

吹脱法去除城市垃圾填埋场渗滤液中的氨氮

吴方同 苏秋霞 孟了 李武 金同轨

提要 采用化工、冶金行业较常用的规整填料塔吹脱去除垃圾渗滤液中的氨氮,对于氨氮浓度高达 1 500~2 500 mg/L 的渗滤液取得较好的处理效果。在温度为 25 ℃, pH 值为 10.5~11.0, 气液比为 2 900~3 600 时氨吹脱效率达 95% 以上。

关键词 渗滤液 氨吹脱 气液比 水力负荷

0 引言

随着人民生活水平的逐步提高,城市生活垃圾成分发生较大变化,其中有机物含量大幅度提高,导致垃圾渗滤液中的氨氮浓度随之增高。本次试验的原水氨氮浓度就高达 2 000 mg/L。对于如此高氨氮的渗滤液,为确保后续好氧系统稳定运行并保证较低的出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度,在生物处理系统之前高效、经济地去除渗滤液中的氨氮是必需的。

根据污水中总氮浓度的高低、氮化合物的组分不同,工程上常见的几种脱氮方法有:微生物法、氨吹脱(气提)法、折点加氯法、离子交换法、土地处理法等。但对于高氨氮的垃圾渗滤液,较为经济、有效的方法为吹脱法。而且渗滤液经氨吹脱后,不仅脱掉了大量的游离氨,还去除了部分苯酚、氰化物、硫化物及其他难生化的、对生化有抑制作用的、毒性大的挥发性物质,对后续生化处理较为有利。氨吹脱法包括空气吹脱法和蒸汽吹脱法两种,蒸汽吹脱法虽然效率较高,但能耗较大,需增设蒸汽锅炉,设备复杂,维护维修工作量大;其次,对于年平均气温较高的地区,由于不存在空气吹脱法常见的低温条件下吹脱无法正常运行和冬季吹脱塔结冰的问题,因此采用蒸汽吹脱的必要性也不大。

国内采用严格意义上的吹脱塔来处理垃圾渗滤液还未见报道。邹莲花和沈耀良等采用鼓风曝气池吹脱氨氮。邹莲花等用石灰将渗滤液 pH 值调到 9.1,吹脱 5 h,氨氮的去除率为 67.8%^[1]。沈耀良在渗滤液 pH 为 11、温度为 22.5 ℃,气液比为 666,经 5 h 曝气吹脱,获得 66.7%~82.5% 的氨氮去除率^[2]。广州大田山垃圾填埋场采用敞开式冷却塔吹脱氨氮。采用以上方法时,如果渗滤液中的氨氮浓

度较高(2 000~3 000 mg/L 以上)则吹脱出水氨氮仍较高,C/N 比偏低,将影响到后续好氧处理。同时还都存在一定程度的二次污染,因大气中的氨氮大约平均一周发生一次总量的位移,大气中的氨将通过气体沉积(60%)、气溶胶沉积(22%)、降雨(18%)等途径回归大地^[4];且大气中的氨氮富集后对人畜有刺激、毒害作用;当附近有二氧化硫排放点时,氨能与大气中的 SO_2 和水作用生成硫酸铵的气溶胶,从而污染环境。因此对垃圾渗滤液处理系统,如何提高吹脱效率,并防止吹脱时的二次污染是一个亟待解决的问题。

1 试验方法

1.1 试验水质

本试验原水来自沿海某市固体废物填埋场的垃圾渗滤液,试验期间水质波动较大,主要水质指标变化范围如表 1。

表 1 试验期间渗滤液水质

水质指标	浓度范围
COD/mg/L	6 006.0~17 690.8
$\text{NH}_3\text{-N}/\text{mg/L}$	1 946.4~2 347.7
$\text{Ca}^{2+}/\text{mg/L}$	76.05~300.0
$\text{Mg}^{2+}/\text{mg/L}$	32.5~94.6
碱度/mol/L,以 HCO_3^- 计	0.084 5~0.193 7
pH	7.77~8.0

1.2 试验流程

本试验用石灰粉调 pH 值,同时也进行用 NaOH 调 pH 值的对照试验。用石灰粉调 pH 值时,投加高分子絮凝剂,以加强混凝效果。吹脱出水经工业硫酸回调 pH 值至 7.0 左右(根据厌氧滤池运行状况调整)后进行后续处理。吹脱出的氨用工业硫酸吸

