次实验 | | 3.37 | 3.26 | 3.16 | 3.06 | 3.06 | 3.37 | 3.16 | 2.65 | 3.26 |

**图5-7不同振荡时间TP吸收后的值**

**图5-8不同振荡时间对TP吸附量**

**图5-9不同振荡时间对TP去除率**

结论：随着震荡时间的增加，沸石对TP的去除率存在波动现象，在震荡时间大于100min时，吸附效果较明显，呈现上升趋势；陶粒对TP的去除率不明显，在震荡时间200min时，效果最好；在震荡时间大于150min时，煤渣的去除率稳步上升。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表5-3不同振荡时间NH3-N吸收后的值 （单位：mg/l）** | | | | | | | | | |
| 时间 | 原水样 | 10min | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min | 300min | |
| 碎石 | 28.51 | 26.25 | 25.64 | 25.64 | 24.82 | 26.25 | 15.80 | 18.26 | 19.28 | |
| 沸石第一次实验 | 36.15 | 17.17 | 14.70 | 8.65 | 4.25 | 2.05 | 3.97 | 4.80 | 0.67 | |
| 沸石第二次实验 | 24.31 | 11.29 | 7.08 | 6.28 | 2.68 | 2.28 | -0.73 | -2.53 | -2.93 | |
| 煤渣 | 46.14 | 19.30 | 19.30 | 19.30 | 20.90 | 19.10 | 20.10 | 18.10 | 20.30 | |
| 陶粒第一次实验 | 26.87 | 26.40 | 26.40 | 26.62 | 27.98 | 24.58 | 23.67 | 25.94 | 28.66 | |
| 陶粒第二次实验 | 26.40 | 26.17 | 26.40 | 26.40 | 27.08 | 26.85 | 25.26 | 22.31 | 25.26 | |

**表5-10不同振荡时间NH3-N吸收后的值**

**图5-11不同振荡时间对NH3-N吸附量**

**图5-12不同振荡时间对NH3-N去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对氨氮的吸附效果没有明显变化，去除率基本维持在60%左右；陶粒对氨氮的去除率存在先上升后下降的现象，其中100-200min区间，去除效果较明显；沸石对氨氮的去除率在100min前呈上升趋势，碎石对氨氮的去除率总体呈先上升后下降趋势，在150min时去除效果最好。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表5-4不同震荡时间COD吸收后的值 （单位：mg/l）** | | | | | | | | | |
| 时间 | 原水样 | 10min | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min | 300min |
| 碎石 | 81.22 | 101.52 | 101.52 | 87.98 | 94.75 | 101.52 | 128.59 | 101.52 | 94.75 |
| 沸石第一次实验 | 60.91 | 87.98 | 94.75 | 94.75 | 87.98 | 101.52 | 108.29 | 115.06 | 101.52 |
| 沸石第二次实验 | 60.91 | 162.43 | 40.61 | 135.36 | 67.68 | 121.82 | 148.90 | 115.06 | 108.29 |
| 煤渣 | 94.75 | 81.22 | 74.45 | 74.50 | 74.45 | 87.98 | 87.98 | 54.14 | 74.45 |
| 陶粒第一次实验 | 81.22 | 108.29 | 74.45 | 74.45 | 60.91 | 47.38 | 47.38 | 54.14 | 54.14 |
| 陶粒第二次实验 | 101.52 | 87.98 | 101.52 | 87.98 | 101.52 | 101.52 | 94.75 | 81.22 | 101.52 |

**图5-13不同震荡时间COD吸收吸收后的值**

**图5-14不同振荡时间对COD吸附量**

**图5-15不同振荡时间对COD去除率**

结论：随着震荡时间的增加，四种基质对COD的去除波动较大，其中碎石和沸石基本上对COD没有去除效果；煤渣对COD的去除率在21%-43%之间波动在200min时去除效果最好；两次的陶粒实验对COD的去除效果差异较大，其中在200min时去除效果较明显。

**表5-5不同震荡时间三氯卡班吸收后的值 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 对照 | 10min | 20min | 30min | 60min | 90min | 120min | 150min | 180min | 240min | 300min |
| 沸石 | 336 | 991 | 845 | 901 | 845 | 725 | 708 | 608 | 340 | 709 | 661 |
| 碎石 | 1259 | 1135 | 562 | 744 | 723 | 1001 | 964 | 1131 | 1128 | 923 | 737 |
| 煤渣 | 655 | 413 | 305 | 149 | 182 | 99 | 151 | 102 | 84 | 36 | 15 |
| 陶粒 | 746 | 716 | 750 | 658 | 744 | 823 | 605 | 669 | 773 | 644 | 428 |

**图5-16不同震荡时间三氯卡班吸收后的值**

**图5-17不同振荡时间对三氯卡班吸附量**

**图5-18不同振荡时间对三氯卡班去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对三氯卡班的去除率总体呈上升趋势，在90min后增加振荡时间去除效果变化不大，基本维持在80%左右；碎石对三氯卡班的去除率在震荡时间为20min时效果最好，达到50%左右；时间对陶粒的去除率存在波动现象，在300min时去除效果最好。

**表5-6不同震荡时间三氯生吸收后的值 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 对照 | 10min | 20min | 30min | 60min | 90min | 120min | 150min | 180min | 240min |
| 沸石 | 1567 | 1828 | 1302 | 1375 | 1335 | 1303 | 1468 | 1022 | 949 | 1346 |
| 碎石 | 2431 | 4243 | 1936 | 3718 | 2759 | 3720 | 3594 | 3082 | 3146 | 2700 |
| 煤渣 | 2908 | 1250 | 1052 | 308 | 655 | 660 | 858 | 307 | 472 | 330 |
| 陶粒 | 1799 | 1211 | 1455 | 1357 | 1398 | 1633 | 1726 | 1411 | 1678 | 1939 |

**图5-19不同震荡时间三氯生吸收后的值**

**图5-20不同振荡时间对三氯生吸附量**

**图5-21不同振荡时间对三氯生去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对三氯生的去除率呈现上升-下降-上升的趋势，其中，30和150min的去除效果较好，达85%以上；陶粒的去除率总体呈下降趋势；沸石在180min时去除效果最好。

**表5-6不同震荡时间磺胺嘧啶吸收后的值 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 对照 | 10min | 20min | 30min | 60min | 90min | 120min | 150min | 180min | 240min | 300min |
| 沸石 | 311 | 315 | 301 | 304 | 299 | 273 | 269 | 260 | 250 | 278 | 290 |
| 碎石 | 364 | 336 | 365 | 340 | 339 | 375 | 345 | 379 | 630 | 349 | 364 |
| 煤渣 | 315 | 270 | 264 | 126 | 259 | 227 | 201 | 150 | 139 | 191 | 113 |
| 陶粒 | 332 | 285 | 307 | 315 | 322 | 316 | 324 | 336 | 326 | 294 | 264 |

**图5-22不同震荡时间三氯生吸收后的值**

**图5-23不同振荡时间对磺胺嘧啶吸附量**

**图5-24不同振荡时间对磺胺嘧啶去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对磺胺嘧啶的去除率总体呈上升趋势，在180min后增加振荡时间去除效果变化不大，基本维持在50%左右；沸石对磺胺嘧啶的去除率总体呈上升趋势，在180min时去除率达到最大值20%左右；碎石对磺胺嘧啶的去除效果不明显，最大的去除率才7%左右；陶粒对磺胺嘧啶的去除率也较低，在300min时去除效果最好。

**表5-7第二次实验不同振荡时间对三氯卡班实验监测数据（单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 基质 | 时间 | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min |
| 煤渣 | 基质+水样（x1） | 33.76 | 30.01 | 35.74 | 21.25 | 28.06 | 17.61 |
| 基质+纯水（x2） | 53.23 | 39.36 | 25.48 | 24.40 | 17.06 | 13.74 |
| 原水对照（x3） | 448.85 | 579.64 | 497.22 | 552.55 | 572.51 | 587.11 |
| 沸石 | 基质+水样（x1） | 426.10 | 587.07 | 560.23 | 535.48 | 577.16 | 606.57 |
| 基质+纯水（x2） | 75.81 | 58.56 | 47.39 | 145.07 | 74.98 | 68.51 |
| 原水对照（x3） | 618.26 | 559.67 | 555.01 | 746.52 | 509.78 | 456.16 |

**图5-25第二次实验不同振荡时间对三氯卡班吸附量**

**图5-26第二次实验不同振荡时间对三氯卡班去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对三氯卡班的去除率基本上变化不大，去除率基本上达到90%；沸石对三氯卡班的去除范围在5%-50%左右的波动，其中20min和100min达到最大值。

**表5-8第二次实验不同振荡时间对三氯生实验监测数据 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 基质 | 时间 | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min |
| 煤渣 | 基质+水样（x1） | 477.97 | 511.55 | 337.31 | 206.17 | 228.95 | 200.60 |
| 基质+纯水（x2） | 1034.84 | 108.00 | 341.65 | 702.70 | 113.24 | 594.44 |
| 原水对照（x3） | 1087.82 | 1088.56 | 1045.58 | 1057.18 | 1316.70 | 1340.92 |
| 沸石 | 基质+水样（x1） | 1135.87 | 1242.75 | 1328.76 | 1353.49 | 1284.06 | 1377.01 |
| 基质+纯水（x2） | 188.61 | 976.65 | 684.09 | 293.25 | 1042.55 | 381.32 |
| 原水对照（x3） | 1233.24 | 1197.46 | 1315.06 | 1306.50 | 1185.98 | 1202.27 |

