



河北农业大学

学士学位论文（设计）

题目：日处理 3000 吨啤酒厂废水处理工艺设计

姓 名 陈炳桥

学 号 2019984080506

院 系 理工系

专 业 食品质量与安全

指导教师 刘晔

二零二三年五月二十五日

学位论文原创性声明

本人所提交的学位论文（设计）《日处理 3000 吨啤酒厂废水处理工艺设计》，是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的原创性成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中标明。

本声明的法律后果由本人承担。

论文作者（签名）：陈炳桥

2023 年 5 月 25 日

指导教师确认（签名）：刘晔

2023 年 5 月 25 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解河北农业大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权河北农业大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

保密的学位论文在_____年解密后适用本授权书。

论文作者（签名）：陈炳桥

2023 年 5 月 25 日

指导教师确认（签名）：刘晔

2023 年 5 月 25 日

设计概况

该污水厂设计主要是针对啤酒厂的废水处理问题。啤酒厂废水经常含有高浓度的有机物质，如酒精、碳水化合物和蛋白质等。如果这些物质不能被有效地去除，会对环境和健康造成潜在的威胁。因此，设计一个高效的废水处理工艺来降解这些污染物变得尤为重要。

设计方案主要采用了 UASB+SBR 的工艺流程，该工艺流程具有高处理效率、低运营成本 and 易操作等优点，并且可以有效地降解废水中的有机物质和氮磷等营养物质。通过处理使其达到啤酒工业污染物排放标准 GB19821-2005 中水污染物的标准要求。即： $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 80 \text{ mg/L}$ ， $\text{BOD}_5 \leq 20 \text{ mg/L}$ ， $\text{SS} \leq 70 \text{ mg/L}$ 。

在 UASB 阶段，污水中的有机物质被转化为甲烷和二氧化碳，减少了对 SBR 池的负荷，同时还可以回收有价值的甲烷气体。而在 SBR 阶段，通过适当的放氧和静置，可以进一步降解废水中的有机物质和氮磷等营养物质，从而实现更彻底的净化。

通过这种工艺流程进行废水处理，不仅可以降低环境和健康风险，还可以开发废水中的有价值资源。此外，设计方案也考虑了废水的后续利用问题，废水经过工艺流程处理后可以达到国家和地方相关排放标准，可以实现废水的达标排放或者进一步利用。

采用 UASB+SBR 工艺流程进行废水处理，可以降低环境风险，改善人类生活质量，并带来可持续的社会和经济效益。该工艺流程的实行，还可以促进技术创新和环保产业的发展，提高企业的社会形象和竞争力。具有重要的实践意义和应用前景，可以为啤酒工业废水的治理和资源化利用提供思路和方法。

关键词：废水处理；UASB+SBR；资源化利用；技术创新；环保产业

DESIGN OVERVIEW

This design is mainly aimed at the wastewater treatment problem of breweries. Brewery wastewater often contains high concentrations of organic substances, such as alcohol, carbohydrates, and proteins, among others. If these substances cannot be effectively removed, they will pose potential threats to the environment and health. Therefore, it is particularly important to design an efficient wastewater treatment process to degrade these pollutants.

The design scheme mainly adopts the UASB+SBR process, which has the advantages of high treatment efficiency, low operating costs, and easy operation, and can effectively degrade organic substances and nutrient substances such as nitrogen and phosphorus in wastewater. The treated water can meet the first-level and second-level discharge standards of national wastewater discharge standard GB19821-2005: $\text{COD}_{\text{cr}} \leq 80 \text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5 \leq 20 \text{ mg/L}$, and $\text{SS} \leq 70 \text{ mg/L}$.

In the UASB stage, organic substances in the sewage are converted into methane and carbon dioxide, reducing the load on the SBR pool, and valuable methane gas can also be recovered. In the SBR stage, by appropriate aeration and settling, the organic substances and nutrient substances such as nitrogen and phosphorus in the wastewater can be further degraded, thus achieving more thorough purification.

By using this process for wastewater treatment, not only can environmental and health risks be reduced, but valuable resources in the wastewater can also be developed. In addition, the design scheme also considers the follow-up utilization of wastewater. After the wastewater is treated by this process, it can meet the relevant national and local discharge standards, which can achieve compliant discharge or further utilization of wastewater.

Adopting the UASB+SBR process for wastewater treatment can reduce environmental risks, improve human life quality and bring sustainable social and economic benefits. Its implementation can also promote technological innovation and environmental protection industries, enhance the social image and competitiveness of enterprises. It has significant practical significance and application prospects, and can provide ideas and methods for the governance and resource utilization of brewery wastewater.

Keywords: wastewater treatment, UASB+SBR, resource utilization, technological innovation, environmental protection industries

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 设计背景	1
1.2 设计目的和意义	1
1.3 设计方法和流程	2
第 2 章 废水处理工艺流程设计	3
2.1 啤酒废水特性分析	3
2.1.1 啤酒废水来源	3
2.1.2 废水特征分析	3
2.2 处理工艺选择: UASB+SBR 工艺流程介绍和优缺点分析	4
2.2.1 国内外的现状	4
2.2.2 厌氧生物技术在啤酒废水处理中的应用	4
2.2.3 厌氧生物技术在啤酒工业废水治理中的应用前景	7
第 3 章 设计说明书	8
3.1 设计概况	8
3.2 工程概况	10
第 4 章 啤酒废水处理构筑物设计与计算	11
4.1 格栅	11
4.2 水提升泵房	16
4.2.1 设计说明	16
4.2.2 水池的尺寸设计参数	17
4.3 砂池设计及计算	17
4.4 初沉池的设计计算	15
4.4.1 初沉池的选择及原理	18
4.4.2 竖流式沉淀池设计参数	19
4.4.3 沉淀池设计计算	18
4.5 UASB 反应器设计计算	19
4.5.1 设计说明	24
4.5.2 参数选取	19
4.5.3 设计水质和水量	25
4.5.4 反应器容积计算	25

4.5.5 配水系统设计	36
4.5.6 三相分离器设计	28
4.5.7 布水槽	33
4.5.8 进出水系统	33
4.5.9 排泥系统	33
4.5.10 产气量	34
4.5.11 沼气柜容积	34
4.6 SBR 池的设计计算及说明	32
4.6.1 设计说明	34
4.6.2 设计参数选取	35
4.6.3 设计水量水质:	35
4.6.4 反应池有效容积	35
4.6.5 反应池最小水量	36
4.6.6 反应池中污泥体积	36
4.6.7 确定单座反应池的尺寸	36
4.6.8 鼓风曝气系统	36
4.6.9 污泥产量计算	40
4.7 污泥部分各处理构筑物设计与计算	40
4.7.1 重力浓缩池的设计计算	40
4.7.2 机械脱水间的设计计算	43
4.8 各处理构筑物高程布置	44
4.9 污水提升泵房的设计与计算	44
4.9.1 设计说明	44
4.9.2 设计计算	45
第 5 章 工程估价	46
5.1 估价范围及估价依据	46
5.1.1 估算范围	47
5.1.2 编制依据	47
5.1.3 各构筑物费用概算	47
5.1.4 其它费用概算	48
5.1.5 人数定员	48
5.2 运行成本	49
5.2.1 动力成本	49
5.2.2 其他成本	49

参考文献..... 51

致谢..... 53

附录..... 55

第1章 绪论

1.1 设计背景

啤酒作为一种历史悠久的饮料，有着数千年的历史，变成了当今世界上最流行的食品之一。然而，随着啤酒业逐渐成为大规模工业化产业，啤酒废水排放问题日益凸显，使环境污染问题日益突出。

啤酒废水的主要成分包括水、残留麦芽、酵母、酒精、二氧化碳和少量蛋白质等物质。其中，酒精和蛋白质含量较高，这些物质若未经处理就直接排放会对生态环境产生不良影响。目前，大多数啤酒厂在生产过程中都会使用大量的水资源进行清洗或者其他的操作，之后将产生的废水直接排放到附近河流或地下水中。

啤酒排放的废水，有可能包含各种废弃的补品、添加剂、活性炭以及膜滤器等其他杂质。其中含有重金属污染物的二次污染比较严重，这些物质往往破坏了水生态系统的平衡。此外，啤酒废水还可能包含难以降解的有机污染物，妨碍自然界分解^[1]。当它们通过水流侵蚀土地、渗入地下水表层或沉积于水底，就可能对环境造成持久性损害。

