

彭州市填埋场渗滤液处理系统的恢复运行调试研究

曾晓岚¹, 黄永周¹, 罗万申², 丁文川¹, 刘建栋¹, 李堃宇¹

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 彭州市垃圾填埋场为了实现渗滤液处理组合工艺“SBR + 混凝沉淀”系统的快速恢复运行,减轻渗滤液与生活污水合并处理对污水厂造成的冲击,采用接种城市污水处理厂活性污泥的方法,先驯化污泥再进行工艺调试。结果表明,系统经恢复调试后运行稳定,对渗滤液中 COD、氨氮、SS 的去除率分别达到(71.6% ~ 76.7%)、(59.4% ~ 60.5%)、(59.5% ~ 88.9%),处理费用为 6.9 元/m³,但不能达标排放。通过实验室小试验证,在 SBR 生化处理前降低氨氮浓度将使组合工艺处理出水水质达到《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889—1997)的三级排放标准。

关键词: 渗滤液; SBR; 混凝沉淀; 系统恢复; 调试运行; 高氨氮浓度

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2017)03-0018-05

Commissioning Operation of Landfill Leachate Treatment System in Pengzhou City

ZENG Xiao-lan¹, HUANG Yong-zhou¹, LUO Wan-shen², DING Wen-chuan¹,
LIU Jian-dong¹, LI Kun-yu¹

(1. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: In order to reduce the impact of combined treatment of leachate and domestic sewage on the operation of wastewater treatment plant, and achieve rapid recovery of the combined leachate treatment process of SBR/coagulation and sedimentation in Pengzhou landfill site, the activated sludge from municipal wastewater treatment plant was used as the inoculated sludge. After the sludge acclimation, the commissioning of the combined process was performed. The results demonstrated that the process system could operate stably after recovery and commissioning. The removal rates of COD, ammonia nitrogen and SS reached 71.6% to 76.7%, 59.4% to 60.5% and 59.5% to 88.9%, respectively. The treatment cost was 6.9 yuan/m³, but the effluent quality could not meet the national discharge standards. The bench scale test revealed that the effluent quality of the combined process could meet the third class criteria specified in the *Standard for Pollution Control on the Landfill Site for Domestic Waste* (GB 16889 - 1997) by reducing ammonia nitrogen concentration before the SBR biological treatment.

Key words: leachate; SBR; coagulation and sedimentation; system recovery; commissioning operation; high ammonia nitrogen concentration

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2011BB7099); 高等学校学科创新引智计划资助项目(B13041)

彭州市垃圾填埋场渗滤液处理系统于2008年建成并投入运行,采用“厌氧调节+SBR+混凝沉淀”组合工艺。其中,厌氧调节对渗滤液进行水解酸化^[1],去除其中一部分有机污染物,并提高渗滤液的可生化性^[2~4];SBR工艺主要是去除有机物,降低COD以及氨氮浓度^[5,6];混凝沉淀则通过进一步降低SS和COD,提高出水水质^[7~9]。有研究表明:该组合工艺对填埋初期渗滤液有较好的处理效果^[10,11]。根据彭州市垃圾填埋场运行记录,在2008年10月—2009年10月期间,该渗滤液处理系统运行正常,处理出水水质可以达到《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889—1997)的三级排放标准,但其后由于部分设备部件损坏,导致SBR生化处理系统瘫痪。考虑到填埋场规划的渗滤液二期处理工程(采用“中温厌氧+MBR+RO”工艺,达到一级排放标准)已立项待建,现将渗滤液临时用罐车运至污水厂与生活污水合并处理。由于渗滤液氨氮浓度高且水质波动大,导致污水厂出水水质不能达标排放,因此要求在填埋场渗滤液二期处理工程建成前,更换原有渗滤液处理系统损坏的设备,重新恢复“SBR+混凝沉淀”系统运行,对渗滤液进行预处理后再进入污水厂与生活污水进行合并处理,从而保证污水厂处理出水水质达标。

彭州市垃圾填埋场渗滤液处理站内系统恢复运行调试开始于2012年6月,于11月结束,为期5个月,在同类项目中具有代表性,值得借鉴。

1 材料与方法

1.1 渗滤液水质

彭州市垃圾填埋场于2007年设计并开始建设,设计出水水质执行GB 16889—1997的三级排放标准,渗滤液经处理后运送至当地污水厂与生活污水合并处理。因此,本次调试以厌氧调节池的出水为进水,混凝沉淀池的出水水质仍按三级排放标准控制,系统设计进出水水质如表1所示。

