

垃圾渗滤液 MBR 处理系统设计要点

杜 昱, 孙月驰, 李瑞华, 肖 宁

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: MBR 系统是垃圾渗滤液处理的核心,其设计对整个渗滤液处理系统稳定达标排放至关重要。MBR 生化处理系统的设计应以 COD 进行计算;规模较小时可以采用一条线(一套处理系统),规模较大时需设置二条线(并联的两套处理系统),对渗滤液处理出水总氮无要求时采用单级生物脱氮,对出水总氮有要求时采用二级生物脱氮;设计中应合理选取水温、泥龄、污泥浓度、剩余污泥产率及单位耗氧量等参数,通过计算确定混合液回流比;外加碳源可以采用甲醇、乙酸钠、葡萄糖等,分别投加在缺氧池和后置反硝化池;通过控制生物池内水的流态、利用空气管道控制曝气区域、控制膜分离和污水冷却系统回流位置等技术措施,可以取得良好的处理效果。

关键词: 渗滤液; MBR; 生物脱氮; 设计参数; 外加碳源; 技术措施

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)02-0063-05

Key Points in Designing MBR Project for Landfill Leachate Treatment

DU Yu, SUN Yue-chi, LI Rui-hua, XIAO Ning

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The MBR process is the core of the landfill leachate treatment project, the design process is very important for the stable discharge of the whole leachate treatment project. COD should be taken as the key factor for MBR biochemical treatment system design. One line treatment process was taken when the treatment scale is small. While two lines treatment process was adopted for relatively large treatment scale. If there is no requirement for total nitrogen removal from the landfill leachate, the single-stage biological of denitrification is used. While the secondary biological treatment process with denitrification was applied when nitrogen removal was required. After the design parameters of water temperature, sludge retention time, MLSS concentration, excess sludge yield and unit oxygen consumption ratio were reasonably adopted, the reflux ratio was determined by calculation. External carbon source such as methanol, acetic acid sodium, glucose and so on, were added in the anoxic tank and rear nitrification tank. By controlling the water flow station in biological tank, the aeration zone environment with air pipeline, membrane separation and reflux position of wastewater cooling system, etc, the good treatment effect could be achieved.

Key words: landfill leachate; MBR; biological denitrification; design parameters; external carbon source; technical measures

1 概述

无论是垃圾填埋场还是垃圾焚烧厂,渗滤液的特点是水量水质受季节、气候等因素的影响大,成分复杂、污染物浓度高、可生化性差,渗滤液处理大多

采用“预处理+生化+深度处理”工艺,其中生化处理普遍采用 MBR 工艺,是整个渗滤液处理系统的核心,是出水能否达标排放的重要保障。

鉴于垃圾渗滤液的复杂性,与其他行业污水处

理相比,渗滤液 MBR 生化处理系统具有自己独特的特殊性,在工程设计中,了解生化处理系统特点,掌握 MBR 系统设计要点,对渗滤液处理系统的稳定运行具有重要意义。

2 用 COD 进行设计计算

BOD₅ 和 COD 是污水中最重要的污染物指标,BOD₅ 代表了可生物降解有机物的含量,COD 较精确地表示污水中有机物的含量,二者均是污水生化处理系统设计计算的基础。大部分的生化处理系统是按 BOD₅ 进行设计计算的,但对垃圾渗滤液而言,COD 浓度远远高于 BOD₅ 浓度,二者的比值 COD/BOD₅ > 2.2,此种情况下如果仍按 BOD₅ 进行设计,会存在较大误差,严重影响处理效果,因此垃圾渗滤液 MBR 生化处理系统应以 COD 进行设计计算,实际运行结果证明,这种计算方式是符合实际情况的,是合理的。

3 一条线和二条线的设定原则

垃圾渗滤液除了水质水量变化大的特点外,还具有含盐量高、腐蚀性强等特点,渗滤液处理系统运行过程中,各种设备、管道、阀门、仪表等由于腐蚀等原因,需频繁进行维护、检修,使用寿命也大大缩短,而且检修维护时生化处理系统往往需停止运行。

