

天然气净化厂高盐环胺废水耐盐菌的应用研究

彭杰¹ 肖芳¹ 李丽² 金艳²

1. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041;
2. 华东理工大学国家盐湖资源综合利用工程技术研究中心, 上海 200237

摘要: 天然气净化厂康索夫(Cansolv)工艺脱硫过程中产生的胺液净化装置(Amine Purification Unit, APU)废水具有高含盐量、高有机物等特点,无法直接采用生物法或物理化学氧化法处理。为解决高盐环胺废水处理这一难题,从废水样品中分离筛选出高效耐盐菌以强化生化处理,采用化学氧化与生物法相结合的工艺对APU废水进行处理,并进行了条件优化。结果表明:APU废水经化学氧化处理后,可生化性显著提高;电渗析产水经化学氧化为生化氧化进水,化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)去除率稳定在45%~50%,出水COD浓度可稳定在100 mg/L以内,总氮浓度在30 mg/L以下,氨氮浓度小于1 mg/L,产水满足纳管标准。研究结果为耐盐菌在天然气净化厂APU废水处理中的应用提供借鉴。

关键词: 天然气净化厂; APU废水; 耐盐菌; 生化氧化; 菌株筛选

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2023.03.019

Study on application of salt-tolerant bacteria in high-salinity cycloamine wastewater from natural gas purification plant

PENG Jie¹, XIAO Fang¹, LI Li², JIN Yan²

1. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;
2. National Engineering Research Center for Integrated Utilization of Salt Lake Resources, East China University of Science and Technology, Shanghai, 200237, China

Abstract: The amine purification unit wastewater produced in the desulfurization process of Cansolv process in natural gas purification plant has the characteristics of high salt content and high organic matter, so it cannot be directly treated by biological method or physical and chemical oxidation methods. In order to solve the problem of high-salinity cycloamine wastewater treatment, this study separated and screened highly efficient salt-tolerant bacteria from sewage samples to enhance the biochemical treatment, and adopted the APU wastewater treatment process combining chemical oxidation and biological methods, and optimized the operating conditions. The results showed that the biodegradability of APU wastewater had significantly improved after chemical oxidation treatment. The electro-dialysis water was chemically oxidized to be biochemical oxidation feedstock, and the COD (chemical oxygen demand) removal rate could be stabilized at 45%~50%, the effluent COD concentration could be stabilized within 100 mg/L, the total

收稿日期:2022-12-06

基金项目:中国石油工程建设有限公司科研项目“天然气净化厂高盐环胺废水达标外排工艺优化研究”(FKY2021-206)

作者简介:彭杰(1996-),女,四川德阳人,助理工程师,硕士,主要从事给水排水、环保等设计研究工作。E-mail:pengjie9610

@163.com

nitrogen concentration was below 30 mg/L, and the ammonia nitrogen was less than 1 mg/L. The effluent water meets the water quality standards for discharging into municipal sewage piping network and provides reference for the application of salt-tolerant bacteria in the APU wastewater treatment in natural gas purification plant.

Keywords: Natural gas purification plant; APU wastewater; Salt-tolerant bacteria; Biochemical oxidation; Bacteria strain screening

0 前言

西南地区天然气田多为含硫气田,天然气中均含硫,随着国家环保要求的提高,天然气净化行业 SO_2 的排放限制越来越严格,这对天然气净化厂尾气处理系统提出了更高的环保排放标准要求。目前,大多数天然气处理厂采用康索夫(Cansolv)工艺进行尾气处理,以降低 SO_2 排放浓度^[1]。Cansolv 工艺通过灼烧将尾气中所有 S 元素转化为 SO_2 ,再直接采用脱硫剂选择性吸收 SO_2 ,含 SO_2 的富胺液经过加热汽提解析出高浓度 SO_2 气体。再生后的贫胺液可重新用于吸收 SO_2 ^[2],解吸出的 SO_2 可送至硫磺回收装置生产硫磺^[3]。随着溶剂对 SO_2 的持续吸收再生,产生大量硫酸盐、硝酸盐等热稳定性盐,直接影响 SO_2 的吸收效率^[4],并腐蚀处理设备及相应管线^[5]。因此,需采用胺液净化装置(Amine Purification Unit, APU)对溶剂中的热稳定性盐进行处理,实现贫胺液再生,此过程产生的 APU 废水为高含盐类、高化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)污水,传统污水生化处理工艺对此类污水的处理已无法适用。