表1 系统设计进出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	氨氮	COD	BOD ₅
调节池实际进水	2 969	17 557	5 310
调节池实际出水	2 619	9 708	4 790
调节池设计出水	500	10 000	4 000
三级标准		1 000	600

由表1可知,系统的实际进水水质高于设计水

质,尤其是氨氮浓度超过设计值5倍以上,但渗滤液的BOD₅/COD值=0.49,表明其可生化性良好,可以进行生化处理。

1.2 渗滤液处理工艺流程

原设计的彭州市垃圾填埋场渗滤液处理工艺流程为厌氧调节+SBR+混凝沉淀。考虑渗滤液处理设施二期工程即将建设及经济等因素,经过与业主方协商,确定了本次系统恢复运行工作为在原工艺基础上进行微调,主要实施方案包括:①培养驯化SBR反应器内活性污泥,并在其中投加填料以强化生化反应效果;②以虹吸滗水器代替原故障的电动滗水器,人工控制SBR池的出水;③更换SBR池的水流推进器以及混凝沉淀池的搅拌泵和计量泵;④重新确定混凝沉淀工艺参数。

1.3 污泥的驯化培养

为了缩短活性污泥培养驯化的时间,本次调试采用接种驯化法:首先向反应池内投入接种污泥,接种污泥取自彭州市污水处理厂未经消化的生污泥;培养初期加入粪水和清水,然后逐步提高反应池中渗滤液比例,使污泥逐渐适应渗滤液的水质。在前期试验的基础上确定具体的培养步骤如下:

① 在启动时向SBR反应池中投加接种污泥10 t,污泥含水率为87%左右,再投加15 m³的粪水和65 m³的清水,并从调节池中抽入20 m³的渗滤液,然后开始持续曝气。

② 培养第一阶段运行周期为48 h(连续曝气46 h,沉淀1.5 h,排水0.5 h),运行结束后排出20 m³混合液,同时再注入20 m³渗滤液。

③ 培养第二阶段运行周期改为24 h(连续曝气22 h,沉淀1.5 h,排水0.5 h),运行结束后换水同上,每个运行周期结束后采用递增渗滤液水量的方式,使微生物逐步适应新的环境,直至渗滤液量达到最大值即40 m³。

④ 定时取样检测和观察进出水水质及污泥生长状况。

1.4 系统恢复运行的调试方法

设备安装完成后首先带负荷试车,根据各构筑物进水情况沿工艺流程适时启动其他设备,检查各种设备及仪器仪表是否正常工作,及时解决发现的问题。在带负荷试车与活性污泥的培养驯化相继完成后随即开展正式的调试工作。系统总体调试过程主要分为3个部分,即SBR调试运行、混凝沉淀调

试运行以及“SBR + 混凝沉淀”联合运行。

① SBR 调试运行

根据资料及前期研究成果,待污泥驯化完成后,SBR 反应周期设定为 12 h(进水 1 h;曝气反应 9 h,其中,曝气 2 h、停 1 h 各重复三次;沉淀 1.5 h;排水 0.5 h),采用非限制性方式进水 25 m^3 。

② 混凝沉淀调试运行

根据设计条件和前期研究成果,加入混凝剂聚合氯化铝(PAC)和聚合硫酸铁(PFS),以及助凝剂聚丙烯酰胺(PAM),所配混凝剂浓度为 10% (配比为 PAC:PFS=7:3),助凝剂聚丙烯酰胺(PAM)浓度为 0.2%。渗滤液进水流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,每套加药装置的加药量为 70 L/h (PAC、PFS、PAM 的投加量分别为 330、140、9.33 mg/L)。

③ “SBR + 混凝沉淀”联合运行

在以上分别确定的 SBR 与混凝沉淀的最佳操作条件下联合运行“SBR + 混凝沉淀”装置,考察系统整体对渗滤液的处理效果。

1.5 “MAP + SBR + 混凝沉淀”联合运行

在现场调试的基础上,取彭州市垃圾填埋场厌氧调节池的出水进行实验室小试,探究预先采用 MAP 法降低进水氨氮浓度,再经过“SBR + 混凝沉淀”处理后的出水水质是否可以达到 GB 16889—1997 的三级排放标准。

