

## $\alpha$ -2b 干扰素废水处理工程改造

管益东<sup>1</sup>, 郑琪<sup>1</sup>, 薛艳<sup>1</sup>, 刘刚<sup>1</sup>, 宋颖<sup>2</sup>, 赵亚乾<sup>1,3</sup>

(1. 江苏省大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室 大气环境与装备技术协同创新中心 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044; 2. 衢州市环境监测中心站, 浙江 衢州 324002; 3. 爱尔兰都柏林大学 土木工程系, 爱尔兰)

**摘要:** 某废水处理站采用生物接触氧化工艺处理  $\alpha$ -2b 干扰素废水, 在调试运行中发现诸多问题, 为此进行了两阶段改造。第一阶段重新设计电气控制系统, 保证在实际进水量达设计水量两倍的情况下, 仍可维持处理站正常的水力流动。第二阶段, 因生物处理系统运行效果不佳, 改造中更换了原有曝气系统, 强化了生物接触氧化池供氧, 增设水解酸化池, 以上措施保证了生物处理单元的正常运行。 $\alpha$ -2b 干扰素废水经过处理后达到了《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 的二级标准。

**关键词:** 废水处理站;  $\alpha$ -2b 干扰素废水; 生物接触氧化; 水力冲击; 曝气系统

**中图分类号:** TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0084-05

## Reformation Project of Contact Oxidation Process for $\alpha$ -2b Interferon Wastewater Treatment

GUAN Yi-dong<sup>1</sup>, ZHENG Qi<sup>1</sup>, XUE Yan<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>1</sup>, SONG Ying<sup>2</sup>, ZHAO Ya-qian<sup>1,3</sup>

(1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Atmosphere Environment Monitoring and Pollution Control, Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Quzhou Environmental Monitoring Center, Quzhou 324002, China; 3. School of Civil Engineering, University College Dublin, Ireland)

**Abstract:** An  $\alpha$ -2b interferon wastewater treatment facility based on the process of biological contact oxidation was built in a pharmaceutical plant. However, this facility could not be normally operated due to the inappropriate design. Thus, it has been modified in two stages to improve its performance. During the first stage, the electronic control system was redesigned to sustain the normal inflow and outflow at hydraulic load shock when the practical inflow was double of the initially designing value. During the second stage, the aeration pipes and auxiliary parts of the treatment facility were replaced to enhance the aeration intensity of biological contact oxidation tanks, thus half of the volumes of conditioning tanks were transformed into a hydrolytic tank. The improved facility could obtain a stable operation, while the effluent could meet the second level of *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978-1996).

**Key words:** wastewater treatment plant;  $\alpha$ -2b interferon wastewater; biological contact oxida-

tion; hydraulic load shock; aeration system

伴随着现代分子生物学的快速发展,愈来愈多的干扰素产品投放至市场,而随之而来的干扰素废水处理也成为环保治理的一个新课题。在干扰素发酵生产过程中,发酵液中残余基质与发酵废液等本身对革兰氏阳性菌和厌氧菌具有强抗菌性,有一定处理难度。目前,针对于  $\alpha$ -2b 干扰素废水处理的研究还少有提及。

某生物工程有限公司主要从事基因工程药物产业化开发,目前主要产品为  $\alpha$ -2b 干扰素及其系列产品。配套的  $\alpha$ -2b 生产废水处理项目由某医药设计院设计,采用生物接触氧化工艺,设计出水要求达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的二级标准。自调试运行 2 个月以来,废水处理系统一直无法正常运行,且出水水质无法达到设计要求。受甲方委托,笔者主持了该  $\alpha$ -2b 废水处理站的工艺改造,此次工艺调试也将配合实验室对干扰素废水的处理进行研究,以期对  $\alpha$ -2b 废水处理站改造工程提供合理的处理工艺和设计运行参数。

## 1 原 $\alpha$ -2b 废水处理工艺

$\alpha$ -2b 废水处理站的原设计水质与水量如表 1 所示。

表 1 原废水处理站设计水质与水量

Tab. 1 Design wastewater quality and quantity of current interferon wastewater treatment project

废水组成	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	排放量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )
发酵废液 <sup>a</sup>	25 000	15 000	4
清洗废水 <sup>b</sup>	300	150	86
质检废水	500	300	9
生活污水	350	150	13

