



城市垃圾渗滤液氨氮吹脱研究

夏素兰, 周勇, 曹丽淑, 朱家骅

(四川大学化工学院, 成都 610065)

摘要: 本文从相平衡与气液传质速率两方面对城市垃圾渗滤液 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 吹脱工艺的主要影响因素进行了理论分析, 并在 $\Phi 750\text{mm}$ 填料塔中对渗滤液的 pH 值、喷淋密度以及液气比进行了实验研究, 获得了适宜的操作条件。

关键词: 渗滤液; 氨氮; 吹脱法

中图分类号: X799.3; **文献标识码:** A

城市垃圾渗滤液是一种组成复杂的高浓度有毒有害有机废水, 其中很高的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度是城市垃圾渗滤液的重要水质特征之一。垃圾渗滤液中高浓度的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量, 不仅加重了受纳水体的污染程度与性质, 且过高的 N/C 比也给其处理工艺的选择带来了困难^[1]。本课题组承接并完成了某市垃圾场渗滤液废水治理中试工程 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 脱除工序的研究, 设计与装置运行调试任务, 成功地将 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度由 2400mg/L 降至 480mg/L 以下, 满足了后续生化处理的要求。

本中试采用了空气吹脱技术。空气吹脱技术具有简单、高效、投资省、易操作等优点。吹脱塔内气液间的强烈混合与湍动不仅使渗滤液中的游离氨向气相转移, 同时还极大地有利于空气中的氧向氧含量很低的渗滤液中转移^[2-4]。因此, 吹脱塔内除存在两相间传质外, 还存在着液相内的化学氧化过程, 二者都有利于后续生化好氧曝气处理。本文通过理论分析与现场测试数据, 对影响垃圾渗滤液 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 吹脱的主要因素进行了研究。

1 废水处理要求

废水源:	某垃圾场渗滤液
处理量:	$1.5 \sim 3.0\text{m}^3/\text{h}$
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量:	进水 2400mg/L 出水 $< 480\text{mg/L}$
pH 值:	进水 $7.0 \sim 8.0$ 出水 < 9.1

2 吹脱过程主要影响因素分析

2.1 pH 值

垃圾渗滤液 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度含量高是由于含氮可生化有机组分的厌氧水解和发酵所致, 未能以氨气形式释放出来的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, 多数并不是以游离氨的形式存在于渗滤液中。用吹脱法去除 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, 需首先调节废水的 pH 值, 破坏其在渗滤液中的化合或络合状态使之转化为游离氨, 即



提高 pH 值, 能够促使上式反应进行。但 pH 值过高, 后续生化处理不能承受。因此, 应该通过强化气—液传质来提高吹脱率, 而避免处理后的渗滤液 pH 值过高以及减少化学碱物质的添加。

2.2 液气比

2.2.1 最大液气比

氨—水体系在低浓度 ($x < 0.01$) 下遵循亨利定理^[5], 相平衡关系可表为



$$y = mx \quad (2)$$

式中相平衡常数

$$m = \frac{E}{P} \quad (3)$$

由体系热力学性质决定, 受温度影响最大^[5]。在如图 1 所示的逆流操作的填料吹塔内, 取 $m - n$ 截面与塔底之间作氨衡算得吹脱塔的操作线方程

$$y = \frac{L}{V}x - \left(\frac{L}{V}x_2 - y_2\right) \quad (4)$$

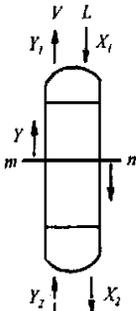


图 1 吹脱塔物料衡算

该式表明, 对一定的液气比 (L/V), 操作线是以气液进出塔浓度为端点的直线, 如图 2 AB 线所示。该式提供了设计选择液气比 (L/V) 的依据。液相浓度 x_1, x_2 由设计任务

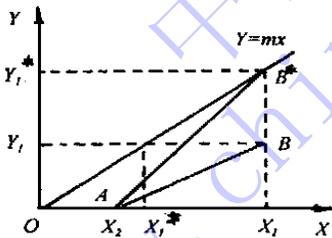


图 2 吹脱塔的操作线

给定, 空气进塔浓度 $y_2 = 0$, 随 L/V 增大, 气相出口浓度 y_1 也增大, 传质推动力 $y_1^* - y_1$ 或 $x_1 - x_1^*$ 则会相应减小。当 B 点移至 B^* 点时, y_1 达到最大可能的出口浓度, 即 $(y_1)_{max} = y_1^*$, 传质推动力 $y_1^* - y_1 = 0$ 或 $x_1 - x_1^* = 0$, L/V 为最大液气比

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{max} = \frac{y_1^* - y_2}{x_1 - x_2} \quad (5)$$