APU 废水具有高盐、高有机物、高难度处理等特点^[6],如果直接排放,会污染环境、毒害水生生物、威胁人体健康^[7]。目前,针对高盐、高有机物污水的处理工艺主要有物化法(包括混凝法^[8-9]、吸附法^[10]、膜分离法^[11-13]等)、化学氧化法(包括臭氧氧化法^[14]、Fenton

氧化法^[15]、电催化氧化法^[16-17]等)及基于生物法的组合工艺^[18-19]。APU 废水中的有机胺本身对微生物有一定的抑制性,在高盐环境下无法直接采用生物处理法,有研究指出,部分耐盐菌不仅能耐受高盐环境,并且对废水中有机物有较高的降解率^[20]。若单纯采用物理化学氧化法,在氧化过程中有机胺会转换为氨氮,对 COD 及氨氮的去除率有一定限制,不能满足达标外排的要求。因此,筛选高效耐盐菌对处理 APU 废水至关重要^[21],采用基于生物法组合工艺的方式有望应对以上难题。

本研究采用化学氧化法对 APU 废水进行预处理,提高其可生化性,再与经济、环保的生物法相结合进一步提高污水降解效率。然而,生物法的核心是菌种,菌种选择是影响处理效果的关键因素。为了得到适应高含盐量、高 COD 污水的菌种,本研究从污水样品中分离筛选出高效 APU 废水耐盐菌,在活性污泥中添加耐盐菌以强化生化处理,提高 COD 降解率,为后续污水处理奠定基础,满足天然气开发的环保排放标准。

1 材料与方法

1.1 水质分析

1.1.1 废水来源及水质分析

本实验对某净化厂 APU 废水进行分析,水质分析结果见表 1。

表 1 某净化厂 APU 废水水质分析结果表

Tab. 1 APU wastewater quality analysis results of a purification plant

水样	电导率 / ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	COD / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	亚硫酸 根离子 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	硫酸根 离子 / ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总氮 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氨氮 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总磷 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
APU 废水	35.01	8.74	525	16	22.2	150.6	3.6	0.385

根据表 1 水质分析结果可知,APU 废水的总氮浓度较高,约 150 mg/L;氨氮浓度较低,小于 5 mg/L;总氮中的主要成分为有机氮;APU 废水属于硫酸盐型体系,硫酸根离子含量较高,达 22.2 g/L。而正常工况下,亚硫酸根离子含量通常较低。

1.1.2 有机物成分分析

由于 APU 废水产生于胺液净化过程,有机物成分与

有机胺吸收液类似,但有机物质量占比较低,因此采用分析吸收液中胺类有机物成分的方式来初步推断 APU 废水中主要有机物成分^[22]。

由气相色谱质谱联用仪(GC-MS)分析结果可知,有机胺吸收液中有机物的主要成分为胺类有机物,有机物成分分析结果见表 2。因此,天然气净化厂胺液净化过程产生的高盐、高有机物废水为高盐有机环胺废水。

表2 有机物成分分析表

Tab.2 Analysis of organic compounds

组分	质量含量
N,N'-双(2-羟乙基)哌嗪	14.0% ~ 15.0%
N-羟乙基哌嗪	1.0% ~ 2.0%
硫酸基团	5.0% ~ 6.0%
胺类聚合物	2.0% ~ 3.0%
水	75.5% ~ 76.5%

1.2 生化处理菌株的分离与纯化

1.2.1 菌株来源

耐盐菌株来源为相关污泥,有机胺降解菌株来源为有机胺化工废水,高盐脱氮菌株来源为市政污水反硝化池等。

1.2.2 菌株分离与纯化

分离、纯化菌株采用稀释涂布法和平板划线法。取富集样品于合成固体培养基上进行稀释涂布,分别吸取不同浓度梯度的菌液后,再将其均匀涂布于固体培养基,培养后挑取培养基上不同的单菌落,反复纯化后采用平板划线法挑取单菌落,并对菌株进行编号,置于 -80°C 冰箱保种。

