

乳制品废水处理工艺选择与工程设计

刘寅 杜兵 曹建平 何然 王珊

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要 介绍了乳制品废水的来源、分布及其水质特点,通过对几种常用工艺流程和工艺单元的分析比较,提出了工艺选择的一般原则和常用的关键工艺参数。根据一个具体工程实例,对乳制品废水处理的技术经济指标进行测算,并对工程设计中的一些共性问题做了归纳总结,提出了优化工程设计的一些建议。

关键词 乳制品废水 液体乳 厌氧 好氧

0 引言

乳制品行业是我国改革开放以来增长最快的产业之一,尤其近十年来得到了迅猛发展,随着乳制品总产量和生产企业数量的增加,污染物排放总量也随之增加,而乳制品行业主要环境问题是废水的排放。

1 乳制品废水的分布和水质特点

由于乳制品与百姓日常饮食密切相关,且具有对原料新鲜度要求高、保鲜期短等特点,我国乳制品企业分布呈现两个特点:

(1) 遍布全国各地,但集中于原奶产量大的地区,如内蒙古、黑龙江、河北、山东、陕西、河南等地。

(2) 乳制品企业多集中在大城市周边,废水大多可排入城市或园区污水处理厂集中处理。

我国乳制品行业主要产品是液体乳(巴氏杀菌乳、灭菌乳)、酸乳和乳粉,冰淇淋产量虽然小,但污染物浓度最高。乳制品加工过程中,废水主要来源于容器、管道、设备清洗所产生的较高浓度的生产废水,以及生产车间与场地冲洗产生的较低浓度的生产废水和部分生活污水。乳制品废水的主要污染物指标为 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 TN 、 TP 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 SS 、 pH 、 COD_{Cr} 、 BOD_5 主要来源于原料乳的损失, TN 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要来源于原料乳损失和 CIP 清洗(就地清洗)中硝酸的损失, TP 主要来源于原料乳损失和含磷洗涤剂的使

反映供水规划需求的不均匀分布方面有所加强,有利于节省管网建设和维护费用,对今后的类似规划有一定借鉴意义。

参考文献

- 1 严煦世, 范瑾初. 给水工程, 第4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- 2 GB 50282—98 城市给水工程规划规范
- 3 GB 50016—2006 室外给水设计规范

表4 远期管网投资估算

管径	长度/m	综合单价/元/m	总价/万元
DN100	550	314	17.3
DN150	3 150	413	130.1
DN300	1 550	826	128.0
DN200	1 900	557	105.8
DN400	15 460	1 208	1 867.6
DN600	8 000	2 210	1 768.1
合计	30 610		4 016.9

7 结语

在袍江分质供水规划过程中,针对建成区分质供水规划的特点,我们以调查数据为基础,建立了分质供水规划系统的数据调查、分析方法,创新了建成区分质供水管网规划模式。相比传统规划方法,在

§ 通讯处: 312000 绍兴市解放北路 127 号绍兴市自来水有限公司

电话: (0575) 85228399

E-mail: tuf@foxmail.com

收稿日期: 2011-04-27

修回日期: 2011-08-02

用,SS来源于原料乳和辅料的损失,pH取决于CIP清洗中酸、碱的排放。

乳制品废水的主要特点为:

(1) 水质、水量变化大:废水的排量及浓度随清洗的项目和时间波动,早晚排量及浓度较大,同时废水酸碱呈不均衡状,pH波动较大。

(2) 有机物含量高:乳蛋白、乳脂、乳糖类等,在废水中以溶解态、乳化态和悬浮态的一种或多种形式存在,使得废水 COD_{Cr} 很高。

(3) 可生化性好:乳制品废水中溶解的有机物易被微生物分解,多数乳制品废水能够达到 $BOD_5/COD_{Cr}>0.5$,具有很好的可生化性。

2 工艺流程的选择

乳制品废水处理工艺流程的选择取决于废水水质特点和出水排放要求,处理工艺以生物处理为主,按污染物去除负荷的主要承担单元,可分为好氧处理系统和“厌氧+好氧”处理系统。一般情况下,当乳制品废水的 $COD_{Cr}<1500\text{ mg/L}$ 时,考虑选择好氧处理系统; $COD_{Cr}>1500\text{ mg/L}$ 时,考虑选择“厌氧+好氧”处理系统。

