

蒸氨法脱除垃圾渗滤液中氨氮的研究

古 创, 姚春阳, 彭 磊, 陈方方, 朱亚茹, 夏丽君,
江景杰, 张 林

(光大环保技术研究院<南京>有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要: 采用蒸氨法脱除垃圾渗滤液中的氨氮,并将氨氮以氨水的形式回收,用于垃圾焚烧发电厂的烟气处理。中试结果表明,蒸氨系统对渗滤液中氨氮的脱除率高达95%以上,同时可使碱度、硬度和电导率分别下降47%、44%、32%,综合运行成本约为11.4元/m³,实现了氨氮的资源化利用,而且可大大降低渗滤液的后续达标处理难度。

关键词: 蒸氨法; 垃圾渗滤液; 氨氮; 硬度; 碱度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)09-0067-04

Removal of Ammonia Nitrogen from Landfill Leachate by Ammonia Evaporation Method

GU Chuang, YAO Chun-yang, PENG Lei, CHEN Fang-fang, ZHU Ya-ru,
XIA Li-jun, JIANG Jing-jie, ZHANG Lin

(Everbright Environmental Protection Technological Development <Nanjing> Limited, Nanjing
211102, China)

Abstract: Ammonia nitrogen in landfill leachate was removed by ammonia evaporation method, and the ammonia nitrogen was recovered in the form of ammonia water, which was used for flue gas treatment in a waste-to-energy plant. The pilot test results showed that the removal rate of ammonia nitrogen in the leachate by the ammonia evaporation system was above 95%, and the alkalinity, hardness and conductivity of leachate could be decreased by 47%, 44% and 32%, respectively. In addition, the comprehensive operation cost was about 11.4 yuan/m³, and resource utilization of ammonia nitrogen was realized, which greatly reduced the difficulty of the subsequent treatment of the leachate to reach the emission standard.

Key words: ammonia evaporation method; landfill leachate; ammonia nitrogen; hardness; alkalinity

近年来,我国城市生活垃圾焚烧产业迅速发展,国家在“十三五”规划中对垃圾焚烧处理占比的提升也做出了相应的要求,但是在垃圾焚烧处理过程中,除了产生的烟气需要处理外,其产生的垃圾渗滤

液也必须得到妥善处理。渗滤液水质复杂,特别是高COD、高氨氮、高SS、高硬度、高碱度、异味大等特性,使得渗滤液处理难度大大提升^[1]。与此同时,国家对渗滤液的排放要求日益严格,特别是在氨氮、

总氮方面,部分业主甚至要求渗滤液出水氨氮 <5 mg/L、总氮 <15 mg/L。目前,渗滤液脱氮的主流技术是A/O生物脱氮技术,但是该技术在应用过程中常常出现泡沫多、占地面积大、鼓风机能耗高、总氮不易达标、运行不稳定等问题,给渗滤液处理造成了诸多困难^[2]。考虑到渗滤液自身的特点,笔者将煤化工行业常用的蒸氨系统代替渗滤液处理行业中的A/O生化脱氮系统,研究了蒸氨法对渗滤液中氨氮、碱度、硬度、电导率等指标的去除效果。蒸氨法在降低渗滤液氨氮浓度的同时,可回收氨水用于电厂脱硝脱硫,实现资源化利用,降低运行成本,具有较大的使用价值。

1 试验材料与方法

1.1 试验进水

蒸氨系统进水为常州某垃圾焚烧发电厂的渗滤液经厌氧反应器和浸没式微滤膜处理后的产水,该产水的COD为2 000~2 500 mg/L,氨氮为2 000~2 200 mg/L,硬度为900~1 000 mg/L,碱度为10 000 mg/L,pH值为7.8左右。

1.2 试验方法

蒸氨法属于蒸汽汽提法,目前广泛应用于煤化工废水处理等行业,技术比较成熟。其加热分离的动力通常来源于蒸汽,系统运行稳定。但是,由于蒸汽费用较高,常使得蒸氨法的运行成本较高,一般情况下吨水消耗的0.4 MPa蒸汽为80~120 kg。在蒸氨法应用过程中,必须要重视运行成本,一般可通过合理设计塔型与塔板,安装保温层、再沸器、电加热,采用蒸汽循环、多效蒸发、负压蒸发、蒸汽喷射热泵等方式降低运行费用^[3-4]。