2 结果与分析

2.1 硫酸盐耐盐菌筛选实验

2.1.1 菌株在不同含盐量下的生长曲线

含盐量高低会影响微生物的生长代谢,对于普通微生物来说,高含盐量会使微生物体内水分大量流失,细胞失水质壁分离导致死亡,而耐盐的微生物在高含盐量下依旧可以正常生长^[23]。根据定义,轻度嗜盐菌适宜含盐量为1%~3%,中度嗜盐菌适宜含盐量为3%~15%,极端嗜盐菌适宜含盐量为15%~30%^[24-25]。

本实验通过分离、纯化得到9株硫酸盐耐盐菌菌株,编号为L-141、L-142、L-143、L-144、L-145、L-146、L-147、L-275、L-276。将以上9株菌株扩培后,分别接种于含盐量为0%、1%、3%、5%、10%的硫酸盐合成培养基中,绘制菌体密度(Optical Density, OD)增长率与随时间变化的曲线,空白对照组为无菌株培养基。

含盐量0%时不同耐盐菌株的生长曲线见图1。当含盐量为0%时,9株耐盐菌株均可正常生长,在0~10 h时菌株处于对数生长期,生长速度较快,随后进入生长稳定期,无明显衰减现象,其中L-141、L-143、L-146生长情况较好。

含盐量1%时不同耐盐菌株的生长曲线见图2。当含盐量为1%时,9株耐盐菌株均可正常生长,菌株生长没有受到抑制作用,在0~10 h时菌株处于对数生长期,10 h后进入生长稳定期,所有菌株均无生长衰减现象,其中L-144、L-146、L-276生长情况较好。

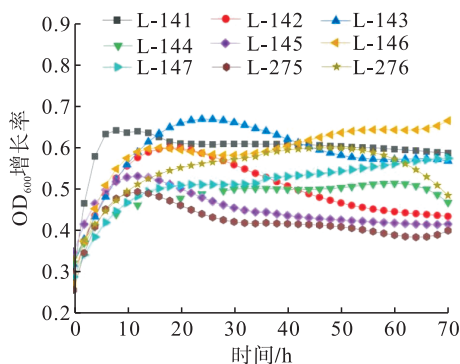


图1 含盐量0%时不同耐盐菌株的生长曲线图

Fig.1 Growth curves of different salt-tolerant strains at 0 salinity

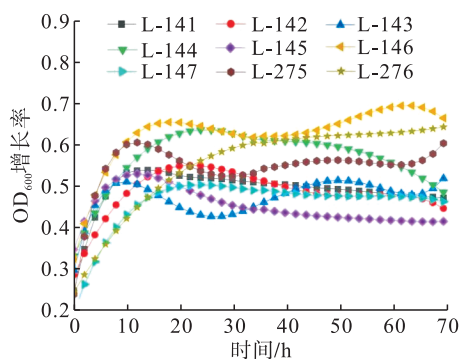


图2 含盐量1%时不同耐盐菌株的生长曲线图

Fig.2 Growth curves of different salt-tolerant strains at 1% salinity

含盐量3%时不同耐盐菌株的生长曲线见图3。当含盐量为3%时,L-143、L-147生长受到轻微限制,L-147对数生长后出现衰减趋势,其余菌株均可正常生长,在0~10 h时菌株处于对数生长期,10 h后进入生长稳定期,无明显衰减现象,其中L-146生长情况最好。

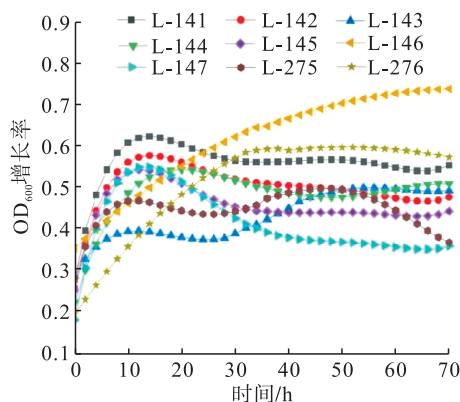


图3 含盐量3%时不同耐盐菌株的生长曲线图

Fig.3 Growth curves of different salt-tolerant strains at 3% salinity

含盐量5%时不同耐盐菌株的生长曲线见图4。当含盐量为5%时,L-143、L-275、L-276生长受到轻微限

制,L-146 出现衰减现象,其余菌株均可正常生长,在 0 ~ 12 h 时进入对数生长期,12 h 后进入稳定期,生长无明显衰减现象,其中 L-141、L-144 及 L-146 生长情况较好。