注: <sup>a</sup> 高浓度废水; <sup>b</sup> 低浓度废水。

$\alpha$ -2b 干扰素生产废水主要由发酵废液、清洗废水、质检废水与生活污水四部分组成,其中发酵废液的 COD 与 BOD<sub>5</sub> 浓度远高于其他三类废水,分别为 25 000、15 000 mg/L,属于高浓度废水,但水量只有 4 m<sup>3</sup>/d,约占设计水量的 3.6%;而其余三部分废水 COD 与 BOD<sub>5</sub> 浓度分别在 300 ~ 500 mg/L 与 150 ~ 300 mg/L 之间,浓度较低,排水量分别为设计水量的 76.8%、8.0% 与 11.6%。依据原设计,该厂  $\alpha$ -2b 干扰素生产废水 COD 与 BOD<sub>5</sub> 浓度分别为 1 204 mg/L 与 692 mg/L,排水量为 112 m<sup>3</sup>/d。废水收集

系统采用合流制,废水混合后集中到污水处理站进行处理,BOD<sub>5</sub>/COD 约为 0.5,初步判断该混合废水可进行生化处理。

根据当地环保局批示文件,该厂废水排放执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的其他排污单位的二级排放标准。该药厂没有重金属汞等第一类污染物排放,故当地环境保护局批文要求其主要控制污染物为二类污染物,即 COD、氨氮与磷酸盐,最高允许排放浓度执行二级标准,即分别为 150、25 与 1.0 mg/L。考虑到环保管理部门可能会在改造后进一步收紧污染物排放标准,故本次设计出水水质按照 GB 8978—1996 中其他排污单位的一级排放标准进行设计,以便留有余地,减少业主后续投资。

原设计工艺流程的主体采用二级生物接触氧化,生物接触氧化池内挂复合填料,通过曝气软管供氧,处理后出水自流进入竖流式沉淀池,沉淀澄清后排放至市政管道。改造前,该废水处理站各构筑物的尺寸及结构形式见表 2。改造后工艺流程见图 1。

表 2 原有构筑物尺寸及结构形式

Tab. 2 Size and structure of original units

项 目	规格/( $\text{m} \times \text{m} \times \text{m}$ )	数量/座	结构形式
集水井	4.0 × 4.0 × 3.0	1	钢混地下式
调节池	2.5 × 7.0 × 4.5	2	钢混地上式
曝气池	2.5 × 7.0 × 4.5	2	钢混地上式
沉淀池	3.0 × 3.0 × 4.7	1	钢混地上式
出水池	2.0 × 3.0 × 4.0	1	钢混地上式
出水井	2.0 × 3.0 × 4.0	1	钢混地上式
污泥回流池	2.0 × 3.0 × 4.0	1	钢混地上式

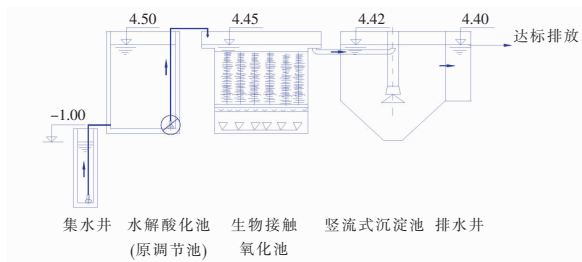


图 1 改造后工艺流程

Fig. 1 Flow chart of reformed treatment process

## 2 第一阶段改造:水力冲击的控制

### 2.1 水力冲击

原来按照小时流量为 6 m<sup>3</sup>/h、日流量为 120 m<sup>3</sup>/d 进行设计。而在进行现场调试时发现,在超过

60 d的时间里,由于生产废水瞬时流量很大,而且大量冷却用水也排入了废水处理站,最大小时流量达 $18.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,日流量为 $226\sim 278\text{ m}^3/\text{d}$ ,对处理系统的水力冲击负荷是原设计的 $1.9\sim 2.3$ 倍。此外,因原设计的集水井与调节池内水泵均为1用1备,且备用水泵只能手动启停,往往出现白天生产连续排放废水,需要及时将废水排出时,1台潜污泵输出流量不能满足排水要求,故必须人工开启备用水泵,致使经常出现废水流量过大,漫过处理站走道平台而四溢的情况,严重影响厂内公共卫生;而在夜晚停产、废水量少的情况下,又需要人工间歇开启、关闭潜污泵,防止潜污泵持续空转而损坏电机。

原废水处理站实际进水量是设计进水量的2倍多,水力冲击过大,很难满足设计出水指标。更为严重的是,原有废水处理站运行方式下,值班人员劳动强度过大,满足不了正常运行要求,造成实际上废水处理站系统和相关设备根本无法正常运行。