许多垃圾渗滤液处理工程,生化处理部分往往只设置一条线,检修、维护时整个系统必须停止运行,对整个渗滤液处理系统影响很大,而且恢复运行难度也很大。因此为保证渗滤液处理系统能够连续稳定运行,同时考虑到渗滤液处理规模大小不一,原则上规模较小时可考虑设置一条线(一套处理系统),规模较大时可采用二条线(并联的两套处理系统),使系统的运行更加可靠、灵活和合理,把检修维护造成的影响降到最低。

根据渗滤液处理工程的特点,工程规模 ≤ 200 m³/d 的渗滤液处理工程可以按一条线进行设计;工程规模 < 400 m³/d 的渗滤液处理工程,优先考虑采用二条线,如果现场条件不允许也可采用一条线;工程规模 ≥ 400 m³/d 的渗滤液处理工程应采用二条线。

4 单级生物脱氮和二级生物脱氮的选择

所谓单级生物脱氮系统(见图1),就是在系统内设置缺氧池和好氧池,利用微生物的硝化和反硝化反应达到去除总氮的目的,对于进水氨氮浓度较低或排放标准对总氮没有要求的项目,采用单级生

物脱氮即可满足要求。事实上经过单级生物脱氮处理后,出水中仍会含有一定量的硝酸盐,尤其在进水氨氮浓度高的情况下,出水中硝酸盐的含量会更高,总氮也相应偏高。在对出水总氮有严格要求的地区,为保证出水总氮达标,需在单级生物脱氮后再增设后置反硝化池和后曝气池,即二级生物脱氮系统(见图2),通过投加外加碳源,利用微生物的硝化和反硝化反应进一步去除剩余的硝酸盐,进而达到提高总氮去除率的目的。

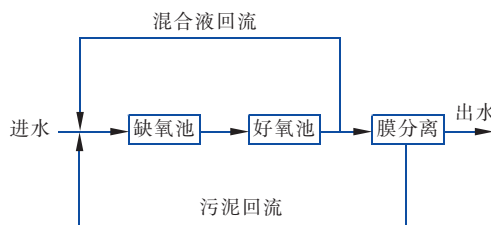


图1 单级生物脱氮系统示意

Fig.1 Schematic diagram of single-stage biological denitrification system

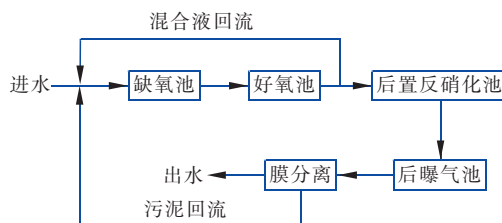


图2 二级生物脱氮系统示意

Fig.2 Schematic diagram of secondary biological denitrification system

垃圾渗滤液原液中氨氮浓度很高,一般介于 2 000 ~ 3 000 mg/L,也有的高达 3 000 ~ 4 000 mg/L,一些排放标准要求出水总氮低于 40 mg/L,总氮去除率高达 98% 以上,如此高的去除率对 MBR 系统提出了更高的要求,单级生物脱氮系统很难达标,必须采用二级生物脱氮方能满足要求。

对于垃圾渗滤液而言,排放标准对总氮没有要求的项目,生化处理系统采用单级生物脱氮即可,如果排放标准对总氮有严格的要求,则应采用二级生物脱氮处理系统,通过控制硝化和反硝化反应的完全程度来控制出水总氮^[1]。

5 主要设计参数

5.1 主要设计参数的选取

鉴于垃圾渗滤液的特殊性,其生化处理系统设

计参数与其他行业污水处理相比有很大的不同,许多设计参数远远超出了国内相关规范所规定的范围,因此合理选择设计参数是渗滤液 MBR 处理系统能否设计成功的关键。影响 MBR 处理系统的主要因素有水温、泥龄、污泥浓度、剩余污泥产率及单位耗氧量等^[2],具体设计取值见表 1。