**图5-29第二次实验不同振荡时间对三氯生吸附量**

**图5-30第二次实验不同振荡时间对三氯生去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣和沸石对三氯生的去除效果有存在一定的波动性，煤渣去除率最低值能达到60%，沸石去除率范围在20%-80%左右的波动，其中30min和150min达到最大值。

**表5-9第二次实验不同振荡时间对磺胺嘧啶实验监测数据 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 基质 | 时间 | 20min | 30min | 60min | 100min | 150min | 200min |
| 煤渣 | 基质+水样（x1） | 273.39 | 221.86 | 211.11 | 145.42 | 115.75 | 165.04 |
| 基质+纯水（x2） | 23.30 | 12.53 | 7.69 | 7.62 | 11.13 | 33.64 |
| 原水对照（x3） | 314.41 | 318.00 | 316.63 | 325.14 | 340.99 | 321.76 |
| 沸石 | 基质+水样（x1） | 629.86 | 705.98 | 693.98 | 843.25 | 751.41 | 889.59 |
| 基质+纯水（x2） | 337.87 | 412.87 | 483.63 | 592.10 | 550.42 | 649.70 |
| 原水对照（x3） | 324.96 | 316.08 | 335.32 | 335.78 | 318.73 | 326.04 |

**图5-31第二次实验不同振荡时间对磺胺嘧啶吸附量**

**图5-32第二次实验不同振荡时间对磺胺嘧啶去除率**

结论：随着震荡时间的增加，煤渣对磺胺嘧啶的去除效果有增长的趋势，在150分钟达到最大值70%去除率；沸石去除率范围在30%-40%左右的波动。

总结论：实验结果显示，1、煤渣对TP、NH3-N、COD、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶等污染因子的去除效果最佳时间分别在X150min、150200min、150200min、150180min、150180min、150180min，去除率分别为30%、60%、50%、90%、90%、70%左右，所以煤渣对各个污染因子的协同处理的最佳时间在150-180min的范围。

2、陶粒对TP、NH3-N、COD、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶等污染因子的去除效果最佳时间分别在150200min、150200min、150200min、150180min、1030min，240300min、去除率分别为20%、15%、40%、40%、30%、20%左右，所以陶粒对各个污染因子的协同处理的最佳时间在150-200min的范围。

3、沸石对TP、NH3-N、COD、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶等污染因子的去除效果最佳时间分别在100150min、150200min、3060min、100150min、3060min，150180min、去除率分别为10%、90%、-8%、40%、20%、30%左右，所以沸石对各个污染因子的协同处理的最佳时间在100-150min的范围。

4、碎石对NH3-N、COD、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶等污染因子的去除效果最佳时间分别在150200min、3060min、2030min、2030min、3060min，去除率分别为45%、-8%、-8%、20%、7%左右，所以碎石对各个污染因子的协同处理的最佳时间在30-60min的范围。

（2）基质投加量对氨氮吸附情况的影响

分别取筛选出的基质（＞ 12 目） 5、10、15、20、25、30、35、45、55、65 g，投入100 mL 原水样中，振荡吸附150min，离心过滤，测其上清液的污染物浓度。

**表5-10基质不同用量对TP吸附实验监测数据 （单位：mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 2.96 | 2.96 | 2.86 | 2.86 | 2.64 | 2.86 | 2.64 | 2.75 | 2.86 | 2.86 | 2.96 |
| 陶粒 | 2.78 | 1.91 | 1.81 | 1.71 | 1.71 | 1.91 | 2.00 | 1.62 | 1.62 | - | - |
| 煤渣 | 2.80 | 2.32 | 2.23 | 2.04 | 1.75 | 1.65 | 1.65 | 1.56 | 1.27 | 1.27 | 1.08 |
| 沸石 | 2.14 | 2.14 | 2.05 | 2.23 | 2.23 | 2.23 | 1.86 | 1.96 | 2.23 | 2.23 | 1.96 |

**图5-33基质不同用量对TP去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对TP的去除率呈上升趋势，煤渣的量越多去除率越好，当质量达到55g时去除率为61%，去除率还有增长的趋势；沸石对TP的去除率在30g时去除率达到最大值13%左右；碎石对TP的去除效果不明显，在20g时最大的去除率才10%左右；陶粒对TP的去除率的波动不大，在30%-40%去除率。

**表5-11基质不同用量对NH3-N吸附实验监测数据 （单位：mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 35.47 | 21.72 | 20.15 | 20.93 | 20.93 | 20.34 | 20.15 | 20.74 | 20.15 | 20.93 | 19.95 |
| 陶粒 | 28.05 | 23.16 | 24.38 | 23.89 | 26.09 | 25.85 | 23.89 | 22.43 | 24.38 |  |  |
| 煤渣 | 23.29 | 22.70 | 21.72 | 21.33 | 18.97 | 17.40 | 18.38 | 16.61 | 15.63 | 14.84 | 12.49 |
| 沸石 | 16.62 | 6.17 | 1.89 | 1.35 | 0.81 | -0.79 | -1.33 | -0.26 | -0.53 | -0.53 | -0.79 |

**图5-34基质不同用量对NH3-N去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对NH3-N的去除率呈上升趋势，煤渣的量越多去除率越好，当质量达到55g时去除率为46%，去除率还有增长的趋势；沸石对NH3-N的去除率呈比较平缓上升趋势，当质量达到20g时去除率为95%，；碎石对NH3-N的去除率基本波动不大，在维持去除率在38%-43% 左右；陶粒对NH3-N的去除率的波动不大，在35g时去除率为20%。

**表5-12基质不同用量对COD吸附实验监测数据 （单位：mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 108.3 | 101.5 | 88.0 | 88.0 | 81.2 | 94.8 | 74.4 | 94.8 | 169.2 | 81.2 | 101.5 |
| 陶粒 | 115.1 | 115.1 | 108.3 | 94.8 | 101.5 | 101.5 | 94.8 | 88.0 | 81.2 |  |  |
| 煤渣 | 155.7 | 135.4 | 128.6 | 135.4 | 128.6 | 115.1 | 121.8 | 142.1 | 101.5 | 115.1 | 94.8 |
| 沸石 | 128.6 | 128.6 | 115.1 | 108.3 | 115.1 | 115.1 | 115.1 | 121.8 | 121.8 | 115.1 | 121.8 |

**图5-35基质不同用量对COD去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对COD的去除率总体呈上升趋势，煤渣的量越多去除率越好，当质量达到65g时去除率为40%，去除率还有增长的趋势；沸石对COD的去除率基本波动不，当质量达到15g时最佳的去除率为16%，；碎石对COD的去除率基本波动较大，当质量达到30g时最佳的去除率为31%；陶粒对对COD的去除率总体呈上升趋势，在45g时去除率为30%。

**表5-13基质不同用量对三氯卡班吸附实验监测数据（单位：mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 2g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 882 |  | 1106 | 784 | 929 | 902 | 629 | 605 | 698 | 515 | 557 | 444 |
| 煤渣 | 891 |  | 369 | 180 | 144 | 83 | 243 | 85 | 44 | 31 | 13 |  |
| 沸石 | 942 |  | 798 | 1167 | 1106 | 1131 | 977 | 881 | 820 | 808 | 577 | 642 |
| 陶粒 | 933 | 930 | 743 | 758 | 731 | 483 | 660 | 554 | 548 | 444 |  |  |

**图5-36基质不同用量对三氯卡班去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对三氯卡班的去除率呈上升趋势，煤渣的去除率增长比较缓慢，当质量达到55g时去除率为98%；沸石对三氯卡班的去除率呈上升趋势，当质量达到55g时最佳的去除率为38%；碎石对三氯卡班的去除率呈上升趋势，当质量达到65g时最佳的去除率为50%；陶粒对对三氯卡班的去除率总体呈上升趋势，在45g时去除率为52%。

**表5-14基质不同用量对三氯生吸附实验监测数据（单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 2g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 3338 |  | 1269 | 1227 | 1260 | 1299 | 1414 | 1513 | 1361 | 1493 | 1514 | 1410 |
| 煤渣 | 1235 |  | 337 | 194 | 277 | 191 | 450 | 461 | 187 | 382 | 128 | 259 |
| 沸石 | 1539 |  | 1218 | 1387 | 1394 | 1761 | 1860 | 1939 | 1507 | 1710 | 1408 | 1392 |
| 陶粒 | 1345 | 1218 | 1122 | 1117 | 1177 | 1195 | 1460 | 1082 | 1281 | 1007 |  |  |

**图5-37基质不同用量对三氯生去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对三氯生的去除率基本在70%-90%之间的波动，当质量达到55g时去除率为90%；沸石和陶粒对三氯生去除率为20%左右；碎石对三氯生的去除率波动不大，去除率为60%左右。

**表5-15基质不同用量对磺胺嘧啶吸附实验监测数据 （单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 质量 | 0g | 2g | 5g | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g | 55g | 65g |
| 碎石 | 335 |  | 327 | 342 | 339 | 340 | 345 | 348 | 349 | 370 | 343 | 344 |
| 煤渣 | 329 |  | 270 | 166 | 197 | 100 | 76 | 88 | 52 | 43 | 93 | 163 |
| 沸石 | 337 |  | 337 | 340 | 334 | 337 | 349 | 305 | 353 | 313 | 328 | 300 |
| 陶粒 | 335 | 381 | 349 | 366 | 335 | 375 | 366 | 296 | 367 | 346 |  |  |