本研究采用蒸氨法处理垃圾渗滤液中的氨氮,并将氨氮以18%~20%的氨水形式回收利用。具体流程如图1所示。

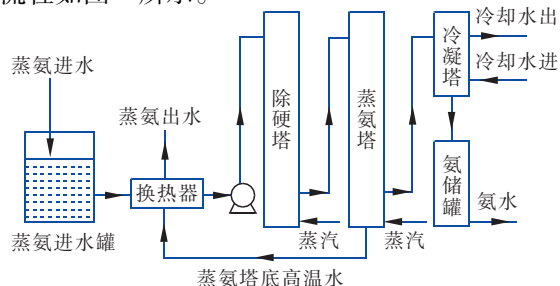


图1 蒸氨系统工作原理

Fig. 1 Working principle of ammonia evaporation system

系统运行过程中,采用蒸氨塔底部高温脱氨后的水对蒸氨系统进水进行预加热,然后依次进入除硬塔和蒸氨塔。渗滤液在除硬塔、蒸氨塔中的流向均为自上而下,蒸汽的走向为自下而上,以提高系统气液传质效率,保证脱氨效果。设置除硬塔的主要目的是,针对渗滤液高硬度、高碱度、易结垢的特性,通过蒸汽加热渗滤液,使其中的碱度如 HCO_3^- 分解为 CO_3^{2-} 、 CO_2 等,进而与渗滤液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等硬度离子结合生成碳酸钙等小颗粒,使硬度下降,之后随渗滤液进入蒸氨塔。渗滤液中的氨氮由于汽提作用上升至蒸氨塔顶部,由冷凝器进行冷却,之后进入氨吸收塔、氨储罐等设备,其中的氨氮以氨水形式回收。在蒸氨过程中,通过在蒸氨塔内投加碱液如氢氧化钠等,可使氨更容易被汽提进而回收利用,氨氮汽提效率可以达到95%~99%以上。

1.3 分析项目与方法

氨氮:纳氏试剂分光光度法;COD:微波消解法;pH值:PHBJ-260型便携式pH计;电导率:DDSJ-318型雷磁电导率仪;总硬度:EDTA滴定法;甲基橙碱度、酚酞碱度:滴定法。

2 结果与讨论

2.1 蒸氨系统的脱氨效果

蒸氨系统正常运行后,进出水氨氮和硬度随时间的变化情况如图2所示。

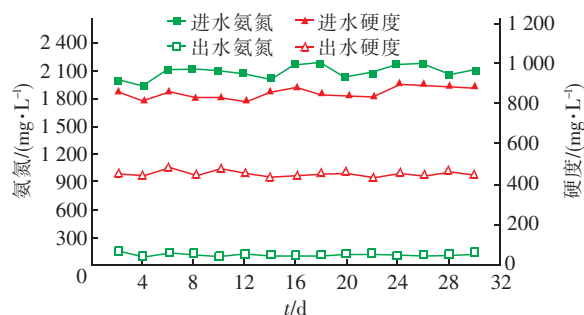


图2 蒸氨系统进出水氨氮和硬度的变化

Fig. 2 Variation of ammonia nitrogen concentration and hardness in influent and effluent of ammonia evaporation system

由图2可知,蒸氨系统对氨氮的脱除效果明显,出水氨氮可降低至100 mg/L左右,氨氮去除率高达95%以上。另外,硬度也可由900~1 000 mg/L降至500 mg/L以下。渗滤液中氨氮浓度的大幅下降,使得整套渗滤液处理系统的出水氨氮和总氮浓度均很容易达标,与此同时,硬度的下降使得后续化学软

化系统的石灰投加量大大减少,并且絮凝效果也更为明显。另外,后续膜处理系统容易结垢的问题也相应得到了改善^[5]。最终使得整个渗滤液处理系统的运行稳定性大大提高。

生活垃圾焚烧厂渗滤液中通常含有较高的碱度,会使整个渗滤液处理系统更加容易结垢^[6]。在本试验中,蒸氨系统使渗滤液中的碱度也出现了一定的下降,由 10 000 mg/L 左右降至 5 000 mg/L 左右,下降幅度约为 47%。这主要是由于在蒸汽加热过程中,渗滤液中的碱度如 HCO_3^- 分解生成了 CO_3^{2-} 等,与渗滤液中的 Ca^{2+} 等硬度离子结合生成了碳酸钙小颗粒等,这些小颗粒混入渗滤液中进入了后续处理系统,其中绝大多数由蒸氨系统后设置的化学软化系统絮凝沉淀。检测蒸氨出水的浊度,发现其确实出现了升高现象,表明除硬塔中形成了悬浮颗粒物,造成了出水浊度上升,与碱度和硬度下降相互印证。