表 1 MBR 系统主要设计参数

Tab. 1 Main design parameters of MBR system

| 项 目 | | 参数值 |
|---|------|-------------|
| 有效水深/m | | 6.00 ~ 8.00 |
| 生物池内水温/℃ | | 25 |
| 污泥浓度 (MLSS)/(g · L ⁻¹) | | 12 ~ 15 |
| 污泥产率系数/ (kgMLSS · kg ⁻¹ COD) | | 0.20 ~ 0.30 |
| 20 ℃脱氮速率/(kgNO ₃ ⁻ - N · kg ⁻¹ MLSS · d ⁻¹) | | 0.04 |
| 好氧区污泥龄/d | | 25 ~ 30 |
| 去除 1 kg COD 需氧量/ (kgO ₂ · kg ⁻¹ COD) | | 1.35 ~ 1.40 |
| 氧转移效率 | 射流曝气 | 0.20 ~ 0.25 |
| | 微孔曝气 | 0.15 ~ 0.20 |

5.2 混合液回流比的计算

垃圾渗滤液进水氨氮浓度高,排放标准对氨氮和总氮的要求非常严格,混合液回流比对总氮的去除率影响较大,混合液回流比增大,TN 去除率也增大^[3],合理确定混合液回流比,才能达到良好的脱氮效果。实际工程设计中,许多工程设计混合液回流比不能满足脱氮要求,出水总氮超标现象非常普遍。

反硝化所需的硝酸盐由污泥回流和混合液回流提供,反硝化率用回流比控制,它们之间的关系为:

$$f_{de} = \frac{R+r}{R+r+1} \quad (1)$$

式中 f_{de} ——反硝化率

r ——内回流比

R ——污泥回流比(自定义)

由此得出 r 的计算公式:

$$r = \frac{f_{de} \times R + f_{de} - R}{1 - f_{de}} \quad (2)$$

反硝化率 f_{de} 按下式计算:

$$f_{de} = 1.2 \frac{N_{ot}}{N_{ht}} \quad (3)$$

需硝化的氨氮量按下式计算:

$$N_{ht} = 24Q[N - 0.05(S_0 - S_e)] \times 10^{-3} \text{ (kg/d)} \quad (4)$$

MBR 系统采用外置式超滤膜,出水 SS 接近于零,其含氮量亦按零考虑。

反硝化的硝酸盐量按下式计算:

$$N_{ot} = 24QN_0 \times 10^{-3} \text{ (kg/d)} \quad (5)$$

需反硝化的硝态氮浓度 N_0 按下式计算:

$$N_0 = N - 0.05(S_0 - S_e) - N_e \quad (6)$$

式中 N ——进水总氮浓度,mg/L

N_e ——出水总氮浓度,mg/L

6 外部碳源投加系统

6.1 外部碳源的种类

C/N 比失调、碳源严重不足,是生活垃圾填埋场渗滤液的一个显著特点,尤其是老龄垃圾填埋场和封场后尤为严重,为保证垃圾渗滤液硝化反硝化反应的正常进行,可通过投加外部碳源等技术手段来改善反硝化效果^[4]。不同的有机物作为碳源时,碳源浓度不同,其处理效果也不同^[5],目前普遍使用的外部碳源有甲醇、乙烷、乙酸、乙酸钠、葡萄糖等,各种碳源各有优缺点,合理选择外部碳源对脱氮效果、运行成本等影响很大。

甲醇是应用最为普遍的外部碳源,具有反应完全彻底、反应速度快、碳利用充分及效率高等特点,但其火灾危险类别属于甲类,在储存、运输及使用过程中存在较大的安全隐患。

由于甲醇存在着潜在的安全隐患,在实际工程中常用乙酸钠和葡萄糖作为外部碳源,乙酸钠和葡萄糖不属于易燃易爆危险物品,无安全问题,但不如甲醇反应彻底,效率也没有甲醇高,而且用量较大。

另外,不同碳源类型对系统的脱氮性能影响存在差异,在实际工程应用中应根据工程的具体情况合理选用外部碳源,综合分析并参考以往的工程经验,外部碳源宜优先考虑采用葡萄糖。

