



水解酸化处理生活污水的效果及提高水解酸化处理效果措施的研究

朱建文^[1,2] 汪大翥^[1] 吴浩汀^[3]

(^[1]浙江大学环境与资源学院 310027 ^[2]杭州市自来水总公司 310009

^[3]东南大学环境工程系 210096)

摘要: 本文主要研究水解酸化处理生活污水的主要工艺参数和降低水解池出水悬浮物浓度的措施。采用中试实验,在不同的水力负荷下,测定进出水中主要污染物的水质指标及其去除率。水解池对 COD 和 SS 有较高的去除率,通过在水解池上部加斜管和轻质滤料,能有效地降低水解出水的 COD 和 SS。

关键词: 水解酸化, 生活污水, 斜管, 轻质滤料

The Effect of Hydrolysis in Treating Sanitary Wastewater and the research on the Methods of Improving the Efficiency of Hydrolysis

Zhu Jianwen^[1,2] Wang Dahui^[1] Wu Haoting^[3]

^[1] College of environment and resource science, Zhejiang University ^[2] Hangzhou Water Supply Company

^[3] Dep. Of Environment Engineering, Southeast University

Abstract: This paper studies the primary parameters of the process of hydrolysis in treating sanitary wastewater and the practical methods to reduce the SS in the effluent from the hydrolysis process. With a pilot scale test, by analyzing removal efficiency of organic pollutant in the influent and effluent at different hydraulic loading, the main affecting factors are discussed. By adding the inclined tubes or light filter medias in the upper part of the hydrolysis reactor, it can not only reduce the sludge floating away from the hydrolysis reactor but also improve the effluent, especially the removal efficiency of SS.

Key words: hydrolysis, sanitary wastewater, inclined tubes, light filter medias

水解酸化处理技术是在厌氧处理技术的基础上派生出来的一种工艺^[1, 2]。厌氧生物处理针对的是高浓度的有机废水,水解酸化处理技术对象主要是中低浓度的有机废水,包括各种工业废水和生活污水。在水解过程中,大分子、难降解有机物被转变为小分子、易降解的有机物,使出水的可生化性同时得到改善,大大减少了后续好氧过程的停留时间,与此同时进水中的悬浮物,以及后续好氧处理系统中被回流至水解池的剩余活性污泥被水解为可溶性物质,使污泥也得到处理。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

目前最广泛采用的水解生物处理反应器是省略三相分离器的 UASB(上流式厌氧污泥床反应器)和 AF(厌氧滤池反应器)两种。本试验采用省略三相分离器的 UASB 反应器。试验中水解



池采用 A₃ 钢制成，外形尺寸为：外径 720mm，总高为 5.24m，有效水深 4.94m，有效容积为 2.01m³。水解池下部通过环型进水管进水，环的直径为 480mm，其上共打有 8 个孔径为 10mm 的进水孔。此布水管兼作水解池的排泥管。上部经出水堰出水，在上部出水处设滤板（装有长柄滤头）防止滤料流失。

水解池首先在不加斜管和轻质滤料的情况下运行，然后分别在加斜管和加轻质滤料的情况下运行。蜂窝斜管的高度为 500mm，蜂窝直径 ϕ 50。轻质滤料的高度为 500mm，成分为聚苯乙烯，粒径 ϕ 3-4，容重 300kg/m³。

1.2 试验水质

试验用水取自安徽工业大学校园内的生活污水。经调节池后，用水泵送至水解池。试验水质见表 1。

表 1 试验水质

Table 1 The water quality for testing

序号	水质指标	变化范围	平均值
1	COD (mg/L)	80.9—720.0	423.3
2	BOD ₅ (mg/L)	63.1—199.0	131.0
3	BOD ₅ /COD	0.23—0.57	0.35
4	TP (mg/L)	2.8—13.4	8.1
5	NH ₃ -N (mg/L)	38.9—61.6	50.3
6	TN (mg/L)	26.1—86.1	58.7
7	PH	7.7—8.7	8.0