因此，如果没有科学合理的处理啤酒废水，那么日益增长的废水排放量将会严重威胁到周边环境。同时，也会对水资源加剧消耗和浪费。如果不进行及时的处理，这种排放的后果是不可逆的，并对人类的健康、生活等方面都会产生显著的影响。

总之，控制和治理啤酒废水，已经成为国家环境保护的一项重要任务。必须采取多种方法，逐步加强废水的管控与集中化处理，实现其安全无害化处理及资源化利用。对于从事啤酒生产的企业来说，为了生态环境的持续发展，必须行使企业环保责任并开展社会责任主体的，促进啤酒行业可持续发展^[2]。

1.2 设计目的和意义

为了促进环保产业的持续发展和环境保护水平的提高，有必要对啤酒废水进行深入的研究和探索。因此，设计啤酒废水处理方案的目的是找到一种有效可行的方法，减少污染物排放，降低环境负荷，实现废水的资源化利用。

该设计的目的细分来说有三个，其一便是确保啤酒厂业务与生态环境之间的平衡。因此，通过使用可行的技术来降低环境污染，达到有效的废水治理，可以保护周围的自然环境和生态系统。同时，本着可持续发展的理念，也需要考虑如何在不断提高废水治理标准的同时，满足啤酒厂所需的正常运转和发展。

其次，啤酒废水处理项目的另一个重要目的是为国家节约能源、环卫、消防等各项资源开支，同时促进就业岗位的增加。在应对全球变暖和资源匮乏的背景下，降低啤酒废水产生的碳排放、实现回收再利用，符合可持续社区发展和资源循环利用原则，与国家“生态优先、绿色发展”的战略相契合，具有重要的现实意义。

此外，在设计啤酒废水处理方案时，还需要充分考虑技术可行性、操作便捷性、安全性和经济效益等多方面因素。例如，如何在不耗费太多成本的情况下，匹配合适的技术方案以及运用高效的设备和控制系统，都需谨慎考虑。这些考虑的因素也将影响到啤酒废水处理方案的选择以及实际推广应用。

因此，有效处理啤酒废水具有重要的意义。通过在啤酒生产过程中采取环保措施，可以显著地降低啤酒废水对环境的危害，并减轻对环境造成的压力。然后，合理利用啤酒废水中的有机物和营养物质，可以降低生产成本和资源消耗，促进企业经济效益的提升。与此同时，处理净化啤酒废水所产生的污泥，也可以成为有效的再生利用资源，而不会对环境造成二次污染。

设计科学的啤酒废水处理方案，也是推进产业结构调整，创新节能环保技术，实现可持续发展的重要举措。因此，在设计啤酒废水处理方案时，应综合考虑经济、安全和环境保护等多方面因素，以达到最佳效益和资源利用。

为了促进生态文明建设和环境保护工作的加强，深入进行啤酒废水处理方案研究和推广运用，已经是当今一个非常重要的课题。只有我们共同努力，才能让社会得到更好、更可持续性的发展，为后代留下一份健康、美好的河山。

1.3 设计方法和流程

1.确定目标和需求：在开始设计之前，了解啤酒生产过程中废水的性质。通过确定降低污染物排放和实现资源化利用等目标，以及开展市场调研、技术咨询和预算评估等工作来满足需求。

2.选择适合的技术方案：针对不同类型和特征的啤酒废水，可选取常规的物理-化学法、生物法、膜分离等技术，结合各自的优缺点，进行比较与分析，选择最适合的工艺流程。

3.设计项目流程：根据所选择的技术方案，安排所有的操作环节，包括进水、预处理、处理、过滤、反洗、消毒、排放等环节，并确定相应的设备和管路设置、控制系统组成，进行方案设计。

4.安全性分析：考虑到废水处理可能会涉及到一些危险品和化学物质，因此，应注重安全环保工作，在方案设计阶段要充分考虑降低污水处理过程中涉及到的化学安全风险和消防安全风险等问题^[2]。

第 2 章 废水处理工艺流程设计

2.1 啤酒废水特性分析

2.1.1 啤酒废水来源

糖化池和酿造缸：这些设备是啤酒制造的核心设施之一，糖化池和酿造缸内需要加入大量水与原料混合，在喷淋、冲洗等过程中留下了大量的废水。

滤池和冷却器：滤池通常位于啤酒酿造装置前，用于去除残留固体物质，而冷却器则通常位于酿造装置之后，用于降低啤酒的温度。两者都需要用水进行清洗和冲洗，因此会产生废水。

排污口：在车间中存在一些未能被回收利用的废水和溶液，这些废水可能经过沉淀池或调节池进行处理，然后通过排污口排放出去。

装瓶线清洗：在啤酒的灌装和包装过程中，对瓶子和瓶盖进行清洁和消毒，使用了大量的水和其他消毒剂，在清洗过程中产生了一系列含有药物残留等废水。

包装线：啤酒包装线上通常会使用大量的水进行清洗、冲洗和消毒，其中一部分被排入废水池。

垃圾处理设备：啤酒生产中产生的固体废弃物需要经过分类和处理，通常需要清洗使用的垃圾桶和废料桶等设备，这些清洗后的水也是啤酒废水的来源之一。

空调系统：在车间内部分区域为了控制温度和湿度，安装了空调系统。这些系统除了用电设备外还带有循环水系统，用水量一般不小。

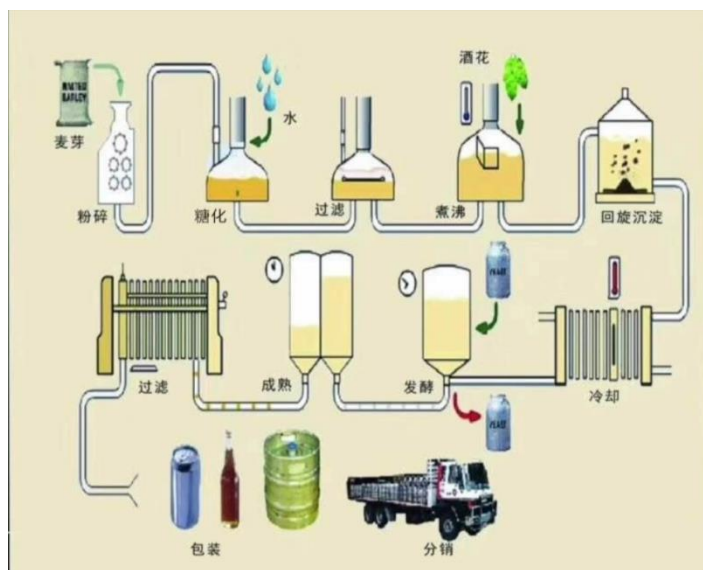


图 2.1 啤酒生产工艺流程图

2.1.2 废水特征分析

pH 波动较大：不同的车间和生产工序中，pH 可能会出现波动。比如发酵阶段会使 pH

下降,而罐装阶段会使 PH 上升。

BOD₅/COD_{cr} 值偏高:在我国,啤酒生产过程中排放的废水常含有 BOD₅ 和 COD_{cr} 等高含量污染物,BOD₅ 一般在 600-1500 mg/L 之间,而 COD_{cr} 则普遍介于 1000-2500 mg/L。不过,相较于其他废水,啤酒废水富含一定量的凯氏氮和磷元素,因此可以通过生化处理进行净化。若不能及时发现并有效处理,啤酒废水的排放将使得周围的水体养分过剩,从而引起严重的污染,长期下去会对环境、野生动植物及人类健康产生很大的隐患。

盐度较高:城市自来水源中含盐化物的浓度较高。同时,在啤酒生产过程中有些使用了含盐度较高的水源也会导致啤酒废水中的盐度较高。

含固体物较多:啤酒生产过程中,会产生大量的废渣和残留物质,而这些物质在处理 and 清洗过程中也会带入大量的含固体废水排放。

2.2 处理工艺选择:UASB+SBR 工艺流程介绍和优缺点分析

2.2.1 国内外的现状

当今,啤酒废水的治理技术已经得到了广泛的研究和应用。它们可以大致分为物理、化学和生物处理三个方面。

在物理处理领域,传统的物理处理方法包括澄清、沉淀等。对于难以降解的有机成分,一些前沿技术如活性炭吸附、氧化沉淀和紫外光氧化技术也被应用于啤酒废水处理。例如,我国南京师范大学的研究者曾开发了一种新型紫外-过氧化氢系统来降解啤酒营养增强剂处理后的废水,在照度 3 欧姆时,COD_{cr} 去除率可达 85.6%。