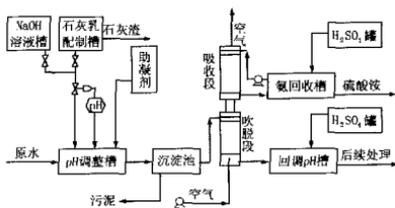


图1 试验流程

收。试验流程图见图1。

1.3 主要试验装置

本次试验采用某化工院设计的化工规整填料塔,该吹脱塔设有吸收段。吸收段为塑料填料,吹脱段为不锈钢填料。配水、配酸一级为喷淋,二级为填料配水,并且填料内设有布水装置,布水较为均匀,水气不短路。塔径300 mm,总高10 m,其中吸收段3 m,吹脱段5.2 m。设计风量 $\geq 300 \text{ m}^3/\text{h}$,风压 $\geq 0.001 \text{ MPa}$ 。

1.4 试验检测指标及分析方法

COD;重铬酸钾法; $\text{NH}_3\text{-N}$: 纳氏试剂光度法; Ca^{2+} , Mg^{2+} : 原子吸收; 碱度: 电位滴定; 风速: YJ-02 测风仪。

2 试验结果与讨论

影响吹脱效果的因素主要有: 气液比、水温、气温、大气压、接触时间(塔高)、pH值、水量负荷、接触面积(填料表面积)、填料种类以及布水方式、水粒、水膜大小厚薄等。本试验主要针对气液比、pH值、水量负荷与吹脱效率的关系进行一系列的试验。

2.1 石灰粉的投加量

吹脱前需根据渗滤液氨氮的浓度将pH值调至10.0~11.0(气温低时更高),同时还需控制水中钙镁离子的浓度。原水pH值为7.7~8.0之间,故碱度基本上以 HCO_3^- 的形式存在,若能控制石灰粉投加量使 $[\text{HCO}_3^-] > 1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$ (Ca^{2+} 为原水含有的钙离子和投加石灰加入的钙离子, Mg^{2+} 为原水中的镁离子),钙镁离子生成 CaCO_3 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀被去除,则水中钙镁离子浓度大为降低。若石灰粉投加量使 $[\text{HCO}_3^-] < 1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$,则水中出现非碳酸盐硬度,则水中钙离子

浓度随石灰投加量快速增大。

CaCO_3 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀仍然有一定的溶解度(25℃时 CaCO_3 的溶解度为12.0 mg/L, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的溶解度为13.5 mg/L,实际值因同离子效应可能低于此值),而且渗滤液中含有大量的有机胶体,影响 CaCO_3 晶体的生长,钙离子的去除率随之降低。此外,当 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀物相当多时,所形成的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 絮体沉速很慢,引起镁离子的去除效率的降低^[3]。在本次试验中调完pH值后钙镁离子的最低浓度 Ca^{2+} 为16.2 mg/L, Mg^{2+} 为23.8 mg/L(pH为9.97,水温为28℃)。

静态试验石灰粉的投加量与pH值、钙镁离子浓度的关系见图2。从图2可知随着石灰投加量的增加,渗滤液pH值逐渐升高。当石灰投加量达到15 g/L以上时,渗滤液pH值升高变缓。当pH值调到10.0~11.3时,对应的石灰粉投加量为9.25 g/L~12.0 g/L之间。同时石灰粉的投加量与渗滤液碱度和石灰粉有效成分有关。

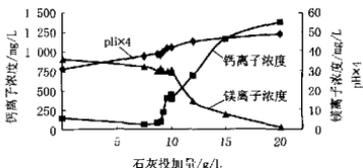


图2 石灰粉的投加量与pH值、钙镁离子浓度的关系

当渗滤液pH值在10.0以下时($[\text{HCO}_3^-] > 1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$),随着渗滤液pH值逐渐升高,其中 Ca^{2+} 浓度逐渐降低;当渗滤液pH值在10.0以上时($[\text{HCO}_3^-] < 1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$),随着渗滤液pH值逐渐升高,其中 Ca^{2+} 浓度急剧上升。随着渗滤液pH值逐渐升高,其中 Mg^{2+} 浓度逐渐降低。

动态试验钙离子的浓度范围为16.2~52.8 mg/L,镁离子的浓度范围为14.4~67.5 mg/L,没有出现静态试验高钙离子浓度的情况,这主要有两个原因:一是动态试验混凝条件、沉淀效果比静态试验好(烧杯试验为保证石灰粉的充分溶解和缩短反应时间,搅拌强度偏大,沉淀完后上清液中含大量的细小絮体,而动态试验为石灰乳投加,不存在此回

);二是调节渗滤液到相同的 pH 值动态试验比静态试验所需石灰粉的量少,动态试验石灰粉投加量基本上使 $[\text{HCO}_3^-] > 1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$ 。