填埋场的垃圾渗滤液通过渗滤液收集系统后进入渗滤液调节池,由于垃圾堆体的降解作用以及在调节池内长时间停留,渗滤液中的可生物降解有机物大部分得以去除,致使 C/N 比严重失调。但垃圾焚烧厂的新鲜渗滤液、垃圾运输车辆渗漏的渗滤液、垃圾转运站垃圾压榨产生的新鲜渗滤液等 COD 浓度高,碳源充足,实际运行过程中也可以将这些新鲜渗滤液投加到生物池,用以解决碳源不足的问题。

6.2 外部碳源投加位置

在渗滤液原液碳源极度缺失的情况下,如果不投加外部碳源,会导致生化处理系统内硝酸盐过度

积累、碱度缺失,轻则抑制微生物的活性,重则导致系统崩溃,此种情况下为确保系统稳定运行,应在缺氧池和后置反硝化池都投加外部碳源。

如果碳源不是很缺乏,硝酸盐积累现象也不是很严重,系统内能维持正常的硝化反硝化反应,此时宜在后置反硝化池内投加外部碳源,可以节省投加量,从而达到降低运行成本的目的。

国内大部分渗滤液处理工程,在后置反硝化池投加新鲜渗滤液,确实可以达到节省运行成本的目的,但由于渗滤液原液含有高浓度的氨氮,而后曝气池未设置内回流系统,导致出水总氮增加,因此应在后置反硝化池投加甲醇或乙酸钠等不含“氮”的外部碳源,而不应投加新鲜渗滤液。

6.3 外加碳源对生化处理系统的影响

如果渗滤液进水 C/N 比严重失调,生化处理系统长期靠投加外部碳源维持运行,这种情况与单纯处理垃圾渗滤液有很大不同。无论采用何种碳源,其反应速度均远远高于渗滤液原液,水力停留时间也相应很短,因此池容积也较小。

如果池容积过大、水力停留时间过长,异养好氧反硝化菌得不到足够的营养物质,因而利用自身体内的原生物质进行内源呼吸,进而降低活性污泥的活性,影响处理效果。因此在靠投加外部碳源维持运行的渗滤液生化处理系统,其生物反应池容积不能过大,应通过计算合理确定。

7 工程设计技术措施

7.1 水流形态的控制

许多生物池的设计对水的流态缺少控制,极易发生短流,减少实际水力停留时间,降低整个系统的处理效果。垃圾渗滤液处理生物池内的混合液悬浮固体浓度一般控制在 12 ~ 15 g/L,实际运行过程中有时高达 20 ~ 30 g/L,如此高的污泥浓度,在水流发生短流的情况下,极易发生污泥沉积,从而降低活性污泥的活性,导致处理效率下降。在工程设计中,尤其是大规模的渗滤液处理工程,应在生物池内采取必要措施,控制生物池内水的流态,避免污泥沉积并提高处理效率。

7.2 污水冷却系统回流管的设置

由于高浓度污水在生化反应过程中会释放出大量的热能,同时由于部分电能转化成热能的缘故,垃圾渗滤液处理生物池内会保持较高的温度^[6],过高的水温会抑制微生物的活性,严重时会使生化处理

系统瘫痪。因此垃圾渗滤液生化处理均设有污水冷却系统,用污水泵抽取生物池内的混合液进入换热器,与冷却水在换热器内进行热交换,降温后混合液再回到生物池内,从而达到降低生物池内水温的目的。

对于设有污水冷却设施的生化系统,由好氧池末端取水,将冷却后的污水回流到缺氧池进水端(见图3),可以同时起到混合液回流的作用,提高脱氮效果,也可以取代内回流泵节省能耗,但实际操作中要考虑冷却系统间歇运行的影响。