化学处理技术主要是通过加入化学药剂改变啤酒废水的物理和化学性质实现净化。离子交换吸附技术以及氧化剂法则属其中比较常见的例子,国内的清华大学就利用活性炭吸附和超声波佐剂氧化处理啤酒厂废水,实现了 COD_{cr} 去除率达到 90%,而美国的 WRF 水研基金会支持了一项名为“处理啤酒生产废水的反渗透和电解”的研究项目,该项目采用了反渗透技术和电解法对啤酒废水进行高效治理。

生物处理能有效降低啤酒废水 COD_{cr} 和 BOD₅ 等有机物含量,由于其经济实惠、节约资源,是当前处理啤酒废水最常使用的方法之一。UASB+SBR 技术便是今天啤酒废水生物处理中值得一提的重要技术之一。这种方法主要利用厌氧菌处理前期污水(采用上流式厌氧发酵反应器(UASB)),然后经过初级沉淀、氧化生物处理等步骤,最终达到 COD_{cr}、BOD₅ 等指标排放标准。该方法在实验研究和工业应用方面都获得了成功。

比如,湖南省环境科学研究所曾以我国某啤酒厂为研究对象进行了 UASB+SBR 联用工艺应用研究,通过调节 COD_{cr} 污染负荷和 SBR 通氧周期,该研究成功地将该啤酒厂废水达到了 GB18918-2002 的排放标准^[3]。

2.2.2 厌氧生物技术在啤酒废水处理中的应用

在处理啤酒废水时，由于其独有的特性，需要采用不同于一般厌氧处理法的工艺。

目前，处理啤酒废水的厌氧工艺种类丰富，下面主为几种较常见的方法：

①**上流式厌氧发酵反应器（UASB）**：UASB 技术是将厌氧处理单元和沉淀单元融合在一起，并通过提高水体循环速度、调整进出口等优化措施来提高其效率。该工艺能够提高废水的厌氧反应区域的利用效率和操作稳定性，适用于处理浓度较高的啤酒废水。

上流式厌氧发酵反应器是一种常见的厌氧处理技术随着啤酒行业规模和产量的增加，啤酒废水的治理日益成为一个严峻的问题，因此上流式厌氧发酵反应器深受啤酒生产厂家青睐。同时，由于啤酒废水富含 COD_{cr} 、 BOD_5 等有机物，通过 UASB 处理技术可以使微生物将这些有机物代谢分解，从而高效地将污染物质转化为其它无公害物质。

与传统的厌氧处理系统相比，UASB 以高有机废水负荷量运行，可以有效稀释并将 COD_{cr} 、 BOD_5 等有机废物转化为甲烷等无公害物质。同时，它不需要空气供应和外部加热设备，占地面积小，投资成本相对较低，具有操作简单、出水水质稳定的特点。

但是，UASB 反应器难以处理低浓度 COD_{cr} 的水体，因此需要配合其它辅助技术进行处理。因此，在实际工业生产中，与 UASB 一起使用其他的生物、化学微生物制剂或膜微滤过等技术，可以达到更好的废水治理效果^[4]。

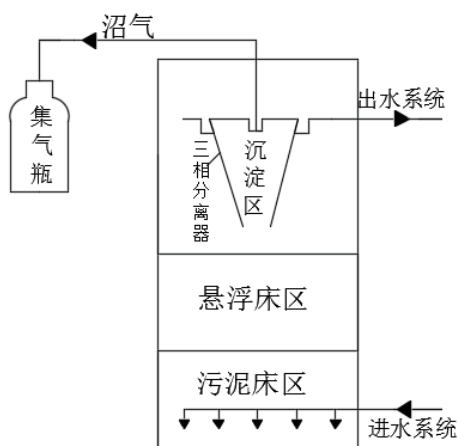


图 1 UASB 反应器装置示意图

②**外部循环式厌氧反应器（EGSB）** EGSB 属于上述 UASB 技术的改进，以增加污染物质转换率和污泥停留时间而得名。

在 EGSB 系统中人工添加特定微生物，可以有效缩短废水处理时间和提高 COD_{cr} 去除率和稳定性。实验表明，EGSB 在处理 35 倍以上 COD_{cr} 浓度的啤酒废水中取得了良好效果。使用 EGSB 反应器处理啤酒废水，可以生成大量的沼气和甲烷，在达到合适标准排放的同时，也可以使废水成为可再生能源。

由于 EGSB 技术具有操作简单、运行成本低等特点，同时能够兼顾处理效果和资源回收利用，其在啤酒废水处理中被广泛采用。然而，在实际应用中，也需要注意 EGSB 系统的一些问题，如温度控制、反应器清洗、内部阻力等方面，需要掌握科学可行的解决办法，使反应器长期稳定、高效地运行。相对 UASB，它可以处理更高浓度 COD_{cr} 废水，但同时需要考虑其占地面积和前处理的复杂性^[5]。

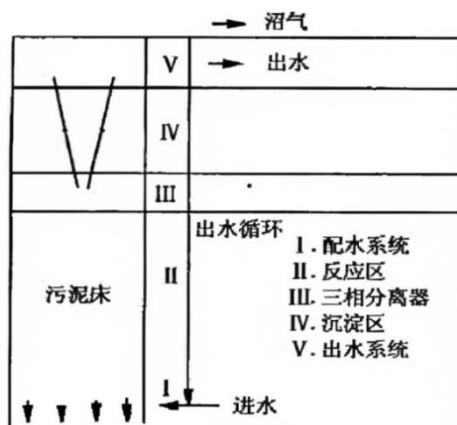


图 2 EGSB 反应器装置示意图

③厌氧/好氧序列反应器（SBR） SBR 技术是通过对污染水体进行时间控制和空间控制，利用周期性操作来实现污染物质的去除。相对于 UASB 和 EGSB 等厌氧处理技术而言，SBR 技术正好弥补了这些技术不能稳定适应 COD_{cr} 负载波动的不足点，同时 SBR 系统可随着废水 COD_{cr} 含量提高而自然调整适当设计运行模式，来避免由于 COD_{cr} 波动导致的出水质量下降和生物受到影响的情况。

SBR 技术在啤酒废水处理中有广泛的应用，它能够适应 COD_{cr} 负荷较大和污染物含量波动较大的情况。而且，SBR 系统可以实现自动化控制，从而能够降低人力成本、减少运营难度，来降低运营成本。此外，SBR 技术对废水中氮和磷等其他污染物质也具有一定的去除效果，是一种比较全面的废水处理技术。

④内循环型厌氧消化反应器（IC-UASB） IC-UASB 是一种新型集 UASB 内循环和厌氧好氧顺序脱氮生物反应器为一体的混合式污水处理系统，其将厌氧-好氧顺序反应融合在一个单元里，并且取消了传统 SBR 处理的进出水泵及往复运动系统，实现高强度 COD_{cr} 的消化和转化。

在 IC-UASB 中，通过固定式流态化颗粒床技术将污水和床层中的复杂官能类有机物通过厌氧发酵转化，产生可用于发酵和生成沼气的有机废物，通过进一步提取利用，达到废水的处理和资源回收双重目的。

IC-UASB 被广泛应用于啤酒废水处理领域，具有较高的 COD_{cr} 去除效率和沼气产量，并且会产生比一般 UASB 系统更少的剩余污泥。此外，IC-UASB 还具有操作灵活、运行稳定、管理简单等优点，对于波动性强的废水排放做了更好的适应^[5]。

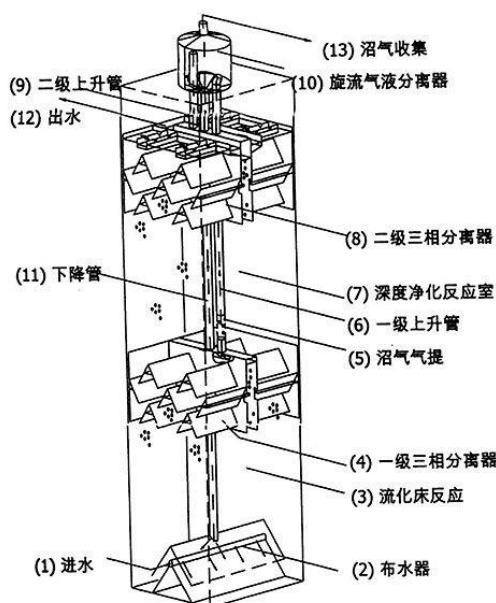


图 3 IC 反应器装置示意图

经过分析工艺的优缺点，最终选取 UASB+SBR 技术，其原因如下：

将 UASB 和 SBR 两种生物处理技术相结合可以充分发挥它们各自的优势，实现对高浓度有机负荷废水更为高效稳定的处理。

①适应性优越：UASB+SBR 生物处理工艺在处理 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 等水质指标时表现突出且较为稳定，可有效降解高浓度、波动性大的废水。