对于蒸氨系统,蒸氨塔内的 pH 值为碱性时,氨水的平衡会向左移动,使得渗滤液中的氨氮主要以游离氨形式存在,从而有利于提高蒸氨效果。蒸氨系统出水电导率与 pH 值随时间的变化如图 3 所示。当向蒸氨系统投加一定量的碱时,其出水 pH 值稳定在 9.5 左右、电导率在 22 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右。当 pH 值偏高时系统出水电导率下降,当出水 pH 值偏低时系统出水电导率上升。由此可见,蒸氨系统 pH 值的上升有利于渗滤液中导电离子的去除,较高的 pH 值有利于蒸氨系统的高效运行。

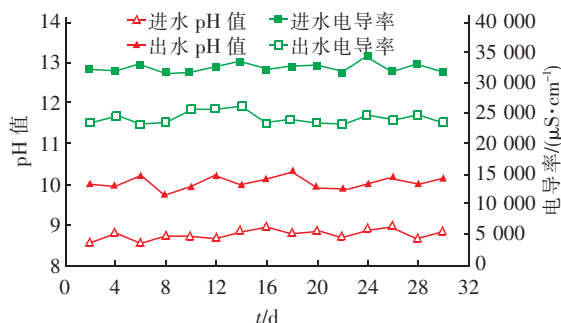


图3 蒸氨系统出水电导率和 pH 值的变化

Fig. 3 Variation of effluent conductivity and pH in ammonia evaporation system

综上,蒸氨系统对渗滤液中氨氮的去除率高达 95% 以上,对碱度、硬度、电导率和 COD 的去除率分别可达到 47%、44%、32% 和 13%,发挥了应有的作用,有效降低了渗滤液中的氨氮浓度,使得渗滤液处

理系统总氮不易达标的问题得到了解决。

除硬塔和蒸氨塔的运行温度及压力变化见图 4。可以看出,蒸氨系统的运行压力始终保持在 $-0.075 \sim -0.045 \text{ MPa}$ 的负压状态。负压是由蒸氨塔一侧设置的真空泵提供的,此外,可通过向塔内投加碱液,使氨氮的电离平衡向左侧移动,增加游离氨量,同时,在蒸汽汽提作用和塔体保持负压的条件下,蒸氨系统的处理效果更加明显,最终含氨蒸汽冷凝后被回收为氨水等。通过这些组合手段,使得蒸氨系统回收的氨水浓度可达 18% ~ 20%,处理后可用于电厂的脱硫脱硝,降低电厂的综合使用成本。试验证明,蒸氨系统的运行温度处于 83 $^{\circ}\text{C}$ 左右、蒸汽的进塔温度在 105 $^{\circ}\text{C}$ 左右时,蒸氨效果较好,蒸汽消耗量合理,综合使用成本最佳。

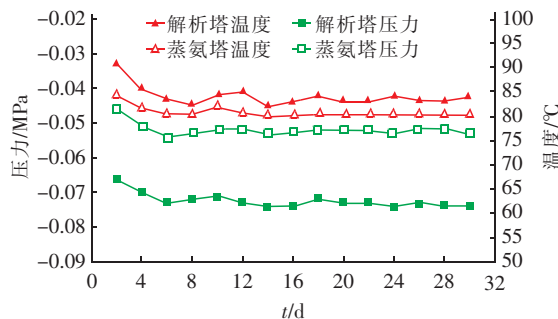


图4 蒸氨系统运行压力和温度的变化

Fig. 4 Variation of operating pressure and temperature of ammonia evaporation system

2.2 蒸氨系统的蒸汽用量及成本核算

蒸氨系统在实际应用中的运行成本受蒸汽用量和价格的影响比较大。渗滤液处理站是垃圾焚烧发电厂需要配建的单元,垃圾焚烧发电厂本身会产生大量的热蒸汽,可以提供成本低廉的热蒸汽,降低蒸氨系统的使用成本。蒸氨系统目前在垃圾焚烧发电行业内的蒸汽运行费用约为 12 元/ m^3 。蒸氨系统的 0.4 MPa 蒸汽吨耗约为 80 kg,加碱调节费用约为 4 元/ m^3 ,蒸氨系统可以回收 18% ~ 20% 的氨水用作电厂烟气脱硝脱硫,18% ~ 20% 氨水的市场价约为 650 元/ m^3 ,产生氨水的收益约为 4.6 元/ m^3 ,则估算蒸氨系统的综合使用费用约为 11.4 元/ m^3 。