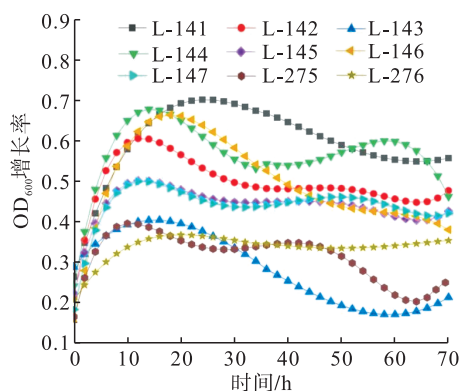


图 4 含盐量 5% 时不同耐盐菌株的生长曲线图

Fig. 4 Growth curves of different salt-tolerant strains at 5% salinity

含盐量 10% 时不同耐盐菌株的生长曲线见图 5。与含盐量 0%、1%、3%、5% 时相比,当含盐量为 10% 时,菌株进入稳定期的时间较滞后。其中 L-142 生长情况最好,表明高盐环境生长能力最强。L-142 在 0 ~ 20 h 时处于对数生长期,随后进入稳定期,无明显生长衰减现象;L-146 在 0 ~ 50 h 时处于对数生长期;L-141 在 0 ~ 20 h 时处于对数生长期后进入稳定期;L-144、L-276 正常生长,但生长情况没有 L-142、L-146、L-141 生长情况好;其余菌株生长受到轻微限制。

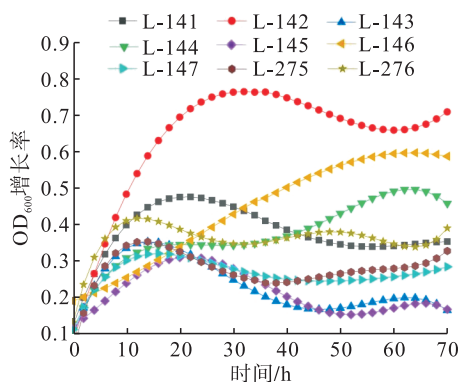


图 5 含盐量 10% 时不同耐盐菌株的生长曲线图

Fig. 5 Growth curves of different salt-tolerant strains at 10% salinity

2.2 有机胺降解菌筛选实验

2.2.1 菌株在废水体系下生长情况

通过分离、纯化筛选出 9 株有机胺降解菌株,编号为 154、161、163、166、181、191、193、195、200,测定以上有机胺降解菌在废水体系中的增长率,增长率结果见图 6。由图 6 可知,161、181、191、193、195、200 在废水体系中 OD 增长率较高,能够在废水中实现稳定的增殖。