②处理效率高：UASB 阶段可去除大量废水中的有机物质，而 SBR 则能够深度处理废水中细菌、氮、磷等残留物，保证出口水质符合标准。

③能耗低：UASB+SBR 生物处理工艺能耗低，比传统的废水处理技术如 A/O、SBR 等，在处理过程中所需的氧化剂和碳源等方面要求较低。这不仅降低了生产成本，也减少了投资成本。

④设计灵活：根据污水类型和用水量，可以灵活地设计 SBR 池的容积和数量，从而方便管理和运营。

⑤操作简单：UASB+SBR 生物处理工艺具备可视化、自动化控制等特点，操作简单且容易掌控，同时稳定性高，能够满足不同的处理要求。

⑥经济实用：UASB+SBR 生物处理工艺采用生物技术处理废水，处理工艺简单且无需大量高成本化学药剂。此外，通过回收沼气和利用处理后的污泥等资源，还可以产生经济效益。

2.2.3 厌氧生物技术在啤酒工业废水治理中的应用前景

厌氧生物技术在废水处理领域已经得到广泛应用，其中高效厌氧反应器是一种非常有

效的处理设备，虽然其具有诸多优点，但是仍有一些需要研究和探讨的问题。

在使用高效厌氧反应器进行废水处理时，需要进一步研究颗粒污泥的相关技术以提高反应器的效率和稳定性。这样才能更好地满足废水处理领域不断提升的要求。

随着科技的不断发展，我们相信未来厌氧生物技术在废水处理领域将会得到进一步完善和发展，并为环境保护事业做出更大的贡献^[6]。

第3章 设计说明书

3.1 设计概况

3.1.1 设计任务及要求

大连市啤酒联合厂废水处理工程设计—UASB 工艺

根据设计任务书的要求，需要进行啤酒工业废水处理项目的工程设计。为此，在开始工程设计之前，我们需要查阅相关资料和标准、规范来了解当前国内外啤酒工业废水处理技术的现状和未来发展趋势，并确定适合该项目的工艺流程。随后，我们将对各种构筑物进行设计计算，例如处理池、沉淀池、氧化池等。同时，绘制出工程设计图纸以确保首次建设时顺利实施。

在设计过程中，需要遵守相关法律法规以及行业的标准和规范。对于不同的设计要求，应针对具体情况进行合理的选择，并充分考虑稳定性、经济性以及运营与维护的便利性，以达到节约能源、降低成本、提高效率的目的。

最终的工程设计方案需要符合该项目的具体要求和指标，并能够通过验收评估。

3.1.2 选址概况

地点背景：大连市位于辽宁省南部、渤海湾西岸，是我国沿海经济开放城市和重要的产业基地之一。近年来，随着工业化和城市化进程的加速，大连市面临着严重的环境污染问题。同时，该市处于海洋经济带的核心区域，对海洋生态系统具有重要影响。

选址概要：本项目选址位于大连市金普新区。该地区交通便利、用水充足、电力稳定，对啤酒工业废水处理的需求较强烈。

大连金普新区属于滨海平原地区，地势相对平坦，但区域内人口稀疏、生态环境好、适合建设啤酒废水处理厂的场地主要集中在南部海岸线附近，包括金石滩、红山角等地。这些地区基础设施比较完善，交通便利，同时也离区域内的啤酒厂较近，便于废水的收集和运输。此外，在政策环境和技术支持方面，该地区也为本项目的实施提供了有力保障。

大连市作为东北地区的经济中心和重要的港口城市，建立啤酒废水处理厂在该地区具有以下优缺点：

优点：

环境保护意识较强：大连市的环保政策较为完善，对于建立啤酒废水处理厂提供了多种扶持政策和减免税收等措施，并且该地区居民对于环保意识较为强烈，能够有效促进企业环保投入。

拥有良好的水资源：大连市位于黄海和渤海之间，拥有丰富的海洋和河流水资源，而且近年来大连市加强了水资源保护，确保了水质的安全性和稳定性。

交通便利：大连市是中国北方重要的港口城市之一，拥有开放的港口和先进的物流设施，能够与全国各地实现快速连接，降低产品销售成本。

技术水平相对较高：大连市有着雄厚的科技实力和技术人才储备，能够为建立啤酒废水处理厂提供坚实的技术支持和人才保障。

缺点：

地价相对较高：大连市的经济的发展较为成熟，地价相对较高，这可能会增加建设啤酒废水处理厂的投入成本。

部分区域环境存在问题：尽管大连市的环保政策比较完善，但是一些工业区域仍然存在环境污染问题，可能会对企业的发展带来不利影响。

竞争压力大：由于大连市拥有多家啤酒企业和废水处理企业，市场竞争较为激烈，需要具备较高的技术实力和管理水平以获得市场竞争优势。

总体而言，建立啤酒废水处理厂在大连市有着良好的发展前景和潜力，但也需要考虑到相关的风险和挑战。

气象资料：

金普新区位于亚热带半湿润季风气候区，四季分明，夏季炎热潮湿，冬季寒冷干燥，春秋温和舒适。这种气候条件是啤酒生产的理想环境之一。

所以，金普新区的气候条件为啤酒生产提供了良好的环境，废水处理工厂的建立又为啤酒产业的可持续发展提供了强有力的保障。

(1)气象资料**表 1 大连市气象资料**

年平均气温(°C)	7.6	月平均最高(°C)	28
年最低气温(°C)	-28.1	月平均最低(°C)	-20.6
年最高气温(°C)	36.2	月平均气温(°C)	12
温度在-10°C以下的天数（天）	82	温度在 0°C以下的天数（天）	105
降雨量(mm/年)	316	年蒸发量（mm/年）	1200

常年主导风向：东南风；最大风速：30.5 米/秒

（2）地质资料

表 2 大连市地质资料

	土壤性质	冰冻线深度 (m)	地下水位（在 地表下）(m)	承载力(kPa)
排水管网干管处一般 性资料	良好	-1.0	-7.0	≥170
污水总泵站与污水处 理厂址处	良好	-1.0	-7.0	≥170

（3）受纳水体

大连市采取分级管理的方法，将城市区域划分成多个污水管网管理范围，并按照污染物排放标准等级的不同设立了多座污水处理厂。通过市政排水管网，城市生活、工业等方面产生的废水被引至污水处理厂，经过初步处理后再进行生化处理或深度处理，最终出水需达到国家规定的一级标准 B2，以确保对环境的影响降至最低。

同时，大连市积极开展了污水提质改造工程，更新了部分旧有管网设施和污水处理设备，实现了对城市污水的全面控制和有效治理。

3.2 工程概况

啤酒废水出水水质、水量以及出水排放标准

（1）设计规模

进水水量 3000m³/d

（2）进水水质

该废水基本水质情况见下表

表 3 设计进出水水质

项目	SS	COD	BOD ₅	TN	TP	PH	水温℃
指标	900	1302	744	52	5	5.5~7	20

我国已经发布了啤酒工业污染物排放标准，该标准是强制性的，并规定了废水排放指标，具体指标见表。

表 4 排水指标

项目	SS	COD	BOD ₅	TN	TP
指标（mg/L）	70	80	20	15	3

（3）工艺及流程选择

最终，本次设计决定采用 UASB 与 SBR 组合工艺。其中 UASB 工艺能够有效去除高浓度有机物质，SBR 工艺则具有优异的脱氮和脱磷性能。

相较于传统处理方法，采用该工艺处理啤酒废水可以降低处理成本并产生经济效益，出水达到国家一级排放标准，并且系统运行简单、费用低。此外，UASB 工艺还能生产出沼气等对污水进行资源化利用。