显然, 设计应使

$$\frac{L}{V} < \left(\frac{L}{V}\right)_{max} \quad (6)$$

不同操作温度下的 $(L/V)_{max}$ 计算结果见表 1。由表 1 可见, 温度对出口气相平衡浓度以及最大液气比的影响都很大。

表 1 不同操作温度下的 $(L/V)_{max}$

操作温度	10	20	30	40
相平衡常数	0.46	0.76	1.21	1.90
x_1	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244
y_1^*	0.00112	0.00185	0.00298	0.00464
$(L/V)_{max}$	0.58	0.96	1.53	2.40

$P = 0.1 \text{ MPa}$

2.2.2 最小液气比

由图 2 可见, 液气比 L/V 减小, 气液两相传质推动力 $y_1^* - y_1$ 或 $x_1 - x_1^*$ 增大, 且已有的传质研究表明, 氨-空气-水系统的传质系数 $K_y \cdot G^{0.5-0.7}$ ^[5,6], 式中 G 为气体质量流速, 由传质速率方程

$$N = K_y(y^* - y) \quad (7)$$

可知, 在液相负荷一定的条件下, 增大气速即减小 L/V , 传质速率 N 增大, 完成一定的传质负荷所需传质面积减少。但气速过高, 会发生液泛, 使塔不能正常操作。因此, 对一定的液相负荷, 液气比的下限受液泛气速控制。液泛气速与填料种类和液体物性都有关, 表 2 为本文对该垃圾场垃圾渗滤液在鲍尔环填料吹脱塔内测定的 $(L/V)_{泛}$ 。显然, 设计或操作的 L/V 应满足

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{泛} < \left(\frac{L}{V}\right) < \left(\frac{L}{V}\right)_{max} \quad (8)$$

表 2 不同废水流量下的 $(L/V)_{泛}$

废水流量 (m^3/h)	1.0	1.5	2.0	3.0
液气比	0.38	0.42	0.56	0.85

废水温度: 16

2.3 喷淋密度

喷淋密度是单位时间单位塔截面上通过的废水量。喷淋密度越小, 填料表面形成的液膜层越薄, 气液接触面积越大, 有利传质。此外, 对填料装填量一定的吹脱塔, 当气速一定

时,减小喷淋密度,可增加废水在塔内的停留时间,溶氧量增加。但过小的喷淋密度,会使吹脱塔的处理能力下降。因此,喷淋密度的取值应以液相出口 NH_4^+-N 含量为指标,在满足工艺条件的前提下,宜取高限值。

3 现场测试结果及讨论

3.1 工艺流程

工艺流程见图 3。

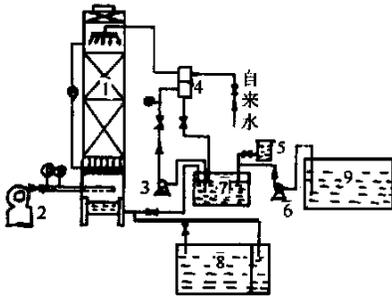


图 3 氨氮吹脱系统工艺流程示意图

1 吹脱塔 2 风机 3 6 水泵 4 过滤器 5 加药罐 7、8、9 废水池

吹脱塔 $\phi 75 \times 5.1\text{m}$, 内装 $50 \times 50 \times 1.0\text{mm}$ 的鲍尔环填料,装填高度 2.2m 。废水自池 9 泵送至循环池 7 并调整 pH 值后入塔喷淋,与自下而上的吹脱空气逆流接触,在塔下部排除,根据排除液 NH_4^+-N 含量是否达到工艺要求而分别排往循环池 7 或后工序 8。

3.2 结果及讨论

3.2.1 pH 值

废水中碱性化学物质加量由现场所取垃圾渗滤液测定的“加量—pH 值”关系曲线确定。在一定的液气比及喷淋密度操作条件下,调节进吹脱塔废水的 pH 值,考察了 pH 值对 NH_4^+-N 吹脱的影响,一次吹脱测试结果见图 4。

由图 4 测试曲线可见,在同一操作条件下,进塔废水的 pH 值为 8.5 时,一次吹脱后, NH_4^+-N 含量 1550mg/L 仅降至 1100mg/L ,而 pH 值为 9.1 时,则降至 390mg/L 。通过

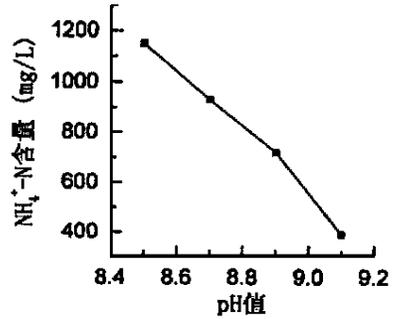


图 4 pH 值对吹脱的影响

测定进出塔废水的 pH 值还发现出塔废水 NH_4^+-N 含量下降越大, pH 值随之下降也越多。本试验将进塔废水 pH 值调节在 9.2 左右,当出水 NH_4^+-N 含量达标时,其 pH 值一般在 8.5~8.7 之间。