**图5-37基质不同用量对磺胺嘧啶去除率**

结论：随着基质质量的增加，煤渣对三氯卡班的去除率呈上升趋势，当质量达到45g时最佳去除率为87%；沸石、碎石和陶粒对三氯生的基本没有什么变化，且去除率比较。

**表5-16第二次实验基质不同用量对三氯生吸附实验监测数据（单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 时间 | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g |
| 煤渣 | 基质+水样（x1） | 267.21 | 79.39 | 186.44 | 77.64 | 98.67 | 213.42 | 122.86 |
| 基质+纯水（x2） | 586.40 | 59.31 | 48.97 | 67.31 | 80.41 | 107.54 | 162.75 |
| 原水对照（x3） | 1030.01 | 1030.01 | 1030.01 | 1030.01 | 1030.01 | 1030.01 | 1030.01 |
| 沸石 | 基质+水样（x1） | 975.46 | 851.65 | 910.17 | 957.14 | 1127.90 | 1255.22 | 1079.97 |
| 基质+纯水（x2） | 276.30 | 159.34 | 102.84 | 363.77 | 349.45 | 714.09 | 425.04 |
| 原水对照（x3） | 1130.19 | 1130.19 | 1130.19 | 1130.19 | 1130.19 | 1130.19 | 1130.19 |

**表5-38第二次实验基质不同用量对三氯生去除率**

**表5-17第二次实验基质不同用量对磺胺嘧啶吸附实验监测数据（单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 时间 | 10g | 15g | 20g | 25g | 30g | 35g | 45g |
| 煤渣 | 基质+水样（x1） | 65.01 | 92.21 | 9.62 | 49.64 | 7.09 | 7.85 | 8.28 |
| 基质+纯水（x2） | 17.68 | 7.62 | 23.34 | 60.68 | 6.19 | 8.10 | 6.54 |
| 原水对照（x3） | 348.61 | 348.61 | 348.61 | 348.61 | 348.61 | 348.61 | 348.61 |
| 沸石 | 基质+水样（x1） | 431.41 | 514.21 | 524.92 | 584.33 | 1018.31 | 1091.26 | 1533.13 |
| 基质+纯水（x2） | 151.06 | 245.69 | 260.03 | 339.96 | 702.89 | 575.25 | 1340.66 |
| 原水对照（x3） | 339.22 | 339.22 | 339.22 | 339.22 | 339.22 | 339.22 | 339.22 |

**表5-39第二次实验基质不同用量对磺胺嘧啶去除率**

总结论：1.煤渣随着基质用量的增加，对各个TP、NH3-N、COD、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶的去除率的增加趋势；当煤渣的质量为55g时去除率分别为61%、46%、40%、98%、90%和87%。

2.沸石随着基质用量的增加，除了对氨氮的去除率为90%左右外，对其他的五个污染因子的去除都比较低。

3. 陶粒对TP、NH3-N、三氯生和磺胺嘧啶的去除率的波动不大，对TP的去除率在30%-40%左右，35g时对NH3-N的去除率为20%；陶粒对对COD和三氯卡班的去除率总体呈上升趋势，在45g时去除率分别为30%和52%。

4.碎石随着基质用量的增加，对污染因子的去除波动不大。

5.3不同水汽比对污染物去除效果影响

取各基质置于含1000 mL 烧杯中，放置到800ml的位置，同时在烧杯中放置曝气头进行曝气。然后控制不同的水气来对污染物的去除影响，水汽比为（1：1）、（1:2）、（1:4）、（1:6）、（1:8）、（1:15）、（1:30）、（1:50）、（1:80）、（1:100），原水样置入烧杯中至800ml位置。曝气时间为2h取一次样。

**表5-18不同水汽比污染物去除效果监测数据**

**（单位：ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1L水对应的爆气量 | | | | | | | | | | | |
| 水汽比 | 1：1 | 1：2 | 1：4 | 1：6 | 1：8 | 1：15 | 1：30 | 1：50 | 1：80 | 1：100 | 原水样 |
| 三氯卡班 | 965 | 887 | 738 | 839 | 980 | 976 | 886 | 1063 | 955 | 1015 | 1036 |
| 三氯生 | 733 | 857 | 598 | 610 | 669 | 736 | 589 | 611 | 520 | 569 | 699 |
| 磺胺嘧啶 | 581 | 546 | 555 | 580 | 565 | 554 | 586 | 581 | 678 | 474 | 560 |

**图5-40不同水汽比的去除率**

结论：1、三氯生随着水汽比的增大，去除率也有所增加趋势。

2、三氯卡班随着水汽比的增大，去除率也有所减少趋势。

3、磺胺嘧啶对水汽比的增加，去除率变化不明显。

**第二章中试试验**

# 1 概述

**1.1 概况**

本项目为新丰江库区农村聚居区混合排水深度处理及高浦小河流域高风险面源污染控制研究与示范项目的中试，模拟水专项示范工程在河源双江镇生活污水处理方式及工艺，为示范工程改造打下基础。中试项目废水主要为生活污水，处理能力在10 m3/d。进出水水质完全按照水专项示范工程指标为参照。项目的中试地点在华农。

# 2设计基础

**2.1 废水来源及水量**

根据水专项中试要求，本项目进入污水处理站的废水量为10 m3/d。

**2.2 废水水质**

（1）、设计进水水质

根据《河源市东源县新丰江库区双江墟镇污水处理工程项目可行性研究报告》，原设计进水水质为：

**表 2-1 污水工程设计进水水水质参数**

**单位：（mg/L）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | COD（mg/L） | NH3-N（mg/L） | TP  （mg/L） | 三氯生（ng/L） | 三氯卡班（ng/L） | 磺胺嘧啶（ng/L） |
| 数据 | 80-150 | 20-30 | 2-4 | 100-300 | 100-300 | 100-300 |

（2）、设计出水质

根据进水的不同水质和东源县双江镇的相关水源保护规划，污水处理系统改造工程尾水水质应达到的排放标准为：

升级改造工程出水水质指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级标准的A类标准，和广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中的第二类污染物第二时段一级标准中的较严值；据此，确定双江墟镇污水处理系统改造工程出水水质，各水质指标见表3-2。

表2-2对照标准出水水质指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目** | | **CODCr** | **NH3-N** | **TP** | **粪大肠菌群数** |
| 国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918- 2002） | 一级A标准 | ≤50 | ≤8 | ≤0.5 | ≤103个/升 |
| 一级B标准 | ≤60 | ≤15 | ≤1.0 | ≤104个/升 |
| 二级标准 | ≤100 | ≤30 | ≤3.0 | ≤104个/升 |
| 广东省地方标准《水污染物排放限值》第二时段一级标准 | | ≤40 | ≤10 | － |  |
| 设计出水水质（mg/L） | | ≤40 | ≤5 | ≤0.5 | ≤103个/升 |
|  | |  |  |  |  |

根据设计进水水质及出水水质标准，确定本工程处理程度见表2-3。

**表2-3设计出水水质指标**

| **项目** | **BOD5** | **CODCr** | **SS** | **NH3-N** | **TP** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计进水水质（mg/L） | 80 | 150 | 120 | 20 | 2.5 |
| 设计出水水质（mg/L） | 10 | 40 | 10 | 5 | 0.5 |
| 去除率（%） | 87.5 | 73.3 | 91.7 | 75 | 80 |

**2.4 设计依据及原则**

（1）设计依据

1.《污水综合排放标准》（GB8978-2002）；

2. 广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）；

3.《地表水环境质量标准》（GB3838－2002）；

4.《室外排水设计规范》（GB50014-2006）（2014年版）；

5.《污水排入城镇下水道水质标准》（CJ343-2010）；

6.《城镇污水处理厂附属建筑和附属设备设计标准》（CJJ31-89）；

7.《城市防洪工程设计规范》(GB/T50805-2012)；

8.《泵站设计规范》 (GB50265-2010)；

9.《厂矿道路设计规范》(GBJ22-87)；

10.《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50046-2008)；

11.《工业企业设计卫生标准》（GBZ1-2010）；

12.《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)；

13.《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB50069-2002)；

14.《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)；

15.《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)；

16.《建筑设计防火规范》（GB50016－2012）；

17.《工业企业噪声控制设计规范》(GB/T50087-2013)；

18.《地下工程防水技术规范》(GB 50108-2008)；

19.《10KV及以下变电所设计规范》(GB50053-94)；

20.《供配电系统设计规范》 (GB50052-2009)；

21.《低压配电装置及线路设计规范》(CBJ54-83)；

22.《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T50062-2008)；

23.《建筑物防雷设计规范》(GB50057-2010)；

24.《通用用电设备配电设计规范》(GB50055-2011)；

25.《城市污水处理工程项目建设标准》（修订，2001年）；

26.《城市居民生活用水量标准》（GB/T 50331—2002）；

（2）设计原则

* 经济与效益原则

污水处理相对于其它行业是只投入，不产出，因此必须要以最小的投资，取得最大效益，确保出水水质稳定达标排放，从而取得环境效益和社会效益。

* 采用先进成熟可靠、节省投资的技术原则。

环境污染日趋严重，越来越引起人们的关注，各种环保技术也相继问世，然而许多环保技术仍需要实践检验，在选择处理技术时，必须采用先进成熟可靠、节省投资的技术。

* 建筑布局实用美观的原则

水处理构筑物建筑布局首先考虑的是其实用性，但随着审美观的不断发展，水处理构筑物的布局和外形也要有一定的美观性，即要和当地环境和建筑相协调，又要独树一帜，别具一格。