其具体流程如下：

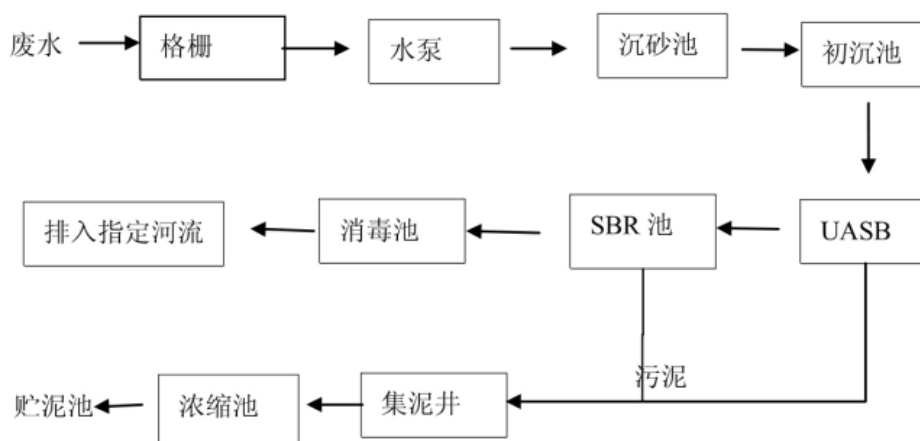


图 4 总工艺流程图

废水处理系统分为格栅去除大杂质、集水池、水力筛和沉砂池等部分依次处理。废水在经过这些设备的无缝衔接后，进入初沉池继续进行下一步的处理程序。

通过 UASB 反应器进行厌氧消化处理，可以有效降低废水中的有机物，并收集反应器内产生的沼气等资源物质。SBR 池内的好氧处理进一步保证废水达标排放。既保证了废水的处理效果，又实现了污泥减量化的效果，符合环保、节能和经济的要求。同时，污泥也得到妥善处理 and 处置。

第 4 章 啤酒废水处理构筑物设计与计算

4.1 格栅

4.1.1 设计说明

格栅是一种废水处理设计中常见的机械过滤器，其主要作用是预处理进入处理设施的原水，即拦截水中的较大的杂质、漂浮物和悬浮物等。与其他过程相比，这是一个相对简单但很重要的环节，因为这些较大的颗粒物会经过格栅被筛除出去，减轻了后续处理设施的负荷，避免将污物输送至下游管道或泵站，堆积在越来越细小的管径或系统组件中，从而引起一系列严重问题。

安装了适当的格栅系统能有效地提高整个废水处理设施的自净能力和容量，使整个废水处理系统能够长期稳定运行。因此，在废水处理工程中，必须合理配置格栅，严格掌握其操作及运行维护情况，以保障安全、高效的运行效果，做到“扬清取浊，防止被堵”。

格栅这种前置处理装置在废水处理中起着至关重要的作用，对于后续处理设施和给水系统的正常运行都具有非常重要的保障作用。因此，在格栅的设计、建造、使用和维护管理方面应该高度重视，以确保其正常安全、可靠地运行^[4]。

4.1.2 参数选取

栅流速：通常在 $0.6\sim 1\text{ m/s}$ 之间，可确保有效地过滤出废水中的固体物质；

进口渠道水流速度：一般在 $0.4\sim 0.9\text{ m/s}$ 之间，可避免水流对固体颗粒的再次悬浮并降低设备效率；

栅板倾斜角度：常见的倾斜角度为 $45^\circ\sim 60^\circ$ ，本着省力和占地面积相对平衡的原则进行选择；

水头损失：选用合适的格栅可以降低水头损失到较低的范围（通常在 $0.08\sim 0.15\text{ m}$ ），从而使更多能量用于处理废水；

设备尺寸：工作台两侧至少要留出 0.7 m 的过道宽度，并确保机械清理设备的距离不小于 0.2 m 。

4.1.3 设计参数

本次设计采用中格栅作为废水过滤设备，主要参数如下：

栅条间隙： 10 mm

栅前水深： 0.4 m

过栅流速： 0.6 m/s

安装倾角： 45°

设计流量（日处理量）： $3000\text{ m}^3/\text{d}$ ，算成秒处理量为 $0.0345\text{ m}^3/\text{s}$

这些参数是根据废水来源和处理需求进行调整和优化的。

4.1.4 设计计算

(1) 栅条间隙数(n)

$$N = \frac{Q_{\text{MAX}} \sqrt{\sin A}}{BHV} \quad (\text{式 4-1})$$

式中：

Q-----设计流量， m^3/s

α -----格栅倾角，度

b-----栅条间隙，m

h-----栅条前水深，m

v-----过栅时的流速， m/s

$n = 12.075$

取 $n=13$ 条

(2) 栅槽有效宽度(B)

设计采用 $\varphi 20$ 圆钢为栅条，即 $s=0.02\text{m}$

$$B = S(n - 1) + bn \quad (\text{式 4-2})$$

式中：

S-----格条宽度，m

n-----格栅间隙数

b-----栅条间隙，m

$$\begin{aligned} B &= 0.02 \times (13 - 1) + 0.01 \times 13 \\ &= 0.37 \text{ m} \end{aligned}$$

(3) 进水渠道渐宽部分长度 (l_1)

设进水渠道内流速为 0.5 m/s ，则进水渠道宽 $B=0.175 \text{ m}$ ，
渐宽部分展开角取为 20° ，则：

$$l_1 = \frac{B - B_1}{2 \text{tg} a_1} \quad (\text{式 4-3})$$

式中：

B-----栅槽宽度，m

B_1 -----进水渠道宽度，m

a_1 -----进水渠展开角，度

$$l_1 = \frac{0.49 - 0.175}{2 \times \text{tg} 20^\circ} = 0.43 \text{ m}$$

(4) 栅槽与出水渠道连接处的渐窄部分长度(l_2)

$$\begin{aligned} l_2 &= l_1 / 2 = 0.43 / 2 \\ &= 0.215 \text{ m} \end{aligned}$$

(5)过栅水头损失(h_1)

取 $k = 3$, $\beta = 1.79$ （栅条断面为圆形）， $v = 0.6 \text{ m/s}$

$$h_1 = h_0 \times k \quad (\text{式 4-4})$$

$$h_0 = \xi \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \quad (\text{式 4-5})$$

式中：

k -----系数，水头损失增大倍数

ξ -----阻力系数，与断面形状相关，格栅条的截面形状也会影响阻力系数。例如，对于具有锐边矩形断面形状的格栅条，其阻力系数公式见表

$$\xi = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (\text{式 4-6})$$

表 5 距离系数 ε 计算公式

栅条断面形状	公式	形状系数 β
锐边矩形		2.42
迎水面为半圆形的矩形		1.83
圆形	$\xi = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}}$	1.79
迎水、背水均为半圆形的矩形		1.67
正方形	$\xi = \beta \left(\frac{b+s}{\varepsilon b} - 1 \right)^2$	ε : 收缩系数，一般为 0.64

s -----格条宽度，m

d -----栅条净隙，mm

v -----过栅流速，m/s

a -----格栅倾角，度

g -----重力加速度

$$h_o = \xi \frac{v^2}{2g} \sin \alpha = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \quad (\text{式 4-7})$$

代入数据，得

$$h_o = 0.0383$$

$$h_1 = k \times h_o = 3 \times 0.0383 = 0.1149 \text{ m}, \text{ 符合要求。}$$

(6) 栅后槽总高 H

取栅前渠道超高 $h_2 = 0.3 \text{ m}$

栅前槽高 $H_1 = h + h_2 = 0.7 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{则总高度 } H &= h + h_1 + h_2 \\ &= 0.4 + 0.1149 + 0.3 \\ &= 0.8149 \text{ m} \end{aligned}$$

(7) 栅槽总长度(L)

$$L = l_1 + l_2 + 0.5 + 1.0 + \frac{H_1}{\tan \alpha} \quad (\text{式 4-8})$$

$$l_1 = \frac{B - B_1}{2 \tan \alpha_1}$$

$$l_2 = \frac{l_1}{2}$$

$$H_1 = h + h_2$$

式中， l_1 -----进水渠道渐宽部分长度；

l_2 -----栅槽与出水渠道连接处的渐窄部分长度；

H_1 -----栅前渠道深； B_1 为进水渠宽，本次设计取 0.3 m ；

α_1 -----进水渠道渐宽部分的展开角度，一般采用 20° ；

代入数据得， $l_1 = 0.43 \text{ m}$ ； $l_2 = 0.215 \text{ m}$ ； $H_1 = 0.7 \text{ m}$ ； $L = 2.637 \text{ m}$

