



# 某甜菜制糖企业糖蜜酒精废水处理工艺探讨

黄玲<sup>1</sup> 晏波<sup>2</sup> 李宝花<sup>1</sup> 王文祥<sup>1</sup>

(1 广东环境保护工程职业学院 广东佛山 528216

2 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室和广东省环境资源利用与保护重点实验室 广东广州 510640)

**摘要:** 结合某甜菜制糖企业实际生产工程实例,就高浓度硫酸盐糖蜜酒精废水处理的工艺选择进行了探讨,提出了分流处理的工艺路线,其中酒精单元废水采用硫酸盐还原+脱硫+UASB+好氧的处理方式,非酒精单元废水采用UASB+好氧的生物处理方式,对该工艺设计中酒精单元废水中的污染物去除效果进行估算,并对该处理工艺进行技术经济分析。结果表明,该工艺可有效去除酒精废水中的各类污染物,运行总费用为每吨废水 1.63 元。

**关键词:** 硫酸盐;糖蜜酒精废水;工艺设计

表 1 废水水质水量情况一览表

| 废水来源       | 水量<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | COD <sub>Cr</sub><br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub><br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS<br>(mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 温度<br>/°C | pH   |
|------------|--|--|---|--------------|--|-----------|------|
| 锅炉除尘水      | 150                                      | 140  | 71.6                                      | 12492        | 0.01   | 40        | 9.2  |
| 酒精车间排水     | 40                                       | 70000                                      | 45000                                     | 5000         | 6000   | 95        | 4    |
| 流洗水        | 200                                      | 3310                                       | 2200                                      | 65000        | 0.01   | 20        | 10.2 |
| 压粕水        | 250                                      | 6700                                       | 2780                                      | 4809         | 0.01   | 50        | 7.7  |
| 冷却水,生活用水   | 110                                      | 200  |   | 150          | 0  | 10        | 7.0  |
| 总排废水       | 750                                      | 6000                                       | 3536                                      | 6155         |  | 30        | 10.5 |
| (生产酒精加权平均) |  |  |   |              |  |           |      |

酒精车间排放的废水中有酒精蒸馏塔排放出的废醪液、部分冷却排水和少量的馏出水,由表 1 可知,酒精废水中 COD、BOD 的含量分别为 70000 mg/L 及 45000 mg/L 远远高于标 2 中水污染排放限值,同时酒精废水中含有高浓度硫酸盐。总体来讲,该企业废水属高浓度重污染废水。

表 2 出水水质要求

| 项目 | pH  | COD/(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD/(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 色度/倍 |
|----|-----|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------|
| 数值 | 6-9 | ≤ 100                     | ≤ 20                      | ≤ 60                     | ≤ 40 |

## 引言

甜菜制糖属高用水量工业,一般用水量为菜水比的 1:4.5 左右<sup>[1]</sup>。2012/2013 榨季我国由甜菜生产的甜菜糖为 108.5 万 t<sup>[2]</sup>按甜菜出糖率 14%估算<sup>[3]</sup>,产生高浓度制糖废水约 3500 万 m<sup>3</sup>。新疆是我国主要糖业生产基地,甜菜制糖企业的发展维系到当地数百甜菜种植户和制糖企业职工的生活问题。但制糖企业同时也是废水排放大户,甜菜制糖废水包括蔗糖生产过程废水和糖蜜酒精(或酵母)废水两部分,该废水具有水量大、成分复杂、有机物浓度高<sup>[4]</sup>、季节性强的特点。同时,糖蜜酒精废水中还含有高浓度的硫酸盐,硫酸盐在厌氧过程中容易被硫酸盐还原菌(SRB)还原成有毒的硫化氢(H<sub>2</sub>S)气体,发出难闻的恶臭,引起金属腐蚀,影响人体健康和降低生活质量<sup>[5]</sup>。硫化氢的存在,还会对废水生物处理系统中的微生物产生毒性作用,使硫酸盐还原过程本身不能进行,处理系统遭到破坏甚至崩溃<sup>[6]</sup>,目前很多已建成的处理高浓度硫酸盐有机废水的设施,因为没有消除高浓度硫酸盐还原过程的毒性问题而使处理系统难以进行<sup>[7-10]</sup>。

目前国内外对甜菜制糖废水处理工艺及工程应用已有较多的研究<sup>[11-13]</sup>,但多集中在中低浓度的生产废水处理,涉及糖蜜酒精废水处理的工程实例还较少。糖蜜酒精废水处理的关键是首先要解决废水中高浓度硫酸盐对生物处理系统的影响。本文是在现有高浓度硫酸盐废水处理研究成果的基础上,结合新疆某甜菜制糖企业的实际废水情况,对其废糖蜜制酒精废水处理的工艺设计进行探讨。