好氧处理系统容积负荷偏低,适合于水量较小、污染物浓度较低的乳制品废水处理,可分为单级好氧和多级好氧,同时需辅助其他生化、物化方法作为预处理或后处理,方能达到排放标准。典型的工艺流程如“气浮+水解酸化+单级好氧”、“多级好氧+化学混凝沉淀”、“气浮+单级好氧+气浮”。“厌氧+好氧”处理系统适合产品复杂、废水量较大的乳制品加工厂的末端治理,通常仍需辅以隔油、气浮、水解酸化等预处理手段,典型的工艺流程如“气浮+厌氧+多级好氧”、“水解酸化+气浮+厌氧+单级好氧”、“水解酸化+厌氧+单级好氧”。通过合理的设计参数取值,以上工艺流程均可满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)二级标准。乳制品废水排入自然水体,需执行更为严格的排放标准,需要采用三级处理工艺。典型的乳制品废水三级处理工艺流程为“隔油水解+厌氧+好氧+过滤”、“水解+气浮+多级好氧+过滤”。

3 工艺单元的选择

由于乳制品废水具有可生化性好、易生物降解的特点,基本上各种生物处理工艺都适于此类废水

的处理。针对某一具体的乳制品废水,各工艺单元的选用,则需根据水质特点、施工条件、排放要求、自动化程度等多方面综合考虑后确定。

含油脂较多的乳制品废水,易气浮分离,涡凹气浮即可满足使用要求,与溶气气浮系统相比,涡凹气浮设备简单、费用少、占地面积小。但溶气气浮气泡更细小,更适于处理悬浮物少、乳化程度高的乳制品废水。

由于乳制品废水有机物浓度较高,氮磷相对缺乏,采用传统活性污泥法处理工艺时,易因营养物缺乏而发生污泥膨胀现象,造成污泥流失、水质恶化,影响出水水质,严重时甚至会导致工艺无法正常运行,因此应选择可有效防止污泥膨胀的工艺。常用于乳制品废水处理的好氧工艺有:SASS工艺(带选择器的活性污泥法)、CASS工艺(循环式活性污泥法^[1])、SBR法、生物接触氧化法^[2]、氧化沟等。这些工艺并没有本质上的差别,都能较好地实现去除有机物的目的。以除C为目标时,选择带有选择器的活性污泥法工艺,运行操作较简单;自动化程度高,有脱氮、除磷要求时,可选用SBR或氧化沟工艺;当地受限,可选用生物接触氧化和BAF(曝气生物滤池)工艺。选用BAF工艺时,需控制好前一级单元出水的SS,如采用“厌氧+气浮+BAF”工艺流程。BAF还可作为好氧后的深度处理单元,出水回用于厂区。

乳制品废水的厌氧工艺采用常温消化即可,厌氧滤池因其生物量大,比UASB对温度的要求更低,但同BAF一样存在易堵塞的问题,要控制进水SS不超过 200 mg/L 。从污染物浓度、种类而言,厌氧工艺适合处理乳制品废水,但乳脂的厌氧消化所需时间要长于乳蛋白、乳糖所需的消化时间,其限制步骤是水解。因此对于乳制品废水处理,可在厌氧单元前增设水解单元,延长乳脂的水解时间,有利于提高后续厌氧池的处理效率及稳定运行。

4 工艺参数的选取

(1) 有机负荷。由于乳制品废水易生物降解,UASB工艺采用常温消化既能达到较好的去除效果,同时节省蒸汽费用,降低了运行成本。水温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,容积负荷取 $3.0\sim 4.0\text{ kgCOD}_{Cr}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,

去除效率为 80%~90%。

(2) N、P。微生物生长对 N、P 有一定的需求,应满足 $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$,而乳制品废水中的 N、P 含量差异较大,因而乳制品废水处理时是否需要考虑脱氮除磷要看废水中的 N、P 是不够还是过多。如冰淇淋废水, BOD_5 浓度高, N、P 往往不够,需补充 N、P。而有机物浓度相对较低的液态奶废水, N、P 如不处理有可能超标。N 的去除可以采用生物脱氮工艺, P 的去除一般采用化学除磷。

5 工艺过程设计参数

(1) 隔油水解酸化池。HRT 一般控制在 6 h 之内。水解酸化主要用于提高废水的可生化性,对有机物的去除贡献不大,对 COD_{Cr} 、SS 的去除率按 10%~20% 设计。