* 节约运行费用原则

水处理工程除了一次性投资外，建成后运行费用也要有一定的投资。运行费用主要包括能源消耗、药品消耗、设备损耗和维修费用。为了降低运行费用，我们在设计时，结合工程使用情况，选择一些性能好、能耗低、使用寿命长的设备，在工艺条件许可和确保出水水质的情况下，尽量减少药品的投加，尽量采用动力少的工艺。

* 自动控制原则

为了减轻操作人员的劳动强度，最大限度地减少人为因素的影响，在设计过程中针对工艺的需要配置全自动控制液位系统，除污泥处理外无需人员操作，同时有故障报警指示功能。

**3 工艺选择**

**3.1 工艺选择**

3.1.1二级处理工艺

目前，用于城市污水处理二级污水处理工艺主要有：A2/O工艺、氧化沟工艺、SBR工艺及生物接触氧化法。

（1）A2/O工艺

在系统上，该工艺是最简单的除磷脱氮工艺，在厌氧、缺氧、好氧交替运行的条件下，可抑制丝状菌的繁殖，克服污泥膨胀，使得SVI值一般小于100，有利于泥水分离。由于厌氧、缺氧和好氧三个区严格分开，有利于不同微生物菌群的繁殖生长，脱氮除磷效果好。目前，该法在国内外广泛使用，运行良好。

但是A2/O工艺存在一些缺陷。生物除磷需要较高的污泥负荷，而生物脱氮则需要较低的污泥负荷，在A2/O工艺中要使二者同时达到最佳状态是困难的，一般宜以生物脱氮为主，生物除磷为辅。

为了解决A2/O法回流污泥中硝酸盐对厌氧放磷的影响，又产生了改良型A2/O、倒置A2/O和UCT等工艺。

（2）氧化沟工艺

目前在国内外较为流行的氧化沟有：卡罗塞尔氧化沟、奥贝尔氧化沟、双沟式氧化沟、三沟式氧化沟等。

氧化沟的曝气池为封闭的沟渠，废水和活性污泥的混合液在其中不断循环流动，因此氧化沟又名“连续循环曝气法”。过去由于其曝气装置动力小，使池深及充氧能力受到限制，导致占地面积大，土建费用高，使其推广及运用受到影响。近十年来由于曝气装置的不断改进、完善及池形的合理设计，在一定程度上弥补了氧化沟过去的缺点，但一般用于中小规模的污水厂。

（3）SBR工艺

SBR工艺也称序批式活性污泥法，传统的SBR工艺进水、曝气、沉淀、排水、排泥都是间歇的，后来出现各种改型，有的改为连续进水，有的改为部分连续曝气。一般说来，间歇处理不如连续处理简单、方便，但它只需用一个反应池就能完成全部反应、沉淀工序，省去了连续工艺中的二沉池和回流污泥设施，使处理构筑物大大简化，从而节省占地，降低基建投资。目前在传统SBR工艺的基础上又逐步发展了许多改良工艺，其基本情况和性能对比如表3-4。

**表3-1 各种SBR工艺的基本情况和性能对比**

| **工艺**  **项目** | **常规SBR** | **ICEAS** | **DAT-IAT** | **CASS** | **三沟式氧化沟** | **UNITANK** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 池型 | 矩形池 | 分隔为预反应区和主反应区 | DAT和IAT串联 | 分隔为选择区和主反应区 | 三沟组合 | 三池组合 |
| 进水 | 间歇 | 连续 | 连续 | 间歇 | 连续 | 连续 |
| 曝气 | 间歇` | 间歇 | DAT连续IAT间歇 | 间歇 | 中沟连续边沟间歇 | 中池连续边池间歇 |
| 沉淀 | 静态 | 半静态 | 半静态 | 静态 | 半静态 | 半静态 |
| 排水 | 间歇 | 间歇 | 间歇 | 间歇 | 连续 | 连续 |
| 周期/h | 4~8 | 4~6 | 3 | 4 | 8 | 8 |
| 容积利  用率/% | 50 | 50~58 | 66.7 | 50 | 50 | 50 |
| 污泥回流 | 无 | 无 | 200%~  400% | 20%~30% | 无 | 无 |
| 运行水位 | 水位变化1~2m | 水位变化1~1.5m | 水位变化<1m | 水位变化1~2m | 固定水位 | 固定水位 |
| 常用曝气设备 | 机械曝气/鼓风曝气 | 鼓风曝气 | 鼓风曝气 | 鼓风曝气 | 机械曝气 | 鼓风曝气/机械曝气 |
| 常用排水设备 | 滗水器 | 滗水器 | 滗水器 | 滗水器 | 可调堰 | 固定堰 |
| 脱氮功能 | 尚可 | 尚可 | 一般 | 好 | 一般 | 一般 |
| 除磷功能 | 一般 | 一般 | 较差 | 好 | 较差 | 较差 |
| 防止污泥膨胀 |  | 尚可 | 一般 | 好 | 一般 | 一般 |

（4）生物接触氧化法

生物接触氧化法是一种介于活性污泥与生物滤池之间的生物膜法。

生物接触氧化法在池内设有填料，部分微生物以生物膜的形式固着生长于填料表面，部分则是絮状悬浮生长于水中。因此，它兼有活性污泥法与生物滤池二者的特点。生物接触氧化法中微生物所需的氧常通过人工曝气供给。生物膜生长至一定厚度后，近填料壁的微生物将由于缺氧而进行厌氧代谢，产生的气体及曝气形成的冲刷作用会造成生物膜的脱落，并促进新生膜的生长，形成生物膜的新陈代谢，脱落的生物膜将随出水流出池外。

一般生物接触氧化池前要设初次沉淀池，以去除悬浮物，减轻生物接触氧化池的负荷；生物接触氧化池后则设二次沉淀池，以去除出水中挟带的生物膜，保证系统出水水质。

生物接触氧化法的主要特点：

①由于填料的比表面积大，池内的充氧条件良好，生物接触氧化池内单位容积的生物固体量高于活性污泥法曝气池的生物固体量，因此，生物接触氧化池具有较高的容积负荷，除一般细菌外，生物膜上还有多种种属的原生动物和后生动物，形成了稳定的生态系统；

②由于相当一部分微生物固着生长在填料表面，生物接触氧化法不需要设污泥回流系统，也不存在污泥膨胀问题，运行管理简便；

③由于生物接触氧化池内生物固体量多，水流属完全混合型，因此，生物接触氧化池对水质水量的骤变有较强的适应能力；

④由于生物接触氧化池内生物固体量多，当有机容积负荷较高时，其F/M比可以保持在一定水平，因此，污泥产量可相当于或低于活性污泥法；

⑤有较高的氧利用率。空气在滤料中曲折穿过，增加了停留时间，提高了氧从气相向液相转移效率；

⑥缺点是滤料间水流缓慢，接触时间长，水力冲刷力小，生物膜只能自行脱落；剩余污泥往往恶化处理水质；动力费用高。

根据处理水出水目标，本工程必须采用“二级处理+深度处理”的工艺。根据现状污水处理系统进水水质水量特点及改造工程的实际情况，改造工程二级工艺必须满足以下几个要求：

1.工艺成熟稳定，适合来水水质和水量波动较大，耐冲击负荷能力较强；

2.出水效果较好，土建成本较低，管理方便；

3.污泥量相对较少，降低后续处理成本；

在常规市政二级处理工艺中，主要有活性污泥法与生物膜法两大类。活性污泥法虽然在出水SS方面更具优势，但是其最大的缺点为抗冲击负荷能力差，由于本工程处理规模较小，水质水量波动大，因此不适合本工程。而作为较为成熟的膜法——生物接触氧化法具有耐冲击负荷较强，适合水质和水量波动较大的，污泥量也相对较少的特点，出水SS较高的缺点可以在深度处理中得到减弱；同时为了土建建设方便，管理方便，主体构筑物建议采用一体化生物接触氧化设备。

综上所述，结合改造工程的实际情况，建议因地制宜采用一体化生物接触氧化工艺：材质为A3+玻璃钢内防腐。

3.1.2深度处理工艺

3.1.2.1、深度处理工艺简介

污水深度处理常见的工艺有混凝沉淀、过滤、消毒、活性炭吸附、离子交换、高级氧化、膜分离等物理化学技术以及人工湿地等生态处理技术。

根据处理原理可将污水深度处理技术及工艺流程分为以下4 种类型：

（1）以物理、化学处理技术为核心的工艺流程

以城镇污水二级处理出水或经过预处理的建筑内部优质杂排水为处理对象，采用常规给水处理工艺流程或在此基础上增加臭氧、活性炭技术，处理后的水可用于建筑中水、市政杂用水、工业用水等多种用途。典型工艺流程为：城市污水二级处理出水或经过预处理的建筑内部优质杂排水→絮凝→沉淀→砂滤→臭氧氧化→活性炭过滤→消毒→回用。

