# 中药废水两相厌氧生物处理工艺的工程调试

刘天顺[1], 闫险峰[2,3], 任南琪[2], 李建政[2], 闫从容[4]
(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300051; 2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 3. 哈尔滨理工大学 化学与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 4. 平顶山市政公司, 河南 平顶山 467000)

摘 要: 中药生产废水具有污染物浓度高、可生化性差、水质水量波动大等特点, 属于高浓度难降解有机工业废水。采用具有专利技术的两相厌氧生物处理工艺处理中药废水, 调试结果表明, 通过选取适当的接种污泥和制定合理的调试运行方案, 可以保证两相厌氧工艺在 3 个月内完成工程调试, 最终产酸相反应罐容积负荷为 30~ 45 kgCOD /(m$^3$· d), COD去除率稳定在 15% ~ 20%; 产甲烷相反应池容积负荷为 8~ 10 kgCOD /(m$^3$· d), COD去除率稳定在 90% ~ 95%。

关键词: 中药废水; 两相厌氧; 工程调试
中图分类号: X703. 1 文献标识码: C 文章编号: 1000- 4602( 2010) 16- 0119- 04

## Commissioning of Two-phase Anaerobic Biological Process for Treatment of Traditional Chinese Medicine Wastewater

LIU Tian-shun[1], YAN Xian-feng[2,3], REN Nan-qi[2], LI Jian-zheng[2], YAN Cong-rong[4]
(1. *Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin* 300051, *China*; 2. *School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150090, *China*; 3. *School of Chemical and Environmental Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin* 150080, *China*; 4. *Pingdingshan Municipal Engineering Company, Pingdingshan* 467000, *China*)

**Abstract** Due to high concentration of pollutants, low biodegradability and large fluctuation in quality and quantity, traditional Chinese medicine wastewater is a high-concentration refractory wastewater. The two-phase anaerobic biological process with the patent technology was used to treat traditional Chinese medicine wastewater. The commissioning results show that the commissioning of two-phase anaerobic biological process can be completed within three months by selecting appropriate seeding sludge and establishing a reasonable commissioning scheme. The volumetric load of acidogenic reactor is 30 to 45 kgCOD /(m$^3$· d) and the removal rate of COD is 15% to 20%. The volumetric load of methanogenic reactor is 8 to 10 kgCOD /(m$^3$· d) and the removal rate of COD is 90% to 95% stably.

**Key words** traditional Chinese medicine wastewater; two-phase anaerobic treatment; commissioning

自从 1971年 Ghosh和 Poland首先提出了两相厌氧概念[1]以来, 废水两相厌氧处理技术以高效率、低能耗、低运行成本、低污泥产率等突出优越性日渐成为治理高浓度难降解废水的有效途径[2]。Massey和 Pohland等[3]就两相厌氧工艺的适用性方面进行了深入细致的研究; 任南琪和刘敏等[4~6]对两相厌氧的运行及稳定性方面作了大量的理论及应用研究; 高廷耀等[7]进行了污泥两相与单相厌氧消



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

化性能比较研究; 郭养浩等[8,9]对两相厌氧工艺的运行条件和性能进行了研究。然而由于厌氧菌世代时间长, 对环境要求苛刻, 因此两相厌氧生物处理工艺的启动调试过程常常难于控制, 而反应器调试的好坏又直接影响着工艺的高效稳定运行, 调试已经成为两相厌氧生物处理工艺运行的控制要点, 而此类相关研究报道甚少。

## 1 工程概况

哈药集团中药二厂是一家生产多种中药制剂的大型中药企业, 排放的有机废水污染物种类繁多、成分复杂, 具有 COD高、可生化性差、水质水量变化大等特点, 处理难度极大。2001年一期工程基本建设完毕, 2002年受哈药集团中药二厂委托对该厂废水处理工艺进行了工程调试试验。该项目采用两相厌氧 好氧为主的生物处理工艺, 工艺流程见图 1。

