

厌氧—接触氧化工艺处理光伏线切废水工程设计与运行

宋玉琼¹ 高迎新¹ 李跃辉² 丁 然¹ 韩立辉³ 杨 敏¹

(1 中国科学院生态环境研究中心 环境水质学国家重点实验室,北京 100085; 2 晶龙实业集团有限公司,

燕郊 055550; 3 唐山中科格润环境技术有限公司,唐山 063000)

摘要 针对 2 400 m³/d 主要污染物为聚乙二醇的光伏线切废水,采用了厌氧—接触氧化处理工艺。论述了工程技术参数和设计特点,初步评价了污染物的去除效果与经济性。工程运行结果显示该工艺处理效果较好,即使在北方冬天低温条件下也能很好运行;聚乙二醇在厌氧段能有效降解,最终出水 COD 可以达到 50 mg/L 以下,满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的二级标准,具有很高的回用价值。

关键词 光伏线切废水 聚乙二醇 厌氧—接触氧化 降解

DOI:10.13789/j.cnki.ww1964.2016.0015

0 引言

我国的光伏制造产业于 2004 年开始崛起,如今已经成为世界最大的太阳能电池生产国^[1]。“十二五”规划更提出要大力推动光伏、光热发电等新能源产业^[2]。线切割是目前国际上硅片生产的通行方式,其原理是以碳化硅作为磨料,聚乙二醇为分散剂,水作为溶剂组成的水性切割砂浆中,用金属丝带动碳化硅颗粒对硅棒进行研磨切割^[3]。在光伏制造过程中硅片切割会产生大量冲洗废水,其主要污染物为硅粉和含切割液聚乙二醇和碳化硅的砂浆,该股废水组分单一,COD 含量高^[4],直接排放会造成环境污染^[4,5]。

目前,国内对含有聚乙二醇废水的处理方法主要是化学处理法,如 Fenton 试剂氧化法。该方法操作方便,设备简单,但是会消耗大量的过氧化氢,废水处理成本较高。臭氧氧化法是另一种常用的化学方法,但是需要寻找适合的催化剂。一些外国学者经研究发现聚乙二醇可以被厌氧微生物降解,采用生物法可以降低运行成本且操作简单^[6,7]。综上所述,目前针对聚乙二醇废水处理的方法是预处理—生物法,预处理方法不尽相同,但是化学法仍是主流方法。

河北某公司是世界上最大的单晶硅和晶体硅太阳能电池生产企业,线切废水量 2 400 m³/d。该企业原有 1 套“混凝—沉淀—砂滤”一体化装置,但处理出水无法达到排放要求。

通过对废水中聚乙二醇等主要污染物浓度、理化及生化特性分析并结合小试结果,开发了上流式厌氧—接触氧化处理工艺,从而实现了不经化学预处理,直接采用生物法处理该类废水,解决了光伏线切废水处理工艺运行成本高、低温处理效果不佳的问题。

1 工艺设计

1.1 设计进出水水量和水质

本工程设计规模为 2 400 m³/d,处理后的废水要求达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的二级排放标准。设计进水和出水水质见表 1。

表 1 设计进水和出水水质

项目	COD/mg/L	SS/mg/L	BOD ₅ /mg/L	pH
进水	≤3 000	≤1 500	≤500	6.5~7.3
出水	≤150	≤200	≤60	6.0~9.0

1.2 工艺流程

本工程在原有一体化污水处理装置处理的基础上进行厌氧—接触氧化处理,工艺流程如图 1 所示。车间生产废水经一体化装置混凝砂滤(投加聚氯化铝和聚丙烯酰胺)去除悬浮物后补充一定量氮源、磷源从调节池通过脉冲布水器进入厌氧滤池,在滤池中的厌氧水解菌与甲烷菌共同作用下将聚乙二醇转化为甲烷,出水通过重力作用进入接触氧化池,进一步去除废水中残留的有机物,最终出水经二沉池达标外排。

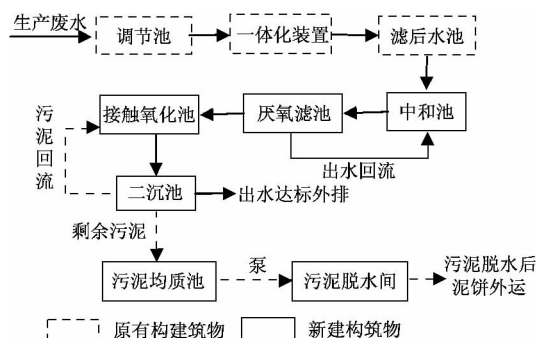


图1 工艺流程

本工程所产污泥自流进入污泥均质池,经过叠螺污泥脱水机脱水后外运,滤液回流至中和池循环处理。

1.3 主要处理单元设计

1.3.1 调节池

调节池主要用于均化水质、调节水量。设计流量为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (单座)。调节池尺寸 $7 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。同时新增潜污泵4台,在水泵出水管上顺序增设1台电磁流量计。运行方式:水泵的开、停根据集水井内水位计自动控制或人工控制。