## 2.2 第一阶段改造和工艺调试

由于原设计存在的问题,为保证处理系统正常运行,并减少大流量废水瞬时流量对处理系统造成的不利影响,增强处理系统的安全性与稳定性,改造方案中首先重新设计安装了废水处理站电气控制系统。主要包括:①在调节池中重新增设静压式液位计,设置低液位、高液位、超高液位3个控制点,并向控制系统输出液位数据。②增加现场控制柜,控制2台水泵互为备用,每24 h轮换工作,实现水泵液位控制、轮换工作的自动控制功能;设置由静压式液位计控制液位;正常情况下1台水泵工作在高、低液位之间,超高水位则2台泵同时工作。③对现有控制柜进行改造,增加或替换原有水泵断路器,将2台水泵现有电缆并联作为新加控制柜电源。通过以上改造,废水处理站电气控制系统能够合理控制潜污泵启停,满足大流量废水输送功能。

在成功改造废水处理站电气控制系统后,经过重新核算,发现废水处理站原工艺存在设计不合理之处,本次改造也进行了如下改进:①切割原污泥回流管并焊接至曝气池,从而可将污泥井中污泥回流至曝气池,这样可以实现当曝气池中缺少活性污泥时,从污泥井中补充,提高处理系统的操控性与处理效果。②原有竖流式沉淀池出水堰板的堰上负荷过高,有效沉淀高度为 $1.2\text{ m}$ ,有效沉淀时间仅 $0.75\text{ h}$ ,致使沉淀池内水体扰动大,出水混浊。本次改造重

新制作沉淀池的钢板池壁与沉淀池的出水堰板,改造后有效沉淀高度 $>2.1\text{ m}$ ,有效沉淀时间 $>1.30\text{ h}$ ,接近规范 $>1.50\text{ h}$ 的设计要求<sup>[1,2]</sup>。③原有沉淀池中心筒的直径为DN350,中心管流速过大,达 $42.9\text{ mm/s}$ ,不能满足工艺要求。重新制作了直径为DN500的中心筒,使中心管流速降至 $15.4\text{ mm/s}$ ,满足工艺要求( $\leq 30.0\text{ mm/s}$ )<sup>[2]</sup>。

经第一次改造后,废水站系统设备运转正常,改造工程的中心工作转向处理后 $\alpha$ -2b干扰素废水能否达标的问题。由于该废水可生化性较好,故调试前接种了城市污水厂污泥,在闷曝的同时添加少量复合肥与三氯化铁来强化活性污泥的培养驯化。在第一次改造后约50 d的监测时间内,进水COD平均值、最低值与最大值分别为195、60与 $319\text{ mg/L}$ ,出水COD值在 $96\sim 269\text{ mg/L}$ 之间,平均值与中值分别为 $162\text{ mg/L}$ 与 $157\text{ mg/L}$ ,COD平均去除率仅为17%。废水处理站出水水质较差,不能达到二级排放标准。基于此问题,认为生物接触氧化池运行效果不佳,数次出现出水COD高于进水,偏离了正常的工作状况,应重点对其进行改造。

## 3 第二阶段改造:生物处理系统的完善

### 3.1 生物处理系统改造

放空生物接触氧化池后,发现池内曝气软管多处破损,造成生物接触氧化池内溶解氧不足。由于气量不足,池内活性污泥大量堆积在池底;改造后沉淀池沉淀效果良好,回流到生物接触氧化池的活性污泥也大多堆积在池底。故本次改造清理完池内堆积的污泥后,将原有曝气软管更换为刚玉微孔曝气盘,将原有弹性填料更换为复合填料。

考虑到高浓度废水日排水量只有 $4\text{ m}^3/\text{d}$ ,但其COD浓度约为其他三股废水浓度的 $50\sim 83$ 倍,COD日排放负荷占74.2%(见表1)。为降低这部分废水对生物处理单元造成的处理压力,并对其进行资源化利用,本次改造将每日排放的高浓度废水单独收集后送至某高浓度废水处理站进行厌氧等处理后达标排放。由此根据表1中原设计水质资料,由剩余三股低浓度废水组成的 $\alpha$ -2b干扰素废水COD浓度约为 $323\text{ mg/L}$ ,属于低浓度废水。

在完成上述改造后,该工厂 $\alpha$ -2b干扰素经过前期试生产,开始正式投产。因工艺调整原因,干扰素废水日排水量削减至 $150\text{ m}^3/\text{d}$ 左右,约为原设计的1.3倍,但已经明显低于第一次改造时的日排水量;