此类工艺具有技术成熟、处理效果稳定、出水水质好等优点。不足的是工艺流程长，占地面积大，基建费用高，运行管理麻烦。我国早期的建筑中水处理多数采用这类处理工艺。

（2）以膜技术为核心的工艺流程

在国外，膜处理技术20 世纪60－70 年代已经开始应用于污水回用处理，美国、新加坡等地已经将城市污水通过膜处理后作为饮用水水源。我国近10 年才开始膜处理技术用于城市污水回用的工程应用研究和开发。膜处理技术是采用隔膜将水中的杂质和水分离的方法。城市污水回用处理中应用的典型工艺流程为：城市污水二级处理厂出水→砂滤→膜处理（超滤、微滤、反渗透、离子交换等）→消毒→回用。

此类工艺的特点是：占地面积小，出水水质稳定且优于常规生化再生处理工艺，操作简单，易实现自动化，但动力消耗大，处理成本高。

（3）以膜生物技术为核心的工艺流程

膜生物技术（MBR 工艺）是将生物处理与膜分离相结合的一种组合工艺。用膜生物反应器取代传统污水生化处理工艺中的二沉池，既可以高效地进行固液分离，得到直接使用的稳定中水。又可在生物池内维持高浓度的微生物量，工艺剩余污泥少，极有效地去除氨氮，出水悬浮物和浊度很低，出水中细菌和病毒被大幅度去除，占地面积小，操作管理方便，易于实现自动控制，易于从传统工艺进行改造。不足之处是膜造价高，膜污染给操作管理带来不便，能耗高。

（4）以人工湿地技术为核心的工艺流程

人工湿地作为生态处理技术可以用于污水处理厂尾水深度处理工艺。

人工湿地深度处理环节主要针对N、P等营养元素的去除。人工湿地对N的去除是将尾水中的无机氮作为植物生长过程中的营养元素，直接被湿地中的植物吸收，用于植物蛋白质等有机氮的合成，同样通过对植物的收割而将它们从湿地中去除。人工湿地对磷的去除是通过植物的吸收，微生物的积累和填料床的物理化学等几方面的共同协调作用完成的。

3.1.2.2深度处理工艺的比选

表3-2对二级出水深度处理的不同工艺进行了比较。

**表3-2深度处理工艺的比较**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目** | **物理、化学技术** | **膜技术** | **膜生物技术** | **人工湿地技术** |
| 对N去除效果 | 较差 | 较好 | 一般 | 较好 |
| 对P去除效果 | 较好 | 较好 | 一般 | 较好 |
| 占地面积 | 较小 | 较小 | 较小 | 较大 |
| 操作管理 | 较简单 | 复杂 | 复杂 | 简单 |
| 运行费用 | 较高 | 较高 | 较高 | 较低 |
| 景观效果 | 无 | 无 | 无 | 较好 |

表3-2可见，相对于其它处理工艺而言，在针对营养元素N和P的去除效果方面，人工湿地工艺优于其他三种深度处理工艺，在操作管理和运行费用方面可行性较高，而且具有一定环境景观效应。唯一的缺点是占地面积较大。但考虑到本工程二级处理出水后主要污染物指标是N和P等营养元素，而且工程最终出水后要作为生态补水重新回归于河道，综合考虑，本工程深度处理工艺推荐人工湿地。

3.1.3方案确定

根据现状双江墟镇污水处理系统的运行情况及改造工程的进水水质、出水要求、处理规模、平面布置、工艺流程、工程投资等因素，确定本工程方案为一体化生物接触氧化设备和人工湿地。

3.1.4生物接触氧化和人工湿地介绍

（1）生物接触氧化技术

生物接触氧化法属于好氧生物膜法的一种，是在生物滤池基础上，从接触曝气法改良、演变而来，因此又称为“浸没式滤池法”、“接触曝气法”和“淹没式生物膜法”等。

生物接触氧化法在世界各国被广泛应用，它具有如下特点：①处理效率高，处理池容积小，占地少，节省基建投资；②没有污泥膨胀和污泥回流，管理方便；③耐冲击、适应性强；④工艺适用范围广泛；⑤挂膜简单，启动快；⑥污泥产量少；⑦能耗低；⑧不产生滤池蚊蝇。生物接触氧化法的优点显而易见，但它也存在一定的缺点和不足，如填料易于堵塞，氧化池构造复杂、布气布水不易均匀等。

早在 19世纪末Waring，Ditter等人就开始了生物接触氧化污水处理试验研究， 1912年Closs获得了德国专利。随后德国的 Bach和美国的Buswell最先把生物接触氧化法运用于工程实践中，分别建立了Emscher和Albana污水处理厂。20世纪 20年代，“接触曝气法”已在美国和德国成为正规的废水处理方法，但由于当时的技术条件，填料的选择是一个技术难题，造成效果不理想，有机污染物去除率低，因而“接触曝气法”并未在当时被进一步的推广和应用。直到 50多年后的70年代，日本人小岛贞男采用所谓的“管式接触氧化”进行受污染水源的好氧处理，取得了突破性的成功。目前日本已经将管式蜂窝接触氧化法逐渐应用于水源水的预处理和生活污水及某些工业废水的二级、三级处理。20世纪 80年代，日本政府建设省发表通告，将接触氧化法列入小型废水处理首先推荐采用的处理工艺，并且公布了构造准则，将接触氧化法更加通用化、规范化和系列化。后来日本政府建设省又发布了补充通告，在原有的基础上提出来加以改进与完善的接触氧化处理废水工艺，使之能进一步适应除氮和减少污泥生成量的要求。70年代到 80年代日本的接触氧化法的另一个重要发展是：曝气方式由在填料侧面集中曝气，逐步发展到在填料下面均匀曝气，进一步提高了氧的利用率，促进了生物膜表面固液之间的传质效率，并提高了生物膜的正常脱落更新速度，减少了生物膜管式蜂窝内的堵塞现象。日本对生物接触氧化技术较为重视，在日本国进行了广泛应用和研究。受日本的影响，我国在 70年代也对生物接触氧化技术进行了应用研究，对其高效的原理和运行中的问题进行了研究，并取得了在国内有相当影响的研究成果。随后，生物接触氧化法在国内外得到广泛的应用，它代表了当时废水处理的一个发展方向——高效低耗和管理简便。

上世纪 70年代后，经过 20余年的实践和发展，各国对接触氧化技术的试验研究和应用又达到了一个新的水平。在废水处理领域中，生物接触氧化技术的使用领域更加拓宽，除了用于生活污水处理外，还被广泛的应用于工业废水的处理中，如石油化工、造纸、制药、皮革、肉类加工、食品加工等工业废水的处理。由于填料的重要性，开发了一系列的填料，如软性填料、半软性填料、组合式填料、球形填料等。同时，围绕着提高氧的转移率、节省动力、防止堵塞和降低造价等方面开发研制了一些新的曝气充氧设备。另外，接触氧化池的型式有所改进。随着处理水量的增大和要求处理程度的提高，接触氧化池的型式由单格完全混合式演变为多格式完全混合式与推流式相结合的型式。这种型式的接触氧化池将整个长方形大池分成数格，每格既是相对独立的单池，又是通过进水廊道相连通的组合池，在每格中水的流态基本上是完全混合式而对整个氧化池来说又属于推流式，这种池型往往应用于水处理量较大和废水有机污染物浓度较高的场合；并引进了活性污泥A－B法的思路进行分段处理，在第一阶段高负荷下实现微生物对有机物的高效去除，第二阶段低负荷保证出水水质，以提高整体的处理效率。20世纪 80年代中期以来，随着环境保护对废水处理程度要求的不断提高和厌氧技术的发展，接触氧化技术中结合了厌氧处理，如膜法厌氧水解－生物接触氧化法串联工艺，已在国内成了高浓度难降解有机废水处理的最佳工艺。随着世界各国对富营养化现象的关注，对 N、P去除的日益重视，对采用接触氧化技术去除 N、P的应用研究取得了较大的成果，研究表明，接触氧化法与活性污泥法的直接联合对 N、P的去除有着较好的效果。

生物接触氧化技术现已发展成为一种技术成熟、效果良好的水处理技术。随着环境保护要求的提高，生物接触氧化技术在原来的基础上有了新的发展，工艺不断创新，应用领域不断拓宽。如膜法 SBR（FSBR），结合了生物接触氧化法和SBR法的优点；生物接触氧化法与活性污泥法联合，发展成了复合式生物反应器。特别指出的是，由于接触氧化法的管理方便，在中小型生活污水处理中被大量的采用，尤其是中水回用处理

（2）人工湿地的技术

人工湿地系统是在一定长宽比及底面坡度的洼地中，填充一定的填料（如土壤、砾石、碎石、砂等）形成填料床，在床表面种植具有处理性能好、成活率高抗水性强的水生植物（如芦苇、香蒲、灯心草、风车草等）而构成的一个独特的动植物生态系统。根据水流方式可分为自由表面流湿地（Surface Flow Wetlands，简称SFW）、潜流人工湿（Subsurface Flow Wetlands，简称 SSFW）和垂直流人工湿地（Vertical Flow Wetlands，简称 VFW）。根据湿地中主要植物形式可分为浮水植物系统、挺水植物系统和沉水植物系统。