1.3 接种

水解池接种污泥取自马鞍山青岛啤酒厂 UASB 反应器的底部污泥。

2 试验结果与分析

2.1 水解酸化池的启动

水解酸化池微生物的培养从 2003 年 7 月 31 日正式开始，至 8 月 27 号结束，历时 27 天。水解池初始流量为 0.2m³/h，两天后发现距底部 500mm 的取样口没有污泥，于是又从啤酒厂取来 2 桶污泥，5 天后流量增大至 0.4 m³/h，此后每天监测水解池的有机物去除率，发现去除率很低，为加快启动速度，再次从啤酒厂取污泥 3 桶。为防止污泥的流失，加泥后水解池进水流流量调整为 0.25 m³/h，总计往水解酸化池加污泥 1.0m³，污泥浓度为 10g/l，SV 为 70%。至 8 月 27 日，水解酸化池的 COD 去除率稳定在约 30%，取水解池底部污泥观察，外观呈黑色球状，结构密实，至此认为水解池启动成功。

2.2 普通水解池的试验

水解池以上升流污泥床的形式运行，不加任何填料，有效水深为 2.94m。在水力停留时间分别为 2, 3, 4, 5 小时下运行，相应的水力负荷分别为 2.47 m³/m².h, 1.65 m³/m².h, 1.24 m³/m².h, 0.99 m³/m².h，温度在 20-36℃。

2.2.1 水力停留时间对水解池处理效果的影响

试验结果如表 2，表 3 所示。



表 2 水解酸化池水力停留时间与 COD 去除率的关系

Table 2 HRT versus COD removal efficiency in hydrolysis tank

水解酸化停留 时间/h	COD				
	进水范围 (mg/L)	进水均值 (mg/L)	出水范围 (mg/L)	出水均值 (mg/L)	平均去除率 (%)
2	376.0-482.1	429.1	171.9-248.0	210.0	51.0
3	406.0-416.0	411.0	172.0-198.0	185.0	55.0
4	164.0-312.0	238.0	61.3-140.0	100.7	57.7
5	347.8-405.1	376.5	128.4-164.0	156.2	58.5

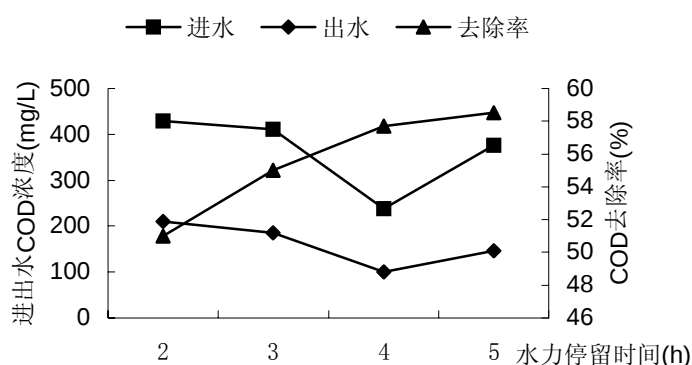


图 1 水解酸化池进出水COD浓度及去除率与水力停留时间的关系

Fig.1 HRT versus COD removal efficiency、COD in and out in hydrolysis tank

由表 2 的结果可以看出,当反应器内的水力停留时间控制在 2-5 h 之间时,停留时间对处理效果的影响并不大。随着停留时间的增大,COD 的去除率只有很小的提高。停留时间从 2 h 上升到 5 h,COD 的去除率只是从 51%增大到 58.5%;我们知道,普通一级处理对 COD 的去除率为 30%,而本工艺的 COD 的去除率则可以达到 50%以上。由此可见,这种水解工艺完全可以代替初沉池对城市生活污水进行处理。

表 3 水解酸化池水力停留时间与 SS 去除率的关系

Table3 HRT versus SS removal efficiency in hydrolysis tank

水解酸化停留 时间/h	SS				
	进水范围 (mg/L)	进水均值 (mg/L)	出水范围 (mg/L)	出水均值 (mg/L)	平均去除率(%)
2	163.0-253.0	208.0	50.0-150.0	82.3	60.4
3	156.0-224.0	190.0	61.8-111.0	68.8	63.8
4	190.2-310.2	250.2	59.4-89.4	82.8	66.9
5	190.0-379.0	280.5	69.0-99.0	88.0	68.6