(8) 每日栅渣量(W)

$$\text{取 } W_1 = 0.06 \text{ m}^3 / 10^3 \text{ m}^3 \text{ K}_2 = 1.5$$

$$W = \frac{Q \times W_1 \times 86400}{K_2 \times 1000} \quad (\text{式 4-9})$$

Q-----设计流量， m^3/s

W_1 -----栅渣量($\text{m}^3/10^3\text{m}^3$)，取 0.1~0.01，粗格栅用小值，细格栅用大值，中格栅用中值

$W=0.15 \text{ m}^3/\text{d}$ （可采用人工清渣）

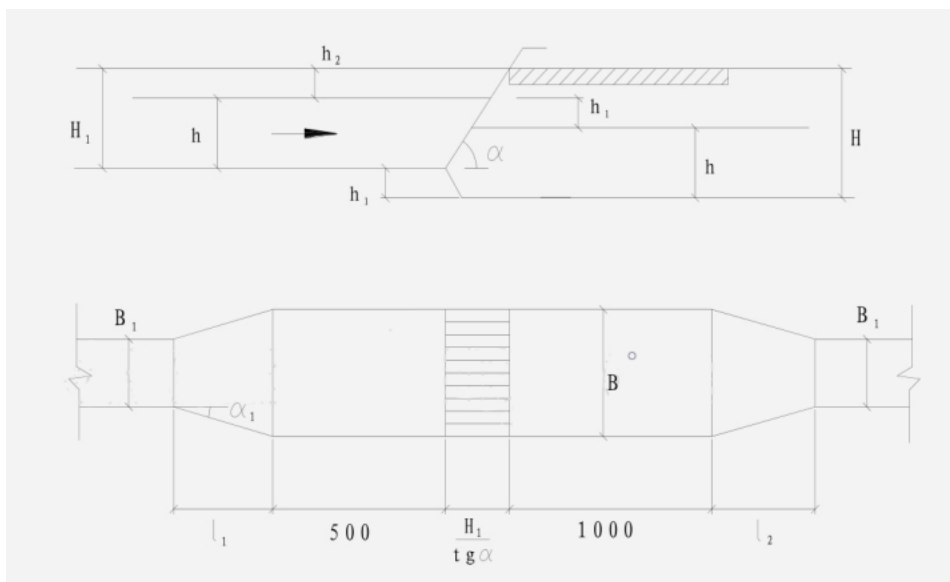


图 5 格栅草图^[7]

4.2 水提升泵房

4.2.1 设计说明

污水泵房用来提升污水，它由四部分组成：机器间、集水池、格栅和辅助间。机器间通常配备有水泵机组，以便将污水从低处提升到高处。集水池和吸水管位于集水池内，它们可以有效地调节水流并防止污水回流。格栅可以在水泵机组进入之前过滤掉较大的杂质，从而保护机组免受堵塞风险的影响。此外，污水泵房还通常包括其他辅助间，比如贮藏室、修理间、休息室和厕所等。

对于日处理量为 3000 吨的污水泵房，选择直径为 6 m 的集水池，并采用 1 台主泵和 1 台备用泵进行设计。为了满足实际需求，选择流量 $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 $H=14.5 \text{ m}$ 的无堵塞立式污水泵，如 80TLW-200IA 型号的泵。每台水泵的流量应根据实际日处理量进行配置，同时考虑出水管道布置和电力系统设计，以满足运行条件和安全要求。

糖化池和酿造缸：制作啤酒时必不可少的设备，需要注入大量原料和水，在喷淋、冲洗等过程中产生废水。同时，定期检查和维护设备，确保泵房的正常运行和高效处理污水。

针对日处理量为 3000 吨的污水泵房，其主要特点包括：

- ① 自灌式设计，无需引水装置；
- ② 配有直径为 50 mm 的钢管伸入集水坑中；

③机器间的地面呈现 0.01 的坡度，不设排水沟和集水坑，但在墙边设置了断面为 250 mm×500 mm 的排水沟。同时，在水泵吸水口附近设置直径为 500 mm、深 700 mm 的集水坑，并连接一条 50 mm 的白铁管伸入集水坑。当污水位下降时，水泵将污水从集水坑中抽取出来；

④该设计采用自然通风方式，将集水池通过通风管进行自然通风，同时在屋顶设置风帽；机器间进风口和排风口分别设置在墙壁的两侧，也在屋顶设置风帽；

⑤泵房进水角度不超过 45°；

⑥为了确保水泵机组在维修时能够方便地进行拆卸，相邻两台水泵机组之间及水泵机组与墙之间的间距应不小于 0.8 m，当电机容量超过 55 kw 时，该间距应不小于 1.0 m。此外，主通道的宽度不应小于 1.2 m。

在设计和施工污水泵房过程中，需要遵守相关法律和规范的要求，注重环境、健康和安全等方面的考虑。同时，还应定期检查和维护设备和管线，以确保污水泵房正常运行，高效处理污水^[8]。

4.2.2 水池的尺寸设计参数

集水池的容积为 240 m³

取集水池的有效水深为 3 m,取集水池的长为 8 m,集水池的宽为 6 m。集水池总高度取 5 m

4.3 砂池设计及计算

4.3.1 设计说明

沉砂池是城市污水处理系统中不可或缺的预处理构筑物之一。其作用在于有效地将污水中悬浮的固体颗粒分离出来，来减轻后续处理的负担。在设计时需要考虑多方面因素，包括水流速度、进口口径、沉淀时间等。为了达到最佳的除砂效果，通常会采用倾斜板、隔墙等措施，以增加砂粒的沉降速度。而对于有机物的分离，则需要配合其他设备如格栅、口径调整器等一起使用，以实现彻底的废水处理。

同时，国内技术的不断发展也降低了运营成本。然而，随着新型污染物的不断出现和城市污水处理技术的不断升级，沉砂池在未来的发展中仍面临着诸多挑战。因此，在设计和运营过程中，需要持续进行创新和改进，以更加高效、稳定地处理废水，保障城市环境的可持续发展。

4.3.2 设计参数

水力停留时间 $T=6\text{ h}$ ，设计流量 $Q=3000\text{ m}^3/\text{d} \div (24\text{ 小时}/\text{天})=125.0\text{ m}^3/\text{h} \approx 0.0347\text{ m}^3/\text{s}$ ，采用机械刮泥除渣。

4.3.3 池子尺寸

池子有效容积为 $V = 750.15 \text{ m}^3$ 。取池子总高度 $H = 5.5 \text{ m}$ ，其中超高 0.5 m ，有效水深 $h = 5 \text{ m}$ ，则池面积 $A = 150.03 \text{ m}^2$ 。池长 L 取 25 m ，池宽 B 取 6 m ，则池子总尺寸为

$$L \times B \times H = 825 \text{ m}^3$$

4.3.3 污泥量

$$W=72 \text{ m}^3/\text{d}$$

4.3.4 污泥斗尺寸

斗底尺寸： $400 \times 400 \text{ mm}$

污泥斗倾角： 50°

污泥斗高度： 4.0 m 。

污泥斗容积：经计算约 76.275 m^3 ，取 80 m^3 ，以保证污泥量不超量。

4.3.5 进水布置

进水起端两侧设进水堰，堰长为池长 $2/3$

4.4 初沉池的设计计算

4.4.1 初沉池的选择及原理

作为废水净化的一种常见处理方式，沉淀工艺可用于清除废水中的悬浮固体颗粒、无机颗粒和部分有机污染物。这些污染物往往会影影响水体的透明度、色泽和氧气含量等，因此需要通过沉淀工艺进行清除。

通过将废水放置在静止的环境中，可以使这些杂质沉淀到底部形成污泥，在此过程中，沉淀剂也会被添加到废水中，以促进杂质的沉降。该工艺对废水的处理效果显著，并且操作简单，因此被广泛应用于各种废水处理场合。

当涉及到啤酒厂废水处理时，考虑到废水产生量相对较小，以及场地和资金成本高等困难，竖流式沉淀池已成为一种常见选择。与其他类型的沉淀池相比，竖流式沉淀池占地面积较小，易于排泥，操作维护简单，更适合于小型废水处理厂。

竖流式沉淀池是利用底部中心管将废水引入，并让废水自下而上流过沉淀区，在经过下部反射板的折射后向上流动，使颗粒逐渐下沉（由于其沉淀速度要大于污水速度），最后沉淀在底部的污泥斗中。小颗粒和未能被沉淀的废水则会冲出竖流沉淀池。从沉淀池顶部流出的干净水会通过周围的锯齿形三角堰流入集水槽进一步处理或直接排出。竖流式沉淀池主要的组成部分包括进水口、中心管、出水口、污沙分离区、污泥斗以及排泥装置。