(2) 调节池。调节池的水力停留时间(HRT)一般为 6~12 h。调节池内应设置搅拌装置,一般采用空气搅拌,搅拌气量 $0.5 m^3 / (m^3 \cdot h)$ 。调节池末端还应设置酸碱投加装置,以调节混合后废水的 pH。若后续有厌氧单元,调节池末端还需设置蒸汽加热装置。

(3) 气浮池。对于悬浮物较高的冰淇淋废水而言,去除 SS 即意味着去除 COD_{Cr} ,气浮系统对 COD_{Cr} 和 BOD_5 的去除率可在 50% 以上。对于 SS 较低的液态奶废水,气浮系统对 COD_{Cr} 和 BOD_5 的去除率一般为 35% 左右。

(4) 厌氧 UASB。厌氧污泥量可按 $0.1 kgSS / kgCOD_{Cr}$ 去除计算。

(5) 好氧。活性污泥法一般取污泥负荷 $0.15 kgBOD_5 / (kgMLSS \cdot d)$, MLSS $3.5 g/L$,污泥回流比 0.5。

6 工程实例

某大型乳制品生产企业位于东北地区的生产基地,主要生产无菌液态奶等产品,乳制品日均产量为 500 t/d,废水处理量为 $3000 m^3/d$ 。由于厂区附近无市政排水管网,处理出水水质要求达到国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 排放标准。

6.1 废水水质水量及排放标准

设计处理水量为: $Q = 3000 m^3/d$ (平均 125

m^3/h),其中生产废水 $2850 m^3/d$,生活污水 $150 m^3/d$ 。进水水质及主要排放指标见表 1。

6.2 工艺流程及污染负荷削减估算

处理工艺流程见图 1。污染负荷削减估算见表 2。

表 1 进水水质及排放指标

项目	COD_{Cr} /mg/L	BOD_5 /mg/L	SS /mg/L	油脂 /mg/L	pH
进水水质	≤ 3000	≤ 1800	≤ 500	≤ 300	5~11
排放指标	≤ 50	≤ 10	≤ 10	≤ 1	6~9

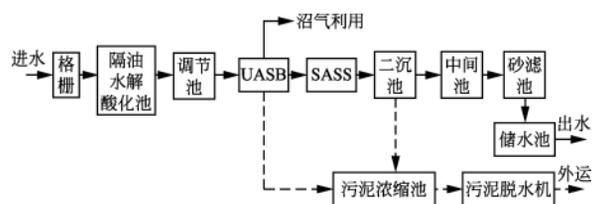


图 1 工艺流程

表 2 污染负荷削减估算

项目	COD_{Cr} /mg/L	BOD_5 /mg/L	SS /mg/L	油脂 /mg/L	pH
进水	3000	1800	500	300	5~11
隔油水解酸化池出水	2700	1620	400	90	6.5~8
去除率/%	10	10	20	70	
UASB 出水	405	243	80	33.6	6.5~8
去除率/%	85	85	80	63	
SASS + 二沉池出水	61	12.2	16	5	6.5~8
去除率/%	85	95	80	85	
石英砂过滤出水	36.6	5.5	8	1	6.5~8
去除率/%	40	55	50	80	

6.3 主要处理单元及设计参数

主要处理单元及参数见表 3。

6.4 技术经济指标测算

直接运行成本 $0.877 元/m^3$ (不含沼气利用费用),其中电费 $0.581 元/m^3$ [日耗电 $2322 kW \cdot h$,按 $0.75 元/(kW \cdot h)$ 电费计],人工费 $0.080 元/m^3$ (管理人员 4 人,每人每月 1800 元),药剂费 $0.111 元/m^3$,污泥处置费 $0.033 元/m^3$,蒸汽费用 $0.072 元/m^3$ 。每天产生沼气 $2200 m^3$,主要用于污水处理厂内建筑物采暖,节省了大量能源。