表 3 的数据用图来表示,可看得更清楚,详见图 2。

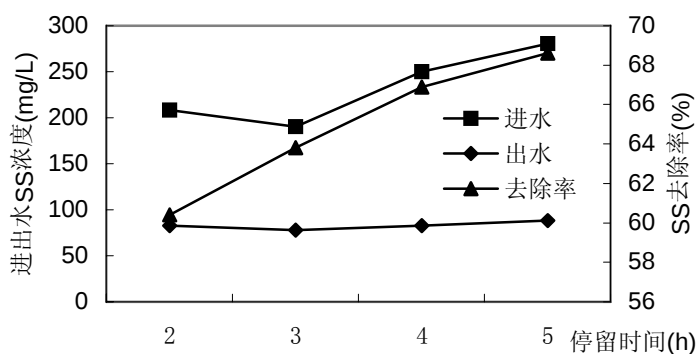


图 2 水解酸化池进出水SS浓度及去除率与停留时间的关系

Fig.2 HRT versus SS removal efficiency、SS in and out in hydrolysis tank

从图 2 可知, 水解酸化池对 SS 的去除率随停留时间的延长而增加, 但增加的效果不是很明显, 当停留时间从 2h 增加到 5h 时, SS 的去除率仅从 60.4% 增加到了 68.6%。这与水解酸化池去除 SS 的原理有关。水解酸化池去除 SS 主要是靠初期的物理作用, 包括吸附和截留。而物理作用则是一个很快的反应, 基本上与水力停留时间没有关系。但是, 水解池的悬浮污泥在完成截留和吸附后, 还要进行 SS 的降解, 而这则与停留时间有关, 对于难降解的 SS, 需要的停留时间较长, 而对于容易降解的 SS, 所需的时间则较短。一般的, 对于特定的水质, 会有特定的停留时间, 在该停留时间下, 对 SS 的去除率最好。对于城市生活污水, 从试验的结果来看, 停留时间在 2h-5h 均可, 但是考虑到经济的因素, 停留时间建议在 3—4h。

2.2.2 容积负荷对处理效果的影响

对水解过程在不同容积负荷下处理效果作比较, 如图 3, 图 4 所示。

表 4 水解酸化池不同 COD 容积负荷下不同水力停留时间下 COD 去除率

Table4 The COD removal efficiency in different HRT and different volumetric COD load in hydrolysis tank

HRT=5h		HRT=4h		HRT=3h		HRT=2h	
COD 容积负荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)	COD 容积负荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)	COD 容积负荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)	COD 容积负荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)
0.229	21	0.979	39.4	0.967	36.1	2.62	59.5
0.611	34	1.397	57.6	1.264	48.1	2.879	65.1
1.07	55	1.481	60.2	1.567	55.1	3.012	67.2
1.529	65.1	1.665	63.5	1.732	57.8	3.245	67.9

由图 4 可以看出, 在相同的水力停留时间下, COD 的去除率随 COD 容积负荷的增加而增加, 也就是说, 在一定水力停留时间下, 水解池的 COD 去除率随进水 COD 浓度的增加而增加, 这表明水解池对于进水浓度变化而引起的冲击负荷有很大的抵抗能力。以上结果对于今后大型污水处理厂的运行是十分有利的因素。特别从发展的角度看, 今后在节约用水, 提高水的循环利用率情况下, 污水中有机物的浓度将有较大提高。例如, 我国缺水城市青岛、大连等地污水 COD 在 1000mg/L 左右, 北京市城市污水的浓度也在逐渐提高。因此, 采用水解池的一个潜在的好处是能够适应今后的发展。在污水浓度有较大增长的情况下, 水解反应出水有机物浓度升高不多。