2.2 气液比与吹脱效率的关系

在 pH 为 10.7~11.15,水温为 24~27℃,气温为 22~25℃的条件下,测定气液比与吹脱效率的关系,其结果见图 3。

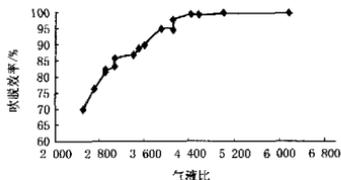


图 3 气液比与吹脱效率的关系

试验结果表明,在试验条件下,随着气液比的升高,氨吹脱效率逐渐升高。当气液比达到 4 000 以上时,氨吹脱效率升高变缓。当 pH 值 = 10.8,水温为 24℃,气温 22℃,气液比为 3 100~3 900,吹脱效率可达 95% 以上。

2.3 pH 值与吹脱效率的关系

在水温为 24~27℃,气温为 22~25℃条件下,分别固定气液比为 3 756.7 和 2 828.3,测定 pH 值与氨吹脱效率的关系,其结果见图 4。

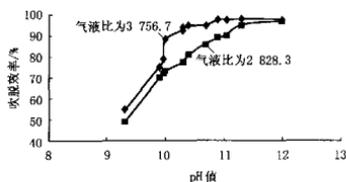


图 4 pH 值与吹脱效率的关系

试验结果表明,当试验气液比为 3 756.7 时,随着 pH 值的升高,氨吹脱效率逐渐升高。pH 值在 9.0~10.0 之间,氨吹脱效率急剧升高。当 pH 值达到 10.5 以上时,氨吹脱效率升高变缓。继续提高渗滤液的 pH 值,氨吹脱效率升高不明显。当试验气液比为 2 828.3 时,随着 pH 值的升高,氨吹脱效率逐渐升高。当 pH 值达到 11.3 以上时,氨吹脱效率升高变缓。继续提高渗滤液的 pH 值,氨吹脱效率

升高不明显。气液比为 2 828.3 时,要达到同气液比为 3 756.7 相同的吹脱效率,前者需提高 pH 值 0.5~1.0,但当 pH 值调到 12.0 以上时,二者吹脱效率则较为接近。

2.4 水温、气温对吹脱效率的影响

水温降低,会使氨吹脱效率明显降低。当水温降低时,水中氨的溶解度增加,减少了氨吹脱的推动力,从而降低氨吹脱的效率。在吹脱塔的运行中,气温是影响塔内污水温度的关键因素,吹脱过程中塔内水的蒸发也会使污水温度降低。本试验当气温为 28.5℃,进塔水温为 29.0℃时,出塔水温为 26℃。本试验所在地属亚热带海洋性季风气候,年平均气温 22℃,月平均气温 1 月最低,为 14.1℃。填埋场全年渗滤液水温在 16~33℃之间。这对吹脱塔的运行较为有利,不存在寒冷地区低温条件下吹脱无法正常运行和冬季吹脱塔结冰问题。本次试验历时一年,夏季吹脱效率高于冬季。但冬季 pH 值调至 11.0,气液比在 3 600~4 000 之间仍能保证吹脱效率在 90% 以上。

2.5 水力负荷与吹脱效率的关系

水在吹脱塔中反复生成水滴有助于氨的吹脱。当水力负荷过大时,高效吹脱所需的点滴状况被破坏,而形成水幕。而当水力负荷过小,则填料湿润不够,会因填料上生成水垢影响运行效果^[4]。为了考察水力负荷对氨吹脱效率的影响,进行了两组试验。试验一条件为:气温为 19℃,水温为 22℃,pH 值为 10.1(用 NaOH 调 pH 值),进水氨氮浓度为 2 347.7 mg/L,鼓风机稳定工作(不控制风量),结果如表 2。试验二条件为:气温为 24℃,水温为 27℃,pH 值为 10.5(石灰调 pH 值),进水氨氮浓度为 3 851.0 mg/L,鼓风机稳定工作(不控制风量),结果如表 3。

本次试验装置设计水力负荷为 2.34 m³/(m²·h),实际运行在 3.51 m³/(m²·h)时效率较为稳定。当气温、水温较高,pH 值调在 10.5~10.8,气液比 > 3 000,水力负荷提高到 4.09~4.68 m³/(m²·h)时,吹脱效率仍能达 90% 以上。