## 1 废水水质水量

废水取自新疆某糖业有限责任公司,目前该厂全厂废水外排量将达到 18000m<sup>3</sup>/d(含酒精车间生产时的糖蜜酒精废水),每年排放的 COD 总量达 14918 吨, BOD 总量 8484 吨,年排放废水量约 216 万 m<sup>3</sup> 该企业的,主要的废水主要来自制糖车间、酸洗工段、酒精车间、干粕车间和热电站。废水的水量及水质见表 1。出水水质达到广东省水污染物排放限值(DB44/26-2001)第二时段一级排放标准,具体要求见表 2。

## 2 废水处理工艺设计

### 2.1 处理工艺流程

酒精废水处理单元采用硫酸盐还原-脱硫-一次混凝-厌氧-好氧-二次混凝的处理方式,由于使用该方式处理后的废水仍不能达到直接排放的水质标准,再并入非酒精废水处理系统的好氧段进一步处理到已达到排放要求。非酒精废水处理单元采用混凝-厌氧-好氧的处理方式进行处理。该糖蜜酒精废水的具体工艺流程如图 1 所示。

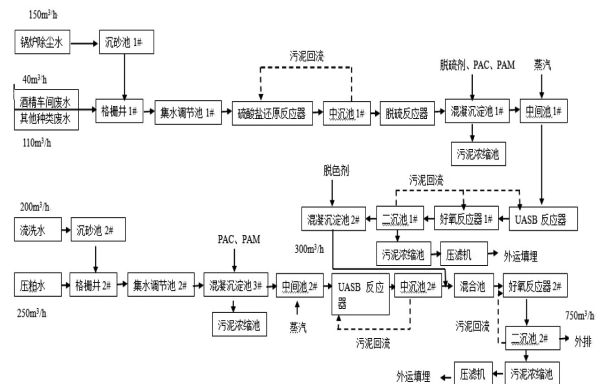


图 1 糖蜜酒精废水处理工艺流程图

### 2.2 技术分析与说明

(1) 根据酒精废水处理单元废水水质情况,采用硫酸盐还原-脱硫-一次混凝-厌氧-好氧-二次混凝的处理工艺,硫酸盐还原采用两相厌氧处理,第一相以硫酸盐还原为主,利用硫酸盐还原菌在厌氧条件下将硫酸盐还原为硫化氢,同时高浓度有机物



得到水解, 硫酸盐还原后的含  $H_2S$  废水进入脱硫反应池进行生物氧化脱硫, 由于  $S^{2-}$  的氧化还原电位低, 很容易被空气中的氧氧化, 因此在脱硫反应器中进行曝气, 大部分  $S^{2-}$  被氧化, 少部分  $H_2S$  被空气吹脱进入废气处理工序吸收, 残留的少量  $H_2S$  在后续的混凝工序通过投加脱硫剂彻底去除。

(2) 酒精废水处理单元中的废水 SS 很高, 但由于悬浮物具有温度高、粘度大、不易混凝沉淀等特点, 所以废水首先进入生物处理系统进行硫酸盐还原, 待改善理化特性后再进行混凝处理以去除大部分颗粒不溶性有机污染物, 减少后段生物处理系统的负荷;

(3) 废水进入中间池时, 温度降低到  $20^\circ C$  以下, 需要进行加热升温, 因而采用蒸汽加热的方式使水温升高, 这样可使后续 UASB 段的反应器温度能处于中温范围, 提高生化处理效率;

(4) 由于废水中 COD 浓度高, 因而采用生物处理的方式最为经济合理, 采用厌氧-好氧的生物处理方式。选用高效的 UASB 反应器作为厌氧处理反应器, 因 UASB 反应器的处理效率高, 同时可以减少占地面积, 对于公司用地紧张的情况尤为重要; UASB 出水进入接触氧化池进行好氧处理, 好氧池的出水先进入二沉池进行初步沉淀, 生化污泥供回流使用, 补充生物处理系统污泥的流失;

(5) 由于酒精单元废水的色度很高, 色度在厌氧过程和一次混凝时得到初步处理降低, 但在好氧阶段又会部分上升, 需要进行二次脱色, 因此需进行二次混凝处理, 处理后的废水仍不能达到直接排放的水质标准, 再并入其它不含硫酸盐的废水处理系统的好氧段进一步处理到达标排放;