1.3.2 中和池

中和池主要功能是用盐酸将滤后废水 pH 由 10~10.5 调至 7~7.5,尺寸 $9.26 \text{ m} \times 7.88 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$,有效容积 182 m^3 。主要设备:不锈钢潜水搅拌机(功率 3 kW)1台;不锈钢潜水搅拌机(功率 0.85 kW)1台;潜污泵4台(3用1备)流量 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,功率 11 kW ;配变频器1台。运行方式:通过在线 pH 仪控制盐酸投加,水泵的开、停根据集水井内水位计自动控制或人工控制。

1.3.3 厌氧滤池

厌氧滤池主要功能是利用厌氧微生物降解废水中主要污染物聚乙烯醇。厌氧滤池设计流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,HRT 为 2 d,内循环比 $\leq 200\%$,尺寸 $21 \text{ m} \times 19 \text{ m} \times 14 \text{ m}$,分2格并联运行,内置布水系统、三相分离器。配套水封罐1座,燃烧量 $600 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 、功率 1.5 kW 的沼气火炬1台(配防火罩)。运行方式:根据进出水水质适时调整出水回流量,确保厌氧滤池处理效果可靠稳定。

1.3.4 接触氧化池

接触氧化池的主要功能是进一步去除废水中残

留的有机物,确保废水稳定达标排放。接触氧化池尺寸 $32 \text{ m} \times 21 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$,分为2格并联运行,设计 HRT 为 2 d。

1.3.5 二沉池

二沉池主要功能是将生化池出水进行泥水分离。设计的最大流量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$,最大表面负荷 $2.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,尺寸 $21.5 \text{ m} \times 3.17 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}$,有效水深 3 m ,分2格并联运行。二沉池内置用于污泥回流的潜污泵1台(流量 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 10 m 、功率为 4 kW)。排泥方式根据沉淀池内泥位人工控制。

1.3.6 污泥均质池

污泥均质池主要功能是均化污泥浓度,使污泥进一步进入脱水间脱水。污泥均质池尺寸 $4.86 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$,内置桨叶直径 260 mm ,转速 740 r/min ,功率 0.85 kW 的不锈钢潜水搅拌机1台。运行方式采用编程控制或人工控制。

1.3.7 设备间

设备间的主要功能是集控制室、脱水间、鼓风机于一体。设备间的尺寸为 $12.4 \text{ m} \times 10.5 \text{ m} \times 4.2 \text{ m}$,主要设备见表2。

表2 设备间主要设备一览

设备名称	设备参数	设备套数
叠螺污泥脱水机	处理量 $Q=8\sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$	1台
污泥投配泵	$Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.6 \text{ MPa}$, $N=3 \text{ kW}$	2台(1用1备)
冲洗水泵	$Q=12.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=30 \text{ MPa}$, $N=3 \text{ kW}$	2台(1用1备)
罗茨鼓风机	$Q=10.19 \text{ Nm}^3/\text{min}$, $P=78.4 \text{ kPa}$, $N=30 \text{ kW}$	3台(2用1备)
移动式潜污泵	$Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=10 \text{ MPa}$, $N=0.75 \text{ kW}$	1台
轴流风机	$Q=1905 \text{ Nm}^3/\text{h}$, $P=55 \text{ MPa}$, $N=0.04 \text{ kW}$	2台