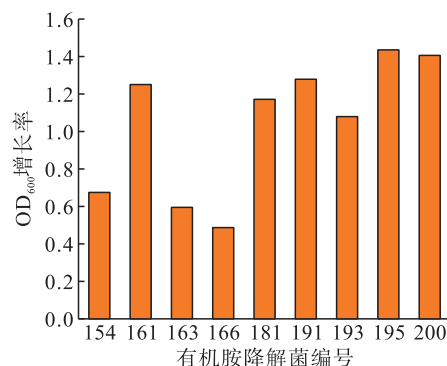


图 6 有机胺降解菌 OD 增长率图

Fig. 6 OD growth rate of organic amine degrading bacteria

2.2.2 菌株降解效果

采用废水原水配制相同浓度的有机胺废水,分别加入 1% 的有机胺降解菌进行有机胺脱除实验验证,实验结果见图 7。

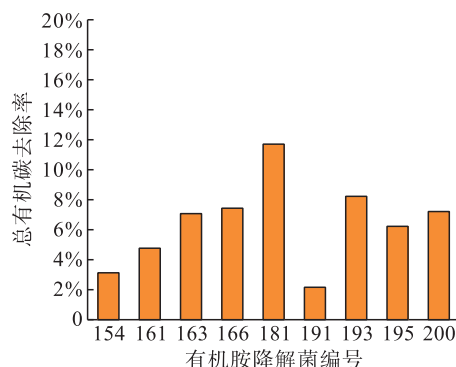


图 7 有机胺废水总有机碳去除率图

Fig. 7 TOC removal rate of organic amine wastewater

由图 7 可知,181 对有机胺的降解率相比其他菌株对有机胺降解率的较高,达 11.68%,约为 191 对有机胺降解率的 6 倍。

2.3 高盐脱氮菌筛选实验

通过富集与稀释涂布培养,筛选得到高盐脱氮菌株,编号为 1、2、9、12、17。采用原废水配制成氨氮浓度 100 mg/L 的配水实验,分别加入 1% 的高盐脱氮菌进行氨氮及总氮脱除实验,实验效果见图 8。

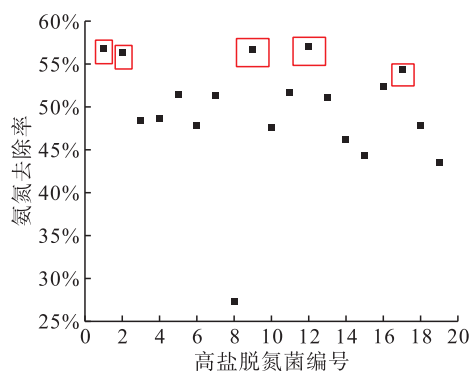


图 8 高盐脱氮菌脱氮效果图

Fig. 8 Denitrification effect of high salt denitrification degrading bacteria

根据图8可知,1、2、9、12、17对氨氮去除率较高,可达55%以上。

2.4 有机胺废水生化处理工艺条件实验优化

2.4.1 原水氧化+生化氧化实验

由于APU原水主要有有机污染物为哌嗪类,可生化性较差,因此采用电催化氧化进行预氧化以提高可生化性,APU原水与经电催化氧化产水的COD、生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)可生化性测定结果见表3。

表3 不同水样的可生化性

Tab.3 Biodegradability of different water samples

水样	COD / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD /COD
APU 原水	525	27.6	0.05
经电催化氧化 产水	346	52.8	0.15

由表3可知,APU原水经预氧化后,BOD/COD值从0.05提高至0.15,APU废水可生化性明显得到改善。

APU原水的盐含量为2.5%左右,在实验初期补充了筛选得到的耐盐菌、有机胺降解菌及高盐脱氮菌,总菌株补充量为总体积的1%,快速提高污泥的适应性,但由于有机物成分不同,仍需要进行驯化来确定生化的去除效果。APU原水COD降解效果、出水COD和总氮浓度见图9~10。

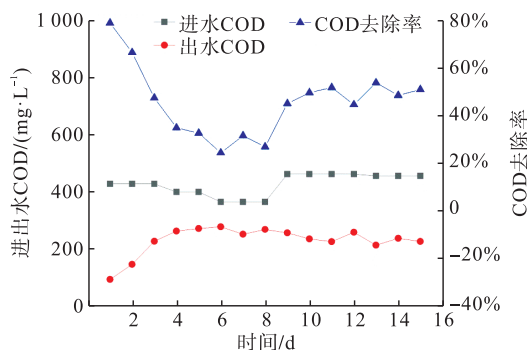


图9 APU原水COD降解效果图

Fig. 9 Degradation effect of COD in APU raw water

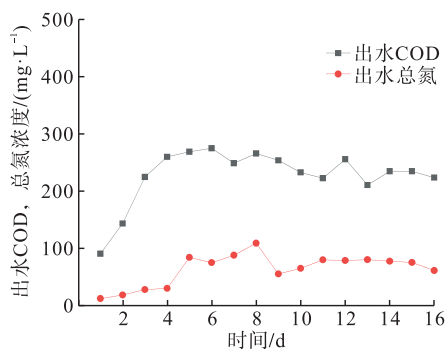


图10 APU原水出水COD和总氮浓度图

Fig. 10 Effluent COD and total nitrogen concentrations in APU raw effluent

由图9~10可知,经驯化后,高盐体系下COD去除率可稳定在45%~50%,出水COD浓度可稳定在220~250 mg/L,出水总氮浓度在80 mg/L左右。

2.4.2 电渗析产水化学氧化+生化氧化实验

采用膜浓缩分离工艺,将原水中的含盐量降至1%以内,将膜浓缩产水进行预氧化处理,再进入生化系统,在实验初期补充筛选得到的耐盐菌、有机胺降解菌及高盐脱氮菌,总菌株补充量为总体积的1%,确定生化的处理效果。电渗析产水COD降解效果、出水COD和总氮浓度见图11~12。