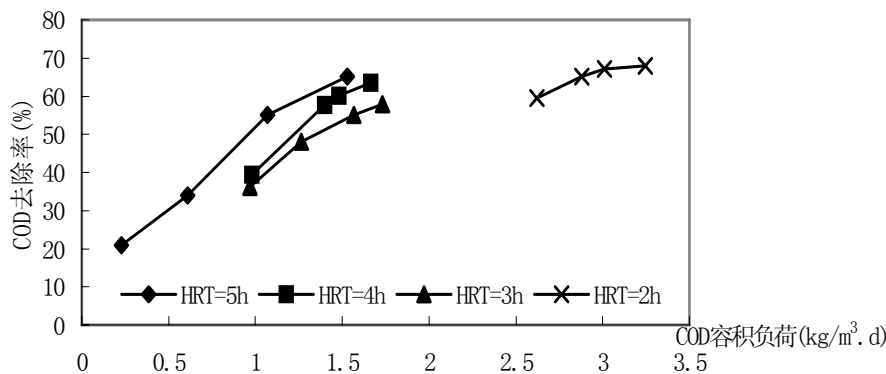


图3 水解酸化池不同COD容积负荷下不同水力停留时间下COD去除率图

Fig.3 The COD removal efficiency in different HRT and different volumetric COD load in hydrolysis tank

从图 3 还可以看到, 在相同的有机负荷下, 随着水力停留时间的延长, 相应的 COD 去除率也有所增加, 但效果不是很明显。水解酸化反应的机理决定了其水力停留时间 HRT 是比其 COD 容积负荷更为重要的参数, 是主要的设计参数, 这一点可以从图 4—3 中得到验证。图 3 中, 在水力停留时间为 4h 的曲线上, 当容积负荷为 $1.481 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 时, 水解 COD 的去除率约为 60%。在水力停留时间为 2h 的曲线上, 当容积负荷为 $2.620 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 时, 水解 COD 的去除率也约为 60%。而在此时, 水解酸化池的进水 COD 浓度是相等的。也就是说, 对于一定的废水, 分别采用 $N_v=1.481 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 和 $N_v=2.620 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 来设计水解酸化池, 水力停留时间分别为 2h 和 4h, 得到同样的去除率, 反应池体积相差 1 倍。因此, 对于水解酸化池 N_v 只作设计参考, 不是主要的设计参数。

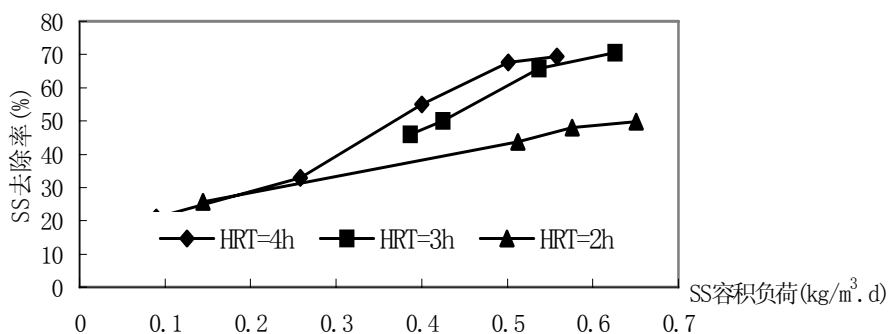


图 4 水解酸化池不同SS负荷下不同水力停留时间下SS去除率图

Fig.4 The SS removal efficiency in different HRT and different volumetric SS load in hydrolysis tank

由图 4 可以看出, 在相同的水力停留时间下, SS 的去除率随 SS 容积负荷的增加而增加。在停留时间为 4h 时, SS 的去除率随 SS 容积负荷的增加而增加的速度大于停留时间为 2h 时的增加速度。当 SS 的容积负荷在 $N_v=0.5 \text{ kgSS/m}^3 \cdot \text{d}$ 以上时, 除了停留时间为 2h 的情况, 其余 SS 的去除率均在 65% 以上。水解酸化池对 SS 有很好的去除效果。

2.2.3 水解对污水中可溶性 COD 的影响

在水解作用下, 除了 COD, SS 等污染指标得到有效的去除外, 污水中的部分悬浮颗粒物还被降解成可溶性物质, 从而提高了污水的可生化性, 提高后续处理的反应速率或处理效果。表 6



是水解进出水水质对比表。

表 5 水解酸化池不同 SS 负荷下不同水力停留时间下 SS 去除率

Table4 The SS removal efficiency in different HRT and different volumetric SS load in hydrolysis tank