1.3.8 加药间

加药间的主要功能是配制和投加废水处理药剂。加药间长 10.7 m ,宽 9.1 m ,主要设备见表3。

2 运行效果分析

废水处理系统于2014年10月建成调试,通过逐步提高进水量驯化污泥,约20 d后运行稳定。

2.1 处理效果

从图2可以看出原水 COD 变化幅度不大,基本稳定在 695.19 mg/L 左右,厌氧滤池出水 COD 整体呈现出下降趋势,这说明厌氧污泥通过

表 3 加药间主要设备一览

设备名称	设备参数	设备套数
絮凝剂储罐	$\phi=1.2\text{ m}, H=1.5\text{ m}, N=0.75\text{ kW}$	2 台, HDPE 材质
絮凝剂投加泵	$Q=0\sim 190\text{ L/h}, H=50\text{ m}, N=0.37\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备)
盐酸储罐	$L\times W\times H=1.8\text{ m}\times 0.8\text{ m}\times 2.5\text{ m}$	1 台, HDPE 材质, 上部加盖
盐酸投加泵	$Q=0\sim 45\text{ L/h}, H=50\text{ m}, N=0.37\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备), 变频控制
碱液储罐	$L\times W\times H=2\text{ m}\times 1.3\text{ m}\times 2.5\text{ m}$	1 台, HDPE 材质, 上部加盖
碱液投加泵	$Q=0\sim 45\text{ L/h}, H=50\text{ m}, N=0.37\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备), 变频控制
氮源储罐	$\phi=1.2\text{ m}, H=1.5\text{ m}, N=0.75\text{ kW}$	1 台, HDPE 材质
氮源投加泵	$Q=0\sim 105\text{ L/h}, H=50\text{ m}, N=0.37\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备)
磷源储罐	$\phi=1.2\text{ m}, H=1.5\text{ m}, N=0.75\text{ kW}$	1 台, HDPE 材质
磷源投加泵	$Q=0\sim 55\text{ L/h}, H=50\text{ m}, N=0.37\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备)
耐腐卸酸泵	$Q=12.5\text{ m}^3/\text{h}, H=36\text{ m}, N=3\text{ kW}$	2 台
PAM 加药泵	$Q=1\text{ m}^3/\text{h}, H=30\text{ m}, N=0.75\text{ kW}$	2 台(1 用 1 备)

不断驯化逐渐适应废水水质, 处理效果较为明显, 后期稳定运行阶段厌氧滤池出水 COD 达到 100 mg/L 左右, 经好氧处理后, COD 可以达到 50 mg/L 以下。考虑到目前该厂自来水绿化浇灌费用较高, 出水深度处理后可回用于绿化, 节省企业运行费用。

图 3 为厌氧滤池容积负荷与 COD 去除率随运行时间的变化情况。原水 COD 基本稳定在 695.19 mg/L 左右, 由于开始阶段进水量约为稳定运行阶段的 $1/3$, 容积负荷低, 污泥尚未适应, 因此厌氧滤池 COD 的去除率很低, 10 月 12~16 日(6 d)期间停止进水, 厌氧出水进行循环处理; 随之厌氧污泥逐渐

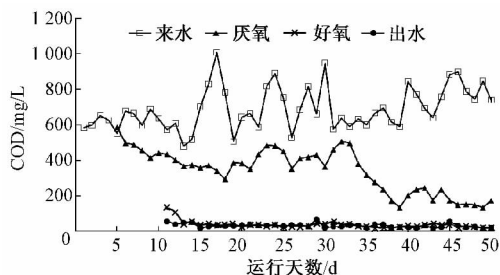


图 2 各工艺段出水 COD 变化

适应废水, 厌氧滤池出水 COD 整体呈现下降趋势, 处理效果逐步提高。运行至第 12 d 后(10 月 22 日后)厌氧滤池满负荷连续进水, 系统稳定运行。图 3 显示稳定运行阶段厌氧滤池的平均容积负荷约为 $0.36\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, COD 去除率达 85% 以上, 这说明厌氧系统通过污泥床与填料的有效组合在北方冬季水温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的情况下维护了污泥量, 保证了低温条件下的处理效果。

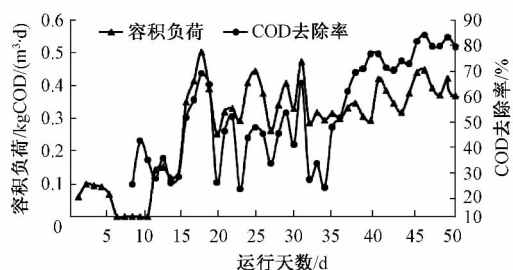


图 3 厌氧滤池容积负荷与 COD 去除率的关系

2.2 接触氧化池的污泥沉降比

从图 4 可见, 开始阶段好氧池的 SV_{30} 只有 2% 左右, 随着污泥培养驯化 SV_{30} 迅速达到 10% 左右。稳定运行期间通过控制排泥和二沉池污泥回流, 使接触氧化池的污泥沉降比维持在 10% 左右, 达到最佳的处理效果。