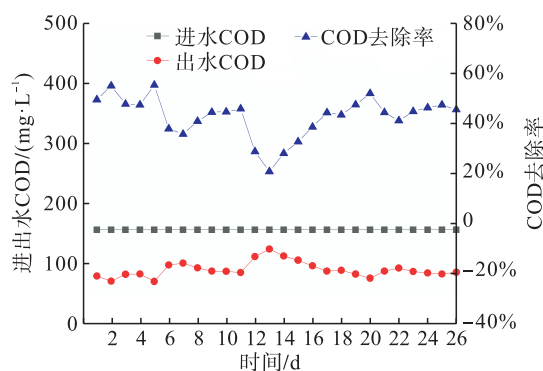


图11 电渗析产水COD降解效果图

Fig. 11 COD degradation effect of electrodesalination water

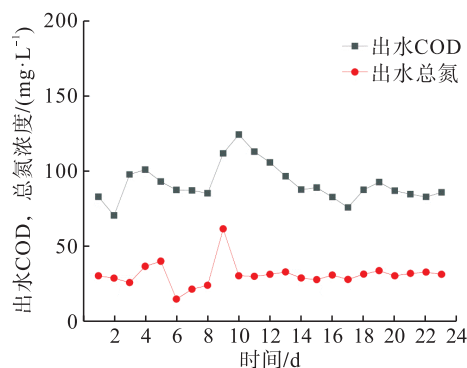


图12 电渗析产水出水COD和总氮浓度图

Fig. 12 Effluent COD and total nitrogen concentrations

由图11~12可知,经驯化后,电渗析产水经过化学氧化,COD去除率可稳定在45%~50%,出水COD浓度可稳定在100 mg/L内,出水总氮浓度在30 mg/L以下,相比较于直接氧化APU原水的工艺路线,出水COD浓度与总氮浓度更低,其出水水质符合纳管标准,满足排入市政污水管道的水质要求。

2.5 耐盐菌生化过程适应性分析

2.5.1 含盐浓度适应性分析

本实验在生化处理系统连续运行过程中投加耐盐菌,加速驯化过程,提高驯化效率。在耐盐菌生长特性研究过程中,考察了不同盐含量下硫酸盐体系耐盐菌的生长特性。实验结果表明,菌株在5%硫酸钠盐含量内

均可以快速生长,目前 APU 废水的硫酸钠盐含量为 8.9 g/L,APU 废水进水盐含量在 30% 内波动均可保证耐盐生化系统正常运行。

2.5.2 进水 COD 浓度适应性分析

在耐盐菌生化系统连续运行过程中,分别将原水经化学氧化后产水(COD = 435 mg/L)和经电渗析及化学氧化后产水(COD = 155.8 mg/L)进行对比,连续运行后,COD 去除率均稳定在 45% ~ 50%。如果进水 COD 浓度在本实验水质的 30% 以内,可以通过调整生化段的位置来控制生化系统稳定性。

3 结论

本实验成功筛选出生长性能和降解性能较优的有机胺降解菌、耐盐菌、高盐脱氮菌。连续生化运行过程中 COD 去除率可稳定在 45% ~ 50%,出水 COD 浓度可稳定在 220 ~ 250 mg/L,出水总氮浓度在 80 mg/L 左右;同时以电渗析产水经化学氧化为生化氧化进水,COD 去除率也可稳定在 45% ~ 50%,出水 COD 浓度可稳定在 100 mg/L 内,出水总氮浓度在 30 mg/L 以下,氨氮小于 1 mg/L,满足排入市政污水管道的水质要求。

APU 废水经电催化氧化处理后,可生化性显著提高。耐盐菌生化过程满足菌株在 5% 硫酸钠盐含量以内能够快速生长,APU 废水进水盐含量波动在 30% 内均可保证耐盐生化系统正常运行,如果进水 COD 浓度在本实验水质的 30% 内,可以通过调整生化段的位置来控制生化系统稳定性。