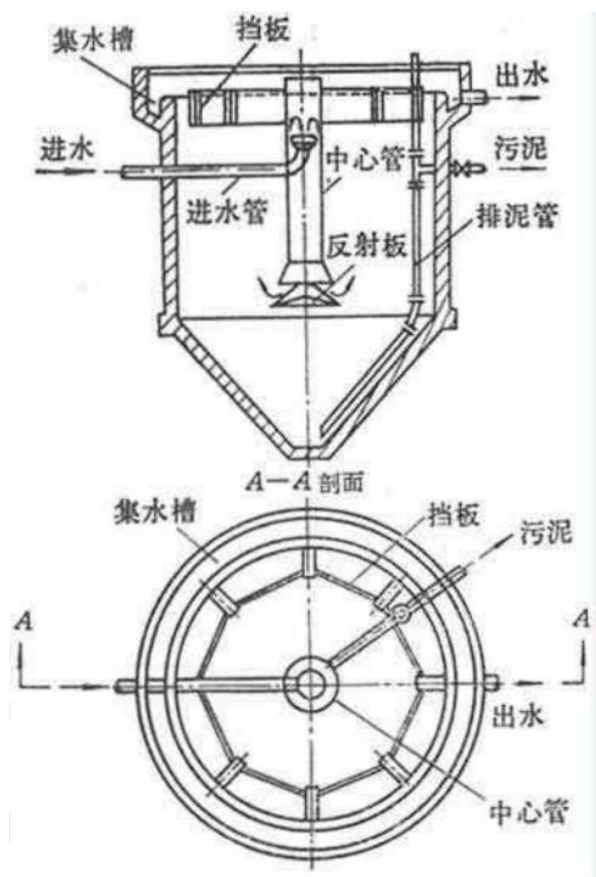


图 6 竖流沉淀池剖面图

4.4.2 竖流式沉淀池设计参数

(1) 池子直径与有效水深之比不大于 3，当每天处理 3000 吨时，可采用直径在 2~3.5 m 范围内的池子，最大不超过 4 m。

(2) 据池子大小调整中心筒的尺寸和进水管道的管径，以保证流速不超过 30 mm/s。

(3) 当池子直径小于等于 3 m 时，废水沿周边流出；当池子直径大于 3 m 时，应增设辐射集水支渠以保证澄清后的水能够顺利排出。

(4) 排泥管下端距池底不大于 0.2 m，管上端高出水面 0.4 m 以上，以保证废水中的污泥能及时排出。

(5) 浮渣挡板距集水槽 0.25~0.5 m，高出水面 0.1~0.15 m，淹没深度为 0.3~0.4 m，以防止污泥或其他杂物进入集水槽。

需要说明的是，在实际应用中，还需要考虑到具体的水质和处理要求等因素，再进行参数的微调和优化，以达到最佳的沉淀效果^[9]。

4.4.3 沉淀池设计计算

在结构设计中，决定使用 4 组竖向流沉淀池，每组沉淀池的设计流量为 0.00867 m/s。废水先经过沉砂池净化，再流入集配水井进行流量分配，最终再进入竖流沉淀池进行处理。

1.中心进水管面积

$$A_0 = \frac{Q}{v_0} \quad (\text{式 4-10})$$

式中, A_0 -----沉淀池中心管面积(m^2)

Q -----设计流量(m^3/s)

v_0 -----中心进水管流速(m/s),一般采用 $v_0 \leq 0.03 \text{ m/s}$,本次设计取 $v_0 = 0.03 \text{ m/s}$ 。

$$A_0 = \frac{Q}{v_0} = \frac{0.00867}{0.03} = 0.289 \text{ m}^2$$

2.中心管直径 d

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{4A_0}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 0.289}{3.14}} = 0.61 \text{ m} \end{aligned} \quad (\text{式 4-11})$$

3.中心进水管喇叭口与反射板之间的缝隙高度

$$h_3 = \frac{Q}{v_1 d_1 \pi} \quad (\text{式 4-12})$$

式中, v_1 -----废水由中心管喇叭口与反射板之间的间隙流出的速度(m/s), 设计时取 0.2 m/s

d_1 -----喇叭口的直径(m), $d_1 = 1.35d$

$$h_3 = \frac{Q}{v_1 d_1 \pi} = \frac{0.00867}{0.02 \times 1.35 \times 0.61 \times 3.14} = 0.17 \text{ m}$$

4.沉淀部分有效面积 A

$$A = \frac{Q}{v} \quad (\text{式 4-13})$$

式中, V -----废水在沉淀区上升的流速(m/s)

设计时, 取表面负荷 $g = 2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 则 $v = 2.5 \text{ m/h} = 0.0007 \text{ m/s}$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.026}{0.0007} = 37.14 \text{ m}$$

5.沉淀池直径 D

$$D = \sqrt{\frac{4(A+A_0)}{\pi}} \quad (\text{式 4-14})$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times (37.14 + 0.289)}{3.14}} = 6.8 \text{ m} < 8 \text{ m}$$

6.沉淀部分有效水深

$$h_2 = 3600vt \quad (\text{式 4-15})$$

式中, t -----沉淀时间(h); 设计取 $t=1.5 \text{ h}$

$$h_2 = 3600vt = 3600 \times 0.0007 \times 1.5 = 3.78 \text{ m}。$$

$$\frac{D}{h_2} = \frac{6.8}{3.78} = 1.80 < 3 \quad (\text{符合要求})$$

7.沉淀部分所需容积 V

按去除水中悬浮物计算

$$V = \frac{Q(C_0 - C_1)t' \times 86400 \times 100}{\gamma(100 - \rho_0)} \quad (\text{式 4-16})$$

式中, Q -----设计流量(m^3/s):

C_0, C_1 -----进水与沉淀出水的悬浮物浓度(kg/m^3),沉淀效率一般为 50%:

ρ_0 -----污泥含水率(%), 一般取 97%:

γ -----污泥泥重, 取 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$V = \frac{Q(C_0 - C_1)t' \times 86400 \times 100}{\gamma(100 - \rho_0)} = \frac{0.035 \times (0.4 - 0.4 \times 0.5) \times 86400 \times 100}{1000(100 - 97)} = 20 \text{ m}^3$$

则每个沉淀池的污泥体积

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{20}{4} = 5 \text{ m}^3$$

8.圆截锥部分容积

$$V_2 = \frac{\pi h_5}{3} (R^2 + Rr + r^2) \quad (\text{式 4-17})$$

式中, R -----圆截锥上部半径(m);

r -----圆截锥下部半径(m);

h_5 -----污泥室圆截锥部分的高度(m);

设圆截锥部分半径 $r=0.2\text{m}$,圆截锥侧壁倾角 55° , 则圆截锥部分的高度

$$h_5 = (R - r)\tan \alpha = (3.5 - 0.2)\tan 55^\circ = 4.70 \text{ m}$$

则圆截锥部分容积

$$V_z = \frac{\pi h_1}{3} (R^3 + Rr + r^3) = \frac{3.14 \times 4.70}{3} (3.5^3 + 3.5 \times 0.2 + 0.2^3) = 64 \text{ m}^3 > 15 \text{ m}^3 \text{ (符合要求)}$$

9. 池子总高度 H

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \quad (\text{式 4-18})$$

式中, h_1 —沉淀池超高(m), 一般取 0.3 m;

h_4 -----缓冲层高度(m), 设计取 0.3 m;

$$H = 0.3 + 3.78 + 0.3 + 0.3 + 4.7 = 9.4 \text{ m}$$

10. 进水集配水井

整个系统包括 4 组沉淀池, 废水在集配水井内平均分配, 再流入每组沉淀池进行处理。

配水井内中心管直径

$$D' = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_2}} \quad (\text{式 4-19})$$

式中, v_2 -----配水井内中心管上升流速(m/s), 本次设计取 0.6;

$$D' = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_z}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.035}{3.14 \times 0.6}} = 0.29 \text{ m}$$

配水井直径

$$D_3 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_3}} + D'^2 \quad (\text{式 4-20})$$

式中, v_3 -----配水井流速(m/s), 本次设计取 0.3m/s;

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \times 0.035}{3.14 \times 0.3}} + 0.29^2 = 0.76 \text{ m}$$

11. 进水渠道

该废水处理系统由 4 个沉淀池组成, 每个池的设计流量为 $0.0086 \text{ m}^3/\text{s}$, 并且每个池都配有一个进水渠道。当废水通过进水渠道进入沉淀池时, 它会经过中心管的引导, 最终被沉积于池底。