2.6 氨吹脱氨氮负荷试验

随着垃圾填埋场场龄延长,渗滤液的 BOD/COD 值逐渐降低,氨氮浓度逐渐增高。因此在处理老化的垃圾渗滤液时,作为生物处理预处理的氨吹

表2 水力负荷与氨吹脱效率的关系

项目 试验编号	水力负荷 /m ³ /(m ² ·h)	风量 /m ³ /h	气液比	出水 NH ₃ -N 浓度/mg/L	吹脱效率 /%
1	1.17	615.69	12 313.8	48.2	97.9
2	1.75	615.69	8 209.2	92.6	96.1
3	2.34	584.90	5 849.0	134.5	94.3
4	3.51	554.12	3 694.1	337.6	85.6
5	4.68	523.33	2 616.7	361.7	84.6
6	5.85	369.41	1 477.7	818.5	65.1
平均	3.22	543.86	5 693.4	298.9	87.3

表3 水力负荷与氨吹脱效率的关系

项目 试验编号	水力负荷 /m ³ /(m ² ·h)	风量 /m ³ /h	气液比	出水 NH ₃ -N 浓度/mg/L	吹脱效率 /%
1	1.75	615.69	8 209.2	11.6	99.7
2	2.92	569.51	4 556.1	58.7	98.5
3	4.09	538.73	3 078.4	127.5	96.7
4	5.26	492.55	2 189.1	257.6	93.3
平均	3.51	554.12	4 508.2	113.9	97.1

脱,为生化系统提供适当的营养比,将需在更高氨氮浓度的情况下有更高的去除率。为验证高浓度氨氮条件下吹脱塔的吹脱效率,试验中投加工业氨水,配制高浓度氨氮的渗滤液,测定吹脱前后的氨氮浓度,其结果见表4。

表4 氨吹脱负荷试验

项目	试验编号	1	2	3	4
进水氨氮/mg/L	2 723.3	3 851.0	4 457.1	4 987.0	
出水氨氮/mg/L	108.6	127.5	101.0	166.7	
水温/℃	26.0	27.0	27.5	29.0	
气温/℃	21.0	24.0	25.0	31.0	
pH值	10.60	10.50	10.90	11.15	
水力负荷/m ³ /(m ² ·h)	4.09	4.09	4.09	4.09	
气液比	3 078.4	3 078.4	2 902.5	2 902.5	
去除率/%	96.0	96.7	97.7	96.7	

试验结果可以表明,进塔氨氮浓度高达近5 000 mg/L时,仍能获得较高的去除率(>95%)。故用本吹脱塔处理老化渗滤液时不存在吹脱效率偏低的问题。

2.7 出水氨氮浓度及其去除率与进水氨氮浓度之间的关系

在水力负荷为4.09m³/(m²·h),气液比为

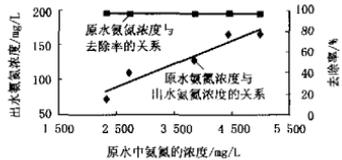


图5 出水氨氮浓度及去除率与进水氨氮浓度的关系

3 078.4, pH值为10.50~11.15,气温为26~29℃和水温22~25℃的条件下进行试验,结果见图5。

从图5中可以看出,在其它条件一定时,去除率与原水的氨氮浓度无关。因此,当渗滤液中氨氮浓度发生变化而所需氨氮去除率不变时,则氨吹脱运行参数不变。

2.8 吹脱前后pH值变化及回调酸用量

吹脱出水pH值在8.3~10.8之间(根据原水水质吹脱进水pH值调为9.5~11.6),在进入下一步厌氧处理之前将吹脱出水pH值调为7.0左右。试验发现用石灰或NaOH调pH值时,吹脱前后pH值变化差距较大,而且回调酸的用量相差很大。

当用NaOH调pH值时,吹脱前后pH值下降0.4~0.6;当用石灰调pH值时,吹脱前后pH值下降0.85~1.7。用浓度为98%的工业硫酸回调pH值。当用NaOH调pH值时,H₂SO₄用量为3.2 L/m³吹脱出水(原水碱度为0.19 mol/L,吹脱前pH值为9.97,吹脱后pH值为9.7,回调pH值至7.09);当用石灰调pH值时,H₂SO₄用量为0.1~0.2 L/m³吹脱出水(原水碱度为0.17~0.19 mol/L,吹脱前pH值为9.7~10.8,吹脱后pH值为8.7~9.7,回调pH值至6.8~7.2)。