HRT=4h		HRT=3h		HRT=2h	
SS 容积负荷 (kg/m ³ . d)	去除率 (%)	SS 容积负荷 (kg/m ³ . d)	去除率 (%)	SS 容积负荷 (kg/m ³ . d)	去除率 (%)
0.09	21	0.387	45.9	0.144	25.7
0.258	33	0.425	50.1	0.512	43.8
0.4	55	0.537	65.9	0.576	48
0.501	67.7	0.626	70.5	0.651	49.8
0.558	69.5				

由表 6 可见, 经过水解作用后, 污水中溶解性 COD (SCOD) 占总 COD 的比例 S/C 已经由进水的 39.75% 升高到出水的 69.75%。同时, SCOD 的去除率也明显低于 COD 的去除率, 进出水的 SCOD 差别不大, 并且还曾有出水高于进水的情况。这些都表明, 水解对可溶性的有机物去除作用不大, 而主要对污水中的悬浮物进行降解作用。污水中部分难溶难降解的有机物被水解成可溶性的易降解的有机物, 因此污水的可生化性大大提高, 同时减少了后续好氧工艺的反应时间。

表 6 水解池进出水水质对比表

Table 6 The water in and out the hydrolysis tank

水解酸化停留时间/h	进水			出水			去除率	
	进水 COD (mg/L)	进水 SCOD (mg/L)	进水 SCOD/COD	出水 COD (mg/L)	出水 SCOD (mg/L)	出水 SCOD/COD	COD 去除率 (%)	SCOD 去除率 (%)
2	429.1	145.7	0.34	210.0	160.4	0.76	51.0	23.6
3	411.0	178.2	0.43	185.0	122.1	0.66	55.0	34.0
4	238.0	102.9	0.43	100.7	73.1	0.72	57.7	27.4
5	376.5	147.5	0.39	146.2	94.9	0.65	61.2	35.1

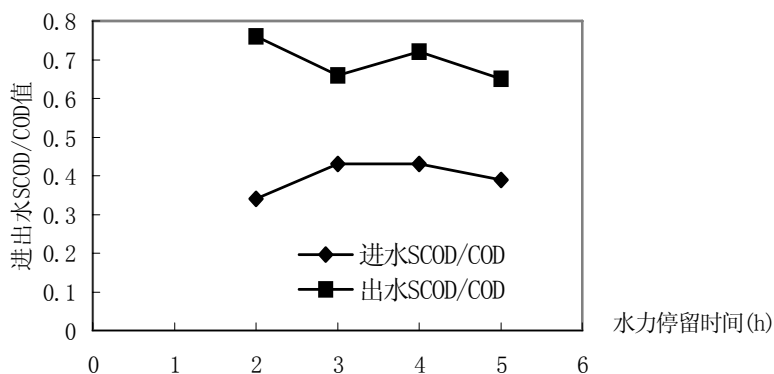


图 5 水解酸化池进出水 SCOD/COD 与水力停留时间的关系图

Fig.5 HRT versus in and out SCOD/COD in hydrolysis tank

由图 5 可知, 对于生活污水, 当水力停留时间为 2—5h 时, 出水 SCOD/COD 的值与水力停留时间无关。



2.3 斜管水解池和轻滤水解池的试验

往水解池中加入高度为 500mm 的蜂窝斜管, 蜂窝直径 $\phi 50$ 。在水力停留时间分别为 2, 3, 4, 5 小时下运行, 相应的水力负荷分别为 $2.47 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, $1.65 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, $1.24 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, $0.99 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 温度在 $20\text{--}36^\circ\text{C}$ 。该工艺通过在清水区设置斜管分离器, 以提高装置截留污泥的能力, 降低出水 SS。

运行一段时间后去除斜管, 往水解池中加入高度为 500mm 的轻质滤料, 成分为聚苯乙烯, 粒径 $\phi 3\text{--}4$, 容重 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。在水力停留时间分别为 2, 3, 4, 5 小时下运行。这种水解反应器, 是一种结合上流式厌氧污泥床 (UASB) 和厌氧滤池 (AF) 两种工艺特点的新式水解工艺。该工艺的主要特点是在普通 UASB 反应器的基础上, 以泡沫塑料为滤料组成的滤层代替 UASB 反应器中的三相分离器。滤层由直径为 $3\text{--}5\text{mm}$ 的球状泡沫塑料组成, 滤层的填充高度为 0.5m , 填充体积为 0.20m^3 。滤层上部则是设有均匀出水口的挡板, 起阻挡固定滤料的作用, 水流通过设在挡板上的长柄滤头出水。该反应器装置分为污泥床区, 悬浮污泥层区, 滤层区和出水区四个部分。其运行机理是: 待处理污水经过进水管均匀布水后进入污泥床区, 经厌氧污泥作用后, 大部分有机物质被转换, 然后经悬浮层区进入滤层区, 在滤层区污泥被截留分离, 清水从安装在滤板上的长柄滤头出水。