进水 COD 为 200 mg/L 左右,也低于修正后设计值(323 mg/L)。需要说明的是,根据正式投产后  $\alpha$ -2b 干扰素废水水质与同期小试结果,通过将污泥定期回流至曝气池与酸化池,出水总氮可削减 30% 左右,出水氨氮含量 < 1 mg/L,出水磷酸盐含量 < 1 mg/L。因此,本阶段改造中主要污染物指标仍确定为 COD。考虑到  $\alpha$ -2b 干扰素生产工艺调整等不确定性因素,加之该废水处理站还需要接纳二期生产废水,故本次改造将目标出水水质定为《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准,以确保出水水质达到二级排放标准。

基于上述原因,本阶段重新调整了原有设计工艺:①缩小调节容积至原调节容积的 1/2,将调节池的第 2 格作为水解酸化池,第 1 格仍作为调节池。②改变原有 1 用 1 备的鼓风机开启方式,同时开启 2 台鼓风机为生物接触氧化池充分供氧;对调节池进行微量曝气,以起到均衡水质的作用。③排空生物接触氧化池内的污泥,调试期间也不投加污泥。④改污泥连续回流为间歇回流,由污泥池回流污泥至水解酸化池,每周回流 1 次,每次 30 min。

### 3.2 调试运行

本阶段工艺调试历经 3 个多月,前期 45 d 主要是微生物驯化阶段,系统进水量以 15% 梯度逐级增加,然后处理系统达满负荷运转 50 d 左右。为及时了解调试运行效果,在此期间对生物接触氧化池进行了微生物观察。镜检显示,调试运行的初、中期池内混合液有少量菌胶团,呈松散状,发现过 1 次幼小原生动物,有少量颤藻;调试后期,混合液有少量菌胶团,生物相良好,发现原生动物漫游虫,后生动物线虫与颤体虫。此外还发现,生物接触氧化池内混合液清澈,几乎没有污泥,而且调试运行 3 个多月以来全部污泥堆积在水解酸化池内,池内污泥量没有明显增加,也没有造成不良后果。

第二次系统改造后,进水 COD 平均值与中值分别为(190 ± 112)与 153 mg/L,最小值与最大值分别为 43、535 mg/L;出水 COD 平均值与中值分别为(78 ± 48)、82 mg/L,最小值与最大值分别为 2、173 mg/L,出水 COD 的 95% 置信区间为 58 ~ 98 mg/L。显然,出水 COD 平均值低于《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级排放标准(100 mg/L),COD 去除率为 35.3% ~ 90.3%,稳定在 35% ~ 60% 之间。磷酸盐含量为 0.5 ~ 0.8 mg/L,氨氮含量为 0.2

~ 1 mg/L,也均低于二级排放标准。至此,本阶段改造达到了预期目的,历经 8 个月顺利完成。

### 3.3 讨论

根据试验期水质分析, $\alpha$ -2b 干扰素废水 B/C 值可达 0.5,属易生化废水,但该结果令人疑惑。理论上, $\alpha$ -2b 干扰素废水含大量具有强抑菌能力的发酵残余液,其可生化性通常不佳。小试与现场调试运行均表明,该废水 COD 稳定处理效率在 35% ~ 60% 之间。根据笔者其他污水处理工程调试经验,好氧处理过程对易生化污/废水 COD 去除率一般在 80% ~ 90%,这明显高于本研究的  $\alpha$ -2b 干扰素废水。因此,笔者认为 B/C 值也许不能准确地反映  $\alpha$ -2b 干扰素废水的实际可生化性,目前有其他报道也表明以 B/C 值确定污/废水可生化性存在一定的不确定性<sup>[3,4]</sup>。需要说明的是,做 BOD<sub>5</sub> 实验的工程师拥有近二十年的实验分析经历,经验丰富,但经典 BOD<sub>5</sub> 实验结果本身在很大程度上取决于选择的培养物,且实验结果重复性不高,在测定如  $\alpha$ -2b 干扰素废水等一些少见工业废水时,由于接种液与稀释倍数选择造成的测定误差通常较大<sup>[5]</sup>,故尽管本次改造工程取得了成功,但  $\alpha$ -2b 干扰素废水的可生化性问题仍不明确,值得继续研究。

限于项目要求,本研究主要通过生物接触氧化系统的调试,来满足出水水质达标的目的,但对于  $\alpha$ -2b 干扰素废水处理研究而言,后续还有不少问题亟待解决。对于包括  $\alpha$ -2b 干扰素等污废水处理而言,降低处理能耗、减少物质投入(主要是化学品)与减少污染物排放对环境的负面影响等,可通过生命周期评价方法(Life cycle assessment, LCA)进行量化<sup>[6,7]</sup>。本研究列出的 LCA 框架如图 2 所示。