表 3 主要处理单元及参数

处理单元	规格	设计参数
格栅	旋转式机械格栅 1 台, 栅齿间隙 10 mm; 水力筛 1 台, 栅条间隙 2 mm	
隔油水解酸化池	1 座, 尺寸 20 m×8 m×4.5 m, 有效容积 640 m ³ , 内设生物填料 H=2 m, 穿孔管曝气	HRT 5.1 h
调节池	1 座, 尺寸 20 m×16 m×4.5 m, 有效容积 1 280 m ³ , 配空气搅拌装置 1 套; 蒸汽加热装置 1 套, pH 调节系统 1 套	HRT 10.2 h, 搅拌气量 0.5 m ³ /(m ³ ·h)
UASB	1 座, 尺寸 24 m×16 m×7.5 m, 分 4 格, 有效容积 2 500 m ³ , 内设布水器、三相分离器	有机负荷 3.6 kg-COD(m ³ ·d), HRT 20 h
SASS	1 座, 尺寸 33 m×16 m×5 m, 有效容积 2 200 m ³ , 内设微孔曝气器 1 250 个	污泥负荷 0.15 kgBOD ₅ /(kgMLSS·d), MLSS 3.5 g/L, 污泥龄 5 d, 污泥回流比 0.5, HRT 10.2 h
二沉池	1 座, 辐流式, 中心进水周边出水, 尺寸 ∅16 m×H3.5 m, 配套刮吸泥机 1 台	表面负荷 0.7 m ³ /(m ² ·h), 沉淀时间 2 h
砂滤池	4 台, 尺寸 ∅2 m×H3 m, 石英砂滤料	过滤速度 10 m/h
污泥浓缩池	1 座, 尺寸 5.5 m×5 m×5 m	HRT 20 h
污泥脱水机	1 台, 带式污泥浓缩脱水一体机, 带宽 1 m	每天工作 1 班, 处理量 6.5~10.5 m ³ /h

6.5 工程的共性问题探讨

6.5.1 浮渣

乳制品废水中的浮渣包括原水中的悬浮态油渣、原水停留一段时间后产生的大量乳白色油渣和气浮产生的浮渣。浮渣易堵塞管道, 影响生物处理效率, 必须从水中去除, 这一点已得到共识。但对浮渣的再处理, 还未见报道, 目前已建乳制品废水处理厂多采用外运方式, 对环境造成二次污染, 且费用较高。本项目采用对浮渣单独收集后, 再进行厌氧处理的方式, 取得了较好的效果。

6.5.2 沼气利用

厌氧反应的副产物沼气是一种高热值可燃气体, 其主要成份是 CH₄ 和 CO₂, CH₄ 占 55%~65%, CO₂ 占 20%~40%。按去除 1 kgCOD_{Cr} 产生沼气 0.35 m³、1 m³ 沼气的能量相当于 1 kg 原煤(热值

20 MJ/kg)估算, 本工程 UASB 反应器的沼气产量约 2 200 m³/d, 可提供 2.2 t/d 原煤的能量。

6.5.3 防冻

乳制品加工企业建于北方地区尤其是东北地区时, 设计上应充分考虑保温及低温运行问题。设计时, 集水井、调节池的池体可采用全地下式, 厌氧、好氧等池体尽可能采用半地上、半地下结构。管道应尽量在室内或地下敷设, 末端最不利点设泄水阀, 必要时室外管道做电伴热保温。

7 结论及建议

7.1 结论

(1) 乳制品废水是一种高浓度有机废水, 可生化性好, 大部分可溶解性 COD_{Cr} 易生物降解。采用废水处理中常用、成熟的工艺完全能够达到排放要求。

(2) 厌氧工艺可作为乳制品废水的首选工艺之一。厌氧工艺具有负荷高、能耗低、剩余污泥量少等优点, 工程投资少、运行成本低、运行管理简单方便的特点。

(3) 所举液态奶废水工程实例, 具有一定的代表性。采用“水解+厌氧+好氧+砂滤”工艺流程, 工艺成熟、可靠, 出水达到国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 排放标准。直接运行成本为 0.877 元/m³ (不含沼气利用费用), 其中电费 0.581 元/m³。

7.2 建议

浮渣问题是现有乳制品废水处理厂的常见问题, 目前处理方式多为外运处理, 费用较高, 且对环境有一定的污染, 因此有待进一步研究、解决。

采用厌氧处理工艺的乳制品废水可产生大量沼气, 若将其充分利用, 既可节约资源, 又可节省运行费用, 应得到充分重视。

参考文献

- 刘恒明, 刘长发, 张珺. CAST 工艺处理乳制品废水. 给水排水, 2007, 33(6): 63~64
- 胡晓晖, 王凯, 陈伟山, 等. 气浮-UASB-生物接触氧化工艺处理冰淇淋生产废水. 工业用水与废水, 2008, 39(5): 80~82

§ 通讯处: 100037 北京市西城区北营房中街 59 号
电话: (010)88362306
E-mail: liuyin100037@163.com
收稿日期: 2011-06-08