图 6 是三种类型的水解池清水区结构布置图。

三种类型水解池的综合比较见图 7 和图 8。由于加斜管和滤料的目的是降低出水的 SS, 因此, 图中仅对 SS 和 COD 进行了比较。

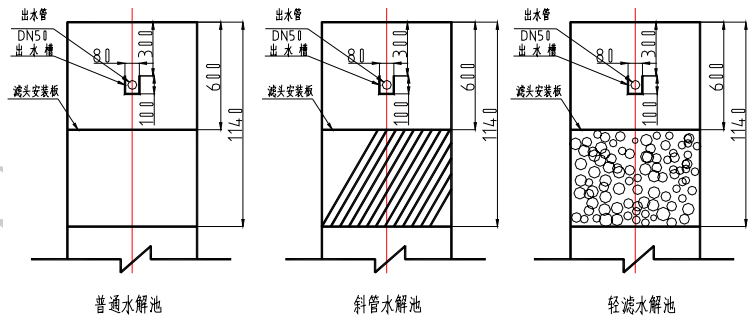


图 6 三种类型的水解池清水区结构布置图

Fig.6 The clean section structure of three different hydrolysis tank

表 7 水解池各阶段停留时间与 COD 去除率的关系

Table7 HRT versus COD removal efficiency

水力停留时间 (h)	普通水解池 COD 去除率 (%)	斜管水解池 COD 去除率 (%)	轻滤水解池 COD 去除率 (%)
2	51	54.5	57.5
3	55	64	67.4
4	57.7	68.6	70.4
5	59.9	70.4	72.4