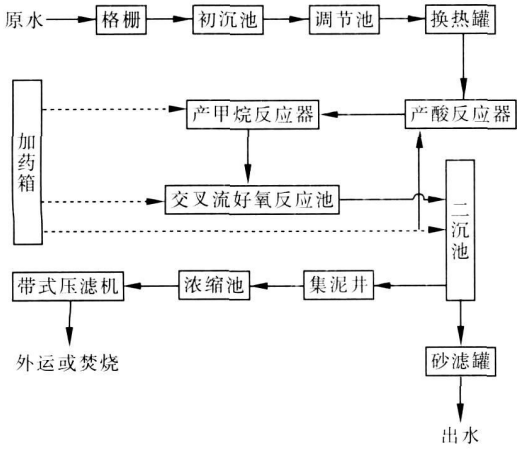


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

两相厌氧系统中产酸相反应器为连续流搅拌槽式完全混合反应器 (CSTR), 该反应器采用任南琪教授的发明专利 (专利号: ZL 98 240801. 3)。在本工程中安装的反应器直径 $D$ = 6 m, 高 $H$ = 5. 2 m, 设计 COD去除率为 10% ~ 20%; 反应器通过内设气、液、固三相分离装置, 使反应区和沉淀区成为一体化结构, 从而能够富集大量的微生物, 提高反应器的有机负荷。反应器内装有机械搅拌装置, 有利于废水和微生物的传质和混合。

产甲烷相反应器采用 UASBAF反应器, 池深为 10 m, 总容积为 900 $m^3$, 设计 COD去除率 > 90%。产甲烷反应器利用升流式厌氧污泥床和厌氧滤池两种厌氧反应器的各自优点, 通过有机组合, 尤其是采用任南琪教授发明的专利填料 (发明专利号: ZL 96 2 51960. X), 使产甲烷反应池内既保证了蓄积大量的悬浮性微生物和固着性生物膜, 又保持了反应器内形成独特的水力流态, 强化了传质和气、液、固的三相分离。

该厂排放的有机废水量为 750 $m^3$ /d, COD 为 19 251 mg/L, $BOD_5$ 为 3 613 mg/L, SS为 417. 8 mg/L, 总氮为 22. 0 mg/L, 总磷为 16. 0 mg/L, 油为 8. 04 mg/L, pH 值为 4~ 7。

液相末端发酵产物采用 GC- 122型气相色谱仪、氢火焰检测器测定; pH、SS、VSS、COD、$BOD_5$、总氮、总磷等均按国家标准方法测定。

## 2 运行调试

### 2. 1 污泥的接种

厌氧反应器调试是通过污泥接种、驯化、培养, 最终实现稳定运行的过程。调试运行时间的长短主要取决于接种污泥、污泥接种量、接种后富集培养方式的选择三个方面。

对于接种污泥, 首先应考虑选用处理同类废水厌氧反应器排出的活性较高的新鲜污泥。但是, 在实践中往往难以得到, 故也可以用其他类型的废水培养出的污泥接种, 只要保证微生物的多样性、活性高, 经过适当驯化, 反应器仍然能实现快速启动。经过技术经济对比分析, 最终采用哈尔滨制药总厂污水处理站和少量“统一”方便面哈尔滨分厂污水处理站的脱水干污泥进行接种, 其含水率约为 70% ~ 80%。

接种污泥镜检结果见图 2。

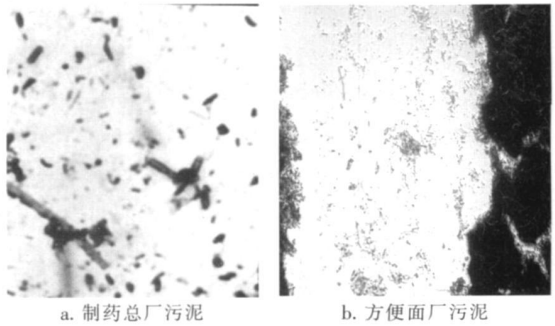


图 2 接种污泥光学显微镜照片 (16× 100)

Fig. 2 Photos of seeded sludge (16× 100)

由图 2可以看出, 制药总厂污泥中球菌、杆菌、梭菌等均较丰富, 方便面厂污泥中菌胶团较好, 絮体完整, 球菌、杆菌、梭菌、丝状菌等更加多样; 污泥接



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

种量应以整个反应器容积计算, 一般接种量越大, 启动调试越快。初始接种污泥量为反应器容积的 30%以上, 产酸反应罐污泥接种量约为 40%, 产甲烷反应池接种污泥量约为 50%, 污泥浓度为 14 56 gVSS/L, VSS/SS为 60%; 同时投加适量废复合肥(主要成分为磷酸氢二铵)来调整营养配比, 大致使 COD∶N∶P= (200~ 300)∶5∶ 1, 以保证微生物生长的营养需求, 反应器的温度控制在 30℃左右。