运行参数如下:在 pH 值 = 9 的条件下,按照 $n(\text{Mg}^{2+}):n(\text{NH}_4^+):n(\text{PO}_4^{3-})=1.2:1:1$ 的比例投加 MgSO_4 和 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,迅速搅拌 25 min,沉淀 30 min,取上清液进行 SBR 处理。根据课题组前期试验结果,可知反应时间在 24 h 时,SBR 工艺对 COD 的去除率达 80%,故选择反应周期为 24 h,曝气 2 h、停 1 h 的运行方式。对 SBR 出水进行混凝沉淀处理,在 pH 值 = 5 时于 1 000 mL 渗滤液中投加 10 mL 的聚合硫酸铁(质量分数为 10%),即 1 g PFS/L 渗滤液,搅拌 25 min,沉淀 30 min。

1.6 主要检测项目和方法

在调试期采用国标法检测各指标。其中,COD:重铬酸钾法,BOD₅:稀释接种法,氨氮:纳氏比色法,SS 和 MLSS:重量法,MLVSS:灼烧法,pH 值:笔式 pH 计。此外,每天取 SBR 反应池中污泥进行镜检。

2 结果与讨论

2.1 污泥的驯化

第一阶段(1~10 d)的运行周期为 48 h、进水量

为 20 m^3 ,采用非限制性进水;第二阶段的运行周期为 24 h、进水量为 40 m^3 。培养期间活性污泥浓度稳定增长至 $10 \sim 13 \text{ g/L}$ (满负荷)。

第 19 天当晚由于暴雨以及工人操作不当,污泥大量流失,于是停止添加渗滤液仅持续曝气;第 23~28 天为增加有机物浓度,每天添加粪水 5 m^3 而不外排水,期间污泥总量持续增加,但可能由于 SBR 池中液体的总量持续增加,污泥浓度并未出现明显增长。自第 29~34 天,再次按第一阶段的方法进行驯化;第 35~43 天按第二阶段的方法进行驯化,即运行周期改为 24 h,每周期换水 20 m^3 ;第 44~52 天保持运行周期为 24 h,换水量变为 30 m^3 ;第 52~60 天保持运行周期为 24 h,换水量增加到 40 m^3 ,即实际运行工况。此时污泥浓度达到 10 g/L 左右,污泥性质已基本稳定,通过显微镜观察,污泥结构紧密,并且沉降性能较好,表明污泥驯化已完成,但 COD 去除率不足 30%。有研究表明,高浓度氨氮对有机物降解菌和硝化菌的活性都具有一定的抑制作用。在污泥驯化过程中 SBR 进水氨氮浓度达 $3\,000 \text{ mg/L}$ 左右,在换水完成后测得 SBR 反应器中混合液氨氮浓度接近 $2\,000 \text{ mg/L}$,因此推测可能是高浓度氨氮对污泥活性产生了显著的抑制作用,从而降低了对 COD 的去除率。

2.2 SBR 反应池运行调试

运行调试期间 SBR 的进出水水质见表 2。

表 2 SBR 反应池调试运行阶段进出水水质

Tab. 2 Influent and effluent quality of SBR during commissioning

时间/ d	COD			氨氮		
	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/ %	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/ %
62	5 207	2 727	47.6	2 780	1 460	47.5
66	6 124	3 306	46.0	1 668	1 250	25.1
76	6 691	3 456	48.3	1 937	1 390	28.2
93	5 855	3 096	47.3	2 332	1 340	42.3

当 SBR 反应周期为 12 h、进水量为 25 m^3 时,COD 去除率在 46% 以上,超过污泥驯化末期 30% 的 COD 去除率。这一方面可能是由于进水量变小,氨氮总量减少,对活性污泥的抑制作用降低;另一方面是由于曝气方式改为曝气 2 h、停 1 h,可能产生反硝化作用,增大了对碳源的消耗。在将反应周期调整为 12 h 后,SBR 反应器内的 COD、氨氮浓度均降