(6) 流洗水和压粕水不含硫酸盐, 进行合并后单独处理, 组成非酒精废水处理单元, 该处理单元 SS 和 COD 浓度均较高, 因此采用先混凝沉淀而后厌氧——好氧处理的方法; 最终使废水达到排放标准。

### 2.3 主要结构及设计参数

废水处理单元主要构筑物的设计参数见下表:

| 酒精单元主要构筑物设计参数  |                         |          |              |
|----------------|-------------------------|----------|--------------|
| 构筑物名称          | 尺寸和体积                   | 构筑物名称    | 尺寸和体积        |
| 锅炉水沉砂池         | 16m×16m×3m              | 二沉池(一)   | 18m×10m×5m   |
| 集水调节池(一)       | 32m×26m×2.5m            | 混凝沉淀池(二) | 18m×18m×5m   |
| 硫酸盐还原池         | 26m×13m×6.0m            | 沉砂池(二)   | 18m×18m×3m   |
| 中沉池(一)         | 26m×6m×5.5m             | 集水调节池(二) | 30m×18m×5m   |
| 脱硫反应器          | 26m×6m×5.5m             | 混凝沉淀池(三) | 26m×18m×4.5m |
| 混凝沉淀池(一)       | 26m×12m×5m              | 中间池(二)   | 26m×8m×2.5m  |
| 中间池(一)         | 26m×6m×5.5m             | 厌氧反应器    | 20m×20m×6m   |
| UASB 反应器       | 17m×17m×11m             | 中沉池(二)   | 26m×8m×4.5m  |
| 好氧反应器(一)       | 43m×26m×5.5m            | 混合池      | 9m×4m×5.5m   |
| 好氧反应器(二)       | 43m×46m×5.5m            | 尾气吸收塔    | Φ3m×10m      |
| 二沉池(二)         | Φ25m×4.5m               | 沼气收集罐    | 12m×4m×9m    |
| 污泥浓缩池          | 14m×14m×9m<br>14m×7m×9m | 吸收液处理池   | 12m×4m×2m    |
| 非酒精单元主要构筑物设计参数 |                         |          |              |
| 沉砂池 1#         | 16m×16m×3m              | 好氧池      | 58m×26m×5.5m |
| 沉砂池 2#         | 18m×18m×3m              | 二沉池      | Φ30m×4.5m    |
| 集水调节池          | 48m×26m×3m              | 污泥浓缩池    | 21m×14m×5m   |
| 混凝沉淀池          | Φ22m×4.5m               | 鼓风机房     | 12m×7m       |
| 中间池            | 26m×17m×3m              | 沼气收集罐    | Φ15m×5m      |
| 厌氧池            | Φ22m×9m                 | 压滤机房     | 12m×7m       |

### 3 运行效果估算

#### 3.1 废水处理单元污染物去除效果

废水处理单元污染物去除效果表估算见表 3、表 4。由该表可知, 废水使用硫酸盐还原+脱硫+UASB+好氧的处理方式后, 酒精废水中的高 COD、BOD、SS 及硫酸盐均能较好的去除, 对 COD、BOD、 $SO_4^{2-}$ 、 $NH_3-N$ 、SS 的去除率分别可达到 99.6%、99.8%、99.6%、97.8%、98%。

表 3 酒精废水处理单元污染物去除效果估算表

| 项目  | 酒精废水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 锅炉除尘水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 集水调节池<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 硫酸盐还原反应器                     |            | UASB                         |            | 好氧反应器                        |            | 混凝沉淀池(二)                     |            |
|---|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|   |                                |                                 |                                 | 出水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(/mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率<br>(%) |
| COD                                       | 70000                          | 140                             | 9477                            | 7771                         | 18         | 1281                         | 80         | 320                          | 75         | 256                          | 20         |
| BOD                                       | 45000                          | 72                              | 6073                            | 5769                         | 5          | 755                          | 85         | 113                          | 85         | 107                          | 5          |
| $SO_4^{2-}$                               | 6000                           |                                 | 800                             | 120                          | 85         | 24                           | 80         | 24                           |            | 24                           |            |
| $S^{2-}$                                  |                                |                                 |                                 | 227                          |            | 41                           | 0          | 0                            | 100        | 0                            |            |
| $NH_3-N$                                  | 500                            | 0                               | 78                              | 78                           | 0          | 70                           | 0          | 11                           | 85         | 11                           | 10         |
| SS  | 5000                           | 12492                           | 872                             | 872                          | 0          | 300                          | 0          | 3000                         | 0          | 100                          | 97         |
| 色度/倍                                      | 6000                           |                                 | 800                             | 560                          | 30         | 168                          | 50         | 193                          | -15        | 77                           | 60         |
| pH  | 4                              | 9.2                             | 8.0                             | 6.5                          |            | 7.3                          |            | 7.5                          |            | 7.0                          |            |
| 温度/ $^\circ C$                            | 95                             | 40                              | 30                              | 25                           |            | 35                           |            | 25                           |            | 15                           |            |
| 水量<br>(/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 40                             | 150                             | 300                             | 300                          |            | 300                          |            | 300                          |            | 300                          |            |