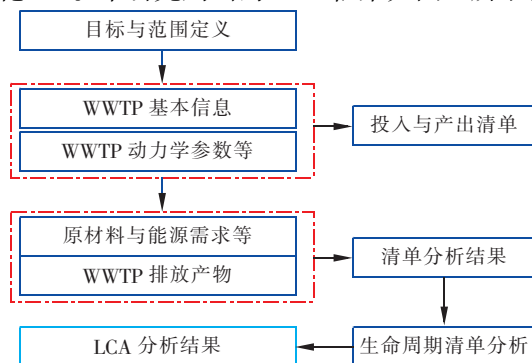


图 2 预想的 LCA 流程

Fig. 2 Conceptual diagram of LCA framework

这种方法对于污/废水处理厂(WWTP)长期运行而言更为重要,可有效地减少资源消耗量(包括自来水等水资源、絮凝剂等化学品与电费消耗等)、减少污水厂土地占用面积、减少污染物排放量、降低运行费用与工人劳动强度等<sup>[8,9]</sup>。

#### 4 结论

本次 $\alpha$ -2b干扰素废水处理改造工程,通过更改电气控制系统,保证了废水站在大流量废水情况下可维持正常水力流动;将高浓度废水与低浓度废水分开处理,大幅削减进水COD浓度,也降低了处理难度;改造了生物处理系统,包括:增加沉淀池有效沉淀时间,提高生物接触氧化池曝气强度和更换生物填料,将部分调节池作为水解酸化池,处理后COD、氨氮与磷酸盐含量均达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的二级标准。此外,尽管B/C值达0.5,但实际处理中 $\alpha$ -2b干扰素废水可生化性并不理想,表明该废水中所含的抗菌成分在一定程度上抑制了生物降解过程。

#### 参考文献:

- [1] 高廷耀,顾国维,周琪. 水污染控制工程:下册(第3版)[M]. 北京:高等教育出版社,2007.  
Gao Tingyao, Gu Guowei, Zhou Qi. Water Pollution Control (II, 3rd ed)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007 (in Chinese).
- [2] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程:下册(第4版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.  
Zhang Zijie, Lin Rongchen, Jin Rulin. Drainage Engineering (II, 4th ed)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999 (in Chinese).
- [3] 史一鸣,吕军. 曹娥江干流水质有机污染时空变异分析和可生化性研究[J]. 水土保持学报,2006,20(4): 143-147.  
Shi Yiming, Lü Jun. Research on spatial and temporal variation and biodegradability of organic pollution of Caoe mainstream[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(4): 143-147 (in Chinese).
- [4] 韩玮,何康林. 奎河污水可生化性研究[J]. 环境技术,2004,(3):42-45.  
Han Wei, He Kanglin. Study on the biodegradability of wastewater from the Kuihe River[J]. Environmental Technology, 2004, (3): 42-45 (in Chinese).
- [5] 李国刚,王德龙. 生化需氧量(BOD)测定方法综述[J]. 中国环境监测,2004,20(2):54-57.  
Li Guogang, Wang Delong. Review on determination methods of Biological Oxygen Demand(BOD)[J]. Environmental Monitoring in China, 2004, 20(2): 54-57 (in Chinese).
- [6] Hellweg S, Canals L M I. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment[J]. Science, 2014, 344(6188): 1109-1113.
- [7] 徐成,杨建新,王如松. 广汉市生活垃圾生命周期评价[J]. 环境科学学报,1999,19(6):631-635.  
Xu Cheng, Yang Jianxin, Wang Rusong. Life cycle assessment of municipal solid waste in Guanghan City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(6): 631-635 (in Chinese).
- [8] 王晓昌,王巧,熊家晴. 宝鸡市城市水环境系统LCA研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2006,38(6):741-745.  
Wang Xiaochang, Wang Qiao, Xiong Jiaqing. Life cycle assessment of urban water environment system in Baoji City[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2006, 38(6): 741-745 (in Chinese).
- [9] Bisinella de Faria A B, Spérandio M, Ahmadi A, et al. Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA)[J]. Water Res, 2015, 84: 99-111.



作者简介:管益东(1973—),男,河北安新人,博士,副教授,注册环保工程师,主要研究方向为水和废水处理及固体废物处理。

E-mail: yidongguan@163.com

收稿日期:2017-11-22