人工湿地的处理单元由水生植物、填料和微生物组成，一般包括:(1)具有各种透水性的填料； (2)适于在饱和水和厌氧填料中生长的湿生和水生植物； (3)在填料表面或填料表层以下一定深度流动的水体； (4)适合于生存的无脊椎或脊椎动物； (5)好氧或厌氧微生物种群。人工湿地具有十分复杂的净化机理，一般认为，综合了物理、化学、生物三种作用。人工湿地成熟后，填料表面和植物根系中生长了大量的微生物，形成生物膜，废水流经生物膜时， SS被填料及根系阻拦拦截，有机质则通过吸附、同化和异化作用得以去除。湿地床层中因植物根系对氧的传递释放，在周围的微环境中依次呈现好氧、缺氧和厌氧状态，使废水中的氮、磷不仅能被植物及微生物作为营养成分直接吸收，而且可以通过硝化、反硝化作用及微生物对磷的积累作用从废水中去除，最后通过湿地填料的定期更换或植物的收割使污染物质最终从系统中去除。人工湿地对污水的净化效果受多种因素的影响，主要包括:湿地类型、植物类型、填料类型、水力负荷、停留时间、气候、季节等因素，其中湿地类型、植物类型和填料类型是影响人工湿地净化作用的三个主要因素。

人工湿地处理污水具有高处理效率、低投资、低运行费用、低维护技术、低能耗、适用范围广等优点。但也有不足：①占地面积大；②较难确定设计运行参数；③生物和水力复杂性及对重要工艺动力学理解的缺乏；④易受病虫害影响。

世界上第一个用于处理污水的人工湿地建于1903年，位于英国约克郡，它一直连续运行到1992年。1953年，德国的Dr.Kat he Seidel发现芦苇能去除大量有机和无机物，并进一步试验发现一些污水中细菌在通过种植的芦苇时消失 (大肠菌、肠球菌、沙门氏菌)，表明芦苇及其他高大植物能从水中去除重金属和碳水化合物。60年代后，这些试验室观察开始推广至许多大规模试验用以处理工业废水、江河水、地面径流和生活污水，并由Dr.Seidel开发出一种“Max-planck Institute-Process”，该系统由四或五级组成,每级由几个并联并栽有挺水植物的池子组成，该系统存在堵塞和积水问题。

根据Dr.seidel的思路，荷兰于1967年还开发了一种现称为Lelystad Process

的大规模处理系统，该系统是一个占地一公顷的星形自由水面流湿地，水深

0.4m，由于运行问题,该系统后有一400m长浅沟，随后大量这种湿地在荷兰建成。60年代中期， Dr. Seidel与Dr. Kickut h 合作并由Dr. Kickut h 在1972年提出了根区理论，随后的1974年，第一个完整的人工湿地的试验在德国Othfrensen建成成功运行。自此，人工湿地系统被世界各国广泛应用于污废水处理，到2001年，美国就有600多处人工湿地用于处理市政、工业和农业废水，在丹麦、德国、英国至少有200多处人工湿地系统在运行，新西兰有80多处人工湿地系统投入使用。

我国在“七五”期间开始人工湿地的研究工作，国家环保局华南环保所在深圳白泥坑建造了占地面积189亩、处理规模为 3100m3/d的人工湿地示范工程；北京市环保所在北京昌平县建成了处理规模为500m3/d的芦苇湿地处理系统示范工程；天津市环保所建成了我国第一个占地亩、处理规模为 1400m3/d的芦苇湿地工程。1993年湖北省环保所、大冶铁矿和黄石市环境监测站建立了面积为 200m2的中试性人工湿地，处理铁矿炸药车间排放的含氮废水。此后国家环保局和中国科学院相继采用了人工湿地处理污水进行一系列的试验，对人工湿地的构建与净化功能进行了阐述。目前，国内许多高校和科研单位对人工湿地进行了深入的研究，如人工湿地的填料研究、湿地植物研究、垂直流人工湿地处理效能研究、复合流人工湿地处理效能研究等等，而且在我国的许多污废水处理工程实践中，人工湿地处理技术也被广泛应用。

**3.2 工艺流程**

双江墟镇污水处理系统工程的工艺流程见图3-1。

格栅池

水解酸化池

一体化生物接触氧化

定期清砂

污水

曝气

剩余污泥

人工湿地

污泥

出水

**图3-1 工艺流程**

**3.3 工艺流程说明**

本实验废水由收集到的生活废水流入格栅格网先去除杂物等垃圾后进入水解酸化池，通过提升泵定时定量地将污水送入一体化设备进行二级强化处理，污水先进入一体化设备的缺氧池，缺氧池内装有组合性填料有效分解有机物和硝化作用。污水经过缺氧池后再进入一级生物接触氧化池，反应池内装有组合性填料，空气由风机鼓入，气水同向流经填料层的过程中，污水中的有机物得到降解,经过一段时间后污水中老化脱落的生物膜随污水进入下一级接触氧化池,反应池内装有组合性填料,该级接触氧化反应器停留时间相对上一级短,在低能耗的前提下进一步降解微生物,使出水水质提高。两级接触氧化池可发挥微生物分级分布的特点,具有近似完全混合反应器特征的单级接触氧化的串联组合成将成为具有推流式反应器特征的好氧处理段。污水在二级接触氧化池尾端时，由污水泵回流部分到缺氧池进行硝化作用。另部分污水流入沉淀池。沉淀池出水后自流进入人工湿地进行深度处理，处理后的污水自流入人工湿地处理去除有机物，污水进入人工湿地深度处理。

**4工程设计**

**4.1水解酸化池**

a.功能：储存废水，均化水质、水量。将提高可生化性，即将大分子降解为小分当然了，也有一些基团并未降解为小分子，但是提高可生化性。

b.设计参数为：

有效水深：1.5m；

停留时间：4.5h；

有效容积：18m3

尺寸为L×B×H=2.5m×6m×1.5 m

结构形式：地下式

**4.2一体化生物接触氧化设备**

（1）生物接触氧化池

a.功能：去除污水中的NH3-N、BOD5和CODCr。

b.设计参数

一体化生物接触氧化池的主要尺寸：2.6m×1m×3.5 m；所包含的池子为缺氧池、一级接触好氧池、二级接触好氧池、竖流式沉淀池

|  |  |
| --- | --- |
| 池子名称 | 有效容积尺寸 |
| 缺氧池 | 0.8m×3.0m×3.5 m |
| 一级接触好氧池 | 0.6m×3.0m×3.5 m |
| 二级接触好氧池 | 0.6m×3.0m×3.5 m |
| 竖流式沉淀池 | 0.6m×3.0m×3.5 m |

污水处理工程设计流量：Q=10m3/d；

结构形式：地上式，钢砼

设计一体化污水处理设备处理能力：Q=0.5m3/h；

BOD5容积负荷为0.38kg/m3·d；

总水力停留时间：HRT=15h；

有效容积：8.3m3；

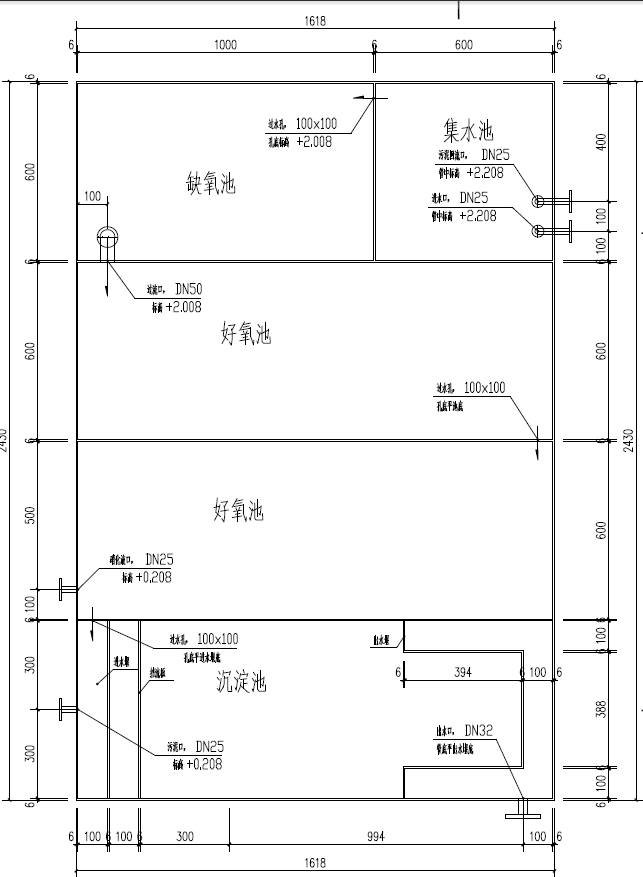
有效水深：3.2m；

气水比：4:1；

平均时供气量：1 m3/min；

d.运行方式

生物接触氧化池20小时运行，在曝气系统的作用下，使部分污泥处于悬浮状态部分富集在填料上。



**4-1一体化设备平面图**

**4.3人工湿地深度处理系统**

如图4-3，两组小试系统人工湿地设施建造均建造在工程一体化设备旁边，方便中试进水。墙体由砖和水泥砌成，工期为半个月（包括内部刷防渗漏材料）。为了达到级与级之间自流状态，三级池子高度逐级降低，第一级用砖块垫高了600mm，第二级垫高了300mm。填料选用不同粒径的碎石、陶粒、煤渣、沸石，植物选自本地种的美人蕉，这样移栽的存活率较高。



**图4-3人工湿地系统设计与构造**

（1）床体

垂直流人工湿地床的构成，床体尺寸（长×宽×高）为1000mm×1000mm×1000mm，由砖和水泥砌成，。取样管在湿地构建时通过PVC管从墙体嵌入，外侧套接阀门控制，PVC管内侧端一面穿孔以收集水样，并同样设置有水位观察管。