注(1)锅炉除尘水先进行初步沉砂处理, 去除大颗粒悬浮物后再进入集水调节池与酒精车间废水和生活污水混合(2)当废水进入中间池后, 水温下降到  $20^\circ C$  以下, 不利于后面的生物处理, 需要加热到  $35^\circ C$  左右进行中温厌氧消化(3)含酒精废水处理工艺二次混凝出水与不含酒精废水的厌氧出水合并一同进行好氧处理。

表 4 非酒精废水处理单元污染物去除效果估算表

| 项目                        | 流洗水<br>(mg/L) | 压粕水<br>(mg/L) | 集水调节池        |              |            | 厌氧池          |            | 好氧反应器        |            | 混凝沉淀池(二)     |            | 最终出水<br>(mg/L) |
|---------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|----------------|
|                           |               |               | 进水<br>(mg/L) | 出水<br>(mg/L) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(mg/L) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(mg/L) | 去除率<br>(%) | 出水<br>(mg/L) | 去除率<br>(%) |                |
| COD                       | 3310          | 6700          | 5193         | 4154         | 20         | 831          | 50         | 90           | 85         | 72           | 20         | 83             |
| BOD                       | 2200          | 2780          | 2522         | 2270         | 10         | 681          | 50         | 18           | 96         | 18           | 0          | 18             |
| $SO_4^{2-}$               | 0             | 0             | 0            | 0            |            | 0            |            | 10           |            | 10           |            |                |
| $NH_3-N$                  | 0             | 0             | 0            | 0            |            | 0            |            | 1.6          | 60         | 1.6          |            | 1.4            |
| SS                        | 65000         | 4809          | 2894         | 2894         |            | 1000         | 0          | 3000         | 0          | 50           | 98.3       | 50             |
| 色度<br>(倍)                 |               |               |              |              |            |              |            | 31           |            | 19           | 40         | 28             |
| pH                        | 7.5           | 7.7           | 7.5          | 7.5          |            | 7.5          |            | 7.3          |            | 7.3          |            | 7.3            |
| 温度/ $^\circ C$            | 20            | 50            | 30           | 30           |            | 35           |            | 25           |            | 15           |            | 10             |
| 水量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 200           | 250           | 450          | 450          |            | 450          |            | 750          |            | 750          |            | 750            |

注(1)流洗水 SS 很高, 先进行初步沉砂预处理去除大颗粒悬浮物后再进入集水调节池与压粕水混合(2)集水井设细筛网隔栅以去除细碎菜叶等杂物, 相应的去除部分颗粒有机物(3)集水井进行预曝气, 防止高 SS 废水中的固体颗粒沉积在集水调节池中, 同时可以氧化部分有机物(4)中间池和混合池需要加热(5)酒精废水处理工段出水与非酒精废水处理工艺的厌氧二沉池出水在混合池混合后进好氧处理系统。

#### 3.2 技术运行分析

本估算包括以下几项费用, 即动力费用、药剂费、人工费、蒸汽费, 其中电费为 0.63 元/(t 废水), 药剂费为 0.5 元/(t 废水), 人工费为 0.6 元/(t 废水), 蒸汽费为 0.4 元/(t 废水), 最终得到该处理工程的预计直接运行总费用为每吨废水 2.13 元。



### 结语

(1)采用分流处理的方式,将废水分为两个处理单元处理新疆某甜菜制糖企业糖蜜酒精废水,其中酒精单元废水采用硫酸盐还原+脱硫+UASB+好氧的处理方式,糖蜜酒精废水经初步处理后并入非酒精废水处理系统,非酒精单元废水采用 UASB+好氧的生物处理方式。

(2)分流处理对废水中的高 COD、BOD、硫酸盐及 SS 均有较好的去除率。对该工程进行技术经济分析,废水的运行总费用为每吨废水 2.13 元。

### 参考文献

[1] 周志萍,秦文信.甜菜制糖废水治理的探索[J].中国甜菜糖业,2008,(4):17-23.