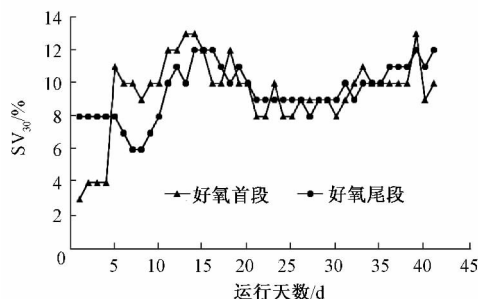


图 4 接触氧化池的污泥沉降比

3 运行电耗和药剂费

废水处理厂的运行费用主要包括电耗费用、药剂费用和人工费。其中药剂包括絮凝剂、调节碱度的药剂、氮源和磷源。

电耗费用: 废水处理厂正常运行 1 个月耗电约 $32\ 000\text{ kW}\cdot\text{h}$, 工业电价 $1.2\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, 共计 $38\ 400$ 元, 废水处理量约 $72\ 000\text{ m}^3$, 则电耗为 $0.444\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, 折合费用 $0.533\text{ 元}/\text{m}^3$ 。药剂费用: 处理所需的药剂费用约为 $1.133\text{ 元}/\text{m}^3$ 。综合以上计算, 在不计人工成本的情况下, 处理所需运行费用约为 $1.666\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

石化行业恶臭废气生物净化装置的设计与运行

付 妍 胡清源 温暖家 史 帅 王 灿

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要 石化行业废水处理过程中产生的废气既含有 H_2S 等恶臭物质又有 CH_2Cl_2 等致臭挥发性有机物(VOCs),是一种复合型的污染臭气,对人体健康和周边环境造成影响。采用生物过滤技术处理某石化行业废水处理站的恶臭废气,重点介绍生物净化装置的主要设计参数和运行效果。结果表明,该装置能够实现对上述恶臭废气的稳定、高效去除,填料层压降可以维持在较低水平(0.45 kPa/m),其中 H_2S 去除率接近 100%,总挥发性有机物(TVOC)去除率 $>90\%$,处理后气体达到相关的排放标准。

关键词 石化行业 恶臭废气 H_2S CH_2Cl_2 生物过滤
DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2016.0016

0 引言

随着社会经济的飞速发展和人们生活水平的提高,公众环境意识逐渐增强,石化行业所排放的废气问题逐渐引起人们的关注。石化行业的废水处理设施会产生大量的恶臭气体,其主要成分既包括硫化

氢等无机化合物,又包括大量复杂的挥发性有机物(VOCs),如苯系物、有机硫化物、醇类、醚类、醛类等。因此,石化行业废水处理设施排放的废气是一种复合型的污染臭气,对人体健康和周边环境会造成不良的影响^[1,2]。

与废气的物理、化学处理方法相比,废气的生物净化技术一般适于中低浓度、大流量气体的

国家自然科学基金项目(51208354)。

4 结论与存在问题、建议

工程运行表明厌氧—接触氧化工艺能有效降解废水中的主要污染物聚乙二醇,该工艺组合具有工艺流程简单、能耗低、污泥量少、低温处理效果佳、运行费用低的优点。系统出水 COD 可以达到 50 mg/L 以下,满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的二级排放标准。

工程运行存在的问题及相关建议:①由于现在进水量远低于设计的进水量,造成好氧生化系统污泥负荷偏低,溶解氧偏高,导致污泥老化,建议关闭几个接触好氧的廊道池,提高污泥负荷;②二沉池容积偏小,排泥频繁,出水悬浮物偏高;③出水水质好,可深度处理后回用。

参考文献

- 1 赵玉文. 我国太阳能光伏产业发展形势和思考. 世界科技研究与发展, 2003, (4): 31~38
- 2 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要. 中国乡镇企业, 2011, (4): 4~61

- 3 陈天明, 张雁秋, 霍明健. 晶硅切割废砂浆回收企业废水处理工程实例. 环境工程, 2013, (3): 15~17
- 4 全义. 厌氧—接触氧化工艺处理聚乙二醇废水的研究: [学位论文]. 四川: 西南交通大学, 2013. 1~2
- 5 张予萌. 多晶硅太阳能电池生产线污水处理工艺的试验研究: [学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2013. 3~4
- 6 Yamashita M, Tani A, Kawai F. A new ether bond-splitting enzyme found in Gram-positive polyethylene glycol 6 000-utilizing bacterium, *Pseudonocardia* sp strain K1. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2004, 66(2): 174~179
- 7 Frings J, Schramm E, Schink B. Enzymes involved in anaerobic polyethylene-glycol degradation by *pelobacter-venetianus* and *bacteroides* strain PG1. *Applied and Environmental Microbiology*, 1992, 58(7): 2164~2167

通讯作者: 高迎新

电话: 18611515702

收稿日期: 2015-07-06