这些进水渠道的宽度为 0.7 m , 水深为 0.6 m , 渠道内的设计流速为 0.60 m/s 。在此条件下, 废水可以有效地进入沉淀池并与污泥颗粒结合, 从而使悬浮物和其他固体杂质得到去除。

12. 出水堰

出水口采用单侧 90° 三角堰, 每个三角堰顶部宽度为 0.16 m , 深度为 0.08 m , 相距

0.1 m。整个废水处理系统共有 43 组沉淀池，总共包含 174 个三角堰。

设计中，每个三角堰的有效水深为 0.04 m，具有一个在 0.1-0.15 m 之间的自由跌落高度，以确保污水能够迅速流经和排出。此外，每个三角堰的流量也被设计得足够充分，以最大程度地提高处理效率和水质净化效果。

由此，可以算出三角堰流量为

$$Q_1 = 1.43H_1^{2.5} \quad (\text{式 4-20})$$

式中， H_1 -----三角堰水深(m):

$$Q_1 = 1.43H_1^{2.5} = 1.43 \times 0.04^{2.5} = 0.00046 \text{ m}^3/\text{s}$$

则每组沉淀池的三角堰流量为:

$$0.00046 \times 43 = 0.0199 \text{ m}^3/\text{s} > 0.0086 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (符合要求)}$$

4.5 UASB 反应器设计计算

4.5.1 设计说明

UASB 是一种厌氧反应器，它在不需添加填料、设立沉淀池或污泥回流装置的情况下能够高效地处理各类有机废水。UASB 通过培育厌氧菌，将废水中的有机物分解为沼气，并使废水中的 COD 去除率达到 80%以上。由于其特殊的结构和操作方式，该系统具有多项优点。

首先，UASB 设计紧凑，容积负荷高，且升流管内污泥床生物量丰富，因此可大大缩小反应器的体积，使整个处理过程更具经济性。此外，UASB 不需要设立沉淀池来进行悬浮物的去除，而是利用膨胀性污泥自身从底部形成一个三相界面。这有效缓解了沉淀池可能出现的堵塞问题，同时也降低了后续处理步骤对催化剂和再生成本的需求。

UASB 还具有很多其他优点，例如极低的能耗和强健的操作简易性。由于它不需要机械拌合和能量强制输入，因此可显著降低能源成本。此外，UASB 还能回收可再利用的沼气作为能源来减少能源的消耗，从而进一步减少系统运行的总成本。在操作性方面，UASB 的反应器结构的简单和缺乏填料设计使得其易于清理和维护，且不熟练或新手也可以轻松管理。UASB 还能处理各种类型的有机污染物，因此被广泛应用于许多领域，包括农业，化学工业和食品加工等。总体而言，UASB 是一种有效而广泛适用的废水处理技术，能够实现高效的有机物质分解率和低运行成本^[10]。

4.5.2 参数选取

参考同类工业废水用 UASB 反应器的处理运行结果表明，常温条件下（20~25℃）UASB 反应器能够实现进水容积负荷率为（4 ~ 7.0）kgCOD(m³·d)，对 COD 的去除率达到 85%以上。同时，该反应器还能表现出沼气产率高、污泥产量低等优良特性。具体而言，

经过 UASB 处理后，每消耗 1 kgCOD 可产生 0.5 m³ 的沼气，且污泥的表现产率极低，仅为 0.1 千克 MLSS/千克 COD（去除），厌氧污泥能实现颗粒化处理^[11]。

设计参数选取如下：

容积负荷：(N_v)4.5 kgCOD/(m³·d)；

污泥产率：0.1 kgMLSS/kgCOD；

产气率：0.5 m³/kgCOD

水力负荷：q = 0.8 [m³/(m²·h)]

4.5.3 设计水质和水量

表 6 设计水质和水量

水质指标	COD	BOD	SS
进水水质(mg/l)	1302	744	900
去除率(%)	75	80	65
出水水质(mg/l)	325.5	148.8	315

$$Q = 3000 \text{ m}^3/\text{d} = 125.025 \text{ m}^3/\text{h} = 0.03225 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5.4 反应器容积计算

UASB 有效容积：

$$V = \frac{Q \cdot S_0}{N_v} \quad (\text{式 4-21})$$

式中：Q-----设计流量，m³/s

S₀-----进水 COD 含量，mg/l

N_v-----容积负荷，kgCOD/(m³·d)

$$\begin{aligned} V_{\text{有效}} &= \frac{3000 \times 1.302}{4.5} \\ &= 868.5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

圆形池子具有较小的流动阻力，使得进入污水的流速更加稳定，可以保证厌氧菌处于合适的生长环境中，并提供足够的营养物质以促进其代谢活动。此外，通过均匀布置进水口并控制流量大小，可以更好地分散有机物质并减少其在池内的死区，从而提高了反应器的填料利用率和废水处理效率。因此，采用圆形池子。

采用圆形设计还可以使 UASB 反应器达到更高的容积负荷，整体占地面积更小且易于与现有的废水处理设施进行整合。同时，圆形池子不需要大量的堤防支持，降低了工程

建设难度和造价。这种设计结构还可避免较小的模块化或管道反应器中可能出现的死轮回路，并提高了沼气的产量^[12]。

取水力负荷 $q = 0.8 \text{ [m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

$$\text{则 } A = \frac{Q}{q} = \frac{125.025}{0.8} = 157.5 \text{ m}^2$$

$$h = \frac{V}{A} = \frac{868.5}{157.5} = 5.5 \text{ m}$$

采用 4 座相同的 UASB 反应器，则：

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{A}{4} \\ &= \frac{157.5}{4} \\ &= 39.375 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (\text{式 4-22})$$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{4 \times A_1}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 39.375}{3.14}} \\ &= 7.08 \text{ m} \end{aligned} \quad (\text{式 4-23})$$

取 $D = 7.5 \text{ m}$

则实际横截面积为

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 7.5^2 \\ &= 44.16 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (\text{式 4-24})$$

实际表面水力负荷为

$$\begin{aligned} q_1 &= Q/A \\ &= \frac{125.025}{4 \times 44.16} \\ &= 0.71 < 1.0 \end{aligned} \quad (\text{式 4-25})$$

故符合设计要求

4.5.5 配水系统设计

该设计采用 UASB 反应器，配备 27 个圆形布水器。这些布水器分布在 3 个圆环上，

其中最里面的圆环有 6 个孔口，中间的圆环有 12 个孔口，最外围的圆环有 18 个孔口，每个孔口的服务面积为 1.58 平方米。这种设计可以有效地提高 UASB 反应器的处理效率，并能够降低处理成本。。

这样的布水方式可以使废水在反应器内得到均匀地分散，满足厌氧菌生长和有机物的降解要求，并且最大化地利用池体的容积。此外，反应器的多层孔口设计可以提高配置比例，进一步减小颗粒被沉积阻塞的可能性。同时，由于反应器内的污泥床二度布置，也可避免淤泥对杂散空间和管道造成影响。

该系统采用圆形布水器，在等面积的情况下提高了布水密度，从而提高了处理效率和出水质量；同时也增加了反应器运行稳定性，并简化了操作维护过程^[12]。

(1)参数

每个池子流量：

$$Q = 125.025/4 = 31.25625 \text{ m}^3/\text{h}$$

(2)设计计算

下图是布水系统的设计草图

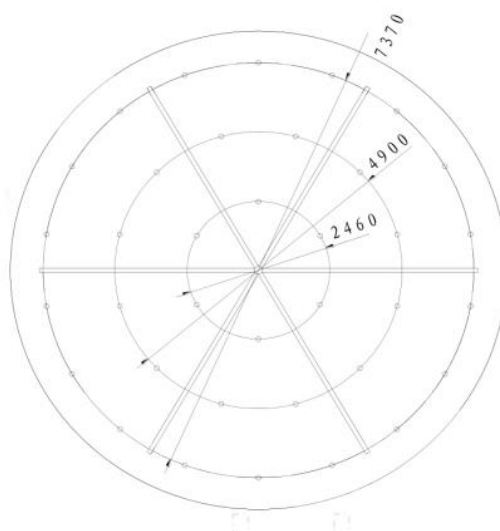


图 7 布水系统设计计算草图^[9]

圆环直径计算：每个孔口服务面积为：

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{4} \pi D^2 / 27 \\ &= 1.58 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (\text{式 4-26})$$

a 在 1~3 m 之间，符合设计要求

可以设置 3 个圆环，最里面的圆环设置 6 个排放口，中间的圆环设置 12 个，最外面的圆环设置 18 个。

1) 内圈 6 个孔口设计

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/057105101164006101>