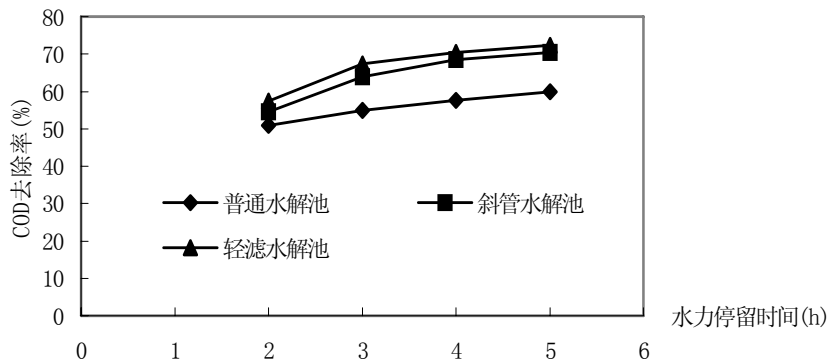


图 7 不同类型水解池停留时间与COD去除率的关系图

Fig7 HRT versus COD removal efficiency in three different hydrolysis tank

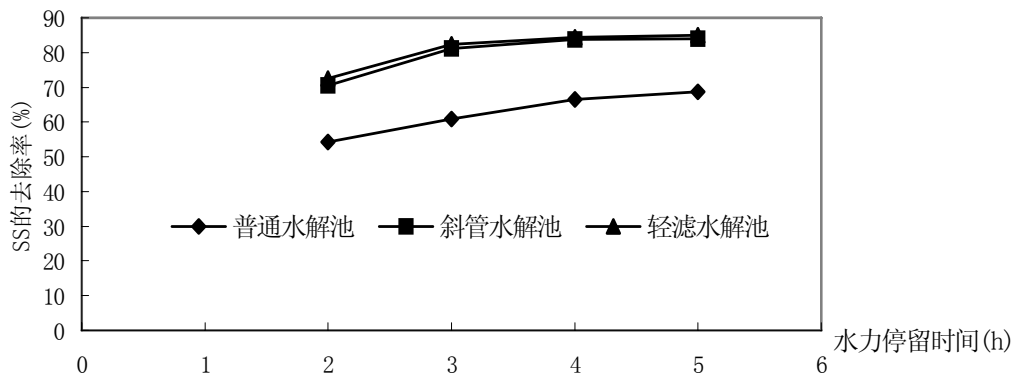


图 8 不同类型水解池停留时间与SS去除率的关系图

Fig8 HRT versus SS removal efficiency in three different hydrolysis tank

表 8 水解池各阶段停留时间与 SS 去除率的关系

Table8 HRT versus SS removal efficiency

水力停留时间 (h)	普通水解池 COD 去除率 (%)	斜管水解池 COD 去除率 (%)	轻滤水解池 COD 去除率 (%)
54.3	70.6	72.5	2
60.9	81.2	82.4	3
66.5	83.8	84.4	4
68.7	84	84.9	5

从图 7, 图 8 可以看出, 与普通水解池相比, 斜管水解池和轻滤水解池对 COD 和 SS 的去除率有明显的提高, 尤其是对 SS 的去除率, 从图中可以看到, 斜管水解池和轻滤水解池在水力停留时间为 2h 的情况下, 对 SS 的去除率可达 70% 以上。在试验中, 发现一般水解池出现了漂泥现象, 即水解池表面浮有一层污泥, 将其清理干净后几天又浮了一层。而斜管水解池出现的浮泥较少, 轻滤水解池在运行期间则没有出现过漂泥现象。但轻滤水解池曾出现过堵塞, 特别是当水力负荷较高时, 因为泡沫小球具有可压缩性, 被压缩后球与球之间的空隙减小, 空隙间的水力负荷增加的更快。以水力停留时间为 2h 为例, 滤料的空隙率以 40% 计, 滤料中的上升流速高达 6.14m/h, 不但出水的长柄滤头容易堵塞, 而且滤板的压力也很大, 操作运行



不是很方便。而且随着运行时间的延长,泡沫小球滤料容易被截留的悬浮物 and 在其表面生长的生物膜所堵塞。因此设计的时候必须考虑到反冲洗。综合比较而言,在水解池的上方加斜管不失为一种好方法,不但能有效降低出水 SS 的浓度,而且不会堵塞,不用考虑反冲洗,操作运行都很简单。

3 结论

(1) 对于生活污水,一般水解池的水力停留时间以 3-4h 为宜。而改进的两类水解池的水力停留时间以 2-3h 为宜。当水力停留时间在 2-5h 之间变化时,各类型的水解池 COD 和 SS 的去除率受水力停留的影响较小。一般水解池停留时间从 2 h 上升到 5 h, COD 的去除率只是从 51%增大到 58.5%, SS 的去除率仅从 60.4%增加到了 68.6%。

(2) 在相同的水力停留时间下, COD 的去除率随 COD 容积负荷的增加而增加,随进水 COD 浓度的增加而增加,这表明水解池具有很强的抗冲击负荷的能力,有效的保证了出水的水质。在相同的有机负荷下,随着水力停留时间的延长,相应的 COD 去除率也有所增加,但效果不是很明显。水解反应的机理决定了其水力停留时间 HRT 是比其 COD 容积负荷更为重要的参数,是主要的设计参数。

(3) 经过水解作用后,污水中溶解性 COD(SCOD)占总 COD 的比例 S/C 可由进水的 39.75% 升高到出水的 69.75%,表明污水中部分悬浮有机物和难降解的有机物被水解成可溶性的易降解的有机物,污水的可生化性得到提高,从而可提高后续好氧生物处理的效果。

(4) 与普通水解池相比,水解池上部增设斜管对 COD 和 SS 的去除率有明显的提高,尤其是对 SS 的去除率,可提高 20%以上,有效的截留了水解池出水中的 SS 量。

参考文献

- [1] 王凯军. 低浓度污水厌氧—水解处理工艺. 北京: 中国环境科学出版社,1996.
- [2] 王凯军. 许晓鸣, 郑元景. 水解—好氧生物处理工艺应用实例. 环境工程,1991,9(4): 3-7.