2.2 调试

考虑到企业在每年夏季进行停产检修, 整个调试结合工厂的生产安排, 分成三个阶段。

① 活性恢复期(7月 1日—31日)。污泥接种到反应器后, 由于环境和条件的改变, 微生物处于适应阶段, 此阶段主要培养污泥的环境适应能力, 提高接种污泥的活性。间歇进水, 此段时间由于工厂停产检修, 调节池内废水 COD为 2 000~ 3 000 mg/L, pH 值为 6 0左右, 产酸相反应罐容积负荷控制在 8~ 12 kgCOD/($m^3$· d), 产甲烷相反应池为 1~ 2 kgCOD/($m^3$· d), 这是因为厌氧微生物的生长率很低, 而且大多数厌氧菌对环境很敏感, 专性厌氧微生物的酶系统对氧具有极端的不稳定性, 若浓度过高或负荷过大则会抑制而不是促进厌氧降解。产酸相反应罐 1~ 2 d换水一次, 产甲烷反应池 7~ 10 d换一次水。

② 逐步提高期(8月 1日—31日)。经过第一阶段的活性恢复后, 微生物开始处于快速生长繁殖阶段, 此段目的在于增加反应器内生物量和提高反应器的有机负荷(即提高进水流量和浓度)。连续进水, 此段时间由于工厂恢复生产, 所以排放的废水浓度和流量逐渐提高, 进水 COD从 3 000 mg/L逐步提高到 18 000 mg/L左右, 流量从 200 $m^3$/d逐渐提高到 600 $m^3$/d左右, pH 值从 6 0左右逐渐降低到 5 0左右, 产酸反应罐容积负荷从 15 kgCOD/($m^3$· d)提高到 30 kgCOD/($m^3$· d), COD去除率为 10%~ 20%; 产甲烷相反应池容积负荷为 2~ 8 kgCOD/($m^3$· d), COD去除率为 80%~ 90%。结合工厂废水排放特点, 采取先提高浓度再提高流量的方式逐步提高容积负荷。

③ 稳定运行期(9月 1日—30日)。经历了第二阶段的提高容积负荷后, 活性污泥无论从数量还是质量上都已达到稳定期, 微生物的生长繁殖与死亡处于动态平衡阶段。此段的目的在于调控反应器各类参数处于最佳状态, 使有机负荷和 COD去除率满足或优于设计要求。连续进水, 此段时间工厂生产已经正常, 进水 COD稳定在 15 000~ 18 000 mg/L, 流量稳定在 750~ 800 $m^3$/d, pH 值为 5. 0左右, 产酸反应罐容积负荷控制在 35~ 45 kgCOD/($m^3$· d), COD去除率稳定在 15%~ 20%; 产甲烷相反应池容积负荷为 8~ 10 kgCOD/($m^3$· d), COD去除率稳定在 90%~ 95%。

2.3 调试运行结果

调试运行结果见表 1。

表 1 两相厌氧工艺的调试运行结果

Tab. 1 Commissioning result of two-phase anaerobic process for traditional Chinese medicine wastewater

| 项目 | | 活性恢复期 | | 逐步提高期 | | 稳定运行期 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 产酸相反应器 | 产甲烷反应器 | 产酸相反应器 | 产甲烷反应器 | 产酸相反应器 | 产甲烷反应器 |
| COD | 进水/(mg· $L^{-1}$) | 2 000~ 3 000 | 2 000~ 3 000 | 3 000~ 18 000 | 2 700~ 12 000 | 15 000~ 18 000 | 12 750~ 14 400 |
| | 出水/(mg· $L^{-1}$) | 1 900~ 2 700 | 600 | 2 700~ 12 000 | 540~ 1 200 | 12 750~ 14 400 | 720~ 1 275 |
| | 去除率/% | 5~ 10 | 70~ 80 | 10~ 20 | 80~ 90 | 15~ 20 | 90~ 95 |
| SS | 进水/(mg· $L^{-1}$) | 200~ 334 | 200~ 300 | 300~ 400 | 255~ 340 | 350~ 450 | 368~ 427 |
| | 出水/(mg· $L^{-1}$) | 180~ 300 | 180~ 270 | 285~ 380 | 270~ 500 | 368~ 427 | 450~ 550 |
| | 去除率/% | 10 | 10 | 5 | — | 5 | — |
| pH | 进水 | 6 0 | 6 0 | 5 0~ 6 0 | 5 5~ 6 5 | 4 5~ 5 5 | 5. 8~ 6 5 |
| | 出水 | 6 0~ 6 5 | 7. 5 | 5 5~ 6 5 | 6 5~ 7. 5 | 5 8~ 6 5 | 6 0~ 7. 0 |
| VFA | 进水/(mg· $L^{-1}$) | 300 | 300 | 400 | 2 000~ 4 000 | 400 | 3 000~ 5 000 |
| | 出水/(mg· $L^{-1}$) | 1 500 | 400 | 2 000~ 4 000 | 400~ 600 | 3 000~ 5 000 | 400~ 600 |