3.2.2 液气比

进塔废水 pH 值一定,调节液气比 (L/V),考察了同一喷淋密度下,液气比对 NH_4^+-N 吹脱的影响,测试结果见图 5。

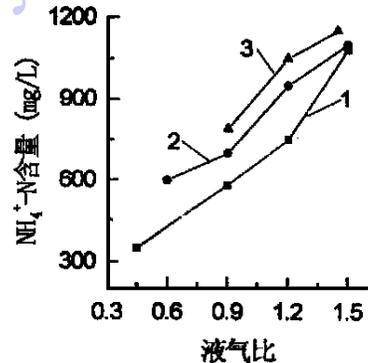


图 5 液气比对吹脱的影响

1. $L = 1.5\text{m}^3/\text{h}$ 2. $L = 2.0\text{m}^3/\text{h}$
3. $L = 3.0\text{m}^3/\text{h}$

由图 5 测试曲线可见,在同一喷淋密度下,随液气比减小,吹脱塔出水中 NH_4^+-N 含量下降。显然,喷淋密度一定,液气比减小,即气体流量加大,塔内持液量增大,废水在塔内停留时间增长,有利于废水中的游离氨向气相转移。当液气比接近或大于操作温度下的最大液气比(约为 1.15)时,受相平衡控制,

废水通过吹脱塔的 NH_4^+-N 脱除率大大下降。

3.2.3 喷淋密度

进塔废水 pH 值一定时, 调节喷淋密度, 考察了同一液气比 (L/V) 下, 喷淋密度对 NH_4^+-N 吹脱的影响, 测试结果见图 6。由图 6 测试曲线可见, 在相同液气比下, 随喷淋密度的减小, 吹脱塔出水中 NH_4^+-N 含量下降很快, 说明在填料表面形成的液膜层越薄, 越有利于 NH_4^+-N 的吹脱。

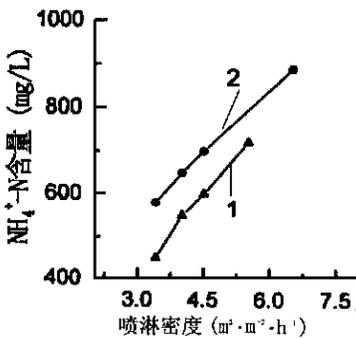


图 6 喷淋密度对吹脱的影响

1. $L/V = 0.6$ 2. $L/V = 0.9$

4 结论

(1) 调节废水的 pH 值可以改变吹脱体系的化学平衡条件, 是吹脱工艺应该采用的一个很重要的手段。本实验废水条件下, pH 值调至 9.2 左右较宜。

(2) 喷淋密度及液气比对 NH_4^+-N 吹脱

的传质速率影响很大, 尤其在常温条件下。要使废水一次通过吹脱塔的 NH_4^+-N 去除率达到要求, 操作液气比应满足

$$(L/V)_{\text{运}} < (L/V) < (L/V)_{\text{max}}$$

(3) 用空气作吹脱介质, 在有效去除废水中 NH_4^+-N 的同时, 还强化了空气中的氧向废水转移, 对后续曝气工序有利。且空气吹脱法工艺流程、设备装置及操作均较简单。但由于氨在水中的溶解度大, 受相平衡的控制, 吹脱气量大, 因此能耗较高。

(4) 本研究结果显示, 该技术的改进方向是寻求经济、有效的手段破坏渗滤液中的 NH_4^+-N 化学平衡和高效的气-液接触传质方式。

[参考文献]

- [1] 沈耀良, 王宝贞. 垃圾填埋场渗滤液的水质特征及其变化规律分析[J]. 污染防治技术, 1999, 12(1): 10~13
- [2] Bower, et al J. Water Poll Coll Fed [J], 1989, 60(8): 1415~1427.
- [3] 金彪, 李广贺, 等. 吹脱法去除水中油类物质的实验研究[J]. 污染防治技术, 1998, 11(3): 129~131.
- [4] 蔡秀珍, 李吉生, 等. 吹脱法处理高浓度氨氮废水试验[J]. 环境科学动态, 1998, (4): 21~23
- [5] 冯德华, 等. 化学工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989. 12-7~12-9, 12-95~12-98
- [6] 莱恩哈特·毕力特. 填料塔[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 125~154

A study on ammonia-nitrogen desorption from landfill leachate

XIA Su-lan, ZHOU Yong, CAO Li-shu, ZHU Jia-hua

(School of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract The theoretical analysis of phase equilibrium and gas-liquid mass transfer were made to the key affecting factors for process of NH_4^+-N desorption from landfill leachate. The pH of leachate, spraying density and ratio of liquid/gas flow rate were investigated in a $\Phi 750\text{mm}$ packed column. The appropriate operation conditions were obtained and given in the paper.

Key words: Landfill leachate; Ammonia-nitrogen; Desorption