低,氨氮浓度的降低有利于 SBR 反应器的生化处理。

镜检显示污泥性能较为稳定,同时污泥浓度持续增长,当 SV 达到 40% 左右时进行排泥,SBR 反应池运行稳定良好。

2.3 混凝沉淀运行调试

在调试的第 90~94 天开始混凝沉淀池运行,连续运行 5 d,混凝沉淀池的进出水指标如表 3 所示。当运行一套加药装置时,混凝沉淀池对 COD 的去除率只有 5%~8%,与理论去除率有较大差距,对氨氮几乎无去除作用,原因可能是由于加药量过低造成去除效果不明显。为此运行两套加药装置,将加药量增大为 140 L/h,对 COD 及氨氮的去除效果得以改善,其中对 COD 的去除率上升到 22.6%~28.1%,对氨氮的去除率也达到 5.7%~8.0%。

表 4 “SBR+混凝沉淀”联合运行结果

Tab. 4 Removal of COD, ammonia nitrogen and SS by combined SBR/coagulation and sedimentation process

时间/d	COD			氨氮			SS		
	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%
99	8 654	2 025	76.7	2 100	830	60.5	430	120	72.1
100	6 762	1 885	72.1	2 280	925	59.4	370	150	59.5
101	6 685	1 900	71.6	1 850	760	60.0	370	85	88.9

渗滤液经“SBR+混凝沉淀”联合处理后,COD 去除率为 71.6%~76.7%,其浓度由 6 685~8 654 mg/L 降至 1 885~2 025 mg/L ;氨氮去除率为 59.4%~60.5%,其浓度由 1 850~2 280 mg/L 降至 760~925 mg/L ;SS 去除率为 59.5%~88.9%,其浓度由 370~430 mg/L 降至 85~150 mg/L ,大大降低了生活污水厂的处理负荷。但上述指标仅 SS 达到 GB 16889—1997 的三级标准,COD 含量仍较高可能是由于垃圾渗滤液中含有较多难降解有机物,同时氨氮过高也对活性污泥产生了较强的抑制作用。

3 经济分析

3.1 耗电费用

垃圾填埋场渗滤液处理量为 50 m^3/d ,每天运行 2 个周期,每个周期为 12 h,渗滤液预处理流程为:渗滤液→调节池→SBR 池→混凝沉淀池→出水。该流程中“SBR+混凝沉淀”组合工艺涉及的设备有提升泵、风机、搅拌装置、加药装置等。

在调试过程中,SBR 及混凝沉淀工艺每周期的耗电量分别为 41.17 和 3.17 $\text{kW} \cdot \text{h}$,每天运行两个周期,故组合工艺每天的总耗电量为 88.68 $\text{kW} \cdot \text{h}$,

表 3 混凝沉淀池进出水水质

Tab. 3 Influent and effluent quality of coagulation and sedimentation tank

时间/d	COD			氨氮		
	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%
91	3 884	3 571	8.1	1 340	1 310	2.2
92	3 750	3 455	7.9	1 146	1 178	0
93	3 719	3 521	7.1	1 215	1 210	0.4
94	3 824	3 627	5.2	1 220	1 178	3.4
95	3 640	2 648	27.2	1 543	1 419	8.0
96	3 988	2 867	28.1	1 812	1 674	7.6
97	4 024	3 114	22.6	1 760	1 660	5.7

2.4 SBR+混凝沉淀联合运行

根据以上操作条件,联合运行 SBR 和混凝沉淀工艺,定时检测出水 COD、氨氮和 SS,结果见表 4。

如电价按 1 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)计,则电费为 88.68 元/d。

3.2 药剂费用

混凝沉淀工艺每天的 PAC、PFS、PAM 用量分别为 33、14、0.935 kg,其价格分别为 1.5、2.2、21 元/kg,则混凝沉淀工艺所消耗的药剂费为 99.9 元/d。

3.3 运行费用

目前彭州填埋场渗滤液预处理运行费用包括:电费、药剂费用、人工费和化验费。其中,人工费为 2 700 元/月,化验费按 2 000 元/月估算。综上所述,渗滤液处理费用合计为 6.9 元/ m^3 。

4 MAP+SBR+混凝沉淀联合运行

在实验室采用“MAP+SBR+混凝沉淀”工艺对厌氧调节池出水进行处理,结果如表 5 所示。经过“MAP+SBR+混凝沉淀”工艺处理后,对 COD、氨氮和 SS 的去除率分别为 83.5%、93.8% 和 80.2%,三者均达到 GB 16889—1997 三级排放标准。这一方面证实了渗滤液中氨氮浓度过高是导致现场调试“SBR+混凝沉淀”工艺出水水质不达标的原因,另一方面说明要提高原有渗滤液处理系统的效率,应