初步分析二者差距主要是渗滤液中碳酸盐的平衡造成的,用石灰调pH值时原水中HCO₃⁻以CaCO₃沉淀的形式去除(投加的石灰能使渗滤液中[HCO₃⁻] < 1/2([Ca²⁺] + [Mg²⁺]),而用NaOH调pH值时,只有少量HCO₃⁻与渗滤液中钙离子生成CaCO₃沉淀而去除,剩余HCO₃⁻以CO₃²⁻形式存在。而渗滤液中碳酸根离子的浓度直接影响吹脱时碳酸化的程度和回调酸的用量。而碳酸化的程度的差异影响吹脱前后pH值降低幅度的高低。



深圳市雨水排放规划设计探讨

储清

摘要 对深圳市排水现状存在的问题进行分析,概要地论述了深圳市排水规划的原则、标准及解决水淹问题的措施。

关键词 雨水 排放 规划 设计 深圳市

1 现状及存在问题分析

深圳市经过近 20 年的规划建设,已形成了收集、输送、排放各环节比较完善的以雨、污水分流体制为基础的排水系统。目前特区内雨水排除主要借助于市政道路雨水管渠系统收集并通过河道排放入海;特区外宝安、龙岗两区除老村镇仍利用道路边沟无组织自然排放外,新建道路及小区均建有较完善的雨水系统。但暴雨来临时,仍有部分地区受淹,经过分析研究,认为主要问题在于:

(1)由于特区建设之初,城市竖向设计没有充分

3 结语

(1)用石灰调渗滤液 pH 值吹脱氨氮主要存在的问题是吹脱塔内的结垢。本次试验中发现初期洗塔水较为浑浊,说明渗滤液中有一部分悬浮物沉积在吹脱塔中。为控制进塔渗滤液中钙镁离子的浓度和悬浮物浓度,应在调 pH 值之前加混凝工艺,以去除渗滤液中的有机胶体,提高渗滤液中 CaCO_3 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀效率,同时还能去除一部分渗滤液中的重金属离子、油类、其他不溶性物质以及相当一部分的 SS、COD、色度、氰化物、硫化物等。另外采用石灰粉和 Na_2CO_3 组合投加或吹脱采用密闭循环系统都可较好解决吹脱塔结垢的问题。

(2)用 NaOH 调渗滤液 pH 值,吹脱氨氮主要存在的问题是回调酸用量太大,往渗滤液中增加大量的 SO_4^{2-} 离子,回调 pH 值后进入厌氧系统, SO_4^{2-} 离子被还原为 H_2S , 而硫化物对厌氧系统有毒害作用。回调 pH 值时还产生大量气泡,气泡较为细腻,水力消泡很难奏效,给现场操作带来不便。而且 NaOH 的投加量为 $8.4 \sim 10.0 \text{ kg/m}^3$ 渗滤液,造成处理成本太高。当进塔渗滤液 pH 值 > 10.8 和气泡

考虑滨海城市的排水要求,例如:罗湖小区的地面标高为全市最低,部分地面标高低于现状深圳河在布吉河口 5 年、10 年、20 年一遇的洪水位(分别为 4.36 m, 5.19 m, 5.48 m),即使是深圳河在改造后,其 50 年一遇的洪水位,在布吉河口处也高于局部地区。而且当河水受到潮位顶托时,甚至还会发生倒灌。

(2)排水设施不完善,山边截洪设施不配套,排水管理不严格,各种垃圾和施工造成的泥沙流失严重堵塞河道、排洪沟和雨水管渠,使排洪能力降低;

比 > 3000 时,吹脱塔内产生大量的气泡,造成塔阻增大,影响吹脱塔的正常运行。

(3)影响氨吹脱效率的因素很多,且渗滤液水质波动又较大,实际运行中应根据渗滤液水质和后续生化处理要求的营养比来确定合适的氨去除率,并依此来控制氨吹脱的各项参数。冬季要达到与夏季相当的去率需适当提高渗滤液 pH 值和气液比。

(4)在做氨吸收试验时,发现一部分碱液被带至吸收段,增加吸收酸的用量。故吹脱段和吸收段之间应设精致除水器。

参考文献

- 1 邹莲花,王宝庆,居德金,李平.城市生活垃圾填埋场渗滤液的试验研究.给水排水,1996,22(5):13-14
- 2 沈耀良,等.吹脱法去除渗滤液中氨的动力学机理.污染防治技术,1999,12(2):67-70
- 3 许保饭,安藤年春.给水处理理论与设计.北京:中国建筑工业出版社,1992
- 4 郑兴如,李亚新编著.污水除氨脱氮技术.北京:中国建筑工业出版社,1998

◎作者通讯处:71005 长沙交通学院河海工程系

收稿日期:2000-9-27