在传统的生活垃圾焚烧厂渗滤液处理工艺中,主要依靠生物脱氮,而蒸氨系统可以直接代替生化系统,经测算,综合基建、投资、运行等方面因素,蒸氨系统与生物脱氮的综合成本基本一致,但蒸氨系统可有效改善生化单元占地面积大、运行不稳定、出

水总氮不易达标等问题,同时,也可为未来的“无人值守”渗滤液处理站奠定一定的技术基础。

3 中试中存在的问题及改进建议

3.1 蒸汽温度与压力问题

在蒸氨系统中试前期,采用的是垃圾焚烧发电厂的动力蒸汽,其温度为 250℃、压力为 1.0 MPa。使用过程中,蒸氨塔中的渗滤液出现了部分 COD 被降解的情况,蒸氨系统排放的不凝气也出现了增多的情况,后续通过增加蒸汽压力调节装置进行了相关改进。建议蒸氨系统的蒸汽一定要设置减压阀、控制器等相关装置,控制好进入系统的蒸汽参数。

3.2 蒸氨系统结垢问题

蒸氨系统的结垢问题,主要包括蒸氨进水换热器的结垢和蒸氨塔塔体、塔板等部位的结垢。在最初的中试中,蒸氨进水换热器采用的是传统的板式换热器,运行中发现,由于渗滤液高硬度和碱度的特性,使得这种类型的换热器很容易结垢而发生堵塞;蒸氨塔塔体和塔板未发现明显结垢,但检测到蒸氨出水浊度升高,推测是蒸氨塔内的结垢进入到了后续系统中。建议蒸氨系统的换热器采用防堵、防结垢设计,如采用列管式换热器、流化床换热器等,减少堵塞几率,蒸氨系统塔体也要优化结构,改进塔体、塔板设计,防止结垢,提高系统的稳定性。

4 结论

采用蒸氨系统脱除渗滤液中的氨氮,除硬塔、蒸氨塔等在负压条件下运行,氨氮脱除率高、蒸氨效果好,系统周围无异味,氨氮去除率高达 95% 以上;同时脱除的氨氮可以形成 18%~20% 的氨水,用于电厂的烟气处理。另外,蒸氨系统可以采用垃圾焚烧电厂自产的蒸汽,降低运行成本,综合效益较好。

参考文献:

- [1] 戴兰华. 城市生活垃圾焚烧厂渗滤液资源化利用技术及展望[J]. 中国给水排水,2016,32(7):112-116.
Dai Lanhua. Technologies and prospect of resource utilization of leachate in municipal solid waste incineration plant[J]. China Water & Wastewater,2016,32(7):112-116(in Chinese).
- [2] Lu H, Chandran K, Stensel D. Microbial ecology of

denitrification in biological wastewater treatment[J]. Water Res,2014,64:237-254.

- [3] 阎尔平,於良荣,金学文,等. 蒸汽喷射热泵在蒸氨中的应用[J]. 燃料与化工,2007,38(3):39-42.
Yan Erping, Yu Liangrong, Jin Xuewen, et al. Application of steam injection hot pump in ammonia stripping[J]. Fuel & Chemical Processes,2007,38(3):39-42(in Chinese).
- [4] 刘雪艳,王红星,黄国强,等. 负压蒸氨节能新工艺的研究[J]. 天津化工,2009,23(6):33-34.
Liu Xueyan, Wang Hongxing, Huang Guoqiang, et al. Research on a new energy saving technology for pressure steam ammonia[J]. Tianjin Chemical Industry,2009,23(6):33-34(in Chinese).
- [5] 韩乐. 反渗透膜处理渗滤液结垢污染机理及控制技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.
Han Le. Study on Fouling Mechanism of RO Membrane Treatment for Leachate and Control Technology[D]. Chongqing:Chongqing University,2012(in Chinese).
- [6] 程五良,陈煜南,李晓雁,等. UASB 反应器处理垃圾渗滤液的启动和运行效果研究[J]. 中国给水排水,2010,26(3):10-12.
Cheng Wuliang, Chen Yunan, Li Xiaoyan, et al. Start-up and operation of upflow anaerobic sludge blanket for landfill leachate treatment[J]. China Water & Wastewater,2010,26(3):10-12(in Chinese).



作者简介:古创(1981—),男,江苏常州人,硕士,工程师,主要从事生活垃圾焚烧厂渗滤液处理技术研发工作。

E-mail: guch@ebchinaintl.com.cn

收稿日期:2018-10-17