## 3 结论

① 两相厌氧系统处理高浓度中药废水的工程调试表明, 接种污泥的微生物多样性好、活性高, 有利于反应器的快速调试; 接种量应占反应器总容积的 30%以上, 同时应投加营养元素保证营养平衡。

② 两相厌氧系统工程调试分为活性恢复阶段、逐步提高负荷阶段和稳定运行阶段, 通过从间歇进水到连续进水, 从低负荷到高负荷逐步增加负荷的操作方式, 可以使两相厌氧系统在三个月内完成工程调试, 最终产酸罐容积负荷为 35~ 45 kgCOD/

(下转第 125页)



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2006年)与降雨量居中年份(2007年)的自来水代替率差别不大。但当贮水槽容积与汇水面积之比 > 0.022 (贮水槽容积为 1.1 $m^3$)时,各年份自来水代替率随降雨量的增加而增大。

## 3 结论与建议

① 该教学楼雨水处理系统的水质完全达到厕所冲洗水的水质标准,工艺技术简单、经济效益显著,操作管理方便。

② 在降雨量较大的内陆地区,收集屋面雨水经处理后应用于冲洗厕所在技术上是完全可行的。但考虑到屋面材料、大气污染情况,具体处理工艺要根据不同的雨水水质情况而定。

③ 雨水利用率主要受降雨量、使用水量、自来水补给水量、雨水贮存池容积等因素的影响。

④ 在降雨量一定时,贮水槽容积与汇水面积之比越大,自来水代替率越大。当贮水槽容积与汇水面积之比偏小、降雨量较大时,降雨量的差异对自来水代替率影响不显著。但当贮水槽容积与汇水面积之比 > 0.022时,自来水代替率随降雨量的变化较明显。

建议在我国降雨量丰富的地区,大、中、小学教学楼的冲厕用水采用屋面雨水。因为学校教学楼屋面面积大,受污染程度轻,且用水水质要求标准适中、水量集中、时间上有规律,设置雨水收集系统不但能缓解城市用水紧张的现状,增强学生们的环保节约意识。同时,还可以作为学生实习参观、测定试验的教学场所。

致谢:本文试验过程得到东北工业大学环境情报学院院长江成敬次郎教授、小滨晓子副教授以及有田康一博士的大力支持和帮助,在此表示感谢。

参考文献:

[1] 邓风,孙文全,杨金虎. 屋面雨水生态净化集成处理系统的应用[J]. 中国给水排水, 2009, 25(10): 76-78.

[2] 曹秀琴,车武. 城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J]. 给水排水, 2002, 28(1): 13-15.

电话: 13941858200

**E-mail**: tearswind@163.com

收稿日期: 2010-01-12

(上接第 121页)

($m^3$·d), COD去除率为 15% ~ 20%;产甲烷反应池容积负荷为 8~10 kgCOD/($m^3$·d), COD去除率为 90% ~ 95%,达到了反应器的设计指标参数。

参考文献:

[1] Pohland F G, Ghosh S. Developments in anaerobic stabilization of organic wastes-the two-phase concept[J]. Environ Technol Lett, 1971, 1(2): 255-266.

[2] 胡纪萃. 废水厌氧生物处理理论与技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.

[3] Massey M L, Pohland F G. Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic controls[J]. Water Pollut Control Fed, 1978, 50(9): 2204-2222.

[4] 任南琪,赵丹,陈晓蕾,等. 厌氧生物处理丙酸产生和积累的原因及控制对策[J]. 中国科学(B辑), 2002, 32(1): 83-89.

[5] 任南琪,刘敏. 两相厌氧系统中产甲烷相有机酸转化规律[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 89-93.

[6] LIU Min, REN Nanqi, CHEN Ying *et al*. Conversion regular pattern of acetic acid, propionic acid and butyric acid in UASB reactor[J]. J Environ Sci, 2004, 16(3): 387-391.

[7] 高廷耀,周恭明,周增炎. 污泥两相与单相厌氧消化性能比较研究[J]. 同济大学学报, 1997, 25(6): 629-634.

[8] 郭养浩,孟春,石贤爱,等. 高浓度有机废水二相厌氧消化过程特性研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(5): 469-473.

[9] 郭养浩,孟春,石贤爱,等. 改进的二相厌氧消化系统的特性研究[J]. 环境科学, 1997, 18(3): 38-40, 44.

电话: 13804573986

**E-mail**: liutianshun1975@126.com

收稿日期: 2010-04-21



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net