参考文献:

- [1] 张倩,卢海东,张碧波,等.某高含硫天然气净化厂尾气 SO₂ 减排措施探讨[J].石油与天然气化工,2020,49(3):8-13.
ZHANG Qian, LU Haidong, ZHANG Bibo, et al. Discussion on tail gas SO₂ emission reduction measures of a high-sulfur natural gas purification plant[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2020, 49(3): 8-13.
- [2] 徐光泽,徐五七.可再生胺法脱硫技术在铁球团烧结烟气中的应用[J].硫酸工业,2011(1):29-31.
XU Guangze, XU Wuqi. Application of regenerable amine desulphurization technology in ferric ball sinter tail gas[J]. Sulphuric Acid Industry, 2011(1): 29-31.
- [3] 王宝珊.壳牌 Cansolv 清洁可再生脱硫技术在催化裂化装置上的应用[J].石油化工安全环保技术,2015,31(3):23-25.
WANG Baoshan. Application of shell Cansolv fuel gas desulfurization in FCC unit[J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2015, 31(3): 23-25.
- [4] 孙志豪,郭子东,陈俊,等.哌嗪类有机胺脱除二氧化硫性能及机理探讨[J].化工进展,2019,38(增刊1):46-51.
SUN Zhihao, GUO Zidong, CHEN Jun, et al. Performances and mechanism of piperazine-based organic amines removal of SO₂[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2019, 38(Suppl 1): 46-51.
- [5] 瞿杨,周军,罗东,等.天然气净化厂 Cansolv 尾气处理装置运行问题及优化[J].石油与天然气化工,2021,39(5):23-27.
QU Yang, ZHOU Jun, LUO Dong, et al. Operation problems and optimization of Cansolv tail gas treatment device in natural gas purification plant[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2021, 39(5): 23-27.
- [6] 党争光,马楠,杨磊.石油化工企业含硫污水处理技术[J].环境保护与循环经济,2014,34(7):40-41.
DANG Zhengguang, MA Nan, YANG Lei. Treatment of sulfur-containing wastewater in petrochemical industry[J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2014, 34(7): 40-41.
- [7] 王海波,钟宏,王帅,等.烟气脱硫技术研究进展[J].应用化工,2013,42(10):1899-1902.
WANG Haibo, ZHONG Hong, WANG Shuai, et al. Research progress of flue gas desulfurization technology[J]. Applied Chemical Industry, 2013, 42(10): 1899-1902.
- [8] 王凯. Fenton 氧化联合絮凝法处理垃圾渗滤液纳滤膜后浓缩液的实验研究[D].青岛:青岛理工大学,2008.
WANG Kai. Study on the treatment of concentrated solution produced in nanofiltration process of landfill leachate using fenton combined with flocculation[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2008.
- [9] 张展,周元祥,王婉贞.化学沉淀法处理有机胺废水的实验研究[J].环境科学与管理,2010(9):67-69.
ZHANG Zhan, ZHOU Yuanxiang, WANG Wanzhen. Study of organic amine wastewater by chemical precipitation method[J]. Environmental Science and Management, 2010(9): 67-69.
- [10] 沙保峰,张小转,王静,等.纤维吸附剂处理有机胺废水的实验研究[C]//中国化学会.中国化学会第28届学术年会第2分会场摘要集.北京:中国化学会,2012:1.
SHA Baofeng, ZHANG Xiaozhuan, WANG Jing, et al. Experimental study on the treatment of organic amine wastewater by fiber adsorbent[C]//Chinese Chemical Society. The 28th Annual Conference of the Chinese Chemical Society, the 2nd sub-conference Abstract Collection. Beijing: Chinese Chemical Society, 2012: 1.
- [11] SHAN Mingjun, YANG Peng, PAN Dawei, et al. Study on coke dry quenching production and recycling of coking