在 SBR 反应器前加装氨氮去除装置。

表5 “MAP + SBR + 混凝沉淀”工艺处理渗滤液的效果

Tab.5 Removal of pollutants by MAP/SBR/coagulation and sedimentation process $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	厌氧池出水	MAP出水	SBR出水	沉淀出水
COD	5 248	4 702	1 558	866
氨氮	1 936	388	146	120
SS	425	120	105	84

5 结论与建议

① 在更换原有渗滤液处理系统已损坏设备的基础上,经过污泥驯化培养、SBR 和混凝沉淀工艺的调试运行以及“SBR + 混凝沉淀”联合运行,彭州市垃圾填埋场原有渗滤液处理系统恢复达到稳定运行,各项出水水质指标含量有效减少,大大降低了生活污水处理厂的处理负荷。

② 在 SBR 的反应周期为 12 h(进水 1 h;曝气反应 9 h,其中,曝气 2 h、停 1 h 各重复三次;沉淀 1.5 h;排水等 0.5 h)、非限制性进水 25 m^3 ,混凝沉淀池进水流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$ 、加药量为 140 L/h 的条件下,对 COD、氨氮、SS 的最终去除率分别为 (71.6% ~ 76.7%)、(59.4% ~ 60.5%)、(59.5% ~ 88.9%),处理费用为 6.9 元/ m^3 ,出水水质不能达到 GB 16889—1997 的三级排放标准。

③ 采用“MAP + SBR + 混凝沉淀”工艺处理填埋场调节池出水,对 COD、氨氮、SS 的去除率分别为 83.5%、93.8% 和 80.2%,出水水质能够达到 GB 16889—1997 的三级排放标准。

④ 采用的接种污泥为城市污水厂污泥,这种启动方式虽然耗时短,成功率高,但由于渗滤液中含有较多有毒有害物质,且氨氮含量高,对活性污泥具有一定的抑制作用,为避免接种污泥死亡,建议在原有系统的 SBR 反应器前增加氨氮的去除装置或对原水进行稀释,另外针对垃圾渗滤液氨氮含量较高的情况,应合理补充碳源、及时进行水质检测和进、出水量的调整,以利于系统长期稳定运行。

致谢:感谢“重庆大学大型仪器设备开放基金”对本试验的赞助和支持。

参考文献:

[1] 吴静. 缺氧/厌氧复合床运行特性研究[D]. 太原:太

原理工大学,2011.

- [2] 胡刚,王里奥,林衍,等. 上流式厌氧污泥床处理垃圾渗滤液的效果研究[J]. 中国给水排水,2007,23(13):56-59.
- [3] 周杉. $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}^2/\text{O}/\text{MBR}$ 工艺处理老龄垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2015,31(4):92-94.
- [4] 孙志民. 序批式生物膜反应器深度处理垃圾渗滤液[J]. 给水排水,2009,35(S2):190-193.
- [5] Miao L, Wang K, Wang S Y, et al. Advanced nitrogen removal from landfill leachate using real-time controlled three-stage sequence batch reactor (SBR) system[J]. Bioresour Technol,2014,159:258-265.
- [6] 骆宾,杜林,吕泊. 常德市垃圾渗滤液处理厂 SBR 工艺雪灾后的重新启动[J]. 中国给水排水,2010,26(2):99-101.
- [7] 商平,刘涛利,孔祥军. PAC 与 PFS 复合混凝/沉淀法预处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2011,27(1):65-71.
- [8] 黎青松,王振江,胡碟. 物化法和生物物化法处理渗滤液的工程案例比较[J]. 中国给水排水,2014,30(6):9-13.
- [9] 李志伟,孙力平,吴立. PAC 和 PAM 复合混凝剂处理垃圾渗滤液的研究[J]. 中国给水排水,2009,25(23):85-87.
- [10] 徐艳,徐建平,史武元. 混凝沉淀-UASB 对垃圾渗滤液预处理研究[J]. 应用化工,2014,43(1):111-114,117.
- [11] 苏妮. 中小城镇垃圾填埋场渗滤液预处理调试运行研究[D]. 重庆:重庆大学,2009.



作者简介:曾晓岚(1972—),女,云南文山山人,博士,副教授,主要从事废水处理理论与技术研究。

E-mail:wendyzeng@cqu.edu.cn

收稿日期:2016-10-26