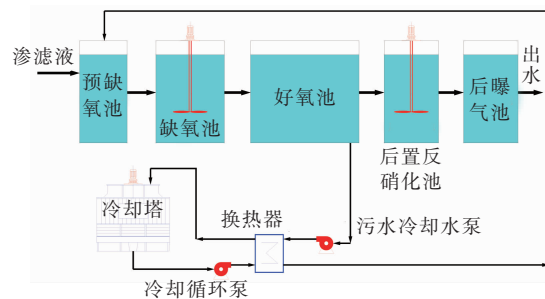


图3 污水冷却系统示意

Fig.3 Schematic diagram of wastewater cooling system

7.3 膜分离系统回流管的设置

在许多垃圾渗滤液处理工程中,MBR系统采用管式膜超滤分离系统,超滤进水泵由好氧池末端取水,进入管式膜浓缩又回流到生物池内。将含有硝酸盐的超滤回流管接至缺氧池进水端(见图4),同样可以起到混合液内回流的作用,提高脱氮效率,节省能耗。

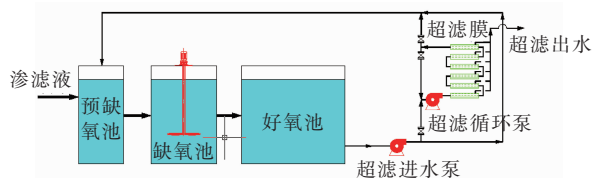


图4 膜分离系统示意

Fig.4 Schematic diagram of membrane separation system

7.4 通过曝气管道灵活控制缺氧和好氧池容积

垃圾渗滤液水质、水量变化大,尤其是填埋场的垃圾渗滤液,一年之内的变化幅度非常之大,这就要求渗滤液处理设施应该具有灵活的应变措施,以适应水质、水量的变化。实际工程建设中,许多工程很少有相应的应对措施,致使在渗滤液产生量大或水质差的季节,严重影响渗滤液处理效果。

针对垃圾渗滤液氨氮及总氮浓度高、变化大的

特点,把好氧池分为若干个区域,运行时通过开启阀门,将该区域按缺氧池或曝气池灵活转换运行,以适应水质水量的变化。

8 结语

- ① 垃圾渗滤液的设计应以 COD 进行计算;
- ② 渗滤液处理规模较小时采用一条线,规模较大时采用二条线;
- ③ 对出水总氮无要求的工程采用单级生物脱氮,对总氮有要求的工程采用二级生物脱氮;
- ④ 合理选取设计参数并应通过计算确定混合液回流比;
- ⑤ 合理选取外部碳源的种类,并应考虑大量投加外部碳源后对生化处理系统的影响;
- ⑥ 生物池内应控制水的流态,污水冷却回流管及膜分离回流管应接至生化处理系统进水端的反硝化池,通过空气管道阀门灵活控制缺氧池和好氧池的容积。

参考文献:

- [1] 胡啸,熊向阳,陈刚,等. 珠海西坑尾垃圾填埋场渗滤液处理二期工程设计[J]. 给水排水,2015,41(7):47-50.
- [2] 杜昱,林伯伟,李洪君,等. MBR 工艺处理垃圾渗滤液的设计参数探讨[J]. 中国给水排水,2011,27(10):43-46.
- [3] 刘小兵,林俊岳,曾建忠. 混合液回流比对改良型氧化沟工艺反硝化除磷的影响[J]. 环境工程,2015,33(5):18-22.
- [4] 游佳,陈轶. 增强城市污水处理生物脱氮能力的若干技术措施[J]. 给水排水,2016,42(2):37-41.
- [5] 林雨倩,赵军. 碳源对污水处理系统脱氮除磷的影响[J]. 大众科技,2014,16(2):39-41.
- [6] 李君,杜昱,孙月驰,等. 垃圾渗滤液处理的常见问题及解决措施[J]. 中国给水排水,2010,26(16):138-140.



作者简介:杜昱(1964-),男,辽宁义县人,大学本科,教授级高工,主要从事城市污水处理和垃圾渗滤液处理的研究与设计工作,多次获得国家及省部级优秀勘察设计奖项。

E-mail:dy-2000@126.com

收稿日期:2017-08-22

以水资源的可持续利用
支持经济社会的可持续发展