- wastewater[J]. Frontier of Environmental Science, 2012, 1 (1): 7-9.
- [12] 李正任. 有机胺废水的综合处理研究[J]. 当代化工, 2019, 48(8): 1733-1736.
LI Zhengren. Research on the comprehensive treatment of organic amine wastewater [J]. Contemporary Chemical Industry, 2019, 48 (8): 1733-1736.
- [13] 沈东放, 马敬环, 刘莹, 等. 纳滤膜处理水合肼生产废水及膜污染机理研究[J]. 水处理技术, 2018, 44 (7): 54-57.
SHEN Dongfang, MA Jinghuan, LIU Ying, et al. Hydrazine hydrate production wastewater treatment by nanofiltration membrane and membrane fouling mechanism research [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44 (7): 54-57.
- [14] 张志伟. 臭氧氧化深度处理煤化工废水的应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
ZHANG Zhiwei. The research and application of ozonation for the advanced treatment of coal chemical wastewater[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [15] 王孙崧, 陈英文, 魏基业, 等. Fenton 氧化法预处理高浓度有机胺废水的研究[J]. 工业水处理, 2011(8): 31-33.
WANG Sunyin, CHEN Yingwen, WEI Jiye, et al. Study on the pretreatment of highly concentrated organic amines wastewater by Fenton oxidation reaction [J]. Industrial Water Treatment, 2011 (8): 31-33.
- [16] 黄琳琳. 电催化氧化用于废水深度处理实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
HUANG Linlin. Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents: A review [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [17] 毕强, 薛娟琴, 郭莹娟, 等. 电芬顿法去除兰炭废水 COD[J]. 环境工程学报, 2012, 6(12): 4310-4314.
BI Qiang, XUE Juanqin, GUO Yingjuan, et al. COD removal from real semi-coke wastewater by electro-Fenton technology [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6 (12): 4310-4314.
- [18] 张刚, 张宗霖, 李明智. 催化氧化—A/O 工艺—生物滤池处理高浓度有机胺废水中试[J]. 环境工程, 2013 (4): 35-39.
ZHANG Gang, ZHANG Zonglin, LI Mingzhi. A pilot test of treatment of high concentration organic amine wastewater by catalytic oxidation-A/O-baf process [J]. Environmental Engineering, 2013 (4): 35-39.
- [19] 谭万春, 潘正棵, 王秋云, 等. 二级活性炭生物流化床深度处理有机胺废水研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5 (4): 815-818.
TAN Wanchun, PAN Zhengke, WANG Qiuyun, et al. Study on advanced treatment of organic amine wastewater using two-stage activated carbon biological fluidized bed [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5 (4): 815-818.
- [20] SADEGHI M, KOR Y, KERAMAT S, et al. Improving the efficiency of saline wastewater treatment plant through adaptation of halophilic microorganisms [J]. Desalination and Water Treatment, 2019, 157: 62-68.
- [21] 何强, 赵俊, 柴宏祥, 等. 活性污泥的耐盐驯化培养[J]. 环境工程学报, 2012, 6(4): 1099-1102.
HE Qiang, ZHAO Jun, CHAI Hongxiang, et al. Salt tolerant acclimation of activated sludge [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6 (4): 1099-1102.
- [22] 李丽, 严紫含, 金艳, 等. 天然气净化厂有机胺废水有机物降解工艺研究[J]. 天然气与石油, 2022, 40 (2): 98-102.
LI Li, YAN Zihan, JIN Yan, et al. Study on degradation process of organic matter in organic amine wastewater from natural gas purification plant [J]. Natural Gas and Oil, 2022, 40 (2): 98-102.
- [23] WILLIAMS C H, MALIGNANT H. A runaway thermogenic futile cycle at the sodium channel level [J]. Advances in Bioscience & Biotechnology, 2014, 5 (3): 197-200.
- [24] 刘莹, 张继天, 史雅颖. 嗜盐菌的研究进展[J]. 科技创新与应用, 2017(8): 22.
LIU Ying, ZHANG Jitian, SHI Yaying. Research progress of halophilic bacteria [J]. Technology Innovation and Application, 2017 (8): 22.
- [25] 黄莉婷, 韩响身, 金艳, 等. 煤化工反渗透浓水的高效降解菌株筛选、鉴定及应用研究[J]. 化工学报, 2021, 72 (9): 4881-4891.
HUANG Liting, HAN Xushen, JIN Yan, et al. Isolation, identification and application of highly efficient halotolerant strains for coal chemical reverse osmosis concentrate treatment [J]. CIESC Journal, 2021, 72 (9): 4881-4891.