（2）基质

在人工湿地中，其对污染物的去除作用是植物、微生物、基质等共同作用的结果。

人工湿地基质的选择对人工湿地的处理效果影响很大，应针对不同的污水水质进行基质的选择，就地取材。传统的人工湿地基质主要包括土壤、砂、砾石等，近年来包括沸石、石灰石、页岩、塑料和陶粒。及文献报道，基质类型可分为三大类：天然材料、工业副产品、人造产品。天然材料主要白云石、石灰石、硅酸钙岩矿、沸石、页岩、铝土矿、砂子、砾石、灰土、土壤、蛋白土和贝壳砂等；工业副产品主要有高炉矿渣、电孤炉钢渣、炉渣和粉煤灰等；人造产品主要是指轻质膨胀性集料黏土，有的也称作轻质聚合体。从经济及实际运行管理等方面考虑，目前我国仍以砂、石混合作为最常用的基质组合。

基质的选择应遵循材料的易得、高效、价廉及安全无毒等原则。应首先筛选对污染物去除能力的当地材料，既能提高人工湿地对污水的净化能力和降低成本，又能延长生态工程的使用寿命。另外，由于不同渗透系数存在比较大的差异，应根据不同的人工湿地设计而选用不同的基质，如表面流人工湿地，可选择土壤作为基质；而潜流和垂直流人工湿地对基质的渗透系数比较高，应选用砂子、炉渣或它们与土壤的混合物等作为人工湿地的基质为宜。

第一组：碎石床，填料粒径为10-30mm的碎石；

第二组：煤渣床，填料粒径为10-30mm的煤渣；

第三组：陶粒床，填料粒径为10-30mm的陶粒；

第四组：碎石+陶粒床，填料粒径为10-30mm的碎石和陶粒；

第五组：碎石+煤渣床，填料粒径为10-30mm的碎石和煤渣；

第六组；碎石+沸石床，填料10-30mm左右的碎石和沸石；

（3）植物

湿地种的植物是美人蕉，种植密度均为9棵/m2。

（4）布水及集水系统

垂直流人工湿地的布水和集水系统和水平潜流人工湿地有所不同，垂直流人工湿地采用的是型布水方式 ，集水方式采用型，长宽 均为800mm，设置外框尽可能保持水头，中间两根管道底部穿孔布水与集水，布水与集水管道相互垂直，尽可能避免短流现象。

布水管

进水

水流方向

集水管

出水

出水

出水

**图4-2普通垂直流装置简图**

三种人工湿地基质粒径逐级减小，一定程度上可以缓解系统堵塞问题。

各平行单元运行条件相同。小试装置设计参数见表2.1。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单 元 | 组 成 | 长  (mm) | 宽  (mm) | 碎石粒径  (mm) | 各种填料层厚 (mm) | 池底坡降  (mm) |
| 第一组 | 碎石床（美人蕉） | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |
| 第二组 | 煤渣床(美人蕉) | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |
| 第三组 | 陶粒床（美人蕉） | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |
| 第四组 | 碎石+陶粒床（美人蕉） | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |
| 第五组 | 碎石+煤渣床(美人蕉) | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |
| 第六组 | 碎石+沸石床（美人蕉） | 1000 | 1000 | 10-30 | 800 | 0 |

（6）采样监测频率和次数

**CODCr**、**NH3-N、TN、磺胺嘧啶、三氯生、三氯卡班:**连续15天采样，每次采8个样品为各个池子的出水、一体化池子出水和集水池

**5数据监测**

1月13日和14日放入的猪粪可能没能搅拌均匀才导致了池子的浓度比较低。

**表5-1各个处理单元的COD监测数据单位（mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 | 1月17日 | 1月18日 | 1月19日 | 1月20日 | 1月21日 |
| 池子 | 306 | 298 | 226 | 274 | 267 | 181 | 101 | 63 | 183 | 112 | 130 | 112 | 115 | 119 | 149 |
| 一体化 | 142 | 129 | 117 | 134 | 148 | 115 | 84 | 63 | 109 | 49 | 56 | 42 | 55 | 42 | 28 |
| 碎石 | 100 | 65 | 63 | 78 | 78 | 75 | 44 | 22 | 89 | 28 | 28 | 26 | 32 | 24 | 18 |
| 煤渣 | 11 | 39 | 56 | 43 | 50 | 41 | 40 | 15 | 48 | 14 | 21 | 16 | 20 | 21 | 30 |
| 陶粒 | 28 | 52 | 83 | 99 | 85 | 75 | 40 | 29 | 75 | 21 | 28 | 22 | 25 | 31 | 25 |
| 陶粒+碎石 | 61 | 91 | 90 | 78 | 92 | 81 | 79 | 22 | 89 | 35 | 19 | 21 | 27 | 35 | 28 |
| 煤渣+碎石 | 44 | 84 | 49 | 92 | 64 | 61 | 46 | 49 | 55 | 42 | 14 | 23 | 23 | 28 | 15 |
| 沸石+碎石 | 33 | 26 | 90 | 71 | 85 | 88 | 59 | 22 | 75 | 42 | 46 | 22 | 27 | 35 | 15 |

**图5-1一体化的COD浓度和去除率波动曲线**

总结：一体化对COD去除率除了13日和14日的去除不明显外，其他时间的去除率基本在60%左右；

**图5-2单一填料的个单元COD浓度波动曲线**

**图5-3单一填料的个单元COD去除率波动曲线**

**图5-4组合填料的个单元COD浓度波动曲线**

**图5-4组合填料的个单元COD去除率波动曲线**

总结：一体化对COD去除率除了13日和14日的去除不明显外，其他时间的去除率基本在60%左右；

**表5-2各个处理单元的NH3-N监测数据单位（mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 | 1月17日 | 1月18日 | 1月19日 | 1月20日 | 1月21日 |
| 池子 | 23.39 | 25.09 | 27.79 | 27.29 | 30.21 | 37.17 | 25.66 | 18.84 | 20.40 | 21.64 | 23.40 | 22.52 | 24.00 | 23.60 | 25.25 |
| 一体化 | 6.20 | 2.93 | 2.51 | 0.61 | 8.33 | 13.73 | 9.04 | 3.50 | 6.34 | 1.24 | 1.64 | 1.35 | 1.18 | 1.04 | 0.82 |
| 碎石 | 8.05 | -0.90 | 3.36 | 0.79 | 7.62 | 12.73 | 8.90 | 2.36 | 4.78 | 1.04 | 0.73 | 0.84 | 0.08 | 0.02 | 0.66 |
| 煤渣 | 1.51 | -1.05 | 0.09 | -0.30 | 5.92 | 15.57 | 9.47 | 1.51 | 4.07 | 0.22 | 0.44 | 0.30 | 0.02 | 0.05 | 0.24 |
| 陶粒 | 2.79 | -0.33 | 0.52 | 0.19 | 6.06 | 7.76 | 10.03 | 2.22 | 4.21 | 0.64 | 1.01 | 0.47 | 0.36 | 0.05 | 0.39 |
| 陶粒+碎石 | 5.35 | -2.18 | -0.48 | 0.36 | 5.06 | 10.03 | 7.90 | 2.79 | 3.50 | 0.02 | 0.22 | 0.19 | 0.13 | 0.10 | 0.24 |
| 煤渣+碎石 | 7.19 | 1.37 | 2.79 | 0.47 | 6.20 | 6.91 | 9.47 | 3.07 | 6.20 | 0.93 | 1.15 | 0.79 | 0.67 | 0.02 | 0.49 |
| 沸石+碎石 | 2.08 | -0.62 | 3.07 | 0.73 | 6.48 | 10.32 | 5.49 | 2.93 | 3.78 | 0.73 | 1.04 | 1.21 | 1.07 | 0.42 | 1.03 |

**图5-5一体化的NH3-N浓度和去除率波动曲线**

**图5-6单一填料的个单元NH3-N浓度波动曲线**

**图5-7单一填料的个单元NH3-N去除率波动曲线**

**图5-8组合填料的个单元NH3-N浓度波动曲线**

**图5-9组合填料的个单元NH3-N去除率波动曲线**

**表5-3各个处理单元的TP监测数据单位（mg/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 | 1月17日 | 1月18日 | 1月19日 | 1月20日 | 1月21日 |
| 池子 | 3.51 | 2.93 | 3.52 | 3.95 | 1.89 | 3.64 | 0.64 | 2.77 | 3.50 | 4.84 | 4.86 | 4.33 | 4.85 | 4.68 | 5.73 |
| 一体化 | 1.79 | 1.96 | 2.22 | 2.57 | 1.58 | 3.03 | 0.50 | 2.31 | 2.08 | 2.60 | 2.98 | 3.03 | 3.13 | 3.25 | 3.43 |
| 碎石 | 1.78 | 1.52 | 1.82 | 2.43 | 1.48 | 2.75 | 0.49 | 2.38 | 2.14 | 1.81 | 2.72 | 2.82 | 2.93 | 3.01 | 2.87 |
| 煤渣 | 2.05 | 1.71 | 1.88 | 2.37 | 1.47 | 2.82 | 0.45 | 2.28 | 1.97 | 2.31 | 2.70 | 2.79 | 2.96 | 3.03 | 3.12 |
| 陶粒 | 1.96 | 1.68 | 2.05 | 2.35 | 1.52 | 2.71 | 0.45 | 2.37 | 1.95 | 2.28 | 2.57 | 2.71 | 2.80 | 2.85 | 2.93 |
| 陶粒+碎石 | 1.66 | 1.61 | 1.76 | 2.04 | 1.47 | 2.79 | 0.50 | 2.32 | 1.88 | 2.31 | 2.68 | 2.79 | 2.87 | 2.95 | 3.05 |
| 煤渣+碎石 | 1.74 | 1.43 | 1.66 | 2.18 | 1.39 | 2.61 | 0.51 | 2.32 | 1.95 | 2.21 | 2.52 | 2.72 | 2.82 | 2.90 | 2.92 |
| 沸石+碎石 | 1.53 | 1.70 | 1.74 | 2.44 | 1.46 | 2.83 | 0.46 | 2.35 | 1.95 | 2.31 | 2.62 | 2.82 | 2.88 | 3.00 | 3.08 |