[2] 潘智,杨枝焜.中国甜菜糖业现状及其应对[J].中国糖料,2014,(1):68-70.

[3] 王燕飞,董心久,张立明等.再谈新疆甜菜生产和含糖率[J].中国糖料,2009,(3):69-71.

[4] 胡亚萍,马晓力,董贝贝.制糖废水的主要处理工艺及发展方向刍议[J].环境科学导刊,2012,31(6):78-82.

[5] 王文祥.射流循环厌氧生物流化床处理高浓度硫酸盐有机废水的特性研究[D].广州:华南理工大学,2006.

[6] van Houten R T, Yun S Y, Lettinga G. Thermophilic sulphate and sulphite reduction in lab-scale gas-lift reactors using H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>

as energy and carbon source[J]. Biotechnology & Bioengineering, 1997, 55(5): 807-14.

[7] Smul A D, Verstraete W. Retention of Sulfate-Reducing Bacteria in Expanded Granular Sludge Blanket Reactors [J]. Water Environment Research, 1999, 71(4): 427-431.

[8] Meulepas R J W, Jagersma C G, Gieteling J, et al. Enrichment of anaerobic methanotrophs in sulfate-reducing membrane bioreactors [J]. Biotechnology & Bioengineering, 2009, 104(3): 458-470.

[9] Levin G V. Extremophiles and chemotrophs as contributors to astrobiological signatures on Europa: a review of biomarkers of sulfate-reducers and other microorganisms[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2007, 6694: 25.

[10] 孟庆辉,孙洪昌.甜菜制糖生产废水处理技术研究[J].环境科学与管理,2009,34(2):140-142.

[11] 缪燕江,孙宁川,杨佳红.制糖废水用于农田灌溉的效果研究[J].2004,18(3):163-165.

[12] 何仕均,王建龙,罗艳等.折流式厌氧反应器处理甜菜制糖废水的中试研究[J].中国给水排水,2006,22(21):74-77.

[13] 谢永新.高密沉淀-ABR-AO-气浮法处理甜菜制糖废水.工业水处理,2012,32(12):78-80.

### 基金项目

广州市科技局科学研究专项(20160702003);院长基金项目(KY201501003)。

(上接第 92 页)

单位单独完成。但是环境监理必须对现场进行管控,确保验收单位在修复施工停止一阶段后进行采样,避免修复单位预先对监测井投加药剂,造成检测结果不准确。

### 结语

(1)由于目前没有官方正式环境监理规范,环境监理在建设项目中仍处于弱势地位,这与环境监理在修复工程中的重大责任无法匹配,由于无法对修复单位形成有力制约,不利于保证修复质量。今后在修复工程验收规范中应明确环境监理权力,在关键节点应给予一票否决权,更有利于环境监理执行效果。

(2)国内修复工程还处于起步阶段,目前环境监理人员大部分不具备此类工程的技术储备,可以考虑引入专业修复技术人员在方案、现场施工等方面为环境监理提供技术咨询服务。另外应组织专业修复工程培训为环境监理人员提供技术储备。

(3)重点关注周边敏感目标。目前已有多项修复工程因群众投诉造成公众事件无法顺利推进,建议环境监理与周边敏感目标群众建立直接沟通渠道,第一时间获取工程对周边影响的反馈,指导工程施工。同时与政府舆情采集部门取得联系,及时掌

握舆情信息。

### 参考文献

[1] 田丰,宋磊,席天功,陈众,毕军.中国建设项目环境监理现状与发展趋势研究[J].环境科学与管理,2013,38(10):56-62.

[2] 谷朝君.我国环境监理制度建设现状及建议[J].环境影响评价,2015,37(02):1-4.

[3] 许伟,沈楨,张建荣,郑家传.污染场地修复工程环境监理的实践与探索[J].环境监测管理与技术,2016,28(02):61-64.

[4] 许石豪,胡林潮,陈晶.污染场地修复工程环境监理现状研究[J].环境与发展,2017,29(07):39-41.

[5] 丁亮,王水,曲常胜,王栋,蔡安娟.污染场地修复工程二次污染防治研究[J].生态经济,2016,32(10):189-192.

[6] 史建雨,田文凯,王宏亮,孙宁,马佳平,李滨.污染场地修复工程环境监理案例研究[J].山东工业技术,2016(07):81-82.

### 作者简介

周杜牧(1982-),男,常州,硕士研究生,主要研究方向为污染场地调查与修复。