**图5-10一体化的TP浓度和去除率波动曲线**

**图5-11单一填料的个单元TP浓度波动曲线**

**图5-12单一填料的个单元TP去除率波动曲线**

**图5-13组合填料的个单元TP浓度波动曲线**

**图5-14组合填料的个单元TP[去除率波动曲线**

**表5-4各个处理单元的三氯卡班监测数据单位（ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 |
| 池子 | 73.44 | 62.33 | 66.87 | 39.09 | 57.01 | 45.91 | 33.89 | 33.55 | 64.661 | 79.31 |
| 一体化 | 26.97 | 26.71 | 24.39 | 18.03 | 21.36 | 15.63 | 15.95 | 13.48 | 34.653 | 42.26 |
| 碎石 | 21.41 | 21.46 | 19.46 | 16.94 | 19.12 | 12.45 | 13.96 | 10.93 | 25.113 | 31.45 |
| 煤渣 | 8.54 | 11.01 | 9.76 | 7.82 | 6.42 | 4.94 | 5.69 | 5.54 | 9.940 | 8.26 |
| 陶粒 | 18.24 | 18.66 | 17.45 | 14.95 | 15.61 | 10.01 | 11.54 | 11.44 | 19.866 | 29.18 |
| 陶粒+碎石 | 15.97 | 19.42 | 20.54 | 13.31 | 14.55 | 9.01 | 12.79 | 13.12 | 23.340 | 28.00 |
| 煤渣+碎石 | 11.20 | 13.89 | 8.29 | 7.90 | 7.33 | 6.66 | 8.53 | 9.24 | 10.598 | 10.98 |
| 沸石+碎石 | 14.62 | 18.38 | 17.63 | 12.22 | 14.07 | 12.78 | 11.05 | 13.18 | 25.355 | 36.01 |

**图5-15一体化的三氯卡班浓度和去除率波动曲线**

**图5-16单一填料的个单元三氯卡班浓度波动曲线**

**图5-17单一填料的个单元三氯卡班去除率波动曲线**

**图5-18组合填料的个单元三氯卡班浓度波动曲线**

**图5-19组合填料的个单元三氯卡班去除率波动曲线**

**表5-5各个处理单元的三氯生监测数据单位（ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 |
| 池子 | 127.35 | 92.32 | 84.33 | 83.72 | 72.86 | 98.10 | 77.29 | 105.94 | 78.37 | 111.46 |
| 一体化 | 42.45 | 58.49 | 38.85 | 55.62 | 36.36 | 60.44 | 49.74 | 64.80 | 55.57 | 60.40 |
| 碎石 | 35.16 | 46.41 | 28.04 | 37.01 | 21.39 | 43.22 | 37.09 | 32.01 | 30.54 | 39.13 |
| 煤渣 | 25.43 | 16.79 | 20.21 | 14.23 | 17.10 | 20.08 | 24.87 | 17.41 | 25.60 | 18.03 |
| 陶粒 | 23.46 | 37.20 | 25.90 | 39.13 | 26.92 | 17.03 | 32.59 | 33.57 | 29.75 | 26.43 |
| 陶粒+碎石 | 19.48 | 39.85 | 26.82 | 36.33 | 25.77 | 24.62 | 31.36 | 37.83 | 33.46 | 38.99 |
| 煤渣+碎石 | 30.33 | 16.18 | 12.53 | 18.71 | 20.45 | 18.59 | 24.82 | 30.41 | 25.63 | 25.59 |
| 沸石+碎石 | 30.87 | 41.77 | 36.84 | 38.28 | 26.71 | 35.05 | 35.56 | 54.44 | 32.32 | 40.16 |

**图5-20一体化的三氯生浓度和去除率波动曲线**

**图5-21单一填料的个单元三氯生浓度波动曲线**

**图5-22单一填料的个单元三氯生去除率波动曲线**

**图5-23组合填料的个单元三氯生浓度波动曲线**

**图5-24组合填料的个单元三氯生去除率波动曲线**

**表5-6各个处理单元的磺胺嘧啶监测数据单位（ng/l）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 | 1月14日 | 1月15日 | 1月16日 |
| 池子 | 1.517 | 1.341 | 2.351 | 2.441 | 1.772 | 2.320 | 1.839 | 1.404 | 3.984 | 3.487 |
| 一体化 | 0.139 | 0.100 | 0.114 | 0.207 | 0.131 | 0.034 | 0.044 | 0.101 | 0.392 | 0.383 |
| 碎石 | 0.049 | 0.048 | 0.064 | 0.098 | 0.072 | 0.016 | 0.016 | 0.054 | 0.173 | 0.205 |
| 煤渣 | 0.019 | 0.008 | 0.012 | 0.010 | 0.010 | 0.006 | 0.008 | 0.011 | 0.038 | 0.036 |
| 陶粒 | 0.005 | 0.017 | 0.041 | 0.083 | 0.056 | 0.009 | 0.013 | 0.044 | 0.120 | 0.105 |
| 陶粒+碎石 | 0.036 | 0.023 | 0.044 | 0.069 | 0.069 | 0.011 | 0.015 | 0.043 | 0.103 | 0.104 |
| 煤渣+碎石 | 0.018 | 0.010 | 0.013 | 0.040 | 0.012 | 0.013 | 0.017 | 0.010 | 0.043 | 0.044 |
| 沸石+碎石 | 0.078 | 0.032 | 0.058 | 0.096 | 0.079 | 0.012 | 0.019 | 0.043 | 0.144 | 0.225 |

**图5-5一体化的磺胺嘧啶浓度和去除率波动曲线**

**图5-6单一填料的个单元磺胺嘧啶浓度波动曲线**

**图5-7单一填料的个单元磺胺嘧啶去除率波动曲线**

**图5-4组合填料的个单元磺胺嘧啶浓度波动曲线**

**图5-4组合填料的个单元磺胺嘧啶去除率波动曲线**

**表5-7实验对污染物的平均处理效果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | COD  （mg/l） | 去除（%） | NH3-N（mg/l） | 去除（%） | TP（mg/l） | 去除（%） | 三氯卡班（ng/l） | 去除（%） | 三氯生（ng/l） | 去除（%） | 磺胺嘧啶（ng/l） | 去除（%） |
| 池子 | 175.6 |  | 25.1 |  | 3.7 |  | 37.1 |  | 62.1 |  | 1.497 |  |
| 一体化 | 87.5 | 50% | 4.0 | 84% | 2.4 | 35% | 16.0 | 57% | 34.8 | 44% | 0.110 | 93% |
| 碎石 | 51.2 | 41% | 3.4 | 16% | 2.2 | 10% | 12.8 | 20% | 23.3 | 33% | 0.053 | 52% |
| 煤渣 | 31.1 | 64% | 2.5 | 37% | 2.3 | 10% | 5.2 | 67% | 13.3 | 62% | 0.011 | 90% |
| 陶粒 | 47.8 | 45% | 2.4 | 40% | 2.2 | 9% | 11.1 | 30% | 19.5 | 44% | 0.033 | 70% |
| 陶粒+碎石 | 56.6 | 35% | 2.2 | 45% | 2.2 | 10% | 11.3 | 29% | 21.0 | 40% | 0.034 | 69% |
| 煤渣+碎石 | 46.1 | 47% | 3.2 | 21% | 2.1 | 12% | 6.3 | 60% | 14.9 | 57% | 0.015 | 87% |
| 沸石+碎石 | 49.2 | 44% | 2.7 | 34% | 2.2 | 9% | 11.7 | 27% | 24.8 | 29% | 0.052 | 52% |

结论：1、一体化对COD、氨氮、TP、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶的去除率平均值分别为50%、84%、35%、57%、44%和93%。

2、碎石人工湿地对对COD、氨氮、TP、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶的去除率平均值分别为41%、16%、10%、20%、33%和52%，表明普通的碎石人工湿地具有一定污染去除能力，但相对能力不高；

3、煤渣人工湿地对污水的处理效果好于其他几种基质。煤渣人工湿地对COD、氨氮、三氯卡班、三氯生和磺胺嘧啶处理效果比较明显，去除率平均值分别是64%、37%、67%、62%和90%。但其对总磷的效果比较低。

4、煤渣+碎石人工湿地相对煤渣人工湿地效果差一点，但是去除的差距不大。

5、去除效果的排序：煤渣人工湿地﹥煤渣+碎石人工湿地﹥陶粒+碎石人工湿地﹥陶粒人工湿地﹥沸石+碎石人工湿地﹥碎石人工湿地